

К ПРЕДЫСТОРИИ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

И. С. АЛЕКСЕЕВ

Закон, о котором М. Планк доложил 19 октября 1900 г. на заседании Немецкого физического общества, представлял собой, по его собственным словам, одно из улучшений спектрального уравнения Вина. Изменению вида формулы спектрального распределения энергии излучения абсолютно черного тела в работах Планка исторически и логически предшествовало улучшение вывода закона Вина, т. е. изменение способа получения этой формулы. Поэтому представляется целесообразным сначала сравнить способы вывода закона Вина у его автора и у Планка, поскольку именно модификация планковского, измененного способа вывода закона Вина привела сначала к изменению вида самого закона Вина, а затем — после изменения подхода к обоснованию — к появлению представлений о квантах — первому шагу в истории квантовой теории*.

Основной задачей теории теплового излучения было получение формулы для распределения энергии излучения по длинам волн (или по частотам) в спектре излучения абсолютно черного тела в зависимости от температуры. Поскольку уже в самой постановке задачи требовалось связать между собой электродинамические и термодинамические характеристики, ее решение неминуемо должно было представлять собой деятельность по согласованию основных представлений термодинамики и электродинамики, которые были развиты независимо друг от друга. Согласование это шло в направлении приписывания термодинамических характеристик (температуры и энтропии) излучению, что было отнюдь не простым делом, иногда встречавшим категорические возражения.

Так, например, когда в 1893 г. Б. Б. Голицын представил диссертацию, одна из глав которой была посвящена обсуждению связи энергии излучения с температурой, его идеи вызвали резкий протест А. Г. Столетова, который утверждал, что распространение понятия температуры на энергию световых волн в пустом пространстве недопустимо [1, с. 223], и встретил в этом вопросе безусловную поддержку патриарха физики XIX столетия лорда Кельвина [1, с. 224]. Основанием для возражений было то, что Столетов понимал температуру исключительно как «живую силу нестройных движений», т. е. связывал применимость понятия температуры с неупорядоченностью теплового движения, в то время как электромагнитные волны он считал упорядоченными, т. е. «стройными» движениями [1, с. 222]. Даже в 1900 г. Планк сетовал, что «все же имеются еще физики, защищающие точку зрения, согласно которой следует говорить не о температуре теплового луча самого по себе, а только о температуре излучающего тела» [2, с. 235]. Аналогичные сомнения высказывались и по поводу применимости к излучению понятия

* Предыстория планковского закона излучения как в теоретическом, так и в экспериментальном аспектах подробно исследована в монографии: Kangro H. Vorgeschichte des Planckschen Strahlungsgesetzes. Wiesbaden, 1970. См. также: Schöpf H. Von Kirchhoff bis Planck. Berlin, 1978; Kuhn T. S. Bloch-Boggy theory and the quantum discontinuity. 1894—1912. Oxford, 1978.

Black Body

энтропии. Тот же лорд Кельвин оспаривал это вплоть до своей смерти [3, с. 142].

Для Вина и Планка, однако, возможность термодинамического рассмотрения теплового излучения и, следовательно, приписывания ему температуры и энтропии не вызвала никаких сомнений. Оба они основывали свои теоретические рассуждения на том простом факте, что при обмене излучением тел с различной температурой их температуры выравниваются, т. е. достигается состояние теплового равновесия между



Макс Планк

телами и излучением, которое, как показал Кирхгоф еще в 1859 г., не зависит от природы тел, обменивающихся излучением. Поскольку равновесное состояние отвечает максимуму энтропии и одинаковой температуре, то, если предполагать универсальную применимость законов термодинамики, не остается ничего иного, как распространить понятия температуры и энтропии также и на излучение, что и было сделано Вином [4] в 1894 г. и Планком в 1898 г. [5].

Несмотря на то, что Вин и Планк отправлялись в своих работах от одних и тех же исходных предпосылок и, таким образом, придерживались одной и той же программы исследований в области теории теплового излучения, способы реализации этой программы были у них существенно различными. Это, в частности, проявилось и при выводе ими закона распределения

энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, которое соответствовало состоянию теплового равновесия.

Рассмотрим сначала подход Вина, которому в 1896 г. первому удалось теоретически вывести закон распределения энергии излучения абсолютно черного тела, сразу же получивший его имя [6].

