

# Общая физика

Механика

Молекулярная физика

Электричество  
и магнетизм

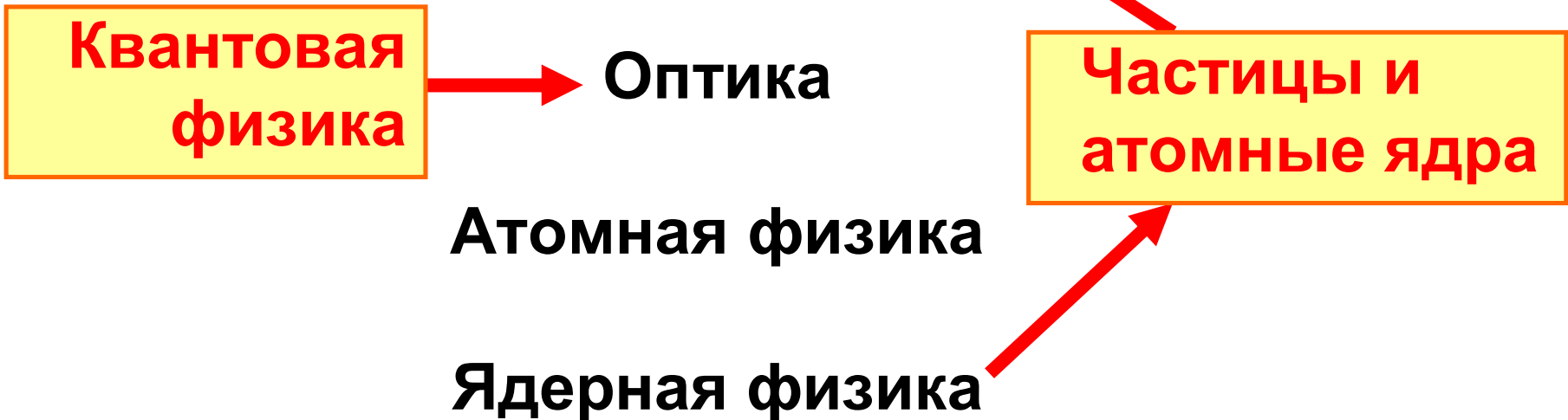
Квантовая  
физика

Оптика

Частицы и  
атомные ядра

Атомная физика

Ядерная физика



# Современная физика

классическая физика

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad \mathbf{p} = m\mathbf{v}$$

электромагнетизм, оптика

релятивистская  
физика **c**

$$E = mc^2$$

$$\varepsilon^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4$$

квантовая физика **h**

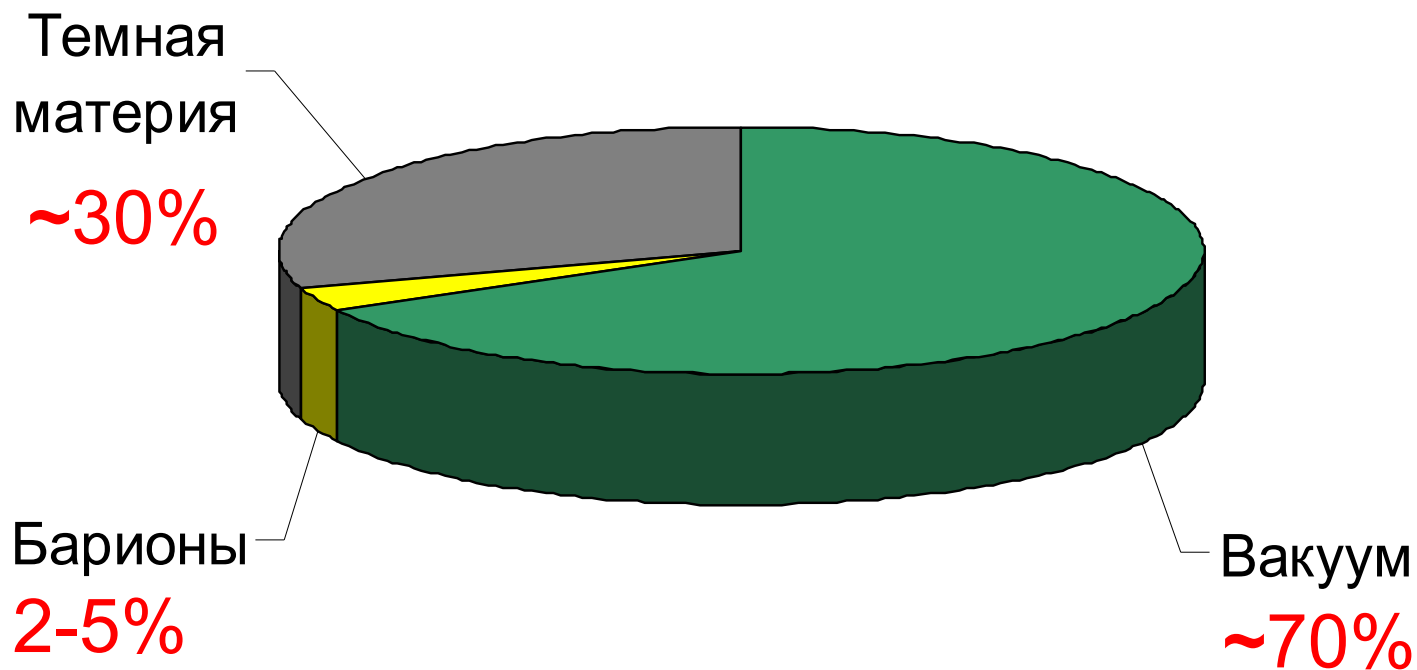
$$E = h\nu \quad \mathbf{p} = \frac{h}{\lambda} \mathbf{n}$$

