

УДК 539.17.015

КУЛОНОВСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ПИОНОВ В СС- И СТа-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ 4,2 А ГэВ/с

*Ц.Баатар**, *А.А.Кузнецов*, *В.Б.Любимов*, *Р.Тогоо*, *Б.Хурэлбаатар*

Представлены результаты исследований влияния многозарядных фрагментов ядра-снаряда на образование заряженных пионов с малыми поперечными импульсами. Показано, что существует эффект зарядовой корреляции между этими фрагментами и системами заряженных пионов. Проводится анализ данных в рамках теоретических моделей FRITIOF и внутриядерного каскада.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

The Coulomb Interaction of Charged Pions in СС- and СТа-Collisions at 4.2 А GeV/c

Baatar Ts. et al.

The results of studies of the influence of projectile nuclear many charged fragments on the production of charged pions with small transverse momentum are presented. It is shown that the charged correlation effects between these fragments and charged pionic systems exist. The analysis of the experimental data has been made in the framework of the theoretical FRITIOF and internuclear cascade models.

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

1. Введение

В последнее время эффект кулоновского взаимодействия в столкновениях адронов с адронами и ядрами исследовался экспериментально [1,2] и теоретически [3—6] с использованием пар вторичных заряженных частиц противоположных зарядов ($\pi^+\pi^-$, $p\bar{p}$, K^+K^- и W^+W^-).

В этих работах в разных областях энергий изучалась взаимосвязь выхода пионов, имеющих малые поперечные импульсы ($p_t \sim 0$), с выходом многозарядных фрагментов ядра-снаряда. В результате было обнаружено [7—10] (и проанализировано в

*Институт физики и техники АН Монголии, г.Улаанбаатар.
E-mail: instphys@magicnet.mn

теоретических работах [11]) превышение выхода числа π^- -мезонов по отношению к числу π^+ -мезонов для малых значений угла рассеяния ($\Theta \sim 0^\circ$), скоррелированное с образованием многозарядных фрагментов ядра-снаряда. Для объяснения этого явления в работе [12] была выдвинута идея, что наблюдаемое усиление выхода π^- -мезонов по отношению к выходу π^+ -мезонов вызвано тем, что положительно заряженные фрагменты притягивают к себе отрицательную систему заряженных пионов из поля ядра. При больших углах рассеяния и больших значениях атомных масс сталкивающихся ядер отношение $R(\pi^-/\pi^+)$ прямо связано с числом нейтронов и протонов — участников взаимодействия [13].

Настоящая работа посвящена изучению влияния многозарядных фрагментов ядра-снаряда на рождение малоэнергетичных заряженных пионов под малыми углами в CC - STa - и Sp -соударениях при 4,2 А ГэВ/с в условиях регистрации заряженных частиц в 4π -геометрии. Проводится сравнение экспериментальных данных с результатами, полученными с помощью новой модифицированной версии модели FRITIOF [14] и последним вариантом дубненской модели внутриядерного каскада [15].

2. Методика эксперимента

В данной работе использовались экспериментальные данные по неупругому взаимодействию ядра углерода с импульсом 4,2 А ГэВ/с с протонами, ядрами углерода и тантала. Они получены с помощью 2-метровой пропановой камеры ЛВЭ ОИЯИ, внутри рабочего объема которой были размещены танталовые пластинки толщиной в 1 мм.

Наличие магнитного поля в камере напряженностью 1,5 Тл позволяло разделить все вторичные заряженные частицы на следующие группы: а) группу отрицательных частиц, которые, в основном, являются π^- -мезонами. В этой группе примесь неидентифицированных электронов не превышает 5 % [16], а отрицательных странных частиц — $\sim 1\%$; б) группу медленных положительных частиц с повышенной ионизацией и импульсом меньше 0,7 ГэВ/с. В основном, эта группа содержит медленные протоны с некоторой долей примеси дейтронов (d) и тритонов (t). По оценкам [13,17,18], их примесь составляет не более $10 \div 15\%$; в) группу релятивистских положительных частиц, которые, в основном, принадлежат к быстрым протонам с импульсом больше 0,7 ГэВ/с. Примесь π^+ -мезонов в этой группе частиц не превышает $\sim 10\%$ [19]; г) группу идентифицированных π^+ -мезонов с импульсом меньше 0,7 ГэВ/с.