Первоначально Вин надеялся получить закон распределения энергии, рассматривая равновесное излучение как самостоятельный объект исследования, не принимая во внимание то, что оно испускается и поглощается телами, т. е. не включая в сферу анализа обмен энергией между излучением и телами, находящимися с ним в равновесии. Именно таким способом он вывел в 1893 г. «закон смещения», который позволял вычислить для теплового излучения черного тела изменение его распределения по длинам волн в зависимости от изменения температуры. Этот закон был получен методом мысленного эксперимента с помощью чисто термодинамических соображений, примененных к излучению, рассматривавшемуся независимо от источников — «без привлечения специальных гипотез», как не без гордости подчеркивал Вин. Однако само распределение энергии по длинам волн на этом пути получить не удавалось, несмотря на убежденность Вина в том, что «согласно природе вещей зависимость интенсивности от длины волны должна полностью определяться свойствами самого излучения, поскольку она зависит только от температуры, но не от специфических свойств отдельных тел» [6, с. 662].

Еще раз подчеркнув, что излучение черного тела соответствует состоянию теплового равновесия, т. е. максимуму энтропии, Вин указал далее, что закон распределения энергии в спектре излучения черного тела можно было бы получить, если бы был известен какой-то физиче-

ский процесс, осуществляющий изменение длины волны без затраты работы и без поглощения энергии в смысле увеличения энтропии. Поскольку же такой процесс придумать не удавалось даже в форме мысленного эксперимента, Вин в явном сожалении замечает, что закон распределения энергии невозможно получить, не прибегая к гипотезам, т. е. не вводя определенных модельных предположений об источниках излучения и о связи их характеристик с характеристиками излучения. Далее, используя в качестве отправной гипотезы «счастливую догадку» русского физика В. А. Михельсона, в 1877 г. предположившего, что излучение черного тела испускается молекулами, для которых справедлив максвелловский закон распределения по скоростям, Вин приступил к выводу явного выражения для закона распределения энергии излучения по длинам волн.

Как показывает анализ рассуждений Вина, в процессе вывода этого закона, эти рассуждения никак не могут рассматриваться в плане реализации намеченной им программы. Согласно этой программе, закон излучения следовало выводить из условия максимума энтропии, соответствовавшего состоянию теплового равновесия, характерного для излучения черного тела. Однако при выводе закона понятие энтропии совершенно не фигурировало.

Опираясь на самые общие предположения о связи длины волны излучения со скоростью излучающих молекул (т. е. вводя дополнительную гипотезу) и на положение кинетической теории газов о связи абсолютной температуры со средней энергией движения молекул, Вин сначала преобразовал формулу максвелловского распределения молекул по скоростям в формулу для распределения энергии излучения по длинам волн, в которую входили две неизвестные функции, а затем получил явные выражения для этих функций. Одна из них была определена Вином с помощью его закона смещения, а другая — с помощью закона Стефана — Больцмана, устанавливавшего зависимость энергии полного излучения черного тела (на всех длинах волн) от температуры. В итоге искомый закон выразился формулой, в которую входили две неизвестные постоянные, значения которых должны были устанавливаться эмпирически.

Сам Вин расценивал свой вывод довольно критически, считая, что использование модельных гипотез делает теоретическое обоснование ненадежным [6, с. 663], поскольку приходится прибегать к дополнительным частным предположениям о природе источников излучения и о связи характеристик источников с характеристиками излучения, а не рассматривать излучение в общем виде, вне зависимости от источников, как это было им сделано при выводе «закона смещения» и Больцманом при выводе закона Стефана. Последние выводы Вин квалифицировал как «чисто термодинамические», хотя в них понятие энтропии также не использовалось явным образом. «Термодинамичность» этих выводов обеспечивалась другим путем: и Вин, и Больцман опирались в своих рассуждениях на второе начало термодинамики в его качественной формулировке — как запрета перехода тепла от холодного тела к горячему без совершения работы.

Привлечение закона Максвелла к выводу формулы Вина не удовлетворяло, как мы видели, даже самого автора этой формулы. Поэтому не следует удивляться, что Планк подошел к выводу закона Вина по-другому, стремясь основывать свои рассуждения исключительно на термодинамике и электродинамике и не прибегать к статистической механике, как это был вынужден сделать Вин. Хотя Планк нигде прямо не критиковал вывод Вина, в следующих его словах явственно чувствуется оттенок превосходства: «Г-н Вин вывел свой закон на основе известных предположений о числе содержащихся в единице объема центров излучения и о скорости их движения; в развиваемой здесь теории

эти величины не играют никакой роли, но закон появляется как неизбежное следствие принятого... определения энтропии излучения» [2, с. 229], т. е. «чисто термодинамически», как сказал бы Вин. Таким образом, оказалось, что программа, намеченная Вином, была реализована не им самим, а Планком.

