

11

КЛАСС

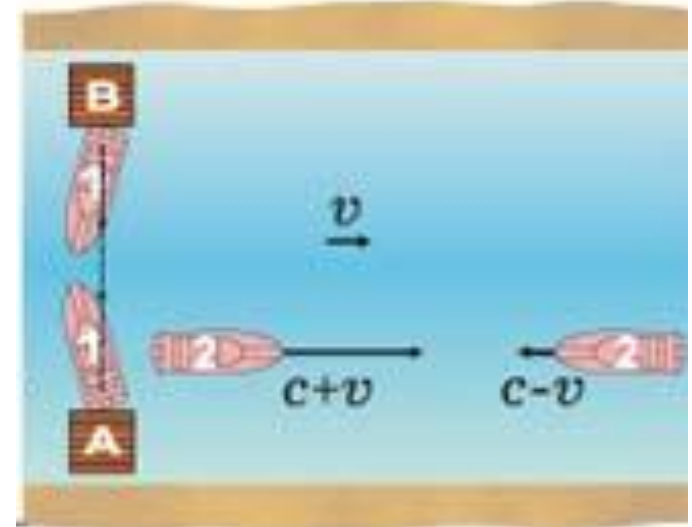
# ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Урок для гуманитарных классов

# Принцип относительности в механике и электродинамике

Распространяется ли принцип относительности, справедливый для механических явлений, и на электромагнитные явления?

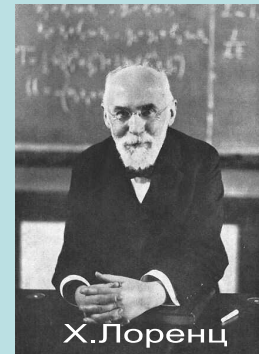
- Если справедлив обычный закон сложения скоростей, то при переходе от одной инерциальной системы к другой законы электродинамики должны меняться так, чтобы в этой новой системе отсчета скорость света уже равнялась не  $c$ , а  $c-v$ .



# «Эфирный ветер» не обнаружен

## Предположение существования особой системы – «мирового эфира».

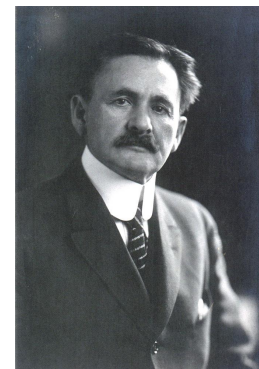
Инерциальная система отсчета, покоящаяся относительно эфира, - это согласно Лоренцу особая преимущественная система. В ней закон электродинамики Максвелла справедливы и имеют наиболее простую форму. Лишь в этой системе отсчета скорость света в вакууме одинакова по всем направлениям.



Х.Лоренц

## Опровержение теории Лоренца

- Если бы скорость света была равна 300 000 км/с только в системе отсчета, связанной с эфиром, то, измеряя скорость света в произвольной инерциальной системе, можно было бы обнаружить движение этой системы по отношению к эфиру и определить скорость этого движения. Подобно тому, как в системе отсчета, движущейся относительно воздуха, возникает ветер, при движении по отношению к эфиру (если, конечно, эфир существует) должен быть обнаружен «эфирный ветер». Опыт по обнаружению «эфирного ветра» был поставлен в 1881 г. американскими учеными А. Майкельсоном и Э. Морли по идее и дан отрицательный результат.



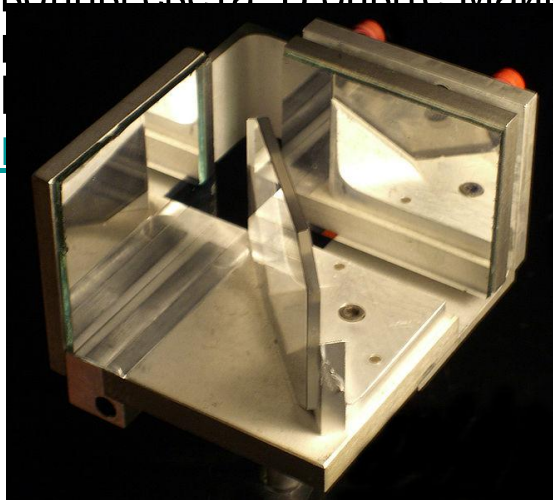
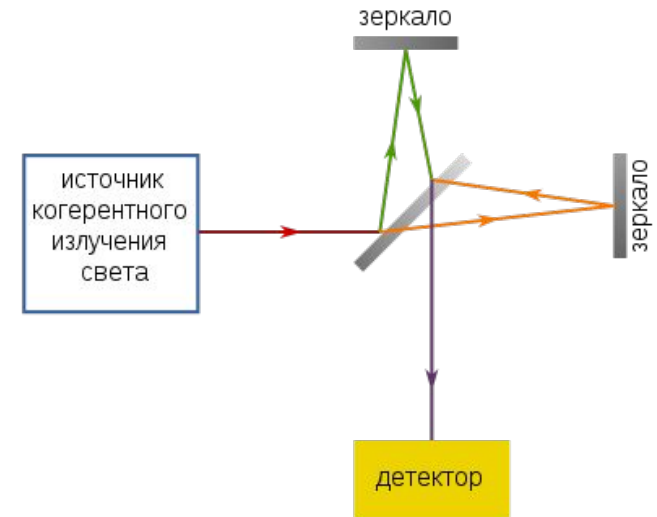
А.Майкельсон



