

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, Н. А. ВЛАСОВ (зам. главного редактора), И. Н. ГОЛОВИН, Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ (зам. главного редактора), А. К. КРАСИН, А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ (главный редактор), П. Н. ПАЛЕЙ, Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМИРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО.

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

- В. И. Баранов. Развитие радиогеологии в СССР . . . 419
- Я. Богач, П. Квиттнер, Э. Сабо. Определение некоторых примесей в кремнии высокой чистоты методом активационного анализа без разрушения образцов . . . 421
- Я. Божик, Е. Кубовский, С. Лягак. Измерение материального параметра критической сборки «Анна» . . . 425
- Н. Г. Ваданина, Ю. П. Сайков. Критерий сравнения состояния твэлов активной зоны реактора . . . 429
- Ю. В. Чушкин, Е. Ф. Давыдов, В. Н. Сюзьв, Т. М. Гусева, В. В. Колесов, М. Д. Дерибизов. Радиационная стойкость пластинчатых твэлов реактора СМ-2 . . . 432
- Б. Г. Егызаров, В. А. Зюбка, А. И. Новиков. Выбор оптимальной аналитической методики при инструментальном активационном анализе . . . 435
- В. И. Субботин, Д. М. Овечкин, Д. Н. Сорокин, А. П. Кудрявцев. Теплоотдача при кипении натрия в условиях свободной конвекции . . . 437
- В. П. Бобков, М. Х. Ибрагимов, В. И. Субботин. Расчет коэффициента турбулентного переноса тепла при течении жидкости в трубе . . . 442
- В. Я. Кудяков, М. В. Смирнов, Н. Я. Чукреев, Ю. В. Посохин. Образование двухвалентного тория в среде расплавленного хлористого калия . . . 448
- Н. М. Зуева, Л. С. Соловьев. Равновесие и устойчивость плазмы в аксиально симметричных тороидальных системах . . . 453

ПЕРСОНАЛИЯ

Исаак Константинович Кикоин (к 60-летию со дня рождения) . . . 460

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

Н. Е. Врежнева, Ю. И. Капшанинов, С. Н. Озипранер. Изучение кинетики электролитического выделения гидроокисных осадков редкоземельных элементов . . . 462

- А. С. Тшечкин. Вычислительное устройство для обработки γ -спектров . . . 462
- В. Е. Дроздов, Ю. С. Рябухин. К расчету мощностей поглощенных доз полоого цилиндрического облучателя с неравномерным распределением активности . . . 463
- М. Задубан, Л. Медвидь. Определение суммарной β -активности долгоживущих продуктов деления при помощи K^{40} . . . 464
- Г. П. Березина, Я. Б. Файнберг, А. К. Березин. Экспериментальное исследование потоков быстрых ионов, образующихся в системе пучок — плазма . . . 465

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

- М. А. Сарычев, Ю. Н. Алексеенко, Н. В. Звонов, В. И. Буйницкая, И. В. Рогожкин, А. А. Баталов, Ю. В. Александров. Распределение потока тепловых нейтронов в различных отражателях с каналами . . . 467
- Т. М. Гусева, Е. Ф. Давыдов, В. Н. Сюзьв, Ю. В. Чушкин. О возможном характере изменения объема тепловыделяющих композиций при твердом распухании . . . 469
- Е. М. Лобанов, Н. В. Зиновьев. Определение необходимой статистики при бескорреляционной расшифровке данных активационного анализа . . . 471
- С. Н. Вотвинов, Т. М. Гусева, В. И. Клименков. О радиационной стойкости сплава циркония с 1% ниобия в условиях работы реактора СМ-2 . . . 473
- А. Э. Шемьл-заде. О сухих выпадениях продуктов ядерных испытаний . . . 474
- К. П. Захарова, Г. М. Иванов, В. В. Куличенко, Н. В. Крылова, Ю. В. Сорокин, М. И. Федорова. Об использовании тепла химических реакций для термической переработки жидких радиоактивных отходов . . . 475

225381/м



которых показаны на рис. 3 (Т-образная трещина между оболочкой и композицией и по композиции). Существенных изменений структуры зерна UO_2 не обнаружено (рис. 4).

