

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИЗМЕРЕНИИ
РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.
ЭФФЕКТ ТОЖДЕСТВЕННОСТИ

М.И.Подгорецкий
Объединенный институт ядерных исследований,
Дубна

1. Экспериментальные работы, представленные на конференцию, вместе с опубликованными ранее, содержат информацию о взаимодействиях $\pi^+p, \pi^-s, pp, \bar{p}p$ и $\bar{p}n$ в интервале импульсов от 1 до 200 ГэВ/с.

Возможность корреляционного измерения размеров источника впервые была продемонстрирована в связи с т.н. эффектом $GGLP$ (см. /1/ и последующие экспериментальные работы; на конференции - доклады /2-4/). Однако принципиальные основы корреляционного метода в его современном понимании разработаны в течение последних пяти лет /5-8/. Основная идея, взятая из астрономии /6,9/, имеет своим исходным пунктом классические работы Г.С.Горелика /10,11/, установившего наличие интерференционных свойств света, испускаемого независимыми источниками. Применительно к пионам эта идея достаточно широко обсуждена в указанной выше литературе. Речь идет о бозе-симметризации амплитуды регистрации двух тождественных пионов, испущенных в разные моменты времени и из разных мест излучающего объема. В результате возникают интерференционные корреляции, повышающие вероятность регистрации тождественных пионов с близкими импульсами.

Соответствующие формулы модельно зависимы, но имеют общую структуру. Если, например, источники "включаются" одновременно и расположены на поверхности сферы радиуса R , а их время жизни $\tau \gg RC$, то вероятность наблюдения пионов с импульсами $\vec{p}_1$ и $\vec{p}_2$

$$W = W_0(1 + \Delta), \Delta = \frac{[2J_1(q_0 R)/q_0 R]^2}{1 + (q_0 \tau)^2} \approx \frac{\exp[-\frac{1}{4} q_0^2 R^2]}{1 + (q_0 \tau)^2}. \quad (1)$$

Здесь $q_0 = E_1 - E_2$, $\vec{q} = \vec{p}_1 - \vec{p}_2$, $\vec{q}_\perp$ - проекция $\vec{q}$ на плоскость, перпендикулярную $\vec{p} = \frac{\vec{p}_1 + \vec{p}_2}{2}$. Множитель W_0 соответствует фоновому распределению без интерференции. Обычно для экспериментального

определения W_0 используют пары $\pi^+ \pi^-$, хотя такой выбор требует еще специального обсуждения.

Наблюдая корреляции пар $\pi^+ \pi^-$ и $\pi^- \pi^-$, можно с помощью (1) измерить параметры R и τ . Можно также определить форму излучающей области, если сопоставить результаты для пар, вылетающих в разных направлениях.

В общем случае физический смысл величины τ довольно сложен. Она складывается из среднего времени жизни источников τ_1 , разброса моментов "включения" источников τ_2 и "продольного времени" $\tau_3 = \frac{R}{V}$, где V - скорость отбираемых пионов.

При современном состоянии эксперимента можно надеяться измерить только некоторую комбинированную эффективную величину τ . В отношении величины R следует подчеркнуть, что она связана с расстоянием между источниками, поставляющими тождественные пионы с близкими импульсами. В статистических схемах это совпадает с полными размерами излучающей области, но в мультипериферических моделях R , вероятно, характеризует расстояние между соседними узлами диаграмм. Заметим еще, что если пионы рождаются не непосредственно, а в результате распада достаточно долгоживущих резонансов, величины R и τ определяются пробегом и временем жизни этих резонансов.

Высказывались опасения, что $\pi\pi$ -взаимодействия в конечном состоянии могут существенно исказить нарисованную картину. Оценки, проведенные в /21/, показали, что это не так.

2. Экспериментальные результаты получены в работах /2,12-18/, где приведены спектры $q_\perp$ для различных значений q_0 и спектры q_0 для различных значений $q_\perp$. Параметры R и τ измерялись путем сопоставления двумерных распределений по $q_\perp$ и q_0 с выражениями типа (1); фоном в большинстве случаев служили пары $\pi^+ \pi^-$. На рис. 1 и 2 приведены для примера некоторые из полученных распределений (рис. 1 из /2/, рис. 2 из /18/). Из совокупности указанных работ с несомненностью следует как само существование интерференционных корреляций тождественных частиц, так и двумерный характер этого эффекта.

