

ГЕНЕРАТОРЫ НЕЙТРОНОВ

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

Издание официальное

БЗ 7—99

ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
Москва

ГЕНЕРАТОРЫ НЕЙТРОНОВ

Метод измерения потока быстрых нейтронов

ГОСТ
22751—77*Neutron generators,
Methods of fast neutron flux measurement

ОКП 69 4721

Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 27 октября 1977 г. № 2516 срок введения установлен

с 01.01.79

Настоящий стандарт распространяется на генераторы нейтронов и ускорительные трубки генераторов нейтронов, реализующие ядерную реакцию $T(d, n)^4\text{He}$, и устанавливают методы измерения потока быстрых нейтронов изделий по ГОСТ 21171 для оценки технического уровня и качества.

Метод определения среднего потока быстрых нейтронов основан на измерении средней плотности потока нейтронов в месте размещения активационного детектора нейтронов и расчете потока нейтронов, исходя из известной эффективной площади излучающей поверхности мишени и телесного угла в системе мишень — детектор.

Термины, используемые в настоящем стандарте, — по РМГ 29, ГОСТ 21171 и ГОСТ 15484.

(Измененная редакция, Изм. № 2).

1. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Активационные детекторы должны изготавливаться в виде плоских дисков из алюминия марки А999 по ГОСТ 11069 и меди марки М00 по ГОСТ 859. Применяемые материалы должны соответствовать требованиям ГОСТ 8.315. Диаметр активационного детектора не должен быть более 30 мм и толщиной более 1 мм.

Радиометрические приборы (радиометры) типов РИБ, РПБ, РКБ по ГОСТ 27451, аттестованные в установленном порядке и применяемые для измерения наведенной активности детекторов по бета-излучению ^{62}Cu и ^{24}Na .

(Измененная редакция, Изм. № 1, 2).

2. ПОДГОТОВКА К ИЗМЕРЕНИЮ

2.1. По истечении времени установления рабочего режима радиометров определяют нормированные метрологические характеристики.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

2.2. Для измерения средней плотности потока нейтронов используют активационные детекторы быстрых нейтронов из алюминия и меди. Детекторы из алюминия применяют для определения и сравнения среднего потока и пространственного распределения быстрых нейтронов от одного или нескольких генераторов нейтронов и ускорительных трубок генераторов нейтронов.

Издание официальное



Перепечатка воспрещена

© Издательство стандартов, 1978
© ИПК Издательство стандартов, 2001

Для оперативного периодического контроля потока в процессе разработки, эксплуатации генераторов нейтронов и ускорительных трубок генераторов нейтронов применяют детекторы из меди. Детекторы устанавливают в фиксированных положениях относительно мишени ускорительной трубки генератора нейтронов, облучают потоком быстрых нейтронов, далее измеряют значение наведенной активности по бета-излучению радионуклида, образуемого в результате ядерной реакции $^{27}\text{Al} (n, \alpha)$, ^{24}Na , $^{63}\text{Cu} (n, 2n)$, ^{62}Cu , и путем перерасчета определяют среднюю плотность потока быстрых нейтронов.

Основные константы детекторов из алюминия и меди, используемые при измерениях средней плотности потока и среднего потока быстрых нейтронов, приведены в приложении 1.

2.3. Измерение активности по бета-излучению детектора выполняют на приборе — компараторе путем сравнения с активностью источника или на аттестованном отсчетном устройстве с известным коэффициентом связи скорости счета импульсов при регистрации бета-излучения с активностью детектора.

3. ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Определяют значение массы m и габаритные размеры активационного детектора (диаметр d и толщину a).

Исходя из данных: габариты детектора, спектр бета-излучения радионуклида ^{62}Cu , ^{24}Na , линейный коэффициент ослабления бета-излучения μ и телесного угла Ω , определяют коэффициент K , учитывающий самопоглощение бета-излучения материалом детектора.

Проводят проверку градуировочного коэффициента ϵ радиометра путем регистрации бета-излучения источника и сравнения его с паспортными данными на радиометр (см. приложение 2). Если разность измеренного и паспортного значений градуировочного коэффициента лежит в доверительных границах паспортного значения ϵ , определяемых средним квадратическим отклонением результата измерения, то процедуру измерения следует продолжить. Если разность измеренного и паспортного значений градуировочного коэффициента не лежит в доверительных границах паспортного значения ϵ , радиометр подлежит переаттестации в установленном порядке. Коэффициент K и градуировочный коэффициент ϵ вычисляют по формулам, указанным в приложении 2.

3.2. Определяют радиационный фон, измеряя число импульсов фона за интервал времени измерения t_0 .

Устанавливают один или несколько активационных детекторов вблизи мишени генератора нейтронов на позицию облучения под углом 0° относительно направления пучка ионов, причем детекторы из меди устанавливают в кадмиевых фильтрах. Измеряют расстояние от излучающей поверхности мишени до активационного детектора и определяют его положение в пространстве относительно мишени. Измеряют параметры, характеризующие эффективный радиус излучающей поверхности мишени с учетом ее геометрической формы, и рассчитывают геометрический параметр α .

Исходя из данных по конструкции генератора нейтронов, элементы которого расположены между мишенью и детектором, рассчитывают коэффициент P , учитывающий выведение нейтронов из диапазона энергий, регистрируемых детектором за счет процессов взаимодействия на конструкционных материалах генератора нейтронов. Геометрический параметр α и коэффициент P вычисляют по формулам, указанным в приложении 3.

