

СЕМИНАР 5

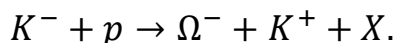
1. Какие из перечисленных реакций возможны. Для возможных реакций вычислить порог в лабораторной системе координат (ЛСК):

- a. $p + p \rightarrow p + p + \bar{p} + p,$
- b. $p + p \rightarrow p + p + \bar{p} + \pi^+,$
- c. $p + p \rightarrow p + p + \pi^- + \pi^+,$
- d. $p + p \rightarrow p + \bar{p} + \pi^0 + \pi^+ + \pi^+.$

Решение: Проверяем сохранение электрического заряда Q , а затем - барионного B . Этого в данном случае достаточно, так как в реакциях нет других частиц, кроме адронов. Q сохраняется во всех указанных реакциях, а B - лишь в реакциях a и c . Для всех реакций слева $\sum_i B_i = 2$ и энергия реакции < 0 , т.е. реакции a и c возможны и имеют порог. Пороги вычислить дома (формулы для порогов можно найти в Лекции 1 и Семинаре 1).

Ответы: реакция a - порог $\approx 5,63$ ГэВ;
реакция c - порог ≈ 600 МэВ.

2. Определить квантовые числа частицы X , рождающейся в реакции сильного взаимодействия:



Решение: В реакции участвуют адроны, в том числе - странные (Ω^-, K^-, K^+), поэтому помимо электрического заряда Q проверяем адронные квантовые числа - барионное число (заряд) B , странность S и проекцию изоспина I_3 :

$$\begin{array}{rcccccc}
 & K^- & + & p & \rightarrow & \Omega^- & + & K^+ & + & X \\
 Q: & -1 & & +1 & = & -1 & & +1 & & +0 \\
 B: & 0 & & +1 & = & +1 & & +0 & & +0 \\
 S: & -1 & & +0 & = & -3 & & +1 & & +1 \\
 I_3: & -1/2 & & +1/2 & = & 0 & & +1/2 & & -1/2
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{rcccccc}
 & K^- & + & p & \rightarrow & \Omega^- & + & K^+ & + & X \\
 Q: & -1 & & +1 & = & -1 & & +1 & & +0 \\
 B: & 0 & & +1 & = & +1 & & +0 & & +0 \\
 S: & -1 & & +0 & = & -3 & & +1 & & +1 \\
 I_3: & -1/2 & & +1/2 & = & 0 & & +1/2 & & -1/2
 \end{array}} \right\} K^0$$

I_3 следует также из правила ННГ: $Q = I_3 + \frac{1}{2}(B + S)$ или $0 = I_3 + \frac{1}{2}(0 + 1)$. Из таблицы мезонов находим, что набор квантовых чисел частицы X отвечает мезону K^0 .

Для решения удобно также использовать кварковый состав частиц, участвующих в реакции и то, что суммарный кварковый состав до и после реакции, идущей за счёт сильного взаимодействия, измениться не может.

Имеем в данной реакции, заменяя символы частиц их кварковым составом:

$$s\bar{u} + uud \rightarrow sss + u\bar{s} + X.$$

Откуда для сохранения суммарного кваркового состава необходимо, чтобы частица X имела кварковый состав $d\bar{s}$, что и отвечает мезону K^0 . Более подробно этот способ решения объясняется в следующей задаче.

3. Определить кварковый состав и квантовые числа частицы X , рождающейся в реакции сильного взаимодействия:

$$\pi^- + p \rightarrow K^0 + K^+ + X.$$

Решение: Все частицы в реакции адроны, включая странные. Для нахождения квантовых чисел частиц X можно решать так же, как и решалась задача 2

$$\begin{array}{r} \pi^- + p \rightarrow K^0 + K^+ + X \\ d\bar{u} + uud \rightarrow d\bar{s} + u\bar{s} + dss \\ \left. \begin{array}{l} Q: \quad -1 \quad +1 = 0 \quad +1 \quad -1 \\ B: \quad 0 \quad +1 = 0 \quad +0 \quad +1 \\ S: \quad 0 \quad +0 = +1 \quad +1 \quad -2 \\ I_3: \quad -1 \quad +1/2 = -1/2 \quad +1/2 \quad -1/2 \end{array} \right\} \Xi^- \end{array}$$

Для нахождения кваркового состава частицы X используем принцип: в реакциях сильного взаимодействия количество кварков каждого аромата сохраняется или все ароматы сохраняются (это следствие того, что реакции сильного взаимодействия идут с сохранением всех квантовых чисел). Кварк и антикварк одного аромата до (или после) реакции взаимно уничтожают (обнуляют) друг друга. Итак, кварковый состав частицы X следующий

$$X = dss,$$

что отвечает бариону Ξ^- .

