

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



SU 7804295 P1 - 11168

А.М.Балдин, В.К.Бондарев, Л.Б.Голованов,  
В.Л.Мазарский, А.Н.Манятовский, Н.С.Мороз,  
Ю.А.Панебратцев, А.А.Повторейко, С.В.Рихвицкий,  
В.С.Ставинский, А.Н.Хренов, А.П.Цвинев

КУМУЛЯЦИЯ ЛЕГКИХ ЯДЕР

**1977**

Р1 - 11168

А.М.Балдин, В.К.Бондарев, Л.Б.Голованов,  
В.Л.Мазарский, А.Н.Манятовский, Н.С.Мороз,  
Ю.А.Панебратцев, А.А.Повторейко, С.В.Рихвицкий,  
В.С.Ставинский, А.Н.Хренов, А.П.Цвинев

**КУМУЛЯЦИЯ ЛЕГКИХ ЯДЕР**

## Кумуляция легких ядер

Исследована предельная фрагментация легких ядер (дейтерия и гелия), облучаемых протонами с импульсом 8,8 ГэВ/с. Фрагменты (пионы, протоны и дейтроны) регистрировались в интервале углов вылета  $50-180^\circ$  относительно первичных протонов и в импульсном интервале 150-800 МэВ/с. Наблюдаемые фрагменты, согласно кинематике столкновения первичного протона с покоящейся мишенью, соответствуют массе мишени до 3 ГэВ. Таким образом, полученная информация соответствует кумуляции до третьего порядка кумулятивности.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

## Cumulation of Light Nuclei

Limit fragmentation of light nuclei (deuterium, helium) bombarded with 8.8 GeV/c protons was investigated. Fragments (pions, protons and deuterons) were detected within the emission angle  $50-180^\circ$  with regard to primary protons and within the pulse range 150-180 MeV/c. By the kinematics of collision of a primary proton with a target at rest the fragments observed correspond to a target mass upto 3 GeV. Thus, the data obtained correspond to the cumulation upto the third order.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Исследована предельная фрагментация легких ядер (дейтерия и гелия), облучаемых протонами с импульсом 8,6 ГэВ/с. Фрагменты (пионы, протоны и дейтроны) регистрировались в интервале углов вылета  $50-180^\circ$  относительно первичных протонов и в импульсном интервале 150-900 МэВ/с. Наблюдаемые фрагменты, согласно кинематике столкновения первичного протона с покоящейся мишенью, соответствуют массе мишени до 3 ГэВ. Таким образом, полученная информация соответствует кумуляции до третьего порядка кумулятивности.

В работе<sup>/1/</sup> была высказана гипотеза о том, что спектры вторичных частиц высоких энергий при столкновении релятивистских ядер определяются локальными свойствами адронной материи, а не геометрическими характеристиками сталкивающихся объектов (формфакторами). Эта гипотеза фактически означает распространение масштабной инвариантности на столкновение релятивистских ядер.

Первые эксперименты с релятивистскими дейтронами<sup>/2/</sup> подтвердили эту гипотезу, а дальнейшие исследования кумулятивного эффекта обнаружили новые закономерности: А - зависимость объемного характера и экспоненциальный вид зависимости инвариантного сечения рождения частиц от их кинетической энергии<sup>/3,4/</sup>.

Масштабно-инвариантный характер взаимодействия с частью ядра означает, что это взаимодействие должно характеризоваться новой константой - вероятностью кумуляции части ядра (группы нуклонов). Очевидно, что закономерности образования подобных "капель" ядерной материи и их свойства целесообразно с точки зрения

современных представлений о структуре ядерных объектов изучать на легчайших ядрах (дейтерия и гелия), В этом смысл данного эксперимента.

Эксперимент выполнен методикой сцинтилляционных и черенковских детекторов. Вторичные частицы в импульсном интервале  $\frac{\Delta p}{p} = \pm 5\%$  и телесном угле

$\sim 2 \cdot 10^{-4}$  ср выделялись по времени пролета на базах 4 и 1,0 м с разрешением  $\pm 150$  пс, а также по потерям энергии на ионизацию и амплитуде вспышки излучения Вавилова-Черенкова.

