

## Bezwzględny pomiar aktywności źródeł $\beta$ -promieniotwórczych

### I. Zagadnienia

1. Podstawowe prawa rozpadu promieniotwórczego.
2. Promieniowanie  $\beta$  i  $\gamma$ .
3. Bezwzględne i względne pomiary aktywności.
4. Znajomość układu pomiarowego i wykonanie ćwiczenia.

### II. Wstęp teoretyczny

Przez aktywność  $A$  danego źródła promieniotwórczego rozumiemy ilość  $dN$  zachodzących w nim aktów przemiany promieniotwórczej jąder przypadających w czasie  $dt$ . Zgodnie z tą definicją jednostką aktywności w układzie SI jest  $s^{-1}$ . w praktyce stosuje się często jednostkę  $3,7 \cdot 10^{10}$  razy większą – kiur (Ci) lub jej pochodne, np.

$$1\mu Ci = 3,7 \cdot 10^4 [s^{-1}].$$

Aktywności źródeł można wyznaczyć mierząc emitowane przez nie promieniowanie, np. promieniowanie  $\beta$  lub promieniowanie  $\gamma$ .

Jeżeli na każdy akt przemiany jądra przypada średnio  $P_i$  cząstek  $i$ -tego rodzaju, a  $W_i$  oznacza prawdopodobieństwo dotarcia takiej cząstki do detektora i zarejestrowania jej przez ten detektor, to średnia liczba zliczeń impulsów w detektorze ( $I$ ) będzie związana z aktywnością źródła  $A$  związkiem:

$$I = K_m \left( A \sum_i P_i W_i + I_{ta} \right) \quad (1)$$

gdzie  $I_{ta}$  oznacza szybkość zliczeń obserwowaną po usunięciu źródła (tło detektora) a  $K_m$  oznacza współczynnik uwzględniający „gubienie” cząstek związane z czasem martwym detektora. Jeżeli czas martwy jest równy  $\tau$ , to:

$$K_m = (1 - I\tau) \quad (2)$$

Wzór (2) wymaga spełnienia warunku  $I\tau \ll 1$

Rozwiązując równanie (1) względem  $A$  otrzymujemy:

$$A = \left( \frac{I}{K_m} - I_{ta} \right) \left( \sum_i P_i W_i^{-1} \right) \quad (3)$$

Wartości stałych  $P_i$  można określić rozpatrując schematy rozpadu odpowiedniego izotopu promieniotwórczego, natomiast wartości  $W_i$  są związane z warunkami pomiaru.

Wybór detektora i warunków pomiaru zależy od tego, jaki rodzaj cząstek dane źródło emituje – fotony czy cząstki  $\beta$ . W przypadku gdy mamy do czynienia ze źródłem emitującym zarówno fotony jak i cząstki  $\beta$ , pomiar aktywności odbywa się zwykle w oparciu o rejestrację tylko cząstek jednego typu, poprzez dobranie takich warunków, aby wszystkie współczynniki  $W_i$  dla jednego typu cząstek były praktycznie równe zero.

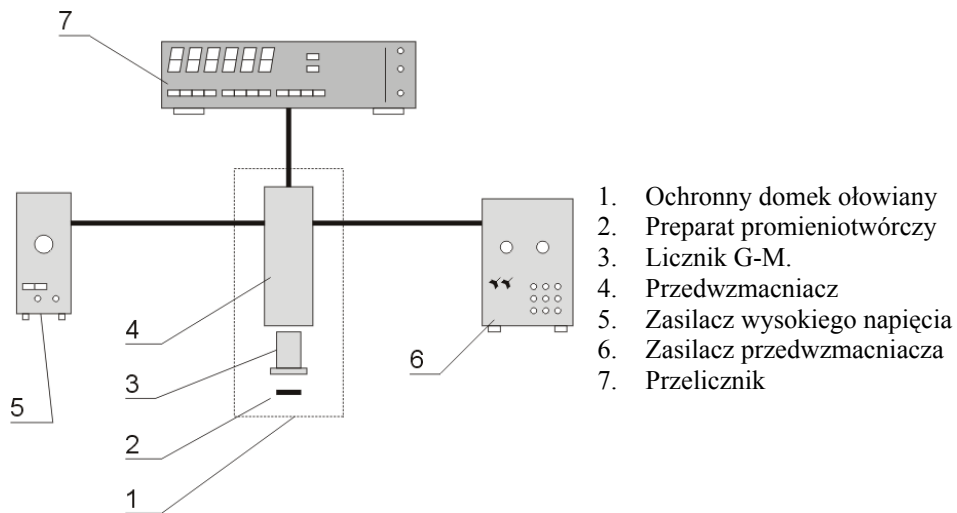
Dla znalezienia występujących we wzorze (3) wartości  $W_i$  należy uwzględnić szereg czynników, a mianowicie: geometrię układu źródło – detektor, wydajność detektora na dany rodzaj promieniowania, czas martwy  $\tau$  detektora, pochłanianie, rozpraszanie zwrotne, itp. Ostatecznie  $W_i$  może być przedstawione jako iloczyn

$$W_i = \prod_j W_{ij} \quad (4)$$

parametrów  $W_{ij}$ , gdzie  $j$  symbolizuje nazwę uwzględnionego czynnika. W części doświadczalnej ćwiczenia parametry  $W_{ij}$  będą umownie nazwane poprawkami.

### III. Część doświadczalna

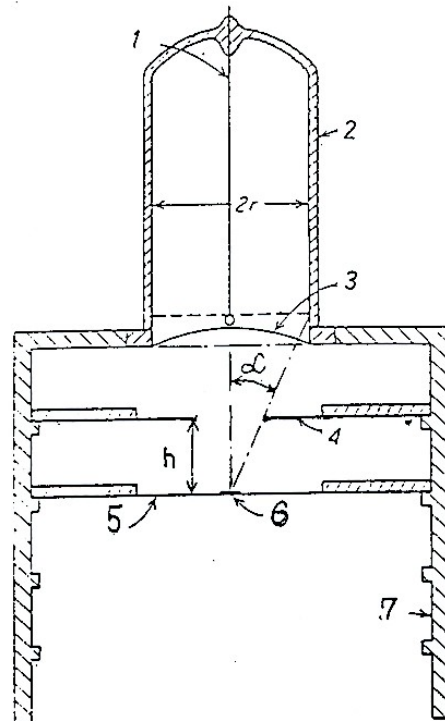
#### A. Schemat blokowy aparatury pomiarowej:



Rys. 1. Schemat blokowy układu pomiarowego

Rys. 2. Geometria układu pomiarowego

- 1 – elektroda zbiorcza  
 2 – ścianka licznika  
 3 – okienko z cienkiej miki  
 4 – przesłona z okrągłym otworem  
 5 – podkładka źródła  
 6 – źródło  
 wspornik wielopoziomowy ze szkła organicznego



**B. Wykonanie ćwiczenia**

## a) poprawka na kąt bryłowy

Aktywności preparatu mierzy się liczbę cząstek wyemitowanych ze źródła w jednostce czasu w pełnym kącie bryłowym  $4\pi$ . Do licznika dochodzi tylko część emitowanych przez preparat cząstek, zawarta w stożku o kącie wierzchołkowym  $\alpha$ . Kąt bryłowy  $\Omega$  objęty okienkiem przesłony i mający wierzchołek w środku preparatu (zakłada się, że wymiary źródła są dużo mniejsze niż odległość preparatu od przesłony) wynosi:

$$\Omega = 2\pi \int_0^{\alpha} \sin \alpha d\alpha = 2\pi(1 - \cos \alpha) [\text{srad}] \quad (4)$$

co stanowi część  $W_{\Omega}$  pełnego kąta bryłowego, tj.

$$W_{\Omega} = \frac{\Omega}{4\pi} = 0,5 (1 - \cos \alpha) \quad (5)$$

Jeśli  $h$  jest odległością preparatu od przesłony a  $r$  promieniem otworu przesłony, to:

$$\cos \alpha = \frac{h}{\sqrt{h^2 + r^2}} \quad (6)$$

- przed uruchomieniem zestawu zmierzyć parametry określające geometrię pomiaru:
  - promień otworu przesłony ( $r$ ),
  - odległość od źródła do przesłony ( $h$ ) – ustawić nie mniejszą niż  $3\text{cm}$ ,
  - grubość okienka licznika ( $d$ )
- ustawić badany preparat w odległości  $h$  od przesłony i zmierzyć szybkość zliczeń  $I$  z dokładnością nie mniejszą niż 3%,
- pomiar powtórzyć przy zwiększonej odległości  $h$ ,
- obliczyć poprawkę korzystając ze wzoru (6)

## b) poprawka na tła

- wyznaczyć szybkość zliczeń  $I_{ta}$  w nieobecności preparatu promieniotwórczego. Pomiar tła powtórzyć kilkakrotnie w czasie wykonywania ćwiczenia. W obliczeniach uwzględnić wartość średnią.

## c) poprawka na czas martwy

W celu wyznaczenia czasu martwego licznika wykorzystujemy dwa źródła promieniowania o w przybliżeniu równej aktywności.

**UWAGA:** W każdym przypadku szybkość zliczeń powinna być mierzona z dokładnością nie mniejszą niż 3%.

- pod okienkiem licznika umieścić I źródło promieniotwórcze  $\beta$  i odczytać przypadającą mu szybkość zliczeń  $I_1$ ,
- nie zmieniając położenia I źródła obok niego położyć II źródło promieniotwórcze  $\beta$  i ponownie odczytać szybkość zliczeń  $I_{12}$  odpowiadającą obu źródłom,
- usunąć I źródło tak, aby nie poruszyć II i odczytać szybkość zliczeń  $I_2$ ,
- obliczyć czas martwy licznika korzystając ze wzoru:

$$\tau = \frac{2(I_1 + I_2 - I_{12} - I_{ta})}{(I_1 + I_2)I_{12}} [\text{min}] \quad (7)$$

## d) poprawka na wydajność licznika

Szybkość zliczeń zależy nie tylko od ilości cząstek, które wpadły do licznika ale i od prawdopodobieństwa tego, że dana cząstka wchodząc do licznika wywoła w nim impuls, tj. od wydajności licznika –  $\epsilon_i$ . Wydajność ta może być w zasadzie różna dla różnych cząstek  $\beta$ . W naszym ćwiczeniu dla stosowanych źródeł  $\beta$ -promieniotwórczych wydajność licznika G-M jest dla każdego z nich jednakowa i praktycznie wynosi 100%, tj. czyli:

$$W_{ie} = \epsilon_i = 1 \quad (8)$$

## e) poprawka na pochłanianie

Część cząstek wylatujących w kierunku licznika (w obrębie kąta bryłowego  $\Omega$ ) nie dociera do niego wskutek pochłaniania w okienku licznika i w warstwie powietrza znajdującej się pomiędzy źródłem i licznikiem. Jeżeli  $X$  oznacza efektywną grubość absorbenta (warstwy powietrza lub innego absorbenta i okienka) a  $(R_{1/2})_i$  - grubość warstwy połówkowego osłabienia dla  $i$ -tych cząstek, to zmniejszenie liczby cząstek (w wyniku absorpcji) można określić współczynnikiem osłabienia równym:

$$W_{ik} = K_i = 2^{-\frac{X}{R_{1/2}}} \quad (9)$$

## f) poprawka na rozproszenie zwrotne

Jeżeli źródło naniesione jest na podkładce szklanej lub metalowej, zostaje naruszona izotropia układu kierunków lotu cząstek w stosunku do źródła. Liczba cząstek lecących w kierunku licznika może być zwiększona wskutek rozproszenia zwrotnego jakiego doznają cząstki  $\beta$  w wyniku oddziaływania z podłożem źródła. W źródłach stosowanych do naszego ćwiczenia zastosowano cienkie podłoża, można więc zaniedbać efekt rozproszenia zwrotnego. Podobnie można pominąć pochłanianie cząstek  $\beta$  w samym preparacie (samopochłanianie) gdyż jest on naniesiony bardzo cienką warstwą, tj. mamy  $W_{irozpr} = 1$ ,  $W_{isamopoch} = 1$ .

## C. Opracowanie wyników

Wiążąc szukaną aktywność preparatu ze zmierzonymi szybkościami  $I$  i  $I_{tla}$ , i uwzględniając omówione poprawki wzór (3) zapisać w postaci:

$$A = \left( \frac{I}{1 - I\tau} - I_{tla} \right) \left[ W_{\Omega} \sum_i P_i \varepsilon_i K_i W_{irozpr} W_{isamopoch} \right]^{-1} \quad (10)$$

Jak już zaznaczono w zakresie stosowanych w doświadczeniu źródeł  $\beta$ -promieniotwórczych można przyjąć, że  $\varepsilon_i$  jest jednakowe dla wszystkich cząstek  $\beta$  i równe 1, i że efekt rozproszenia i samopochłaniania można zaniedbać; to pozwoli uprościć powyższy wzór do postaci:

$$A = \left( \frac{I}{1 - I\tau} - I_{tla} \right) \left[ W_{\Omega} \sum_i P_i K_i \right]^{-1} \quad (11)$$

- wyliczyć aktywności preparatu korzystając ze wzoru (11) dla każdego pomiaru,
- obliczyć wartość średnią z tych pomiarów,
- wyniki bezpośrednich pomiarów, wyniki obliczeń, porównanie z danymi katalogowymi przedstawić w czytelnej formie, najlepiej w tabeli,
- dane potrzebne do obliczeń dołączone są na końcu instrukcji.

## IV. Literatura

1. Praca licencjacka wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. M. Szuszkiewicza – autor: Anna Michalska
2. K. Małuszyńska, M. Przytuła, „Laboratorium fizyki jądrowej” [PWN, Łódź 1969];
3. T. Hilczer, „Ćwiczenia z fizyki jądrowej” [UAM, Poznań 1975];
4. William J. Price, „Detekcja promieniowania jądrowego” [PWT, Warszawa 1960];
5. Sz. Szczeniowski, cz. VI, „Fizyka doświadczalna. Fizyka jądra i cząstek elementarnych” [PWN, Warszawa 1974];
6. A. Strzałkowski, „Wstęp do fizyki jądra atomowego” [PWN, Warszawa 1969];
7. I. Kaplan, „Fizyka jądrowa” [PWN, Warszawa 1957];
8. K. N. Muchin, „Doświadczalna fizyka jądrowa” t. 1 i 2 [Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1978];
9. J. M. Massalski, „Detekcja promieniowania jądrowego”, [PWN, Warszawa 1959];
10. G. E. Pustowałow, „Fizyka atomowa i jądrowa”, [PWN, Warszawa 1975];
11. J. Araminowicz, K. Małuszyńska i inni, „Laboratorium fizyki jądrowej” [PWN, Warszawa 1974];

12. H. Hart, E. Karstens, „Izotopy promieniotwórcze w zastosowaniu do pomiaru grubości” [PWT, Warszawa 1960];

Załączniki:

Tabela nr 1

Izotop	Max. energia cząstek $\beta$ [MeV]	Całkowita ilość cząstek na 1 akt rozpadu	Średnia ilość cząstek o danej energii na 1 akt rozpadu /P <sub>i</sub> /	R <sub>1/2</sub> Zasięg połówkowy [g/cm <sup>2</sup> ]	R Zasięg całkowity [g/cm <sup>2</sup> ]
$C_6^{14}$	0,155	1	1	0,0027	0,026
$Na_{11}^{22}$	0,542	0,95	0,95	0,0160	0,183
$Na_{11}^{24}$	1,390	1	1	0,0570	0,680
$P_{15}^{32}$	1,701	1	1	0,0770	0,790
$S_{16}^{35}$	0,169	1	1	0,0030	0,032
$K_{19}^{42}$	2,040 3,580	1 1	0,25 0,75	0,1050 0,4000	0,970 1,820
$Ca_{20}^{45}$	0,254	1	1	0,0055	0,060
$Fe_{26}^{59}$	0,260 0,460	1	0,5 0,5	0,0055 0,0120	0,062 0,145
$Co_{27}^{60}$	0,318	1	1	0,0065	0,080
$Zn_{30}^{65}$	0,325	0,008	0,008	0,007	0,088
$Sr_{38}^{89}$	1,463	1	1	0,0640	0,660
$Sr_{38}^{90}$	0,610	1	1	0,0180	0,220
$Y_{39}^{90}$	2,180	1	1	0,1122	1,000
$Ce_{134}$	0,090 0,648	1	0,28 0,72	0,0015 0,0190	0,20 0,228
$W_{79}^{185}$	0,428	1	1	0,0110	0,130
$Cl_{17}^{36}$	0,716	1	1	0,0225	0,131