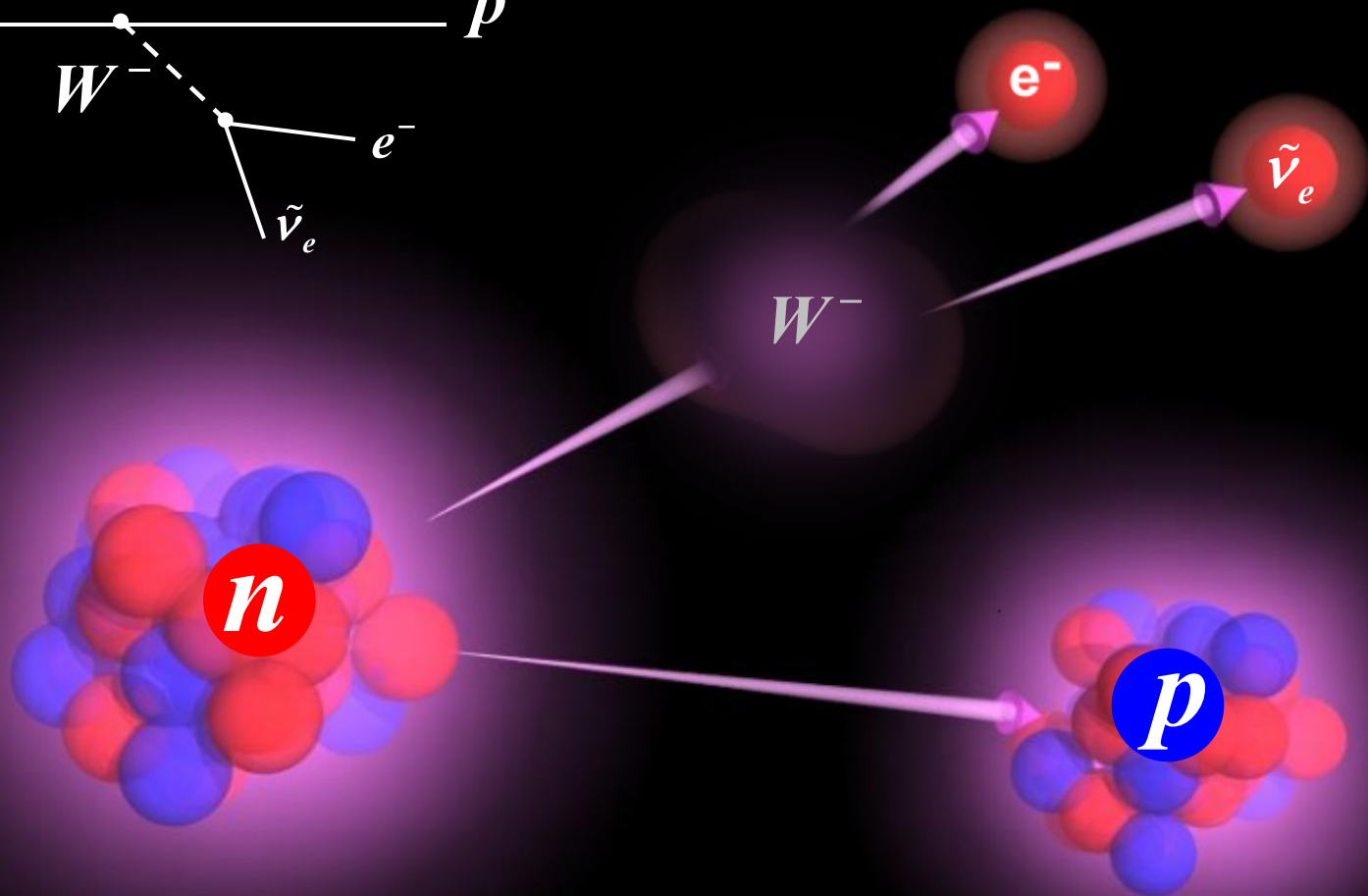
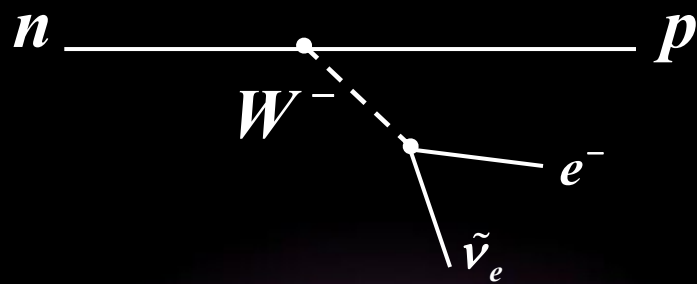


# Рождение и жизнь атомных ядер



# Эволюция идей физики

# Мир, в котором мы живем



# Основные понятия классической физики

## Классическая механика

- Длина
- Время
- Масса

## Электромагнетизм

- Электрические заряды
- Электрические поля
- Магнитные поля
- Электромагнитное поле

# 1609-1611 гг. Законы Кеплера



Иоганн Кеплер  
1571 – 1630

1. Движение планет происходит по эллипсам в одном из фокусов которых находится Солнце.
2. Линия, соединяющая планету и Солнце, «заметает» равные площади за равные интервалы времени.
3. Период обращения планеты  $T$  и её расстояние от Солнца  $R$  связаны соотношением

$$R^3 / T^2 = \text{const},$$

постоянная  $\text{const}$  имеет одно и то же значение для всех планет.

# И. НЬЮТОН

1687 г. «Математические начала натуральной философии»



Исаак Ньютон  
1642 – 1727

## Законы Ньютона

1. Закон инерции

$$F = 0, \quad a = 0, \quad \vec{v} = const$$

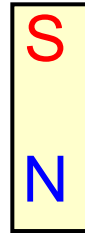
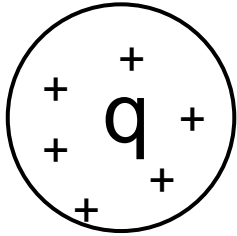
2. Ускоренное движение

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

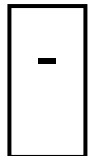
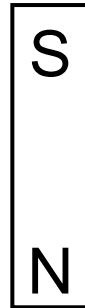
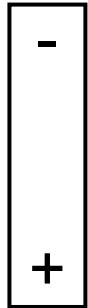
3. Если тело 1 действует на тело 2 с какой-либо силой, то тело 2 действует на тело 1 с равной противоположно направленной силой

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

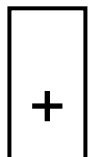
# Электризация. Магнетизм



Электрические заряды можно разделить и получить тела с положительным и отрицательным зарядами



Нельзя разделить в теле северный и южный магнитные полюса и получить тела только с одним полюсом



# 1785 г. Закон Кулона



Шарль Кулон  
1736 – 1806

$$\vec{F} = \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}_{12}$$

Сила электростатического взаимодействия двух заряженных тел изменяется с расстоянием точно по тому же закону, что и сила гравитационного взаимодействия  $\sim 1/r^2$ . Электростатическая сила пропорциональна произведению зарядов взаимодействующих тел. Однако в отличие от гравитационного взаимодействия, которое всегда является силой притяжения сила электростатического взаимодействия может быть как силой притяжения (противоположные знаки зарядов), так и силой отталкивания (одинаковые знаки зарядов).

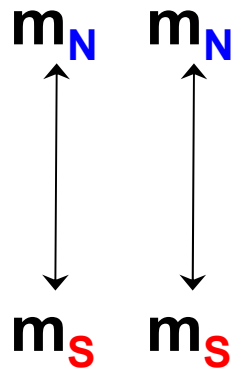
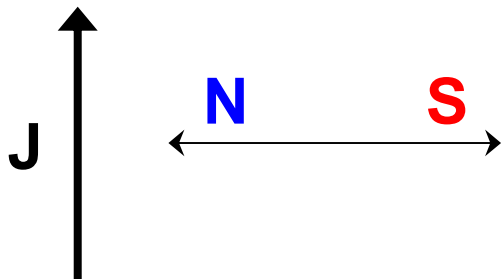


# 1820 г. Магнитное поле



Ханс Кристиан Эрстед  
1777 – 1851

Эрстед обнаружил, что электрический ток, проходящий через проводник отклоняет магнитную стрелку.



$$\vec{F} = \frac{m_N m_S}{r^2} \vec{r}$$

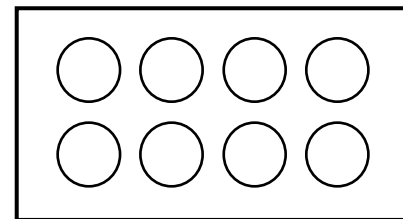
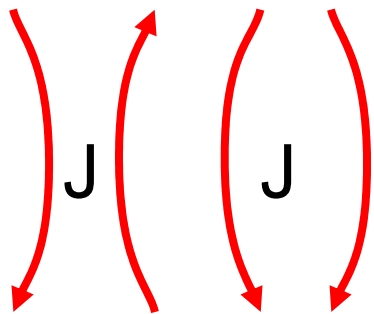
# 1820 г. Взаимодействие между двумя проводниками, по которым течет ток



Андре Мари Ампер  
1775 – 1836

Ампер обнаружил, что между двумя проводниками возникает взаимодействие на расстоянии, когда по ним протекает электрический ток.

Ампер выдвинул гипотезу, что природный магнетизм связан с существованием в магните круговых токов.



# 1865 г. Система уравнений Максвелла



Джеймс Максвелл  
1831 – 1879

Закон Гаусса для  
электрического  
поля

$$\operatorname{div} E = 4\pi\rho$$

Электрический заряд  
является источником  
электрической  
индукции

Закон Гаусса для  
магнитного поля

$$\operatorname{div} B = 0$$

Отсутствие  
магнитного заряда

Закон индукции  
Фарадея

$$\operatorname{rot} E = -\frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t}$$

Изменение  
магнитной индукции  
порождает вихревое  
электрическое поле

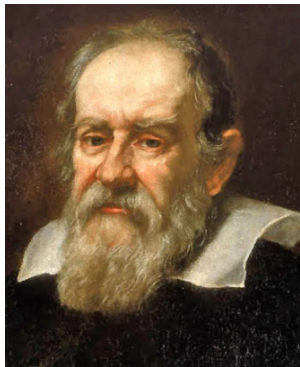
Теорема о  
циркуляции  
магнитного поля

$$\operatorname{rot} B = \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t}$$

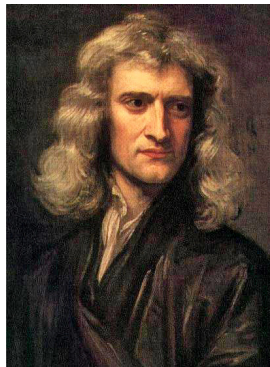
Электрический ток и  
изменение  
электрической  
индукции порождают  
вихревое магнитное  
поле

$E$  - напряженность электрического поля,  
 $B$  - магнитная индукция.

