

8313

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



8313

Эн. чит. зала

P1 - 8313

НЕУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ α - ЧАСТИЦ
С ИМПУЛЬСОМ 17 ГЭВ/С С ЯДРАМИ

Сотрудничество Варшава - Дубна - Гатчина -
Кошице - Ленинград - Москва - Ташкент

1974

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

НЕУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ α -ЧАСТИЦ С ИМПУЛЬСОМ 17 ГЭВ/С С ЯДРАМИ

Сотрудничество Варшава - Дубна - Гатчина -
Кошице - Ленинград - Москва - Ташкент

К.Д.Толстов, М.Тотова, Й.Тучек, Г.С.Шабратова
Объединенный институт ядерных исследований

Э.Скжипчак, А.Яхоловска
Варшавский университет

М.Карабова
Университет им. Шафарика, Кошице, ЧССР

Ф.Г.Лепехин, Б.Б.Симонов
Ленинградский институт ядерной физики
им. Б.П.Константинова.

Б.В.Губинский, В.И.Остроумов
Ленинградский политехнический институт
им. М.И.Калинина.

Н.А.Перфилов, В.А.Плющев, З.И.Соловьева
Радиевый институт им. В.Г.Хлопина, Ленинград

М.И.Адамович, В.Г.Ларионова
Физический институт АН СССР им. П.Н.Лебедева

Е.С.Басова, К.Г.Гуламов, У.Г.Гулямов, Ш.Насыров,
Г.М.Чернов

Институт ядерной физики АН Уз.ССР

S U M M A R Y

The use of photoemulsions of two types, the first having ordinary composition of nuclei (BR-2) and the second enriched with light nuclei (H, C, O), makes it possible to determine the cross sections of the interactions of 17 GeV/c α -particles with C, O and Ag, Br nuclei.

$$\sigma_C = (380 \pm 38) \text{mb}, \quad \sigma_{Br} = (1520 \pm 65) \text{mb},$$

$$\sigma_O = (460 \pm 47) \text{mb}, \quad \sigma_{Ag} = (1850 \pm 80) \text{mb}.$$

The mean multiplicities of shower and heavy particles for the interaction of α -particles with emulsion nuclei are

$$\langle n_s \rangle = 4.44 \pm 0.07, \quad \langle n_h \rangle = 9.08 \pm 0.24.$$

We have measured the cross sections and mean multiplicities on the mean effective emulsion nucleus for the events:

1) α -particle fragmentation and stripping (in case of emission of one-charged relativistic particle with $\theta < 3^\circ$ - α A-1),

2) in case of emission of two-charged relativistic particle with $\theta < 3^\circ$ - α A-2.

$$\sigma_{\alpha A-1} = (340 \pm 40) \text{mb}, \quad \langle n_s \rangle_{\alpha A-1} = 3.70 \pm 0.10, \quad \langle n_h \rangle_{\alpha A-1} = 5.20 \pm 0.20;$$

$$\sigma_{\alpha A-2} = (100 \pm 15) \text{mb}, \quad \langle n_s \rangle_{\alpha A-2} = 1.24 \pm 0.10, \quad \langle n_h \rangle_{\alpha A-2} = 4.35 \pm 0.28.$$

Angular and momentum distributions are given for events of the type α A-1 and α A-2.

Исследование взаимодействия релятивистских α -частиц с ядрами представляет интерес в различных аспектах: генерация частиц составной релятивистской системой, фрагментация этой системы в результате неупругого взаимодействия с различными ядрами, их возбуждение и распад. При исследовании этих вопросов интересно также сопоставление некоторых характеристик взаимодействий α -ядро с аналогичными характеристиками взаимодействий p -ядро и d -ядро. Изучение α -ядро-взаимодействий существенно для релятивистской ядерной физики, ряд проблем которой рассматривался в работах /1-3/. Помимо этого, затрагиваемые вопросы имеют прикладное значение, например, для радиационной защиты при космических полетах и для определения состава космического излучения.

1. УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Облучение ядерных фотозмульсий типа BR-2 /тип I / и эмульсий BR-2, пропитанных 50%-ным водным раствором глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) - /тип II /, было произведено на синхрофазотроне ОИЯИ выведенным пучком α -частиц с импульсом 16,8 ГэВ/с. Ядерный состав эмульсий и раствора глюкозы дан в приложении 1. Поиск взаимодействий проводился вдоль следа.

II. СВОБОДНЫЙ ПРОБЕГ И СЕЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Для определения средней длины пробега до неупругого взаимодействия* необходимо оценить эффективность регистрации событий. Для уменьшения пропусков событий /в особенности звезд, содержащих двухзарядные частицы с малым углом вылета по отношению к пучку α -частиц/ на 20% всей просмотренной длины был произведен повторный просмотр на тех же первичных следах с определением средней эффективности регистрации событий $\langle \epsilon \rangle$

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{m_{12}}{1/2(m_1 + m_2)},$$

где m_{12} - число звезд, найденных дважды, m_1 и m_2 - число звезд, найденных при первом и втором просмотрах соответственно.

Для эмульсии I $\langle \epsilon \rangle = 0,96$; эмульсии II $\langle \epsilon \rangle = 0,91$. Полное число звезд в эмульсии I составило 4028, а в эмульсии II - 1028. Средний пробег до взаимодействия

$$\lambda_I = /19,5 \pm 0,3/ \text{ см в эмульсии типа I,}$$

$$\lambda_{II} = /28,5 \pm 1/ \text{ см в эмульсии типа II.}$$

Используя эти величины, определим средний пробег λ в растворе глюкозы. При наполнении эмульсии I 50%-ным раствором глюкозы объем ее увеличился в 2,68 раза. Вследствие аддитивности объемов эмульсии и раствора глюкозы 1/2,68 объема эмульсии II заполнено эмульсией I, а 1,68/2,68 объема - раствором глюкозы. Следовательно, справедливо соотношение

$$\frac{1}{\lambda_{II}} = \frac{1}{\lambda} \frac{1,68}{2,68} + \frac{1}{\lambda_I} \frac{1}{2,68}.$$

Используя величины λ_I и λ_{II} , получим $\lambda = /39 \pm 3/ \text{ см}$. Зная λ и ядерный состав раствора глюкозы,

*К числу неупругих отнесены однолучевые взаимодействия с одной двухзарядной релятивистской частицей, имеющей угол вылета $> 3^\circ$.

а также сечение неупругого взаимодействия α -частиц с протонами $\sigma_H = 100 \text{ мбарн}^{1/4}$, из соотношения

$$\frac{1}{\lambda} = \sigma_H n_H + \sigma_C n_C + \sigma_O n_O$$

получим $\sigma_C n_C + \sigma_O n_O = 0,0192 \pm 0,0020$. Разница в атомных весах C и O сравнительно невелика, а ядер кислорода - в 2,66 раза больше, чем углерода, поэтому допустимо использование закона $A^{2/3}$, т.е. $\sigma_C = 0,82 \sigma_O$. Тогда получим $\sigma_O = /460 \pm 47/ \text{ мб}$, $\sigma_C = /380 \pm 38/ \text{ мб}$. Используя величины сечений σ_H , σ_C , σ_O , $\sigma_N = 0,915 \sigma_O$ и закон $A^{2/3}$ для отношения сечений на ядрах серебра и брома, получим из найденной величины λ_I и ядерного состава эмульсии I $\sigma_{Ag} = /1850 \pm 80/ \text{ мб}$, $\sigma_{Br} = /1520 \pm 65/ \text{ мб}$.

III. МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ВТОРИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Из полного набора взаимодействий лучевые характеристики были определены:

а/ для 30% событий от общей статистики /"события αA "/;

б/ для событий с эмиссией однозарядной релятивистской частицы под углом $\theta < 3^\circ$ по отношению к падающей α -частице, составляющих около 36% общей статистики /"события $\alpha A - I$ "/;

в/ для событий с эмиссией двухзарядной релятивистской частицы под углом $\theta < 3^\circ$ по отношению к первичной, составляющих около 7% от общей статистики /"события $\alpha A - 2$ "/.

Общие данные по множественностям во взаимодействиях α -частиц с ядрами приведены на рис. 1-3 и в табл. 1.

