



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
2	Detektor Geigera-Müllera – narzędzie do pomiaru podstawowych cech promieniowania jonizującego
Data pomiaru:	
Imię i nazwisko studenta/ ucznia:	
Wydział, kierunek, rok studiów/ Szkoła:	

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy i zasady działania licznika Geigera-Müllera, wyznaczenie parametrów układu liczącego impulsy, wyznaczenie współczynników pochłaniania promieniowania α , β i γ 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 – α (^{241}Am), β ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$), γ (^{137}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 niego 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.

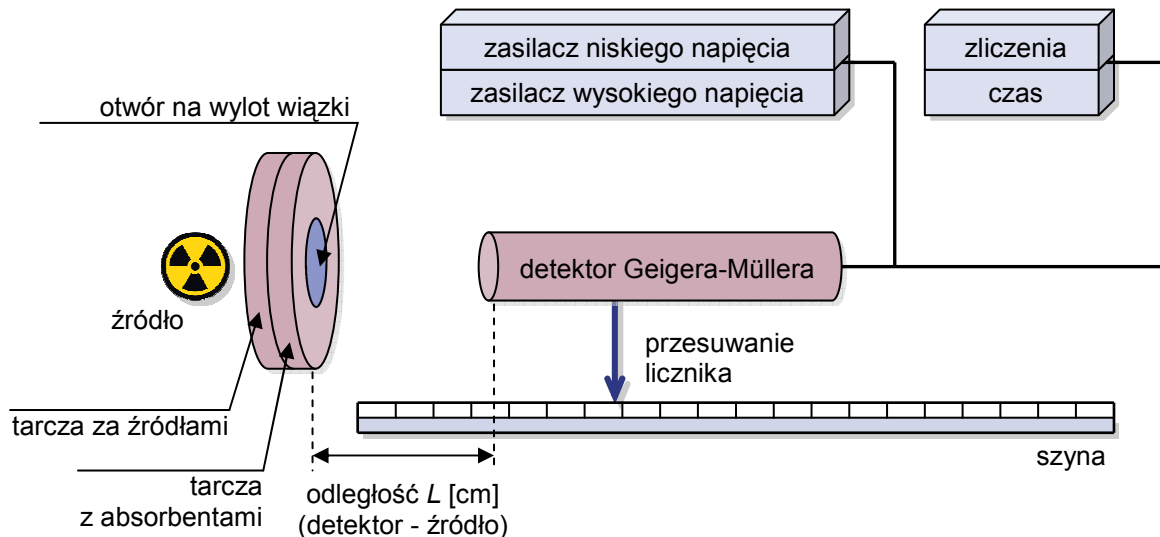
W stalowej obudowie znajdują się dwie obracające się tarcze, na których umieszczone zostały:

- na jednej - 3 typowe źródła promieniotwórcze: α , β oraz γ ,
- 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



Rys. 2

Po szynie przesuwana jest obejmą detektora Geigera - Müllera. Linijka, pozwalająca na odczyt położenia L obejmę, 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 α , β i γ , 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 β przy małych i dużych wartościach L .
- ★ 7. Badania przechodzenia promieniowania β i γ przez różne materiały.
8. Pomiary ze źródłem promieniowania α :
 - a) omówienie wydajności rejestracji promieniowania α ,
 - b) oszacowanie pochłaniania promieniowania α w papierze i w cienkim aluminium,
 - c) oszacowanie zasięgu promieniowania α w powietrzu – porównanie z danymi z tablic.

