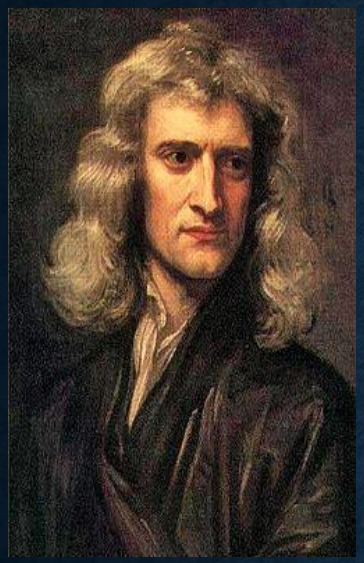
СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ



$$\vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v} = \overrightarrow{const}$$

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21}$$

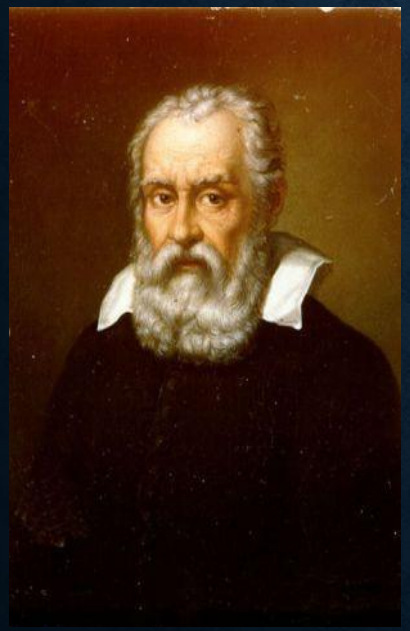
$$\vec{F}_{\text{тяг}} = G\frac{m_1 m_2}{r^3}\vec{r}$$

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

$$\nabla \cdot B = 0$$

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

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



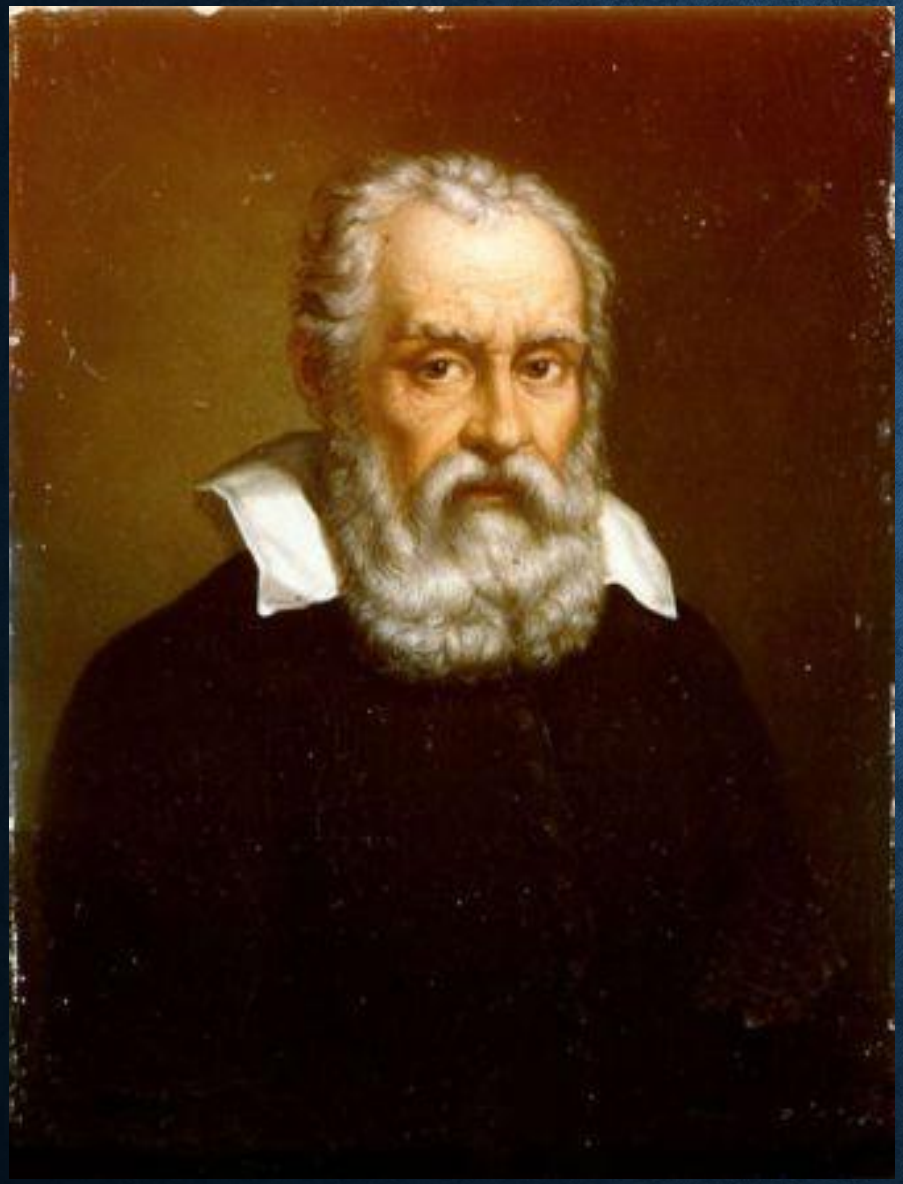
Все механические процессы и явления протекают одинаково в инерциальных системах отчета.

Экспериментальное подтверждение существования электромагнитных волн.

КЛАССИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

В классической механике перемещение и скорость относительны, а время абсолютно. Эти факты связаны с принципом относительности Галилея, и открытиями Ньютона:

- **Принцип сложения скоростей**: *«Скорость тела складывается из скорости системы отсчёта и скорости движения тела в ней»* $\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$
- **Принцип относительности Галилея**: *«Все физические явления протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчёта»*



Галилео Галилей

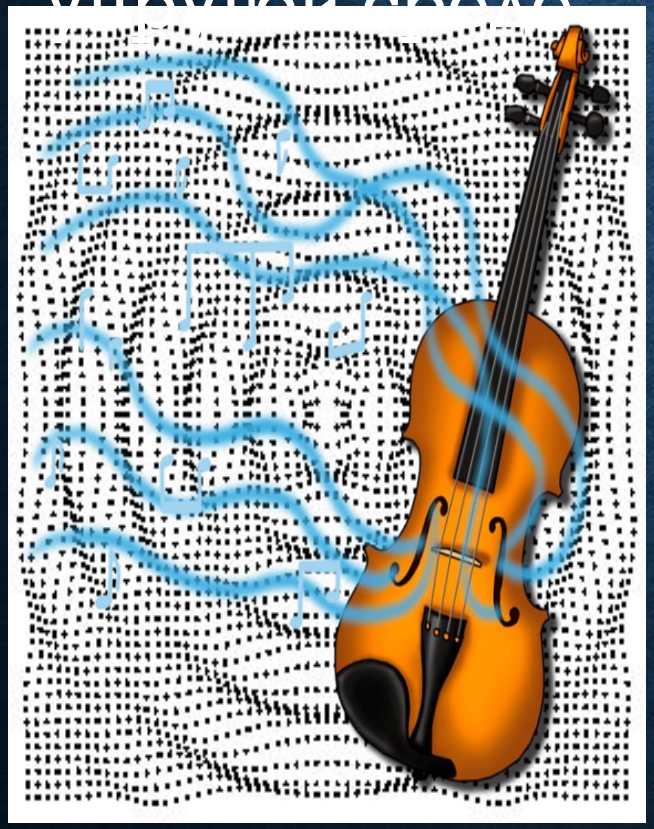
Принцип относительности Галилея:

Электромагнитные процессы должны протекать одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

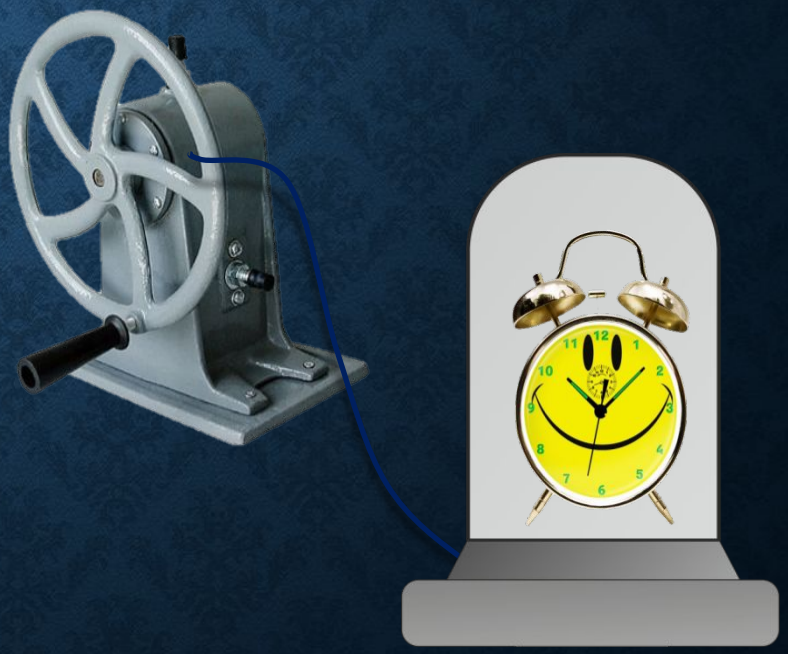
Не скажется ли это на справедливости принципа относительности Галилея при описании электро-магнитных явлений?

Однако электромагнитные процессы происходят со скоростями, близкими к скорости света в вакууме.

Звуковые волны могут распространяться только в какой-либо упругой среде.



Звуковые волны не могут распространяться в вакууме.



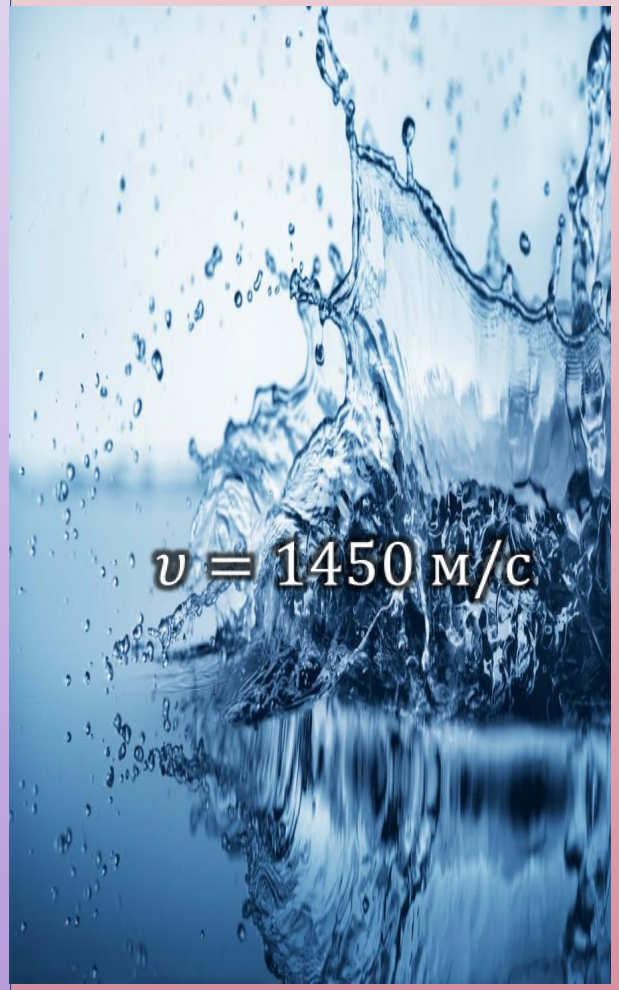
Для распространения света необходима упругая среда - **эфир**.

