

Жусупов М.А.¹, Жусупов А.М.¹, Жаксыбекова К.А.¹, Кабатаева Р.С.^{1,2*}¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, НИИЭТФ, Казахстан, г. Алматы²Международный университет информационных технологий, Казахстан, г. Алматы

*e-mail: raushan.kabatayeva@gmail.com

«ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ» В ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ

Дан вывод релятивистских преобразований Лоренца для координат и времени, основанный на постоянстве скорости света во всех инерциальных системах отсчета. Используя релятивистские соотношения для импульса и полной энергии, получено выражение для инвариантной массы. В связи с этим отмечается, что встречающиеся часто другие определения типа массы покоя, релятивистской массы, массы движения и т.д. не имеют физического смысла. Уточняется также положение об эквивалентности энергии и массы: можно говорить только об эквивалентности массы и энергии покоя E_0 . Следствием преобразований Лоренца является известный парадокс близнецов. Однако, первую проверку этот эффект получил в мире элементарных частиц: среднее время жизни μ^- -мезонов с энергией 1 ГэВ увеличивается на порядок. Время жизни сигма-минус-гиперонов с энергией 600 ГэВ увеличивается даже в 500 раз! Оба этих эффекта проверены экспериментально.

В работе дается краткий обзор состояния вопроса в современных источниках литературы.

Ключевые слова: релятивистские преобразования Лоренца, теория относительности, инерциальные системы отсчета, релятивистский импульс, полная энергия, инвариантная масса.

Zhusupov M.A.¹, Zhusupov A.M.¹, Zhaksybekova K.A.¹, Kabatayeva R.S.^{1, 2, *}¹Al-Farabi Kazakh National University, IETP, Kazakhstan, Almaty,²International Information Technology University, Kazakhstan, Almaty

*e-mail: raushan.kabatayeva@gmail.com

«Twins paradox» in particle physics

A derivation of relativistic Lorentz transformations for coordinate and time based on the constancy of light speed in all inertial reference frames is given. Using the relativistic relation for momentum and total energy the expression for invariant mass is found. In this connection it is emphasized that the definitions like the rest mass, relativistic mass, motion mass and so on have no physical meaning. The equivalence of mass and energy is also pointed out: one can talk only about the equivalence of mass and rest energy E_0 . The consequence of Lorentz transformations is the well-known twins' paradox. However, the first test of this effect is in the elementary particle physics: mean lifetime of μ^- -mesons with energy of 1 GeV increases for an order. Lifetime of sigma-minus-hyperons with energy of 600 GeV increases even 500 times! Both these effects are tested in an experiment.

A brief review of the state of the question in the modern literature sources is given.

Key words: Lorentz relativistic transformations, relativity, inertial frame of reference, relativistic momentum, total energy, invariant mass.

Жусупов М.А.¹, Жусупов А.М.¹, Жаксыбекова К.А.¹, Кабатаева Р.С.^{1,2*}¹Ал-Фараби атындағы ҚазҰУ, ЭТФЭЗИ, Қазақстан, Алматы қ.²Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Қазақстан, Алматы қ.

*e-mail: raushan.kabatayeva@gmail.com

Бөлшектер физикасындағы «Егіздер парадоксы»

Барлық инерциалдық санақ жүйелерінде жарық жылдамдығының тұрақтылығында негізделген координата және уақыт үшін Лоренц релятивтік түрлендірулерінің қорытындысы берілген. Импульс және толық энергия үшін релятивтік қатынастарды қолдана отырып инварианттық масса үшін теңдеу табылды. Осымен байланысты тыныштық массасы, релятивтік массасы, қозғалыс массасы және тағы басқа да жиі кездесетін масса анықтамаларының физикалық мағынасының жоқ екендегі айтылуда. Энергия және массаның эквиваленттілігі жөнінде жағдай айтып кетілуде: масса және тыныштық E_0 энергиясы эквиваленттілігі жөнінде

ғана айтуға болады. Лоренц түрлендірулерінің салдары белгілі егіздер парадоксы болып табылады. Дегенмен, айтылған эффекттің ең бірінші тексерілуі элементар бөлшектер әлемінде табылды: 1 ГэВ энергиялы μ -мезондардың орташа өмір сүру уақыты бір ретке ұлғаяды. 600 ГэВ энергиялы сигма-минус-гиперондардың өмір сүру уақыты тіпті 500 есе артады! Екі эффект те экспериментте тексерілді.

