

**ПОПЕРЕЧНЫЕ ИМПУЛЬСЫ АЛЬФА-ФРАГМЕНТОВ
ИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НЕОНА-22 С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,1 А ГэВ/с**

*Н.П. Андреева*¹⁾, *З.В. Анзон*¹⁾, *В.И. Бубнов*¹⁾, *А.Ш. Гайтинов*¹⁾,
*Л.Е. Еременко*¹⁾, *Г.С. Калячкина*¹⁾, *Э.К. Каныгина*¹⁾, *А.М. Сейгимбетов*¹⁾,
*И.Я. Часников*¹⁾, *Ц.И. Шахова*¹⁾, *М. Гицок*²⁾, *В. Топор*²⁾, *М. Хайдук*²⁾,
*Ф.Г. Лепехин*³⁾, *Б.Б. Симонов*³⁾, *С.А. Краснов*⁴⁾, *К.Д. Толстов*⁴⁾, *Г.С. Шабратова*⁴⁾,
*Дж.А. Саломов*⁵⁾, *В.А. Лескин*⁶⁾, *А.В. Белоусов*⁷⁾, *Ф.А. Аветян*⁸⁾, *В.М. Кришян*⁸⁾,
*Н.А. Марутян*⁸⁾, *Л.Г. Саркисова*⁸⁾, *В.Ф. Саркисян*⁸⁾, *С. Вокал*⁹⁾, *М. Карабова*⁹⁾,
*Э. Силеш*⁹⁾, *М. Тотова*⁹⁾, *Х. Вольтер*¹⁰⁾, *Б. Восек*¹⁰⁾, *Э. Гладыш*¹⁰⁾,
*Р. Холынский*¹⁰⁾, *В.А. Антончик*¹¹⁾, *В.А. Бакаев*¹¹⁾, *С.Д. Богданов*¹¹⁾,
*В.И. Остроумов*¹¹⁾, *М.И. Адамович*¹²⁾, *В.Г. Ларионова*¹²⁾, *Н.В. Масленникова*¹²⁾,
*Г.И. Орлова*¹²⁾, *Н.А. Салманова*¹²⁾, *М.И. Третьякова*¹²⁾, *С.П. Харламов*¹²⁾,
*М.М. Чернявский*¹²⁾, *М. Шумбера*¹³⁾, *У.А. Абдуразакова*¹⁴⁾, *А.Х. Бабаев*¹⁴⁾,
*Е.С. Басова*¹⁴⁾, *Л.Е. Бенгус*¹⁴⁾, *А.И. Бондаренко*¹⁴⁾, *У.Г. Гулямов*¹⁴⁾,
*Т.П. Трофимова*¹⁴⁾, *Р.У. Холматова*¹⁴⁾, *Г.М. Чернов*¹⁴⁾, *А. Абдужамилов*¹⁵⁾,
*Ш. Абдужамилов*¹⁵⁾, *С.А. Азимов*¹⁵⁾, *С. Гаджиева*¹⁵⁾, *К.Г. Гуламов*¹⁵⁾,
*А. Жуманов*¹⁵⁾, *Н.С. Лукичева*¹⁵⁾, *Д. Мирходжаева*¹⁵⁾, *В.Ш. Навотный*¹⁵⁾,
*Н.Ш. Саидханов*¹⁵⁾, *Л.П. Свечникова*¹⁵⁾, *Л.П. Чернова*¹⁵⁾, *Н.И. Костанашвили*¹⁶⁾,
*Л. Сэрдамба*¹⁷⁾, *Р. Тогоо*¹⁷⁾, *Д. Тувдендорж*¹⁷⁾

На статистике 4156 взаимодействий ядер неона-22 с фотоэмульсией при 4,1 А ГэВ/с показано, что выход α -частиц выше, чем остальных фрагментов (0,8 α -частиц и 0,5 $z \geq 3$ на звезду). Распределение поперечных импульсов α -частиц имеет избыток при больших значениях, зависящий от типа налетающего ядра и мишени, а также характера взаимодействия.

