

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3456 / 2-80

28/7-80

1-80-260

Б.П.Банник, Ю.П.Келоглу, А.Мухторов

ИСПУСКАНИЕ БЫСТРЫХ ДЕЙТРОНОВ
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЯДЕР УГЛЕРОДА
С ТЯЖЕЛЫМИ ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ

1980

1. ВВЕДЕНИЕ

Испускание быстрых фрагментов из сравнительно тяжелых ядер под действием частиц высокой энергии - традиционный предмет исследований с помощью методики фотоэмульсий ^{1-4/}. Обычно изучалось испускание легких фрагментов /дейтронов, трития и α -частиц/ с относительно высокими импульсами: от сотен МэВ/с вплоть до нескольких ГэВ/с. Ряд экспериментов был поставлен с помощью других методик ^{5,6/}.

В работе ^{2/} был измерен выход дейтронов в звездах в фотоэмульсии, образованных протонами с импульсом 24 ГэВ/с. При этом рассматривали выход дейтронов в зависимости от числа лучей в звезде. Оказалось, что при большом числе лучей, то есть при большой передаче энергии ядру-мишени, выход дейтронов существенно возрастает. Аналогичный результат был получен при энергии первичных протонов, равной 9 ГэВ ^{3/}, а также при облучении фотоэмульсии π -мезонами с энергией 60 ГэВ ^{4/}. Представлялось интересным определить выход дейтронов при взаимодействии ядер углерода с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон с тяжелыми ядрами фотоэмульсии в случае, когда число вторичных частиц велико.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

В данном эксперименте были обработаны звезды, найденные при изучении неупругих взаимодействий ядер углерода с ядрами фотоэмульсии при 54 ГэВ/с ^{7/} в Лаборатории высоких энергий. В звездах из числа вторичных отбирались g -частицы. К ним относились частицы, имеющие остаточный пробег в эмульсии $R > 3$ мм и относительный параметр ионизации $g^* > 1,4$. Частицы с пробегом $R < 3$ мм относились к типу "b". Частицы типа "g" или "b" составляли класс h -частиц. Для дальнейших измерений отбирались остановившиеся в эмульсии g -частицы, испущенные в столкновениях, когда число h -частиц $N_h \geq 28$, имеющие угол наклона к плоскости эмульсионного слоя $\alpha < 20^\circ$ и остаточный пробег $R > 5$ мм.

В соответствии с отбором измерениями охватывался интервал импульсов, равный для протонов /260+1040/ МэВ/с, а для дейтронов - /426+2080/ МэВ/с. На деле, однако, в связи с малой статистикой дейтроны с предельно большими импульсами не наблюдались. Максимальное наблюдаемое значение было равно 880 МэВ/с.

Из-за случайных повреждений эмульсии не все отобранные g -частицы могли быть измерены. В результате для дальнейшей обработки было выделено всего 43 частицы.

3. ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗАЦИИ Ионизационные измерения проводились методом Фаулера-Перкинса ^{18/}

На измеряемом следе, в расчете на единицу длины, подсчитывалось число N разрывов с длиной, которая больше некоторой величины l , а также соответствующее число V всех разрывов любой длины. Для данного следа определяли параметр g :

$$g = \frac{\cos \alpha}{l} \ln \frac{V}{N} \quad /1/$$

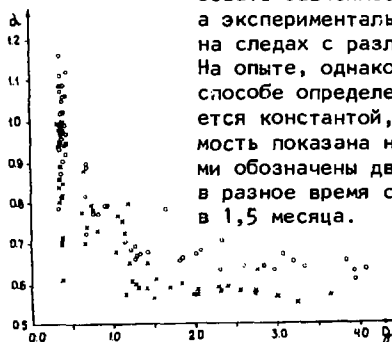
Далее измеряли параметр g_0 для следа, имеющего минимальную ионизацию и расположенного рядом с ранее измеренным следом g -частицы. Находили относительный параметр ионизации $g^* = g/g_0$. Применение этой величины позволило избежать зависимости параметра ионизации g от номера пластинки, времени измерений и глубины залегания следа в слое фотоэмульсии ^{18/}.

Измерение g_0 сводилось к подсчету числа V_0 всех разрывов любой длины и расчету g_0 по формуле

$$V_0 = g_0 e^{-g_0 \alpha} \quad /2/$$

где константа α находилась заранее, опытным путем, на следах частиц с минимальной ионизацией.

Указанный способ определения величины α отличался от способа, рекомендуемого в работе ^{18/}. Согласно последней, вместо соотношения /2/, верного для малых $g = g_0$, следовало использовать зависимость общего вида $V = f(g, \alpha)$,



а экспериментальные значения V и g получать на следах с различными значениями величины g . На опыте, однако, выяснилось, что при таком способе определения величины α она не является константой, а зависит от g . Эта зависимость показана на рис. 1. Кружками и крестиками обозначены две серии измерений, выполненные в разное время с промежутком приблизительно в 1,5 месяца.

Рис. 1. Зависимость величины α от параметра ионизации g .

