



Ідентифікатор подання: 34

Тип: Секційна доповідь

## Дослідження $(\gamma, p)$ -реакції на кадмії та телурі при граничній енергії гальмівних гамма-квантів 17.5 MeV

середа, 28 травня 2025 р. 13:35 (20 хвилин)

Слабо дослідженими залишаються фотоядерні реакції з вильотом протонів, хоча в них заселяються інші збуджені стани, часто недоступні для  $(\gamma, \gamma')$ - і  $(\gamma, n)$ -реакцій. Причиною цього є високий кулонівський бар'єр, який значно знижує їх переріз. Тому вивчення даних реакцій дозволить пролити світло на механізми їх перебігу. Виходячи з вищевикладеного метою даної роботи є дослідження виходів напрацювання як ядер  $^{111}\text{Agm}+g$ ,  $^{112}\text{Ag}$  та  $^{113}\text{Agm}+g$  в  $(\gamma, p)$ -реакції на ядрах кадмію, так і ядер  $^{122}\text{Sbm}+g$ ,  $^{124}\text{Sbm}+g$ ,  $^{127}\text{Sb}$  та  $^{129}\text{Sbm}+g$  в  $(\gamma, p)$ -реакції на ядрах телуру при опроміненні мішеней з природних металічних кадмію та телуру гальмівними гамма-квантами з енергією в області гігантського дипольного резонансу (ГДР).

Дослідження середньозважених виходів проводилось активаційним методом на гальмівному  $\gamma$ -пучку для граничної енергії гальмівних  $\gamma$ -квантів ( $E_{\gamma p}$ ) 17.5 MeV. В якості моніторних мішеней використовувались зразки природного металічного танталу та золота. До них додавались мішені металічного кадмію та телуру. В якості гальмівної мішені використовувався металічний тантал товщиною 1.05 мм, за яким на відстані 8 см розміщувались досліджувані мішені. Тантал та золото використовувались для отримання потоку гальмівних  $\gamma$ -квантів за допомогою реакцій  $^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180}\text{Ta}$  та  $^{197}\text{Au}(\gamma, n)^{196}\text{Au}$ , відповідно. Експериментальні перерізи даних реакцій добре відомі для монохроматичних  $\gamma$ -квантів в досліджуваному енергетичному діапазоні. Виконувалось декілька серій опромінь та вимірювань в низькофонової спектрометричній лабораторії.

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'' $\times$ 3'' та блоків електроніки цих же фірм. Енергетична роздільна здатність спектрометрів склала 1.9 keV на  $\gamma$ -лініях 1173 та 1332 keV з розпаду  $^{60}\text{Co}$ .

В  $\gamma$ -спектрах, обробка яких проводилась за допомогою програми Winspectrum [1] надійно виділені  $\gamma$ -переходи, які супроводжують розпад  $^{111}\text{Agm}+g$ ,  $^{112}\text{Ag}$ ,  $^{113}\text{Agm}+g$ ,  $^{122}\text{Sbm}+g$ ,  $^{124}\text{Sbm}+g$ ,  $^{127}\text{Sb}$ ,  $^{129}\text{Sbm}+g$ ,  $^{196}\text{Au}$  та  $^{180}\text{Ta}$ . Зокрема на рис. 1 показано фрагменти  $\gamma$ -спектру опроміненої мішені кадмію.

Рис. 1. Фрагмент  $\gamma$ -спектру активованої мішені металічного кадмію природного ізотопного складу. Його маса склала 1,8 г. Тривалість опромінення склала 2 години, період витримки 8 діб, тривалість вимірювання 8 діб.

Моделювання гальмівного спектру проводилось в рамках програмного коду Geant4 [2]. 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  $\gamma$ -квантів, які відповідають розпадам досліджуваних нуклідів розраховувались в рамках програмного коду MCNP [3].

Використовуючи стандартні формули активаційного аналізу [4] були розраховані експериментальні значення середньозважених виходів досліджуваних реакцій, які наведені в таблиці.

Було проведено моделювання досліджуваних реакцій в рамках програмного коду TALYS-1.96 [5]. Розраховані теоретичні виходи ( $\sigma$ ) також показані в таблиці разом із енергетичними бар'єрами зазначених реакцій ( $Q$ ).

Таблиця. Середньозважені виходи  $(\gamma, p)$ -реакцій на ядрах телуру та кадмію

Реакція  $Q$   
MeV, мкбн

$^{112}\text{Cd}(\gamma, p)^{111}\text{Agm}+g$	9.6	88(10)	8.3(4)
$^{113}\text{Cd}(\gamma, p)^{112}\text{Ag}$	9.7	25.0(23)	1.60(8)
$^{114}\text{Cd}(\gamma, p)^{113}\text{Agm}+g$	10.3	54(16)	1.70(9)
$^{123}\text{Te}(\gamma, p)^{122}\text{Sbm}+g$	8.1	92.0(82)	30.0(15)
$^{125}\text{Te}(\gamma, p)^{124}\text{Sbm}+g$	8.7	20.2(18)	12.0(6)

$^{128}\text{Te}(\gamma, p)^{127}\text{Sb}$  9.6 4.4(5) 1.00(5)  
 $^{130}\text{Te}(\gamma, p)^{129}\text{Sb}_{m+g}$  10 3.1(6) 0.110(5)

Для середньозважених виходів, які розраховувались за даними коду TALYS-1.96 ( ) похибка складається лише з похибки моделювання гальмівного спектру в кодї Geant4, яка знаходиться в межах 5 % для даних граничних енергій гальмівних гамма-квантів, оскільки теоретичні виходи розраховуються як згортка модельованого гальмівного  $\gamma$ -спектру з теоретичними перерізами для монохроматичних гамма-квантів з кроком 1 MeB.

Похибка потоку гальмівних  $\gamma$ -квантів при розрахунку експериментальних середньозважених виходів ( ) знаходиться в межах 7 %. В нашому випадку похибки визначення квантових виходів склали менше 1 %, оскільки ми використовували найбільш інтенсивні  $\gamma$ -лінії, статистична похибка визначення площ піків переважно домінувала в загальній невизначеності і перебувала в межах 4-28 %. Загальна похибка визначення ефективностей реєстрації коливалася в межах 2-3%, оскільки проводяться відносні вимірювання. Тому загальна похибка експериментальних середньозважених виходів знаходилась в межах 9-29 %.

Як видно з таблиці середньозважені виходи усіх ( $\gamma, p$ )-реакцій, які виміряні нами вперше значно вищі теоретичних даних. Це свідчить про нестатистичний характер перебігу даних реакцій. Можливий значний внесок прямих та напівпрямих механізмів.

1. N.V. Strilchuk The WinSpectrum manual (2000).
2. S. Agstinelli et al. Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res A 506 (2003) 250.
3. J.F. Briesmeister, MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Los Alamos National Laboratory Report LA-12625-M, 989, 1997.
4. V.A. Zheltonozhsky et al. Eur. Phys. Jour. A 57 (2021) 121.
5. 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, San-ta Fe, USA, 26 September-1 October, 2004 (Washington, 2005) p. 1154.

**Authors:** Д-р. САВРАСОВ, Андрій (KINR); Д-р. ХОМЕНКОВ, Володимир (KINR); Д-р. ЖЕЛТОНОЖСЬКИЙ, Віктор (KINR)

**Доповідач:** Д-р. САВРАСОВ, Андрій (KINR)

**Тип засідання:** Експериментальна ядерна фізика

**Класифікація за напрямком:** Експериментальна ядерна фізика