

Значение энергии и интенсивности γ -линий, выделенных из спектра твэла

E_γ , кэв	I_γ , отн. ед.	Изотоп	$T_{1/2}$	E_γ , кэв	I_γ , отн. ед.	Изотоп	$T_{1/2}$
2186 *	100	Ce ¹⁴⁴	284 дня	795 (5)	40	Cs ¹³⁴	2,07 года
1680	12	(2186—511)	284 »	765 (4)	630	Nb ⁹⁵	35 дней
1487 *	43	Ce ¹⁴⁴	284 »	756 (4)	30	Zr ⁹⁵	65 »
1250 (5)	11	—	—	724 (4)	120	Zr ⁹⁵	65 »
1220 (5)	14	—	—	695 (4)	200	Ce ¹⁴⁴	284 дня
1163 (3)	74	2186—1022	284 дня	661,6 *	1050	Cs ¹³⁷	30 лет
1120 (5)	13	Ru ¹⁰⁶ ,	366 дней,	624 (4)	110	Ru ¹⁰⁶	366 дней
		Te ¹²⁹	41 день	604 (4)	50	Cs ¹³⁴	2,07 года
1075 (5)	13	—	—	513 (4)	180	Ru ¹⁰⁶	366 дней
1040 (4)	40	Ru ¹⁰⁶	366 дней				

Примечание. Звездочкой отмечены γ -линии, используемые в качестве реперов. Энергия линии 1163 кэв определена по Co⁶⁰. В скобках дана ошибка.

Зная интенсивности этих линий, можно определить выходы соответствующих осколков деления, а также содержание некоторых примесей других элементов в твэле. Однако этот вопрос в настоящей работе не рассматривался.

В последнее время появились сведения [9] об искажении распределения содержания Cs¹³⁷ в твэлах из-за его миграции, что, видимо, ограничит использование этого изотопа для определения выгорания.

Поступило в Редакцию 13/VI 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Рассмуссен и др. Доклад RNR/39 на симпозиуме МАГАТЭ (Вена, 1960).
2. J. Rochlin et al. Доклад № 416, представленный Швецией на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).

цию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).

3. Л. В. Грошев, А. М. Демидов. «Атомная энергия», 13, 458 (1962).
4. T. Owen. Brit. J. Appl. Phys., 14, 456 (1963).
5. W. Diggles, W. Blackader. Nucleonics, 23, No. 3, 71 (1965).
6. M. Hignatsberger et al. Доклад № 399, представленный Австрией на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).
7. M. Hignatsberger et al. Nucleonics, 23, No. 1, 32 (1965).
8. В. Г. Бровченко, Ю. Д. Молчанов. «Приборы и техника эксперимента», № 2, 5 (1964).
9. W. Mc. Younagle. Доклад SM-67/46 на Симпозиуме МАГАТЭ по административно-учетным проблемам ядерных материалов (1965). Вена, МАГАТЭ, 1965 г.

Об активационном методе определения флюорита в пробах руд и продуктов обогащения

В. И. ПРОКОПЧИК, Т. И. СХЕБОТИНА

УДК 543.53:539.172.4

Содержание фтора в пробах флюоритовых руд и продуктов их обогащения можно определять активационным методом с использованием ядерной реакции $F^{19}(n, \alpha)N^{16}$ [1]. Энергетический порог этой реакции 1,57 Мэв [2], эффективное сечение при энергии нейтронов 6 Мэв достигает 260 мбарн [3].

Изотоп N^{16} ($T_{1/2} = 7$ сек) при распаде испускает γ -кванты с энергиями 6,13 Мэв (55%) и 7,11 Мэв (21%). Влияние γ -излучения Al^{28} ($E_\gamma = 1,79$ Мэв), образующегося по реакции $Si^{28}(n, p)Al^{28}$, устраняется введением дискриминации на уровне 2 Мэв. Реакцией на кислороде $O^{18}(n, p)N^{16}$ при активации полониево-бериллиевым источником можно пренебречь, так как энергетический порог этой реакции равен 10,22 Мэв [2].

