

Z30 - POMIAR ENERGII CZĄSTEK α SPEKTROMETREM PÓŁPRZEWODNIKOWYM. WYZNACZANIE STRAT CZĄSTEK α W POWIETRZU I ALUMINIUM.

II Pracownia Fizyczna

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński

Celem ćwiczenia jest ilościowy pomiar strat energii promieniowania α wywołany ich oddziaływaniem z materią: folią aluminiową oraz powietrzem o różnym ciśnieniu.

Zagadnienia do przestudiowania

1. Podstawowe informacje dotyczące rozpadu α . [1]
2. Oddziaływania ciężkich cząstek naładowanych z materią oraz detektory (liczniki) półprzewodnikowe. [2]
3. Informacje dodatkowe dotyczące oddziaływania ciężkich cząstek z materią. [3]

Przed przystąpieniem do ćwiczenia należy koniecznie przeczytać pełną instrukcję do ćwiczenia (jest ona dostępna po zalogowaniu na stronę II pracowni fizycznej).

Zadania obliczeniowe

Straty energii dla ciężkich cząstek naładowanych w zderzeniach atomowych są dobrze opisane w szerokim zakresie energii wzorem podanym przez H.A. Bethe oraz F. Blocha:

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi N_a r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[\ln \left(\frac{2m_e \gamma^2 \beta^2 c^2 W_{max}}{I^2} \right) - 2\beta^2 \right],$$

gdzie:

r_e – klasyczny promień elektronu = $2.818 \cdot 10^{-15}$ m,

m_e – masa elektronu,

N_a – liczba Avogadra,

I – średni potencjał jonizacji,

Z – liczba atomowa absorbentu,

A – liczba masowa absorbentu (de facto masa molowa, by zgadzały się jednostki),

ρ – gęstość absorbentu,

z – ładunek cząstki padającej [jednostki ładunku elektronu],

β – prędkość cząstki padającej,

c – prędkość światła w próżni,

$\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$,

$W_{max} \cong 2m_e(\beta\gamma c)^2$ to maksymalny przekaz energii w pojedynczym zderzeniu. Został on policzony na podstawie rozważań kinematycznych. Dla określenia średniego potencjału jonizacji stosuje się wzór

fenomenologiczny:

$$\begin{cases} \frac{I}{Z} = 12 + \frac{7}{Z} \text{ [eV]} & \text{gdy } Z < 13 \\ \frac{I}{Z} = 9.76 + 58.8 \cdot Z^{-19} \text{ [eV]} & \text{gdy } Z \geq 13 \end{cases}$$

Proszę ustalić, jaką jednostkę ma każda z powyższych zmiennych i ile wynoszą używane stałe lub własności cząstek i materii.

Aparatura i materiały

Zestaw pomiarowy pokazany jest na Rys.1. W skład zestawu wchodzi:

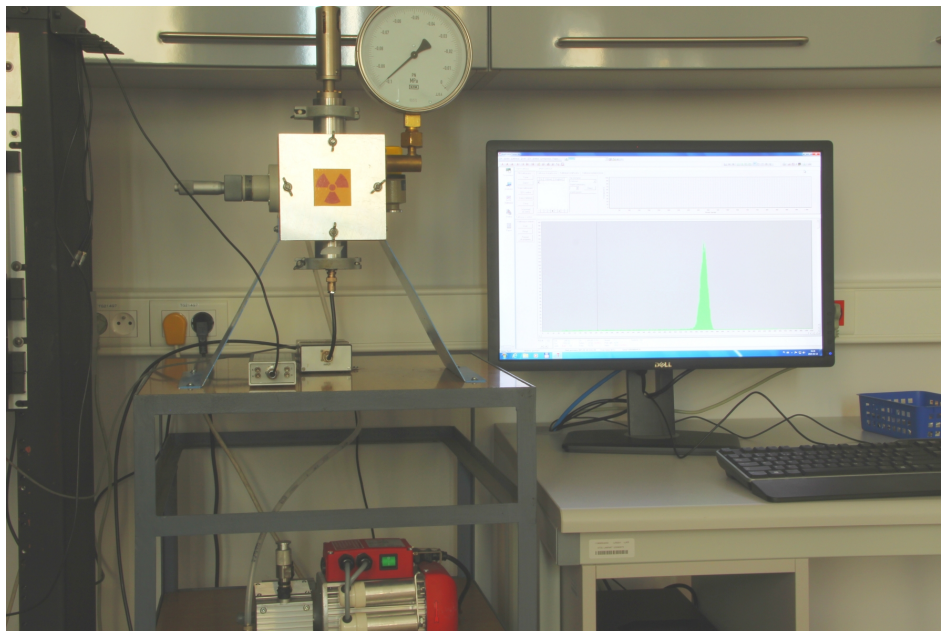
- komora próżniowa,
- manometr wyskalowany w MPa,
- pompa z układem zaworów,
- zamknięte źródło cząstek α zamontowane w górnej części komory na śrubie mikrometrycznej,
- detektor krzemowy zamontowany w dolnej części komory,
- zasilacz z przedwzmacniaczem,
- wzmacniacz liniowy,
- analizator wielokanałowy Tukan,
- komputer,
- folie aluminiowe

Program ćwiczenia

Szczegóły znajdują się w głównej instrukcji do ćwiczenia.