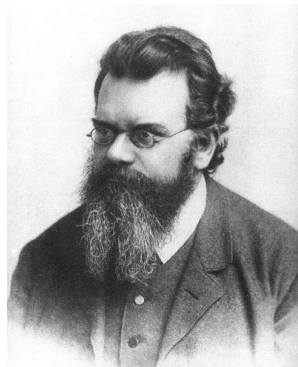
# Классическая физика



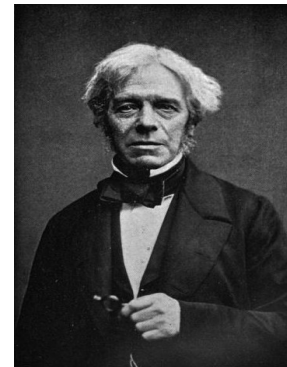
Г. Галилей  
1564 – 1642



И. Ньютон  
1642 – 1727



Л. Больцман  
1844 – 1906



М. Фарадей  
1791 – 1867



Дж. Максвелл  
1831 – 1879

## Законы Ньютона

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{гп}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}$$

## Энтропия

$$s = k \lg W$$

## Уравнения Максвелла

$$\operatorname{div} E = 4\pi\rho$$

$$\operatorname{div} B = 0$$

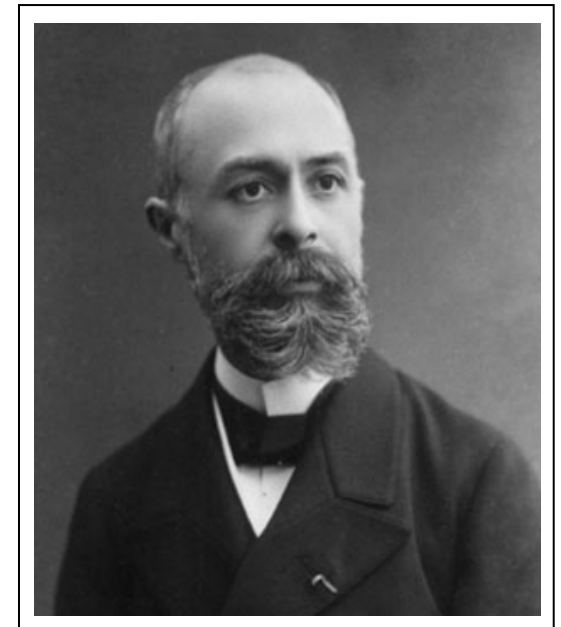
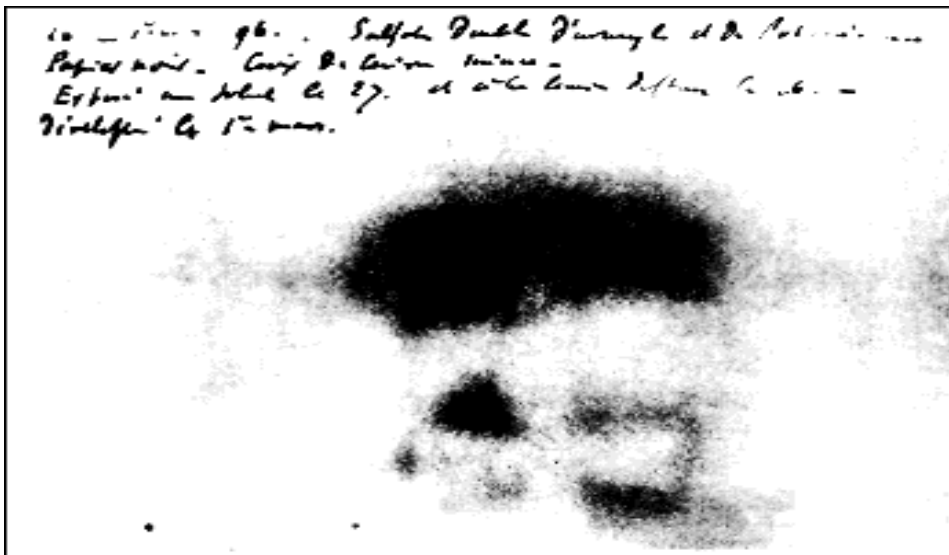
$$\operatorname{rot} E = -\frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} B = \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t}$$

**1896**

**Открытие  
радиоактивности**

Анри Беккерель



Antoine Henri Becquerel  
(1852–1908)

**Нобелевская премия по физике**

**1903 г. - А. Беккерель**

**За открытие радиоактивности**

# Радиоактивность

**1898 г.**

Мария и Пьер Кюри выделили и изучили радиоактивные элементы радий Ra ( $Z=88$ ) и полоний Po ( $Z=84$ ).

**Нобелевская премия по физике**

**1903 г.** - П. Кюри и М. Кюри-Склодовская  
За исследования радиоактивности

**Нобелевская премия по химии**

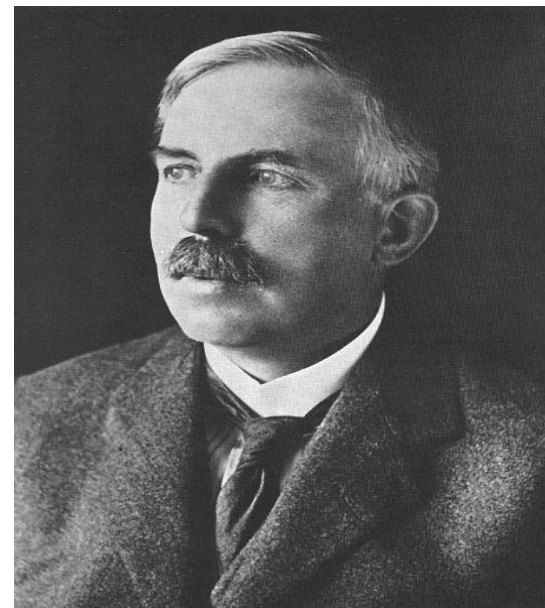
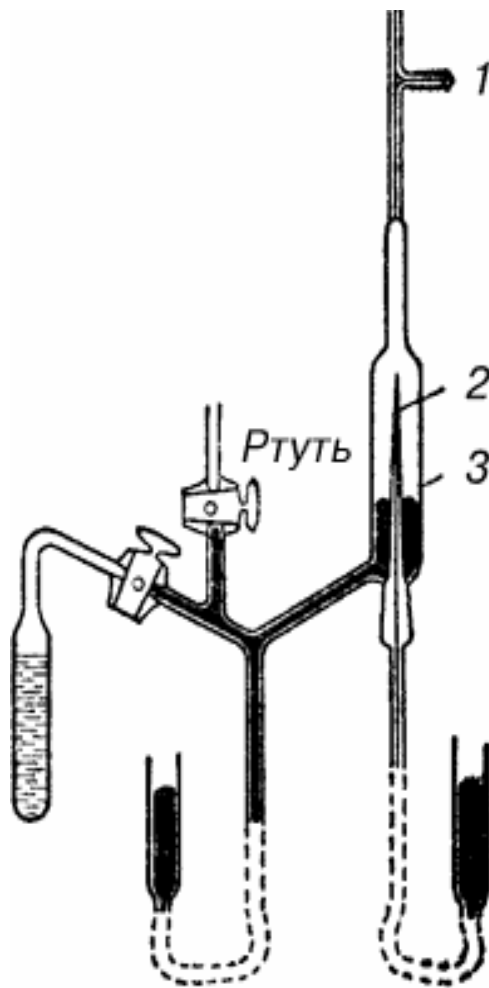
**1911 г.** – М. Кюри. За выдающиеся заслуги в развитии химии: открытие элементов радия и полония, выделение радия и изучение природы и соединений этого замечательного элемента



Мария и Пьер Кюри

**1899 г.**

Э. Резерфорд  
открыл, что уран  
излучает  
положительно  
заряженные  
 $\alpha$ -частицы и  
отрицательно  
заряженные  
 $\beta$ -частицы.



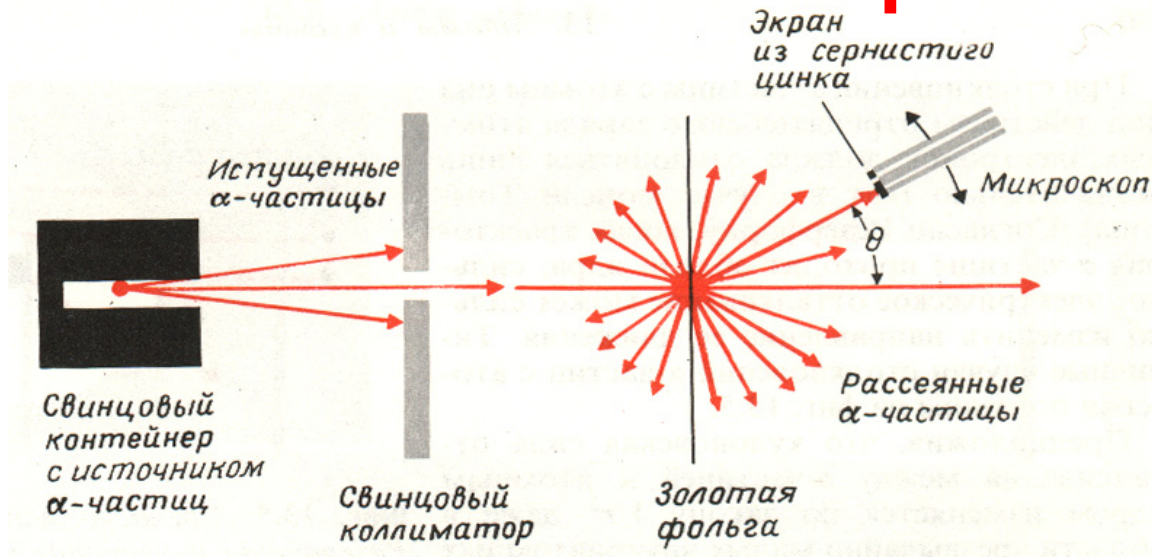
Эрнест Резерфорд  
1871 - 1937

**Нобелевская премия по химии**

**1908 г. - Э. Резерфорд**

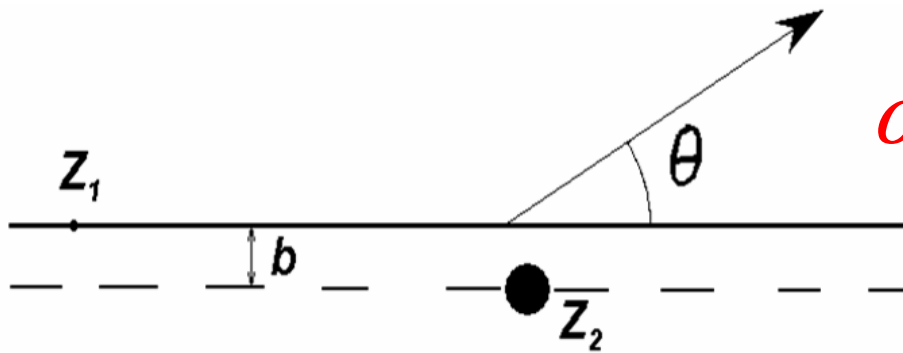
За исследования по превращению элементов и за  
химические исследования радиоактивных веществ.

