

ОБРАЗОВАНИЕ ЛЕГКИХ ФРАГМЕНТОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 1 Гэв С ЯДРАМИ СЕРЕБРА

Е.Н.Вольнин, А.А.Воробьев, Д.М.Селиверстов

Измерены энергетические спектры легких фрагментов с $2 \leq z \leq 5$, образующихся при взаимодействии протонов с энергией 1 Гэв с ядрами серебра, и определены их сечения образования. Полученные результаты анализируются на основе испарительной модели.

Образование изотопов легких ядер при облучении серебра протонами с энергией $T_p = 5,5$ Гэв исследовалось в работе [1].

Настоящая работа посвящена изучению энергетических спектров изотопов гелия, лития, бериллия и бора при $T_p = 1$ Гэв. Применение системы идентификации фрагментов на основе $\Delta E - E - Vr$ измерений, обладающей более низким энергетическим порогом регистрации по сравнению с работой [1] (2 Мэв для α -частиц), позволило измерить спектры легких ядер в широком диапазоне энергий.

Эксперимент проводился с мишенью толщиной 5 мг/см², облучаемой протонами с интенсивностью $3 \cdot 10^{11}$ сек⁻¹ · см⁻² при двух углах $\theta = 60^\circ$ и $\theta = 120^\circ$ относительно направления протонного пучка. Полученные спектры показаны на рисунке. Сечения образования фрагментов и вели-

чины угловой анизотропии – отношения чисел частиц, испускаемых в переднюю и заднюю полусферы, приведены в таблице.

Значения сечений образования, угловых анизотропий фрагментов (σ , F/B) и параметров аппроксимации экспериментальных данных расчетными спектрами

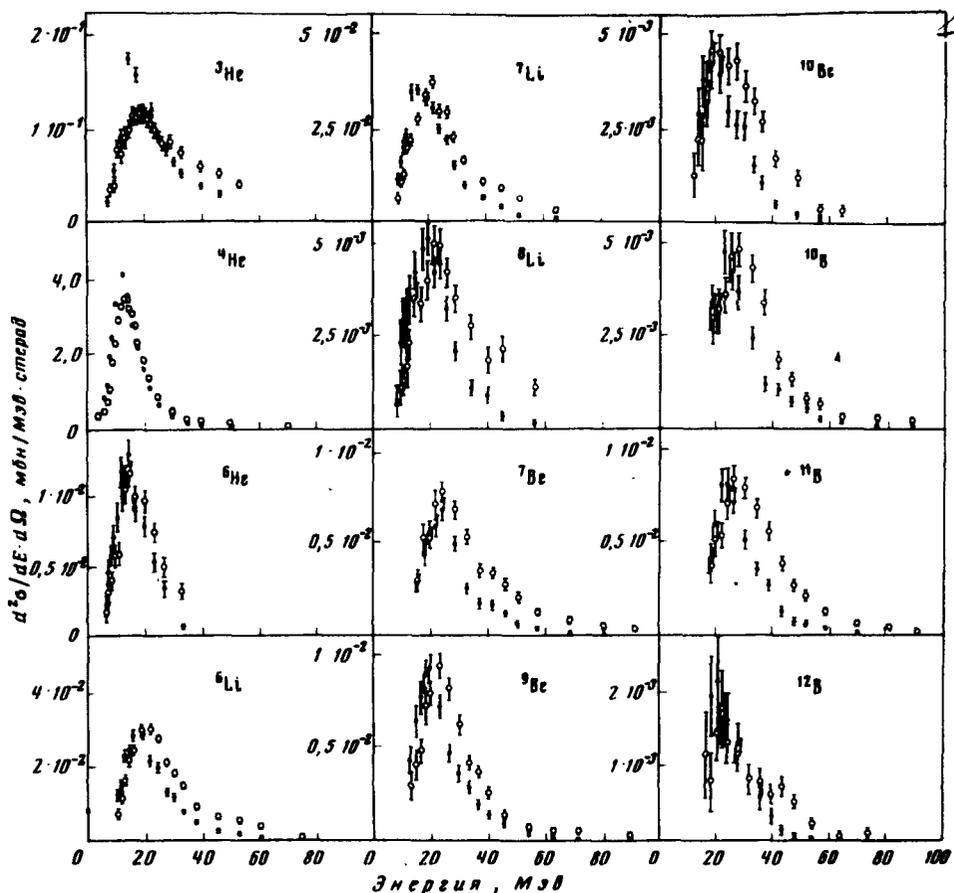
Фрагмент	σ , ¹⁾ мбн	F/B	$\langle k \rangle$	T , Мэв	Скорость ядра $v/c \cdot 10^{-3}$
³ He	54 ± 10	1,16 ± 0,13	0,5 ± 0,02	11,2 ± 0,2	6 ± 1
⁴ He	610 ± 100	1,07 ± 0,09	0,59 ± 0,01	4,6 ± 0,1	3 ± 0,1
⁶ He	2,7 ± 0,5	1,18 ± 0,19	0,59 ± 0,02	6,9 ± 0,3	5 ± 1
⁶ Li	8,5 ± 1,6	1,34 ± 0,2	0,52 ± 0,01	8,5 ± 0,1	7 ± 1
⁷ Li	9,9 ± 1,8	1,29 ± 0,17	0,54 ± 0,01	8,2 ± 0,1	6 ± 1
⁸ Li	1,5 ± 0,3	1,45 ± 0,25	0,57 ± 0,03	8,7 ± 0,4	7 ± 2
⁹ Li	0,3 ± 0,08	1,70 ± 0,63	0,60 ± 0,06	9,6 ± 1,2	10 ± 3
⁷ Be	2,2 ± 0,4	1,65 ± 0,22	0,55 ± 0,02	10,0 ± 0,3	4 ± 1
⁹ Be	2,3 ± 0,4	1,33 ± 0,19	0,55 ± 0,02	7,7 ± 0,2	6 ± 1
¹⁰ Be	1,3 ± 0,3	1,52 ± 0,26	0,53 ± 0,03	8,8 ± 0,4	5 ± 2
¹¹ Be	0,13 ± 0,05	1,60 ± 0,62	0,54 ± 0,10	5,2 ± 1,0	8 ± 5
¹⁰ B	1,3 ± 0,2	1,34 ± 0,23	0,57 ± 0,03	8,7 ± 0,3	6 ± 2
¹¹ B	2,4 ± 0,4	1,50 ± 0,20	0,61 ± 0,02	8,7 ± 0,3	5 ± 1
¹² B	0,4 ± 0,11	1,52 ± 0,55	0,61 ± 0,05	7,3 ± 0,5	5 ± 3

