

СОЛИТОН КАК ИСТИННЫЙ КВАНТ ИЗЛУЧЕНИЯ

(Доклад на 41-й МНТК ИИИ)

Д.т.н., проф. В.Эткин

Абстракт.

С развитием теории необратимых процессов (ТНП) стало очевидным, что так называемое «лучистое равновесие» является в действительности стационарным состоянием, обусловленным равенством потоков поглощаемой и излучаемой лучистой энергии. Это вынуждает пересмотреть обоснование закона излучения, данное М. Планком на основе представлений о тепловом равновесии излучателя с полостью абсолютно чёрного тела и на ряде связанных с этим постулатов, противоречащих классической физике. В докладе показано, что такое рассмотрение излучения не требует квантования энергии осциллятора, постулата Планка и привлечения соображений квантово-механического характера. При этом излучение предстаёт как процесс модуляции светонесущей среды колебаниями излучателя с последующим переносом ею возбуждения к приёмнику излучения. При этом истинным квантом излучения становится солитон, а не фотон. Показано, что величина этого кванта пропорциональна числу гармоник в групповом солитоне, однако коэффициент их пропорциональности равен постоянной Планка лишь для абсолютно черных тел, а для цветных тел колеблется в широких пределах в зависимости от энергии солитона и свойств фотокатодов.

Ключевые слова: неравновесная термодинамика, лучистый поток, светонесущая среда, стационарный процесс, закон излучения, волна как квант, модуляция среды, нетривиальные следствия.

Введение.

В октябре 1900 года М. Планк, получив новейшие данные Ф. Курлбаума и Г. Рубенса о распределении энергии в спектре абсолютно черного тела (АЧТ), в течение нескольких дней нашёл по его словам «удачную интерполяционную формулу», удовлетворяющую как закону Вина, (1893) так и Рэля (1900), и в том же месяце доложил об этом Немецкому физическому обществу [1]. В центре внимания Планка как термодинамика было в то время выражение для второй производной энтропии осциллятора по его внутренней энергии $\partial^2 S / \partial^2 U$. В коротковолновой области, где справедлив закон Вина, эта производная была обратно пропорциональна первой степени энергии, тогда как в длинноволновой области – второй степени. М. Планк сконструировал комбинацию $a/U(U + b)$, дающую их простейшее обобщение. При этом он вслед за Больцманом приписывал излучению в полости определенную температуру T , энтропию S и газовую постоянную R , как будто излучение представляет собой некую субстанцию, подобную идеальному газу. Однако вскоре ему пришлось отказаться от такого представления, поскольку лучистый теплообмен занимает очень незначительный участок диапазона частот с длиной волны $0,4 \dots 0,76$ мкм, которые рассеивается любыми телами, превращая лучистую энергию в тепловую форму. Основная же часть лучистого энергообмена воспринимается телами как совершаемая над ними работа, что выражается в явлениях фотоэффекта, фотосинтеза, фотоионизации, фотодиссоциации, флуоресценции, в фотохимических, фотоядерных и т. п. превращениях. В связи с этим для объяснения полученной формулы М. Планку пришлось прибегнуть в даль-

нейшем к более революционному постулату квантования энергии осцилляторов [2]. Согласно этому постулату, энергия осциллятора ε_n может отдаваться или приобретаться только дискретными порциями (квантами) $\varepsilon_0 = nh\nu$, пропорциональными частоте ν и кратными натуральным числам $n = 1, 2, \dots, \infty$. При этом коэффициент пропорциональности h является универсальной величиной, названной его именем и не зависящей ни от природы осциллятора, ни от частоты ν и амплитуды его колебания. Тем самым Планк постулировал, что энергетические уровни осцилляторов дискретны и образуют «эквидистантный» спектр частот ν с одинаковой разностью энергий $h\nu$ любых двух соседних уровней.

Противоречие такой модели с классической термодинамикой было очевидным и состояло в том, что в ней энергия как функция состояния являлась непрерывно изменяющейся величиной¹⁾. Это означало появление «другой физики», отрицавшей применимость классических законов к микромиру.