В основном форма распределения числа сильно ионизирующих частиц n_H существенным образом не отличается от соответствующих распределений для взаимодействий протонов $^1/5/$ и дейтронов $^6/6/$ с ядрами фотоземли при близких импульсах, проходящихся на нуклон налетающей частицы.

Таблица I.

	$\langle n_h \rangle$	$\langle n_s \rangle$
αA	9.08 ± 0.24	4.44 ± 0.07
$\alpha A-I$	5.20 ± 0.20	3.70 ± 0.10
$\alpha A-2$	4.35 ± 0.28	1.24 ± 0.10
$\alpha A-3$	12.12 ± 0.44	5.32 ± 0.14
dA	7.90 ± 0.10	3.10 ± 0.04
dA (стрип.)	5.1 ± 0.1	2.6 ± 0.1
P-A	8.74 ± 0.18	2.77 ± 0.04

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	n_h												
0		4	37	10	4	4	4	3	1			2			1																		70										
1	1	25	16	9	9	5	6	6	4	2			4	1		2	1	1		2		1	1		1								98										
2	50	46	30	11	21	19	9	5	2	1			1	1	5	1	2		1	4	3		2	2	1		1						219										
3	34	21	21	27	22	22	12	13	5	4	6	9	2	3	2	3	1	4	5		1	3	2		2	3			1	1			230										
4	23	26	19	15	17	16	7	12	9	5	3	4	6	1	5	1	3	3	3	4	5	4	2	1	1	4	2	1	2	1	2	1	210										
5	19	13	11	15	14	20	15	7	2	7	6	9	4	2	4	7	1	3	2	3	1	2	2	1	1	4	2	2		1	1		1	182									
6	5	1	3	4	13	13	14	9	5	4	2	3	7	3	2	5	2	2	4	7	2	4	4	1	5	4	3	1	1	3	1	1	1	1	143								
7	5	1	4	4	1	5	5	3	5	3	5	3	7	4	1	4		3	4	3	4	4	5	3	1	2	4	1	1	1	2		1	99									
8	1		3	4	3	3	2	12	1	3	6	3	2	2	4	2	1	1	4	2	7	2		3	3	2	1	2	2	2	2	2	1	1	87								
9			3	1	1	1	2	2	4	1		1	1		1	3	2	1	3	3	2		5	1	2	2	2	2	2	2	1			49									
10				1	2			1	1	3		2	1	1		1	1	2		3		1	4	5		1	3	1			1		35										
11					1			1	1	1	2			2		2	1	1		1	3		3	1		1		1		1			23										
12						1					1		1	2			1	1			1			1		1	1						10										
13														1			1																	2									
14																																											
15														1			1	1																3									
16															1																				1								
17																																			1								
N_s	138	137	141	101	107	110	77	62	48	33	28	40	30	24	27	27	21	20	23	27	14	31	27	18	19	29	21	13	12	8	11	8	4	7	4	6	2	1	4	1	1	1	1462

Рис. 1. Таблица множественности для взаимодействия α -частиц с ядрами фотозмульсии / "аА -события"/.