Облучают детектор в течение установленного интервала времени t_1 . Время облучения детектора из алюминия не должно быть более 3 ч, а детектора из меди — более 10 мин.

По окончании облучения активационный детектор извлекают с позиции облучения и выдерживают в течение интервала времени t_2 , обеспечивающего снижение уровня помех от активности, образованной в побочных ядерных реакциях. Время выдержки детекторов из алюминия не должно быть менее 3 ч, а детекторов из меди — более 5 мин.

По истечении времени выдержки активационный детектор устанавливают в радиометр для регистрации бета-излучения, измеряют суммарное число импульсов от детектора и фона ($N_{\text{D}} + N_{\text{Ф}}$) за установленный интервал времени t_3 . Время измерения для детекторов из алюминия не должно быть более 3 ч, а детекторов из меди — более 10 мин.

3.1, 3.2. (Измененная редакция, Изм. № 1).

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Среднюю плотность потока быстрых нейтронов в месте расположения активационного детектора (f) в нейтр./($m^2 \cdot c$) вычисляют по формуле

$$f = \frac{A \lambda [(N_B + N_\Phi) - N_\Phi^0]}{m N_0 \gamma v \sigma K \varepsilon \Omega [1 - e^{-\lambda t_0}] e^{-\lambda t_3} [1 - e^{-\lambda t_m}]}$$

где

- A — массовое число материалов детектора, а. е. м.;
- m — масса активационного детектора, г;
- K — коэффициент, учитывающий самопоглощение бета-излучения материалом детектора;
- N_0 — число Авогадро, моль⁻¹;
- γ — содержание облучаемого нуклида в детекторе;
- v — интенсивность бета-излучения, образовавшегося нуклида;
- ε — градуировочный коэффициент радиометра;
- t_0 — интервал времени облучения детектора, с;
- t_3 — интервал времени выдержки детектора, с;
- t_m — интервал времени измерения, с;
- λ — постоянная радиоактивного распада нуклида, с⁻¹;
- σ — сечение активации, см²;
- $(N_B + N_\Phi)$ — суммарное число импульсов, зарегистрированных от детектора и фона за интервал времени измерения t_m ;
- N_Φ^0 — число импульсов фона, зарегистрированное радиометром за интервал времени t_m ;
- Ω — относительный телесный угол при регистрации бета-излучения детектора;
- e — основание натурального логарифма.

Плотность потока нейтронов с учетом просчетов радиометра определяют в приложении 4.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

4.2. Средний поток быстрых нейтронов (F) в нейтр./с вычисляют по формуле

$$F = f \alpha P,$$

где

- f — средняя плотность потока нейтронов, нейтр./ ($m^2 \cdot c$);
- α — геометрический параметр, м²;
- P — коэффициент, учитывающий выведение нейтронов из диапазона энергий, регистрируемых детектором.

4.3. Среднее квадратическое отклонение результата измерения среднего потока быстрых нейтронов (σ_F) вычисляют по формуле

$$\sigma_F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2},$$

где

- σ_i — среднее квадратическое отклонение результата измерения потока быстрых нейтронов по i -ому параметру.

Расчетные соотношения для определения погрешности измерения средней плотности потока и среднего потока быстрых нейтронов даны в приложении 5.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

**ОСНОВНЫЕ КОНСТАНТЫ ДЕТЕКТОРОВ ИЗ АЛЮМИНИЯ И МЕДИ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ СРЕДНЕГО ПОТОКА И СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА
БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ**

Таблица 1

Ядерно-физические константы нуклида ^{27}Al

| Наименование константы | Обозначение константы | Значение константы | Примечание |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------|--|
| Содержание детектирующего нуклида, % | γ | 99,999 | По сведениям из паспорта на материал детектора |
| Число Авогадро, моль $^{-1}$ | N_0 | $6,022045(31) \cdot 10^{23}$ | Рекомендовано СОДАТА |
| Массовое число, а. е. м. | A | 26,9815403(7) | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |

Таблица 2

Ядерно-физические константы продуктов ядерных реакций на нуклиде ^{27}Al

| Наименование константы | Обозначение константы | Основная реакция | Побочные реакции | | | Примечание |
|---|-----------------------|---|--|------------------------|---|---|
| | | | (n,p) | (n,γ) | $(n,2n)$ | |
| Тип реакции | — | (n,α) | (n,p) | (n,γ) | $(n,2n)$ | — |
| Сечение реакции, см 2 | σ | $0,1247 \cdot 10^{-24}$ | $0,0777 \cdot 10^{-24}$ | $0,500 \cdot 10^{-24}$ | $0,020 \cdot 10^{-24}$ | $E = 14$ МэВ |
| Продукт реакции | — | ^{24}Na | ^{27}Mg | ^{28}Al | ^{26}Al | — |
| Период полураспада | $T_{1/2}$ | 15,020 (7) ч | 9,462 (11) мин | 2,240 (1) мин | $7,2(3) \cdot 10^5$ г | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |
| Линейный коэффициент ослабления β -излучения, см $^{-1}$ | μ | 21,30 | 15,4 | 9,7 | 26,7 | — |
| Максимальная энергия в спектре, кэВ; интенсивность (частиц или квантов), 100 распадов | E_{β} | 4144,6(8); 0,003 1390,4(6); 99,944(4); 1274,8(6); 0,0005 277,1(6) 0,053(4) | 1766,8(10) 71,0(4) 1596,1(10) 29,0(4) | 2862,9(3) 99,99(1) | 2195,37(16) 95,63(20) 1065,69(19) | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |
| | | 997,7(4); 0,0010(1) 1368,55(4); 100 2754,05(8) 99,944(4) 2869,6(2) 0,0010 (№ 1) 3867,2(4); 0,052(4) | 170,686(15) 0,8(1) 843,76(3) 71,8(4) 1014,44(4) 28,0(4) | 1778,85(3) | 1129,65(13) 2,4(2) 1808,61(6) 99,73(8) 2938,18(11) 0,27(3) | |

