

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-86-725

В.Н.Стрельцов, В.В.Глаголев

ПОПЫТКА НАБЛЮДЕНИЯ
РЕЛЯТИВИСТСКОГО ИЗМЕНЕНИЯ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В $\bar{P}P$ -РЕАКЦИЯХ
МНОЖЕСТВЕННОГО РОЖДЕНИЯ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1986

1. ВВЕДЕНИЕ

В известном методе интерферометрии интенсивностей Хэнбери Брауна — Твисса^{1,2/} (измерения угловых диаметров звезд) эффект определяется квадратом степени когерентности $|\gamma_{12}(r)|^2$. Например, в простейшем случае, когда звезда изображается круглым диском с однородной интенсивностью излучения,

$$|\gamma_{12}| = \frac{2J_1(r)}{r}, \quad (1)$$

где J_1 — функция Бесселя первого рода.

В последнее время указанный метод (связанный уже с интерференцией тождественных пионов) был использован для определения размеров области взаимодействия* в процессах множественного рождения (см., например, ^{3/}, где можно найти ссылки на другие работы).

Обычно экспериментальные данные для пар тождественных пионов с 4-импульсами p_1 и p_2 обрабатывались на основе формулы для их плотности в фазовом пространстве вида ^{4-6/}

$$W(p_1, p_2) = [1 + f(q)] W_\phi(p_1, p_2), \quad (2)$$

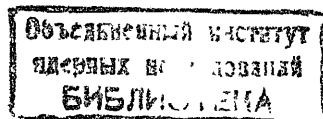
где $W_\phi(p_1, p_2)$ — плотность пар пионов в отсутствие интерференции. При этом f определялась выражением

$$f(q_0, q_T) = \frac{1}{1 + (q_0 t)^2} |\gamma_{12}(q_T R)|^2 = f_1(q_0 t) \left[\frac{2J_1(q_T R)}{q_T R} \right]^2, \quad (3)$$

где $q_0 = p_{01} - p_{02}$, $\vec{q}_T = \vec{q} - (q\vec{n})\vec{n}$, $\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$, $\vec{n} = (\vec{p}_1 + \vec{p}_2) / |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|$, t — время жизни источников.

Как уже отмечалось ранее ^{7/}, \vec{q}_T не является ковариантной величиной, поэтому ее использование, особенно при работе с различными системами отсчета, требует известной осторожности. Чтобы удовлетворить условию ковариантности, то есть чтобы данная вели-

* Области генерации таких пионов.



чина описывала пространственные компоненты 4-вектора, в выражении для \vec{q}_T нужно взять четырехмерное скалярное произведение. Но нетрудно показать, что это произведение обращается в нуль, а ковариантным, очевидно, является вектор \vec{q} . С другой стороны, именно \vec{q} определяет пространственную часть 4-вектора, временная компонента которого — q_0 . Впрочем, при $p_1 \approx p_2$, когда собственно и наблюдается эффект интерференции, q и \vec{q}_T близки между собой. Тем не менее, как показывает опыт, в переменных \vec{q} эффект проявляется более ярко. Поэтому именно этими переменными мы воспользуемся для нашего дальнейшего анализа.

Как известно, до самого последнего времени не было проведено прямых опытов по измерению пространственных размеров быстро движущихся материальных объектов, в которых можно непосредственно наблюдать релятивистское изменение длины. Конечно, за восемь десятилетий существования специальной теории относительности был проделан целый ряд различных, очень точных экспериментов по ее проверке, и сейчас нет никаких сомнений в справедливости этой теории. Однако сравнительно недавно возникла дискуссия относительно некоторых сделанных ранее на ее основе выводов. В частности, оказался затронутым вопрос о формуле преобразования продольных размеров (см., например, /8,9/). Следствием предложенного при этом отличного от принятого ранее определения понятия продольных размеров быстро движущихся объектов (релятивистской длины) /9/ является их увеличение (а не сокращение) в результате движения. Поэтому прямые опыты по наблюдению релятивистского изменения длины приобретают особый интерес. При этом, чтобы отличить одну возможность от другой, не требуется высоких точностей измерения, а обсуждаемые интерференционные опыты являются наиболее прямыми опытами такого типа.

