



**Тема:  
«Микромир»**

**Цикл:  
«Элементарные  
частицы»**

# Тема «Микромир»

## 25 ч

Цикл	Количество часов
Особенности микромира	5ч
Элементарные частицы	5ч
Атомы	5ч
Молекулы	5ч
Наноструктуры	5ч

Составные и фундаментальные (бесструктурные) частицы.

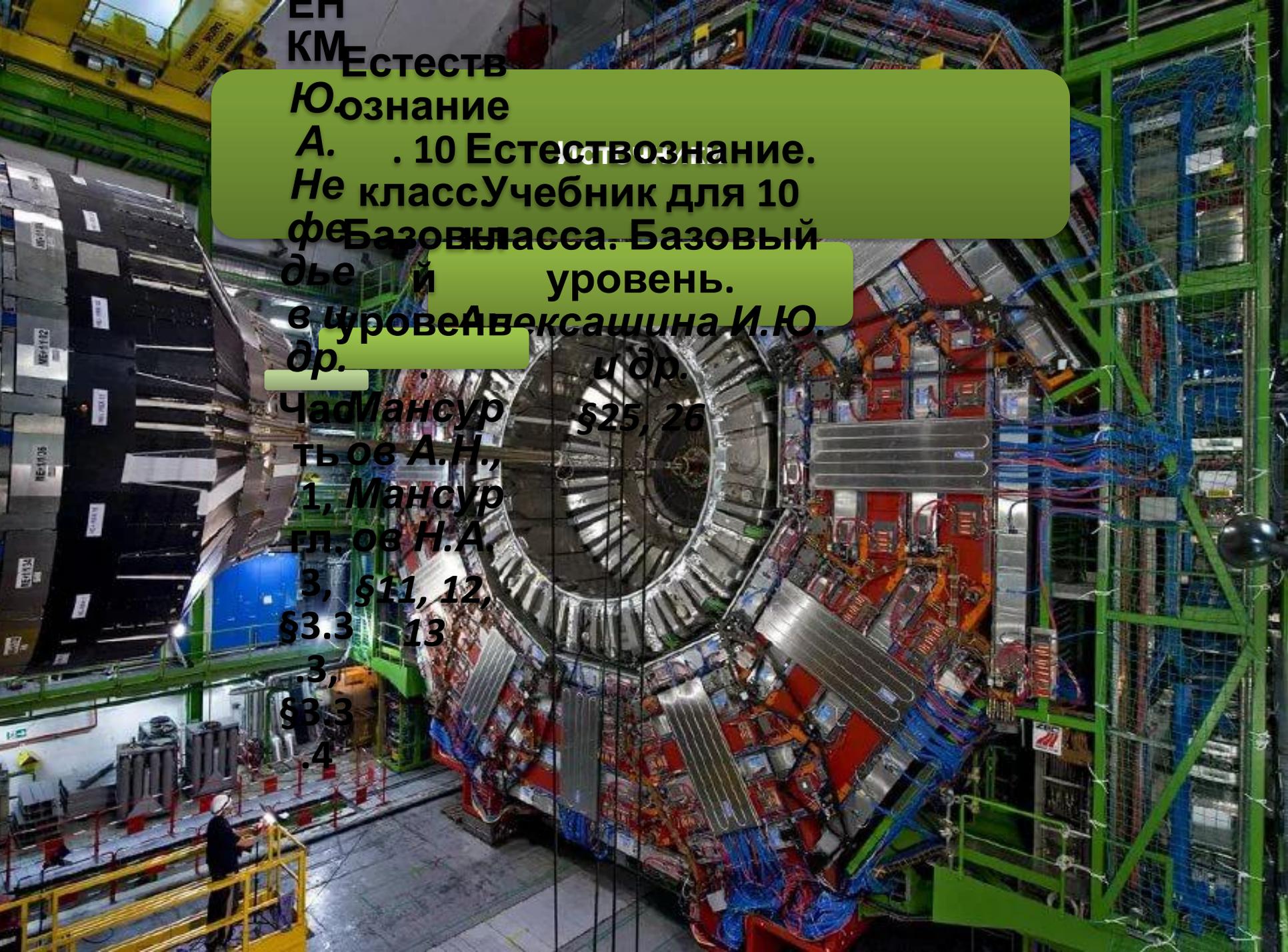
Кварки.

