

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРУ КУМУЛЯТИВНИХ ВИХОДІВ УЛАМКІВ ФОТОПОДІЛУ АКТИНІДНИХ ЯДЕР.

О.О. Парлаг, В.Т. Маслюк, О.І. Лендел, В.А. Пилипченко*

Інститут електронної фізики Національної академії наук України,
88000 м. Ужгород, вул. Університетська, 21, к. 405. e-mail: ier@ier.uzhgorod.ua

*Ужгородський національний університет, 88000 м. Ужгород, вул. Підгірна, 46.

Запропоновано спосіб калібровки спектрометра з використанням гамма-випромінювання уламків, утворених в реакції $^{235}\text{U}(n_{\text{th}},f)$. Розроблено програми обробки гамма-спектрів, індукованих уламками фотоподілу актинідних ядер, які дозволяють врахувати особливості цих спектрів та підвищити точність визначення їх кумулятивних виходів.

Вступ

Експерименти по вивченню гамма-активностей фрагментів поділу є важливим джерелом інформації при дослідженні масових розподілів уламків поділу, ме-ханізму їх утворення [1].

Фотоподіл – один із каналів розпаду збудженого ядра. Перевага електромагнітного способу збудження ядра у порівнянні зі збудженням частинками (нейтрони, протони, дейтрони, альфа-частинки) обумовлена обмеженням спектром внесених орбітальних кутових моментів, що дозволяє надійно ідентифікувати квантові харак-теристики подільної системи [2].

На теперішній час накопичено багатий експерименталь-ний матеріал з масових спектрів уламків фотоподілу для великої кількості ядер [3 – 5]. Однак існуючі теоретичні моделі пояснюють лише деякі аспекти цих розподілів. Тому виникає необхідність подальшого накопичення експериментальних да-них фотоподілу актинідних ядер та розробки нових і достатньо простих методик виміру окремих фрагментів фотоподілу.

Експериментальні данні по виходам уламків становлять і самостійний інтерес, оскільки вони

можуть широко використовуватися і для вирішення прикладних задач. Це в першу чергу вивчення відносних швидкостей реакцій поділу ядер [6], дозиметрії випромінювання [7], при розробці методик активаційного аналізу [8], розвідці і переробці подільних матеріалів, та контролю нерозповсюдження ядерних матеріалів [9].

Для отримання експериментальної інформації про кумулятивні виходи уламків поділу актинідних ядер використовуються різні ме-тодики, а саме радіохімічна, массепараторів, гамма-спектро-метрична. У [10] та наших попе-редніх роботах [11, 12] проведено детальний аналіз методу напів-провідникової гамма-спектрометрії його переваги і можливості та специфічні особливості його реалізації при проведенні вимірів.

В представленій роботі запропо-новано спосіб калібровки спектрометра з використанням гамма-випромінювання уламків, ут-ворених в реакції $^{235}\text{U}(n_{\text{th}},f)$ та розроблено програми обробки гамма-спектрів, індукованих уламками фото-поділу актинідних ядер, які дозволяють врахувати особ-ливості цих спектрів.

Особливості методики експериментальних досліджень.

Експериментально вимірювана величина при реалізації даного методу є швидкість рахунку у піках повного поглинання $n_i(E_\gamma)$ гамма-квантів даної енергії E_γ , яка згідно [10 - 12] задається:

$$n_i(E_\gamma) = X_j \varepsilon(E_\gamma) \beta(E_\gamma) \eta(E_\gamma) \quad (1)$$

де X_j – активність i – тового члену ланцюжка,

$\varepsilon(E_\gamma)$ - абсолютна ефективність спектрометра для енергії E_γ ,

$\beta(E_\gamma)$ - поправка на самопоглинання в зразку для даної енергії E_γ ,

$\eta(E_\gamma)$ - абсолютний квантовий вихід гамма-лінії з енергією E_γ .

Виходячи з сукупності експериментально виміряних значень $n(E_\gamma)$ при різних часах охолодження отримуються значення X_j згідно [9], які використовуються в подальшому для визначення кумулятивних виходів уламків.

Точність визначення кумулятивних виходів у цьому методі в першу чергу залежить від надійної ідентифікації гамма-піків індукованих

енергетична здатність спектрометра, оскільки у реальних спектрах з великою кількістю компонент відбувається змішування піків повного поглинання при близьких енергіях гамма-квантів [15]. Стандартні програми обробки спектрів не дозволяють врахувати цих особливостей [16]. Тому для вирішення цієї проблеми розроблено комплекс програм, які дозволяють поточно описувати піки гаусіанами, розділяючи їх на дві та три компоненти з фіксацією центрів важкості по енергії, знаходженням площ окремих піків і врахуванням їх ядерно-фізичних сталих.

