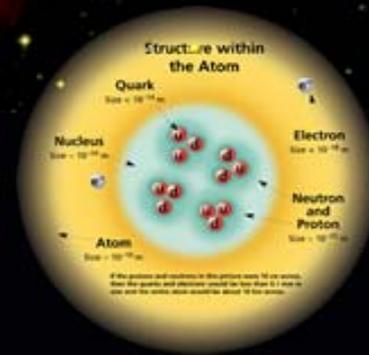




Микромир и Вселенная



Тайны Вселенной

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

А. Эйнштейн.

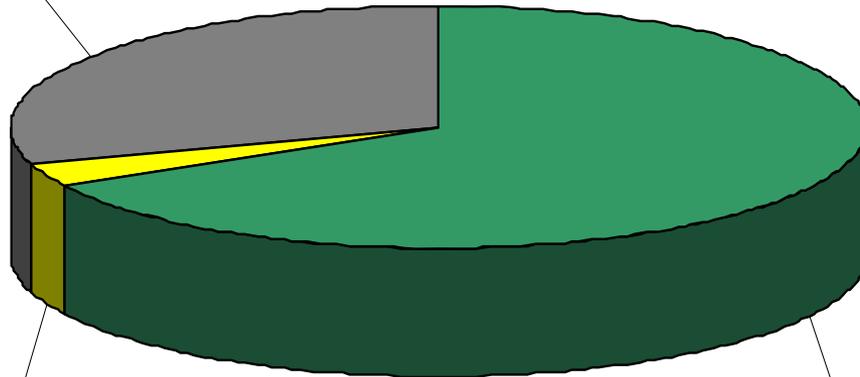
Характеристики Вселенной

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

Темная
материя

Барионы

Вакуум



Физика – наука об изучении законов природы

- Поиск новых знаний
- Эволюция идей
- Законы, модели, теории
- Физика – экспериментальная наука
- Воспроизводимость результатов
- Развитие новых технологий
- Математика – язык физики
- Влияние на развитие человечества

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

Основные понятия классической физики

Классическая механика

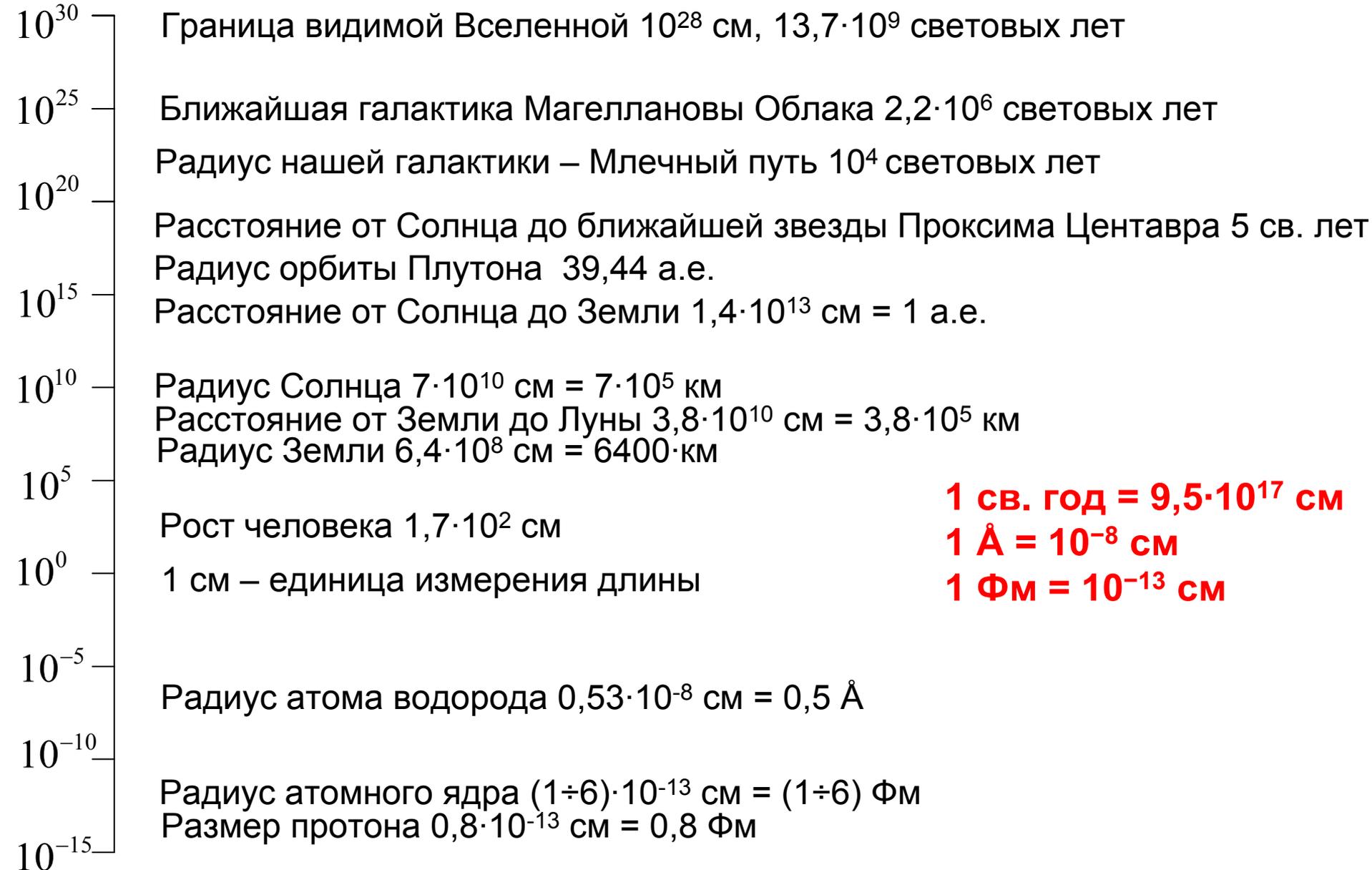
- Длина
- Время
- Масса

Электромагнетизм

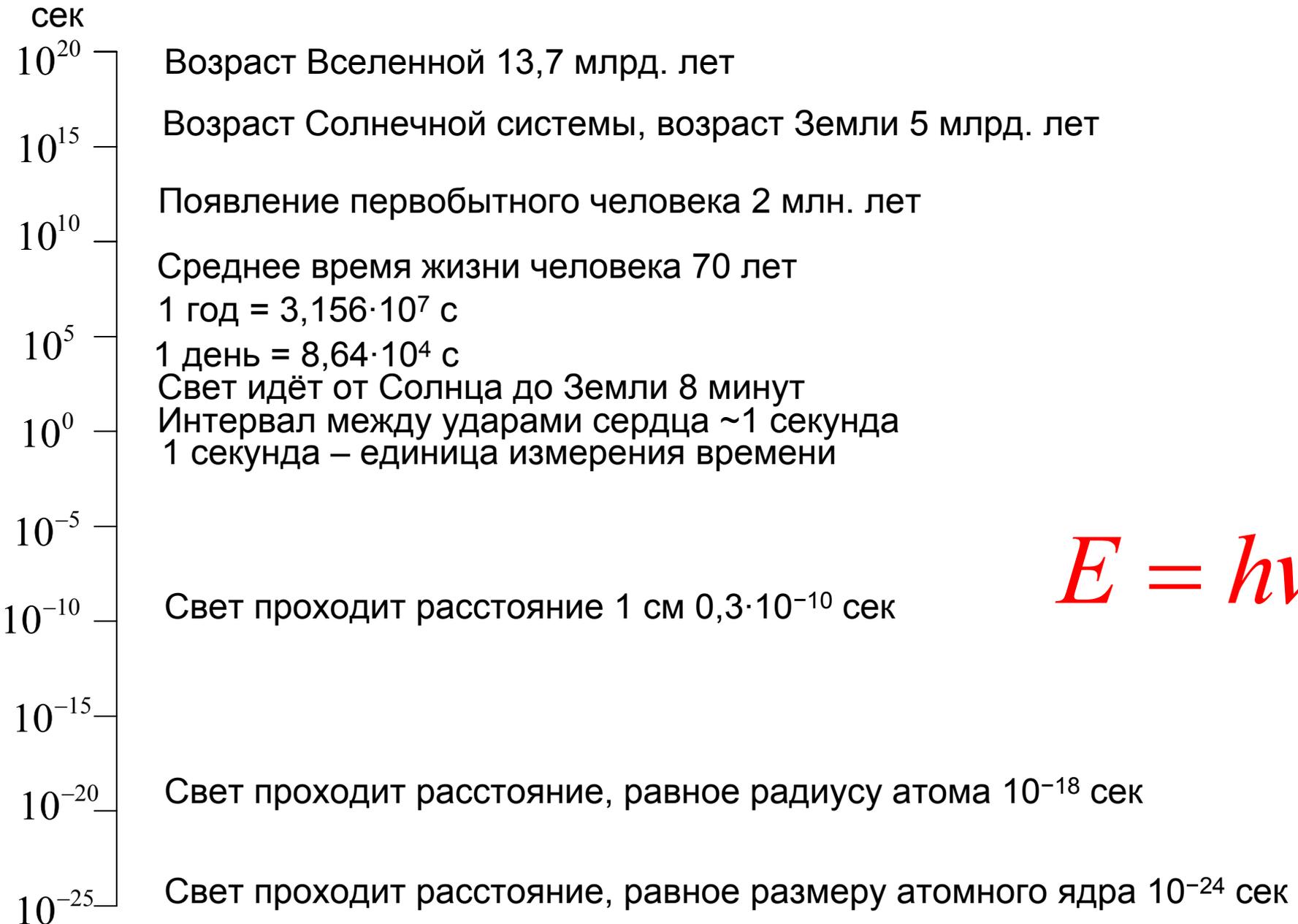
- Электрические заряды
- Электрические поля
- Магнитные поля
- Электромагнитное поле

