

Трудности и противоречия, возникшие в физике после введения Планком формальной квантовой гипотезы и модели фотона Эйнштейном, а также других постулатов в физике XX века. О «скачках» в природе. О явных противоречиях в теории Планка. Решение задачи Планка для спектра излучения абсолютно черного тела в классической физике.

Максу Планку как физику теоретику-профессионалу одному из первых довелось штурмовать мир атомов и их взаимодействия с излучением, поэтому в истории физики ему отводится одно из особых почетных мест. Этому событию посвящено огромное количество статей и монографий, включая и учебную литературу.

Однако теперь попытаемся посмотреть на данную проблему беспристрастно, т.е. просто с позиций физиков того времени с учетом всего имеющегося опыта решения подобных задач. Разумеется, спустя более сто лет с того времени это сделать намного легче, в начале же XX века в рамках классических представлений задача Планка казалась почти неразрешимой.

Расхождение теории Рэля с экспериментом научные круги, по выражению Л.Д. Ландау, восприняли как “полнейшую научную катастрофу, как крах тех положений, которые составляли основу классической физики” [1]. Так велико было влияние лорда Рэля среди ученых. Но никто не решился высказать сомнение относительно самой теории Рэля: является ли она последовательной? Не являлись ли более последовательными теории Кирхгофа, Вина и Больцмана, в которых не возникло подобной катастрофы?

Чтобы лучше разобраться в том, что случилось в декабре 1900 года, когда появилось сообщение Планка “К теории распределения энергии излучения нормального спектра” [2], попробуем углубиться в некоторые детали электродинамики и термодинамики рассматриваемого явления.

В задаче о спектре излучения абсолютно черного тела (АЧТ) Планком была использована несколько упрощенная модель, в которой пустое пространство заполнялось простыми линейными осцилляторами, которые сравнивались с акустическими резонаторами, камертонами или колебательными контурами, со слабым затуханием и различными собственными периодами. Предполагалось, что за счет обмена лучистой энергией между осцилляторами в этом пустом пространстве установится стационарное так называемое черное излучение, соответствующее закону Кирхгофа. Но резонатор реагировал только на те лучи, которые он сам испускал и оказывался совершенно нечувствительным к соседним областям спектра. Планк сознавал, что даже если бы его формула излучения оказалась абсолютно точной, то она имела бы очень ограниченное значение – только как “счастливо отгаданная интерполяционная формула”.

В такой простой модели невозможно было учесть все особенности этой сложной задачи, например, проследить тот путь, который проходит энергия в

результате ее многократного превращения из одного вида в другой. А ведь в этих превращениях и том факте, что атомы и молекулы в веществе при колебаниях случайным образом сталкиваются между собой и раскрываются статистические закономерности, установленные Максвеллом и Больцманом в молекулярно-кинетической теории. С учетом этих закономерностей данная сложная задача может быть решена полностью с позиций классической физики, т.е. без искусственного квантования абстрактных осцилляторов.

Так, например, Эйнштейн несколькими годами позже решил данную задачу, используя вероятности переходов атомов между двумя произвольными энергетическими уровнями, не прибегая к искусственному квантованию [3].

В работе "Возможный смысл теории квант" [4, 5] Умов высказывает следующие оригинальные идеи: "Неудачи, постигшие попытки вывести законы излучения и удельных теплот, исходя из максвеллова распределения энергии в системе молекул или осцилляторов, привели, как известно, Планка к его гипотезе квант. Но причина этих неудач осталась невыясненной, и, пока не воспоследует соответствующее объяснение, нельзя считать гипотезу квант единственной разрешающей задачей. Важность вопроса побуждает меня высказать здесь ту точку зрения, которая может, как объяснить бесплодность прежних попыток, так и указать тот путь, который приводит к принятым в настоящее время наукой законам, исходя и в тесной, не формальной, связи с максвелловым распределением энергии и минуя гипотезу излучения порциями или квантами".

Хорошо известно, что и сам Планк не считал данную задачу решенной совершенно правильно и до конца, поскольку несколько раз довольно неудачно пытался изменить свою комбинированную теорию и вдохнуть в нее как можно больше классики [6] (авт.).

