

УДК 539.172.3

В.І. Жаба, О.М. Парлаг, Р.М. Плекан

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

e-mail: viktorzh@meta.ua, v.parl@yandex.ua

ПЕРЕРІЗИ (γ, n)- РЕАКЦІЙ НА ІЗОТОПАХ СРІБЛА ^{107}Ag І ^{109}Ag

Проаналізовано експериментальні дані перерізів (γ, n)- реакцій на ізотопах срібла. В TALYS-1.4 розраховані перерізи реакцій $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106}\text{Ag}$ і $^{109}\text{Ag}(\gamma, n)^{108}\text{Ag}$ в інтервалі енергій 9-25 МеВ з кроком 0,1 МеВ. Проведено порівняння отриманих результатів з експериментом.

Ключові слова: переріз, ізопоп, реакція, вихід, срібло.

Вступ

Основною особливістю в ефективних перерізах взаємодії гамма-квантів з ядрами є гігантський дипольний резонанс.

У роботах [1-6] приведені результати тільки по вивченню перерізу реакцій $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106}\text{Ag}$ і $^{107}\text{Ag}(\gamma, \gamma')^{107\text{m}}\text{Ag}$ та перерізу (γ, n)- реакції на природній суміші ізотопів срібла. У роботі [5] приведені графіки енергетичної залежності ефективного перерізу (γ, n)- реакції на природній суміші ізотопів срібла, оцінені інтегральні перерізи. Отримані результати роботи [5] проведені на пучках квазімонохроматичних γ - квантів. Згідно графіків максимальне значення перерізу (γ, n)- реакції на ізотопі ^{107}Ag при енергії 17 МеВ досягає значення 160 мбн., а для природної суміші ізотопів срібла при енергії 16 МеВ значення перерізу досягає 200 мбн.

Згідно [7, 8] максимум перерізу (γ, n)- реакції для природної суміші ізотопів срібла при енергії 15,9 МеВ досягає значення 198 мбн.

У роботі [9] приведені результати отриманих перерізів реакції $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106}\text{Ag}$ і $^{109}\text{Ag}(\gamma, n)^{108}\text{Ag}$ з використанням збагачених зразків $^{107}\text{Ag}(99,3\%)$ та $^{109}\text{Ag}(99,7\%)$. Робота проводиться активаційною методикою, яка включає в себе опромінення зразка і вимір γ - спектрів наведеної активності. Аналіз γ - спектрів наведеної активності дозволяє отримати інформацію про кількість радіоактивних ізотопів, що утворились в процесі опромінення, та їх парціальну активність. Опромінення зраз-

ків гальмівними γ - квантами дає можливість виміряти вихід реакції $Y(E_{\gamma\text{max}})$, який пов'язаний з її ефективним перерізом $\sigma(E_{\gamma})$:

$$Y(E_{\gamma\text{max}}) = \eta \alpha(E_{\gamma\text{max}}) \int_{E_n}^{E_{\gamma\text{max}}} W(E_{\gamma\text{max}}, E_{\gamma}) \sigma(E_{\gamma}) dE_{\gamma}.$$

Методика вимірювань і обробка результатів

Експериментальні виміри проводились на експериментальній установці на базі бетатрона з системою дозиметрії гальмівного випромінювання та Ge(Li)- спектрометра γ - випромінювання. Для перевірки правильності методики вимірів та розрахунків проводився вимір кривої виходу реакції $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$. Розрахований на основі цих вимірів переріз добре узгоджується з результатами опублікованих робіт [1-7]. Час опромінення зразка - 5÷10 хв. в інтервалі енергій 11÷24 МеВ. Після опромінення зразки переносилися на γ - спектрометр для виміру наведеної активності. Час охолодження зразків - 1÷60 хв. Вимір наведеної активності - 5÷30 хв. По даним вимірів наведеної активності будуються ділянки апаратного спектру, які використовуються для знаходження площі під фотопіками γ - квантів від ізотопів срібла з енергіями 0,511 і 0,618 МеВ (від зразка ^{107}Ag) та 0,43; 0,511; 0,618 і 0,632 МеВ (від зразка ^{109}Ag).

Вихід реакції розраховується за формулою:

$$Y(E_m) = \frac{S(E_m)\lambda}{\varepsilon\eta I(E_m, t)(1 - e^{-\lambda t_{op}})e^{-\lambda t_{oh}}(1 - e^{-\lambda t_v})}$$

де λ – стала розпаду ядер, $S(E_m)$ – площа під фотопіком у апаратурному спектрі γ -випромінювання досліджуваного ізотопу після опромінення зразка при енергії E_m , ε – ефективність реєстрації γ - випромінювання, η – коефіцієнт, що враховує квантовий вихід лінії, яка використана для виміру та коефіцієнт внутрішньої конверсії, $I(E_m, t)$ – доза гальмівного випромінювання в одиницях струму товстостінної іонізаційної камери, t_{op} , t_{oh} , t_v - час опромінення, час охолодження, час виміру наведеної активності зразка.

Звично виміри проводяться з кроком 1 МеВ. У зв'язку з тим, що інтенсивність гальмівного випромінювання не залишалась стабільною під час опромінення зразків, вимір дози з допомогою абсолютної іонізаційної камери проводиться приладом, до вимірювальної ємності якого підключають резистори. Їх величина підбирається таким чином, щоб напруга на виході зростала не лінійно, а по експоненті з показником рівним сталій розпаду досліджуваного ізотопу. Це дає можливість автоматично врахувати коливання інтенсивності γ - випромінювання бетатрона під час опромінення зразків.

З отриманих кривих виходів реакцій можна розрахувати диференціальний переріз методом Пенфольда-Лейса (метод оберненої матриці).

Експериментальні дані [9, 10] для залежності диференціального перерізу від енергії для реакції $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106}\text{Ag}$ наведено на рис. 1. Як видно з рисунка, дані добре узгоджуються між собою. Залежність диференціального перерізу від енергії для реакції $^{109}\text{Ag}(\gamma, n)^{108}\text{Ag}$ наведено в [9], але його можна оцінити по формулі

$$\sigma_{109} = \frac{1}{0,00448} (0,0093\sigma_{nat} - 0,0048\sigma_{107}),$$

де σ_{nat} , σ_{107} , σ_{109} – перерізи реакції на природному сріблі Ag, на ізотопі ^{107}Ag і на ізотопі ^{109}Ag .

Характеристики (γ, n) - реакцій та їх продуктів [11] на ізотопах срібла ^{107}Ag і ^{109}Ag наведено в таблиці 1 і 2.

Таблиця 1
Характеристики (γ, n) - реакцій на ізотопах срібла

Ізотоп	Розповсюдженість, %	Реакція	Продукти реакцій	Пороги реакцій, МеВ
^{107}Ag	51,839%	(γ, n)	^{106}Ag	9,5
^{109}Ag	48,161%	(γ, n)	^{108}Ag	9,2

Таблиця 2
Характеристики продуктів (γ, n) - реакцій на ізотопах срібла (експеримент)

Ізотоп	N	JP	Вп, МеВ	Період напіврозпаду $T_{1/2}$	Моди розпаду
^{106}Ag	59	1+	7,9	23,96 хв.	ϵ 99,50% β - <1%
^{108}Ag	61	1+	7,3	2,37 хв.	ϵ 91,30% IT 8,70%

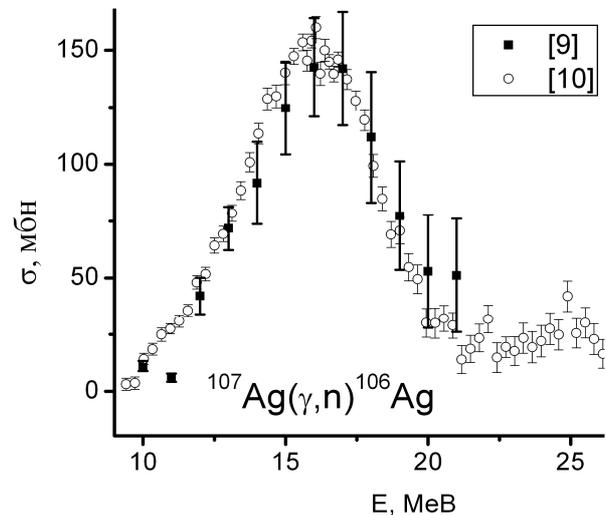


Рис. 1. Залежність диференціального перерізу від енергії для реакції $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106}\text{Ag}$ (експеримент).

