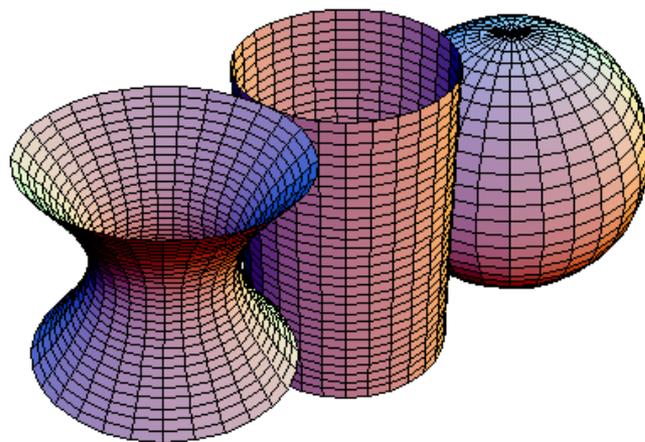
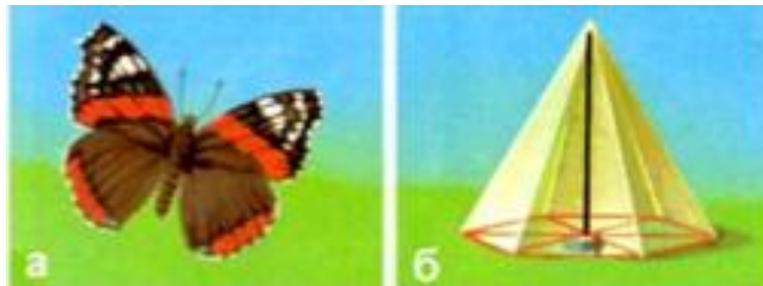


Симметрия, пространство, время.



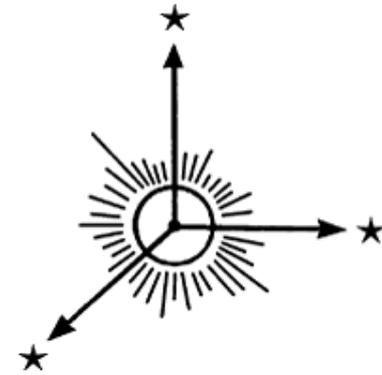
- **Симметрия** – это **инвариантность** относительно тех или иных преобразований.
- **Инвариантность** - это **неизменность** физических величин или свойств природных объектов при переходе от одной системы отсчета к другой.



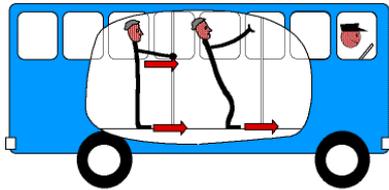
Системы отсчета (координат)

- **Инерциальная**
(Галилеевская)
система отсчета

- Система, которая либо **покоится**, либо движется **прямолинейно** и **равномерно** относительно какой-то другой системы, неподвижной или движущейся прямолинейно и с постоянной скоростью.



- **Неинерциальные системы**



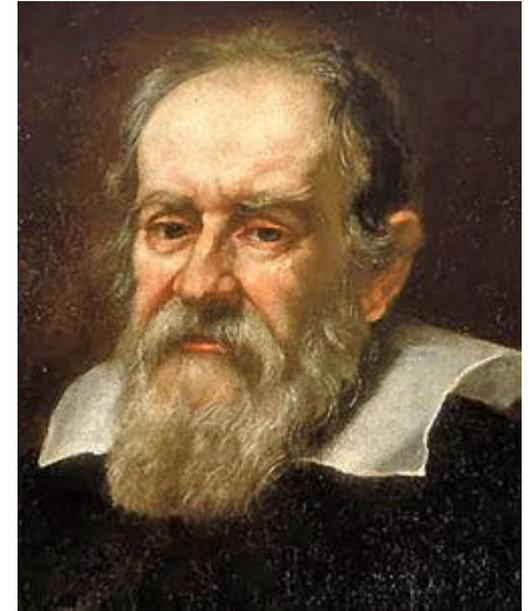
- Системы, движущиеся с **ускорением** или **замедлением**.

Наилучший пример инерциальной системы

- система отсчета с началом в центре масс Солнечной системы и с осями (x, y, z) направленными на находящиеся в дали три звезды.

- **Принцип относительности
Галилея:**

В инерциальной системе отсчета никакими опытами нельзя установить, покоится ли она или движется равномерно и прямолинейно.



Простейшие симметрии:

- однородность - одинаковые свойства **во всех точках**;
- изотропность - одинаковые свойства **во всех направлениях**.

Виды симметрии

1. Геометрические (внешние) симметрии.

- однородность пространства
- однородность времени,
- изотропность пространства и т.д.

2. Динамические симметрии (внутренние)

- симметрии электрического заряда,
- симметрии спина и т.п.

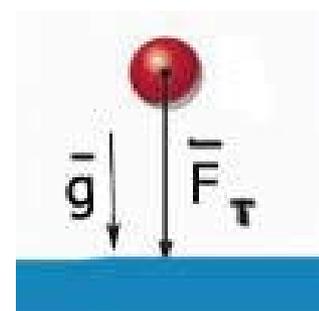
3. Калибровочные симметрии - связаны с инвариантностью относительно масштабных преобразований.

Геометрические симметрии пространства и времени.

- **Однородность пространства** - при параллельном переносе в пространстве замкнутой системы тел как целого ее физические свойства и законы движения не изменяются, т.е. не зависят от **выбора положения начала координат** инерциальной системы отсчета.



- **Однородность времени** - инвариантность физических законов относительно **выбора начала** отсчета времени.



- **Изотропность пространства** - инвариантность физических законов относительно **выбора направления** осей координат системы отсчета, т.е. относительно ее поворотов в пространстве на любой угол.



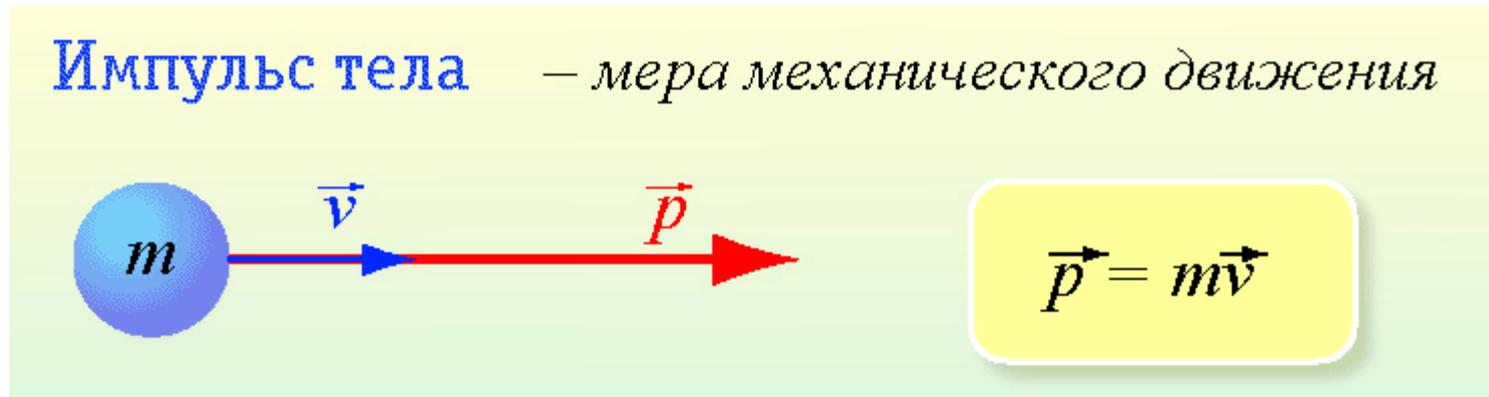
Законы сохранения – как следствие простейших симметрий.

