

11

КЛАСС

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

4. После удара камнем по прозрачному льду возникают трещины, переливающиеся всеми цветами радуги. Почему?

5. Длина волны света в воде уменьшается в n раз (n — показатель преломления воды относительно воздуха). Означает ли это, что ныряльщик под водой не может видеть окружающие предметы в естественном свете?

6. Человеческий глаз может фиксировать изменение интенсивности излучения с частотой не более 20 Гц. По цепи лампы накаливания идёт переменный ток. Почему мы видим постоянное, а не пульсирующее излучение лампы?



A1. Явление интерференции присуще

- 1) только видимому свету
- 2) только радиоволнам
- 3) только звуковым волнам
- 4) как электромагнитным, так и механическим волнам

A2. Световые волны когерентны, если у них

- 1) совпадают амплитуды
- 2) совпадают частоты
- 3) сдвиг фаз не зависит от времени
- 4) совпадают частоты и сдвиг фаз не зависит от времени

A3. Интерференцию света с помощью лазерной указки показать легче, чем с помощью обычного источника, так как пучок света, даваемый лазером,

- | | |
|----------------|-----------------|
| 1) мощнее | 3) расходящийся |
| 2) когерентный | 4) ярче |

A4. Два точечных источника света находятся близко друг от друга и создают на удалённом экране устойчивую интерференционную картину. Это возможно, если эти два источника являются

- 1) двумя лампами накаливания
- 2) двумя солнечными зайчиками от разных зеркал
- 3) малыми отверстиями в непрозрачном экране, освещёнными светом одного и того же точечного источника
- 4) малыми отверстиями в непрозрачном экране, освещёнными светом двух точечных источников разных цветов

A1. Дифракционная решётка с периодом d освещается нормально падающим световым пучком с длиной волны λ . Какое из приведённых ниже выражений определяет угол α , под которым наблюдается второй главный максимум?

1) $\sin \alpha = 2\lambda/d$

3) $\cos \alpha = 2\lambda/d$

2) $\sin \alpha = d/2\lambda$

4) $\cos \alpha = d/2\lambda$

A2. Луч лазера направляется перпендикулярно плоскости дифракционной решётки. Расстояние между нулевым и первым дифракционными максимумами на удалённом (расстояние до экрана $L \gg 10$ см) экране равно 10 см. Расстояние между дифракционными максимумами первого порядка примерно равно

1) 5 см

2) 10 см

3) 20 см

4) 40 см

A3. На дифракционную решётку с периодом 0,0066 мм падает по нормали плоская монохроматическая волна. Длина волны 550 нм. Какое максимальное количество дифракционных максимумов можно наблюдать с помощью этой решётки для данной световой волны?

1) 11

2) 24

3) 3

4) 22

A4. На дифракционную решётку с периодом 0,004 мм падает по нормали плоская монохроматическая волна. Количество дифракционных максимумов, наблюдаемых с помощью этой решётки, равно 19. Чему равна длина волны света?

1) 640 нм

2) 560 нм

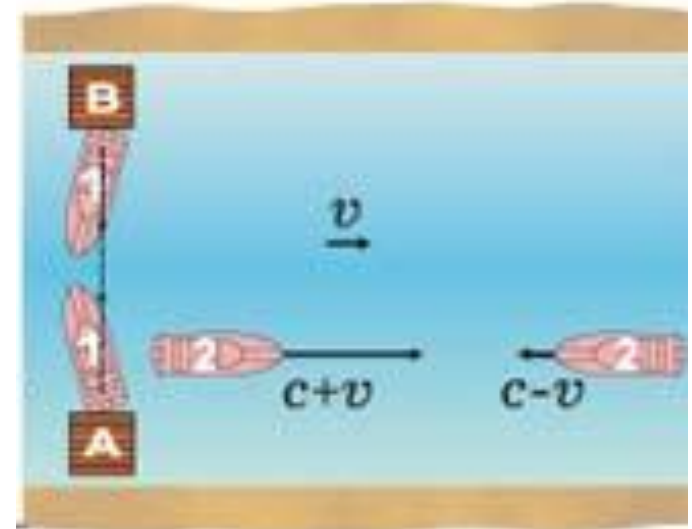
3) 440 нм

4) 580 нм

Принцип относительности в механике и электродинамике

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

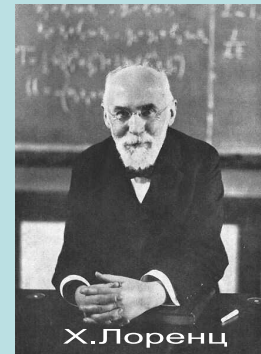
- Если справедлив обычный закон сложения скоростей, то при переходе от одной инерциальной системы к другой законы электродинамики должны меняться так, чтобы в этой новой системе отсчета скорость света уже равнялась не c , а $c-v$.



«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.



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.

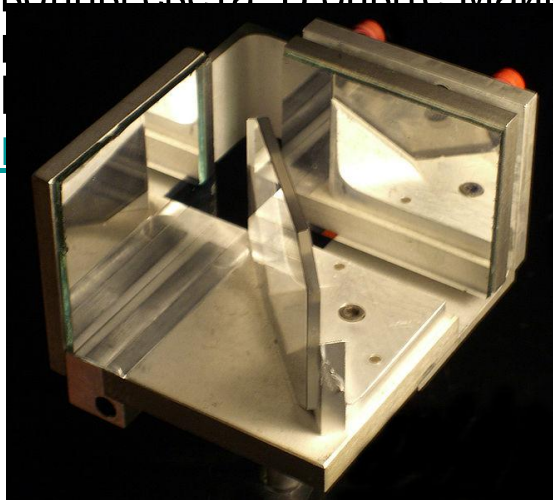
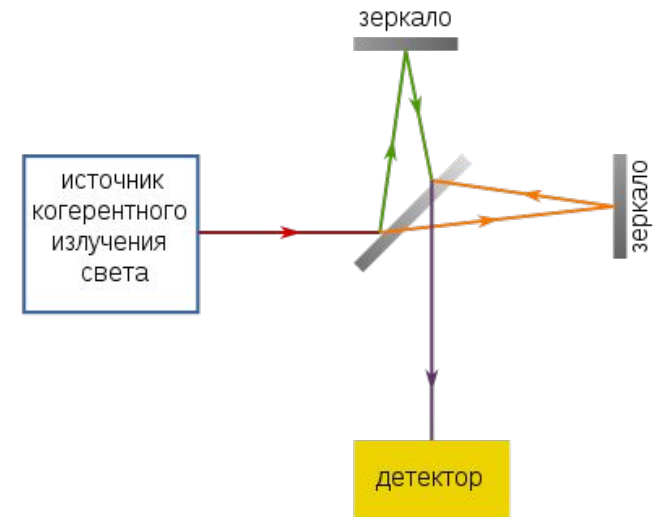


А.Майкельсон

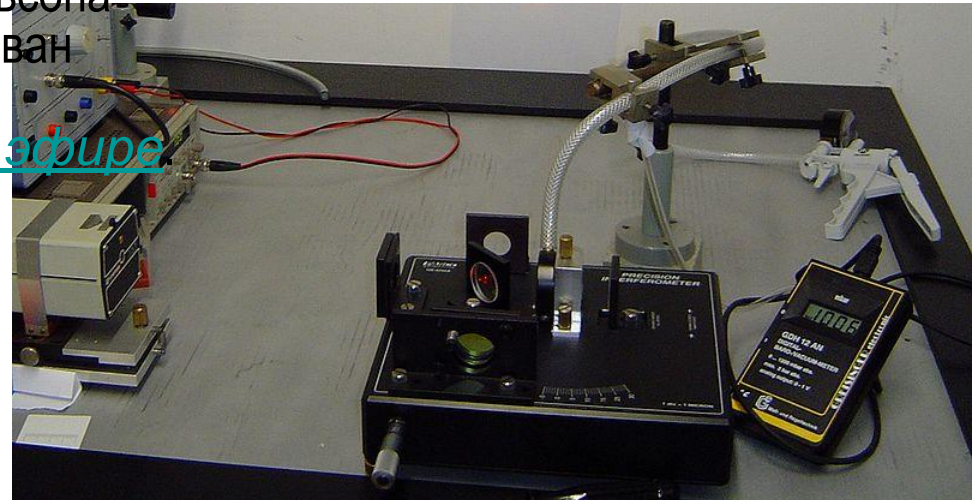


Интерферометр Майкельсона

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

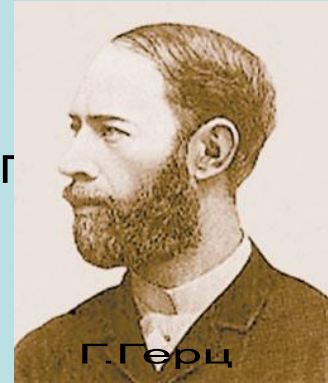


Современный интерферометр Майкельсона

Изменённые уравнения противоречили фактам

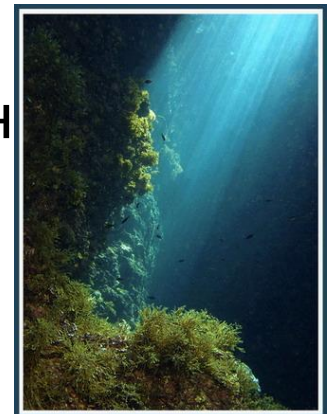
«Эфир» движется за телами?

- 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

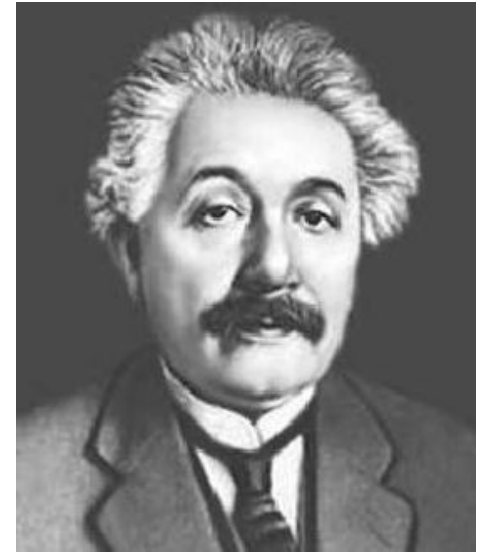
- Согласно теории Герца движущая вода должна полностью увлекать за собой распространяющийся в ней свет. Опыт показал, что в действительности это не так.



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.

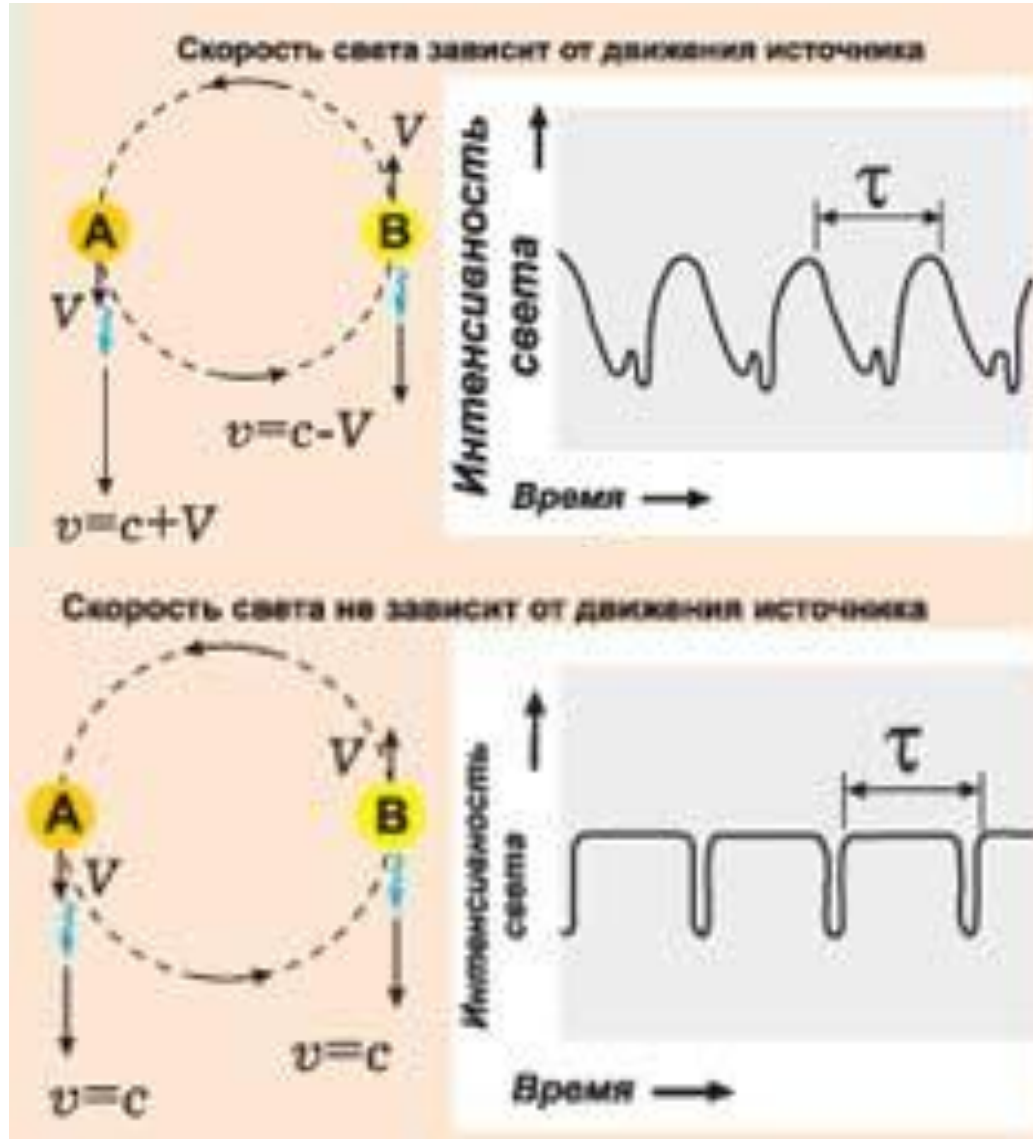
- Нет никакого различия между состоянием покоя и равномерным прямолинейным движением.
- Во всех инерциальных системах физические законы имеют одинаковую форму.

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

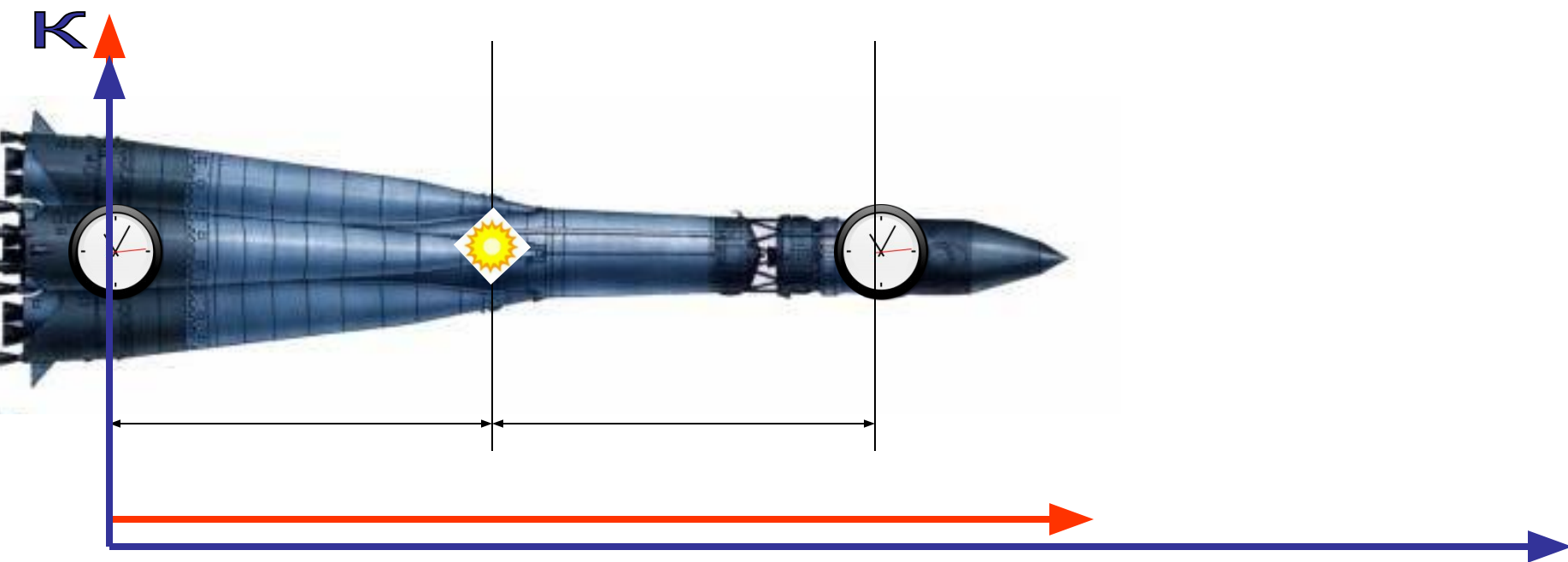
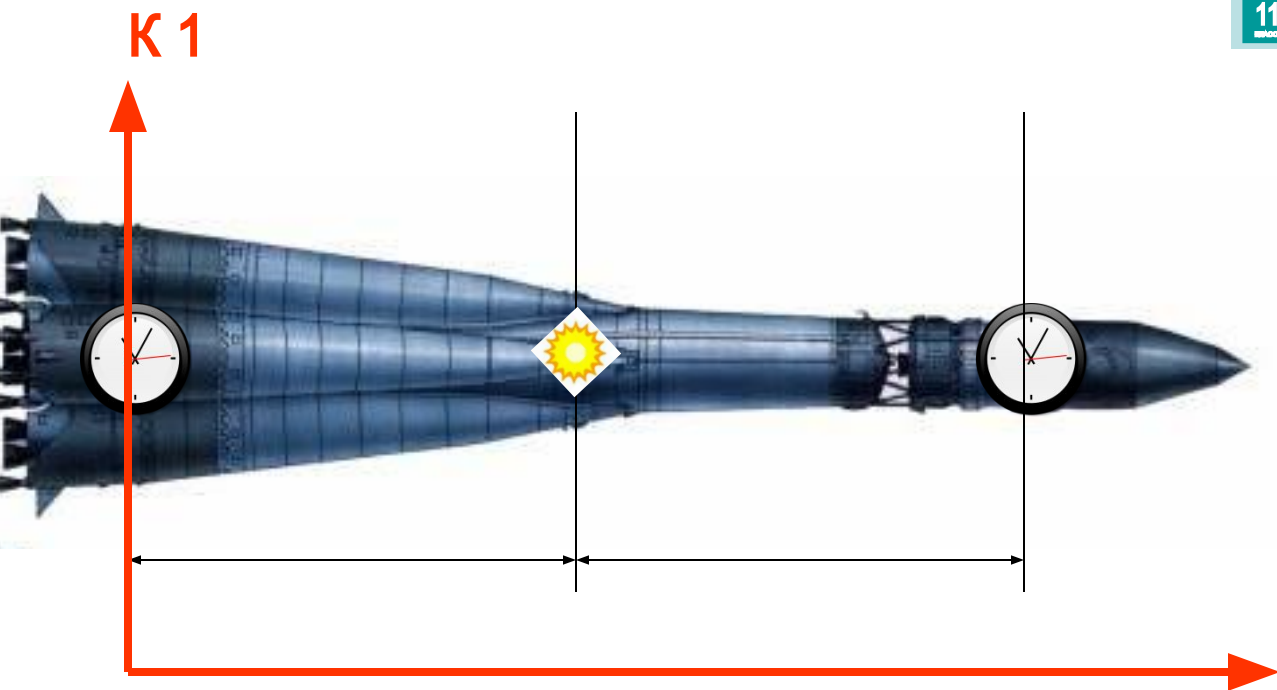
- До начала XX века никто не сомневался, что время абсолютно.
- Два события, одновременные для жителей Земли, одновременны для жителей любой космической цивилизации.
- Создание теории относительности показало, что это не так.

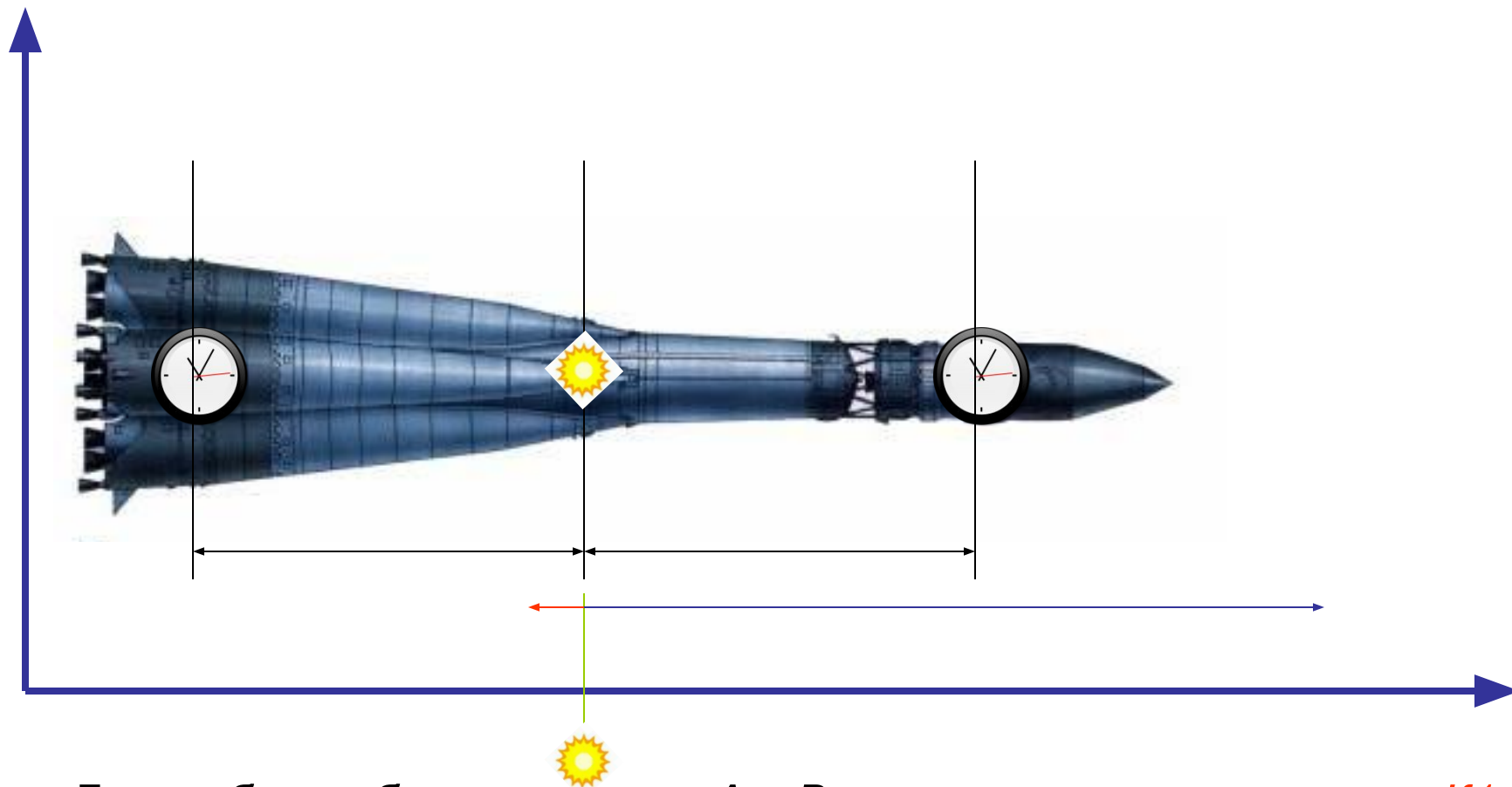


ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ОДНОВРЕМЕННОСТИ

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







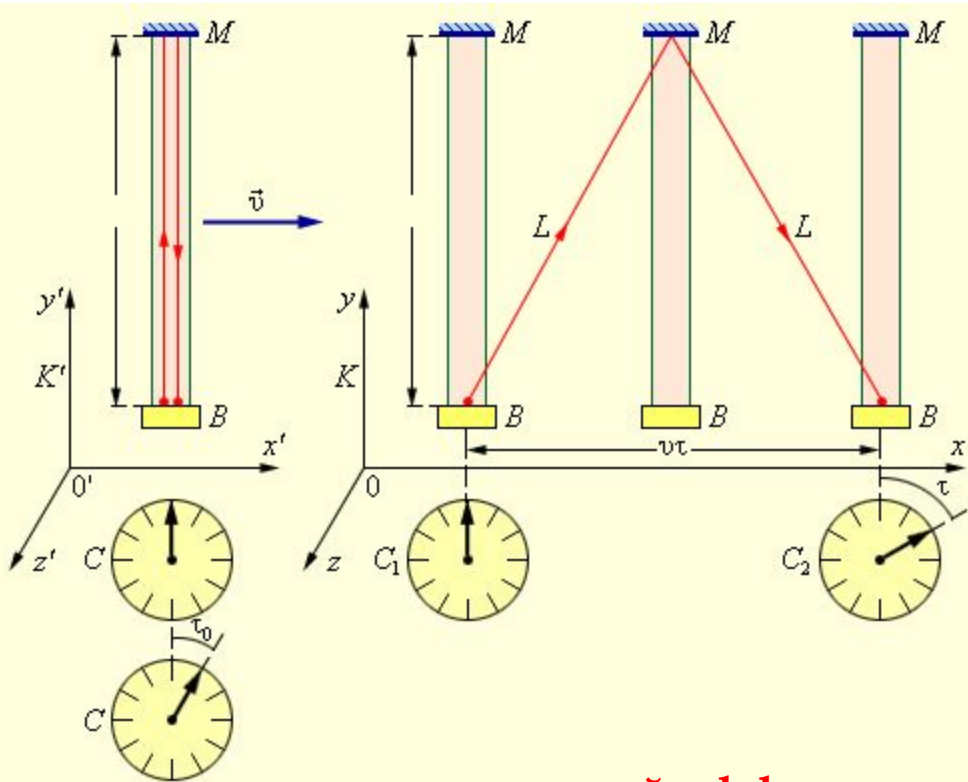
Два любых события в точках A и B , **одновременные в системе $K1$** не одновременны в системе K .

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



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

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЕЖУТКОВ ВРЕМЕНИ



**релятивистский эффект замедления
времени в движущихся системах отсчёта**

- интервал времени между двумя событиями, происходящими в одной и той же точке инерциальной системы.
- интервал между этими событиями в системе отсчёта K_1 , движущейся относительно системы K со скоростью V .

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

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 $C1$ и $C2$.
- Система K' движется со скоростью u в положительном направлении оси x системы K

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ РАССТОЯНИЙ

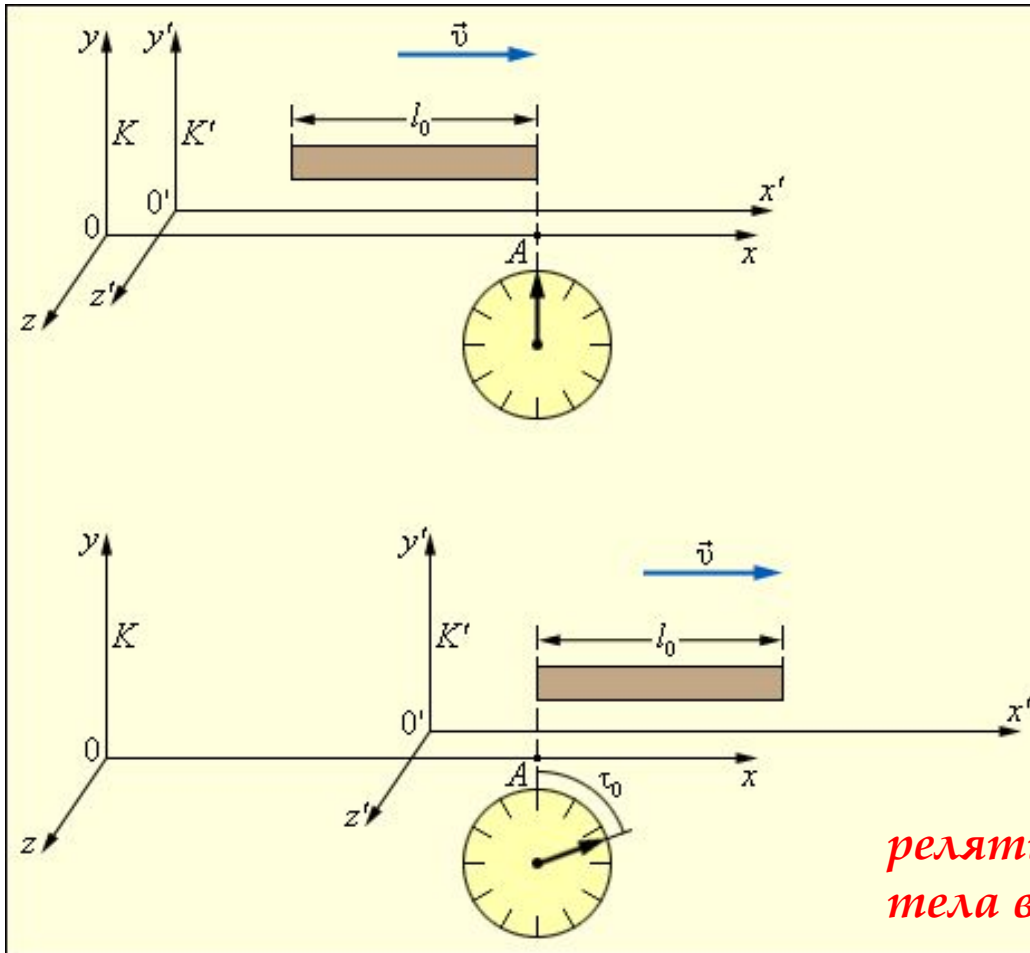


- Расстояние, которое преодолевает тело, — и его путь — могут по-разному оцениваться разными наблюдателями.
- Ньютона очень беспокоило отсутствие абсолютных положений, или абсолютного пространства, как принято было говорить, поскольку это не согласовывалось с его идеей абсолютного Бога. Фактически он 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.

- 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.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ РАССТОЯНИЙ



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

где $\beta = v / c$.

Расстояние не является абсолютной величиной, а зависит от скорости движения тела относительно данной системы отсчёта.

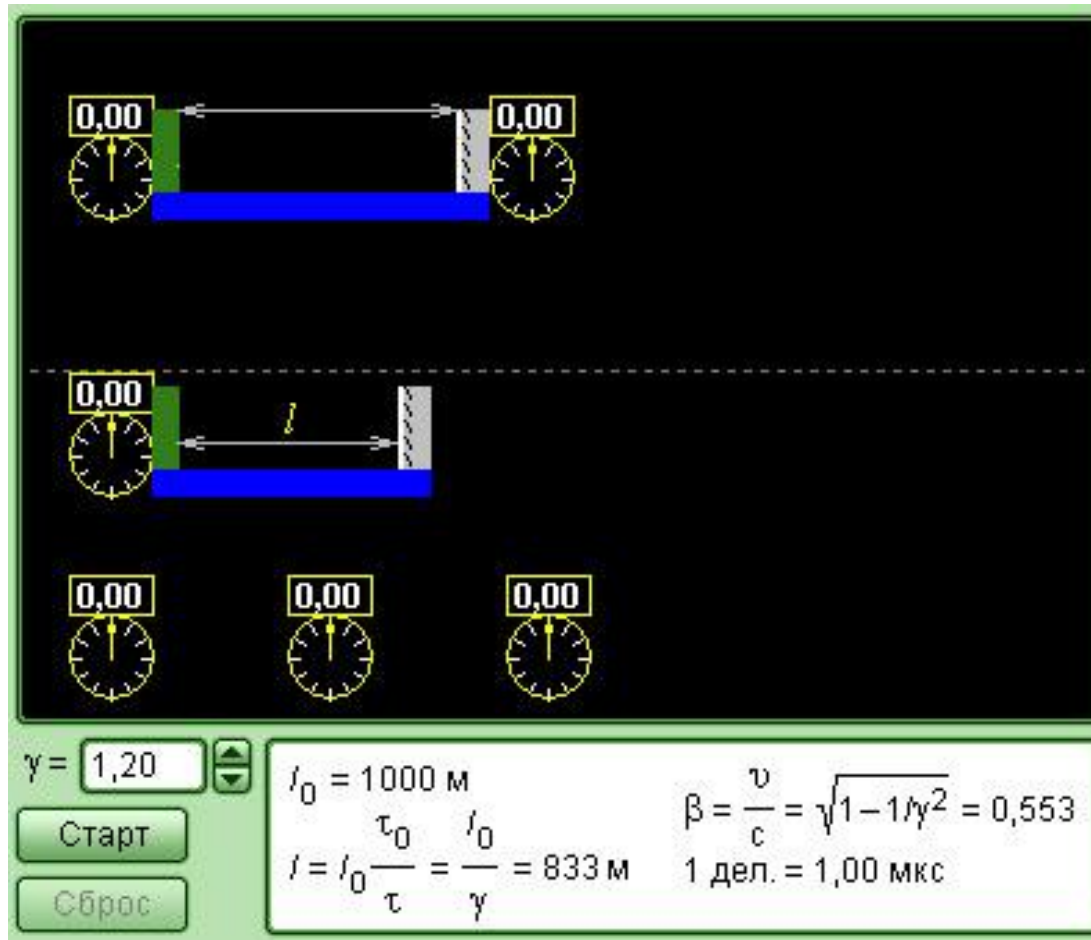
l -длина стержня в системе отсчёта K , относительно которой стержень покоится.
 l_1 -длина стержня в системе отсчёта K_1 , относительно которой стержень движется со скоростью V .

релятивистское сокращение размеров тела в движущихся системах отсчёта

Следует обратить внимание, что при малых скоростях движения ($v \ll c$) формулы СТО переходят в классические соотношения:
 $l \approx l_0$ и $t \approx t_0$.

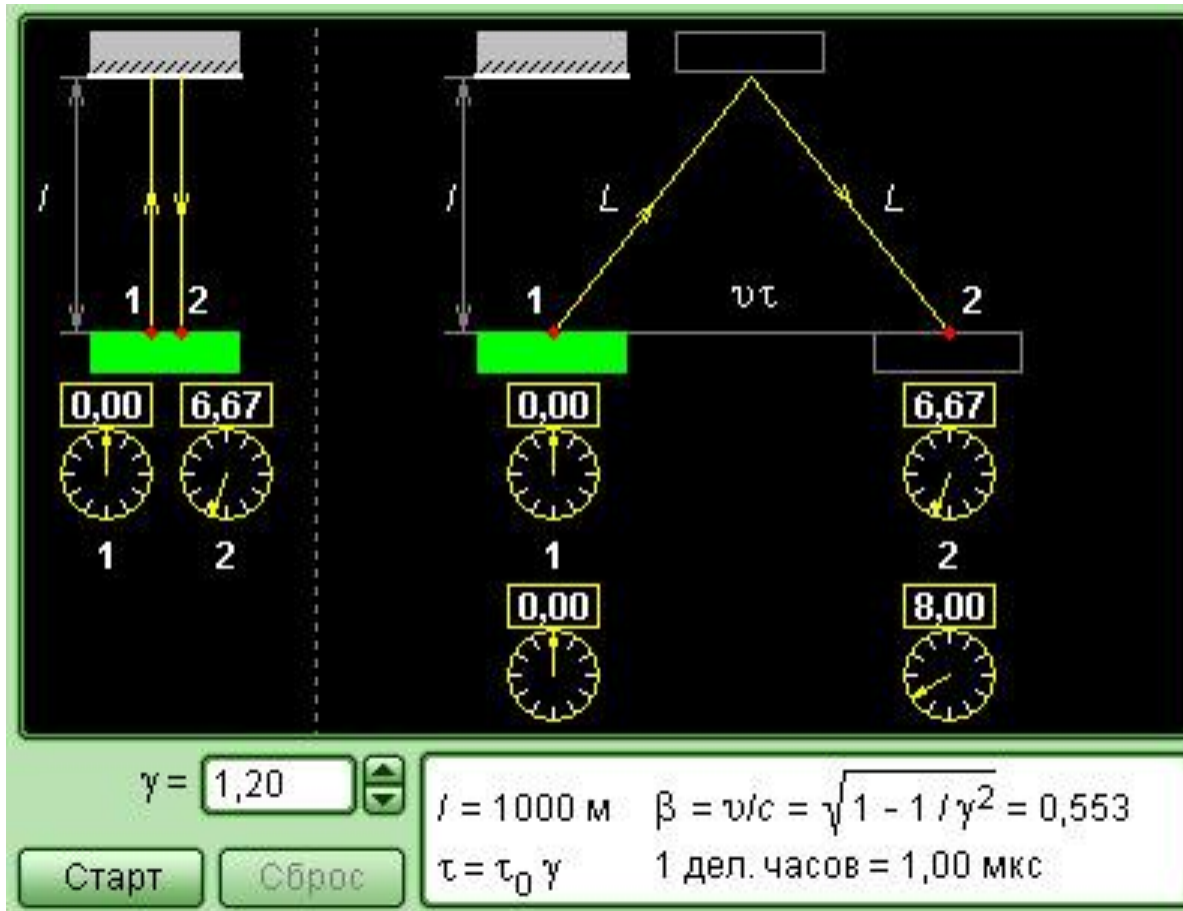
<https://www.youtube.com/watch?v=sF2sbcuzkiE&feature=youtu.be>

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ РАССТОЯНИЙ



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

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЕЖУТКОВ ВРЕМЕНИ

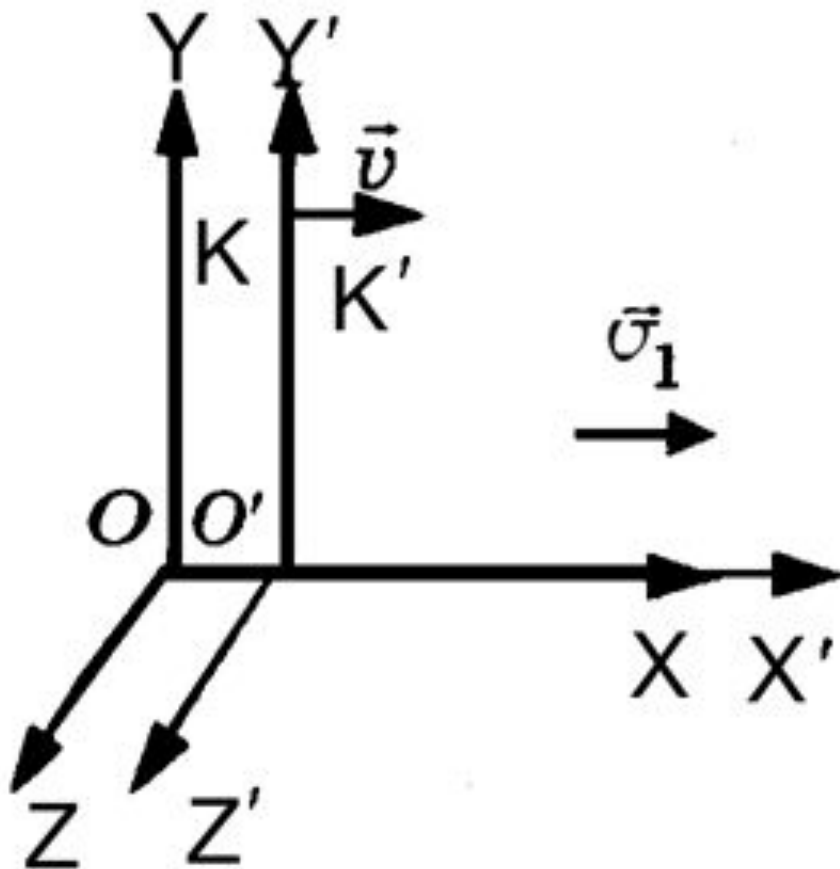


- <http://old.college.ru/physics/courses/op25part2/content/models/reltime.html>

РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

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

v_2 – скорость тела в движущейся системе отсчета
 v_1 – скорость тела в неподвижной системе отсчета
 v – скорость движения системы отсчета
 c – скорость света



Следствия релятивистского закона сложения скоростей

1. Если $v \ll c$ и $v_1 \ll c$, то

$$v_2 = v + v_1$$

2. Если $v \ll c$ и $v_1 = c$, то

$$v_2 = c$$

3. Если $v = c$ и $v_1 = c$, то

$$v_2 = c$$

до
ка
жи
т
е

Скорость света в вакууме не зависит от скорости движения источника и является одновременно величиной постоянной и предельной: ничто не может двигаться быстрее скорости света в вакууме.

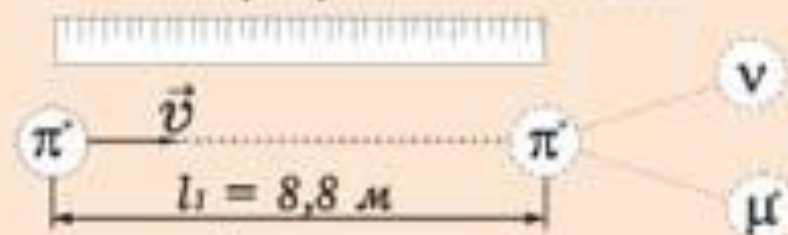
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СТО

Принцип относительности

Эксперимент с движущимися пионами

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

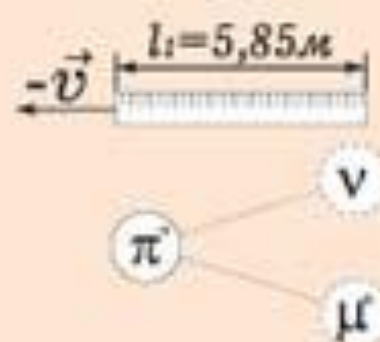
В лабораторной системе отсчета



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

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

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

A1. В основе специальной теории относительности лежат

- 1) эксперименты, доказывающие независимость скорости света от скорости движения источника и приёмника света
- 2) эксперименты по измерению скорости света в воде
- 3) представления о том, что свет является колебанием невидимого эфира
- 4) гипотезы о взаимосвязи массы и энергии, энергии и импульса

A2. Для каких физических явлений был сформулирован принцип относительности Галилея?

- 1) только для механических явлений
- 2) для механических и тепловых явлений
- 3) для механических, тепловых и электромагнитных явлений
- 4) для любых физических явлений

A3. Принцип относительности Эйнштейна справедлив

- 1) только для механических явлений
- 2) только для оптических явлений
- 3) только для электрических явлений
- 4) для всех физических явлений

A4. Для описания физических процессов

A. все системы отсчёта являются равноправными

Б. все инерциальные системы отсчёта являются равноправными

Какое из этих утверждений справедливо согласно специальной теории относительности?

- 1) только А 2) только Б 3) и А, и Б 4) ни А, ни Б

A5. Нельзя установить, движется или покоится лаборатория относительно какой-либо инерциальной системы отсчёта, на основании проведённых в этой лаборатории наблюдений

- 1) оптических явлений
- 2) электрических явлений
- 3) механических явлений
- 4) любых физических явлений

Домашнее задание

«Теория относительности Эйнштейна глазами современных художников – графиков»



Посчитайте, насколько ваши часы будут отставать от часов диктора, находящегося от вас на расстоянии 200 км, если вы поставите время по его голосу.

Синквейн – особый поэтический жанр, который пишется в соответствие с жесткой структурой.

1 строка – существительное в именительном падеже или словосочетание, называющее тему синквейна;

2 – два прилагательных;

3 – три глагола;

4 – простое предложение, отражающее идею синквейна;

5 – слово – синоним, сравнение, содержащее личностную оценку.

Колебание

Механическое, гармоническое

Происходит, совершается, повторяется.

Маятник - тело, совершающее колебания

Повтор.

1. Какие из приведенных ниже утверждений соответствуют постулатам теории относительности: 1 - все процессы природы протекают одинаково в любой инерциальной системе отсчета; 2 - скорость света в вакууме одинакова во всех системах отсчета; 3 - все процессы природы относительно и протекают в различных системах отсчета неодинаково?
- А. Только 1 Б. Только 2 В. Только 3 Г. 1 и 2 Д. 1 и 3 Е. 2 и 3 Ж. 1, 2 и 3.
2. Понятие одновременности событий является:
- А. Неабсолютным Б. Абсолютным
3. Из уравнений Максвелла следует, что скорость распространения световых волн в вакууме по всем направлениям:
- А. Различна по величине Б. Одинакова
В. Зависит от цвета Г. Зависит от источника света
4. Для наблюдателя, находящегося на Земле, линейные размеры космического корабля по направлению его движения сократились в 4 раза. Как идут часы на корабле относительно хода часов наблюдателя?
5. Можно ли какими-либо механическими опытами установить, покоится инерциальная система отсчета или движется прямолинейно и равномерно?
- А. Можно, если скорость инерциальной системы отсчета небольшая
Б. Можно для любой скорости
В. Нельзя
6. Первый космический корабль стартует с Земли со скоростью $V_1 = 0,68 c$. Второй космический корабль стартует с первого космического корабля в том же направлении со скоростью $V_2 = 0,86 c$. Вычислите скорость второго космического корабля относительно Земли.
7. Промежуток времени, измеренный в системе, которая условно принята за неподвижную, называется....?
- А. собственным временем Б. релятивистским временем
В. относительным временем Г. специальным временем

Анекдот



- Спросили однажды у Эйнштейна, как появляются гениальные открытия.
- - Все очень просто, - ответил Эйнштейн. - Все учёные считают, что этого не может быть. Но находится один дурак, который с ЭТИМ не согласен, и доказывает, почему.

