ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (СТО). РЕЛЯТИВИСТСКАЯ КИНЕМАТИКА

Нерелятивистская физика, включающая механику Ньютона-Галилея, с хорошей точностью описывает процессы с характерными скоростями, малыми по сравнению со скоростью света в вакууме,

$$\upsilon << c. \tag{1}$$

При этом скорость распространения взаимодействий по умолчанию считается бесконечно большой.

Специальная теория относительности (СТО) – это в широком смысле физика рассматриваемых в ИСО процессов с произвольными возможными характерными скоростями, подчиненными **единственному физическому ограничению**

$$\upsilon \le c, \tag{2}$$

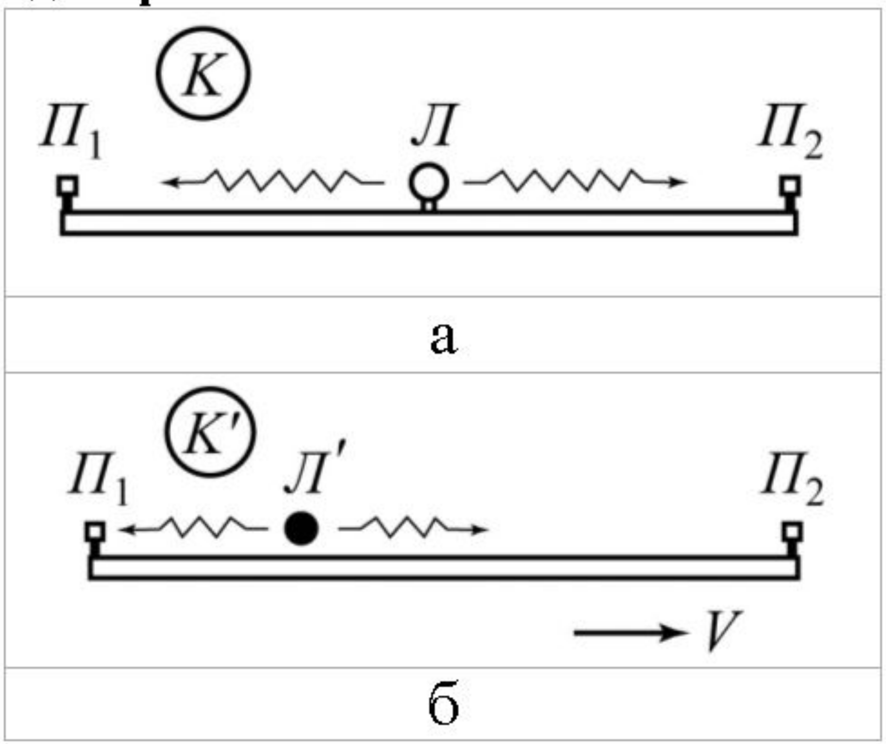
причем скорость распространения взаимодействий этому ограничению также подчинена!

Принцип относительности в СТО распространяется на **все** физические процессы - в**се законы природы во всех инерциальных системах отсчета имеют один и тот же вид.**

В СТО отсутствует постулат об абсолютности времени - **одновременность** оказывается понятием **относительным**: события, одновременные в одной ИСО, не одновременны в другой, и это подтверждается экспериментом. **Существует максимальная скорость распространения взаимодействий.**

В силу принципа относительности эта **максимальная скорость – одна и та же во всех ИСО**, это не что иное, как скорость света (скорость распространения электромагнитной волны) в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Чаще всего постулат о существовании максимальной скорости так и формулируют: **Скорость света в вакууме во всех ИСО одна и та же.**

Полученный из галилеева преобразования **нерелятивистский закон сложения скоростей** в области $\upsilon \sim c$ не работает. Обсудим понятие **одновременности**.



Пусть имеется платформа длины L, на концах которой расположены приемники светового сигнала $П_1$ и $П_2$, а точно в середине – лампочка $Л$. В ИСО K, относительно которой платформа покоится, при вспышке лампочки световые сигналы достигают приемников **одновременно**, через промежуток времени

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \frac{L}{2c}. \tag{3}$$

В системе отсчета K', относительно которой платформа движется вправо со скоростью V, скорость светового сигнала также равна c. Приемник $П_1$ движется навстречу световому сигналу, а приемник $П_2$ – так, что световой сигнал его догоняет. За время $\Delta t_1'$ сигнал, пройдя расстояние $L_1' < L/2$, будет зафиксирован приемником $П_1$,

$$\Delta t_1' = \frac{L_1'}{c} < \Delta t_1 . \qquad (4)$$

Этот момент показан на рис. б; здесь $Л'$ – положение лампочки в момент вспышки. Ясно, что за время $\Delta t_1'$ световой сигнал до приемника $П_2$ дойти не успеет – это произойдет позже. Таким образом, событие (регистрация светового сигнала приемниками $П_1$ и $П_2$), одновременные в ИСО K, не одновременны в K'.

