

e
+

объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

4831/2-81

28/9-81
P1-81-471

Н.С.Ангелов, Н.О.Ахабабян, В.Г.Гришин,
Р.А.Кватадзе

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ
ТОЖДЕСТВЕННОСТИ ПИОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ В π^-p -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ $P = 40$ ГэВ/с

Направлено в ЯФ

1981

§1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение корреляционных явлений в адронных соударениях позволяет получить информацию о динамике сильных взаимодействий. Многочастичные корреляции обычно изучаются с помощью стандартных R и C-функций^{/1,2/}. Двухчастичные корреляции тождественных пионов, связанные с бозе-симметрией, проявляются в том, что пионы одинакового заряда и близкими четырехмерными импульсами ($P_1 = P_2$) образуются чаще, чем при отсутствии интерференции^{/3-6/}:

$$d\sigma_{\pm\pm} = d\bar{\sigma}_{\pm\pm} (1 + f(P, q)), \quad /1/$$

где $P = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)$, $q = P_1 - P_2$ и $d\bar{\sigma}$ - сечение образования пары π -мезонов без учета интерференции. Функция $f(P, q)$ имеет следующие общие свойства: $f(P, q) \rightarrow 1$ при $q \rightarrow 0$ и $f(P, q) \rightarrow 0$, когда любая из компонент q достигает больших значений. Конкретный вид $f(P, q)$ зависит от пространственно-временных характеристик области излучения пионов. Из данных по интерференции π^- -мезонов, образованных в π^-p -взаимодействиях при $P = 40$ ГэВ/с, были определены пространственно-временные размеры (r, r') области генерации этих частиц^{/7/}.

В настоящей работе эффекты интерференции изучаются по распределениям эффективных масс двух- и трехпионных систем, образованных в π^-p -соударениях при $P = 40$ ГэВ/с. Преимуществом такого подхода является одномерный характер распределений, что позволяет наблюдать эффект при относительно небольшой статистике, а также возможность его использования для анализа свойств многопионных систем. Недостатком - потеря информации из-за интегрирования по переносной q_0 при переходе от /1/ к распределению по эффективной массе ($q_0 = E_1 - E_2$).

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной π^- -мезонами на ускорителе ИФВЭ. Основные методические вопросы эксперимента изложены в работе^{/8/}. Для анализа было отобрано ≈ 15000 π^-p -взаимодействий с числом вторичных заряженных частиц $n_{\pm} \geq 4$.

§2. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ДВУХ π -МЕЗОНОВ

Изучалась интерференция двух π -мезонов, образованных в инклюзивных реакциях:

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^- + \pi^- + X, \quad /2/$$

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \pi^+ + X. \quad /3/$$

Одной из важных проблем при исследовании эффекта интерференции является выбор фонового распределения. В качестве фоновых кривых были использованы распределения по эффективной массе M пар одноименно заряженных пионов из разных событий. Так как характеристики пионов существенно зависят от p_{\pm} , то при построении фоновых распределений использовались π -мезоны из событий с одинаковой множественностью вторичных заряженных частиц. Для получения инклюзивных фоновых распределений спектры по M при разных p_{\pm} суммировались с весами, соответствующими их вкладу в экспериментальное распределение /учет топологии событий/. Далее, фоновые спектры нормировались на экспериментальные, начиная с некоторого значения эффективной массы ($M_{гр}$), и строились величины отношений $R(M) = N_{эк.}(M)/N_{ф.}(M)$. Они приведены на рис. 1 и 2. Как видно, при малых массах $M \leq 0,4$ ГэВ/ наблюдается превышение экспериментальных распределений над фоновыми. Отметим, что разрешение по эффективной массе в области интерференции $\delta \approx 5$ МэВ. Оно меньше, чем величина интервала $\Delta M = 20$ МэВ/, поэтому функция разрешения не учитывалась^{9/}. Распределения $R(M)$ аппроксимировались следующим выражением:

$$R(M) = A_1 (1 + A_2 \cdot \text{EXP}(-B(M^2 - 4m_{\pi}^2))) , \quad /4/$$

где A_1 - нормировочный коэффициент, значение которого зависит от $M_{гр}$. При $M_{гр} = 2m_{\pi}$ величина $A_1 < 1$ /табл.1/, а при нормировке вне интерференционного эффекта $M_{гр} \geq 0,6$ ГэВ/ $A_1 \approx 1$ /см.

