

TECHNIKA JĄDROWA	N O R M A B R A N Ż O W A	BN-82
	Urządzenia elektroniczne dla techniki jądrowej Detektory scyntylacyjne	3411-03
	Parametry podstawowe i metody ich pomiarów	Zamiast BN-69/3411-03
		Grupa katalogowa 1827

PRZEDMOWA

Norma jest tłumaczeniem normy CT CЭB 2668-80, w którym zachowano układ i sposoby formułowania tekstu wg oryginału RWPG. Tylko w przypadkach niezbędnych dokonano drobnych adaptacji do warunków polskich, nie naruszając jednak zasady merytorycznej zgodności pomiędzy tekstami obu dokumentów.

1. WSTĘP

1.1. Przedmiot normy. Przedmiotem normy są detektory scyntylacyjne (zwane dalej detektorami) stosowane do rejestracji i spektrometrii promieniowania alfa, beta, gamma, rentgenowskiego i neutronowego.

1.2. Nazwy i określenia

1.2.1. zdolność rozdzielcza (R) — zdolność rozróżniania cząstek o różnych energiach; definiuje się ją jako stosunek szerokości krzywej rozkładu widmowego mierzonej w połowie jego wysokości ($FWHM$) do położenia tegoż maksimum U_{max} .

1.2.2. względna wydajność świetlna (ν_λ) — stosunek amplitud impulsów badanego detektora do amplitud impulsów detektora wzorcowego w jednakowych warunkach pomiaru i konfiguracji detektor-źródło.

1.2.3. wydajność świetlna — stosunek amplitud impulsów badanego detektora do amplitud impulsów detektora ze scyntylatorem antracenyowym lub stilbenowym mierzony dla jednej i tej samej konfiguracji i warunków pomiaru.

1.2.4. całkowita wydajność rejestracji (η_t) — stosunek liczby cząstek oddziaływających na detektor do całkowitej liczby cząstek emitowanych ze źródła promieniowania.

1.2.5. tło (n_b) — częstość impulsów rejestrowana przez detektor w czasie, gdy detektor znajduje się poza zasięgiem mierzonego promieniowania.

1.2.6. charakterystyka napięciowa (zliczeniowa) — zależność częstości impulsów od napięcia roboczego podawanego na układ detekcji przy niezmiennych pozostałych warunkach pomiaru.

1.2.7. widmo energetyczne — rozkład energii cząstek lub kwantów częściowo lub całkowicie pochłoniętych przez scyntylator i przekształconych w rozkład amplitud impulsów elektrycznych.

1.2.8. całkowity system opracowania danych — sposób obróbki danych, w którym rejestrowane są wszystkie impulsy powyżej ustalonego energetycznego progu dyskryminacji.

1.2.9. całkowite widmo energetyczne — zależność częstości impulsów od energetycznego progu dyskryminacji w całym systemie opracowania danych i przy pozostałych warunkach pomiaru stałych.

1.2.10. różniczkowy system obróbki danych — sposób obróbki danych, w którym zliczane są impulsy; znajduje się w granicach określonych od dołu i od góry tzn. w przedziale energii, którego szerokość nie przekracza 3 % całkowitego zakresu analizatora.

1.2.11. różniczkowe widmo energetyczne — zależność częstości impulsów od energetycznego progu dyskryminacji w różniczkowym systemie obróbki danych.

1.2.12. stosunek alfa do beta — stosunek średnich wartości amplitud impulsów detektora wywołanych przez promieniowania alfa i beta o jednakowej energii.

1.2.13. wydajność rejestracji — stosunek liczby cząstek oddziaływających na scyntylator do całkowitej liczby cząstek padających na scyntylator.

1.2.14. stosunek „szczyt/dolina“ dla $^{60}\text{Co}(R_{Co})$ — stosunek liczby impulsów linii całkowitego pochłaniania o energii 1,33 MeV do liczby impulsów zarejestrowanych w minimum między liniami pełnego pochłaniania o energiach 1,17 i 1,33 MeV ^{60}Co .

1.2.15. Pozostałe określenia — wg PN-74/J-01003.08.

2. PARAMETRY PODSTAWOWE

Podstawowymi parametrami detektorów są:

- energetyczna zdolność rozdzielcza,
- stosunek liczby impulsów w maksimum linii 1,33 MeV do liczby impulsów w minimum między liniami: 1,17 i 1,33 MeV w ^{60}Co ,

Zgłoszona przez Instytut Badań Jądrowych (O)
Ustanowiona przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki dnia 8 września 1982 r.
jako norma obowiązująca od dnia 1 kwietnia 1983 r.
(Dz. Norm. i Miar nr 19/1982 poz. 38)

- względna wydajność świetlna,
- całkowita wydajność rejestracji,
- tło,
- stosunek amplitudy impulsu od promieniowania alfa do amplitudy impulsu od promieniowania beta,
- światłoszczelność.

Liczbowe wartości powinny być podane w normach przedmiotowych.

3. METODY POMIARÓW

3.1. Uwagi ogólne

a) Jeśli normy przedmiotowe nie podają inaczej pomiary parametrów detektorów należy wykonywać

w następujących warunkach klimatycznych:

- temperatura (20 ± 5 °C),
- wilgotność względna (60 ± 5 %),
- ciśnienie atmosferyczne (86 kPa — 106 kPa).

b) Układy detekcji i obróbki danych mogą być użyte do pomiarów po ustaleniu się ich warunków pracy.

c) W pomiarach nie dopuszcza się odchyień od nominalnych warunków roboczych określonych w normach przedmiotowych.

d) Parametry podlegające sprawdzeniu i energie promieniowań, dla których wykonuje się pomiary poszczególnych typów detektorów, podane w tabl. 1 ÷ 7.

Tablica 1. Nieorganiczne detektory krystaliczne

Detektor	Zakres zastosowań	Energia dla której dokonuje się pomiarów parametrów, keV			
		R	ν_λ	η_i	n_b
NAJ(Tl)	Detekcja i spektrometria promieniowania gamma	661,6	661,6	—	powyżej 25
NAJ(Tl) z aluminowym lub berylowym cienkim okienkiem	Detekcja i spektrometria promieniowania rentgenowskiego i gamma o niskiej energii	40	40	—	powyżej 2
CsJ(Tl)	Detekcja i spektrometria promieniowania gamma	661,6	661,6	—	powyżej 25
CsJ(Na)					
CsJ(Tl)	Spektrometria promieniowania α	5155	5155	w granicach „plato“	w granicach „plato“
ZnS(Ag) ZnO(Ga)	Detekcja promieniowania alfa				
CaF ₂ (Eu)	Detekcja i spektrometria promieniowania gamma — (o niskiej energii) beta itp.	40	40	—	powyżej 2
LiJ(Eu)	Detekcja i spektrometria neutronów	cząstki alfa o energii 4780 z reakcji ${}^6\text{Li}/n, \alpha/{}^3\text{H}$	—	różniczkowa pod badaną linią	—

Tablica 2. Organiczne detektory krystaliczne

Detektor	Zakres zastosowań	Energia dla której dokonuje się pomiarów parametrów, keV			
		R	ν_λ	η_i	n_b
Antracen lub stilben	Detekcja promieniowania alfa i gamma, spektrometria promieniowania beta i neutronów prędkich	624	482	482	—
Dwuhydro-pirydyna			624	624	

Całkowitą wydajność rejestracji mierzy się tylko dla neutronów

Tablica 3. Detektory plastikowe i ciekłe

Detektor	Zakres zastosowań	Energia dla której dokonuje się pomiarów parametrów, keV			
		R	ν_λ	η_i	n_b
Plastyczny	Detekcja promieniowania beta, gamma i rentgenowskiego	—	482	—	—
Ciekły	Detekcja promieniowania beta (o małej energii) oraz alfa				

Tablica 4. Szkła scyntylacyjne

Detektor	Zakres zastosowań	Energia dla której dokonuje się pomiarów parametrów, keV			
		R	ν_λ	η_i	n_b
Szko domieszkowane litem	Detekcja neutronów i promieniowania mieszane-go	Cząstki alfa o energii 4780 z reakcji ${}^6\text{Li}/n, \alpha/{}^3\text{H}$	—	—	—

Tablica 5. Detektory składowe

Detektor	Zakres zastosowań	Parametry podlegające sprawdzeniu			
		R	ν_λ	η_i	n_b
Scyntylator plastikowy z nałożoną na niego warstwą ZnS/Ag/	Detekcja promieniowania alfa i beta	nie	nie	nie	dla promieniowania alfa — tak, dla promieniowania beta — nie

Tablica 6. Specjalne detektory neutronów

Detektor	Zakres zastosowań	Parametry podlegające sprawdzeniu			
		R	ν_λ	η_i	n_b
Neutronowy	Detekcja neutronów powolnych Detekcja neutronów prędkich	nie	nie	tak	nie

