



# INSTYTUT PROBLEMÓW JĄDROWYCH im. Andrzeja Sołtana DZIAŁ SZKOLENIA I DORADZTWA

sekretariat: tel. 0 22 718 0612, fax 0 22 779 3481, e-mail: dsid@ipj.gov.pl •  
prof. dr hab. Ludwik Dobrzyński e-mail: ludwik@ipj.gov.pl •  
mgr Ewa Droste e-mail: droste@ipj.gov.pl • mgr inż. Łukasz Adamowski e-mail: l.adamowski@ipj.gov.pl •  
Robert Wołkiewicz e-mail: r.wolkiewicz@ipj.gov.pl

ĆWICZENIE	LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ
5	Pomiar energii promieniowania $\alpha$
Data pomiaru: .....	
Imię i nazwisko studenta/ ucznia: .....	
Wydział, kierunek, rok studiów/ Szkoła: .....	

## 1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie energii cząstek alfa na podstawie pomiaru ich zasięgu w powietrzu.

## 2. UKŁAD DOŚWIADCZALNY

Zestaw ćwiczeniowy stanowią:

- sonda scyntylicyjna (rys. 1),
- źródło promieniowania  $\alpha$  (rys. 1),
- stolik ruchomy (rys. 1),
- zasilacz wysokiego napięcia ZWN-41 (rys. 2),
- wzmacniacz impulsów WL-41 (rys. 2),
- dyskryminator DP-21 (rys. 2),
- komputerowy przelicznik impulsów USB.

Schemat układu pomiarowego przedstawia rysunek 3.

## 3. WSTĘP TEORETYCZNY

### 1. Oddziaływanie cząstek $\alpha$ z materią

Energia promieniowania  $\alpha$ , emitowanego w procesie naturalnych przemian promieniotwórczych, jest rzędu kilku MeV (może dochodzić do wartości 10 MeV). Każdej *pojedynczej* przemianie  $\alpha$  izotopu promieniotwórczego towarzyszy emisja cząstek o *jednej*, ściśle określonej energii. Ponieważ jednak produkty rozpadu mogą być również  $\alpha$ -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  $\alpha$  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  $\alpha$  na skutek wzbudzenia i jonizacji określa się poprzez tzw. *zdolność hamowania*, to jest stratę energii na jednostkę drogi przebytej przez cząstkę:

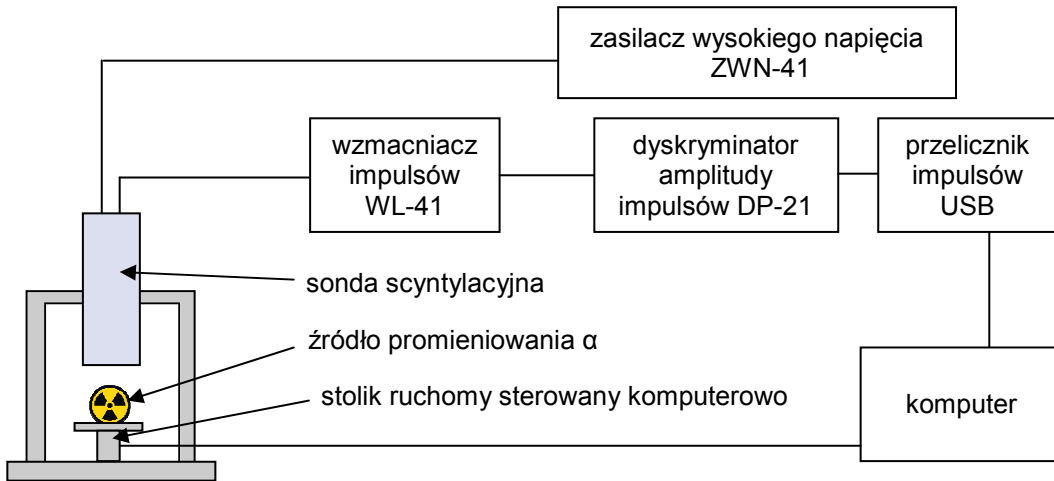
$$S = -\frac{dE}{dx} \quad (1)$$



Rys. 1



Rys. 2 (1 - zasilacz ZWN-21,  
2 - dyskryminator DP-21,  
3 - wzmacniacz WL-41)



Rys. 3

Obliczenia 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  $1 \text{ cm}^3$ ,  $B$  - 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  $\alpha$   $z = 2$ , 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  $\alpha$  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  $\alpha$  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 $\alpha$

Wszystkie cząstki  $\alpha$ , tworzące mono-energetyczną, 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  $\alpha$  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  $\alpha$  spada do połowy. Drugą zaś otrzymuje się ekstrapolując liniowo do zera obszar największego spadku liczby cząstek  $\alpha$  z odległością (patrz rys. 5). Różnica pomiędzy  $R'$  i  $R_e$  wynosi, dla cząstek  $\alpha$  o energii 5 MeV, około 1% całkowitego (maksymalnego) zasięgu.

