



ĆWICZENIE

2b

LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ

Pochłanianie cząstek β w różnych materiałach

1. Cel ćwiczenia

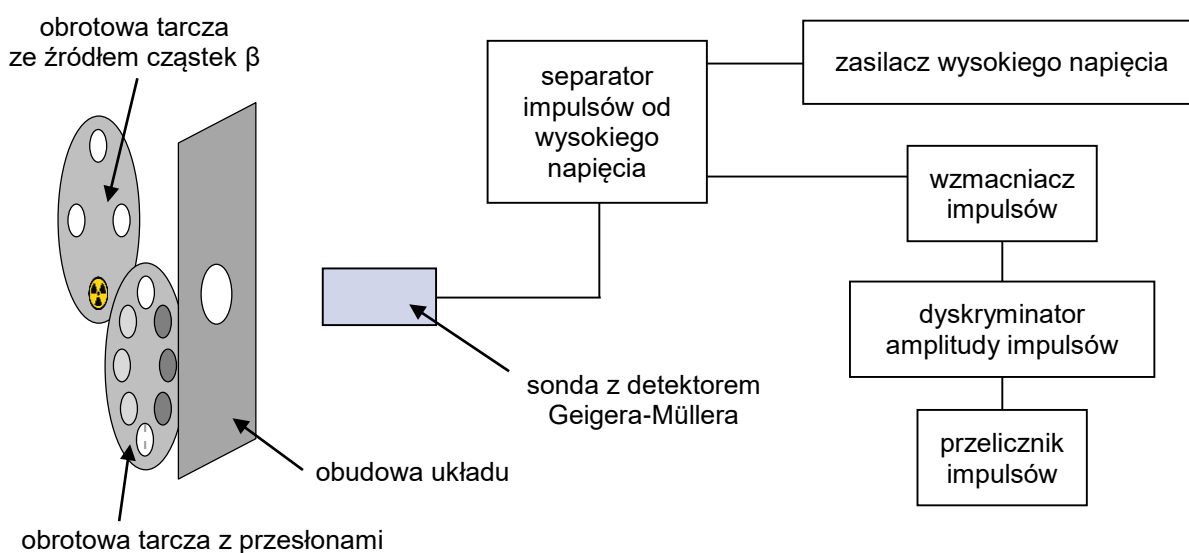
Celem ćwiczenia jest sprawdzenie, jak cząstki β oddziałują z materią oraz wyznaczenie odpowiedniego współczynnika charakteryzującego pochłanianie tych cząstek w kilku różnych materiałach.

2. Układ doświadczalny

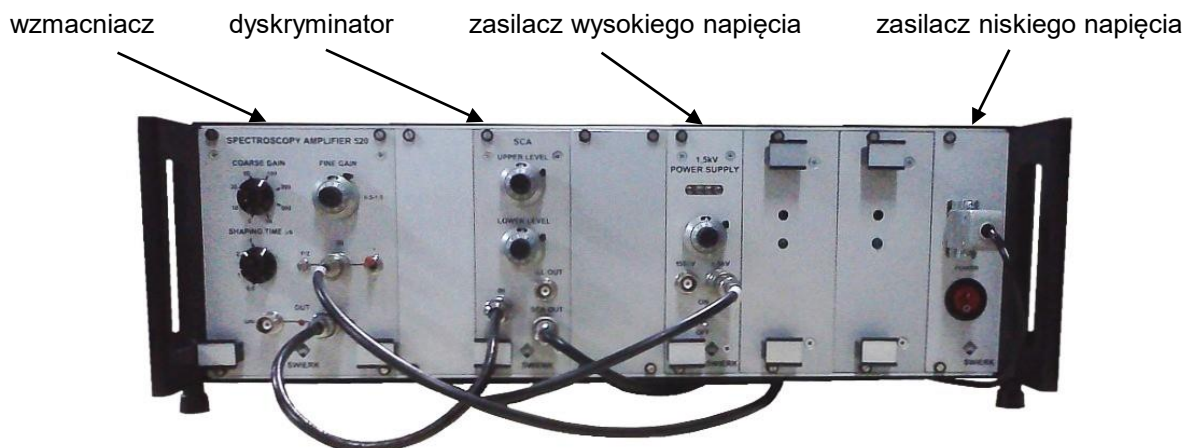
W skład zestawu doświadczalnego wchodzi:

- źródło promieniowania β umieszczone na obrotowej tarczy w obudowie,
- zestaw przesłon o znanych grubościach z różnych materiałów na obrotowej tarczy,
- sonda z detektorem Geigera-Müllera typu AOH (z cienkim okienkiem),
- 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.

