

# ЗАСЕЛЕННЯ ІЗОМЕРНИХ СТАНІВ ІЗОТОПІВ БАРІЮ В РЕАКЦІЯХ ( $\gamma, n$ )

**В.М.Мазур, З.М.Біган, Т.Й.Маринець, Ю.В.Пилипченко**

Інститут електронної фізики НАН України,

88016, м.Ужгород, вул.Університетська,25

На гальмівному  $\gamma$ -пучку мікротрону М-30 в області енергій 8 – 17 МеВ досліджені перерізи збудження ізомерних станів ізоотопів барію – 129, 131, 135 в реакціях ( $\gamma, n$ ).

Центр уваги дослідження властивостей гігантського дипольного резонансу (ГР) в перерізах поглинання гамма-квантів атомними ядрами [1,2] змістився в останні роки з сфери вивчення грс-характеристик ГР в область досліджень механізмів його розпаду. До цього напрямку належить і вивчення перерізів і процесів збудження низьколежачих ізомерних станів (ІС) атомних ядер.

Метою даного дослідження є вимірювання перерізів збудження ізомерних станів і вивчення ізомерних відношень для ізоотопів барію:  $^{130}\text{Ba}$ ,  $^{132}\text{Ba}$ ,  $^{136}\text{Ba}$  в реакціях ( $\gamma, n$ ) в області енергій 8-18 МеВ. Ізотопи барію вибрані в якості об'єкту дослідження по кількох причинах. Низьколежачі збуджені стани ізоотопів барію формуються станами  $1h_{11/2}$ ,  $2d_{3/2}$ ,  $3s_{1/2}$ , з яких стани  $1h_{11/2}$  є ізомерними із значним спіном. Ізомерні стани збуджуються в реакціях ( $\gamma, n$ ) на всіх парно-парних ізотопах Ва, що дозволяє прослідити еволюцію характеристик ІВ в значному інтервалі мас  $130 < A < 138$ , в якому ізоотоп барію  $^{138}\text{Ba}$  належить до магічних з  $N=82$ .

Виміри проводилися на пучку гальмівного випромінювання мікротрону М-30 ІЕФ НАН України. Наведена активність опромінених зразків барію вимірювалась за допомогою  $\text{Ge(Li)}$  - детектору об'ємом  $100 \text{ см}^3$ .

Більш детальні умови експерименту описані в роботах [1,2].

Основні характеристики розпаду досліджуваних ізоотопів барію в основному і ізомерному станах бралися із робіт [3,4]. Періоди напіврозпаду і енергій гамма-переходів для цих станів суттєво відрізняються, що дало змогу провести одночасні вимірювання розпадів ізомерних станів практично всіх досліджуваних ізоотопів, використовуючи зразки природнього ізоотопного складу.

Безпосереднім результатом вимірів були виходи  $Y_i(E_{\gamma m})$  збудження ізомерних станів при різних максимальних енергіях  $E_{\gamma m}$  гальмівного гамма-спектру. Вимірювання проводилося відносним методом шляхом порівняння площ фотопіків від розпаду ізомерних станів  $^{129m}\text{Ba}$ ,  $^{131m}\text{Ba}$ ,  $^{135m}\text{Ba}$  і площі лінії 661 кеВ барію-137, вихід якої  $Y_m$  в реакції  $^{138}\text{Ba}(\gamma, n)^{137m}\text{Ba}$  вимірювався раніше [5] і переріз реакції ( $\gamma, n$ )<sup>m</sup> на ізоотопі  $^{138}\text{Ba}$  добре відомий. Вихід зв'язаний з ефективним перерізом досліджуваної реакції інтегральним рівнянням :

$$Y(E_{\gamma m}) = \int_{E_{\text{пор}}}^{E_{\gamma m}} \sigma(E) \Phi(E, E_{\gamma m}) dE, \quad (1)$$

де  $E_{\text{пор}}$  - поріг ( $\gamma, n$ )<sup>m</sup> реакції,  $E_{\gamma m}$  - максимальна енергія спектру гальмівних гамма-квантів,  $\sigma(E)$  - переріз реакції,

$\Phi(E, E_{\gamma m})$  - спектр гальмівного випромінювання.

В окремому експерименті визначався можливий вклад інтерферуючих реакцій:  $(n, n')$ ,  $(n, \gamma)$ . Виявилось, що в досліджуваній області енергій їх вкладом можна знехтувати. Позаяк в використаних зразках були присутні ізотопи барію-135 і барію-137, то вклад реакції  $(\gamma, \gamma')^m$  у виходи реакцій  $^{136}\text{Ba}(\gamma, n)^{135m}\text{Ba}$  і  $^{138}\text{Ba}(\gamma, n)^{137m}\text{Ba}$  враховується. І хоча в області 15-16 МеВ цей вклад був незначний, в області порогів  $(\gamma, n)$  реакцій, цей вклад був суттєвий і враховується шляхом розрахунків виходів реакції  $(\gamma, \gamma')^m$  з відомих перерізів і співставлення їх з виходами реакції  $(\gamma, n)^m$

$$\sigma(E) = \sigma \frac{E^2 \Gamma_1^2}{(E^2 - E_1^2)^2 + E^2 \Gamma_1^2}$$

Для розрахунку перерізів  $\sigma_m(E)$  використовується метод оберненої матриці Пенфольда-Лісса [6]. Перерізи розраховувалися з кроком  $\Delta E = 1$  МеВ. На рис. 1 приведені перерізи збудження ізомерних станів  $\sigma_m$  в реакціях  $^{130}\text{Ba}(\gamma, n)^{129m}\text{Ba}$ ,  $^{132}\text{Ba}(\gamma, n)^{131m}\text{Ba}$  і  $^{136}\text{Ba}(\gamma, n)^{135m}\text{Ba}$ . Суцільними кривими на рис. 1 приведені результати апроксимації перерізів лоренцовими кривими.

Таблиця 1. Параметри лоренцових кривих, що апроксимують перерізи збудження ізомерних станів ізоотопів барію.

Ізотоп	$\sigma_1$ , мбн	$E_1$ , МеВ	$\Gamma_1$ , МеВ	$(\pi/2)\sigma_1\Gamma_1 = \sigma_{int}$ , мбн·МеВ
$^{129m}\text{Ba}$	68,6	15,6	3,26	351
$^{131m}\text{Ba}$	68,3	15,6	3,06	328
$^{135m}\text{Ba}$	62,1	15,5	3,19	311
$^{137m}\text{Ba}$	51,4	15,5	3,3	266

В таблиці 2 приведені параметри лоренціану  $\sigma_0$ ,  $\Gamma_0$ ,  $E_0$ , які апроксимують

Параметри апроксимації:  $\sigma_1$  - переріз в максимумі,  $E_1$  - енергія максимуму,  $\Gamma_1$  - напівширина приведені в таблиці 1.

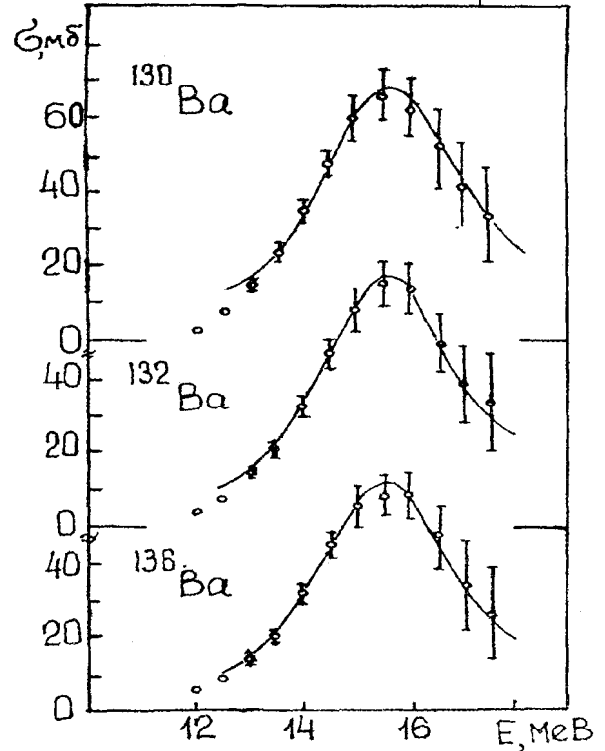


Рис. 1. - Перерізи збудження ізомерних станів реакції  $(\gamma, n)$  на ізотопах барію.

повні перерізи  $(\gamma, n)$  реакцій  $\sigma_n$   $^{130}\text{Ba}$ ,  $^{132}\text{Ba}$ ,  $^{136}\text{Ba}$  і  $^{138}\text{Ba}$ . Параметри

оцінювалися за допомогою співвідношень (1) [7,8]:

$$E_0 = E_d = 78 \cdot A^{1/3} \text{ (MeV)},$$

$$\sigma_{\text{int}} = 0,06 \left( \frac{NZ}{A} \right) \cdot (1 + \alpha) = \left( \frac{\pi}{2} \right) \cdot \sigma_0 \Gamma_0 \text{ (мбн} \cdot \text{MeV)},$$

$$\Gamma_0 = 3,74 + 0,69 E_d \cdot \beta + 0,48 \left( E_{\sigma}^{0+} \right)^{-2} \text{ (MeV)}. \quad (2)$$

Тут  $A, N, Z$  - маса, кількість протонів і нейтронів в ядрі,  $\alpha$  - обмінна поправка,  $E_d$  - енергія дипольного резонансу,  $\beta$  - параметр деформації,  $E_{\sigma}^{0+}$  - енергія  $0^+$  рівня  $\beta$ -вібраційної смуги [9]. Параметри

деформації бралися із робіт [11,12]. Одержані за допомогою співвідношень (2) параметри лоренціанів коректувалися. Коефіцієнти корекції знаходилися шляхом нормування розрахункових параметрів  $\sigma_0, \Gamma_0, E_0$  для барію-138 на їх експериментальні значення [12]. Така процедура в даному випадку дозволила одержувати  $\sigma_0, \Gamma_0, E_0$  з похибкою не більше 5 %.