В эксперименте среднее значение импульса, начиная с которого уверенно идентифицировались π^- -мезоны, составляло 70 МэВ/с. Нами были внесены поправки на потерю частиц, вылетающих под углом 90° к направлению пучка и «застревающих» в танталовой пластинке, а также — на потерю частиц, вылетающих под большим углом к плоскости фотографирования. Эти поправки в случае облучения камеры ядрами углерода составили около 7 % [20].

В неупругом столкновении ядра с ядром мишени во взаимодействии участвуют не все нуклоны налетающего ядра. Часть из них остается неповзаимодействовавшими, т.е. зрителями. В зрительскую группу входят фрагменты с $P/Z > 3$ ГэВ/с и углом

вылета $\Theta_{\text{лаб}} < 4^\circ$ [21]. Спектаторы ядра-снаряда были разделены по заряду на две группы: однозарядные и многозарядные ($Z_f > 2$). С другой стороны, медленные протоны с $p_{\text{лаб}} < 0.3$ ГэВ/с являются спектаторами ядра-мишени. Относительно спектаторных фрагментов ядра-мишени можно сказать, что они в большинстве своем поглощаются в танталовой пластинке (протоны с $p_{\text{лаб}} < 240$ МэВ/с).

Более подробно методические вопросы эксперимента освещены в работах [16—22].

3. Экспериментальные результаты

Экспериментальные данные для hh -, hA - и AA -взаимодействий при $4 + 40$ ГэВ/с сравнивались с результатами, полученными с помощью новой версии модели внутриядерного каскада и модифицированной лундовской модели FRITIOF [23]. На рис.1 показаны нормированные быстротные распределения заряженных пионов с импульсом $0,07 \leq p_{\pi} \leq 0,67$ ГэВ/с из CC -столкновений при $4,2$ А ГэВ/с, сопровождаемые многозарядными фрагментами в восьми интервалах угла их вылета: $\Theta < 5^\circ$, $5 + 15^\circ$, $15 + 30^\circ$, $30 + 50^\circ$, $50 + 75^\circ$, $75 + 105^\circ$, $105 + 140^\circ$, и $\Theta > 140^\circ$. Там же приведены подробные распределения для моделированных событий CC -соударений. Как можно видеть, данные, полученные с помощью двух моделей, хорошо воспроизводят экспериментальные результаты.

На рис.2 представлены значения отношений числа π^- -мезонов к числу π^+ -мезонов в зависимости от угла их вылета в CC -взаимодействиях как с многозарядными фрагментами ядра-снаряда (рис.2а) так и без каких-либо фрагментов (рис.2б). На рис. 2а,б также показаны результаты моделирования с соответствующими условиями эксперимента. Можно видеть, что многозарядные фрагменты ядра-снаряда заметно влияют на выход малоэнергичных π^- -мезонов, т.е. наблюдается превышение выхода π^- -мезонов над π^+ -мезонами. Подобного превышения не обнаружено в моделированных событиях. С помощью упомянутой выше модели FRITIOF теоретически рассмотрены два типа процессов CC -взаимодействий («центральный» и «периферический»). В процессе моделирования таких взаимодействий прицельный параметр столкновения брался соответственно меньше $0,9$ фм и больше $1,4$ фм. Результаты расчетов приведены на рис.2в,г.