радиоактивность

релятивистская  
квантовая физика

классическая физика	релятивистская физика
квантовая физика	релятивистская квантовая физика

## Как устроена Вселенная



# **Частицы и атомные ядра**

***2 курс 3 семестр***

- 1. Лекции**
- 2. Семинары**
- 3. Практикум**

1. Элементарные частицы материи
2. Квантовые свойства частиц
3. Квантовые свойства материи
4. Уравнение Шредингера
5. Фундаментальные взаимодействия. Лептоны
6. Кварки. Адроны
7. Взаимодействие частиц. Адроны
8. Распады частиц
9. Атомные ядра
10. Радиоактивность
11. Ядерные реакции
12. Деление ядер
13. Нуклеосинтез
14. Симметрии природы

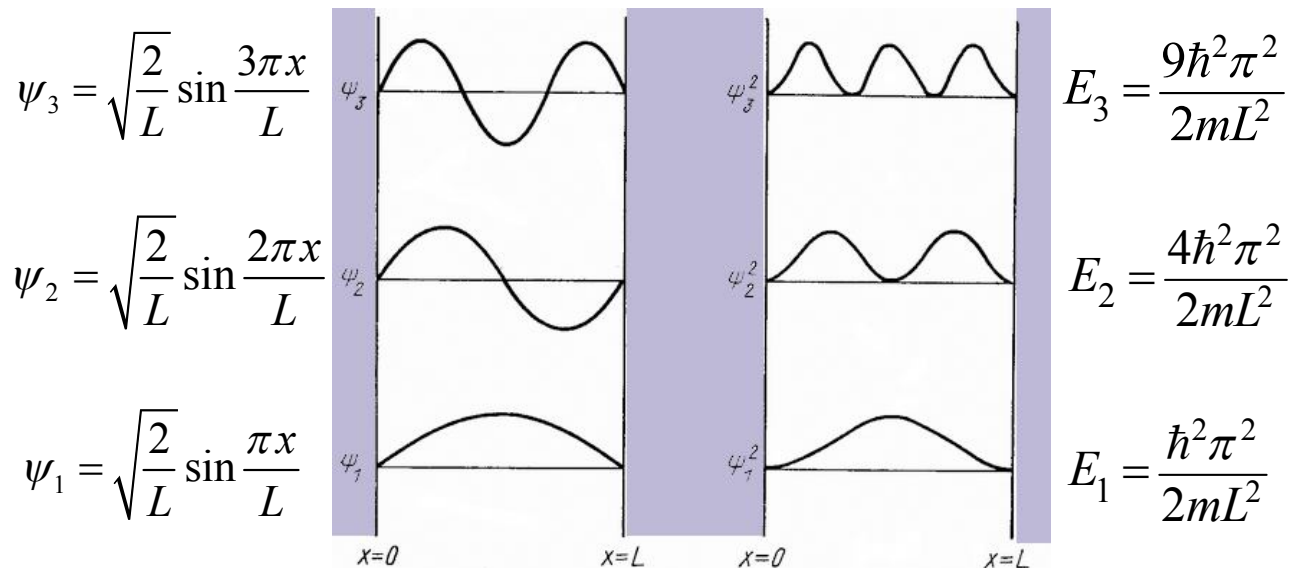
Классическая физика	Квантовая физика
1. Описание состояния	
(x, y, z, p <sub>x</sub> , p <sub>y</sub> , p <sub>z</sub> , t)	$\psi(x, y, z, t)$
2. Изменение состояния во времени	
$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dH}{d\vec{p}}, \quad \frac{d\vec{p}}{dt} = -\frac{dH}{d\vec{r}}$	$i\hbar \frac{d\Psi}{dt} = \hat{H}\Psi$
3. Измерения	
x, y, z, p <sub>x</sub> , p <sub>y</sub> , p <sub>z</sub>	$\Delta x \cdot \Delta p_x \approx \hbar$ $\Delta y \cdot \Delta p_y \approx \hbar$ $\Delta z \cdot \Delta p_z \approx \hbar$
4. Детерминизм  Динамическое (не статистическое) описание	4. Статистическая теория  $ \psi(x, y, z, t) ^2$ $\langle F \rangle = \int \Psi^* \hat{F} \Psi dV$
5. Гамильтониан	
$H = E + U(x, y, z) = \frac{p^2}{2m} + U(x, y, z)$	$\hat{H} = \hat{E} + \hat{U}(x, y, z) = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \hat{U}(x, y, z)$