Частицы-переносчики взаимодействий.

Частицы и античастицы.

Реакции превращения элементарных частиц.

Аннигиляция.



ЕП  
КМ

Естество  
Ю.ознание

А. . 10 Естествознание.

Не класс Учебник для 10

фе Базовый

дье й уровень.

в уровне А.И.Ю.

др. и др.

Чад Мансур §25, 26

ть ов А.Н.,

1, Мансур

гл. ов Н.А.

3, §11, 12,

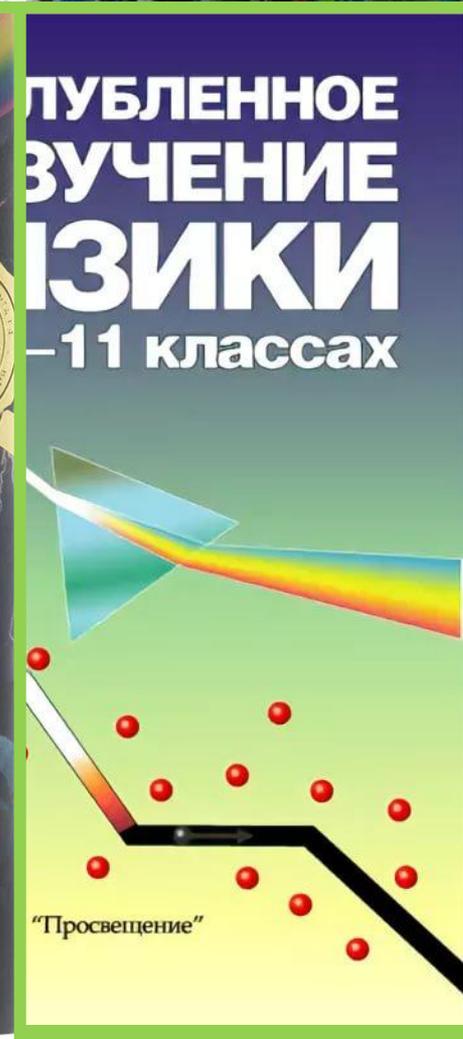
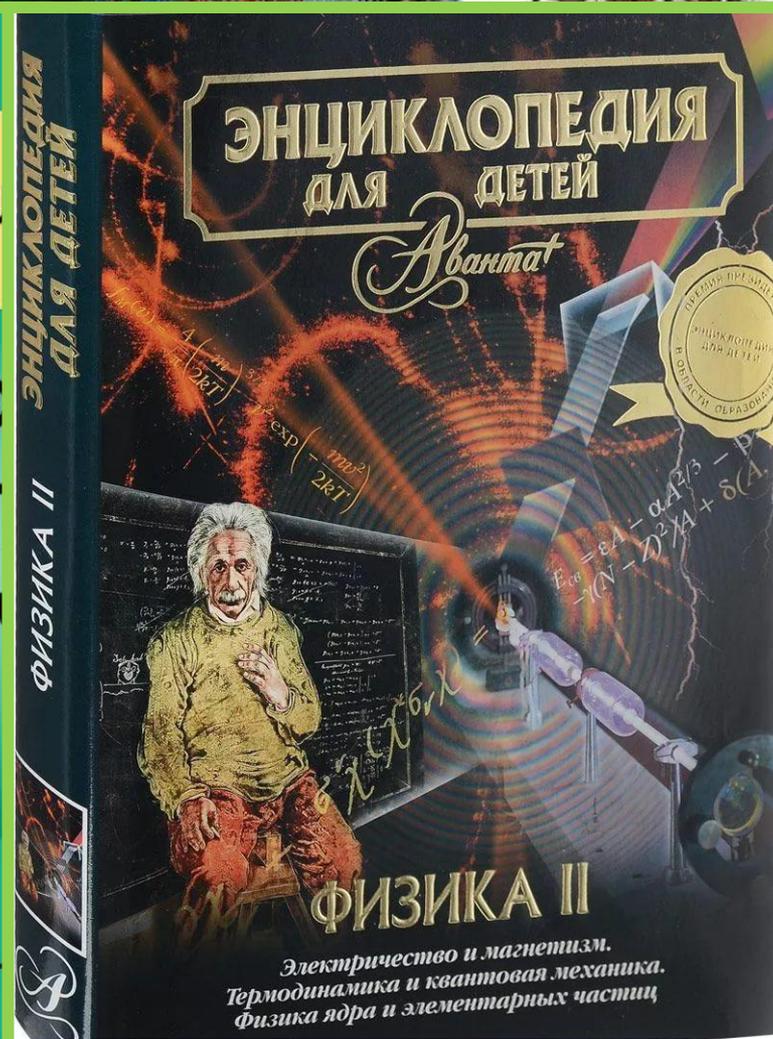
§3.3 13

