Третий этап развития естествознания:

Современное естествознание (с начала XX века и до наших дней)

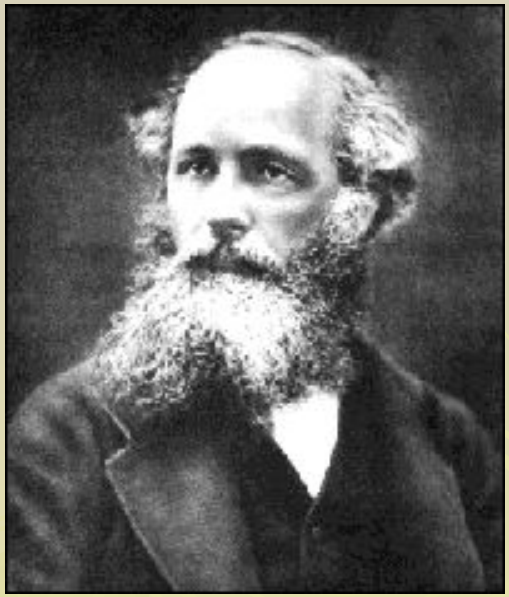
Поводом для появления теории относительности и пересмотра представлений о Пространстве и Времени было следующее:

Электростатика (закон Кулона) – **это случай взаимодействия покоящихся зарядов.**

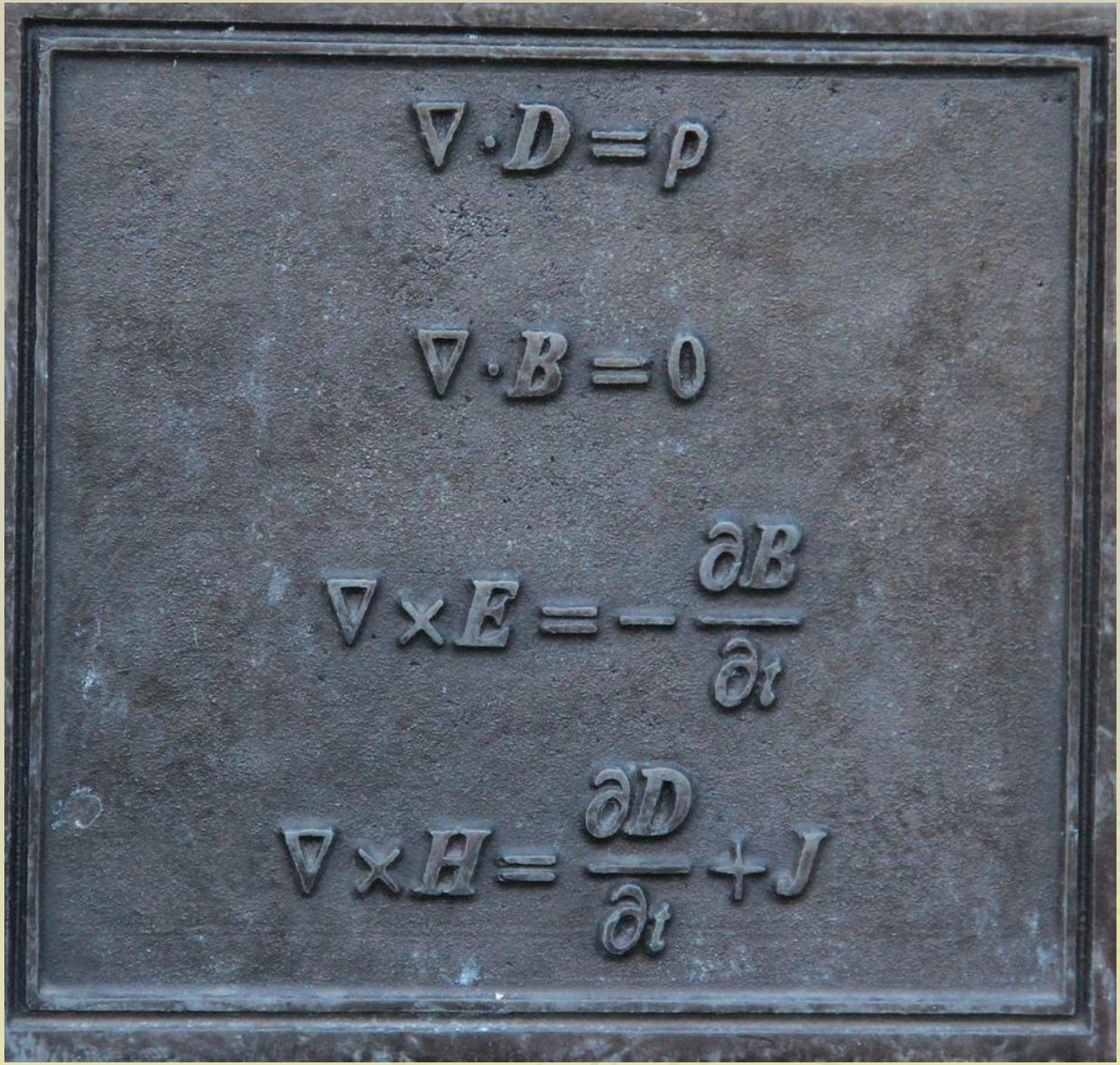
Магнетизм (Закон Ампера) – **это взаимодействие движущихся с постоянной скоростью зарядов. (Магнитное поле вызывается движущимися зарядами и действует на движущиеся заряды.)**

Уравнения электродинамики Максвелла

Джеймс Кларк Максвелл - англ. физик (1831 – 1879)



Уравнения Максвелла



(1791-1867 гг..)

Анг.физик М.Фарадей - первый выдвинул идею *поля*, которое распространяется с конечной скоростью в пространстве и взаимодействует с веществом.

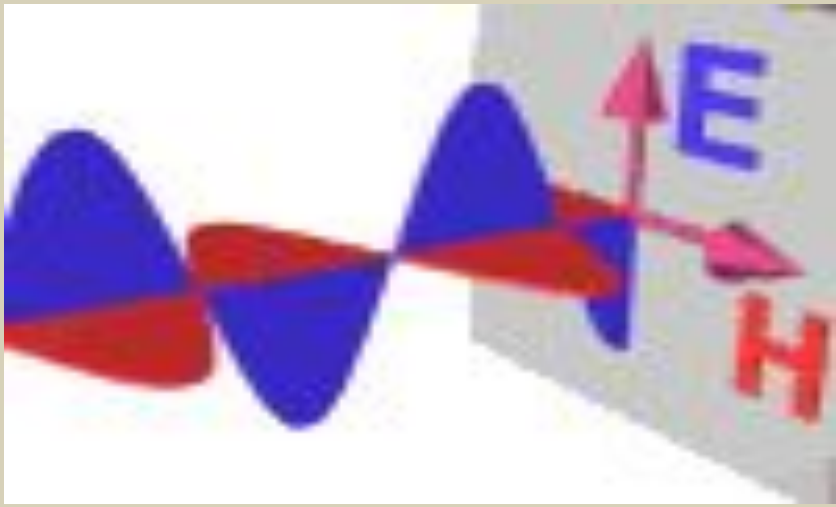
Экспериментальным путем установил, что изменяющееся во времени магнитное поле может порождать электрическое (закон электромагнитной индукции).

Нем. физик Г.Герц – дал первое экспериментальное подтверждение теории электродинамики. В 1887 г. создал генератор электромагнитных волн.

(1857 – 1894 гг..)

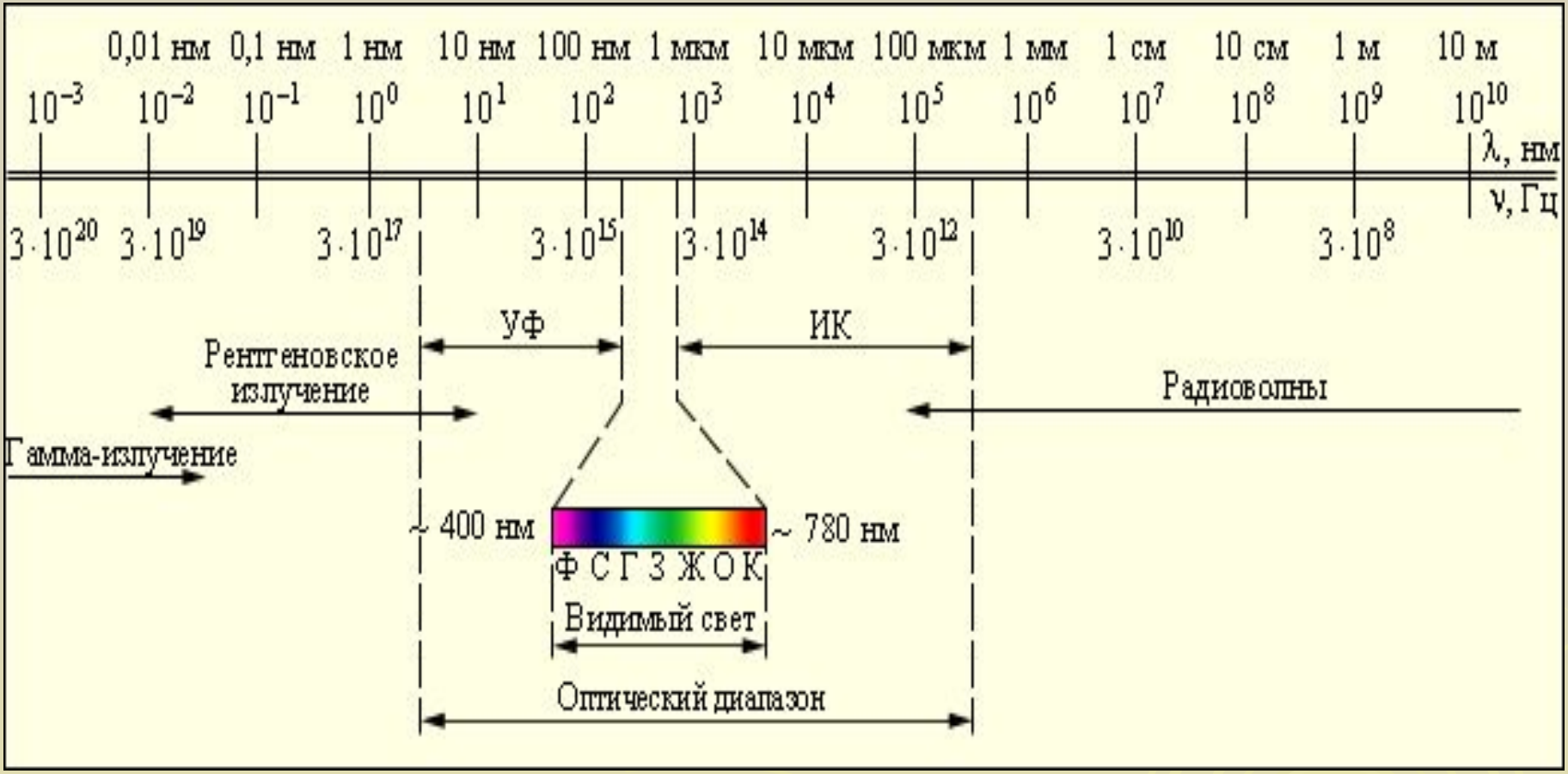
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА

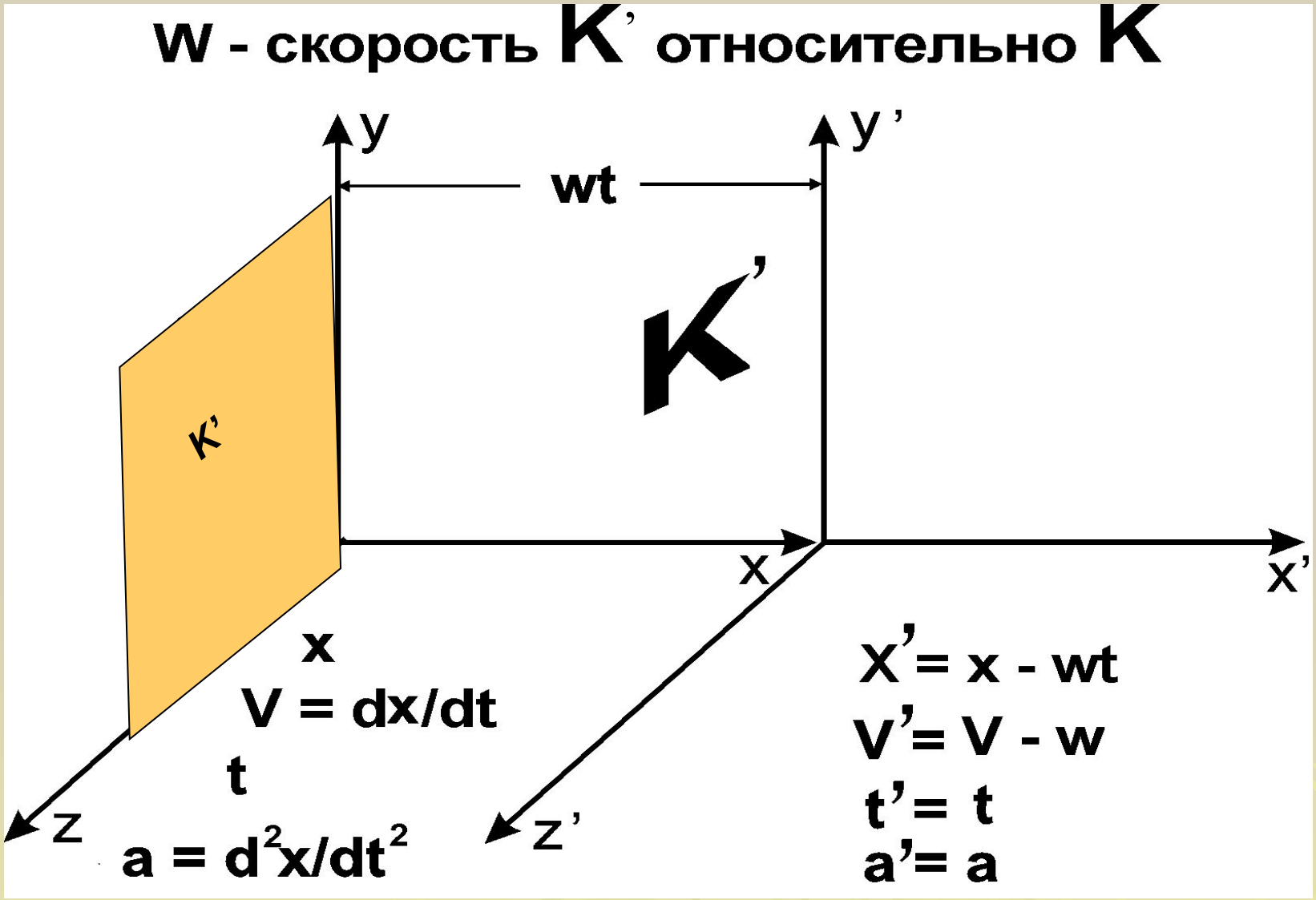
1. Существуют электромагнитные волны, то есть распространяющееся в пространстве и во времени и создаюшие электромагнитное поле.
Электромагнитные волны поперечны – векторы их перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны



- **2. Электромагнитные волны распространяются в веществе с конечной скоростью**
- **3. В электромагнитной волне происходят взаимные превращения электрического и магнитного полей.**
- **4. Электромагнитные волны переносят энергию.**

ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН



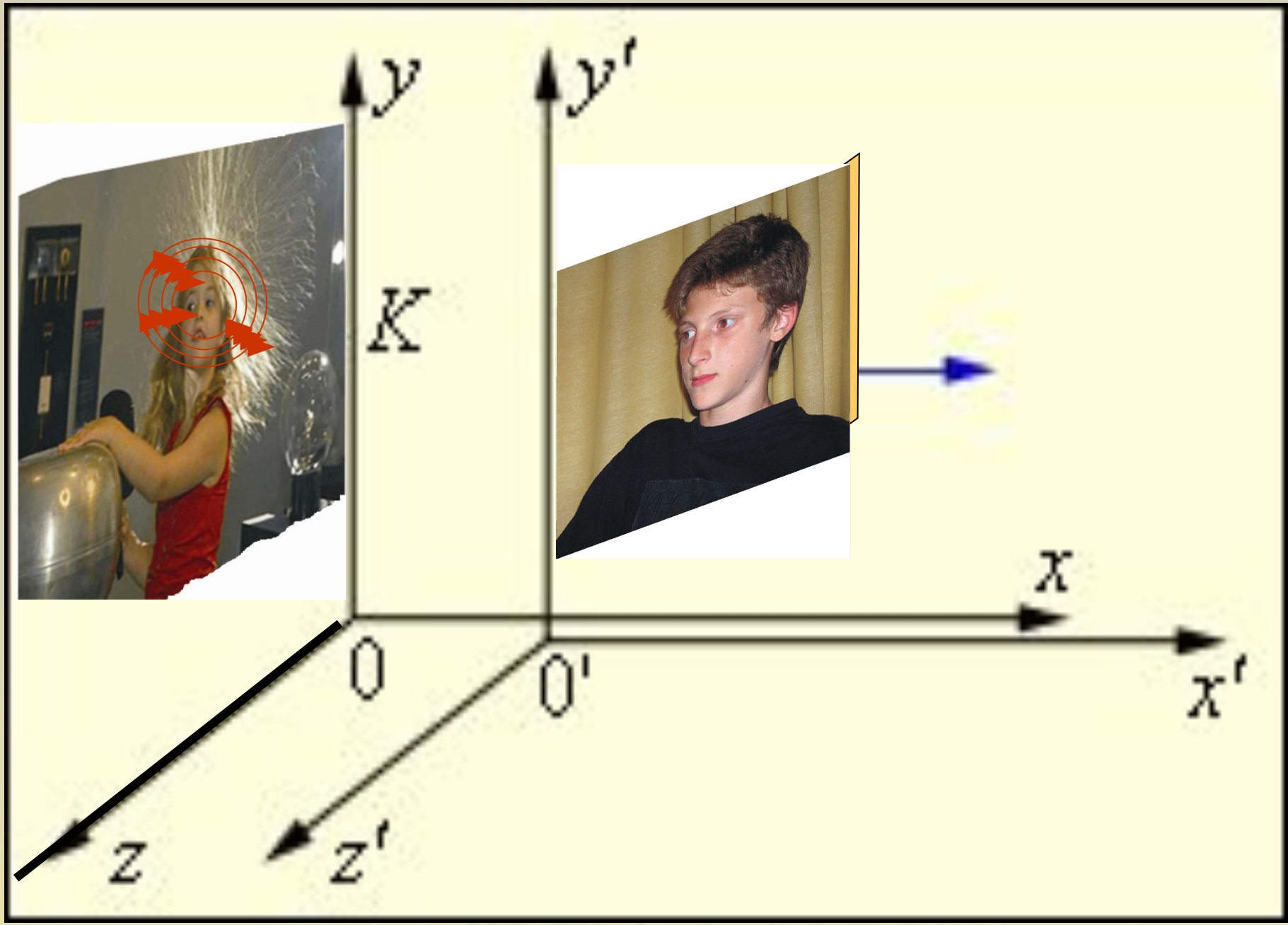

W - скорость K' относительно K
y
y'
wt
K'
K'
x
x'
z
z'
x
V = dx/dt
t
a = d²x/dt²
X'= x - wt
V'= V - w
t'= t
a'= a

Законы механики <u>одинаковы</u> во всех инерциальных системах отсчета.
Следовательно, вывод: ни одна инерциальная система отсчета не выделяется по сравнению с любой другой инерциальной системой, т.е.
все инерциальные системы <u>эквивалентны</u> с точки зрения описания механических явлений.
С физической точки зрения все величины, имеющие физический смысл, должны быть <u>инвариантны</u>.

- **Однако уравнения Максвелла демонстрировали:**

1. **неприменимость к законам электромагнетизма *принципа относительности,* разработанного классической физикой. Они не были <u>инвариантными</u> относительно преобразований Галилея.**

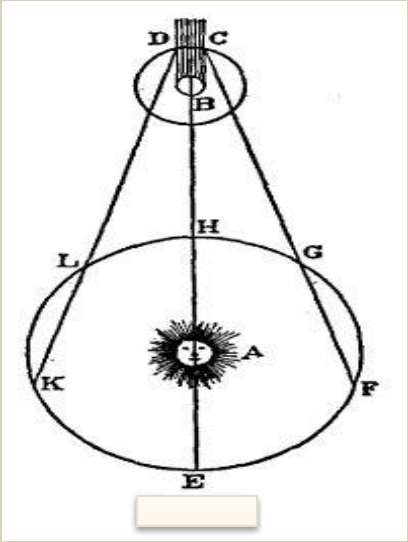
(инвариантность, т.е. неизменность и независимость какой – то величины или свойства относительно некоторых преобразований)


y
y'
K
x
0
0'
x'
z
z'

Уравнения Максвелла предсказывали,

- что радиоволны и свет должны распространяться с некоторой фиксированной скоростью.
- В какой системе отсчета скорость света имеет значение, предсказанное теорией, и относительно чего эта скорость фиксирована?

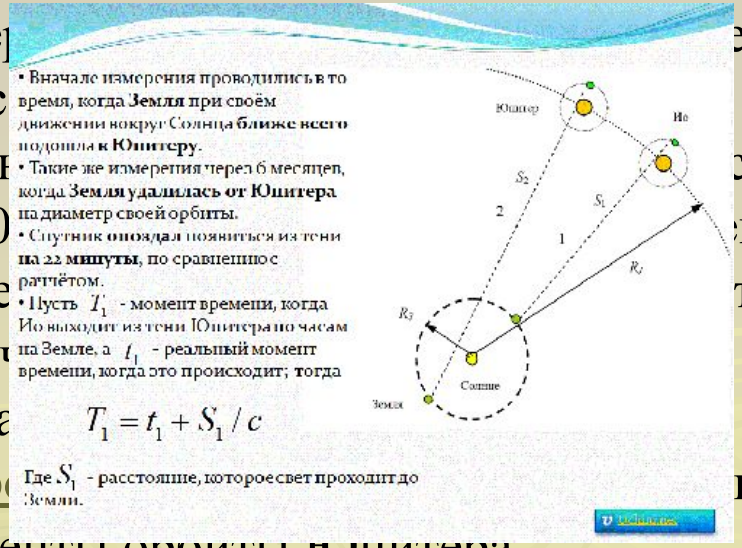
Метод Рёмера (1676 г.)



Рёмер наблюдал моменты затмений спутника Юпитера Ио при положениях Земли на орбите в точках F, G, L, K.

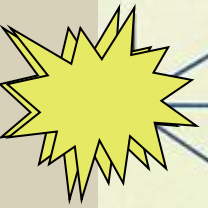
Моменты затмений сдвигаются во времени в зависимости от положения Земли на орбите

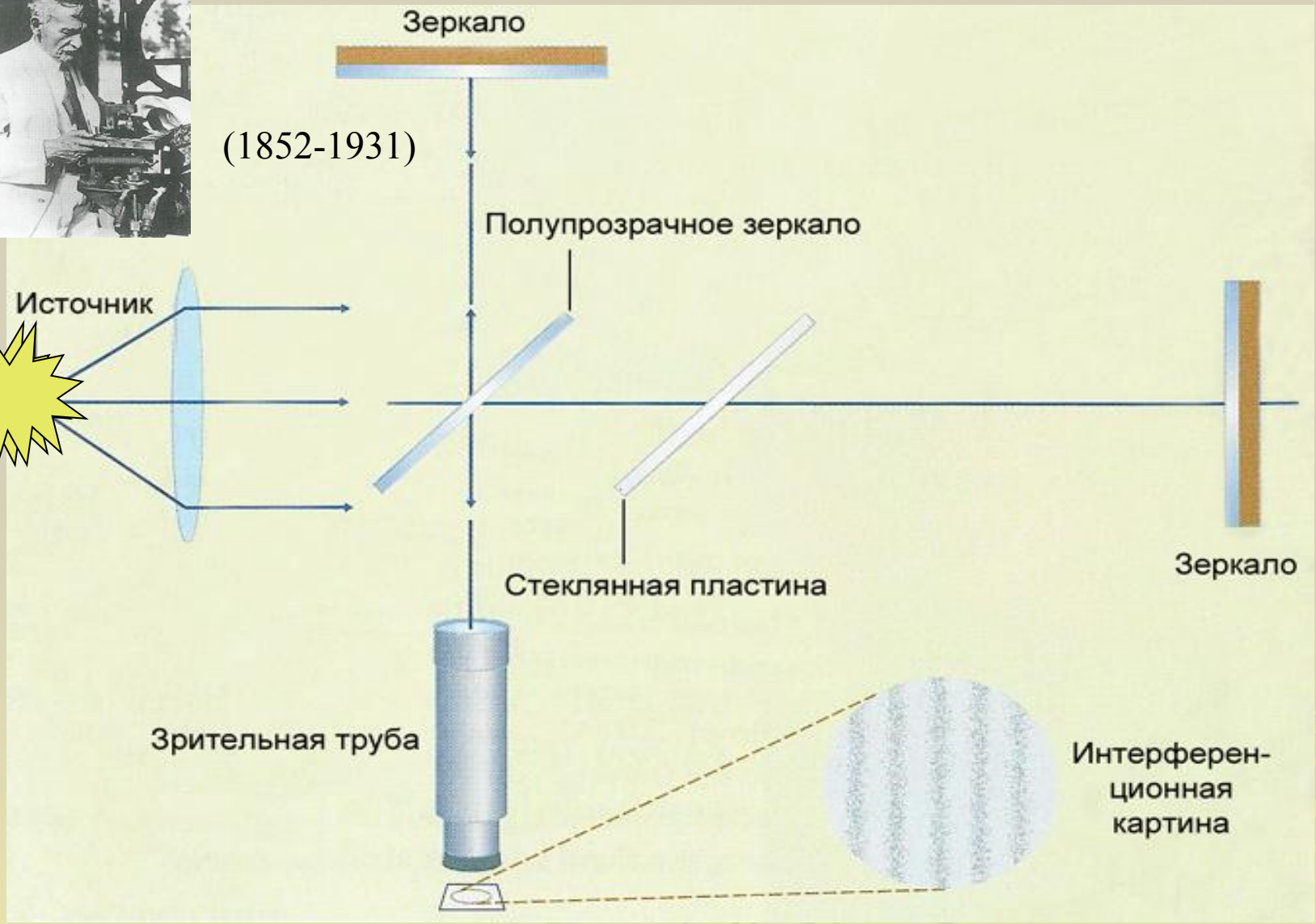
Для объяснения колебаний моментов затмений Рёме ета конечна и рас наблю сь равна 220 0 еменного значе ъясняется тем, ч с доста астр ые элементы орбиты Юпитера



