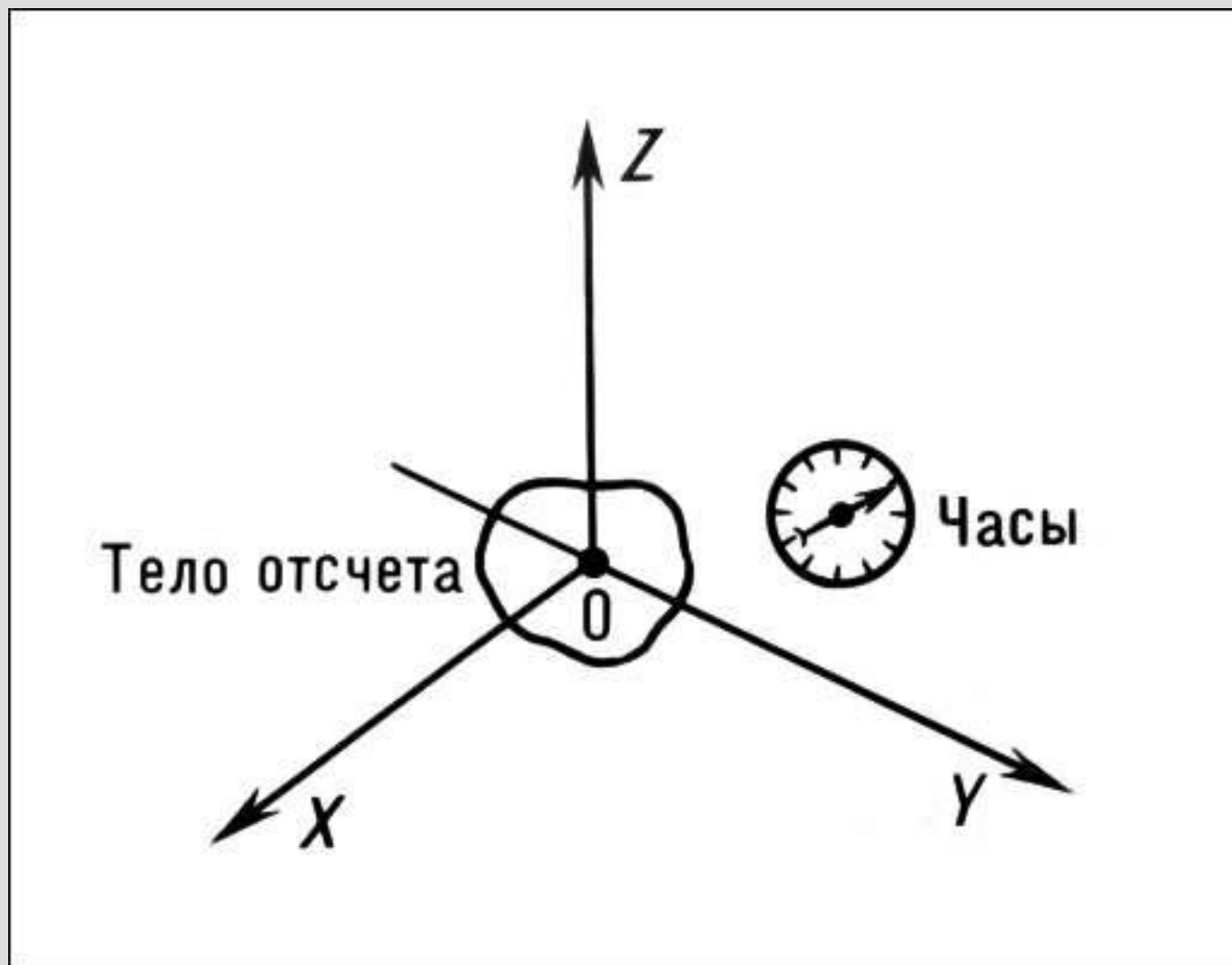


Специальная теория относительности.

Система отсчета

- Система отсчёта — это совокупность тела отсчёта, связанной с ним системы координат и системы отсчёта времени (часов), по отношению к которым рассматривается движение (или равновесие) каких-либо материальных точек или тел.

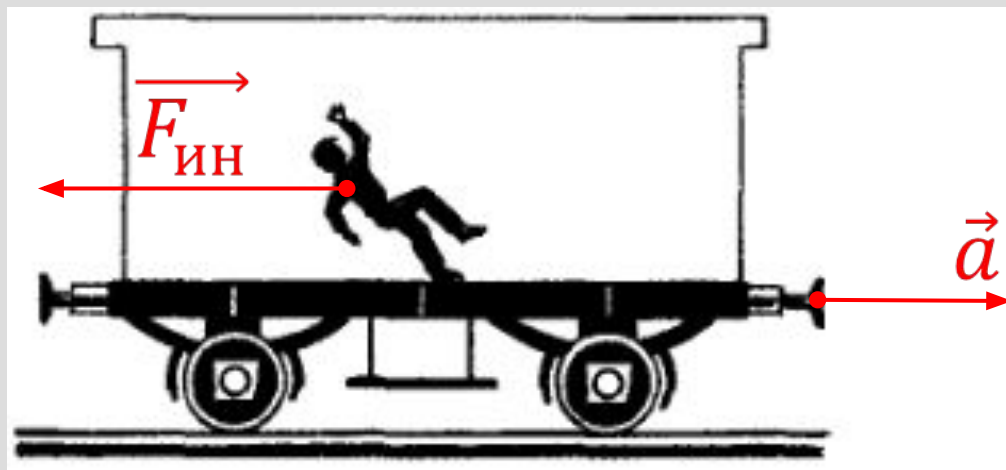
Система отсчета



Инерциальные и неинерциальные системы отсчета

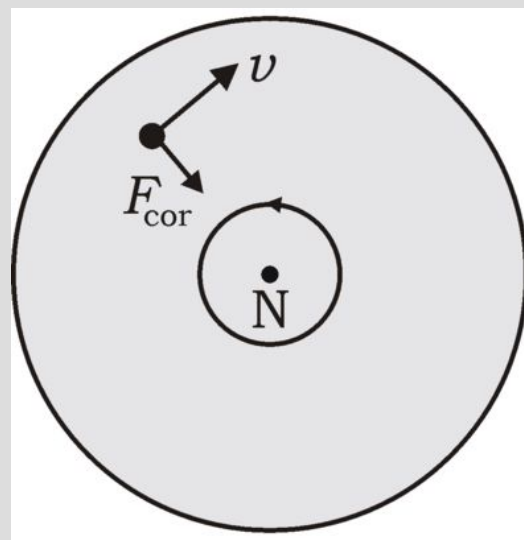
- Если в некоторой системе отсчета все тела, на которые не действуют внешние силы (свободные тела) движутся равномерно и прямолинейно, то такая система называется инерциальной(ИСО).
- Неинерциальной(НИСО) называется такая система, в которой свободные тела не движутся равномерно и прямолинейно.