Итак, можно сразу находить кварковый состав неизвестной частицы и из него получать её квантовые числа.

4. Определить квантовые числа частицы $\Sigma_c^0(ddc)$.

Решение: Так как этот адрон состоит из трёх кварков, то он является барионом. Для него получаем:

$$\begin{aligned} B &= +\frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = +1, \\ Q &= -\frac{1}{3} - \frac{1}{3} + \frac{2}{3} = 0, \end{aligned}$$

$$S = 0 + 0 + 0 = 0,$$

$$C = 0 + 0 + 1 = +1,$$

$$I_3 = -\frac{1}{2} - \frac{1}{2} + 0 = -1,$$

$$I = |I_3| = |-1| = 1.$$

5. Определить кварковый состав и квантовые числа антипротона. Чему равна его масса, магнитный момент $\mu_{\bar{p}}$ и время жизни.

Решение: $\bar{p} = \bar{u}\bar{u}\bar{d}$. Отсюда $Q = -1$, $B = -1$, $S = C = B = T = 0$, $I = 1/2$, $I_3 = -1/2$ (последнее, в частности, следует и из правила ННГ).

Чётность антипротона отрицательна!:

$$P_{\bar{p}} = \pi_{\bar{u}}\pi_{\bar{u}}\pi_{\bar{d}}(-1)^{L=0} = (-1)(-1)(-1)(+1) = -1.$$

$m_{\bar{p}}c^2 = m_p c^2$, величины магнитных моментов антипротона $\mu_{\bar{p}}$ и протона μ_p одинаковы: $|\mu_{\bar{p}}| = |\mu_p|$, но знак $\mu_{\bar{p}}$ противоположен знаку μ_p : $\mu_{\bar{p}} = -2,79\mu_N$ (магнитный момент антипротона направлен противоположно его спину). Спин антипротона равен спину протона. Итак, имеем $J^P(\bar{p}) = 1/2^-$.

6. Рассмотрим реакцию $\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Sigma^-$. Эта реакция наблюдается. Поменяем знаки электрических зарядов конечных частиц. Получаем реакцию $\pi^- + p \rightarrow K^- + \Sigma^+$, которая никогда не наблюдалась. Как это объяснить?

Решение: Первая реакция возможна, так как в ней сохраняются все аддитивные квантовые числа, в том числе и странность. Действительно, $S(\pi^-) = S(p) = 0$, $S(K^+) = +1$, $S(\Sigma^-) = -1$. Обмен электрическими зарядами конечных частиц сопровождается изменением знака странности у K^- ($S(K^-) = -1$). В то же время $S(\Sigma^+) = S(\Sigma^-) = -1$. При этом странность во второй реакции не сохраняется.

Решение следующих трёх задач (7, 8, 9) не приводится. Их надо решить самостоятельно.

7. Определить квантовые числа частицы $B^+(u\bar{b})$.

8. Определить кварковый состав и квантовые числа антинейтрона.

Чему равны его масса, магнитный момент и время жизни? Нарисовать кварковую диаграмму распада антинейтрона.

9. Найти по таблице частиц истинно нейтральные частицы.

10. Почему π^+ и π^- , являясь частицей и античастицей с противоположными зарядами, входят в состав одного изомультиплета, а протон и антипротон – нет?

11. Найти максимальные значения изоспинов, которыми могут обладать барионы и мезоны.

Решение: Максимальные изоспины будут у барионов и мезонов целиком состоящих из наделенных изоспином $1/2$ кварков u и d и их антикварков. Поскольку барионы состоят из трёх кварков (qqq), а мезоны – из двух кварков ($q\bar{q}$), то максимальные их изоспины будут соответственно $3/2$ и 1 .

12. Октет легчайших барионов представить в виде совокупности изомультиплетов. (Задача решается самостоятельно).