Свойства эфира:

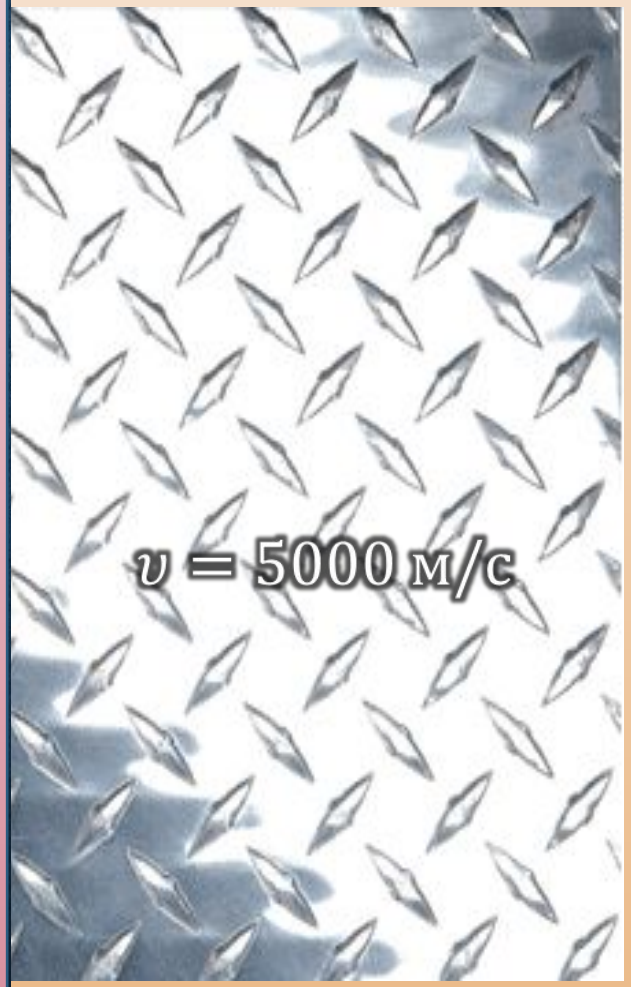
1. Невидимость и невесомость
2. Огромная жесткость

Скорость звука в воздухе

Скорость звука в воде



Скорость звука в стали



Вопрос о влиянии эфира на движение света — основной вопрос электродинамики XIX века.

ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ И ПРИНЦИП ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- В конце 19 века возник вопрос , распространяется ли принцип относительности, справедливый для механических явлений, и на электромагнитные?

- Разрешая возникший вопрос А. Эйнштейн пришел к новым представлениям о пространстве и времени. Возникла специальная теория относительности.

ТЕОРИЯ МАКСВЕЛА

Из открытий Максвелла следует : свет распространяется во всех направлениях с одной и той же скоростью 300 000 км/с, причем эта скорость не зависит от того, движется источник света или покоится.

Физиков того времени этот факт не удивлял, им казалось, что свет представляет собой колебания некой всепроникающей среды, которая находится во всех точках Вселенной и

называется эфиром. Это распространение света в эфире и

обуславливают его постоянство.

То есть в электродинамике существует некая абсолютная система отсчета, которую ученые связывали с так называемым эфиром.

Американские ученые Майкельсон и Морли опровергли

ПАРАДОКС!

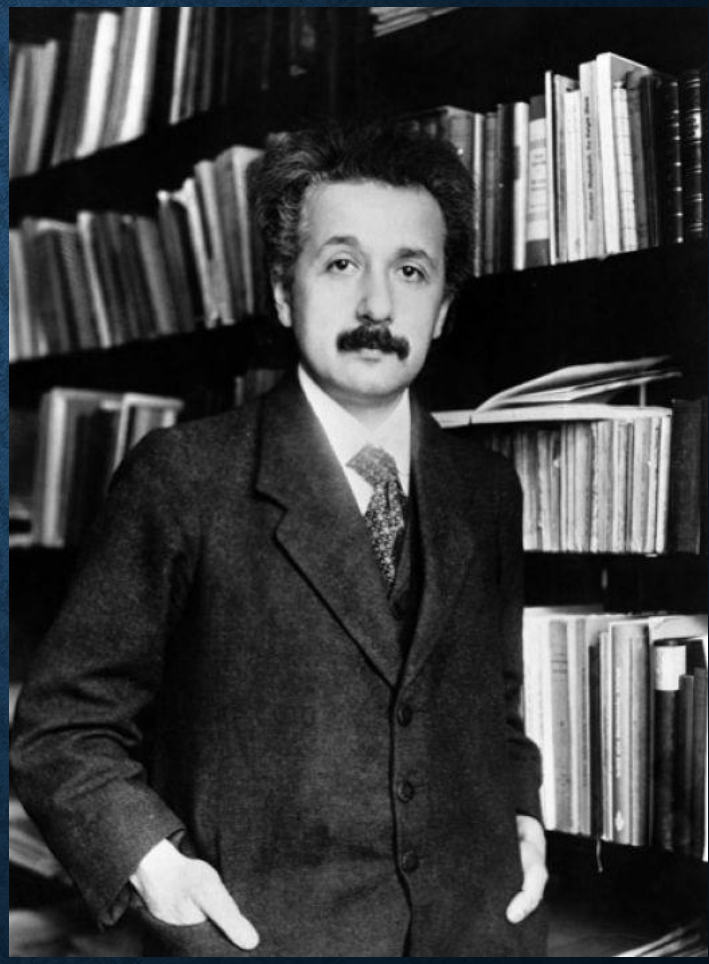
СТО появилась в результате возникшего противоречия между электродинамикой Максвелла и механикой Ньютона.

Электродинамика Максвелла	Механика Ньютона
$c=3\cdot10^8$ м/с	1.Принцип относительности 2.Закон сложения скоростей

