

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

P1-88-215

С.Вокал, В.А.Лескин*, К.Д.Толстов,
Г.С.Шабратова

СПЕКТРЫ π^+ -МЕЗОНОВ И ПРОТОНОВ
В ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ
СТОЛКНОВЕНИЯХ p , ^{12}C , ^{22}Ne
С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ ПРИ 4,5 А ГэВ/с

*Физико-технический институт АН ТаджССР, Душанбе

ВВЕДЕНИЕ

В центральных столкновениях тяжелых ионов с ядрами фотоэмульсии при энергии ~ 4 ГэВ/нуклон возможно более чем двукратное увеличение плотности ядерной материи ^{1,2/} по сравнению с равновесной $\rho_0 = 0,17$ фм⁻³, сопровождающееся значительным разогревом ядерного вещества ^{3/}. В таких взаимодействиях ожидаются коллективные процессы статистического характера с установлением термодинамического равновесия (термализацией) нуклонов ^{4/}. Изучение свойств ядерной материи в подобных экстремальных условиях возможно путем исследования характеристик спектров частиц, их выхода в центральных и периферических соударениях.

В настоящей работе рассматриваются спектры релятивистских π^\pm -мезонов и протонов, участников взаимодействия, выделенных в неупругих столкновениях р, ¹²C, ²²Ne с ядрами фотоэмульсии при $\sim 4,5$ А ГэВ/с ^{5-7/}.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ И НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Исходный экспериментальный материал представлял собой ансамбли следов однозарядных частиц с относительной ионизацией $g/g_0 < 1,4$; скоростью $\beta > 0,75$ (s-частиц), отобранных с ограничением по углу наклона к поверхности фотослоя, не превышавшим 7° . Испускание других частиц с пространственным углом вылета θ_1 — выбранной частицы — учитывалось введением ее геометрического веса.

Выделение π^\pm -мезонов и протонов-участников в наборах s-частиц ^{6,8/} осуществлялось путем непосредственной идентификации по результатам измерений величин $p\beta$ и относительной ионизации на следах с использованием известных расчетных зависимостей $g/g_0 = f(p\beta)$ до области сближения $p\beta \approx 1,2$ ГэВ/с кривых ионизационных потерь. Средняя ошибка измерений идентифицируемых частиц соответствовала: $\langle \Delta p\beta / p\beta \rangle \approx 0,12$. Оценки относительной ионизации были выполнены с необходимой для идентификации точностью (ошибки измерений на следах с $p\beta \leq 1,2$ ГэВ/с составили меньше 3% от оцененных величин). В области значений $p\beta > 1,2$ ГэВ/с выделение частиц проведено статистически с использованием спектров π^\pm -мезонов из $pr(p\pi)$ столкновений при близких энергиях. При этом однозарядные фрагменты ядра-снаряда (p, d, t) были отделены

от π^\pm -мезонов и протонов-участников с помощью полуэмпирического алгоритма ^{/8/}, учитывающего особенности распределения s -частиц по θ в области малых углов ^{/9,10/}, величину $p\beta_i$ каждой рассматриваемой частицы и ошибку в ее измерении. Эти однозарядные фрагменты ядра-снаряда были разделены на p , d , t путем рассеяния высокоимпульсной части спектра $p\beta$ на три области по значениям средних величин $p\beta$ (соответствующих начальной энергии на нуклон снаряда). Результаты более строгого подхода к выделению p , d , t -фрагментов в подобном ансамбле частиц из полного набора событий $^{22}\text{Ne} + \text{эм.}$ ^{/10/}, учитывающего свойства распределений частиц по параметру $1/p\beta$, дают соотношения выхода фрагментов, хорошо согласующиеся с полученными в ^{/8/}.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Полученные для столкновений p , ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии экспериментальные распределения релятивистских π^\pm -мезонов, протонов-участников по импульсу, поперечному импульсу и продольной скорости ^{/7/}, имели практически одинаковую форму. На подобие форм энергетических спектров (одинаковые параметры наклона при аппроксимации экспоненциальной зависимостью) π^+ , π^- -мезонов с импульсом $p > 0,5$ ГэВ/с в лабораторной системе координат для столкновений различных ядер указывалось также в работе ^{/11/}.

