

ПОШУК РІДКІСНИХ КАНАЛІВ РОЗПАДУ НУКЛІДУ ^{212}Po

**Д. В. Касперович¹, П. Беллі^{2,3}, Р. Бернабей^{2,3}, Р. С. Бойко^{1,4}, Ф. А. Даневич^{1,3,5}, А. Інчіккітті^{6,7},
Ф. Каппелла⁶, В. Караччіоло^{2,3}, В. В. Кобичев¹, О. Г. Поліщук¹, Н. В. Сокур¹, В. І. Третьяк^{1,5,8},
Р. Черулі²**

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Національний інститут ядерної фізики, секція у Римі «Тор Вергата», Рим, Італія

³ Римський університет «Тор Вергата», Рим, Італія

⁴ Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

⁵ Інститут експериментальної і прикладної фізики, Чеський технічний університет у Празі, Прага, Чехія

⁶ Національний інститут ядерної фізики, секція у Римі, Рим, Італія

⁷ Римський університет «Ла Сапієнца», Рим, Італія

⁸ Національний інститут ядерної фізики, Національна лабораторія Гран-Сассо, Ассерджі, Італія

Єдиним спостереженням на даний час каналом розпаду ^{212}Po , дочірнього нукліду радіоактивного ряду ^{232}Th , є альфа-розпад на основний рівень дочірнього ядра ^{208}Pb з рекомендованим періодом напіврозпаду 294,3(8) нс [1]. Разом з тим, енергетично можливий альфа-розпад на перший збуджений рівень дочірнього ядра (2614,5 кеВ). Окрім цього, цікавим є пошук подвійного альфа-розпаду [2], зокрема його симетричної конфігурації, в якій для багатьох нуклідів отримані теоретичні оцінки парціальних періодів напіврозпаду, що вказують на можливість спостереження процесу [3, 4]. Метою даної роботи було дослідити можливість експериментального пошуку таких розпадів за допомогою швидких сцинтиляторів і методики часово-амплітудного аналізу.

Для дослідження використовувалися дані двох експериментів. У першому експерименті [5] використовувався сцинтилятор BaF_2 масою 1,714 кг з високим рівнем радіоактивного забруднення дочірніми уран-торієвих рядів, зокрема нуклідом ^{228}Th (у рівновазі з ^{212}Po). Другий експеримент [6, 7] був проведений зі зразком рідкого сцинтилятора на основі толуолу об'ємом 12 мл, що містив 2 мг/мл торію у вигляді органічної сполуки. Обидва експерименти мали на меті вимірювання періоду напіврозпаду ^{212}Po з високою статистикою, зокрема, в [7] було отримане його найточніше експериментальне значення, 295,1(4) нс.

Методика дослідження в обох експериментах була дуже схожа і полягала в записі форми сигналів та аналізі швидких пар розпадів ^{212}Bi і ^{212}Po з високою часовою роздільною здатністю, з подальшою побудовою розпадної кривої ^{212}Po та її описом. Загалом із BaF_2 було відібрано $3,4 \times 10^5$ пар подій, в той час як із рідким сцинтилятором отримано $3,6 \times 10^6$ пар.

Таблиця 1. Радіоактивна забрудненість сцинтиляторів (розраховано із даних [5, 7]).

Ряд	Нуклід	Активність, Бк	
		BaF_2 [5]	Рідкий сцинтилятор [7]
^{232}Th	^{232}Th	< 0,007	55,3(3)
	^{228}Th	2,31(10)	45,8(9)
^{238}U	^{238}U	< 0,0004	
	^{226}Ra	13,4(2)	
	^{210}Pb	1,70(2)	
^{235}U	^{235}U	< 0,0010	
	^{231}Pa	< 0,0012	
	^{227}Ac	< 0,12	

У даному дослідженні використовувалися відібрані другі події у парах, що відповідають розпадам ^{212}Po (рис. 1). Завдяки невеликому періоду напіврозпаду, більшість подій у відібраних спектрах потрапляє до піку альфа-розпаду ^{212}Po на основний рівень дочірнього ядра. Разом з тим, у випадках альфа-розпаду на рівень 2614,5 кеВ і подвійного альфа-розпаду відгук детекторів буде відрізнятися завдяки іншій енергії поглинутих частинок, а також за рахунок зміни коефіцієнта пригнічення світловиходу для альфа-частинок, порівняно із гамма-квантами.

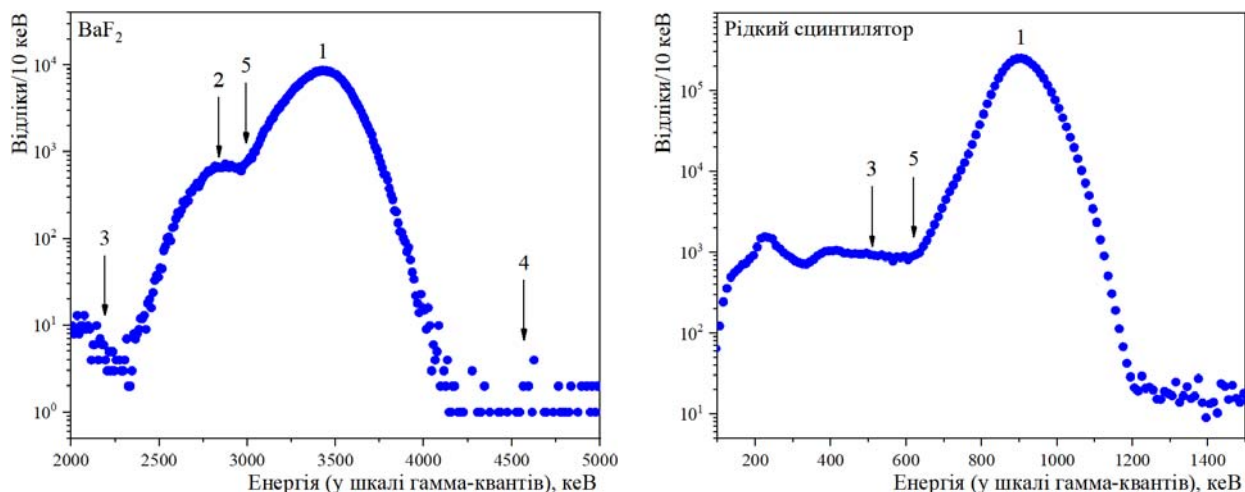


Рис. 1. Енергетичні спектри других подій у парях ^{212}Bi - ^{212}Po , отримані з кристалом BaF_2 (зліва) і рідким сцинтилятором, насиченим торієм (справа). Цифрами позначено: альфа-розпади ^{212}Po і ^{214}Po на основний стан дочірніх ядер («1» і «2», відповідно); очікувані піки альфа-розпаду ^{212}Po на 1-й збуджений рівень ^{208}Pb з енергією 2614,5 кеВ («3» позначає альфа-пик, «4» – пик сумарної реєстрації альфа-частинки і гамма-кванта 2614,5 кеВ) і симетричного подвійного альфа-розпаду ^{212}Po на основний стан ^{204}Hg («5»).

Очікуване положення піків оцінювалося із енергій відповідних розпадів і коефіцієнтів пригнічення світловиходу для альфа-частинок у досліджуваних сцинтиляторах. Обробка даних включала моделювання відгуку детекторів до шуканих процесів і апроксимацію експериментальних спектрів моделями, що включали, окрім ефекту, піки альфа-розпадів ізотопів полонію і випадкові збіги у парях подій. Всі отримані верхні обмеження на відносні ймовірності альфа-розпаду ^{212}Po на перший збуджений стан ^{208}Pb (із двох спектрів) і подвійного альфа-розпаду ^{212}Po на основний стан ^{204}Hg (лише з рідким сцинтилятором) лежать на рівні $\sim 10^{-4}$. Подальшого покращення чутливості можна досягнути шляхом збільшення експозиції вимірювань і покращення енергетичної роздільної здатності детекторів за рахунок покращення умов світлозбору.

1. K. Auranen, E.A. McCutchan. Nuclear Data Sheets for A=212. Nucl. Data Sheets 168 (2020) 117.
2. V.I. Tretyak. Spontaneous double alpha decay: First experimental limit and prospects of investigation. Nucl. Phys. At. Energy 22 (2021) 121.
3. F. Mercier et al. Microscopic Description of 2α Decay in ^{212}Po and ^{224}Ra Isotopes. Phys. Rev. Lett. 127 (2021) 012501.
4. V.Yu. Denisov. Estimation of the double alpha-decay half-life. Phys. Lett. B 835 (2022) 137569.
5. P. Belli et al., Investigation of rare nuclear decays with BaF_2 crystal scintillator contaminated by radium. Eur. Phys. J. A 50 (2014) 134.
6. П. Беллі і ін. Вимірювання періоду напіврозпаду ядра ^{212}Po за допомогою насиченого торієм рідкого сцинтилятора. Ядерна фізика та енергетика 19 (2018) 220.
7. P. Belli et al., The half-life of ^{212}Po . Eur. Phys. J. A 57 (2021) 215.