Силы, возникающие в НИСО



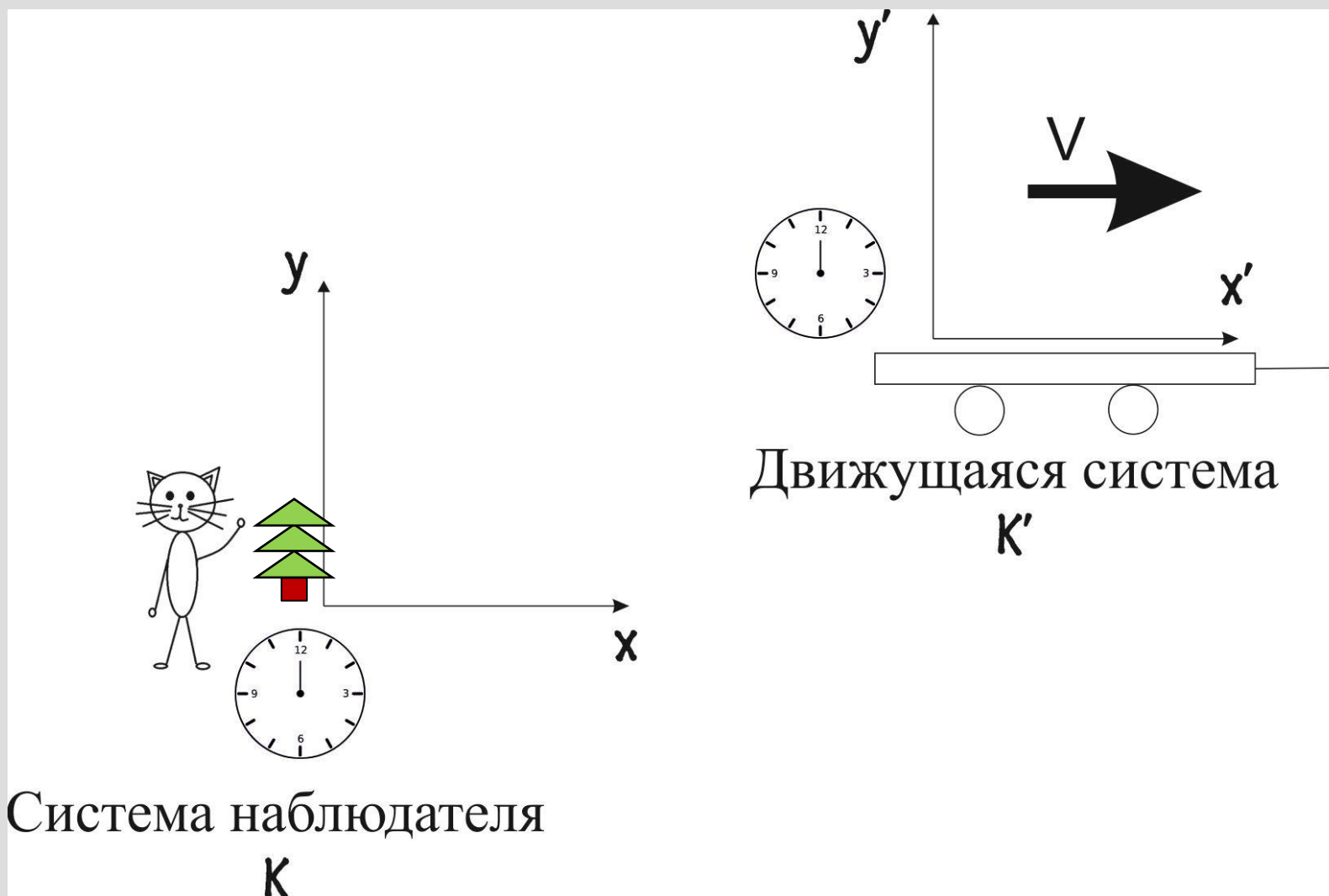
Сила инерции

Центробежная сила

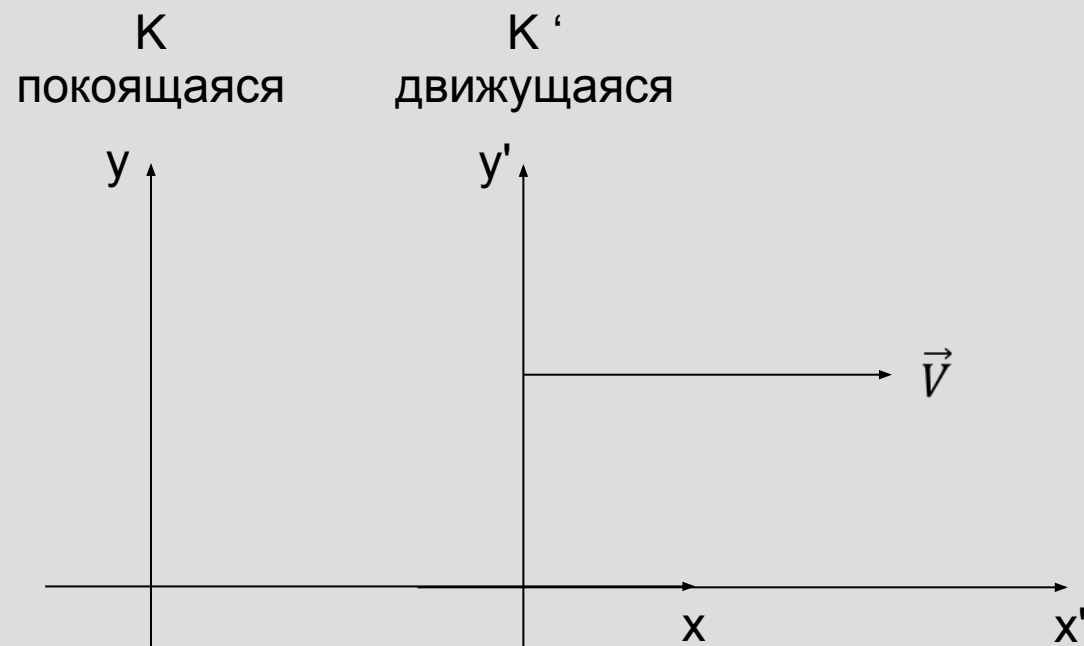


Сила Кориолиса

Системы отсчета (принятые обозначения)