Фактически, Умов предлагает решить задачу Планка на излучение абсолютно черного тела полностью в рамках классической статистической физики, минуя какое-либо искусственное и туманное квантование абстрактных осцилляторов Планка. Взамен этого, Умов предлагает применить распределение Максвелла к реальным атомам и молекулам, а не к абстрактным осцилляторам или элементам энергии по Планку неизвестного происхождения (авт.).

Изложенная концепция позволила Н.А. Умову, пользуясь только законом распределения Максвелла, установить формулу для средней энергии резонатора Планка без какой-либо ломки основных представлений классической физики.

Все это говорит о том, что данная задача имеет не единственный, предложенный Планком, путь своего решения. Хорошо известно, что сложнейшие задачи физики решаются, как правило, с привлечением не одного уравнения или принципа, а целой системы уравнений, в которых и учитываются все особенности задачи.

К атомистической теории Планк относился не только равнодушно, но даже несколько отрицательно [6]. Причина этого заключалась в том, что принципу возрастания энтропии, как и принципу сохранения энергии, он приписывал тогда применимость во всех без исключения случаях, в то время как, по

Больцману, первый из этих принципов являлся только вероятностным законом, который как таковой допускает исключения.

Планк сам признает первые свои неудачи при решении данной проблемы и отмечает слабые места выбранной модели [6]: “Осциллятор реагирует лишь на такое излучение, которое он сам испускает, и не проявляет ни в малейшей мере чувствительности к соседним областям спектра”. В таких условиях невозможно добиться перестройки всех частот и установления равновесного излучения в полости. После первых неудач Планк обращается к методу Больцмана – его комбинаторике в молекулярно-кинетической теории. Однако он использует этот метод не традиционно, комбинируя между собой молекулы или атомы в том виде, как это было предложено, например, Н.А. Умовым или А.Л. Шаляпиным [7, 8], а несколько абстрактно, включая в комбинацию искусственные элементы фазового пространства, т.е. в полном отрыве от молекулярно-кинетической теории. Формально Планк нашел математический путь к своей формуле для спектра излучения, но это не может считаться последовательным решением задачи, поскольку были использованы противоречащие друг другу допущения в модели. Тем не менее, главной заслугой Планка было введение им новой универсальной константы для микромира – постоянной Планка.

Планк признавал узкие места в своей модели: “Мои тщетные попытки как-то ввести квант действия в классическую теорию продолжались в течение ряда лет и стоили мне немало трудов. Некоторые из моих коллег усматривали в этом своего рода трагедию”. Теперь, когда произведен анализ данной задачи с разных позиций, хорошо видно, что ее решение в рамках классических представлений находилось рядом, а именно, - с использованием методов классической статистической физики [7, 8].

В своих исследованиях Планк тяготел к установлению различных принципов. В его работах постоянно встречаются такие выражения как “принцип возрастания энтропии”, “принцип сохранения энергии”. Если в первом принципе просматривается вероятностная тенденция в поведении энтропии при наличии исключений согласно Больцману, то во втором случае термин “принцип” использован не совсем точно, поскольку хорошо известен закон сохранения полной энергии для консервативных систем. И данный закон установлен не на основе принципа или с использованием теории вероятностей, а есть прямое следствие второго закона Ньютона.

В отношении теории Максвелла Планк выносит окончательный приговор [6]: “...я думаю, что не встречу серьезных возражений со стороны физиков, если скажу, подводя итоги, что допущение о точном соответствии с действительностью простых дифференциальных уравнений Максвелла – Герца несовместимо с возможностью механистического истолкования электродинамических явлений в чистом эфире. То обстоятельство, что Максвелл вывел первоначально свои уравнения с помощью механистических представлений, не изменяет существа дела”.

По этому поводу следует заметить, что Максвелл попросту не успел ввиду преждевременной кончины завершить свою теорию и выявить механизмы формирования электромагнитных полей в эфире, но он был уверен в том, что

электромагнитная энергия есть энергия механическая. Термин “механистический” имеет философский смысл и относится к тем случаям, когда исследователи чрезмерно увлекаются механикой процессов, когда это не совсем оправданно, и задача может быть решена иными более совершенными методами. При стремлении же исследователя проанализировать и раскрыть механизмы физических явлений использование термина “механистический подход” может вызвать просто недоумение, тем более что рано или поздно исследователям, как правило, удастся установить эти механизмы.

