

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

3177/  
2-80

14/7-80

1-80-175

В.Г.Аблеев, В.А.Бодягин, Г.Г.Воробьев,  
А.И.Демьянов, С.А.Запорожец, В.С.Мурзин,  
А.А.Номофилов, Н.М.Пискунов, Л.И.Сарычева,  
Н.Б.Синев, И.М.Ситник, Е.А.Строковский,  
Л.Н.Струнов, А.Филипковски, В.И.Шаров

ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ ЛИДИРУЮЩИХ ПРОТОНОВ  
В ОПЫТАХ ПО РАССЕЯНИЮ ПРОТОНОВ  
С ИМПУЛЬСОМ 6,8 ГЭВ/С  
НА ПРОТОНАХ И ЯДРАХ C, Al, Cu, Sn, Pb

*Направлено в ЯФ*

1980

## ВВЕДЕНИЕ

За последнее время значительно возрос интерес к изучению неупругих адрон-ядерных взаимодействий.

Рядом авторов<sup>/1-3/</sup> высказывалось мнение о том, что изучение характеристик инклюзивных сечений рождения лидирующих адронов во взаимодействиях адронов с ядрами, в особенности их зависимости от атомного номера ядра-мишени, импульса и сорта налетающего адрона, сможет сообщить существенно новую информацию о структуре адронов и пространственно-временной картине сильного взаимодействия.

Обилие различных теоретических подходов<sup>/2-5/</sup> к проблеме прохождения быстрых адронов сквозь ядра указывает на ее слабую обеспеченность соответствующими экспериментальными данными.

В настоящей работе представлены данные опыта при  $p_0 = 6,8$  ГэВ/с по дифференциальным сечениям  $d^2\sigma/d\Omega dp$  выхода лидирующих протонов из реакции  $p + A \rightarrow p + X$ . В работе измерялись протоны, вылетающие в интервале импульсов  $0,6 \leq p/p_0 \leq 0,95$  и углов  $16 \text{ мрад} \leq \theta \leq 40 \text{ мрад}$ . Такой интервал углов и импульсов был выбран, чтобы регистрировать лидирующие частицы, испытывавшие неупругое, некогерентное взаимодействие в ядре-мишени<sup>/1/</sup>.

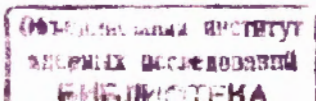
## ЭКСПЕРИМЕНТ

Измерения проводились на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Пучок протонов с импульсом  $p_0 = 6,8$  ГэВ/с и интенсивностью  $\sim 10^6$  частиц/цикл выводился из ускорителя за время  $\approx 0,3$  с.

Одноплечевой магнитный спектрометр "Альфа"<sup>/6/</sup> работал на линии с ЭВМ БЭСМ-4. Схема расположения аппаратуры на пучке приведена на рис. 1. Установка включала в себя многопроволочные пропорциональные камеры /ПК/, сцинтилляционные счетчики ( $S, A_1$ ) и анализирующий магнит. Блоки ПК имели по две плоскости сигнальных проволок /X и Y/, шаг намотки 2 мм, общее число сигнальных проволок было около 1200.

При помощи счетчиков  $S_1, S_2, S_3$ , включенных в совпадения, счетчика  $A_1$  /с отверстием/, включенного в антисовпадения, и камер ПК1, ПК2 выделялись частицы пучка, треки которых имели нужные координатные и угловые параметры относительно оси уста-



новки. Счетчики  $S_4 \div S_8$  использовались для организации триггера. Камеры ПК1 и ПК2 применялись для определения траекторий частиц, падающих на мишень, ПК3 и ПК4 - для определения траекторий частиц после прохождения мишени. Таким образом, при помощи ПК1, ПК2, ПК3 и ПК4 определялся угол рассеяния  $\theta$ . При помощи ПК3, ПК4 и ПК5 определялся угол поворота частицы в поле анализирующего магнита, и тем самым вычислялся ее импульс.