В табл. 1 представлены результаты аппроксимации распределений π^\pm -мезонов с $T > 80$ МэВ по кинетической энергии в л.с. выражением:

$$f(T) = C \cdot \exp(-T/T_0). \quad (1)$$

Таблица 1

Аппроксимация спектров кинетических энергий π^\pm -мезонов экспоненциальной зависимостью

Ядро	P_0 ГэВ/с	T_0 МэВ	σ , МэВ	$\chi^2/\text{св}$
p	4,5	500	20	0,7
^{12}C	4,5	500	20	0,5
^{22}Ne	4,1	450	10	1,15

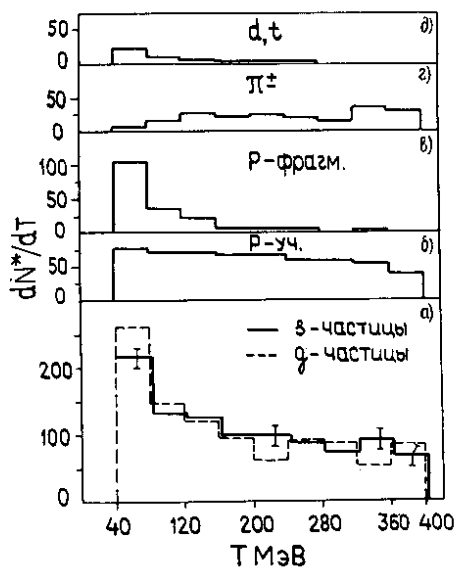
В первых двух колонках таблицы приведены условия облучения ядерной фотоэмульсии, в последующих — подгоночный параметр T_0 , ошибка σ в его определении и $\chi^2/\text{на}$ степень свободы. Одинаковые для взаимодействий p , ^{12}C , параметры T_0 (наклоны спектров)

и близкое к ним значение T_0 в $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействиях подтверждают вывод ^{/7/} о слабой зависимости формы спектров и средних импульсов π^\pm -мезонов от массы ядра-снаряда.

Известно, что g -частицы (однозарядные частицы с ионизацией $g/g_0 > 1,4$, пробегом $R > 3$ мм) ^{/12/} в подавляющем большинстве состоят из p, d, t — фрагментов ядра-мишени, мягких ($p\beta < 120$ МэВ/с) π^\pm -мезонов и замедлившихся в каскадных процессах протонов ядра-снаряда. Определение выхода различных g -частиц сопряжено с рядом методических трудностей. Имеющиеся в эмульсионных работах оценки ограничены и не дают детального представления о соотношении частиц в ансамбле g -фрагментов. С этой точки зрения интересно сравнить энергетический спектр частиц от фрагментации ядра ^{22}Ne в системе его покоя со спектром g -фрагментов ядер фотоэмульсии. Требуемый спектр получен путем вычисления кинетических энергий в антилабораторной (а.л.) системе координат, выделенных в $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействиях s -частиц. На рис. 1а представлен полученный путем преобразования s -частиц к а.л. системе энергетический спектр, где всем частицам приписана масса протона, так же, как в спектре g -частиц от фрагментации ядер фотоэмульсии в $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействиях ^{/13/}, который показан пунктиром.

Сопоставляемые спектры, отнормированные на равное число частиц, практически одинаковы по форме. На рис. 1 (б, в, г, д) показаны вклады в спектр g -фрагментов ядра ^{22}Ne протонов-участников ($p_{\text{уч}}$), протонов, не испытавших взаимодействие ($p_{\text{фрагм.}}$), π^\pm -мезонов, а также сложных фрагментов-дейтронов и тритонов. В процентах эти вклады соответствуют числам: 56, 19, 20, 5. Таким образом, при фрагментации ядра ^{22}Ne в системе его покоя основной вклад в g -частицы в указанном на рис. 1 диапазоне энергий обусловлен протонами (около 75%), ~20% соответствуют вкладу π^\pm -мезонов и ~5% — вкладу d, t -фрагментов. Полученные соотношения дают представление об относительном выходе частиц в совокупности g -фрагментов покоящегося ядра.

Рис. 1. Распределения по кинетической энергии s -частиц из $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействий и g -фрагментов ядер фотоэмульсии.



СВОЙСТВА СПЕКТРОВ π^{\pm} -МЕЗОНОВ И ПРОТОНОВ
В ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ
СТОЛКНОВЕНИЯХ ЯДЕР

В табл. 2 приведены средние характеристики распределений π^{\pm} -мезонов и протонов-участников по импульсу, углу вылета θ , продольной быстрой $y = 1/2 \ln((E + P_{||}) / (E - P_{||}))$, поперечному импульсу (P_{\perp}^{π} , P_{\perp}^p), относительный выход N_{π} / N_p частиц в квазицентральных и периферических $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ столкновениях, выделенных по суммарному заряду Q непроявившихся фрагментов ядра-снаряда. Импульсы даны в МэВ/с, углы — в градусах.

