

Специальная теория относительности (СТО), частная теория относительности — теория, заменившая механику Ньютона при описании движения тел со скоростями, близкими к скорости света. При малых скоростях различия между результатами СТО и ньютоновской механикой становятся незначительными.

Содержание

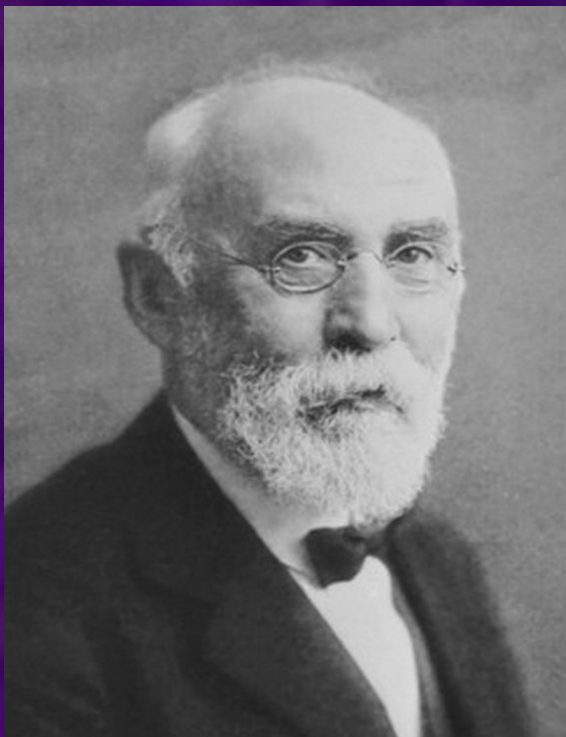
- Рождение теории. Эйнштейн
- Принцип относительности
- Преобразования Галилея и Лоренца
- Специальная теория относительности
- ◆ Создание СТО
- ◆ Релятивистская теория
- ◆ Постулаты Эйнштейна
- Следствия СТО
- ◆ «Поезд Эйнштейна»
- ◆ «Парадокс близнецов»
- Элементы релятивистской динамики

История СТО

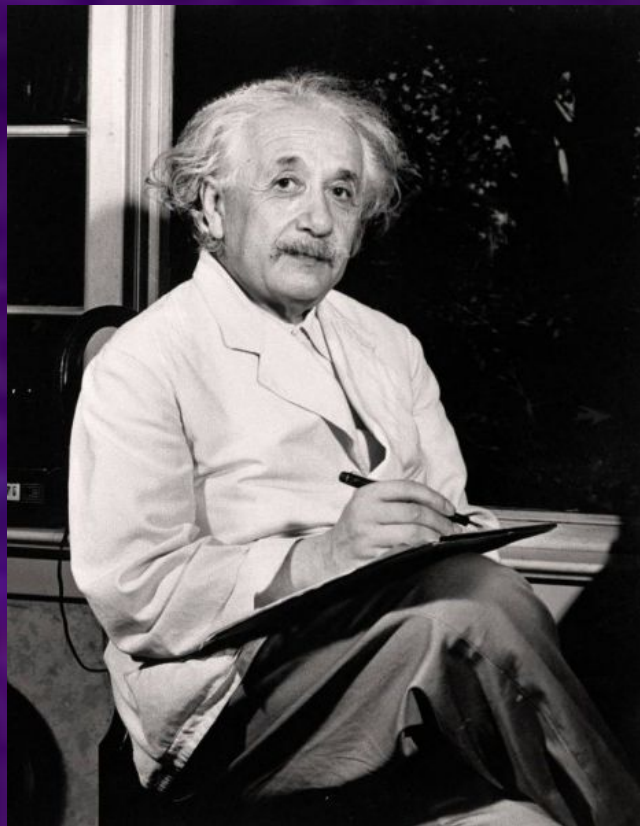
Специальная теория относительности была разработана в начале XX века усилиями Г. А. Лоренца, А. Пуанкаре и А. Эйнштейна. Вопрос приоритета в создании СТО имеет дискуссионный характер: основные положения и полный математический аппарат теории, включая групповые свойства преобразований Лоренца, в абстрактной форме были впервые сформулированы А. Пуанкаре в работе «О динамике электрона» на основе предшествующих результатов Г. А. Лоренца, а явный абстрактный вывод базиса теории — преобразований Лоренца - из минимума исходных постулатов был дан А. Эйнштейном в практически одновременной работе «К электродинамике движущихся сред». Экспериментальной основой для создания СТО послужил опыт Майкельсона.

