

ИССЛЕДОВАНИЕ АНОМАЛЬНОГО ПОДВАРЬЕРНОГО ДЕЛЕНИЯ Th-232 НЕЙТРОНАМИ В СВИНЦОВОМ ТЕЛЕ НЕЙТРОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ПО ВРЕМЕНИ ЗАМЕДЛЕНИЯ В СВИНЦЕ СВЗ-100

А. А. Бергман, О. Н. Гончаренко

Исследование аномального деления Th-232 на СВЗ-100 проводилось дважды: в 2003 г. и после образования гидроокисных плёнок на поверхности свинцовых блоков – в 2005 г. После образования этих плёнок сечение деления Th-232 в области малых времён замедления уменьшилось в 140 раз до величины 0.3 мбн, которое в 200 раз больше значений, полученных в спектрометрах пролёта нейтронов СВП до энергий 700 кэВ. Приведено объяснение неизвестных ранее особенностей свойств нейтронов в спектрометрах СВЗ, опубликованное ранее А. А. Бергманом.

Ключевые слова: деление ядер нейтронами, волновая структура нейтронов.

Подробное исследование деления Th-232 под действием нейтронов было проведено на СВЗ RINS при энергиях от 1 эВ до 20 кэВ. Полученная величина сечения при энергиях 10 эВ – 20 кэВ не превышала 10 мкбн даже до введения поправок на гамма-деление [1].

В 2003 г. при исследовании деления Th-232 на СВЗ-100 было обнаружено интенсивное резонансное деление Th-232 при энергии нейтронов 42 эВ (сечение 8.1 ± 3 мбн) и менее интенсивное при 220 и 1.5 эВ [2]. Однако величины сечений тогда не были определены. А в области совсем малых времён замедления было зарегистрировано интенсивное деление Th-232. В 2003 г. измерения проводились в свинцовом теле на расстоянии 100 см от центра места генерации нейтронов, поэтому энергия нейтронов не могла превышать 570 кэВ из-за неупругого рассеяния нейтронов на ядрах свинца 207. Это подтверждается измерениями амплитудных спектров от реакции (n, p) на азоте в СВЗ лаборатории атомного ядра (ЛАЯ) на расстоянии 60 см от источника нейтронов

с энергией 14 МэВ в свинцовом теле. Регистрировались протоны от резонанса с энергией 492 кэВ (интенсивно) и не регистрировались от резонансов с энергиями 644 кэВ и выше [3].

А измерения на спектрометре СВП показали увеличение сечения деления Th-232 при энергии 700 кэВ только до 15 мкбн [4]. Данные спектрометров СВП в работах [4–6] показали сечения при энергии 800 кэВ 200 мкбн. Эти значения сечений намного меньше, чем полученные на СВЗ-100. В 2005 г. исследования были продолжены.

Целью настоящей работы является анализ результатов этих работ для понимания природы такого расхождения.

Спектрометр СВЗ-100. Импульсным источником нейтронов служат протоны с энергией 209 МэВ, ускоренные на сильноточном линейном ускорителе и прилетающие к СВЗ-100 по вакуумному ионопроводу. Ионопровод входит в тело СВЗ-100 на 50 см и оканчивается мишенью, которой служит свинцовая отливка внутри тонкостенной оболочки из нержавеющей стали. Основное тело спектрометра выполнено из прямоугольных призм свинца чистотой 99.996%. Грани фрезеровались до размеров 448 × 432 × 432 и 448 × 432 × 324 мм. Измерительные каналы, в которые помещаются делительные камеры, изготавливались механически. Общий вес СВЗ-100 100 тонн. Свинцовое тело расположено на стальных балках на высоте 70 см от бетонного пола. Максимальная ширина 162 см, высота 179.2 см. Пять измерительных каналов параллельны оси ионопровода (рис. 1). Расстояния осей каналов от центра места генерации нейтронов и их диаметры указаны в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
172 см	146 см	142 см	100 см	57 см
65 мм	80 мм	65 мм	65 мм	65 мм

Каналы с № 1, 2, 3, 4 – сквозные, а № 5 – тупиковый.

В отличие от спектрометров СВЗ, использующих линейные ускорители электронов, в СВЗ-100 около места генерации нейтронов нет огромных потоков гамма-квантов большой энергии, которые вызывают перегрузку детекторов. Наличие измерительных каналов, удалённых от места генерации нейтронов, позволяет иметь более равномерную загрузку делительных камер и других детекторов при малых временах замедления нейтронов. Кроме того, с увеличением расстояния от места генерации нейтронов



Рис. 1: Нейтронный спектрометр по времени замедления нейтронов в свинце СВЗ-100. Цифрами обозначены измерительные каналы.

улучшается разрешение. Это позволяет при малой длительности генерации нейтронов производить измерения до энергий 100 кэВ.

