



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

С 322.3

P2-83-586

62.06/83

В.Н.Стрельцов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ
ДЛИНЫ И ВРЕМЕНИ

1983

1. ВВЕДЕНИЕ

Как отмечалось ранее^{/1/}, эксперименты по релятивистской ядерной физике, касающиеся измерения пространственных размеров области взаимодействия в различных системах отсчета, позволяют непосредственно наблюдать релятивистское изменение длины. В работе по исследованию размеров области излучения π^- -мезонов, образованных в π^-N - и π^-C -взаимодействиях при 40 ГэВ/с^{/2/}, делается вывод о том, что минимальные продольные размеры этой области соответствуют собственной системе отсчета. Факт увеличения, а не сокращения продольных размеров при движении есть следствие "формулы удлинения", вытекающей из отличного от традиционного определения понятия релятивистской длины^{/3/}, основанного на радиолокационном методе.

Ниже мы приведем дополнительные соображения общего характера в пользу этого определения. Остановимся на некоторых ядерных реакциях, при объяснении механизма протекания которых фактически привлекается данное определение. Кроме того, коснемся экспериментальной проверки возможного влияния пространственных размеров на время жизни быстро движущихся элементарных частиц /резонансов/.

2. ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ КАК ПРОЕКЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО КONTИНУУМА

Как вытекает из специальной теории относительности, физической реальностью обладает не точка пространства и не момент времени, когда что-либо произошло, а только само событие. Иными словами, все материальные объекты в мире представляют собой пространственно-временные конфигурации. Пространственные и временные соотношения сами по себе являются своего рода проекциями. Например, пространственный отрезок или временной интервал - суть проекции мировой линии.

В нашей повседневной жизни мы имеем дело с медленными¹ движениями или галилеевскими системами отсчета². В этих системах

¹ По отношению к скорости света.

² Переход между ними описывается преобразованиями Галилея.

отсчета в соответствии с механикой Ньютона пространство и время могут рассматриваться как отдельные понятия. Именно таковыми они и считались в дорелятивистской физике. Но чтобы перейти, например, от отрезка мировой линии Δs к пространственному отрезку Δr° и временному интервалу Δt° , мы должны взять две соответствующие проекции, положив в первом случае $\Delta t^\circ = 0$, а во втором - $\Delta r^\circ = 0$.

Физический смысл сказанного поясним на примере измерительного прибора¹ - "световых часов". Этот прибор может служить как для измерения длины, так и времени, т.е. реализовать собою понятия пространства и времени. Но прежде чем перейти к его рассмотрению, отметим следующее. Поскольку галилеевские системы отсчета движутся очень медленно относительно друг друга, при переходе к релятивистскому случаю этим движением можно практически пренебречь. Поэтому рассмотренные условия следует связывать с собственной системой отсчета (K°) данного измерительного прибора.

Итак, "световые часы" представляют собой эталонный стержень /длины l° / с укрепленными на его концах /А и В/ зеркалами. Между зеркалами, отражаясь, бегают световые лучи. На языке специальной теории относительности процессы распространения светового луча /туда и обратно/ в приборе могут быть описаны двумя 4-векторами

$$X_{AB}^\circ (l^\circ, l^\circ, 0, 0), X_{BA}^\circ (l^\circ, -l^\circ, 0, 0). \quad /1/$$

Взяв их полусумму и полуразность, получим два других 4-вектора:

$$T^\circ (l^\circ, 0, 0, 0), X^\circ (0, l^\circ, 0, 0), \quad /2/$$

первый из которых имеет только временную /временной вектор/, а второй - только пространственную /пространственный вектор/ компоненту. Можно сказать, что они описывают время и /одномерное/ пространство соответственно. При этом важно то, что только в K° системе, где прибор покоится, эти векторы будут однокомпонентными. Во всех же других системах отсчета они будут пространственно-временными векторами.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ "ФОРМУЛЫ УДЛИНЕНИЯ"

Мы не будем здесь останавливаться на самом определении понятия релятивистской длины, измерительной процедуры, лежащей в его основе. Напомним только, что следствием этого определения является релятивистская "формула удлинения":

$$l = l^\circ \gamma = l^\circ (1 - \beta^2)^{-1/2} \quad /3/$$

¹ Пространственно-временной конфигурации.

