

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРА ВЫЛЕТАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ ИЗ СВЗ-100 С ПОМОЩЬЮ МНОГОПРОВОЛОЧНОЙ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЫ ДЕЛЕНИЯ

© 2011 г. А. И. Берлев, Е. В. Кузнецова, В. Л. Кузнецов, И. С. Мологин, В. И. Разин

Институт ядерных исследований РАН

Россия, 117312, Москва, просп. 60-летия Октября, 7а

E-mail: evgenia@inr.ru

Поступила в редакцию 06.04.2011 г.

Изготовлена быстродействующая многопроволочная пропорциональная камера деления, способная регистрировать $\sim 10^6$ осколков деления в секунду. В качестве рабочего газа использованы пары гептана при давлении 15 мбар. Длительность импульса от осколка деления по основанию ≤ 0.2 мкс. Измерен спектр плотности потока нейтронов на поверхности спектрометра по времени замедления нейтронов в свинце СВЗ-100 в области энергий нейтронов от 18 эВ до 11.3 кэВ.

В ИЯИ РАН создан 100-тонный спектрометр по времени замедления нейтронов в свинце СВЗ-100. Нейтронная вспышка генерируется протонным пучком с энергией 209 МэВ, импульсным током до 15 мА и длительностью импульса протонного пучка от 0.25 до 5 мкс. Обычный режим работы: длительность импульса протонного пучка 1 мкс при частоте импульсов 50 Гц. Спектр рождающихся нейтронов можно представить в виде суммы “испарительного” спектра со средней энергией 3 МэВ и плавно спадающего спектра “каскадных” нейтронов с энергиями от 14 до 200 МэВ, вклад которых составляет примерно 10% [1].

Несмотря на полувековую историю исследований по времени замедления нейтронов в свинце и наличие ряда экспериментов, которые можно выполнить только на вылетающих из СВЗ нейтронах, нам не известны работы, которые были бы выполнены на таких нейтронах.

Так в работе [2] был обнаружен Р-нечетный эффект – вращение спина поперечно поляризованных холодных нейтронов при прохождении ими образца из естественного свинца. Величина Р-нечетного эффекта в полном сечении тепловых продольно поляризованных нейтронов меньше $6 \cdot 10^{-7}$ [3]. В работах [4] рассматривалась возможность исследования Р-нечетных эффектов в полном сечении нейтронов в резонансной и тепловой областях энергий нейтронов в процессе их замедления или диффузии. Использование вылетающих из СВЗ нейтронов в принципе позволяет реализовать эти предложения для поиска р-резонансов в свинце. Более того, этот поиск можно выполнить на вылетающих из СВЗ нейтронах (Р-четная корреляция), измеряя асимметрию вперед–назад, причем как в реакции (n, f), измеряя асимметрию вперед–назад вылета легкого осколка [5], так и в

реакции (n, α), измеряя асимметрию вперед–назад вылета α -частицы. Поэтому в нашем случае особенно важно использовать многопроволочную пропорциональную камеру деления (м.п.к.д.), поскольку ее можно легко перенастраивать в режимы регистрации либо осколков деления, либо α -частиц. Учитывая результаты работы [6], было решено изготовить м.п.к.д. и испытать ее на СВЗ-100.

М.п.к.д. представляет собой кольцо из фольгированного гетинакса толщиной 3 мм с внешним и внутренним диаметрами соответственно 42 и 36 мм. На обеих сторонах кольца были натянуты вольфрамовые позолоченные проволочки $\varnothing 20$ мкм с шагом 2 мм. Кольцо помещалось во фторопластовый контейнер, на одной стороне которого нанесен слой ^{235}U .

В качестве рабочего газа использовались пары гептана при давлении 15 мбар. Токовый сигнал с анодных проволочек поступал на вход быстрого предварительного усилителя (усилителя постоянного тока – у.п.т.) с входным сопротивлением 50 Ом и коэффициентом усиления 100. Амплитуда выходного сигнала от осколков деления с выхода у.п.т. составляла до 0.5 В при -500 В высоковольтного напряжения на катодных проволочках.

