

ЯДЕРНА ФІЗИКА
NUCLEAR PHYSICS

УДК 539.17

<https://doi.org/10.15407/jnpac2025.02.139>**В. О. Желтоножський¹, А. М. Саврасов^{1,*}, П. С. Деречкей²,
Л. В. Садовніков¹, В. Т. Маслюк²**¹ *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*² *Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород, Україна**Відповідальний автор: asavrasov@kinr.kiev.ua**ДОСЛІДЖЕННЯ (γ, n)-РЕАКЦІЙ
НА ДЕЯКИХ ІЗОТОПАХ БАРІЮ ТА НЕОДИМУ**

Уперше виміряно середньозважені виходи реакцій $^{130}\text{Ba}(\gamma, n)^{129}\text{Ba}$, $^{132}\text{Ba}(\gamma, n)^{131}\text{Ba}^{m+g}$, $^{136}\text{Ba}(\gamma, n)^{135}\text{Ba}^m$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^m$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^{m+g}$ та $^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$ при граничному значенні енергії гальмівних гамма-квантів 19 МеВ, величини яких становили 114^(+7,4)(10), 113(8), 17,0(12), 9,5(7), 104,5(80) та 83(8) мб відповідно. Виміряні середньозважені виходи більшості реакцій задовільно узгоджуються як з результатами, отриманими з робіт інших авторів, так і з результатами моделювання в рамках програмного коду TALYS-1.96. Констатується статистичний характер усіх вищезгаданих реакцій.

Ключові слова: середньозважені виходи, перерізи, активаційний метод, гамма-спектрометрія, TALYS-1.96, фотонейтронні реакції.

1. Вступ

Фотонейтронні ядерні реакції в області енергії гігантського дипольного резонансу (ГДР) [1] досліджувалися доволі ретельно для різних ядер. Проте для ядер неодиму та барію існують роботи лише декількох експериментальних груп [2 - 6]. У той же час природні неодим та барій містять по сім ізотопів кожен, при цьому ^{142}Nd та ^{138}Ba є магнічними ядрами з замкненою нейтронною оболонкою $N = 82$. Це дає змогу вивчати вплив різної кількості нейтронів на вихід (γ, n)-реакції. Виходячи з вищевикладеного, метою нашої роботи є дослідження виходів напрацювання ядер $^{141}\text{Nd}^m$, $^{141}\text{Nd}^{m+g}$, ^{149}Nd , ^{129}Ba , $^{131}\text{Ba}^{m+g}$ та $^{135}\text{Ba}^m$ в (γ, n)-реакції при опроміненні мішеней порошкоподібних оксиду неодиму та гідроксиду барію природного ізотопного складу гальмівними гамма-квантами з енергією в області ГДР.

2. Експеримент та результати вимірювань

Дослідження середньозважених виходів проводилося активаційним методом на гальмівному гамма-пучку для граничних енергій гальмівних гамма-квантів ($E_{\gamma p}$) 19 МеВ. При цьому для моніторингу потоку гальмівних гамма-квантів використовувалися зразки природного металічного танталу товщиною 20 мкм та золота товщиною 10 мкм. При проведенні опромінення до них додавалися мішені порошкоподібних гідроксиду барію чи оксиду неодиму. Для обох збірок в якості гальмівної мішені використовувався металічний тантал товщиною 1,05 мм, за яким на відстанях 15 - 20 см розміщувалися досліджувані

мішені. Тантал товщиною 20 мкм та золото використовувалися для отримання потоку гальмівних гамма-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 гамма-квантів у досліджуваному енергетичному діапазоні [7, 8]. Виконувалося три серії опромінь та вимірювань у низькофоновій спектрометричній лабораторії. Час опромінення становив 3 - 7 год.

Наведену активність міряли двома гамма-спектрометрами на базі HPGe-детекторів, з ефективністю реєстрації 15 та 40 % порівняно з NaI(Tl)-детектором розмірами 3"×3" та енергетичною роздільною здатністю 1,9 кеВ на гамма-лінії 1332,5 кеВ ^{60}Co для обох спектрометрів.

Для того, щоб визначити потік гальмівних гамма-квантів, необхідно спочатку розрахувати середньозважені виходи моніторної реакції $^{197}\text{Au}(\gamma, n)^{196}\text{Au}$. Для цього використовувалися гамма-піки з енергіями 333 та 355,7 кеВ, які супроводжують розпад основного стану ^{196}Au (рис. 1). Потім за допомогою формул (4) і (5) [9] було розраховано середньозважені виходи моніторних реакцій та потік гальмівних гамма-квантів відповідно. Даний потік узгоджувався в межах похибки експерименту з потоком, розрахованим за допомогою моніторної реакції $^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180}\text{Ta}$.

