

Опорный конспект по теме «Элементарные частицы»

Авторы:

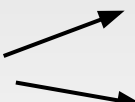
- Морозова Н.В., учитель физики МОУ лицея №40 г.Петрозаводска
- Янюшкина Г.М., к.п.н., доцент кафедры ТФ и МПФ КГПУ

Элементарная частица – микробиъект, который невозможно расщепить на составные части.

Адроны имеют сложную внутреннюю структуру, но разделить их на части невозможно.

Ряд элементарных частиц являются бесструктурными (фундаментальные) частицами – это частицы, которые до настоящего момента времени не удалось описать как составные.

С 1932г. Открыто более 400 элементарных частиц. Для классификации используют электрический заряд, спин (собственный момент количества движения), время жизни виды взаимодействия.

По величине спина  фермионы
бозоны

Фермионы – частицы с полуцелым спином: $\hbar/2$, $3/2\hbar$...

(e^- , p , n , ν_{e^-} – электронное нейтрино)

Для фермионов справедлив принцип Паули: в одном и том же энергетическом состоянии могут находиться не более 2^x фермионов с противоположными спинами.

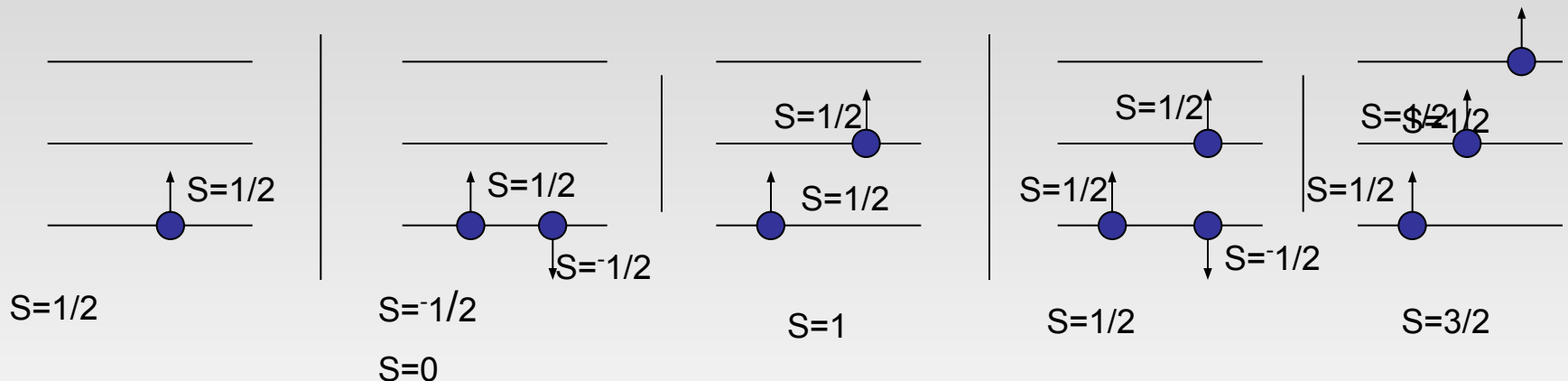
Бозоны – частицы с целым спином $0, \hbar, 2\hbar \dots$

(фотон, мезон)

Для бозонов принцип Паули не существует, поэтому в одном энергетическом состоянии может находиться любое число бозонов.

Рассмотрим в качестве примера
распределение фермионов по 3^M
возможным энергетическим состояниям
системы: E_1, E_2, E_3 .

