



ĆWICZENIE	LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ
5	Pomiar zasięgu promieniowania α w powietrzu

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest sprawdzenie, jak cząstki α oddziałują z materią oraz wyznaczenie zasięgu cząstek α w powietrzu, a na jego podstawie oszacowanie energii tych cząstek.

2. Układ doświadczalny

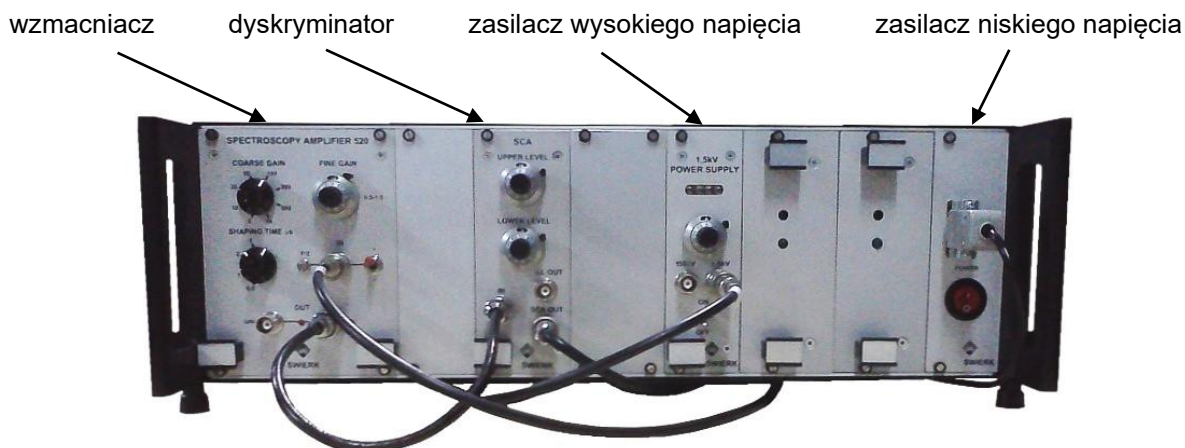
Zestaw ćwiczeniowy stanowią:

- sonda scyntylicyjna (rys. 1),
- płaskie źródło promieniowania α z kolimatorem (rys. 1),
- ruchomy stolik sterowany komputerowo (rys. 1),
- zasilacz wysokiego napięcia (rys. 2),
- wzmacniacz impulsów (rys. 2),
- analizator jednokanałowy jako dyskryminator (rys. 2),
- komputerowy przelicznik impulsów USB.

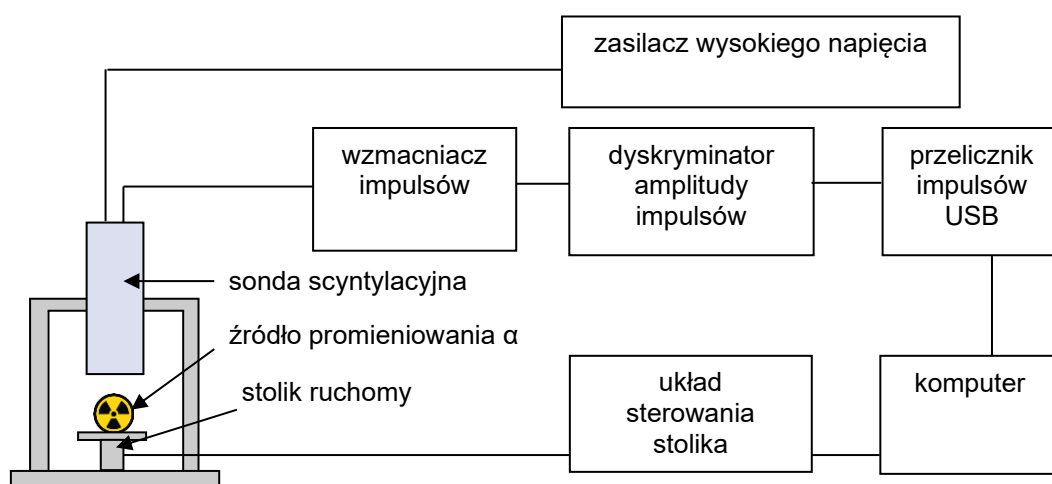
Schemat układu pomiarowego przedstawia rysunek 3.



Rys. 1. Ruchomy stolik pomiarowy.



Rys. 2. Zestaw zasilająco-wzmacniający.



Rys. 3. Schemat aparatury pomiarowej.

3. Wstęp teoretyczny

1. Emisja cząstek α

Cząstki α emitowane są w rozpadzie, w którym jedno wzbudzone jądro atomowe emituje jedną cząstkę, a samo zamienia się w jądro innego izotopu, jednocześnie doznając odrzutu podczas emisji. Ilość energii, jaka zostaje przekazana cząstce, zależy od masy powstałego izotopu oraz energii wzbudzenia pierwotnego nuklidu. Można ją obliczyć z zasady zachowania energii oraz zasady zachowania pędu (jest to sytuacja analogiczna do obliczania energii pocisku wystrzeliwanego z broni palnej, która doznaje odrzutu). Energia każdego rozpadu jest zwykle stała dla danego izotopu (obserwowane niewielkie różnice wynikają z różnych stanów wzbudzenia, w jakich może znajdować się dane jądro), więc i energia cząstek emitowanych z danego izotopu jest zwykle dobrze określona.

Energie cząstek α emitowanych w procesie naturalnych przemian promieniotwórczych jest zwykle rzędu kilku MeV. Energie te są charakterystyczne dla konkretnych źródeł, ale zdarza się, że powstające po rozpadzie jądra mogą być również α -promieniotwórcze, więc dane źródło może w efekcie emitować kilka grup cząstek o różnych energiach.

2. Oddziaływanie cząstek α z materią

Ze względu na masę i ładunek, oddziaływanie cząstek α z materią jest bardzo silne – cząstki szybko tracą energię kinetyczną, która zostaje zużyta głównie na wzbudzenie i jonizację atomów absorbentu. W porównaniu z tymi procesami efekt rozpraszania padających cząstek i zmiany toru ich lotu jest niewielki.

Zmianę energii E cząstek α na skutek wzbudzenia i jonizacji określa się poprzez tzw. *zdolność hamowania*, to jest stratę energii na jednostkę drogi przebytej przez cząstkę:

$$S = -\frac{dE}{dx}. \quad (1)$$

Wielkość S wyrażamy w jednostkach energii (np. MeV) odniesionych do jednostki drogi (np. cm).

Obliczenia teoretyczne pokazują, że dla cząstek poruszających się w absorbencie:

$$S = \frac{4\pi e^4 z^2 Z N}{mv^2} B, \quad (2)$$

gdzie: z to liczba atomowa padającej cząstki (dla cząstek α równa 2), v – prędkość cząstki, e – ładunek elektronu, m – masa elektronu, Z – liczba atomowa absorbentu, N – liczba atomów absorbentu w 1 cm³, natomiast B to parametr zależny od prędkości cząstki v i rodzaju absorbentu:

$$B = \ln\left(\frac{2mv^2}{I}\right) - \frac{v^2}{c^2} - \ln\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right), \quad (3)$$

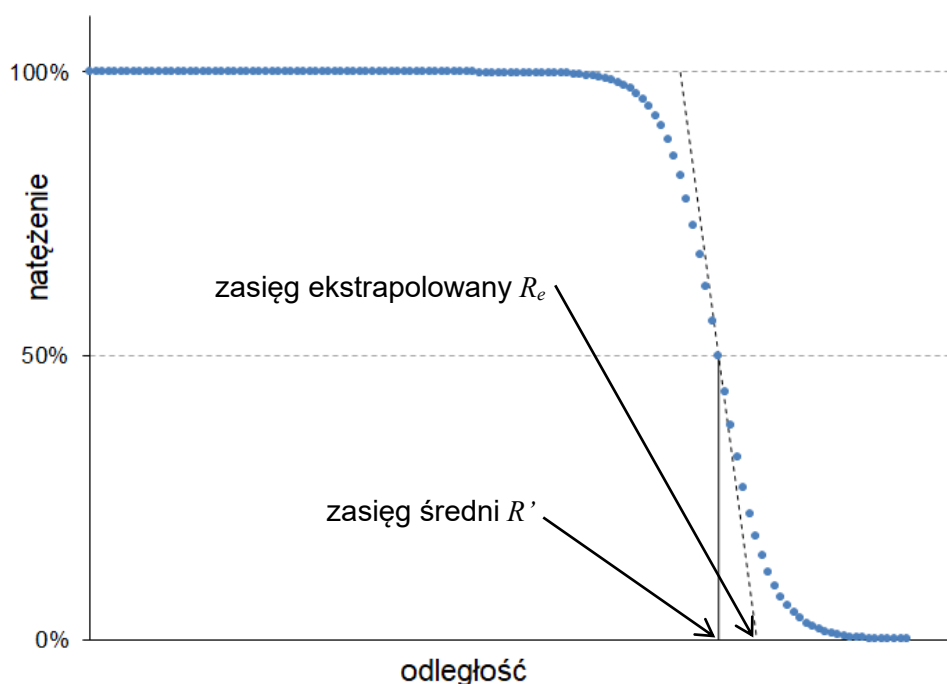
I oznacza tutaj tzw. *średni potencjał jonizacyjny* ośrodka wyrażony elektronowoltach (eV), zaś c jest prędkością światła w próżni. Przykładowo, do uzyskania jednej pary jonów w powietrzu potrzebna jest energia ok. 33 eV. Jak widać z powyższych wzorów, zdolność hamowania zależy od prędkości cząstki i nie zależy od masy cząstki. Oczywiście mają one swoje ograniczenia: wzory (2) i (3) można stosować dla cząstek o energiach przekraczających wartość 0,1 MeV. Dla mniejszych energii brak jest wzorów określających zdolność hamowania.

