

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ПЕРЕРІЗУ ЗБУДЖЕННЯ ІЗОМЕРНОГО СТАНУ РТУТІ $^{199m}\text{Hg}$ В РЕАКЦІЯХ $(\gamma, \gamma')$ ТА $(\gamma, n)$

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

Ужгородський національний університет, кафедра ядерної фізики  
88000, м. Ужгород, вул. Капітульна, 9а, Україна  
E-mail: [nphys@univ.uzhgorod.ua](mailto:nphys@univ.uzhgorod.ua)

На гальмівному пучку бетатрона та мікротрона кафедри ядерної фізики Ужгородського національного університету одержано криві виходу реакції  $^{199}\text{Hg}(\gamma, \gamma')^{199m}\text{Hg}$  та реакції  $^{200}\text{Hg}(\gamma, n)^{199m}\text{Hg}$  в інтервалі енергій 7-15 МеВ з кроком 0,2-1 МеВ. З одержаних кривих виходу розрахований інтегральний переріз реакцій.

## Вступ

Оскільки адекватної теорії ядерних сил на рівні кваркових ступенів вільності на даний час не має то для теоретичного опису атомних ядер застосовуються різноманітні моделі, які формулюються таким чином, щоб в їх рамках можна було описувати основні закономірності і властивості атомних ядер, які виявлені на експерименті. У цьому зв'язку значний інтерес викликають експериментальні дослідження в абсолютних одиницях ефективних перерізів збудження ізомерних станів, які збуджуються в фотоядерних реакціях. Відносно великий час життя ядра в ізомерному стані дозволяє експериментальне дослідження його квантових характеристик, а також здійснити пряме вимірювання імовірності радіаційного переходу, який згідно теорії ядра задається хвильовими функціями ядра відповідно в початковому і кінцевому станах. Порівняння одержаних експериментально ймовірностей радіаційних переходів з обчисленими теоретично дає можливість перевірити існуючі уявлення про структуру енергетичних рівнів ядер.

Крім цього, виявляється, що вивчення ефективних перерізів збудження ізомерних станів та вимірювання ізомерних відношень виходів (перерізів) фотоядерних

реакцій є зручним інструментом для кількісної перевірки наслідків на межі застосовності статистичної теорії ядерних реакцій, а також дає цінні відомості стосовно заселення ізомерних станів ядер.

У роботі [1] описаний експеримент по вимірюванню інтегрального перерізу реакцій  $A(\gamma, \gamma')^m A$  на 8 ядрах з непарним масовим числом в інтервалі енергій від 1,5 до 6 МеВ з кроком 0,25 МеВ. Показано, що практично для всіх ізоотопів на кривій залежності інтегрального перерізу від енергії спостерігається ряд максимумів та мінімумів, що може свідчити про наявність при таких енергіях активаційних рівнів. У роботі [2] проведено дослідження збудження 19 ізомерів у реакціях  $A(\gamma, \gamma')^m A$  на ядрах з  $A=77$  до 199. В якості джерел гальмівного випромінювання використано 4 різні прискорювачі електронів, які забезпечували максимальну енергію гальмівного випромінювання від 0,5 до 11 МеВ.

Для більш ніж половини випадків відмічається наявність прискорених каналів резонансного збудження, для яких інтегральні перерізи виявляються на 3-4 порядки більше величини, що характеризує  $(\gamma, \gamma')$ -реакцію. Пропонується пояснення, що цим каналам відповідають активаційні рівні, які лежать на 3-4 МеВ

вище основного стану, через які і проходить заселення спостережуваних ізомерів. У роботі [3] одержані перерізи реакції  $(\gamma, \gamma')$  зі збудженням ізомерних станів ядер  $^{77}\text{Se}$ ,  $^{78}\text{Br}$ ,  $^{111}\text{Cd}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{137}\text{Ba}$  в області енергій 4 -15 MeV з кроком 0,5 MeV а також приведені дані про величину інтегральних перерізів реакції  $A(\gamma, \gamma')^m A$  для 12 ізотопів ядер, що мають ізомерні стани, зокрема, для  $^{199}\text{Hg}$ . В роботі [4] визначені перерізи реакції  $(\gamma, \gamma')$  зі збудженням ізомерних станів на ядрах  $^{111}\text{Cd}$  та  $^{199}\text{Hg}$  при енергіях 4-10 MeV.

Метою даної роботи є проведення експериментального дослідження збудження ізомерного стану ядра  $^{199m}\text{Hg}$  ( $T_{1/2} = 42,6$  хв.) в реакціях  $(\gamma, \gamma')$  та  $(\gamma, n)$  в області енергій 7 – 15 MeV, оцінка інтегрального перерізу реакції  $^{199}\text{Hg}(\gamma, \gamma')^{199m}\text{Hg}$  в інтервалі енергій 7-15 MeV і перевірка наявності в цій області енергій активаційних рівнів з великим перерізом.

