

ДОСЛІДЖЕННЯ (γ, α) -РЕАКЦІЇ НА ^{121}Sb ПРИ ГРАНИЧНІЙ ЕНЕРГІЇ 22 МЕВ

В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов, В. П. Хоменков

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Дослідження (γ, α) -реакцій відкриває нові можливості як щодо вивчення природи гігантського дипольного резонансу, так і щодо розуміння формування α -частинок всередині ядра під час ядерних реакцій. До того ж (γ, α) -реакція є чутливою до кластерних кореляцій та поверхневих ефектів [1]. За умови представлення ядра як кластеру альфа-частинок, імовірність їх випромінювання повинна зростати. Для легких та середніх ядер даний канал матиме також важливе астрофізичне значення, оскільки може бути пов'язаним з оберненими процесами радіаційного захоплення, що відіграють важливу роль у сценаріях зоряного нуклеосинтезу [1]. Проте експериментальні дані по таким реакціям практично одиничні. Так, слід відмітити лише роботу [2], в якій робиться висновок про загальмованість виходу α -частинок на 2 порядки порівняно з вильотом протонів. Виходячи з вищевикладеного метою даної роботи є дослідження виходів напрацювання ядер $^{117}\text{In}^{m,g}$ в (γ, α) -реакції при опроміненні мішеней металічної сурми гальмівними гамма-квантами з граничною енергією 22 МеВ.

Дослідження середньозваженого виходу та ізомерного відношення виходу проводилось активаційним методом на гальмівному γ -пучку для електронів з максимальною енергією 22 МеВ на мішенях природної металічної сурми, танталу та золота. В якості гальмівної мішені використовувався металічний тантал товщиною 1,05 мм, за яким на відстані 9 см розміщувались досліджувані мішені. Мішені золота та танталу використовувались для отримання потоку гальмівних γ -квантів з використанням реакцій $^{197}\text{Au}(\gamma, n)^{196}\text{Au}$ та $^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180}\text{Ta}$, відповідно. Експериментальні перерізи даних реакцій добре відомі для монохроматичних γ -квантів в досліджуваному енергетичному діапазоні. Додатковим монітором величини потоку гальмівних γ -квантів були реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma, n)^{120}\text{Sb}$ та $^{123}\text{Sb}(\gamma, n)^{122}\text{Sb}$, які одночасно з досліджуваною реакцією відбувалися на мішені сурми. Виконувалось декілька серій опромінь та вимірювань в низькофонової спектрометричній лабораторії.

Спектри опромінених мішеней вимірювались на трьох гамма-спектрометрах, зібраних на базі як надчистих напівпровідникових детекторів фірм Canberra та Ortec з ефективністю реєстрації 15, 18 та 40 % порівняно з NaI(Tl)-детектором розмірами 3"×3", так і електронних блоків тих же фірм. Енергетична роздільна здатність спектрометрів склала 1,9 кеВ на γ -лініях 1173 та 1332 кеВ з розпаду ^{60}Co та 1,0 кеВ на -лініях 122 та 136 кеВ з розпаду ^{57}Co .

В γ -спектрах, обробка яких проводилась за допомогою програми Winspectrum [3] надійно виділені γ -переходи, які супроводжують розпад ядер ^{120}Sb , ^{122}Sb , $^{117}\text{In}^{m,g}$, ^{196}Au та ^{180}Ta як за величиною енергії, так і за періодом напіврозпаду. Дана програма дозволяє записувати накопичувальні апаратурні γ -спектри через певні проміжки часу, які можна задавати програмно. Зокрема на рис. 1 показано фрагмент γ -спектру опроміненої мішені металічної сурми, на якому з прийнятною статистичною точністю спостерігаються необхідні γ -піки.

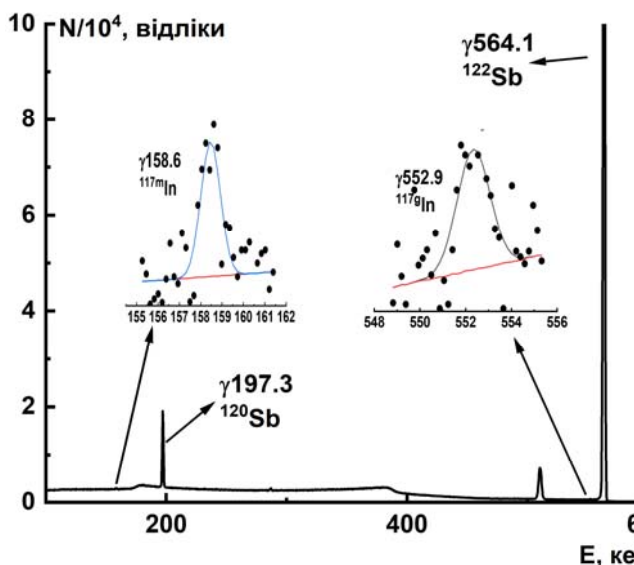


Рис. 1. Фрагмент γ -спектру активованої мішені металічної сурми природного ізотопного складу. Тривалість опромінення 5 годин, тривалість витримки 50 хвилин, час вимірювання 80 хвилин.

