

A NEW SUBSTANTIATION OF THE PLANK'S RADIATION LAW

Etkin V.A.

Abstract

The new view on process of radiation as a result of braking of orbiting electrons by an external force field is offered. The substantiation of the Planck's radiation law without hypotheses and postulates of quantum-mechanical nature is given. The sense of a constant of Planck is opened and is shown that the true quantum of radiation is the soliton.

НОВОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНА ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАНКА

Д.т.н., проф. В.Эткин
(Институт интегративных исследований)

Предложен новый взгляд на процесс излучения как следствие торможения орбитальных электронов внешним силовым полем. Дано обоснование закона излучения Планка, не опирающееся на гипотезы и постулаты квантово-механического характера. Вскрыт смысл постоянной Планка и показано, что истинным квантом излучения является солитон.

1. Введение. В 1900 году М. Планк, известный своими работами по термодинамике, нашел формулу, хорошо воспроизводящую плотность излучения абсолютно чёрного тела (АЧТ) во всём диапазоне частот [1]. При этом он, как и его предшественник Рэлей, представлял себе равновесное излучение в полости абсолютно черного тела (АЧТ) как систему стоячих волн. Число таких стоячих волн n_v , имеющих частоту ν , в единице объема V трехмерного пространства определяется выражением

$$dn_v = (\nu^2/\pi^2 c^3) d\nu, \quad (1)$$

где c – скорость света. Однако в отличие от закона излучения Рэля (1900)

$$\rho_\nu = (8\pi\nu^2/c^3) k_b T, \quad (2)$$

предполагавшего объемную плотность излучения ρ_ν [Дж/м³] пропорциональной числу стоячих волн в полости абсолютно черного тела (АЧТ) n_v и определенной доле $k_b T$ тепловой энергии самого АЧТ (k_b – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура), закон Планка предусматривал более сложную связь излучения с тепловой энергией АЧТ. Она характеризовалась планковским распределением энергии по частоте и выражалась членом $h\nu/[\exp(h\nu/k_b T) - 1]$. Для этого ему пришлось выдвинуть гипотезу о дискретности энергетического спектра осцилляторов. Согласно Планку, испускание и поглощение излучения происходит порциями (квантами), названными впоследствии фотонами, энергия которых $\varepsilon_\phi = h\nu$, т.е. пропорциональна частоте ν излучения. При этом атомы вещества представлялись как осциллятор, который мог находиться только в определенных дискретных энергетических состояниях с энергиями $\varepsilon_n = nh\nu$, где $n = 1, 2, \dots$ – целочисленное неотрицательное число, названное впоследствии квантовым. Эти энергетические уровни осциллятора образуют дискретный набор величин, т.е. представляют собой, как говорят, эквидистантный спектр с одной и

той же разностью энергий $h\nu$ любых двух соседних уровней. Далее, Планк допустил, что распределение энергии по уровням ε_n подчинено классической статистике Больцмана:

$$N_v = N_0 \exp(-\varepsilon_n/k_b T), \quad (3)$$

согласно которой отношение числа N_v осцилляторов с энергией $\varepsilon_n = nh\nu$ к общему их числу N_0 уменьшается экспоненциально с увеличением частоты излучения ν и квантового числа n . Это и предотвращает так называемую «фиолетовую катастрофу» вследствие неограниченного возрастания энергии кванта, предсказываемую законом излучения Рэлея.

Среднестатистические значения энергии осциллятора $\langle \varepsilon_n \rangle$ вычисляются М.Планком путем перехода от интегралов к суммам бесконечного ряда натуральных чисел $n = 1, 2, \dots, \infty$:

$$\langle \varepsilon_n \rangle = \sum_n \varepsilon_n \exp(-\varepsilon_n/k_b T) / \sum_n \exp(-\varepsilon_n/k_b T). \quad (4)$$