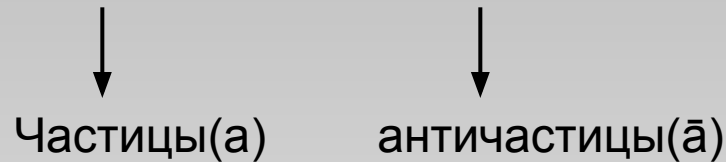
N - число фермионов; S - спиновое число



(спиновый
момент $\hbar/2$)

Спин имеет 2е ориентации
 $S=0, 1$ т.е. можно
рассматривать как бозон с
целым спином 0 или $\hbar$

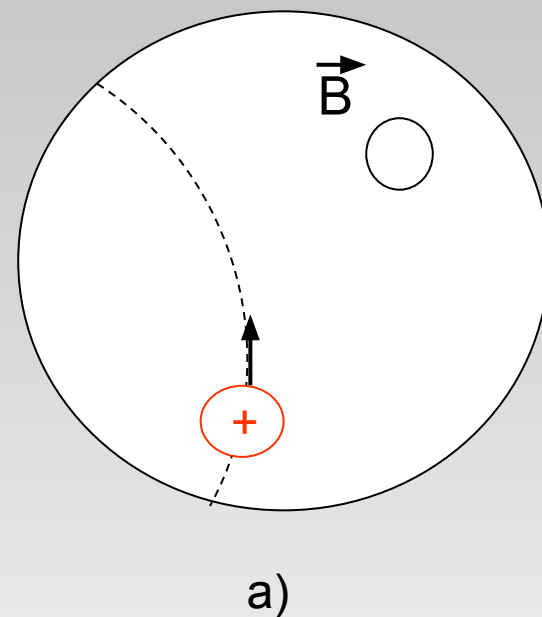
Элементарные частицы существуют в 2^х разновидностях



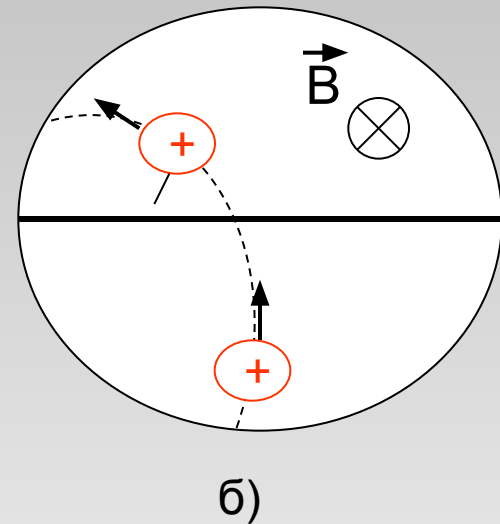
Античастицы($\bar{a}$) – элементарная частица имеющая (по отношению к a) равную массу покоя, одинаковый спин, время жизни и противоположный заряд.

Первая античастица обнаружена в 1932г. Американским физиком К. Андерсоном в космическом излучении.

Фотографируя траекторию частиц космических лучей в камере Вильсона, Андерсон обнаружил трек, принадлежащий частице с массой “ e^- ” (а), в магнитном поле частица двигалась по окружности $r = (m_{e^-} v) / (e^- B)$ ($F_{\text{л}} = F_{\text{ц}}$); ее направление движения было неизвестно и зависело от знака заряда.



Для определения
движения частицы
Андерсон разместил на ее
пути свинцовую пластинку
толщиной 6мм,
тормозившую частицу, r
уменьшился (V), движение
снизу вверх и обладает
(+), т.е. античастица
электрона – позитрон e^+



В 1947г. – антипион

1955г. - антипротон

1956г. – антинейтрон

Получены атомы антидейтерия,
антитрития, антигелия.

Истинно нейтральной частицей
является фотон, совпадающий со своей
античастицей.

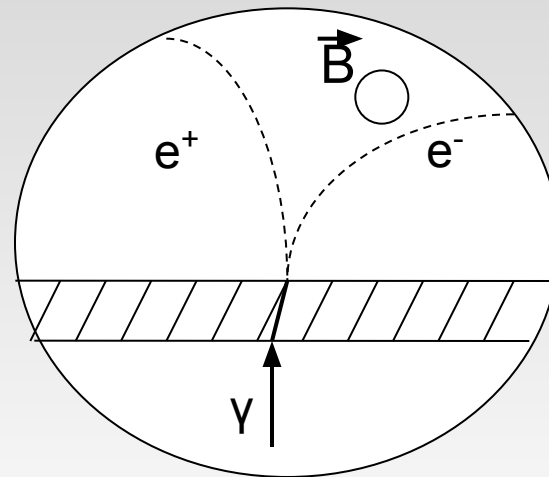
Аннигиляция – процесс взаимодействия элементарной частицы с ее античастицей, в результате которой они превращаются в γ -кванты (фотоны) или другие частицы.

$$e^- + e^+ \rightarrow 2 \gamma$$

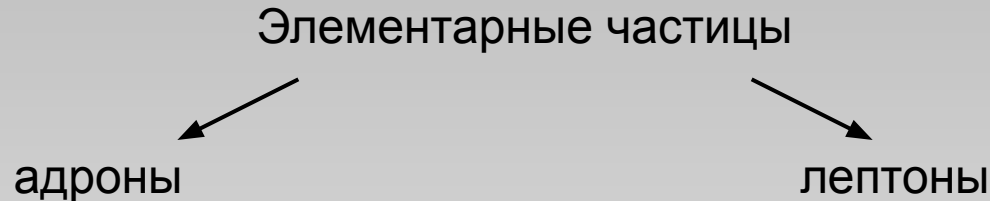
Один γ -квант не образуется т.к. одновременно должны быть выполнены законы сохранения импульса и энергии.

Электрон – позитронная пара
возникает при взаимодействии γ -кванта
с веществом.

$$\gamma \rightarrow e^- + e^+$$



Классификация по видам взаимодействия



Адроны – элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии.

Лептоны – фундаментальная частица, не участвующая в сильном взаимодействии (12 частиц – 6 частиц и 6 античастиц).

Все лептоны – фермионы – полуцелый спин.

В реакциях слабого взаимодействия лептонов участвуют лептон – нейтринные дублеты. Нейтрино всегда возникает в реакции вместе с определенным лептоном.

Для выделения класса лептонов вводят квантовое число – лептонный заряд L .

$L=1$ – для лептонов

$L=-1$ – для антилептонов

$L=0$ – для адронов

Закон сохранения лептонного заряда

Сумма лептонных зарядов до и после взаимодействия сохраняется.

Лептонный заряд “ e^- ” и “ $\bar{\nu}_{e^-}$ ”, образующих 1^{ый} лептонный дублет, равен 1, а позитрона равен -1.

Пример для реакции β^- -распада:

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ (электронное антинейтрино).

Закон сохранения лептонного заряда имеет вид: $0 = 0 + 1 - 1$.

Второй лептонный дублет образуют отрицательно заряженный мюон μ^- и мюонное нейтрино $\underline{\nu}_\mu$.

Мюон открыт в 1936г. В космических лучах и напоминает тяжелый “ e^- ”.

$m_{\mu^-} > m_{e^-}$ в 207 раз, через 2,2с μ^- распадается на e^- , ν_μ , $\tilde{\nu}_e$.

Лептонный заряд мюона и мюонного нейтрино $L=1$.

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e.$$

$$1 = 1 - 1 + 1.$$

Античастицам $\bar{\nu}_\mu$ и μ^+ $L = -1$.

В 1975г. Открыт самый тяжелый (-) лептон – таон τ^- (или τ -лептон). Таон в 3492 раза тяжелее электрона и почти в 2 раза тяжелее протона, за $4 \cdot 10^{-13}$ с таон распадается на мюон, мюонное нейтрино, лептонный заряд таона и таонного нейтрино $L = 1$.

$$\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$$

$$3, C: 1 = 1 - 1 + 1$$

Таон и таонное нейтрино образуют 3^{ий} лептонный дублет.

Лептоны и их характеристики

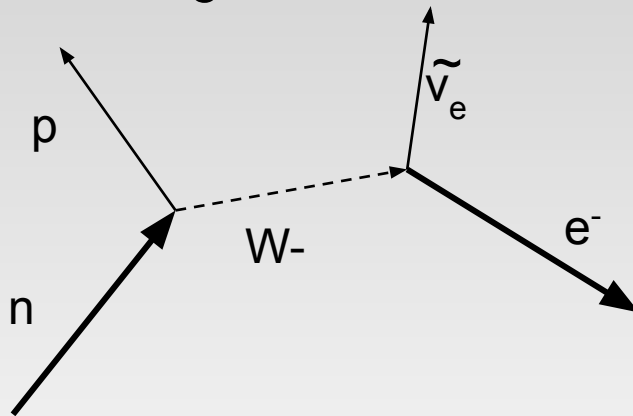
Дублет	Название	Символ		Масса		L	Время жизни (с)
		частица	античастица	в m_e	МэВ		
1	Электрон	e^-	e^+	1	0,511	± 1	стабильно
	Электронное нейтрино	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	$0(1,4 \cdot 10^{-5})$	± 1	стабильно
2	Мюон	μ^-	μ^+	207	105,66	± 1	$2,2 \cdot 10^{-6}$
	Мюонное нейтрино	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	$0(<0,25)$	± 1	стабильно
3	Таон	τ^-	τ^+	3492	1784	± 1	$<4 \cdot 10^{-13}$
	Таонное нейтрино	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	$0(<0,35)$	± 1	стабильно

Любое взаимодействие обусловлено обменом частиц.

В 1956г. Американский физик Швингер предположил, что переносчиком слабого взаимодействия являются 2 заряженных промежуточных векторных бозона W^+ и W^- .

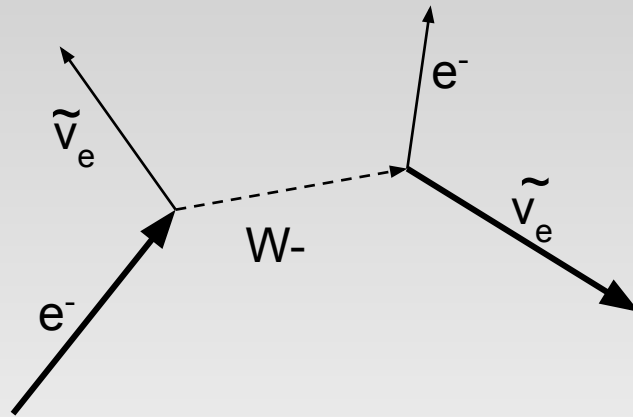
В 1961г. – американский физик Глэшоу отрицательный и нейтральный бозон.

Бета – распад происходит с участием W -бозона. Сначала нейтрон распадается на протон и W^- , затем промежуточный бозон W^- распадается на e^- и $\tilde{\nu}_e$.



β^- - распад

В действительности излучение или поглощение заряженных векторных бозонов – результат превращения одного типа лептона e^- , в другой - $\tilde{\nu}_e$.



Взаимопревращение e^- и $\tilde{\nu}_e$

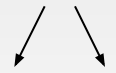
К классу адронов относится около 300 элементарных частиц, участвующих в сильном взаимодействии.

В зависимости от значения спина

Адроны  Мезоны (meso - средний)
Барионы (barys - тяжелый)

Мезоны – бозоны со спином 0, $\hbar$ участвующие в сильном взаимодействии.

Барионы – фермионы со спином $\hbar/2$, $3/2\hbar$, участвующие в сильном взаимодействии.


(подгруппы)

нуклоны

гипероны

Классификация адронов

Адроны		
Мезоны	Барионы	
$S = 0, 1$	нуклоны	гипероны
$\pi^+ \pi^- \pi^0$	$S = 1/2$	$\lambda^0 \tilde{\lambda}^0 \Sigma^+ \Sigma^- \Sigma^0 \tilde{\Sigma}^0$
$K^+ K^- K^0 \tilde{K}^0 \mu^0$	$p, \tilde{p}, n, \tilde{n}$	$\Xi^0 \tilde{\Xi}^0 \Xi^+ \Omega^- \Omega^+$

Время жизни протона (10^{31} лет) – стабильная частица, все другие адроны распадаются.

