

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ІЗОМЕРНОГО ВІДНОШЕННЯ ВИХОДІВ РЕАКЦІЇ $^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117\text{m,g}}\text{In}$

**В.С. Бохінюк, О.Г. Окунєв, О.М. Парлаг,  
М.Т. Саболчій, І.В. Соколюк, І.В. Хіміч**

Ужгородський національний університет, кафедра теоретичної фізики  
88000, м. Ужгород, вул. Капітульна, 9а, Україна  
e-mail: nphys@univ.uzhgorod.ua

На гальмівному пучку бетатрона Ужгородського університету отримано енергетичну залежність ізомерного відношення виходів реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117\text{m,g}}\text{In}$  в області енергій 16-26 MeV з кроком 0,5 MeV. Для вимірів використовувались зразки олова з природним вмістом ізотопів. Наведена активність вимірювалась Ge(Li) детектором об'ємом 80 см<sup>3</sup>. Ізомерні відношення розраховані по загально прийнятій методиці. З даних вимірів видно, що в області енергій 20-26 MeV спостерігається зменшення ізомерних відношень від  $3,44 \pm 0,4$  до  $2,2 \pm 0,4$ . Проведено порівняння одержаних даних з опублікованими.

## Вступ

Важливу інформацію про механізми розрядки ядра та його структуру можуть дати результати вивчення фотоядерних реакцій з вильотом заряджених частинок. Існування кулонівського бар'єру ускладнює теоретичний аналіз протікання цих ядерних реакцій і вимагає урахування як статистичного механізму ядерних реакцій так і нестатистичних внесків.

Вимірювання ізомерних відношень дає можливість судити про механізм реакції, визначати параметри енергетичних рівнів ядра. Труднощами експериментального характеру, можна пояснити значну обмеженість експериментальних даних по ізомерним відношенням виходів фотопротонних реакцій при низьких енергіях.

У реакції  $(\gamma, p)$  збуджуються ізомерні рівні часто недоступні для найбільш повно вивчених реакцій  $(\gamma, n)$  і  $(\gamma, \gamma')$ , а вклад прямих процесів може бути значно більшим. Це дає можливість отримувати додаткову інформацію про властивості рівнів і механізм фотоядерних реакцій.

Величина перерізу реакції  $(\gamma, p)$  на ізотопах олова із-за наявності кулонівського бар'єру на два порядки є меншою від відповідних перерізів реакцій  $(\gamma, n)$  на цих же ізотопах олова. Ця обставина носить загальний характер при низьких енергіях для фотоядерних реакцій з вильотом заряджених частинок і саме тому механізми таких фотоядерних реакцій можуть носити помітний нестатистичний характер. З цієї точки зору експериментальне дослідження реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117\text{m,g}}\text{In}$  є важливим для перевірки теоретичних моделей та механізмів протікання фотоядерних реакцій.

За останні 50 років дані про ізомерні відношення для реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117\text{m,g}}\text{In}$  опубліковані в ряді робіт [1-10]. Складність дослідження цієї реакції в тому, що її переріз, відповідно і вихід, порівняно з конкуруючою реакцією  $(\gamma, n)$  в сотні разів менший. У табл. 1 приведені результати ряду робіт стосовно величини ізомерних відношень виходів  $d(E_{\gamma\text{max}}) = Y_m/Y_g$  для реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117\text{m,g}}\text{In}$ .

Таблиця 1. Значення ізомерних відношень  $Y_m/Y_g$  для реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma,p)^{117}\text{In}^{m,g}$

$E_{\gamma m}$	15	16	18	20	22	22	24	24	24
$Y_m/Y_g$	11.11	4.11	5.88	2.27	$9.5 \pm 2.7$	$2.63 \pm 0.$	2.86*	3.8	3.5*
Посил.	[1]	[1]	[2]	[9]	[3]	[4]	[5]	[7]	[7]
$E_{\gamma m}$	24	24	25	30	30	30	40	40	43
$Y_m/Y_g$	1.54	1.43	2.9	3.1	1.52	1.59*	1.19	1.22*	1.22
Посил.	[6]	[8]	[4]	[4]	[9]	[9]	[9]	[9]	[8]

\* відмічено розрахункові значення.