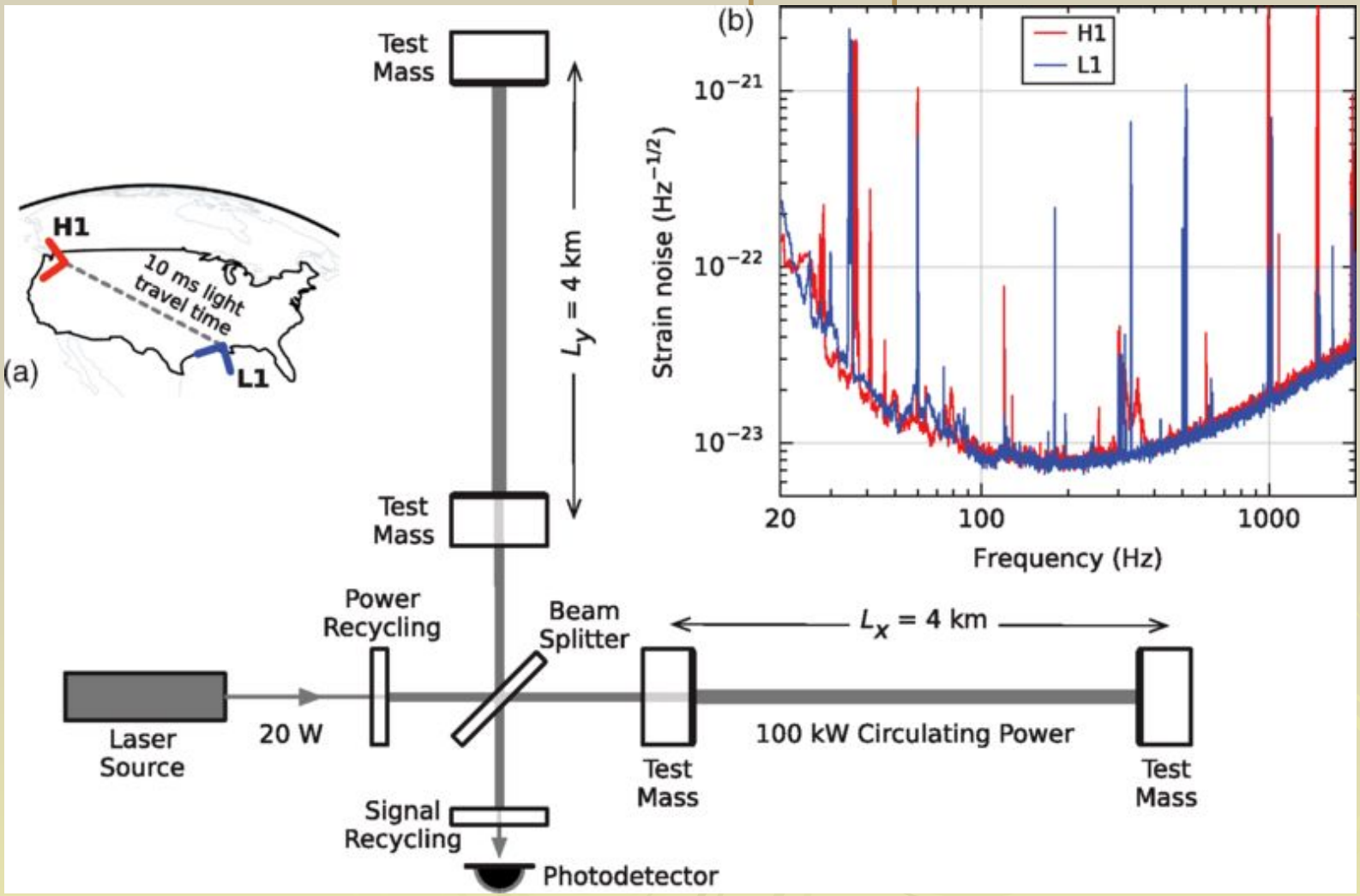
Опыт Майкельсона – Морли **устанавливает независимость скорости распространения света от орбитального движения Земли и тем самым опровергает гипотезу о «неподвижном эфире»**

(1852-1931)

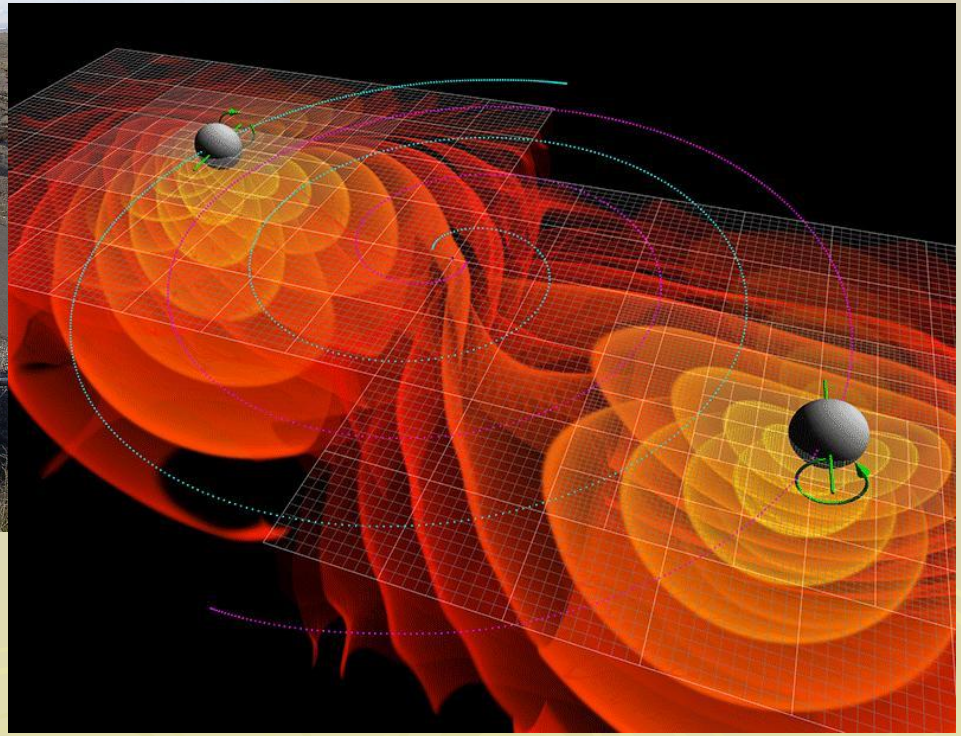




LIGO (англ. *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) — лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория



Нобелевская премия по физике 2017 года. Вручена Райнеру Вайссу, Кипу Торну и Барри Бэришу с формулировкой «за решающий вклад в детектор LIGO и за наблюдение гравитационных волн».



- **Заряд, движущийся с ускорением создает *электромагнитное поле* (электромагнитную волну)**
- **Покоящийся заряд создает *электростатическое поле.***
- **Заряд, движущийся с постоянной скоростью создает *магнитное поле.***
- **Тело массой *m* создает вокруг себя *гравитационное поле.***
- ***Наличие поля того или иного типа проявляется через соответствующие взаимодействия и ими характеризуются.***

Поле – это то, что излучается, распространяется с конечной скоростью в пространстве, взаимодействует с веществом.

Дальнодействие **(*Ньютон*) - непосредственное действие тел на любом расстоянии (тела действуют друг на друга без материальных посредников, через пустоту мгновенно). Например, силы всемирного тяготения.**

Близкодействие **(короткодействие) (*Декарт* - вихри): взаимодействия передаются с помощью материальных посредников и с конечной скоростью.**

В совр.ф. изменился смысл: близкодействие – это поля сильного и слабого взаимодействий. Для случая электромаг. взаимодействий - посредником является электромагнитное поле

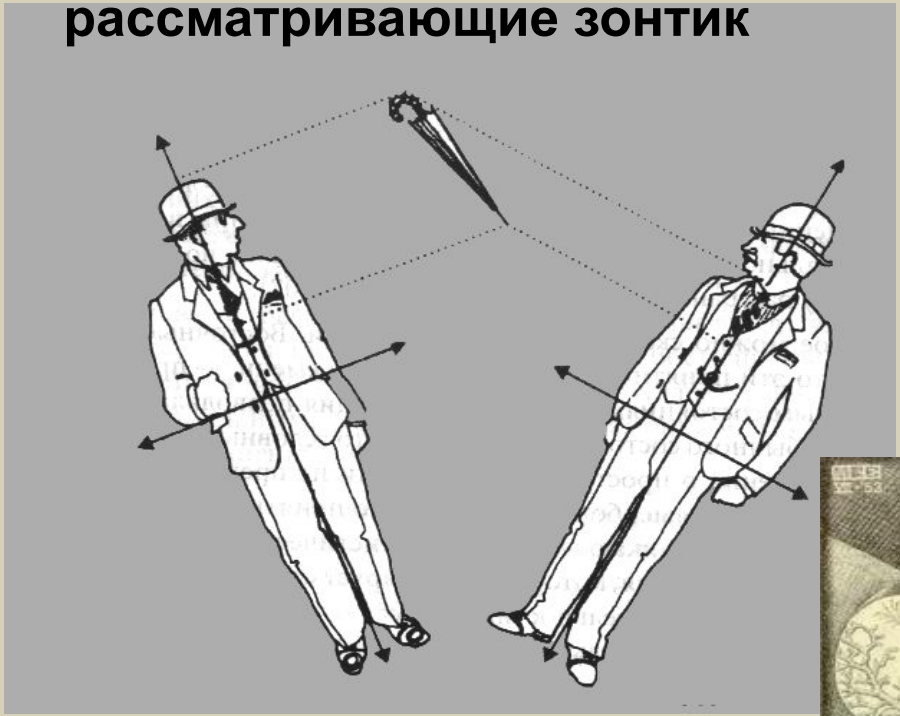
Какие преобразования координат и времени не изменяли бы уравнения Максвелла и были бы при этом максимально простыми? Выход предложил в 1904 г. голл. физик Х.Лоренц.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (СТО).

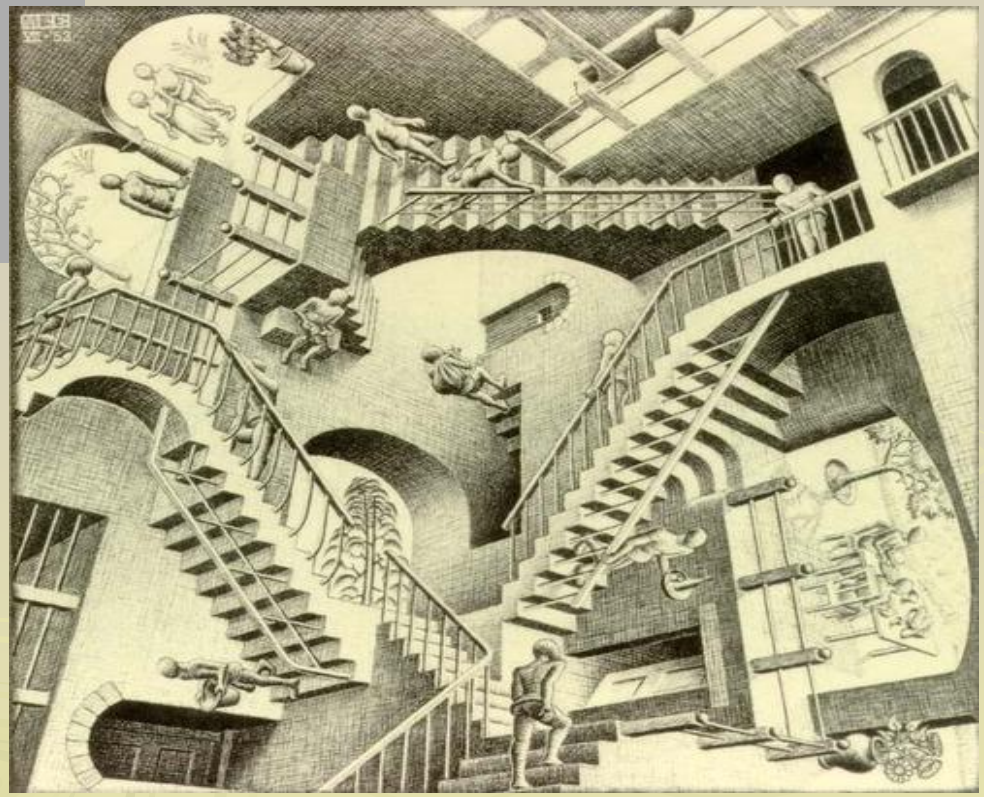
ПОСТУЛАТЫ ЭЙНШТЕЙНА

1. **Принцип относительности (или релятивистский принцип) остается в силе для всех без исключения фундаментальных взаимодействий.**
2. **Скорость света в вакууме одинакова во всех системах отсчета или, что тоже самое – не зависит от скорости движения источника света или приемника света. (*c* = 299 792 км/с = 2.99792×10^8 м/с ≈ 300 000 км/с).**