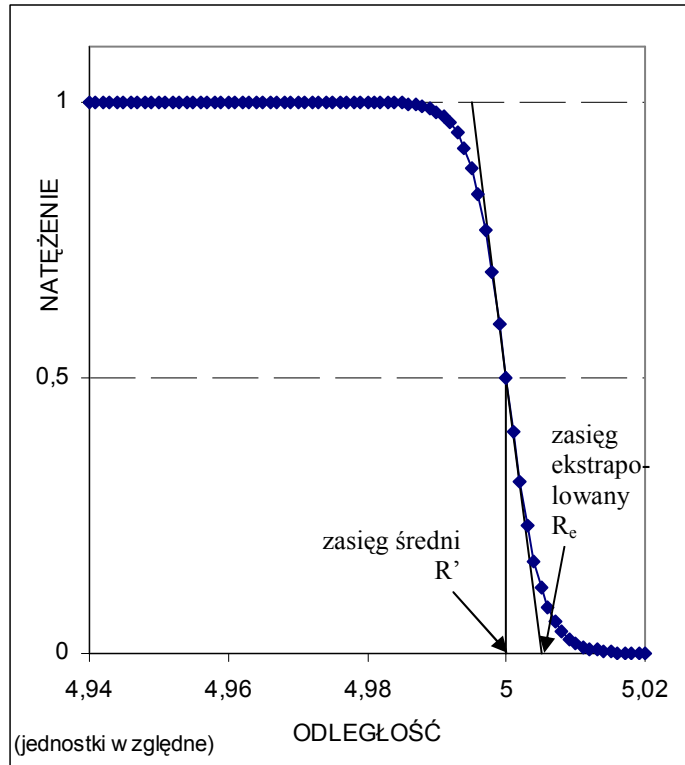
Wielkość zasięgu w danym materiale jest funkcją energii cząstek. Zależność ta jest podawana bądź w postaci wzoru bądź w formie wykresu. W powietrzu, przy ciśnieniu 760 mmHg (1013,25 hPa) i w temperaturze 15°C, zależność zasięgu średniego od energii w zakresie 0÷8 MeV przedstawia rysunek 6. Zasięg cząstek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

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

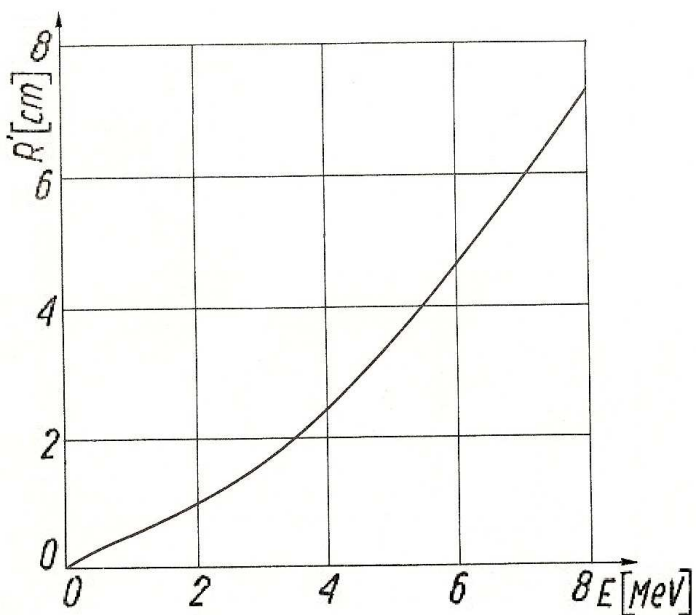
gdzie  $E$  wyrażona jest w MeV, natomiast  $R'$  oznacza zasięg średni w cm. Można przekształcić go w celu wyznaczenia energii:

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

Wzór ten wraz z rysunkiem 6 posłużą do obliczenia energii promieniowania  $\alpha$  w omawianym ćwiczeniu.



