

РАЗДЕЛ-3**БЛОК - 9****БЛОК-9****ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

Содержание опорного конспекта	Стр. №	Параграфы учебника	Лист - 9
ОК – 11.9.43	16	§75,76	1 - 3
1.Причины создания СТО			
2.Постулаты СТО			
ОК – 11.9.44	17	§77,78	4 - 6
1.Относительность одновременности			
2.Относительность промежутков времени			
ОК – 11.9.45	18	§78,79	7 - 12
1.Закон сложения скоростей			
2.Зависимость массы от скорости			
3.Связь энергии с массой. Энергия покоя тела			

ОК – 11.9.43

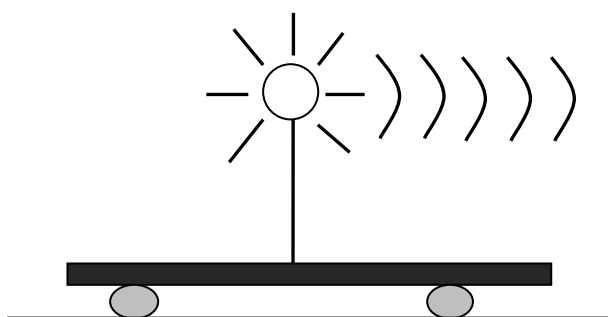
ПРИЧИНЫ СОЗДАНИЯ СТО

Представления классической механики

1. t, l, a, m – абсолютно!
2. V, S – относительно!
3. Механические явления протекают одинаково во всех ИСО.

Справедливо ли это для других физических процессов?

Противоречия...



По классической механике $V = U + c > c$

По законам электродинамики $V = c$

ПОСТУЛАТЫ СТО

1. Все процессы протекают одинаково во всех ИСО
2. Скорость света в вакууме одинакова для всех ИСО и не зависит ни от скорости источника света, ни от скорости приёмника света

Современная физика подразделяется на:

1. Классическую механику, которая изучает движение макротел с малыми скоростями ($V \ll c$);
2. Релятивистскую механику, которая изучает движение макротел с большими скоростями ($V \leq c$);
3. Квантовую механику, которая изучает движение микротел с большими скоростями ($V \leq c$).

Пояснения к ОК—11.9.43

1. Возникновение теории относительности

В классической механики считается, что длина, время, масса являются величинами *абсолютными*, а скорость, перемещение - *относительными*. Механический принцип относительности (принцип относительности Галилея) заключается в следующем, что *равномерное и прямолинейное движение системы отсчета не влияет на ход механических явлений, протекающих этой системе*.

В инерциальной системе отсчета невозможно отличить покой от равномерного прямолинейного движения. Для любых механических явлений инерциальные системы отсчета оказываются равноправными.

Галилей обнаружил, что состояние равномерного прямолинейного движения не оказывает влияния на течение механических процессов.

(Галилей не задумывался о других явлениях, т. к. в те времена механика составляла по существу всю физику. До середины XIX века считали, что все физические явления можно объяснить на основе механики Ньютона).

Но в середине XIX века была создана теория электромагнитных явлений (теория Максвелла). Возник вопрос о том, как влияет равномерное прямолинейное движение на все физические явления. Перед учеными встала проблема согласования теории электромагнетизма и механики.

Задача была трудной, т.к. законы классической механики прекрасно подтверждались в обширной области явлений (от статики до небесной механики) и замечательно служили практике человечества и изменить это, казалось абсурдным. Поэтому многие ученые пытались построить теорию электродинамики так, чтобы она соответствовала классической механики, т.е. методом подгонки.

Согласно теории электромагнитных волн Максвелла свет распространялся со скоростью света - 300 000 км/с.

Спрашивается, относительно чего свет движется с такой скоростью? *(Если самолет летит по ветру, скорость которого 100 км/ч, а его собственная скорость относительно воздуха 500 км/ч, это значит, что относительно Земли самолет летит со скоростью 600 км/ч)*

Относительно чего свет движется со скоростью **c**? Ответ на этот вопрос не содержится ни в теории Максвелла, ни в теории Юнга.

