

# *Основы специальной теории относительности.*

*Принцип относительности  
Галилея.*

*Постулаты теории  
относительности.*

*Следствия постулатов*

## Принцип относительности Галилея:

Все механические явления протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

Распространяется ли принцип Галилея на все явления в природе - электромагнитные явления, распространение света и.т.д.

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



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

**Какова скорость светового сигнала относительно человека на земле по законам классической физики?**

**В вагоне, движущемся относительно полотна железной дороги, посылается световой сигнал против движения. (не записываем)**



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

**Какова скорость светового сигнала относительно человека на земле по законам классической физики?**

Получается , что одно и тоже явление - распространение света по разному происходит в различных инерциальных системах отсчета , то есть принцип относительности Галилея не применим для электромагнитных процессов .

В случае 2 скорость света больше  $c = 300000$  км/с. Но скоростей больше скорости света не существует!

Таким образом в конце 19- начале 20 века физика попала в трудное положение, когда законы классической физики не смогли объяснить явление распространения света.

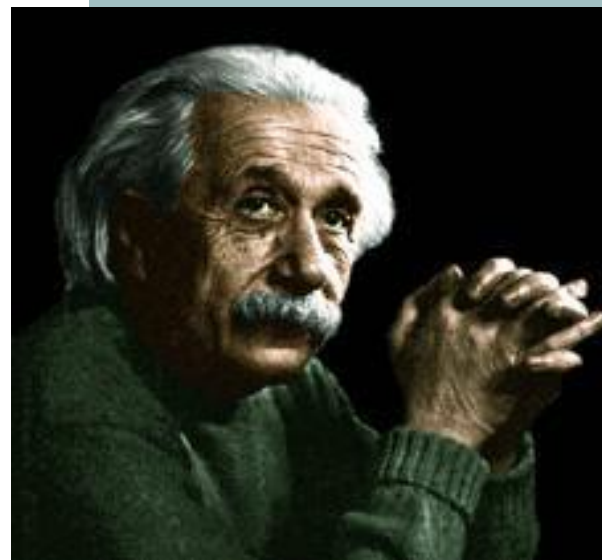
Разрешил это противоречие А. Эйнштейн

# Альберт Эйнштейн (1879-1955)

- Альберт Эйнштейн родился в 1879 году.
- В 1900 году окончил Цюрихский политехнический институт.
- В 1902 году Эйнштейн поступил на работу в патентное бюро в Берне.
- В сентябре 1905 была опубликована теория относительности.



# Постулаты СТО



## 1. Постулат

Все процессы природы протекают одинаково во всех ИСО.

## 2. Постулат

Скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО и не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала.

**$c=300\ 000$  км/с.**

Явления, описываемые с помощью теории относительности, но не объяснимые с помощью законов классической физики, называются **релятивистскими явлениями**.

- **Релятивистские явления происходят при скоростях близких к скорости света, явления происходящие в микромире.**
- *При движении с небольшими (земными) скоростями применяются законы классической физики (законы Ньютона)*



# Следствия из постулатов теории относительности

## 1. Релятивистское сокращение размеров

При движении с околосветными скоростями длина тела зависит от скорости, чем больше скорость, тем меньше длина тела в направлении движения.

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

$l$ - длина стержня в системе, относительно которой он движется

$l_0$ -длина стержня в системе, относительно которой он покоится

## 2. Релятивистский эффект замедления времени

При движении с околосветными скоростями время зависит от скорости, чем больше скорость, тем меньше промежутки времени, то есть время на движущихся часах замедляется.

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

$t$ -интервал времени между событиями, измеренный покоящимися часами

$t_0$ - интервал времени, между этими же событиями, отсчитанный движущимися вместе с телом часами.

