

# Постулаты теории относительности. Следствия, вытекающие из постулатов.

План урока:

1. Повторение пройденного материала.  
Активизация опорных знаний.
2. Изучение нового материала.
3. Закрепление материала. Решение задач.
4. Домашнее задание.

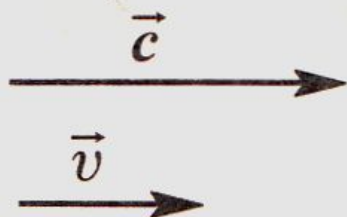
# Законы электродинамики и принцип относительности.



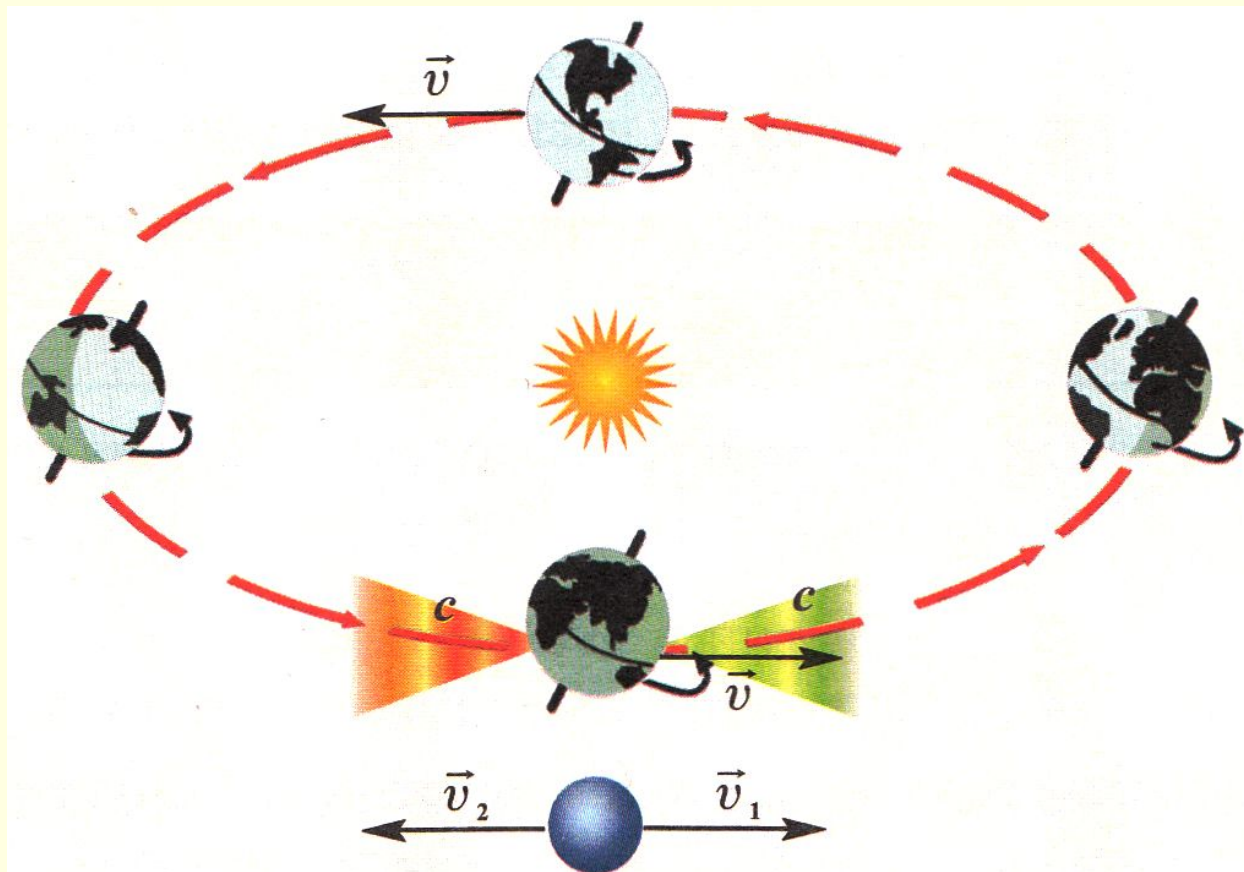
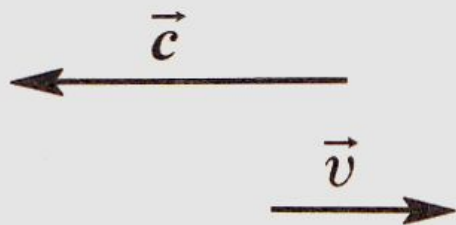
# Принцип относительности и скорость света.

Согласно классическому закону сложения скоростей:

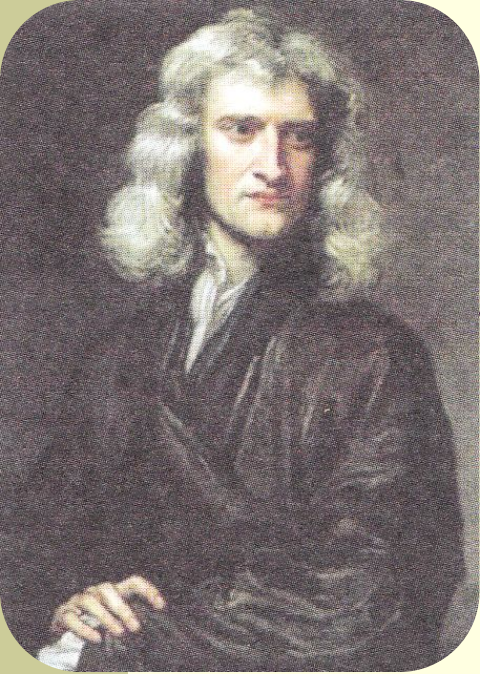
$$v_1 = c + v$$



$$v_2 = c - v$$



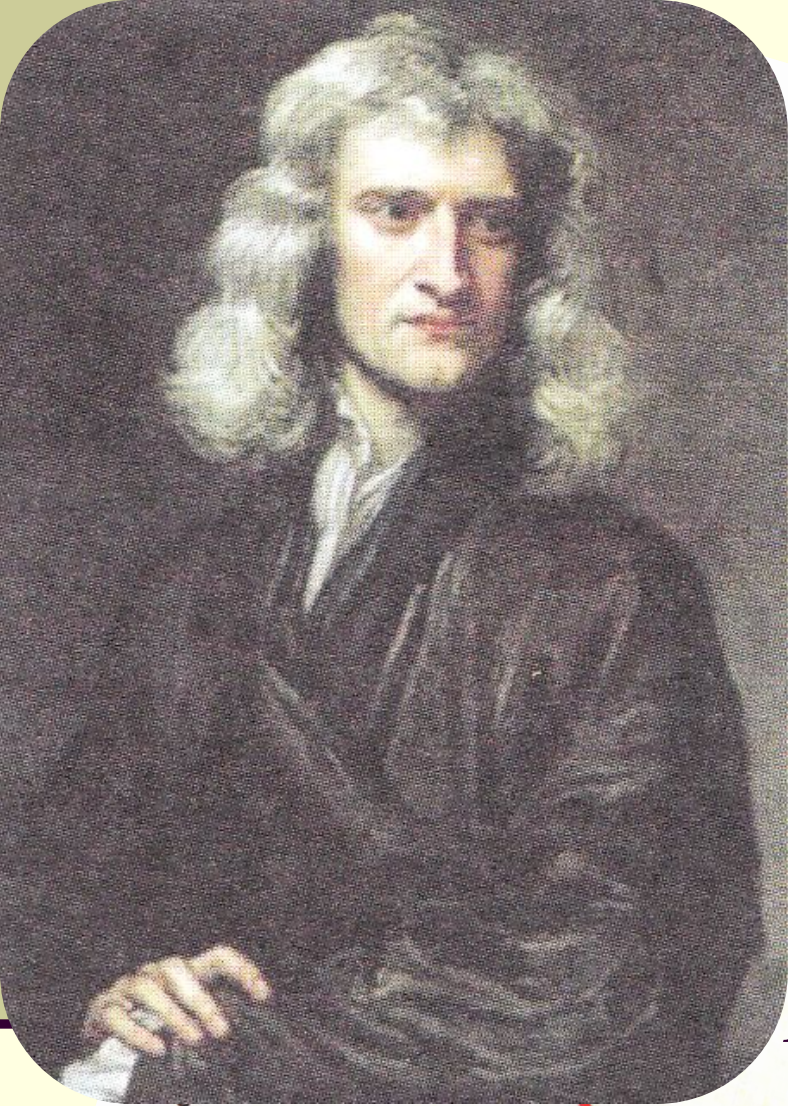
$\vec{v}_1, \vec{v}_2$  - скорость распространения света вдоль и против движения Земли



# Законы электродинамики и скорость света.



- Согласно законам электродинамики Максвелла скорость света по всем направлениям равна  $c$ .
- Но в соответствии с законом сложения скоростей (по Ньютону) скорость может равняться  $c$  только в одной (избранной системе отсчета).
- При переходе от одной ИСО к другой скорость света (по Ньютону) должна меняться.



*Противоречия между  
электродинамикой и  
механикой Ньютона.*



# Теория Хендрика Лоренца.

- Возникшие трудности пытались преодолеть тремя различными способами. Один из них предложил голландский физик Хендрик Антон Лоренц.

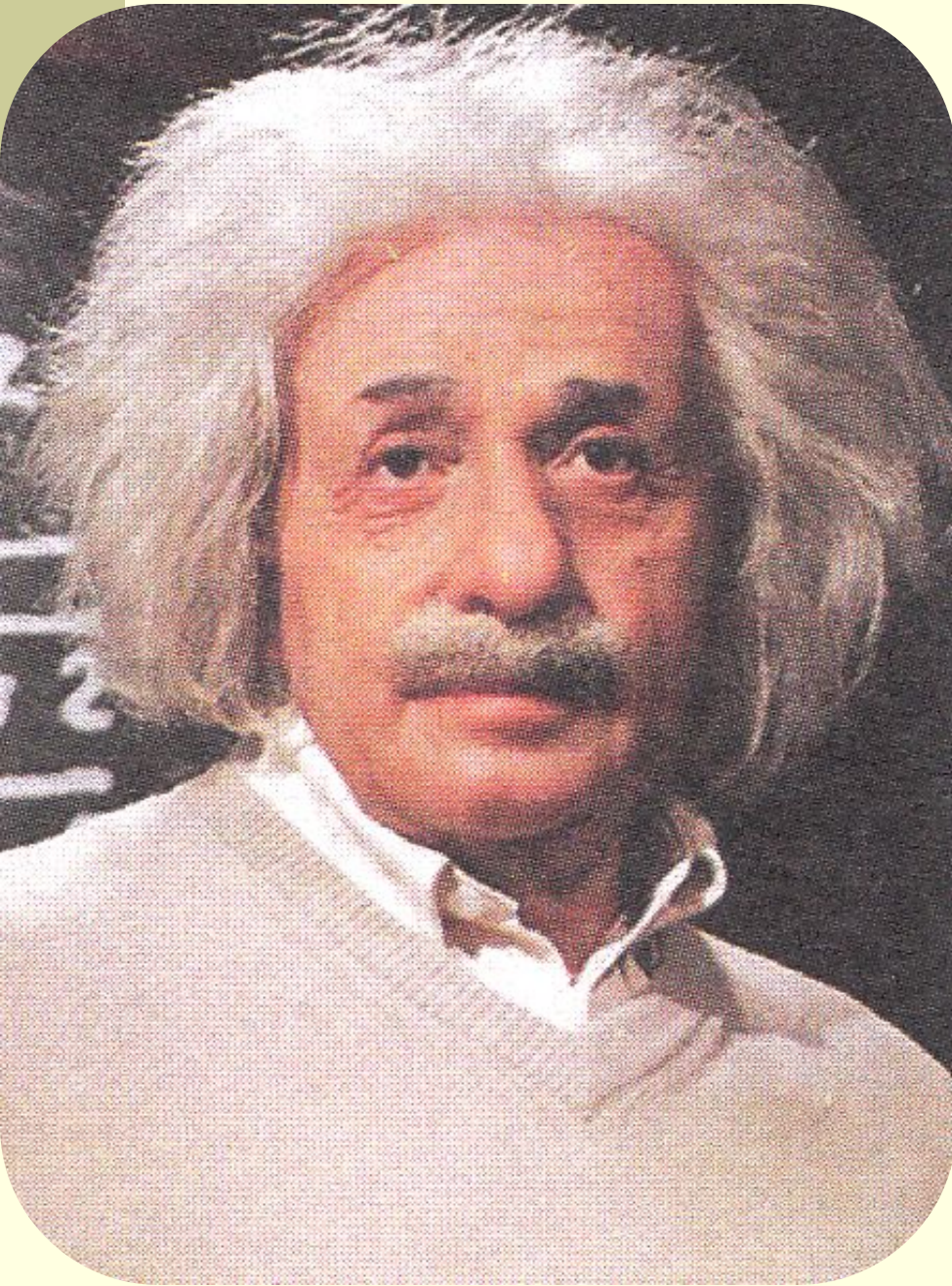
- Он предложил объявить несостоятельным принцип относительности в применении к электромагнитным явлениям.
- Электромагнитным явлениям он предлагал отвести особую среду.
- Эта среда - ИСО, покоящаяся относительно мирового эфира.
- Только в ней скорость света одинакова по всем направлениям



