

СПЕКТРОМЕТРІЯ ЗА ЧАСОМ ПРОЛЬОТУ ШВИДКИХ НЕЙТРОНІВ
СПОНТАННОГО ПОДІЛУ КАЛІФОРНІЮ

І. П. Дряпаченко, Е. М. Можжухін, О. Я. Худенко

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Обговорюються методика та результати реєстрації спектрів нейтронів спонтанного поділу ^{252}Cf для макетування повномасштабного часопролітного спектрометра швидких нейтронів без використання пучка прискорювача.

Вступ

На виведеному пучку тандема ЕПП-10К було отримано експериментальні дані як у бінарних ядерних реакціях, зокрема $^{11}\text{B}(p, \alpha)^8\text{Be}$, так і в кінематично повних вимірюваннях продуктів розщеплення дейтрона $p + d \rightarrow p + p + n$ [1]. Отримані результати засвідчили можливість проведення експериментів на пучку тандема із швидкими нейтронами в кінцевому стані досліджуваних реакцій. Особливістю цих робіт буде використання методу супутніх частинок для часової прив'язки при спектрометрії швидких нейтронів за часом прольоту. Повномасштабне макетування необхідної методики, апаратури, а також системи нагромадження й аналізу даних забезпечується в такому підході при використанні стандартного джерела нейтронів ^{252}Cf , чому й присвячена ця робота.

Експериментальна частина

Експериментальні дані отримано в кореляційних вимірюваннях, коли реєструються на збігах кілька продуктів з акту радіоактивного розпаду чи ядерної реакції. Для нейтронно-фізичних вимірювань така нетривіальна відмінна риса дає ряд переваг. По-перше, метод збігів дає змогу радикально зменшити фізичний фон, тому що при досить високих загальних завантаженнях імпульсами у сцинтиляційних детекторах нейтронів виділяються події, пов'язані із множинністю акту розпаду чи ядерної реакції. По-друге, забезпечується надійна синхронізація, часова прив'язка до моменту вильоту продуктів, "нуль часу" для спектрометрії нейтронів за методом часу прольоту. Це дає змогу проводити роботи зі швидкими нейтронами не тільки на прискорювачах (циклічних чи імпульсних), але на будь-якому їх джерелі технологічного чи природного походження. Наприклад, актинідне ядро ^{252}Cf з періодом напіврозпаду у 2,645 роки випромінює α -частинки (96,9 %) та спонтанно ділиться (3,1 %), випромінюючи при поділі до 3,5 нейтронів і біля 10 γ -квантів на один акт поділу, що використовуються для задання "нуля часу" в методиці за часом прольоту (звичайно, для цього ж можна використовувати й уламки поділу при можливості їхньої реєстрації). Що стосується нейтронів, то 1 мг ^{252}Cf випромінює $2,3 \cdot 10^9$ нейтрон/с із середньою енергією $\sim 2,1$ МеВ і максимальним виходом при $E_n = \sim 0,7$ МеВ.

Два сцинтиляційних детектори на основі фотопомножувачів ФЭУ-30 в оптичному контакті зі стільбеновими сцинтиляторами діаметром 50 і висотою 50 мм розміщали на обраній відстані (пролітна база) один від одного. Біля одного з них було стандартне джерело нейтронів ^{252}Cf ("старт"). Другий детектор ("стоп"), віддалений на обрану відстань, реєстрував часопролітний спектр швидких нейтронів з даного джерела.