Диапазон расстояний во Вселенной

см

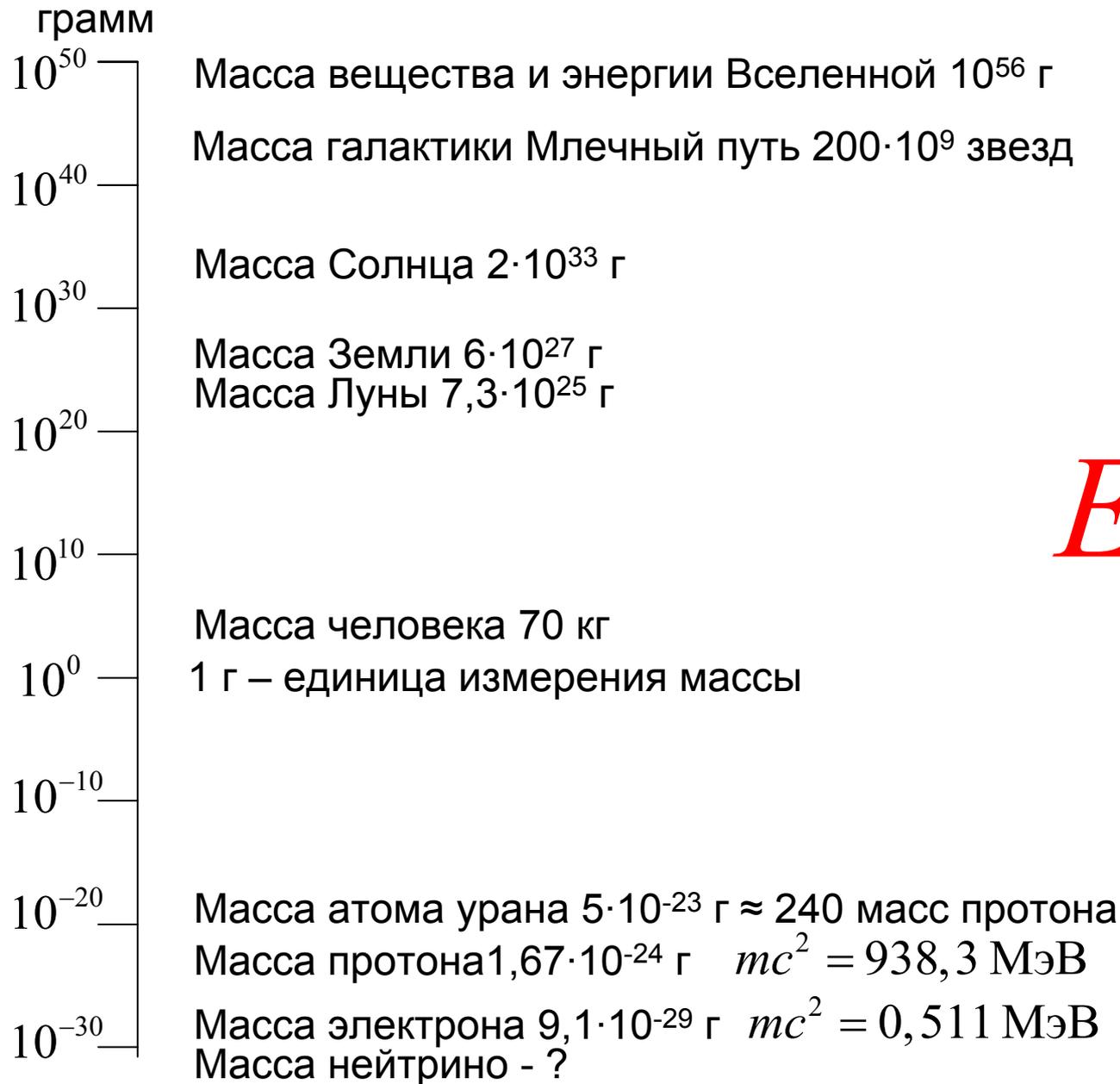


Диапазон временных интервалов во Вселенной



$$E = h\nu$$

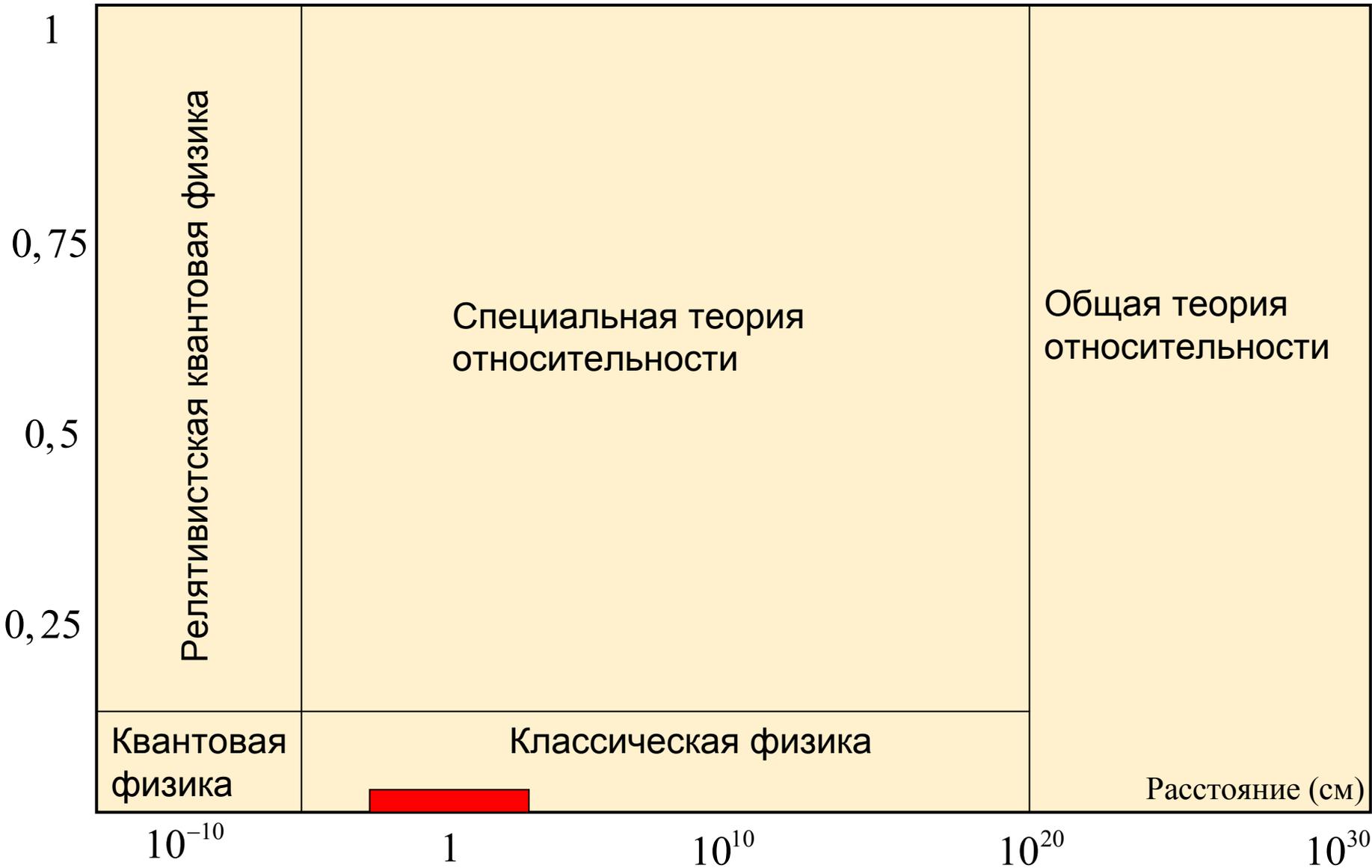
Диапазон масс во Вселенной



$$E = mc^2$$

Явления повседневной жизни

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



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

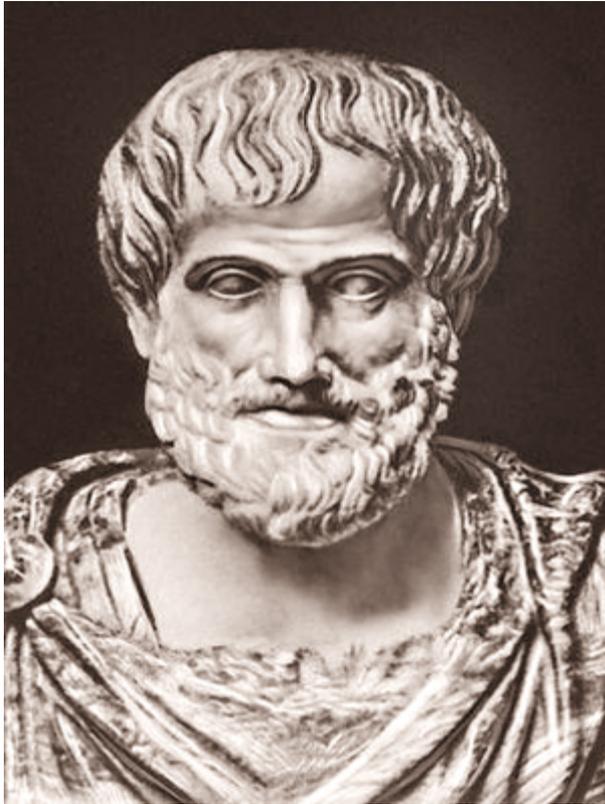
1 световая секунда = 300 000 км

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

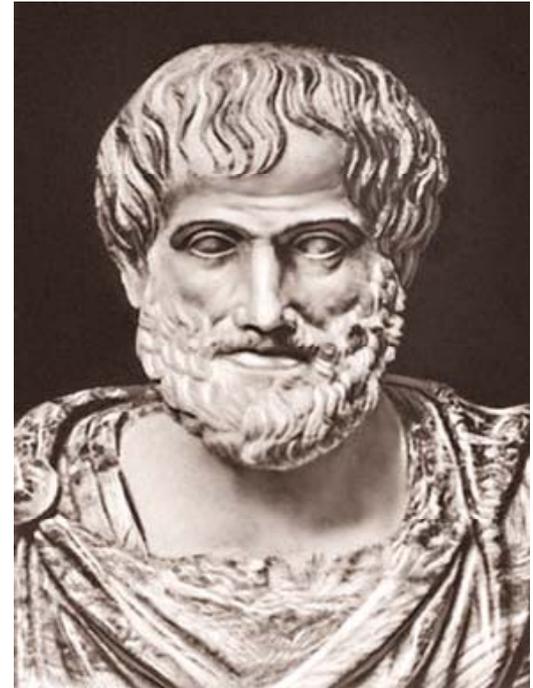


Аристотель

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

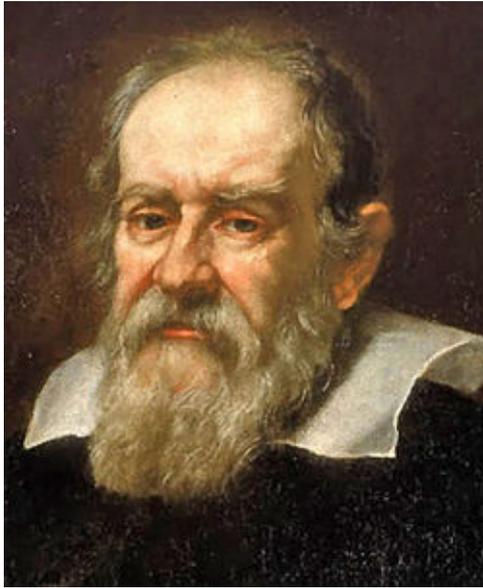
