



502008896

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

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 С, Al, Cu, Sn, Pb

Направлено в ЯФ

1980

Аблеев В.Г. и др.

Изучение спектров лидирующих протонов в опытах по рассеянию протонов с импульсом 6,8 ГэВ/с на протонах и ядрах C, Al, Cu, Sn, Pb

Измерены инклюзивные двойные дифференциальные сечения выхода протонов в опыте по рассеянию протонов на протонах и ядрах C, Al, Cu, Sn, Pb, с помощью одноплечевого магнитного спектрометра, состоящего из пропорциональных камер, сцинтилляционных счетчиков и регистрирующей электроники, выполненной в стандарте КАМАК. Сечения измерены в интервале углов рассеяния $17 \mu\text{рад} \leq \theta \leq 40 \mu\text{рад}$ и импульсов $4,0 \text{ ГэВ/с} \leq p \leq 6,8 \text{ ГэВ/с}$. При аппроксимации дифференциальных сечений степенной функцией от атомного номера ядра-мишени, для ядер с $A \geq 12$ показатель степени остается практически постоянным в указанном кинематическом интервале.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Ableev V.G. et al.

1-80-175

Study of Leading Proton Spectra
in Experiments on Scattering of 6.8 GeV/c
Protons on Protons and C, Al, Cu, Sn, Pb Nuclei

The inclusive double differential cross sections for the proton yield in the 6.8 GeV/c proton scattering on hydrogen and C, Al, Cu, Sn, Pb nuclei have been measured by using the one-arm magnetic spectrometer with proportional chambers, scintillation counters and CAMAC electronics. The absolute values of the double differential cross sections have been obtained for angles between $17 \mu\text{rad} \pm 40 \mu\text{rad}$ and momenta in the $4.0 \text{ GeV/c} \leq p \leq 6.8 \text{ GeV/c}$ range. If one approximates differential cross sections by simple power function of the target atomic number, then for nuclei with $A \geq 12$ the exponent of such a function will be practically constant within the mentioned kinematical intervals.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1980

ВВЕЛЕНИЕ

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

Рядом авторов^{/1-3/} 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^{/2-5/} 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^{/1/}.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Измерения проводились на синхрофазотроне Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Пучок протонов с импульсом $p_0 = 6,8$ ГэВ/с и интенсивностью $\sim 10^5$ частиц/цикл выводился из ускорителя за время $\approx 0,3$ с.

Одноплечевой магнитный спектрометр "Альфа"^{/6/} 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 проволочек /X и Y/, шаг намотки 2 мм, общее число сигнальных проволочек 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 θ . При помощи ПК3, ПК4 и ПК5 определялся угол поворота частицы в поле анализирующего магнита, и тем самым вычислялся ее импульс.

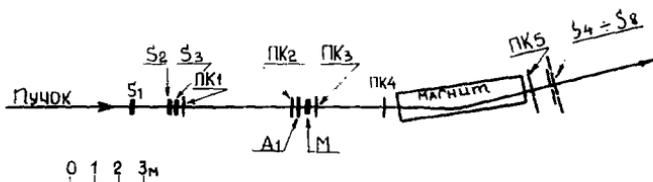


Рис.1. Схема эксперимента на выведенном пучке протонов с импульсом $p_0 = 6,8$ ГэВ/с. S, A₁ - сцинтилляционные счетчики; ПК - пропорциональные камеры; M - мишень.