- **Закон сохранения механической энергии.**
Является следствием однородности времени.
- В системе тел, между которыми действуют только консервативные силы, полная механическая энергия сохраняется, т.е. не изменяется со временем.

➤ Закон сохранения импульса.

Является следствием однородности пространства.

- **Импульс** - количество поступательного движения.



m - массы тела, \vec{v} - его скорость.

- **Импульс замкнутой системы сохраняется, т.е. не изменяется с течением времени.**

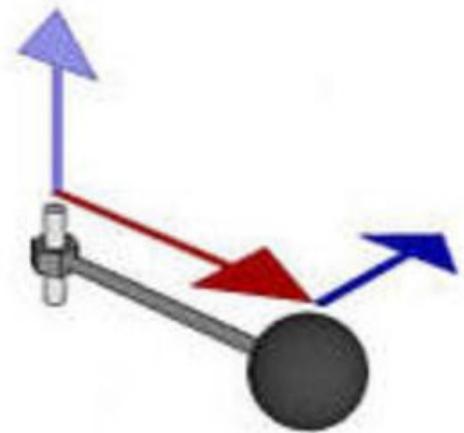
➤ Закон сохранения момента импульса.

Является следствием изотропности пространства.

- **Момент импульса** - количество вращательного движения.

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p},$$

\mathbf{p} – импульс, r - радиус вращения.



- **Момент импульса замкнутой системы сохраняется, т.е. не изменяется с течением времени.**

➤ **Теорема Нётер** как общее утверждение о взаимосвязи симметрий с законами сохранения.

- *Из однородности пространства и времени следуют законы сохранения соответственно импульса и энергии, а из изотропности пространства – закон сохранения момента импульса.*



Амáлия Э́мми Нётер
(1882-1935)
выдающийся
немецкий математик

- ✓ **Анизотропность времени** – это направленность от прошлого к будущему.
- Время течет от прошлого через настоящее к будущему, отсюда **«стрелы времени»** – термодинамическая, космологическая, биологическая и др.



Сальвадор Дали
"Текущие часы"



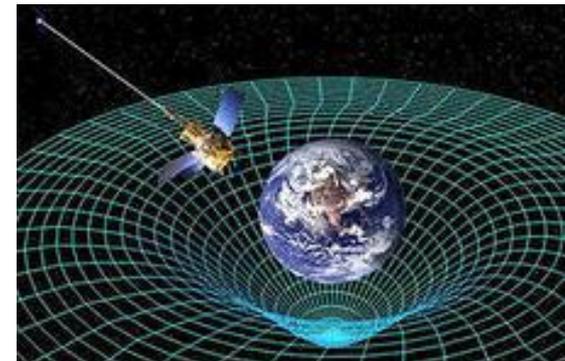


Пространство и время

Пространство и время – являются фундаментальными формами существования материи.

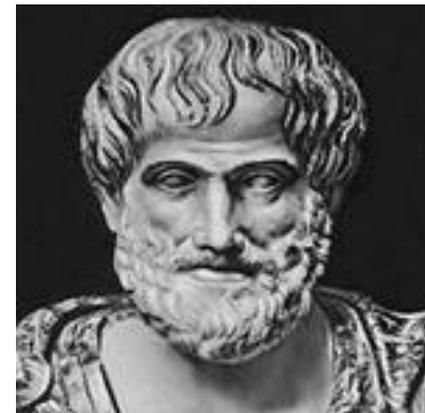
Две концепции о пространстве и времени:

- концепция Аристотеля-Лейбница
- концепция Демокрита-Ньютона



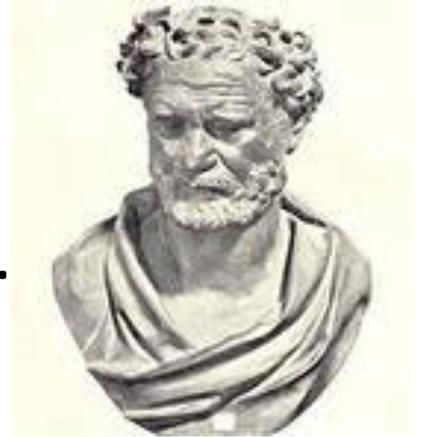
Концепции Аристотеля-Лейбница

- пространство - категория места, а время - мера движения.
- пространство и время не могут существовать вне материи и процессов, происходящих в ней (Лейбниц)



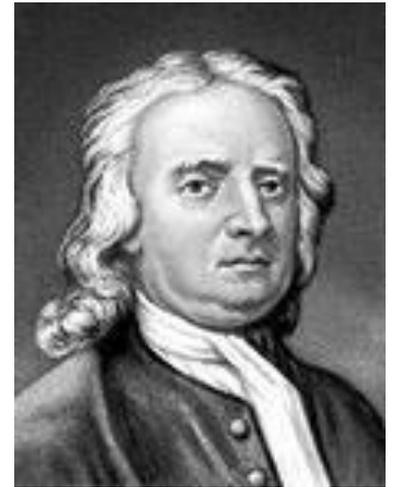
Концепция Демокрита-Ньютона

- **пространство** - некоторая пустота, не связанная с материальными предметами.
- **время** - самостоятельная сущность, не связанная с материей и пространством.



Два типа пространства и времени Ньютон:

- абсолютные (истинные, математические)
- и относительные (кажущиеся, обыденные).

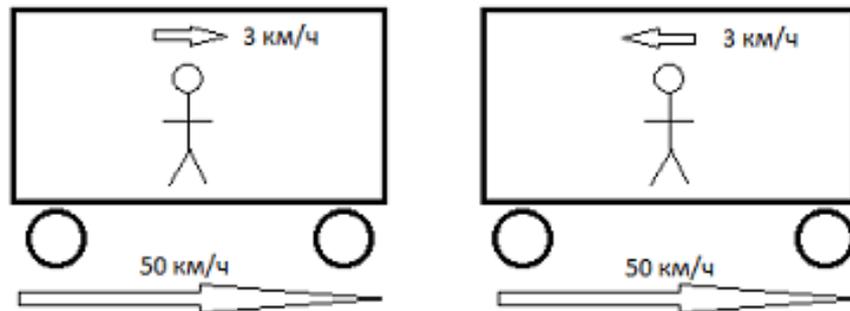


Пространство и время Ньютона

- являются **абсолютными**.
- Они, вместе с материей, представляют собой **инвариантные** самостоятельные сущности, которые не зависят ни друг от друга, ни от находящихся в них материальных объектов и протекающих в них процессов.

