

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2062 / 2-80

P1 - 13055

12/5-80

НЕУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,5 ГЭВ/С
С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ

Сотрудничество: Алма-Ата - Бухарест - Дубна -
Душанбе - Кошице - Ленинград - Москва -
Ташкент - Улан-Батор

1980

P1 - 13055

НЕУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 4,5 ГЭВ/С
С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ

Сотрудничество: Алма-Ата - Бухарест - Дубна -
Душанбе - Кошице - Ленинград - Москва -
Ташкент - Улан-Батор



Банник Б.П. и др.

P1 - 13055

Неупругие взаимодействия протонов при импульсе
4,5 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии

В неупругих столкновениях протонов при импульсе 4,5 ГэВ/с с ядрами фотоэмульсии получены данные, включающие множественность ливневых частиц, энергетический спектр быстрых вторичных протонов со средней энергией $2,5 \pm 0,1$ ГэВ и энергетический спектр рожденных заряженных пионов со средней энергией 640 ± 50 МэВ. Определены также множественность, угловые распределения и энергия частиц, полученных в результате расщепления ядер мишеней, причем спектр протонов аппроксимируется степенной зависимостью $E^{-\gamma}$ при $\gamma = 1,4 \pm 0,1$. Получено распределение протонов и π -мезонов по быстротам $y = \frac{1}{2} \ln \frac{E-p}{E+p}$.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Bannik B.P. et al.

P1 - 13055

Inelastic Interactions of Protons
with Photoemulsion Nuclei at 4.5 GeV/c

In inelastic collisions of protons with photoemulsion nuclei at 4.5 GeV/c data have been obtained on multiplicity of shower particles, energy spectrum of fast secondary protons with (2.5 ± 0.1) GeV average energy and energy spectrum of produced charged pions with (640 ± 50) MeV average energy. The multiplicity, angular distributions and energy of particles arising from splitting target-nuclei are also determined, proton spectrum being approximated by the degree dependence $E^{-\gamma}$ at $\gamma = 1.4 \pm 0.1$. Distributions of protons and π -mesons over rapidities $y = \frac{1}{2} \ln \frac{E-p}{E+p}$ have been obtained.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1980

В ряде предыдущих работ ^{/1-5/} исследовались взаимодействия ^2H , ^4He , ^{12}C с ядрами фотоэмульсии при импульсе ускоренных ядер 4,5 ГэВ/с на нуклон. Представляет самостоятельный интерес более развернутый анализ результатов, требующий знания характеристик столкновений протонов с ядрами при том же начальном импульсе.

В настоящем эксперименте слои фотоэмульсий БР-2 ГОСНИИ-ФОТОПРОЕКТА размером 10×20 см² и толщиной 600 мкм были облучены протонами с импульсом 4,5 ГэВ/с на синхрофазотроне ОИЯИ. Плотность облучения составляла $2 \cdot 10^4$ протонов на см². Поиск взаимодействий производился вдоль следов протонов. К упругим взаимодействиям отнесены события типа 0+0+1 с углом релятивистского следа $\theta < 5^\circ$. Средний пробег до неупругого взаимодействия оказался равным $\lambda = 30,2 \pm 0,7$ см. Вторичные частицы разделялись на s, g и b по принятым в фотоэмульсионной методике критериям: s - релятивистские частицы с относительной ионизацией $g/g_0 < 1,4$ (g_0 - плотность ионизации на следе первичных протонов); g - частицы с $g/g_0 \geq 1,4$ и с пробегом в фотоэмульсии $R > 3000$ мкм, что соответствует энергии протона 26 МэВ; b - частицы, имеющие пробег $R \leq 3000$ мкм.

Идентификация b -частиц по зарядам проводилась для следов с наклоном менее 30° к плоскости непроявленной эмульсии по числу разрывов в следе в зависимости от остаточного пробега. Калибровочные зависимости были получены на следах π -мезонов, протонов, α -частиц и ядер ^8Li . При идентификации учитывался угол наклона следа и его местонахождение в фотослое ^{/7/}. На следы с углом наклона более 30° вводилась геометрическая поправка.

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

В табл.1 приведены средние множественности частиц для событий с различным числом сильноионизирующих частиц $N_h = n_g + n_b$. В группу с $N_h \leq 6$ входят взаимодействия с легкими ядрами эмульсии и периферические взаимодействия с тяжелыми ядрами, а группу с $N_h \geq 7$ образуют события, происшедшие только на тяжелых ядрах фотоэмульсии.