Непоследовательность рассуждений Планка можно обнаружить на примере анализа волновых явлений [6]: “Представим себе поверхность воды, на которой сильный ветер подымает высокие волны. После того как ветер прекратится, волны остаются еще некоторое время и двигаются от одного берега к другому. При этом произойдет одно характерное изменение. Энергия движения больших, высоких волн будет все больше превращаться, особенно после отражения от берега или других твердых преград, в энергию движения коротких, мелких волн. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока, наконец, волны не станут так малы, движения так слабы, что они будут совершенно незаметны... Представим себе, что совершенно аналогичный процесс происходит не с водяными волнами, а с волнами светового или теплового излучения. Допустим, что лучи, испускаемые раскаленным телом, собираются в замкнутом сосуде посредством отражения и движутся в нем взад и вперед, регулярно отражаясь от зеркальных стен сосуда. В этом случае также произойдет постепенное превращение лучистой энергии длинных волн в энергию коротких волн, упорядоченного излучения – в неупорядоченное. Длинным волнам соответствуют инфракрасные лучи спектра, коротким волнам – ультрафиолетовые лучи. Согласно классической теории, приходится заключить, что вся лучистая энергия перейдет под конец в ультрафиолетовую часть спектра, или что инфракрасные и даже видимые лучи постепенно исчезнут и превратятся в невидимые ультрафиолетовые лучи, которые оказывают преимущественно химическое действие. Но в природе нельзя найти и следа такого явления... Делались самые разнообразные попытки примирить этот факт с классической теорией, но всякий раз оказывалось, что противоречие так глубоко затрагивает самые основы теории, что ее никак нельзя оставить неприкосновенной. Поэтому ничего другого не остается, как пересмотреть основные положения теории”.

Данный пример приведен в подробностях с той целью, чтобы еще раз убедиться, каким образом довольно часто выстраивается критика классической теории. Ведь с этой задачи на излучение началась вся ломка классических представлений в самом начале XX века.

В приведенных примерах речь идет о волнах самой различной природы. На воде происходит превращение больших гравитационных волн в мелкие поверхностные волны с диссипацией энергии. К электромагнитным явлениям это имеет очень малое отношение. Кроме этого, хорошо известно, что даже в акустике волны при отражении от стенок или каких-либо препятствий никогда

не дробятся на более мелкие волны, а происходит их постепенное затухание, т.е. диссипация энергии при сохранении длины волны в первом приближении.

Планк осознает всю неопределенность возникшей ситуации: “Конечно, введение кванта действия еще не создает никакой истинной теории квант, и я уже касался трудностей, возникших с самого начала при введении кванта действия в установленную классическую теорию. С течением времени они скорее увеличились, чем уменьшились...”

Формула Планка прекрасно описывала экспериментальные результаты по спектру излучения абсолютно черного тела. Но успех имел и теневую сторону.

Если допустить, что лучистая энергия испускается и поглощается только порциями, значит надо признать, что в световой волне она распределена не непрерывно, а сосредоточена в виде частиц света, корпускул. То есть подставить под сомнение волновую гипотезу Христиана Гюйгенса и теорию Максвелла, которые прошли многократную проверку и полностью оправдали себя. Да и не только это. Тут значило замахнуться и на большее – на всю классическую физику, служащую фундаментом для естественных наук. И Планк дрогнул, смешался.

Сложилась, пожалуй, беспримерная в истории науки ситуация: подарив миру великую гипотезу, ее творец, испугавшись масштаба последствий, в течение ряда лет всячески противодействовал тому, чтобы она укоренилась в науке. Планк чувствовал незавершенность своей задачи. Он всегда стремился к единству физической картины мира. Он понимал ценность того, что добыла мысль человека в итоге многовековых поисков. Классическая физика, говорил он, - это “величественное сооружение чудесной красоты и гармонии”. И он слишком им дорожил, чтобы на него посягнуть [6].

Теперь, когда мы предложили решение данной задачи полностью в рамках классической статистической физики [7, 8], драматизм всей ситуации ощущается особенно остро.

Консервативный доктор Планк “выпустил джина из бутылки” и оттого потерял покой. Ведь “введение гипотезы квант, - писал он, равносильно крушению классической теории, а не простому ее видоизменению, как в случае с теорией относительности” [6]. Он констатировал с горечью: “Ни один физический закон не обеспечен от сомнений, всякая физическая истина считается доступной оспариванию. Дело имеет иногда такой вид, как будто в теоретической физике снова наступила пора первозданного хаоса”. Это была капитуляция большого теоретика перед сложнейшей задачей физики XX века.