# Теория Генриха Герца.

- Другая теория принадлежала Генриху Герцу. Она состояла в том, чтобы считать неправильными уравнения Максвелла.

- Герц предложил изменить теорию Максвелла таким образом, чтобы они не менялись при переходе от одной ИСО к другой.
- Герц считал, что эфир полностью увлекается движущимися телами и поэтому электромагнитные явления протекают одинаково независимо от покоя или движения тела.



# Теория Альберта Эйнштейна.

---

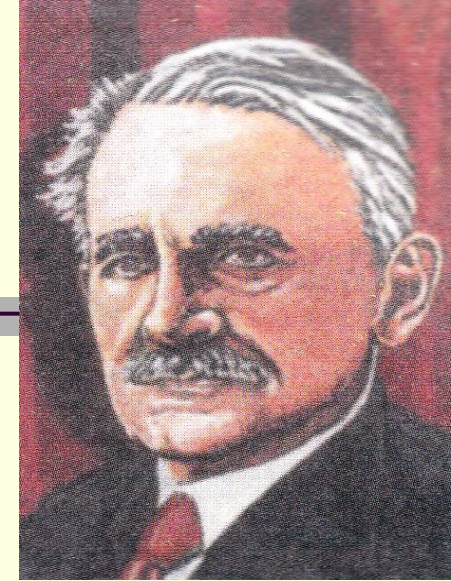
- Теория Эйнштейна состояла в отказе от классических представлений о пространстве и времени.
- Она сохраняла и принцип относительности и законы Максвелла.



# Разоблачение теорий Лоренца и Герца.

- Теория Герца не могла объяснить ряд очевидных фактов:
- По теории Герца даже текущая река должна увлекать за собой свет. В действительности этого не происходит.
- Теория мирового эфира, пребывающего в абсолютном покое тоже была опровергнута практически.
- Опытным путем американские ученые Майкельсон и Морли доказали, что теория Лоренца несостоятельна (хотя Максвелл упоминал об этом за 12 лет до этого).

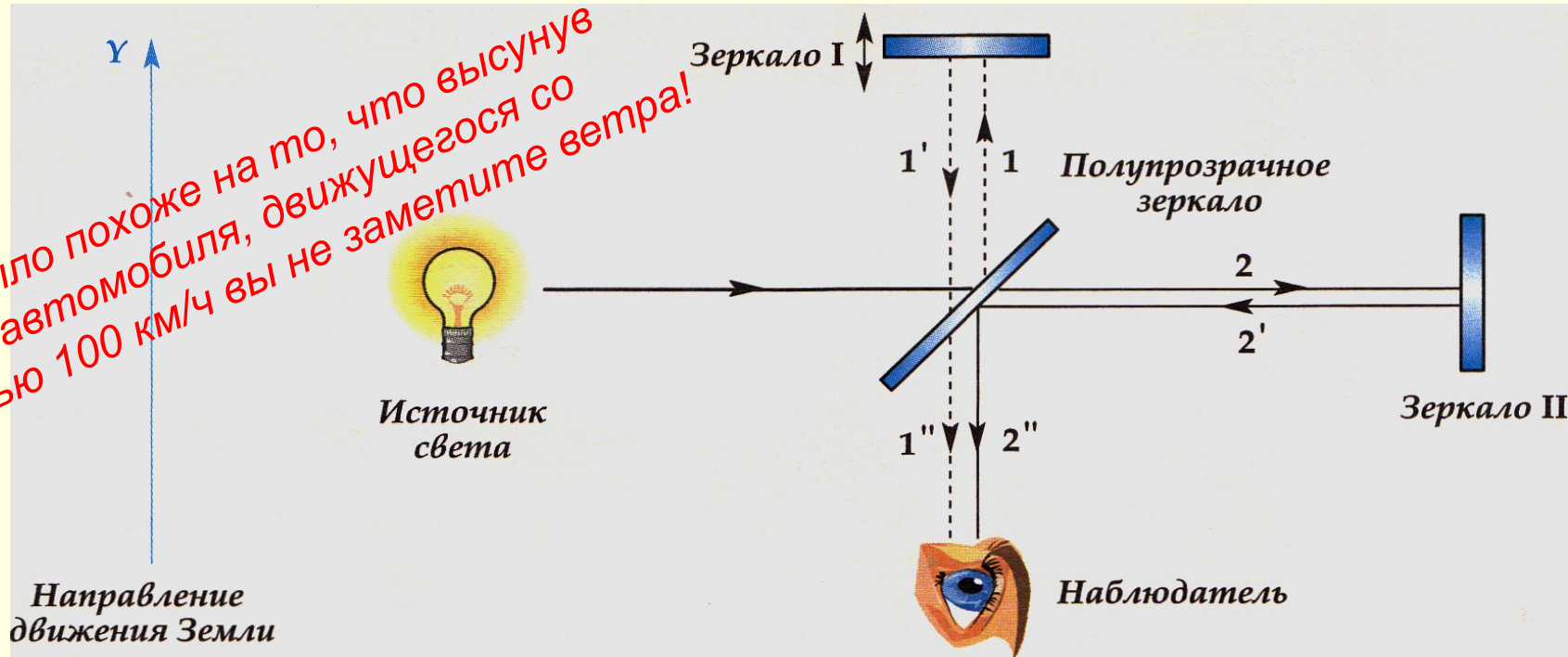
# Опыты Альберта Майкельсона и Эдуарда Морли.



