



Bezwzględny pomiar aktywności źródeł β -promieniotwórczych

I. Zagadnienia

1. Podstawowe prawa rozpadu promieniotwórczego.
2. Promieniowanie β i γ .
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 β lub promieniowanie γ .

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 τ , 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 β . W przypadku gdy mamy do czynienia ze źródłem emitującym zarówno fotony jak i cząstki β , 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 τ detektora, pochłanianie, rozpraszanie zwrotne, itp. Ostatecznie W_i może być przedstawione jako iloczyn

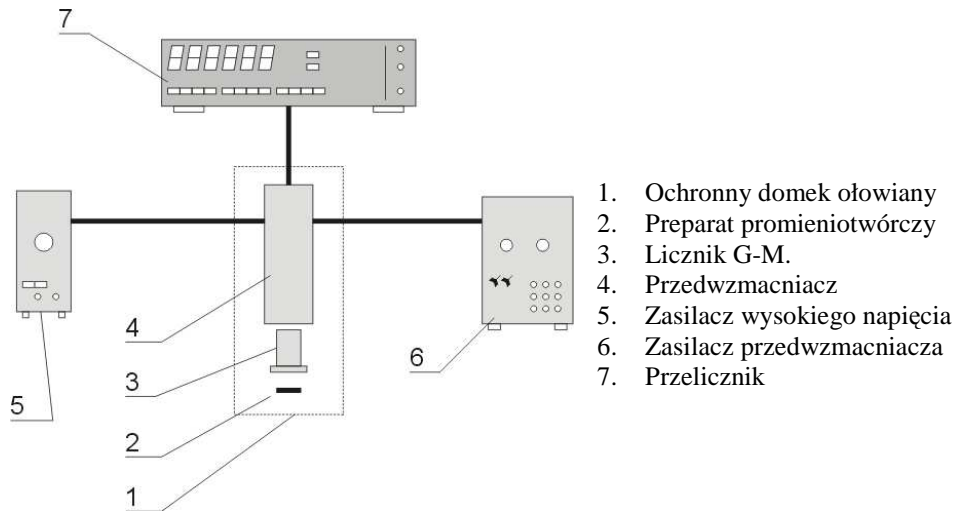
$$W_i = \prod_j W_{ij} \quad (4)$$

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



III. Część doświadczalna

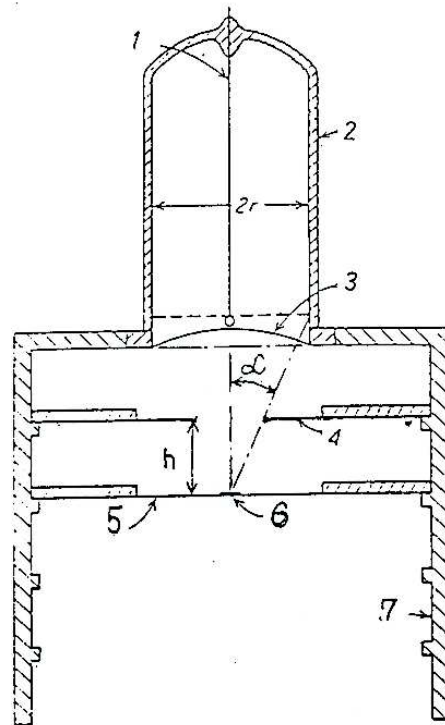
A. Schemat blokowy aparatury pomiarowej:



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 4π . Do licznika dochodzi tylko część emitowanych przez preparat cząstek, zawarta w stożku o kącie wierzchołkowym α . Kąt bryłowy Ω 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_Ω 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 3cm ,
 - 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 β i odczytać przypadającą mu szybkość zliczeń I_1 ,
- nie zmieniając położenia I źródła obok niego położyć II źródło promieniotwórcze β 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 – ϵ_i . Wydajność ta może być w zasadzie różna dla różnych cząstek β . W naszym ćwiczeniu dla stosowanych źródeł β -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 (Ω) 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 β 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 β 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 można wzór (3) zapisać w postaci:

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

Jak już zaznaczono w zakresie stosowanych w doświadczeniu źródeł β -promieniotwórczych można przyjąć, że ϵ_i jest jednakowe dla wszystkich cząstek β 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];



Pracownia Radioizotopowa

Ćwiczenie 7

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 β [MeV]	Całkowita ilość cząstek na 1 akt rozpadu	Średnia ilość cząstek o danej energii na 1 akt rozpadu $\langle E \rangle$	$R_{1/2}$ Zasięg połówkowy [g/cm ²]	R Zasięg całkowity [g/cm ²]
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_{58}^{134}	0,090 0,648	1	0,28 0,72	0,0015 0,0190	0,20 0,228
W_{74}^{185}	0,428	1	1	0,0110	0,130
Cl_{17}^{36}	0,716	1	1	0,0225	0,131