

**В. М. Мазур¹, З. М. Біган¹, П. С. Деречкей¹,
В. О. Желтоножський², А. М. Саврасов^{2,*}**

¹ Інститут електронної фізики НАН України, Ужгород, Україна

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: asavrasov@kinr.kiev.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕРІЗІВ (γ , n)-РЕАКЦІЙ НА p-ЯДРАХ ^{120}Te , ^{136}Ce В ОБЛАСТІ ЕНЕРГІЙ ГІГАНТСЬКОГО Е1-РЕЗОНАНСУ

Проведено вивчення перерізу фотоядерних реакцій на нейтронно-дефіцитних ядрах $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$, $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ в інтервалі енергій гамма-квантів 9 - 18 МеВ. Вимірювання апаратурних гамма-спектрів проводилося активаційною методикою. Експериментальні результати порівнювалися з теоретичними розрахунками, проведеними в рамках програмного пакета TALYS-1.9.

Ключові слова: ^{120}Te , ^{136}Ce , ядерні реакції, переріз фотоядерних реакцій, гігантський дипольний резонанс, гальмівний гамма-спектр, ізомерні стани.

1. Вступ

У фізиці нуклеосинтезу вважається встановленим, що ядра, важчі за залізо, синтезовані в зірках за допомогою захоплення нейтронів (s- і r-процеси). Але в природі є в наявності кілька десятків нейтронно-дефіцитних стабільних ізотопів, екранованих від захоплення швидких нейтронів стабільними ізобарами, походження яких не пояснюється захопленням нейтронів. Ці ядра зазвичай іменуються як r-нукліди. Були запропоновані різні механізми як пояснення кількості r-ядер, наявних у сонячній системі, так і відхилення («аномалії») кількості r-ізотопів окремих елементів, що спостерігаються в деяких об'єктах сонячної системи [1]. Ці ядра продукуються з попередників через ланцюжок фотоядерних реакцій (γ , n), (γ , p), (γ , α) [2, 3]. Для обчислень широкого кола r-процесів необхідні масиви даних, що включають десятки, а то й сотні перерізів реакцій. Але не дивлячись на помітні зусилля, зроблені в останні роки, наявна інформація про перерізи фотоядерних реакцій, відповідальних у тому числі за протікання r-процесів, усе ще залишається недостатньою. На теперішній час оцінки можливого внеску реакцій у продукування r-ядер, що використовуються в астрофізичних обчисленнях, базуються на перерізах, одержаних із розрахунків за статистичною теорією Хаузера - Фешбаха [4].

Комплексне, широкомасштабне вивчення характеристик фотонейтронних реакцій в області енергій гігантського дипольного резонансу, тобто в області 8 - 26 МеВ, було проведено у свій час у кількох лабораторіях світу як безпо-

середнім вимірюванням перерізу поглинання гамма-квантів ядрами σ_{tot} [5, 6], так і методом сумування парціальних перерізів реакцій [7].

Зростання інтересу до вимірювання перерізів фотоядерних реакцій, що спостерігається в теперішній час, пов'язане, з одного боку, з необхідністю одержання відсутньої інформації для астрофізичних обчислень [1, 2], а з іншого – зі створенням принципово нових джерел квазімонохроматичного гамма-випромінювання [8, 9] і відповідно можливістю уточнення існуючих фотоядерних даних [10].

Практично всі вимірювання перерізів фотоядерних реакцій, проведені на квазімонохроматичних або на гальмівних пучках [7], виконані за допомогою мішеней, виготовлених з ізотопно збагачених зразків. Однією з причин, чому було проведено мало вимірювань на r-ядрах, була відсутність таких ізотопно збагачених мішеней. Ці нейтронно-дефіцитні ядра, які знаходяться на межі бета-стабільності, у природній суміші ізотопів часто містяться в дуже малій кількості і збагатити їх ізотопно до необхідної маси і необхідних параметрів складно і дорого. У той же час на сучасних гамма-спектрометрах високої роздільної здатності та ефективності такі вимірювання можна провести на природній суміші ізотопів, фіксуючи гамма-випромінювання радіоактивних дочірніх ядер.

До r-ядер належать також ізотопи ^{120}Te і ^{136}Ce [1]. Раніше було проведено в області енергій гамма-квантів 8 - 26 МеВ вимірювання перерізів фотонейтронних реакцій (γ , n), (γ , 2n), (γ , 3n) на важких ізотопах телуру і церію [11], тобто ізото-

© В. М. Мазур, З. М. Біган, П. С. Деречкей,
В. О. Желтоножський, А. М. Саврасов, 2019

пах, для яких були доступні мішені із збагаченим ізотопним складом. Метою даної роботи є вивчення виходів та перерізів реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ і $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ в області гігантського дипольного резонансу.

