

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАКЦІЙ $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111m}\text{In}$, $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$

**В.С. Бохінюк, О.Г. Окунев, О.М. Парлаг, В.А. Пилипченко,
М.Т. Саболчій, Р.М. Плекан**

Ужгородський національний університет, кафедра теоретичної фізики
з курсом фізики ядра і елементарних частинок
88000, м. Ужгород, вул. Капітульна, 9а, Україна
E-mail: nphys@univ.uzhgorod.ua

На гальмівному пучку бетатрона проведено вимірювання абсолютних виходів реакцій $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111m}\text{In}$, $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$. Опромінення зразків проводилось гальмівним випромінюванням у інтервалі енергій 16-24 МеВ. Для опромінення бралися зразки з природної суміші ізотопів.

Вступ

Ізомерні рівні, що збуджуються в реакції (γ, p) , часто недоступні для найбільш повно вивчених реакцій (γ, n) і (γ, γ') , дають можливість отримувати додаткову інформацію про властивості рівнів і механізм фотоядерних реакцій.

Особливістю реакції (γ, p) є більш низький вихід порівняно з реакціями (γ, n) і $(\gamma, 2n)$. Тому при опроміненні мішеней з природною сумішшю ізотопів γ -лінії продуктів реакції (γ, p) доводиться виділяти на високому рівні фону цих реакцій. Це обмежує вибір досліджуваних ядер, дуже ускладнює ідентифікацію γ -випромінювання і суттєво знижує точність отриманих результатів.

У роботі [1] показано, що ізомерні відношення виходів в реакції (γ, n) на ядрах ^{88}Sr , ^{89}Y , ^{90}Zr , ^{92}Mo слабо змінюються зі зміною числа протонів. У зв'язку з цим було доцільно провести аналогічні дослідження для виявлення впливу числа нейтронів на величину ізомерних відношень в реакції (γ, p) . Дуже зручним для цього є олово, число нейтронів у якого змінюється від 112 до 124.

Результати робіт [2-5] підтвердили слабку залежність ізомерних відношень виходів від числа нейтронів для реакції $\text{Sn}(\gamma, p)\text{In}^{\text{mg}}$. Виняток становить реакція $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^{\text{mg}}$. Отримане для неї ізомерне відношення суттєво менше, ніж для інших ізотопів олова.

У згаданих роботах визначення ізомерних відношень виходів проводились методом аналізу гамма-спектрів, без вимірів абсолютних виходів. Для реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^{\text{mg}}$ класичний метод не може дати точних результатів у зв'язку з тим, що періоди напіврозпаду ізомерного та основного стану відрізняються більше ніж у 500 разів. Крім того, основний стан $^{111}\text{In}^{\text{g}}$ утворюється як за рахунок ізомерного переходу, так і при розпаді ізотопу ^{111}Sn , який утворюється за рахунок реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$, переріз якої на 2 порядки більше перерізу реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^{\text{mg}}$ [6,7].

У зв'язку з вище згаданим, нами проведено вимірювання абсолютних виходів реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^{\text{m}}$ та $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$. Це дає можливість визначити інтегральні перерізи реакцій та розрахувати ізомерні відношення виходів відмінним від використаних у згаданих роботах методом.

Методика експерименту

Дослідження реакцій $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^{\text{m}}$ та $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ проводилось на гальмівному пучку бетатрона Б-25/30 в інтервалі енергій 16-25 МеВ з кроком 1 МеВ.

Ядерно-фізичні характеристики ізотопів $^{111}\text{In}^{\text{m}}$, $^{111}\text{In}^{\text{g}}$, ^{111}Sn які утворюються за рахунок реакцій (γ, p) , (γ, n) та (γ, np) при опроміненні природної суміші

ізотопів олова приведені у табл. 1. У природній суміші міститься 0,95% ізотопу ^{112}Sn та 0,7% ^{114}Sn .

Таблиця 1. Ядерно-фізичні характеристики ізотопів $^{111}\text{In}^g$, $^{111}\text{In}^m$, ^{111}Sn

Реакція	Поріг, MeV	Ізотоп	$T_{1/2}$	E , кеВ	Вихід, %
(γ, p)	7.73	$^{111}\text{In}^g$	2.83 дн	245	94
(γ, p)	7.73	$^{111}\text{In}^m$	7.7 хв.	536	0,95
(γ, n)	11.1	^{111}Sn	35 хв.	511	54

