

Ćwiczenie 2

Badanie pochłaniania promieniowania α i β w powietrzu oraz w absorbencie

CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie:

- zbadanie pochłaniania promieniowania β w różnych materiałach i wyznaczenie zasięgu w poszczególnych absorberach,
- pomiar promieniowania emitowanego przez źródło ^{241}Am sondą półprzewodnikową oraz opcjonalnie z licznikiem Geigera-Müllera.

WYPOSAŻENIE STANOWISKA POMIAROWEGO

- radiometr Colibri
- sonda z detektorem krzemowym (SPAB-15)
- sonda z licznikiem Geigera-Müllera (SABG-15+) (opcjonalnie)
- źródła promieniotwórcze α i β : ^{241}Am i ^{90}Sr
- płytki plastikowe służące do ustawienia sondy w określonej odległości od źródła
- krążki aluminiowe służące jako absorbery)
- kartki papieru (o gramaturze ok. 80 g/m^2)
- szkiełka służące jako absorbery
- 2 tuleje aluminiowe

WYKONANIE POMIARÓW

1. BADANIE POCHŁANIANIA PROMIENIOWANIA β W ABSORBERACH

W pomiarach wykorzystać sondę z detektorem krzemowym

Sondę należy przestawić w tryb rejestracji promieniowania β . Następnie należy zmierzyć poziom tła β w miejscu, gdzie będą prowadzone pomiary (pomiar powinien trwać minimum 2-3 min).

Źródło promieniowania β należy ostrożnie wyjąć z pudełka (chwytać za „matową” aluminiową obudowę) i położyć na stole, aktywną („błyszczącą”) stroną do góry. Nie wolno dotykać aktywnej powierzchni źródła!

Nad źródłem należy ustawić dwie tuleje aluminiowe, tak by źródło znalazło się centralnie w otworze tulei. Absorbery kłaść na tuleje. Zbadać częstość zliczeń rejestrowanych przez sondę w funkcji grubości absorbera (poczynając od zerowej grubości absorbera).

Korzystając z funkcji preselekcji czasu w radiometrze dobierać czas poszczególnych pomiarów, tak aby uzyskać statystykę pozwalającą na nie przekraczanie 2% błędu względnego (ile zliczeń należy

zarejestrować, żeby spełnić ten warunek?). Jeśli czas pomiaru konieczny dla zachowania powyższego warunku byłby dłuższy niż 100 s, nie wydłużać czasu pomiaru godząc się na pogorszenie względnych niepewności pomiarowych. (Limit 100 s jest ustalony arbitralnie).

W czasie pomiarów należy pilnować, aby środek detektora był umieszczony dokładnie nad środkiem źródła promieniotwórczego.

Pomiary wykonać dla następujących absorberów:

- Al,
- szkło,
- papier.

2. POMIAR PROMIENIOWANIA EMITOWANEGO ZE ŹRÓDŁA ^{241}Am

Pierwszy pomiar przeprowadzić z użyciem półprzewodnikowej sondy krzemowej. Sondę należy przestawić w tryb rejestracji promieniowania α . Zmierzyć poziom tła promieniowania α w miejscu, gdzie będą prowadzone pomiary.

Następnie należy ostrożnie zdjąć pokrywę kapsułki zawierającą źródło radioaktywne ^{241}Am . W odkrytej części kapsułki znajduje się wgłębienie, w którym jest umieszczony materiał radioaktywny, pokryty bardzo cienką folią ochronną wykonaną z materiału o nazwie Mylar D). Folia ochronna jest niezwykle delikatna. Pod żadnym pozorem nie wolno dotykać izotopu znajdującego się we wgłębieniu lub kapsułki w okolicach otworu, zarówno palcami, ani jakimikolwiek przedmiotem (np. pęsetą).

W ćwiczeniu mierzona będzie liczba zliczeń na sekundę promieniowania α rejestrowaną przez sondę w zależności od odległości źródło-sonda.

Otwartą kapsułkę ze źródłem należy umieścić na stole otworem do góry. Do ustalenia odległości źródło — sonda posłużą plastikowe krążki z otworem (CD-rom). Krążki różnią się nieznacznie grubościami, każdorazowo należy więc mierzyć grubość dokładanej warstwy. Krążki należy nakładać na kapsułkę, nie dotykając jej, tak by źródło znalazło się w otworze po środku stosu płytek. Minimalna wymagana liczba płytek to 4 – co odpowiada przyłożeniu ochronnej siatki sondy niemal bezpośrednio do górnej powierzchni kapsułki ze źródłem.

Do stosu płytek należy przyłożyć sondę i wykonać pomiar. Zwiększanie odległości sondy od źródła należy kontynuować, aż do chwili, gdy wskazania radiometru spadną do poziomu tła.

Trzeba zachować szczególną ostrożność, by nie uszkodzić okna sondy – również to okno jest bardzo delikatnym elementem i nie wolno go dotykać.

Należy korzystać z funkcji preselekcji czasu w radiometrze dobierając czas pomiaru tak, aby w każdym pomiarze uzyskać statystykę zliczeń pozwalającą na nieprzekraczanie 5% względnej niepewności (ile zliczeń należy zarejestrować, żeby spełnić ten warunek?). Jeśli czas pomiaru konieczny dla zachowania powyższego warunku byłby dłuższy niż 60 s, nie wydłużać czasu pomiaru godząc się na pogorszenie względnych niepewności pomiarowych. (Limit 60 s jest ustalony arbitralnie).