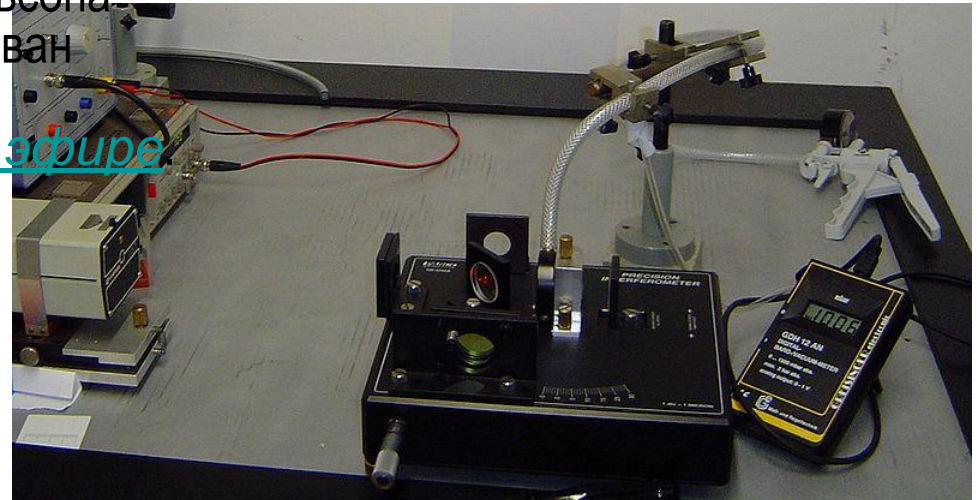
Википедия  
Свободная энциклопедия

# Интерферометр Майкельсона

двухлучевой интерферометр,  
Данный прибор позволил впервые  
измерить длину волны Данный  
прибор позволил впервые измерить  
длину волны света Данный прибор  
позволил впервые измерить длину  
волны света. В опыте  
Майкельсона Данный прибор  
позволил впервые измерить длину  
волны света. В опыте Майкельсона



Блок зеркал интерферометра



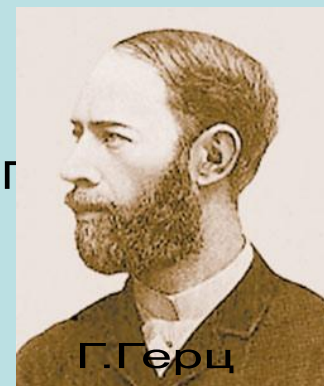
Современный интерферометр Майкельсона

ИЗОВАН  
И  
ом эфире

## Изменённые уравнения противоречили фактам

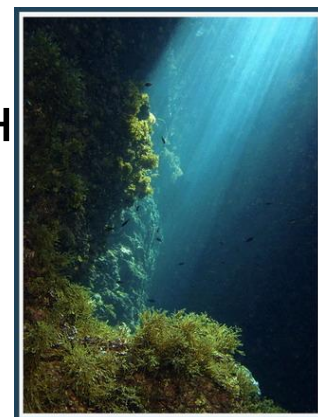
### «Эфир» движется за телами?

- Г.Герц попытался изменить уравнения Максвелла . В его предположении «эфир» полностью увлекается движущимися телами, поэтому электромагнитным явлениям «всё равно» покоится тело или нет.



### Опровержение теории Герца

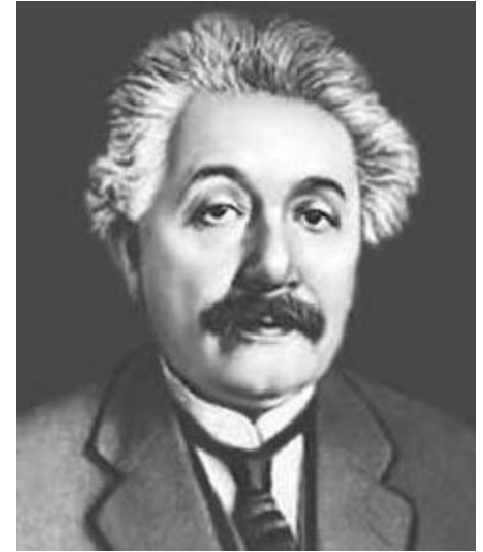
- Согласно теории Герца движущая вода должна полностью увлекать за собой распространяющийся в ней свет. Опыт показал, что в действительности это не так.



## ВЫВОДЫ:

1. Никакой особой среды – «светоносного эфира» **не существует.**
2. Согласовать принцип относительности с электродинамикой Максвелла оказалось возможным, только **отказавшись от классических представлений** о пространстве и времени.

# «Изменить законы Ньютона, а не законы электродинамики Максвелла»



## Эйнштейн Альберт (1879—1955)

великий физик XX века. Им создано новое учение о пространстве и времени — специальная теория относительности. Обобщая эту теорию на случай неинерциальных систем отсчета, Эйнштейн построил общую теорию относительности, представляющую собой современную теорию тяготения. Эйнштейн впервые ввел представление о частицах света — фотонах. Работа Эйнштейна по теории броуновского движения привела к окончательной победе молекулярно-кинетической теории строения вещества.

# ПЕРВЫЙ ПОСТУЛАТ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

**Все процессы природы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.**

- Нет никакого различия между состоянием покоя и равномерным прямолинейным движением.
- Во всех инерциальных системах физические законы имеют одинаковую форму.

