

## Графический способ анализа радиоактивного распада смеси материнского и дочернего изотопов

С. Г. Малахов

В работе [1] был предложен простой и наглядный метод графического анализа кривой распада смеси двух радиоактивных изотопов, генетически не связанных друг с другом. Распад такой смеси описывается соотношением

$$A_t = A_0 e^{-\lambda_1 t} + B_0 e^{-\lambda_2 t},$$

где  $A_t$  — активность смеси двух изотопов;  $A_0$  и  $B_0$  — активность каждого изотопа в начальный момент времени  $t = 0$ ;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  — соответствующие константы распада. Умножив обе части уравнения на  $e^{\lambda_2 t}$ , получим уравнение прямой линии

$$A_t e^{\lambda_2 t} = A_0 e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + B_0 \quad (1)$$

с переменными  $A_t e^{\lambda_2 t}$  и  $e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}$ .

Если на оси ординат откладывать значение активности смеси в каждый данный момент времени, умноженное на соответствующее этому времени значение  $e^{\lambda_2 t}$ , а на оси абсцисс — соответствующее значение  $e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}$ , то точки лягут на прямую линию. Продолжив эту линию до пересечения с осью ординат ( $e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} = 0$ ), получаем в точке пересечения величину  $B_0$ . Ордината прямой при  $e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} = 1$  позволяет определить величину  $A_0 + B_0$ . Начальный момент времени можно выбрать произвольно (например, момент отбора пробы).

Описанный метод может быть применен в более сложном случае: для смеси двух радиоактивных изотопов, из которых один является материнским, а другой — дочерним.

Распад смеси материнского и дочернего изотопов описывается формулой [2]

$$\lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} + \lambda_1 N_{10} e^{-\lambda_1 t} \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} + \\ + \lambda_2 N_{20} e^{-\lambda_2 t} - N_{10} \lambda_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 t} = D,$$

где  $N_{10}$ ,  $N_{20}$  — количество атомов материнского и дочернего изотопов соответственно при  $t = 0$ . Введя обозначения  $\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} = a$ ;  $\lambda_1 N_{10} = x$ ;  $\lambda_2 N_{20} = y$ , получим

$$x(1+a)e^{-\lambda_1 t} + (y-xa)e^{-\lambda_2 t} = D, \quad (2)$$

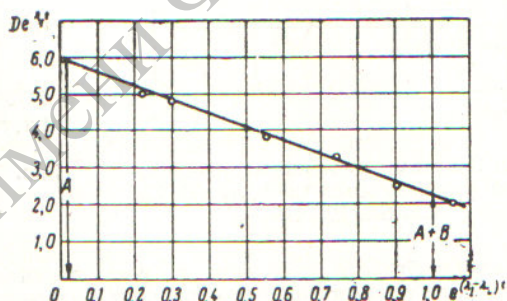
где  $x$  и  $y$  — активности материнского и дочернего изотопов при  $t = 0$ . Введем постоянные величины  $A = x(1+a)$  и  $B = y - xa$ , не зависящие от  $t$ . Умножив правую и левую части уравнения (2) на  $e^{\lambda_2 t}$ , снова получим уравнение прямой линии

$$A e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} + B = D e^{\lambda_2 t}. \quad (3)$$

Последнее соотношение, как и уравнение (1), можно проанализировать графически. Для этого на оси орди-

нат откладывают произведение абсолютной (расп./мин) или относительной (имп./мин) активности смеси на  $e^{\lambda_2 t}$ , а по оси абсцисс — соответствующие значения  $e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}$ . Пересечение полученной прямой линии с осью ординат позволяет найти значение  $B$ , а ордината точки прямой, соответствующая абсциссе  $e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t} = 1$ , дает величину  $A + B$ .

Отметим, что уравнение (2) следует умножить на  $e^{\lambda_2 t}$ , чтобы получить выражение (3), только в том случае, если  $\lambda_2 < \lambda_1$ . Тогда  $(\lambda_2 - \lambda_1) < 0$  и величина  $e^{(\lambda_2 - \lambda_1)t}$  будет изменяться в пределах от 0 до 1,0. Если же  $\lambda_1 < \lambda_2$ , то уравнение (2) следует умножить на  $e^{-\lambda_1 t}$ .



Графический анализ распада смеси  $Zr^{95} + Nb^{95}$ .

На рисунке приведен пример анализа радиоактивного распада смеси  $Zr^{95} + Nb^{95}$  ( $\lambda_1 < \lambda_2$ ). В рассматриваемом примере  $A + B = 2,2$ ;  $A = 6,0$ , откуда  $x = \frac{A}{1+a} = 2,0$ ,  $y = B + xa = 0,2$  (все в относительных единицах). Таким образом, в смеси  $Zr^{95} + Nb^{95}$  в момент  $t = 0$  присутствует практически только  $Zr^{95}$ . Необходимо отметить, что кривая радиоактивного распада подобной смеси имеет сложный вид: сначала активность смеси существенно увеличивается и лишь после этого начинает уменьшаться.

Предлагаемый графический способ разделения смеси материнского и дочернего изотопов удобен, прост и нагляден. Если точки на графике не ложатся на прямую линию, следует ожидать присутствия в смеси дополнительных радиоактивных изотопов.

Поступило в Редакцию 18/XI 1963 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. E. Freiling, K. Bunner. Nucleonics, 14, No. 9 (1956).
2. С. Е. Бреслер. Радиоактивные элементы. Л., Гостехиздат, 1949, стр. 58.

