

Третий этап развития естествознания:

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

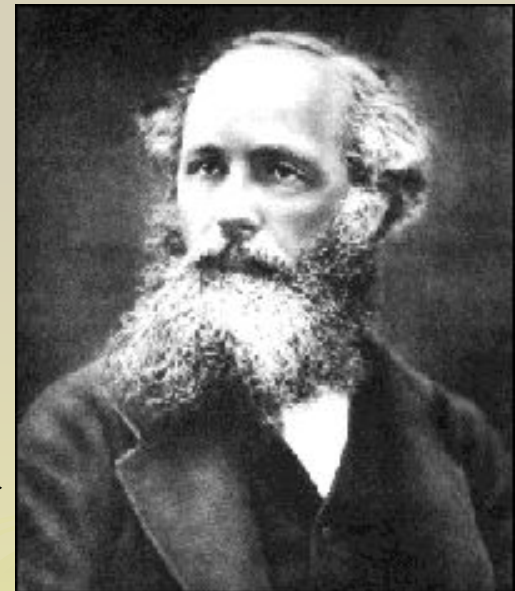
Поводом для появления теории относительности и пересмотра представлений о Пространстве и Времени было следующее:

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

$$\nabla \cdot D = \rho$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times H = \frac{\partial D}{\partial t} + J$$

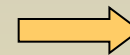


(1791-1867 гг.)

← Англ. 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 породить электрическое (закон электромагнитной индукции).

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

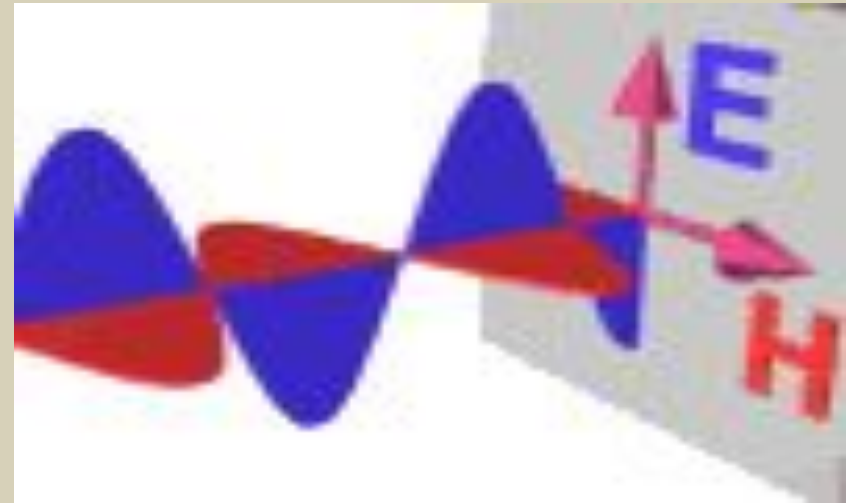


(1857 – 1894 гг.)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА

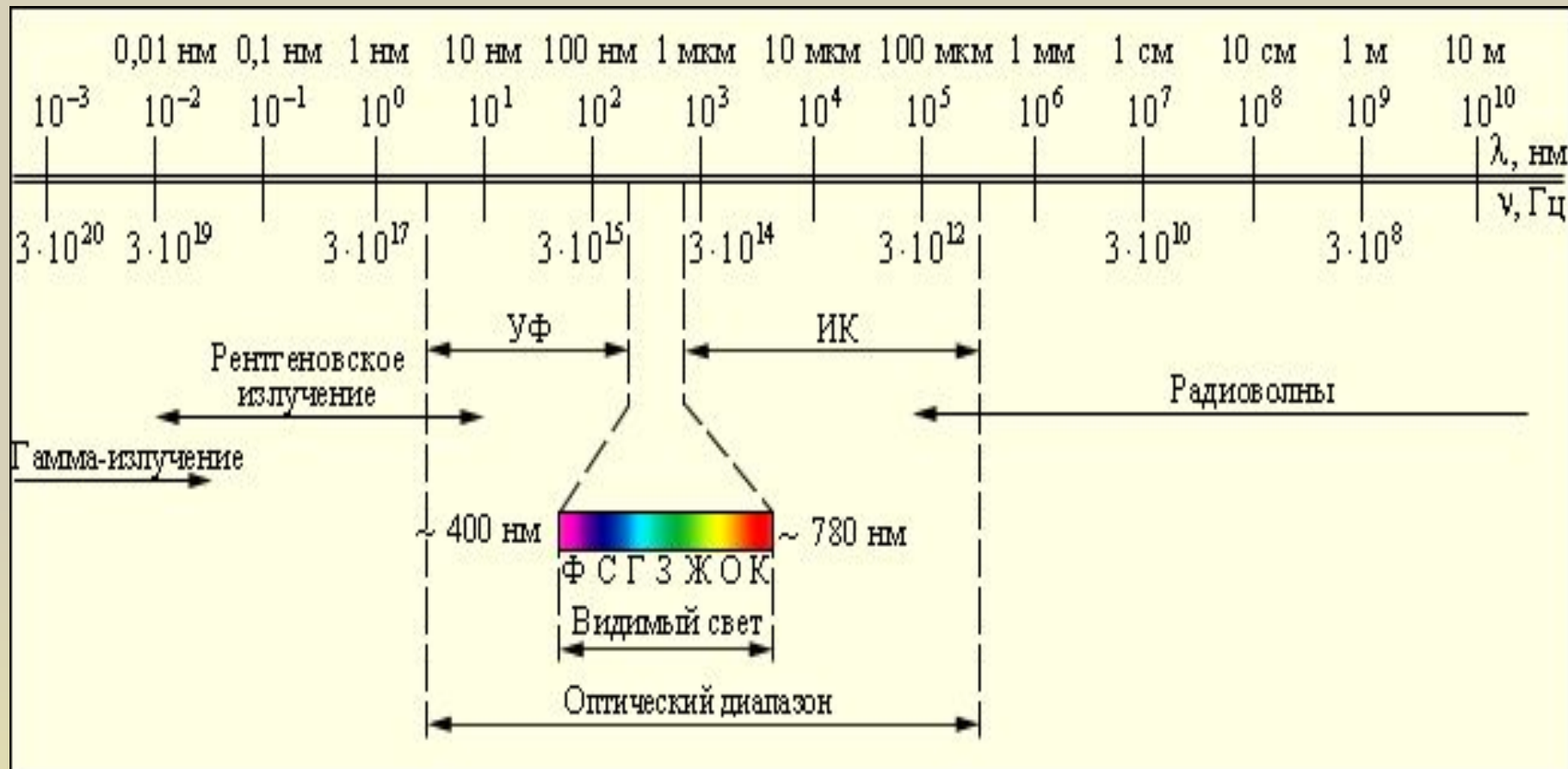
1. Существуют электромагнитные волны, то есть распространяющиеся в пространстве и во времени и создающие электромагнитное поле.

Электромагнитные волны поперечны – векторы их перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны

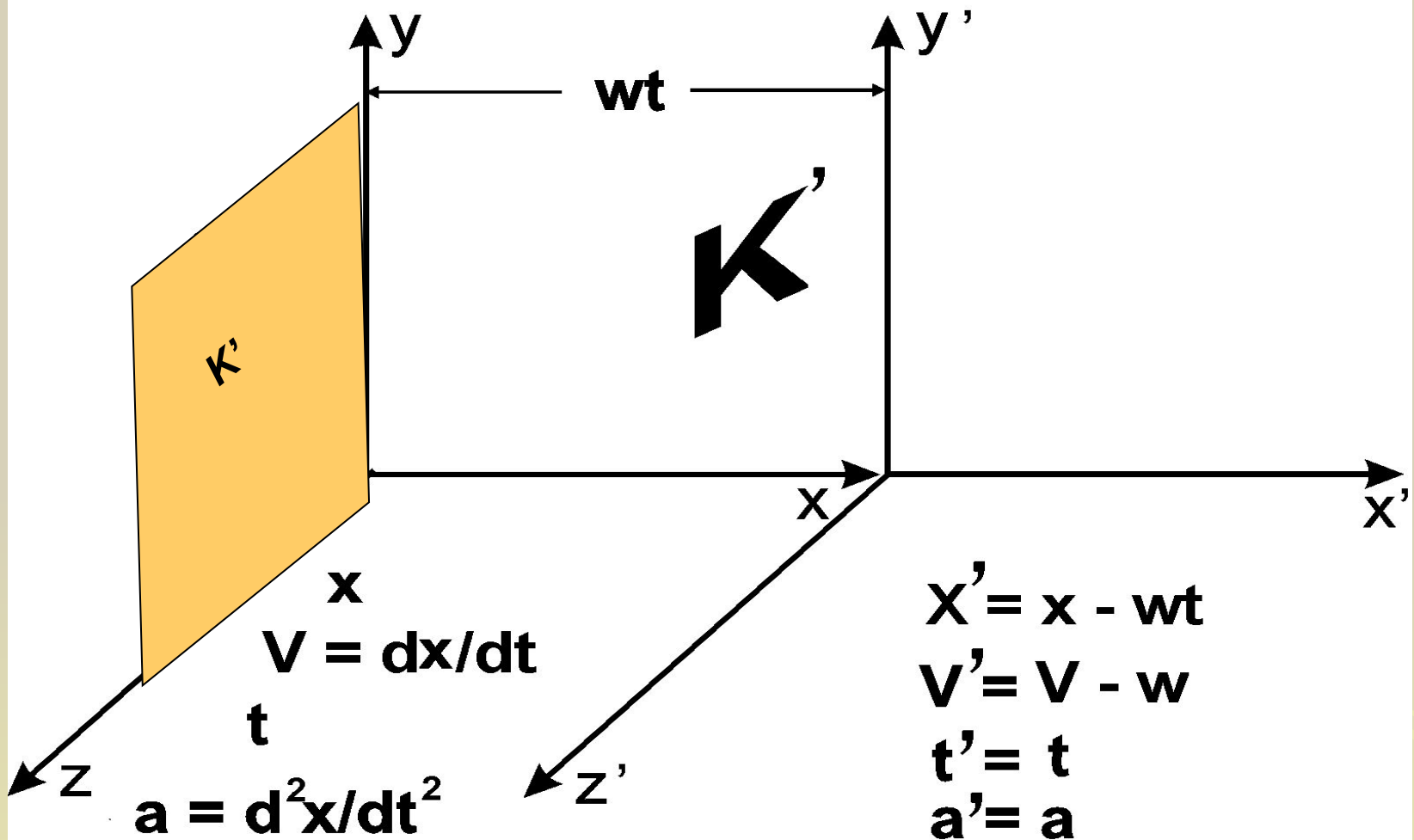


- **2. Электромагнитные волны распространяются в веществе с конечной скоростью**
- **3. В электромагнитной волне происходят взаимные превращения электрического и магнитного полей.**
- **4. Электромагнитные волны переносят энергию.**

ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН



W - скорость K' относительно K



Законы механики одинаковы 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 эквивалентны с точки зрения описания механических явлений.

