

ДОСЛІДЖЕННЯ (γ, p) -РЕАКЦІЙ НА ІЗОТОПАХ ОЛОВА

В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов, Д. Є. Мизніков

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Слабо дослідженими залишаються фотоядерні реакції з вильотом протонів, хоча в них заселяються інші збуджені стани, часто недоступні для (γ, γ') - і (γ, n) -реакцій. Причиною цього є високий кулонівський бар'єр, який значно знижує їх переріз. Тому вивчення даних реакцій дозволить пролити світло як на механізми їх перебігу, так і співвідношення між ними [1]. Особлива наукова цінність (γ, p) -реакції полягає у тому, що вона дає змогу досліджувати протонні одностинкові конфігурації, ізоспінову структуру збуджених станів і роль прямого виходу в континуум. При цьому магічні ядра (зокрема ізономи олова з $Z = 50$) дають можливість досліджувати гігантський дипольний резонанс (ГДР) у порівняно «чистих» умовах, коли внесок деформації не ускладнює інтерпретацію результатів. У таких системах можна точніше виявляти роль замкнених оболонок та спин-орбітального розщеплення.

Виходячи з вищевикладеного метою даної роботи є дослідження виходів напрацювання $^{117}\text{In}^m$, $^{119}\text{In}^{m+g}$ та $^{115}\text{In}^m$ в (γ, p) -реакції на ядрах олова при опроміненні мішеней з природного металічного олова гальмівними гамма-квантами з енергією в області ГДР.

Використовувався гамма-активаційний метод для дослідження середньозважених виходів на гальмівному γ -пучку мікротрона М-30 Інституту електронної фізики (м. Ужгород) для граничної енергії гальмівних γ -квантів ($E_{\text{гр}}$) 19 МеВ. В якості моніторних мішеней використовувались зразки природного металічного танталу та золота. До них додавались мішені металічного олова. В якості гальмівної мішені використовувався металічний тантал товщиною 1,05 мм, за яким на відстані 8 см розміщувалась збірка з досліджуваних мішеней. Тантал та золото використовувались для отримання потоку гальмівних γ -квантів за допомогою реакцій $^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180}\text{Ta}$ та $^{197}\text{Au}(\gamma, n)^{196}\text{Au}$, відповідно.

Спектри опромінених мішеней вимірювались на двох гамма-спектрометрах, зібраних на базі надчистих напівпровідникових детекторів фірм Canberra та Ortec з ефективністю реєстрації 15 та 40 % порівняно з NaI(Tl)-детектором розмірами 3"×3" та блоків електроніки цих же фірм. Енергетична роздільна здатність спектрометрів складала 1,9 кеВ на γ -лініях 1173 та 1332 кеВ з розпаду ^{60}Co .

В γ -спектрах, обробка яких проводилась за допомогою програми Winspectrum [2] надійно виділені γ -переходи, які супроводжують розпад $^{117}\text{In}^m$, $^{115}\text{In}^m$, $^{119}\text{In}^{m+g}$, ^{196}Au та ^{180}Ta . Зокрема на рис. 1, 2 показано фрагменти γ -спектрів опромінених мішеней олова та золота.

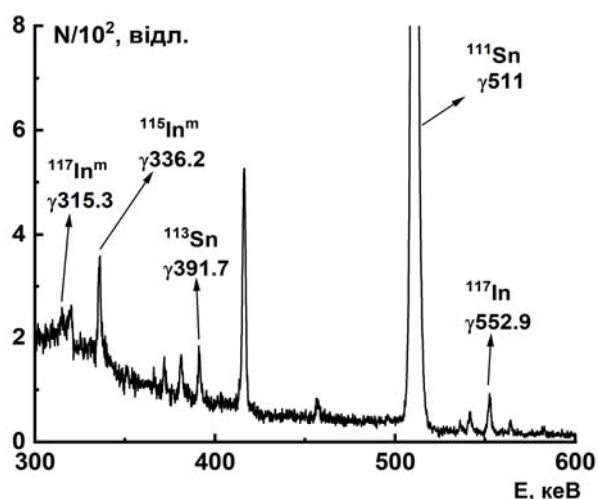


Рис. 1. Фрагмент γ -спектру активованої мішені металічного олова природного ізотопного складу. Його маса складала 1,3 г. Тривалість опромінення складала 3 години, період витримки 1,5 години, тривалість вимірювання 1 година.

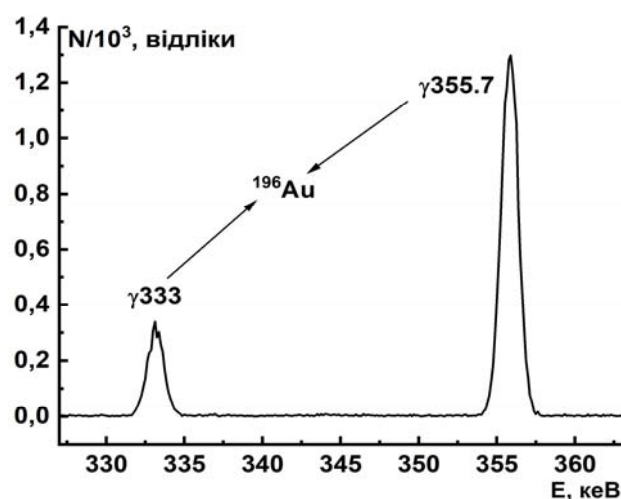


Рис. 2. Фрагмент γ -спектру активованої мішені металічного золота природного ізотопного складу. Його маса складала 20 мг. Тривалість опромінення складала 3 години, період витримки 1,2 доби, тривалість вимірювання 7 хвилин.

Моделювання гальмівного спектру проводилось в рамках програмного коду Geant4 [3]. Враховувалась реальна геометрія гальмівної та експериментальних мішеней. Даний код враховує поглинання гальмівного пучка в усіх мішенях зі збірки, яка опромінювалася. В той же час при вимірюванні наведеної активності мішеней коефіцієнти самопоглинання γ -квантів, які відповідають розпадам досліджуваних нуклідів розраховувались в рамках програмного коду MCNP [4].

Використовуючи стандартні формули активаційного аналізу [5] були розраховані експериментальні значення середньозважених виходів досліджуваних реакцій $\langle Y \rangle_{\text{exp}}$, які наведені в таблиці 1.

Було проведено моделювання досліджуваних реакцій в рамках програмного коду TALYS-1.96 [6]. Розраховані теоретичні виходи ($\langle Y \rangle_{\text{stat}}^{\text{theor}}$) також показані в таблиці разом із енергетичними бар'єрами зазначених реакцій (Q).

Таблиця 1. Середньозважені виходи (γ, p) -реакцій на ядрах олова

Реакція	Q, MeV	$\langle Y \rangle$, мкБн	
		$\langle Y \rangle_{\text{exp}}$	$\langle Y \rangle_{\text{stat}}^{\text{theor}}$
$^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117}\text{In}^{\text{m}}$	10,3	14,0(14)	7,00(35)
$^{116}\text{Sn}(\gamma, p)^{115}\text{In}^{\text{m}}$	9,6	40,3(39)	23,3(12)
$^{120}\text{Sn}(\gamma, p)^{119}\text{In}^{\text{m}+\text{g}}$	10,7	144(22)	1,50(7)

Для середньозважених виходів, які розраховувались за даними коду TALYS-1.96 ($\langle Y \rangle_{\text{stat}}^{\text{theor}}$) похибка складається лише з похибки моделювання гальмівного спектру в кодi GEANT4, яка знаходиться в межах 5 % для даних граничних енергій гальмівних гамма-квантів, оскільки теоретичні виходи розраховуються як згортка модельованого гальмівного γ -спектру з теоретичними перерізами для монохроматичних гамма-квантів з кроком 1 MeV.

Похибка потоку гальмівних γ -квантів при розрахунку експериментальних середньозважених виходів ($\langle Y \rangle_{\text{exp}}$) знаходиться в межах 7 %. В нашому випадку похибки визначення квантових виходів склали менше 1 %, оскільки ми використовували найбільш інтенсивні γ -лінії, статистична похибка визначення площ піків перебувала в межах 4-6 %. Загальна похибка визначення ефективностей реєстрації коливалася в межах 2-3%, оскільки проводяться відносні вимірювання. Тому загальна похибка експериментальних середньозважених виходів знаходилась в межах 10-11 %.

Як видно з таблиці середньозважені виходи усіх (γ, p) -реакцій, які виміряні нами вперше приблизно у 2 рази вищі теоретичних даних, за винятком реакції $^{120}\text{Sn}(\gamma, p)^{119}\text{In}^{\text{m}+\text{g}}$, яка на 2 порядки перевищує теоретичну величину. Це свідчить про можливий значний внесок прямих та напівпрямих механізмів.

1. S. Flibotte et al. Phys. Rev. Lett. 77 (1996) 1448.
2. N.V. Strilchuk The WinSpectrum manual (2000).
3. S. Agstinelli et al. Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res A 506 (2003) 250.
4. J.F. Briesmeister, MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Los Alamos National Laboratory Report LA-12625-M, 989, 1997.
5. V.A. Zheltonozhsky et al. Eur. Phys. Jour. A 57 (2021) 121.
6. 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.