

Микромир и Вселенная 2019

Вселенная

Тайны Вселенной

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

А. Эйнштейн.



Характеристики Вселенной

Возраст t_0	13.7±0.3 млрд лет	
Радиус наблюдаемой части Вселенной (горизонт видимости) $R_0 = ct_0$	10^{28} см	
Полное количество вещества и энергии	10^{56} Г	
Средняя плотность вещества и энергии	10^{-29} Г/см ³	
Полное барионное число (число нуклонов)	10^{78}	
Доля антивещества	< 10^{-4}	
Параметр Хаббла H	71±4 км/с·Мпк	
Температура реликтового (фонового) излучения	2.73 К	
Плотность реликтовых фотонов	410 см ⁻³	
Энергетическая плотность реликтовых фотонов	0.26 эВ/см ³ = $4.6 \cdot 10^{-34}$ Г/см ³	
Отношение числа барионов к числу реликтовых фотонов n_b/n_γ	$(6.1 \pm 0.2) \cdot 10^{-10}$	
Распространённость атомов (ядер):	по числу	по массе
водород	91%	70.7%
гелий	8.9%	27.4%
остальные ядра	<0.2%	1.9%

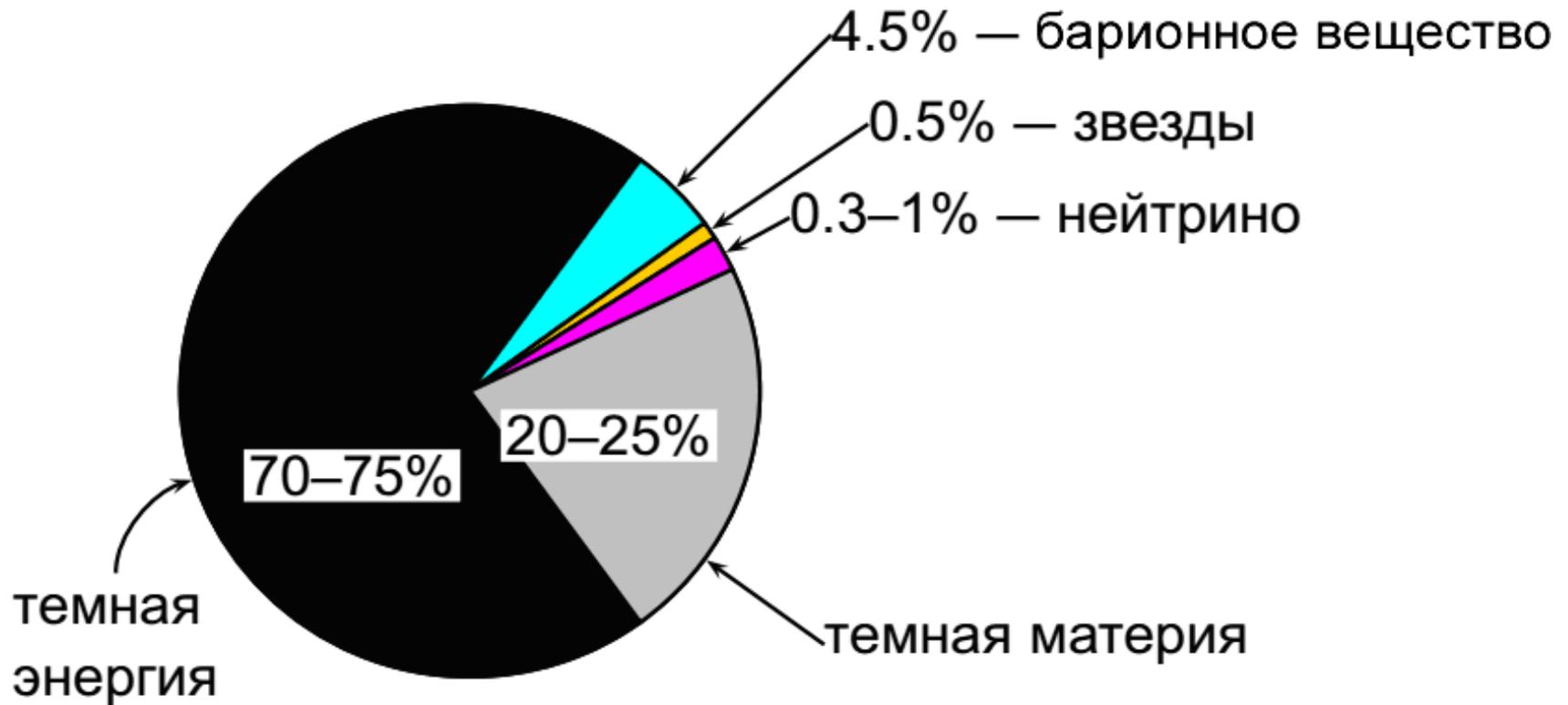
Структура Вселенной

- Вселенная
- Скопление галактик
- Галактики
- Звезды
- Планеты
- Молекулы
- Атомы
- Атомные ядра
- Электроны
- Протоны, нейтроны
- Лептоны, кварки
- Промежуточные бозоны

Структура Вселенной

- Вселенная
- Скопление галактик
- Галактики
- Звезды
- Планеты
- Молекулы
- Атомы
- Атомные ядра
- Электроны
- Протоны, нейтроны
- Лептоны, кварки
- Промежуточные бозоны
- Жизнь
- Человек
- Животные
- Растения
- Бактерии
- Вирусы
- Клетка

Баланс энергий в современной Вселенной



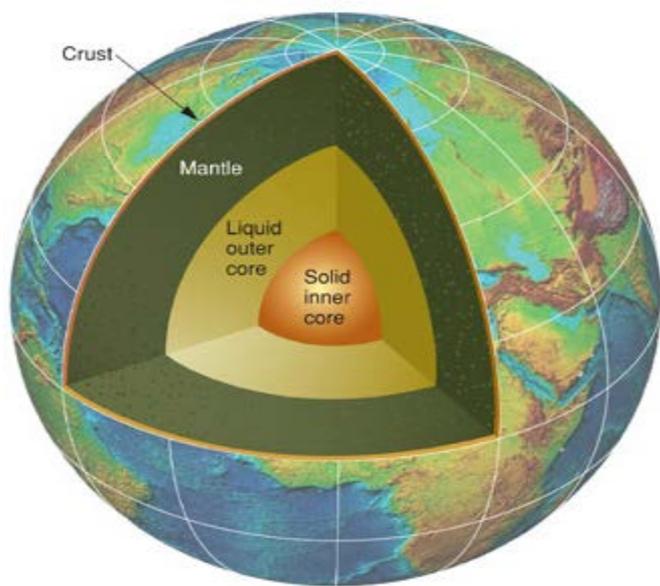
Земля





Земля

- Земля образовалась около 4,5 млрд лет назад
- Жизнь на Земле появилась ~ 3,7 млрд лет назад
- $\approx 70\%$ поверхности Земли занимает Мировой океан
- Ось вращения Земли наклонена на $\approx 23^\circ$ относительно её орбитальной плоскости вращения вокруг Солнца
- Луна стабилизирует наклон Земной оси и замедляет вращение Земли

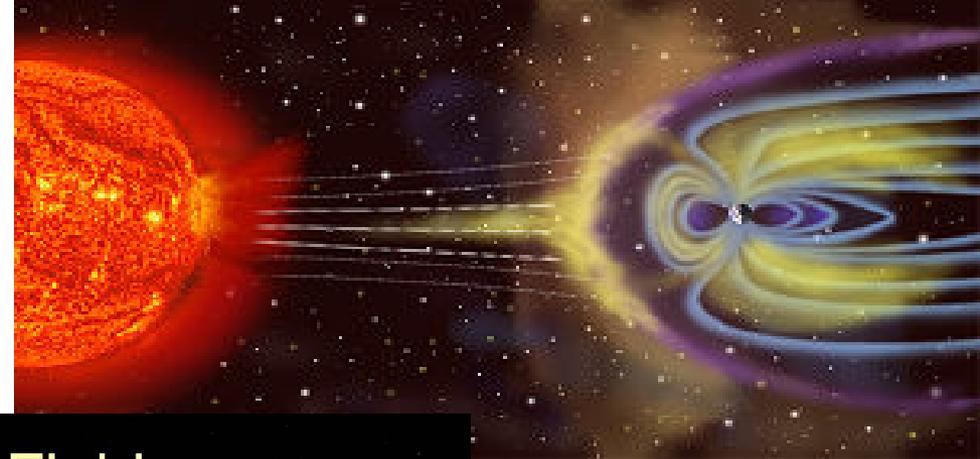


Земля

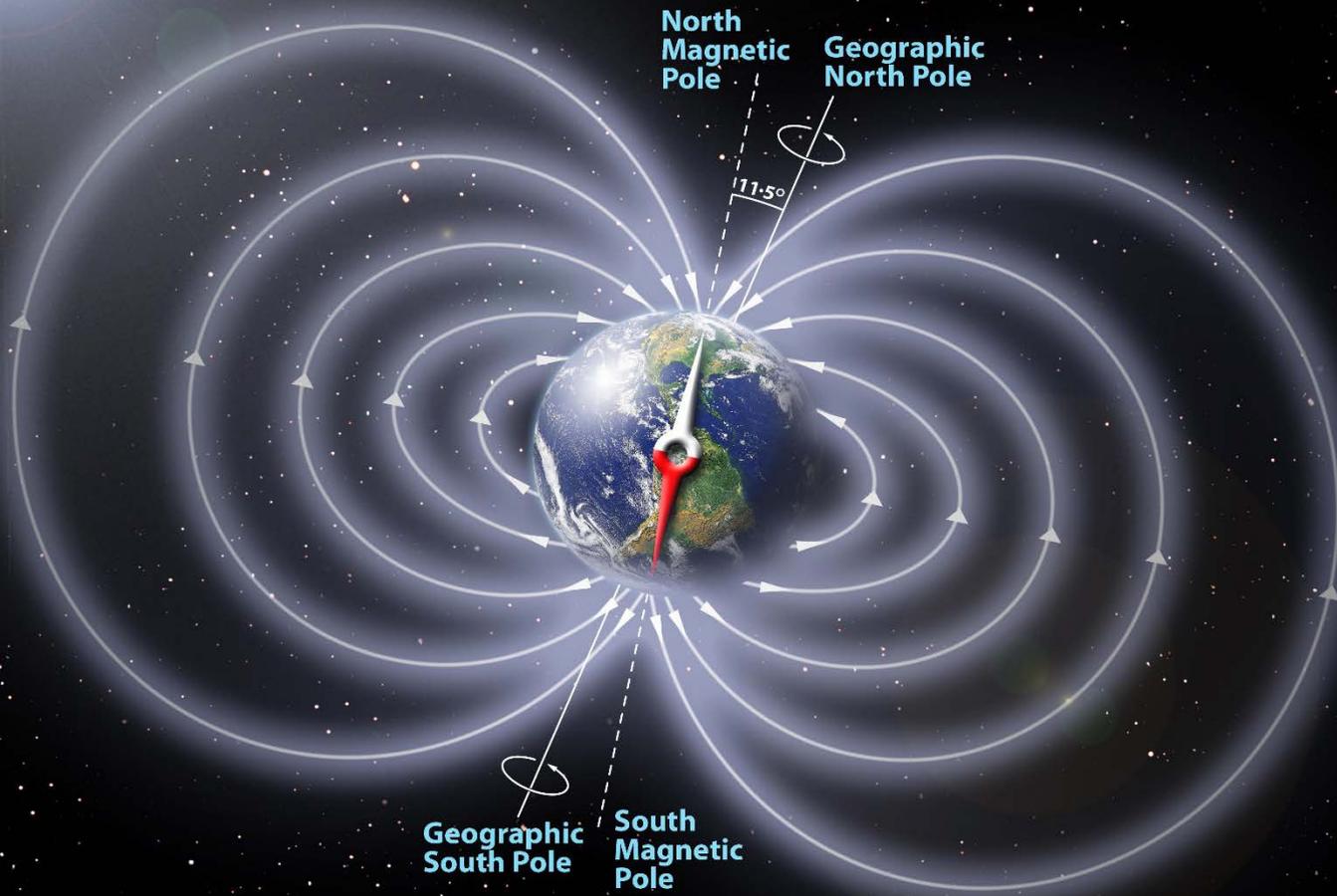
Глубина км	Слой	Плотность г/см ³
0—60	Литосфера (местами варьируется от 5 до 200 км)	—
0—35	... Кора (местами варьируется от 5 до 70 км)	2,2—2,9
35—60	... Самая верхняя часть мантии	3,4—4,4
35—2890	Мантия	3,4—5,6
100—700	... Астеносфера	—
2890—5100	Внешнее ядро	9,9—12,2
5100—6378	Внутреннее ядро	12,8—13,1