Қазіргі заманғы физикалық әдебиетте айтылған сұрақтың қысқаша шолуы берілген.

Түйін сөздер: Лоренц релятивтік түрлендірулері, салыстырмалы теориясы, инерциалдық санақ жүйелері, релятивтік импульс, толық энергия, инварианттық масса.

Введение

Механика Ньютона, составляющая основу классической физики, является величайшим достижением человеческого разума. С ее помощью рассчитываются орбиты небесных тел, траектории самолетов и ракет. Развитие физической теории к началу XX века показало, что законы Ньютоновской механики становятся непригодными в двух случаях: для частиц малых размеров и в случае систем, движущихся с большими скоростями, близкими к скорости света. В первом случае механика Ньютона заменяется квантовой механикой, а во втором – специальной, или частной теорией относительности. Описываемые последней явления называют релятивистскими.

Основной вклад в развитие теории относительности внес А.Эйнштейн, хотя некоторые ее идеи высказывались и другими учеными, такими как Пуанкаре, Лоренц, Минковский и др. Частная (специальная) теория относительности базируется на двух постулатах, отражавших всю совокупность известных в то время экспериментальных данных:

1. Скорость света в вакууме является универсальной постоянной, не зависящей от движения источника или наблюдателя.

2. Все законы природы в инерциальных системах отсчета, то есть движущихся друг относительно друга с постоянной скоростью, происходят одинаково. Никаким опытом внутри определенной системы нельзя установить, движется такая система или покоится.

Из этих постулатов можно получить ряд важных выводов.

Эйнштейн [1] был первым, кто обсуждал и разрешил парадокс близнецов, который в 1905 году он не рассматривал как парадоксальный и считал его следствием относительности одновременности. Он придерживался этого мнения до 1914 года. Однако, в 1918 году Эйнштейн выдвинул аргументы об ускоренных системах отсчета, которые отодвинули на задний план

его первоначальное решение. Его первоначальные аргументы были постепенно заново обнаружены в процессах последующих дискуссий об этом парадоксе.

В работе [2] описывается модифицированная версия мысленного эксперимента по парадоксу близнецов, названная «путешествующий парадокс близнецов». В этой версии близнецы движутся навстречу друг другу на одинаковых средствах передвижения с одинаково высокими скоростями из двух начальных точек, расположенных вдоль оси x с координатами $+(\ell+\Delta\ell)$ и $-(\ell+\Delta\ell)$, соответственно. Близнецы вначале ускоряются до скорости v вдоль идентичных путей длины $\Delta\ell$ каждый, затем они выключают двигатели и движутся друг к другу с постоянными равными скоростями (v). После того, как они проезжают мимо друг друга, они на таком же пути замедляются и останавливаются. Сценарий этой версии парадокса полностью является симметричным, подразумевая, что невозможно предпочесть одной системе отсчета другую, как было сделано в специальной теории относительности для решения парадокса близнецов. Более того, в интервале $(-\ell, +\ell)$ система отсчета, связанная с путешествующими близнецами, является инерциальной. Полная симметрия путешествующего парадокса должна привести к симметричному решению, согласно которому близнецы пересекаются в точке $x = 0$ и при этом находят друг друга в одинаковом возрасте. Однако, применение специальной теории относительности к результатам новой версии парадокса приводит к противоречию, согласно которому каждый из близнецов зафиксирует замедление времени относительно другого близнеца.

В работе [3] в рамках специальной теории относительности предлагается возможность отправиться в путешествие в центр нашей галактики и даже в конец нашей Вселенной в рамках нашего времени жизни. На основе хорошо известного парадокса близнецов, обсуждается равномерно ускоренное движение и указывается

локальная перспектива каждого близнеца касательно взаимного обмена световыми сигналами между обоими близнецами также как и их различный взгляд на звездное небо.