Таблица 2

Средние характеристики спектров релятивистских π^{\pm} -мезонов и протонов в зависимости от Q

Q	$0 \div 2$	$7 \div 10$	$9 \div 10$
$\langle P_{\pi} \rangle$	600 ± 40	690 ± 50	720 ± 60
$\langle P_p \rangle$	2020 ± 70	2340 ± 70	2390 ± 80
$\langle \theta_{\pi} \rangle$	44 ± 3	32 ± 3	23 ± 2
$\langle \theta_p \rangle$	18 ± 1	$12,3 \pm 0,7$	$11 \pm 1,2$
$\langle y_{\pi} \rangle$	$0,98 \pm 0,07$	$1,30 \pm 0,08$	$1,52 \pm 0,07$
$\langle y_p \rangle$	$1,27 \pm 0,03$	$1,48 \pm 0,03$	$1,53 \pm 0,04$
$\langle P_{\perp}^{\pi} \rangle$	280 ± 20	245 ± 20	240 ± 30
$\langle P_{\perp}^p \rangle$	530 ± 20	410 ± 20	400 ± 30
N_{π} / N_p	$1,9 \pm 0,2$	$1,3 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,3$

В ансамбле событий с $Q = 0 \div 2$ в подавляющем большинстве это столкновения $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br} /^{14}$, среднее число сильноионизирующих частиц из ядра-мишени $\langle N_h \rangle \approx 26$. Эта величина, отражающая в среднем степень расщепления ядер-мишеней в данной совокупности квазицентральных соударений, практически соответствует критерию отбора событий полного разрушения ядер $\text{Ag}, \text{Br} /^{15,16}$. Напомним, что события с $N_h > 7$ относятся к взаимодействиям с ядрами Ag, Br , а с $N_h \leq 7$ соответствуют взаимодействиям с $\text{C}, \text{N}, \text{O}$ и периферическим столкновениям с ядрами Ag, Br . В последней колонке табл.2 даны характеристики спектров частиц в крайне периферических столкновениях ($Q = 9 \div 10$). Пользуясь соотношением 17 .

$$N_{\text{вз.}} = A_p - \frac{A_p}{Z_p} \cdot Q, \quad (2)$$

определим число нуклонов ядра ^{22}Ne , испытавших взаимодействие для событий из наборов, представленных в трех последних колонках таблицы, получим соответственно: $\sim 20; 7 \div 1; 2 \div 1$.

Анализируя свойства спектров, отметим, что при переходе от центральных (квазицентральных) к крайне-периферическим $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействиям (при \sim десятикратном уменьшении числа нуклонов ядра-снаряда участников взаимодействия), наблюдается незначительное (\sim на 20%) увеличение средних импульсов π^\pm -мезонов и протонов, и существенное (почти 2-кратное), уменьшение среднего угла испускания частиц, ведущее к заметному уменьшению средних поперечных импульсов (особенно протонов). Средние скорости π^\pm -мезонов и протонов-участников при этом возрастают и, сближаясь, становятся равными в крайне-периферических столкновениях.

В центральных $^{22}\text{Ne} + \text{Ag, Br}$ -столкновениях ядер по сравнению с периферическими наблюдается значительное (\sim в 1,5 раза) увеличение выхода π^\pm -мезонов на протон-участник (см. N_π/N_p в табл. 2).

Подобные свойства в поведении частиц наблюдались в $^{12}\text{C} + \text{эмульсия}$ взаимодействиях, выделенных по Q , а также в наборах событий, выделенных по степени расщепления ядра-мишени в столкновениях $p, ^{12}\text{C}, ^{22}\text{Ne}$ с ядрами фотоэмульсии^{/7/}. Эти результаты свидетельствуют о зависимости рассматриваемых характеристик (импульсов, углов вылета, скоростей, относительного выхода частиц) π^\pm -мезонов и протонов-участников от числа провзаимодействовавших в событии нуклонов снаряда и мишени.

Указание на незначительную зависимость импульсов релятивистских π^\pm -мезонов и протонов от числа нуклонов на их пути в ядре-мишени рассматривалось в работе^{/7/} как возможное проявление длины формирования.

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ С КАСКАДНО-ИСПАРИТЕЛЬНОЙ МОДЕЛЬЮ (КИМ)

Сравнение спектров — частиц из $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействий с предсказаниями модели, где взаимодействие ядер рассматривается как суперпозиция двухчастичных нуклон-нуклонных и пион-нуклонных столкновений, является хорошим тестом для наблюдения возможного проявления коллективных эффектов. В табл. 3 в сравнении с экспериментальными результатами даны характеристики спектров частиц с $\beta > 0,75$: средние импульсы (в МэВ/с), углы (в градусах) и скорости, полученные в рамках КИМ^{/18/} (строки с индексом К), относительный выход частиц в различных наборах событий. В распределениях протонов (характеристики с индексом p^*) наряду с провзаимодействовавшими включены протоны — фрагменты ядра-снаряда.

В целом по таблице можно отметить хорошее совпадение экспериментальных и расчетных характеристик спектров π^\pm -мезонов в полной совокупности событий. Различие, минимальное в периферических ($Q = 7 \div 10$) столкновениях и в событиях с малым расщеплением ядра-

Таблица 3
 Характеристики релятивистских π^+ -мезонов и протонов для $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействий
 в сравнении с КИМ.

