

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ
КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОГО ДУАЛИЗМА
И СООТНОШЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

§ 1. Введение

Исследуя фундаментальные причины расхождений между экспериментальными фактами атомной физики и предсказаниями классической теории, можно выделить два основных аспекта микроскопических явлений самого общего характера.

Первый из них, названный нами *атомизмом действия*, приводит к нарушению непрерывности течения процессов на микроскопическом уровне: изменения действия физической системы, обмен действием между физическими системами могут происходить только в форме *дискретных и неделимых квантов*. Мы подробно обсуждали это новое понятие в первой главе и выяснили, что описание явлений в рамках классической теории может быть успешным только в том случае, когда величина кванта действия может рассматриваться как пренебрежимо малая.

Второй аспект поведения микроскопических объектов связан с присущим им *корпускулярно-волновым дуализмом*, т. е. способностью в различных экспериментальных условиях проявлять различные и противоречивые свойства волны и частицы. Эта двойственность поведения тесно связана с атомизмом действия, на что указывает появление постоянной \hbar в общих формулах соответствия (II.5) между волнами и частицами. Мы видели, что общий характер двойственного поведения микроскопических объектов был понят довольно поздно и сыграл решающую роль в построении квантовой теории физических систем.

Анализ результатов дифракционных опытов (см. гл. I, § 5 и 6, гл. II, § 7 и 8) показывает, что наиболее простое мыслимое истолкование дуализма волна — частица может быть проведено на статистической основе, т. е. на основе предположения, что вероятность нахождения частицы в некоторой области пространства пропорциональна интенсивности волны в этой области. В этой главе мы уточним указанную статистическую интерпретацию, проверим ее внутреннюю согласованность, а также согласие с экспериментальными результатами.

В первом разделе будет развита статистическая интерпретация волновой функции как основного понятия волновой механики систем материальных частиц. Результаты этого раз-

дела позволят нам во втором разделе вывести соотношения неопределенности Гейзенберга как следствие статистической интерпретации корпускулярно-волнового дуализма. Далее, в разделе III мы покажем, что эти соотношения, сколь бы они ни казались странными на первый взгляд, вполне согласуются с опытом, если учесть, что измерительные приборы также являются квантовыми объектами, подчиняющимися тем же соотношениям, и что поэтому возмущение, вводимое в состояние измеряемого объекта вмешательством измерительного прибора, не может быть сделано ни сколь угодно малым, ни полностью контролируемым.

Говоря точно, на микроскопическом уровне нельзя строго разделить измеряемый объект и измерительный прибор. В то же время, когда в обычных условиях говорят о некоторой процедуре измерения, то всегда неявно предполагают возможность провести четкое различие между объектом измерения и всеми теми приспособлениями, которые служат для производства измерения. На микроскопическом уровне вмешательство измерительного аппарата вносит неконтролируемое возмущение, конечная величина которого непосредственно связана с существованием атомизма действия. Наличие неконтролируемого возмущения ставит предел возможности различать субъект и объект и ведет к пересмотру классических концепций, касающихся описания явлений. Этот вопрос рассматривается в разделе IV этой главы.

Р а з д е л I. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВОЛНОВЫХ ФУНКЦИЙ В ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКЕ

§ 2. Вероятности результатов измерения координаты и импульса частицы

Разберем вначале случай квантовой системы, состоящей из одной частицы. Пусть $\Psi(\mathbf{r}, t)$ есть ее волновая функция. Она удовлетворяет уравнению Шредингера и полностью определяется в любой момент времени, если известно значение $\Psi(\mathbf{r}, t_0)$ в начальный момент t_0 . Сейчас мы анализируем ситуацию в некоторый данный момент времени t , и обозначим через $\Psi(\mathbf{r})$ волновую функцию частицы в этот момент.

Динамическое состояние классической частицы определяется в каждый момент заданием ее положения $\mathbf{r}(x, y, z)$ и импульса $\mathbf{p}(p_x, p_y, p_z)$. Но поскольку волновая функция имеет некоторую пространственную протяженность, мы не можем приписывать квантовой частице точное положение в пространстве. Можно говорить лишь о вероятности найти частицу в некоторой области пространства, когда производится измерение ее положения. Обозначим символом $P(\mathbf{r})d\mathbf{r}$ вероятность найти частицу в