У даному макетному варіанті установки не використовувалась громіздка вимірювальна методика. Сцинтиляційні детектори з високовольтними блоками живлення дільників напруги фотопомножувачів розташовували в технологічному боксі нейтронного генератора (товщина захисних стінок до 180 см). Сигнали з аноду фотопомножувачів подавалися коаксіальними кабелями (до 60 м) у вимірювальну кімнату з набором блоків електроніки в стандартах "Вишня" і САМАС. Опори 50 Ом на входах швидких формувачів (Ф103-

“Вишня”) були й узгоджувальними опорами для коаксіальних кабелів, і опорами анодного навантаження ФЭУ-30, на яких розвивався амплітудний спектр імпульсів фотопомножувача до 12 В при робочих напругах дільників. Поріг швидких формувачів часової прив’язки по обох трактах сцинтиляційних детекторів не перевищував 50 мВ. Сформовані логічні сигнали після підбору часових затримок по трактах обох детекторів подавалися на входи “старт” і “стоп” перетворювача “час-амплітуда” (ТАС-САМАС). Отриманий амплітудний спектр, що відповідає різниці часу попадання частинок з одного акту спонтанного поділу ^{252}Cf в обидва детектори, накопичувався в одномірному аналізаторі АІ(УНО)-1024 та вводився до персонального комп’ютера для наступної обробки в стандартному пакеті EXCEL.

У роботі використовувалося стандартне джерело нейтронів ^{252}Cf НК252 з активністю на момент виготовлення $04.04.89$ $1,2 \cdot 10^7$ Бк, що відповідало $1,19 \cdot 10^6$ нейтрон/с, і паспортизованою активністю $1,2 \cdot 10^6$ Бк на 21.03.96. При розміщенні його безпосередньо біля сцинтилятора завантаження апаратури імпульсами з фотопомножувача дорівнювало $2 \cdot 10^3$ с $^{-1}$. Швидкість спрацьовувань віддаленого детектора при цьому була 20 - 30 Гц. При таких первинних завантаженнях у детекторах спектр нейтронів спонтанного поділу ^{252}Cf набирался зі швидкістю одиниць відліків у кілька хвилин.

Для одержання кінцевого енергетичного спектра нейтронів, перетвореного з виміряного спектра часів прольоту нейтронами різних енергій визначеної пролітної бази, необхідно обрати відповідний часовий діапазон у перетворювачі “час-амплітуда”. Оскільки автори збирались зареєструвати всі нейтрони з енергією вище 0,5 МеВ при зміні пролітної бази від 0,5 до 2 м, то було обрано діапазон перетворення 300 нс. У таблиці наведено відповідні часи прольоту нейтронами різних енергій пролітної бази в 1 м.

E_n , МеВ	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,00	12,0
T_n , нс/м	72,6	51,48	41,8	36,26	32,46	29,66	24,48	25,73	24,27	23,04	21,95	21

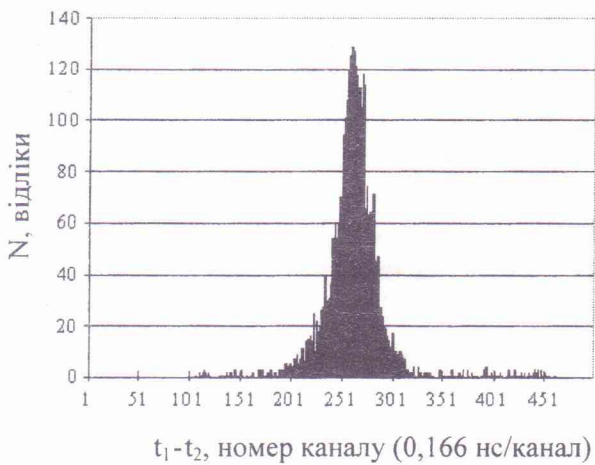


Рис. 1. Часовий спектр γ -збігів ^{60}Co .

зсувом піка істинних γ -збігів при внесенні фіксованої часової затримки сигналу в тракті одного з детекторів визначається ціна каналу часового спектра.