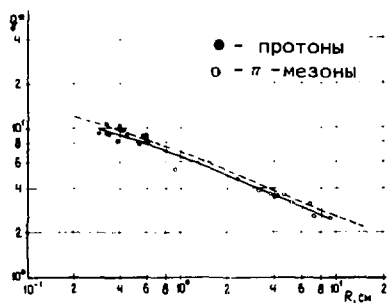


Рис. 2. Зависимость относительного параметра ионизации g^* от остаточного пробега R :
 — для эмульсии БР-2 в данной работе, - - - стандартная кривая^{8/}.

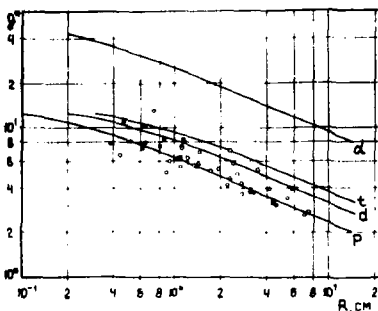


Рис. 3. Распределение g^* -частиц по ионизации g^* и пробегу R . Буквами p, d, t, α обозначены зависимости g^* от R соответственно для протонов, дейтронов, трития и α -частиц.

Постоянство величины α в модели Фаулера-Перкинса^{8/}, по-видимому, обеспечивается подбором констант, входящих в модельную зависимость $V = f(g, \alpha)$ и отображающих свойства эмульсии. Эти константы, вообще говоря, различны для эмульсий, используемых в работе^{8/} (Iford) и в данной работе /ГОСНИИХИМОПРОЕКТ, БР-2/, поэтому и модельные зависимости для двух типов эмульсии должны отличаться. В связи с этим не имело смысла пользоваться стандартной кривой зависимости g^* от R , полученной для эмульсии Iford, а надо было построить специальную калибровочную кривую. На рис. 2 показаны результаты калибровочных измерений и соответствующая кривая, подобранная методом наименьших квадратов, а также стандартная кривая. В работе^{8/} она была получена по отношению к ионизации на плато. В данной работе кривая пересчитана по отношению к ионизации в минимуме. Можно видеть относительный сдвиг кривых примерно на 8%.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты измерений на следах отобранных g^* -частиц показаны на рис. 3; видно, что большинство точек группируется возле кривой для протонов. Некоторые точки ложатся возле кривой для дейтронов. Масса M_x частицы с остаточным пробегом R_x и параметром ионизации g_x^* определялась по формуле

$$\frac{M_x}{M_p} = \frac{R_x}{R_p}$$

13/

где M_p - масса протона, а R_p - пробег протона с ионизацией g^* . Распределение масс показано на рис. 4. Средняя относительная ошибка измерения массы равна 19%. В связи с этим все частицы с $M_x/M_p > 1,5$ можно было считать дейтронами. Конечно, при этом к дейтронам относилась и небольшая примесь трития. Дейтронов оказалось всего 12. Число протонов равно 31. Отношение числа дейтронов к числу протонов

$$n_d/n_p = 0,39 \pm 0,13.$$

Геометрические поправки, соответствующие условиям отбора и измерений, не вводились, так как для выхода дейтронов определялась только относительная величина, и было установлено, что характеристики протонов и дейтронов /распределения углов α , пробегов R и углов испускания/ с точностью ошибок измерений были одинаковы. В таблице приведен полученный результат в сравнении с экспериментальными данными аналогичных работ. Результат подтверждает сделанный в работе^{12/} вывод о том, что при столкновениях частиц высокой энергии с ядрами абсолютный и относительный выход дейтронов увеличивается с ростом числа h -частиц в звезде /или с ростом переданной ядру-мишени энергии/.

Из таблицы следует, что при взаимодействиях с испусканием большого числа h -частиц проявляется определенная тенденция - в первом приближении выход дейтронов не зависит от энергии и типа налетающей частицы. Здесь уместно заметить, что, согласно работе^{9/}, выход дейтронов сильно зависит от массы ядра-мишени /см. также^{16/}/. Например, при облучении ядер свинца^{9/}

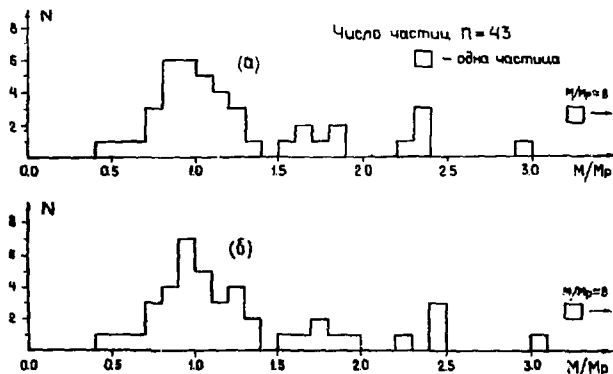


Рис. 4. Распределение g -частиц по массе. Использовались предварительные /а/ и более точные /б/ калибровочные соотношения $g^* - R$.