	Все события	$N_h \leq 7$	$N_h > 7$	$Q \leq 2$	$Q \geq 7$
$\langle P_\pi \rangle$	653 ± 20	744 ± 40	620 ± 30	600 ± 40	686 ± 50
	K 654	731	625	612	697
$\langle \theta_\pi \rangle$	$38,0 \pm 1,4$	27 ± 2	43 ± 2	44 ± 3	32 ± 3
	K 38,6	31,3	41,2	42,4	33,8
$\langle P_L^\pi \rangle$	277 ± 10	238 ± 14	292 ± 13	283 ± 17	245 ± 18
	K 263	251	266	269	249
$\langle P_p^* \rangle$	2800 ± 40	3090 ± 60	2600 ± 60	2240 ± 80	3250 ± 60
	K 2996	3270	2810	2556	3345
$\langle \theta_p^* \rangle$	$12,5 \pm 0,4$	$9,9 \pm 0,4$	$15,5 \pm 0,6$	17 ± 1	$9,0 \pm 0,4$
	K 11,1	8,52	12,45	14,6	7,84
$\langle P_L^{p^*} \rangle$	433 ± 10	359 ± 10	483 ± 14	508 ± 20	325 ± 12
	K 396	347	428	489	308
N_π / N_p^*	$1,16 \pm 0,03$	$0,79 \pm 0,04$	$1,40 \pm 0,05$	$1,8 \pm 0,1$	$0,74 \pm 0,04$
	K 0,86	0,58	1,04	1,23	0,56

мишени ($N_h \leq 7$), наиболее велико в центральных ($Q = 0 \div 2$) взаимодействиях и непериферических ($N_h > 7$) соударениях с тяжелыми ядрами Ag, Вг, т.е. в событиях с относительно большим числом нуклонов-участников. Модель систематически недооценивает выход π^\pm -мезонов на протон (неупругость взаимодействия), наибольшее расхождение, до 0,5 от расчетного значения, наблюдается в центральных $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Вг}$ -столкновениях. При этом средние импульсы протонов $\langle P_p^* \rangle$ в расчетах систематически выше экспериментальных. Наибольшее расхождение по-прежнему имеет место в ансамбле центральных $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Вг}$ -столкновений, наименьшее — в периферических. Подобные соотношения величин наблюдаются на средних углах испускания протонов, которые для модели во всех наборах частиц ниже, особенно в непериферических $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Вг}$ -столкновениях ($N_h > 7$), а не в центральных, как это можно было ожидать. В результате этого экспериментальные средние поперечные импульсы $\langle P_p^* \rangle$ систематически выше расчетных и отличаются на ~ 4 стандарта в ансамбле непериферических $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Вг}$ -столкновений, несмотря на то, что измеренный импульс $\langle P_p^* \rangle$ ниже расчетного во всех наборах событий. Эта особенность объяснена в следующем разделе.

На рис. 2 показаны отнормированные на одинаковое число частиц спектры π^\pm -мезонов из $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействий, расчетный (КИМ) и спектр π^\pm -мезонов из $p(p)$ столкновений. Рисунок демонстрирует практическое совпадение спектров и хорошее согласие расчетов с экспериментом.

Рассматривая импульсные и угловые характеристики релятивистских π^\pm -мезонов, следует отметить, что для $\sim 60\%$ столкновений $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ событий с относительно небольшим числом нуклонов-участников, где $N_h \leq 7$ (либо $Q \geq 7$), наблюдается удовлетворительное согласие с КИМ, т.е. вклад эффектов коллективного взаимодействия частиц в этих событиях слабо заметен. В непериферических и центральных $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Вг}$ -соударениях эффекты, связанные с увеличением числа

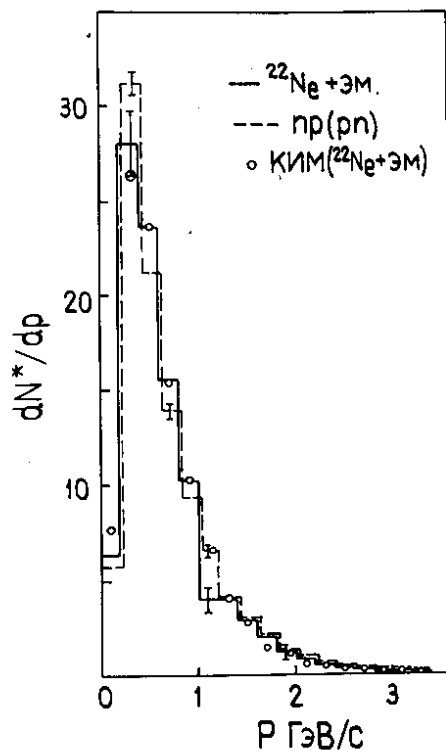


Рис. 2. Импульсные спектры релятивистских π^\pm -мезонов.

