

СПЕКТРОМЕТРІЯ ШВИДКИХ НЕЙТРОНІВ НА ПУЧКУ ЕГП-10К

І. П. Дряпаченко, Е. М. Можжухін

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Обговорюються методика та результати вимірювання ${}^3\text{He}$, n -збігів з реакції $\text{D}(d, n){}^3\text{He}$. Для часопрольотної спектрометрії швидких нейтронів на виведеному пучку дейтронів тандемного прискорювача ЕГП-10К використано метод супутніх частинок.

Вступ

Загальновідомо, що нейтрони є дуже цікавими та необхідними об'єктами й суб'єктами ядерно-фізичних досліджень. Відсутність електричного заряду "ускладнила" методичні можливості досліджень з нейтронами, але й сприяла винаходу нетривіальних методик їх реєстрації та спектрометрії. Найбільш відомим є метод спектрометрії нейтронів за часом прольоту, в якому визначення енергії нейтрона фактично відповідає вимірюванню часу прольоту відстані (бази) між джерелом нейтронів (досліджувані мішені чи зразок) та віддаленим від них детектором нейтронів. Розвиток відповідних детектуючих пристроїв та швидкодії реєструючої електроніки постійно розширював діапазон прецизійної спектрометрії нейтронів за часом прольоту - від мікросекундних швидкостей з використанням механічних пристроїв отримання згустків нейтронів на реакторах [1] до швидких нейтронів з енергією вище мільйона електрон-вольт як продуктів взаємодії пучків прискорювачів з бомбардованими мішенями [2, 3]. Значні переваги при цьому досягались циклічністю прискорення або використанням імпульсного джерела прискорюваних іонів з наявністю дуже коротких імпульсів іонів на мішені, що забезпечувало можливість "стартового" сигналу для вимірювання часу прольоту. Подальшим розвитком спектрометрії швидких нейтронів було використання кореляційних методик реєстрації збігів нейтронів із супутніми продуктами досліджуваного ядерного процесу, що надає можливість прецизійної спектрометрії швидких нейтронів при відсутності імпульсного режиму або взагалі без використання прискорювача [4]. Саме така кореляційна методика для реєстрації та спектрометрії швидких нейтронів у вимірюваннях на пучку тандемного прискорювача ЕГП-10К, працюючого у безперервному режимі, обговорюється в цій роботі.

Вимірювання та результати

Мета роботи – пошук можливостей використання тандемного прискорювача з виходом за проектні межі робочих характеристик. Однією з таких можливостей є проведення робіт із швидкими нейтронами при відсутності імпульсного режиму прискорювача. Треба підкреслити, що це надає визначальні переваги при проведенні кореляційних експериментів на пучку для зменшення фону випадкових збігів. Зрозумілі й технічні переваги відсутності додаткових кнопок (підтримки режиму) для спрощення керування та стабільності роботи прискорювача.

Для проведення робіт було обрано реакцію $\text{D}(d, n){}^3\text{He}$ як "класичне" пучкове джерело швидких нейтронів. Використання пучка дейтронів тандема ЕГП-10К з можливістю зміни енергії пучка з обраним кроком по енергії в діапазоні $1,5 \div 8$ MeV надає можливість проведення прецизійних вимірювань із швидкими нейтронами в діапазоні їх енергій $5 \div 12$ MeV. Для цього необхідно забезпечити реєстрацію обох кінцевих продуктів реакції – нейтрона та ${}^3\text{He}$. Імпульси детектора заряджених частинок слугують "стартовими" для вимірювання часу прольоту нейтронами відстані від бомбардованої мішені до детектора нейтронів. У даній роботі заряджені частинки реєструвалися під фіксованими кутами 30° і 150° . У таблиці наведено розраховані кінематичні параметри цих продуктів для різних енергій пучка дейтронів.