2. Методика експерименту

Вимірювання проводилося на гальмівному гамма-пучку мікротрона М-30 відділу фотоядерних процесів Інституту електронної фізики НАН України. Технічні характеристики мікротрона наведено в роботі [12]. Опромінення дослідних зразків проводилося в інтервалі максимальних енергій гальмівного гамма-пучка $E_{\gamma\text{max}} = 9 - 18$ МеВ. При цьому зміна енергії прискорених електронів відбувалася двома способами: у межах одного числа орбіт – зміною величини провідного магнітного поля і відповідно зміною прискорювального потенціалу резонатора, а в широких межах – зміною числа орбіт електронного пучка за допомогою хвильоводних вставок. Контроль величини провідного магнітного поля прискорювача здійснювався методом ядерного магнітного резонансу. Розкид електронного пучка по енергії не перевищував 30 - 50 кеВ [12]. Величина струму прискорених електронів фіксувалася кожні 1,2 с і запи-

сувалася ЕОМ, що дозволяло робити поправки на можливу нестабільність пучка. Середній струм прискорювача 5 мкА.

Для проведення вимірювань було використано активаційну методику. У випадку церію досліджувані мішені було виготовлено з дисків високочистого окису церію CeO_2 масою 2 г і діаметром 20 мм, запресованого в тонкостінні капролонові касети; у випадку телуру використовувалися диски склоподібного TeO_2 діаметром 25 мм і товщиною 2 мм. В обох випадках час опромінення становив 2 год при енергіях близько порога (γ, n)-реакції і 20 хв при енергіях 14 - 18 МеВ. Часи охолодження і вимірювання вибиралися з умов оптимальної реєстрації відповідних гамма-ліній від розпаду дочірніх ядер. Прорахунки реєструючої апаратури були при цьому менші 5 %.

Гамма-спектри наведеної активності вимірювалися спектрометром з високою роздільною здатністю на базі германієвого HPGe-детектора з ефективністю реєстрації 40 % порівняно з NaI(Tl)-детектором розмірами 3"×3". Детектор розташовувався у свинцевому та кадмієвому захистах товщиною 10 та 0,1 см відповідно. Роздільна здатність детектора ~ 2 кеВ для гамма-ліній 1,173 і 1,332 МеВ (рис. 1).

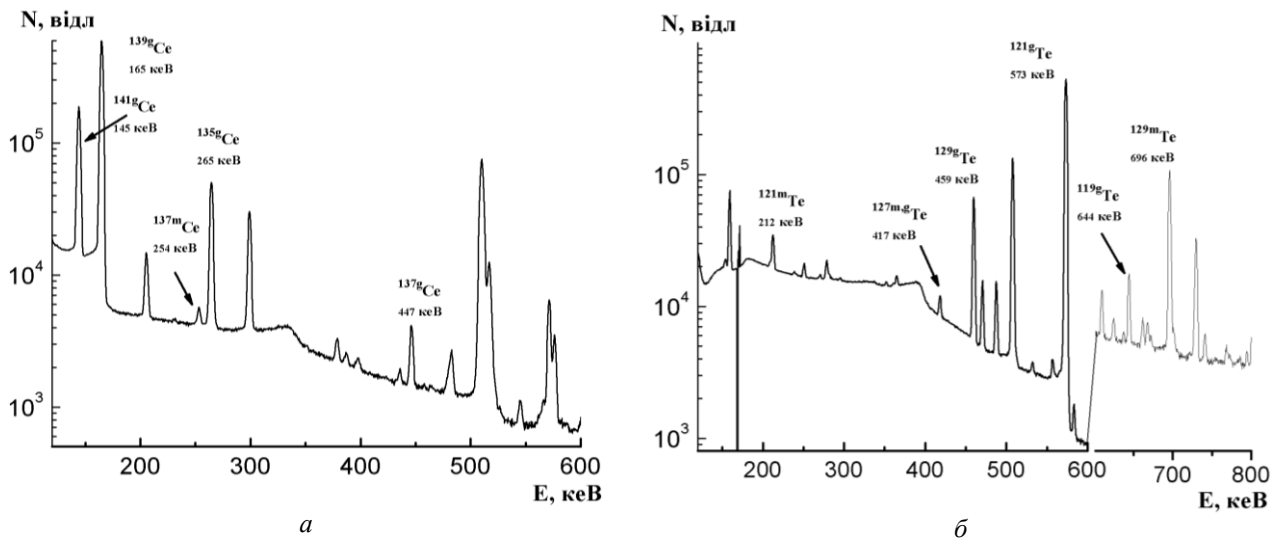


Рис. 1. Фрагменти апаратурного спектра при максимальній енергії $E_{\gamma\text{max}} = 15$ МеВ опроміненіх мішеней церію (а) і телуру (б). Тут N – кількість зареєстрованих імпульсів у каналі аналізатора.

