

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-86-8

МНОЖЕСТВЕННОСТИ  
И УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ЯДЕР  $^{22}\text{Ne}$   
В ФОТОЭМУЛЬСИИ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,1 А ГэВ/с

Сотрудничество: Алма-Ата - Бухарест - Гатчина -  
Дубна - Душанбе - Ереван - Кошице - Краков -  
Ленинград - Москва - Ржеж - Ташкент -  
Тбилиси - Улан-Батор

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1986

Н.П. Андреева, Э.В. Анзон, В.И. Бубнов, А.Ш. Гайтинов, Г.Ж. Елигбаева,  
Л.Е. Еременко, Г.С. Калячкина, Э.К. Каныгина, А.М. Сейтиимбетов,  
И.Я. Часников

Институт физики высоких энергий АН КазССР, Алма-Ата

М.Гицок, В.Топор, М.Хайдук

Центральный институт физики, Бухарест

Ф.Г. Лепехин, Б.Б. Симонов

Ленинградский институт ядерной физики

А.Вокалова, С.А. Краснов, К.Д. Толстов, Г.С. Шабратова

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Р.А. Хошмухамедов

Государственный медицинский институт ТаджССР, Душанбе

Д.А. Саломов

Государственный университет, Душанбе

В.А. Лескин

Физико-технический институт АН ТаджССР, Душанбе

Ф.А. Аветян, В.М. Крищян, Н.А. Марутян, Л.Г. Саркисова,

В.Ф. Саркисян

Ереванский физический институт

С.Вокал, М.Карабова, Э.Силеш, М.Тотова

Университет г.Кошице, ЧССР

Х.Вильчински, Б.Восек, Х.Волтер, Э.Гладыш

Институт ядерной физики, Краков, ПНР

В.А. Антончик, В.А. Бакаев, А.В. Белоусов, С.Д. Богданов,

В.И. Остроумов

Ленинградский политехнический институт

В.Г. Богданов, В.А. Плющев, Э.И. Соловьева

Радиевый институт им.В.Г. Хлопина, Ленинград

М.И. Адамович, В.Г. Ларионова, Н.В. Масленникова, Г.И. Орлова,

М.И. Третьякова, С.П. Харламов, М.М. Чернявский

Физический институт АН СССР им.П.Н. Лебедева, Москва

М.Шумбера

Институт ядерной физики, Ржеж, ЧССР

С.А. Азимов, Ш. Абдужамилов, А. Абдужамилов, С. Гаджиева,

К.Г. Гуламов, А. Жуманов, Н.С. Лукичева, Д.М. Мирходжаева,

В.Ш. Навотный, В.И. Петров, Е.А. Раввина, Н.Ш. Саидханов,

А.Н. Свечникова, Л.П. Чернова

Физико-технический институт АН УзССР, Ташкент

А.Х. Бабаев, Е.С. Басова, Л.Е. Бенгус, А.И. Бондаренко, У.Г. Гулямов,

Т.П. Трофимова, Р.У. Холматова, Г.М. Чернов

Институт ядерной физики АН УзССР, Улугбек

Н.И. Костанашвили

Тбилисский государственный университет

Л.Сэрдамба, Р.Тогоо, Д.Тувдендорж

Институт физики и техники АН МНР, Улан-Батор

## ВВЕДЕНИЕ

Ядро-ядерные взаимодействия при высоких энергиях вызывают в последние годы значительный и все возрастающий интерес, связанный с поиском различных, нередко весьма экзотических, коллективных свойств ядерной материи в условиях высоких температур и плотностей, реализующихся в процессе соударения. Особую значимость в связи с этим поиском приобретает вывод, сделанный на основе экспериментальных данных о предельной фрагментации ядер <sup>1-3/</sup>, о существовании в них многокварковых конфигураций, что свидетельствует о том, что эффекты, обусловленные кварк-глюонной структурой ядерной материи, проявляются уже при энергиях, достигнутых на синхрофазотроне ОИЯИ <sup>4/</sup>.

Вопрос о соотношении различных динамических механизмов ядро-ядерного взаимодействия при высоких энергиях относится к наиболее интересным проблемам релятивистской ядерной физики. Для его решения, очевидно, необходимо получить значительный объем экспериментальной информации о разнообразных характеристиках таких соударений; особенно это относится к пока еще мало исследованным при дубненских энергиях процессам множественного рождения частиц в соударениях релятивистских тяжелых ионов с достаточно большими значениями массового числа ядра-снаряда ( $A_{\text{снар}} > 20$ ).

В настоящей работе представлены и обсуждены экспериментальные данные об основных характеристиках /множественности и угловые распределения заряженных вторичных частиц/ неупругих соударений ядер неона ( $^{22}\text{Ne}$ ) с ядрами фотозмульсии при импульсе 4,1 А ГэВ/с на нуклон снаряда. Таким образом, настоящий эксперимент продолжает серию фотозмульсионных опытов по исследованию ядро-ядерных взаимодействий при рассматриваемой энергии; ранее этим сотрудничеством были опубликованы данные о взаимодействиях в фотозмульсии протонов <sup>5/</sup>, дейтронов <sup>6/</sup>,  $\alpha$ -частиц <sup>7/</sup> и ядер углерода <sup>8/</sup>, а также первые данные по  $^{22}\text{Ne}$  <sup>9/</sup>.

### 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Эмульсионные камеры, состоящие из слоев ядерных фотозмульсий ГОСНИИХИМОПРОЕКТА типа БР-2 размерами 10x20x0,06 см<sup>3</sup> облучались в пучке ядер  $^{22}\text{Ne}$  с импульсом 4,1 А ГэВ/с на синхрофазотроне ОИЯИ. Плотность облучения эмульсии составляла около 10<sup>4</sup> ядер/см<sup>2</sup>.

