

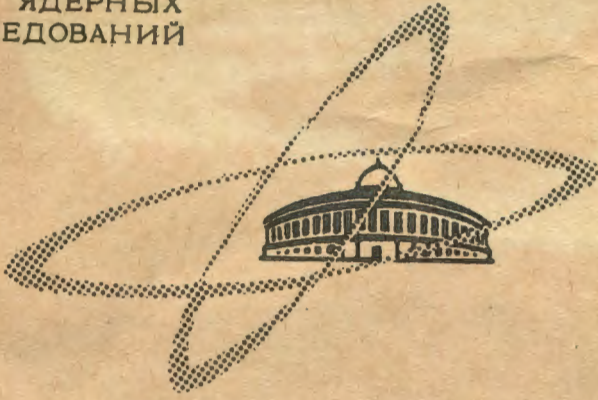
С 343Г ЯР, 1968, 7.7, в.3,
К-645
с. 493-499

31/VIII. 67

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

РЗ - 3417



Л А Б О Р А Т О Р И Я Н Е Й Т Р О Н Н О Е О П Т И К И

В.А. Конкс, Ю.П. Попов, Ю.И. Фенин

РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ НЕЙТРОНОВ
ЯДРАМИ С $A = 140 \div 200$

1967.

РЗ - 3417

В.А. Конкс, Ю.П. Попов, Ю.И. Фенин

РАДИАЦИОННЫЙ ЗАХВАТ НЕЙТРОНОВ
ЯДРАМИ С $A = 140 \div 200$

Направлено в ЯФ



5211/рз.

Введение

Настоящая работа является продолжением исследований усредненных сечений радиационного захвата нейтронов с энергией ниже 50 кэв. Измерения сечений захвата ядрами европия, гольмия, литеция и образца, обогащенного изотопом E^{153} , выполнены на спектрометре нейтронов по времени замедления в свинце методом регистрации мгновенных γ -квантов от захвата нейтронов /1,2/.

Анализ усредненных сечений захвата в этой области энергий нейтронов позволяет получить значения силовых функций для s и p -нейтронов - s_0 и s_1 , а также так называемую радиационную силовую функцию $s_\gamma = \Gamma_\gamma/v$. Далее представляет интерес сравнить полученные значения s_0 и s_1 с предсказаниями различных вариантов оптической модели ядра /3-5/.

Первые измерения усредненных сечений захвата нейтронов с энергией 10-200 кэв в области массовых чисел $A=140 \pm 200$ и их анализ были выполнены Гиббонсом и др. /6/. Однако результаты анализа вызывают некоторую неудовлетворенность, поскольку полученные здесь значения s_γ в 2-4 раза отличаются от значений, определенных из параметров низколежащих резонансов, а величины s_1 были получены с ошибкой ~ 100%.

В связи с этим была предпринята попытка измерений усредненных сечений захвата в этой области атомных весов на спектрометре по времени замедления нейтронов. Несколько меньший энергетический интервал в данном случае не ухудшал точность результатов анализа, поскольку в области энергий выше 50 кэв для $A=140 \pm 200$ становится существенным вклад нейтронов с орбитальным моментом $l=2$, а необходимость учета этого вклада приводит к дополнительной неопределенности в анализе.

Результаты измерений

Измерения сечения захвата нейтронов проводились с образцами различной толщины и носили относительный характер. Нормировались сечения по известным параметрам низколежащих резонансов и по другим элементам ^{12/}. Калибровочные коэффициенты для отдельных серий измерений представлены в таблице I. Детекторами γ - квантов от захвата служили толсто-стенный газоразрядный пропорциональный счетчик и сцинтилляционный счетчик ^{12/}, результаты измерений с разными детекторами совпадают, за исключением E_{γ} (см. ниже).

На рисунках I-3 представлены результаты измерения энергетической зависимости сечения радиационного захвата нейтронов для естественной смеси и изотопов европия, литеция и гольмия.

Европий. Измерения проведены с тремя образцами естественной смеси изотопов европия с эффективными толщинами $\mu = 1,64 \cdot 10^{20}$; $7,0 \cdot 10^{20}$ и $2,3 \cdot 10^{21}$ ат/см² и образцом, обогащенным изотопом E_{γ}^{153} (1,6% E_{γ}^{151} 98,4% E_{γ}^{153}).