Цель настоящей работы — продолжение начатого ранее исследования /7/ влияния движения на размеры области взаимодействия (области излучения вторичных пионов) в $\bar{p}p$ -соударениях.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальные данные получены с помощью 2-метровой жидководородной пузырьковой камеры "Людмила", экспонированной в пучке сепарированных антипротонов с импульсом 22,4 ГэВ/с на ускорителе ИФВЭ (Серпухов) /10/. Детали эксперимента опубликованы в работах /10,11/, а результаты изучения интерференционного эффекта (в спектрах пар тождественных пионов) в с.ц.и. изложены в /12/, где обсуждаются и методические вопросы обработки данных.

Представленные ниже результаты основываются на анализе 19300 событий с множественностью заряженных частиц $n_{ch} \geq 6$. Исследовался суммарный эффект интерференции для $\pi^-\pi^-$ - и $\pi^+\pi^+$ -пар. В качестве фонового распределения W_{ϕ} было взято распределение $\pi^+\pi^-$ -пар.

Для лучшего выделения эффекта интерференции проводилось обрезание по q_0 ($q_0 < 0,1$ ГэВ).

Средний размер области взаимодействия определялся подгонкой q^2 — распределений выражением

$$g(q^2) \approx a \left[1 + b \exp - \left(\frac{q^2 R^2}{4} \right) \right], \quad (4)$$

где a и b — свободные параметры, причем a корректирует нормировку.

Для определения продольного и поперечного размеров области испускания пионов изучалась зависимость эффекта интерференции от ориентации пар относительно оси столкновения. Так, для оценки влияния движения на продольные размеры области взаимодействия R_{\parallel} отбирались пары, удовлетворяющие дополнительным условиям $|\cos \theta| < 1/\sqrt{2}$ и $|\cos \phi| \geq 1/\sqrt{2}$. Здесь θ — угол между направлением пары \vec{n} и осью реакции \vec{x} , а ϕ — угол между плоскостью пары и плоскостью (\vec{n}, \vec{x}) *. Найденные поперечные размеры R_{\perp} соответствуют условию $|\cos \theta| \geq 1/\sqrt{2}$. Все упомянутые величины представлены в табл. 1, где также выписаны \tilde{R}_{\perp} , удовлетворяющие требованию $|\cos \theta| < 1/\sqrt{2}$. Лоренц-фактор γ определяет систему отсчета. Так, $\gamma = 1$ соответствует с.ц.и., $\gamma = 3,5$ — л.с., $\gamma = 3,5$ — антилабораторной системе (ал. с.) и т.д. Табл. 2 описывает зависимость средних зна-

Таблица 1
Пространственные размеры области взаимодействия
в различных системах отсчета

γ	R	R_{\perp}	\tilde{R}_{\perp}	R_{\parallel}
10	$1,64 \pm 0,39$	$1,64 \pm 0,39$	—	—
3,5 (л.с.)	$1,94 \pm 0,25$	$1,82 \pm 0,25$	—	—
2,3	$1,85 \pm 0,19$	$1,87 \pm 0,23$	$3,01 \pm 0,88$	—
1,8	$1,96 \pm 0,18$	$2,09 \pm 0,24$	$1,84 \pm 0,27$	$3,08 \pm 2,07$
1,5	$2,01 \pm 0,18$	$2,28 \pm 0,28$	$1,79 \pm 0,24$	$2,63 \pm 0,73$
1,3	$2,05 \pm 0,19$	$2,52 \pm 0,35$	$1,61 \pm 0,21$	$2,28 \pm 0,76$
1,0 (с.ц.и.)	$2,04 \pm 0,18$	$1,93 \pm 0,33$	$2,16 \pm 0,22$	$2,31 \pm 0,44$
1,3a	$2,14 \pm 0,21$	$1,49 \pm 0,29$	$2,60 \pm 0,28$	$2,82 \pm 0,93$
1,5a	$2,06 \pm 0,22$	$1,74 \pm 0,27$	$2,48 \pm 0,38$	$2,74 \pm 1,32$
1,8a	$2,25 \pm 0,28$	$1,99 \pm 0,29$	$2,89 \pm 0,64$	—
2,3a	$2,48 \pm 0,31$	$2,36 \pm 0,33$	$2,78 \pm 0,63$	—
3,5a (ал.с.)	$2,20 \pm 0,35$	$2,08 \pm 0,33$	—	—
10a	$1,71 \pm 0,45$	$1,71 \pm 0,45$	—	—

* Следует отметить, что в результате обрезания по углам статистика значительно уменьшается (в с.ц.и. с 36552 до 11265 пар пионов).

Таблица 2

Зависимость пространственных размеров
области взаимодействия от лоренц-фактора

γ	\bar{R}	\bar{R}_\perp	\bar{R}_\perp	\bar{R}_\parallel
1,0 (с.д.и.)	$2,04 \pm 0,18$	$1,93 \pm 0,33$	$2,16 \pm 0,22$	$2,31 \pm 0,44$
1,3	$2,09 \pm 0,20$	$2,00 \pm 0,32$	$2,16 \pm 0,19$	$2,63 \pm 0,59$
1,5	$2,03 \pm 0,20$	$2,01 \pm 0,27$	$2,17 \pm 0,24$	$(1,78 \pm 0,34)$ $2,83 \pm 0,72$
1,8	$2,10 \pm 0,23$	$2,04 \pm 0,26$	$2,43 \pm 0,40$	$(1,54 \pm 0,29)$ $3,30 \pm 1,93$
2,3	$2,16 \pm 0,20$	$2,11 \pm 0,28$	$2,89 \pm 0,56$	—
3,5 (л.с.)	$2,07 \pm 0,30$	$1,95 \pm 0,29$	—	—
10	$1,67 \pm 0,42$	$1,67 \pm 0,42$	—	—

чений указанных величин от лоренц-фактора. При этом для \bar{R} и \bar{R}_\perp взяты и средние значения ошибок. Величины R_\perp^2 , R_\parallel^2 и \bar{R}_\perp^2 , R_\parallel^2 соответственно рассматривались как статистически независимые. Для нахождения же \bar{R}_\parallel суммировались соответствующие q^2 -распределения.

Отметим, что полученные нами величины меньше соответствующих значений $R(q_T^2)$, которые обычно вычисляются на основе q_T^2 -распределений (например, в с.д.и. $R(q_T^2) = 2,42 \pm 0,23$), а сам эффект интерференции в переменной q^2 выражен заметнее.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Остановимся сначала на табл. 2. Видно, что пространственные размеры области взаимодействия и, в частности, ее поперечные размеры, которые дают основной вклад в \bar{R} по мере роста γ , практически не меняются при переходе от с.д.и. к л.с. В то же время для величины \bar{R}_\perp , полученной в результате исключения пар, определяющих R_\perp , и для продольного размера, хотя и со значительными ошибками, наблюдается тенденция к их увеличению по мере роста лоренц-фактора. Этот результат согласуется с аналогичными качественными выводами, сделанными в работах по исследованию размеров области излучения π^- -мезонов в π^-N -взаимодействиях при 40 ГэВ/с^{13/} и π^\pm -мезонов в π^-p -реакциях при 4,9 ГэВ/с^{7/}. Связывая собственную систему отсчета (систему покоя) области взаимодействия с с.д.и. *, мы можем иначе сказать, что в результате движения

* Эта система "выделена" своей симметрией по сравнению с другими системами отсчета, особенно при столкновении частиц одинаковой массы. В этом смысле наиболее предпочтительны тождественные частицы.

происходит релятивистское увеличение ее продольных размеров. В соответствии с общепринятым мнением в результате движения должно происходить лоренцево сжатие быстролетающих объектов. Поэтому для наглядности в табл. 2 в скобках приведены также соответствующие значения, вычисленные исходя из R_\parallel в с.д.и. на основании формулы лоренцева сокращения.

В нашей предыдущей работе^{7/} обсуждался физический смысл полученных результатов на основе использования наглядных моделей испускания пионов источниками^{14/}. Здесь же мы только хотим подчеркнуть, что опыты с частицами высоких энергий все больше свидетельствуют в пользу того, что релятивистские размеры* определяются источниками, которые излучают ("вспыхивают") одновременно (или "в среднем" одновременно) в собственной системе отсчета. Отмеченные же модели являются по сути дела проявлениями отличного от общеизвестного определения понятия релятивистской длины. Следствием этого определения, основанного на локационном методе измерения расстояний, является "формула удлинения", из которой следует, что в результате движения должно происходить увеличение продольных размеров в γ раз.

Недавно на основе упомянутых экспериментальных результатов^{13/} при сопоставлении корреляций в различных системах отсчета^{15/} (в этой связи см. также^{16/}) был сделан вывод, что экстремальные размеры области генерации пионов соответствуют кинематически "симметричной системе" отсчета.

Обратимся теперь к табл. 1. Как и ранее^{7/}, для R наблюдается тенденция к небольшому уменьшению при переходе от с.д.и. к л.с. Здесь она выражена слабее. При этом, правда, нужно учесть, что ранее мы пользовались нековариантной величиной q_T . При переходе в сторону ал.с. наблюдается, напротив, небольшое увеличение R . Что касается величины R_\perp , отражающей поперечные размеры и дающей основной вклад в R , особенно при больших γ , то при переходе в л.с. наблюдается сначала заметное возрастание, а при переходе к ал.с. — уменьшение R_\perp . Для \bar{R}_\perp и R_\parallel имеем соответственно обратные тенденции. Несомненно, здесь сказывается влияние направления скорости движения системы отсчета, которое исключается при переходе к средним величинам. Отметим также, что при очень больших γ конус пионов будет сильно сужаться, поэтому измеряемый данным методом поперечный размер (поскольку теперь $R \equiv R_\perp$) будет уменьшаться. Этот факт подтверждают таблицы 1 и 2.

Конечно, полученные нами результаты ввиду значительных экспериментальных ошибок требуют уточнения. Необходимо дальнейшее исследование затронутых вопросов.

* Пространственные размеры быстро движущихся объектов, в рассматриваемом случае объектом является область взаимодействия.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментальной оценки (методом интерференции тождественных пионов) продольного размера области взаимодействия в $\bar{p}p$ -столкновениях в различных системах отсчета указывают на его зависимость от лоренц-фактора. Соответствующие поперечные размеры сохраняют свое постоянство. Связав собственную систему отсчета области взаимодействия с с.ц.и., заключаем, что в результате движения происходит увеличение продольного размера. Этот факт — следствие релятивистского преобразования длины. Ввиду значительных экспериментальных ошибок необходимо, однако, дальнейшее исследование этой проблемы.

Авторы выражают свою признательность сотрудничеству Алма-Ата — Дубна — Москва — Прага — Хельсинки за предоставление экспериментального материала. Особенно мы благодарны В.И.Рудю за предоставление программы обработки и консультации, а Р.Ледницки — за ценные критические замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hanbury Brown R., Twiss R.Q. Phil. Mag., 1954, 45, p.663.
2. Хэнбери Браун Р. УФН, 1972, 108, 529.
3. Breakstone A. et al. Phys. Lett., 1985, 162B, p.400.
4. Копылов Г.И., Подгорецкий М.И. ЯФ, 1973, 18, 656.
5. Cossioni G. Phys. Lett., 1974, 49B, p.459.
6. Копылов Г.И., Подгорецкий М.И. ЖЭТФ, 1975, 69, 414.
7. Глаголев В.В. и др. ЯФ, 1985, 42, 181.
8. Cavalleri G., Salgarelli G. Nuovo Cim., 1969, 62A, p.722.
9. Strel'tsov V.N. Found. Phys., 1976, 6, p.293.
10. Алферов В.Н. и др. Препринт 74-53, 74-54, ИФВЭ, Серпухов, 1974; Губриенко К.И. и др. Препринт 74-55, ИФВЭ, Серпухов, 1974.
11. Abesalashvili L.N. et al. Phys. Lett., 1974, 52B, p.236.
12. Локтионов А.А. и др. ААДМПХ-сотрудничество. ЯФ, 1978, 27, с.1556; Baturyuna V.V. et al. ААДНМР Collab. Czech. J. Phys., 1981, B31, 475.
13. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1983, 37, 338.
14. Стрельцов В.Н. Сообщение ОИЯИ, P2-82-699, Дубна, 1982; P2-83-586, Дубна, 1983.
15. Подгорецкий М.И. ЯФ, 1983, 37, 455.
16. Стрельцов В.Н. Сообщение ОИЯИ, P2-82-404, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 ноября 1986 года.

Стрельцов В.Н., Глаголев В.В.

P1-86-725

Попытка наблюдения релятивистского изменения пространственных размеров области взаимодействия в $\bar{p}p$ -реакциях множественного рождения

Методом интерференции тождественных пионов определены пространственные размеры области взаимодействия (области генерации пионов) в $\bar{p}p$ -столкновениях при 22,4 ГэВ/с в различных системах отсчета. Как и ранее для π^-p -взаимодействий, снова получено указание о релятивистском увеличении продольного размера области взаимодействия при переходе от с.ц.и. к л.с.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Strel'tsov V.N., Glagolev V.V.

P1-86-725

An Attempt to Observe Relativistic Variation of Space Dimensions of Interaction Region in $\bar{p}p$ -Reactions of Multiple Production

By the method of interference of identical pions space dimensions of interaction region (region of pion generation) in $\bar{p}p$ -collisions at 22.4 GeV/c in different reference frames are determined. As earlier for π^-p -interactions, an indication of the relativistic increase of longitudinal dimensions of interaction region from the center-of-mass system to lab. reference frame is obtained.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986