

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

4239/83

15/8-83
P16-83-341

В.И.Цовбун, А.П.Череватенко

УГЛОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛЮЕНСА
И ДОЗЫ НЕЙТРОНОВ, ВЫЛЕТАЮЩИХ
ИЗ ТОЛСТОЙ ГРАФИТОВОЙ МИШЕНИ,
БОМБАРДИРУЕМОЙ ИОНАМИ ^{48}Ti
С ЭНЕРГИЕЙ 4,2 МэВ/НУКЛОН

1983

Информация о радиационной обстановке вблизи толстых* мишеней, бомбардируемых тяжелыми ионами с энергиями до нескольких десятков МэВ/нуклон, в настоящее время весьма ограничена. Для относительно легких ионов ($A_i \leq 40$) имеется возможность оценить эквивалентную дозу и поток вторичных нейтронов с достоверностью в пределах фактора 2-3. Опубликована компиляция^{/1/} данных об эквивалентной дозе нейтронов, летящих от мишени под углом 90° относительно направления движения пучка ионов ($A_i \leq 20$) с энергиями до 20 МэВ/нуклон, падающего на мишени со средним атомным номером. В работе^{/2/} детально исследованы угловые распределения эквивалентной дозы, получен энергетический спектр под углом 0° и измерено ослабление бетонной защитой нейтронов, образованных при бомбардировке медной мишени ионами углерода с энергией 43,2 МэВ. Имеются данные^{/3-5/} об интегральном выходе нейтронов из мишеней. Знание интегрального выхода нейтронов дает возможность оценить эквивалентную дозу с использованием значения удельной эквивалентной дозы^{/6/} для быстрых нейтронов в диапазоне энергий несколько МэВ в предположении изотропного распределения их вылета. Такой способ оценки дает приемлемую для целей радиационной безопасности погрешность лишь для относительно легких ионов и энергий около 10 МэВ/нуклон и меньше. Для тяжелых ионов угловая зависимость дозы становится существенной. При взаимодействии ^{238}U энергии 9 МэВ/нуклон с урановой мишенью отношение эквивалентной дозы, измеренной под углом 0° , к дозе, измеренной под углом 90° /относительно направления движения пучка/, составляет 8,1^{/7/}.

Целью настоящей работы было получение информации об эквивалентных дозах и энергетических распределениях нейтронов под различными углами при взаимодействии ионов ^{48}Ti энергии 4,2 МэВ/нуклон с углеродом. Эти данные дополняют упомянутую выше информацию в области ионов со средним атомным номером, взаимодействующих с ядрами мишени, имеющей малый атомный номер. Следует заметить, что углеродный поглотитель ионов часто используется на практике.

Результаты настоящей работы могут быть полезны для проверки способов оценки радиационной обстановки тяжелоионных ускорителей, см., например, /5,8/.

* Мишень толщиной больше пробега иона, но значительно меньше длины свободного пробега вторичных нейтронов.

УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Измерения выполнялись на выведенном пучке циклотрона У-400 ОИЯИ¹⁹. Геометрия измерений представлена на рис.1. Сцинтилляционный детектор тепловых нейтронов ${}^6\text{LiJ}(\text{Eu})$ помещался в центре полиэтиленовых шаров диаметром 7,6; 12,7; 25,4; 30,5 см на расстоянии 1 метр от мишени под углами к направлению пучка ионов 0° , 45° и 90° . При угле 135° использовался только шар диаметром 25,4 см.

