

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-85-639

ДВУХПРОТОННЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ
В α -С-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,2 ГЭВ/С НА НУКЛОН

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1985

Н. Ахабабян, Д. Армутлийски, Е. Богданович, Л. А. Диденко,
 А. П. Гаспарян, В. Г. Гришин, И. А. Ивановская, Т. Канарек,
 Е. Н. Кладницкая, К. Миллер, В. Ф. Никитина, Я. Плюта,
 М. И. Соловьев, З. Стругальский, А. П. Чеплаков
 Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Е. Балеа, О. Балеа, С. Болдеа, С. Дица, Т. Понта
 Центральный институт физики, Бухарест

Т. Павляк
 Варшавский технический университет

Е. Бартке, М. Ковальски
 Институт ядерной физики, Краков

Р. Бекмирзаев
 Самаркандский государственный университет

Р. Р. Мехтиев
 Институт физики АН АзССР, Баку

З. В. Метревели
 Институт физики высоких энергий Тбилисского
 государственного университета

ВВЕДЕНИЕ

Изучение двухчастичных корреляций тождественных частиц, испускаемых с близкими импульсами в соударениях адронов высоких энергий, позволяет получить информацию о пространственно-временных характеристиках излучающих источников. Теоретические основы этого подхода для пар тождественных бозонов изложены в работах /1,2/, а для пар тождественных фермионов - в /3,4/.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию двухчастичных корреляций протонов, испускаемых с близкими импульсами в соударениях $\alpha + {}^{12}\text{C} \rightarrow k\rho + X$ ($k = 2, 3, \dots$) при начальном импульсе на нуклон $p_{\alpha}/A = 4,2$ ГэВ/с. С целью оценки размеров области испускания делается сравнение с теоретическими корреляционными функциями.

Теоретический вид корреляционной функции для тождественных фермионов в нерелятивистском приближении дан в работе /3/, релятивистский случай рассмотрен в работе /4/. Для протонов необходимо учесть, кроме квантовой статистики, кулоновское и сильное взаимодействие в конечном состоянии. Первые два фактора имеют деструктивный характер, вклад сильного взаимодействия в корреляционную функцию положителен. Используемые нами корреляционные функции вычислялись по формулам, взятым из работы /4/. В предположении независимых источников корреляционная функция имеет вид:

$$B(q, p) = A_c^{(H)}(k^*) [1 + B_0(q, p, \tau_0, \tau_0) + B_i(q, p, \tau_0, \tau_0)]. \quad (1)$$

Члены $B_0(q, p, \tau_0, \tau_0)$, $A_c(k^*)$ и $B_i(q, p, \tau_0, \tau_0)$ описывают эффекты квантовой статистики, кулоновского отталкивания и сильного взаимодействия в конечном состоянии. Их можно вычислить по формулам (8), (20) и (10-11) работы /4/. Параметры τ_0 и τ_0 , характеризующие пространственные и временные свойства источника, входят в формулу (1) через гауссовские распределения расстояний и разности времени эмиссии двух источников:

$$W(x) = \frac{1}{(4\pi)^{3/2} \tau_0^3 \tau_0} \exp\left(-\frac{x^2}{4\tau_0^2} - \frac{t^2}{4\tau_0^2}\right). \quad (2)$$

Кинематические переменные определены согласно общепринятым правилам (рис. 1): P_1, P_2 это 4-импульсы, \vec{P}_1, \vec{P}_2 - 3 импульсы протонов, \vec{v} - скорость протонных пар;

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2; \quad q = P_1 - P_2; \quad \vec{q} = \vec{P}_1 - \vec{P}_2; \quad q_0 = |E_1 - E_2|;$$

$$E = E_1 + E_2; \quad \vec{q}_T = \vec{q} - \vec{n}(\vec{q} \cdot \vec{n}); \quad \vec{n} = \frac{\vec{P}}{|\vec{P}|};$$

$$q_T = \sqrt{q^2 - q_0^2}; \quad \vec{v} = \frac{|\vec{P}|}{E}; \quad k^* = \frac{1}{2} \sqrt{q^2}.$$

Теоретические корреляционные функции при разных значениях параметра τ_0 и фиксированных значениях остальных параметров приведены в ра-

