

УТОЧНЕННЯ СХЕМИ РОЗПАДУ НУКЛІДУ ^{234}U

Д. В. Касперович¹, Ф. А. Даневич^{1,2}, С. С. Драпей¹, В. І. Кирищук¹, В. В. Кобичев¹, В. І. Третяк^{1,2,3}

¹ Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

² Інститут експериментальної і прикладної фізики, Чеський технічний університет у Празі, Прага, Чехія

³ Національний інститут ядерної фізики, Національна лабораторія Гран-Сассо, Ассерджі, Італія

Метою даної роботи було дослідження схеми гамма-переходів у альфа-розпаді ^{234}U . На рис. 1 наведена схема розпаду нукліду відповідно до актуальних даних із бази ENSDF [1]. Альфа-розпади на основний і два збуджених рівні ^{230}Th з найнижчими енергіями досить добре вивчені. Разом із тим, переходи на вищі рівні вивчені лише в одній роботі 1963 року [2], причому досить фрагментарно. Для рівня 508,16 кеВ була виміряна сумарна інтенсивність двох гамма-переходів з цього рівня (альфа-розпад на нього не був спостережений), в той час як для рівнів 634,9 кеВ і 677,6 кеВ була виміряна сумарна інтенсивність альфа-розпаду на ці рівні і інтенсивність гамма-переходу 581,7 кеВ. Таким чином, більшість значень інтенсивності для відповідних альфа- і гамма-переходів були оцінені, беручи до уваги дані, отримані у розпадах ^{230}Ac і ^{230}Pa . У даній роботі були проведені вимірювання абсолютних інтенсивностей гамма-переходів з рівнів 508,16 кеВ і 677,6 кеВ, оскільки умови експерименту не дозволяють спостерігати переходи з інших рівнів.

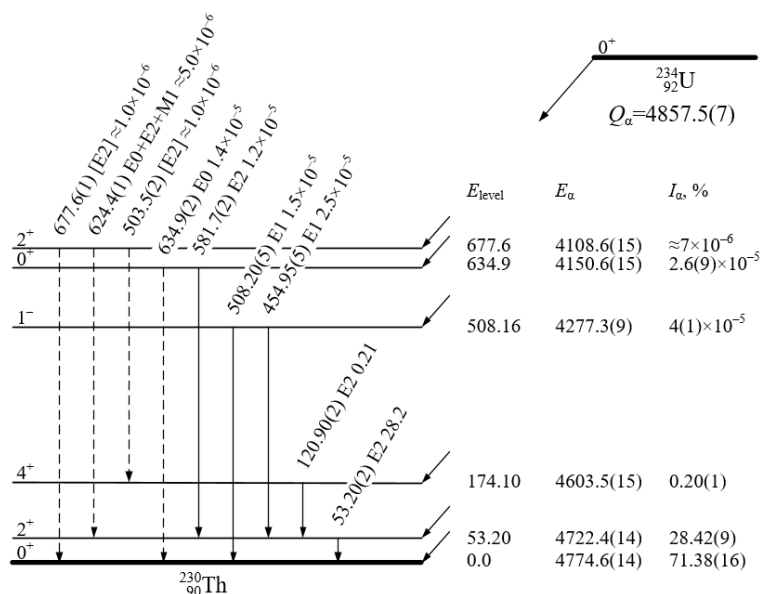


Рисунок 1. Схема розпаду ^{234}U із даних [1]. Наведені енергії переходів у кеВ і їх повні інтенсивності (γ -промені і електронна конверсія). Штрихові лінії показують переходи, раніше не спостережені у цьому розпаді.

Вимірювання були проведені з сертифікованим зразком U_3O_8 масою 230 г, активність нукліду ^{234}U у якому становить 439,3(13) МБк (оцінено із сертифікованих даних про ізотопний склад урану [3]). Вимірювання зі зразком проводилися впродовж 46,3 діб, фон детектора був вимірний протягом 8,1 діб.

Для калібрування детектора, зокрема енергетичної шкали, роздільної здатності і ефективності реєстрації детектора до гамма-квантів, було використано інтенсивні піки гамма-випромінювання природних ізотопів ^{235}U і ^{234}Pa , що присутні у зразку. Високочутливий аналіз дозволив точно встановити активність радіонуклідів уран-торієвих рядів. Процедура калібрування енергетичної залежності абсолютної ефективності реєстрації до гамма-квантів базувалася на поєднанні двох підходів (докладно описаних у [4, 5]):

1. Математичне моделювання методом Монте-Карло із використанням програми Simourg [6, 7];
2. Аналітична апроксимація експериментальних даних поліномом п'ятого порядку у подвійному логарифмічному масштабі.

Розбіжність між результатами цих методів не виходила за межі 7%. Для фінальних розрахунків до значень, отриманих шляхом моделювання, було внесено відповідні поправки і невизначеності. Додатково для кожного гамма-піку проводився розрахунок ефектів випадкового та каскадного сумування імпульсів, а також накладання фонових піків від супутніх нуклідів.

Отримані енергії і абсолютні інтенсивності випромінення гамма-переходів з рівнів 508,16 кеВ і 677,6 кеВ наведені у табл. 1. Отримані характеристики гамма-переходів статистично добре узгоджуються з [1]. Із отриманих даних можна оцінити інтенсивності альфа-розпаду ^{234}U на відповідні збуджені рівні ^{230}Th : оскільки рівні 508,16 кеВ і 677,6 кеВ заселяються лише в альфа-розпаді, то їх інтенсивність дорівнює сумі інтенсивностей усіх переходів із цих рівнів (гамма-переходи і електронна конверсія). Для обчислень були використані коефіцієнти електронної конверсії із [1]; для змішаного переходу $E0+E2+M1$ з енергією 624,4 кеВ було використано співвідношення між інтенсивностями конверсійних електронів і гамма-квантів, виміряне у розпаді ^{230}Pa [8]. Були отримані наступні інтенсивності альфа-переходів: $2,75(19)\times 10^{-5}\%$ для рівня 508,16 кеВ і $3,1(10)\times 10^{-6}\%$ для рівня 677,6 кеВ (відповідні рекомендовані інтенсивності: $4(1)\times 10^{-5}\%$ і $\approx 7\times 10^{-6}\%$ [1]).

Таблиця 1. Виміряні характеристики гамма-переходів з рівнів 508,16 кеВ і 677,6 кеВ, що заселяються у альфа-розпаді ^{234}U . У дужках вказані стандартні невизначеності останньої значущої цифри. Оцінені дані з бази ENSDF [1] наведені для порівняння.

Енергія рівня ENSDF	Енергія гамма-переходу (кеВ)		Абсолютна інтенсивність гамма-переходу (%)	
	ENSDF	Дана робота	ENSDF	Дана робота
508,16(5)	454,95(5)	455,02(6)	$2,5(7)\times 10^{-5}$	$1,61(8)\times 10^{-5}$
	508,20(5)	508,27(6)	$1,5(4)\times 10^{-5}$	$1,10(17)\times 10^{-5}$
677,6(1)	503,5(2)	503,51(8)	$\approx 7,9\times 10^{-7}$	$2,9(17)\times 10^{-7}$
	624,4(1)	624,18(6)	$\approx 8,4\times 10^{-7}$	$3,7(15)\times 10^{-7}$
	677,6(1)	677,47(8)	$\approx 1\times 10^{-6}$	$0,62(6)\times 10^{-6}$

Таким чином, у даній роботі експериментально уточнено інтенсивності випромінення 5 низькоінтенсивних гамма-переходів у розпаді ^{234}U (3 переходи з рівня 677,6 кеВ спостережені вперше). Окрім цього, оцінено інтенсивності альфа-розпадів ^{234}U на рівні ^{230}Th з енергіями збудження 508,16 кеВ і 677,6 кеВ. Оцінені дані уточнюють схему альфа-розпаду нукліду ^{234}U .

1. C. Morse. Nuclear Structure and Decay Data for A=230. Nucl. Data Sheets 197 (2024) 259.
2. S. Bjørnholm et al. Alpha Decay to Vibrational States. Phys. Rev. 130(5) (1963) 2000.
3. Certified Reference Material 146 (U.S. Department of Energy, New Brunswick Laboratory (IL), 1999) 4 p.
4. F.A. Danevich et al. Search for spontaneous fission of ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , and ^{238}U by gamma spectrometry. Eur. Phys. J. A 61 (2025) 46.
5. F.A. Danevich et al. Emission intensities of gamma transitions in ^{235}U alpha decay. Eur. Phys. J. A 61 (2025) 264.
6. В. В. Кобычев. Програма Simourg для моделювання функцій отклику гамма-детекторів с простою геометрією. Ядерна фізика та енергетика 12 (2011) 301.
7. D. S. Kovalenko et al. Simourg2.0 – Geant4 application for simulation of nuclear detectors with simple geometries. Nucl. Phys. At. Energy 27 (2026) 80.
8. T. Valkeapää, J. Heinonen, G. Graeffe, The Levels of ^{230}Th Obtained in the Decay of ^{230}Pa , Phys. Scr. 5 (1972) 119.