

Барийные резонансы (изобары). Барийными резонансами называются образования, распадающиеся на барийоны и мезоны. К ним относится первый открытый Ферми нуклонный резонанс с $M=1238$ Мэв (рис. 96). Эти резонансы называют также нуклонными изобарами.

В нуклонных изобарах впервые были обнаружены частицы с большим значением спина, такие, как $N_{3/2}^*$ ($1920 m_e$ со спином $I=7/2$).

Для резонансов характерно то, что они не только образуются, но и распадаются в результате сильных взаимодействий. Резонансы имеют определенные значения энергии, заряда, спина, изотопического спина.

§ 50. ПОПЫТКИ СИСТЕМАТИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

С учетом резонансов элементарных частиц насчитывается уже более 120, и, как уже говорилось, сама «элементарность» многих из них давно поставлена под сомнение. Весьма заманчиво представить хотя бы некоторые из множества открытых за последние годы частиц в качестве связанных или возбужденных состояний других частиц. Всеобщая взаимосвязанность и взаимопревращаемость элементарных частиц очень затрудняет решение вопроса о том, какие из известных частиц «самые элементарные» и какие «состоят из них». Из всеобщей взаимопревращаемости частиц следует, что каждая элементарная частица в какой-то мере состоит из всех остальных, т. е. все они в сущности состоят из чего-то единого, самого фундаментального.

В настоящее время имеется несколько попыток установить закономерности (симметрии) в свойствах частиц, позволяющие объединить большое количество различных частиц в небольшое число групп (мультиплетов), в пределах которых частицы в определенных отношениях близки по своим свойствам.

Особенно успешным оказалось введение так называемой унитарной симметрии, являющейся обобщением изотопической инвариантности. В этой систематике сильнодействующие частицы объединяются в «супермультиплеты» по 8 или 10 частиц с одинаковыми спинами, барийными зарядами и четностью, но разными значениями масс, электрического заряда, изотопического спина и странности. Часто эту схему классификации называют «восьмеричным путем».

Смысл унитарной симметрии состоит в том, что в той мере, в какой можно пренебречь различием масс частиц, составляющих супермультиплет, эти частицы ведут себя подобным образом в процессах сильных взаимодействий.

Примером супермультиплета может служить барийный октет, составленный из нуклонов и гиперонов (рис. 97).

Рассматривая такой октет, можно предположить, что стабильными основными частицами класса барионов являются нуклоны¹, а гипероны являются возбужденными состояниями нуклонов. При этом видно, что величина странности может характеризовать сте-

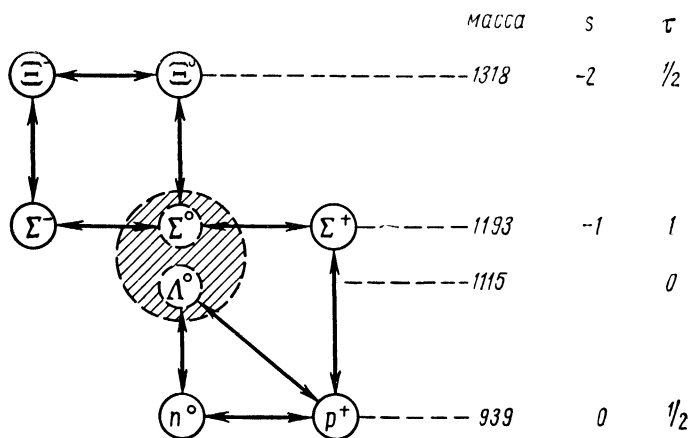


Рис 97 Супермультиплет — барионный октет из нуклонов и гиперонов

пень возбуждения нуклонов. Для основного состояния (p, n) $S=0$. Первое возбужденное состояние ($\Sigma^{+,0}, \Lambda^0$) характеризуется значением $S=-1$, второе — (Ξ^0, Ξ^-) $S=-2$.

Если допустить, что между частицами непрерывно идут реакции взаимного обмена и выполняется закон сохранения странности, то согласно изложенному выше представлению переходы происходят только между одинаковыми уровнями возбуждения. Это так называемые сильные, наиболее вероятные процессы. Если же $\Delta S=1$, то это означает, что такие переходы осуществляются между соседними уровнями возбуждения, и вероятность их намного (более чем на 10) порядков меньше. Условие $\Delta S=2$ характеризует переходы, происходящие между далекими уровнями, имеющие вероятность, близкую к нулю.

Очерченная картина очень похожа на изомерные состояния ядра, когда вероятность γ -излучения резко уменьшается с увеличением уносимого момента количества движения

$$W = \left(\frac{R}{\lambda} \right)^{2\Delta I},$$

где R — радиус ядра, λ — длина волны γ -излучения (см. § 17).

¹ Нейтрон можно считать стабильным, так как слабые взаимодействия, которыми обусловлен его распад, не учитываются в этой схеме.