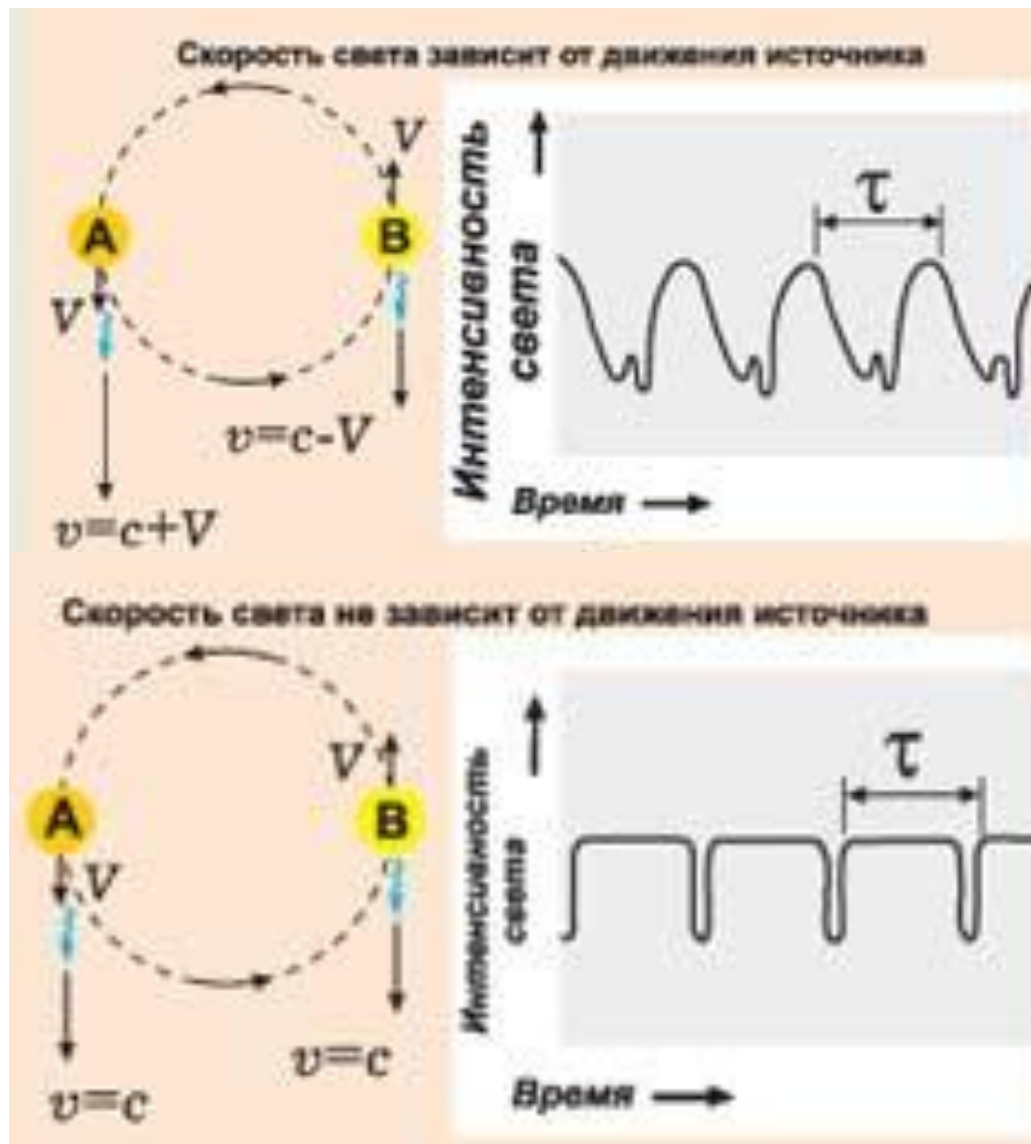


## ВТОРОЙ ПОСТУЛАТ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

**Скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчёта. Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приёмника светового сигнала.**

- **Скорость света ( $c = 300\,000\,000$  м/с) - максимально возможная скорость передачи взаимодействия в природе**

## НЕЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ СВЕТА ОТ ДВИЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА





ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ОДНОВРЕМЕННОСТИ

## ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ОДНОВРЕМЕННОСТИ

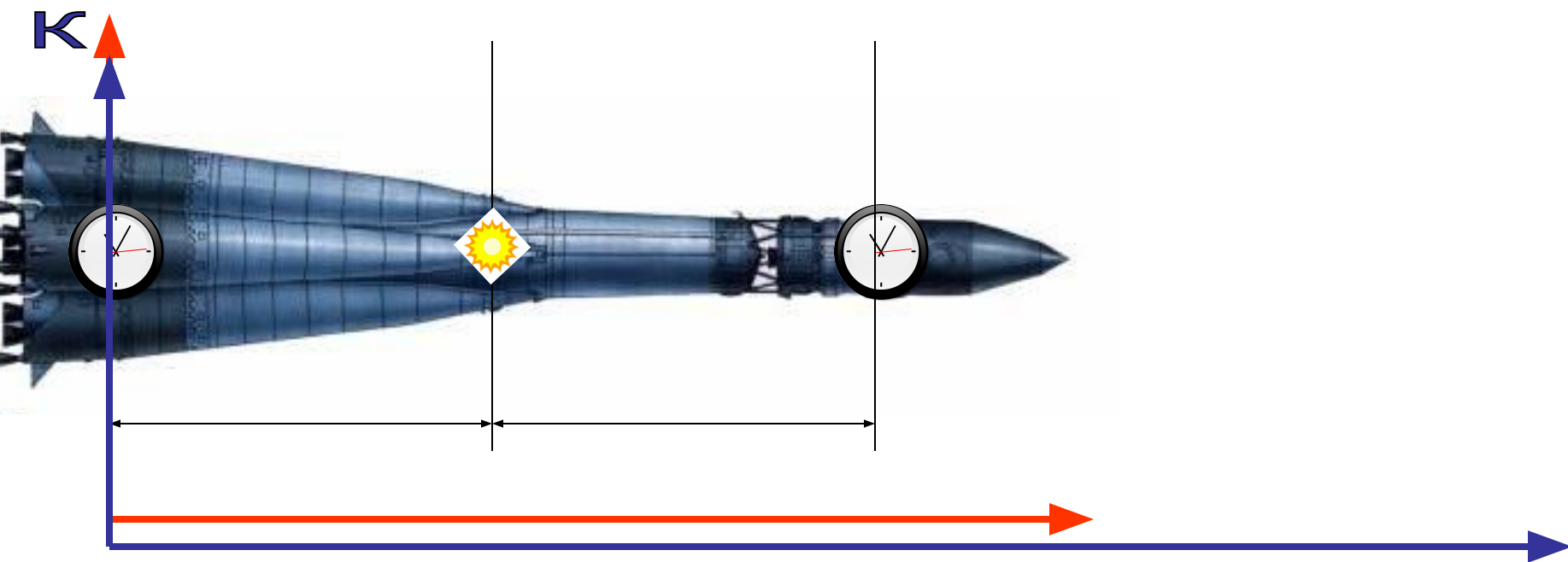
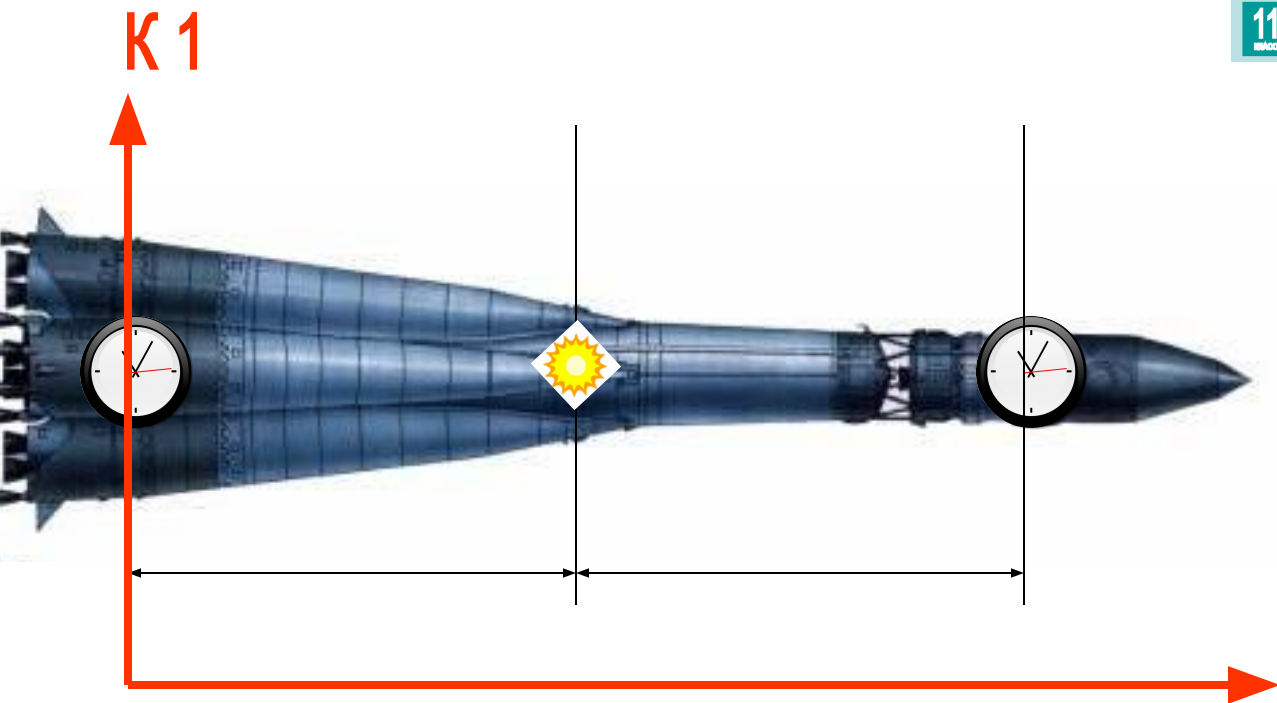
- До начала XX века никто не сомневался, что время абсолютно.
- Два события, одновременные для жителей Земли, одновременны для жителей любой космической цивилизации.
- Создание теории относительности показало, что это не так.