Таким образом, регистрация γ -излучения с энергией больше 2 Мэв позволяет получать показания, пропорциональные числу ядер F^{19} в активируемой пробе.

Лабораторная установка, изготовленная для активационного анализа на флюорит, дает возможность последовательно облучать пробы потоком быстрых нейтронов от полониево-бериллиевого источника, быстро перемещать пробы к детектору и регистрировать γ -излучение.

Измерительная аппаратура включает в себя сцинтилляционный счетчик [кристалл NaJ (Tl) размером 40×50 мм и ФЭУ-13], интегральный амплитудный дискриминатор и пересчетный прибор. Мощность источника нейтронов (3—20) $\cdot 10$ нейтр/сек.

Анализируемые пробы весом 200—500 г засыпаются в фигурные пластмассовые кюветы (рис. 1).

Цикл анализа состоит из активации (42 сек), перемещения пробы (3 сек) и измерения (30 сек). При этом измеряется $\sim 70\%$ излучения, которое можно было бы измерить при активации до насыщения. Для повышения точности анализа выполняется пять циклов. Таким

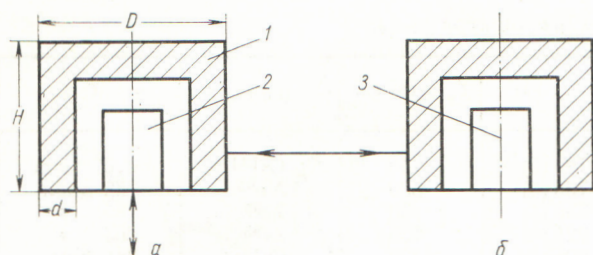


Рис. 1. Схематическое изображение пробы в моменты облучения (а) и измерения (б):

1 — кювета с пробой ($D = 91$ мм, $H = 65$ мм, $d = 12$ мм); 2 — источник нейтронов; 3 — счетчик γ -излучения.

образом, общее время анализа одной пробы составляет 7–8 мин. По результатам измерений (рис. 2) зависимость регистрируемой интенсивности γ -излучения от содержания флюорита в пробе линейна в диапазоне 0–100% CaF_2 .

Содержание флюорита в пробах вычисляется по формуле

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{эт}} \frac{N_{\text{пр}} P_{\text{эт}}}{N_{\text{эт}} P_{\text{пр}}}$$

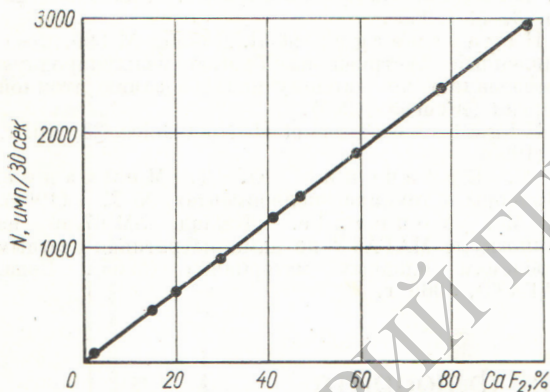


Рис. 2. Зависимость числа зарегистрированных импульсов от содержания флюорита в пробах.

Сопоставление результатов активационного и химического анализов на флюорит

Содержание, CaF_2 , %	Активационный анализ								Химический анализ			
	Мощность источника $(3 \div 6.4) \cdot 10^6$ нейтр/сек				Мощность источника $(18 \div 20) \cdot 10^6$ нейтр/сек				число измерений	среднее содержание CaF_2 , %	средняя квадратичная ошибка измерений, % CaF_2	относительная средняя квадратичная ошибка, %
	число измерений	среднее содержание CaF_2 , %	средняя квадратичная ошибка измерений, %	относительная средняя квадратичная ошибка, %	число измерений	среднее содержание CaF_2 , %	средняя квадратичная ошибка измерений, % CaF_2	относительная средняя квадратичная ошибка, %				
0–5	19	2,9	0,51	18,3	30	1,9	0,26	13,8	30	3,0	0,36	12,1
5–15	21	9,4	0,74	7,8	14	10,2	0,71	6,9	12	8,0	0,46	5,8
15–50	52	28,6	1,16	4,1	35	25,6	0,79	3,1	9	34,0	0,82	2,4
50–100	13	72,9	1,31	1,8	—	—	—	—	7	61,2	0,71	1,2