Масса Земли $\approx 5,98 \times 10^{24}$ кг. Общее число атомов, составляющих Землю $\approx 10^{50}$. Земля состоит в основном из железа (32,1 %), кислорода (30,1 %), кремния (15,1 %), магния (13,9 %), серы (2,9 %), никеля (1,8 %), кальция (1,5 %) и алюминия (1,4 %); на остальные элементы приходится 1,2 %. Из-за сегрегации по массе внутреннее пространство, предположительно, состоит из железа (88,8 %), небольшого количества никеля (5,8 %), серы (4,5 %).

Магнитное поле Земли



The Earth's Magnetic Field



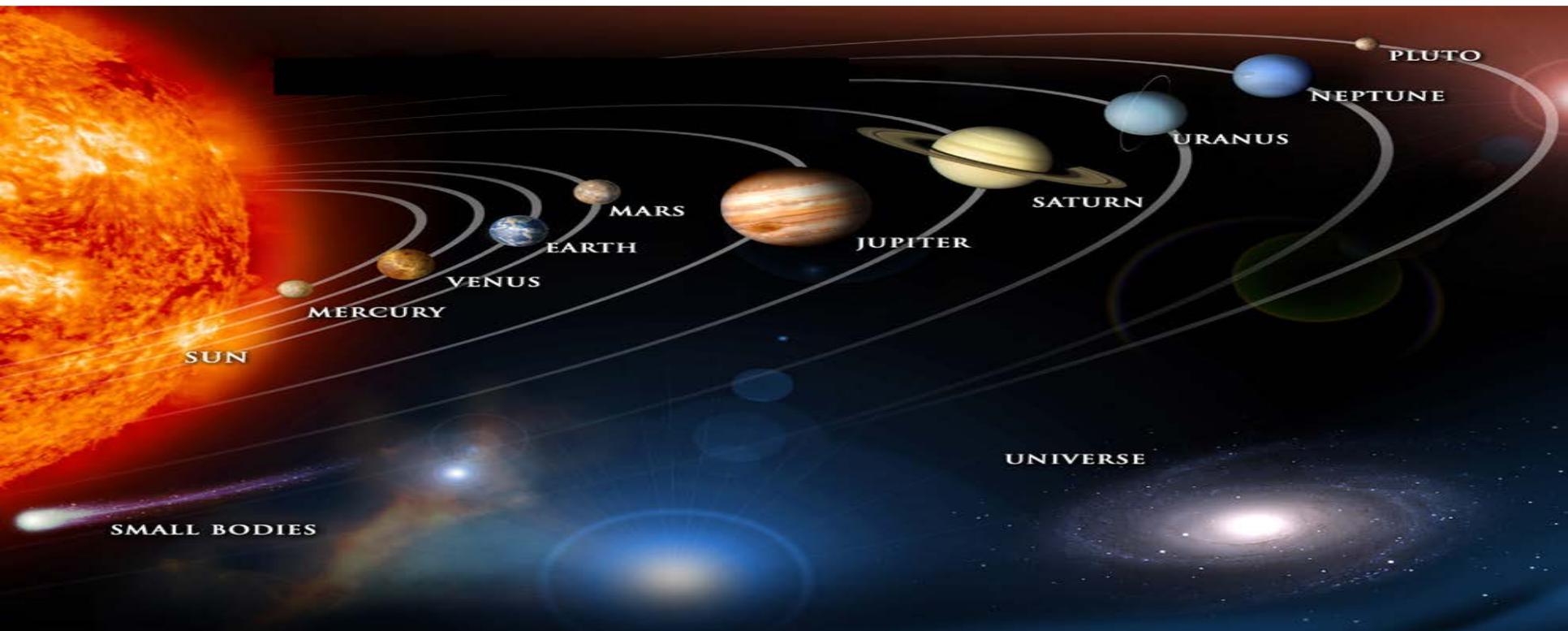
Заряженные частицы могут удерживаться в неоднородных магнитных полях.

Радиационные пояса Земли.

Космическая шкала времени

Время от настоящего момента, млрд. лет	Событие
13,7	Большой Взрыв
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
2 млн. лет	Человек

Планеты Солнечной системы



Планета	Среднее расстояние от Солнца, а.е.	Период обращения	Период вращения	Плотность, г/см ³	Диаметр, км	Масса, кг	Кол-во спутников	Температура
Меркурий	0,387	88 сут	58,6 сут	5,44	4878	$3,3 \cdot 10^{23}$	0	350
Венера	0,72	224,7 сут	243 сут	5,5	6050	$4,9 \cdot 10^{24}$	0	480
Земля	1,00	365,24 сут	24 час	5,52	12756,3	$6 \cdot 10^{24}$	1	22
Марс	1,52	687 сут	24,5 час	3,95	6780	$6,4 \cdot 10^{23}$	2	-23
Юпитер	5,2	11,9 лет	10 час	1,33	142600	$1,9 \cdot 10^{27}$	16	-150
Сатурн	9,54	29,5 лет	10,2 час	0,68	120600	$5,7 \cdot 10^{26}$	30	-180
Уран	19,18	84 года	17 час	1,26	51200	$8,7 \cdot 10^{25}$	15	-215
Нептун	30,06	164,8 лет	17,8 час	1,67	49500	$1,03 \cdot 10^{26}$	6	-217
Плутон	39,44	247,7 лет	6,4 сут	0,17	3000	$1,79 \cdot 10^{22}$	1	-223

Солнце

Солнце – одна из звезд галактики Млечный путь.

Солнце – основа Солнечной системы, в состав которой входят планеты и их спутники, карликовые планеты, астероиды, кометы, метеориты, космическая пыль, магнитные поля.

Излучение Солнца поддерживает жизнь на Земле.

Температура поверхности Солнца ≈ 6000 К.

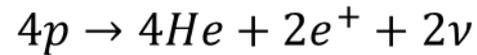
Солнце состоит из водорода (73% массы), гелия (25% массы), более тяжелые химические элементы имеют в сумме $\approx 2\%$ массы Солнца.

Масса Солнца $— 1,988 \cdot 10^{30}$ кг — составляет 99,87% массы Солнечной системы.



Солнце

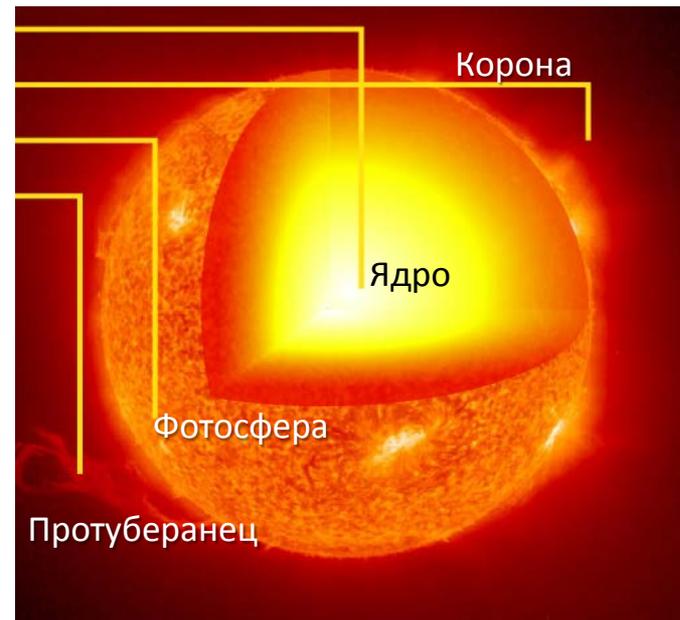
В центральной части Солнца — солнечном ядре (20–25% радиуса Солнца) — идут термоядерные реакции горения водорода



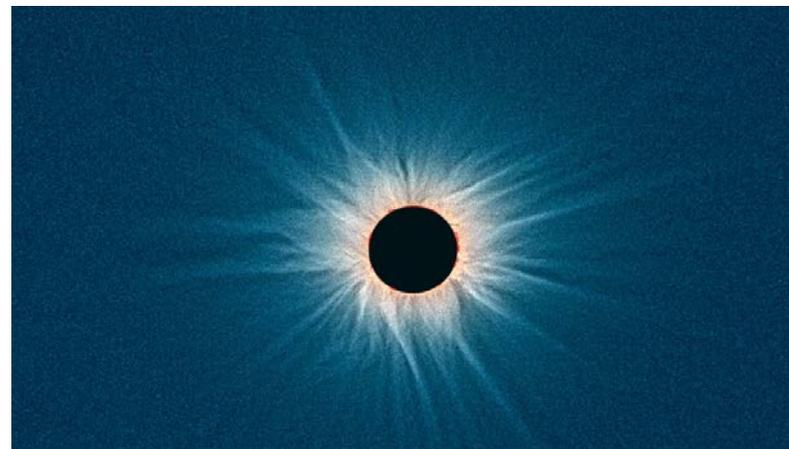
Плотность вещества в центре Солнца 150000 кг/м^3 .

