

# ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- *После создания электродинамики возникли сомнения в справедливости принципа относительности Галилея применительно к электромагнитным явлениям.*



До начала XX века никто не сомневался, что время абсолютно. Два события, одновременные для жителей Земли, одновременны для жителей любой космической цивилизации. Создание теории относительности показало, что это не так.

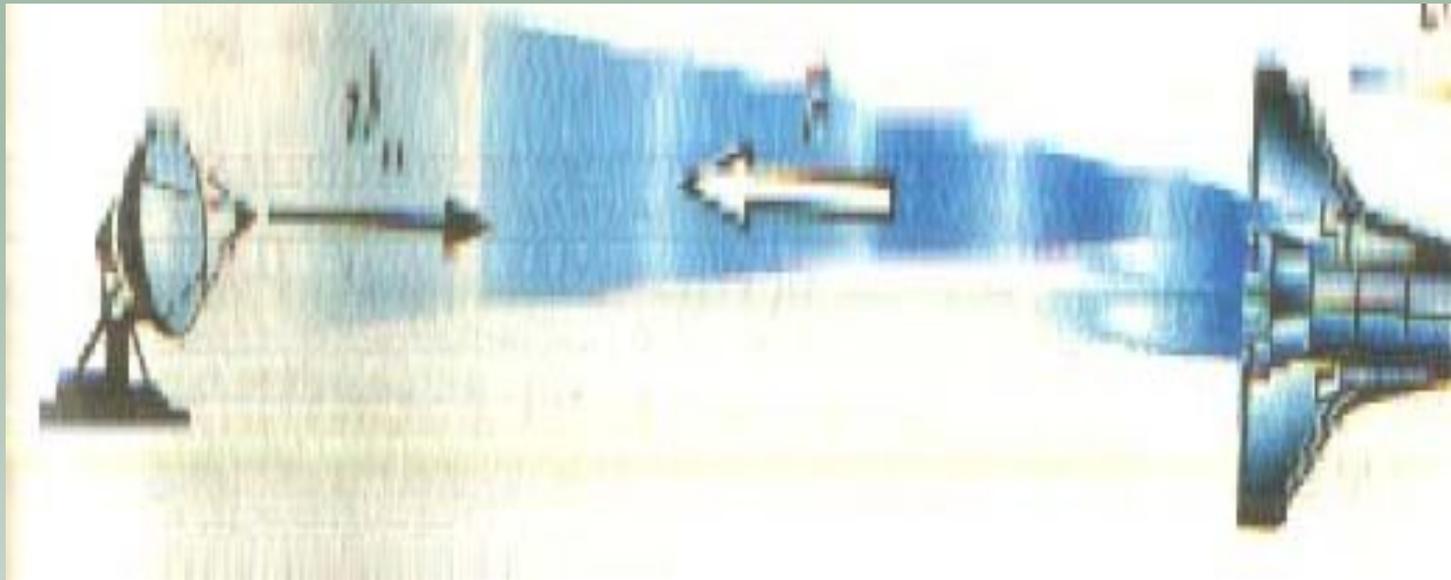


Причиной несостоятельности классических представлений о пространстве и времени является неправильное предположение о возможности мгновенной передачи взаимодействий и сигналов из одной точки пространства в другую. Существование предельной конечной скорости передачи взаимодействий вызывает необходимость глубокого изменения обычных представлений о пространстве и времени, основанных на повседневном опыте.

# ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА

- РЕЛЯТИВИСТСКАЯ МЕХАНИКА- радикальное изменение основополагающих фундаментальных представлений о пространстве, времени, веществе и движении.
- **ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (ОТО)** описывает взаимосвязь физических процессов, происходящих в ускоренно движущихся друг относительно друга (неинерциальных) системах отсчёта.

Специальная теория относительности  
(СТО) рассматривает взаимосвязь  
физических процессов, происходящих  
только в ИСО

