
ЛЕКЦИЯ 15

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

1. Типы частиц

В первой половине 20-го века были известны только следующие частицы:

$$n, p, e^-, e^+, \mu^-, \nu, \pi^\pm.$$

Вышеперечисленные частицы живут относительно долго.

Например, **протон** живет 10^{31} лет.

Электрон бесконечно живет.

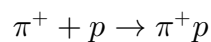
Нейтрон — 890 секунд (примерно 15 минут).

Время жизни **мюона** — микросекунда.

В 50-х годах было открыто много новых частиц.

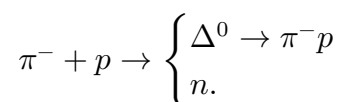
Эти частицы стали называться странными, потому что в отличие от первых, которые живут относительно долго, они живут очень коротко.

Помимо этих, были частицы, которые назывались **резонансами**. Точнее, это некие образования, которые живут очень маленькое время. Время их жизни называется **ядерное время**. Рассмотрим реакцию



В течении данной реакции **составное ядро** образовывается на какое-то время. Время жизни этого ядра — это и есть ядерное время. Оно равно 10^{-23} сек. Это время пролета частицы со скоростью света ядерного расстояния — 10^{-13} см. В течении ядерного времени живет это образование, которое называется Δ^{++} -изобара. Она в дальнейшем разваливается по **упругому каналу**.

Рассмотрим другую реакцию.



В этом случае может образоваться и нейтрон. Появление нейтрона в результате такого столкновения — это **неупругий канал**. Неупругий канал в отличие от упругого всегда сопровождается упругим каналом.



Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

Эти промежуточные частицы (Дельта-изобары) назывались не частицами, а резонансами. Это на очень короткое время образуемые составные ядра, которые потом разлетаются.

Исторически при увеличении энергии в реакциях появились новые частицы, которые назывались странными. Их время жизни на много порядков превышает ядерное время. Эти частицы относятся к частицам сильного взаимодействия. В дальнейшем оказалось, что у этих частиц в составе есть странный кварк.

Есть четыре типа **фундаментальных взаимодействий** — гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое. Слабое взаимодействие проявляется в виде распадов частиц с участием лептонов.

Каждый тип взаимодействия сопровождается какими-то частицами. Дадим классификацию частиц.

Первый тип — это отвечающие сильному взаимодействию адроны, которые подразделяются на **барионы** и **мезоны**.

К барионам приписывается барионный заряд.

$$B = \pm 1.$$

У мезонов барионный заряд отсутствует.

$$B = 0.$$

2. Кварки. Кварковый состав частиц

Оказывается, что только **адроны** состоят из **кварков**. Барионы имеют 3 кварка. Мезоны имеют 2 кварка.

Адронами являются нейтроны, протоны, π -мезоны.

Второй тип — **лептоны**, которые проявляются прежде всего в слабом взаимодействии, и при этом принимают участие в электромагнитном и сильном взаимодействиях.

Нарисуем таблицу классификации лептонов:

I	II	III	Заряд
ν_e	ν_μ	ν_τ	0
e^-	μ^-	τ^-	-1

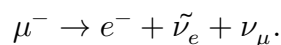
И для всех этих частиц существуют античастицы.

Для правильного написания реакций введено квантовое число под названием лептонный заряд. Лептонных зарядов бывает три:

$$L_e, L_\mu, L_\tau.$$

Для ν_e и e^- , $L_e = 1$, и так далее.

Приведем пример реакции с мюоном. Это нестабильный лептон второго поколения.



Распишем лептонные заряды:

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



Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu

! Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

$$L_\mu : 1 = 0 + 0 + 1.$$

Эти равенства выполняются. Первое поколение — это поколение стабильных лептонов. Из них состоит материя. А лептоны второго и третьего поколений проявляются при столкновениях.

Дадим классификацию кварков. Они тоже бывают трех поколений. Кварк имеет барионный заряд. Он равен $\pm\frac{1}{3}$.

