

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Р1-86-117

Б.П.Банник, И.Бободжанов¹, В.Г.Богданов²,
С.Вокал, А.Вокалова, А.Мухторов¹, В.А.Плющев²,
З.И.Соловьева², Р.Тогоо³, Б.Чадраа³

ИСПУСКАНИЕ БЫСТРЫХ ДЕЙТРОНОВ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНОВ
С ТЯЖЕЛЫМИ ЯДРАМИ ФОТОМУЛЬСИИ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

¹ ФТИ АН ТаджССР, Душанбе

² РИ им. В.Г.Хлопина, Ленинград

³ ИФТ АН МНР, Улан-Батор

1986

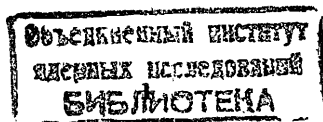
ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа является продолжением ведущихся в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ исследований испускания дейтронов при взаимодействии частиц высокой энергии с ядрами фотоэмульсии /1/. Получены экспериментальные данные для взаимодействий протонов с импульсом 4,5 ГэВ/с с тяжелыми ядрами фотоэмульсии Ag, Vz . Помимо самостоятельного значения, данные представляют интерес также по следующей причине.

В свое время при изучении характеристик вторичных частиц, образующихся при взаимодействии частиц высокой энергии с ядрами, а также при сравнении эксперимента с расчетами по модели внутриядерного каскада, был сделан вывод о том, что при энергии около 5 ГэВ происходит существенное изменение в механизме внутриядерных взаимодействий (см., например /2/, а также /3/). В цикле исследований /4/ была рассмотрена конкретная картина множественного рождения в адрон-ядерных взаимодействиях, в рамках пространственно-временной схемы учитывающая конечность интервала, внутри которого развивается процесс. При этом использовалась гипотеза об образовании адронных кластеров. В одной из работ /5/ авторы пришли к выводу о необходимости введения гипотезы об испускании кластеров при высокоэнергетических взаимодействиях около 10 ГэВ и выше. Располагая данными по испусканию дейтронов при импульсе 4,5 ГэВ/с и используя результаты работ при 24 ГэВ/с, можно надеяться получить сведения о том, как изменяется и изменяется ли вообще механизм образования дейтронов в интервале между этими импульсами.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Аналогично предыдущей работе /1/ были обработаны звезды, образованные в фотоэмульсии протонами с импульсом 4,5 ГэВ/с /6/. Из числа вторичных частиц были отобраны g - частицы. К ним относились заряженные частицы, имеющие остаточный пробег в эмульсии $R > 3$ мм и относительный параметр ионизации $g^* > 1,4$. Частицы с пробегом $R < 3$ мм причислялись к типу b . Частицы типа g и b составляли класс h - частиц. По своей природе h - частицы представляют фрагменты ядра-мишени. Частицы g - фрагменты ядра-мишени сравнительно больших энергий. Принято считать, что число h - частиц, испущенных при взаимодействии, n_h характеризует параметр столкновения. При малых n_h имеют место периферические взаимодействия, при больших - центральные.



Для измерений выбирались остановившиеся в эмульсии g - частицы, испущенные в столкновениях с числом $n_k > 7$, имеющие угол наклона к плоскости фотоэмульсионного слоя $\alpha < 20^\circ$ и остаточный пробег $R > 5$ мм. С помощью критерия " $n_k > 7$ " отбирались взаимодействия только на тяжелых ядрах Ag, Br . Возможная примесь d - частиц и π - мезонов исключалась методом счета δ - электронов и, соответственно, по явлениям, наблюдаемым при остановке частицы в эмульсии. Число отобранных g - частиц оказалось равным $N = 64$.

Ионизационные измерения на следах g - частиц проводились методом Фаулера-Перкиса [7]. В результате измерений определялся относительный параметр ионизации g^* по отношению к ионизации следа первичного протона. Используя калибровочную кривую $g^* - R$, массу M_x - частицы с остаточным пробегом R_x и параметром ионизации g^{*x} определяли по формуле $\frac{M_x}{M_p} = \frac{R_x}{R_p}$. Здесь M_p обозначает массу протона, R_p - пробег протона с относительной ионизацией g_p^* , определенный по калибровочной кривой.

Аналогичная работа при тех же условиях облучения и обработки фотоэмульсии и при сходных условиях измерений была проделана в лабораториях Института физики и техники АН МНР (Улан-Батор) и РИ им. В.Г.Хлопина (Ленинград). Число отобранных и измеренных g - частиц оказалась равно $N=50$ и $N=109$ соответственно.

