

ПРО ЕНЕРГЕТИЧНУ ЗАЛЕЖНІСТЬ НЕЗАЛЕЖНОГО ВИХОДУ ^{97}Nb ПРИ ФОТОПОДІЛІ ТОРІЮ

М.В. Водячук, О.Г. Окунєв, А.П. Осипенко, В.А. Пилипченко,
О.М. Фрадкін, І.В. Хіміч, О.В. Яценко

Ужгородський національний університет, кафедра ядерної фізики
88000, Ужгород, вул. Капітульна, 9а
e-mail: nphys@univ.uzhgorod.ua

За допомогою гамма-спектрометричного методу виміряно відношення незалежного виходу ^{97}Nb до кумулятивного виходу ^{134}Te при фотоподілі ядра ^{232}Th у діапазоні максимальних енергій гальмівних γ -квантів від 7,3 до 7,7 МеВ. Виявлено значне зростання цього відношення при $E_{\gamma\text{max}}=7,5$ МеВ. Це підтверджує припущення про існування кластерної структури в ядрі, яке зазнає поділу.

Вступ

Енергетичні залежності виходів уламків фотоподілу актинідних ядер у припороговій області енергій γ -квантів містять цінну інформацію про особливості перебігу реакції поділу. Зокрема, у кривій виходу фотоподілу ^{232}Th спостерігається резонансоподібна структура у припороговій області енергій, тісно пов'язана з механізмом реакції [1]. У роботі [2] одержано докази існування резонансної структури енергетичних залежностей кумулятивних виходів ряду уламків. Одержані значення резонансних енергій корелювали з надлишковим над магічним числом нейтронів у досліджуваному уламкові.

У роботі [2] висловлено припущення, що незалежні виходи мають бути чутливішими до резонансних ефектів, ніж кумулятивні. З метою перевірки цього припущення у даній роботі проведено вимірювання незалежного виходу уламка ^{97}Nb на мікротроні М-10 у діапазоні енергій гальмівних гамма-квантів від 7,3 до 7,7 МеВ. Кумулятивний вихід ^{97}Nb проявляє п'ятикратне зростання при максимальній енергії гальмівних γ -квантів $E_{\gamma\text{max}}=7,4$ МеВ (рис. 1, пунктир). Характер розпаду уламків ізобарного ланцюжка з масовим числом $A = 97$ (рис. 1) дозволяє визначення незалежного виходу ніобію за інтенсивностями випромінювання γ -ліній 657 кеВ (^{97}Nb) та 743 кеВ (^{97}Zr).

Як видно з схеми розпадів, час життя

досліджуваних уламків достатній для проведення вимірювання інтенсивності ліній. Ядро ^{97}Zr з періодом напіврозпаду 17 годин розпадається в ізомерний стан $^{97\text{m}}\text{Nb}$ (коефіцієнт розгалуження 0,945) та прямо в основний стан ^{97}Nb (0,055). Визначена інтенсивність лінії 743 кеВ дає можливість вирахувати з загальної інтенсивності лінії ніобію вклад від розпаду цирконію (попередника) та визначити ймовірність утворення ніобію (в основному та ізомерному станах) безпосередньо при поділі ядра торію.

Методика визначення незалежного виходу

Як видно з рис. 1, час життя попередників ^{97}Zr в ізобарному ланцюгу значно менший за час життя ядер ^{97}Zr , тому накопичення ядер ^{97}Zr можна описувати так, ніби вони утворюються у момент поділу ядер. При цьому значення суми імпульсів у відповідному максимумі S_p , зареєстроване в інтервалі часу між t_1 і t_2 ($t=0$ відповідає моменту припинення опромінення) виразиться формулою:

$$S_p = n_f Y_p \varepsilon_p \omega_p \cdot \frac{1}{\lambda_p} (1 - e^{-\lambda_p t_{op}}) \cdot (e^{-\lambda_p t_1} - e^{-\lambda_p t_2}). \quad (1)$$

Тут n_f – число актів поділу за 1 сек., Y_p – кумулятивний вихід попередника, ε_p і ω_p – відповідно ефективність реєстрації γ -квантів ^{97}Zr та ефективність