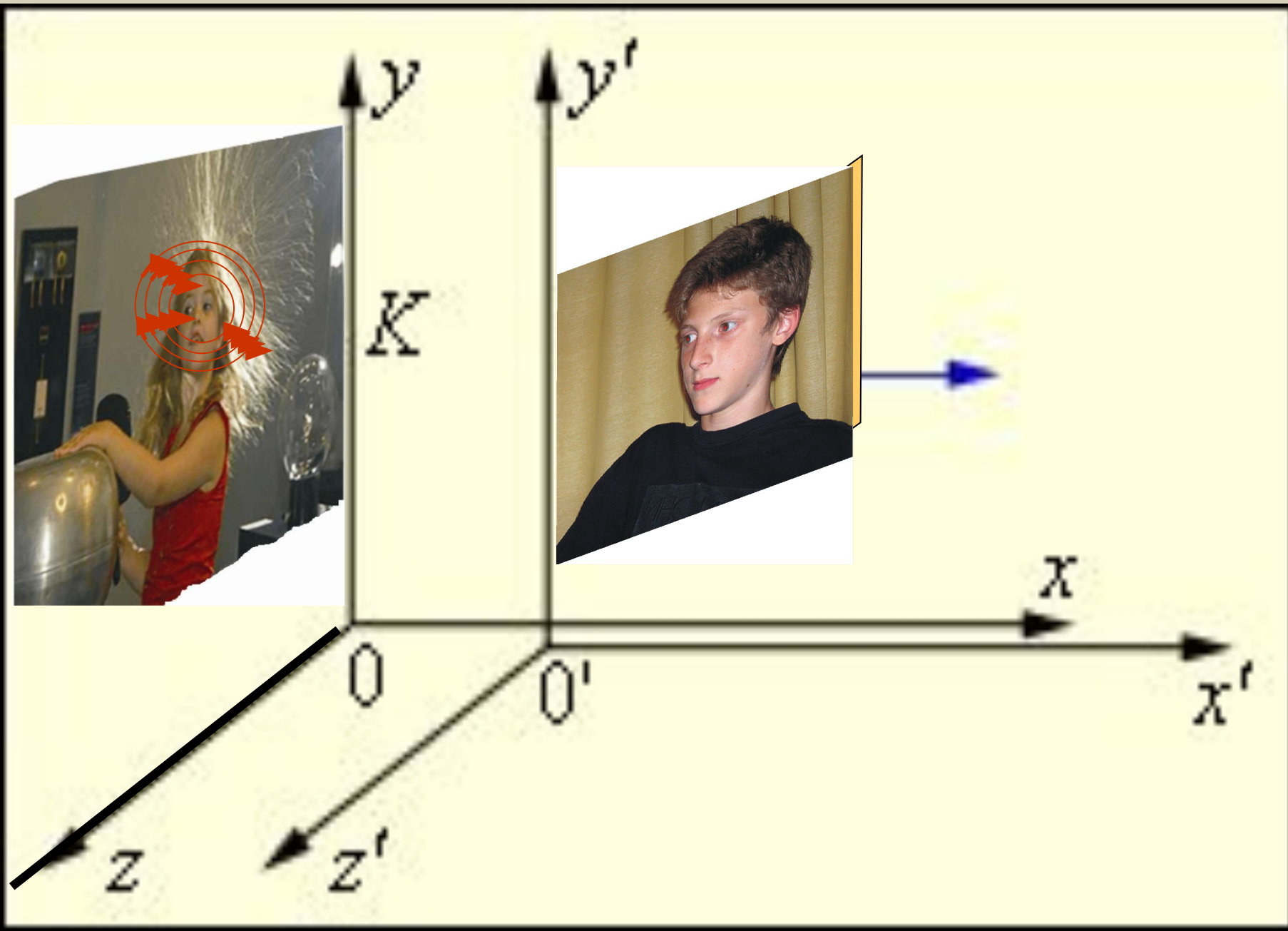
С физической точки зрения все величины, имеющие физический смысл, должны быть инварианты.

□ Однако уравнения Максвелла демонстрировали:

□

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

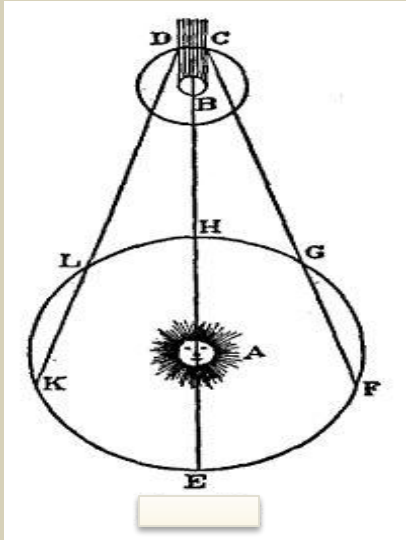
(инвариантность, т.е. неизменность и независимость какой – то величины или свойства относительно некоторых преобразований)



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 Рёмер заметил, что эта величина конечна

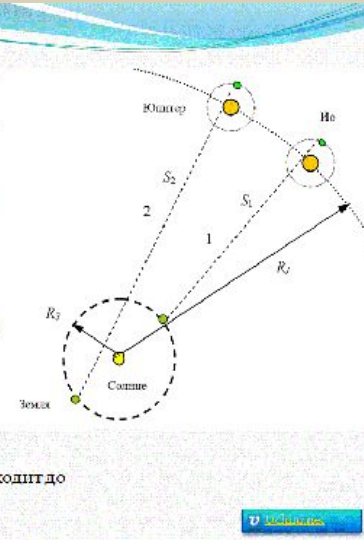
и расчёт показывает, что она равна диаметру орбиты Юпитера. Это объясняется тем, что сдвиг времени затмения Ио равен расстоянию от Земли до Юпитера, делённому на скорость света.

В начале измерения проводились в то время, когда Земля при своём движении вокруг Солнца ближе всего подошла к Юпитеру.

Такие же измерения через 6 месяцев, когда Земля удалилась от Юпитера на диаметр своей орбиты.

Спутник опоздал появиться из тени Юпитера на 22 минуты, по сравнению с расчётом.

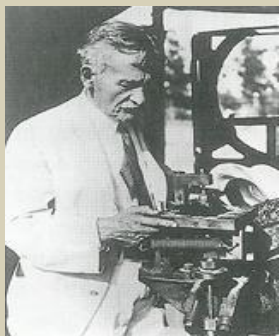
Пусть T_1 - момент времени, когда Ио выходит из тени Юпитера по часам на Земле, а t_1 - реальный момент времени, когда это происходит; тогда

$$T_1 = t_1 + S_1 / c$$


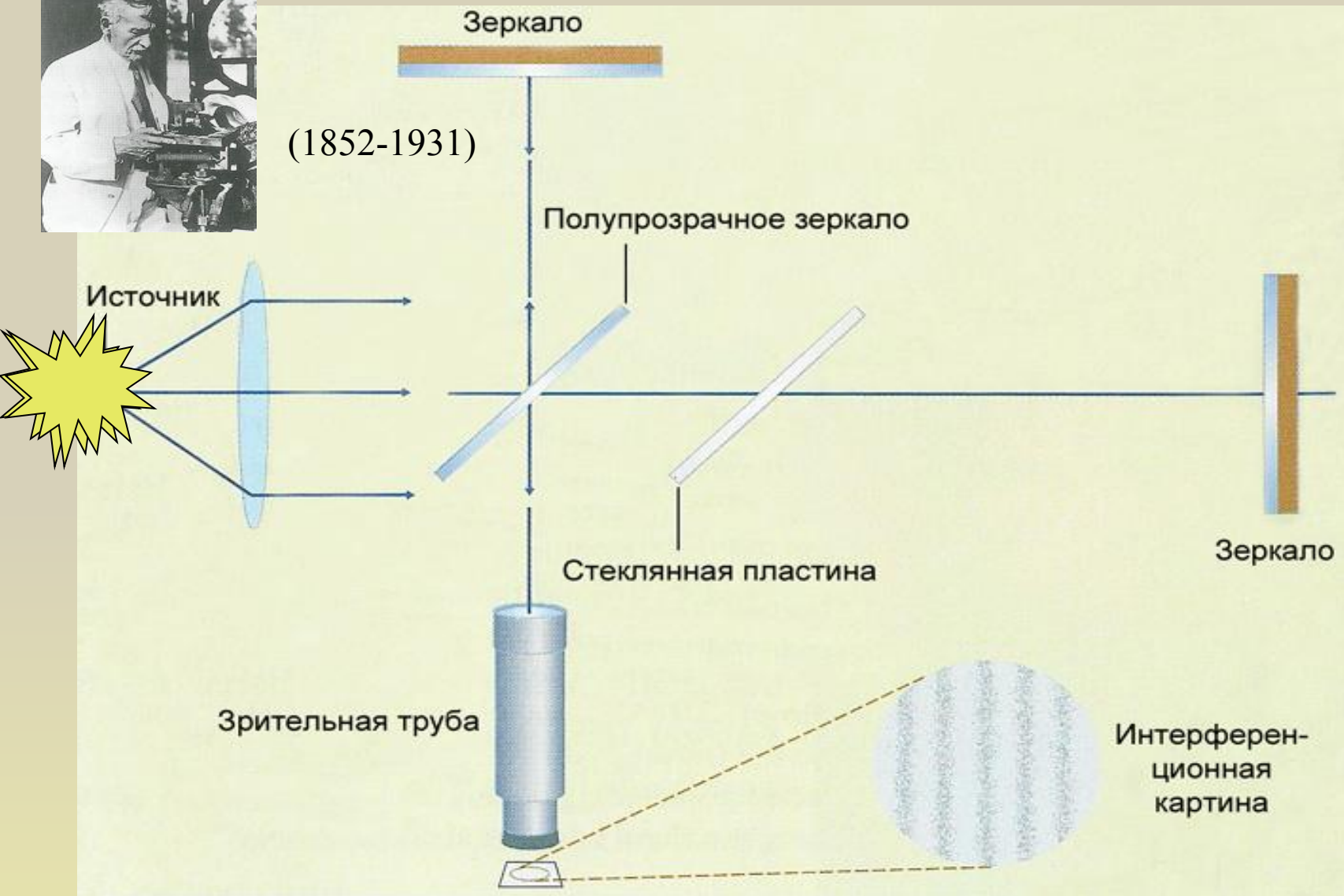
где S_1 - расстояние, которое свет проходит до Земли.