Для изотопа E_{γ}^{153} измерения были выполнены с пропорциональным счетчиком. Сечение захвата для изотопа E_{γ}^{151} вычислено из значений сечений, измеренных с образцом с $\mu = 7,0 \cdot 10^{20}$ ат/см² естественного европия и образцом, обогащенным E_{γ}^{153} х).

В области килоэлектронвольт (рис.1) наши данные для естественного европия идут на 20% выше результатов Гиббонса и др. ^{16/} при 30 кэв и на 20% ниже, чем у Блока и др. ^{17/}. Другие данные по сечениям захвата нейтронов изотопами европия в настоящее время отсутствуют.

Гольмий. В измерениях использованы образцы двух толщин окиси гольмия ($\mu = 4,8 \cdot 10^{20}$ и $1,4 \cdot 10^{21}$ ат/см²).

Нормировочный коэффициент для гольмия по группе резонансов в интервале $7,5 \pm 27$ эв на 10-20% ниже остальных для всех серий измерений. Причиной этого может быть неточность параметров этих уровней, полученных из измерений полных сечений ^{18,9/} и пропуск в этих работах слабого резонанса $E_0 = 8,14 \pm 0,03$ эв ^{10/}. Учет вклада этого резонанса объясняет около половины расхождения между нормировочными коэффициентами.

В области килоэлектронвольт (рис.2) наши результаты лежат на 40% ниже данных Гиббонса и др. ^{16,7/} и Блока и др.

Литеций. Измерения проведены с двумя толщинами образцов ($\mu = 1,1 \cdot 10^{21}$; $2,5 \cdot 10^{21}$ ат/см²) естественной окиси литеция двух партий. Нормировку сечений захвата см. в табл. I.

х) В случае естественного E_{γ} измерения сечений со сцинтилляционным счетчиком дали результаты, систематически отличающиеся - на 20% от результатов измерений с пропорциональным счетчиком в области энергий десятков кэв. Чтобы избежать систематических ошибок, связанных с использованием различных детекторов, при вычислениях сечения для E_{γ}^{151} учитывались только данные измерений с пропорциональным счетчиком для естественного европия.

При нормировке по резонансам других элементов нами использовалось значение энергии связи нейтрона $B = 6,5$ Мэв (см. напр. ^{7/}). При энергиях нейтронов меньше $0,5$ эв вводилась поправка на влияние теплового движения ядер замедлителя по ^{11/}.

В области килоэлектронвольт (рис.3) наши измерения на 20% ниже данных Блока и др. ^{7/} и более чем в два раза ниже результатов Гиббонса и др. ^{16/}.

Причиной расхождения наших результатов в области энергий килоэлектронвольт для гольмия и литция с данными ^{16,7/} является, по-видимому, различие в нормировках сечений захвата. В пользу наших результатов для ^{165}Ho и ^7Li свидетельствует совпадение нормировок по параметрам собственных резонансов и по параметрам резонансов других элементов из одновременных измерений (см. табл. I).

Анализ усредненных сечений захвата

С целью определения средних параметров взаимодействия n - и p -нейтронов с ядрами ^{165}Ho , ^{153}Eu , ^{151}Eu , ^{155}Eu , ^{165}Ho , ^7Li проведен анализ усредненных сечений захвата в области энергий килоэлектронвольт по программе, описанной в работе ^{12/}. В области массовых чисел $A = 140 \pm 200$ такой анализ для p -нейтронов затруднен, так как силовая функция p -нейтронов здесь имеет минимум, а для n - и d -нейтронов - максимум. Вклад d -нейтронов в сечение захвата, вычисленный по коэффициентам прилипания ^{13/}, для исследуемых ядер не превышает 3% при $E=30$ кэв, и поэтому нами в расчетах не учитывался.

Результаты анализа усредненных сечений захвата для исследуемых ядер представлены в таблице 2.

