



ĆWICZENIE

3c

LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ

Dobór napięcia pracy detektora scyntylacyjnego

1. Cel ćwiczenia

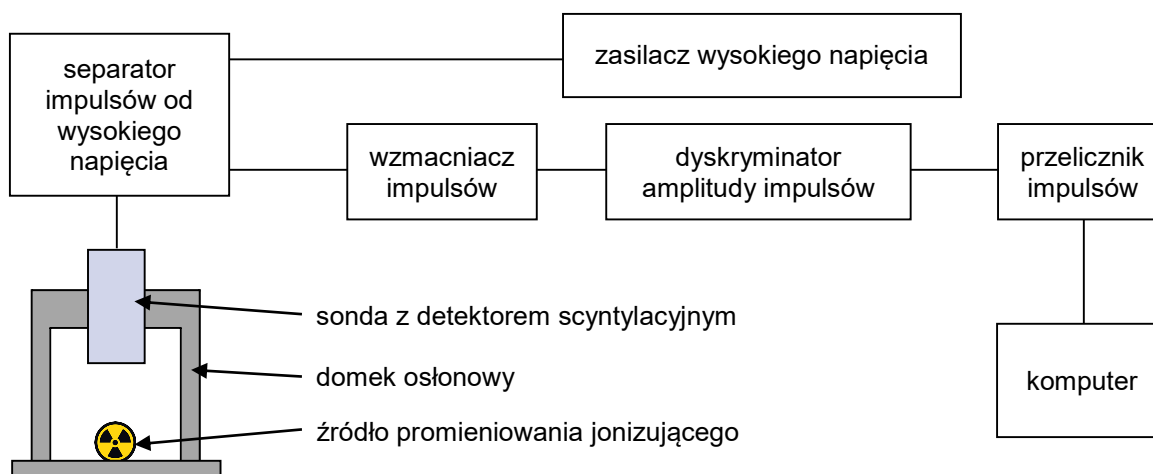
Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania detektora scyntylacyjnego, wyznaczenie jego charakterystyki napięciowo-impulsowej i dobór optymalnego napięcia pracy tego detektora.

2. Układ doświadczalny

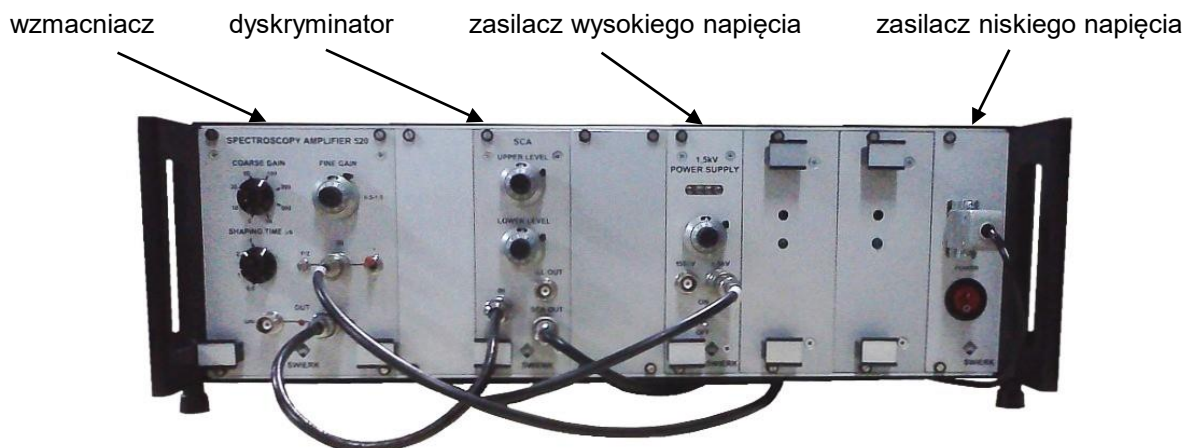
W skład zestawu doświadczalnego wchodzi:

- źródło promieniowania jonizującego,
- domek osłonowy,
- sonda z detektorem scyntylacyjnym,
- separator oddzielający impulsy z detektora od wysokiego napięcia z zasilacza,
- zasilacz wysokiego napięcia (rys. 2),
- wzmacniacz impulsów (rys. 2),
- dyskryminator amplitudy impulsów (rys. 2),
- przelicznik impulsów z interfejsem USB,
- komputer z programem do obsługi przelicznika.

Wszystkie te elementy zorganizowane są w sposób przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowy aparatury pomiarowej.



Rys. 2. Zestaw zasilająco-wzmacniający.