- скорость падения различных тел пропорциональна весу тела,
- движение происходит, пока действует «побудительная причина (сила)» и при отсутствии этой силы оно прекращается.

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.

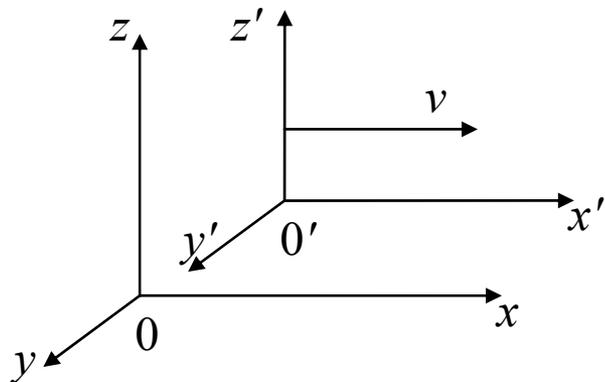


Аристотель
384–322 до н.э.

Г. Галилей



Галилео Галилей
1564 – 1642



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

$$x' = x - vt,$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = t$$

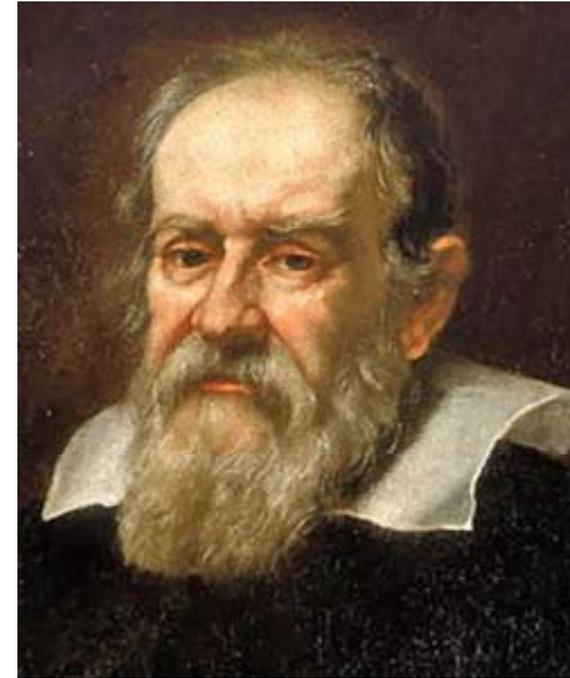
$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$$

Г. 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.