### Експериментальна установка та методика вимірів

Виміри проводилась активаційною методикою на гальмівних пучках гамма-випромінювання мікротрона та бетатрона кафедри ядерної фізики Ужгородського національного університету. У роботах [5,6] приведено опис активаційної методики вимірів виходу фотоядерних реакцій.

Заселення ізомерного стану ідентифікувалось по лініях 0,158 MeV та 0,374 MeV. Квантові характеристики рівнів брались згідно роботи [7].

Максимальна енергія гальмівного випромінювання, яким опромінювалися зразки, змінювалась з кроком 0,2-0,5 MeV. Для моніторингу пучка гальмівного випромінювання використано іонізаційну камеру, струм від якої подавався на інтегруючий РС - ланцюжок. Добуток величин R та C дорівнював значенню періоду напіврозпаду ядер ізомерів, які утворювалися в процесі опромінення.

Інтегральний переріз знаходився згідно виразу [8,9]:

$$\sigma_{\text{int}} = \int_{E_p}^{E_m} \sigma(E_\gamma) \cdot dE_\gamma = \frac{Y(E_m) \cdot (E_m - E_a)}{\int_{E_p}^{E_m} W(E_m, E_\gamma) \cdot dE_\gamma} \quad (1)$$

де  $Y(E_m)$  – вихід реакції,  $W(E_m, E_\gamma)$  – гальмівний спектр з максимальною енергією  $E_m$ ,  $E_a$  – енергія ізомерного рівня ядра (0,531 MeV).

### Результати

Природна суміш ізотопів ртуті складається із 7 стабільних ізотопів з масовими числами 196, 198, 199, 200, 201, 202, 204. За рахунок фотоядерних реакцій можуть утворюватись ізомери  $^{197m}\text{Hg}$ ,  $^{199m}\text{Hg}$  (реакції  $(\gamma, \gamma')$  та  $(\gamma, n)$ ) та радіоактивні ізотопи  $^{197}\text{Hg}$ ,  $^{203}\text{Hg}$  (реакція  $(\gamma, n)$ ). Ізомер  $^{199m}\text{Hg}$  може утворюватись в реакції  $^{200}\text{Hg}(\gamma, n)^{199m}\text{Hg}$  з пороговою енергією 8,56 MeV, тобто при енергіях вище 9 MeV ми вимірюємо сумарний вихід ізомеру від реакцій  $(\gamma, \gamma')$  та  $(\gamma, n)$ .

На рис. 1 приведено графік залежності інтегрального перерізу реакції  $^{199}\text{Hg}(\gamma, \gamma')^{199m}\text{Hg}$  в інтервалі 6,5–8,5 MeV, вимірний з кроком 0,2 MeV. На графіку також приведені опубліковані дані роботи [3]. Як видно з рис. 1, одержані нами дані лежать нижче опублікованих на 15 %. Це можна пояснити тим, що ми проводили розрахунок безпосередньо з кривої виходу реакції, а опубліковані дані одержані шляхом інтегрування диференціального перерізу який звичайно одержують з похибкою 20-30 %. З рис. 1 також видно, що при енергіях 6,9 та 7,3 спостерігаються “зломи”, що може свідчити про наявність при таких енергіях активаційних рівнів.

На рис. 2 приведено залежність сумарного інтегрального перерізу реакцій  $^{199}\text{Hg}(\gamma, \gamma')^{199m}\text{Hg}$  та  $^{200}\text{Hg}(\gamma, n)^{199m}\text{Hg}$ . Але враховуючи той факт, що в природному складі ртуті міститься 23,2 % ізотопу  $^{200}\text{Hg}$  та 17% ізотопу  $^{199}\text{Hg}$  та те, що переріз реакції  $(\gamma, \gamma')$  на 2 порядки менший від перерізу реакції  $(\gamma, n)$ , стає зрозумілим, що на рис. 2 реально приведено інтегральний переріз реакції  $^{200}\text{Hg}(\gamma, n)^{199m}\text{Hg}$ . Порівняти одержані нами дані з опублікованими раніше не можливо, оскільки в літера-

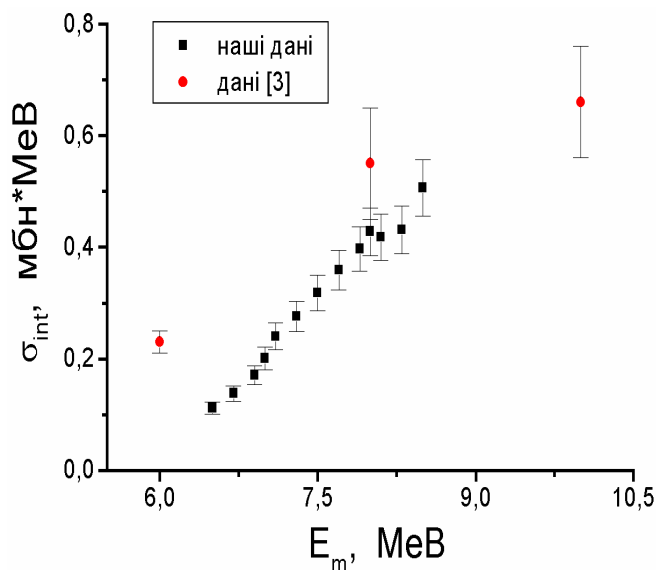


Рис. 1. Інтегральний переріз реакції  $^{199}\text{Hg}(\gamma,\gamma)^{199\text{m}}\text{Hg}$ .