частиц и их плотности в объеме столкновения приводят к расхождению расчетов и экспериментальных результатов. Этому способствует недооценка моделью выхода релятивистских π^{\pm} -мезонов, наблюдаемая во всех наборах событий.

МОДЕЛЬ ФАЙЕРБОЛА И ТЕРМАЛИЗАЦИЯ ПРОТОНОВ

В центральных соударениях ядер при значительном числе нуклонов в объеме взаимодействия ожидается возникновение движущегося, сильно разогретого сгустка материи файербола^{/1,3/}, представляющего смесь нуклонов, мезонов и возбужденных барионов. Предполагается, что в ансамбле частиц файербола возможно установление термодинамического равновесия, которое достигается после того, как каждый нуклон испытывает несколько столкновений. При этом продукты распада должны иметь изотропное угловое распределение в системе координат распадающегося файербола. О степени близости распадающейся системы к состоянию термодинамического равновесия можно заключить по величине отношения среднего поперечного импульса частиц к среднему продольному в событии:

$$R = \frac{2}{\pi} \frac{\sum_i P_{\perp i}}{\sum_i P_{\parallel i}}. \quad (3)$$

Для системы с полной термализацией $R = 1$ ^{/4/}.

В настоящей работе протоны-участники из ядра-снаряда (^{22}Ne) были разделены на три ансамбля по степени расщепления ядер-мишеней в событиях, где они наблюдались. Для каждого ансамбля событий были найдены средний поперечный $\langle P_{\perp}^p \rangle$ и средний продольный $\langle P_{\parallel}^p \rangle$ импульсы протонов в системе центра масс NN-столкновений, а также величина

$$R^* = \frac{2}{\pi} \frac{\langle P_{\perp}^p \rangle}{\langle P_{\parallel}^p \rangle}. \quad (4)$$

В среднем, для ограниченного класса событий, по которым образован ансамбль протонов, величина R^* , подобно R , может характеризовать близость распавшихся на частицы систем к состоянию термодинамического равновесия.

В табл. 4 приведены значения $\langle P_{\perp}^p \rangle$ и $\langle P_{\parallel}^p \rangle$ в МэВ/с, средних величин R^* и N_{π}/N_p в зависимости от степени расщепления мишени (N_p) в выделенных ансамблях событий.

Наблюдаемое в таблице увеличение фактора R^* с ростом N_p в ансамблях событий связано с уменьшением продольного и существ-

Параметр R^* в ансамблях событий $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ с разными N_h

N_h	0 ÷ 5	6 ÷ 25	$N_h \geq 26$
$\langle P_1^p \rangle$	386 ± 17	520 ± 20	564 ± 25
$\langle P_1^p \rangle$	500 ± 25	430 ± 20	390 ± 25
$\langle R^* \rangle$	$0,49 \pm 0,04$	$0,77 \pm 0,05$	$0,92 \pm 0,08$
N_π / N_p	$1,2 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$	$1,84 \pm 0,12$

венным увеличением поперечного движения протонов, сопровождающимся повышением на ~50% выхода π^\pm -мезонов на протон-участник в квазицентральных столкновениях $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Vr}$ с практически полным разрушением ядра-мишени. Следует отметить более резкий рост величин $\langle P_1^p \rangle$ и N_π / N_p при переходе от событий с $0 \leq N_h \leq 5$ к событиям с $6 \leq N_h \leq 25$, чем при последующем переходе к событиям с $N_h \geq 26$. Это указывает на заметную зависимость характеристик $\langle P_1^p \rangle$ и N_π / N_p от числа нуклонов, участников взаимодействия. Наблюдаемый скачок средних величин связан с переходом от взаимодействий с ядрами C, N, O и периферических взаимодействий с ядрами Ag, Vr к непериферическим столкновениям с ядрами Ag, Vr фотоэмульсии. Подобное изменение величин $\langle P_1^p \rangle$ и N_π / N_p наблюдается и в ансамблях событий, выделенных по Q при переходе к центральным столкновениям (табл. 2).

Близкое к единице значение фактора R^* в центральных соударениях $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Vr}$ с полным разрушением ядер-мишеней, значительное увеличение относительного выхода π^\pm -мезонов свидетельствуют о том, что энергия направленного движения нуклонов в области перекрытия ядер преобразуется в их хаотическое движение и энергию рожденных π^\pm -мезонов. Это указывает на возможное проявление в подобных событиях состояний, близких к равновесному. Отметим, что доля событий с $N_h \geq 26$ составляет более 12% от всех ^{12/}.

В квазицентральных взаимодействиях, выделенных по критерию $Q \leq 2$, средняя степень расщепления ядра-мишени соответствует значению $\langle N_h \rangle \approx 26$, т.е. условному событию с практически полным разрушением тяжелого ядра в эмульсии. Как видно из предыдущего, эффекты коллективного взаимодействия частиц ярче проявляются в событиях с наибольшим числом нуклонов-участников. Поэтому наибольшая недооценка КИМ рождения π^\pm -мезонов наблюдается в событиях с $Q < 2$ (табл. 3).

Наибольшее расхождение КИМ с экспериментом в оценке $\langle P_1^p \rangle$ в ансамбле непериферических ($N_h > 7$) столкновений $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Vr}$ также не случайно. Подчеркнем, что этот ансамбль характеризуется величиной $N_\pi / N_p = 1,4 \pm 0,05$, промежуточной между значением $(0,74 \pm 0,04)$ в периферических ($Q \geq 7$) столкновениях и величиной $(1,8 \pm 0,1)$ в центральных ($Q \leq 2$ табл. 3).

В работе /19/ в событиях непериферических столкновений $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Br} (N_h > 7)$ показаны проявления коллективных потоков частиц — отскока фрагментов ядра-снаряда и бокового выброса фрагментов ядра-мишени, тенденция к противоположной направленности суммарных векторов потоков частиц снаряда и мишени в событии. Коллективные движения фрагментов сталкивающихся ядер отразятся на движении протонов ядра-снаряда и релятивистских π^\pm -мезонов.

Таким образом, неучтенное КИМ коллективное поперечное движение протонов является причиной проявления наиболее заметного в рассматриваемом ансамбле событий расхождения в экспериментальном и расчетном значениях $\langle P_\perp^p \rangle$. Подобный, но менее заметный, эффект наблюдается и для π^\pm -мезонов.

АПРОКСИМАЦИЯ СПЕКТРОВ ПРОТОНОВ-УЧАСТНИКОВ И π^\pm -МЕЗОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ РЭЛЕЯ

В работе /9/ спектры поперечных импульсов фрагментов ядра-снаряда с зарядом $Z \geq 2$ в л.с. из $^{12}\text{C} + \text{эмульсия взаимодействий} (4,5 \text{ А ГэВ/с})$ были аппроксимированы распределением

$$f(P_\perp) = (P_\perp / \sigma^2) \cdot \exp(-P_\perp^2 / 2\sigma^2), \quad (5)$$

которое соответствует парциальным гауссовым распределениям по поперечным компонентам 3-импульса фрагмента в системе покоя фрагментирующего ядра. В /9/ отмечалось наличие "хвоста" больших передач в спектрах α и многозарядных фрагментов снаряда, не описываемого распределением Рэля. Подобное исследование было проведено и на материале $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия взаимодействий}$, где экспериментальные P_\perp -спектры фрагментов ядра-снаряда также неудовлетворительно описывались выражением (5). Надежная аппроксимация спектров (включая их высокоимпульсные области) была проведена суммой двух распределений Рэля с заметно отличающимися параметрами, что рассматривалось как указание на существование двух независимых источников испускания фрагментов с разными "температурами" σ_1 и σ_2 /10/. Наличие в ансамбле спектров фрагментов ядра-снаряда значительной доли частиц с большими P_\perp , очевидно, должно сопровождаться адекватными свойствами спектров протонов-участников и рожденных π^\pm -мезонов.

В табл. 5 даны результаты аппроксимации спектров релятивистских π^\pm -мезонов и протонов распределением Рэля, проведенной на экспериментальном материале из $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия взаимодействий}$.

Заниженные по сравнению с экспериментальными $\langle P_\perp \rangle_\alpha$ характеристиками математические ожидания $\langle P_\perp \rangle_0 = \sqrt{\pi/2} \sigma$ и высокие значения $\chi^2/\text{св}$ указывают на несоответствие наблюдаемых и ожидаемых распределений. В табл. 6 приведены результаты аппрок-

Таблица 5

Аппроксимация спектров релятивистских π^\pm -мезонов и протонов распределением Рэлея

	χ^2/cc	$\langle P_\perp \rangle_0$ МэВ/с	$\langle P_\perp \rangle_9$ МэВ/с
π^\pm	2,2	248 ± 10	280 ± 20
p	2,8	450 ± 16	550 ± 40

симации спектров двухрэлеевским распределением вида:

$$f(P_\perp) = \alpha (P_\perp / \sigma_1^2) \exp(-P_\perp^2 / 2\sigma_1^2) + (1-\alpha) (P_\perp / \sigma_2^2) \exp(-P_\perp^2 / 2\sigma_2^2), \quad (6)$$

где α — вклад первого члена распределения. Значения импульсов даны в МэВ/с.

