

$$J_2 = R^3 \int_0^{\infty} e^{-\nu\tau} \tau^{-1} d\tau;$$

$$J_3 = R^3 \nu^{-2}.$$

Интегралы J_1 и J_2 логарифмически расходятся при $\tau \rightarrow 0$, однако в силу компенсации расходимостей из (5) получается конечное выражение для числа γ -квантов, попадающих в объем сферического кристалла в единицу времени:

$$\Phi_0 = \pi R^2 A \mu_1^{-1}. \quad (7)$$

Выражение (7) для полного потока γ -квантов совпадает с формулой, приведенной в работе [2], где Φ_0 находилось путем вычисления эффективного объема среды, из которого излучение поступает в счетчик. Однако оценка эффективности регистрации γ -квантов в работе [2] не проводилась.

Эффективность регистрации ε определяется отношением числа γ -квантов, взаимодействовавших с веществом кристалла Φ , к общему числу γ -квантов, попавших в кристалл в единицу времени Φ_0 . Плотность потока, падающего на поверхность сферического кристалла, равна $I = \Phi_0 (4\pi R^2)^{-1}$. Через элементарную площадку $d\sigma$ на поверхности сферического кристалла в телесный угол $d\omega$ (рис. 2) в объем кристалла поступает в единицу времени число γ -квантов, равное $d\Phi_0 = I (4\pi)^{-1} d\sigma d\omega$.

С материалом кристалла взаимодействует часть этого потока:

$$d\Phi = (1 - e^{-\mu_2 x}) d\Phi_0. \quad (8)$$

С учетом уравнения (8) для эффективности сферического

детектора ε получается выражение

$$\varepsilon = 1 - (1 - e^{-2\lambda}) (2\lambda)^{-1}, \quad (9)$$

где $\lambda = \mu_2 R$.

В работе [3] для ε приведена формула

$$\varepsilon = 1 - 2(\lambda + 1)\lambda^{-2} e^{-\lambda},$$

которая дает физически неверную асимптотику при $\lambda \ll 1$ ($\varepsilon = -2\lambda^{-2}$) и хотя бы по этой причине не может быть признана правильной. Формула (9) дает физически разумные асимптотики при $\lambda \ll 1$ (случай слабого поглощения γ -квантов в детекторе) и при $\lambda \gg 1$ (случай сильного поглощения): если $\lambda \ll 1$, $\varepsilon = 2^{-1}\lambda$; если $\lambda \gg 1$, $\varepsilon = 1 - \lambda^{-1}$.

Формулы (7) и (9) позволяют рассчитать удельную активность изотропной излучающе-поглощающей среды с учетом результатов измерений γ -излучения погруженным детектором и табличных данных для линейного коэффициента поглощения кристалла μ_2 и среды μ_1 .

Поступило в Редакцию 24/X 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sybesma C. Measurements of Continuous Energy Distribution Gamma-Rays in a Scattering Medium. Amsterdam, 1961.
2. Косоуров Г. И. «Приборы и техника эксперимента», 1962, № 5, с. 95.
3. Егоров Ю. А. Сцинтилляционный метод спектрометрии гамма-излучения и быстрых нейтронов. М., Госатомиздат, 1963.

УДК 621.039-78

Одноканальный альфа-спектрометр для измерения концентрации дочерних продуктов радона

АНТИПИН Н. И., КУЗНЕЦОВ Ю. В., РУЗЕР Л. С.

Измерения концентрации дочерних продуктов радона в воздухе q_A , q_B , q_C важны для контроля радиационной безопасности на рудниках и других производствах, в метеорологии, медицине, при проведении научно-исследовательских работ. Для этих целей используются радиометры аэрозолей РАНаг-1, РВ-альфа, ИЗВ-1 и др. При этом активность дочерних продуктов радона в воздухе определяется измерением суммарной активности изотопов на фильтре по α -излучению с последующим расчетом q_A , q_B , q_C по известным формулам [1-3]. Этому методу присущи значительные погрешности, так как вклад каждого изотопа в суммарную активность при разных временах выдержки пробы оказывается различным, особенно при значительных сдвигах равновесия ($q_A : q_B : q_C$). Более высокую точность определения активности изотопов дает метод α -спектрометрии [4], основанный на раздельном измерении активности изотопов, характерных значительным различием энергии α -частиц (5,998 и 7,680 МэВ соответственно).

Практическое применение спектрометрии для измерения концентрации дочерних продуктов радона в воздухе не является новым. Такой прибор описан в работе [5], однако разработанная аппаратура не получила

широкого применения вследствие значительных размеров и высокой стоимости, обусловленной в основном применением многоканального анализатора.

В настоящей работе описан переносный альфа-спектрометр (рис. 1 и 2). Этот прибор отличается небольшими размерами и массой благодаря применению в нем спектрометрических неманируемых источников [6], которые используются для установки соответствующих уровней дискриминации. Такие источники в настоящее время выпускаются по ТУ № И-118-69 (изотопы ^{226}Ra , ^{239}Pu , ^{238}Pu , $^{233}\text{U} + ^{238}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu}$).