Піки повного поглинання $S_0(E_\gamma)$ уламків фотоподілу актинідних ядер описуються сукупністю двох або трьох гаусіанів з шістьма або дев'ятьма незалежними параметрами відпо-відно:

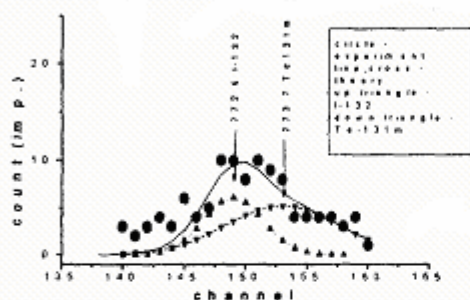
$$S_0(E_\gamma) = \sum \{ S_i \exp[-(A - A_i)^2 / 2 \sigma_i^2] \} \quad (2)$$

де i – номер піку з відповідною енергією гамма-квантів,

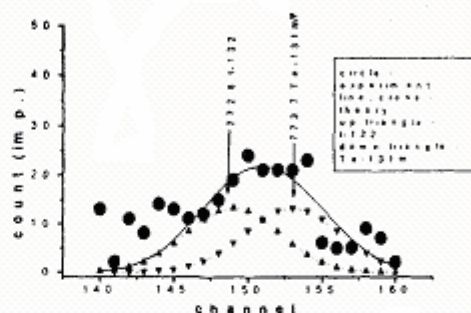
A_i – центр важкості i – піку,

розпаду уламків поділу [7, 10] утворених у реакції $^{235}\text{U}(n_{th},f)$. Для її реалізації використовується ізотопне нейтронне джерело, що обумовлено відносною простотою роботи з ним та можливістю відтворюваності результатів. Вибір цієї реакції обумовлений ще і тим, що набір утворених нуклідів характерний для

більшості уламків фотоподілу актинідних ядер. Крім того кумулятивні виходи ряду нуклідів реакції $^{235}\text{U}(n_{th},f)$ виміряні з високою точністю $\sim 2 - 3 \%$ [1, 5, 7, 10], що дозволяє їх розглядати у якості надійних ядерних даних для проведення калібровки у широкому енергетичному діапазоні.



a.)



б.)

Рис. 1. Описання піків повного поглинання гамма-квантів уламків поділу комбінацією двох гаусіанів (а.) та б.))

При активації мішеней актинідних ядер на мікротроні М-30 ставляться жорсткі вимоги до "чистоти" пучка гальмівного випромінювання (контролю наявності в ньому нейтронів). Це обумовлено значеннями перерізів реакцій поділу. Так, для прикладу, переїз для реакції $^{235}\text{U}(n_{th},f)$ дорівнює ~ 582 Б [1], а для $^{235}\text{U}(\gamma,f)$ становить ~ 480 мБ [4]. Тому наявність у пучку навіть $\sim 1 \%$

нейтронів може зіпсувати результати експерименту.

Для контролю чистоти пучка використовуються активаційні детектори. Тобто, кількість нейтронів оцінюється по активності ізоотопу ^{52}V з періодом напіврозпаду – 3.74 хвилини і аналітичною лінією – 1434.06 кеВ, утвореного в реакції: $^{51}\text{V}(n,\gamma)^{52}\text{V}$ [13, 14]. Точність визначення нейтронів за допомогою даного методу не перевищувала $\sim 5 \%$.

Результати експериментальних досліджень.

Абсолютна ефективність реєстрації гамма-квантів визначалася за допомогою набору стандартних джерел ЗСПІ та з використанням гамма-випромінювання радіоактивних нуклідів у ланцюжках розпаду уламків з реакції $^{235}\text{U}(n_{th},f)$. У вимірах використовувалася

мішень закису-окису збагаченого ^{235}U з діаметром активного шару 50 мм і товщиною 1750 мкг/см^2 , нанесеного на Al підложку діаметром 60 мм і товщиною 0.2 мм. На активний шар мішені встановлювалася Al фольга-колектор уламків товщиною 0.1 мм. Опромінення

подільної збірки здійснювалася на ізотопному нейтронному Pu-Be джерелі з виходом 2.73×10^6 нейтронів в секунду. Нейтрони сповільнювалися до теплових за допомогою стандартних блоків "neutron-stop", товщиною 60 мм. По закінченні накопичення уламків (час активації становив 82 години) проводилася серія вимірів (12 вимірів, час виміру – 1 година) на протязі 48 годин.

Виміри серій гамма-спектрів уламків поділу проводилися на спектрометричному комплексі СЕГ-40Ge-1К на базі Ge(Li) – детектора об'ємом 100 см^3 . Відносна енергетична роздільна здатність спектрометра складала не більше 0.5 % для лінії Co-60 - 1333 кеВ.