Таблица 3

Ядерно-физические константы нуклидов ^{63}Cu и ^{65}Cu

| Наименование константы | Обозначение константы | Значение константы | | Примечание |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------|---|
| | | ^{63}Cu | ^{65}Cu | |
| Содержание детектирующего нуклида, % | γ | 69,090 | 30,910 | По сведениям паспорта на материал детектора |
| Число Авогадро, моль $^{-1}$ | N_0 | 6,022045(31) · 10 23 | | Рекомендовано СОДАТА |
| Массовое число, а. е. м. | A | 62,929565(13) | 64,9277898(18) | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |

Таблица 4

Ядерно-физические константы продуктов ядерных реакций на нуклиде ^{63}Cu

| Наименование константы | Обозначение константы | Основная реакция | Побочные реакции | | | | Примечание |
|---|-----------------------|---|--|--|-------------------|--|---|
| | | | (n, α) | (n, n', α) | (n, p) | (n, v) | |
| Тип реакции | — | $(n, 2n)$ | (n, α) | (n, n', α) | (n, p) | (n, v) | — |
| Сечение реакции, см 2 | σ | $0,450 \cdot 10^{-24}$ | $0,002738 \times 10^{-24}$ | — | — | — | — |
| Продукт реакции | — | ^{62}Cu | ^{60}Co | ^{61}Co | ^{63}Ni | ^{64}Cu | — |
| Период полураспада | $T_{1/2}$ | 9,74 (2) мин | 5,2704(13) г | 1,65 ч | 101,1(20) г | 12,701(2) ч | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |
| Линейный коэффициент ослабления β -излучения, см $^{-1}$ | μ | 48,950(50) | — | — | — | — | — |
| Максимальная энергия в спектре, кэВ; интенсивность (частиц или квантов), 100 распадов | E_{β} | 292,7(5); 97,20(2) 1754(5); 0,135(9) 878(5); 0,077(5) 625(5); 0,018(1) | 1491,11(11) 0,057(20) 317,86(12) 99,925(20) 664,86(14) 0,0022 | 12552(9) 9566(4) 413,4(10) 4,4(4) | 65,87(15); 100 | 6529 (25) 17,90(18) 578,0(14) 37,1(4) | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |
| | E_{γ} | 479,6; 0,00044 855,6; 0,00037 875,71(7); 0,147(7) 1067,0(10) | 346,93 (7) 0,0076(5) 826,28(9) 0,0076(8) | 67,415(10) 85 841,7(5) 0,8(6) | | 1345,77(6) 0,48(4) | |

| Наименование константы | Обозначение константы | Основная реакция | Побочные реакции | | | Примечание |
|---|-----------------------|------------------|------------------|----------|---|---|
| | | | | | | |
| Максимальная энергия в спектре, кэВ; интенсивность (частиц или квантов), 100 распадов | E_γ | 0,0006(3) | 1173,237(4) | 90962(5) | — | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |
| | | 1128,98(10) | 99,90(2) | 3,6(12) | | |
| | | 0,0318(17) | 2158,77(9) | | | |
| | | 1173,02(10); | 0,0011(18) | | | |
| | | 0,335 | 2505 | | | |
| | | 1717,6(4) | 0,000002(4) | | | |
| | | 0,0026(4) | | | | |
| | | 1985,0(10) | | | | |
| | | 0,0010(3) | | | | |
| | | 2084,6(4) | | | | |
| | | 0,0050(10) | | | | |
| | | 2097,6(3) | | | | |
| | | 0,0029(4) | | | | |
| | | 2301,96(8) | | | | |
| | | 0,0406(20) | | | | |
| | | 3158,2(10) | | | | |
| | | 0,00061(13) | | | | |
| | | 3257,3(10) | | | | |
| | | 0,00013(6) | | | | |
| | | 3271,4(4) | | | | |
| 0,00070(10) | | | | | | |
| 3369,9(3) | | | | | | |
| 0,0078(5) | | | | | | |
| 3861,7(11) | | | | | | |
| 0,00027(7) | | | | | | |