Значения силовых функций для n -нейтронов (s_0) для ^{165}Ho , ^{151}Eu , ^{153}Eu , ^{155}Eu , ^{165}Ho совпадают в пределах ошибок с данными, вычисленными из параметров отдельных резонансов ^{8,9,13/}, но превышают их несколько по точности. Хорошая точность определения s_0 из усредненных сечений объясняется в данном случае большими сечениями и тем, что в довольно широком интервале энергий (до нескольких кэв) значения $s_0 \leq s_y$ ^{12/}.

Полученное нами значение $s_0 = (1,33 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$ для ^7Li , по-видимому, несколько занижено в связи с наличием самоэкранировки резонансов вблизи нижней границы энергетической области анализа (≈ 400 эв).

Величины радиационных силовых функций s_y для ^{153}Eu , ^{165}Ho и ^7Li , полученные из анализа усредненных сечений захвата, оказались выше значений s_y , рассчитанных по параметрам отдельных резонансов ^{8,9/}. Это может объясняться пропуском слабых резонансов в измерениях полных сечений ^{8,9/} и неточностью в определении $\bar{\Gamma}_y$. Последние исследования резонансов ^{165}Ho ^{10/} дают значения s_y и s_c , хорошо совпадающие с нашими (см. табл. 2). Полученные Гиббонсом и др. ^{16/} из анализа усредненных сечений величины s_y для

но и L_n в 2-3 раза больше наших, что объясняется различием в сечениях захвата. Тот факт, что наши значения s_y близки к s_y , рассчитанным из параметров отдельных резонансов, свидетельствует в пользу нормировки сечений, использованной нами.

На рис. 1, 2 и 3 в килоэлектронвольтовой области энергий нейтронов приведены кривые, рассчитанные по параметрам таблицы 2. Для гольмия пунктирными кривыми иллюстрируется вклад σ и ρ - нейтронов в сечение захвата. Оценка возможного вклада σ - нейтронов в сечение захвата была проведена на основании значений s_2 , рассчитанных по коэффициентам прилипания оптической модели ядра ^{/3/} и полученных экспериментально ^{/14/}. Как уже было сказано, для исследуемых ядер вклад σ - нейтронов в сечение не превосходит 3% при $E \leq 30$ кэВ, и в нашем анализе усредненных сечений им можно пренебречь.

Аналогичные оценки вклада σ - нейтронов в сечение захвата были выполнены и для лантана и празеодима, результаты измерений с которыми были опубликованы ранее ^{/15/}. Оказалось, что если использовать помимо наших измерений сечения захвата в области более высоких энергий ^{/6,16/}, то по энергетической зависимости кривой сечения, которая не может быть круче $1/E$, можно получить оценки силовых функций σ - нейтронов: для L_n $s_2 \leq 2 \cdot 10^{-4}$, для P_n $s_2 \leq 4 \cdot 10^{-4}$.

На рис. 4 представлена зависимость силовых функций для ρ - нейтронов (s_1) от атомного веса ядра мишени.

Результаты, полученные в настоящей работе, а также в работе ^{/15/}, в основном имеют тенденцию к большим значениям s_1 в области минимума силовой функции для ρ - нейтронов, чем результаты работы ^{/6/}.

Из всей совокупности значений s_1 , полученных из измерений усредненных сечений захвата на спектрометре по времени замедления нейтронов в свинце ^{/12,15/} (настоящая работа), можно заключить, что экспериментальные данные по силовым функциям для ρ - нейтронов в первом приближении описываются теоретической кривой $s_1(A)$, рассчитанной по коэффициентам прилипания ^{/3/} в области массовых чисел $A > 90$. Результаты, полученные в районе максимума силовой функции $A \approx 100$, обсуждаются в работе ^{/12/}.

В заключение авторы приносят глубокую благодарность Ф.Л.Шапиро за постоянное внимание к работе и ценные замечания, коллективу нейтронного спектрометра по времени замедления, а также В.С.Золотареву и его сотрудникам, предоставившим нам образец 153 .