Поиск неупругих взаимодействий осуществлялся путем двойного /быстрого и медленного/ просмотра вдоль первичного следа. При просмотре исключались из рассмотрения события без образования

заряженных вторичных частиц /рассеяния на малые углы без каких-либо признаков возбуждения или развала ядра-мишени, удовлетворяющие кинематике упругого ядро-ядерного соударения/, а также события электромагнитной природы /рождение  $\beta$ -электронов и  $e^+e^-$ -пар/. На общей длине 947,4 м просмотренного следа было найдено 9318 событий; средний свободный пробег ядер  $^{22}\text{Ne}$  в фотоэмульсии составил, таким образом, величину  $\lambda = /10,2_{+0,1}/$  см.

Для дальнейшего анализа без какой-либо дискриминации по числу заряженных частиц было отобрано 4151 взаимодействие. В этих событиях определены полярные ( $\theta$ ) и азимутальные ( $\phi$ ) углы вылета всех заряженных вторичных частиц, которые в соответствии со стандартными фотоэмульсионными критериями классифицированы по следующим типам:

1. Черные или  $b$ -частицы с пробегом в фотоэмульсии  $R \leq 3$  мм /кинетическая энергия протонов  $T_p \leq 26$  МэВ/.

2. Серые или  $g$ -частицы с ионизацией  $J/J_{\min} > 1,4$  и пробегом  $R > 3$  мм /кинетическая энергия протонов  $26 < T_p \leq 400$  МэВ/.

Черные и серые частицы являются, в основном, продуктами расщепления ядра-мишени и в совокупности составляют сильноионизирующие или  $h$ -частицы,  $n_h = n_b + n_g$ .

3. Многочарядные ( $Z \geq 2$ ) фрагменты ядра-снаряда / $f$ -частицы/ с ионизацией  $J/J_{\min} \geq 4$ , не изменяющейся на длине  $\geq 2$  см.

4. Однозарядные релятивистские или  $s$ -частицы с  $J/J_{\min} \leq 1,4$ .

Следует отметить, что в  $s$ -частицы дают вклад, наряду с "рожденными" частицами / $\pi^\pm$ -мезоны, провзаимодействовавшие протоны снаряда и релятивистские протоны отдачи из ядра-мишени/, также и спектаторные однозарядные фрагменты ядра-снаряда. Вклад последних определялся из анализа угловых распределений  $s$ -частиц в области малых значений полярных углов вылета  $\theta$  /см., напр.,  $^{10}/$ . В результате этого анализа полагалось, что релятивистские частицы с  $\theta < 2,5^\circ$  являются однозарядными спектаторными фрагментами снаряда, и в данной работе исключались из рассмотрения характеристик  $s$ -частиц.

Важной характеристикой ядро-ядерного соударения является число нуклонов ядра-снаряда, участвующих во взаимодействии с мишенью -  $n_{\text{int}}$ . Оценка его среднего значения определена из соотношения

$$\langle n_{\text{int}} \rangle = A_p \frac{A_p Q^*}{Z_p},$$

/1/

где  $A_p, Z_p$  - массовое число и порядковый номер ядра-снаряда,

\* Следует отметить, что для крайних значений  $Q$ , равных нулю или  $Z_p$ , это определение теряет смысл.

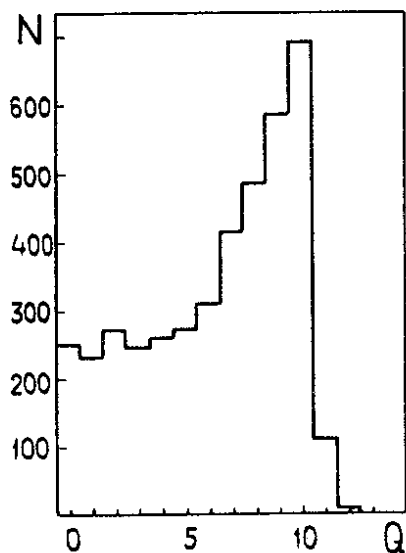


Рис.1. Распределение по Q.

$Q = \sum Z_i$  - суммарный заряд спектральных фрагментов снаряда / f - частиц / в акте взаимодействия.

На рис.1 представлено распределение по величине Q для рассматриваемых нами NeEm-взаимодействий. Поскольку  $\langle Q \rangle = 6,23 \pm 0,03$  /ошибки здесь и далее только статистические/, то среднее число взаимодействующих нуклонов снаряда для всех неупругих взаимодействий  $\langle n_{int} \rangle = 8,30 \pm 0,06$ .

Теоретическое и практически модельно независимое значение этой величины определяется хорошо известным выражением

$$\langle n_{int} \rangle = A_p \sigma_{in}^{NB} / \sigma_{in}^{AB}, \quad /2/$$

где  $\sigma_{in}^{NB}, \sigma_{in}^{AB}$  - сечения неупругого нуклон-ядерного и ядро-ядерного взаимодействий соответственно. Используя формулы работы /11/ для вычислений соответствующих сечений, можно получить для  $^{22}\text{NeEm}$  -соударений  $\langle n_{int} \rangle_T = 9,7$ , что рассматривается как неплохое приближение к экспериментальному значению.

## 2. МНОЖЕСТВЕННОСТИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Рассмотрим данные о средних множественностях "рожденных" релятивистских частиц и сильноионизирующих частиц - продуктов расщепления ядра-мишени.