Результаты измерений в трех лабораториях согласовались между собой и поэтому были объединены. Распределение масс для всех $N = 223$ частиц показано на рис. 1. Все частицы с величиной $\frac{M_x}{M_p} > 1,5$ считались дейтронами. Конечно, при этом к дейтронам была отнесена и возможная небольшая примесь трития. Число дейтронов оказалось равно $n_d = 38$. Число протонов $n_p = 185$.

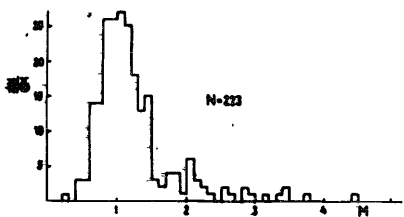


Рис.1. Распределение g - частиц по массе $M = \frac{M_x}{M_p}$.

Для сравнения с экспериментом при импульсе налетающего протона, равном 24 ГэВ/с, следовало иметь экспериментальные данные в интервале импульсов g - частиц $(0,26+0,45)$ ГэВ/с на нуклон. В связи с этим пришлось исключить из статистики протоны с пробегом $R > 32,394$ мм и дейтроны вне интервала пробегов $(10-64,787)$ мм. Для сравнения осталось $N=172$ g - частиц с импульсами в интервале $(0,26+0,45)$ ГэВ/с на нуклон. Числа дейтронов и протонов в зависимости от n_k приведены в таблице 1.

Таблица 1

	N	n_d	n_p
$n_k > 7$	172	21	151
$7 < n_k \leq 17$	98	10	88
$n_k > 17$	74	11	63

Вычисленный по приведенным данным относительный выход дейтронов $n_d/(n_d+n_p)$ показан в таблице 4. Указанные в таблице 4 ошибки - статистические.

Вычисление выхода дейтронов проводилось без введения поправок на геометрию эксперимента. По данным аналогичных работ, выполненных при импульсе налетающих частиц, равном 22,8 /8/, 24 /9/, 60 /10/ и 400 /11/ ГэВ/с, угловые и импульсные (в расчете на один нуклон) характеристики дейтронов и протонов из числа g - частиц близки между собой. Поэтому можно было ожидать, что будут близки и геометрические поправки в числе частиц, и тогда относительный выход дейтронов, равный $n_d/(n_d+n_p)$, можно будет вычислять без введения поправок. Во всех вышечисленных работах, а также при импульсах 7,5 /12/ и 23,2 /13/ ГэВ/с, значения величины $n_d/(n_d+n_p)$, вычисленные без введения и с введением поправок, практически не отличались, во всяком случае с точностью ошибок измерений. В настоящей работе также сравнивались значения $n_d/(n_d+n_p)$, вычисленные без учета и с учетом геометрии. Они практически не отличались.

СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ РАБОТАМИ

В таблицах 2,3 показаны результаты измерений при импульсе налетающего протона, равном 24 ГэВ/с /9/. Приводится величина $n_d/(n_d+n_p)$, обозначенная как $d/(d+p)$, а также усредненное значение $\langle d/(d+p) \rangle$, вычисленное нами по представленным данным. В таблице 2 содержится информация для всех взаимодействий при $n_k > 7$ (или $n_k > 8$). В таблице 3 - для двух типов взаимодействий. Малые звезды - взаимодействия при $7 < n_k \leq 17$ (или $8 < n_k \leq 17$). Большие звезды - при $n_k > 17$.

Таблица 2

Импульс, ГэВ/с	Интервал импульсов ГэВ/с p и d	Число n_h в звезде	$d/(d+p)$	Ссылка
24	0,25 + 0,45	> 8	0,19 ± 0,03	/ I4 /
22,8	0,25 + 0,45	> 8	0,24 ± 0,04	/ 8 /
24	0,25 + 0,45	> 7	0,21 ± 0,02	/ I5 /
24	0,2 + 0,45	> 7	0,22 ± 0,02	/ 9 /
$\langle d/(d+p) \rangle = 0,21 \pm 0,01$				

Таблица 3

Импульс, ГэВ/с	Интервал импульсов ГэВ/с p и d	Малые звезды		Большие звезды		Ссылка
		Число n_h в звезде	$d/(d+p)$	Число n_h в звезде	$d/(d+p)$	
24	0,21+0,43	9+17	0,14±0,03	> 17	0,30±0,04	/I4/
24	0,24+0,45	8+17	0,21±0,03	> 17	0,21±0,03	/I5/
24	0,2 + 0,45	8+17	0,24±0,02	> 17	0,19±0,02	/9/
		$\langle d/(d+p) \rangle = 0,21 \pm 0,03$		$\langle d/(d+p) \rangle = 0,21 \pm 0,03$		

В таблице 4 для сравнения сведены результаты измерений при 24 ГэВ/с и наших измерений при 4,5 ГэВ/с. Можно видеть, что выход дейтронов $d/(d+p)$ повышается при изменении импульса налетающего протона от 4,5 ГэВ/с до 24 ГэВ/с. Эффект в основном проявляется при взаимодействиях с относительно небольшим числом $n_h \leq 17$.

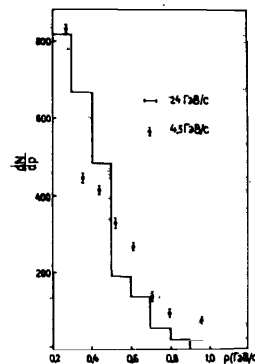
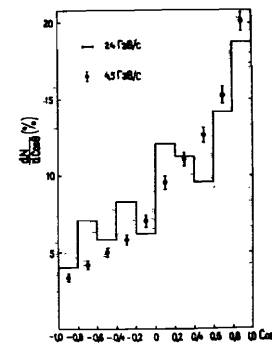
Таблица 4

Импульс, ГэВ/с	Интервал импульсов ГэВ/с p и d	$d/(d+p)$		
		$n_h > 7$ (или $n_h > 8$)	$7 < n_h \leq 17$ ($8 < n_h \leq 17$)	$n_h > 17$
24	0,23+0,45	0,21 ± 0,01	0,21 ± 0,03	0,21 ± 0,03
4,5	0,26+0,45	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,15 ± 0,05

В работах /9,16/ анализировались возможные процессы испускания дейтронов. Подчеркивалось, что прямые процессы, такие, как выбивание, подхват и элементарные нуклон-нуклонные столкновения с образованием дейтронов и Π -мезонов, в которых первичный протон взаимодействует

с отдельным нуклоном или с кластером нуклонов, не могут быть причиной наблюдаемого в эксперименте обильного испускания дейтронов. Поэтому рассматривались процессы, обусловленные прохождением через ядерное вещество каскадных нуклонов: процесс подхвата (в том числе коалесценция) и процесс вида $N(N, \pi)d$.

Известно, что при взаимодействии частиц высокой энергии с ядрами фотоэмульсии в широком интервале энергии вплоть до сотен ГэВ характеристики h - частиц изменяются слабо. Это относится и к g - частицам. В частности, импульсные (рис. 2) и угловые (рис. 3) распределения при первичных импульсах протонов, равных 24 ГэВ/с и 4,5 ГэВ/с, близки друг к другу.

Рис. 2. Импульсные распределения: протонов при 24 ГэВ/с /9/ и g - частиц при 4,5 ГэВ/с /6/.Рис. 3. Угловые распределения: протонов при 24 ГэВ/с /9/ и g - частиц при 4,5 ГэВ/с /20/.

В таблице 5 показано среднее число g - частиц $\langle n_g \rangle$ на взаимодействие в зависимости от первичной энергии и числа h - частиц. Можно видеть, что среднее $\langle n_g \rangle$ изменяется мало, а для взаимодействий с числом h - частиц $8 < n_h \leq 17$ при энергиях 24 ГэВ и 3,7 ГэВ (импульс 4,5 ГэВ/с) средние числа g - частиц одинаковы (в пределах ошибок измерений). Это благоприятное стечение обстоятельств позволяет, не прибегая к количественным оценкам, ограничиться качественным сравнением и при этом сделать достаточно определенные выводы.

Таблица 5

Первичная энергия, ГэВ	$n_d > 8$	$8 < n_d \leq 17$	$n_d > 17$	События
24	$7,34 \pm 0,32$	$5,62 \pm 0,24$	$11,14 \pm 0,48$	/17/
22,5	$6,30 \pm 0,21$	$4,49 \pm 0,15$	$9,58 \pm 0,34$	/18/
6,2	$5,77 \pm 0,11$	$4,46 \pm 0,09$	$8,07 \pm 0,18$	/18/
3,7	$6,21 \pm 0,10$	$5,24 \pm 0,10$	$8,60 \pm 0,17$	/6/
2,23	$4,45 \pm 0,13$	$4,14 \pm 0,12$	$6,71 \pm 0,38$	/19/

Во всех указанных возможных процессах, связанных с прохождением каскадных нуклонов через ядро, выход дейтронов определяется числом каскадных нуклонов, их импульсными и угловыми характеристиками, а также свойствами ядра. В экспериментах, проведенных при 4,5 ГэВ/с и 24 ГэВ/с, эти характеристики близки между собой, а для малых звезд практически одинаковы. Поэтому следовало ожидать, что и выходы дейтронов в этих экспериментах будут близки или одинаковы. На опыте это, однако, не наблюдается (см. таблицу 4). Отсюда следует, что каскадные нуклоны не являются основной и тем более единственной причиной испускания дейтронов при импульсе налетающей частицы, равном 24 ГэВ/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из вышесказанного можно заключить, что при взаимодействии протонов с импульсом 24 ГэВ/с с тяжелыми ядрами фотоимпульсия, при испускании дейтронов с импульсами $\sim (0,23 + 0,45)$ ГэВ/с на нуклон значительный вклад вносит некий, еще не изученный механизм. Не исключено, что эту роль может сыграть механизм возникновения в ядрах неравновесных барьонных подожестов, рассмотренный в работе /21/.

Авторы благодарят Б.Н.Калинкина за обсуждение постановки эксперимента и результатов измерений и сделанные при этом ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Банник Б.П. и др. ОИЯИ, I-80-260, Дубна, 1980.
2. Барашенков В.С. и Тонеев В.Д. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами, М., Атомиздат, 1972, с.163, 353.
3. Барашенков В.С. и др. ОИЯИ, P2-12503, Дубна, 1979.
4. Калинкин Б.Н., Шмонин В.Д., ЭЧАЯ, 1980, т. II, вып. 3, с. 630-686.
5. Tsai Chu et al. Lett Nuovo Cim., 1977, 20, N8, p. 257.
6. Банник Б.П. и др. ОИЯИ, P1-13055, Дубна, 1980.
7. Fowler P.H., Perkins D.E. Phil. Mag., 1955, 46, N377, p. 587.

8. Shivpuri R.K. et al. Phys.Rev., 1969, 186, N4, p. 1200.
9. Zafar M. et al. Nuovo Cim., 1974, 24A, N1, p. 111.
10. Борисенко А.И. и др. ЯФ, 1979, 29, вып. 6, с. 1557.
11. Aggarwal M.M. et al. J.Phys.Soc.Jap., 1980, 48, N2, p. 361.
12. Тлеубергенова Г.А. и др., Вестник АН Каз.ССР, 1964, № 10, с. 35.
13. Kamal A.A. et al. Nuovo Cim., 1966, 43A, N1, p. 91.
14. Saniewska T. et al. Nucl.Phys., 1965, 70, p. 567.
15. Ansari A.R. et al. Thesis Ph.D. Aligarh Muslim University, Aligarh, Sept., 1974.
16. Aggarwal M.M. et al. Nuovo Cim., 1980, 56A, N4, p. 422.
17. Bogdanovich J. et al. Nucl.Phys., 1963, 40, N2, p. 270.
18. Winzeler N. et al. Nucl.Phys., 1965, 69, p. 661.
19. Bogdanski M, et al. Helv.Phys.Acta, 1969, 42, p. 485.
20. Богданов В.Г. и др. Препринт РИ-133, Л., 1980.
21. Гагарин Ю.Ф. и др. Препринт ФТИ-985, Л., 1985.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 февраля 1986 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-784	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорению заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.

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

Банник Б.П. и др.

P1-86-117

Испускание быстрых дейтронов при взаимодействии протонов с тяжелыми ядрами фотоэмульсии

Измерен относительный выход дейтронов с импульсами в интервале $\sim (0,23-0,45)$ ГэВ/с на нуклон при взаимодействии протонов 4,5 ГэВ/с с тяжелыми ядрами фотоэмульсии Ag, Br. Анализируются аналогичные данные, полученные в других лабораториях при импульсе протонов 24 ГэВ/с. Из сравнения результатов экспериментов следует, что при импульсе налетающей частицы 24 ГэВ/с каскадные нуклоны не являются единственной причиной испускания дейтронов, значительный вклад вносит некий, еще не изученный механизм.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Bannik B.P. et al.

P1-86-117

Emission of Fast Deuterons at the Proton Interaction with Emulsion Heavy Nuclei

A relative yield of deuterons with momenta of $\sim (0.23-0.45)$ GeV/c per nucleon has been measured at the interaction of 4.5 GeV/c protons with Ag, Br emulsion heavy nuclei. Similar data obtained for 24 GeV/c proton momentum at other laboratories are analyzed. From the comparison of the experimental results it follows that at an incident particle momentum of 24 GeV/c cascade nucleons are not the only reason of deuteron emission; some mechanism not yet studied makes a significant contribution.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986