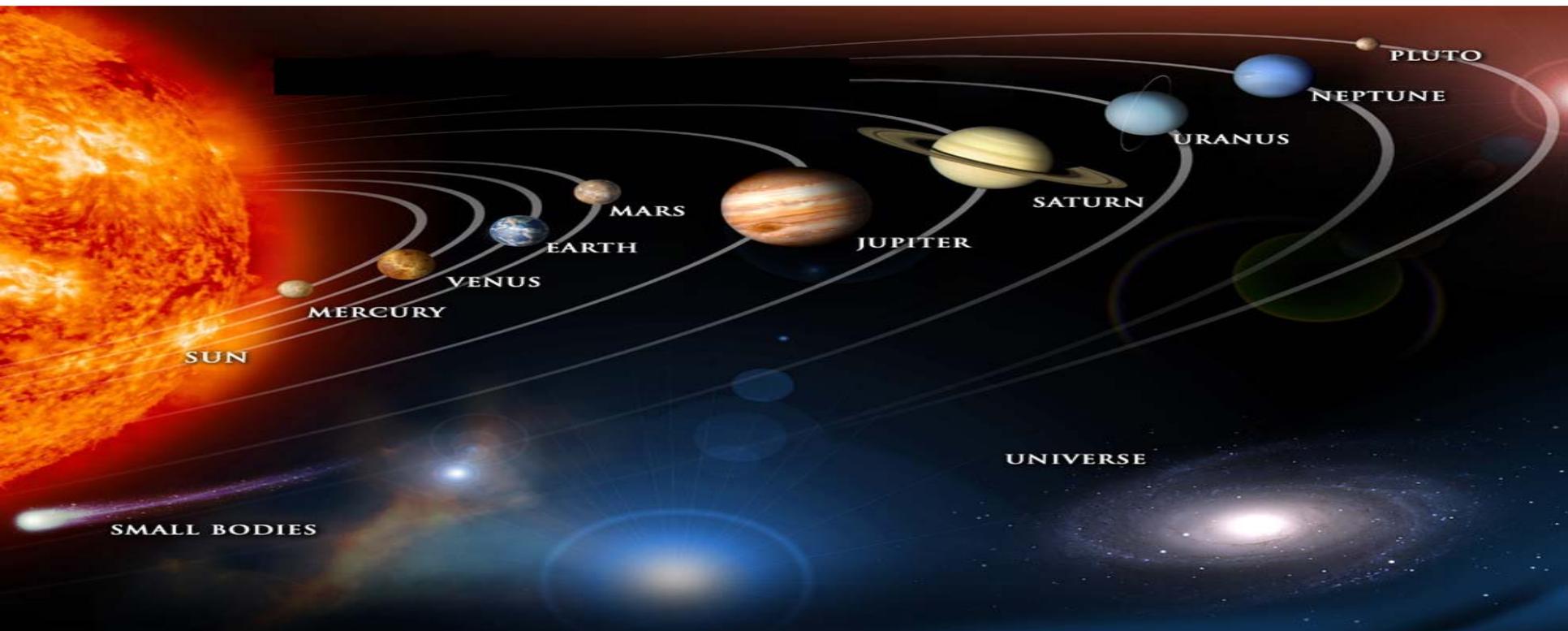
В 1609 г. Галилей построил свой первый телескоп. Он обнаружил, что Луна подобно Земле имеет сложный рельеф. На Луне были видны горы и кратеры. Галилей обнаружил 4 спутника Юпитера.

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



Галилео Галилей
1564 – 1642

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

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 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

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

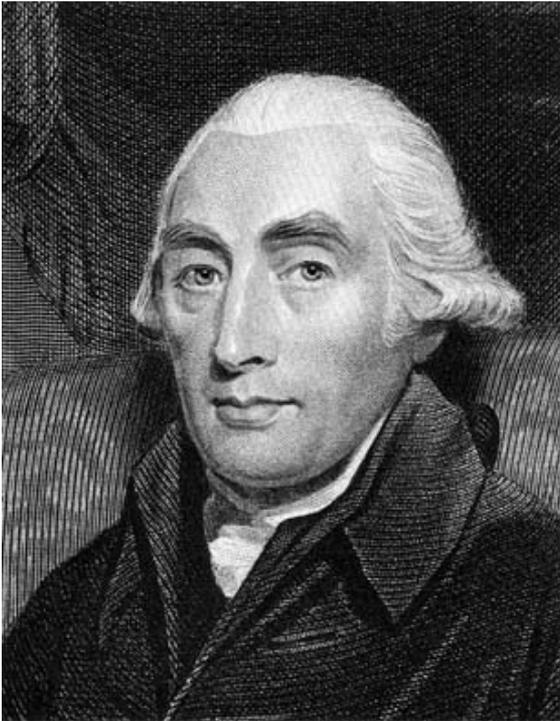
1687 г. Закон всемирного тяготения

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

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 $m_1 m_2$.

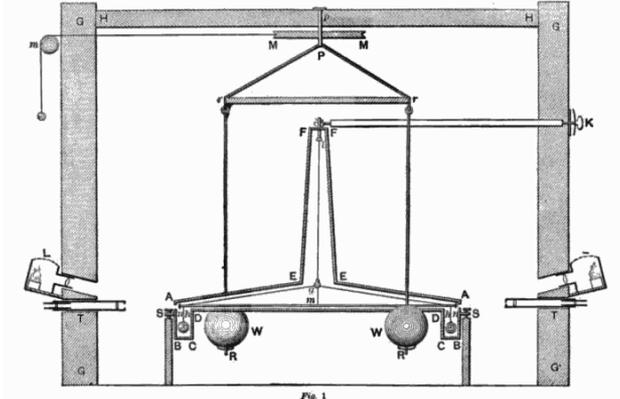
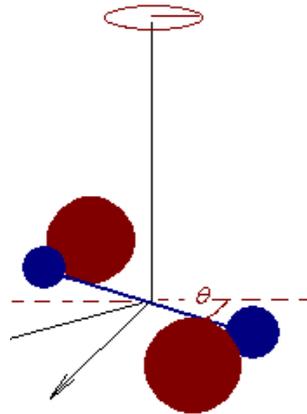
$$G = 6,673 \cdot 10^{-8} \text{ дин} \cdot \text{см}^2 / \text{г}^2 \text{ (система СГС)}$$

1789 г. Эксперимент Кавендиша



Генри Кавендиш
1731 – 1810

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

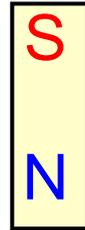
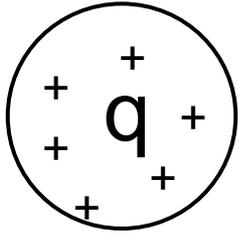


В результате эксперимента
Г. Кавендиш получил значение
гравитационной постоянной G , которое
всего на 1% отличалось принятого в
настоящее время значения

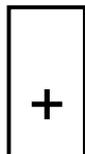
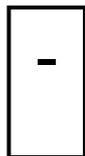
$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}$$

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

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

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

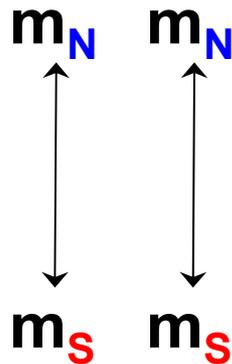
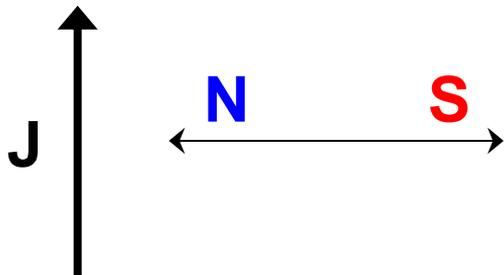
Сила электростатического взаимодействия двух заряженных тел изменяется с расстоянием точно по тому же закону, что и сила гравитационного взаимодействия $\sim 1/r^2$. Электростатическая сила пропорциональна произведению зарядов взаимодействующих тел. Однако в отличие от гравитационного взаимодействия,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



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

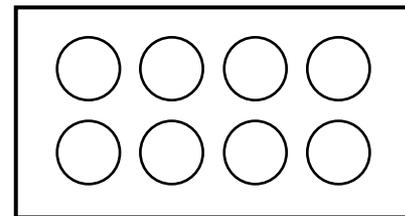
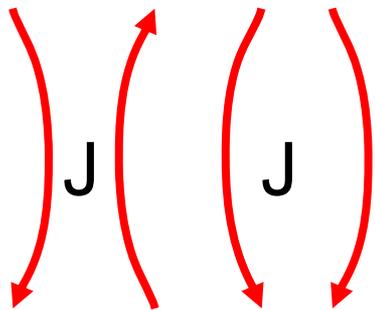
1820 г. Взаимодействие между двумя проводниками, по которым течет ток



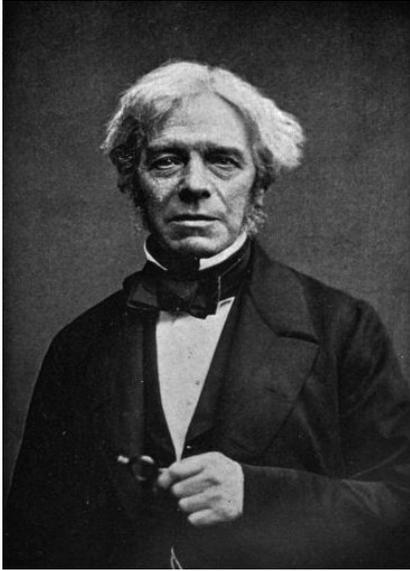
Андре Мари Ампер
1775 – 1836

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.