В табл.1 представлены данные о средних множественностях разных типов частиц из NeEm-соударений, а также аналогичные данные для взаимодействий более легких ядер-снарядов в эмульсии при близких энергиях на нуклон снаряда /5-8/, в сравнении с результатами расчетов по каскадно-испарительной модели ядро-ядерных взаимодействий, описанной в работе /12/. Строго говоря, прямое сравнение экспериментальных данных о средних множественностях в разных типах AEm-соударений является некорректным, т.к. относительные вклады взаимодействий с разными компонентами эмульсии (H, CNO, AgBr) существенно изменяются с  $A_p$ ; такое

\* Мы благодарны Ж.Ж.Мусульманбекову, предоставившему в наше распоряжение программу розыгрыша ядро-ядерных взаимодействий по модели внутриядерного каскада.

Таблица 1

Средние множественности во взаимодействиях релятивистских тяжелых ионов с ядрами фотоэмульсии

Ансамбли взаимодействий	$\langle n_s \rangle$	$\langle n_b \rangle$	$\langle n_g \rangle$
pEm	1,6 $\pm$ 0,1 /1,8/ *	3,8 $\pm$ 0,1 /3,3/	2,8 $\pm$ 0,1 /2,7/
<sup>4</sup> HeEm	3,4 $\pm$ 0,1 /4,3/	4,7 $\pm$ 0,2 /5,6/	4,6 $\pm$ 0,2 /5,5/
<sup>12</sup> CEm	7,6 $\pm$ 0,2 /8,3/	4,3 $\pm$ 0,2 /4,7/	5,9 $\pm$ 0,3 /7,3/
<sup>16</sup> NeEm	10,53 $\pm$ 0,05 /10,8/	4,22 $\pm$ 0,03 /4,6/	6,32 $\pm$ 0,04 /7,7/

\* В скобках представлены результаты расчетов по каскадно-испарительной модели <sup>12/</sup>.

сравнение возможно лишь для случаев <sup>12</sup>CEm и <sup>22</sup>NeEm -соударений, в которых относительные вклады взаимодействий с разными ядрами эмульсии отличаются незначительно.

В табл.2 представлены данные об удельных множественностях

$$R_i = \langle n_i \rangle / \langle n_{int} \rangle \quad /3/$$

разных типов заряженных частиц в ансамблях <sup>22</sup>NeFm взаимодействий для различных интервалов Q. Анализ этих данных приводит к следующим выводам.

1. С увеличением массового числа ядра-снаряда A<sub>p</sub> средняя множественность релятивистских частиц сильно возрастает, при этом возрастает и множественность g-частиц, в то время как множественности b-частиц практически не изменяются. Если использовать степенную параметризацию

$$\langle n_i \rangle \sim A_p^{\alpha_i}, \quad /4/$$

то, используя данные табл.1 для <sup>12</sup>CEm и <sup>22</sup>NeEm -соударений, можно получить  $\alpha_s = 0,54 \pm 0,04$ ;  $\alpha_g = 0,11 \pm 0,05$ ;  $\alpha_b = -0,03 \pm 0,07$ .

Таким образом, при фиксированном массовом числе ядра-мишени A<sub>T</sub> множественности заряженных частиц возрастают с A<sub>p</sub> тем силь-

Таблица 2

Удельные множественности  $R_i$  в разных группах  $^{22}\text{NeEm}$  - соударений

$Q$	$R_g$	$R_g$	$R_b$	$R_h$
8-10	$1,40 \pm 0,03$	$0,91 \pm 0,02$	$1,06 \pm 0,02$	$1,97 \pm 0,02$
5-7	$1,03 \pm 0,01$	$0,56 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,01$	$1,03 \pm 0,01$
2-4	$1,21 \pm 0,01$	$0,69 \pm 0,01$	$0,44 \pm 0,01$	$1,13 \pm 0,01$
0-1	$1,44 \pm 0,01$	$0,94 \pm 0,01$	$0,41 \pm 0,01$	$1,35 \pm 0,01$

нее, чем больше их средние импульсы в лабораторной системе координат.

2. Множественности всех типов заряженных частиц существенно зависят от прицельного параметра ядро-ядерного соударения, качественной мерой которого является  $Q$  или  $n_{int}$  /табл.2/. При этом:

а/ удельные множественности всех типов частиц оказываются различными в разных  $Q$ -группах;

б/  $R_i$  существенно меньше, чем соответствующие средние множественности  $\langle n_i \rangle$  во взаимодействиях протонов с ядрами эмульсии /см. табл.1/.

Эти особенности удельных множественностей противоречат следствиям простых суперпозиционных моделей, в которых предполагается, что ядро-ядерные взаимодействия могут рассматриваться как некогерентная сумма нуклон-ядерных или даже нуклон-нуклонных соударений. Противоречие сохраняется, даже если учесть хорошо известный факт, что при рассматриваемых энергиях множественности  $\nu$ -частиц в нейтрон-ядерных /нейтрон-нуклонных/ соударениях меньше, чем в протон-ядерных /протон-нуклонных/ взаимодействиях.

3. Соотношение между  $g$ - и  $b$ -частицами в ядро-ядерных взаимодействиях существенно зависит от  $Q$  или  $n_{int}$  - доля  $g$ -частиц возрастает с уменьшением  $Q$  /возрастанием  $n_{int}$  /. Так, для  $\text{NeEm}$  соударений с  $Q = 0-1, 2-4, 5-7, 8-10$ , отношение  $\langle n_g \rangle / \langle n_b \rangle$  составляет соответственно  $2,31 \pm 0,03$ ;  $1,56 \pm 0,02$ ;  $1,16 \pm 0,02$  и  $0,85 \pm 0,03$ , в то время как для  $\text{pEm}$ -взаимодействий  $\langle n_g \rangle / \langle n_b \rangle = 0,74 \pm 0,03$ . Иными словами, с уменьшением прицельного параметра ядро-ядерного соударения увеличивается вклад быстрых протонов, образованных в прямых процессах, а вклад испарительных частиц быстро уменьшается.