Каждую секунду в излучение превращается 4,26 млн тонн вещества Солнца.

Температура в центре Солнца $\sim 1,6 \cdot 10^7 \text{ К}$.

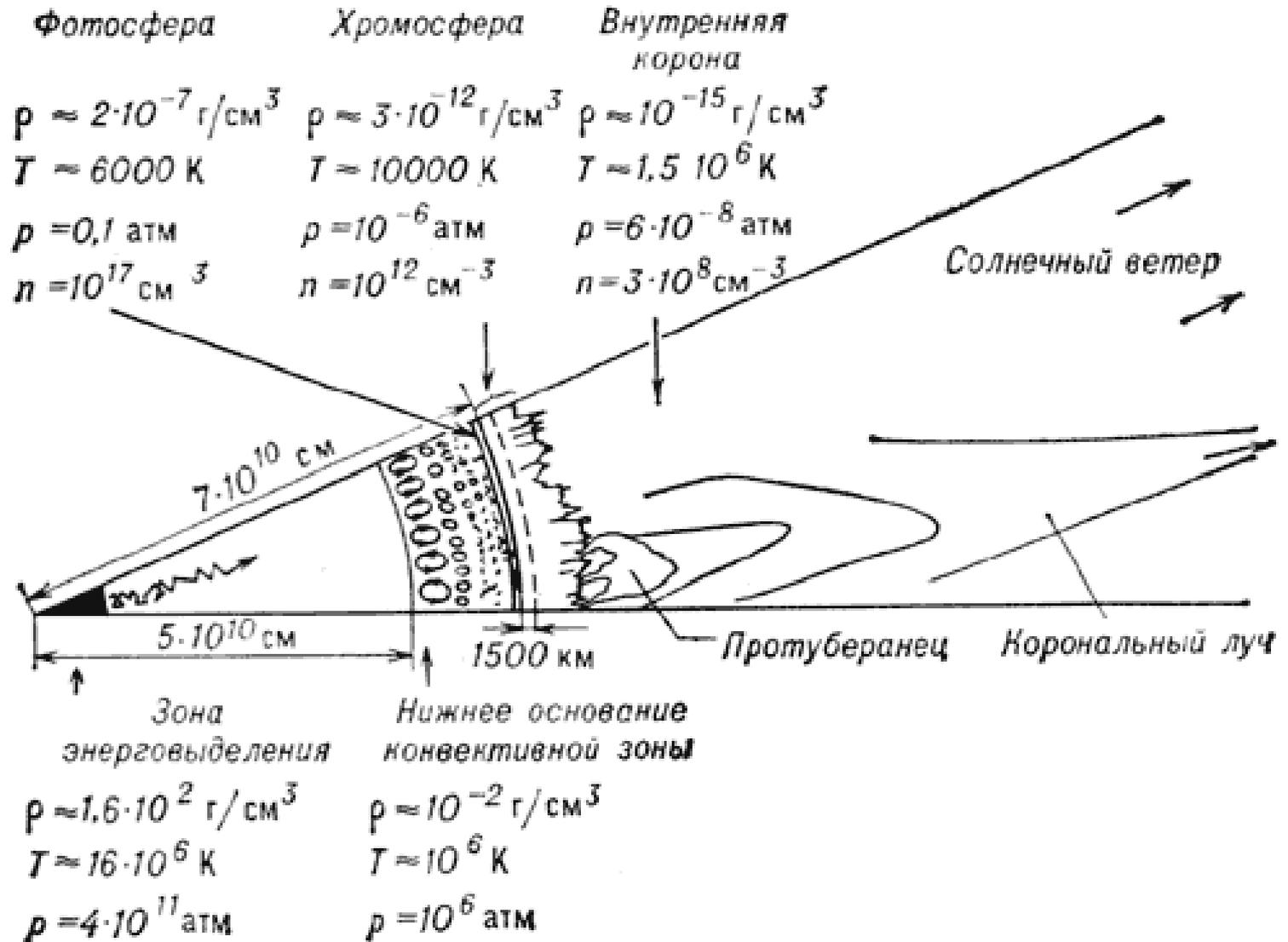


*Протуберанец.
Корональные выбросы массы Солнца*



*Корона Солнца, сфотографированная
при полном солнечном затмении*

Солнце



Физические характеристики слоёв Солнца

Солнце



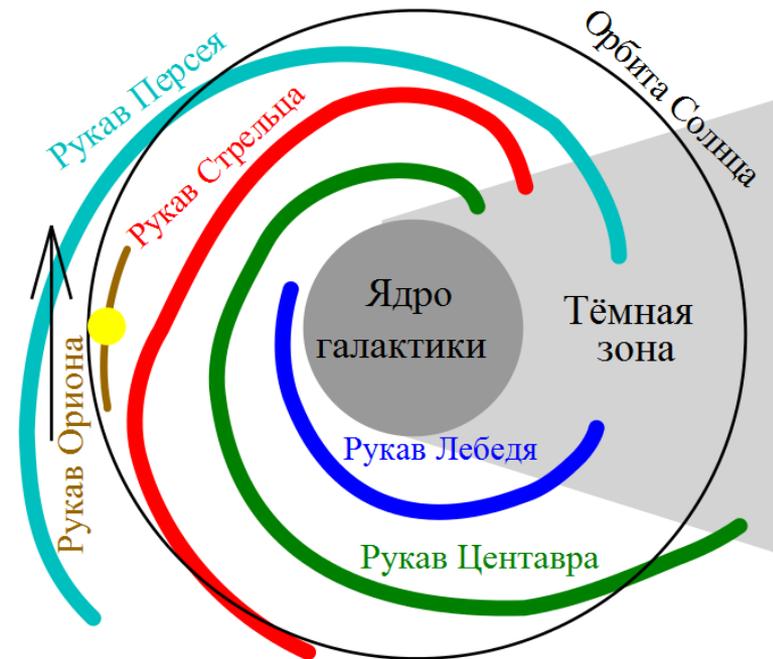
Виды воздействия солнечной вспышки на Землю (по Д. Х. Мензелу)

Основные характеристики Солнца

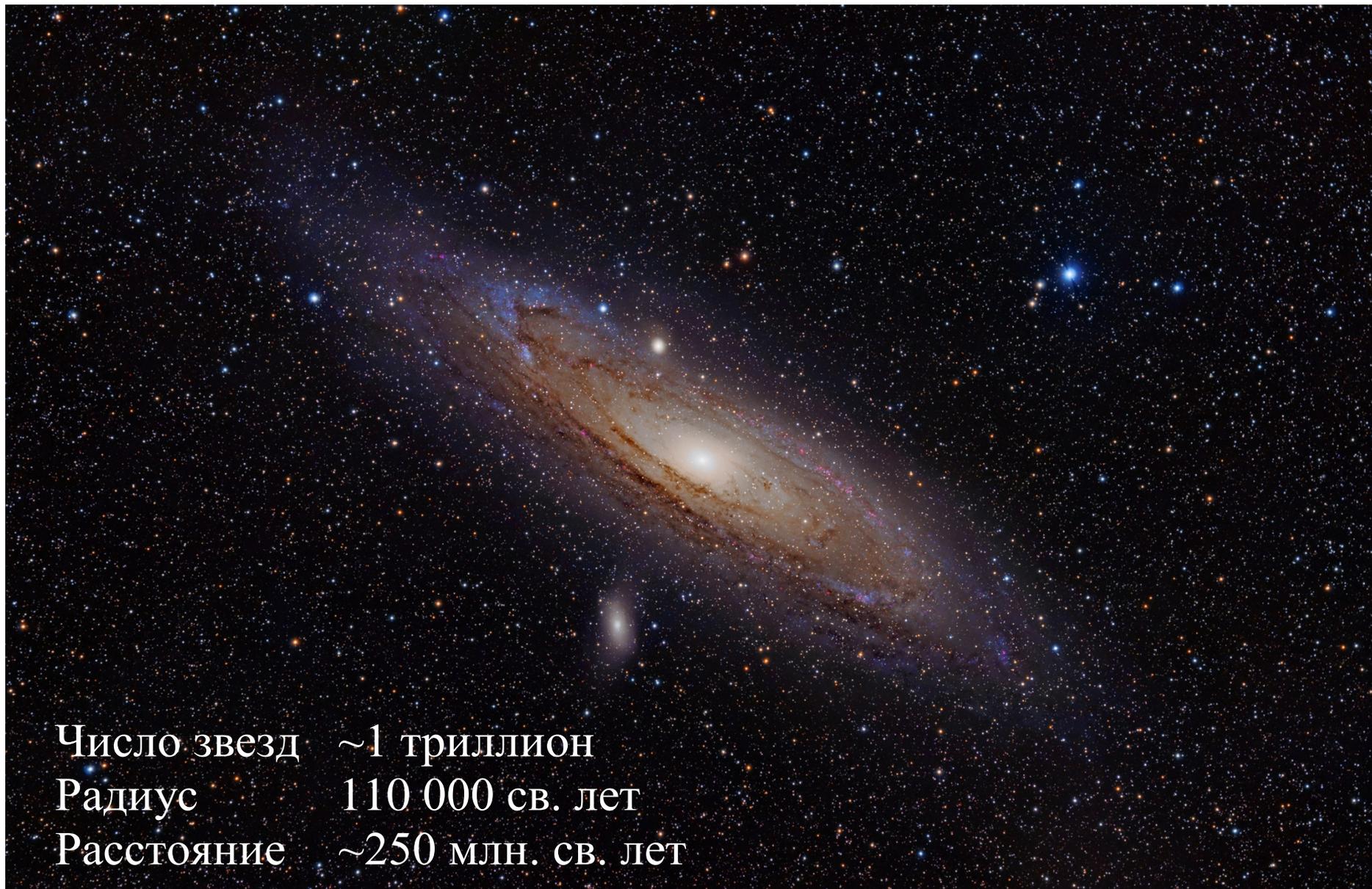
Масса M_{\odot}	$2 \cdot 10^{33}$ г
Радиус R_{\odot}	$7 \cdot 10^{10}$ см
Светимость L_{\odot}	$3.83 \cdot 10^{33}$ эрг/с ($2.4 \cdot 10^{39}$ МэВ/с)
Поток излучения с единицы поверхности	$6.3 \cdot 10^7$ Вт/м ²
Средняя плотность вещества	1.4 г/см ³
Плотность в центре	~ 100 г/см ³
Температура поверхности	$6 \cdot 10^3$ К
Температура в центре	$1.5 \cdot 10^7$ К
Химический состав:	
водород	74%
гелий	23%
углерод, азот, кислород, неон и др.	3%
Возраст	$5 \cdot 10^9$ лет
Ускорение свободного падения на поверхности	$2.7 \cdot 10^4$ см/с ²
Шварцшильдский радиус $\frac{2GM_{\odot}}{c^2}$, (c — скорость света)	2.95 км
Галактический период обращения	$2,2\text{--}2,5 \cdot 10^8$ лет
Расстояние до центра Галактики	$2.6 \cdot 10^{17}$ км
Скорость вращения вокруг центра Галактики	220 км/с