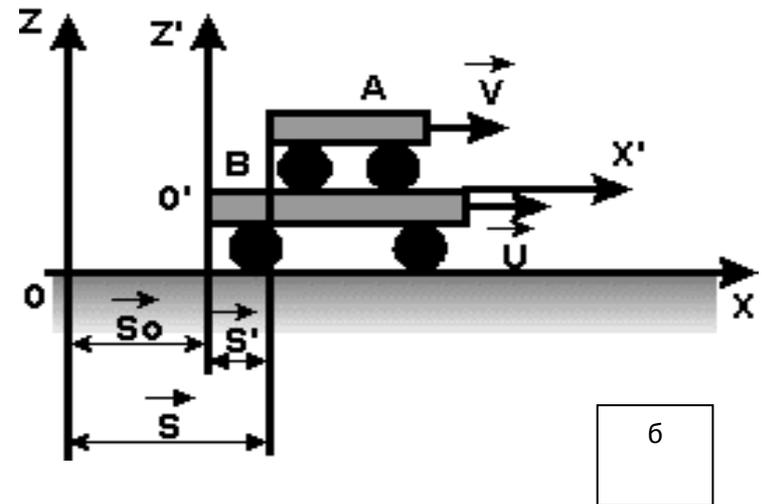
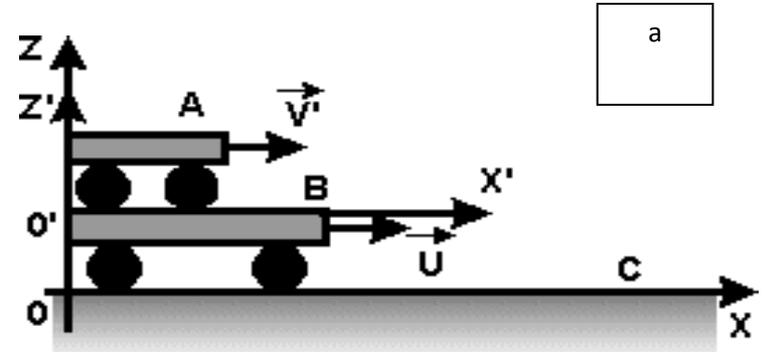
Закон сложения скоростей

- это закон вычисления скорости тела в неподвижной (инерциальной) системе координат по известным:
 - относительной скорости (скорость движения тела относительно подвижной системы координат);
 - переносной скорости (скорость движения подвижной системы координат относительно неподвижной системы координат).



Закон сложения скоростей

Скорость движения тела относительно неподвижной системы отсчета равна векторной сумме скорости этого тела относительно подвижной системы отсчета и скорости самой подвижной системы отсчета относительно неподвижной системы.

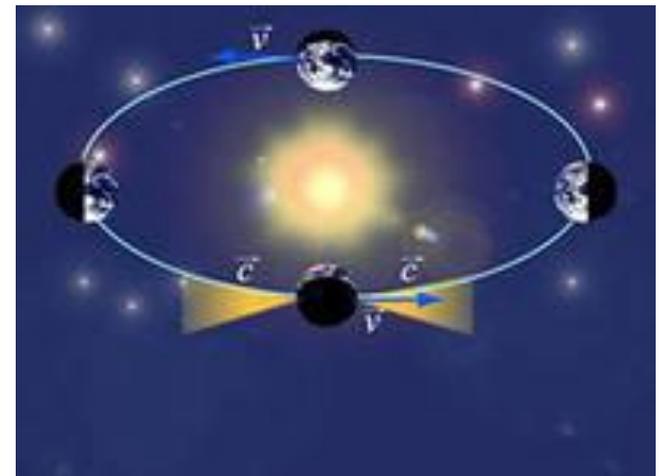


Опыты Майкельсона-Морли

- **Цель опыта:** измерить зависимость скорости света от движения Земли относительно эфира (от направления).
- **Мировой эфир** – это предполагавшаяся ранее сплошная универсальная ненаблюдаемая среда, заполняющая всё мировое пространство и являющаяся абсолютной системой координат.

