

УДК 530.1

Кочетков Андрей Викторович

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Россия, Пермь¹
Профессор
Доктор технических наук
E-Mail: soni.81@mail.ru

Федотов Петр Викторович

ООО «Научно-исследовательский центр технического регулирования»,
Россия, Саратов
Инженер
E-Mail: soni.81@mail.ru

Шашков Игорь Геннадиевич

Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина
Россия, Воронеж
Преподаватель
Кандидат технических наук
E-Mail: igoshashkov@yandex.ru

Ермолаева Вероника Викторовна

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Доцент
Кандидат технических наук
E-Mail: slavik66@mail.ru

История открытия закона теплового излучения

¹ 410022, г. Саратов, ул. Азина, д. 38 «В», кв. 4
Кочеткову Андрею Викторовичу

Аннотация. В статье рассматривается история открытия закона теплового излучения, приведшего к появлению квантовой теории. Для объяснения теории излучения достаточно точного применения классической теории статистической физики Максвелла–Больцмана–Гиббса. Для объяснения теории излучения нет необходимости вносить в физику какие-либо гипотезы, прямо противоречащие основам классической физики, т.н. «теорию квантов». Вполне достаточно точного применения классической теории статистической физики Максвелла–Больцмана–Гиббса. Закон излучения, который следует из классических представлений – это закон излучения Вина, а не закон Релея – Джинса, как это принято считать до сих пор.

Прием применения дискретности уровней энергии статистической системы для вывода уравнений распределения впервые употреблен Больцманом в 1872 году. Следуя тогдашним нормам, Больцман применил этот прием только на начальной стадии вывода, переходя в конце вывода к непрерывным величинам энергии.

Квантовая статистика, основанная на законе излучения Планка, таким образом, не является чем-то чужеродным для классической физики. Она является частным случаем закона распределения Гиббса для конечных систем, число независимых членов которых нельзя считать бесконечным.

Ключевые слова: история открытия; закон теплового излучения; уравнения поля; электромагнитное поле; гравитационное поле; теория Максвелла; преобразования Лоренца.

Идентификационный номер статьи в журнале 91TVN314

Введение. Открытие закона теплового излучения Максом Планком привело к появлению новой теории в физике – квантовой теории. Исходя из гипотезы, что тепловое излучение, как и все электромагнитные волны, излучается и поглощается не непрерывно, а дискретно (квантами), причем дискретность приписывается не механизму излучения и поглощения электромагнитных волн, а самим волнам, что противоречит классической физике.

Момент опубликования работы М. Планка, в которой выводится закон теплового излучения (1900 г.), считается годом рождения квантовой теории.

Появление квантовой теории принято объяснять следующим образом: «Применив статистический метод Больцмана, Планк вывел искомое соотношение (закон теплового излучения). Однако для этого ему пришлось ввести так называемую квантовую гипотезу, совершенно чуждую классической физике. В классической физике предполагается, что энергия любой системы может изменяться непрерывно, принимая любые сколь угодно близкие значения. Согласно квантовой гипотезе Планка энергия E_ν осциллятора может принимать только определенные дискретные значения, равные целому числу элементарных порций квантов энергии E_{ν_0} : $E_\nu = nE_{\nu_0}$ ($n = 0, 1, 2, \dots$)» [1, с. 224].

Однако в стройном здании квантовой теории есть несколько огрехов, которые необходимо исправить, восстановив при этом и историческую, и физическую справедливость.

2. Гипотеза квантования в статистической физике. Принято утверждать, что гипотеза квантов (дискретности) в физику введена впервые Планком при его попытке вывести закон теплового излучения абсолютно черного тела [5, с. 286; 2, с. 224 и т.д.]. Это не соответствует истине. Для доказательства приведем цитату из работы Л. Больцмана «О связи между вторым началом механической теории теплоты и теорией вероятности в теоремах о тепловом равновесии», написанной в 1877 году [2, стр. 190]: «1. Дискретные значения живых сил

Прежде всего, мы будем предполагать, что каждая молекула может иметь только некоторое конечное число значений скорости, например скорости $0, \frac{1}{q}, \frac{2}{q}, \frac{3}{q}, \dots, \frac{p}{q}$,

где p и q – произвольные конечные числа. При столкновении двух молекул между обеими соударяющимися молекулами должен происходить обмен скоростями, причем таким образом, что после соударения каждая из двух молекул всегда снова будет обладать одной из выписанных выше скоростей – либо 0 , либо $\frac{1}{q}$, либо $\frac{2}{q}$ и т.д. до $\frac{p}{q}$.

Это допущение, конечно, фиктивно и не выполняется ни для одной из реальных механических задач, но с такой задачей гораздо легче иметь дело математически, а она сразу же превращается в решаемую задачу, если устремить p и q к бесконечности» [2, с. 192].