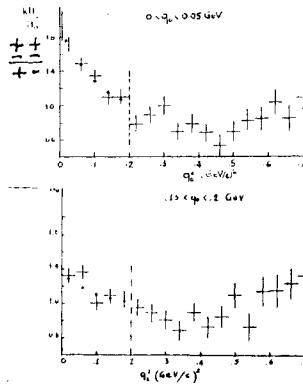


Рис. 1

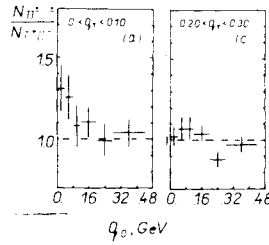


Рис. 2

В таблице дана сводка полученных результатов. По ряду обстоятельств их следует пока что считать предварительными. Отметим, в частности, что в большинстве случаев отношение $\frac{W(0,0)}{W(\infty,\infty)} < 2$, т.е. не согласуется с формулами типа (1). Это может быть связано со многими

Таблица

№ работы	Реакция	Импульс, ГэВ/с	R, f	$c\tau, f$
/2/	$\bar{p}n \rightarrow 3\pi^+ 2\pi^- n$	$1,0 \pm 1,6$	$1,29 \pm 0,06$	$1,47^{+0,18}_{-0,16}$
/12/	$K^+p \rightarrow K^+p 2\pi^+ 2\pi^-$	8,25	$0,8 \pm 0,08$	$\sim 1,0$
/13/	$p\bar{p} \rightarrow p\pi^+ \pi^+ \dots, n_c \geq 6$	28,5	$1,3 \pm 0,1$	$0,3 \pm 0,4$
/14/	$\pi^+p \rightarrow \pi^+p 2\pi^+ 2\pi^- \rightarrow \pi^+p 3\pi^+ 3\pi^-$	4,25	$1,0^{+0,4}_{-0,2}$	$0,7^{+0,6}_{-0,3}$
/15/	$\pi^+p \rightarrow \pi^+ \pi^+ \dots, n_c \geq 6$ $\pi^-s \rightarrow \pi^- \pi^- \dots, n_c \geq 6$	40	$1,3 \pm 0,3$ $5,1 \pm 1,5$	$0,5 \pm 0,4$ $2,0 \pm 2,2$
/16/	$\pi^+p \rightarrow p 2\pi^+ 3\pi^- X^0$ $\rightarrow p 2\pi^+ 3\pi^-$ $\rightarrow n 3\pi^+ 3\pi^-$	$11,2$	$1,04 \pm 0,1$	$0,41 \pm 0,15$
/17/	$\pi^-s \rightarrow p\pi^- \pi^+ \pi^+$	3,7	$2,6 \pm 1,2$	$0,76 \pm 0,47$
/18/	$\bar{p}p \rightarrow \pi^+ \pi^- \dots, n_c \geq 6$	22,4	$3,1 \pm 0,4$	$3,3 \pm 1,4$

причинами; не исключено, что существенную роль играют особенности использованного фона. Для пар $\pi^+ \pi^-$ интерференционные корреляции отсутствуют в рамках простейших статистических моделей, но они могут иметь место для мультипериферических схем и даже для таких статистических моделей, в которых мезоны образуются в результате распада промежуточных резонансов. Это может понизить отношение $\frac{W(0,0)}{W(\infty,\infty)}$ и несколько изменить параметры R и $c\tau$. Из сказанного ясна важность специального изучения и сопоставления различных способов конструирования фона^{/12,15,17/}. Не исключено, что в некоторых случаях окажется целесообразным применять процедуры "перемешивания" вторичных частиц, описанные в^{/19/}.

Во всех работах величина $c\tau$ оказалась довольно малой ($c\tau \lesssim R$). Поскольку одна из компонент $c\tau$ имеет чисто геометрическую природу^{/8,19/}, истинное время жизни еще меньше, что плохо согласуется с наивными статистическими представлениями. Следует, впрочем, иметь в виду, что измеряемое значение $c\tau$ зависит от скорости источника. Кроме того, ошибки в определении энергии также могут привести к фиктивному уменьшению величины $c\tau$.

Из работ^{/14-16/}, по-видимому, следует, что в $\pi^\pm p$ -взаимодействиях при $n_c \geq 6$ величина $R \sim 1f$ и мало зависит от знака и энергии первичных частиц в интервале от 4 до 40 ГэВ/с. Интересно, что такое же значение R получено также для взаимодействий K^+p при 8,25 ГэВ/с^{/12/} и $p\bar{p}$ при 28,5 ГэВ/с^{/13/}. Иначе ведут себя аннигиляционные процессы. При импульсе $(1 \pm 1,6)$ ГэВ/с величина R примерно такая же, как для πp - и $p\bar{p}$ -взаимодействий^{/2/}. Однако с увеличением энергии R сильно растет^{/18/}. Вместе с тем параметры удара в процессах с аннигиляцией, по-видимому, в несколько раз меньше, чем в процессах без аннигиляции^{/20/}. Причины этих различий пока что неизвестны.

