

СЗ432
А-154

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



2793/2-77

25/III-77

P1 - 10565

В.Г.Аблеев, В.А.Бодягин, С.А.Запорожец, Л.С.Золин,
Г.Л.Мазный, А.А.Номофилов, Н.М.Пискунов,
И.М.Ситник, Е.А.Строковский, Л.Н.Струнов,
А.Филипковски, В.И.Шаров, М.Н.Шумаков

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

ПО ДИФРАКЦИОННОМУ РАССЕЯНИЮ α -ЧАСТИЦ

ПРИ 17,9 ГэВ/с НА ПРОТОНАХ И ЯДРАХ

He, C, Al, Cu

1977

P1 - 10565

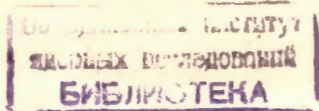
В.Г.Аблеев, В.А.Бодягин,¹ С.А.Запорожец, Л.С.Золин,
Г.Л.Мазный,² А.А.Номофилов, Н.М.Пискунов,
И.М.Ситник, Е.А.Строковский, Л.Н.Струнов,
А.Филипковски, В.И.Шаров, М.Н.Шумаков³

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ
ПО ДИФРАКЦИОННОМУ РАССЕЯНИЮ α -ЧАСТИЦ
ПРИ 17,9 ГэВ/с НА ПРОТОНАХ И ЯДРАХ
He, C, Al, Cu

¹ НИИЯФ МГУ.

² ЛВТА ОИЯИ.

³ СНЭО ОИЯИ.



P1 - 10565

по дифракционному рассеянию
протонов и ядрах He, C, Al, Cu

установки "Альфа" были выполнены
кционного рассеяния α -частиц с им-
драх He, C, Al, Cu.

обработки экспериментальной ин-
ференциальных сечениях рассеяния,
полных сечениях взаимодействия,
ого рассеяний.

и высоких энергий ОИЯИ.

а ядерных исследований. Дубна 1977

P1 - 10565

Diffraction Elastic
GeV/c α -Particle on
Cu Nuclei

diffraction elastic scatter-
GeV/c α -particles on pro-
ei have been made using a
roportional chambers and

posure and data analysis is
fferential cross sections,
 α A interactions (σ_{tot} , σ_{el} ,

ВВЕДЕНИЕ

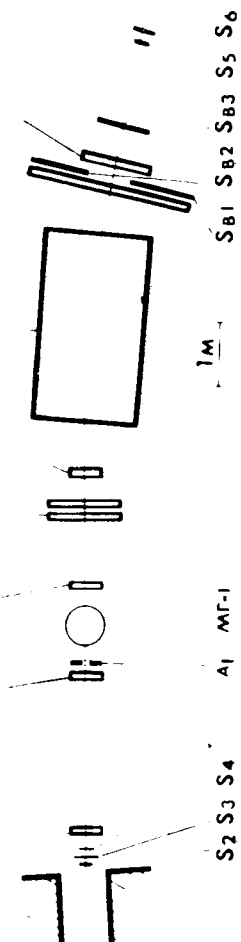
С целью изучения дифракционного механизма взаимо-
действия адронов измерялись абсолютные значения диф-
ференциальных сечений упругого рассеяния α -частиц
на протонах и других ядрах.

Использовался магнитный спектрометр с пропорцио-
нальными камерами и dE/dx -детекторами. Полученные
предварительные результаты, касающиеся формы дифрак-
ционного конуса и сравнения дифференциальных сечений
с расчетами эйконоального типа, уже докладывались /1/.

Ниже описывается процедура измерений и обработки
полученной информации, приводятся таблицы угловых
распределений и оценки полных сечений σ_{tot} , σ_R , σ_{el} и
радиусов α A-взаимодействий, сделанные без введения
поправок на электромагнитные эффекты в дифракционном
пике.

1. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Пучок альфа-частиц с импульсом $P_0 = 17,9$ ГэВ/с и
интенсивностью $1 \div 5 / 10^5$ част/имп выводился из синх-
рофазотрона за время $10.3 \div 0.5$ / с.



6

спектрометр для измерений дифференциальных сечений альфа-частиц с ядрами: а/ С, Al, Cu; б/ - Н₂, He. пропорциональные камеры, S₁ - цилиндрические счетчики, ионизационная мишень, ГМ - твердые мишени, АМ - анализатор, 3 - защита, И - ионизатор с гелиевым наполнением, совпадаемый счетчик.

Выделение мониторинговых частиц проводилось счетчиками S_{1,2,4}, А₁, а также пропорциональными камерами ПК1,2, причем от каждой плоскости этих камер требовалось однопроволочное срабатывание.

Примесь однозарядных частиц в мониторинговом пучке не превышала 10⁻³ за счет выбора специального режима работы мониторинговых детекторов.

Камеры ПК1,2 служили для определения траекторий падающих на мишень частиц, ПК3-5 - для определения траекторий вторичных частиц. Для импульсного анализа вторичных частиц использовались ПК3-7. Счетчики SB_{1÷3} были предназначены для измерения ионизационных потерь вторичных частиц /dE/dx - счетчики/, а счетчик S₃ - ионизационных потерь частиц первичного пучка. Счетчики S_{5,6} применялись для определения эффективности установки. Передача информации из установки в ЭВМ происходила в одном из следующих случаев:

1. При прохождении каждой мониторинговой частицы /контрольный триггер М/.
2. а/ при наличии сигнала TR1=M^/есть рассеяние/ ИЛИ,
б/ при наличии сигнала TR2=TR1^ /заряд частицы за магнитом > 1 /.

Здесь ИЛИ - сигнал о срабатывании хотя бы одной проволочки в одной из камер ПК5, ПК6 /геом. 1/ или ПК6, ПК7 /геом. 2/; TR1 и TR2 - рабочие триггеры. Условие "Есть рассеяние" проверялось специальными цифровыми процессорами, сопряженными с ПК1, 2, 4.

Условие "Заряд частицы за магнитом > 1" соответствует

ица 1

щина /г/см ² /
347±0,001
94±0,002
000±0,010
63±0,006
70±0,011

КИ ДАННЫХ

дился в 2 этапа. На первом геометрические константы, отбор событий рассеяния "чистых данных". На втором "углового" рассеяния и нахождения.

е критерии отбора событий

и для определения траекторной, нахождения угла отклонения ее заряда;

после прохождения мишени, т.е. расстояние между мишенью и детектором, чтобы $r \leq \text{const}$;

к в рабочем триггере, z -

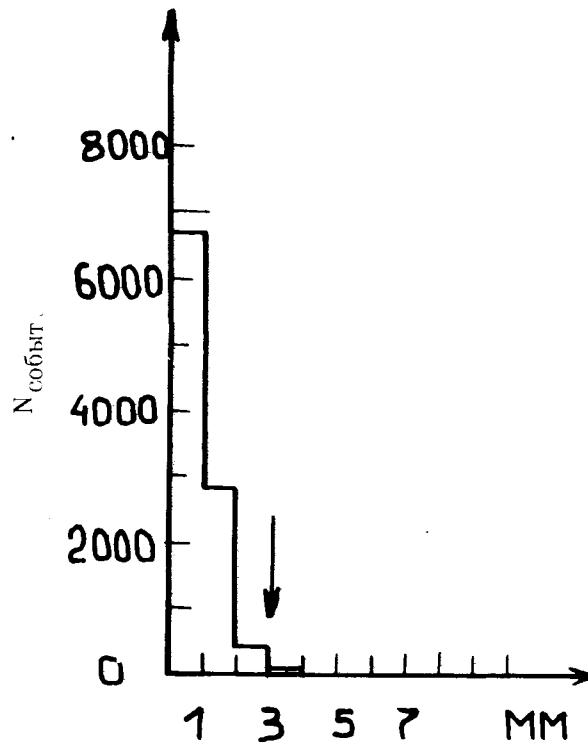
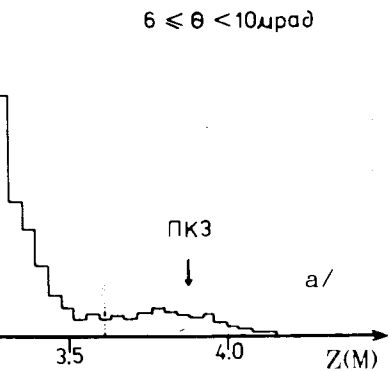


Рис. 2. Распределение событий по расстоянию r между траекториями частиц до мишени и за ней.

Дифференциальные сечения "упругого" рассеяния /т.е. суммы упругого рассеяния и рассеяния с возбуждением ядра-мишени/ определялись по формуле:

$$d\sigma = \frac{1}{N} \left(\frac{N_{full}}{N_{empty}} \right)$$



$17 \mu\text{рад} \leq \theta$

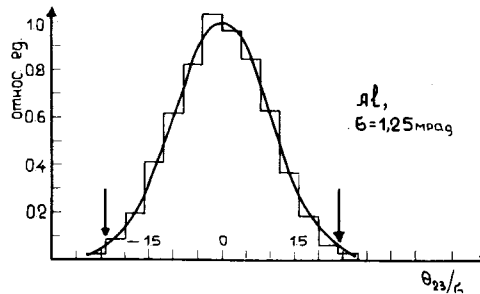
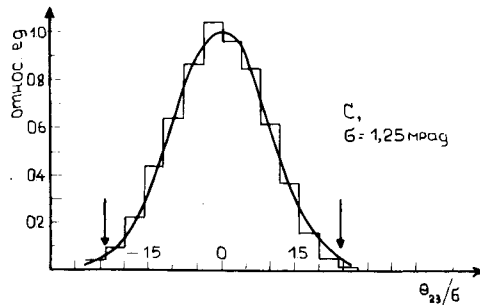
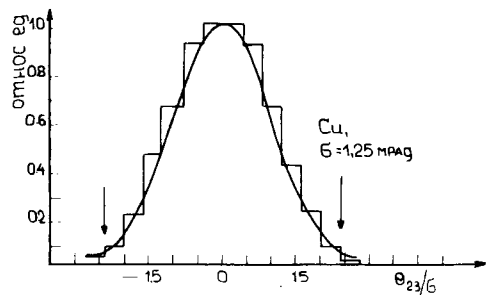
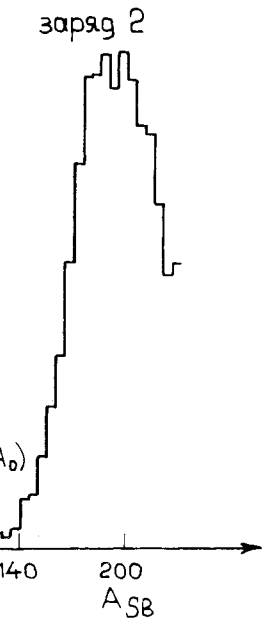


Рис. 4. Распределение событий по углу θ_{23} в относительных единицах для различных элементов



ий по величине сигналов

о своему смыслу представ-

. где N_0 - число частиц,

ия, F_1 - поток на мишень,
рометра.

Поскольку величина $f(\theta)$ заранее не известна, коэффициент эффективного поглощения находится с помощью последовательных приближений. Вначале, с помощью линейной экстраполяции по переменной θ^2 , находится

величина $\epsilon_0 = \lim_{\theta \rightarrow 0} \frac{N_1(\theta)}{F_1}$. Для этого используется ин-

формация, накопленная при контрольном триггере. Далее ϵ_0 применяется для нахождения в области углов, где многократное рассеяние несущественно, функции $f(\theta)$ /по материалам рабочего триггера/, которая параметризуется в виде

$$f(\theta) = A_f \exp(b_f t(\theta)) + A_e \exp(b_e t(\theta)),$$

где A_f , b_f - параметры, характеризующие рассеяние на веществе мишени, A_e , b_e - на веществе спектрометра.

Окончательная оценка эффективного поглощения делается опять по материалам контрольного триггера из условия минимума функционала

$$M(\tilde{\epsilon}_f) = \sum_i \{ N_1(\theta_i) - [F_1 \cdot \tilde{\epsilon}_f + \int_0^{\theta_i} \theta f(\theta) d\theta] \}^2,$$

где $\tilde{\epsilon}_f$ параметризуется линейно: $\tilde{\epsilon}_f(\theta) = a + b\theta$; за оценку ϵ_f берется параметр a .

О корректности описанной процедуры говорит тот факт, что $\tilde{\epsilon}_f(\theta) = \text{const}$ /см. рис. 7/. Найденные таким образом значения ϵ_f использовались для вычисления дифференциальных сечений по формуле /1/. С целью проверки самосогласованности процедуры были сделаны оценки полных сечений по формуле:

$$\epsilon_f = \epsilon_a \cdot \epsilon_f^e \cdot \exp(-\sigma_{\text{tot}} \cdot K_{\text{яд}})$$

Таблица 2

θ град	$ t $ $\Gamma_{\text{ЭВ}}^2/c^2$	H_2 $\frac{d\sigma}{dt} \text{ мб}/\Gamma_{\text{ЭВ}}^2/c^2$	He $\frac{d\sigma}{dt} \frac{\text{барн}}{\Gamma_{\text{ЭВ}}^2/c^2}$	C $\frac{d\sigma}{dt} \frac{\text{барн}}{\Gamma_{\text{ЭВ}}^2/c^2}$	Al $\frac{d\sigma}{dt} \frac{\text{барн}}{\Gamma_{\text{ЭВ}}^2/c^2}$	Cu $\frac{d\sigma}{dt} \frac{\text{барн}}{\Gamma_{\text{ЭВ}}^2/c^2}$
1	2	3	4	5	6	7
5.25	0.00878			14.70 \pm 0.31	23.4 \pm 0.7	35.40 \pm 1.4
5.95	0.0113			11.00 \pm 0.24	15.7 \pm 0.5	18.02 \pm 0.96
6.65	0.0141		4.05 \pm 0.17	8.26 \pm 0.17	9.81 \pm 0.34	8.19 \pm 0.61
7.35	0.0172		3.03 \pm 0.13	5.72 \pm 0.12	5.75 \pm 0.25	4.96 \pm 0.44
8.05	0.0206	622 \pm 16	2.61 \pm 0.10	3.98 \pm 0.09	3.35 \pm 0.18	3.67 \pm 0.40
8.75	0.0244	523 \pm 13	1.91 \pm 0.08	2.73 \pm 0.07	1.98 \pm 0.13	3.01 \pm 0.25
9.45	0.0285	442 \pm 10	1.58 \pm 0.07	1.89 \pm 0.05	1.35 \pm 0.10	3.26 \pm 0.22
10.15	0.0328	365 \pm 8.0	1.21 \pm 0.06	1.23 \pm 0.04	0.960 \pm 0.078	2.75 \pm 0.18
10.85	0.0375	305 \pm 7.1	0.924 \pm 0.027	0.816 \pm 0.032	0.941 \pm 0.066	2.24 \pm 0.14
11.55	0.0425	275 \pm 7.2	0.628 \pm 0.021	0.593 \pm 0.026	0.952 \pm 0.059	1.75 \pm 0.12
12.25	0.0478	255 \pm 5.5	0.505 \pm 0.018	0.458 \pm 0.022	0.936 \pm 0.054	1.30 \pm 0.10
12.95	0.0534	201 \pm 4.8	0.350 \pm 0.015	0.354 \pm 0.018	0.831 \pm 0.047	0.818 \pm 0.082

1	2	3	4	5	6	7
13.65	0.0594	170. \pm 4.4	0.268 \pm 0.014	0.308 \pm 0.017	0.765 \pm 0.045	0.644 \pm 0.074
14.35	0.0656	140. \pm 3.8	0.180 \pm 0.011	0.295 \pm 0.017	0.476 \pm 0.038	0.671 \pm 0.072
15.05	0.0722	107. \pm 3.4	0.139 \pm 0.010	0.299 \pm 0.017	0.544 \pm 0.044	0.393 \pm 0.065
15.75	0.0790	87.8 \pm 3.0	0.104 \pm 0.010	0.254 \pm 0.017	0.321 \pm 0.032	0.298 \pm 0.059
16.45	0.0862	72.5 \pm 2.5	0.0812 \pm 0.0080	0.240 \pm 0.014	0.313 \pm 0.031	0.459 \pm 0.058
17.15	0.0937	52.1 \pm 2.0	0.0650 \pm 0.0070	0.212 \pm 0.013	0.234 \pm 0.027	0.534 \pm 0.057
17.85	0.102	41.8 \pm 1.7	0.0584 \pm 0.0069	0.187 \pm 0.012	0.177 \pm 0.024	0.347 \pm 0.050
18.55	0.110	30.0 \pm 1.4	0.0439 \pm 0.0056	0.173 \pm 0.012	0.200 \pm 0.023	0.317 \pm 0.042
19.25	0.118	21.8 \pm 1.1	0.0326 \pm 0.0053	0.113 \pm 0.010	0.148 \pm 0.020	0.184 \pm 0.035
19.95	0.127	20.6 \pm 1.0	0.0318 \pm 0.0048	0.102 \pm 0.009	0.189 \pm 0.021	0.317 \pm 0.038
20.65	0.136	12.4 \pm 0.82	0.0340 \pm 0.0047	0.0861 \pm 0.0083	0.188 \pm 0.022	0.158 \pm 0.032
21.35	0.145	10.2 \pm 0.76	0.0171 \pm 0.0037	0.117 \pm 0.010	0.154 \pm 0.021	0.226 \pm 0.037
22.05	0.155	5.82 \pm 0.56	0.0204 \pm 0.0043	0.0719 \pm 0.0089	0.106 \pm 0.019	0.154 \pm 0.034
22.75	0.165	4.37 \pm 0.50	0.0363 \pm 0.0049	0.0592 \pm 0.0069	0.140 \pm 0.020	0.143 \pm 0.029
23.45	0.175	3.67 \pm 0.49	0.0110 \pm 0.0034	0.0598 \pm 0.0079	0.0609 \pm 0.014	0.081 \pm 0.024
24.15	0.186	2.56 \pm 0.52	0.0213 \pm 0.0052			
24.85	0.197	1.84 \pm 0.47	0.0118 \pm 0.0051			
25.55	0.205	1.62 \pm 0.47	0.0079 \pm 0.0036			
26.25	0.220	1.02 \pm 0.32				

в табл. 2 и на рис. 6. Данные этой таблицы не вполне адекватны "истинным" дифференциальным сечениям; задача об их извлечении относится к классу "некорректных" /3/ и ее решение представляется нам нецелесообразным. Поэтому сравнение теоретических расчетов с данными табл. 2 следует проводить после преобразо-

вания $\frac{d\sigma}{dt}$ в соответствии с формулой

$$\frac{d\sigma}{dt}(t)_{\text{эксп.}} = \int_{t-\tau}^{t+\tau} \frac{d\sigma}{dt}(t') \cdot W(t', t) dt', \quad /4/$$

$$W(t', t) = \frac{1}{p_0^2 \sigma^2} \exp\left[-\frac{(\sqrt{|t|} - \sqrt{|t'|})^2}{2p_0^2 \sigma^2}\right] \exp\left[-\frac{\sqrt{tt'}}{p_0^2 \sigma^2} I_0\left(\frac{\sqrt{tt'}}{p_0^2 \sigma^2}\right)\right],$$

где $W(t', t)$ - функция, описывающая аппаратное разрешение. /Здесь p_0 - импульс пучка, σ - мода рэлеевского распределения, аппроксимирующего экспериментальное угловое распределение на "полной" мишени вблизи нулевого угла рассеяния в контрольном триггере, $\sigma \approx 0,8$ мрад независимо от мишени/, I_0 - функция Бесселя мнимого аргумента/.

В области дифракционного конуса /т.е. области, где сечение хорошо аппроксимируется экспонентой/ уравнение /4/ позволяет найти связь наблюдаемых и "истинных" параметров дифракционного конуса. Она имеет вид:

$$\frac{d\sigma}{dt}(0)_{\text{эксп}} = \frac{1}{1 + 2p_0^2 \sigma^2 b} \frac{d\sigma}{dt}(0), \quad b_{\text{эфф}} = \frac{b}{1 + 2p_0^2 \sigma^2 b}. \quad /5/$$

В табл. 3 приведены наблюдаемые параметры дифракционного конуса, найденные подгонкой формулы

$$\frac{d\sigma}{dt}_{\text{эксп}} = \frac{d\sigma}{dt}(0)_{\text{эксп}} \exp(b_{\text{эфф}} t + ct^2)$$

/по интервалу $|t_{\min}| \leq |t| \leq 4/b_{\text{эфф}}$ / , а в табл. 4 содержатся поправленные в соответствии с /5/ значения $\frac{d\sigma}{dt}(0)$ и b -параметров.

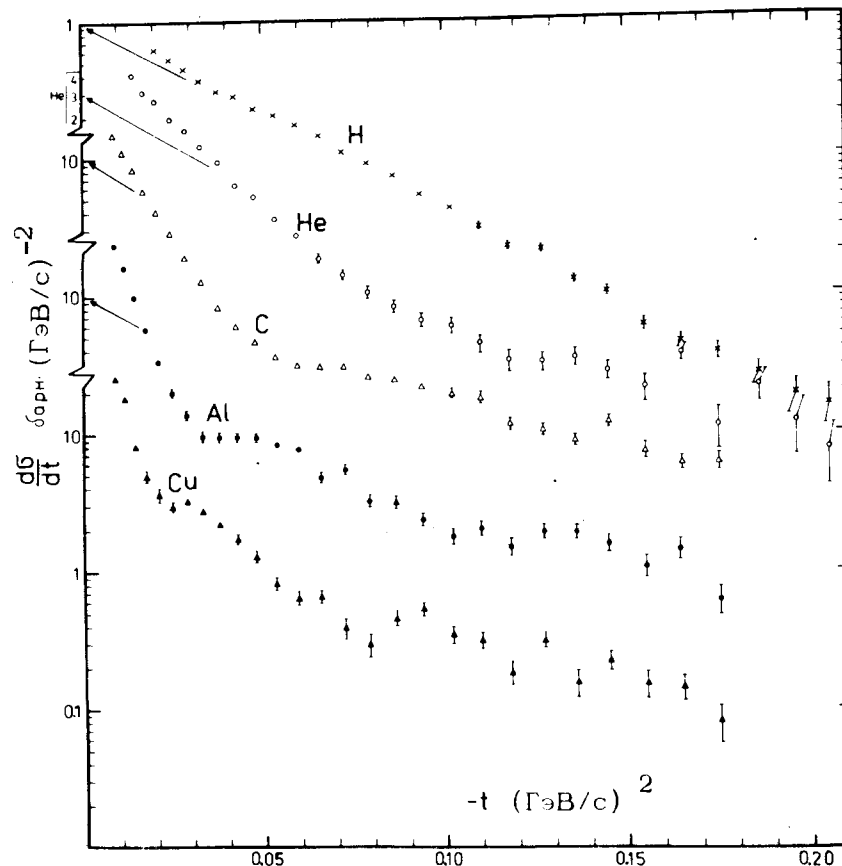


Рис. 6. Экспериментальные значения дифференциальных сечений упругого αA -рассеяния.

