

ОТ ЗАКОНА ВИНА К ЗАКОНУ ПЛАНКА

И. С. АЛЕКСЕЕВ

Как ни велико было убеждение Планка во всеобщей справедливости закона Вина, еще более укрепившееся в результате его теоретических выкладок [1], оно оказалось несостоятельным перед лицом неоспоримых экспериментальных данных, свидетельствовавших о невыполнимости этого закона для длинноволновой части спектра теплового излучения. Начиная свое сообщение на заседании Немецкого физического общества 19 октября 1900 г., Планк со всей определенностью указал на это: «Сообщенные г-ном Курльбаумом на сегодняшнем заседании интересные результаты измерений энергии, выполненных им совместно с г-ном Рубенсом в области самых длинных волн спектра, убедительно подтвердили утверждение, первоначально выдвинутое г-дами Луммером и Прингсхеймом на основании их наблюдений, согласно которому закон распределения энергии Вина обладает не всеобщим значением, которое приписывалось ему многими вплоть до последнего времени, а скорее имеет характер не более как предельного закона, чрезвычайно простая форма которого обязана своим происхождением исключительно ограничением областью коротких волн и низких температур»¹.

В этой ситуации перед Планком встала задача получения такой формулы для закона распределения энергии по длинам волн, которая соответствовала бы всем имевшимся в его распоряжении экспериментальным данным. Он успешно решил ее — выведенный им закон распределения, который сразу же стал называться его именем, сохраняет свою эмпирическую справедливость и в наши дни.

Каким же способом Планк вывел свой закон? В литературе иногда можно встретить утверждения, что закон Планка был получен путем интерполяции между законом Вина, справедливым для коротковолновой части спектра теплового излучения, и законом Релея-Джинса, хорошо соответствующим измерениям в области длинных волн². Это выглядит логичным, но ни в какой мере не соответствует исторической действительности — в статьях 1900 г. Планк ни словом не упоминает о работах Релея.

Наиболее распространенной (можно сказать, даже общепринятой) является трактовка истории получения формулы для закона распределения Планка как интерполяции между двумя предельными значениями второй производной энтропии по энергии, одно из которых отвечает коротковолновому участку спектра (область действия закона Вина),

¹ «Die von Hrn. Kurlbaum in der heutigen Sitzung mitgeteilten interessante Resultate der von ihm im Gemeinschaft mit Hrn. Rubens auf dem Gebiete der längsten Spektralwellen ausgeführten Energiemessungen haben die zuerst von den Herren Lummer und Pringsheim auf Grund ihrer Beobachtungen aufgestellte Behauptung nachdrücklich bestätigt, dass das Wien'sche Energieverteilungsgesetz nicht die allgemeine Bedeutung besitzt, welche ihm bisher von mancher Seite zugeschrieben worden war, sondern dass dies Gesetz vielmehr höchstens den Charakter eines Grenzgesetzes hat, dessen überaus einfache Form nur einer Beschränkung auf kurze Wellenlängen bei tiefe Temperaturen ihren Ursprung verdankt» [8, с. 687]. Ср. перевод В. Я. Френкеля: «Интересные результаты, относящиеся к измерению длинноволновой части спектра излучения, о которых г-н Курльбаум сообщил на сегодняшнем заседании и которые были получены им и г-ном Рубенсом, убедительно подтверждают утверждение Луммера и Прингсхейма, основывающееся на их наблюдениях, что закон распределения энергии в спектре Вина справедлив не всегда, в отличие от того, что представлялось многим вплоть до последнего времени; он скорее носит характер предельного случая, применимого в простой форме лишь в области коротких длин волн и низких температур» [2, с. 249].

² См., например, [7, с. 43].

а другое — длинноволновому участку [6, р. 464; 3, р. 18; 4, р. 13—14]. Это подтверждается и собственными словами Планка, который именно таким образом рассказывал о выводе своего закона распределения и в своей научной автобиографии [2, с. 659], и в Нобелевской речи (1920 г.) [2, с. 606], и в воспоминаниях, специально посвященных истории открытия кванта действия (1943 г.) [2, с. 438], прямо квалифицируя свой закон как «счастливно отгаданную интерполяционную формулу» [2, с. 606]. Поэтому естественно думать, что данная трактовка представляет собой исчерпывающий ответ на вопрос о способе вывода Планком закона распределения, носящего его имя.