На Рис. 2 представлено фрагменти типових спектрів гамма-квантів, випромінюваних уламками поділу, отриманих у реакціях $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$ та $^{232}\text{Th}(g, f)$, при однакових часах охолодження і виміру. (Час опромінювання мишені ^{232}Th – 3 години.)

В процесі експерименту визначалися інтенсивності піків повного

поглинання, які відповідають слідуючим уламкам Y-91m, Sr-91, Nb-97, Zr-97, Tc-99m, Te-132, I-132, I-133 і Xe-135, ядерно-фізичні характеристики яких наведені у Таблиці 1.

Експериментальні значення інтенсивності піків повного поглинання при різних часах охолодження для вказаних вище уламків використовувалися для знаходження ефективності спектрометра згідно (1). При проведенні розрахунків вводилися поправки на самопоглинання гамма-квантів у зразків [17].

Отриману в даній роботі залежність абсолютної ефективності спектрометра від енергії гамма-квантів наведено на Рис.3. Квадратами представлені значення отримані за допомогою стандартних еталонних джерел, кружками – за допомогою гамма-випромінювання уламків поділу. Як видно з малюнка дані між собою добре узгоджуються.

Статистична похибка визначення абсолютної ефективності для окремих енергій гамма-квантів не перевищувала ~ 3 – 5 %.

Висновок.

Розроблений комплекс програм обробки гамма-спектрів, індукованих уламками фотоподілу актинідних ядер, дозволяє поточно описувати піки повного поглинання гаусіанами з їх розділенням на дві та три компоненти при фіксації їх центрів важкості по енергії, знаходити долю веску окремих компонент у площу піка, що підвищує точність визначення кумулятивних виходів.

У даній роботі запропоновано спосіб калібровки спектрометра по абсолютній ефективності з використанням гамма-випромінювання уламків, утворених в реакції $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$.

Його відмінною особливістю є можливість одночасного визначення ефективності вимірів для великої кількості уламків, вихід яких визначається у ході експерименту.

Крім того, за допомогою даного способу можливе визначення ефективності вимірів для джерел довільної форми та розмірів, виготовлених із колекторів уламків поділу, що дозволяє його застосовувати при вирішенні широкого кола прикладних задач (екологічні, геофізичні виміри, контроль за міграцією подільних матеріалів та інш.)

ТАБЛИЦЯ 1: Ядерно - фізичні характеристики продуктів реакції $^{235}\text{U}(n_{th},f)$.

Нуклід-уламок	Енергія гамма-квантів (кеВ)	Квантов. вихід (%)	Період напівроз. нукліда (год.)	Період напівроз. попередн. (год.)	Повний вихід уламка (%)	Абсолютна Ефективн. (ст. дж.) $\times 10^{-3}$
Y-91m	555.6	95.1	0.83	9.48	5.93	4.41
Sr-91	1024.3	33.5	9.48	0.016	5.93	2.77
Nb-97	658.0	98.5	1.20	16.91	5.94	3.88
Zr-97	743.3	97.9	16.91	0.001	5.94	3.72
Tc-99m	140.5	89.0	6.02	66.0	6.15	12.7
Te-132	228.2	88.0	78.28	0.07	4.29	8.88
I-132	667.8	98.7	2.28	78.28	4.29	3.88
	772.6	76.2	2.28	78.28	4.29	3.60
I-133	529.9	87.3	20.8	0.92	6.70	4.58
Xe-135	249.8	100.0	9.10	6.61	6.56	8.21

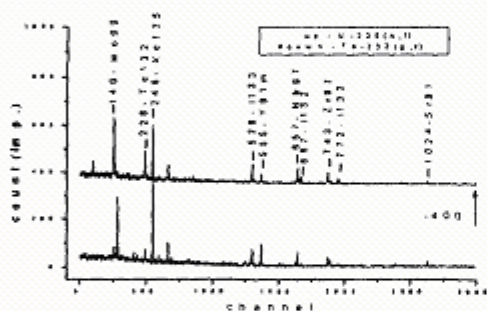


Рис. 2. Фрагменти гамма-спектрів продуктів поділу реакцій $^{235}\text{U}(n_{th},f)$ (верхній) та $^{232}\text{Th}(g,f)$ (нижній). Для обох спектрів час охолодження ~ 12 годин і виміру 1 година.

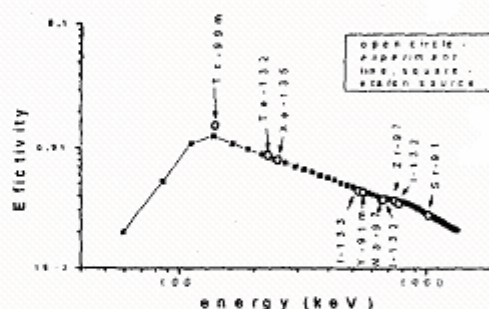


Рис. 3. Залежність абсолютної ефективності спектрометра від енергії гамма-квантів. Квадрати - еталонні джерела, кружки - гамма-випромінювання уламків поділу.