Таблица 6

Аппроксимация спектров P_\perp протонов и π^\pm -мезонов двумя распределениями Рэлея

	A_p	$\langle P_\perp \rangle_1$	$1-\alpha$	$\langle P_\perp \rangle_2$	χ^2/cc	$\langle P_\perp \rangle_n$	$\langle P_\perp \rangle_9$
	^{22}Ne	170 ± 17	$0,5 \pm 0,1$	384 ± 14	0,6	277	280 ± 10
π^\pm	^{12}C	190 ± 70	$0,7 \pm 0,4$	320 ± 35	0,8	281	280 ± 14
		150 ± 10	$0,87 \pm 0,20$	340 ± 35	0,7	315	320 ± 16
p	^{22}Ne	236 ± 44	$0,8 \pm 0,1$	560 ± 40	0,8	495	500 ± 20

Величины $\langle P_\perp \rangle_n$, указанные в таблице, найдены как:

$$\langle P_\perp \rangle_n = \alpha \langle P_\perp \rangle_1 + (1-\alpha) \langle P_\perp \rangle_2; \quad \langle P_\perp \rangle_1 = \sqrt{\pi/2} \sigma_1; \quad \langle P_\perp \rangle_2 = \sqrt{\pi/2} \sigma_2.$$

Полученные при аппроксимации величины $\langle P_\perp \rangle_n$ и экспериментальные $\langle P_\perp \rangle_9$ хорошо согласуются, заметно снизившиеся значения $\chi^2/\text{на}$ степень свободы свидетельствуют о более надежной аппроксимации по сравнению с фитированием выражением (5). Анализируя подгоночные параметры спектров π^\pm -мезонов (табл. 6), отметим, что доля частиц с малыми $\langle P_\perp \rangle_1$ возрастает с увеличением A_p снаряда. Это можно объяснить возрастанием вклада периферических столкновений с увеличением массы A_p .

Большие $\langle P_\perp \rangle_2$ -параметры, соответствующие более "горячему" источнику частиц, связаны с реализацией столкновений ядер

при большом числе нуклонов-участников, например, во взаимодействиях $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Vr}$, сопровождающихся полным разрушением ядра-мишени и в периферических $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Vr}$ столкновениях. Подтверждением этому является близость параметра $\langle P_{\perp} \rangle_2 = 560 \pm 40$ МэВ/с и среднего импульса $\langle P^P \rangle = 564 \pm 24$ МэВ/с протонов в ансамбле событий $N_h \geq 26$ (табл.4), а также $\langle P^P \rangle = 540 \pm 25$ МэВ/с для событий $N_h > 7/7$.

Таким образом, результаты работы указывают на то, что источники рождения s -частиц различны. Характеристики этих частиц в значительной мере определяются числом эффективно провзаимодействовавших в событии нуклонов, что, в частности, связано как с массами сталкивающихся ядер, так и с геометрией их столкновения. Полученные результаты не отвергают возможности одновременной реализации в конкретных событиях двух (или более) источников испускания частиц.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Близкие во взаимодействиях $p, ^{12}\text{C}, ^{22}\text{Ne}$ с ядрами фотоэмульсии наклоны энергетических распределений подтверждают вывод о слабой зависимости формы спектров и соответствующих средних импульсов релятивистских π^{\pm} -мезонов от массы ядра-снаряда.

2. Найдены соотношения выхода частиц в ансамбле g -фрагментов ядер ^{22}Ne в антилабораторной системе координат. Энергетический спектр g -фрагментов ядер фотоэмульсии и спектр g -фрагментов ядер ^{22}Ne практически одинаковы по форме. Полученные соотношения дают представление об относительном выходе частиц в совокупности g -фрагментов покоящегося ядра.

3. Прослежены свойства спектров релятивистских π^{\pm} -мезонов и протонов в центральных и периферических столкновениях ядер, наблюдается зависимость свойств от числа нуклонов-участников в событии.

4. В столкновениях $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Vr}$ с полным разрушением ядер-мишени подтверждается выполнение признака термализации протонов, предсказываемой моделью фэйрбола.

Показано, что в центральных соударениях и во взаимодействиях $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Vr}$ с полным разрушением ядер-мишени наблюдается превышение на 45-50% выхода π^{\pm} -мезонов на протон-участник над этой величиной в периферических соударениях. Подобный эффект наблюдался в периферических взаимодействиях $p, ^{12}\text{C}$ с ядрами Ag, Vr при близких энергиях.

Рассмотрено возможное проявление коллективного поперечного движения s -протонов в периферических $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Vr}$ столкновениях.

5. КИМ не воспроизводит экспериментальных характеристик частиц в $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}, \text{Vr}$ периферических и центральных столкновениях ядер. Расхождение, вероятно, обусловлено вкладом коллективных

эффектов, связанных с увеличением числа и плотности частиц в объеме столкновения, не учитываемых моделью.