Таблица

Относительный выход дейтронов n_d / n_p^*

Первичная частица	Класс событий	n_d / n_p^*		
		$7 < N_h \leq 17^{**}$	$N_h > 17$	$N_h \geq 28$
π	60 ГэВ ^{/4/}	0,36±0,05	0,46±0,06	-
p	24 ГэВ/с ^{/2/}	0,17±0,04	0,43±0,08	-
p	9 ГэВ ^{/3/}	0,15±0,05	0,40±0,07	0,42±0,09
$C_{6,}^{12}$	54 ГэВ/с, настоящая работа	-	-	0,39±0,13

* Небольшая примесь трития включалась в число дейтронов.

** Для первичных протонов $8 < N_h \leq 17$.

протонами с энергией 9 ГэВ выход дейтронов увеличивается, в звездах с $N_h > 18$ отношение числа дейтронов к числу протонов резко возрастает: $n_d / n_p \approx 1$.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ g^* ОТ R

Идентифицированные протоны можно было использовать для увеличения статистики калибровочных точек.

Для этого были отобраны 29 случаев, попавших в интервал $0,6 < M_x / M_p < 1,4$ /см. рис. 4а/. Два события с $M_x / M_p < 0,6$ не использовались, так как возникли сомнения в точности определения для них величины массы: в обоих случаях на следах частиц в конце пробега имелось по несколько изломов, что указывало на возможную потерю энергии при неупругих взаимодействиях, а следовательно, на возможное искажение величины остаточного пробега R_x .

Число калибровочных точек увеличилось до 53. По ним была вновь подобрана калибровочная кривая /она показана на рис. 3/. С помощью этой кривой по соотношению /3/ было получено распределение масс M_x /оно приведено на рис. 4б/. Можно видеть, что уточнение калибровки практически не изменило конечного результата.

Калибровочная кривая описывалась функцией вида

$$g^* = A_1 R^{A_2 \log_{10} R + A_3} + A_4 R$$

/4/

где R выражается в см. Подбирались две кривые. Первая - при варьировании всех четырех параметров: A_1 , A_2 , A_3 и A_4 . Вторая подбиралась при варьировании только одного параметра A_4 . Остальные три параметра были фиксированы. Их значения были взяты равными значениям соответствующих параметров в функции /4/, описывающей стандартную кривую Фаулера-Перкинса. Таким образом, вторая кривая подбиралась параллельным сдвигом /в логарифмической системе координат/ стандартной кривой.

Обе подобранные кривые, как оказалось, практически не различаются. В работе использовалась последняя кривая со следующими значениями параметров:

$$A_1 = 0,0374 \pm 0,0020, \quad A_2 = -0,0737 \pm 0,0016, \\ A_3 = -0,399 \pm 0,002, \quad A_4 = 6,35 \pm 0,06.$$

Авторы благодарны И.Бободжанову и К.Д.Толстову за ценные советы и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

- Holtebekk T. et al. *Phil.Mag.*, 1953, 44, No.356, p.1037; Dahanayake C. et al. *Nuovo Cim.*, 1955, 1, No.5, p.888; Garbowska K. et al. *Nucl.Phys.*, 1964, 60, No.4, p.654; Тлеубергенова Г.А. и др. *Вестник АН КазССР*, 1964, №10, с.35; Hoffmann L. et al. *Nucl.Phys.*, 1965, 66, No.3, p.657; Gil D. et al. *Nucl.Phys.*, 1966, 82, No.3, p.662; Kamal A.A. et al. *Nuovo Cim.*, 1966, 43, No.1, p.91; Shivpuri R.K. et al. *Phys.Rev.*, 1969, 186, No.4, p.1200; Zafar M. et al. *Nuovo Cim.*, 1974, 24A, No.1, p.111; Irfan M. et al. *Nuovo Cim.*, 1974, 20A, No.2, p.354; Борисенко А.И. и др. *ЯФ*, 1977, 25, в.3, с.600; Такибаев Ж.С. и др. *ЯФ*, 1979, 30, в.4, с.1047.
- Saniewska T. et al. *Nucl.Phys.*, 1965, 70, p.567.
- Ciok P. et al. *Acta Phys.Polon.*, 1967, 32, 4, p.635.
- Борисенко А.И. и др. *ЯФ*, 1979, 29, в.6, с.1557.
- Cocconi V.T. et al. *Phys.Rev.Lett.*, 1960, 5, p.19; Schwarzschild A. et al. *Phys.Rev.*, 1963, 129, No.2, p.854; Piroué P.A. et al. *Phys.Rev.*, 1966, 148, No.4, p.1315; Ажгирей Л.С. и др. *ЯФ*, 1978, 28, с.1017.
- Безногих Г.Г. и др. *ОИЯИ, P1-10944*, Дубна, 1977.
- Adamovich M.I. et al. *JINR, E1-10838*, Dubna, 1977.
- Fowler P.H., Perkins D.H. *Phil.Mag.*, 1955, 46, No.377, p.587.
- Ciok P. *Inst. of Nucl.Res.*, 1971, Warsaw, No.1256/VI/PL.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1980 года.