

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

В 878

**P15-88-186**

**В.А.Втюрин, А.В.Гребнев\*, В.А.Пшеничный\*,  
И.Чадраабал**

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ  $^{123}\text{Te}(n, \alpha)$   
ПРИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ 24,5 кэВ**

---

\*. Институт ядерных исследований АН УССР, Киев

**1988**

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа является продолжением исследований усредненных по резонансам сечений реакции  $(n, \alpha)$  на стабильных ядрах в области  $A \sim 100$  в килоэлектронвольтовой области энергий на фильтрованных пучках нейтронов<sup>1-3</sup>. Данная работа проводилась на железном фильтре стационарного реактора ВВР-М ИЯИ АН УССР, изготовленном из разделенного изотопа  $^{56}\text{Fe}$ , позволяющем заметно понизить примесь нейтронов других энергий в фильтрованном пучке. Средние  $\alpha$ -ширины реакции  $(n, \alpha)$  на ядре  $^{123}\text{Te}$  измерялись ранее в области энергий нейтронов  $E_n < 620$  эВ в изолированных резонансах<sup>4</sup>. Изменялись также усредненные по резонансам сечения этой реакции<sup>3,5</sup>. Средние  $\alpha$ -ширины, полученные в работах<sup>3,5</sup>, расходятся более чем в 4 раза. Причиной расхождения, помимо возможных погрешностей измерений, является малое число резонансов, по которым проводилось усреднение. Использование фильтрованного железом нейтронного пучка, имеющего полуширину около 2 кэВ, для измерения усредненных сечений в значительной степени уменьшает эту неопределенность.

## МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Пучок нейтронов со средней энергией 24,5 кэВ и шириной спектра на полувысоте 2 кэВ получен с помощью изотопного железного фильтра, разработанного в отделе физики реакторов ИЯИ АН УССР и смонтированного на горизонтальном канале реактора ВВР-М.

В отличие от железного фильтра из природной смеси изотопов<sup>6,7</sup>, использование разделенного изотопа позволяет получить большую величину потока нейтронов при лучших фоновых условиях. Фильтр помимо железа содержал алюминий, поглощающий нейтроны в районе 82 кэВ, серу, рассеивающую нейтроны с энергией свыше 90 кэВ, и  $0,284 \text{ г/см}^2$  карбида бора, предназначенного для поглощения тепловых нейтронов. Толщина фильтра варьировалась в разных сериях. Параметры фильтров и условия измерений приведены в табл.1.

Все компоненты фильтра были вставлены в специальную систему коллиматоров из смеси парафина с борной кислотой и стали, осуществляющую формирование нейтронного пучка диаметром 42 мм на выхо-

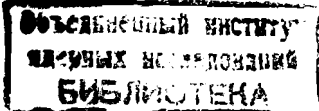


Таблица 1

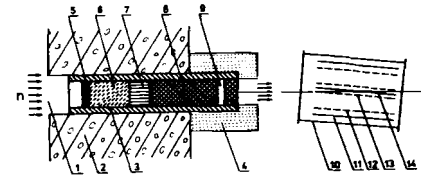
Номер серии	Состав фильтра	$\gamma$ -фон бэр/ч	Режим спектрометра	Время изм., ч	Счет $N_a$	$\sigma_n, \alpha$ , мкб, экс.
1	30 см Fe 15 см Al	1,0	с управлением P = 2,0 атм.	100	168 ± 47	4,8 ± 2,5
	13 г/см <sup>2</sup> S					
2	40 см Fe 15 см Al	0,25	без управления P = 2,0 атм.	70,5	97 ± 41	3,9 ± 2,0
	15 н/см <sup>2</sup> S					
3	40 см Fe 15 см Al	0,25	без управления P = 1,1 атм.	173	182 ± 62	2,4 ± 0,8
	13 г/см <sup>2</sup> S					

де. Доля нейтронов с энергией, отличающейся от 24 кэВ, не превышает 7%. Мощность дозы  $\gamma$ -лучей составляет 300 мкР/ч. Фон нейтронов с энергией свыше 27 кэВ измерялся с помощью дополнительного титанового фильтра толщиной 15 мм. В этом случае проходило 3% нейтронов основной группы с энергией 24,5 кэВ и 70% — с энергией свыше 27 кэВ.