Сигналы с предварительного усилителя поступали на измерительную систему [7], которая обеспечивала одновременное измерение амплитудного и временного спектров сигналов. На рис. 1 представлены спектры деления ^{235}U нейтронами, полученные с помощью как м.п.к.д. на поверхности СВЗ, так и ионизационной камеры деления, расположенной в канале СВЗ. Из рис. 1 видно, что после пика от быстрых нейтронов в области времен от 10 до 200 мкс счет осколков деления резко

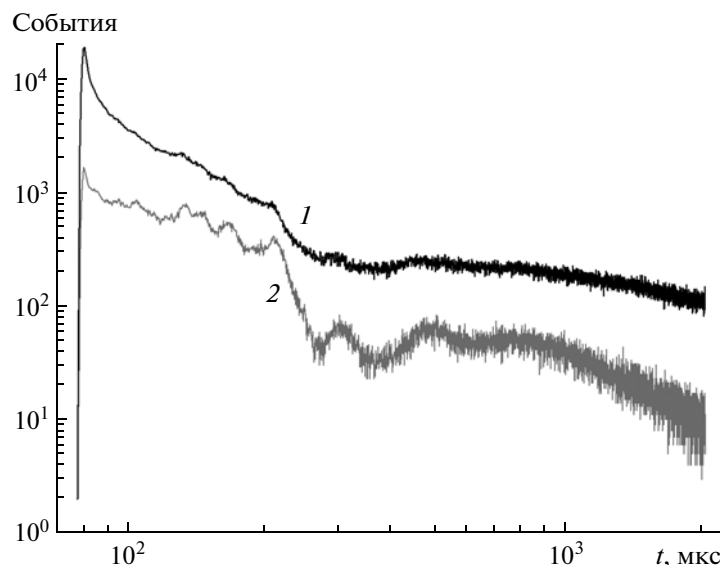


Рис. 1. Временные спектры деления ^{235}U нейтронами, полученные с помощью: 1 – м.п.к.д., находящейся на поверхности СВЗ; 2 – ионизационной камеры деления, расположенной в канале СВЗ.

уменьшается. Можно увидеть также и пики, соответствующие группам резонансов.

Энергетическое разрешение м.п.к.д. на поверхности СВЗ существенно хуже энергетического разрешения ионизационной камеры деления в канале СВЗ. Это может быть связано с альбедо нейтронов от биологической защиты СВЗ-100. Особенно существенно данное различие для времен замедления, больших 220 мкс.

Для времен замедления, больших 1000 мкс, спектр нейтронов, регистрируемых м.п.к.д. на поверхности СВЗ, спадает существенно медленнее, чем спектр нейтронов в канале СВЗ. В диапазоне времен от 1300 до 2048 мкс временной спектр деления ^{235}U нейтронами на поверхности СВЗ имеет экспоненциальный спад $[N(t) = N_0 A \exp(-t/T_{1/2})]$ с характерным временем $T_{1/2} = 1540 \pm 475$ мкс. В канале СВЗ характерное время $T_{1/2} = 725 \pm 136$ мкс.

Количество зарегистрированных актов деления ^{235}U в секунду нейтронами с энергией E_n будет равно:

$$N_{nf}(E_n) = \varepsilon_f N_{\text{я}} \int \sigma_{nf}(E'_n) F_n(E_n, E'_n, \Delta) dE'_n, \quad (1)$$

где $\varepsilon_f N_{\text{я}}$ – эффективность регистрации акта деления, умноженная на количество ядер ^{235}U в слое; $\sigma_{nf}(E'_n)$ – сечение деления; $F_n(E_n, E'_n, \Delta)$ – плотность потока нейтронов, соответствующая энергии нейтронов E_n , имеющая гауссову форму; Δ – полуширина гауссового спектра групп резонансов.

Хорошо просматриваемые группы резонансов аппроксимировались гауссовыми кривыми. В результате была получена средняя оценка полуширины гауссового спектра нейтронов $\Delta \approx 0.5E_n$ (по шести просматриваемым группам резонансов).

Было выполнено численное интегрирование известного сечения деления ^{235}U [8] с гауссовым распределением нейтронов для ряда значений E_n или для ряда времен измерений, используя полученную оценку для Δ , и получено эффективное сечение деления $\sigma_{nf}(E_n)_{\text{ef}}$. Тогда выражение (1) принимает вид

$$N_{nf}(E_n) = \varepsilon_f N_{\text{я}} \sigma_{nf}(E_n)_{\text{ef}} F_n(E_n)_{\text{ef}}, \quad (1a)$$

где $F_n(E_n)_{\text{ef}}$ – плотность потока нейтронов на интервал усреднения $\Delta E_n = 0.5E_n$, а $\sigma_{nf}(E_n)_{\text{ef}}$ – эффективное сечение деления нейтронами с энергией E_n , соответствующей максимуму гауссового распределения нейтронов.

Для определения параметра $\varepsilon_f N_{\text{я}}$ м.п.к.д. была переведена в режим регистрации α -частиц простым увеличением высокого напряжения на катодной сетке до -960 В. При этом амплитуды импульсов от α -частиц увеличились до амплитуды импульсов от осколков деления 0.5 В. Измерив счет α -частиц при пороге дискриминатора, установленном для регистрации осколков деления, найдем значение произведения $\varepsilon_f N_{\text{я}} = 2\varepsilon_{\alpha} N_{\text{я}} = 4.68 \cdot 10^{18}$. Теперь, получив все необходимые величины, входящие в (1), можно вычислить спектр плотности потока нейтронов на поверхности СВЗ. Результаты представлены на рис. 2.