В качестве мишеней использовалась специально разработанная криогенная мишень <sup>5</sup>, в которой в одном вакуумном кожухе размещены сосуды из майлара с жидким водородом, дейтерием и гелием. Майларовые окна вакуумного кожуха позволяют регистрировать вторичные частицы в интервале углов вылета 0-180°.

Мониторирование абсолютной интенсивности первичного пучка осуществлялось методом измерения наведенной активности углерода ( $\pm 5\%$ ).

На рис. 1 приведены полученные экспериментальные величины сечений рождения положительных пионов на ядрах водорода, дейтерия и гелия в зависимости от кинетической энергии пионов, вылетающих под углом 180° к направлению первичных протонов. В таблице приведены величины сечений как для положительных, так и отрицательных (не показанных на рисунке) пионов. Верхняя шкала на рисунке дает масштаб кумулятивного числа Q (в первом приближении шкала линейная).

Из рисунка видно, что сечения рождения пионов на ядрах водорода и дейтерия в некумулятивной области (Q < 1) практически совпадают. Сечение рождения пионов на ядрах гелия имеет примерно в три раза большую величину. Энергетическая зависимость всех трех величин имеет подобный характер. В кумулятивной области (Q > 1) энергетические зависимости имеют также экспоненциальный характер. Выход пионов от ядер гелия примерно на порядок превышает выход от ядер дейтерия.

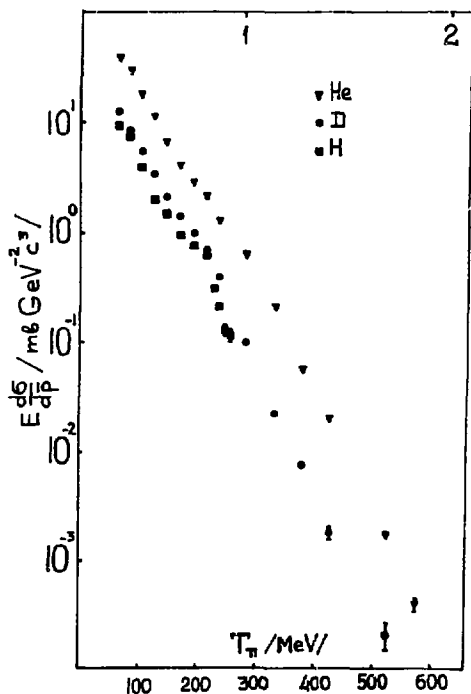


Рис. 1. Экспериментальные величины сечений рождения положительных пионов на ядрах водорода ( $\square$ ), дейтерия ( $\circ$ ) и гелия ( $\nabla$ ) в зависимости от кинетической энергии пионов, вылетающих под углом  $180^\circ$  к направлению первичных протонов.

Из таблицы видно, что сечения рождения отрицательных пионов на ядрах дейтерия и гелия по порядку величины совпадают с сечением рождения положительных пионов, а для ядер водорода эти величины существенно различаются.

