

# **Элементы теории относительности**

Домашнее задание: п.п.61-64

Согласно классическим представлениям о пространстве и времени, считавшимся на протяжении веков неизблемыми, движение не оказывает никакого влияния на течение времени (время абсолютно), а линейные размеры любого тела не зависят от того, покоится ли тело или движется (длина абсолютна).

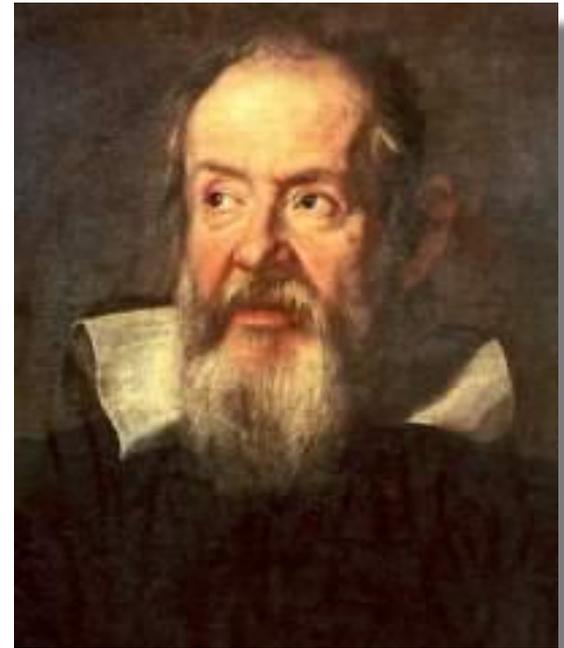




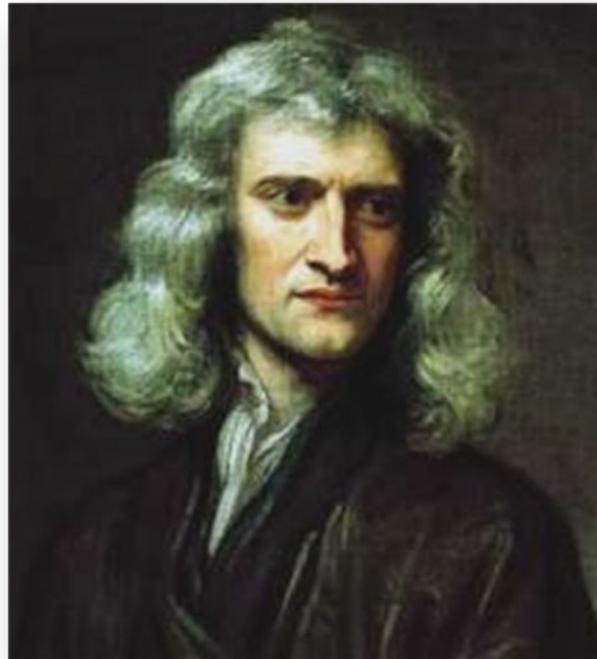
И.Ньютон ввёл в физику постулаты об абсолютном времени и абсолютном пространстве, он писал:  
**“Абсолютное время, истинное или математическое течёт одинаково.... Абсолютное пространство в силу своей природы..... всегда остаётся одинаковым и неподвижным”**

# Классическая механика Ньютона и Галилея

- Принцип инерции:  
«Тела, не испытывающие воздействия сил, движутся равномерно и прямолинейно»
- Принцип сложения скоростей:  
«Скорость тела складывается из скорости системы отсчёта и скорости движения тела в ней»
- Принцип относительности Галилея:  
«Все законы механики одинаковы в инерциальных системах отсчёта»  
(все механические явления протекают в любых инерциальных системах отсчета одинаковым образом).



Инерциальные системы отсчета – системы отсчета, которые находятся в состоянии покоя или движутся прямолинейно равномерно.  
Неинерциальные системы отсчета – системы отсчета, которые движутся с ускорением



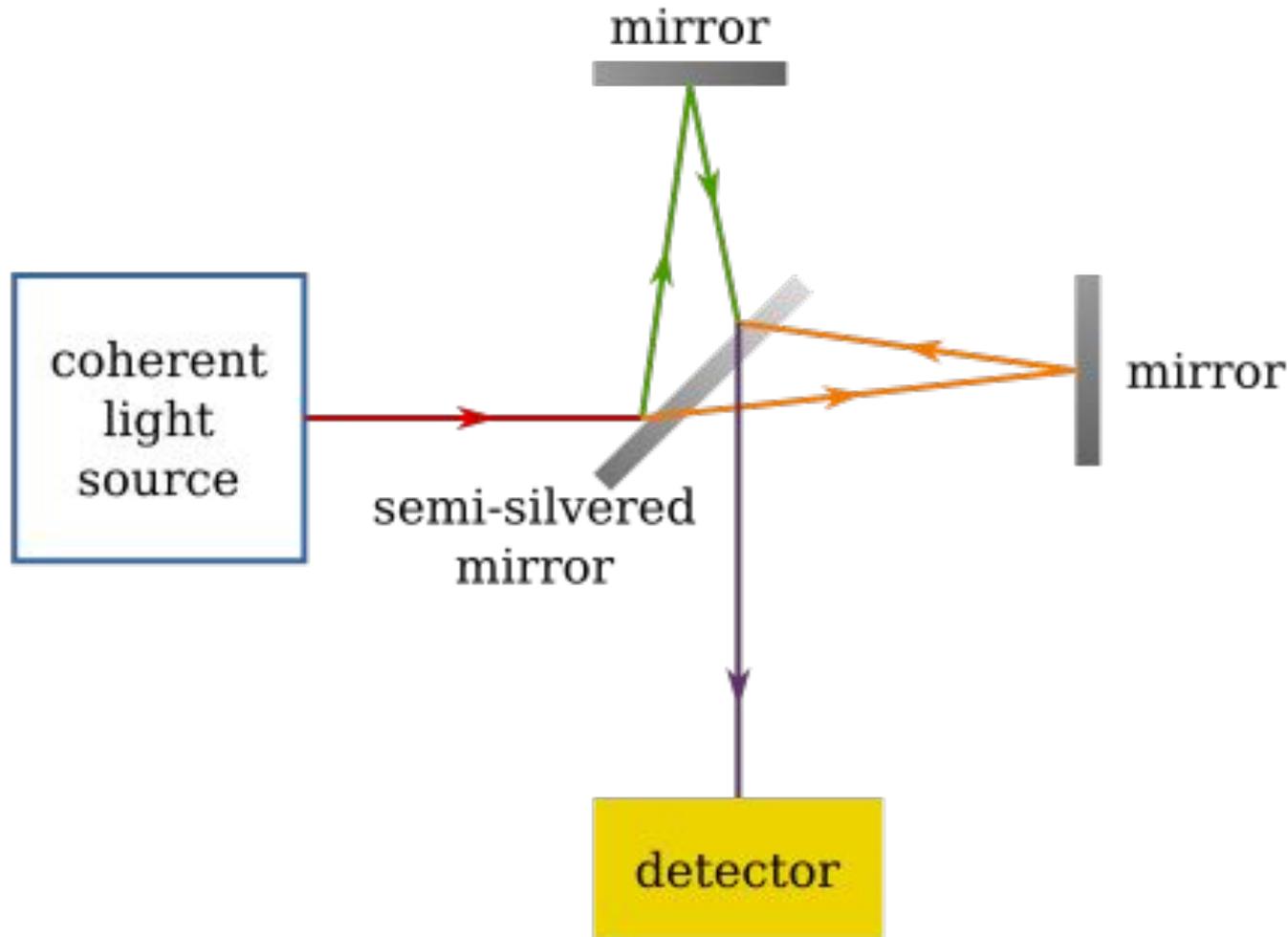
До середины XIX в. считали, что все физические явления можно объяснить на основе механики Ньютона.

