



Szkoła z przyszłością

szkolenie współfinansowane przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego



Narodowe Centrum Badań Jądrowych, ul. Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock-Świerk

ĆWICZENIE	LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ
5	Pomiar zasięgu promieniowania α w powietrzu
Data pomiaru:	
Imię i nazwisko:	
Imię i nazwisko:	

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie zasięgu cząstek α w powietrzu, a na jego podstawie oszacowanie energii tych cząstek.

2. UKŁAD DOŚWIADCZALNY

Zestaw ćwiczeniowy stanowią:

- sonda scyntylacyjna (rys. 1),
- źródło promieniowania α (rys. 1),
- ruchomy stół 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 stół pomiarowy

3. WSTĘP TEORETYCZNY

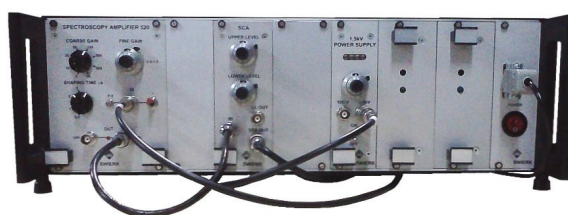
1. Oddziaływanie cząstek α z materią

Energia promieniowania α , emitowanego w procesie naturalnych przemian promieniotwórczych, jest rzędu kilku MeV (może dochodzić do wartości 10 MeV). Każdej *pojedynczej* przemianie α izotopu promieniotwórczego towarzyszy emisja cząstek o *jednej*, ściśle określonej energii. Ponieważ jednak produkty rozpadu mogą być również α -promieniotwórcze, więc dane źródło może w efekcie emitować kilka grup cząstek o różnych energiach. Otrzymujemy wówczas liniowe widmo promieniowania.

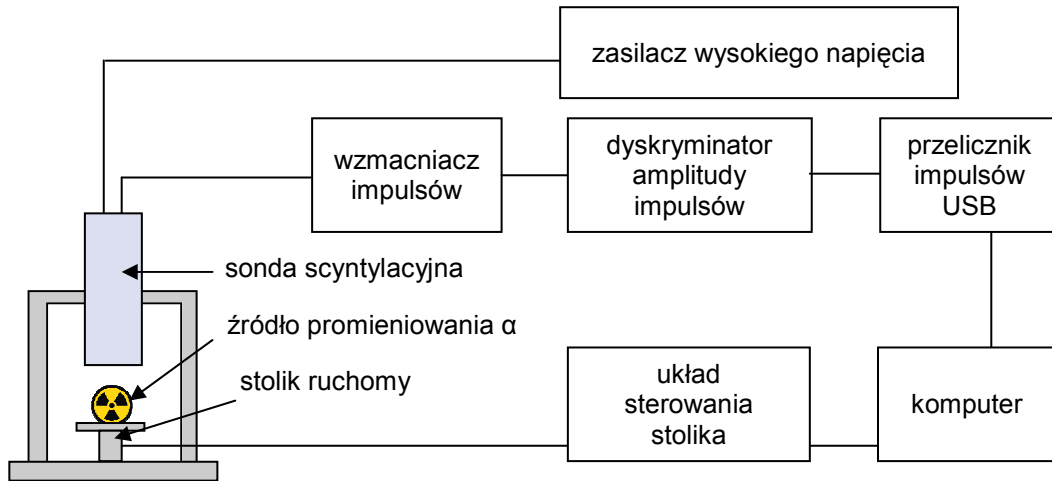
Ze względu na masę i ładunek, oddziaływanie cząstek α z materią jest bardzo silne - cząstki szybko tracą energię kinetyczną, która zostaje zużyta głównie na wzbudzenie i jonizację atomów absorbentu. W porównaniu z tymi procesami efekt rozpraszania padających cząstek jest niewielki.

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:

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



Rys. 2. Zestaw zasilająco-wzmacniający



Rys. 3 Schemat aparatury pomiarowej

Obliczenia teoretyczne pokazują, że:

$$S = \frac{4\pi e^4 z^2 ZN}{m v^2} B \quad (2)$$

gdzie: z , v – liczba atomowa i prędkość padających cząstek, e – ładunek elektronu, m – masa elektronu, Z – liczba atomowa absorbentu, N – liczba atomów absorbentu w 1 cm^3 , B – parametr zależny od prędkości cząstki v i rodzaju ośrodka:

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

gdzie I oznacza tzw. *średni potencjał jonizacyjny* ośrodka wyrażony elektronowoltach (eV). Wielkość S wyrażamy w jednostkach energii (np. MeV) odniesionych do jednostki drogi (np. cm); zależy ona od prędkości cząstki i nie zależy od masy cząstki.

