

УДК 621.384.6

О.С. Шевченко, Ю.М. Ранюк, А.М. Довбня, Е.Л. Купленніков

Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут"

61108, Харків, вул. Академічна, 1, Україна

e-mail: oksshevchenko@mail.ru

ІНТЕГРАЛЬНІ ПЕРЕРІЗИ УТВОРЕННЯ ІЗОМЕРНИХ СТАНІВ ЯДЕР ^{113}In , ^{115}In , ^{111}Cd , ^{117}Sn , ^{87}Sr В (γ, γ') РЕАКЦІЯХ

Представлено результати інтегральних перерізів утворення ізомерних станів ядер ^{113}In , ^{115}In , ^{111}Cd , ^{117}Sn , ^{87}Sr в (γ, γ') реакціях під впливом гальмового випромінювання електростатичного прискорювача електронів ELIAS з напругою на кондукторі до 3 МеВ.

Ключові слова: гальмівне випромінювання, (γ, γ') реакції, ізомерний стан, електростатичний прискорювач.

Вступ

На сьогоднішній день накопичено багато експериментального матеріалу по перерізам утворення ізомерних станів ядер в широкому діапазоні енергій. Однак область енергій до 3 МеВ все ще мало досліджена, існуючі дані не узгоджені між собою, або взагалі відсутні [1].

З запуском в Національному науковому центрі "Харківський фізико-технічний інститут" електростатичного прискорювача електронів ЕЛІАС з напругою на кондукторі до 3.0 МеВ, з'явилась можливість для проведення дослідів по фотоутворенню ізомерних станів ядер при низьких енергіях [2, 3]. Такі якості пучка прискорювача, як висока інтенсивність (до 500 мкА), моноенергетичність, стабільність і можливість плавної зміни енергії дозволяють проводити експерименти ефективно.

Результати дослідів по фотоутворенню ізомерних станів ядер ^{113}In [4], ^{115}In [4], ^{111}Cd [5], ^{117}Sn [6], ^{87}Sr [7] при енергії електронів до 3 МеВ проведених в ННЦ ХФТІ (Харків) приведені в даній роботі, що є оглядова.

Експериментальна установка та методика вимірів

Експерименти виконано фотоактиваційною методикою у діапазоні енергій

фотонів 1.0-3.0 МеВ з кроком 0.1 МеВ для ядер ^{117}Sn , ^{87}Sr , і з кроком 0.2 МеВ для ^{113}In , ^{115}In , ^{111}Cd . Пучок електронів діаметром 2 мм і струмом до 200 мкА гальмувався в охолоджуваному проточною водою танталовому радіаторі завтовшки 0.5 мм. Схема стенду для опромінювання зразків представлена у роботі [2]. Сумарний потік електронів, що попадає на радіатор, визначався за допомогою пристрою типу циліндра Фарадея. Напруга на кондукторі генератора вимірювалась роторним вольтметром, який калібрувався за допомогою реакції фоторозщеплення берилію. Невизначеність калібровки 50 кеВ [3]. Зразки (мішені) для опромінювання являли собою фольги з індію, кадмію, олова та стронцію, природного ізотопного складу, діаметром 15 мм і товщиною 0.2 мм. Вимірювання наведеної в мішені активності здійснювалось за допомогою Ge(Li) γ -спектрометра з робочим об'ємом $\sim 40 \text{ см}^3$ і енергетичною роздільною здатністю 2.5 кеВ для γ -лінії 1332 кеВ ядра ^{60}Co . Імпульси від спектрометра аналізувалися 4096-каналним амплітудним аналізатором.

Вихід реакції (γ, γ') у залежності від граничної енергії гальмового спектра фотонів, розраховувався згідно загальноприйнятої методики по формулі:

$$Y(E_{\gamma\text{max}}) = \frac{N_{\text{iso}}(E_{\gamma\text{max}})}{N_e N_T}, \quad (1)$$

де $Y(E_{\gamma_{max}})$ – вихід ізомеру, що припадає на один електрон, що потрапив у радіатор, та на одне ядро мішені, N_{iso} - кількість ядер ізомеру, що утворилися в мішені, N_e - число електронів, що потрапили на радіатор, N_T - кількість ядер у cm^2 мішені. Похибки дорівнюють сумі статистичних та систематичних похибок.

Вихід $Y(E_{\gamma_{max}})$ пов'язаний з перерізом досліджуваної реакції визначається співвідношенням:

$$Y(E_{\gamma_{max}}) = \int_{E_{th}}^{E_{\gamma_{max}}} \sigma(E_{\gamma}) N_{\gamma}(E_{\gamma}, E_{\gamma_{max}}) dE_{\gamma} \quad (2)$$

де $\sigma(E_{\gamma})$ – переріз досліджуваної фотоядерної реакції в залежності від енергії γ -квантів E_{γ} , який можна представити у вигляді суми окремих ізольованих активаційних резонансів. $N_{\gamma}(E_{\gamma}, E_{\gamma_{max}})$ - спектральна інтенсивність фотонного пучка для граничної енергії $E_{\gamma_{max}}$.

Із-за малої ширини активаційних резонансів $N_{\gamma}(E_{\gamma}, E_{\gamma_{max}})$ можна вважати постійною величиною у межах одного резонансу, а рівняння (2) замінити системою рівнянь:

$$Y_i = \sum_j (\sigma\Gamma)_{iso}^j N_i^j \quad (3)$$

де Y_i - вихід реакції в i -й точці по $E_{\gamma_{max}}$, j - номер активаційного рівня ядра. $(\sigma\Gamma)_{iso}^j$ - інтегральний переріз активації ізомеру через j -й рівень, який треба визначити шляхом аналізу кривої виходу, N_i^j - число фотонів гальмового спектра в енергетичному інтервалі 1 кеВ з енергією j -го активаційного рівня і з i -ю граничною енергією гальмівного спектру.

Інтегральні перерізи утворення ізомерних станів ядер визначалися як параметри рівняння (3) при підгонці його до експериментальних точок виходу. Спектр фотонів гальмівного випромінювання електронів в танталовому радіаторі моделювався за допомогою програми GEANT3.21. Статистика в кожній точці складала 10^7 запусків, інтервал групування - 1 кеВ, енергія обрізання каскаду по фотонам і електронам дорівнювала 0.5 МеВ.

Обговорення результатів

На рис. 1-5 приведено залежність виходів реакцій $^{115}\text{In}(\gamma, \gamma')^{115m}\text{In}$, $^{113}\text{In}(\gamma, \gamma')^{113m}\text{In}$, $^{111}\text{Cd}(\gamma, \gamma')^{111m}\text{Cd}$, $^{117}\text{Sn}(\gamma, \gamma')^{117m}\text{Sn}$, $^{87}\text{Sr}(\gamma, \gamma')^{87m}\text{Sr}$ від максимальної енергії гальмового спектру. Зломи на кривих виходів, вказують на наявність активаційних рівнів, через які здійснюється утворення ізомерних станів ядер. Енергії активаційних рівнів узгоджено з даними спектроскопічних таблиць [8]. Для визначених рівнів отримано інтегральні перерізи.

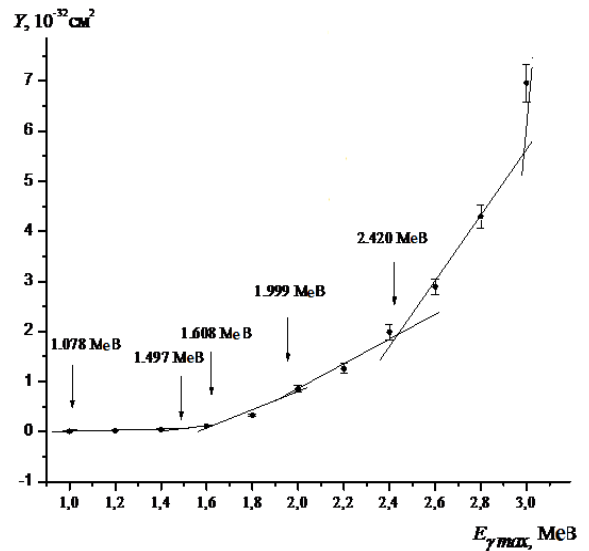


Рис. 1. Залежність виходу реакції $^{115}\text{In}(\gamma, \gamma')^{115m}\text{In}$ від максимальної енергії гальмового спектру.

Реакція $^{115}\text{In}(\gamma, \gamma')^{115m}\text{In}$, добре відома і використовувалась у роботі як моніторна.

Отримано інтегральні перерізи, які дорівнюють: 0.10(4), 0.62(25), 0.25(15), 0.96(40), 1.70(15) еВ·б для активаційних станів: 1.078, 1.497, 1.608, 1.999, 2.420 МеВ (див. рис. 1) ізомера ^{115m}In , які в межах похибок збігаються з даними інших авторів [9-11]. Це свідчить об ефективності експериментальної методики і коректності способу обробки експериментальних даних.

Виявлено також активаційні рівні з енергіями 1.802 і 2.378 МеВ (рис. 2), що збуджують ізомер ^{113m}In . Інтегральні перерізи: 1.41(40) і 2.91(51) еВ·б для цих рівнів отримано вперше.