# 1911 г. Опыты по рассеянию $\alpha$ -частиц



$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left( \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4E} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

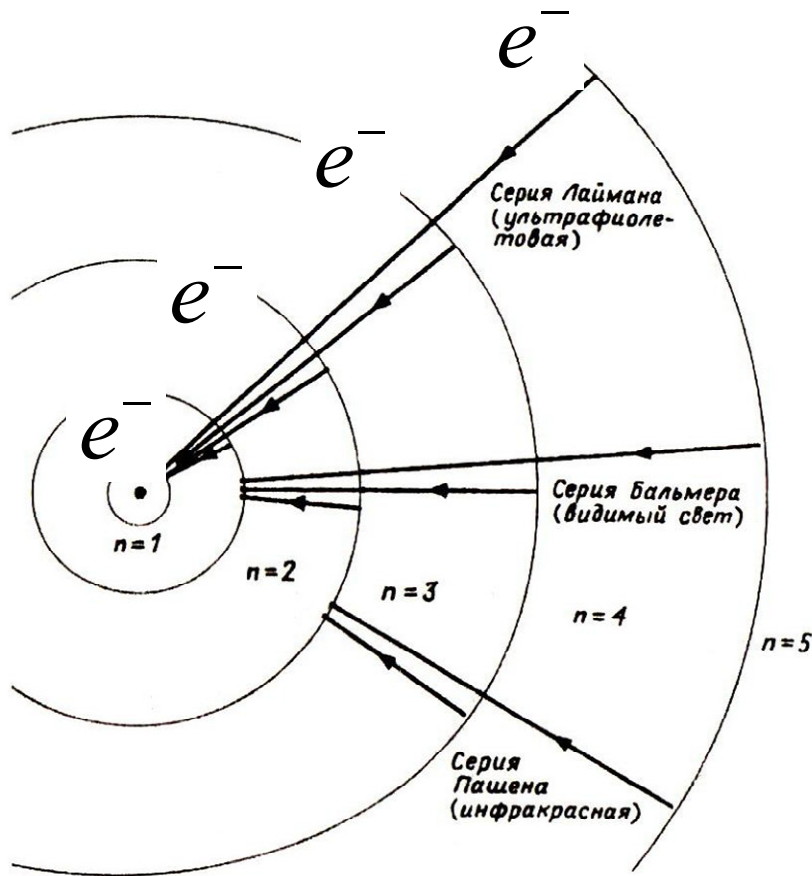
Схема эксперимента, в котором исследовалось рассеяние альфа-частиц



Из опытов по рассеянию  $\alpha$ -частиц следовало, что масса атома практически полностью сосредоточена в небольшой центральной части атома – атомном ядре.



# Модель атома Бора



Нильс Бор  
1885 - 1962

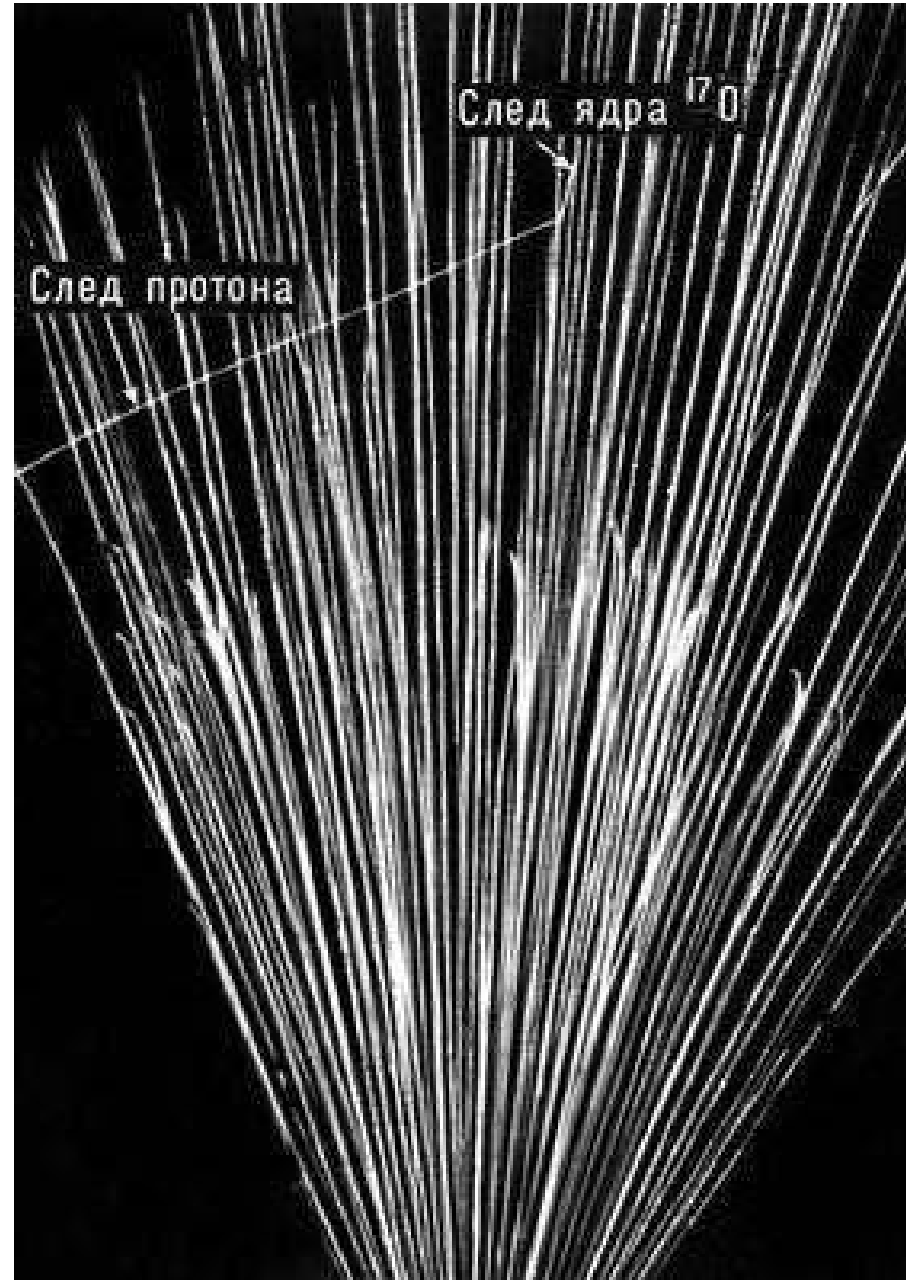
**Нобелевская премия по физике**

**1922 г. - Н. Бор.**

За работы по исследованию структуры атомов и их излучения

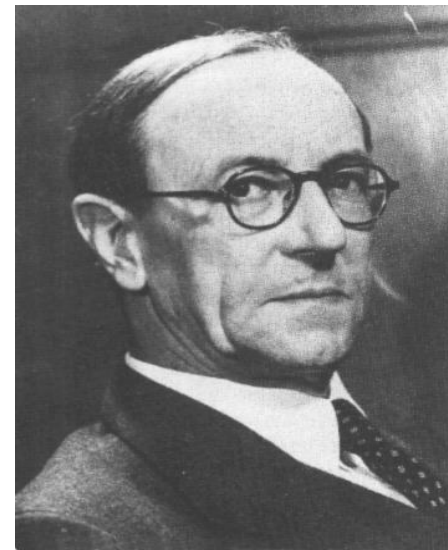
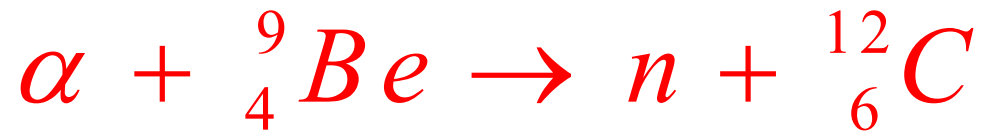
1919 г.

Э. Резерфорд осуществил первую искусственную ядерную реакцию  $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$  и доказал наличие в атомном ядре протонов.