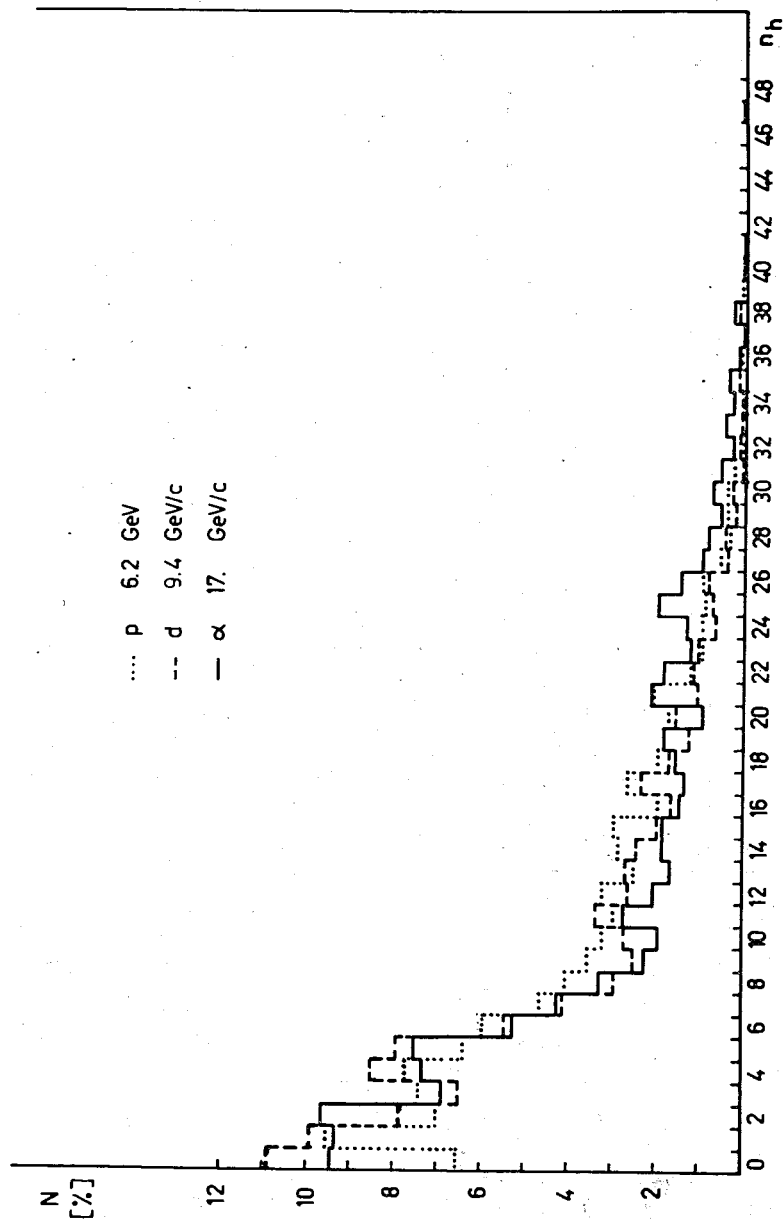


Рис. 2. Распределения по n_h для "αА-событий". Здесь же приведены распределения для взаимодействий d-ядро/6/ и p-ядро/5/.

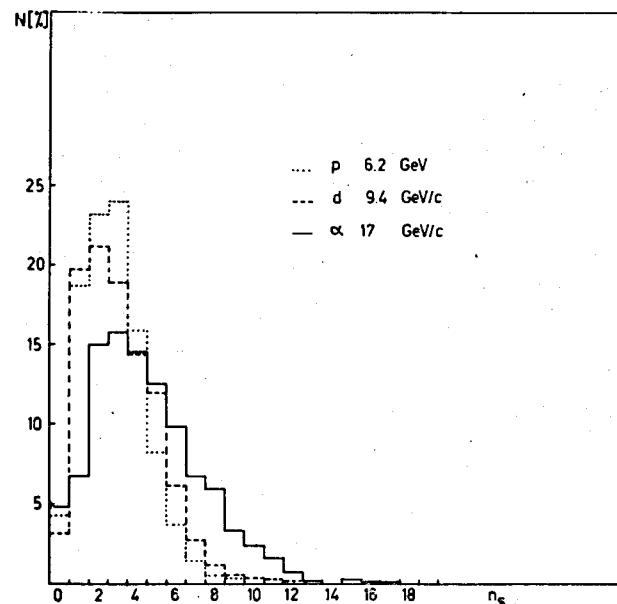


Рис. 3. Распределения по n_s для "αА-событий". Здесь же приведены данные для d-ядро/6/ и p-ядро/5/.

Средние значения $\langle n_h \rangle$ равняются $9,08 \pm 0,24$, $7,9 \pm 0,1$ и $8,74 \pm 0,18$ для первичных α , d и p соответственно.

Вклад звезд с $n_h \geq 28$ при взаимодействиях α -частиц с ядрами оказывается большим / $4,7 \pm 0,6\%$, чем в соударениях дейтронов / $2,0 \pm 0,3\%$ и протонов / $1,5 \pm 0,3\%$ с ядрами.