Таблица 5

Ядерно-физические константы продуктов ядерных реакций на нуклиде ^{65}Cu

| Наименование константы | Обозначение константы | Основная реакция | Побочные реакции | | | Примечание |
|---|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---|
| | | | | | | |
| Тип реакции | — | $(n, 2n)$ | (n, α) | (n, p) | (n, γ) | — |
| Сечение реакции, см ² | σ | $0,9032 \cdot 10^{-24}$ | $0,020 \cdot 10^{-24}$ | $0,022 \cdot 10^{-24}$ | $1,800 \cdot 10^{-24}$ | — |
| Продукт реакции | — | ^{64}Cu | ^{62}Co | ^{65}Ni | ^{66}Cu | — |
| Период полураспада | $T_{1/2}$ | 12,701(2) ч | 1,50(4) мин | 2,520(2) ч | 5,10(2) мин | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |
| Максимальная энергия в спектре, кэВ; интенсивность (частиц или квантов), 100 распадов | E_β | 652,9(1) | 5322(19), 0,5 | 2136,2(11) | 2642,2(17) | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |
| | | 17,90(18) | 4149(19), 68,2(16) | 6,568(7) | 92,6(18) | |
| | | 578,0(14) | 3020(20), 25,8(14) | 1020,6(11) | 1603,0(17) | |
| | | 37,1(4) | 2263(19), 0,4(3) | 6,08(3) | 7,2(18) | |
| | | | 2164(19), 2,4(7) | 654,4(11) | 770,0(2) | |
| | | | 2066(19), 0,30(20) | 4,912(10) | 0,17(6) | |
| | | | 2052(19), 1,20(20) | 512,8(11) | 270,0(2) | |
| | | | 1952(19), 0,30(20) | 6,062(22) | 0,0027(8) | |
| | | | 1803(19), 1,4(3) | 412,2(11) | | |
| | | | 1259(19), 0,30(10) | 5,918(17) | | |

| Наименование константы | Обозначение константы | Основная реакция | Побочные реакции | | | Примечание |
|---|-----------------------|-----------------------|---|--|---|---|
| Максимальная энергия в спектре, кэВ; интенсивность (частиц или квантов), 100 распадов | E_{γ} | 1345,77(6) 0,48(8) | 1128,9(2); 11,1(13) 1172,9(2); 83,8 1886(12); 0,4(3) 1985,1(5); 1,6(6) 2083(1); 0,3(2) 2097(1); 0,9 (2) 2301,8, 14,7(5) 2345,9(8); 1,3(3) 3158(1); 0,8(2) 3271 (2); 0,3 3369,5(15); 0,3(2) 3519(3); 0,08(4) 4063,1 (10), 0,3(1) 3 | 366,27(3) 4,6(2) 507,9(1) 0,28(2) 609,5(1) 770,6(2) 0,14(1) 852,7(2) 0,08(1) 954,5(3) 0,07(1) 1115,53(4) 0,009(1) 1481,84(5) 1623,42(6) 14,8(5) 1724,92(6) 23,5 0,47(2) 0,39(2) | 833,0(10) 0,170(4) 1039,2(2) 7,4 1332,5(15) 0,002(4) | По сведениям ЦАЯД ГКАЭ СССР, январь 1988 г. |

(Измененная редакция, Изм. № 1, 2).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
РекомендуемоеПРОВЕРКА ГРАДУИРОВАННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ϵ РАДИОМЕТРА

1. Калибровка и проверка радиометров с использованием образцовых источников бета-излучения $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ и ^{24}Na третьего разряда.

1.1. Порядок подготовки радиометра к проведению измерений должен соответствовать эксплуатационной документации на соответствующий радиометр.

1.1.1. (Измененная редакция, Изм. № 1).

1.2. Определяют радиационный фон, измеряя число импульсов фона $N_{\text{ф}}$ за установленный интервал измерения t .

1.3. Устанавливают источник бета-излучения на позицию измерения и определяют суммарное число импульсов от источника бета-излучения фона ($N_{\text{и}} + N_{\text{ф}}$) за установленный интервал измерения t .

1.4. Исходя из паспортных данных на радиометр о значениях мертвого времени τ и телесного угла $\Omega_{\text{и}}$ и измеренном числе импульсов фона, а также суммарном числе импульсов фона и источника за установленный интервал времени, вычисляют градуировочный коэффициент (ϵ) радиометра по формуле

$$\epsilon = \frac{1}{A_{\text{и}} e^{-\lambda_{\text{и}} t_{\text{и}} \Omega_{\text{и}}} \left[\frac{(N_{\text{и}} + N_{\text{ф}})}{t - (N_{\text{и}} + N_{\text{ф}})\tau} - \frac{N_{\text{ф}}}{t - N_{\text{ф}}\tau} \right]}$$

где $A_{\text{и}}$ — число бета-частиц, излучаемое источником в единицу времени в телесный угол 2π , с^{-1} ;

$t_{\text{и}}$ — интервал времени от момента паспортизации источника бета-излучения до измерения эффективности, с;

$\lambda_{\text{и}}$ — постоянная радиоактивного распада источника, с^{-1} ;

$\Omega_{\text{и}}$ — относительный телесный угол при регистрации бета-частиц источника;

t — установленный интервал времени измерения, с;

τ — мертвое время радиометра, с;

$N_{\text{ф}}$ — число импульсов фона, зарегистрированных радиометром за интервал времени измерения t ;

$(N_{\text{и}} + N_{\text{ф}})$ — суммарное число импульсов от фона и источника бета-излучения за интервал времени измерения t .

2. Калибровка радиометров с использованием источника с известной плотностью потока быстрых нейтронов и активационного детектора из алюминия.