Для осуществления интерполяции между предельными значениями второй производной энтропии осциллятора по энергии необходимо было знать конкретный вид зависимости этой величины от энергии в области длинных волн (для области коротких волн эта зависимость определялась на основании закона Вина). В своих воспоминаниях (1943 г.) Планк определенно указывает, что этот вид (обратная пропорциональность второй производной квадрату энергии, а не энергии, как требовал закон Вина) был получен им на основании результатов измерений Г. Рубенса и Ф. Курльбаума, обнаруживших, что для очень больших длин волн интенсивность излучения черного тела линейно зависит от температуры. «Встроив» этот эмпирический результат в свой алгоритм, Планк и получил возможность определить конкретный вид второй производной энтропии осциллятора по энергии для длинноволнового участка спектра [2, с. 438].

Анализируя этот пункт вывода закона Планка, Г. Кангро приходит к выводу, что благодаря измерениям Рубенса и Курльбаума Планк получил конкретное указание на характер зависимости между энергией излучения и температурой для длинных волн. Этот эмпирический факт, конечно же, давал ученому значительно больше, чем утверждения Луммера и Прингсхейма о невыполнимости закона Вина для всего спектра и предложенного ими нового уравнения. Дело в том, что Планк, как справедливо подчеркивает Кангро, в определенном смысле все еще сознательно продолжал придерживаться закона Вина — он не отбросил, а лишь обобщил его благодаря тому, что смог встроить данные о линейной зависимости энергии от температуры в теорию, которая прежде использовалась им для вывода закона Вина [5, S. 207].

Кангро, однако, признает, что Планк в октябре 1900 г. явно не указывал в своей статье [8] на пропорциональность энергии и температуры. Такое указание, как мы видели выше, содержится в воспоминаниях 1943 г. Интересно заметить в этой связи, что в Нобелевской речи и «Научной автобиографии» Планк, рассказывая о значении опытов Рубенса и Курльбаума для получения закона распределения, излагает (по-видимому, в чисто дидактических целях) логически упрощенную версию определения вида длинноволнового предела, опуская полностью рассуждения о зависимости энергии от температуры и ограничиваясь рассмотрением только зависимости второй производной энтропии осциллятора от энергии [2, с. 606, 659].

Но нельзя ли попытаться представить интерполяционную трактовку способа получения Планком «улучшенного закона Вина», взятую в целом, тоже как логически выстроенное (возможно, в угоду дидактическим требованиям) изложение реального исторического хода событий?

Действительно, в тексте доклада 19 октября 1900 г. Планк нигде не говорит ни слова ни об интерполяции, ни о поведении второй производной в области длинных волн. Ход его рассуждений целиком и полностью укладывается в рамки алгоритма, который использовался Планком для вывода закона излучения Вина и был подробно описан в статье [1].

Сначала Планк изложил основания, которыми он руководствовался в своих предыдущих работах по термодинамике теплового излучения, неоднократно высказывая утверждения о необходимости и всеобщности закона Вина³. Он еще раз указал, что это его утверждение базировалось на непосредственном вычислении бесконечно малого возрастания энтропии системы, состоящей из большого количества одинаковых осцилляторов, находящихся в стационарном поле излучения. Это было по существу повторение аргументов, впервые приведенных в статье «Энтропия и температура лучистой энер-

³ «...zur Ansicht von der Allgemeinheit des Wien'schen Gesetzes wurde ich vielmehr durch eine besondere Betrachtung geführt...» [8, с. 687]. В [2, с. 249] это место переведено «с точностью до наоборот»: «Моя точка зрения о том, что закон Вина существенно ограничен, основывалась...».