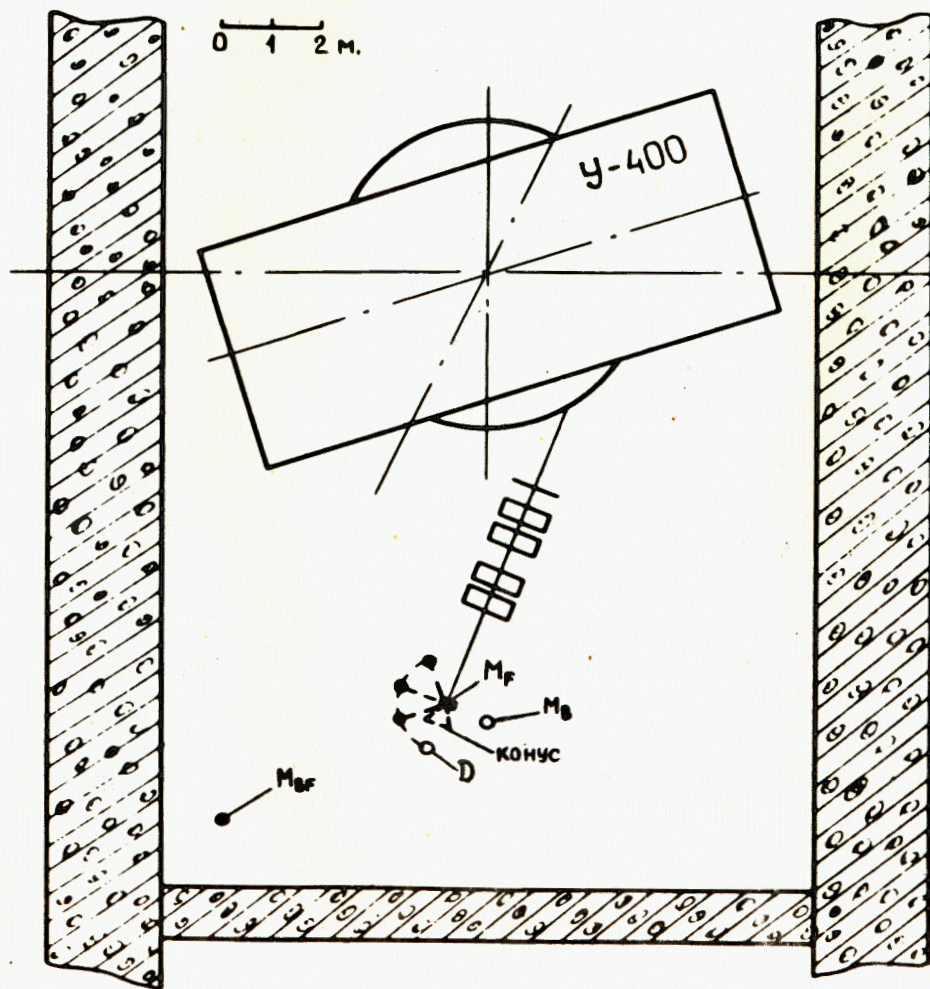


Рис.1. План зала ускорителя и расположение детекторов.

Измерения активационным углеродным детектором ${}^{10}/{}^{12}\text{C}(n, 2n){}^{11}\text{C}$ проводились на расстоянии 0,24 м от мишени до его передней поверхности. Детектор имел форму цилиндра с диаметром 14 см и толщиной 7 см.

Энергия ионов в пучке была измерена с помощью полупроводникового детектора и составляла $4,2 \pm 0,2$ МэВ/нуклон. Интенсивность пучка $1 \div 2 \cdot 10^{11}$ ион/с мониторировалась цилиндром Фарадея /ЦФ/, коллектором которого являлся графитовый диск, служивший мишенью (M_F). Считали, что вклад нейтронов от стенок ЦФ пренебрежимо мал, так как точно сфокусированный по оси ЦФ пучок имел размер /0,5 см/ на порядок меньше диаметра ЦФ.

Вспомогательные мониторы M_{BF} и M_F , рис.1, контролировали постоянство условий вывода и проводки ионов по ионопроводу к мишени. Датчиками этих мониторов также служили детекторы тепловых нейтронов в полиэтиленовых замедлителях. Отношения показаний основного и вспомогательных мониторов оставались постоянными во время измерений со среднеквадратичной погрешностью по всем измерениям менее 1%.

Для учета вклада нейтронов, образованных вследствие потерь пучка ионов в ускорителе и ионопроводке, а также нейтронов, рассеянных от пола, стен зала и основного магнита, использовался затеняющий мишень конус. Парафиновый конус с 5%-ной добавкой карбида бора имел длину 40 см.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Процедура восстановления энергетических распределений нейтронов по показаниям перечисленных детекторов описана в¹¹. Показания получали вычитанием результатов измерений с затеняющим конусом из данных измерений без него. Для углеродного детектора измерения выполнены без конуса. Сечение реакции ${}^{12}\text{C}(n, 2n){}^{11}\text{C}$ вблизи порога заимствовало из работы¹². Измеренная активность углеродного детектора, облучаемого под углом 0° , была определена с погрешностью 50%.

При определении активности углерода, облученного под углами 45° и 90° , был зарегистрирован фон установки. Для угла 45° в процедуре восстановления спектра нейтронов использовалось значение активности углеродного детектора, которое в 5 раз меньше, чем полученное при 0° . Эта активность близка к минимальной активности, которую можно зарегистрировать на установке. Значение активности углеродного детектора, располагавшегося под углом 90° , было принято в 4 раза меньшим, чем в случае его расположения под углом 45° .