Середньоквадратичні похибки приведені в таблиці результатів лежать в межах 8 -20 %. У роботі [3] зразок був із природної суміші ізотопів олова вагою 15 г. Опромінення проводилось на бетатроні Б-25/30. В інших роботах використано потужні джерела активації (мікротрон, ЛПЕ) і, відповідно, зразки із збагаченого ізотопу  $^{118}\text{Sn}$  вагою кілька десятків мг. Вимірювання ізомерних відношень проводилось активаційною методикою, а розрахунки, окрім роботи [7], виконані за формулою

$$d(E_{\gamma_{\max}}) = \frac{Y_m}{Y_g} = \left[ \frac{\lambda_g \cdot (1 - \exp(-\lambda_m \cdot t_o))}{\lambda_m \cdot (1 - \exp(-\lambda_g \cdot t_o))} \times \frac{\exp(-\lambda_m \cdot t_{ox}) \cdot (1 - \exp(-\lambda_m \cdot t_b))}{\exp(-\lambda_g \cdot t_{ox}) \cdot (1 - \exp(-\lambda_g \cdot t_b))} \right] \times \left[ \frac{N_g \cdot m_m \cdot \varepsilon_m \cdot \alpha_m}{N_m \cdot m_g \cdot \varepsilon_g \cdot \alpha_g} - \frac{P \cdot \lambda_g}{\lambda_g - \lambda_m} + \frac{P \cdot \lambda_m}{\lambda_g - \lambda_m} \right], \quad (1)$$

де  $\lambda_m$  та  $\lambda_g$  – сталі розпаду для  $^{117m}\text{In}$  та  $^{117g}\text{In}$ ;  $t_o$ ,  $t_{ox}$ ,  $t_b$ , – час опромінення, час охолодження та час виміру;  $N_m$  та  $N_g$  – число зареєстрованих відліків під фотопіками що належать ізомерному та основному станам;  $m_m$  та  $m_g$  – коефіцієнти самопоглинання гамма-квантів ізомерного та основного стану у досліджуваному зразку;  $\varepsilon_m$  та  $\varepsilon_g$  – ефективність реєстрації гамма-квантів ізомерного та основного стану;  $\alpha_m$  та  $\alpha_g$  – інтенсивність випромінювання гамма-квантів на один розпад для ізомерного та основного стану;  $P$  – коефіцієнт розгалуження при розпаді ізомерного стану.

Як видно з табл. 1, проблема вивчення реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma,p)^{117}\text{In}^{m,g}$  є актуальною, бо навіть при одній енергії результати відрізняються між собою в кілька разів. У всіх роботах приведено значення  $Y_m/Y_g$  лише для окремих значень енергії. А

об'єднати результати всіх робіт в енергетичну залежність ізомерного відношення не видається можливим із-за великого розходження  $Y_m/Y_g$  для сусідніх значень енергії.

Таким чином, є доцільним проведення експериментальних вимірів енергетичної залежності ізомерних відношень виходів ізомерної пари індію в реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma,p)^{117}\text{In}^{m,g}$ .

### Методика експерименту

Дослідження фотоядерної реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma,p)^{117}\text{In}^{m,g}$  проводилось на гальмівному пучку бетатрона Б-25/30 Ужгородського національного університету в інтервалі енергії 16-25 МеВ з кроком 0.5-1.0 МеВ.

Ядерно-фізичні характеристики продуктів реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma,p)^{117}\text{In}^{m,g}$  приведені в табл. 2. Вміст ізотопу  $^{118}\text{Sn}$  у природній суміші ізотопів складає 24,03 %, поріг реакції 10 МеВ.

Табл. 2. Ядерно-фізичні характеристики продуктів реакції

Р/а ізотоп	Період напів-розпаду, хв.	$E_{\gamma}$ , кеВ	Вихід гамма-лінії, %
$^{117g}\text{In}$	40	553	100
$^{117m}\text{In}$	112	315	15

Для вимірів використовувались зразки із природної суміші ізотопів олова у вигляді металевих пластинок товщиною 1 мм. Вага зразків 7 г. Зразки опромінювались на відстані 25 см від гальмівної мішені бетатрона, мінімально можливий згідно конструкції. Час опромінення був у межах 20-50 хв.

Наведена активність вимірювалась

Ge(Li) детектором об'ємом  $100 \text{ см}^3$ . Енергетична роздільна здатність по гамма-лініям  $^{60}\text{Co}$  – 8 кеВ, ефективність реєстрації  $\gamma$ -квантів з енергією 315 кеВ –  $3.9 \cdot 10^{-2}$ , 553 кеВ –  $1.65 \cdot 10^{-2}$ .

Амплітудні спектри опромінених зразків знімалися кілька разів з різними часами охолодження, щоб виключити можливі похибки за рахунок різного завантаження входу спектрометра та для перевірки періодів напіврозпаду. З цією ж метою дискримінатором відрізались дуже потужна лінія 158 кеВ, що є суперпозицією випромінювання  $^{111}\text{In}$ ,  $^{112}\text{In}^m$ ,  $^{117}\text{In}$ ,  $^{117}\text{In}^m$ . Час вимірювання амплітудних спектрів вибирався у межах 10-50 хв.