1. Стопки ядерной фотоэмульсии ГОСНИИХИМФОТОПРОЕКТ типа БР-2, составленные из слоев размером $10 \times 20 \times 0,06$ см³, были облучены ядрами неона-22 на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ. Поиск взаимодействия велся просмотром вдоль следа, что позволило получить ансамбль событий без дискриминации. Описание эксперимента приведено в работе¹.

- 1) Институт физики высоких энергий, Алма-Ата
- 2) Центральный институт физики, Бухарест, СРР.
- 3) ЛИЯФ им. Б.П.Константинова АН СССР
- 4) Объединенный институт ядерных исследований, Дубна.
- 5) Таджикский государственный университет, Душанбе.
- 6) Физико-технический институт, Душанбе.
- 7) Институт механизации сельского хозяйства, Зерноград.
- 8) Ереванский физический институт
- 9) Университет, Кошице, ЧССР.
- 10) Институт ядерной физики, Краков.
- 11) Ленинградский политехнический институт, Ленинград.
- 12) Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР.
- 13) Институт ядерной физики, Ржеж, ЧССР.
- 14) Институт ядерной физики АН УзССР, Ташкент.
- 15) Физико-технический институт АН УзССР, Ташкент.
- 16) Тбилисский государственный университет.
- 17) Институт физики и техники, Улан-Батор, МНР.

Релятивистские α -частицы выделялись до углов с первичным ядром снаряда $\theta \leq 15^\circ$: а) отделялись от ядер с $z = 3$ по измерению числа разрывов с длиной больше некоторой, б) требовалось, чтобы начальная ионизация $J/J_{min} = 4$ и на длине $l > 2$ см не изменялась для протонов с $J/J_{min} = 4$ $p\beta c = 200$ МэВ и на $l = 2$ см ионизация изменяется от 4-х кратной до 8-ми кратной минимальной).

Поперечный импульс α -фрагментов определялся по формуле $P_{\perp} = 2z P_0 \sin \theta$ (P_0 — первичный импульс на нуклон, $\beta = 0,97$). Измерения импульсов по многократному кулоновскому рассеянию для части следов α -частиц показало, что их импульсы в пределах ошибок согласуются с первичным: а) $\langle p\beta c \rangle = (15,6 \pm 0,8)$ ГэВ для фрагментов с $\theta < 0,6^\circ$ (по 8 следам с $l = 50$ мм каждого), б) $\langle p\beta c \rangle = (15,3 \pm 0,6)$ ГэВ — среднее по 23 следам α -фрагментов с $\theta = (3-15^\circ)$.

Для всех однозарядных релятивистских частиц с $\theta \leq 3^\circ$ измерялся импульс по многократному рассеянию, и множественность протонов, дейтонов и тритонов определялась статистически². На части статистики импульс всех однозарядных релятивистских частиц измерялся до углов 5° , в некоторых лабораториях измерялся импульс релятивистских частиц для любых θ при глубинном угле до 5° , при этом вводились геометрические поправки³.

2. Распределение событий по множественности релятивистских фрагментов для NeEm взаимодействий для различных групп по $N_h = n_b + n_g$ и суммарному заряду фрагментов ядра снаряда $Q = \sum z_f$ приведено в таблице 1.

Таблица 1

N_h, Q	n_α							$N_{\text{соб.}}$	$N_\alpha/N_{\text{соб.}}$
	0	1	2	3	4	5			
$N_h \geq 0$	2057	1262	509	240	78	10	4156	$0,81 \pm 0,02$	
$N_h = 0-1$	457	343	109	66	40	7	1022	$0,93 \pm 0,04$	
$N_h = 2-6$	568	425	200	96	26	1	1316	$0,93 \pm 0,03$	
$N_h \geq 7$	1032	494	200	78	12	2	1818	$0,65 \pm 0,02$	
$N_h \geq 28$	381	80	10	2	1	0	474	$0,23 \pm 0,03$	
$Q = 2-4$	405	318	44	0	0	0	767	$0,53 \pm 0,03$	
$Q = 5-7$	312	320	272	107	0	0	1011	$1,17 \pm 0,05$	
$Q = 8-10$	848	574	177	131	74	9	1808	$0,92 \pm 0,03$	