К и К' системы

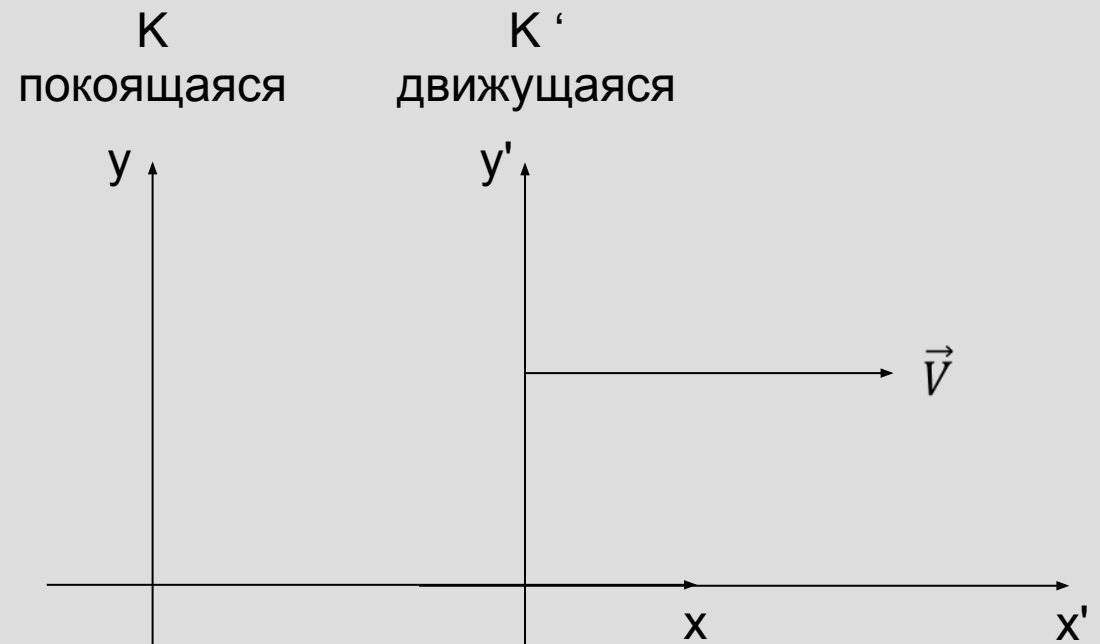


Система К' движется относительно системы К со скоростью V .

Преобразования Галилея

Переход
 $K \rightarrow K'$

$$\begin{cases} x' = x - V \cdot t; \\ y' = y; \\ t' = t; \end{cases}$$



Принцип относительности

Все инерциальные системы отсчета являются эквивалентными.

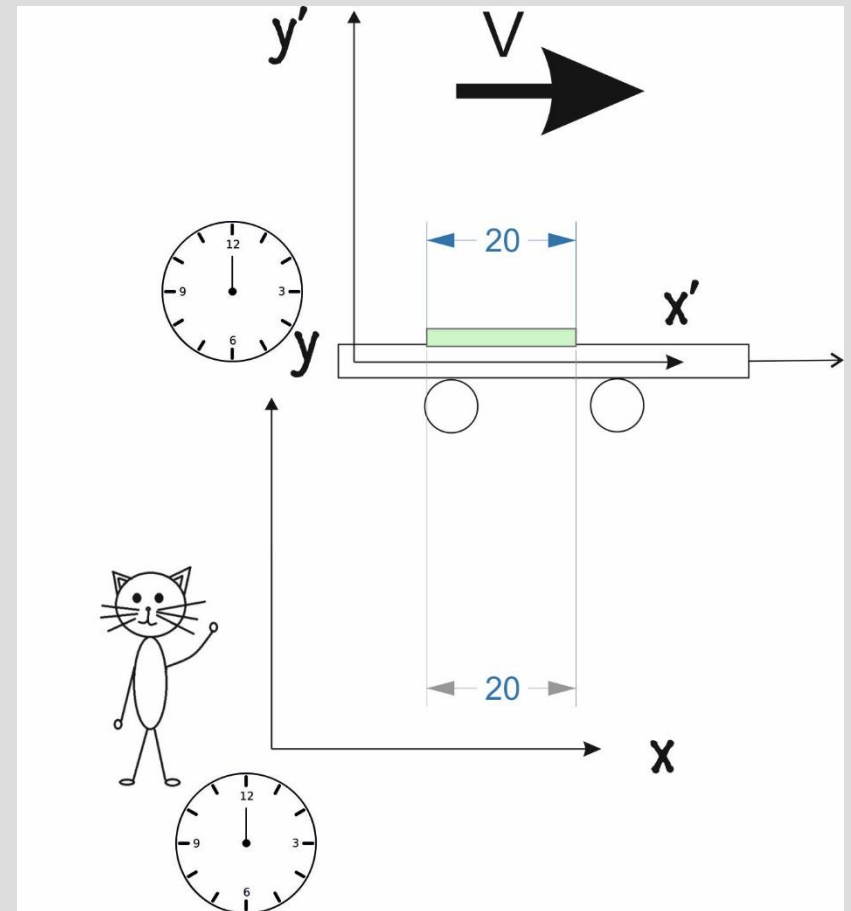
Иначе говоря, все физические явления протекают одинаково во всех системах отсчета.

Для перехода от одной ИСО к другой существуют преобразования координат и скоростей. В классической механике — это преобразования Галилея.

Инвариантность

Инвариантность — неизменность величины по отношению к некоторым преобразованиям.

Например, длина предмета будет инвариантной относительно преобразований Галилея.



Проблемы классической физики

- В конце 19 века оказалось, что уравнения Максвелла не инвариантны относительно преобразований Галилея. Голландский физик Хендрик Антон Лоренц ввел преобразования, относительно которых уравнения Максвелла инвариантны. Преобразования называли **преобразованиями Лоренца**.
- Опыты Майкельсона (первый опыт был в 1881 году) показали, что скорость света не зависит от направления движения Земли.
- В сентябре 1905 г. Альберт Эйнштейн публикует свою знаменитую работу «К электродинамике движущихся тел». Именно эта работа фактически знаменовала собой создание специальной теории относительности (СТО).

Постулаты СТО

Из первого раздела работы «К электродинамике движущихся тел»:

Дальнейшие соображения опираются на принцип относительности и на принцип постоянства скорости света. Мы определяем оба принципа следующим образом:

- 1. Законы, по которым изменяются состояния физических систем, не зависят от того, к какой из двух координатных систем, находящихся относительно друга друга в равномерном поступательном движении, эти изменения относятся.*
- 2. Каждый луч света движется в покоящейся системе координат с определенной скоростью V независимо от того, испускается ли этот луч света покоящимся или движущимся телом.*

Постоянство скорости света

- В СТО постулируется, что скорость света является постоянной вне зависимости от того, движется или покоится тело, испускающее луч света.
- О скорости света говорят как о скорости распространения взаимодействия (скорость некоторого «сигнала» взаимодействия). Прямолинейное движение со скоростью, превышающей скорость света, является невозможным.

Преобразования Лоренца

- В СТО для перехода от одной ИСО к другой используются преобразования Лоренца*:

$$\left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{x - V \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}; \\ y' = y; \\ t' = \frac{t - \left(\frac{V}{c^2}\right) \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \end{array} \right.$$

* - Преобразования представлены для двумерного случая (движение на плоскости)

Абсолютность времени.

- При переходе от одной ИСО к другой, время преобразуется согласно преобразованиям Лоренца.

Из этого можно заключить, что **в СТО время не является абсолютным.**

Принцип соответствия.

В физике имеет место принцип соответствия.

Принцип соответствия говорит о том, что новые, более общие теории должны включать старые и проверенные теории в качестве предельного случая.

Переход от СТО к классической физике происходит посредством замены в преобразованиях Лоренца скорости света бесконечностью.