Так же как и Вин, Планк стремился осмыслить второе начало термодинамики в его применении к тепловому излучению в чисто электромагнитном плане. Но подход Вина был чересчур прямолинейным — он считал, что излучение должно рассматриваться вне зависимости от его взаимодействия с источниками. Для Планка же понимание явлений испускания и поглощения теплового излучения было необходимым отправным пунктом исследования — причем понимание именно как электромагнитных процессов. Поэтому в качестве источников излучения Планк, руководствуясь соображениями простоты [2, с. 236], выбрал элементарные гармонические осцилляторы, которые, как он считал, «можно полагать находящимися в какой-то взаимосвязи с... атомами излучающих тел» [2, с. 191], т. е. рассматривать как модели атомов, полностью описываемые электродинамически.

Резонно задать вопрос — чем же отличается введение осцилляторов Планком от введения молекул Вином? Не следует ли расценивать шаг Планка тоже как типичную гипотезу *ad hoc*, нарушавшую последовательность рассуждений? Остановимся на этом вопросе более подробно.

С одной стороны, если принять во внимание закон Кирхгофа, согласного которому тепловое равновесие излучения с излучающими и поглощающими телами рано или поздно устанавливается для любых тел, причем характеристики равновесного излучения не зависят от природы этих тел, то гипотезы Вина и Планка относительно природы источников излучения имеют как будто бы одинаковый логический статус и обе кажутся допустимыми. Однако следует учесть, что механизм взаимодействия излучения с молекулами был совершенно неизвестен — поэтому даже весьма общее предположение Вина о зависимости длины волны излучения только от скорости молекул носило характер произвола. К тому же Вин учел в этой дополнительной гипотезе — производящейся гипотезе только излучение молекул, совершенно не принимая во внимание поглощение излучения молекулами, наличие которого было обязательно для теплового равновесия. Вообще же говоря, было отнюдь не очевидно, что излучающие и поглощающие молекулы, находящиеся в тепловом равновесии с излучением, будут также подчиняться закону распределения Максвелла, выведенному в рамках механики без учета взаимодействия молекул с излучением. Все это говорит отнюдь не в пользу гипотезы Вина.

Что же касается Планка, то приняв лишь однажды, что источниками излучения являются линейные гармонические осцилляторы, он тем самым встал на твердую почву электродинамики, где уже была подробно разработана теоретическая модель взаимодействия излучения с осцилляторами, в которой учитывалось не только испускание, но и поглощение излучения. Это позволило ему сразу же получить уравнение для баланса энергии, излучаемой и поглощаемой осциллятором в произвольном поле излучения [2, с. 197].

Следующим важным отличием подхода Планка от подхода Вина к разработке их общей программы был гораздо более глубокий анализ структуры теплового излучения и явный теоретический учет экспериментальных возможностей измерения его характеристик. У Вина излучение характеризовалось только длиной волны и интенсивностью (энергией). У Планка же наряду с этими параметрами фигурировали также амплитуда и фаза, которые описывали структуру излучения гораздо более подробно, но не допускали непосредственного сравнения с резуль-

татами опыта. Поэтому Планк вводит и обосновывает различие между быстро изменяющимися (к ним принадлежит, в частности, амплитуда колебаний поля излучения) и медленно изменяющимися величинами (к ним относились энергия осциллятора и интенсивность возбуждающего его колебания). По его собственным словам, это различие «важно здесь в физическом отношении постольку, поскольку в дальнейшем мы будем полагать непосредственно измеряемой только медленную зависимость от времени. Тем самым мы приближаемся к условиям, фактически имеющим место в оптике и в теории теплового излучения. Наша задача будет, следовательно, заключаться в том, чтобы установить соотношения исключительно между медленно изменяющимися величинами, ибо только они одни допускают возможность сравнения с результатами опыта» [2, с. 201].

Эти слова Планка методологически можно квалифицировать как явное использование одного из вариантов принципа наблюдаемости, требующего основывать теорию на непосредственно наблюдаемых (измеримых) величинах. Но, как известно, в теорию входят не только наблюдаемые, но и ненаблюдаемые величины, причем общего правила, позволяющего установить связь между ними, не существует. Дальнейшие шаги Планка имеют целью прояснить вопросы, касающиеся конкретного механизма соотношения наблюдаемых и ненаблюдаемых величин в решении задачи о взаимодействии осциллятора с полем излучения.