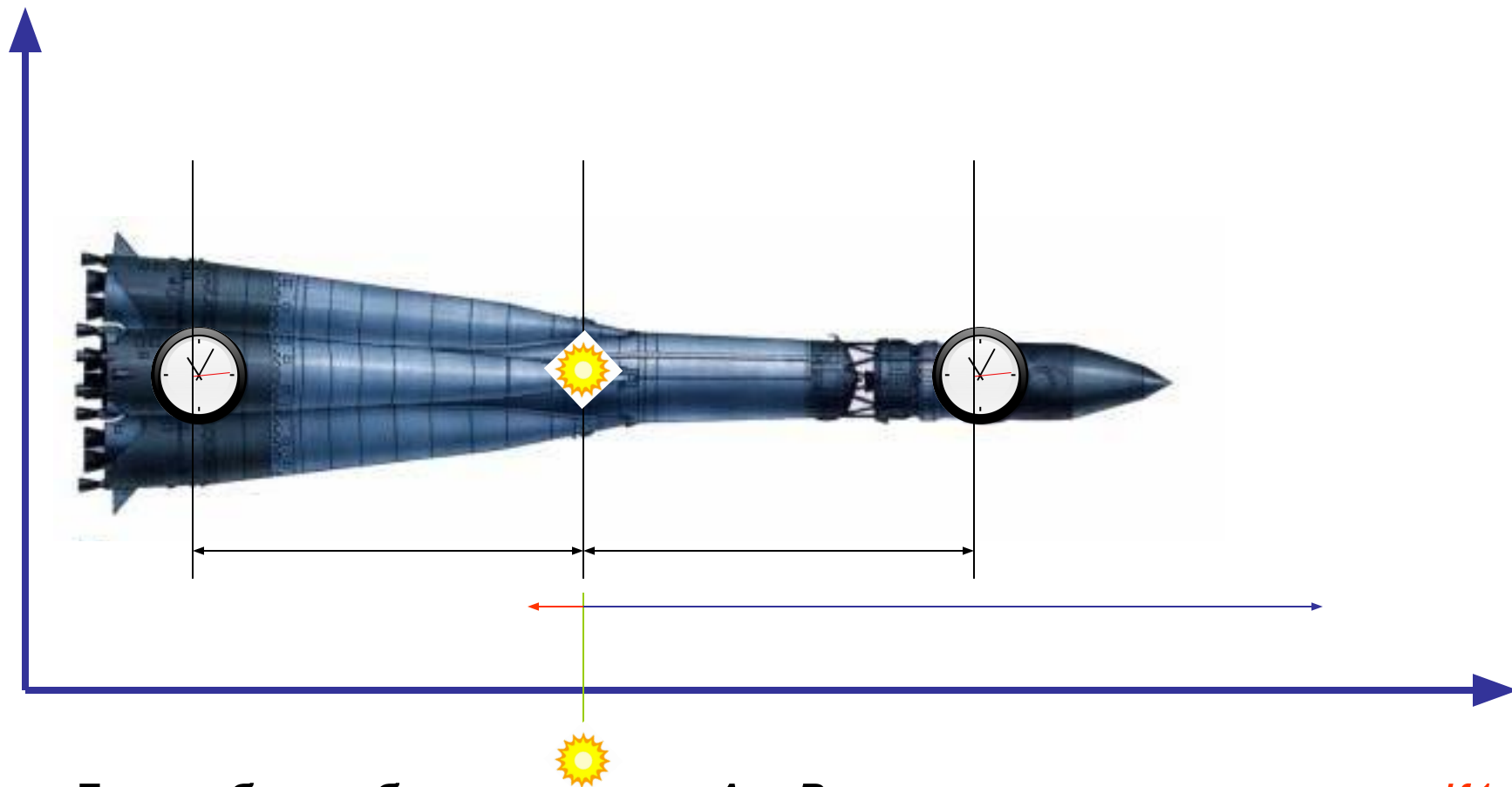


## ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ОДНОВРЕМЕННОСТИ

- Любые события, например два удара молнии, одновременны, если они происходят при одинаковых показаниях синхронизированных часов.







Два любых события в точках  $A$  и  $B$ , **одновременные в системе  $K1$**  не одновременны в системе  $K$ .

Но в силу принципа относительности системы  $K1$  и  $K$  совершенно равноправны.