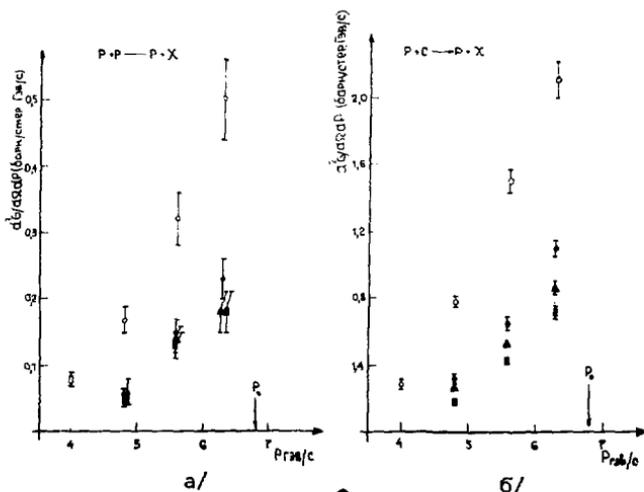
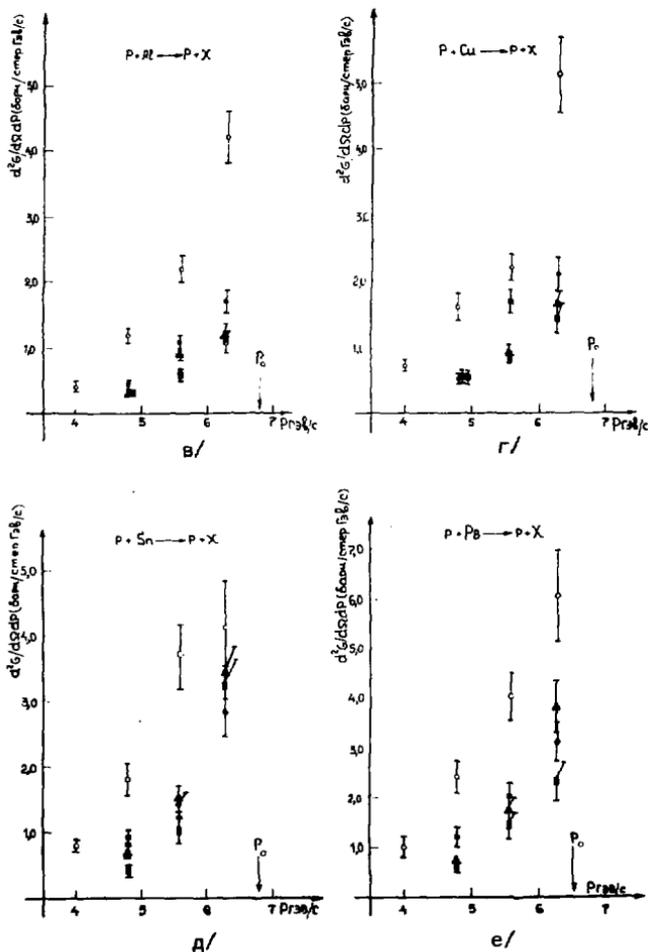


Рис.2. Импульсные спектры неупруго рассеявшихся частиц при разных углах рассеяния. O - 19 мрад, ● - 25 мрад, ▲ - 31 мрад, ■ - 37 мрад.

Угловое разрешение спектрометра составляло ≈ 1 мрад, импульсное ≈ 100 МэВ/с. При заданных расстояниях между элементами спектрометра угловой $10 \div 50$ мрад/ и импульсный $4,0 \div 6,8$ 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 мощности которого отбирались события с углом рассеяния в плоскости X, $\theta_x > 16$ 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 $S_4 \div S_8$, 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 $\approx 5\%$ 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 ± 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:

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

где F - поток первичных частиц; $n_{\text{яд}}$ - число ядер в мишени/см²; ϵ - коэффициент, учитывающий эффективность спектрометра; θ_i - угол рассеяния; $\Delta\theta_i$ и Δp_j - величины интервалов по углу рассеяния θ и импульсу p в ij-й ячейке двумерной гистограммы; \tilde{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 распределе-

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 $p + A \rightarrow p + X$

θ , мрад P, ГэВ/с		Ядро - мишень: P			
		19 ± 3	25 ± 3	31 ± 3	37 ± 3
$3,96 \pm 0,42$	$0,082 \pm 0,014$				
$4,78 \pm 0,42$	$0,17 \pm 0,02$	$0,056 \pm 0,011$	$0,06 \pm 0,02$	$0,049 \pm 0,009$	
$5,60 \pm 0,42$	$0,32 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,02$	$0,14 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,02$	
$6,28 \pm 0,28$	$0,50 \pm 0,06$	$0,23 \pm 0,03$	$0,18 \pm 0,03$	$0,18 \pm 0,03$	
		Ядро - мишень: C			
$3,96 \pm 0,42$	$0,29 \pm 0,02$				
$4,78 \pm 0,42$	$0,68 \pm 0,03$	$0,33 \pm 0,02$	$0,27 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,01$	
$5,60 \pm 0,42$	$1,5 \pm 0,06$	$0,65 \pm 0,03$	$0,53 \pm 0,03$	$0,43 \pm 0,03$	
$6,28 \pm 0,28$	$2,1 \pm 0,11$	$1,1 \pm 0,06$	$0,86 \pm 0,04$	$0,71 \pm 0,04$	
		Ядро - мишень: Al			
$3,96 \pm 0,42$	$0,44 \pm 0,06$				
$4,78 \pm 0,42$	$1,2 \pm 0,13$	$0,45 \pm 0,06$	$0,36 \pm 0,05$	$0,37 \pm 0,06$	
$5,60 \pm 0,42$	$2,2 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,1$	$0,87 \pm 0,10$	$0,60 \pm 0,09$	
$6,28 \pm 0,28$	$4,2 \pm 0,4$	$1,7 \pm 0,2$	$1,2 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,165$	
		Ядро - мишень: Si			
$3,96 \pm 0,42$	$0,73 \pm 0,11$				
$4,78 \pm 0,42$	$1,6 \pm 0,2$	$0,51 \pm 0,08$	$0,56 \pm 0,08$	$0,59 \pm 0,09$	
$5,60 \pm 0,42$	$2,2 \pm 0,2$	$1,7 \pm 0,2$	$0,91 \pm 0,13$	$0,81 \pm 0,13$	
$6,28 \pm 0,28$	$5,1 \pm 0,6$	$2,1 \pm 0,3$	$1,4 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,2$	
		Ядро - мишень: Sn			
$3,96 \pm 0,42$	$0,83 \pm 0,14$				
$4,78 \pm 0,42$	$1,8 \pm 0,3$	$0,87 \pm 0,13$	$0,70 \pm 0,12$	$0,40 \pm 0,10$	
$5,60 \pm 0,42$	$3,7 \pm 0,4$	$1,4 \pm 0,18$	$1,5 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,2$	
$6,28 \pm 0,28$	$4,1 \pm 0,7$	$2,8 \pm 0,4$	$3,4 \pm 0,4$	$3,2 \pm 0,5$	
		Ядро - мишень: Pb			
$3,96 \pm 0,42$	$1,0 \pm 0,2$				
$4,78 \pm 0,42$	$2,4 \pm 0,3$	$1,2 \pm 0,2$	$0,69 \pm 0,14$	$0,59 \pm 0,14$	
$5,60 \pm 0,42$	$4,0 \pm 0,5$	$2,0 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,3$	$1,4 \pm 0,3$	
$6,28 \pm 0,28$	$6,0 \pm 0,9$	$3,1 \pm 0,4$	$3,8 \pm 0,5$	$2,3 \pm 0,4$	

