

протон в координатах центра инерции (подвижная система отсчета, в которой пион и протон движутся друг другу навстречу с равными по величине импульсами: суммарный их импульс равен нулю, центр инерции — неподвижен). На оси ординат откладывается поперечное сечение (см. § 60) пион-протонного взаимодействия. Обе кривые, как для системы $\pi^+ - p$, так и для $\pi^- - p$, дают ряд максимумов, которые трактуются следующим образом.

Когда энергия системы достигает нужного, «резонансного», значения, образуется новая частица, которая затем весьма быстро распадается, внося свой вклад в наблюдаемое рассеяние. Из сказанного ясно, почему эти новые частицы были названы **р е з о н а н с а м и**. На графике у максимумов кривых обозначены массы (в *Мэв*) и спины соответствующих резонансов.

В настоящее время известны десятки мезонных и барионных резонансов. Некоторые из них, в отличие от всех ранее описанных нами частиц, обладают двойным электрическим (положительным и отрицательным) зарядом. В конце таблиц мезонов и барионов мы привели сведения о небольшом числе мезонных и барионных резонансов.

§ 74. Классификация микрочастиц

При изобилии ныне известных микрочастиц невозможно описать их свойства и превращения без какой-либо их систематизации. Конечно, наилучшей была бы систематизация, построенная на основе строгой теории. Но теории микрочастиц нет, это дело будущего, причем невозможно сказать, сколь отдаленного. Однако и феноменологическая систематика полезна, и не только ради сегодняшнего удобства, но и для будущей теории: вспомним роль таблицы Менделеева в развитии современной квантовой механики.

Приведем те величины, с помощью которых ныне систематизируют микрочастицы.

1. **М а с с о в о е и л и б а р и о н н о е ч и с л о A** — характеризует наличие у частицы барионного заряда. У всех барионов, приведенных в нашей таблице, это число равно единице. У всех антибарионов $A = -1$. Кратными значениями барионного числа обладают сложные частицы (и, может быть, какие-нибудь еще не открытые резонансы?), например, для ядра или атома кислорода O_8^{16} имеем: $A = 16$. У всех мезонов и лептонов барионное число равно нулю.

2. **Э л е к т р и ч е с к и й з а р я д Q** . Речь идет о заряде не как динамической величине, а как о величине маркировочной (может быть, лучше было бы говорить «электрическое число»), представляет собой число единиц электрического заряда (в единицах положительного заряда протона), присущего частице.

3. **Изотопический спин I .** Среди частиц естественным образом выделяются небольшие группы частиц, обладающих близкими массами и схожими свойствами. Каждой такой группе частиц присваивают обычно общее наименование. Число частиц в группе, или ее мультиплетность, может быть различным. Так, нуклоны образуют дублет (нейтрон, протон), Σ -гипероны — триплет (Σ^- , Σ^0 , Σ^{+*}), Ω^- -гиперон — синглет и т. д. Как и в случае нуклона, можно считать, что речь идет об одной и той же частице, которая может находиться в разных квантовых состояниях.

Вспомним теперь, что при прочих равных условиях частица со спином, характеризуемым спиновым квантовым числом σ , может находиться в $2\sigma+1$ различных состояниях (см. § 50, формулу (50.16)). Мультиплетность группы частиц характеризуется при помощи изотопического спина I точно таким же образом. Поскольку речь идет о группах частиц близких масс, очевидно, что термин «изотопический спин» неудачен. Следовало бы говорить «изобариический спин». Мы будем говорить кратко «изоспин», скрадывая тем самым терминологическую неувязку.

Следует помнить, что изоспин характеризует только мультиплетность группы и никакого отношения к реальному спину не имеет.

4. **Гиперзаряд Y и странность S .** Удвоенный средний электрический заряд мультиплета называется его гиперзарядом ($Y=2\bar{Q}$). Для нуклонного дублета средний электрический заряд $\bar{Q} = \frac{1}{2}(Q_{\text{прот}} + Q_{\text{нейтр}}) = 1/2$. Следовательно, каждой из частиц этого дублета, как протону, так и нейтрону, приписывается гиперзаряд $Y=2 \cdot \frac{1}{2} = 1$. Σ -гипероны обладают гиперзарядом, равным нулю, ибо для их триплета $\bar{Q} = \frac{1}{3}(Q_{\Sigma^-} + Q_{\Sigma^0} + Q_{\Sigma^+}) = 0$. Странность S равна разности гиперзаряда и барионного числа: $S=Y-A$. В качестве маркировочных эти три величины (\bar{Q} , Y и S) эквивалентны: при данном A задание любой из них однозначно определяет значение двух других. Мы будем пользоваться гиперзарядом.