Пока что Планк получил в качестве непосредственно измеряемых величин только полную интенсивность (энергию) возбуждающего колебания (на всех частотах) и энергию осциллятора (определенной частоты). Эти величины, однако, не находились в общем случае в простой взаимосвязи друг с другом, так как энергия осциллятора зависела не только от полной интенсивности возбуждающего его излучения, но и от специальных свойств этого излучения — в частности, от спектрального распределения его интенсивности по частотам. Поэтому следующий шаг Планка состоял во введении понятия интенсивности определенной частоты, содержащейся в полной интенсивности, и обосновании наблюдаемости этой величины [2, с. 203—204].

Но и после этого электродинамическую часть исследования Планка нельзя было считать завершенной. Планк ясно осознавал, что интенсивность колебания определенной частоты, содержащегося в возбуждающем колебании, даже если она известна для всех моментов времени, еще не определяет энергию подвергнутого этому колебанию осциллятора той же частоты. Частота зависит не только от интенсивности, но и от ее распределения по колебаниям той же частоты, с различными амплитудами и фазами, которые представляют собой быстро меняющиеся, т. е. ненаблюдаемые величины. В результате перед Планком возникла дилемма — либо вообще отрицать существование общей зависимости между медленно меняющимися величинами — энергией осциллятора и интенсивностью излучения определенной частоты, либо перекинуть мост над возникшей пропастью посредством введения «новой гипотезы» [2, с. 207]. Опираясь на опытные данные, он выбрал вторую альтернативу и ввел гипотезу «естественного излучения». С математической точки зрения, эта гипотеза состояла в усреднении по ненаблюдаемым амплитудам и фазам, а с физической — в предположении о полной нерегулярности распределения энергии по парциальным колебаниям различных амплитуд и фаз, входящих в состав излучения с определенной частотой. Тем самым ненаблюдаемые величины, усредняясь, приводили к наблюдаемым. В итоге Планк получил возможность записать уравнение, связывающее только наблюдаемые величины — энергию резонатора и интенсивность излучения определенной частоты, решив которое, он получил выражение для зависимости энергии осциллятора от интенсивности (энергии) излучения, допускающее проверку на опыте.

Замечательно, что гипотеза «естественного излучения» не только обеспечивала выполнение требований принципа наблюдаемости, но и давала основу для применения к излучению методов термодинамики. Вводя нерегулярность (беспорядок) в электромагнитные явления, эта гипотеза ликвидировала логическое противоречие между обратимостью элементарных процессов электродинамики, описываемых уравнениями Максвелла, и необратимостью процессов передачи тепла с помощью излучения. Как специально подчеркивал Планк, в этом отношении гипотеза естественного излучения играет ту же роль, что и больцмановская гипотеза о «молекулярном беспорядке», разрешающая противоречие между обратимостью законов механики и необратимостью тепловых процессов, рассматриваемых с позиций механической теории теплоты [2, с. 195].

Далее Планк получил электродинамическую характеристику стационарного состояния системы, состоящей из осцилляторов (резонаторов) и излучения в виде уравнения, непосредственно связывавшего интенсивность (энергию) излучения с энергией резонатора для определенной частоты [2, с. 215; с. 223]. Опираясь на него, он получил возможность вместо исследования характеристик излучения исследовать поведение резонатора, т. е. пошел по пути, противоположному тому, которым стремился идти Вин, желавший исключить из рассмотрения источники излучения.

Дальнейшие шаги Планка представляют собой построение алгоритма, с помощью которого, зная выражение для энтропии осциллятора, можно было вычислить функцию, описывавшую распределение энергии излучения по длинам волн в спектре абсолютно черного тела в зависимости от температуры, т. е. решить основную задачу теории теплового излучения. Рассмотрим этот алгоритм подробнее.

Прежде всего, Планк определил энтропию отдельного резонатора в зависимости от его частоты и энергии в виде выражения, в которое входили две универсальные положительные постоянные, чьи значения могли быть установлены эмпирически [2, с. 219]. В этом пункте Планк кардинально расходился с Вином. Вин считал обязательным рассмотрение большого количества центров излучения в качестве существенного условия для обеспечения «беспорядочности», в то время как Планк сумел «ввести беспорядок» для одного единственного осциллятора, постулируя своей гипотезой о «естественном излучении» полную нерегулярность распределения энергии излучения (а, значит, и энергии осциллятора) по парциальным колебаниям, различающимся амплитудами и фазами даже для определенной частоты [2, с. 237—238].

Далее Планк, учитывая связь энергии резонатора и интенсивность излучения, находящегося с ним в равновесии, определил выражение для энтропии излучения и показал, что суммарная энтропия системы, состоящей из осцилляторов и излучения, действительно возрастает, как это и должно быть согласно второму началу термодинамики [2, с. 221—223].

Следующим шагом Планка было введение электромагнитного понятия температуры для осциллятора и излучения. Этот шаг состоял в использовании известного термодинамического соотношения, согласно которому температура является интегрирующим делителем, превращающим приращение теплоты (в данном случае — энергии излучения) в полный дифференциал — дифференциал энтропии. Иными словами, обратная температура была равна производной энтропии по энергии, так что, имея выражение для энтропии осциллятора, Планк легко смог получить выражение для его температуры [2, с. 224].

Остальное было делом чистой алгебры. Сначала Планк выразил энергию осциллятора через температуру [2, с. 224], а затем, используя установленное соотношение между энергией осциллятора и интенсивностью

излучения, получил искомое выражение для распределения интенсивности равновесного теплового излучения (излучения черного тела) по частотам в зависимости от температуры [2, с. 224]. Пересчет этого распределения в распределение по длинам волн привел Планк к выражению, совпадающему с законом Вина [2, с. 229]. Задача согласования термодинамических и электродинамических представлений применительно к тепловому излучению была решена — Планк осуществил вывод закона Вина, не выходя за рамки термодинамики и электродинамики.

Как уже упоминалось выше, Планк рассматривал полученный им закон Вина как необходимое следствие принятого им определения электромагнитной энтропии. Поэтому вопрос о неизбежности этого закона совпадал для него с вопросом о неизбежности этого определения. Сославшись на безуспешность попыток видоизменения или обобщения выражения для электромагнитной энтропии резонатора, на котором основывался вычислительный алгоритм, Планк пришел к выводу, что данное им определение энтропии, «а тем самым закон распределения энергии Вина является неизбежным следствием применения принципа возрастания энтропии к электромагнитной теории излучения и что поэтому пределы применимости этого закона, если только они вообще существуют, совпадают с пределами применимости второго начала термодинамики [2, с. 230]. Так думал Планк в начале 1900 г., подводя итоги своих исследований в обобщающей статье «О необратимых процессах излучения».

В системе рассуждений Планка закон Вина и определение энтропии осциллятора были логически эквивалентны. Более того, хотя в изложении Планка закон Вина был следствием принятого Планком определения энтропии, само это определение фактически было получено как следствие уже известного Планку закона Вина. Планк сначала прошел обратным путем свой вычислительный алгоритм, установив, каким образом конкретно должна быть определена энтропия осциллятора при условии, что распределение интенсивности излучения по длинам волн в зависимости от температуры описывается законом Вина, а потом уже принял это определение в качестве одного из исходных пунктов в своем изложении вывода закона Вина [7, с. 463; 8, с. 15]. То, что закон Вина был уже известен Планку, таким образом, сыграло существенную роль в обеспечении самой возможности его вывода. Можно сказать, что закон Вина телеологически однозначно детерминировал выбор вполне определенного выражения для энтропии осциллятора, которое в противном случае, выглядело бы абсолютно произвольным.

Между тем результаты ряда экспериментов по измерению интенсивности теплового излучения в области длинных волн, выполненных в 1899 г., обнаружили значительные расхождения с законом Вина. Это рассогласование экспериментальных данных с предсказаниями теории побудило Планка всерьез отнестись к возможности того, что закон Вина имеет лишь ограниченную применимость. Он решил «снова рассмотреть, сопоставить и подвергнуть острой критике теоретические предположения, которые привели к вышеупомянутому выражению для энтропии излучения и в которых, во всяком случае, следовало бы что-то изменить, если бы оказалось, что закон распределения энергии Вина не является всеобщим» [2, с. 234, 235]. В работе «Энтропия и температура лучистой энергии», законченной в марте 1900 г., Планк сумел выполнить прямое вычисление энтропии осциллятора и энтропии излучения, которые ранее вводились им по определению, фактически из закона Вина. Теперь же энтропия осциллятора задавалась независимо от закона Вина.