Американские физики-теоретики Геллман и Цвейг предположили, что адроны являются составными частицами (т.к. их “ m ” > чем “ m ” лептонов).

Нуклоны (p,n) состоят из 3^x фундаментальных, электрически заряженных частиц, называемых **кварками**.

Экспериментально подтверждено в 1969г. При рассеянии e^- с энергией 20ГэВ на протонах и нейтронах.

Было обнаружено пространственное распределение электрического заряда в нуклоне; в нуклоне 3^u точ. заряда установлено ($\pm$).

Основные характеристики кварков

1) имеют дробный электрический заряд:
 $+2/3e$ – называются U-кварками (верх)
 $-1/3e$ – d-кварк (низ).

кварковый состав протона представляет
U и d, электрона U и d.

т.к. $m_p \approx m_n$, то близки и массы кварков
($m_n > m_p$ на $2,5 m_e$), поэтому d-кварки
чуть тяжелее U-кварка.

2) Барионный заряд

Во всех взаимодействиях барионный заряд сохраняется.

Массовое число A является барионным зарядом B ядра: $B=A$, для барионов $B=1$; антибарионов $B=-1$, у частиц, не являющимися барионами $B=0$.

при β -распаде: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

З.с барионного заряда: $1 = 1 + 0 + 0$.

Барионный заряд кварков $=1/3$, что дает для барионов(p, n) $B=1$.

Затем были открыты тяжелые адроны:

S – странный

C – очарованный

b – красота

t – правда

Их массы превышают массы “U” и “d” – кварков.

Все кварки – фермионы, полуцелый спин, т.к. адроны являются фермионами.

Различные типы кварков называются ароматом.

Характеристики кварков и антикварков

Кварк (аромат) $S=1/2$	q	B	Антикварк к $S=1/2$	q	B
U, C, t	$+2/3e$	$1/3$	$\bar{U}, \bar{C}, \bar{t}$	$-2/3e$	$-1/3$
d, S, b	$-1/3e$	$1/3$	$\bar{d}, \bar{S}, \bar{b}$	$+1/3e$	$-1/3$

Цвет кварков

Кварки отличаются цветом, т.к. некоторые кварки могут состоять из 3^x одинаковых кварков:

 (каждый тип кварков, U-кварк – либо зеленым, либо красным, либо синим)

Реально они не окрашены, но так лучше запомнить.

Цветовой заряд является характеристикой взаимодействия кварков.

Адроны – цветонейтральны.

Мезоны – цветонейтральны.

поколение	частица		цвет	q	m((ГэВ)
1	Кварк	U		$2/3e$	0,330
		D		$-1/3e$	0,333
	Лептон	e		-e	$5,11 \cdot 10^{-4}$
		V_e		0	$<1,4 \cdot 10^{-8}$
2	Кварк	C		$2/3e$	1,65
		S		$-1/3e$	0,486
	Лептон	μ^-		-e	0,106
		V_μ		0	$<2,5 \cdot 10^{-4}$
3	Кварк	t		$2/3e$	>80
		b		$-1/3e$	4,5
	Лептон	τ^-		-e	1,78
		V_τ		0	<0,035

π^+ - мезон

$\uparrow u \quad 2/3e$

$\downarrow d \quad 1/3e$

барионный заряд = 0 ($1/3 - 1/3 = 0$)

π^- - мезон

$\bar{u} \uparrow - 2/3e \quad s \downarrow - 1/3e$

С помощью разноцветных кварков можно
построить любой адрон: 6 кварков, 6 антикварков
(каждый 3 цвета, полное число кварков - 36)

Фундаментальные частицы – кварки и лептоны.



В сильном
взаимодействии



Не участвуют в сильном
взаимодействии

Они образуют начальный уровень материи
Вселенная состоит из 48 фундаментальных
частиц (см. таблицу).