Это обстоятельство, также противоречащее суперпозиционным моделям, указывает на большую роль геометрических факторов и эффектов экранировок в ядро-ядерных взаимодействиях.

Наблюдаемые расхождения между экспериментальными данными и предсказаниями простых суперпозиционных моделей не являются неожиданными. Действительно, эти модели не учитывают многих очевидных особенностей ядро-ядерных взаимодействий, таких, как, например, влияние формы распределения прицельных параметров на характеристики конечной системы адронов, действие законов сохранения энергии-импульса в процессах многократного рассеяния и т.д., которые, очевидно, могут играть решающую роль при рассматриваемых нами энергиях и для соударений таких протяженных объектов, как атомные ядра.

Поэтому представляет интерес сравнить полученные экспериментальные данные с предсказаниями хорошо разработанной модели внутриядерных каскадов, свободной от вышеуказанных недостатков. Заметим, что в каскадной модели из-за учета некоторых факторов /например, трейлинг-эффекта/ ядро-ядерные взаимодействия не могут быть сведены к простой суперпозиции адрон-ядерных соударений.

Из сравнения экспериментальных данных о средних множественностях в ядро-ядерных взаимодействиях с каскадно-испарительной моделью /табл.1/ можно сделать следующие выводы.

1. Каскадно-испарительная модель хорошо описывает качественный характер изменения средних множественностей разных типов заряженных частиц в ядро-ядерных взаимодействиях с увеличением  $A_p$ .

2. Что касается количественного сравнения, модель систематически переоценивает средние множественности всех типов заряженных частиц; для  $NeEm$ -взаимодействий наиболее существенным является расхождение в множественности  $g$ -частиц.

На рис.2 представлены экспериментальные данные о распределениях множественностей  $v$ -,  $g$ -,  $b$ - и  $h$ -частиц из  $^{22}NeEm$ -соударений;  $n_s$  - распределение здесь сравнено с таковым для  $^{12}CEm$ -взаимодействий, нормированным на такое же число событий. Из сравнения данных рис.2 с аналогичными для более легких ядер-снарядов, приведенными в работе /8/, можно сделать следующие выводы.

1. Распределения множественностей всех типов частиц в ядро-ядерных взаимодействиях уширяются с увеличением  $A_p$ ; так, в  $^{22}NeEm$ -взаимодействиях появляются хвосты распределений по  $n_s / n_g > 30/$  и  $n_b / n_g > 25/$ , практически отсутствующие для  $^{12}CEm$ -взаимодействий. При этом, будучи выраженными в КНО-скейлинговых переменных,  $n_s$ -распределения в ядро-ядерных соударениях с разными  $A_p$  не проявляют какого-либо универсального поведения.



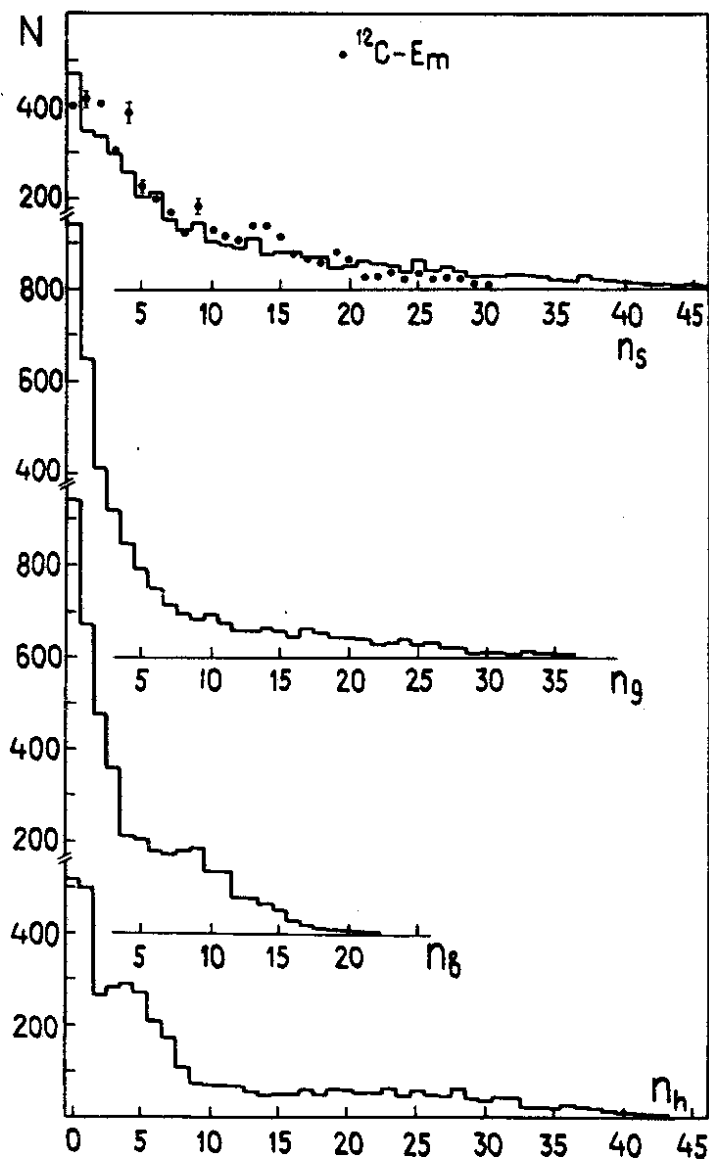


Рис. 2. Распределения по множественности  $s$ -,  $g$ -,  $b$ -,  $h$ -частиц в  $^{22}\text{NeEm}$ -взаимодействиях. Точки - распределения по множественности  $s$ -частиц в  $^{12}\text{CEm}$ -взаимодействиях.

