$\pi^- + e^+ + \nu$, как и на $\pi^+ + e^- + \nu$, со скоростью распада (12-8). Соответствующие рассуждения применимы к распадам, в которых мюон стоит вместо электрона. Все подобные предсказания подтверждены экспериментом.

13. ВОПРОС ОБ УНИВЕРСАЛЬНОМ КОЭФФИЦИЕНТЕ

Нелептонные распады отвечают сочетанию члена X из одного тока с членом $(\bar{p}n)$ из другого. Этот последний имеет изоспин=1, поэтому его комбинация с X, представляющим чистый изоспин $^1/_2$, образует изотопические спины $^1/_2$ и $^3/_2$ и мы приходим к правилу 3, управляющему нелептонными распадами с изменением странности:

3. *В нелептонных распадах изменение изоспина может быть только*

$$\Delta T = {}^1/_2 \text{ или } \Delta T = {}^3/_2.$$

Это правило не кажется очень ограничивающим, однако оно приводит к следствиям, которые можно проверить.

Прежде всего можно предсказать отношения числа заряженных пионов в трехпионных распадах каонов. Три пиона, возникающие в распаде

$$K^+ \to \pi^+ + \pi^+ + \pi^-, \tag{13-1}$$

имеют полный момент, равный 0, как это следует из наблюдаемых на опыте данных. Поэтому волновая функция пионов полностью симметрична. Можно показать, что для трех частиц с изоспином 1 единственными симметричными состояниями будут состояния с изотопическим спином $T=1$ и $T=3$. Если правило 3 верно, то состояние $T=3$ не может возникнуть из первоначального каона с $T={}^1/_2$, так как требуется изменение изоспина на $^5/_2$. Поэтому в конечном состоянии должно быть $T=1$, а из правил комбинирования состояний легко показать, что скорость распада $K^+ \to \pi^+ + \pi^0 + \pi^0$ должна составлять $^1/_2$ от скорости (13-1) (исключая увеличение скорости на 9% для каждого π^0 из-за маленькой разности масс π^+ и π^0). Экспериментальное отношение равно $0{,}30 \pm 0{,}06$, что совместно с предсказанным $0{,}25\ (1{,}2) = 0{,}30$.

По точно таким же соображениям скорости трехпионных распадов K_2^0-мезона

$$K_2^0 \to \pi^+ + \pi^- + \pi^0, \tag{13-2}$$

$$K_2^0 \to \pi^0 + \pi^0 + \pi^0 \tag{13-3}$$

должны находиться в отношении $^2/_3$ [или, после учета разницы масс, в отношении $2(1{,}1)/3(1{,}3)=0{,}56$], если в конечном состоянии $T=1$. Измерения K_2^0-распадов как раз начинаются, и пока что полученные данные согласуются с предсказанием.

Можно также получить следствия для двухпионных распадов каона. Опытные данные таковы:

$K_1^0 \to \pi^+ + \pi^-$	$78 \pm 6\%$,
$K_1^0 \to \pi^0 + \pi^0$	$22 \pm 6\%$,
$K^+ \to \pi^+ + \pi^0$	0,002 от скорости распада K_1^0.

Замечательный факт состоит в том, что распад K^+-мезона так сильно подавлен по сравнению с распадом K_1^0.