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 $4,0 \text{ ГэВ}/c \leq p \leq 6,3 \text{ ГэВ}/c$.

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

Таблица 1а

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

Ядро мишень	Угол рассеяния θ , 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: $d^2\sigma/d\Omega dp = nA^\alpha$

	θ , мрад	n	α	$\chi^2/n \text{ cr. об.}$		n	α	$\chi^2/n \text{ cr. об.}$
$\theta = 19 \text{ мрад}$	4	0,44±0,01	0,41±0,05	1,14/3	$\theta = 37 \text{ мрад}$	4	0,44±0,05	0,44±0,05
	4,8	0,42±0,03	0,45±0,04	3,9/3		5,6	0,42±0,03	0,46±0,05
	5,6	0,66±0,07	0,33±0,03	5,6/3		6,3	0,85±0,11	0,37±0,04
	6,3	0,85±0,11	0,37±0,04	15,0/3				
$\theta = 11 \text{ мрад}$	4,8	0,11±0,02	0,37±0,05	1,19/3	$\theta = 17 \text{ мрад}$	4,8	0,56±0,01	0,50±0,05
	5,6	0,19±0,03	0,41±0,04	3,42/3		5,6	0,16±0,03	0,39±0,05
	6,3	0,25±0,03	0,50±0,04	9,5/3		6,3	0,21±0,04	0,48±0,05

Систематические ошибки, связанные с учетом эффективности и акцептанса установки, не превышают 5%. Примесь реакции $p + A \rightarrow \pi^+ + X$ в указанный кинематический интервал оценивалась нами на основе работы ⁷ и не превышает 3 ÷ 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 $A \leq 12$ инклюзивные дифференциальные сечения неупругого рассеяния можно аппроксимировать формулой:

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

где n и α - подгоночные параметры. Результаты аппроксимации приведены в табл.2, из которой видно, что в данном кинематическом интервале значения показателя степени α 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 $p_0 = 19,2$ ГэВ/с. При том же значении поперечного импульса $p_T = p_\perp \approx 200$ МэВ/с, что и в нашем опыте, аппроксимируя дифференциальные сечения функцией вида nA^α , находим $\bar{\alpha}_{19,2} = 0,43 \pm 0,01$.

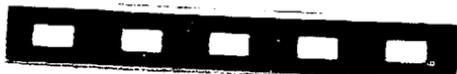
Авторы благодарят соответствующие службы ЯВЭ за обеспечение хорошей работы ЭВМ и ускорителя. Авторы признательны руководству Лаборатории и научно-экспериментального электронного отдела за поддержку и обеспечение возможностей проведения эксперимента, П.А.Слепец, Э.П.Мотиной, Р.Н.Петровой - за помощь в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

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники



Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 27997. Тираж 340. Уч.-изд. листов 0,74.
Редактор Б.Б. Колесова.
Набор В.С. Румянцевой, Е.М. Граменицкой.
Макет Р.Д. Фоминой. Подписано к печати 22.04.80 г.