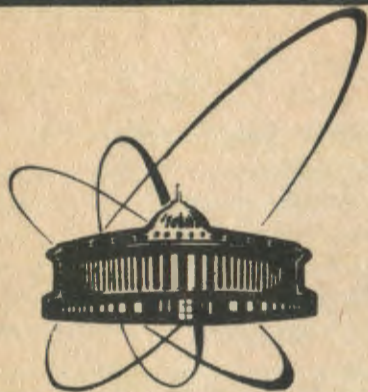


89-334



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

Т 19

РЗ-89-334

Ю.В.Таран, Э.И.Шарапов

ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРА ГАММА-ЛУЧЕЙ,
ИСПУСКАЕМЫХ ПРИ ЗАХВАТЕ
ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ ЯДРАМИ БОРА-11

1989

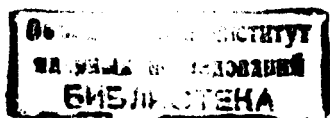
Исследование гамма-спектров при захвате тепловых нейтронов необходимо как для дальнейшего развития теории ядра, так и для прикладных целей^{1/1}. Определенные трудности возникают при измерении спектров для ядер с малыми (менее 10 мб) сечениями радиационного захвата, что характерно для легких ядер. Например, до сих пор не был измерен гамма-спектр от захвата тепловых нейтронов изотопом бора ^{11}B (содержание в естественной смеси 80%), имеющего тепловое сечение около $5 \text{ мб}^{1/2}$. Знание гамма-спектра ядра-продукта ^{12}B , в частности, нужно для расчета его поляризации в основном состоянии при захвате поляризованных нейтронов.

Нами были сделаны измерения спектров гамма-квантов при радиационном захвате тепловых нейтронов в Be, ^{11}B и C. Первый и последний элементы исследовались в^{3,4/1}, что позволило использовать их в качестве стандарта для определения абсолютного выхода гамма-квантов при распаде компаунд-состояния ^{12}B .

Эксперимент проводился на импульсном быстром реакторе ИБР-2^{5/1}, работавшем на мощности 2 МВт с частотой 5 Гц. Использовался пучок тепловых нейтронов с потоком $4 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, сформированный и очищенный от реакторных гамма-квантов и более быстрых нейтронов изогнутым зеркальным нейтроноводом^{6/1}. Энергия нейтронов определялась методом времени пролета. Образец находился на расстоянии 24 м от активной зоны реактора. Перед образцом пучок коллимировался до поперечного сечения $3 \times 5 \text{ см}$. При этом все использованные образцы с запасом перекрывали поперечное сечение пучка. Для подавления фона от рассеянных в образце нейтронов последний помещался в трубу из ^6LiF диаметром 9 см, длиной 0,5 м и толщиной стенки 0,8 см.

В качестве образцов были использованы: 1) пластина из прессованного металлического порошка бериллия, 2) порошок элементарного бора с обогащением 99,5% по изотопу ^{11}B и 3) реакторночистый графитовый порошок. Толщины образцов приведены в таблице.

Гамма-кванты от образцов регистрировались под углом 90° к пучку нейтронов с помощью сцинтилляционного детектора $\text{NaJ}(\text{Tl})$, имевшего размеры $\phi 20 \times 20 \text{ см}$ и установленного на расстоянии 30 см от образца. Спектр гамма-квантов анализировался амплитудным кодировщиком на 1024 канала, работавшем во временном окне, которое вырезало из падающего спектра нейтронов участок с энергией от 6,6 и до 119 мэВ.



