

ВИВЧЕННЯ ІЗОМЕРНОГО ВІДНОШЕННЯ ДЛЯ ЯДРА ^{113m}In В РЕАКЦІЇ $(\gamma, \gamma')^m$

З.М.Біган, Д.М.Симочко

Інститут електронної фізики НАН України,
вул. Університетська 21, Ужгород, 88017

Визначено експериментальні ізомерні відношення в реакціях $(\gamma, \gamma')^m$ на ядрах ізоотопу ^{113}In . Проведено порівняння перерізів σ_m реакцій $(\gamma, \gamma')^m$ для ядер ізоотопів ^{113}In та ^{115}In . Результати експерименту порівнюються з теоретичними розрахунками згідно зі статистичною теорією фермі-газу в рамках уявлень каскадно-випарувальної моделі.

Наявність в атомних ядрах довгоживучих, метастабільних рівнів є відображенням їх природи і закономірностей їх внутрішньої структури. Ядерні ізомери зосереджені в основному в тих областях атомних ядер, які знаходяться поблизу оболонки, де відбувається значна зміна кутових моментів рівнів. Теоретичне дослідження як структури цих ядер, так і ядерних реакцій на них помітно ускладнене, оскільки у хвильові функції, що описують стани цих ядер, дають вклади багато оболонкових конфігурацій, що затруднює розрахунки. Для обмеження базису, тобто для формування спрощених гіпотез, необхідний аналіз обширного кола експериментальних результатів. Ефективним способом отримання такої інформації є дослідження парціальних каналів фото-ядерних реакцій. Дана робота є продовженням вивчення процесів збудження метастабільних рівнів ядер [1] і присвячена вивченню перерізу реакції $^{113}\text{In}(\gamma, \gamma')^{113m}\text{In}$ і ізомерних відношень перерізів в області енергій гамма-квантів 4–11 МеВ. Розсіювання фотонів є універсальним процесом, що відбувається на всіх ядрах і при всіх енергіях. Воно може відбуватися як із зміною енергії (непружне розсіювання), так і без зміни енергії падаючого фотона (пружне розсіювання). Метастабільні (ізо-

мерні) ядерні стани збуджуються в непружних процесах.

До теперішнього часу ні перерізи збудження ізомерних станів, ні ізомерні відношення у згаданому енергетичному інтервалі для реакції $^{113}\text{In}(\gamma, \gamma')^{113m}\text{In}$ не вивчалися. Існує кілька робіт, в яких перерізи збудження ізомерних станів на ядрі ^{113}In вивчалися при низьких енергіях за допомогою радіоактивних джерел [2], а також на прискорювачах з використанням гальмівного гамма-випромінювання з максимальною енергією 2–3 МеВ [3].

Виміри проводилися на гальмівному пучку мікротрона М-30 Інституту електронної фізики НАН України. Досліджувані зразки природного індію являли собою металічні фольги товщиною $\sim 0,2\text{--}0,5$ г/см². Виміри проводилися на гамма-спектрометрі з напівпровідниковим германій-літєвим детектором об'ємом 100 см³. Спектроскопічні характеристики досліджуваних ядер бралися з роботи [4]. Кількість ізомерних ядер ^{113m}In (період напіврозпаду $T_{1/2}=99,4$ хв) визначалася за інтенсивністю гамма-лінії 0,3917 МеВ. Ділянку апаратного гамма-спектру від індієвої мішені наведено на рис.1. Видно, що фотопік від гамма-лінії 0,3917 МеВ набагато слабший від фотопіка 0,3362 МеВ, який супроводжує розпад ізомерного стану ^{115m}In .

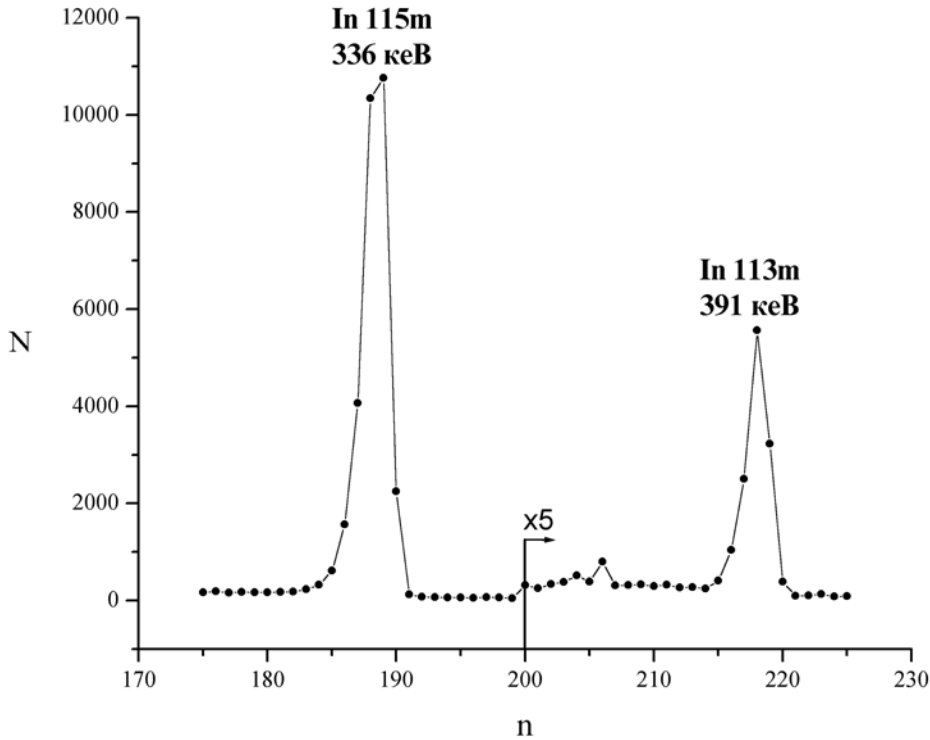


Рис. 1. Ділянка апаратного гамма-спектру від індієвої мішені (ізотопи ^{115}In та ^{113}In). Опромінення проводилося при максимальній енергії гамма-квантів 16 MeV, N – число імпульсів у каналі, n – номер каналу аналізатора.

На рис.2 наведено схему низькорозташованих рівнів ядер ^{113}In та ^{115}In [4]. Видно, що ізотопи ^{113}In та ^{115}In близькі за своєю природою. Спін-парність їх основних станів становить $9/2^+$ і формується протонною оболонкою $1g_{9/2}$. Перші збуджені стани з енергіями 0,3917 MeV і 0,6468 MeV для ^{113}In та 0,3362 MeV і 0,5971 MeV для ^{115}In формуються відповідно дірковими станами $2p_{1/2}$ і $2p_{3/2}$. Стани $2p_{1/2}$ і обумовлюють для обох ізотопів наявність ізомерних рівнів із спін-парністю $J^\pi=1/2^-$.

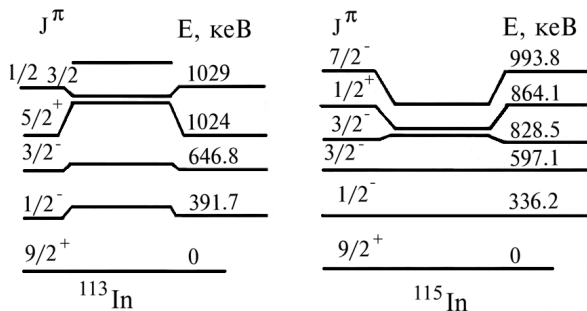


Рис. 2. Схема низькорозташованих рівнів ядер ^{113}In та ^{115}In .

Вимірювання виходу реакції $^{113}\text{In}(\gamma,\gamma')^{113\text{m}}\text{In}$ проводилися відносними методом. У ролі монітора використовувалася реакція $^{115}\text{In}(\gamma,\gamma')^{115\text{m}}\text{In}$. Відношення виходів збудження реакції $(\gamma,\gamma')^m$ на ізотопі ^{115}In до виходу цієї ж реакції на ізотопі ^{113}In $d=Y_{115}/Y_{113}$ має тенденцію до сталості і в інтервалі 4,5–9 MeV становить $1,36\pm 0,02$, а в інтервалі 12–17 MeV – $1,27\pm 0,03$. Область 9,5–10,5 MeV має особливість, тобто є перехідною, що скоріше за все пов'язано з наявністю в цьому районі порогів реакцій (γ,n) на ізотопах ^{113}In та ^{115}In , і, відповідно, впливом цих порогів на перерізи реакцій $(\gamma,\gamma')^m$.

Із кривої виходу ядерної реакції $^{113}\text{In}(\gamma,\gamma')^{113\text{m}}\text{In}$ переріз розраховувався методом оберненої матриці [5]. Переріз реакції збудження метастабільного стану $1/2^-$ ядра ^{113}In при непружному розсіюванні гамма-квантів σ_m наведено на рис.3. Тут же для порівняння наводиться переріз цієї ж реакції на ядрі ^{115}In [6]. Перерізи σ_m мають одногорбий характер з максимумами при енергії 9,0 MeV, тобто в області порогів реакцій (γ,n) . Для ізотопів ^{113}In та

^{115}In ці пороги становлять відповідно 9,4 МеВ і 9,1 МеВ. Точності наших вимірів виявилось недостатньо, щоб виявити вплив зсуву порогів на 0,3 МеВ на положення максимумів перерізів. Але якщо ми розглянемо відношення проінтегрованих перерізів σ_m в інтервалах 5–9 МеВ і 5–11 МеВ для ізотопів ^{113}In та ^{115}In , тобто $\int_5^9 \sigma_m(E)dE / \int_5^{11} \sigma_m(E)dE$, а також відношення цих перерізів, проінтегрованих в інтервалах 9–11 МеВ і 5–11 МеВ, то одержимо для ізотопу ^{115}In $\int_9^{11} \sigma_m(E)dE / \int_5^{11} \sigma_m(E)dE = 0,84$, а відношення $\int_9^{11} \sigma_m(E)dE / \int_5^9 \sigma_m(E)dE = 0,1$. Для ізотопу ^{113}In ці відношення відповідно рівні 0,69 і 0,31. Видно, що розподіл перерізу σ_m реакції $(\gamma, \gamma')^m$ для ядра ^{113}In зміщено порівняно з перерізом для ядра ^{115}In в бік більших енергій, що є наслідком росту порогу реакції (γ, n) для цього ядра.

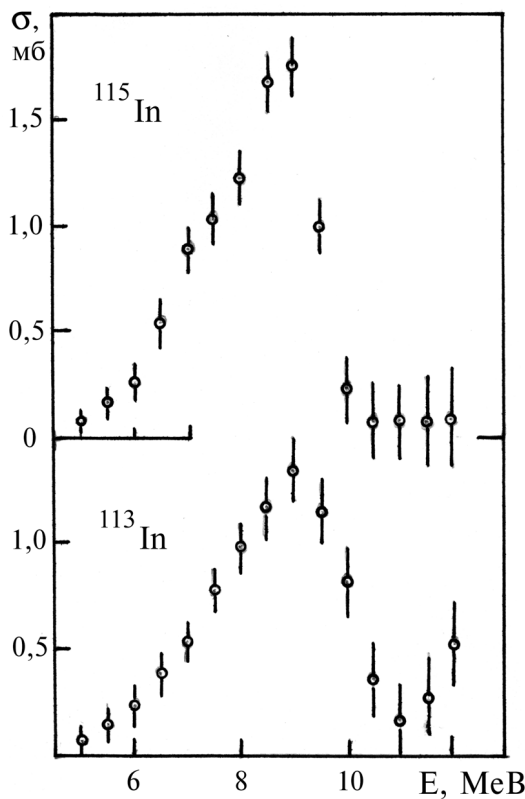


Рис. 3. Переріз реакції збудження метастабільного стану $1/2^-$ для ядер ізотопів ^{115}In та ^{113}In при непружному розсіюванні гамма-квантів σ_m .

Наявність повних перерізів фотопоглинання σ_{tot} [7] дозволяє одержати для досліджуваних ядер експериментальні ізомерні відношення перерізів $r = \sigma_m / \sigma_{\text{tot}}$. Нами оцінювалися експериментальні ізомерні відношення r в області максимумів перерізів реакції $(\gamma, \gamma')^m$, тобто в районі, де відносна похибка визначення r мінімальна. За повні перерізи фотопоглинання в досліджуваній області нами бралися значення величини лоренціанів, що апроксимують перерізи σ_{tot} . При цьому одержано такі значення ізомерних відношень: $r = 0,057 \pm 0,015$ при $E = 7,0$ МеВ; $r = 0,069 \pm 0,015$ при $E = 8$ МеВ; $r = 0,061 \pm 0,01$ при $E = 9$ МеВ.

Нами проведено теоретичні розрахунки ізомерних відношень згідно зі статистичною теорією Фермі-газу в рамках уявлень каскадно-випаровувальної моделі [8, 9].

Густина рівнів розраховувалася згідно з формулою Бете-Блоха зі зсувом [10], спінова частина якої має вигляд

$$\rho(J) = (2J + 1) \exp[-(J + 1/2)^2 / 2\sigma^2], \quad (1)$$

де σ – параметр обмеження спіну, $\sigma^2 = 0,0889 \sqrt{aU} A^{2/3}$. Тут a – параметр густини рівнів, A – масове число. U – ефективна енергія збудження [11].

Імовірність утворення складового ядра зі спін-парністю (J_c, π_c) при поглинанні дипольного гамма-кванта вважаємо пропорційною густині відповідних рівнів:

$$P(J_c, \pi_c) = W(J_c) / \sum_{J=|J_g-1|}^{J_g+1} W(J), \quad (2)$$

$$\pi_c = (-1)\pi_g$$

де (J_g, π_g) спін-парність основного стану ядра, $W(J)$ – відносна густина рівнів із даним спіном J . Більш детально схему розрахунків описано в [12]. Обчислення проводились як без вільних параметрів, так і з фіксацією параметра обмеження спіну σ . Розрахунки без вільних параметрів дають завищені значення ізомерних відношень r . Узгодження з експериментом досягається при фіксації параметру обмеження спіну на рівні $\sigma = 4,5$.

Література

1. Ю.П.Гангрский, В.М.Мазур, ФЭЧАЯ 33, 158, (2002)
2. Á.Veres, K.Pavlicsek, M.Csuros, L.Lakosi, Acta Phys Hung. 34, 97 (1973).
3. E.C.Booth, J.Brownsow, Nucl. Phys. A 98, 529 (1967).
4. C.M.Lederer, V.Shirley, Table of Isotopes, 7th ed. (Wiley, New York, 1978).
5. О.В.Богданкевич, Ф.А.Николаев, Работа с пучком тормозного излучения. (Атомиздат, Москва, 1964).
6. В.М.Мазур, И.В. Соколюк, З.М.Биган, ЯФ 56, 20 (1993).
7. S.S.Deitrich, B.L.Berman, Atom. Data and Nucl. Data Tables 38, 199 (1988).
8. Л.Я.Арифов, Б.С.Мазитов, В.Г.Уланов, ЯФ 34, 1028 (1981).
9. З.М.Биган, В.М.Мазур, З.З.Торич, Препринт КИЯИ-84-10 (Киев, 1984).
10. А.В.Малышев, Плотность уровней атомных ядер и структура атомных ядер (Атомиздат, Москва, 1969).
11. В.С.Ставинский, ФЭЧАЯ 3, 832 (1972).
12. З.М.Биган, М.В.Гошовский, В.М.Мазур, З.З.Торич, Препринт КИЯИ-85-15 (Киев, 1985).

INVESTIGATION OF ISOMER RATIOS IN $(\gamma, \gamma')^m$ REACTIONS FOR ^{113m}In NUCLEUS

Z.M. Bigan, D.M. Simochko

Institute of Electron Physics, Ukrainian National Academy of Sciences,
Universytetska St. 21, Uzhhorod, 88017

Experimental isomer ratios in $(\gamma, \gamma')^m$ reactions for ^{113}In nuclei isotope are determined. Cross-sections σ_m of $(\gamma, \gamma')^m$ reaction for isotopes of ^{113}In and ^{115}In are compared. Experimental results are compared with theoretical calculations in the statistical Fermi gas model.