

существенно не сказываются на результатах. Однако следует отметить, что выше 30 кэВ значения $\sigma_f(E)$, полученные в настоящей работе, в среднем на 2—4% систематически ниже рекомендуемых в обзоре [11]. Возможной причиной этого может быть завышение уровня фона в последнем высокоэнергетическом резонансе соответствующего фильтра без введения поправки на разрешение спектрометра по времени пролета и невозможность использования очень толстых фоновых фильтров, существенно изменяющих нейтронный поток во всей исследуемой области энергии. Но это систематическое занижение $\sigma_f(E)$ не выходит за пределы погрешностей измерений.

В заключение автор выражает благодарность за большую помощь при проведении измерений Тянь Сан Хаку, Зен Чан Бому и Ю. Колгину, а также коллективам эксплуатации ИБРА и измерительного центра ЛНФ за обеспечение надежной работы регистрирующей аппаратуры.

Поступила в Редакцию 15.III.78

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кононов В. Н. и др. «Приборы и техника эксперимента», 1969, № 6, с. 51.
2. Блохин Г. Е. и др. «Атомная энергия», 1961, т. 10, вып. 5, с. 437.
3. Ананьев В. Л. и др. «Атомная энергия», 1966, т. 20, вып. 2, с. 106.
4. Blons J. e. a. In: Proc. IAEA Symp. «Nuclear Data for Reactors — 1970». Helsinki, 15—19 June 1970, v. I, p. 469.
5. Sowerly M. e. a. Report AERE-R6316, 1970.
6. Shunk E. e. a. In: Proc. Symp. «Neutron Cross Sections Technology», 1966, v. II, p. 979.
7. James G. [4], p. 267.
8. Рябов Ю. В. и др. Препринт ОИЯИ РЗ-5113. Дубна, 1970.
9. Gwin R. e. a. Report ORNL-4707, 1971.
10. Blons J. «Nucl. Sci. and Engng», 1973, v. 51, p. 130.
11. Byer T. «Atomic Energy Rev.», 1972, v. 10, N 4, p. 529.

УДК 621.039.556

Измерение полных нейтронных сечений ^{153}Eu , ^{154}Eu и ^{155}Eu

АНУФРИЕВ В. А., БАБИЧ С. И., КОЛОСОВ А. Г., НЕФЕДОВ В. Н., ПОРУЧИКОВ В. А., САФОНОВ В. А., ЧЕТВЕРИКОВ А. П., АРТАМОНОВ В. С., ИВАНОВ Р. Н., КАЛЕВИН С. М.

Настоящая работа является продолжением исследования резонансных параметров радиоактивных ядер и продуктов деления на нейтронном спектрометре реактора СМ-2 и посвящена измерению полных нейтронных сечений ^{153}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu . Такая информация представляет интерес при расчетах влияния продуктов деления на реакторные характеристики [1]. Следует заметить, что закономерности взаимодействия нейтронов с классом нечетно-нечетных ядер еще мало изучены, поэтому измерения нейтронных сечений ^{154}Eu представляют также и научный интерес. Усредненные по реакторному спектру полные сечения ^{154}Eu , ^{155}Eu , полученные активационным методом, приводятся в работах [2, 3]. Первые результаты по измерению полных нейтронных сечений ^{154}Eu , ^{155}Eu на нейтронном спектрометре по времени пролета были получены в ИЯИ АН УССР [4, 5].

В качестве способа получения радиоактивных ^{154}Eu и ^{155}Eu было использовано облучение исходного ^{153}Eu нейтронным потоком реактора

СМ-2. Измерения нейтронных сечений образцов европия проводили на спектрометре реактора СМ-2 [6] с лучшим разрешением 50 нс/м. В качестве регистрационной системы применяли гелиевые счетчики СМ-17 и 4096-канальный временной анализатор. Измерения с высокоактивными ядрами ^{154}Eu и ^{155}Eu проводили на специальной установке для измерения облученных образцов.

