

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО ПОДБАРЬЕРНОГО ДЕЛЕНИЯ Np-237 НА НЕЙТРОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ ПО ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В СВИНЦЕ СВЗ-100

А. А. Бергман, О. Н. Гончаренко

В СВЗ-100 наряду с хорошо изученным сложным резонансом подбарьерного деления Np-237 при энергии нейтронов 39 эВ были зарегистрированы интенсивные аномальные резонансы деления. Один имел энергию меньше 0.3 эВ. Другой создал энергетическую зависимость сечения по закону $1/v$, которая при экстраполяции к тепловой энергии дала значение 17 бн. Третий при малых временах замедления нейтронов имел сечение не меньше 1.4 бн. Сечения деления в перечисленных аномальных резонансах превосходили имеющиеся данные в 100 и более раз.

Ключевые слова: деления ядер нейтронами, волновая структура нейтронов.

Исследование деления Np-237 на спектрометре времени задержки СВЗ KULS было проведено в работе [1] до 10 кэВ и позже на СВЗ ИАЭ в работе [2] от 3 эВ до 20 кэВ. В работе [2] было достигнуто предельное энергетическое разрешение 27% за счёт чистоты свинца 99.99%, а в областях между резонансами получены наименьшие значения сечений. Из работ, проведенных на спектрометрах по времени пролёта нейтронов (СВП), следует отметить работу [3], где было проведено исследование от 2 эВ до 200 кэВ. Никаких существенных расхождений между результатами, полученными на этих СВЗ и СВП, не было.

Подробное описание СВЗ-100 приведено в работе [4] по исследованию аномального подбарьерного деления Th-232 . В этой работе установлены факторы, влияющие на величины сечений аномального деления Th-232 .

Исследование деления Np-237 проводилось в 2003 г. на сквозном измерительном канале СВЗ-100 диаметром 65 мм, расположенном в основном теле СВЗ-100, собранном

Институт ядерных исследований РАН, 117312 Москва, Россия.

из прямоугольных отфрезерованных блоков свинца весом по тонне и 3/4 тонны. Свинец 99.996%. Канал находится в свинцовом теле спектрометра на расстоянии 100 см от оси ионопровода, по которому протоны с энергией 209 МэВ попадают в свинцовую мишень внутри тела СВЗ-100. Мишень окружена свинцовыми блоками весом по 11 кг. Исследования проводились совместно с сотрудниками Физико-энергетического института (ФЭИ). Две делительные ионизационные камеры вставлены с противоположных концов измерительного канала вплотную друг к другу. Одна камера из ФЭИ содержала электроды со слоями Th-232, Np-237, Cm-245 и Pu-239. Расстояния между электродами со слоями и собирающими электродами 1.5 мм. Газ Ar+5% CO₂ с давлением 1.3 атм. Другая камера была с электродами со слоями U-235 и Pu-240. Регистрация производилась быстрой электроникой с каналами по 1/3 мксек. Количество каналов 2000.

Зависимость числа отсчётов от слоя Pu-240 от времени замедления имела пик при временах порядка 2 мксек. По крутому переднему фронту пика этой зависимости определялось начало генерации нейтронов. Длительность импульсной генерации нейтронов в их источнике определялась по длительности времени интенсивного счёта делений от слоя Np-237 при малых временах. Этот счёт полностью укладывался в 4–4.3 канала по 1/3 мксек. Поток нейтронов определялся по делению урана, который регистрировался аналогичной электроникой. Было проведено 5 серий измерений. Повторяемость одновременных серий измерений деления Cm-245, Th-232 и Np-237 хорошая.

При энергии 39 эВ регистрировался сложный резонанс деления Np-237, определяемый второй потенциальной ямой. Площадь под ним равна 13.6 бн·эВ, что находится в хорошем согласии с данными СВП и СВЗ ИАЭ. Но в отличие от данных СВЗ ИАЭ у нас в области ниже 20 эВ чётко регистрируется вклад деления Np-237, следующий закону $1/v$ (v – скорость нейтронов). Этот вклад вызван s -аномальным резонансом деления, расположенным далеко от энергии связи нейтрона. При экстраполяции к тепловой энергии этот вклад даёт сечение 17 бн, что в 1000 раз больше данных СВП. При энергии, меньшей 2.5 эВ, виден вклад резонанса с энергией меньшей 0.3 эВ.

При среднем времени замедления нейтронов 1.0 ± 0.15 мксек, соответствующем энергии нейтронов между 50 и 100 кэВ, регистрировался интенсивный счёт от аномального резонанса подбарьерного деления Np-237 сечением не менее 1.4 бн. Максимальное значение сечения в этом диапазоне энергий, приведённое в работе [3], равно 0.025 бн.

На рис. 1 представлена полученная на СВЗ-100 зависимость сечения деления Np-237 от энергии налетающих нейтронов в диапазоне от 0.4 эВ до 100 эВ. Сечение в минимуме при энергии 80–90 эВ равно 0.34 бн, что в 10 раз больше, чем на СВЗ ИАЭ. Это