Результати розрахунків і висновки

По програмі TALYS-1.4 [12] проведено розрахунки диференціальних перерізів реакцій $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106}\text{Ag}$, $^{109}\text{Ag}(\gamma, n)^{108}\text{Ag}$, $^{107}\text{Ag}(\gamma, n)^{106m}\text{Ag}$ і $^{109}\text{Ag}(\gamma, n)^{108m}\text{Ag}$ в інтервалі енергій 9-25 МеВ з кроком 0,1 МеВ. Звернуто особливу увагу на перерізи

реакцій, у результаті яких утворюються ізомери ^{106m}Ag і ^{108m}Ag . Для моделі №2 густини рівнів нукліда (модель Фермі-газу) максимуми повного перерізу реакцій $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$ і $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$ становлять 151,218 мбн. і 238,739 мбн. при енергії 15,9 МеВ і 16,0 МеВ, відповідно. Характеристики продуктів (γ,n) - реакцій на ізотопах срібла ^{107}Ag і ^{109}Ag вказано в таблиці 3, де total - повний переріз реакції. Розраховані перерізи (γ,n) - реакцій приведено на рис. 2-4.

Таблиця 3

Характеристики продуктів (γ,n) - реакцій на ізотопах срібла (TALYS-1.4)

Ізо-топ	Період напіврозпаду $T_{1/2}$, сек.	Емакс, МеВ	$\sigma_{\text{макс}}$, мбн
Реакція $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$			
^{106}Ag	1,44E+03	15,9	140,768
^{106m}Ag	7,15E+05	16,9	11,2507
^{106}Ag (total)		15,9	151,218
Реакція $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$			
^{108}Ag	1,42E+02	15,9	229,226
^{108m}Ag	1,32E+10	16,6	10,2019
^{108}Ag (total)		16,0	238,739

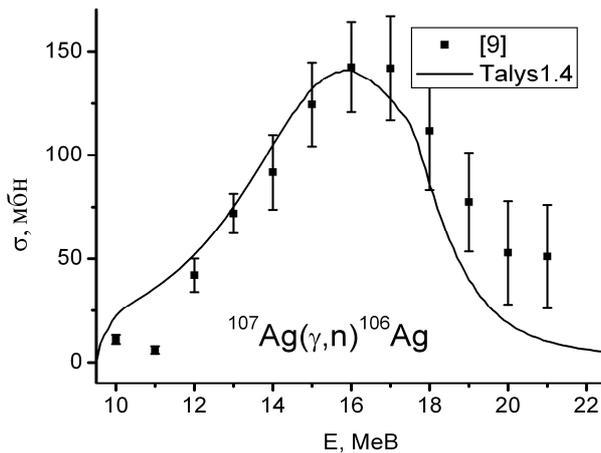


Рис. 2. Залежність диференціального перерізу від енергії для реакції $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$ (експеримент і TALYS-1.4).

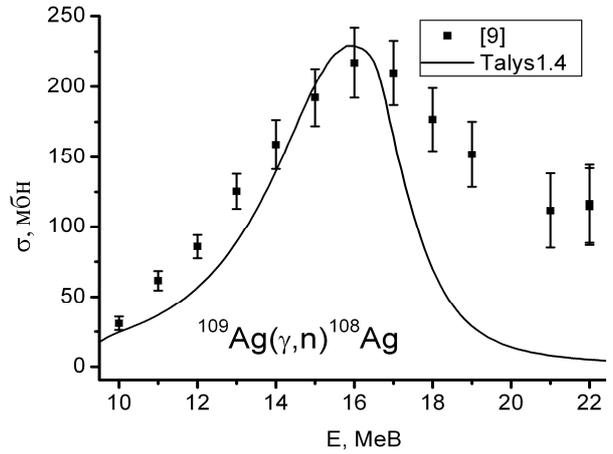


Рис. 3. Залежність диференціального перерізу від енергії для реакції $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$ (експеримент і TALYS-1.4).

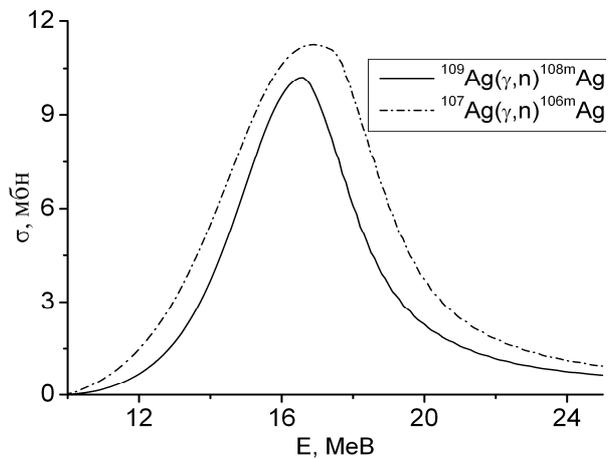


Рис. 4. Залежність перерізу від енергії для реакцій $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106m}\text{Ag}$ і $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108m}\text{Ag}$ (TALYS-1.4).