**Ізотопні відношення виходів в реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117m,g}\text{In}$**

Розрахунки ізотопних відношень проводились по методиці, описаній у роботі [11] по формулі (1). Для попередньої обробки даних вимірів та проведення розрахунку були підготовлені програми на мові QBASIC.

В отриманих ізотопних відношеннях спостерігається залежність їх величини від часу охолодження зразка. Щоб встановити причину цього, було знято розпадні криві для ліній  $E_\gamma=315 \text{ кеВ}$  і  $E_\gamma=553 \text{ кеВ}$ .

кеВ. Вони приведені на рис. 1. У табл. 3 приведено для прикладу результати для енергії опромінювання 22 МеВ.

Як видно з рис. 1, гамма-лінія 553 кеВ  $^{117}\text{In}^g$  двокомпонентна, за рахунок підселення рівня ізотопом  $^{117}\text{In}^m$  (див. схеми розпаду ядер  $^{117m}\text{In}$ ,  $^{117g}\text{In}$  [11]). У формулі це підселення враховується членом  $P \cdot \lambda_g / (\lambda_g - \lambda_m)$ .

Аналіз розпаду лінії 315 кеВ показав, що в ній присутня і короткоживуча складова з періодом напіврозпаду 18 хв. Так як зразки були із природної суміші ізотопів, то належить вона  $^{119}\text{In}^m$ , який випромінює гамма-кванти з енергією 311 кеВ, період напіврозпаду 18.5 хв. Тому при розрахунку ізотопних відношень в площу під фотопіком 315 кеВ вводилась поправка на вклад  $^{119}\text{In}^m$ .

Результати розрахунків енергетичної залежності ізотопних відношень приведені у вигляді графіка на рис. 2. На рис. приведені також середньоквадратичні похибки для серії із трьох незалежних експериментів, проведених на протязі 3 місяців. Для розрахунків використано спектроскопічні характеристики ядер  $^{117m}\text{In}$  та  $^{117g}\text{In}$ , приведені в табл. 2.

Табл. 3. Залежність ізотопного відношення від часу охолодження зразка

$t_{\text{ох.}}$ ХВ.	1	21	42	63	84	105	126	147	168	189
$Y_m/Y_g$	3.25	2.79	2.67	2.04	1.85	1.9	1.75	1.78	2.01	1.84

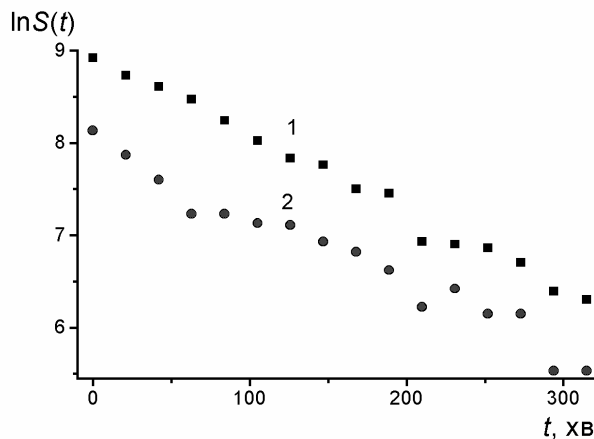


Рис. 1. Розпадні криві для ліній  $E_\gamma=315 \text{ кеВ}$  і  $E_\gamma=553 \text{ кеВ}$ .

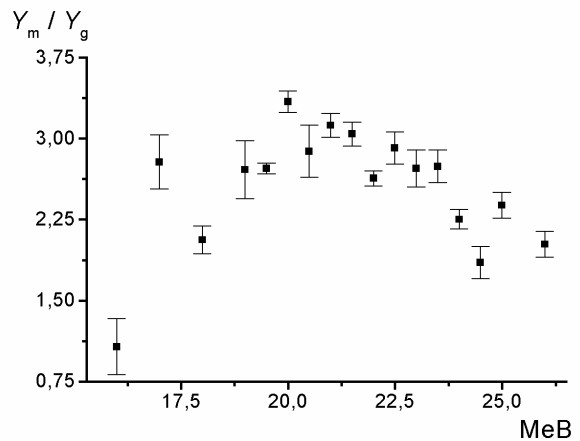


Рис. 2. Енергетична залежність ізотопних відношень для реакції  $^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117m,g}\text{In}$ .

### Висновки

Як видно з рис. 2, ізомерні відношення поступово зростають від 1 до 3.5 в області енергій 16-21 MeV, а потім спадають до величини 2 при енергії 26 MeV. Отже, в енергетичній залежності  $Y_m/Y_g$  спостерігається максимум при енергії 20-21 MeV. Такий висновок з раніше опублікованих результатів зробити не можна. Слід також відмітити, що отримані нами значення ізомерних відношень лежать в

межах 1-3.5, в той час як в приведених роботах діапазон значень значно ширший: 1.4-11.1.