В середине XIX в. была создана теория электромагнитных явлений (теория Максвелла)



Распространяется ли принцип относительности, справедливый для механических явлений, на электромагнитные явления?

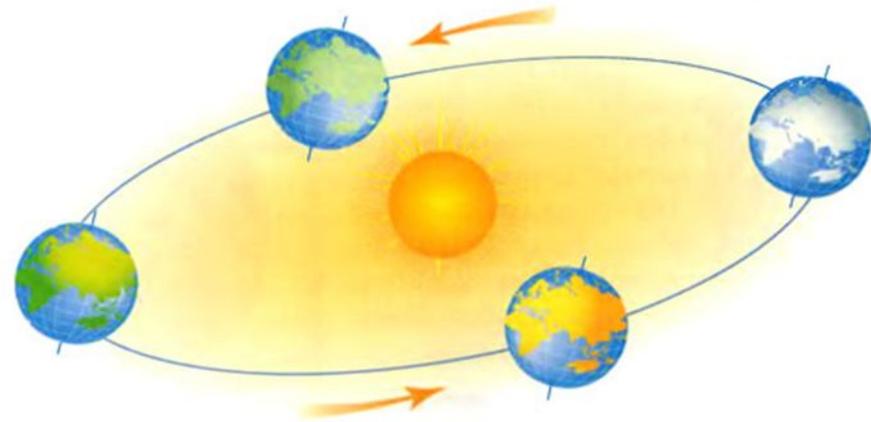
Перед учеными встала проблема согласования теорий электромагнетизма и механики. Кроме того, в 1881 году американские ученые А. Майкельсон и Э. Морли установили, что движение Земли никак не сказывается на скорости распространения света



И закон сложения скоростей, принятый в классической механике, в данном случае не выполняется. Результат эксперимента вызвал оживленную дискуссию, поскольку из него следовало: а) или скорость света не зависит от движения его источника; б) или эфира действительно нет; в) или Земля покоится в пространстве, т. е. является абсолютной системой отсчета в мире, во что уже в то время было трудно поверить.

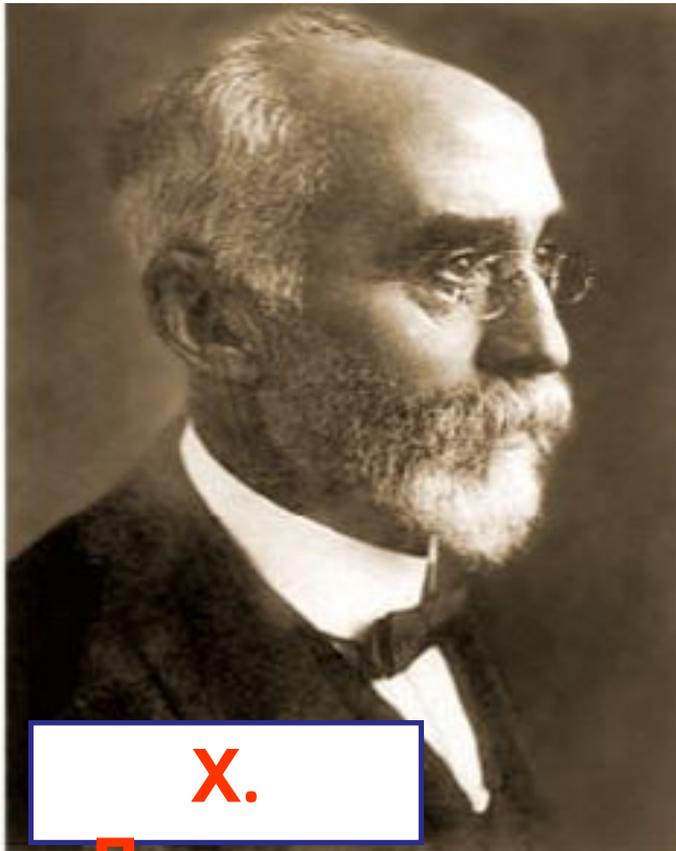
Далее появились сомнения в том, что масса тела всегда постоянна.

Чтобы объяснить все эти противоречия, нужна была новая теория.



Обнаружились противоречия между электродинамикой и механикой Ньютона.

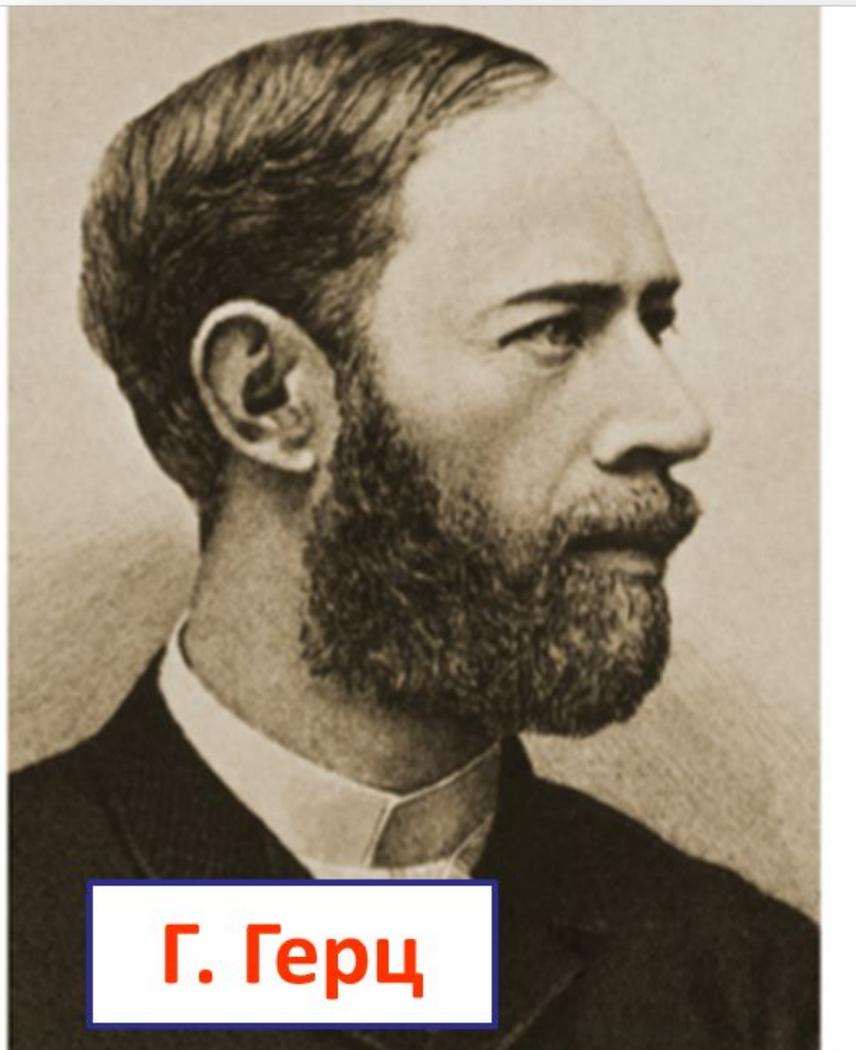
Возможные пути решения:



**Х.**

**Лоренц**

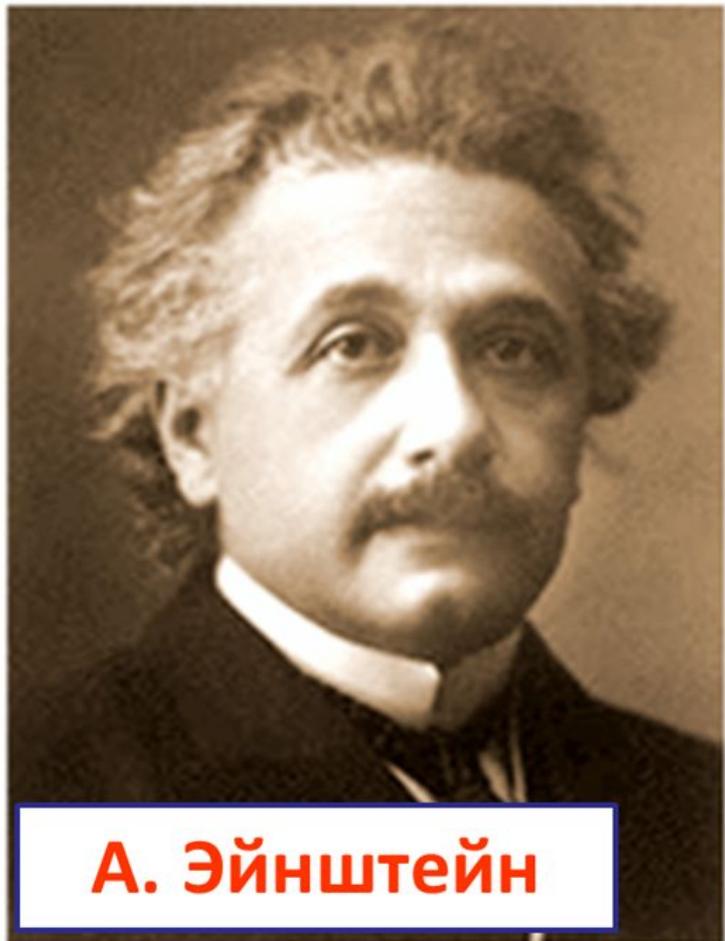
Принцип относительности  
неприменим к  
электромагнитным явлениям.



**Г. Герц**

Уравнения Максвелла  
несправедливы

# Альберт Эйнштейн – создатель теории относительности



**А. Эйнштейн**

Принцип относительности и уравнения  
Максвелла справедливы,  
нужно отказаться от классических  
представлений о пространстве и  
времени.

**Теория относительности** – это физическая теория, описывающая свойства пространства и времени, а также закономерности относительного движения тел, обусловленных этими свойствами.

**СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**  
перевернула наши представления о пространстве и времени, об энергии и материи, представления, к которым человечество шло на протяжении тысячелетий своей истории.

# Постулаты специальной теории относительности Эйнштейна (1905 г.)

Постулат 1. Принцип относительности:

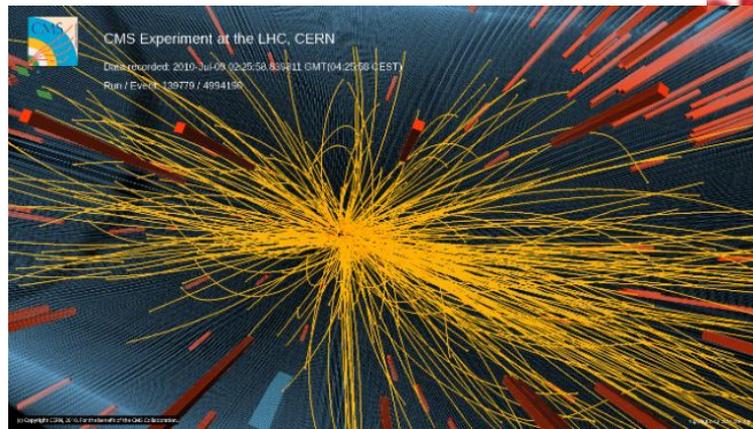
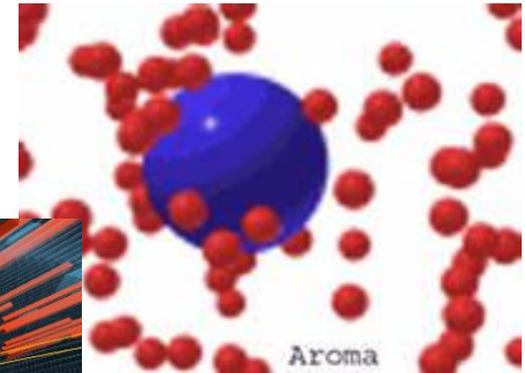
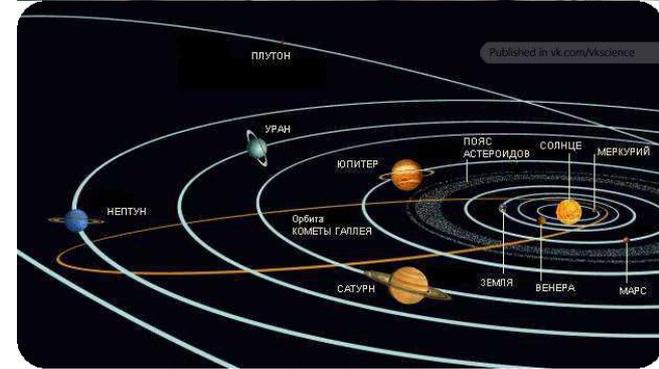
Все процессы природы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

Постулат 2. Принцип постоянства скорости света:

Скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчета, она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала.

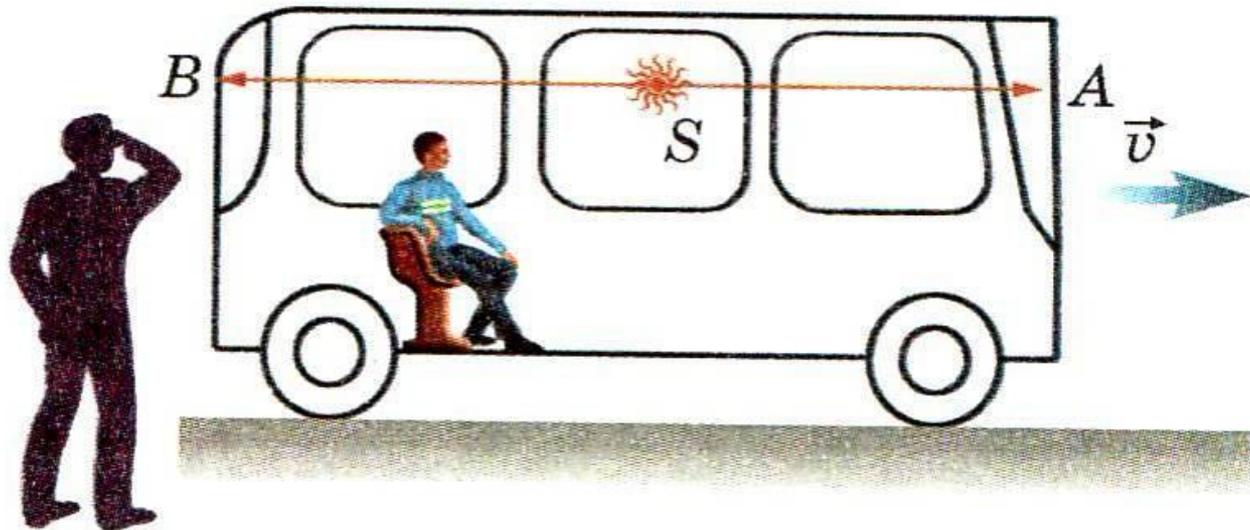
Современная физика подразделяется на:

- классическую механику, которая изучает движение макроскопических тел с малыми скоростями ( $v \ll c$ );
- релятивистскую механику, которая изучает движение макроскопических тел с большими скоростями ( $v \sim c$ );
- квантовую механику, которая изучает движение микроскопических тел с малыми скоростями ( $v \ll c$ );
- релятивистскую квантовую физику, которая изучает движение микроскопических тел с произвольными скоростями ( $v \sim c$ ).