Это среднее значение равно

$$\langle \varepsilon_n \rangle = h\nu / [\exp(h\nu/k_b T) - 1]. \quad (5)$$

По Планку, спектральная плотность излучения $u(\nu, T)d\nu$ в диапазоне частот $d\nu$ пропорциональна $\langle \varepsilon_n \rangle$ и числу стоячих волн dN_v , содержащихся в этом интервале частот в некоторой воображаемой полости АЧТ, находящейся в тепловом равновесии с излучающим телом:

$$dN_v = (\nu^2/\pi^2 c^3) d\nu. \quad (6)$$

В таком случае произведение $\langle \varepsilon_n \rangle dN_v$ приводит к его закону излучения:

$$u(\nu, T) = (8\pi h\nu^3/c^3) / [\exp(h\nu/k_b T) - 1] \text{ (Дж}\cdot\text{с/м}^3\text{)} \quad (7)$$

Хотя эта формула прекрасно описывала экспериментальные результаты, сам по себе этот вывод основан на ряде достаточно произвольных допущений. Во-первых, положенная в ее основу гипотеза Планка входила в явное противоречие с представлениями классической физики о непрерывности энергетического спектра. Во-вторых, в соответствии с классической механикой электрон, вращающийся по круговой орбите, должен был излучать энергию также непрерывно. В-третьих, М. Планк полагал энергию кванта излучения $\varepsilon_\phi = h\nu$ пропорциональной частоте ν в первой степени и не зависящей от амплитуды волны A_ν . Это противоречило известному из акустики, гидродинамики и электродинамики выражению для плотности энергии плоской бегущей волны [2]:

$$E_\nu = \rho A_\nu^2 \nu^2 / 2, \text{ Дж/м}^3, \quad (8)$$

согласно которому она пропорциональна квадрату частоты ν [с⁻¹] и амплитуды волны A_ν [м]. В-четвертых, в выражение закона излучения Планк заложил молчаливое допущение, согласно которому отношение числа испущенных полостью АЧТ фотонов к числу стоячих волн в ней всегда равно единице. Действительно, член $h\nu / [\exp(h\nu/k_b T) - 1]$ относится к фотону (единица – Дж/фотон), а множитель n_ν – к плотности стоячих волн в полости АЧТ (единица – волн/м³). Отсутствие «выравнивающего» множителя в виде соотношения (фотон/волна) в произведении этих двух величин и означает, что это соотношение молчаливо принимается за единицу. Между тем это допущение никак не согласуется с представлением о фотоне как пакете волн: становится совершенно непонятным, каким образом за один период колебаний стоячей волны последняя излучает целый цуг волн? В-пятых,

если частота излучения ν определяется квантовыми числами исходной и конечной орбиты n_i и n_j , то в соответствии с известным соотношением квантовой механики [3]

$$h\nu = E_i (1 - n_i^2/n_j^2) \quad (9)$$

уже при $n_i = 2$ и $n_j = 10$ электрон будет терять за один акт излучения 96% своей исходной энергии E_i . Это ставит под сомнение не только устойчивость одноэлектронного атома, но и саму идею об излучении путем «перескока» электрона с одной орбиты на нижележащие. В-шестых, переход от выражения (4) к выражению (5) у Планка основан на свойствах бесконечной геометрической прогрессии. Между тем ряд, образованный квантовыми числами n , весьма и весьма ограничен (уже при $n_i = 2$ и $n_j = 10$ выражение $(1 - n_i^2/n_j^2)$ мало отличается от единицы). Наконец, все попытки раскрыть смысл величины h , которую Л. Бройль называл «таинственной постоянной», до сих пор не находили удовлетворительного решения. Подобных вопросов возникает, вообще говоря, множество. Все это побуждает к поиску иного обоснования закона излучения Планка, не нуждающегося в специфических квантовых гипотезах.

2. Новая трактовка закона излучения. Согласно закону сохранения энергии, полная энергия атома остается неизменной, если движение электронов в нем происходит только под действием внутренних (центральных) сил, удерживающих их на орбите [4]. Следовательно, об излучении телом энергии можно говорить только в том случае, когда на его атомы действуют сторонние (нецентральные) силы \mathbf{F} , исходящие от окружающих их электромагнитных полей. Это означает, что при описании процесса излучения в качестве объекта исследования следует рассматривать не одиночный атом (как в модели Н.Бора), а всю совокупность атомов вещества, находящихся в колеблющихся внешних силовых полях [5]. Тогда становится ясным, что при сонаправленности сил \mathbf{F} и движения орбитальных электронов (когда $\mathbf{F} \cdot \mathbf{v} > 0$), возникает их ускорение, которое заканчивается, когда $\mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = 0$. Если же $\mathbf{F} \cdot \mathbf{v} < 0$, электроны испытывают кратковременное торможение, длительность которого определяется полупериодом электромагнитной волны (ЭМВ) либо полупериодом орбитального движения электрона¹ [6]. При этом возникает возмущение внешнего поля соответствующей длительности, накладывающееся на ЭМВ и распространяющееся во внешней среде в виде волны. Совокупность таких волн и образует то, что мы называем излучением тела.

Когда период колебания поля больше времени обращения орбитального электрона, торможение наступает более чем за один оборот электрона. Такие орбиты остаются в течение некоторого времени невозмущенными (устойчивыми). Однако по мере увеличения частоты поля ν электроны успевают претерпеть за полупериод уже множество z_e актов торможения или ускорения. Соответствующее число раз изменяется и траектория электрона. Так, при условном радиусе круговой орбиты порядка 1 \AA и скорости орбитального электрона v_e , равной $1/137$ скорости света в вакууме c электрон в рентгеновском диапазоне частот (до $\approx 10^{19}$ Гц) успевает претерпеть порядка нескольких тысяч актов ускорения или торможения. При этом излучается пакет волн с амплитудами, спадающими до нуля в начале и конце участка торможения (где $\mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = 0$). Такой «механизм» излучения вполне соответствует классическому представлению о фотоне как о волновом пакете, не имеющем массы покоя $\mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = 0$, и о процессе испускания фотона, не лишенном определенной длительности. Соответствует он и экспериментальным данным о «размытости» траектории электронов, что обусловлено многократным ее изменением в течение полупериода и трактуется в квантовой теории как следствие принципа неопределенности.

Ввиду того, что процесс торможения или ускорения электронов кратковременен, сопровождающий его процесс излучения и поглощения атомами энергии волн приобретает

¹ Безотносительно к тому, замкнута или не замкнута орбита, находится ли ядро атома в плоскости орбиты или нет.

дискретный характер. Таким образом, квантовая природа излучения обусловлена самим характером процесса и отнюдь не противоречит классической механике. Несостоятельными оказываются и ссылки на неизбежность падения электрона на ядро вследствие излучения им энергии, послужившие основанием для отказа от классических представлений, становятся безосновательными. Дело в том, что в результате указанной последовательности актов излучения и торможения орбитальных электронов наступает динамическое равновесие между поглощенной и излученной энергией, так что процесс приобретает установившийся характер.

Перейдем теперь к некоторым количественным оценкам. Как известно, расхождение между законами излучения Рэлея и Планка усиливается с уменьшением длин волн. Поэтому нас сейчас интересует тот случай, когда $z_e > 1$. Тогда частота излучения атома любого вещества ν оказывается кратной не только числу оборотов орбитального электрона n_e , но и числу z_e актов его торможения за полупериод любой (замкнутой или незамкнутой) орбиты¹. Число оборотов n_e определяется, как известно, отношением средней скорости электрона v_e на орбите к ее длине L , так что за один «оборот» электрона излучение происходит $z_e n_e$ раз:

$$\nu = z_e n_e = v_e / l_e = p_e / m_e l_e, \quad (10)$$

где $p_e = m_e v_e$ – модуль усредненного импульса электрона на орбите; $l_e = L/z_e$ – средняя длина «тормозного пути» электрона.

В соответствии с (10), на одной и той же частоте ν излучают энергию все атомы, орбиты которых имеют одинаковую длину «пути торможения» электрона $l_e = const$. Такие орбиты мы в дальнейшем для краткости будем называть *подобными*. При этом частота излучения ν оказывается пропорциональной среднему импульсу p_e электронов на всех подобных орбитах. Это согласуется с идеями де Бройля о связи частоты волны с импульсом частицы [7]. Более того, согласно (10) каждому виду атомов с подобными орбитами соответствуют определенные длины волн излучения (поглощения). Это также подтверждает гипотезу де Бройля о том, что волновые свойства присущи всем веществам.

Далее, поскольку частота излучения ν связана с длиной волны λ простым соотношением $\nu = c/\lambda$, из (10) следует:

$$c/\lambda = v_e / l_e. \quad (11)$$

Таким образом, длина излучаемой волны определяется средней длиной «пути торможения» электрона l_e и его средней скоростью v_e . Это соотношение объясняет, почему на длине орбиты L_e укладывается целое число волн де Бройля с длиной λ [7].

Дальнейшее изложение существенно облегчается, если отказаться от представления Максвелла об электромагнитном поле как материальной среде с присущими ей синхронными электрическими и магнитными колебаниями, поскольку это нарушает закон сохранения энергии в нем [8], и называть электромагнитными волнами ту часть диапазона колебаний эфира, которая поглощается электромагнитными экранами. Тогда фотон представит как пакет (цуг) волн эфира, возбуждаемых электромагнитными процессами в атоме, а процесс излучения – как прерывистый поток волн эфира. Особенностью этих волн являются их солитоноподобные свойства. Солитоном принято называть уединенную волну, распространяющуюся в нелинейной среде и отличающуюся сохранением своей формы при движении и столкновении с себе подобными волнами. Известно, что при столкновении два солитона не проходят друг через друга, как обычные линейные волны, а как бы отталкиваются друг от друга подобно теннисным мячам, что приближает их к частицам.

¹ Последнее подтверждается тем известным из квантовой теории фактом, что длины боровских орбит L оказываются кратными длине волны де Бройля.

На начальной стадии изучения солитонов считалось, что структурная устойчивость уединенной волны обусловлена явлением дисперсии (зависимости скорости распространения волны от ее амплитуды) благодаря чему «расползание» волны вследствие диссипации ее энергии компенсируется увеличением крутизны ее фронта вследствие дисперсии нелинейной среды. Однако в свободном от вещества эфире, в котором рассеяние энергии отсутствует [9], дисперсия уже не является необходимым условием структурной устойчивости волны. В результате число объектов, попадающих под определение солитона, резко возрастает. В частности, под это определение попадают даже стоячие волны эфира, поскольку дисперсия в нем отсутствует (это доказывается неизменностью спектра реликтового излучения). Вслед за этим исчезает и требование «уединенности» волны, вследствие чего последовательность солитонов становится подобной группе волн, перемещающейся с общей, не зависящей от амплитуды скоростью. Такое представление об излучении позволяет трактовать частоту ν как поток солитонов J_c – количество солитонов, испущенных в единицу времени [10]. В результате и поток лучистой энергии также находит своего материального носителя – поток солитонов как структурно устойчивых и частицеподобных волн.

Раскроем теперь связь потока солитонов J_c с другими параметрами волнового процесса. В энергодинамике поток носителя любой i -й формы энергии \mathbf{J}_i выражается единым образом как произведение переносимой величины Θ_i (массы k -го вещества M_k , его импульса $M_k \mathbf{v}_k$, заряда Z , энтропии S и т.п.) на скорость её переноса \mathbf{v}_i . Соответственно плотность этого потока $\rho \mathbf{J}_i$ определяется произведением плотности $\rho \Theta_i$ энергоносителя на эту скорость. При этом величина Θ_i может быть найдена из выражения элементарной упорядоченной работы i -го рода dW_i^e , которая равна убыли $-dE_i$ внешней энергии i -го рода E_i и может быть представлена в виде произведения переносимой величины Θ_i на изменение $d\psi_i$ сопряженного с ней потенциала ψ_i [11]. В случае волновой формы энергии ($E_i \equiv E_b$; $\mathbf{v}_i = c$; $dW_i^e = dW_i^e$) эта работа определяется убылью энергии волны (6):

$$dW_b = -dE_b = -\rho \Theta_b d\psi_b = -\rho A_b v d(A_b v), \text{ Дж/м}^3. \quad (12)$$