элементы орбиты Юпитера

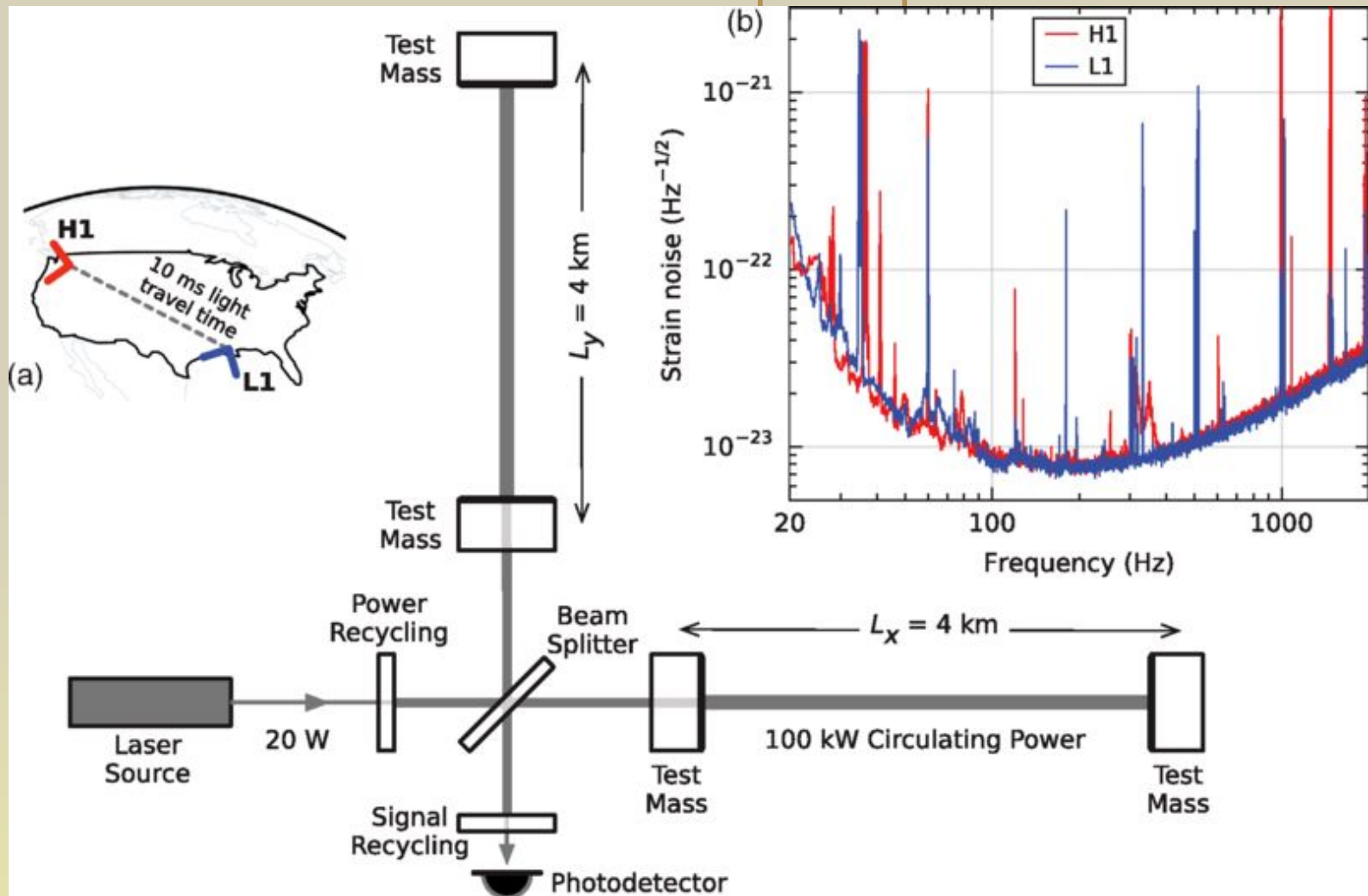
Опыт Майкельсона – Морли устанавливает независимость скорости распространения света от орбитального движения Земли и тем самым опровергает гипотезу о «неподвижном эфире»



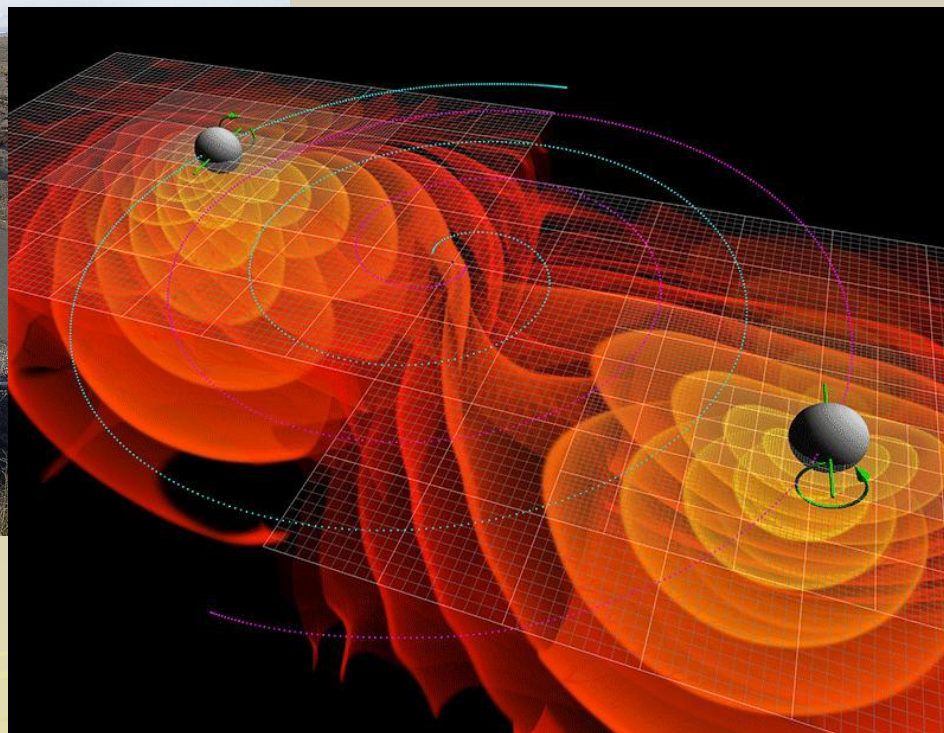
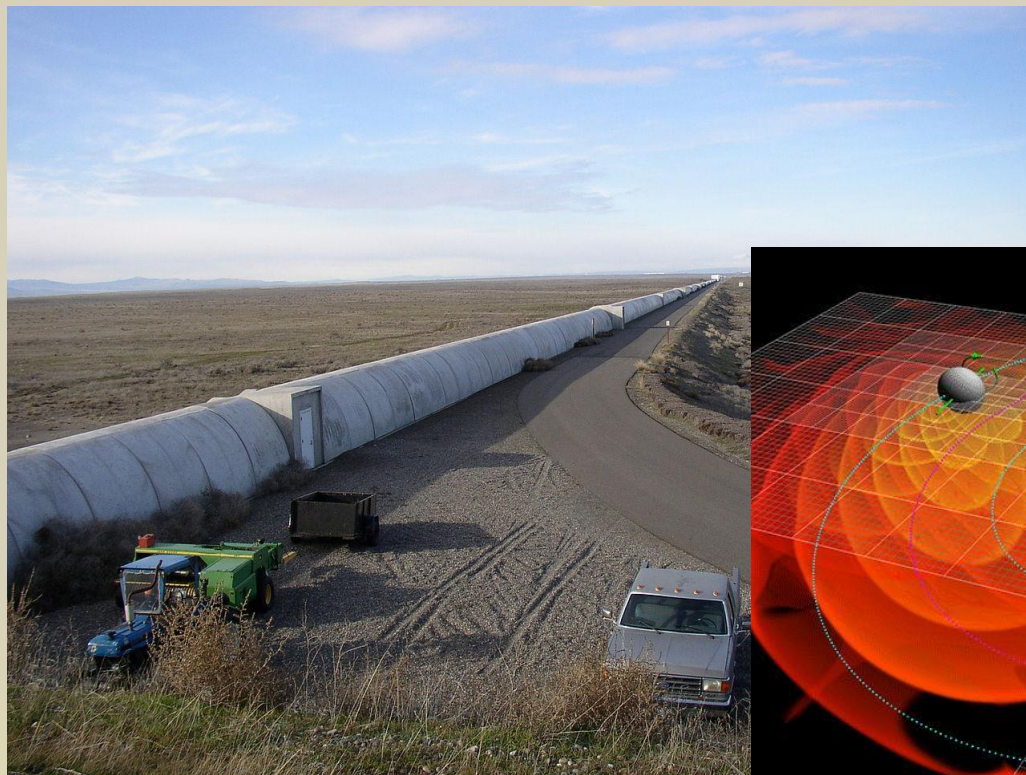
(1852-1931)



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

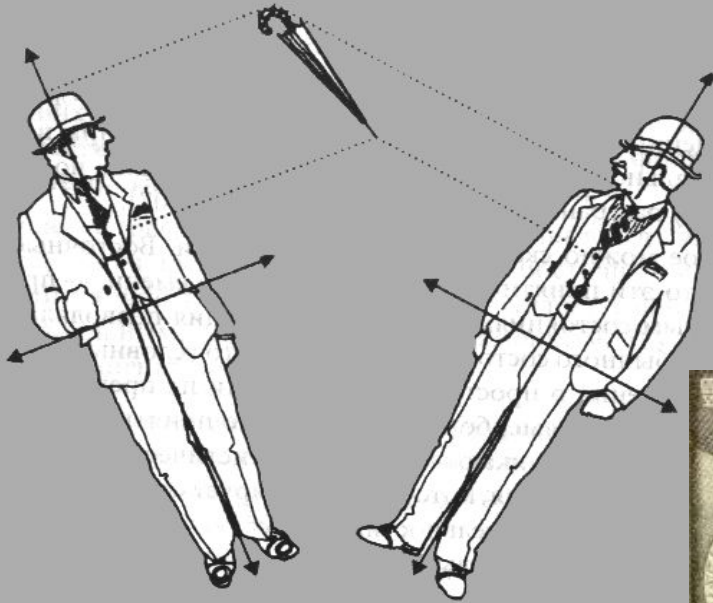
Какие преобразования координат и времени не изменяли бы уравнения Максвелла и были бы при этом максимально простыми? Выход предложил в 1904 г. голл. физик Х.Лоренц.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (СТО).

