

Р и с. 3. График зависимости  $K = K(E)$  при  $R_0 \rightarrow \infty$  и  $H \rightarrow \infty$ : 1—СТС-6; 2—СТС-5; 3—СВМ-10.

Целесообразно привести приближенные формулы, вытекающие из уравнения (2), например, при  $H_1 = H_2 = H_0$  в частных случаях:

1) если  $R \gg r$ ,  $Z \gg h$ ,  $r \gg c$ ,  $P \rightarrow \infty$  и показатель степени в экспоненте  $n=0$  («точный» детектор,  $\gamma$ -активный газ), то получается выражение, предложенное в работе [7]:

$$K = 4\epsilon\lambda r_0 h_0 H_0 \ln \left( \frac{R_0 + \sqrt{R_0^2 + H_0^2}}{r_0 + \sqrt{r_0^2 + H_0^2}} \right); \quad (6)$$

2) если  $R \gg r$ ,  $Z \gg h$ ,  $r \gg c$ ,  $P \rightarrow \infty$ ,  $n \ll 1$  («точный» детектор,  $\beta$ -активный газ с  $E \gg 2 M\epsilon e$ ), то

$$K = 4\epsilon\lambda r_0 h_0 \left\{ H_0 \ln \left( \frac{R_0 + \sqrt{R_0^2 + H_0^2}}{r_0 + \sqrt{r_0^2 + H_0^2}} \right) - \frac{\sigma_1 c H_0}{2} \ln \left( \frac{\sqrt{R_0^2 + H_0^2}}{r_0^2 + H_0^2} \right) - \operatorname{arctg} \frac{H_0}{R_0} \left[ \frac{\sigma}{2} (R_0^2 + H_0^2) + \sigma_1 c R_0 \right] + \operatorname{arctg} \frac{H_0}{r_0} \left[ \frac{\sigma}{2} (r_0^2 + H_0^2) + \sigma_1 c r_0 \right] - \frac{\sigma R_0 H_0}{2} \right\}.$$

Поступило в Редакцию 1/VI 1971 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Артеменкова и др. In «Assessment of airborne radioactivity» (Proc. symposium). Vienna, IAEA, 1967, p. 561.
2. В. В. Бочкарев, В. А. Баженов. В сб. «Метрология ионизирующих излучений». Под ред. К. К. Аглинцева и Г. А. Дорощеева. М., Госатомиздат, 1962, стр. 241.
3. В. И. Задонцев и др. Дозиметрия радиоактивных газов и аэрозолей на судах. Л., «Судостроение», 1965.
4. A. Howland et al. J. Instn Heat. and Ventilat. Engrs., 28, 57 (1960).
5. M. Beer et al. Dtsch. Agrartechn., 15, 166 (1965).
6. А. А. Гусев. В сб. «Физика» (Труды ХХІХ научной конференции Ленингр. инж.-строит. ин-та). Под ред. Л. А. Оборина. Л., ЛИСИ, 1970, стр. 24.
7. А. А. Гусев. «Атомная энергия», 30, 314 (1971).

## Коэффициенты отражения электронов с энергией 12—25 Мэв при косом падении на поверхность металла

В. П. КОВАЛЕВ, В. П. ХАРИН, В. В. ГОРДЕЕВ, В. И. ИСАЕВ

УДК 539.171.2

Чтобы получить информацию, необходимую для формирования широких электронных пучков, нами были проведены относительные измерения коэффициентов отражения электронов с энергией в диапазоне 12—25 Мэв при косом падении на поверхность свинца, меди, железа и алюминия.

Пучок электронов диаметром 1 см, прошедший сквозь выходное окно линейного ускорителя, падал на металлический образец, укрепленный на изолирующем стержне и располагавшийся в воздухе на расстоянии 10 см от выходного окна. Пучок мониторировался датчиком вторичной эмиссии. Ток пучка при измерениях составлял 3—5 мкА. Размеры поликристаллических образцов в форме дисков выбирались такими, чтобы их толщина была не менее двух пробегов, а диаметр не меньше, чем сумма диаметра пучка в месте расположения образца и двух пробегов электронов с энергией 25 Мэв в материале образца. Процедура измерений

заключалась в снятии тока с образца при различных углах его поворота относительно направления пучка электронов. Поворот осуществлялся дистанционно.