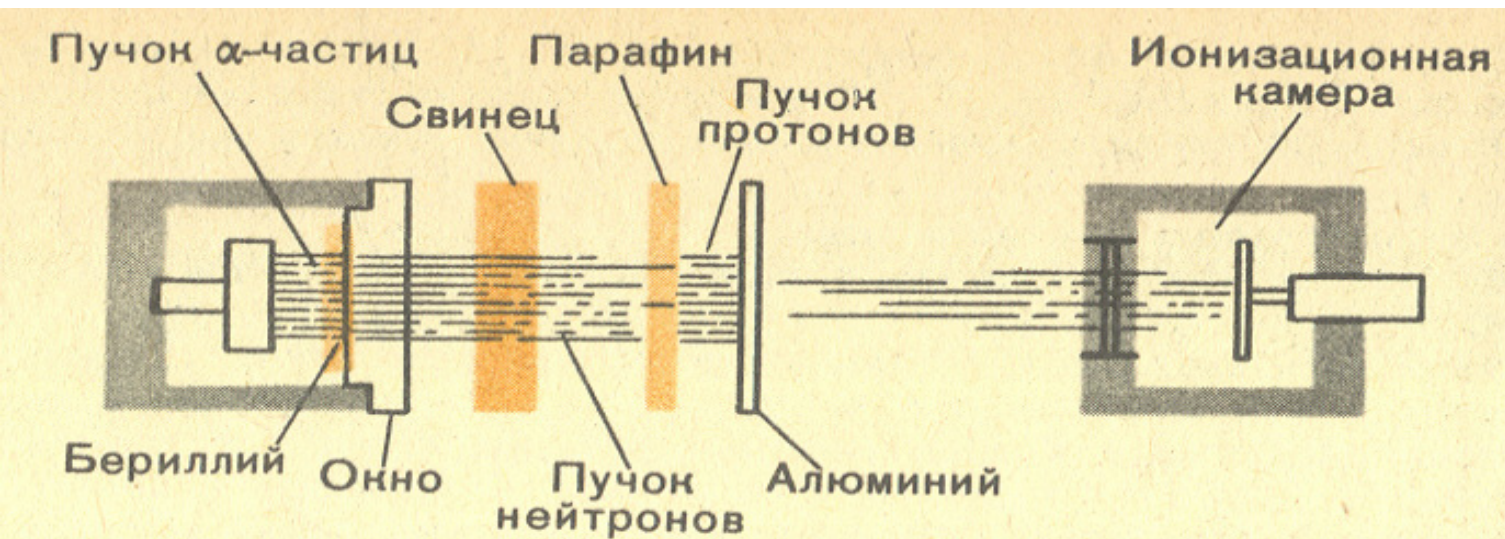


# Открытие нейтрона

1932 г.



Дж. Чадвик  
1891 - 1974

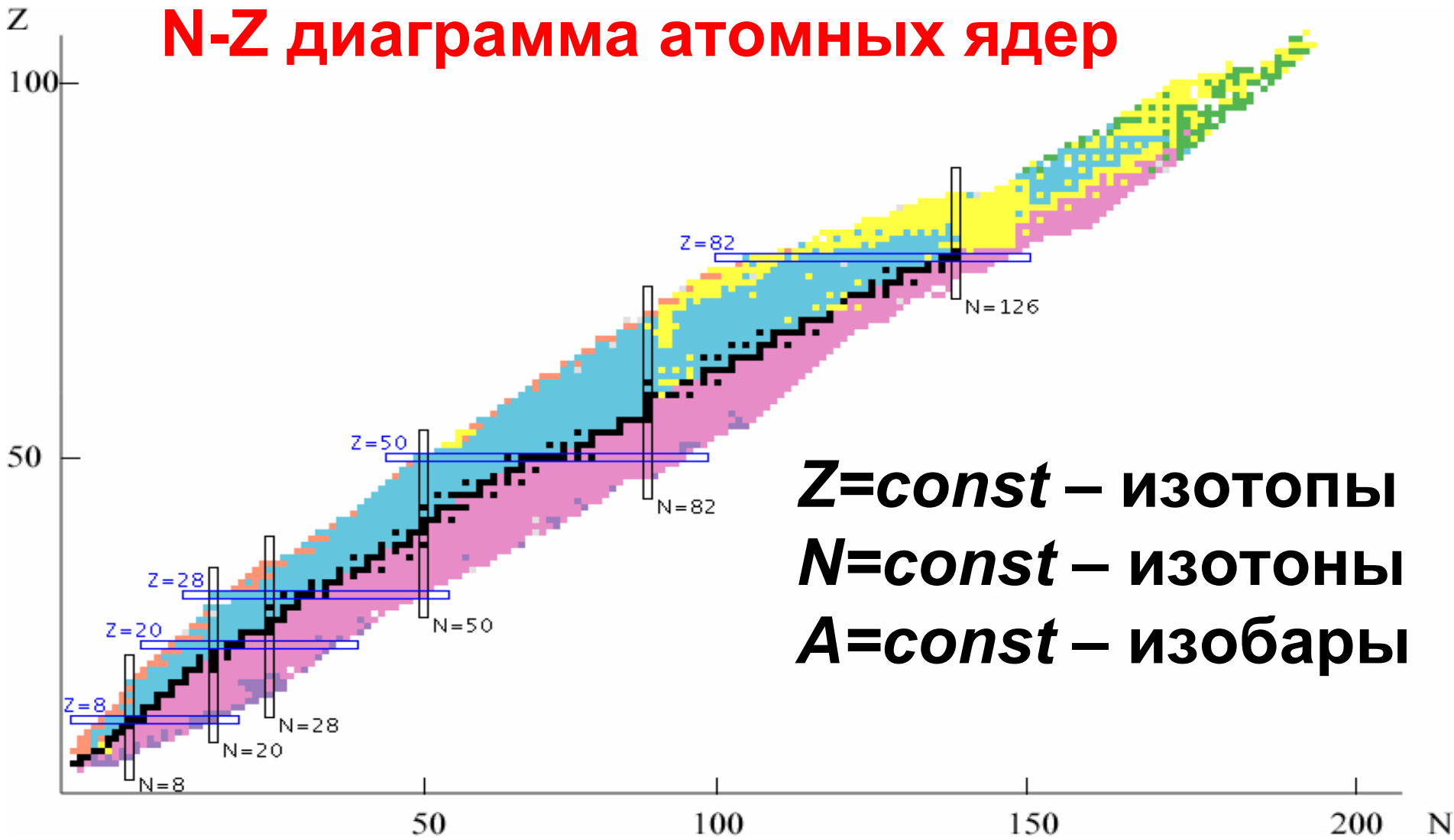


Нобелевская премия по физике

1935 г. – Дж. Чедвик

За открытие нейтрона

# N-Z диаграмма атомных ядер



**$Z=const$**  – изотопы  
 **$N=const$**  – изотоны  
 **$A=const$**  – изобары

Стабильные ядра группируются вблизи долины стабильности

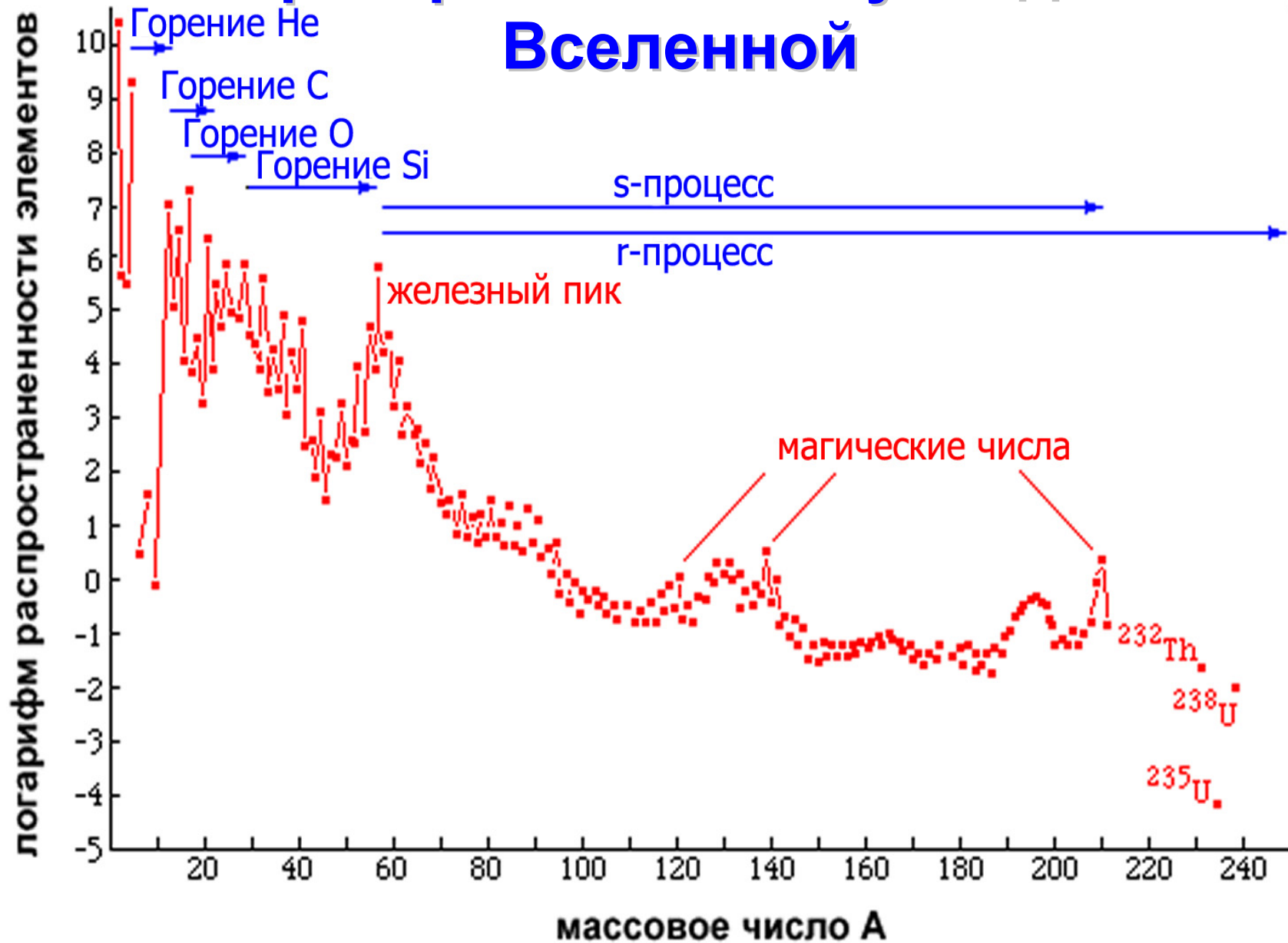
$$Z = \frac{A}{1.98 + 0,015A^{2/3}}$$

# Изотопы железа Fe ( $Z = 26$ )

$A$	$N$	Период полураспада или процентное содержание в естественной смеси изотопа
45	19	1,89 мсек
46	20	12 мсек
47	21	21,8 мсек
48	22	44 мсек
49	23	64,7 мсек
50	24	155 мсек
51	25	305 мсек
52	26	8,27 час
53	27	8,51 мин
54	28	5,84%
55	29	2,7 лет
56	30	91,75%:
57	31	2,12%
58	32	0,28%

$A$	$N$	Период полураспада или процентное содержание в естественной смеси изотопа
59	33	44,49 дней
60	34	$1,5 \cdot 10^5$ лет
61	35	5,98 мин
62	36	68 сек
63	37	6,1 сек
64	38	2,0 сек
65	39	1,3 сек
66	40	0,44 сек
67	41	0,6 сек
68	42	188 мсек
69	43	109 мсек
70	44	94 мсек
71	45	< 150 нсек
72	46	< 150 нсек

# Распространенность нуклидов во Вселенной

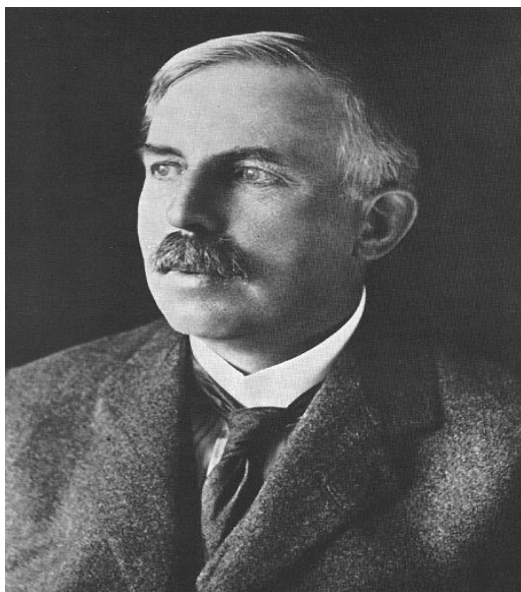


Распространенность Si принята равной  $10^6$ .