Tablica 7. Detektory z wmontowanymi do nich na stałe promieniotwórczymi źródłami wzorcowymi

Detektor	Zakres zastosowań	Parametry podlegające sprawdzeniu			
		R	ν_λ	η_i	n_b
CsJ(Tl) ²⁴¹ Am	Stabilizacja traktów pomiarowych	tak	tak	nie	nie
NaJ(Tl) ²⁴¹ Am					
Plastykowy ⁹⁰ Sr	Kalibracja wzmocnienia fotopowielacza Przeznaczony dla pracy w reżymie prądowym	nie	nie	nie	nie

3.2. Pomiar energetycznej zdolności rozdzielczej, R

3.2.1. Aparatura i źródła promieniowań

a) Źródło promieniowania dobiera się w zależności od typu detektora.

b) Detektor promieniowania alfa jest kalibrowany źródłami promieniowania alfa ²³⁹Pu i ²⁴¹Am.

c) Detektor promieniowania beta jest kalibrowany źródłem elektronów konwersji z ¹³⁷Cs.

d) Detektor promieniowania gamma jest kalibrowany źródłem promieniowania gamma ¹³⁷Cs.

e) Detektor promieniowania gamma o niskiej energii i promieniowania rentgenowskiego jest kalibrowany źródłami promieniowania charakterystycznego o energii nie większej 40 keV.

f) Detektor neutronowy jest kalibrowany źródłami neutronów dwu typów: ²⁴¹Am + Be i ²³⁹Pu + Be.

g) Układ obróbki danych.

h) Układ detekcji.

3.2.2. Wykonanie pomiarów. Napięcie robocze układu detekcji oraz wzmocnienie wzmacniacza układu obróbki danych dobiera się tak, aby położenie maksimum krzywej mierzonego rozkładu widmowego izotopu promieniotwórczego znajdowało się między 75 % a 90 % maksymalnej liczby kanałów analizatora; przy tym napięcie robocze układu detekcji powinno być tak dobrane, żeby otrzymać również optymalną zdolność rozdzielczą R.

Różniczkowe widmo energetyczne należy mierzyć przy zadanej szerokości zakresu energii analizatora w obszarze, odpowiadającym energii badanego promieniowania.

Z otrzymanego widma energetycznego określa się szerokość krzywej rozkładu na połowie jej wysokości (FWHM), i położenie maksimum krzywej rozkładu (U_{max}).

3.2.3. Opracowywanie wyników pomiarów. Wartość energetycznej zdolności rozdzielczej R, w procentach, wylicza się ze wzoru

$$R = \frac{(FWHM)}{U_{max}} \cdot 100 \quad (1)$$

Wartość R, w keV, wyraża się z relacji:

$$R = (FWHM) \quad (2)$$

3.3. Pomiar stosunku „szczyt-dolina“ dla ⁶⁰Co, R_{Co} w maksimum linii 1,33 MeV, oznaczony R_{Co}

3.3.1. Aparatura i źródło promieniotwórcze

a) Aparatura jak w 3.2.1.

b) Jako źródło promieniotwórcze należy użyć preparat promieniotwórczy z punktowym źródłem ⁶⁰Co.

3.3.2. Wykonanie pomiarów. Przy użyciu spektrometrycznego układu obróbki danych wyznacza się maksymalną liczbę impulsów $N_{1,33}$ linii o energii 1,33 MeV i minimalną liczbę impulsów N_{min} między liniami 1,17 MeV i 1,33 MeV.

3.3.3. Opracowanie wyników. Stosunek $N_{1,33}$ do N_{min} dla ⁶⁰Co oznaczony przez R_{Co} wylicza się ze wzoru

$$R_{Co} = \frac{N_{1,33}}{N_{min}} \quad (3)$$

3.4. Pomiar względnej wydajności świetlnej, ν_λ

3.4.1. Aparatura i źródła promieniotwórcze. Aparatura i źródła promieniotwórcze jak w 3.2.1.

3.4.2. Wykonanie pomiarów. Należy mierzyć różniczkowe widmo energetyczne przy ustalonej szerokości przedziału energii analizatora w obszarze odpowiadającym energii badanego promieniowania. Robocze napięcie układu detekcji i wzmocnienie wzmacniacza spektrometrycznego układu wybiera się przy założeniu, że maksimum krzywej rozkładu lub maksimum krawędzi rozkładu komptonowskiego znajdzie się między 75 % a 90 % całkowitej liczby kanałów analizatora.