В связи с указанными допущениями в определении активности углеродного детектора в измерениях под углами 45° и 90° при восстановлении энергетических распределений эти значения были проварьированы. При изменении значений активностей углеродного де-

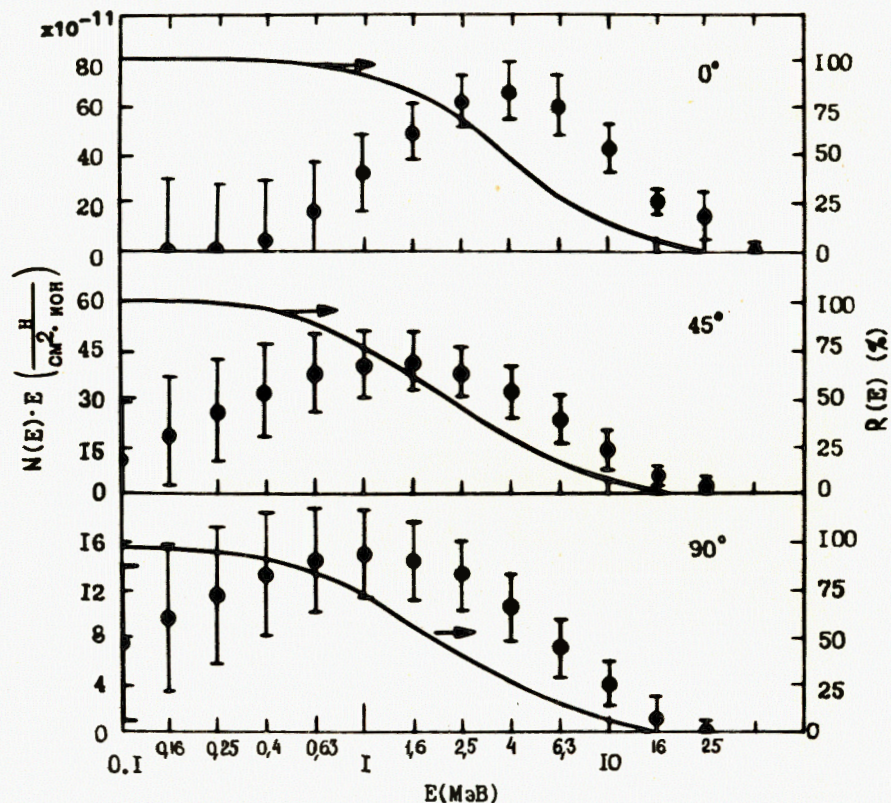
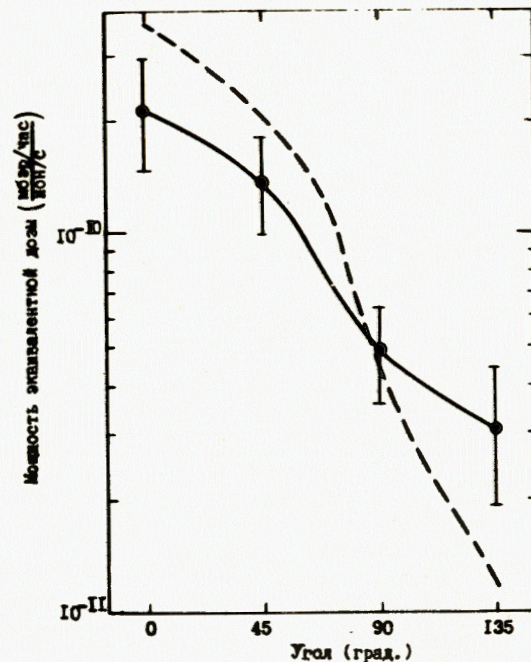


Рис.2. Энергетические распределения нейтронов, вылетающих под различными углами из углеродной мишени при бомбардировке ее ионами ^{48}Ti энергии 4,2 МэВ/нуклон.

тектора в пределах порядка величины /относительно принятых активностей/ восстановленные энергетические распределения совпадали в пределах ошибок восстановления. В области энергий, больших 20 МэВ, где углеродный детектор имеет ненулевую чувствительность, погрешность восстановления во всех случаях не позволяет говорить о разрешении спектра относительно нулевого значения /рис.2/. Величина восстановленной наиболее вероятной эквивалентной дозы колебалась в пределах $\pm 5\%$.

Использование экспериментальной информации о нейтронах с энергией более 20 МэВ делает несущественной проблему установления априорной границы спектра со стороны высоких энергий. Иногда, как в нашем случае, введение информации о верхней границе активности углеродного детектора более целесообразно, чем установление априорной максимальной границы спектра E_{max} и восстановление его по показаниям набора детекторов без углеродного детектора.

Рис.3. Угловое распределение мощности эквивалентной дозы, эксперимент и аппроксимация /пунктир/.