Описываемые СТО отклонения в протекании физических процессов от предсказаний классической механики называют релятивистскими эффектами, а скорости, при которых такие эффекты становятся существенными, — релятивистскими скоростями.

СТО перестает работать в масштабах всей Вселенной, а также в случаях сильных полей тяготения, где её заменяет более общая теория — **общая теория относительности**. Специальная теория относительности применима и в микромире, её синтезом с квантовой механикой является квантовая теория поля.



Г.А. Лоренц



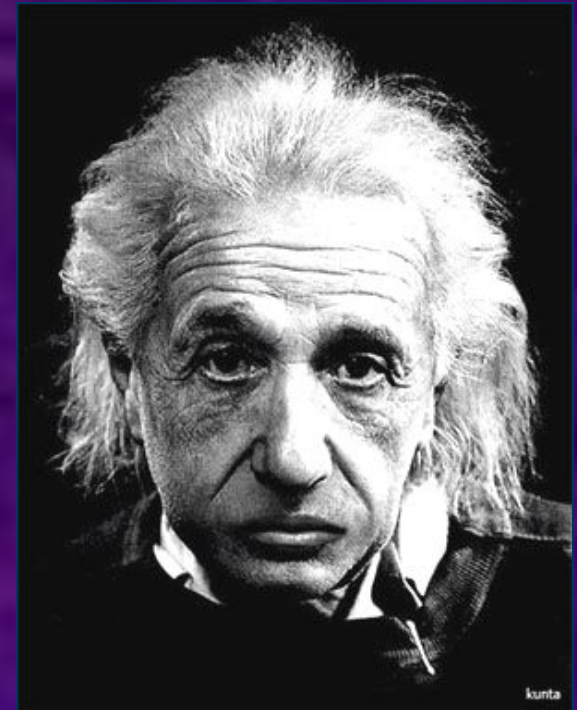
А. Эйнштейн



А. Пуанкаре

Рождение теории

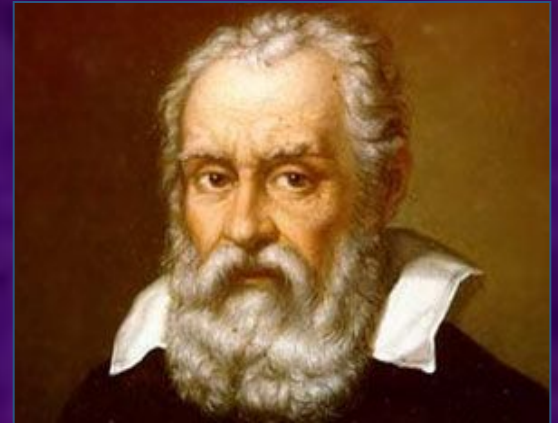
Великий немецкий ученый-физик Альберт Эйнштейн (1879-1955) до 1933 г. жил в Германии, затем в США. Член многих академий наук, почетный член Академии наук СССР, лауреат Нобелевской премии 1921г. Выдающийся вклад Эйнштейна в науку - создание теории относительности. В 1905г. им была опубликована в почти законченном виде специальная или частичная теория относительности.



«Стремиться не к тому, чтобы добиться успеха, а к тому, чтобы твоя жизнь имела смысл»

Принцип относительности Галилея

Все механические явления в различных инерциальных системах протекают одинаково, т.е. никакими механическими опытами, проводимыми «внутри» данной инерциальной системы, невозможно установить, покоится данная система или движется прямолинейно и равномерно.



Все системы отсчета, которые относительно инерциальной движутся равномерно и прямолинейно, также являются инерциальными. Систему, движущуюся ускоренно относительно инерциальной, называют неинерциальной.

Принцип относительности Галилея

Г.Галилеем было установлено, что все механические явления в различных инерциальных системах протекают одинаково, т.е. никакими механическими опытами, проводимыми «внутри» данной инерциальной системы, невозможно установить, покоится данная система или движется прямолинейно и равномерно. Это положение названо *принципом относительности Галилея*.

Принцип относительности Галилея является обобщением многочисленных опытов. По принципу Галилея, все системы отсчета, которые относительно инерциальной движутся равномерно и прямолинейно, также являются инерциальными. Систему, движущуюся ускоренно относительно инерциальной, называют неинерциальной.

