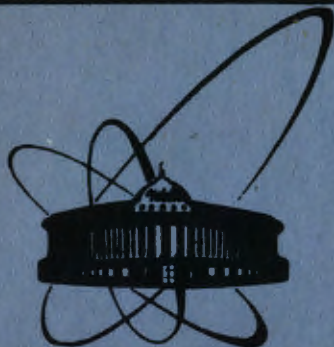


12/XII-83



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

6503/83

18-83-635

А.Г.Белов, Ю.С.Замятнин, Ю.Г.Тетерев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ФИЛЬТРОВ
ПРИ АКТИВАЦИОННОМ АНАЛИЗЕ
НА ЭПИТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ

Направлено в Оргкомитет
Всесоюзного совещания
"Ядерно-физические методы
элементного анализа"
/Москва, октябрь 1983 г./

1983

При нейтронно-активационном анализе элементов, имеющих большие сечения активации на эпитепловых нейтронах, облучение образцов производят в Cd экранах. Как показано в работах^{/1,2/}, в результате этого при измерении на гамма-спектрометре облученных образцов фон значительно снижается. Но и в этом случае активируются элементы, которые имеют резонансы в области эпитепловых нейтронов, также создающие значительный фон. В работах^{/2,3/} предложено использовать дополнительные фильтры как из бора, так и из самих мешающих элементов. Целью данной работы является выяснение возможности использования таких фильтров и исследование закономерностей экранировки. Экспериментальная часть работы была выполнена в поле нейтронов графитового куба. В качестве источника нейтронов служил урановый конвертор, облучаемый тормовым излучением микротрона^{/4/}. Нижняя граница энергии нейтронов, активирующих образец, облучаемый в экране из кадмия, составляет 0,68 эВ при толщине экрана 1 мм^{/5/}. Границу энергии нейтронов можно поднять еще выше, применяя экран из бора, но т.к. сечение поглощения нейтронов бором подчиняется закону $1/v$, то определенной границы нет и наибольшее снижение активности происходит для элементов, имеющих меньшую энергию резонанса. В проведенном нами эксперименте при использовании экрана из карбида бора с парафином /в весовом соотношении 4:1/ толщиной 3 мм активность золота, имеющего резонанс при энергии нейтронов 4,9 эВ, уменьшилась в 3 раза по сравнению с активностью, полученной в том же поле нейтронов без экрана, а активность сурьмы, имеющей резонансы при энергиях 6,2; 15,5 эВ и выше, при облучении в этом же экране упала только в 2 раза. Из этого эксперимента следует, что при анализе золота в геологических образцах, где основными мешающими элементами являются сурьма и мышьяк^{/2,3/}, имеющие резонансы в высокоэнергетической области, использование экрана из бора не дает положительного эффекта. В данном случае более перспективным является применение резонансных фильтров из вещества мешающего элемента. Нейтроны с энергией в области резонансов мешающего элемента поглощаются фильтром, и их воздействие на облучаемый образец снижается. Коэффициент уменьшения активности может быть найден как предельное отношение активности тонкой фольги из мешающего элемента в экранирующем фильтре^{/5/} толщины d к активности ее в невозмущенном потоке^{/5/} при стремлении толщины фольги t к нулю.

$$F_3 = \lim_{t \rightarrow 0} \left(\frac{\phi_{epi} N I_{\infty} (2d + t)}{\sqrt{1 + 2N(2d + t)\sigma_{a0}}} - \frac{\phi_{epi} N I_{\infty} 2d}{\sqrt{1 + 2N2d\sigma_{a0}}} \right) / \frac{\phi_{epi} N I_{\infty} t}{\sqrt{1 + 2Nt\sigma_{a0}}} =$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1 + 4Nd\sigma_{a0}}}$$

где ϕ_{epi} - плотность потока эпитепловых нейтронов на единицу латергии, N - число атомов в см^3 , I_{∞} - резонансный интеграл, σ_{a0} - сечение захвата в максимуме резонанса. По этой формуле были рассчитаны коэффициенты уменьшения активности для фильтров из естественной сурьмы и мышьяка. Данные о нейтронных сечениях взяты из справочника^{16/}. Расчеты показывают, что применение фильтров из сурьмы толщиной 5 мм позволит снизить активность ^{122}Sb и ^{124}Sb в 7 раз, а использование фильтров из мышьяка приведет к снижению активности ^{76}As в 10 раз.

Величина снижения активности изотопов ^{122}Sb и ^{124}Sb при использовании фильтров из естественной сурьмы определена экспериментально. Мониторами служили кружочки фильтровальной бумаги площадью 1 см^2 , каждый из которых пропитывался раствором, содержащим 4 мг сурьмы. Мониторы помещались между фильтрами толщиной 4; 5 и 7 мм и облучались в однородном по плотности потоке нейтронов. Одновременно облучались мониторы без фильтров. Вместе с мониторами из сурьмы были облучены и мониторы, содержащие 0,5 мг золота. В результате эксперимента обнаружено, что активность ^{122}Sb уменьшилась в 7 раз, а ^{124}Sb - в 8 раз в мониторах, расположенных между фильтрами, по сравнению с активностью мониторов, облученных без фильтров. Зависимости величины снижения активности от толщины фильтра обнаружить не удалось, вероятно, из-за того, что эта зависимость слабая /порядка \sqrt{d} /, а также из-за некоторой неоднородности плотности потока нейтронов при облучении. В этом же эксперименте обнаружено, что фильтры из сурьмы практически не уменьшают активности золота. При экранировке же реальных геологических проб весом $40 \div 50$ г, упакованных в полиэтиленовые коробки диаметром 75 мм, активность сурьмы в пробах уменьшилась всего в $1,4 \pm 1,5$ раза.

Для объяснения этого эффекта был проделан эксперимент, выясняющий влияние толщины образца на уменьшение экранировки. Были приготовлены образцы из геологических проб разной толщины: четыре образца толщиной $0,43 \text{ г/см}^2$, два - $0,215 \text{ г/см}^2$ и два - по $0,107 \text{ г/см}^2$. В каждый образец добавлено при тщательном перемешивании некоторое количество раствора, содержащего 4 мг сурьмы. Образцы высушивались при комнатной температуре и упаковывались в алюминиевую фольгу толщиной 0,05 мм. Между каждой парой образцов одинаковой толщины помещались мониторы из сурьмы и золота, такие же мониторы были расположены на внешней поверхности пары. Все пары образцов с мониторами размещались между фильтрами из естественной сурьмы толщиной 5 мм, кроме одной пары образцов толщиной

по $0,43 \text{ г/см}^2$. Между фильтрами разместили также мониторы без образцов. Образцы и мониторы были экранированы кадмием и одновременно облучены в поле нейтронов. После облучения активность мониторов и образцов измерялась на Ge(Li) детекторе.

Суть эксперимента состоит в следующем. Спектр потока нейтронов, прошедших через фильтр, имеет провалы при энергиях нейтронов в области резонансов. Этот поток можно представить как сумму двух потоков нейтронов, спектр одного из которых тождествен спектру потока, не измененному фильтром, а другой, отрицательный, имеет линейчатый спектр, соответствующий энергиям резонансов. Плотность потока нейтронов в каждой энергетической линии равна доле нейтронов, захваченных фильтрами при данной энергии резонанса $(1 - F_{3i}) \phi(E_i)$. Теперь, рассматривая отрицательный поток, можно сказать, что нейтроны, проходя через толстый образец, либо захватятся резонансом сурьмы, что приведет к отрицательной активности, либо рассеются на ядрах вещества образца и выйдут из области энергии резонанса. Так как число захватов сурьмой мало, то уменьшение плотности потока нейтронов с энергией резонанса при прохождении их через образец будет в основном определяться рассеянием. Тогда активность мониторов в середине образца- C_1 , с краю образца- C_2 и монитора без образцов- C_3 для изотропного потока нейтронов определяется формулами:

$$A_1 - A_2 E_2(\mu_s a) = C_1$$

$$A_1 - \frac{1}{2} A_2 [1 + E_2(2\mu_s a)] = C_2$$

$$A_1 - A_2 = C_3$$

Здесь A_1 - активность монитора, обусловленная потоком со спектром, не измененным фильтром; A_2 - активность монитора, обусловленная потоком нейтронов с линейчатым спектром; μ_s - массовый коэффициент рассеяния; a - толщина одного образца из пары;

$$E_2 - \text{табулированная функция; } E_n(x) = \int_0^1 t^{n-2} e^{-x/t} dt.$$

В результате решения этой системы уравнений графически было найдено μ_s для каждой пары толщин. В эксперименте было получено

$$\mu_s = (0,19 \pm 0,03) \text{ см}^2/\text{г}.$$

Зная этот коэффициент, можно найти активацию изотопов сурьмы отрицательным потоком, учитывая рассеяние нейтронов на атомах вещества геологической пробы толщиной l . Для этого воспользуемся формулой для вычисления активации C в изотропном поле нейтронов, приведенной в работе^{15/}, только вместо μ_a - массового коэффициента поглощения - поставим найденное значение μ_s :

$$C = \mu_{act} \delta \frac{1 - 2E_3(\mu_s l)}{2\mu_s l} (1 - F_3) \phi.$$

Тогда активность В какого-либо изотопа сурьмы в образце, окруженном фильтром из естественной сурьмы, определяется в виде

$$B = \mu_{\text{act.}} \delta \phi \left[1 - (1 - F_3) \frac{1 - 2E_3(\mu_n \ell)}{2\mu_n \ell} \right] = \mu_{\text{act.}} \delta \phi k.$$

