

ствующего количества коррелированных импульсов от распадов  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{218}\text{Po}$  ( $T_{1/2} = 3,05$  мин), содержащихся в ряду урана.

Возможность вклада в общий фон от проникновения радона из воздуха за счет диффузии через монокристаллы проверяли, помещая счетчик в атмосферу, обогащенную радоном. Никакого превышения общего счета  $\alpha$ -активности не наблюдалось. Это дает основание считать, что вся  $\alpha$ -активность счетчиков обусловлена присутствием в германии радиоактивных элементов рядов урана и тория. Относительное содержание урана и тория составляет  $\sim 10^{-6}\%$ .

Хотя поверхностная  $\alpha$ -активность монокристаллического полупроводникового германия не выше, чем у самых лучших образцов стали и меди [5], однако использование его для целей низкофоновых экспериментов требует специальной очистки от радиоактивных примесей урана и тория. Очевидно, практически это возможно осуществить. Например, в работе [3] использовался полупроводниковый германий с примесями урана и тория  $\sim 10^{-9}\%$ .

Для проверки правильности отождествления «больших» импульсов с  $\alpha$ -частицами были изготовлены счетчики с катодами из металлов, которые из-за высокой температуры плавления должны быть достаточно чистыми от примесей: молибдена ( $\phi = 7$  мм,  $l = 66$  мм) и тантала ( $\phi = 10$  мм,  $l = 97$  мм). Особенно это относится к танталу, получаемому вакуумным переплавом. Интенсивность «больших» импульсов в молибденовых счетчиках выше ( $0,02$  имп/ч·см<sup>2</sup>), а в танталовых ниже ( $0,003$  имп/ч·см<sup>2</sup>), чем в большом германиевом, хотя по объему последний занимает промежуточное положение между молибденовым и танталовым счетчиками.

Из исследованных нами металлов и полупроводников тантал — самый чистый по  $\alpha$ -активности.

В танталовых и молибденовых счетчиках также отчетливо проявляются парные импульсы, отождествляемые нами с распадом радона, находящегося в равновесии с  $^{226}\text{Ra}$  в стенках счетчика. В частности, в одном танталовом счетчике из 26 импульсов, идущих со средней частотой 1 имп за 12 ч, четыре расположены в виде двух явно выраженных пар, в которых временной интервал между импульсами составлял менее 5 мин. Это позволяет с большой точностью определять содержание  $^{226}\text{Ra}$  в материалах, к которым трудно применять ранее развитую методику [6].

Авторы выражают благодарность Г. Т. Зацепину, предложившему определять загрязненность металлов по их поверхностной  $\alpha$ -активности.

Поступило в Редакцию 1/VII 1974 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы определения и анализа редких элементов. М., Изд-во АН СССР, 1961.
2. Зацепин Г. Т., Кузьмин В. А. В сб.: Труды Международного семинара по физике нейтрино и нейтринной астрофизике. М., изд. ФИАН, 1969, с. 156.
3. Fiorini F. e. a. «Nuovo cimento», 1973, v. 13A, p. 747.
4. Барабанов И. Р., Вешников В. Б., Поманский А. А. «Атомная энергия», 1969, т. 26, вып. 3, с. 299.
5. Кочаров Г. Е., Найденов В. О. «Приборы и техника эксперимента», 1966, № 3, с. 5.
6. Поманский А. А., Северный С. А., Трифонов Е. П. «Атомная энергия», 1969, т. 27, вып. 1, с. 36.

## Определение спектра надтепловых нейтронов

### МЕТОДОМ КАДМИЕВЫХ ОТНОШЕНИЙ ДЛЯ РЕЗОНАНСНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

ВАСИЛЬЕВ Р. Д., ЯРЫНА В. П.

УДК 621.039.5

Кадмиевое отношение — это отношение скорости реакций активации в исследуемом поле нейтронов для одного и того же образца (или идентичных образцов) в открытом виде и при экранировании кадмием.

Пренебрегая тепловой и резонансной самоэкранировкой и ослаблением резонансных нейтронов кадмием, получаем следующую очевидную связь между кадмиевым отношением  $r_{\text{Cd}}^{1/v}$  для  $1/v$ -детектора и кадмиевым отношением  $r_{\text{Cd}}$  для резонансного детектора:

$$r_{\text{Cd}}^{1/v} = r_{\text{Cd}} + \frac{I'}{I^{1/v}} (r_{\text{Cd}} - 1), \quad (1)$$

где  $I^{1/v}$  — резонансный интеграл части сечения активации, пропорциональной  $1/v$ , а  $I'$  — избыточный над этой частью сечения резонансный интеграл. Это соотношение справедливо при любом спектре нейтронов, если резонансные интегралы  $I'$  и  $I^{1/v}$  определены для данного спектра и данной эффективной граничной энергии  $E_{\text{Cd}}$ .