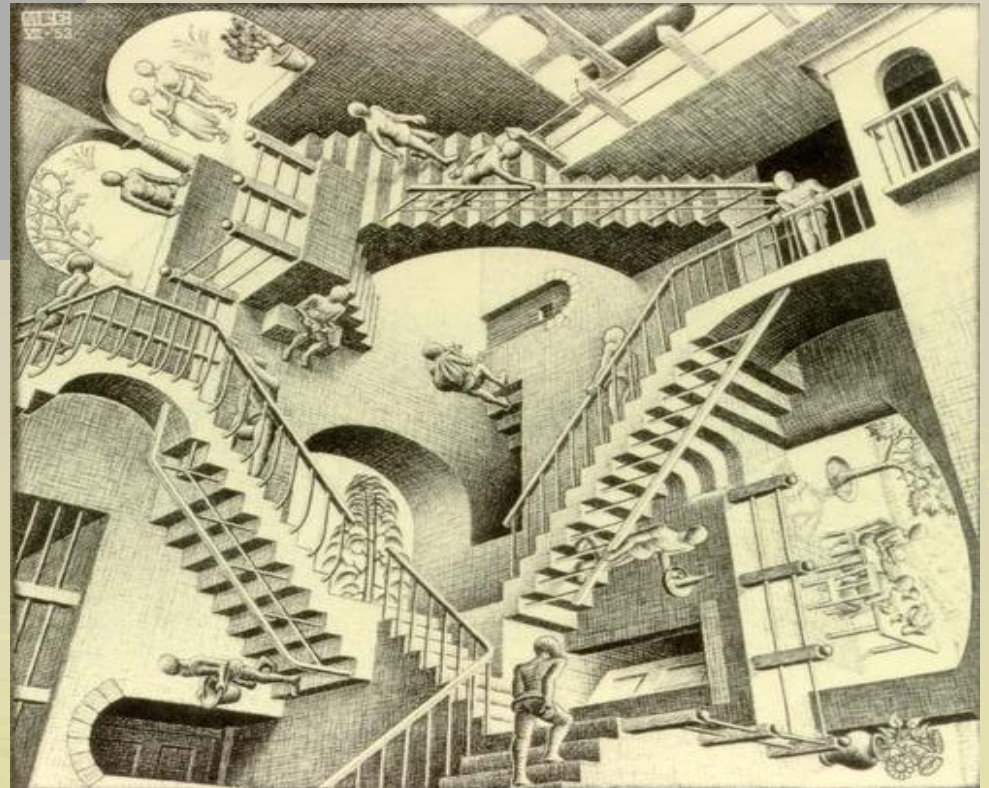
ПОСТУЛАТЫ ЭЙНШТЕЙНА

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. ($c = 299\,792\text{ км/с} = 2.99792 \times 10^8\text{ м/с} \approx 300\,000\text{ км/с}$).**

Два наблюдателя, А и Б, рассматривающие зонтик

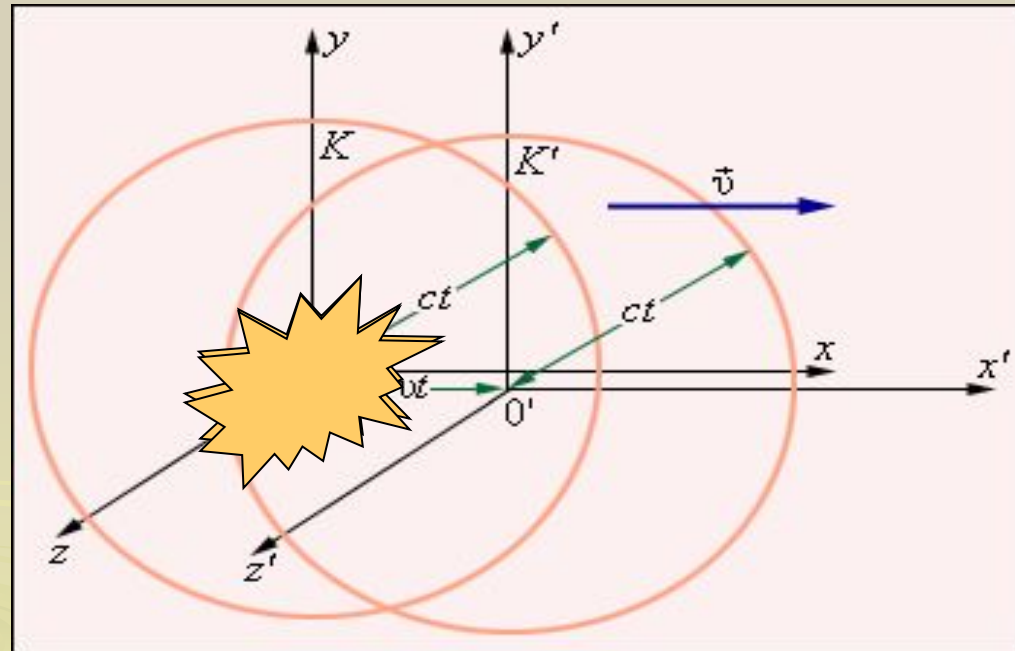
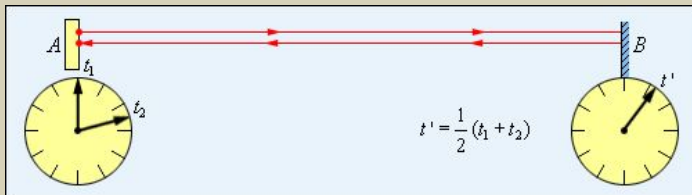


М. Эшер (гол.худ.)- Парадокс
«относительности» (три силы
тяжести)



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)



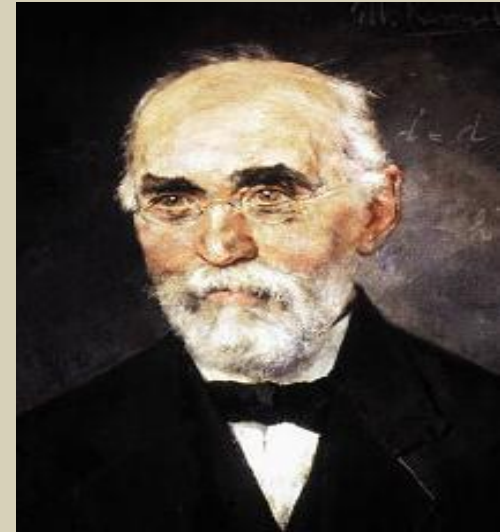
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОРЕНЦА



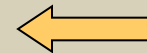
$$L' = x'_2 - x'_1 = L_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$



сокращение длины



удлинение временных промежутков



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

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

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

$K' \rightarrow K$

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

$K \rightarrow K'$

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

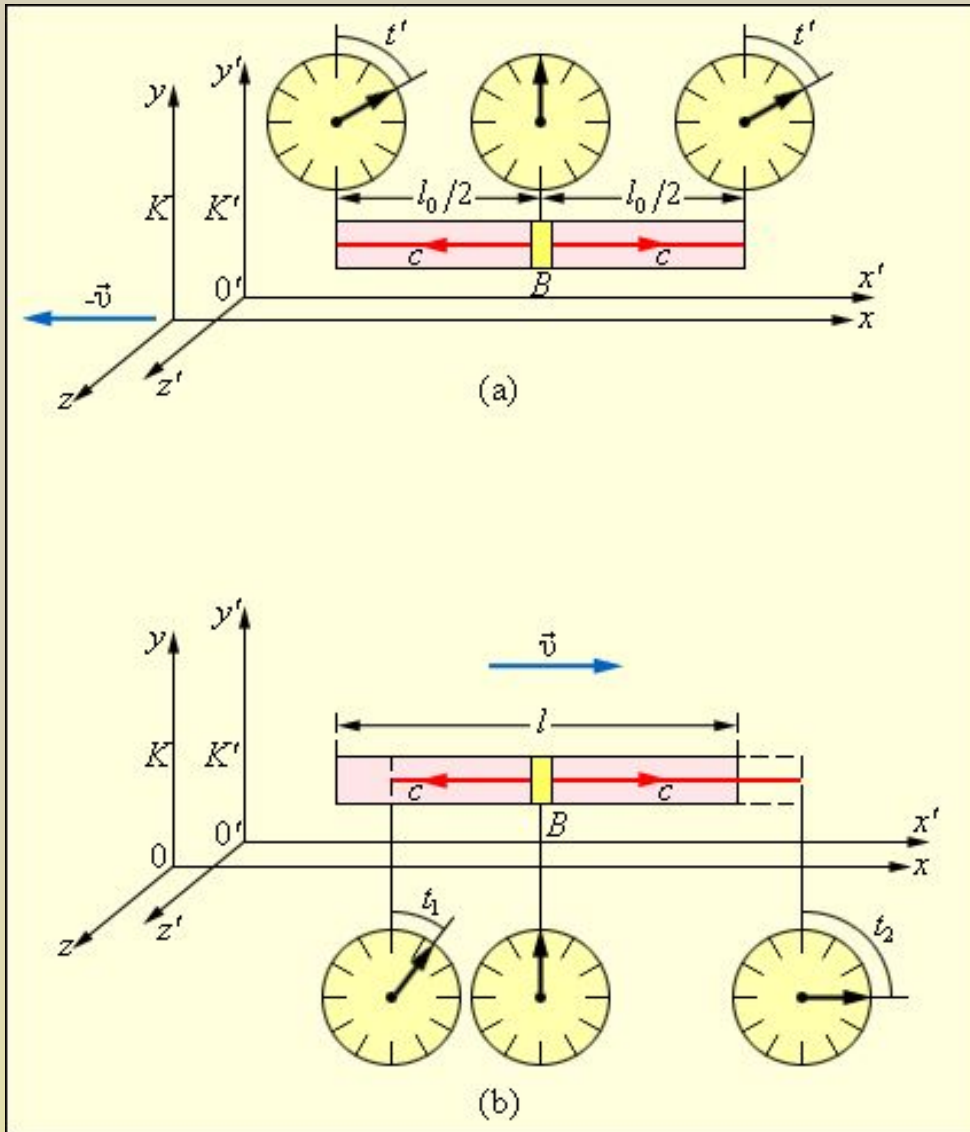
Пусть в (\cdot) x' системы K' происходит процесс длительностью $\tau = t'_2 - t'_1$ (собственное время), где t'_1 и t'_2 показания часов в K' в начале и в конце процесса, тогда длительность этого процесса в системе K

$$\beta = v / c.$$

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

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

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.