По аналогии можно написать для вероятности перехода с изменением странности

$$W = \left(\frac{r_0}{\lambda} \right)^{n\Delta S},$$

где r_0 — некоторый постоянный параметр, имеющий размерность длины, который в дальнейшем подлежит определению, λ — длина волны де Бройля для участвующих частиц, n — некоторая постоянная величина. Если $\lambda \approx r_0$, то вероятность перехода не будет зависеть от величины ΔS (безразлично, в какую степень возводить единицу), и, следовательно, процессы, идущие с нарушением странности, будут идти с такой же вероятностью, как процессы с сохранением странности. Характерная для слабых взаимодействий длина r_0 может быть связана с «зарядом», определяющим интенсивность слабых взаимодействий. Это дает оценку $r_0 \approx 6 \cdot 10^{-17}$ см. Таким образом, если основываться на изложенных гипотетических соображениях, то можно ожидать, что вероятность процессов не будет зависеть от ΔS для частиц с $\lambda \sim 6 \cdot 10^{-17}$ см. Для этого энергия в системе центра инерции соударяющихся частиц должна составлять

$$E = pc = \frac{\hbar c}{\lambda} = \frac{10^{-27} \cdot 3 \cdot 10^{10}}{6 \cdot 10^{-17} \cdot 1,6 \cdot 10^{-12}} \approx 3 \cdot 10^{11} \text{ эв} = 300 \text{ Гэв}.$$

Возможно, что при таких энергиях слабовзаимодействующих частиц можно будет наблюдать какие-то новые явления.

Интересно отметить, что на основе восьмеричной системы Гелл-Манн предсказал существование новой частицы — гиперона, с массой, большей массы протона и странностью, равной -3 . Эту частицу он назвал омега-минус-гипероном (Ω^-). Ожидалось, что Ω^- -частица будет принадлежать к классу барионов, ее электрический заряд $Q = -1$, а изотопический спин $\tau = 0$.

Какими должны быть ее прочие физические свойства? Поскольку распад странных частиц всегда идет с вероятностью того же порядка, что у слабых взаимодействий, то время ее жизни будет иметь порядок $10^{-9} \div 10^{-10}$ сек. Распад ее может идти по схеме

$$\Omega^- \rightarrow \Xi^- + \pi^0;$$

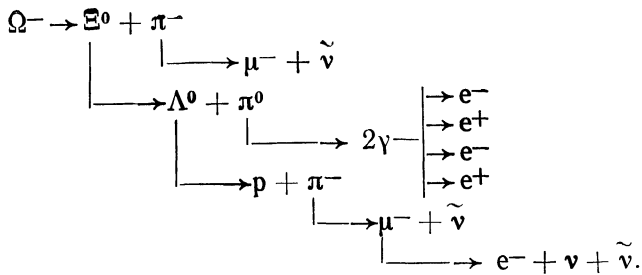
$$S = -3 \neq -2 + 0; \quad \Delta S = 1.$$

Или

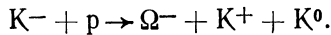
$$\Omega^- = \Xi^0 + \pi^-;$$

$$S = -3 \neq -2 + 0; \quad \Delta S = 1.$$

Таким образом, Ω^- можно обнаружить, зная, как пойдет распад следующих частиц (по кинематическому анализу реакций):



Открытие Ω^- -частицы в 1964 г. в соответствии с высказанной гипотезой явилось крупным успехом теоретической и экспериментальной физики. Эксперимент был проведен в Брукхевенской лаборатории. Протоны, ускоренные на синхротроне до энергий 30 Гэв, использовались для получения пучка отрицательных K^- -мезонов. Тщательно отфильтрованный пучок K^- -мезонов направлялся в пузырьковую камеру, наполненную водородом, которая помещалась в сильное магнитное поле. Фотографировались результаты взаимодействия K^- с протонами. Было исследовано свыше 100 000 фотографий, две из которых позволили установить рождение Ω^- -частицы; при этом реакция шла по схеме



На рис. 98 воспроизведены траектории частиц, участвующих в этой реакции. K^- движется снизу и, взаимодействуя с протоном, порождает частицы Ω^- , K^+ и K^0 . На рисунке траектории нейтральных частиц, невидимые при фотографировании, обозначены пунктиром. В течение 10^{-11} сек Ω^- распадается на Ξ^0 и π^- . Далее Ξ^0 распадается на Λ^0 и π^0 , которые тоже не образуют видимых треков. Мезон практически мгновенно распадается на 2 γ -кванта (γ_1 и γ_2), которые порождают электронные пары, образующие треки с кривизной противоположного знака. В свою очередь, Λ^0 распадается на p и π^- . Анализ длины и кривизны треков позволяет оценить импульс всех участвующих в реакции частиц. В конечном счете подсчитывается и масса Ω^- -частицы. Она оказалась равной 1672 Мэв, что удивительно хорошо согласуется с результатами теоретических расчетов.