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 можливої згідно його конструкції. Виміри виходу реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^m$ та $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)$ проводилось у два етапи: 1 – для визначення виходу $^{111}\text{In}^m$ і ^{111}Sn часи опромінення і вимірювання 7 хв., часи охолодження – 1 і 9 хв. 2 – для оцінки виходу $^{111}\text{In}^g$ часи опромінення 30–50 хв., часи охолодження і вимірювання 30–90 хв. Наведена активність вимірювалась Ge-Li детектором об'ємом 100 см³. Роздільна здатність по лінії ^{60}Co – 8 кеВ, ефективність реєстрації γ -квантів: 245 кеВ – $5,25 \cdot 10^{-2}$, 511 кеВ – $2 \cdot 10^{-2}$, 536 кеВ – $1,75 \cdot 10^{-2}$. Амплітудні спектри вимірювались кілька разів з різними часами охолодження, щоб виключити можливі похибки за рахунок різного завантаження входу спектрометра. З цією ж метою дискримінатором відрізалась дуже потужні лінії 158 кеВ та 171 кеВ, які є суперпозицією випромінювання ізотопів ^{111}In , $^{112}\text{In}^m$, ^{117}In , $^{117}\text{In}^m$.

Для вимірювання абсолютної дози опромінення використовувалась товстостінна алюмінієва камера. Так як інтенсивність гальмівного випромінювання коливається під час опромінення зразка, то проводилось інтегрування дози опромінення з допомогою РС-ланцюжка, параметри якого співмірні з періодами напіврозпаду досліджуваних ядер.

Абсолютні виходи реакцій розраховувались згідно загально прийнятої методики по формулі:

$$Y(E_m) = \frac{S(E_m) \cdot \lambda}{n \cdot \epsilon \cdot \eta \cdot D \cdot (1 - e^{-\lambda t_{оп}}) \cdot e^{-\lambda t_{ох}} \cdot (1 - e^{-\lambda t_s})}$$

де: λ - стала розпаду ядер; $S(E_m)$ - площа під фотоопіком в апаратурному спектрі гамма-випромінювання після опромінення зразка при енергії E_m ; ϵ - ефективність реєстрації гамма-випромінювання; η - коефіцієнт, що враховує квантовий вихід лінії; D - доза гальмівного випромінювання в одиницях струму товстостінної іонізаційної камери; $t_{оп}$ - час опромінення; $t_{ох}$ - час охолодження зразка; t_s - час вимірювання.

Результати та їх обговорення

При обробці експериментальних даних, одержаних при вимірах виходу основного стану $^{111}\text{In}^g$, спостерігається чітко виражена залежність величини виходу від часу охолодження зразка. У таблиці 2 приведена для прикладу ця залежність для енергії опромінення 22 МеВ

Таблиця 2. Залежність виходу $^{111}\text{In}^g$ від часу охолодження зразка

Час охолодження зразка, хв	Вихід, відносні одиниці
2	1,57
36	0,66
68	0,53

Щоб встановити причину цього були зняті криві розпаду для γ -ліній 245, 511 та 536 кеВ. Виявилось, що лінії 511 та 536 кеВ в межах похибок однокомпонентні. Крива розпаду для лінії 245 кеВ приведена на рис. 1. Як бачимо, в інтервалі часів охолодження до 100 хв. спостерігається зростання інтенсивності цієї лінії. Як показали розрахунки, наростання іде за рахунок розпаду ядра з періодом напіврозпаду 39 хв. Це можна пояснити тим, що за рахунок реакції (γ, n) утворюється ^{111}Sn , який шляхом бета-розпаду перетворюється в основний стан ^{111}In .

Тому лінія 245 кеВ є суперпозицією продуктів двох реакцій $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^m$ і $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}^g$. Таким чином можна пояснити, що значення ізомерного

відношення виходів для $^{111}\text{In}^m/^{111}\text{In}^g$, приведені в роботах [2–5] менші на два порядки від величини ізомерних відношень для сусідніх ізотопів олова тим, що не враховано коректно вклад реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}^g$.

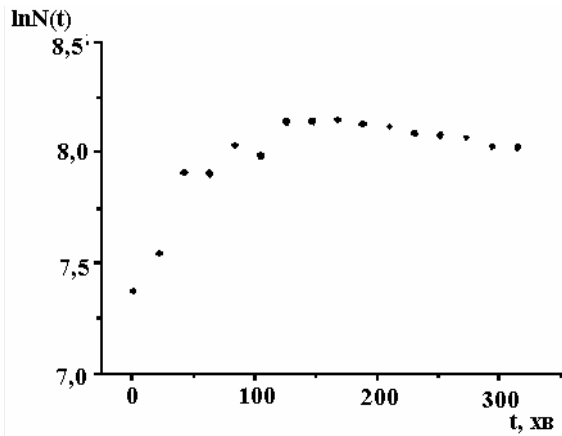


Рис. 1. Крива розпаду для лінії 245 кеВ.

На рис. 2. та рис. 3 приведено абсолютні виходи ^{111}Sn та $^{111}\text{In}^m$ в області енергій 16 - 25 МеВ. Вказані середньоквадратичні похибки, оцінені по результатам трьох серій окремих вимірів.

