



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P2-87-135**

**В.Н.Стрельцов**

**МАСШТАБЫ ПРОДОЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ  
ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**

**1987**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На первый взгляд кажется, что вопрос о том, испытывают ли быстродвижущиеся объекты лоренцево сжатие в соответствии с общепринятым мнением или релятивистское растяжение в согласии с появившимися сравнительно недавно соображениями<sup>1-3</sup>, представляет чисто академический интерес. Считается, что это просто результат выбора той или иной измерительной процедуры. Причем общеизвестной процедуре, приводящей к лоренцеву сокращению, отдается предпочтение.

Целью настоящей работы является выяснение вопроса о том, какие продольные размеры характеризуют взаимодействия частиц высоких энергий (то есть релятивистских объектов).

## 2. "ФОРМУЛА УДЛИНЕНИЯ"

Напомним, что упомянутое нетрадиционное определение понятия релятивистской длины основано на локационном методе измерения расстояний и следствием его является "формула удлинения". В его рамках, например, длина движущегося вдоль своего максимального размера стержня определяется средним расстоянием, пройденным световым сигналом в прямом и обратном направлениях по стержню, то есть от одного его конца до другого и обратно. При этом процедура измерения времени распространения светового сигнала тождественна соответствующей процедуре, служащей для проверки формулы релятивистского замедления времени. Фактически на основе последней формулы мы и приходим к "формуле удлинения" для продольных размеров. Важно также подчеркнуть, что именно указанный продольный размер "видит" \* точечный наблюдатель. На практике наблюдатель, находящийся, например, вблизи пути движения стержня,

---

\* "Видит" – это значит, что он одновременно фиксирует сигналы, которые в различные моменты времени были испущены, скажем, концами стержня.



будет "видеть" удлиненный в  $(1 + \beta)\gamma$  раз приближающийся стержень и сокращенный в  $(1 - \beta)\gamma$  раз пролетевший стержень и т.д.<sup>/4/</sup> Здесь  $\beta$  — скорость движения стержня ( $c = 1$ ),  $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ . При этом средний "видимый" размер будет определяться именно "формулой удлинения":

$$l = (1 + \beta)\gamma l_0 + (1 - \beta)\gamma l_0 = l_0 \gamma, \quad (1)$$

где  $l_0$  — длина данного стержня в покое.

Для нас здесь важно то, что процесс "видения" связан со взаимодействием излученных световых сигналов (в конечном счете — фотонов) с наблюдателем или регистрирующим прибором (в общем случае — пробным телом, частицей). Иными словами, отмеченные "видимые" размеры можно назвать динамическими, поскольку они отражают сам характер взаимодействия (в данном случае — электромагнитного). Вообще можно сказать, что по современным представлениям в основе механизма электромагнитных, так же, как и сильных, взаимодействий лежит фактически локация (или "видение") с помощью фотонов и глюонов соответственно.

### 3. МАСШТАБЫ ПРОДОЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В работе <sup>/5/</sup> (см. также <sup>/6,7/</sup> и обзор <sup>/8/</sup>) был поднят вопрос о том, на каких расстояниях происходит взаимодействие в процессах упругого и неупругого рассеяния при высоких энергиях. При этом было обращено внимание на то, что при больших энергиях могут играть роль большие, линейно растущие с энергией  $\epsilon$  продольные расстояния. Здесь  $\epsilon = \mu\gamma$  — энергия налетающей частицы,  $\mu$  — масса. Очевидно, что только при учете изложенных выше соображений и "формулы удлинения" (1) такое предположение можно считать обоснованным. Последующий анализ экспериментальных данных по электророждению адронов на нуклонах, фоторожждению на протонах и поглощению нейтрино и антинейтрино нуклонами действительно позволил сделать заключение о доминирующей роли больших продольных расстояний, растущих линейно с ростом энергии <sup>/7/</sup> или лоренц-фактора  $\gamma$ .

В связи со сказанным может быть также уместно коснуться следующих простых соображений <sup>/9/</sup>. По современным представлениям взаимодействующую частицу мы мыслим себе в виде облака виртуальных квантов. Если частица быстро движется, то покоящийся наблюдатель (мишень) как бы имеет возможность "увидеть" и чрезвычайно короткоживущие (с точки зрения системы покоя частицы) флуктуации виртуальных распадов.

При этом продольные расстояния, покрываемые виртуальными частицами, будут "в среднем" в  $\gamma$  раз больше поперечных, то есть очень значительными. Конечно, проявляющийся при взаимодействии эффективный размер будет зависеть, так сказать, от соотношения между вкладом "поперечных" и "продольных" квантов\*. Но здесь существенно то, что "средний" эффективный размер так или иначе должен расти с ростом лоренц-фактора (энергии). Подчеркнем, что приведенные рассуждения находятся, очевидно, в полном соответствии со сказанным в разделе 2 относительно прямой связи "формулы удлинения" с релятивистским замедлением времени.