Обоснование закона излучения, данное М. Планком, использовало ряд допущений. В частности, предполагалась: а) независимость энергии кванта излучения $\varepsilon = h\nu$ от амплитуды волны A_ν ; б) возможность неограниченного возрастания энергии кванта ε с частотой ν ; в) допустимость применения «статистики Планка», отличной от классической статистики Максвелла – Больцмана; г) использования принципа равнораспределения энергии по степеням свободы); д) применимость к излучению частных свойств идеальных газов; е) возможность вычисления постоянной Планка через введённую им «постоянную Больцмана» k_b , т. е. постулируя тем самым пропорциональность между энтропией S и некоей больцмановской «термодинамической вероятностью» состояния W . Поэтому обоснование интерполяционной формулы, данное Планком уже «задним числом», вызывало острое чувство неудовлетворенности не только у его современников и их последователей, но и у него самого [3].

Положение существенно изменилось, когда на смену классической термодинамике пришла термодинамика нестатических (необратимых) процессов (ТНП) [4-6]. Эта теория дополнила классическую термодинамику анализом стационарных процессов, характеризующихся равенством потоков поглощаемой и излучаемой энергии. Стало очевидным, что стационарный процесс излучения не может быть отождествлён с равновесием, означающим прекращение процесса энергообмена, и требует введения материальных носителей лучистой энергии, а также признания существования среды распространения колебаний, как бы мы ее ни называли – эфиром, скрытой массой, электромагнитным полем или «тёмной» материей. Понадобилось и введение специфических параметров процесса – потоков энергии, в том числе лучистого потока J_ν .

Успехи неравновесной термодинамики в изучении кинетики процессов энергообмена и в объяснении ряда явлений, казавшихся странными с позиций классической термодинамики, стимулируют попытку дать новое обоснование и закону излучения, которое не основывалось бы на модельных представлениях и постулатах квантово-механического характера, в особенности тех, что противоречат классической физике. В настоящей статье изложена попытка сделать это в рамках термокинетики как дальнейшего развития ТНП и её обобщения на процессы полезного энергопревращения, объединившей методы равновесной и неравновесной термодинамики и сделавшей их пригодными для любых форм энергии [7].

¹⁾ Никому же не придет в голову утверждать, что океан состоит из отдельных капель только лишь потому, что осадки пополняют его в виде дискретных капель или снежинок!

2. Противоречивость концепции квантов в трактовке М. Планка

Непосредственный предшественник М. Планка, Дж. Рэлей, представлял себе равновесное излучение в полости абсолютно черного тела (АЧТ) как систему стоячих волн. Число таких стоячих волн N_ν , имеющих частоту ν , в единице объема V определяется выражением $dN_\nu = (\nu^2/\pi^2 c^3) d\nu$, где c – скорость света. Предполагая объемную плотность излучения ρ_ν пропорциональной числу N_ν стоячих волн и определенной доле $k_b T$ тепловой энергии самого АЧТ (k_b – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура), Рэлей получил в том же 1900 году закон излучения в виде [2]:

$$\rho_\nu = (8\pi\nu^2/c^3) k_b T, \text{ [Дж/м}^3\text{]} \quad (1)$$

где k_b – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

Согласно этому закону, плотность излучения ρ_ν неограниченно возрастает с ростом температуры T и частоты ν излучателя. Это несоответствие наблюдаемому спектру АЧТ получило название *ультрафиолетовой катастрофы*.

Чтобы избежать её, М. Планк предусмотрел более сложную связь излучения с тепловой энергией АЧТ. Он предположил, что число N_ν осцилляторов в полости АЧТ, излучающих в диапазоне частот $d\nu$, к их общему числу N уменьшается экспоненциально с увеличением n , подчиняясь при этом статистике Больцмана:

$$N_d/N = \exp(-\varepsilon_n/k_b T). \quad (2)$$

В таком случае вычисление энергии колебаний осциллятора E_r (Дж м⁻³) как интеграла от ε_n по всем N осцилляторам требует усреднения как по частоте ν во всем диапазоне частот $0 < \nu < \infty$, так и по всему ряду натуральных чисел n . Планк предположил, что обе эти задачи могут быть решены путем разложения $\exp(-n\varepsilon_0\nu/kT)$ в ряд по n с последующей аппроксимацией этого ряда выражением

$$\langle \varepsilon_n \rangle = h\nu / [\exp(h\nu/kT) - 1]. \quad (3)$$

Подставляя это соотношение в (1) и используя упомянутое выше выражение для спектральной плотности n_ν осцилляторов $n_\nu = dN/d\nu = 8\pi\nu^2/c^3$, находим:

$$E_r = \int \langle \varepsilon_n \rangle n_\nu d\nu = \int (8\pi h\nu^2/c^3) / [\exp(h\nu/kT) - 1] d\nu \text{ (Дж м}^{-3}\text{)}. \quad (4)$$

С другой стороны, ту же величину E_r можно выразить интегралом от спектральной плотности излучения $u_\nu = dE_r/d\nu$ (Дж с м⁻³) в том же диапазоне частот:

$$E_r = \int u_\nu d\nu. \quad (5)$$

Сопоставляя (5) с (4), приходим к закону излучения Планка:

$$u_\nu = (8\pi h\nu^3/c^3) / [\exp(h\nu/kT) - 1], \text{ Дж с м}^{-3} \quad (6)$$

Нетрудно видеть, что это уравнение отличается от закона Рэля тем, что в нем вместо величины kT фигурирует более сложное выражение для средней энергии осциллятора (3).

Обращает на себя внимание размерность величин h (Дж с) и u_ν (Дж с м⁻³), чуждая классической термодинамике. Это уже само по себе свидетельствовало о том, что решение этой задачи выходит за рамки классической термодинамики. Вместе с тем имелись и более серьезные противоречия, которым ранее не уделили должного внимания.

Во-первых, как отмечали ещё современники М. Планка, при разложении ϵ_n в ряд по n частота ν предполагалась постоянной. Следовательно, его метод усреднения не относился к частоте и не мог предотвратить «ультрафиолетовую катастрофу».

Во-вторых, согласно постулату Планка, энергия кванта пропорциональна первой степени частоты, Этот постулат противоречат известному из теории колебаний выражению [8]:

$$\rho_\nu = \rho A_\nu^2 \nu^2 / 2, \text{ (Дж м}^{-3}\text{)}, \quad (7)$$

согласно которому плотность энергии волны ρ_ν при неизменной амплитуде A_ν пропорциональна квадрату частоты. Противоречит этому выражению и его молчаливое допущение о независимости кванта излучения от амплитуды волны. Не соответствует теории волн и сам постулат о возрастании энергии кванта ϵ_o с частотой. ν . В этом можно убедиться, сравнив объём волны цунами с рябью воде или взяв производную от плотности энергии осцилляторов ρ_ν по их числу при $\rho A_\nu = \text{const}$:

$$\epsilon_o = (d\rho_\nu/dN_\nu) = \rho A_\nu^2 c^3 / 4\pi\nu, \text{ Дж.} \quad (8)$$

Отсюда следует, что с увеличением частоты энергия кванта уменьшается, поскольку последняя стоит в знаменателе. Это объясняется тем, что с увеличением частоты число осцилляторов N_ν в единице объёма излучателя, пропорциональное третьей степени частоты, растёт быстрее, нежели энергия кванта, даже если последняя пропорциональна квадрату частоты. Именно это и предотвращает «ультрафиолетовую катастрофу», а не уменьшение числа осцилляторов N_ν с частотой по экспоненциальному закону (1).

В-третьих, приписывание излучению в полости параметров хаотической формы энергии (температуры T и постоянной Больцмана k) основывалось на средневековых представлениях о нем как о невесомом флюиде типа теплорода, а не на каких-либо экспериментальных фактах.

В – четвертых, как показал А. Эйнштейн, уже на длине волны 0,5 мкм и $T = 1700\text{K}$ энергия кванта ϵ_o в $6,5 \cdot 10^7$ раз превышает энергию самого осциллятора, найденную по величине внутренней энергии излучателя. Это не только противоречило постулату Планка, но и порождало еще одну проблему избыточной мощности фотонов сверхвысоких частот [9].

Все эти обстоятельства не учитываются в постулате Планка, предполагавшем коэффициент h единым для любых сред и веществ. Более того, уже во времена Планка было известно, что излучение тел, в отличие от теплообмена, никогда не прекращается. Это противоречило понятию теплового равновесия в термодинамике, условием которого является прекращение каких-либо макропроцессов, и лишало смысла саму физическую модель излучения» .

Не случайно сам М. Планк до конца жизни считал проблему теплового излучения нерешённой и не оставлял попыток усовершенствовать обоснование своего закона. И не его вина, что в то время не существовало другой термодинамики, способной оперировать понятием потока энергии подобно теории теплообмена. Однако этого нельзя сказать о современных физиках, продолжающих твердить о «чернотельном», «равновесном» и «тепловом» излучении применительно к цветным телам в условиях перепада температур в миллионы градусов и в диапазоне частот, далеко выходящем за рамки излучения, поглощаемого телами в форме тепла.

3. Безгипотезное обоснование закона излучения Планка.

Принципиальным отличием предлагаемого подхода является рассмотрение излучения с позиций термокинетики, которая рассматривает его не как некоторую субстанцию, заполняющей полость АЧТ и находящуюся с ним в тепловом равновесии, а как стационарный процесс лучистого энергообмена между ним и окружающей средой [7]. При таком подходе излучателем становится само исследуемое тело, а частота ν его колебаний приобретает смысл спектрального потока волн $J_\nu = \nu$, т. е. числа волн с длиной λ , модулируемых в окружающей среде в единицу времени. В таком случае пропорциональность лучистого энергообмена частоте ν становится очевидной. При этом учитывается, что каждый атом как осциллятор помимо основной частоты колебания ν_0 имеет n гармоник, соответствующих удвоенной, утроенной и т. д. частоте $\nu_n = n\nu_0$ ($n = 1, 2, 3$ и т. д.). Тогда энергия ε_n , излучаемая одним осциллятором, является суммой энергий, излучаемых на всех его n гармониках:

$$\varepsilon_n = \sum_n \varepsilon_n n \text{ (Дж)}, \quad (9)$$

Полагая, что энергия отдельных гармоник ε_n распределена по тому же нормальному закону по отношению к энергии ε_n осциллятора в целом ε_n

$$\langle \varepsilon_n \rangle = \varepsilon_n \exp(-\varepsilon_n/kT), \quad (10)$$

найдем, что тот метод усреднения, который применил М. Планк, вполне применим (и даже с большим основанием) к нахождению «среднегармонической» величины энергии осциллятора $\langle \varepsilon_n \rangle$. Этот метод приводит к выражению, аналогичному (3):

$$\langle \varepsilon_n \rangle = \varepsilon_n / [\exp(\varepsilon_n/kT) - 1]. \quad (11)$$

Подставляя это соотношение в выражение (4), найдем:

$$E_r = \int u_\nu d\nu = \int \langle \varepsilon_n \rangle n_\nu d\nu = (8\pi/c^3) \int \varepsilon_0 \nu^2 [\exp(\varepsilon_n/kT) - 1]^{-1} d\nu, \text{ Дж м}^{-3}, \quad (12)$$

Это выражение отличается от (4) только обозначением средней энергии осциллятора $\langle \varepsilon_n \rangle$. Из него непосредственно следует закон излучения вида

$$u_\nu = (8\pi \nu^2 \varepsilon_n / c^3) / [\exp(\varepsilon_n/kT) - 1] \text{ (Дж с м}^{-3}\text{)} \quad (13)$$

Несложно заметить, что при подстановке $\varepsilon_n = h\nu$ это выражение принимает вид закона излучения Планка (5). Однако, чтобы с самого начала избежать появления отсутствующего в оптике понятия u_ν с размерностью действия, перейдем к описанию излучения через параметры, которыми оперирует теория теплообмена и неравновесная термодинамика. Определим понятие поверхностной плотности лучистой энергии $j_r = u_\nu c$ (Дж м⁻²) как произведение плотности энергии u_ν на скорость её переноса в вакууме c . Тогда полный (интегральный) поток лучистой энергии J_r получит смысл так называемой «энергетической светимости»:

$$J_r = \int j_r d\nu = (8\pi/c^2) \int \varepsilon_n \nu^2 [\exp(\varepsilon_n/kT) - 1]^{-1} d\nu, \text{ Вт м}^{-2} \quad (14)$$

В таком виде закон излучения имеет ту же размерность, что и закон Стефана-Больцмана $J_r = \sigma_r T^4$ (Вт м⁻²), что позволяет вычислить величину ε_0 без каких-либо постулатов квантово-механического характера. Действительно, обозначая $\exp(\varepsilon_n/kT)$ через e^x , где $x = \varepsilon_n/kT$, выражение (14) можно привести к виду

$$J_r = 8\pi k^4 T^4 / (\epsilon_n / \nu)^3 c^2 \int x^3 (e^x - 1)^{-1} dx. \quad (15)$$

Учитывая, что интеграл $\int x^3 (e^x - 1)^{-1} dx$ в интервале $0 < x < 1$, соответствующем диапазону $0 < \nu < \infty$, имеет точное значение $15/\pi^2$, и сопоставляя выражение (15) с законом Стефана-Больцмана, где $\sigma_r = 5,67 \cdot 10^{-8}$ (Вт м⁻² К⁻⁴), находим при $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ (Дж К⁻¹), что соотношение $\epsilon_n / \nu = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж с является для АЧТ постоянной величиной, численно равной постоянной Планка h . Отсюда и следует пропорциональность энергии осциллятора ϵ_n частоте ν :

$$\epsilon_n = h\nu \quad (16)$$

Однако теперь это становится не постулатом, а следствием закона Стефана-Больцмана, справедливым лишь для АЧТ. При этом пропорциональность энергии осциллятора ϵ_n частоте ν становится естественным следствием увеличения числа гармоник n по мере расширения диапазона колебаний осциллятора $0 < \nu_n < \nu$. Особенно очевидным становится это с позиций солитонной модели процесса излучения.

4. Солитон как квант излучения

Солитоны – это волновые пакеты, поведение которых отклоняется от типичного поведения волн. Такой волновой пакет показан на рис.1. Хотя групповые солитоны и фотоны можно описать как волновые пакеты, их природа принципиально различна. Фотон, фундаментальная квантовая частица, представляет собой квантованное возбуждение электромагнитного поля и распространяется линейно в вакууме. Групповой солитон, с другой стороны, является классическим волновым пакетом, который обязан своим существованием нелинейному взаимодействию света со средой, распространяясь самоподдерживающимся образом из-за баланса

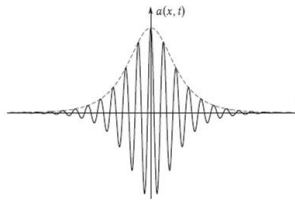


Рис.1. Групповой солитон

между дисперсией и нелинейностью. Различие между солитонами и фотонами проявляется особенно отчётливо при столкновении солитонов: когда сталкиваются солитоны с разными амплитудами, они обычно выходят из столкновения, сохраняя при этом практически нетронутыми свои формы и скорости. Однако более быстрые солитоны, имеющие большие амплитуды, «пройдут сквозь» более медленные. Такое поведение при столкновении подчёркивает частицеподобную природу солитонов.

Отлична и форма волновых пакетов солитона и фотона. Особенно заметно это для солитонов, возникших в области глубокого вакуума, когда отклонение плотности среды ρ от среднего уровня $\bar{\rho}$ в меньшую сторону $\rho - \bar{\rho} < 0$ ограничено, как это свойственно космическому вакууму с $\bar{\rho} \approx 10^{-27}$ г см⁻³, в то время как в области $\rho - \bar{\rho} > 0$ такого ограничения нет. В таком случае групповой солитон приобретает вид рис.2, при котором его средняя плотность становится зависящей от амплитуды волн и их количества в единице объёма. Одиночная волна такого типа, возникающая «на мелкой воде», известная как цунами, переносит не только энергию и импульс, но и массу [9].

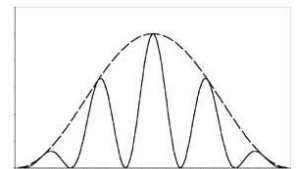


Рис.2. Солитон в эфире

Характерной особенностью групповых солитонов, движущиеся как единое целое, является независимость скорости отдельных волн от их амплитуды. Поэтому для продольных волн, амплитуда которых A , равны длине волны λ , плотность энергии $\rho_v = \rho A v^2 / 2 = \rho v^2 / 2$ одинакова для всех волн пакета. Это означает, что энергия группового солитона при равенстве скорости волн в нём пропорциональна числу этих волн, т. е. числу n гармоник в волне, излучаемой осциллятором. Поскольку же это число пропорционально частоте ν , то и энергия излучаемых осциллятором волн - солитонов оказывается пропорциональной ей. Так получает объяснение гипотеза Планка с позиций волновой концепции излучения. При этом постоянная Планка приобретает смысл **действия, оказываемого на поглощающее излучение тело одиночной волной группового солитона, излучаемого АЧТ**. Это действие зависит от поглощающей способности тела и ряда его свойств, что ставит под сомнение универсальность постоянной Планка.

5. Неинвариантность постоянной Планка

Постоянная Планка « h » является одной из самых фундаментальных констант в физике. Хотя её таинственная инвариантность для различных веществ, процессов и экспериментальных условий не объясняется ни одной из теорий, её принято считать не теоретическим предположением, а скорее выводом на основе огромного множества тщательно разработанных и последовательно подтверждённых экспериментов. Одним из самых ранних и наиболее убедительных экспериментальных доказательств, подтверждающих универсальность постоянной Планка, было получено в ходе исследований фотоэлектрического эффекта. В этом явлении свет, падающий на металлическую поверхность, выбрасывает электроны. Эйнштейн, используя квантовую гипотезу Планка, объяснил, что энергия входящего света квантуется в пакеты (фотоны) энергии $E = h\nu$. Из опытов Столетова было известно, что кинетическая энергия испускаемых электронов линейно увеличивается с частотой света, подтверждая, что константа пропорциональности (постоянная Планка) не зависит от используемого металла. Разные металлы обладают разными рабочими функциями (минимальной энергией, необходимой для испускания электрона), но наклон графика зависимости кинетической энергии от частоты, который представляет « h », оставался постоянным для этих различных веществ. Это важное открытие укрепило « h » как универсальную константу, связанную с фундаментальной природой света, независимо от свойств материала.

Чтобы убедиться в непостоянстве коэффициента пропорциональности энергии бегущей волны ε_n частоте ν , обратимся к явлению внешнего фотоэффекта, открытому в 1887 году Г. Герцем [10] и теоретически объяснённом в 1905 году, А. Эйнштейном [11]. Последний записал баланс энергии при фотоэффекте через энергию кванта излучения $h\nu$, названного впоследствии фотоном, в виде простого соотношения:

$$E_k = h\nu - W_e, \quad (17)$$

где E_k – кинетическая энергия фотоэлектрона; W_e – работа выхода электрона (энергия ионизации атома).

Согласно этому выражению, фотоэффект не возникает, если энергия фотона $h\nu < W_e$, т. е. недостаточна для ионизации атома (совершения работы выхода). Далее, согласно (17), при увеличении частоты ν фотонов их энергия, а, следовательно, и кинетическая энер-

гия E_k испускаемых фотокатодом электронов линейно возрастает, что влечёт за собой увеличение запирающего потенциала $\Delta\varphi$.

Это позволило находить величину h путём построения зависимости $\Delta\varphi = \Delta\varphi(\nu)$ для конкретного фотокатода и нахождения из неё постоянной Планка при $W_e = \text{const}$ с учётом того, что $E_k = e\Delta\varphi$:

$$\partial E_k / \partial \nu = h. \quad (18)$$

Такая трактовка фотоэффекта выглядела настолько убедительным, что исследователи не придали значения тому обстоятельству, что уравнение баланса (17) нарушает правило размерности, молчаливо предполагающее, что входящие в него величины относятся к одному и тому же субъекту. Между тем в (17) величины E_k и W_e , относятся к фотоэлектронам, в то время как член $h\nu - e\varphi$ фотонам как квантам излучения, т. е. имеют различную «субъектную» размерность (Дж/электрон и Дж/фотон). Это уточнение было введено нами после того, как вскрылся целый ряд далеко не очевидных паралогизмов, связанных с нарушением упомянутого выше правила [12]. По существу, оно означает, что в (17) по умолчанию постулируется «однофотонная» фотоэмиссия, когда для «выбивания» одного электрона достаточно поглощения одного фотона. Между тем, как стало известно из последующих экспериментов с различными фотокатодами и с появлением мощных лазерных источников излучения, один коротковолновый фотон способен «выбить» до 7 фотоэлектронов, в то время как в области низких частот для выбивания одного фотоэлектрона необходимо до 10^4 фотонов. Отношение N_e числа эмитированных электронов к числу N_ϕ получило название «кантового выхода», который характеризует «спектральную чувствительность фотокатода».

Другое обстоятельство связано с тем, что для «цветных» фотокатодов лишь часть падающего излучения $N_\phi h\nu$ поглощается ими, причём эта часть расходуется не только на ионизацию атомов фотокатода, но и на его нагрев. Оба этих обстоятельства приводит к тому, что уравнение баланса энергии (17) даже при тщательном термостатировании должно записываться с учётом квантового выхода фотокатодов и коэффициента поглощения фотокатода α , который в общем случае зависит от интенсивности света и типа процесса поглощения:

$$\alpha N_\phi h\nu = N_e(E_k + W_e), \quad (19)$$

что делает величину h переменной:

$$\partial E_k / \partial \nu = \alpha (N_\phi / N_e) h \neq \text{const} \quad (20)$$

Таким образом, при учёте спектральной чувствительности фотокатодов и безличия коэффициента их поглощения пропорциональность энергии кванта излучения её частоте ещё не означает инвариантности постоянной Планка.

Ещё одна область, где якобы подтверждается универсальность постоянной Планка — это атомная спектроскопия. Атомы при возбуждении излучают свет на дискретных длинах волн, что приводит к появлению уникальных спектральных «отпечатков пальцев». Согласно модели атома Бора, эти длины волн соответствуют определённым энергетическим переходам между электронными орбиталями внутри атома и напрямую связаны с постоянной Планка, поскольку энергия излучаемых фотонов $E = h\nu$ равна разнице энергий ΔE между орбиталями.

Однако ещё на 2-м Сольвеевском конгрессе физиков в 1913 году Мария Кюри обратила внимание физиков на то, что при конечном времени «перескока» электрона с одной устойчивой орбиты другую в модели атома Бора длина пакета волн фотона может достигать иетров и даже километров, что несовместимо с представлением о нём как о частице. Тогда физики предпочли из двух «зол» наименьшее и пришли к молчаливому соглашению о «мгновенном» (лишённом длительности) характере этого процесса. Однако это лишало смысла само понятие «процесс» и не спасало модель Бора от противоречий. Во всяком случае, отсутствие вразумительного объяснения инвариантности этой «таинственной постоянной» вынуждают поставить под сомнение беспрецедентный случай существования в мироздании чего-то неизменного.

4. Обсуждение результатов

Ещё в ходе упомянутого Соловьевского конгресса Э. Шредингер высказал идею оболочечной модели атома, в которой излучение фотонов осуществляется колебаниями электронной оболочки без перескока электронов. В этой модели центральная волна группового солитона образует неделимое ядро атома, а каждая последующая мода колебаний – внешнюю оболочку атома, расположенную относительно ядра концентрически на расстояниях, кратных длине волны колебаний её плотности, т. е. в зоне гравитационного равновесия с ядром в соответствии с биполярным законом гравитации [13]. Такая модель атома не содержит никаких субатомных и тем более субъядерных частиц и не требует для сохранения атома-солитона никаких иных сил, кроме гравитационных. Энергия такого атома равна работе уплотнения волны-солитона, возникшей спонтанно в окружающей среде, которую совершает эта среда в процессе, именуемом условно её перманентной «конденсацией». Такой атом - солитон сам становится осциллятором, спектр колебаний которого индивидуален и зависит от числа, плотности и конфигурации ядра и оболочек. Такая модель атома целиком базируется на классических концепциях и не противоречит новейшим экспериментальным данным [14], а также фотографиям, полученным с помощью современных микроскопов. Она свободна и от упомянутых выше противоречий, что открывает альтернативный взгляд на существующие проблемы теоретической физики.