Таблица

Образец	$\rho, \text{г}\cdot\text{см}^{-2}$	$\sigma_t, \text{б}$	$\sigma_\gamma, \text{мб}$	$A, 10^{-4} * \text{J}, \text{с}^{-1}$	f_i	
Be	$3,6 \pm 0,1$	$6,16 \pm 0,01$	$7,6 \pm 0,8$	$11,4 \pm 1,3$	$34,4 \pm 0,8$	1,13
10		3840 ± 9	500 ± 200			
B	$0,86 \pm 0,06$					
11		$4,84 \pm 0,04$	$5,5 \pm 3,3$	$1,72 \pm 1,03$	$1,46 \pm 0,06$	0,43
C	$0,87 \pm 0,06$	$4,744 \pm 0,005$	$3,53 \pm 0,07$	$1,67 \pm 0,12$	$2,02 \pm 0,33$	0,39

* При вычислении A введена поправка на отличие средней энергии использованного спектра нейтронов от энергии тепловой точки

При этом средняя энергия этих нейтронов была равна 17,4 мэВ. Фоновые условия не позволяли наблюдать слабые гамма-переходы с энергией меньше 1 МэВ.

Обработка полученных амплитудных спектров осуществлялась с помощью программы АСТИВ¹⁷ на ЭВМ PDP-11/70. Было получено удовлетворительное описание всех наблюдавшихся пиков гауссовской формой линии. Примером может служить рис.1, на котором изображен участок экспериментального спектра для бериллия, содержащего пики от известных гамма-переходов с энергией 2589,9 (номер канала 100), 3343,3 и 3367,4 кэВ (канал 131).

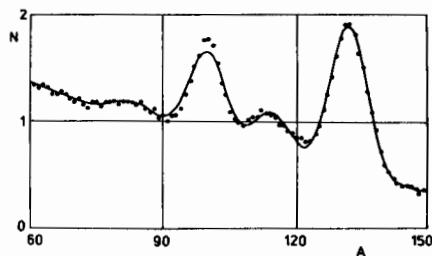


Рис.1. Участок амплитудного спектра гамма-квантов из реакции ${}^9\text{Be}(n, \gamma)$. Точки — экспериментальные данные; сплошная линия — фит методом наименьших квадратов по гауссовской модели ($\bar{\chi}^2 = 1,19$ на одну степень свободы). N — интенсивность, A — номер канала анализатора.

В бериллии и углероде нами наблюдались все известные переходы с энергией выше 1 МэВ. В ${}^{12}\text{B}$ согласно известной схеме уровней¹⁸ (рис.2) при распаде компаунд-состояния с энергией 3369,0 кэВ помимо прямого $E1$ -перехода возможны следующие каскадные гамма-переходы с энергией выше 1 МэВ: 1670 ($E1$), 1699 ($M1 + E2$), 2419 ($E1$), 2626 ($E1$) и 2720 ($M1 + E1$) кэВ. Ни один из этих переходов, кроме прямого (рис.3), нами не наблюдался.

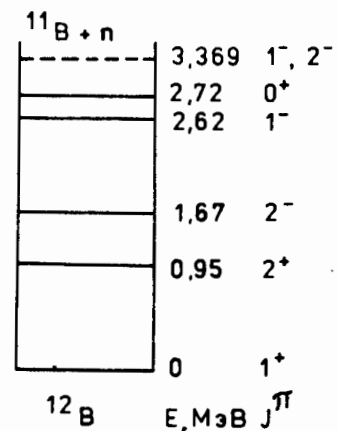


Рис.2. Схема уровней ядра ${}^{12}\text{B}$.

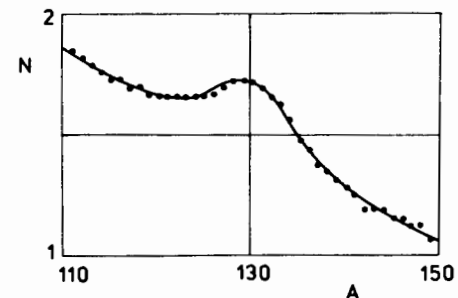


Рис.3. Участок амплитудного спектра гамма-квантов из реакции ${}^{11}\text{B}(n, \gamma)$. Точки — экспериментальные данные; сплошная линия — фит методом наименьших квадратов ($\bar{\chi}^2 = 1,51$).