.3,

§3.3

.4

# Дополнительные источники:





**Элементарные частицы – первичные, основные частицы, которые не содержат каких-либо других элементов.**

- Иерархическая структура микромира
- Молекулы
- АТОМЫ
- Атомные ядра
- Элементарные частицы

### Элементарные частицы

<b>Характерные размеры, м</b>	$<10^{-15}$
<b>Характерные массы, кг</b>	$<10^{-25}$
<b>Взаимодействия между частицами</b>	Электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия
<b>Превращения частиц</b>	Превращения элементарных частиц
<b>Разделы естествознания</b>	Физика элементарных частиц, СТО

# Эволюция представлений о микромире

Частица	Ученый	Дата
Атом	Левкипп Демокрит	V век до н. э
Электрон	Э. Вихерт , Дж. Дж. Томсон	1897 г.
Протон	Э. Резерфорд	1919 г.
Нейтрон	Джеймс Чедвик	1932 г
Фотон	Гильберт Льюис, Макс Планк	1929 г.
Позитрон	Карл Дейвид Андерсон Поль Дирак	1930 г.
Нейтрино	Паули	1936 г. (1953 г.)
Пионы	Хидоки Юкава	1947 г.
Антипротон		1955 г.
Антинейтрон		1956 г.
Кварк	М. Гелл-Манном, Дж. Цвейгом	1964 г.
«Очарованные частицы»		1970-1980 г.г.

- Элементарные частицы
- Фундаментальные
- Составные

**Фундаментальная частица** — частица, которая считается бесструктурной, элементарная частица, которую до настоящего времени не удалось описать как составную.

**Участники  
взаимодействи  
й**

**Переносчики  
взаимодействи  
й**

**Лептоны** – ф.ч. с полужелтым спином, не участвующие в сильном взаимодействии.

**Адроны** – класс э.ч., подверженных сильному взаимодействию. Адроны являются составными частицами

- Элементарные частицы
- Лептоны
- Адроны
- Мезоны
- Барионы
- Переносчики взаимодействий



# Адроны

## Барионы (фермионы)

Частица с полуцелым значением спина.

Состоят из **трёх кварков** трёх цветов, образуя так называемую бесцветную комбинацию

**Примеры:** Кварки, электроны, нейтрино

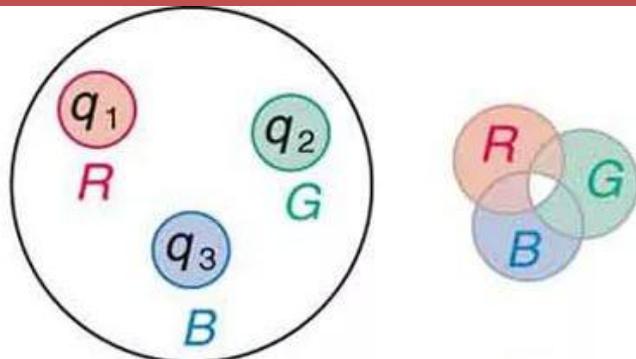
## Мезоны

**Мезоны** (от греч. – средний, промежуточный) представляют собой **нестабильные адроны**, обладающие **целочисленным или нулевым спином**.

