

где K — количество атомов примеси в 1 г матрицы, $г^{-1}$; σ_0 — сечение испускания характеристического излучения, $см^2$; σ_1 — коэффициент поглощения характеристического излучения в матрице, $см^2/г$; E — начальная энергия ускоренных протонов, МэВ; $dE/d(x\rho)$ — тормозная способность материала матрицы, МэВ· $см^2/г$; ρ — плотность матрицы, $г/см^3$; x — пробег протонов в матрице до образования характеристического излучения и путь, проходимый рентгеновским квантом в матрице. Это выражение использовалось при обработке результатов эксперимента на ЭВМ. Описание процедуры вычисления поправок представляет самостоятельный интерес и будет опубликовано позднее. Здесь целесообразно лишь отметить, что поправки играют существенную роль при анализе всех элементов. Если сечение образования рентгеновского излучения (с уменьшением энергии протонов от 2,5 МэВ до 250 кэВ) для элементов с $Z \approx 15$ уменьшается примерно в 25 раз, то для элементов с $Z \approx 30$ — в 600 раз. С другой стороны, поглощение испускаемого рентгеновского излучения для средних элементов составляет всего несколько процентов, в то время как для легких элементов поглощение достигает 30–40% и более.

При использовании метода определения следов элементов в толстых матрицах отпадает трудоемкий процесс изготовления тонких однородных образцов и можно найти абсолютное количество примесных элементов без разрушения образцов (например, в ми-

шенях для ядерных исследований, в различных монокристаллах и т. п.). Более высокая чувствительность анализа достигается при определении следов элементов в относительно легких матрицах, слабо поглощающих рентгеновское излучение. Отрицательной стороной анализа в толстых слоях является понижение чувствительности примерно на порядок по сравнению с чувствительностью, достигаемой при анализе тонких слоев [7].

Поступило в Редакцию 30/XII 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Deconninck G. «J. Radioanal. Chem.», 1972, v. 12, p. 157.
2. Verba J. e. a. Ibid., p. 171.
3. Gordon B., Kraner H. Ibid., p. 181.
4. Shabason L. e. a. «J. Appl. Phys.», 1973, v. 44, p. 4747.
5. Cooper J. «Nucl. Instrum. and Methods», 1973, v. 106, p. 525.
6. Perry S. Brady F. Ibid., v. 108, p. 389.
7. Folkmann F. e. a. Ibid., 1974, v. 116, p. 487.
8. Folkmann F. Borggreen J., Kjeldgaard A. Ibid., 1974, v. 119, p. 117.
9. Страшинский А. Г. и др. «Атомная энергия», 1974, т. 36, вып. 5, с. 401.
10. Скаун Н. А. и др. «Физика твердого тела», 1973, т. 15, с. 2954.

УДК 539. 172. 4

Сечения и резонансные интегралы деления изотопов ^{239}Pu , Am , Cm и ^{249}Cf

ЖУРАВЛЕВ К. Д., КРОШКИН Н. И., ЧЕТВЕРИКОВ А. П.

В настоящей работе сообщаются результаты измерений методом кадмиевой разности сечений деления тепловыми нейтронами и резонансных интегралов деления [1, 2], которые представляют значительный интерес для физики ядра и ряда практических задач, например для оптимизации накопления тяжелых изотопов в реакторах.

Измерения проводились на горизонтальном канале высокоточного реактора СМ-2 относительно ^{235}U , сечение деления тепловыми нейтронами которого принималось равным $582,2 \pm 1,3$ б, а резонансный интеграл деления 275 ± 5 б [3]. Кадмиевое отношение для ^{235}U при толщине кадмия 1 мм составляло ~ 40 . Предполагается, что спектр эпитепловых нейтронов следует зависимости $1/E$, поскольку в формировании спектра нейтронов на выходе горизонтального канала участвует водяная прослойка толщиной ~ 40 мм [4, 5].

Мишени из исследуемых изотопов и эталона были нанесены на алюминиевые подложки диаметром 75 и толщиной 0,1 мм. Количество вещества в мишенях не превышало 10 мкг, за исключением ^{243}Am , вес которого составлял ~ 300 мкг. Число ядер в мишенях урана и плутония определялось по α -счету в геометрии 2л с использованием ионизационной камеры с сеткой. Число ядер в америциевых мишенях определялось сравнением площади фотопика γ -линии 59,6 кэВ с площадью фотопика той же γ -линии от образцового спектрометрического источника (ОСГИ), калиброванного с точностью 3%, и по α -счету счетчика с малым телесным углом $\sim 10^{-4}$. Результаты определения числа ядер

Изотопный состав мишеней

Таблица 1

Мишень	Массовое число	Содержание массового числа, %
^{235}U	244	$1,19 \pm 0,03$
	235	$89,11 \pm 0,18$
	236	$0,61 \pm 0,05$
	238	$9,09 \pm 0,16$
^{239}Pu	239	$99,891 \pm 0,005$
	240	$0,109 \pm 0,005$
^{241}Am	241	100
^{242m}Am	241	$88,97 \pm 0,09$
	242m	$1,03 \pm 0,05$
	243	$10,00 \pm 0,09$
^{243}Am	241	$0,524 \pm 0,019$
	243	$99,476 \pm 0,019$
^{249}Cf	249	100