# Квантование энергии

## Стационарное уравнение Шредингера

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + U\psi(x) = E\psi(x)$$

## Бесконечная прямоугольная яма



# Фундаментальные частицы Стандартной Модели

$e^-$        $\mu^-$        $\tau^-$

$\nu_e$        $\nu_\mu$        $\nu_\tau$

$u$        $c$        $t$

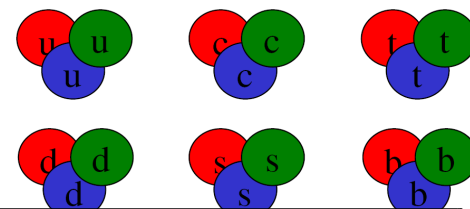
$d$        $s$        $b$

$8g, \gamma, W^+, W^-, Z$

$H$  - бозон Хиггса



# Кварки

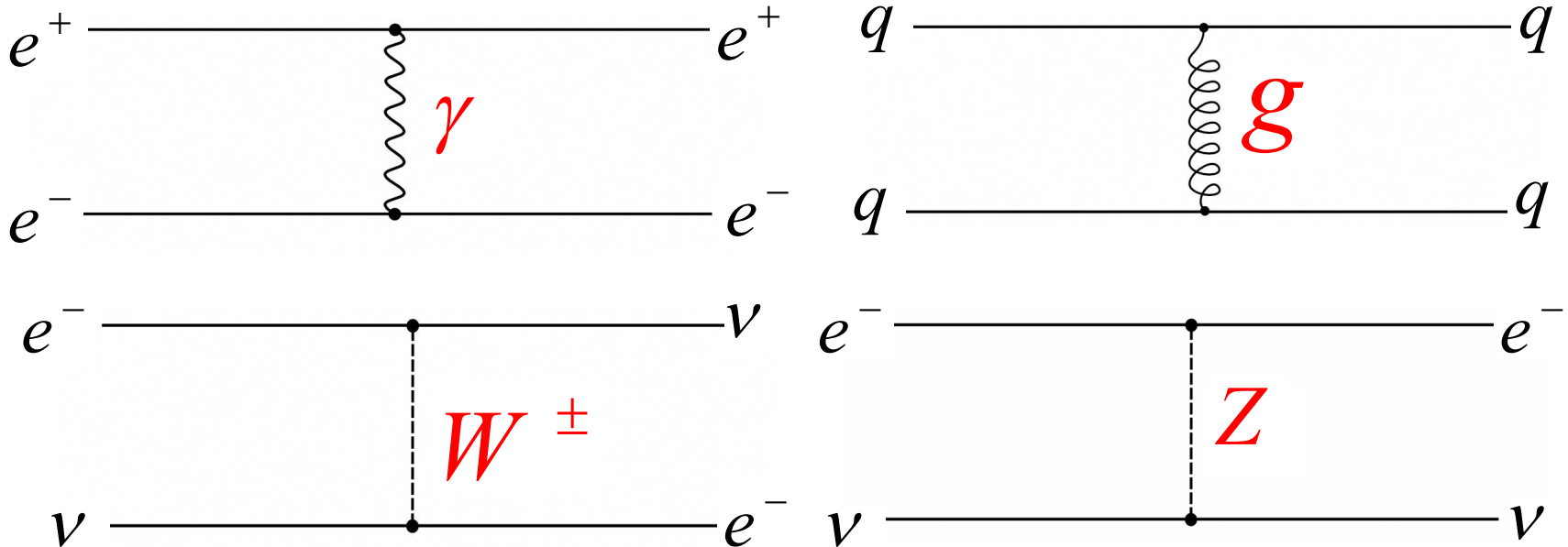


Характеристика	Тип кварка (аромат)					
	d	u	s	c	b	t
Электрический заряд $Q$ , в единицах $e$	$-1/3$	$+2/3$	$-1/3$	$+2/3$	$-1/3$	$+2/3$
Барионное число $B$	$1/3$	$+1/3$	$+1/3$	$+1/3$	$+1/3$	$+1/3$
Спин $J$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$	$1/2$
Четность $P$	$+1$	$+1$	$+1$	$+1$	$+1$	$+1$
Изоспин $I$	$1/2$	$1/2$	$0$	$0$	$0$	$0$
Проекция изоспина $I_3$	$-1/2$	$+1/2$	$0$	$0$	$0$	$0$
Странность $s$	$0$	$0$	$-1$	$0$	$0$	$0$
Очарование (charm) $c$	$0$	$0$	$0$	$+1$	$0$	$0$
Bottom $b$	$0$	$0$	$0$	$0$	$-1$	$0$
Топ $t$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$+1$
Масса конституэнтного кварка $m c^2$ , ГэВ	$0.33$	$0.33$	$0.51$	$1.8$	$5$	$180$
Масса токового кварка	$4-8$ МэВ	$1.5-4$ МэВ	$80-130$ МэВ	$1.1-1.4$ ГэВ	$4.1-4.9$ ГэВ	$174 \pm 5$ ГэВ

