



ИТЭФ — 144

ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

И.А.ВОРОНЦОВ, Г.А.САФРОНОВ, А.А.СИБИРЦЕВ,  
Г.Н.СМИРНОВ, Н.В.СТЕПАНОВ, Ю.В.ТРЕБУХОВСКИЙ,  
В.А.ФОМКИН

СЕЧЕНИЕ ВЫХОДОВ ЧАСТИЦ  
ПОД УГЛОМ  $3,5^\circ$   
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНОВ  
С ИМПУЛЬСАМИ 2,03; 4,54; 4,75; 4,95 ГЭВ/С  
С ЯДРАМИ Al, Be, Cu, Ta

МОСКВА 1984

Приведены таблицы инклюзивных дифференциальных сечений  $p^+$ ,  $p$ ,  $d$ , образованных при взаимодействиях налетающих протонов с импульсами 4,54; 4,75 и 4,95 ГэВ/с с ядрами Be, Al, Cu, Ta. Измерены выходы  $d$ ,  $t$ , образованных протонами с импульсом 2,03 ГэВ/с. Особое внимание уделено исследованию выходов дейтронов с предельно большими импульсами (область прямых реакций  $pp \rightarrow d.t^+$ ,  $pd \rightarrow d.p$ ).

Данная работа является продолжением серии работ по исследованию выходов элементарных частиц и легких фрагментов в протон-ядерных реакциях /1,2/. Особое внимание в настоящей работе уделяется исследованию выходов дейтронов с предельно большими импульсами (область прямых реакций  $pp \rightarrow d + \pi^+$ ,  $pd \rightarrow d + p$ ). Представлены сечения образования дейтронов протонами на ядрах Be, Al, Cu, Ta под углом  $3,5^\circ$  для импульсов налетающих протонов  $P_0 = 4,54, 4,75$  и  $4,95$  ГэВ/с (табл. 3-5, рис.1-2). Для налетающих протонов с импульсом  $P_0 = 2,03$  ГэВ/с измерены относительные выходы дейтронов и ядер трития в той же области (табл.6-3, рис.3). Эти данные представлены в относительных единицах для каждого ядра и отражают ход импульсной зависимости выхода частиц и соотношение выходов дейтронов и ядер трития. Кроме того, измерены сечения рождения  $\pi^+$ ,  $p$  и  $d$  в области меньших импульсов (табл.1-5).

Измерения проводились на время-пролетном спектрометре, созданном на базе сепарированного пучка протонного синхротрона ИТЭФ /3/. Методика измерений подробно описана в работе /1/. При обработке результатов учитывались поправки на распад  $\pi$ -мезонов, фон от  $\mu$ -мезонов и электронов, многократное рассеяние и ядерное поглощение в первом фокусе магнитного тракта.

В настоящем эксперименте измерялись только относительные выходы частиц. Для получения абсолютных значений сечений экспериментальные данные по выходам протонов "привязывались" к данным работы /4/.

Статистическая точность полученных результатов лучше 4% (если она специально не указана в таблицах), поэтому ошибки относительных измерений определяются повторяемостью результатов нескольких независимых серий экспериментов. В интервале импульсов до упругого протонного пика повторяемость для пионов и протонов 6%, для дейтонов 8%. В области предельно больших импульсов повторяемость результатов 15%. Это связано с повышенным требованием точности настройки магнитного тракта, так как спектр частиц в этой области имеет резко меняющийся характер. Неопределенность в абсолютной нормировке сечений - 25%.

Авторы благодарят В.Б.Гиврилова и Г.А.Лексина за полезные замечания, а также И.Д.Войтенко за помощь в работе.

Таблица I

Дифференциальные сечения образования  $\pi^+$  под углом  $3,5^\circ$  протонами с импульсами  $P_0 = 4,54, 4,75$  и  $4,95$  ГэВ/с.