Отсюда следует, что $\rho \Theta_b = \rho A_b v$ и $\psi_b = A_b v$, так что

$$J_c = A_b c v = h_0 v, \text{ Дж}. \quad (13)$$

где $h_0 = A_b c$ (Дж·с) – некоторый коэффициент пропорциональности, подлежащий экспериментальному определению и имеющий смысл действия, производимого атомом в единичном акте торможения его орбитальных электронов.

Как видим, первой степени частоты ν действительно пропорциональна не энергия волны E_b , а поток солитонов J_c , также имеющий размерность энергии. Согласно (11), этот поток пропорционален амплитуде волны A_b , и при её постоянстве неограниченно возрастает с увеличением частоты ν . Однако это не приводит к «фиолетовой катастрофе» Рэлея, поскольку с ростом ν амплитуда волны A_b уменьшается. Это становится более очевидным, если амплитуду волны A_b [м] выразить через ее длину λ соотношением

$$k_b = \lambda / A_b, \quad (14)$$

где k_b – коэффициент формы волны¹⁾. Если этот коэффициент постоянен, т.е. устойчивость формы эфирной волны сохраняется на всех частотах, то отношение числа осцилляторов N_a с амплитудой A_b , излучающих на частоте ν , к общему их числу N с ростом ν уменьшается. Логично

¹⁾ Возможность представления амплитуды волны A_b в функции ее длины λ особенно очевидна, если профиль волны представить в виде правильного треугольника с высотой A_b и основанием λ . В таком случае этот коэффициент выражается тангенсом угла переднего или заднего фронта волны.

допустить, что это соотношение подчиняется той же максвелл-больцмановской статистике:

$$N_a = N \exp(-h_0 \nu / k_b T) . \quad (15)$$

В таком случае среднестатистическое значение $\langle J_c \rangle$ потока солитонов J_c определится подобным (4) образом:

$$\langle J_c \rangle = \sum_z h_0 \nu \exp(-h_0 \nu / k_b T) / \sum_z \exp(-h_0 \nu / k_b T), \quad (16)$$

и для достаточно большого ряда натуральных чисел z_e может быть найдено путем аппроксимации (15) тем же выражением (4):

$$\langle J_c \rangle = \langle h_0 \rangle \nu / [\exp(\langle h_0 \rangle \nu / k_b T) - 1] , \quad (17)$$

где $\langle h_0 \rangle = \langle A_B \rangle c$ – среднестатистическое значение коэффициента h_0 , отражающее усредненное значение амплитуды волны эфира $\langle A_B \rangle$ во всем диапазоне частот.

Следует отметить, что здесь операция усреднения значительно более обоснована, чем у М.Планка, поскольку суммирование осуществляется по ряду, достигающему многих тысяч членов, а не по весьма ограниченному набору квантовых чисел. В соответствии с (13) произведение ρ_ν на среднестатистическое значение потока солитонов $\langle J_c \rangle$ определяет спектральную плотность излучения АЧТ $u(\nu, T)$, т.е. энергии, излучаемой единицей его объема V на частоте ν :

$$u(\nu, T) = \rho_\nu \langle J_c \rangle = (8\pi \langle h_0 \rangle \nu^3 / c^3) / [\exp(\langle h_0 \rangle \nu / k_b T) - 1] \text{ (Дж}\cdot\text{с/м}^3\text{)} . \quad (18)$$