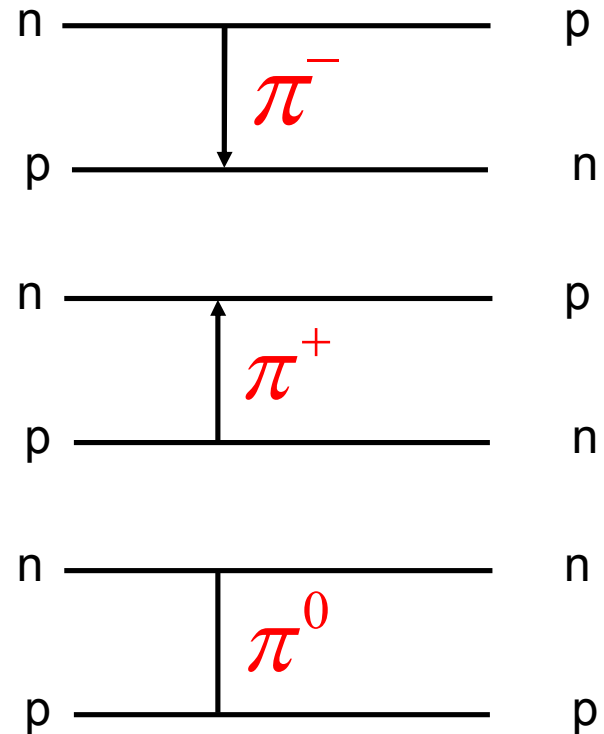
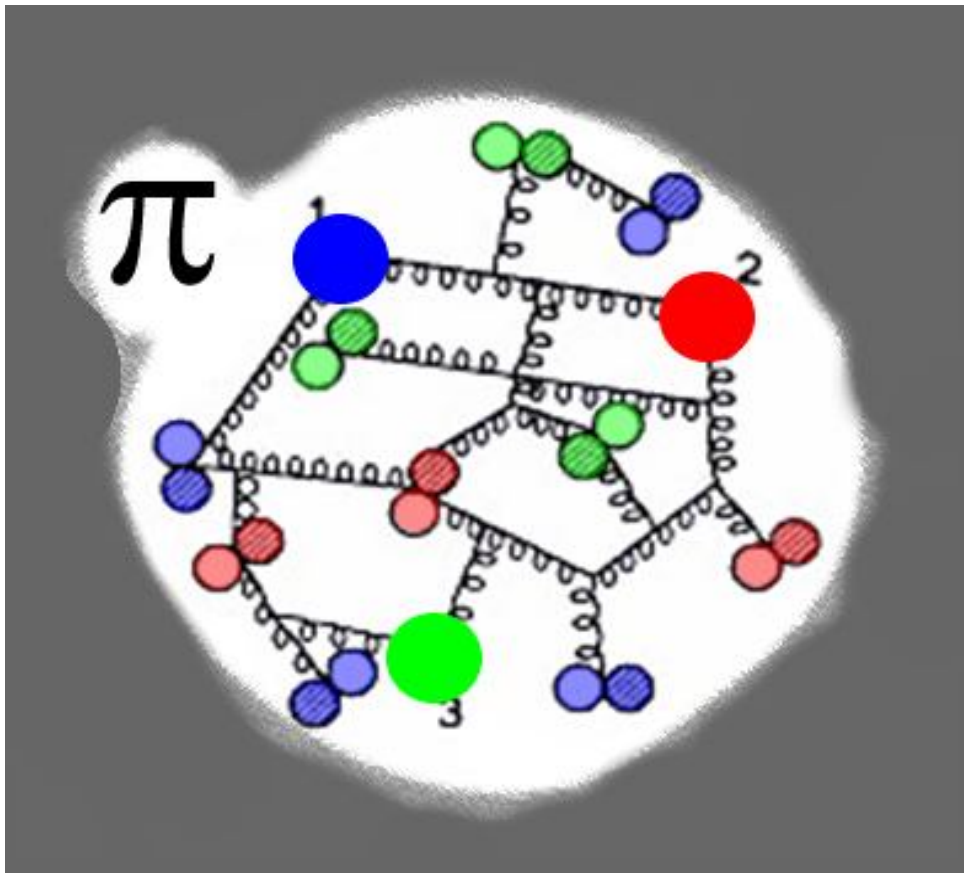
# Взаимодействия