$P_T$ ГэВ/с	$d^2\sigma/dp/d\Omega$ , мбн.ГэВ <sup>-1</sup> с.ср <sup>-1</sup> $P_0 = 4,54$ ГэВ/с			
	Be	Al	Cu	Ta
1,25	62,9	149	268	330
1,5	51,3	122	219	292
1,75	31,2	72,6	128	164
2,0	18,1	42,4	73,4	87,3
2,5	8,67	19,0	31,6	38,9
3,0	3,36	7,46	12,5	16,9
$P_0 = 4,75$ ГэВ/с				
1,25	70,8	166	308	415
1,5	63,9	147	272	353
2,0	21,8	50,3	93,0	117
2,5	11,2	25,0	43,7	52,9
3,0	4,34	8,52	16,2	20,1
$P_0 = 4,95$ ГэВ/с				
1,0	88,5	197	360	497
1,5	92,3	192	329	371
2,0	36,9	73,2	126	149
3,0	5,24	10,2	19,4	20,7

Таблица 2

Дифференциальные сечения образования протонов под углом  $3,5^\circ$  протонами с импульсами  $P_0 = 4,54; 4,75$  и  $4,95$  ГэВ/с.

$P_p$ ГэВ/с	$d^2\sigma/dp/d\Omega$ , мбн. ГэВ $^{-1}$ ·с·ср $^{-1}$				$P_0 = 4,54$ ГэВ/с
	Be	Al	Cu	Ta	
1,25	40,5	128	276	414	
1,5	47,8	140	289	433	
1,75	61,7	165	323	452	
2,0	77,8	201	381	494	
2,5	135	323	571	747	
3,0	163	376	668	1030	
3,5	207	456	815	1050	
4,0	211	474	852	1080	
$P_0 = 4,75$ ГэВ/с					
1,25	44,2	138	307	487	
1,5	49,4	145	311	459	
2,0	76,4	190	384	527	
2,5	113	285	543	711	
3,0	162	360	677	886	
3,5	193	413	771	1000	
4,0	213	504	952	1120	
4,1	317	534	930	1150	
4,2	313	582	920	1180	
4,3	303	582	936	1150	
4,4	245	529	839	1080	
4,5	299	636	948	1280	
$P_0 = 4,95$ ГэВ/с					
1,0	55,1	167	380	601	
1,5	68,3	179	357	470	
2,0	99,4	222	411	526	
3,0	166	350	666	773	
4,0	272	524	921	1050	
4,5	260	502	882	1000	

Таблица 3

Дифференциальные сечения образования дейтронов под углом  $3,5^\circ$  протонами с импульсом 4,54 ГэВ/с.

$P_d$ ГэВ/с	$d^2\sigma/dp/d\Omega$ , мкбн·ГэВ <sup>-1</sup> ·с·ср <sup>-1</sup>			
	Be	Al	Cu	Ta
1,25	1,15	6,73	29,2	44,2
1,50	1,13	5,69	15,4	29,9
1,75	1,18	4,85	12,3	17,3
2,0	1,23	4,39	10,0	14,7
2,5	1,36	3,87	7,29	9,92
3,0	1,35	3,30	5,86	3,10
3,5	1,13	2,46	4,23	5,26
4,0	0,710	1,45	2,54	3,03
$d^2\sigma/dp/d\Omega$ , мкбн·ГэВ <sup>-1</sup> ·с·ср <sup>-1</sup>				
4,65	531	700	1340	1910
4,70	564	712	1410	1810
4,75	531	721	1410	1680
4,80	440	678	1210	1550
4,85	275	532	894	1290
4,90	128	355	444	807
4,95	71,5	187	216	436
5,00	44,8	102	137	210
5,05	42,4	69,6	125	124
5,10	31,5	49,8	88,9	85,8±4,4
5,15	12,2	29,9±1,3	34,5±1,6	52,5±3,4
5,20	1,94±0,17	12,4±0,9	10,3±0,9	30,6±2,6
5,25	0,208±0,054	1,27±0,27	2,50±0,45	7,7±1,3

Таблица 4

Дифференциальные сечения образования дейтронов под углом  $3,5^\circ$  протонами с импульсом 4,75 ГэВ/с.