Следует подчеркнуть, что "корреляционные размеры" не должны обязательно совпадать с размерами, определяемыми из анализа поперечных импульсов вторичных частиц или с помощью данных по упругому рассеянию. В каждом из этих случаев мы получаем информацию о различных сторонах сильных взаимодействий. Поэтому все указанные подходы надо считать не конкурирующими, а дополняющими друг друга.

Связи с исследованиями в области релятивистской ядерной физики интересны корреляции тождественных частиц, образующихся во взаимодействиях с участием ядер. В настоящее время известны такие результаты по $\pi\pi$ -корреляциям в $\pi\pi$ -взаимодействиях при 3,7 ГэВ/с^{/17/} и 40 ГэВ/с^{/15/}. В обеих работах отмечается сильное увеличение R по сравнению с πp -взаимодействиями. Интересно было бы выяснить, как

ведут себя $\pi\pi$ -корреляции (а также корреляции между быстрыми протонами) при переходе к более тяжелым ядрам.

Выше уже отмечалось, что корреляционный анализ, в принципе, позволяет получить представление о форме излучающей области. Такие попытки были предприняты при изучении π^+p -взаимодействий^{/14/} и $\bar{p}p$ -взаимодействий^{/15/}. В обеих работах получены указания на отступления от сферы, однако в первом случае речь идет об эллипсоиде, сжатом в направлении движения первичных частиц, а во втором случае - о вытянутом эллипсоиде. Дальнейшее изучение этого вопроса представляет несомненный интерес.

Корреляции тождественных частиц имеют, по-видимому, непосредственное отношение к азимутальным корреляциям и к корреляциям поперечных импульсов, но этот вопрос выходит за рамки моей темы. Недостаток времени не позволяет также обсудить методы определения параметра удара и сопоставить их с корреляционным методом.

Итоговый вывод таков: изучение корреляций тождественных частиц может дать новые важные сведения о свойствах сильных взаимодействий, если удастся существенно повысить точность экспериментальных данных. Вероятно, это обстоятельство потребует более широкого использования электронных методик, хотя пузырьковые камеры тоже не сказали еще здесь своего последнего слова.

Литература

1. G.Goldhaber, S.Goldhaber et al., Phys.Rev., 120, 300 (1960).
2. G.Borroni, F.Marchetto et al., 112/A2-66.
3. N.N.Biswas, J.M.Bishop et al. 1022/A2-107.
4. A.Quarenzi-Vigundelli, G.Di Caporiacco et al., 1202/A2-132.
5. В.Р.Гришин, Г.И.Копылов, М.И.Подгорецкий. ИФ, 13, 1116 (1971).
6. Г.И.Копылов, М.И.Подгорецкий. ИЭТФ, 69, 414 (1975); см. также литературу, цитированную в этой статье.
7. E.V.Shuryak. Phys.Lett., 44B, 387 (1973).
8. G.Cocconi. Phys.Lett., 49B, 459 (1974).

9. R.Hanbury Brown, R.Q.Twiss. Phil.Mag., 45, 663 (1954).
10. Г.С.Горелик. ДАН СССР, 58, 45 (1947).
11. Г.С.Горелик. ДАН СССР, 83, 549 (1952).
12. F.Gard, V.P.Henry et al. Nucl.Phys., 102B, 221 (1976).
13. J.Canter, F.T.Dao et al. BNL-20516 (1975).
14. M.Deutschmann, R.Honecker et al. Nucl.Phys., 103 B, 198 (1976).
15. N.Angelov, L.A.Didenko et al. 205/A2-108.
16. E.Calligaris, G.Cecchet et al. Lett. Nuovo Cim., 16, 129 (1976).
17. В.Д.Барков, В.Б.Гаврилов и др. ИТЭФ-70 (1976).
18. А.А.Доктионов, М.С.Такибаев и др. 160/A2-10.
19. G.I.Kopylov, M.I.Podgoretsky. Commun. JINR, E2-9285, Dubna, 1975.
20. H.Braun, P.Fischer et al. 377/A2-109.
21. Г.И.Копылов. 939/A2-II9.