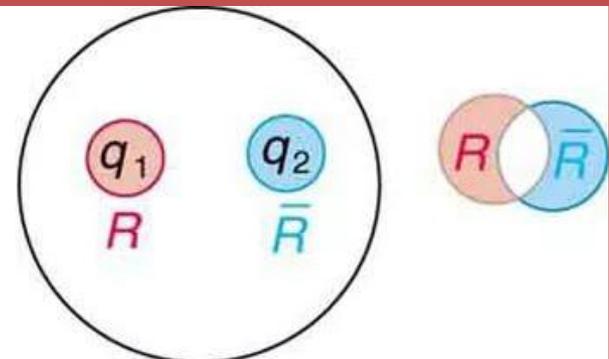
Состоят из **одного кварка** и **одного антикварка**.

**Примеры:** пионы, каоны

Baryon



Meson



# Поколения лептонов:

Символ	Название	Заряд	Масса
<b>Первое поколение</b>			
$e^-$	Электрон	-1	0,510998910(13) МэВ/с <sup>2</sup>
$\nu_e$	Электронное нейтрино	0	< 2 эВ/с <sup>2</sup>
<b>Второе поколение</b>			
$\mu^-$	Мюон	-1	105,6583668(38) МэВ/с <sup>2</sup>
$\nu_\mu$	Мюонное нейтрино	0	< 0,19 МэВ/с <sup>2</sup>
<b>Третье поколение</b>			
$\tau^-$	Тау-лептон	-1	1776,84(17) МэВ/с <sup>2</sup>
$\nu_\tau$	Тау-нейтрино	0	< 18,2 МэВ/с <sup>2</sup>

**Нейтрино** -  
нейтральная  
фундаментальная  
частица с  
полуцелым  
спином,  
участвующая  
только в слабом и  
гравитационном  
взаимодействиях и  
относящаяся к  
классу лептонов.

**Калибровочные бозоны** — это бозоны, которые действуют как переносчики фундаментальных взаимодействий природы.

Фотон — э.ч., квант э/м излучения.

$W^\pm$  и  $Z$  - ф.ч., переносчики сл.вз.

- Калибровочные бозоны
- Фотон (э/м)
- Глюон (с)
- Гравитон ? (гр)
- $W^\pm$  и  $Z$  (бозоны сл)

Векторные калибровочные бозоны, непосредственно отвечающие за сильное цветное взаимодействие между кварками в квантовой хромодинамике

# Переносчики взаимодействий

# Фундаментальные взаимодействия и их характеристики

Взаимодействие	На какие частицы действуют	Переносчики взаимодействий	Радиус действия, м	Интенсивность
Сильное	Кварки, адроны	Глюоны (8 типов)	$10^{-15}$	1
Электромагнитное	Все электрически заряженные частицы	Фотон	$\infty$	$10^{-2}$
Слабое	Адроны, лептоны	Промежуточные векторные бозоны (3 типа)	$10^{-18}$	$10^{-10}$
Гравитационное	Все массивные частицы	Гравитон?	$\infty$	$10^{-38}$

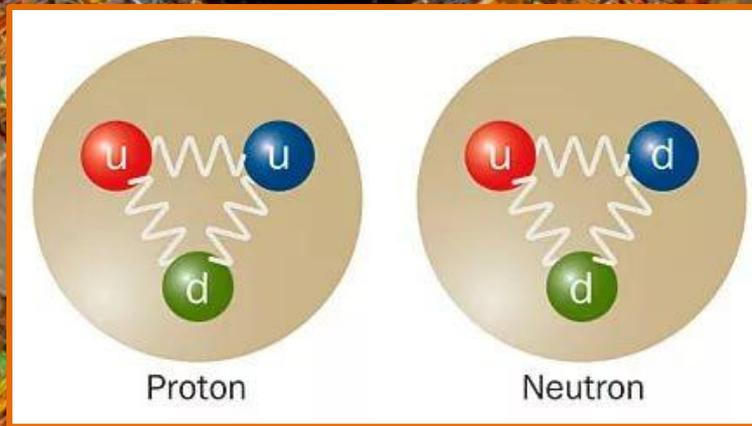
# Калибровочные бозоны:

Частица	Символ	Масса, ГэВ/c <sup>2</sup>	Переносимое взаимодействие	Взаимодействия, в которых участвует	Спин	Время жизни, с	Пример распада (>5 %)	Электрический заряд, e
Фотон	$\gamma$	0 ( $<6 \cdot 10^{-26}$ )	Электромагнитное взаимодействие	Электромагнитное взаимодействие	1	стабилен		0 ( $<10^{-32}$ )
W-бозон	$W^{\pm}$	$80,385 \pm 0,015^{[3]}$	Слабое взаимодействие	Слабое взаимодействие, электромагнитное	1	$3 \cdot 10^{-25}$	$W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$ $W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$	$\pm 1$
Z-бозон	$Z^0$	$91,1876 \pm 0,0021^{[4]}$	Слабое взаимодействие	Слабое взаимодействие	1	$3 \cdot 10^{-25}$	$l + \bar{l}$ (лептон + соответствующий антилептон)	0
Глюон	g	0 (теоретическое значение) <sup>[12]</sup> < 0,0002 eV/c <sup>2</sup> (экспериментальное ограничение) <sup>[13]</sup>	Сильное взаимодействие	Сильное взаимодействие	1	см. Конфайнмент		0
Гравитон	G	0 ( $<3,5 \cdot 10^{-53}$ грамм. <sup>[11]</sup> )	Гравитация		2	Гипотетическая частица		0
X-бозон	$X^{\pm}$	$\approx 10^{15}$	Неизвестно		1	Гипотетическая частица	$u + u \rightarrow X^+ \rightarrow e^+ + d^-$	$\pm 4/3$
Y-бозон	$Y^{\pm}$	$\approx 10^{15}$	Неизвестно		1	Гипотетическая частица	$u + d \rightarrow Y^- \rightarrow \bar{\nu}_e + d^-$	$\pm 1/3$

# Кварки:

Кварк — ф.ч., обладающая электрическим зарядом, кратным  $e/3$ , и не наблюдающаяся в свободном состоянии, но входящая в состав адронов (сильно взаимодействующих частиц, таких как протоны и нейтроны). Кварки являются бесструктурными,

Символ	Название		Заряд	Масса
	рус.	англ.		
<b>Первое поколение</b>				
<i>d</i>	нижний	<i>down</i>	$-1/3$	$4,8 \pm 0,5 \pm 0.3 \text{ МэВ}/c^2$
<i>u</i>	верхний	<i>up</i>	$+2/3^{[6]}$	$2,3 \pm 0,7 \pm 0.5 \text{ МэВ}/c^2$
<b>Второе поколение</b>				
<i>s</i>	странный	<i>strange</i>	$-1/3$	$95 \pm 5 \text{ МэВ}/c^2$
<i>c</i>	очарованный	<i>charm</i> <sup>[7]</sup> ( <i>charmed</i> )	$+2/3$	$1275 \pm 25 \text{ МэВ}/c^2$
<b>Третье поколение</b>				
<i>b</i>	прелестный	<i>beauty (bottom)</i>	$-1/3$	$4180 \pm 30 \text{ МэВ}/c^2$
<i>t</i>	истинный	<i>truth (top)</i>	$+2/3^{[8]}$	$174\,340 \pm 650 \text{ МэВ}/c^2^{[9]}$



Явление **конфайнмент** — невозможность в получении кварков в свободном состоянии.



# Стандартная модель

**Стандартная модель** — теоретическая конструкция в физике элементарных частиц, описывающая электромагнитное, слабое и сильное взаимодействие всех элементарных частиц. Стандартная модель не является теорией всего, так как не описывает тёмную материю, тёмную энергию и не включает в себя гравитацию.

Пример: античастицей электрона является позитрон.