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



Rys. 1. Schemat ideowy aparatury pomiarowej.

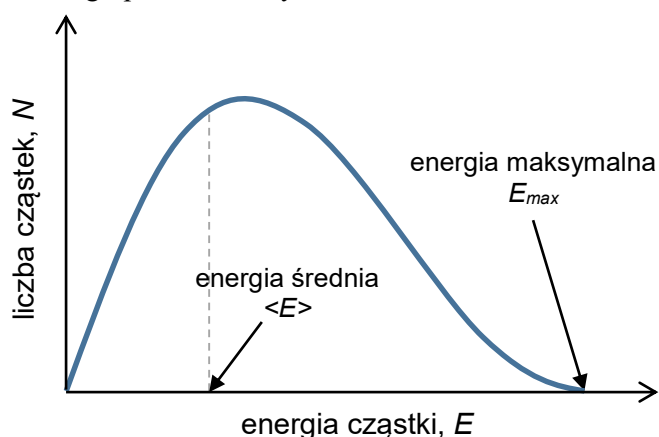


Rys. 2. Zestaw zasilająco-wzmacniający.

3. Wstęp teoretyczny

1. Emisja cząstek β

Cząstki β to elektrony (lub pozytony) emitowane w rozpadzie, w którym wzbudzone jądro atomowe emituje także antyneutrino (lub neutrino) elektronowe. Całkowita energia rozpadu jest w takim przypadku rozdzielana na trzy ciała: cząstkę β , antyneutrino i samo jądro, które doznaje odrzutu podczas emisji oraz przekształca się w jądro innego izotopu. Podczas rozpadu β^- w jądrze jeden z neutronów przemienia się w proton, zaś emitowane cząstki to elektron i antyneutrino elektronowe. Podczas rozpadu β^+ jeden z protonów przemienia się w neutron, zaś emitowane są pozyton i neutrino elektronowe. Energia, z jaką emitowana jest cząstka β , zależy w takim razie od tego, jaką ilość energii przejmą pozostałe dwa ciała: jądro i antyneutrino/neutrino. W praktyce oznacza to, że atomy jednego izotopu β -promieniotwórczego mogą emitować cząstki β o wielu różnych energiach, a rozkład tych energii przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Widmo energetyczne promieniowania β

2. Oddziaływanie cząstek β z materią

Mówiąc o promieniowaniu β myślimy o strumieniach elektronów lub pozytonów. Głównym procesem usuwającym z wiązki pozytony jest ich anihilacja. Elektrony, przechodząc przez materię, oddziałują z nią głównie w wyniku jednego z trzech zjawisk: zderzeń sprężystych, zderzeń niesprężystych i promieniowania hamowania. Z tych wszystkich zjawisk większość (anihilacja i zderzenia) polega na oddziaływaniu promieniowania β z elektronami atomów materii, przez którą to promieniowanie przechodzi. Tylko promieniowanie hamowania polega na oddziaływaniu z jądrami

atomowymi. Wobec tego można przypuszczać, że skuteczniejszymi osłonami przed promieniowaniem β będą te materiały, w których na drodze cząstek β stoi więcej elektronów. W szczególności oznacza to materiały o dużej gęstości, w których jest dużo atomów na małej przestrzeni, oraz materiały o dużej średniej liczbie porządkowej atomów, gdyż im większa liczba porządkowa, tym więcej elektronów przy pojedynczym atomie.

Przy każdym zderzeniu cząstki β tracą część energii kinetycznej, a więc zwalniają. Jeśli zużyją całą swoją energię, zatrzymują się. To jeden z powodów tego, że natężenie promieniowania β maleje podczas przelotu przez przesłonę.

Ze względu na małą masę cząstek β , a co za tym idzie także stosunkowo mały pęd, po zderzeniu ich tor ulega odchyleniu. Oczywiście pęd zależy także od prędkości cząstek, czyli też od ich energii, ale nie zmienia to faktu, że tor lotu cząstek w materii jest linią łamaną. Jeśli początkowo cząstki lecą w spójnej wiązce, to po przelocie przez przesłonę będą one rozproszone pod różnymi kątami (także wstecz). Z pierwotnej wiązki tylko część z nich będzie leciała w kierunku z grubsza zgodnym z pierwotnym biegiem wiązki.