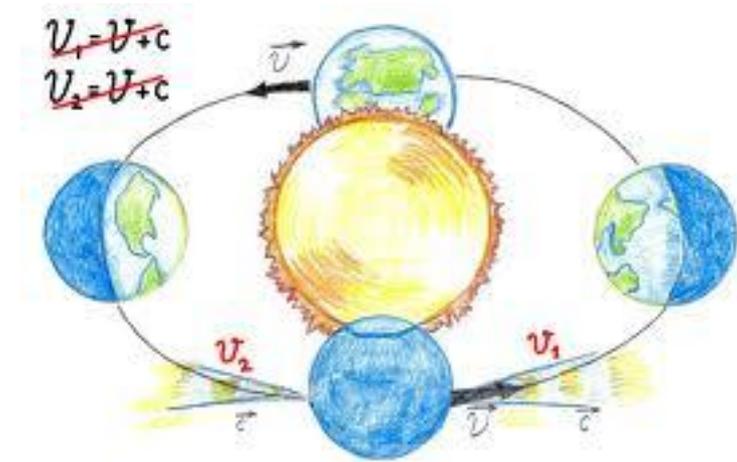


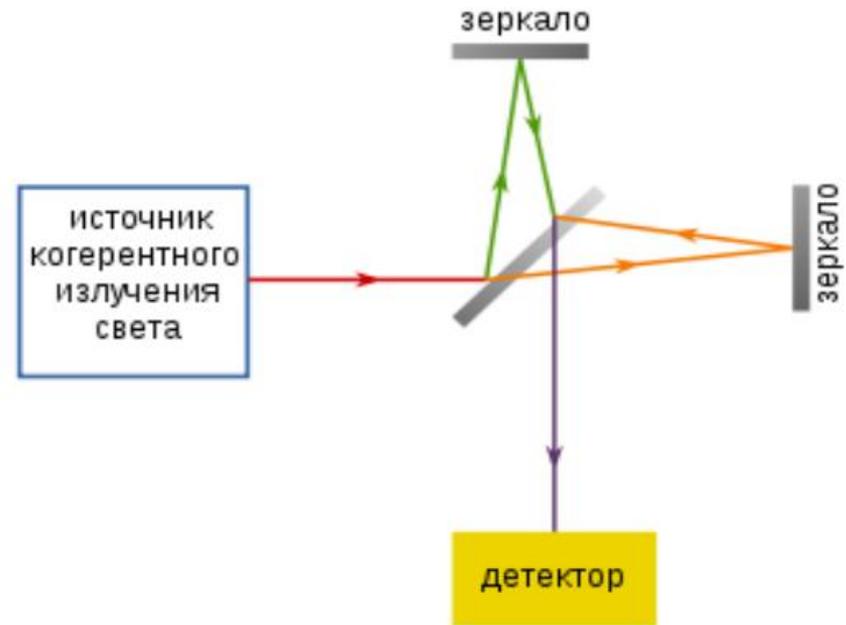
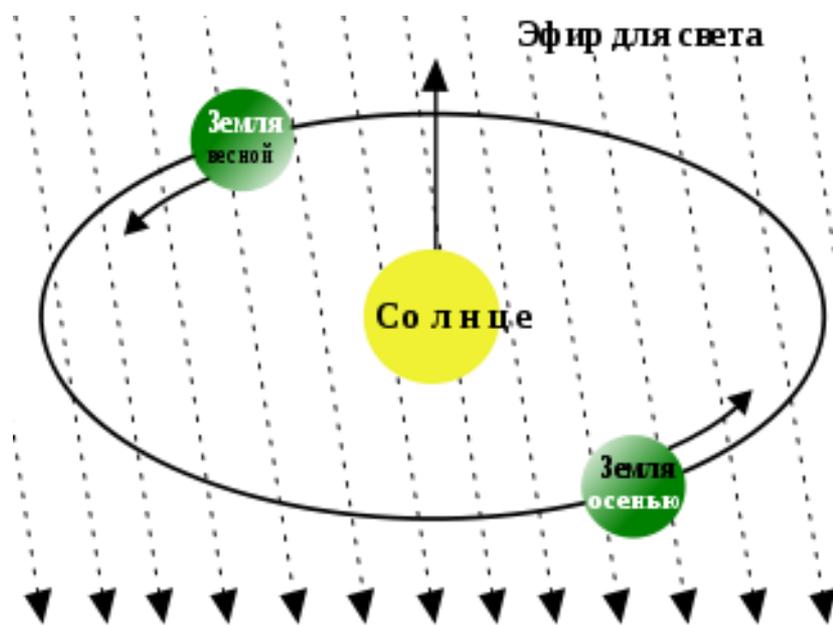
Альберт Абрахам
Майкельсон
(1852-1931)
американский физик



- **Суть опыта Майкельсона-Морли:** если эфир существует, то Земля в своем движении в эфире, должна ощущать хоть и мало, но все же заметное на себе его влияние.

- **Идея опыта** состоит в сравнении прохождения светом двух путей, из которых один совпадает с направлением движения тела в эфире – горизонтальный путь, а другой ему перпендикулярен.





- результат опыта Майкельсона-Морли - **отрицателен.**

Преобразование Лоренца:

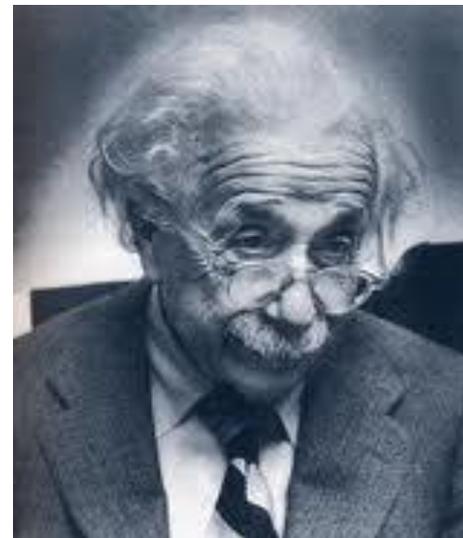
- это математические уравнения для вычисления реальных сокращений движущихся тел и промежутков времени между событиями, происходящими на этих телах, в зависимости от скорости движения.

Согласно преобразованию Лоренца

- длина движущегося тела в направлении его движения сокращается или остается постоянной в зависимости от скорости движения тела.
- время замедляется при движении тела со скоростью света.

СТО и ОТО Альберта Эйнштейна

- СТО применима ко всем системам, движущимся без ускорения, т.е. инерциальным системам,
- ОТО - для систем, движущихся с ускорением, т.е. неинерциальных систем.



(1879-1955)

Специальная теория относительности Эйнштейна (СТО).

- Применима для движений со скоростью, сравнимой со скоростью света. Это скорости мегамира.

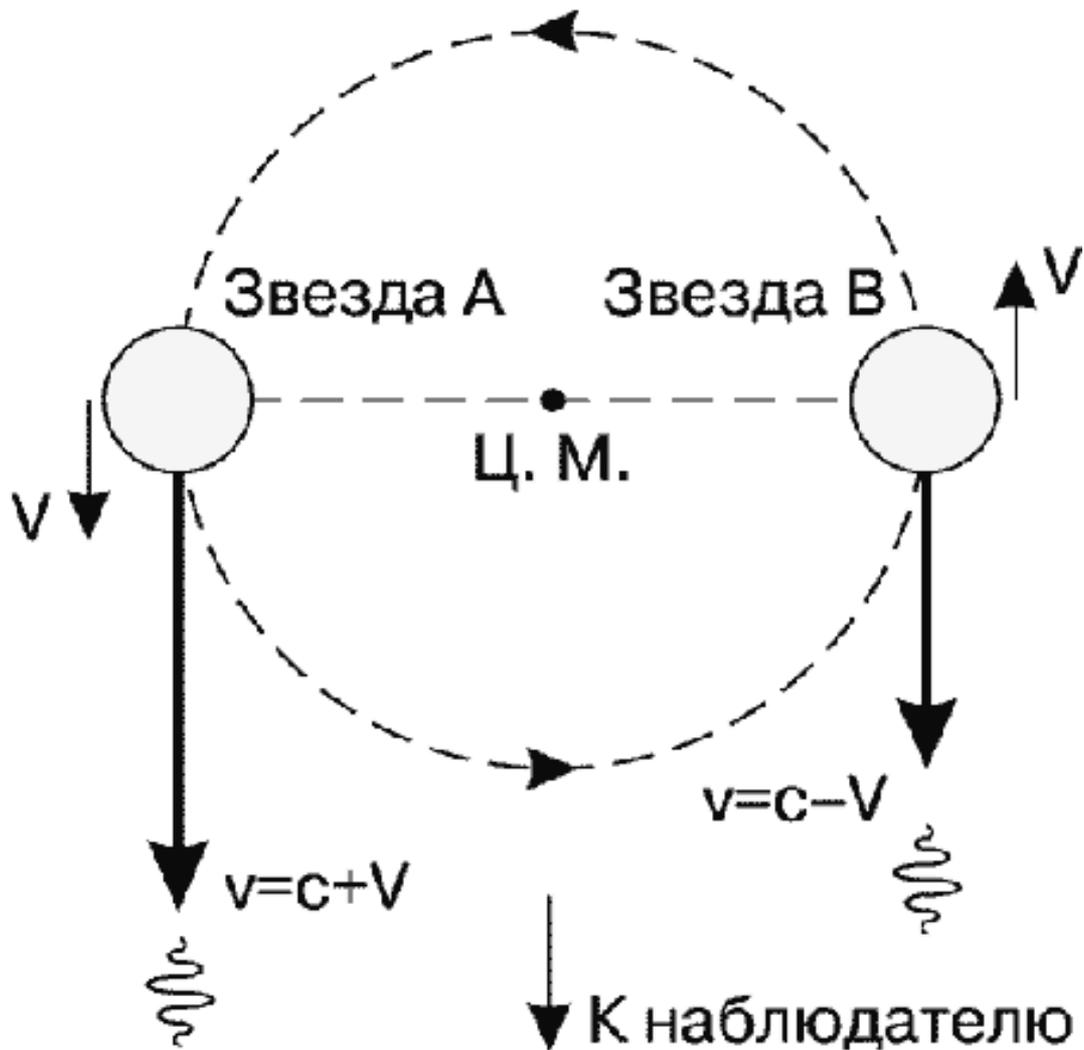
Постулаты СТО:

- **Первый постулат Эйнштейна – это расширенный принцип относительности:**
 - все физические законы природы одинаковы (инвариантны) относительно смены системы отсчета.