Величина, обратная k , есть коэффициент, показывающий, во сколько раз уменьшается активация мешающего элемента в геологическом образце, окруженном фильтром. Для использованных в экспериментах образцов с толщинами 0,125; 0,43 и 0,83 г/см² рассчитанные по этой формуле коэффициенты равны соответственно 4,6; 3,7 и 2,9, а экспериментальные значения 4,0; 3,8 и 2,9 с ошибкой 10%. Экспериментальные результаты согласуются с расчетными, кроме значений, полученных для тонкого образца. Различие связано с тем, что вес алюминиевой упаковки сравним с весом тонкого образца и влиянием упаковки уже нельзя пренебрегать.

Этот эксперимент позволил объяснить малый коэффициент экранировки сурьмой образцов весом 50 г в полиэтиленовой упаковке. Во-первых, упаковка толщиной 1 мм содержит водород, имеющий большое сечение рассеяния, во-вторых, толщина образца составляет 1,1 г/см² и рассеяние в нем также велико.

Найденное значение μ_n хорошо согласуется с сечением рассеяния на легких ядрах. При предположении о том, что образец состоит только из SiO₂, среднее микроскопическое сечение рассеяния σ_n составляет

$$\sigma_n = \mu_n / N_n = 0,19 : 2,8 \cdot 10^{22} = 6,7 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2.$$

Тот факт, что величина сечения рассеяния несколько выше, чем величина сечения рассеяния на кислороде, можно объяснить наличием в геологическом образце связанной воды и отличием состава этого образца от чистого SiO₂. Результаты этой работы можно использовать при облучении образцов, экранированных любыми резонансными фильтрами, эпитепловыми нейтронами от разнообразных источников, например от реактора и ¹²⁴Sb-Be источника.

Авторы выражают глубокую признательность академику Г.Н.Флерову за постановку задачи, Ш. Гербишу и В.Е.Мучко за помощь при проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выропаев В.Я. ОИЯИ, 14-9446, Дубна, 1976.
2. Базаркина Т.В. и др. ОИЯИ, 18-12629, Дубна, 1979.
3. Белов А.Г. и др. ОИЯИ, 18-80-841, Дубна, 1980.
4. Белов А.Г. и др. ОИЯИ, P9-82-301, Дубна, 1982.
5. Бекурц К., Виртц К. Нейтронная физика. Атомиздат, М., 1968.
6. Mughabghab S.F., Divadeenam M., Holden N.E. Neutron Cross Section, vol.1, Part A., Z=1-60; Neutron Cross Section Curve, vol.2. Upton, New York, Academic Press, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 сентября 1983 года

Белов А.Г., Замятнин Ю.С., Тетерев Ю.Г.

18-83-635

Использование резонансных фильтров при активационном анализе на эпитепловых нейтронах

Исследованы возможности применения резонансных фильтров для уменьшения фона от элементов матрицы при нейтронно-активационном анализе на эпитепловых нейтронах. Показано, что фильтры из бора могут использоваться, когда энергия резонанса мешающего элемента меньше энергии резонанса исследуемого. В случае применения резонансных фильтров спектр нейтронов, прошедших фильтр, имеет "провалы" при энергиях нейтронов, равных энергиям резонансов, и активация мешающего элемента в тонком образце уменьшается в несколько раз. При прохождении "профильтрованных" нейтронов через толстый образец "провалы" в спектре сглаживаются за счет рассеяния нейтронов на веществе образца и эффект экранировки снижается. В работе теоретически и экспериментально исследованы и объяснены закономерности экранировки. Показано на примере мешающего элемента сурьмы, что ее активность в пробе толщиной 0,43 г/см² можно уменьшить в 4 раза.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Belov A.G., Zamyathnin Yu.S., Teterev Yu.G.

18-83-635

Application of Resonance Filters for Activation Analysis on Epithermal-Neutrons

The possibility of using resonance filters for decreasing matrix elements background are investigated at the activation analysis on epithermal neutrons. It is shown that when resonance energy of an interfering element is less than the resonance energy of the element under study, the B filters can be used. With the resonance filters a spectrum of neutrons having passed through filter, has "gaps" at neutron energies equal resonance ones and in a thin sample the activation of an interfering element decreases several fold. When "filtered" neutrons pass through a thick sample, "gaps" in the neutron spectrum wear smooth due to the neutron scattering on a sample material, and the screening effect decreases. The screening regularities are investigated theoretically and experimentally. It is shown in the case of interfering Sb element that its activity in a sample 0.43 g/cm² thick could be diminished by a factor of 4.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой