

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

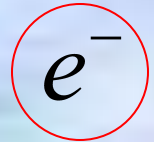
Полный электрический заряд

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

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

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

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

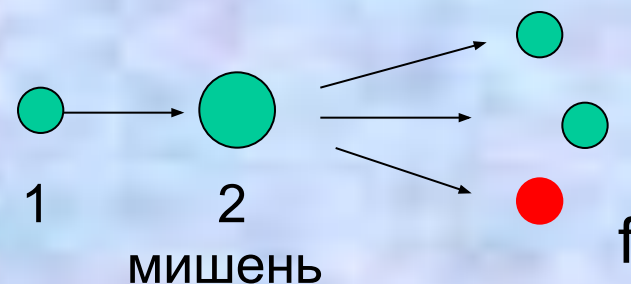
Сохранения обобщенных зарядов: Z, B, L

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 | Δz | ΔB | ΔL | ΔI | ΔS |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 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

($\Delta S = -1$)

$\square p^+ + \pi^-$

$S = -3$

Ω^- \square

$|S = -2$

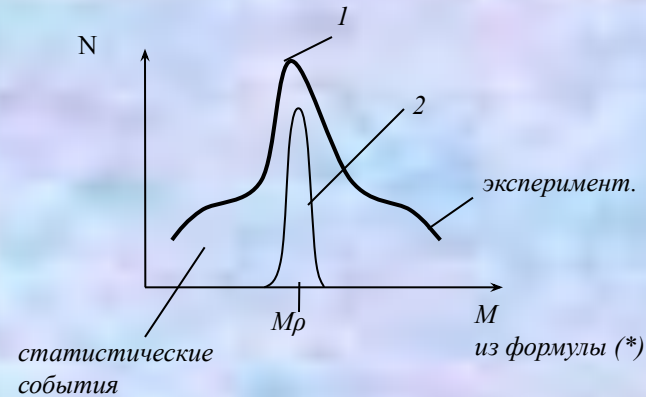
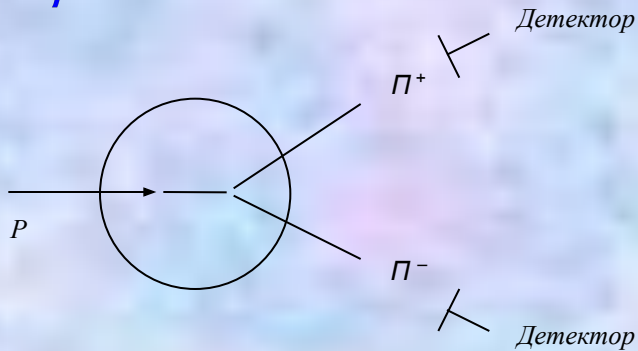
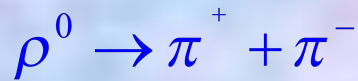
$\square \Lambda^0 + \pi^-$

$|S = -1$

$\Xi^- + \pi^0$

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_{π^-} — вычисляется аналогично

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

Модель кварков

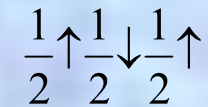
Квантовые числа кварков B, Z, S

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

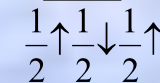
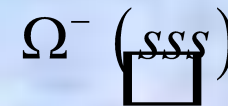
Кварковый состав протона (qqq)



Кварковый состав π^+ - мезона ($u\tilde{d}$)



Кварковый состав Ω^- -гиперона (qqq)



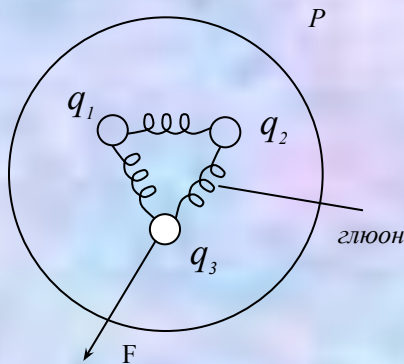
Цветные кварки: **зеленый**, **синий**, **красный**

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

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

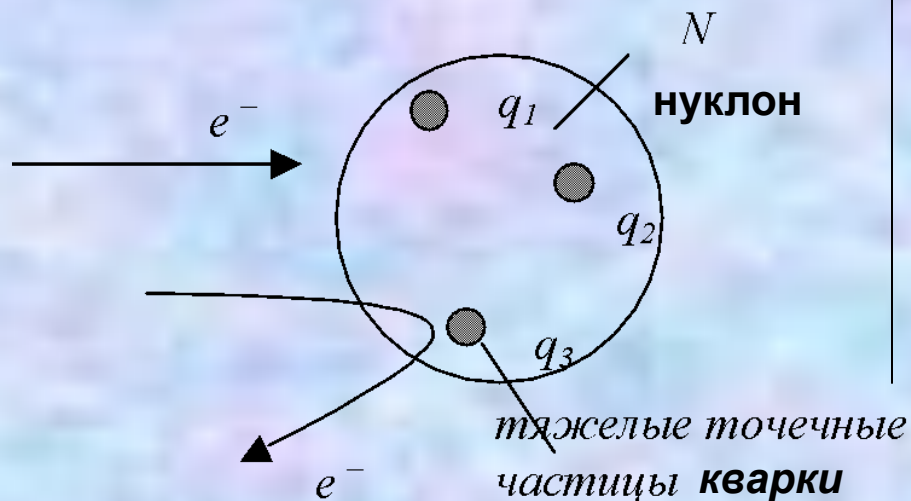
$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{\text{ион}} \sim Z_{\text{част}}^2$$

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

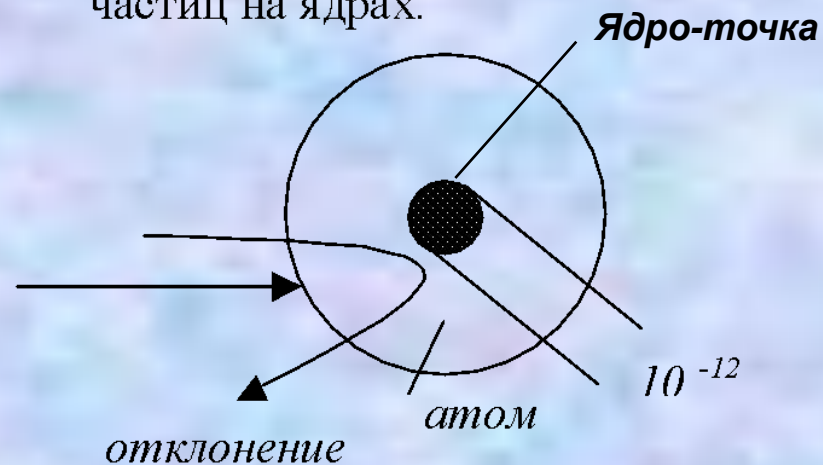
Свободных кварков нет !

Косвенные эксперименты «наблюдения» кварков

Рассеяние быстрых электронов на нуклонах.



Рассеяние α -частиц на ядрах.



На ядрах атомов наблюдались отклонения α -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

| | | ЛЕПТОНЫ | | кварки |
|---|------------|----------------------|-----|-----------------|
| 1 | e | электрон | u | up |
| 2 | μ | мюон | d | down |
| 3 | τ | тау-лептон | s | strange |
| 4 | ν_e | нейтрино электронное | c | charm |
| 5 | ν_μ | нейтрино мюонное | b | bottom (beauty) |
| 6 | ν_τ | 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_q , 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, γ -квант)
бозоны