Для определения моментов времени, когда происходят различные события в разных точках пространства, нужен набор **синхронизированных часов**.

Правила преобразования координат и времени события
при переходе от одной ИСО к другой.

Пусть имеется две ИСО: K и K', причем координатные оси OX и $O'X'$ сонаправлены и совпадают, а OY и $O'Y'$, OZ и $O'Z'$ – сонаправлены; K' движется относительно K со скоростью V в направлении OX $(O'X')$ и начало отсчета времени в K и K', $t = 0$, $t' = 0$, выбрано, когда начала координат O и O' совмещены.

Событие определяется набором (t, x, y, z) в K и, соответственно, набором (t', x', y', z') в K'. Преобразование (5) называется **преобразованием Лоренца**, точнее, **частным преобразованием Лоренца**:

$$t = \frac{t' + \frac{V}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},\ x = \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},\ y = y',\ z = z' \quad . \tag{5}$$

Легко видеть, что оно обладает следующими свойствами.

1). При $V > c$ знаменатели в (5) становятся мнимыми, и преобразование теряет смысл (в полном соответствии с основным постулатом).

2). В нерелятивистском пределе $V << c$ (5) переходит в частное преобразование Галилея.

Преобразование (5) описывает переход $K' \to K$. Обратное преобразование получается легко: нужно в (5) поменять штрихованные величины на нештрихованные и, наоборот, а также сделать замену $V \to -V$:

$$t' = \frac{t - \frac{V}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},\ x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},\ y' = y,\ z' = z\ . \tag{6}$$

Следствия преобразования Лоренца. Сокращение длин. Запаздывание движущихся часов. Релятивистский закон сложения скоростей.

Сокращение длин (лоренцево сокращение). Рассмотрим стержень, покоящийся в системе K' и расположенный на оси $O'X'$ (или параллельно ей). Координаты концов стержня – x_1' и x_2', причем (будем считать) $x_2' > x_1'$. В системе K стержень движется со скоростью V и в некоторый момент времени t его концы имеют координаты x_1 и x_2 соответственно. Связь между координатами концов в K и K' определяется равенством (6). Запишем его два раза:

$$x_1' = \frac{x_1 - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}},\; x_2' = \frac{x_2 - Vt}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}. \tag{7}$$

Вычитая получим

$$x_2' - x_1' = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}. \tag{8}$$

$(x_2' - x_1')$ – это длина стержня в K', относительно которой он покоится, а $(x_2 - x_1)$ –

длина стержня, измеренная в некоторый момент времени t в системе отсчета K, т.е. длина движущегося со скоростью V стержня. Обозначив первую через l_0, а вторую через l, вместо (8) получаем

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}\,. \tag{9}$$

Формула (9) описывает сокращение движущихся предметов (тел) в направлении движения (лоренцево сокращение). Объем движущегося тела сокращается в соответствии с тем же законом (9), что и его продольные размеры.

Запаздывание движущихся часов (замедление хода движущихся часов). Пусть два события происходят в одной точке (x', y', z') в системе K' в моменты времени t_1' и t_2', $t_2' > t_1'$. В системе K эти события происходят в моменты t_1 и t_2 соответственно в разных точках пространства. Связь между t_1' и t_1, t_2' и t_2 определяется равенством (5):

$$t_1 = \frac{t_1' + \dfrac{V}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \dfrac{V^2}{c^2}}}, \quad t_2 = \frac{t_2' + \dfrac{V}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \dfrac{V^2}{c^2}}}\,. \tag{10}$$

Вычитая, получим

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \qquad (11)$$

где $\Delta t' = t_2' - t_1'$ – интервал времени между событиями в ИСО K', а $\Delta t = t_2 - t_1$ – временной интервал между теми же событиями в системе K; промежуток времени $\Delta t'$ показывают часы, неподвижные относительно K' и **движущиеся** относительно системы K. Очевидно,

$$\Delta t' < \Delta t, \qquad (12)$$

и, как говорят, движущиеся часы идут медленнее неподвижных.