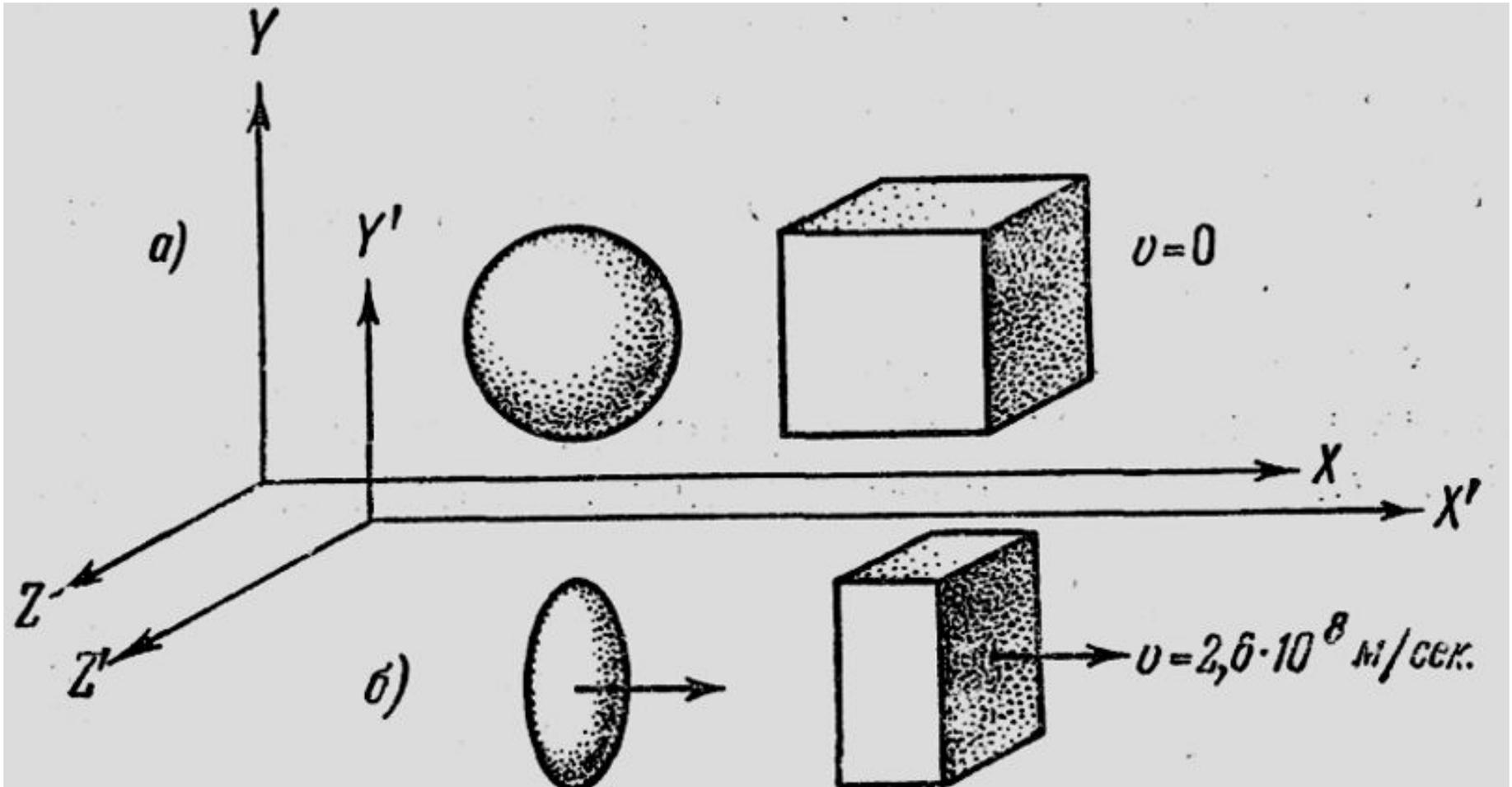
# Основные выводы из специальной теории относительности Эйнштейна (1905 г.) (Следствия постулатов СТО)

1. Сокращение размеров тела
2. Замедление времени
3. Релятивистский закон сложения скоростей
4. Закон релятивистской механики. Связь между массой и энергией



## Относительность расстояний

1. В системе отсчёта, движущейся равномерно и прямолинейно относительно наблюдателя, происходит **сокращение длины** **вдоль направления движения**



$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$l$  – длина тела в системе отсчета,  
в которой тело движется

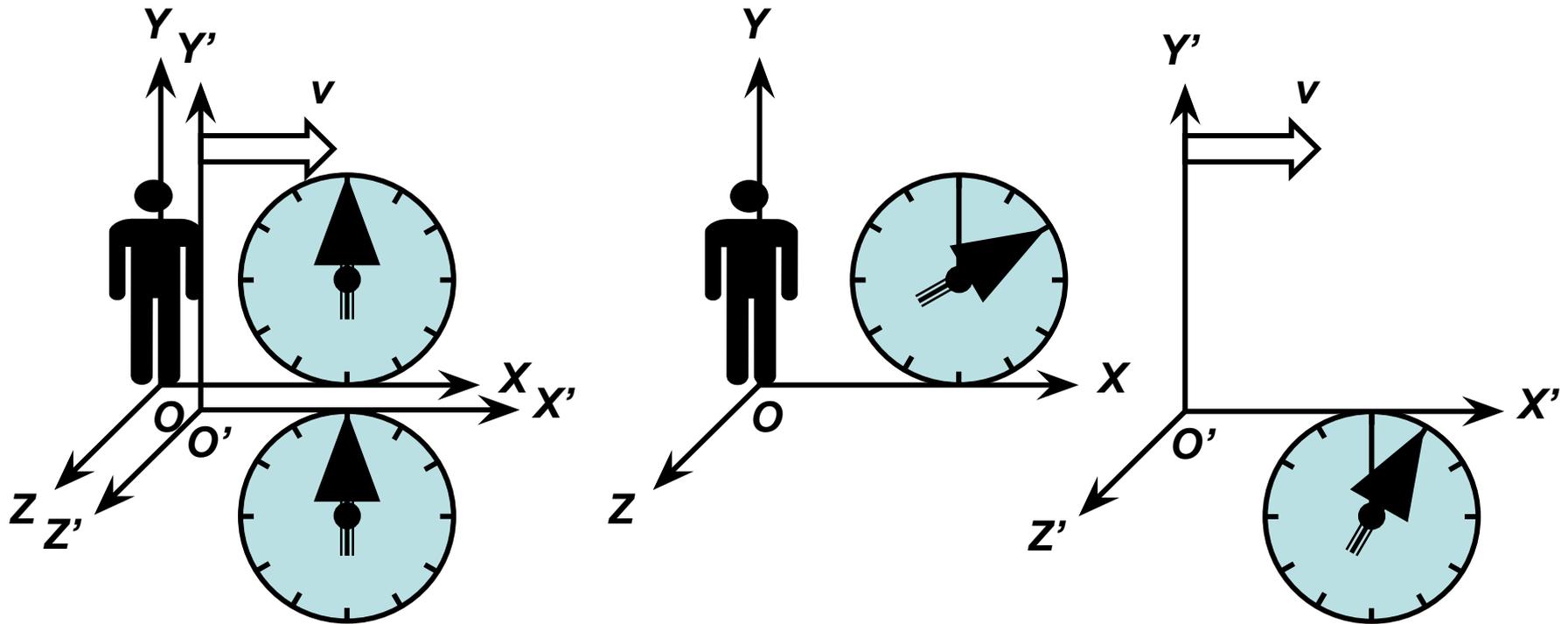
$l_0$  – длина тела в системе отсчета,  
в которой тело покоится