1. Uruchomienie aparatury

2. **Pomiar widma energetycznego cząstek α o maksymalnej energii.** Cząstki będą mieć maksymalną energię, gdy źródło ustawione zostanie najbliżej detektora, a powietrze zostanie maksymalnie odpompowane.



Rysunek 1: Stanowisko pomiarowe

3. **Pomiar zależności położenia pików od ilości folii aluminiowych umieszczonych pomiędzy detektorem, a źródłem.** Podczas tego pomiaru zarówno odległość źródła od detektora, jak i ciśnienie powinny być minimalne. Przy ćwiczeniu dostępne są folie aluminiowe o grubościach 2, 3 i 6 μm . Folie są umieszczone pomiędzy sklejonymi podkładkami. Są one bardzo delikatne i dlatego należy je traktować z dużą ostrożnością. Należy wykonać pomiary dla różnych grubości folii: 2, 3, 5, 6, 8, ... μm – folie można układać jedno na drugim. Przy każdej zmianie ilości folii należy w pierwszej kolejności zapowietrzyć i otworzyć komorę, zmienić folię, a następnie zamknąć i odpompować komorę. **UWAGA:** nie wolno dotykać palcami folii aluminiowych, gdyż są one cienkie i łatwo można je zniszczyć. Co więcej, na foliach zostaje brud z palców, który zmienia efektywną grubość folii.

4. **Pomiar zależności położenia pików od ciśnienia powietrza.** Przy minimalnej odległości detektora od źródła należy zmieniać ciśnienie skokowo od wartości -0.099 MPa do ciśnienia atmosferycznego i za każdym razem mierzyć widmo cząstek α – należy zmierzyć około 10 pomiarów. **UWAGA:** punkty d. i e. są do wyboru – wykonuje się tylko jeden z nich.

5. **Pomiar zależności położenia pików od odległości pomiędzy źródłem i detektorem.** Pomiary należy wykonywać co 3 mm dla ciśnienia wybranego z zakresu od -0.08 do -0.05 MPa. **UWAGA:** Odległość detektora od źródła wynosi 16 mm plus wielkość odczytana na śrubie mikrometrycznej.

Opracowanie wyników

Szczegóły znajdują się w głównej instrukcji do ćwiczenia.

1. Widmo energetyczne każdego z przeprowadzonych pomiarów zawiera jeden pik, którego położenie i kształt odpowiadają zarejestrowanym energiom cząstek. Dla każdego pomiaru należy określić położenie pików.
2. W oparciu o pomiary przeprowadzone z foliami aluminiowymi należy wykonać kalibrację energetyczną detektora krzemowego. W tym celu trzeba wykreślić zależność pomiędzy zmierzonymi położeniami pików w kanałach, a odpowiadającymi im, policzonymi z wzoru Bethe-Bloch'a, energiami cząstek α w MeV – należy wziąć pod uwagę wszystkie pomiary z foliami oraz pomiar bez folii. Jaka funkcja będzie najlepiej opisywać uzyskaną zależność? Parametry tej funkcji należy znaleźć poprzez jej fit do danych eksperymentalnych (np. regresja liniowa dla funkcji liniowej). Uzyskana zależność nosi nazwę kalibracji energetycznej układu detekcyjnego i może być używana do zamiany energii zmierzonej w kanałach na jednostki fizyczne.
3. Modyfikując napisany dla aluminium program liczący straty energii na potrzeby pomiarów z powietrzem należy policzyć i narysować zależności strat energii od energii cząstek oraz od drogi przebytej wewnątrz powietrza.
4. Należy porównać zależności policzone w punkcie c. z zależnościami zmierzonymi eksperymentalnie. W tym celu należy zrobić odpowiednie wykresy porównujące wykalibrowane dane doświadczalne dla

powietrza z wynikami obliczeń dla poszczególnych serii pomiarowych. Należy użyć kalibracji policzowej na podstawie pomiaru z foliami aluminiowymi.

5. Należy policzyć zasięg cząstek α w aluminium oraz w powietrzu dla wybranego ciśnienia korzystając z wzoru Bethe-Bloch'a.

Zasady BHP

Jak zwykle, przy pracy ze źródłami promieniotwórczymi, należy zachować dużą ostrożność. Nie można źródła wyjmować lub dotykać bez obecności asystenta. Stosowane źródło jest źródłem zamkniętym, nie wolno jednak dotykać folii chroniącej materiał promieniotwórczy: folia ta jest delikatna i można ją zniszczyć przy nieostrożnej pracy.

Literatura

- [1] K.N. Muchin, *Doświadczalna fizyka jądrowa*, tom 1, rozdz. 3.2 - Podstawowe informacje dotyczące rozpadu α (kopia dostępna na stronie Pracowni po załogowaniu).
- [2] A. Strzałkowski, *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, PWN - Oddziaływania ciężkich cząstek naładowanych z materią oraz detektory (liczniki) półprzewodnikowe .
- [3] C. Amsler et al., *Physics Letters*, B667, 1 (2008) dostępny na stronach PDG (Particle Data Group) pod adresem <http://pdg.lbl.gov/2011/reviews/rpp2011-rev-passage-particles-matter.pdf> . Dobrze jest przeczytać rozdziały 27.2 i 27.3.