гин». Поскольку предполагалось, что все осцилляторы одинаковы (точнее, обладают одинаковой энергией), из этого вычисления следовало, что вторая производная энтропии осциллятора по энергии обратно пропорциональна энергии осциллятора. Это уравнение Планк рассматривал как эквивалентное закону Вина, так как разработанный им алгоритм позволял однозначным образом вывести из него этот закон.

Поскольку закон Вина эмпирически оказался не всеобщим, вместе с ним утратило эмпирическую всеобщность и выражение для зависимости второй производной энтропии (по энергии) от энергии. А поскольку это выражение было найдено исходя из предположения, что увеличение энтропии системы резонаторов зависит только от энергии всей системы, но не от энергии отдельных резонаторов, то это предположение в свою очередь также нельзя было уже считать всеобщим.

Установление этого теоретического факта закрывало возможность непосредственно вычислить вторую производную энтропии осциллятора по энергии и тем самым лишало теоретического обоснования прежний конкретный вид этой производной. Осознание этого обстоятельства не оставило для Планка иного выхода, кроме попыток, как он сам выразился, «приступить к построению совершенно произвольных выражений для энтропии, которые хотя казались и более сложными, чем выражение, соответствующее закону Вина, но все же, так же как и оно, полностью удовлетворяли бы всем требованиям термодинамической и электромагнитной теории»⁴. Иными словами, Планк вынужден был вернуться к произвольному выбору исходного пункта в алгоритме перехода от энтропии осциллятора к закону распределения.

Одним из методологических требований, ограничивающих произвол выбора, было для Планка требование простоты: «Среди таким образом установленных выражений,— писал он,— мне особенно бросилось в глаза одно, которое по своей простоте было наиболее близким к выражению Вина и которое, поскольку последнее недостаточно для того, чтобы отобразить данные всех наблюдений, вполне заслуживало более детальной проверки...»⁵.

Дополнительным аргументом в пользу выражения для второй производной энтропии по энергии (которое фактически было предметом обсуждения Планка и продолжало оставаться исходным пунктом его алгоритма), выбранного на основании соображений простоты, было то, что для малых значений энергии оно переходило в выражение, соответствующее закону Вина. Это представляет собой не что иное, как неявное использование еще одного методологического принципа, который впоследствии в явном виде будет сформулирован Бором и получит название принципа соответствия.

Записав в явном виде новое выражение для второй производной энтропии по энергии, Планк, используя свой алгоритм, легко получил закон распределения энергии излучения по длинам волн, не забыв еще раз обратить внимание в самом конце своего сообщения, что выражающая закон формула с точки зрения электромагнитной теории, по его мнению, была самой простой из формул, наиболее близких к формуле для закона Вина [2, с. 249].

Итак, текст сообщения Планка об улучшении закона Вина не содержит абсолютно никаких указаний на то, что в выборе выражения для второй производной энтропии по энергии сыграла роль интерполяция, основанная на знании явного вида зависимости этой производной от энергии в области длинных волн. Конечно, можно себе представить, что Планк в своей психологической личной действительности мыслил интерполяционно — так, как он впоследствии рассказывал об этом. Оснований не верить ему не

⁴ «...ganz willkürlich Ausdrücke für die Entropie zu konstruieren, welche, obwohl complicirter als der Wien'sche Ausdruck, doch allen Anforderungen der thermodynamischen und elektromagnetischen Theorie ebenso vollkommen Genüge zu leisten scheinen wie dieser» [8, с. 688]. Ср. перевод в [2, с. 250]: «...приступил к построению полностью произвольных уравнений для энтропии, которые, хотя и выглядели более сложными, чем формула Вина, все же представлялись удовлетворяющими всем требованиям термодинамики и электромагнитной теории».

⁵ «Unter den so aufgestellten Ausdrücken ist mir nun einer besonders aufgefallen, der dem Wien'schen an Einfachheit am nächsten kommt, und der, da letzter nicht hinreicht, um alle Beobachtungen darzustellen, wohl verdienen würde, daraufhin näher geprüft zu werden» [8, с. 688]. Ср. перевод в [2, с. 250]: «Особенно привлекательно одно из построенных мною выражений, которое почти так же просто, как и формула Вина, и заслуживает рассмотрения, поскольку эта формула недостаточна для того, чтобы охватить всю область наблюдаемых величин».