### 3. Релятивистский закон сложения скоростей

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}} \quad (9.3)$$

$v$  - скорость подвижной СО относительно неподвижной СО

$v_1$  - скорость тела относительно подвижной СО

$v_2$  - скорость тела относительно неподвижной СО

## 4. Масса в релятивистской механике

- масса растёт с увеличением скорости:

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

- где  $m_0$  – масса тела в состоянии покоя;
- $m$  – масса тела в той инерциальной системе отсчёта, относительно которой оно движется со скоростью  $v$ ;
- $c$  – скорость света в вакууме.

Отличие масс становится видным только при больших скоростях, приближающихся к скорости света.

## Соотношение релятивистского закона сложения скоростей с классической механикой.

$$v_2 = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 v}{c^2}} \quad (9.3)$$

- При  $v \ll c$  и  $v_1 \ll c$ , то членом  $\frac{v_1 v}{c^2}$  можно пренебречь, получим классический закон сложения скоростей:  $V_2 = V_1 + V$
- При  $v_1 = c$ ,  $v_2 = c$  также — в соответствии со вторым постулатом теории относительности

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

## Взаимосвязь между массой и энергией

- Эйнштейн установил связь между массой и энергией в релятивистской механике:

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

- В состоянии покоя энергия системы равна:

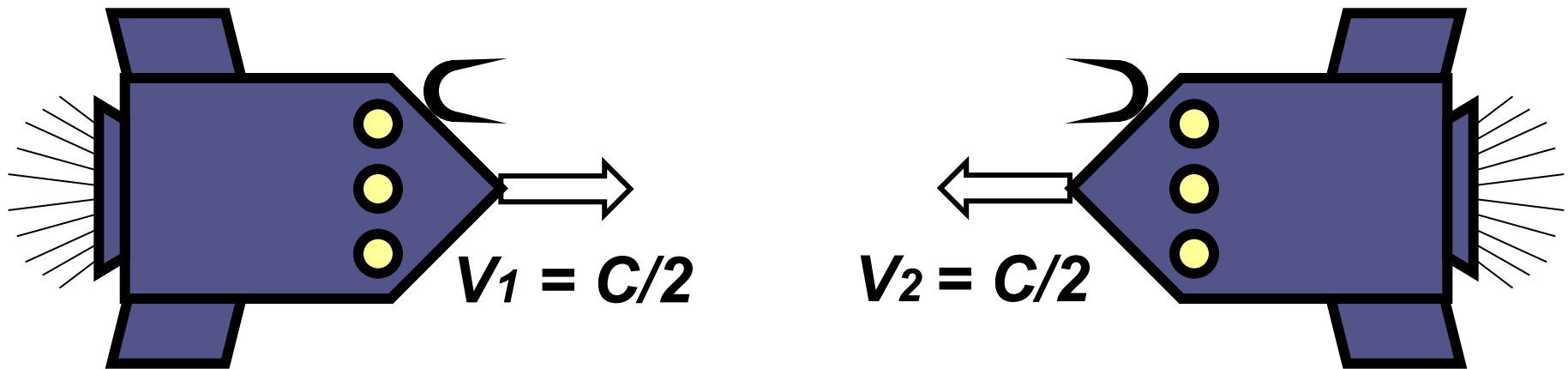
$$E_0 = m_0 c^2$$

## Итог ( не записываем)

1. Замечательным свойством релятивистского закона сложения скоростей является то, что при любых скоростях  $v_1$  и (конечно, не больших  $c$ ) результирующая скорость  $v_2$  не превышает  $c$ .
2. Из постулатов теории относительности следует, что **длина тела, промежуток времени** между двумя событиями **зависят от выбранной системы отсчета**, т. е. являются относительными.
3. Масса растет с увеличением скорости.

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

Движение со скоростью, превышающей скорость света, невозможно. (не записываем)



$$V_{\text{СБЛИЖЕНИЯ РАКЕТ}} < V_1 + V_2$$



# Задача

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

**Дано:**

$$V=0,8c$$

$$L_0=100\text{м}$$

Найти  $L$ -?