- **Второй постулат - Принцип постоянства (инвариантности) скорости света:**

→ скорость света во всех инерциальных системах отсчета – постоянна. Она самая большая и одинакова с точки зрения всех наблюдателей независимо от движения источника света относительно наблюдателя.

Астрономические наблюдения над двойными звездами.



- Эйнштейн не отвергает законы классической механики.
- Он показал, что обычное правило сложения скоростей для классического случая требует корректировки с учетом скорости света.

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

- **Т.о. СТО соответствует классической механике:** их предсказания совпадают при малых скоростях движения (гораздо меньше скорости света).

Согласно СТО

- пространственные и временная координата неразрывно связаны друг с другом, образуя единое четырёхмерное пространство – время (x, y, z и t – время) – пространственно-временной континуум.
- Это **четырёхмерный мир Германа Минковского.**

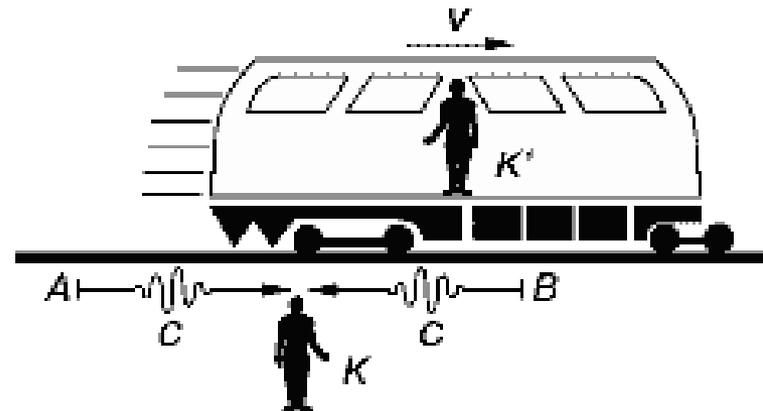
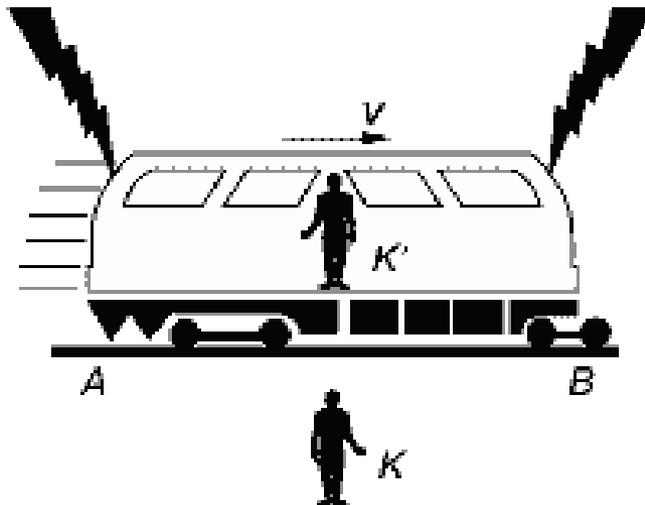
Герман Минковский
(1864-1909)
Немецкий математик

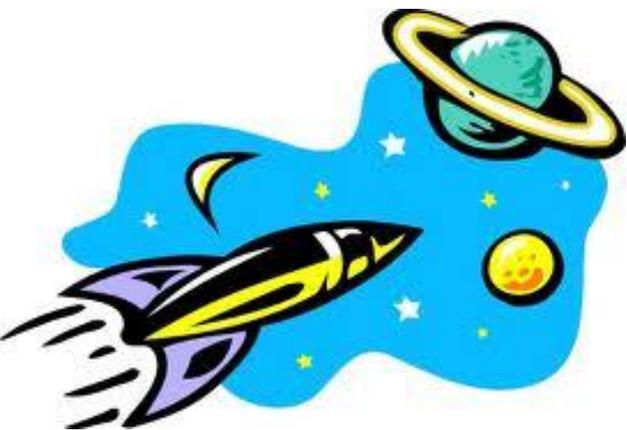


Основные релятивистские эффекты (следствия из постулатов СТО)

- изменения пространственно-временных характеристик тел, заметные на больших скоростях сравнимых со скоростью света.
- Относительная одновременность:** в мире нет одновременных событий.

«Поезд
Эйнштейна»





**«Сегодня в полдень пущена ракета.
Она летит куда скорее света. И
долетит она до цели в семь утра.
Вчера».**



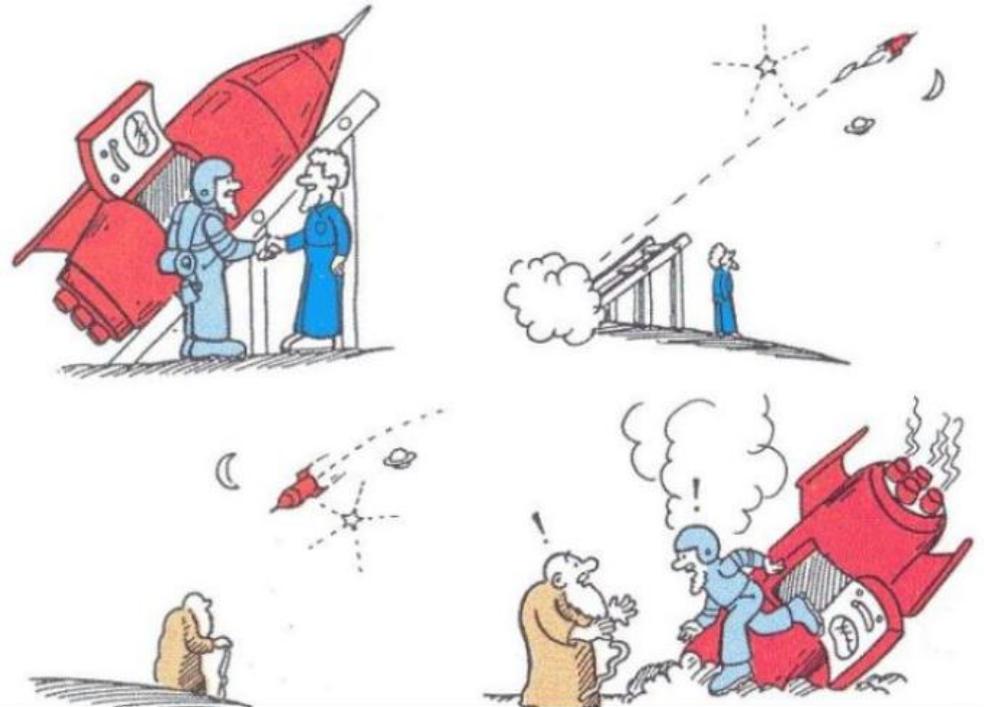
□ Сокращение длины и замедление течения времени.