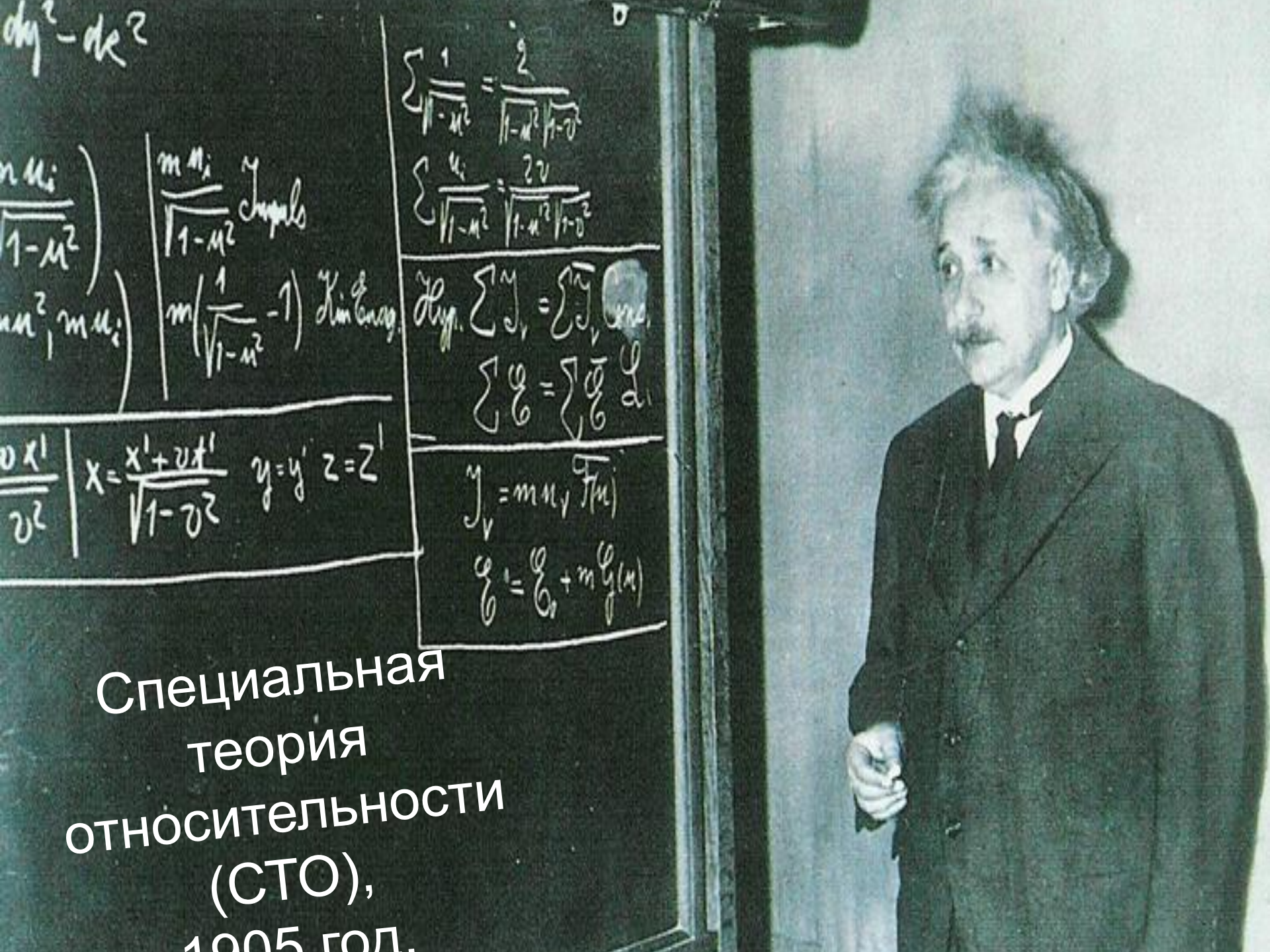
противоречие

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

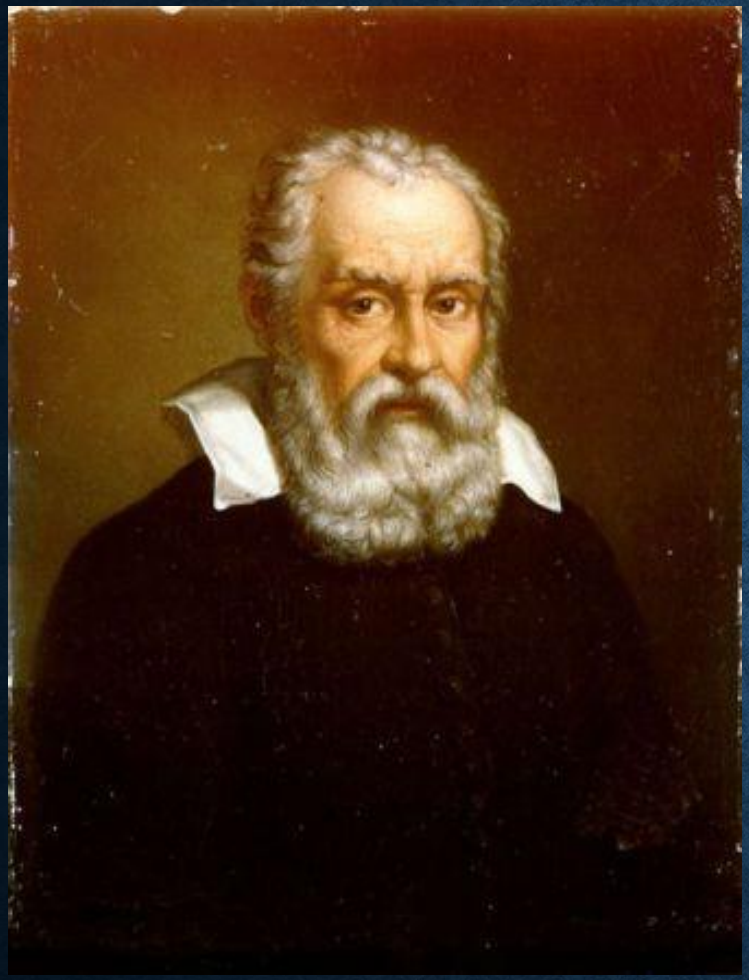
- Альбе́рт Эйнште́йн 14 марта 1879, Ульм, Вюртемберг, Германия - 18 апреля 1955, Принстон, Нью-Джерси, США) - физик-теоретик, один из основателей современной теоретической физики, лауреат Нобелевской премии по физике 1921 года, общественный деятель-гуманист. Жил в Германии (1879-1893, 1914-1933), Швейцарии (1893-1914) и США (1933-1955). Почётный доктор около 20 ведущих университетов мира, член многих Академий наук, в том числе иностранный почётный член АН СССР (1926).



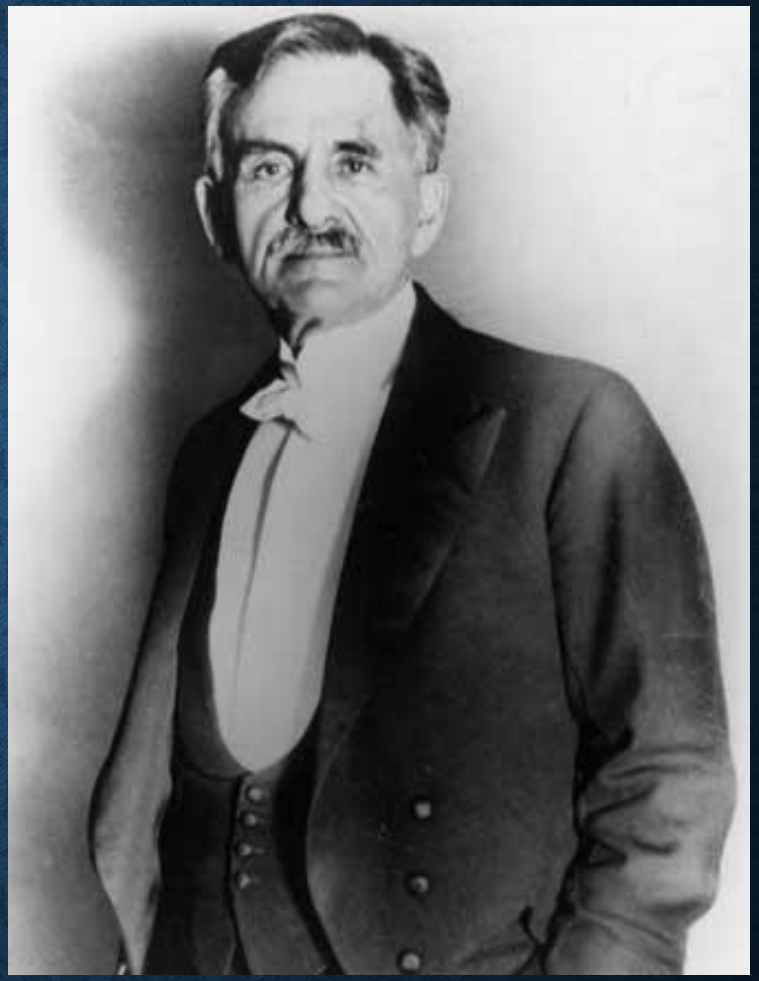
- Эйнштейн - автор более 300 научных работ по физике, а также около 150 книг и статей в области истории и философии науки, публицистики и др. Он разработал несколько значительных физических теорий.



Специальная теория относительности (СТО), 1905 год.



Все инерциальные системы отсчета равноправны по отношению к механическим

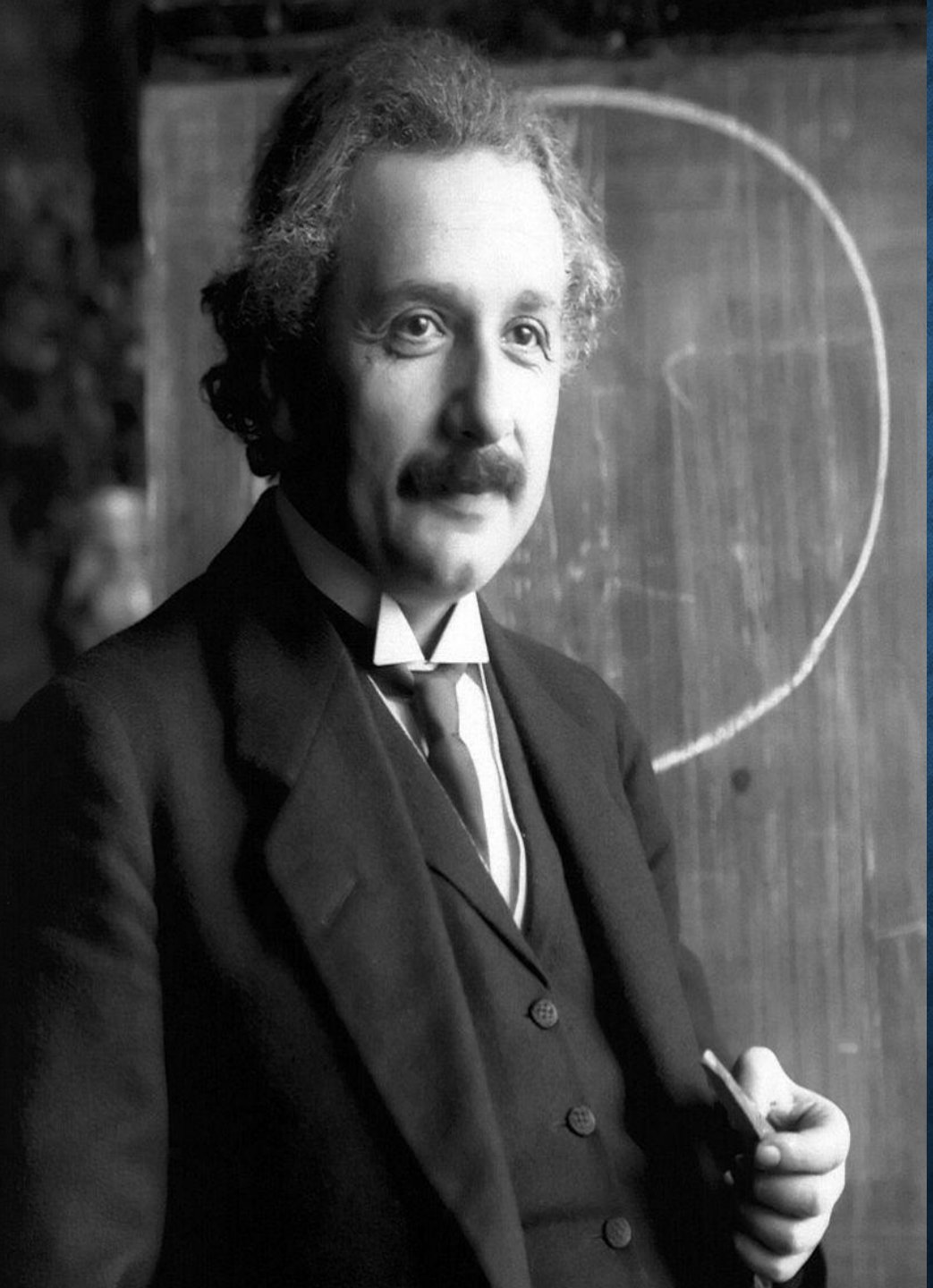


Все инерциальные системы отсчета равноправны и по отношению к электромагнитным

ТЕОРИЯ СТО

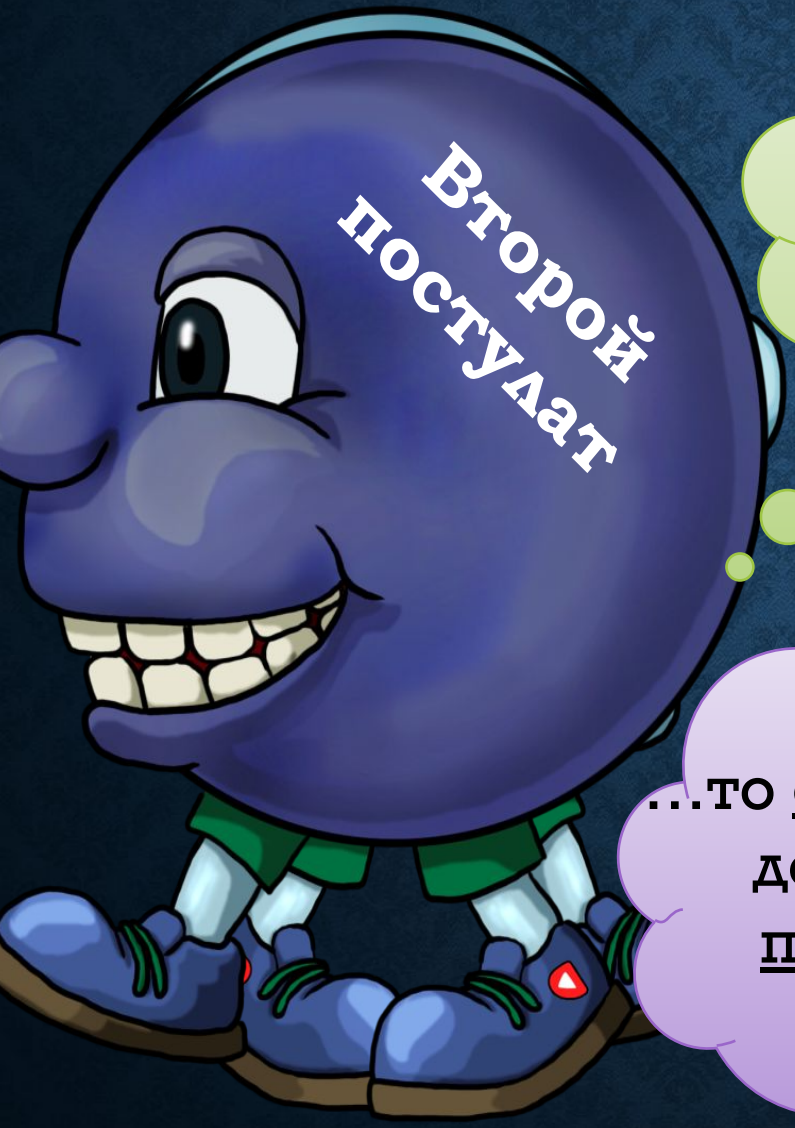
Специальная теория относительности (СТО) – раздел физики , в котором изучаются свойства пространства и времени при движении со скоростями, близкими к скорости света в вакууме.