Таблица. Средние значения π^- -мезонов из CC -, Cp - и CTa -взаимодействий

CC	CC	Cp	CTa	CTa
с фрагментами $z \geq 2$	без фрагментов	с фрагментами $z \geq 2$	с фрагментами $z \geq 2$	без фрагментов
$0,99 \pm 0,01^*$ (15954)*	$2,85 \pm 0,03^*$ (849)*	$0,32 \pm 0,01^*$ (14395)*	$1,18 \pm 0,01^*$ (989)*	$3,50 \pm 0,03^*$ (997)*
$1,04$ ($b > 1,4$ фм)	$2,97$ ($b < 0,9$ фм)	$0,33$	$1,24$ ($b > 5,0$ фм)	$3,97$ ($b < 3,25$ фм)

* — эксперимент; без знака — FRITIOF; b — прицельный параметр

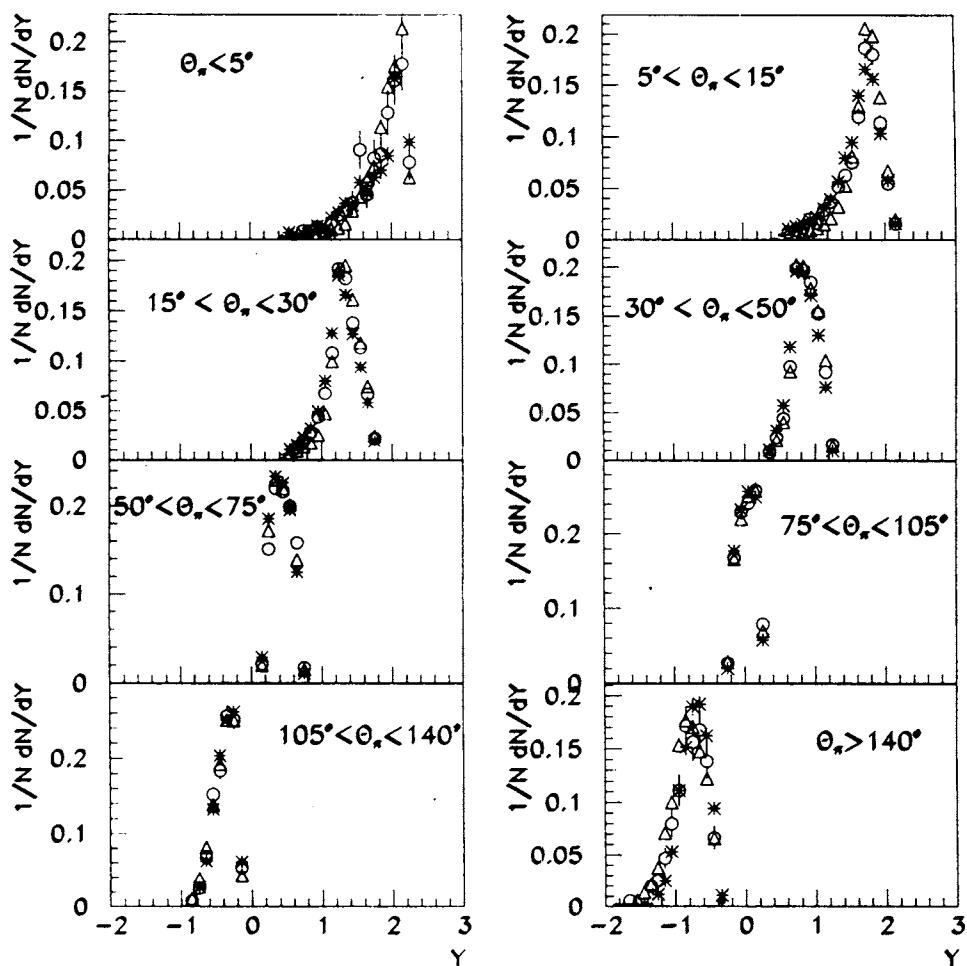


Рис.1. Распределения заряженных пионов по быстройте в СС-соударениях, сопровождаемых многозарядными фрагментами. \circ — эксперимент, \triangle — FRITIOF, * — модель внутриядерного каскада

В таблице представлены данные эксперимента и моделирования по числу событий и по средним числам отрицательных пионов, образовавшихся в СС-, СтА- и Ср-столкновениях.

Как на рис.2, так и по таблице можно видеть, что процесс взаимодействия с испусканием многозарядных фрагментов согласуется с вариантом расчетов по модели для «периферического» типа взаимодействий, а без фрагментов — для «центрального».