боте^{4/}, где показано, что максимум корреляционной функции тем выше, чем меньше значение τ_0 . Экспериментальная корреляционная функция построена как отношение плотностей протонных пар в фазовом пространстве к плотности протонных пар фона:

$$R(q, \rho) = \frac{D(q, \rho)}{D_{\text{фон}}(q, \rho)} \quad (3)$$

О величине интерференционного эффекта может свидетельствовать интеграл $\int R(q_T) dq_T$, вычисленный в области эффекта ($q_T < 0,15$ ГэВ/с). Зависимость значений интеграла $I = \int_0^{0,15} R(q_T) dq_T$ от среднеквадратичного радиуса области излучения показана на рис. 2. Видно, что значения I растут с уменьшением радиуса излучения. Надо заметить, что среднеквадратичный радиус связан с параметром τ_0 соотношением: $\langle r^2 \rangle^{1/2} = \sqrt{3} \tau_0^{1/3}$.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Для анализа двухпротонных корреляций использованы взаимодействия $\alpha + C_3H_8$, зарегистрированные в 2-метровой пропановой пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ при первичном импульсе на нуклон $\rho_\alpha/A = 4,2$ ГэВ/с. Из полного числа 3307 ($\alpha + C_3H_8$) взаимодействий согласно критериям, приведенным в работе^{16/}, было отобрано 1467 ($\alpha - C$) - взаимодействий. Для исследования корреляционных функций взято 1439 событий с числом протонов не меньше 2:

$$\alpha + C \rightarrow k p + X \quad (k = 2, 3, \dots)$$

Средняя множественность протонов в этих событиях составляет $4,66 \pm 0,05$.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Экспериментальная корреляционная функция от переменной q_T была построена согласно формуле (3). В качестве фонового распределения бралось распределение для случайно "смешанных" пар протонов из разных событий.

На рис. 3 представлены корреляционные функции для двух импульсных интервалов протонов: а) $0,3 < p \leq 1,0$ ГэВ/с и б) $p \leq 0,3$ ГэВ/с. Это разделение соответствует двум разным механизмам эмиссии протонов: а) протоны из первой, "быстрой" стадии взаимодействия; б) медленные испарительные протоны. Верхнее ограничение на импульсы "быстрых" протонов связано с возможностью их идентификации. Точки на рис. 3 показывают поведение экспериментальных корреляционных функций. Сплошные линии соответствуют корреляционным функциям, вычисленным согласно формуле (1) при значениях параметров: $\nu = 0,60$, $\tau_0 = 1$ фм, $q_0 = 0,01$ ГэВ/с, $\tau_0 = 1,5$ фм для "быстрых" протонов и $\nu = 0,25$, $\tau_0 = 1$ фм, $q_0 = 0,01$ ГэВ/с, $\tau_0 = 3,5$ фм для испарительных протонов. Скорости ν для этих групп протонов определены из экспериментальных распределений скорости протонных пар. Из рис. 3 видно, что радиус

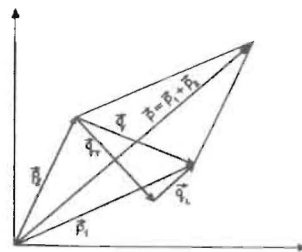


Рис. 2. Зависимость интеграла $I = \int_0^{0,15} R(q_T) dq_T$ от среднеквадратичного радиуса области излучения $\langle r^2 \rangle^{1/2}$ - (сплошная кривая). Значения интеграла I , полученные из эксперимента при разных ограничениях на P - (точки), на P_T (крестики).

Рис. 1. Кинематические переменные.

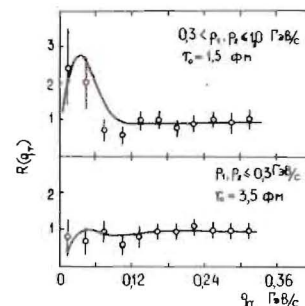
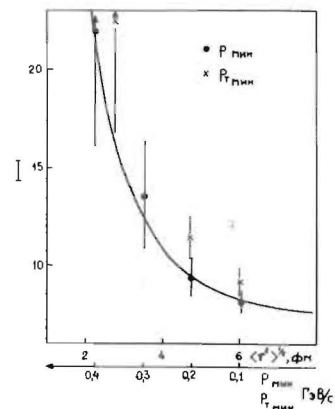


Рис. 3. Корреляционные функции для быстрых и медленных протонов. Сплошные кривые - теоретические расчеты, кружки - эксперимент.