Измерения потока фильтрованных нейтронов со средней энергией 24,5 кэВ проводились при помощи Ge(Li)-детектора, измерявшего спектр радиационного захвата фильтрованного пучка на образце <sup>10</sup>B толщиной  $3,39 \cdot 10^{22}$  ядер/см<sup>2</sup>. Образец находился на расстоянии 1 м от внешнего края коллиматора. Эффективность регистрации линии с энергией 480 кэВ из реакции <sup>10</sup>B (n,  $\alpha\gamma$ ) определялась по стандартному источнику <sup>152</sup>Eu по выходам двух линий 334,3 и 778,9 кэВ. Она оказалась равной  $(0,497 \pm 0,011) \cdot 10^{-3}$ . Сумма сечений реакций (n,  $\alpha$ ) и (n,  $\alpha\gamma$ ) при  $E_n = 24,5$  кэВ равна 4 б. Отношение выходов реакций на <sup>10</sup>B с вылетом  $\gamma$ -кванта к суммарному сечению при данной энергии линейно интерполировалось по<sup>8</sup>. Поток нейтронов со средней энергией 24,5 кэВ, измеренный для первого варианта фильтра, составлял  $(4,42 \pm 0,12) \cdot 10^6$  н/см<sup>2</sup> с. На рис.1 показана схема эксперимента.

Альфа-спектр измерялся при помощи ионизационной камеры с двумя сетками, одна из которых отстоит от катода на расстоянии значительно меньше пробега исследуемых частиц в рабочем газе, что позволяет

Рис.1. Схема эксперимента: 1 — горизонтальный канал реактора, 2 — биологическая защита, 3 — оправка фильтра, 4 — внешний коллиматор, 5 — борный фильтр, 6 — алюминиевый фильтр, 7 — серный фильтр, 8 — фильтр из <sup>56</sup>Fe, 9 — гнездо для титанового фильтра, 10 — корпус камеры, 11 — собирающий электрод, 12,13 — сетки, 14 — подложка мишени.



дискриминировать фон от слабоионизирующих частиц (так называемого индукционного телескопа, описанного ранее в работах<sup>12,31</sup>).

Энергетическая калибровка  $\alpha$ -спектра осуществлялась по  $\alpha$ -пикам уранового источника, естественной активности самария и из реакции (n,  $\alpha$ ) на <sup>147</sup>Sm.

Защита камеры от нейтронного фона зала реактора была выполнена из борированного парафина и кадмия так же, как и в работе<sup>31</sup>. В первой секции камеры устанавливалась мишень из обогащенного изотопа <sup>123</sup>Te, а во второй секции — мишень, служившая для калибровки сечения. В качестве калибровочной мишени использовался <sup>6</sup>Li и <sup>147</sup>Sm. Опорные сечения <sup>147</sup>Sm ( $\sigma = (48 \pm 12)$  мкб) и <sup>6</sup>Li ( $\sigma = (1 \pm 0,05)$  б) были взяты из работ<sup>9,10</sup> соответственно.

Основные данные об использованных мишенях приведены в табл.2.

Для более эффективного использования нейтронного пучка мишени устанавливались под малым углом к пучку, так же, как и в работе<sup>31</sup>.

Параметры фильтра и режим работы камеры варьировались в разных сериях. В первой серии камера работала в режиме индукционного телескопа, с отбором  $\alpha$ -частиц в интервале углов  $0 \div 60^\circ$ . Во второй и третьей серии был использован более длинный фильтр, что снизило уровень фона пучка, но привело к падению потока нейтронов более чем в два раза.

Таблица 2

Мишень	Обогащение	Толщина, мг/см <sup>2</sup>	Площадь мишени, см <sup>2</sup>
TeO <sub>2</sub> + Te	67% <sup>123</sup> Te	0,53 ± 0,026	80
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,3% <sup>147</sup> Sm	0,22 ± 0,01	80
LiF	3,65% <sup>6</sup> Li	0,1 ± 0,01	80

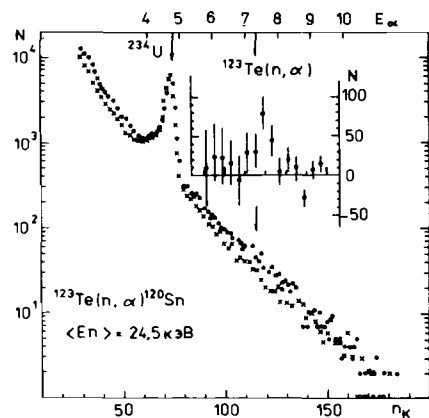


Рис.2. Экспериментальный спектр реакции  $^{123}\text{Te}(n, \alpha)^{120}\text{Sn}$  при энергии 24,5 кэВ – точки. Крестиками показан фоновый спектр, измеренный с титановым фильтром. На вставке представлен спектр после вычитания фона.

Поэтому камера работала в обычном режиме без отбора по углам и типам частиц. Использование разных режимов в отдельных сериях измерений позволяло уменьшить систематические ошибки методики. Условия измерений в разных сериях представлены в табл.1.

Измерения эффекта и фона пучка чередовались через 25 часов. Фон измерялся путем установки в пучок титанового фильтра толщиной 15 мм, который пропускает 3% нейтронов с энергией 24,5 кэВ. Фон быстрых нейтронов при этом ослабляется на 30%. Это несколько изменяло энергетическую зависимость фона, поэтому вклад фона в районе  $\alpha$ -перехода из реакции на теллуре определялся линейной интерполяцией зависимости фона от энергии.

Предварительная обработка отдельных измерений проводилась независимо с целью проверки внутренней согласованности результата. Окончательный результат серии измерений был получен путем суммирования всех измерений, принадлежащих данной серии.

Экспериментальный спектр реакции  $^{123}\text{Te}(n, \alpha)$ , полученный в первой серии измерений, приведен на рис.2. Крестиками показан фоновый спектр. На вставке показан участок спектра, полученный после вычитания фона в районе, где ожидается вклад исследуемой реакции. Экспериментальное усредненное сечение реакции определялось нормировкой на сечение  $^{127}\text{Sm}$  или  $^6\text{Li}$  при помощи известного выражения:

$$\sigma_{n, \alpha} = \frac{\epsilon_k N t_k n_k}{\epsilon N_k t n} \sigma_{n, \alpha}^k \quad (2)$$

где  $N$ ,  $t$ ,  $n$  – число зарегистрированных  $\alpha$ -частиц, время измерений и число ядер мишени соответственно, а  $\epsilon$  – эффективность регистрации. Индекс "k" относится к параметрам калибровочных измерений. Экспериментальные значения усредненного сечения реакции  $^{123}\text{Te}(n, \alpha)$ , полученные в отдельных сериях, приведены в последней колонке табл.1.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Расчет величины сечения проводился на основе экспериментального значения средней  $\alpha$ -ширины, полученной для s-резонансов в области  $E_n < 2,5$  кэВ:  $\langle \Gamma_\alpha \rangle = (10 \pm 3)$  мкэВ<sup>4,5</sup>. Вклад сечения от p-волновых резонансов рассчитывался в предположении статистической теории о равенстве средних приведенных  $\alpha$ -ширин для s- и p-волновых резонансов. Проницаемости рассчитывались с использованием потенциала Иго<sup>11</sup> в предположении черного ядра.

В табл.3 приведено средневзвешенное значение экспериментального усредненного сечения, результаты оценки сечения на основе средних  $\alpha$ -ширин, измеренных в<sup>4,5</sup>, а также полученные из них средние  $\alpha$ -ширины для захватных состояний со спином  $0^+$  и теоретические оценки средней  $\alpha$ -ширины по кластерной модели  $\alpha$ -распада<sup>12</sup>. Можно видеть, что полученное значение средней  $\alpha$ -ширины согласуется с результатами<sup>3,4</sup>, но заметно меньше результата<sup>5</sup>. Учет всех полученных к настоящему времени данных, кроме работы<sup>3</sup>, по реакции (n,  $\alpha$ ) на  $^{123}\text{Te}$  дает новое средневзвешенное значение средней  $\alpha$ -ширины  $\langle \Gamma_\alpha \rangle = (3,7 \pm 0,8)$  мкэВ. Интересно отметить, что уменьшение значения средней  $\alpha$ -ширины  $^{123}\text{Te}$  приводит к соответствующему увеличению оценки радиационной силовой функции первичных мягких  $\gamma$ -переходов этого ядра, получаемой из данных реакции (n,  $\gamma$ )<sup>13</sup>. Уточненное значение радиационной силовой функции в предположении мультипольности E1 составляет  $(65 \pm 30)$  МэВ<sup>-3</sup>. Данное значение согласуется с оценкой, полученной экстраполяцией "классического" гигантского дипольного резонанса<sup>14</sup>, параметры которого, в случае  $^{123}\text{Te}$ , были измерены в работе<sup>15</sup>. В то же время исследования мягких  $\gamma$ -переходов на  $^{143}\text{Nd}$ <sup>16</sup> показали, что M1-переходы в этой области энергий дают сравнимый вклад. Если предположить, что первичные мягкие  $\gamma$ -переходы имеют мультипольность только M1, то значение радиационной силовой функции составляет  $(27 \pm 13)$  МэВ<sup>-3</sup>.

Таблица 3

$\sigma_{\text{экс.}}$ мкб	Оценка по <sup>4,5</sup> мкб	$\Gamma_\alpha(0^+)$ , мкэВ, экс.	$\Gamma_\alpha(0^+)$ , мкэВ <sup>4/</sup>	$\Gamma_\alpha(0^+)$ , мкэВ <sup>5/</sup>	$\Gamma_\alpha(0^+)$ , мкэВ <sup>3/</sup>	$\Gamma_\alpha(0^+)$ , мкэВ <sup>1/2</sup>	$\Gamma_\alpha(0^+)$ , мкэВ <sup>1/1</sup>
$2,8 \pm 0,7$	$9 \pm 5$	$3,2 \pm 0,8$	$7,3 \pm 3,7$	$13 \pm 6$ $14 \pm 5$	$< 4$	$2,4 \pm 0,4$	$3,5 \pm 0,5$

В заключение авторы благодарят А.В.Мурзина за поддержку и внимание к работе, Ю.П.Попова за полезные обсуждения и Г.В.Замыслова за помощь в проведении измерений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Втюрин В.А. и др. В кн.: *Нейтронная физика*, т.2, М.: ЦНИИатоминформ, 1984, с.342.
2. Втюрин В.А., Жак А., Чадрабал И. В сб.: *Ядерная спектроскопия и структура ядра*, Л.: Наука, 1987, с.317.
3. Вертебный В.П. и др. *ОИЯИ, РЗ-88-67*, Дубна, 1988.
4. Во Ким Тхань и др. *ОИЯИ РЗ-11644*, Дубна, 1978.
5. Vtyurin V.A. et al. In: *Neutron Induced Reactions, VEDA, Bratislava, 1980*, с.423.
6. Вертебный В.П. В кн.: *IV Межд. школа по нейт. физ. ОИЯИ, ДЗ,4-82-704*, Дубна, 1982, с.66.
7. Анджеевски Ю. и др. *ОИЯИ РЗ-13013*, Дубна, 1980.
8. Lataye G.P., Carlson A.D., Meier M.M. – *Nucl.Sc.Ing.*, 1975, v.56, p.94.
9. Анджеевски Ю. и др. *ОИЯИ РЗ-87-568*, Дубна, 1987.
10. Garber D.I., Kinsey R.R. *Neutron Cross Section BNL-325, Third Edition, 1976*, v.2.
11. Igo G. – *Phys.Rev.Lett.*, 1958, v.1, p.72.
12. Фурман В.И. и др. *ОИЯИ Р4-8734*, Дубна, 1975.
13. Втюрин В.А., Попов Ю.П. *ОИЯИ Р2-82-309*, Дубна, 1982.
14. Axel P. – *Phys.Rev.*, 1962, 126, p.271.
15. Lepretre A. et al. – *Nucl.Phys.*, 1976, A258, p.230.
16. Анджеевски Ю. и др. *ОИЯИ РЗ-11381*, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 марта 1988 года.

#### НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

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

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1.2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1.2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.

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