В работе [4] дается нестандартный вывод преобразований Лоренца, который показывает, что они переходят в преобразования Галилея при перемасштабировании пространственно-временных координат и в сдвиг времени, зависящего от пространства. Этот подход обеспечивает геометрическое понимание «немыслимого» принципа относительности о постоянстве скорости c_0 светового сигнала во всех инерциальных системах. Это релятивистская гипотеза проиллюстрирована для случая источника света, находящегося в начале координат O центральной инерциальной системы отсчета S , которая производит изображение источника света в точке, и сферически симметричное изображение светового сигнала в окрестности точки начала $O(n)$ бесконечного числа инерциальных систем $S(n)$, движущихся от системы S с разными скоростями $V(n) < c_0$ (синхронизированных в момент времени $t = t(n) = 0$, $\pm n = 1, 2, 3, \dots, \infty$). Обсуждаются парадоксы релятивистской длины стержня, замедления часов, массы частиц и одновременности. Все релятивистские формулы сравниваются с соответствующими результатами физики абсолютного пространства-времени, которая предполагает существование системы-подложки S_0 космического вакуума (определяемой изотропным распространением света). Теория абсолютного пространства-времени основана на обобщенных Галлилей-ковариантных уравнениях Максвелла для произвольной инерциальной системы отсчета $S(r, t, w)$ со скоростью подложки w (анизотропное распространение света), которое сводится к Лоренц-ковариантным уравнениям Максвелла в пределе $w = 0$ (изотропное распространение света). Аналогично, формулы абсолютного пространства-времени содержат релятивистские соотношения как специальный случай $w = 0$. Показано, что релятивистская теория (относительно наблюдателя со скоростью v) согласуется с теорией абсолютного пространства-времени в случаях (а) $w = 0$ точно (система-подложка с изотропным распространением света) и (б) w много меньше, чем V (системы-квазиподложки с квазиизотропным распространением света). Процесс измерений Галилея в произвольных инерциальных системах $S(r, t, w)$ объясняется при рассмотрении

физического (взаимодействия с подложкой) сокращения длины измеряющего стержня, скорости замедления измеряющих часов, с произвольной скоростью $v_0 = v - w = inv$ относительно подложки S_0 . Сравнение с несколькими экспериментами (Майкельсона-Морли, Кеннеди-Торндайка, Маринова, Черенкова, Саньяка, Ааронова-Бома, аномальной однополярной индукции, космического микроволнового излучения, увеличения времени жизни мю-мезона, гамма-излучения частиц со скоростями v близкими к скорости c_0) и теоретическими аргументами (то есть, теории абсолютного пространства-времени из ключевых экспериментов, основания релятивистской квантовой механики и квантовой электродинамики), показывает, что физические основы Лоренц-преобразований оказываются сомнительными, и расхождения современной физики связаны с принудительным введением Лоренц-ковариантности.

В работе [5] изучается распад движущейся системы для случая, когда система изначально находилась в состоянии суперпозиции двух, почти ортогональных, нестабильных квантовых систем. Вероятность выживания ($P - p(t)$) оценена для короткого и продолжительного времени жизни в системе отсчета, где неподвижная система движется с постоянным импульсом p . Плотности распределения массы, которые описывают два нестабильных состояния суперпозиции, проявляют пороги вблизи исчезающих нижних границ спектра масс $\mu(0,1)$ и $\mu(0,2)$. Если эти две нижние границы совпадают, продолжительность существования на продолжительное время ($P - p(t)$) показывает доминантный закон распада как обратная мощность и приблизительно относится к вероятности существования в покое ($P - 0(t)$) через замедление времени. Масштабирующий множитель $\chi(p,1)$ имеет корень $1 + p(2)/\mu(2)(0,1)$. Если нижние границы $\mu(0,1)$ и $\mu(0,2)$ отличаются, то для вероятности выживания ($P - p(t)$) наблюдаются затухающие колебания в течение долгого времени и масштабные связи разрушаются. Эти осцилляции огибаются профилем закона обратной мощности, который определяется порогом. Изменяя систему отсчета, период осцилляций в покое ($T - 0$) переходит в более долгий период ($T - p$) согласно фактору, который есть усредненное среднее факторов $\chi(p,1)$ и $\chi(p,2)$ с ненормированными весами $\mu(0,1)$ и $\mu(0,2)$. Колебания исчезают в ультрарелятивистском пределе.