Галактика Млечный путь

Масса	$\sim 3 \cdot 10^{12} M_{\odot}$
Число звезд	~ 200 млрд. звезд
Диаметр	$\sim 100\,000$ св. лет
Толщина	
балдж	3000 св. лет
диск	1000 св. лет
Скорость относительно реликтового излучения	550 км/сек
Галактический период обращения Солнца	200–250 млн. лет



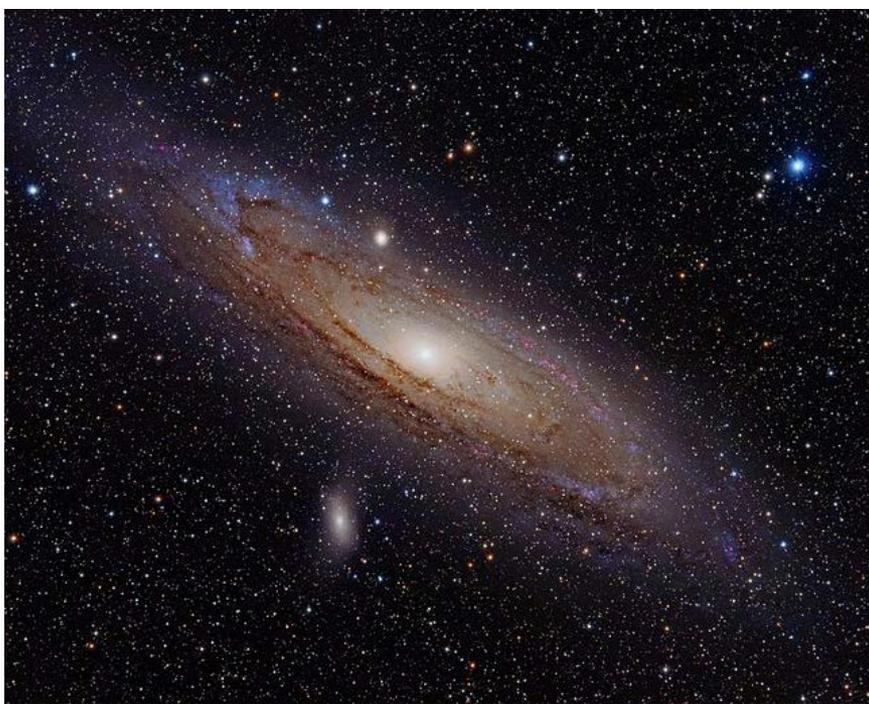
Галактика Андромеда



Число звезд ~1 триллион

Радиус 110 000 св. лет

Расстояние ~250 млн. св. лет



Спиральная
Хаотическая

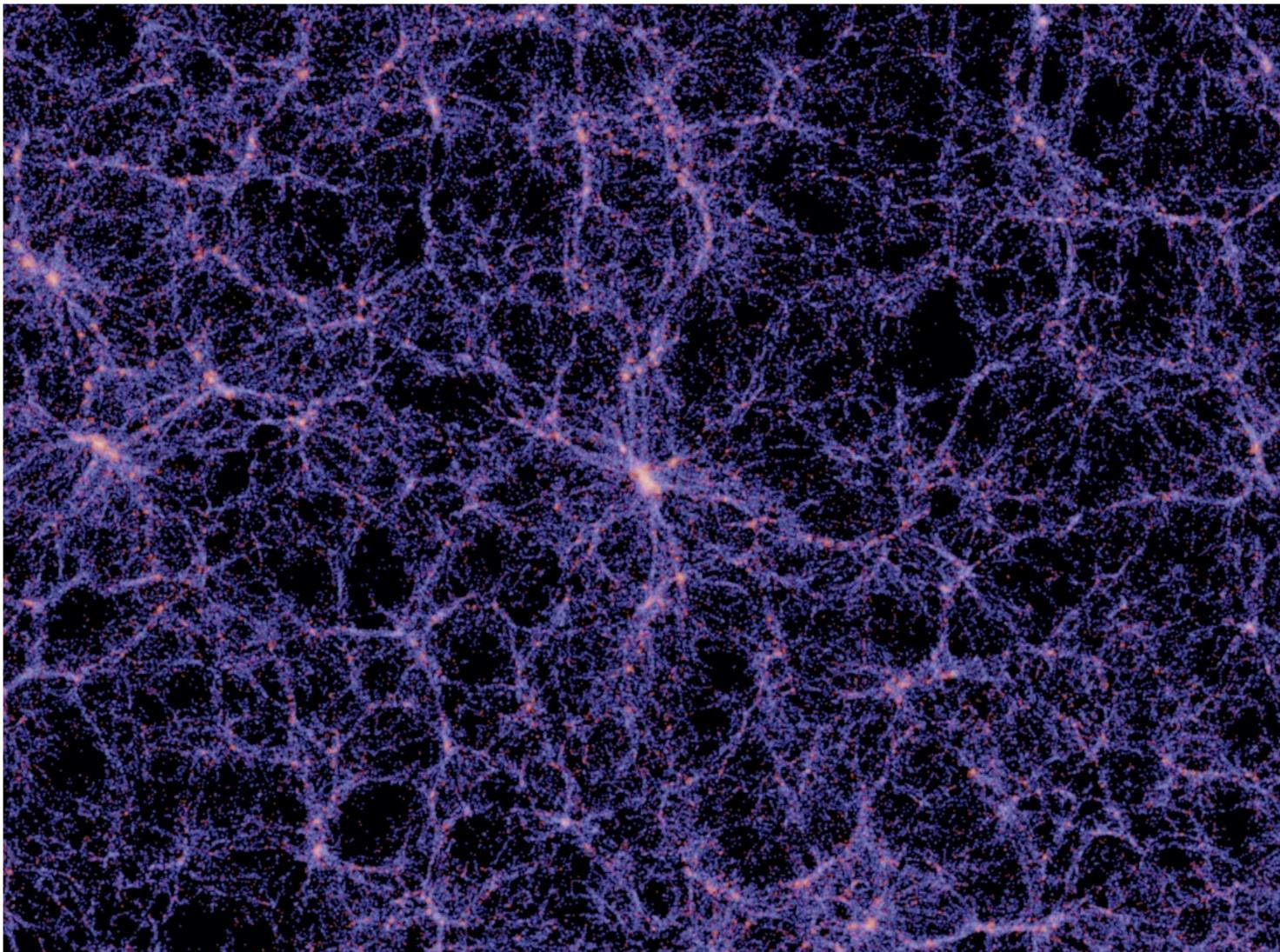


Типы галактик

Эллиптическая

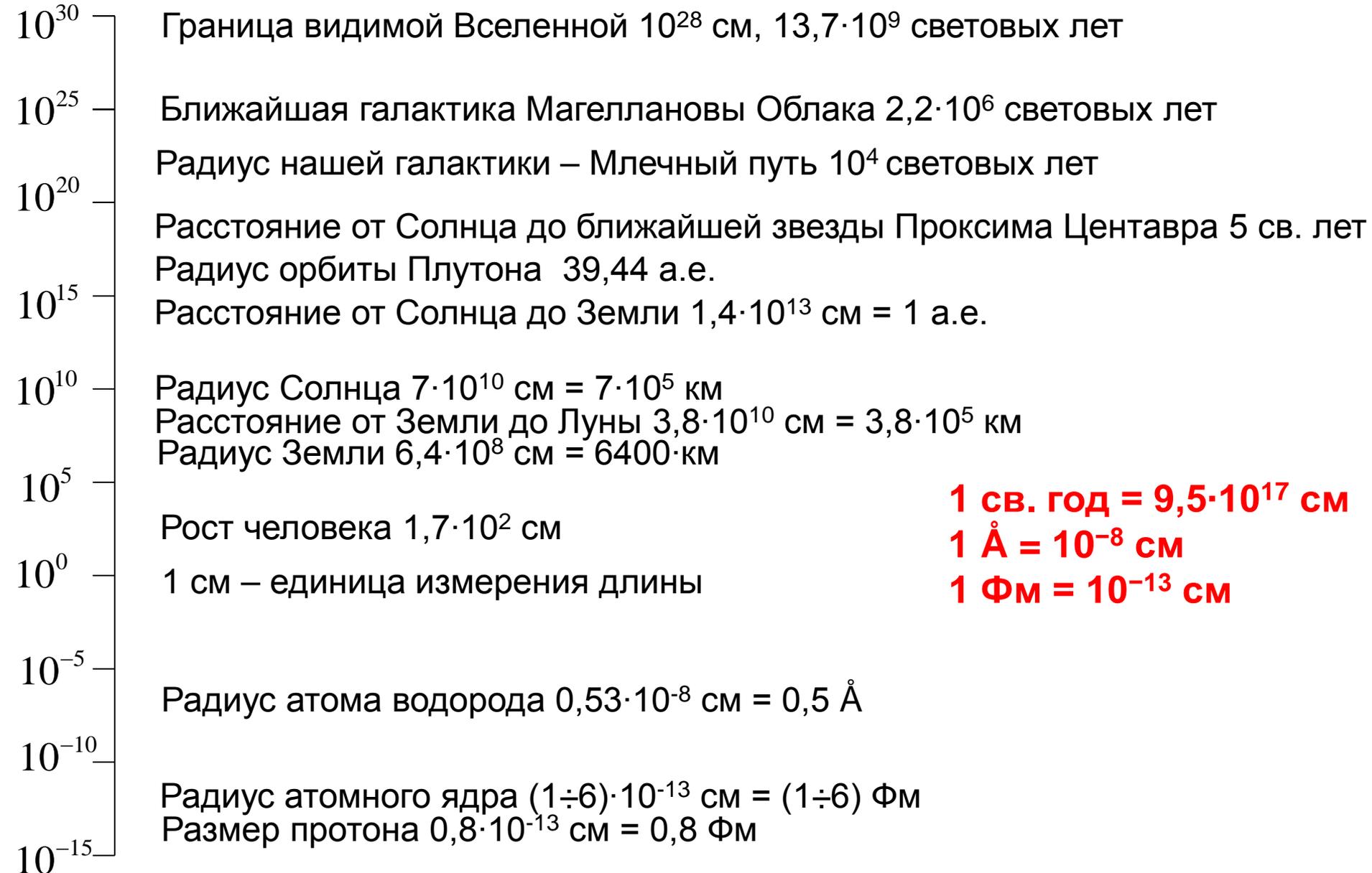


Крупномасштабная структура Вселенной

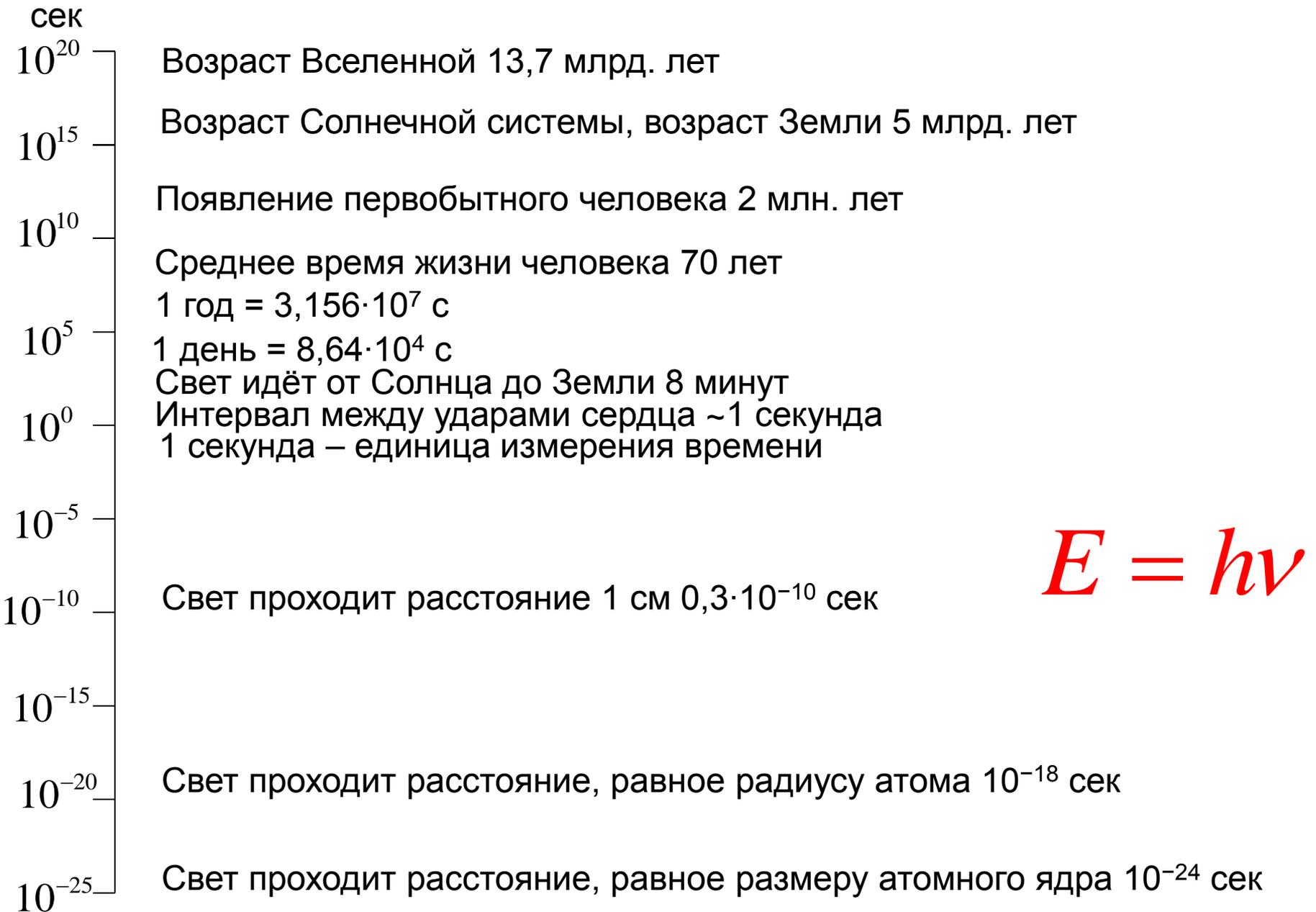


Диапазон расстояний во Вселенной

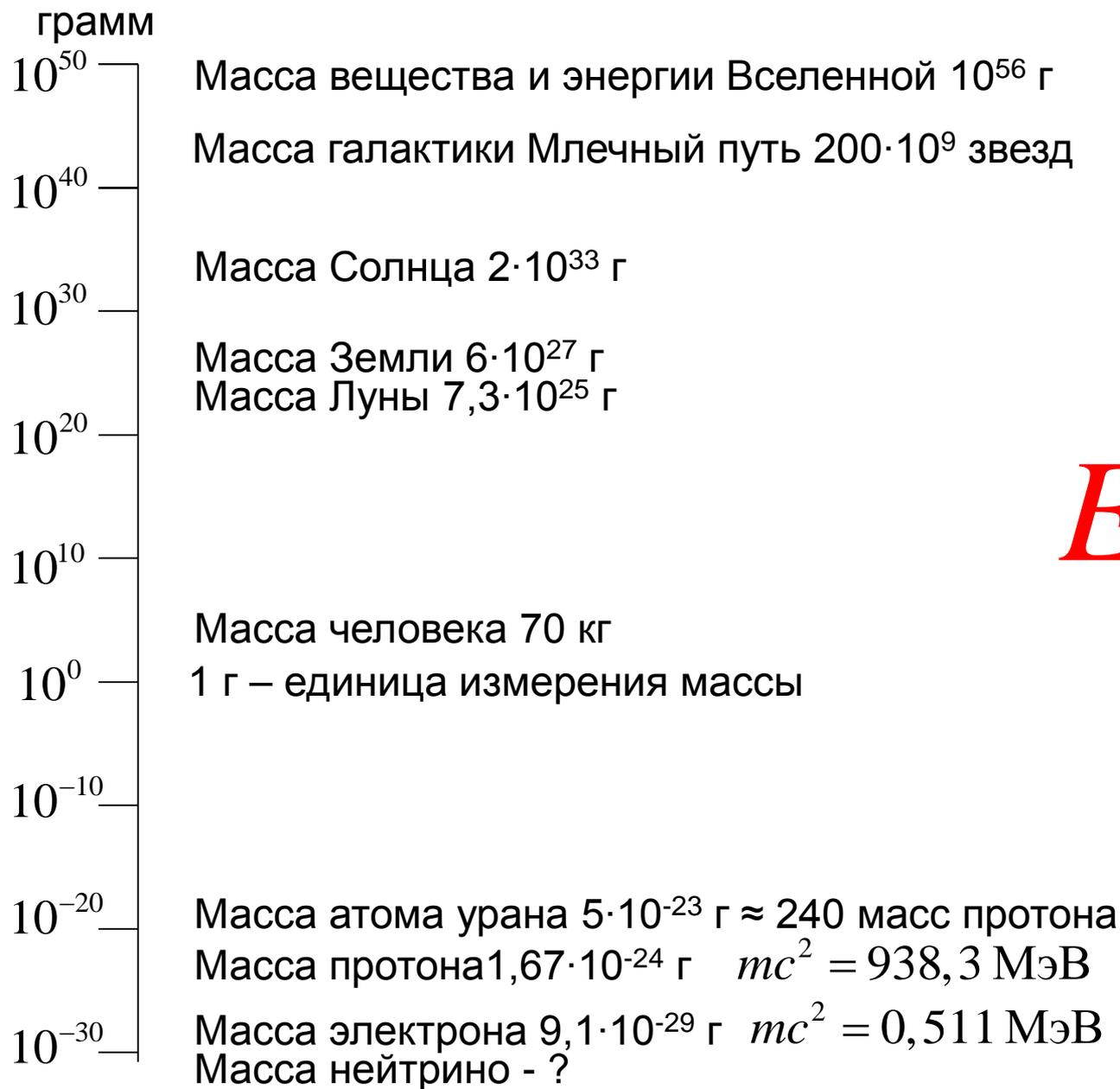
см



Диапазон временных интервалов во Вселенной



Диапазон масс во Вселенной



$$E = mc^2$$

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

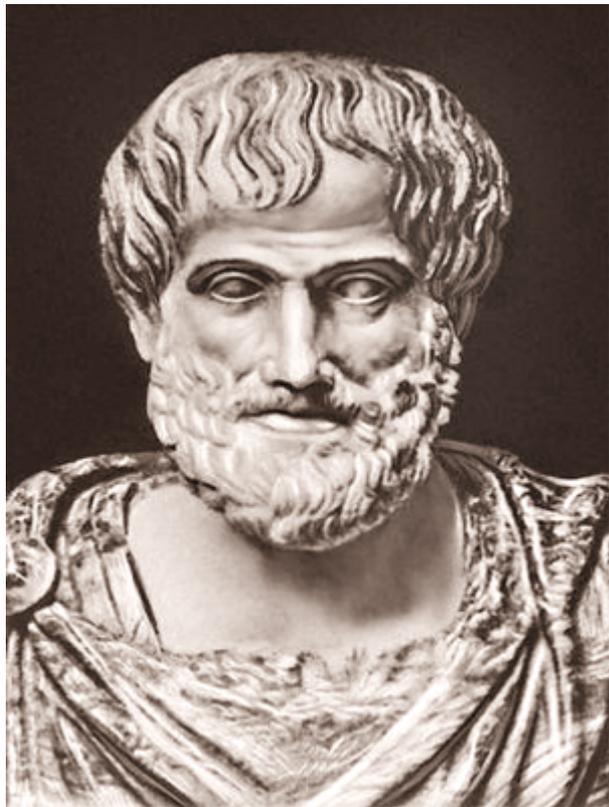
1 световая секунда = 300 000 км

1 световая минута = 18 млн. км

1 световой час = 1 млрд. км

1 световой год 9,2 трлн. км

Аристотель



384 – 322 гг. до н.э.

