

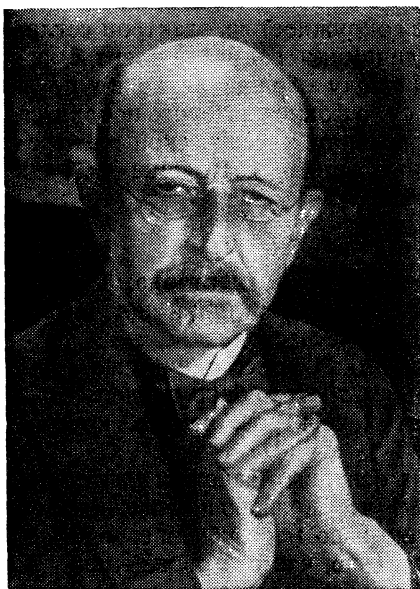
непрерывных потерь энергии на излучение и вызванного этим приближения внутриатомных электронов к ядру все атомы были бы неустойчивы (тогда как в действительности атомы отличаются исключительной устойчивостью и спектры, характеризующие их структуру, остаются неизменными даже при соударении атомов).

§ 57. Опытные основания теории квантов¹⁾ в первые годы ее развития

Неприменимость классической электродинамики к равносному («черному») излучению обнаружилась еще в 1895 г., когда английские физики Релей и Джинс, исходя из законов классической

электродинамики и обосновав расчет с безупречной убедительностью, получили такое распределение энергии по частотам в черном излучении, которое вообще не допускало возможности равновесия черного излучения с телом.

В области малых частот теоретическая кривая, полученная Релеем и Джинсом, совпадает с экспериментальной кривой распределения энергии, найденной Вином, Луммером и др. Но в области больших частот возникает резкое различие. В то время как экспериментальная кривая с ростом частоты идет вниз, приближаясь к нулю, теоретическая непрерывно и круто поднимается вверх. Вследствие такого роста в области больших частот суммарная энергия равносного излучения по всем частотам при любой, даже низкой, тем-



Макс Планк (1858—1947).

пературе должна была бы быть бесконечно большой, что находится в вопиющем противоречии с опытом (печь не могла бы нагреть комнату). Это расхождение явилось очень серьезным ударом для классической физики и получило название «ультрафиолетовой катастрофы» (ультрафиолетовая — так как расхождение проявляется в области больших частот, соответствующих ультрафиолетовой части спектра).

¹⁾ Сведения по теории квантов сообщены: т. I (изд. 1959 г.) § 85, 86, 90, 127; т. II (изд. 1959 г.) § 31, 35, 54. (В изданиях 1954—1957 гг. это по т. I, § 91, 92, 94, 121 и по т. II, § 37, 96.) См. также § 1 и 49 в данном томе.

М. Планку (в 1900 г.) удалось разрешить возникшее затруднение посредством совершенно новой гипотезы, не связанной с принципами классической физики, и получить закон излучения, согласующийся с опытом (§ 49). В одной из своих статей он так описывает это открытие:

«Согласно измерениям Вина произведение квадрата абсолютной температуры на производную от энергии излучения определенного состава \mathcal{E}_ν по температуре пропорционально энергии \mathcal{E}_ν . Для малых энергий эта зависимость была точно подтверждена и в позднейшее время. Но для другой части спектра Луммер и Рубенс нашли, что указанная величина пропорциональна не энергии, а квадрату энергии... В то время я был глубоко убежден, так же как и теперь, что закон природы тем проще по форме, чем более общим является его значение (правда, вопрос о том, какая формулировка проще, далеко не всегда решается сразу и однозначно)... Непосредственно из опыта напрашивалась мысль принять для общего случая указанную выше величину равной сумме одного члена с первой степенной энергией и другого со второй степенной энергией, так чтобы для малых значений энергии превалировал первый член, а для больших — второй. Таким образом была найдена новая формула излучения»:

$$T^2 \frac{d\mathcal{E}_\nu}{dT} = a\mathcal{E}_\nu + b\mathcal{E}_\nu^2,$$

откуда

$$\int \frac{dT}{T^2} = \int \frac{d\mathcal{E}_\nu}{a\mathcal{E}_\nu + b\mathcal{E}_\nu^2} = -\frac{1}{a} \int \frac{d\left(\frac{a}{b\mathcal{E}_\nu}\right)}{\frac{a}{b\mathcal{E}_\nu} + 1},$$

т. е.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{a} \ln \left(\frac{a}{b\mathcal{E}_\nu} + 1 \right),$$

или

$$\mathcal{E}_\nu = \frac{\frac{a}{b}}{e^{\frac{a}{T}} - 1}.$$

«Со дня установления этой формулы, — продолжает Планк, — я поставил себе целью раскрыть ее реальную физическую сущность. Это привело меня к изучению зависимости между энтропией и вероятностью, т. е. к идеям Больцмана... Энтропия служит, по Больцману, мерой физической вероятности, и сущность второго начала состоит в том, что в природе данное состояние встречается тем чаще, чем оно вероятнее». Равновесное излучение является наиболее вероятным распределением энергии. Анализируя с указанной точки зрения вышеприведенную формулу, Планк установил, что такой правильный закон распределения энергии в равновесном излучении может быть строго выведен теоретически только в том случае, если

принять, что произведение энергии на время (*действие*) всегда является величиной, кратной некоторой универсальной постоянной h .

В формулировке Планка теория квантов являлась новым методом статистической термодинамики. В 1905 г. Эйнштейн в связи с найденным им объяснением законов фотоэффекта дал более конкретную трактовку представления о квантах как о «световых частицах» — фотонах (т. II, § 54, 1959; в предыдущих изданиях § 96).

В 1913 г. Н. Бор опубликовал свою теорию излучения, в которой ему удалось объединить теорию квантов с картиной ядерного строения атомов и эмпирическими формулами Бальмера и Ритца. Одновременно еще резче и убедительнее была подчеркнута неприменимость классической электродинамики к внутриатомным процессам.

§ 58. Теория Бора. Происхождение спектра водорода

В основу теории Бора положены две гипотезы, или два постулата, относительно свойств атомов.

1. Атомы и молекулы могут длительно пребывать только в определенных энергетических состояниях — в стационарных состояниях, т. е. энергия атомов и молекул может принимать только *дискретный* ряд значений. Находясь в стационарных состояниях, атомы не излучают и не поглощают электромагнитных волн, несмотря на происходящие в них движения заряженных частиц. Переходить из одного стационарного состояния в другое атомы могут только скачком, а не путем постепенного изменения энергии. При таком переходе излучаются или поглощаются электромагнитные волны.

2. Излучение или поглощение электромагнитных волн при переходе атома из одного стационарного состояния с энергией E_2 в другое с энергией E_1 всегда происходит *целыми квантами*, и частота волн определяется уравнением

$$h\nu = E_2 - E_1, \quad (3)$$

где h — постоянная Планка.

Таким образом, частоты волн, излучаемых атомами в противоположность выводам классической электродинамики, не имеют ничего общего с частотами периодических движений электронов атома и всецело определяются разностью энергий стационарных состояний до и после излучения.

Для вычисления спектра атома по теории Бора нужно найти его стационарные состояния, которым соответствуют определенные орбиты, и установить, между какими стационарными состояниями возможны переходы. В самих постулатах не дано никаких указаний для нахождения этих стационарных состояний. Вопрос о стационарных состояниях и об их энергии, очевидно, тесно связан с вопросом о структуре атома вообще. Бор и вслед за ним Зоммерфельд развили модель атома Резерфорда и воспользовались ею для определения стационарных состояний и возможных переходов