Результаты измерений

Таблица 2

Мишень	Настоящая работа		Данные [5]	
	σ_f , б	I_f , б	σ_f , б	I_f , б
^{239}Pu	716 ± 40	328 ± 22	$742,5 \pm 3,0$	301 ± 10
^{241}Am	$3,20 \pm 0,15$	$27,7 \pm 1,6$	$3,15 \pm 0,1$	21 ± 2
^{242}mAm	6080 ± 500	2260 ± 200	6600 ± 300	1570 ± 110
^{243}Am	0	9 ± 1	$< 0,072$	$1,5 [9]$
^{244}Cm	$1,0 \pm 0,2$	$13,4 \pm 1,5$	$1,2 \pm 0,1$	$12,5 \pm 2,5$
^{245}Cm	2070 ± 150	805 ± 80	2020 ± 40	750 ± 150
^{246}Cm	$0,14 \pm 0,05$	$13,3 \pm 1,5$	$0,17 \pm 0,10$	$10,0 \pm 0,4$
^{247}Cm	80 ± 7	730 ± 70	90 ± 10	880 ± 100
^{248}Cm	$0,39 \pm 0,07$	$13,1 \pm 1,5$	$0,34 \pm 0,07$	$13,2 \pm 0,8$
^{249}Cf	1715 ± 80	2200 ± 100	1660 ± 50	214 ± 70

двумя методами совпадают в пределах 2%. Число ядер в кюриевых мишенях определялось по числу спонтанных делений ^{244}Cm , ^{246}Cm и ^{248}Cm . Число ядер ^{249}Cf определялось по α -счету счетчиком с малым телесным углом. Точность в определении числа ядер в мишенях 2,5%. Изотопный состав мишеней U, Pu, Am и Cf приведен в табл. 1; кюриевые мишени имели тот же изотопный состав, что и в работе [6]. Осколки деления регистрировались двойной камерой деления. Мишени из исследуемого изотопа и эталона (^{235}U) складывались вплотную обратными сторонами и устанавливались в камере деления, которая юстировалась на пучке нейтронов.

В настоящей работе уделялось внимание различным экспериментальным погрешностям. Фон рассеянных нейтронов в помещении и на конструктивных деталях камеры был ничтожно мал. Депрессия потока нейтронов не была обнаружена. В результаты измерений вносились следующие поправки: 1) учитывалось обратное рассеяние α -частиц при определении числа ядер методом α -счета; 2) учитывался изотопный состав образцов; 3) температура нейтронов максвелловского спектра реактора оценивалась по рекомендации работы [4]; 4) величина $g(T)$, учитывающая отклонение сечения деления от зависимости $1/v$ для урана и плутония, бралась из работы [7], для ^{241}Am и ^{242}Am определялась из энергетической зависимости хода сечения деления в тепловой области энергий нейтронов [3, 8], а для изотопов кюрия и ^{249}Cf принималась равной единице;

5) кадмиевая поправка определялась экспериментально экранированием мишеней кадмием толщиной 0,5 и 1,0 мм, на основании этих измерений была принята за единицу. Окончательная ошибка измерений определяется ошибкой определения числа ядер, а также статистической ошибкой измерения разности числа делений тепловыми и резонансными нейтронами для σ_f , разности числа делений резонансными нейтронами и числа спонтанных делений для σ_f (табл. 2). При измерении резонансных интегралов деления граничная энергия определена в 0,52 эВ [1]. Для сравнения приводятся рекомендованные данные [3], а для резонансного интеграла деления ^{243}Am приведена расчетная оценка из работ [9]. Хорошее согласие полученных и рекомендованных сечений ^{239}Pu свидетельствует о надежности настоящих измерений.

В заключение авторы выражают благодарность Ю. С. Замятину и В. Н. Нефедову за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения, В. Н. Полынову — за представление образцов кюрия, В. Г. Полухову — за проведение α -спектральных анализов.

Поступило в Редакцию 22/I 1975 г.
В окончательной редакции 28/IV 1975 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекури К., Виртц К. Нейтронная физика. М., Атомиздат, 1968, с. 273.
2. Бак М. А. и др. «Атомная энергия», 1970, т. 28, вып. 4, с. 359.
3. Neutron Cross Sections, BNL-325, 3 Ed., 1973.
4. Цыканов В. А. и др. «Атомная энергия», 1967, т. 22, вып. 5, с. 411.
5. Беланова Т. С. и др. Препринт НИИАР, П-156. Димитровград, 1972.
6. Фомушкин Э. Ф. и др. «Ядерная физика», 1973, т. 17, вып. 1, с. 24.
7. Эгельстафф П. Э. В б.: Справочник по ядерной физике. М., Физматгиз, 1963, с. 268.
8. Bowman C. e. a. «Phys. Rev.», 1968, v. 166, p. 1219.
9. Prince A. «Trans. Amer. Nucl. Soc.», 1967, v. 10, p. 228.

УДК[543.53:681.142.4

Инструментальный нейтронно-активационный анализ геологических и биологических объектов с использованием ЭВМ

ЗЛОКАЗОВ В. Б., КУЛЬКИНА Л. П., МАСЛОВ О. Д.

Расшифровка спектров γ -излучения — наиболее трудная задача в активационном анализе сложных многокомпонентных объектов. Полное извлечение информации из них невозможно без применения ЭВМ.

В настоящей работе приведен принцип организации программы для ЭВМ, применяемой для обработки спек-

тров γ -излучения, полученных с помощью любого амплитудного анализатора, легко управляемой и позволяющей проводить корректировку программы. Поиск γ -линий, не размеченных предварительно, осуществляется с помощью библиотеки изотопов.

Программа обрабатывалась для инструментального