Оценка полных сечений упругого рассеяния проводилась фитированием данных формулой

$$\frac{d\sigma}{dt}_{\text{эксп}} = \sigma_{\text{el}} \cdot b_{\text{эфф}} \exp(b_{\text{эфф}} t).$$

Оценка полных сечений взаимодействия выполнялась в

приближении $\rho^2 = \left| \frac{\text{Re}A_{\text{яд}}}{\text{Im}A_{\text{яд}}} \right|^2 = 0$ по оптической теореме:

$\sigma_{\text{tot}} = \sqrt{16\pi} \frac{d\sigma}{dt}(0)$. Соответствующие величины представлены в табл. 5 и на рис. 8.

Таблица 3

Ми- шень	$ t $ Интервал, ГэВ ² /с ²	$d\sigma/dt(0)$ эксп., барн/ГэВ ² /с ²	θ эфф., ГэВ ⁻² /с ⁻²	C , (ГэВ/с) ⁻⁴	χ^2/N
H ₂	0,0206 ± 0,102	1.10 ± 0.02	32.1 ± 0.3		46./15
He	0,0141 ± 0,0656	10.2 ± 0.7	70.0 ± 4.	+136 ± 55	10./12
C	0,00878 ± 0,0244	37.9 ± 0.8	109. ± 2.		2.5/6
Al	0,00878 ± 0,0244	97. ± 5.	162. ± 4.		2./6
Cu	0,00878 ± 0,0172	308. ± 40.	251. ± 11.		6./4

Таблица 4

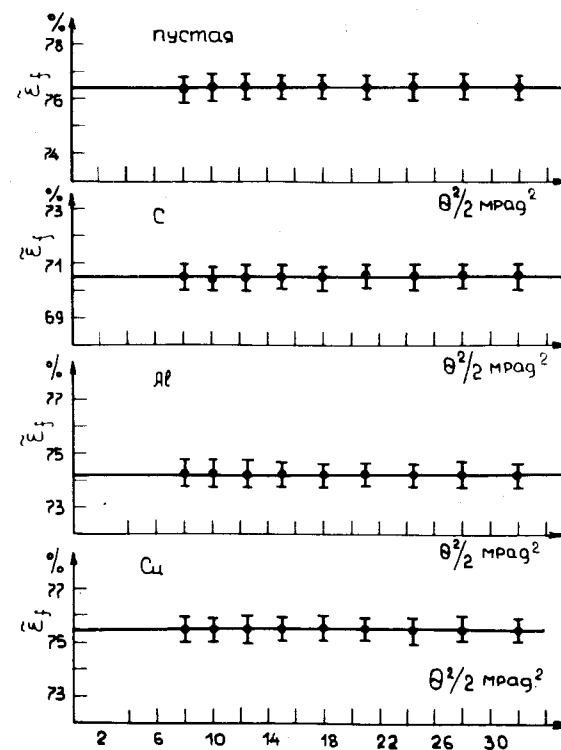
Мишень	$d\sigma/dt(0)$, барн/ГэВ ² /с ²	θ , ГэВ ⁻² /с ⁻²
H ₂	1.11 ± 0.02	32.52 ± 0.32
He	10.5 ± 0.7	72.1 ± 4.1
C	39.3 ± 0.8	112.8 ± 2.0
Al	102. ± 5.	170.6 ± 4.2
Cu	345. ± 45.	282. ± 12.

Таблица 5

Мишень	σ_{tot} , мбарн	σ_{el} , мбарн	$\sigma_R = \sigma_{tot} - \sigma_{el}$, мбарн	$R_{dA} = 2\sqrt{b}$, см
H ₂	147 ± 1	34.2 ± 0.3	113	2.24 ± 0.01
He	450 ± 20	146 ± 4	304	3.35 ± 0.10
C	877 ± 10	348 ± 4	529	4.19 ± 0.04
Al	1413 ± 40	600 ± 20	813	5.15 ± 0.06
Cu	2600 ± 170	1220 ± 100	1380	6.63 ± 0.14

Таблица 6

Мишень	$\frac{\delta K_{эп.}}{K_{эп.}}$, %	$\frac{\delta p}{p_0}$, %	$\frac{\delta F_e}{F_e}$, %	$\frac{\delta F}{F}$, %	$\frac{\delta E_f}{E_f}$, %	$\frac{\delta E_e^c}{E_e^c}$, %	Ошибка Монте-Карло, %	полная сп. кв. ошибка, %
							не более	не более
H ₂	0.12	0.8	0.8	0.4	0.6	0.3	0.7	2.4
He	0.1	0.8	0.8	0.4	0.6	1.3	0.7	2.4
C	0.5	0.8	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	2.0
Al	0.4	0.8	0.6	0.6	0.7	0.7	0.5	2.2
Cu	0.8	0.8	0.7	0.7	0.9	0.9	0.5	2.4

Рис. 7. Зависимость величины $\bar{\epsilon}_f$ от $\theta^2/2$ для разных мишеней.