Относительные выходы инвариантных сечений π^- -мезонов к инвариантным сечениям π^+ -мезонов в СС-, СтА- и Ср-взаимодействиях, имеющих многозарядные фраг-

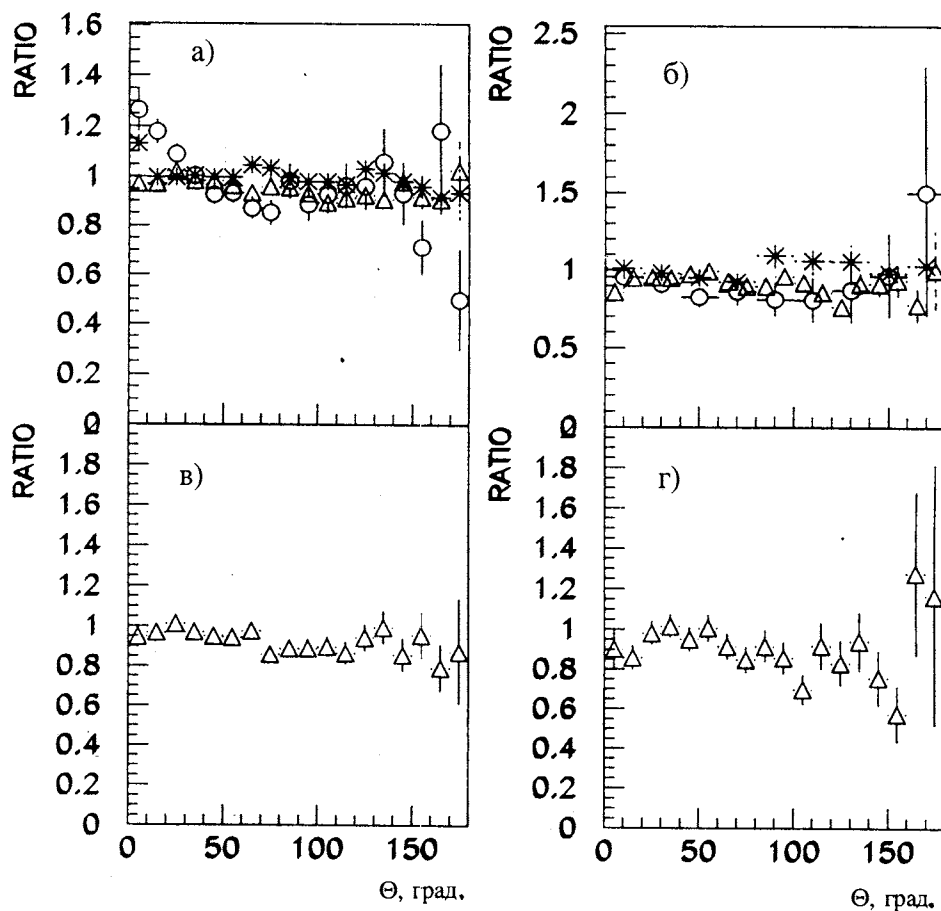


Рис.2. Распределение отношений числа π^- -мезонов к числу π^+ -мезонов в СС- и СТа-столкновениях в зависимости от угла испускания пионов: а) экспериментальные данные для событий с многозарядными фрагментами, б) события без фрагментов, в) результаты вычислений по моделям с прицельными параметрами $b > 1,4$ фм (для ядра углерода) и г) с прицельными параметрами $b < 0,9$ фм (для ядра углерода). Обозначения те же, что на рис.1

менты, представлены на рис.3. Заметим, что все заряженные пионы вылетают под углом, меньше чем 20° , и что события ядра-углерода в пропане разделяются на две группы по типу ядра-мишени: СС- и Ср-взаимодействия. Выделение этих групп взаимодействий осуществлялось с помощью стандартных критериев [19]. На рис.3г показаны распределения для событий СС-взаимодействий, в которых отсутствуют какие-либо фрагменты ядра-снаряда. На рис.3 приведены результаты моделирования таких событий с помощью модели FRITIOF и внутриядерного каскада, полученные при тех же условиях, что и экспериментальные данные.