Множественность α -фрагментов составляет 0,8 на звезду, что заметно превышает выход всех фрагментов с $z_f \geq 3$ ($\langle n_{z_f \geq 3} \rangle = 0,48$) и значительно превышает выход тритонов ($\langle n_t \rangle = 0,14$)². Множественность α -фрагментов уменьшается с ростом N_h и уменьшается примерно в 2 раза при переходе от $Q \geq 5$ к $Q = 2-4$, т.е. с уменьшением прицельного параметра ядро-ядерных взаимодействий. Фрагмент с $z = 2$ является выделенным: частота появления α -частиц в 10–15 раз больше, чем любого другого фрагмента с $z_f = 3-10$. В наших работах⁴⁻⁵ также показано, что при фрагментации неона-22 каналы с испусканием α -частиц выделены по частоте. Сравнение экспериментальных данных с каскадно-испарительной моделью (КИМ) показывает, что в модели занижены или отсутствуют каналы с числом $n_\alpha \geq 2$ и $n_\alpha \geq 3$ соответственно.

3. Поперечные импульсы α -фрагментов определялись по углу их вылета $P_{\perp} = 4P_0 \sin \theta$. На рис. 1 представлены угловые распределения релятивистских α -частиц для всех взаимодействий. Для сравнения на том же рисунке до углов $\theta \leq 5^\circ$ представлены угловые распределения релятивистских фрагментов — протонов, которые были выделены на части статистики, исходя из ошибок измерений импульсов отдельных час-

тиц. Из рисунка видно, что для углов $\theta < 1,5^\circ$, доля α -частиц значительно превышает долю протонов, для углов $\theta > 1,5^\circ$ ситуация противоположная, причем, при росте угла θ от 2° до 5° , доля протонов уменьшается примерно в 2 раза, а доля α -частиц падает примерно на порядок. На рис. 2 представлены угловые распределения α -фрагментов в зависимости от Q . Видно, что с уменьшением Q угловые распределения сильно уширяются.

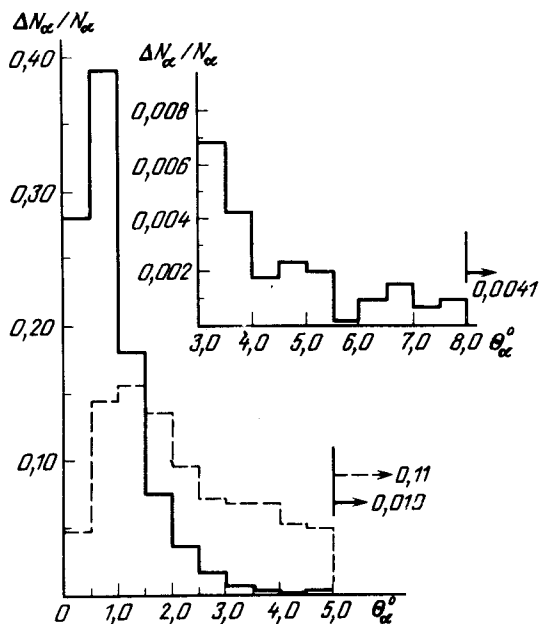


Рис. 1

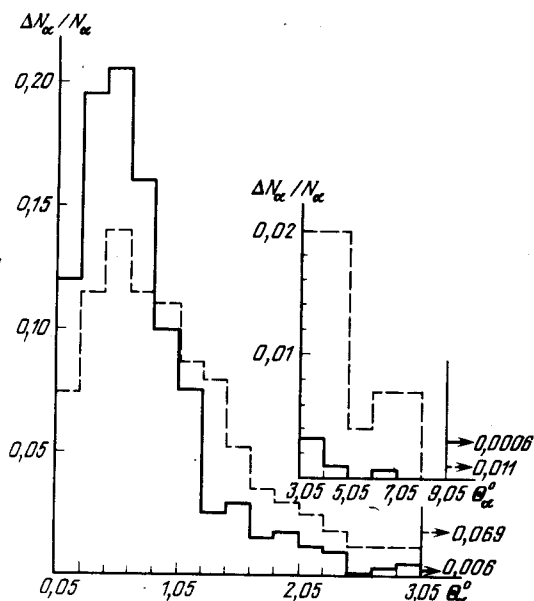


Рис. 2

Рис. 1. Угловые распределения релятивистских α -частиц и протонов — фрагментов из $^{22}\text{NeEm}$ -взаимодействий: — α -частицы ($N_{\text{вз}} = 4156$; $N_{\alpha} = 3381$); --- протоны ($N_{\text{вз}} = 1180$; $N_p = 1208$)

Рис. 2. Угловые распределения α -фрагментов из $^{22}\text{NeEm}$ -взаимодействий для различных групп по Q : — $Q = 8-10$ ($N_{\text{вз}} = 1649$; $N_{\alpha} = 1595$); --- $Q = 2-4$ ($N_{\text{вз}} = 778$; $N_{\alpha} = 449$)

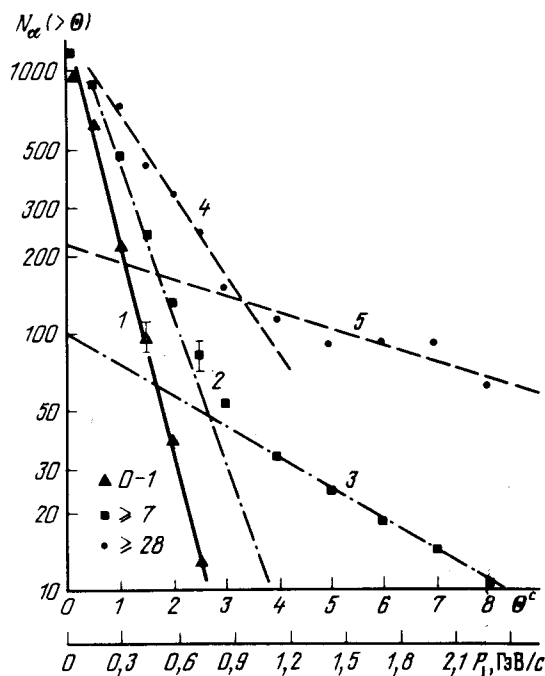


Рис. 3. Интегральные распределения по P_{\perp} α -фрагментов из $^{22}\text{NeEm}$ -взаимодействий для различных групп по N_h (указано у точек), для 4 и 5 масштаб: $N_{\alpha}(>\theta)$ ($N_h \geq 28$) = $N_{\alpha}(>\theta)$:10

Некоторые результаты детального анализа P_{\perp} распределений α -фрагментов приведены в работах ^{2, 5, 6-8}. Интегральные угловые и соответственно P_{\perp} распределения релятивистских α -фрагментов для различных групп взаимодействий по N_h приведены на рис. 3. Видно, что эти распределения могут быть описаны экспонентами $N(>\theta) \sim \exp(-\theta/\theta_0)$, причем наклон экспонент зависит от N_h . В таблице 2 приведены значения θ_0 -экспонент, а также $\langle P_{\perp} \rangle$ α -частиц. Из анализа данных рис. 2-3 и табл. 2 следует, что как для всех взаимодействий, так и для групп взаимодействий $N_h \geq 7$ и $N_h \geq 28$ угловые распределения α -частиц описываются двумя экспонентами, наклон которых отличается в 4-5 раз, причем для событий с $N_h \geq 7$ и $N_h \geq 28$ доля α -частиц второй экспоненты составляет около 10 и 20% соответственно.

Таблица 2

N_h	θ_0 , град	$\langle \theta \rangle$, град	$\langle P_{\perp} \rangle$, ГэВ/с	N_{α}
Ne + Em, $P_0 = 4,1$ ГэВ/с на нуклон				
0-1	0,50	$0,77 \pm 0,02$	$0,217 \pm 0,007$	954
2-6	0,60	$0,91 \pm 0,02$	$0,261 \pm 0,005$	1222
> 7	2,5	$1,16 \pm 0,04$	$0,332 \pm 0,013$	1186
	0,80			
≥ 28	3,5	$2,19 \pm 0,03$	$0,63 \pm 0,09$	110
	1,5			
> 0	6,5	$0,955 \pm 0,016$	$0,273 \pm 0,004$	3362
	0,65			
C + Em ⁹ , $P_0 = 4,5$ ГэВ/с на нуклон				
> 0	0,50	$0,76 \pm 0,03$	$0,241 \pm 0,008$	1128
Fe + Em ¹⁰ , $E_0 = 1,7$ ГэВ на нуклон				
> 0			$0,370 \pm 0,010$	-

Средний $\langle P_{\perp} \rangle_{\alpha}$ растет с ростом N_h и уменьшением Q .

Авторы работ ¹¹⁻¹³ рассматривают угловые распределения α -фрагментов в Fe + Em взаимодействиях при $E_0 = (1,7-1,9)$ ГэВ на нуклон как сумму двух независимых распределений с температурами $\sigma_1 \approx 10$ МэВ/с и $\sigma_2 \approx (40-50)$ МэВ/с, причем доля α -частиц второго источника составляет около одной трети от всех α -частиц. Авторы работы ¹⁴ теоретически объясняют хвост α -частиц с большими поперечными импульсами ($P_{\perp} > 0,8$ ГэВ/с, $\theta_{\alpha} > 2,8^{\circ}$) на основе модели "слипания".

Из анализа данных таблицы 2 и работ ⁸⁻¹³ следует, что угловые распределения α -фрагментов уширяются, $\langle P_{\perp} \rangle_{\alpha}$ и доля α -частиц с большими P_{\perp} растет с ростом атомного номера ядра снаряда, при этом $\langle P_{\perp} \rangle_{\alpha} \sim A^{0,25}$.

4. Заключение. Множественность и угловые распределения α -фрагментов в ядро-ядерных взаимодействиях зависят от атомного номера ядра снаряда, степени возбуждения ядра мишени и прицельного параметра. Одним механизмом — статистическим — невозможно объяснить характер P_{\perp} распределений α -частиц. Вся совокупность экспериментальных данных по характеристикам α -фрагментов возможно связана с возникновением в процессе взаимодействия ядер короткоживущих α -кластерных структур в результате фрагментации ядра снаряда и их рассеянием на нуклонах или кластерах ядра мишени.

Литература

1. АБГДДЕККЛМТТУ-сотрудничество. Краткие сообщения ОИЯИ, № 12-85, с. 15, Дубна, 1985.
2. АБГДДЕЗККЛМТТУ-сотрудничество, препринт ОИЯИ, P1-86-828, Дубна, 1986, ЯФ, 1988, 47, 157.
3. Шабратова Г.С., Андреева Н.П. и др. Сообщения ОИЯИ, P1-86-303, Дубна, 1986.

4. АБГДДЕККЛМ-сотрудничество. Сообщения ОИЯИ, P1-85-692, Дубна, 1985.
- 5.-7. ABCDDGKLMRTTUYZ-collaboration, 20-th ICRC, v. 5, p. 61-64, 69-72, 58 - 60, Moscow, 1987.
8. АБГДДЕЗККЛМТТУ-сотрудничество, Изв. АН СССР, 1986, 50, 2099.
9. БВДКЛМТ-сотрудничество, ЯФ, 1980, 32, 716.
10. *Chernov G.M. et al.* Nucl. Phys., 1984, A412, 534.
11. *Bhalla K.V. et al.* Nucl. Phys., 1981, A367, 446.
12. *Baumgardt H.G. et al.* J. Phys. G.: Nucl. Phys., 1985, 7, 175.
13. *Ganssaugue E. et al.* J. Phys. G.: Nucl. Phys., 1985, 11, 139.
14. *Колыбасов В.М., Сокольских Ю.Н.* Письма в ЖЭТФ, настоящий номер.

Физический институт им. П.Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 ноября 1987 г.