В этом опыте сравнивалась скорость света в направлении движения Земли и в перпендикулярном направлении.

Измерения проводились очень точно — с помощью интерферометра Майкельсона

*Все это было похоже на то, что высунув голову из автомобиля, движущегося со скоростью 100 км/ч вы не заметите ветра!*

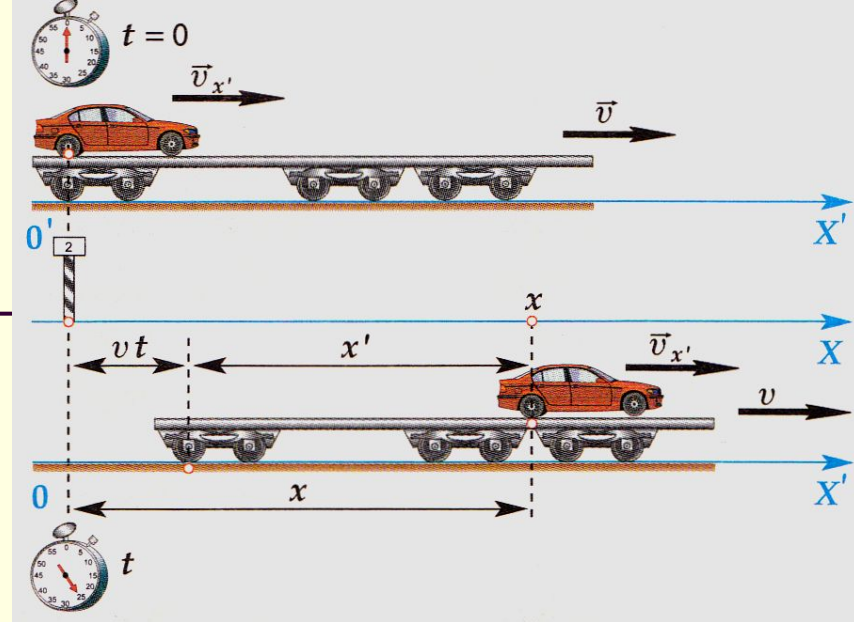


Направление движения Земли

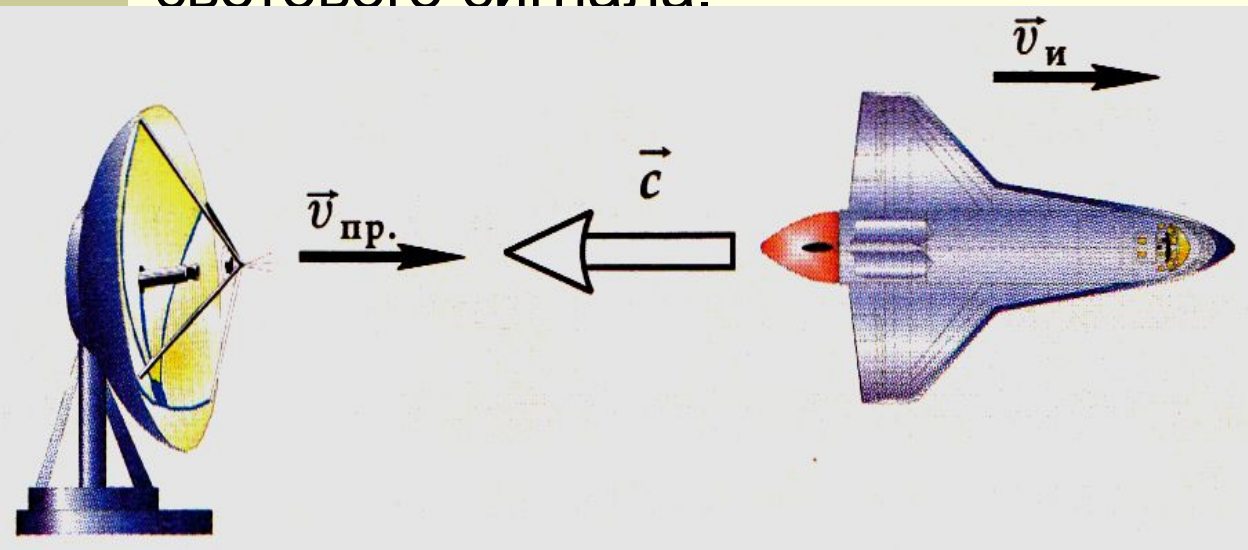
Наблюдатель

# Постулаты теории относительности.

- **2 постулат:** скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчета. Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала.

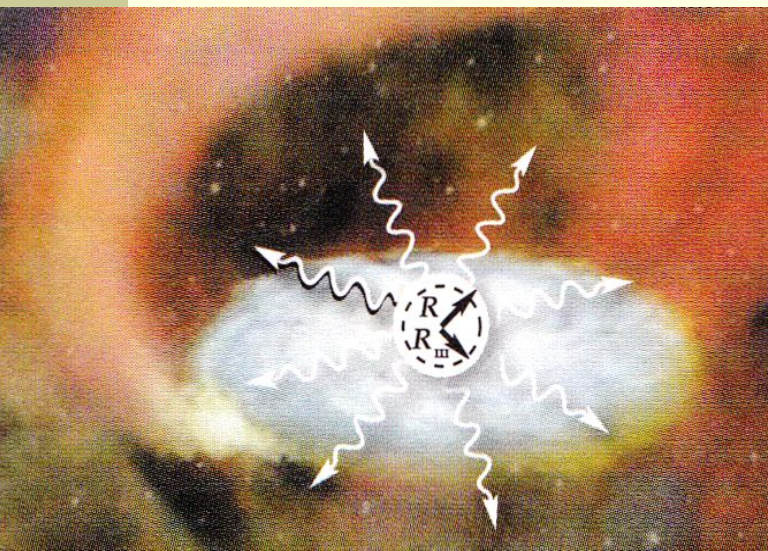


- **1 постулат (принцип относительности):** все процессы природы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета.



# Условия образования черных дыр.

- Скорость света – максимально возможная скорость распространения любого взаимодействия, верхний предел скоростей для всех материальных тел.
- Подтверждением этого является существование черных дыр, которые образуются при сжатии (коллапсе) массивных звезд.
- Если масса звезды более чем в 10 раз превосходит массу Солнца, ядро этой звезды, сжимаясь, достигает такой плотности, что даже свет не может вырваться, преодолев силы ее тяготения.