Два наблюдателя, А и Б, рассматривающие зонтик

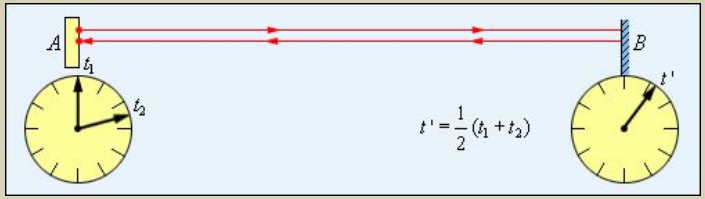


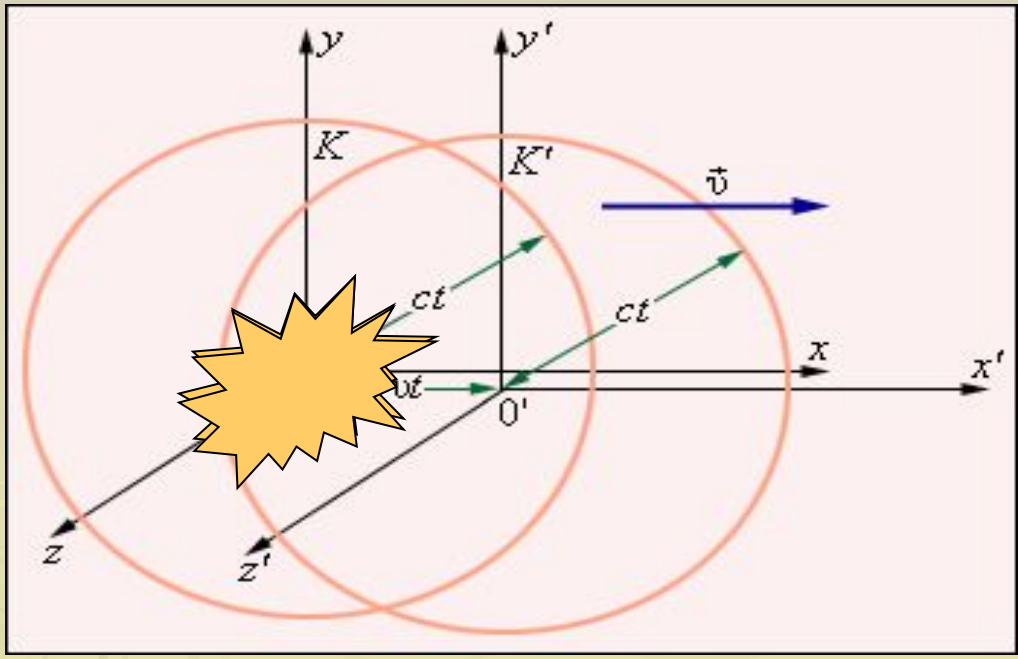
М. Эшер (гол.худ.)- Парадокс «относительности» (три силы тяжести)



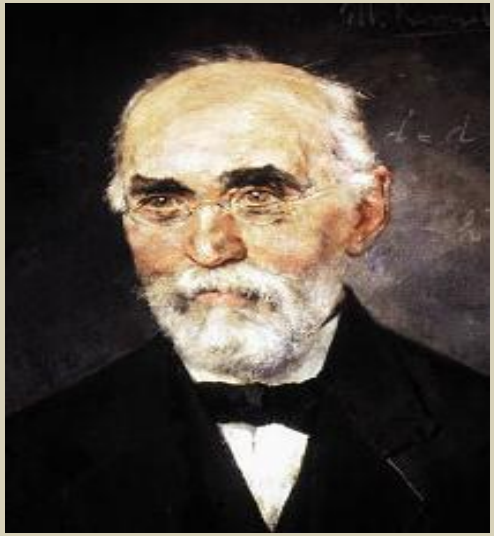
Следствия постулатов СТО

- В движущейся системе отсчета должно происходить замедление скорости течения времени.
- События , происходящие в разных точках пространства , могут быть одновременными в одной инерциальной системе и не быть одновременными в другой.
- Отсутствие абсолютных длин (расстояний)





ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОРЕНЦА



$$L' = x'_2 - x'_1 = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

сокращение длины

$$\tau = t'_2 - t'_1 = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

удлинение временных промежутков

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

увеличение массы

где L', τ, m – длины, интервалы времени и массы в движущейся системе, а те же с индексом «0» - в покоящейся

Удлинение временных промежутков

K' → K

$$\begin{cases} x = \dfrac{x' + \upsilon t'}{\sqrt{1-\beta^2}}, \\ y = y', \\ z = z', \\ t = \dfrac{t' + \upsilon x'/c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}; \end{cases}$$

K → K'

$$\begin{cases} x' = \dfrac{x - \upsilon t}{\sqrt{1-\beta^2}}, \\ y' = y, \\ z' = z, \\ t' = \dfrac{t - \upsilon x/c^2}{\sqrt{1-\beta^2}}; \end{cases}$$

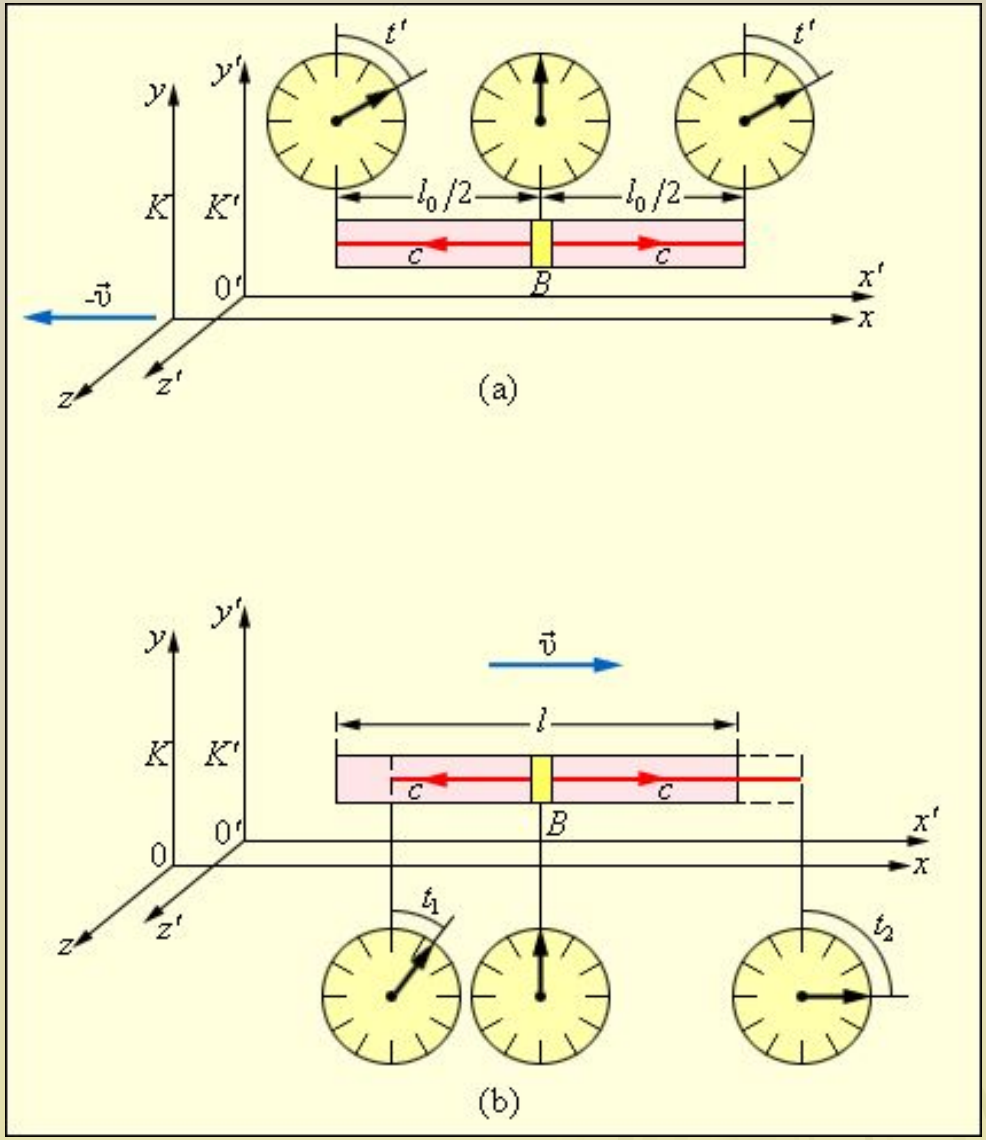
$$\boldsymbol{\beta = \upsilon / c.}$$

Пусть в (·) ***x '*** системы **K‘** происходит процесс длительностью $\tau = t'_2 - t'_1$ (собственное время), где t'_1 и t'_2 показания часов в **K‘** в начале и в конце процесса, тогда длительность этого процесса в системе **K**

$$\tau = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 + \upsilon x'/c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} - \frac{t'_1 + \upsilon x'/c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$\tau = t'_2 - t'_1 = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \dfrac{\nu^2}{c^2}}}$$

Относительность одновременности событий



Световой импульс достигает концов стержня одновременно в системе отсчета **K‘** и не одновременно в системе отсчета **K**

ru.wikipedia.org

«Что такое теория относительности?» — короткометражный научно-популярный фильм, снятый режиссёром С. Райтбуртом на Втором творческом объединении киностудии «Моснаучфильм» в 1964 году

Алла Демидова — *учёный-физик*
Георгий Вицин — *актёр*
Алексей Грибов — *актёр*
Алексей Полевой — *актёр*
Георгий Тусузов — *пассажир*

Интерстеллар

2014 г. · Драма/Детективный фильм · 2 ч 49 мин

А.Эйнштейн
1879 – 1955 г.г.

Полная энергия тела равна произведению его релятивистской массы на квадрат скорости света

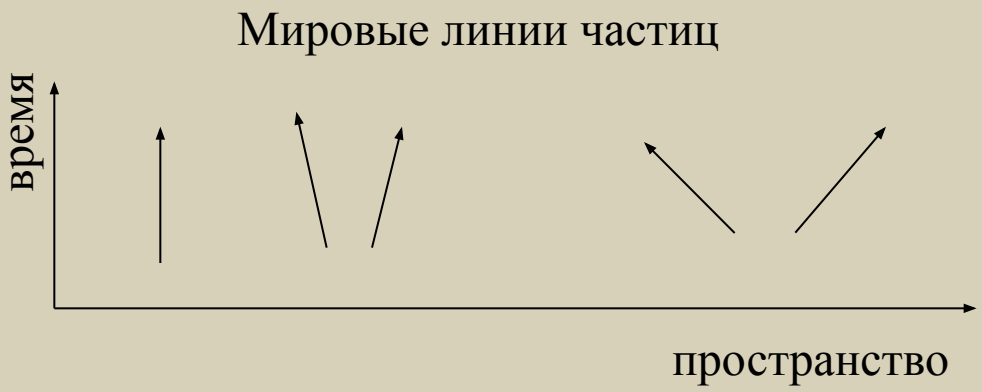
$$E = mc^2$$

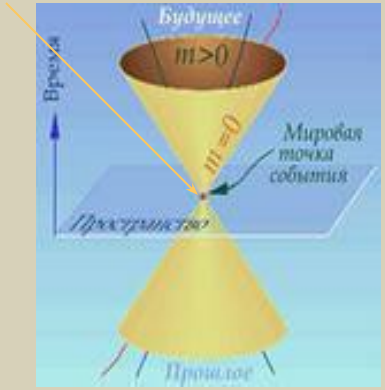
эквивалентность массы и энергии

Реакция аннигиляции: $e^+ + e^- = 2\gamma$

$$E = m_e c^2 = h\upsilon$$

Пространственно-временной континуум Минковского





Мировая линия – это множество событий для данного объекта, его траектория

Световой конус – поверхность, образованная множеством мировых линий световых лучей, испущенных из начала координат пр-ва Минковского

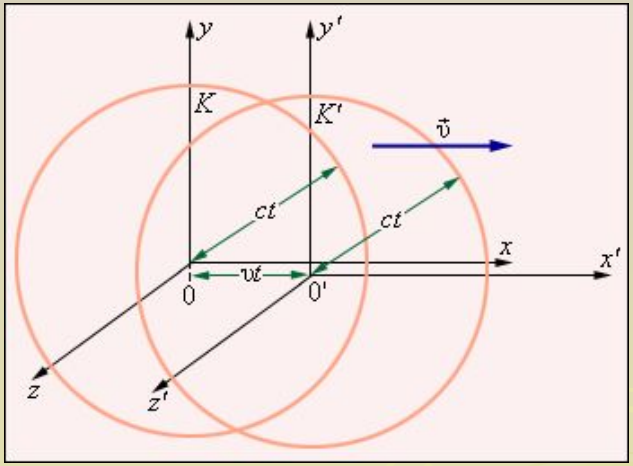
Наблюдаемые события происходят от прошлого к будущему. Это качественно отличает временное измерение от пространственного. Для любого наблюдателя в данной точке пространства последовательность событий сохраняется. Понятия «прошлое» и «будущее» в данной точке пространства есть понятия абсолютные. Направленность времени связана с пониманием причинности: причина должна предшествовать следствию.

