

туда x^2 мала, однако равенство масс K^0 - и \bar{K}^0 -частиц приводит к резонансному усилению, вследствие чего даже малая амплитуда, постепенно нарастающая, дает большой эффект.

Мы описали сейчас одно из величайших достижений теоретической физики. Оно не основано на элегантных математических трюках, подобных общей теории относительности, тем не менее полученные предсказания так же важны, как, например, предсказание позитрона. Особенно интересным является тот факт, что мы довели принцип суперпозиции до логического конца. Бом и его сотрудники полагали, что принципы квантовой механики не имеют фундаментального характера и в конечном счете не смогут объяснить новые явления. Однако эти принципы работают. Это еще не доказывает, что они верны, но я готов биться об заклад, что принцип суперпозиции будет стоять в веках!

11. СХЕМЫ СИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Пусть даны частицы — гипероны и мезоны, и мы знаем, что они участвуют в сильных взаимодействиях. Следующая задача состоит в том, чтобы установить, какие из них сильно связаны между собой и каким именно способом. Эти связи должны удовлетворять законам сохранения числа нуклонов, заряда, изотопического спина и странности, однако всех этих условий далеко недостаточно для того, чтобы определить связи полностью. В каких связях, например, участвует пион, кроме взаимодействий с нуклонами (8-1) и (8-2)? Есть ли это связь $\Lambda \rightarrow \Sigma, \pi$ и какого типа и интенсивности, и т. д.? И, наконец, какова количественная характеристика связи K -мезона (9-4) в реакциях, таких как $N \leftrightarrow \Sigma, K$ или $\Sigma \leftrightarrow \Xi, K$? Даже спины частиц нам пока неизвестны. Изучение распада $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ определенно указывает на то, что пионы не уносят угловой момент, вследствие чего спин каона, по всей вероятности, равен 0. Но экспериментальные данные о Λ, Σ и Ξ еще не полны, хотя и имеются указания на спин $1/2$ у Λ и Σ . Вероятно, все гипероны имеют спин $1/2$, а мезоны — спин 0.

Модель Ферми—Янга. Как пример из сопма моделей, предложенных для объяснения сильных взаимодействий, я рассмотрю предложение Ферми и Янга.

Допустим, что нейтрон и протон имеют заряд, аналогичный электрическому заряду, но одного и того же знака, что связывает их с векторным мезоном очень большой массы. Тогда $p\bar{p}$ -система должна испытывать силу притяжения с коротким радиусом действия, подобную электрическому притяжению с большим радиусом действия

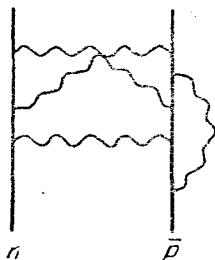


Рис. 11-1.

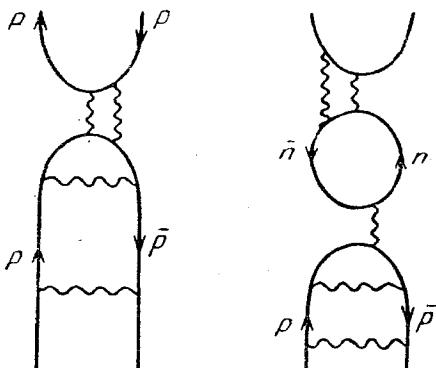


Рис. 11-2.

в системе $e\bar{e}$. Нейтрон n и антипротон \bar{p} имеют суммарную массу 2×938 МэВ, и мы также допустим, что они связаны силами притяжения очень сильно, скажем, с энергией связи около 1600 МэВ. Если силы центральны, то полный момент будет равен 0, четность = -1 и мы получим π^- -мезон, т. е. $[n\bar{p}] = \pi^-$. Аналогично $[\bar{n}p] = \pi^+$. Типичные диаграммы имеют вид, приведенный на рис. 11-1, где волнистой линией изображен обмен векторным мезоном. Мы также ожидаем, что должны существовать связанные системы $p\bar{p}$ и $n\bar{n}$. Какая из них является π^0 -мезоном?

Заметим, что для $p\bar{p}$ - и $n\bar{n}$ -систем возможны дополнительные диаграммы (рис. 11-2), которых нет в $p\bar{p}$ - и $n\bar{n}$ -случаях. Оказывается, что система *), которая

*) Поскольку состояния $p\bar{p}$ и $n\bar{n}$ имеют одинаковые амплитуды аннигиляции, комбинация $(1/\sqrt{2}) ([\bar{p}p] - [\bar{n}n])$ не может анниги-

имеет ту же самую энергию, что и π^+ и π^- , и не аннигилирует, это

$$\frac{1}{\sqrt{2}} ([p\bar{p}] - [n\bar{n}]) = \pi^0.$$

Мы получаем изотопический триплет. Другая комбинация

$$\frac{1}{\sqrt{2}} ([p\bar{p}] + [n\bar{n}]) = \Delta^0$$

может либо не быть связанный, либо иметь другую энергию, возможно, большую, и представлять новый мезон с изотопическим спином $T=0$, который еще не был открыт.

Для того чтобы получить остальные частицы, необходимо ввести по крайней мере еще одну «фундаментальную» частицу, несущую странность. Возьмем для этой цели Λ . Тогда

$$[\Lambda\bar{p}] = K^-, \quad [\bar{\Lambda}p] = K^+, \quad [\Lambda\pi^{+,0,-}] = \Sigma^{+,0,-}, \\ [\Lambda\Lambda\bar{p}] = \Xi^-, \quad [\Lambda\Lambda\bar{n}] = \Xi^0.$$

Странность есть как раз число Λ -гиперонов! Итак, вы видите, что можно представить себе все сильно взаимодействующие частицы составленными из n , p и Λ и получить этим путем сохраняющиеся изотопический спин и странность.