# Строение атома



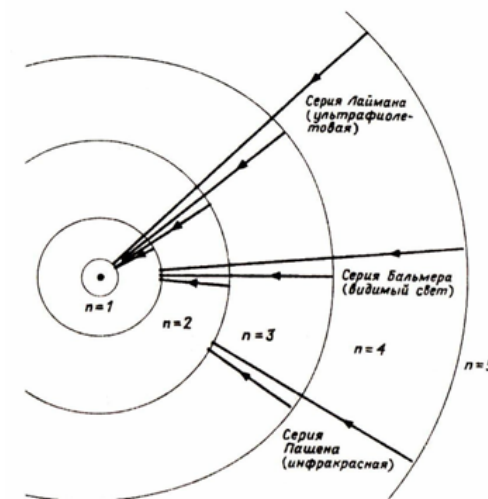
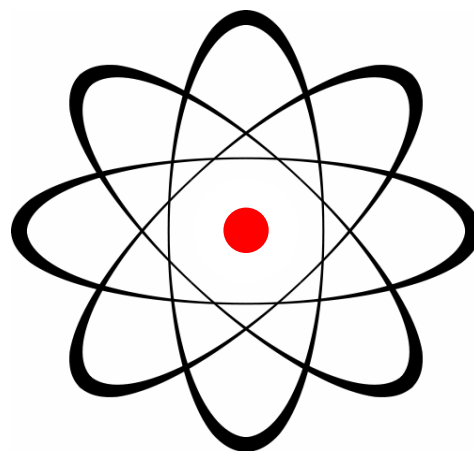
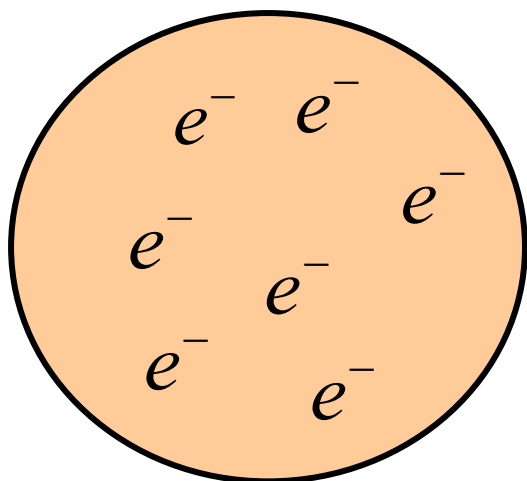
Дж. Дж. Томсон  
1856 - 1940



Эрнест Резерфорд  
1871 - 1937



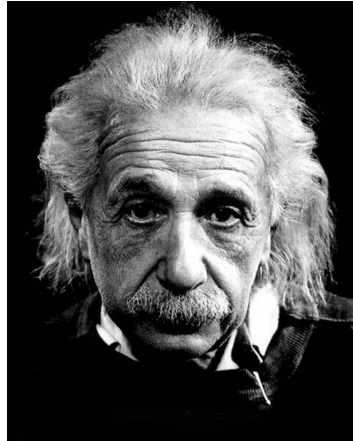
Нильс Бор  
1885 - 1962



# Квантовое мышление



М. Планк  
1858 – 1947



А. Эйнштейн  
1879 – 1955



А. Комптон  
1892 – 1962



Л. Де Бройль  
1892 – 1987

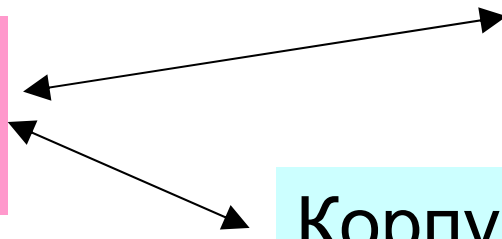
$$E = h\nu$$

$$p = h / \lambda$$

Квантовая  
частица

Волновые свойства

Корпускулярные свойства





## Законы Ньютона

$$F = ma$$

$$\frac{dU}{dr} = m \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

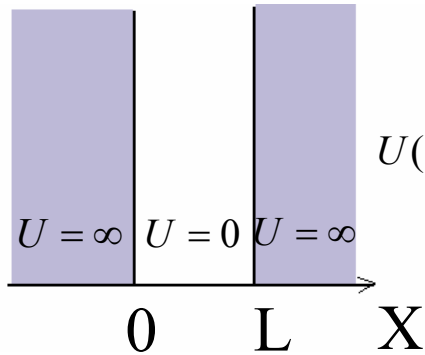
$$U = G \frac{m_1 m_2}{r}$$

## Уравнение Шредингера

$$-i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H} \psi$$

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}^2}{2m} + U(r, t)$$

# Бесконечная прямоугольная яма (1)



$$U(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 < x < L \\ \infty & \text{при } x \leq 0, x \geq L \end{cases}$$

$$\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\psi = 0$$

Частица всегда находится в области  $0 \leq x \leq L$ . Вне этой области  $\psi = 0$ . Запишем уравнение Шредингера для частицы, находящейся в области  $0 \leq x \leq L$ .

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{2mE}{\hbar^2}\psi \quad (2)$$

Волновая функция, являющаяся решением уравнения (2), имеет вид

$$\psi = A\sin kx + B\cos kx, \quad (3)$$

$k = (2mE/\hbar^2)^{1/2}$ . Из граничных условий  $\psi(0) = 0$ ,  $\psi(L) = 0$  и условий непрерывности волновой функции имеем

$$A\sin kL = 0. \quad (4)$$

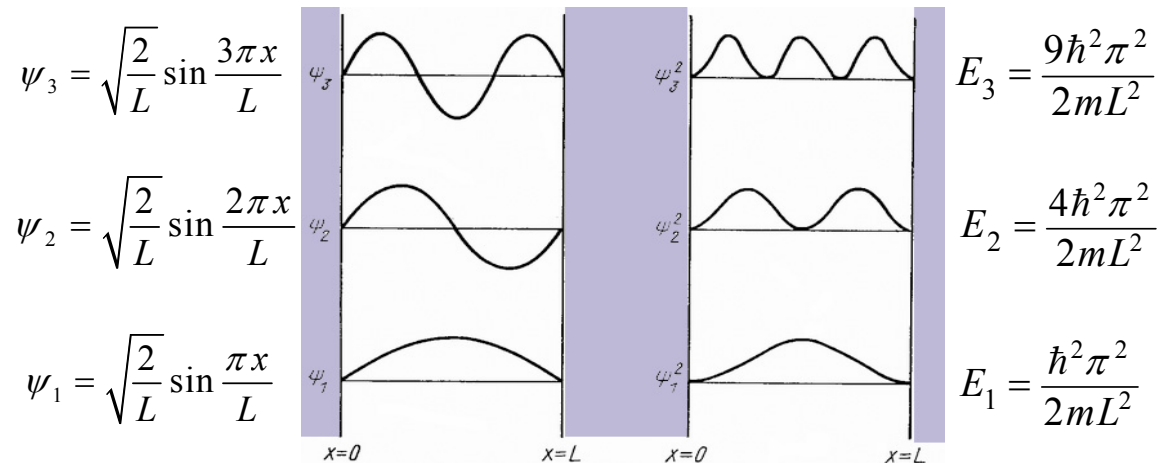
Из (4) следует

$$kL = n\pi, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (5)$$

т. е. внутри ямы устанавливаются стоячие волны, а энергия состояния частиц имеет дискретный спектр значений  $E_n$

$$E_n = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} = \frac{\hbar^2 \pi^2 n^2}{2mL^2}, \quad (6)$$

# Бесконечная прямоугольная яма (2)



Частица может иметь только те значения энергии, которые определяются соотношением (6). Об этой ситуации говорят, что энергия квантуется на дискретные уровни. Частица может находиться в каком-то одном из множества дискретных состояний, доступных для неё. Чтобы частица перешла на другой энергетический уровень, она должна приобрести или потерять некоторое количество энергии, равное разности энергий уровней, между которыми происходит переход.

Энергии состояний растут квадратично в зависимости от квантового числа  $n$ . Каждому значению энергии соответствует волновая функция  $\psi_n(x)$ , которая с учетом условия нормировки

$$\int_0^L |\psi_n(x)|^2 dx = \int_0^L \left| A \sin \frac{\pi n x}{L} \right|^2 dx = 1$$

имеет вид

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \left( \frac{\pi n x}{L} \right)$$

# Классическая физика

Детерминизм

$$x, y, z, p_x, p_y, p_z, t$$

# Квантовая физика

Статистическая  
теория

$$|\psi(x, y, z, t)|^2 dx dy dz$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \simeq \hbar$$

$$\Delta p \cdot \Delta x \simeq \hbar$$

# Тайны Вселенной

«Вполне возможно, что за гранью наших чувств находятся миры, которые мы не воспринимаем».

А. Эйнштейн.