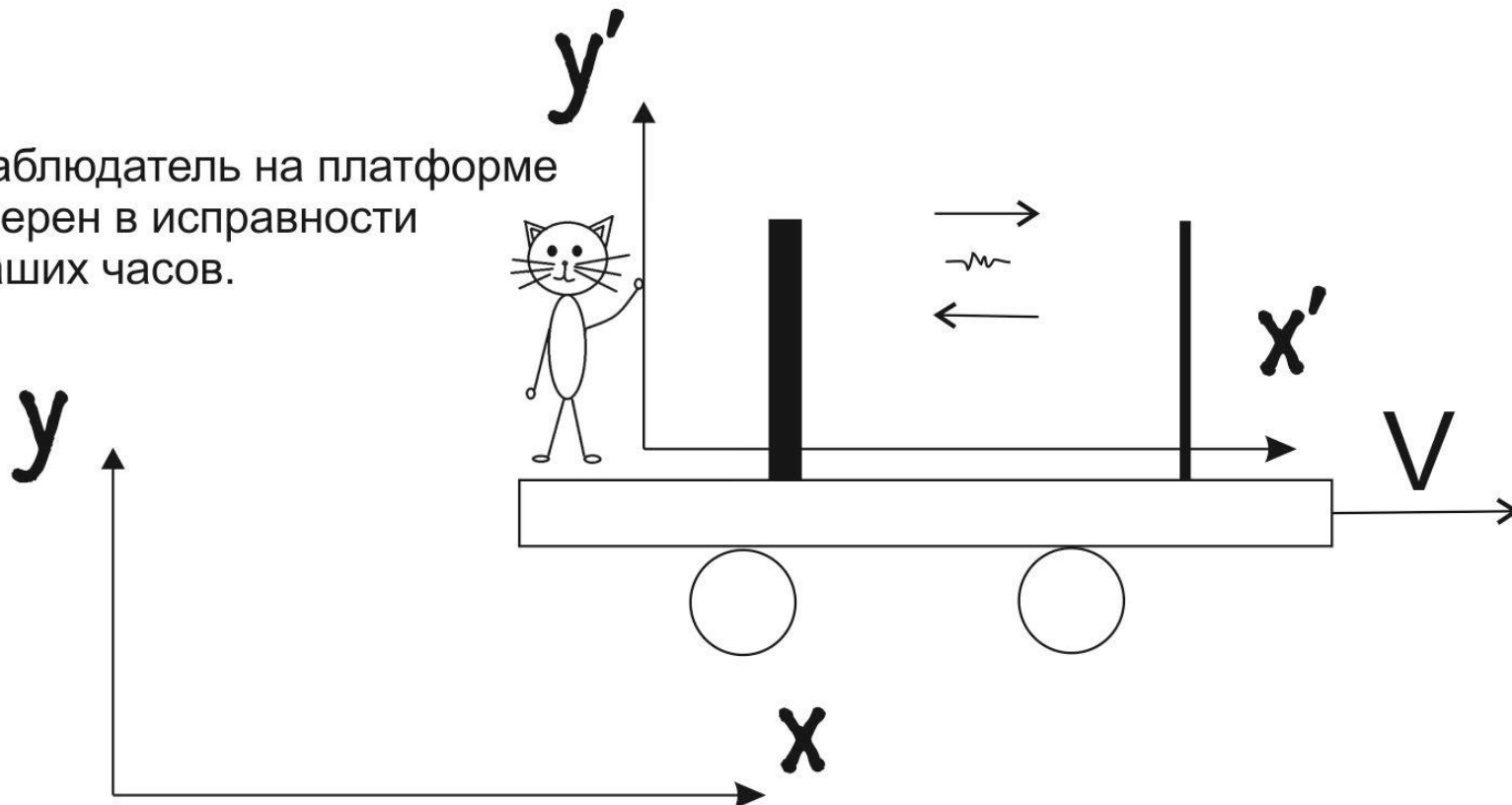
Постоянство скорости света и следствия СТО

- О некоторых явлениях, которые следуют из логики специальной теории относительности можно судить исходя из одного лишь постулата о постоянстве скорости света.
- В дальнейших примерах платформа движется относительно некоторой неподвижной системы отсчета равномерно и прямолинейно, скорость движения платформы близка к скорости света.

Замедление времени

На платформе работают «часы». Каждую секунду они посылают свет от источника к приемнику и получают его обратно.

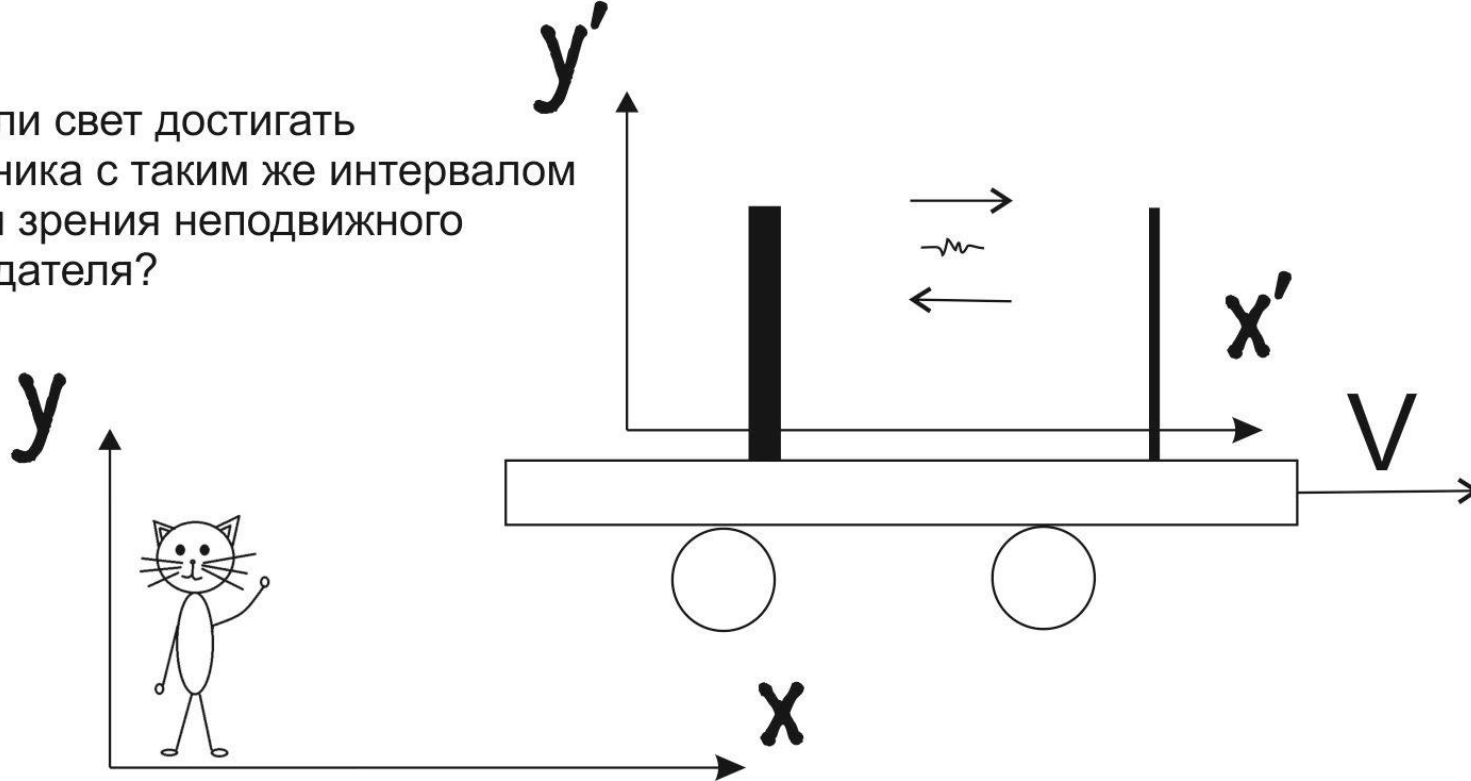
Наблюдатель на платформе уверен в исправности наших часов.



