

WYZNACZENIE CZASU MARTWEGO LICZNIKA GEIGERA-MÜLLERA METODĄ DWÓCH ŹRÓDEŁ

Uwaga! Jest to tylko zarys teorii wymaganej w celu przeprowadzenia ćwiczenia.

Materiał teoretyczny można odnaleźć w przytoczonej bibliografii.

Liczbę zdarzeń fizycznych w procesie losowym można rejestrować przy pomocy detektora. Jeżeli liczba tych zdarzeń jest dostatecznie duża, to otrzymany wynik jest obarczony błędem wynikającym z konstrukcji użytego detektora i jest niezależny od sposobu wykonania pomiaru. Przyczyną tego błędu jest przede wszystkim obecność układu elektronicznego, który fizyczne zdarzenie przetwarza na sygnał elektryczny rejestrowany w module akwizycyjnym detektora. Z tego powodu np. detektor promieniowania jonizującego rejestruje mniejszą liczbę cząstek tego promieniowania w stosunku do bardzo dużej ich liczby docierających do okienka detektora. Określona cząstka promieniowania jonizującego może być zarejestrowana w postaci sygnału elektrycznego tylko wtedy, gdy proces przetwarzania przez układ elektroniczny detektora zdarzenia fizycznego związanego z przejściem przez detektor poprzedniej cząstki zostanie zakończony. Oznacza to, że rejestracja (przetwarzanie impulsu na sygnał elektryczny) dwóch cząstek promieniowania jonizującego musi być rozdzielona w czasie. Ten czas, w którym nie jest możliwe zarejestrowanie kolejnej cząstki promieniowania nazywany jest CZASEM MARTWYM detektora. Istotą pomiaru dozymetrycznego jest ustalenie rzeczywistego natężenia promieniowania jonizującego, które jest w oczywisty sposób związane z liczbą cząstek tego promieniowania. Z tego powodu w dozymetrii wprowadza się poprawkę pozwalającą na obliczenie rzeczywistej liczby cząstek promieniowania jonizującego na podstawie zarejestrowanej ich liczby przez detektor. Do wyprowadzenia wzoru na tę poprawkę niezbędne jest zdefiniowanie kilku wielkości fizycznych:

t – realny czas zliczania przez detektor cząstek promieniowania jonizującego

T – czas, w którym detektor ma fizyczną możliwość zliczania cząstek promieniowania jonizującego, czyli wartość tego parametru zależy od wartości czasu martwego.

τ – czas martwy detektora, jest bardzo małą liczbą w porównaniu do t oraz T

C – całkowita liczba zarejestrowanych cząstek promieniowania jonizującego

n – zmierzona szybkość zliczania cząstek promieniowania jonizującego, $n = \frac{C}{t}$

N – prawdziwa szybkość zliczania, $N = \frac{C}{T}$, czyli rzeczywista liczba cząstek docierająca do okienka detektora

Z definicji dotyczących czasu wynika, że

$$T = t - \tau \quad (1)$$

Jak wspomniano wyżej $\tau \ll t$ i $\tau \ll T$ (kilka rzędów wielkości), co prowadzi do nieprzydatnej z fizycznego punktu widzenia równości $T \cong t$. Z tego powodu korzystne jest wprowadzenie do wzoru liczby C zarejestrowanych cząstek promieniowania jonizującego i zapisania równania (1) w postaci

$$T = t - C\tau \quad (2)$$

co umożliwi wyprowadzenie wzoru na rzeczywistą liczbę cząstek promieniowania jonizującego docierających do okienka detektora.

Z drugiej strony można obliczyć stosunek liczby n zarejestrowanych przez detektor cząstek w jednostce czasu do rzeczywistej szybkości N zliczania cząsteczek promieniowania docierających do okienka detektora.

$$\frac{n}{N} = \frac{C}{t} \cdot \frac{T}{C} = \frac{T}{t} \quad (3)$$

Dzieląc równanie (2) przez t , otrzymuje się

$$\frac{T}{t} = 1 - \frac{C}{t}\tau \quad (4)$$

Wykorzystując zależności $\frac{C}{t} = n$ i $\frac{n}{N} = \frac{T}{t}$ oraz przekształcając równanie (4) otrzymuje się wzór na wspomnianą poprawkę:

$$N = \frac{n}{1 - n\tau} \quad (5)$$

który wyraża rzeczywistą liczbę N cząstek promieniowania jonizującego padającego na detektor, który miał fizyczną możliwość zarejestrowania tylko n cząstek promieniowania na skutek występowania czasu martwego τ .

Do wyznaczania wartości czasu martwego stosuje się metodę dwóch źródeł promieniowania jonizującego. W pierwszej kolejności wyznacza się szybkość zliczeń n_1 pierwszego źródła, następnie szybkość zliczeń $n_{1,2}$ obu źródeł i na koniec szybkość zliczeń n_2 drugiego źródła (szczegóły postępowania w instrukcji do ćwiczenia). Teoretycznie wyniki pomiarów powinny spełniać równość

$$n_1 + n_2 = n_{1,2}$$

Jednak równość ta nie jest spełniona z uwagi na to, że czas martwy w większym stopniu wpływa na błąd szybkości zliczeń $n_{1,2}$ i $n_{1,2} < n_1 + n_2$. Z tego względu do wyznaczania wartości czasu martwego należy wziąć po uwagę równanie zawierające rzeczywiste liczby cząstek promieniowania:

$$N_{1,2} = N_1 + N_2$$

i zastosować wyznaczoną wcześniej poprawkę. W konsekwencji otrzymuje się wyrażenie,

$$\frac{n_{1,2}}{1 - \tau n_{1,2}} = \frac{n_1}{1 - \tau n_1} + \frac{n_2}{1 - \tau n_2} \quad (6)$$

z którego wyznacza się równanie pozwalające na obliczenie wartości czasu martwego.

$$\tau \cong \frac{n_1 + n_2 - n_{1,2}}{2n_1 n_2} \quad (7)$$

Symbol „ $\cong$ - prawie równe” w zależności (7) jest niezbędny z uwagi na to, że wyznaczając parametr τ z równania (6) pomija się wielkości zawierające τ^2 z uwagi na ich bardzo małą wartość. Ze względu na to, że szybkość zliczeń jest zdefiniowane równością $n = \frac{C}{t}$, do wyznaczania czasu martwego licznika stosuje się zależność

$$\tau \cong \left(\frac{C_1 + C_2 - C_{1,2}}{2C_1 C_2} \right) \cdot t$$

gdzie C oznacza liczbę zarejestrowanych cząstek promieniowania jonizującego w czasie t .

Wymagane wiadomości teoretyczne

1. Promieniotwórczość naturalna: promieniowanie alfa (α), beta (β), gamma (γ).
2. Prawo rozpadu ciał promieniotwórczych.
3. Budowa i zasada działania licznika Geigera-Müllera i półprzewodnikowego detektora promieniowania jonizującego.
4. Wyjaśnić pojęcie czasu martwego detektorów promieniowania jonizującego.
5. Jednostki aktywności promieniowania jonizującego.
6. Szeregi promieniotwórcze.

Proponowana literatura

1. S. Mięgisz, A. Hendrich, „Wybrane zagadnienia z biofizyki”, Volumed, Wrocław 1998.
2. K. Michalak, A. Hendrich, „Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki”, Wydawnictwo AM Wrocław, 2002.
3. H. Szydłowski, „Pracownia fizyczna”, PWN, Warszawa 1999.
4. I. Adamczewski, „Fizyka medyczna i elementy biofizyki”, PZWL, 1969.
5. T. Dryński, „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki”, PWN, Warszawa 1980.
6. T. Hilczer - Ćwiczenia z fizyki jądrowej, rozdz. 2.
7. A. Piątkowski, W. Scharf - Elektroniczne mierniki promieniowania jonizującego, str. 195-289.
8. J.B. England - Metody doświadczalne fizyki jądrowej, str. 50-74.