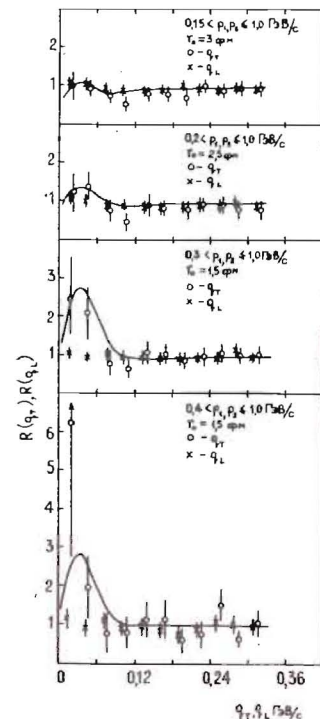


Рис. 4. Корреляционные функции при разных значениях импульсов протонов: кружки - $R(q_T)$, крестики - $R(q_L)$. Сплошные кривые - теоретические расчеты для $R(q_T)$.

области испускания "быстрых" протонов составляет около $r_0 = 1,5$ фм (среднеквадратичный радиус $\langle r^2 \rangle^{1/2} = 2,59$ фм); для испарительных протонов получаем $r_0 = 3,5$ фм ($\langle r^2 \rangle^{1/2} = 6$ фм). Отметим, что среднеквадратичный радиус ядра углерода равен $2,52 \pm 0,03$ фм [11].

На рис. 4 приведены корреляционные функции $R(q_T)$ для разных интервалов импульсов протонов. Видно, что значения корреляционных функций в максимуме растут с ростом нижней границы интервала импульсов протонов, что свидетельствует об уменьшении радиуса области их испускания.

Сплошные кривые вычислены для $r_0 = 3,0$ фм, $2,5$ фм и $1,5$ фм соответственно. Радиус области испускания с ростом импульсов протонов падает от $r_0 = 3$ фм для $0,15 < p_1, p_2 \leq 1,0$ ГэВ/с до $r_0 = 1,5$ фм для $0,3 < p_1, p_2 \leq 1,0$ ГэВ/с. Значение среднеквадратичного радиуса области испускания протонов с импульсами в интервале $0,4 < p_1, p_2 \leq 1,0$ ГэВ/с, определенное по интегралу I (рис. 2), составляет $2,3^{+0,5}_{-0,4}$ фм, что сравнимо с радиусом ядра ^{12}C .

Значения интеграла I для группы протонов с разными импульсами приведены на рис. 2 (точки).

На рис. 4 приведена также зависимость корреляционной функции от q_L :

$$R(q_L) = \frac{D(q_L)}{D_{\text{фон}}(q_L)}$$

Никаких изменений в поведении этой функции с ростом импульсов протонов не наблюдается, и значения ее практически не отличаются от единицы для всех значений q_L .

На рис. 5 показаны экспериментальные функции $R(q_T)$ в зависимости от поперечных импульсов испускаемых протонов. Видно, что значения корреляционной функции в максимуме растут с ростом поперечного импульса (r_0 уменьшается). Этот факт можно также заметить, определяя значения интеграла I при разных $p_{T_{\text{мин}}}$, представленные на рис. 2 (крестики).

Корреляционная функция $R(q_L)$ не меняется с ростом поперечного импульса, и ее значения близки к единице для всех значений q_L .

Двухчастичные корреляции протонов, испускаемых с близкими импульсами, были исследованы также путем изучения спектра эффективных масс:

$$M_{pp} = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2} \quad (4)$$

Интерференционные эффекты следует ожидать в области малых относительных энергий двух протонов: $Q = M_{pp} - 2m_p$; здесь m_p — масса протона.