В 1965 г. Гелл-Манн и Цвейг высказали предположение о существовании трех фундаментальных частиц, из которых могут быть образованы все частицы, входящие в мезонные и барионные мультиплеты. Эти частицы были названы ими «кварками». Интересно, что кваркам следует приписать дробные квантовые числа, в частности электрический заряд кратный $1/3$ заряда электрона и барионный заряд, равный $1/3$. В таком случае барионы состоят из трех кварков (два кварка и антикварк), а мезоны — из двух (кварк и антикварк). Основанием для такого предположения служило то,

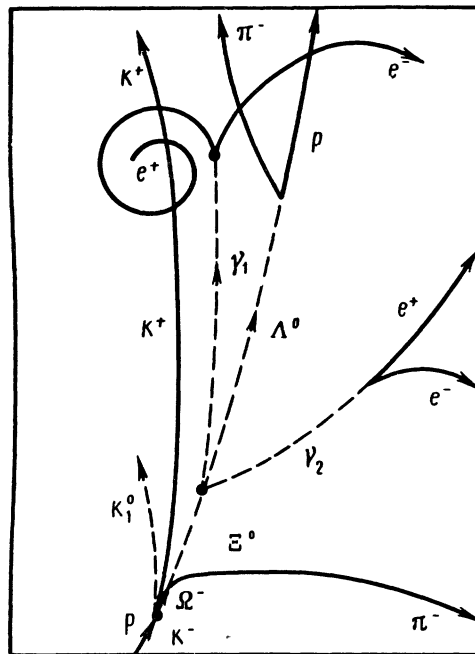
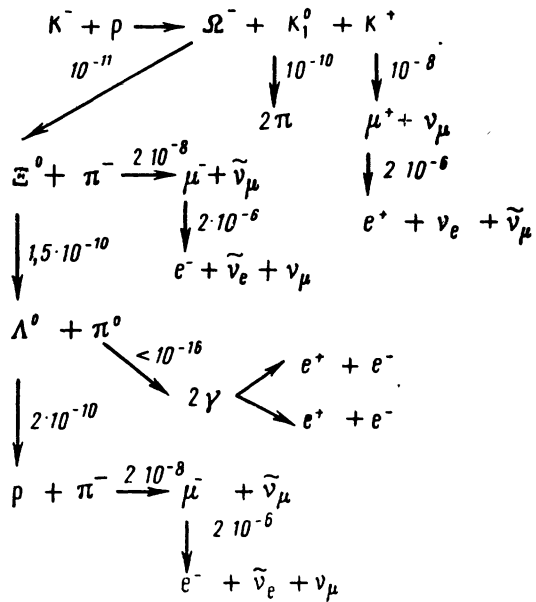


Рис. 98. Схема ядерных реакций и траектории частиц при обнаружении Ω^- -гиперона

что систематика всех возможных состояний таких комплексов точно соответствует систематике частиц в унитарной симметрии.

Тщательные поиски частиц с дробным электрическим зарядом пока не дали положительных результатов. Можно утверждать, что с массой, меньшей 3 Гэв , их не существует. Таким образом, либо подобные «самые элементарные» частицы очень тяжелы и поэтому при построении из них других элементарных частиц должна излучаться гигантская энергия, равная дефекту масс, либо кварков как отдельных частиц вообще не существует. В этом случае описание барионов и мезонов как комплексов из кварков является просто удобным математическим приемом.

Деление элементарных частиц на группы (лептоны, мезоны, и барионы) и приписывание им тех или иных квантовых чисел производится на основе экспериментальных данных. Теория пока не в состоянии объяснить причины такого разделения или предсказать значения квантовых чисел, масс и времен жизни элементарных частиц. Точно так же теория не может объяснить возникновение разных классов взаимодействий и отличие их свойств. Однако, используя эмпирически найденные характеристики, квантовой теории поля [11] в известной мере удается описать процессы взаимодействия элементарных частиц, акты их рождения и уничтожения.

§ 51. ГИПЕРФРАГМЕНТЫ (ИЛИ Λ° -ЯДРА)

Гипероны обладают сильным взаимодействием и единичным барионным числом и поэтому могут замещать нуклон в ядре. Нестабильные ядра, в состав которых, кроме протонов и нейтронов, входит Λ° -гиперон, впервые были открыты польским физиком Данышем и получили название гиперфрагментов.

Так как Λ° -гиперон и нуклон не могут в результате сильных взаимодействий превратиться в два нуклона (благодаря закону $\Delta S = 0$), то такое образование может существовать пока Λ° частица не распадется: гиперфрагменты распадаются с временами, характерными для процессов с $\Delta S = 1$ и для слабых взаимодействий, т. е. ($10^{-9} - 10^{-10}$) сек.

Рассмотрим несколько примеров.

А. He_2^3 состоит из двух протонов и одного нейтрона. Гиперфрагмент ядра легкого изотопа гелия или ΔHe^3 состоит из 2р и Λ° . Здесь Λ° входит в ядро вместо п.

Б. В природе нет ядра He_2^5 . Современная физика объясняет это тем, что согласно принципу Паули в одном состоянии не может находиться более одного нейтрона. Система из двух протонов и двух нейтронов образует устойчивое ядро. В этом случае оболочка замкнута, ядерные силы достигают насыщения и пятый нуклон, который должен находиться на внешнем уровне, не сможет удер-

¹ Гиперфрагменты обозначаются — ΔX^A .