

## ВВЕДЕНИЕ

В первой и третьей частях данного курса теоретической физики были изложены классическая механика и классическая электродинамика. Эти науки описывают движение и свойства макроскопических объектов. Материальная точка в механике — это, в сущности, большое тело, размерами которого можно пренебречь только по условиям задачи. Анализ основ теории электричества также показывает, что в электродинамике всегда предполагается достаточная интенсивность электромагнитного поля и что оно рассматривается в макроскопических областях пространства-времени. В таких случаях можно не принимать во внимание дискретность строения вещества и поля и особый характер движения и взаимодействия составляющих их микрочастиц.

Специфические закономерности микромира получили название квантовых. Они становятся существенными прежде всего при переходе к явлениям в масштабе одного атома. Здесь кончается область классической физики и начинается квантовая физика. Условный рубеж соответствует расстояниям порядка  $10^{-8}$ ...  $10^{-10}$  м и массам частиц порядка  $10^{-27}$  кг и меньше.

В четвертой части курса рассматривается только один раздел квантовой физики — *нерелятивистская квантовая механика*. Так называется фундаментальная физическая теория, изучающая движение микрочастиц во внешних силовых полях и взаимодействие микрочастиц при скоростях, далеких от скорости света. Подобные задачи для тел решались в классической механике. Однако в микромире методы классической механики, ее основные уравнения оказываются непригодными. Поведение микрочастиц подчиняется новым законам, а способы их описания требуют других, качественно новых средств.

Типичным предметом исследований в квантовой механике является система частиц, связанных электромагнитным взаимодействием. Сюда относятся атомы и молекулы, газы, жидкости и твердые тела. Сфера действия квантовой механики поистине огромна: она охватывает атомы, молекулы, кристаллы, свойства веществ, множество явлений, происходящих в них. В число явлений, изучаемых в квантовой механике, входят также процессы испускания и поглощения света. (Однако на основе нерелятивистской квантовой механики нельзя дать полную и последовательную теорию этих вопросов.) В тех случаях, когда существенна конечность скорости

распространения взаимодействий, на смену нерелятивистской квантовой механики приходит релятивистская квантовая механика, или квантовая теория поля. Ее наиболее развитой и завершенной частью является квантовая электродинамика.

Квантовая электродинамика изучает электромагнитные взаимодействия между электрически заряженными частицами и электромагнитные поля с точки зрения их микроструктуры. Главным образом в ней рассматриваются взаимодействия между электронами, позитронами и фотонами. Типичными явлениями в этой области являются фотоэффект, эффект Комптона, рождение и аннигиляция электронно-позитронных пар, процессы излучения и поглощения фотонов частицами и системами частиц.

Релятивистская квантовая теория, описывающая частицы, которые участвуют в сильном и слабом взаимодействиях, находится в стадии становления. За последние два десятилетия здесь достигнуты большие успехи: развита теория слабого взаимодействия, которое объединено с электромагнитным в электрослабое взаимодействие; интенсивно разрабатывается квантовая хромодинамика — теория сильного взаимодействия; делаются попытки объединения всех четырех фундаментальных взаимодействий.

По ряду причин квантовая теория поля не изучается в педвузе. Учебная программа включает только нерелятивистскую квантовую механику. Авторы сочли необходимым в конце курса в краткой форме познакомить читателя хотя бы с понятием о релятивистских квантовых уравнениях.

Квантовая механика важна прежде всего тем, что образует фундамент физики атомов и молекул (точнее, их электронной оболочки). Она также является основой физики ядра, электронной теории вещества, физики твердого тела, квантовой химии, квантовой статистики и других областей знания. Но ее значение не исчерпывается одними только приложениями: в силу новизны ряда своих понятий и выводов квантовая механика существенно дополняет миропонимание человека, которое первоначально складывается на основе чувственного опыта восприятия макромира, т. е. квантовая механика важна в общеобразовательном плане. Достаточно указать на некоторые характерные черты в поведении микрочастиц. Это, например, невозможность представления их движения в виде перемещения точки по определенной траектории в пространстве, дискретность ряда физических величин — параметров механического состояния, наличие скачкообразных изменений состояния, минующих промежуточные стадии.

Квантовая механика является сравнительно молодой наукой. Наблюдения, эксперименты и теоретические исследования, послужившие толчком к пересмотру классической физики, относятся к концу прошлого — началу нашего века. Первые шаги квантовой теории сделала между 1910 и 1925 гг. Создание последовательной теории произошло в период с 1926 по 1930 г. Становление квантовой механики связано с именами целого ряда ученых, среди которых в первую очередь следует назвать М. Планка, Л. де Бройля, А. Эйн-

штейна, Н. Бора, В. Гейзенберга, П. Дирака, В. Паули, Э. Шредингера, М. Борна и др.

Потом последовал период углубленного физического и философского анализа основ квантовой теории, разработка ее расчетных методов, разнообразных приложений. Существенный вклад в науку здесь внесли советские ученые Л. Д. Ландау, В. А. Фок, И. Е. Тамм, Я. И. Френкель, Л. И. Мандельштам, Н. Н. Боголюбов и многие другие.

Квантовая физика достигла расцвета в современную эпоху научно-технического прогресса: осуществлен прорыв в область элементарных частиц, следующую за атомом и ядром; открыты новые явления, нашедшие широчайшее применение в науке и технике; можно назвать полупроводники, лазеры, высокотемпературную сверхпроводимость, обещающую хорошие перспективы. Фундамент же квантовой физики — квантовая механика.

В какой связи находится теоретическая физика с задачами подготовки учителя средней школы, говорилось в общем введении ко всему курсу теоретической физики (см. ч. I). Известно, что квантовая механика дает теоретические знания для преподавания в школе раздела «Квантовая физика», готовит студентов к восприятию ядерной физики и электронной теории вещества, формирует физическое миропонимание, расширяя представления о мире от макро- до микрокартин.

## **ГЛАВА I. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ**

Квантовая механика возникла на основе изучения физических явлений, объяснение которых в рамках классических представлений оказалось невозможным. В первой главе этой книги рассматриваются наиболее существенные из этих явлений и в элементарной форме излагаются новые по отношению к классическим квантовые понятия и законы микромира.

### **§ 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ**

**1.1. Проблема стабильности атомов и излучения света атомами.** В начале XX в. было открыто, что атомы состоят из ядра и электронов, и была предложена планетарная модель атома. Согласно ее положениям строение самого простого атома — водородного — выглядело так: точечное ядро, масса которого почти в 2 тыс. раз больше массы электрона, вокруг ядра как вокруг неподвижного притягивающего центра обращается электрон. Он удерживается в атоме силой электростатического кулоновского притяжения. По законам