$P + P \rightarrow \pi^+ + X$ ;  $P_0 = 8,6$  ГэВ/с

$P_T$	$\theta_{\pi^+}$	$E \frac{d^2N}{dP d\Omega} (\pi^+)$	$P_T^+$	$\theta_{\pi^+}$	$E \frac{d^2N}{dP d\Omega} (\pi^+)$
150	$180^\circ$	$9,38 \pm 1$	300	$81^\circ$	$4,32 \pm 0,8$
175	--	$7,47 \pm 0,5$	--	$80^\circ$	$5,022 \pm 0,15$
200	--	$2,92 \pm 0,25$	--	$79^\circ$	$5,39 \pm 0,5$
225	--	$1,97 \pm 0,16$	--	$78^\circ$	$4,89 \pm 0,4$
250	--	$1,47 \pm 0,1$	--	$77^\circ$	$5,23 \pm 0,8$
275	--	$0,95 \pm 0,08$	--	$76^\circ$	$6,31 \pm 0,1$
300	--	$0,76 \pm 0,06$	--	$75^\circ$	$7,3 \pm 0,4$
325	--	$0,64 \pm 0,05$	--	$70^\circ$	$8,72 \pm 0,3$
340	--	$0,32 \pm 0,03$	600	$77^\circ$	$0,64 \pm 0,08$
350	--	$0,21 \pm 0,02$	--	$75^\circ$	$0,65 \pm 0,08$
360	--	$0,13 \pm 0,015$	--	$74^\circ$	$0,59 \pm 0,08$
370	--	$0,113 \pm 0,005$	--	$73^\circ$	$0,71 \pm 0,08$
500	$60^\circ$	$3,63 \pm 0,08$	--	$72^\circ$	$0,83 \pm 0,08$
500	$55^\circ$	$5,1 \pm 0,1$	--	$71^\circ$	$0,83 \pm 0,08$
500	$50^\circ$	$7,16 \pm 0,2$	--	$70^\circ$	$0,99 \pm 0,08$
300	$175^\circ$	$0,6 \pm 0,13$	--	$68^\circ$	$0,19 \pm 0,08$
300	$170^\circ$	$0,71 \pm 0,13$	--	$66^\circ$	$1,32 \pm 0,08$
--	$165^\circ$	$0,87 \pm 0,1$	--	$64^\circ$	$1,74 \pm 0,08$
--	$160^\circ$	$0,79 \pm 0,1$	900	$68^\circ$	$0,11 \pm 0,13$
--	$155^\circ$	$0,83 \pm 0,1$	--	$67^\circ$	$0,14 \pm 0,008$
--	$150^\circ$	$0,95 \pm 0,09$	--	$66^\circ$	$0,19 \pm 0,02$
--	$145^\circ$	$0,98 \pm 0,12$	--	$65^\circ$	$0,19 \pm 0,02$
--	$140^\circ$	$0,85 \pm 0,09$	--	$64^\circ$	$0,24 \pm 0,02$
--	$85^\circ$	$4,067 \pm 0,4$	--	$63^\circ$	$0,25 \pm 0,02$
--	$84^\circ$	$3,98 \pm 0,4$	--	$62^\circ$	$0,34 \pm 0,03$
--	$83^\circ$	$4,32 \pm 0,8$	--	$60^\circ$	$0,39 \pm 0,03$
--	$82^\circ$	$4,067 \pm 0,8$	--	$57^\circ$	$0,56 \pm 0,03$

продолжение таблицы

$$P + P \rightarrow \pi^- + X ; P_0 = 8,6 \text{ ГэВ/с}$$

$P\pi^-$	$\theta_{\pi^-}$	$E \frac{d^2\sigma}{d\Omega dP} (\pi^-)$
200	$180^\circ$	$1,17 \pm 0,21$
250	$180^\circ$	$0,45 \pm 0,07$
300	$180^\circ$	$0,14 \pm 0,02$

$$P + P \rightarrow P + X ; P_0 = 8,6 \text{ ГэВ/с}$$

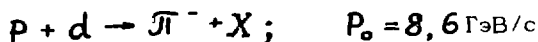
$PP$	$\theta_P$	$E \frac{d^2\sigma}{d\Omega dP} (P)$
500	$60^\circ$	$7,8 \pm 0,12$
-"	$55^\circ$	$6,6 \pm 0,21$
-"	$50^\circ$	$8,05 \pm 0,29$

$$P + d \rightarrow \pi^+ + X ; P_0 = 8,6 \text{ ГэВ/с}$$

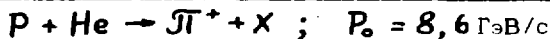
$P\pi^+$	$\theta_{\pi^+}$	$E \frac{d^2\sigma}{d\Omega dP} (\pi^+)$	$P\pi^+$	$\theta_{\pi^+}$	$E \frac{d^2\sigma}{d\Omega dP} (\pi^+)$
150	$180^\circ$	$12,4 \pm 1,08$	600	$180^\circ$	$(0,45 \pm 0,42) 10^{-3}$
175	-"	$8,38 \pm 0,46$	650	-"	$(0,21 \pm 0,06) 10^{-3}$
200	-"	$5,48 \pm 0,21$	300	$175^\circ$	$0,97 \pm 0,12$
225	-"	$3,44 \pm 0,15$	-"	$170^\circ$	$0,92 \pm 0,1$
250	-"	$2,07 \pm 0,075$	-"	$165^\circ$	$1,09 \pm 0,11$
275	-"	$1,41 \pm 0,066$	-"	$160^\circ$	$1,11 \pm 0,12$
300	-"	$1,01 \pm 0,049$	-"	$155^\circ$	$1,23 \pm 0,12$
325	-"	$0,7 \pm 0,039$	-"	$150^\circ$	$1,27 \pm 0,12$
350	-"	$0,39 \pm 0,032$	-"	$145^\circ$	$1,28 \pm 0,12$
400	-"	$0,1 \pm 0,0075$	-"	$140^\circ$	$1,21 \pm 0,09$
450	-"	$(2,24 \pm 0,16) 10^{-2}$	500	$60^\circ$	$5,53 \pm 0,12$
500	-"	$(0,76 \pm 0,02) 10^{-2}$	-"	$55^\circ$	$7,64 \pm 0,12$
550	-"	$(1,8 \pm 0,3) 10^{-3}$	-"	$50^\circ$	$9,3 \pm 0,25$



