

N. Bohr, H. A. Kramers und J. C. Slater. — Ueber die Quantentheorie der Strahlung. Zeitschrift für Physik, 24, p. 69, 1924 r. Philosoph. Magazine. 47, p. 785, 1924 r.

Основное затруднение современной оптики состоит в том, что существенная группа явлений имеет явно дискретный характер (например, испускание спектральных линий, столь счастливо истолкованное гипотезой квантов), тогда как другая, не менее важная группа, требует для своего понимания классических представлений о непрерывном поглощении и испускании (абсорбция, дисперсия и т. д.). В реферируемой статье Бор и его сотрудники делают попытку облегчить разрешение этого затруднения, вводя новое представление относительно характера процессов в атоме. Именно, оставляя в силе основные постулаты квантовой теории атома (существование дискретных стационарных состояний, условие для частоты $h\nu = E_{n_1, n_2, \dots} - E_{n'_1, n'_2, \dots}$ и принцип соответствия), авторы вводят следующую гипотезу, резко отличающуюся от прежних представлений. Они допускают, что система способна испускать энергию не в момент перехода из одного стационарного состояния в другое, как предполагалось до сих пор, а все время пребывания в стационарном состоянии. Однако, непрерывно происходящее излучение не нарушает стационарности состояния: объяснение этому лежит в допущении, что закон сохранения энергии не применим к такому индивидуальному процессу: потеряв некоторое количество энергии, в виде излучения, система остается в прежнем стационарном состоянии. Лишь время от времени накопившийся недочет или избыток энергии системы восполняется при перескоке системы в новое стационарное состояние, так что в среднем, статистически закон сохранения энергии остается в силе ²⁾. Таким образом излучение

¹⁾ Не следует ли себе представить, что световые кванты испускаются и поглощаются отдельными электронами (а не атомами в целом), являясь конституэнтами или спутниками электронов подобно тому, как последние являются конституэнтами атомов или спутниками положительных ядер?

²⁾ Не желая так резко порывать с принципом сохранения энергии, можно было бы допустить, что в процессах излучения и поглощения энергии, происходящих непрерывно, принимает участие механизм наподобие запасного резервуара, скрывающий излишек энергии или восполняющий ее недостаток. Роль такого механизма могли бы играть какие-нибудь неизвестные процессы в ядре, например. Таким образом, излучение шло бы за счет запаса энергии, а поглощение увеличивало бы этот запас, прямое наблюдение над которым нам недоступно. Лишь время от времени, когда перескок системы в новое «стационарное состояние» сглаживает накопившееся изменение в резервуаре, мы получаем сведения об этих подозреваемых перераспределениях энергии. Конечно, подобное представление не является спасением принципа энергии в его классической форме: допущение „скрытых“ форм энергии, лишь время от времени становящихся доступных наблюдению, есть просто иное выражение для идеи статистического характера принципа сохранения энергии.

происходит при движении электрона в стационарном состоянии; моменты перехода суть лишь моменты, заканчивающие один цикл излучения и открывающие новый, а время пребывания в стационарном состоянии (*Verweilzeit*) — есть время испускания когерентного цуга волн (оно и определяет верхний предел разности хода, при котором еще возможна интерференция). В указанном отношении мы делаем шаг вперед на пути сближения с классической электродинамикой. Атомы, подобно классическим электродинамическим системам, окружены полем излучения, устанавливающим связь между отдельными атомами. Но это поле не есть поле классически излучающих электронов: частота излучения определяется не характером движения электрона, а наличием отдельных возможных стационарных состояний, т. е. при помощи условия частот ($h\nu_1 = E_0 - E_1$; $h\nu_2 = E_0 - E_2$ и т. д.); характер же движения определяет при этом относительную интенсивность отдельных линий, согласно принципу соответствия. Такое поле можно было бы назвать виртуальным полем излучения: это поле соответствует классическому полю виртуальных вибраторов, частота, интенсивность и поляризация излучения которых определяется указанными условиями: набор таких виртуальных вибраторов представляет собою классический эквивалент атома.

Таким образом в новых представлениях Бора совершенно отсутствует мысль о причинной связи между излучением (или поглощением) атома и переходом его из одного стационарного состояния в другое. Эти переходы не играют роль причин, а оказываются лишь сопутствующими явлениями, присутствие которых обеспечивает статистическую приложимость принципа сохранения энергии. Переход из одного стационарного состояния в другое происходит, следовательно, беспорядочно, как случайные явления; отсюда — естественное применение к процессам взаимодействия между атомами и излучением тех, основанных на принципе вероятности, рассуждений, которые привели к известному Эйнштейновскому выводу формулы Планка (Einstein, Phys. ZS, 18, S. 121, 1917). Больше того: открывается возможность связать вероятность тех элементарных процессов, из которых по Эйнштейну складывается явление взаимодействия между атомами и излучением, с характером движения атомов. Вероятность произвольного излучения ¹⁾ (*Spontane Ausstrahlung*) — зависит от собственного движения атома, т. е. определяется количеством излучаемой им энергии: чем интенсивнее излучение, тем чаще, вообще говоря, будут иметь место переходы, регулирующие статистическую справедливость принципа сохранения энергии. Вероятности положительного и отрицательного вынужденного излучения (*positive und negative Einstrahlung*) — определяются полем измерения, т. е. поведением окружающих атомов.