Альфа-спектрометр конструктивно выполнен в виде блока, состоящего из измерительного пульта, блока детектирования, функциональных блоков, воздухозаборной системы и двух блоков питания: сетевого и автономного (аккумуляторные батареи типа СЦС-3). При работе дискриминатора в интегральном режиме (положение переключателя RaC') регистрируются α -частицы от ^{214}Po (RaC'). Для определения концентрации RaA, RaB, RaC в воздухе отбираются пробы на спектрометрический фильтр типа АФА-РСП-10, установленный в фильтродержатель. Затем фильтр помещается под детектор и последовательно измеряется число импульсов



Р и с. 1. Общий вид прибора

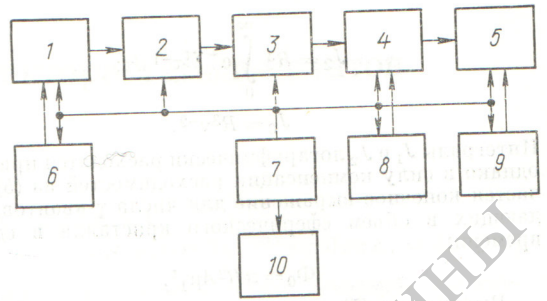
от RaA и RaC'. По числу зарегистрированных импульсов определяются величины q_A, q_B, q_C с помощью следующих формул:

$$q_A = \frac{2N_A(\theta, t_1) C_1}{v\epsilon\eta a};$$

$$q_B = \frac{2}{v\epsilon\eta a} [C_2 N_C(\theta, t_2) - C_3 N_C(\theta, t_2) - C_4 N_A(\theta, t_1)];$$

$$q_C = \frac{2}{v\epsilon\eta a} [C_5 N_C(\theta, t_2) - C_6 N_C(\theta, t_2) - C_7 N_A(\theta, t_1)],$$

где q_A, q_B, q_C — концентрации RaA, RaB, RaC в воздухе; $N_A(\theta, t_1)$; $N_C(\theta, t_2)$; $N_C(\theta, t_3)$ — число импульсов, зарегистрированных в минуту от RaA и RaC' в моменты времени t_1, t_2, t_3 после прокачки; θ, v — время и скорость прокачки аэрозолей через фильтр; ϵ — эффективность регистрации α -частиц; η — эффективность улавливания аэрозолей; $a = 2,22 \cdot 10^{12}$ расп./мин. на 1 Ки; $C_1 - C_7$ — коэффициенты, учитывающие радиоактивные превращения короткоживущих дочерних продуктов радона на фильтре в зависимости от времени прокачки θ и моментов измерения после прокачки t_1, t_2 и t_3 [7].



Р и с. 2. Структурная схема одноканального альфа-спектрометра:

1 — блок детектирования; 2 — усилитель; 3 — дискриминатор; 4 — схема антисовпадения; 5 — пересчетное устройство; 6 — высоковольтный преобразователь (1200 В); 7 — источник питания; 8 — генератор проверки (60 Гц); 9 — преобразователь (220 В); 10 — воздушная проба ПРВ-1М

Энергетическое разрешение альфа-спектрометра по пику RaC' не превышает 5%; эффективность регистрации α -частиц в углу 2π не менее 8,5%; коэффициент нелинейности спектрометрического тракта в диапазоне энергий от 4,791 до 7,680 МэВ не превышает 1%; среднеквадратическая погрешность измерения q_A, q_B, q_C в диапазоне измеряемых концентраций от $2 \cdot 10^2$ до $4 \cdot 10^5$ с⁻¹ м⁻³ не превышает 10, 20 и 10% соответственно; скорость прокачки аэрозолей через фильтр 20 л/мин; максимальная мощность, потребляемая от сети, не более 25 Вт; размеры прибора не превышают 320 × 190 × 265 мм, масса 11 кг.

Исследование прибора и аттестация его проведены на Государственном специальном эталоне единицы концентрации искусственных и естественных радиоактивных аэрозолей [8].

Поступило в Редакцию 14/1 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков К. П., Рябов Н. В., Стась К. Н. «Атомная энергия», 1962, т. 12, вып. 4, с. 315.
2. Марков К. П. и др. В сб.: Труды СНИИП. Вып. 2. М., Атомиздат, 1965, с. 183.
3. Карташов Н. П. «Атомная энергия», 1966, т. 20, вып. 5, с. 444.
4. Рузер Л. С., Лабушкин В. Г. «Бюл. изобрет.», 1966, № 11.
5. Dowell E. e. a. «Health Phys.», 1969, v. 17, N 1, p. 131.
6. Лабушкин В. Г., Рузер Л. С. «Атомная энергия», 1965, т. 19, вып. 1, с. 24.
7. Рузер Л. С. Радиоактивные аэрозоли. М., изд. Комитета стандартов, 1968.
8. Антипин Н. П. и др. «Измерительная техника», 1973, № 12, с. 24.