Замедление времени

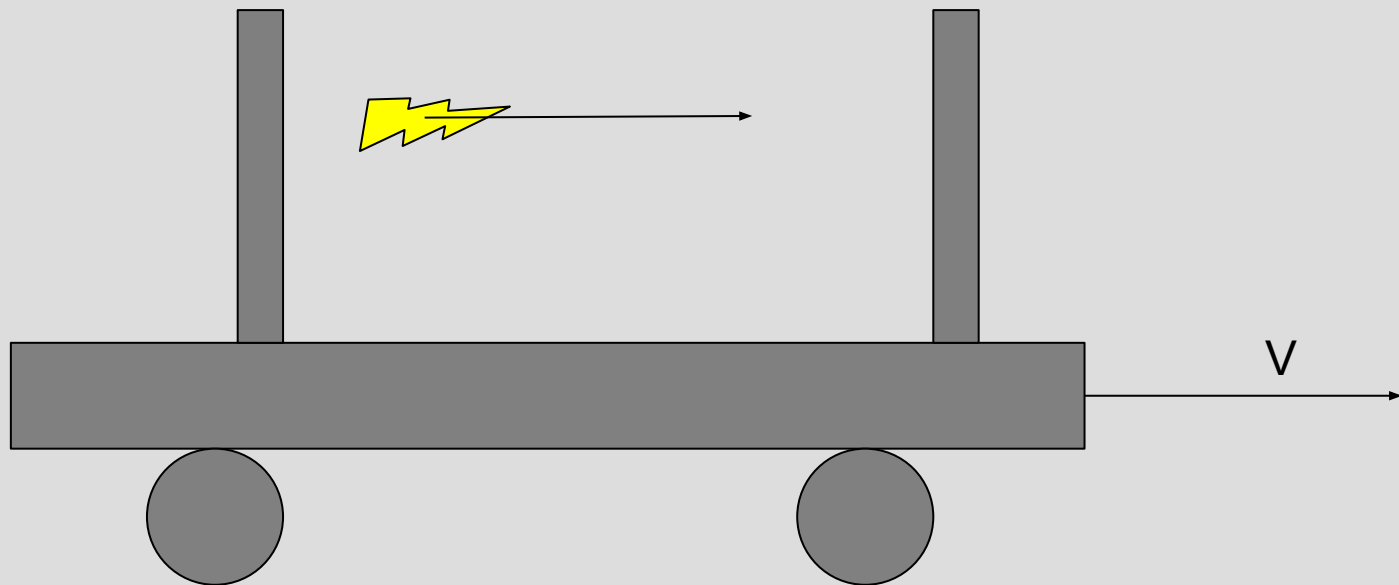
На платформе работают «часы». Каждую секунду они посылают свет от источника к приемнику и получают его обратно.

Будет ли свет достигать приемника с таким же интервалом с точки зрения неподвижного наблюдателя?



Замедление времени

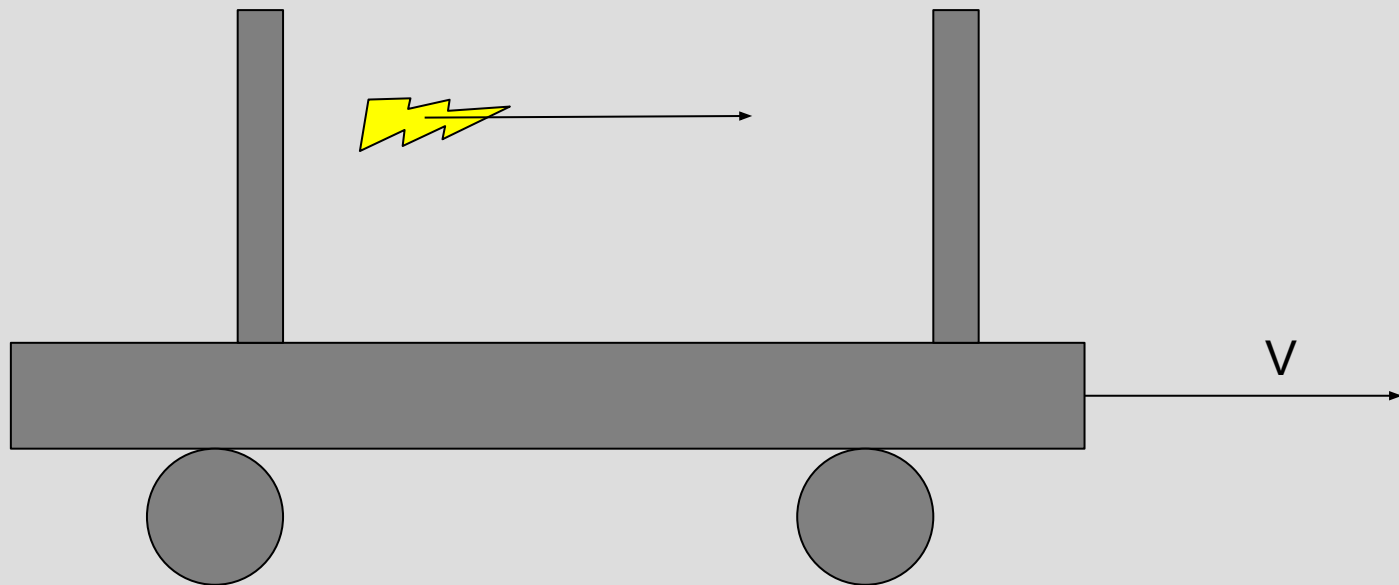
конечная скорость складывается из скорости света и скорости платформы



Поскольку платформа неизбежно движется со скоростью V , которая предполагается близкой к скорости света, предел скорости может быть достижим только лишь за счет замедления движения света относительно неподвижного наблюдателя.