1.4. 2. (Измененная редакция, Изм. № 1).

2.1. Устанавливают активационный детектор из алюминия на позицию облучения в зону с известной плотностью потока быстрых нейтронов и облучают детектор в течение установленного интервала времени t_0 . Время облучения не должно превышать пятой части периода полураспада ^{24}Na .

2.2. По окончании облучения активационный детектор из алюминия извлекают с позиции облучения и выдерживают в течение интервала времени t_3 , обеспечивающего снижение уровня помех от активности, образованной в побочных ядерных реакциях. Время выдержки не должно быть менее периода полураспада ^{24}Na .

2.3. Определяют радиационный фон, измеряя число импульсов фона N_{ϕ} за интервал времени t_n .

2.4. По истечении времени выдержки активационный детектор из алюминия устанавливают на позицию измерения наведенного бета-излучения и определяют суммарное число импульсов от детектора и фона ($N_{\Theta} + N_{\phi}$) за интервал времени t_n . Время измерения не должно быть более половины периода полураспада ^{24}Na .

2.5. Градуировочный коэффициент регистрации бета-излучения ^{24}Na для радиометра (ε) вычисляют по формуле

$$\varepsilon = \frac{A(1 - e^{-\lambda t_0}) t_n}{\sigma f m N_0 \gamma v \Omega K [1 - e^{-\lambda t_0}] e^{-\lambda t_3} [e^{-\lambda t_3} - e^{-\lambda t_n}] \tau [t_n - N_{\phi} \tau]}$$

при

$$\beta = \frac{t_n \tau (N_{\Theta} + N_{\phi}) - N_{\phi} t_n}{[t_n - N_{\phi} \tau]} \text{ и}$$

$$K = \frac{1 - e^{-\mu a}}{\mu a},$$

где A — массовое число материала детектора, а. с. м.;

μ — линейный коэффициент ослабления бета-излучения в материале детектора, см^{-1} , $E_{\beta} = 1390,8$ кэВ;

m — масса активационного детектора, г;

a — толщина активационного детектора, м;

f — плотность потока быстрых нейтронов, нейтр./ $\text{м}^2 \cdot \text{с}$;

λ — постоянная радиоактивного распада нуклида, с^{-1} ;

σ — сечение активации, м^2 ;

N_0 — число Авогадро, моль^{-1} ;

γ — содержание облучаемого нуклида в детекторе;

v — интенсивность бета-излучения образовавшегося радионуклида;

Ω — относительный телесный угол при регистрации бета-излучения детектора;

K — коэффициент самопоглощения β -излучения;

t_0 — интервал времени облучения детектора, с;

t_3 — интервал времени выдержки детектора, с;

t_n — интервал времени измерения фона, а также активности детектора и фона, с;

τ — мертвое время радиометра, с;

N_{ϕ} — число импульсов фона, зарегистрированных радиометром за интервал времени измерения t_n ;

$(N_{\Theta} + N_{\phi})$ — суммарное число импульсов от фона и детектора за интервал времени измерения t_n .

2.6. Определение и сравнение эффективности регистрации бета-излучения ^{24}Na одним или несколькими радиометрами должны осуществляться путем последовательных измерений наведенной активности детектора из алюминия, однократно облученного в поле быстрых нейтронов с известной плотностью потока.

2.5, 2.6. (Измененная редакция, Изм. № 1).

ЗНАЧЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА α ДЛЯ МИШЕНЕЙ
РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ

| Форма мишени | Площадь излучающей поверхности и обозначение | Параметр α | Условие |
|---------------------|---|--|-------------------------|
| Плоский диск | πr^2 r — радиус излучающей поверхности | $\frac{2\pi r^2}{1 - \frac{H}{\sqrt{r^2 + H^2}}}$ | — |
| Сферический сегмент | $2\pi Rh$ R — радиус сферы; h — высота излучающей поверхности | $\frac{4\pi Rh}{1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}}$ | $h \leq \frac{RH}{R+H}$ |
| | | $1 + \frac{4\pi Rh}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}} - \frac{4\pi Rh}{2\sqrt{-1 \left(\frac{R}{R+H} \right)^2}}$ | $h \geq \frac{RH}{R+H}$ |

Коэффициент выведения P , учитывающий выведение нейтронов из диапазона энергий, регистрируемых детектором, определяют из выражения

$$P = e^{-\Sigma r},$$

где

Σ — макроскопическое сечение выведения, см^{-1} ;

r — средняя толщина среды, см.

Примечание. H — расстояние мишень — детектор.
(Измененная редакция, Изм. № 1).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ С УЧЕТОМ ПРОСЧЕТОВ РАДИОМЕТРА

Среднюю плотность потока быстрых нейтронов (f) в нейтр./ $(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ вычисляют по формуле

$$f = \frac{A(1 - e^{-\lambda\beta})t_n}{mN_0\gamma\sigma\Omega K\epsilon [1 - e^{-\lambda t_n}]e^{-\lambda t_d} [e^{-\lambda\beta} - e^{-\lambda t_n}] \tau [t_n - N_\Phi \tau]}$$

при

$$\beta = \frac{t_n \tau [(N_\Theta + N_\Phi) - N_\Phi]}{(t_n - N_\Phi - \tau)},$$

