

# **Лекция 1.2**

## **«Элементарные частицы»**

- 1. Основные закономерности в физике частиц**
- 2. Сохранения обобщенных зарядов**
- 3. Характеристик разных классов частиц**
- 4. Частицы-резонансы**
- 5. Модель кварков**
- 6. Кварковые состояния нуклонов**
- 7. Кварковые состояния мезонов**
- 8. Глюоны**
- 9. Поиск кварков**
- 10. Характеристики стандартной модели.**

# Сохранения обобщенных зарядов: Z, L, B, S

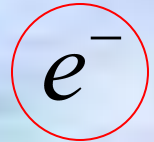
Полный электрический заряд

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

$$\mathbf{Z: \quad Z = +1 - 1 + Z}$$

Полный лептонный заряд

$$e^-, \mu^-, \nu_e, \nu_\mu \quad \text{Лептоны: (L=+1)}$$



$$n \rightarrow p^+ + e^- + \tilde{\nu}$$

$$\mathbf{L: \quad 0 = 0 + 1 + (-1)}$$

Полный барионный заряд

$$p^+, n, \dots \quad \text{Барионы: (B=+1)}$$

$$p^+ + {}^{16}_8O \rightarrow \alpha^{++} + X$$

$$\mathbf{B: \quad 1 + 16 = 4 + [13]}$$

$$X \equiv {}^{13}_7N$$

Странность

$$p^+ + p^+ \rightarrow \Lambda^0 + K^+ + p^+$$

$$\mathbf{S: \quad 0 + 0 = -1 + 1 + 0}$$

# Основные закономерности в физике частиц

Способность рождаться в процессе взаимодействия

$$e + p^+ \rightarrow \gamma + e + p^+$$

Способность видоизменяться

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \tilde{\nu}$$

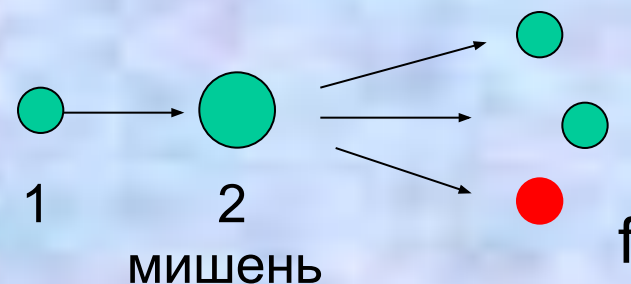
Сохранения обобщенных зарядов:  $Z, B, L$

Энергетический порог рождения новой частицы ( $m_x$ )

$$m_1 + m_2 \geq m_3 + m_4 + m_x$$

$$T_1^{\min} = \frac{(\sum_f m_f c^2)^2 - (\sum_i m_i c^2)^2}{2m_2^2}$$

мишень











## Сохранения обобщенных зарядов в разных типах взаимодействий

Взаимодействие	$\Delta z$	$\Delta B$	$\Delta L$	$\Delta I$	$\Delta S$
Сильное	0	0	0	0	0
Эл/магнитное	0	0	0	0	0
Слабое	0	0	0	0, $\pm 1$	0, $\pm 1$



Каскадный  
распад  
гиперона  
( $\Delta S = -1$ )

□  $p^+ + \pi^-$

$S = -3$

$\Omega^-$  □

$|S = -2$

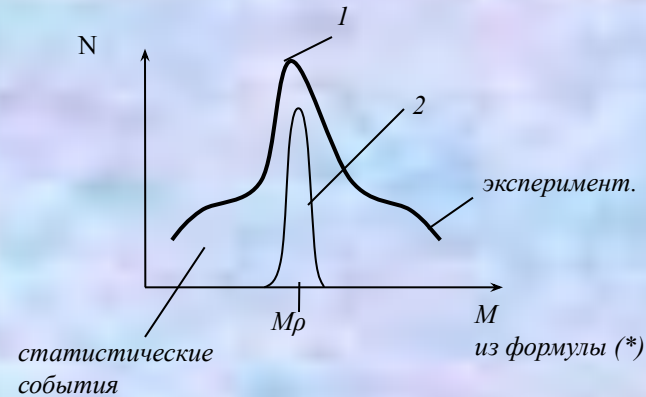
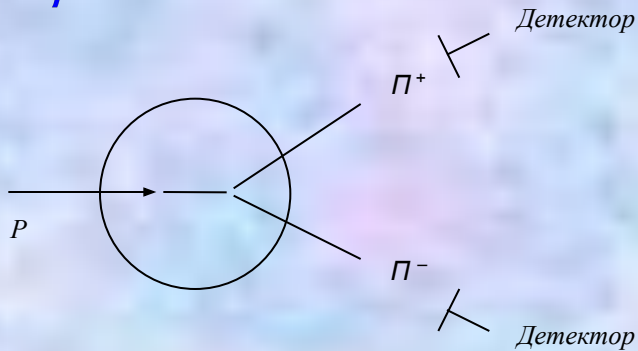
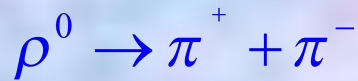
□  $\Lambda^0 + \pi^-$