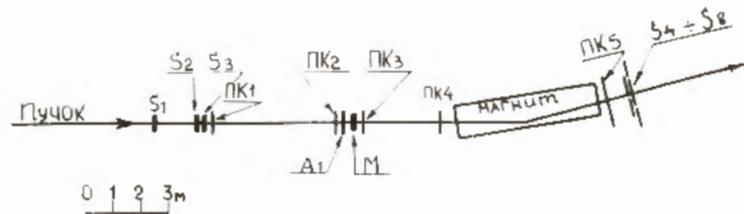


Рис. 1. Схема эксперимента на выведенном пучке протонов с импульсом  $p_0 = 6,8$  ГэВ/с.  $S$ ,  $A_1$  - сцинтилляционные счетчики; ПК - пропорциональные камеры; М - мишень.

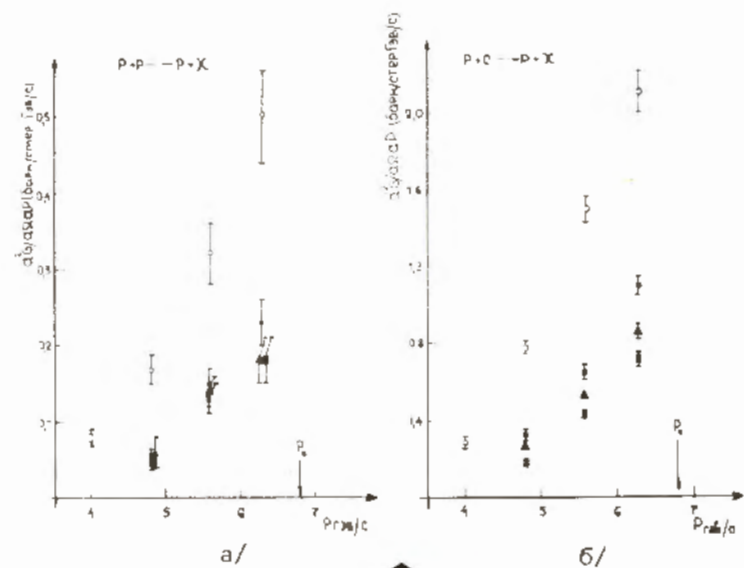
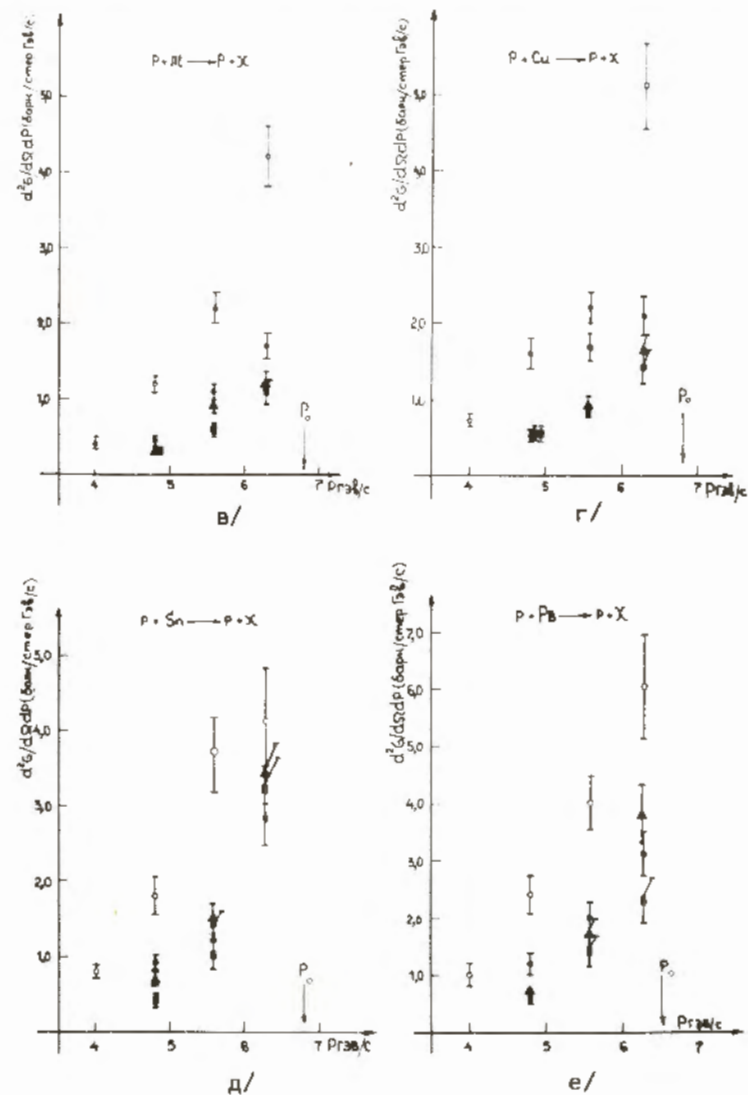


Рис. 2. Импульсные спектры неупруго рассеявшихся частиц при разных углах рассеяния.  $\circ$  - 19 мрад,  $\bullet$  - 25 мрад,  $\blacktriangle$  - 31 мрад,  $\blacksquare$  - 37 мрад.

