



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

# Физика микромира: элементарные частицы и их свойства

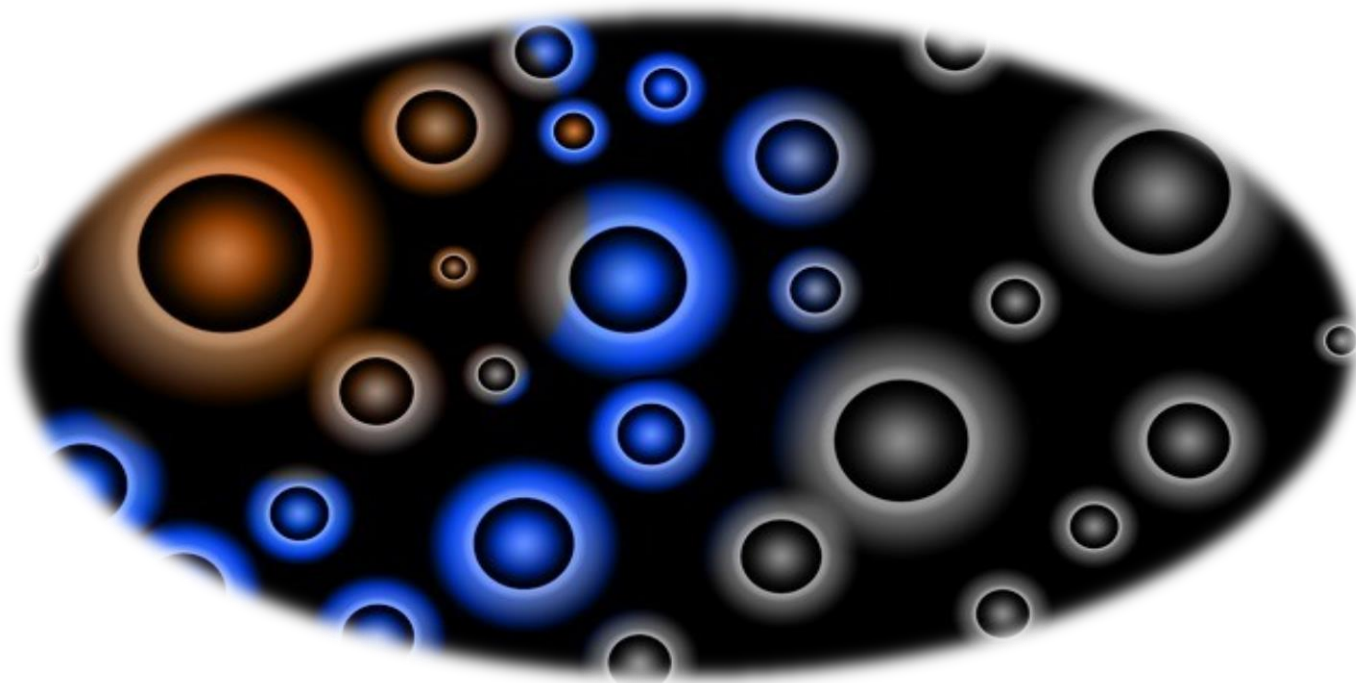
Автор: Фалько Е.В.

Факультет ИКТ

Группа: КЗ143

Преподаватель: Колесникова Т.Д.

Санкт-Петербург, 2018



Самое главное в физике микромира —  
это то, что мы не знаем правил.

Шелдон Ли Глэшоу

## Элементарные частицы





## Лептоны

Это частицы, участвующие в электромагнитных и слабых взаимодействиях. К ним относятся:

- электроны и электронные нейтрино;
- мюоны и мюонные нейтрино;
- таоны и тау-нейтрино.

Все лептоны имеют спины, равные  $\frac{1}{2}$  и являются фермионами (квазичастицами).

# Адроны

Это частицы, участвующие в электромагнитных, сильных и слабых взаимодействиях. Делятся на:

- барионы (состоят из трех кварков, имеют барионное число, равное 1);
- мезоны (состоят из кварка и антикварка, имеют барионное число, равное 0).

Известные представители: протон и нейтрон.