6. Показано, что спектры поперечных импульсов релятивистских π^+ -мезонов и протонов-участников во взаимодействиях с ядрами фотоэмульсии состоят из двух компонентов с существенно различными средними характеристиками, что может быть интерпретировано как наблюдение двух источников испускания частиц. Доля π^+ -мезонов с малыми поперечными импульсами возрастает с увеличением A_p .

Показано совпадение среднего поперечного импульса, соответствующего высоковозбужденному источнику протонов в $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействиях, среднего поперечного импульса протонов в событиях полного разрушения Ag , Vg ядер и среднего поперечного импульса в периферических $^{22}\text{Ne} + \text{Ag}$, Vg соударениях.

Авторы благодарны С.Д.Богданову и Э.Г.Бубелеву за полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толстов К.Д. ОИЯИ, P1-8662, Дубна, 1975.
2. Tolstov K.D. – *Z.Phys.A – Atoms and Nuclei*, 1981, 301, 339.
3. Westfall G.D. et al. – *Phys.Rev.Lett.*, 1976, v.37, p.1202.
4. Тонеев В.Д. и др. – *ЭЧАЯ*, 1986, 17, 1093.
5. Банник Б.П. и др. ОИЯИ, P1-13055, Дубна, 1980.
6. Карабова М. и др. ОИЯИ, P1-83-14, Дубна, 1983.
7. Лескин В.А., Толстов К.Д. Краткие сообщения ОИЯИ, №17-86, Дубна, 1986.
8. Шабратова Г.С. и др. ОИЯИ, P1-86-303, Дубна, 1986.
9. Марин А. и др. – *ЯФ*, 1980, 32, 1387.
10. Андреева Н.П. и др. ОИЯИ, P1-86-828, Дубна, 1986.
11. Курепин А.Б., Пантуев В.С. Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий, ОИЯИ, Д1,2-86-668, т.1, с.273, Дубна, 1987.
12. Андреева Н.П. и др. ОИЯИ, P1-86-8, Дубна, 1986.
13. Андреева Н.П. и др. *ЯФ*, 1988, 47, с.157.
14. Амеева Б.У. и др. ИФВЭ, 87-09, Алма-Ата, 1987.
15. Толстов К.Д., Хошмухамедов Р.А. ОИЯИ, P1-7897, Дубна, 1973.
16. Богданов В.Г. и др. – *ЯФ*, 1983, т.28, с.1493.
17. Балдин А.М. – *ЭЧАЯ*, 1977, 8, с.429.
18. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, P2-83-117, Дубна, 1983.
19. Банник Б.П. и др. ОИЯИ, P1-87-546, Дубна, 1987.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 марта 1988 года.

**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

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1.2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987	4 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Вокал С. и др.

P1-88-215

Спектры π^- -мезонов и протонов в центральных и периферических столкновениях p, ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии при 4,5 А ГэВ/c

Рассматриваются спектры релятивистских π^- -мезонов и протонов, испытавших взаимодействия в неупругих столкновениях p, ^{12}C , ^{22}Ne с ядрами фотоэмульсии. Найдены соотношения выхода частиц в ансамбле g-фрагментов покоящихся ядер ^{22}Ne . Экспериментальные результаты сравниваются с предсказаниями каскадно-испарительной модели для $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействий. Показано, что P_{\perp} -спектры π^- -мезонов и протонов состоят из двух компонентов. Средний поперечный импульс высоковозбужденного источника протонов в $^{22}\text{Ne} + \text{эмульсия}$ взаимодействиях и в событиях полного разрушения Ag, Br ядер равны. Для протонов из этих событий выполняется признак термализации, выход π^- -мезонов на протон на ~50% больше этой величины в периферических соударениях.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Vokal S. et al.

P1-88-215

Spectra of π^- -Mesons and Protons in Central and Peripheral Collision of p, ^{12}C , ^{22}Ne with Photoemulsion Nuclei at 4.5 GeV/c

Spectra of relativistic π^- -mesons and protons undergoing interaction in inelastic collisions of p, ^{12}C , ^{22}Ne with photoemulsion nuclei are considered. The ratio of particle yield in g-fragment ensemble of ^{22}Ne nuclei at rest have been found. Experimental results are compared with the predictions of cascade-evaporation model for $^{22}\text{Ne} + \text{emulsion}$ interaction. It is shown that P_{\perp} -spectra of π^- -mesons and protons consist of two components. Average transverse momentum of highly excited proton source in $^{22}\text{Ne} + \text{emulsion}$ interactions and in events of total disintegration of Ag, Br nuclei are similar. Thermolyzation feature is fulfilled for protons from these events, the yield of π^- -mesons to proton is by 50% more than this value in peripheral collisions.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988

18 коп.

Редактор Б.Б. Колесова. Макет Т.Е. Попеко.
Набор О.В. Шестаковой, Л.М. Кашехлебовой.
Подписано в печать 16.05.88.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 1,2.
Тираж 470. Заказ 40552.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Дубна Московской области.