Угловое разрешение спектрометра составляло  $\approx 1$  мрад, импульсное  $\approx 100$  МэВ/с. При заданных расстояниях между элементами спектрометра угловой  $\Delta\theta \approx 50$  мрад/ и импульсный  $\Delta p \approx 6,8$  ГэВ/с/ акцептансы установки определялись, в основном, размерами ПК4, ПК5 и апертурой анализирующего магнита.

Для эффективного накопления событий в требуемом интервале переданных импульсов использовался специализированный цифро-





вой процессор, сопряженный с камерами ПК1, ПК2, ПК4, при помощи которого отбирались события с углом рассеяния в плоскости X,  $\theta_x \sim 16$  мрад.

Подавление событий упругого рассеяния достигалось включением в триггер условия "ИЛИ" со счетчиков  $S_4, S_5, S_6$  /основная часть упруго рассеявшихся частиц попадала в счетчики  $S_7, S_8$ /.

В методических целях часть информации записана с включением в схему "ИЛИ" всех счетчиков  $S_4+S_8$ , что позволило получить данные по упругому рассеянию протонов. Использовались также два типа триггера, обеспечивающих надежное определение эффективности установки.

Переключение по командам от ЭВМ 4 типов триггера выполнялось автоматически, с достаточно коротким периодом /20 циклов ускорителя/, что обеспечивало корректный учет эффективности при возможных изменениях условий эксперимента.

Мишени из  $CH_2, C, Al, Cu, Sn, Pb$ , толщиной ~5% ядерной длины, многократно сменялись в соответствии с программой экспозиции. Для оценки фона велась запись информации, когда мишень отсутствовала.

#### ОБРАБОТКА ДАННЫХ

При обработке данных использовались, главным образом, следующие критерии отбора событий:

- эффективное срабатывание всех ПК;
- хорошее сшивание трека частицы, упавшей на мишень, с треком частицы, вышедшей из мишени;
- z-координата точки рассеяния частицы на угол, больший 16 мрад, должна находиться вблизи  $\pm 25$  см/ от z-координаты мишени.

Как показала обработка информации, записанной в отсутствие мишени, фон был пренебрежимо мал.

Дифференциальные сечения выхода лидирующих протонов в реакции  $p+A \rightarrow p+X$  определялись по формуле:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dp_{ij}} = \frac{\bar{N}_{ij}}{2\pi \sin \theta_i \cdot \Delta\theta_i \cdot \Delta p_j \cdot F \cdot n_{яд} \cdot \epsilon},$$

где F - поток первичных частиц;  $n_{яд}$  - число ядер в мишени/см<sup>2</sup>;  $\epsilon$  - коэффициент, учитывающий эффективность спектрометра;  $\theta_i$  - угол рассеяния;  $\Delta\theta_i$  и  $\Delta p_j$  - величины интервалов по углу рассеяния  $\theta$  и импульсу p в ij-й ячейке двумерной гистограммы;  $\bar{N}_{ij}$  - число событий в ij-й ячейке гистограммы, поправленное на коэффициент, учитывающий угловой и импульсный акцептансы установки, который рассчитывался методом Монте-Карло с учетом вида триггера и реальных угловых и координатных распределений пучка.