В работе [6] изучены свойства позднего времени жизни движущихся релятивистских частиц. В рамках собственного релятивистского рассмотрения задачи найдены кривые распада и показано, что отклонение позднего времени вероятности выживания этих частиц из экспоненциальной формы закона распада, то есть интервал времен перехода между экспоненциальной и неэкспоненциальной формами амплитуды выживания, происходит намного раньше, чем это следует из классического стандартного подхода, и сводится к замене времени t временем $t/\gamma(L)$ (где $\gamma(L)$ – релятивистский Лоренц инвариант) в формуле для вероятности выживания. Следствием является то, что флуктуации соответствующей кривой распада могут появиться намного раньше и намного больше нестабильных частиц имеют возможность выжить до этих времен и позднее. Также показано, что флуктуации мгновенной энергии движущихся нестабильных частиц имеют подобную форму как флуктуации в системе покоя частицы, но они видны наблюдателю в его системе покоя намного раньше, чем может видеть другой при замене времени t временем $t/\gamma(L)$ в соответствующих выражениях для этой энергии, и амплитуда этих флуктуаций может быть даже больше, чем это следует из стандартного подхода. Все эти эффекты оказываются важными, когда интерпретируют некоторые эксперименты на ускорителях высоких энергий нестабильных частиц и проанализированы подобные возможные связи этих эффектов с GSI аномалией, и некоторые результаты астрофизических наблюдений.

В основе работы [7] лежит логический подход. Рассматривается природа времени с двух перспектив: время тогда, как оно воспринимается, и время тогда, как оно существует, когда оно не воспринимается, или не может быть воспринято. Первый постулат Эйнштейна не касается времени, которое не может быть воспринято. Второй постулат Эйнштейна определяет скорость света как константу, которая одна и та же для всех наблюдателей; таким образом, скорость света не зависит от системы отсчета, в которой она воспринимается. Смысл этой разницы в том, что согласно специальной теории относительности природа времени восприятия не одна и та же, что и природа времени, которое не воспринимается. Здесь до-

пускается, что также как и материя может подразделяться на воспринимаемую реальность и физическую реальность, время также может подразделяться на время, которое мы воспринимаем (время восприятия) и на время, которое мы можем воспринять (физическое время). Физическое время должно иметь характеристики, которые не зависят от восприятия. В физическом времени, все события происходят в «настоящий» момент. Настоящее происходит одновременно повсюду во Вселенной. Оно синхронизовано, и есть константа, чья продолжительность равна времени Планка, которое в этой работе обозначается как «тик» или сигнал. Абсолютное время существует и состоит из непрерывной, нескончаемой последовательности тиков (сигналов). Замедление времени это тоже аспект физического времени. Чем быстрее объект движется в пространстве, тем дольше оно живет. Поскольку замедление времени вызвано скоростью, с которой частица движется в пространстве, в этой работе предлагается, что замедление времени есть результат в настоящем движения частицы либо в пространстве, либо во времени. Решение относительно сделанного выбора основано на вероятности, а именно, на скорости частицы, деленной на скорость света. Это подразумевает, что скорость объекта в пространстве есть вероятность.

В работе [8] представляется новое определение собственного времени, которое объединяет все фундаментальные взаимодействия также как и целую группу Пуанкаре. Новое определение собственного времени сводится к обычному определению, когда не рассматривается как никакое из взаимодействий кроме гравитационного, так и никакая новая группа (такая как Лоренц) преобразований. Объясняется физический смысл этого нового определения, и даются предположения для эксперимента с целью проверки этого определения.

Преобразования Лоренца

В Ньютоновской механике считалось, что время течет одинаково для всех наблюдателей. Связь времени и координаты для движущегося и неподвижного наблюдателя имеет вид (рассматривается движение вдоль оси x):

$$\begin{cases} x' = x + v \cdot t \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t. \end{cases}$$

Здесь v – скорость движущейся системы.

Это классические преобразования координат Галилея. В релятивистском случае мы должны изменить связь между координатами:

$$x' = \gamma(x + v \cdot t), \quad (1)$$

где γ – множитель, стремящийся к единице при малых скоростях v .

В случае обратного преобразования координат меняется только направление скорости и мы имеем аналогичное равенство:

$$x = \gamma(x' - v \cdot t'). \quad (2)$$

Величину γ в выражениях (1) и (2) легко найти из требования равенства скорости света в обеих системах координат: $x = ct$ и $x' = ct'$

$$\begin{cases} ct' = \gamma(ct + vt) \\ ct = \gamma(ct' - vt') \end{cases} \quad (3)$$

Перепишем (3):

$$\begin{cases} ct' = \gamma t(c + v) \\ \gamma t'(c - v) = ct \end{cases} \quad (4)$$

Отсюда, исключая t и t' , найдем

$$\gamma^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Из первого уравнения в системе (4) получим

$$t' = \frac{t + \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Таким образом, мы приходим к хорошо известным релятивистским преобразованиям Лоренца:

$$\begin{cases} x' = \frac{x \pm vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t \pm \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{cases} \quad (5)$$

Знак $+$ или $-$ в выражениях для x' и t' зависит от того, в какой системе, движущейся или покоящейся, находится наблюдатель.