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

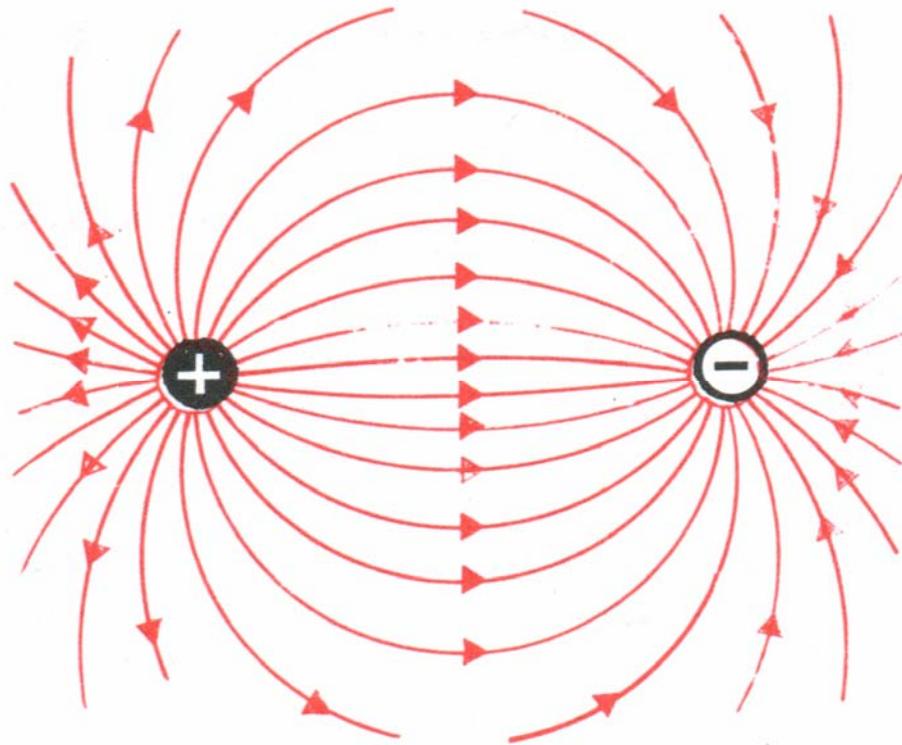
$$U = k \frac{d\Phi}{dt}$$

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

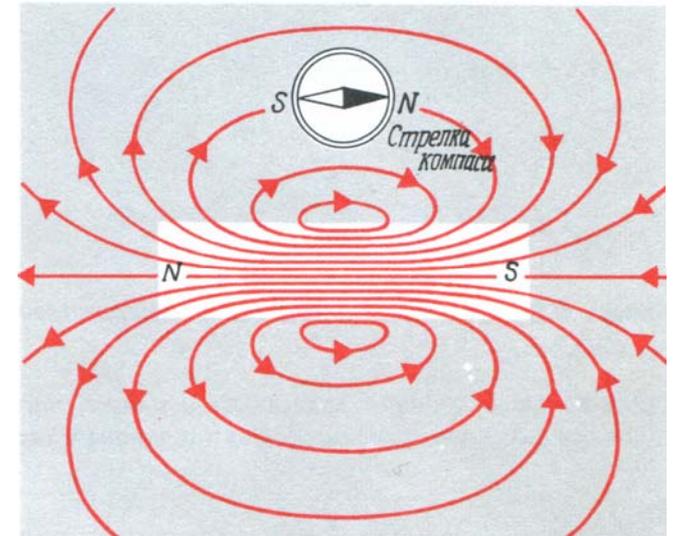
Закон сохранения энергии и правило Ленца.

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

1892 г. Сила Лоренца



Гендрик Лоренц
1853 – 1928

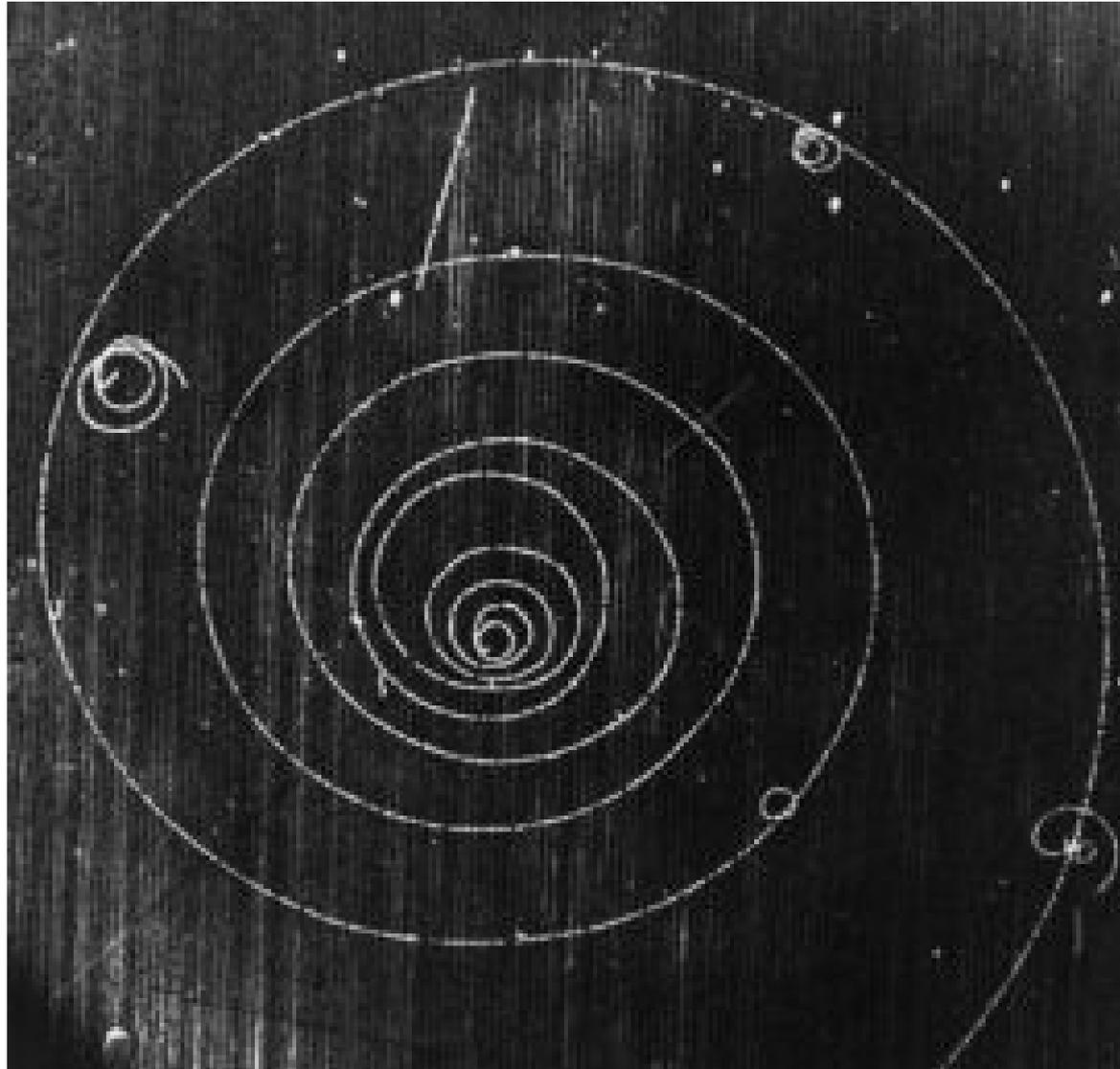
«Электромагнитная теория
Максвелла и её применение
к движущимся телам»

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

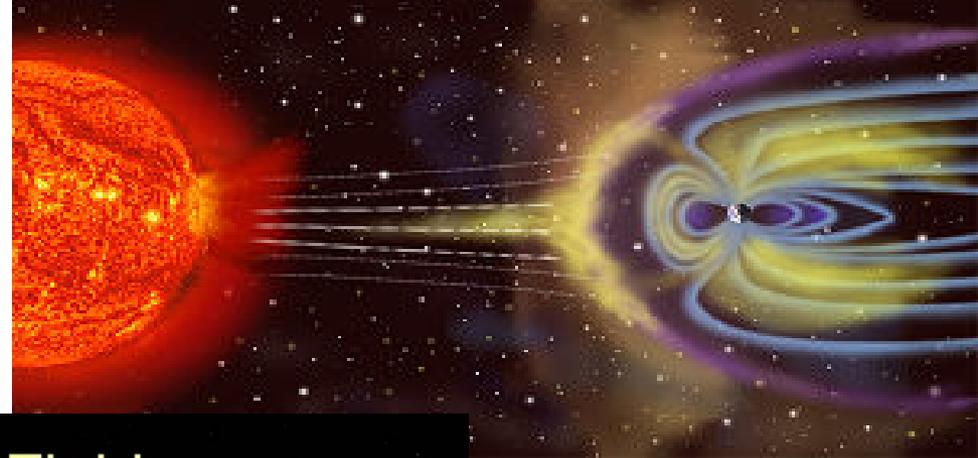
Сила Лоренца – сила, с которой электромагнитное поле действует на движущуюся со скоростью v точечную частицу с зарядом q .

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

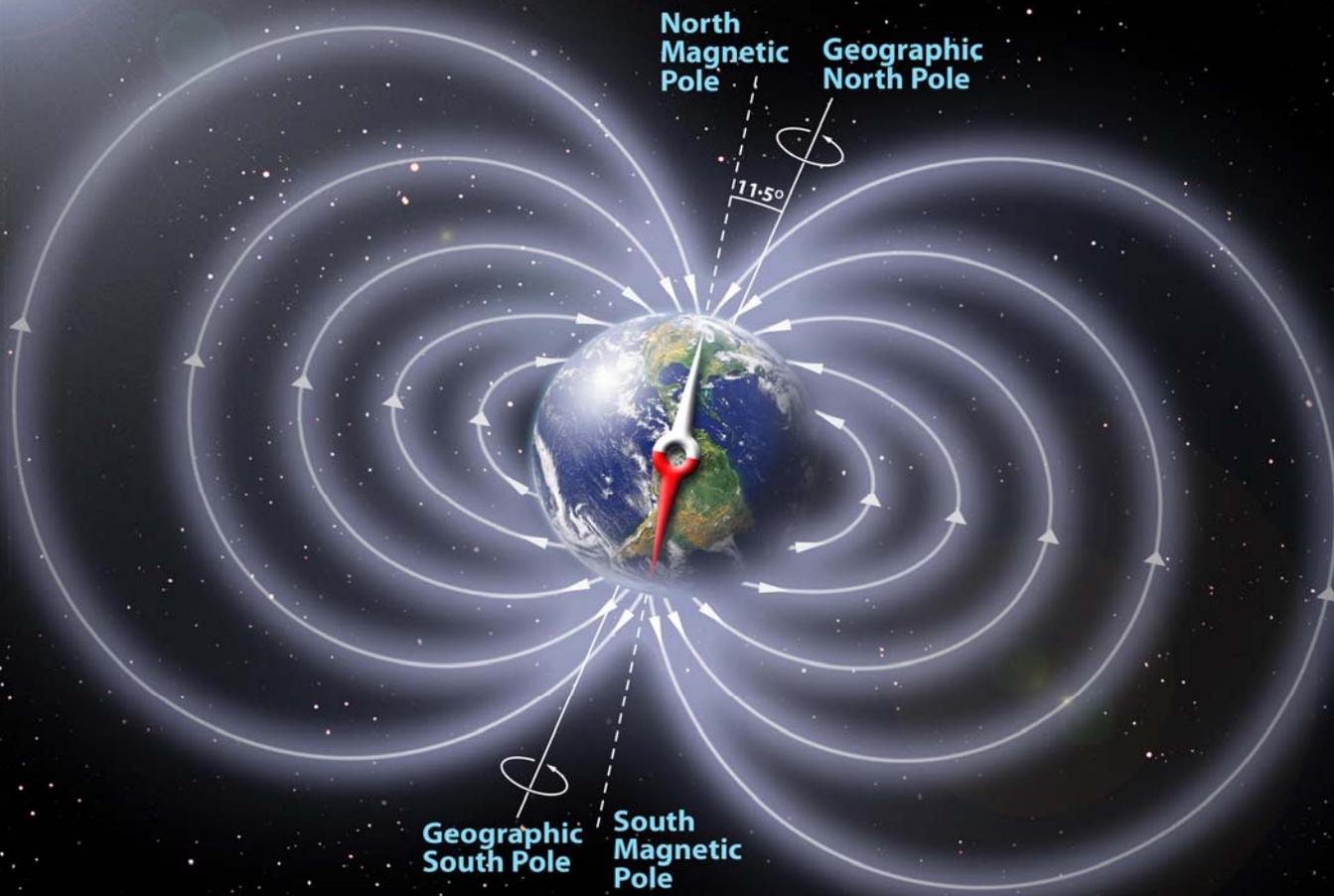
Частица в магнитном поле пузырьковой камеры



Магнитное поле Земли



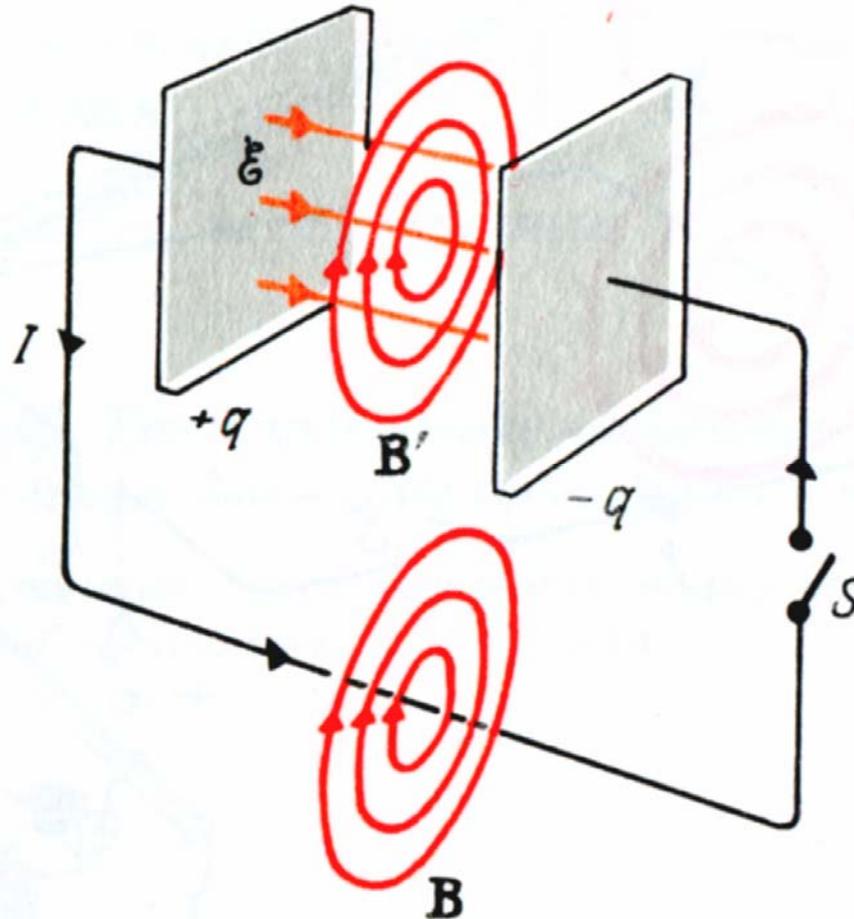
The Earth's Magnetic Field



Заряженные частицы могут удерживаться в неоднородных магнитных полях.

Радиационные пояса Земли.

Электромагнитное поле



При замыкании цепи ключом S от положительно заряженной к отрицательно заряженной пластине начинает идти ток.

Этот ток создает магнитное поле B ; в свою очередь переменное электрическое поле в пространстве между пластинами создает магнитное поле B' . B и B' имеют одинаковое направление.

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

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

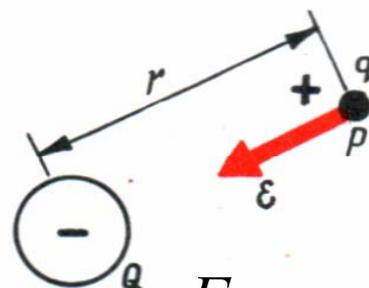
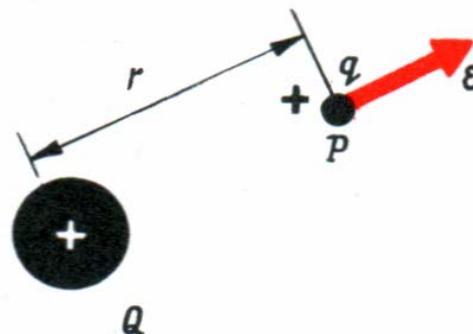
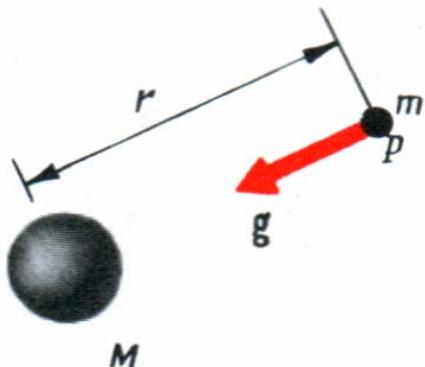
Электрический ток и
изменение
электрической
индукции порождают
вихревое магнитное
поле

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

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

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

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.

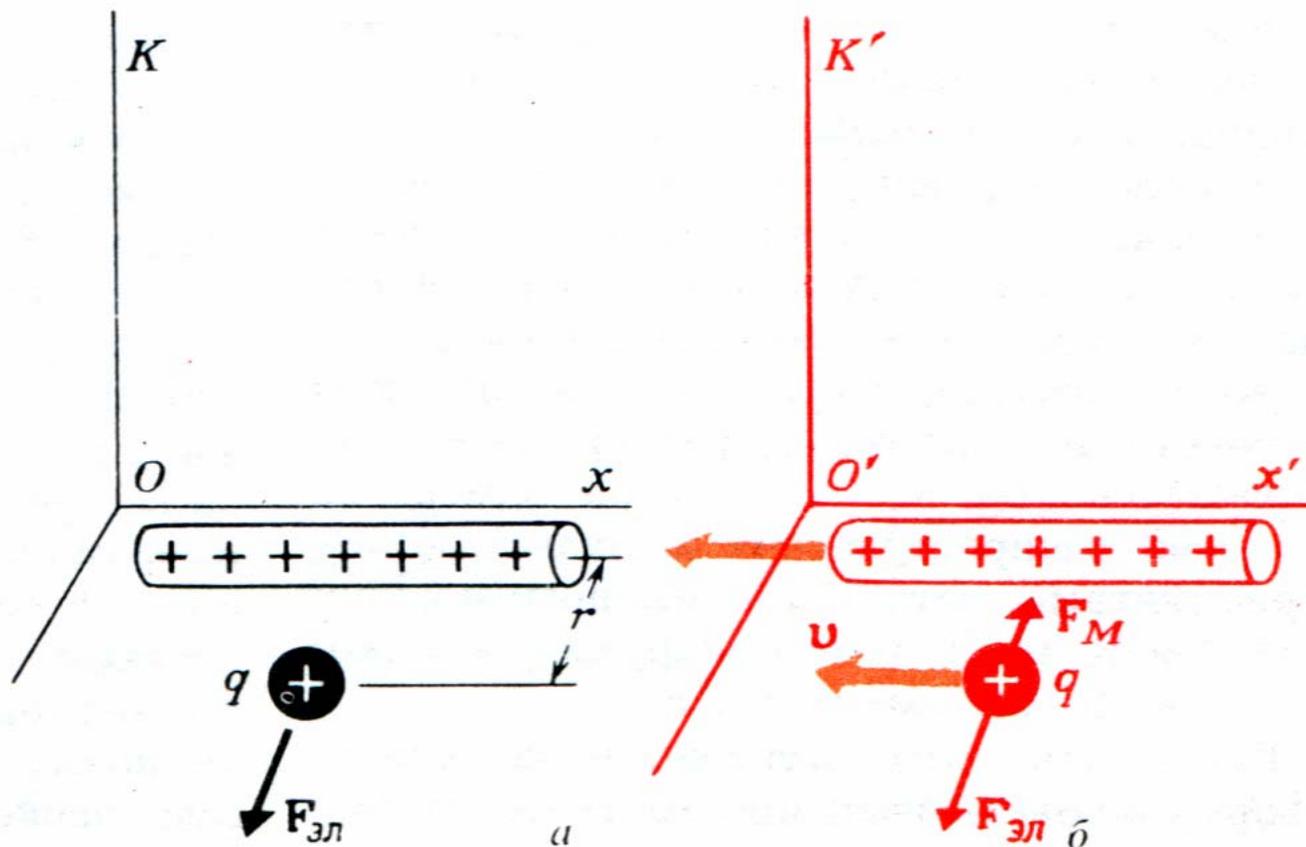
Северный и южный полюса магнита всегда существуют совместно.

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.

Преобразования Галилея и электромагнитные явления



Основываясь на принципе относительности классической механики, наблюдатели в системах отсчета K и K' приходят к разным результатам для результирующей силы, действующей на заряд q . Результирующая сила, действующая на заряд q в системе K' меньше силы, действующей в системе K .

Принцип относительности Галилея не выполняется в движущейся с постоянной скоростью системе зарядов и токов.

Физика XX века



Альберт Эйнштейн
1879 – 1955

$$E = mc^2$$

Специальная теория
относительности

Частицы рождаются и умирают



Классическая и релятивистская динамики

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

$$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}$$

$$E_{\text{кин}} = E - mc^2$$

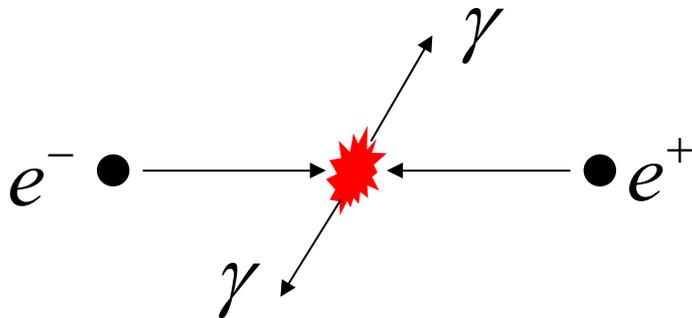
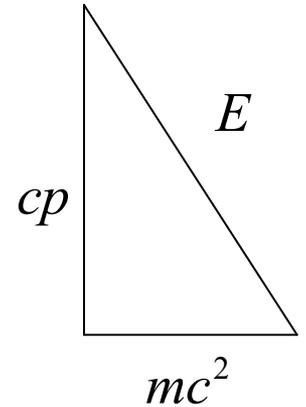
$$p = mv$$

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

τ_0 - время жизни частицы
в системе покоя

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

- время жизни частицы,
движущейся со скоростью β .



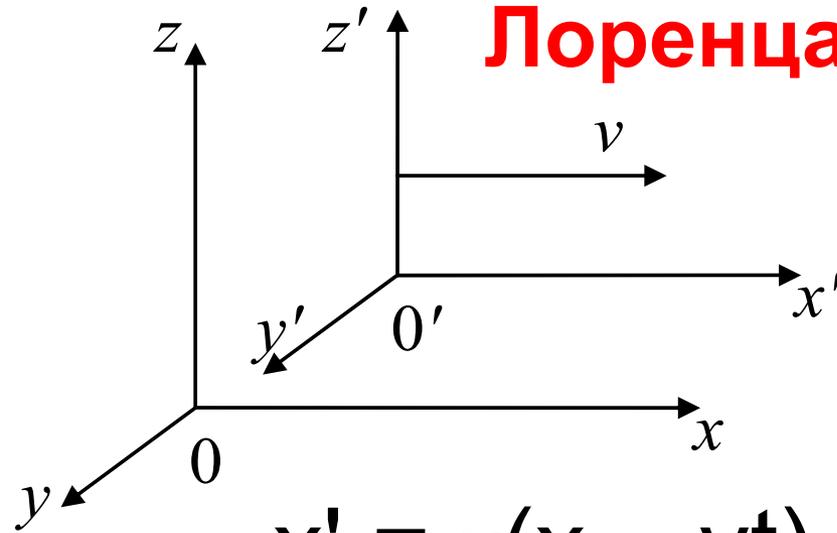
1638 г.

Преобразования Галилея

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

1904 г.

Преобразования Лоренца



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

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.

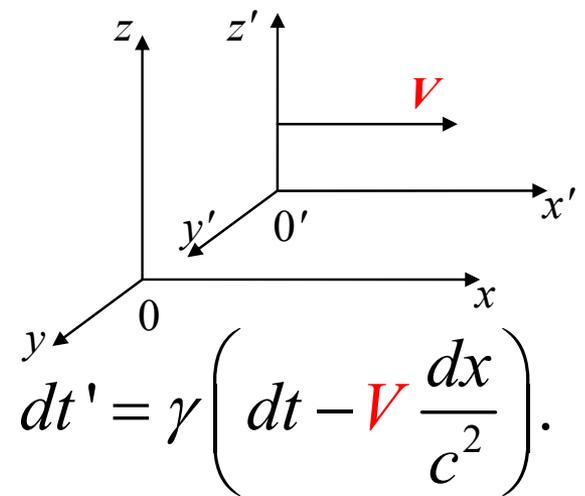
2. Скорость света в пустоте одинакова с точки зрения всех наблюдателей независимо от движения источника света относительно наблюдателя.

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.**

Релятивистское преобразование скорости

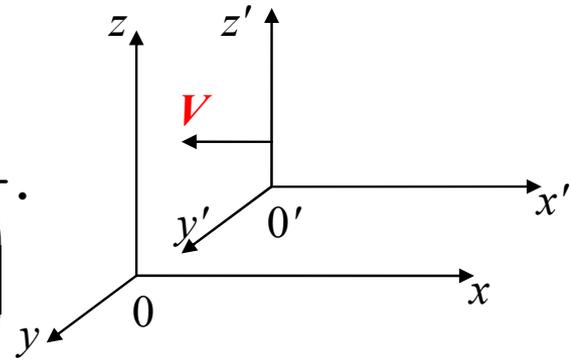


$$dx' = \gamma(dx - Vdt), \quad dy' = d\gamma, \quad dz' = dz, \quad dt' = \gamma \left(dt - V \frac{dx}{c^2} \right).$$

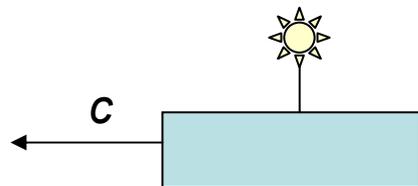
$$v_x' = \frac{dx'}{dt'} = \frac{v_x - V}{1 - \frac{Vv_x}{c^2}}, \quad v_y' = \frac{v_y}{\gamma \left(1 - \frac{Vv_x}{c^2} \right)}, \quad v_z' = \frac{v_z}{\gamma \left(1 - \frac{Vv_x}{c^2} \right)}.$$

Обратное преобразование

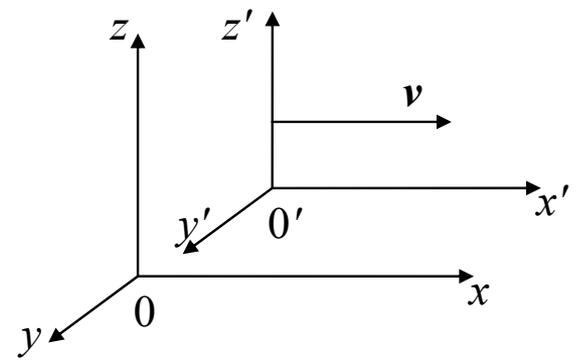
$$v_x = \frac{v_x' + V}{1 + \frac{Vv_x'}{c^2}}, \quad v_y = \frac{v_y'}{\gamma \left(1 + \frac{Vv_x'}{c^2} \right)}, \quad v_z = \frac{v_z'}{\gamma \left(1 + \frac{Vv_x'}{c^2} \right)}.$$



$$V = \frac{v + c}{1 + \frac{v \cdot c}{c^2}} = c$$



Замедление времени



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

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

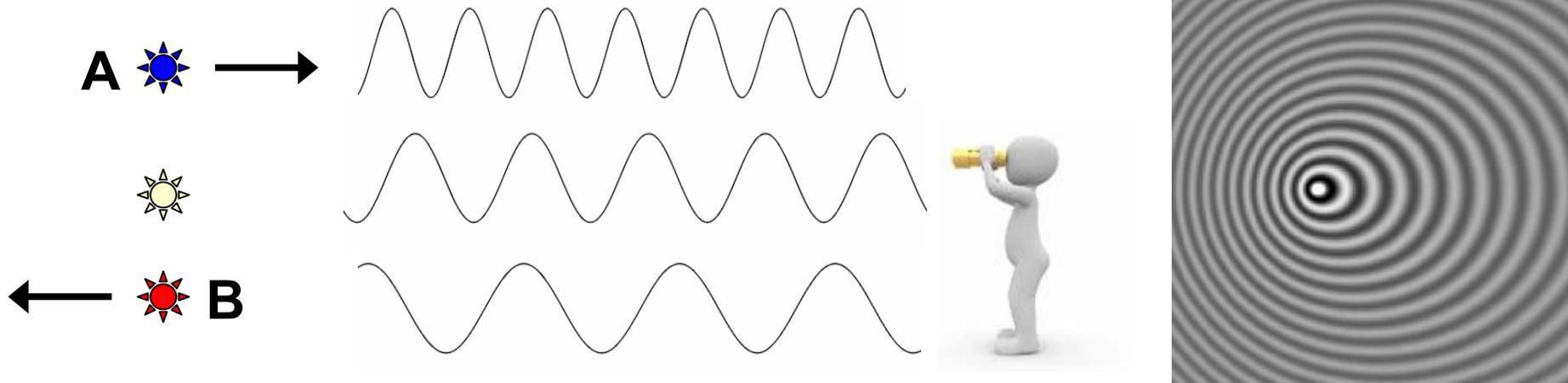
Сокращение длины

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

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

1842 г. Эффект Доплера

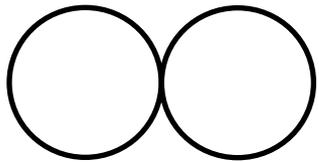
Во всех инерциальных системах отсчета скорость света в вакууме постоянна и равна c . Существует ли различие в световых сигналах от неподвижного и движущегося источников? **Да.** Оно проявляется в эффекте Доплера. Свет, приходящий к наблюдателю от источника **A**, движущегося к наблюдателю, будет приходить с меньшей длиной волны (синее смещение). Свет, приходящий к наблюдателю от источника **B**, удаляющегося от наблюдателя, будет приходить с большей длиной волны (красное смещение).



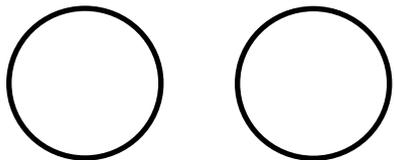
4 типа взаимодействий

- Гравитационное взаимодействие
- Электромагнитное взаимодействие
- Сильное взаимодействие
- Слабое взаимодействие

2 концепции взаимодействия



Контактное взаимодействие



Взаимодействие дальнего действия
Концепция поля

Основные силы природы

Две основные силы, с которыми имеем дело в повседневной жизни:

- гравитационные силы (взаимодействия),
- электромагнитные силы (взаимодействия).

Исследование процессов с участием атомных ядер и элементарных частиц показало, что в природе существуют ещё два типа взаимодействий:

- сильные взаимодействия,
- слабые взаимодействия.

Фундаментальные взаимодействия. Калибровочные бозоны

Взаимодействие	На какие частицы действует	Калибровочные бозоны
Сильное	Все цветные частицы	8 безмассовых глюонов, спин $J = 1$
Электромагнитное	Все электрически заряженные частицы	Безмассовый фотон, спин $J = 1$
Слабое	Кварки, лептоны, калибровочные бозоны W^{\pm}, Z	Массивные бозоны W^+, W^-, Z , спин $J = 1$, $m_W c^2 \approx 80 \text{ ГэВ}$, $m_Z c^2 \approx 91 \text{ ГэВ}$
Гравитационное	Все частицы	Безмассовый гравитон, спин $J = 2$

Источником калибровочных бозонов являются заряды соответствующих фундаментальных взаимодействий.

