

$\gamma 4$ – WŁASNOŚCI LICZNIKÓW PÓŁPRZEWODNIKOWEGO I SCYNTYLACYJNEGO.

I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest porównanie własności półprzewodnikowego detektora germanowego Ge(Li) oraz kryształu scyntylacyjnego NaJ(Tl) wykorzystanych do rejestracji promieniowania gamma. Badane będą następujące parametry detektorów: ich energetyczna zdolność rozdzielcza, kalibracja energetyczna oraz czułość na zmianę obciążenia rejestrowanego promieniowania.

II. Informacje potrzebne do przeprowadzenia eksperymentu

1. Promieniowanie γ – co to jest? W jakich procesach powstaje?
2. Rozpady promieniotwórcze – reguły wyboru¹ dla emisji kwantów gamma.
3. Schematy rozpadu² dla źródeł ^{22}Na , ^{60}Co , ^{133}Ba oraz ^{137}Cs .
4. Oddziaływanie promieniowania γ z materią – trzy podstawowe procesy.
5. Zasada działania detektorów półprzewodnikowych.
6. Zasada działania detektorów scyntylacyjnych.
7. Parametry charakteryzujące układ detekcyjny: zdolność rozdzielcza, wydajność, kalibracja energetyczna, czas martwy.

III. Aparatura pomiarowa

1. Licznik scyntylacyjny NaJ(Tl) z zasilaczem i przedwzmacniaczem.
2. Licznik półprzewodnikowy Ge(Li) z zasilaczem i przedwzmacniaczem
3. Wzmacniacz impulsów.
4. Przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC).
5. Komputer.
6. Linijka.
7. Źródła promieniotwórcze.

IV. Pomiary i analiza wyników

1. Pomiary z użyciem detektora scyntylacyjnego.
 - a. Detektor scyntylacyjny wymaga zasilania wysokim i niskim napięciem. Wysokie napięcie podawane jest z zasilacza wysokiego napięcia umieszczonego pod detektorami³ - na detektorze jest napisane jakiego znaku i jaką wartość napięcia należy podać. Niskie napięcie, które jest potrzebne do zasilania przedwzmacniacza, podawane jest z tylnych wyjść wzmacniaczy – oznacza to, że musi być włączona kasetka CAMAC⁴.
 - b. Ustawiamy źródło promieniotwórcze ^{60}Co w odległości około 10 cm od detektora. Wpierw oglądamy na ekranie oscyloskopu impuls wychodzący wprost

¹ Reguły wyboru, to wynikające z zasad zachowania reguły charakteryzujące prawdopodobieństwo zachodzenia rozpadów promieniotwórczych.

² Schemat rozpadu ^{133}Ba można znaleźć na pracowni. Schematy rozpadu pozostałych izotopów można znaleźć w instrukcji do ćwiczenia $\gamma 2$.

³ Stosowany zasilacz wysokiego napięcia jest zasilaczem lampowym i wymaga rozgrzania. Po jego włączeniu należy odczekać 10-15 minut i dopiero wtedy można ustawić napięcie.

⁴ Kasetka zawierająca różne moduły elektroniczne – w szczególności wzmacniacze impulsów.

- z przedwzmacniacza (czyli z detektora, gdyż przedwzmacniacz jest zintegrowany z detektorem). Następnie impuls ten podajemy na wzmacniacz i obserwujemy wzmacniony impuls na oscyloskopie. Stałą czasową kształtowania impulsu ustawiamy na 1 μ s, natomiast wzmacnienie ustawiamy tak, by amplituda impulsów na oscyloskopie była mniejsza od 10 V (pominąć należy sporadyczne impulsy o wysokiej amplitudzie). Wzmocniony impuls podajemy na przetwornik analogowo-cyfrowy, uruchamiamy na komputerze program analizujący (Tukan) i obserwujemy widmo energetyczne⁵ promieniowania emitowanego przez źródło.
- Czy widmo jest zrozumiałe i zgodne z oczekiwaniami? Jego prawy kraniec powinien być w maksymalnie prawej części okna – ale tak, by nie było obcięte. Jeżeli widmo jest obcięte z prawej strony, należy zmniejszyć wzmacnienie. I odwrotnie, jeżeli jest zbyt przesunięte na lewo należy zwiększyć wzmacnienie wzmacniacza.
 - Należy przedyskutować uzyskane widmo (jego kształt i położenie) z asystentem prowadzącym ćwiczenie, gdyż jest to ważne dla zrozumienia i poprawnego przeprowadzenia ćwiczenia.
 - Nie zmieniając już więcej ani wzmacnienia, ani stałej czasowej kształtowania impulsu przeprowadzamy pomiar widm pozostałych źródeł promieniotwórczych: ^{60}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs i ^{133}Ba (źródło baru można ustawić bliżej, gdyż jest ono dość słabe). Te i wszystkie następne widma mierzymy tak długo, aż będą ono „ładne”. Zwłaszcza struktury (piki), które nas interesują powinny mieć gładki kształt. Można też powiedzieć, że błąd pola powierzchni pików powinien być mniejszy niż 2%. Jak to szybko sprawdzić?
 - Przeprowadzamy serię około dziesięciu pomiarów ustawiając źródło ^{60}Co lub ^{137}Cs w różnych odległościach od detektora: od 1 cm do 25 cm. Za każdym razem do detektora wpada inna ilość cząstek na jednostkę czasu, czyli jest inne obciążenie detektora. Ważne jest zapisanie czasu trwania każdego z pomiarów.
 - Dla każdego pomiaru określamy położenie charakterystycznych dla danego źródła pików. Proszę zwrócić uwagę, że piki zawsze są nałożone na tło (przede wszystkim tło zewnętrzne i tło komptonowskie generowane przez mierzone źródło), a czasami mierzone piki nachodzą na siebie (np. w źródle kobaltu). Powoduje to, że chcąc określić położenie pików należy stosować bardziej skomplikowane funkcje do fitowania⁶ badanych widm. I tak, jeżeli uznamy, że pik, którego położenie chcemy znaleźć, ma kształt gaussowski (Jest to całkiem rozsądne założenie. Dlaczego?), natomiast tło jest wielomianem drugiego stopnia, to fitujemy sumę funkcji Gaussa i wielomianu. Jeżeli dwa piki nachodzą na siebie, to trzeba fitować sumę dwóch funkcji Gaussa oraz wielomian odtwarzający tło. Aby fit dał się przeprowadzić, często należy podać wstępne, przybliżone wartości parametrów fitowanych funkcji (można je znaleźć, albo metodą „na oko”, albo przeprowadzając wstępne uproszczone fity). Konieczne jest również rozsądne zdefiniowanie zakresu widma, które ma być fitowane (czyli jaką część widma przybliżamy naszą funkcją).
 - Przeprowadzamy kalibrację energetyczną detektora. Zmierzone położenia pików (pozycja określona w kanałach) dopasowujemy do odpowiadających im energii cząstek α (w MeV) i tworzymy wykres $E=f(\text{kanal})$ z naniesionymi punktami. Musimy