2. Уширяется и  $p_h$ -распределение; так, вклад событий с так называемым "полным разрушением" тяжелых ядер эмульсии ( $p_h \geq 28$ ) в  $^{22}\text{NeEm}$ -соударениях превышает 10% всех неупругих взаимодействий в эмульсии.

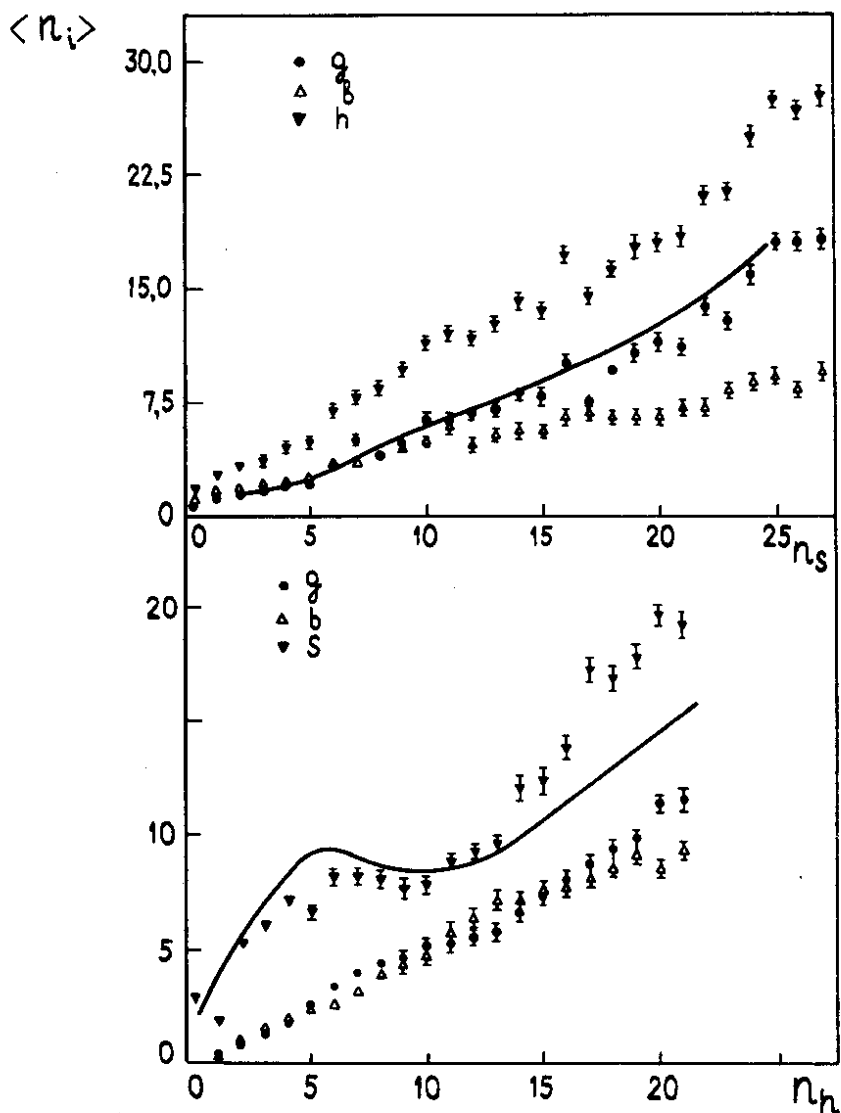


Рис.3. Корреляции множественности. Кривые - расчет по каскадно-испарительной модели.

Интересно также отметить, что в  $^{22}\text{NeEm}$ -соударениях, в отличие от взаимодействий более легких ядер-снарядов,  $n_h$ -распределение приобретает весьма характерный вид с двумя хорошо выделенными максимумами при  $n_h = 0,1$  и  $n_h = 4$  и широким основанием с центром при  $n_h \approx 20$ , вероятно, обусловленными вкладами взаимодействий на свободном и квазисвободном водороде, легких (CNO) и тяжелых (AgBr) ядрах эмульсии.

В заключении настоящего раздела рассмотрим данные о корреляциях между множественностями частиц разного типа из  $NeEm$  - взаимодействий. На рис.3, для примера приводятся зависимости  $\langle n_i \rangle (n_s)$  и  $\langle n_i \rangle (n_h)$ . Как и в адрон-ядерных взаимодействиях при очень высоких энергиях, эти корреляции /за исключением  $\langle n_s \rangle (n_h)$  могут быть приближенно аппроксимированы линейными функциями с положительными наклонами

$$\langle n_i \rangle (n_j) = a_{ij} n_j + b_{ij} . \quad /5/$$

Что касается зависимости  $\langle n_s \rangle (n_h)$ , то она имеет характерную форму с широким наплывом в области относительно малых  $n_h$ , обусловленным вкладом центральных взаимодействий ядер неона с легкими ядрами эмульсии.

Сравнение экспериментальных данных с результатами расчетов по каскадно-испарительной модели /кривые на рис.3/ показывает, что модель удовлетворительно описывает эти корреляции, за исключением  $\langle n_s \rangle (n_h)$  - для нее модель переоценивает наклон корреляционной зависимости в области  $n_h > 10$ .

### 3. УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

На рис.4 представлено распределение по псевдобыстроте ( $\eta = -\ln \theta / 2$ ) релятивистских частиц, образованных в  $^{22}NeEm$  - соударениях, а на рис.5 показаны зависимости средних значений  $\langle \eta \rangle$  и дисперсий  $D = \langle \eta^2 \rangle - \langle \eta \rangle^2$   $\eta$ -распределений  $s$ -частиц в различных  $Q$ -группах. Анализ результатов дает основание для следующих выводов.