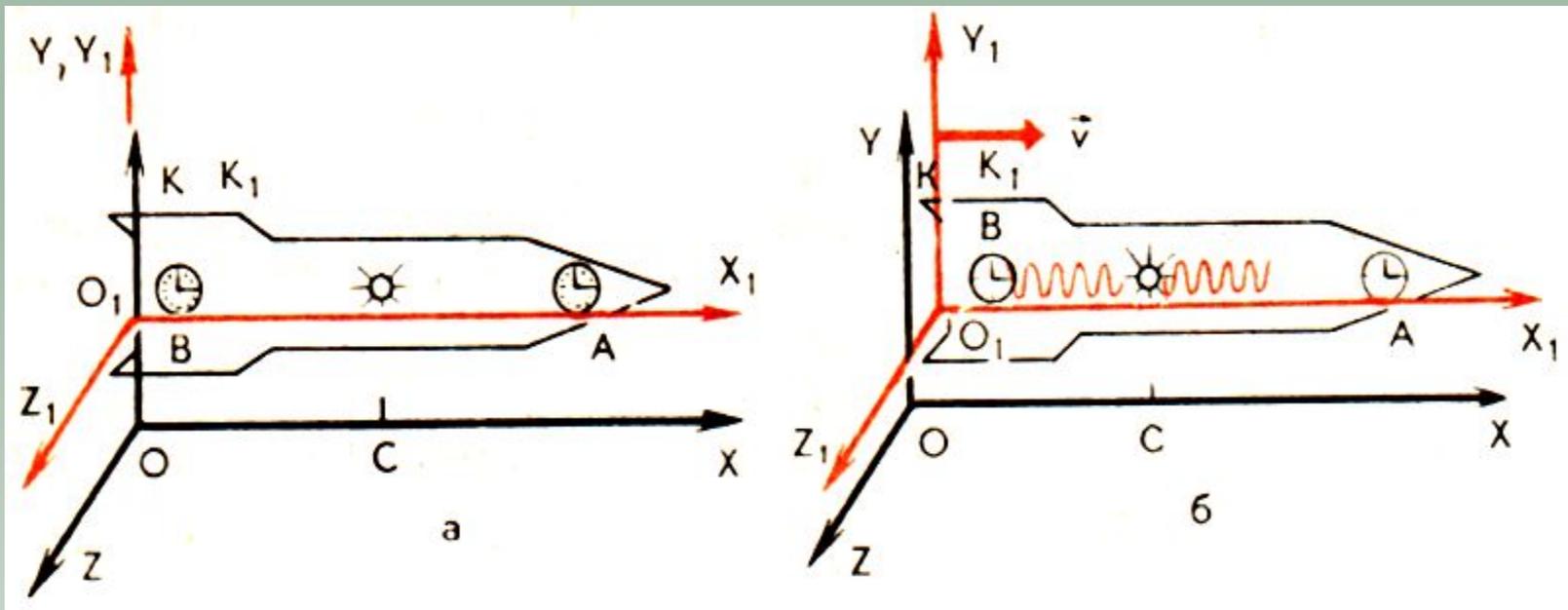


# ПОСТУЛАТЫ ТЕОРИИ

1. Все законы природы одинаковы в инерциальных системах отсчета.
2. Скорость света одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от скорости движения, источника или приемника света.  
(Примером может служить черная дыра.)

# СЛЕДСТВИЯ ПОСТУЛАТОВ

- Относительность одновременности:
- два события одновременные в неподвижной системе отсчета будут неодновременными в движущейся системе отсчета.