Спин  $J=1$

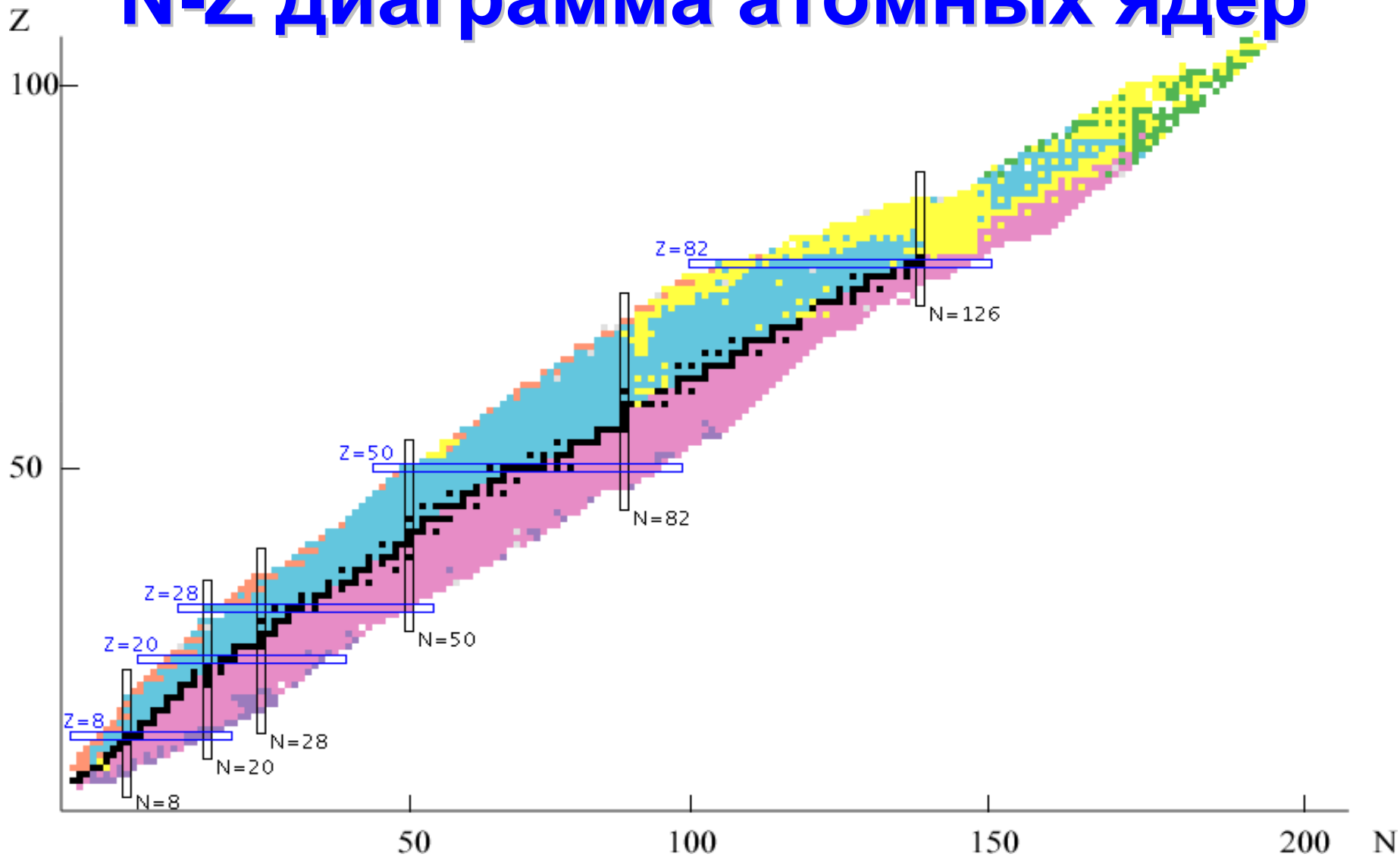
Взаимодействие	На какие частицы действует	Калибровочные бозоны	Радиус действия	Константа взаимодействия
Сильное	Все цветные частицы	8 глюонов, безмассовые.	$1 \text{ ФМ} = 1/m_\pi$	1
Электромагнитное	Все электрически заряженные частицы	Фотон, безмассовый.	$\infty$	1/137
Слабое	Кварки, лептоны, электрослабые калибровочные бозоны	$W^+, W^-, Z$ , $m(W^\pm) = 80 \text{ ГэВ}$ , $m(Z) = 91 \text{ ГэВ}$ .	$10^{-2} \text{ ФМ} = 1/m_W$	$\sim 1/30$
Гравитационное	Все массивные частицы	Гравитон, спин $J = 2$ , безмассовый	$\infty$	$10^{-38}$



# Структура протона

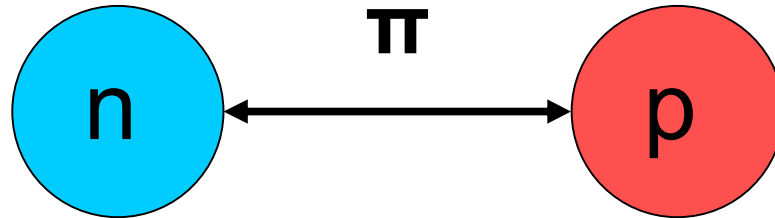


# N-Z диаграмма атомных ядер



Известно ~300 стабильных ядер и ~3500 радиоактивных ядер.  
Это только часть радиоактивных ядер. Всего их может быть ~7000.

