

# Релятивистская механика

Подготовила : учитель физики  
СОШ №10 г.Ельца Липецкой обл.  
Черепкова Я.Ю.

**11 класс**

# Предпосылки

1881г Альберт Майкельсон и Эдуард Морли. –  
Движение Земли вокруг Солнца не влияет на  
скорость распространения света.

$$v_1 = v_2$$

Согласно классическому закону сложения  
скоростей :

Скорость света , распространяющегося вдоль  
направления движения Земли вокруг Солнца

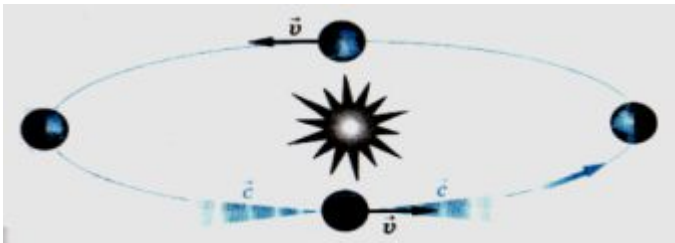
$$v_1 = c + v$$

Скорость света , распространяющегося в  
противоположном направлении

$$v_2 = c - v,$$

$c$ - скорость света ,излучаемого источником;  
 $v = 2,96 \cdot 10^8$  м/с – скорость движения Земли  
вокруг Солнца

$$v_1 \neq v_2$$



## Альберт

## Эйнштейн

В 1905 г., когда ему было 26 лет и он  
трудился чиновником в патентном  
бюро, им была создана специальная  
теория относительности. Десять лет  
спустя он создал общую теорию  
относительности.



**ОТО** (общая теория относительности)- описывает взаимосвязь физических процессов , происходящих в ускоренно движущихся относительно друг друга системах отсчета (НИСО)

**СТО** (специальная теория относительности ) - рассматривает взаимосвязь физических процессов , происходящих только в инерциальных системах отсчета.(ИСО)

## Постулаты СТО А. Эйнштейна:

- Все законы природы одинаковы в ИСО.
- Скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО.  
Скорость света – максимально возможная скорость распространения любого взаимодействия.  
Материальные тела не могут иметь скорость большую , чем скорость света  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

# Относительность времени

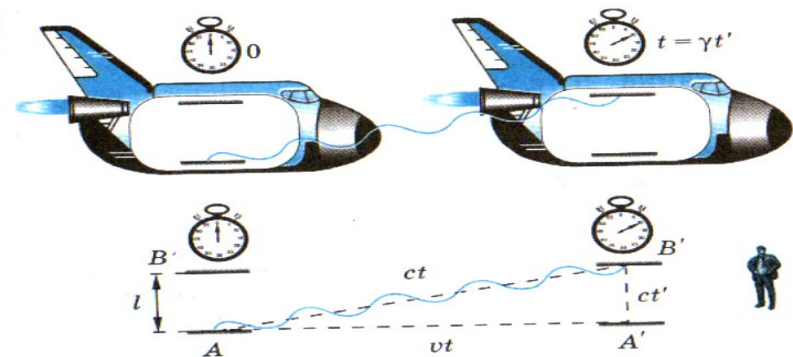
«Минута — величина относительная: если у вас свидание с симпатичной девушкой, то она пролетит как мгновение, а если вы сидите на раскаленной плите, то она покажется вечностью». Так сам Эйнштейн пытался объяснить простыми словами свою теорию относительности.

Собственное время  $t'$  — время, измеренное наблюдателем, движущимся вместе с часами.

С точки зрения внешнего наблюдателя импульс достигнет верхнего зеркала за  $t$ , то по

т.Пифагора  $(ct)^2 = (vt)^2 + (ct')^2$

Если время в неподвижной и подвижной СО течет одинаково  $t=t'$ , то  $c^2 = v^2 + c^2$   
?????



# Относительность времени

Время в неподвижной и движущейся СО течет с разной скоростью :  $t \neq t'$  . тогда  $t^2$   
( $c^2 - v^2$ ) =  $c^2 t'^2$

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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

$$t = \gamma t'$$

В системе ,движущейся со скоростью близкой к скорости света, время течет в  $\gamma$  медленнее. При движении замедляются все физические процессы , в том числе и химические реакции в человеческом организме

# Парадокс близнецов

Пусть возраст близнецов 20 лет.  
Близнец А остается на Земле,  
а В направляется к звезде  
Арктур (40 св.лет) и летит со  
скоростью  $u=0,99c$ .