I	II	III	Заряд
u	c	t	$+\frac{2}{3}$
d	s	b	$-\frac{1}{3}$

Например, для нейтрона и протона барионный заряд равен единице:

$$n = (d d u),$$

$$p = (d d u).$$

У π^\pm -мезонов барионный заряд равен нулю, а электрический заряд равен ± 1 :

$$\pi^+ = (u \tilde{d}),$$

$$\pi^- = (\tilde{u} d).$$

У π^0 -мезона барионный и электрический заряды равны нулю:

$$\pi^0 = (u \tilde{u}) = (d \tilde{d}).$$

Каждый из кварков обладает спином, который равен одной второй. Тогда в одном состоянии могут оказаться три кварка со половинным спином, и суммарный спин частицы будет равен $\frac{3}{2}$. Это энергетически невыгодное образование. Чтобы разрешить эти проблемы, было введено еще одно квантовое число, которое называется **цвет**. Любой кварк может быть трех цветов.

Обозначаются они:

$$R \ Y \ B,$$

и называются, соответственно, красный, желтый, и голубой.

Комбинация $R \ Y \ B$ является белой. Комбинация $R \ \bar{R}$ тоже является белой. Частица должна быть белая.

Изолированный кварк в природе не встречается. Его искали, но все попытки были безуспешны.

Комбинация всех квантовых чисел называется аромат. Из кварков первого поколения состоят все стабильные частицы. Стабильный мир состоит из электронов и кварков u и d .

К странным частицам можно отнести Ω -гипероны, Ξ -гипероны, Λ -гипероны, K -мезоны. Распишем их составы:

$$\Omega^- = (s \ s \ s), \quad \text{странность } s = -3,$$

! Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu



Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

$$\begin{aligned} \Xi^- &= (d s s), & \text{странность } s &= -2, \\ \Lambda^0 &= (s u d), & \text{странность } s &= -1, \\ K &= (s \tilde{u}), & \text{странность } s &= -1. \end{aligned}$$

Когда образуются странные частицы, всегда выполняется закон сохранения странности (странного заряда).

Самые вероятные переходы между разными кварками нарисованы на картинке (??).

Оказалось, что при переходе кварков существует некий посредник — W^\pm . Это **бозон**. Нарисуем 12 лучей от этого бозона, которые соответствуют разрешенным переходам.

Пример превращения:

$$n \rightarrow p + e^- + \nu_e.$$

Нарисуем это превращение на кварковом уровне. Оно продемонстрировано на рисунке (15.1).

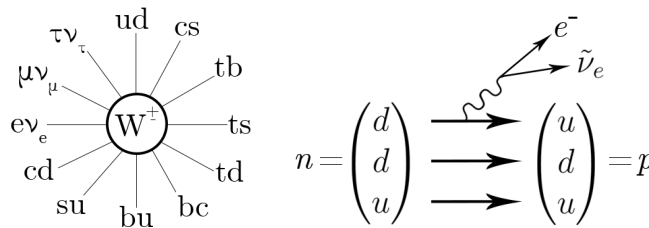


Рис. 15.1

Здесь посредник — это W^- -бозон, который распадается по лептонному каналу. Рассмотрим превращение Λ^0 -гиперона.

Лептонный канал:

$$\Lambda^0 \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e.$$

У этого канала есть вероятность. Странность меняется на единицу.

Есть еще один канал:

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-.$$

Рассмотрим кварковые схемы этих переходов. Первый канал очень похож на превращение нейтрино.

Рассмотрим второй канал. В вакууме всегда может родиться виртуальная пара кварка и антикварка.

Нарисуем второй канал. Он продемонстрирован на рисунке (15.2).

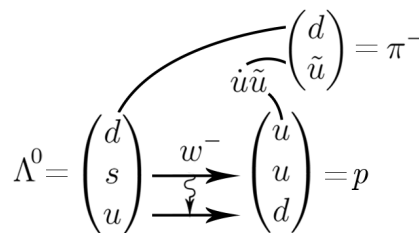


Рис. 15.2

Задача 10.73. Законы сохранения

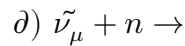
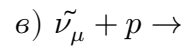
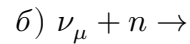
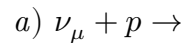


Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu



Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

Исходя из законов сохранения, дописать следующие реакции:



Найти отношение эффективных сечений этих реакций, нарисовать кварковые схемы реакций.



Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu

Решение.

Здесь участвует посредник — W^\pm -бозон.