Радиус  
Шварцшильда

Вторая  
космическая скорость

$$v_{II} = \sqrt{2gR_m} = \sqrt{2 \frac{GM}{R_m}} \leq c$$

$$R_{ш} = \frac{2GM}{c^2}$$

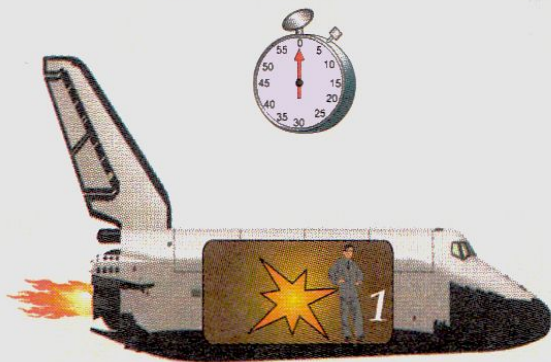
Радиус  
Шварцшильда –  
критический радиус  
черной дыры



# Относительность одновременности -1.

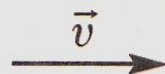
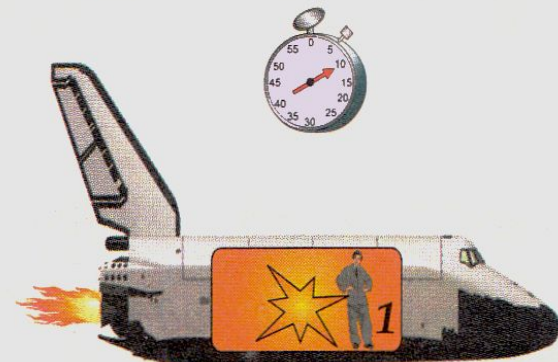
Пусть световой сигнал излучается в центре ракеты, движущейся со скоростью  $V$ . Наблюдатель 1 внутри ракеты считает, что свет достигает противоположных стен одновременно, так как стены находятся на одинаковом расстоянии от источника, а скорость света одинакова во всех направлениях.

Одновременность событий – не абсолютная характеристика явлений



наблюдатель 1:

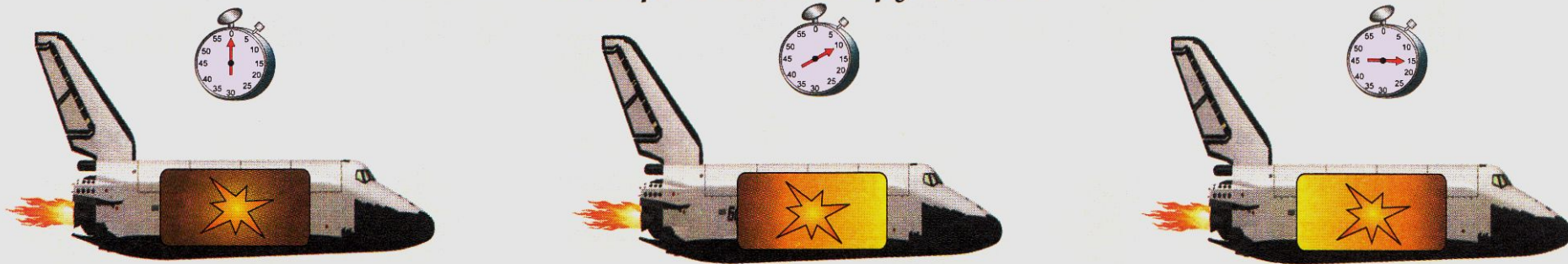
свет достигает противоположных стен одновременно



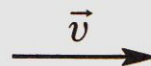
# Относительность одновременности -2.

Внешний наблюдатель 2 знает, что скорость света постоянна и не зависит от направления движения. Левая стена приближается к источнику со скоростью  $V$ , а правая удаляется от него с такой же скоростью. Поэтому, по его мнению световой сигнал достигает левой стены раньше, чем правой. Это означает, что одновременность событий относительна.

*Два события, одновременные в одном ИСО, не являются одновременными в другой ИСО*



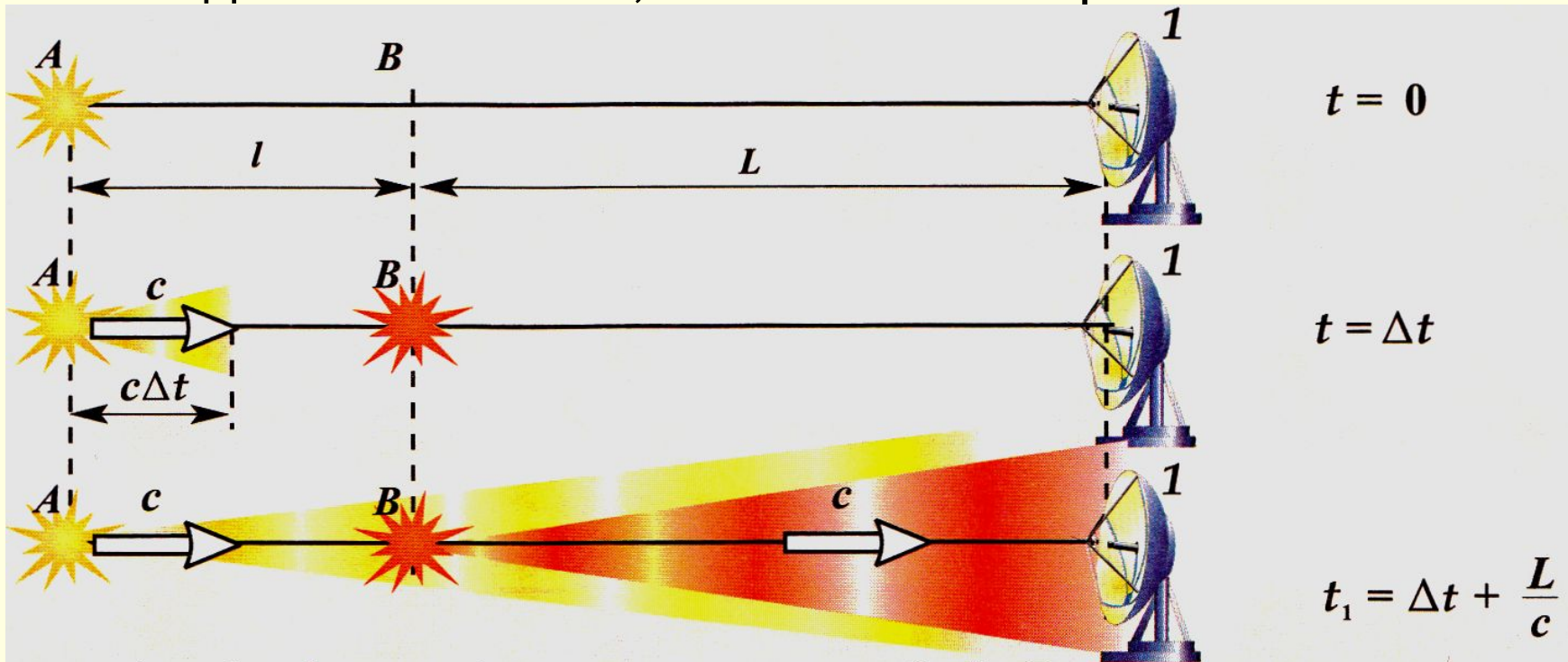
наблюдатель 2:



свет достигает левой стены раньше, чем правой

# Порядок следования событий -1.

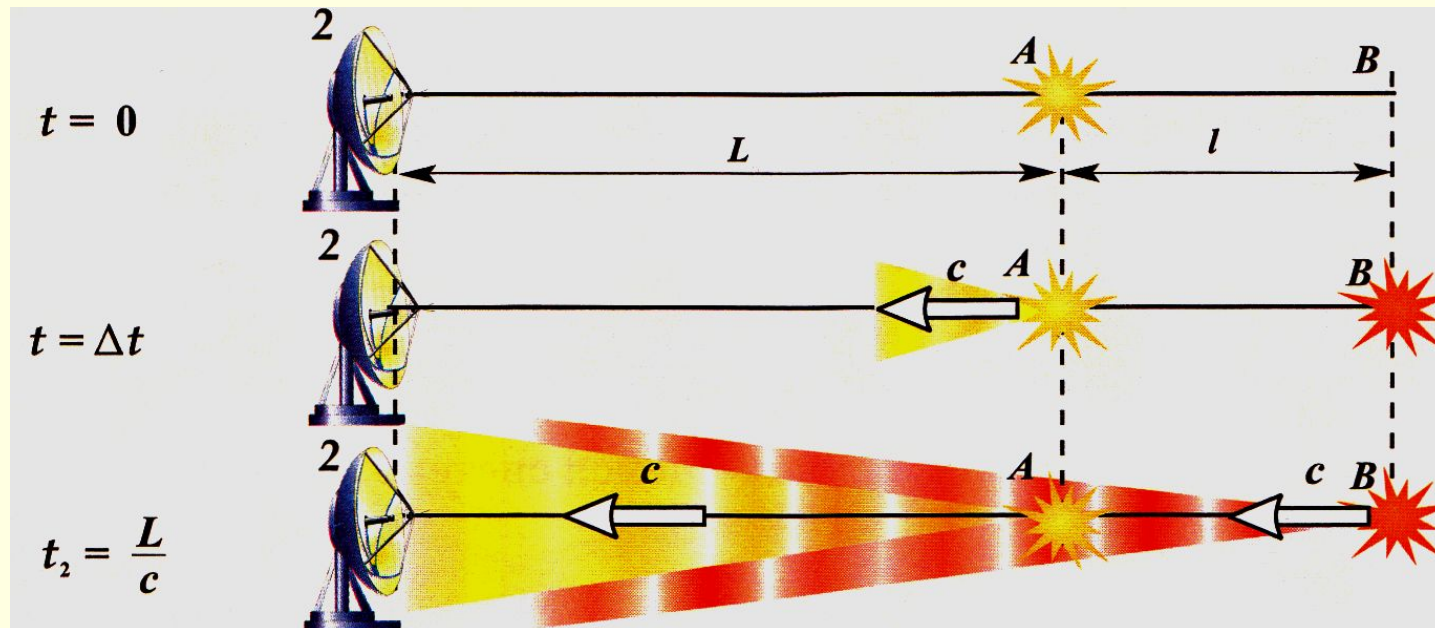
- В точках A и B вспыхивают две звезды последовательно через промежуток времени  $\Delta t$  (сначала A, потом B).
- До тех пор, пока зажглась B, свет от A прошел всего  $c \Delta t$ .
- Наблюдателю кажется, что B зажглась раньше.



а) наблюдатель 1: раньше зажглась звезда B

# Порядок следования событий – 2.

- То же, но наблюдатель находится в точке 2.
- Теперь ему кажется, что А зажглась раньше, чем В (что соответствует истине).
- **Порядок следования событий остается неопределенным, зависящим от положения наблюдателя.**



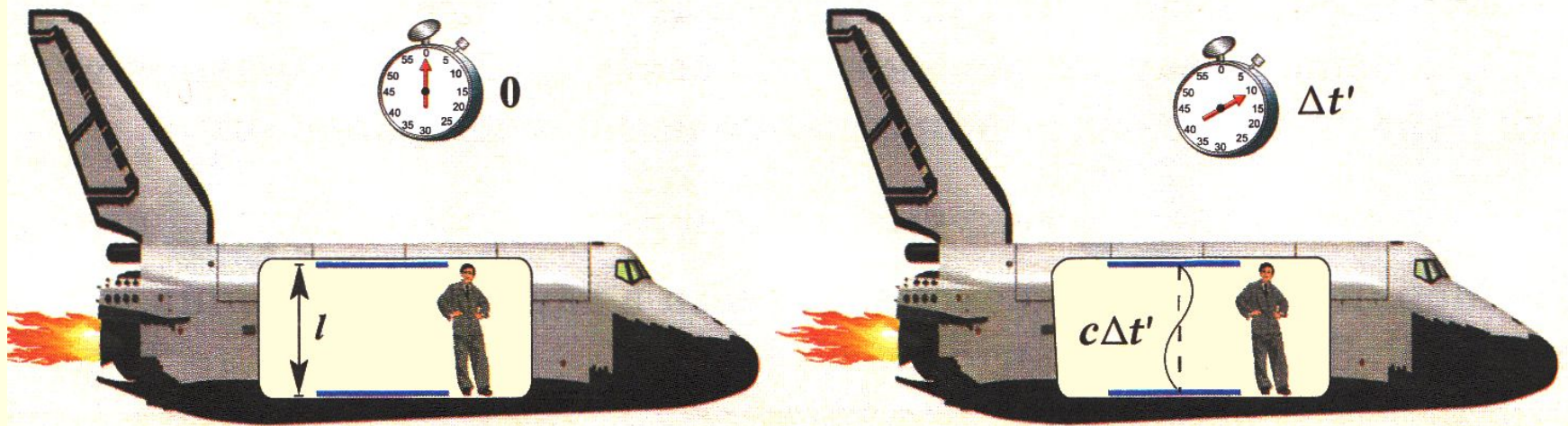
б) наблюдатель 2: раньше зажглась звезда А



