

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

1-84-778

В.П.Кондратьев\*, Л.В.Краснов\*, Ю.Лукстиньш,  
В.Ф.Литвин\*, И.В.Степанов\*, И.Г.Яцышин\*

ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ  
ЧАСТИЦ С  $Z = 1, 2$ , ВОЗНИКАЮЩИХ  
ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДЕЙТРОНОВ  
С ЯДРАМИ  $^{58}\text{Ni}$  И  $^{64}\text{Ni}$

---

\* Научно-исследовательский институт  
физики Ленинградского государственного  
университета

1984



## ВВЕДЕНИЕ

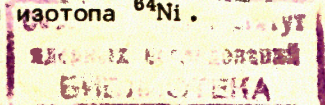
Наряду с исследованиями зависимости механизма реакций расщепления и фрагментации от свойств ядра-мишени и фрагмента, большой интерес вызывает изучение зависимости спектров фрагментов от массового числа  $A$  налетающей частицы, так как существуют противоречивые утверждения относительно  $A$ -зависимости изотопных отношений выходов легких фрагментов и их энергетических спектров. Например, в работе берклиевской группы<sup>/1/</sup>, изучавшей расщепление ядер  $U$  релятивистскими ядрами с энергией 2,1 ГэВ/нуклон, показано, что спектры фрагментов с  $Z = 2, 3$  имеют одинаковую форму при бомбардировке  $U$  протонами и дейтронами, но оказываются более жесткими в случае бомбардировки  $\alpha$ -частицами. Аналогичные результаты получены при фрагментации ядер  $Sn$ <sup>/2/</sup>. Однако в<sup>/3/</sup> делается вывод о независимости спектров фрагментов от типа налетающей частицы при бомбардировке ядер  $AgBr$  протонами, дейтронами и  $\alpha$ -частицами с энергией 3,6 ГэВ/нуклон. Интересным оказывается обнаруженный в<sup>/2/</sup> экспериментальный факт постоянства изотопных отношений выходов фрагментов из изотопов  $^{112}Sn$  и  $^{124}Sn$ , облученных релятивистскими протонами /6,7 ГэВ/, дейтронами /3,1 ГэВ/ и  $\alpha$ -частицами /15,3 ГэВ/, хотя в области промежуточных энергий налетающей частицы такого постоянства не наблюдается<sup>/4/</sup>. Таким образом, вопрос о причинах возможной стабильности изотопных отношений и формы спектров фрагментов остается неразрешенным и требует дальнейших исследований.

В настоящей работе изучались энергетические спектры и выходы легких ядер  $^1,2,3H$  и  $^3,4He$ , образующихся при бомбардировке изотопов  $^{58}Ni$  и  $^{64}Ni$  дейтронами с энергией 6,7 ГэВ.

## 1. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Работа выполнена на дейтронном пучке синхрофазотрона Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и является продолжением цикла экспериментов по расщеплению ядер  $^{58}Ni$  и  $^{64}Ni$  релятивистскими протонами<sup>/5/</sup>. Вторичные продукты ядерных взаимодействий регистрировались многоканальным  $\Delta E-E$ -спектрометром, содержащим 4 телескопа полупроводниковых детекторов<sup>/6/</sup>. Таким образом, в каждой экспозиции набор спектров осуществлялся одновременно под 4 углами. Толщины  $\Delta E$ -детекторов составляли 50, 100, 138 и 176 мкм, а соответствующие толщины  $E$ -детекторов - 800, 1150, 1230 и 1850 мкм, что позволяло перекрыть энергетический диапазон от 3 до 20 МэВ для фрагментов с  $Z = 1$  и от 12 до 50 МэВ для фрагментов с  $Z = 2$ .

В качестве мишеней использовались металлические фольги с разделенными изотопами толщиной 8,1 мг/см<sup>2</sup> для изотопа  $^{58}Ni$  и 9,7 мг/см<sup>2</sup> для изотопа  $^{64}Ni$ .





Мониторинг пучка дейтронов производился отдельным телескопом, состоящим из двух полупроводниковых детекторов толщиной 60 мкм каждый. В качестве мониторной мишени выбрана фольга из олова толщиной 40 мкм. Калибровка монитора осуществлялась по реакции  $^{12}\text{C}(d, p_2n)^{11}\text{C}$ , сечение которой известно лишь для энергии дейтронов, равной 2,33 ГэВ<sup>7,8/</sup>. В связи с этим сечение данной реакции для дейтронов с энергией 6,7 ГэВ было определено нами экспериментальным путем и составило  $46 \pm 6$  мб. Найденное значение было использовано для абсолютной калибровки монитора. Максимальная ошибка, с которой вычислены абсолютные сечения выхода изучаемых фрагментов, не превышает 20%.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дифференциальные энергетические спектры  $^{1,2,3}\text{H}$  и  $^{3,4}\text{He}$  были измерены под углами 30, 60, 90, 120 и 150°. На рис.1 приведены спектры фрагментов, полученные под углом 90° для двух изотопов Ni. Видно, что спектры имеют близкую к максвелловской форму с наличием характерного кулоновского максимума для частиц с  $Z = 1$ . Следует отметить, что спектры фрагментов, образующихся при взаимодействии дейтронов с ядрами  $^{64}\text{Ni}$ , оказываются более жесткими, чем спектры, соответствующие изотопу  $^{58}\text{Ni}$ .