Таблиця 2.

Параметри лоренціанів, що апроксимують гігантський E1- резонанс ізотопів барію

Ізотоп	$\Gamma_0, \text{ MeV}$	$E_0, \text{ MeV}$	$\sigma_0, \text{ мбн}$	$(\pi/2)\sigma_0\Gamma_0 = \sigma_{\text{int}}, \text{ мбн} \cdot \text{MeV}$
$^{130}\text{Ba}$	6,55	15,62	254	2615
$^{132}\text{Ba}$	6,21	15,53	272	2648
$^{136}\text{Ba}$	5,46	15,38	314	2693
$^{138}\text{Ba}$	4,09	15,29	356	2733

Наявність перерізів  $\sigma_m$  і  $\sigma_p$  дозволяє оцінити ізомерні відношення  $R = \sigma_m / (\sigma_m + \sigma_g) = \sigma_m / \sigma_p$  ( $\sigma_g$  - переріз заселення основного стану). В даній роботі така оцінка проведена при енергії  $\sim 16 \text{ MeV}$ , тобто в області максимумів перерізів, де відносна похибка визначення  $R$  мінімальна. При цьому ізомерне відношення визначалося, як відношення параметрів лоренціанів  $R = \sigma_1 / \sigma_0$ , що апроксимують перерізи збудження ізомерних станів в реакціях  $(\gamma, n)_m$  і повні перерізи  $(\gamma, n)$  реакцій (табл. 1,2).

Одержані наступні значення ізомерних відношень: для  $^{129}\text{Ba}$   $R=0,27$ ; для  $^{131}\text{Ba}$   $R=0,25$ ; для  $^{135}\text{Ba}$   $R=0,2$  і для  $^{137}\text{Ba}$   $R=0,14$ . Оцінка похибки визначення  $R$  складає  $\sim 15\%$ . Із приведених значень ізомерних відношень видно, що  $R$  зменшуються із збільшенням маси ізотопу: вони

максимальні для найлегшого ізотопу  $^{129}\text{Ba}$  і мінімальні для  $^{137}\text{Ba}$ . Така поведінка ізомерних відношень може бути пояснена в рамках статистичного механізму заселення ізомерних станів в реакції  $(\gamma, n)_m$ , оскільки по мірі збільшення маси ізотопів барію, заповнюється нейтронна оболонка  $N=82$  і густина рівнів падає [13,14] і відповідно зменшується і ізомерне відношення  $R$ .

1. Мазур В.М., Соколюк І.В., Биган З.М. ЯФ, 1991, т.54, вып 4, с.20.
2. Соколюк І.В., Биган З.М. Мазур В.М. и др. Метрологическое обеспечение производства, Ужгород, 1985, вып. 4, с.23.

3. Схемы распада радиоактивных нуклидов. Публикации 38 МКРЗ, М., Энергоиздат., 1987.
4. Brown E. Tables of Radiat. Isotopes, NY., Willey, 1986.
5. Мазур В.М., Желтоножский В.А., Биган З.М. ЯФ, 1995, т.58, с.970.
6. Penfold A.S., Leiss J.E. Phys. Rev. 1959. v.114, p.1332.
7. Гуревич Г.М., Мазур В.М. УФЖ, 1984, т.29, с.668.
8. Berman B.L., Fultz S.C. Rev. of Modern Phys., 1975, v. 47, p.713.
9. Sakai M. Atom Data and Nucl Data Tables, 1975, v.15, p.513.
10. Raghavan R., Atom. Data and Nucl. Data Tables. 1989, v.42, p.189.
11. Raman S., Nestor W.S., Kahane Jr.S. et al. Atom. Data and Nucl. Data Tables, 1989, v.42, p.1.
12. Beil H., Bergere R., Carlos P. et al. Nucl. Phys., 1971, A172, p.426.
13. Ставинський В. С. ЭЧАЯ, 1972, т.3, с.832.
14. Ijtinov A.S., Mebel M.V., Bianchi N. et al. Nucl. Phys. 1992, A543, p.517.

## POPULATION OF ISOMERIC STATES BARIUM ISOTOPES IN ( $\gamma$ ,N) REACTIONS

V.M.Mazur, Z.M.Bigan, T.I.Marinetz, Yu.V.Pylypchenko

Institute of electron physics NAS Ukraine, Uzhgorod.

The cross-sections of excitation of isomeric states in ( $\gamma$ ,n) reactions on barium - 129, 131, 135 isotopes in the energy range 8-17 MeV are investigated on a bremsstrahlung of the microtron M-30.