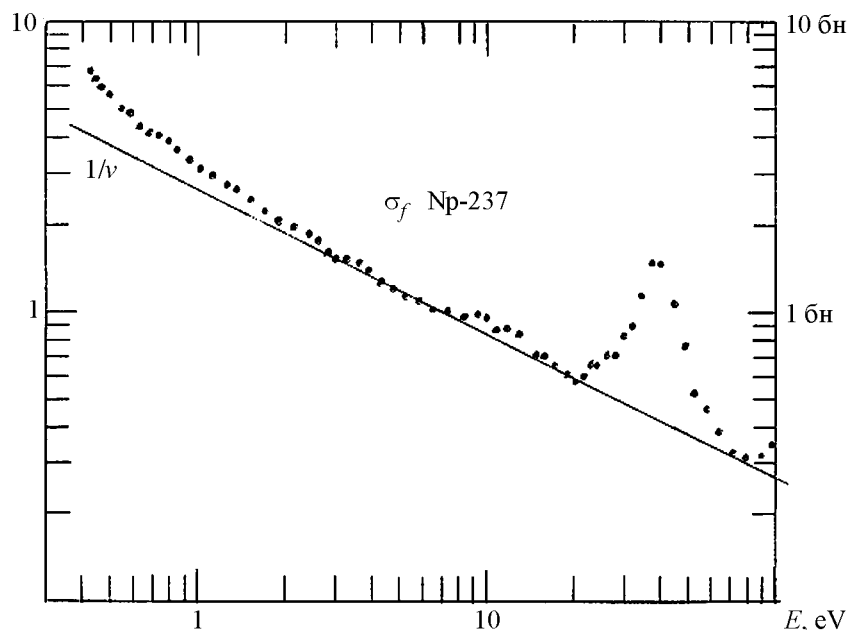


Рис. 1: Сечения деления Np-237 нейтронами, полученные на нейтронном спектрометре СВЗ-100.

происходит из-за вклада далёкого аномального s -резонанса, возбуждаемого волновой структурой нейтронов, возникающей в СВЗ-100, и отсутствующих в СВЗ ИАЭ из-за наличия водородосодержащих плёнок на поверхности свинцовых блоков.

Превышение сечения над вкладом по закону $1/v$ обозначено символом β и представлено на рис. 2 в виде $E \cdot \beta^{0.5}$ как функция энергии нейтронов E . Экстраполяция этой зависимости к энергии 0.025 эВ по линейному закону методом наименьших квадратов даёт сечение 620 бн.

Используя разные предположения об этом резонансе с энергией, меньшей 0.3 эВ, при экстраполяции к тепловой энергии можно получить большие значения сечений, вплоть до 720 бн.

Измеренные в работе аномально высокие значения сечений деления Np-237 не могут быть объяснены примесями легко делящихся ядер.

Огромную разницу между сечениями деления нептуния в СВЗ ИАЭ и СВЗ-100 нельзя объяснить примесями в свинце, т.к. чистота свинца в первом 99.99%, а во втором 99.996%. А разница в обработке поверхностей свинцовых блоков существенная. Блоки свинца в СВЗ ИАЭ весом по 11 кг для очистки от окислов обрабатывались азотной кислотой, потом промывались и высушивались. Это должно было привести к образованию

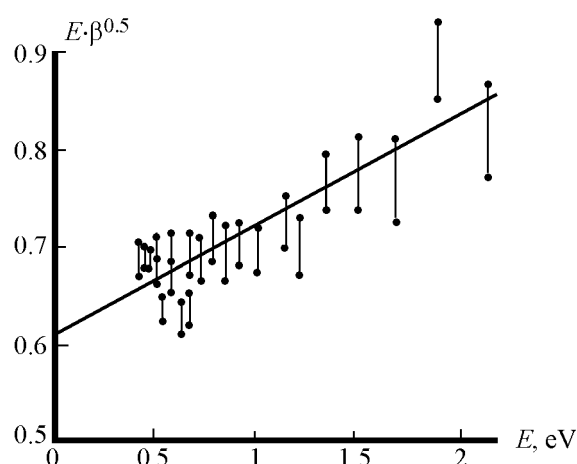


Рис. 2: Превышение сечений подбарьерного деления $Np-237-\beta$ над вкладом, следующим закону $1/v$, в виде $E \cdot \beta^{0.5}$.

тонких плёнок, содержащих водород. А тонные блоки свинца основного тела СВЗ-100 тщательно очищались от гидроокисей механически и вытирались досуха.

Содержащие водород плёнки на поверхности свинцовых блоков в СВЗ ИАЭ, согласно исследованиям работы [4], привели к гашению аномальных резонансов деления нептуния.

Было бы очень значимо провести повторные измерения сечений деления $Np-237$ на СВЗ-100 в разных измерительных каналах, например, в канале N3, наиболее удалённом от мест образования плёнок гидроокисей свинца, образовавшихся в 2004 г., и в каналах, расположенных ближе к источнику нейтронов. Полученные результаты были бы ярким подтверждением сильнейшего воздействия этих плёнок на пространственную волновую структуру нейтронов, замедляющихся в свинце. Эти результаты позволят получить информацию о размерах и изменениях волновых структур нейтронов.

Исследование граничных структур между плёнками на свинце и свинцом в силу их огромного влияния на волновую структуру нейтронов – фундаментально значимо. Это позволит начать исследования свойств атомов и их ядер, находящихся на границе структур, но не включённых в кристаллы этих структур.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность А. Д. Перекрестенко, который с помощью сотрудников ИЯИ создал уникальный нейтронный спектрометр СВЗ-100 и руководил его работой по 2006 г. А также глубоко благодарят сотрудников ФЭИ Б. И. Фурсова, Б. Ф. Самылина и А. М. Труфанова, участвовавших в измерениях,

А. А. Алексеева за участие в измерениях, Е. В. Кузнецову за помощь в обработке результатов измерений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] J. Kimura, A. Yamanaka, S. Kanazawa et al., Nucl. Techn. **30**, 23 (1993).
- [2] V. F. Gerasimov, V. V. Danichev, and V. N. Dementiev, Dubna Reports **213**, 348 (1997).
- [3] M. M. Hoffman, W. M. Sanders, and M. D. Semon, J. VAR **21**, 655 (1976).
- [4] А. А. Бергман, О. Н. Гончаренко, Краткие сообщения по физике ФИАН **39**(2), 11 (2012).

Поступила в редакцию 12 апреля 2011 г.