В теории относительности, как и в классической механике, для замкнутой физической системы сохраняются импульс \vec{p} и полная энергия E . Однако, релятивистские выражения для них отличаются от соответствующих классических:

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (6)$$

В покоящейся системе отсчета ($v = 0$) энергия тела

$$E_0 = mc^2. \quad (7)$$

Это энергия покоя. Данную формулу Эйнштейна называют законом пропорциональности (*эквивалентности*) массы и энергии.

Из соотношений (6), возводя их в квадрат и исключая v , получим связь между полной энергией и импульсом

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4. \quad (8)$$

Чаще всего это соотношение представляют в виде

$$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4. \quad (8')$$

Все приведенные формулы являются непротиворечивыми. Например, кинетическая энергия равна разности полной энергии и энергии покоя:

$$\begin{aligned} E_{кин} &= E - E_0 = mc^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right] = \\ &= mc^2 \left[\left(1 - v^2/c^2 \right)^{-\frac{1}{2}} - 1 \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Разлагая первое слагаемое в квадратных скобках в ряд по биному Ньютона и ограничиваясь малыми членами порядка

$$\left(v^2/c^2 \right), \text{ имеем } \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2}. \text{ И из (9)}$$

имеем $E_{кин} = \frac{mv^2}{2}$, как и должно быть в нерелятивистском случае.

Инвариантность массы

В настоящее время во многих школьных и некоторых вузовских учебниках по общей физике и, особенно в научно-популярной литературе, содержится множество определений массы частиц: масса покоя m_0 , релятивистская масса, масса движения, полная масса и т.д. [9]. В основе этих определений лежит заворачивающая воображение формула:

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

в которой m_0 называют массой покоя.

Однако в серьезной научной литературе употребляется только понятие массы частицы m [9, 10]. Оно получается из релятивистского выражения (8), связывающего полную энергию и импульс. Из него следует, что масса является инвариантной величиной, имеющей одинаковый вид во всех системах координат.

Масса не зависит от скорости движения частицы; масса изолированной системы сохраняется. Но масса не обладает свойством аддитивности. Например, масса ядра не равна сумме масс составляющих его нуклонов.

Именно это свойство лежит в основе ядерной (и термоядерной) энергетики.

Обозначение E_0 является разумным, так как энергия зависит от системы отсчета и индекс нуль указывает, что в этом случае это энергия в системе покоя. Но тогда обозначение m_0 неприемлемо, так как масса не зависит от системы отсчета.

В связи с этим утверждение об эквивалентности энергии и массы, которое так любят философы, не является верным. Действительно, всегда, когда есть масса, есть и соответствующая ей энергия покоя $E_0 = mc^2$. Но не всегда, когда есть энергия, есть масса. Например, масса фотона равна нулю, а энергия его отлична от нуля. Энергии частиц в современных ускорителях могут на много порядков превышать их массу.

Таким образом, можно говорить только об эквивалентности массы и энергии покоя.

Вопросы эти совсем не тривиальные, так как в разное время даже такие классики науки, как М. Борн [11], Р. Фейнман [12, 13], Л.Д. Ландау [14], и др. допускали наличие массы, зависящей от скорости. Это было связано с различными причинами. Так, М. Борн в начале 20 века, когда еще теория относительности не сформировалась в окончательном виде, ошибочно использовал для импульса в релятивистской области энергий ньютоновское (нерелятивистское) выражение $\vec{p} = m\vec{v}$.

Р. Фейнман в научно-популярной книге [12] говорит о том, что «двигаясь, тела становятся тяжелее». В знаменитых Фейнмановских лекциях по физике понятие релятивистской массы положено в основу глав, посвященных теории относительности. В популярной брошюре Л.Д. Ландау и Ю.Б. Румера [14] одна из глав посвящена массе, растущей со скоростью. «Частичное объяснение этим прискорбным фактам», – пишет Л.Б. Окунь [10], надо искать в том, что даже величайшие физики, переходя от научной деятельности к просветительской, пытаются приспособиться к сознанию широкого круга читателей, воспитанных на определении $m = E/c^2$ ».