Мысленный эксперимент «Парадокс близнецов» Эйнштейна.

$$l' = 10 \text{ свет.лет} \sqrt{1 - (0,99c)^2} = 1,4 \text{ свет.года.}$$

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

- формула
времени в
движущейся
системе



□ **Эквивалентность массы и энергии -**
увеличение массы быстро движущихся тел.

Чем ближе скорость тела к скорости света,
тем больше возрастает его масса.

$$E=mc^2$$

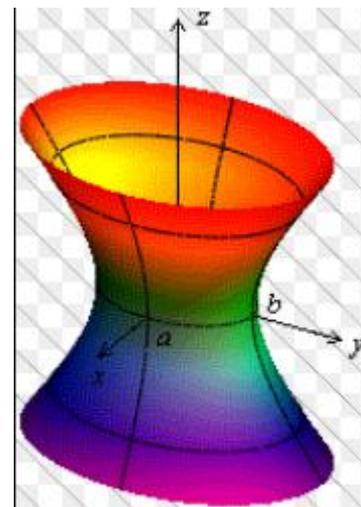
$$m=m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$$

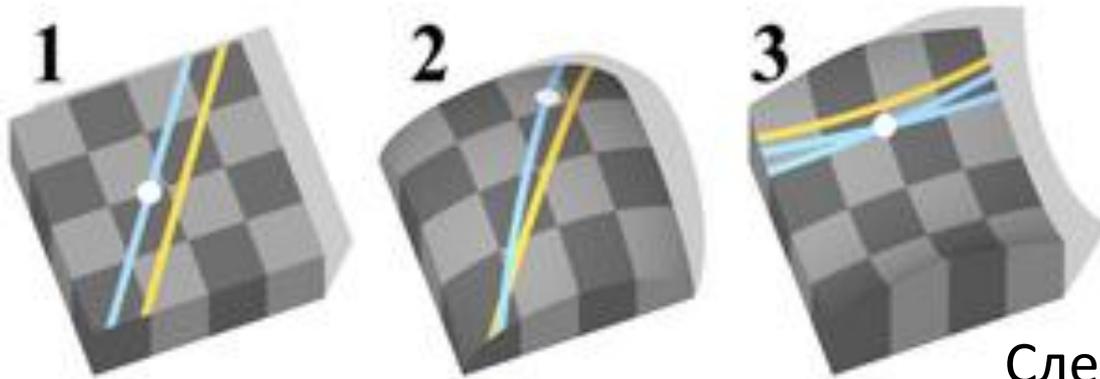
Неевклидова геометрия.

Гаусс, Лобачевский, Больяй, Риман.

- *Кривизна пространства* - величина, обратная величине радиуса окружности, касательной в точке, где измеряется кривизна линии, плоскости ($1/R$, где R – радиус окружности).

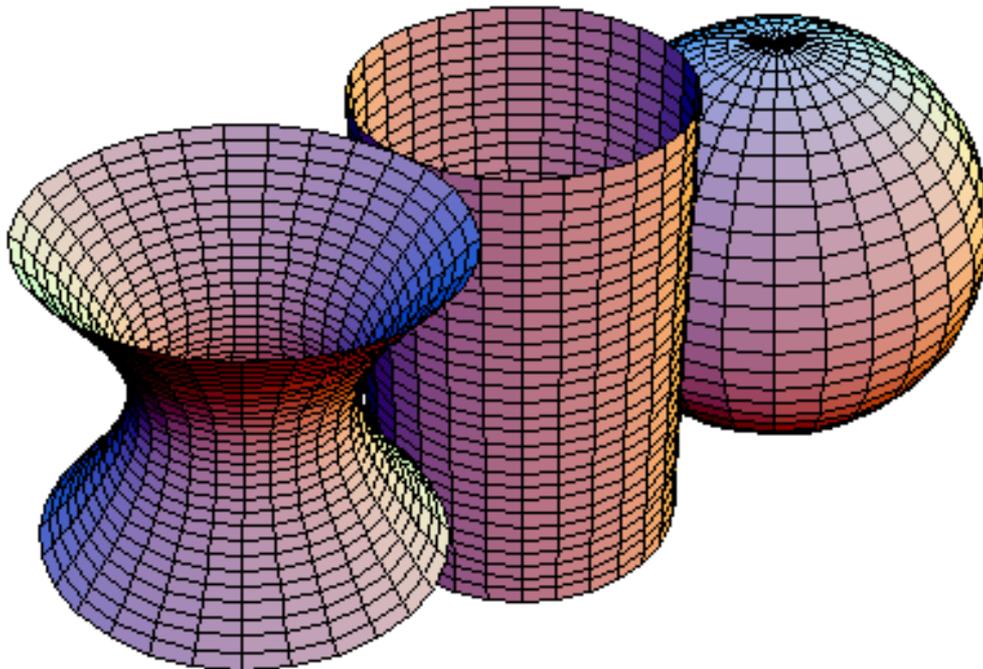
- Геометрия Евклида реализуется на поверхностях с постоянной нулевой гауссовой кривизной – т.е. на цилиндре.
- Лобачевского (гиперболическая геометрия) — с постоянной отрицательной – на гиперboloиде,
- геометрия Римана (эллиптическая геометрия или геометрия на сфере) — реализуется на поверхностях с постоянной положительной гауссовой.





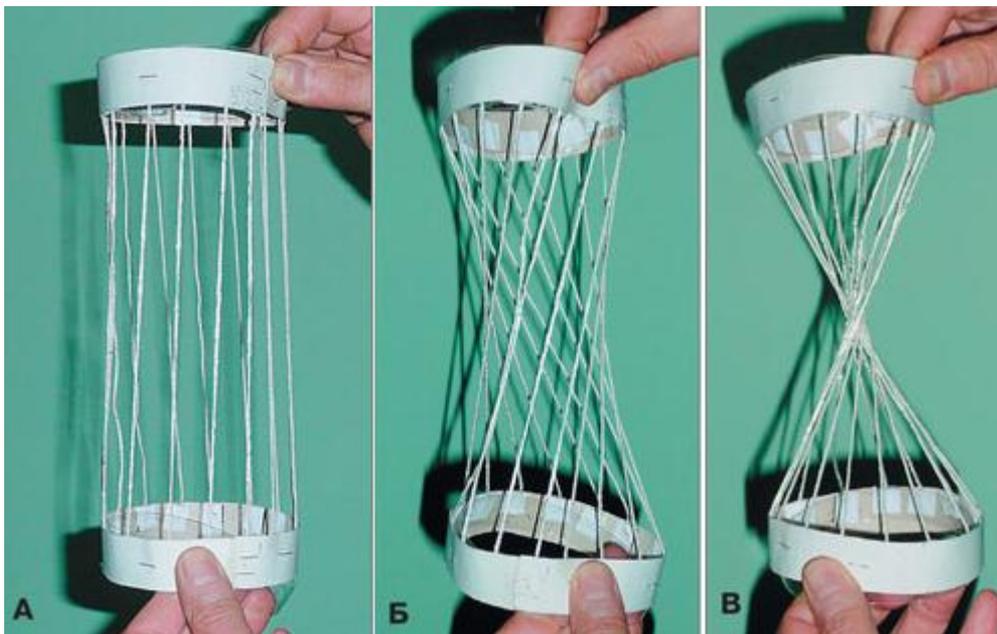
- (1) евклидова геометрия;
 (2) геометрия Римана;
 (3) геометрия Лобачевского