**Следствия,  
вытекающие из  
постулатов  
теории  
относительности.**

# Замедление времени.

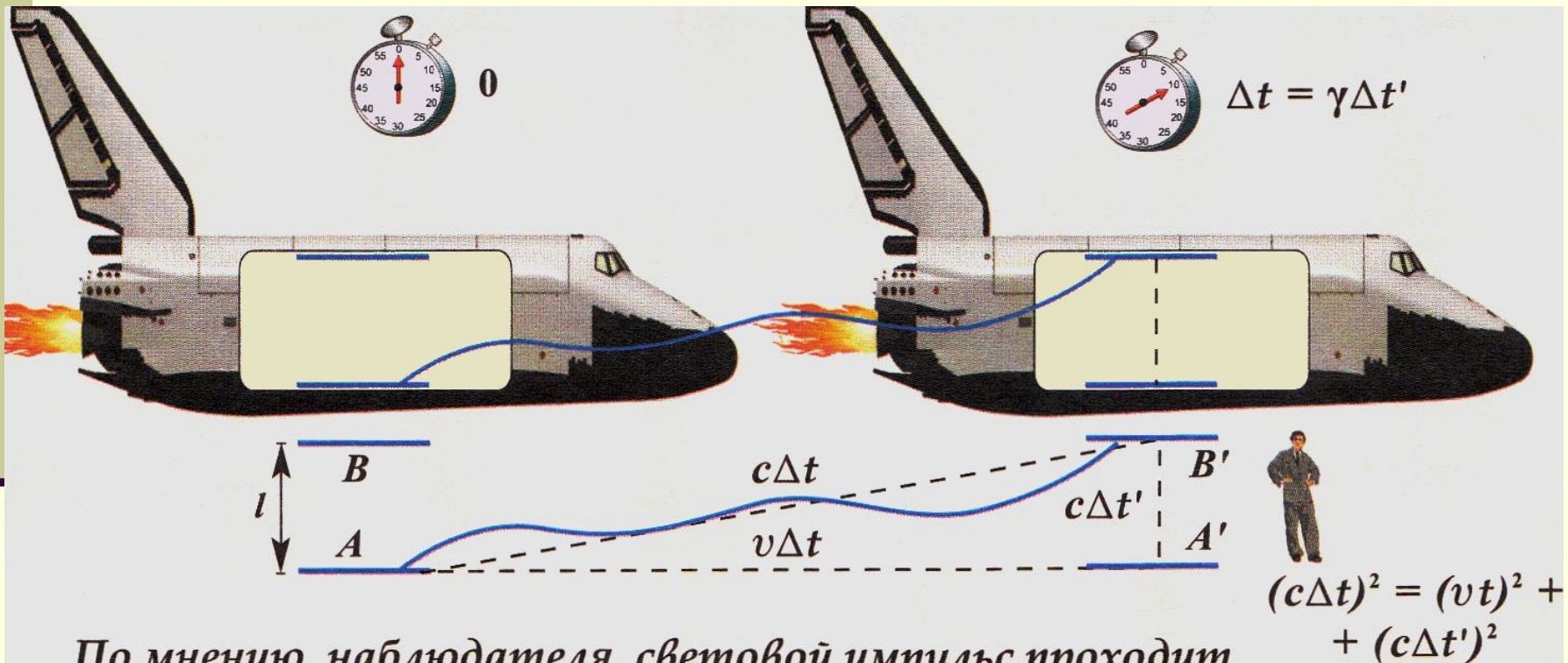
- Собственное время – время, измеренное наблюдателем, движущимся вместе с часами.
- Интервал времени между событиями в неподвижной системе отсчета и движущейся различен.



$$\Delta t' = \frac{l}{c}$$

# Время в неподвижной системе отсчета.

Измерение времени неподвижным наблюдателем.

