

в 10 раз, а активность источников по γ -излучению должна составлять не менее 10-15 МКи, то есть быть в 10—15 раз больше.

Источник на основе ^{145}Sm можно использовать также для определения других элементов с атомными номерами, близкими к 50 (молибден, сурьма, серебро, кадмий и др.). Его преимущества очевидны и по сравнению с двухступенчатым возбуждением [5]: на 1,5—2 порядка ниже активность изотопа, масса и габариты зондового устройства меньше. Особенно перспективен источник ^{145}Sm для использования в каротажных приборах, где из-за малого их диаметра применение двухступенчатого возбуждения крайне затруднено.

Таким образом, создание источника ^{145}Sm значительно расширяет возможности рентгенорадиометрического метода при анализе и опробовании руд, содержащих элементы со средним атомным номером.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Очкур А. П. и др. Гамма-методы в рудной геологии. Л., «Недра», 1976.
2. Леман Е. П. Рентгенорадиометрический метод опробования месторождений цветных и редких металлов. Л., «Недра», 1978.
3. Румянцев С. В. и др. «Атомная энергия», 1963, т. 15, вып. 6, с. 511.
4. Румянцев С. В., Кулиш Е. Е., Борисов О. И. Источники низкоэнергетического излучения в неразрушающем контроле. М., Атомиздат, 1976.
5. Жуковский А. Н. и др. «Геофиз. аппаратура», 1978, вып. 65, с.120.

Поступило в Редакцию 22.02.79
В окончательной редакции 16.07.79

УДК 539.17.3

Гамма- и нейтронное излучения фторидов ^{239}Pu

ОВЕЧКИН В. В.

В соединениях α -активных элементов (U, Pu, Am и др.) с ^{19}F за счет реакций $(\alpha, p\gamma)$, $(\alpha, n\gamma)$ и $(\alpha, \alpha'\gamma)$ испускаются γ - и нейтронное излучения, которые можно использовать в технологическом контроле при переработке и получении ядерного топлива [1]. Однако опубликованные данные о реакции $\alpha + \text{F}$, в том числе при использовании ускорителей α -частиц [2], все еще неполны и не всегда согласуются между собой. В задачу настоящей работы входило дальнейшее уточнение значений энергии и интенсивности испускаемых γ -квантов и определение удельного выхода нейтронов для PuF_4 , а также PuF_3 , для которого практически нет опубликованных сведений о таких излучениях.

В работе использованы выдержанные препараты $^{239}\text{PuF}_4$ с содержанием 33,4 и 20,5 г ^{239}Pu и с известным содержа-

нием других изотопов Pu, на которые введены поправки в исследуемый эффект. Кроме того, по способу, описанному в работе [3], были приготовлены препараты $^{239}\text{PuF}_3$ и $^{239}\text{PuO}_2$ с фтором (1,1 и 2,5%) общей массой по 1 г. Спектры измеряли Ge(Li)-детектором с чувствительным объемом $\sim 50 \text{ см}^3$; гамма-спектрометр имел энергетическое разрешение 4,2 кэВ по γ -излучению ^{60}Co ($E_\gamma = 1332 \text{ кэВ}$). Градуировку эффективности $\epsilon_\gamma = f(E_\gamma)$ осуществляли при помощи образцовых гамма-излучателей ОСГИ (В/О «Изотоп»), аттестованных по интенсивности с погрешностью не более 3%.

Результаты измерений. Энергия и относительная интенсивность γ -линий по нашим измерениям представлены в таб. 1, где для сравнения приведены данные для $^{241}\text{AmF}_3$ из работы [4]. Как видно, результаты измерений интенсивности для этих соединений хорошо согласуются.

Обращает на себя внимание сравнительно малое различие между выходами γ -излучений энергией 197 и 1357 кэВ, которые соответствуют разрядке уровней ^{19}F , отличающихся по энергии почти на 1400 кэВ. Этот факт, возможно, указывает на относительно малый вклад образования компаунд-ядра ^{23}Na в реакции (α, α') по сравнению с вкладом прямых взаимодействий α -частиц с ядрами ^{19}F .

В целях определения выхода нейтронов из PuF_3 для одной и той же геометрии опыта проведены длительные (более 4,5 лет) измерения отношения площадей γ -пиков $S_t/S_i = S_{1275}/S_{891}$ и S_{511}/S_{583} . Зависимость этих величин от параметра $x = 1 - \exp(-\lambda t)$ (t — время; λ — постоянная распада ^{22}Na) представлена на рисунке. Найдены как начальные, так и конечные значения при $x = 1$ ($t = \infty$), что дало возможность использовать их для определения выхода нейтронов I_n :

$$I_n = \frac{S_\infty - S_0}{k\epsilon} = \frac{S_t}{k\epsilon} \left[\left(\frac{S_\infty - S_0}{S_i} \right) / \left(\frac{S_t}{S_i} \right) \right]$$

(с учетом схемы распада ^{22}Na $k = 1$ для $S_t/S_i = S_{1275}/S_{891}$ и $k = 1,78$ для $S_t/S_i = S_{511}/S_{583}$).