Скорость света
С=300 000 000 м/с



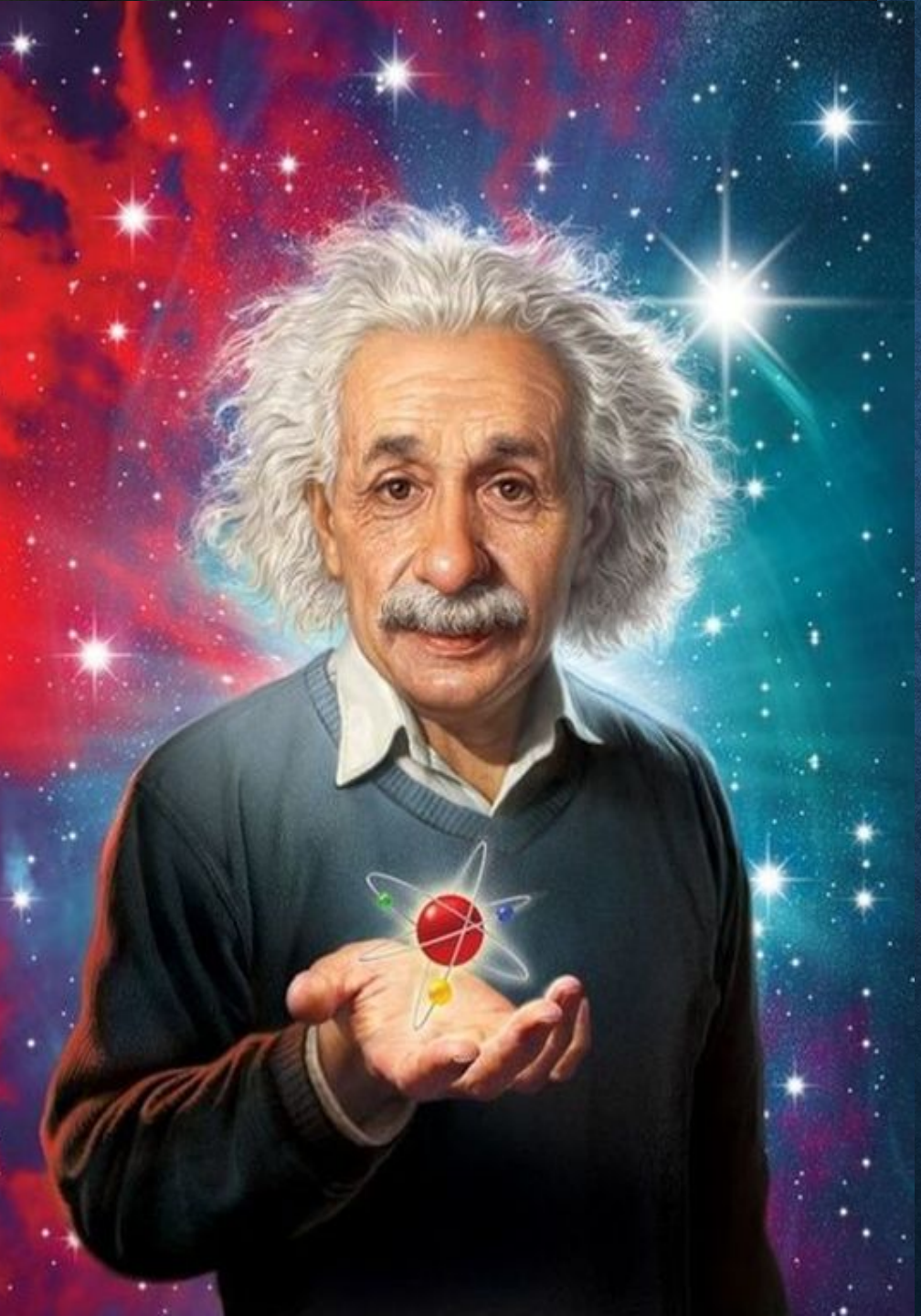
Первый постулат (постулат относительности):

в любых инерциальных системах отсчета все физические явления при одинаковых начальных условиях протекают одинаково.



А если все ИСО равноправны…

…то скорость света должна быть постоянной.



Второй постулат (постулат постоянства скорости света):

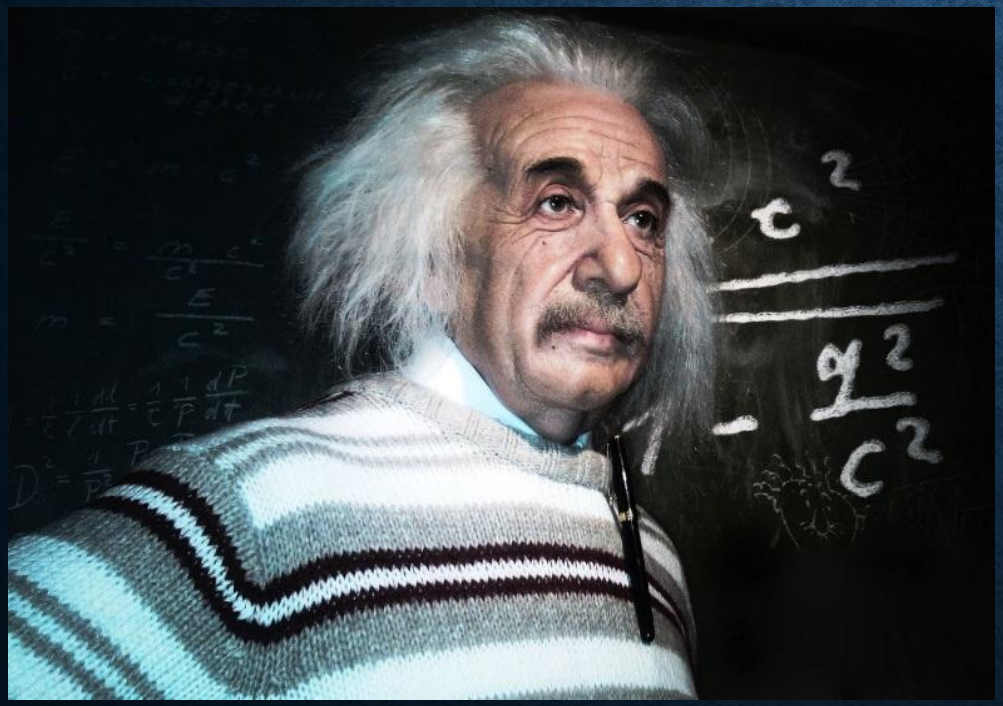
во всех инерциальных системах отсчета скорость света в вакууме одинакова и не зависит от скорости движения источника.

Скорость света является **предельной** скоростью всех процессов и движений, сопровождаемых переносом энергии.

Герман Минковский

Время следует рассматривать как четвертое измерение.

Следствия из теории относительности. Релятивистская динамика



Вы думаете, всё так просто? Да, всё просто. Но совсем не так.

Альберт Эйнштейн

СЛЕДСТВИЯ СТО.
<u>ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ОДНОВРЕМЕННОСТИ</u>

1. Два пространственно разделенных события, одновременные в одной ИСО, могут не быть одновременными в другой ИСО.
2. При переходе из одной СО в другую может изменяться последовательность событий во времени, однако последовательность причинно-следственных событий остается неизменной во всех СО: следствие наступает после причины.
3. Причиной относительности одновременности является конечность скорости распространения сигналов.

Следствия из постулатов СТО:

1. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЕЖУТКОВ ВРЕМЕНИ: ХОД ДВИЖУЩИХСЯ ЧАСОВ ЗАМЕДЛЯЕТСЯ.

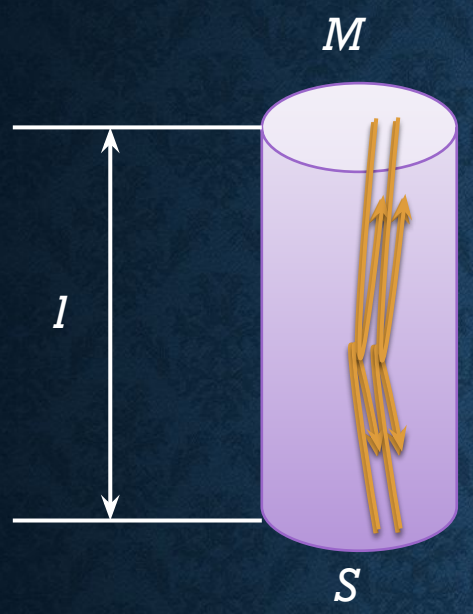
$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}} \Rightarrow \tau \rangle \tau_0$$

τ_0 – интервал времени, измеренный часами, покоящимися в той СО, где оба события произошли в одной и той же точке пространства.

τ – интервал времени между двумя событиями, измеренный движущимися часами.

Вывод: $\tau > \tau_0$

В этом состоит релятивистский эффект замедления времени в движущихся системах отсчёта.