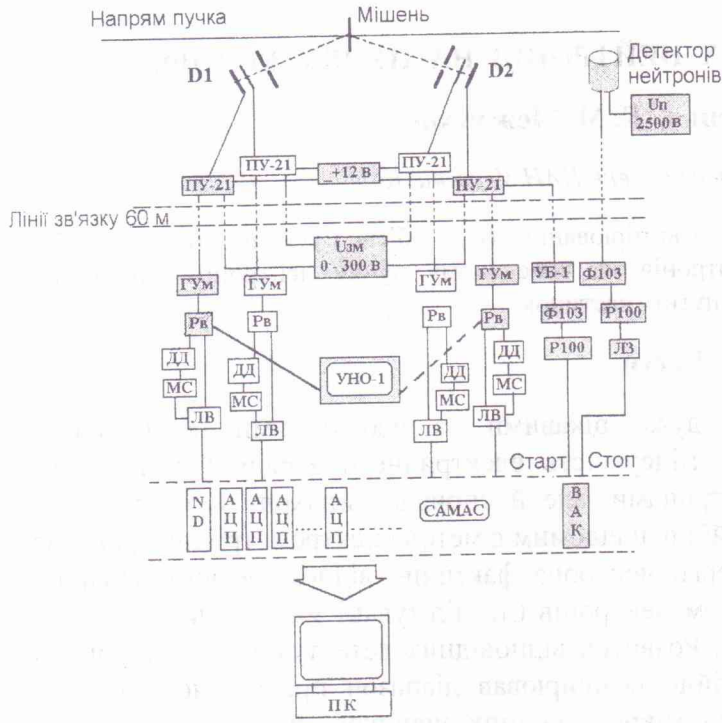


Рис. 1. Блок-схема спектрометричної апаратури.

На рис. 1 зображено блок-схему електронної апаратури для реєстрації спектрометричної інформації з двох ($\Delta E \times E$) телескопів D1 і D2 та часо-амплітудного спектра щодо збігів детектора нейтронів з одним із детекторів заряджених частинок. Темним фоном виділено використані безпосередньо в цій роботі блоки (з необхідністю використання одновимірної амплітудного аналізатора УНО-1 як накопичувальної системи). Кремнієві детектори телескопів заряджених частинок вироблено у відділі радіаційної фізики нашого інституту. Для контролю за інтенсивністю пучка іонів та порівняння послідовних експозицій з різними умовами, мішенями тощо використовувався інтегратор струму, приєднаний до електрично ізолюваного "стопу"

пучка, на якому накопичувався заряд пучка після проходження мішені.

Якщо обрати відповідно до кінематичних розрахунків умови експерименту для цієї реакції – енергію пучка дейтронів і відповідні кути детекторів продуктів реакції (заряджених частинок і нейтронів), забезпечити часові сигнали для цих продуктів та синхронізувати ці сигнали (підібрати відповідні затримки в трактах) перед перетворювачем "час - амплітуда" (див. блок-схему), то отримаємо часо-амплітудні спектри, з яких можна ідентифікувати події істинних та випадкових збігів. Такі амплітудні спектри тотожні часовим спектрам прольоту швидкими нейтронами однакової для всіх відстані від бомбардованої мішені до детектора нейтронів. Для однозначної "фізичної" ідентифікації пошукуваного ефекту було змінено кінематичні умови (зсунуто детектор нейтронів) для уникнення істинних ^3He , n -збігів. Дані двох таких послідовних експозицій наведено на рис. 2. В експозиції 95 кут сцинтиляційного детектора нейтронів був 90° , що відповідало умовам істинних збігів з ядрами ^3He з реакції $D(d, n)^3\text{He}$ для кута заряджених частинок 30° (див. таблицю). В експозиції 93 кут детектора нейтронів був біля 10° . З урахуванням нормування інформації в ділянках спектра для фону випадкових збігів можна говорити про пік істинних ^3He , n -збігів у 90-му каналі, що відповідає реєстрації швидких нейтронів з енергією 3,54 MeV (див. таблицю). Було обрано саме цей варіант ідентифікації істинних збігів (із зміною положення детекторів), бо проста зміна мішені CD_2 на ^{12}C хоч і призвела до "зникнення" ефекту (одиночні відліки на той же проінтегрований струм пучка), але не є показовою за великої різниці у товщинах мішеней: значні (у декілька разів) зменшення завантажень у детекторах не дозволяють адекватного

D(d, n) ³ He	Енергія продуктів, MeV	Енергія пучка дейтронів, MeV			
		2	3	4	5
$\Theta(^3\text{He}) = 30^\circ$	$E(^3\text{He})$	2,854	3,49	4,131	4,73
	$\Theta(n)^\circ$	110	102,5	97	93
	$E(n)$	2,414	2,75	3,138	3,54
$\Theta(^3\text{He}) = 150^\circ$	$E(^3\text{He})$	0,038	0,0015		
	$\Theta(n)^\circ$	4,3	0,8		
	$E(n)$	5,23	6,265		

Вихід нейтронів, відліки

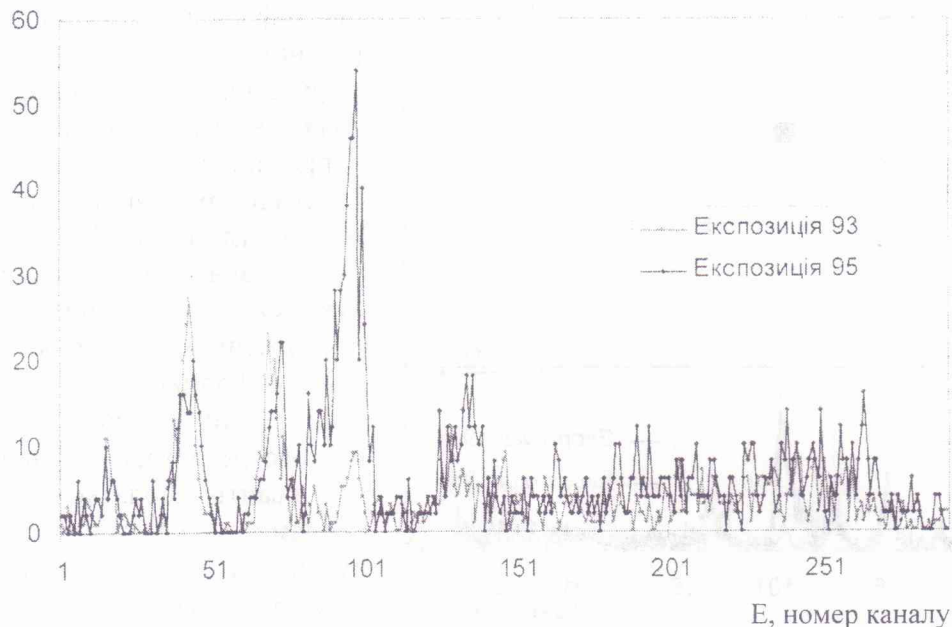


Рис. 2. Часовий спектр $n^3\text{He}$ -збігів з реакції $D(d, n)^3\text{He}$.
 $E_d = 5 \text{ MeV}$, $\theta_n = 90^\circ$ (експозиція 95) та 10° (експозиція 93), $\theta_{\text{зHe}} = -30^\circ$.

порівняння форми спектрів (фактичного фону випадкових збігів). Так само „автоматично” ідентифікуються (і виключаються) події (фон) реєстрації продуктів процесів вторинного порядку, наприклад перерозсіяння в матеріалі мішені з вильотом зарядженої частинки в напрямку детектора.

Висновки та рекомендації

Доведено можливість отримання кількісних даних щодо моноенергетичних швидких нейтронів методом супутніх частинок. Обрана ядерна реакція давно вже використовується для визначення та порівняння ефективності реєстрації швидких нейтронів різних енергій [2]. Можливість прецизійної зміни енергії пучка прискорювача дозволяє проведення унікальних вимірювань із швидкими нейтронами у безперервному режимі роботи прискорювача. Це відкриває великі можливості проведення прецизійних вимірювань із швидкими нейтронами різних енергій як простою зміною енергії бомбардуючого пучка тандема в подібних до використаних у даній роботі умовах, так і використанням декількох пар детекторів заряджених частинок та нейтронів або позиційночутливих детекторів. З наведеними методичними засобами можливі дослідження кореляцій продуктів багаточастинкових ядерних реакцій з виходом нейтронів, а також прямі нейтронно-фізичні вимірювання характеристик взаємодії нейтронів з речовиною за методом пропускання (в експозиціях “зі зразком” та “без зразка”).