Работа была написана в 1877 году, но метод дискретных значений живых сил применялся Л. Больцманом для вывода уравнений статистической физики намного раньше. Данная цитата выбрана потому, что в ней Больцман прямо говорит, что применяет гипотезу дискретности энергии для вывода уравнений статистической физики. По поводу метода применения дискретности (а, соответственно, и сумм вместо интегралов) на начальном этапе вывода уравнений с заменой сумм интегралами в конце вывода путем предельного перехода сам Больцман писал в 1872 году (за 28 лет до Планка) в работе «Дальнейшие исследования теплового равновесия между молекулами газа» [2, с. 146]:

«II. Замена интегралов суммами ... я покажу сейчас, как можно сделать яснее и нагляднее предыдущие вычисления, если дифференциальное уравнение в частных

производных заменить системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Это можно сделать, заменив двойной интеграл в каждом дифференциальном уравнении суммой по известной формуле». Далее на с. 147: «Как хорошо известно, интеграл есть не что иное, как символическая запись суммы бесконечно большого числа бесконечно малых членов. Символика интегрального исчисления имеет преимущество столь великолепной краткости, что в большинстве случаев было бы бессмысленным усложнением записывать сначала интеграл в виде суммы p членов, а затем устремлять p к бесконечности. Несмотря на это, существуют, однако, случаи, когда последний метод не следует полностью отвергать, вследствие его общности и особенно вследствие его наглядности он позволяет увидеть различные способы решения проблемы. Я отмечу элегантное решение Лагранжем проблемы колебаний струны, в «Miscellanea Taurinensia» (1759 г.), где он сначала рассматривает колебания системы n сфер, связанных вместе, а затем получает колебания струны, устремив n к бесконечности, а массу каждой сферы – к нулю. Таким же образом Стефан решил проблему диффузии и теплопроводности (1863 год). Другое красивое применение этого метода к дифференциальному уравнению дал Риман (1859 год)
$$\frac{d^2 w}{dr ds} = a \left(\frac{dw}{dr} + \frac{dw}{ds} \right).$$

Мне кажется, что в нашем случае также, если использовать некие абстрактные допущения, этот метод многое прояснит. Мы хотим заменить непрерывную переменную x рядом дискретных значений $\varepsilon, 2\varepsilon, 3\varepsilon, \dots, p\varepsilon$. Таким образом, мы предположим, что наши молекулы могут приобретать не непрерывный ряд живых сил, а только значения, кратные некоей величине ε . Во всех прочих отношениях мы будем рассматривать ту же проблему, что и раньше. Имеется очень много молекул газа в объеме R . Они могут иметь только следующие значения живой силы $\varepsilon, 2\varepsilon, 3\varepsilon, \dots, p\varepsilon$. Ни одна молекула не может иметь значение живой силы, промежуточное или большее. При соударении двух молекул их живые силы могут изменяться разными способами. Однако всегда после соударения живая сила каждой молекулы должна быть кратной ε . Разумеется, нет нужды пояснять, что здесь мы имеем дело отнюдь не с физически реальной проблемой. Трудно было бы вообразить механизм, который регулировал бы соударение двух тел таким образом, что живая сила каждой молекулы после соударения всегда была бы кратна ε . Этот вопрос мы не будем здесь обсуждать. Во всяком случае, мы имеем полное право изучать математические следствия этого предположения, которое является не более чем искусственным приемом, помогающим рассчитать физические процессы. Так как в конце мы положим ε бесконечно малым, а $p\varepsilon$ – бесконечно большим, так что данный ряд живых сил станет непрерывным, то наша математическая фикция сведется к физической проблеме, рассмотренной ранее».

Сравните: «В такой ситуации Планк выдвинул смелую мысль, что все эти трудности можно устранить, допустив существование *конечных дискретных квантов энергии* ε_0 , таких, что энергия осциллятора может оказаться равной (помимо $\varepsilon = 0$) лишь $\varepsilon_0, 2\varepsilon_0, 3\varepsilon_0$ и т.д. Именно таким способом мы фактически и получим закон излучения Планка» [3, с. 286].

Как видно из цитат, тезис о первом введении гипотезы квантов (дискретности) энергии в статистическую физику Планком не соответствует действительности. Об этом прямо пишет Больцман в двух статьях под общим названием «О необратимых процессах излучения. I и II» (1897 г.), посвященных полемике с Планком о теории теплового излучения. В первой статье Больцман пишет: «Принимать диссипацию энергии как опытный факт и довольствоваться теми формулами, которые общая теория теплоты установила как наилучшее выражение этого опытного факта, представляет точку зрения, против которой ничего нельзя возразить. ... Но если кто-нибудь захочет сконструировать образы диссипативных явлений с помощью электромагнитных волн, то это можно будет сделать лишь с помощью опять же не новой, а,

напротив, очень старой гипотезы, что начальные состояния являются особым образом упорядоченными. Так как при этом исходят из дифференциальных уравнений, а именно из основных электромагнитных уравнений, то получается полная аналогия с предельными значениями, к которым приближаются молекулярные образы, если число молекул предполагается бесконечным, а их величина – бесконечно малой» [2, с. 341]. Продолжая дискуссию, во второй статье Больцман пишет: «Конечно, возможно, и во всяком случае было бы достойным благодарности, получить некоторый аналог теоремы энтропии также и для явлений излучения, исходя из общих законов этих явлений и, руководствуясь такими же принципами, какие приняты в теории газов. Его вычисления, впрочем, очень просты и их правильность ни в коей мере не ставится под сомнение. Однако когда г-н Планк во втором сообщении снова утверждает, что в природе вообще пока не известен никакой процесс, в котором необратимые изменения вызываются исключительно консервативными силами, то я не могу с этим согласиться» [2, с. 343].