На рис.1 и 2 представлены матрицы $n_s - N_h$ и $n_g - n_b$, проекции которых представляют собою соответствующие распределения

Таблица 1

	$\langle n_g \rangle$	$\langle n_b \rangle$	$\langle N_h \rangle$	Число собы- тий	
$N_h \geq 0$	$1,63 \pm 0,02$	$2,84 \pm 0,06$	$3,79 \pm 0,09$	$3,33 \pm 0,14$	2126
$N_h \leq 6$	$1,69 \pm 0,03$	$1,18 \pm 0,03$	$1,37 \pm 0,04$		1637
$N_h \geq 7$	$1,53 \pm 0,04$	$5,57 \pm 0,70$	$7,79 \pm 0,13$		801

по множественности. Заметим, что вклад событий практически полного разрушения ядер Ag, Br ($N_h \geq 28$) весьма невелик и составляет 0,5%. При энергиях налетающих протонов 6,2 и 22 ГэВ вклад таких событий составляет 2,2% и 3,2% соответственно ^{16/}.

На рис. 3-6 приведены корреляции множественности $\langle n_i \rangle = f(n_j)$ и их аппроксимация линейной зависимостью $\langle n_i \rangle = a + kn_j$. Значения коэффициентов наклона k даны в табл. 2. Обращает на себя внимание слабое уменьшение $\langle n_g \rangle$ с ростом числа сильноионизирующих частиц в событии, что может служить указанием на отсутствие заметного мезонообразования во вторичных процессах и на выбывание релятивистских частиц с уменьшением параметра столкновения в результате рассеяния.

Из рис. 6 можно видеть, что степень расщепления ядра-мишени не зависит от числа s -частиц в событии. Исключение составляют события с $n_s = 0$, которые, по-видимому, с большей вероятностью происходят при взаимодействиях с тяжелыми ядрами эмульсии. Это обстоятельство следует проверить в эксперименте на эмульсиях разного состава.

		МАТРИЦА																																			
n_g	N_h	0	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	28	29	30	31	32	33	$\Sigma =$	
0	0	23	18	15	19	15	14	13	10	11	6	10	3	9	9	6	2	9	8	6	5	5	4	4	2	1	1										241
1	0	106	78	87	64	62	49	32	32	25	28	19	18	18	19	13	14	15	12	16	11	16	12	4	6	4	4	2	1	4	1					872	
2	0	67	60	53	47	47	56	36	28	22	26	18	18	10	16	9	16	14	12	9	6	4	3	6	2	3	2	2	1	1	1					594	
3	0	27	42	15	38	53	28	25	12	18	8	7	9	8	8	7	6	4	6	3	1	4	1	1	1											312	
4	0	12	4	3	7	8	13	5	6	3	4	1	2	3	2	3	2	1	1	1	1																81
5	0	4	1	2	5	1	3	2	1	1	1																										22
6	0	1	1	1	1																																6
$\Sigma =$		232	178	174	115	82	52	39	40	42	38	31	16	11	6	1	1	5	-	1	1															2126	
		311	174	163	91	76	58	57	48	32	26	21	13	11																							

Рис. 1. Матрица распределений по множественности $n_g - N_h$.

n_g	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	$\Sigma =$
0	212	213	47	19	4	5		1		1								502
1	98	83	52	27	16	6	2	1										285
2	48	67	59	43	23	13	6	6	1	1								267
3	36	62	57	57	19	11	8	5	2	1								236
4	22	32	34	31	20	12	5	2	4	2	3		1					167
5	10	10	13	13	18	8	6	5	3	2	5		2					105
6	5	12	12	17	19	9	7	8	7	2	2		3					103
7		8	13	7	21	10	16	6	7	2	1		2	1				94
8	1	1	6	11	6	14	8	9	5	3	2	1	1					67
9	2	1	3	6	7	6	11	10	3	3	2	2	1	1				59
10		2	1	5	6	7	7	5	7	6	3	4	2					55
11			1	2	3	9	6	11	5	6	2	2	1					49
12				2	4	6	5	5	7	6	3	1	4	1				44
13		1	2	2	3	4	2	3	2	2	2		2	1	1			25
14				3	2	3	6	3	2	3	1	1						24
15					1	1	1	3	4	1	5	3			1			20
16					2	2	2	2	1	1				1				11
17						2	1	1										4
18						1	1			1	2							5
19						1				1								2
20										1								1
21																		
22											1							1
$\Sigma =$	495	300	173	100	62	32	17	3	-	1								2126
	492	236	128	85	41	19	4											

Рис. 2. Матрица распределений по множественности $n_g - n_b$.

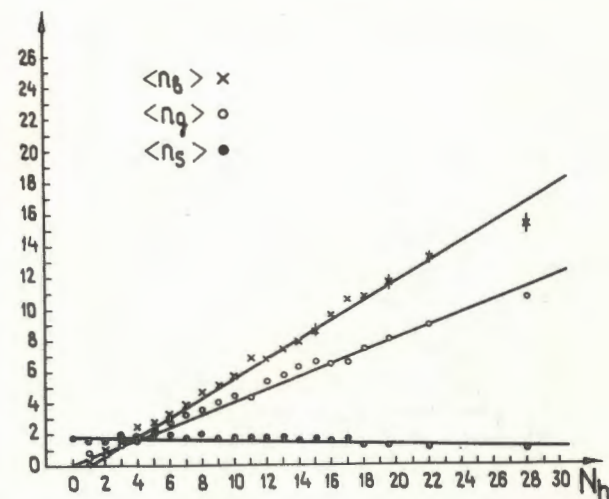


Рис. 3. Корреляции между $\langle n_g \rangle$, $\langle n_q \rangle$, $\langle n_b \rangle$ от N_h .

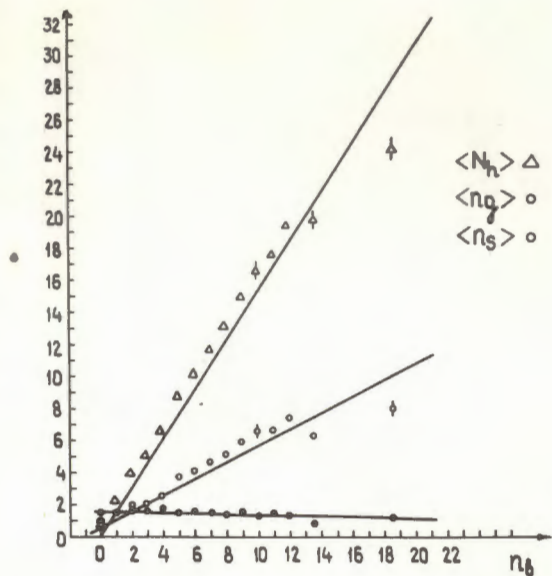


Рис. 4. Корреляции между $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$, $\langle N_h \rangle$ от n_b .

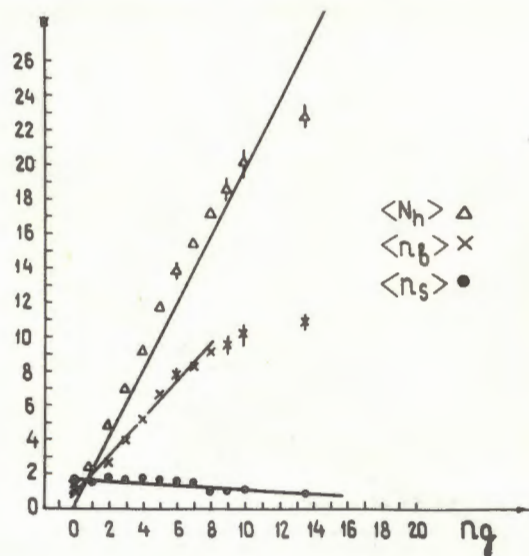


Рис. 5. Корреляции между $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$, $\langle N_h \rangle$ от n_g ; для зависимости $\langle n_b \rangle$ от n_g ; фит производился в области $n_g \leq 8$.

Рис. 6. Корреляции между $\langle n_g \rangle$, $\langle n_b \rangle$, $\langle N_h \rangle$ от n_s ; фит производился для $n_s \geq 1$.