Заключение

Приведенные данные позволяют сделать вывод о высокой структурной и размерной стабильности пластинчатых твэлов реактора СМ-2. Линейный характер увеличения объема с выгоранием дает возможность оценивать изменения физических, гидравлических и теплотехнических параметров активной зоны. Замечено, что у некоторых твэлов с выгоранием урана 30% начался процесс расслаивания, ведущий к потере герметичности, что может быть связано с нарушениями в режимах охлаждения или расхолаживания. Проверка послед-

него обстоятельства позволит выбрать критерий, определяющий предельно допустимое выгорание. Весьма вероятно, что такой критерий будет связан с вопросами физики реактора, а не со степенью его радиационной повреждаемости.

Поступила в Редакцию 14/II 1967 г.
В окончательной редакции 19/XI 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. М. Фейнберг и др. «Атомная энергия», 8, вып. 6, 493 (1960).
2. Доклад № 320, представленный СССР на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).
3. А. Г. Самойлов и др. Дисперсионные тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1965.
4. Б. Л а с т м а н. Радиационные явления в двуокиси урана. М., Атомиздат, 1964.

Выбор оптимальной аналитической методики при инструментальном активационном анализе

В. Г. ЕГИАЗАРОВ, В. А. ЗЮБКО, А. И. НОВИКОВ

УДК 543.53

Выбор оптимальной аналитической методики при инструментальном активационном анализе представляет трудности даже для образцов с несложным элементарным составом. Для образцов сложного состава или для образцов материалов высокой чистоты, в которых содержание основного элемента близко к 100%, решение указанной задачи связано с кропотливыми и трудоемкими вычислениями. Такие задачи целесообразнее решать на вычислительных машинах.

Рассмотрим случай идентификации элементов по γ -спектрам с помощью многоканального анализатора.

Пусть N_k соответствует числу импульсов, зарегистрированных в k -м канале анализатора. Это число импульсов в общем случае соответствует результату суммарного вклада в k -й канал всех компонентов смеси, энергия которых соответствует номерам каналов, большим или равным k , и находится из выражения [1]

$$N_k = \alpha_{kr} C_r,$$

где α_{kr} — вклад от r -го компонента в k -й канал; C_r — интенсивность r -го компонента, пропорциональная концентрации r -го радиоактивного изотопа; $k=1, 2, \dots, n$ — номер

канала; $r = 1, 2, \dots, l$ — номер компонента, соответствующего энергетической линии E_r , расположенной в r -м канале.

Предположим, что общий спектр состоит только из фотопиков и комптоновских распределений от отдельных изотопов, тогда ошибка в числе отсчетов в k -м канале, в который попадает излучение k -го исследуемого изотопа, определяется также вкладом всех других изотопов в k -й канал, т. е.

$$\Delta N_k \sim \sqrt{A_{kk} + \sum_{r=1}^l A_{rk} + \sum_{r=1}^l B_{rk} \eta(E_r - E_k)},$$

где A_{kk} — число импульсов от k -го элемента в k -м канале; A_{rk} — вклад фотопиков r -х элементов в k -ом канале; B_{rk} — вклад комптоновских распределений r -х элементов в k -й канал; E_r и E_k — энергии, соответствующие r -му и k -му каналу анализатора;

$$\eta(E_r - E_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } E_r - E_k > 0; \\ 0, & \text{если } E_r - E_k \leq 0. \end{cases}$$

Приняв, что фотопики имеют гауссовское распределение, можно показать, что ошибка

$$\Delta N_k \sim \sqrt{\frac{C_k}{\sigma_k} + \sum_{r=1}^l \left\{ \frac{C_r}{\sigma_r} \exp \left[-\frac{(E_r - E_k)^2}{2\sigma_r^2} \right] + \frac{C_r}{E_r} \eta(E_r - E_k) \right\}}, \quad (1)$$

где σ — среднеквадратичное отклонение в гауссовском распределении. Из формулы (1) следует, что для больших k при прочих равных условиях число r -х членов, вносящих вклад в ΔN_k , уменьшается и, наоборот, для меньших k ошибка растет. Кроме того, как видно из выражения (1), ошибка зависит от того, как расположен фотопик исследуемого элемента по отношению к другим фотопикам. Например, если k -й фотопик расположен близко или в самом r -м канале и концентрация r -го изотопа велика, то ошибка будет большая. В конечном итоге, вопрос выбора и оптимизации методики сводится к реализации условий измерения, которым соответствует наименьшее значение ошибки, связанное с вкладом в k -й канал r -х компонентов спектра.