Пространственно-временной интервал – отражает абсолютный характер пространственно - временных связей

$$s_{12} = \sqrt{c^2 t_{12}^2 - l_{12}^2},$$

$$s = \sqrt{c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2}.$$

Пространственно-временной интервал между двумя событиями не изменяется при переходе из одной инерциальной системы в другую. Протекание физических процессов носит объективный характер и не зависит от системы отсчета



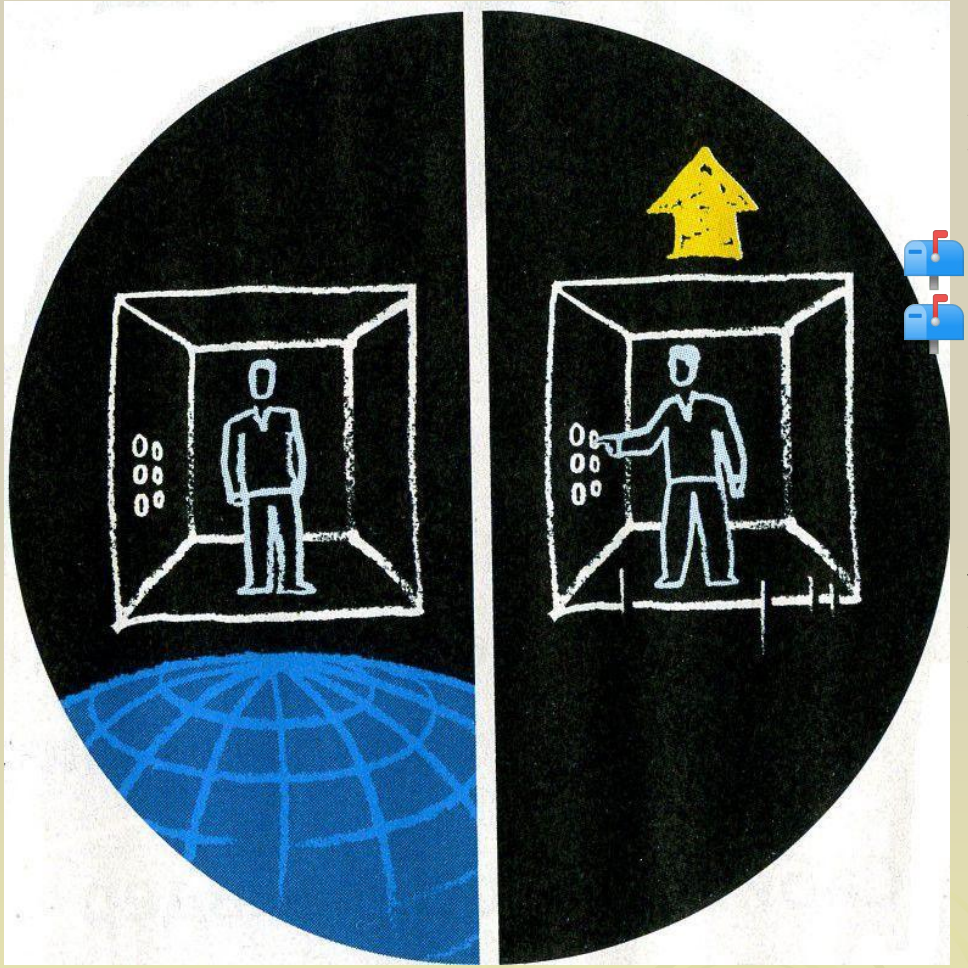
$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2 \qquad \boldsymbol{S} = 0$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2 \qquad \boldsymbol{S'} = 0$$

Для любых двух событий, связанных между собой световым сигналом, интервал равен нулю

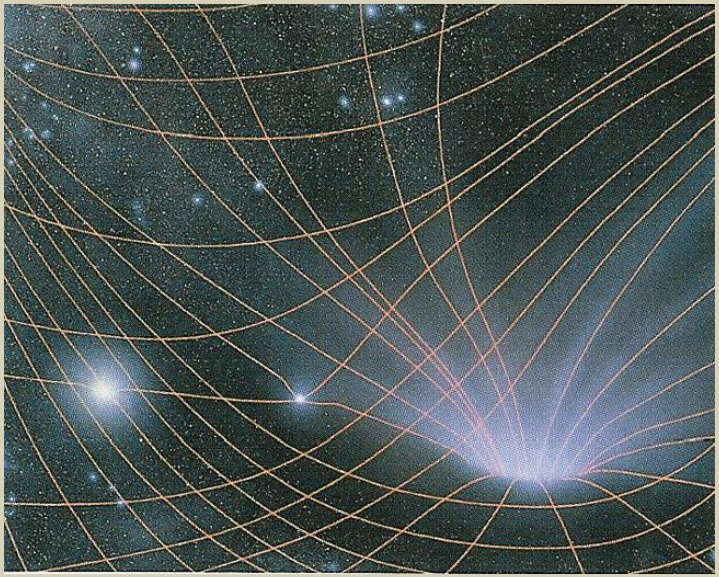
ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ

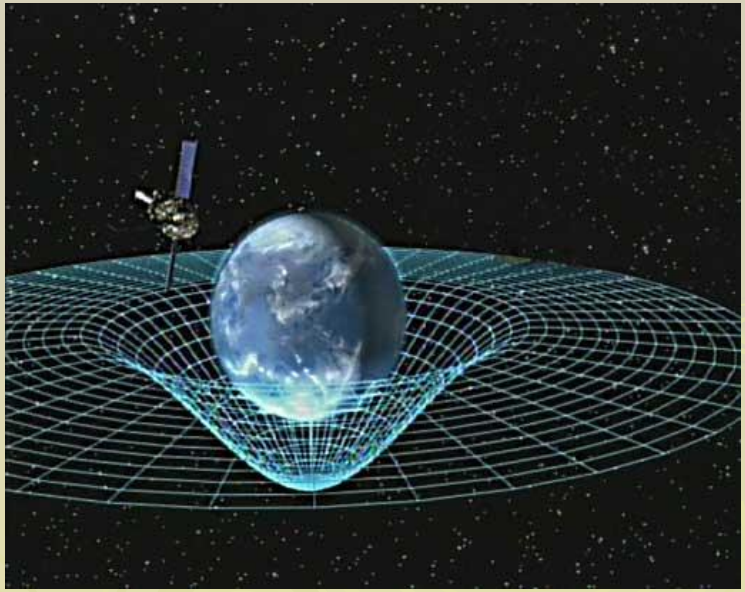
Общая теория относительности (ОТО) – 1915г.



Мысленный эксперимент Эйнштейна-
«лифт без окна»:
человек не сможет сказать, находится ли лифт в состоянии покоя в гравитационном поле З. или же движется с постоянным ускорением.
Вывод: законы ф. должны быть одинаковы в обеих ситуациях -
-***принцип эквивалентности***

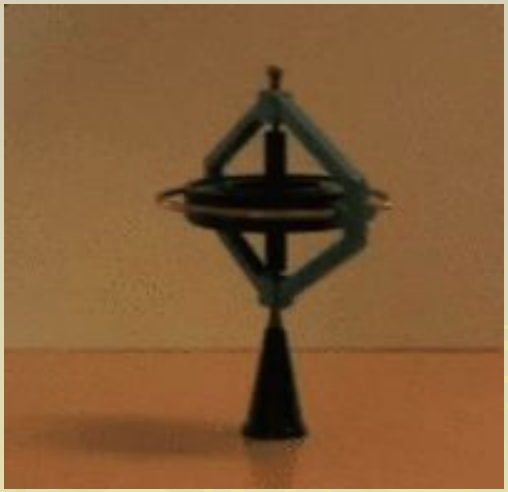
- **В общей теории относительности рассматривается связь между телами и свойствами пространства.**
- **Наличие массивного тела приводит к искривлению пространства и как следствие, к возникновению сил гравитации.**
- **Кривизну пространства и искривление пространства можно заметить опытным путем.**





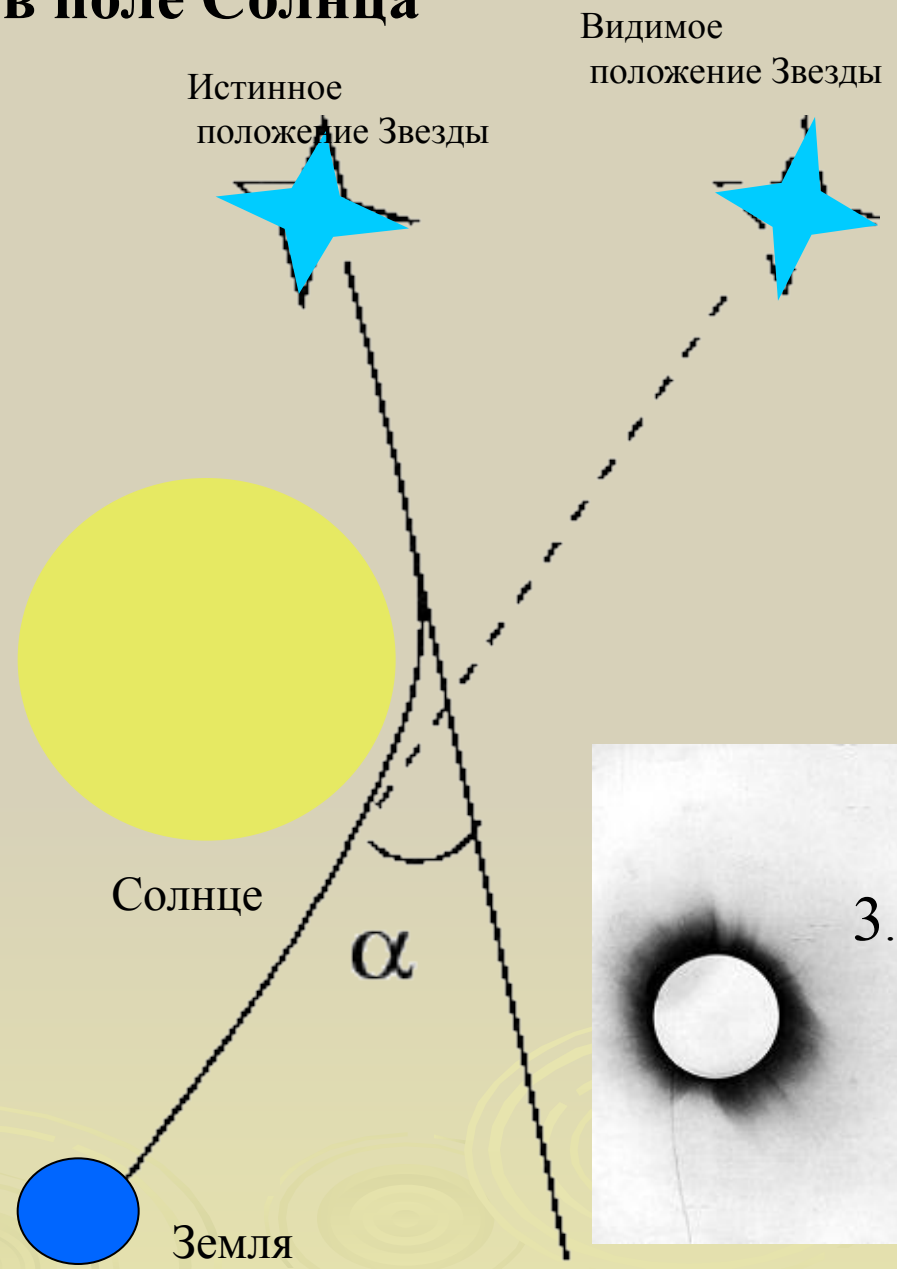
Экспериментальные подтверждения ОТО

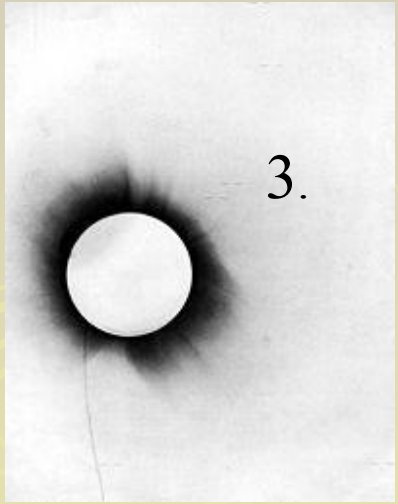
- **1. Прецессия эллиптических орбит планет, движущихся в поле сферических тел. (Зарегистрированы незначительные отклонения от стационарной орбиты у Меркурия, ближайшей к Солнцу планеты.)**