Время путешествия близнеца В  
в системе отсчета, связанной  
с близнецом А:  $t=2L/u=$   
 $80,8$  (св.лет)

На космическом корабле часы  
идут медленнее

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-0.99^2}} = 7,09$$

Т.е по часам близнеца В, время  
его путешествия  $t'=t/\gamma=80,8/$   
 $7,09=11,4$  (св.лет)

$20+11,4=31,4$  (возраст  
близнеца В после  
возвращения)

$20+80,8=100,8$  (возраст  
близнеца А к моменту  
возвращения брата)

$\Delta t=69,4$  –разность в  
возрасте

# Относительность расстояния

Собственная длина  $l_0$  — длина в системе  $K'$ , в которой тело покоится.

Система  $K'$  движется относительно  $K$  со скоростью  $u$ .  
Длина тела относительно системы  $K$  равна  $l$ .

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

Т.е. при движении со скоростью близкой к скорости света размеры тела сокращаются.

**Масса покоя**  $m_0$  - масса тела в СО , в которой тело покоится.

При движении со скоростью близкой к скорости света масса тела увеличивается.

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

Импульс : 
$$p = \frac{m_0 U}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

При  $u \rightarrow c$  ,  $m \rightarrow \infty$  , поэтому  $a \rightarrow 0$  и скорость практически перестает возрастать , как бы долго не действовала сила.



Любое тело уже благодаря факту существования обладает энергией.

$$E_0 = m_0 c^2 \quad \text{-энергия покоя}$$

$$E = m c^2 : \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{формула А.Эйнштейна}$$

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

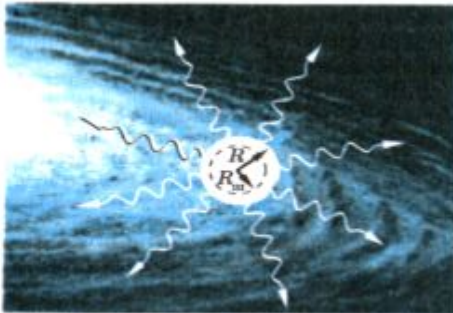
$$E^2 = c^2 p^2 + c^4 m^2$$

# Черные дыры

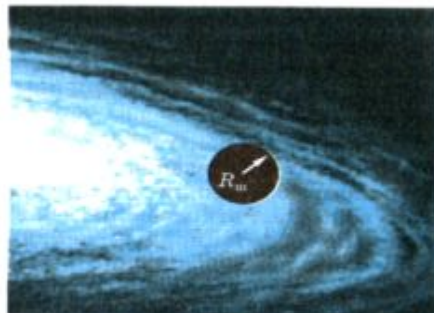
- Черная дыра образуется при гравитационном сжатии массивной звезды. Если масса звезды более чем в 3 раза превосходит массу Солнца, ядро этой звезды, сжимаясь, достигает такой плотности, что даже свет не может преодолеть силы его тяготения. Интенсивное рентгеновское излучение, наблюдавшееся из определенной области звездного неба, астрономы объяснили резким ускорением звездного вещества, сжимающегося в исключительно мощный гравитационный центр:
 
$$u = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad R = \frac{2GM}{u^2}$$

□ Радиус Шварцшильда  $R_{ш} = \frac{2GM}{c^2}$  — минимальное значение скорости равно скорости света. Согласно 1 постулату СТО

□ Если частица находится от центра черной дыры на  $R < R_{ш}$ , то для преодоления гравитационного притяжения она должна обладать  $u > c$ . Это противоречит постулатам



а)



б)

## ■ Следствия из противоречия :

- ❖ Никакая частица , находящаяся внутри сферы радиусом  $R_{ш}$  , не может покинуть черную дыру.
- ❖ Отсутствие излучения из черной дыры

Радиус черной дыры массой , равной массе Солнца :

$$R_{ш} \approx 3 \text{ км}$$

Мы не можем наблюдать события , происходящие внутри сферы , ограничивающей черную дыру , т.к свет не может из нее выйти наружу. Поэтому поверхность черной дыры радиусом  $R_{ш}$  называется **горизонтом событий**.