Усі гамма-піки, які супроводжують розпад $^{129}\text{Ba} \rightarrow ^{129}\text{Cs}$, $^{131}\text{Ba}^{m+g}$, $^{135}\text{Ba}^m$, $^{141}\text{Nd}^m$, $^{141}\text{Nd}^{m+g}$ та ^{149}Nd надійно ідентифіковані за енергією та періодом напіврозпаду (рис. 2 - 5).

© Автор(и), 2025

Стаття опублікована ІЯД НАН України за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC 4.0

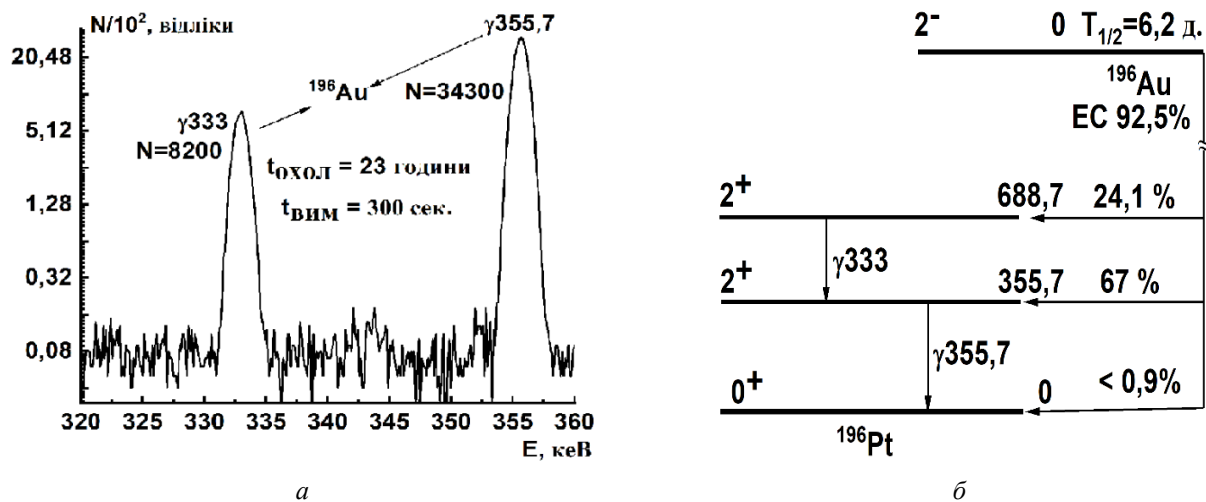


Рис. 1. Фрагменти гамма-спектра активованої мішені золота (а) та схеми розпаду ^{196}Au (б) [10].

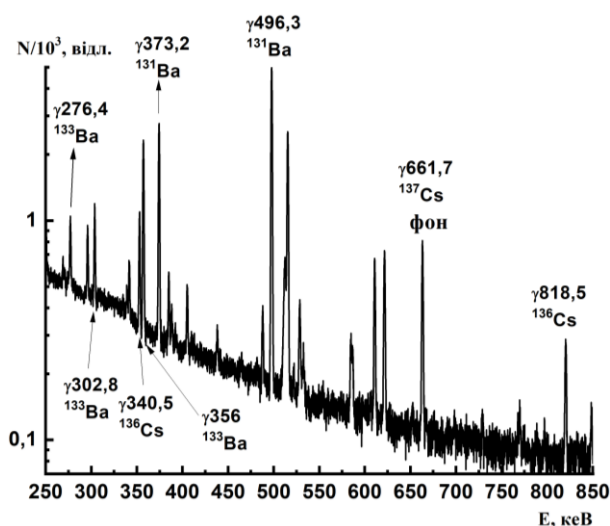


Рис. 2. Фрагмент гамма-спектра активованої мішені гідроксиду барію масою 5,2 г. Час опромінення 3 год, час охолодження 13 діб, час вимірювання 7 діб.

