

Приписав электрону $L = +1$, мы должны в соответствии со схемой распада (89.5) отрицательному мюону также приписать $L = +1$, т. е. считать μ^- частицей, а положительный мюон рассматривать как античастицу и приписывать ему значение $L = -1$. Рекомендуем проверить, что в процессах распада π -мезонов [см. (89.3) и (89.4)] также сохраняется лептонный заряд.

§ 98. Изотопический спин

Протон и нейтрон обнаруживают гораздо больше сходства, чем различий. Действительно, спин обеих частиц одинаков, массы очень близки, в сильном взаимодействии они участвуют равным образом (см. в § 89 о зарядовой независимости ядерных сил). Это дает основание рассматривать протон и нейтрон как два различных состояния одной и той же частицы — нуклона. Если «выключить» электромагнитное взаимодействие, то оба эти состояния полностью совпадут (небольшое различие масс протона и нейтрона обусловлено электромагнитным взаимодействием).

Заметим, что «выключение» спин-орбитального взаимодействия (т. е. взаимодействия между спиновыми и орбитальными моментами электронов) привело бы к совпадению уровней ${}^2P_{1/2}$ и ${}^2P_{3/2}$, образующих вместе дублет (см. рис. 204). Эта аналогия послужила основанием для того, чтобы назвать протон и нейтрон зарядовым мультиплетом (дублетом). Другие частицы также объединяются в зарядовые мультиплеты. Так, например, Λ^0 -гиперон образует синглет (см. табл. 9), а π -мезоны — триплет (при выключении электромагнитного взаимодействия все три π -мезона становятся неразличимыми).

Каждому спектральному мультиплету соответствует определенное значение спина S (число компонент в мультиплете равно $2S + 1$). Отдельные компоненты мультиплета отличаются значениями проекции спина на ось z . По аналогии с обычным спином каждому зарядовому мультиплету приписывается определенное значение изотопического спина ¹⁾ T , выбранное так, что

¹⁾ Более правильное название — изобарический спин. Изотопический спин был впервые введен в рассмотрение В. Гейзенбергом в 1932 г. для описания протона и нейтрона как различных состояний нуклона.

$2T + 1$ дает число частиц, образующих данный мультиплет. Отдельным частицам приписываются различные значения T_z — проекции изотопического спина на некую ось z в воображаемом изотопическом или зарядовом пространстве. Например, для нуклонов $T = 1/2$, протону соответствует $T_z = +1/2$, нейтрону $T_z = -1/2$. Для π -мезонов $T = 1$, проекции T_z равны $+1$, 0 и -1 для π^+ , π^0 и π^- -мезона соответственно.

Во избежание недоразумений отметим, что квантовое число T , названное изотопическим спином, не имеет никакого отношения ни к изотопам, ни к обычному спину (который, как мы знаем, представляет собой момент импульса). Слово «изотопический» появилось в названии квантового числа T потому, что протон и нейтрон образуют различные «разновидности» нуклона, подобно тому как действительные изотопы образуют разновидности данного химического элемента. Слово «спин» появилось в названии вследствие того, что математический аппарат, описывающий квантовое число T , оказался точно таким, как и математический аппарат обычного спина. В остальном между изотопическим и обычным спинами нет никакого сходства.

Может показаться странным, что в случае π -мезонов в одном зарядовом мультиплете объединяются и частица (π^+) и ее античастица (π^-), в то время как, например, Λ^0 -гиперон и анти- Λ^0 -гиперон образуют два различных зарядовых мультиплета. Объяснение заключается в том, что в зарядовый мультиплет объединяются частицы, отличающиеся только величиной или знаком электрического заряда; все остальные величины, характеризующие частицы, должны быть одинаковыми¹⁾. Гипероны Λ^0 и $\bar{\Lambda}^0$ отличаются значением барионного числа и поэтому не могут входить в один мультиплет. Барионное число всех π -мезонов равно нулю, остальные квантовые числа также одинаковы; следовательно, нет никаких препятствий для объединения их в одном мультиплете.