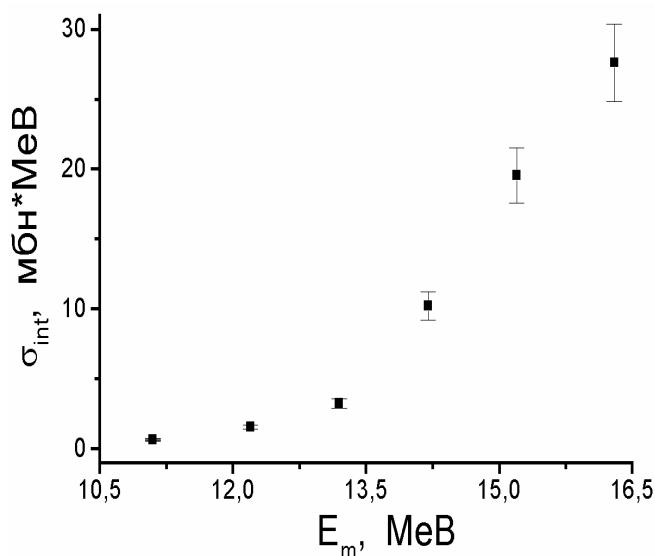


Рис. 2. Інтегральний переріз реакції  $^{200}\text{Hg}(\gamma,n)^{199\text{m}}\text{Hg}$ .

турі є тільки дані про інтегральний переріз реакції  $(\gamma,n)$  на природній суміші ізотопів ртуті [9], виміряні методом прямої реєстрації фотонейтронів.

З метою точнішого визначення енергії

активаційних рівнів надалі вважаємо за доцільне провести виміри виходу реакції  $^{199}\text{Hg}(\gamma,\gamma)^{199\text{m}}\text{Hg}$  в інтервалі енергії 6,5–8,5 МеВ з кроком 0,1 МеВ.

### Література

1. J.A.Anderson. Nuclear photoactivation cross section for short-lived isomeric states excited with a 6 MeV linac. // Nucl. Instr. and Method in Phys. Rev. **В 40/41**, 452 (1989).
2. J.J.Carrol, M.J.Byrd, D.G. Richmond at al, Photoexcitation of nuclear isomer by  $(\gamma,\gamma)$  reactions. // Phys. Rev. C. **43**, 1238 (1991).
3. В.М.Мазур, И.В.Соколюк и др. Сечение возбуждения ядерных изомеров в реакциях  $(\gamma,\gamma)^m$  в области энергий 4–15 МеВ. // ЯФ. **56**, 20 (1993).
4. З.М.Биган, В.М.Мазур, И.В.Соколюк и др. Изучение сечений заселения изомеров  $^{111\text{m}}\text{Cd}$  и  $^{199\text{m}}\text{Hg}$  при неупругом рассеянии фотонов при энергиях 4–10 МеВ. Препринт КИЯИ-88-13.
5. J.Perdijon. L'analys par activation.- Paris: Masson et c'editeurs, 1967.
6. Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов. Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными ядрами.- М.: МГУ, 1979.
7. C.Lederer, V.Shirley. Table of isotopes. N.Y.: Viley, 1978.
8. А.Д.Антонов и др. Измерение интегральных сечений  $(\gamma,p)$ -реакций в области гигантского резонанса. // ЯФ, **53**, вып.1, 14-19 (1991), .
9. S.S.Dietrich, В.L.Berman. Atlas of Photoneutron Cross Section Obtained with Monoenergetic Photons. // Atomic Date and Nuclear Date Table. 38, 199-338 (1988).

# INVESTIGATION OF EFFICIENT CROSS-SECTION OF EXCITATION OF ISOMERIC STATE OF THE $^{199m}\text{Hg}$ IN THE $(\gamma,\gamma')$ AND $(\gamma,n)$ REACTIONS

**V.S. Bohinyuk, A.G. Okunyeu, A.M. Parlag, M.T. Sabolchy,  
A.M. Fradkin, I.V. Khimich**

Uzhgorod National University, Department of Nuclear Physics 9a, Kapitulna str., Uzhgorod  
88000, Ukraine

E-mail: [nphys@univ.uzhgorod.ua](mailto:nphys@univ.uzhgorod.ua)

On bremsstrahlung bunch of the betatron and the microtron of Department of Nuclear Physics of Uzhgorod National University is received curve of output to  $^{199}\text{Hg}(\gamma,\gamma')^{199m}\text{Hg}$  reaction and  $^{200}\text{Hg}(\gamma,n)^{199m}\text{Hg}$  reaction in interval of energy 7-15 MeV with at a walk 0,2-1 MeV. On got crooked output is calculated the efficient section of reaction.