Должно быть ясно, что гипотеза дискретности (квантования) энергии не была *впервые* предложена Планком, а была предложена Планком, по-видимому, независимо от работ по статистической механике (Больцмана и Гиббса). Планк не впервые ввел гипотезу квантов в физику, а первый не стал переходить к пределу в конце вывода уравнений статистической физики, и соответственно переходить от сумм к интегралам.

3. Суммы и интегралы в статистической физике. Проблема применения сумм или интегралов в физике имеет многолетнюю историю, но необходимо к ней вернуться и разобраться в некоторых моментах этой проблемы, т.к. с этим связано появление квантовой теории (этот факт закреплен в названии). Утверждается, что замена интегралов (в классической физике) на суммы (в квантовой теории) привело к решению задачи излучения абсолютно черного тела. «Самое важное – найти среднюю энергию ε ; формально вычисление ε (в квантовой механике) отличается от приведенного выше (классической механике) только заменой интегралов на суммы» [4, с. 286].

Интеграл – это предельное суммирование, при суммировании бесконечного количества членов при условии, что каждый член стремится в пределе к нулю. Данное определение не может быть признано строгим, тем не менее, оно отражает тот факт, что замена интеграла суммой не может привести к принципиальным изменениям, в противном случае в математике невозможно было бы применение численных методов интегрирования. Тем не менее, замена интегралов суммами не так безобидна, как может показаться на первый взгляд.

Для этого разберемся, почему в классической статистической физике Больцмана – Гиббса сначала применяются суммы, при дискретных значениях энергии, а затем переходят к интегралам, при непрерывных значениях энергии. Молекулярные системы, которые рассматриваются в статистической физике, имеют один общий признак, они все конечные, по двум параметрам. В систему входит конечное число молекул N , которое может быть очень большим, но всегда конечное и постоянно в процессе решения. Система всегда имеет энергию E , которая тоже может быть очень большой, тем не менее, она тоже конечна и постоянна. Но статистическая физика Больцмана основывается на теории вероятностей, т.к. предполагается, что молекулы могут иметь не равные (средние) энергии, которые получаются простым делением общей энергии системы на общее количество членов, как это следует из гипотезы равного распределения энергии между молекулами, а любые энергии от нуля до M , где M – любое конечное число. Именно на этом основан вывод формулы Релея – Джинса, которую признано считать единственно классическим законом излучения. При этом некоторые молекулы могут иметь равные энергии. Математически эти условия записываются следующим образом:

$$\begin{aligned}n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_p &= N, \\n_0 e_0 + n_1 e_1 + n_2 e_2 + \dots + n_p e_p &= E.\end{aligned}$$

здесь n_i - количество молекул имеющих энергию e_i .

По смыслу ясно, что n_i - целые положительные числа, а e_i - конечные дробные. Рассматривая конкретную систему молекул, имеющую конкретное распределение молекул по энергиям, всегда можно чисто арифметически подобрать такое конечное число ε (максимальное), чтобы $e_0 = m_0 \varepsilon$; $e_1 = m_1 \varepsilon$; $e_2 = m_2 \varepsilon$; ...; $e_p = m_p \varepsilon$, где m_i - целые положительные числа. В этом случае ε - это квант энергии, а молекулы данной системы могут иметь только энергии кратные кванту энергии. Легко видеть, что для разных систем, имеющих разное число N и разное распределение по энергиям, ε будет различным. Но, тем не менее, оно в каждом конкретном случае будет определено конечно. Чем больше число N и чем ближе уровни энергии e_i друг к другу, тем меньше будет число ε . Поэтому и переходят к пределу $N \rightarrow \infty$, $\varepsilon \rightarrow 0$, чтобы перейти от частных случаев к общим законам. Переход к пределу $\varepsilon \rightarrow 0$ также обусловлен следующими соображениями: любое столкновение молекул приведет к перераспределению энергии между молекулами, а значит и к другому значению ε , и для необходимости согласования начального распределения энергий и каждого последующего необходимо каждый раз уменьшать величину ε , что и учитывается переходом к пределу $\varepsilon \rightarrow 0$.