Rys. 5 Zależność względnego natężenia promieniowania od odległości od źródła



Rys. 6 Średni zasięg cząstek  $\alpha$  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 ZWN-41:
  - $U_L = \square^1$  V, polaryzacja: „0”;
- dyskryminator DP-21:
  - polaryzacja „+”,  $U_d = \square$  V;
- wzmacniacz WL-41:
  - wzmocnienie  $\square$ , kształtowanie impulsów („SHAPING”):  $\square$ .

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

- we wszystkich blokach układu pomiarowego włączyć zasilanie wciskając czerwony przycisk z napisem „POWER”;
- w zasilaczu ZWN-41 zmienić położenie przełącznika „POLARITY” z pozycji „0” na „POS” oraz sprawdzić, czy na wskaźniku „kV” ustali się napięcie  $\square$  V.

C) Włączyć komputer. Po zalogowaniu się uruchomić programy „alfa” (do obsługi stolika) oraz „hs\_counter” (program przelicznika). Ustawić okna na ekranie tak, by były widoczne oba naraz. Status w programie „alfa” powinien wskazywać, że przelicznik jest połączony z komputerem. W przeciwnym razie poprosić o pomoc prowadzącego ćwiczenie.

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

 E) Na podstawkę dla źródła położyć źródło promieniowania  $\alpha$  warstwą emitującą w kierunku detektora scyntylacyjnego. Pomiedzy źródłem i detektorem umieścić kolimator, który definiuje kierunek wiązki.

F) Wcisnąć przycisk „POZYCJA STARTOWA” w programie obsługi stolika. Stolik przesunie się na odległość  $h$  pomiędzy źródłem cząstek a powierzchnią scyntylatora równą ok. 10 mm, co odpowiada wartości 10000  $\mu\text{m}$  w programie w polu „AKTUALNA POZYCJA”.

G) Dokonać pomiaru liczby cząstek. W tym celu:

- ustalić odległość  $h$  wpisując odpowiednią wartość w polu „NOWA POZYCJA”;
- wcisnąć przycisk „ZMIENĆ” bądź klawisz „ENTER” i poczekać, aż stolik ustawi się na odpowiedniej wysokości - komputer zasygnalizuje to odpowiednim komunikatem;
- 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 zmniejszyć różnice odległości pomiędzy poszczególnymi pomiarami (zagęszczamy tym samym pomiar dla interesującego zakresu). Pomiary kontynuować dla coraz większych odległości  $h$  aż do zaniżeniu zliczeń.

<sup>1</sup> szczegółowe ustawienia aparatury podane zostaną w trakcie wykonywania ćwiczenia

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  $\alpha$  na podstawie zmierzonego zasięgu cząstek w powietrzu. Jeśli kształt uzyskanego wykresu odbiega od oczekiwanego, należy zastanowić się nad możliwością emitowania przez źródło cząstek  $\alpha$  różnych energiach. Uwaga: przy obliczaniu energii należy uwzględnić pochłanianie w folii osłaniającej scyntylator. Z parametrów scyntylatora wiadomo, że grubość folii (gęstość powierzchniowa) wynosi:  $1 \text{ mg/cm}^2$ , 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  $\alpha$ . W wykorzystanym w ćwiczeniu układzie strata energii cząstek  $\alpha$  na tej folii wynosi około  $1 \text{ MeV}$ .

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

L) Przeprowadzić dyskusję błędów pomiarowych i wyciągnąć wnioski.



M) Po zakończeniu ćwiczenia prowadzący zabiera źródło promieniowania. Komputer oraz aparaturę pomiarową należy wyłączyć. 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 zasilaczu ZWN-41 zmienić położenie przełącznika „POLARITY” na pozycję „0” i sprawdzić, czy na wskaźniku „kV” napięcie spadnie do zera;
- wyłączyć zasilanie wszystkich bloków układu przyciskami z napisami „POWER”.

TABELA 1

$i$	$h$ [mm]	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$\bar{N}$	$\delta\bar{N}$
1	10,00					
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

$i$	$h_i$	$h_{i+1}$	$\Delta h_i$	$\bar{h}_i$	$\bar{N}_i$	$\bar{N}_{i+1}$	$\Delta \bar{N}_i$	$S_i = \Delta \bar{N}_i / \Delta h_i$
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								