Энергетические распределения нейтронов приведены на рис.2, где они представлены в виде $N(E) \cdot E$; $N(E)$ - спектр флюенса нейтронов. Там же представлено нормированное интегральное распределение эквивалентной дозы с энергией выше заданной:

$$R(E) = \frac{\int_E^{E_{\text{max}}} N(E) \cdot dE}{\int_{E_{\text{min}}}^{E_{\text{max}}} N(E) \cdot dE},$$

где $N(E)$ - энергетическое распределение эквивалентной дозы нейтронов $N(E) = N(E) \cdot h(E)$; $h(E)$ - удельная эквивалентная доза^{6/}.

Угловые распределения эквивалентной дозы приведены на рис.3. Значение дозы при 135° получено с использованием градуировочного коэффициента для шара диаметром 25,4 см, определенного для спектра нейтронов, летящих в направлении 90° по отношению оси пучка ионов.

Интегральный выход нейтронов составил $(1,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$ нейтр./ион. Доля нейтронов с энергией более 20 МэВ, вылетающих под углом 0° , составила $(0,2 \pm 0,1)\%$.

Пунктирной кривой на рис.3 обозначено угловое распределение эквивалентной дозы, полученное с помощью аппроксимации двойных дифференциальных сечений образования нейтронов. Согласие данных измерений и аппроксимации соответствует ожидаемому уровню достоверности аппроксимации, предложенной в^{8/}.

Авторы благодарят М.Б.Миллера и Г.Я.Стародуба за проведение измерений энергии пучка ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ohnesorge W.F. Health Phys., 1980, 39(4), p.633-636.
2. Cariou J.M. et al. D.CEN-S/SPR/SPI/78-341, Saclay, 1978.
3. Hubbard E.L., Main R.M., Pyle R.V. Phys.Rev., 1960, 118(2), p.507.
4. Rindi A. LBL-4212, Berkeley, 1975.
5. Clapier F., Zaidins C.S. IPN-91406, Orsay, 1982.
6. Нормы радиационной безопасности НРБ-76 и основные санитарные правила ОСП-72/80. Энергоиздат, М., 1981, с.52.
7. Festag J.C. In: Proceedings of V Congress of the Intern. Radiat. Protect. Society on Radiat. Protect. Jerusalem, March, 1980, p.743-746.
8. Цовбун В.И. ОИЯИ, P16-82-629, Дубна, 1982.
9. Оганесян Ю.Ц. ОИЯИ, P9-12848, Дубна, 1979.
10. Лебедев В.Н., Салацкая М.И. В сб.: Дозиметрические и радиометрические методики. Атомиздат, М., 1966.
11. Алейников В.Е., Гердт В.П., Комочков М.М. ОИЯИ, P16-8176, Дубна, 1974.
12. Anders B. et al. Z.Phys.A., 1981, vol.301, p.353.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 мая 1983 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 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.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

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

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Цовбун В.И., Череватенко А.П. P16-83-341
Угловые и энергетические распределения флюенса и дозы нейтронов, вылетающих из толстой графитовой мишени, бомбардируемой ионами ^{48}Ti с энергией 4,2 МэВ/нуклон

По показаниям детектора тепловых нейтронов, помещенного в шаровые полиэтиленовые замедлители, и порогового углеродного детектора для трех углов восстановлены флюенсовые и дозовые энергетические распределения нейтронов, вылетающих из графитовой мишени, на которую падают ионы ^{48}Ti с энергией 4,2 МэВ/нуклон. Оценен выход нейтронов: $(1,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-4}$ нейтр./ион. Доля нейтронов, летящих в направлении 0° с энергией более 20 МэВ, составила $(0,2 \pm 0,1)\%$ от полного числа нейтронов, летящих в этом направлении. Измеренные угловые распределения эквивалентной дозы сравниваются с полученными путем аппроксимации.

Работа выполнена в Отделе радиационной безопасности и радиационных исследований ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Tsovbnun V.I., Cherevatenko A.P. P16-83-341
Angle and Energy Distributions of Fluence and Dose Equivalent of Neutrons Produced in a Thick Carbon Target Bombarded with 4.2 MeV/Nucleon ^{48}Ti Ions

Fluence and dose energy distributions of neutrons have been unfolded using readings of a thermal neutron detector placed inside polyethylene spheres and threshold carbon detector. Neutrons have been produced in a graphite target bombarded by 4.2 MeV/nucleon ^{48}Ti ions. Neutron yield has been estimated as $(1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$ neutr./ion. Neutrons with energies more than 20 MeV emitted at 0° comprise $(0.2 \pm 0.1)\%$ from total number of neutrons emitted in this direction. Equivalent dose angle distributions are compared with approximation.

The investigation has been performed at the Department of Radiation Safety and Radiation Investigations, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.