Слева направо:



- поверхность с отрицательной гауссовой кривизной (гиперболоид)- у Лобачевского,
- поверхность с нулевой гауссовой кривизной (цилиндр) – у Евклида,
- и поверхность с положительной гауссовой кривизной (сфера) – у Римана.

Гиперболоид



Бечёвки, соединяющие бумажные кольца (А) при повороте на небольшой угол образуют однополостный гиперболоид (Б). При дальнейшем повороте кольца бечёвки сойдутся вместе в точку, образуя конус, сечением которого была получена гипербола (В).

Подробнее см.: <http://www.nki.ru/archive/articles/23500/> (Наука и жизнь, Гипербола и гиперболоиды)

Гипербола (в переводе с греческого «преувеличение») — линия пересечения прямого кругового двуполостного конуса плоскостью, на которой не лежит его вершина.

Гипербола имеет две ветви, которые неограниченно приближаются к асимптотам — прямым, проходящим через начало координат. Уравнение гиперболы можно свести к «школьному» виду $y = 1/x$. Тогда её асимптотами станут служить оси координат.

Если гиперболу «закрутить» в пространстве вокруг оси абсцисс, возникнет трёхмерная поверхность — двуполостный гиперболоид. Поворот гиперболы вокруг оси ординат создаёт однополостный гиперболоид. Через каждую точку однополостного гиперболоида проходит пара прямых, целиком лежащих на его поверхности, — те самые асимптоты гиперболы, которые теперь оказались в трёхмерном пространстве. Наглядно в этом можно убедиться на несложной модели...

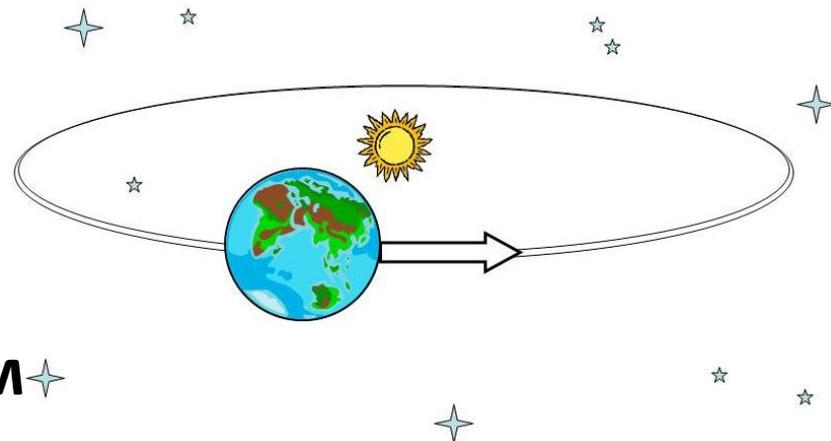
Общая теория относительности

Новая теорией гравитации (тяготения).

$$F_{\text{тяготения}} = m * g,$$

где m – масса, g – ускорение свободного падения $9,8\text{м/с}^2$

В системах отсчета все тела при равных начальных скоростях движутся одинаково, но не по прямым линиям, а искривленным.



Принципы или постулаты ОТО

- Первый постулат ОТО – Принцип относительности. Это распространение принципа относительности на неинерциальные системы отсчета:

Все законы физики должны иметь один и тот же вид не только в инерциальных системах, но и в неинерциальных системах отсчета, движущихся с ускорением или замедлением.

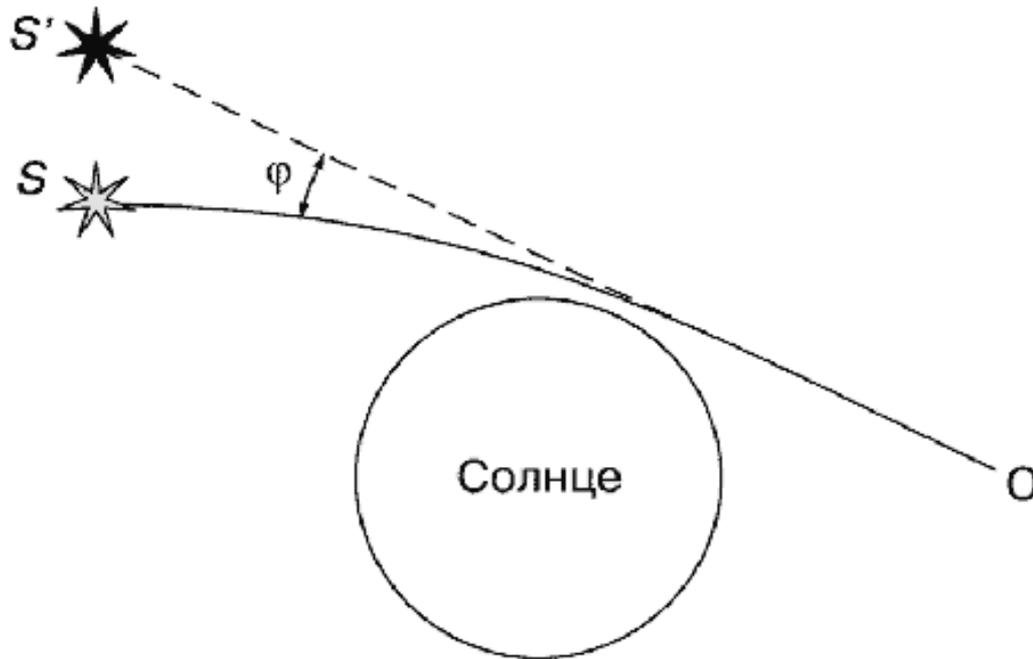
- Второй постулат ОТО Эйнштейна - принцип эквивалентности инертной (кинетической) и гравитационной (тяготеющая) масс.