Европий-153. Информация о резонансных параметрах ^{153}Eu , полученная в тех же условиях, что и при исследовании изотопов европия, необходима для расчета и идентификации нейтронных уровней образцов. В измерениях пропускания ^{153}Eu использовали образцы (табл. 1) в виде Eu_2O_3 , обогащенные по ^{153}Eu (98,9%). Резонансные параметры ^{153}Eu в области 1,728—31,2 эВ представлены в табл. 2. Для трех уровней энергией 4,77; 15,25 и 22,56 эВ наблюдается заметное различие параметра $2\sigma\Gamma_n$ от рекомендованного в работе [7]: 0,037, 0,108 и 0,64 мэВ соответственно.

Состав четырех исходных образцов европия, ядер/см² Таблица 1

Изотоп	Образец			
	1	2	3	4
^{151}Eu	$1,44 \cdot 10^{20}$	$7,93 \cdot 10^{19}$	$2,46 \cdot 10^{19}$	$1,35 \cdot 10^{19}$
^{153}Eu	$1,28 \cdot 10^{22}$	$7,04 \cdot 10^{21}$	$2,19 \cdot 10^{21}$	$1,21 \cdot 10^{21}$

 Параметры нейтронных резонансов ^{153}Eu Таблица 2

E_0 , эВ	Γ , мэВ	$2g\Gamma_n^0$, мэВ	E_0 , эВ	Γ , мэВ	$2g\Gamma_n^0$, мэВ
1,728	87±5	0,037±0,002	16,68	110±10	0,33±0,002
2,450	88±5	0,73±0,03	17,52	90±17	0,11±0,01
3,302	101±5	0,47±0,07	17,95	90±7	0,99±0,02
3,905	90±3	0,51±0,05	18,68	147±18	0,65±0,02
4,77	91±4	0,014±0,003	19,95	124±17	2,17±0,23
6,16	101±6	0,25±0,02	22,56	91±14	0,44±0,05
8,85	88±8	1,23±0,10	23,68	91±17	0,59±0,08
11,61	94±5	1,16±0,04	26,2	90±10	0,03±0,02
12,42	76±10	0,034±0,011	28,65	67±13	0,31±0,01
13,22	90±5	0,088±0,003	29,9	90±10	0,04±0,02
15,25	110±9	0,069±0,008	31,2	116±10	0,35±0,07
16,33	90±10	0,004±0,002			

Европий-154 и европий-155. Накопление ^{154}Eu ($T_{1/2} = 8,6$ года) и ^{155}Eu ($T_{1/2} = 4,7$ года) осуществлялось путем облучения исходных изотопов европия (98,9% ^{153}Eu и 1,1% ^{151}Eu) в виде Eu_2O_3 в реакторе СМ-2. Для идентификации нейтронных уровней ^{154}Eu и ^{155}Eu исследовали два образца, различающихся соотношением этих изотопов.

Первый образец (400 мг Eu_2O_3), помещенный в кадмиевый экран, облучался в вертикальном канале реактора СМ-2 при плотности потока эпикадмиевых нейтронов $\Phi_{\text{epi}} = 3,1 \cdot 10^{13}$ нейтр./см²·с. Второй образец массой 200 мг облучался в том же канале реактора при плотности потока тепловых нейтронов $9 \cdot 10^{14}$ нейтр./см²·с).

Изотопный состав облученных и необлученных образцов европия измеряли масс-спектрометрическим методом. Содержание ядер в образцах (табл. 3) определяли привязкой изотопного состава к количествам ^{153}Eu и ^{151}Eu , полученным по известным резонансным параметрам.