5. **Спин J .** Характеризует хорошо известную нам величину — спиновый момент импульса (в прежних наших обозначениях — σ).

6. **Четность P .** Внутреннее свойство частицы, связанное с ее симметрией по отношению к правому и левому. Здесь необходимы добавочные пояснения.

*) Как уже отмечалось, Σ^- и Σ^+ не есть частица и античастица: у обеих одноименный барионный заряд. У них разные массы покоя, Антисигма-минус-гиперон ($\bar{\Sigma}^-$) впервые был получен в Дубне в 1962 г.

Известно, что правая система отсчета переходит в левую при зеркальном отражении. Из рис. 3.40, а видно, что зеркальное отражение меняет направление одной из осей. Рис. 3.40, б поясняет, что превращение правой системы в левую при зеркальном отражении не зависит от выбранной ориентации осей системы отсчета

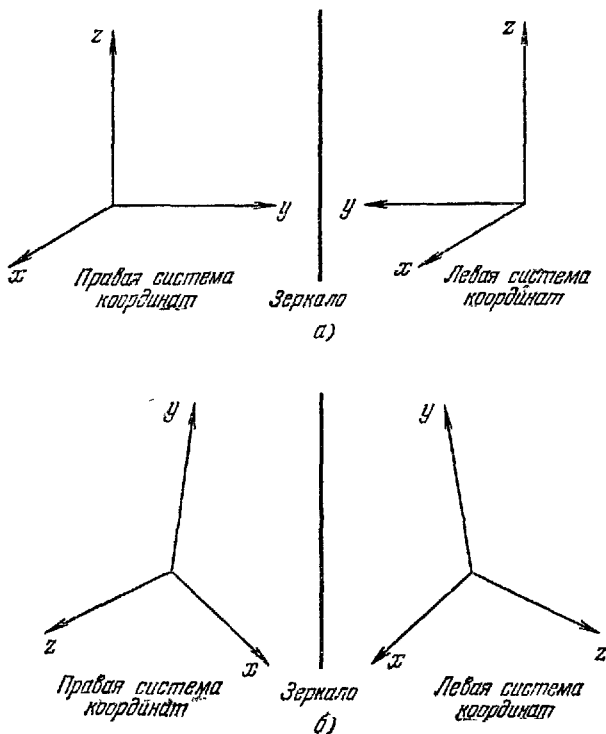


Рис. 3.40.

по отношению к зеркалу. Тот же результат имеет место при инверсии (изменении направления) не одной, а всех трех координатных осей — нечетном числе отражений. Подчеркнем, что переход от правой системы к левой (и обратный) или нечетное число инверсий не могут быть заменены непрерывными преобразованиями координат — поворотами. Не существует поворотов, с помощью которых могли бы быть совмещены правая и левая системы координат.

Возникает вопрос, существует ли физическое различие между правым и левым? Хотя у подавляющего большинства людей сердце находится слева, улитки данного вида

закручены, как правило, по одному винту; встречаются «зеркальные» экземпляры (сердце справа), отнюдь не являющиеся уродами. Химикам известно, что можно получить сложные молекулы одинакового атомарного состава, отличающиеся тем, что одни являются правыми, другие левыми, как бы зеркально отраженными. Поэтому до недавнего времени физики полагали, что различия между правым и левым нет. Поясним, в чем могло бы заключаться такое различие, простым примером.

На рис. 3.41, *а* изображена частица со спином («вращающаяся частица») *А*, испускающая частицу *В* в направлении

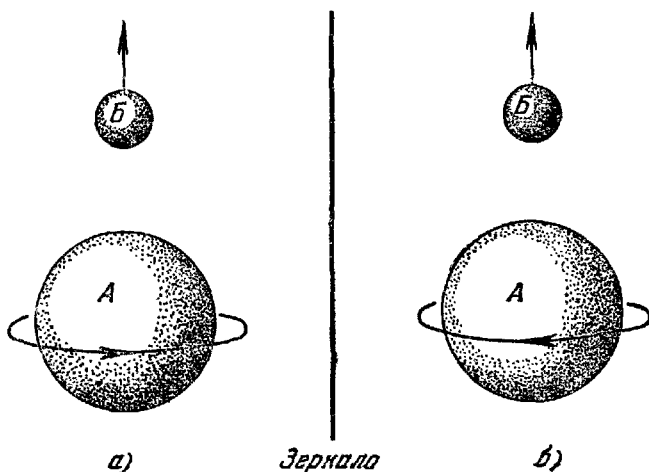


Рис. 3.41.