1. Инклюзивное  $\eta$ -распределение имеет максимум вблизи  $\eta_{сцм}$  нуклон-нуклонного взаимодействия, относительно которого распределение обнаруживает заметную асимметрию.

2. В полуинклюзивных /при разных  $Q$ /  $\eta$ -распределениях величина коэффициента асимметрии уменьшается при переходе к меньшим прицельным параметрам ядро-ядерного соударения.

3. Средние значения ( $\langle \eta \rangle$ ) и дисперсии ( $D(\eta)$ ) распределений по псевдобыстротам релятивистских частиц также обнаруживают заметную зависимость от  $Q$  или  $n_{int}$  /рис.5/: они уменьшаются с увеличением  $n_{int}$ . Изменение  $\eta$ -распределений с  $\langle n_{int} \rangle$  происходит таким образом, что величина отношения  $\langle \eta \rangle / D(\eta)$  уменьшается с ростом  $n_{int}$ .

4. Каскадная модель, хотя качественно и не противоречит данным по инклюзивному  $\eta$ -распределению для всех  $^{22}NeEm$ -соударений, количественно и качественно не согласуется с экспериментальными данными для разных  $Q$ -групп взаимодействий.

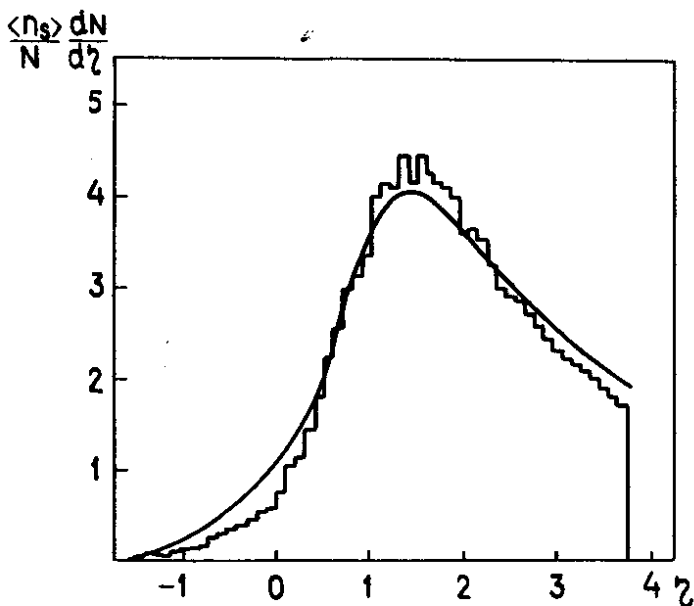


Рис.4. Распределение по псевдобыстроте  $s$ -частиц. Кривая - расчет по каскадно-испарительной модели.

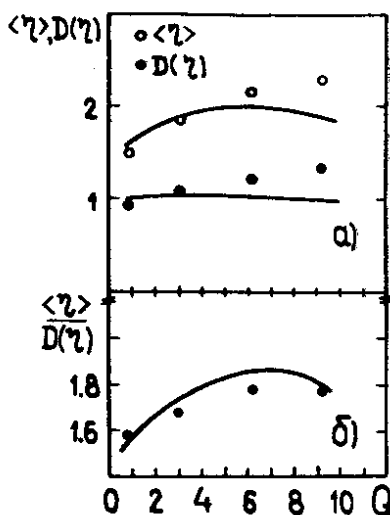


Рис.5. а/ Средние значения  $\langle \eta \rangle$  и дисперсий  $D(\eta)$ -распределений в зависимости от  $Q$ ; б/ отношение  $\langle \eta \rangle / D(\eta)$  в зависимости от  $Q$ . Кривые - расчет по каскадно-испарительной модели.

Что касается кажущегося воспроизведения зависимости отношения  $\langle \eta \rangle / D(\eta)$ , оно, как видно из рис.5а, достигается за счет того, что в модели дисперсии  $\eta$ -распределений не зависят от  $Q$  и модель количественно не воспроизводит  $\langle \eta \rangle$  для периферических соударений ядер.

Рассмотрим угловые распределения сильноионизирующих частиц. На рис.6,7 представлены  $\cos \theta$ -распределения  $g$ - и  $b$ -частиц соответственно для разных рассматриваемых нами ансамблей  $^{22}\text{NeEm}$ -взаимодействий, а на рис.8 показаны зависимости коэффициента

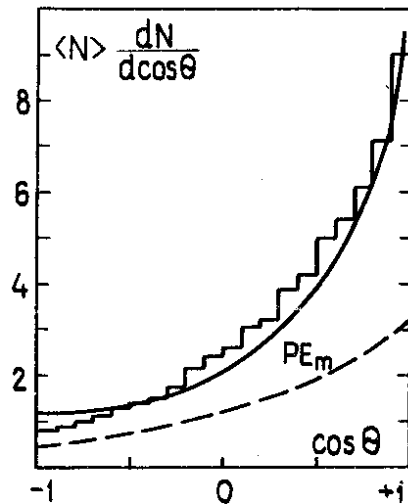
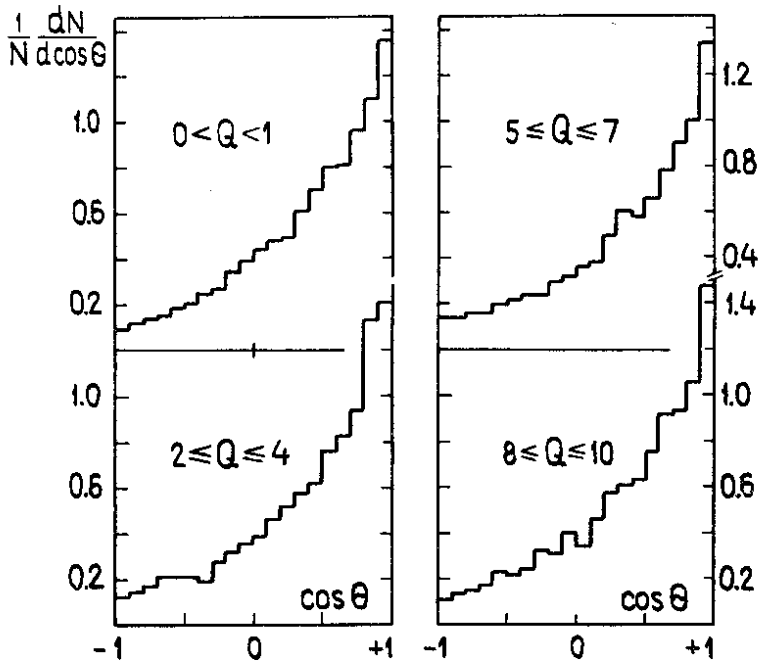