Здесь l - продольный размер данного быстродвижущегося /со скоростью $v_x = \beta c$ / объекта, l° - его соответствующий /продольный/ размер в собственной системе отсчета, где объект покоится. При этом важно подчеркнуть следующее свойство величин l и l° . На языке четырехмерного представления они соответствуют одно-временному /по отношению к K° -системе/ положению /действию/ составляющих частей рассматриваемого объекта. Именно отмеченный факт неявно используется при объяснении механизма протекания некоторых ядерных реакций. Поэтому опыты, в которых исследуются, например, взаимодействия частиц /будь то адрон или ядро/ с ядрами, можно считать косвенными указаниями в пользу применимости "формулы удлинения" /3/.

Дело в том, что в целом ряде ядерных реакций атомное ядро¹ или его часть взаимодействуют с частицей как целое. Иными словами, в собственной системе отсчета ядра его нуклоны или их часть одновременно² взаимодействуют с налетающей частицей. Примерами таких реакций могут служить упругое рассеяние, когерентное рождение частиц и др. Можно сказать, что в реакциях указанного типа налетающая частица будет "видеть"³ движущееся ядро вытянутым в γ раз в направлении его движения⁴. Здесь γ - лоренц-фактор налетающей частицы.

Вернемся, однако, к упомянутым выше экспериментам по измерению пространственных размеров области взаимодействия⁵ в процессах множественного рождения. Среди них, может быть, следует особо выделить реакции столкновения частиц одинаковой массы. Представляется, что в таких реакциях собственная система отсчета области взаимодействия K° ⁶ должна совпадать с системой центра инерции. При этом очевидно, что если испускание вторичных частиц происходит одновременно в K° , то продольные размеры области взаимодействия будут определяться именно величинами l и l° . Здесь l относится к любой несобственной /например, лабораторной/ системе отсчета. Но если даже существует сдвиг по времени между их испусканием, т.е. имеем, например, два события $X_A^\circ (0, 0, 0, 0)$ и $X_B^\circ (ct^\circ, l^\circ, 0, 0)$ при учете симметрии, т.е. существование соответствующих событий: $X_A^\circ (-ct^\circ, 0, 0, 0)$ и $X_B^\circ (0, l^\circ, 0, 0)$, найдем

- ¹ Микрообъект, имеющий конечные размеры, если даже составляющие его нуклоны /или другие конститутенты/ могут рассматриваться как точечные.
- ² Мы здесь оставляем в стороне вопрос о времени взаимодействия.
- ³ В ее собственной системе отсчета.
- ⁴ По сравнению, например, с аналогичным покоящимся ядром.
- ⁵ Или области испускания пар тождественных частиц /например, π -мезонов или протонов/.
- ⁶ Система ее покоя.

$$l = (l^0 + v_x r^0) \gamma, \quad l' = (l^0 - v_x r^0) \gamma, \quad /4/$$

$$\bar{l} = (l + l') / 2 = l^0 \gamma. \quad /4'/$$

Таким образом "средний" продольный размер области взаимодействия в лабораторной системе и в этом случае будет определяться "формулой удлинения" /3/. Следует, впрочем, отметить, что даже в случае одновременного испускания вторичных частиц измеряется некоторый средний размер, поскольку расстояние между точками излучения частиц не обязательно определяется максимальным размером.

Накопленный в настоящее время экспериментальный материал по изучению интерференции пар пионов второго порядка позволяет в полной мере осветить этот вопрос.

4. ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ НА ИХ ВРЕМЯ ЖИЗНИ В ДВИЖЕНИИ

Казалось бы, вопроса, подобного тому: сокращаются или удлиняются продольные размеры материальных объектов в результате движения, для времени не возникает. Тем более, что опыты по измерению времени жизни элементарных частиц достаточно однозначно свидетельствуют в пользу формулы замедления времени. Однако мы хотим здесь обратить внимание на следующее. При выводе последней формулы фактически полагается, что объект, представляющий собой часы или элементарную частицу, имеет исчезающе малые размеры, т.е. является точечным. Чтобы пояснить это утверждение, рассмотрим некоторое материальное тело конечных размеров /для простоты - стержень длины $\Delta x^0 = l^0$ /, которое "живет" в своей собственной системе r^0 с. Оно разрушается /"гибнет"/ в направлении оси x^0 со скоростью $v_x = l^0 / r^0$. Тогда в системе отсчета K , где объект движется со скоростью $v_c = \beta c$, время жизни τ будет определяться величиной

$$\tau = [r^0 + (v/c) l^0] \gamma = r^0 \gamma [1 + \beta (l^0 / cr^0)]. \quad /5/$$

В случае μ -мезона ($r^0 \approx 2 \cdot 10^{-6}$ с) второй член в /5/ будет сравним с первым только для макроскопических значений $l^0 \sim 10^5$ см. Для ядерных масштабов $l^0 \sim 1$ фм его влияние будет пренебрежимо мало. Однако в случае резонансов, например изобары $\Delta[1236]$, ρ -мезона и др. ($r^0 \sim 10^{-24}$ с), l^0 будет определяться именно величиной ~ 1 фм. Если отмеченные резонансы действительно имеют пространственные размеры такого порядка, то /с учетом вышесказанного/ их время жизни в движении будет определяться не обычной формулой замедления времени, а формулой /5/. Впрочем,

для симметричного случая $v_x = -\beta c$ вместо /5/ будем иметь выражение, отличающееся знаком второго члена. При этом средние значения будут опять-таки подчиняться "формуле замедления". Однако, если связывать направление гибели со спином резонанса, то для /продольно/ поляризованных резонансов отмеченный эффект все же может иметь место.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разделение пространственно-временного континуума специальной теории относительности на пространство и время возможно в нерелятивистском случае для галилеевских систем отсчета. Описывающие эти понятия, например, два 4-вектора, являются соответственно пространственным и временным /в собственной системе отсчета измерительных приборов, реализующих эти сущности/.

В отличном от общепринятого определении понятия размеров быстроживущих объектов /приводящем к "формуле удлинения"/ 4-вектор, описывающий продольные размеры в системе покоя объекта, является именно пространственным. На опыте этот факт может проявиться как одновременное в собственной системе отсчета действие частей объекта. Ядерные реакции при высоких энергиях, в которых ядро /или его часть/ взаимодействует как целое, могут рассматриваться как примеры тому. Особого же внимания заслуживают эксперименты по изучению влияния движения на размеры области взаимодействия в процессах множественного рождения. С другой стороны, интересен вопрос о возможном влиянии пространственных размеров резонансов на их время жизни в движении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, Р2-82-699, Дубна, 1982.
2. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1983, 37, с. 338.
3. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, Р2-3482, Дубна, 1967; Р2-5555, Дубна, 1971; Р2-10912, Дубна, 1977; Р2-82-43, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 августа 1983 года.

Стрельцов В.Н.

P2-83-586

Экспериментальное проявление
релятивистских преобразований длины и времени

Приводятся аргументы общего характера в пользу отличного от общепринятого определения понятия релятивистской длины, приводящего к "формуле удлинения"¹. Обсуждаются эксперименты по релятивистской ядерной физике /особенно опыты по измерению пространственных размеров области взаимодействия/, которые фактически свидетельствуют в пользу данного определения. Ставится вопрос об экспериментальной проверке возможного влияния пространственных размеров на время жизни быстро движущихся элементарных частиц /резонансов/.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Strel'tsov V.N.

P2-83-586

Experimental Display
of Relativistic Transformations for Length and Time

Reasoning of general nature in favor of definition of relativistic length which differs from the commonly used one and leads to "elongation formula" are presented. Experiments on relativistic nuclear physics /especially experiments on measuring the space dimensions of interaction region/ which practically serve in favor of this definition are discussed. The question is posed as to the experimental testing of a possible effect of space sizes on a lifetime of fast-moving elementary particles /resonances/.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.