Рассмотрим два зарядовых мультиплета, отличающихся тем, что частицы, образующие один мультиплет, являются античастицами по отношению к частицам,

¹⁾ Различие заряженных и нейтральных частиц, обусловленное электромагнитным взаимодействием, например небольшое различие в массе, не принимается во внимание.

входящим в другой мультиплет. Изотопические спины обоих мультиплетов, очевидно, одинаковы ($2T + 1$ дает число частиц в мультиплете). Что касается проекций изотопического спина T_z , то для частицы и античастицы они отличаются знаком. Так, для протона $T_z = +1/2$, для антипротона $T_z = -1/2$; для нейтрона $T_z = -1/2$, для антинейтрона $T_z = +1/2$. В табл. 10 приведены значения T и T_z различных частиц. Каждая строка в этой таблице дает зарядовый мультиплет. Следовательно, если, например, для нуклона имеется две строки, то это означает, что нуклоны образуют два зарядовых мультиплета.

Таблица 10

Частица	Изотопический спин T	Проекция изотопического спина T_z				
		-1	-1/2	0	+1/2	+1
π -мезон	1	π^-		π^0		π^+
K -мезон	1/2		K^0		K^+	
	1/2		K^-		\tilde{K}^0	
Нуклон	1/2		n		p	
	1/2		\bar{p}		\bar{n}	
Λ -гиперон	0			Λ^0		
	0			$\bar{\Lambda}^0$		
Σ -гиперон	1	Σ^-		Σ^0		Σ^+
	1	$\tilde{\Sigma}^+$		$\tilde{\Sigma}^0$		$\tilde{\Sigma}^-$
Ξ -гиперон	1/2		Ξ^-		Ξ^0	
	1/2		$\tilde{\Xi}^0$		Ξ^+	
Ω -гиперон	0			Ω^-		
	0			Ω^+		

Понятие изотопического спина сыграло большую роль в установлении систематики элементарных частиц. В частности, оно натолкнуло американского физика М. Гелл-Манна и независимо от него японского физика К. Нишиджиму на мысль объединить частицы в зарядо-

вые мультиплеты и привело их затем к понятию странности (см. следующий параграф).

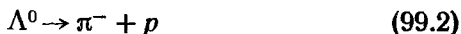
При сильных взаимодействиях сохраняется как изотопический спин T , так и его проекция T_z . При электромагнитных взаимодействиях сохраняется только T_z , сам же изотопический спин T не сохраняется. Слабые взаимодействия протекают, как правило, с изменением изотопического спина.

§ 99. Странные частицы

K -мезоны и гипероны (Λ , Σ , Ξ) были обнаружены в составе космических лучей в начале 50-х годов. Начиная с 1953 г. их получают на ускорителях. Поведение этих частиц оказалось столь необычным, что они были названы странными. Необычность поведения странных частиц заключалась в том, что рождались они явно за счет сильных взаимодействий с характерным временем порядка 10^{-23} сек, а времена жизни их оказались порядка 10^{-8} — 10^{-10} сек. Последнее обстоятельство указывало на то, что распад частиц осуществляется в результате слабых взаимодействий. Было совершенно непонятно, почему странные частицы живут так долго, что мешает им распадаться за счет сильного взаимодействия, в результате которого они возникают. Действительно, один из процессов рождения странных частиц имеет, например, вид:



а распад Λ^0 -гиперона идет по схеме:



(на рис. 271 приведена фотография треков частиц, полученная в пузырьковой камере с жидким водородом). Поскольку и в рождении, и в распаде Λ^0 -гиперона участвуют одни и те же частицы (π^- -мезон и протон), представлялось удивительным, что скорость (т. е. вероятность) обоих процессов столь различна.

Дальнейшие исследования показали, что странные частицы всегда рождаются только парами [см. (99.1)]. Это навело на мысль, что сильные взаимодействия не могут играть роли в распаде частиц вследствие того, что для их проявления необходимо присутствие двух