Итак, в новой модели сохраняются, с одной стороны, основные квантовые черты атома Бора, необходимые для истолкования спектральных закономерностей, а с другой — благодаря допущению непрерывного испускания — раздвигаются рамки принципа соответствия, так что открывается возможность судить о взаимодействии между атомом и излучением. В самом деле, так как результаты действия виртуального поля на атом совпадают с классически вычисленным действием поля на набор эквивалентных атому виртуальных вибраторов, то остаются в силе все заключения классической теории относительно прохождения излучения через среду с резонаторами, т. е. все выводы теории преломления, отражения, дисперсии. (Крамерс уже опубликовал небольшое письмо в *Nature*, № 2845, May 10, 1924, p. 673, посвященное изложению теории дисперсии).

В соответствии с новыми представлениями надо в иных терминах излагать и процессы абсорбции. Старое выражение гласило: абсорбция происходит вследствие перескоков, повышающих энергию атома за счет энергии, пришедшей из поля. Новое воззрение, в согласии с классическим, видит в ослаблении света при абсорбции результат интерференции между приходящими волнами и волнами соответствующей частоты, непрерывно испускаемыми атомами. Перескоки же — суть просто вторичные явления.

¹⁾ Точнее: вероятность перескока, компенсирующего это произвольное излучение.

происходящих так, что в общем и среднем выполняется закон сохранения энергии. Объяснение абсорбции наличием вторичных когерентных волн делает понятным связанное с абсорбцией явление аномальной дисперсии, равно как и селективного „металлического“ отражения (впервые в парах наблюдавшееся Вудом).

Изложенное показывает, каким образом новые воззрения пытаются заполнить пропасть между „дискретной“ и „непрерывной“ оптикой. В этом отношении, несомненно, теория приносит столь богатые плоды, что, вероятно, многим не покажется слишком дорогой ценой за них своеобразное — статистическое — толкование принципа сохранения энергии.

К сожалению, в области электрооптических явлений остается еще группа фактов, классическое истолкование которых представляло еще больше трудностей. Это — те явления, которые вызвали к жизни и укрепили гипотезу световых квантов: фотоэлектрический эффект, короткая граница сплошного рентгеновского спектра, явление Комптона и т. д. — явления, оправдывающие Эйнштейновское соотношение $h\nu = eV$.

Новая теория Бора и сотрудников пытается охватить и эти факты. Однако их истолкование связано с еще большими трудностями. Истолкование эффекта Комптона, например, приводит к необходимости допустить, что статистический характер имеет, наряду с принципом сохранения энергии, и принцип сохранения количества движения (что, впрочем, довольно естественно ввиду полного равноправия этих принципов в ряде вопросов, ср. напр. Pauli jr, Z. f. Ph. XVIII, S. 272, 1923). Однако, этого допущения недостаточно. Пытаясь объяснить изменение длины волны рассеянного рентгеновского света явлением Доплера (как это уже делали Комpton и Дебай), Бор приходит к необходимости признать, что скорость виртуальных вибраторов не совпадает со скоростями освещаемых электронов: скорости вибраторов определяются условием изменения частоты излучения, а скорости электронов — требованием принципа сохранения количества движения (понимаемого статистически) (Dass in diesem Fall der virtuelle Oszillator sich mit einer Geschwindigkeit bewegt, die von jener der bestrahlten Elektronen selbst verschieden ist, bedeutet freilich einen Zug, den den klassischen Ideen besonders fremdartig gegenübersteht).

Таким образом в новых представлениях, наряду с цепью новых идей и перспектив, открываются и новые трудности и осложнения. Естественно поэтому, что новые идеи нашли себе уже и сторонников и противников ¹⁾.

Таким образом основания новой теории сводятся к следующему:

1. Сохраняют силу основные квантовые постулаты (существование дискретных стационарных состояний, условие для частоты).

2. Излучение рассматривается как непрерывный процесс, сопровождающий пребывание атома в стационарном состоянии (момент перескока обрывает излучение, а не обуславливает его, как было в старой модели). Непрерывное излучение примиряется с наличием стационарных состояний ценой низведения принципа сохранения энергии до степени статистического принципа.

3. Принцип соответствия расширяется в таком смысле, что при помощи его не только описывается виртуальное поле, создающееся вокруг атома, но и открывается возможность учесть взаимодействие между полем и атомом, считая последний эквивалентным набору виртуальных осцилляторов, классически взаимодействующих с виртуальным полем.

Гр. Ландсберг.

¹⁾ По сообщению академика А. Ф. Иоффе, только что вернувшегося из-за границы, на точку зрения Бора стали в Германии Зоммерфельд и Борн, се не разделяют берлинские физики, с Эйнштейном во главе.