Zależność parametru B od prędkości cząstki i rodzaju absorbentu jest zależnością słabą, logarytmiczną. Jak wynika ze wzoru (2), w zakresie energii do kilkunastu MeV zdolność hamowania jest w przybliżeniu odwrotnie proporcjonalna do kwadratu prędkości cząstek padających. To, że w miarę zmniejszania się prędkości rośnie zdolność hamująca jest zrozumiałe o tyle, że 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.

Ponieważ dla cząstek α $z = 2$, więc w tym przypadku wzór (2) przyjmie postać:

$$S = \frac{16\pi e^4 ZN}{m v^2} B \quad (4)$$

Wzory (2) i (3) można stosować dla cząstek o energiach przekraczających wartość 0,1 MeV. Dla mniejszych energii brak jest wzorów określających zdolność hamowania.

Miarą intensywności pochłaniania promieniowania α w materii jest wielkość spowodowanej przez nie jonizacji, określona przez ilość par jonów powstałych na 1 cm drogi cząstki. Jest to tzw. *jonizacja właściwa*, będąca stosunkiem zdolności hamowania do ilości energii potrzebnej do utworzenia jednej pary jonów. Przykładowo, do uzyskania jednej pary jonów w powietrzu potrzebna jest energia ok. 33 eV. Wykres zależności jonizacji właściwej od energii nosi nazwę *krzywej Bragga* (rysunek 4). Początkowo jonizacja właściwa wzrasta w miarę spowalniania się cząstek. Po osiągnięciu maksimum



Rys. 4 Krzywa Bragga

jonizacji właściwej 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). W miarę wzrostu głębokości wnikania ogólna liczba cząstek maleje, a krzywa jonizacji właściwej gwałtownie spada do zera.

2. Zasięg cząstek α

Wszystkie cząstki α , tworzące monoenergetyczną, skolimowaną wiązkę promieniowania, przebywają do momentu zahamowania te same, w przybliżeniu, odcinki drogi. Na rys. 4 widzimy, że nachylenie końcowej części krzywej, które świadczy o rozbieżności zasięgów, jest wynikiem statystycznego charakteru zjawisk, w wyniku których cząstki α tracą stopniowo swoją energię. Ponieważ w związku z tym niemożliwe jest określenie dokładnej wartości zasięgu, wprowadza się więc 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 zaś otrzymuje się ekstrapolując liniowo do zera obszar największego spadku liczby cząstek α z odległością (patrz rys. 5). Różnica pomiędzy R' i R_e wynosi, dla cząstek α o energii 5 MeV, około 1% całkowitego (maksymalnego) zasięgu.

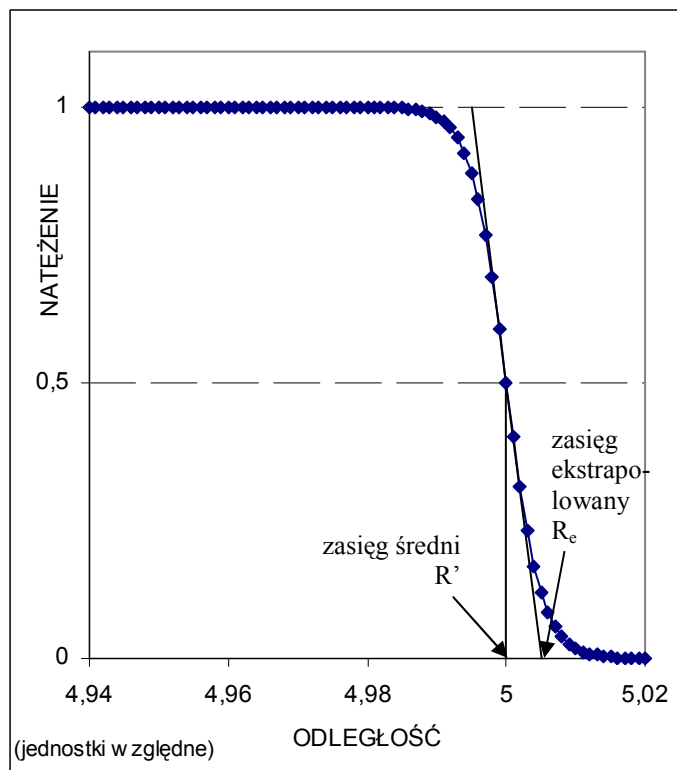
Wielkość zasięgu w danym materiale jest funkcją energii cząstek. Zależność ta jest podawana bądź w postaci wzoru bądź w formie wykresu. W powietrzu, przy ciśnieniu 760 mmHg (1013,25 hPa) i w temperaturze 15°C, zależność zasięgu średniego od energii w zakresie 0÷8 MeV przedstawia rysunek 6. Zasięg cząstek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