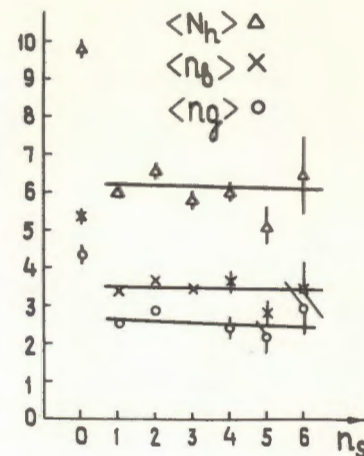


Таблица 2

k	$\langle n_s \rangle$	$\langle n_g \rangle$	$\langle n_b \rangle$	$\langle N_h \rangle$
n_s	—	$-0,04 \pm 0,04$	$0,01 \pm 0,04$	$-0,03 \pm 0,06$
n_g	$-0,06 \pm 0,01$	—	$1,09 \pm 0,02$	$1,97 \pm 0,02$
n_b	$-0,03 \pm 0,01$	$0,51 \pm 0,01$	—	$1,52 \pm 0,02$
N_h	$-0,02 \pm 0,00$	$0,40 \pm 0,01$	$0,60 \pm 0,01$	—

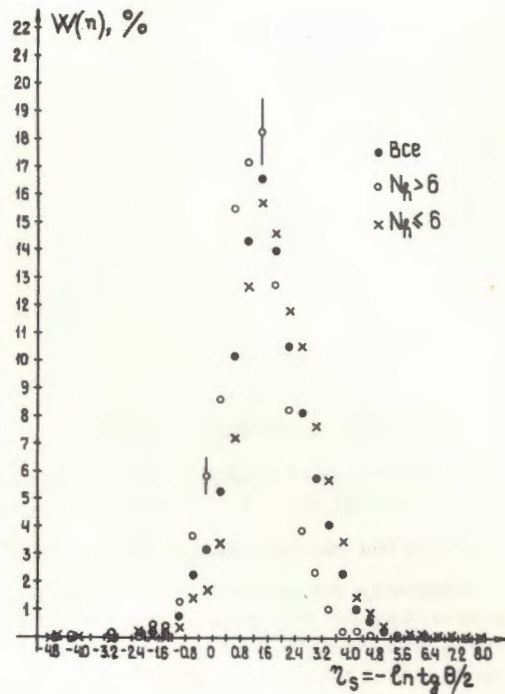
УГЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

Удобными для анализа характеристиками s -частиц являются величины половинного угла $\Theta_s 1/2$ и распределение по $\eta_s = -\text{Intg} \frac{\Theta_s}{2}$. Для g -частиц мы использовали $\Theta_g 1/2$ и $\langle \cos \Theta_g \rangle$, для b -частиц - величину отношения F/B числа частиц, испущенных в переднюю и заднюю полусферы. На рис. 7 представлены распределения по η_s , а в табл. 3 даны значения угловых характеристик для различных интервалов множественности N_h .

Из таблицы следует, что с ростом степени расщепления ядрамиши расширяется угловое распределение s -частиц, тогда как для g -частиц эта тенденция значительно менее выражена.

Таблица 3

N_h :	≤ 6	7-15	≥ 16	≥ 7	≥ 0
θ_g 1/2, град	$19,0^{+0,7}_{-0,6}$	$52,4^{+1,9}_{-1,8}$	$47,5^{+2,0}_{-1,1}$	$55,6^{+1,9}_{-1,5}$	$24,4^{+0,6}_{-0,6}$
η_s	$1,85 \pm 0,02$	$1,21 \pm 0,03$	$0,80 \pm 0,03$	$1,10 \pm 0,03$	$1,57 \pm 0,02$
θ_g 1/2, град	$60,6^{+1,9}_{-1,9}$	$64,5^{+1,5}_{-2,1}$	$66,5^{+1,4}_{-1,0}$	$65,5^{+1,2}_{-1,5}$	$33,8^{+1,5}_{-1,0}$
$\langle \cos \theta_g \rangle$	$0,37 \pm 0,01$	$0,31 \pm 0,01$	$0,28 \pm 0,01$	$0,50 \pm 0,01$	$0,32 \pm 0,01$
$(F/B)_b$	$1,29 \pm 0,06$	$1,31 \pm 0,04$	$1,23 \pm 0,04$	$1,27 \pm 0,05$	$1,27 \pm 0,05$
$(F/B)_p$	$1,2 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,1$	$1,04 \pm 0,08$	$1,1 \pm 0,1$
$(F/B)_a$	$2,0 \pm 0,4$	$1,5 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,2$	$1,53 \pm 0,15$	$1,45 \pm 0,14$

Рис. 7. Распределение по $\eta_s = -\ln \operatorname{tg}(\theta_g/2)$ для различных групп событий по N_h .

