

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.

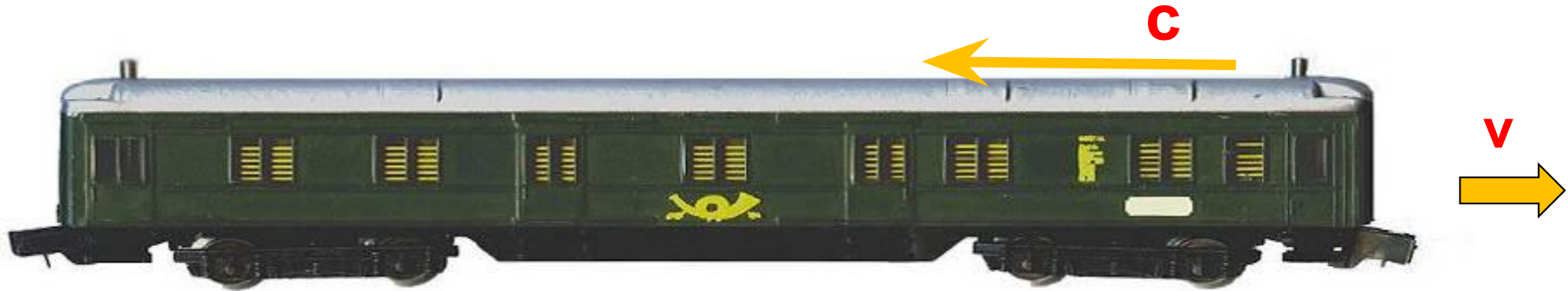
В вагоне, движущемся относительно полотна железной дороги, посылается световой сигнал в направлении движения. (не записываем)



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 $c = 300000 \text{ км/с}$. 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.

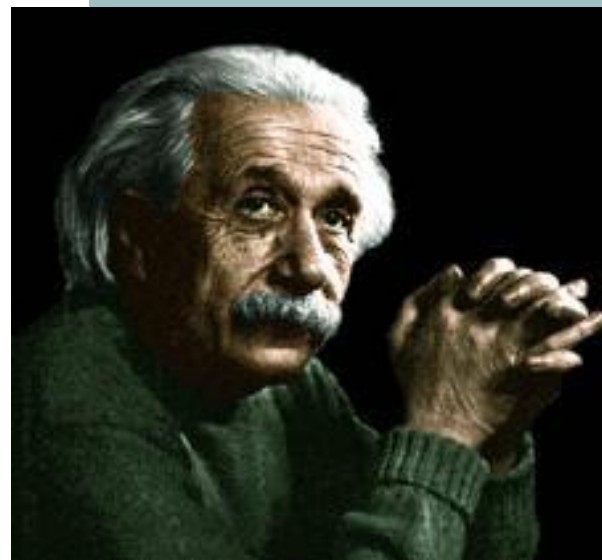
Разрешил это противоречие А. Эйнштейн

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:

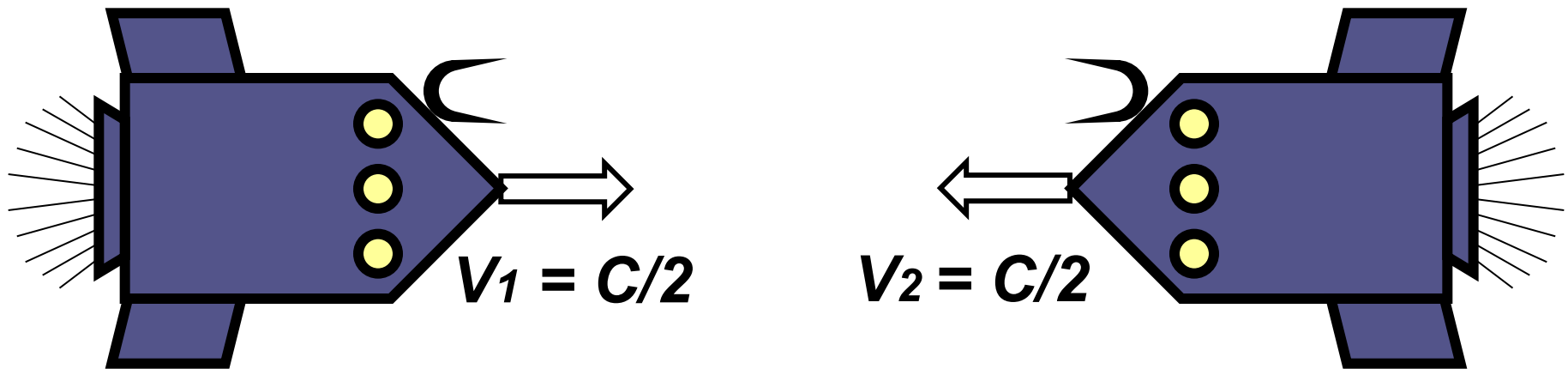
$$E_0 = m_0 c^2$$

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

$$\ell = \ell_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad \frac{1}{3} \ell_0 = \ell_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \qquad \frac{1}{9} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

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

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

Решение

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

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

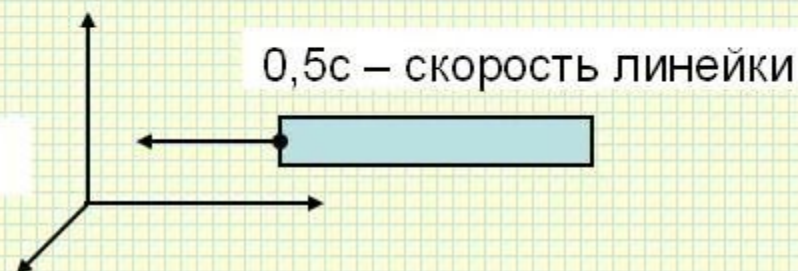
$$\tau = \frac{6}{\sqrt{1 - 0,64}} = \frac{6}{\sqrt{0,36}} = 10(\text{лет})$$

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

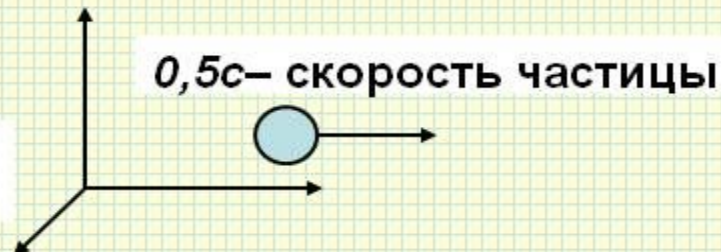
$$\ell = \ell_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

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

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.