Изложенные соображения <sup>/9/</sup> были использованы (в рамках реджеонной модели) для объяснения известного экспериментального факта сужения дифракционного конуса с ростом энергии. Исследование поведения дифференциальных сечений упругого рассеяния показывает, что параметр наклона монотонно растет с увеличением энергии (см., например, <sup>/10/</sup>). В рамках оптической модели это связано с ростом радиуса взаимодействия. Здесь следует специально отметить, что применение классической оптической модели к рассеянию частиц, сжатых вдоль оси рассеяния из-за лоренцева сокращения <sup>/11/</sup>, на первый взгляд, приводит к нужной форме дифракционного конуса. Однако по мере значительного роста энергии наблюдается противоречие с таким подходом <sup>/12/</sup>.

### 4. ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ ТОЖДЕСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА

Эксперименты в области физики высоких энергий, связанные с измерением пространственных размеров области взаимодействия (области генерации тождественных частиц), в настоящее время являются, по-видимому, наиболее прямыми опытами, позволяющими непосредственно наблюдать релятивистское изменение длины. Полученные недавно результаты <sup>/13-15/</sup>, скорее всего, не согласуются со сложившимся мнением о том, что релятивистски движущиеся объекты должны всегда испытывать лоренцево сжатие, а свидетельствуют в пользу "формулы удлинения", хотя значительные экспериментальные ошибки требуют дальнейших исследований в этом направлении.

\* Относящихся соответственно к областям, минимально и максимально удаленным от центра облака, имеющего форму эллипсоида вращения. При этом, строго говоря, в первом случае мы имеем окружность, а во втором — только две точки. Поэтому представляется, что их вклады во взаимодействие должны отражать такое соотношение.

В указанных экспериментах методом интерференции тождественных пионов определялись пространственные размеры области их генерации по отношению к различным (инерциальным) системам отсчета. Исследовались процессы множественного рождения, происходящие при взаимодействии отрицательных пионов с нуклонами и протонами (при импульсах  $p_{\pi^-} = 40 \text{ ГэВ/с}$ <sup>13</sup> и  $5 \text{ ГэВ/с}$ <sup>14</sup>) и антипротонов с протонами при импульсе  $22 \text{ ГэВ/с}$ <sup>15</sup>. Было получено указание, что продольные размеры области взаимодействия растут при переходе от системы центра инерции (с.ц.и.) к лабораторной системе (л.с.). Иначе говоря, в результате движения происходит релятивистское удлинение продольных размеров в полном соответствии с формулой (1).

## 5. РЕЛЯТИВИСТСКИЕ СТРУНЫ В АДРОННОЙ ФИЗИКЕ

Современные представления о строении адронов и механизме их взаимодействия при высоких энергиях привели к струнной модели (см., например, <sup>16</sup>). В ее рамках конфигурации глюонного поля, локализованного вдоль линий, соединяющих кварки, моделирует релятивистская струна с точечными массами на концах. При этом струна, соединяющая два кварка, моделирует мезон. Барионы, в образовании которых участвуют три кварка, могут, например, описываться треугольной струнной конфигурацией и т.д.

Струна — это одномерный протяженный объект. Для адронной физики наибольший интерес представляют релятивистские струны конечных размеров или же замкнутые струны. Прежде всего, длина струны может меняться, причем струна может даже стягиваться в точку. Скорость свободных концов всегда равна скорости света. Замкнутая струна пульсирует во времени, то сжимаясь в точку, то принимая первоначальную форму. Таким образом, релятивистская струна не может находиться в абсолютном покое, она существует ("живет") только в постоянном движении.

Заслуживает интереса рассмотрение поведения релятивистской струны с точки зрения несобственной (лабораторной) системы отсчета, где струна (ее центр инерции) движется со скоростью  $\beta$ . Пусть в первом случае она движется вдоль своего размера слева направо. По наблюдениям из л.с. левый конец пройдет к моменту стягивания в точку расстояние  $(1 + \beta)\gamma\ell_0/2$  и правый —  $(1 - \beta)\gamma\ell_0/2$ . Здесь  $\ell_0$  — длина струны в с.ц.и. Иными словами, с точки зрения л.с. струна будет вытянута в  $\gamma$  раз по сравнению с ее собственной длиной. Что касается струны, замкнутой и имеющей, например, в с.ц.и. форму окружности, то в л.с. мы будем иметь пульсирую-