$v$  – скорость движения тела

$c$  – скорость света

# Относительность промежутков времени

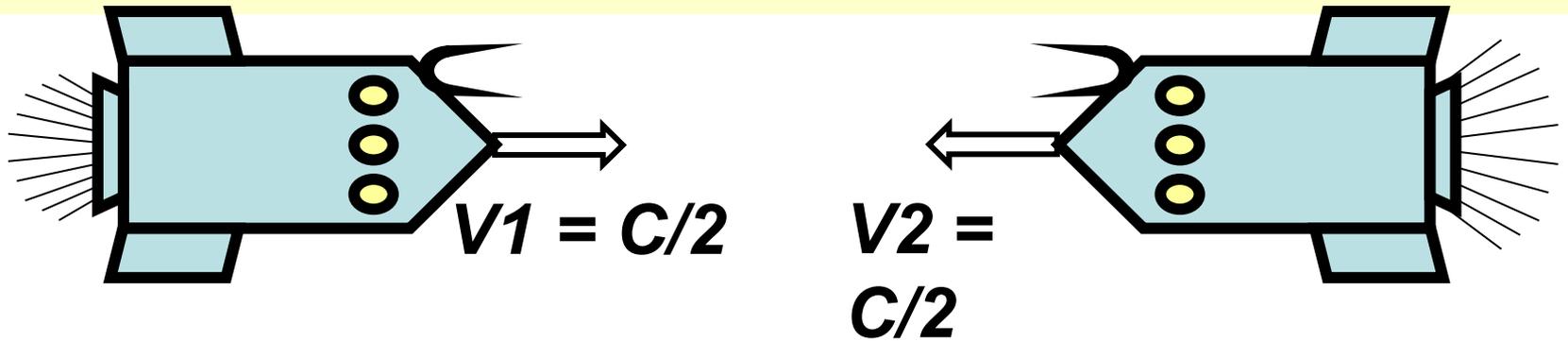
2. В системе отсчёта, движущейся равномерно и прямолинейно относительно наблюдателя, **время движется медленнее**



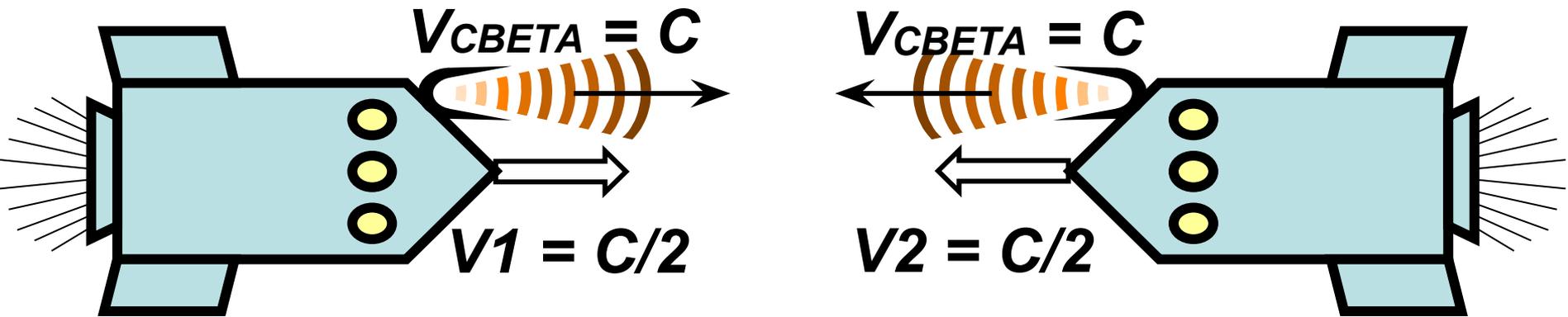
$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

- $t$  – интервал времени  
в движущейся системе отсчета
- $t_0$  – интервал времени  
в покоящейся системе отсчета
- $v$  – скорость движения системы отсчета
- $c$  – скорость света

3. Движение со скоростью, превышающей скорость света, НЕВОЗМОЖНО.



$$V_{\text{СБЛИЖЕНИЯ РАКЕТ}} < v_1 + v_2$$



$$V_{\text{СБЛИЖЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ}} = c, \text{ а не } c+c$$

### 3. Релятивистский закон сложения скоростей

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}}$$

$v_2$  – скорость тела в движущейся системе отсчета  
 $v_1$  – скорость тела в неподвижной системе отсчета  
 $v$  – скорость движения системы отсчета  
 $c$  – скорость света

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

$m_0$  - масса покоящегося тела.

$m$  - масса того же тела, но движущегося со скоростью  $V$ .

- По мере увеличения скорости движения масса тела, определяющая его инертные свойства, увеличивается.
- Необходимость пользоваться релятивистским уравнением движения при расчёте ускорителей заряженных частиц, означает, что теория относительности в наше время стала инженерной наукой.

# Большой адронный коллайдер

БАК – самый большой и мощный в мире ускоритель заряженных частиц

## Система ускорителей

Циркулирующие в коллайдере пучки протонов способны совершать более 10 тысяч оборотов в секунду, сталкиваясь на каждом круге со встречными пучками



## Основные экспериментальные зоны

Ожидается, что изучение продуктов соударения частиц в БАК даст ответы на важнейшие вопросы теоретической физики



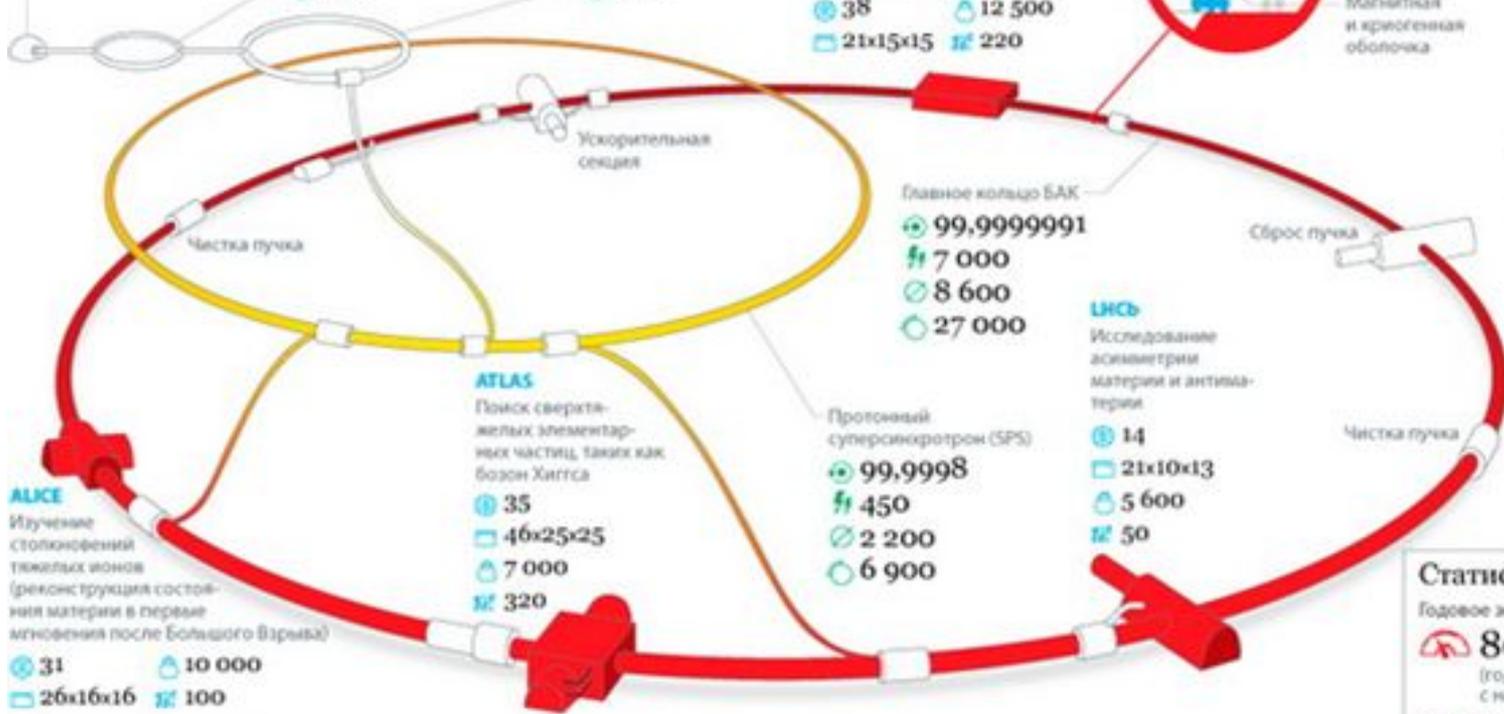
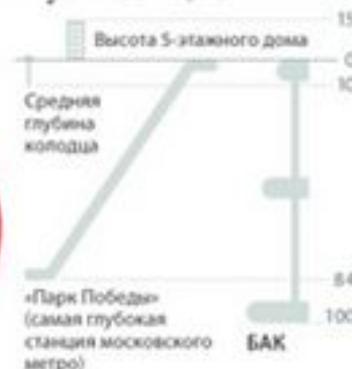
## Разрез БАК



## Общие характеристики



## Глубина (в метрах)



## Статистика



## Условные обозначения:

- 🌀 - скорость протонов, % от скорости света
- 📏 - диаметр, м
- 📏 - длина окружности, м
- ⚡ - энергия, ГэВ
- ⚖ - вес, т
- 🌐 - количество стран-участниц
- 🏢 - производительность, Мб/сек
- 📏 - длина/высота/ширина, м



Максимальная расчетная энергия столкновения пучков:

**14 000 ГэВ (7000+7000)**

#### 4. Закон релятивистской динамики

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad p = mv \quad p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = Ft$$

Связь между массой и энергией (формула Эйнштейна)

$$E = mc^2$$

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

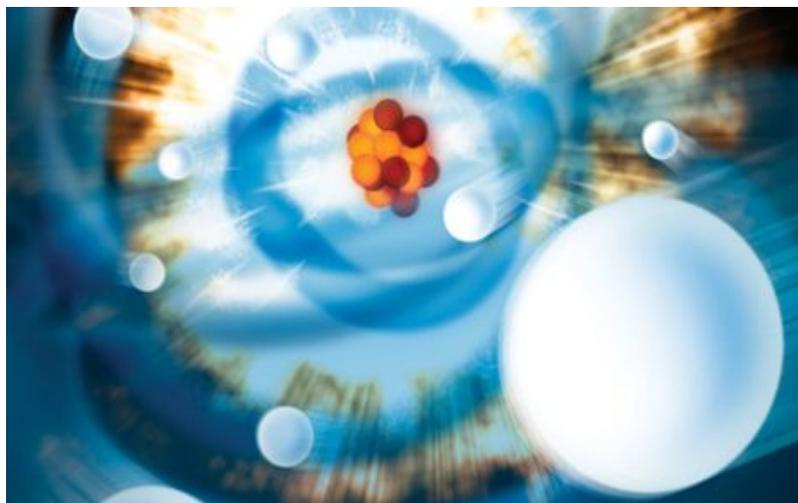
- Энергия и масса – это две взаимосвязанные характеристики любого физического объекта.

- Энергия тела или системы тел равна массе, умноженной на квадрат скорости света  $E = mc^2$

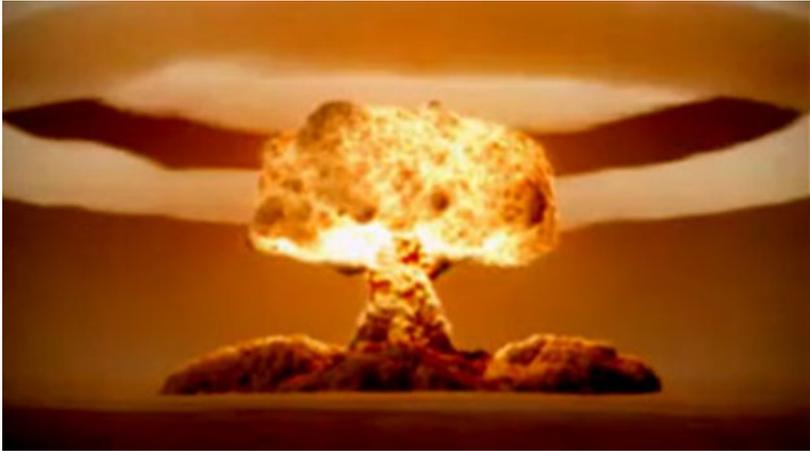
- Любое тело уже только благодаря факту своего существования обладает энергией, которая пропорциональна массе покоя

$$E_0 = m_0 c^2$$

- Следовательно,  $E = E_0 + \Delta E$  , где  $\Delta E$ -кинетическая энергия частицы



При превращениях элементарных частиц энергия покоя целиком превращается в кинетическую энергию вновь образовавшихся частиц