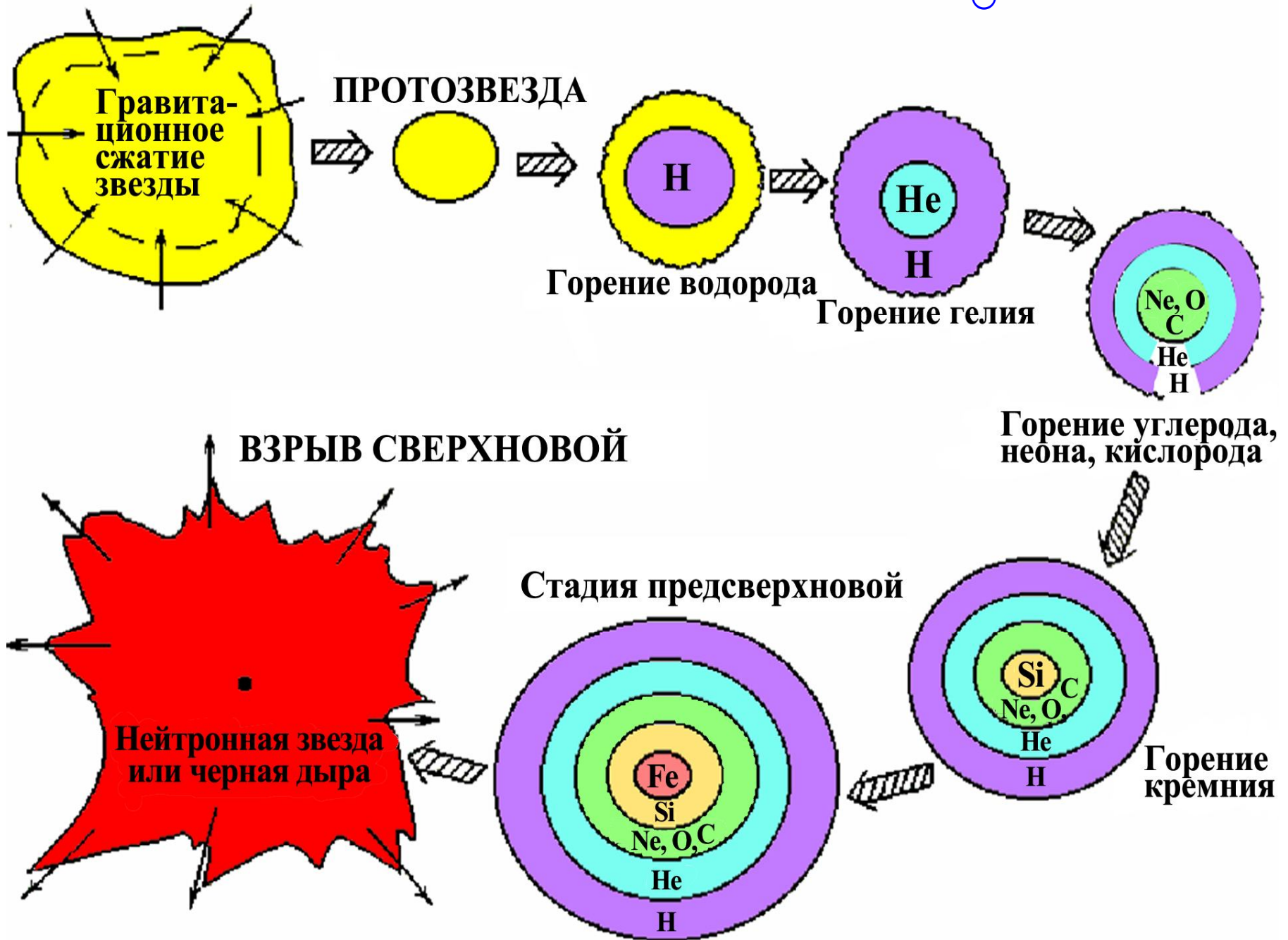
# Диаграммы N-N взаимодействий



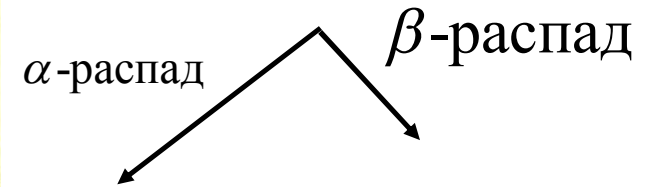
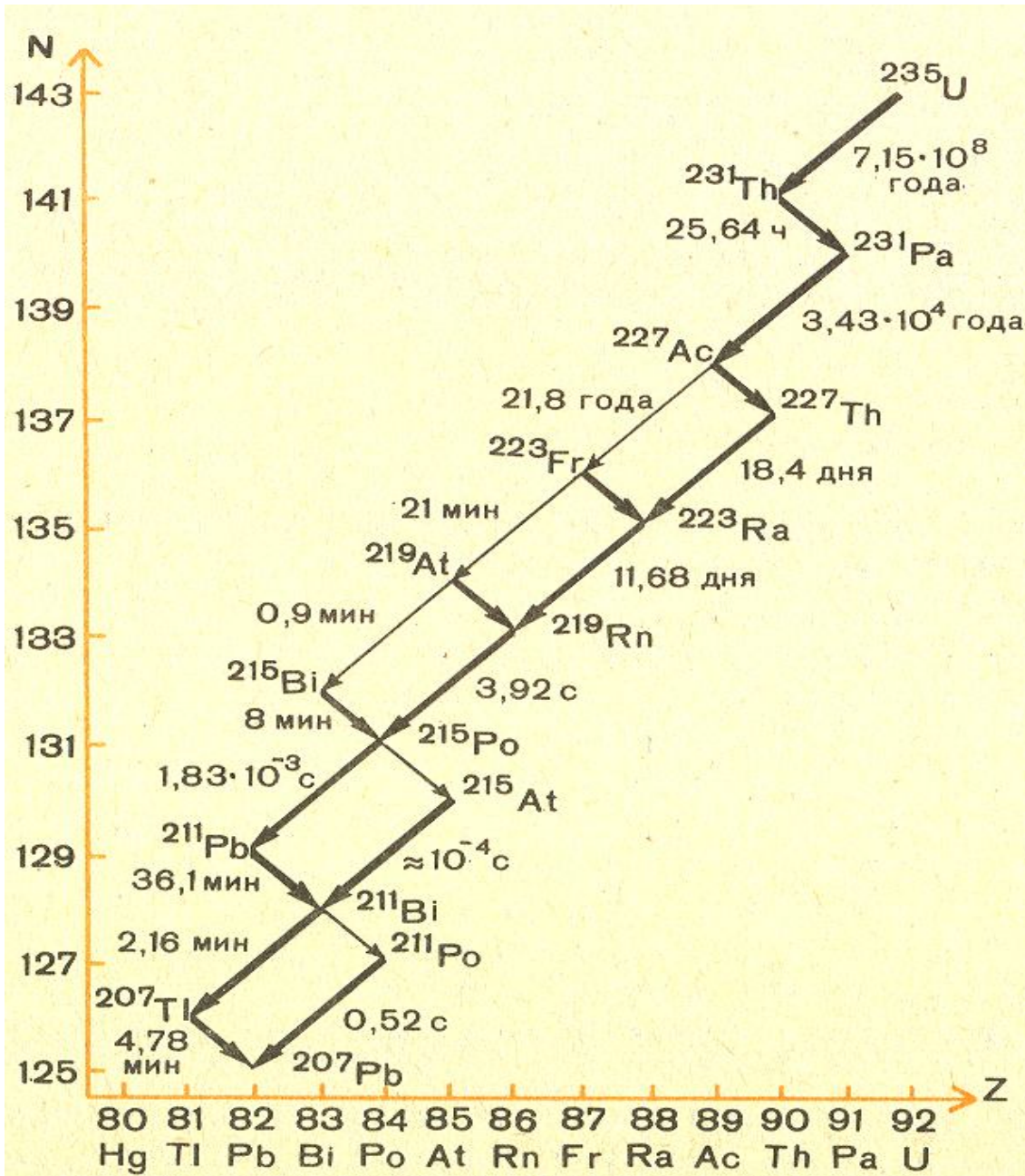
Взаимодействие между нуклонами зависит от спина частицы, переносящей взаимодействие. Обмен векторными частицами  $J=1$  приводит к отталкиванию между нуклонами. Это отталкивание является аналогом отталкивания двух одноимённых зарядов в электростатике. Обмен скалярными мезонами  $J=0$  приводит к притяжению между нуклонами.

МЕЗОН	$\pi$	$\eta$	$\rho$	$\omega$
$J^P(I)$	$0^-(1)$	$0^-(0)$	$1^-(1)$	$1^-(0)$

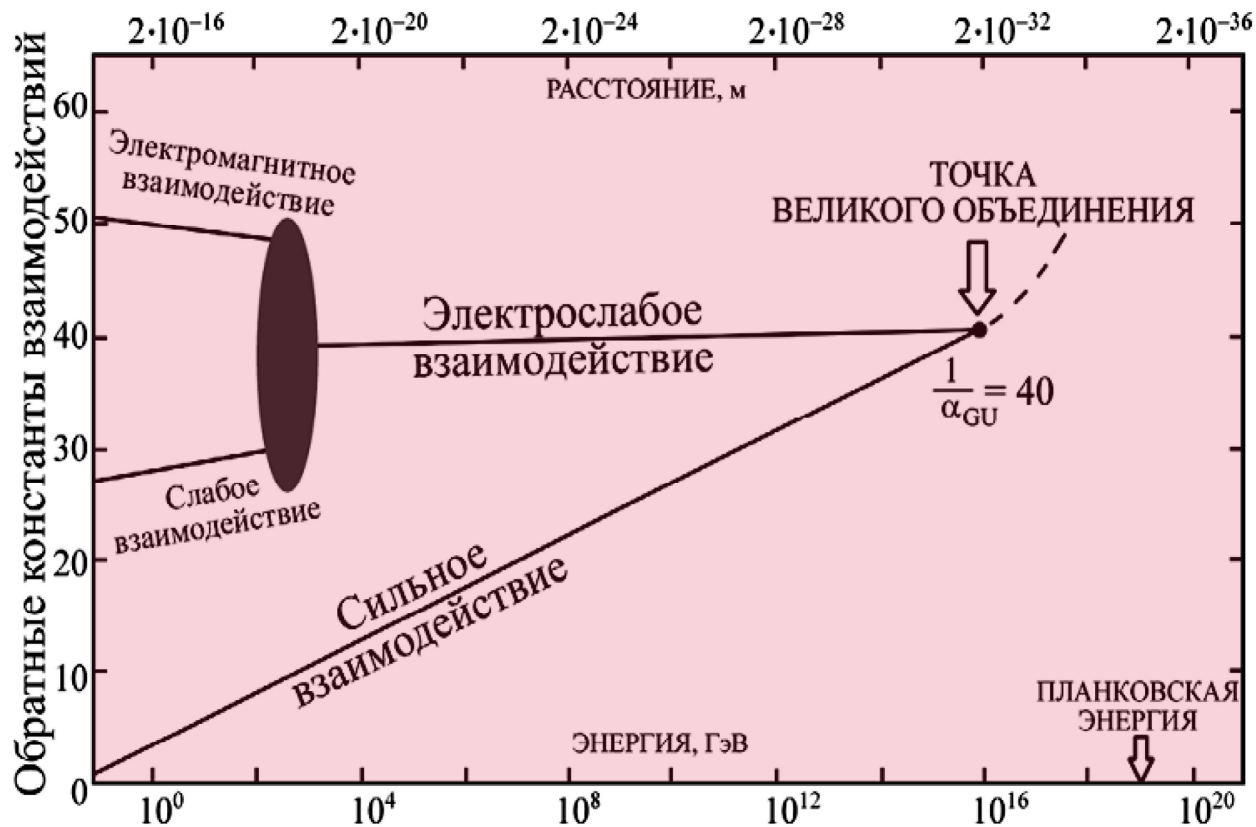
# Эволюция массивной звезды $M > 25M_{\odot}$



# Радиоактивное семейство $^{235}\text{U}$



# Объединение взаимодействий



При уменьшении расстояния или, что эквивалентно, при увеличении энергии константа электромагнитного взаимодействия возрастает, в то время как константы сильного и слабого взаимодействия уменьшаются. Расчеты показывают, что если учесть влияние квантовых флуктуаций, константы взаимодействий начнут сближаться, и станут практически одинаковыми на расстоянии  $\sim 10^{-29}$  см. Температура и энергия, соответствующие такому масштабу составляют  $10^{28}$  К и  $E = 10^{16}$  ГэВ. Такие характеристики имела Вселенная, когда её возраст составлял  $10^{-39}$  с.



# Космическая шкала времени

Время от настоящего момента, млрд. лет	Событие
14	Большой Взрыв
14	Рождение частиц, аннигиляция вещества и антивещества
14	Синтез $^2\text{H}$ , $^4\text{He}$
13	Образование Галактик
10	Сжатие нашей протогалактики
10	Образование первых звёзд
5	Образование Солнечной системы, планет
4	Образование земных пород
3	Зарождение микроорганизмов
2	Формирование атмосферы Земли
1	Зарождение жизни
0,60	Ранние окаменелости
0,45	Рыбы
0,15	Динозавры
0,05	Первые млекопитающие
<b>2 млн. лет</b>	<b>Человек</b>

# Литература



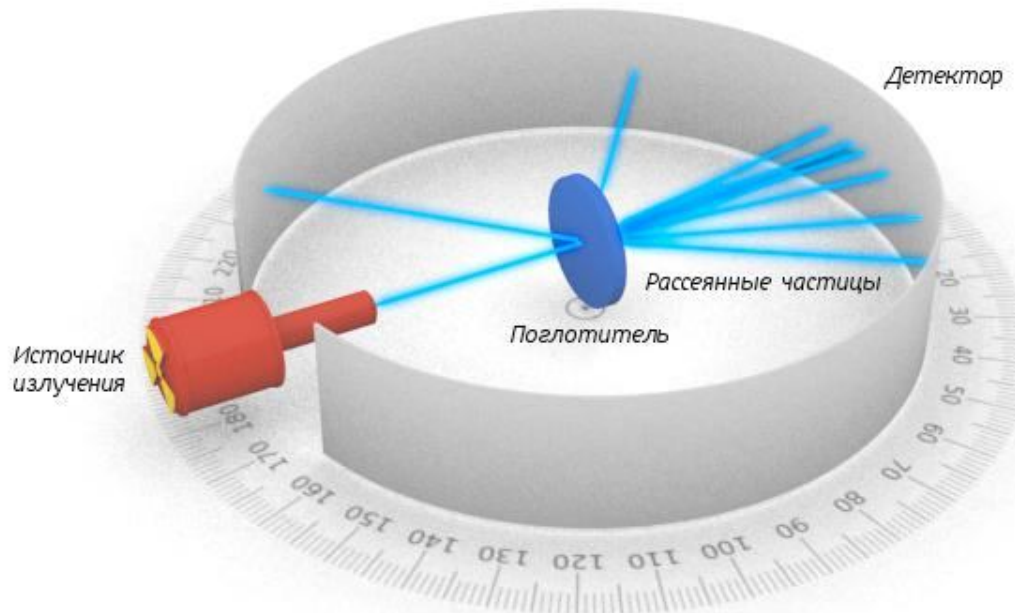
**Б. С. Ишханов,  
И. М. Капитонов,  
Н. П. Юдин**

**«Частицы и атомные ядра», 2013 г.**

**«Ядерная физика в интернете»  
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/>**

# Ядерный компьютерный практикум

## Поглощение и рассеяние частиц



### Источник излучения

Излучение:

Энергия, МэВ:  [ 0.1–20 ]

### Поглотитель

Материал:

Толщина, мм:  [ 0.001–100 ]

### Эксперимент

Исходных частиц:  [ 100–20000 ]

Нормировать рассеянные на телесный угол

Логарифмический масштаб

# Ядерная физика в Интернете

## Учебные материалы курса

### "Физика атомного ядра и частиц"

- ▶ [Физика ядра и частиц. XX век](#)
- ▶ [Шпаргалка для отличника \(Частицы и ядра\)](#)
- ▶ [История атомного ядра](#)
- ▶ [Программа курса "Физика ядра и частиц"](#)
- ▶ [Лекции профессора Б.С. Ишханова 2013](#)
- ▶ [Лекции профессора И.М. Капитонова 2013](#)
- ▶ [Частицы и атомные ядра \(основные вопросы по курсу\)](#)
- ▶ [Обязательные вопросы для допуска к экзамену](#)
- ▶ [Семинары по физике ядра и частиц](#)
- ▶ [Задачи и решения](#)
- ▶ [Описания задач общего ядерного практикума физического факультета МГУ](#)

## Материалы спецкурсов

- ▶ [Модели атомных ядер](#)
- ▶ [12 лекций по физике атомного ядра](#)
- ▶ [Ядерные реакции](#)
- ▶ [Ядерные реакции \(задачи\)](#)
- ▶ [Квантовая теория столкновений](#)
- ▶ [Фотоядерные реакции. Современный статус экспериментальных данных](#)
- ▶ [Взаимодействие электронов и фотонов с атомными ядрами](#)
- ▶ [Симметрии фотоядерных реакций](#)
- ▶ [Гигантский дипольный резонанс атомных ядер](#)
- ▶ [Ядерная резонансная флуоресценция](#)
- ▶ [Электромагнитные взаимодействия ядер](#)
- ▶ [Экзотические ядра](#)

# ПЕРСПЕКТИВЫ

1. Создание компьютерных курсов
2. Повышение роли самостоятельной работы
3. Контроль качества образования.  
Компьютерное тестирование