Время, измеренное часами, неподвижными относительно некоторого физического объекта, т.е. движущимися вместе с физическим объектом, например, с каким-либо телом, называется **собственным временем физического объекта**.

Релятивистский закон сложения скоростей. Для вывода закона сложения скоростей в релятивистской кинематике рассмотрим два бесконечно близких события, связанных с движущейся материальной точкой (частицей). В системе K' в некоторый момент t' частица проходит точку с координатами (x', y', z'), а в бесконечно близкий момент $t' + dt'$ она, совершив бесконечно малое перемещение, оказывается в точке $(x' + dx', y' + dy', z' + dz')$. В системе отсчета K имеем соответственно t, $t+dt$ и (x,y,z), $(x+dx,y+dy,z+dz)$. Перепишем преобразование Лоренца (5) для второго события:

$$t+dt=\frac{t'+dt'+\dfrac{V}{c^2}(x'+dx')}{\sqrt{1-\dfrac{V^2}{c^2}}},\quad x+dx=\frac{x'+dx'+V(t'+dt')}{\sqrt{1-\dfrac{V^2}{c^2}}},\tag{13}$$

$$y+dy=y'+dy',\quad z+dz=z'+dz'.\tag{14}$$

Вычитая из равенств (13) соответствующие равенства (5), получим:

$$dt=\frac{dt'+\dfrac{V}{c^2}dx'}{\sqrt{1-\dfrac{V^2}{c^2}}},\quad dx=\frac{dx'+Vdt'}{\sqrt{1-\dfrac{V^2}{c^2}}},\quad dy=dy',\quad dz=dz'.\tag{14}$$

Используя определение скорости $\upsilon_x=\dfrac{dx}{dt}$, $\upsilon_y=\dfrac{dy}{dt}$, $\upsilon_z=\dfrac{dz}{dt}$ относительно системы K и аналогичное определение для K', поделив на dt последовательно равенства (14), получаем

$$\upsilon_x=\frac{\upsilon'_x+V}{1+\dfrac{V\upsilon'_x}{c^2}},\quad \upsilon_y=\frac{\upsilon'_y\sqrt{1-\dfrac{V^2}{c^2}}}{1+\dfrac{V\upsilon'_x}{c^2}},\quad v_z=\frac{\upsilon'_z\sqrt{1-\dfrac{V^2}{c^2}}}{1+\dfrac{V\upsilon'_x}{c^2}}.\tag{16}$$

Это и есть искомый **закон сложения скоростей** – закон преобразования скорости $\vec{\upsilon}' \to \vec{\upsilon}$ при переходе от одной ИСО к другой, $K' \to K$. Отметим, следующие свойства закона (16).

1). При $V > c$ закон теряет смысл (в соответствии с постулатом).

2). В нерелятивистском приближении $V << c$, $\upsilon << c$ получаем нерелятивистский закон сложения скоростей (соответствующий частному преобразованию Галилея):

$$\upsilon_x = \upsilon'_x + V,\ \upsilon_y = \upsilon'_y,\ \upsilon_z = \upsilon'_z. \qquad (17)$$

3). Если скорость физического объекта в системе K' равна c – например, $\upsilon'_x = c$, $\upsilon'_y = 0$, $\upsilon'_z = 0$, – то из (16) получаем: $\upsilon_x = c$, $\upsilon_y = 0$, $\upsilon_z = 0$; т.е. скорость объекта в K **также** равна c (как и должно быть – по постулату).

4). Можно показать, что при $\upsilon' \le c$ закон (16) всегда приводит к результату $\upsilon \le c$.

5). Преобразование $\vec{\upsilon} \to \vec{\upsilon}'$, обратное (16), получается заменой штрихованных величин на нештрихованные и наоборот с одновременной заменой V на $(-V)$.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ДИНАМИКА

В нерелятивистской механике масса m материальной точки (частицы) является инвариантом преобразования Галилея, т.е. эта величина одна и та же во всех инерциальных системах отсчета (ИСО). Инвариантность массы – **постулат**, алгоритм определения массы содержит ссылку на опытные данные. В любом справочнике можно, например, найти массу покоя электрона $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

В релятивистской механике СТО под массой частицы понимают **эту же самую** (определенную по нерелятивистской процедуре) **величину**: масса – мера инертности, неотрицательный параметр частицы, **один и тот же во всех ИСО.**

Уравнение движения частицы в виде

$$m\vec{a} = \vec{F} \tag{18}$$

в релятивистской области не работает, и в этом нетрудно убедиться.

Рассмотрим движение электрона в постоянном однородном электростатическом поле напряженностью $\vec{E}$. Заряд электрона равен $(-e)$, где элементарный заряд $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Вместо (18) пишем

$$m_e \frac{d\vec{v}}{dt} = (-e)\vec{E}\,. \tag{19}$$

Уравнение (19) легко интегрируется: $$\vec{\upsilon}(t) = \vec{\upsilon}_0 - \frac{e}{m_e}\vec{E}t\,. \tag{20}$$

Если электрон в начальный момент времени покоился ($\upsilon_0 = 0$), то зависимость величины его скорости от времени определяется равенством

$$\upsilon(t) = \frac{e}{m_e}Et\,. \tag{21}$$

Подставив в (21) $E = 1\text{МВ/м} = 10^6\ \text{В/м}$ – вполне реальное поле в вакууме, – при $t = 2\text{нс} = 2\cdot10^{-9}\ \text{с}$ получаем $\upsilon \approx 3{,}52\cdot10^8$ м/с, т.е. $\upsilon > c$!

Мы приводили еще одну версию уравнения движения: $$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}, \quad (22)$$

где $\vec{p}$ – импульс частицы. Но при том определении импульса, которое сформулировано в нерелятивистской механике, $$\vec{p} \equiv m\vec{\upsilon}, \quad (23)$$
уравнение (22) **эквивалентно** (18). Таким образом, мы поставлены перед альтернативой: либо мы остаемся **без второго закона Ньютона (!)**, либо следует «подправить» определение импульса так, чтобы уравнение движения (22) работало в релятивистской области.

Определение релятивистского импульса материальной точки (частицы):

$$\vec{p} \equiv mc\frac{d\vec{r}}{ds} = \frac{m\vec{\upsilon}}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}. \quad (24)$$

Проекции релятивистского импульса на координатные оси имеют вид:

$$p_x = mc\frac{dx}{ds} = \frac{m\upsilon_x}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}},\quad p_y = mc\frac{dy}{ds} = \frac{m\upsilon_y}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}},\quad p_z = mc\frac{dz}{ds} = \frac{m\upsilon_z}{\sqrt{1-\dfrac{\upsilon^2}{c^2}}}, \quad (25)$$

где $\upsilon^2 = \upsilon_x^2 + \upsilon_y^2 + \upsilon_z^2$.

Вернемся к примеру с ускоряющимся электроном. Запишем

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = -e\vec{E} \cdot \tag{26}$$

Отсюда, после интегрирования, получаем

$$\vec{p} = \vec{p}_0 - e\vec{E}t \, . \tag{27}$$

При начальном условии $\vec{p}_0 = 0$ для величины импульса имеем

$$p(t) = eEt \, , \tag{28}$$

так что зависимость величины скорости электрона от времени выражается равенством

$$\frac{m_e \upsilon(t)}{\sqrt{1 - \frac{\upsilon^2(t)}{c^2}}} = eEt \, , \tag{29}$$

откуда находим:

$$\upsilon(t) = c\frac{eEt}{\sqrt{(eEt)^2 + (m_e c)^2}} \, . \tag{30}$$

Из формулы (30) видно, что при всех конечных t получается $\upsilon(t) < c$, как и должно быть.

Релятивистской энергией частицы (материальной точки) называется величина:

$$\mathrm{E} \equiv mc^2 \frac{d(ct)}{ds} = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}. \tag{31}$$

Особо отметим то обстоятельство, что **покоящаяся частица** (материальная точка) **обладает отличной от нуля энергией**:

$$\mathrm{E}_0 = mc^2. \tag{32}$$

Эта величина называется **энергией покоя**. Формула (32) – знаменитая формула Эйнштейна, она определяет внутреннюю энергию частицы (материальной точки), не связанную с ее движением. Можно сказать так, что это энергия, которой частица обладает только вследствие того, что она существует.

Физический смысл энергии покоя, скажем, для элементарной частицы определяется так: это минимальная энергия, необходимая для создания (рождения) частицы. Если в каких-то процессах освобождаются энергии, меньшие E_0, то в таких процессах данные частицы не рождаются.

Простая взаимосвязь между массой и энергией покоя, выражаемая формулой Эйнштейна (32), трактуется как **эквивалентность массы и энергии**.

Кинетической энергией частицы (материальной точки) в релятивистской механике называется величина

$$T \equiv \mathrm{E} - \mathrm{E}_0 = mc^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}-1\right). \tag{33}$$

В некоторых разделах физики удобно использовать так называемую **релятивистскую массу** m_r:

$$m_r \equiv \frac{m}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}. \tag{34}$$

Выражения для релятивистского импульса и релятивистской энергии при использовании m_r оказываются совсем простыми:

$$\vec{p} = m_r\vec{\upsilon}, \tag{35}$$

$$\mathrm{E} = m_r c^2. \tag{36}$$

В природе существуют очень интересные объекты – **частицы с нулевой массой**. Примером такой частицы является **фотон** – квант электромагнитного излучения.

Выражение для релятивистской энергии

$$\mathrm{E} = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}} \qquad (37)$$

показывает, что она может быть отличной от нуля при $m = 0$ только в том случае, если скорость частицы (всегда, относительно любой инерциальной системы отсчета!) равна c. На это обстоятельство указывает и выражение для релятивистского импульса.

Вывод: **частицы с нулевой массой движутся со скоростью c относительно любой инерциальной системы отсчета**.

Связь между импульсом и энергией для таких частиц имеет очень простой вид

$$p = \frac{\mathrm{E}}{c}. \qquad (38)$$

Энергия фотона определяется известной формулой Планка:

$$\mathrm{E} = \hbar\omega, \qquad (39)$$

где $\hbar = 1{,}05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, ω – циклическая частота излучения.

Импульс фотона определяется равенством

$$\vec{p} = \hbar\vec{k}, \qquad (40)$$

где $\vec{k}$ – т.н. волновой вектор; направление $\vec{k}$ совпадает с направлением движения фотона (направление распространения излучения), а его модуль выражается через длину волны излучения λ:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \tag{41}$$

Величины ω и k связаны равенством

$$\frac{\omega}{k} = c. \tag{42}$$

Энергия E (39) и импульс $\vec{p}$ (40) фотона удовлетворяют равенству (38), поэтому можно, например, написать:

$$p = \hbar\omega / c. \tag{43}$$

Иногда вводят в рассмотрение релятивистскую массу фотона

$$m_r = \mathrm{E} / c^2 = \hbar\omega / c^2. \tag{44}$$

Специальная теория относительности.

ЗАДАЧИ

А1. При какой относительной скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25%?

Решение
.

Дано

$$\Delta\ell = 0{,}25\ell_0$$

$$\frac{v}{c} = \beta = ?$$

Длина тела ℓ, измеренная в системе координат K, относительно которой оно движется со скоростью *v,* связана с длиной этого тела ℓ_0 в системе K′, относительно которой оно покоится (собственная длина), соотношением:

$$\ell = \ell_0\sqrt{1-\beta^2}$$

$$\Delta\ell = \ell_0 - \ell = 0{,}25\ell_0$$

$$\ell = 0{,}75\ell_0$$

$$\sqrt{1-\beta^2} = \frac{0{,}75\ell_0}{\ell_0}$$

$$1-\beta^2 = (0{,}75)^2$$

$$\beta = 0{,}6615$$

2. Какую скорость должно иметь движущееся тело в системе K, чтобы его продольные размеры уменьшились в 2 раза?

Дано

$$\ell = 0{,}5\ell_0$$

$$\upsilon = ?$$

$$\ell = \ell_0\sqrt{1-\beta^2}$$

$$\ell = 0{,}5\ell_0$$

$$\sqrt{1-\beta^2} = \frac{0{,}5\ell_0}{\ell_0}$$

$$1-\beta^2 = (0{,}5)^2$$

$$\beta = 0{,}866$$

$$\upsilon = \beta \cdot c$$

$$\upsilon = 2{,}6 \cdot 10^8 \ {}^{м}\!/\!_{с}$$

3. Мезон, входящий в состав космических лучей, движется со скоростью, составляющей *95%* скорости света. Какой промежуток времени по часам земного наблюдателя соответствует одной секунде «собственного времени» мезона?