щий эллипс, вытянутый в направлении своего движения\*. Таким образом, релятивистская "формула удлинения" (1) находит свое применение и при рассмотрении поведения адронов высоких энергий в рамках струнной модели.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы коснулись ряда подходов, служащих для объяснения экспериментальных данных о взаимодействиях частиц высоких энергий: по упругому и неупругому рассеянию  $\pi^-$ -мезонов на нуклонах, электророждению и рассеянию нейтрино на нуклонах, а также поведению дифференциального сечения упругого  $pp$ -рассеяния и др. Было отмечено, что эти подходы приобретают ясный физический смысл либо на основе концепции релятивистской длины, либо, по сути дела, неявно опираясь на нее. Поэтому вполне естественно, что продольные расстояния, характеризующие указанные взаимодействия, растут линейно с увеличением лоренц-фактора (энергии). Отмеченный факт находится в полном соответствии с результатами экспериментов по измерению пространственных размеров области взаимодействия в различных системах отсчета. Эти опыты указывают на увеличение соответствующего продольного размера в результате движения, что можно считать в настоящее время наиболее прямым свидетельством в пользу релятивистской "формулы удлинения". Последняя формула отражает также поведение быстро движущихся релятивистских струн.

Автор благодарит В.А.Никитина за обсуждения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-3482, Дубна, 1967.
2. Strel'tsov V.N. — Found. Phys., 1976, 6, p.293.
3. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-10912, Дубна, 1977.
4. Стрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-86-470, Дубна, 1986.
5. Грибов В.Н. и др. — ЯФ, 1965, 2, с.761.
6. Грибов В.Н. — ЖЭТФ, 1969, 57, с.1306.
7. Ioffe V.L. — Phys. Lett., 1969, 30B, p.123.
8. Николаев Н.Н. — ЭЧАЯ, 1981, 12, с.162.
9. Дятлов И.Т. — В сб.: Материалы 5-й Зимней школы по теории ядра и физике высоких энергий. ЛФТИ АН СССР, Л., 1970, ч.1, с.94.

\* У вращающейся струны, по наблюдениям из л.с., продольный размер будет опять-таки в  $\gamma$  раз больше поперечного.

10. Никитин В.А. — В сб.: Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий (Приморско, НРБ, 18-30 сентября 1978 г.) . ОИЯИ, Д1,2-12450, Дубна, 1979, с.5.
11. Krisch A.D. — Phys. Rev. Lett., 1967, 19, p.1149; Lectures in Theor. Phys., ed. by W.E.Brittin et al. Univ. of Colorado Press, Boulder, Colorado, 1966, vol.IX.
12. Никитин В.А. — ЭЧАЯ, 1970, 1, с.60.
13. Ангелов Н. и др. — ЯФ, 1983, 37, с.338.
14. Глаголев В.В. и др. — ЯФ, 1985, 42, с.181.
15. Стрельцов В.Н., Глаголев В.В. ОИЯИ, P1-86-725, Дубна, 1986.
16. Барбашов Б.М., Нестеренко В.В. — ЭЧАЯ, 1978, 9, с.989.

#### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.
Д3,4,17-86-747	Труды У Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 января 1987 года.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Стрельцов В.Н.  
Масштабы продольных расстояний  
при высоких энергиях

P2-87-135

Рассмотрен ряд подходов, применяемых для описания экспериментальных данных о взаимодействии частиц при высоких энергиях. Отмечается, что эти подходы приобретают ясный физический смысл только при учете концепции релятивистской длины. Подчеркивается, что линейный рост продольных расстояний во взаимодействиях с увеличением лоренц-фактора (энергии) согласуется с результатами опытов по исследованию влияния движения на пространственные размеры области генерации тождественных пионов. Полученные в этих опытах указания об увеличении соответствующего продольного размера можно считать наиболее прямым свидетельством в пользу релятивистской "формулы удлинения". Отмечается также, что последняя формула отражает поведение быстро движущихся релятивистских струн.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Strel'tsov V.N.  
Scales of Longitudinal Distances at High Energies

P2-87-135

Some approaches used to describe experimental data on particle interaction at high energies are considered. It is noted that these approaches obtain physical meaning only taking into account a concept of relativistic length. It is stressed that linear growth of longitudinal distances with increasing Lorentz factor corresponds to the results of experiments on the study of the effect of motion on space dimensions of identical pion generation regions. The obtained indication to the increasing of the corresponding longitudinal size as a result of motion could serve as the most direct evidence in favour of relativistic "elongation formula". It is also noted that the latter formula reflects the behaviour of fast-moving relativistic strings.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1987