Результати та обговорення

На рис. 2 наведено часопролітні спектри нейтронів спонтанного поділу ^{252}Cf для двох значень пролітної відстані $L = 100$ і 150 см. Наявна однозначна ідентифікація піка γ -квантів і груп нейтронів відповідно до логіки блок-схеми (визначення “старт” і “стоп” детекторів). Необхідно пам’ятати, що час прольоту γ -квантами відстані в 1 м дорівнює 3 нс, а нейтронами з енергією 7 МеВ - 27 нс. На рис. 3 для часопролітного спектра нейтронів, отриманого на відстані 150 см, наведено відповідні значення номерів каналів часової осі з кроком по енергії

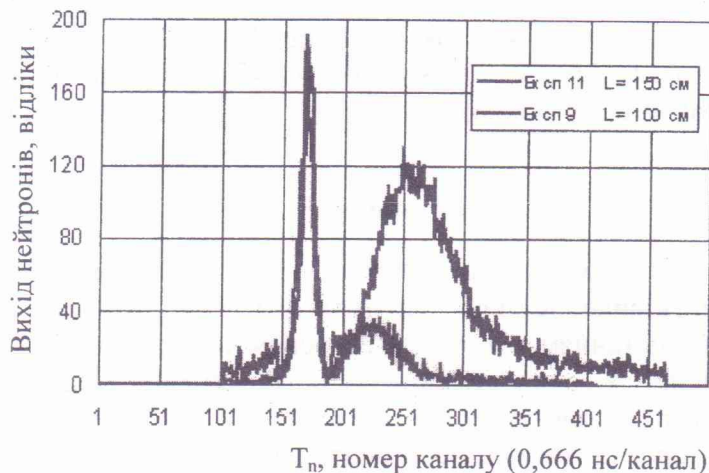


Рис. 2. Часові спектри нейтронів спонтанного поділу ^{252}Cf для різних пролітних відстаней.

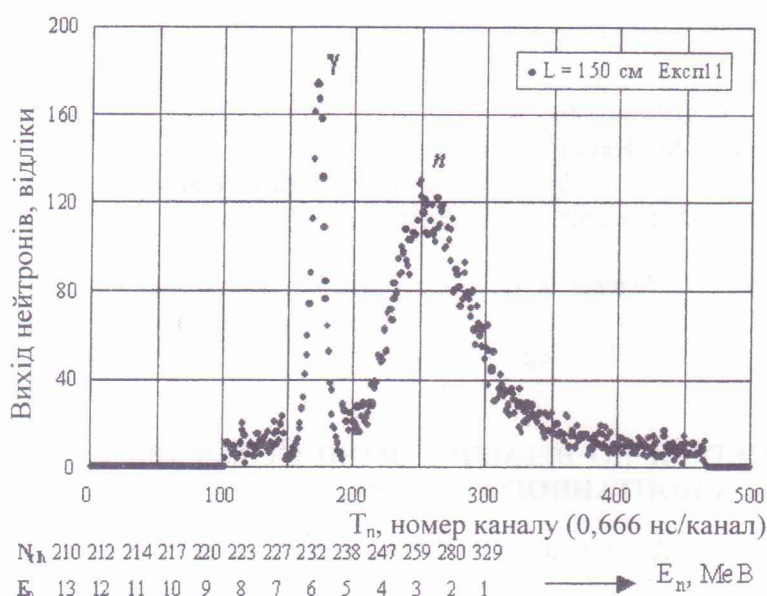


Рис. 3. Часовий спектр нейтронів для пролітної відстані 150 см.

нейтронів в 1 MeV. Саме з таким кроком по енергії обирались інтервали в часопроті- ному спектрі для сумування накопиченої статистичної інформації та одержання кінцевого спектра нейтронів спонтанного поділу ^{252}Cf . На рис. 4 представлено результати такого сумування. Похибки (довжина рисочок на рисунку) є середньо- квадратичною статистичною похибкою віднімання фону під відповідними ділян- ками зареєстрованого спектра нейтронів.