Отдельно $S_t = S_{1275}$ и S_{511} измеряли в условиях хорошей геометрии при использовании достаточно точных значений эффективности регистрации ϵ . В результате таких определений по аннигиляционному и γ -излучению удельный выход нейтронов для трифторида ^{239}Pu составил $(4,3 \pm 0,3) \cdot 10^3$ нейтр. $\text{с}^{-1} \cdot \text{г}^{-1}$. Контрольные измерения с нейтрон-

Таблица 1

Относительная интенсивность и энергия γ -квантов для фторидов ^{239}Pu и ^{241}AmF

Энергия γ -квантов, кэВ	Реакция	γ -Переход согласно монографии [2]	Относительная интенсивность		
			Настоящая работа		Данные работы [4]* ^{241}AmF
			$^{239}\text{PuF}_3$	$^{239}\text{PuF}_4$	
197,0 ± 0,5	α, α'	197 → 0	(0,78)		
583 ± 0,5	α, n	583 → 0	2,36 ± 0,24	2,56 ± 0,20	2,50
891 ± 0,5	α, n	891 → 0	1,00	1,00	1,00
1238 ± 0,7	α, α'	1348 → 110	0,52 ± 0,05	0,55 ± 0,06	0,50
1274,5 ± 0,3	α, p	1274,5 → 0	(6,0 ± 0,2)**	(6,0 ± 0,2)**	
1349 ± 1	α, α'	1459 → 110	0,43 ± 0,07	} 0,66 ± 0,08***	} 0,73***
1357 ± 1	α, α'	1555 → 197	0,35 ± 0,06		
1369 ± 1	α, n	1952 → 583	0,20 ± 0,04		
1400 ± 0,5	α, n	1984 → 583	0,12 ± 0,02	0,14 ± 0,02	0,16
1459 ± 1	α, α'	1459 → 0		0,10 ± 0,03	
1528 ± 0,3	α, n	1528 → 0	0,41 ± 0,04	0,45 ± 0,05	0,39
1555 ± 1	α, n	2212 → 657	0,04 ± 0,01		0,08
2082,0 ± 0,5	α, p	3357 → 1275,5	0,72 ± 0,07	0,75 ± 0,08	0,67
3180 ± 1	α, p	4456 → 1274,5		0,19 ± 0,03	0,19
3869	α, p	5144 → 1274,5			0,004

* Погрешности результатов не превышают 20%.

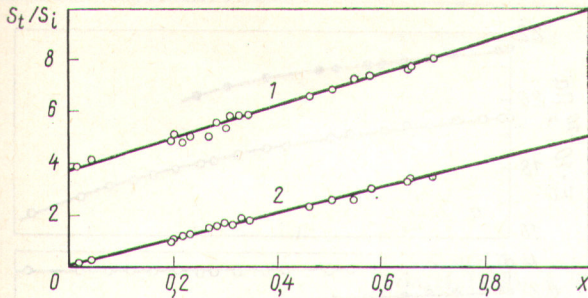
** Дано значение для свежеприготовленного препарата.

*** Приведено суммарное значение для квантов 1349,1357 и 1369 кэВ.

Таблица 2

Относительный вклад групп нейтронов для PuF₄, связанных с уровнями ²²Na, %

Энергия уровней ²² Na, кэВ	Данные [5]	Настоящая работа	Энергия уровней ²² Na, кэВ	Данные [5]	Настоящая работа
0 (основной)	47,2	52,7	1952	0,7	4,3
583 + 657	32,2	26,4	1984		1,5
891	14,8	13,0	2212		0,8
1528	5,1	4,3			



Зависимость отношения площадей S_t/S_i от параметра $x = 1 - \exp(-\lambda t)$: 1 — S_{1275}/S_{891} ; 2 — S_{511}/S_{588}

ним счетчиком, градуированным стандартными источниками нейтронов спонтанного деления на основе ²⁴⁰Pu, дали близкое значение $(4,65 \pm 0,30) \cdot 10^3$ нейтр. \cdot c⁻¹.г⁻¹. Для препаратов тетрафторида ²³⁹Pu измеренный по γ -излучению (1275 кэВ) средний выход оказался равным $(4,6 \pm 0,4) \cdot 10^3$ нейтр. \cdot c⁻¹.г⁻¹, что удовлетворительно совпадает с одним из последних опубликованных результатов непосредственных нейтронных измерений $(5,4 \pm 0,5) \times 10^3$ нейтр. \cdot c⁻¹.г⁻¹ PuF₄ [1].