Дедуктивный метод объяснения явлений природы, не предусматривающий обращения к эксперименту

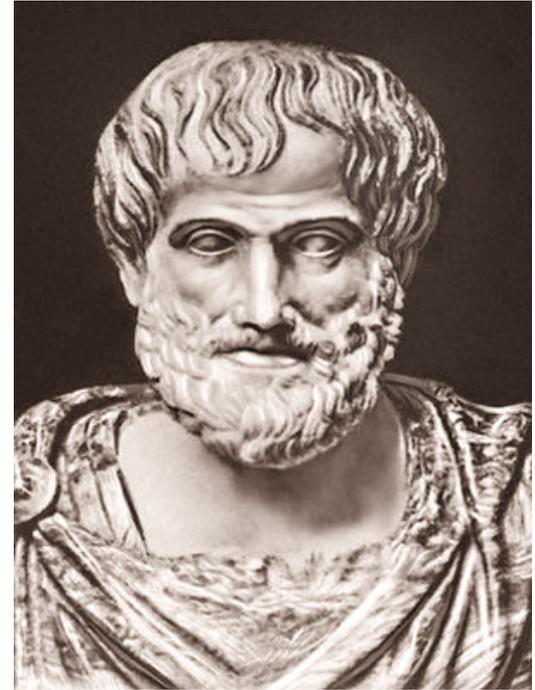


Аристотель

Основу учения Аристотеля составлял дедуктивный метод – логика абстрактного мышления, не предусматривающий обращения к эксперименту. Исходя из ряда постулатов, которые, *казалось*, находились в согласии с повседневными наблюдениями, он делал из них различные выводы о явлениях природы. Так Аристотель считал, что

- скорость падения различных тел пропорциональна весу тела,
- движение происходит, пока действует «побудительная причина (сила)» и при отсутствии этой силы оно прекращается.

Основу его модели мироздания составляло представление о том, что всё вещество состоит из четырех основных элементов – Земли, Воды, Воздуха и Огня. Согласно учению Аристотеля материя была непрерывной средой – вещество можно делить бесконечно. Впоследствии эти представления Аристотеля явились основой концепции непрерывного гравитационного и электромагнитного полей.



Аристотель
384–322 до н.э.

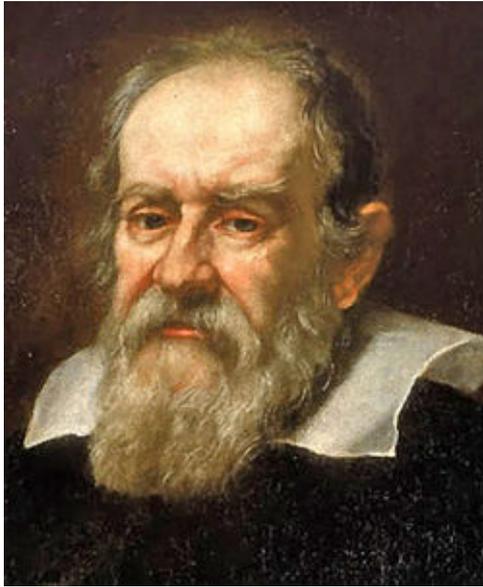
Демокрит

Демокрит считал, что Вселенная бесконечна и состоит из отдельных и вечных атомов и пустоты. Из этих атомов состоит все вещество, которое имеет различные формы организации. Различные формы материи не вечны и со временем могут разрушаться. Демокрит считал, что космические вихри порождают бесчисленные миры. Эти миры различаются размерами и структурой. В некоторых мирах нет ни Солнца, ни Луны, в других — бесчисленное множество подобных светил. Одни миры только возникают, другие находятся в расцвете, а третьи погибают, сталкиваясь друг с другом. Все живое отличается от неживого наличием атомов души, подобных атомам огня. Человек отличается от других живых существ особым расположением атомов души среди атомов тела.

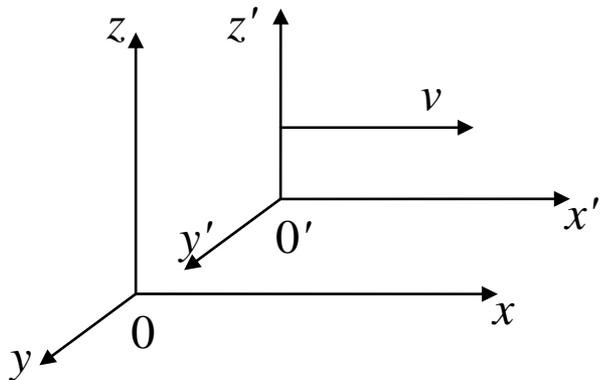


Демокрит
460–370 гг. до н.э.

Галилей



Галилео Галилей
1564 – 1642



- Заложил основы научного подхода в описание физического мира
- Сформулировал понятие движения
- Сформулировал законы движения падающих тел
- 1638 Принцип относительности

$$x' = x - vt,$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = t$$

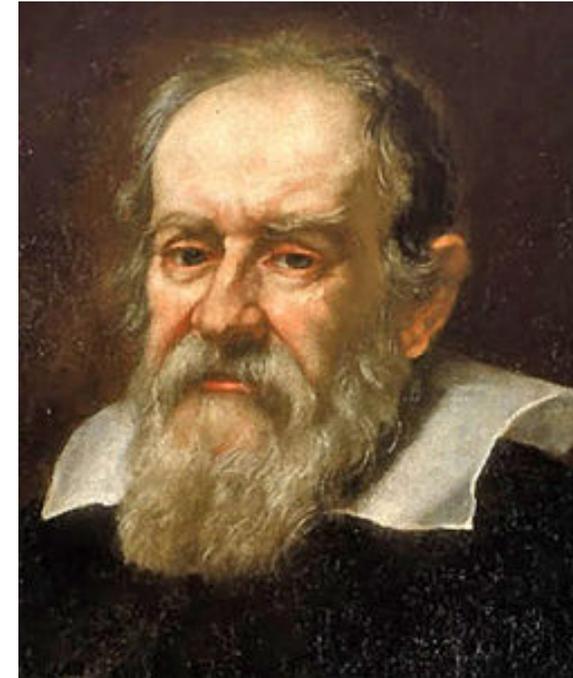
$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$$

Галилей

В отличие от господствовавших в науке традиций школы Аристотеля, Галилей в основу познания окружающего мира положил эксперимент. Изучая падение различных тел, Галилей пытался найти простое соотношение, связывающее измеряемые им величины. Галилей обнаружил, что вес тела не влияет на его движение. Галилей установил, что тело движущееся с постоянным ускорением из состояния покоя за любой интервал времени, считая от начала движения, проходит путь пропорциональный квадрату времени.

В 1609 г. Галилей построил свой первый телескоп. Он обнаружил, что Луна подобно Земле имеет сложный рельеф. На Луне были видны горы и кратеры. Галилей обнаружил 4 спутника Юпитера.

В «Диалоге о двух системах мира» Галилей утверждал, что более правильной является гелиоцентрическая система Коперника, а не геоцентрическая система Птолемея.



Галилео Галилей
1564 – 1642

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

$$R^3 / T^2 = const,$$

постоянная $const$ имеет одно и то же значение для всех планет.

1687 г. Закон всемирного тяготения

$$\vec{F}_{\text{гр}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}_{12}$$

Гравитационная сила $F_{\text{гр}}$, с которой притягиваются друг к другу две частицы или два тела сферической формы, обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами r и пропорциональна произведению их масс $m_1 m_2$.

$$G = 6,673 \cdot 10^{-8} \text{ дин} \cdot \text{см}^2 / \text{г}^2 \text{ (система СГС)}$$

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

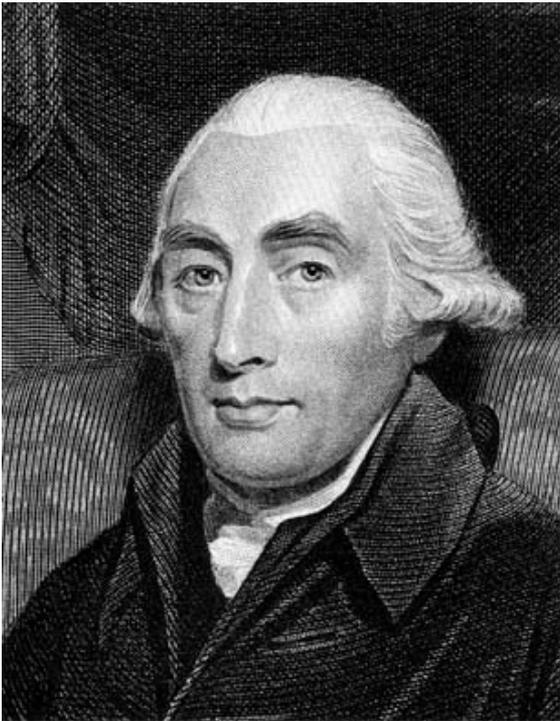
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

«Но до сих пор я не в состоянии открыть причину таких свойств тяготения... И я не измышляю гипотез... Для нас достаточно того, что тяготение существует на самом деле, действует в согласии с теми законами, что мы объяснили, и в полной мере позволяет объяснить все движения тел».



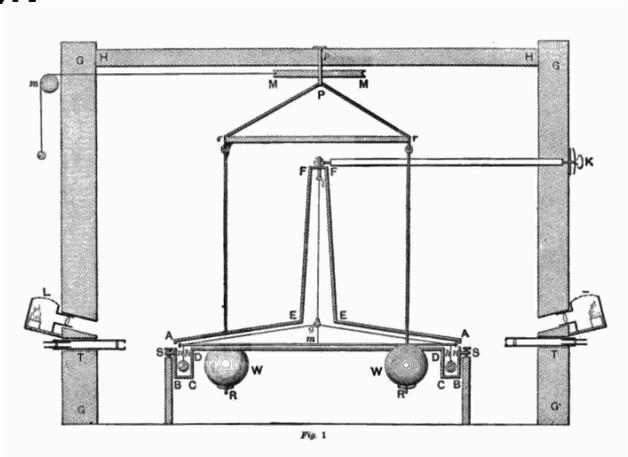
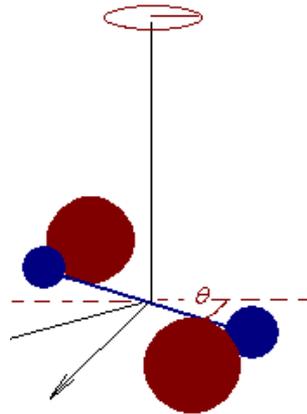
Исаак Ньютон

1789 г. Эксперимент Кавендиша



Генри Кавендиш
1731 – 1810

Значение гравитационное
постоянной G было впервые
определено экспериментально
Г. Кавендишем.

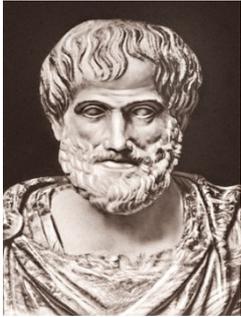


В результате эксперимента
Г. Кавендиш получил значение
гравитационной постоянной G , которое
всего на 1% отличалось принятого в
настоящее время значения

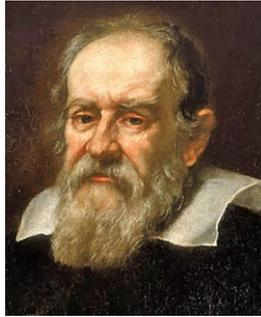
$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}$$

$$G = 6,673 \cdot 10^{-8} \text{ дин} \cdot \text{см}^2 / \text{г}^2 \text{ (система СГС)}$$

Классическая механика. Движение



Аристотель
384–322 до н.э.



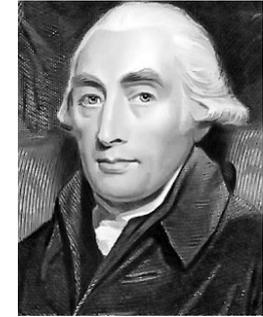
Галилео Галилей
1564 – 1642



Иоганн Кеплер
1571 – 1630



Исаак Ньютон
1642 – 1727



Генри Кавендиш
1731 – 1810

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

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

Закон всемирного тяготения

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r}$$

1785 г. Закон Кулона



Шарль Кулон
1736 – 1806

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

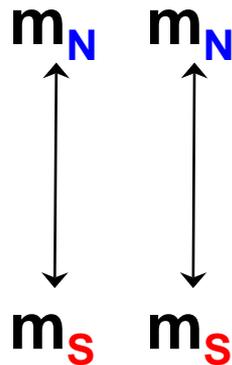
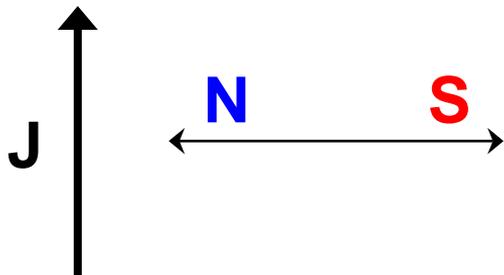
Сила электростатического взаимодействия двух заряженных тел изменяется с расстоянием точно по тому же закону, что и сила гравитационного взаимодействия $\sim 1/r^2$. Электростатическая сила пропорциональна произведению зарядов взаимодействующих тел. Однако в отличие от гравитационного взаимодействия, 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.



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

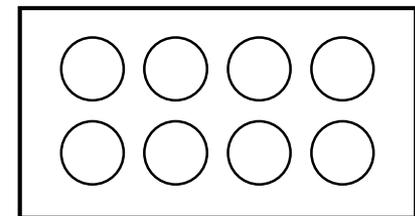
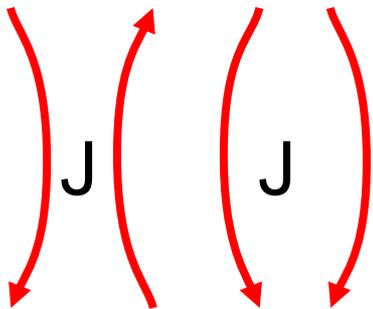
1820 г. Взаимодействие между двумя проводниками, по которым течет ток



Андре Мари Ампер
1775 – 1836

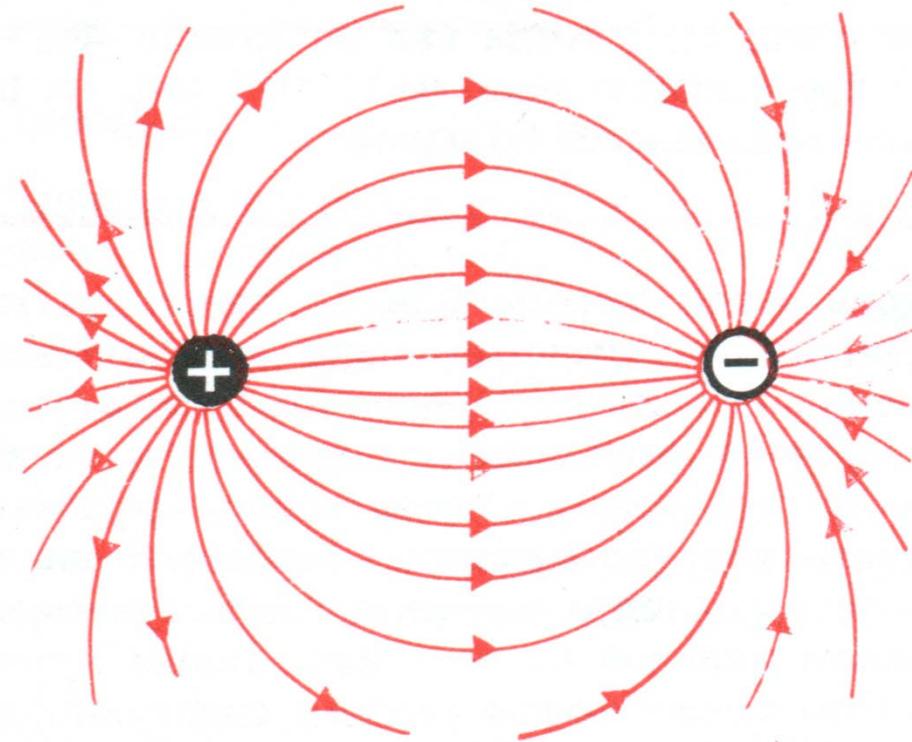
Ампер обнаружил, что между двумя проводниками возникает взаимодействие на расстоянии, когда по ним протекает электрический ток.

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

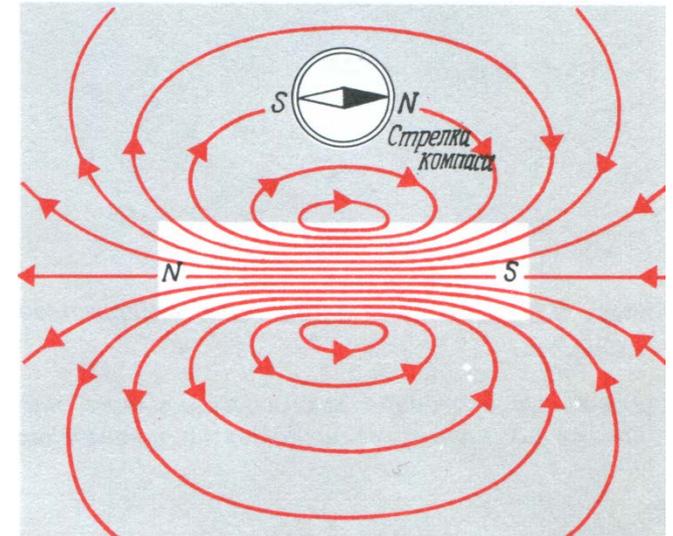


Электрическое поле

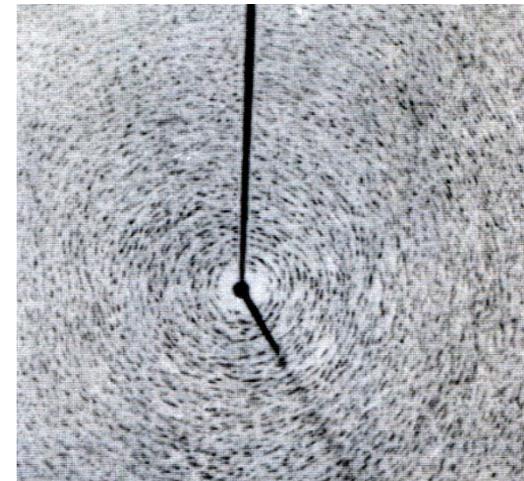
Магнитное поле



Силловые линии электрического поля начинаются на положительном заряде и оканчиваются на отрицательном

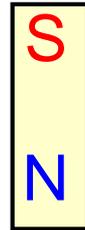
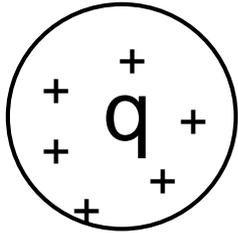


Силловые линии поля простого стержневого магнита

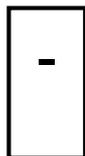


Силловые линии поля прямолинейного проводника

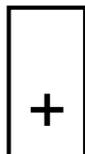
Электризация. Магнетизм



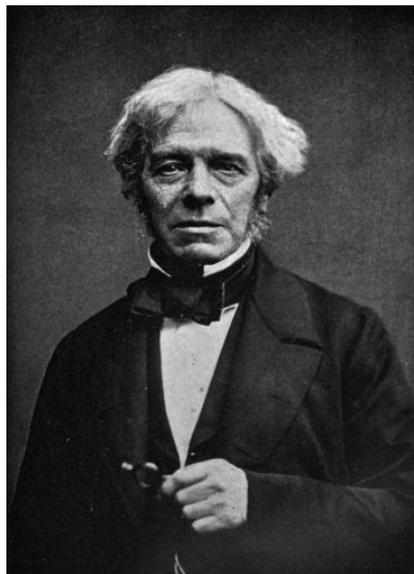
Электрические заряды можно разделить и получить тела с положительным и отрицательным зарядами



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



1831 г. Закон электромагнитной индукции



Майкл Фарадей
1791 – 1867

При любом изменении магнитного потока через проводящий контур в контуре возникает электрический ток.

$$\Phi = B \cdot S \cdot \sin \varphi$$

Φ – магнитный поток,

S – площадь проводящего контура

φ – угол между направлением напряженности поля и плоскости проводящего контура.

ЭДС индукции U пропорциональна скорости изменения магнитного потока сквозь индукционный контур

$$U = k \frac{d\Phi}{dt}$$

Правило Ленца. Индуцированный ток всегда имеет такое направление, при котором его магнитное поле уменьшает (компенсирует) изменение магнитного потока, являющееся причиной возникновения индуцированного тока.

Закон сохранения энергии и правило Ленца.

1892 г. Сила Лоренца



Гендрик Лоренц
1853 – 1928

«Электромагнитная теория
Максвелла и её применение
к движущимся телам»

$$\vec{F} = q \left(\vec{E} + \frac{1}{c} [\vec{v} \times \vec{B}] \right)$$

Сила Лоренца – сила, с которой электромагнитное поле действует на движущуюся со скоростью v точечную частицу с зарядом q .

E – напряженность электрического поля,
 q – электрический заряд частицы.

Электричество

Два типа электрических зарядов – положительный и отрицательный.

Положительный и отрицательный заряды существуют независимо друг от друга.

Электрический заряд создает в пространстве электрическое поле.

Электрические силовые линии выходят из положительного заряда и входят в отрицательный.

Переменное электрическое поле и электрический ток порождают магнитное поле.

Магнетизм

Два типа магнитных полюсов – северный и южный.

Северный и южный полюса магнита всегда существуют совместно.

Магнитное поле не существует независимо от электрического заряда.

Магнитные силовые линии непрерывны: они не имеют ни начала, ни конца.

Переменное магнитное поле порождает электрический ток.

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

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

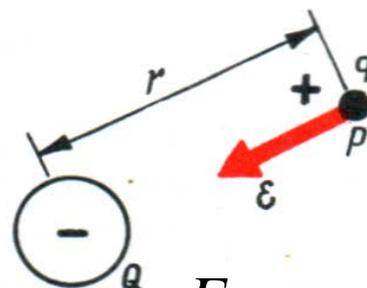
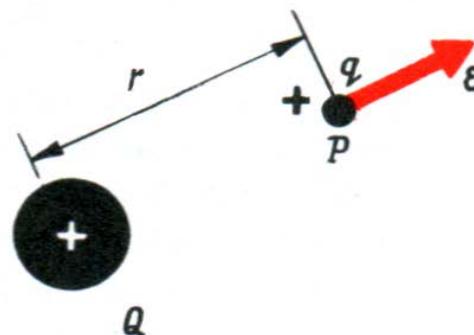
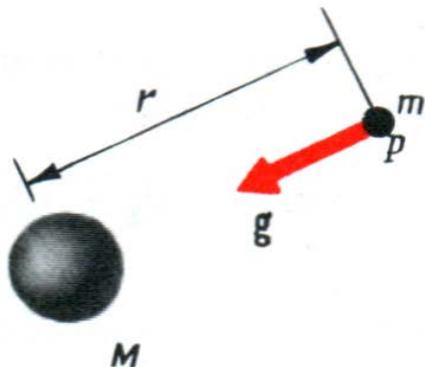
Электрический ток и
изменение
электрической
индукции порождают
вихревое магнитное
поле

E - напряженность электрического поля,
 B - магнитная индукция.

Гравитационное поле

Электрическое поле

Вектор напряженности поля



$$g = \frac{F_{\text{гр}}}{m}, \quad g = G \frac{M}{r^2}$$

$$\varepsilon = \frac{F_{\text{эл}}}{q}, \quad \varepsilon = -\frac{Q}{r^2}$$

Потенциальная энергия

$$E_{\text{пот}}^{\text{гр}} = -G \frac{Mm}{r}$$

$$E_{\text{пот}}^{\text{эл}} = \frac{Qq}{r}$$

Потенциал

$$\Phi_{\text{гр}} = \frac{E_{\text{пот}}^{\text{гр}}}{m} = -G \frac{M}{r}$$

$$\Phi_{\text{эл}} = \frac{E_{\text{пот}}^{\text{эл}}}{q} = \frac{Q}{r}$$

Основные понятия классической физики

Классическая механика

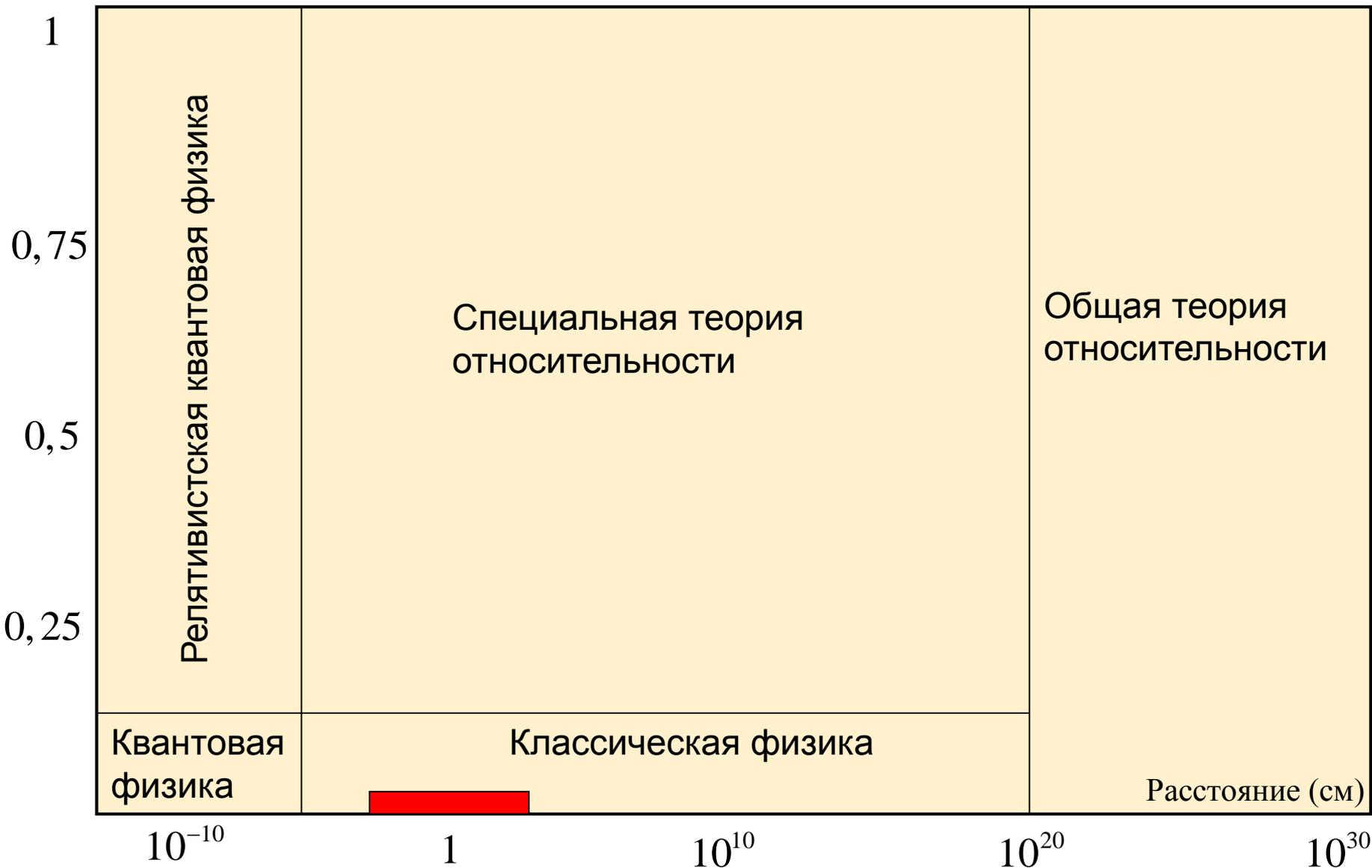
- Длина
- Время
- Масса

Электромагнетизм

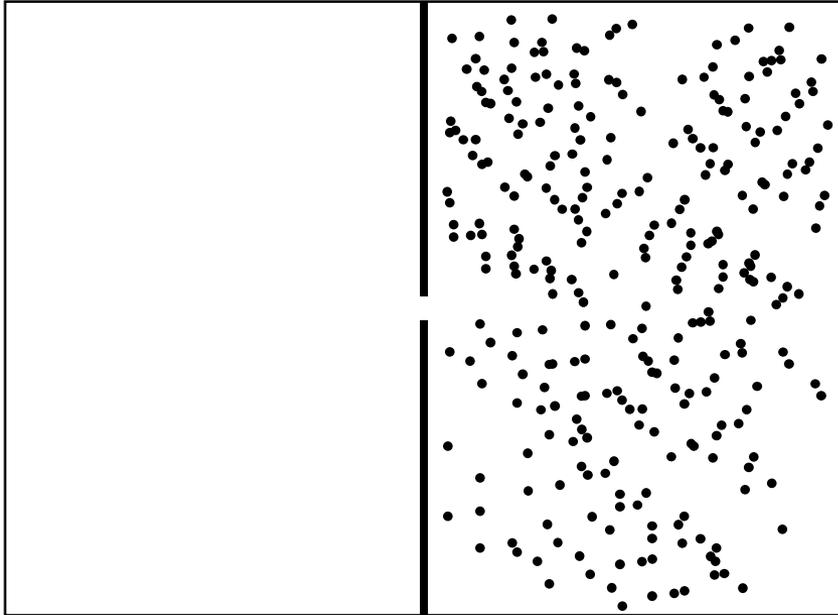
- Электрические заряды
- Электрические поля
- Магнитные поля
- Электромагнитное поле

Явления повседневной жизни

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



Частицы и взаимодействия



Образование структур

Молекулы воды – газ
→ вода → лёд

Взаимодействие в обществе

Электромагнетизм



Шарль Кулон
1736 – 1806



Андре Мари
Ампер
1775 – 1836



Георг Ом
1789 – 1854



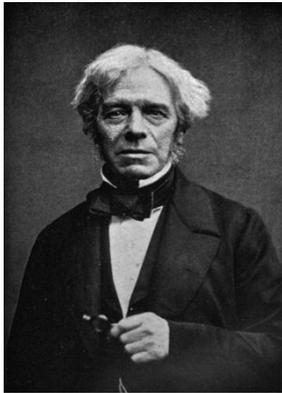
Алессандро
Вольта
1745 – 1827



Ханс Кристиан
Эрстед
1777 – 1851



Гендрик Лоренц
1853 – 1928



Майкл Фарадей
1791 – 1867



Генрих Герц
1857 – 1894



Джеймс Максвелл
1831 – 1879

Уравнения Максвелла

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

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

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

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

2 этапа развития физики

Классическая физика

Механика. Термодинамика. Электричество. Магнетизм

XX век

Современная физика.

Квантовая физика. Релятивистская физика

Классическая физика	Релятивистская физика $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек
Квантовая физика $h = 4,1 \cdot 10^{-15}$ эВ/сек	Релятивистская квантовая физика

Сольвеевский конгресс V (1927)



Слева направо нижний ряд: Ирвинг Ленгмюр (Нобелевская премия по химии, 1932), Макс Планк (Н. пр. по физике, 1918), Мария Кюри (Н. пр. по физике – 1903, по химии - 1911), Хенрик Лоренц (Н. пр. по физике, 1902), Альберт Эйнштейн (Н. пр. по физике, 1921), Поль Ланжевен, Шарль Гюи, Чарльз Вильсон (Н. пр. по физике, 1927), Оуэн Ричардсон (Н. пр. по физике, 1928).

Средний ряд: Петер Дебай (Нобелевская премия по химии, 1936), Мартин Кнудсен, Уильям Брэгг (Н. пр. по физике, 1925), Хендрик Крамерс, Поль Дирак (Н. пр. по физике, 1933), Артур Комптон (Н. пр. по физике, 1927), Луи де Бройль (Н. пр. по физике, 1929), Макс Борн (Н. пр. по физике, 1954), Нильс Бор (Н. пр. по физике, 1922).

Верхний ряд: Огюст Пикар, Эмиль Анрио, Пауль Эренферст, Эдуард Герцен, Теофил де Дондер, Эрвин Шрёдингер (Н. пр. по физике, 1933), Жюль Эмиль Вершафельт, Вольфганг Паули (Н. пр. по физике, 1945), Вернер Гейзенберг (Н. пр. по физике, 1932), Ральф Фаулер, Леон Бриллюэн.