Висновки

В пакеті TALYS-1.4 розраховано перерізи (γ,n) - реакцій на ізотопах срібла ^{107}Ag і ^{109}Ag в енергетичному інтервалі 9-25 МеВ. Переріз реакції $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$ добре узгоджується в інтервалі енергій 12-18 МеВ. Експериментальні і теоретичні дані перерізу реакції $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$ співпадають у максимумі. Доцільними є проведення експериментального дослідження слабо вивченої реакції $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$ з кроком менше 1 МеВ і розрахунок перерізу для п'яти моделей густини рівнів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Абрамс Пелекис. Возбуждение изомерных состояний ядер гамма-лучами // Известия АН Латвийской ССР. – 1968. – №1. – С.19-27.
2. Boivin M. Photoactivation nuclear de ^{78}Se , ^{107}Ag , ^{109}Ag , ^{111}Cd , ^{115}In et ^{199}Hg // Nucl. Phys. A – 1959. – Vol. 137. – P. 520-530.

3. Богданкевич О.В. Неупругое рассеяние γ -квантов на ядрах ^{107}Ag // ЖЭТФ. - 1963. – Т. 45, вып. 4 (10). – С. 883.
4. Mutsuro N., Ohnuki Y., Sato K. et all. Photoneutron Cross Sections for Ag^{107} , Mo^{92} and Zr^{90} // J. Phys. Soc. Jpn., 1959. – Vol. 14. – P. 1649-1653.
5. Samuel S. Dietrich, Barry L. Berman. Atlas of photoneutron cross sections obtained with monoenergetic photons // Atomic Data and Nuclear Data Tables. – 1988. – Vol. 38, Is. 2. - P. 199-338.
6. Гангрский Ю.П., Мазур В.М. Рассеяние γ -квантов ядрами и возбуждение изомерных состояний // ФЭЧАЯ. – 2002. – Т. 33, вып.1. – С. 159-200.
7. Varlamov A.V., Varlamov V.V., Rudenko D.S., Stepanov M.E. Atlas of Giant Dipole Resonances. Parameters and Graphs of Photonuclear Reaction Cross Sections. INDC(NDS)-394, IAEA NDS, Vienna, Austria, 1999.
8. Lepretre A., Beil H., Bergere R. et all. A study of the giant dipole resonance of vibrational nuclei in the $A=103-133$ mass region // Nucl. Phys. A. – 1974. – Vol. 219. – P. 39.
9. Бохінюк В.С., Осипенко А.П., Парлаг О.М. та ін. Дослідження ефективних перерізів реакцій $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$, $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$ // Науковий вісник Ужгородського ун-ту. Серія Фізика. - 2002. – Випуск 11. – С. 56-60.
10. Berman B.L., Bramblett R.L., Caldwell J.T. et all. Photoneutron Cross Sections for As^{75} , Ag^{107} , and Cs^{133} // Phys.Rev. – 1969. – Vol. 177. – P. 1745-1754.
11. Варламов В.В., Ишханов Б.С., Комаров С.Ю. Атомные ядра. Основные характеристики: учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2010. – 334 с.
12. TALYS: Home: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.talys.eu/>

Стаття надійшла до редакції 25.12.2013

V.I. Zhaba, A.M. Parlag, R.M. Plekan

Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

CROSS SECTIONS OF THE (γ,n) - REACTIONS ON SILVER ISOTOPS ^{107}Ag AND ^{109}Ag

Experimental data of sections of (γ,n) - reactions on silver isotopes are analysed. In TALYS-1.4 sections of reactions $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$ and $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$ in the range of energy 9-25 MeV with a step of 0,1 MeV are calculated. Comparison of the received results with experiment is carried out.

Keywords: cross section, isotope, reaction, output, silver.

В.И. Жаба, А.М. Парлаг, Р.М. Плекан

Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

СЕЧЕНИЯ (γ,n) - РЕАКЦИЙ НА ИЗОТОПАХ СЕРЕБРА ^{107}Ag И ^{109}Ag

Проанализированы экспериментальные данные сечений (γ,n) - реакций на изотопах серебра. В TALYS-1.4 рассчитаны сечения реакций $^{107}\text{Ag}(\gamma,n)^{106}\text{Ag}$ и $^{109}\text{Ag}(\gamma,n)^{108}\text{Ag}$ в интервале энергий 9-25 МэВ с шагом 0,1 МэВ. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментом.

Ключевые слова: сечение, изотоп, реакция, выход, серебро.