Із рисунка видно, що, хоча вміст ізоотопу ^{136}Ce в досліджуваному зразку всього 0,19 %, а вміст ^{120}Te 0,09 %, їхні аналітичні лінії 265 і 644 кеВ від розпаду основних станів реєструються надійно. Одночасно з вимірюванням гамма-ліній від розпаду ^{135}Ce і ^{119}Te проводилися вимірювання відповідних аналітичних ліній від розпаду ^{139}Ce і ^{129}Te , які використовувалися для нормування абсолютної калібровки виходів реакцій

$^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ і $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$. Перерізи відповідних реакцій брали з роботи [11].

Спектрометричні характеристики розпаду основних та ізомерних станів ізоотопів ^{135}Ce , ^{139}Ce , ^{119}Te і ^{129}Te взяті з робіт [7, 13] і наведені в таблиці, де B_n – пороги (γ, n)-реакцій, J^π – спірність станів, E_γ – енергія аналітичних гамма-ліній, $T_{1/2}$ – період напіврозпаду, α – інтенсивність ліній.

Спектроскопічні характеристики ядер

| Ізотоп | V_n , MeV | J^π | E_γ , keV | $T_{1/2}$ | α , % |
|--------------------|-------------|-------------------|------------------|------------|--------------|
| ^{119m}Te | | 11/2 ⁻ | 1212 | 4,70 доби | 66,1 |
| ^{119g}Te | 10,292 | 1/2 ⁺ | 644 | 16,05 год | 84,0 |
| ^{129m}Te | | 11/2 ⁻ | 696 | 33,6 год | 3,06 |
| ^{129g}Te | 8,419 | 3/2 ⁺ | 459 | 69,3 хв | 7,7 |
| ^{135m}Ce | – | 11/2 ⁻ | 445,8 | 20 с | 100 |
| ^{135g}Ce | 9,964 | 1/2 ⁺ | 265 | 17,7 год | 44,2 |
| ^{139m}Ce | – | 11/2 ⁻ | 754,2 | 54,8 с | 92 |
| ^{139g}Ce | 9,2 | 1/2 ⁺ | 165,8 | 137,6 доби | 80,1 |

Як видно з таблиці, для всіх досліджуваних тут ядер (ізоотопів телуру і церію) у реакціях (γ , n) заселяються ізомерні стани, що необхідно врахувати при розрахунках повних виходів і перерізів. У даній роботі при вимірюванні розпаду ізоотопів церію час охолодження становив 10 хв і більше. За цей час повністю розпадалися ізомерні стани і з імовірністю 100 % заселяли основний стан. Отже, вимірюючи відношення збудження в реакціях (γ , n) основних станів дочірніх ізоотопів церію, ми визначили відношення повного виходу реакції (γ , n) Y_1 на ізоотопі ^{136}Ce до повного виходу реакції $^{140}\text{Ce}(\gamma, n)^{139}\text{Ce}$ Y_2 .

Таким чином, із вимірюваних площ аналітичних гамма-ліній нами було одержано відношення виходів збудження основних станів ізоотопів ^{135}Ce (Y_1) і ^{139}Ce (Y_2):

$$\eta = \frac{Y_1}{Y_2} = c \cdot b \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{\phi_2}{\phi_1} \cdot \frac{f_2}{f_1}$$

Тут $N_{1,2}$ – число імпульсів під фотопіками аналітичних гамма-ліній; $\phi_{1,2} = \xi_{1,2} \cdot k_{1,2} \cdot \alpha_{1,2}$, де $\xi_{1,2}$ – фотоефективність реєстрації аналітичних гамма-ліній при розпаді основних станів дочірніх ядер; $k_{1,2}$ – коефіцієнт самопоглинання цих ліній у матеріалі досліджуваного зразка; $\alpha_{1,2}$ – інтенсивність аналітичних ліній; c – коефіцієнт, що враховує прорахунки і накладання імпульсів; $b = b_2/b_1$ – процентний вміст відповідних ізоотопів у досліджуваних зразках; $\lambda_{1,2}$ – відповідні постійні розпаду; $f_{1,2}$ – часова функція:

$$f(t) = (1 - e^{-\lambda_{irr}}) \cdot e^{-\lambda_{cool}} \cdot (1 - e^{-\lambda_{meas}}),$$

де t_{irr} , t_{cool} , t_{meas} – часи опромінення, охолодження та вимірювання.