В отличие от распределения по n_h , форма распределения числа n_s вторичных быстрых однозарядных частиц /рис.3/ в "событиях αA " отличается от распределений для взаимодействий дейтронов и протонов. Среднее значение $\langle n_s \rangle$, равное $4,44 \pm 0,07$; $3,10 \pm 0,04$; $2,77 \pm 0,04$ для первичных α ; d и p соответственно растет с ростом массы первичной частицы /см. табл. 1/.

Взаимодействия $n_s = 0$ / $4,8\%$ и $n_s = 1$ / $6,7\%$ в основном принадлежат "событиям $\alpha A - 2$ ", где составляют $44,5\%$ и $28,5\%$ соответственно. Из этого следует, что в "αА-событиях", связанных с развалом первичной

α -частицы, случаи $n_s = 0$ и $n_s = 1$ составляют менее чем 2% и 5% соответственно. Этот факт свидетельствует о росте числа испускаемых быстрых частиц по сравнению с взаимодействием протонов и дейтронов /где, например, доля событий с $n_s = 1$ около 20%/ и, следовательно, о роли неупругих взаимодействий двух и более нуклонов налетающей α -частицы.

Характеристики по множественностям для событий $\alpha A-2$ показаны на рис. 4 и в табл. 1. Распределения по n_h и n_s уже, чем для αA -событий, а соответствующие средние значения $\langle n_h \rangle^* = 4,35 \pm 0,28$ и $\langle n_s \rangle = 1,24 \pm 0,10$ - меньше, что легко понять, т.к. эти события соответствуют двум инклюзивным реакциям



Прямое разделение реакций /1/ и /2/ в условиях данного эксперимента затруднительно. Оценки их относительных вкладов будут проведены позднее на основании комплексного анализа совокупности экспериментальных данных. В настоящее время можно только сказать, что сравнение средних значений $\langle n_h - 1 \rangle$ и $\langle n_s \rangle$ для "событий $\alpha A-2$ " со средним значением $\langle n_h \rangle$ и $\langle n_s - 1 \rangle$ для протонного стриппинга дейтронов /7/ /табл. 1/ указывает на сравнимый вклад реакций /1/ и /2/ в совокупность "событий $\alpha A-2$ ".

Если не учитывать пренебрежимо малого вклада релятивистских мезонов в угле $\theta < 3^\circ$ по отношению к падающей частице, то "события $\alpha A-1$ " описываются инклюзивными реакциями



* К числу серых лучей нами относилась частица, сохранившая заряд $Z = 2$.

$n_h \backslash n_s$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	31	37		
0			71	21	9	12	7	6	2	2			2																		
1	31	14	6	5	5	5	4	2	1			1	1	1			1								1						
2	10	10	3	5	5	2						1	1																		
3	3	3	2	5	1	3	1	2	1	2	1	1	1	1																	
4	3		2	1	1	2	1	1						2					1	1										1	
5				2	1	1													1												
6					1										1					1											
7																															
8																								1							
9																									1						
10																													1		
11																															
	49	98	36	25	26	21	12	5	5	1	2	3	1	3	3	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	299	

Рис. 4. Таблица множественности для "событий $\alpha A-2$ " / $Z=2, \theta < 3^\circ$ /.