где A — массовое число материала детектора, а. е. м.;

m — масса активационного детектора, г;

K — коэффициент, учитывающий самопоглощение бета-излучения материалом детектора;

N_0 — число Авогадро, моль $^{-1}$;

- γ — содержание облучаемого нуклида в детекторе;
 ν — интенсивность бета-излучения образовавшегося радионуклида;
 Ω — относительный телесный угол при регистрации наведенного бета-излучения детектора;
 β — полное мертвое время при регистрации бета-излучения детектора, с;
 τ — мертвое время радиометра, с;
 t_0 — интервал времени облучения детектора, с;
 t_1 — интервал времени выдержки детектора, с;
 t_m — интервал времени измерения фона, а также активности детектора и фона, с;
 N_{ϕ} — число импульсов фона, зарегистрированного радиометром за интервал времени измерения, t_m ;
 λ — постоянная радиоактивного распада нуклида, с^{-1} ;
 σ — сечение активации, см^2 ;
 $(N_{\phi} + N_{\phi})$ — суммарное число импульсов фона и детектора за интервал времени измерения t_m ;
 ε — градуировочный коэффициент радиометра.
- (Измененная редакция, Изм. № 1).**

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Рекомендуемое

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ
ПОТОКА И СРЕДНЕГО ПОТОКА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ**

Таблица 1

**Расчетные соотношения определения погрешности измерения
средней плотности потока быстрых нейтронов**

| Определение параметра | Неточности определения параметров | Обозначение погрешности | Расчетная формула определения погрешности |
|--|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| Число Авогадро N_0 , моль ⁻¹ | ΔN_0 | σ_{N_0} | $-\frac{\Delta N_0}{N_0}$ |
| Массовое число материала детектора A , а. е. м. | ΔA | σ_A | $\frac{\Delta A}{A}$ |
| Содержание нуклида детектора в элементе γ | $\Delta \gamma$ | σ_{γ} | $-\frac{\Delta \gamma}{\gamma}$ |
| Интенсивность частиц или квантов регистрируемого излучения ν | $\Delta \nu$ | σ_{ν} | $-\frac{\Delta \nu}{\nu}$ |
| Сечение активации σ , см ² | $\Delta \sigma$ | σ_{σ} | $-\frac{\Delta \sigma}{\sigma}$ |
| Линейный коэффициент ослабления μ , см ⁻¹ | $\Delta \mu$ | σ_{μ} | $\frac{\Delta \mu}{\mu} \left[1 - \frac{\mu a e^{-\mu a}}{1 - e^{-\mu a}} \right]$ |
| Постоянная радиоактивного распада калибровочного радиоактивного источника $\lambda_{\text{к}}$, с ⁻¹ | $\Delta \lambda_{\text{к}}$ | $\sigma_{\lambda_{\text{к}}}$ | $-\lambda_{\text{к}} t_1$ |

| Определение параметра | Неточности определения параметров | Обозначение погрешности | Расчетная формула определения погрешности |
|---|-----------------------------------|---------------------------|---|
| Постоянная радиоактивного распада наведенной в детекторе активности λ , с^{-1} | $\Delta\lambda$ | σ_λ | $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \left[\frac{\lambda\beta e^{-\lambda\beta}}{1 - e^{-\lambda\beta}} - \frac{\lambda t_0 e^{-\lambda t_0}}{1 - e^{-\lambda t_0}} + \lambda t_3 - \frac{\lambda t_u e^{-\lambda t_u} - \lambda\beta e^{-\lambda\beta}}{e^{-\lambda\beta} - e^{-\lambda t_u}} \right]$ |
| Интервал времени от паспортизации калиброванного радиоактивного источника до начала измерения эффективности регистрации t , с | Δt_1 | σ_{t_1} | $-\Delta t_1 \lambda_u$ |
| Толщина активационного детектора a , см | Δa | σ_a | $\Delta a \left[\frac{1}{a} - \frac{\mu e^{-\mu a}}{1 - e^{-\mu a}} \right]$ |
| Масса активационного детектора, m , г | Δm | σ_m | $-\frac{\Delta m}{m}$ |
| Относительный телесный угол при измерении активности калибровочного радиоактивного источника Ω_u | $\Delta\Omega_u$ | σ_{Ω_u} | $\frac{\Delta\Omega_u}{\Omega_u}$ |
| Относительный телесный угол при измерении активности детектора Ω | $\Delta\Omega$ | σ_Ω | $\frac{\Delta\Omega}{\Omega}$ |
| Число частиц или квантов, испускаемых калибровочным радиоактивным источником в единицу времени A_u , 1/с | ΔA_u | σ_{A_u} | $\frac{\Delta A_u}{A_u}$ |
| Интервал времени регистрации активности радиоактивного источника и фона t , с | Δt | σ_t | $\Delta t \left[\frac{1}{t - (N_u - N_\phi)\tau} + \frac{1}{t - N_\phi\tau} - \frac{1}{t} \right]$ |
| Интервал времени облучения активационного детектора t_0 , с | Δt_0 | σ_{t_0} | $-\frac{\Delta t_0}{t_0} \cdot \frac{\lambda t_0 e^{-\lambda t_0}}{1 - e^{-\lambda t_0}}$ |
| Интервал времени выдержки облученного активационного детектора t_3 , с | Δt_3 | σ_{t_3} | $\lambda \Delta t_3$ |
| Время измерения активности облучаемого детектора t_u , с | Δt_u | σ_{t_u} | $\Delta t_u \left[\frac{1}{t_u} + \frac{\lambda N_\phi \tau^2 [(N_\Theta + N_\phi) - N_\phi] e^{-\lambda\beta}}{(t_u - N_\phi \tau)^2 (1 - e^{-\lambda\beta})} - \frac{1}{t_u - N_\phi \tau} - \lambda \frac{e^{-\lambda t_u} - e^{-\lambda\beta}}{e^{-\lambda\beta} - e^{-\lambda t_u}} \frac{N_\phi \tau^2 [(N_\Theta + N_\phi) - N_\phi]}{(t_u - N_\phi \tau)^2} \right]$ |
| Число зарегистрированных импульсов от радиоактивного источника и фона за интервал времени t , ($N_u + N_\phi$) | $\Delta(N_u + N_\phi)$ | $\sigma_{(N_u + N_\phi)}$ | $-\frac{(t - N_\phi \tau) \Delta(N_u + N_\phi)}{[t - (N_\phi + N_u)\tau] [(N_\phi + N_u) - N_\phi]}$ $\Delta(N_u + N_\phi) = \sqrt{N_u + N_\phi}$ |