## Калибровочные бозоны

Осуществляют взаимодействие между фундаментальными фермионами (кварками и лептонами). Сюда можно отнести:

- фотон;
- частицу  $W^+$ ;
- частицу  $W^-$ ;
- частицу  $Z^0$ .



| Элементарные частицы                           |                           |   |   |
|--|---------------------------|---|---|
| Лептоны  | Калибровочные бозоны      | Адроны  |   |
| $e^- \mu^- \tau^-$<br>$\nu_e \nu_\mu \nu_\tau$ | $\gamma, W^+, W^-, Z, 8g$ | Барионы<br>$(qqq)B = 1$   | Мезоны<br>$(q\bar{q})B = 0$                     |
|  |                           | $n, p,$<br>гипероны<br>$(\Lambda, \Sigma, \Xi, \Omega)$<br>и др.<br>Барионные резонансы | $\pi, K, J/\Psi$<br>и др.<br>Мезонные резонансы |

## Свойства лептонов

| Группа  | Название частицы     | Символ     |                  | Заряд, единиц $e$ | Масса покоя, ед. $m_e$ | $\hbar$<br>Спин, ед. | Изоспин $T_z$ | Лептонный заряд $L$ | Барионный заряд $B$ | Странность $S$ | Приблизительное время жизни, с |
|---------|----------------------|------------|------------------|-------------------|------------------------|----------------------|---------------|---------------------|---------------------|----------------|--------------------------------|
|         |                      | частицы    | античастицы      |                   |                        |                      |               |                     |                     |                |                                |
| Фотоны  | Фотон                | $\gamma$   |                  | 0                 | 0                      | 1                    | –             | 0                   | 0                   | 0              | Стабилен                       |
| Лептоны | Электрон             | $e^-$      | $e^+$            | 1                 | 1                      | 1/2                  | –             | +1                  | 0                   | 0              | Стабилен                       |
|         | Электронное нейтрино | $\nu_e$    | $\bar{\nu}_e$    | 0                 | 0                      | 1/2                  | –             | +1                  | 0                   | 0              | Стабильно                      |
|         | Мюон                 | $\mu^-$    | $\mu^+$          | 1                 | 206,8                  | 1/2                  | –             | +1                  | 0                   | 0              | $\approx 10^{-6}$              |
|         | Мюонное нейтрино     | $\nu_\mu$  | $\bar{\nu}_\mu$  | 0                 | 0                      | 1/2                  | –             | +1                  | 0                   | 0              | Стабильно                      |
|         | Таон                 | $\tau^-$   | $\tau^+$         | 1                 | 3487                   | 1/2                  | –             | +1                  | 0                   | 0              | $\approx 10^{-12}$             |
|         | Таонное нейтрино     | $\nu_\tau$ | $\bar{\nu}_\tau$ | 0                 | 0                      | 1/2                  | –             | +1                  | 0                   | 0              | ?                              |



# Свойства адронов

|                     |                                | Название       | Символ        | Электрич. заряд | Группировка в изотопическое семейство | Барионный заряд | Странность | Очарование | Прелесть | Масса (МэВ/с <sup>2</sup> ) | Время жизни (с)    | Античастицы           | Кварковый состав адронов |
|---------------------|--------------------------------|----------------|---------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|------------|------------|----------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| Очарованные частицы | Мезоны                         | Д-плюс         | $D^+$         | +1              | } D-мезоны                            | 0               | 0          | +1         | 0        | 1869                        | $9 \cdot 10^{-13}$ | $D^-$                 | $D^+ = [c\bar{d}]$       |
|                     |                                | Д-нуль         | $D^0$         | 0               |                                       | 0               | 0          | +1         | 0        | 1865                        | $4 \cdot 10^{-13}$ | $\bar{D}^0$           | $D^0 = [c\bar{u}]$       |
|                     |                                | Ф-плюс         | $F^+$         | +1              | } F-мезон                             | 0               | +1         | +1         | 0        | 1970                        | $2 \cdot 10^{-13}$ | $F^-$                 | $F^+ = [c\bar{s}]$       |
|                     | Барионы (очарованные гипероны) | Лямбда-це-плюс | $\Lambda_c^+$ | +1              | } $\Lambda_c$ -гипероны               | 1               | 0          | +1         | 0        | 2282                        | $2 \cdot 10^{-13}$ | $(\bar{\Lambda}_c)^-$ | $\Lambda_c^+ = [udc]$    |
|                     |                                | А-плюс         | $A^+$         | +1              |                                       | 1               | -1         | +1         | 0        | 2460                        | $2 \cdot 10^{-13}$ | $(\bar{A})^-$         | $A^+ = [usc]$            |
|                     |                                |                |               |                 |                                       |                 |            |            |          |                             |                    |                       |                          |
| Прелестные частицы  | Мезоны                         | Б-плюс         | $B^+$         | +1              | } B-мезоны                            | 0               | 0          | 0          | +1       | 5270                        | } $\sim 10^{-12}$  | $B^-$                 | $B^+ = [u\bar{b}]$       |
|                     |                                | Б-нуль         | $B^0$         | 0               |                                       | 0               | 0          | 0          | +1       | 5274                        |                    | $B^0$                 | $B^0 = [d\bar{b}]$       |

# Кварки

Это элементарные частицы, которые не имеют своей внутренней структуры.