своего спина. На нашем рисунке спин показан горизонтальной стрелкой, указывающей направление вращения*). Рис. 3.41, *б* показывает, что «зеркальный» процесс состоит в выбрасывании частицей *А* частицы *В* против направления своего спина.

Если в природе нет различия между правым и левым, то оба случая распада должны наблюдаться одинаково часто.

Впервые в равноценности правого и левого усомнились Янг и Ли. Их предположение проверила Ву, показавшая, что при β^- -распаде ядер Co_{27}^{60} электроны выбрасываются преимущественно

*) Обычное изображение спина с помощью стрелки, направленной по оси вращения, здесь подвело бы нас: при инверсиях «полярные» векторы (радиус-вектор, вектор скорости и др.) и «аксиальные» (векторные произведения, в том числе моменты) ведут себя по-разному.

против спина ядра. В 1957 г. Янг и Ли за свои работы по четности были удостоены Нобелевской премии.

Формально четность описывается так. Если при инверсии пространственных осей волновая функция частицы не меняет знака, то четность ее положительна ($P=+1$). Если при инверсии пространственных осей волновая функция меняет знак, то четность частицы отрицательна ($P=-1$).

До последнего времени обозначения и наименования, которые присваивались вновь открываемым частицам, были случайны. Недавно было предложено унифицировать обозначения микро-частиц с помощью описанных выше квантовых чисел.

Все барионные мультиплеты, характеризуемые одинаковыми значениями барионного числа A , изоспина I и гиперзаряда Y , обозначаются одной и той же прописной греческой буквой. То же относится к мезонным мультиплетам, с той лишь разницей, что они обозначаются строчными греческими буквами.

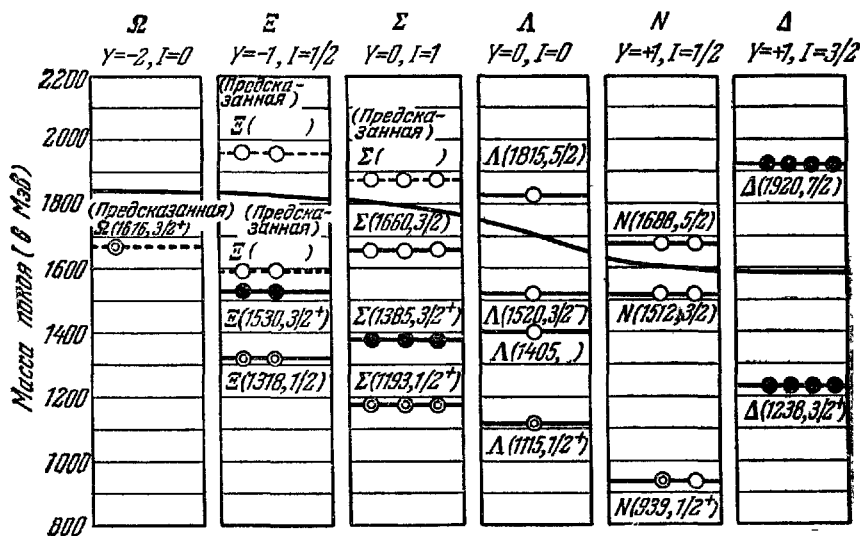


Рис. 3.42.

Для того чтобы различать мультиплеты, обозначенные одинаково, к индексу мультиплета приписывают в скобках среднее значение собственной энергии частиц, входящих в мультиплет (в Мэв), значение спина I и индекс, показывающий четность: «+», если $P=+1$, и «-», если $P=-1$. Например, $N(939, 1/2^+)$ — основной нуклонный дублет, средняя масса 939 Мэв, спин $1/2\hbar$, четность положительная. Группы частиц, которые обла-

дают спином, превышающим спин «основного» состояния на $2\hbar$, $4\hbar$, $6\hbar$ и т. д., называются «рекурренциями» этого основного состояния.