Это условие позволяет определить критерий оптимальности методики для нахождения k -го компонента (примеси) как максимума отношения фотопика k -го компонента спектра к сумме вкладов всех компонентов спектра в данный k -й канал:

$$\frac{\Phi_k(t, E - E_k)_{E=E_k}}{\sum_{i=1}^l \{\Phi_i(t, E - E_i)_{E=E_k} + \eta(D_i - E_k) K_i(t, E)_{E=E_k}\}} = B_k(t), \quad (2)$$

где $\Phi_i(t, E - E_i)$ — функция, описывающая форму фотопика с энергией E_i ; $K_i(t, E)$ — функция, описывающая форму комптоновского распределения от энергии E_i ; $D_i = \frac{2E_i^2}{2E_i + m}$ — максимальная энергия электронов комптоновского распределения для излучения с энергией E_i ; m — масса электрона, $Mэв$;

$$\eta(D_i - E_k) = \begin{cases} 1, & \text{если } D_i - E_k > 0; \\ 0, & \text{если } D_i - E_k \leq 0. \end{cases}$$

Определим параметры аналитической методики, подлежащие оптимизации. Для исследуемого образца с определенным элементарным составом в первую очередь необходимо установить тип реакции, наиболее оптимальный для выделения рассматриваемого элемента. Однако уже на этом этапе встречаются значительные трудности, особенно при исследовании образцов сложного химического состава.

Возникает задача, для решения которой требуется учитывать большое число ядерных характеристик и констант для каждого из элементов образца (концентрацию, сечения реакций, периоды полураспада соответствующих радиоактивных изотопов, выходы γ -кван-

тов на распад и пр.). Из-за многообразия начальных условий для решения такой задачи целесообразно использовать счетно-решающие устройства. Результатом решения данной задачи должно быть определение основных параметров экспериментальной методики: оптимальных времен облучения t_1 , выдержки t_2 , измерения t_3 и энергии γ -излучения, по которой проводится идентификация искомого элемента.

В выражении (2) можно выделить временные составляющие входящих величин, так как форма фотопиков и комптоновских распределений не зависит от времени, т. е.

$$\left. \begin{aligned} \Phi_p(t, E - E_p) &= \kappa_p(E - E_p) \lambda_p(t); \\ K_p(t, E) &= \mu_p(E) \lambda_p(t). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

В этом выражении функции $\kappa_p(E - E_p)$, $\mu_p(E)$ описывают соответственно формы распределений фотопиков и комптоновских распределений.

Примем, что форма фотопиков описывается гауссовским распределением [1]:

$$\kappa_p(E - E_p) = \frac{S_p^\Phi}{\sigma_p \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(E - E_p)^2}{2\sigma_p^2}}, \quad (4)$$

где S_p^Φ — доля γ -квантов, вносящая вклад в фотопик спектра; σ — параметр распределения; $\kappa_p(\pm \sigma) \approx 0,6\kappa_p(0)$, а форма комптоновского распределения описывается известным выражением [1]

$$\mu_p(E) = M_p \times \left[2 + E \frac{E(E_p + m)^2 - E_p(E^2 + 2E_p m)}{E_p^2(E_p - E)^2} \right], \quad (5)$$

в этом выражении M_p определяется из условия нормировки: $\int_0^{D_p} \mu_p(E) dE = S_p^K$, где S_p^K — часть γ -квантов, дающая вклад в комптоновское распределение спектра.

Полное число γ -квантов, вносящее вклад в измеряемый спектр

$$S_p = S_p^K + S_p^\Phi. \quad (6)$$

Записав $S_p^\Phi = \gamma_p S_p$ и $S_p^K = \beta_p S_p$ и подставив их в выражение (6), получим

$$\gamma_p + \beta_p = 1, \quad (7)$$

где γ_p и β_p — соответственно отношение площадей под пиком полного поглощения и комптоновским распределением ко всей площади спектра.

Полное число регистрируемых γ -квантов S_p является функцией сечения реакции R , концентрации соответствующего радиоактивного изотопа C , изотопного содержания ν и других ядерных характеристик.