**ОСНОВНЫЕ СЛЕДСТВИЯ, ВЫТЕКАЮЩИЕ  
ИЗ ПОСТУЛАТОВ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

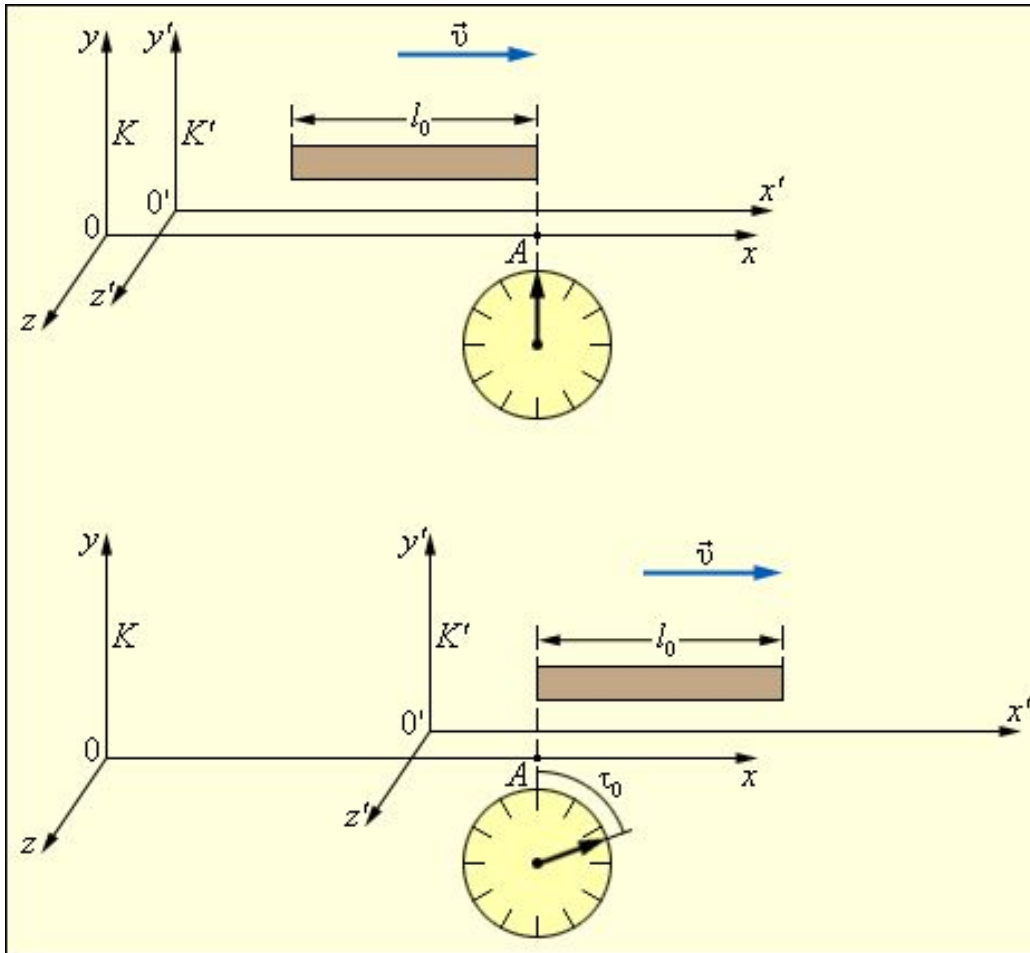


## ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ РАССТОЯНИЙ



- Рис. 5. Относительность расстояния.
- Расстояние, которое преодолевает тело, — и его путь — могут по-разному оцениваться разными наблюдателями.
- Ньютона очень беспокоило отсутствие абсолютных положений, или абсолютного пространства, как принято было говорить, поскольку это не согласовывалось с его идеей абсолютного Бога. Фактически он отказался принять отсутствие абсолютного пространства, несмотря на то что его законы подразумевали это. За эту иррациональную веру его критиковали многие, особенно епископ Беркли, философ, полагавший, что все материальные тела, пространство и время — иллюзия. Когда знаменитого доктора Джонсона ознакомили с мнением Беркли, он вскричал: «Я опровергаю это так!» — и ударил ногой по большому камню.
- И Аристотель, и Ньютон верили в абсолютное время. То есть полагали, что можно однозначно измерить интервал времени между двумя событиями и полученное значение будет одним и тем же, кто бы его ни измерял, если использовать точные часы. В отличие от абсолютного пространства, абсолютное время *согласовывалось* с законами Ньютона. И большинство людей считает, что это соответствует здравому смыслу.
- Тем не менее в двадцатом столетии физики были вынуждены пересмотреть представления о времени и пространстве. Как мы убедимся в дальнейшем, ученые обнаружили, что интервал времени между двумя событиями, подобно расстоянию между отскоками теннисного шарика, зависит от наблюдателя. Физики также открыли, что время не является совершенно независимым от пространства.
- Ключом к прозрению стало новое понимание свойств света. Свойства эти, казалось бы, противоречат нашему опыту, но наш здравый смысл, исправно служащий нам, когда мы имеем дело с яблоками или планетами, которые движутся сравнительно медленно, перестает работать в мире околосветовых скоростей.
- <http://www.fb2book.com/?kniga=10481&strn=5&cht=1>

# ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ РАССТОЯНИЙ

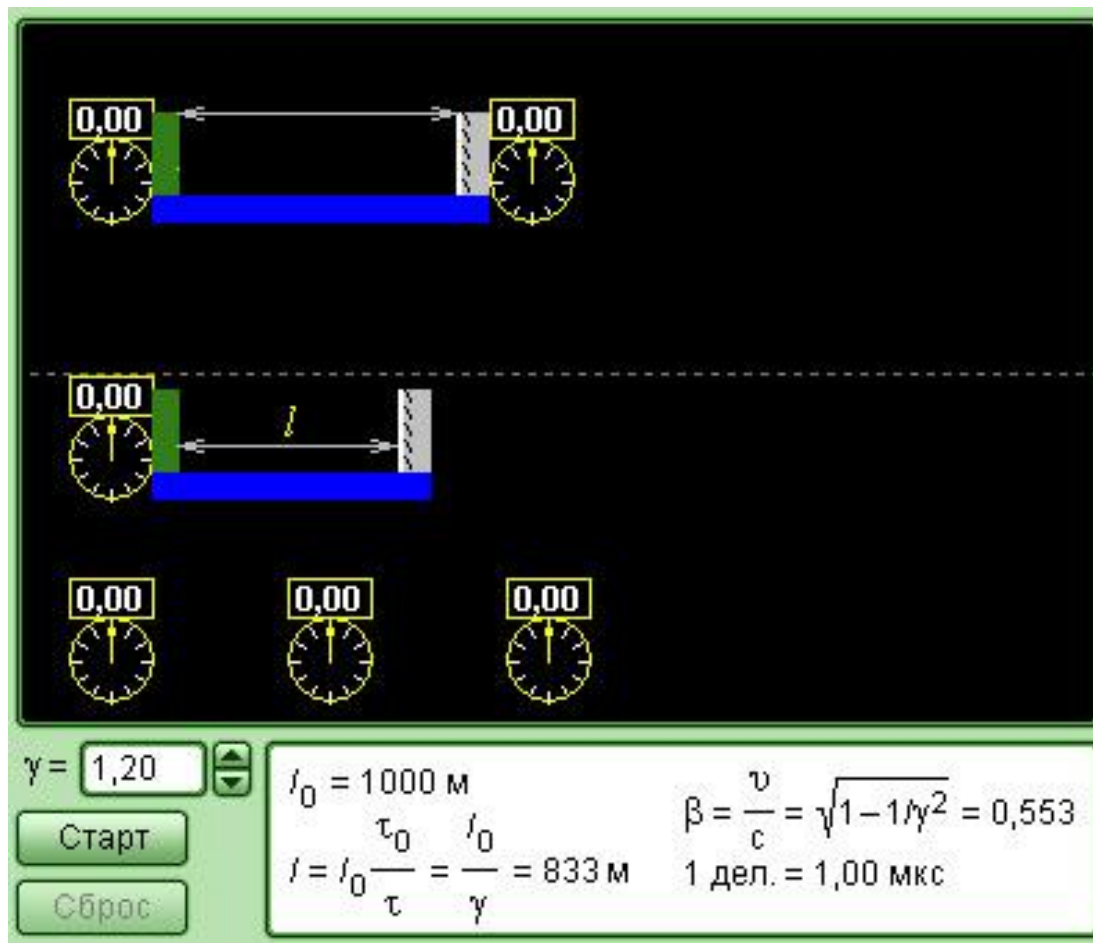


$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2} = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}.$$

где  $\beta = v / c$ .

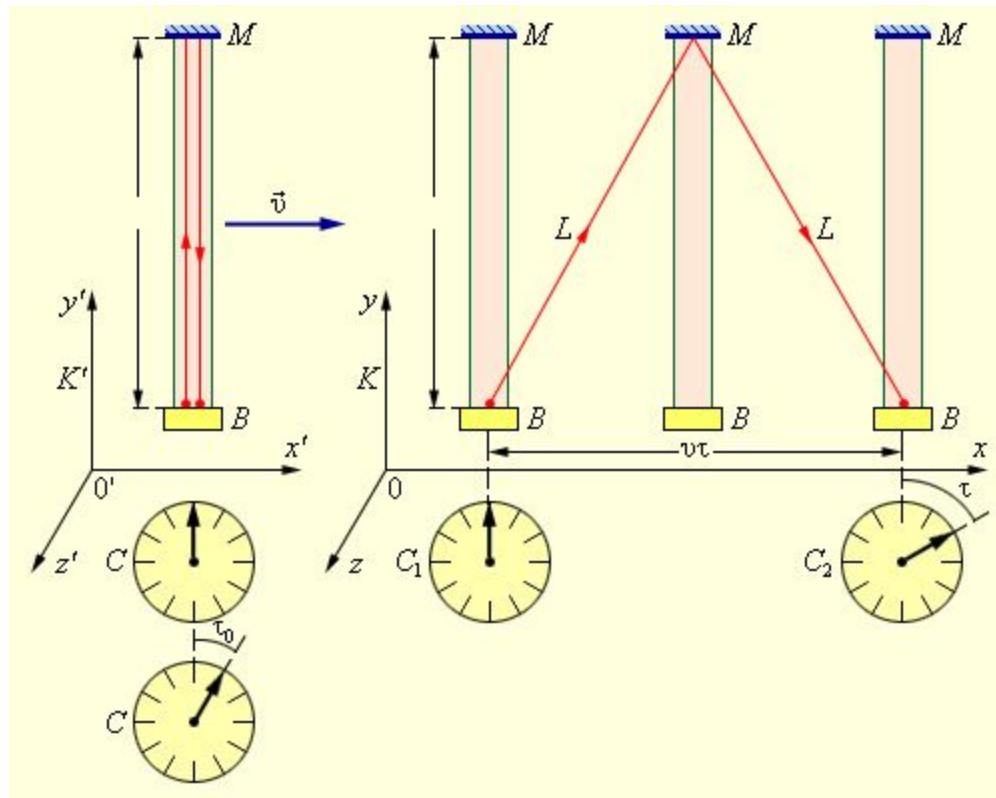
Следует обратить внимание, что при малых скоростях движения ( $v \ll c$ ) формулы СТО переходят в классические соотношения:  
 $l \approx l_0$  и  $\tau \approx \tau_0$ .

# ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ РАССТОЯНИЙ



- <http://old.college.ru/physics/courses/op25part2/content/chapter4/section/paragraph3/theory.html#up>

# ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЕЖУТКОВ ВРЕМЕНИ

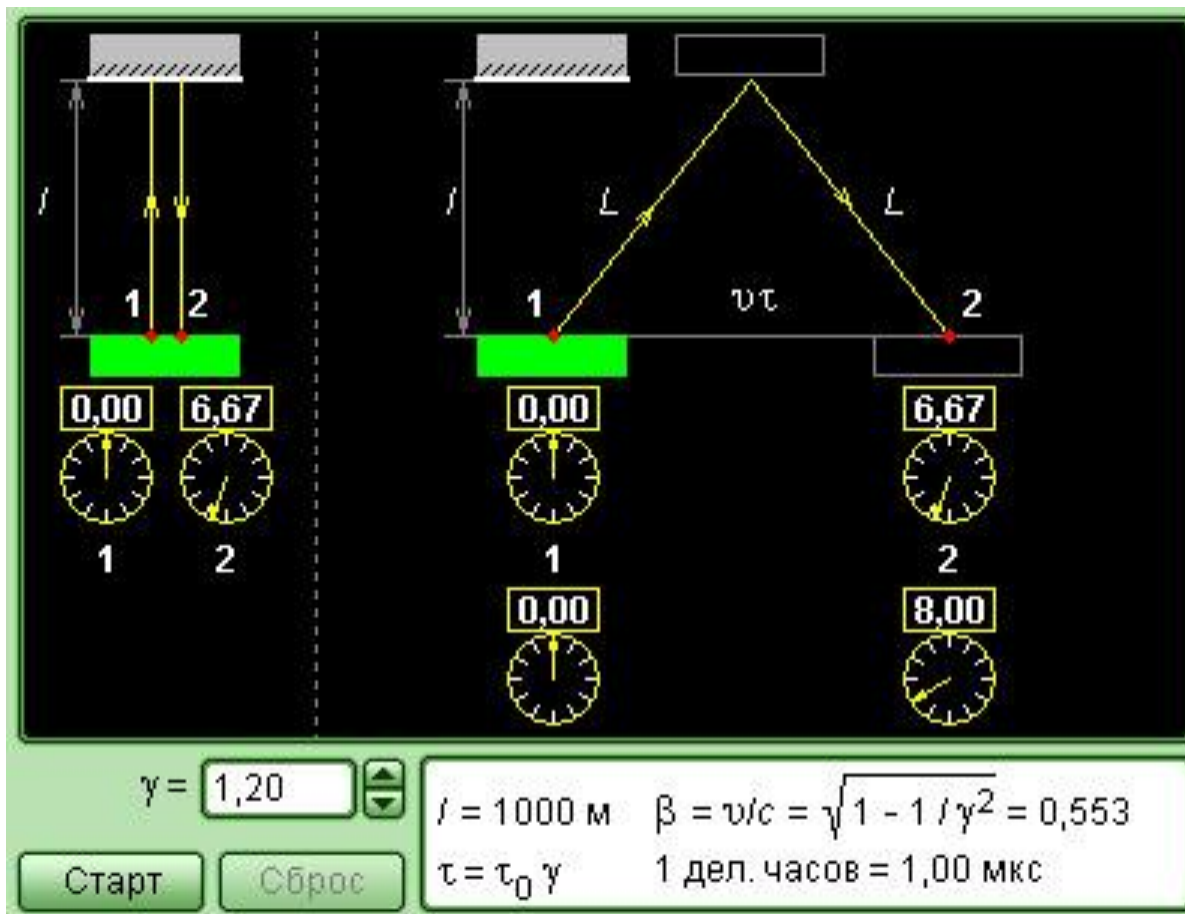


$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

где  $\beta = v/c$ .

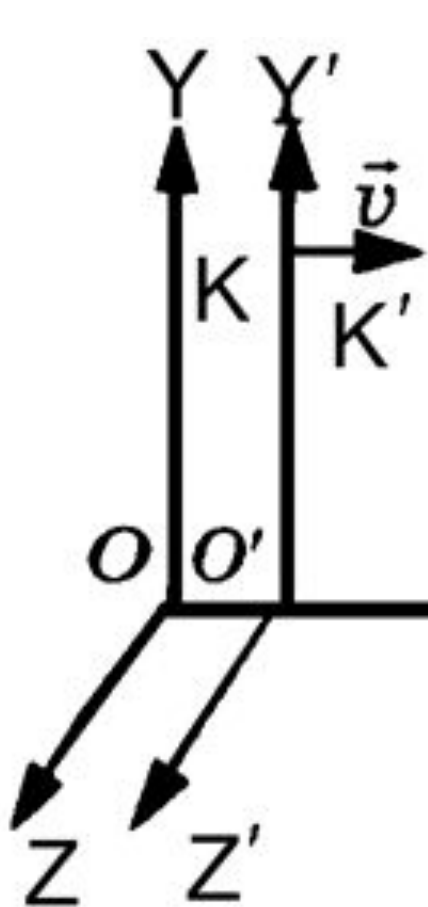
- Моменты наступлений событий в системе  $K'$  фиксируются по одним и тем же часам  $C$ , а в системе  $K$  – по двум синхронизованным пространственно-разнесенным часам  $C_1$  и  $C_2$ .
- Система  $K'$  движется со скоростью  $u$  в положительном направлении оси  $x$  системы  $K$

## ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЕЖУТКОВ ВРЕМЕНИ



- <http://old.college.ru/physics/courses/op25part2/content/models/reltime.html>

# РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ



$$v_2 = \frac{v_1 - v}{1 + v_1 v / c^2}$$

Если  $v_1 = c$  и  $v = c$ , то

$v_1 \ll c$  и  $v \ll c$ , то членом

$v_1 v / c^2$  в знаменателе можно пренебречь. Получим классический закон сложения скоростей:

$$v_2 = v_1 + v$$

При  $v_1 = c$  скорость  $v_2$  также равна  $c$ . Действительно,

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

Следовательно, при любых скоростях  $v_1$  и  $v$  результирующая скорость  $v_2$  не превышает  $c$ .



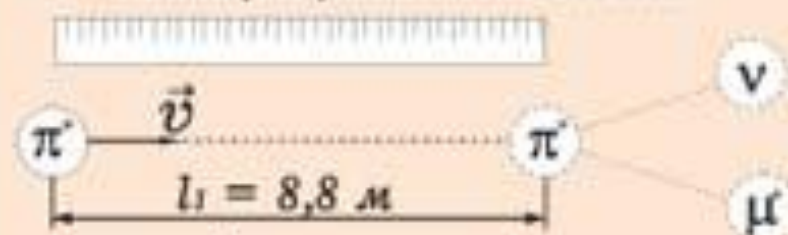
## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СТО

## Принцип относительности

## Эксперимент с движущимися пионами

Среднее время жизни неподвижного пиона  $\tau = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ с}$ 

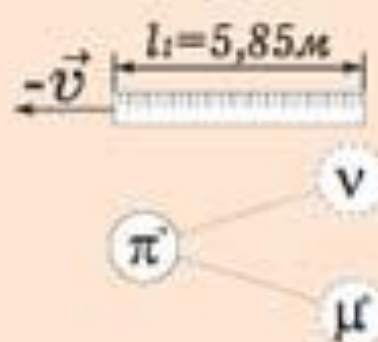
В лабораторной системе отсчета



$$\tau_{\text{эксп}} = \frac{l_1}{v} = 3,9 \cdot 10^{-8} \text{ с}$$

$$\tau_{\text{теор}} = \frac{\tau}{\sqrt{1-\beta^2}} = 3,9 \cdot 10^{-8} \text{ с}$$

В системе отсчета, связанной с пионом



$$l_2 = l_1 \sqrt{1-\beta^2}$$

$$l_2 = 5,85 \text{ м}$$

$$\tau_{\text{теор}} = \frac{l_2}{v} = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ с}$$

$$\tau_{\text{теор}} = t = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ с}$$



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СТО

## Связь изменений энергии и массы системы



Термоядерный синтез в звездах

$$\Delta E = \Delta mc^2$$



Взрыв атомной бомбы

## ЭНЕРГИЯ И ИМПУЛЬС В СТО

## Полная энергия тела

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$$

 $m=0$  $m \neq 0$ 

$$E = pc$$

$$E = mc^2 \gamma$$

 $E$  - полная энергия $p$  - релятивистский импульс $m$  - масса тела $c$  - скорость света в вакууме

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

## Энергия покоя

$$E_0 = mc^2$$

 $m=0$  $m \neq 0$ 

$$E_0 = 0$$

$$E_0 \neq 0$$

 $E_0$  - энергия покоя тела

## Кинетическая энергия

$$E_k = E - E_0$$

 $m=0$  $m \neq 0$ 

$$E_k = E$$

$$E_k = mc^2(\gamma - 1)$$

 $E_k$  - кинетическая энергия тела

Когда  $v \ll c$ , то  $\gamma \approx 1 + \frac{v^2}{2c^2}$ ,  $E_k \approx \frac{mv^2}{2}$

## Релятивистский импульс

$$\vec{p} = \frac{\vec{v}E}{c^2}$$

 $m=0$  $m \neq 0$ 

$$\vec{p} = \frac{\vec{v}p}{c}$$

 $v \equiv c$ 

$$\vec{P} = m\vec{v}\gamma$$

 $\vec{p}$  - релятивистский импульс $\vec{v}$  - скорость частицы $E$  - полная энергия частицы $c$  - скорость света в вакууме