$P_d$ ГэВ/с	$d^2\sigma/dp/d\Omega$ , мбн. ГэВ <sup>-1</sup> с. ср <sup>-1</sup>			
	Be	Al	Cu	Ta
1,25	1,20	6,63	21,7	50,1
1,5	1,10	5,44	16,4	32,4
2,0	1,22	4,05	9,95	15,3
2,5	1,25	3,55	7,18	10,4
3,0	1,23	3,03	5,77	7,52
3,5	0,997	2,17	4,02	5,15
4,0	0,957	1,79	2,72	3,29
4,1	0,880	1,61	2,29	2,83
4,2	0,772	1,41	2,15	2,53
4,3	0,559	1,17	1,92	2,27
4,4	0,639	1,19	1,63	1,95
4,5	0,611	1,07	1,65	1,88
$d^2\sigma/dp/d\Omega$ , мкбн. ГэВ <sup>-1</sup> с. ср <sup>-1</sup>				
4,85	486	880	1340	1700
4,90	507	790	1180	1390
4,95	505	722	1130	1330
5,00	462	726	1000	1200
5,05	364	619	665	1770
5,10	234	427	440	749
5,15	104	231	239	436
5,20	58,7	119	137	208
5,25	45,4	80,8	87,0	128
5,30	34,0	54,1	53,7	86,1±4,2
5,35	20,0	38,6	35,6±1,9	53,4±3,7
5,40	4,66±0,33	13,4±1,0	12,7±1,1	20,1±2,2
5,45	0,945±0,150	2,32±0,48	1,78±0,41	4,07±0,99

Таблица 5

дифференциальные сечения образования дейтронов под углом  $3,5^\circ$  протонами с импульсом  $4,95 \text{ ГэВ/с}$ .

$P_d$ ГэВ/с	$d^2\sigma/dp/d\Omega$ , мбн·ГэВ <sup>-1</sup> ·с·ф <sup>-1</sup>			
	Be	Al	Cu	Ta
1,0	-	11,9	40,3	97,8
1,5	1,67	7,18	19,3	34,9
2,0	1,60	4,98	11,0	16,7
3,0	1,40	3,14	6,20	6,40
4,0	0,934	1,75	3,06	2,94
4,5	0,538	1,01	1,75	1,68
$d^2\sigma/dp/d\Omega$ , мкбн·ГэВ <sup>-1</sup> ·с·ф <sup>-1</sup>				
5,05	344	-	783	-
5,10	300	-	893	-
5,15	300	-	783	-
5,20	306	-	555	-
5,25	260	-	685	-
5,30	199	-	515	-
5,35	110	-	423	-
5,40	54,1	-	260	-
5,45	33,0	-	-	-
5,50	23,9	-	151	-
5,55	20,4	-	78,0	-
5,60	11,8	-	46,4	-
5,65	$3,00 \pm 0,22$	-	$25,4 \pm 1,3$	-
5,70	$0,325 \pm 0,071$	-	$7,88 \pm 0,74$	-
5,75	$0,178 \pm 0,019$	-	-	-

Таблица 6

Выходы дейтонов и ядер трития под углом  $3,5^\circ$  при взаимодействии 2,03 ГэВ/с протонов с ядром Ве.

P ГэВ/с	$d^2N/dp/d\Omega$ , отн. ед.	
	d	t
2,048	8580	58,5 $\pm$ 7,6
2,074	7720	51,5 $\pm$ 6,2
2,100	6360	42,2 $\pm$ 5,5
2,127	5860	42,3 $\pm$ 5,5
2,153	5620	40,3 $\pm$ 5,3
2,179	5820	35,4 $\pm$ 4,9
2,205	6460	38,0 $\pm$ 5,0
2,232	5800	31,1 $\pm$ 4,5
2,258	4670	39,9 $\pm$ 4,9
2,284	3040	22,5 $\pm$ 3,6
2,310	1590	23,1 $\pm$ 2,1
2,337	955	21,0 $\pm$ 2,0
2,363	816	18,4 $\pm$ 1,8
2,389	1100	12,2 $\pm$ 1,5
2,415	1290	13,8 $\pm$ 1,5
2,442	1220	10,2 $\pm$ 1,9
2,468	1033	6,98 $\pm$ 0,88
2,494	661	6,23 $\pm$ 0,77
2,520	140	4,42 $\pm$ 0,65
2,547	43,3	3,23 $\pm$ 0,39
2,573	4,08	1,63 $\pm$ 0,27
2,599		1,58 $\pm$ 0,27
2,625		0,366 $\pm$ 0,091
2,652		0,440 $\pm$ 0,097

