

### Doświadczenie 3

## Badanie rozpadu promieniotwórczego metodą koincydencji

Podstawy fizyki jądrowej i cząstek elementarnych (laboratorium)

#### Cel doświadczenia:

1. Zapoznanie się z techniką koincydencyjnej detekcji kwantów  $\gamma$ .
2. Sprawdzenie, że w rozpadzie promieniotwórczym jąder  $^{60}\text{Co}$  kwanty  $\gamma$  są emitowane w krótkim czasie jeden po drugim.

#### Literatura:

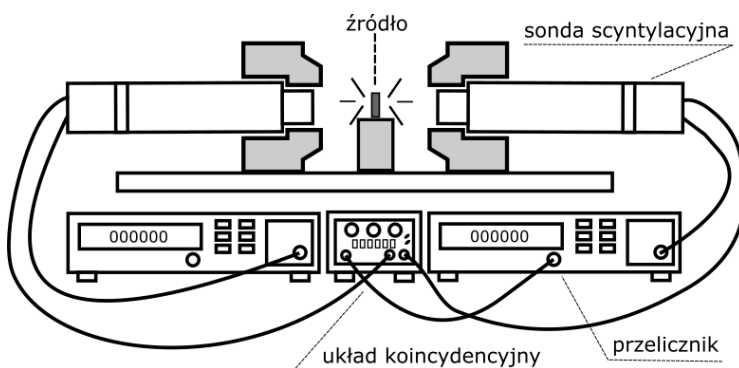
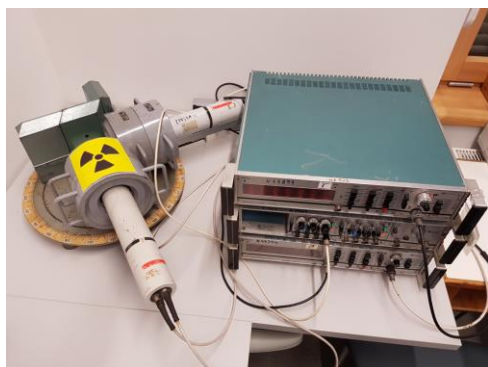
1. A. Strzałkowski, „Wstęp do Fizyki Jądra Atomowego”, PWN, Warszawa 1979
2. J. Araminowicz, K. Małuszyńska, M. Przytuła, „Laboratorium Fizyki Jądrowej”, PWN Warszawa 1974
3. J.B.A. England, „Metody doświadczalne fizyki jądrowej”, PWN, Warszawa 1980
4. E. Skrzypczak, Z. Szefliński, „Wstęp do Fizyki Jądra Atomowego i Cząstek Elementarnych”, PWN, Warszawa 2002

#### Wymagane wiadomości:

1. Proces rozpadu promieniotwórczego jąder  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{60}\text{Co}$  (typ rozpadu, emitowane cząstki, energia promieniowania  $\gamma$ ).
2. Działanie sondy scyntylicyjnej (proces scyntytacji, działanie fotopowielacza, wydajność detekcji, energetyczna zdolność rozdzielcza).
3. Pomiary koincydencyjne, czas koincydencji (zależność częstości koincydencji przypadkowych od czasu rozdzielczego układu koincydencji).

#### Układ pomiarowy:

Układ pomiarowy składa się z dwóch sond scyntylicyjnych układu koincydencyjnego i przelicznika. Sondy są umieszczone w osłonach ołowianych w celu zmniejszenia wpływu tła naturalnego. Impulsy z sond są podawane na wejścia układu koincydencyjnego. Wyjście układu koincydencyjnego podłączone jest do jednego z przeliczników.



Rysunek 1. Zdjęcie i schemat układu pomiarowego wykorzystanego w doświadczeniu nr 1.

Tabela 1. Podstawowe parametry izotopu  $^{137}\text{Cs}$ .

Typ rozpadu	Czas połowicznego zaniku ( $T_{1/2}$ )	Główna energia promieniowania $\gamma$	Ilość kwantów $\gamma$ na 100 rozpadów	Aktywność na 01.12.1999
$\beta$	$(30,17 \pm 0,03)$ lat	661,7 keV	85,1	$5,5 \cdot 10^6$ Bq

Tabela 2. Podstawowe parametry izotopu  $^{60}\text{Co}$ .

Typ rozpadu	Czas połowicznego zaniku ( $T_{1/2}$ )	Główne energie promieniowania $\gamma$	Ilość kwantów $\gamma$ na 100 rozpadów	Aktywność na 03.04.2006
$\beta$	$(1925,20 \pm 0,25)$ dni	1,1732 MeV 1,3325 MeV	100 100	$5,352 \cdot 10^5$ Bq

### Wykonanie doświadczenia:

1. Ustalenie takich wartości progów dyskryminacji obu sond scyntylicyjnych aby sondy rejestrowały średnio 150-200 zliczeń na sekundę.
2. Wykonanie pomiarów tła w celu wyznaczenia wartości  $I_T$ .
3. Umieszczenie w układzie źródła  $^{137}\text{Cs}$ .
4. Wykonanie pomiaru liczby zliczeń rejestrowanej przez obie sondy w czasie 100 s.
5. Następnie wykonanie pomiarów koincydencyjnych dla różnych zdolności rozdzielczych układu koincydencyjnego (0.2, 0.5, 1, 2 i 5 mikrosekund) w czasie 200 s.
6. Umieszczenie w układzie źródła  $^{60}\text{Co}$ .
7. Wykonanie analogicznych pomiarów jak dla źródła  $^{137}\text{Cs}$ .