Измерения пропускания образцов проводили относительно «пустого» фальш-образца и фальш-образца из исходного европия. Эти измерения, а также привлечение данных по ^{153}Eu

 Состав образцов европия, ядер/см² Таблица 3

Изотоп	Образец 1 (кадмированный)		Образец 2 (открытый)	
	до облучения	после облучения	до облучения	после облучения
^{151}Eu	$1,44 \cdot 10^{20}$	$1,20 \cdot 10^{20}$	$7,93 \cdot 10^{19}$	$7 \cdot 10^{17}$
^{152}Eu	—	$1,2 \cdot 10^{19}$	—	$7 \cdot 10^{18}$
^{153}Eu	$1,28 \cdot 10^{22}$	$1,18 \cdot 10^{22}$	$7,04 \cdot 10^{21}$	$5,4 \cdot 10^{21}$
^{154}Eu	—	$6,35 \cdot 10^{20}$	—	$1 \cdot 10^{21}$
^{155}Eu	—	$2,7 \cdot 10^{19}$	—	$2,8 \cdot 10^{20}$
^{152}Sm	$1,32 \cdot 10^{18}$	$2,54 \cdot 10^{18}$	$7,25 \cdot 10^{17}$	$4,62 \cdot 10^{18}$
^{156}Eu	—	—	—	—
(^{156}Cd)	—	$1 \cdot 10^{17}$	—	$2,1 \cdot 10^{20}$

 Параметры нейтронных резонансов ^{154}Eu Таблица 4

E_0 , эВ	Γ , мэВ	$2g\Gamma_n^0$, мэВ	E_0 , эВ	Γ , мэВ	$2g\Gamma_n^0$, мэВ
0,188	160±15	0,157±0,032	9,48	113±9	0,57±0,06
0,842	126±12	0,035±0,003	10,70	108±15	0,12±0,02
1,372	108±5	0,26±0,02	10,95	115±10	0,17±0,02
3,54	115±15	0,10±0,02	12,54	175±22	0,28±0,04
4,14	130±20	0,27±0,02	13,68	117±20	0,170±0,013
5,22	140±6	0,18±0,01	15,97	100±21	0,095±0,012
5,63	127±10	0,110±0,005	21,07	135±18	0,91±0,04
6,65*	100	0,01	22,17	145±20	0,59±0,04
6,82	152±8	0,47±0,03	25,10	120±30	0,22±0,02
9,32	108±10	0,88±0,09	27,30	96±7	0,12±0,01

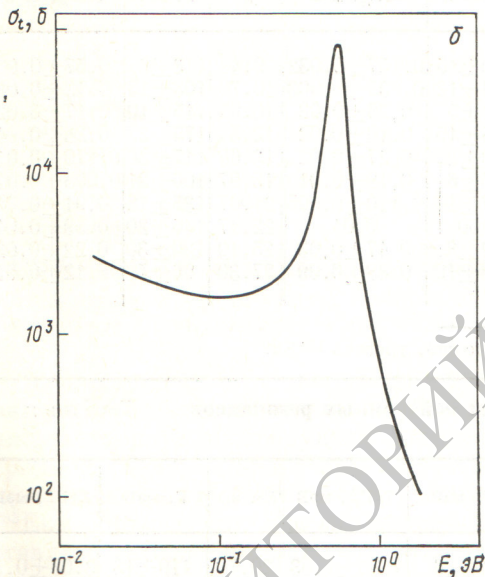
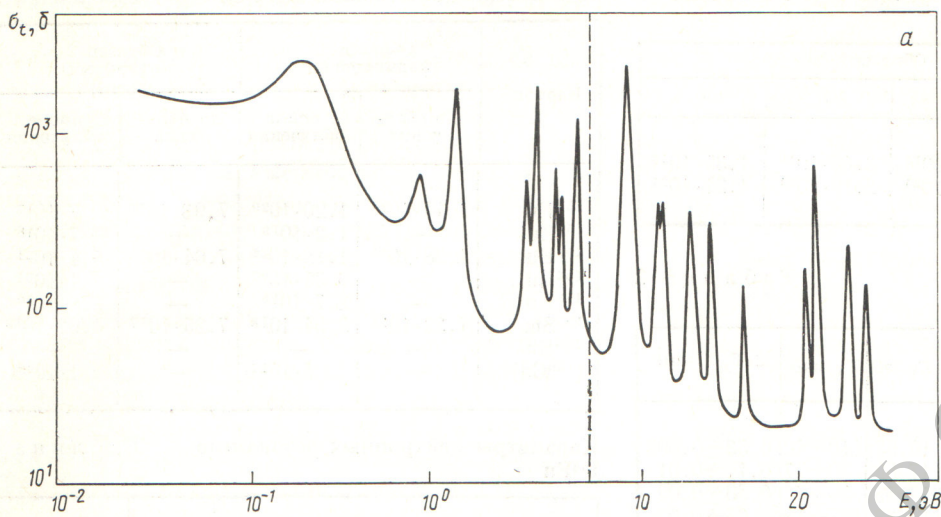
* Возможно, уровень ^{155}Eu .