Полученные в настоящей работе интенсивность γ -квантов для реакции ¹⁹F (α , n γ) ²²Na и полный выход нейтронов были использованы с учетом исследованных γ -переходов в ядре ²²Na согласно монографии [2] для определения вкладов групп нейтронов, соответствующих возбужденным уровням ²²Na. В табл. 2 представлены такие значения по нашим γ -спектрометрическим измерениям и данные работы [5] для PuF₄, полученные с помощью метода фотоэмюльсий.

Можно отметить удовлетворительное согласие наших результатов с публикацией [5]. Вместе с тем γ -метод дает указание на наличие в спектре нейтронов малоинтенсивной группы с минимальной энергией нейтронов.

В наших контрольных измерениях установлено, что широкий γ -пик энергией ~ 690 кэВ практически полностью исчезает, если между препаратом PuF₄ и Ge(Li)-детектором поместить слой парафина толщиной 7,5 см; при этом площади близких пиков ²³⁹Pu ($E_{\alpha} = 640 \div 660$ кэВ) изменяются приблизительно лишь на 15%. Это соответствует работе [6], где показано, что быстрые нейтроны за счет неупругого взаимодействия с ядрами ⁷²Ge в составе детектора могут вызвать появление конверсионных электронов и широкого пика энергией ~ 690 кэВ. Существуют и другие причины (очень большая интенсивность и ширина пика ~ 690 кэВ), с учетом которых следует считать ошибочным вывод авторов работы [7], исследовавших реакцию $\alpha + F$ на ускоренных ионах ⁴He⁺ энергией 5 МэВ, о том, что пик ~ 690 кэВ обусловлен заселением уровня ²²Ne энергией 5144 кэВ за счет реакции ¹⁹F (α , p) и разрядкой путем последовательного испускания трех γ -квантов (690, 3180 и 1275 кэВ). Малоубедительным является также мнение этих авторов о связи наблюдаемого пика энергией 2165 кэВ с заселением и разрядкой еще

более высокого уровня ²²Ne ($E = 5520$ кэВ). Энергия этого пика (2165 кэВ) практически совпадает с энергией пика двойного вылета от γ -квантов 3180 кэВ.

Для PuF₃ обнаружено уширение аннигиляционного пика, превышающее примерно на 20% соответствующую величину от позитронного излучателя ²²Na, помещаемого между пластинами из алюминия, железа и свинца. Этот факт свидетельствует о том, что процесс аннигиляции позитронов во фторидах Pu протекает иначе, чем в металлах.

Надежные измерения спектра γ -квантов в соединениях Pu с фтором позволяют разработать высокочувствительный и неразрушающий метод определения малого содержания фтора в плутонии, особенно, если состав других α -излучателей известен. Этим способом с помощью сцинтилляционного детектора NaI(Tl) $\varnothing 150 \times 150$ мм с колодцем, в который помещают препарат Pu в свинцовом экране толщиной 5 мм, путем регистрации площади γ -пика 2080 кэВ получен предел обнаружения фтора — $6 \cdot 10^{-4}$ мас. % (масса образца Pu 5 г, время измерений 2 ч), что меньше значения $3 \cdot 10^{-3}$ мас. %, полученного применением Ge (Li)-детектора [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Центер Э. М. и др.** В кн.: Труды III симпозиума СЭВ «Исследования в области переработки облученного топлива». Т. III. Прага, изд. КАЭ ЧССР, 1974, с. 202.
2. **Ланько Э. В., Домбровская Г. С., Шубный Ю. К.** Вероятности электромагнитных переходов атомных ядер $Z = 1-30$. Л., «Наука», 1972.
3. **Овечкин В. В., Мелентьев В. И., Горбунов В. Ф.** «Радио-химия», 1976, т. 18, № 1, с. 152.
4. **Less E., Lindley D.** «Ann. Nucl. Energy», 1978, v. 5, N 3-4, p. 133.
5. **Lehman R.** «Phys. Rev.», 1968, v. 171, N 4, p. 1311.
6. **Smith D.** «Nucl. Instrum. and Methods», 1972, v. 102, N 2, p. 193.
7. **Giles I., Peisach M.** «J. Radioanal. Chem.», 1976, v. 32, p. 105.

Поступило в Редакцию 12.03.79

УДК 621.039.54:539.32

Влияние добавок, имитирующих продукты деления, на характеристики упругости UC

БАЛАНКИН С. А., БЕЛЕВАНЦЕВ В. С., БУБНОВ А. С., ЗЕЛЯНИН В. А., КОТЕЛЬНИКОВ Р. Б., СКОРОВ Д. М.

Использование монокарбида урана позволяет значительно улучшить экономические показатели быстрых реакторов [1], причем для оценки работоспособности твэлов

необходимы сведения об изменениях свойств топлива в процессе эксплуатации. Чтобы определить влияние твердых продуктов деления на характеристики упругости UC,