а) Нарисуем схему:

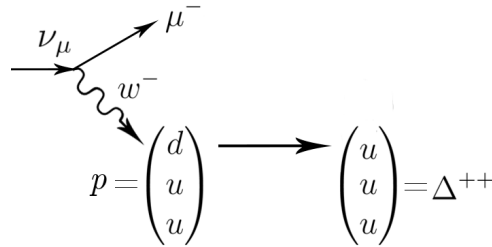


Рис. 15.3

Окончание реакции такое:

$$a) \nu_\mu + p \rightarrow \mu^- + \Delta^{++}.$$

Это неосуществляемый переход из-за резонанса.

б) Нарисуем схему:

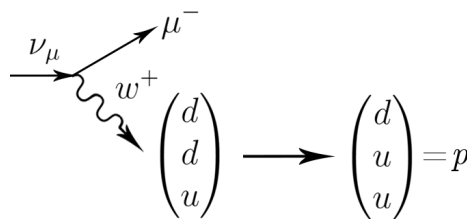


Рис. 15.4

Задача 5Б-13(из ГОСа). W-бозоны

Мюонное нейтрино, попадая в жидководородную камеру, может родить промежуточный W^+ -бозон с энергией покоя $m_W c^2 = 81$ ГэВ. При какой минимальной энергии этого нейтрино это возможно?

Решение.

Жидководородная мишень состоит из протонов. Они практически неподвижны.

Напишем эту реакцию:

$$\nu_\mu + p = \mu^- + w^+ + p.$$

Нарисуем схему реакции:

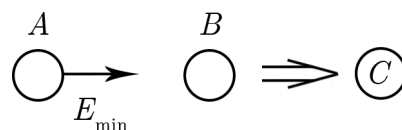


Рис. 15.5

! Конспект не проходил проф. редактуру, создан студентами и, возможно, содержит смысловые ошибки. Следите за обновлениями на lectoriy.mipt.ru.

Пороговая энергия равна:

$$E_{\text{пор}} = E^{\text{min}} = \frac{(m_C c^2)^2 - (m_A c^2)^2 - (m_B c^2)^2}{2m_B c^2}.$$

Это соотношение запишем без вывода. Вывод был дан на первом курсе.

Считаем, что энергия покоя нейтрино почти равна нулю, и ею пренебрегаем:

$$E_\nu^{\text{min}} = \frac{(m_\mu c^2 + m_\nu c^2 + m_p c^2)^2 - (m_A c^2)^2}{2m_p c^2} = 3600 \text{ ГэВ}.$$

Задача 10.85. W-бозоны

При столкновении встречных протон-антипротонных пучков возможно рождение W-бозонов. Написать эту реакцию на кварковом уровне. Оценить пороговую энергию протонов, если известно, что импульс нуклона распределяется между кварками и глюонами в соотношении 0,45 : 0,55. Энергия покоя W-бозона $M_W c^2 = 80,6 \text{ ГэВ}$.

Решение.

Интересен вопрос, что стягивает протонов и нейтронов внутри ядра. Оказывается, причина — **обменное взаимодействие**. Они обмениваются пи-мезонами.

Аналогично, трех кварков в единое целое стягивают глюоны.

Нарисуем глюонное поле между кварком и антикварком. Оно представлено на рисунке (15.6).

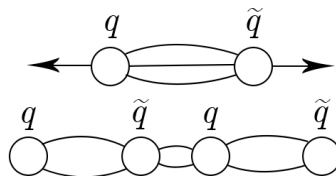


Рис. 15.6

Глюоны взаимодействуют друг с другом. Они обеспечивают цвет. При растягивании двух кварков окажется, что их разорвать нельзя.

Когда расстояние между ними достигает ядерного расстояния 10^{-13} см , возникает еще одна пара — кварк-антикварк.

Нарисуем схему столкновения в данной задаче.

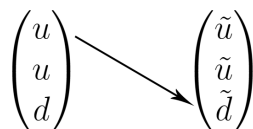


Рис. 15.7

Отсюда получаем:

$$u + \tilde{d} = W^+.$$

Данная задача ультрарелятивистская, соответственно, правильна оценка:

$$E \sim pc.$$

Тогда можно записать закон сохранения.

! Для подготовки к экзаменам пользуйтесь учебной литературой. Об обнаруженных неточностях и замечаниях просьба писать на pulsar@phystech.edu