| Определение параметра | Неточности определения параметров | Обозначение погрешности | Расчетная формула определения погрешности |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|--|
| Число зарегистрированных импульсов от детектора и фона за интервал времени t , $(N_{\Theta} + N_{\Phi})$ | $\Delta(N_{\Theta} + N_{\Phi})$ | $\sigma_{(N_{\Theta} + N_{\Phi})}$ | $\Delta(N_{\Theta} + N_{\Phi}) \cdot \lambda \cdot \frac{t_u \tau}{t_u - N_{\Phi} \tau} \cdot e^{-\lambda \beta} \times$ $\times \left[\frac{1 - e^{-\lambda t_u}}{(1 - e^{-\lambda \beta})(e^{-\lambda \beta} - e^{-\lambda t_u})} \right]$ $\Delta(N_{\Theta} + N_{\Phi}) = \sqrt{N_{\Theta} + N_{\Phi}}$ $\beta = \frac{t_u \tau [(N_{\Theta} + N_{\Phi}) - N_{\Phi}]}{t_u - N_{\Phi} \tau}$ |
| Число зарегистрированных импульсов от фона за интервал времени t , N_{Φ} | ΔN_{Φ} | $\sigma_{N_{\Phi}}$ | $\Delta N_{\Phi} \left[\frac{\lambda e^{-\lambda \beta}}{1 - e^{-\lambda \beta}} \cdot \frac{d\beta}{dN_{\Phi}} - \frac{\tau}{t_u - N_{\Phi} \tau} + \right.$ $\left. + \frac{1}{(N_{\Theta} + N_{\Phi}) - N_{\Phi}} + \frac{\tau}{t_u - N_{\Phi} \tau} + \right.$ $\left. + \frac{\lambda e^{-\lambda \beta}}{e^{-\lambda \beta} - e^{-\lambda t_u}} \cdot \frac{d\beta}{dN_{\Phi}} \right]; \Delta N_{\Phi} = \sqrt{N_{\Phi}}$ $\beta = \frac{t_u \tau}{t_u - N_{\Phi} \tau} [(N_{\Theta} + N_{\Phi}) - N_{\Phi}]$ $\frac{d\beta}{dN_{\Phi}} = -t_u \tau \left[\frac{t_u - [(N_{\Theta} + N_{\Phi}) \tau]}{(t_u - N_{\Phi} \tau)^2} \right]$ |
| Мертвое время регистрирующих радиометров τ , c^{-1} | $\Delta \tau$ | σ_{τ} | $\Delta \tau \left[-\frac{(N_{\Theta} + N_{\Phi})}{t_u - (N_{\Theta} + N_{\Phi}) \tau} - \frac{N_{\Phi}}{t_u - N_{\Phi} \tau} + \right.$ $\left. + \frac{\lambda e^{-\lambda \beta} \left[\frac{t_u^2 [(N_{\Theta} + N_{\Phi}) - N_{\Phi}]}{(t_u - N_{\Phi} \tau)^2} \right]}{1 - e^{-\lambda \beta}} - \frac{1}{\tau} + \right.$ $\left. + \frac{\lambda e^{-\lambda \beta} \left[\frac{t_u^2 [(N_{\Theta} + N_{\Phi}) - N_{\Phi}]}{t_u - N_{\Phi} \tau} \right]}{e^{-\lambda \beta} - e^{-\lambda t_u}} + \frac{N_{\Phi}}{t_u - N_{\Phi} \tau} \right]$ |