продолжение таблицы

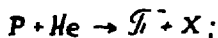


$P_{\pi^-}$	$\theta_{\pi^-}$	$E \frac{d\sigma}{dp} (\pi^-)$
200	$180^\circ$	$4,07 \pm 0,33$
250	$180^\circ$	$1,99 \pm 0,083$
300	"	$0,95 \pm 0,066$
400	"	$0,088 \pm 0,0083$
500	"	$(0,83 \pm 0,16) 10^{-2}$
600	"	$(0,62 \pm 0,47) 10^{-3}$



$P_{\pi^+}$	$\theta_{\pi^+}$	$E \frac{d\sigma}{dp} (\pi^+)$	$P_{\pi^+}$	$\theta_{\pi^+}$	$E \frac{d\sigma}{dp} (\pi^+)$
150	$180^\circ$	$37,8 \pm 2,82$	300	$155^\circ$	$3,03 \pm 0,37$
175	"	$28,7 \pm 2,16$	"	$150^\circ$	$3 \pm 0,29$
200	"	$17,8 \pm 0,75$	"	$145^\circ$	$2,8 \pm 0,3$
225	"	$11,2 \pm 0,66$	"	$140^\circ$	$3,09 \pm 0,33$
250	"	$6,59 \pm 0,36$	500	$178^\circ$	$0,07 \pm 0,007$
275	"	$4,03 \pm 0,25$	"	$176^\circ$	$0,08 \pm 0,01$
300	"	$2,85 \pm 0,18$	"	$174^\circ$	$0,065 \pm 0,008$
325	"	$2,16 \pm 0,12$	"	$173^\circ$	$0,055 \pm 0,0062$
350	"	$1,29 \pm 0,11$	"	$172^\circ$	$0,072 \pm 0,0062$
400	"	$0,65 \pm 0,05$	"	$170^\circ$	$0,067 \pm 0,0066$
450	"	$0,21 \pm 0,015$	"	$165^\circ$	$0,076 \pm 0,005$
500	"	$(5,6 \pm 0,25) 10^{-2}$	"	$160^\circ$	$0,086 \pm 0,01$
550	"	$(2,04 \pm 0,15) 10^{-2}$	"	$155^\circ$	$0,1 \pm 0,005$
650	"	$(1,75 \pm 0,18) 10^{-3}$	"	$150^\circ$	$0,1 \pm 0,005$
700	"	$(0,41 \pm 0,06) 10^{-3}$	"	$145^\circ$	$0,16 \pm 0,02$
300	$175^\circ$	$2,16 \pm 0,32$	"	$140^\circ$	$0,16 \pm 0,02$
"	$170^\circ$	$2,59 \pm 0,3$	"	$60^\circ$	$13,9 \pm 0,25$
"	$165^\circ$	$2,74 \pm 0,3$	"	$55^\circ$	$17,8 \pm 0,42$
"	$160^\circ$	$3,09 \pm 0,37$	"	$50^\circ$	$25,3 \pm 0,66$