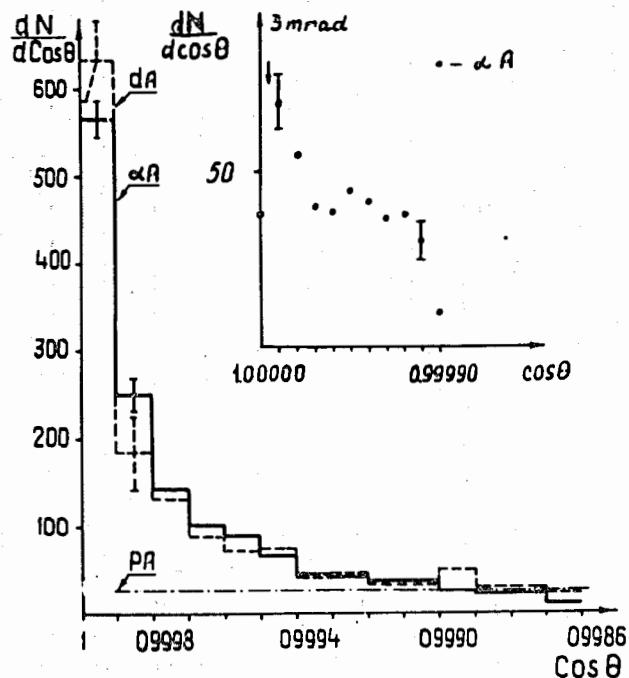


Рис. 6. Угловое распределение для "событий $\alpha A-1$ " $/Z=1, \theta < 3^\circ /$. Там же приведены распределения для d -ядро/ $^6/$ и p -ядро/ $^8/$.

Сравнение этого углового распределения с распределением для протонов от стриппинга дейтронов при сравнимой энергии на нуклон падающего ядра показывает, что они в пределах ошибок одинаковы.

На рис. 7 показано аналогичное угловое распределение для двухзарядных вторичных частиц, испущенных в конусе $\theta < 3^\circ$ и имеющих ионизацию, совпадающую с ионизацией первичной частицы. Как видно из рисунка, распределение этих частиц, очевидно, представляющее сумму распределений для реакций $/1/$ и $/2/$, также обнаруживает острый максимум при малых θ . Оценка фона от серых следов /частиц отдачи/, попадающих в конус $< 3^\circ$ и имеющих ионизацию, близкую к ионизации первичной частицы, пока-

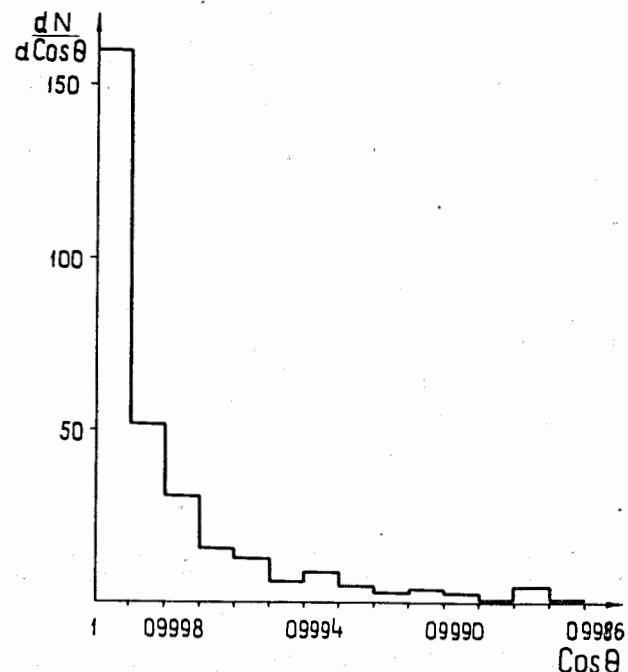


Рис. 7. Угловые распределения для "событий $\alpha A-2$ " $/Z=2, \theta < 3^\circ /$.

зывает, что фон пренебрежимо мал. Сечение этих реакций $/310$ событий/ имеет своим верхним пределом величину 100 ± 15 мбарн на средне-эффективное ядро эмульсии.

V. ИМПУЛЬСНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Оценка импульсов релятивистских частиц производилась методом многократного кулоновского рассеяния* на части материала. Предварительно для проверки мето-

* Авторы благодарны М.И.Третьяковой и И.Я.Часникову за полезное обсуждение методических вопросов.