Wykres zależności zdolności hamowania od przebytej drogi nazywa się *krzywą Bragga* i przedstawia ją rys. 4. Zgodnie z tą krzywą początkowo jonizacja właściwa jest mała i wzrasta w miarę spowalniania się cząstek. Jest to zgodne ze wzorami (2) i (3), wedle których w zakresie energii kilku MeV (czyli na początku lotu cząstki) zdolność hamowania jest w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalna do kwadratu prędkości cząstek padających. W miarę zmniejszania się prędkości rośnie więc zdolność hamowania. Jest zrozumiałe, gdyż im wolniejsza cząstka, tym dłuższy czas, w którym przebywa ona w sąsiedztwie poszczególnych atomów, a w związku z tym rośnie prawdopodobieństwo wywołania przez nią jonizacji. Po osiągnięciu maksimum jonizacji coraz większa liczba cząstek α zostaje spowolniona całkowicie i ulega zatrzymaniu w materiale (dołączając do siebie dwa elektrony cząstka taka staje się atomem helu, który, jako atom gazu szlachetnego, może wylecieć z materiału). Zatem w miarę wzrostu odległości maleje ogólna liczba cząstek, natomiast krzywa zdolności hamowania gwałtownie spada do zera.



Rys. 4. Krzywa Bragga.

Teoretycznie wszystkie cząstki α o tej samej energii powinny przebywać w absorbencie tę samą odległość, nim się zatrzymają, jednak statystyczny charakter oddziaływań tych cząstek z atomami absorbentu (np. powietrza) powoduje, że ta odległość może być nieco inna dla każdej z cząstek, nawet jeśli tworzą one monoenergetyczną skolimowaną wiązkę promieniowania. W związku z tym niemożliwe jest określenie dokładnej wartości zasięgu, więc wprowadzono pojęcia zastępcze: *zasięgu średniego R'* oraz *zasięgu ekstrapolowanego R_e* . Pierwsza z tych wielkości informuje o odległości, dla której liczba cząstek α spada do połowy. Drugą otrzymuje się ekstrapolując liniowo do zera obszar największego spadku liczby cząstek α z odległością (patrz rys. 5).



Rys. 5. Zależność względnego natężenia promieniowania od odległości od źródła.

Nagły spadek liczby cząstek wynika ze wspomnianego wcześniej zmniejszania się ich energii aż do zera. Jak widać z rys. 5, spadek ten jest najbardziej gwałtowny w odległości równej zasięgowi średniemu. Oznacza to, że zasięg średni jest z dobrym przybliżeniem równy odległości, w której cząstki mają największą zdolność hamowania (czyli maksimum krzywej Bragga).

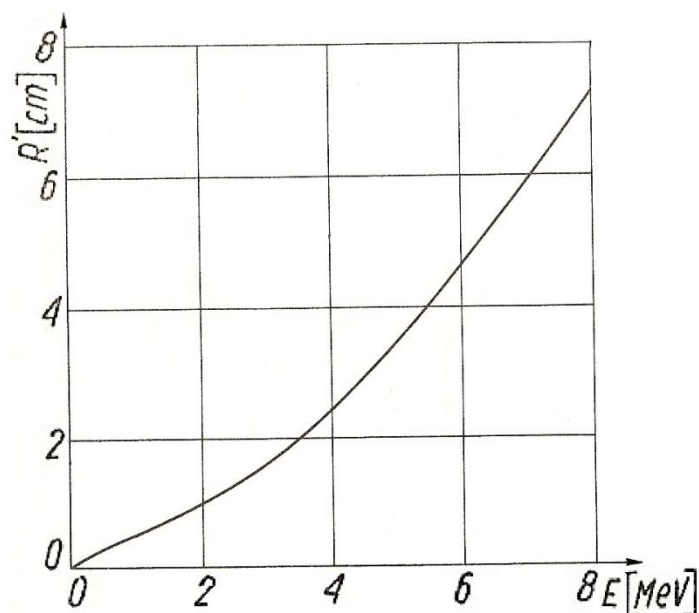
Wielkość zasięgu średniego w danym materiale zależy od energii cząstek. Zależność ta, wyznaczona empirycznie, może być podana w postaci wzoru bądź w formie wykresu. W powietrzu, przy ciśnieniu 760 mmHg (1013,25 hPa) i w temperaturze 15°C, zależność zasięgu średniego od energii w zakresie 0÷8 MeV przedstawia rysunek 6. Zasięg cząstek α o energiach w zakresie 3÷7 MeV można przybliżyć wzorem:

$$R' = 0,318 \cdot E^{3/2}, \quad (4)$$

gdzie E wyrażona jest w MeV, natomiast R' oznacza zasięg średni w cm. Można przekształcić go w celu wyznaczenia energii:

$$E = 2,15 \cdot (R')^{2/3}. \quad (5)$$

Wzór ten wraz z rysunkiem 6 posłuży do obliczenia energii promieniowania α w omawianym ćwiczeniu.



Rys. 6. Średni zasięg cząstek α w powietrzu w zależności od ich energii.

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 programy do obsługi licznika impulsów i ruchomego stolika.
- C) Wykonać kalibrację ruchomego stolika zgodnie z dołączonym opisem.
- D) Ustawić na liczniku impulsów czas pomiaru równy 10 sekund.
- E) Ustawić detektor w możliwie najmniejszej odległości od źródła promieniotwórczego. Ustawioną odległość zapisać w tabelach 1 i 2.
- F) Przy pomocy licznika kilkakrotnie zmierzyć liczbę impulsów, a wyniki pomiarów zanotować w tabeli 1.
- G) Pomiary z poprzedniego punktu powtórzyć dla różnych ustawień stolika, zwiększając stopniowo odległość pomiędzy źródłem a detektorem aż do zaniku promieniowania. Wyniki wraz z ustawionymi odległościami notować w kolejnych wierszach tabeli 1.

Uwaga: w miejscach, gdzie zmiany natężenia są niewielkie, można zmieniać odległość o kilka milimetrów, natomiast w miejscach gwałtownych zmian natężenia należy zmieniać odległość o nie więcej niż ułamek milimetra.
- H) Po zakończonych pomiarach odsunąć stolik od detektora na odległość, w której detektor nie rejestruje promieniowania ze źródła, a następnie wyłączyć układ pomiarowy zgodnie z dołączonym do niego opisem.
- I) Tabelę 1 uzupełnić o wartości średniej liczby impulsów przypadającej na pomiar w danej odległości. Wykonać wykres zależności średniej liczby impulsów od odległości i porównać go z rys.5. Jeśli zauważono jakieś różnice, przedyskutować, z czego mogą wynikać?
- J) Jeśli to możliwe, z otrzymanego wykresu wyznaczyć zasięg średni cząstek α .

K) W tabeli 2 dokonać różniczkowania numerycznego danych z tabeli 1, tzn. w odpowiednich kolumnach wpisać wartości różnic średniej liczby impulsów dla dwóch sąsiednich pomiarów ($N_{sr\ i+1} - N_{sr\ i}$), różnic odległości pomiędzy tymi pomiarami ($h_{i+1} - h_i$), a także ilorazu tych różnic, którego zmiany są podobne do zdolności hamowania S . Wykonać wykres zależności S od średniej odległości źródło-detektor w dwóch sąsiednich pomiarach i porównać go z rys. 4. Z czego wynikają ewentualne różnice?

L) Na podstawie wykresu wyznaczyć odległości, w których zdolność hamowania osiąga maksimum i porównać je z odczytaną poprzednio wartością zasięgu średniego.

M) Na podstawie wyznaczonych wartości zasięgu średniego i wzoru (5) obliczyć energię cząstek α i porównać ją z wartościami tablicowymi źródła promieniotwórczego użytego w ćwiczeniu.

Uwaga: przy obliczaniu energii należy uwzględnić pochłanianie w folii osłaniającej scyntylator. Z parametrów scyntylatora wiadomo, że grubość folii (gęstość powierzchniowa) wynosi: 1 mg/cm^2 , podczas gdy dla powietrza wynosi ona (przy ciśnieniu atmosferycznym i w temperaturze pokojowej) około $1,2\text{ mg/cm}^2$ na każdy centymetr odległości pokonywanej przez cząstki α . W wykorzystanym w ćwiczeniu układzie strata energii cząstek α na tej folii wynosi około 1 MeV .

N) Oszacować niepewności pomiarowe zmierzonych i obliczonych wielkości. Jak to oszacowanie wpływa na wnioski wyciągnięte z pomiaru?

O) Po zakończeniu ćwiczenia wyłączyć komputer.