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

4. WSTĘP TEORETYCZNY

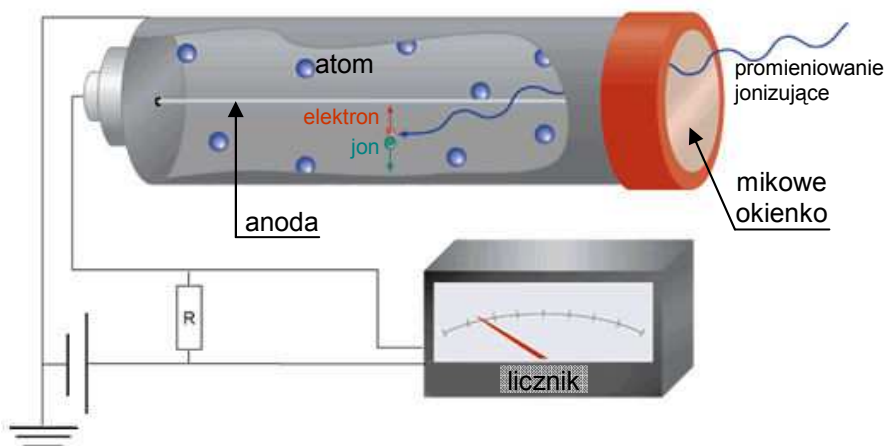
Detektor Geigera-Müllera (rys. 3) należy do grupy *detektorów gazowych*. Nazwa ich wywodzi się od rodzaju ośrodka, w którym następuje jonizacja atomów. W detektorze G-M gazem tym jest najczęściej argon (z niewielkim dodatkiem tzw. czynnika gaszącego np. alkoholu lub związków chloru).

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 μ 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.



Rys. 3

5. PRZEBIEG DOŚWIADCZENIA

A) Charakterystyka impulsowo – napięciowa licznika dla źródła promieniowania β :

- 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 źródeł):

- 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.

¹ 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 (≥ 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, σ , oraz standardowe odchylenie dla obliczonej średniej, σ_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 σ 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 σ_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, σ i σ_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 Δ , postulując:

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

Nieznany parametr Δ 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 Δ :

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

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 μ dla promieniowania β 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 μ 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 μ , z zależności:

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

F) Obserwacja osłabienia promieniowania α i promieniowania γ .

1. Promieniowanie α :

- zmieniamy źródło β na źródło α ;
- ustawiamy detektor G-M w odległości $L \sim 10 \text{ cm}$;
- ustalamy na przeliczniku czas pomiaru - 1000 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 s , uruchamiamy ponownie pomiar. Notujemy wynik pomiaru, N_1 , oraz pozostałe dane w tabeli 5;
- przesuwamy następnie detektor o 1 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 γ :

- zmieniamy źródło α na źródło promieniowania γ , mierzymy dla kilku położzeń L liczbę zliczeń, (np. dla czasu pomiaru 10 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 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 tysięksekundowych (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 Δt 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 .

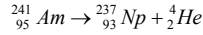
Można pokazać, że przy wzrastającej liczbie N rozkład Poissona zmierza do rozkładu Gaussa



DANE O ŹRÓDŁACH PROMIENIOTWÓRCZYCH

²⁴¹Am

Źródłem promieniowania α jest izotop ameryku: ²⁴¹Am, dla którego czas połowicznego rozpadu $T_{1/2}$ wynosi 433,2 lat. Schemat rozpadu tego izotopu:



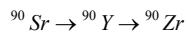
Emisji cząstek α z jądra ²⁴¹Am (Z=95) towarzyszą jądrowe fotony γ oraz tzw. charakterystyczne promieniowanie X (seria L) powstające na powłokach elektronowych atomów tworzonego w tym oddziaływaniu nowego pierwiastka, neptunu (Np, Z = 93).

Energia cząstek α z rozpadu ²⁴¹ Am [MeV]	Prawdopodobieństwo emisji cząstek α (na jeden rozpad) [%]
5,388	1,4
5,443	12,8
5,486	85,2
5,544	0,3

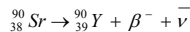
²⁴¹ Am		
Energia fotonu [keV]	Nazwa fotonu	Prawdopodobieństwo emisji fotonu (na jeden rozpad) [%]
26,3	γ	2,4
33,2	γ	0,12
43,4	γ	0,07
59,54	γ	35,9
11,87	X L	0,81
13,93	X L $_{\alpha}$	13,0
15,18	X L $_{\eta}$	0,33
17,61	X L $_{\beta}$	20,2
20,99	X L $_{\gamma}$	15,2