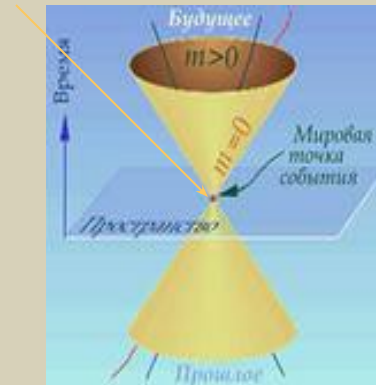
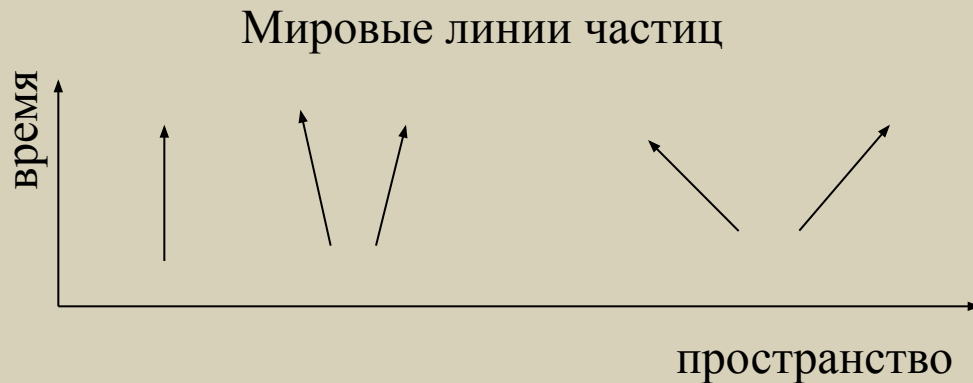
**Полная энергия тела равна
произведению его
релятивистской массы на
квадрат скорости света**

$$E = mc^2$$

**ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ МАССЫ И
ЭНЕРГИИ**

**Реакция аннигиляции: $e^+ + e^- = 2\gamma$
 $E = m_e c^2 = h\nu$**

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.

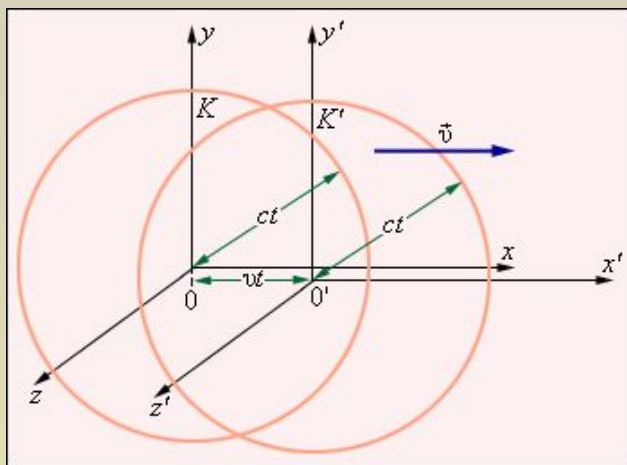
Пространственно-временной интервал – отражает абсолютный характер пространственно - временных

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

связей

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

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



$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2 \quad S = 0$$

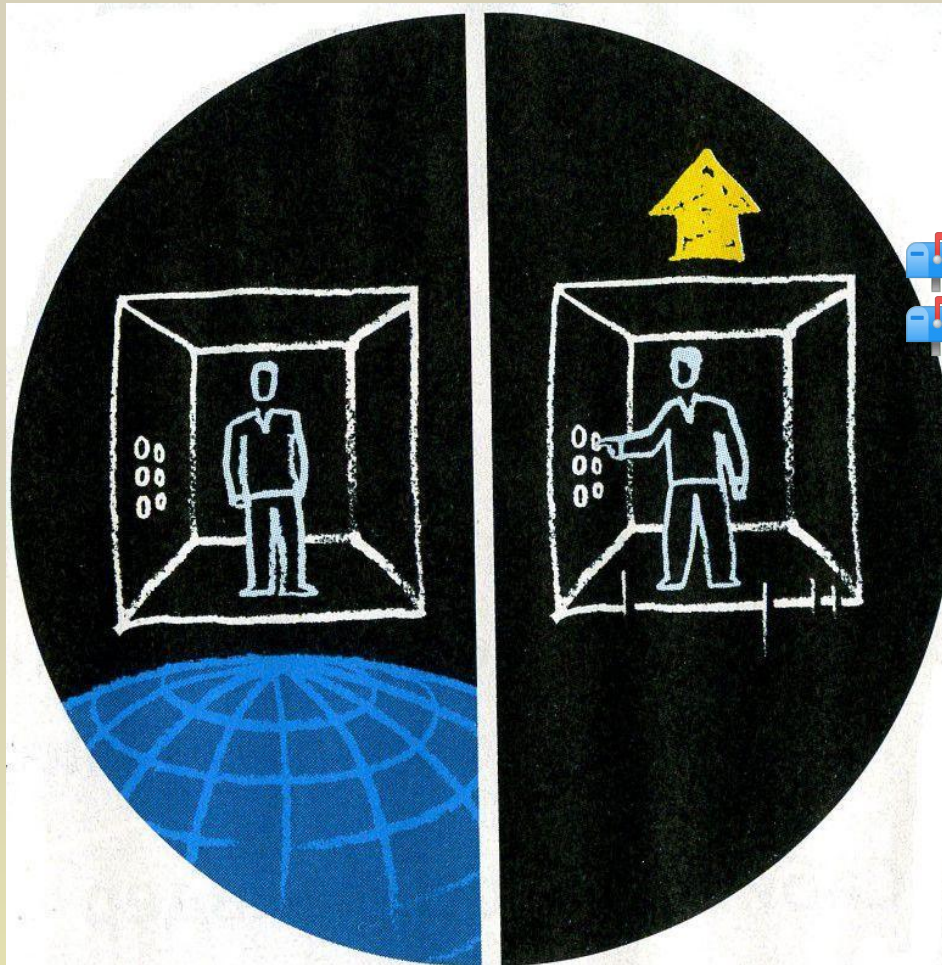
$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2 \quad S' = 0$$

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

ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ



Общая теория относительности (ОТО) – 1915г.



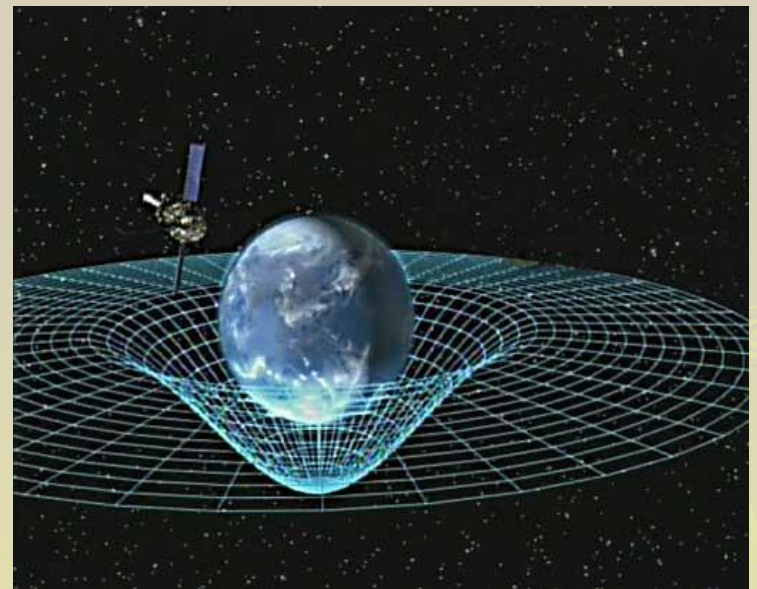
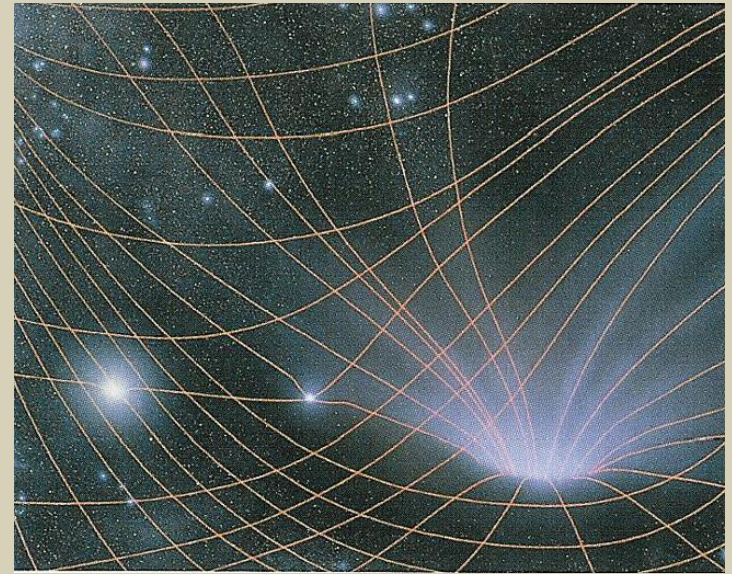
Мысленный эксперимент
Эйнштейна-

«лифт без окна»:

человек не сможет сказать,
находится ли лифт в состоянии
покоя в гравитационном поле Z .
или же движется с постоянным
ускорением.

