

ГЕНЕРАТОРЫ НЕЙТРОНОВ

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

Издание официальное

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.

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, образующегося 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_n .

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_0 . 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_3 , 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 ($N_\Theta + N_\Phi$) за установленный интервал времени t_n . 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

$$f = \frac{A \lambda [(N_{\text{в}} + N_{\text{ф}}) - N_{\text{ф}}]}{m N_0 \gamma v \sigma K \varepsilon \Omega [1 - e^{-\lambda t_0}] e^{-\lambda t_1} [1 - e^{-\lambda t_2}]},$$

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_1 — интервал времени выдержки детектора, с;

t_2 — интервал времени измерения, с;

λ — постоянная радиоактивного распада нуклида, с⁻¹;

σ — сечение активации, см²;

$(N_{\text{в}} + N_{\text{ф}})$ — суммарное число импульсов, зарегистрированных от детектора и фона за интервал времени измерения t_2 ;

$N_{\text{ф}}$ — число импульсов фона, зарегистрированное радиометром за интервал времени t_2 ;

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	$0,1247 \cdot 10^{-24}$	$0,0777 \cdot 10^{-24}$	$0,500 \cdot 10^{-24}$	$0,020 \cdot 10^{-24}$	$E = 14 \text{ МэВ}$
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, ν)	
Тип реакции	—	$(n, 2n)$	(n, α)	(n, n', α)	(n, p)	(n, ν)	—
Сечение реакции, см 2	σ	0,450 · 10—24	0,002738 × 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)	

Продолжение табл. 5

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 ГРАДУИРОВОЧНОГО 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_{ϕ} за установленный интервал измерения t .

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

$$\epsilon = \frac{1}{A_{\text{и}} e^{-\lambda_{\text{и}} t_1} \Omega_{\text{и}}} \left[\frac{(N_{\text{и}} + N_{\phi})}{t - (N_{\text{и}} + N_{\phi})\tau} - \frac{N_{\phi}}{t - N_{\phi}\tau} \right],$$

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

t_1 — 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_{ϕ} — число импульсов фона, зарегистрированных радиометром за интервал времени измерения t ;

$(N_{\text{и}} + N_{\phi})$ — 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

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

при

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

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

где A — массовое число материала детектора, а. е. 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	$2\pi R h$ R — радиус сферы; h — высота излучающей поверхности	$\frac{4\pi R h}{1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}}$ $\frac{4\pi R h}{1 + \frac{H-h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}}$ $-\frac{4\pi R h}{2\sqrt{-1\left(\frac{R}{R+H}\right)^2}}$	$h \leq \frac{RH}{R+H}$ $h \geq \frac{RH}{R+H}$

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

$$f = \frac{A(1 - e^{-\lambda\beta})t_n}{mN_0^0V\sigma\Omega K e [1 - e^{-\lambda t_n}]e^{-\lambda t_s} [e^{-\lambda\beta} - e^{-\lambda t_n}] \tau [t_n - N_\phi \tau]}$$

при

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

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

m — масса активационного детектора, г;

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

N_0^0 — 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_3 — 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 ;
 $(N_{\Theta} + N_{\phi})$ — 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

Т а б л и ц а 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 λ_m , с^{-1}	$\Delta \lambda_m$	σ_{λ_m}	$-\lambda_m t_1$

Продолжение табл. 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	$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \left[\frac{\lambda\beta e^{-\lambda\beta}}{1 - e^{-\lambda\beta}} - \frac{\lambda t_0 e^{-\lambda t_0}}{1 - e^{-\lambda t_0}} + \lambda t_3 - \frac{\lambda t_n e^{-\lambda t_n} - \lambda\beta e^{-\lambda\beta}}{e^{-\lambda\beta} - e^{-\lambda t_n}} \right] - \Delta t_1 \lambda_n$
Интервал времени от паспортизации калиброванного радиоактивного источника до начала измерения эффективности регистрации t , с	Δt_1	σ_{t_1}	
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_n	$\Delta\Omega_n$	σ_{Ω_n}	$\frac{\Delta\Omega_n}{\Omega_n}$
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_n , 1/с	ΔA_n	σ_{A_n}	$\frac{\Delta A_n}{A_n}$
Интервал времени регистрации активности радиоактивного источника и фона t , с	Δt	σ_t	$\Delta t \left[\frac{1}{t - (N_n - N_\Phi)\tau} + \frac{1}{t - N_\Phi\tau} - \frac{1}{t} \right]$
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_n , с	Δt_n	σ_{t_n}	$\Delta t_n \left[\frac{1}{t_n} + \frac{\lambda N_\Phi \tau^2 [(N_\Phi + N_\Phi) - N_\Phi] e^{-\lambda\beta}}{(t_n - N_\Phi\tau)^2 (1 - e^{-\lambda\beta})} - \frac{1}{t_n - N_\Phi\tau} - \frac{e^{-\lambda t_n} - e^{-\lambda\beta}}{e^{-\lambda\beta} - e^{-\lambda t_n}} \frac{N_\Phi \tau^2 [(N_\Phi + N_\Phi) - N_\Phi]}{(t_n - N_\Phi\tau)^2} \right] - \lambda \frac{e^{-\lambda t_n} - e^{-\lambda\beta}}{e^{-\lambda\beta} - e^{-\lambda t_n}}$
Число зарегистрированных импульсов от радиоактивного источника и фона за интервал времени t , ($N_n + N_\Phi$)	$\Delta(N_n + N_\Phi)$	$\sigma_{(N_n + N_\Phi)}$	$\frac{(t - N_\Phi\tau) \Delta(N_n + N_\Phi)}{[t - (N_\Phi + N_n)\tau] [(N_\Phi + N_n) - N_\Phi]} \Delta(N_n + N_\Phi) = \sqrt{\dot{N}_n^2 + \dot{N}_\Phi^2}$