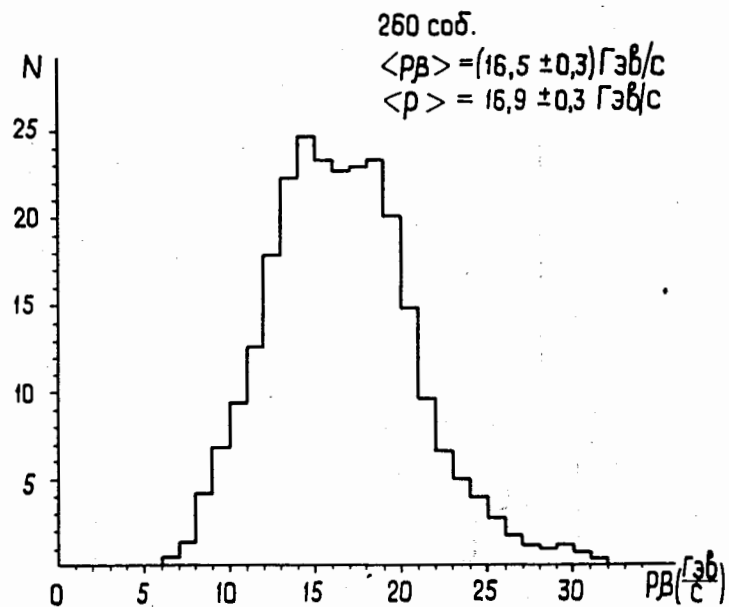


Рис. 8. Распределение по $p\beta$ первичных α -частиц. Экспериментальные данные обработаны по методу работы /11/.

да было измерено 260 следов первичных частиц /рис. 8/. Среднее значение $\langle p\beta \rangle = 16,5 \pm 0,3 \text{ ГэВ/с}$, что соответствует среднему импульсу $16,9 \pm 0,3 \text{ ГэВ/с}$.

Распределение по $p\beta$ для вторичных частиц с углом вылета $\leq 3^\circ$ в событиях $\alpha A-1$ и $\alpha A-2$ представлено на рис. 9а и 9б соответственно. При построении распределений были введены поправки на геометрический фактор, учитывающий то обстоятельство, что измерения производились на следах, имевших в одном слое длину $\geq 4 \text{ см}$. В этих распределениях /рис. 9а/ в ожидаемых областях фрагментации налетающей частицы имеются указания на структурные особенности. Фитирование экспериментального спектра для вторичных частиц с $Z=1$ тремя гауссовыми кривыми со среднеквадратичным отклонением, соответствующими ошибкам измерения в данных областях, позволяет грубо оценить соотношение сечений реакций /3/, /4/ и /5/ $\sigma_3 : \sigma_4 : \sigma_5 = 1 : 2 : 2$.

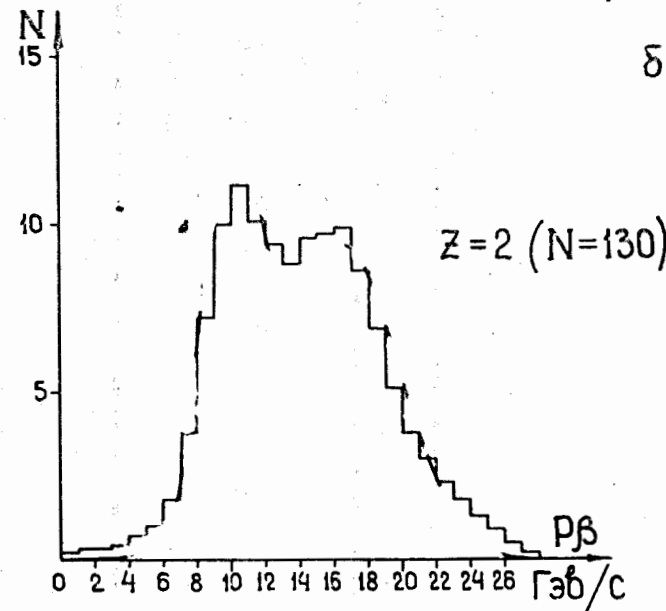
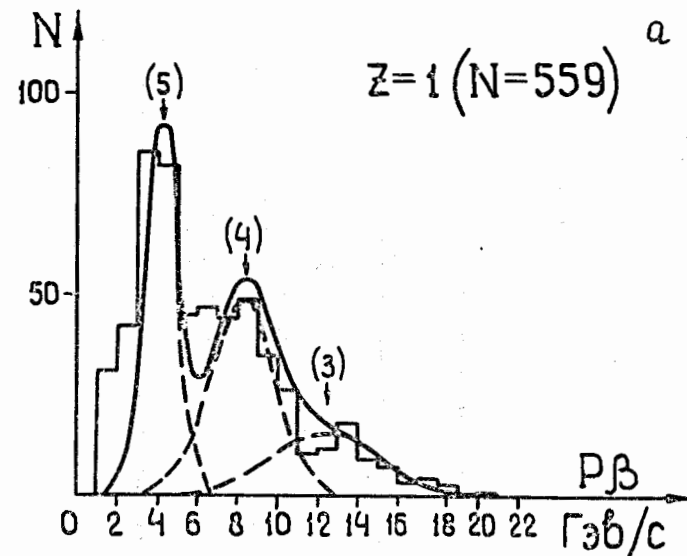