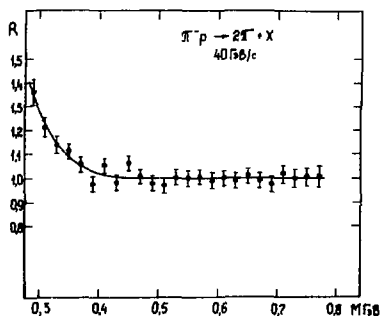


Рис.1. Распределение $R(M)$ для $(\pi^- \pi^-)$ -систем. Кривая - результат аппроксимации.

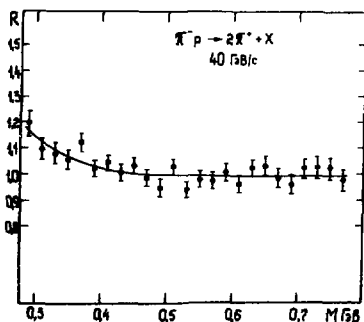


Рис.2. Распределение $R(M)$ для $(\pi^- \pi^+)$ -систем. Кривая - результат аппроксимации.

Таблица 1

Значения параметров аппроксимации экспериментальных данных по формуле /4/ при $M_{гр.} = 2m_{\pi}$

Тип системы	A_1	A_2	$B / \text{Фм}^2$	$\chi^2 / \text{ст.св.}$
$\pi^- \pi^-$	$0,974 \pm 0,006$	$0,45 \pm 0,06$	$1,4 \pm 0,2$	$30,6/27$
$\pi^+ \pi^+$	$0,977 \pm 0,008$	$0,20 \pm 0,04$	$0,8 \pm 0,2$	$30,2/27$

рис.1,2/. Величина A_2 определяет вклад интерференционного члена, а B - параметр наклона. Значения A_2 и B не зависят от способа нормировки распределений.

Для тяжелых покоящихся источников параметр B можно связать с пространственно-временными характеристиками / τ и τ' / области излучения пионов^{/10/}:

$$B = \frac{1}{6} \tau^2 + \frac{1}{3} \gamma^2 v^2 \tau^2, \quad /5/$$

где v - скорость пары, а $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}}$. При учете движения источников значение B слабо зависит как от направления, так и от скорости пары и определяется, в основном, ширинами источников излучения и средними импульсами пионов.

В табл.1 приведены значения параметров аппроксимации для $(\pi^- \pi^-)$ и $(\pi^+ \pi^+)$ -систем. Значения A_2 и B для $(\pi^- \pi^-)$ -систем больше, чем для $(\pi^+ \pi^+)$. Если предположить, что мы, в основном, наблюдаем интерференцию пионов, являющихся продуктами распадов резонансов (ρ, f), тогда значение B для $(\pi^- \pi^-)$ -систем должно быть больше, чем для $(\pi^+ \pi^+)$. Это связано с тем обстоятельством, что π^- -мезоны в области фрагментации налетающего пиона образуются от распадов ρ^0, ρ^- и f -резонансов, а π^+ -мезоны - только при распадах ρ^0 и f -мезонов. Причем в этой области ρ^- -мезонов рождается примерно в два раза больше, чем ρ^0 -мезонов. Поэтому в среднем область излучения π^- -мезонов имеет большие размеры, чем область испускания π^+ -мезонов.

В некоторых случаях $(\pi^+ \pi^-)$ -пары могут вести себя при $q \rightarrow 0$ подобно парам тождественных пионов^{/10/}, например, когда π^\pm -мезоны являются продуктами распада резонансов ρ^+ и ρ^- . Поэтому было получено распределение $R(M)$ для $(\pi^+ \pi^-)$ -систем. Оказалось, что значения $R(M)$ в пределах ошибок /+5%/ не отличаются от единицы в области $M \leq 0,4$ ГэВ. Таким образом, в области интерференции мы не наблюдаем корреляций для $(\pi^+ \pi^-)$ -систем.

Следует отметить, что при выбранной процедуре построения фоновых распределений возможно нарушение законов сохранения

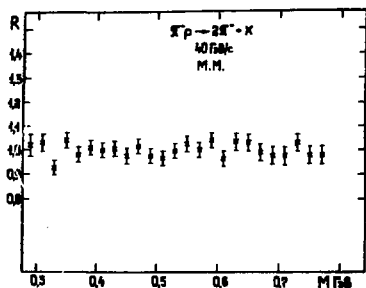


Рис.3. Зависимость $R(M)$ от эффективной массы для $(\pi^-\pi^-)$ -систем в мультипериферической модели.