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}	$\sigma_{N_{\Phi}}$	$\Delta N_{\Phi} \left[\frac{\lambda e^{-\lambda \beta}}{1 - e^{-\lambda \beta}} \cdot \frac{d\beta}{dN_{\Phi}} - \frac{\tau}{t - N_{\Phi} \tau} + \right.$ $\left. + \frac{1}{(N_{\Theta} + N_{\Phi}) - N_{\Phi}} + \frac{\tau}{t_u - N_{\Phi} \tau} + \right.$ $\left. + \frac{\lambda e^{-\lambda \beta}}{e^{-\lambda \beta} - e^{-\lambda t_u}} \cdot \frac{d\beta}{dN_{\Phi}} \right]; \Delta N_{\Phi} = \sqrt{N_{\Phi}};$ $\beta = \frac{t_u \tau}{t_u - N_{\Phi} \tau} [(N_{\Theta} + N_{\Phi}) - N_{\Phi}];$ $\frac{d\beta}{dN_{\Phi}} = -t_u \tau \left[\frac{t_u - [N_{\Theta} + N_{\Phi}] \tau}{(t_u - N_{\Phi} \tau)^2} \right].$
Мертвое время регистрирующих радиометров τ , s^{-1}	$\Delta \tau$	σ_{τ}	$\Delta \tau \left[-\frac{(N_{\Theta} + N_{\Phi})}{t - (N_{\Theta} + N_{\Phi}) \tau} - \frac{N_{\Phi}}{t - N_{\Phi} \tau} + \right.$ $\left. + \frac{\lambda e^{-\lambda \beta} \left[\frac{t_u^2 [(N_{\Theta} + N_{\Phi}) - N_{\Phi}]}{(t_u - N_{\Phi} \tau)^2} \right]}{1 - e^{-\lambda \beta}} - \frac{1}{\tau} + \right.$ $\left. + \frac{\lambda e^{-\lambda \beta} \left[\frac{t_u^2 [(N_{\Theta} + N_{\Phi}) - N_{\Phi}]}{t_u - N_{\Phi} \tau} \right]}{e^{-\lambda \beta} - e^{-\lambda t_u}} + \frac{N_{\Phi}}{t_u - N_{\Phi} \tau} \right]$

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	Расстояния мишень — детектор ΔH	σ_H	$\frac{\Delta H}{H} \cdot \frac{Hh(R-h)}{\left[1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}\right] [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}}$ $\frac{2R^2H}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+H}\right)^2} (R+H)^2} - \frac{hH(2R-h)}{[H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}}$	$h \leq \frac{RH}{R+H}$ $h \geq \frac{RH}{R+H}$
	Радиус сферы	σ_R	$\frac{\Delta R}{R} \left[1 - \frac{H+h}{\left[1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}\right] [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}} \right]$ $\frac{\Delta R}{R} \left[1 - \frac{h [[H^2 + 2h(R+H)] - (H+h)R]}{\left[1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}\right] [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}} \right]$	$h \leq \frac{RH}{R+H}$ $h \geq \frac{RH}{R+H}$
	Высота излучающего слоя	σ_h	$\frac{\Delta h}{h} \left[1 - \frac{h [[H^2 + 2h(R+H)] - (H+h)R]}{\left[1 + \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}\right] - (H+R)R} \right]$ $- 2 \sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+H}\right)^2} [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}$	$h \geq \frac{RH}{R+H}$
			$\frac{\Delta h}{h} \left[1 + \frac{h [[H^2 + 2h(R+H)] - (H+h)R]}{\left[1 - \frac{H+h}{\sqrt{H^2 + 2h(R+H)}}\right] [H^2 + 2h(R+H)]^{3/2}} \right]$	$h \leq \frac{RH}{R+H}$

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, β) ; (n, p) ; (n, γ) ; (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 *И.С. Гришанова*
Корректор *Н.Л. Шнайдер*
Компьютерная верстка *А.Н. Зозотаревой*

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.
Пар № 080102