продолжение таблицы



$$P_0 = 8.6 \text{ ГэВ/с}$$

$P_{\mathcal{F}_i^-}$	$\theta_{\mathcal{F}_i^-}$	$E \frac{d\mathcal{G}}{dP} (\mathcal{F}_i^-)$
200	180°	16 ± 1
250	—	6,06 ± 0,43
300	—	2,55 ± 0,2
400	—	0,65 ± 0,058
500	—	(7,97 ± 0,83) 10 <sup>-2</sup>
600	—	(0,54 ± 0,29) 10 <sup>-2</sup>



$$P_0 = 8.6 \text{ ГэВ/с}$$

$P_p$	$\theta_p$	$E \frac{d\mathcal{G}}{dP} (P)$	$P_p$	$\theta_p$	$E \frac{d\mathcal{G}}{dP}$
300	180°	20,1 ± 3,0	500	178°	1,74 ± 0,066
400	—	6,40 ± 0,34	—	176°	1,44 ± 0,074
500	—	1,74 ± 0,16	—	174°	1,56 ± 0,066
550	—	1,04 ± 0,16	—	173°	1,6 ± 0,066
600	—	0,44 ± 0,04	—	172°	1,58 ± 0,046
650	—	0,28 ± 0,02	—	170°	1,66 ± 0,066
700	—	0,13 ± 0,012	—	165°	1,82 ± 0,058
300	175°	2,0 ± 3,0	—	160°	1,9 ± 0,058
—	170°	18,5 ± 3,08	—	155°	2,04 ± 0,058
—	160°	21,8 ± 3,08	—	150°	2,26 ± 0,05
—	155°	20,9 ± 2,9	—	145°	2,5 ± 0,058
—	150°	19,6 ± 2,0	—	140°	2,64 ± 0,058
—	145°	21,6 ± 2,48	—	60°	41,2 ± 0,54
—	140°	22,7 ± 2,48	—	55°	39,0 ± 0,84
—	—	—	—	50°	43,8 ± 1,16

продолжение таблицы

$P + d \rightarrow P + \alpha$

$P_0 = 8.6 \text{ ГэВ/}$

$P_p$	$\theta_p$	$E \frac{dG}{dP}(P)$	$P_p$	$\theta_p$	$E \frac{dG}{dP}(P)$
300	$100^\circ$	$3,50 \pm 0,9$	300	$160^\circ$	$3,6 \pm 0,064$
400	"	$0,53 \pm 0,10$	"	$155^\circ$	$3,38 \pm 0,84$
500	"	$0,15 \pm 0,02$	"	$150^\circ$	$4,34 \pm 0,84$
550	"	$(7,0 \pm 1,0)10^{-2}$	"	$145^\circ$	$3,52 \pm 0,84$
600	"	$(2,6 \pm 0,2)10^{-2}$	"	$140^\circ$	$3,64 \pm 0,84$
			500	$60^\circ$	$12,44 \pm 0,2$
			"	$55^\circ$	$12,54 \pm 0,22$
			"	$50^\circ$	$14,44 \pm 0,42$

$P + d \rightarrow d + \alpha$

$P_0 = 8.6 \text{ ГэВ/}$

$P_d$	$\theta_d$	$E \frac{dG}{dP}$
500	$60^\circ$	$0,74 \pm 0,13$
"	$55^\circ$	$0,96 \pm 0,13$
"	$50^\circ$	$1,42 \pm 0,18$

$P + He \rightarrow d + \alpha$

$P_0 = 8.6 \text{ ГэВ/}$

$P_d$	$\theta_d$	$E \frac{dG}{dP}(d)$	$P_d$	$\theta_d$	$E \frac{dG}{dP}(d)$
400	$160^\circ$	$0,87 \pm 0,23$	500	$165^\circ$	$0,4 \pm 0,049$
500	"	$0,23 \pm 0,043$	"	$160^\circ$	$0,52 \pm 0,092$
550	"	$(12,24 \pm 0,61)10^{-2}$	"	$155^\circ$	$0,43 \pm 0,055$
600	"	$(3,95 \pm 0,67)10^{-2}$	"	$150^\circ$	$0,42 \pm 0,058$
650	"	$(2,63 \pm 0,64)10^{-2}$	"	$145^\circ$	$0,65 \pm 0,13$
700	"	$(1,21 \pm 1,27)10^{-3}$	"	$140^\circ$	$0,86 \pm 0,13$
500	$178^\circ$	$0,23 \pm 0,017$	"	$60^\circ$	$6,87 \pm 0,37$
"	$176^\circ$	$0,43 \pm 0,023$	"	$55^\circ$	$5,97 \pm 0,55$
"	$174^\circ$	$0,31 \pm 0,023$	"	$50^\circ$	$5,16 \pm 0,77$
"	$173^\circ$	$0,37 \pm 0,092$			
"	$172^\circ$	$0,34 \pm 0,058$			
"	$170^\circ$	$0,23 \pm 0,063$			