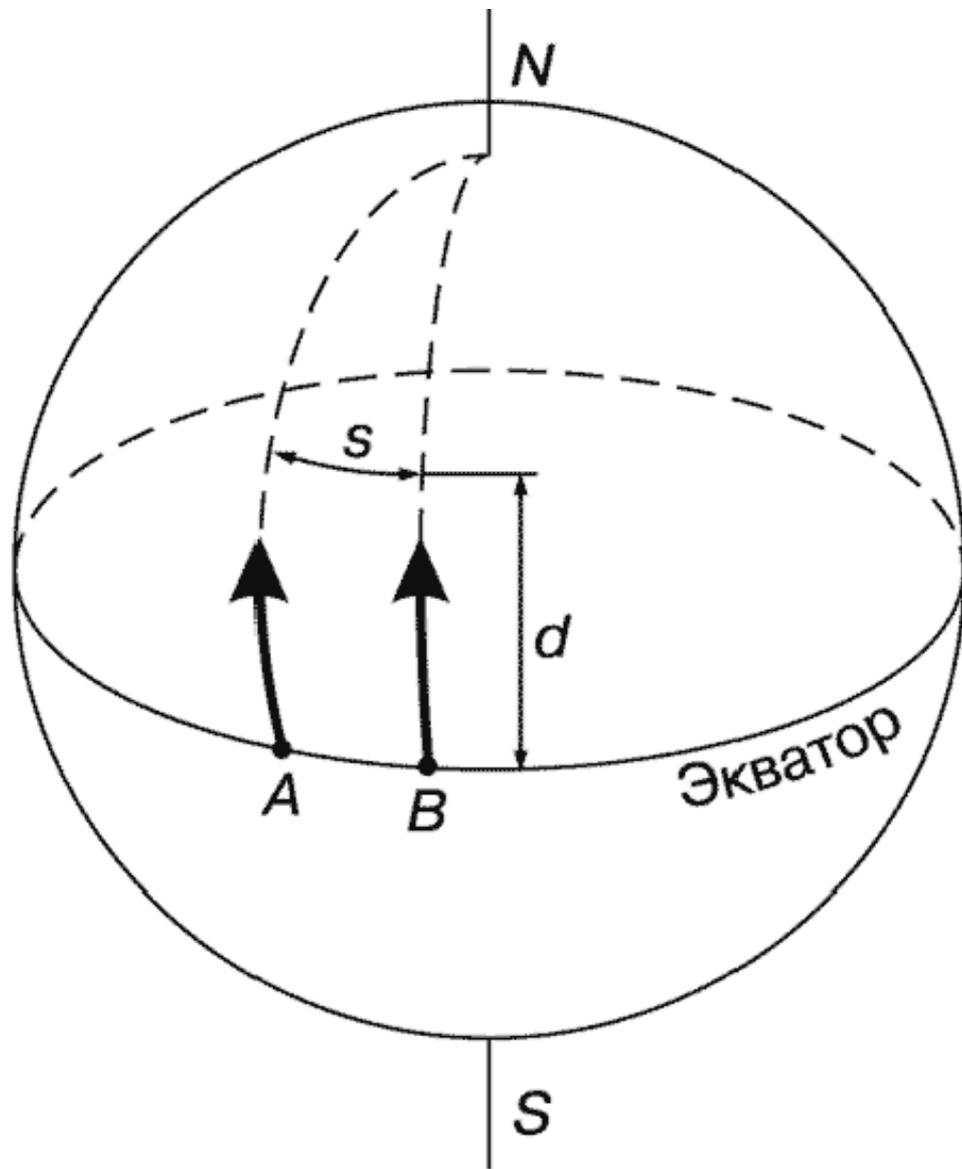
Ускоренное движение неотличимо никакими измерениями от покоя в гравитационном поле.



Эмпирические доказательства ОТО:

- Отклонение световых лучей вблизи Солнца.



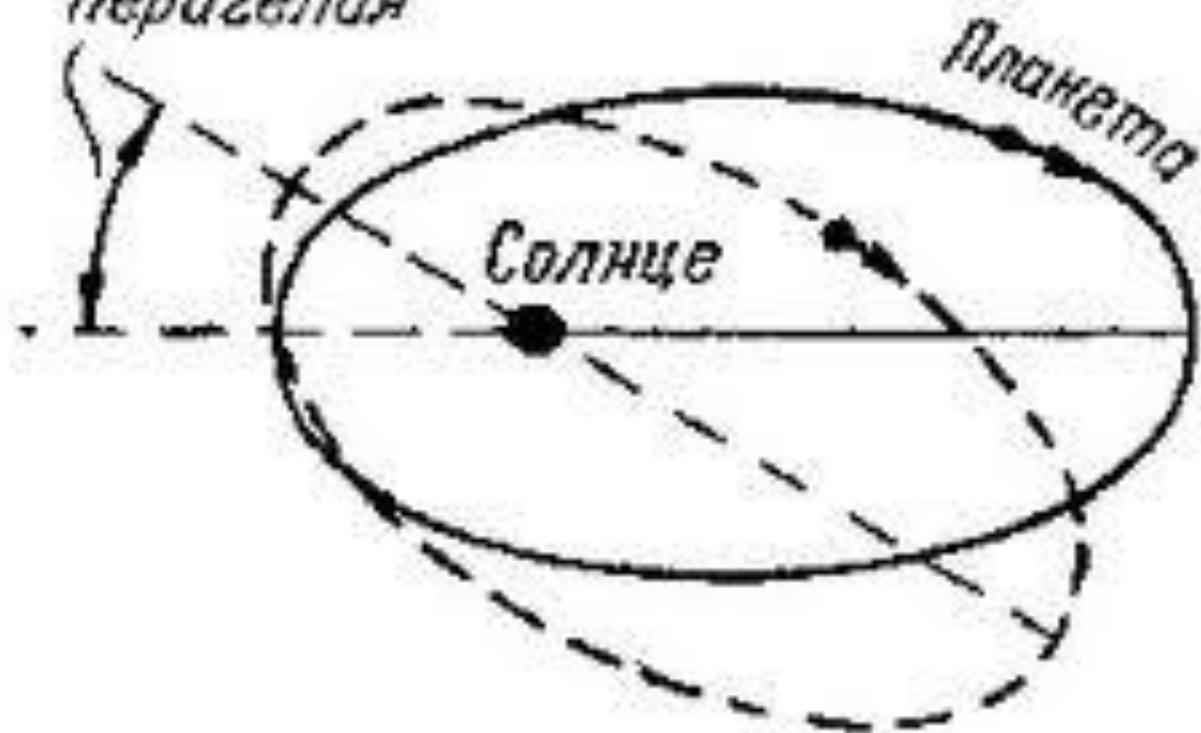


- Замедление времени (хода часов) в гравитационном поле.
- Смещение перигелиев планетных орбит.
Пример: прецессии перигелия орбиты Меркурия.

Прецессия - явление, при котором момент импульса тела меняет своё направление в пространстве под действием момента внешней силы.

Перигелий - ближайшая к Солнцу точка эллипса.

Угловое смещение
перигелия



Свойства пространства и времени

- Универсальные (всеобщие):
 - Неразрывная связь друг с другом
 - Связь с движением материи
 - Бесконечность
- Специфические
 - Трехмерность пространства и одновременность времени
 - Однородность и изотропность пространства и однонаправленность времени («стрела времени»)
 - Непрерывность пространства и времени на макроуровне.

- К свойствам пространства относятся протяженность, однородность и изотропность, трехмерность.
- Время обычно характеризуется такими свойствами, как длительность, одномерность, необратимость, однородность.