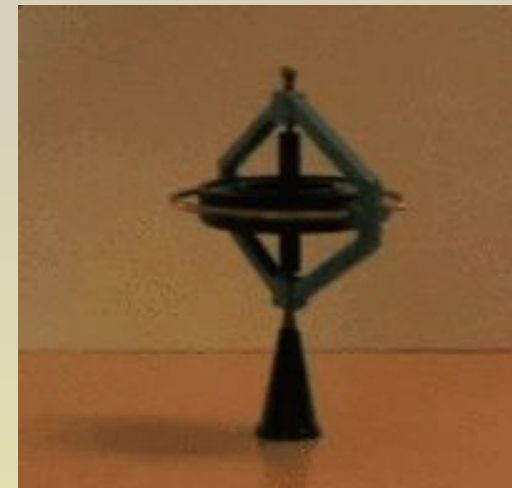
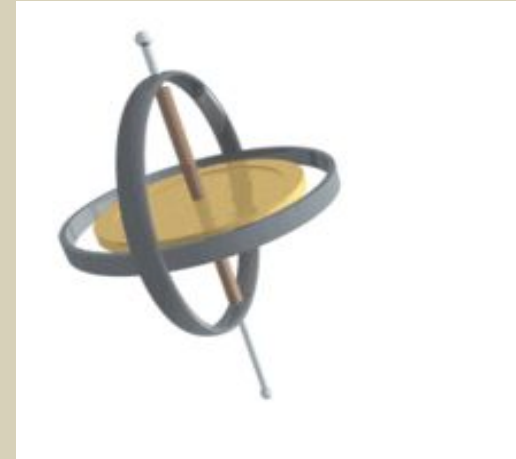
Вывод: законы ф. должны быть
одинаковы в обеих ситуациях -
-принцип эквивалентности

- 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.



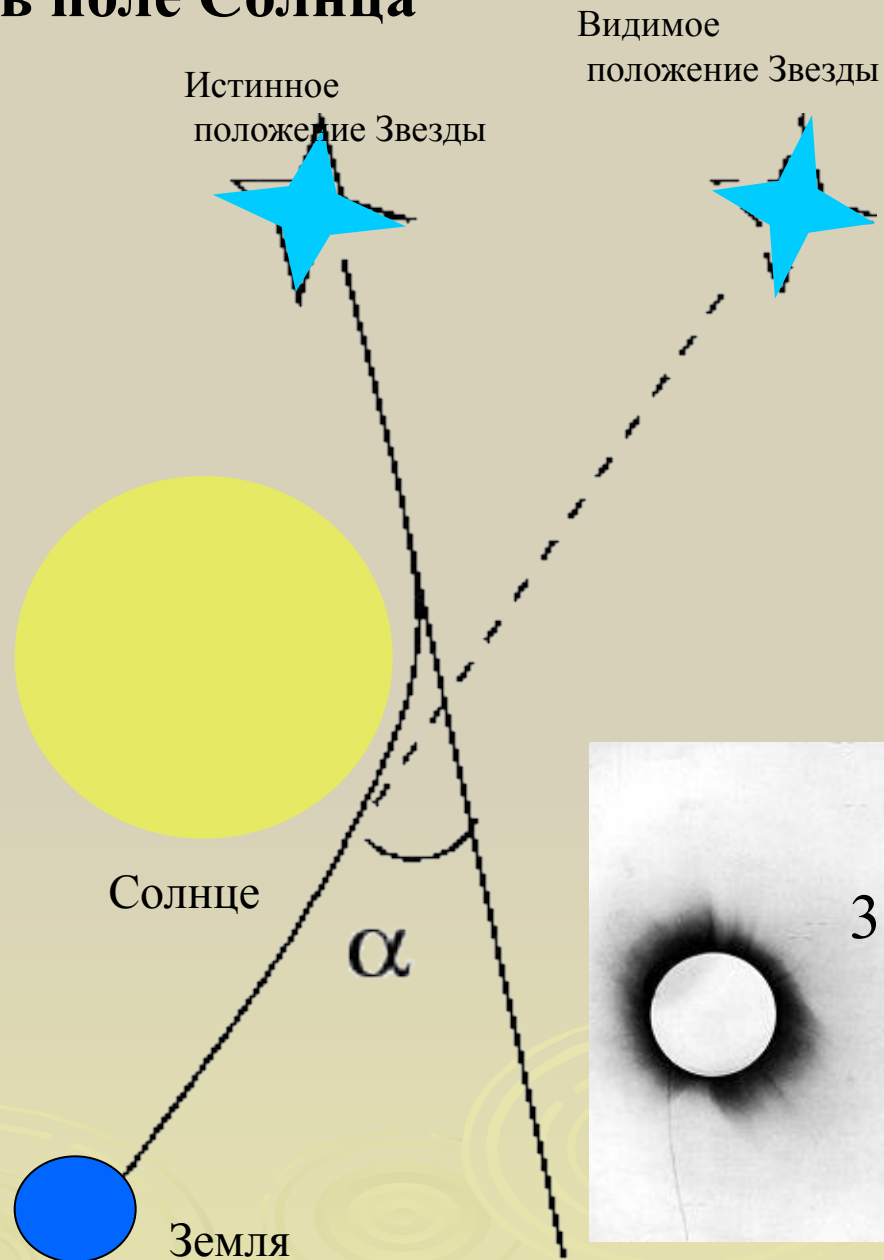
Экспериментальные подтверждения ОТО

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



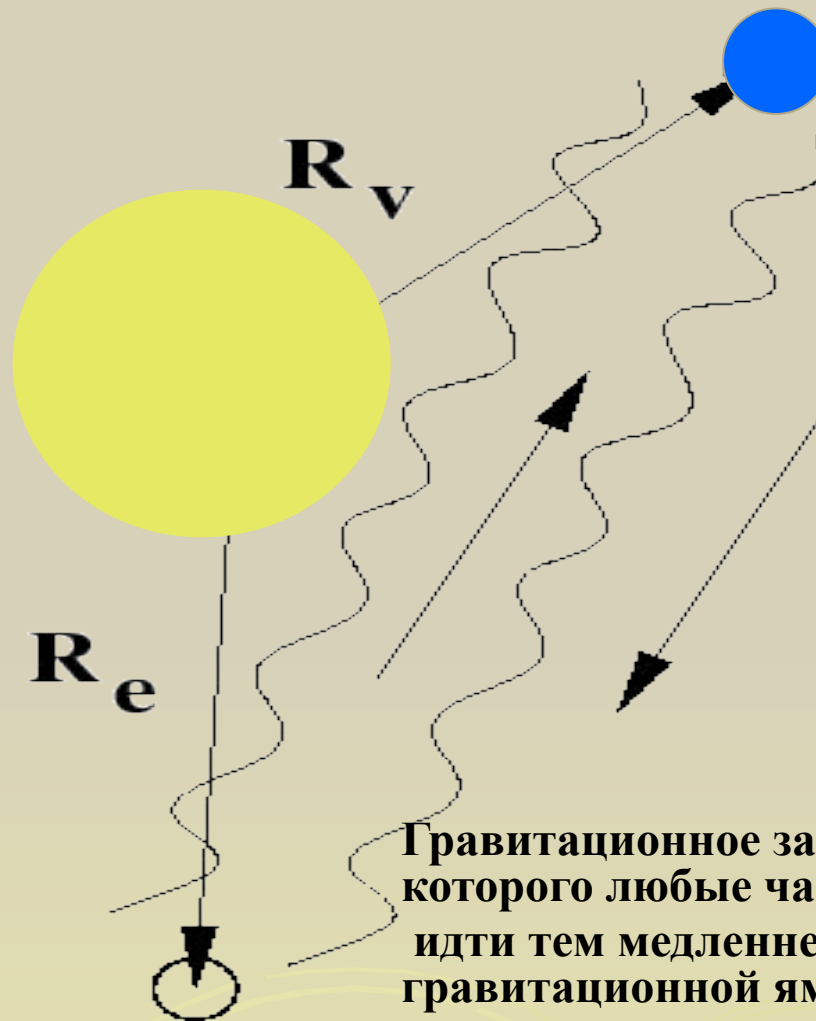
2. Отклонение луча света в поле Солнца

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.

