

Neutronenfluenzmessung

Teil 1: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit
Aktivierungs- und Spaltdetektoren

DIN

25456-1

ICS 17.240

Ersatz für
Ausgabe Mai 1990

Neutron fluence measurement — Part 1: Fast-neutron fluence
determination with activation and fission detectors

Mesure de la fluence neutronique — Partie 1: Détermination
de la fluence des neutrons rapides avec des détecteurs par
activation et fission

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	2	5.2 Mechanische und chemische Eigenschaften ...	6
1 Anwendungsbereich	2	5.3 Anforderungen an die Meßproben	6
2 Normative Verweisungen	2	6 Mathematisches Modell für die Fluenz schneller Neutronen	6
3 Definitionen und Formelzeichen	3	7 Behandlung von Unsicherheiten bei einer Ergebnisgröße und mehreren Eingangsgrößen .	7
3.1 Neutronenfluenzdetektor	3	8 Auswertung	7
3.2 Aktivierungsdetektor	3	8.1 Aktivität des Meßnuklids	7
3.3 Spaltdetektor	3	8.2 Effektiver Wirkungsquerschnitt	7
3.4 Aktivitätsprobe	3	8.3 Bestrahlungskoeffizient	8
3.5 Reaktionsrate	3	8.4 Fluenz schneller Neutronen	8
3.6 90%-Ansprechbereich	3	9 Dokumentation	9
3.7 Flußdichte schneller Neutronen	3	Anhang A (normativ) Berücksichtigung der zeitlichen Änderung des Neutronenspektrums	9
3.8 Fluenz schneller Neutronen	3	Anhang B (informativ) Neutronennachweisreaktionen in Neutronenfluenzdetektoren zur Messung der Fluenz schneller Neutronen	10
3.9 Schwellenreaktion	3	Anhang C (informativ) Rechenbeispiel zur Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit einem Eisen-Aktivierungsdetektor über die Neutronennachweisreaktion $^{54}\text{Fe}(n, p)^{54}\text{Mn}$	10
3.10 Effektiver Wirkungsquerschnitt	3		
3.11 Kumulative Spaltausbeute	4		
3.12 Bestrahlungskoeffizient	4		
3.13 Meßunsicherheit	4		
4 Meßverfahren	6		
4.1 Allgemeines	6		
4.2 Aktivierungsdetektor	6		
4.3 Spaltdetektor	6		
4.4 Aktivität des Meßnuklids	6		
5 Anforderungen an Neutronenfluenzdetektoren und Meßproben	6		
5.1 Kernphysikalische Eigenschaften	6		

Fortsetzung Seiten 2 bis 12

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) — FB Kerntechnik — im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuß Kerntechnik, Arbeitsausschuß „Neutronenfluenzmessung“ erarbeitet. Sie enthält Grundlagen der Neutronenfluenzmessung in Kernreaktoren mit Aktivierungs- und Spaltdetektoren. Diese Norm ist Grundlage für die weiteren Normen der Reihe DIN 25456.

Anhang A ist normativ, Anhänge B und C sind informativ.

DIN 25456 „Neutronenfluenzmessung“ besteht aus:

- Teil 1: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Aktivierungs- und Spaltdetektoren,
- Teil 2: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Eisen-Aktivierungsdetektoren,
- Teil 3: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Nickel-Aktivierungsdetektoren,
- Teil 4: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Niob-Aktivierungsdetektoren,
- Teil 5: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Kupfer-Aktivierungsdetektoren,
- Teil 6: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Thorium-Spaltdetektoren.

Änderungen

Gegenüber der Ausgabe Mai 1990 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Umstellung der Gestaltung auf die Festlegungen nach Normen der Reihe DIN 820.
- b) Ergänzungen durch die Behandlung von Unsicherheiten.
- c) Aktualisierung und redaktionelle Überarbeitung.

Frühere Ausgaben

DIN 25456-1: 1983-05, 1990-05

1 Anwendungsbereich

Diese Norm ist für Verfahren zur Neutronenfluenzmessung bei Bestrahlungen von Werkstoffen mit schnellen Neutronen anzuwenden, die üblicherweise in Kernreaktoren stattfinden.

Festgelegt werden die Grundsätze für die Anwendung von Aktivierungs- und Spaltdetektoren zur Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen und ihrer Unsicherheit.