Ponieważ względna wydajność świetlna jest funkcją wymiarów detektora i jakości jego produkcji, wzorcowy i badany detektor powinny mieć jednakowe wymiary i zbliżoną jakość produkcji lub jeśli to niemożliwe do spełnienia, należy wyznaczyć współczynnik przeliczeniowy dla innych wymiarów albo innej jakości produkcji.

Dobrane napięcie robocze należy pozostawić bez zmian dla wszystkich pomiarów; szerokość kanału należy wybrać tak, aby stanowiła ona nie więcej niż 3 % maksymalnego zakresu analizatora. W pomiarach trzeba ustalić standardową geometrię i dbać o jej stałość. Pomiar widma energetycznego powinien być wykonany co najmniej dwa razy.

3.4.3. Opracowanie wyników. Względną wydajność świetlną ν_λ , w procentach, wyznacza się ze wzoru

$$\nu_\lambda = \frac{U_x}{U_s} \cdot 100 \quad (4)$$

w którym:

U_x — położenie fotolinii lub krawędzi komptonowskiej dla badanego detektora,

U_s — położenie fotolinii lub krawędzi komptonowskiej dla detektora wzorcowego.

3.5. Pomiar całkowitej wydajności rejestracji, η_t

3.5.1. Aparatura i źródła promieniotwórcze

a) Aparatura i źródła promieniotwórcze jak w 3.3.1 z wyłączeniem poz. c).

b) Detektor ze źródłem promieniotwórczym beta ^{90}Sr .

3.5.2. Wykonanie pomiarów. Należy wykonać pomiar liczby impulsów N_s dla ustalonej geometrycznej konfiguracji źródła promieniotwórcze — układ detekcji.

Jeśli geometria nie jest ustalona, wzorcowe źródło należy położyć na okienku czołowym detektora. Częstość impulsów badanych należy dobrać tak, aby była ona o rząd większa od liczby impulsów tła n_b . Czas pomiaru t_s ustalić w sekundach, tak aby liczba zarejestrowanych impulsów była rzędu 10^4 .

Źródło promieniotwórcze po wykonaniu powyższego pomiaru usuwa się z układu detekcji do pojemnika i przeprowadza pomiar liczby impulsów N_b tła w tych samych warunkach geometrycznych i czasowych.

3.5.3. Opracowanie wyników. Częstość impulsów n_s odpowiadających badanemu źródłu promieniotwórczemu oblicza się wg wzoru

$$n_s = \frac{N_s - N_b}{t_s} \quad (5)$$

Całkowitą wydajność rejestracji, w procentach, określa się jako stosunek częstości impulsów od badanego źródła do liczby cząstek emitowanych przez badane źródło promieniotwórcze, wg wzoru

$$\eta_t = \frac{n_s}{A \cdot \bar{n}} \cdot 100 \quad (6)$$

w którym:

n_s — częstość impulsów badanego źródła, s^{-1} ,

A — aktywność badanego źródła promieniotwórczego, Bq,

\bar{n} — średnia liczba cząstek emitowanych przy jednym akcie rozpadu nuklidu promieniotwórczego.

Do liczbowej wartości η_t należy koniecznie opisać stosowaną geometrię np. $\eta_t = 20\%$ (punktowe źródło promieniotwórcze ^{137}Cs umieszczone w odległości 50 mm od czołowego okienka detektora, zakres energii w przedziale $50 \div 1000$ keV):

dla ^{241}Am $\bar{n}(\alpha) = 1,00$

dla ^{90}Sr $\bar{n}(\beta) = 2,00$

dla ^{137}Cs $\bar{n}(\gamma) = 0,85$

Stosując źródła promieniotwórcze należy pamiętać przy obróbce danych o wniesieniu poprawek do aktywności A uwzględniających rozpad promieniotwórczy nuklidów.

Zmiany aktywności w czasie można uwzględnić stosując następujący wzór:

$$A(t) = A(t_1) \cdot e^{-\lambda \Delta t} \quad (7)$$

w którym:

$\Delta t = t - t_1$

t — data przeprowadzenia pomiaru,

t_1 — data wydania atestu na źródło promieniotwórcze,

λ — stała rozpadu promieniotwórczego.

3.6. Pomiar tła, n_b

3.6.1. Aparatura jak w 3.2.1 g) i h).

3.6.2. Wykonanie pomiarów. Należy mierzyć liczbę impulsów pod nieobecność źródła promieniotwórczego w pobliżu układu detekcji. Sumaryczny czas pomiaru t powinien spełniać warunki:

$$t > \frac{400}{n_{b1}}$$

$$t \geq 60 \text{ s}$$

gdzie n_{b1} — częstość impulsów pochodzących od tła ustalona w normie przedmiotowej.