2. Отклонение луча света в поле Солнца

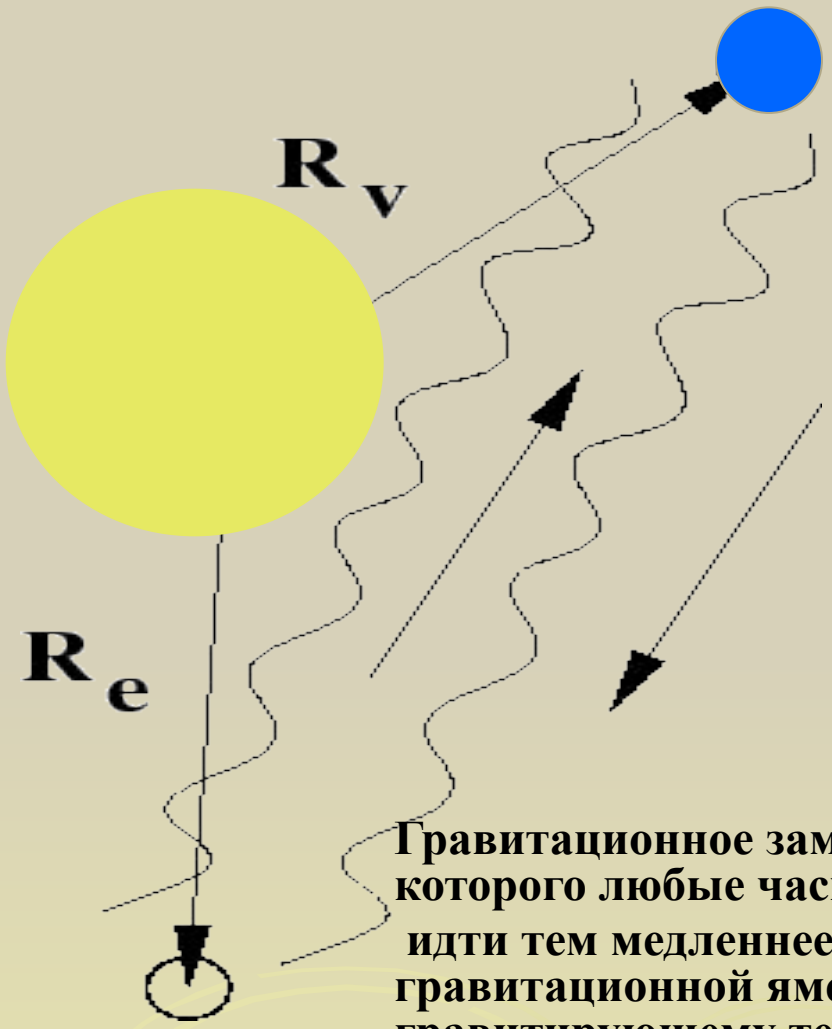
Проверка ОТО стала возможна благодаря полному солнечному затмению 1919 г.
Эддингтон показал, что свет от звезды искривлялся вблизи Солнца в точном соответствии с предсказаниями ОТО. Явление неоднократно было подтверждено астрономическими наблюдениями звёзд в процессе затмений Солнца, а также с высокой точностью проверено радиоинтерферометрическими наблюдениями квазаров.



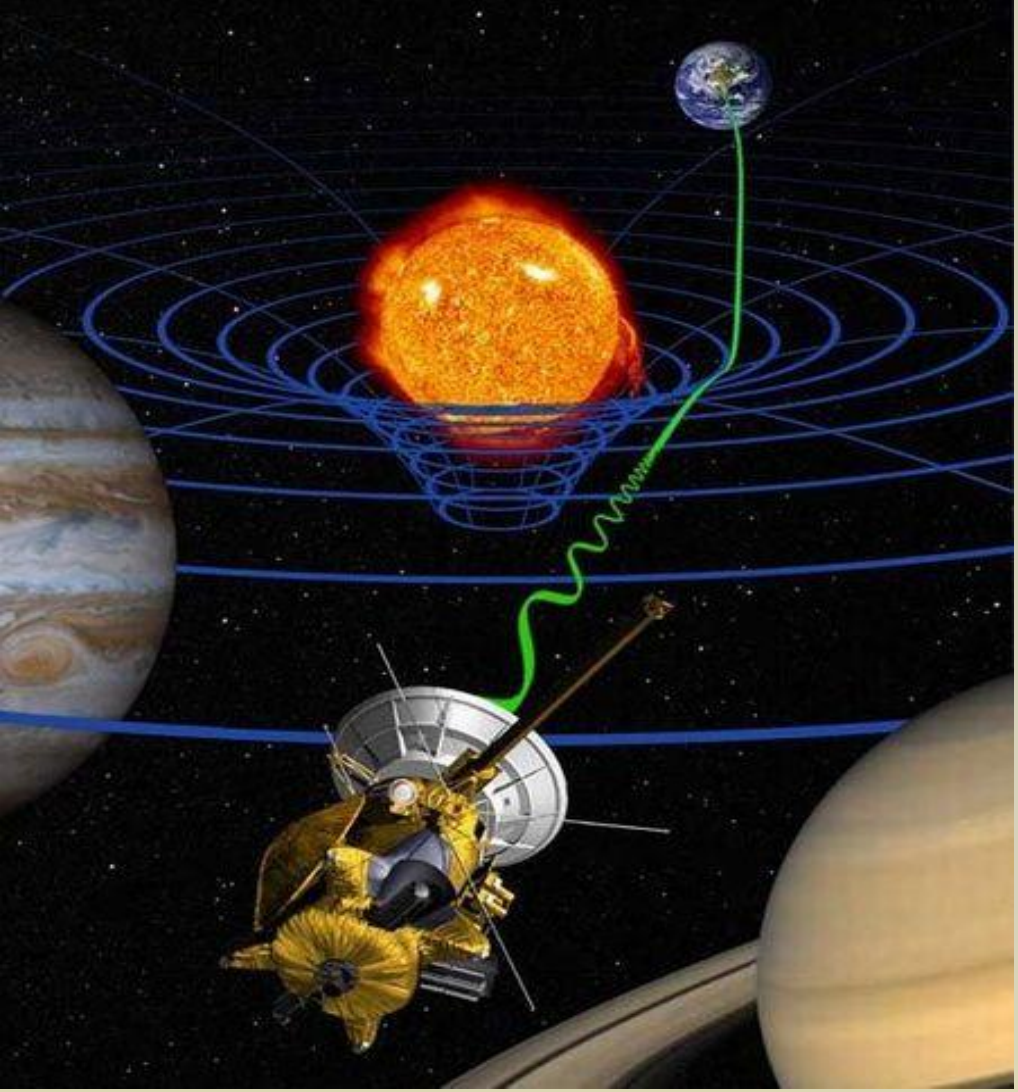


4. Запаздывание сигнала в поле Солнца

(радиолокационное прохождение сигнала).

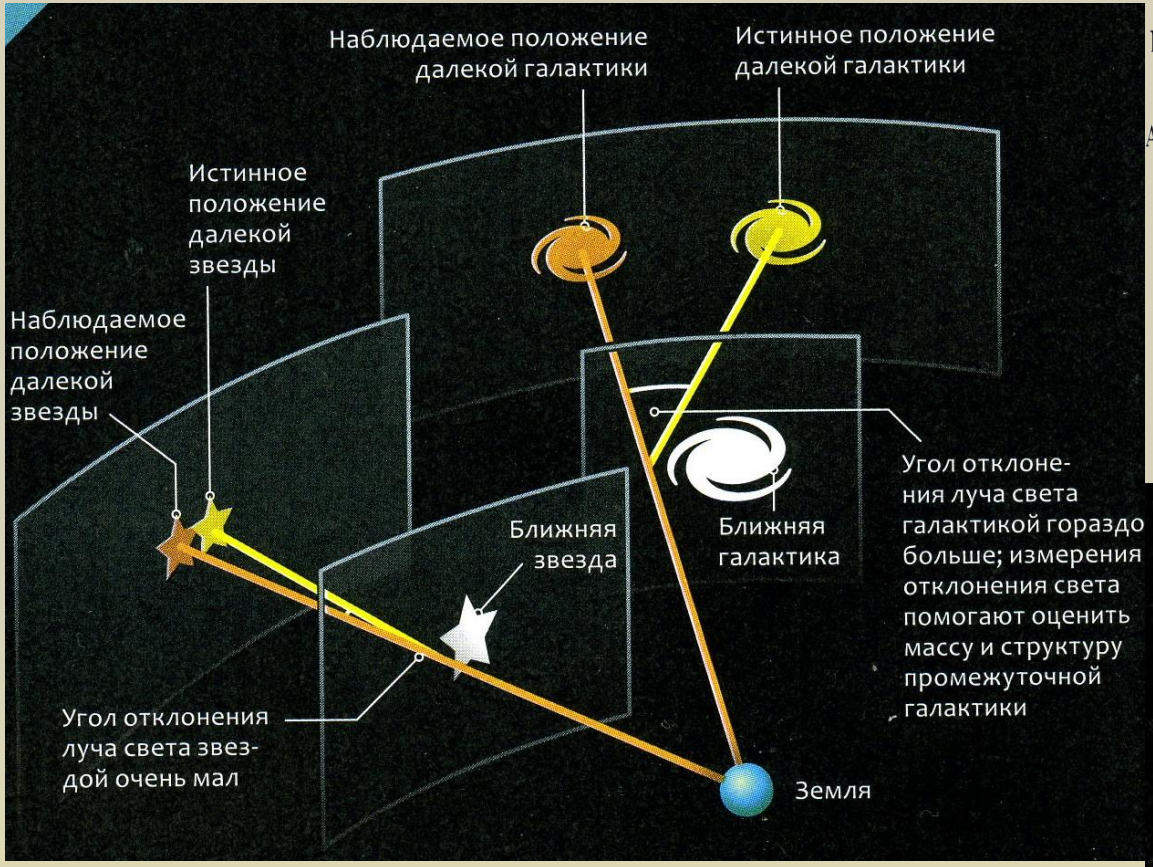


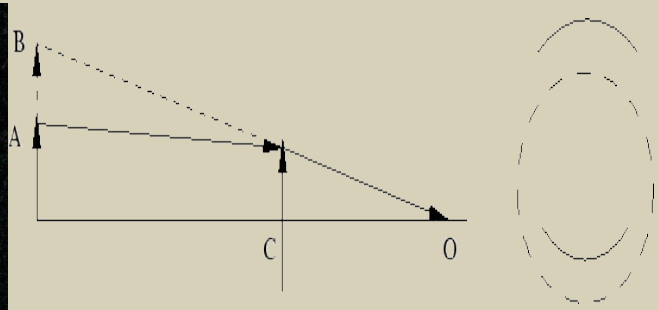
Гравитационное замедление времени, из-за которого любые часы будут
идти тем медленнее, чем глубже в гравитационной яме (ближе к гравитирующему телу)
они находятся.

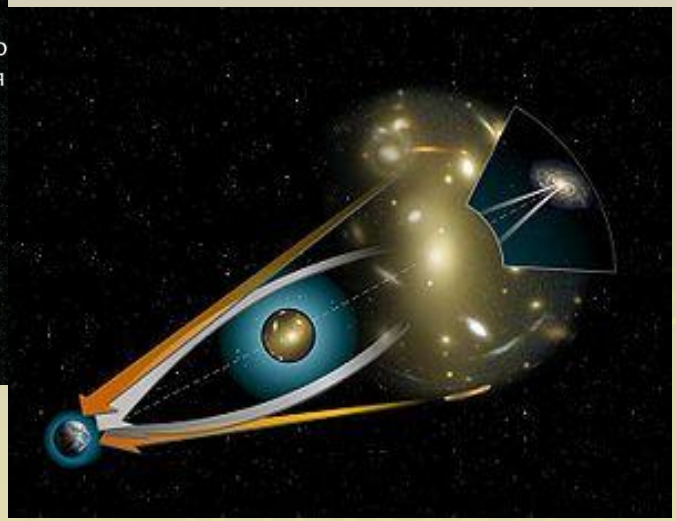


Зонд Cassini (2004 г.), двигавшийся к Сатурну, регистрировал задержку времени прохождения радиоволн, посланных им. Из-за кривизны, они проходили большее расстояние. Исследователей интересовала в первую очередь точность измерений.

5. Гравитационное линзирование

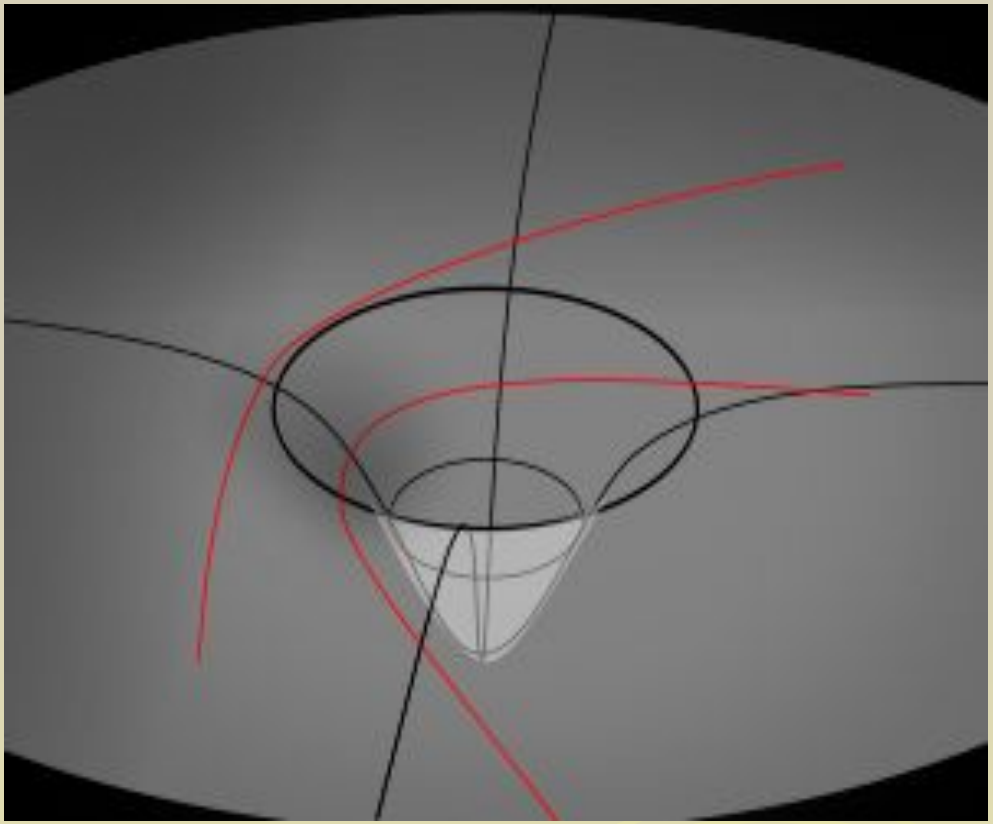






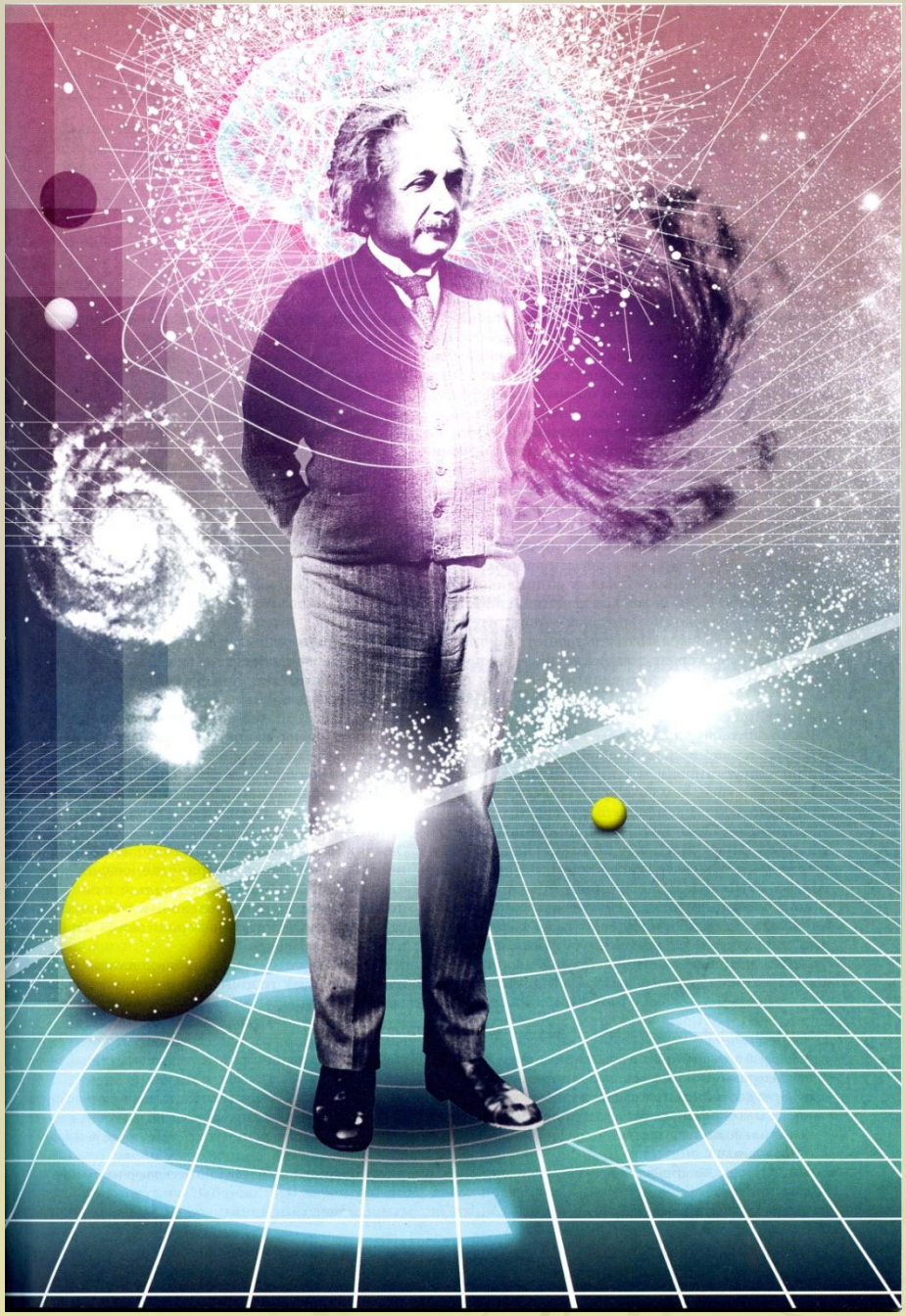
Тела согласно ОТО движутся по искривленным траекториям не потому, что на них действует сила тяготения, а потому, что искривленная траектория является «самой короткой в искривленном пространстве-времени.

Кривизна пространства-времени



Расхождение (девиация) геодезических линий происходит вблизи массивного тела.

В пространстве-времени девиация связана с его кривизной.

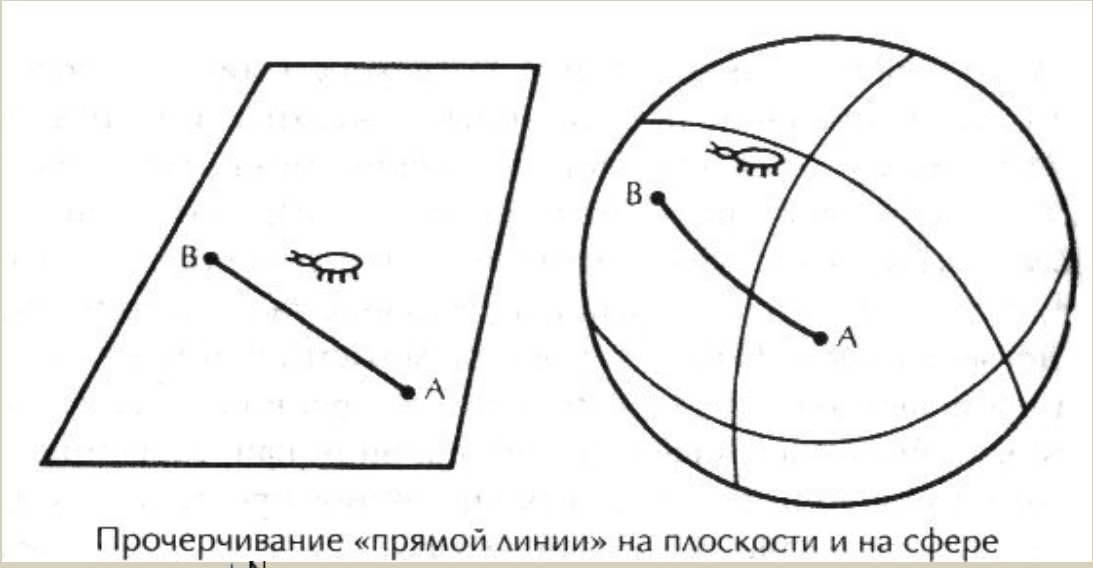


СТО – связывает воедино Пространство и Время

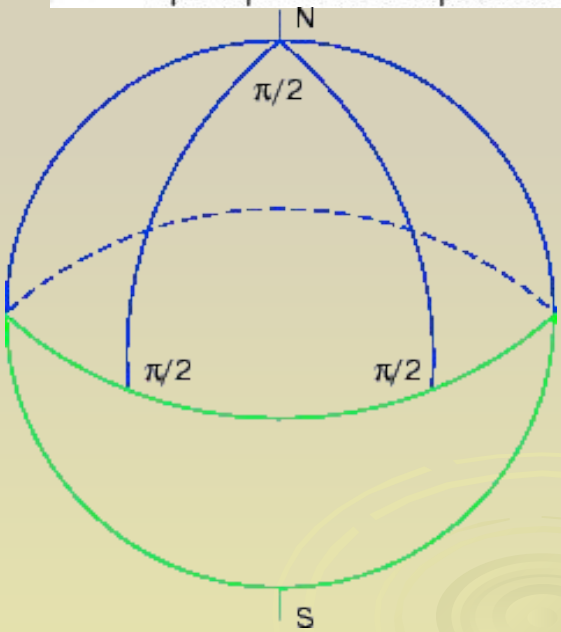
ОТО – устанавливает триединую связь: Пространство- Время-Материя.

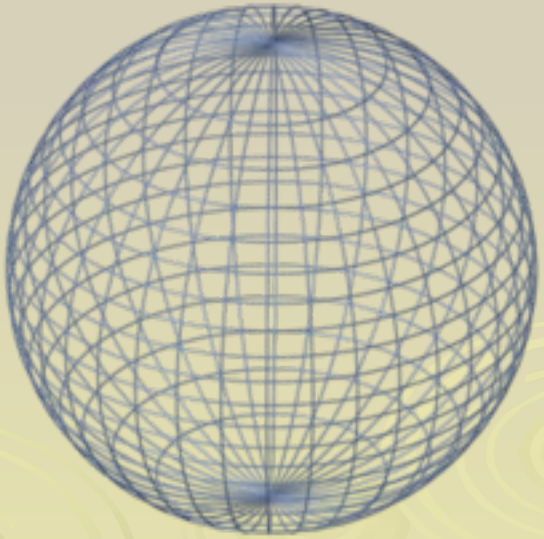
Пространство «говорит» веществу как ему двигаться, а вещество говорит пространству - как ему искривляться

Геометрия на плоскости и на поверхности сферы.



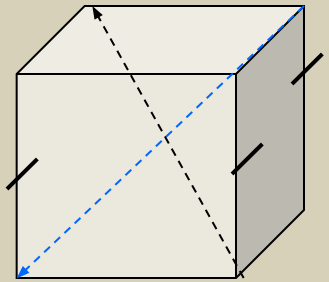
Прочерчивание «прямой линии» на плоскости и на сфере