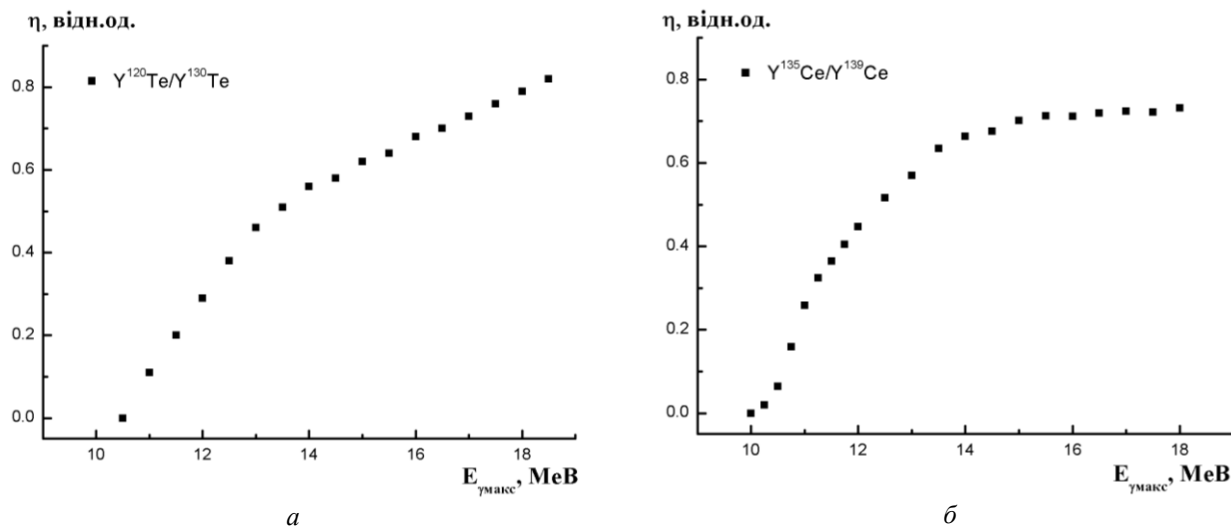
Дещо інша ситуація для ізоотопів телуру, для яких час життя ізомерних рівнів більший, ніж основних станів, і звести вимірювання повного виходу (γ , n)-реакції Y_n до вимірювання повних виходів основного стану Y_g не можна в цьому випадку. Повний вихід Y_n пов'язаний з виходами збудження основного Y_g та ізомерного Y_m станів як

$$Y_n = Y_g + Y_m = Y_g (1 + Y_m/Y_g) = Y_g (1 + d).$$

Ізомерні відношення виходів d для ядер ^{119}Te і ^{129}Te було визначено нами раніше [14]. Використовуючи ізомерні відношення виходів і вимірюючи відношення виходів заселення основних станів ізоотопів телуру ^{119}Te і ^{129}Te , ми визначили відношення повних виходів η реакції (γ , n) на цих ізотопах:

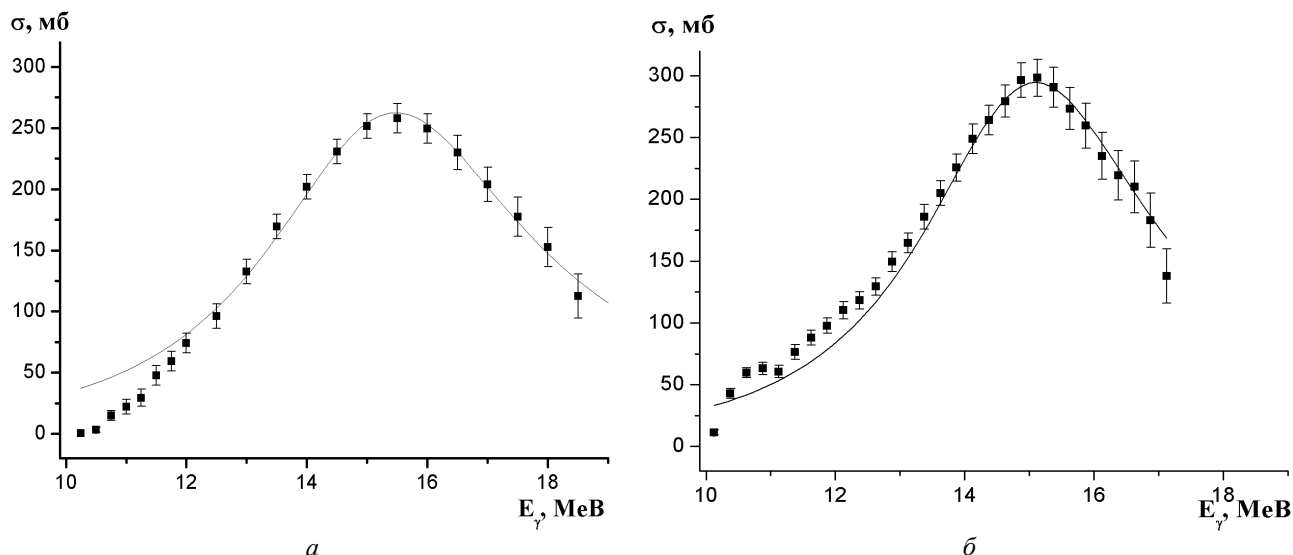
$$\eta = \frac{Y_n^{120}}{Y_n^{130}} = \frac{Y_g^{119} (1 + d^{119})}{Y_g^{129} (1 + d^{129})}$$