$|S = -1$

$\Xi^- + \pi^0$

В замкнутой системе алгебраическая сумма отдельных типов «зарядов» сохраняется

# Частицы-резонансы



$$p_\rho = p_{\pi^+} + p_{\pi^-}$$

— знаем из эксперимента

$$E_\rho = E_{\pi^+} + E_{\pi^-} \text{ — вычисляем, где } E_{\pi^+} = \sqrt{\left(\frac{p_{\pi^+}}{c}\right)^2 + m_{\pi^+}^2} c^2,$$

$E_{\pi^-}$  — вычисляется аналогично

$$M_\rho c^2 = \sqrt{E_\rho^2 - \left(\frac{p_\rho}{c}\right)^2} c^2$$



# Модель кварков

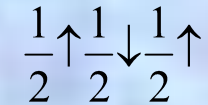
## Квантовые числа кварков $B, Z, S$

кварк	$B_q$	$Z_q$	$S$ (странность)	$\uparrow\downarrow$ $S$
<b>u</b>	+1/3	+2/3	0	$\uparrow\downarrow$ 1/2
<b>d</b>	+1/3	-1/3	0	$\uparrow\downarrow$ 1/2
<b>s</b>	+1/3	-1/3	-1	$\uparrow\downarrow$ 1/2

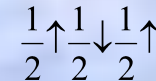
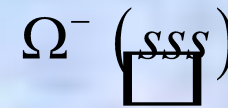
Кварковый состав протона ( $qqq$ )



Кварковый состав  $\pi^+$  - мезона ( $u\bar{d}$ )



Кварковый состав  $\Omega^-$  - гиперона ( $qqq$ )



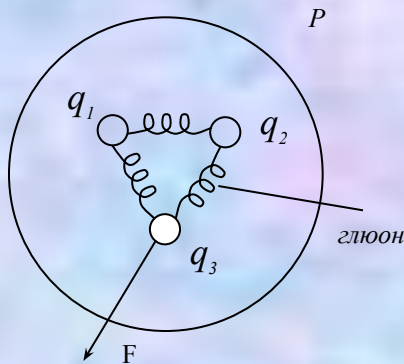
Цветные кварки: **зеленый**, **синий**, **красный**

**физические частицы -**

**бесцветные**

# Глюоны

Глюоны – переносчики взаимодействия между кварками



glu – клей

кварки в свободном состоянии

принципиально не наблюдаемы

(модель конфайнмента).

Взаимодействие между кварками возрастает с расстоянием подобно растянутой пружине. Отдельные кварки невозможно “вытащить” за пределы протона.

Поиск свободных кварков:

дробный заряд

$$Z_q = +\frac{2}{3}e; -\frac{1}{3}e$$

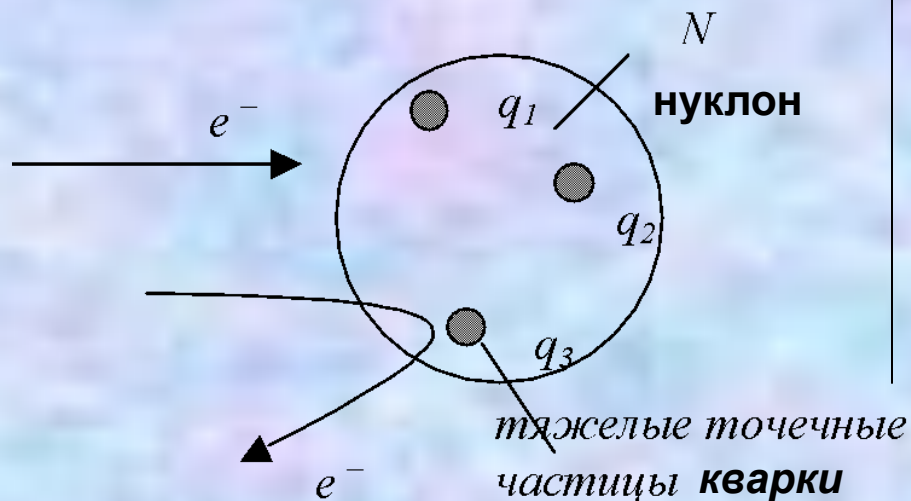
$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} \sim Z_{\text{част}}^2$$

$$\frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_q}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_p} \sim \frac{(1/3e)^2}{e^2} = 1/9$$

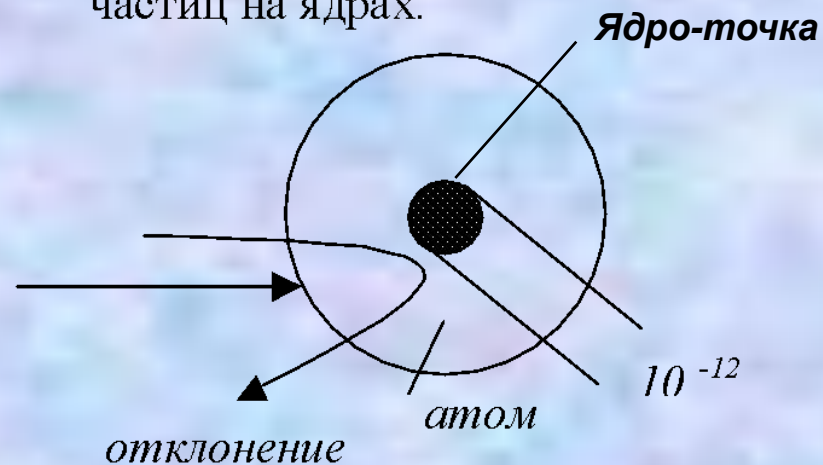
**Свободных кварков нет !**

# Косвенные эксперименты «наблюдения» кварков

Рассеяние быстрых электронов на нуклонах.



Рассеяние  $\alpha$ -частиц на ядрах.



На ядрах атомов наблюдались отклонения  $\alpha$ -частиц на большие углы – ядро точечное в масштабе атома. Аналогичное распределение по переданным 4-импульсам было при  $e$ -р рассеянии. Для зондирования структуры протона использовался пучок высокоэнергичных электронов  $\lambda_e < R_N$ . Происходило рассеяние на точечных частях (кварках) нуклона.

# Характеристики стандартной модели

1974 – 1995 г.г.

Существует две группы (по шесть штук) фундаментальных точечных частиц: лептонов и кварков - из которых строятся все другие частицы

		<b>ЛЕПТОНЫ</b>		<b>кварки</b>
1	$e$	электрон	$u$	up
2	$\mu$	мюон	$d$	down
3	$\tau$	тау-лептон	$s$	strange
4	$\nu_e$	нейтрино электронное	$c$	charm
5	$\nu_\mu$	нейтрино мюонное	$b$	bottom (beauty)
6	$\nu_\tau$	тау-нейтрино	$t$	top



# Характеристики стандартной модели

## Характеристики кварков

кварки:	d	u	s	c	b	t
$Z_q$ –	<u>-1/3</u>	<u>+2/3</u>	<u>-1/3</u>	+2/3	-1/3	+2/3
I заряд	1/2	1/2	0	0	0	0
Изотоп спин	-1/2	1/2	0	0	0	0
S проекция изотоп спина	0	0	-1	0	0	0
C странность	0	0	0	-1	0	0
B чармность	0	0	0	0	-1	0
T -	0	0	0	0	0	-1
$m_c^2$ , ГэВ	0,33	0,33	0,51	1,8	5,0	180

**Взаимодействие**

Сильное  
Эл/магнитное  
Слабое

**переносчик**

g - (несколько разных глюонов – 8 шт.)  
W, Z,  $\gamma$ -квант  
бозоны