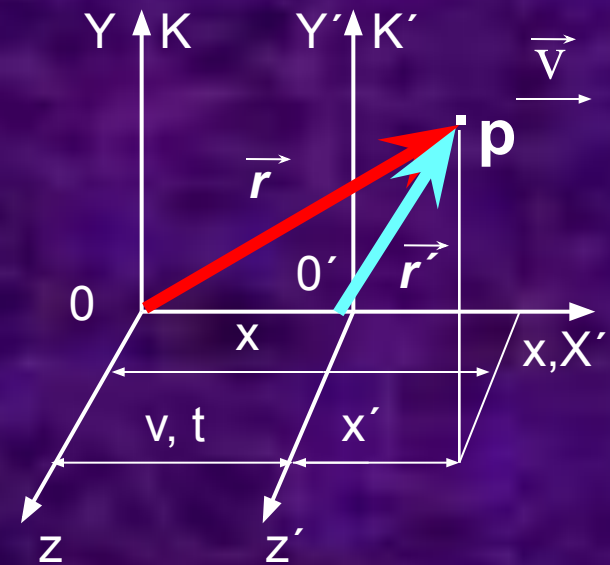
Преобразования Галилея

Формулы преобразования координат при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой (инерциальная система K' движется со скоростью v вдоль оси OX относительно другой инерциальной системы K ; оси координат систем K и K' в начальный момент времени $t=t'=0$ совпадали):

$$x' = x - vt, \quad y' = y, \quad z' = z$$

Допустим, материальная точка P покоится относительно системы K . Её положение в системе K характеризуется радиусом-вектором \vec{r} или координатами x, y, z . Относительно системы K' эта точка движется и её положение в системе K' характеризуется радиусом-вектором \vec{r}' или координатами x', y', z' .

Время в обеих инерциальных системах отсчета K и K' течет одинаково, часы синхронизированы, т.е. $t=t'$.



Преобразования Галилея

Связь между радиусами-векторами \vec{r}' и \vec{r} одной и той же точки Р в системах К и К' имеет вид

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{vt}.$$

Если материальная точка Р неподвижна в системе К', то уравнение её движения в системе К можно записать с помощью *обратных преобразований Галилея*:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{vt},$$
$$x = x' + vt, \quad y = y', \quad z = z'.$$

Противоречия, решаемые СТО

К концу XIX в. развитие физики привело к созданию классической электродинамики, выводу скорости света из теории и осознанию несовместимости трех принципиальных положений классической механики:

- скорость света в пустом пространстве всегда постоянна, независимо от движения источника или приемника света;
- в двух системах координат, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга, все законы природы строго одинаковы, и нет никакого средства обнаружить абсолютное прямолинейное и равномерное движение (принцип относительности);
- координаты и скорости преобразовываются из одной инерциальной системы в другую согласно классическим преобразованиям Галилея.

Основные понятия СТО

- *Система отсчёта* представляет собой некоторое материальное тело, выбираемое в качестве начала этой системы, способ определения положения объектов относительно начала системы отсчёта и способ измерения времени. Обычно различают системы отсчёта и системы координат. Добавление процедуры измерения времени к системе координат «превращает» её в систему отсчёта.
- **Инерциальная система отсчёта (ИСО)** — это такая система, относительно которой объект, не подверженный внешним воздействиям, движется равномерно и прямолинейно.
- **Событием** называется любой физический процесс, который может быть локализован в пространстве, и имеющий при этом очень малую длительность. Другими словами, событие полностью характеризуется координатами (x, y, z) и

Постулаты СТО

▣ **Принцип относительности Эйнштейна:**

Уравнения, выражающие законы природы инвариантны (неизменны) по отношению к преобразованию координат и времени от одной инерциальной системы отсчета к другой.

▣ **Принцип постоянства скорости света:**

Скорость света в пустоте одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источника или приемника света. Скорость света в вакууме всегда постоянна и равна 300000 км/с, она является предельной скоростью распространения любого сигнала.

Формулировка второго постулата может быть шире:

«Скорость света постоянна во всех инерциальных системах отсчёта»

Преобразования Лоренца

Преобразования Галилея исходят из предположения, что синхронизация часов осуществляется с помощью мгновенно распространяющихся сигналов. Однако таких сигналов в действительности не существует.