На рис.2 показаны угловые распределения выходов фрагментов для изотопа  $^{58}\text{Ni}$ . Сечение выхода фрагмента под данным углом определялось нами интегрированием двойных дифференциальных сечений по соответствующему энергетическому диапазону. Как видно, для  $^{1,2,3}\text{H}$  и  $^3\text{He}$  угловое распределение оказывается почти изотропным с легкой анизотропией в области малых углов. Исключением

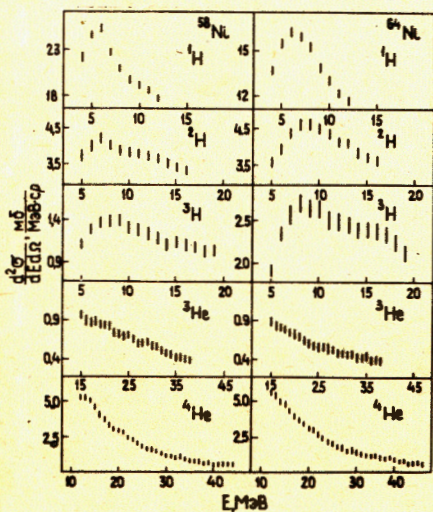
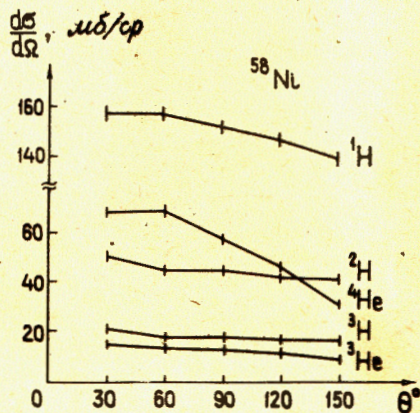


Рис.2. Угловая зависимость выходов фрагментов из ядер  $^{58}\text{Ni}$ .

Рис.1. Энергетические спектры фрагментов под углом 90° в реакциях расщепления изотопов никеля дейтронами с энергией 6,7 ГэВ.



является угловое распределение выходов  $\alpha$ -частиц, для которых степень анизотропии, определенная как отношение числа фрагментов, вылетающих в переднюю полусферу, к числу их вылетов назад, составляет 1,75.

В табл.1 приведены отношения выходов фрагментов из ядер  $^{58}\text{Ni}$  к выходам из  $^{64}\text{Ni}$ , полученные для пяти значений углов. Как видно, изотопные отношения не зависят от угла вылета фрагментов. Для выходов протонов и тритонов наблюдается отчетливый изотопический эффект, для дейтронов и ядер гелия изотопные отношения близки к единице.

В табл.2 усредненные по углу изотопные отношения сравниваются с аналогичными отношениями, определенными для реакций, инициированных протонами с энергией 0,66 ГэВ<sup>9/</sup> и 7,5 ГэВ<sup>10,11/</sup>. Как

Таблица 1

Экспериментальные изотопные отношения выходов фрагментов в реакциях расщепления ядер  $^{58}\text{Ni}$  и  $^{64}\text{Ni}$  дейтронами с энергией 6,7 ГэВ

$\theta$	$\sigma_f(^{58}\text{Ni}) / \sigma_f(^{64}\text{Ni})$				
	$^1\text{H}$	$^2\text{H}$	$^3\text{H}$	$^3\text{He}$	$^4\text{He}$
30°	$1,49 \pm 0,07$	$0,90 \pm 0,05$	$0,59 \pm 0,03$	$1,12 \pm 0,06$	$0,91 \pm 0,05$
60°	$1,49 \pm 0,07$	$0,90 \pm 0,05$	$0,56 \pm 0,03$	$1,12 \pm 0,06$	$0,90 \pm 0,05$
90°	$1,49 \pm 0,07$	$0,91 \pm 0,05$	$0,58 \pm 0,03$	$1,15 \pm 0,06$	$0,93 \pm 0,05$
120°	$1,49 \pm 0,07$	$0,90 \pm 0,05$	$0,55 \pm 0,03$	$1,13 \pm 0,06$	$0,91 \pm 0,05$
150°	$1,48 \pm 0,07$	$0,92 \pm 0,05$	$0,57 \pm 0,03$	$1,10 \pm 0,06$	$0,90 \pm 0,05$

Таблица 2

Изотопные эффекты для выходов фрагментов из ядер  $^{58}\text{Ni}$  и  $^{64}\text{Ni}$  в реакциях с релятивистскими протонами и дейтронами

