

Наблюдение глубоко подбарьерных резонансов деления ядер ^{232}Th

А. А. Алексеев, А. А. Бергман, А. Н. Волков, А. А. Говердовский*, О. Н. Гончаренко¹⁾, А. Д. Перекрестенко, Б. Ф. Самылин*, А. М. Труфанов*, Б. И. Фурсов*

Институт ядерных исследований РАН, 117312 Москва, Россия

* Государственный научный центр Российской Федерации "Физико-энергетический институт"
249033 Обнинск, Россия

Поступила в редакцию 14 августа 2003 г.

Наблюдалось ярко выраженное подбарьерное деление в резонансной области нейтронов на ^{232}Th .

PACS: 25.85.Ec

Неубывающий интерес к процессу деления ядер тория на протяжении более полувека связан с проблемой самосогласованного описания его свойств, прежде всего резонансных эффектов вблизи вершины потенциального барьера деления. Исследования вероятности процесса с высоким энергетическим разрешением в области так называемых бета-вибрационных резонансов, возбуждаемых быстрыми нейтронами с энергией $E_n = 1.5\text{--}2.2$ МэВ, привели к гипотезе существования октупольных гипердеформированных состояний тяжелых ядер и расщепления внешнего горба барьера [1]. Однако дальнейшие наблюдения низколежащих резонансов деления [2] ($E_n = 0.8\text{--}1$ МэВ) значительно усложнили общую картину – оказалось практически невозможным согласовать параметры так называемых второй и третьей ям барьера, что, в свою очередь, поставило под обоснованные сомнения адекватность существующих теоретических взглядов на холодное деление актинидов, в целом, и возникшую ториевую аномалию, в частности. Поэтому дальнейшие экспериментальные усилия по набору дополнительной информации представляются весьма актуальными.

Одной из важных задач является изучение глубокоподбарьерного деления при захвате ядрами тория резонансных нейтронов ($E_n < 1$ кэВ). При этом необходимо учитывать крайне низкое ожидаемое сечение процесса – порядка 1 мкбн [3]. Сечения деления таких ядер, как ^{235}U , являющихся неперменной примесью любых образцов, составляют сотни барн, поэтому требования к нейтронному пучку и чистоте облучаемых мишеней довольно высоки.

Эксперимент был поставлен на сверхсветосильном 100-тонном спектрометре по времени замедления

нейтронов в свинце СВЗ-100 Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН). Рекордная плотность потока резонансных нейтронов на позиции облучения ($\sim 10^9$ н/см²·с), достигнутая в нем, энергетическая селекция нейтронов по времени замедления в свинце и исследуемые мишени из сверхчистых материалов (примесь ^{235}U в ^{232}Th не превышала 10^{-9}) обеспечили возможность наблюдения эффектов, представленных ниже.

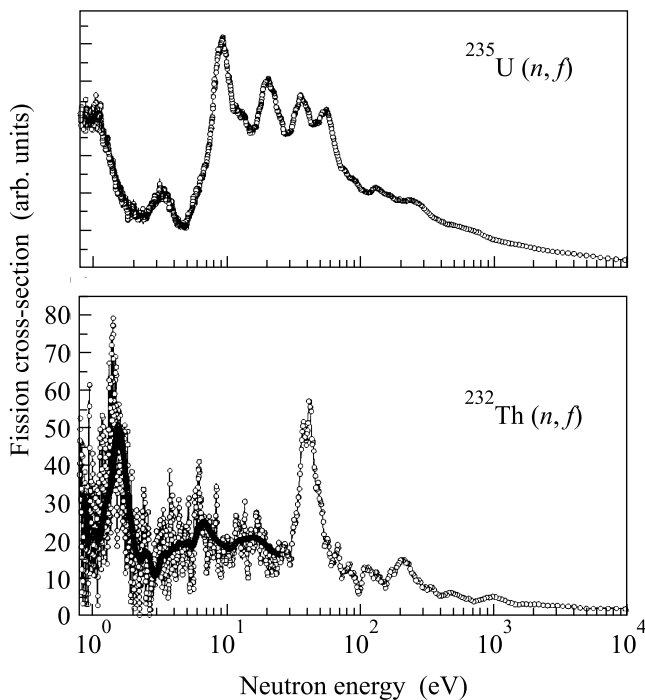
СВЗ-100 [4] содержит свинцовую мишень, при взаимодействии с которой импульсный пучок протонов от линейного ускорителя ИЯИ РАН генерирует импульсный поток нейтронов. В данных измерениях использовался пучок протонов со следующими параметрами: энергия – 209 МэВ, длительность импульсов – $1 \div 2$ мкс, частота следования импульсов – 50 Гц. В этом случае интенсивность источника нейтронов составляет $\sim 10^{13}\text{--}10^{14}$ н/с, что соответствует плотностям потока нейтронов в замедлителе $10^9\text{--}10^{10}$ н/см²·с в области надтепловых энергий. Источник помещен в массивный 100-тонный замедлитель, состоящий из сверхчистого (99.99%) свинца с измерительными каналами в нем. Замедлитель представляет собой удлиненную свинцовую призму размером $3.3 \times 1.8 \times 1.7$ м со смещенной от центра мишени, собранную из блоков свинца массой около 1 т. Измеренное разрешение установки в области энергий ниже 1 кэВ составляет 30–31%, а для энергий около 10 эВ – 28.5%, что является наилучшим результатом среди существующих СВЗ и близко к теоретическому пределу ($\sim 26\%$). Измерительные каналы находятся на значительном удалении от мишени. Это позволило устранить фон γ -квантов и быстрых нейтронов, вызываемых протонным импульсом. Канал, в котором проводились измерения, располагался на расстоянии 90 см от мишени, вблизи центра призмы, что