Если свет - волна и если волна распространяется в среде, то свет движется со скоростью **c** относительно среды. Эта светоносная среда получила название **эфира**.

Дебаты, касающиеся светоносного эфира к концу XIX века, достигли лихорадочной стадии. Интерес к эфиру возрос когда стало ясно, что созданная теории Максвеллом оказалась успешной, и вроде бы свидетельствует том, что эфир можно наблюдать.

Если конечно эфир существует, то должен быть обнаружен "эфирный ветер".

Опыт по обнаружению "эфирного ветра" был поставлен в 1881г. американским ученым Майкельсоном и Морли с помощью интерферометра Майкельсона.

Наблюдения проводились в течение длительного времени. Опыт многократно повторяли, проводя длительные наблюдения.

Результат всегда оказывался одним и тем же: *никакого движения Земли относительно эфира обнаружить не удалось.*

В результате, хотя неохотно, ученые были вынуждены согласиться тем, что Земля неподвижна относительно эфира.

Однако такой вывод означал возврат к прошлому. Конечно Аристотель легко бы согласился с таким результатом, но современная наука на это пойти не могла. Никто из ученых XIX века всерьез не стал поддерживать идею о том, что Земля является неподвижным центром Вселенной.

Казалось, что сама природа устроила против ученых заговор, чтобы дать им возможность определить абсолютное движение Земли относительно светоносного эфира.

Различные эфирные теории завели физику в тупик. Возможно, что наш взгляд на мир мог продолжаться развиваться подобным образом, если бы не родился Альберт Эйнштейн.

В 1905г.А.Эйнштейн, отвергнув эфир как нереальность, предложил следующее: *необходима специальная теория относительности - на основе которой можно совместить теории механики и электродинамики.*

Эйнштейн предпринял атаку на самый больной вопрос того времени, что придает блеск его работе. И именно это делает ее столь малопонятной.

В 1905г. вышла работа Эйнштейна "*К электродинамике движущихся тел*" В ней Эйнштейн сформулировал два принципа (*постулата*) теории относительности.

I постулат: *все процессы природы происходят одинаково во всех инерциальных системах отсчета.*

Это означает, что во всех инерциальных системах физические законы имеют одинаковую форму. Таким образом, принцип относительности классической механики обобщается на все процессы природы, в том числе и на электромагнитные.

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

Таким образом, скорость света занимает особое положение.

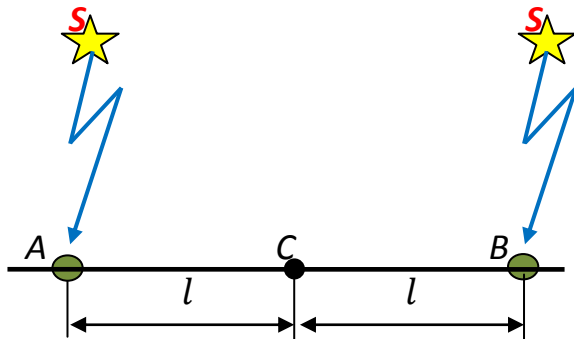
Для того, чтобы сформулировать постулаты теории относительности нужна была большая научная смелость. Дело в том, что они находятся в очевидном противоречии с классическими представлениями о пространстве и времени.

Эйнштейн сформулировал эти принципы, не имея опытных данных. И только впоследствии опыты, проведенные многими учеными, подтвердили справедливость принципа постоянства скорости света.

Итак, современная физика подразделяется на:

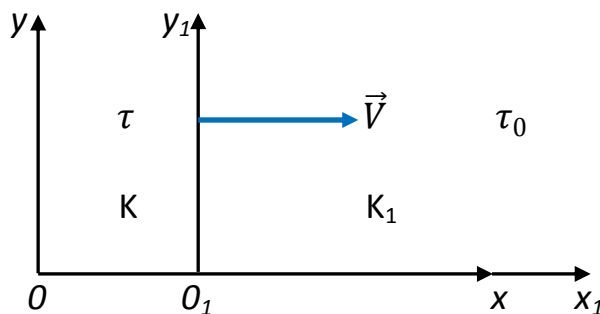
- 1.Классическую механику, которая изучает движение макротел с малыми скоростями $V \ll c$;
- 2.Релятивистскую (лат.-«относительный») механику, которая изучает движение макротел с большими скоростями $V < c$;
- 3.Квантовую механику, которая изучает движение микротел с большими скоростями $V < c$.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ОДНОВРЕМЕННОСТИ