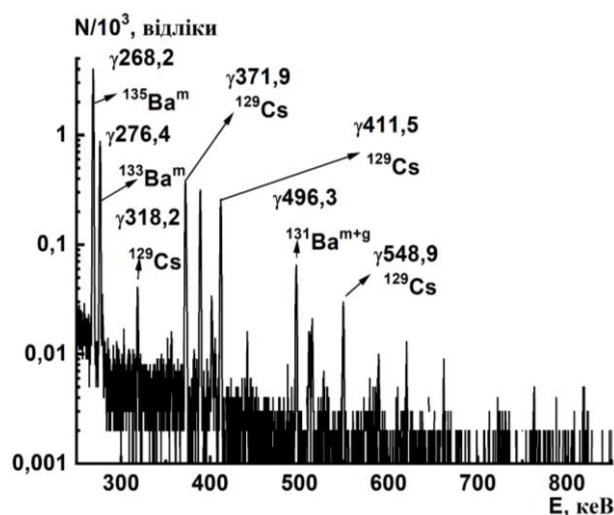


Рис. 3. Фрагмент гамма-спектра тієї ж мішені гідроксиду барію. Час охолодження 20 год, час вимірювання 1 год.

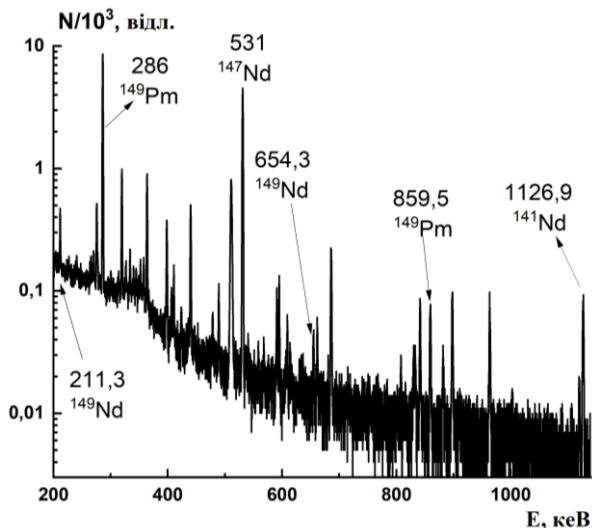


Рис. 4. Фрагмент гамма-спектра активованої мішені порошкоподібного оксиду неодиму масою 5,2 г. Вміст неодиму в мішені 93 %. Час опромінення 4 год, час охолодження 20 год, час вимірювання 6 год.

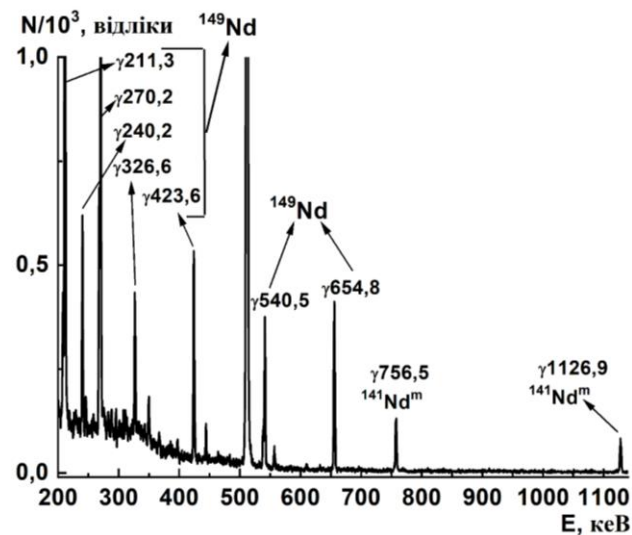


Рис. 5. Фрагмент гамма-спектра опроміненої мішені оксиду неодиму. Час опромінення 2 год, час охолодження 95 с, час вимірювання 10 хв.

З експериментальних гамма-спектрів та табульованих величин ми визначили середньозважені виходи реакцій, що призводять до утворення

$^{129}\text{Ba} \rightarrow ^{129}\text{Cs}$, $^{131}\text{Ba}^{m+g}$, $^{135}\text{Ba}^m$, $^{141}\text{Nd}^m$, $^{141}\text{Nd}^{m+g}$ та ^{149}Nd згідно з формулою, мб:

$$\langle Y \rangle_{\text{exp}} = \frac{N \lambda A}{(1 - \exp(-\lambda t_{\text{онр}})) \exp(-\lambda t_{\text{охол}}) (1 - \exp(-\lambda t_{\text{вим}})) \xi k \alpha F N_A m p R}, \quad (1)$$

де p – абсолютний вміст ізотопів барію та неодиму в досліджуваних мішенях; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро, (кількість ядер/г·моль); m – маси мішеней, г; A – масові числа атомів ^{129}Ba , ^{129}Cs , $^{131}\text{Ba}^{m+g}$, $^{135}\text{Ba}^m$, $^{141}\text{Nd}^m$, $^{141}\text{Nd}^{m+g}$ та ^{149}Nd відповідно, (а.о.м.); R – коефіцієнт конверсії; N – кількість відліків під фотопіками, які супроводжують розпад $^{129}\text{Ba} \rightarrow ^{129}\text{Cs}$, $^{131}\text{Ba}^{m+g}$, $^{135}\text{Ba}^m$, $^{141}\text{Nd}^m$, $^{141}\text{Nd}^{m+g}$ та ^{149}Nd ; α – квантові виходи гамма-квантів, які супроводжують розпад ядер $^{129}\text{Ba} \rightarrow ^{129}\text{Cs}$, $^{131}\text{Ba}^{m+g}$, $^{135}\text{Ba}^m$, $^{141}\text{Nd}^m$, $^{141}\text{Nd}^{m+g}$ та ^{149}Nd ; ξ – ефективності реєстрації гамма-квантів розпаду; $t_{\text{онр}}$, $t_{\text{охол}}$, $t_{\text{вим}}$ – тривалості опромінення, охолодження і вимірювання відповідно, с; k – коефіцієнти самопоглинання гамма-квантів розпаду; λ – сталі розпаду ядер ^{129}Ba , ^{129}Cs , $^{131}\text{Ba}^{m+g}$, $^{135}\text{Ba}^m$, $^{141}\text{Nd}^m$, $^{141}\text{Nd}^{m+g}$ та ^{149}Nd , с^{-1} ; F – потік гальмівних гамма-квантів, (γ ·моль)/($\text{с} \cdot \text{см}^2$).

Обробка гамма-спектрів проводилася за допомогою програми Winspectrum [11]. Ця програма дає можливість записувати спектри через певні проміжки часу. Тобто, відповідні нукліди були ідентифіковані і за енергією, і за періодом напіврозпаду. Ефективність реєстрації гамма-

квантів розпаду була визначена за допомогою стандартних калібрувальних джерел $^{152,154}\text{Eu}$ та ^{133}Ba . Для перевірки калібрування було використано програмний пакет GEANT4 [12], в якому здійснюються підрахунки за методом Монте-Карло. Результати моделювання збіглися з експериментальними значеннями ефективності в межах похибки експерименту. Величини λ , p , α , A були взяті з [13], N – з експериментальних гамма-спектрів. Величини коефіцієнтів k були отримані з різниці між модельованими ефективностями реєстрації необхідних гамма-квантів для точкових та досліджуваних зразків. Моделювання проводилося в рамках кодів GEANT4 та MCNP-4с [14] для додаткової перевірки. При цьому модельовані ефективності реєстрації для точкових джерел узгоджуються як між обома кодами, так і з експериментальними величинами. Енергії гамма-квантів, використані для визначення виходів, їхні квантові виходи та коефіцієнти самопоглинання наведено в табл. 1. Коефіцієнт R розраховувався згідно з методикою, описаною в [15].

Отримані дані про середньозважені виходи наведено в табл. 2.

Таблиця 1. Реакції та спектроскопічна інформація про продукти розпаду [13]

Реакція	Період напіврозпаду утвореного радіонукліда	Енергія гамма-кванта, використана для ідентифікації, кеВ	Квантовий вихід гамма-кванта, %	Коефіцієнт самопоглинання, абс. од.
$^{130}\text{Ba}(\gamma, n)^{129}\text{Ba}$, $^{129}\text{Cs}^*$	2,23 год			
^{129}Cs	32,13 год	371,918(2)	30,6(17)	1,34(4)
$^{132}\text{Ba}(\gamma, n)^{131}\text{Ba}^{m+g}$	11,52 доби	496,321(5)	48	1,33(4)
$^{136}\text{Ba}(\gamma, n)^{135}\text{Ba}^m$	28,7 год	268,218(20)	16,0(4)	1,35(4)
$^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^m$	62 с	756,51(5)	91,56(11)	1,54(5)
$^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^{m+g}$	2,49 год	1126,91(20)	0,796	1,52(3)
$^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$	1,728 год	211,309(7)	0,260(10)	1,67(7)