Залежність відношення повних виходів Y_n^{120}/Y_n^{130} і Y_n^{136}/Y_n^{140} для реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ і $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ від максимальної енергії гальмівного гамма-випромінювання $E_{\gamma\text{max}}$ наведено на рис. 2. Стандартна похибка становить менше 0,5 % і не перевищує розмір точки. Величина основних систематичних невизначеностей знаходиться в таких межах: визначення маси зразків $\leq 0,05$ %, ефективність детектора 2 %, період напіврозпаду $\leq 0,5$ %, інтенсивності гамма-ліній ≤ 1 %.

Рис. 2. Відношення повних виходів (γ, n)-реакцій для ізоотопів телуру (а) і церію (б).

Одержана експериментальна залежність відношення виходів (γ, n)-реакцій $Y(\text{Te}^{120})/Y(\text{Te}^{130})$ і $Y(\text{Ce}^{136})/Y(\text{Ce}^{140})$ від максимальної енергії налітаючих гамма-квантів дозволяє, використовуючи перерізи реакцій $^{130}\text{Te}(\gamma, n)^{129}\text{Te}$ і $^{140}\text{Ce}(\gamma, n)^{139}\text{Ce}$,

отримані раніше [14], розрахувати перерізи реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ і $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$. Розрахунок проводився методом оберненої матриці [15] (рис. 3).

Рис. 3. Експериментальні перерізи реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ (а) і $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ (б).

3. Аналіз результатів

Як видно з рис. 3, криві перерізів реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ і $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ мають одnogорбу форму з максимумом при енергії ~ 15 MeV. Нами проведена апроксимація експериментальних перерізів кривою Лоренца:

$$\sigma(E) = \sigma_0 \cdot \frac{\Gamma_0^2 E^2}{(E^2 - E_0^2)^2 + \Gamma_0^2 E^2},$$

де σ_0 , E_0 , Γ_0 – відповідно максимальне значення перерізу, величина енергії резонансу, та напівширина резонансу. Результати апроксимації наведено

на рис. 3 суцільними лініями. Одержано в результаті підгонки такі значення параметрів: для реакції $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ $\sigma_0 = 262,0 \pm 2,0$ мб, $E_0 = 15,4 \pm 0,1$ MeV, $\Gamma_0 = 5,33 \pm 0,10$ MeV; для реакції $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ $\sigma_0 = 294,1 \pm 4,4$ мб, $E_0 = 15,10 \pm 0,09$ MeV, $\Gamma_0 = 4,41 \pm 0,14$ MeV.

З метою порівняння експериментальних результатів з теоретичними розрахунками нами проведено обчислення перерізів реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ і $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ в рамках програмного пакета TALYS-1.9, який широко використовувався в розрахунках астрофізичної сітки ядерних реакцій [17]. Для контролю аналогічні розрахунки було проведено для ядра ^{142}Nd , який

по своїй природі близький до ізотопів церію. Переріз реакції $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}$ був одержаний раніше зовсім іншою методикою. Вимірювання проводилися на квазімонохроматичному пучку гамма-квантів шляхом реєстрації нейтронів [18]. Ізотоп ^{142}Nd знаходиться на межі бета-стабільності. У природній суміші його міститься 27,1 %.

Схема розрахунку перерізів (γ, n)-реакцій по програмі TALYS-1.9 зводиться до наступного: ядро-мішень з кількістю протонів і нейтронів (Z_i, N_i) і спин-парністю (J_i, π_i) поглинає гамма-квант з енергією E_γ і формується компаунд-ядро з енергією збудження E_c ($E_c = E_\gamma$) і спектром можливих значень спіну і парності (J_c, π_c). Розраховується повний переріз фотопоглинання σ_{tot} за допомогою параметризованих характеристик гігантського дипольного резонансу. Розпад збудженого ядра розглядається через механізм двох підходів:

передрівноважні процеси і статистичний розпад компаунд-ядра моделі Хаузера - Фешбаха [4]. У нашому випадку домішка напівпрямих процесів не перевищує 5 - 8 %. Розраховується емісія нейтронів із заселенням конкретних рівнів (або зон) кінцевого ядра. При цьому використовуються коефіцієнти проникності T_i , розраховані за оптичною моделлю [19].

При високих енергіях збудження кінцевого ядра спектр вважався неперервним і описувався густиною рівнів $\rho(E, J, \pi)$.

Він розбивався на 50 енергетичних зон. Для кожної зони визначався ефективний коефіцієнт проникності T_i^{ef} . Густина рівнів $\rho(E, J, \pi)$ описувалася формулами зміщеної по енергії моделі Фермі-газу [20]. При низьких енергіях збудження дочірніх ядер до 3 MeV бралася конкретна схема рівнів з бази даних RIPL-3 [21, 22].

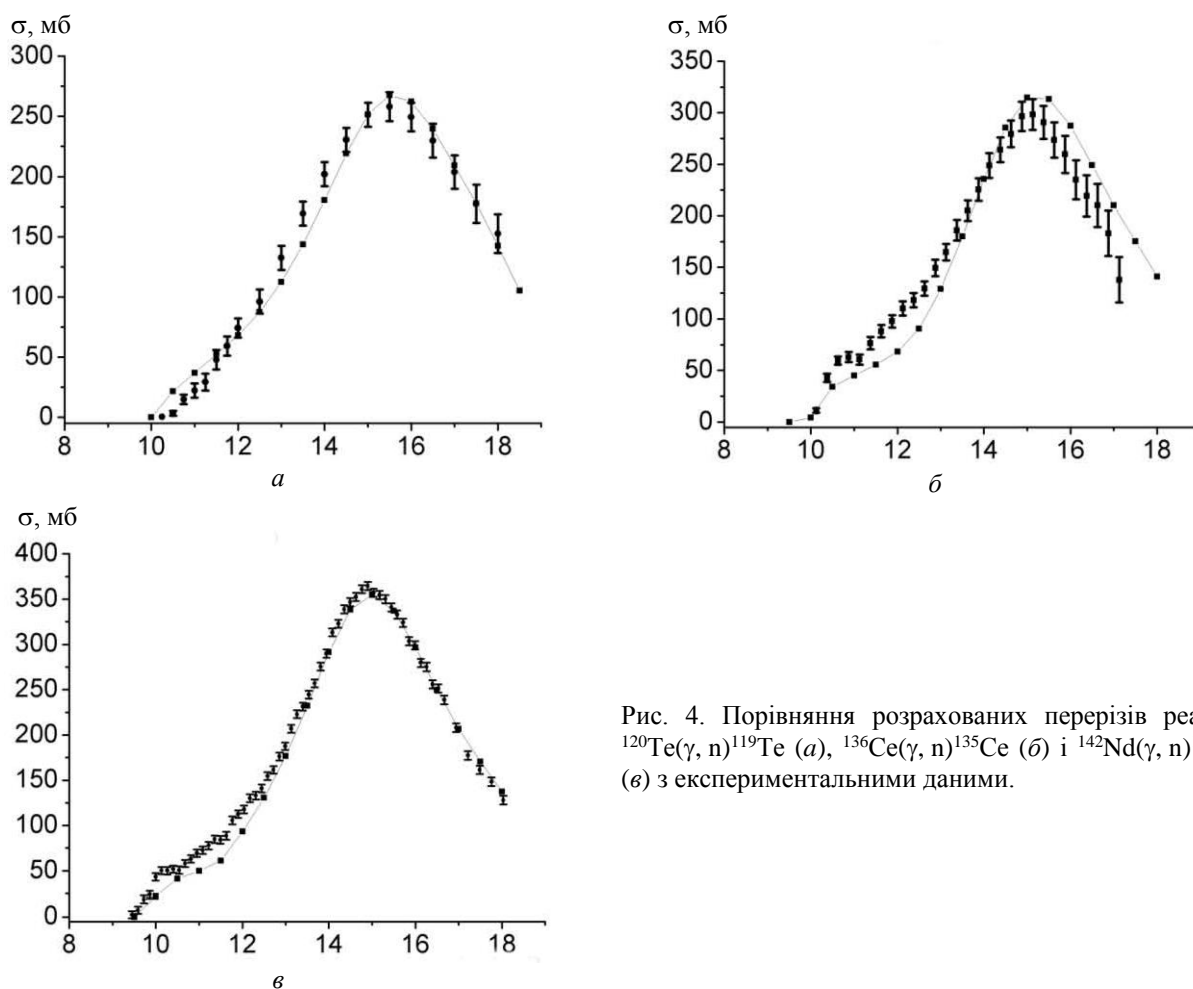


Рис. 4. Порівняння розрахованих перерізів реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$ (а), $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ (б) і $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}$ (в) з експериментальними даними.

Результати розрахунків перерізів реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$, $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ і $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}$ наведено на рис. 4. Експериментальні перерізи позначено точками з похибками, розраховані – з'єднано лініями без похибок. Для всіх розрахованих перерізів (γ, n)-реакцій на ядрах ^{120}Te , ^{136}Ce і ^{142}Nd спостерігається задовільне узгодження з

експериментом. У код TALYS-1.9 закладено 6 модельних підходів для густин рівнів, і ми проводили моделювання також і для інших моделей. Результати виявилися близькими. Проте найкраще з експериментальними даними збіглися результати для зміщеної по енергії моделі Фермі-газу.

4. Висновки

У результаті проведеної роботи було одержано експериментальну залежність відношення повних виходів (γ, n)-реакцій на ізотопах ^{120}Te і ^{130}Te та ^{136}Ce і ^{140}Ce від максимальної енергії гальмівного гамма-спектра $E_{\gamma\text{max}}$ в інтервалі 10 - 18 MeV, що дозволило одержати перерізи реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$, $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ в області гігантського E1-резонансу. Криві перерізів мають односторонню форму, характерну для сферичних ядер, з максимумом при енергії 15,4 MeV для ^{120}Te і 15,1 MeV для ^{136}Ce , що на 0,3 - 0,1 MeV більше, ніж для відповідних важких ізотопів ^{130}Te , ^{140}Ce [10], які використовувалися для абсолютних калібровок. Спостерігається нижча величина

перерізів (γ, n)-реакцій для ізотопів ^{120}Te і ^{136}Ce порівняно з ізотопами ^{130}Te і ^{140}Ce . Така різниця може бути зв'язана з помітно вищими порогоми (γ, n)-реакцій для легких ізотопів ^{120}Te і ^{136}Ce порівняно з порогоми реакцій $^{130}\text{Te}(\gamma, n)^{129}\text{Te}$ і $^{140}\text{Ce}(\gamma, n)^{139}\text{Ce}$.