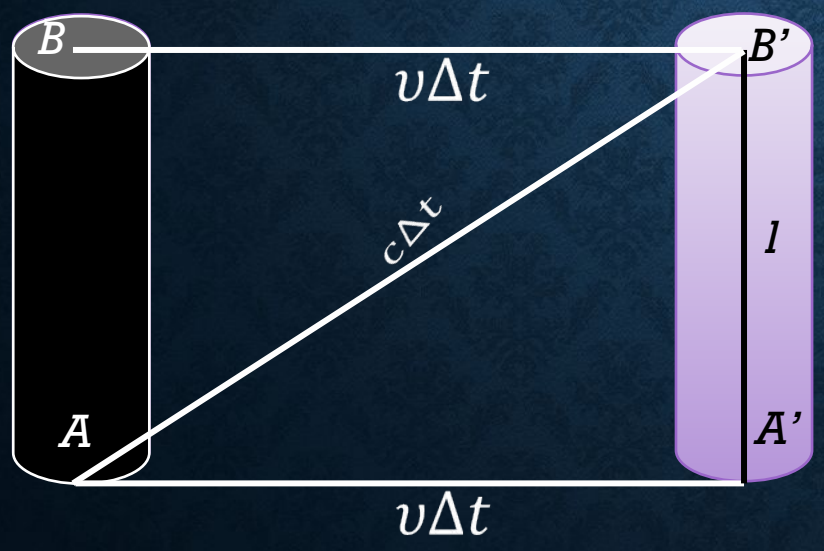
Для покоящегося наблюдателя, промежуток времени между вспышками:

$$\tau_0 = \frac{2l}{c}$$

Из прямоугольного треугольника *AB'A'*:

$$(c\Delta t)^2 = (v\Delta t)^2 + l^2$$

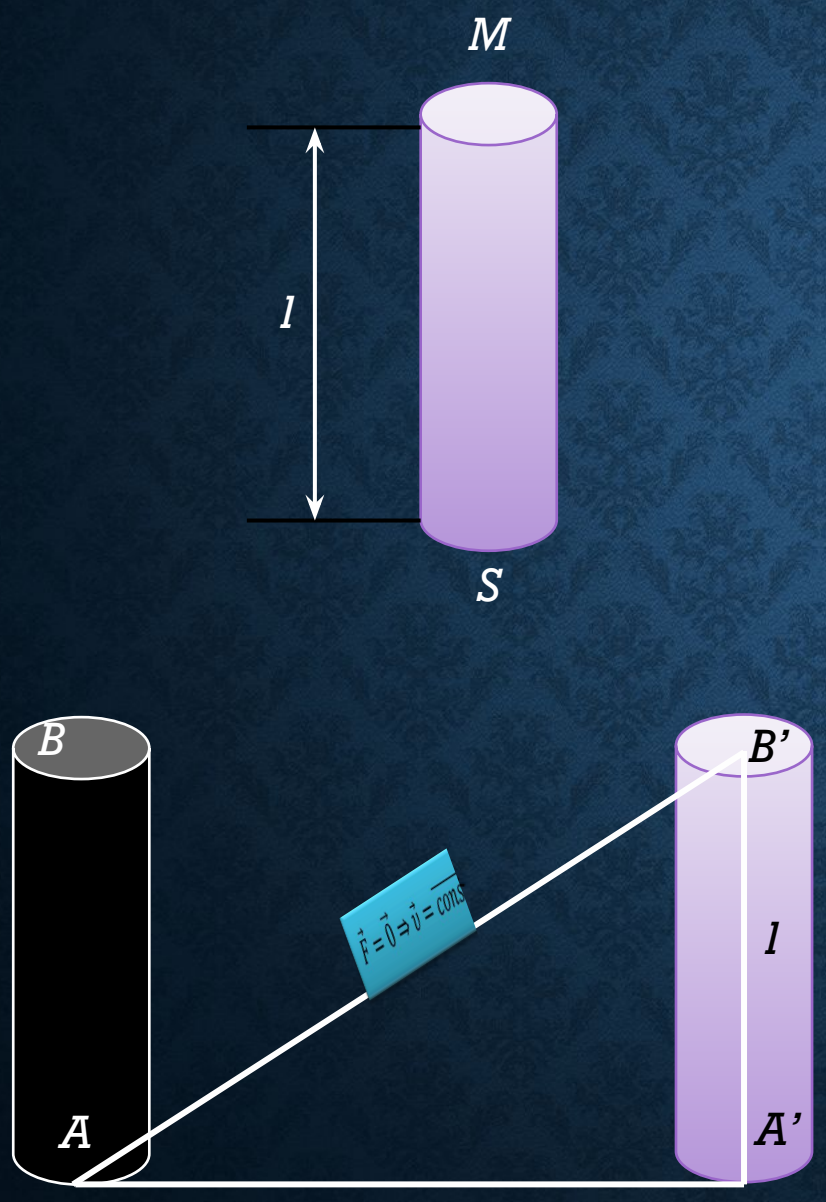
$$\Delta t = \frac{l}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$



Так как $\tau = \Delta t$:

$$\tau = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{\frac{2l}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Релятивистский эффект замедления времени



$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2}{c^2}}}$$

Промежуток времени τ_0 измеренный по часам наблюдателя, покоящегося в данной ИСО, называется **собственным временем** наблюдателя.

Собственное время <u>одинаково во всех инерциальных системах отсчета</u>.

2.РЕЛЯТИВИСТСКОЕ СОКРАЩЕНИЕ РАЗМЕРОВ ТЕЛА В ДВИЖУЩЕЙСЯ СО

Относительность расстояний

Расстояние не является абсолютной величиной, а зависит от скорости движения тела относительно данной системы отсчета.

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

1. Длина движущегося предмета сокращается в направлении движения.

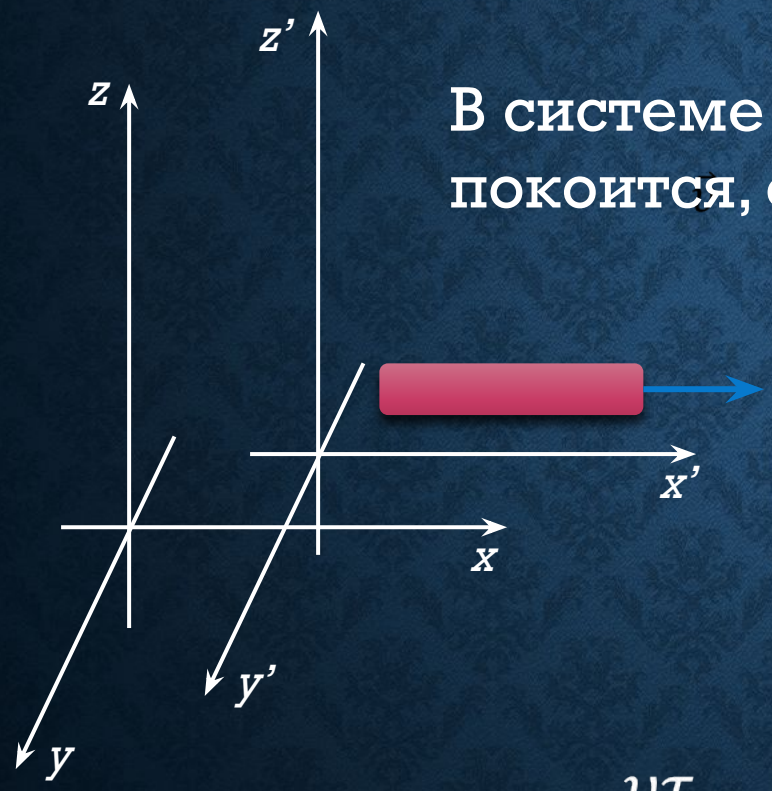
l – длина движущегося тела; l_0 – длина покоящегося тела; v – скорость его движения в данной СО.

(релятивистскими называются эффекты, наблюдаемые при скоростях движения, близких к скорости света)

Размеры предметов в направлении, перпендикулярном направлению движения, не изменяются

Длина стержня, относительно неподвижного наблюдателя:

$$l_0 = \upsilon\tau_0$$



В системе отсчета, в которой стержень покоится, его длина:

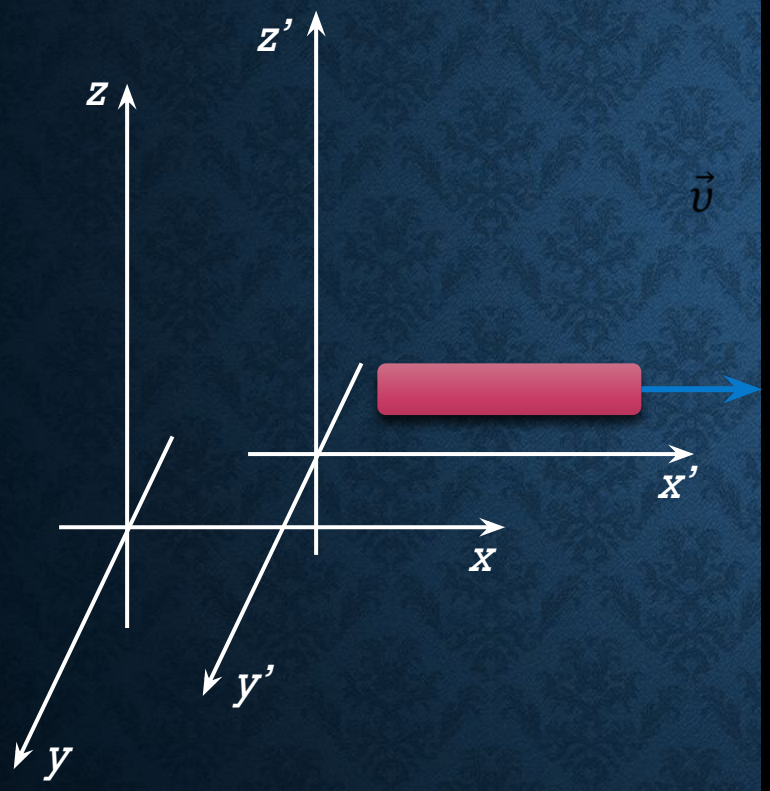
$$l = \upsilon\tau$$

Учитывая, что $\tau = \dfrac{\tau_0}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}$,

получим:

$$l = \upsilon\tau_0 = \frac{\upsilon\tau}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}} = \frac{l_0}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}} = l_0\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}$$

Релятивистский эффект сокращения размеров (сокращение Лоренца)



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

l_0 — **собственная длина** стержня, т.е. длина стержня в системе отсчета, относительно которой он покоится.

Движущееся тело <u>сокращается в направлении своего движения</u>.

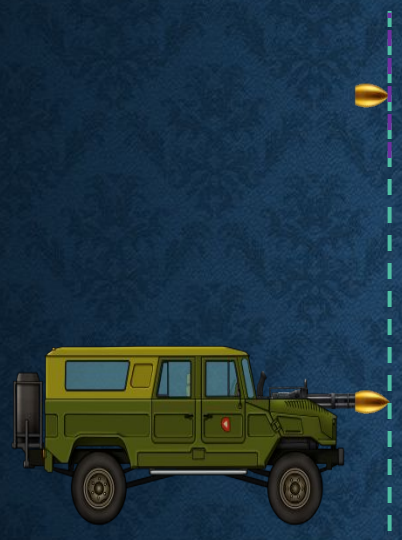
<u>Поперечные размеры тела</u> при таком движении <u>не изменяются</u>.

$$l = l_0\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}} \Rightarrow l \langle l_0$$

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}} \Rightarrow \tau \rangle \tau_0$$

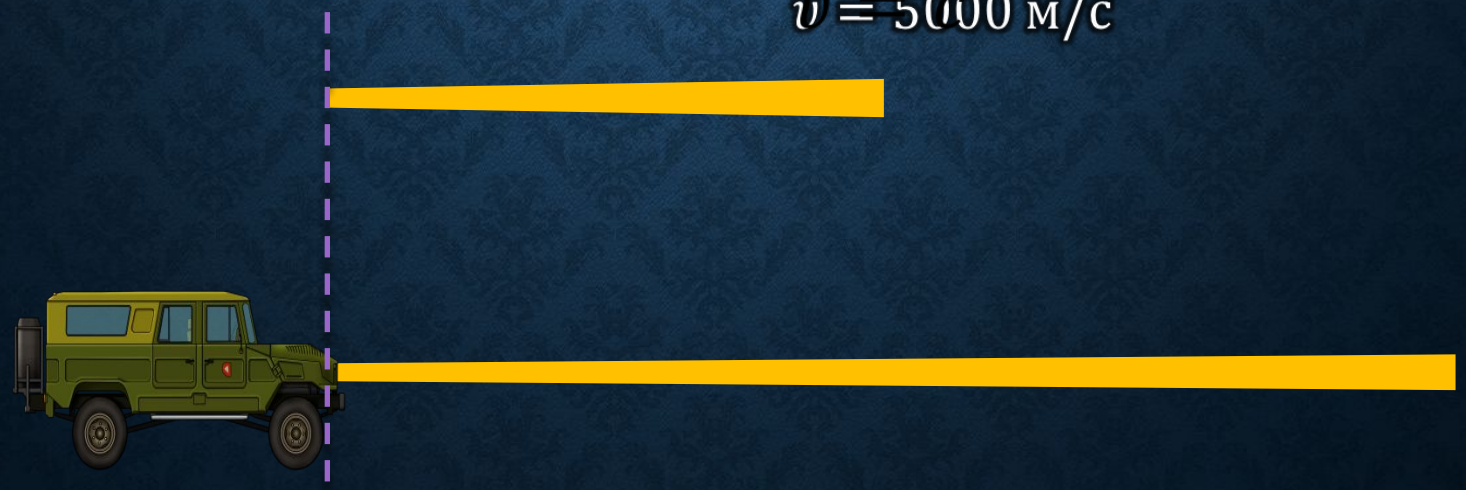
Если υ<<c, то в формулах (1) и (2) можно пренебречь величиной (υ^2/c^2). Тогда $l \approx l_0$ и $\tau \approx \tau_0$, т.е. релятивистское сокращение размеров тел и замедление времени в движущейся СО можно не учитывать.

Классический закон сложения скоростей



$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

$\vec{v} = 5000$ м/с

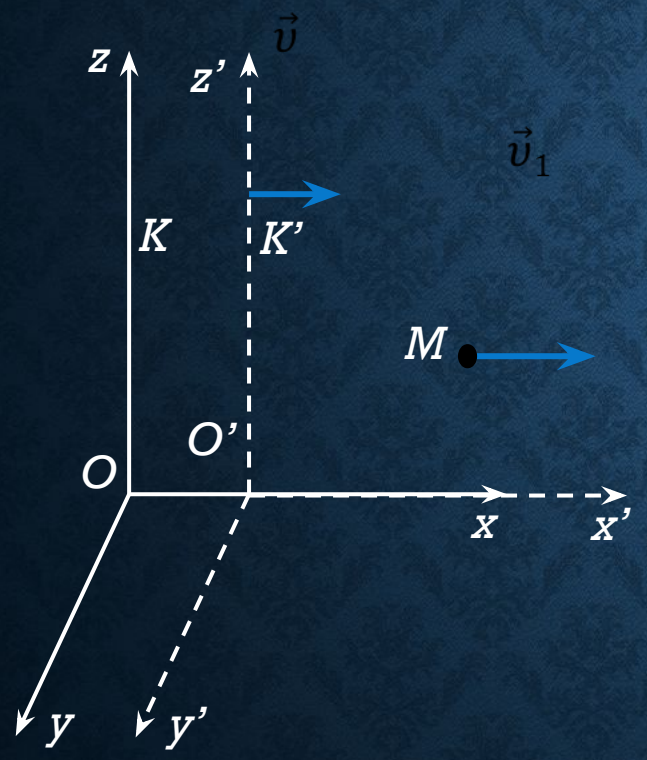


3.РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОРОСТЕЙ (НАПРАВЛЕННЫХ ВДОЛЬ ОДНОЙ ПРЯМОЙ)

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

$$\upsilon_2 = \frac{\upsilon_1 + \upsilon}{1 + \frac{\upsilon_1 \upsilon}{c^2}}$$

$$\vec{F}_{\text{тяг}} = G\frac{m_1 m_2}{r^3}\vec{r}$$



$\vec{v}$ — скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной системы отсчета;

$\vec{v}_1$ — скорость тела относительно подвижной системы отсчета;

$\vec{v}_2$ — скорость тела относительно неподвижной системы отсчета.

Релятивистский закон сложения скоростей:

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

ВЫВОД

1. Из постулатов теории относительности следует, что длина тела, промежуток времени между двумя событиями зависят от выбранной системы отсчета, т. е. являются относительными.

2. Релятивистский закон сложения скоростей переходит в классический при $u \ll c$

ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ДИНАМИКИ

Закон сохранения импульса:

векторная сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, не меняется с течением времени при любых движениях и взаимодействиях этих тел.

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$$

Закон сохранения энергии:

полная механическая энергия замкнутой системы тел, взаимодействующих силами тяготения, остается постоянной, при любых взаимодействиях в системе.

$$E_k + E_p = E = const$$

Уравнения динамики следует изменить так, чтобы они оставались неизменными при переходе из одной инерциальной системы отсчета в другую согласно принципу относ

В случае малых скоростей, т.е. скоростей намного меньших скорости света, уравнения релятивистской динамики должны переходить в классические, ибо в этой области их справедливость подтверждается на опыте.

Закон всемирного тяготения:

два любых тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной массе каждого из них и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Масса тела является мерой его гравитационных свойств.

Второй закон Ньютона:

ускорение, приобретаемое телом, прямо пропорционально равнодействующей всех сил, действующих на тело, и обратно пропорционально массе этого тела.

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m} \qquad \vec{p} = m\vec{v}$$

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \qquad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Масса тела является мерой его инертных свойств.

Масса (лат. «глыба»)

количественная <u>мера инертных и гравитационных свойств</u> тела.

Классическая механика

Масса тела является мерой его инертных свойств.

Масса тела является мерой его гравитационных свойств.

Масса рассматривается как мера количества вещества.

$m = 1$ кг

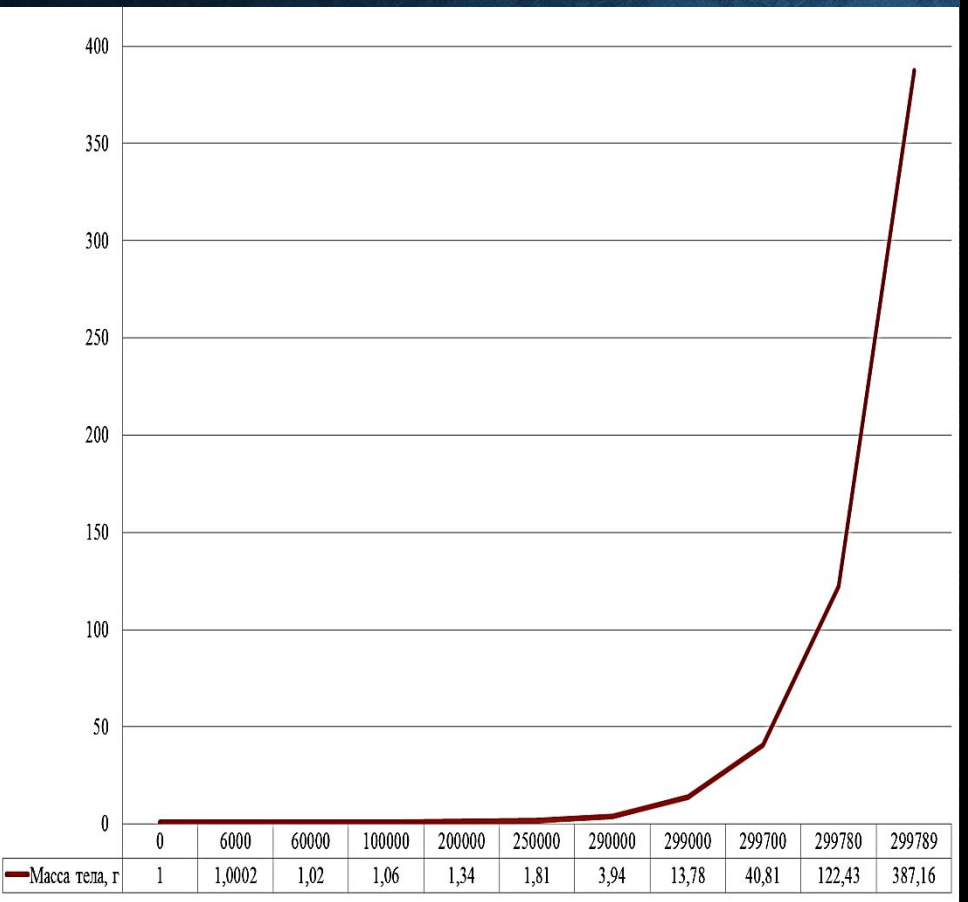
$m = 2$ кг

Релятивистская механика

Масса движущегося тела не является мерой его взаимодействия с гравитационным полем.

Масса тела, движущегося со скоростью, близкой к скорости света, не является мерой его

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



	0	6000	60000	100000	200000	250000	290000	299000	299700	299780	299789
Масса тела, г	1	1,0002	1,02	1,06	1,34	1,81	3,94	13,78	40,81	122,43	387,16

Релятивистская механика

Масса движущегося тела не является мерой его взаимодействия с гравитационным полем.

Масса тела, движущегося со скоростью, близкой к скорости света, не является мерой его инертности.

