

СЕМИНАР 7

Темы семинара:

- Алгебра элементарных частиц (перекрёстная симметрия),
- Слабые взаимодействия и их диаграммы.

Алгебра элементарных частиц (перекрёстная симметрия)

Алгебра частиц основана на том, что все заряды частиц и их античастиц имеют противоположные знаки. Поэтому идут все процессы с заменой частиц на античастицы. В физике всё, что не запрещено, должно происходить (с сохранением энергии, импульса и момента импульса). Справедлив и принцип обращения времени. Всё как в обычной алгебре. Так, если имеет место равенство $a = b + c + d$, то имеют место и следующие равенства:

$$a - b = c + d,$$

$$a - c = b + d,$$

$$a - b - c = d,$$

$$d = a - b - c \text{ и так далее.}$$

При переносе в другую часть равенства меняется знак слагаемого, т. е., на языке частиц, меняются все их заряды на противоположные по знаку или меняется частица на античастицу. При переходе от алгебраических соотношений к реакциям и распадам с частицами достаточно сделать следующее:

1. Знак «минус» поменять на черту сверху: $-b \equiv \bar{b}$.

2. Знак равенства (=) поменять на стрелку (\rightarrow).

Итак, по аналогии с вышеприведёнными алгебраическими соотношениями, если имеет место процесс $a \rightarrow b + c + d$, то имеют место и процессы

$$a + \bar{b} \rightarrow c + d,$$

$$a + \bar{c} \rightarrow b + d,$$

$$a + \bar{b} + \bar{c} \rightarrow d, \text{ и так далее.}$$

В том числе возможны процессы с обращением времени, такие как

$$c + d \rightarrow a + \bar{b},$$

$$d \rightarrow a + \bar{b} + \bar{c}, \text{ и так далее.}$$

Перекрёстной симметрии отвечает возможность поворотов на диаграммах линий частиц вокруг узлов (вершин).

Далее решается задача 1:

1. Исходя из схемы распада нейтрона $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$, привести несколько возможных процессов, родственных этому распаду.

Решение:

$$\begin{aligned} p &\rightarrow n + e^+ + \nu_e, \\ \bar{n} &\rightarrow \bar{p} + e^+ + \nu_e, \\ p + e^- &\rightarrow n + \nu_e, \\ n + e^+ &\rightarrow p + \bar{\nu}_e, \\ \bar{\nu}_e + p &\rightarrow n + e^+, \\ n + \nu_e &\rightarrow p + e^-. \end{aligned}$$

Слабые взаимодействия (распады) и их диаграммы

Слабые процессы (распады) идут тогда, когда запрещены сильные и электромагнитные ($\tau_{\text{сл}} \geq 10^{-13}$ сек). В слабых процессах участвуют как лептоны, так и адроны (кварки). Бывают слабые распады трёх типов

1. Лептонные (безадронные), например,

$$\begin{aligned} \mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu, \\ \mu^- &\rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu. \end{aligned}$$

2. Лептон-адронные (полулептонные), например,

$$\begin{aligned} n &\rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e, \\ \pi^\pm &\rightarrow \mu^\pm + \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \bar{\nu}_\mu \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

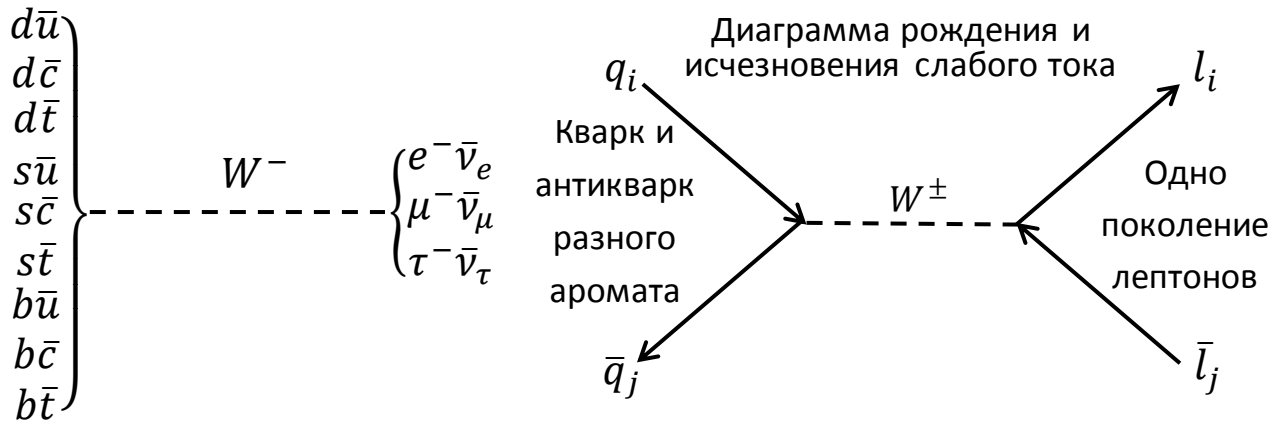
3. Адронные (безлептонные), например,

$$\begin{aligned} \Lambda &\rightarrow p + \pi^-, \\ \Omega^- &\rightarrow \Xi^0 + \pi^-. \end{aligned}$$

Во всех этих процессах сохраняются электрический, барионный и лептонный заряды, но не сохраняется, по крайней мере, одно из кварковых квантовых чисел (I, I_3, S, C, B, T). Абсолютным признаком слабого процесса (распада) является появление нейтрино и антинейтрино. Нужно уметь рисовать диаграммы слабых распадов на кварк-лептонном уровне.