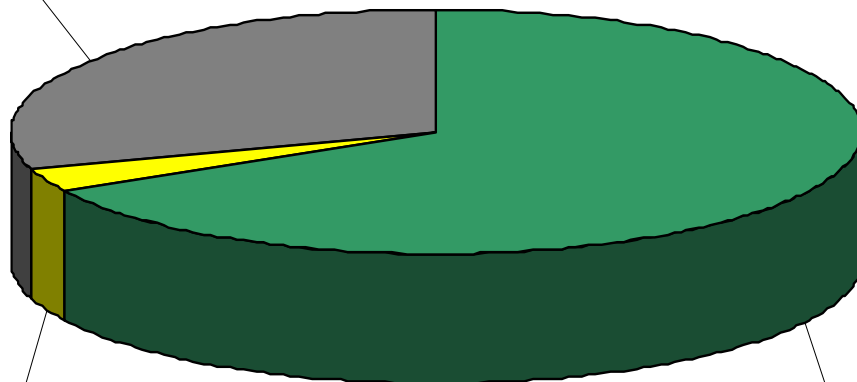
## Характеристики Вселенной

<b>БАРИОНЫ</b> в том числе, ЗВЁЗДЫ:	<b>0.02-0.05</b> <b>0.002-0.003</b>
<b>ФОТОНЫ</b>	<b><math>4.9 \cdot 10^{-5}</math></b>
<b>НЕЙТРИНО</b>	<b><math>3.3 \cdot 10^{-5}</math></b>
<b>ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ</b>	<b>0.2-0.4</b>
<b>ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ (ВАКУУМ)</b>	<b>0.6-0.8</b>
<b>ПОЛНАЯ ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА-ЭНЕРГИИ</b>	<b><math>1.02 \pm 0.02</math></b>

Темная  
материя

Барионы

Вакуум



# 1905 г. Постулаты Эйнштейна



Альберт Эйнштейн  
1879 – 1955

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

1. Все физические законы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета, движущихся относительно друг друга поступательно и равномерно.

2. Скорость света в пустоте одинакова с точки зрения всех наблюдателей независимо от движения источника света относительно наблюдателя.

# Классическая и релятивистская динамики

$$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}$$

$$p = mv$$

$\tau_0$  - время жизни частицы  
в системе покоя

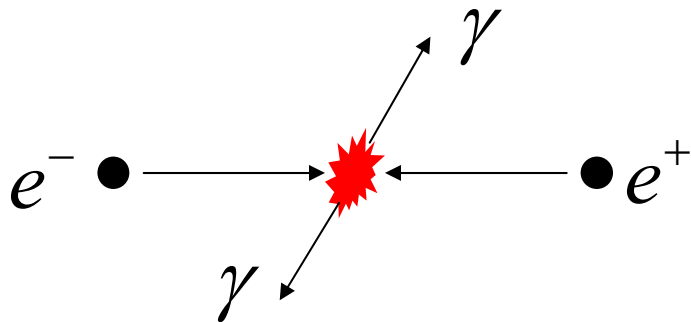
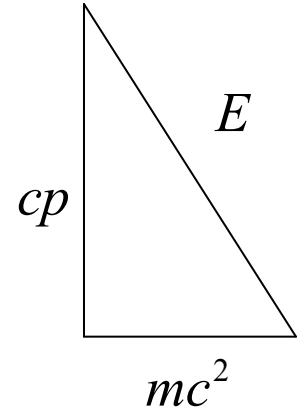
$$E^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4$$

$$E_{\text{кин}} = E - mc^2$$

$$p = \frac{mc\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

- время жизни частицы,  
движущейся со скоростью  $\beta$ .



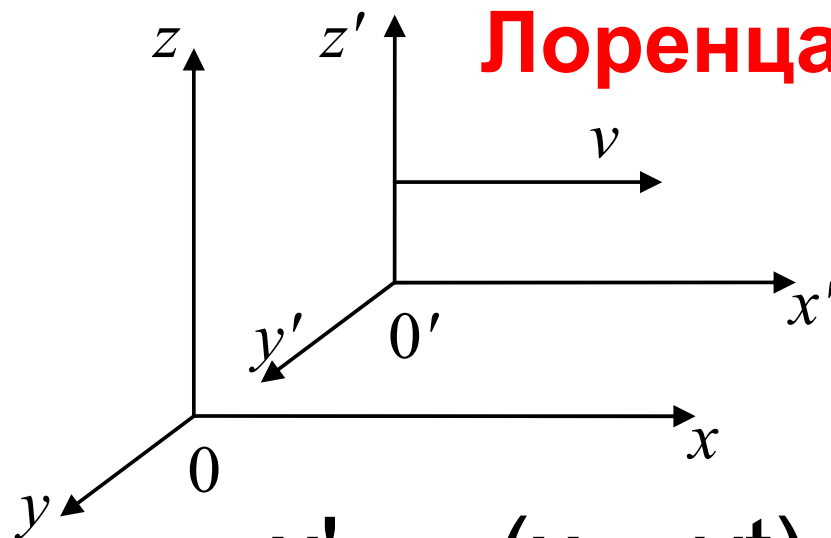
1638 г.

## Преобразования Галилея

$$\begin{aligned}x' &= x - vt, \\y' &= y, \\z' &= z, \\t' &= t\end{aligned}$$

1904 г.

## Преобразования Лоренца



$$\begin{aligned}x' &= \gamma(x - vt), \\y' &= y, \\z' &= z, \\t' &= \gamma(t - \beta x/c)\end{aligned}$$
$$\beta = \frac{v}{c}, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

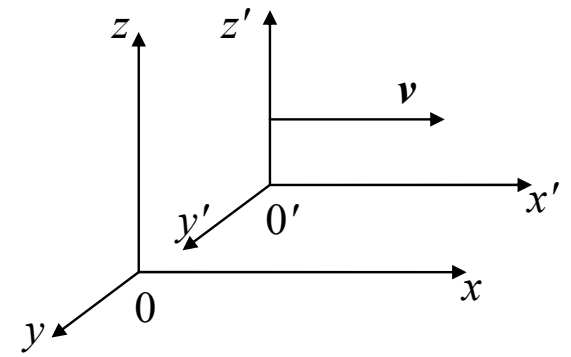


# Четырехмерное пространство-время

К концу XIX века в физике возникла сложная ситуация. Классическая механика подтверждалась во всех экспериментах. Были многочисленные подтверждения теории электромагнетизма. Стало ясно, что свет представляет собой электромагнитные волны, описываемые уравнениями Максвелла. Считалось, что свет распространяется в особой среде, которая получила название эфира. Однако описание свойств эфира наталкивалось на многочисленные противоречия. Для его обоснования приходилось вводить противоречащие друг другу предположения.

**1905 г.** Создав теорию относительности, А. Эйнштейн отказался от механистической модели эфира и объединил две великие теории классической физики. Возникло новое понимание понятий пространства и времени. Мы живем не в трехмерном пространстве, в котором независимо измеряется время. Пространственные и временные координаты связаны и образуют **четырёхмерное пространство-время.**

## Замедление времени



Интервал времени, измеренный в движущейся системе отсчета  $S'$ , длиннее интервала времени в покоящейся системе отсчета  $S$ .

$$t' = t \cdot \gamma = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

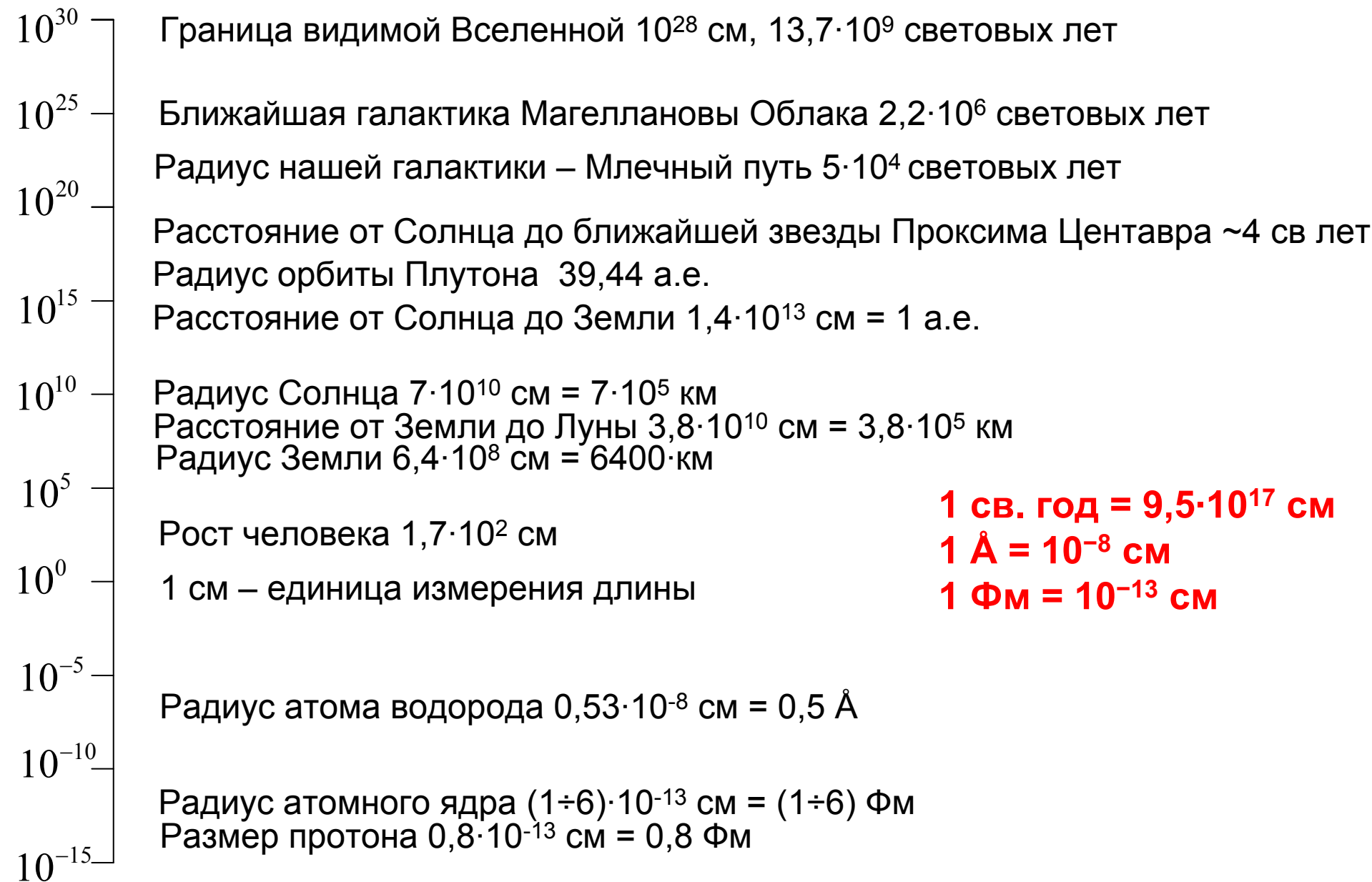
## Сокращение длины

Размер линейки, движущейся параллельно своей оси в системе отсчета  $S'$ , короче размера линейки в покоящейся системе отсчета  $S$ .

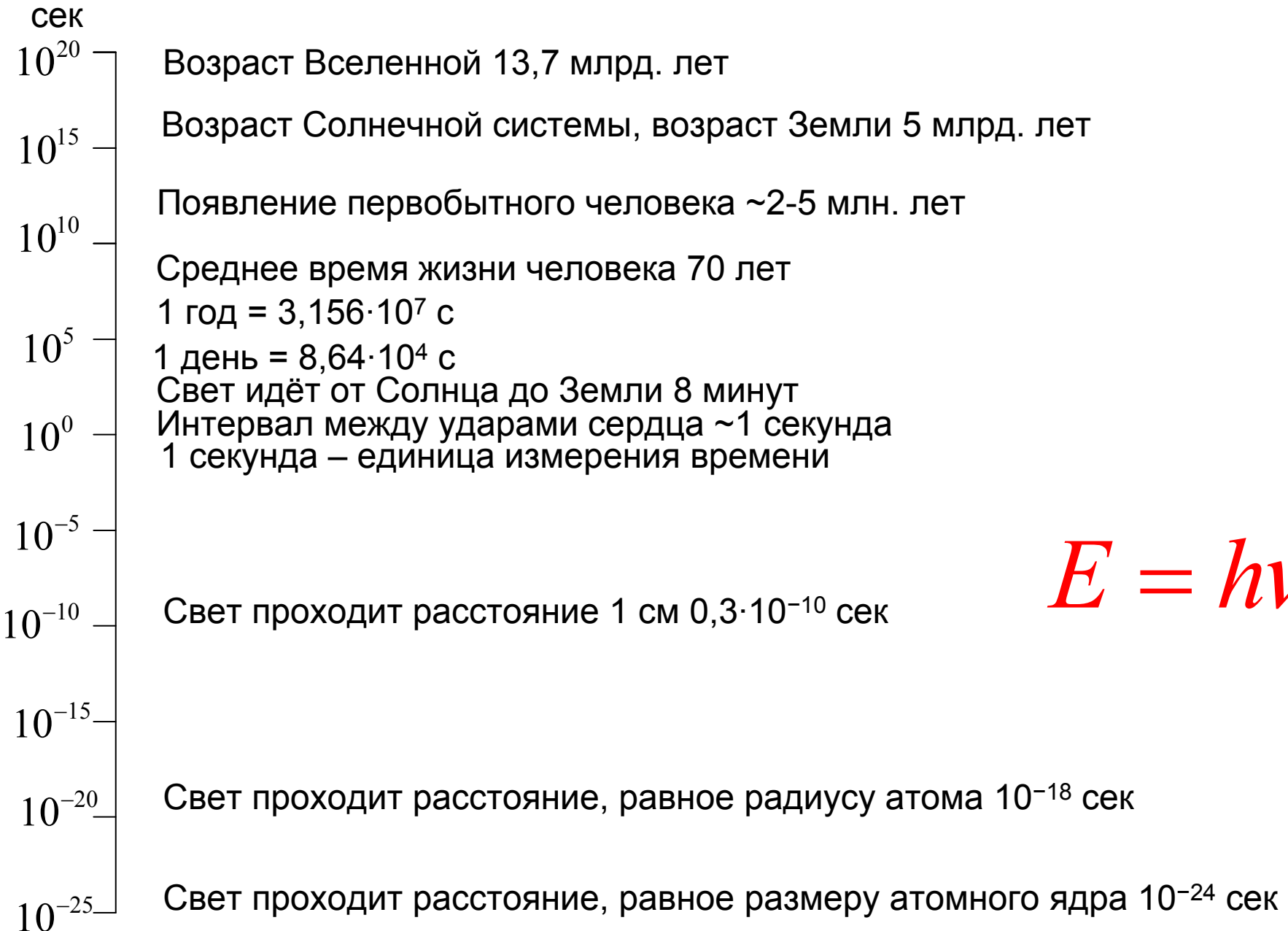
$$l' = \frac{l}{\gamma} = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

# Диапазон расстояний во Вселенной

см



# Диапазон временных интервалов во Вселенной



$$E = h\nu$$

## Приближенные значения времени путешествия со скоростью света в галактике Млечный путь

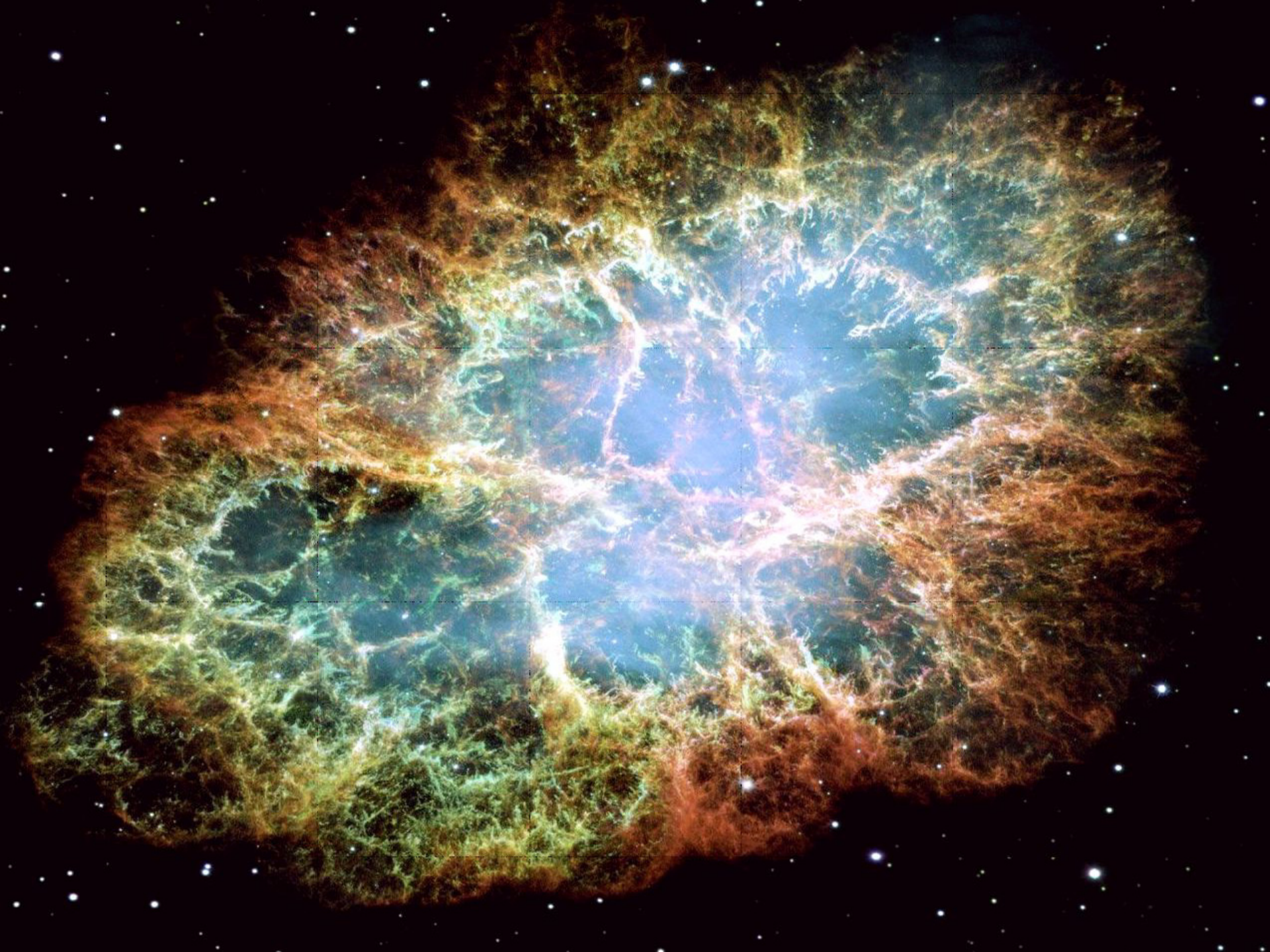
Расстояние	Время путешествия
Земля – Солнце	8 мин
Солнце – Сатурн	1,25 ч
Солнце – Плутон	5,25 ч
Солнце – Проксима Центавра (ближайшая звезда)	4,25 года
Солнце – Крабовидная туманность	6 000 лет
Солнце – центр Галактики	30 000 лет
Центр Галактики – край Галактики	50 000 лет
Периметр Галактики	300 000 лет

1 световая секунда = 300 000 км

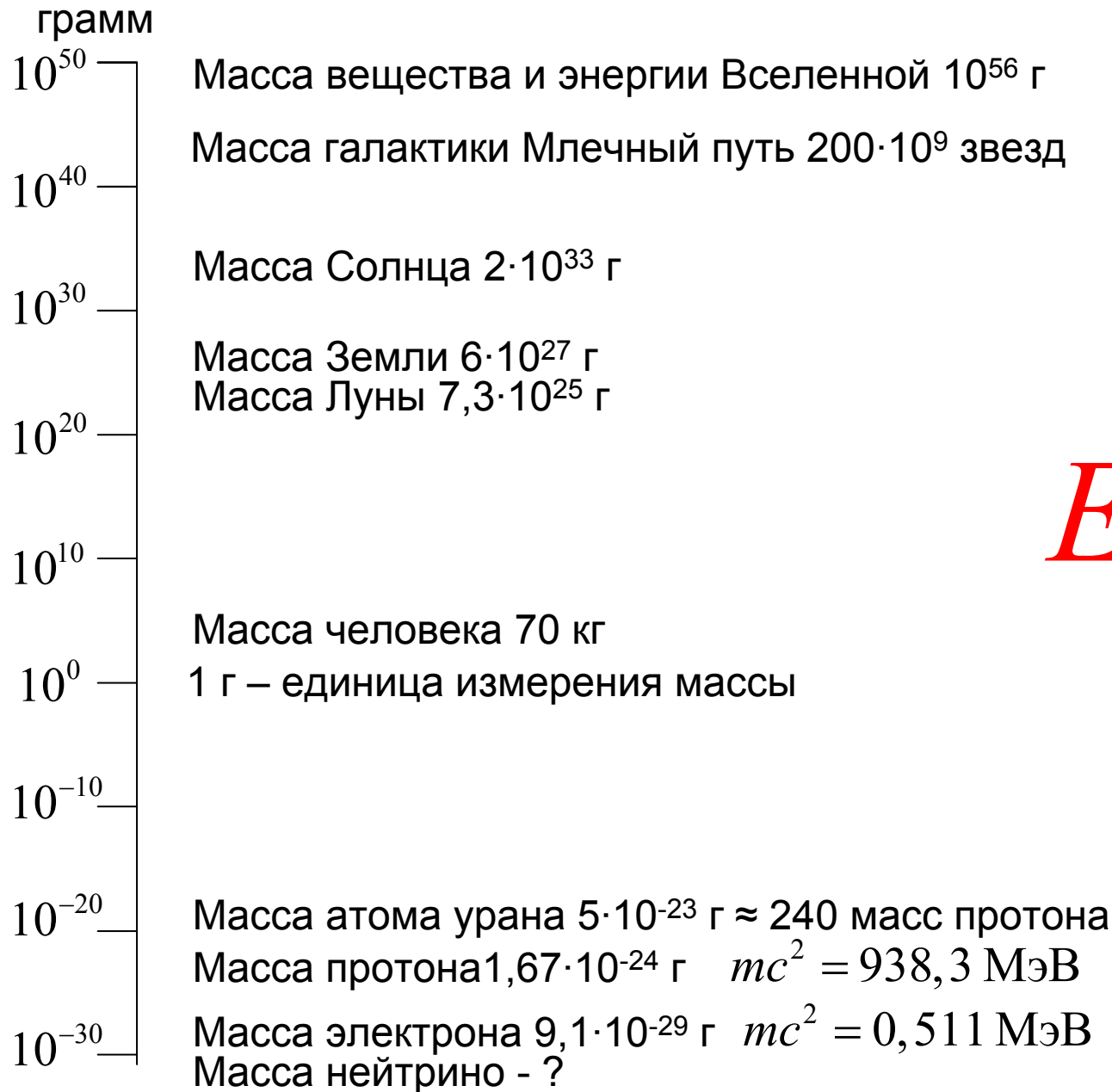
1 световая минута = 18 млн. км

1 световой час = 1 млрд. км

1 световой год 9,5 трлн. км



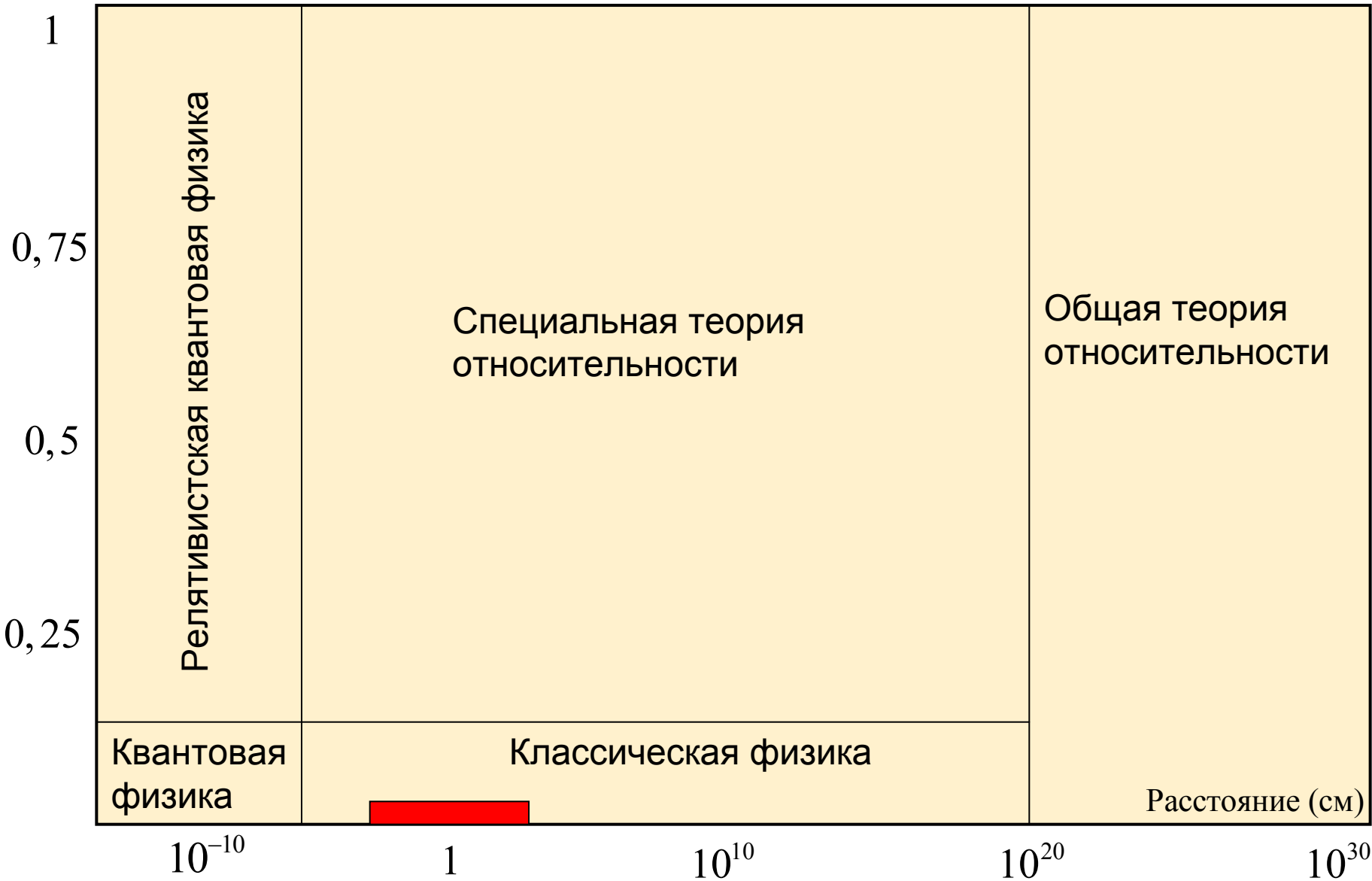
# Диапазон масс во Вселенной



$$E = mc^2$$

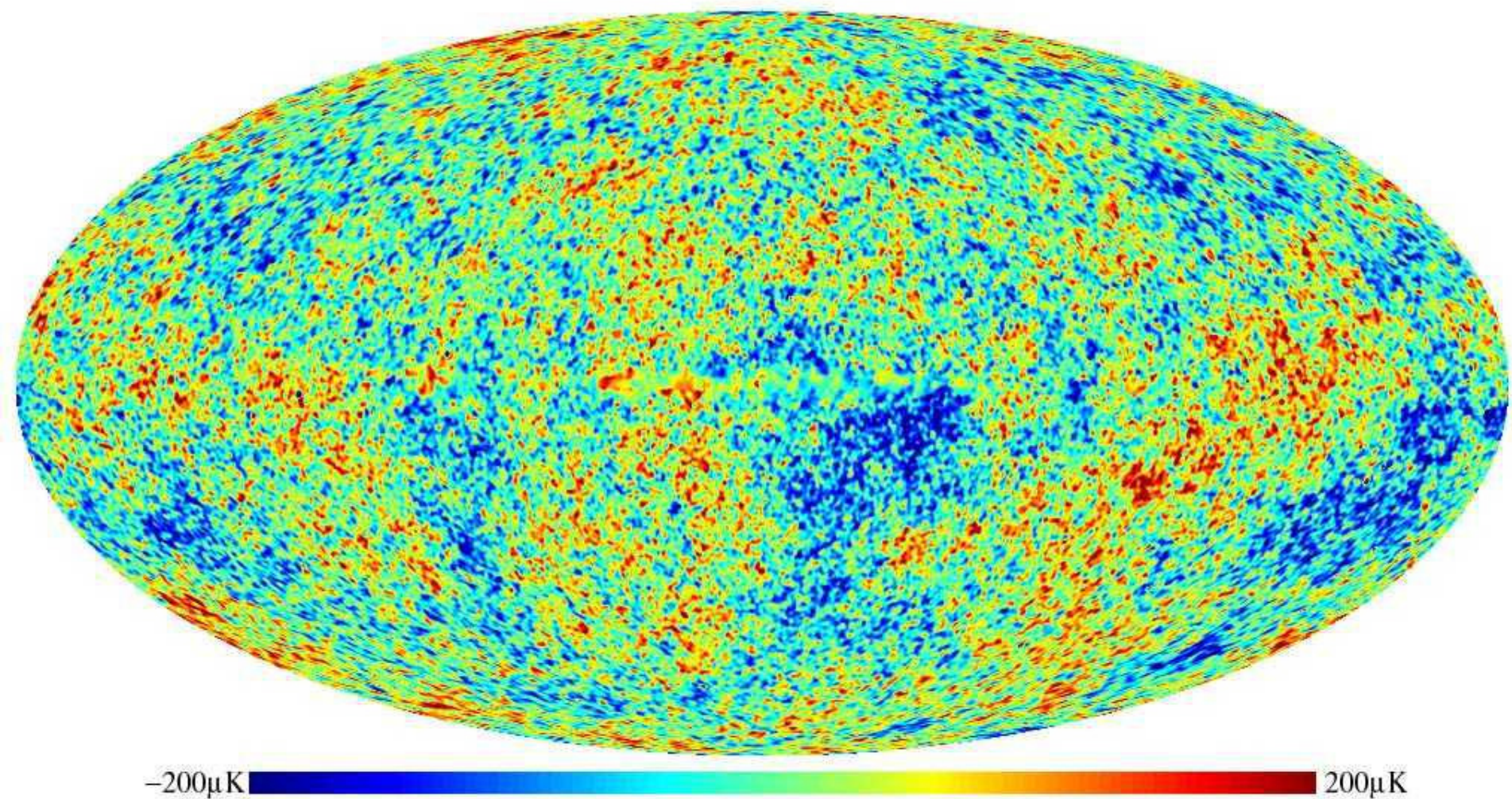
# Явления повседневной жизни

$$\beta = \frac{v}{c}$$





# Реликтовое излучение



# Крупномасштабная структура Вселенной