фрагмент	$\sigma_f(^{58}\text{Ni}) / \sigma_f(^{64}\text{Ni})$		
	$E_d = 6,7$ ГэВ	$E_p = 0,66$ ГэВ	$E_p = 7,5$ ГэВ
$^1\text{H}$	$1,49 \pm 0,07$	$2,00 \pm 0,10$	$1,60 \pm 0,10$
$^2\text{H}$	$0,90 \pm 0,05$	$0,95 \pm 0,04$	$1,10 \pm 0,03$
$^3\text{H}$	$0,57 \pm 0,03$	$0,54 \pm 0,03$	$0,82 \pm 0,02$
$^3\text{He}$	$1,12 \pm 0,06$	$1,27 \pm 0,06$	$1,30 \pm 0,05$
$^4\text{He}$	$0,91 \pm 0,05$	$1,03 \pm 0,03$	$1,13 \pm 0,07$



видно, независимость изотопных отношений от массы налетающей частицы не наблюдается. Если отношения выходов  $^2,^3\text{H}$ ,  $^3,^4\text{He}$  в реакциях расщепления изотопов Ni под действием дейтронов с энергией 6,7 ГэВ и протонов с энергией 0,66 ГэВ расходятся не более чем на 10%, несмотря на то, что кинетические энергии частиц-снарядов отличаются почти на порядок, то в реакциях под действием протонов с энергией 7,5 ГэВ аналогичные отношения оказываются на 15-20% больше, чем соответствующие им дейтронные значения. Для выходов  $^1\text{H}$  изотопный эффект заметно уменьшается с ростом энергии налетающей частицы независимо от ее массового числа.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерены энергетические, угловые и изотопные распределения для ядер  $^1,^2,^3\text{H}$  и  $^3,^4\text{He}$ , образующихся при бомбардировке изотопов  $^{58}\text{Ni}$  и  $^{64}\text{Ni}$  дейтронами с энергией 6,7 ГэВ. Полученные результаты представляют большой интерес в связи с возможностью сравнить их с аналогичными распределениями в реакциях под действием протонов. Такое сравнение, а также расчеты, выполненные по каскадно-испарительной модели, помогут выявить степень влияния свойств бомбардирующей частицы на механизм реакций расщепления при высоких энергиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Zebel'man A.M. et al. Phys.Rev., 1975, vol.11C, No 4, p. 1280-1286.
2. Богатин В.И. и др. ЯФ, 1982, т. 36, вып.1/7/, с. 33-43.
3. Богатин В.И., и др. Препринт РИ-133, Л., 1980.
4. Яковлев Ю.П. ЭЧАЯ, 1983, т. 14, вып.6, с. 1285-1335.
5. Краснов Л.В. и др. Вестник ЛГУ, сер.физ.-хим., 1978, №10, с. 61-68.
6. Кондратьев В.П. и др. В сб.: "Прикладная ядерная спектроскопия", 1981, вып.10, с. 14-22.
7. Vanaigs J. et al. NIM, 1971, 95, ;3, p. 307-311.
8. Geaga J.V. et al. Nucl.Phys., 1982, A386, No 3, p. 589-598.
9. Богатин В.И. и др. ЯФ, 1973, т. 17, вып.1, с. 9-12.
10. Краснов Л.В. и др. Тезисы докладов 34 Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Алма-Ата, 1984. "Наука", Л., 1984, с. 324.
11. Bogatin V.I. et al. Nucl.Phys., 1976, A206, No 2, p.446-460.

Рукопись поступила в издательский отдел  
6 декабря 1984 года.

Кондратьев В.П. и др.

1-84-778

Изучение энергетических спектров частиц с  $Z = 1, 2$ , возникающих при взаимодействии дейтронов с ядрами  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Ni}$

Приведены экспериментальные энергетические, угловые и изотопные распределения ядер водорода и гелия, образующихся при взаимодействии дейтронов с энергией 6,7 ГэВ с изотопами  $^{58}\text{Ni}$  и  $^{64}\text{Ni}$ . Данные получены с помощью многоканального  $\Delta E-E$  спектрометра для энергетического диапазона  $3 \pm 50$  МэВ. Полученные энергетические спектры близки к распределению Максвелла, угловые распределения изотропны, изотопные отношения не зависят от угла вылета фрагментов, но зависят от массы налетающей частицы.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Kondratyev V.P. et al.

1-84-778

Investigation of Energy Spectra of  $Z = 1$  and 2 Particles from Deuteron Reactions on Nuclei  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Ni}$

The experimental energetic, angular and isotopic distributions for hydrogen and helium nuclei produced in 6.7 GeV deuteron interactions with  $^{58}\text{Ni}$  and  $^{64}\text{Ni}$  isotopes are presented. The data are obtained by using multichannel  $\Delta E-E$  semiconductor spectrometer in the 3-50 MeV energy range. Energetic spectra are very close to Maxwell distribution, angular distribution are isotropic, isotopic ratios do not depend on emission angle of fragments but depend on a projectile mass.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984