энергии-импульса или других динамических корреляций, не связанных с интерференцией пионов. Для выяснения влияния возможных нарушений строились распределения по $R(M)$ для искусственных событий, полученных методом Монте-Карло по мультипериферической модели^{/11,12/}, где эффект интерференции не учитывался. Было генерировано ≈ 15000 событий. Эта модель хорошо воспроизводит наши экспериментальные данные^{/12/}. По описанной выше процедуре были построены распределения по $R(M)$ /рис.3/. Видно, что значения $R(M) \approx 1$, т.е. при $M \leq 0,8$ ГэВ влияние нарушения законов сохранения в пределах ошибок не существенно.

Изучались зависимости параметров A_2 и B от продольной скорости в с.ц.и. $Y(2\pi)$ и квадрата поперечного импульса $P_{\perp}^2(2\pi)$ системы двух пионов. Как видно из табл.2 и 3, значения этих параметров для $(\pi^-\pi^-)$ -систем слабо зависят от $Y(2\pi)$ и $P_{\perp}^2(2\pi)$.

Таблица 2

Величины параметров аппроксимации для $(\pi^-\pi^-)$ -систем при разных значениях $Y(2\pi)$

$Y(2\pi)$	A_1	A_2	$B/\text{Фм}^2$	$\chi^2/\text{ст.св.}$
$Y < -1$	$0,931 \pm 0,027$	$0,45 \pm 0,15$	$0,8 \pm 0,4$	37,6/27
$-1 < Y < 1$	$0,978 \pm 0,007$	$0,37 \pm 0,07$	$1,4 \pm 0,3$	20,6/27
$Y > 1$	$0,956 \pm 0,015$	$0,69 \pm 0,15$	$1,3 \pm 0,4$	32,8/27

Таким образом, эффект интерференции четко проявляется в распределениях по эффективным массам тождественных пионов. Значение B больше для $(\pi^-\pi^-)$ -систем, чем для $(\pi^+\pi^+)$. Это можно связать с разными механизмами образования π^+ - и π^- -мезонов. Значения параметров A_2 и B слабо зависят от продольной скорости и квадрата поперечного импульса пары пионов.

Таблица 3

Величины параметров аппроксимации для $(\pi^+ \pi^-)$ -систем при разных значениях $P_{\perp}^2(2\pi)$

$P_{\perp}^2(2\pi) / \Gamma_{ЭВ}/c^2$	A_1	A_2	$B / \Phi_m/2$	$\chi^2/ст.св.$
$P_{\perp}^2 < 0,05$	$0,976 \pm 0,013$	$0,48 \pm 0,17$	$2,2 \pm 0,9$	$27,7/27$
$0,05 < P_{\perp}^2 < 0,5$	$0,973 \pm 0,008$	$0,41 \pm 0,07$	$1,3 \pm 0,3$	$42,9/27$
$P_{\perp}^2 > 0,5$	$0,966 \pm 0,016$	$0,58 \pm 0,18$	$1,1 \pm 0,4$	$29,5/27$

§3. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ТРЕХ π -МЕЗОНОВ

Интерференция трех π -мезонов исследовалась путем анализа распределений по эффективной массе. Фоновые распределения строились двумя способами. В первом случае брались π -мезоны из разных событий, а во втором - использовались два π -мезона из одного события и к ним добавлялся третий из другого, чтобы учесть двухчастичные корреляции. При этом, как и для (2π) -систем, учитывались топологии событий. Нормировка фонового распределения на экспериментальное проводилась вне интерферен-

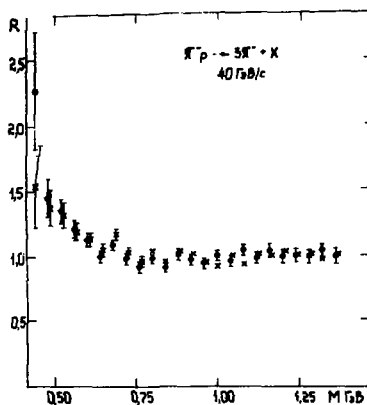


Рис. 4. Величины отношений $R(M)$ для $(\pi^+ \pi^- \pi^-)$ -систем при разных фоновых распределениях $\frac{1}{2}$ - без учета двухчастичной интерференции, $\frac{1}{4}$ - с учетом двухчастичной интерференции/.

