

ИЗУЧЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ПЕРЕХОДОВ В РЕАКЦИИ $^{111}\text{Cd}(n,\gamma)^{112}\text{Cd}$ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ 10 – 150 кэВ

Ю.М. Бурмистров, Т.Е. Григорьева, Е.С. Конобеевский, Э.Д. Молодцов,
М.В. Мордовской, В.И. Попов, С.И. Поташев

УДК 539.172.4

Описана экспериментальная установка для изучения усредненных по резонансам сечений возбуждения γ -переходов реакции (n,γ) в области энергии нейтронов 10 – 200 кэВ. Приведены экспериментальные данные реакции $^{111}\text{Cd}(n,\gamma)^{112}\text{Cd}$, иллюстрирующие возможности метода для получения информации о радиационных силовых функциях.

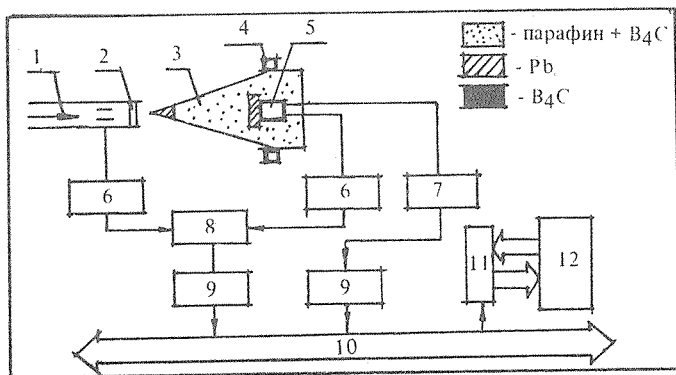
Исследования радиационных переходов при захвате тепловых и резонансных нейтронов служат важным источником информации о динамике ядерных реакций при низких энергиях и о структуре возбужденных состояний ядер. Значительный интерес, в частности, представляет изучение радиационных силовых функций переходов E1 и M1 при энергиях возбуждения вблизи энергии связи нейтрона, основная информация о которых получена к настоящему времени в исследованиях спектров γ -излучения реакции (n,γ) для отдельных изолированных резонансов. Такие исследования для средних и тяжелых ядер могут проводиться в узком интервале энергии нейтронов (100 – 1000 эВ), что ограничивает их информативность. При больших энергиях в настоящее время проводятся эксперименты по измерению и анализу парциальных сечений, усредненных по резонансам. Большое число таких исследований выполнено с использованием пучков фильтрованных нейтронов ядерных реакторов со средней энергией 2 и 24 кэВ (см., например, /1/). Получение однозначных данных о радиационных силовых функциях при такой энергии осложняется неопределенностью в величинах других резонансных параметров (нейтронных силовых функций, средних радиационных ширин и средних расстояний между резонансами), от которых зависят расчетные средние сечения радиационного захвата статистической модели. Более определенная информация о парциальных радиационных силовых функциях E1 может быть получена из данных о средних сечениях реакции (n,γ) при энергии нейтронов $\gtrsim 50$ кэВ. Эксперименты по изучению парциаль-

ных переходов реакции (n, γ) в области энергии 10 – 80 кэВ проводятся в последние годы австралийской группой при использовании импульсного источника нейтронов на основе электростатического ускорителя [2]. Однако в этих работах не ставилась задача получения точных абсолютных величин сечений для определения радиационных силовых функций.

Целью настоящей работы было создание метода измерения энергетической зависимости средних парциальных сечений реакции (n, γ) в интервале энергии от ~ 10 до 150 – 200 кэВ, применимого для получения достаточно точных данных при использовании разделенных изотопов в доступных в настоящее время количествах.

В созданной установке источником нейтронов служит нейтронный генератор на основе электростатического ускорителя ЭГ-2,5 в импульсном режиме с частотой следования протонного пучка, облучающего литиевую мишень, ~ 700 кГц. Средний ток протонов на мишени ~ 3 мкА, длительность импульсов 3-4 нс. Временное разрешение спектрометра составляло ~ 5 нс. Схема установки показана на рис. 1.

В эксперименте использовалась время-пролетная методика со спектрометром γ -квантов на основе Ge(Li)-детектора. Пролетное расстояние составляло 40 см. Ge(Li)-детектор объемом 62 см^3 с энергетическим разрешением 2,5 кэВ при энергии 1332 кэВ регистрировал γ -кванты от захвата нейтронов

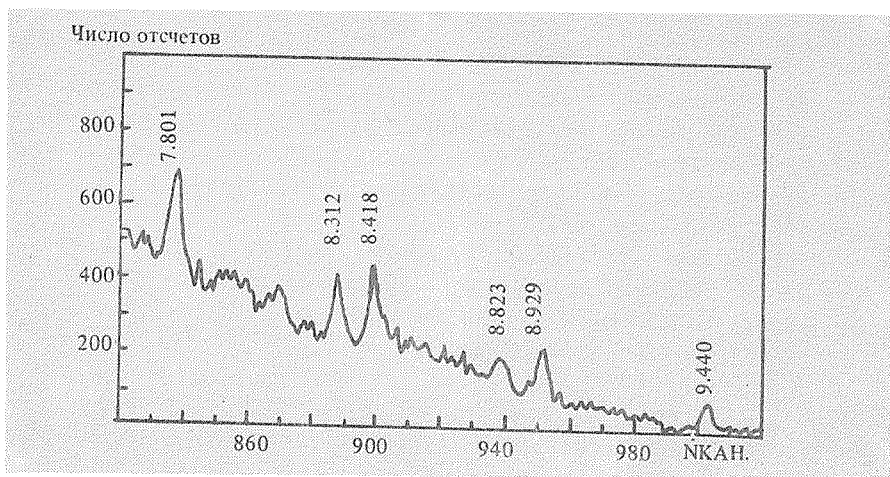


Р и с. 1. Схема спектрометра: 1 – пучок протонов; 2 – литиевая мишень; 3 – защитный конус; 4 – образец, окруженный слоем карбида бора; 5 – Ge(Li)-детектор; 6 – временной канал; 7 – амплитудный канал; 8 – время-амплитудный преобразователь; 9 – амплитудно-цифровой преобразователь; 10 – магистраль КАМАК; 11 – контролер КК-16; 12 – ЭВМ СМ-3.