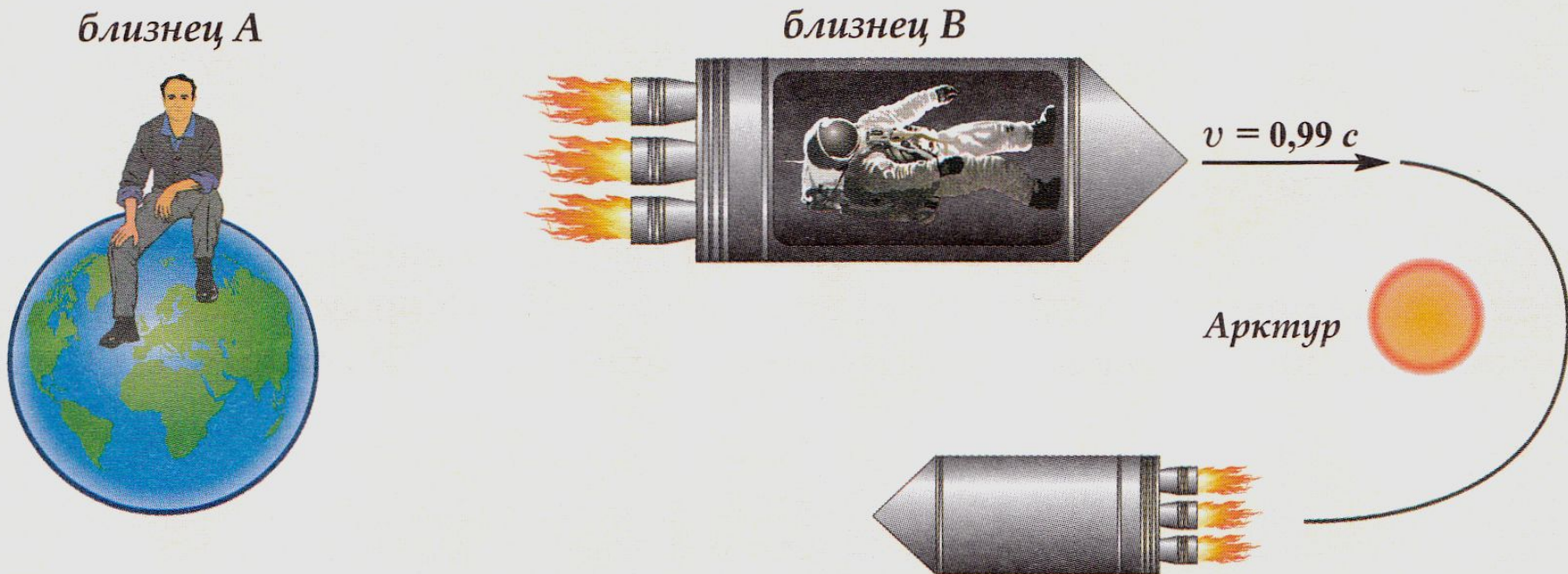


По мнению наблюдателя, световой импульс проходит большее расстояние за больший промежуток времени  $\Delta t > \Delta t'$

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

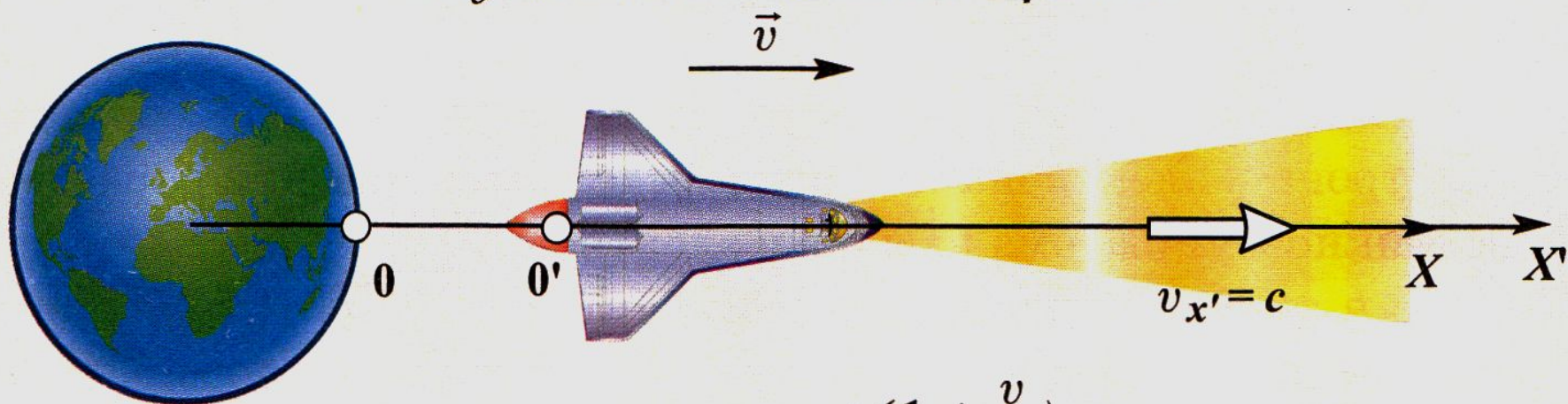
# «Парадокс близнецов».

- Неравноправие неинерциальных систем отсчета приводит к «парадоксу близнецов».
- Путешествующий близнец В стареет медленнее, чем близнец А, оставшийся на Земле, из-за замедления времени.



# Релятивистский закон сложения скоростей.

Скорость распространения светового сигнала, излучаемого космическим кораблем



$$v_x = \frac{c + v}{1 + \frac{c v}{c^2}} = \frac{c \left(1 + \frac{v}{c}\right)}{1 + \frac{v}{c}} = c$$

Скорость света относительно Земли (неподвижная система отсчета) равна скорости света в вакууме

Скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО

# Относительность расстояний и размеров.

- В системе  $K$  стержень покоится и имеет длину  $l_0$
- Система  $K$  движется относительно системы  $K_1$  со скоростью  $V$
- Длина стержня относительно системы  $K_1$  равна  $l$ .

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

# Относительность времени.

- Система  $K$  движется относительно системы  $K_1$ .
- На борту  $K$  прошло времени  $\tau_0$
- В системе  $K_1$  прошло времени  $\tau$ .

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

# Относительность массы.

- В системе  $K$  тело покоится и имеет массу  $m_0$
- Система  $K$  движется относительно системы  $K_1$  со скоростью  $V$
- Масса тела относительно системы  $K_1$  равна  $m$ .

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



# Решение задач.

---



# Задача 1

Ракета движется относительно неподвижного наблюдателя со скоростью  $0,6c$ . Какое время пройдет по часам наблюдателя, если по часам ракеты прошло 6 лет? Как изменится длина метровой линейки в руках наблюдателя?

Дано:  $V = 0,6c$ ,  $\tau_0 = 6$  л,  $l_0 = 1$  м

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{6 \text{ лет}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,6c}{c}\right)^2}} = 7,5 \text{ лет}$$

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} = 1 \text{ м} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0,6c}{c}\right)^2} = 0,8 \text{ м}$$

## Задача 2.

При движении тела его продольные размеры уменьшились в 2 раза. Как изменилось время для этого тела?

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

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

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

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

$$\left. \begin{array}{l} \frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \\ \frac{\tau_0}{\tau} = \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{l}{l_0} = \frac{\tau_0}{\tau}$$

$$l_0 > l \rightarrow \frac{l_0}{l} = \frac{\tau}{\tau_0} = 2 \rightarrow \tau = 2\tau_0$$

Ответ: для тела время течет в 2 раза быстрее.

## Задача 3

Определите время, которое пройдет на Земле, если в ракете, движущейся со скоростью  $0,99c$  относительно Земли, пройдет 10 лет?

Дано:  $V = 0,99c$ ;  $\tau_0 = 10$  лет;  $\tau = ?$

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{10 \text{ лет}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,99c}{c}\right)^2}} \approx 70,87 \text{ лет}$$

**Домашнее  
задание**

**75, 76, 77, 78**

**КОНСПЕКТ**