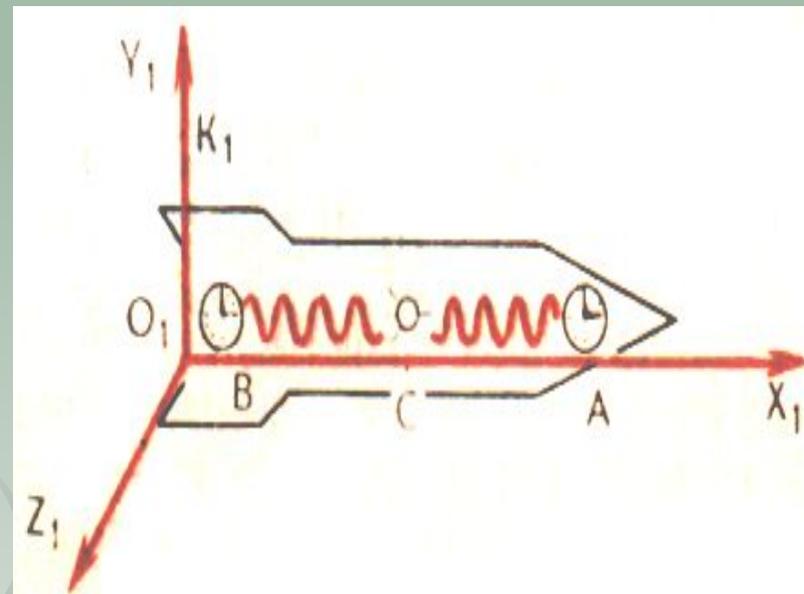


# 1. Относительность промежутков времени:

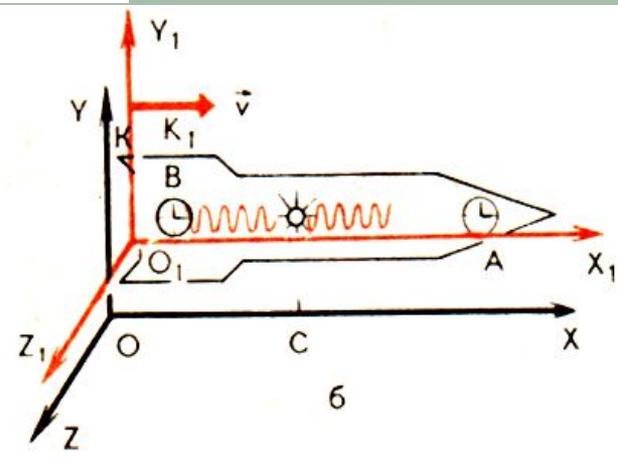
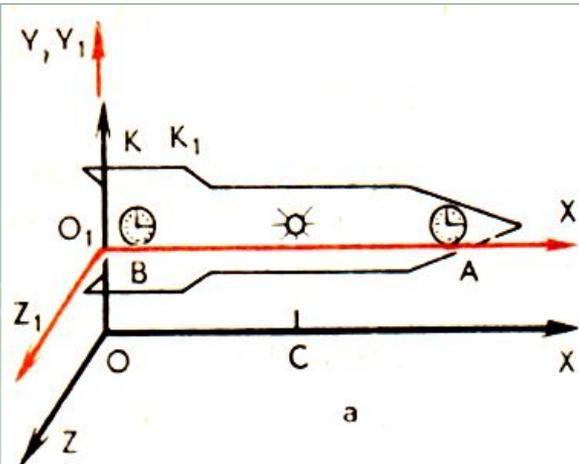
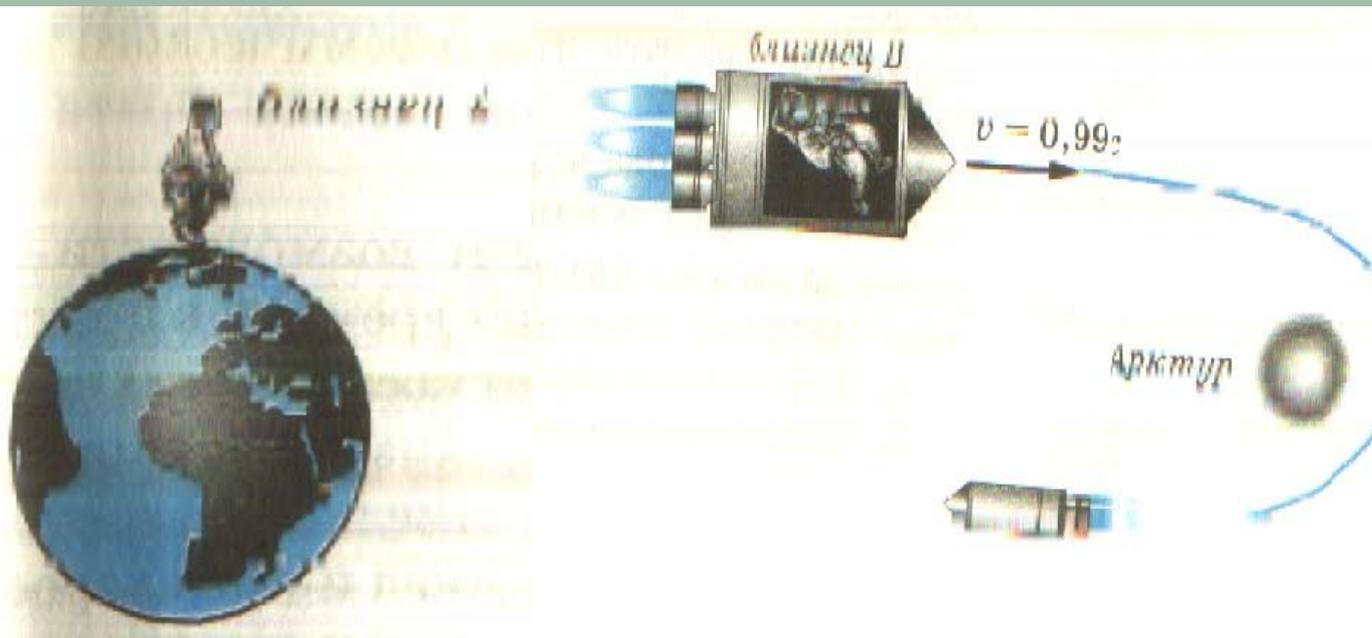
в движущейся системе отсчета время течет медленнее (парадокс близнецов: в космосе человек медленнее стареет). Замедление времени зависит от свойств самого времени.

