

было считать, что свет имеет волновую природу, а для объяснения других — корпускулярную. По существу разрешение этого противоречия и привело к созданию физ. основ К. м.

В 1924 Л. де Бройль (L. de Broglie), пытаясь найти объяснение постулированным в 1913 Н. Бором (N. Bohr) условиям квантования атомных орбит (см. ниже), выдвинул гипотезу о всеобщности *корпускулярно-волнового дуализма*. Согласно де Бройлю, каждой частице, независимо от её природы, следует поставить в соответствие волну, длина к-рой λ связана с импульсом частицы p соотношением $\lambda = h/p$. По этой гипотезе не только фотоны, но и все «обыкновенные частицы» (электроны, протоны и др.) обладают волновыми свойствами (см. *Волны де Бройля*), к-рые, в частности, должны проявляться в *дифракции частиц*. В 1927 К. Дэвиссон (C. Davisson) и Л. Джермер (L. Germer) впервые наблюдали дифракцию электронов. Позднее волновые свойства были обнаружены и у др. частиц и справедливость ф-лы де Бройля была подтверждена экспериментально. В 1926 Э. Шрёдингер (E. Schrödinger) предложил ур-ние, описывающее поведение таких «волн» во внеш. силовых полях, а М. Борн (M. Born) дал им статистическую, вероятностную интерпретацию. Так возникла *волновая механика*. Волновое *Шрёдингера уравнение* является осн. ур-нием нерелятивистской К. м. В 1928 П. Дирак (P. A. M. Dirac) сформулировал релятивистское ур-ние, описывающее движение электрона во внеш. силовом поле; *Дирака уравнение* стало одним из основных ур-ний релятивистской К. м.

Вторая линия развития (также являющаяся обобщением гипотезы Планка) начинается с работы Эйнштейна (1907), посвящённой теории теплоёмкости твёрдых тел. Эл.-магн. излучение, представляющее собой набор эл.-магн. волн разл. частот, динамически эквивалентно некоторому набору *осцилляторов*. Испускание или поглощение волн эквивалентно возбуждению или, напротив, переходу в основное (невозбуждённое) состояние соответствующих осцилляторов. Тот факт, что испускание и поглощение эл.-магн. излучения веществом происходят квантами с энергией $h\nu$, можно выразить так: осциллятор поля не может обладать произвольной энергией, он может иметь только определ. дискретные уровни энергии, расстояния между к-рыми равно $h\nu$. Эйнштейн обобщил идею квантования энергии осциллятора эл.-магн. поля на осциллятор произвольной природы. Поскольку тепловое движение твёрдых тел сводится к колебаниям атомов, то и твёрдое тело динамически эквивалентно набору осцилляторов. Энергия таких осцилляторов тоже квантована, т. е. разность соседних уровней энергии должна равняться $h\nu$, где ν — частота колебаний атомов. Теория Эйнштейна, уточнённая П. Дебаем (P. Debye), Борном и Т. Карманом (Th. Karman), сыграла выдающуюся роль в развитии теории твёрдых тел.

В 1913 Бор применил идею квантования энергии к планетарной модели строения атома, к-рая вытекала из результатов опытов Э. Резерфорда (E. Rutherford, 1911). Согласно этой модели, в центре атома находится положительно заряж. ядро, в к-ром сосредоточена почти вся масса атома; вокруг ядра вращаются по орбитам отрицательно заряж. электроны. Рассмотрение такого движения на основе классич. представлений приводило к парадоксальному результату — невозможности существования стабильных атомов: согласно классич. электродинамике, электрон не может устойчиво двигаться по орбите, поскольку вращающийся электрич. заряд должен излучать эл.-магн. волны и, следовательно, терять энергию; радиус его орбиты должен непрерывно уменьшаться, и за время $\sim 10^{-11}$ с электрон должен упасть на ядро. Это означало, что законы классич. физики неприменимы к движению электронов в атоме, т. к. атомы не только существуют, но и весьма устойчивы.

Для объяснения устойчивости атомов Бор предположил, что излучение электрона в атоме подчиняется квантовым законам, т. е. происходит дискретными порциями. Он постулировал, что из всех орбит, допускаемых ньютоновой механикой для движения электрона в электрич. поле атомного ядра, реально осуществляются лишь те, к-рые удовлетворяют определ. условию квантования, требующим [как показал позже А. Зоммерфельд (A. Sommerfeld)], чтобы величина действия для классич. орбиты была целым кратным постоянной Планка h . Такие орбиты были названы стационарными. Им отвечают определ. уровни энергии. Далее Бор постулировал, что при движении по стационарным орбитам электрон не испускает световых волн. Излучение происходит лишь при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую, т. е. с одного уровня энергии \mathcal{E}_i на другой, с меньшей энергией, \mathcal{E}_k , и при этом рождается квант света с энергией $h\nu = \mathcal{E}_i - \mathcal{E}_k$. Так возникает линейчатый спектр атома. Исходя из этих постулатов, Бор получил правильную ф-лу для частот спектральных линий атома водорода (и водородоподобных атомов), охватывающую совокупность открытых ранее эмпирич. ф-л (см. *Спектральная серия*). При этом числ. значение *Ридберга постоянной*, к-рое Бор выразил через фундам. константы m , e , h (m и e — масса и заряд электрона), оказалось в прекрасном согласии с её значением, измеренным на опыте. Размеры атома в теории Бора также выражались через фундам. константы: радиус нижней боровской орбиты $a = h^2/me^2 \approx 0,5 \cdot 10^{-8}$ см совпадал с эксперим. оценками размеров атома.

Т. о., Бор, используя квантовую постоянную h , отражающую дуализм света, показал, что эта величина определяет также и движение электронов в атоме. Впоследствии стало ясно, что этот вывод — одно из следствий универсальности корпускулярно-волнового дуализма. Существование дискретных уровней энергии в атомах было непосредственно установлено *Франка—Герца опытами* (1913—14).

Успех теории Бора, как и предыдущие успехи теории квантов, был достигнут за счёт нарушения логич. цельности классич. теории: с одной стороны, использовалась Ньютонова механика, с другой, — привлекались чуждые ей искусств. правила квантования. Кроме того, теория Бора оказалась не в состоянии объяснить движение электронов в сложных атомах (даже в атоме гелия), возникновение хим. связи между атомами, приводящей к образованию молекул, и др. «Полуклассич.» теория Бора не могла также ответить на вопрос, как движется электрон при переходе с одного уровня энергии на другой. Дальнейшая разработка вопросов теории атома привела к убеждению, что движение электрона в атоме нельзя описывать в терминах (понятиях) классич. механики (как движение по определ. траектории, или орбите), что вопрос о движении электрона между стационарными орбитами несовместим с характером законов, определяющих поведение электронов в атоме, и что необходима новая теория, в к-рую входили бы только величины, относящиеся к нач. и конечному стационарному состояниям атома. В 1925 В. Гейзенберг (W. Heisenberg) построил такую форм. схему, в к-рой вместо координат и скоростей электрона фигурировали некие абстрактные алгебр. величины — матрицы; связь матриц с наблюдаемыми величинами (уровнями энергии и интенсивностями квантовых переходов) давалась простыми непротиворечивыми правилами. Работа Гейзенберга была развита Борном и П. Йорданом (P. Jordan). Так возникла *матричная механика*. Вскоре после появления ур-ния Шрёдингера была показана матем. эквивалентность волновой (основанной на ур-нии Шрёдингера) и матричной механики.

Большую роль в создании К. м. сыграли работы Дирака, выдвинувшего важнейшую роль принципа суперпозиции состояний. Окончат. формирование К. м. как последоват. теории с ясными физ. основами произошло