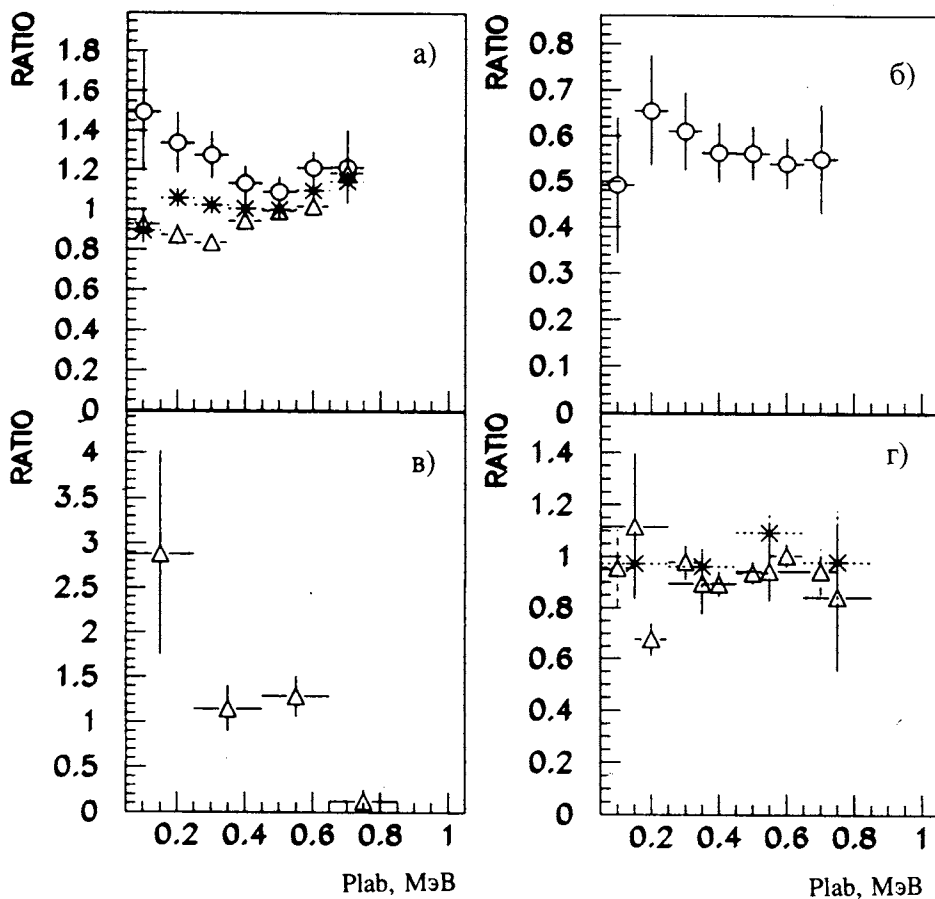


Рис.3. Распределения отношений инвариантных сечений образования π^- -мезонов к π^+ -мезонам для СС (а)-, Ср (б)- и СТa (в)-взаимодействий, сопровождаемых зарядными фрагментами ядра-снаряда, а также для СС (г)-столкновений, не сопровождаемых фрагментами. Обозначения те же, что и на рис.1

Совокупность результатов показывает, что превышение выхода как числа, так и инвариантных сечений π^- -мезонов над π^+ -мезонами наблюдается в области малых импульсов и в случае «периферического» типа взаимодействий. Этот эффект отсутствует в случае Ср-взаимодействий «центрального» типа.

4. Заключение

Анализ поведения выхода заряженных пионов в зависимости от выхода многозарядных фрагментов ядра-снаряда в СС- СТa- и Ср-взаимодействиях при 4,2 А ГэВ/с позволяет нам сделать следующие выводы:

1. Обнаружен эффект кулоновского взаимодействия заряженных пионов, связанный с зарядовой корреляцией между положительными фрагментами ядра-снаряда и пионной системой с отрицательным зарядом.