Таблица 2

Расчетные соотношения определения погрешности измерения среднего потока быстрых нейтронов

| Форма мишени | Неточность определения параметра | Обозначение погрешности | Расчетная формула определения погрешности | Условие |
|--------------|---|-------------------------|---|---------|
| Плоский диск | Расстояния мишень — детектор ΔH | σ_H | $\frac{\Delta H r^2}{(r^2 + H^2)^{3/2} \left(1 - \frac{H}{\sqrt{r^2 + H^2}} \right)}$ | |
| | Радиуса излучающей поверхности Δr | σ_r | $\frac{\Delta r}{2} \left[2 - \frac{H r^2}{(r^2 + H^2)^{3/2} \left(1 - \frac{H}{\sqrt{r^2 + H^2}} \right)} \right]$ | |

| Форма мишени | Точность определения параметра | Обозначение погрешности | Расчетная формула определения погрешности | Условие |
|---------------------|---|-------------------------|---|-------------------------|
| Плоский диск | Плотности потока Δf , расстояния ΔH и радиус Δr | σ_f | $\sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_r^2 + \sigma_f^2}$ | |
| Сферический сегмент | Расстояние мишень — детектор ΔH | σ_H | $\frac{\Delta H}{H} \cdot \frac{Hh(R-h)}{\left[1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}\right] [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}}$ | $h \leq \frac{RH}{R+H}$ |
| | | | $\frac{2R^2H}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+H}\right)^2} (R+H)^3} - \frac{hH(2R-h)}{[H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}}$ | $h \geq \frac{RH}{R+H}$ |
| | Радиус сферы | σ_R | $\frac{\Delta H}{H} \cdot \frac{H+h}{1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}} - 2\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+H}\right)^2}}$ | |
| | | | $\frac{\Delta R}{R} \left[1 - \frac{H+h}{\left[1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}\right] [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}} \right]$ | $h \leq \frac{RH}{R+H}$ |
| | Высота излучающего слоя | σ_h | $\frac{\Delta R}{R} \left[1 - \frac{h [[H^2 + 2h(R+H)] - (H+h)R]}{\left[1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}\right] [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}} \right]$ | $h \geq \frac{RH}{R+H}$ |
| | | | $\frac{\Delta h}{h} \left[1 - \frac{h [[H^2 + 2h(R+H)] - (H+h)R]}{\left[1 + \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}} - \frac{(H+R)R}{-2\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+H}\right)^2}}\right] [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}} \right]$ | $h \geq \frac{RH}{R+H}$ |
| | | | $\frac{\Delta h}{h} \left[1 + \frac{h [[H^2 + 2h(R+H)] - (H+h)R]}{\left[1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}\right] [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}} \right]$ | $h \leq \frac{RH}{R+H}$ |

Примечание. Для более точной оценки погрешности при измерении плотности потока следует учитывать дополнительные источники погрешности, возникающие в результате причин, обусловленных спецификой измерений, с использованием активационных детекторов.

Под действием нейтронов в активационном детекторе из меди или алюминия идут ядерные реакции типа (n, n') ; (n, α) ; (n^2, He) ; (n, p) ; (n, p, n) ; (n, n) ; $(n, 2n)$; (n, n') ; (n, γ) , приводящие к образованию побочного бета-излучения, например, от реакции на ^{65}Cu . Вклад побочного бета-излучения может быть рассчитан или учтен как систематическая погрешность, используя преобразование формулы, указанной в п.4.1 настоящего стандарта.

К систематическим погрешностям могут привести: различия в эффективности регистрации бета-излучения ^{62}Cu и калибровочного радиоактивного источника $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, обусловленные различием в энергетических спектрах бета-частиц, принципиальная возможность регистрации гамма-излучения радиометрами, а также различная степень отражения бета-частиц от подложки.

При расчете погрешностей следует учитывать изменение эффективности регистрации бета-излучения, обусловленное изменением частоты и напряжения питания радиометров.

Методом численного интегрирования может быть проведена оценка погрешностей, обусловленная угловой анизотропией нейтронов, испускаемых мишенями по энергиям, влияющим на величину наведенного бета-излучения из-за зависимости сечений ядерных реакций $^{63}\text{Cu}(n, 2n)$ и $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ от энергии нейтронов. Степень влияния анизотропии нейтронов по энергиям зависит от расстояния, взаимного расположения, форм и размеров мишени и активационного детектора.

(Измененная редакция, Изм. № 1).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27.17.77 № 2516

2. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

3. СРОК ПРОВЕРКИ — 1993 г.,
периодичность проверки — 5 лет

4. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

| Обозначение НТД, на который дана ссылка | Номер пункта |
|---|---------------|
| ГОСТ 8.315–97 | Разд. 1 |
| ГОСТ 859–78 | Разд. 1 |
| ГОСТ 11069–74 | Разд. 1 |
| ГОСТ 15484–81 | Вводная часть |
| ГОСТ 21171–80 | Вводная часть |
| ГОСТ 27451–87 | Разд. 1 |
| РМГ 29–99 | Вводная часть |

5. Ограничение срока действия снято по протоколу № 3–93 Межгосударственного Совета по стандартизации, метрологии и сертификации (ИУС 5-6–93)

6. Издание (март 2001 г.) с Изменениями № 1, 2, утвержденными в августе 1983 г., июне 1988 г. (ИУС 11–83, 9–88)

Редактор *М.И. Максимова*
Технический редактор *Н.С. Гришанова*
Корректор *Н.Л. Шнайдер*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Изд. лиц. № 02354 от 14.07.2000. Сдано в набор 22.03.2001. Подписано в печать 19.04.2001. Усл.печ.л. 1,86. Уч.-изд.л. 1,45.
Тираж 117 экз. С 796. Зак. 453.

ИПК Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. "Московский печатник", 103062, Москва, Лялин пер., 6.
Плр № 080102