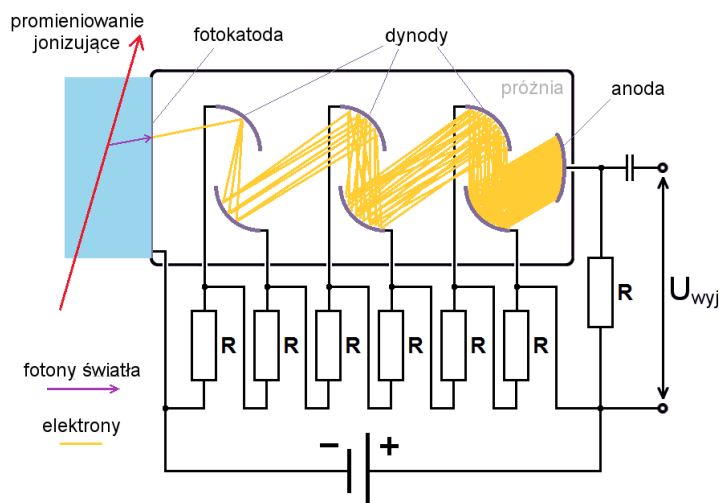
3. Wstęp teoretyczny

1. Opis działania detektora scyntylicyjnego

Działanie detektorów scyntylicyjnych (rys. 3) polega na rejestracji słabych błysków światła zwanych *scyntylacjami*, które powstają, gdy różne rodzaje cząstek promieniowania jonizujące pobudzają do świecenia niektóre substancje zwane *scyntylatorami* (lub czasem także – nieco myląc – *fosforami*). Jako scyntylatory stosuje się zwykle różne kryształy lub ciecze, choć zjawisko to zachodzi również dla gazów. Oczywiście substancja ta musi być przezroczysta dla światła generowanego w niej samej, by można było zarejestrować je także poza scyntylatorem. Jasność błysku zwykle zależy od energii, jaką przelatująca cząstka zostawia w scyntylatorze, jednak w znakomitej większości są to ilości światła niewidoczne gołym okiem (czasami wręcz pojedyncze fotony).

W celu precyzyjnego pomiaru natężenia światła pochodzącego ze scyntylatora stosuje się tzw. *powielacze fotoelektronowe* (w skrócie *fotopowielacze*). Fotopowielacz to najczęściej umieszczony w próżni zestaw elektrod zwanych *dynodami*, do których przyłożone jest kolejno coraz to wyższe napięcie. Zwykle stosuje się do kilkunastu dynod, a napięcie pomiędzy sąsiednimi dynodami jest rzędu 100 V. Pierwsza z elektrod jest tzw. *fotokatoda*, bowiem to właśnie na nią padają fotony, które wybijają pierwsze elektrony. Te elektrony, rozpędzone polem elektrycznym pomiędzy dynodami, wybijają z następnej elektrody jeszcze więcej elektronów, a te z kolei lecą przyspieszane polem elektrycznym do kolejnej dynody, gdzie sytuacja się powtarza. Dzieje się tak wielokrotnie na każdej parze dynod. Napięcie pomiędzy dynodami nie może być zbyt małe, bo nie następowałoby wzmocnienie, ani zbyt wysokie, bo następowałoby silniejsza emisja elektronów niezwiązana ze scyntylacjami (np. termoemisja). W efekcie na ostatniej elektrodzie (czyli anodzie) otrzymuje się wzmocnienie liczby elektronów nawet w stosunku 1 000 000:1, a ich ładunek może być bardzo szybko odprowadzony w postaci impulsu prądowego. Pojedyncza cząstka przelatująca przez scyntylator wywołuje jeden taki impuls.

Fakt, że cząstki o różnych energiach powodują powstawanie impulsów o różnych wysokościach, może być wykorzystany do mierzenia energii tych cząstek. Wymaga to znalezienia zależności pomiędzy wysokością impulsów a energią, co nazywa się *kalibracją energetyczną* i zwykle przeprowadza na drodze eksperymentalnej.



Rys. 3. Schemat działania detektora scyntylacyjnego.

2. Hipoteza

Działanie detektora zależy od przyłożonego napięcia. W ćwiczeniu będzie wykonywana charakterystyka tej zależności (tzw. *charakterystyka napięciowo-impulsowa*) w celu sprawdzenia, czy zgadza się ona z poniższym opisem.

Gdy napięcie zasilania detektora jest małe, pole elektryczne pomiędzy dynodami nie jest w stanie przyspieszyć elektrony do dużych energii i nie wybijają one wielu innych elektronów. Wzmocnienie fotopowielacza jest wtedy małe, więc jedynie cząstki zostawiające w scyntylatorze dużo energii spowodują powstanie mierzalnych impulsów. Dla cząstek o małych energiach impulsy będą nieodróżnialne od szumów elektronicznych. Wraz ze wzrostem napięcia wzrasta wzmocnienie fotopowielacza, bo elektrony są szybciej rozpędzane i wybijają więcej następnych elektronów. Impulsy od cząstek o dużych energiach powinny być zatem coraz większe, a ponadto zaczną być rejestrowane impulsy od cząstek o małych energiach. W ogólnym wypadku wraz ze wzrostem napięcia powinna zatem wzrastać zarówno amplituda impulsów, jak i ich liczba.