- $\tau$  – промежуток времени («тау») (1с)
- $\tau_0$  – собственное время
- $\tau$ -подвижная система отсчета

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



# ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ



## 2. Относительность длины:

в движущейся системе отсчета длина сокращается (парадокс близнецов: в космосе длина уменьшается).

$L$  - длина ( $l_m$ )

$L_0$  – неподвижная система отсчета

$L$  – движущаяся система отсчета

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

### 3. Относительность массы:

в подвижной системе отсчета масса увеличивается (при скорости, приближенной к скорости света, масса стремится к бесконечности) (парадокс близнецов: в космосе масса человека увеличивается).

$m$  – в движущейся системе отсчета

$m_0$  – масса покоя

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

## 4. Закон сложения скоростей:

при малых скоростях

классический вариант ( $V1 + V2$ )

при скоростях, приближенных к скорости света ( $c$ ) вариант

Эйнштейна:

$$u_2 = \frac{u_1 + v}{1 + \frac{u_1 v}{c^2}}$$

$$u_2 = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = c \frac{c + v}{c + v} = c.$$

## 5. Энергия

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

Энергия  
покоя

Таким образом, масса – это мера физических величин: инертности, гравитации и энергии.

ПОРЕШАЕМ  
ЗАДАЧИ!



# Задача 1

С какой скоростью  $v$  должно двигаться тело, чтобы его длина уменьшилась на 20% по сравнению с первоначальной длиной?

Решение:

$\Delta l = l_0 - l$  – уменьшение длины тела

$l_0$  – первоначальная длина тела

$l$  – конечная длина тела

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_0 - l}{l_0} = 1 - \frac{l}{l_0},$$

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

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

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

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \left(1 - \frac{\Delta l}{l_0}\right)^2 = 1 - 2\frac{\Delta l}{l_0} + \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)^2,$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 2\frac{\Delta l}{l_0} - \left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)^2,$$

$$v^2 = c^2 \frac{\Delta l}{l_0} \left(2 - \frac{\Delta l}{l_0}\right),$$

$$v = c \sqrt{\frac{\Delta l}{l_0} \left(2 - \frac{\Delta l}{l_0}\right)}.$$

$$\underline{v = 1,8 \cdot 10^8 \text{ м/с}}$$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = 20\% = 0,2$$

где длина тела  $l_0$  в движущейся системе отсчета  $K_1$  связана с длиной тела  $l$  в неподвижной системе отсчета  $K$  соотношением

## Задача 2

Звездный кораблю будущего, движущийся со скоростью  $v=0,8c$  ( $c=3 \cdot 10^8$  м/с), путешествовал  $\tau_0=10$  лет по часам космонавтов. На сколько ( $\tau\Delta$ -?) земляне будут старше космонавтов, когда корабль вернется на Землю?

Решение:

Разность  $\Delta\tau$  между возрастом космонавтов и землян можно определить, отняв от промежутка времени  $\tau$  между моментами старта корабля и его возвращения на Землю по часам землян, промежуток времени  $\tau_0$  между этими моментами по часам космонавтов,

$$\tau\Delta = \tau - \tau_0.$$

Промежуток времени  $\tau$  по часам землян связан с промежутком времени  $\tau_0$  по часам космонавтов соотношением

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

$$\Delta\tau = \tau_0 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

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

$$\tau\Delta = 6,7 \text{ лет}$$

### Задача 3

Отношение заряда движущегося электрона к его массе (удельный заряд электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл)  $e/m = 0,88 \cdot 10^{11}$  Кл/кг. Определить скорость  $v$  электрона.

Решение:

Масса  $m$  релятивистского электрона связана с его массой покоя  $m_0$  соотношением

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

$m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг – масса покоя электрона

Из соотношения (1) найдем скорость электрона  $v$ :

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

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{m_0}{m}\right)^2,$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2,$$

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{m_0}{m}\right)^2}$$

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{0,88 \cdot 10^{11} m_0}{e}\right)^2}$$

$$v = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

# Задача 4

При какой скорости  $u$  кинетическая энергия частицы  $E_k$  равна ее энергии покоя  $E_0$ ?

Решение:

Полная энергия релятивистской частицы  $E = E_0 + E_k$

Полная энергия движущейся частицы связана с ее массой  $m$  соотношением  $E = mc^2$ .

Аналогично энергия покоя частицы  $E_0$  связана с ее массой покоя  $m_0$  соотношением  $E_0 = m_0 c^2$ .

Масса движущейся частицы  $m$  связана с ее массой покоя  $m_0$  формулой

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

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

Но по условию задачи  $E_k = E_0 = m_0 c^2$ .  
Тогда

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

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

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

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{4},$$

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{3}{4},$$

$$v^2 = \frac{3}{4} c^2,$$

$$v = c \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$v = 2,6 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$