Постановка эксперимента и результаты. Исследование деления Th-232 в 2005 г. производились с помощью ионизационной камеры, содержащей 4 электрода с нанесёнными слоями Th-232 и урана-235. Первый слой тория высочайшей изотопической чистоты (Th-old) весом 1061 мкгр был именно тот, который использовался в 2003 г. Камера содержала ещё два электрода со слоями тория и электрод со слоем урана-235 весом 487 мкгр. Расстояния между электродами со слоями и собирающими электродами 1.5 мм. Газ Ar+5% CO₂ с давлением 1.3 атм. Измерения производились в каналах № 4 и № 2. Использовалась длительность генерации нейтронов 2 мксек с частотой 50 Гц и длительность цикла 20000 мксек. Образование гидроокисных плёнок на части свинцовых блоков не изменило соотношение между временем замедления нейтронов и их энергией. Сравнение энергетической зависимости количества делений в разных слоях тория и урана показало, что вес урана-235, содержавшегося в слое Th-old, равен 0.0130 ± 0.0006 мкгр. В других слоях содержание урана было в 20 раз больше. Измерение делений тория с разными порогами показало: 1) наводок на слой Th-old от соседнего слоя урана нет; 2) интенсивные отсчёты от слоя Th-old при малых временах замедления не вызваны наводками от работы ускорителя.

На рис. 2 приведена зависимость числа отсчётов от делений на слое Th-old от времени замедления на каналах шириной по 1 мксек при разных уровнях дискриминации. Масштабы такие, чтобы площади под графиками были равны. Основное количество

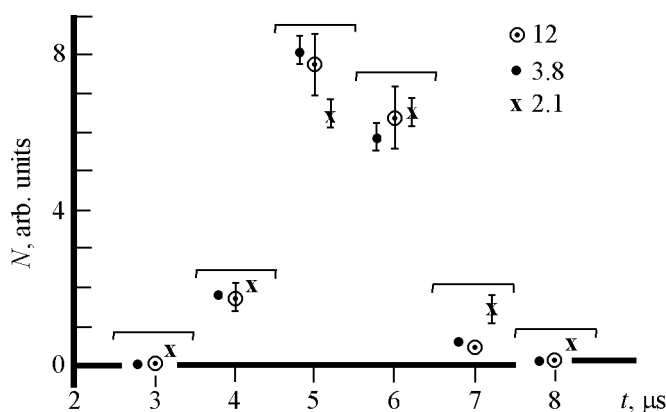


Рис. 2: Зависимость числа делений $Th-232$ на слое $Th-old$ от времени замедления на каналах по 1 мкс при разных уровнях дискриминации. Квадратными скобками показаны границы каналов.

делений равномерно распределено в двух каналах. Графики отсчётов от других слоёв тория после вычитания вклада от деления урана совпадают с графиками от слоя $Th-old$.

При измерении в канале № 4 сумма отсчётов от делений тория при малых временах замедления в расчёте на одно ядро, поделенная на сумму отсчётов от урана-235 при тех же временах в расчёте на одно ядро, равна 0.00069. А при измерении в том же канале в 2003 г. эта величина была в 140 раз больше. Эта разница вызвана появлением плёнок гидроокисей на поверхностях части свинцовых блоков в СВЗ-100 в 2004 г. Кроме того, в 2005 г. это отношение в канале № 2 в два раза больше, чем в канале № 4. Эта разница, по-видимому, вызвана тем, что образование плёнок гидроокисей происходило в основном около мишени, которая ближе к каналу № 4 на 46 см, т.к. область около мишени сложена из блоков малого размера по 11 кг и рядом два вертикальных канала.

В 2003 году на СВЗ-100 были приведены также измерения с $Pu-240$. Сравнение зависимости числа отсчётов делений $Pu-240$ и $Th-232$ от времени замедления во временных каналах по 1/3 мксек в 2003 г. показало, что передний фронт пика такой зависимости для тория смещён назад на 0.5 мксек относительно этой зависимости для плутония. Поэтому энергия резонанса тория при малых временах может ориентировочно находиться в пределах от 60 до 160 кэВ.

Резонансы деления тория-232 при энергиях 220, 42 и 1.5 эВ, которые наблюдались в 2003 г., в 2005 г. не регистрировались. Если сечения деления в этих резонансах уменьшились так же, как и сечение при малых временах, то они и не могли быть зарегистри-

рованы. Определение сечения деления тория-232 при малых временах производилось по сравнению с делением урана-235, сечения которого при энергиях от 60 до 160 кэВ плавно уменьшаются от 2 до 1.7 бн. Сечение тория при измерении в канале № 2 находится в пределах от 2 до 3 мбн в предположении одинакового сечения в течение двух мксекунд регистрации этого деления. Это на два порядка больше, чем в спектрометре СВП при энергии до 700 кэВ.