Собственная теория представлялась ему неким “чуждым и угрожающим взрывчатым снарядом”. Он был готов уничтожить ее, лишь бы не упал волос с головы классической теории. И здесь Планк во многом был прав.

“Конечно, - говорил он и тогда, и позже, - если бы гипотеза квант во всех вопросах действительно превосходила классическую теорию, либо, по меньшей мере, была бы ей равноценна, то ничего не мешало бы целиком пожертвовать всей классической теорией; больше того, на эту жертву необходимо было бы решиться”. Но лично он в этом превосходстве сомневался. Ведь у гипотезы квант не только сильные стороны, немало в ней и слабых моментов, а именно:

многие физические эксперименты могут быть объяснены непротиворечиво только на основе классической физики.

В нобелевской речи “Возникновение и постепенное развитие теории квантов”, произнесенной 2 июля 1920 г., Планк вновь напомнил о трудностях при введении кванта действия в классическую теорию [9].

“С течением времени, - сказал ученый, они скорее увеличились, чем уменьшились, и если за этот промежуток бурно несущееся вперед исследование на время перешло от них к текущим вопросам, то добросовестного систематика эти зияющие пустоты удручают еще мучительнее”. Планк ясно сознавал незавершенность задачи, а также несовершенство физической картины мира, полученной при введении им формальной гипотезы квантов.

Тем временем атомная теория все больше и больше переходила в математическую форму. Хотя матричная теория Дирака приводила к правильным результатам и была совершенной по форме, она являлась такой же абстрактной математической схемой, как и теория Гейзенберга, поскольку физическая суть символов и операций оставалась неясной.

Более наглядную и удобовоспринимаемую теорию предложил австрийский физик Эрвин Шредингер, который в марте – сентябре 1926 г. опубликовал серию статей “Квантование как проблема собственных значений”. Теория Шредингера, как и теория Гейзенберга, Борна, Дирака, тоже была математической и формальной. Он основывался на результатах Де Бройля, который рассматривал частицы как своего рода волны. Шредингер считал, что от идеи частиц и квантовых скачков следует отказаться. “Я не могу себе представить, - говорил он, - что электрон прыгает, как блоха!” И никто не сумел его переубедить вплоть до 1952 г. [9].

Таким образом, новая физика XX века представляла собой, да и сейчас представляет довольно пеструю смесь из странных гипотез. Наряду с классическими законами сохранения здесь можно встретить такие положения, которые в корне противоречат классической физике, проверенной на протяжении многих десятилетий.

Итак, мы видим, что статистическая физика микромира в то время была лишь в самом начале своего развития. Далеко не все физики безоговорочно принимали идеи Планка. Многие физики вполне обоснованно считали, что гипотеза квантов действия Планка не является окончательным решением задачи. Однако полного альтернативного решения данной проблемы в течение длительного времени вплоть до конца XX века не появлялось, если, правда, не считать разработку Н.А. Умова для этой задачи с применением статистики Максвелла-Больцмана [4, 5].

Справедливости ради, следует заметить, что в анализ Планка не вошла теорема о сохранении адиабатических инвариантов в периодических процессах, которую вскоре рассмотрел Эренфест, не была учтена также и теорема Лиувилля о сохранении фазового объема при движении сложной системы – одна из центральных теорем статистической физики. А ведь данные величины имели ту же самую размерность, что и “квант действия”, только полностью в классических представлениях. Не был также прослежен Планком путь, который

проходит энергия от излучения до твердого тела, не был учтен и тот факт, что энергия в твердом теле запасается преимущественно не в электронных осцилляторах, а в обычных колебательных движениях атомов и молекул, т.е. в виде кинетической энергии ядер. С учетом всего этого вполне намечается классический вариант решения этой сложной задачи [7, 8].