Если  $J_0$  — ток, падающий на образец,  $J_t(\alpha)$  — ток, снимаемый с образца,  $J_b(\alpha)$  — ток отраженных электронов,  $J_s(\alpha)$  — ток электронов вторичной эмиссии с образца, то, очевидно, справедливо равенство

$$J_0 = J_t(\alpha) + J_b(\alpha) + J_s(\alpha). \quad (1)$$

По определению, коэффициент обратного рассеяния при падении пучка на поверхность под углом  $\alpha$

$$\eta(\alpha) = \frac{J_b(\alpha)}{J_0}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) легко получить соотношение

$$\frac{1 - \eta(\alpha)}{1 - \eta_0} = \frac{J_t(\alpha) + J_s(\alpha)}{J_{t0} + J_{s0}}. \quad (3)$$

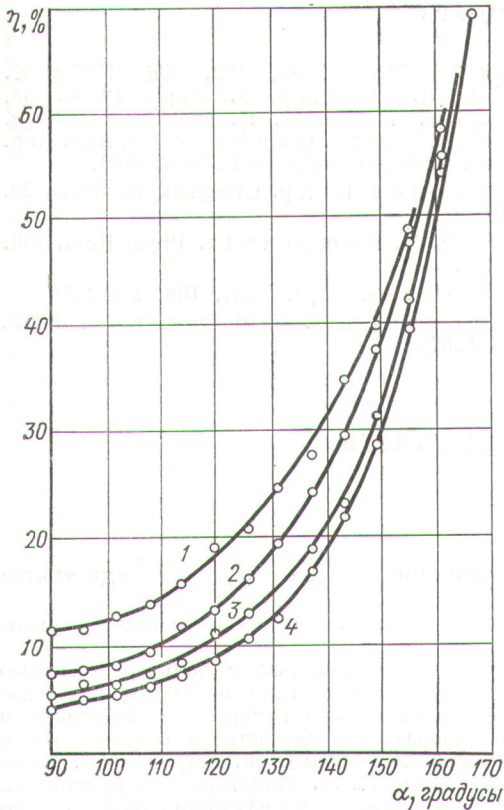


Рис. 1. Зависимость коэффициента отражения от угла падения для свинца при различных начальных энергиях электронов: 1—12,8 Мэв; 2—15 Мэв; 3—20 Мэв; 4—25 Мэв.

Здесь  $\eta_0$ ,  $J_{t0}$ ,  $J_{s0}$  — соответственно коэффициент обратного рассеяния, ток, снимаемый с образца, и ток вторичной эмиссии при нормальном падении электронов на образец. Выражение (3) использовалось для расчета  $\eta(\alpha)$ . Величины  $J_{t0}$ ,  $J_t(\alpha)$  измерялись нами в ходе эксперимента, значения  $\eta_0$  брались из работы [1] и усреднялись по спектру падающего пучка электронов [2]. Экспериментальные данные о зависимости  $J_s(\alpha)$  очень скудны [3]. При расчетах  $\eta(\alpha)$  мы использовали два варианта зависимости: в первом в соответствии с теоретическими предположениями работы [4] принималось, что

$$J_s(\alpha) = J_{s0} \sec \theta, \quad (4)$$

где  $\theta = \alpha - \pi/2$ , во втором в соответствии с работой [5] считалось, что

$$J_s(\alpha) = \delta_0 [1 + \beta \eta(\alpha)]. \quad (5)$$

Здесь  $\delta_0$  — коэффициент вторичной эмиссии для падающего пучка,  $\beta$  — эффективность образования вторичной эмиссии рассеянными электронами. Для исследуемого диапазона энергий электронов принималось  $\beta = 1$ . Значения  $\delta_0$  приведены в работе [1] и равны 2,1; 2,5; 2,8; 4% для алюминия, железа, меди и свинца соответственно. В исследуемом диапазоне энергий электронов зависимость  $\delta_0$  от энергии слабая, и при расчетах ею пренебрегали. Расчеты с двумя вариантами зависимости