Время жизни мезона

Если обозначить $\tau_0 = t_2 - t_1$ – промежуток времени в неподвижной системе (τ_0 называют собственным временем), то в движущейся

системе тот же промежуток $\tau = t'_2 - t'_1$, и из формул (5) получим: $\tau = \gamma\tau_0$. Согласно (6),

$$\gamma = \frac{E}{mc^2}.$$

Таким образом, время в движущейся системе течет медленнее. Отсюда возникает известный «парадокс близнецов» [15]. Если один из близнецов останется на Земле, а второй улетает на космическом корабле, движущемся со скоростью, сравнимой со световой, то, по возвращении на Землю, улетавший близнец встретит своего брата, выглядевшим гораздо более старше. В действительности, проверить этот эффект вряд ли возможно, так как система перестает быть инерциальной на три коротких промежутка времени: при разгоне космического корабля, при его повороте назад и при его торможении. Правда, в сумме эти три промежутка гораздо меньше времени всего полета космического корабля. Условие инерциальности не нарушится, если рассматривать движение быстрых нестабильных частиц, например, μ^- -мезонов. Масса их $m_\mu c^2 = 106$ МэВ.

Время жизни μ^- -мезона в неподвижной системе $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6}$ секунд. За это время μ^- -мезон, двигаясь со скоростью света, пройдет путь $\tau_0 c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{сек}} \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} \text{сек} = 660 \text{м}$.

Однако, оказалось, что на этих и даже гораздо больших расстояниях в 3-4 км интенсивность пучка быстрых μ^- -мезонов с энергией $E = 1$ ГэВ практически не изменяется, так как для подобных μ^- -мезонов $\gamma \sim 10$ и среднее время жизни возрастает на порядок. Таким образом, в процессе изучения радиоактивного распада μ^- -мезонов было получено одно из самых

убедительных доказательств справедливости вывода специальной теории относительности о замедлении времени в движущейся системе. По воспоминаниям В. Гейзенберга, экспериментальное доказательство замедления времени жизни быстро движущихся мезонов спасло сторонников теории относительности от гонений со стороны германского правительства в конце 30-х годов XX века.

Заключение

В настоящее время эффект замедления времени для быстро движущихся частиц используется для создания пучков гиперонов. Так, например, при энергии 600 ГэВ (которая достигается на ГэВатроне в лаборатории имени Ферми) время жизни Σ^- -гиперонов, имеющих массу $m_\Sigma c^2 = 1,2$ ГэВ, возрастает от значений $\tau_0 = 1,5 \cdot 10^{-10}$ сек до $\tau = 7,5 \cdot 10^{-8}$ сек, то есть в 500 раз! Благодаря этому они, двигаясь почти со скоростью света, могут пролетать расстояние в 22,5 метров, что вполне достаточно для формирования из них пучка. Отметим также, что зависимость (6) полной энергии и импульса частиц от скорости учитываются при строительстве все более мощных ускорителей.

В последующей публикации нами будет подробно показано, как определение массы как инвариантной величины позволит простым образом находить характеристики различных ядерных процессов [16, 17].

Авторы выражают глубокую благодарность профессору В.В. Кашкарову за полезные обсуждения работы.

Работа выполнена при поддержке Гранта Министерства Образования и Науки РК № AP05132952.

Литература

- 1 Petic P. Einstein and the twin paradox // European Journal of Physics. – 2003. – Vol.6 (24). – P.585-590.
- 2 Suleiman R. The traveling twins paradox and special relativity // Physics Essays. – 2016. – Vol.29. – P.179-180.
- 3 Mueller T., King A., Adis D. A trip to the end of the universe and the twin "paradox" // American Journal of Physics. – 2008. – Vol.76 (4-5). – P.360-373.
- 4 Wilhelm H.E. Physical foundations and implications of Lorentz transformations in comparison with experiments and absolute space-time physics // Physics Essays. – 1993. – Vol.6 (3). – P.420-435.
- 5 Giraldi F. Time dilation in the oscillating decay laws of moving two-mass unstable quantum states // Journal of Physics A – Mathematical and Theoretical. – 2018. – Vol.51 (43).
- 6 Urbanowski K. Decay law of relativistic particles: Quantum theory meets special relativity // Physics Letters B. – 2014. – Vol.737. – P.346-351.
- 7 Self S.B. A logical examination of the nature of time // Physics Essays. – 2016. – Vol.29 (2). – P.261-271.
- 8 Hojman S.A. Proper time redefined // Physical Review D. – 2018. – Vol.98 (8)
- 9 Окунь Л.Б. Понятие массы // Успехи физических наук. – 1989. – Т.158, вып.3. – С.511-530.