Если два пиона находятся в симметричном состоянии, то для полного изоспина имеем либо $T=0$, либо $T=2$. В случае распада K^+ на π^+ и π^0 может быть реализовано только состояние с $T=2$. Оно может получиться из каона с $T={}^1/_2$ либо переходом $\Delta T={}^3/_2$, либо переходом $\Delta T={}^5/_2$ (мы складываем изоспины как векторы). Согласно правилу 3 только $\Delta T={}^3/_2$ имеет место. Это означает, что скорость K-распада дает нам относительный вклад амплитуды $T=2$ в распад K^0. В действительности она дает нам только квадрат, но мы знаем, что амплитуда того, что два пиона от распада K_1^0 находятся в состоянии $T=2$, равна произведению числа 0,052 на некоторую комплексную фазу. Эта амплитуда так мала, что K_1^0 должен почти целиком распадаться в состояние $T=0$. Если это так, то относительная доля $\pi^+ + \pi^-$ к $\pi^0 + \pi^0$ должна быть 2 : 1, т. е. 67% частиц должны быть заряжены. Если амплитуда состояния $T=2$ имеет такую фазу, что интерференция максимальна или минимальна, то теория предсказывает отношение 72 или 62% соответственно. Поэтому теоретически, если правило 3 верно, доля $\pi^+ + \pi^-$ распадов K_1^0-мезона должна составлять от 62 до 72%. Мы должны подождать, пока появятся более точные

опыты, чтобы узнать, верно ли это; современные данные как раз совместны с этими цифрами.

Итак, насколько мы знаем, ток X может быть ограничен выражением, в котором все члены имеют странность -1 и изоспин $^1/_2$. Учитывая известные сейчас частицы, мы можем написать

$$X = \alpha(\bar{p}\Lambda) + \beta[-(\bar{p}\Sigma^0) + \sqrt{2}(\bar{n}\Sigma^-)] + \\ + \gamma[-(K^+\pi^0) + \sqrt{2}(K^0\pi^-)] + \\ + \delta[-(\bar{\Sigma}^0\Xi^-) + \sqrt{2}(\bar{\Sigma}\Xi^0)] + \varepsilon(\bar{\Lambda}\Xi^-),$$

где коэффициенты α, β, γ, δ и ε еще не определены. Это выражение и есть наш максимальный результат. Мы укажем сейчас препятствия на пути дальнейшего продвижения.

Вопрос об универсальном коэффициенте связи. Исходя из очевидного равенства коэффициентов у таких различных членов, входящих в J, как $(\bar{\nu}e)$, $(\bar{\nu}\mu)$ и $(\bar{p}n)$, было бы естественно заподозрить существование некой универсальности и предположить, что коэффициенты связи всех частиц равны друг другу (универсальны), так что все коэффициенты от α до ε равны между собой и равны 1. [Или по крайней мере, если множители $\sqrt{2}$ расставлены несколько произвольным образом, некоторые из них равны 1, а другие $1/\sqrt{2}$, для того, чтобы получить какие-либо специальные свойства симметрии. Например, если $\alpha = 1/\sqrt{2} = -\beta$, то первые два члена дают $(\bar{p}Z) + (n\Sigma^-)$ — комбинацию, особенно простую в рамках так называемой глобальной симметрии.]

Возможный вариант приведенной выше схемы сильной связи может быть основан на простом допущении, что (1) фермиевский ток, сохраняющий странность, связан с той же комбинацией частиц, что и π^+, т. е. с соответствующей компонентой изотопического спина; и (2) меняющий странность ток связан с той же комбинацией частиц, что и K^+. Это означает, что $\alpha = -\beta$, $\delta = \varepsilon$ и, возможно, $\gamma = 0$.

Однако существует прямое доказательство того, что это не так. Если $\gamma = 1$, то, независимо от остальных членов, процесс $K^+ \to \pi^0 + e^+ + \nu$ может идти прямо и его скорость вычисляется. Она оказывается в 170 раз больше