ний пучка.  $\frac{d^2\sigma}{d\Omega dp}$  в реакции  $p+p \rightarrow p+X$  находились по формуле:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dp} = \frac{1}{2} \left( \frac{d^2\sigma}{d\Omega dp_{CH_2}} - \frac{d^2\sigma}{d\Omega dp_C} \right).$$

Таблица 1а  
 $\frac{d^2\sigma}{d\Omega dp}$  барн/ср·ГэВ/с в реакциях  $p+A \rightarrow p+X$

		Ядро - мишень: P			
$\theta, \text{ мрад}$		19 ± 3	25 ± 3	31 ± 3	37 ± 3
$P, \text{ ГэВ/с}$					
3,96 ± 0,42	0,062 ± 0,014				
4,78 ± 0,42	0,17 ± 0,02	0,056 ± 0,011	0,06 ± 0,02	0,049 ± 0,009	
5,60 ± 0,42	0,32 ± 0,04	0,15 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,13 ± 0,02	
6,28 ± 0,28	0,50 ± 0,06	0,23 ± 0,03	0,18 ± 0,03	0,18 ± 0,03	
		Ядро - мишень: C			
3,96 ± 0,42	0,29 ± 0,02				
4,78 ± 0,42	0,68 ± 0,03	0,33 ± 0,02	0,27 ± 0,02	0,19 ± 0,01	
5,60 ± 0,42	1,5 ± 0,06	0,65 ± 0,03	0,53 ± 0,03	0,43 ± 0,03	
6,28 ± 0,28	2,1 ± 0,11	1,1 ± 0,06	0,86 ± 0,04	0,71 ± 0,04	
		Ядро - мишень: Al			
3,96 ± 0,42	0,44 ± 0,06				
4,78 ± 0,42	1,2 ± 0,13	0,45 ± 0,06	0,36 ± 0,05	0,37 ± 0,06	
5,60 ± 0,42	2,2 ± 0,2	1,1 ± 0,1	0,87 ± 0,10	0,60 ± 0,09	
6,28 ± 0,28	4,2 ± 0,4	1,7 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,165	
		Ядро - мишень: Si			
3,96 ± 0,42	0,73 ± 0,11				
4,78 ± 0,42	1,6 ± 0,2	0,51 ± 0,08	0,56 ± 0,08	0,59 ± 0,09	
5,60 ± 0,42	2,2 ± 0,2	1,7 ± 0,2	0,91 ± 0,13	0,81 ± 0,13	
6,28 ± 0,28	5,1 ± 0,6	2,1 ± 0,3	1,4 ± 0,2	1,4 ± 0,2	
		Ядро - мишень: Sn			
3,96 ± 0,42	0,83 ± 0,14				
4,78 ± 0,42	1,8 ± 0,3	0,87 ± 0,13	0,70 ± 0,12	0,40 ± 0,10	
5,60 ± 0,42	3,7 ± 0,4	1,4 ± 0,18	1,5 ± 0,2	1,0 ± 0,2	
6,28 ± 0,28	4,1 ± 0,7	2,8 ± 0,4	3,4 ± 0,4	3,2 ± 0,5	
		Ядро - мишень: Pb			
3,96 ± 0,42	1,0 ± 0,2				
4,78 ± 0,42	2,4 ± 0,3	1,2 ± 0,2	0,69 ± 0,14	0,59 ± 0,14	
5,60 ± 0,42	4,0 ± 0,5	2,0 ± 0,3	1,7 ± 0,3	1,4 ± 0,3	
6,28 ± 0,28	6,0 ± 0,9	3,1 ± 0,4	3,8 ± 0,5	2,3 ± 0,4	

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1а и на рис. 2 приведены абсолютные значения инклюзивных дифференциальных сечений реакций  $p + A \rightarrow p + X$  в интервале углов рассеяния  $16 \text{ мрад} \leq \theta \leq 40 \text{ мрад}$  и импульсов  $4,0 \text{ ГэВ/с} \leq p \leq 6,3 \text{ ГэВ/с}$ .

В табл. 1а и на рисунках указаны статистические ошибки.

Таблица 1б

$\frac{d\sigma}{d\Omega}$  барн/ср в реакциях  $p + A \rightarrow p + X$  упругого и квазиупругого рассеяния

Ядро мишень	Угол рассеяния $\theta$ , мрад		
	25±3	31±3	37±3
P	1,1±0,08	0,80±0,06	0,75±0,05
C	10,6±0,2	4,76±0,05	2,96±0,08
Al	10,8±0,4	4,5±0,3	5,0±0,3
Cu	12,8±0,5	10,5±0,4	6,3±0,4
Sn	27,6±1,0	10,5±0,6	7,5±0,6
Pb	31,3±1,1	16,6±0,8	10,5±0,8

Таблица 2

Результаты фита  $d^2\sigma/d\Omega dp$  по формуле:  $d^2\sigma/d\Omega dp = nA^\alpha$