- 10 Окунь Л.Б. Письма в редакцию. О письме Р.И. Храпко "Что есть масса?" // Успехи физических наук. – 2000. – Т.170, вып.12. – С.1366-1371.
- 11 Борн М. Эйнштейновская теория относительности. – М.: Мир, 1972. – 368 с.
- 12 Фейнман Р. Характер физических законов. – М.: Наука, 1987. – 160 с.
- 13 Фейнман Р., Лейтон Р.Б., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. – М.: Мир, 1965-1967 ... 1969-1978 гг.
- 14 Ландау Л.Д., Румер Ю.Б. Что такое теория относительности. – М.: Сов. Россия, 1975. – 112 с.
- 15 Мардер Л. Парадокс часов. – М.: Мир, 1974. – 226 с.
- 16 Жусупов М.А., Кабатаева Р.С., Сахiev С.К. Квантовая теория рассеяния. – Алматы: Казак университеті, 2015. – 203 с.
- 17 Жусупов М.А. Изучение курса "Релятивистский инвариант и измерение масс нестабильных элементарных частиц" в вузе // Междун. форум Евразийской ассоциации педагогических университетов "Проблемы непрерывного педагогического образования: традиции и инновации". Программа – Алматы, Казахстан, 2018. – С.5.

References

- 1 P. Pesic, European Journal of Physics, 6 (24), 585-590 (2003).
- 2 R. Suleiman, Physics Essays, 29, 179-180 (2016).
- 3 T. Mueller, A. King, D. Adis, American Journal of Physics, 76 (4-5), 360-373 (2008).
- 4 H.E. Wilhelm, Physics Essays, 6 (3), 420-435 (1993).
- 5 F. Giraldi, Journal of Physics A – Mathematical and Theoretical, 51 (43) (2018).
- 6 K. Urbanowski, Physics Letters B, 737, 346-351 (2014).
- 7 Self S.B. A logical examination of the nature of time // Physics Essays. – 2016. – Vol.29 (2). – P.261-271.
- 8 S.A. Hojman, Physical Review D, 98 (8) (2018).
- 9 L.B. Okun', Uspekhi fizicheskikh nauk, 158 (3), 511-530 (1989). (in Russ)
- 10 L.B. Okun', Uspekhi fizicheskikh nauk, 170 (12), 1366-1371 (2000). (in Russ)
- 11 M. Born, Eishteynovskaya teoriya otноситel'nosti, (Moscow, Mir, 1972), 368 s. (in Russ)
- 12 R. Feynman Kharakter fizicheskikh zakonov, (Moscow, Nauka, 1987), 160 s. (in Russ)
- 13 R., Feynman, R.B., Leytonm, M. Sands, Feynmanovskiye lekcii po fizike, (Moscow, Mir, 1965-1967 ... 1969-1978).
- 14 L.D. Landau, Yu.B. Rumer Chto takoe teoriya otноситel'nosti, (Moscow, Sov. Rossiya, 1975), 112 s. (in Russ)
- 15 L. Marder, Paradox chasov, (Moscow, Mir, 1974), 226 s. (in Russ)
- 16 M.A. Zhusupov, R.S. Kabatayeva, S.K. Sakhiev, Kvantovaya teoriya rasseyaniya, (Almaty: Qazaq universiteti, 2015), 203 s. (in Russ)
- 17 M.A. Zhusupov, Izuchenie kursa "Relyativistskiy invariant i izmerenie mass nestabil'nykh elementranykh chastits" v vuze, Mezhdunarodnyi forum Evraziyskoi assotciacii pedagogicheskikh universitetov "Problemy nepreryvnogo pedagogicheskogo obrazovaniya: traditcii i innovatcii". Programma (Almaty, Kazakhstan, 2018), s.5. (in Russ)