

2. E. Silk, R. Barnes. *Philos. Mag*, 4, 970 (1959).  
 3. P. Price, R. Walker. *J. Appl. Phys.*, 33, 3407 (1962).  
 4. И. Г. Берзина, И. Берман. «Докл. АН СССР», 174, №3 (1967).

5. А. Капусчик, В. П. Перелыгин, С. П. Третьякова. «Приборы и техника эксперимента», 5, 72 (1964).  
 6. R. Fleischer et al. *Phys. Rev.*, 133, 1443 (1964).  
 7. R. Fleischer, P. Price, R. Walker. *Science*, 149, 383 (1965).

## Границы использования $\text{Co}^{60}$ и $\text{Cs}^{137}$ при дискретном контроле уровней

И. Н. ПЛАКСИН, М. Л. ГОЛЬДИН

УДК 621.039.84

В настоящее время для большинства технических задач  $\text{Co}^{60}$  и  $\text{Cs}^{137}$  — наиболее применимые радиоактивные изотопы при дискретном контроле уровней. Принято [1, 2], что время работы источника излучения до перезарядки должно составлять 10—15 лет; минимальный срок — два года. Экономическая эффективность многолетней службы радиоактивных изотопов доказана [1].

Определим границы использования  $\text{Co}^{60}$  и  $\text{Cs}^{137}$  для равных условий контроля, под которыми будем понимать постоянство расстояния между излучателем и детектором одного и того же типа и одинаковой площади, а также постоянную толщину поглотителя (например, стенок бункера). Кроме того, примем, что контролируемый материал обеспечивает такую кратность ослабления потока излучения, при которой  $\gamma$ -реле будет устойчиво срабатывать (отпускать), а детектор регистрировать одно и то же количество  $\gamma$ -квантов  $\text{Co}^{60}$  или  $\text{Cs}^{137}$ .

Показано, что источники излучения при контроле уровней можно выбрать на основе следующих критериев радиоактивности:

$$K'_p = \frac{2^{t/T}}{q} \exp(\mu d); \quad (1)$$

$$K'_{pb} = \frac{2^{t/T} m}{q}. \quad (2)$$

Здесь  $t$  — время до замены источника;  $T$  — период полураспада;  $m$  —  $\gamma$ -эквивалент пиктоба (без начального фильтра);  $q$  — число  $\gamma$ -квантов на один распад;  $\mu$  — линейный коэффициент поглощения материала поглотителя;  $d$  — толщина поглотителя. Выражение (2) применимо, когда отсутствует постоянный поглотитель, т. е. излучение между источником и приемником ослабляется настолько незначительно, например в воздухе, что этим ослаблением можно пренебречь (индекс  $b$  при  $K'_p$ ).

Известно, что для решения большинства технических задач при дискретном контроле уровней лучшим детектором  $\gamma$ -квантов пока что является галогенный счетчик Гейгера — Мюллера, эффективность которого  $\epsilon$  составляет 0,83% для  $\text{Co}^{60}$  и 0,47% для  $\text{Cs}^{137}$  [3]. В связи с этим соотношения (1) и (2) должны учитывать значение  $\epsilon$ . Кроме того, следует учитывать и фактор накопления  $B$ . Известны факторы накопления энергии  $B_E$  и дозы  $B_D$  [4]. Первый представляет собой отношение потока энергии, переносимого всеми квантами, к энергетическому потоку, созданному первичными квантами. Этот фактор должен учитываться для детекторов излучения, регистрирующих кванты независимо от величины их энергии (счетчики Гейгера — Мюллера). Для

другого типа детекторов, например ионизационной камеры, необходимо учитывать  $B_D$ .

Изложенное позволяет представить критерии (1) и (2) в виде

$$K_p = \frac{2^{t/T} m}{q \epsilon B_E} \exp(\mu d); \quad (3)$$

$$K_{pb} = \frac{2^{t/T} m}{q \epsilon}. \quad (4)$$

Определим границы применения  $\text{Co}^{60}$  и  $\text{Cs}^{137}$  для поглотителя из железа по соотношению

$$\eta = \frac{K_p \text{Co}^{60}}{K_p \text{Cs}^{137}} \quad (5)$$

для  $t = 15$  лет и  $t = 2$  года. Интересно также определить указанные границы на основе коэффициента

$$\eta' = \frac{K'_p \text{Co}^{60}}{K'_p \text{Cs}^{137}}. \quad (6)$$

Соответствующие расчеты приведены в табл. 1, 2 и 3, по которым построены графики, представленные на рисунке.

