

Макс Планк — основатель квантовой физики

А. ВАСИЛЬЕВ

ЖУРНАЛ, который вы сейчас держите в руках, обязан своим названием немецкому физики Макс Планку (1858–1947). Понятие «квант» он ввел в 1900 году, определив тем самым XX век как век квантовой физики.

Квантовая теория возникла в связи с непреодолимыми трудностями, которые испытывала классическая теория при попытке объяснить экспериментально полученные закономерности теплового излучения твердого тела. Краткая история этого величайшего открытия в истории естествознания такова.

Еще в середине XIX века Г. Кирхгоф (1824–1887) установил один из основных законов теплового излучения, носящий теперь его имя. Согласно этому закону, отношение излучательной способности ϵ какого-то тела к его поглощательной способности α не зависит от природы тела и является одинаковой для всех тел функцией частоты ν и температуры T , равной излучательной способности ϵ_0 абсолютно черного тела:

$$\frac{\epsilon(\nu, T)}{\alpha(\nu, T)} = \epsilon_0(\nu, T).$$

Абсолютно черное тело, по определению, это тело, которое поглощает все падающее на него излучение и ничего не отражает. Таких тел в природе не существует, однако хорошим приближением является замкнутая непрозрачная полость с небольшим отверстием. Поскольку вероятность того, что попавшее в отверстие излучение в результате многочисленных отражений выйдет наружу, очень мала, оно практически полностью поглощается. Излучение, возникшее в полости и выходящее из отверстия, считается эквивалентным излучению, испускаемому площадкой размером с отверстие на поверхности черного тела.

Следующим этапом в исследовании теплового излучения было открытие закона Стефана–Больцмана. Л. Боль-



Макс Планк

цман (1844–1906) в 1884 году на основании теории заключил, что полная объемная плотность излучения (т.е. излучения всех частот) черного тела u пропорциональна четвертой степени температуры T : $u = \sigma T^4$. Поскольку этот закон обосновывает и уточняет результат, полученный экспериментально еще в 1879 году Й. Стефаном (1835–1893), он носит имя Стефана–Больцмана; так же называется и постоянная $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$. Хотя этот закон и определяет полную энергию спектра, вопрос о распределении энергии в спектре излучения (по частотам) он не рассматривает.

Первый ответ на этот вопрос дал В. Вин (1864–1928), который в 1893 году установил, что максимум излучения в спектре абсолютно черного тела с увеличением температуры смещается в сторону больших частот. В 1896 году Вин из классических соображений получил закон распределения энергии в спектре в явном виде. Оказалось, однако, что этот закон достаточно хорошо описывает излучение черного тела лишь на высоких частотах и расходится с экспериментом на низких.

Попытку преодолеть это расхождение независимо друг от друга предприняли в 1900 году Д. Рэлей (Стретт) (1842–1919) и в 1905 году Д. Джинс (1877–1946). Исходя из классических

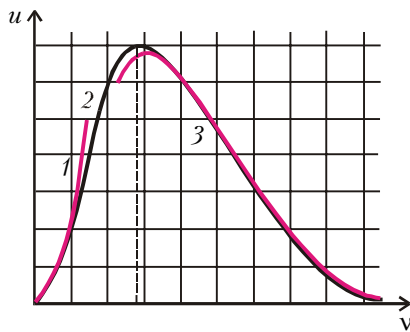
представлений о равномерном распределении энергии по степеням свободы, они получили формулу распределения энергии излучения в спектре в зависимости от температуры. Эта формула, однако, хорошо согласовывалась с экспериментом лишь на низких частотах. С ростом частоты энергия излучения, согласно формуле Рэля–Джинса, должна была бы неограниченно расти, достигая огромных значений в ультрафиолетовой области, что противоречило опыту. Этот явно парадоксальный вывод теории даже получил специальное название: «ультрафиолетовая катастрофа».

Такой воистину катастрофической была ситуация, когда Планк занялся теорией излучения. Первоначально он опирался на законы Кирхгофа и Вина, пытаясь связать теорию теплоты с электромагнитной теорией Максвелла, но вскоре осознал, что на основе классической теории объяснить тепловое излучение абсолютно черного тела невозможно.

К своему открытию Планк пришел не сразу. Первый шаг был сделан 19 октября 1900 года. Когда на заседании Немецкого физического общества в Берлине экспериментаторы Ф. Курлбаум и Г. Рубенс докладывали результаты своих исследований по тепловому излучению, явно противоречившие формуле Вина, Планк (узнавший об этих результатах за несколько дней до заседания) в порядке дискуссии предложил эмпирическую формулу распределения энергии в спектре излучения, которая устраняла имеющиеся несоответствия. Экспериментаторы тщательно сверили новую формулу с данными своих измерений и получили разительное совпадение. Несмотря на несомненный успех, сам Планк рассматривал предложенную им формулу лишь как некоторое промежуточное выражение и задался целью дать формуле теоретическое обоснование, «отыскать ее подлинный физический смысл». В этом состоял его второй шаг.

Почти два месяца Планк пытался получить угаданную им формулу, оставаясь на позициях классической физи-

О М. Планке см. также 4-ю страницу обложки. (Прим. ред.)