 Параметры нейтронных резонансов ^{155}Eu Таблица 5

E_0 , эВ	Γ , мэВ	$2g\Gamma_n^0$, мэВ	E_0 , эВ	Γ , мэВ	$2g\Gamma_n^0$, мэВ
0,602	90±6	4,30±1,03	20,70	110±18	3,08±0,15
2,04	100	0,032	26,2	100	0,64
7,19	100	0,078	33,10	100±20	13,9±2,4
15,48	100±9	1,49±0,11			

и использование различных образцов позволили надежно идентифицировать уровни ^{154}Eu и ^{155}Eu и рассчитать их резонансные параметры.

Для ^{154}Eu в области 0,188—27,30 эВ идентифицировано 20 уровней, для ^{155}Eu в области 0,602—33,10 эВ найдено 7 уровней. Резонансные параметры, рассчитанные методом «формы», приведены в табл. 4 и 5. На рисунке представлены зависимости полных сечений от энергии нейтронов для ^{154}Eu и ^{155}Eu , рассчитанные



Полное нейтронное сечение ^{154}Eu (а) [выше 8 эВ изменен масштаб энергетической шкалы] и ^{155}Eu (б)

из полученных резонансных параметров на основании выражения

$$\sigma_t = \frac{1}{n} \ln \frac{1}{T},$$

где n — число ядер изотопа на 1 см^2 ; T — пропускание изотопа, рассчитанное по резонансным

параметрам с учетом эффекта Доплера и разрешения спектрометра.

Из экспериментальных результатов получено значение $\Gamma_\gamma = 130 \text{ мэВ}$ для ^{154}Eu , что несколько превышает среднюю радиационную ширину для стабильных ^{151}Eu и ^{153}Eu . Среднее расстояние между уровнями ^{154}Eu и ^{155}Eu соответственно составило $1,1 \pm 0,1$ и $4,8 \pm 0,4 \text{ эВ}$. Силовые функции соответственно равняются $2,5 \cdot 10^{-4}$ и $2,35 \cdot 10^{-4}$ на спиновое состояние, что согласуется с результатами расчетов по статистическим моделям в области изучаемых массовых чисел [8]. По полученным параметрам уровней были также рассчитаны резонансные интегралы захвата для ^{154}Eu и ^{155}Eu , равные 1620 ± 240 и $17600 \pm 4000 \text{ б}$ соответственно.

Поступила в Редакцию 17.IV.78

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Turgor J. Panel Meeting on Fission Nuclear Data. IAEA, Bologna, 26—30 Aug. 1973.
2. Hayden R. «Phys. Rev.», 1949, v. 75, p. 1500.
3. Mowatt R. «Canad. J. Phys.», 1970, v. 48, p. 1933.
4. Разбудей В. Ф. и др. В кн.: Труды конф. «Нейтронная физика». М., изд. ЦНИИатоминформ, 1976, ч. 3, с. 161.
5. Вертебный В. П. и др. Там же, 1977, ч. 2, с. 267.
6. Беланова Т. С. и др. Препринт НИИАР П-6 (272). Димитровград, 1976.
7. BNL-325, Third Edition, 1973.
8. Lautenbach G. RNC-191, 1973.