$$R' = 0,318 \cdot E^{3/2} \quad (5)$$

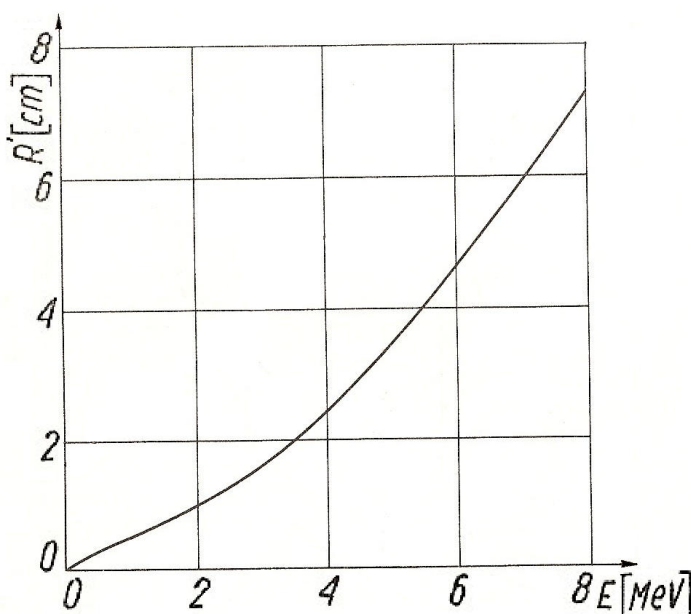
gdzie E wyrażona jest w MeV, natomiast R' oznacza zasięg średni w cm. Można przekształcić go w celu wyznaczenia energii:

$$E = 2,15 \cdot (R')^{2/3} \quad (6)$$

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



Rys. 5 Zależność względnego natężenia promieniowania od odległości od źródła



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) Przed przystąpieniem do pomiarów należy ustawić elementy regulacyjne w aparaturze elektronicznej:

- zasilacz wysokiego napięcia:
 - $U_L = 0 \text{ V}$ (pokrętko skrócone do zera),
 - przełącznik zasilania w pozycji „off”;
- wzmacniacz spektrometryczny:
 - wzmocnienie: $\square^1$,
 - kształtowanie impulsów („SHAPING TIME”): $\square \mu\text{s}$;
- analizator jednokanałowy w funkcji dyskryminatora:
 - $U_{\text{LOWER LEVEL}} = \square \text{ V}$,
 - $U_{\text{UPPER LEVEL}} = \square \text{ V}$.

B) Następnie należy uruchomić aparaturę elektroniczną. W tym celu:

- włączyć zasilanie wciskając przycisk z napisem „POWER” po prawej stronie zestawu,
- w zasilaczu wysokiego napięcia zmienić położenie przełącznika z pozycji „off” na „on”,
- kręcąc powoli (nie szybciej niż jeden obrót na sekundę) potencjometrem wieloobrotowym zasilacza ustawić napięcie $\square \text{ V}$.

C) Włączyć zasilanie ruchomego stolika – służy do tego pomarańczowy przycisk. Układ sterujący stolikiem powinien zasygnalizować uruchomienie sygnałem dźwiękowym oraz pokazaniem odpowiednich komunikatów na wyświetlaczu LCD. Z ruchomego stolika zdjąć przykrywkę źródła promieniowania α .

D) Włączyć komputer. Po zalogowaniu się uruchomić programy „alfa(h)” (do obsługi stolika) oraz „hs_counter” (program przelicznika). Ustawić okna na ekranie tak, by były widoczne oba naraz.

E) W programie przelicznika zaznaczyć opcje „ZEROWANIE PRZED STARTEM” i „CZAS ZLICZANIA”. Aby zmienić czas zliczania należy wcisnąć przycisk „ZMIEN”, wpisać czas pojedynczego pomiaru i zatwierdzić przyciskiem „OK”.