Л и т е р а т у р а

1. А.А.Бергман, А.И.Исаков, И.Д.Мурин, Ф.Л.Шапиро, И.В.Штраних, М.В.Казарновский. Труды Женевской конференции 4, 166, 1965. Ф.Л.Шапиро. Труды ФИАН СССР т. 24, 3, 1964.
2. Н.Т.Кашукеев, Д.П.Попов, Ф.Л.Шапиро. Сборник "Нейтронная физика", стр. 354, Атомиздат, 1961. Д.П.Попов. Труды ФИАН СССР т. 24, III, 1964.
3. П.Э.Немировский. Современные модели атомного ядра. Атомиздат, 1960.

4. Д.П.Елагин, ЖЭТФ, 44, 371, 1963.
5. В.Вуок, F.Perey. Phys.Rev.Letters 2,444,1962.
6. J.H.Gibbons, R.L. Macklin, P.D.Miller, J.H.Neiler, Phys.Rev.122, 182, 2961.
R.L.Macklin, J.H.Gibbons, T.Inada. Phys.Rev.129, 2695, 1963.
7. R.C.Blook, G.G.Slaughter, L.W.Weston, F.C.Vauderlage "Neutron time-of-flight methods"
203, Brussel, 1961.
8. D.J.Hughes, R.B.Schwartz, Neutron Cross Section. BNL - 325, 2, Edition, 1958.
D.J.Hughes, B.A.Magurno, M.K.Brussel, Neutron Cross Section Suppl. N1, BNL-325, 2 -Edition,
1960.
9. И.В.Гордеев, Д.А.Кардашев, А.В.Малышев. "Ядерно-Физические константы", Госатомиздат,
1963.
10. Э.Н.Каржавина, А.Б.Попов, Ю.С.Язвницкий, В.Н.Ефимов, Н.Д.Шурикова, Препринт ОИЯИ,
P-2593, Дубна, 1966.
11. А.И.Исаков. Труды ФИАН СССР, т.24, 1964.
12. Д.П.Попов, Д.И.Фенин, ЖЭТФ, 43, 2000, 1962.
13. Nuclear Data Tables. Washington, 1959.
14. K.K.Seth, R.H.Tabony, E.G.Vilpach, H.W.Newson. Phys. Letters 13, 1. 70, 1964.
15. В.А.Конкс, Д.П.Попов, Ф.Л.Шапиро. ЖЭТФ, 46, 80, 1964.
16. A.E.Johnsrud, M.L.Silbert, H.H.Barshall. Phys.Rev., 116, 927, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 июня 1967 года.

Таблица I
Калибровочные коэффициенты отдельных серий измерений

Элемент, изотоп	Нормировка по		K
Eu $n = 7.10^{20}$ ат/см ²	группам уровней	до 1,65 эв	0,48 ± 0,05
		1,65 - 5,5 эв	0,57 ± 0,06
		5,5 - 15,2 эв	0,51 ± 0,05
	танталу		0,52 ± 0,05
Eu^{153} $n = 5,6.10^{20}$ ат/см ²	группам	0,9 - 6,6 эв	1,74 ± 0,17
	уровней	6,6 - 15 эв	1,76 ± 0,17
Ho^{165} $n = 4,8.10^{20}$ ат/см ²	уровню	3,92 эв	1,5 ± 0,1
	группам уровней	7,5 - 27 эв	1,2 ± 0,1
		27 - 67 эв	1,4 ± 0,1
	золоту		1,3 ± 0,1
Lu $n = 1,4.10^{21}$ ат/см ²	уровню	Lu^{176} 0,142 эв	0,58 ± 0,07
	группам	0,76 - 3,45 эв	0,56 ± 0,06
	уровней	3,45 - 8,1 эв	0,61 ± 0,06
		8,1 - 20 эв	0,60 ± 0,06
	европию		0,64 ± 0,07
гольмию		0,64 ± 0,07	
золоту		0,56 ± 0,06	

Таблица 2

Результаты анализа усредненных сечений захвата *).