Так, например, группа частиц с $A=1$, $Y=1$ и $I=1/2$ состоит из $N(939, 1/2^+)$ (наши старые знакомые: нейтрон и протон) и двух резонансов $N(1512, 3/2^-)$ и $N(1688, 5/2^+)$, причем последний дублет есть рекуррентия основного нуклонного дублета. На рис. 3.42 показаны известные ныне барионные мультиплеты и их рекуррентии. У всех этих частиц барионное число равно единице и поэтому на рисунке не отмечено. Электрический заряд отмечен местом в столбце: в центре столбца — электрически нейтральные

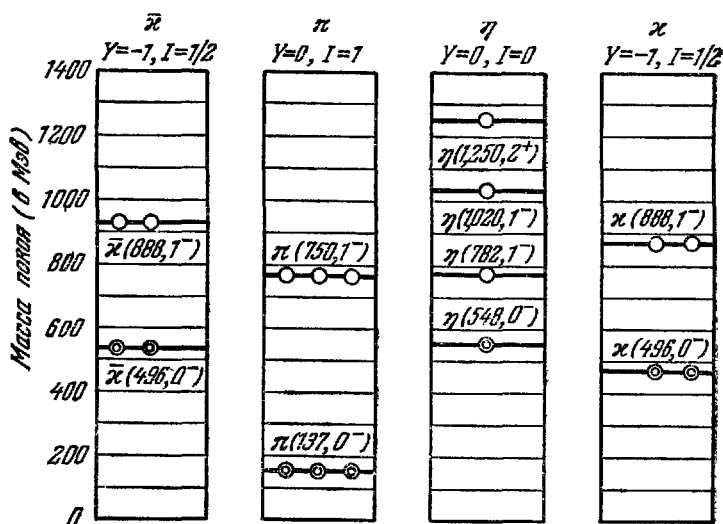


Рис. 3.43.

частицы, слева — несущие отрицательный заряд, справа — положительный электрический заряд; у мультиплетов дельта (Δ) крайняя справа частица несет удвоенный положительный электрический заряд. Частицы, расположенные выше жирной черты, представляют собой рекуррентии нижележащих состояний.

Аналогичным образом построены графики мезонных мультиплетов (рис. 3.43). Дублет антикаппа (\bar{K} ; старое наименование: антика, \bar{K}) введен в силу того, что \bar{K}^0 не тождественно с K^0 . По формальным причинам, на которых мы не будем останавливаться, оба пиона, π^- и π^+ , включены в один триплет, хотя π^+ и π^- связаны отношением частица — античастица.

Приведенная классификация основана на идее, что все перечисленные частицы составные, одноименные мультиплеты состоят из частиц одинаковой структуры, рекуррентности есть возбужденные состояния этих структур. Каковы же эти структуры?

Луи де Бройль пытался представить фотон как электрон + позитрон. Д. Д. Иваненко и А. А. Соколов пытались построить фотон из нейтрино и антинейтрино. Ферми и Янг предложили модель пиона, построенного из нуклона и антинуклона. К концу пятидесятих годов было предложено несколько составных моделей для сильно взаимодействующих частиц. Так, в модели Гольдгабера все сильно взаимодействующие частицы построены из протона, Λ -гиперона и K -мезонов (и, конечно, их античастиц). В модели Сакаты структурными элементами являются протон, нейтрон, Λ -гиперон и их античастицы. Так, например, пион π^+ состоит из протона (p) и антинейтрона (\bar{n}), каон K^+ — из протона (p) и анти- Λ -гиперона ($\bar{\Lambda}$), Σ^+ — из p_0 , \bar{n} и Λ , Ξ^- — из \bar{p} , Λ и Λ , а Ξ^0 — из \bar{n} , Λ и Λ .

Однако в последние годы идея о том, что все сильно взаимодействующие частицы состоят из нескольких частиц того же «сорта», становится все менее популярной. В соответствии со сказанным на стр. 469 масса структурных элементов микрочастицы должна быть много больше массы самой частицы. Именно таковы гипотетические «кварки». В модели трех кварков этим частицам приходится приписывать дробные электрические заряды, равные $1/3$ и $2/3$ от $\pm e$ (тоже для гиперзарядов). В модели четырех кварков можно сохранить целочисленные заряды. Обнаружить кварки не удается (пока?).

Независимо вначале развивались формальные модели симметрий: подобно тому как нейтрон и протон описываются как дублет состояний одной и той же частицы — нуклона, вводятся сложные мультиплеты. В активе этого направления — предсказание открытого вслед за тем Ω^- -гиперона.

К сожалению, развиваемые ныне модели ограничиваются рамками только сильно взаимодействующих частиц. Однако многие тяжелые частицы распадаются в результате слабых взаимодействий, и среди продуктов их распада имеются лептоны. Это указывает на то, что такое выделение сильно взаимодействующих частиц — временное явление.

Сейчас трудно сказать, что из дискутируемого ныне оставит свой след в теории микрочастиц. Эти обстоятельства и приводят нас к решению кончить на сказанном.