Wpływ na wyniki pomiaru może mieć fakt, że wraz ze wzrostem wzmocnienia rejestrowane zaczną być cząstki o najniższej możliwej do zmierzenia energii. Dalsze zwiększanie napięcia nie spowoduje już zatem dużego wzrostu liczby impulsów, bo nie będzie już innych cząstek, które mogłyby zacząć być rejestrowane. Jedynie niewielka zmiana liczby impulsów może wynikać z procesów, które dzieją się w samym fotopowielaczu – ale nie będą to impulsy pochodzące od promieniowania przelatującego przez scyntylator, tylko różnego rodzaju zakłócenia.

Innym czynnikiem wpływającym na wyniki pomiaru jest fakt, że od pewnego napięcia zaczyna się poziom wzmocnienia, przy którym impulsy zaczynają osiągać maksymalną wysokość dozwoloną w danym układzie pomiarowym. Dalsze zwiększanie napięcia spowoduje, że amplituda impulsów od cząstek o coraz mniejszych energiach przestanie się różnić, co oznacza stratę informacji na temat energii tych cząstek.

Niezależnie od wpływu napięcia zasilania detektora, liczba impulsów oraz ich wysokość może być zakłócona przez zjawisko nakładania się na siebie dwóch błysków światła pochodzących od dwóch niezależnych cząstek (po ang. „*pile up*” – „spiętrzanie się”). W efekcie rejestrowany jest tylko jeden impuls, którego amplituda jest równa w przybliżeniu sumie amplitud dwóch niezależnych impulsów. Zjawisko to występuje stosunkowo rzadko, a jego prawdopodobieństwo zależy po pierwsze od właściwości scyntylatora, a po drugie od natężenia promieniowania. W praktyce jest ono zauważalne jedynie przy dużych natężeniach promieniowania, gdy prawdopodobieństwo przelotu przez scyntylator dwóch cząstek naraz jest znaczące.

Uwzględniając powyższe czynniki można przewidywać, że istnieje pewien próg napięcia, poniżej którego liczba rejestrowanych impulsów jest znikomo niska. Po jego przekroczeniu wraz ze wzrostem napięcia powinno następować ciągle zwiększanie się liczby rejestrowanych impulsów, które jednocześnie będzie zależne od energii cząstek przelatujących przez scyntylator. Wreszcie, po przekroczeniu kolejnego progu napięcia, można oczekiwać względnej stabilizacji liczby impulsów.

4. Przebieg doświadczenia

⚠ Uwaga! Wszelkie operacje ze źródłami promieniowania przeprowadza obsługa laboratorium!

- A) Włączyć układ pomiarowy zgodnie z dołączonym do niego opisem.
- B) Włączyć komputer, a w nim program do obsługi przelicznika.
- C) ⚠ Otworzyć domek osłonowy, włożyć do niego źródło promieniotwórcze i zamknąć domek.
- D) Ustawić czas zliczania przelicznika na stałą wartość zgodnie z dołączonym opisem.
- E) Ustawić napięcie zasilania detektora U na wartość z zakresu przewidzianego do pomiarów (zgodnie z dołączonym opisem układu pomiarowego).
- F) Wykonać trzy pomiary liczby impulsów N , a wyniki zapisać w tabeli wraz z wartością napięcia U .
- G) Ustawić następne napięcie i wykonać kolejne pomiary zapisując wyniki. Pomiary należy wykonać dla wielu różnych wartości napięcia. Zakres napięć, odstęp pomiędzy nimi oraz kolejność wykonywania pomiarów ustalić z obsługą laboratorium.
- H) Po zakończeniu pomiarów obniżyć napięcie do zera i wyłączyć układ pomiarowy zgodnie z dołączonym opisem.
- I) ⚠ Otworzyć domek osłonowy i usunąć z niego źródło promieniotwórcze.
- J) Dla każdego napięcia obliczyć średnią wartość liczby impulsów N_{sr} , po czym wykonać wykres zależności N_{sr} od U . Czy wykres ten jest zgodny z przewidywaniami teoretycznymi? Z czego mogą wynikać ewentualne różnice?
- K) Na podstawie wykresu określić, jakie byłoby najlepsze napięcie pracy detektora scyntylacyjnego używanego do wykrywania obecności promieniowania.
- L) Na podstawie wykresu określić, jakie byłoby najlepsze napięcie pracy detektora scyntylacyjnego używanego do pomiaru energii rejestrowanych cząstek.