Таблица 7

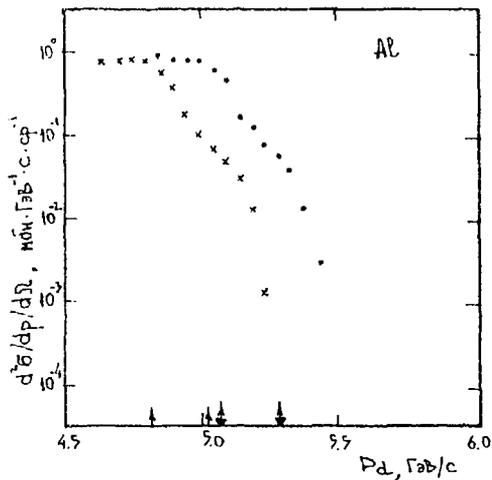
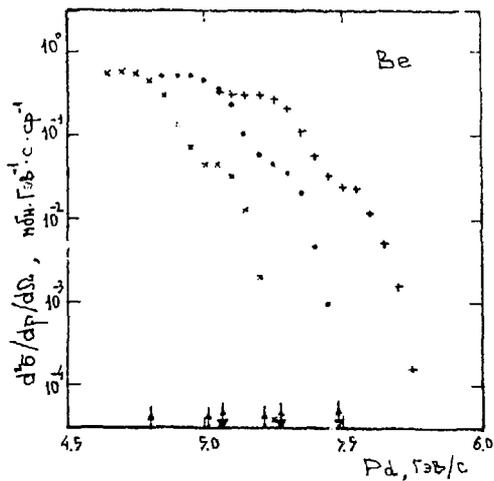
Выход дейтронов и ядер трития под углом  $3,5^\circ$  при взаимодействии  $2,03 \text{ ГэВ/с}$  протонов с ядром  $\text{Al}$ .

P ГэВ/с	$d^2N/dp/d\Omega$ , орн. ед.	
	d	t
2,074	3900	
2,100	3030	$29,9 \pm 6,5$
2,127	2510	$23,8 \pm 5,8$
2,153	2860	$19,1 \pm 5,1$
2,179	3040	$30,7 \pm 6,4$
2,205	2430	$15,3 \pm 4,4$
2,232	2570	$23,3 \pm 5,2$
2,258	2320	$19,5 \pm 3,4$
2,284	2100	$12,5 \pm 2,7$
2,310	1020	$16,1 \pm 3,0$
2,337	627	$10,1 \pm 2,4$
2,363	533	$10,4 \pm 2,4$
2,389	527	$4,8 \pm 1,6$
2,415	535	$6,7 \pm 1,3$
2,442	533	$4,8 \pm 1,1$
2,468	401	$4,7 \pm 1,1$
2,494	257	$2,45 \pm 0,48$
2,520	97,4	$2,83 \pm 0,44$
2,547	42,3	$1,67 \pm 0,34$
2,573	5,16	$1,89 \pm 0,31$
2,599		$1,21 \pm 0,37$

Таблица 8

Выходы дейтонов и ядер трития под углом  $3,5^{\circ}$  при взаимодействии 2,03 ГэВ/с протонов с ядром Cu.

P ГэВ/с	$d^2N/dp/d\Omega$ , отн.ед.	
	d	t
2,048	1720	34,7 $\pm$ 5,6
2,074	1920	18,4 $\pm$ 3,6
2,100	1750	14,2 $\pm$ 3,2
2,127	1540	19,3 $\pm$ 3,6
2,153	1450	10,8 $\pm$ 2,7
2,179	1530	15,2 $\pm$ 3,2
2,205	1420	10,9 $\pm$ 2,6
2,232	1370	12,9 $\pm$ 2,8
2,258	1180	9,13 $\pm$ 2,4
2,284	791	13,5 $\pm$ 2,8
2,310	485	7,75 $\pm$ 1,5
2,337	344	5,58 $\pm$ 1,3
2,363	261	7,94 $\pm$ 1,5
2,389	301	5,63 $\pm$ 1,3
2,415	310	3,13 $\pm$ 0,90
2,442	286	3,29 $\pm$ 0,91
2,468	225	2,33 $\pm$ 0,62
2,494	158	1,72 $\pm$ 0,37
2,520	60,1	1,31 $\pm$ 0,33
2,547	14,0	0,920 $\pm$ 0,27
2,573	2,36	1,27 $\pm$ 0,33
2,599		0,39 $\pm$ 0,20



11

Рис.1. Дифференциальные сечения образования дейтронов на Be, Al для импульсов налетающих протонов  $x$  - 4,54 ГэВ/с,  $\bullet$  - 4,75 ГэВ/с,  $+$  - 4,95 ГэВ/с. Угол наблюдения  $3,5^\circ$ . Стрелками отмечены импульсы дейтронов из реакций  $\uparrow - p p \rightarrow d \pi$ ,  $\downarrow - p d \rightarrow d p$  для каждой из налетающих энергий.