Замедление времени

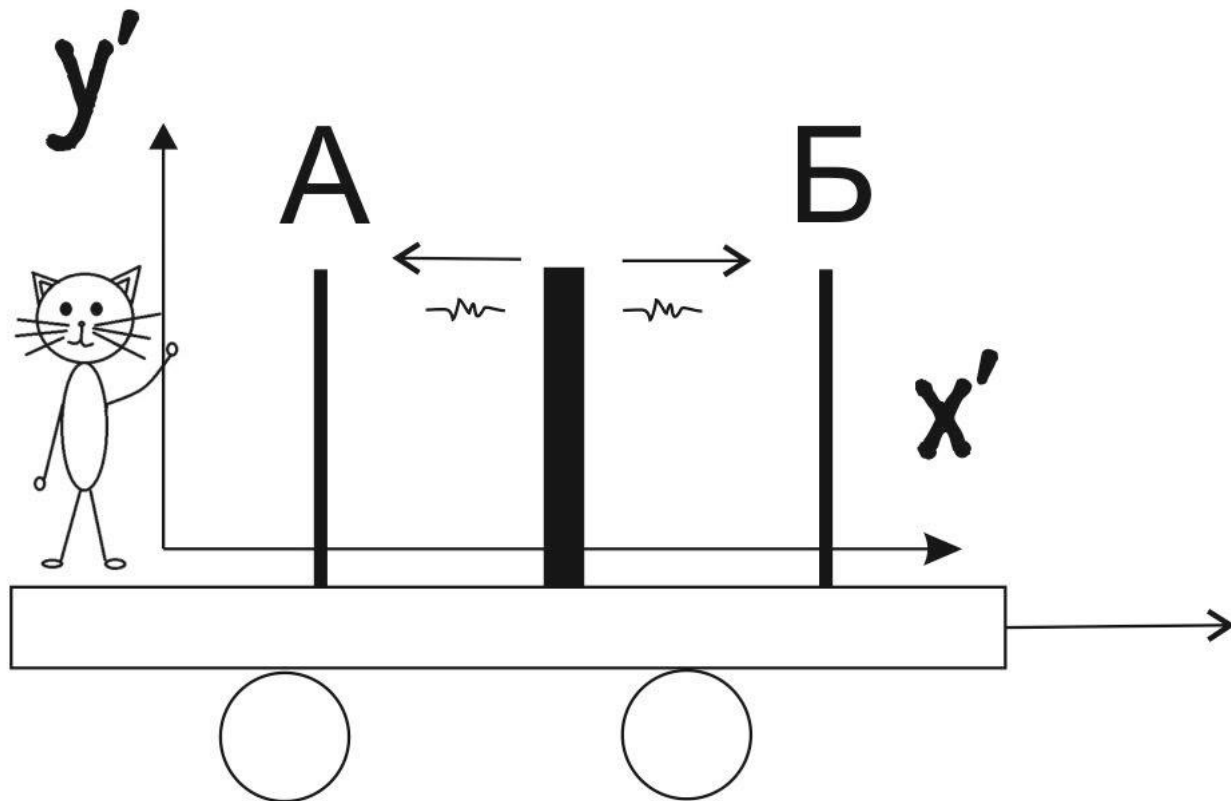
конечная скорость складывается из скорости света и скорости платформы



Поскольку платформа неизбежно движется со скоростью V , которая предполагается близкой к скорости света, а скорость частицы света всегда остается постоянной, неподвижный наблюдатель обнаружит эффект «замедления времени».

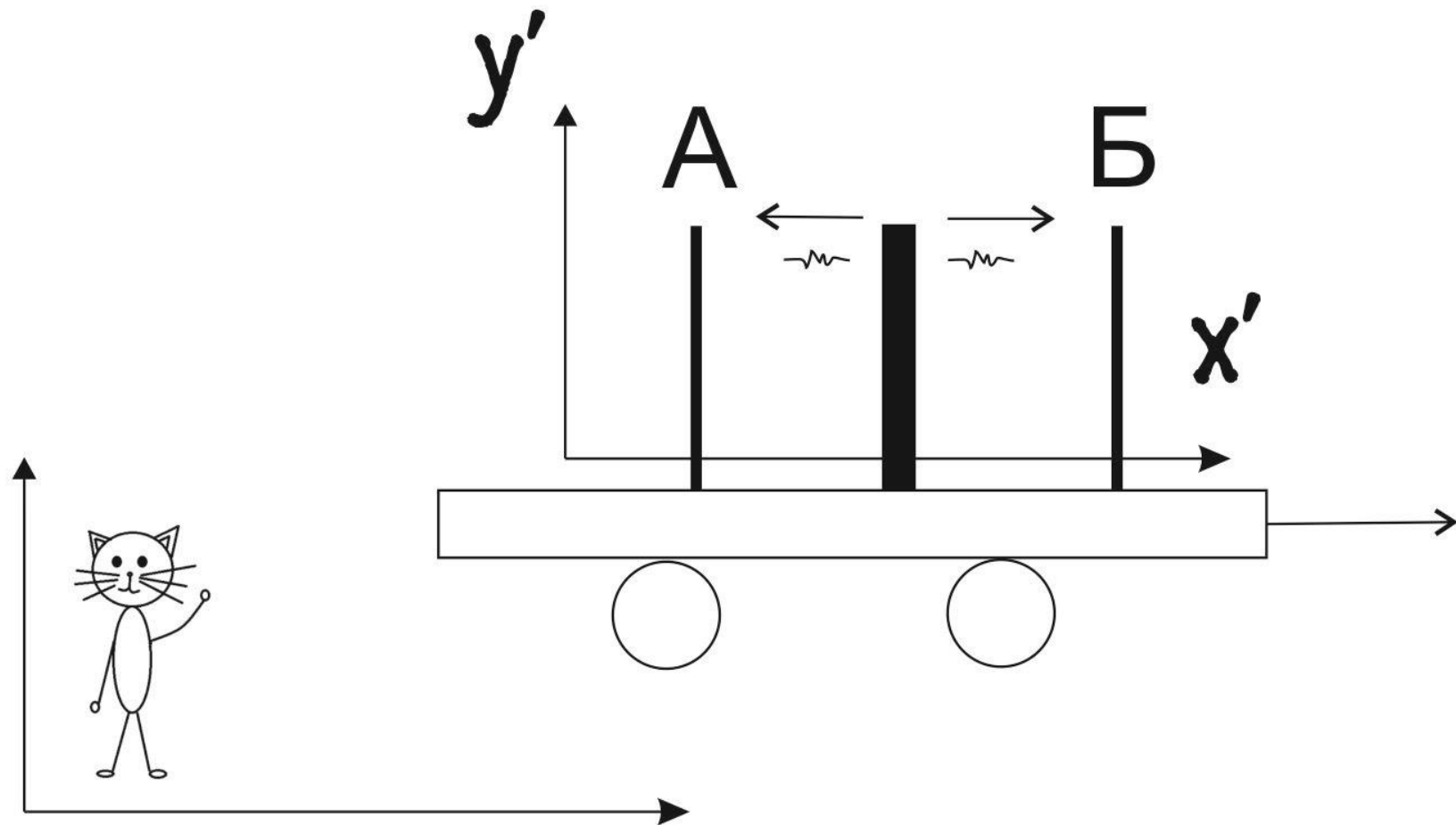
Относительность одновременности

Центральный столб излучает свет.
Свет достигнет целей А и Б одновременно



Относительность одновременности

Центральный столб излучает свет.
Достигнет ли свет обе цели одновременно?



Явления, предсказываемые СТО

Согласно СТО, в движущейся системе отсчета неподвижный наблюдатель должен наблюдать следующие эффекты:

- Замедление времени.
- Сокращение длины предмета в направлении движения (Лоренцово сокращение длины).
- Одновременные события могут оказаться не одновременными (относительность одновременности).

