

пики и при других взаимодействиях. Таким образом было обнаружено существование целого класса короткоживущих частиц; их назвали резонансами из-за характерного резонансного вида кривых эффективного сечения σ .

Согласно современным представлениям, их можно рассматривать как кратковременную ассоциацию других элементарных частиц, например пионов или пионов и гиперонов. В то же время резонансы имеют достаточно определенные значения энергии, заряда, спина, изотопического спина и по существу отличаются от перечисленных ранее частиц только необычайно малым временем жизни.

Поэтому вынесение их в отдельный класс не означает признания принципиального отличия их от других частиц; это сделано больше для удобства систематизации.

§ 45. ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ

Если отвлечься от очень слабого гравитационного взаимодействия, то элементарные частицы обладают взаимодействиями трех основных классов: сильными взаимодействиями, электромагнитными взаимодействиями и слабыми взаимодействиями. Они сильно отличаются друг от друга величиной вероятности вызываемых ими процессов. Например, при энергиях ≈ 100 Мэв эти вероятности относятся приблизительно как $1 : 10^{-2} : 10^{-14}$; при других энергиях эти цифры могут несколько изменяться.

Сильные взаимодействия — главные взаимодействия между нуклонами, входящими в состав ядра (p, p), (p, n), (n, n). Они в основном определяют устойчивость атомных ядер, расстояние между энергетическими уровнями в ядрах, энергию связи ядер, ядерные силы, выделение энергии при делении урана. К сильным взаимодействиям относятся также взаимодействия нуклонов с пионами и каонами, являющимися квантами ядерного поля и некоторые другие.

Для того чтобы можно было сравнивать силу различных взаимодействий частиц с соответствующим полем, по аналогии с кулоновскими электрическими зарядами вводится понятие *ядерного заряда* — g . Величина g определяется из опытов по рассеянию пионов на нуклонах и в других экспериментах.

Сила взаимодействия единичного заряда с полем определяется безразмерной константой связи, которая для случая ядерного поля равна

$$\frac{g^2}{\hbar c} \approx 15.$$

Иногда данный тип взаимодействия называют «быстрым», поскольку обусловленные им процессы имеют длительность порядка 10^{-23} сек (характерное ядерное время, которое требуется релятивистской частице, чтобы пройти сквозь ядро).

Сильные взаимодействия проявляются на малых расстояниях порядка 10^{-13} см; это расстояние близко к диаметру сильновзаимодействующих частиц. При увеличении расстояния силы экспоненциально убывают. Типичное сечение такого взаимодействия частиц при энергиях, много больших энергий покоя, мало меняется и имеет порядок 10^{-26} см².

Электромагнитные взаимодействия — взаимодействия между электромагнитным полем и заряженными частицами. Эти взаимодействия менее сильные, чем первые; безразмерной константой связи, характеризующей их силу, является так называемая постоянная тонкой структуры α :

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c}.$$

Внутри ядра электромагнитные взаимодействия по своей величине являются малой поправкой к ядерным взаимодействиям. К данному типу относятся взаимодействия между электронами и позитронами, взаимодействия между протонами и электронами, сюда же относится распад: $\pi^0 \rightarrow 2 \gamma$.

Электромагнитные силы убывают обратно пропорционально квадрату расстояния между заряженными телами, а радиус действия их в принципе бесконечен.

Слабые взаимодействия — ответственны за β -распад ядер, за многие распады элементарных частиц, а также за все процессы взаимодействия нейтрино с веществом. Слабыми взаимодействиями объясняются, например, процессы

а) β -распада:

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu;$$

$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu};$$

б) распада заряженных мезонов:

$$\mu^\pm \rightarrow e^\pm + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu;$$

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu.$$

Для этих процессов сила взаимодействия имеет величину порядка 10^{-14} . Слабые взаимодействия представляют собой несколько особый случай в том отношении, что «квантами поля» являются не отдельные частицы (фотоны в электромагнитных взаимодействиях, пионы — в сильных), а пары частиц e^+ , ν_e или e^- , $\tilde{\nu}_e$. Существуют попытки свести их к «обычному типу» на основе гипотезы, что существует особое поле, играющее промежуточную роль. Источниками его могут быть как электроны, так и нуклоны. В таком случае может существовать w -частица, являющаяся квантом этого поля. Она должна обладать большой массой, иметь заряд и единичный угловой момент и участвовать в цепи процессов, например

$n \rightarrow p + w$; $w \rightarrow e^- + \tilde{\nu}$. Однако поиски этой частицы не увенчались успехом.

Эффективные сечения слабых взаимодействий вплоть до энергии порядка 10^{10} эв (в системе центра инерции) растут с энергией.

Многие частицы испытывают все перечисленные виды взаимодействия. Так, например, протон, являясь сильновзаимодействующей частицей, обладает электрическим зарядом и испытывает действие электромагнитных сил. Протон может образоваться при β -распаде нейтрона, хотя этот процесс обусловлен слабым взаимодействием. Следовательно, для протона надо учитывать и слабое взаимодействие.

В той степени, в какой можно пренебрегать слабыми взаимодействиями, нейтрон можно считать элементарным, устойчивым и неделимым. Точно так же в той степени, в которой можно пренебрегать электромагнитными взаимодействиями, протон и нейтрон тождественны. Казалось бы, что элементарным, т. е. наиболее простым частицам должно быть свойственно минимальное число взаимодействий, в которых они могут участвовать. Нейтрино, например, участвует только в слабых взаимодействиях.

Однако сам термин «элементарная частица» потерял свой простой и наглядный смысл применительно к известным частицам материи, и вопрос о критерии «элементарности» до сих пор не решен. Возможно, что ныне известные частицы на самом деле не элементарны, а являются производными от ограниченного числа «истинно» элементарных частиц, а возможно, что каждая частица представляет собой конгломерат всех остальных частиц и концепция элементарности в обычном ее понимании становится неприменимой к миру мельчайших частиц материи. В связи с этим все чаще встречается термин «фундаментальные» частицы.

Во всех рассуждениях здесь опускались гравитационные силы, которые на малых расстояниях примерно в 10^{-36} раз слабее ядерных сил. Можно надеяться, что в будущем теория элементарных частиц включит все виды взаимодействия и установит связь между ними.

§ 46. КЛАССИФИКАЦИЯ ЧАСТИЦ

Из приведенного выше краткого обзора видно, что в настоящее время известно большое количество элементарных частиц, обладающих самыми различными свойствами. Можно ожидать, что попытки классифицировать их по некоторым общим признакам позволят найти общие закономерности, связанные со структурой и поведением частиц, и предсказать еще неоткрытые частицы, как это было сделано Менделеевым в отношении химических элементов.

В приведенной ниже табл. 5 представлены известные элемен-