Это выражение отличается от закона излучения Планка (7) лишь тем, что в нем вместо постоянной Планка h фигурирует среднестатистическое значение $\langle h_0 \rangle$ величины h_0 . Согласно (14),

$$A_B = k_b \lambda = k_b c / \nu, \quad (19)$$

так что

$$J_c = h_0 \nu = A_B c \nu = k_b c^2 . \quad (20)$$

Таким образом, при постоянстве формы волны ($k_b = \text{const}$) поток солитонов не зависит от частоты волн, что ведет к постоянству коэффициента пропорциональности $\langle h_0 \rangle = \langle A_B \rangle c$. Поскольку же величины h или $\langle h_0 \rangle$ находятся чисто экспериментальным путем, становится ясным, что постоянная Планка в действительности и есть среднестатистическое значение амплитуды волны A_B в единицах Планка. Поэтому предложенный здесь вывод выражения (18) можно считать классическим обоснованием закона Планка, не требующим привлечения каких-либо гипотез и постулатов квантово-механического характера.

3. Обсуждение результатов. Данное здесь обоснование закона излучения Планка открывает возможность новой интерпретации заложенных в нем предпосылок. Прежде всего, становится совершенно ясным, что именно многократное торможение и ускорение электрона нецентральными силами порождает процесс излучения и поглощения атомом электромагнитных или эфирных волн [11]. С этих позиций выглядит совершенно необоснованным не только утверждение о неизбежном «падении» электрона на ядро атома, но и постулат Бора о существовании «устойчивых» (неизлучающих) круговых орбит, что эквивалентно предположению о замкнутости системы атомов и каждого из них в отдельности. Становится также ясным, что излучение атома обусловлено не вневременным (лишенным

длительности) «перескоком» электрона с одной устойчивой орбиты на другую (как это постулировалось Н.Бором¹), а его многократным торможением на орбите. При этом не нарушаются никакие законы классической механики, основанные на понятии взаимодействия и ускорения.

Далее, при выводе закона излучения (18) мы не прибегали ни к каким постулатам квантово-механического характера, о которых говорилось выше. Напротив, мы с самого начала признали, что дискретность процесса излучения энергии вовсе не означает, что и сама энергия состоит из отдельных квантов и потому не может изменяться непрерывно в реальных процессах. Никому ведь не придет в голову утверждать, что океан состоит из отдельных капель, коль скоро таков пополняющий его дождь! Что же касается представления о солитонах, то оно является вспомогательным, существенно облегчающим понимание природы дуализма «волна-частица». Действительно, сами специфические свойства солитона как частицеподобной волны объясняют, почему излучение в одних случаях проявляет свойства волны (интерференция, дифракция, поляризация), а в других – свойства частиц (фотоэффект, эффект Комптона).

Предпринятое обоснование закона излучения Планка проливает также новый свет на структуру и физический смысл постоянной Планка. Для многих исследователей оставалось непонятным, каким образом может оказываться универсальным отношение h/k_b , найденное из данных о спектре излучения реальных тел, из измерений фотоэффекта различных веществ, из эффекта Джозефсона и т.п. [12], если в ее структуре заложены частные свойства АЧТ, газовая постоянная идеальных газов R_u , число Авогадро N_A и т.д. Теперь становится ясным, что это происходит благодаря все той же структурной устойчивости эфирной волны как солитона, т.е. независимости коэффициента формы эфирной волны k_b от ее частоты ν .

Снимаются и другие отмеченные выше противоречия, обусловленные идеей квантования не процесса излучения или уровней энергии в атоме, а самого понятия энергии. Это открывает возможность непротиворечивого синтеза классической и квантовой механики [12]. Коренным образом изменяется и представление о кванте энергии излучения. Если по Планку таким квантом являлся фотон, то теперь в роли истинного кванта излучения предстает солитон как единичная волна, со всей очевидностью дискретная в пространстве и времени и обладающая свойством частицы. Изменяются и представления о величине энергии этого кванта, равной частному от деления энергии фотона $\epsilon_\phi = h\nu$ на число волн в волновом пакете, именуемом фотоном. Это снимает противоречия, связанные с отмеченной А.Эйнштейном избыточностью энергии фотонов сверхвысокой частоты. Появляется и возможность оценить среднестатистическую величину амплитуды волны, излучаемой телом. Она равна частному от деления постоянной Планка $h = 6,626 \cdot 10^{-24}$ на скорость света в вакууме $c = 2,998 \cdot 10^8$ и составляет величину $\langle A_b \rangle = 2,210 \cdot 10^{-32}$ м., что на много порядков меньше размеров самого атома. Это открывает дополнительные возможности для волновой теории строения вещества и элементарных частиц как продукта «конденсации» волн эфира в виде кольцевых, спиралевидных и тороидальных волн неподвижного в целом эфира [13].