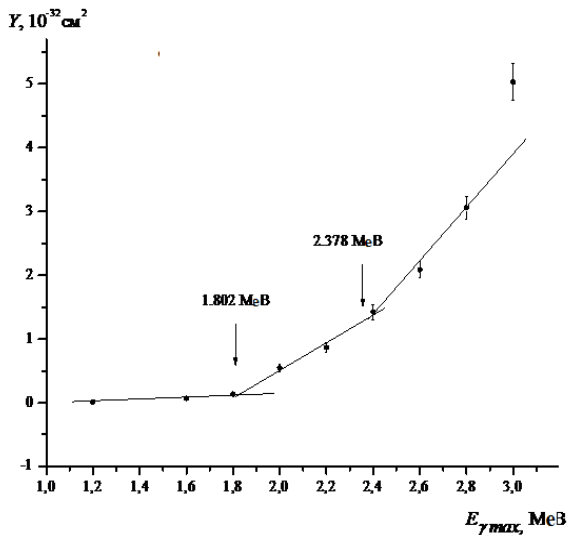


Рис. 2. Залежність виходу реакції $^{113}\text{In}(\gamma,\gamma')^{113\text{m}}\text{In}$ від максимальної енергії гальмового спектру.

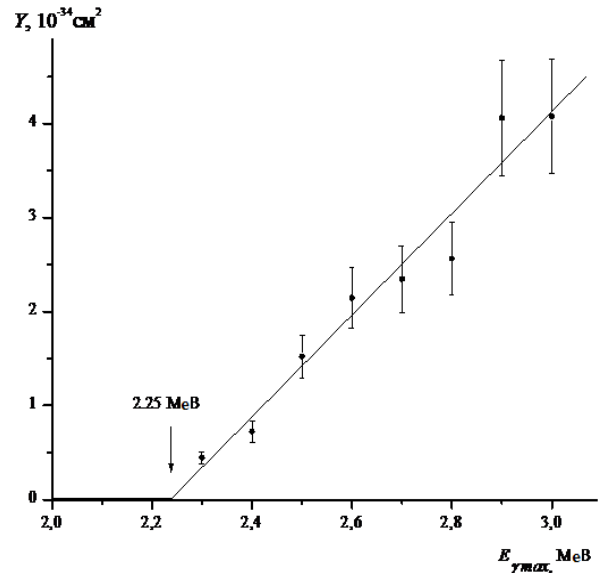


Рис. 4. Залежність виходу реакції $^{117}\text{Sn}(\gamma,\gamma')^{117\text{m}}\text{Sn}$ від максимальної енергії гальмового спектру.

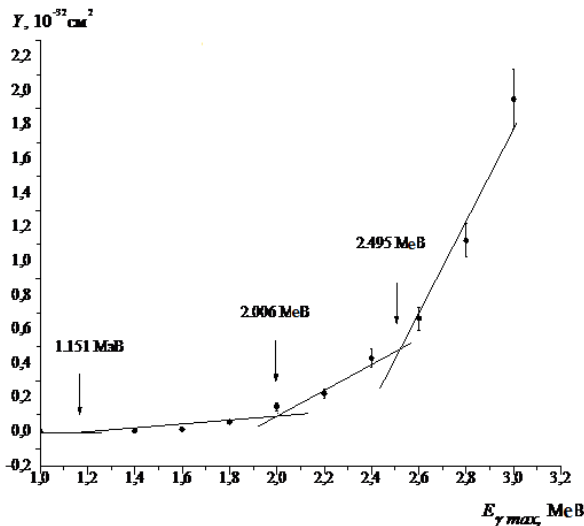


Рис. 3. Залежність виходу реакції $^{111}\text{Cd}(\gamma,\gamma')^{111\text{m}}\text{Cd}$ від максимальної енергії гальмового спектру.

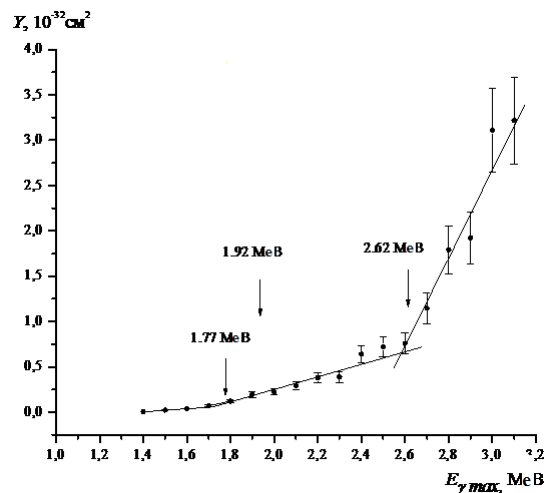


Рис. 5 Залежність виходу реакції $^{87}\text{Sr}(\gamma,\gamma')^{87\text{m}}\text{Sr}$ від максимальної енергії гальмового спектру.