Отношение F/B для протонов в звездах с различными N_h практически равно единице: для α -частиц наблюдается некоторая анизотропия во всех группах событий. Отметим, что в угловых распределениях медленных протонов и α -частиц не наблюдается статистически обеспеченных нерегулярностей.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ

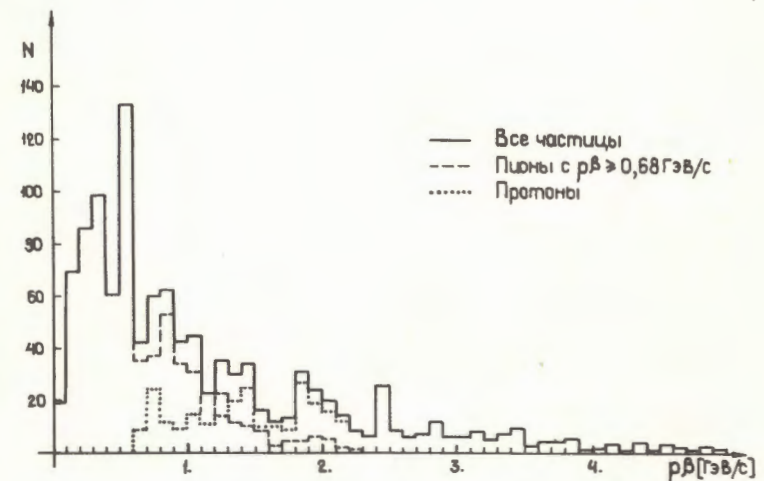
Импульсы s -частиц измерялись методом многократного рассеяния на 354 следах с углами наклона к плоскости фотослоя до 5° или до 10° с последующим введением геометрических поправок на эти ограничения.

В дальнейшем производилось разделение измеренных s -частиц на протоны и пионы. Отбор s -частиц по критерию $g/g_0 < 1,4$ исключает вклад протонов в область $p\beta \leq 680$ МэВ/с. Разделение частиц в области $p\beta > 680$ МэВ/с проводилось статистически с учетом спектра пионов до этой границы.

На рис. 8 показан спектр $p\beta$, пунктиром нанесен спектр протонов и пионов в области $p\beta > 680$ МэВ/с. Средние энергии оказались равными:

$$\langle E_\pi \rangle = /642 \pm 50/ \text{ МэВ} \text{ и } \langle E_p \rangle = /2536 \pm 120/ \text{ МэВ}.$$

Распределения протонов и π -мезонов по быстротам $u = \frac{1}{2} \ln \frac{E-p}{E+p}$ даны на рис. 9.

Рис. 8. Распределение по $p\beta$ для всех измеримых s -частиц и отдельно - для протонов и пионов в области $p\beta > 680$ МэВ/с.

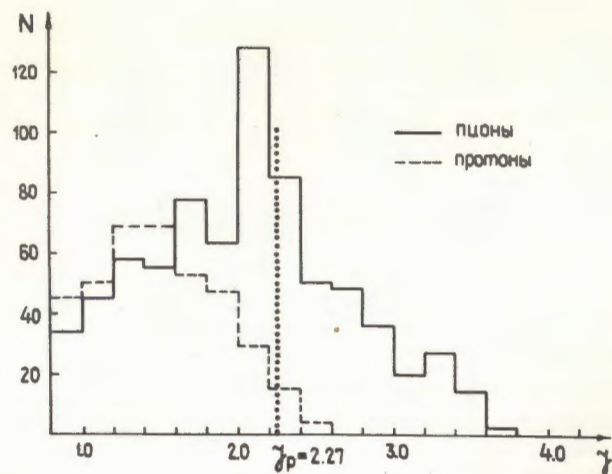


Рис.9. Распределение по быстроте $y = \frac{1}{2} \ln \frac{E+p}{E-p}$ для пионов и протонов среди γ -частиц.

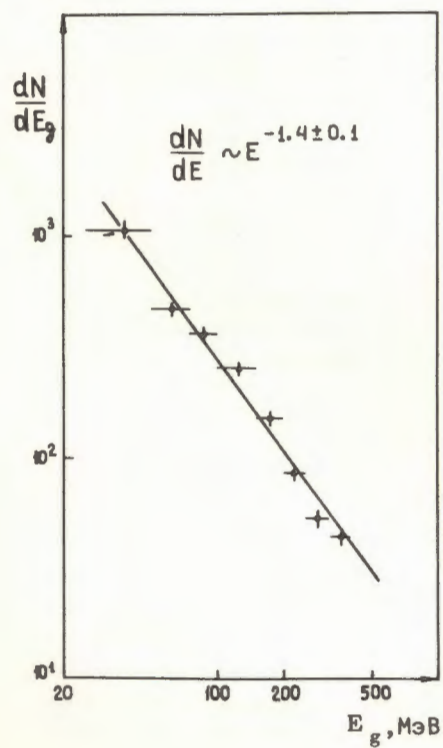


Рис.10. Энергетический спектр γ -частиц.