	P ГэВ/с	n	$\alpha$	$\chi^2/n \text{ cr } d$		n	$\alpha$	$\chi^2/n \text{ cr } d$
$\theta = 19 \text{ мрад}$	4	0,54±0,02	0,46±0,05	1,14/3	$\theta = 25 \text{ мрад}$	0,1±0,03	0,4±0,03	3,8/3
	4,8	0,22±0,03	0,45±0,04	3,5/3		0,24±0,03	0,40±0,03	11,5/3
	5,6	0,66±0,07	0,33±0,03	6,6/3		0,43±0,06	0,38±0,04	1,3/3
	6,3	0,85±0,11	0,37±0,04	15,0/3				
$\theta = 31 \text{ мрад}$	4,8	0,11±0,02	0,39±0,05	1,19/3	$\theta = 37 \text{ мрад}$	0,56±0,01	0,50±0,05	9,1/3
	5,6	0,19±0,03	0,41±0,04	3,42/3		0,16±0,03	0,39±0,05	0,24/3
	6,3	0,25±0,03	0,50±0,04	9,5/3		0,21±0,04	0,48±0,05	7,5/3

Систематические ошибки, связанные с учетом эффективности и акцептанса установки, не превышают 5%. Прямые реакции  $p + A \rightarrow p + X$  в указанный кинематический интервал оценивались нами на основе работы [7] и не превышает  $3 \pm 5\%$  вблизи нижней границы выбранного интервала импульсов. Суммарные систематические ошибки не превышают 8-10%. С целью контроля корректности определения эффективности и акцептанса установки на материале, набранном одновременно с основным, измерены значения дифференциальных сечений  $d\sigma/d\Omega$  упругого и квазиупругого рассеяния протонов на ядрах [табл. 1б/], которые хорошо согласуются с результатами работ [8,9].

Для ядер с  $A \geq 12$  инклюзивные дифференциальные сечения неупругого рассеяния можно аппроксимировать формулой:

$$d^2\sigma/d\Omega dp = nA^\alpha$$

где  $n$  и  $\alpha$  - подгоночные параметры. Результаты аппроксимации приведены в табл. 2, из которой видно, что в данном кинематическом интервале значения показателя степени  $\alpha$  в пределах ошибок не зависят от угла вылета и импульса вторичной частицы, а его среднее составляет  $\bar{\alpha}_{6,8} = 0,42 \pm 0,01$ .

Аналогичный результат можно получить из работы [7], выполненной при начальном импульсе протонов  $p_0 = 19,2 \text{ ГэВ/с}$ . При том же значении поперечного импульса  $p_T = p^\perp = 200 \text{ МэВ/с}$ , что и в нашем опыте, аппроксимируя дифференциальные сечения функцией вида  $nA^\alpha$ , находим  $\bar{\alpha}_{19,2} = 0,43 \pm 0,01$ .

Авторы благодарят соответствующие службы ЛВЗ за обеспечение хорошей работы ЭВМ и ускорителя. Авторы признательны руководству Лаборатории и научно-экспериментального электронного отдела за поддержку и обеспечение возможностей проведения эксперимента, Л.А.Слепец, З.П.Мотиной, Р.Н.Петровой - за помощь в работе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В.С.Мурзин, Л.И.Сарычева. ЯФ, 1976, 23, 2, с.383; Демьянов А.И., Мурзин В.С., Сарычева Л.И. Ядерно-каскадный процесс в плотном веществе. "Наука", М., 1977.
2. Анисович В.В., Шабельский Ю.М., Шехтер В.М. ЯФ, 1978, 28, 4, с.1063.
3. Канчели О.В. Письма в ЖЭТФ, 1973, 18, с.465; Николаев Н.Н. Препринт ИТФ АН СССР, 1975, №18.
4. Барашенков В.С., Елисеев С.М. ЯФ, 1973, 18, с.196.
5. Kofned-Hansen O. Nucl.Phys., 1973, B54, p.42.
6. Аблеев В.Г. и др. ПТЭ, 1978, 2, с.63.
7. Allaby J.V. et al. CERN 70-12, 1970.
8. Blieden H.R. et al. Phys.Rev., 1975, D11, p.114.
9. NN and ND Interactions (Above 0,5 GeV/c) - a Compilation. UCRL-20000NN, Geneva, 1970.