Значения  $K'_p$  для  $\text{Co}^{60}$  и  $\text{Cs}^{137}$  и коэффициента  $\eta'$  при наличии поглотителя из железа ( $t = 15$  лет) Таблица 1

Толщина поглотителя, см	$K'_p$		$\eta'$
	$\text{Co}^{60}$	$\text{Cs}^{137}$	
1	8,7	1,1	8,1
2	13,2	1,9	7,0
3	20,1	3,4	5,9
4	30,6	6,1	5,0
5	46,5	10,9	4,3
6	70,2	19,2	3,7
7	98,0	34,0	2,9
8	164,0	61,0	2,7
9	250,0	109,0	2,3
10	380,0	194,0	2,0
11	586,0	346,0	1,7
12	889,0	617,0	1,44
13	1341	1089	1,23
14	2040	1940	1,05



Значения  $K_p$  для  $Co^{60}$  и  $Cs^{137}$  и коэффициента  $\eta$  при наличии поглотителя из железа ( $t = 15$  лет)

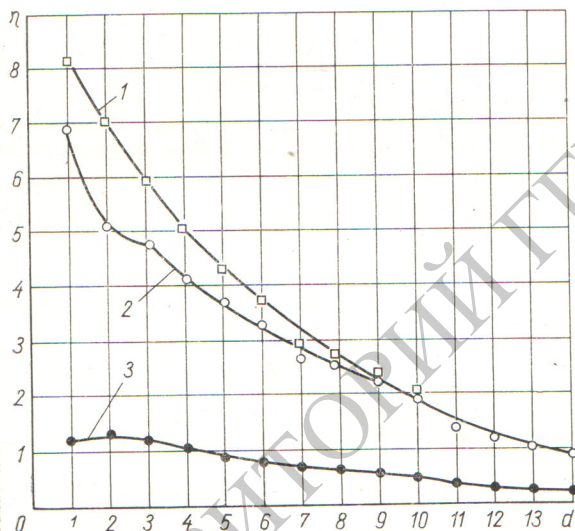
Таблица 2

Толщина поглотителя, см	$K_p$		$\eta$
	$Co^{60}$	$Cs^{137}$	
1	10,2	1,5	6,8
2	9,6	1,9	5,1
3	12,1	2,6	4,7
4	15,2	3,7	4,1
5	20,0	5,5	3,7
6	26,3	8,1	3,3
7	32,3	12,3	2,6
8	48,7	19,2	2,5
9	67,0	29,7	2,3
10	89,7	46,7	1,9
11	128	93,8	1,4
12	177	147,8	1,2
13	247	241	1,0
14	344	391	0,9

Значения  $K_p$  для  $Co^{60}$  и  $Cs^{137}$  и коэффициента  $\eta$  при наличии поглотителя из железа ( $t = 2$  года)

Таблица 3

Толщина поглотителя, см	$K_p$		$\eta$
	$Co^{60}$	$Cs^{137}$	
1	1,9	1,6	1,19
2	1,8	1,4	1,30
3	2,2	1,8	1,20
4	2,8	2,6	1,05
5	3,6	3,9	0,93
6	4,8	5,8	0,83
7	5,9	8,8	0,67
8	8,8	13,6	0,65
9	12,2	21,2	0,57
10	16,3	33,2	0,49
11	23,2	66,4	0,35
12	32,1	104,1	0,31
13	44,8	170,1	0,26
14	62,4	276,5	0,23



Зависимость коэффициента  $\eta$  от толщины контролируемого железа  $d$ , см

1 — для  $\eta$  ( $t = 15$  лет); 2 — для  $\eta$  ( $t = 15$  лет); 3 — для  $\eta$  ( $t = 2$  года).

Расчетные данные и ход кривых показывают, что для  $t = 15$  лет до толщин 13 см  $Cs^{137}$  имеет явные

преимущества перед  $Co^{60}$ . Для  $t = 2$  года коэффициент  $\eta$  становится равным единице при  $d = 4$  см. Но приведенные толщины не являются граничными, так как следует учесть, что допустимая активность в серийных блоках источников излучения для  $\gamma$ -реле типа КЗ [3] составляет 45,3 мкР/сек·м для  $Cs^{137}$  и 6,25 мкР/сек·м для  $Co^{60}$ . Следовательно, при одинаковых условиях контроля  $Cs^{137}$  можно поместить в блок в 7,25 раза больше, чем  $Co^{60}$ . Последнее означает, что с точки зрения техники безопасности преимущества  $Co^{60}$  перед  $Cs^{137}$  появляются при  $\eta = \frac{1}{7,25} = 0,138$ , что соответствует  $d = 25$  см для  $t = 15$  лет и  $d = 19$  см для  $t = 2$  года.

Температурный фактор здесь не рассматривался, поскольку он освещен в работе [1].

Поступило в Редакцию 14/IX 1966 г.  
В окончательной редакции 12/XII 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Л. Гольдин. «Атомная энергия», 15, 514 (1963).
2. Л. Я. Лившиц, Д. С. Герчиков. «Изотопы в СССР», No. 2, 31 (1966).
3. М. Л. Гольдин. Автоматический контроль уровня гамма-лучами. М., Госатомиздат, 1963.
4. О. И. Лейпунский, Б. В. Новожилов, В. Н. Сахаров. Распространение гамма-квантов в веществе. М., Физматгиз, 1960.

Сдвоенный масс-спектрометр с неоднородным магнитным полем

Н. А. ШЕХОВЦОВ, В. Ф. ШКУРОДА, А. С. КУЗЕМА, А. С. КОЛОСКОВ

УДК 543.420.62

Технические возможности применения любого масс-спектрометра в основном определяются его разрешающей способностью и чувствительностью. Разрешающая способность масс-спектрометров с однородным магнит-

ным полем зависит от ионно-оптических параметров источника ионов и масс-анализатора. С достаточной для практических целей точностью она может быть определена через радиус центральной траектории ионов