Відмітимо також, що отримані нами результати в межах похибок добре узгоджуються з результатами  $E=22$  MeV [4],  $E=24$  MeV [8],  $E=20$  MeV [9].

Було б доцільно зняти енергетичну залежність ізомерного відношення, використавши зразок із збагаченого ізотопом олова - 118.

### Література

1. Безшийко О.А. Дослідження фото-ядерних реакцій на ядрах  $^{238}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{123}\text{Sb}$ ,  $^{128}\text{Sn}$  з використанням ізомерних відношень: Дис. ... канд. фіз.-мат. наук. – Київ, 2006.
2. Kolev D., Ernst J. The role of angular-momentum removal in photonuclear reaction as deduced from the isomeric ratio for  $^{120\text{m}}\text{Sb}$  and  $^{117\text{m}}\text{In}$  // J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. – Vol. 24. – P.589-599.
3. Давыдов М.Г., Магера В.К., Трухов А.Б., Шомуродов Э.М. Изомерные отношения выходов фотоядерных реакций для гамма-активационного анализа. // АЭ. – 1985. – 58. – С.44-50.
4. Палванов С.Р., Ражабов О. Изомерные отношения выходов фотоядерных реакций при  $E_{\gamma\text{max}}=25$  и 30 MeV // Атомная энергия. – 1999. – Т.87, выпуск 10. – С.75-78.
5. Осокина Р.М., Ядровский Е.Ф. Изотопические эффекты в фотоядерных реакциях // Изв. АН СССР. Сер. физ. – 1970. – XXXIV, № 1. – С.182-189.
6. Hummel J.P. Isomer Ratio for the  $^{118}\text{Sn}(\gamma,p)$  Reaction. // Phys. Rev. – 1961. – 123. – P.950-953.
7. Гангрский Ю.П., Зузан П., Колесников Н.Н. и др. Изомерные отношения в реакциях  $(\gamma,p)$  энергиях гигантского дипольного резонанса // Ядерная физика. – 1999. – 62, № 10. – С.1733-1739.
8. Kolev D., Dobрева E., Nenov N. et all. A convenient method for experimental determination of yields and isomeric ratios in photonuclear reaction measured by the activation technique // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A. – 1995. – Vol. 356. – P.390-396
9. Демехина Н.А., Данагулян А.С., Карапетян Г.С. Анализ изомерных отношений в  $(\gamma,n)$  и  $(\gamma,p)$  реакциях в области энергий гигантского резонанса // ЯФ.— 2002. – Т.65, №2. – С.390-395.
10. Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes. – New York: Wiley, 1978. – 1523 p. – P.17-27.
11. Бохинюк В.С., Мазур В.М., Саболчій М.Т., Соколюк І.В. Експериментальне дослідження ізомерного відношення виходів у реакції  $^{112}\text{Sn}(\gamma,p)^{111\text{m.g}}\text{In}$  // Укр. Фіз. журн.— 1998. – Т.43, №8.- С.907–910.
12. Беседа И.И., Бохинюк В.С., Мазур В.М., и др. Изомерное отношение выхода реакции  $^{118}\text{Sn}(\gamma,p)^{117\text{m}}\text{In}$  // Тезисы докладов 40-го совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Санкт-Петербург: Наука, 1992. – 248 с.

# INVESTIGATION OF ENERGY DEPENDENCY OF ISOMERIC RELATION OF OUTPUTS IN THE $^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117}\text{In}^{m,g}$ REACTION

**V.S. Bohinyuk, A.G. Okunyev, A.M. Parlag,  
M.T. Sabolchy, I.V. Sokolyuk, I.V. Khimich**

Uzhhorod National University, Department of Theoretical Physics  
9a, Kapitulna str., Uzhhorod 88000, Ukraine;  
e-mail: nphys@univ.uzhgorod.ua

On bremsstrahlung bunch of the betatron of Uzhgorod University is received the energy dependency of isomeric relation of outputs in the  $^{118}\text{Sn}(\gamma, p)^{117}\text{In}^{m,g}$  reaction in interval of energy 16-26 MeV with at a step 0,5 MeV. The samples of tin with natural composition of isotopes were used for measurements. The directed activity was measured by Ge(Li) detector by volume 80 cm<sup>3</sup>. The isomeric relations is calculated on usually accepted method. From measurement data is seen that the reduction of isomeric relations exists in the field of energy 20-26 MeV from  $3,44 \pm 0,4$  before  $2,2 \pm 0,4$ . It is organized the comparison of got results with published.