

ны, К-мезоны), очарованных и прелестных частиц. Этому разделению отвечает наличие у адронов особых квантовых чисел: странности  $S$ , очарования  $C$  и прелести (красоты)  $b$  с допустимыми значениями (по модулю) 0, 1, 2, 3. Для обычных частиц  $S=C=b=0$ , для странных частиц  $S \neq 0$ ,  $C=b=0$ , для очарованных частиц  $C \neq 0$ ,  $b=0$ , а для прелестных  $b \neq 0$ . Наряду с этими квантовыми числами часто используется также квантовое число *гиперзаряд*  $Y = B + S + C + b$ , имеющее, по-видимому, более фундам. значение.

Уже первые исследования обычных адронов выявили наличие среди них семейств частиц, близких по массе и с очень сходными свойствами по отношению к сильному взаимодействию, но с разл. значениями электрич. заряда. Протон и нейтрон (нуклоны) были первым примером такого семейства. Такие семейства позже были обнаружены среди странных, очарованных и прелестных адронов. Общность свойств частиц, входящих в такие семейства, является отражением существования у них одинакового значения квантового числа — *изотопического спина*  $I$ , принимающего, как и обычный спин, целые и полуцелые значения. Сами семейства обычно наз. *изотопическими мультиплетами*. Число частиц в мультиплете  $n$  связано с  $I$  соотношением  $n = 2I + 1$ . Частицы одного изотопич. мультиплета отличаются друг от друга значением «проекция» изотопич. спина  $I_3$ , и соответствующие значения  $Q$  даются выражением

$$Q = I_3 + \frac{1}{2} Y.$$

Важная характеристика адронов — *внутренняя чётность*  $P$ , связанная с операцией пространств. инверсии:  $P$  принимает значения  $\pm 1$ .

Для всех Э. ч. с ненулевыми значениями хотя бы одного из квантовых чисел  $Q$ ,  $L$ ,  $B$ ,  $S$ ,  $C$ ,  $b$  существуют античастицы с теми же значениями массы  $m$ , времени жизни  $\tau$ , спина  $J$  и для адронов изотопич. спина  $I$ , но с противоположными знаками указанных квантовых чисел, а для барионов с противоположным знаком внутр. чётности  $P$ . Частицы, не имеющие античастиц, наз. *истинно нейтральными частицами*. Истинно нейтральные адроны обладают спец. квантовым числом — *зарядовой чётностью* (т. е. чётностью по отношению к операции зарядового сопряжения)  $C$  со значениями  $\pm 1$ ; примерами таких частиц могут служить  $\pi^0$ - и  $\eta$ -мезоны ( $C = +1$ ),  $\rho^0$ - и  $\phi$ -мезоны ( $C = -1$ ) и др.

Квантовые числа Э. ч. разделяются на точные (т. е. такие, к-рые связаны с физ. величинами, сохраняющимися во всех процессах) и неточные (для к-рых соответствующие физ. величины в ряде процессов не сохраняются). Спин  $J$  связан со строгим законом сохранения момента количества движения и потому является точным квантовым числом. Другое точное квантовое число — электрич. заряд  $Q$ . В пределах точности проведенных измерений сохраняются также квантовые числа  $B$  и  $L$ , хотя для этого не существует серьёзных теоретич. предпосылок. Более того, наблюдаемая *барионная асимметрия Вселенной* наиб. естественно может быть истолкована в предположении нарушения сохранения барионного числа  $\bar{B}$  (А. Д. Сахаров, 1967). Тем не менее наблюдаемая стабильность протона есть отражение высокой степени точности сохранения  $B$  и  $L$  (нет, напр., распада  $p \rightarrow e^+ + \pi^0$ ). Не наблюдаются также распады  $\mu^- \rightarrow e^- + \gamma$ ,  $\tau^- \rightarrow \mu^- + \gamma$  и т. д. Однако большинство квантовых чисел адронов неточные. Изотопич. спин, сохраняясь в сильном взаимодействии, не сохраняется в эл.-магн. и слабом взаимодействиях. Странность, очарование и прелесть сохраняются в сильном и эл.-магн. взаимодействиях, но не сохраняются в слабом взаимодействии. Слабое взаимодействие изменяет также внутр. и зарядовую чётности совокупности частиц, участвующих в процессе. С гораздо большей степенью точности сохраняется комбинированная чётность  $CP$  (*CP-чётность*), однако и она нарушается в нек-рых процессах, обусловленных слабым взаимодействием. Причины, вызывающие несохранение мн. квантовых чисел адронов, не ясны и, по-видимому, связаны как с природой этих квантовых

чисел, так и с глубинной структурой эл.-слабого взаимодействия.