Примітка. *Оскільки гамма-лінії, що супроводжують розпад ^{129m}Ba не зафіксовано, то вихід цієї реакції було отримано за допомогою гамма-ліній з розпаду ^{129}Cs , на який з імовірністю 100 % розпадається ^{129}Ba . При цьому внесок реакції $^{130}\text{Ba}(\gamma, p)^{129}\text{Cs}$ не перевищує 0,1 %, що впливає із систематики експериментальних перерізів (γ , p)-реакцій у даній області мас ядер. При розрахунку середньозваженого виходу реакції $^{130}\text{Ba}(\gamma, n)^{129}\text{Ba}$ час охолодження становив 19 год ($\approx 8,5$ періодів напіврозпаду ядер ^{129}Ba). У виразі (1) було прийнято, що після повного розпаду ядер ^{129}Ba розпадаються лише ядра ^{129}Cs з $T_{1/2} = 32,13$ год. Після цього було виконано розрахунок для реального процесу розпаду: спочатку розпадаються ядра ^{129}Ba з $T_{1/2} = 2,23$ год, а потім – ядра ^{129}Cs з $T_{1/2} = 32,13$ год, враховуючи реальний експериментальний час охолодження – 19 год. При цьому кількість ядер ^{129}Cs , що розпадаються, зросла на 6,5 % порівняно з розрахунковим випадком. Цю різницю було винесено окремо як систематичну похибку.

Таблиця 2. Середньозважені виходи (γ , n)-реакцій на ізотопах барію та неодиму при $E_{\text{гр}} = 19 \text{ MeV}$

Реакція	Q, MeV	$\langle Y \rangle$, мб		
		$\langle Y \rangle_{\text{exp}}$	$\langle Y \rangle_{\text{stat}}^{\text{theor}}$	$\langle Y \rangle_{\text{exp}}^{\text{other}}$
$^{130}\text{Ba}(\gamma, n)^{129}\text{Ba}$	10,3	114(+7,4)(10)	116(6)	103(10) [4 - 6]
$^{132}\text{Ba}(\gamma, n)^{131}\text{Ba}^{m+g}$	9,8	113(8)	132(7)	110(11) [4 - 6]
$^{136}\text{Ba}(\gamma, n)^{135}\text{Ba}^m$	9,4	17,0(12)	13,4(7)	14,3(15) [4]
$^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^m$	10,6	9,5(7)	15,5(8)	6,8(8) [16]
$^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^{m+g}$	9,8	104,5(80)	146,0(73)	144(14) [2]
$^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$	7,4	83(8)	70,0(35)	76(8) [3]

Слід також оцінити внесок нейтронів, що утворюються як в гальмівній мішені, так і в мішенях збірок на заселення $^{131}\text{Ba}^{m+g}$ та ^{149}Nd у реакціях (n, γ). Потоки нейтронів оцінювали за реакцією $^{181}\text{Ta}(n, \gamma)^{182}\text{Ta}$, продукти якої були надійно ідентифіковані у спектрах. З аналізу розпаду ^{182}Ta було отримано, що загальний внесок (n, γ)-реакцій в заселення $^{131}\text{Ba}^{m+g}$ та ^{149}Nd не перевищує 1 %).

3. Обговорення

Було проведено моделювання досліджуваних реакцій у рамках програмного коду TALYS-1.96 [17]. Розраховані за формулою (2) [18] теоретичні виходи ($\langle Y \rangle_{\text{stat}}^{\text{theor}}$) також показано в табл. 2 разом з результатами, отриманими теж за допомогою формули (2) [18] з робіт інших авторів $\langle Y \rangle_{\text{exp}}^{\text{other}}$ [2 - 6, 16] та енергетичними порогами досліджуваних реакцій (Q). Як видно з таблиці, середньозважені виходи більшості (γ , n)-реакцій у межах точності експерименту задовільно узгоджуються як з теоретичними даними, так і з результатами, отриманими з робіт інших авторів. Це також свідчить про статистичний характер перебігу (γ , n)-реакцій, оскільки даний механізм домінує в коді TALYS-1.96.

Окремо слід виділити реакцію $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^m$. Для неї отримані виходи задовільно узгоджуються з результатами, отриманими з робіт інших авторів і в той же час є значно нижчими, ніж теоретичні. Це може свідчити про більший внесок нестатистичних механізмів при заселенні $^{141}\text{Nd}^m$, хоча внесок статистичного механізму перевищує 50 %.

Слід зазначити, що вихід реакції на магічному ядрі $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^{m+g}$ є найвищим серед досліджуваних реакцій, перевищуючи на 25 % вихід реакції $^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$.

У коді TALYS-1.96 є шість моделей для опису густини рівнів. Варіювання цими моделями про-

водилося для всіх досліджуваних реакцій. У таблиці вказано теоретичні виходи, розраховані для моделі сталої температури та фермі-газу (СТ + FG) (ld1) [19], яка використовується за замовчуванням. При цьому теоретичні величини середньозважених виходів, розраховані за іншими моделями, змінювалися в межах 10 %.

Для середньозважених виходів, розрахованих за даними коду TALYS-1.96 ($\langle Y \rangle_{\text{stat}}^{\text{theor}}$), похибка включає похибку моделювання гальмівного спектра в коді Geant4, яка становить приблизно 5 % для заданих граничних енергій гальмівних гамма-квантів. У випадку використання експериментальних даних загальна похибка дещо вища, оскільки до похибок моделювання додається похибка експериментального перерізу. Для кожного перерізу похибка береться зі своїм ваговим коефіцієнтом, тобто розраховується середньозважена похибка, що становить 8 - 11 %. Тому загальна сумарна похибка визначення середньозважених виходів з робіт інших авторів ($\langle Y \rangle_{\text{stat}}^{\text{other}}$), які використовувалися в даних розрахунках, знаходиться в межах 10 - 12 %.

Похибка потоку гальмівних гамма-квантів є домінуючою при розрахунку середньозважених виходів за формулою (1). У нашому випадку похибки визначення квантових виходів знаходилися в діапазоні 0 - 5,6 %, оскільки ми використовували найбільш інтенсивні гамма-лінії, статистична похибка визначення площ піків знаходилася в межах 0,5 - 4,2 %. Загальна похибка визначення ефективностей реєстрації коливалася в межах 2 - 3 %, оскільки проводилися відносні вимірювання, невизначеність коефіцієнтів самопоглинання становила 3 - 4 %. Систематична похибка була оцінена на рівні 2 %, з вимірювань, проведених на різних спектрометрах. Тому загальна похибка середньозважених виходів ($\langle Y \rangle_{\text{exp}}$), розрахованих за формулою (1), знаходилася в межах 7,2 - 12 %.

4. Висновки

При максимальній енергії гальмівних гамма-квантів 19 МеВ уперше виміряно середньозважені виходи реакцій на ізотопах барію та неодиму. Отримано такі їхні величини: $114^{(+7,4)}(10)$, $113(8)$, $17,0(12)$, $9,5(7)$, $104,5(80)$ та $83(8)$ мб для реакцій $^{130}\text{Ba}(\gamma, n)^{129}\text{Ba}$, $^{132}\text{Ba}(\gamma, n)^{131}\text{Ba}^{m+g}$, $^{136}\text{Ba}(\gamma, n)^{135}\text{Ba}^m$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^{m+g}$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^m$ та $^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$ відповідно. Проведено теоретичний розрахунок середньозважених виходів даних реакцій з використанням пакета TALYS-1.96 та проаналізовано результати робіт інших дослідників, які використовували як монохроматичні

гамма-кванти, так і гальмівні. Виміряні середньозважені виходи більшості реакцій задовільно узгоджуються як з результатами, отриманими з робіт інших авторів, так і з результатами моделювання в рамках програмного коду TALYS-1.96 у межах невизначеностей експериментів та моделювання. Констатується статистичний характер усіх вищезгаданих реакцій.