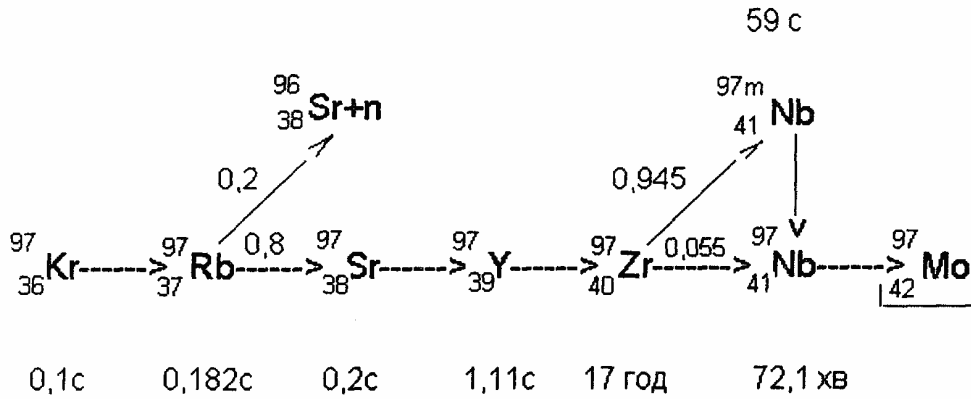


Рис. 1. Ізобарний ланцюг розпаду уламків поділу з масовим числом 97.

Табл. 1. Орієнтовні основні вклади уламків в максимуми, близько 657 і 743 кеВ.
а) лінія 657 кеВ:

Уламок: Час охолодження	Rb-89 $T_{\text{ноп}}=3.26$ хв $T=15.6$ хв	Sr-91 $T_{\text{ноп}}=1.13$ хв $T=568.8$ хв	Nb-97 $T_{\text{ноп}}=1021$ хв $T=72,1$ хв	Ce-143 $T_{\text{ноп}}=14,26$ хв $T=1980$ хв	Сума імпульсів у максимумі
30	0,318	0,173	0,484	0,0254	262
60	0,096	0,191	0,683	0,0298	228
90	0,025	0,182	0,764	0,0293	232
120	0,006	0,169	0,796	0,028	240

б) лінія 743 кеВ:

20	0,19	0,482	0,31	0,0060	250
80	0,214	0,56	0,204	0,0066	207
140	0,232	0,625	0,118	0,0068	178
250	0,24	0,69	0,04	0,0050	150

Примітка: Дані таблиці відповідають часові вимірювання 30 хв. і часу опромінення 60 хв.

накопичення ядер цирконію на колекторі. ^{97}Nb утворюється як у момент поділу ядра, так і при розпаді ^{97}Zr переважно через ізомерний стан $^{97\text{m}}\text{Nb}$. Період напіврозпаду цього стану значно менший за відповідний період основного стану, тому накопичення ^{97}Nb можна розглядати, як простий розпад цирконію в основний стан ніобію.

При цьому число ядер ^{97}Nb на колекторі на момент часу t дається формулою:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} + \frac{\lambda_p}{\lambda - \lambda_p} \cdot N_{p0} (e^{-\lambda_p t} - e^{-\lambda t}), \quad (2)$$

де $N_{p0} = n_f Y_p \omega_p \cdot \frac{1}{\lambda_p} (1 - e^{-\lambda_p t_{op}})$,

а $N_0 = n_f Y \omega \cdot \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t_{op}})$.

Тут λ_p і λ – сталі розпаду попередника та

досліджуваного ізотопу, t_{op} – час опромінення. Y – шуканий незалежний вихід, ω – ефективність накопичення ядер ніобію в колекторі (припускається $\omega \approx \omega_p$). Сума в максимумі досліджуваного ізотопу, виміряна в інтервалі від t_1 до t_2 одержується як

$$S = \varepsilon \int_{t_1}^{t_2} N(t) dt. \quad (3)$$

При заданому кумулятивному виході попередника незалежний вихід досліджуваного уламка знаходиться шляхом розв'язання системи рівнянь (1-3). Експериментально визначались інтенсивності γ -ліній з енергіями 657 та 743 кеВ. Методика проведення вимірів аналогічна процедурам роботи [2]. Стопка мішеней окису торію упереміж з алюмінієвими колекто-