События, одновременные в одной инерциальной системе отсчёта, не являются одновременными в другой системе отсчёта, т.е. одновременность событий относительна

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ПРОМЕЖУТКОВ ВРЕМЕНИ



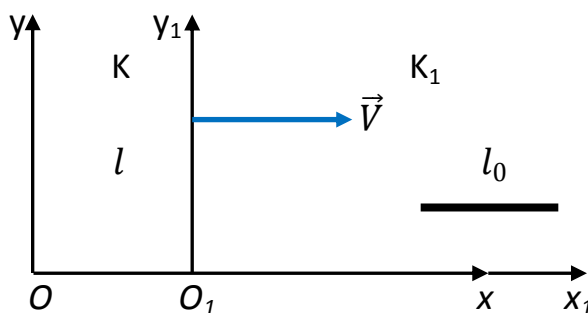
τ – интервал времени в системе K
 τ_0 – интервал времени в системе K₁
 $\tau > \tau_0$

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

Время в движущихся системах замедляется

«Парадокс близнецов?»

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ РАССТОЯНИЙ



l – длина стержня в системе K₁
 l_0 – длина стержня в системе K
 $l > l_0$

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

Линейный размер тела, движущегося относительно ИСО, уменьшается

Пояснения к ОК—11.9.44

Следствия из постулатов СТО.

1. Относительность одновременности событий

Принято считать, что события в точках **A** и **B** произошли одновременно, если световые сигналы, испущенные ими, приходят одновременно в т.**C**, находящуюся посередине между точками **A** и **B**. (см.рис. в ОК)

Допустим, что в т.**C** имеется фотоэлемент соединенный с осциллографом. При включении ламп световые сигналы к фотоэлементу приходят одновременно и на экране осциллографа через промежуток времени наблюдает один всплеск.

Пусть этот фотоэлемент с осциллографом движется равномерно со скоростью **V** влево, тогда точка **C** будет расположена левее на расстоянии **S** световая волна от правой лампы должна будет пройти до фотоэлемента большее расстояние $(l + S)$ волна от левой лампы $(l - S)$.

Это приводит к тому, что световая волна от левой лампы дойдет до фотоэлемента раньше, чем от правой, на осциллографе будут два всплеска. Следовательно, события, одновременные в одной инерциальной системе отсчета, не являются одновременными в другой системе отсчета, т. е. одновременность событий относительна.

2. Относительность промежутков времени

"Сегодня в полдень пущена ракета. Она летит куда быстрее света и в цель прибудет ровно в семь утра ... вчера." С.Я.Маршак

Пусть инерциальная система отсчета **XOY (K)** покоится, а система отсчета **X₁O₁Y₁(K₁)** движется относительно системы **K** со скоростью **V**.

Пусть интервал времени между двумя событиями, происходящими в одной и той же точке инерциальной системе **K₁** равен τ_0 . (см.рис. в ОК)

Тогда интервал времени между этими же событиями в системе **K** будет выражаться следующей формулой (см.формулу в ОК)

Т.е. это эффект замедления времени в движущихся системах отсчета. Если $V \ll c$, то величиной V^2/c^2 можно пренебречь и тогда $\tau \approx \tau_0$, никакого замедления в движущихся системах можно не учитывать.

К задачам на СТО часто ошибочно относят "парадокс близнецов". Заключается он в том, что согласно СТО, время удаляющегося близнеца для оставшегося на Земле будет растягиваться, и он постареет меньше. Но для того, чтобы сравнить возраст нужно им встретиться вновь, для чего один из них (или оба) должен развернуться навстречу и начать сближение. И тогда второй будет "стареть" медленнее. И вообще - СТО применима лишь для равномерного движения, а разворот или начало преследования - таковым не относится.

И всё же рассмотрим эффект замедления времени который позволяет в принципе осуществить "путешествие будущее".

Пусть космический корабль, движущийся со скоростью V относительно Земли, совершает перелет от Земли до звезды и обратно. За время t_0 свет проходит путь от Земли до звезды, равный

$$l_0 = ct_0$$

Продолжительность полета для земного наблюдателя будет равна

$$\tau = \frac{2l_0}{V} = \frac{2ct_0}{V}$$

Настолько стареют люди на Земле к моменту возвращения космонавтов.

По часам, установленным на космическом корабле, полет займет меньше времени

$$\tau_0 = \tau \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} = \frac{2ct_0}{V} \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

По принципу относительности все процессы на космическом корабле, включая старение космонавтов, происходят так же, как и на Земле, но не по земным часам, а по часам, установленным на корабле.

Следовательно, к моменту возвращения на Землю космонавты постареют только на время t_0 .

Если, например, $t_0 = 500$ лет и $v^2/c^2 = 0,9999$, то формулы для τ и τ_0 дают $\tau = 1000,1$ года, $\tau_0 = 14,1$ года.

Космонавты возвратятся на Землю по земным часам спустя 10 веков после вылета и постареют лишь на 14,1 года.

С космонавтами ситуацию не приходилось еще наблюдать, но наблюдали увеличение промежутка времени между рождением и распадом частицы.

3. Относительность расстояний

"Фехтовал умело Фиск. Раз, презрев возможный риск, быстро сделал он движение - Лоренцовым сокращением, превратив рапиру в диск"

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

Рассмотрим две системы отсчета. (см. рис. в ОК)

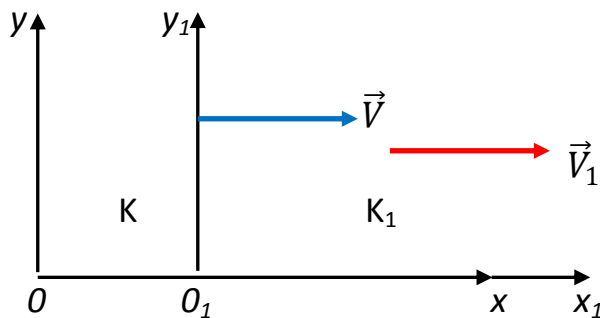
Обозначим через l_0 длину стержня в системе отсчета K , относительно которой стержень покоится.

Тогда длина l этого стержня в системе отсчета K_1 , относительно которой стержень движется со скоростью V , определяется формулой. (см. формулу в ОК)

Т.е. длина стержня (а следовательно и расстояния) зависит от того в какой системе отсчета эта длина измеряется.

Один и тот стержень имеет различную длину в различных системах отсчета. Максимальную длину l стержень имеет в той системе отсчета, в которой он покоится, в системах же, движущихся по отношению к стержню, имеет длину тем меньшую, чем больше скорость движения. Причем, сокращаются только продольные размеры тела.

ОК – 11.9.45

ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

V_1 – скорость тела относительно системы K_1

V_2 – скорость тела относительно системы K

V – скорость системы K_1 относительно системы K

$$V_2 = \frac{V_1 + V}{1 + \frac{V_1 V}{c^2}}$$

Если $V \ll c$ и $V_1 \ll c$, то $V_2 = V_1 + V$
 Если $V_1 = c$, то $V_2 = c$
 Если $V = c$ и $V_1 = c$, то $V_2 = c$

При любых скоростях V_1 и V (не больших c)
 результирующая скорость V_2 не превышает c

ЗАВИСИМОСТЬ МАССЫ ОТ СКОРОСТИ

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

m – масса тела, движущегося со скоростью V
 m_0 – масса покоящегося тела

При увеличении скорости тела его масса растёт

II закон Ньютона в классической механике справедлив при $V \ll c$

$$\vec{F} = m\vec{a} = \frac{m(\vec{V} - \vec{V}_0)}{\Delta t} = \frac{m\vec{V} - m\vec{V}_0}{\Delta t} = \frac{m\Delta\vec{V}}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$$

II закон Ньютона в релятивистской механике

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}; \vec{p} = \frac{m_0\vec{V}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} \text{ – полная энергия тела}$$

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

Любое тело, уже благодаря факту своего существования, обладает энергией

Формула Эйнштейна

связь между импульсом и энергией

$$E = E_0 + E_{\text{кин.}} = m_0 c^2 + E_{\text{кин.}}, \text{ где } E_0 \text{ – энергия покоя частицы}$$

$$E^2 = E_0^2 + p^2 c^2 \text{ - формула Эйнштейна}$$

Пояснения к ОК—11.9.45

Следствия из постулатов СТО (продолжение)**4. Сложение скоростей в СТО.**

Классический закон сложения скоростей не может быть справедлив, т.к. он противоречит утверждению о постоянстве скорости света в вакууме.

Если поезд движется со скоростью \mathbf{V} и в вагоне в направлении движения поезда распространяется световая волна, то ее скорость относительно Земли должна равняться \mathbf{c} , а не $\mathbf{V} + \mathbf{c}$.

Рассмотрим две системы отсчета. (см. рис. в ОК)

В системе \mathbf{K}_1 движется тело со скоростью \mathbf{V}_1 . Относительно же системы \mathbf{K} тело движется со скоростью \mathbf{V}_2 . Согласно закону сложения скоростей в СТО эта скорость будет равна (см. формулу в ОК)

Если $V \ll c$ и $V_1 \ll c$, то в формуле членом $\frac{V_1 V}{c^2}$ можно пренебречь, и тогда получим классический закон сложения скоростей $V_2 = V_1 + V$

При $V_1 = c$, скорость V_2 равна c , как этого требует второй постулат теории относительности.

$$V_2 = \frac{c + V}{1 + \frac{cV}{c^2}} = \frac{c + V}{\frac{c^2 + cV}{c^2}} = c$$

При $V_1 = c$, и при $V = c$, скорость V_2 также окажется равной скорости света.

$$V_2 = \frac{c + c}{1 + \frac{c * c}{c^2}} = c$$

Замечательным свойством закона сложения является то, что при любых скоростях V_1 и V (не больших c), результирующая скорость V_2 не превышает скорости света \mathbf{c} .

Скорости больше скорости света невозможны.

Допустим, что два тела движутся навстречу друг другу со скоростями 200 000 км/с, тогда по классической формуле сложения скоростей получаем

$$V_2 = 200\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}} + 200\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 400\,000 \text{ км/с}$$

а по закону сложения скоростей $V_2 = 277\,000 \text{ км/с}$

5. Зависимость массы тела от скорости

Понятие массы было введено И.Ньютоном. В классической механике масса тела - величина постоянная, не зависящая от системы отсчета. В классической механике основным законом является - второй закон Ньютона

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

Но можно **ЭТОТ** закон записать и в другом виде через изменение импульса

$$F = ma = m \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{mv - mv_0}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

где $\mathbf{p} = m\mathbf{V}$ - импульс тела. Причем масса тела считалась независимой от скорости тела.

Но оказалось, что при увеличении скорости тела, его масса не остается постоянной, а растет. Это возрастание тем больше, чем ближе скорость движения тела к скорости света.

Если через m_0 обозначить массу покоящегося тела, то масса m того тела, но движущегося со скоростью \mathbf{V} , определяется формулой (см.формулу в ОК)

Элементарные частицы в современных ускорителях заряженных частиц достигают огромных скоростей. Если скорость частицы всего лишь на 90 км/с меньше скорости света, то её масса увеличивается в 40 раз.

При разгоне электрона до скоростей, которые меньше скорости света лишь на 35 - 50 м/с, масса электрона возрастает примерно в 2000 раз.

Основной закон релятивистской механики записывается в прежней форме

$$\mathbf{F} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t}; \quad \vec{p} = \frac{m_0 \vec{V}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

В 1967г.в г.Серпухове (под Москвой) был построен ускоритель заряженных частиц. Электромагнит, который является главной деталью ускорителя, имеет массу - 20000 т., диаметр-472,5м, длина-1,5км.

Электромагнит состоит из 120 магнитных блоков. Между полюсами установлена вакуумная камера, где происходит ускорение протонов, удерживающихся на круговой орбите магнитным полем. Питание электромагнита осуществляется четырьмя генераторами. Мощность генератора 34 000 кВт = 34 МВт.

Каждый генератор имеет 53-тонный маховик и двигатель мощностью 7000кВт = 7 МВт. Цикл ускорения длится 2,6 с, после чего протоны регистрируются мишенями.

6. Связь между энергией и массой

Эйнштейн установил формулу связи между энергией и массой:

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

Энергия тела, или системы тел равна массе, умноженной на квадрат скорости света.

Из формулы следует, что если изменяется энергия системы, то изменяется и её масса:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

Но, т.к. коэффициент $1/c^2$ очень мал, то заметные изменения массы возможны лишь при очень больших изменениях энергии. При химических реакциях или при нагревании тел в обычных условиях изменения энергии невелики и поэтому изменения массы обнаружить не удастся.

В 1905г. Эйнштейн опубликовал вторую статью "**Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?**"

В ней Эйнштейн пророчески заключил: "*Не исключена возможность того, что теорию удастся проверить для веществ энергия которых меняется в большой степени (например, для солей радия)*"

При превращениях атомных ядер и элементарных частиц изменения энергии оказываются настолько большими, что и связанное с ними изменения массы уже заметно.

При взрыве водородной бомбы выделяется энергии - около 10^{17} Дж. Эта энергия превышает выработку электроэнергии на всем земном шаре за несколько дней. Выделяющаяся энергия уносится вместе с излучением.

Согласно формуле Эйнштейна, тело обладает энергией и при скорости $\mathbf{V} = \mathbf{c}$ Это энергия покоя E_0 :

$$E_0 = m_0 c^2$$

Любое тело обладает энергией, которая пропорциональна массе покоя. Из формулы следует также, что любой форме энергии должна соответствовать определенная масса $\mathbf{m} = \mathbf{E}/c^2$.

Например, световые волны, несущие энергию и не имеющие массы покоя обладают массой. В принципе массу света можно измерить, улавливая его ящиком с абсолютно отражающими стенками. Содержащий свет ящик будет весить больше ящика, в котором света нет. Но эта разница мала, её невозможно измерить даже самыми точными приборами.

Хотя есть один измеренный эффект связанный с наличием у света массы. Если световые волны обладают массой, то благодаря силе тяготения они должны притягиваться Солнцем. Это искривление световых лучей в направлении Солнца приводит к смещению кажущегося положения звезд, наблюдаемых вблизи Солнца во время затмения.

Релятивистская энергия есть сумма собственной энергии частицы и релятивистской кинетической энергии.

$$E = E_0 + E_{\text{кин.}} = m_0 c^2 + E_{\text{кин.}}, \text{ где } E_0 - \text{энергия покоя частицы}$$

$$E^2 = E_0^2 + p^2 c^2 - \text{формула Эйнштейна}$$

Блок - 9

Лист - 9

Повторим теорию!**Элементы теории относительности**

1. На какие разделы подразделяется современная физика?
2. Каковы причины создания теории относительности?
3. Сформулируйте постулаты теории относительности и объясните их сущность.
4. В чём заключается относительность одновременности событий?
5. В чём заключается относительность длин (расстояний)? Какая формула выражает смысл этого понятия?
6. В чём заключается суть относительности промежутков времени? Какая формула выражает смысл этого понятия?
7. Запишите закон сложения скоростей в релятивистской механике. Как записывается классический закон сложения скоростей?
8. Докажите, что скорости больше скорости света невозможны?
9. Запишите, выражающую зависимость массы тела от скорости его движения.
10. Как записывается второй закон Ньютона в классической механике? В каком случае масса тела не зависит от скорости?
11. Как записывается второй закон Ньютона в релятивистской механике?
12. Запишите формулу взаимосвязи энергии и массы в классической механике и релятивистской механике.