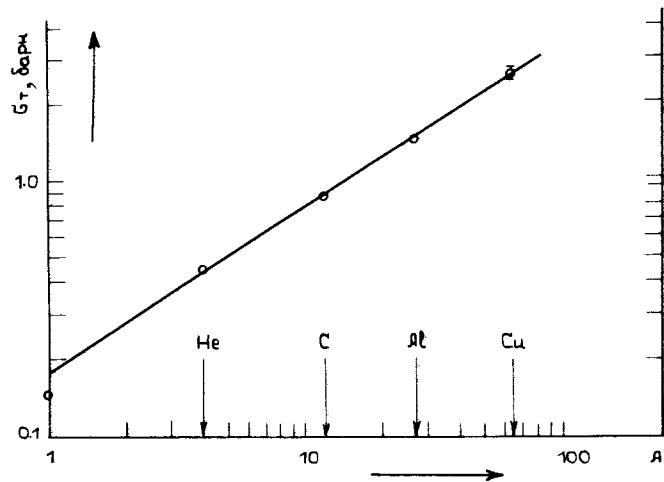


Рис. 8а. Значения σ_{tot} для различных мишеней. Линия - зависимость вида $\sigma_{tot} = 0,18 \cdot A^{0,63}$ барн.

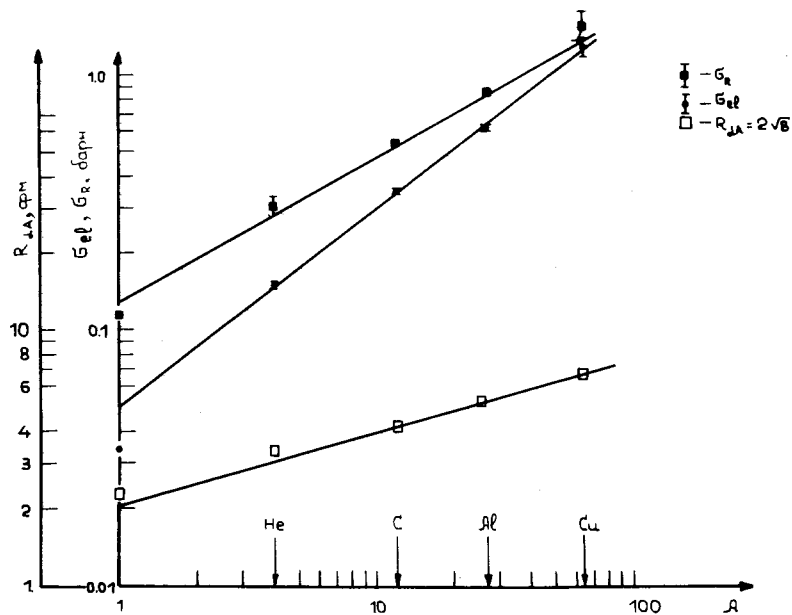


Рис. 8б. Данные по А-зависимости σ_{el} , $\sigma_R = \sigma_{tot} - \sigma_{el}$, $R_{\alpha A} = 2\sqrt{b}$. Линии соответствуют формулам $0,05A^{0,74}$ барн, $0,13A^{0,56}$ барн и $2,1A^{0,28}$ Фм соответственно. Примечательно, что $\sigma_R = \pi R_{\alpha A}^2$