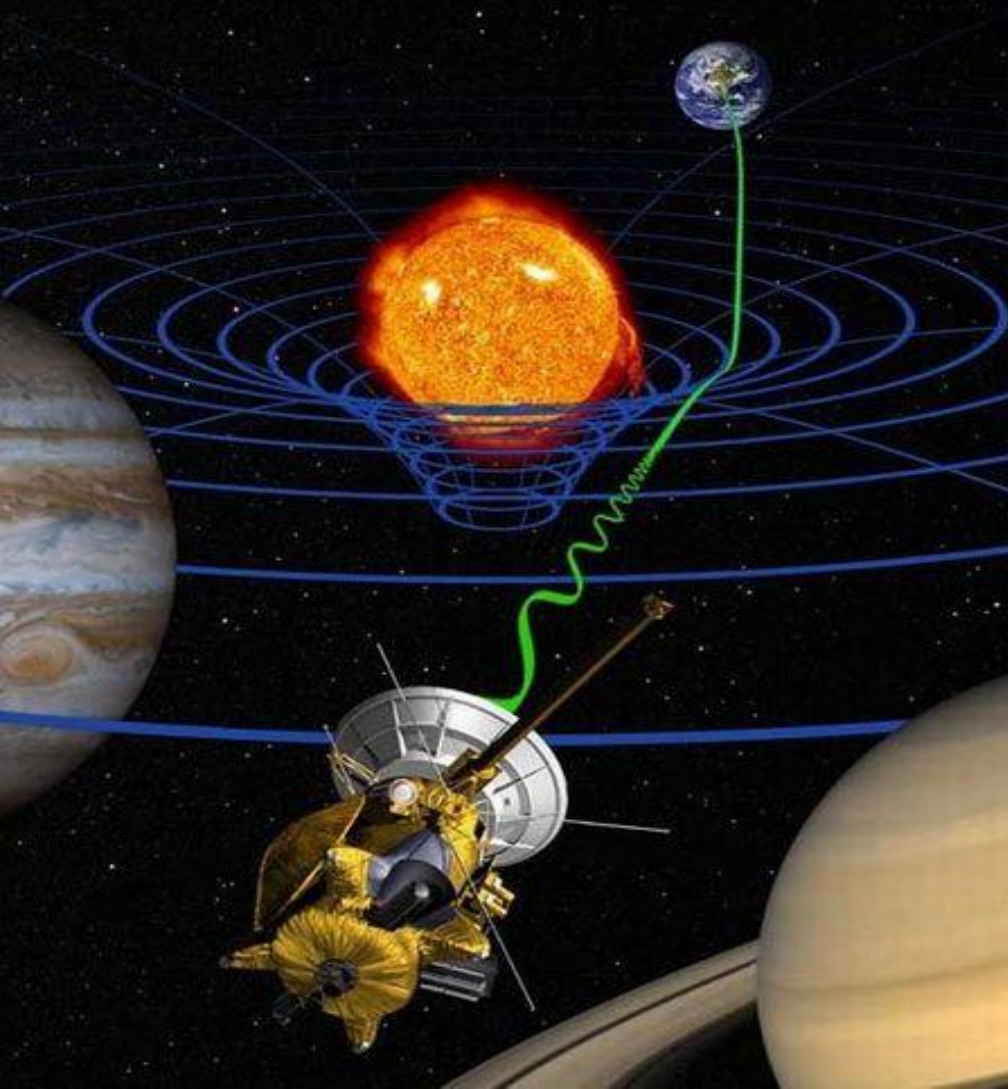


4. Запаздывание сигнала в поле Солнца

(радиолокационное прохождение сигнала).

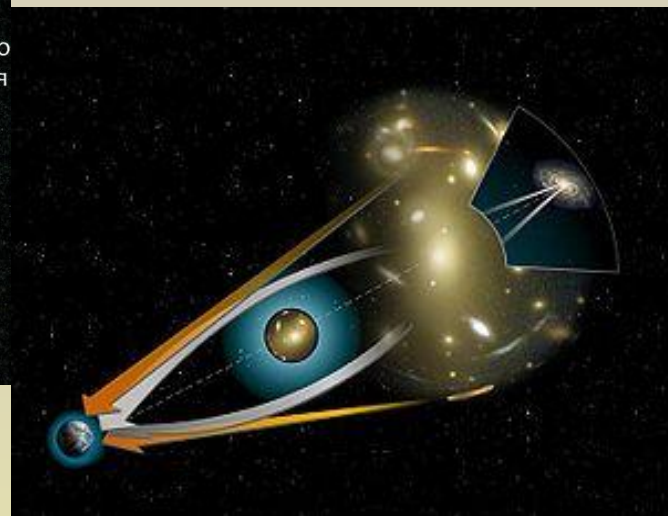
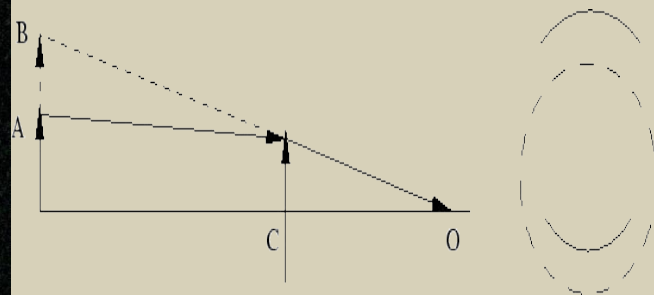
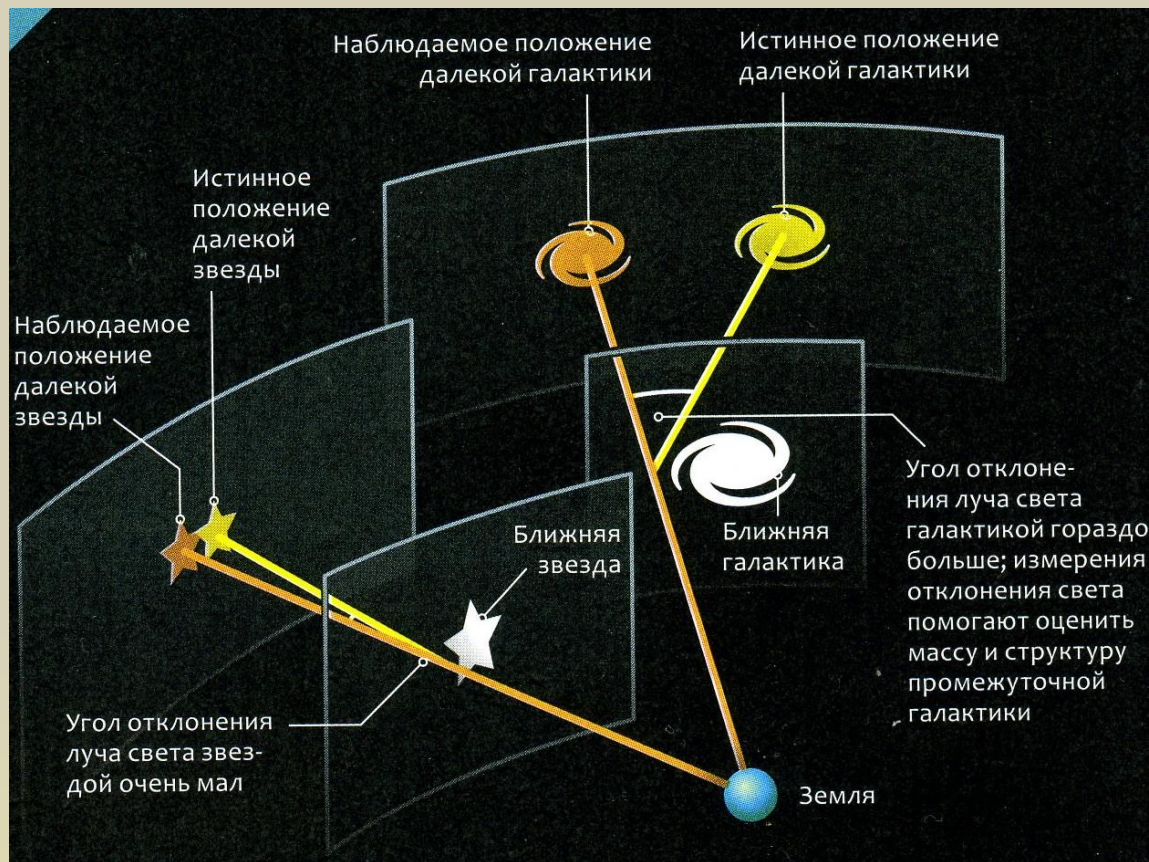


Гравитационное замедление времени, из-за которого любые часы будут идти тем медленнее, чем глубже в гравитационной яме (ближе к гравитирующему телу) они находятся.



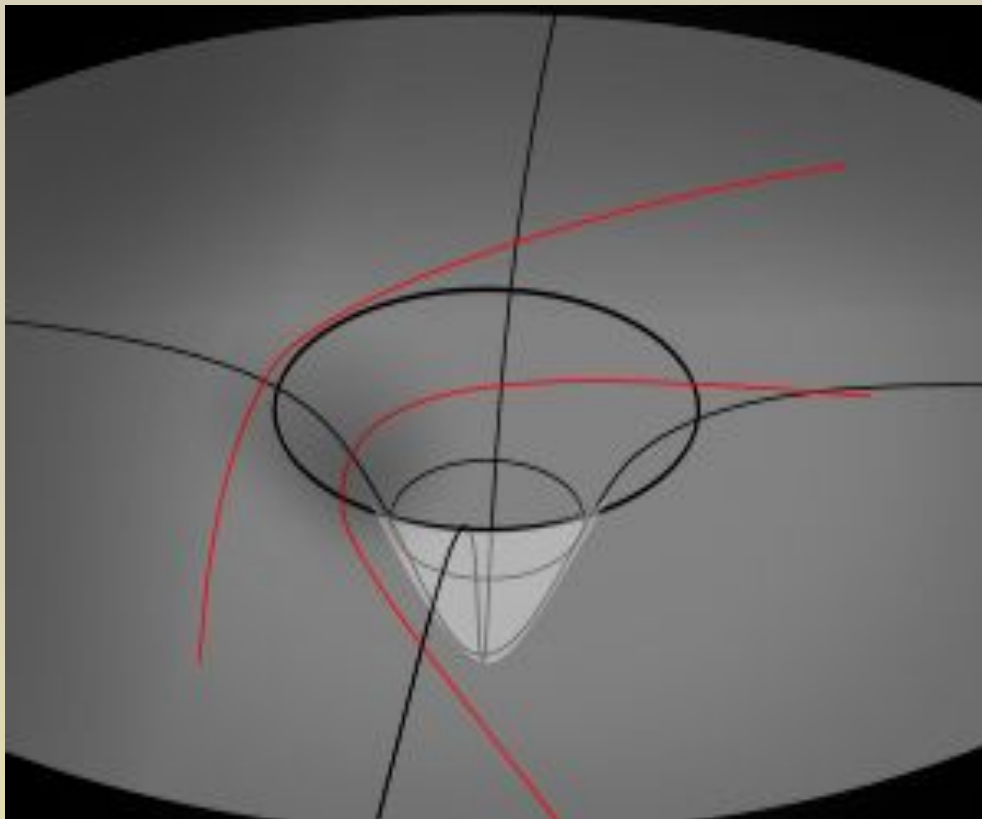
Зонд Cassini (2004 г.), двигавшийся к Сатурну, регистрировал задержку времени прохождения радиоволн, посланных им. Из-за кривизны, они проходили большее расстояние. Исследователей интересовала в первую очередь точность измерений.

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.