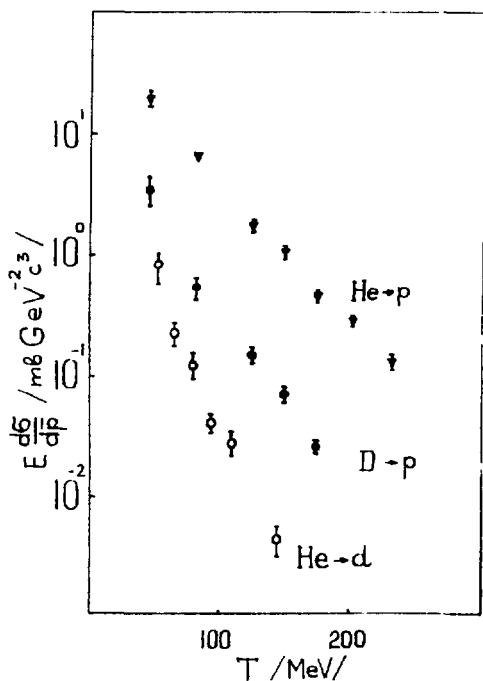


Рис. 2. Экспериментальные данные по энергетической зависимости сечений фрагментации ядер дейтронов ( $\blacktriangledown$ ) и гелия ( $\blacktriangledown$ ) с образованием протонов и сечений фрагментации ядер гелия с образованием дейтронов ( $\circ$ ).

На рис. 2 (а также в таблице) приведены экспериментальные данные по энергетической зависимости сечений фрагментации ядер дейтронов (до кинематической границы  $Q = 2$ ) и гелия с образованием протонов и сечений фрагментации ядер гелия с образованием дейтронов (угол вылета фрагментов составляет  $180^\circ$ ).

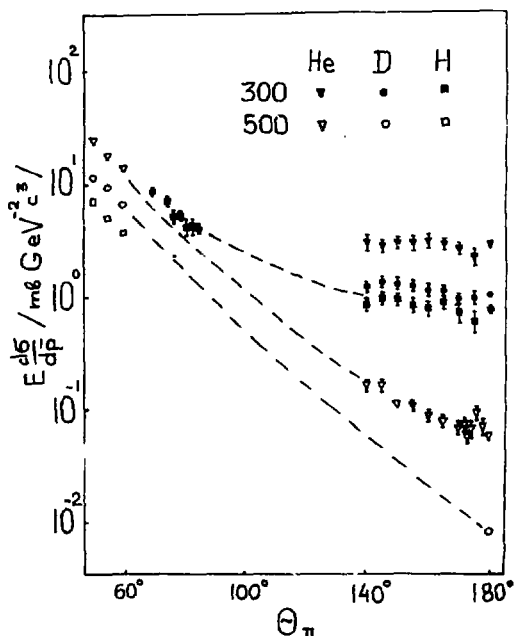


Рис. 3. Угловая зависимость сечения рождения положительных пионов с импульсами 300 и 500 МэВ/с в зависимости от угла вылета пионов для различных ядермишеней.

На рис. 3 представлены сечения рождения положительных пионов с импульсами 300 и 500 МэВ/с в зависимости от угла вылета пионов для различных ядермишеней.

Рис. 4 содержит аналогичные зависимости для случаев с образованием протонов и дейтронов.

Из рисунков видно, что полученные инклюзивные сечения слабо возрастают с уменьшением угла вылета частиц, особенно в области углов, близких к  $180^\circ$ .