⁹⁰Sr/⁹⁰Y

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

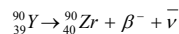


Dla rozpadu:



$T_{1/2} = 28,64$ lat. Wynikiem spełnienia prawa zachowania energii i prawa zachowania pędu dla trzech ciał – w tym przypadku są to: jądro atomowe ⁹⁰Y, elektron β^- 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 ⁹⁰Sr i jądra końcowego ⁹⁰Y. Dla rozpadu ⁹⁰Sr $E_{\beta} \leq 0,546$ MeV, a energia średnia $\langle E_{\beta} \rangle = 0,196$ MeV.

Jądro ⁹⁰Y 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 β^- z rozpadu ⁹⁰Sr

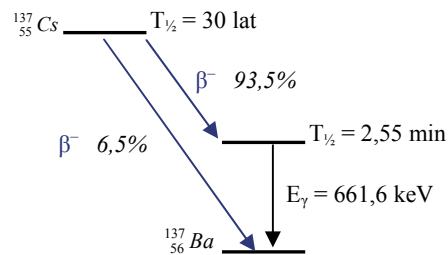
Energia elektronów beta [keV]	%
0 – 10	2,88
10 – 20	2,84
20 – 40	5,6
40 – 100	16,5
100 – 300	49,2
300 – 546	23,0

Widmo ciągłe promieniowania β^- z rozpadu ⁹⁰Y

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

¹³⁷Cs

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 %).

¹³⁷ 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 Δt [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 Δt [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 Δt [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 Δt [s]	Zliczenia N [impulsy]	Wartość średnia $\bar{N}/\Delta t$ [imp/s]	Tło $N_t/\Delta t$ [imp/s]	Szybkość zliczeń $(\bar{N}-N_t)/\Delta t$ [imp/s]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						

TABELA 4

Wyznaczanie współczynnika osłabienia μ dla promieniowania β w różnych materiałach

Położenie suwaka L = cm.

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

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

Lp.	Grubość warstwy x [mm]	Czas pomiaru Δt [s]	Zliczenia za warstwą N_x	Wartość średnia \bar{N}_x	Średnia szybkość zliczeń $(\bar{N}_x - N_0)/\Delta t$	Pochłanianie %	μ
ALUMINIUM							
1							
2							
3							
OŁÓW							
4							
5							
6							
PAPIER							
7							

TABELA 5

Wyznaczanie współczynnika osłabienia μ dla promieniowania α w różnych materiałach

Położenie suwaka L = cm.

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

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

Lp.	Grubość warstwy x [mm]	Czas pomiaru Δt [s]	Zliczenia za warstwą N_x	Wartość średnia \bar{N}_x	Średnia szybkość zliczeń $(\bar{N}_x - N_0)/\Delta t$	Pochłanianie %	μ
ALUMINIUM							
1							
2							
3							
OŁÓW							
4							
5							
6							
PAPIER							
7							

TABELA 6

Wyznaczanie współczynnika osłabienia μ dla promieniowania γ 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 Δt [s]	Zliczenia za warstwą N_x	Wartość średnia \bar{N}_x	Średnia szybkość zliczeń $(\bar{N}_x - N_0)/\Delta t$	Pochłanianie %	μ
ALUMINIUM							
1							
2							
3							
OŁÓW							
4							
5							
6							
PAPIER							
7							

TABELA 7A

Pomiar zliczeń biegu własnego detektora dla odcinków jednosekundowych

Położenie suwaka L = cm.

Czas Δt_i	Zliczenia po i-tej sekundzie N_i	Zliczenia dla i-tej sekundy n_i	Czas Δt_i	Zliczenia po i-tej sekundzie N_i	Zliczenia dla i-tej sekundy n_i	Czas Δt_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 Δt [s]	Zliczenia <i>N</i>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Średnia liczba zliczeń = ±

Średni bieg własny na sekundę = ±