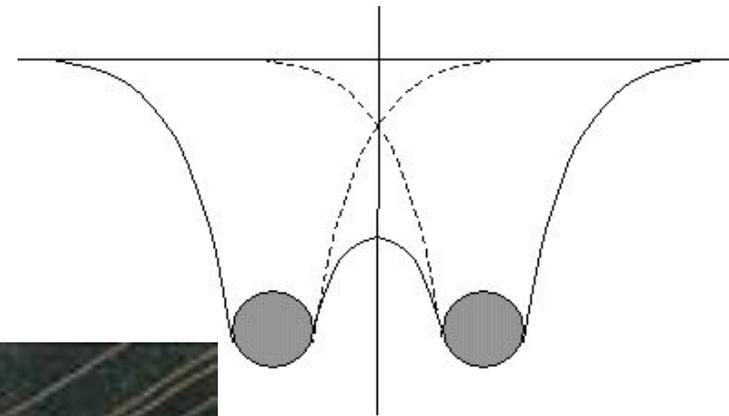
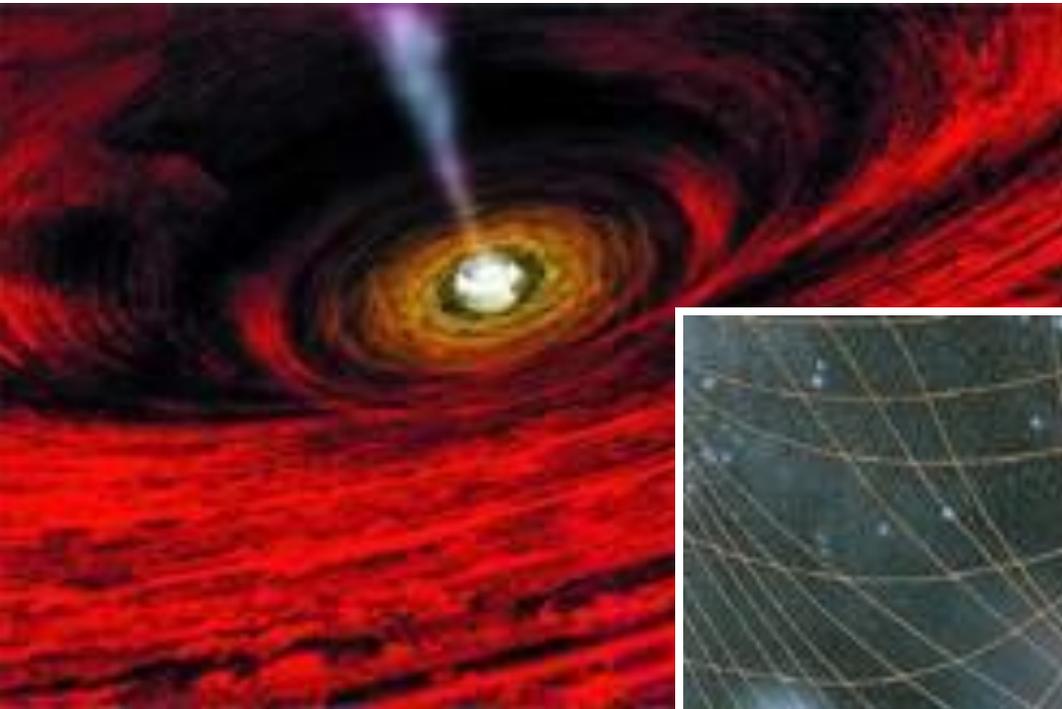
Взрыв атомной бомбы – это мгновенное превращение в энергию части массы материала бомбы



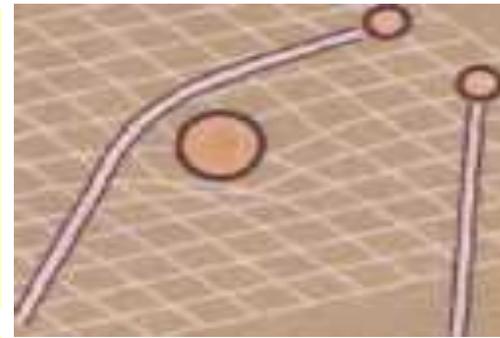
Энергия Солнца имеет подобное происхождение: каждую секунду в этом пылающем огненном шаре миллионы тонн материи преобразуются в гигантское количество энергии излучения

# Основные выводы из общей теории относительности Эйнштейна (1915 г.)

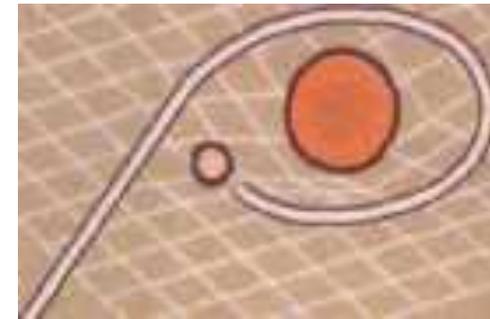
- Искривление пространства вблизи тяготеющих масс
- Замедление времени вблизи тяготеющих масс



Тело с гигантской массой деформирует космическое пространство-время настолько, что траектории пролетающих вблизи этого тела объектов искривляются



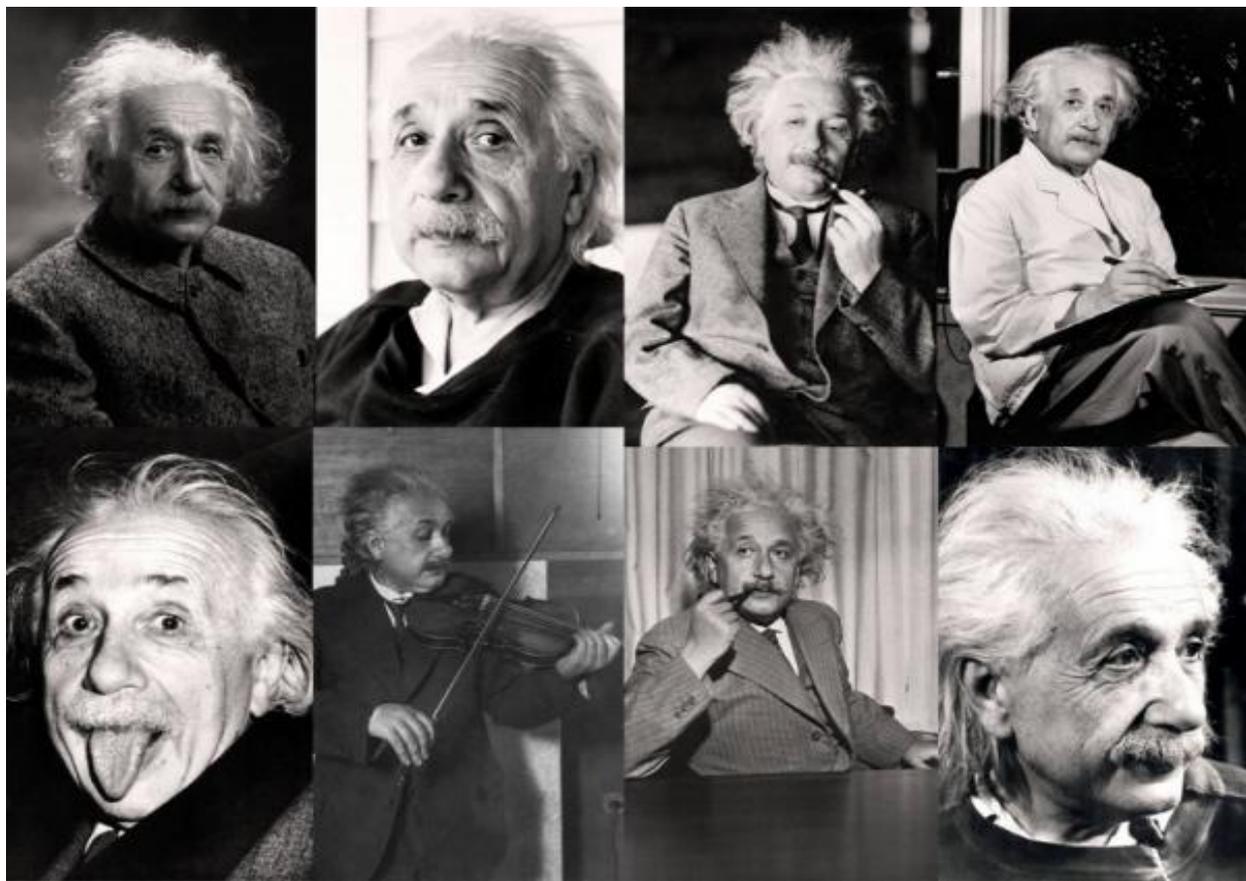
Гигантские массы звезд так сильно искривляют пространство-время, что планеты начинают двигаться вокруг звезд по своим орбитам