Существование верхней границы для скорости распространения сигналов привело к другим формулам преобразования, позволяющим по координатам и времени произвольного события, найденным в определенной инерциальной системе K , найти координаты того же самого события в любой другой инерциальной системе K' , движущейся относительно K в направлении оси x прямолинейно и равномерно со скоростью v :

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \quad y' = y \quad z' = z \quad t' = \frac{t - v \cdot x / c^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}}$$



Преобразования Лоренца

При $v \ll c$ преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея. Теория относительности не отвергает преобразования Галилея, а включает их как частный случай, справедливый при малых V .

Из преобразований Лоренца следует, что скорость V не может быть равна или больше скорости света C , так как подкоренное выражение при $V=C$ обращается в нуль, а при $V>C$ отрицательно и преобразования Лоренца теряют физический смысл

Следствия из преобразований Лоренца

Релятивистский эффект замедления времени (если в точке x' системы K' происходит процесс длительностью $\tau_0 = t'_2 - t'_1$ (собственное время), где t'_1 и t'_2 – показания часов в K' в начале и конце процесса) - длительность τ процесса в системе K :

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

Релятивистское сокращение длины:

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

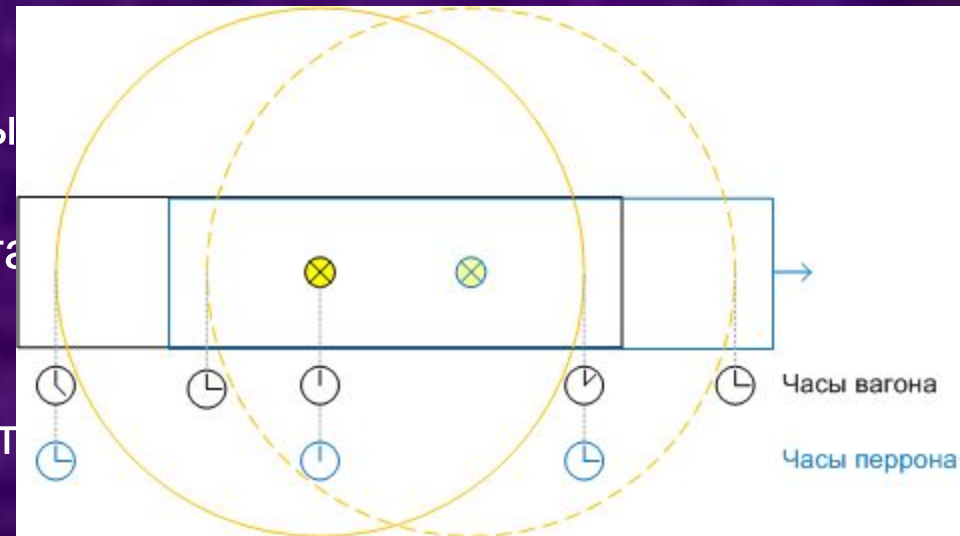
Мысленный эксперимент «Поезд Эйнштейна»

Пусть наблюдатель, едущий в поезде измеряет скорость света, испускаемого в направлении движения поезда, т.е. движущегося со скоростью c в системе отсчета - железнодорожное полотно, относительно которого поезд движется со скоростью v . Какова же скорость света относительно движущегося вагона? Она равна $w = c - v$.

Тогда скорость света - разная по отношению к различным инерциальным системам отсчета, в роли которых выступают железнодорожное полотно и движущийся вагон.

Это противоречит принципу относительности, согласно которому физические процессы происходят одинаково во всех инерциальных системах отсчета. С другой стороны, - положению о постоянной скорости света, т.к. скорость света не зависит от скорости движения источника света и одинакова во всех инерциальных системах отсчета.

Она конечна и является предельной скоростью распространения любого сигнала.'

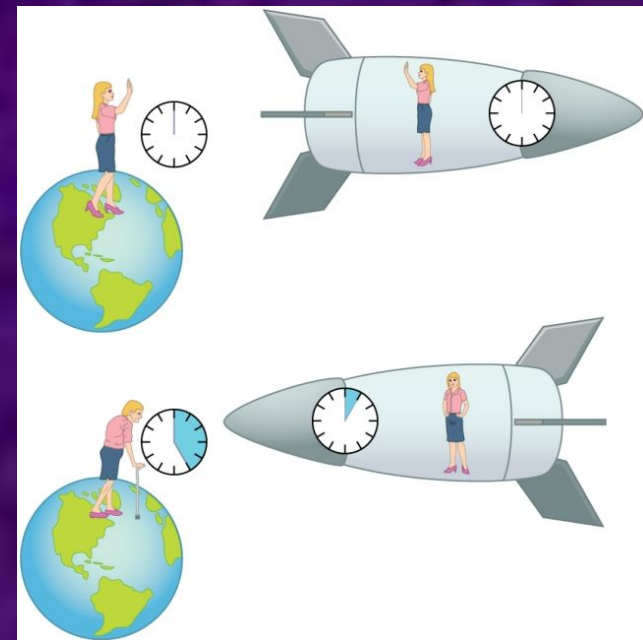


Мысленный эксперимент «Парадокс Близнецов»

При движении со скоростью, приближающейся к скорости света, замедляется время, замедляются все процессы, происходящие в системе, в том числе в живых организмах.

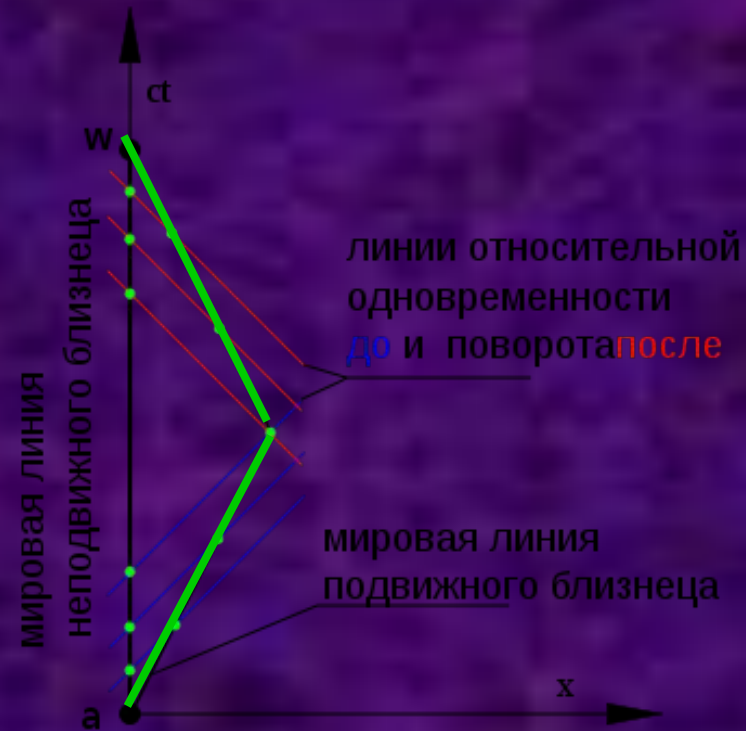
Поэтому из двух близнецов, космонавт, вернувшийся на Землю после полета с околосветовой скоростью, окажется моложе своей сестры, оставшейся на Земле, т.к. на космическом корабле темп времени. Парадокс близнецов был подтвержден экспериментально. Однако, эффекты замедления времени очень малы ($v_0 / c \ll 1$).

При этом важно, что система отсчета, связанная с Землей, с хорошей степенью точности инерциальна, а система отсчета корабля — существенно неинерциальна. Силы инерции связаны с ускорением относительно в среднем покоящейся Вселенной, поэтому на сестру-космонавта они будут действовать значительно, а на сестру-домоседа — слабо.



«Парадокс Близнецов»

Мировые линии сестер А и Б различны. Одна из них (Б) находится в покое, другая (А) совершает движение с постоянной скоростью, которая в определенный момент изменяется на обратную, что возможно только при торможении и последующем ускорении космического корабля (что соответствует движению в неинерциальной системе отсчета). Таким образом, сестра А движется от Земли и к Земле, находясь в покое сначала относительно одной инерциальной системы, а затем — относительно другой, и по дороге переходит на короткое время в неинерциальную систему. В то же время сестра Б покоится относительно одной и той же инерциальной системы.



Элементы релятивистской динамики

Для того, чтобы закон сохранения импульса выполнялся во всех инерциальных системах отсчета, вместо классического импульса

в СТО введен **релятивистский импульс** тела:

$$\vec{p} = \frac{m \vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Релятивистский импульс тела можно рассматривать как произведение релятивистской массы тела на скорость его движения. Релятивистская масса m тела возрастает с увеличением скорости по закону:

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

где m - масса покоя тела,
 V - скорость его движения.