Энергия покоя

С точки зрения СТО каждое тело обладает энергией покоя:

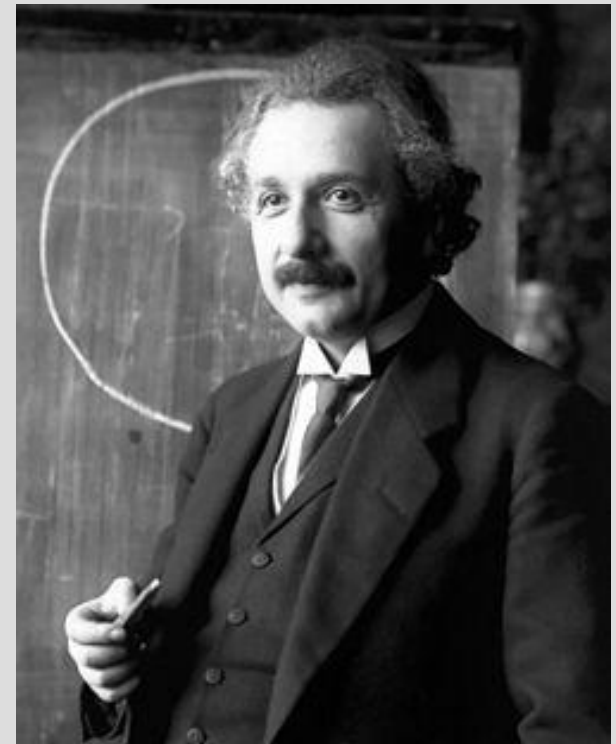
$$E = mc^2$$

Поскольку квадрат скорости света является постоянной величиной, мы можем говорить об **эквивалентности массы и энергии**.

Основные идеи общей теории относительности

- Общая теория относительности (ОТО) — наиболее успешная из современных теорий гравитации, развивающая идеи СТО.
- Автором ОТО является Альберт Эйнштейн (1879-1955).

В слабых гравитационных полях предсказания ОТО совпадают с предсказаниями закона всемирного тяготения.



Основные принципы ОТО

- Принцип равенства гравитационной и инертной масс
- Принцип общей ковариантности
- Принцип близкодействия
- Принцип причинности
- Принцип наименьшего действия
- Принцип сохранения энергии
- Принцип движения по геодезическим линиям

Инертная и гравитационная массы.

Свойство тела сохранять свою скорость в отсутствие взаимодействия с другими телами называется *инертностью*. Физическая величина, являющаяся мерой инертности материальной точки или мерой инертности тела в поступательном движении, называется **инертной массой**.

Способность тел взаимодействовать в согласии с законом всемирного тяготения есть мера **гравитационной массы тела**.

Лифт Эйнштейна



1 Лифт стоит на поверхности Земли. Выпущенный из руки груз вследствие гравитационного притяжения падает на пол.



2 Лифт свободно падает в шахте, где нет воздуха. Вместе с ним падает груз, не перемещаясь относительно лифта.



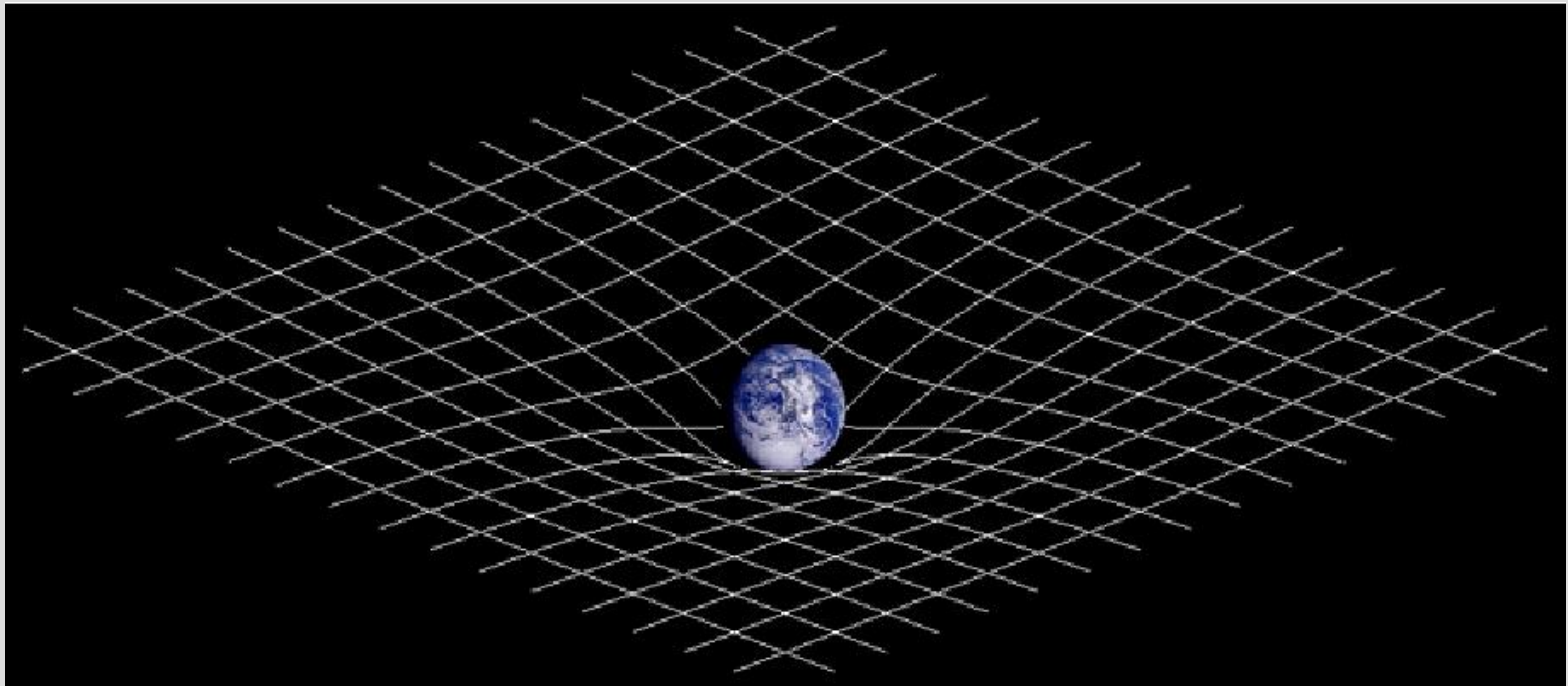
3 Лифт в космосе ускоряется ракетным двигателем. Пол лифта ускоренно движется вверх; с точки зрения наблюдателя в лифте груз падает на пол.



4 Лифт в космосе, не действуют никакие силы. Груз не движется относительно лифта.

Принцип общей ковариантности

Математические уравнения, которые описывают законы природы должны быть справедливыми при преобразованиях к любым координатным системам.



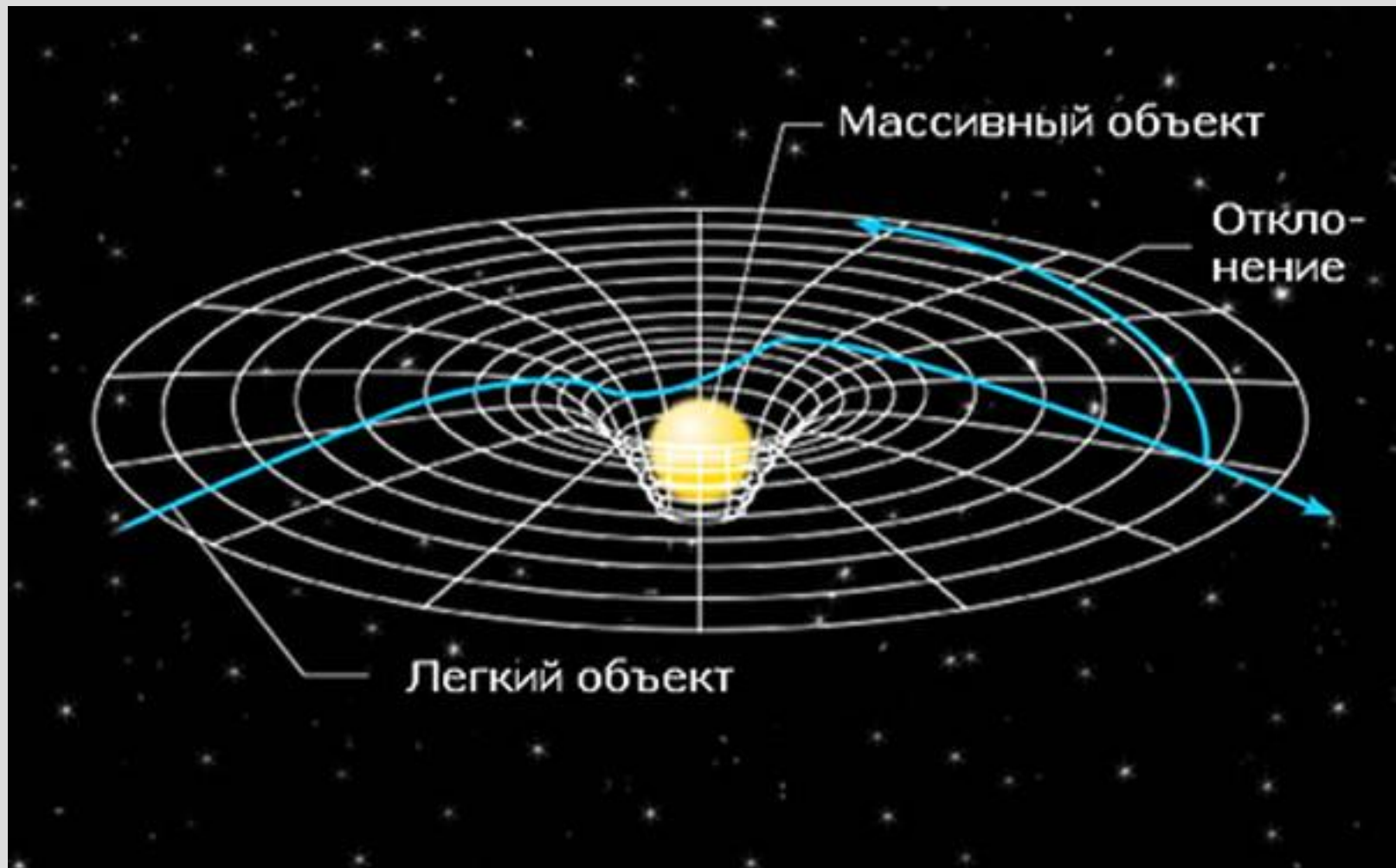
Принцип близкодействия

Согласно принципу близкодействия, скорость передачи взаимодействия конечна и равна скорости света в вакууме.

Принцип движения по геодезическим линиям.

- Для сил гравитации ускорение тела и его траектория не зависят от массы и внутреннего строения тела. Это значит, что ускорение можно связать не со свойствами тел, а со свойствами самого пространства.
- Эйнштейн предположил, что все тела движутся по инерции, а их траекториями являются геодезические линии.

Искривление пространства-времени

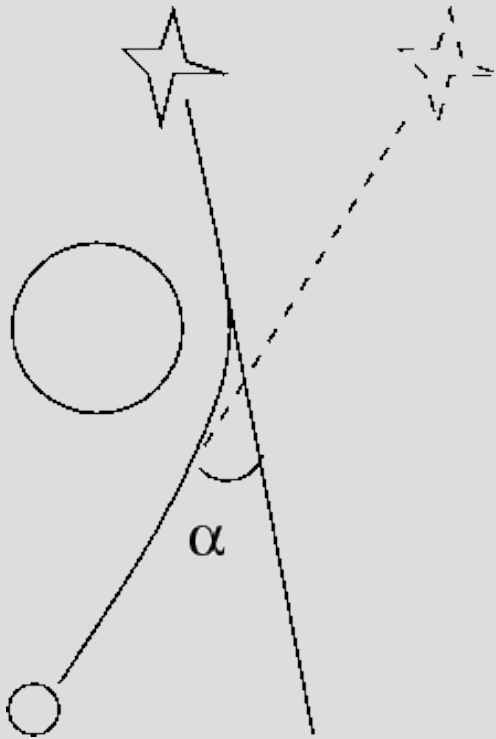


Экспериментальные подтверждения ОТО

Экспериментальные подтверждения предсказаний ОТО:

- Гравитационное замедление времени (Gravity Probe A, GPS)
- Гравитационное красное смещение (было обнаружено в спектрах звёзд и Солнца, надёжно подтверждено в контролируемых земных условиях)
- Гравитационное отклонение света (подтверждено во время затмений, проверено наблюдениями квазаров)
- Дополнительный сдвиг перигелия орбиты Меркурия по сравнению с предсказаниями механики Ньютона

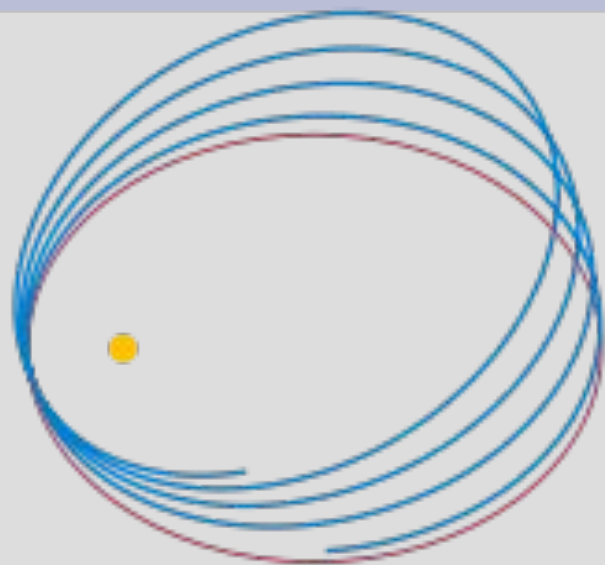
Отклонение луча света в поле Солнца



α эксп. = $(1,75)''$ точность около 0,3%
(данные 1984г)

α расч. = $(0,87)''$
(согласно Ньютоновской
корпускулярной теории света,
Зольдерн, 1804г)

Смещение перигелия



Орбита Ньютона (**красная**)
и Эйнштейна (**голубые**)
одной планеты
вращающейся вокруг
звезды

Смещение перигелия за 100 лет		
Планета	Эксперимент	Теория
Меркурий	$43, 11'' \pm 0, 45''$	$43, 0''$
Венера	$8, 4'' \pm 4, 8''$	$8, 6''$

Спасибо за внимание!