

## 22. Квантовая теория гравитации

Теоретическая физика двадцатого века характеризуется возникновением двух новых теорий — теории относительности и квантовой теории. Квантовая теория появилась на пять лет раньше теории относительности: М. Планк опубликовал свою первую работу по квантовой теории излучения абсолютно черного тела в 1900 г. Эта первая работа не касалась квантовой теории атомов. Она претендовала лишь на объяснение спектрального распределения электромагнитного излучения, испускаемого нагретыми телами. Планк предположил, что энергия в электромагнитном излучении встречается в виде сгустков, причем величина энергии в сгустке пропорциональна частоте испускаемого излучения. Без этого предположения нельзя было объяснить, почему нагретые тела не могут испускать излучение произвольно высокой частоты с такой скоростью, что полная испускаемая энергия делается бесконечной. Таким образом, зарождение квантовой теории было тесно связано со свойствами электромагнитного поля. Тринадцать лет спустя Нильс Бор (1885—1962), датский физик, применил квантовые представления к атомам и атомным спектрам.

На первых порах квантовая теория касалась главным образом существования энергии в виде сгустков. Постепенно пришло понимание того, что это разбиение энергии на сгустки, которое с экспериментальной точки зрения не вызывает ни малейших сомнений, никак не сочетается с классическими представлениями о поведении частиц. Немецкий физик Вернер Гейзенберг указал в 1927 г. на то, что принципиально невозможно приписать частице в некоторый момент времени точное местоположение и точное состояние движения. Невозможно также поставить эксперимент или наблюдение по одновременному определению этих величин со сколь угодно высокой степенью точности. Согласно идеям Гейзенберга произведение неточностей, возникающих при определении положения и импульса частицы, ни в коем случае не может быть меньше, чем постоянная Планка. Значение постоянной Планка — одной из универсальных физических констант — равно  $6,6 \cdot 10^{-27}$  эрг·сек. Это ограничение, известное под названием *принципа неопределенности*, допускает построение теоретической схемы, определенные

величины в которой, такие, как энергия и момент импульса, способны принимать лишь дискретные значения. Обычные же законы механики не утрачивают свою силу, по крайней мере для средних значений физических величин. Характерной чертой квантовой теории является то, что результат большинства измерений не может быть предсказан с полной достоверностью на основе знания характеристик системы в прошлом. В лучшем случае удается приписать вероятность получения различных возможных значений. Другими словами, квантовая механика не позволяет предсказать результат отдельного измерения. Она может только ответить на вопрос, как часто будет появляться возможный результат, если тот же самый эксперимент и измерение будут повторены достаточно большое число раз.

Неопределенности, возникающие согласно принципу Гейзенберга, вполне ощутимы в области атомных явлений. Они, как правило, совершенно несущественны для тел, обладающих обычной (макроскопической) массой и размером; таким образом, принцип неопределенности не вызывает никаких трудностей при интерпретации явлений повседневной жизни.

По мере того как физики постепенно осваивали эти представления, основные идеи квантовой физики и, в частности, принцип неопределенности стали прилагаться ко всем физическим явлениям. Реально очень трудно представить себе взаимодействие между двумя физическими системами, одна из которых подчиняется принципу неопределенности, а другая нет. Если, например, атомные частицы подчиняются этому принципу, а гравитационные поля нет, можно попытаться поставить эксперимент, по крайней мере мысленно, в котором с очень высокой степенью точности определяются значения всех компонент гравитационного поля, окружающего «тяжелую» частицу. Затем с той же точностью можно подсчитать все характеристики источника гравитационного поля, т. е. самой частицы.

В связи с этим было предпринято немало попыток распространить квантовую теорию на гравитационные поля. Эта программа не принесла окончательного успеха, хотя нет никаких причин к тому, чтобы она не могла быть реализована. Встречающиеся на этом пути трудности представляют интерес сами по себе. Они заключены в способ-

разной природе эйнштейновской теории. Во всех других теориях поля, в том числе и специальной теории относительности, пространство и время было наделено жесткой геометрической структурой, независимой от происходящих в ней физических процессов. Теория Эйнштейна вкладывает в пространство и время нечто большее, чем просто существование мировых точек и некоторую степень их непрерывности, достаточную для того, чтобы утверждать, что некоторые мировые точки «близки» друг к другу.

Геометрическая структура (в смысле количественного определения расстояния между двумя мировыми точками и параллельного переноса определенного направления из одной мировой точки в соседнюю) вносится в пространственно-временной континуум только гравитационным полем. Эта геометрическая структура отнюдь не является жестко определенной, а зависит от локальных условий и законов физики. Любая форма поля обладает энергией, а энергия всегда является источником гравитационного поля; любые поля и любые частицы вносят свой вклад в геометрическую структуру. Если гравитационное поле подчиняется принципу неопределенности Гейзенберга, геометрия пространства-времени также должна отражать эту неопределенность. От строгих связей между мировыми точками приходится тогда отказаться и перейти к некоторым вероятностным формулировкам. По этой причине квантовая теория гравитационного поля требует введения новых представлений, которые были не нужны в прошлом, но появление которых окажет влияние на всю физику.

### *23. Что такое наблюдаемая величина?*

Квантовая механика учит, что даже самая подробная информация о прошлом физической системы не позволяет сделать определенные предсказания о результатах новых измерений. Вместо этого для каждого допустимого типа измерений в будущем теория указывает, какие результаты возможны, и в зависимости от того, какая имелась информация о прошлом, она связывает с каждым из этих возможных результатов вероятность (или частоту) получения результата. Квантовая теория вообще ничего не говорит о величинах, которые нельзя наблюдать каким-либо экспериментальным приемом. Физические величины, доступные наблюдению и измерению, называют *наблю-*