того, что нужно! Учет других диаграмм может несколько изменить этот результат, но заведомо не таким существенным образом. Можно заключить отсюда, что γ либо равна 0, либо имеет порядок 0,08 (т. е. $\sqrt{1/170}$, так как скорость $\sim \gamma^2$). Если γ равняется нулю, то процесс является непрямым и мы не можем его рассчитать (хотя, если остальные константы порядка единицы, то трудно понять, почему скорость процесса так мала; во всяком случае, никаких надежных выводов о значениях других констант не может быть получено этим путем). С другой стороны, если $\alpha=1$, то мы можем вычислить скорость процесса $\Lambda \to p+e+\bar{\nu}$. Этот процесс, а также его аналог с заменой e на μ не наблюден на опыте, хотя мы предсказываем, что он должен составлять 16% от всех случаев распада Λ. Экспериментальная цифра меньше предсказанной по крайней мере в десять раз. Поскольку эффекты интерференции с другими диаграммами не могут быть ответственны за это, то остается заключить, что α, по всей вероятности, меньше, чем 0,3. Кроме того, лептонные распады Σ^- наблюдаются в количестве, меньшем одной десятой от уровня, соответствующего $\beta=1/\sqrt{2}$, поэтому $\sqrt{2}\beta$ должно быть также меньше, чем 0,3. Все эти факты приводят нас к выводу о том, что связь тока X с лептонами заметно слабее той, которая следовала бы из универсальной связи: в действительности коэффициент порядка 0,1 кажется наиболее вероятным. (Такое заключение нельзя опровергнуть на основе данных о распаде $K^+ \to \mu^+ + \nu$ из-за неопределенности всех количественных расчетов.)

Мы можем подвести итог этому обсуждению, заключив, что экспериментальные данные, вероятно, указывают на то, что:

4. *Лептонные распады с изменением странности являются относительно более медленными, чем распады без изменения странности* (хотя $K^+ \to \mu^+ + \nu$, возможно, этому противоречит).

Если, однако, коэффициенты X имеют порядок 0,1 в лептонных связях, то следовало бы ожидать, что они точно такие же и в $(\bar{p}n)$-связи. А это не очень приятное предсказание, поскольку нелептонные распады идут слишком быстро. Скорее всего наблюдаемые времена

жизни требуют коэффициентов порядка единицы, однако уверенности в этом нет, поскольку для реального расчета этих процессов необходим учет виртуальных состояний сильно взаимодействующих частиц.

Добавим, что данные опыта указывают на существование еще одной приближенной симметрии, для которой отсутствует теоретическое объяснение:

5. *Нелептонные, меняющие странность распады с* $\Delta T = {}^3/_2$ *относительно более медленны (более слабы), чем такие же распады с* $\Delta T = {}^1/_2$.

14. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПАДОВ С ИЗМЕНЕНИЕМ СТРАННОСТИ: ДАННЫЕ ОПЫТОВ

Как уже было отмечено, в $K \to \pi + \pi$-распадах нейтральный каон ($\Delta T = {}^1/_2$) распадается в 500 раз быстрее, чем заряженный ($\Delta T = {}^3/_2$). Амплитуда $\Delta T = {}^3/_2$ составляет лишь 0,052 от амплитуды $\Delta T = {}^1/_2$.

Поставим вопрос: нет ли подобных диспропорций в других случаях? Проще всего ответить на него, выяснив, до какой степени другие данные согласуются с правилом, что все нелептонные распады идут с $\Delta T = {}^1/_2$.

Во-первых, в Λ-распаде, идущем из начального состояния $T=0$, конечное состояние будет $T = {}^1/_2$ и отношение $p + \pi^-$ событий к $n + \pi^0$ должно быть равно 2 : 1, т. е. заряженные частицы должны составлять 67% всех продуктов распада. Наблюдаемые данные дают $63 \pm 3\%$; расхождение может быть обусловлено либо ошибками опытов либо незначительной интерференцией с $\Delta T = {}^3/_2$.

Во-вторых, имеются некоторые предсказания об асимметрии Σ-распада, но при существующих неполных опытных данных они представляются в виде неравенств, которым эти данные удовлетворяют.

В-третьих, мы можем определить отношение скорости трехпионных распадов K_2^0 (13-2) и (13-3) к скорости подобного распада K^+ (13-1), поскольку, если $\Delta T = {}^1/_2$, то конечное состояние $T=1$ может быть получено единственным путем. Согласно соответствующему предсказанию суммарная скорость распада K_2^0 на три пиона равна скорости распада K^+ (следует, разумеется, учесть 9-про-