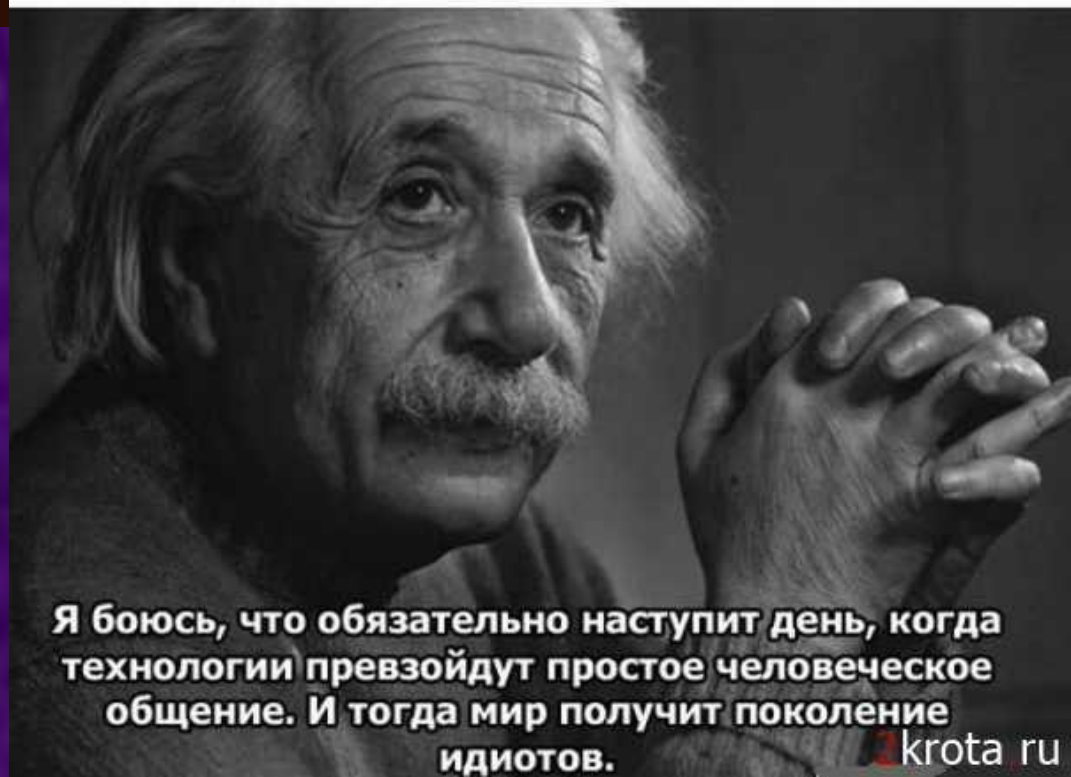
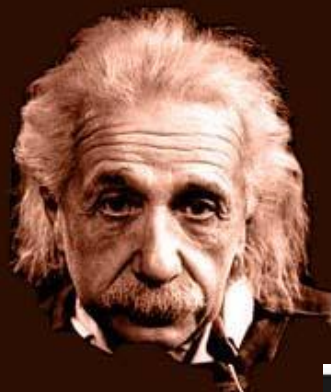
Закон пропорциональности массы и энергии является одним из самых важных выводов СТО. Масса и энергия являются различными свойствами материи. Масса тела характеризует его инертность, а также способность тела вступать в гравитационное взаимодействие с другими телами. Формула Эйнштейна выражает фундаментальный закон природы, который принято называть **законом взаимосвязи массы и энергии**:

$$E_0 = mc^2$$

Для покоящихся частиц ($p = 0$) $E = E_0 = mc^2$, $E = pc$.

*“Только две вещи
бесконечны: вселенная
и человеческая глупость...”*

*...насчет
вселенной
я не уверен”.*



**Я боюсь, что обязательно наступит день, когда
технологии превзойдут простое человеческое
общение. И тогда мир получит поколение
идиотов.**



Пробуди в себе гения

6 советов Альберта Эйнштейна

Если идея поначалу не кажется абсурдной, то она безнадежна

Главное, не перестать задаваться вопросами

Не бросай проблему, думай над ней дольше других



Если найденное решение является простым, значит отвечает сам бог

Логика поможет тебе попасть из А только в Б, воображение же может унести в любую точку

Бездумное уважение мнения авторитетов - самый большой враг истины