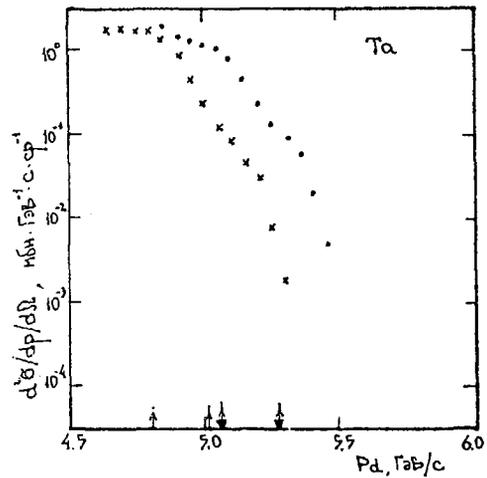
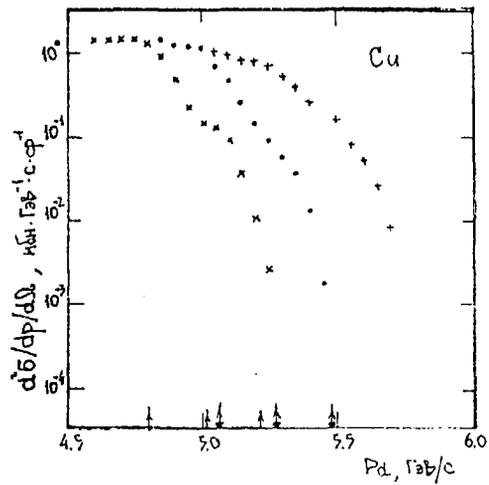


Рис.2. То же, что рис.1, но для ядер  $\text{Cu}$  и  $\text{Ta}$ .

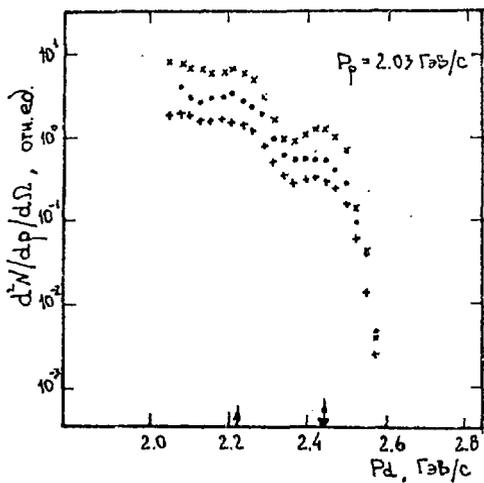


Рис.3. Дифференциальные выходы дейтронов при взаимодействии протонов 2,03 ГэВ/с с ядрами  $\times$  - Be,  $\bullet$  - Al,  $+$  - Si.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арефьев А.С. и др. М., Препринт ИТЭФ, 1983, № 106.
2. Воронцов И.А. и др. М., Препринт ИТЭФ, 1983, № 85.
3. Ергачков В.А. и др. М., Препринт ИТЭФ, 1976, № 33.
4. Барабаш Л.В. и др. - ИИ, 1982, т.36, вып.1(7), с.155.

И.А.Воронцов и др.

Сечение выходов частиц под углом  $3,5^\circ$  при взаимодействии протонов с импульсами 2,03; 4,54; 4,75; 4,95 ГэВ/с с ядрами Be, Al, Si, Ta.

Редактор И.Н.Демкина

Корректор О.Ю.Сльховникова

Работа поступила в ОНТИ 10.09.84

---

Подписано к печати 17.09.84 Т19529 Формат 60x90 1/16  
Офсетн.печ. Усл.-печ.л.1,0 Уч.-изд.л.0,7 Тираж 290 экз.  
Заказ 144 Индекс 3624 Цена 10 коп.

---

Отпечатано в ИТЭФ, П7259, Москва, Б.Черемушкинская, 25

10 К О П

ИНДЕКС 3624