Приведенные погрешности обусловлены точностью величины сечения согласно работе [8], точностью определения величины $\varepsilon_f N_{\text{я}}$ и точностью оценки полуширины гауссового усреднения сечения деления ΔE_n спектра нейтронов. Погрешность по оси абсцисс показывает полуширину Δ спектра распределения нейтронов и определяется экспериментально.

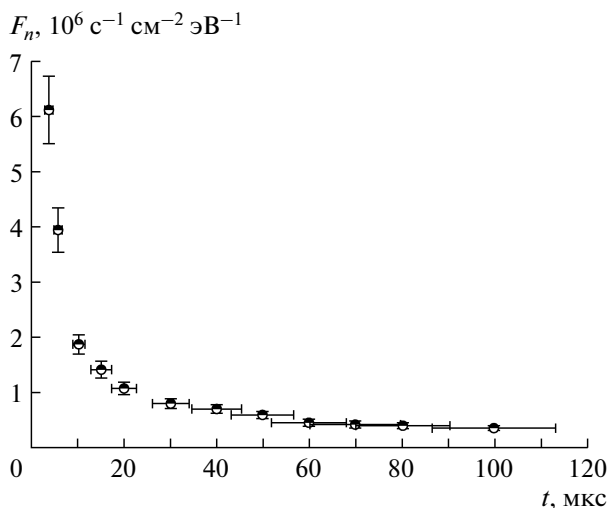


Рис. 2. Спектр плотности потока нейтронов на поверхности СВЗ-100 в зависимости от времени. Приведенные по горизонтали погрешности показывают полуширины Δ_t спектра распределения нейтронов и определяются экспериментально разрешением по энергии $\Delta E_n = 0.5E_n$, погрешности по вертикали представляют сумму погрешностей в определении точности: сечения; произведения эффективности регистрации осколков деления на количество ядер ^{235}U в слое; полуширины ΔE_n спектра нейтронов.

Получены следующие результаты:

– спектр плотности потока нейтронов на поверхности СВЗ-100 в области времен замедления от 4 до 100 мкс хорошо описывается двумя экспонентами с характерными временами 2.8 и 25 мкс;

– обнаружено, что время жизни нейтронов в бункере СВЗ-100 в ~ 2 раза превышает время жизни нейтронов в канале СВЗ-100 в области тепловых энергий нейтронов;

– с помощью м.п.к.д. измерен спектр плотности потока нейтронов на поверхности СВЗ-100 в области энергий нейтронов от 18 эВ до 11.3 кэВ.

Полученные результаты могут быть полезны для планирования экспериментов по поиску Р-четных корреляций на поверхности СВЗ-100 и для создания защиты от альbedo нейтронов от биологической защиты СВЗ-100.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Ю.В. Рябову, В.А. Алексееву (ФИАН), В.С. Павлову (ИТЭФ РАН), Б.Ф. Самылину (ФЭИ), А.А. Бергману, Н.М. Соболевскому, О.В. Каравичеву и другим сотрудникам ИЯИ РАН за полезные обсуждения и помощь в работе, а также А.В. Фещенко и всему коллективу Отдела ускорительного комплекса ИЯИ РАН, М.И. Грачеву и всему коллективу Отдела экспериментального комплекса ИЯИ РАН за обеспечение и поддержку работы. Авторы благодарны директору ИЯИ РАН В.А. Матвееву и его заместителям Э.А. Коптелову и Л.В. Кравчуку за постоянное внимание и поддержку данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бергман А.А., Гончаренко О.Н., Жуков А.П. и др. Препринт ИЯИ-1089/2002. М., 2002.
2. Heckel V., Ramsey N.F., Green K. et al. // Phys. Lett. 1982. V. B119. P. 298.
3. Кузнецов В.Л. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1988.
4. Кузнецова И.В., Кузнецов В.Л. Препринт ИАЭ-5977/2. М., 1996.
5. Копач Ю.Н., Попов А.Б., Фурман В.И. и др. // ЭЧАЯ. 2001. Т. 32. Вып. 7. С. 203.
6. Данилян Г.В., Кленке Й., Крохотин В.А. и др. // Ядерная физика. 2009. Т. 72. № 11. С. 1892.
7. Берлев А.И. Препринт ИЯИ РАН-1189. М., 2007.
8. Weston L.W., Todd J.H. // Nucl. Sci. and Engineering. 1984. V. 88. P. 567; <http://www.nndc.bnl.gov/>