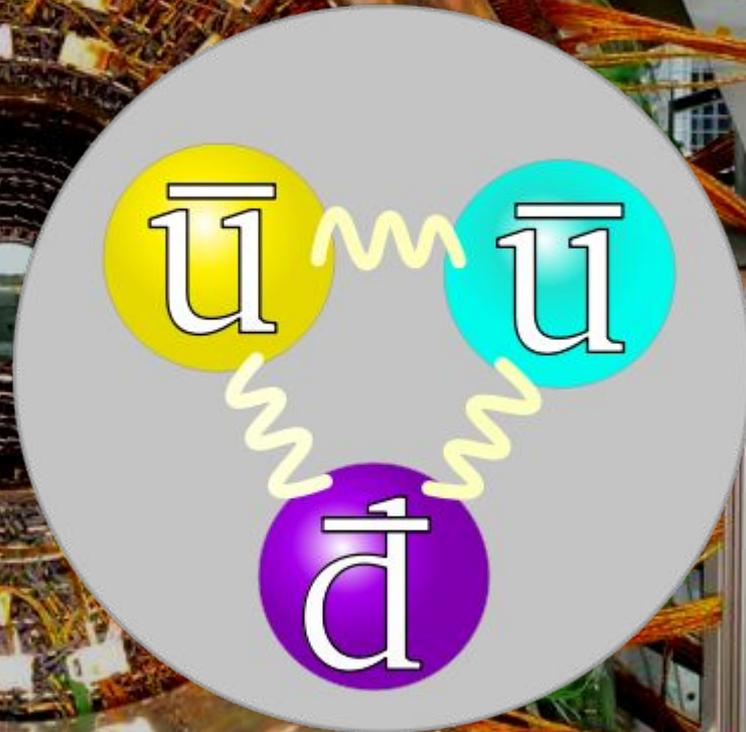
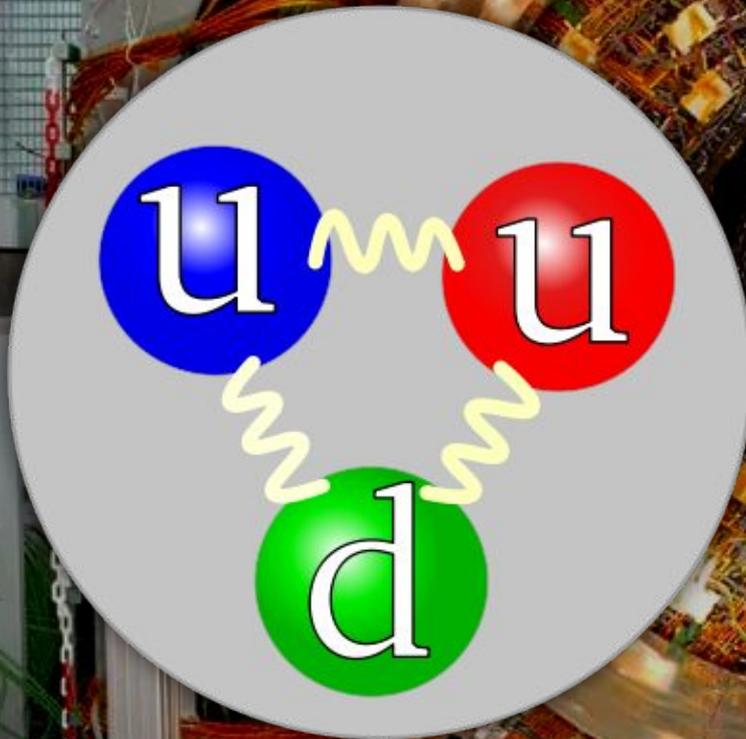
## Положения Стандартной модели

Всё вещество состоит из 12 фундаментальных квантовых полей спина  $\frac{1}{2}$ , квантами которых являются фундаментальные частицы-фермионы, которые можно объединить в три поколения фермионов: 6 лептонов 6 кварков (u, d, s, c, b, t) и 12 соответствующих им античастиц.

Кварки участвуют в сильных, слабых и электромагнитных взаимодействиях; заряженные лептоны (электрон, мюон, тау-лептон) — в слабых и электромагнитных; нейтрино — только в слабых взаимодействиях.

