



ĆWICZENIE	LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ
2	<b>Detektor Geigera-Müllera – narzędzie do pomiaru podstawowych cech promieniowania jonizującego</b>
Data pomiaru: .....	
Imię i nazwisko: .....	
Imię i nazwisko: .....	

## 1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy i zasady działania licznika Geigera-Müllera, wyznaczenie parametrów układu liczącego impulsy, wyznaczenie współczynników pochłaniania promieniowania  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  w różnych materiałach, a także poznanie statystycznego charakteru zjawiska rozpadu promieniotwórczego.

## 2. UKŁAD DOŚWIADCZALNY

Zestaw ćwiczeniowy (rys. 1) stanowią:

- licznik Geigera-Müllera typu AOH (z cienkim okienkiem),
- zestaw źródeł promieniotwórczych –  $\alpha$  ( $^{241}\text{Am}$ ),  $\beta$  ( $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ),  $\gamma$  ( $^{137}\text{Cs}$ ),
- zestaw 7 absorbentów – są nimi papier, 3 folie z aluminium i 3 folie z ołowiu o różnych grubościach,
- układ elektroniczny: m.in. zasilacze niskiego i wysokiego napięcia, wzmacniacz, przelicznik.

Zastosowany w zadaniu detektor Geigera-Müllera to cylinder z „cienkim okienkiem” (wykonanym z miki o grubości  $1\div 2 \text{ mg/cm}^2$ ), wypełniony mieszaniną odpowiednich gazów (argon + domieszka gazów wieloatomowych).

Układ rejestruje impulsy prądowe wywołane ruchem jonów wytworzonych w objętości cylindra przy przejściu przez nie cząstki jonizującej. Puszka detektora, po przyłożeniu stałego napięcia, to cylindryczny kondensator, którego jedną elektrodą jest metalowa ściana boczna, a drugą – odizolowany od ściany bocznej drut, stanowiący oś cylindra. Cząstka jonizująca, przechodząca przez gaz w kondensatorze, wytwarza na swej drodze ładunki, których ruch pod wpływem pola elektrycznego, a więc przepływ prądu, zmienia ładunek kondensatora.

Przy odpowiedniej wielkości przyłożonego napięcia wysokość impulsu w obwodzie detektora nie zależy od energii padającej cząstki.

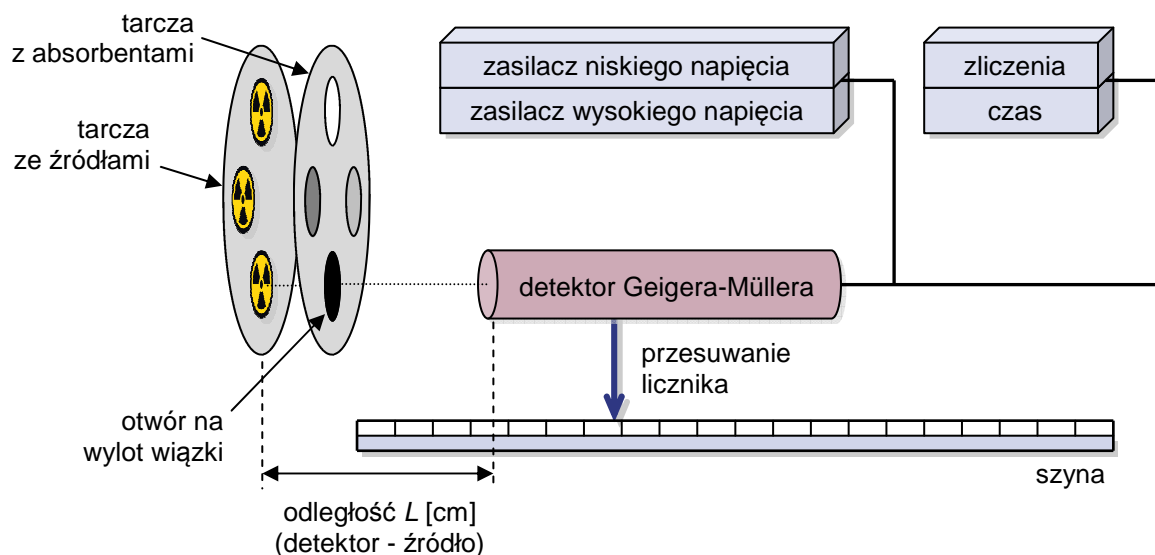
W stalowej obudowie znajdują się dwie obracające się tarcze, na których umieszczone zostały:

- na jednej – 3 typowe źródła promieniotwórcze:  $\alpha$ ,  $\beta$  oraz  $\gamma$ ,
- na drugiej – 7 różnych folii.

Tarcze zamontowane są tak, aby w otworze obudowy można było umieścić każde ze źródeł, a przed źródłem – dowolną przesłonę.



Rys. 1 Zdjęcie aparatury pomiarowej



**Rys. 2** Schemat ideowy układu pomiarowego

Po szynie przesuwana jest obejma detektora Geigera-Müllera. Linijka, pozwalająca na odczyt położenia  $L$  obejmy, zamontowana jest tak, aby odczytywane położenie oznaczało w przybliżeniu odległość pomiędzy otworem w obudowie oraz okienkiem detektora.

Schemat układu pomiarowego przedstawia rys. 2.

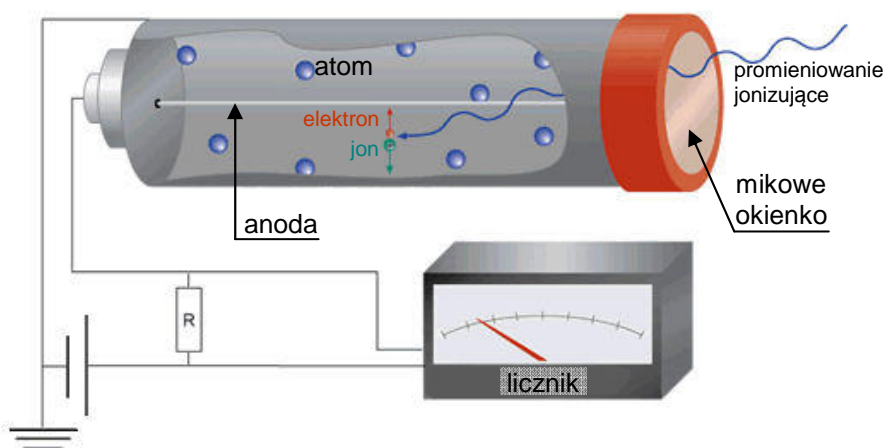
### 3. PLAN ĆWICZENIA

1. Budowa i własności detektora, omówienie zagadnień:
  - a) zasada budowy detektora,
  - b) co to jest charakterystyka impulsowo-napięciowa,
  - c) co to jest bieg własny licznika, co to jest tło pomiarowe dla naszego licznika,
  - d) wydajność rejestracji,
  - e) pojęcie czasu martwego,
  - ★ f) ocena różnic w wydajności rejestracji dla promieniowania  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ , rola grubości okienka.
2. Wyznaczenie niektórych parametrów układu:
  - a) wykonanie charakterystyki impulsowo-napięciowej,
  - b) pomiar tła.
3. Wyznaczenia zależności natężenia promieniowania od odległości licznik – źródło.
4. Zastanowienie się nad statystycznym charakterem badanego procesu.
- ★ 5. Krótkie omówienie rozkładu normalnego, rozkładu Poissona.
- ★ 6. Metody opracowania pomiarów – pojęcie średniej, średniej ważonej, błąd średniej dla dużej liczby pomiarów, błąd pojedynczego pomiaru, porównywanie średnich, błąd różnicy liczb zliczeń na przykładzie odejmowania tła przy pomiarze zliczeń  $\beta$  przy małych i dużych wartościach  $L$ .
- ★ 7. Badania przechodzenia promieniowania  $\beta$  i  $\gamma$  przez różne materiały.
8. Pomiar ze źródłem promieniowania  $\alpha$ :
  - a) omówienie wydajności rejestracji promieniowania  $\alpha$ ,
  - b) oszacowanie pochłaniania promieniowania  $\alpha$  w papierze i w cienkim aluminium,
  - c) oszacowanie zasięgu promieniowania  $\alpha$  w powietrzu – porównanie z danymi z tablic.

★ podana jest pełna wersja ćwiczenia; w konkretnych przypadkach zakres zadań może być mniejszy

#### 4. WSTĘP TEORETYCZNY

Detektor Geigera-Müllera (rys. 3) należy do grupy *detektorów gazowych*. Nazwa ich wywodzi się od rodzaju ośrodka, w którym następuje jonizacja atomów. W detektorze G-M gazem tym jest najczęściej argon (z niewielkim dodatkiem tzw. czynnika gaszącego np. alkoholu lub związków chloru).



Rys. 3 Schemat działania detektora G-M

Pole elektryczne wytworzone przez napięcie przyłożone do elektrod powoduje przepływ wytworzonych jonów do elektrod, a więc i przepływ prądu w zewnętrznym obwodzie elektrycznym.

W zależności od konstrukcji detektora oraz wielkości napięcia zasilania detektory gazowe dzielą się na komory jonizacyjne, detektory proporcjonalne oraz detektory Geigera-Müllera (G-M).

W detektorze G-M (oraz w detektorze proporcjonalnym) anodę stanowi drut (najczęściej z wolframu), a katodę - metalowa obudowa. Napięcie między elektrodami przyspiesza jony do tak dużych prędkości, że oddziałując z atomami gazu powodując ich wtórną jonizację. Proces ten, narastając lawinowo, powoduje zjonizowanie całej objętości gazu w detektorze. W tym czasie detektor nie jest w stanie „zareagować” na przyjscie innej cząstki promieniowania. Dla detektorów G-M czas ten dochodzi do 200  $\mu$ s i nosi nazwę *czasu martwego*. Raz zapoczątkowane zjawisko lawinowej jonizacji przebiega niezależnie od rodzaju promieniowania, a więc ilość jonów (i amplituda prądu w obwodzie) jest niezależna od rodzaju promieniowania.

Detektory G-M, z racji swoich właściwości, są stosowane obecnie głównie w radiometrach, przeznaczonych jedynie do wykrywania promieniowania jonizującego.

#### 5. PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA

A) Charakterystyka impulsowo-napięciowa licznika dla źródła promieniowania  $\beta$ :

- przy ustalonym położeniu licznika (np.  $L = 15$  cm) wyznaczamy liczbę impulsów,  $N$ , w zależności od wielkości przyłożonego do licznika wysokiego napięcia  $U$ . Zaczynamy od napięcia  $U = 450$  V, zwiększając napięcie co  $\Delta U = 10$  V (dla małych szybkości zliczeń przyjmujemy czas pomiaru – 100 s, dla większych – 10 s);
- gdy zaobserwujemy większą szybkość zliczeń, zmieniamy napięcie co  $\Delta U = 2$  V. Gdy szybkość zliczeń ustali się, zmieniamy napięcie co 5 V;
- prosimy nie przekraczać napięcia  $\square^1$  V, gdyż grozi to zniszczeniem detektora;
- podczas pomiarów wyniki zapisujemy w tabeli 1 i nanosimy na wykres kolejne wartości  $N(U)$ ;
- w dalszych pomiarach ustalamy napięcie pracy  $U = \square$  V.

B) Pomiaru tła dokonujemy dla kilku odległości  $L$  (licznik – obudowa źródła):

- ustalamy czas pomiaru  $\Delta t = 10$  s i wykonujemy po trzy pomiary dla każdego  $L$ . Zliczenia zapisujemy w tabeli 2A;
- dla odległości  $L$  z obszaru 5 - 20 cm zmieniamy ją co 5 cm;
- ★ dla ustalonego  $L$ , np.  $L = 20$  cm sprawdzamy, jak niepewność pomiaru zależy od czasu trwania pomiaru, wykonując:
  - 10 pomiarów po 10 s,
  - 10 pomiarów po 100 s,
  - 1–2 pomiary po 1000 s, o ile czas pozwoli.Wyniki zapisujemy w tabeli 2B.

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

Jeżeli czas przeznaczony na wykonanie zadania jest krótki, można użyć wykonanych wcześniej wyników pomiaru tła (zostaną one podane w trakcie wykonywania zadania), sprawdzając dla dwóch położzeń  $L$ , czy tło się nie zmieniło.

**C) ★** Sprawdzamy, jak niepewność pomiaru szybkości zliczeń liczby cząstek emitowanych w rozpadzie promieniotwórczym zależy od liczby zliczeń oraz czasu trwania pomiaru:

- dla ustalonego  $L$  ( $\geq 20$  cm) wyznaczamy liczbę impulsów tak, aby otrzymać 10–15 pomiarów dla  $\Delta t = 10$  s, dla których obliczamy: średnią arytmetyczną  $\bar{n}_{10}$ , standardowe odchylenie pojedynczego pomiaru,  $\sigma$ , oraz standardowe odchylenie dla obliczonej średniej,  $\sigma_s$ . Korzystamy z definicji średniej arytmetycznej kilkunastu pomiarów ( $M \approx 10 \div 15$ ) wielkości  $x_k$ :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{k=1}^M x_k}{M} \quad (1)$$

Odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru  $\sigma$  wyliczamy ze wzoru:

$$(SD)^2 = \frac{\sum_{k=1}^M (x_k - \bar{x})^2}{M - 1} \quad (2)$$

z kolei odchylenie standardowe średniej arytmetycznej  $\sigma_s$  z zależności:

$$(SDS)^2 = \frac{\sum_{k=1}^M (x_k - \bar{x})^2}{M(M - 1)} = \frac{(SD)^2}{M} \quad (3)$$

- powtarzamy pomiar dla tego samego  $L$ , wykonując 5 pomiarów dla  $\Delta t = 100$  s, obliczamy wartość średnią,  $\sigma$  i  $\sigma_s$ . Jeżeli wystarczy czasu, wykonujemy 2-3 pomiary dla  $\Delta t = 1000$  s;
- w celu porównania nanosimy obliczone wartości na wykres (oś X – czas pomiaru, oś Y – średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru, odchylenie standardowe średniej arytmetycznej) lub umieszczamy wyniki w tabeli 3.

**D)** Wyznaczamy zależności liczby zliczeń i szybkości zliczeń od odległości  $L$  oraz oceniamy aktywności źródła. Dla czasu pomiaru  $\Delta t = 10$  s wykonujemy po trzy pomiary dla każdego  $L$  i zapisujemy zliczenia w tabeli 3. Oczekiwany przebieg zależności:

$$N_L(L) = \text{const}/L^2 \quad (4)$$

możemy sprawdzić graficznie, na wykresie, wybierając przykładowo zmienne:

$$x = 1/L^2, y = N(L) \text{ albo } x = 1/(N_L)^{1/2}, y = L$$

Wykres powinien być linią prostą, o ile:

- $L$  jest rzeczywistą odległością pomiędzy źródłem promieniowania i licznikiem G-M,
- źródło jest punktowe,
- pomijamy pochłanianie promieniowania w okienku licznika,
- odległość  $L$  jest znacznie większa od promienia okienka licznika  $r$ .

★ Jeżeli rzeczywista odległość źródło – licznik nie jest równa  $L$ , wprowadzamy parametr  $\Delta$ , postulując:

$$\text{odległość} = L + \Delta. \quad (5)$$

Nieznany parametr  $\Delta$  można wyznaczyć z naszych danych, badając zależność:

$$N_L(L) = F/(L+\Delta)^2, \quad (6)$$

gdzie  $F = N_0 r^2/4$ , np. przez dopasowanie prostej:  $y = Ax + B$ , gdzie  $y = L$ ,  $x = 1/(N_L)^{1/2}$ .

Po dopasowaniu – np. metodą najmniejszych kwadratów – otrzymane współczynniki wyznaczają  $F$  i  $\Delta$ :

$$B = \Delta, \quad A = \sqrt{F} \quad (7)$$

Aby otrzymać dobry wykres w zamienionych zmiennych, określamy wstępnie zakresy zmiennych dla obu osi zwracając uwagę na wartości zmiennych  $X$  i  $Y$  dla małych i dużych wartości  $L$ . Starajmy się nanosić otrzymane wyniki na wykres już w czasie pomiaru, ponieważ wtedy możemy szyb-

ko sprawdzić liniowość zależności oraz oszacować z wykresu przybliżone wartości parametrów prostej. Nachylenie prostej  $y = Ax + B$  oceniamy z zależności:

$$A = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (8)$$

Na tym odcinku prostej, gdzie punkty leżą „gładko”. Po wyliczeniu  $A$  z rysunku, parametr  $B$  wyznaczamy z zależności:

$$B = \bar{y} - A\bar{x} \quad (9)$$

Wartości średnie  $\bar{x}$  i  $\bar{y}$  obliczamy na kalkulatorze. Po naniesieniu na wykres kilku punktów dla skrajnych wartości par liczb  $(x, y)$  oceniamy niepewności obu zmiennych, co pozwoli podjąć decyzję o ewentualnym wydłużeniu czasu pomiaru dla dużych  $L$ . Niepewności parametrów  $A$  i  $B$  obliczamy przy pomocy programu dopasowującego prostą do naszych danych. Znając, z dopasowania, niepewność  $B$ , możemy ocenić, czy  $L$  jest odległością źródło – detektor. Parametr  $A$  pozwoli na ocenę aktywności mierzonego preparatu.

**E)** Wyznaczanie współczynnika osłabienia  $\mu$  dla promieniowania  $\beta$  w różnych materiałach. W tym celu skorzystamy z zależności:

$$N(x) = N_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (10)$$

gdzie  $N(x)$  oraz  $N_0$  oznaczają odpowiednio liczby „netto” zliczeń z pochłaniaczem o grubości  $x$  i bez pochłaniacza. Termin „netto” oznacza odjęcie zmierzonego wcześniej tła. Grubość pochłaniacza wyznaczamy w milimetrach (gęstość papieru:  $0,8 \text{ g/cm}^3$ , aluminium:  $2,7 \text{ g/cm}^3$ , ołowiu:  $11,4 \text{ g/cm}^3$ ). Do wyznaczenia parametru  $\mu$  wybieramy takie położenie licznika, dla którego znamy z poprzednich pomiarów szybkość zliczeń bez przesłony –  $N_0$  oraz tło licznika –  $N_t$ . Wyniki notujemy w tabeli 4. Osłabienie promieniowania możemy podać w %, albo obliczamy liniowy współczynnik pochłaniania  $\mu$ , z zależności:

$$\mu x = \ln[N_0 / N_x] \quad (11)$$

**F)** Obserwacja osłabienia promieniowania  $\alpha$  i promieniowania  $\gamma$ .

1. Promieniowanie  $\alpha$ :

- zmieniamy źródło  $\beta$  na źródło  $\alpha$ ;
- ustawiamy detektor G-M w odległości  $L \sim 10 \text{ cm}$ ;
- ustalamy na przeliczniku czas pomiaru –  $1000 \text{ s}$ ;
- powoli zbliżamy detektor G-M do źródła, notujemy odległość  $L_s$ , dla której szybkość zliczeń zaczyna gwałtownie wzrastać. Zatrzymujemy pomiar, zmieniamy czas pomiaru na  $10 \text{ s}$ , uruchamiamy ponownie pomiar. Notujemy wynik pomiaru,  $N_1$ , oraz pozostałe dane w tabeli 5;
- przesuwamy następnie detektor o  $1 \text{ cm}$  bliżej źródła. Mierzmy kilkakrotnie zliczenia  $N_2$  dla odległości  $L = L_s - 1$ . Jak można wytłumaczyć zaobserwowany efekt?
- ustawiamy detektor (OSTROŻNIE !!) w odległości  $L \approx 1,5 \text{ cm}$ . Mierzmy kilkakrotnie zliczenia dla  $\Delta t = 10 \text{ sekund}$ ;
- wstawiamy papier pomiędzy źródło i detektor, powtarzamy pomiary przy  $\Delta t = 10 \text{ s}$ . Jak tłumaczymy zaobserwowany efekt?

2. Promieniowanie  $\gamma$ :

- zmieniamy źródło  $\alpha$  na źródło promieniowania  $\gamma$ , mierzymy dla kilku położzeń  $L$  liczbę zliczeń, (np. dla czasu pomiaru  $10 \text{ s}$ , wykonujemy po trzy pomiary dla każdego  $L$ ) otrzymane wyniki notujemy w tabeli 6;
- dla jednego z położzeń  $L$  wstawiamy papier pomiędzy źródło i licznik, powtarzamy pomiar przez  $10 \text{ s}$ . Jak tłumaczymy zaobserwowany efekt?

**G)** ★ Próba „zobaczenia” rozkładu Poissona na przykładzie pomiarów biegu własnego detektora dla takiego położenia suwaka, przy którym średnia liczba zliczeń biegu własnego  $\leq 1/\text{s}$ :

- wykonujemy  $100$  pomiarów jednosekundowych (zapisujemy pomiary w tabeli 7A), obliczamy średnią wartość tła (na sekundę);
- wykonujemy  $10$  pomiarów dziesięciosekundowych (zapisujemy pomiary w tabeli 7B), obliczamy

średnią wartość tła (na sekundę);

- wykonujemy kilka pomiarów stosekundowych i kilka tysięczsekundowych (zapisujemy pomiary w tabeli 7C), obliczamy średnią wartość tła (na sekundę);
- porównujemy, przez umieszczenie na jednym wykresie, uzyskane wyniki;
- dopasowujemy rozkład Poissona do wyników z punktu pierwszego.



## ROZKŁAD POISSONA

Rozkład Poissona jest to rozkład zmiennej losowej  $X$ , przyjmującej wszystkie wartości całkowite nieujemne,  $N$ , o prawdopodobieństwie opisanym wzorem:

$$P(X=N) = m^N e^{-m} / N!$$

Rozkład Poissona określa prawdopodobieństwo  $P(N)$ , że w danym odstępie czasu zaistnieje  $N$  zdarzeń, przy średniej częstości  $m$  ich występowania. Rozkład Poissona możemy stosować, wtedy, gdy:

- dla dowolnie dużej liczby  $M$  zdarzeń prawdopodobieństwo  $P$  pojawienia się pojedynczego zdarzenia jest niewielkie, ale liczba  $PM = m$  jest znana,
- spełniony jest warunek niezależności obserwowanych zdarzeń – pojawienie się oczekiwanego zdarzenia nie zależy od historii poprzednich obserwacji,
- prawdopodobieństwo pojawienia się dwu lub więcej zdarzeń jednocześnie jest zaniedbywalne,
- prawdopodobieństwo pojawienia się jakiegokolwiek zdarzenia w czasie  $\Delta t$  jest proporcjonalne do długości tego odcinka czasu.

W naszym przypadku  $N$  jest liczbą zliczeń impulsów tła, zarejestrowaną w czasie 1 sekundy, a liczba  $m$  to wyznaczona w pomiarze średnia liczba impulsów tła na sekundę.

$P(N)$  jest więc oczekiwanym prawdopodobieństwem pojawienia się  $N$  zliczeń tła w pomiarze trwającym 1 sekundę, przy zaobserwowanej średniej liczbie impulsów tła na sekundę  $m$ .

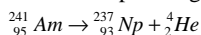
Można pokazać, że przy wzrastającej liczbie  $N$  rozkład Poissona zmierza do rozkładu Gaussa



## DANE O ŹRÓDŁACH PROMIENIOTWÓRCZYCH

### <sup>241</sup>Am

Źródłem promieniowania  $\alpha$  jest izotop ameryku: <sup>241</sup>Am, dla którego czas połowicznego rozpadu  $T_{1/2}$  wynosi 433 lata. Schemat rozpadu tego izotopu:



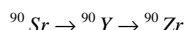
Emisji cząstek  $\alpha$  z jądra <sup>241</sup>Am (Z=95) towarzyszą jądrowe fotony  $\gamma$  oraz tzw. charakterystyczne promieniowanie X (seria L) powstające na powłokach elektronowych atomów tworzonego w tym oddziaływaniu nowego pierwiastka, neptunu (Np, Z = 93).

Energia cząstek $\alpha$ z rozpadu <sup>241</sup> Am [MeV]	Prawdopodobieństwo emisji cząstek $\alpha$ (na jeden rozpad) [%]
5,388	1,4
5,443	12,8
5,486	85,2
5,544	0,3

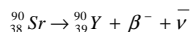
<sup>241</sup> Am		
Energia fotonu [keV]	Nazwa fotonu	Prawdopodobieństwo emisji fotonu (na jeden rozpad) [%]
26,3	$\gamma$	2,4
33,2	$\gamma$	0,12
43,4	$\gamma$	0,07
59,54	$\gamma$	35,9
11,87	X L	0,81
13,93	X L $_{\alpha}$	13,0
15,18	X L $_{\eta}$	0,33
17,61	X L $_{\beta}$	20,2
20,99	X L $_{\gamma}$	15,2

### <sup>90</sup>Sr/<sup>90</sup>Y

Rozpad promieniotwórczy  $\beta^-$  polega na emisji z jądra atomowego danego izotopu elektronu  $\beta^-$  oraz antyneutrino  $\bar{\nu}$ . Źródłem promieniowania  $\beta^-$  jest w naszym ćwiczeniu sukcesywny rozpad:

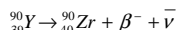


Dla rozpadu:



$T_{1/2} = 28,64$  lat. Wynikiem spełnienia prawa zachowania energii i prawa zachowania pędu dla trzech ciał – w tym przypadku są to: jądro atomowe <sup>90</sup>Y, elektron  $\beta^-$  i antyneutrino  $\bar{\nu}$  – jest ciągłe widmo energetyczne elektronów, kończące się na energii  $E_{\beta\text{max}} = 0,546$  MeV, wynikającej z różnicy mas jądra wyjściowego <sup>90</sup>Sr i jądra końcowego <sup>90</sup>Y. Dla rozpadu <sup>90</sup>Sr  $E_{\beta} \leq 0,546$  MeV, a energia średnia  $\langle E_{\beta} \rangle = 0,196$  MeV.

Jądro <sup>90</sup>Y jest również promieniotwórcze:



Dla tego rozpadu  $T_{1/2} = 64,1$  godz.,  $E_{\beta} \leq 2,282$  MeV, a energia średnia  $\langle E_{\beta} \rangle = 0,934$  MeV.

Widmo ciągłe promieniowania  $\beta^-$  z rozpadu <sup>90</sup>Sr

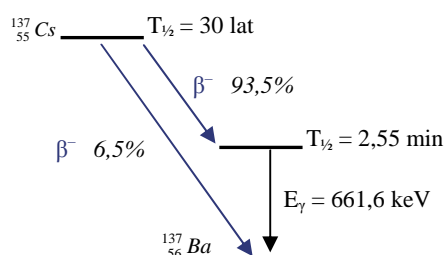
Energia elektronów beta [keV]	%
0 – 10	2,88
10 – 20	2,84
20 – 40	5,6
40 – 100	16,5
100 – 300	49,2
300 – 546	23,0

Widmo ciągłe promieniowania  $\beta^-$  z rozpadu <sup>90</sup>Y

Energia elektronów beta [keV]	%
0 – 10	0,337
10 – 20	0,344
20 – 40	0,71
40 – 100	2,29
100 – 300	9,4
300 – 600	17,5
600 – 1300	42,5
1300 – 2282	26,9

### <sup>137</sup>Cs

Schemat rozpadu:



Elektrony „jądrowe” w tych rozpadach mają energie:

$E_{\beta} \leq 0,514$  MeV (93,5 %),

$E_{\beta} \leq 1,176$  MeV (6,5 %),

średnia energia  $\langle E_{\beta} \rangle = 0,188$  MeV.

Elektrony „atomowe”:

$E_{\beta} = 0,624$  MeV (ok. 8 %).

<sup>137</sup> Cs		
Energia fotonu [keV]	Nazwa fotonu	Prawdopodobieństwo emisji fotonu (na jeden rozpad) [%]
3,954	Ba L	0,0144
4,331	Ba L $_{\eta}$	0,0064
4,465	Ba L $_{\alpha}$	0,40
4,944	Ba L $_{\beta}$	0,37
5,620	Ba L $_{\gamma}$	0,049
31,817	Ba K $_{\alpha 2}$	2,05
32,194	Ba K $_{\alpha 1}$	3,77
36,357	Ba K $_{\beta 2}$	1,04
37,450	Ba K $_{\beta 2}$	0,264
661,660	M4	85,21

**TABELA 1**  
Charakterystyka impulsowo-napięciowa detektora G-M

Lp.	Napięcie $U$ [V]	Czas pomiaru $\Delta t$ [s]	Liczba impulsów $N$	Średnia wartość $\bar{N}$	Średnia szybkość zliczeń $\bar{N}/\Delta t$	Uwagi
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						
32						
33						

**TABELA 2A**  
Pomiar biegu własnego detektora G-M

Położenie suwaka $L$ [cm]	Czas pomiaru $\Delta t$ [s]	Zliczenia			Średnia szybkość zliczeń $\bar{N}/\Delta t$	★ Odchylenie standardowe $\sigma(\bar{N})$
2						
3						
4						
5						
10						
15						
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

**TABELA 2B**

Położenie suwaka $L$ [cm]	Czas pomiaru $\Delta t$ [s]	Zliczenia $N$			Średnia szybkość zliczeń $\bar{N}/\Delta t$	★ Odchylenie standardowe $\sigma(\bar{N})$
	10					
	100					
	1000					

**TABELA 3**

Wyznaczanie zależności liczby zliczeń od odległości źródło – detektor G-M

Lp.	Położenie suwaka $L$ [cm]	Czas pomiaru $\Delta t$ [s]	Zliczenia $N$ [impulsy]	Wartość średnia $N/\Delta t$ [imp/s]	Tło $N_0/\Delta t$ [imp/s]	Szybkość zliczeń $(N - N_0)/\Delta t$ [imp/s]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

**TABELA 4**

Wyznaczanie współczynnika osłabienia  $\mu$  dla promieniowania  $\beta$  w różnych materiałach

Położenie suwaka  $L = \dots\dots\dots$  cm.

Liczba zliczeń bez przesłony  $N_0 = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$  impulsów w ciągu  $\Delta t = \dots\dots\dots$  s.

Bieg własny  $N_t = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$  impulsów w ciągu  $\Delta t = \dots\dots\dots$  s.

Lp.	Grubość warstwy $x$ [mm]	Czas pomiaru $\Delta t$ [s]	Zliczenia za warstwą $N_x$	Wartość średnia $\bar{N}_x$	Średnia szybkość zliczeń $(\bar{N}_x - N_t)/\Delta t$	Pochłanianie %	$\mu$
<b>ALUMINIUM</b>							
1							
2							
3							
<b>OŁÓW</b>							
4							
5							
6							
<b>PAPIER</b>							
7							

**TABELA 5**

Wyznaczanie współczynnika osłabienia  $\mu$  dla promieniowania  $\alpha$  w różnych materiałach

Położenie suwaka  $L = \dots\dots\dots$  cm.

Liczba zliczeń bez przesłony  $N_0 = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$  impulsów w ciągu  $\Delta t = \dots\dots\dots$  s.

Bieg własny  $N_t = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$  impulsów w ciągu  $\Delta t = \dots\dots\dots$  s.

Lp.	Grubość warstwy $x$ [mm]	Czas pomiaru $\Delta t$ [s]	Zliczenia za warstwą $N_x$	Wartość średnia $\bar{N}_x$	Średnia szybkość zliczeń $(\bar{N}_x - N_t)/\Delta t$	Pochłanianie %	$\mu$
<b>ALUMINIUM</b>							
1							
2							
3							
<b>OŁÓW</b>							
4							
5							
6							
<b>PAPIER</b>							
7							

**TABELA 6**

Wyznaczanie współczynnika osłabienia  $\mu$  dla promieniowania  $\gamma$  w różnych materiałach

Położenie suwaka  $L = \dots\dots\dots$  cm.

Liczba zliczeń bez przesłony  $N_0 = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$  impulsów w ciągu  $\Delta t = \dots\dots\dots$  s.

Bieg własny  $N_t = \dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots$  impulsów w ciągu  $\Delta t = \dots\dots\dots$  s.

Lp.	Grubość warstwy $x$ [mm]	Czas pomiaru $\Delta t$ [s]	Zliczenia za warstwą $N_x$	Wartość średnia $\bar{N}_x$	Średnia szybkość zliczeń $(\bar{N}_x - N_t)/\Delta t$	Pochłanianie %	$\mu$
<b>ALUMINIUM</b>							
1							
2							
3							
<b>OŁÓW</b>							
4							
5							
6							
<b>PAPIER</b>							
7							

**TABELA 7A**

Pomiar zliczeń biegu własnego detektora dla odcinków jednosekundowych

Położenie suwaka L = ..... cm.

Czas $\Delta t_i$	Zliczenia po i-tej sekundzie $N_i$	Zliczenia dla i-tej sekundy $n_i$	Czas $\Delta t_i$	Zliczenia po i-tej sekundzie $N_i$	Zliczenia dla i-tej sekundy $n_i$	Czas $\Delta t_i$	Zliczenia po i-tej sekundzie $N_i$	Zliczenia dla i-tej sekundy $n_i$
1			34			67		
2			35			68		
3			36			69		
4			37			70		
5			38			71		
6			39			72		
7			40			73		
8			41			74		
9			42			75		
10			43			76		
11			44			77		
12			45			78		
13			46			79		
14			47			80		
15			48			81		
16			49			82		
17			50			83		
18			51			84		
19			52			85		
20			53			86		
21			54			87		
22			55			88		
23			56			89		
24			57			90		
25			58			91		
26			59			92		
27			60			93		
28			61			94		
29			62			95		
30			63			96		
31			64			97		
32			65			98		
33			66			99		
						100		



**TABELA 7B**

Pomiar zliczeń biegu własnego detektora dla odcinków dziesięciosekundowych

Położenie suwaka L = ..... cm.

Lp.	Zliczenia <i>N</i>
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Średnia liczba zliczeń = ..... ± .....

Średni bieg własny na sekundę = ..... ± .....

**TABELA 7C**Pomiar zliczeń biegu własnego detektora dla odcinków  $\Delta t > 10$  s

Położenie suwaka L = ..... cm.

Lp.	Czas pomiaru $\Delta t$ [s]	Zliczenia <i>N</i>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Średnia liczba zliczeń = ..... ± .....

Średni bieg własny na sekundę = ..... ± .....