ANALIZA WYNIKÓW (dla obu części ćwiczenia, pomiary α i β)Pochłanianie promieniowania β

- Wyliczyć częstości zliczeń i jej niepewność zmierzonych dla poszczególnych grubości absorberów (pamiętać o uwzględnieniu zliczeń tła).
- Wyniki przestawić na wykresie: częstość zliczeń w funkcji grubości absorbera (dobierając skalę tak, by cały wykres był czytelny).
- Do danych doświadczalnych dopasować zależność postaci:

$$I(x) = I_{01} \cdot \exp(-\mu_1 \cdot x) + I_{02} \cdot \exp(-\mu_2 \cdot x)$$

gdzie I_{01} , I_{02} , μ_1 i μ_2 to parametry dopasowania.

- Wykorzystując empiryczną zależność

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{17}{(E_{\max})^{1.14}} \quad (*)$$

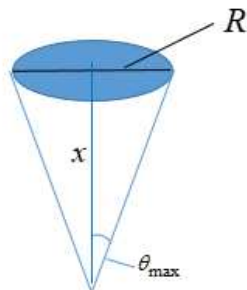
wyznaczyć maksymalne energie cząstek beta emitowanych w rozpadzie ^{90}Sr i ^{90}Y .

We wzorze (*) E_{\max} wyrażone jest w MeV, a masowy współczynnik absorpcji μ/ρ w cm^2/g , ρ to gęstość absorbera w g/cm^3 .

- Porównać otrzymane wyniki z tablicowymi wartościami maksymalnych energii cząstek beta emitowanych w rozpadach ^{90}Sr i ^{90}Y .

Pomiar promieniowania emitowanego ze źródła ^{241}Am

- Obliczyć częstości zliczeń ($I(x)$) i jej niepewność zmierzonych dla poszczególnych grubości warstwy powietrza (x).
- Obliczyć poprawkę na zmianę kąta bryłowego pod jakim źródło oświetla detektor w kolejnych pomiarach:



$$\tan \theta_{\max} = \frac{R}{x} \Rightarrow \theta_{\max} = \arctan\left(\frac{R}{x}\right)$$

R- promień detektora

x – odległość źródła od detektora

$$\Omega = 2\pi \int_0^{\theta_{\max}} \sin \theta d\theta = 2\pi [-\cos \theta]_0^{\theta_{\max}} = 2\pi [1 - \cos \theta_{\max}]$$

- Sporządzić wykres zależności $I(x)/\Omega$ od x i odczytać grubość warstwy powietrza (R_1), przy której liczba zliczeń spada do połowy wartości maksymalnej.
- Odczytać z wykresu zasięg (R_2) w powietrzu cząstek alfa o energii E_{prog} , równej minimalnej energii cząstek alfa rejestrowanych przez detektor.
- Obliczyć całkowity zasięg cząstek alfa w powietrzu $R=R_1+R_2$

$$R = R_1 + R_2 = \int_{E_0}^{E_{prog}} \left(- \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \right)^{-1} dE + \int_{E_{prog}}^0 \left(- \left\langle \frac{dE}{dx} \right\rangle \right)^{-1} dE$$

i odczytać z wykresu energię początkową cząstek alfa emitowanych ze źródła ^{241}Am .

- Otrzymaną wartość porównać z danymi tablicowymi.

Studenta przystępującego do wykonywania ćwiczenia obowiązuje znajomość następujących pojęć i zagadnień:

- zasada działania licznika Geigera-Müllera,
- zasada działania detektora półprzewodnikowego,
- widmo cząstek beta emitowanych w rozpadzie beta,
- widmo cząstek alfa emitowanych w rozpadzie alfa,
- zasięg cząstek alfa i beta w materii, zdolność hamująca,
- krzywa Bragga, pik Bragga

DODATEK

Promieniowanie beta ze źródła ^{90}Sr

Izotop ^{90}Sr ulega rozpadowi β z czasem połowicznego zaniku równym 28.8 lat. Całkowita energia wyzwolana w procesie tego rozpadu wynosi 0.546 MeV i dzielona jest pomiędzy elektron, antyneutrino oraz powstające jądro ^{90}Y . Maksymalna energia promieniowania jonizującego powstającego w tym rozpadzie wynosi więc 0.546 MeV.

Wyprodukowany w przemianie β ^{90}Sr izotop ^{90}Y jest również niestabilny – ulega on kolejnemu rozpadowi β z czasem połowicznego zaniku równym 64 godziny. Maksymalna energia powstającego w tym rozpadzie promieniowania β to 2.27 MeV.

Widmo elektronów emitowanych przez źródło ^{90}Sr jest więc sumą widm z pierwszego i drugiego rozpadu. Średnia energia takich elektronów jest równa 1.13 MeV.

materiał absorbera	gęstość	maksymalny zasięg e^-	
		(2.3 MeV)	(1.1 MeV)
powietrze	1.2 mg/cm ³	8.8 m	3.8 m
woda (tkanki miękkie)	1.0 g/cm ³	11 mm	4.6 mm
plastik	1.2	9.6 mm	4.0 mm
szkło	2.2	5.6 mm	2.2 mm
aluminium	2.7	4.2 mm	2.0 mm
miedź	8.9	1.2 mm	0.5 mm
ołów	11.3	1.0 mm	0.4 mm

Zasięg w różnych materiałach elektronów ze źródła ^{90}Sr przedstawia Tabela:

Warto pamiętać, że zasięg elektronów można z grubsza oszacować, przyjmując, że zasięg wyrażony w g/cm² jest równy połowie maksymalnej energii elektronów wyrażonej w MeV.

Strata energii i zasięg cząstek alfa w powietrzu