**Античастицей** называется частица, имеющая заряд, противоположный заряду своей частицы и массу, равную массе частицы. При взаимодействии друг с другом частица и античастица превращаются в э/м излучение (аннигилируют друг с другом).

# Античастицы:



## Положения Стандартной модели

Все три типа взаимодействий возникают как следствие постулата, что наш мир симметричен относительно трёх типов калибровочных преобразований.

Частицами-переносчиками

взаимодействий являются бозоны:

- 8 глюонов для сильного взаимодействия (группа симметрии  $SU(3)$ );
- 3 тяжёлых калибровочных бозона ( $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$ ) для слабого взаимодействия (группа симметрии  $SU(2)$ );
- один фотон для электромагнитного взаимодействия (группа симметрии  $U(1)$ ).

В отличие от электромагнитного и сильного, слабое взаимодействие может смешивать фермионы из разных поколений, что приводит к нестабильности всех частиц, за исключением легчайших, и к таким эффектам, как нарушение CP-инвариантности и нейтринные осцилляции.

масса→	≈2.3 MeV/c <sup>2</sup>	≈1.275 GeV/c <sup>2</sup>	≈173.87 GeV/c <sup>2</sup>	0	≈126 GeV/c <sup>2</sup>
заряд→	2/3	2/3	2/3	0	0
спин→	1/2	1/2	1/2	1	0
	<b>u</b> верхний	<b>c</b> очарованный	<b>t</b> истинный	<b>g</b> глюон	<b>H</b> бозон Хиггса
<b>КВАРКИ</b>	≈4.8 MeV/c <sup>2</sup>	≈95 MeV/c <sup>2</sup>	≈4.18 GeV/c <sup>2</sup>	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>d</b> нижний	<b>s</b> странный	<b>b</b> прекрасный	<b>γ</b> фотон	
	0.511 MeV/c <sup>2</sup>	105.7 MeV/c <sup>2</sup>	1.777 GeV/c <sup>2</sup>	91.2 GeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>e</b> электрон	<b>μ</b> мюон	<b>τ</b> тау	<b>Z</b> Z бозон	
<b>ЛЕПТОНЫ</b>	≈2.2 eV/c <sup>2</sup>	≈0.17 MeV/c <sup>2</sup>	≈15.5 MeV/c <sup>2</sup>	80.4 GeV/c <sup>2</sup>	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>ν<sub>e</sub></b> электронное нейтрино	<b>ν<sub>μ</sub></b> мюонное нейтрино	<b>ν<sub>τ</sub></b> тау нейтрино	<b>W</b> W бозон	
					<b>КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ</b>



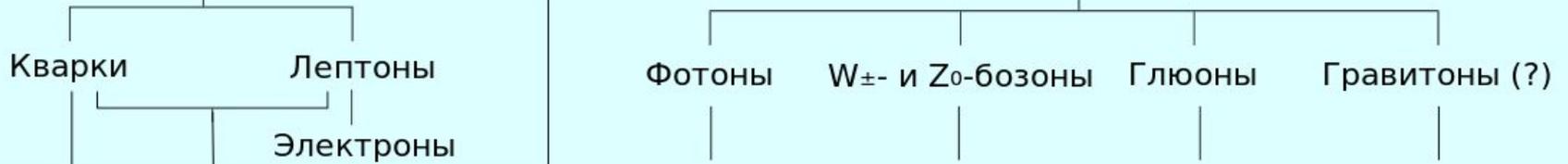
## Положения Стандартной модели

**Внешними параметрами стандартной модели являются:**

- массы лептонов (3 параметра, нейтрино принимаются безмассовыми) и кварков (6 параметров), интерпретируемые как константы взаимодействия их полей с полем бозона Хиггса,
- параметры СКМ-матрицы смешивания кварков — три угла смешивания и одна комплексная фаза, нарушающая CP-симметрию — константы взаимодействия кварков с электрослабым полем,
- два параметра поля Хиггса, которые связаны однозначно с его вакуумным средним и массой бозона Хиггса,
- три константы взаимодействия, связанные соответственно с калибровочными группами  $U(1)$ ,  $SU(2)$  и  $SU(3)$ , и характеризующие относительные интенсивности электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий.