Распределение энергии в спектре абсолютно черного тела: 1 — кривая, соответствующая формуле Рэля—Джинса; 2 — графическое изображение формулы Планка; 3 — кривая, которую дает формула Вина

ки, но не достиг успеха. Тогда в поисках решения он пошел по пути Больцмана, использующего статистические методы для объяснения термодинамического равновесия. Больцман рассматривал любое состояние физической системы через вероятность этого состояния и видел содержание второго начала термодинамики в том, что при всяком изменении система переходит в более вероятное состояние.

Применяя метод Больцмана, Планк моделировал вещество набором резонаторов, испускающих и поглощающих излучение частоты ν . Основной и новый момент выдвинутой им гипотезы состоял в предположении, что каждый резонатор может обладать только таким количеством энергии, в котором содержится целое число элементарных порций энергии $E = h\nu$. Здесь $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — постоянная величина, которую Планк назвал «элементарным квантом действия», а сейчас ее

называют постоянной Планка.¹ Разработка этой гипотезы привела Планка к формуле для энергии излучения абсолютно черного тела в виде

$$u(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

Сущность «парадоксальной гипотезы» Планка заключалась в том, что испускание и поглощение электромагнитной энергии атомами и молекулами происходит не непрерывно, а дискретно — порциями, или «квантами», как несколько позже предложил называть их Планк. «Это было сделанное на уровне абстрактного мышления открытие дискретности там, — говорил позже Э.Шрёдингер, — где ее меньше всего ждали», т.е. в процессах обмена энергией. «Подобные счастливые догадки, — скажет потом Х.Лоренц, — есть удел тех, кто заслужил их тяжелой работой и глубокими размышлениями».

Свою «рабочую гипотезу» Планк изложил 14 декабря 1900 года на очередном заседании Немецкого физического общества. Хотя выведенная им формула включала в себя все частные законы излучения черного тела (при малых частотах она переходит в формулу Рэля—Джинса, при больших частотах — в формулу Вина, а суммирование по всем частотам дает формулу Стефана—Больцмана) и прекрасно описывала эксперимент (см. рисунок), ни сам Планк, ни его слушатели не

¹ В квантовой физике для удобства написания некоторых формул часто пользуются величиной $\hbar = h/(2\pi) = 1,054 \cdot 10^{-34}$ Дж · с, которую также называют постоянной Планка.

понимали всей грандиозности происходящего. Гениальная мысль, осенившая Планка, по-прежнему представлялась остроумной догадкой, позволявшей просто улучшить теорию одного из физических явлений.

Первым, кто принял гипотезу Планка о квантах всерьез, был А.Эйнштейн. Он быстро оценил всю глубину работы Планка и стал развивать ее в различных направлениях. В 1905 году Эйнштейн выдвинул удивительную по своей простоте теорию, согласно которой свет не только излучается и поглощается в виде квантов, но и состоит из дискретных порций — квантов света. Это была идея дискретности самого электромагнитного излучения, позволившая, в частности, объяснить явление фотоэффекта. В 1913 году идея Планка о квантах была применена Н.Бором для создания квантовой теории атома, согласно которой электроны в атоме могут находиться только на определенных энергетических уровнях, а их переход с одного уровня на другой сопровождается излучением квантов энергии.

Все дальнейшее развитие естествознания показало, что введенное Планком понятие о дискретности энергии электромагнитного излучения играет такую же фундаментальную роль в физике, как, например, представления об атомистическом строении вещества Демокрита.

В знак признания его заслуг в развитии физики благодаря «открытию кванта действия» Макс Планк был удостоен Нобелевской премии по физике за 1918 год.

БЕЛОСНЕЖКА И СЕМЬ ГНОМОВ

(см. 2 с. обложки)

Эту головоломку точнее было бы называть «Белоснежка и семь разных гномов», потому что задача заключается в том, чтобы на лицевой и оборотной сторонах головоломки Белоснежка очутилась в компании семи непохожих друг на друга существ из знаменитой сказки. Предупреждаем, что выполнить это условие даже на одной стороне головоломки — довольно трудная задача.

Зато головоломку легко сделать своими руками. Она состоит из четырех одинаковых по форме элементов, которые нужно соединить между собой в

правильном порядке. Каждый элемент склеивается из пяти картонных или пластмассовых квадратиков одинакового размера. Квадратики накладываются друг на друга так, что образуется трехслойный элемент с пазами и выступами. При сборке выступы одного элемента вставляются в пазы другого. Все четыре элемента показаны на рисунках с лицевой и оборотной стороны. Внизу страницы помещены картинки, которые вы можете вырезать и наклеить в нужных местах на квадратики. Размер квадратов лучше всего взять равным квадрату с изображением Белоснежки.

Игрушка придумана известным изобретателем головоломок Владимиром Красноуховым, а нарисовала этих симпатичных гномиков художник Ирина

Явнель. «Белоснежка» имела большой успех на международном съезде знатоков головоломок в Сан-Франциско (США) в 1997 г. Но затем оказалось, что и после изучения специалистами головоломка сохранила в себе маленькую тайну: дело в том, что по замыслу изобретателя головоломка должна иметь только одно, единственное решение. Но недавно ученица 7-го класса из г.Климовска Маша Литвиненко нашла свое, совершенно оригинальное решение, удовлетворяющее условию задачи.

А.Калинин