W ogólności można zastosować przybliżenie, że liczba cząstek dN , które są usuwane z wiązki przez ciekłą warstwę przesłony (o grubości dx), jest proporcjonalna do całkowitej liczby cząstek N i do pewnego parametru μ , który charakteryzuje materiał danej przesłony i nazywany jest *liniowym współczynnikiem pochłaniania*.

$$dN = -\mu \cdot N \cdot dx \quad (1)$$

Minus w powyższym równaniu różniczkowym oznacza ubytek cząstek. Po rozwiązaniu tego równania uzyskuje się wzór na zależność natężenia promieniowania od grubości przesłony x :

$$N(x) = N(0) \cdot e^{-\mu x} \quad (2)$$

2. Hipoteza

Dysponując przesłoną o znanej grubości x wykonaną z jakiegoś materiału oraz źródłem promieniowania jonizującego i dopasowanym do niego detektorem można wyznaczyć liniowy współczynnik pochłaniania promieniowania w danym materiale. W tym celu należy zmierzyć natężenie promieniowania wylatującego ze źródła i rejestrowanego przez detektor bez przesłony $N(0)$ oraz z przesłoną $N(x)$, a następnie podstawić wartości $N(0)$, $N(x)$ oraz x do równania (2) przekształconego do odpowiedniej postaci:

$$\mu = -\frac{\ln \frac{N(x)}{N(0)}}{x} \quad (3)$$

Ponieważ liniowy współczynnik pochłaniania jest charakterystyczny dla materiału, to przy pomiarach przesłon o różnych grubościach zrobionych z tej samej substancji wynik powinien być taki sam. Sprawdzenie, czy tak jest istotnie, jest jednym z celów tego ćwiczenia.

Drugim celem tego ćwiczenia jest porównanie wartości liniowego współczynnika pochłaniania dla substancji różniących się składem atomowym oraz gęstością.

4. Przebieg doświadczenia

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

A) Włączyć układ pomiarowy zgodnie z dołączonym do niego opisem.

B) Przy pomocy odpowiednich pokręteł obrócić tarczę ze źródłem i tarczę z przesłonami tak, by źródło było widoczne dla detektora bez żadnej przesłony.

C) Ustawić sondę z detektorem w wybranej odległości od źródła. Ustawienie skonsultować z obsługą laboratorium.

D) Ustawić czas zliczania przelicznika na stałą wartość zgodnie z dołączonym opisem.

E) Wykonać kilka pomiarów liczby impulsów, a ich wyniki zapisać jako kolejne wartości $N(0)$. Liczbę pomiarów ustalić z obsługą laboratorium.

F) Przy pomocy odpowiedniego pokrętkła ustawić jedną z przesłon wykonanych z aluminium pomiędzy źródłem a detektorem.

G) Ponownie wykonać kilka pomiarów liczby impulsów, a ich wyniki zapisać jako kolejne wartości $N(x)$ wraz z wartością x .

H) Pomiary powtórzyć dla pozostałych przesłon aluminiowych.

Uwaga: podczas przeprowadzania pomiarów sonda z detektorem powinna znajdować się cały czas w tej samej odległości od źródła. Przesuwanie sondy wpływa na natężenie mierzonego promieniowania i może prowadzić do pomyłek w interpretacji wyników.

I) Po zakończeniu pomiarów z przesłonami aluminiowymi wykonać analogiczne pomiary z zestawem przesłon ołowianych oraz przesłoną papierową, za każdym razem zapisując wyniki i grubości.

J) Po zakończeniu pomiarów dla wszystkich przesłon przy pomocy pokrętkła obrócić tarczę ze źródłem tak, by było schowane za osłoną.

K) Wykonać kilka pomiarów tzw. *tła* (lub inaczej *biegu własnego*), czyli liczby impulsów, które nie są związane z promieniowaniem ze źródła, tylko z promieniowaniem naturalnym otoczenia oraz działaniem samej aparatury. Wyniki zapisać jako N_{tla} .

L) Dla każdej serii pomiarowej obliczyć średnią wartość liczby impulsów.

M) Czy średnia wartość N_{tla} jest znacząca w porównaniu ze średnimi wartościami $N(x)$ i $N(0)$? Jeśli tak, to przed przystąpieniem do dalszych obliczeń odjąć tę wartość średnią N_{tla} od każdej z tych wartości.

N) Na podstawie równania (3) obliczyć wartości liniowych współczynników pochłaniania μ dla każdej przesłony. Czy dla przesłon wykonanych z tego samego materiału wartości μ są takie same? Jeśli nie, to jak to można wytłumaczyć?

O) Oszacować niepewności pomiarowe wszystkich zmierzonych bądź obliczonych wielkości. Jak znajomość tych niepewności wpływa na wnioski z ćwiczenia?

P) Po zakończeniu ćwiczenia wyłączyć układ pomiarowy zgodnie z dołączonym do niego opisem.