Рис. 6. Распределения по  $\cos \theta$  для  $\gamma$ -частиц в различных областях  $Q$ . Кривые - расчет по каскадно-испарительной модели и  $pE_m$ -взаимодействию при  $E_0 = 4$  ГэВ.

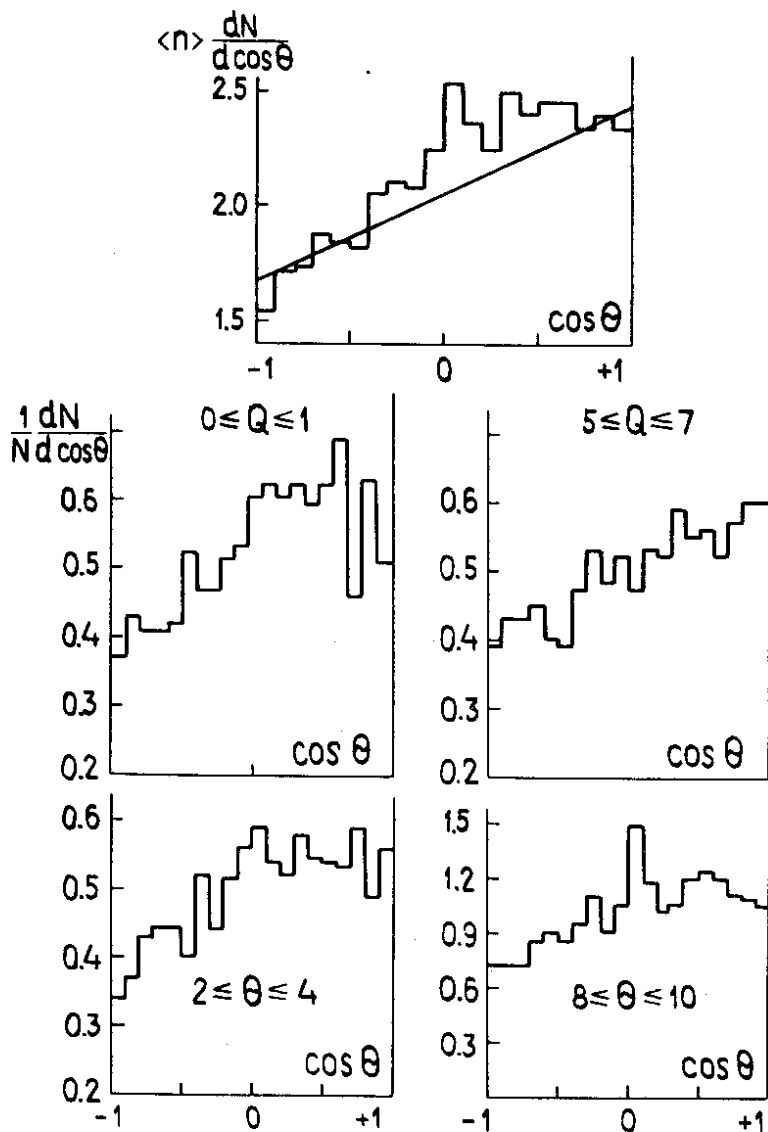


Рис.7. Распределения по  $\cos \theta$  для  $b$ -частиц в различных областях  $Q$ .

угловой асимметрии

$$A = \frac{N(\theta < \pi/2) - N(\theta > \pi/2)}{N(\theta < \pi/2) + N(\theta > \pi/2)}$$

/6/

от величины  $Q$ . Рассмотрение этих данных ведет к следующим заключениям.

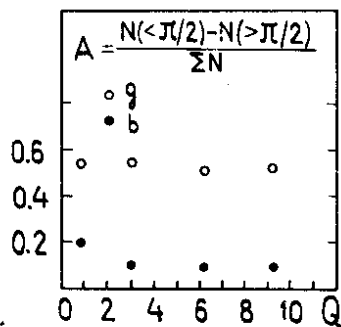


Рис.8. Параметр азимутальной асимметрии  $A$  в зависимости от  $Q$ .

1. В NeEm-соударениях по сравнению с pEm взаимодействиями /рис.6 / существенно возрастает коллимация  $g$ -частиц вперед. Одной из возможных причин этого эффекта может быть вклад рожденных частиц /пионов/ в  $g$ -частицы. Кроме того, можно ожидать, что с увеличением  $A_p$  среди  $g$ -частиц возрастает вклад прямых нуклонов отдачи, выбитых непосредственно нуклонами снаряда.

2. Коэффициенты азимутальной асимметрии для  $g$ -частиц не зависят от  $Q$  /см. рис.8/.

Коэффициент угловой асимметрии для  $b$ -частиц, в отличие от такового для  $g$ -частиц, обнаруживает зависимость от  $Q$  - в центральных NeEm соударениях  $A$  вдвое больше, чем в периферических соударениях.