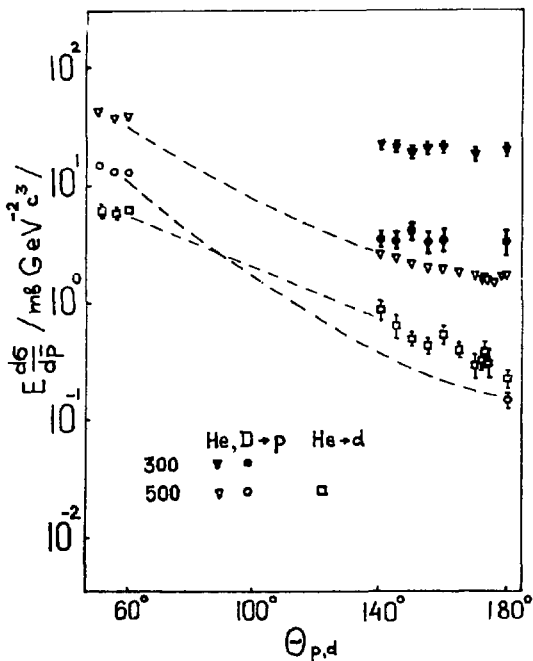


Рис. 4. Угловая зависимость сечения рождения протонов и дейтронов с импульсами 300 и 500 МэВ/с в зависимости от угла вылета фрагмента.

В целом представленный в работе экспериментальный материал, на наш взгляд, содержит достаточно полную информацию как для уточнения механизма кумуляции, так и для расчета возможных вкладов, обусловленных взаимодействием на больших межнуклонных расстояниях, эффектов ферми-движения и перераспределения.

Авторы работы признательны В.Г.Перевозчикову, М.Н.Шкобиной, О.Ю.Кульпиной за помощь в работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин А.М. Краткие сообщения по физике. АН СССР, 1971, №1, с.35.
2. Балдин А.М. и др. ОИЯИ, Р1-5819, Дубна, 1971.
3. А.М.Балдин и др. ЯФ, 1974, т.20, в.6.
4. А.М.Балдин и др. ЯФ, 1975, т.21, в.5.
5. Л.Б.Голованов и др. ОИЯИ, 8-10284, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 декабря 1977 года.

# Нет ли пробелов в Вашей библиотеке?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

P1,2-7642	Труды Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Гомель, 1973.	623 стр.	7 р. 15 к.
ДЗ-7991	Труды II Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1974.	552 стр.	2 р. 50 к.
Д1,2-8405	Труды IV Международного симпозиума по физике высоких энергий и элементарных частиц. Варна, 1974.	376 стр.	2 р. 05 к.
P1,2-8529	Труды Международной школы-семинара молодых ученых. Актуальные проблемы физики элементарных частиц. Сочи, 1974.	582 стр.	2 р. 60 к.
Д6-8846	XIV совещание по ядерной спектроскопии в теории ядра. Дубна, 1975.	180 стр.	1 р. 90 к.
Д13-9164	Международное совещание по методике проволочных камер. Дубна, 1975.	344 стр.	4 р. 20 к.
Д1,2-9224	IV Международный семинар по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1975.	307 стр.	3 р. 60 к.
Д13-9287	Труды VIII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1975	469 стр.	5 р. 00 к.
Д7 - 9734	Международная школа-семинар по взаимодействию тяжелых ионов с ядрами и синтезу новых элементов /Дубна, 1975 г./	258 стр.	3 р. 00 к.
Д2 - 9788	Нелокальные, нелинейные и неэргодичные теории поля /Алушта, 1976 г./	390 стр.	2 р. 40 к.
Д-9920	Труды Международной конференции по избранным вопросам структуры ядра /Дубна, 1976 г./	452 стр.	3 р. 50 к.
Д9-10500	Труды II Симпозиума по коллективным методам ускорения. Дубна, 1976.	292 стр.	2 р. 50 к.
Д2-10533	Труды X Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Баку, 1976.	560 стр.	3 р. 50 к.



Д1,2,14-10908

Труды Международного симпозиума по проблемам мезонной химии и мезомолекулярных процессов в веществе. Дубна, 1977.

348 стр. 4 р. 50 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79,  
издательский отдел Объединенного института ядерных исследований



Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.  
Заказ 24202. Тираж 630. Уч.-изд. листов 0,63.  
Редактор Н.Н.Зрелова. Подписано к печати 28.12.77 г.  
Корректор Н.А.Кураева.