Рис. 9. а/ Распределение по $p\beta$ для " $\alpha A-1$ событий" / $Z=1, \theta < 3^\circ$ /. б/ Распределение по $p\beta$ для " $\alpha A-2$ - событий" / $Z=2, \theta < 3^\circ$ /. Данные обработаны по методу работы /11/.

Таблица II

$p\beta$ (ГэВ/с)	$\langle n_h \rangle$	$\langle n_s \rangle$
< 6	$5,2 \pm 0,6$	$4,0 \pm 0,2$
$6 + 10$	$3,8 \pm 0,6$	$3,2 \pm 0,2$
$7 + 10$	$2,3 \pm 0,5$	$2,8 \pm 0,2$

Для событий $\alpha A-1$ были определены средние множественности релятивистских $\langle n_s \rangle$ и сильно ионизирующих частиц $\langle n_h \rangle$ для трех областей $p\beta$ /табл. 2/.

Из табл. 2 следует, что уменьшение энергии возбуждения ядра-мишени соответствует уменьшению числа эффективно взаимодействующих нуклонов падающей α -частицы.

Более полный анализ характеристик каналов реакции α -ядро и статистическое разделение событий, происшедших на легких и тяжелых ядрах фотоэмульсии, будут произведены позднее.

В заключение авторы выражают свою глубокую благодарность коллективу отдела синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ, сотрудникам электронного отдела ЛВЭ С.Хорозову, А.Голохвастову за помощь в проведении эксперимента по облучению ядерных эмульсий.

Авторы благодарны сотрудникам Лаборатории высоких энергий ОИЯИ за изготовление эмульсии II и проявление слоев, а также всем лаборантам, принимавшим участие в поисках звезд и измерениях характеристик ядерных взаимодействий.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Ядерный состав эмульсии /БР-2/

число ядер в $1 \text{ см}^3 \times 10^{-22}$	H	C	N	O	Br	Ag
	3,15	1,41	0,395	0,956	1,031	1,031

Ядерный состав 50% раствора глюкозы

Число ядер в $1 \text{ см}^3 \times 10^{-22}$	H	C	O
	6,46	1,2	3,22

Литература

1. А.М.Балдин. Сообщение ОИЯИ, P7-5808, Дубна, 1971.
2. А.М.Балдин и др. Сообщения ОИЯИ, P1-5819, Дубна, 1971.
A.M.Baldin et al. *Particles and Fields. Am. Inst. of Phys.* (1971).
3. Harry. H. Heckman. *High-Energy Physics and Nuclear Structure.* 403, 1974. North-Holland Publishing Company - Amsterdam. London.
4. В.С.Барашенков, В.Д.Тонеев. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Стр. 41, М., Атомиздат /1972/.
5. H. Winzeler. *Nuovo Cim.*, 17, 8 (1960).
H. Winzeler. *Nucl.Phys.*, 69, 661 (1965).
6. J.A.Galstyan et al. *Nucl.Phys.*, A208, 626 (1973).
Н.И.Богачев и др. Сообщения ОИЯИ, P1-6877, Дубна, 1972.
7. М.И.Адамович и др. Сообщения ОИЯИ, P1-6386, Дубна, 1972.
8. С.А.Азимов и др. Изв. АН УзССР, сер. физ.мат., №2, 49 /1973/.
9. P.L.Jain et al. *Nucl.Phys.*, 67, 641 (1965).
10. G.Fäldt, H.Pilkuhn, H.G.Schlaile. *Annals of Physics*, 82, 326 (1974).
11. Е.П.Феррейра, П.Я.Валошен. Материалы 1-й Международной конференции по мирному использованию атомной энергии в Женеве. 1955, 2, Гостехиздат, 1958, стр. 147.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 октября 1974 года.