Замена фотона солитоном легко объясняет также обнаруженную еще в 1967 году интерференцию фотона с самим собой. В данном случае интерферируют солитоны одного и того же пакета (цуга) волн, который детектор фиксирует щелчком как испускание одиночного фотона ввиду наличия конечного промежутка времени между этими пакетами. Появляется возможность классического объяснения происхождения спектральных серий [14], новой трактовки фотоэффекта [15], классического вывода уравнения Шрёдингера [16] и т.д.

Становится также очевидным, что понятия силы, ускорения, конечной длительности процесса и протяженности частиц в пространстве не чужды волновой (квантовой) меха-

¹ В противном случае длина фотона могла бы достигать многих тысяч метров, что несовместимо с представлением о нем как о частице.

нике, что позволяет дать им единое обоснование. Не менее важным представляется и возможность вычисления на базе выражения (10) среднестатистических параметров орбиты электрона (эквивалентного радиуса круговой орбиты $\langle r_e \rangle = \langle L_e / 2\pi z_e \rangle$, средней скорости электронов $\langle v_e \rangle$, их импульса $\langle p_e \rangle = m_e \langle v_e \rangle$ и энергии $\langle E^k \rangle = \langle p_e^2 \rangle / 2m_e$), что выходит за рамки возможностей квантовой механики [5,17].

Все это подтверждает правоту академика Вавилова, выразившего сомнение в беспомощности волновой теории перед квантовыми законами действия света.

Литература.

1. Планк М. Теория теплового излучения – Л.-М, 1935.
2. Крауфорд Ф. Берклеевский курс физики. Т.3: Волны. М.: Мир, 1965. 529 с.
3. Шпольский Э.В. Атомная Физика. Том 1. Изд.6-е.-М. 1974.
4. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. Механика. Т.1 – Механика. –М.,1973.
5. Эткин В.А. Энергодинамика (синтез теорий переноса и преобразования энергии). С.-П., «Наука», 2008, 409 с.
6. Эткин В.А. О законе излучения Планка. / Вестник Дома Ученых Хайфы, 2008.- Т.16, с.12-17.
7. Л. де Бройль. Обзор моих научных работ // Л. де Бройль. По тропам науки. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. — С. 347.
8. Эткин В.А. Материально ли электромагнитное поле?
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/13898.html>. 26.06.2014.
9. Эткин В.А. От фотонов – к солитонам.
<http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/11812.html>. 19.02.2012.
10. Эткин В.А. О потенциале и движущей силе лучистого энергообмена / Вестник Дома Ученых Хайфы, 2010.-Т.2, с.2-6.
11. Эткин В.А. Классическое обоснование закона излучения Планка.
http://samlib.ru/e/etkin_w_a/klassicheskoeobosnovaniezakonaizlucheniyaaplanka.shtml.11.4. 2009.
12. Эткин В.А. Классические основания квантовой механики.
13. Эткин В.А. Эфир без гипотез . <http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/14245.html>. 05.11.2014
14. Эткин В.А. Классическое объяснение спектральных серий (<http://sciteclibrary.ru/rus/6079.html> .-16.09.2003).
15. Эткин В.А. Классическая интерпретация фотоэффекта.
(<http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/5905.html>. - 26.08.2003).
16. Эткин В.А. Термодинамический вывод уравнения Шрёдингера.
(http://zhurnal.lib.ru/e/etkin_w_a/shtml).
17. Эткин В.А. Об основаниях квантовой механики. / Вестник Дома Ученых Хайфы, 2006.-Т.10, с.19-27.