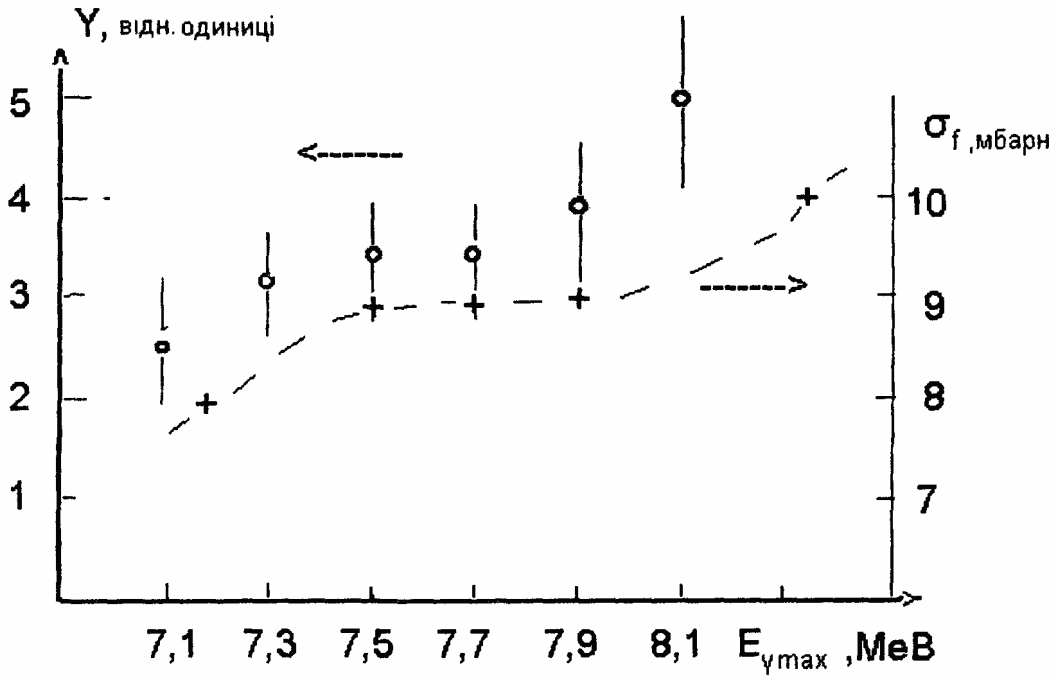


Рис. 2. Енергетична залежність кумулятивного виходу уламка ^{134}Te (o) при фотоподілі ^{232}Th та перерізу фотоподілу ^{232}Th (+, ліва шкала).

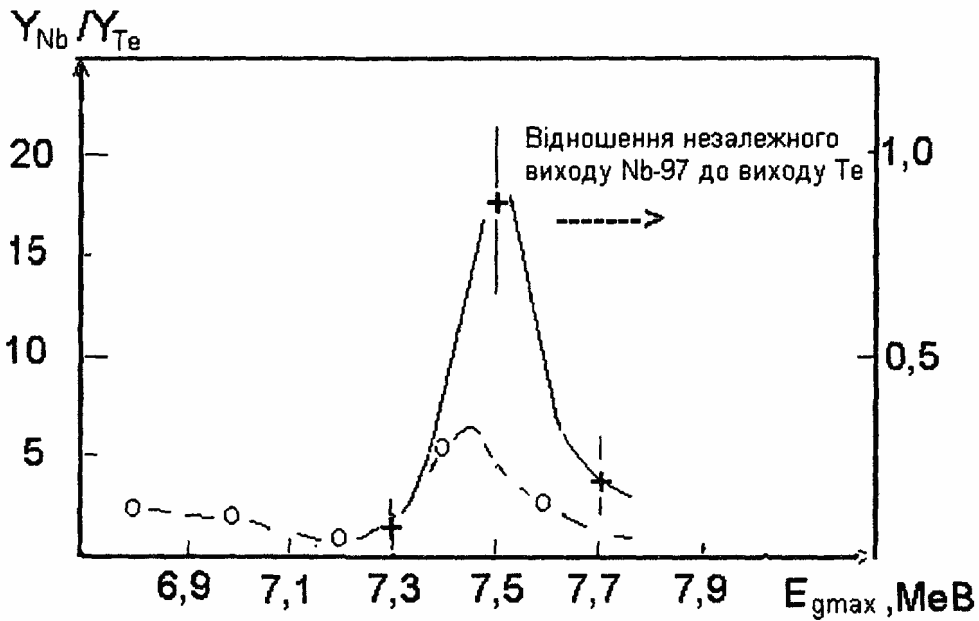


Рис. 3. Залежність відношення суми незалежних виходів ^{97}Nb та $^{97\text{m}}\text{Nb}$ до кумулятивного виходу ^{134}Te від максимальної енергії гальмівного пучка.

рами (фольга товщиною $4,8 \text{ мг/см}^2$) опромінювалась у пучку γ -квантів мікротрона М-10 протягом 35-60 хв.

γ -спектри вимірювались напівпровідниковим спектрометром з роздільністю близько 6 кеВ. Число імпульсів у максимумі визначалось як різниця суми імпульсів у каналах, охоплених максимумом, і суми імпульсів фону у тих же каналах. Значення фону визначалось за числом імпульсів у 5-7 каналах поза максимумом. Крім досліджуваних ізотопів, у згадані максимуми можуть давати вклад інші нукліди (табл. 1).