¹⁾e-mail: oleggonchar@hotmail.com

обеспечивало максимальную интенсивность потоков нейтронов при энергиях ниже 10 кэВ и минимальные градиенты плотности потока.

В качестве детекторов осколков деления использовались быстрые ионизационные камеры, на катоды которых были нанесены слои окислов ^{232}Th (130 мкг) и ^{235}U . Тестовые измерения дали эффективность регистрации актов деления на уровне 98%.

Результаты измерений представлены на рисунке. Яркая резонансная структура подбарьерного деления ^{232}Th наблюдается практически во всем исследован-



Зависимость сечения деления нейтронами ядер ^{232}Th и ^{235}U от энергии нейтрона. Сплошная жирная кривая на участке ниже 25 эВ соответствует результатам аппроксимации спектра с помощью метода наименьших квадратов

ном диапазоне энергий нейтронов. Особо надо отметить чрезвычайно высокую интенсивность подбарьерного деления при $E_n \sim 40$ эВ. Важно отметить, что в этой области известна группа слабых резонансов радиационного захвата нейтронов, конкурирующего с делением [5]. Можно предположить, что состояние или группа состояний, ответственных за наблюдаемый резонанс, принадлежат второй яме барьера де-

ления тория, что и приводит к значительному усилению проникаемости барьера. Косвенный, но заслуживающий внимания, аргумент в пользу высказанного предположения следующий. Ширина наблюдаемой резонансной структуры немногим превосходит 27%, что, как уже указывалось выше, близко к предельному разрешению спектрометра. По-видимому, эффективный вклад в картину вносит один реальный резонанс, природная ширина которого должна составлять около 0.2% [1]. Нетрудно оценить амплитуду такого резонанса – порядка 0.4 мбн. Для тория эта величина огромна. Из сравнения данных, полученных на образцах ^{232}Th и ^{235}U , представленных на рисунке, видно, что корреляции между спектрами отсутствуют. Из этого следует, что наблюдаемая картина в спектре ^{232}Th не обусловлена примесью ^{235}U . Прямое наблюдение низколежащих делительных резонансов ^{232}Th является важным фактом, дающим информацию о структуре данного ядра.

Важно отметить, что высокая плотность нейтронов СВЗ-100 во всей резонансной области энергий позволяет проводить весьма важные наблюдения. Так, обнаруженная нами резонансная структура подбарьерного деления на ^{232}Th указывает направление исследований на установках высокого разрешения, например, нейтронном источнике n -TOF ЦЕРН [6], где аналогичные работы запланированы на осень текущего года.

В заключение авторы выражают благодарность руководству ИЯИ РАН за проявленный интерес к работе, отделам ускорительного и экспериментального комплексов за успешно проведенный сеанс в мае 2003 г., О. В. Каравичеву и В. Н. Марину за созданную быструю электронику, которая способствовала получению данного результата.

1. S. Bornholm and J. E. Lynn, *Rev. Mod. Phys.* **52**, 725 (1980).
2. J. W. Behrens and J. C. Browne, *Phys. Lett.* **B69**, 278 (1977).
3. Y. Nakagome et al., *Phys. Rev.* **C43**, 1824 (1994).
4. A. A. Alexeev, A. A. Bergman, A. N. Volkov et al., *Proc. IX International Seminar on Interaction on Neutrons with Nuclei*, 23–26 May 2001, Dubna, Russia, p. 11.
5. *Neutron Cross Sections*, BNL-325, 1965.
6. U. Abbondanno et al., Technical Report CERN INTC 2000-018, 3 November 2000.