4. Кванты и дискретность пространства. Вопрос о существовании квантов имеет и философское значение. Как показано выше, кванты энергии реально существуют для ограниченных систем. При ограничении количества молекул в системе набор возможных энергий тоже ограничен. Поэтому для ограниченных систем естественно введение кванта энергии. В свою очередь, для бесконечных систем существование кванта энергии означает, что энергия может принимать только определенные дискретные значения. Скорость для кинетической энергии и расстояние для потенциальной энергии также должны иметь дискретные значения. Но именно подобное утверждение содержится в квантовой гипотезе Планка, частота осциллятора должна быть дискретна, тем не менее, оно исключается из рассмотрения. Дело в том, что утверждение о существовании кванта излучательной энергии осциллятора $E = n h \nu$ означает, что частоты осцилляторов должны быть дискретны, а спектр электромагнитных волн должен быть также дискретным, но, как следует из наблюдений, спектр излучения абсолютно черного тела непрерывный.

Либо необходимо доказать, что спектр излучения абсолютно черного тела дискретен, другими словами, состоит из отдельных спектральных линий, либо отказаться от философии квантов Планка (именно от философии, а не от всей теории), принимая квантовую гипотезу как необходимое начальное условие для вывода закона излучения с последующим переходом к интегралам, как это принято в классической статистической физике.

Из общей формулы в алгебре $f = n k x$, где k – постоянная, $n = 1, 2, \dots$, следует, что если аргумент x – непрерывен, то функция f – непрерывна. Сравним, в атомной физике $E = n h \nu$, где h – постоянная (Планка), $n = 1, 2, \dots$, ν - частота осциллятора (непрерывна), E – энергия осциллятора (дискретна?). Получается, что в физике если аргумент непрерывен, то функция может быть дискретной!

5. Классический закон излучения. Очередное обвинение, в котором необходимо разобраться, это обвинение в том, что классическая физика дает абсурдные результаты при выводе закона излучения. При этом утверждается, что единственная формула, которую может

дать классическая физика – это формула Релея – Джинса: $\frac{2\pi \nu^2}{c^2} \overline{\mathcal{E}}_\nu = \frac{2\pi \nu^2}{c^2} kT$, здесь $\overline{\mathcal{E}}_\nu$ - средняя энергия осциллятора.

Прежде чем делать вывод закона излучения, вспомним основные положения статистического метода классической физики на примере простейшей термодинамической системы – идеального одноатомного газа.

«В качестве микроскопической модели такого идеального газа естественно выбрать систему N материальных точек массы m , не взаимодействующих друг с другом. Микросостояние такого газа полностью отображается значениями координат и скоростей всех N точек, т.е. $6N$ переменными: $x_1, y_1, z_1; \xi_1, \eta_1, \zeta_1; \dots; x_N, y_N, z_N; \xi_N, \eta_N, \zeta_N$.

Вероятность микросостояния, как всякая априорная вероятность, может быть получена лишь из общих предположений, вытекающих из постановки статистической задачи. Причем значения априорных вероятностей всегда определяются путем выдвижения некоторых гипотез о величинах этих вероятностей, в дальнейшем проверяемых многократными испытаниями или измерениями вычисленных средних. Используем эти предположения.

1. Поскольку состояние микросистемы полностью определяется координатами и скоростями материальных точек, постольку вероятность может быть функцией лишь этих переменных, а также времени t . Иначе говоря, статистически система полностью определяется некоторой плотностью вероятности $w(x_1, y_1, z_1; \xi_1, \eta_1, \zeta_1; \dots; x_N, y_N, z_N; \xi_N, \eta_N, \zeta_N)$.

2. Система находится в состоянии термодинамического равновесия с термостатом, имеющим постоянную температуру T , т.е. ее макроскопическое состояние определяется лишь внешними параметрами a и температурой T или внешними параметрами и энергией E [т.к. $E=E(a, T)$, то $T=T(a, E)$]. Следовательно, функция w не должна явно зависеть от времени и д.б. функцией только внешних параметров a и полной энергии E : $w=F(a, E)$, где $E=\sum_{k=1}^N E_k$.

Действительно, если бы w , кроме a и E , зависела бы еще дополнительно от какой-либо из координат или скоростей частиц системы, то средние значения термодинамических величин могли бы зависеть не только от энергии и внешних параметров. Из опыта же следует, что все макроскопические измеряемые параметры системы могут быть функциями лишь внешних параметров и температуры или внешних параметров и энергии» [5, с. 25].

1. Все координаты входящие в закон распределения, входят в него только через посредство вида энергии, который они определяют. Положение частицы в пространстве (x, y, z) входят посредством потенциальной энергии, скорости (ξ, η, ζ) – посредством кинетической энергии и т.д. «Простенький результат классической механики, что $n = n_0 \exp(-\text{энергия} / kT)$ » [6, с. 276].