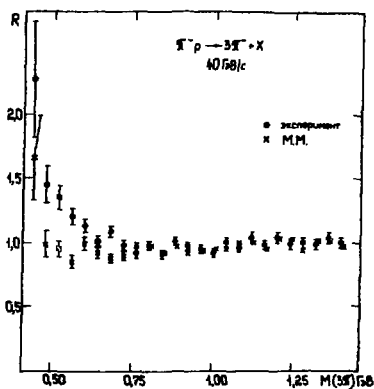


Рис. 5. Величины отношений $R(M)$ для $(\pi^+ \pi^- \pi^-)$ -систем $\frac{1}{2}$ - экспериментальное распределение, $\frac{1}{4}$ - мультитиперическая модель/.

ционной области - в интервале масс /0,8-1,6/ ГэВ. При нормировке $M_{гр.} \geq 0,8$ ГэВ значения $R(M)$ не зависят от $M_{гр.}$. На рис. 4 представлены величины отношений $R(M)$ для $(\pi^-\pi^-\pi^+)$ -систем при двух разных фоновых распределениях. Видно, что при $M \leq 0,6$ ГэВ значения $R(M) > 1$. Использование разных фоновых распределений дает результаты, совпадающие в пределах ошибок, за исключением первой точки. Это указывает на то, что наблюдаемый эффект невозможно объяснить с помощью двухчастичной интерференции. Аналогичный результат получается и для $(\pi^+\pi^+\pi^-)$ -систем.

Изучались также корреляции для нетождественных пионов в распределениях $(\pi^-\pi^-\pi^+)$ -систем по эффективной массе. Оказалось, что корреляции при $M \leq 0,6$ ГэВ полностью объясняются двухчастичной $(\pi^-\pi^-)$ интерференцией. Это указывает на малость корреляции $(\pi^-\pi^+)$ -пар при $q \rightarrow 0$ /см. §2/.

Для выяснения влияния нарушения законов сохранения при построении фоновых распределений были получены величины отношений $R(M)$ для $(\pi^-\pi^-\pi^-)$ -систем в мультипериферической модели. На рис. 5 приведены значения $R(M)$ для экспериментального распределения и для модели. Видно, что для мультипериферической модели $R(M) \approx 1$ во всем интервале эффективных масс, кроме первой точки, где, по-видимому, существенно влияние законов сохранения. В целом, превышение экспериментального распределения по $M(\pi^+\pi^+\pi^+)$ над фоновым невозможно объяснить влиянием нарушения законов сохранения энергии-импульса.

§4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе спектров эффективных масс двух- и трехпионных систем, образованных в π^-p -взаимодействиях при $P \approx 40$ ГэВ/с, получены следующие основные результаты.

1. Эффекты интерференции для пар тождественных пионов отчетливо проявляются при $M \leq 0,4$ ГэВ. Подобных корреляций для нетождественных пионов не обнаружено.

2. Эффект интерференции более значителен для $(\pi^-\pi^-)$ -систем, чем для $(\pi^+\pi^+)$, что можно объяснить разными механизмами образования π^- - и π^+ -мезонов.

3. Значения параметров, описывающих интерференционный эффект (A_2B), для $(\pi^-\pi^-)$ -систем слабо зависят от их продольной скорости и квадрата поперечного импульса.

4. Наблюдены интерференционные корреляции для трех тождественных пионов, которые невозможно объяснить только вкладом двухчастичных корреляций.

Авторы признательны участникам Сотрудничества по исследованиям множественных процессов на двухметровой пропановой камере за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин В.Г. В кн.: Труды IV Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975. ОИЯИ, Д1,2-9224, Дубна, 1975, с.11; УФН, 1979, т.127, с.51.
2. Бацкович С. и др. ЯФ, 1980, т.31, с.1234.
3. Гришин В.Г., Копылов Г.И., Подгорецкий М.И. ЯФ, 1971, т.13, с. 1116.
4. Копылов Г.И., Подгорецкий М.И. ЯФ, 1971, т.14, с.1081.
5. Копылов Г.И., Подгорецкий М.И. ЯФ, 1973, т.18, с.656.
6. Sospini G. Phys.Lett., 1974, 49B, p.459.
7. Ангелов Н.С. и др. ЯФ, 1977, т.26, с.796; ОИЯИ, P1-81-190, Дубна, 1981.
8. Абдурахимов А.У. и др. ЯФ, 1973, т.18, с.545.
9. Ангелов Н.С. и др. ОИЯИ, P1-80-593, Дубна, 1980.
10. Ледницки Р. ОИЯИ, B2-3-11460, Дубна, 1978.
11. Волков Е.И. и др. ЯФ, 1973, т.17, с.407.
12. Волков Е.И., Канарек Т.И. ОИЯИ, 1-8035, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 июля 1981 года.