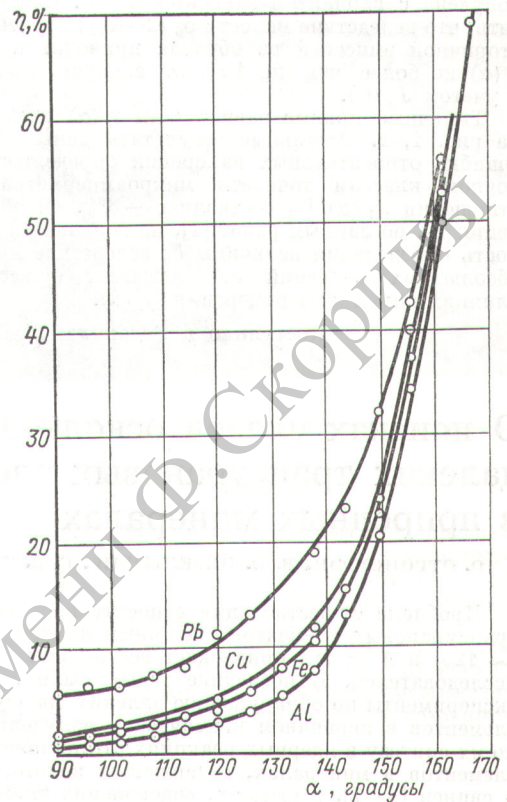


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения от угла падения для мишеней из Al, Fe, Cu, Pb при энергии электронов 20 Мэв.

$J_s(\alpha)$  для Fe при  $E = 25$  Мэв различаются между собой не более чем на 2%. Основная масса результатов

#### Коэффициенты отражения электронов (%)

$\alpha$ , градусы	15 Мэв		25 Мэв		
	Fe	Cu	Al	Fe	Cu
90	1,9	2,9	0,5	1,2	1,3
96	2,2	3,0	0,7	1,3	1,5
102	2,3	3,5	1,2	1,7	1,8
108	2,4	3,6	1,5	1,9	2,2
114	3,6	4,4	1,9	2,8	3,2
120	4,3	6,1	2,5	3,8	4,1
126	6,1	7,4	3,5	4,5	5,0
132	8,4	10,0	4,9	6,4	6,9
138	12,5	13,5	7,6	8,6	9,5
144	16,8	19,2	11,4	12,8	13,0
150	24,4	25,3	17,8	18,1	19,1
156	32,6	34,5	25,8	27,0	28,3
162	—	46,4	39,1	—	39,9
168	—	62,0	57,3	—	58,4

получена с вариантом зависимости (5). Следует заметить, что вследствие малости  $\delta_0$  (2—4%) пренебрежение вторичной эмиссией из образца приводит к отклонению  $\eta$  ( $\alpha$ ) не более чем на 10% от величин, полученных с учетом  $J_s$  ( $\alpha$ ).

Типичные кривые зависимости  $\eta$  ( $\alpha$ ) представлены на рис. 1, 2. Остальные результаты даны в таблице. Ошибка относительных измерений определяется в основном классом точности микроамперметра и для отношения  $J_t$  ( $\alpha$ )/ $J_{t0}$  составляет  $\pm 3\%$ . Ошибка измерения  $\eta_0$ , по данным работ [1], не больше  $\pm 10\%$ . Точность определения величины  $\delta_0$  вследствие малости ее абсолютных значений не оказывает существенного влияния на ошибку измерения  $\eta$  ( $\alpha$ ).

Поступило в Редакцию 21/V 1971 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. T. Tabata. Phys. Rev., 162, 336 (1967); K. Wright, I. Trump. J. Appl. Phys., 33, 687 (1962); D. Harder, H. Ferbert. Phys. Letters, 9, 233 (1964); S. Okabe et al. Ann. Rep. of the Rad. Center of Osaka Pref., № 4, 1963.
2. В. И. Ермаков и др. «Атомная энергия», 29, 206 (1970).
3. A. Schulz, M. Pomerantz. Phys. Rev., 130, 2135 (1963).
4. E. Sternglass. Phys. Rev., 108, 1 (1957).
5. Л. Н. Добрецов, Т. Л. Мацкевич. ЖТФ, 27, 734 (1957).

