ГЛАВА VIII

ОБЩИЙ ФОРМАЛИЗМ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ
Б. ОПИСАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

§ 1 Введение

В классической физике динамическое состояние физической системы в каждый момент времени определено, если известны значения динамических переменных, характеризующих систему. Эти значения могут быть в принципе определены все одновременно с любой степенью точности. Поэтому задачей классической теории является определение динамических переменных физической системы и исследование уравнений движения, которым они подчиняются.

В квантовой теории соответствие между динамическим состоянием и динамическими переменными оказывается далеко не столь прямым. В процессе измерения какой-либо динамической переменной динамическое состояние системы изменяется под воздействием измерительного прибора. Если в классической физике этим изменением обычно пренебрегают, то на микроскопическом уровне этого сделать уже нельзя; модификация состояния системы предстает как непредсказуемое и неконтролируемое возмущение, ограничивающее возможность одновременного измерения всех динамических переменных. Поэтому приходится отказаться от основного постулата классической физики о том, что различные физические величины, характеризующие систему, могут в любой момент времени принимать вполне определенные значения. Для каждой из этих величин можно указать только *статистическое распределение* значений, выражающее вероятность того или иного результата в случае возможного измерения.

Согласно установившейся терминологии (§ IV. 17) говорят, что динамические переменные квантовой системы не все попарно совместны. Однако к заданной динамической переменной можно присовокупить некоторое число других, пока не образуется *полный набор совместных динамических переменных.* По определению все члены такого набора совместны друг с другом, но вне набора не существует динамических переменных, совместных с каждым членом набора, кроме, конечно, каких-либо функций от переменных — членов набора. Точное измерение динамических переменных полного набора дает наиболее полную информацию, какую только можно иметь относительно динамического состояния физической системы. Таким образом, динамическое состояние квантовой системы определяется не заданием всех динамических переменных, присущих системе (как в классической теории), но заданием тех из них, которые входят в какой-либо полный набор совместных переменных.

В качестве основного принципа принимается, что динамические состояния квантовой системы допускают *линейную суперпозицию*. В согласии с этим принципом (см. § VII. 1) квантовой системе сопоставляется некоторое векторное пространство $\mathscr{E}$, так что каждое динамическое состояние представляется вектором в этом пространстве. Предполагается, кроме того, что $\mathscr{E}$ есть пространство Гильберта. В дальнейшем мы используем обозначения и свойства пространства Гильберта, как они были изложены в гл. VII. Таким образом, каждому динамическому состоянию соответствует некоторый кет-вектор $|u\rangle$ пространства $\mathscr{E}$. В то же время каждой динамической переменной сопоставляется некоторая наблюдаемая, действующая в пространстве $\mathscr{E}$ [1]). Если динамические переменные совместны, соответствующие им наблюдаемые коммутируют, если переменные несовместны, наблюдаемые не коммутируют.

Общий формализм квантовой теории основан на указанном соответствии между динамическими состояниями и векторами, физическими величинами и операторами. В разделе I мы уточним это соответствие, покажем, как строить пространство Гильберта, и какой физический смысл имеют векторы и операторы из этого пространства. Далее, в разделе II общая теоретическая схема дополняется введением *уравнений движения*. В разделе III будет показано, что существует столько конкретных формулировок теории, сколько есть различных конкретных матричных представлений векторов и операторов пространства $\mathscr{E}$; волновая механика является одним из таких частных представлений. Когда динамическое состояние квантовой системы известно не полностью, можно, следуя обычным методам статистической механики, представлять его статистическим ансамблем векторов гильбертова пространства. Эквивалентная процедура состоит во введении оператора особого типа — *матрицы плотности*; эти вопросы рассматриваются в последнем, четвертом разделе главы.

---

[1]) Пространство $\mathscr{E}$ играет в квантовой теории роль, аналогичную роли фазового пространства классической теории. Каждая точка фазового пространства представляет классическое динамическое состояние, каждый вектор пространства $\mathscr{E}$ представляет квантовое динамическое состояние. Во втором случае, однако, соответствие не является взаимооднозначным: два коллинеарных вектора пространства $\mathscr{E}$ представляют одно состояние; см. ниже, § 2.