¹⁾ Ошибки в определении сечений включают в себя статистические ошибки, ошибки мониторингования и ошибки нормировочного сечения рождения ⁷Be при $T_p = 1,7$ Гэв [2].

Анализ энергетических спектров производился на основе испарительной модели в функциональной форме, использованной в работе [1]:

$$P(E) \sim \int_{k=\langle k \rangle - \Delta}^{k=\langle k \rangle + \Delta} (E - kB) \exp\left(-\frac{E - kB}{T}\right) dk, \quad (1)$$

где E – энергия, выделяемая при образовании частицы в системе испаряющего ядра, T – температура ядра, kB – эффективный кулоновский



Энергетические спектры легких фрагментов, образующихся при взаимодействии протонов с энергией 1 Гэв с ядрами серебра. Спектры скорректированы на поглощение энергии частиц в мишени: \circ — $\theta = 60^\circ$, \bullet — $\theta = 120^\circ$

барьер. Величина номинального барьера вычислялась в предположении, что ядром, образующимся после прохождения быстрого каскада было ядро $^{102}_{44}\text{Ru}$ [3]. Использовалось значение $r_0 = 1,44 \text{ ф}$. Введение параметра Δ , учитывающего распределение по величине кулоновского барьера, а также учет корреляции между скоростью испаряющегося ядра и скоростью фрагмента делают этот метод расчета близким к расчету по каскадно-испарительной модели. Корреляция вводилась в форме:

$$\frac{v - \langle v \rangle}{\langle v \rangle} = n \frac{V - \langle V \rangle}{V}, \quad (2)$$

где v , $\langle v \rangle$, V , $\langle V \rangle$ — скорости и их средние значения испаряющегося ядра и фрагмента. Параметры аппроксимации экспериментальных данных

представлены в таблице. Значение n во всех случаях равно $0,5 + 1,0$, за исключением нейтроно-дефицитных изотопов ${}^3\text{He}$, ${}^7\text{Be}$ ($n = 2,5$). Параметр Δ меняется в пределах $0,18 + 0,22$.

На основании полученных данных и сравнения с результатами работы [1] можно сделать следующие выводы. При изменении энергии налетающих протонов от 1 до $5,5 \text{ Гэв}$ форма массовых распределений фрагментов изменяется мало, в то время как сечения образования фрагментов существенно возрастают. Энергетические спектры заметно более жесткие при $T_p = 5,5 \text{ Гэв}$, в то же время величины кулоновских барьеров изменяются слабо. При энергии протонов $T_p = 1 \text{ Гэв}$ для всех изотопов величина параметра $\langle k \rangle$, определяющего эффективный кулоновский барьер, остается постоянной. Полученные значения температур также близки между собой для большинства фрагментов, за исключением ${}^4\text{He}$ и нейтроно-дефицитных ядер ${}^3\text{He}$, ${}^7\text{Be}$. Значения скоростей испаряющего ядра в большинстве случаев совпадает с величиной, полученной из расчета по каскадно-испарительной модели ($v/c = 0,0055$) в работе [3].

Из совокупности данных, приведенных в таблице, следует, что только для ${}^4\text{He}$ величина угловой анизотропии и параметры аппроксимации спектров имеют значения, которые можно согласовать с испарительной моделью. Однако даже в этом случае с помощью распределения (1), несмотря на введение корреляции, невозможно описать высокоэнергичную часть спектров ${}^4\text{He}$. Для всех остальных фрагментов температура является "нефизическим" параметром. Особенно большие значения температуры и параметра корреляции, полученные для нейтроно-дефицитных фрагментов ${}^3\text{He}$, ${}^7\text{Be}$, могут указывать на специфический механизм образования этих ядер, связанный с большими передачами энергии. В образовании остальных изотопов играют роль, по-видимому, оба механизма.

Ленинградский
институт ядерной физики
им. Б.П.Константинова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
17 апреля 1974 г.

Литература

- [1] E.K.Hyde, G.W.Butler, A.M.Poskanzer. Phys. Rev., 4C1759, 1971.
- [2] E.Baker, G.Friendlander, J.Hudis. Phys. Rev., 112, 1319, 1958.
- [3] В.С.Барашенков, К.К.Гудима, А.С.Ильинов, В.Д.Тонеев. Препринт ОИЯИ Р2-5118, Дубна, 1970.