Diese Norm findet sinngemäß auch auf Aktivitätsproben Anwendung, die aus bestrahlten Reaktorwerkstoffen zur Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen entnommen werden.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

DIN 1319-3 : 1996-05

Grundlagen der Meßtechnik — Teil 3: Auswertung von Messungen einer einzelnen Meßgröße, Meßunsicherheit

DIN 1333

Zahlenangaben

DIN 6802-1

Neutronendosimetrie — Teil 1: Spezielle Begriffe und Benennungen

DIN 6814-2

Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik — Teil 2: Strahlenphysik

DIN 6814-4

Begriffe und Benennungen in der radiologischen Technik — Teil 4: Radioaktivität

DIN 25404

Kerntechnik — Formelzeichen

DIN 25456-2 : 1999-10

Neutronenfluenzmessung — Teil 2: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Eisen-Aktivierungsdetektoren

DIN 25456-3 : 1999-10

Neutronenfluenzmessung — Teil 3: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Nickel-Aktivierungsdetektoren

DIN 25456-4 : 1999-10

Neutronenfluenzmessung — Teil 4: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Niob-Aktivierungsdetektoren

DIN 25456-5 : 1999-10

Neutronenfluenzmessung — Teil 5: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Kupfer-Aktivierungsdetektoren

DIN 25456-6 : 1999-10

Neutronenfluenzmessung — Teil 6: Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen mit Thorium-Spaltdetektoren

- [1] Baard, J. H.; Zijp, W. L.; Nolthenius, H. J.: Nuclear Data Guide for Reactor Neutron Metrology; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 1989

- [2] Rose, P. F. (compil.): ENDF/B-VI Summary Documentation. Report ENDF-201, 4th edition; BNL-NCS-17541, Brookhaven (USA) 1991
- [3] Kocherov, N. P.; McLaughlin, P. K.: The International Reactor Dosimetry File (IRDF-90), Report IAEA-NDS-141:1990; International Atomic Energy Agency, Vienna 1990
- [4] Schötzig, U.; Schrader, H.: Halbwertszeiten und Photonen-Emissionswahrscheinlichkeiten von häufig verwendeten Radionukliden, 4. erweiterte Auflage, PTB-Ra-16/4; Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig: 1993-07
- [5] Garber, D. (compil.): ENDF/B Summary Documentation. Report ENDF-201, 2nd edition BNL 17541, Brookhaven (USA): 1975-10

3 Definitionen und Formelzeichen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in DIN 1319-3, DIN 6802-1, DIN 6814-2, DIN 6814-4 und DIN 25404 definierten Begriffe, Formelzeichen und Benennungen zur Beschreibung der Neutronenfelder, der Wechselwirkung der Neutronen mit Materie und der Radioaktivität (siehe Tabelle 1) sowie der Behandlung von Meßunsicherheiten (siehe Tabelle 2) und folgende Definitionen:

3.1

Neutronenfluenzdetektor

Material, mit dem über eine Neutronennachweisreaktion Neutronenfluenzen bestimmt werden. Das Material kann elementar oder in gebundener Form vorliegen.

3.2

Aktivierungsdetektor

Neutronenfluenzdetektor, bei dem die Neutronennachweisreaktion eine Aktivierung ist.

3.3

Spaltdetektor

Neutronenfluenzdetektor, bei dem die Neutronennachweisreaktion eine Kernspaltung ist.

3.4

Aktivitätsprobe

Bestrahlter Reaktorwerkstoff, der zur Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen verwendet wird (z. B. Kratzprobe).

3.5

Reaktionsrate

$$\dot{N}_R$$

Differentialquotient aus dN_R und dt in einem Neutronenfluenzdetektor.

$$\dot{N}_R = \frac{dN_R}{dt} \quad (1)$$

Dabei ist dN_R die Anzahl der Reaktionen im Zeitintervall dt .

3.6

90%-Ansprechbereich

Energiebereich von E_1 bis E_2 , in dem bei einem Neutronenfluenzdetektor 90 % der Reaktionen stattfinden. Dabei liegen je 5 % der Reaktionsrate unterhalb und oberhalb dieses Bereiches. Es gilt:

$$0,05 \cdot \dot{N}_R = N_0 \int_0^{E_1} \sigma(E) \cdot \varphi_E(E) \cdot dE \quad (2)$$

$$0,05 \cdot \dot{N}_R = N_0 \int_{E_2}^{\infty} \sigma(E) \cdot \varphi_E(E) \cdot dE \quad (3)$$

3.7

Flußdichte schneller Neutronen

$$\varphi(E_u)$$

Flußdichte der Neutronen mit Energien oberhalb E_u .

$$\varphi(E_u) = \int_{E_u}^{\infty} \varphi_E(E) \cdot dE \quad (4)$$

3.8

Fluenz schneller Neutronen

$$\Phi(E_u)$$

Fluenz der Neutronen mit Energien oberhalb E_u .

$$\Phi(E_u) = \int_{E_u}^{\infty} \Phi_E(E) \cdot dE \quad (5)$$

ANMERKUNG: Die verkürzten Schreibweisen $\varphi(E_u)$ und $\Phi(E_u)$ in den Gleichungen (4) und (5) weichen von denen in DIN 6802-1 ab. Die Untergrenze E_u des Energiebereichs schneller Neutronen wird je nach den Erfordernissen verschieden festgelegt (z. B. für Materialbetrachtungen in Leichtwasserreaktoren die übliche Untergrenze von 1 MeV).