“Будучи большим поклонником прославленного Больцмана, Планк сообщил о своей работе основателю статистической механики, предъявляя последнюю на его суд. Больцман ответил ему, что он никогда не сможет построить вполне правильную теорию статистической термодинамики излучения без введения в процессы излучения ранее неизвестного элемента дискретности” [9]. И Планк вводит этот элемент дискретности – квант действия. Но ведь дискретность кроется уже в самом факте существования отдельных и самостоятельных атомов и молекул, с которыми и можно вполне успешно осуществлять комбинаторные операции! Таким образом, далеко не все возможности были реализованы Планком для того, чтобы не отвергать сходу классическую физику.

Планк неоднократно отмечал, что “единственное его новшество состояло в том, что он довольно непосредственно сочетал подход Больцмана с дискретностью энергии. Однако Леон Розенфельд говорит, что метод вычисления Планком энтропии с классической точки зрения Больцмана представляется как “чистая ересь” [10]. Планк в некоторых пунктах фактически отошел от метода Больцмана, и понадобилось немало лет, чтобы полностью раскрыть смысл его исходной позиции”. А был ли здесь смысл? Ведь эта “ересь” была воспринята научным миром как новая физика. В этой связи интересно также замечание Зоммерфельда: “...Планк вопреки всему хотел спасти второе начало как строгий закон природы, лишь несколько иначе его толкуя. Но Планк в глубине души является термодинамиком. Пусть даже он и развил статистику благодаря своей квантовой реформе больше, чем кто-либо другой, однако статистика не стала основой его образа мыслей” [11].

Таким образом, мы видим целый клубок противоречий в методе Планка, который не прошел незамеченным мимо многих физиков.

В итоге Планком была введена искусственная гипотеза о дискретности энергии. А это значило, что Планк – ученик Гельмгольца, Кирхгофа, Клаузиуса, автор многих работ в духе классической физики – должен был отказаться от основных принципов этой науки, что было связано с переломом всего его научного мировоззрения [10].

О «СКАЧКАХ» В ПРИРОДЕ

Сущность “парадоксальной гипотезы” Планка заключалась в том, что испускание и поглощение электромагнитной энергии атомами и молекулами происходит не непрерывно, как считалось до этого, а прерывно, дискретно – “порциями”, или “квантами”, как несколько позже предложил назвать их Планк. Причем энергия квантов, их вес и размеры, по его утверждению, могут быть измерены. Он полностью поверил в реальность “своего детища”. “Это было сделанное на уровне абстрактного мышления открытие разрывности там, -

говорит Шредингер, - где она меньше всего ожидалась, а именно в процессе обмена энергией между элементарными материальными системами (атомами или молекулами), с одной стороны, и световым или тепловым излучением – с другой” [12].

Физическая картина мира, начатая Галилеем и Ньютоном и продолженная Максвеллом, Гельмгольцем, Больцманом, Лоренцем и другими выдающимися физиками, соответствовала положению древних: природа не делает скачков. Здесь, очевидно, имелись в виду очень резкие скачки с бесконечно малой продолжительностью происходящих изменений в объектах природы. В этой физической картине все основано на понятии непрерывности процессов. Разве это не самый мудрый подход к пониманию явлений природы? Гипотеза же квантов, довольно абстрактная и формальная – идея прерывности, идея скачков в природе. И это, пожалуй, в ней самое главное, что отличает квантовую теорию от остальной физики (авт.).

Отцам квантовой теории показалось, что они предложили новый взгляд на сущность вещей: скачкообразные процессы столь же закономерны, как и явления непрерывности; природа делает скачки, “и даже, - добавляет Планк, - довольно странные...”[6].

Но так ли обстоит дело в действительности? Ведь любое, даже очень медленное изменение в природе можно рассматривать как некоторый качественный скачок. Была система в одном устойчивом состоянии и затем переходит в другое квазиустойчивое состояние, а между этими двумя состояниями существует сложный переходный процесс. При этом интервал времени, в течение которого осуществляется этот переход, не может быть бесконечно малым. В любом случае мы будем иметь дело с некоторым переходным процессом, происходит ли он за ничтожные доли наносекунды или за часы – это не имеет принципиального значения. В этом смысле каких-то мгновенных скачкообразных изменений в природе попросту не существует, а если и имеются очень быстрые процессы, то на это должны быть и соответствующие причины, которые и требуется вскрыть исследователю. В противном случае вся физика сложного явления на одной гипотезе мгновенных скачков и закончится (авт.).