где $C_{\text{пр}}$ и $C_{\text{эт}}$ — содержание флюорита в анализируемой и эталонной пробах, %; $N_{\text{пр}}$, $N_{\text{эт}}$ — число зарегистрированных импульсов (за вычетом фона) при измерении анализируемой пробы и эталона, имп/150 сек; $P_{\text{пр}}$, $P_{\text{эт}}$ — вес пробы и эталона, г. В качестве эталона используется тщательно проанализированная проба. Для соблюдения идентичности геометрии измерений кюветы всегда засыпаются полностью.

Порог чувствительности анализа можно определить по формуле

$$L_{\text{мин}} = \frac{2\sigma_{\text{ф}}}{K, Q, P} \% \text{CaF}_2$$

где $\sigma_{\text{ф}}$ — среднеквадратичная погрешность определения фона, имп/150 сек; Q — мощность источника нейтронов, $\times 10^6$ нейтр/сек; K — число импульсов, зарегистрированных за 150 сек при активации пробы весом 1 г с содержанием 1% CaF_2 источником мощностью 10^6 нейтр/сек в указанном выше цикле активации — измерение; P — вес пробы, г.

Для рассмотренной методики анализа порог чувствительности получен 0,2% CaF_2 при мощности источника $20 \cdot 10^6$ нейтр/сек и 0,5% CaF_2 при мощности источника $5 \cdot 10^6$ нейтр/сек.

Статистическая обработка результатов двукратных анализов, выполненных активационным и химическим методами (см. таблицу), показывает, что результаты активационного определения по точности мало уступают результатам химического анализа, причем скорость активационного метода значительно выше скорости химического анализа.

Систематических расхождений между результатами активационного и химического анализов нет. Точность активационного анализа может быть несколько повышена путем автоматизации работы установки, а также выбором оптимального цикла активация — измерение.

Расчеты показывают, что оптимальным является цикл, в котором активация и измерение продолжаются по 14 сек при паузе для перемещения пробы 2 сек. За время, необходимое для выполнения пяти циклов по описанной схеме, по оптимальной схеме можно выполнить 12 циклов, причем общее количество зарегистрированных импульсов в 1,7 раза больше, чем в первом случае. Соответственно статистическая ошибка анализа уменьшится в 1,3 раза.

Специально проведенные исследования показали, что изменение вещественного состава проб, в частности содержания свинца от 0 до 50%, практически не влияет на результаты анализов.

Активационный метод может успешно применяться при большом числе анализов. Он обеспечивает достаточную точность результатов при высокой производительности и меньшей стоимости по сравнению с химическими анализами.

Газо-хроматографическое разделение и γ -спектрометрический анализ газовых выбросов реактора ВВР-М

В. А. СОЛОВЬЕВ, О. В. СТЕПАНЕЦ, В. Д. ТРЕНИН

УДК 621.039.58

Проведение ряда исследовательских работ требует данных о содержании радиоактивных изотопов аргона, криптона и ксенона, часто отсутствующих в объекте исследования в микроконцентрациях (менее 10^{-7} об. %). Гамма-спектрометрический и масс-спектрометрический анализы многокомпонентной смеси радиоактивных изотопов инертных газов существенно облегчаются в случае предварительного разделения смеси газов. На реакторе Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР была разработана простая и сравнительно быстрая газо-хроматографическая методика выделения отдельных фракций инертных газов для их последующего анализа на γ -спектрометре. С помощью этой методики был определен качественный и количественный состав газовых выбросов реактора.

Основными узлами газо-хроматографической установки являются газо-хроматографическая колонка с сорбентом, детекторы теплопроводности и радиоактивности и устройство для впуска проб газа в колонку и их отбора на выходе из колонки для γ -спектрометрического анализа (рис. 1). В качестве газа-носителя использовался гелий 1, расход которого регулировался редуктором 2 и вентилем 3. Разделение газовой смеси осуществлялось в газо-хроматографической колонке 7 из стеклянных U-образных трубок общей длиной 4 м

Авторы выражают благодарность А. П. Бушкову и В. Л. Шапкину за помощь в работе.

Поступило в Редакцию 11/IV 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. O. Anders. Anal. Chem., 33, 1706 (1961).
2. R. Rochlin. Nucleonics, No. 1, 54 (1959).
3. J. Marion, R. Brugger. Phys. Rev., 100, 69 (1955).

и диаметром 4 мм, наполненных молекулярными ситами типа 5А, отечественного производства. Размер зерен молекулярных сит 30–50 меш. Молекулярные сита активировали перед загрузкой в колонку нагреванием их при $\sim 450^\circ\text{C}$ в течение 3 ч и затем после загрузки нагреванием при 180°C в токе инертного газа в течение 2 ч. Для помешения влаги и задержки аэрозолей перед колонкой с молекулярными ситами помещали колонку 6 длиной 1 м с силикагелем.

Макроконцентрации (от 0,1% и выше) разделенных газов определяли детектором теплопроводности 4, а микроконцентрации радиоактивных газов — детектором радиоактивности 8. Сигнал от детектора теплопроводности подавался для записи на самописец 15. Импульсы с детектора радиоактивности через пересчетное устройство 12 и интегратор 13 также фиксировались самописцем 14. Газо-хроматографическая колонка и детектор теплопроводности были термостатированы. Расход газа-носителя контролировался с помощью пенного измерителя 9.

Предварительно методика разделения газовой смеси была отработана при макроконцентрациях (от 1 до 10 об. %) исследуемых компонентов. Наиболее эффективное разделение было получено при скорости газа-носителя гелия 100 мл/мин.

Ниже представлено найденное время удерживания компонентов:

Анализируемый газ	Время удерживания, мин
H ₂	1,5
O ₂	3,0
Ar	3,0
N ₂	5,5
Kr	7,5
Xe	48,0

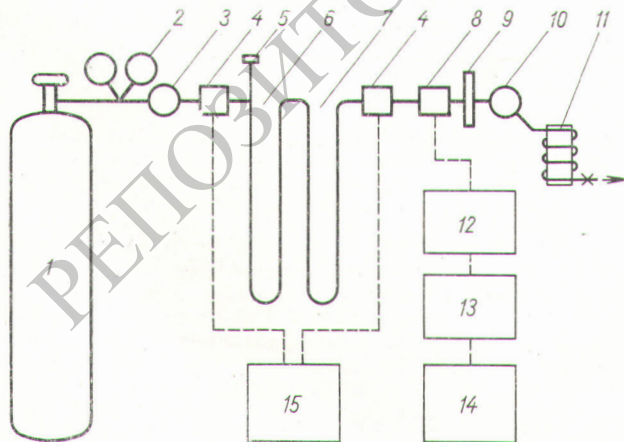


Рис. 1. Схема газо-хроматографической установки.

Как видно из этих данных и хроматограмм, было достигнуто хорошее разделение всех газов, за исключением отделения аргона от кислорода. Однако добиваться разделения аргона и кислорода не стали, так как периоды полураспада изотопов последнего очень малы и не мешают γ -спектроскопическому анализу аргона. Газо-хроматографическое разделение проводили при комнатной температуре ($\sim 20^\circ\text{C}$).

Анализируемые пробы радиоактивного газа впускаются в колонку порциями по 3 мл. Хроматограмма, зафик-