У рамках програмного пакета TALYS-1.9 [17] проведено теоретичні розрахунки перерізів реакцій $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$, $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ і $^{142}\text{Nd}(\gamma, n)^{141}\text{Nd}$. Задовільне узгодження теоретичних та експериментальних результатів свідчить про домінуючу роль статистичного механізму протікання (γ, n)-реакції на досліджуваних ядрах і обґрунтованості використання підходу Хаузера - Фешбаха [4] для розрахунків перерізів (γ, n)-реакцій і, зокрема, в астрофізичній області енергій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. M. Arnould, S. Goriely. The p-process of stellar nucleosynthesis: Astrophysics and nuclear physics states. *Phys. Rep.* **384** (2003) 1.
2. R.D.L. Lambert. The p-nuclei: abundances and origins. *Astron. Astrophys. Rev.* **3** (1992) 201.
3. C. Nair et al. Dipole strength in ^{144}Sm studied via (γ, n), (γ, p) and (γ, α) reactions. *Phys. Rev. C* **81** (2010) 055806.
4. W. Hauser, H. Feshbach. The inelastic scattering of neutrons. *Phys. Rev.* **87** (1952) 366.
5. G.M. Gurevich et al. Giant resonance in the total photoabsorption cross-section of $Z \approx 90$ nuclei. *Nucl. Phys. A* **273** (1976) 326.
6. G.M. Gurevich, L.E. Lasareva, V.M. Mazur. Total nuclear photoabsorption cross-section in the region $150 < A < 190$. *Nucl. Phys. A* **351** (1981) 257.
7. A.V. Varlamov et al. *Atlas of Giant Dipole Resonances* (Vienna: IAEA, INDS, (NDS), 1999) 394 p.
8. H.R. Weller, M.W. Ahmed. The HI γ S Facility: A Free-Electron Laser Generated Gamma-Ray Beam for Research in Nuclear Physics. *Modern Phys. Lett. A* **23** (2003) 1569.
9. K. Horikawa. Measurement for the energy and flux of laser Compton scattering γ -ray photons generated in an electron storage. *Nucl. Instr. Meth. A* **618** (2010) 525.
10. H. Utsunomiya et al. Photoneutron cross sections for Ni isotopes. Toward understanding (n, γ) cross sections relevant to weak s-process nucleosynthesis. *Phys. Rev. C* **98** (2018) 054619.
11. A. Lepretre et al. A study of the Giant Dipole Resonance in doubly even tellurium and cerium isotopes. *Nucl. Phys. A* **258** (1976) 350.
12. S.P. Kapica, V.N. Melekhin. *The Microtron* (London: Harwood Academic, 1978) 204 p.
13. R.B. Firestone, V.S. Shirley, C.M. Baglin. *Table of isotopes CD-ROM*. 8-th ed. (1996).
14. V.M. Mazur et al. Excitation of the $^{119}\text{Te}^m$, $^{121}\text{Te}^m$, $^{123}\text{Te}^m$, $^{127}\text{Te}^m$ and $^{130}\text{Te}^m$ isomers in (γ, n) reaction from 10 to 22 MeV. *Phys. Rev. C* **87** (2013) 044604.
15. O.V. Bogdankevich, F.A. Nikolaev. *Methods in Bremstrahlung Research* (New York: Academic Press, 1966) 217 p.
16. P. Carlos et al. The giant dipole resonance in transition region for the neodymium isotopes. *Nucl. Phys. A* **172** (1971) 437.
17. A.J. Koning, S. Hilaire, M.C. Duijvestijn. TALYS: Comprehensive nuclear reaction modelling. In: *Proc. of the Intern. Conf. on Nucl. Data for Sci. and Tec. "ND2007"*, Nice, France, April 22 - 27, 2007 (Nice, 2007) p. 211.
18. C.T. Angell et al. Evidence for radiative coupling of the pygmy dipole resonance to excited states. *Phys. Rev. C* **86** (2012) 051302(R).
19. A.J. Koning, J.P. Delaroche. Local and global nucleon optical models from 1 keV to 200 MeV. *Nucl. Phys. A* **713** (2003) 231.
20. W. Dilg et al. Level density parameters for backshifted Fermi gas model in the mass range $40 < A < 250$. *Nucl. Phys. A* **217** (1973) 269.
21. B. Singh et al. Adopted Levels, Gammas for ^{135}Ce . *Nucl. Data Sheets* **109** (2008) 517.
22. D. Symochko, E. Browne, J.K. Tuli. Adopted levels gammas for ^{119}Te . *Nucl. Data Sheets* **110** (2009) 2945.

**В. М. Мазур¹, З. М. Биган¹, П. С. Деречкей¹,
В. А. Желтоножский², А. М. Саврасов^{2,*}**

¹ *Институт электронной физики НАН Украины, Ужгород, Украина*

² *Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина*

*Ответственный автор: asavrasov@kinr.kiev.ua

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЧЕНИЙ (γ, n)-РЕАКЦИЙ НА p-ЯДРАХ ^{120}Te , ^{136}Ce
В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ ГИГАНТСКОГО E1-РЕЗОНАНСА**

Проведено изучение сечений фотоядерных реакций на нейтронно-дефицитных ядрах $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$, $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ в интервале энергий гамма-квантов 9 - 18 МэВ. Измерение аппаратных гамма-спектров проводилось активационной методикой. Экспериментальные результаты сравнивались с теоретическими расчетами, проведенными в рамках программного пакета TALYS-1.9.

Ключевые слова: ^{120}Te , ^{136}Ce , ядерные реакции, сечение фотоядерных реакций, гигантский дипольный резонанс, тормозной гамма-спектр, изомерные состояния.

**V. M. Mazur¹, Z. M. Bigan¹, P. S. Derechkey¹,
V. A. Zheltonozhsky², A. M. Savrasov^{2,*}**

¹ *Institute of Electronic Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Uzhhorod, Ukraine*

² *Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Corresponding author: asavrasov@kinr.kiev.ua

**STUDY OF THE CROSS SECTIONS FOR (γ, n)-REACTIONS ON p-NUCLEI ^{120}Te , ^{136}Ce
IN THE GIANT E1-RESONANCE ENERGY REGION**

Cross-sections of photonuclear reactions $^{120}\text{Te}(\gamma, n)^{119}\text{Te}$, $^{136}\text{Ce}(\gamma, n)^{135}\text{Ce}$ in the energy region of gamma quanta 9 - 18 MeV were studied. The measurements were carried out by activation technique. Experimental results were compared with the theoretical calculations carried out within the framework of the software package TALYS-1.9.

Keywords: ^{120}Te , ^{136}Ce , nuclear reactions, cross-section of photonuclear reactions, giant dipole resonance, bremsstrahlung gamma-ray, isomeric states.

Надійшла 11.06.2019

Received 11.06.2019