Сначала Планк вычислил, не используя никакого специального предположения относительно конкретного выражения для энтропии осциллятора, изменение этой энтропии, имеющее место, когда находящийся

в стационарном поле излучения осциллятор, энергия которого содержит небольшой избыток сверх ее стационарного значения, претерпевает малое изменение энергии в направлении возвращения к состоянию равновесия с излучением. Мерой изменения энтропии оказалась вторая производная энтропия по энергии, которая должна была иметь отрицательный знак, так как энтропия по мере приближения к стационарному состоянию могла только увеличиваться. Поскольку конкретный вид выражения для энтропии был неизвестен, Планк записал ее вторую производную по энергии в виде произвольной положительной функции от энергии, взятой со знаком минус [2, с. 242], и заметил, что закон возрастания энтропии будет выполняться при каком угодно виде этой функции. Отсюда он сделал вывод, что «закон увеличения энтропии самого по себе еще недостаточно, чтобы вычислить выражение для энтропии как функции энергии. Для этой цели необходимо более близкое рассмотрение физического значения функции энтропии» [2, с. 243]. Таким образом, утверждение об однозначной связи второго начала термодинамики с законом Вина и соответствующим ему определением энтропии осциллятора, сделанное Планком всего несколькими месяцами ранее, теперь оказывалось неверным, и Планк не преминул прямо заявить об этом.

Конкретное выражение для второй производной энтропии по энергии Планк получил, перейдя в общем виде от рассмотрения изменения энтропии единственного осциллятора к анализу ее изменения для системы большого числа одинаковых осцилляторов, энергия которых независимо испытывает флуктуации, немного отклоняясь от своего стационарного значения. Используя факт аддитивности энтропии осцилляторов, Планк показал, что эта производная, взятая со знаком минус, обратно пропорциональна энергии осциллятора [2, с. 244], после чего сначала двукратным интегрированием легко вычислил энтропию осциллятора, а затем, используя алгоритм, построенный в предыдущей работе, получил выражение для функции распределения энергии излучения по частотам в зависимости от температуры, которое совпадало с законом Вина при условии специального выбора вида двух произвольных функций от частоты излучения, входящих в это выражение [2, с. 244—245].

Существенно новым моментом было введение новой физической величины — второй производной энтропии осциллятора по энергии, которая служила мерой возрастания его энтропии. Именно эта величина теперь стала для Планка исходной в алгоритме вывода закона распределения, в то время как в прежней работе исходной была энтропия осциллятора. Но изменилось не только конкретное содержание исходного пункта алгоритма вывода. Изменился и его логический статус. Если выражение для энтропии ранее вводилось посредством определения (которое было телеологически детерминировано уже известным Планку законом Вина), то выражение для ее второй производной по энергии выводилось теперь из физических соображений независимо от этого закона, что лишало вывод тавтологического характера, какой он имел ранее.

Общее сравнение способов вывода закона Вина у его автора и у Планка показывает явное преимущество планковского подхода. Если у Вина вывод носил характер *ad hoc*, будучи нацеленным только на получение формулы для распределения энергии в качестве единственного результата, то Планк строил общую теорию теплового излучения, в рамках которой закон распределения энергии был лишь одним из возможных результатов.

Наряду с ним было получено множество других, в совокупности образующих самосогласованную теоретическую систему, основанную на принципах электродинамики и термодинамики, дополненных гипоте-

зой «естественного излучения», связывающей эти принципы. Развивая дальше эту систему в плане ее приспособления к экспериментальным данным, Планк положил начало квантовой теории.

Литература

1. Голицын Б. Б. Избранные труды. Т. 1. М., 1960.
2. Планк М. Избранные труды. М., 1975.
3. Wien W. Aus der Welt der Wissenschaft. Leipzig, 1921.
4. Wien W. Temperatur und Entropie der Strahlung.— Annal. Phys., 1894, B. 52.
5. Planck M. Über irreversible Strahlungsvorgänge, 4. Mitteilung.— Sitzungsberichte Preiss. Acad. Wiss., 1898.
6. Wien W. Über die Energievertheilung im Emissionsspektrum eines schwarzen Körpers.— Anal. Phys., 1896, B. 58.
7. Klein M. J. Max Planck and the Beginning of the Quantum Theory. Archive for History of Exact Sciences, 1962, v. 1, № 5.
8. Jammer M. The Conceptual Development of Quantum Mechanics. N. Y., 1966.

TO THE PREHISTORY OF THE QUANTUM THEORY

I. S. ALEKSEEV

A comparative analyses of the derivation of Wien's law in Wien's and Planck's works is given the logic — methodological structure of «Wien's law improvement», which led to the derivation of Planck's law is discussed.

?