### Opracowanie wyników pomiarów:

1. Uśrednić powtórzenia dla pojedynczego wyniku i określić jego dokładność.
2. Przeliczyć wszystkie dane jako liczba zliczeń na sekundę.
3. Narysować na wykresie dane dla  $^{137}\text{Cs}$  i  $^{60}\text{Co}$  w funkcji czasu rozdzielczego koincydencji.
4. Porównać zmierzone częstości koincydencji z przewidywaniami teoretycznymi.
5. Wyznaczenie aktywności źródła  $^{60}\text{Co}$  w dniu pomiaru.
6. Przekształcić otrzymane wyniki i wyciągnąć wnioski.

Rozpad promieniotwórczy może być zjawiskiem wieloetapowym. Dzieje się tak wtedy, powstałe w wyniku przemiany jądro nie jest trwałe i w bardzo krótkim czasie ulega kolejnym rozpadom. Zjawisko takie nazywane jest przejściem kaskadowym. Z przejściem takim związane jest z emisją kilku kwantów promieniowania. Ich rejestracja w krótkim przedziale czasu może zostać wykorzystane do wyznaczenia aktywności źródła promieniotwórczego (metoda koincydencji).

Istotą metody koincydencyjnej jest rejestracja w bardzo krótkim przedziale czasu, przez dwa niezależne liczniki, kwantów  $\gamma$  jako dowodu zaistnienia przejścia kaskadowego.

Źródło promieniotwórcze  $^{60}\text{Co}$  rozpada się z jednoczesną emisją kwantów  $\gamma$  o niewiele różniących się wartościach energii. Liczba impulsów, które rejestruje sonda scyntylicyjna w jednostce czasu wyraża się wzorem:

$$N = k_1 A \Omega + k_2 A \Omega,$$

gdzie  $A$  – aktywność źródła,  $\Omega$  – względny kąt bryłowy pod jakim obszar czynny detektora jest widziany ze źródła,  $k_1$ ,  $k_2$  – współczynniki wydajności detektora dla kwantów o energiach  $E_1$  i  $E_2$ . Przy założeniu, że wydajność obu detektorów jest w przybliżeniu jednakowa dla kwantów o energiach  $E_1$  i  $E_2$  ( $k \approx k_1 \approx k_2$ ) z powodu niewielkiej różnicy pomiędzy tymi energiemi, każdy z liczników zarejestruje  $N_1$  i  $N_2$  impulsów:

$$N_1 = 2k_1 A \Omega_1; N_2 = 2k_2 A \Omega_2.$$

Emisja kwantów  $\gamma$  ze źródła  $^{60}\text{Co}$  jest słabo skorelowana kątowno, można zatem założyć, że emisja kwantu związanego z pierwszym przejściem w kaskadzie w określony kąt bryłowy jest niezależna od emisji kwantu związanego z drugim przejściem w ten sam kąt bryłowy. Zatem prawdopodobieństwo ich jednoczesnej rejestracji (koincydencja) jest proporcjonalne do iloczynu kątów bryłowych i wydajności obu detektorów. Zatem liczba koincydencji wynosi:

$$N_k = 2A k_1 k_2 \Omega_1 \Omega_2.$$

Tak więc aktywność źródła wyraża się wzorem:

$$A = \frac{N_1 N_2}{2 N_k} = \frac{N_{kp}}{4 N_k \tau}.$$

Podczas analizy należy pamiętać, że układ koincydencyjny może rejestrować tzw. Koincydencje przypadkowe, będące konsekwencją skończonego czasu rozdzielczego układu  $\tau$ . Załóżmy, że do układu koincydencyjnego dotarł impuls z jednego z detektorów. Jeżeli w czasie  $\Delta t < \tau$  nadejdzie impuls z drugiego detektora, to będą one zarejestrowane jako koincydencja nawet wtedy, kiedy nie pochodzą z tego samego przejścia kaskadowego.

Jeśli pierwszy detektor rejestruje  $N_1$  impulsów to układ koincydencyjny zostaje aktywowany na czas  $N_1 \cdot \tau$ . Liczba impulsów, jakie mogą w tym czasie być zarejestrowane przez drugi detektor wynosi  $N_1 \cdot N_2 \cdot \tau$ . Ponieważ impuls rejestrowany przez drugi detektor może wyprzedzać impuls w detektorze pierwszym, bądź być względem niego opóźniony, stąd czas, w ciągu którego są rejestrowane koincydencje przypadkowe jest równy  $2\tau$ . Tak więc częstość koincydencji dla jednej pary liczników wynosi:

$$N_{kp} = 2N_1N_2\tau.$$

Oprócz koincydencji przypadkowych ze źródła mogą nastąpić koincydencje przypadkowe kwantów promieniowania tła ( $N_{kt}$ ). W typowych warunkach pomiarowych są częstość koincydencji tła jest znacznie mniejsza od częstości koincydencji przypadkowych.

Ostatecznie częstość koincydencji rzeczywistych pochodzących ze źródła obliczamy odejmując od zmierzonej częstości koincydencji częstość koincydencji przypadkowych i częstość koincydencji tła.

### Sprawozdanie:

Sprawozdanie powinno zawierać:

- 1) **Wstęp.** Krótki opis metody doświadczalnej, opisanie teoretycznych przewidywań itp. (Nie więcej niż 1 strona)
- 2) **Doświadczenie.** Schemat doświadczenia, opis jego wykonania i przedstawienie wyników.
- 3) **Dyskusja.** Opracowanie wyników doświadczalnych i przedstawienie wyników. Dyskusja dokładności wyników i zgodności z przewidywaniami teoretycznymi.
- 4) **Podsumowanie.** Krótkie podsumowanie.

*Do sprawozdania nie wolno kopiować żadnych elementów instrukcji do ćwiczenia.*

*Autorzy: dr hab. Andrzej Andrejczuk, prof. UwB i dr Wojciech Olszewski*