Вперше виявлено інтегральні перерізи: 0.35(6) і 1.2(4) еВ·б активаційних рівнів з енергіями: 2.006 і 2.495 MeV (рис. 3), через які здійснюється утворення ізомера $^{111\text{m}}\text{Cd}$. Уточнено відоме раніше [12] значення інтегрального перерізу 0.06(2), для активаційного рівня з енергією 1.151 MeV.

Також вперше виміряно вихід ізомеру $^{117\text{m}}\text{Sn}$ в інтервалі граничної енергії гальмового спектру від 2.1 до 3.0 MeV. Виявлено активаційний рівень, з енергією 2.25 MeV (рис. 4), інтегральний переріз 0.02(2) еВ·б для цього рівня отримано вперше.

Для активаційних станів 1.77 і 1.92 MeV, які показані на рис. 5, вперше визначено значення інтегральних перерізів, що дорівнюють відповідно:

$$0.009(1) \text{ та } 0.07(1) \text{ еВ} \cdot \text{б}$$

для ізомеру $^{87\text{m}}\text{Sr}$.

Уточнено відоме раніше [10] значення інтегрального перерізу ізомеру $^{87\text{m}}\text{Sr}$ 3.8(4) еВ·б, для активаційного рівня з енергією 2.65 MeV.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Cross section information storage and retrieval system (EXFOR) // International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria. – <http://www-nds.iaea.or.at/exfor/> (online).
2. Шевченко О.С., Ранюк Ю.Н., Гостищев В.Н. и др. ВАНТ 85, (2004).
3. Астахов А.М., Баранков Д.Ю., Борисенко В.Н. и др. ВАНТ 84, (2003).
4. Шевченко О.С., Довбня А.Н., Ранюк Ю.Н. и др. Весник ХНУ 710, (2005).
5. Shevchenko O.S., Ranyuk Yu.M., Dovbnya A.M. et al. Ukr. J. Phys. 51, 2, (2006).
6. Шевченко О.С., Ранюк Ю.Н., Довбня А.Н. и др. Весник ХНУ. 868, (2009).
7. Shevchenko O.S., Ranyuk Yu.M., Dovbnya A.M. et al. VANT. 5, (2007)
8. Firestone R.B. Table of Isotops. Eight edition: 1998.
9. Belic D., Besserer J., Arlandini C. at al. Nucl. Instr. and Meth. A463, (2001).
10. Booth B.C., Brownson J. Nucl. Phys. A98, (1967).
11. Von Neumann-Cosel P., Huxel N., Richter A. et al. Nucl. Instr. Meth. A. 338, (1994).
12. Krmar M., Ljubicic A., Pisk K. et al. Phys. Rev. C. 25, 4, (1982).

Стаття надійшла до редакції 28.05.2011

O.S. Shevchenko¹, Yu. N. Ranyuk, A.N. Dovbnya, E.L. Kuplennikov
National Science Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”
61108, Kharkiv; Akademichna Str., 1, Ukraine
e-mail: oksshevchenko@mail.ru

INTEGRAL CROSS SECTION OF THE ISOMERIC STATE ^{113}In , ^{115}In , ^{111}Cd , ^{117}Sn , ^{87}Sr IN (γ, γ') REACTION

The integral cross sections of the isomeric states of nuclei ^{113}In , ^{115}In , ^{111}Cd , ^{117}Sn , ^{87}Sr in (γ, γ') reactions, under the bremsstrahlung influence from the electrostatic accelerator of electrons with the voltage applied to a conductor being up to 3.0 MV are present.

Key words: isomeric states, electrostatic accelerator, cross sections, bremsstrahlung.

О.С. Шевченко, Ю.Н. Ранюк, А.Н. Довбня, Э.Л. Купленников
Национальный научный центр "Харківський фізико-технічний інститут"
61108, Харьков, ул. Академическая, 1, Украина
e-mail: oksshevchenko@mail.ru

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ИЗОМЕРНЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР ^{113}In , ^{115}In , ^{111}Cd , ^{117}Sn , ^{87}Sr В (γ, γ') РЕАКЦИЯХ

Представлены результаты для интегральных сечений образования изомерных состояний ядер ^{113}In , ^{115}In , ^{111}Cd , ^{117}Sn , ^{87}Sr в (γ, γ') реакциях при воздействии тормозного излучения от электростатического ускорителя электронов ELIAS при напряжении на кондукторе до 3 МэВ.

Ключевые слова: тормозное излучение, (γ, γ') реакции, изомерное состояние, электростатический ускоритель.