Для одних это – просто скачок, а для других – весьма интересный переходный процесс, смотря насколько глубоко вникнуть в данное физическое явление. Вот степень глубины подхода и отличают, на наш взгляд, классическую и квантовую теории. К примеру: цуги поперечных электромагнитных волн, которые излучают атомы в произвольные случайные моменты времени, можно рассматривать, с одной стороны, как сложный электромагнитный процесс в рамках теории Максвелла и с учетом статистических свойств случайных полей, а с другой стороны, как просто своего рода “световой дождь”, как прерывистый поток капель. Однако когда мы выбираем последнюю упрощенную модель, следует сознавать всю ограниченность такого подхода и не распространять его на всю электродинамику. Чрезмерное увлечение формальными математическими моделями, а также их абсолютизация, и отличает современную квантовую теорию от всей остальной физики (авт.).

Ведь если допустить, что лучистая энергия испускается и поглощается только порциями, значит, по мнению многих, надо признать, что в световой волне она не распределена непрерывно, а сосредоточена в виде частиц света, корпускул. Однако прецизионные измерения по интерференции пучков света с предельно малой интенсивностью, где эти частицы света, казалось бы, должны были лететь по одиночке и не интерферировать, полностью опровергли данную гипотезу частиц. В результате оказалось, что в области электродинамики допущена очередная логическая ошибка, и задача остается до конца не решенной. И это вполне признавали многие физики, стремящиеся понять сущность данного явления. Все это приводило в смятение и самого Планка, в результате чего он несколько раз изменял свой подход к решению сложнейшей задачи на излучение и до конца своей жизни считал, что задача до конца не решена. Во всяком случае, не ясно было происхождение загадочного “кванта действия”, а также непонятным было поведение атомных систем в электромагнитном поле.

О ЯВНЫХ ПРОТИВОРЕЧИЯХ В ТЕОРИИ ПЛАНКА

Многие видные физики подвергли острой критике новые методы в подходе к решению задачи Планка [6]. В дискуссии на I Сольвеевском конгрессе 1911 г., которая проходила после докладов Пуанкаре поразило, “что одна и та же теория опирается то на принципы старой механики, то на новые гипотезы, являющиеся отрицанием этой механики...” А ведь это характерно и для всей новой абстрактной физики XX века.

Справедливости ради, следует напомнить, что критические замечания в адрес гипотезы квантов Планка со стороны коллег-физиков раздавались еще задолго до I Сольвеевского конгресса, что, в общем-то, и стимулировало созыв этого международного форума.

Вывод закона излучения абсолютно черного тела, проведенный Планком, состоял из двух никак не связанных между собой частей. На непоследовательность доводов Планка впервые указал А. Эйнштейн в 1906 г. [13]. Действительно, хотя каждая из частей вывода основной формулы Планка внутренне согласована, между собой они логически несовместимы по следующей причине. В электродинамической части вывод закона излучения основывался полностью на теории Максвелла и предположении, что энергия осциллятора, или диполя Герца, является непрерывно изменяющейся величиной. Тогда как в статистической части вывода та же самая энергия рассматривается как дискретная величина, способная принимать лишь значения, кратные $h\nu$. А это полностью противоречит электромагнитной теории Максвелла, проверенной к тому времени достаточно хорошо.

Чтобы как-то разрешить этот парадокс, Эйнштейн заключает: “хотя теория Максвелла неприменима к элементарным резонаторам, но средняя энергия резонатора, находящегося в поле излучения, равна энергии, вычисленной по максвелловской теории электричества”.

“Это последнее предположение, - продолжает Эйнштейн, - было бы вполне приемлемым, если бы во всех областях спектра, доступных опыту, величина $\epsilon =$

$h\nu$ была мала по сравнению со средней энергией резонатора U ; но это вовсе не так”. Тремя с половиной годами позже на 81-м съезде Немецкой ассоциации ученых Эйнштейн повторяет критику цепочки рассуждений Планка: “Простым вычислением мы находим, - сказал он, - что отношение ε/U для длины волны 0,5 мкм и абсолютной температуры $T = 1700$ К не только не мало, но даже очень велико по сравнению с единицей. Оно имеет значение примерно $6,5 \cdot 10^7$ ” [14].

Таким образом, в теории Планка возникает вопиющее противоречие. Каким образом огромная энергия $nh\nu$, где n может быть очень большим числом достается одному осциллятору с ничтожно малой средней энергией U ? Кроме этого, добавим, что частота ν в спектре излучения изменяется непрерывно от нуля до бесконечности без каких-либо выделенных гармоник, и становится совершенно непонятным и нелогичным, чтобы отдельный осциллятор имел в своем запасе огромное количество таких частот. Получается так, что в видимой области спектра осциллятор может возбудиться до огромной энергии $nh\nu$, сравнимой с энергией жесткого рентгеновского излучения, но излучить при этом он сможет только малый кусочек этой энергии $h\nu$, а остальная энергия осциллятора $(n-1)h\nu$ как бы “заморожена” и не может быть реализована ни в каком виде, хотя бы в безызлучательных процессах. Такого явления в природе мы еще не встречали (авт.).

Хорошо известно, что в твердом теле, особенно в кристаллах, очень сильно развиты безызлучательные процессы переноса энергии от одного возбужденного центра к другому с частичной или полной диссипацией энергии в кристаллическую решетку либо с излучением этой энергии. Кроме этого, можно задать вопрос: какой атом или молекула способны возбудиться до огромной энергии $nh\nu$, и при этом они сохраняются, не разрушившись? Видимо, в данной теории заканчивается какая-либо разумная физика и начинается абстрактное моделирование, не имеющее ничего общего с реальными явлениями. Произошло это, по всей вероятности, из-за того, что никто в то время не предложил настоящего, т.е. свободного от каких-либо противоречий решения данной задачи (авт.).

Вторая точка зрения, выдвинутая в 1905 г. Эйнштейном, создателем фотонной теории света, не могла быть принята Планком, да и остальными участниками I Сольвеевского конгресса. Они просто не были готовы к восприятию тех коренных изменений, которых требовала гипотеза фотонов. Ведь дело заключалось в отказе от электродинамики Максвелла-Лоренца, предполагающей непрерывный характер электромагнитного поля [6].

Об итогах Сольвеевского конгресса 1911 г. известный русский физик Н.А. Умов писал [15]: “Здесь обнаружилось, что теории излучения основываются частью на старых, частью на новых учениях, что они не представляют цельности в своих методах и не могут быть рассматриваемы как окончательные”.

Именно впервые формальное получение необходимых количественных характеристик атома и подкупило физиков, а постоянная Планка на протяжении длительного времени рассматривается как величина, чуждая классической

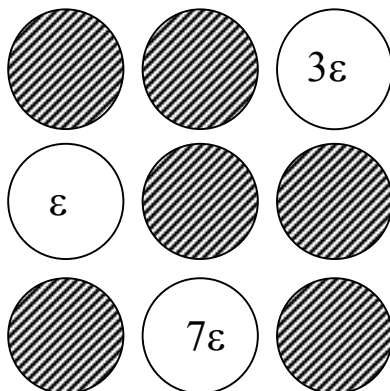
физике. Сам же Планк пытался связать свою константу как раз с классической физикой, но безуспешно.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЛАНКА ДЛЯ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ АБСОЛЮТНО ЧЕРНОГО ТЕЛА В КЛАССИЧЕСКОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

Планк в своей теории применил формальный прием, не имеющий ничего общего с методом Больцмана (рис. 1). Он разделил некоторую суммарную энергию E , принадлежащую N осцилляторам, на определенное целое число P равных частей $\varepsilon = h\nu$ и распределил эти части между осцилляторами по комбинаторному принципу. Отдаленно это напоминало метод Больцмана, однако Больцман никогда не имел дело с абстрактными понятиями, а имел дело с реальными объектами – атомами и молекулами, которые и участвовали в различных комбинациях в рамках молекулярно-кинетической теории.

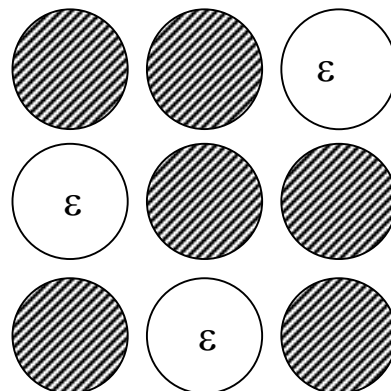
Напомним, что статистический вес состояния в методе Больцмана определяется с помощью комбинаторной формулы

Гипотеза М. Планка (1900 г.)



$N = 9, P = 11 ? (P > N)$
 Величина P не определена.
 Подгонка с помощью итераций.
 Смысл ε не определен.
 Физический смысл гипотезы отсутствует. Как быть с перестановками ε и 3ε ?

Решение по Л. Больцману
 Предложил Шаляпин А.Л.
 в 1999 г.



$N = 9, P = 3 (P < N)$.
 P – случайное число.
 С учетом закона Вина
 $\varepsilon = \text{const } \nu$ - текущее (мгновенное) значение энергии возбуждения атома ($\varepsilon = 0 \div \infty$).

Рис. 1. Схема решения задачи по определению спектра излучения абсолютно черного тела по Планку и по Больцману.

$$W = (N+P-1)! / (N-1)! P! \quad (1)$$

и энтропия состояния по Планку и Больцману вычисляется по формуле

$$S = k \ln W. \quad (2)$$

Дальнейшие подробные вычисления средней энергии возбуждения $U = \langle \varepsilon \rangle$ представлены в работе [7] в параграфе 47. На рис. 1. в правой части показана естественная схема решения данной задачи по методу Больцмана.

При решении данной задачи полностью в рамках классической физики были учтены следующие обстоятельства. Атомы и молекулы в веществе при тепловых колебаниях сталкиваются между собой и переходят в возбужденные состояния с некоторой мгновенной энергией возбуждения ε (рис. 1). Возбуждения атомов являются случайными событиями и подчиняются статистике Максвелла-Больцмана. При решении данной задачи от мгновенных значений энергий возбуждения ε следует перейти к средней энергии возбуждения атома на поверхности излучающего тела в соответствии со статистикой Больцмана и с использованием энтропии сложной системы. Далее эта средняя энергия приравнивается средней энергии колеблющегося электрона в излучающей полости при воздействии тепловых полей.

Метод Планка напоминал скорее некоторую смесь квантовых постулатов с классическими положениями в теории, поэтому он полностью не был принят научным миром. И только, когда была создана квантовая механика на основе постулатов, постулаты Планка были также внесены в эту теорию без особых доказательств. Планк несколько раз менял свой подход в теории излучения, однако, полная ясность в этих вопросах так и не была достигнута. В дальнейшем начинается совершенно формальное квантование фазового пространства, которое ниоткуда не следовало, а было всего лишь попыткой подогнать абстрактную математическую модель под эксперимент.

Литература

1. Ландау Л. Д. Теория квант от Макса Планка до наших дней. – В кн.: Макс Планк (1858 – 1958), с. 96.
2. Planck M. Verhandl. Dtsch. Phys. Ges., 1900, **2**, 237 – 245.
3. Эйнштейн А. К теории возникновения и поглощения света. Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1966. Т. 3, 632 с.
4. Умов Н.А. Возможный смысл теории квант. «Вестник опытной физики и математики», 1914, с. 50. См. также Избранные сочинения, 1913.
5. Умов Н.А. Метод истолкования теории Планка. Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1, № 49, лл. 1-33.
6. Планк М. Единство физической картины мира: Сб. статей / Под ред. Б. Г. Кузнецова. – М.: Наука, 1966, 286 с.
7. Шаляпин А.Л., Стукалов В.И. Введение в классическую электродинамику и атомную физику. Екатеринбург. Изд-во УМЦ УПИ, 2006. 490 с.

8. Шаляпин А.Л., Стукалов В.И. Введение в классическую электродинамику и атомную физику. Екатеринбург. Изд-во УГТУ, 1999. 194 с.
9. Кляус Е.М., Франкфурт У.И. Макс Планк (1858 - 1947). – М.: Наука, 1980, 392 с. С.131.
10. 5. Клейн М.Дж. Макс Планк и начало квантовой теории. – УФН, 1967, т.92, вып. 4, с. 680.
11. Зоммефельд А. Пути познания в физике. С. 153.
12. Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. М.: Наука, 1976, с. 264.
13. Эйнштейн А. К теории возникновения и поглощения света. – В кн.: Эйнштейн А. Собрание научных трудов в четырех томах. М.: Наука, 1966. Т. 3. С. 128 – 133.
14. Эйнштейн А. О развитии наших взглядов на сущность и структуру излучения. Там же. С. 181-195.
15. Умов Н.А. Собр. Соч. М., 1916, т. 3. С. 514.