Вблизи небесных тел с огромной массой свет тоже отклоняется от движения по прямой. Звезда кажется сдвинутой по сравнению со своим действительным положением в пространстве

В экстремальном случае особенно плотные массы вещества могут создавать так называемые черные дыры, из которых не может вырваться даже свет





Образование — это то, что остается после того, когда забываешь все, чему учили в школе.

Через 30 лет вы совершенно точно забудете все, что вам приходилось изучать в школе. Запомнится только то, чему вы научились сами.

# 10 золотых правил Альберта Эйнштейна

1. **Человек, который никогда не ошибался, никогда не пробовал сделать что-нибудь новое.**

Большинство людей не пробует делать ничего нового из-за страха ошибиться. Но этого не надо бояться. Зачастую человек, потерпевший поражение, узнает о том, как побеждать больше, чем тот, к кому успех приходит сразу.

2. **Образование — это то, что остается после того, когда забываешь все, чему учили в школе.**

Через 30 лет вы совершенно точно забудете все, что вам приходилось изучать в школе. Запомнится только то, чему вы научились сами.

3. В своем воображении я свободен рисовать как художник. Воображение важнее знания. Знание ограничено. Воображение охватывает весь мир.

Когда понимаешь насколько далеко человечество продвинулось с пещерных времен, сила воображения ощущается в полном масштабе. То, что мы имеем сейчас, достигнуто с помощью воображения наших прадедов. То, что у нас будет в будущем, будет построено с помощью нашего воображения.

4. Секрет творчества состоит в умении скрывать источники своего вдохновения.

Уникальность вашего творчества зачастую зависит от того, насколько хорошо вы умеете прятать свои источники. Вас могут вдохновлять другие великие люди, но если вы в положении, когда на вас смотрит весь мир, ваши идеи должны выглядеть уникальными.

5. Ценность человека должна определяться тем, что он дает, а не тем, чего он способен добиться. Старайтесь стать не успешным, а ценным человеком.

Если посмотреть на всемирно известных людей, то можно увидеть, что каждый из них что-то дал этому миру. Нужно давать, чтобы иметь возможность брать. Когда вашей целью станет увеличение ценностей в мире, вы поднимитесь на следующий уровень жизни

6. Есть два способа жить: вы можете жить так, как будто чудес не бывает и вы можете жить так, как будто все в этом мире является чудом.

Если жить, будто ничего в этом мире не является чудом, то вы сможете делать все, что захотите и у вас не будет препятствий. Если же жить так, будто все является чудом, то вы сможете наслаждаться даже самыми небольшими проявлениями красоты в этом мире. Если жить одновременно двумя способами, то ваша жизнь будет счастливой и продуктивной

7. Когда я изучаю себя и свой способ думать, я прихожу к выводу, **что дар воображения и фантазии значил для меня больше**, чем любые способности к абстрактному мышлению.

Мечты обо всем, чего бы вы могли добиться в жизни, — это важный элемент позитивной жизни. Позвольте вашему воображению свободно блуждать и создавать мир, в котором вы бы хотели жить

8. Чтобы стать безупречным членом стада овец, нужно в первую очередь быть овцой.

Если вы хотите стать успешным предпринимателем, нужно начинать заниматься бизнесом прямо сейчас. Хотеть начать, но бояться последствий, вас ни к чему не приведет. Это справедливо и в других областях жизни: **чтобы выигрывать, прежде всего нужно играть.**

9. Нужно выучить правила игры. А затем, нужно начать играть лучше всех.

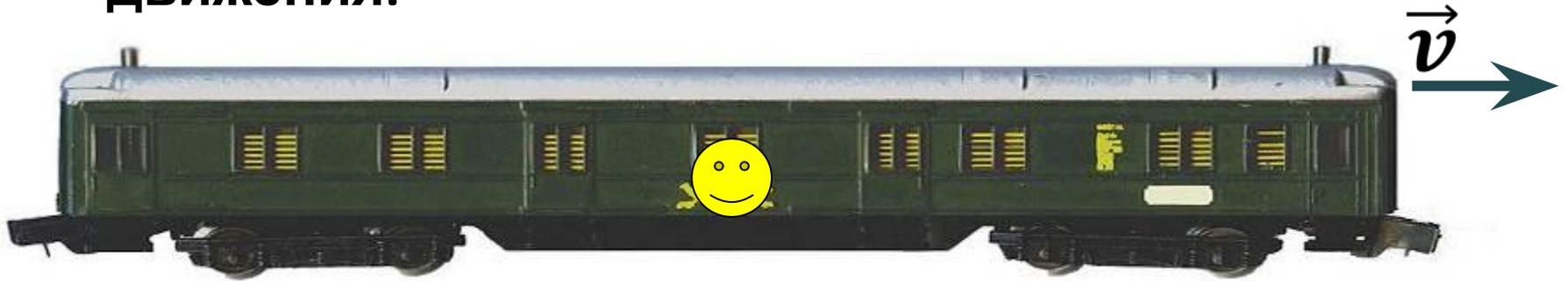
Выучите правила и играйте лучше всех. Просто, как и все гениальное.

10. Очень важно не перестать задавать вопросы. Любопытство не случайно дано человеку.

Умные люди всегда задают вопросы. Спрашивайте себя и других людей, чтобы найти решение. Это позволит вам узнавать новое и анализировать собственный рост.

1. Стержень длиной 1 м движется мимо наблюдателя со скоростью  $0,8c$ . Какой покажется наблюдателю его длина?
2. Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростями: 1)  $v=0,5c$  и  $u=0,75c$ ; 2)  $v = c$  и  $u=0,75c$ . Найти их относительную скорость в первом и втором случаях.
3. Протон движется со скоростью  $0,7c$  ( $c$  — скорость света). Найти импульс и кинетическую энергию протона.
4. Определить релятивистский импульс электрона, обладающего кинетической энергией  $T = 5$  МэВ.
5. Кинетическая энергия  $T$  электрона равна 1 МэВ. Определить скорость электрона.
6. Определить релятивистский импульс  $p$  и кинетическую энергию  $T$  электрона, движущегося со скоростью  $v = 0,9c$  (где  $c$  — скорость света в вакууме).

**В вагоне, движущемся относительно полотна железной дороги, посылается световой сигнал в направлении движения.**



**Какова скорость светового сигнала относительно человека в вагоне?**

~~Какова скорость светового сигнала относительно человека в вагоне?~~

**Какова скорость светового сигнала относительно человека на земле?**