⁵ Widmo energetyczne, to zależność pomiędzy ilością zarejestrowanych przez detektor cząstek, a ich energią. Energia cząstki jest dana przez wielkość (amplituda lub pole powierzchni) impulsu wychodzącego z detektora i jest mierzona przez odpowiedni układ elektroniczny (przetwornik analogowo cyfrowy ADC). Przetwornik taki nie jest wykalibrowany, tzn. mierzy energię w dowolnych jednostkach, tzw. kanałach. Im wyższa energia zarejestrowanej cząstki, tym wyższy kanał w mierzonym widmie energetycznym zostanie inkrementowany.

⁶ Fitowanie, czyli dopasowywanie zadanej funkcji do grupy punktów (w naszym przypadku zmierzone punkty widma) przeprowadzamy używając np. programu *Tukan* lub *Origin*. Należy sprawdzić, jakie funkcje zostały w tych programach zdefiniowane.

znaleźć funkcję, która najlepiej opisuje powyższą zależność energii od kanałów. Decydujemy się na najlepiej pasującą funkcję i fitujemy ją do punktów. Parametry tej funkcji tworzą kalibrację detektora.

Uwaga: uzyskana zależność powinna być ciągła i jeżeli jakiś punkt pomiarowy zdecydowanie odstaje od innych, to najprawdopodobniej przypisana mu została zła energia cząstek lub źle określone zostało położenie pików.

- i. Korzystając z kalibracji energetycznej obliczamy zdolność rozdzielczą detektora dla każdej zmierzonej energii. Wykreślamy zależność zdolności energetycznej od energii.
 - j. Analiza pomiaru 1.f. Wykreślamy zależność ilości zmierzonych cząstek⁷ od odległości lub lepiej od pewnej funkcji odległości, lepszej do zademonstrowania tej zależności?. Jaka to funkcja? Co ma wpływ na wygląd zależności ilość cząstek od odległości źródła od detektora? Oczywiście, przy tym porównaniu należy uwzględnić czas pomiaru danego widma – wszystkie widma muszą być znormalizowane do tego samego czasu.
2. Pomiary z użyciem detektora półprzewodnikowego.
Cała procedura jest identyczna z tą dla detektora scyntylicyjnego, z tym, że stosowany jest inny zasilacz wysokiego napięcia. Znajduje się on w kracie CAMAC. Wartość i znak napięcia również znajduje się na obudowie detektora.
Uwaga: Gwałtowna zmiana napięcia może zniszczyć detektor. Dlatego włączanie, wyłączanie i zmiana napięcia może odbywać się tylko pod kierunkiem osoby prowadzącej.
 3. Porównanie parametrów detektorów półprzewodnikowego i scyntylicyjnego.
Proszę porównać oba detektory i sformułować wnioski. Jakie są ich zalety i wady.
 4. Osoby zainteresowane mogą badać efekty czasu martwego⁸:
 - a. zmniejszyć jego wpływ poprzez zastosowanie bramek logicznych⁹.
 - b. pomiar czasu martwego metodą dwuźródłową lub inną.

V. Literatura

1. **A. Strzałkowski, Wstęp do fizyki jądra atomowego, PWN.** Rozdziały dotyczące oddziaływania promieniowania gamma z materią oraz detektorów (liczników) półprzewodnikowych i scyntylicyjnych.
2. **W.R. Leo, Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Springer-Verlag.**
Ta pozycja jest trudno dostępna. Jej szersze przeczytanie nie jest konieczne, warto jednak wiedzieć o istnieniu tej niezwykle przydatnej w pracy fizyka eksperymentalnego książki.
Jest natomiast bardzo pożytecznym zapoznanie się z poniżej zamieszczonym fragmentem opisującym podstawowe cechy układów detekcyjnych.

⁷ Ilość cząstek, czyli pole powierzchni pod pikiem, znajdujemy ją jako jeden z parametrów fitu do danych zmierzonych w serii pomiarowej z podpunktu f.

⁸ W tym celu dobrze jest zapoznać się z zamieszczonym poniżej opisem cech detektora (druga pozycja w wykazie literatury).

⁹ Patrz ćwiczenie e1.