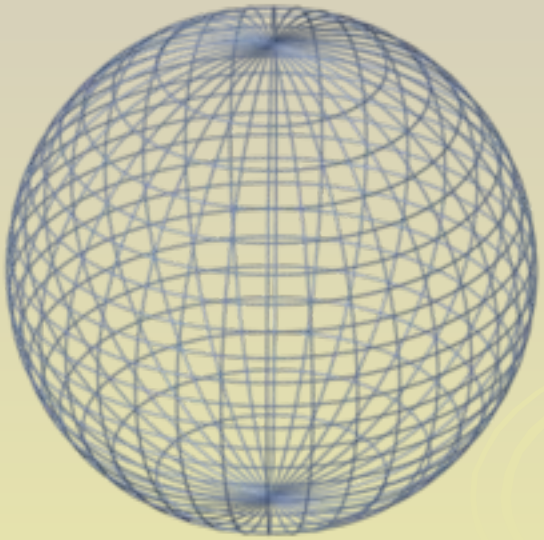
$L<2\pi R$

Вселенная является конечной (замкнутой) и безграничной



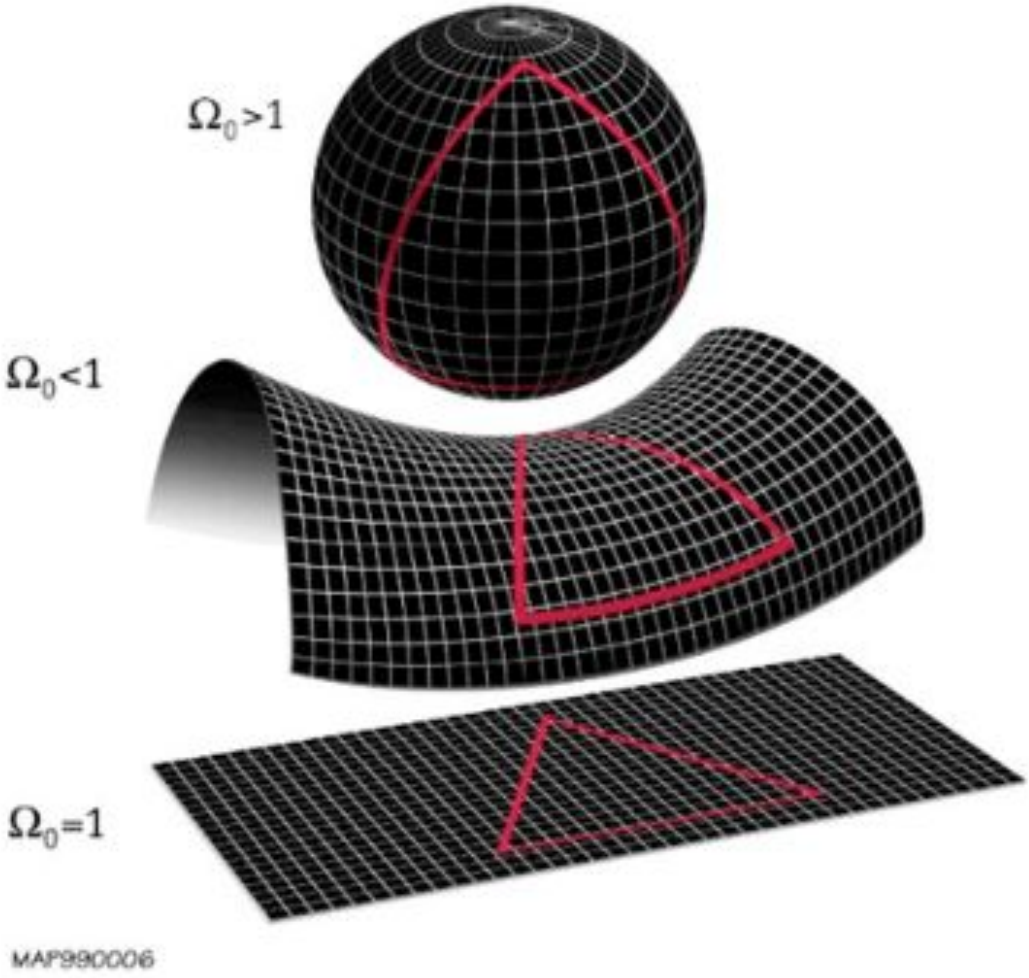
Конечное и ограниченное пространство

Бесконечное и безграничное пространство (бесконечная плоскость)



Поверхность сферы - безграничное , но конечное пространство $S=4\pi R^2$

Замкнутая, открытая и плоская Вселенная



Замкнутая Вселенная

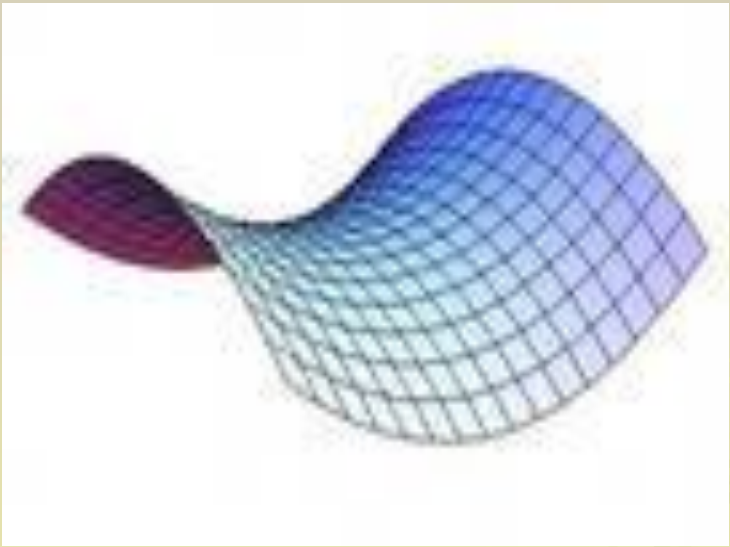
Открытая Вселенная

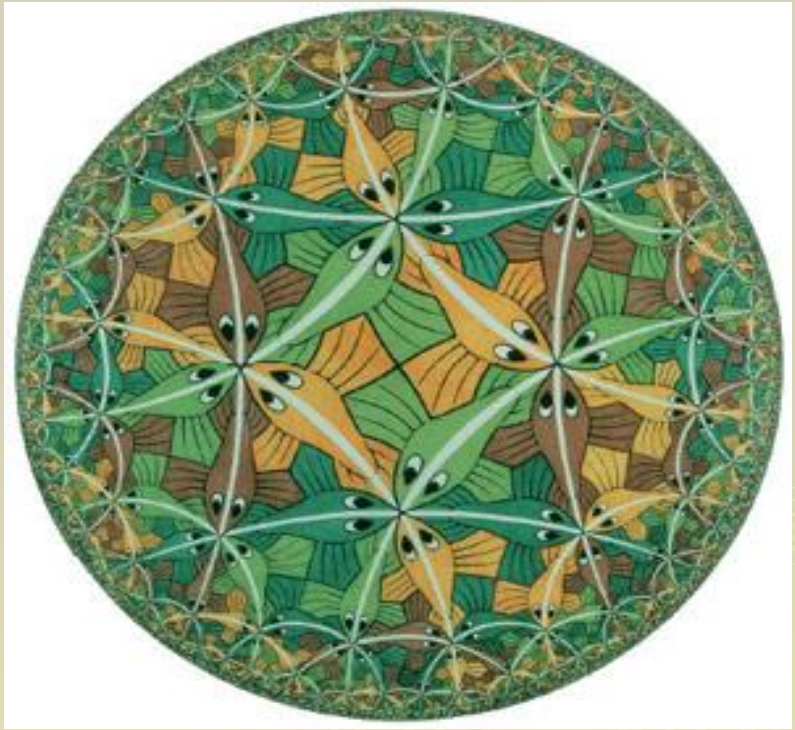
Плоская Вселенная

Пространство де Ситтера с полож.кривизной

Поверхности с отрицательной (слева), нулевой (в центре) и положительной (справа) кривизной

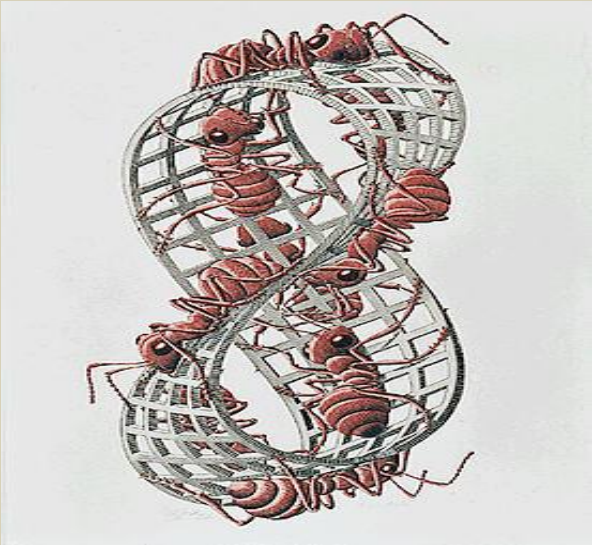
Анти-де Ситтеровское пр-во (АДС) с отр.кривизной

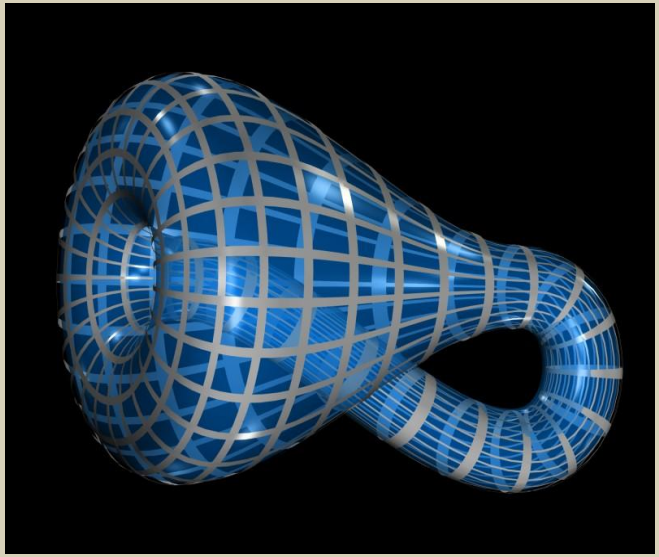




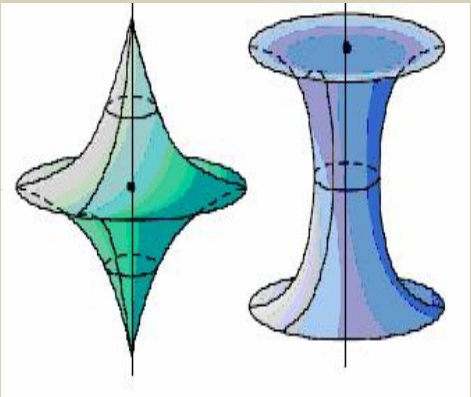
Пространство с постоянной отр. кривизной- гиперболическое пространство

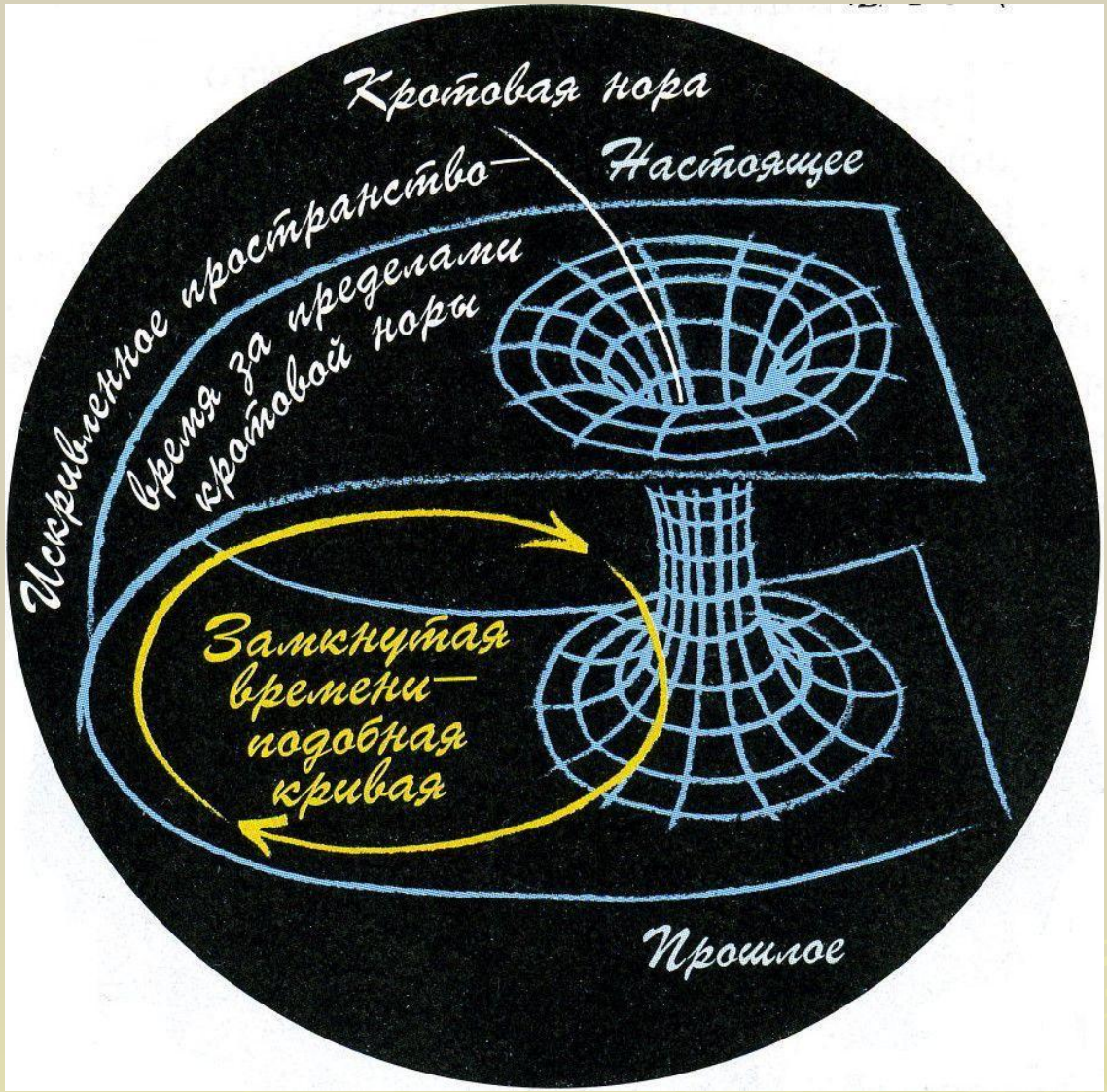
Лента Мёбиуса, бутылка Клейна, волчок и катушка





Миндинга




Кротовая нора
Настоящее
Искривленное пространство—
время за пределами
кротовой норы
Замкнутая
времени—
подобная
кривая
Прошлое

Смотреть:

- 1.https://www.youtube.com/Пространство и Время. ~ 46 мин. NG
- 2. Пространство и Время. Чирцов А.С. ~ 1 час 19 мин.
- 3. Создание общей теории относительности. И.Волобуев. ~ 13 мин. (Обязательно!!!)
- 4. Время. Неизвестное Время. Семихатов А. ~ 27 мин.
-