Дано

$$\upsilon = 0{,}95c$$

$$\Delta t = ?$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$\beta = \upsilon / c$$

$$\upsilon = 0{,}95c$$

$$\Delta t = \frac{1}{\sqrt{1-0{,}95^2}} = 3{,}2(c)$$

$$\Delta t = 3{,}2c$$

4. До какой энергии можно ускорить частицы в циклотроне, если относительное увеличение массы частицы не должно превышать *5%*? Задачу решить для электронов.

Решение.

Дано

$m_0 = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,кг$

$\Delta m = 0{,}05 m_0$

$c = 3 \cdot 10^8\, м/с$

$T_э = ?$

$$E = mc^2 = m_0c^2 + T$$

$$m_0c^2 = E_0$$

$$T = (m - m_0)c^2$$

$$\Delta m = 0{,}05 m_0$$

$$m - m_0 = 0{,}05 m_0$$

$$T = 0{,}05 m_0 c^2$$

$$T_э = 4{,}095 \cdot 10^{-15}\, Дж$$

5. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы его скорость составила *95%* скорости света?

Дано

$$\beta = \upsilon / c = 0{,}95$$

$$m_0 = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \, кг$$

$$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19} \, Кл$$

$$U = ?$$

Решение.

$$eU = T$$

$$T = (m - m_0)c^2$$

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

$$T = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right)$$

$$U = \frac{m_0 c^2}{e}\left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1\right)$$

$$U = 1{,}1 \cdot 10^6 \, В$$

6. Найти скорость мезона, если его полная энергия в 10 раз больше энергии покоя.

Решение.

Дано

$E=10E_0$

$\upsilon=?$

$$E = mc^2$$

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

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

$$m_0 c^2 = E_0$$

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{10E_0}{E_0}$$

$$1-\beta^2 = 0{,}01,\ \beta = 0{,}995$$

$$\beta = \upsilon / c$$

$$\upsilon = \beta c$$

$$\upsilon = 2{,}985\cdot 10^8 \ м/с$$

7. Масса движущегося электрона вдвое больше его массы покоя. Найти кинетическую энергию электрона.

Дано

$m = 2m_0$

$m_0 = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,кг$

$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,Кл$

$T_э = ?$

Решение.

$$E = mc^2$$

$$E = mc^2 = m_0c^2 + T$$

$$T = (m - m_0)c^2 = m_0c^2$$

$$T = 8{,}2 \cdot 10^{-14}\,Дж$$

8. Какому изменению массы соответствует изменение энергии на *4,19Дж*?

Решение.

Дано

$\Delta E = 4,9\,Дж$

$\Delta m = ?$

$$\Delta m = m - m_0$$

$$\Delta E = E - E_0$$

$$E = mc^2$$

$$E_0 = m_0 c^2$$

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

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

$$\Delta m = 4,6 \cdot 10^{-17}\,кг$$

9.Энергия π-мезона, возникающего в верхних слоях атмосферы, составляет 60 ГэВ. А его среднее время жизни в связанной с ним системе отсчета равно 25 нс. Принимая массу π-мезона равной 273m_e , определить его время жизни в лабораторной системе отсчета.

Решение.

Дано

E=60 ГэВ

m=273m_e

$e = 1,6 \cdot 10^{-19}\ Кл$

$\Delta t_0 = 25$ нс

$\Delta t = ?$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0 \cdot E}{m_0 c^2}$$

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

E=60 ГэВ

= 60 ·1.6·10^{-19} Дж

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

$\Delta t = 11,1$ мкс

10. Две нестабильные частицы движутся в системе отсчета К в одном направлении вдоль одной прямой с одинаковой скоростью *V=0,6c.* Расстояние между частицами в системе К равно 64 м. Обе частицы распались одновременно в системе К′, которая связана с ними. Определить промежуток времени в системе К.

Дано

V=0,6c

$\Delta x = 64 м$

$\Delta t' = 0$

$\Delta t = ?$

Решение.

$$\Delta x' = \frac{\Delta x}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} = 80$$

$$\Delta t = \frac{\frac{v}{c^2}\Delta x'}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} = \frac{0,6 \cdot 80}{3 \cdot 10^8 \cdot 0.8} = 20 \cdot 10^{-8}$$

$$\Delta t = 0,2 мкс$$