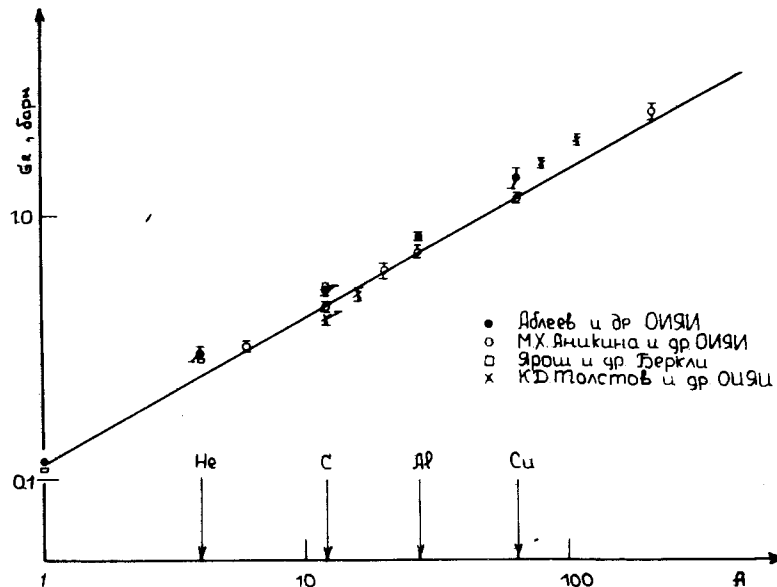


Рис. 8в. Совместные данные по σ_R для разных ядер. Данные Аникиной и др. взяты из работы [10], данные Толстова и др. - из [5], Ярош и др. - из [6]. Линия - подгонка формулы Якобсона и Кульберга [11] к данным Аникиной и др.

Можно ожидать, что связанная с приближением $\rho^2 = 0$ систематическая ошибка в определении величин, указанных в табл. 5, падает с ростом атомного веса мишени; в частности, для α -рассеяния поправка на $\rho = -0,30$ /см.^{4a}/ / составляет 8 мбарн. Указанные в табл. 2÷5 погрешности носят статистический характер. Систематические ошибки нормировки дифференциальных сечений приведены в табл. 6.

В итоге отметим следующее.

Описанная методика проведения эксперимента и обработки данных позволила определить абсолютные величины дифференциальных сечений рассеяния альфа-частиц при 17,9 ГэВ/с на водороде и ядрах He, C, Al, Cu, в дифракционной области /рис. 6, табл. 2/; на основе

этих данных в рамках указанных выше приближений сделаны оценки значений полных сечений σ_{tot} , σ_{el} и b -параметров наклонов дифракционных конусов. Эти данные по абсолютным величинам дифференциальных /и полных σ_{tot} , σ_{el} /сечений αA -рассеяния являются первыми для диапазона энергий в несколько ГэВ/нукл.

Измеренное в настоящей работе значение $b_{ар}$ находится в соответствии с результатами^{/4а/} относительных измерений, проведенных с тонкопленочной CH_2 -мишенью в более узком диапазоне $|t|$, включающем область кулон-ядерной интерференции.

Данные по $\sigma_R(A)$ при $E \sim 4,5$ ГэВ/нуклон, полученные счетчиковой трансмиссионной методикой^{/4б/} и фотоэмульсионной методикой^{/5/}, близки к нашим результатам.

Сравнение наших данных с результатами недавних измерений^{/6/} σ_{tot} и σ_R для $ар, аа, \alpha C$ -рассеяния при $2,1$ ГэВ/нукл /выполненных в БНЛ трансмиссионной методикой с пропорциональными камерами/ не дает указаний на изменение этих параметров αA -взаимодействия при возрастании энергии.

Авторы благодарят коллективы эксплуатационных отделов ЛВЭ ОИЯИ и отдела синхрофазотрона за обеспечение хорошей работы ЭВМ и ускорителя, сотрудников ОННР ЛВЭ С.Г.Басиладзе, Г.М.Сусову, В.Н.Садовникова, А.П.Крячко, сотрудников КО ЛВЭ Л.Б.Голованова, Ю.Т.Борзунова, А.П.Цвинева, а также Г.Г.Воробьева, Л.А.Слепец за помощь при подготовке и проведении измерений, З.П.Мотину и Р.Н.Петрову - за большую помощь в подготовке и оформлении результатов. Авторы признательны руководству Лаборатории и научно-экспериментального отдела ЛВЭ за поддержку и обеспечение возможностей проведения эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. а/ Аблеев В.Г. и др. Труды XVIII Международной конференции по физике высоких энергий /Тбилиси, 1976 г./, доклад 448/Аб-5, ОИЯИ, Д1,2-10400, Дубна, 1977.

- б/ Царев В.А., там же, доклад А1-1;
- в/ Кайдалов А.Б., там же, доклад А1-27;
- г/ Zielinski I.P., там же, доклад Аб-6.
2. Аблеев В.Г. и др. ОИЯИ, 13-10256, Дубна, 1976.
3. Тихонов А.Н. Вычислительные методы и программирование, вып. 8 /изд-во МГУ/, 1967.
4. а/ Безногих Г.Г. и др. Труды XVIII Международной конференции по физике высоких энергий /Тбилиси, 1976/. доклад 451/А-6, ОИЯИ, Д1,2-10400, Дубна, 1977.
- б/ Аникина М.Х. и др., там же, доклад 450/Аб-7.
5. Бокова Л.Н. и др. ОИЯИ, Р1-9364, Дубна, 1975.
6. Jaros J.A. (Ph.D.Thesis). LBL-3849, 1975.
7. Jakobsson B., Kullberg R. LUIP-CR-75-14. 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 апреля 1977 года.