# Элементарные частицы

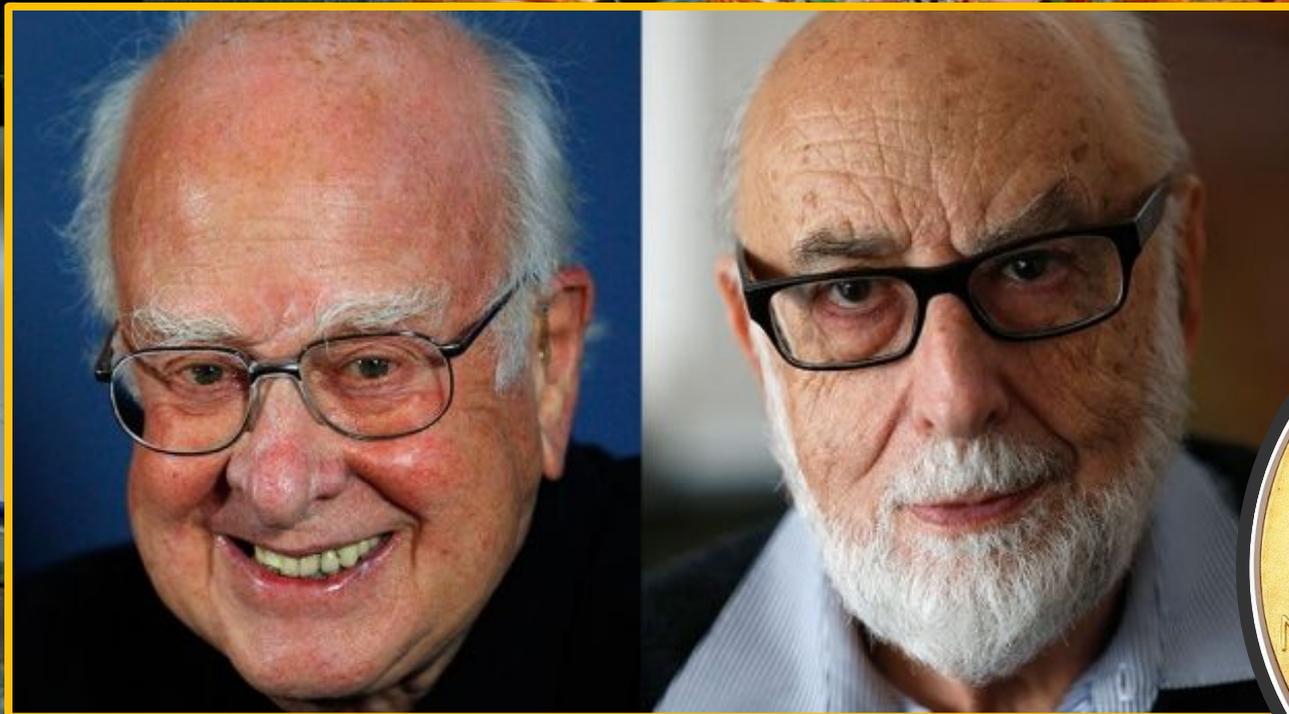
Вещество — Бозон Хиггса — Переносчики взаимодействий



*Составные частицы*



*Взаимодействия и теории*



Бозон Хиггса – э.ч., квант поля Хиггса, с необходимостью возникающая в Стандартной модели физики элементарных частиц вследствие хиггсовского механизма спонтанного нарушения электрослабой симметрии. В рамках этой модели отвечает за инертную массу таких элементарных частиц, как бозоны. С помощью поля Хиггса объясняется наличие инертной массы частиц-переносчиков слабого взаимодействия и отсутствие массы у частицы-переносчика сильного (глюон) и электромагнитного взаимодействия (фотон). По построению хиггсовский бозон является скалярной частицей, то есть обладает нулевым спином



# Large Hadron Collider