На лекциях было показано, что в слабых процессах с заряженными слабыми токами (их переносчиками являются бозоны W^\pm) не сохраняются кварковые квантовые числа. Для W^- возможны лишь следующие вилки (сходящиеся или расходящиеся линии частиц) или их модификации:

Таблица токов W^-



Для W^+ набор вилок получается заменой всех частиц на античастицы и наоборот.

Далее решается задача 2

2. Проанализировать выполнение законов сохранения и нарисовать диаграммы распада нейтрона $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ и (на дом) $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$.

Решение:

$$n(udd) \rightarrow p(uud) + e^- + \bar{\nu}_e$$

$$Q: \quad 0 = +1 \quad -1 + 0,$$

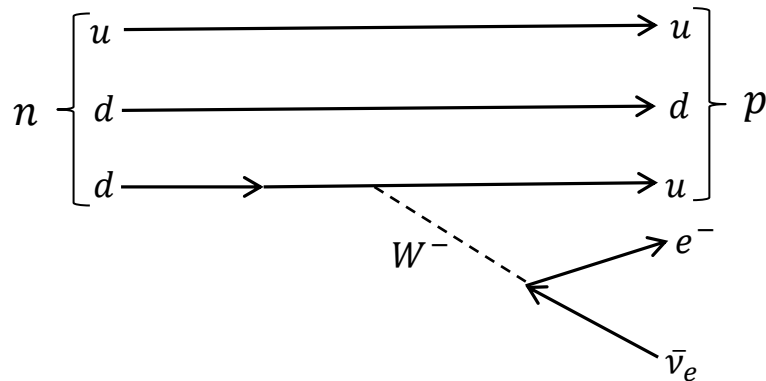
$$B: \quad +1 = +1 \quad +0 + 0,$$

$$L_e: \quad 0 = 0 \quad +1 - 1,$$

$$\vec{I}: \quad \frac{\vec{1}}{2} \neq \frac{\vec{1}}{2} \quad +\vec{0} + \vec{0},$$

$$I_3: \quad -\frac{1}{2} \neq +\frac{1}{2} \quad +0 + 0.$$

Сохраняется величина изоспина I , но вектор изоспина \vec{I} поменял ориентацию. Не сохраняется проекция изоспина I_3 . Диаграмма распада имеет вид:



3. Проанализировать выполнение законов сохранения и нарисовать диаграмму распада π^+ -мезона ($\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$).

Решение:

$$\pi^+ (\bar{d}u) \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$Q: \quad +1 = +1 + 0,$$

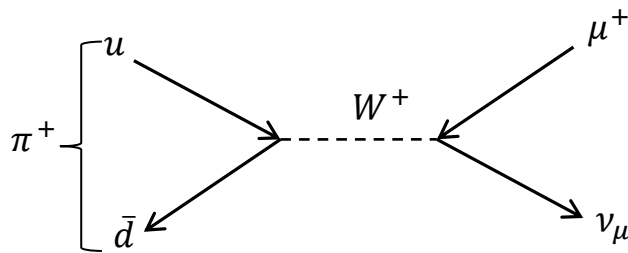
$$B: \quad 0 = 0 + 0,$$

$$L_\mu: \quad 0 = -1 + 1,$$

$$\vec{I}: \quad \vec{1} \neq \vec{0} + \vec{0},$$

$$I_3: \quad +1 \neq 0 + 0.$$

Не сохраняются изоспин и проекция изоспина. Диаграмма распада имеет вид:



4. Проанализировать выполнение законов сохранения и нарисовать диаграммы распада $\Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^-$,

$\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ (на дом), $\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$ (на дом).

Решение:

$$\Xi^- (ssd) \rightarrow \Lambda (usd) + \pi^- (d\bar{u})$$

$$Q: \quad -1 = 0 - 1,$$

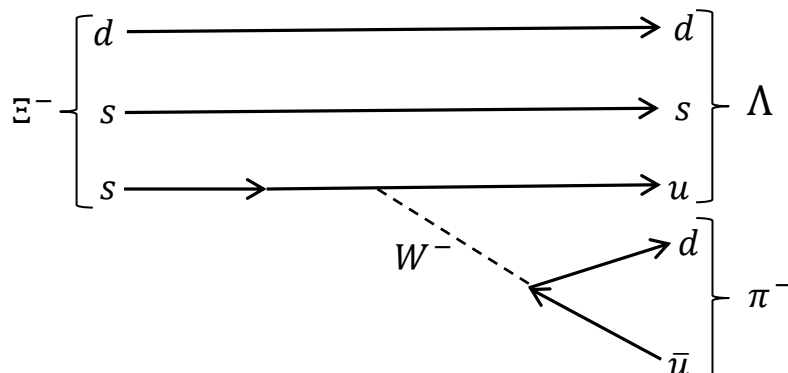
$$B: \quad +1 = +1 + 0,$$

$$S: \quad -2 \neq -1 + 0,$$

$$\vec{I}: \quad \vec{\frac{1}{2}} \neq \vec{0} + \vec{1},$$

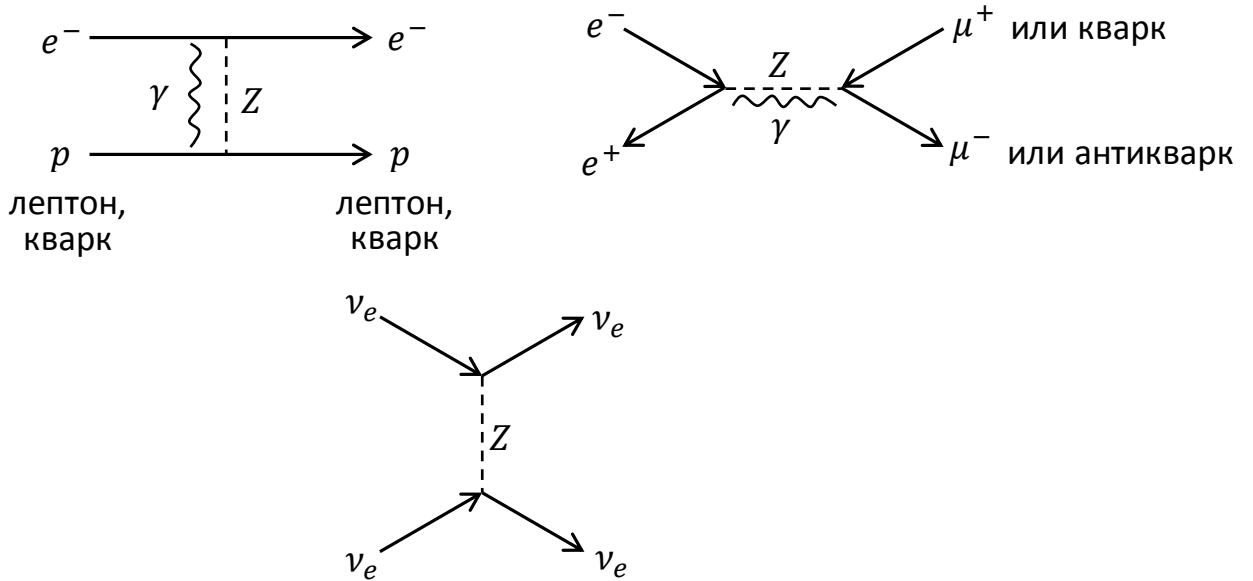
$$I_3: \quad -\frac{1}{2} \neq 0 - 1.$$

Не сохраняется странность, изоспин и проекция изоспина. Диаграмма распада имеет вид:



Нейтральные слабые токи (Z) идут без нарушения сохранения всех кварковых квантовых чисел. Они абсолютно нейтральны (истинно нейтральны). Все аддитивные квантовые числа в них сохраняются.

Примеры:



Если нейтральные слабые токи идут с заряженными частицами, то эти же процессы возможны обменом виртуальным фотоном. Т.е. они более вероятны за счёт электромагнитного взаимодействия. Нейтральные токи с кварками идут также и в присутствии сильного взаимодействия, которое наиболее вероятно:

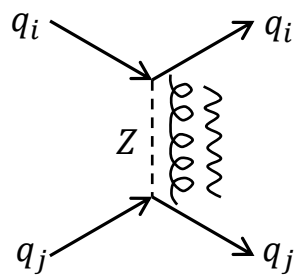


Таблица токов Z -бозона

$\left. \begin{array}{l} u\bar{u} \\ d\bar{d} \\ s\bar{s} \\ c\bar{c} \\ b\bar{b} \\ t\bar{t} \end{array} \right\}$	Z	$\left\{ \begin{array}{l} e^-e^+ \\ \mu^- \mu^+ \\ \tau^- \tau^+ \\ \nu_e \bar{\nu}_e \\ \nu_\mu \bar{\nu}_\mu \\ \nu_\tau \bar{\nu}_\tau \end{array} \right.$
---	-----	--

Таким образом, структура нейтрального слабого тока $(q_i \bar{q}_i) \leftrightarrow (l_k \bar{l}_k)$, где l_k - лептон k -го поколения.

Далее решается задача 5

5. Привести примеры процессов, идущих посредством нейтрального слабого тока и нарисовать их диаграммы.

Решение: Примеры этих процессов и их диаграммы приведены выше после абзаца о нейтральных токах.

 Пример неправильного использования Z -бозона в схеме распада

$\Xi^- \rightarrow \Lambda + \pi^-$. Z -бозон не может участвовать в несохраняющей аромат вилке $s \rightarrow Zd$:

