УДК 539.172:543.522

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕРІЗІВ ЯДЕРНИХ РЕАКЦІЙ (n,x) НА СВИНЦІ ТА ВІСМУТІ ПРИ ЕНЕРГІЇ НЕЙТРОНІВ 14.6 МеВ

С. В. Бєгун, І. М. Каденко, В. К. Майданюк, В. М. Неплюєв, Г. І. Применко, В. К. Тараканов

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

На основі активаційного методу шляхом вимірювання гамма-спектрів продуктів активації визначено перерізи ядерних реакцій (n, 2n) і (n, n'γ) на ^{204}Pb, (n, α) реакції на ^{206}Pb, (n, p) і (n, α) реакцій на ^{208}Pb і (n, α) реакції на ^{209}Bi при енергії нейтронів (14.6±0.4) МеВ.

Продовжуючи роботи по дослідженню перерізів ядерних реакцій (n, x) на середніх та важких ядрах [1] вимірювались гамма-спектри продуктів активації ядер свинцю та вісмуту під пучком DT-нейтронів. Основна увага приділялась реакціям з вильотом заряджених частинок.

Необхідність вивчення перерізів реакцій на обраних ядрах викликана неоднозначністю величин перерізів, наведених у бібліотеці EXFOR та доступних нам літературних джерелах. Крім того, відповідно до даних бібліотеки EXFOR та переліку робіт у бібліотеці CINDA останні роботи, де визначено величини перерізів реакцій ^{204}Pb(n, n`γ)^{204m}Pb [2, 3, 4] та ^{208}Pb(n, p)^{208}Tl [5, 2, 6] при енергії нейтронів 14.6 МеВ, виконані в 70-ті роки. Тільки в одній із робіт наведено значення перерізу реакції ^{208}Pb(n, α)^{205}Hg (1959 р.) [7] та реакції ^{209}Bi(n, α)^{206m}Tl (1978 р.) [8]. Зважаючи на сказане вище, доцільно було проведення повторних вимірів із використанням сучасної техніки гамма-спектрометрії для уточнення перерізів даних реакцій.

Вимірювання гамма-спектрів продуктів активації проводились з використанням чотирьохкристального антикомптонівського [9] та одиночного гамма-спектрометрів з Ge(Li)-детектором, які було настроєно на роздільну здатність 3 кеВ по γ1332 кеВ ^{60}Co. Зразки, що являли собою фольги товщиною 0.2÷2.5 мм із природного свинцю та очищеного методом зонної плавки вісмуту, опромінювались під пучком генератора нейтронів НГ–300 [10]. При цьому середня енергія DT-нейтронів складала величину (14.6±0.4) МеВ. Варіюючи товщину зразків та умови їх опромінювання й умови вимірювання гамма-спектрів продуктів активації, визначались інтенсивності гамма-ліній. На основі аналізу співвідношення інтенсивностей гамма-ліній ідентифікувались радіонукліди й відповідні канали ядерних реакцій. Враховано каскадне додавання та поглинання в зразках гамма-квантів.

У процесі обробки гамма-спектрів продуктів активації вісмуту було встановлено присутність у зразках домішок інших хімічних елементів. Для встановлення основних домішкових компонент, якими виявились срібло та свинець, було проведено попередній рентгенофлюоресцентний аналіз зразків. Масу домішок визначили шляхом співставлення гамма-спектрів продуктів активації досліджуваних та еталонних зразків вісмуту (надавались Інститутом металофізики НАН України), природного свинцю та срібла. Встановлено, що в досліджуваних зразках вміст свинцю складав (3.5±0.4) %, срібла – (1.72±0.12) %.

Перерізи ядерних реакцій визначали відносним методом із використанням добре відомої величини опорного перерізу реакції ^{27}Al(n, α)^{24}Na з роботи [11]. Для цього фольги з чистого алюмінію опромінювали разом із досліджуваними зразками. Відомості про розпад радіоактивних ядер було взято з банку даних [12]. За методикою [13] спочатку проводили усереднення величин перерізів, що визначались по різним гамма-лініям у відповідних спектрах, а потім проводили усереднення по різним гамма-спектрам. Результати роботи в порівнянні з останніми даними інших авторів наведено в таблиці.

Ядерні реакції	$T_{1/2}$ [1]	Значення величин перерізів, мб	
		Наша робота	Інші роботи [2]
$^{204}Pb(n, 2n)^{203}Pb$	51.873 год	2380±120	2310±130 (14.67) [14] 2210±114 (14.3) [15] 1910±63 (14.1) [16] 2018±43 (14.58) [17] 2216±191 (14.68) [18]
$^{204}Pb(n, n`\gamma)^{204m}Pb$	67.2 хв	59.3±2.7	74.4±2.9 (14.3) [15] 63.8±3.3 (14.1) [16] 76.2±8.0 (14.6) [2] 76.5±8.0 (14.7) [3] 63.3±5.7 (14.8) [4]
$^{206}Pb(n, \alpha)^{203}Hg$	46.612 діб	0.75±0.04	0.57±0.04 (14.6) [19] 0.652±0.045 (14.68) [20] 0.470±0.026 (14.1) [21]
$^{208}Pb(n, p)^{208}Tl$	3.053 хв	0.76±0.05	0.78±0.04 (14.3) [15] 0.5±0.07 (14.2) [22] 0.94±0.19 (14.5) [5] 1.26±0.20 (14.6) [2] 0.5±0.1 (14.5) [6]
$^{208}Pb(n, \alpha)^{205}Hg$	5.2 хв	0.73±0.05	1.58±0.24 (14.5) [7]
$^{209}Bi(n, \alpha)^{206m}Tl$	3.74 хв	$(8.5\pm1.3)\cdot10^{-3}$	$(9.8\pm1.5)\cdot10^{-3}$ (14.6) [8]

[1] Період напіврозпаду продукту ядерної реакції.
[2] У круглих дужках наведено середню енергію нейтронів, МеВ.

Встановлені нами величини перерізів ядерних реакцій в основному узгоджуються з доступними нам літературними даними та даними бібліотеки EXFOR, але значно їх уточнюють.

Авторський колектив глибоко вдячний співробітникам сектора ядерних даних відділу нейтронної фізики НЦ "ІЯД" НАН України за допомогу та консультації при роботі з бібліотеками EXFOR та CINDA.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Бєгун С.В., Желтоножський В.О., Каденко І.М. та ін.* // Збірник наукових праць Інституту ядерних досліджень. – Київ, 1999. – С. 74.
2. *Маслов Г.Н., Насыров Ф., Пашкин Н.Ф.* // Ядерные константы. – 1972. – Вып. 9. – С. 50.
3. *Csikai J., Peto G.* // Acta Phys. Acad. Sci. Hung. – 1967. – Vol. 23. – P. 87.
4. *Decowski P., Grochulski W., Karolyi J. et al.* // Nucl. Phys. – 1973. – Vol. A204. – P. 121.
5. *Bass R., Wechsung R.* // Report EANDC(E)-89. – 1968. – P. 58.
6. *Беловицкий Г.Е., Пресняк О.С., Сухов Л.В.* // Нейтронная физика (Материалы 3-й Всесоюз. конф. по нейтронной физике, Киев, 9 – 3 июня, 1975). – М.: ЦНИИатоминформ, 1976. – Ч. 4. – С. 209.
7. *Coleman R.F., Hawker B.E., O'Connor L.P., Perkin J.L.* // Proc. of the Phys. Soc. (London). – 1959. – Vol. 73. – P. 215.
8. *Uray I., Torok I., Bornemisza-Pauspertl P., Vegh L.* // Z. Physik. – 1978. – Vol. A287. – P. 51.
9. *Желтоножський В.О., Майданюк В.К., Неплюєв В.М. та ін.* // Вісник Київського університету. Сер. Фізико-математичні науки. – 1996. – Вип. 1. – С. 287.
10. *Применко Г.И., Майданюк В.К., Неплюев В.М. и др.* // ПТЭ. – 1989. – № 6. – С. 39.

11. *Vonach H.* // Nuclear Data Standards for Nuclear Measurements. IAEA, Technical Reports Series № 227: IAEA, Vienna, 1983. – P. 59.
12. *Firestone R.B.* Table of Isotopes CD-ROM, Eight Edition, Version 1.0, March 1996.
13. Nuclear Data Sheets. – 1982. – Vol. 36. – № 4. – P. IV.
14. *Ikeda Y., Konno C., Oishi K. et al.* // Cross Section Information Storage and Retrieval System (EXFOR). – IAEA. – 1990. – File № 22089111.
15. *Ryves T.B., Kolkowsky P., Hooley A.C.* // Ann. Nucl. En. – 1990. – Vol. 17. – № 2. – P. 107.
16. *Kimura I., Kobayashi K.* // Nucl. Sci. Eng. – 1990. – Vol. 106. – P. 332.
17. *Lu Hanlin, Zhao Wenrong, Yu Weixiang, Yuan Xialin* // Cross Section Information Storage and Retrieval System (EXFOR). – IAEA. – 1993. – File № 31401003.
18. *Filatenkov A.A., Chuvaev S.V., Aksenov V.N., Yakovlev V.A.* // Cross Section Information Storage and Retrieval System (EXFOR). – IAEA. – 1999. – File № 41240069.
19. *Grallert A., Csikai J., Buczko Cs.M., Shaddad I.* // Activation Cross Sections for the Generation of Long-Lived Radionuclides of Importance in Fusion Reactor Technology, November 1993. – INDC(NDS)–286. – 1993. – P. 131.
20. *Filatenkov A.A., Chuvaev S.V., Aksenov V.N. et al.* // Cross Section Information Storage and Retrieval System (EXFOR). – IAEA. – 1999. – File № 41240115.
21. *Filatenkov A.A., Chuvaev S.V., Aksenov V.N., Yakovlev V.A.* // Proc. of the Intern. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, 19 – 24 May, 1997. – Italy, Bologna: Italian Physical Society, 1997. – Vol. 59. – Part 1. – P. 598.
22. *Lakshmana Das N., Srinivasa Rao C.V., Rama Rao J.* // Ann. Nucl. En. – 1981. – Vol. 8. – P. 283.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ (n,x) НА СВИНЦЕ И ВИСМУТЕ ПРИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ 14.6 МэВ

С. В. Бегун, И. Н. Каденко, В. К. Майданюк, В. М. Неплюев, Г. И. Применко, В. К. Тараканов

На основе активационного метода путем измерения гамма-спектров продуктов активации определены сечения ядерных реакций (n, 2n) и (n, n`γ) на ^{204}Pb, (n, α) реакции на ^{206}Pb, (n, p) и (n, α) реакций на ^{208}Pb и (n, α) реакции на ^{209}Bi при энергии нейтронов (14.6±0.4) МэВ.

DETERMINATION OF THE CROSS SECTIONS OF (n,x) NUCLEAR REACTIONS FOR LEAD AND BISMUTH AT THE ENERGY OF NEUTRONS 14.6 MeV

S. V. Begun, I. M. Kadenko, V. K. Maidanyuk, V. M. Neplyuev, G. I. Primenko, V. K. Tarakanov

Cross sections of (n, 2n) and (n, n`γ) reactions on ^{204}Pb, (n, α) reaction on ^{206}Pb, (n, p) and (n, α) reactions on ^{208}Pb and (n, α) reaction on ^{209}Bi were determined on the basis of activation method at the energy of neutrons (14.6±0.4) MeV by measuring gamma-ray spectra.