Не можна обійти увагою необхідність проведення багатопараметричного (спочатку, з двома параметрами) аналізу при роботах з нейтронами. Використання кореляційної методики реєстрації збігів швидких нейтронів із супутніми продуктами з бомбардованої мішені малоефективне без багатопараметричного аналізу, бо вимагає, навіть для якісної ідентифікації, обов'язкового проведення “фонових” вимірювань із зміною умов експерименту (положення детекторів, мішеней тощо), що призводить до додаткових систематичних похибок. На рис. 3 зображено змакетований вигляд двопараметричної інформації в площині $(E_{\text{зHe}} \times t_n)$. Спектри на рис. 2 були б отримані при проектуванні цієї інформації на вісь t_n . Двопараметричний аналіз подібної кореляційної інформації при використанні одновимірних спектрів з відомими енергетичними (часовими) калібруваннями для заряджених частинок та

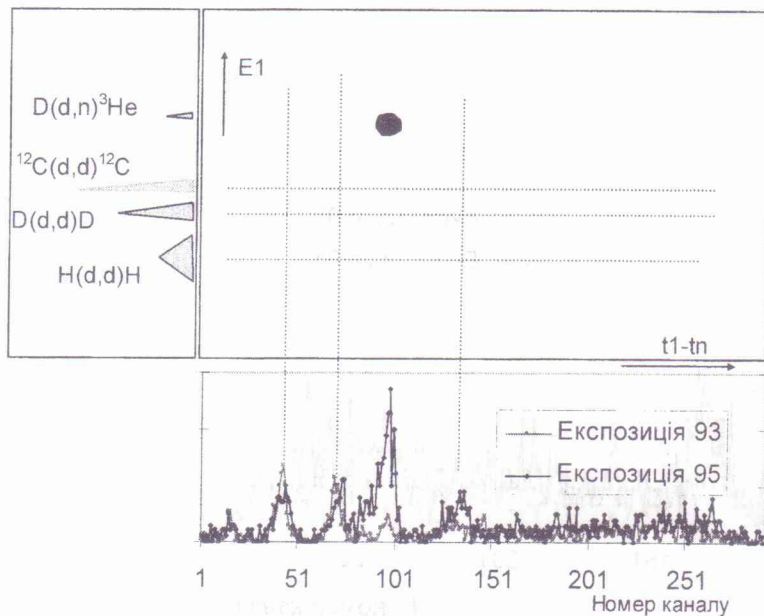


Рис. 3. Макет двопараметричної площини статистичної інформації про збіги заряджених частинок з нейтронами.

манітних результатів, бо такий аналіз складається з одновимірних вимірювань за різними ядерно-фізичними параметрами, які проводяться одночасно. Зрозуміло, що можна задати відповідні "вікна" для кожного параметра (наприклад, $E_{3\text{He}}$ чи t_n у нашому випадку), забезпечити синхронізоване керування для досліджуваного ефекту та отримати кінцевий "одновимірний" результат. Але й очевидно, що при цьому втрачаються всі дані за межами обраних "вікон", вимагатимуться ідентифікаційні та фонові вимірювання тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Власов Н. А. Нейтрони. - М., 1955. - 428 с.
2. Рыбаков Б.В., Сидоров В.А. Спектрометрия быстрых нейтронов. - М., 1958. - 176 с.
3. Марион Дж., Фаулер Дж. Физика быстрых нейтронов. - М., 1963. - 332 с.
4. Дряпаченко І. П., Можжухін Е. М., Худенко О. Я. Спектрометрия за часом прольоту швидких нейтронів спонтанного поділу каліфорнію // Зб. наук. праць Ін-ту ядерних дослід. - 2003. - № 3(11). - С. 47 - 51.

СПЕКТРОМЕТРИЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ НА ПУЧКЕ ЭГП-10К

И. П. Дряпаченко, Э. Н. Можжухин

Обсуждаются методика и результаты измерений ^3He , n -совпадений из реакции $\text{D}(\text{d}, \text{n})^3\text{He}$. Для времяпролетной спектрометрии быстрых нейтронов на выведенном пучке дейтронов тандемного ускорителя ЭГП-10К использовался метод сопутствующих частиц.

FAST NEUTRON SPECTROMETRY ON EGP-10K BEAM

I. P. Dryapachenko, E. M. Mozzhukhin

Method and measurement results of ^3He , n -coincidences from $\text{D}(\text{d}, \text{n})^3\text{He}$ reaction are discussed. Associated particles method was used for the fast neutron time of flight spectrometry on the EGP-10K tandem accelerator beam.

Надійшла до редакції 24.02.04,
після доопрацювання – 21.07.04.