Для оценки парциального вклада прямого гамма-перехода в сечение радиационного захвата ${}^{11}\text{B}$ использовались пики с энергией 3343,3 и 3367,4 кэВ для бериллия (соответствующие выходы гамма-квантов на 100 захватов равны 33,0 и 11,3, по данным¹³, и 28 и 15, по данным¹⁴) и 3684,5 кэВ для углерода (выход 31 квант на 100 захватов¹⁴). Практическое совпадение энергий всех этих пиков исключало необходимость введения поправок на эффективность детектора. В этом случае выход I_B гамма-квантов прямого перехода для ${}^{12}\text{B}$ равен

$$I_B = I_i \cdot \frac{J_B}{J_i} \cdot \frac{A_i}{A_B} \cdot \frac{(1 + f_i)}{(1 + f_B)}, \quad (1)$$

где I_i — выход гамма-квантов в ранее указанных переходах для $i = {}^{10}\text{Be}$ или ${}^{13}\text{C}$; J_i — скорость счета гамма-квантов в соответствующих переходах для $i = {}^{10}\text{Be}$, ${}^{12}\text{B}$ или ${}^{13}\text{C}$; f_i — поправка на захват после первого и последующих рассеяний нейтронов в образце;

$$A_i = \frac{n_i \cdot \sigma_{\gamma i}}{(\sum_j n_j \cdot \sigma_{tj})_i} \cdot [1 - \exp(-\sum_j n_j \cdot \sigma_{tj})_i], \quad (2)$$

n_i и $\sigma_{\gamma i}$ — плотность ядер и тепловое сечение радиационного захвата для $i = {}^9\text{Be}$, ${}^{11}\text{B}$ или ${}^{12}\text{C}$ соответственно; n_j и σ_{tj} — плотность и полное тепловое сечение для j -изотопа в i -образце соответственно. Данные по

сечениям взяты из^{12/}. Поправка f_1 была рассчитана приблизительно по методу работы^{19/} для бесконечного плоского образца без учета изменений энергии нейтронов при многократном рассеянии. Неопределенностью поправки и даже ею самой можно пренебречь при использовании углеродного стандарта ввиду близости параметров образцов. Все необходимые для расчетов данные сведены в таблице.

В итоге получен выход I_B гамма-квантов с энергией 3369 кэВ для ^{11}B — 18 ± 10 на 100 захватов при использовании бериллиевого стандарта (при этом для Be величина I_i в (1) бралась равной 0,44) и 22 ± 13 для углеродного стандарта. Ошибка в определении I_B в основном обусловлена неопределенностью в экспериментальном значении сечения σ_γ для ^{11}B . Взвешенное среднее значение I_B оказалось равным 20 ± 8 гамма-квантов на 100 захватов.

Авторы пользуются случаем поблагодарить В.В.Нитца за предоставленную возможность измерений на пучке тепловых нейтронов и В.В.Скоя за помощь в измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидов А.М. — Методы исследования излучения ядер при радиационном захвате тепловых нейтронов. М.: Госатомиздат, 1963.
2. Mughabghab S.F. et al. — Neutron Cross Sections, N.Y.: Academic Press, 1981, v.1, part 1.
3. Journey E.T. — In: Proc. Third Inter. Symp. on Neutron Capture Gamma-Rays Spectroscopy. N.Y.: Plenum Press, 1979, p.461.
4. Jarczyk L. et al. — Helv.Phys.Acta, 1961, v.34, p.483.
5. Ананьев В.Д. и др. — АЭ, 1984, т.57, с.227.
6. Корнилов В.В. и др. — ОИЯИ, P13-80-496, Дубна, 1980.
7. Zlokazov V.B. — Nucl.Instr.Meth., 1982, v.199, p.509.
8. Ajzenberg-Selove F. — Nucl.Phys.A, 1985, v.433, p.46.
9. Draper J.E. — Nucl.Sci.Eng., 1956, v.1, p.522.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 мая 1989 года.