Роботу виконано за фінансової підтримки бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень» (КПКВК 6541230) на 2023 - 2024 рр. та гранта МАГАТЕ № 28137.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Ю.Г. Гангрский, В.М. Мазур. Рассеяние γ -квантов ядрами. *ФЭЧАЯ* 33(1) (2002) 158. / Yu.P. Gangrskiy, V.M. Mazur. The scattering of γ -quanta by nuclei and excitation isomer states. *Phys. Part. Nuclei* 33(1) (2002) 158. (Rus)
2. S.N. Beljaev, V.A. Semenov. Analysis of the intermediate structure in the (γ ,n)-cross sections on nuclei with $N = 82$. *Bull. Acad. Sci. USSR. Phys. Ser.* 55(5) (1991) 66.
3. P. Carlos et al. The giant dipole resonance in the transition region for the neodymium isotopes. *Nucl. Phys. A* 172 (1971) 437.
4. A.G. Belov et al. Measurement of the isomer ratio in (γ ,n) reactions for the barium isotopes. *Phys. Atom. Nuclei* 59 (1996) 367.
5. V.M. Mazur, Z.M. Bigan. Cross section of excitation of isomeric states for ^{129m}Ba , ^{131m}Ba , ^{135m}Ba isotopes in (γ ,n) reactions. *Ukr. J. Phys.* 46 (2001) 529.
6. T.D. Thiep et al. The isomeric ratios in photonuclear reactions of natural barium induced by bremsstrahlungs with endpoint energies in the giant dipole resonance region. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 292 (2012) 89.
7. V.V. Varlamov et al. New data on (γ , n), (γ , 2n), and (γ , 3n) partial photoneutron reactions. *Phys. Atom. Nuclei* 76 (2013) 1403.
8. A. Veyssiere et al. Photoneutron cross sections of ^{208}Pb and ^{197}Au . *Nucl. Phys. A* 159 (1970) 561.
9. V.A. Zheltonozhsky et al. Excitation of $^{177,178}\text{Lu}$ in reactions with bremsstrahlung with escaping of charged particles. *Nucl. Instrum. Meth. B* 476 (2020) 68.
10. Scheme of ^{196}Au decay.
11. M.V. Strilchuk. The WinSpectrum manual (Kyiv: Institute for Nuclear Research, 2000) 14 p. (Unpublished).
12. S. Agostinelli et al. GEANT4 – a simulation toolkit. *Nucl. Instrum. Meth. A* 506 (2003) 250.
13. NUDAT3.
14. J.F. Briesmeister. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Version 4B. Report No. LA-12625-M (New Mexico, Los Alamos National Laboratory, 1997).
15. V. Zheltonozhsky, A. Savrasov. Population cross-section of $^{179m2}\text{Hf}$ from the reactions on hafnium and tantalum targets. *Nucl. Instrum. Meth. B* 438 (2019) 20.
16. V.M. Mazur, V.A. Zheltonozhsky, Z.M. Bigan. Investigation of isomer states excitation in (γ ,n) reactions on nuclei shell near $N = 82$. *Phys. Atom. Nuclei* 58(6) (1995) 898.
17. A.J. Koning, D. Rochman. Modern nuclear data evaluation with the TALYS Code System. *Nucl. Data Sheets* 113 (2012) 2841.
18. V.O. Zheltonozhsky et al. Investigation of (γ , xpxn)-reactions on titanium, lutetium, nickel and chromium nuclei at $E_{br} = 37$ MeV. *Rad. Phys. Chem.* 216 (2024) 111387.
19. A. Gilbert, A.G.W. Cameron. A composite nuclear-level density formula with shell corrections. *Can. J. Phys.* 43 (1965) 1446.

V. O. Zheltonozhsky¹, A. M. Savrasov^{1,*}, P. S. Derechkey², L. V. Sadovnikov¹, V. T. Maslyuk²

¹ *Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

² *Institute of Electronic Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Uzhgorod, Ukraine*

*Corresponding author: asavrasov@kinr.kiev.ua

INVESTIGATION OF (γ , n)-REACTION ON SOME BARIUM AND NEODYMIUM ISOTOPES

For the first time, the flux-weighted average yields were measured of the $^{130}\text{Ba}(\gamma, n)^{129}\text{Ba}$, $^{132}\text{Ba}(\gamma, n)^{131}\text{Ba}^{m+g}$, $^{136}\text{Ba}(\gamma, n)^{135}\text{Ba}^m$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^m$, $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}^{m+g}$ and $^{150}\text{Nd}(\gamma, n)^{149}\text{Nd}$ at $E_{br} = 19$ MeV, the values of which were: $114^{(+7,4)}(10)$, $113(8)$, $17,0(12)$, $9,5(7)$, $104,5(80)$ and $83(8)$ mb, respectively. The measured flux-weighted average yields of most reactions are in satisfactory agreement with the results, obtained from the works of other authors and with the results of simulations within the TALYS-1.96 code. The statistical mechanism of all the above-mentioned reactions is established.

Keywords: flux-weighted average yields, cross-sections, activation method, gamma-spectrometry, TALYS-1.96 code, photonuclear reactions.

Надійшла / Received 04.12.2024