

Ćwiczenie 9

Pomiar bezwzględnej aktywności źródeł promieniotwórczych.

Stanowisko – 9 (preparaty *beta* promieniotwórcze)



Stanowisko – 9 (preparaty *gamma* promieniotwórcze)



1. Student winien wykazać się znajomością:

01. Co nazywamy aktywnością bezwzględną.
02. Jednostki aktywności bezwzględnej.
03. Aktywność względna.
04. Zmiana aktywności źródła wraz z upływem czasu.
05. Jakie poprawki należy uwzględnić przy pomiarze aktywności względnej?

Pomoc merytoryczna do opracowania wyników, część wspólna dla źródeł beta i gamma promieniotwórczych.

Przez aktywność danego źródła promieniotwórczego rozumiemy ilość zachodzących w nim jednostkowych aktów przemiany promieniotwórczej jąder przypadających na jednostkę czasu. Zgodnie z tą definicją jednostką aktywności w układzie S.I. jest s^{-1} . W praktyce stosuje się często jednostkę $3,71 \times 10^{10}$ razy większą - kiur (Ci) lub jej pochodne np. $1\mu\text{Ci} = 3,71 \times 10^4 [s^{-1}]$.

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-ego rodzaju, a W_i oznacza prawdopodobieństwo dotarcia takiej cząstki do detektora i zarejestrowania jej przez ten detektor, to średnia liczba zliczeń impulsów z detektora, I , będzie związana z aktywnością źródła A związkiem:

$$1. \quad I = K_m \left[A \sum_i P_i W_i + I_{lla} \right],$$

gdzie I_{lla} 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

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

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

Rozwiązując równanie (1) względem A otrzymujemy:

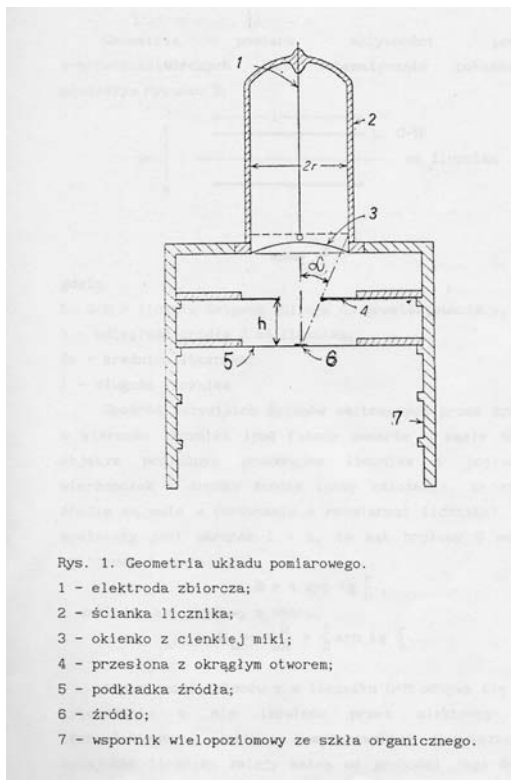
$$3. \quad A = \left[\frac{I}{K_m} - I_{lla} \right] \left[\sum_i P_i W_i \right]^{-1}.$$

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.

Pomiar aktywności preparatów *beta* promieniotwórczych.

Aktywność preparatu *beta* promieniotwórczego wyznaczamy poprzez pomiar szybkości zliczeń (liczby impulsów licznika G-M) w jednostce czasu wywołanych cząstkami *beta* emitowanymi przez badany preparat. Geometria pomiaru aktywności źródeł *beta*-promieniotwórczych jest pokazana na rysunku 1.



Dla znalezienia występujących w wzorze (3) wartości W_i należy uwzględnić zarówno geometrię układu źródło-detektor jak i wydajność detektora na dany rodzaj promieniowania, pochłanianie, rozpraszanie itp. W rezultacie W_i może być przedstawione jako iloczyn $W_i = \prod_j W_{ij}$ parametrów W_{ij} , gdzie j symbolizuje nazwę uwzględnionego czynnika.

Dalej te parametry W_{ij} będą nazywane umownie poprawkami.

1. Poprawka na kat bryłowy:

Spośród cząstek emitowanych przez źródło w kierunku okrągłego otworu przesłony (a więc w kierunku detektora) leżą cząstki zawarte w kacie bryłowym objętym tym otworem i mającym wierzchołek w środku źródła (przy założeniu, że rozmiary źródła są małe w porównaniu z odległością źródła od przesłony). Kąt ten wynosi:

$$4. \quad \Omega = 2\pi \int_0^\alpha \sin \alpha \, d\alpha = 2\pi (1 - \cos \alpha),$$

co stanowi część W_Ω pełnego kąta bryłowego tj.

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

Jeżeli h jest odległością preparatu od przesłony a r promieniem otworu przesłony to:

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

Można przyjąć, że poprawka uwzględniająca kąt bryłowy nie zależy od rodzaju cząstek *beta* t.j. położyć: $W_{i\Omega} = W_{\Omega}$ (5a).

2) 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, t. j. od wydajności licznika ε_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%. t.j. Czyli

$$7. \quad W_{ie} = \varepsilon_i = 1$$

3) 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 i okienka) a $(R_{1/2})$ - grubość warstwy połówkowego osłabienia dla i -tych cząstek to zmniejszenie liczby cząstek (w wyniku absorpcji) można określić współczynnikiem osłabienia równym:

$$8. \quad W_{ik} = K_i = 2^{-\frac{X}{R_{1/2}}}.$$

4) Poprawka na rozproszenie zwrotne:

Jeżeli źródło naniesione jest na podkładce szklanej lub metalowej, zostaje naruszona izotropia rozkładu 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 podłoże, można więc zaniedbać efekt rozproszenia zwrotnego. Podobnie można pominąć pochłanianie cząstek *beta* w samym preparacie (samopochłanianie) gdyż jest on naniesiony bardzo cienką warstwą t.j. mamy $W_{irozpr} = 1$, $W_{isamopochl} = 1$.

Nie możemy zapomnieć o wpływie tła i czasu martwego licznika na pomiary.

Reasumując: wiążąc szukaną aktywność preparatu z zmierzonymi szybkościami zliczeń (I i I_{tla}) i uwzględniając omówione poprawki można wzór (3) zapisać w postaci:

$$9. \quad A = \left[\frac{I}{1 - I\tau} - I_{tla} \right] \left[W_{\Omega} \sum_i P_i \varepsilon_i K_i W_{irozpr} W_{isamopochl} \right]^{-1}.$$

Jak już zaznaczono w zakresie stosowanych w doświadczeniu źródeł *beta* promieniotwórczych można przyjąć, że ε_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:

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

Uwaga: Dane liczbowe potrzebne do obliczeń są podane w tabeli 1.

izotop	Max. ener- gia czas- tek β [MeV]	Całkow. ilość cząstek na 1 akt rozpadu	Średnia ilość cząstek o danej energii na 1 akt rozpadu / P_i /	R _{1/2} zasięg połowko- wy [g/cm ²]	R zasięg całkowity [g/cm ²]
C ¹⁴ ₆	0,155	1	1	0,0027	0,026
Na ²² ₁₁	0,542	1	1	0,0160	0-183
Na ²⁴ ₁₁	1,390	1	1	0,0570	0,620
P ³² ₁₅	1,701	1	1	0,0770	0,790
S ³⁵ ₁₆	0,169	1	1	0,0030	0,032
K ⁴² ₁₉	2,040 3,580	1 1	0,25 0,75	0,1050 0,4000	0,970 1,820
Ce ⁴⁵ ₂₀	0,254	1	1	0,0055	0,060
Fe ⁵⁹ ₂₆	0,260 0,460	1	0,5 0,5	0,0055 0,0120	0,062 0,145
Co ⁶⁰ ₂₇	0,318	1	1	0,0065	0,080
Zn ⁶⁵ ₃₀	0,325	0,008	0,008	0,007	0,028
Sr ⁸⁹ ₃₈	1,463	1	1	0,0640	0,660
Sr ⁹⁰ ₃₈	0,610	1	1	0,0180	0,220
Y ⁹⁰ ₃₉	2,180	1	1	0,1122	1,000
Ce ¹³⁴	0,090 0,648	1	0,28 0,72	0,0015 0,0190	0,020 0,228
W ¹⁸⁵ ₇₉	0,428	1	1	0,0110	0,130
Cl ³⁶ ₁₇	0,416	1	1	0,0225	0,131

Tab. I.

2. Cel doświadczenia – część 1.

Celem doświadczenia jest wyznaczenie aktywności źródeł *beta* promieniotwórczych.

3. Technika pomiarów:

- a) Zapoznać się z zestawem pomiarowym i uruchomić go w obecności prowadzącego ćwiczenia (uruchomienie następuje po wykonaniu punktu 2).
- b) Przed przystąpieniem do pomiarów szybkości zliczeń (ściślej jeszcze przed włączeniem układu elektronicznego) wyznaczyć wszystkie parametry określające geometrię pomiaru:
 - 1) promień otworu przesłony - r ;
 - 2) odległość od źródła do przesłony - h ;
 - 3) odległość od źródła do okienka licznika - H ;
 - 4) grubość okienka licznika i jego czas martwy odczytać z dodatkowych danych (umieszczone na oddzielnej kartce przy zestawie pomiarowym).
- c) Zmierzyć tło licznika (szybkość zliczeń I_{tla} w obecności tła przesłony (bez preparatu) z dokładnością około 5%. Pomiar tła powtórzyć kilkakrotnie w czasie pomiarów. W obliczeniach uwzględnić średnią wartość z tych pomiarów.
- d) Wstawić badany preparat w odległości h nie mniejszej niż 3 cm od przesłony i zmierzyć prędkość zliczeń (I) z dokładnością nie mniejszą niż 3%.
- e) Pomiar powtórzyć (jak w pkt. d) przy zwiększonej odległości h .
- f) Wziąć od Opiekuna Pracowni dodatkowe dane dotyczące aktywności źródeł *beta* promieniotwórczych.

Tabela pomiarów:

Izotop promieniotwórczy	Czas pomiaru t [s]	Liczba zliczeń	Dodatkowe dane zmierzone lub odczytane
.....			

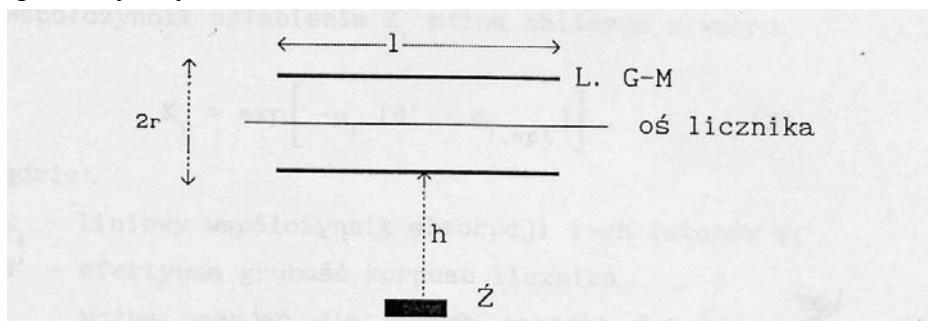
4. Opracowanie wyników.

Wyliczyć aktywność preparatu dla każdego pomiaru posługując się wzorami z pomocy merytorycznej. Następnie obliczyć wartość średnią z tych pomiarów. Dane potrzebne do obliczeń są umieszczone w tabeli I. Wyniki bezpośrednich pomiarów, wyniki obliczeń, porównanie z danymi podanymi przez Opiekuna Pracowni i wnioski z ćwiczenia przedstawić w czytelnej formie (najlepiej w tabelach).

Pomoc merytoryczna – część 2:

Pomiar aktywności preparatów *gamma* promieniotwórczych.

Geometria pomiaru aktywności preparatów *gamma* promieniotwórczych jest schematycznie pokazana na poniższym rysunku 2:



L - G-M – cylindryczny licznik Geigera Müllera,

h - odległość źródła $\dot{Z}$ od licznika;

$2r$ - średnica licznika;

l - długość licznika.

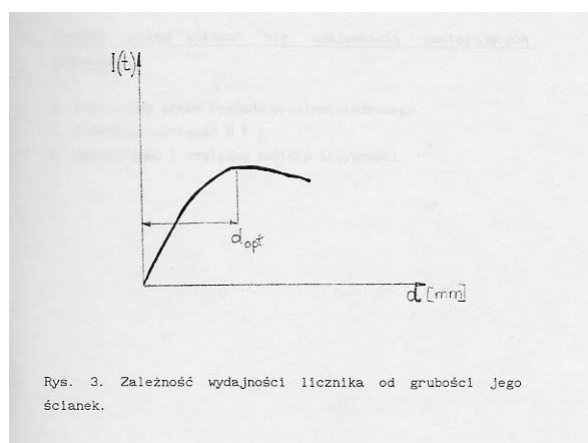
Spośród wszystkich fotonów emitowanych przez źródło w kierunku licznika lecą fotony zawarte w kącie bryłowym objętym podłużnym przekrojem licznika i posiadającym wierzchołek w środku źródła (przy założeniu, że rozmiary źródła są małe w porównaniu z rozmiarami licznika). Jeżeli spełniony jest warunek $l \gg h$, to kąt bryłowy Ω może być wyliczony z wzoru:

$$1. \quad \Omega = 4 \arctg \frac{r}{h},$$

a względny kąt bryłowy z wzoru:

$$2. \quad W_{\Omega} = \frac{\Omega}{4\pi} = \frac{1}{\pi} \arctg \frac{r}{h}.$$

Rejestracja fotonów *gamma* w liczniku G-M odbywa się dzięki wytwarzaniu w nim impulsów przez elektrony wtórne (fotoelektrony i elektrony komptonowskie). W związku z tym wydajność licznika zależy zatem od grubości jego ścianek. Przykładową zależność wydajności licznika od grubości ścianek przedstawia rysunek 3.



Grubość optymalna (tj. zapewniająca największą wydajność) jest zależna od energii fotonów *gamma* i od materiału ścianki. Wartości wydajności liczników ε_i przy optymalnej grubości korpusu glinowego dla fotonów *gamma* z różnych źródeł promieniotwórczych oraz same grubości optymalne są podane w tabeli II.

Izotop	Energia foto- nów γ (E_γ) [MeV]	Liczba foto- nów o danej energii - P_i	Współcz. absorp- cji w glinie μ_i [cm ⁻¹]	Elektrony kompt.		Max. wy- daj- ność liczni- ka ϵ_l	Zasięg cząstek β w Al [cm] $d_{\text{cz.}}$	Optymalna grubość kor- pusku liczn- nika [cm, Al]
				Energia [MeV]	Zasięg w Al [cm] $d_{\text{cz.}}$			
²² Na 11	1,277 0,511	1 2	0,15 0,228	1,06 0,34	0,42 0,09	0,0035 0,002	0,190	0,42
⁵⁴ Mn 25	0,835	1	0,183	0,64	0,22	0,0045	-	0,22
⁵⁹ Fe 26	1,3 1,1 0,195	0,475 0,525 0,025	0,148 0,162 0,323	1,08 0,89	0,43 0,34 0,24	0,0005 0,007 0,0005	0,145	0,43
⁶⁰ Co 27	1,33 1,17	1 1	0,146 0,153	1,11 1,04	0,45 0,41	0,0050 0,0030	0,080	0,45
⁶⁵ Zn 30	1,118	0,44	0,16	0,90	0,34	0,007	-	0,34
¹³⁴ Cs 55	0,561 0,601 0,794 1,365	0,21 1 0,96 0,04	0,210 0,214 0,188 0,144	0,390 0,424 0,604 1,126	0,115 0,125 0,210 0,435	0,0025 0,0030 0,0045 0,0020	0,230	0,4
¹³⁴ Cs 55	0,66 (kole.)	0,92 (szk. wypadku)	0,19 (Prze str. 38)	0,45	0,15	0,0038 (długo- str. 181)	-	-

W przypadku, gdy rzeczywista grubość korpusu licznika d (jego katody i ewentualnej dodatkowej osłony) jest większa od grubości optymalnej $d_{i\ opt}$ dla i -tych fotonów *gamma* należy uwzględnić osłabienie wiązki fotonów w pozostałej warstwie. Współczynnik osłabienia K_i można obliczyć z wzoru:

$$3. \quad K_i = \exp \left[-\mu_i (d' - d_{i\ opt}) \right],$$

gdzie:

μ_i - współczynnik absorpcji i -tych fotonów *gamma*,

d' - efektywna grubość korpusu licznika.

Można przyjąć dla dużych energii fotonów *gamma*, że $d_{i\ opt}$ jest równe maksymalnemu zasięgowi elektronów komptonowskich. Grubość korpusu licznika d powinna być tak dobrana, aby spełniała naraz oba poniższe warunki:

$$d > d_{\max, \ opt}$$

i

$$d > d_{\text{czastek}}$$

gdzie:

$d_{\max, \ opt}$ – oznacza grubość optymalną dla fotonów *gamma* o największej energii, a d_{czastek} to maksymalny zasięg promieniowania *beta*, które towarzyszy promieniowaniu *gamma* (o ile to ma miejsce). Wartości energii cząstek *beta* i ich zasięgów są podane w tabeli I. (I-część doświadczenia).

Efektywna grubość ścianki korpusu licznika d' jest większa od jej grubości z uwagi na to, że fotony *gamma* przechodzą przez nią pod różnymi kątami. Z dobrym przybliżeniem można przyjąć, że dla licznika cylindrycznego i geometrii jak na pierwszym rysunku, $d' = 2d$.

Jeżeli preparat jest znacznej grubości, to część promieniowania *gamma* może być zaabsorbowana w samym źródle. Oznaczając przez S_i ($W_{i, \text{ samopochł}}$) współczynnik osłabienia wiązki i -tych kwantów w wyniku samoabsorpcji można wzorowi (3) z części wspólnej teoretycznej, dla przypadku pomiaru aktywności źródła *gamma* promieniotwórczego, nadać postać:

$$4. \quad A = \left(\frac{I}{1 - I \tau} - I_{\text{tla}} \right) \left[W_{\Omega} \sum P_i \varepsilon_i K_i S_i \right]^{-1}.$$

Uwaga:

Źródła zastosowane w ćwiczeniu są nanoszone tak cienką warstwą, że dla wszystkich kwantów *gamma* można przyjąć, że $S_i = 1$, a τ , oznacza czas martwy licznika.

2. Cel doświadczenia.

Celem ćwiczenia jest oznaczenie aktywności preparatów *gamma*-promieniotwórczych.

3. Technika pomiarów:

- a) Zapoznać się z układem pomiarowym i uruchomić go w obecności prowadzącego ćwiczenia (włączenie układu elektronicznego powinno nastąpić po wykonaniu pkt.
- b)

- b) Sprawdzić, czy grubość korpusu licznika (jego ścianek i ewentualnej osłony glinowej) spełnia warunki podane w opisie teoretycznym. Jeżeli nie, należy zwiększyć grubość osłony. Na podstawie danych dotyczących licznika i pomiaru grubości osłony glinowej określić wartość d .
- c) Zmierzyć tło licznika zgodnie z opisem umieszczonym w części doświadczalnej dotyczącej preparatów beta promieniotwórczych.
- d) Umieścić badany preparat w pobliżu licznika h odległości 4 - 8 cm i zmierzyć szybkość zliczeń z dokładnością nie mniejszą niż 5%.
- e) Powyższy pomiar powtórzyć przy innej odległości h źródła od licznika

4. Opracowanie wyników:

Wyliczyć aktywność preparatu dla każdego pomiaru i porównać uzyskane wyniki. Przedstawić wnioski końcowe.

Uwaga:

wszystkie dane potrzebne do obliczeń znajdują się w tabeli II oraz na kartce dołączonej do zestawu pomiarowego.