3. В угловых распределениях  $b$ -частиц обнаруживается широкий максимум, который становится более очевидным в центральных  $/Q = 0,1/$  соударениях ядер неона с ядрами эмульсии /рис.7/. Подобные максимумы наблюдались <sup>18,14</sup>/в угловых распределениях  $b$ -частиц из соударений ядер <sup>16</sup>O и <sup>40</sup>Ar, а также в работе <sup>15</sup>/для протонов с кинетическими энергиями  $T \approx 12$  МэВ.

В работах <sup>16,17</sup>/ такой максимум был интерпретирован на основе представлений о коллективных /гидродинамических/ свойствах ядерной материи.

4. Каскадная модель удовлетворительно описывает угловые распределения  $g$ -частиц. Что касается  $b$ -частиц, она не воспроизводит форму их углового распределения и не дает наблюдаемого на опыте максимума распределения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер рассмотренных в работе зависимостей множественностей заряженных частиц от массового числа ядра-снаряда и числа взаимодействующих нуклонов снаряда позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемые ядро-ядерные взаимодействия не могут быть сведены к некогерентной суперпозиции независимых нуклон-ядерных взаимодействий.

В угловых распределениях наиболее медленных заряженных частиц - продуктов расщепления ядра-мишени обнаружены широкие максимумы, более отчетливо проявляющиеся в наиболее центральных соударениях сталкивающихся ядер.

Анализ результатов в рамках каскадно-испарительной модели показал, что она удовлетворительно описывает значительную часть данных. Наряду с этим наблюдаются существенные разногласия между опытными данными и результатами расчетов по этой модели, особенно это касается угловых распределений вторичных частиц. В частности, заслуживает дальнейшего теоретического /и, разумеется, экспериментального/ изучения форма угловых распределений  $b$ -частиц в ядро-ядерных взаимодействиях, поскольку наблюдаемый в настоящей работе максимум этого распределения может быть связан с проявлением коллективных свойств ядро-ядерных соударений, которые будет трудно воспроизвести в рамках каскадно-испарительного механизма взаимодействия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. ЭЧАЯ, 1977, 8, с.429.
2. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, 10, с.950.
3. Балдин А.М. и др. В кн.: Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. ОИЯИ, Д1, 2-84-599, Дубна, 1984, с.195.
4. Балдин А.М., Диденко Л.А. В кн.: Краткие сообщения ОИЯИ, №3-84, Дубна, 1984, с.5.
5. Vubnov V.I. et al. Z.Phys., 1981, A302, p.133.
6. Богачев Н.П. и др. ОИЯИ, P1-6877, Дубна, 1972; Calstyan J.A. et al. Nucl.Phys., 1973, A208, p.628.
7. Толстов К.Д. и др. ОИЯИ, P1-8313, Дубна, 1974.
8. Марин А. и др. ЯФ, 1979, 29, с.105.
9. Вакалова А. и др. В кн.: Краткие сообщения ОИЯИ, №12-85, Дубна, 1985, с.15.
10. Chernov G.M. et al. Nucl.Phys., 1984, A412, p.534.
11. Heckman H.H. et al. Phys.Rev., 1978, C17, p.1735.
12. Varashenkov V.S. et al. JINR, E2-83-117, Dubna, 1983.
13. Otterlund I. et al. Report LUIP, 7904, Lund, 1979.
14. Heckman H.H. et al. Phys.Rev., 1979, C17, p.1651.
15. Stock R. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, 44, p.1243.
16. Stöcker H. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, 44, p.725.
17. Stöcker H. et al. Phys.Rev.Lett., 1981, 47, p.1807.

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 января 1986 года.



## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
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.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.

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

Внимание организаций и лиц, заинтересованных в получении публикаций Объединенного института ядерных исследований

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

Андреева Н.П. и др.

P1-86-8

Множественности и угловые распределения заряженных частиц во взаимодействиях ядер  $^{22}\text{Ne}$  в фотоэмульсии при импульсе 4,1 А ГэВ/с

Представлены экспериментальные данные о множественностях и угловых распределениях заряженных частиц различного типа во взаимодействиях ядер  $^{22}\text{Ne}$  с ядрами фотоэмульсии при 4,1 А ГэВ/с. Исследован характер зависимости множественностей и угловых распределений частиц от массового числа ядра-снаряда и прицельного параметра ядро-ядерного соударения. В угловых распределениях медленных заряженных частиц - продуктов расщепления ядра-мишени обнаружены широкие максимумы, более отчетливо проявляющиеся в центральных соударениях ядер неона с тяжелыми ядрами фотоэмульсии. Экспериментальные данные обобщаются в рамках моделей многократного рассеяния.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод авторов

Andreeva N.P. et al.

P1-86-8

Multiplicities and Angular Distributions of Charged Particles in the Interactions of Neon-22 Nuclei in the Photoemulsion at 4.1 A GeV/c

Experimental data are presented on the multiplicities and the angular distributions of charged particles of different types in the interactions of neon-22 and photoemulsion nuclei at 4.1 A GeV/c. Dependences of the multiplicities and the angular distributions on the mass number and the impact parameter of nucleus-nucleus interactions are investigated. Wide maxima are observed in the angular distributions of slow charged particles - the products of target nucleus disintegration. These maxima are best pronounced in the central collisions of neon nuclei with heavy photoemulsion nuclei. The experimental data are discussed in the framework of the multiple scattering models.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986

16 коп.

Редактор Б.Б.Колесова. Макет Н.А.Киселевой.  
Набор В.С.Румянцевой, Е.М.Граменицкой.

Подписано в печать 29.01.86.

Формат 60x90/16. Офсетная печать. Уч.-изд.листов 1,07.

Тираж 620. Заказ 37281.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Дубна Московской области.