Я раскрою вам мою тайную мысль: невозможно указать, является ли частица «элементарной», или состоит из «элементарных» частиц. Другими словами, все схемы составных частиц будут давать эквивалентные результаты (если мы смогли бы рассчитать их), и нет способа найти различие между ними.

Для системы, состоящей из частиц, массы которых велики по сравнению с полной энергией связи (ядра, атомы), имеет смысл говорить о составной системе и ее составных частях. Но когда энергия связи сравнима с массой свободной частицы, неправильно делать различие между составной и элементарными частицами. Каким образом более ясно сформулировать эту идею и как извлечь из нее практические следствия? Я не знаю.

лировать. При рассмотрении вопроса о том, образует ли она изотопический триплет, следует вспомнить, что \bar{n} есть $[-1/2]$ (в обозначениях § 4).

Детальные схемы сильных взаимодействий, предлагаемые на основе теоретических соображений, носят, как правило, спекулятивный характер. Мы опишем еще две из них. Одна, называемая глобальной симметрией, предложена Гелл-Манном [7]. Она исходит из того, что все гипероны имели бы одинаковую массу и были бы различными состояниями октета (мультиплета с восемью составляющими), если бы не было взаимодействий с K -мезонами. Два новых состояния образуются линейными комбинациями Λ и Σ^0 , именно

$$Y = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Lambda - \Sigma^0) \quad \text{и} \quad Z = \frac{1}{\sqrt{2}}(\Lambda + \Sigma^0).$$

Затем предполагается, что структура и интенсивность пионных взаимодействий не изменятся, если в связях (8-1), (8-2) пионов с n и p пару нуклонов n , p заменить на Y , Σ^+ , или на Σ^- , Z , или на Ξ^- , Ξ^0 . Каонные связи, нарушающие эту симметрию, остаются неопределенными.

Согласно другой идеи письма непосредственно взаимодействуют с вектором изотопического спина и эта связь ответственна за расщепление масс Λ и Σ . Каоны связывают n , p и квартет Λ , Σ , а также Ξ^- , Ξ^0 и квартет Λ , Σ таким образом, что это взаимодействие не расщепляет Λ , Σ -квартет (при этом связи между n , p и Ξ^- , Ξ^0 имеют различные коэффициенты). (В обозначениях Гелл-Манна [7] мы полагаем

$$g_{\Lambda\pi} = 0, g_{N\pi} = 1/2; g_{\Sigma\pi} = g_{S\pi}, g_{\Sigma K} = g_{\Delta K}, h_{\Sigma K} = h_{\Delta K}.)$$

Относительные значения масс в этой схеме хорошо соответствуют наблюдаемым значениям. К сожалению, решающие опыты для проверки этой схемы еще не найдены.

Существует большая экспериментальная программа по исследованию рождения каонов в ядерных соударениях, с помощью фотонов, и изучению взаимодействий этих мезонов с ядрами, и т. д. Но, строго между нами — теоретиками: Что мы будем делать со всеми этими данными? Мы не можем сделать ничего существенного. Перед нами стоит очень сложная задача, и требуется революционная идея, что-то подобное теории Эйнштейна. Возможно, что результаты всех этих опытов приведут к каким-то идиотским неожиданностям и окажется

возможным вычислять все эффекты, исходя из одного простого правила. В этом случае то, что мы делаем сейчас, больше всего похоже на сложные модели, изобретенные в свое время для объяснения водородных спектров, которые, как оказалось позже, удовлетворяют очень простым закономерностям.

И еще одно замечание по поводу сильных связей. Имеется прямое свидетельство того, что Λ -частица сильно взаимодействует с нуклонами. Существуют гиперфрагменты (лучше было бы назвать их гиперядрами), в которых Λ связана с несколькими нуклонами. Например, гиперядро ${}^4\text{He}^4$ было обнаружено как фрагмент, возникавший при захвате ядром K^- -мезона. Это гиперядро состоит из двух протонов, нейтрана и Λ -частицы, связанных вместе. Энергия связи Λ составляет несколько МэВ. Такая система нестабильна, так как слабая реакция (9-1) Λ -частицы создает возможность распада Λ с высвобождением пиона и 37 МэВ энергии (пион может быть виртуальным или быть вновь захвачен, а его энергия покоя перейдет в кинетическую энергию нуклонов в звезде). Изучение подобных гиперядер может дать в конечном счете сведения о силе взаимодействия между Λ и нуклонами. Во всяком случае, оно примерно так же велико, как и нуклон-нуклонное взаимодействие. За дальнейшими подробностями мы отсылаем к обзорной статье Далитца [8].

Дополнительные сведения о сильных связях могут быть извлечены из их сопоставления со слабыми взаимодействиями. Так, например, магнитные моменты и электромагнитные разности масс, так же как и относительные скорости различных процессов слабых распадов, могут дать информацию о структуре сильно взаимодействующих частиц. Однако теоретический анализ всех явлений, связанных с сильными взаимодействиями, чрезвычайно затруднен из-за нашей неспособности проводить количественные расчеты сильных связей.

12. РАСПАДЫ СТРАННЫХ ЧАСТИЦ

Рассмотрим теперь данные по слабым распадам этих частиц. Экспериментальные данные о массах и свойствах распадов всех частиц приведены в таблице 12-1.