2. Установлено, что превышение выхода π^- -мезонов по отношению к π^+ -мезонам при малых углах их вылета наблюдается только в периферических СС-взаимодействиях.

3. Показано, что отношение инвариантных сечений образования π^- -мезонов в СС-, и СТа-взаимодействиях к инвариантным сечениям π^+ -мезонов оказывается больше единицы при значениях их импульса $P_{\text{лаб}} < 0,3$ ГэВ/с и угла вылета $\Theta \leq 20^\circ$. Подобного превышения не наблюдается в случае взаимодействия ядра углерода с нуклонами и в событиях, полученных с помощью моделей каскада внутриядерных перерасеяний и модифицированной версии FRITIOF.

Однако полученных результатов недостаточно для того, чтобы детально понять механизм ядро-ядерных взаимодействий при релятивистских энергиях. В частности, было бы чрезвычайно важно из будущих экспериментов иметь более полные ответы хотя бы на некоторые из приведенных выше вопросов. Например: как зависит образование много- и однозарядных фрагментов ядра-снаряда от сорта сталкивающихся объектов; какова связь заряженных пионных систем с зарядом изотопов или числом однозарядных фрагментов ядра-снаряда; каково поведение отношения $R(\pi^-/\pi^+)$ в зависимости от заряда Z ядра-снаряда.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность Р.Г.Бадаляну за плодотворные обсуждения, В.В.Ужинскому и Ж.Ж.Мусульманбекову за предоставление пакетов программ моделирования по моделям FRITIOF и внутриядерного каскада и всем участникам Сотрудничества на 2-метровой пропановой пузырьковой камере за большую работу в получении экспериментальной информации для анализа.

Литература

1. Wiencke et al. — Phys. Rev. D., 1992, v.46, p.146.
2. Afanasyev et al. — JINR Preprint E1-96-256, Dubna, 1996.
3. Саахров А.Д. — ЖЭТФ, 1948, т.18, с.631.
4. Вайер В.Н., Фадин В.С. — ЖЭТФ, 1969, т.57, с.225.
5. Arbuzov A.B. — Nuovo Cimento, 1994, v.107A, p.1263.
6. Erazov B. et al. — Phys. Rev. C, 1994, v.49, p.349.
7. Heckman H. et al. — Phys. Rev. Lett., 1976, v.37, p.56.
8. Benenson W. et al. — Phys. Rev. Lett., 1979, v.43, p.683.
9. Silivan J.P. et al. — Phys. Rev. Lett. C, 1982, v.25, p.1499.
10. Radi M.A. et al. — Phys. Rev. C, 1982, v.25, p.1518.
11. Glaylassy M., Kauffmann S.K. — Nucl. Phys. A, 1981, v.362, p.503.
12. Ангелов Н. и др. — Communication of the Institute of Physics and Technology, 96-01, Ulaanbaatar, 1996.
13. Nagamiya S. et al. — Phys. Rev. C, 1981, v.24, p.971.
14. Uzhinskii V.V. — JINR Communication, E2-96-192, 1996, Dubna.

15. Musulmanbekov G.J. — XI EMUO1-Collaboration Meeting, 1992, Dubna, p.288—295.
16. Гаспарян А.П. — Препринт ОИЯИ, 1980, 1-80-778, Дубна.
17. Malfliet R. et al. — Phys. Rev. C, 1985, v.31, p.1275.
18. Adyaseich V.P. et al. — Preprints IAE-3973/2, 1984, IAE-4148/2, 1985, Moscow.
19. Армутлийски Д. и др. — Препринт ОИЯИ P1-86-263, Дубна, 1986.
20. Агакишиев Г.Н. и др. — Препринт ОИЯИ P1-81-176, 1981, Дубна.
21. Баатар Ц. и др. — Препринт ОИЯИ P1-86-477, 1986, Дубна.
22. Abdrahmanov E.O. et al. — Z.Phys. C, 1980, v.5, p.1.
23. Baatar Ts. et al. — Communication of the Institute of Physics and Technology, Ulaanbaatar, 1997.