Элемент, изотоп	I	Другие авторы			S_0	S_p	S_{Y_1}	S_1	\bar{S}_1
		S_0	S_p	S_{Y_1}					
63 Eu	5/2	2,3±0,3 3,3±0,5 (9,13)			3,3 3,2±0,2	107±3 113±15	0,6±0,3 0,45±0,31	0,5±0,4	
¹⁵¹ Eu	5/2	3,4±0,9 2,7±0,5 /9,13/	100±23 /9/		4,0 4,1±0,3	107±3 115±20	0,9±0,5 1,0±0,8	1,0±0,8	
¹⁵³ Eu	5/2	1,8±0,6 2,7±0,6 /9,13/	62±9 /9/		2,5 2,5±0,2	108±4 105±20	0,6±0,3 0,6±0,4	0,6±0,4	
67Ho ¹⁶⁵	7/2	2,5±0,4 /9,13/ 1,9±0,3 [10]	6,9±1,6 /9/ 16,6 [10] 31,3 /6/	0,4±0,4 /6/	2,5 1,9±0,4 2,5	11,2±0,4 14,1±3,2 11,1±0,5 10±4	1,7±0,3 1,1±0,5 1,8±0,5	1,5±0,9	
71Lu	7/2	1,7±0,2 /9,13/	10,7±3,8 /9/ 50 /6/	0,1±0,1 /6/	1,7 1,33±0,05	15 3±0,3 23,4±1,7	0,76±0,10 0,18±0,08	0,5±0,4	

*) Все параметры приводятся в данной таблице в единицах 10^{-4} .

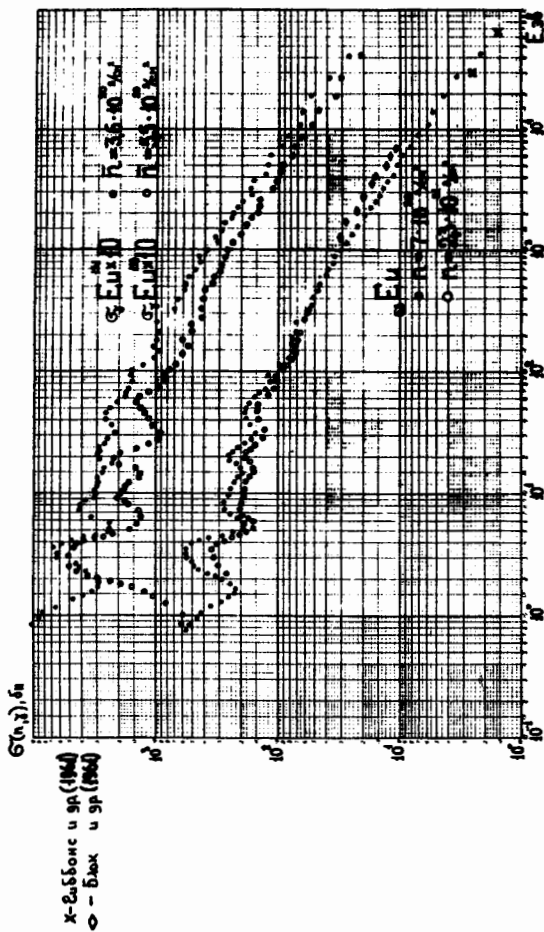


Рис. 1. Зависимость эффективного сечения захвата от энергии нейтронов для европия.

● ($\nu = 7 \cdot 10^{20}$ ат/см²) и ○ ($\nu = 2,3 \cdot 10^{21}$ ат/см²) - естественная смесь изотопов, ● - Eu^{151} и ○ Eu^{153} ($\nu = 5,5 \cdot 10^{20}$ ат/см²) - данные настоящей работы; x = результаты работы [6], ○ - [7]. Сплошные кривые (в килоэлектронвольтовой области) - расчетный ход сечения захвата, построенный по параметрам, приведенным в таблице.

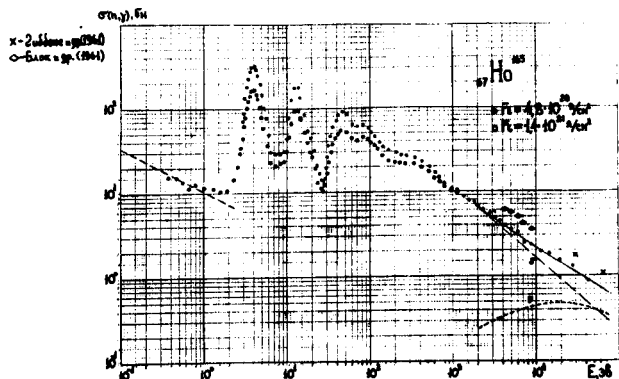


Рис.2. Зависимость эффективного сечения захвата от энергии нейтронов для гольмия.

● ($\phi = 4,8 \cdot 10^{20}$ ат/см²) и ○ ($\phi = 1,4 \cdot 10^{21}$ ат/см²) - наши данные; × - результаты /6/, ◇ - /7/. Пунктирная прямая в области малых энергий - экстраполяция по закону теплового сечения захвата /8/. Сплошная кривая (в кэВ области) - расчетный ход сечения захвата, построенный по параметрам, приведенным в таблице 2; пунктирные кривые - вклады n - и p -нейтронов в сечение захвата.

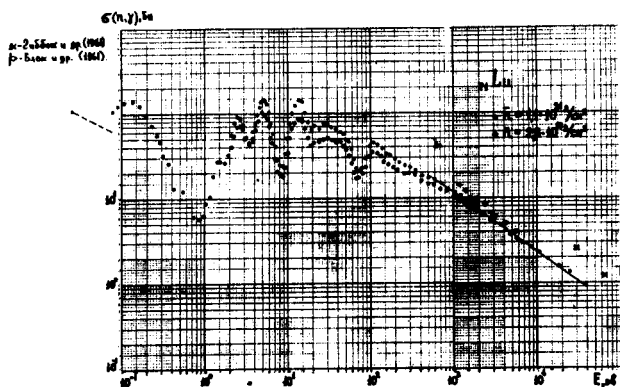


Рис.3. Зависимость эффективного сечения от энергии нейтронов для лютеция.

● ($\phi = 1,1 \cdot 10^{21}$ ат/см²) и ○ ($\phi = 2,5 \cdot 10^{21}$ ат/см²) - наши данные; × - результаты /6/, ◇ - /7/. Пунктирная прямая в области захвата - экстраполяция по закону $1/v$ теплового сечения захвата /8/. Сплошная кривая построена по параметрам, приведенным в таблице 2.

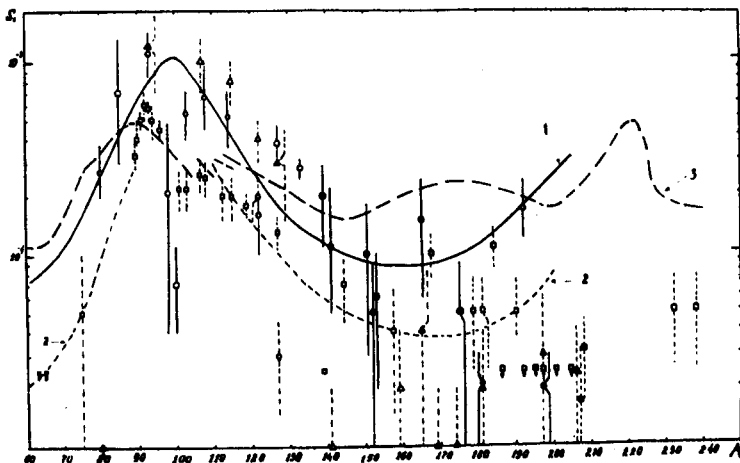


Рис. 4. Зависимость силовой функции для ν - нейтронов от атомного веса ядра - мишени.
 ● - наши данные; ○ - результаты работы ^{12/}, Δ - ^{16/}, остальные взяты из ^{9/}. Значки со стрелками показывают верхнюю границу значения s_1 . Сплошная кривая 1 подсчитана по коэффициентам прилипания, взятым в ^{3/} (потенциал с размытым краем, объемное поглощение). Пунктирная кривая 2 взята из работы ^{4/} (потенциал с размытым краем, поверхностное поглощение). Прерывистая кривая 3 взята из работы ^{5/} (потенциал с размытым краем, поверхностным поглощением и с учетом статической деформации для постоянно деформированных ядер и динамической деформации за счет коллективных возбуждений для сферических ядер).