При замене фотонов солитонами и переходе на волновую (оболочечную) модель атома отпадает необходимость лишать процесс излучения его неотъемлемого свойства – длительности, а энергии стоячего солитона – зависимости от амплитуды волны. Отпадает и необходимость постулирования дуализма «волна - частица», поскольку становится ясным, что речь идёт не о волновых свойствах частиц, а о частицеподобных свойствах волн-солитонов. Становится понятным процесс постепенного усложнения атомов по мере их уплотнения и роста числа оболочек с бегущими по их экватору волнам плотности. Пространственная неоднородность в распределении таких волн и порождает периодическое изменение свойств химических элементов таблицы Менделеева [15].

Вместе с тем предложенная солитонная концепция излучения коренным образом изменяет наши представления о причинах квантования энергии излучения. Становится очевидным, что квантуется не энергия атома как осциллятора (т. е. функция состояния), не ма-

терия и тем более не время и пространство как её атрибуты, а лишь процесс и энергия излучения, поскольку волна дискретна как в пространстве, так и во времени.

Получает объяснение интерференция фотона с самим собой, так как регистрируемый фотодетектором «одиночный» импульс соответствует в действительности пакету волн. Становятся ясными и результаты «щелевого» эксперимента Т. Юнга, не поддающиеся объяснению с корпускулярных позиций. Однако главным результатом предложенного здесь безгипотезного обоснования закона излучения Планка состоит в том, что он устраняет одно из двух «облаков на небосклоне физики», о котором говорил лорд Кельвин а преддверии квантово-релятивистской революции XX столетия и открывает альтернативу тому пути, который привёл теоретическую физику к её современному кризису.

Литература.

1. *Planck, M.* Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspektrum. // *Annalen der Physik*, 1901, **4**, 553.
2. *Планк М.* Теория теплового излучения – Л.-М, 1935.
3. *Planck, M.* Zur Geschichte der Auffindung des physikalischen Wirkungsquantums. // *Naturwissenschaften*, 1943, 31 (14–15), 153–159.
4. *Пригожин И.* Введение в термодинамику необратимых процессов. М.: Изд-во иностр. лит., 1960, 128 с.
5. *Де Гроот С.Р., Мазур П.* Неравновесная термодинамика.- М.: «Мир», 1964.
6. *Хаазе Р.* Термодинамика необратимых процессов. – М., Мир, 1967, 544.
7. *Эткин В.А.* Термокинетика (термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии. Тольятти, 1999; *Etkin V.* Thermokinetics (Synthesis of Heat Engineering Theoretical Grounds).- Haifa, 2010.
8. *Etkin VA.* Plank's Radiation Law as a Consequence of Nonequilibrium Thermodynamics. // *International Journal of Thermodynamics (IJOT)* 22 (4), 2019. 203–206, doi: 10.5541/ijot.611107.
9. *Эткин В.* /В кн. В.А.Эткин «Нетривиальные следствия энергодинамики», Хайфа, 2020. с. 394–408; *Etkin VA.* On Wave Nature of Matter. // *World Scientific News* **69**, 220-235 (2017).
10. Герц Г.Р. Исследования о распространении электрической силы. М.-Л., 1938.
11. Эйнштейн А. О развитии наших взглядов на сущность и структуру излучения. // *Собр. научных трудов. Т.3.*- М.: Наука, 1966. С. 181–195.
12. *Etkin V.A.* Improving the efficiency of analysis method of dimensions. // *The scientific method*, 4 (2017). 32-37.
13. *Эткин В.А.* Энергодинамическая теория гравитации и левитации. // *Norwegian Journal of development of the International Science*, 27(1), 2019. 51-59; *Etkin VA.* Energodynamic theory of gravitation. // *Aeronautics and Aerospace Open Access Journal*, 2019; 3(1): 40–44. DOI: 10.15406/aaaj.2019.03.00079; ijot.611107.
14. *Демьянов В. В.* Эксперименты, поставленные с целью выявления принципиальных отличий дифракции и интерференции волн и электронов. arXiv:1002.3880v1 (2010).
15. *Эткин В.* Об основаниях периодической системы элементов // *Вестник Дома Ученых Хайфы*, 41(2020). 20-27; *Etkin V. A.* On the basis of the periodic element system. // *Journal "Scientific Israel – Technological Advantages"*, 21(5,6). 2019. 31-37.