Корреляционная функция определялась аналогично формуле (3):

$$R(Q) = \frac{D(Q)}{D_{\text{фон}}(Q)}$$

Рис. 6 показывает поведение корреляционной функции, зависящей от Q , с ростом импульсов протонов пары. Видно, что в зависимости от переменной Q корреляционные эффекты тоже проявляются.

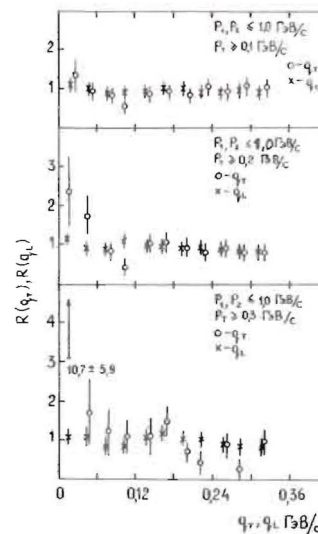


Рис. 5. Экспериментальные корреляционные функции при разных ограничениях на p_T : кружки — $R(q_T)$, крестики — $R(q_L)$.

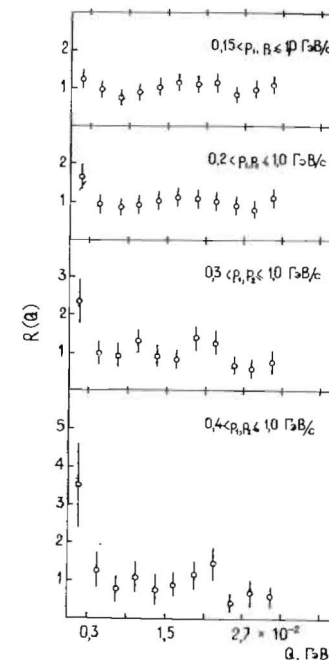


Рис. 6. Экспериментальные корреляционные функции $R(Q)$ при разных ограничениях на импульсы протонов.

3. ИТОГИ

Приведенные выше результаты показывают:

— существование корреляций между протонами, испускаемыми с близкими импульсами;

— разницу характера корреляций протонных пар из "быстрой" стадии взаимодействия и протонных пар от испарения ядер, чему соответствуют разные значения радиусов области испускания. Быстрые протоны испускаются из области, размеры которой сравнимы с размерами ядра углерода; размеры области испускания испарительных протонов значительно больше;

- уменьшение области испускания протонов с ростом их импульсов, что видно при анализе как функции $R(q_T)$, так и $R(a)$;
- тенденцию к уменьшению области испускания с ростом поперечных импульсов протонов;
- различие в поведении экспериментальных функций $R(q_T)$ и $R(q_L)$; значения функции $R(q_L)$ практически не отличаются от единицы.

Полученные нами результаты не противоречат результатам других экспериментальных работ /8-10/, в которых изучались двухпротонные корреляции в ядро-ядерных и адрон-ядерных столкновениях.

В заключение авторы выражают благодарность М.И.Подгорецкому, Р.Ледницкому и Б.С.Кудашеву за плодотворные обсуждения. Авторы благодарны также лаборантам, принимавшим участие в обработке снимков.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Г.Гришин, Г.И.Копылов, М.И.Подгорецкий, ЯФ, 1971, т. 13, с. III6
Г.И.Копылов, М.И.Подгорецкий, ЯФ, 1973, т. 18, с. 656
2. G. Cossani, Phys. Lett., 1974, B49, p.459
3. S. E. Koonin, Phys. Lett., 1977, B70, p.43
4. Р.Ледницки, В.Л.Любошиц, ЯФ, 1982, т. 35, с. I316.
5. J. Bartke, M. Kowalski, Phys. Rev., 1984, C30, p.1341
6. Г.Н.Агакишиев и др. ОИЯИ I-83-662, Дубна, 1983.
7. Б.М.Бобченко и др. ЯФ, 1979, т. 30, с. I553
8. Н.Ангелов и др. ЯФ, 1980, т. 32, с. I357.
9. S. A. Azimov et al., Phys. Rev., 1984, D29, p.1304
10. N. Akhbabian et al., Z. Phys., 1984, C26, p.245

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

Рукопись поступила в издательский отдел
27 августа 1985 года