2. Таким образом, если состояние системы явно зависит от энергии, но не зависит от координат, значит, в формулу распределения войдут только те координаты, от которых явно зависит энергия. Пример: в закон распределения Максвелла явно не входят координаты частиц (x, y, z) , т.к. этот закон не учитывает влияния внешних потенциальных полей, а только кинетическую энергию частиц, которая зависит только от квадрата скорости частицы и не зависит от положения частицы в пространстве и направления скорости. В механике в подобных случаях такие координаты, которые не входят в уравнение движения, называют *циклическими координатами*. Применяя этот термин можно сказать, что для распределения Максвелла координаты частиц (x, y, z) – циклические координаты.

Преыдушие рассуждения приведены для того, чтобы понять, почему в формулу Релея – Джинса не входит частота. Все дело в том, что при выводе этой формулы изначально принято, что энергия осциллятора не зависит от частоты, частота – циклическая координата. Ни в одной книге по классической физике нет формулы, связывающей энергию колебаний с частотой. Корень проблем законов излучения не в термодинамике, а в механике. Вот и пришлось придумать новую теорию, чтобы таким хитрым образом ввести формулу $E = h\nu$.

Необходимость такой формулы явно следует из формулы смещения Вина (1893 г.). «Спектральное распределение плотности энергии подчиняется уравнению вида $u_\nu = \nu^3 F\left(\frac{\nu}{T}\right)$,

где F – функция, зависящая только от отношения частоты к температуре» [4, с. 281].

Так как температура всегда входит в виде частного (энергия / kT), резонно предположить, что частота входит в уравнение Вина в виде формулы [энергия = $f(\nu)$]. Если частота и температура входят как отношение, то вероятно формула энергии осциллятора должна быть $E = h\nu$, здесь h – просто постоянный коэффициент, такой же, как масса в формуле кинетической энергии. Подставив в формулу Вина ($h\nu/kT$) вместо (ν/T), получим, что спектральная плотность излучения зависит от энергии колебаний осцилляторов. В полном согласии с начальными предположениями статистической физики, причем формулу $E = h\nu$ можно получить и в механике. Настоящий классический закон излучения должен быть не закон Релея – Джинса, а закон излучения Вина (1896 г.) $E_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} * \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}}$, который Вин предлагал как эмпирический закон излучения абсолютно черного тела. Этот закон легко получить статистическим методом Больцмана, если вместо ($E = mv^2/2$) подставлять ($E = h\nu$). Классический закон излучения (закон Вина) дает вполне разумные результаты, в согласии с экспериментальными данными.

6. Закон смещения Вина и закон Стефана–Больцмана. Для проверки закона излучения Вина попытаемся вывести из него закон смещения Вина, который, как известно, гласит, что «длина волны λ_m , соответствующая максимальному значению лучеиспускательной способности $E_{\lambda,T}$ абсолютно черного тела, обратно пропорциональна его абсолютной температуре: $\lambda_m = \frac{b}{T}$. Это – другая форма выражения закона смещения Вина» [4, с. 221]

Перепишем закон излучения Вина в форме $E_{\lambda,T} = \frac{c}{\lambda^2} E_{\nu,T} = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} * e^{-hc/kT\lambda}$. Максимум лучеиспускательной способности вычисляется, приравнявая нулю частную производную

$$\frac{\partial E_{\lambda,T}}{\partial \lambda} = 2\pi c^2 h \left[\frac{1}{\lambda^5} \frac{hc}{kT\lambda^2} e^{-hc/kT\lambda} - \frac{5}{\lambda^6} e^{-hc/kT\lambda} \right] = -\frac{2\pi c^2 h}{\lambda^6} e^{-hc/kT\lambda} \left[\frac{hc}{kT\lambda} - 5 \right] = 0$$

или

$$\frac{hc}{kT\lambda_{\max}} - 5 = 0,$$

отсюда окончательно получим закон смещения Вина $\lambda_{\max} T = \frac{hc}{5k} = b = const$,

где b – постоянная Вина.

По современным данным, $b=2,89782 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{°К}$. Из последней формулы можно получить численное значение постоянной Планка, которое будет несколько отличаться от значения, полученного в квантовой механике, т.к. в квантовой механике выражение закона смещения Вина [5, с. 226] $\lambda_{\max} T = \frac{hc}{4.965k} = b = \text{const}$. Постоянная Планка из классической

формулы $h = 6.672605 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{сек}$, полученное значение отличается от вычисленного в квантовой механике на 0,70 %: $h = 6.626196 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{сек}$. Так из закона излучения получается интегральная излучательная способность абсолютно черного тела

$$E_T = \int_0^{\infty} \frac{2\pi \nu^2}{c^2} * h\nu * e^{-h\nu/kT} .$$

Обозначим $x = h\nu/kT$, так что $dx = \frac{h}{kT} d\nu$ и $d\nu = \frac{kT}{h} dx$. Тогда $E_T = \frac{2\pi k^4}{c^2 h^3} T^4 \int_0^{\infty} x^3 e^{-x} dx$.

Интеграл $\Gamma(4) = \int_0^{\infty} x^3 e^{-x} dx = 3! = 6$ — это гамма-функция Эйлера, общая формула которой для

целых p : $\Gamma(p) = (p-1)!$. Получим $E_T = \frac{12\pi k^4}{c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4$ — закон Стефана – Больцмана.