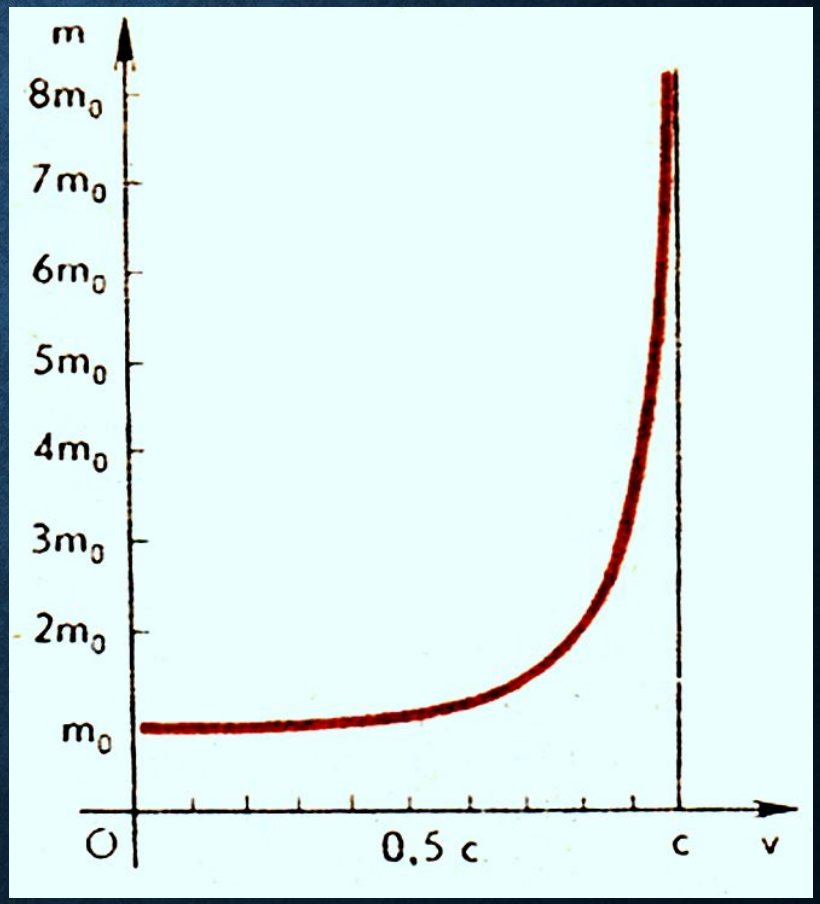
Релятивистская

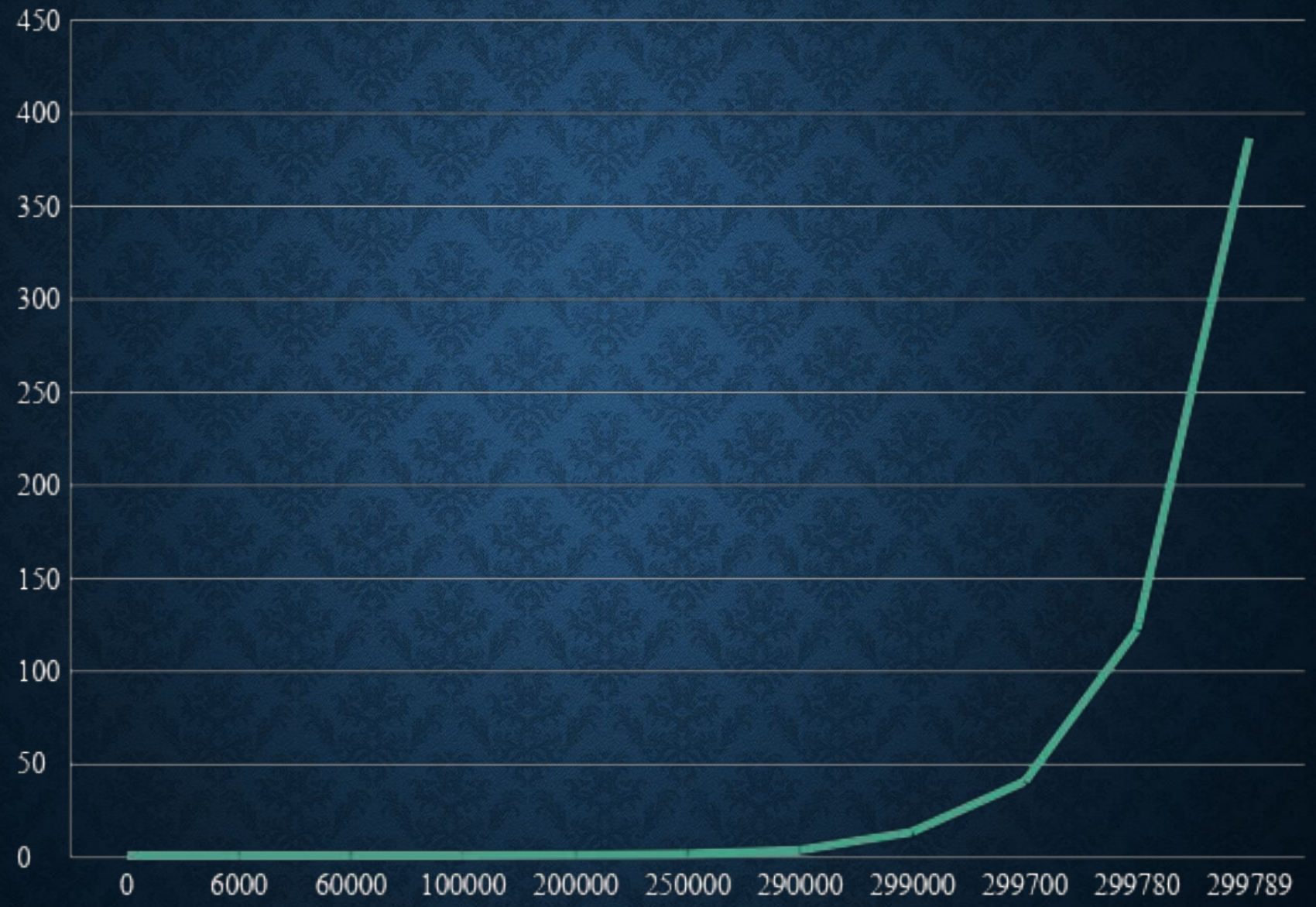
$$\nabla \times H = j + \frac{\partial D}{\partial t}$$

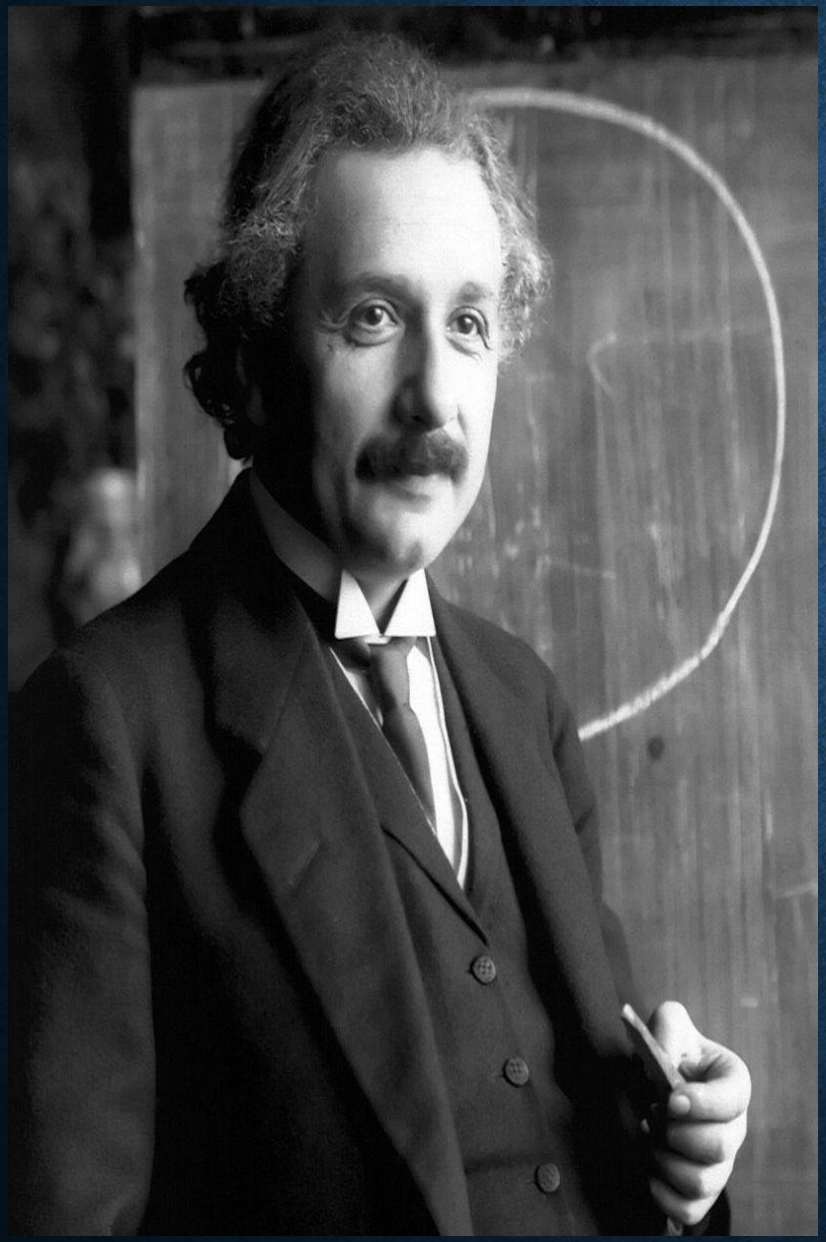
$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ МАССЫ ТЕЛА ОТ ЕГО СКОРОСТИ

Возрастание массы тем больше, чем ближе скорость движения тела к скорости света с.




450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
0
6000
60000
100000
200000
250000
290000
299000
299700
299780
299789



Соотношение, связывающее полную энергию и импульс свободной частицы массой *m*, движущейся со скоростью *v*:

$$E^2 - p^2c^2 = (mc^2)^2$$

Импульс тела в релятивистской динамике:

$$\vec{p} = \vec{v}\frac{E}{c^2}$$

При движении со скоростью света:

$$p = \frac{E}{c}$$

Для частиц с ненулевой массой:

Импульс

$$\vec{p} = \vec{\upsilon}\frac{E}{c^2} = \frac{mc^2}{c^2\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}\vec{\upsilon} = \frac{m\vec{\upsilon}}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}$$

$$\boxed{\vec{p} = \frac{m\vec{\upsilon}}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}}$$

Энергия

$$E^2 - \left(\frac{\upsilon E}{c^2}\right)^2 c^2 = \left(1-\frac{\upsilon^2}{c^2}\right)E^2 = m^2c^4$$

$$\boxed{E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}}$$

Основное уравнение релятивистской динамики $\boxed{\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}}$

Энергия покоя тела массой 1 грамм:

$$E = 1 \cdot 10^{-3} \cdot (3 \cdot 10^{8})^{2} =$$
$$= 9 \cdot 10^{13}\,\text{Дж} =$$
$$= 25 \cdot 10^{6}\,\text{кВт} \cdot \text{час}$$

Энергия, выделяемая при сгорании 2 тыс. тонн нефти:

$$E = 2{,}0 \cdot 10^{6} \cdot 4{,}5 \cdot 10^{7} =$$
$$= 9 \cdot 10^{13}\,\text{Дж} =$$
$$= 25 \cdot 10^{6}\,\text{кВт} \cdot \text{час}$$

Важнейшим <u>отличием теории относительности от классической механики</u> является то, что энергия тела не обращается в ноль, даже когда оно покоится.

Энергия покоя тела пропорциональна его массе:

$$\boxed{E_0 = mc^2}$$

Закон взаимосвязи массы и энергии покоя

Если изменяется энергия системы, то изменяется и ее масса:

$$\boxed{\Delta m = \frac{\Delta E_0}{c^2}}$$

Масса — мера энергии покоя!

ЭНЕРГИЯ ПОКОЯ

Энергия покоя - E_0 энергия при скорости, равной нулю.

$$E_o = m_o c^2$$

1. Любое тело уже только благодаря факту своего существования обладает энергией, которая пропорциональна массе покоя m_o.

2. При превращениях элементарных частиц, обладающих массой покоя, в частицы, у которых $m_o = 0$, *энергия покоя целиком превращается в кинетическую энергию вновь образовавшихся частиц.*

3. Этот факт является наиболее очевидным экспериментальным доказательством существования энергии покоя.

Классическая механика

Кинетическая энергия — это энергия, которой обладает тело вследствие своего движения.

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

[Дж]

Релятивистская механика

$$E_k = E - E_0$$

$$E_k = \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) mc^2$$

Если $v \to c$, то $E_k \to \infty$, что невозможно.