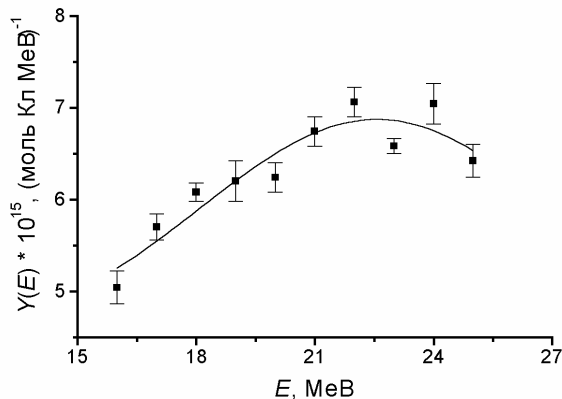


Рис. 2. Вихід реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}^g$.

Вважаємо за доцільне розробити спеціальну методику розрахунку внеску у інтенсивність γ -лінії з енергію 245 кеВ продукту реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}^g$, що зазнає β -розпаду. Методика повинна базуватись на використанні експериментальних

розпадних кривих для γ -лінії з енергію 245 кеВ.

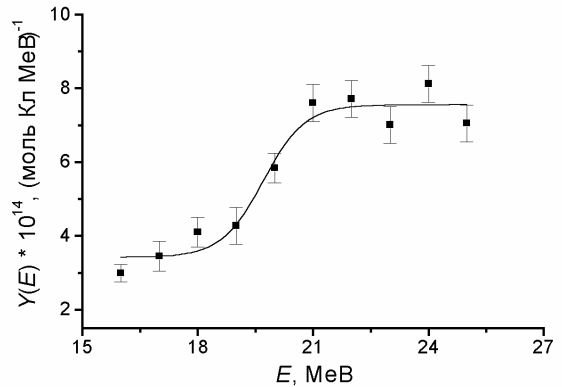


Рис. 3. Крива виходу реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^m$.

Висновки

Як видно з кривої на рис. 2, вихід реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}^g$ поступово зростає в інтервалі енергій 16-21 МеВ від $0,5 \cdot 10^{16}$ до $0,67 \cdot 10^{16}$ (моль Кл МеВ) $^{-1}$ і далі спадає до $0,64 \cdot 10^{16}$.

Енергетична ж залежність реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^m$ (див. рис. 3) суттєво відрізняється від попередньої. Спостерігається значне зростання виходу в інтервалі енергій 19-21 МеВ від $0,9 \cdot 10^{14}$ до $3,6 \cdot 10^{16}$ (моль Кл МеВ) $^{-1}$, далі до 25 МеВ вихід практично не змінюється. Це можна пояснити тим, що перерізи реакцій після гігантського резонансу різко спадають.

Попередня оцінка виходу реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111}\text{In}^g$ показала, що необхідно розробити методику розрахунку внеску продукту реакції $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ в інтенсивність гамма-лінії 245 кеВ. Унаслідок останньої реакції шляхом β -розпаду утворюється ядро ^{111}In в основному стані. Методика розрахунку повинна базуватись на експериментальних даних про криву розпаду інтенсивності гамма-лінії 245 кеВ.

Література

1. Біган З.М., Мазур В.М., Соколюк І.В.// УФЖ. – 1990. – 35. – С.519–514.
2. Mazur V.M., Bigan Z.M., Sokolyuk I.V. // Laser Phys. – 1995. – 5. – P.273–281.

3. Мазур В.М. та ін. // Збірник доповідей ювіл. конф. “ІЕФ–96”. – Ужгород: ІЕФ НАН України, 1993. – С. 173–176.
4. Yuta H., Morinaga H. // Nucl. Phys. – 1960. – 16. – P. 119–137.
5. Hummel J.P. // Phys. Rev. – 1961. – 123. – P.950–953.
6. Lederer C.M., Shirley V.S. Table of Isotopes. - New York: Wiley, 1978. - 1523 p. - P. 17-27.

STUDY OF THE $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m}}\text{In}$, $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ REACTIONS

**V.S. Bokhinyuk, O.G. Okunev, O.M. Parlag, V.A. Pylypchenko,
M.T. Sabolchiy, R.M. Plekan**

Ужгородський національний університет, кафедра теоретичної фізики
з курсом фізики ядра і елементарних частинок
88000, м. Ужгород, вул. Капітульна, 9а, Україна
E-mail: nphys@univ.uzhgorod.ua

Using the bremsstrahlung bunch of the betatron Б-25/30 the measurements of the absolute yields of the $^{112}\text{Sn}(\gamma, p)^{111\text{m}}\text{In}$ and $^{112}\text{Sn}(\gamma, n)^{111}\text{Sn}$ reactions was carried out. The irradiation of the samples was carried out on the bremsstrahlung radiation in interval of energy 16-24 MeV. The samples from natural mixture of the tin isotopes was taken for radiation.