Зависимость временной части λ_p от искомых параметров t_1, t_2, t_3 определяется выражением

$$\lambda_p = \frac{T_p}{\ln 2} \left(1 - e^{-\ln 2 \frac{t_1}{T_p}}\right) e^{-\ln 2 \frac{t_2}{T_p}} \times \left(1 - e^{-\ln 2 \frac{t_3}{T_p}}\right), \quad (8)$$

где T_p — период полураспада p -го изотопа.

После подстановки выражений (3) — (8) в уравнение (2), опустив промежуточные выкладки, получим

$$B_k(t) = \frac{H_k \lambda_k(t)}{H_k \lambda_k(t)} = \sum_{i=1}^i \left\{ H_i \exp \left[-\frac{(E_i - E_k)^2}{2\sigma_i^2} \right] + \Gamma_i \left[2 + E_k \frac{E_k(E_i + m)^2 - E_i(E_k^2 + 2E_i m)}{E_i^2(E_i - E_k)^2} \right] \times \eta(D_i - E_k) \right\} \lambda_i(t)$$

Здесь

$$H_i = \left[\frac{Q\gamma}{\sigma} \right]_i; \quad Q = \frac{bRvC}{A};$$

$$\Gamma_i = \frac{V\sqrt{2\pi}}{m} \left[\frac{Q\beta}{\frac{2(\alpha^3 + 9\alpha^2 + 8\alpha + 2)}{(2\alpha + 1)^2} + \frac{\alpha^2 - 2\alpha - 2}{\alpha} \ln(2\alpha + 1)} \right]_i,$$

где b — выход γ -квантов на распад; A — атомный вес изотопа; $\alpha_i = \frac{E_i}{m}$.

Выражение (8) дает возможность при помощи счетно-решающих устройств осуществлять оптимизацию аналитической методики определения искомого элемента. Процесс расчета сводится к вычислению значений $B_k(t)$ при различных t_1, t_2, t_3 для разных радиоактивных изотопов искомого элемента с целью определения максимального значения $B_k(t)$. Можно показать, что при $t_1 = t_3$ значение $B_k(t)$ максимально. Таким образом определяются наиболее оптимальный тип реакции и основные параметры экспериментальной методики.

В качестве промежуточных результатов в принятой программе вычислений можно получать и другие данные, представляющие интерес для экспериментатора. Например, для заданной комбинации элементов и их содержаний и выбранных t_1, t_2, t_3 определяется интенсивность фотопиков и комптоновских распределений от соответствующих радиоактивных изотопов, что, в свою очередь, дает возможность оценить чувствительность и точность измерений, и т. д.

Приведем в качестве примера результаты расчета, выполненного на вычислительной машине «Минск-1» для образца следующего состава: 1,5% Fe, 16% Mo, 78% J, 1,5% Mg, 1,5% Si, 1,5% Ca. Анализировался элемент Ca. При расчете принимались во внимание все ядерные реакции при активации нейтронами с энергией 14 Мэв. По максимальному значению коэффициента B_k была выбрана реакция $\text{Ca}^{44}(n, \alpha)\text{Ar}^{41}$ и найдено значение оптимальных времен: $t_1 = 1800$ сек, $t_2 = 1000$ сек, $t_3 = 1800$ сек.

Поступила в Редакцию 16/II 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Столярова. Прикладная спектрометрия ионизирующих излучений. М., Физматгиз, 1959.

Теплоотдача при кипении натрия в условиях свободной конвекции

В. И. СУББОТИН, Д. М. ОВЕЧКИН, Д. Н. СОРОКИН, А. П. КУДРЯВЦЕВ

УДК 621.039.517

Теплоотдача при кипении натрия в условиях свободной конвекции экспериментально исследовалась в работах [1—10]. Опыты проводились в диапазоне давлений примерно от нескольких сотых долей до 1 бар и диапазоне тепловых потоков от нескольких десятков тыс. вт/м^2 до потоков, близких к критическим. Эксперименты проведены с плоскими и цилиндрическими нагревателями, на поверхностях из хро-

ма, никеля, нержавеющей стали, молибдена и меди, причем некоторые из них имели различную обработку. На основе имеющихся данных можно установить некоторые закономерности, однако для получения разносторонней информации о теплообмене при кипении натрия необходимы дальнейшие исследования.

Работы [4, 6, 10], опубликованные в последние годы, подтвердили существование раз-