7. Границы применения статистической теории бесконечных систем. Можно сделать вывод о том, что Планк не внес ничего положительно нового в теорию статистической физики. Так как выше было показано, что теория квантов в 1900 г. была явно не новая. К тому же все необходимые законы и выводы для теории излучения можно вывести из классической статистической физики. Однако это не совсем так, в стройном здании истории классической статистической физики есть один исторический подвох. Все уравнения Максвелла, Больцмана, Гиббса предназначены для бесконечных систем. По крайней мере, для очень больших ассоциаций, когда количество членов без большой ошибки можно считать бесконечным. Лучшим примером служит идеальный газ, состоящий из независимых, слабо взаимодействующих атомов. Но если рассматривать системы, количество членов которых недостаточно велико, то расхождение расчетных данных по классической теории и результатов экспериментов будет тем заметнее, чем меньше система.

«Так, теплоемкость грамм-молекулы любого твердого вещества составляет примерно 6 кал/град (закон Дюлонга–Пти). Этот закон хорошо выполняется при высоких температурах. Но чем тверже тело, т.е. чем крепче «привязаны» атомы друг к другу, тем заметнее отклонения опытных данных. Так, например, для алмаза теплоемкость одной грамм-молекулы при комнатной температуре составляет всего примерно 1 кал/град.

Эйнштейн (в 1907 г.) объяснил эти отклонения тем обстоятельством, что в этом случае нельзя пользоваться классическим выражением для средней энергии: необходимо обратиться к формуле Планка для средней энергии квантового осциллятора» [4, с. 291].

Проблема перехода от идеального газа к кристаллическому телу состоит в следующем; нельзя думать, что N атомов кристалла колеблются независимо друг от друга. Атомы в кристалле очень сильно связаны друг с другом, поэтому число независимых членов значительно меньше, чем общее число атомов. Как уже упоминалось выше, конечное число атомов (точнее, независимых членов системы) не может иметь бесконечное число разных уровней энергии колебаний. Отсюда и появляются эффекты связанные дискретным характером распределения энергии между членами системы.

8. Больцман и Планк, теории и люди. Историческая справка. Предположение о независимости появления идеи квантов в работах Планка основывается на письме Планка Л. Гретцу от 23 мая 1897 г. он замечает: «Я часто и весьма основательно обсуждал эти вопросы с моим ассистентом Цермело; с другой стороны, во всем Берлине вряд ли бы нашелся хоть один ученый, который имел бы реальный живой интерес к этим вопросам, особенно после того, как Вилли Вин покинул Берлин (1896 г.), уехав в Аахен» [2, с. 540]. Что же касается Цермело, «то он откровенно сообщает в своей статье, содержащей ответ на критику Больцманом парадокса возврата, что он не знал больцмановских «исследований по теории газов», когда готовил свою первую работу (1896 г.). Многие другие физики-теоретики были в таком же положении» [2, с. 539].

Но один из основных законов излучения – закон Стефана–Больцмана был выдвинут в 1879 г, а полностью подтвержден в опытах Луммера и Прингсхейма в 1887 г. И Планк, и Цермело не могли не знать об этом. «Еще при жизни Больцмана за ним утвердилась слава великого ученого. Он был членом 39 академий и ученых обществ» [2, с. 509], в том числе Берлинской академии наук с 1888 года, главное дело его жизни, согласно представлению в Берлинскую Академию, кинетическая теория теплоты [2, с. 557]. Поэтому говорить, что нет ученых, проявляющих интерес к теории излучения, не очень серьезно.

Цермело, ученик и ассистент Планка, потратил столько энергии на борьбу с теориями Больцмана, что по праву считается одним из главных противников Больцмана. Сомнительно, чтобы он это делал без одобрения учителя и научного руководителя.

В своей научной автобиографии М.Планк пишет, что «при выводе своей Н-теоремы Больцман совершенно не обращал внимания на тот факт, что величина Н в некоторые моменты может также и возрастать. Один мой талантливый ученик Э.Цермело подчеркнул обусловленную этим нестрогость обоснования теоремы. В самом деле, в вычислениях Больцмана отсутствует упоминание о допущении молекулярного беспорядка, необходимом для справедливости его теоремы. По-видимому, он считал это чем-то само собой разумеющимся. Во всяком случае, он ответил молодому Цермело с большой остротой, которая отчасти задела также и меня, так как работа Цермело появилась с моего одобрения» [7].

В статье Больцмана «Еще раз о максвелловском законе распределения скоростей» (1895 г.) есть примечательные слова: «Когда в моей короткой заметке о доказательстве максвелловского закона распределения скоростей я говорил о неточности изложения в лекциях Кирхгофа по теории теплоты, то я при этом имел в виду не редактирование их г-ном Планком, но само содержание книги, которая, конечно, как и все лекции, прежде всего, имеет целью представить в новом виде найденные другими теоремы. Острие моей заметки вообще направлено не против какой-то личности, но исключительно против одного доказательства, которое я не считаю доказательным. Теперь г-н Планк придал ему многообещающее изменение благодаря привлечению одного часто используемого принципа» [2, с. 311].