Спектри нейтронів поділу актинід- них ядер задовільно відображаються емпіричною формулою [2]

$$n(E) = e^{-E} \text{sh}(2E)^{1/2},$$

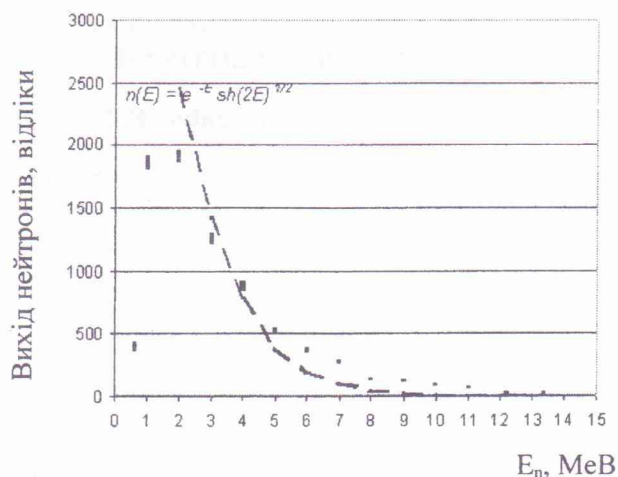


Рис. 4. Енергетичний спектр нейтронів спонтанного поділу ^{252}Cf .

де $n(E)$ – число нейтронів з енергією E , МеВ. Ця формула залишається справедливою до енергії нейтронів 14 МеВ. На рис. 4 пунктиром представлено нормований розрахунок спектра нейтронів за цією формулою. Відхилення експериментальних даних при малих енергіях (до 2,5 МеВ) пов'язане з порогом реєстрації швидких нейтронів сцинтиляційним детектором.

Висновки

Отримані результати вимірювань спектра нейтронів спонтанного поділу ^{252}Cf підтверджують адекватність використаної апаратури для спектрометрії швидких нейтронів за часом прольоту з використанням супутніх нейтронам інших частинок з акту ядерного розпаду чи ядерної реакції. У випадку використання джерела ^{252}Cf , спектр нейтронів спонтанного поділу якого є світовим стандартом [3, 4], метрологічний супровід експерименту дає змогу проводити кількісні нейтронно-фізичні вимірювання без витрат дорогого часу прискорювача.

Автори висловлюють подяку Ю. Б. Луганському та О. В. Хвастуну за допомогу в проведенні вимірювань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дряпаченко І.П., Жук В.В., Кацубо Л.П. та ін. // Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень. - 2002. - № 1(7). - С. 40.
2. Власов Н.А. Нейтроны. - М.: Наука, 1955. - 426 с.
3. Mihalcz J. T., Valentine T. E., Phillips L. D. Subcritical Measurements for an HEU Storage Vault at the Y-12 Plant Using the ^{252}Cf -Source Driven Frequency-Analysis Method // Nuclear Safety. - 1997. - Vol. 38, No. 1. - P. 10 - 24.
4. March-Leuba J., Uckan T., Sumner J. et al. Commissioning Measurements and Experience Obtained from the Installation of a Fissile Mass Flow Monitor in the Ural Electrochemical Integrated Plant (UEIP) in Novouralsk // 40-th Annual Meeting of the Institute of Nuclear Materials Management, Phoenix. - Arizona, 1999.

СПЕКТРОМЕТРИЯ ПО ВРЕМЕНИ ПРОЛЕТА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ КАЛИФОРНИЯ

И. П. Дряпаченко, Э. Н. Можжухин, А. Я. Худенко

Обсуждаются методика и результаты регистрации спектров нейтронов спонтанного деления ^{252}Cf для макетирования полномасштабного времяпролетного спектрометра быстрых нейтронов без использования пучка ускорителя.

THE TIME OF FLIGHT SPECTROMETRY FOR FAST NEUTRONS OF CALIFORNIUM SPONTANEOUS FISSION

I. P. Dryapachenko, E. M. Mozzhukhin, A. Ya. Khudenko

In the given activity the registration technique and outcomes for ^{252}Cf spontaneous fission neutron spectra for piloting of full-scale time-of-flight spectrometer of fast neutrons without usage of an accelerator beam is discussed.

Надійшла до редакції 26.09.03,
після доопрацювання – 10.12.03.