

# Нильс Бор

А. ВАСИЛЬЕВ

Планетарная модель атома представляется сегодня столь же очевидной, как и планетарное строение Солнечной системы. Однако для осознания и того и другого фактов понадобился гений выдающихся ученых, способных выйти далеко за рамки сложившихся в свое время общепринятых представлений. Так, квантовая планетарная модель атома была предложена в начале двадцатого века великим датским физиком Нильсом Бором (1885—1962), объединившим гипотезу Резерфорда о строении атома и гипотезу Планка о дискретности электромагнитного излучения.

Анализируя рассеяние альфа-частиц на золотой фольге, Резерфорд предположил, что в центре атома находится положительно заряженное ядро, вокруг которого по орбитам вращаются отрицательно заряженные электроны. Эта модель приводила, однако, к неразрешимому парадоксу. Согласно классической электродинамике, вращающийся по орбите электрон должен постоянно терять энергию, излучая электромагнитные волны. По мере уменьшения энергии электрон должен приближаться по спирали к ядру и, в конечном счете, упасть на него. Такая перспектива никоим образом не согласовывалась с твердо установленной стабильностью большинства химических элементов.

Проблема устойчивости планетарного атома привлекла Бора, находившегося в 1912 году на стажировке у Резерфорда в Манчестерском университете. Он высказал идею о том, что электроны вращаются вокруг ядра не поодиночке, а группами, образуя электронные кольца, при этом сжатие кольца препятствует взаимное отталкивание электронов. Однако из устойчивости электронных колец не следовала устойчивость атомных размеров: законы ньютоновской механики позволяли электронному кольцу вращаться на любом расстоянии от ядра, а от изменения радиуса лишь изменялась бы частота обращения электронов вокруг ядра. Тем самым, классическая механика не могла объяснить устойчивость атомов.

Затем Бор выдвинул гипотезу, согласно которой электроны в кольцах могут вращаться лишь со строго опре-

деленными частотами и на строго определенных расстояниях от ядра. Это была революционная идея, но уверенность в ней Бору придало знакомство с формулами, описывающими последовательность дискретных линий в спектрах излучения элементов. Одной из таких последовательностей является знаменитая серия Бальмера, полученная чисто эмпирически еще в конце девятнадцатого века и описывающая видимую часть спектра атома водорода:

$$\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad n = 3, 4, 5, \dots,$$

где  $R = 10973732,5 \text{ м}^{-1}$  — постоянная Ридберга.

Согласно теории Бора, каждая линия в спектре соответствует свету, излучаемому электроном, когда он переходит с одной разрешенной орбиты на другую, более низкую орбиту. Частота каждой такой линии, умноженная на постоянную Планка, равна разности энергий начального ( $E_1$ ) и конечного ( $E_2$ ) состояний, между которыми совершают переход электроны:

$$h\nu = E_1 - E_2$$

(здесь  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  — постоянная Планка). Первое (постоянное) слагаемое в формуле Бальмера говорит о том, что в атоме имеется самый низкий уровень энергии, а второе (переменное) слагаемое указывает на дискретность разрешенных природой электронных состояний. Электронные переходы возможны не только на уровень с наименьшей энергией, но и между высокоэнергичными состояниями, чему соответствуют дополнительные наборы спектральных линий. Обобщающая формула, описывающая все возможные переходы между дискретными уровнями электронов в атоме, может быть записана в виде

$$\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $m$  и  $n$  — соответствующие целые числа.

Таким образом, модель атома Бора постулировала, что электроны, находящиеся на стационарных орбитах, не излучают электромагнитных волн и что

излучение возникает лишь при переходах между стационарными состояниями. Эта концепция потребовала отказа от применения классической механики и электродинамики в микромире и знаменовала собой громадный прогресс в понимании природы вещества и излучения.

Опубликованная в 1913 году квантовая модель атома принесла Бору мировую известность. В 1922 году «за заслуги в изучении строения атома» ему была присуждена Нобелевская премия по физике. Атом Бора сыграл роль моста между миром атомной структуры и миром квантовой теории. Уже одно это обстоятельство определило место Бора в ряду создателей квантовой механики, однако ему принадлежит еще целый ряд определяющих принципов этой науки.

Исходя из своей модели атома, Бор показал, что по мере удаления от ядра разрешенные уровни все меньше отличаются друг от друга и в конечном счете сливаются. Квантовые скачки делаются все меньше, и переход из одного стационарного состояния в другое становится практически непрерывным. Тем самым, электрон из власти квантовых законов постепенно поступает в распоряжение классической физики. Эта идея лежит в основе сформулированного Бором принципа соответствия.

Еще один сформулированный им постулат — принцип дополнительности — был настолько дорог Бору, что когда он получил дворянство, то выбрал себе герб с изображением древнекитайского символа инь-ян, олицетворяющего этот принцип. Суть принципа дополнительности заключается в том, что волновой и корпускулярный характеры вещества и излучения представляют собой два взаимодополняющих компонента понимания природы. В различных экспериментах проявляется либо волновое, либо корпускулярное поведение, но смешанное поведение не наблюдается никогда. В древнекитайской философии инь-ян определяют отношения между землей и небом и развитие этого замкнутого мира. Друг без друга инь и ян не могут обнаружить своего действия, а то, что в действии их сил остается скрытым, является непостижимым.