**Решение:**

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{(0,8c)^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - 0,64} = 0,6l_0$$

Ответ:  $L=60$  м

**Задача.** Какую скорость должно приобрести тело, чтобы его продольные размеры уменьшились для наблюдателя в 3 раза? До этого тело покоилось относительно данного наблюдателя.

Решение

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad \frac{1}{3} l_0 = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad \frac{1}{9} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

$$\frac{8}{9} = \frac{v^2}{c^2} \qquad v = \frac{\sqrt{8}}{3} c = 0,94c = 2,83 * 10^8 \text{ м/с}$$

**Задача.** Какое время пройдет на Земле, если в ракете, движущейся со скоростью  $2,4 \cdot 10^8$  м/с относительно Земли, прошло 6 лет?

Решение

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \qquad \tau = \frac{6}{\sqrt{1 - \frac{(2,4 \cdot 10^8)^2}{(3 \cdot 10^8)^2}}}$$

$$\tau = \frac{6}{\sqrt{1 - 0,64}} = \frac{6}{\sqrt{0,36}} = 10(\text{лет})$$

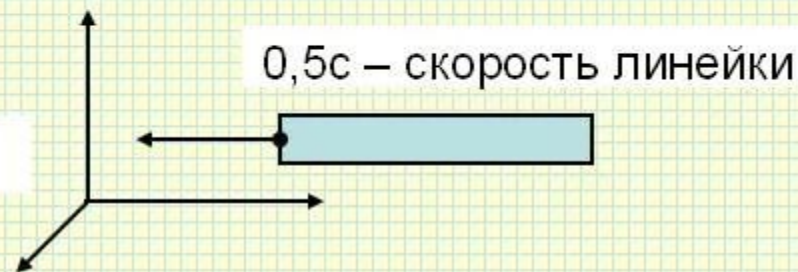


**Задача.** Длина линейки, неподвижной относительно земного наблюдателя, 2м. Какова длина этой же линейки, движущейся со скоростью, равной  $0,5c$ ?

**Рисунок к условию задачи**

Система отсчета Земного наблюдателя

Решение



$l$  - длина движущегося тела

$l_0$  - длина неподвижного тела

$v$  - скорость движения тела

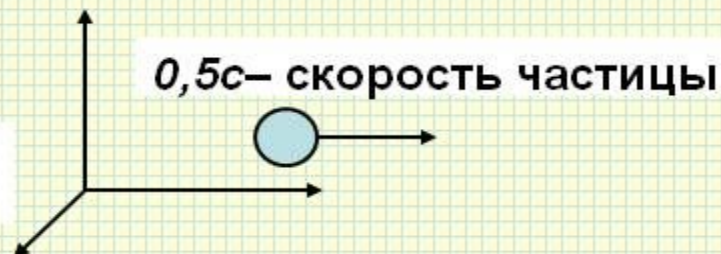
$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$l = 2(\text{м}) \sqrt{1 - \frac{0,25c^2}{c^2}} = 2(\text{м}) * \sqrt{0,75} = 1,73\text{м}$$

**Задача.** Частица движется со скоростью, равной половине скорости света. Во сколько раз ее масса  $m$  больше массы покоя  $m_0$ ?

### Рисунок к условию задачи

Система отсчета  
неподвижного наблюдателя



### Решение

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

$m$  – масса тела в  
движущейся системе  
отсчета

$m_0$  – масса тела в  
неподвижной системе  
отсчета

$v$  – скорость движения тела

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{0,25c^2}{c^2}}}$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 0,25}} = \frac{m_0}{\sqrt{0,75}} \approx 1,15m_0$$

$$n = \frac{1,15m_0}{m_0} = 1,15$$

# Домашнее задание

Задача . С какой скоростью должен двигаться космический корабль, относительно Земли, чтобы часы на нем шли в 4 раза медленнее, чем на Земле.