в металлическом образце Cd кольцевой формы весом 496 г с содержанием изотопа ^{111}Cd 96%. Детектор защищался от прямого пучка нейтронов конусом из смеси парафина и карбида бора, а от прямого потока γ -квантов из мишени — слоем свинца. Для ослабления фона от нейтронов, рассеянных образцом, между ним и детектором помещался слой смеси парафина и карбида бора. Небольшое ослабление потока γ -квантов при этом учитывалось при обработке результатов.

Запись и обработка информации осуществлялись с использованием ЭВМ СМ-3. Время пролета нейтрона и энергия зарегистрированного γ -кванта кодировались двумя АЦП и последовательно записывались на магнитный диск. После заполнения области накопления информация преобразовывалась в восемь γ -спектров, соответствующих восьми выбранным диапазонам энергии нейтронов. Эти спектры компактно записывались в область хранения на том же диске, что позволяло практически освободить его для дальнейшего накопления информации. На рис. 2 приведена жесткая часть спектра γ -квантов, полученного с образцом ^{111}Cd для энергии нейтронов 40 ± 10 кэВ; время экспозиции ~ 20 час.

В проведенных измерениях определены сечения возбуждения для двух линий ($E_\gamma = 9,40 \text{ МэВ} + E_n$ и $8,78 + E_n$), соответствующих переходам на основное и первое возбужденное 2^+ состояния ^{112}Cd . Нормировка выхода γ -линий проведена по известному сечению реакции $^{10}\text{B}(n,\alpha\gamma)^7\text{Li}$ [3]. В нормировочных измерениях образцом служил тонкий слой карбида бора, на-



Р и с. 2. Аппаратурный спектр при $E_n = 40$ кэВ. Энергия — в МэВ.

несенный на кадмий. Энергетическая зависимость эффективности спектрометра определялась путем измерения спектров γ -квантов от захвата тепловых нейтронов в ^{35}Cl и ^{53}Cr с использованием известных данных об интенсивности γ -линий соответствующих спектров.

При определении сечений был проведен расчет поправок на поглощение γ -квантов в защите и образце, на поглощение и многократное рассеяние нейтронов в образце, на анизотропию углового распределения γ -квантов. Вычисленные поправки не превышали 10%.

Т а б л и ц а 1.

Экспериментальные и расчетные сечения реакции $^{111}\text{Cd}(n,\gamma)^{112}\text{Cd}$
(в миллибарнах)

$E_n \pm \Delta E,$ кэВ	$E_\gamma = 9,40 \text{ МэВ} + E_n$		$E_\gamma = 8,78 \text{ МэВ} + E_n$	
	эксперимент	расчет	эксперимент	расчет
20 ± 5	$6,68 \pm 0,73$	2,73	$9,51 \pm 1,01$	4,1
60 ± 10	$5,76 \pm 0,53$	1,53	$6,07 \pm 0,49$	2,69
150 ± 10	$5,04 \pm 0,59$	0,79	$5,11 \pm 0,56$	1,5

В табл. 1 приведены измеренные сечения возбуждения указанных выше двух переходов для трех значений средней энергии нейтронов. Для сравнения приведены также результаты расчета по статистической теории, в котором была использована известная экспериментальная информация о средних параметрах резонансов для ^{111}Cd [4]: $S_0 = 0,8 \cdot 10^{-4}$; $S_1 = 3 \cdot 10^{-4}$; $D(l=0) = 20$ эВ; $\Gamma_\gamma = 0,096$ эВ. При этом принималось $D_J = D_0 / (2J + 1)$. Значения радиационных силовых функций, использованные в расчете, основаны на экспериментальных данных для области $A \cong 100 - 120$ и вычислялись с помощью соотношений $K_{E1} = (\Gamma_{\gamma i} / D) E_\gamma^{-3} A^{-2/3} = 2,4 \cdot 10^{-9}$; $K_{M1} = (\Gamma_{\gamma i} / D) E_\gamma^{-3} = 1 \cdot 10^{-8}$.

Значительное различие расчетных и экспериментальных сечений можно объяснить тем, что действительные значения радиационных силовых функций для переходов $E1$ ^{111}Cd , дающих в данном случае основной вклад в наблюдаемые сечения, в несколько раз превышают оценку, полученную на

основании экспериментальных данных из реакции (n,γ) для изолированных резонансов, которые соответствуют, как правило, более низкой энергии переходов (~ 7 МэВ), чем в нашем случае. Детальный анализ полученных результатов будет приведен позднее.

Поступила в редакцию 30 апреля 1985 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chrien R. E. Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy (The Inst. of Phys. Bristol and London) 1981, p. 342.
2. Allen B. J. Neutron Capture Gamma-Ray Spectroscopy (The Inst. of Phys. Bristol and London) 1981, p. 398.
3. Liskien H. Proc. of the Intern. Conf. on the Interaction of Neutrons with Nuclei, Lowell, USA, (1976), v. 1, p. 1110.
4. Mughabghab S. E., Divadeenam M., Holden N. E. Neutron cross sections, New York, Academic Press, 1981, v. 1.