## КВАРКИ

Из кварков состоят протоны, нейтроны и большое количество менее известных частиц. Кварки никогда не наблюдаются поодиночке

### ВЕРХНИЙ

u

**Электрический заряд:**  $+\frac{2}{3}$

**Масса:** 2 МэВ

Входят в состав атомного ядра: два верхних кварка и один нижний образуют протон

### ОЧАРОВАННЫЙ

c

**Электрический**

**заряд:**  $+\frac{2}{3}$

**Масса:** 1,25 ГэВ

Настойчивый более тяжелый родственник верхнего кварка; компонента  $J/\psi$  частицы, которая помогла разработать Стандартную модель

### ИСТИННЫЙ

t

**Электрический**

**заряд:**  $+\frac{2}{3}$

**Масса:** 171 ГэВ

Самая тяжелая из известных частиц, сравнима по массе с атомом осмия. Время жизни составляет примерно  $10^{-25}$  с

### НИЖНИЙ

d

**Электрический заряд:**  $-\frac{1}{3}$

**Масса:** 5 МэВ

Входят в состав атомного ядра: два нижних кварка и один верхний образуют нейтрон

### СТРАННЫЙ

s

**Электрический**

**заряд:**  $-\frac{1}{3}$

**Масса:** 95 МэВ

Нестабильный более тяжелый родственник нижнего кварка; входит в состав хорошо изученной частицы — каона

### ПРЕЛЕСТНЫЙ

b

**Электрический**

**заряд:**  $-\frac{1}{3}$

**Масса:** 4,2 ГэВ

Нестабильная и еще более тяжелая копия нижнего кварка; входит в состав хорошо изученного B-мезона



## Лёгкие «u» и странные «s» кварки

1. Лёгкие кварки. Самые распространённые в природе. Именно из них состоят протоны ( $uud$ ), нейтроны ( $udd$ ), переносчики ядерных сил, пи-мезоны.
2. Странные кварки. Содержащие частицы (странные адроны) только-только стали появляться в экспериментальных данных и вели себя «как-то не так» по сравнению с известными адронами.



## Очарованные «с» и прелестные «b» кварки

1. Очарованные кварки «с». Содержащие этот кварк частицы (очарованные адроны) тяжелее своих легких собратьев (к их массе добавляется примерно 1,5 ГэВ на каждый с-кварк) и живут недолго.
2. Прелестные кварки «b». Еще тяжелее, масса составляет около 5 ГэВ, однако время жизни его даже больше, чем у с-кварка.

# Свойства кварков

Типы кварков и их характеристики

| Символ       | Название                               | $B$   | $I$   | $I_3$  | $S$  | $C$ | $b$ | $t$ | $Q$    |
|--------------|--|-------|-------|--------|------|-----|-----|-----|--------|
| $u^{\alpha}$ | Верхний<br>( $u$ , от англ. up)        | $1/3$ | $1/2$ | $+1/2$ | $0$  | $0$ | $0$ | $0$ | $2/3$  |
| $d^{\alpha}$ | Нижний<br>( $d$ , от англ. down)       | $1/3$ | $1/2$ | $-1/2$ | $0$  | $0$ | $0$ | $0$ | $-1/3$ |
| $s^{\alpha}$ | Странный<br>( $s$ , от англ. strange)  | $1/3$ | $0$   | $0$    | $-1$ | $0$ | $0$ | $0$ | $-1/3$ |
| $c^{\alpha}$ | Очарованный<br>( $c$ , от англ. charm) | $1/3$ | $0$   | $0$    | $0$  | $1$ | $0$ | $0$ | $2/3$  |
| $b^{\alpha}$ | Красивый<br>( $b$ , от англ. beauty)   | $1/3$ | $0$   | $0$    | $0$  | $0$ | $1$ | $0$ | $-1/3$ |
| $t^{\alpha}$ | Истинный<br>( $t$ , от англ. truth)    | $1/3$ | $0$   | $0$    | $0$  | $0$ | $0$ | $1$ | $+2/3$ |





УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Спасибо за внимание**