## О поисках следов осколков спонтанного деления далеких трансурановых элементов в природных минералах

О. ОТГОНСУРЭН, В. П. ПЕРЕЛЫГИН; С. П. ТРЕТЬЯКОВА; Ю. А. ВИНОГРАДОВ

УДК 546.799

Проблема существования относительно стабильных трансурановых элементов с атомным номером  $Z \approx 114$  ( $\sim 126$ ) и  $N = 184$  привлекает все большее внимание исследователей. В последние годы были выполнены эксперименты по обнаружению далеких трансурановых элементов в первичном космическом излучении [1, 2], по их синтезу в ядерных реакциях [3], по поискам этих элементов в минералах, содержащих золото, платину и свинец [4—7], в стеклах, содержащих тяжелые элементы [8—10], в железо-марганцевых конкрециях [11]. Подробный обзор выполненных ранее исследований содержится в работе Г. Н. Флерова и С. А. Карамяна [4]. В ряде случаев с помощью диэлектрических детекторов и пропорциональных счетчиков наблюдался эффект, который может быть обусловлен спонтанным делением ядер неизвестного элемента [8—11].

Настоящая работа является продолжением исследований по поиску далеких трансурановых элементов в природных минералах и стеклах методом диэлектрических детекторов. Необходимое условие обнаружения эффекта от спонтанного деления неизвестных элементов — превышение возраста, определенного по плотности следов спонтанного деления, над значениями, полученными другими методами. Однако это условие является недостаточным.

Во-первых, повышенная плотность следов осколков может быть обусловлена миграцией урана из образца. Во-вторых, в некоторых минералах наблюдается фон, обусловленный дефектами кристаллической структуры — дислокациями и пустотелыми каналами (капиллярами). В-третьих, деление ядер тяжелых элементов может быть вызвано частицами, генерируемыми первичным космическим излучением [12, 13] или нейтронным фоном, обусловленным земной радиацией [14].

Нами отбирались минералы из различных гидротермальных образований — пегматитовых месторождений, кварцевых жил, сульфидных рудопроявлений. Исследовались минералы, содержащие свинец или находящиеся в контакте со свинцовыми соединениями, а также минералы, в которых могло осуществляться изоморфное вхождение свинца, висмута, таллия, элементов

платиноидной группы, редкоземельных элементов\*.

Возраст этих образцов был с большой степенью надежности установлен другими методами; для большинства минералов он был измерен калий-аргоновым методом в Лаборатории абсолютного возраста Ин-та геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Л. Л. Шаниными с сотрудниками.

Первой группой минералов служили слюды — литиевый мусковит, биотиты и флогопиты из различных месторождений. Для большинства слюд определенный нами возраст значительно меньше, чем полученный калий-аргоновым методом. Этот результат обусловлен термической регрессией следов осколков за геологические времена. Однако для одного из образцов — флогопита — возраст был найден равным  $5,5 \pm 1,7$  млн. лет, в то время как согласно измерениям, выполненным калий-аргоновым методом, он составляет 1,7 млн. лет.

Эксперименты с образцами поллудита, микроклина и амазонита (содержание свинца в амазонитах было  $10^{-1}$ — $10^{-2}\%$ ) из различных месторождений показали, что возраст, измеренный по плотности следов осколков, во много раз меньше абсолютного возраста.

Несколько лучшее согласие значений возраста было получено для минералов вульфенита ( $\sim 100$  млн. лет) треквым методом при возрасте месторождения 200 млн. лет и аурипигмента ( $\sim 60$  млн. лет) при возрасте месторождения 100 млн. лет.

Нами исследовалось большое число контактов свинцовых и висмута-свинцовых минералов с кристаллами горного хрусталя. В большинстве случаев на поверхности кварца выявлялось значительное количество следов, обусловленных дефектами кристаллической решетки ( $\geq 10^2$  см $^{-2}$ ). В одном из образцов — горном хрустале (возраст месторождения 250 млн. лет) — на поверхности и в объеме кварца нами были обнаружены кристаллы железного колчедана — шприта.

\* Авторы выражают глубокую признательность Г. Н. Гончарову за полезные консультации и подробное обоснование постановки опытов по поискам далеких трансурановых элементов в первичных минералах.