Моделювання гальмівного спектру проводилось в рамках програмного коду Geant4 [4], який враховує розміри мішеней та самопоглинання гальмівного пучка в них. Слід зазначити, що оскільки енергетичні пороги досліджуваних реакцій знаходяться в околі 8 MeV, а сама експериментальна збірка мішеней тонка, то поглинанням гальмівних фотонів у самій збірці можна знехтувати. В той же час при вимірюванні наведеної активності мішеней на гамма-спектрометрах коефіцієнти самопоглинання γ -квантів, які відповідають розпадам досліджуваних нуклідів розраховувались в рамках програмного коду MCNP [5].

Використовуючи стандартні формули активаційного аналізу [6] було розраховано експериментальне значення середньозваженого виходу реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma,\alpha)^{117}\text{In}^{m+g}$, яке склало 2,7(3) мкбн. Ізотопне відношення виходів даної реакції рівне $Y_m/Y_g = 0,5(1)$, а відношення виходів реакцій $^{121}\text{Sb}(\gamma,\alpha)^{117}\text{In}^{m+g}$ та $^{121}\text{Sb}(\gamma,n)^{120}\text{Sb}^{m+g}$: $Y(\gamma,\alpha)/Y(\gamma,n) = 3(1)\times 10^{-5}$

Було проведено моделювання реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma,\alpha)^{117}\text{In}^{m+g}$ в рамках програмного коду TALYS-1.96 [7], робота якого базується на статистичному механізмі з незначним внеском передрівноважних та прямих механізмів для даної граничної енергії гальмівних γ -квантів. Розраховані теоретичні значення сумарного середньозваженого виходу та ізотопного відношення виходів даної реакції склали $Y_{m+g} = 3,36(17)$ мкбн та $Y_m/Y_g = 0,81(4)$, відповідно.

Слід зазначити, що в коді TALYS-1.96 для розрахунку кулонівського бар'єру використовується формула (20) з роботи [8]. Цю формулу ми використовували при розрахунку енергетичного порогу при згортті модельованого гальмівного γ -спектра з теоретичними значеннями перерізу реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma,\alpha)^{117}\text{In}^{m+g}$ для монохроматичних гамма-квантів при отриманні теоретичних значень і середньозваженого виходу і ізотопного відношення виходів. При цьому величина кулонівського бар'єру на виліт альфа-частинки з ядра склала 11,2 MeV а загальна величина енергетичного порогу склала 14,3 MeV для реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma,\alpha)^{117}\text{In}^g$ та 14,6 MeV для реакції $^{121}\text{Sb}(\gamma,\alpha)^{117}\text{In}^m$.

Як видно з отриманих результатів, модель, яка розглядає ядро як структуру, утворену кластерами альфа-частинок, не підтверджується, оскільки імовірність їх випромінювання є доволі низькою. Оскільки експериментальні середньозважені виходи доволі близькі до теоретичних, то можна говорити про домінування статистичних процесів в механізм перебігу даної реакції. В той же час теоретичне значення ізотопного відношення виходів приблизно у 2 рази перевищує експериментальне і це потребує подальшого вивчення.

1. C.R. Brune et al., Eur. Phys. Jour. A 59, 165 (2023)
2. S.A. Karamian Phys. At. Nucl. 77(11) (2014) 1429.
3. N.V. Strilchuk The WinSpectrum manual (2000).
4. S. Agostinelli et al. Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res A 506 (2003) 250.
5. J.F. Briesmeister, MCNP—A General Monte Carlo *N*-Particle Transport Code, Los Alamos National Laboratory Report LA-12625-M, 989, 1997.
6. V.A. Zheltonozhsky et al., Eur. Phys. Jour. A 57, 121 (2021)
7. A.J. Koning, S. Hilaire and M. C. Duijvestijn TALYS: Comprehensive nuclear reaction modeling. In: AIP Conference Proceedings. Proc. of the Inter. Conf. on Nucl. Data for Science and Technology, Santa Fe, USA, 26 September-1 October, 2004 (Washington, 2005) p. 1154.
8. R. Bass, Nucl. Phys. A. 231, 45 (1974)