3.9

Schwellenreaktion

Neutronennachweisreaktion, die erst oberhalb einer bestimmten Energie der Neutronen einsetzt.

ANMERKUNG: Mit Hilfe von Schwellenreaktionen ist es möglich, schnelle Neutronen in Gegenwart von langsameren Neutronen getrennt nachzuweisen. Die untere Energiegrenze E_1 der 90 %-Ansprechbereiche von Schwellenreaktionen liegt im allgemeinen oberhalb von E_u . Bei Messungen in Kernreaktoren werden (wegen der starken Abnahme der spektralen Neutronenflußdichte mit zunehmender Energie) im allgemeinen nur solche Schwellenreaktionen benutzt, für die diese untere Energiegrenze E_1 unterhalb von 10 MeV liegt.

3.10

Effektiver Wirkungsquerschnitt

$$\sigma_{\text{eff}}(E_u)$$

Quotient aus der auf die Anzahl der Atome bezogenen Reaktionsrate und der Flußdichte schneller Neutronen.

Dabei ist:

$$\sigma_{\text{eff}}(E_u) = \frac{\int_0^\infty \sigma(E) \cdot \varphi_E(E) \cdot dE}{\int_{E_u}^\infty \varphi_E(E) \cdot dE} \quad (6)$$

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n f_i \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot \Delta t_i}) \cdot e^{-\lambda \cdot (t_n - t_i)}} \quad (7)$$

Dabei ist in Bestrahlungspausen $f_i = 0$.

3.11 Kumulative Spaltausbeute

y_c

Quotient aus der Anzahl der entstehenden Kerne des Nuklids und der Gesamtanzahl der Spaltungen.

3.12 Bestrahlungskoeffizient

F_t

Koeffizient, der die Bestrahlungszeit sowie Aufbau und Abfall der Aktivität während der Einsatzzeit berücksichtigt.

3.13 Meßunsicherheit

Kennwert, der aus Messungen gewonnen wird und zusammen mit dem Meßergebnis zur Kennzeichnung eines Wertebereichs für den wahren Wert der Meßgröße dient [DIN 1319-3 : 1996-05].

ANMERKUNG: Die Meßunsicherheit wird im folgenden kurz auch Unsicherheit genannt. Die Benennung Standardunsicherheit wird verwendet, wenn herausgestellt werden soll, daß die Meßunsicherheit durch eine Standardabweichung ausgedrückt wird.

Tabelle 1: Formelzeichen zur Bestimmung der Fluenz schneller Neutronen

Formelzeichen	Benennung	Einheit
$A(t_n)$	Aktivität des Meßnuklids in der Meßprobe zum Bestrahlungsende t_n	Bq
E	Neutronenenergie	MeV
E_u	untere Grenzenergie des Energiebereiches schneller Neutronen	MeV
F_t	Bestrahlungskoeffizient	s
f_i	relative Neutronenflußdichte (Flußdichte schneller Neutronen am Bestrahlungsort im i -ten Bestrahlungsintervall, bezogen auf eine beliebige Flußdichte)	—
k_i	relativer effektiver Wirkungsquerschnitt ($\sigma_{\text{eff}}(E_u)$) im i -ten Bestrahlungsintervall bezogen auf einen bestimmten Wert von $\sigma_{\text{eff}}(E_u)$	—
K_1	Korrektionsfaktor für Abbrand oder zusätzliche Erzeugung des Meßnuklids	—
K_2	Korrektionsfaktor für Selbstabsorption der Photonenstrahlung in der Meßprobe	—
K_3	Korrektionsfaktor für Störbeiträge durch andere Radionuklide	—
K_4	Korrektionsfaktor für Geometrieinflüsse	—
N_0	Anzahl der Atome des Ausgangsnuklids in der Meßprobe	—
N_R	Anzahl der Reaktionen	—
$\dot{N}(t_m)$	Zählrate der Photonen zum Meßzeitpunkt t_m	s ⁻¹
$\dot{N}_R$	Reaktionsrate	s ⁻¹
p_γ	Emissionswahrscheinlichkeit der zu messenden Photonenstrahlung	—

(fortgesetzt)