Определение энергии γ -частиц /в предположении, что они являются протонами/ производилось или по пробегу или по измерению относительной ионизации g/g_0 . Энергетический спектр γ -частиц, показанный на рис.10, может быть аппроксимирован степенной зависимостью $E^{-\gamma}$, где $\gamma = 1,4 \pm 0,1$. При увеличении N_h наблюдается некоторое смягчение спектра, что согласуется с изменением угловых характеристик γ -частиц.

Определение энергии ν -частиц производилось по пробегу с использованием зависимостей $E = f(R_p, a)$.

В табл.4 представлены средние значения энергии γ - и ν -частиц для различных групп N_h . Там же приведены значения $(a/p)_b$. Можно указать на некоторое увеличение $\langle E_p \rangle$ и $\langle E_\alpha \rangle$ для звезд с $N_h \geq 7$, что, по-видимому, обусловлено влиянием кулоновского барьера. При уменьшении параметра столкновения с тяжелыми ядрами /при росте N_h / энергетические спектры ν -частиц несколько расширяются как в сторону больших, так и в сторону меньших энергий /рис.11/.

Таблица 4

N_h :	≤ 6	7-15	≥ 16	≥ 0
$\langle E_\gamma \rangle$, МэВ	122 \pm 5	110 \pm 4	103 \pm 5	112 \pm 3
$\langle E_p \rangle_b$, МэВ	8,8 \pm 0,4	10,4 \pm 0,3	9,7 \pm 0,4	9,7 \pm 0,2
$\langle E_\alpha \rangle_b$, МэВ	19,4 \pm 1,7	23,5 \pm 1,5	23,5 \pm 1,3	22,6 \pm 0,6
$(a/p)_b$	0,44 \pm 0,05	0,4 \pm 0,04	0,55 \pm 0,05	0,46 \pm 0,03

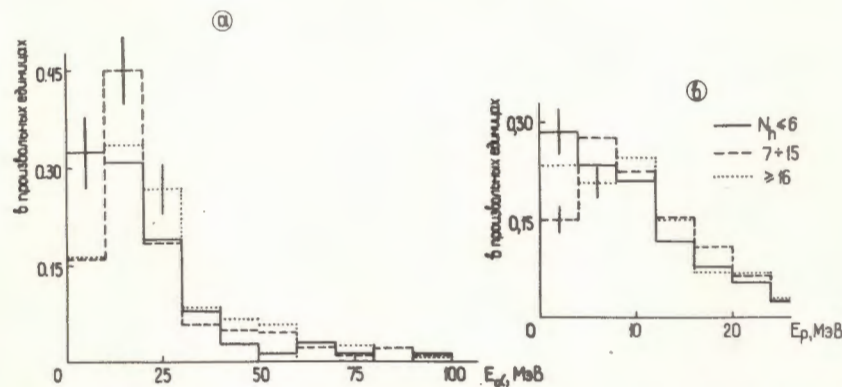


Рис.11. Энергетический спектр медленных α -частиц /а/ и протонов /б/ в событиях с различным числом сильноионизирующих частиц N_h .

Авторы выражают благодарность коллективу синхрофазотрона и группе С.И.Любомилова за помощь в проведении эксперимента, а также лаборантам, участвовавшим в просмотре снимков и измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богачев Н.И. и др. ОИЯИ, P1-6877, Дубна, 1972.
2. Galstyan J.A. et al. Nucl.Phys., 1973, A208, p.626.
3. Сотрудничество. ОИЯИ, P1-8313, Дубна, 1974.
4. BVDKLMТ Collaboration. Acta Phys.Slov., 1978, 28, p.132.
5. Адамович М.Н. и др. ОИЯИ, E1-10838, Дубна, 1977.
6. Winzeller J. Nucl.Phys., 1965, 69, p.661.
7. Серебренников Ю.И. Научн.-техн. инф. бюлл. №12, физ.-мат. науки. Изд. ЛПИ им. М.И.Калинина, 1957.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 декабря 1979 года.