1. Ганский Ю.П., Марков Б.Н., Перельгин В.П. Регистрация и спектрометрия осколков деления. // М.: Энергоатомиздат. – 1992. – С. 312.
2. Парлаг О.О. Масові розподіли уламків фотоподілу актинідних ядер // Зб.: Елементарні процеси в атомних системах. (ЕПАС'98). Ужгород. - 1998. – С. 161 – 167.
3. Варламов В.В. и др. Фотоядерные данные. Деление тяжелых ядер. // М.: Изд. МГУ, - 1983, - с. 211.
4. Варламов В.В. и др. Фотоядерные данные. Фотоделение ядер. // М.: Изд. МГУ, - 1989, - с. 53.
5. England T.R., Rider B.F. Evaluation And Compilation Of Fission Product Yields. // ENDF-349, LA-UR-94-3106 - 1994. <http://ie.lbl.gov/fission/endf349.pdf>
6. Юрова Л. и др. Определение относительных скоростей реакции деления для различных изотопов путем регистрации гамма-излучения осколка деления La-140. // – А.Э. – 1965. – Т. 18. – В. 5. – С. 518 – 521.

7. D'Hondt P., Fabry A. // Application of Some Fission Properties to Neutron Dosimetry. – Proceedings of the "Seminar on Fission". BLG 586. – 1986. – P. 43 – 49.
8. Бурмистенко Ю.Н., Рывкин Б.Н., Феоктисов Ю.В. О влиянии излучения продуктов фотоделения урана и тория на результаты гамма-активационного анализа. // Радиационная техника. М.: Энергоатомиздат. – 1982. – Вып. 24. – С. 72 – 77.
9. Bramblet R. The use of Electron Accelerators for Nondestructive Assay of Nuclear Materials. // – Int. J. Nondestructive Testing. – 1970. – V. 2. – N. 2. – P. 99 – 127.
10. Thierens H., De Frene D., Jacobs E. et al. Study Of The Catcherfoil Techique With The Aid of ^{252}Cf s.f. And $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$. // Nucl. Instrum. And Meth. – 1976. – V. 134. – P. 299 – 308.
11. Заика Н.И. , Кибкало Ю.В., Лендел А.И, Парлаг О.А. и др. О возможности и точности измерений характеристик продуктов деления ядер методом полупроводниковой гамма-спектрометрии. // В сб.: Вопросы точности ядерной спектроскопии. Вильнюс. – 1990. – С. 143 – 148.
12. Заика Н.И., Кибкало Ю.В., Лендел А.И, Парлаг О.А. и др. Определение угловых распределений осколков деления выделенных масс методом полупроводниковой гамма-спектрометрии. // Измерительная техника, - 1993. - №1, - С. 59 – 61.
13. Tables of Nuclear Data, Nuclear Data Center, Japan Atomic Energy Research Institute (1999). <http://www.ndc.tokaj.aeri.go.jp/NuCl/>
14. "Ge(Li)-Si(Li) Gamma Spectrum Catalogue". INEEL. 2000. <http://id.inel.gov/gamma/data1.html>
15. Blachot J., Carraz L.C., Cavallini P. et al. Analyse Par Spectrometrie Gamma Directe Des Produits De Fission De ^{235}U . // J. Radioanal. Chem. – 1971. – V. 7. – P. 309 – 317.
16. Спектрометр гамма-излучения СЭГ-40 Ge-1К. // К.: НПК "Спектр". – 1999. – С. 86.
17. Daroczy S., Raics P. Measurement of the yield of short-lived fission products by the direct Ge(Li) method. In: Laboratory manual. IAEA Training Course. - Debrecen. - 1982. - p. 1 - 28.

PECULIARITIES OF THE MEASUREMENTS OF THE ACTINIDE NUCLEI PHOTOFISSION FRAGMENT CUMULATIVE YIELDS.

O.O. Parlag., V.T. Maslyuk, O.I. Lendel., V.A. Pilipchenko*

Institute of Electron Physics National Academy of Science of Ukraine,

21, Universitetska str., 88000 Uzhgorod, Ukraine. e-mail: iep@iep.uzhgorod.ua

*Uzhgorod National University, 46, Pidgirna str., 88000 Uzhgorod, Ukraine.

The method spectrometer caliubration using gamma radiation of fission fragments produced in $^{235}\text{U}(n_{\text{th}}, f)$ reaction has been suggested. The developed program for actinide nuclei photofission fragments gamma spectra processing permits to take into account their peculiarities as well as to improve the precission of relative cumulative yields.