имеется. Но даже если это и так, то приходится констатировать, что такой способ егличного мышления по каким-то причинам не нашел выражения в оригинальном тексте его доклада 19 октября 1900 г.

С теоретико-методологической точки зрения трудно отдать предпочтение одной из двух версий логической реконструкции действительной истории получения Планком его закона распределения. «Интерполяционная» версия привлекательна тем, что демонстрирует определяющую роль эмпирических данных в изменении теоретических представлений и показывает конкретный механизм «встраивания» экспериментальных результатов в теорию. Версия «свободного конструирования» делает акцент на роли методологических принципов (внеэмпирического критерия простоты и интертеоретического принципа соответствия) в выборе исходного пункта теоретического алгоритма. Оставляя рассуждение Планка исключительно теоретическим, эта версия сводит роль эмпирии к выработке допускаемых теорий возможностей, т. е. отводит ей чисто негативную эвристическую функцию, в то время как интерполяционная версия признает за экспериментальными данными и эвристическое положительное значение.

С историко-методологической точки зрения, на наш взгляд, более предпочтительным является вариант «свободного конструирования», поскольку именно он представлен в оригинальном тексте сообщения Планка от 19 октября 1900 г. Тот факт, что в своих последующих воспоминаниях, отдаленных от этого события сроком не менее чем в 20 лет, Планк излагал «интерполяционный» вариант, может быть объяснен смещением исторической перспективы, обусловленным стремлением к более доходчивому изложению событий. Точно так же Вин по-разному рассказывал о способе получения Планком его закона. Иными словами, сложные пути реальной истории могут быть принесены в жертву ясности и доходчивости изложения. Это предположение заслуживает внимания социологов науки и должно быть проверено эмпирическими методами.

Литература

1. *Алексеев И. С.* Логика вывода закона Планка. — *Вопр. ист. естеств. и техн.*, 1981, № 2.
2. *Планк М.* Избр. труды. М.: Наука, 1975.
3. *Jammer M.* The conceptual development of quantum mechanics. N. — Y., 1966.
4. *Hermann A.* The Genesis of quantum theory (1899—1913). Cambridge, Mass., 1971.
5. *Kangro H.* Vorgeschichte des plankschen Strahlungsgesetze. Wiesbaden, 1970.
6. *Klein M. J.* Max Planck and the beginning of the quantum theory. — *Arch. history exact sciences*, 1962, v. 1, № 5.
7. *Slater J. C.* Concepts and development of quantum physics. N. — Y., 1955.
8. *Planck M.* Ueber eine Verbesserung der Wien'schen Spektralgleichung. — In: *Planck M.* Physikalische Abhandlungen und Vorträge. Bd. 1. Braunschweig, 1958.

ЖИЗНЬ, ОТДАННАЯ МОРЮ

[К 150-летию кругосветного плавания В. С. Хромченко]

А. Ф. БУРЫКИН (Новокузнецк)

В изучении северной части Тихого океана и северо-западного побережья Северной Америки важную роль сыграли в XVIII—XIX вв. моряки, служившие в Российско-Американской компании. К их числу принадлежит и замечательный русский мореплаватель первой половины XIX в. В. С. Хромченко, прослуживший на кораблях отечественного флота 37 лет и совершивший за эти годы 25 плаваний, из них 3 кругосветных.

Василий Степанович Хромченко родился в 1792 г. В 1806 г. юноша поступил в Кронштадтское штурманское училище, после окончания которого был произведен в «штурманские помощники унтер-офицерского чина» и поступил на бриг «Рюрик». В 1815 г. молодой штурман отправился в свое первое кругосветное плавание под командованием известного русского мореплавателя О. Е. Коцебу. Вместе с другими штурманами «Рюрика» — Владимиром Петровым и Михаилом Корневым — Хромченко бес-