В табл. 1 приведены наиб. хорошо изученные Э. ч. из групп лептонов и адронов и их квантовые числа. В спец. группу выделены калибровочные бозоны. Раздельно даны частицы и античастицы (изменение  $P$  у антибарионов не указано). Истинно нейтральные частицы помещены в центре первой колонки. Члены одного изотопич. мультиплета расположены в одной строке, иногда с небольшим смещением (в тех случаях, когда даются характеристики каждого члена мультиплета).

Как уже отмечалось, группа лептонов весьма немногочисленна, а массы частиц в осн. малы. Для масс всех типов нейтрино существуют довольно жёсткие ограничения сверху, но каковы их истинные значения, предстоит ещё выяснить.

Осн. часть Э. ч. составляют адроны. Увеличение числа известных Э. ч. в 60—70-х гг. происходило исключительно за счёт расширения данной группы. Адроны в своём большинстве представлены резонансами. Обращает на себя внимание тенденция к росту спина по мере роста массы резонансов; она хорошо прослеживается на разл. группах мезонов и барионов с заданными  $I$ ,  $S$  и  $C$ . Следует также отметить, что странные частицы несколько массивнее обычных частиц, очарованные частицы массивнее странных, а прелестные частицы массивнее очарованных.

#### Классификация элементарных частиц. Кварковая модель адронов

Если классификация калибровочных бозонов и лептонов не вызывает особых проблем, то большое число адронов уже в нач. 50-х гг. явилось основанием для поиска закономерностей в распределении масс и квантовых чисел барионов и мезонов, к-рые могли бы составить основу их классификации. Выделение изотопич. мультиплетов адронов было первым шагом на этом пути. С матем. точки зрения группировка адронов в изотопич. мультиплеты отражает наличие у сильного взаимодействия симметрии, связанной с *вращения группой*, более формально, с унитарной группой  $SU(2)$  — группой преобразований в комплексном двумерном пространстве [см. *Симметрия  $SU(2)$* ]. Предполагается, что эти преобразования действуют в нек-ром специфич. внутр. пространстве — т. н. изотопич. пространстве, отличном от обычного. Существование изотопич. пространства проявляется только в наблюдаемых свойствах симметрии. На матем. языке изотопич. мультиплеты суть неприводимые *представления группы симметрии  $SU(2)$* .

Концепция симметрии как фактора, определяющего существование разл. групп и семейств Э. ч. в совр. теории, является доминирующей при классификации адронов и других Э. ч. Предполагается, что внутр. квантовые числа Э. ч., позволяющие объединять те или иные группы частиц, связаны со спец. типами симметрий, возникающими за счёт свободы преобразований в особых внутр. пространствах. Отсюда и происходит назв. «внутренние квантовые числа».

Внимательное рассмотрение показывает, что странные и обычные адроны в совокупности образуют более широкие объединения частиц с близкими свойствами, чем изотопич. мультиплеты. Их принято называть *супермультиплетами*. Число частиц, входящих в наблюдаемые супермультиплеты, равно 8 и 10. С точки зрения симметрии возникновение супермультиплетов истолковывается как проявление существования у сильного взаимодействия группы симметрии более широкой, чем группа  $SU(2)$ , а именно унитарной группы  $SU(3)$  — группы преобразований в трёхмерном комплексном пространстве [Гелл-Ман, Ю. Неэман (Y. Neeman), 1961]; см. *Симметрия  $SU(3)$* . Соответствующая симметрия получила назв. унитарной симметрии. Группа  $SU(3)$  имеет, в частности, неприводимые представления с числом компонент 8 и 10, к-рые можно сопоставить наблюдаемым супермультиплетам: октету и декуплету. Примерами супермультиплетов могут