Частицу, обладающей некоторой массой, **невозможно разогнать до скорости света.**

При малых скоростях ($v \ll c$):

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \approx 1$$

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \tau_0 \qquad \vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = m\vec{v}$$

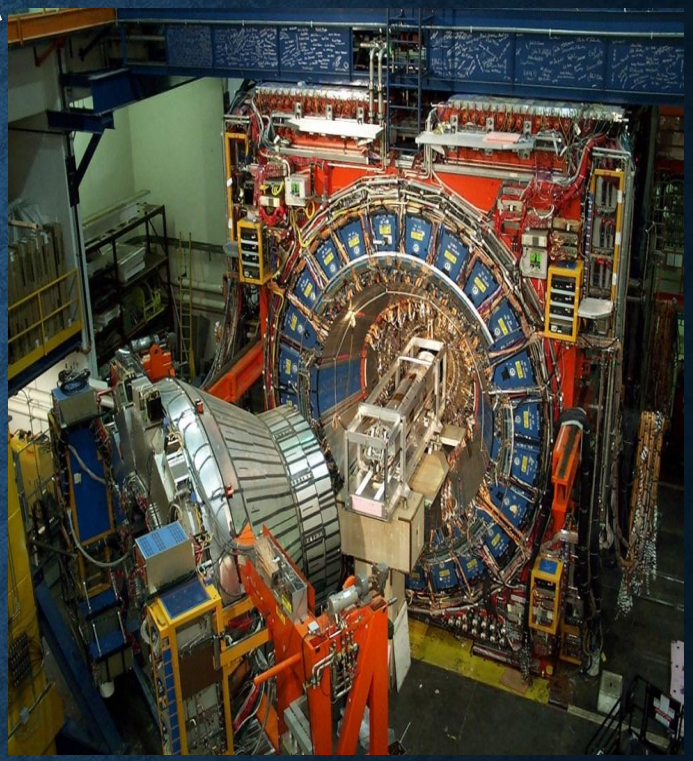
$$l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = l_0 \qquad E_к = \frac{p^2}{2m} = \frac{mv^2}{2}$$

Принцип соответствия:

любая новая теория, претендующая на более глубокое описание физических явлений и, соответственно, на более широкую область применимости, должна включать в себя предшествующие теории как

УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

- Мощные ускорители для электронов способны разгонять эти частицы до скоростей, которые немного меньше скорости света, при этом их масса возрастает примерно в 2000 раз.



Теория относительности в наше время стала инженерной наукой.

Законы механики Ньютона можно рассматривать как частный случай релятивистской механики, справедливый при скоростях движения тел, много меньших скорости света.

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

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

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

При малых скоростях ($v \ll c$):

$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \approx 1$$

Главные выводы

Понятие одновременности событий, расстояния и промежутка времени являются не абсолютными, а относительными и зависят от выбора системы отсчета.

Скорость света в вакууме является максимально возможной скоростью передачи взаимодействия в природе.

Основное уравнение релятивистской динамики

$$\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$$

ВЫВОД:

Импульс частицы и ее энергия зависят от выбора системы отсчета, масса же всегда остается постоянной. При скоростях много меньших скорости света релятивистские выражения для импульса и энергии переходят в выражения классической механики (принцип соответствия).

Задачи

При решении задач на релятивистские эффекты принято скорости записывать не в км/с или км/ч, а в долях скорости света. Например: 0,8с – 0,8 от скорости света. ($2,4*10^8$ м/с)

1. Чему равна длина космического корабля, движущегося со скоростью 0,8 с. Длина покоящегося корабля 100 м.

2. С какой скоростью должна двигаться частица (тело), чтобы его масса увеличилась в 3 раза?

3.Чему равна будет масса космонавта, движущегося в космическом корабле со скоростью 0,8с? Масса покоящегося космонавта 90 кг.

4. С космического корабля, удаляющегося от Земли со скоростью 0,7с, стартует ракета в направлении движения корабля. Скорость ракеты относительно Земли 0,96с. Чему равна скорость ракеты относительно Земли?

5. На сколько процентов полная энергия протона, вылетающего из ускорителя со скоростью, модуль которой v=0,8 c, больше его энергии покоя?

6. Две частицы в вакууме летят навстречу друг другу со скоростями 0,7c. Расстояние между частицами составляет l = 100 м. Установите соответствие между физическими величинами их значениями.

А) Время через которое произойдет соударение

Б) Относительная скорость частиц

1) 238 нс

2) 476 нс

3) 0,94c

4) 0,84c

7. Время жизни некоторой частицы в системе отсчета, связанной с ней, равно 31 нс. Частица движется относительно неподвижного наблюдателя со скоростью 0,9*c*. Масса частицы равна $3 \cdot 10^{-26}$ кг.

А) Полная энергия частицы

Б) Время жизни частицы в системе отсчета, связанной с наблюдателем

1) $50,2 \cdot 10^{-9}$
2) $6,2 \cdot 10^{-9}$
3) $71,1 \cdot 10^{-9}$
4) $2,7 \cdot 10^{-9}$

8. Протон движется в вакууме со скоростью 0,8*c*.

А) Полная энергия протона
Б) Энергия покоя протона

1) $0,5 \cdot 10^{-10}$
2) $1,5 \cdot 10^{-10}$
3) $2,0 \cdot 10^{-10}$
4) $2,5 \cdot 10^{-10}$

9. Неизвестная частица движется в ускорителе со скоростью, близкой к скорости света. Кинетическая энергия и энергия покоя этой частицы соответственно равны $E_к = 6 \cdot 10^{-12}$ Дж и $E_0 = 9 \cdot 10^{-12}$ Дж.

А) Полная энергия частицы
Б) Скорость частицы

1) $3 \cdot 10^{-12}$
2) $2,4 \cdot 10^{8}$
3) $2,8 \cdot 10^{8}$
4) $15 \cdot 10^{-12}$

10. Ракета длиной l летит относительно Земли со скоростью v, близкой к скорости света. Если скорость ракеты увеличить, то как изменятся следующие три величины: длина ракеты в системе отсчета Земли, полная энергия ракеты, энергия покоя ракеты.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) Увеличится 2) Уменьшится 3) Не изменится

1. **Длина ракеты**
2. **Полная энергия ракеты**
3. **Энергия покоя ракеты**

11. Собственное время жизни частицы отличается в 2 раза по сравнению с временем жизни по неподвижным часам. Масса частицы равна $1 \cdot 10^{-10}$ кг.

А) Скорость частицы

Б) Полная энергия частицы

1) $0,87c$
2) $0,67c$
3) $2 \cdot 10^{-10} c^2$
4) $1 \cdot 10^{-10} c^2$

12. Покоившуюся элементарную частицу массой m разогнали до скорости V, близкой к скорости света. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, при помощи которых их можно вычислить.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ФОРМУЛА
А) Энергия частицы	1) mV
Б) Модуль импульса частицы	2) mc^2
	3) $\dfrac{mV}{\sqrt{1-V^2/c^2}}$
	4) $\dfrac{mc^2}{\sqrt{1-V^2/c^2}}$

13. Протон массой m движется в ускорителе со скоростью, близкой к скорости света, имея модуль импульса p.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ФОРМУЛА
А) скорость протона	1) p/c
Б) энергия протона	2) $\dfrac{pc}{\sqrt{p^2+m^2c^2}}$
	3) $\sqrt{m^2c^4+p^2c^2}$
	4) $\dfrac{p^2}{2m}$

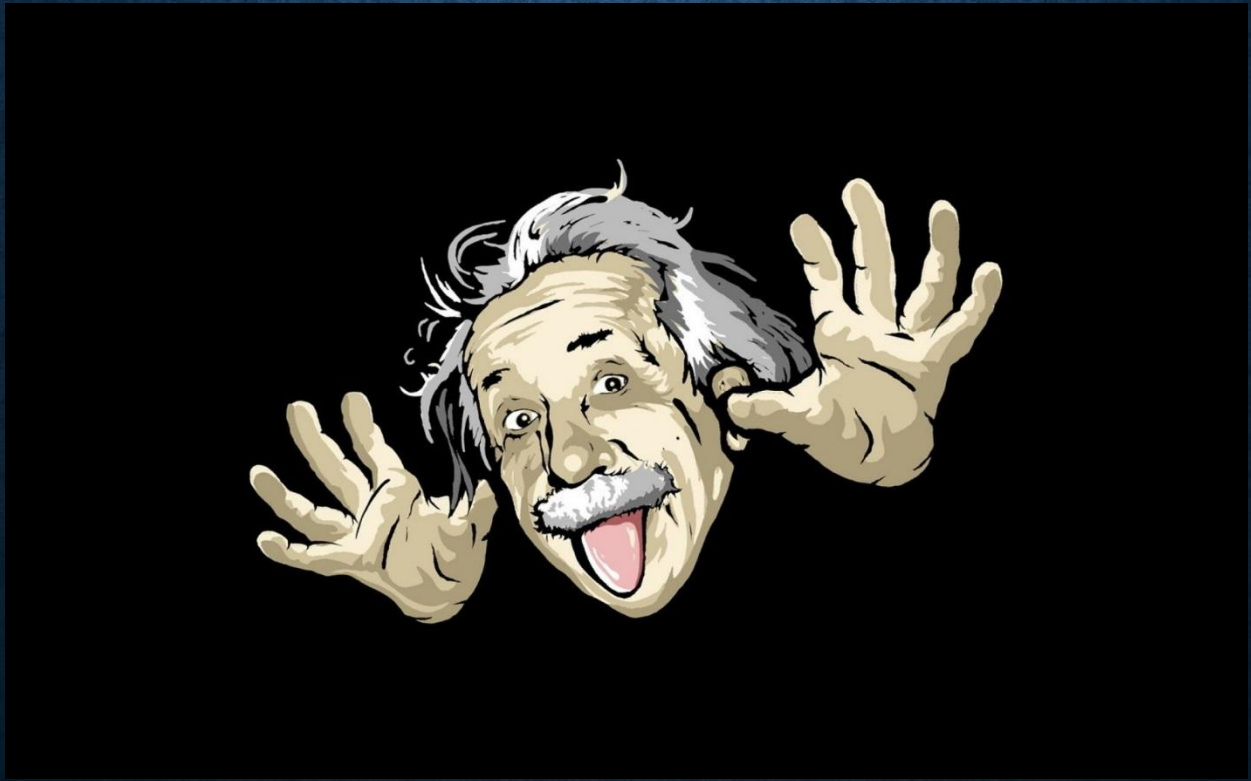
14. Неподвижный наблюдатель следит за стержнем, который движется со скоростью *v*, близкой к скорости света. Длина стержня равна *l*. Если увеличить скорость *v*, то как изменятся следующие три величины: длина стержня в системе отсчета наблюдателя, кинетическая энергия стержня, скорость света в движущейся системе отсчета, связанной со стержнем.

1) увеличится
2) уменьшится
3) не изменится

Длина стержня	Кинетическая энергия стержня	Скорость света

15. Ракета длиной *l* летит относительно Земли со скоростью *v*, близкой к скорости света. Если скорость ракеты увеличить, то как изменятся следующие три величины: длина ракеты в системе отсчета Земли, полная энергия ракеты, энергия покоя ракеты

1) увеличится
2) уменьшится
3) не изменится

Длина ракеты	Полная энергия ракеты	Энергия покоя ракеты

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!