Визначення вкладу ^{97}Nb і ^{97}Zr здійснювалось шляхом розкладу часової залежності інтенсивності максимумів на компоненти [2]. Результати вимірювань подаються у вигляді відношень виходів досліджуваних ліній до кумулятивного виходу лінії 767 кеВ, яка випромінюється ^{134}Te . Вимірювана залежність виходу ^{134}Te від $E_{\gamma\text{max}}$ у цьому діапазоні енергій має плавний характер і корелює з залежністю перерізу реакції поділу від енергії (рис. 2). Відношення виходів менш чутливе до неточності визначення дози гальмівного пучка при опроміненні, ніж самі виходи.

Результати та аналіз вимірювань

На рис. 3 представлені експериментальні відношення незалежного виходу ^{97}Nb до виходу ^{134}Te при енергіях $E_{\gamma\text{max}}=7,3-7,7 \text{ MeV}$ (точки у вигляді хрестиків, шкала відношень справа). Там же наведені аналогічні дані для кумулятивного виходу ^{97}Nb з роботи [1] (кружки, шкала відношень зліва). Можна бачити, що в обох залежностях спостерігається максимум практично при однаковому значенні енергії. Це вказує на те, що максимум відношення кумулятивного виходу зумовлений саме поведінкою незалежного виходу ^{97}Nb .

Збільшення відношення у максимумі для незалежного виходу в кілька разів більше, ніж для кумулятивного, тобто, як і передбачалося в [1], незалежні виходи чу-

тливіші до резонансних ефектів при поділі.

Ширина максимуму відповідає резонансному утворенню з середнім часом життя порядку $10^{-19}-10^{-20}$ сек. Такий час життя не суперечить припущенню, що взаємодія резонуючої системи нуклонів з гаммаквантом має місце на початковій стадії поділу (стадії деформування ядра), у якій час життя ядра складає приблизно $10^{-16}-10^{-17}$ сек. [3]. Це у певній мірі суперечить результатам роботи [1], у якій одержано однакову структуру кривих збудження реакції поділу ядер торію для різних входних каналів, що може бути пояснено переважанням каналів реакції з утворенням складеного ядра. Результати нашої роботи можна також розглядати, як підтвердження більшої чутливості характеристик окремих каналів поділу до особливостей перебігу реакції поділу порівняно з інтегральним перерізом цього процесу. Звернемо увагу, що автори роботи [4], успішно описують процес злиття важких іонів з наступним поділом, не використовуючи концепції формування складеного ядра.

Відношення незалежного виходу ніобію до кумулятивного виходу ^{97}Zr при $E_{\gamma\text{max}}=7,3 \text{ MeV}$ узгоджується з розрахованим за формулою розподілу ізобарних уламків поділу за їх зарядом [3]. Зростання відношення при $E_{\gamma\text{max}}=7,5 \text{ MeV}$ проявляє механізм процесу, пов'язаному з формуванням у ядрі нуклонних кластерів. Таким чином результати даної роботи підтверджують наявність резонансної структури в енергетичній залежності виходів конкретних уламків, яка більш чітко виражається в при вимірюванні незалежних виходів.

Це вказує на доцільність зусиль для систематичних вимірів незалежних виходів уламків поблизу ефективного порогу поділу.

1. Солдатов А.С., Смиренин Г.Н. // Ядерная физика. - 1995.- 58, № 2.- С.224.
2. Бохінюк В.С., Осипенко А.П., Пилипченко В.А., Пилипченко Ю.В., Хіміч І.В. // Науковий вісник Ужг. унів. Сер. фізика.- 1998.- №3.- С.30.
3. Гангрский Ю.П., Далхсурэн Б., Марков Б.Н. Осколки деления ядер.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 136 с.
4. Косенко Г.И., Иванюк Ф.А., Пашкевич В.В. // Ядерная физика.- 2002.- 65, №9.- С.1629.

ABOUT ENERGY DEPENDENCE OF ^{97}Nb INDEPENDENT YIELD OF ^{232}Th PHOTOFISSION

**M.V. Vodyanchuk, A.G. Okunev, A.P. Osipenko, V.A. Pylypchenko,
O.M. Fradkin, I.V. Khimich, A.V. Yazenko**

Uzhgorod National University, Department of Nuclear Physics
9a, Kapitulna str., Uzhgorod 88000
e-mail: nphys@univ.uzhgorod.ua

The ratio of the ^{97}Nb independent yield to the ^{134}Te cumulative yield of the ^{232}Th photofission at maximal energy of bremsstrahlung from 7,3 to 7,7 MeV by γ -spectroscopy method was measured. The strong increase of measured ratio at $E_{\gamma\text{max}}=7,5$ MeV was found. This confirm the assumption, that there is a nucleon cluster structure in nucleus, which the near threshold photofission undergo.