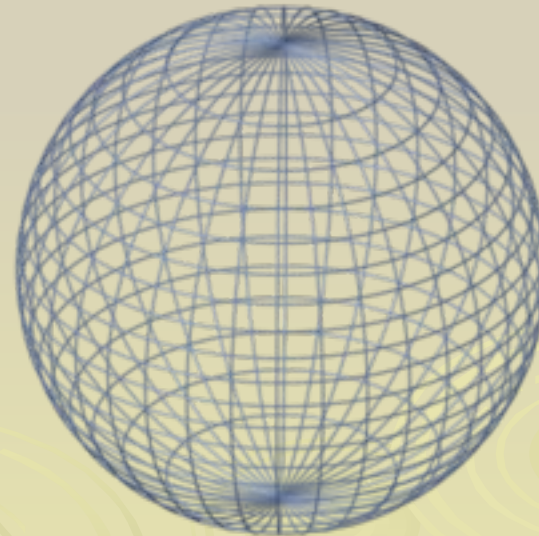
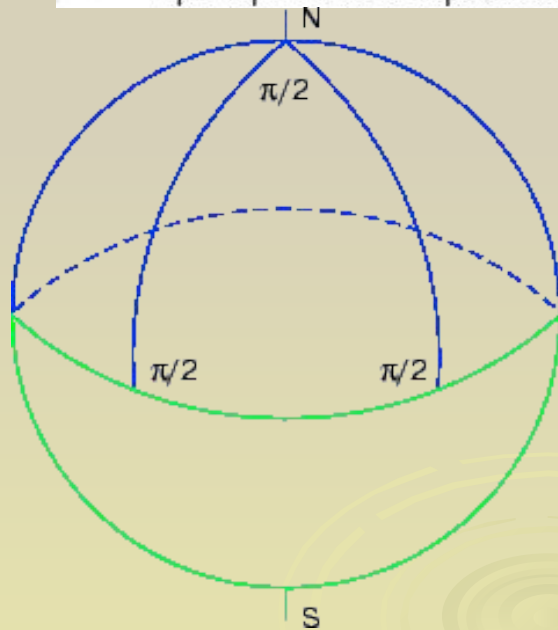


СТО – связывает воедино Пространство
и Время

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

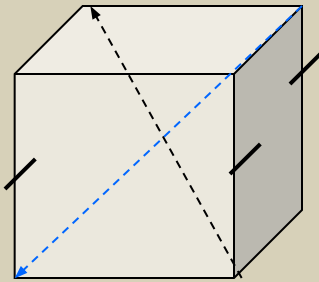
*Пространство «говорит» веществу как
ему двигаться, а вещество говорит
пространству - как ему искривляться*

Геометрия на плоскости и на поверхности сферы.



$$L < 2\pi R$$

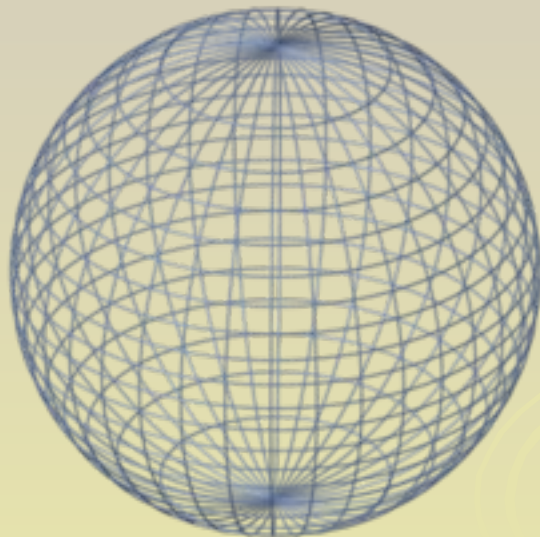
Вселенная является конечной (замкнутой) и безграничной



← Конечное и ограниченное пространство



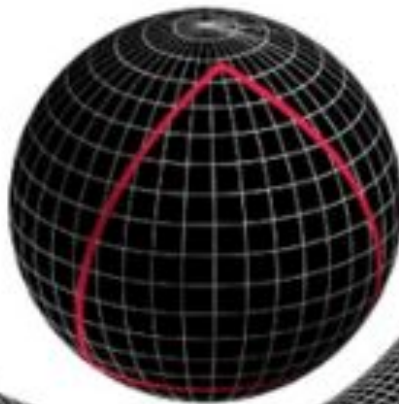
← Бесконечное и безграничное пространство
(бесконечная плоскость)



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

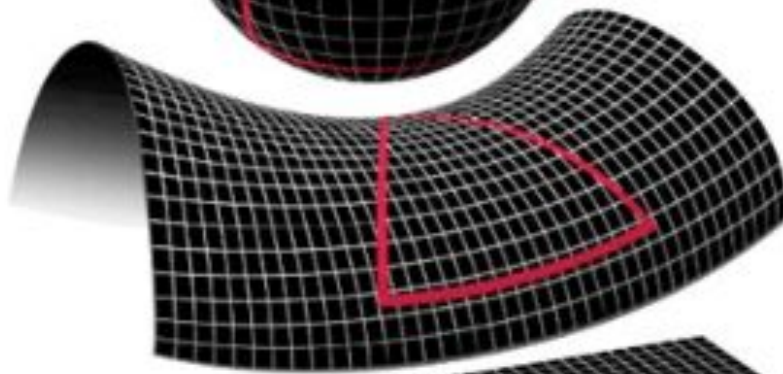
Замкнутая, открытая и плоская Вселенная

$\Omega_0 > 1$



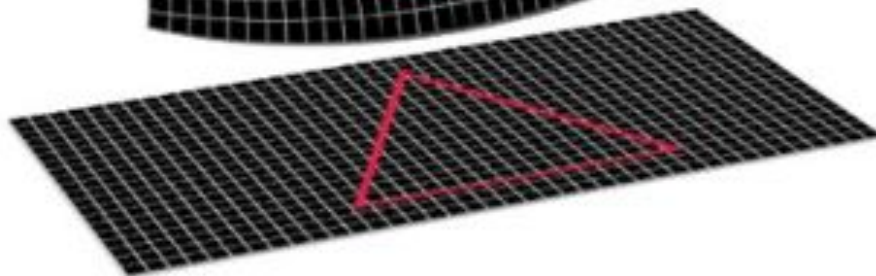
Замкнутая Вселенная

$\Omega_0 < 1$



Открытая Вселенная

$\Omega_0 = 1$



Плоская Вселенная

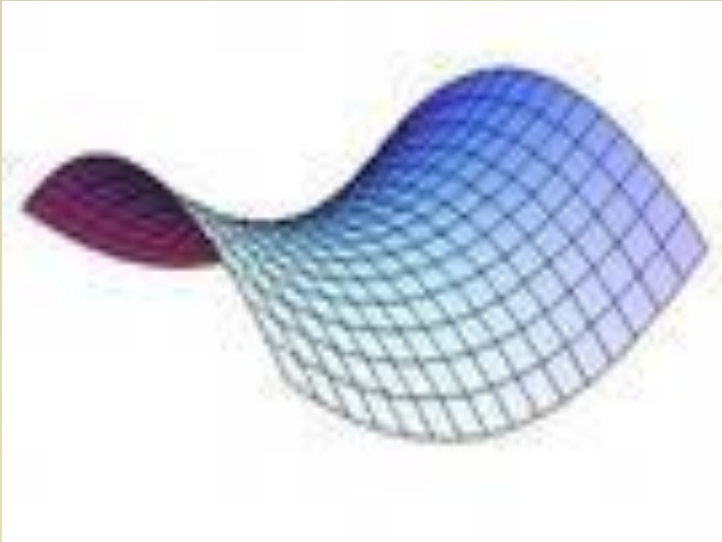
Пространство де Ситтера с полож.кривизной



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

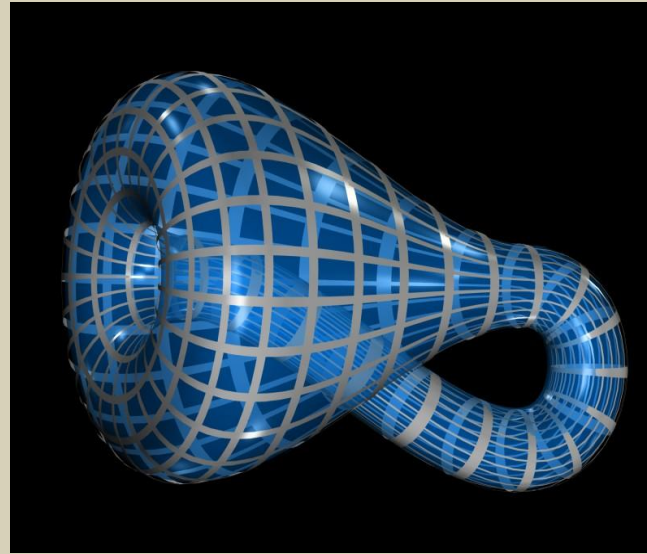
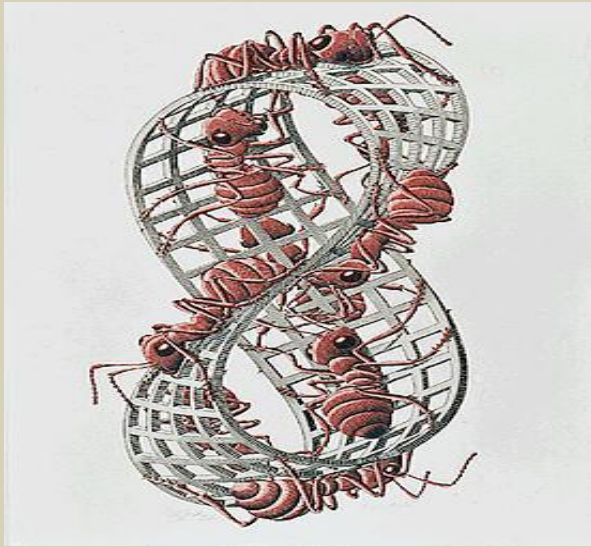


Анти-де Ситтеровское пр-во (АДС) с отр.кривизной

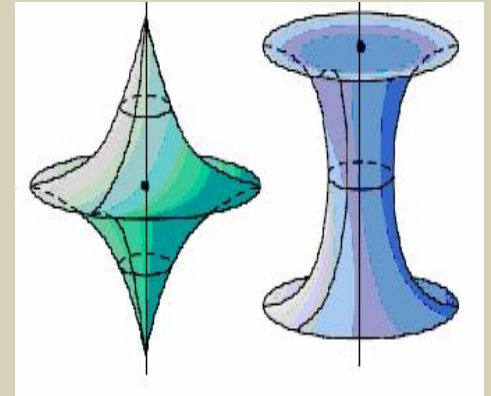


Пространство с постоянной отр. кривизной-гиперболическое пространство

Лента Мёбиуса, бутылка Клейна, волчок и катушка



Миндинга





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.

□