

Раздел V. Атомная и ядерная физика.

Глава 7. Элементарные частицы.

1. Лептоны.

С позиции современной физики элементарными частицами являются лептоны, кварки и калибровочные бозоны. К лептонам относятся электрон e , мюон μ , τ - лептон и три нейтрино ν . Некоторые характеристики лептонов: масса m , электрический заряд Q , спин S , лептонный заряд (число) L , барионный заряд (число) B , время жизни τ приведены в таблице. У античастиц заряды Q , L имеют противоположные знаки.

Частица	m мэВ	Q e	S	L	B	τ с	Анти- частица
e^-	0,51	-1	$\frac{1}{2}$	1	0	стаб.	e^+
μ^-	105,6	-1	$\frac{1}{2}$	1	0	$2 \cdot 10^{-6}$	μ^+
τ^-	1777	-1	$\frac{1}{2}$	1	0	$3 \cdot 10^{-13}$	τ^+
ν_e	$< 5 \cdot 10^{-6}$	0	$\frac{1}{2}$	1	0	стаб.	$\bar{\nu}_e$
ν_μ	$< 0,17$	0	$\frac{1}{2}$	1	0	стаб.	$\bar{\nu}_\mu$
ν_τ	< 24	0	$\frac{1}{2}$	1	0	?	$\bar{\nu}_\tau$

2. Кварки.

Кварков, так же как и лептонов, - 6: u, d, s, c, b, t - кварки. В отличие от лептонов, кварки связаны внутри адронов и в свободном состоянии не наблюдаются. Для кварков различают 2 массы. Масса токового кварка m_T - это масса свободного кварка и масса кварка в составе адрона m_A , которая включает в себя массу свободного кварка и энергию связи.

Частица	m_T МэВ	m_A МэВ	Q_e	S	L	B	Анти- частица
u	1-5 (2)	≈ 330	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	0	$+\frac{1}{3}$	$\bar{u}$
d	3-7 (5)	≈ 330	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	0	$+\frac{1}{3}$	$\bar{d}$
s	95 ± 25	≈ 510	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	0	$+\frac{1}{3}$	$\bar{s}$
c	1250 ± 100	1800	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	0	$+\frac{1}{3}$	$\bar{c}$
b	4100-4900	5000	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	0	$+\frac{1}{3}$	$\bar{b}$
t	174000 ± 3000	180000	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	0	$+\frac{1}{3}$	$\bar{t}$

У антикварков Q и B имеют противоположные знаки.

3. Адроны.

Из кварков построено огромное число частиц (свыше 100), которые называются адроны. Адроны, состоящие из кварка и антикварка, называются мезоны (π, K). Адроны, состоящие из 3 кварков - барионы. Это протон p , нейтрон n , гипероны (Σ, Λ, Ω) ... Адроны, время жизни которых $\tau < 10^{-20} \text{ с}$, обычно называют резонами (Δ, ρ) ...

Частица	m МэВ	Q_e	S	L	B	τ с	Анти- частица
$\pi^+ u\bar{d}$	140	+1	0 $\uparrow\downarrow$	0	0	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$\pi^- \bar{u}d$
$K^+ u\bar{s}$	494	+1	0 $\uparrow\downarrow$	0	0	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$K^- \bar{u}s$
$p uud$	938,3	+1	$\frac{1}{2} \uparrow\uparrow$	0	+1	стаб.	$\bar{p} \bar{u}\bar{u}\bar{d}$
$n udd$	939,6	0	$\frac{1}{2} \uparrow\downarrow$	0	+1	918	$\bar{n} \bar{u}\bar{d}\bar{d}$

Античастицы Q и B имеют противоположные знаки.

4. Законы сохранения.

При всех превращениях элементарных частиц и ядер выполняются законы сохранения:

- энергии E
- импульса $\vec{p}$
- момента импульса $\vec{M}$
- электрического заряда Q
- барионного заряда B
- лептонного заряда L

Некоторые другие характеристики элементарных

частиц такие как изотопический спин, четность комбинированная четность, гиперзаряд, зарядовое сопряжение сохраняются, но не во всех процессах.

5. Фундаментальные взаимодействия.

Калибровочные бозоны.

Существует 4 фундаментальных взаимодействия: сильное, электромагнитное, слабое, гравитационное.

В сильном взаимодействии участвуют адроны, в электромагнитном – все частицы, имеющие электрический заряд, в слабом – лептоны и кварки, в гравитационном – все частицы с массой.

Кроме рассмотренных лептонов и кварков существует другой тип фундаментальных частиц, который называется калибровочные бозоны. Это частицы, посредством которых осуществляются фундаментальные взаимодействия:

сильное – глюоны ($m = 0, S = 1$)

электромагнитное – фотон ($m = 0, S = 1$)

слабое - W^+, W^-, Z - бозоны

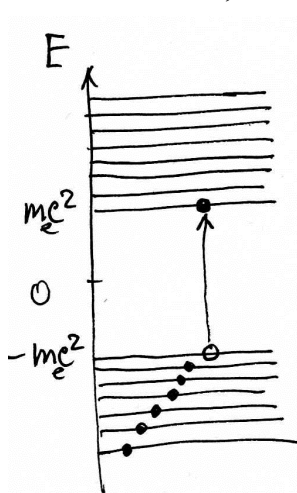
($m_{W^\pm} = 80 \text{ ГэВ}, m_Z = 91 \text{ ГэВ}, S = 1$)

гравитационное – гравитон ($m = 0, S = 2$)

6. Частицы и античастицы.

Дирак в 1928 нашел релятивистское квантовое уравнение для электрона. Из него автоматически получается спин и магнитный момент электрона.

Кроме того, из уравнения Дирака следует, что полная энергия свободного электрона может иметь как положительные, так и отрицательные значения:



$$E = \pm \sqrt{c^2 p^2 + m_e^2 c^4}$$

Наличие отрицательных значений приводит к тому, что электрон, скатываясь вниз по отрицательным энергиям, может выделить бесконечно большую энергию. Чтобы избежать это противоречие, Дирак предположил, что вакуум (отсутствие реальных частиц) – это состояние, когда все уровни с отрицательными энергиями заняты.



При переходе электрона из отрицательных энергий в положительные появляется обычный электрон и вакансия в одном из состояний с отрицательной энергией. Такая вакансия ведет себя как электрон с положительным зарядом. Эта частица была названа позитрон. Экспериментально позитрон был обнаружен в 1932 г при прохождении γ - квантов с энергией

$$E > 2m_e c^2 = 1,02 \text{ МэВ}$$

через вещество.

Рождение пар e^-, e^+ происходит в присутствии еще одной частицы (чаще всего ядра атома) по схеме

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

Дополнительная частица нужна, чтобы выполнялись законы сохранения импульса и энергии (она забирает избыток импульса и энергии).

Далее были открыты антипротон $\bar{p}$ и антинейтрон $\bar{n}$ 1956...

Античастицы обладают той же массой, спином, но противоположными электрическим, лептонным, барионными зарядами, магнитным моментом.

Пары частица – античастица при столкновении аннигилируют с появлением других частиц. Так электрон и позитрон аннигилируют по схеме:

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

Вопросы.

1. Что такое лептоны.
2. Что такое кварки.
3. Что такое адроны.
4. Законы сохранения.
5. Что такое калибровочные бозоны.
6. Что такое античастицы.