В автобиографии М. Планк пишет: «Так вышло, что всю жизнь, как при последующих встречах, так и в своих публикациях и в нашей частной переписке, Больцман сохранял со мной раздраженный тон, и лишь в последние годы его жизни, когда я рассказал ему об атомистическом обосновании своего закона излучения, этот тон уступил место дружескому согласию» [7]. Налицо конфликт, переросший из научной полемики в личные отношения.

Дело, скорее всего, не в научном антагонизме двух ученых, а в разнице темпераментов. Страстность научного темперамента Больцмана иногда переходила границы. «В январе 1905 г. он выступил в Венском философском обществе с докладом «Об одном тезисе Шопенгауэра». Который сначала хотел назвать «Доказательство того, что Шопенгауэр был бездарным, легкомысленным, невежественным, маравшим бессмыслицу, дегенерировавшим

лжемудрецом и философствующим болтуном, понимание которого состояло только из пустого словесного вздора» [2, с. 494]. Вот из этого конфликта, скорее всего, и произошло разделение физики на классическую и квантовую.

Выводы.

Для объяснения теории излучения нет необходимости вносить в физику какие-либо гипотезы, прямо противоречащие основам классической физики, т.н. «теорию квантов». Вполне достаточно точного применения классической теории статистической физики Максвелла–Больцмана–Гиббса. Закон излучения, который следует из классических представлений – это закон излучения Вина, а не закон Релея – Джинса, как это принято считать до сих пор. Прием применения дискретности уровней энергии статистической системы для вывода уравнений распределения впервые употреблен Больцманом в 1872 году. Следуя тогдашним нормам, Больцман применил этот прием только на начальной стадии вывода, переходя в конце вывода к непрерывным величинам энергии.

Квантовая статистика, основанная на законе излучения Планка, таким образом, не является чем-то чужеродным для классической физики. Она является частным случаем закона распределения Гиббса для конечных систем, число независимых членов которых нельзя считать бесконечным.

Подробно библиографию работ авторов по этому вопросу можно посмотреть в [8-17].

ЛИТЕРАТУРА

1. Беллюстин С. В. Классическая электронная теория. - М. : Высшая школа, 1971.
2. Больцман Л. Избранные труды. - М. : Наука, 1984.
3. Арнольд В. И. Математические методы классической механики. - М.: Наука, 1979.
4. Бор Н. Избранные научные труды. Т. 1. - М. : Наука, 1970.
5. Терлецкий Я. П. Статистическая физика.- М. : Наука, 1994.
6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 3.-М. : Мир, 1966.
7. Планк М. Избранные труды.- М. : Наука, 1975.
8. Кочетков А. В. Проявления исторического мышления в современной физике (Лекции для непрофессионалов) / А. В. Кочетков, П. В. Федотов. - Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2001. - 176 с.
9. Кочетков А.В., Федотов П.В. Специальная теория относительности А. Эйнштейна: комментарии и сомнения / Пространство и время. 2013. № 1. – С. 49-57.
10. Кочетков А.В., Федотов П.В. Анализ понятия «пространство» в общей теории относительности // Пространство и время. 2012. № 4. – С.42-49.
11. Кочетков А.В., Федотов П.В. Вопросы гармонизации методологических основ теории Бора и классической механики. Russian journal of Earth Sciences RJES. 2012 Выпуск № 12(12) . [http://ores.su/index.php/-12122012/219-2012-12-24-13-22-02ISSN 1681-1178 \(printable\) || e-ISSN 1681-1208 \(Online\) || e-ISSN 1681-1194 \(Online\)](http://ores.su/index.php/-12122012/219-2012-12-24-13-22-02ISSN%201681-1178%20(printable)%20%26%20e-ISSN%201681-1208%20(Online)%20%26%20e-ISSN%201681-1194%20(Online))
12. Новое в эффекте Доплера: принцип зеркальности и общие уравнения (в порядке дискуссии) / Кочетков А.В., Федотов П.В. // Интернет-журнал Науковедение. 2012. № 4 (13). С. 78.
13. Гелий: модели атомной физики / Кочетков А.В., Федотов П.В. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 3 (16). С. 74
14. Эффект Штарка: интерпретация и выражение связи энергии и частоты колебания / Кочетков А.В., Федотов П.В. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 4 (17). С. 55.
15. Общая теория относительности и параметрический постньютоновский формализм / Кочетков А.В., Федотов П.В. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 3 (16). С. 73.
16. Гелий: модели атомной физики / Кочетков А.В., Федотов П.В. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 3 (16). С. 74.
17. Некоторые вопросы теории удара / Кочетков А.В., Федотов П.В. // Интернет-журнал Науковедение. 2013. № 5 (18). С. 108.

Рецензент: Кокодеева Наталия Евсегнеевна, доктор технических наук, профессор, ФГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

Andrey Kochetkov

Perm national research polytechnical university
Russia, Perm
E-Mail: soni.81@mail.ru

Petr Fedotov

JSC Research Center of Technical Regulation
Russia, Saratov
E-Mail: klk50@mail.ru

Igor Shashkov

Military and air academy of a name of professor N.E.Zhukovskogo and Yu.A.Gagarin
Russia, Voroneg
E-Mail: igoshashkov@yandex.ru

Veronika Ermolaeva

Saratov state technical university of a name of Gagarin Yu.A.
Russia, Saratov
E-Mail: slavik66@mail.ru

History of opening of law of thermal radiation

Abstract. In article history of opening of law of thermal radiation which has led to emergence of quantum theory is considered. For an explanation of theory of radiation of rather exact application of the classical theory of statistical physics of Maksvella-Boltsmana-Gibbsa. For an explanation of theory of radiation there is no need to bring in physics any hypotheses which are directly contradicting bases of classical physics, so-called "theory of quanta". Exact application of the classical theory of statistical physics of Maksvella-Boltsmana-Gibbsa suffices. The radiation law which follows from classical representations is a law of radiation of Wine, instead of Reley's law – Dzhinsa as it is considered to be still.

Reception of use of discretization of levels of energy of statistical system for a conclusion of the equations of distribution is used for first time by Boltzman in 1872. Following norms of that time, Boltzman applied this reception only at an initial stage of a conclusion, passing at end of a conclusion to continuous sizes of energy.

The quantum statistics based on the law of radiation of Planck, thus, isn't something alien for classical physics. It is a special case of the law of distribution of Gibbs for final systems, the number of which independent members can't be considered infinite.

Keywords: opening history; law of thermal radiation; field equation; an electromagnetic field; a gravitational field; theory of Maksvella; Lorentz's transformation.

Identification number of article 91TVN314

REFERENCES

1. Belljustin S.V. Classical electronic theory. – М. : Higher school, 1971.
2. Bolzman L. Selected works. – М. : Science, 1984.
3. Arnold V. I. Mathematical methods of classical mechanics. – М. : Science, 1979.
4. Pine forest H. Selected proceedings. Т. 1. – М. : Science, 1970.
5. Terletsky JA.P. Statistical physics. – М. : Science, 1994.
6. Фейнман Р, Leyton P., Sends M. Fejmanovsky lectures on physics. Т. 3. - М.: World, 1966.
7. Planck of M. Selected works. – М. : Science, 1975.
8. Kochetkov A. V. Projavlenija istoricheskogo myshlenija v sovremennoj fizike (Lekcii dlja neprofessionalov) / A. V. Kochetkov, P. V. Fedotov. - Saratov: Sarat. gos. tehn. un-t, 2001. - 176 s.
9. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Special'naja teorija odnositel'nosti A. Jejnshtejna: kommentarii i somnenija / Prostranstvo i vremja. 2013. № 1. – S. 49-57.
10. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Analiz ponjatija «prostranstvo» v obshhej teorii odnositel'nosti // Prostranstvo i vremja. 2012. № 4. – S.42-49.
11. Kochetkov A.V., Fedotov P.V. Voprosy garmonizacii metodologicheskikh osnov teorii Bora i klassicheskoj mehaniki. Russian journal of Earth Sciences RJES. 2012 Vypusk № 12(12) . [http://ores.su/index.php/-12122012/219-2012-12-24-13-22-02ISSN1681-1178\(printable\)||e-ISSN1681-1208\(Online\)||e-ISSN1681-1194\(Online\)](http://ores.su/index.php/-12122012/219-2012-12-24-13-22-02ISSN1681-1178(printable)||e-ISSN1681-1208(Online)||e-ISSN1681-1194(Online))
12. Novoe v jeffekte Doplera: princip zerkal'nosti i obshhie uravnenija (v porjadke diskussii) / Kochetkov A.V., Fedotov P.V. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2012. № 4 (13). S. 78.
13. Gelij: modeli atomnoj fiziki / Kochetkov A.V., Fedotov P.V. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 3 (16). S. 74
14. Jeffekt Shtarka: interpretacija i vyrazhenie svjazi jenerгии i chastoty kolebanija / Kochetkov A.V., Fedotov P.V. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 4 (17). S. 55.
15. Obshhaja teorija odnositel'nosti i parametricheskij postn'jutonovskij formalizm / Kochetkov A.V., Fedotov P.V. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 3 (16). S. 73.
16. Gelij: modeli atomnoj fiziki / Kochetkov A.V., Fedotov P.V. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 3 (16). S. 74.
17. Nekotorye voprosy teorii udara / Kochetkov A.V., Fedotov P.V. // Internet-zhurnal Naukovedenie. 2013. № 5 (18). S. 108.