F) W programie obsługi stolika wcisnąć przycisk „KALIBRACJA”. Stolik przesunie się najpierw do góry na najmniejszą możliwą odległość między źródłem a detektorem, po czym należy odczytać tę pozycję ze skali milimetrowej na stoliku, wpisać w odpowiednie aktywowane pole i zatwierdzić przyciskiem „OK”. Wtedy stolik przesunie się na największą możliwą odległość między źródłem a detektorem, którą również trzeba odczytać ze skali i wpisać w programie. Po takim wykonaniu kalibracji stolik jest gotowy do pomiarów.

G) Dokonać pomiaru liczby cząstek docierających w powietrzu na odległość h . W tym celu:

- ustalić odległość h wpisując odpowiednią wartość w polu „POZYCJA DO USTAWIENIA”;
- wcisnąć przycisk „USTAW” i poczekać, aż stolik ustawi się na odpowiedniej wysokości – **uwaga:** faktycznie ustawiona odległość wyświetlana jest w polu „POZYCJA DO USTAWIENIA” zamiast wpisanej i właśnie tę faktyczną wartość należy zapisać w tabeli 1;
- uruchomić pomiar liczby impulsów (przyciskiem „START” w programie przelicznika);
- po upływie czasu pomiaru zapisać jego wynik w odpowiednim miejscu tabeli 1;
- dla każdej ustalonej odległości wykonać trzy pomiary N_1 , N_2 , N_3 oraz obliczyć z nich średnią $\bar{N} = (N_1 + N_2 + N_3)/3$.

H) Pomiary z poprzedniego punktu powtórzyć dla minimum kilkunastu różnych odległości pomiędzy źródłem a detektorem. W przypadku zaobserwowania gwałtownych zmian liczby zliczeń należy

¹ szczegółowe ustawienia aparatury podane zostaną w trakcie wykonywania ćwiczenia

zmniejszyć różnice odległości pomiędzy poszczególnymi pomiarami (zagęszczamy tym samym pomiar dla interesującego zakresu). Pomiary kontynuować dla coraz większych odległości h aż do całkowitego zaniku zliczeń.

I) Na podstawie wyników pomiarów wykonać wykres $\bar{N} = f(h)$ na arkuszu papieru milimetrowego albo przenieść wyniki np. do arkusza kalkulacyjnego MS EXCEL i wykonać wykres w tym programie.

J) Obliczyć energię cząstek α na podstawie zmierzonego zasięgu cząstek w powietrzu. Jeśli kształt uzyskanego wykresu odbiega od oczekiwanego, należy zastanowić się nad możliwością emitowania przez źródło cząstek α różnych energiach. **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 .

K) Z wykresu $\bar{N}(h)$ dla każdej kolejnej pary punktów (h_i, h_{i+1}) obliczyć w tabeli 2 różnice odległości Δh oraz liczby zliczeń $\Delta \bar{N}$, a następnie wykreślić stosunek $\Delta \bar{N} / \Delta h$ w funkcji odległości średniej tych dwóch punktów $\bar{h} = (h_i + h_{i+1}) / 2$. Porównać uzyskany wykres z krzywą Bragga – w czym są podobne, a czym się różnią?

L) Przeprowadzić dyskusję błędów pomiarowych i wyciągnąć wnioski.

M) Po zakończeniu ćwiczenia wyłączyć komputer oraz aparaturę pomiarową. W tym celu:

- jeśli opracowanie wyników wykonane było na komputerze – zapisać wyniki w folderze wskazanym przez prowadzącego;
- zamknąć okna programów używanych w ćwiczeniu i prawidłowo wyłączyć komputer;
- w układzie zasilania wcisnąć szary prostokątny przycisk aż do pojawienia się pytania „Turn off?”, co należy potwierdzić pomarańczowym przyciskiem;
- w zasilaczu wysokiego napięcia skrócić potencjometr wieloobrotowy do pozycji „0”, po czym przestawić przełącznik w pozycję „off”;
- wyłączyć zasilanie układu przyciskiem po prawej stronie.

TABELA 1

i	h [mm]	N_1	N_2	N_3	$\bar{N}$	$\sigma\bar{N}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						

TABELA 2

i	h_i	h_{i+1}	Δh_i	$\bar{h}_i$	$\bar{N}_i$	$\bar{N}_{i+1}$	$\Delta \bar{N}_i$	$\Delta \bar{N}_i / \Delta h_i$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								