Do liczbowego wyznaczenia tła n_{b1} trzeba wskazać typ i grubość materiału osłony.

Sumaryczny czas pomiaru

$$t = \sum_{i=1}^l t_i$$

gdzie: t_i — czas i -tego pomiaru,

l — liczba pomiarów.

Jeśli $t_i = t_1$ tzn. jest stały dla wszystkich pomiarów to

$$t = l t_1 \quad (8)$$

3.6.3. Opracowanie pomiarów. Z otrzymanych wartości liczb impulsów N_{bi} wyznacza się częstość impulsów tła n_{b2} na sekundę (s^{-1}), rejestrowaną przez detektor, na podstawie wzoru

$$n_{b2} = \frac{\sum_{i=1}^l N_{bi}}{t} \quad (9)$$

3.7. Pomiar stosunku amplitud od promieniowania alfa do beta

3.7.1. Aparatura i źródła promieniotwórcze

a) Źródła promieniotwórcze alfa ^{239}Pu i ^{241}Am .

b) Źródło elektronów konwersyjnych lub ciągłego promieniowania beta w postaci izotopu ^{137}Cs .

c) Układ obróbki danych.

d) Układ detekcji.

3.7.2. Wykonanie pomiarów. Należy mierzyć różniczkowe widma energetyczne promieniowań alfa i beta w normalnych roboczych warunkach dla ustalonej szerokości okna analizatora w obszarze widma energetycznego odpowiadającym energii mierzonego promieniowania. Napięcie robocze układu detekcji i wzmocnienie wzmacniacza układu spektrometrycznego dobiera się przy założeniu, że położenia maksimum widma będą się znajdować między 75% a 90% maksymalnej liczby kanałów analizatora.

Ustala się amplitudy impulsów odpowiadających promieniowaniom alfa i beta (U_α i U_β).

Wartość stosunku alfa do beta wyznacza się ze wzoru

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{U_\alpha}{U_\beta} \cdot \frac{E_\beta}{E_\alpha} \quad (10)$$

w którym:

E_α — energia promieniowania alfa,

E_β — energia promieniowania beta.

3.8. Pomiar świątłoszczelności

3.8.1. Aparatura

a) Układ obróbki danych.

b) Układ detekcji.

3.8.2. Wykonanie pomiarów. Detektor z przykrywką osłonową zamyka się w światłoszczelnej obudowie. Następnie wykonuje się co najmniej trzy pomiary, z których wyznacza się średnią wartość liczby zliczeń \bar{N} .

Po tych pomiarach zdejmuje się obudowę i przykrywkę osłonową. Jeżeli w wyniku tej operacji bardzo szybko wzrasta częstość impulsów (np. 10 razy w porównaniu z pomiarami w ciemnościach) należy niezwłocznie odłączyć wysokie napięcie i uznać detektor za niesprawny.

Natomiast po stwierdzeniu, że częstość impulsów nie wzrosła, należy wykonać pomiar tła przy istniejącym poziomie oświetlenia i wyznaczyć średnią wartość N_s z trzech pomiarów.

Detektor uznaje się za światłoszczelny (zdolny do pracy), jeżeli różnica między wartościami \bar{N} i \bar{N}_s nie przekracza błędów statystycznych przy poziomie ufności 2σ .

K O N I E C

INFORMACJE DODATKOWE

1. Instytucja opracowująca normę — Instytut Badań Jądrowych, Branżowy Ośrodek Normalizacyjny Aparatury Jądrowej.

2. Normy związane
PN-74/J-01003.08 Technika jądrowa. Nazwy i określenia. Detektory promieniowania jonizującego

3. Zalecenia międzynarodowe
RWPG CT CЭB 2668-80 Изделия ядерного приборостроения.

Детекторы сцинтилляционные. Основные параметры и методы измерения — норма zgodna (jest tłumaczeniem CT)

4. Wykaz różnic i uzupełnień normy w stosunku do CT CЭB

a) uściślono energię kwantów gamma ze źródła wzorcowego ^{137}Cs z 661 na 661,6,

b) uściślono energię elektronów konwersji ze źródła ^{207}Bi z 477 na 482.

5. Autor projektu normy — dr E. Rurarz, Zd IA IBJ.