На отличия во взаимодействии нейтронов с ядрами в спектрометрах СВЗ и СВП, вызываемые волновыми образованиями нейтронов, замедляющихся в свинце, указывалось еще в работах [7–9], проведенных на СВЗ ЛАЯ, а именно:

А. При измерении радиационного захвата нейтронов на ядрах алюминия и фтора в спектрометре СВЗ ЛАЯ регистрировались резонансы при энергиях нейтронов, когда в спектрометрах СВП не было никакого резонансного взаимодействия.

Б. Происходит аномальное увеличение захвата нейтронов кобальтом в образцах окиси Co_2O_3 , содержащих 4.6 и 2.6 молекулы окиси на одну молекулу воды. Это увеличение, исследованное от 1 до 50 эВ, значительно больше, чем увеличение из-за замедления нейтронов на водороде воды, и тем больше, чем больше энергия нейтронов. Т.к. это аномальное увеличение одинаково для обоих образцов, то это означает, что происходит взаимодействие нейтронов именно со структурой окиси кобальта, которая без воды превращается в Co_3O_4 . Следовательно, нейтроны СВЗ делокализованы и имеют размеры, превосходящие длины волн де Бройля, например, при энергии 50 эВ более чем в 200 раз. Это означает, что волны де Бройля материальны и при рассеянии и перерассеянии нейтронов на ядрах свинца образуют сложные волновые структуры. Это приводит к отличию взаимодействий нейтронов СВЗ и СВП с ядрами.

В. В сухом образце окиси марганца MnO_2 из минерала пироюзолит, содержащего воду в связанном состоянии, проявился аномальный резонансный захват марганцем при энергии 30 эВ, который увеличил сечение захвата марганцем на 20% сверх расчётного увеличения на 6%. После прогрева образца все аномалии при энергиях от 1 до 150 эВ исчезли.

В образце из частичек металлического марганца, смоченных водой, проявился аномальный захват, подобный таковому в окисле марганца. Его величина не изменилась при увеличении в том же образце количества гидроокиси вдвое. Это означает, что аномальный захват происходит на границе между металлом и гидроокисью. Это аномальное увеличение, отнесенное к количеству марганца в граничном слое, достигает нескольких сотен процентов. Этот опыт говорит о силе взаимодействия нейтронных волновых

структур в СВЗ с граничными структурами, где происходит нарушение молекулярно-кристаллической структуры вещества. Это подтверждается воздействием плёнок гидроксида свинца на волновые структуры нейтронов в СВЗ, вызывающих аномальное увеличение деления ядер. Свидетельство о материальности волн де Бройля следует и из анализа классических опытов Девиссона и Джермера, и из опытов по дифракции электронов на двух щелях. А квадрат модуля волновой функции описывает не только плотность вероятности обнаружения частицы, но и реальную плотность частицы.

В заключение авторы глубоко благодарят А. Д. Перекрестенко, по инициативе которого был создан СВЗ-100 и который руководил его работой, сотрудников Физико-энергетического института Б. И. Фурсова, Б. Ф. Самылина, А. М. Труфанова, обеспечивших проведение опытов делительными камерами и участвовавших в измерениях, А. А. Берлёва за организацию исследований в 2005 г. и участие в них, А. А. Алексеева за участие в измерениях и Е. В. Кузнецову за участие в обработке результатов измерений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Y. Nakagome, R. C. Block, R. E. Slovacek, E. V. Bean, *Phys. Rev. C* **43**, 1824 (1991).
- [2] А. А. Алексеев, А. А. Бергман, А. А. Говердовский и др., *Письма в ЖЭТФ* **78**, 799 (2003).
- [3] А. А. Бергман, *Труды ФИАН* **24**, 169 (1964).
- [4] R. B. Perez, G. de Saussure, J. H. Todd, et al., *Phys. Rev. C* **28**, 1635 (1983).
- [5] J. Blons, C. Mazur, D. Paya, et al., *Nucl. Phys. A* **414**, 1 (1984).
- [6] J. W. Behrens, J. C. Brown and E. Ables, *Nucl. Sci. Eng.* **81**, 512 (1982).
- [7] А. А. Бергман, А. Е. Самсонов, А. Malikjanov, et al., *Proceedings of the Second International Symposium on Nuclear Excited States, Lodz, Poland, June 1992* (Lodz Univ, Lodz, 1993), p. 152.
- [8] А. А. Бергман, А. Е. Самсонов, *Краткие сообщения по физике ФИАН*, 1, № 3 (1998).
- [9] А. А. Бергман, *Краткие сообщения по физике ФИАН*, № 9, 9 (2002).

Поступила в редакцию 12 апреля 2011 г.