Соотношение, аналогичное (1), можно записать в представлении Весткотта. С учетом всех поправок получим

$$r_{\text{Cd}}^{1/v} = r_{\text{Cd}} \frac{1 - wk_{\text{Cd}}}{G_{\text{T}}} + \frac{G_{\text{p}} s_0}{G_{\text{Tg}}} k_{\text{Cd}} (F_{\text{Cd}} r_{\text{Cd}} - 1), \quad (2)$$

где  $s_0 = 2 I' / (\sqrt{\pi \sigma_0})$  и  $g$  — параметры Весткотта;  $\sigma_0$  — сечение реакции активации при скорости нейтронов  $v_0 = 2,2 \cdot 10^3$  м/с;  $k_{\text{Cd}} = (\sqrt{\pi/4}) \sqrt{E_{\text{Cd}}/E_0}$  (здесь  $E_0 = 0,0253$  эВ — энергия нейтронов, соответствующая скорости  $v_0$ ),  $G_{\text{T}}$  и  $G_{\text{p}}$  — коэффициенты самоэкранирования в тепловой и резонансных областях соответственно;  $w$  — небольшой ( $0,024$  для золота) поправочный коэффициент, учитывающий отклонение от закона  $1/v$  сечения активации в области граничной энергии кадмия. Параметр  $s_0$  в формуле (2) определен в предположении  $1/E$ -спектра надтепловых нейтронов. Попутно отметим, что

$$s_0 k_{\text{Cd}} = I' / I^{1/v}. \quad (3)$$

Рассмотрим далее спектр надтепловых нейтронов, пропорциональный  $E^{-(1-\alpha)}$ , где  $\alpha$  — некоторое положительное или отрицательное число. Будем считать, что резонансный детектор имеет один резонанс при энергии  $E_{\text{R}}$ . Тогда для спектра  $E^{-(1-\alpha)}$

$$I' / I^{1/v} = (I' / I^{1/v}) (E_{\text{R}} / E_{\text{Cd}})^{\alpha} (1 - 2\alpha). \quad (4)$$

В этом случае формула (2) примет вид

$$r_{\text{Cd}}^{1/v} = r_{\text{Cd}} \frac{1 - wk_{\text{Cd}}}{G_{\text{T}}} + \frac{G_{\text{p}} s_0}{G_{\text{Tg}}} k_{\text{Cd}} (F_{\text{Cd}} r_{\text{Cd}} - 1) \times \times (1 - 2\alpha) \left( \frac{E_{\text{R}}}{E_{\text{Cd}}} \right)^{\alpha}. \quad (5)$$

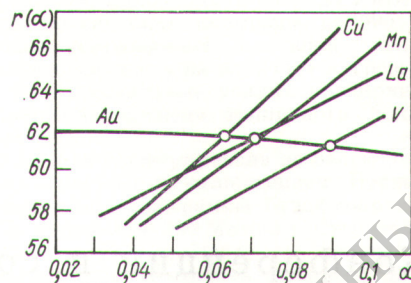
Полученное соотношение дает возможность определить коэффициент  $\alpha$  по измеренным кадмиевым отношениям для  $1/v$ -детектора и резонансного детектора. Можно также использовать два резонансных детектора. В этом случае  $\alpha$  определяется из уравнения, получаемого после приравнивания правых частей формулы (5) для двух резонансных детекторов.

**Характеристики детекторов**

Изотоп-мишень	$d$ , мг/см <sup>2</sup>	$\bar{E}_R$ , эВ	$G_T$	$G_p$	$s_0$	$r_{Cd}$
<sup>197</sup> Au	21,6	5,35	0,979	0,507	17,3	3,89
<sup>139</sup> La	16	72,4	0,995	$G_p s_0 = 0,933$		
<sup>55</sup> Mn	51	402	0,977	0,825	0,666	22,9
<sup>63</sup> Cu	20	638	0,995	0,920	0,730	20,7
<sup>51</sup> V	85	4160	0,981	$G_p s_0 = 0,107$		

Предложенный метод опробован при оценке спектра надтепловых нейтронов источника тепловых нейтронов ВНИИФТРИ [1]. Некоторые характеристики использованных в измерениях резонансных детекторов приведены в таблице. Вместо истинных значений энергии основных резонансов реакций активации использовали эффективные значения энергии  $\bar{E}_R$  [2]. При этом учитывается вклад наиболее значительных побочных резонансов в активацию образцов.

Значения  $G_p s_0$  для лантана и ванадия получены на основании обработки результатов экспериментальных работ [2, 3]. В измерениях применяли экраны из кадмия толщиной 1 мм, для которых  $k_{Cd} = 2,293$  в изотропном поле нейтронов. На рисунке представлено графическое определение коэффициента  $\alpha$  описанным методом.



Результаты измерения спектра надтепловых нейтронов методом кадмиевых отношений

Результат ( $\alpha = 0,06 \div 0,07$ ) данного эксперимента находится в удовлетворительном согласии с результатами определения  $\alpha$  методом вычитания вклада части сечения активации, пропорциональной  $1/v$  [3] ( $\alpha = 0,06$ ), и методом сравнения исследуемого спектра с известным спектром [4] ( $\alpha = 0,065$ ). Последний метод также подтверждает возрастание  $\alpha$  в области энергии нейтронов выше 1 кэВ, полученное рассмотренным методом (см. рисунок,  $\alpha = 0,09$  для ванадия).

Поступило в Редакцию 19/VIII 1974 г.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ярыца В. П. Диссертация. М., ВНИИФТРИ, 1973.
2. Ryves T., Paul E. «J. Nucl. Energy», 1968, v. 22, p. 759.
3. Методические указания по восстановлению дифференциального энергетического спектра надтепловых нейтронов методом вычитания вклада  $1/v$ . М., Изд-во стандартов, 1973.
4. Geiger K., Van der Zwan L. «Metrologia», 1966, v. 2, p. 1.

РЕПОЗИТОРИЙ ИМЕНИ А. И. ЛЕПИХИНА