

Ćwiczenie: A7

Tytuł ćwiczenia: Licznik Geigera-Müllera

I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studenta z budową i zasadą działania licznika Geigera-Müllera. Na podstawie zdobytej wiedzy student przeprowadzi eksperyment polegający na zbadaniu zależności pochłaniania promieniowania γ od rodzaju i grubości materiału pochłaniającego.

II. Zakres ćwiczenia (zadania do wykonania)

1. Sporządzenie charakterystyki licznika Geigera-Müllera:
 - określenie progu licznika,
 - określenie początku zakresu geigerowskiego,
 - określenie długości i nachylenia *plateau*,
 - wyznaczenie optymalnego napięcia pracy licznika.
2. Wyznaczenie współczynników pochłaniania promieniowania gamma ^{60}Co w aluminium, żelazie i ołowiu.
3. Określenie tła licznika.

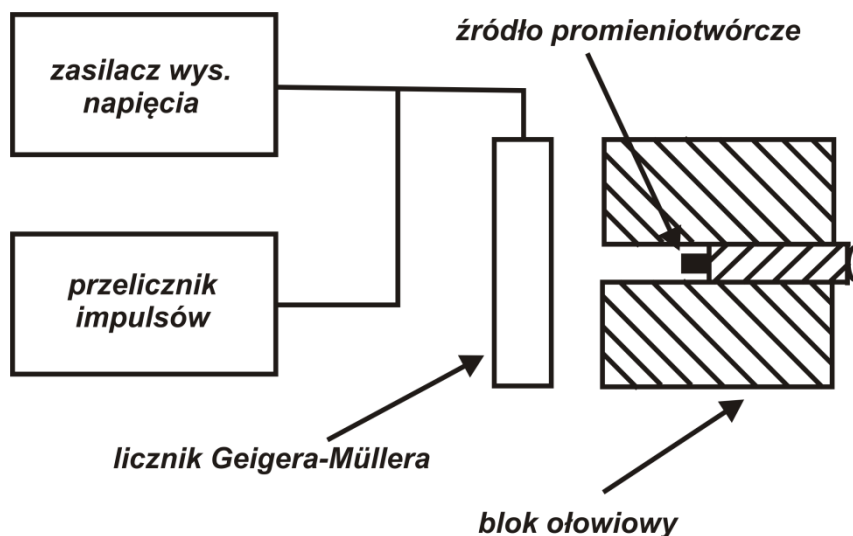
III. Zagadnienia do kolokwium

1. Rozpad promieniotwórczy: prawo rozpadu, średni czas życia, półokres rozpadu, rodzaje i widma rozpadów promieniotwórczych.
2. Oddziaływanie promieniowania γ z materią: mechanizmy oddziaływania, liniowy i masowy współczynnik absorpcji.
3. Budowa i działanie licznika Geigera-Müllera: wyładowanie lawinowe, czas martwy, tło, charakterystyka licznika Geigera-Müllera, napięcie progowe, nachylenie *plateau*, punkt pracy.
4. Rodzaje liczników Geigera-Müllera.

IV. Opis urządzeń i przyrządów używanych w eksperymencie

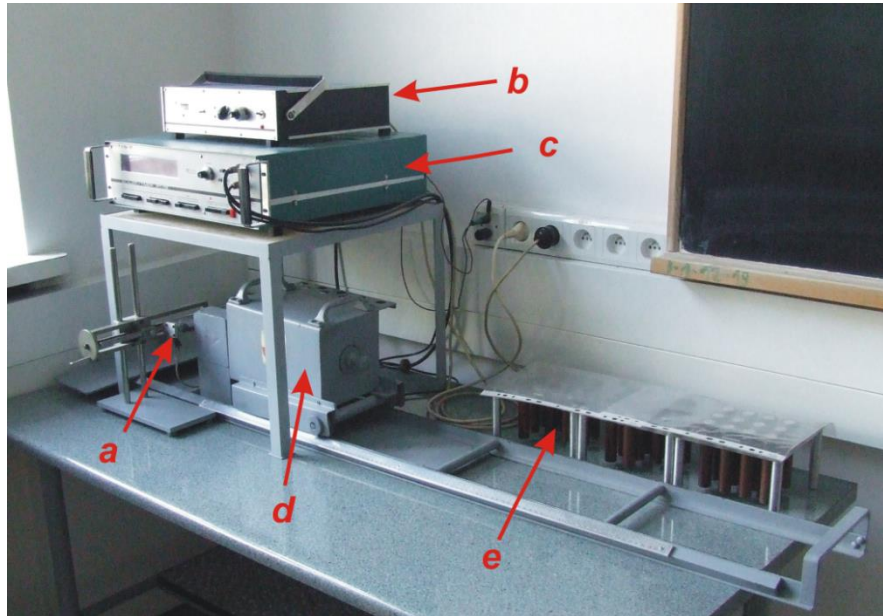
1. Wyposażenie stanowiska pracy

Na Rys. 1 przedstawiono schemat blokowy układu wykorzystywanego w eksperymencie.



Rys. 1 Schemat blokowy układu pomiarowego.

Układ pomiarowy składa się z licznik Geigera-Müllera, zasilacza wysokiego napięcia, przelicznika impulsów, kontenera ołowiowego z uchwytem na źródło promieniotwórcze oraz badanych próbek. Zdjęcie zestawu eksperymentalnego przedstawia Rys. 2.



Rys. 2 Zestaw pomiarowy do wykonania ćwiczenia „Licznik Geigera-Müllera”.

- a - licznik Geigera-Müllera typ BOJ
- b - zasilacz wysokiego napięcia (High-Voltage Power Supply) ZWN-42-
- c - przelicznik impulsów (Scaler/Timer) PT-72
- d - kontener ołowiowy z uchwytem na źródło promieniotwórcze
- e - próbki do pomiaru pochłaniania promieniowania γ

Licznik Geigera-Müllera: typ BOJ

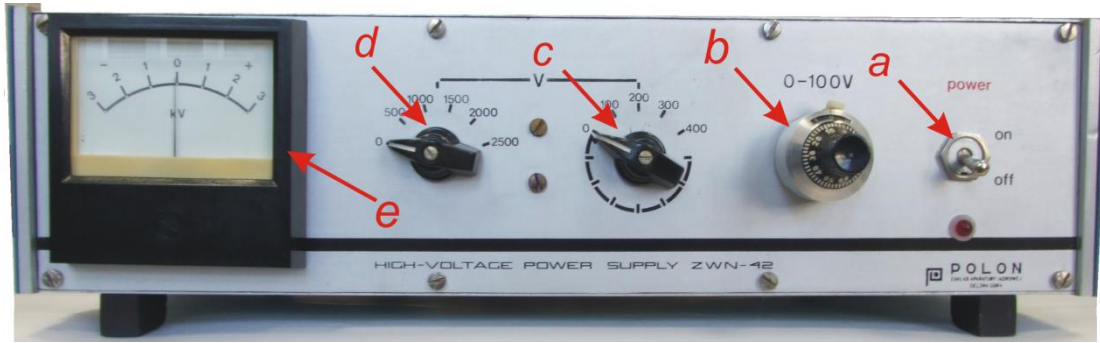
Licznik Geigera-Müllera typu BOJ-53 jest licznikiem samogasnącym, pracującym w niskim zakresie napięć. Wyprodukowany został w Zakładzie Lamp Profesjonalnych Unitra – Polkolor.



Rys. 3. Licznik Geigera-Müllera: typ BOJ 53

Zasilacz wysokiego napięcia (High-Voltage Power Supply) ZWN-42

Zasilacz wysokiego napięcia (High-Voltage Power Supply) ZWN-42, Rys. 4, jest źródłem wysokiego napięcia o dużej stabilności. Jest on przeznaczony do zasilania detektorów promieniowania jonizującego takich jak: komory jonizujące, liczniki Geigera-Müllera, sondy scyntylicyjne, półprzewodnikowe detektory promieniowania. Na pracowni dostępny jest również drugi zasilacz ZWN-42 bez wskaźnika napięcia (e na Rys. 4) i zablokowanym przełącznikiem napięcia do 2.5kV (d na Rys. 4) co zabezpiecza licznik przed przypadkowym uszkodzeniem. Odczyt napięcia następuje na podstawie położenia przełączników c oraz b.



Rys. 4. Panel zasilacza wysokiego napięcia

- a - włącznik zasilania sieciowego
- b - potencjometr dziesięcioobrotowy ze skalą, służący do regulacji napięcia w zakresie 0-100V
- c - przełącznik napięcia w zakresie 0-400V
- d - przełącznik napięcia w zakresie 0-2500V
- e - wskaźnik napięcia

Przelicznik impulsów (Scaler/Timer) PT-72

Przelicznik impulsów (Scaler/Timer) PT-72 jest przyrządem laboratoryjnym przeznaczonym do:

- zliczania impulsów elektrycznych doprowadzonych do jego wejścia w zadanych okresach czasu,
- pomiaru czasu przy zliczaniu zadanej ilości impulsów,
- pomiaru czasu pomiędzy dwoma sygnałami (impulsami) doprowadzonymi do wejść *start* i *stop*,
- automatycznego pomiaru częstości impulsów,
- generowania impulsów w zadanych odstępach czasu,
- dyskryminacji amplitudy impulsów podawanych na jego wejście.



Rys. 5. Panel przedni przelicznika impulsów PT-72

- a - włącznik zasilania sieciowego
- b - sześć wskaźników cyfrowych
- c - przełączniki mnożnika
- d - przełączniki zakresu
- e - przełączniki trybu pracy, od prawej:
 - *preset count* – pomiar czasu zliczania ustalonej liczby impulsów
 - *preset time* – pomiar liczby zliczeń w ustalonym czasie
 - *frequency* – pomiar częstości impulsów
 - *markers* – generacja impulsów (znaczników) w zadanych odstępach czasu
- f - przełączniki bezpośredniej obsługi licznika, od prawej:
 - *start* – startowanie licznika
 - *stop* – zatrzymywanie zliczania
 - *reset* – zerowanie licznika
 - *print* – uruchamianie drukarki (nieдоступne)

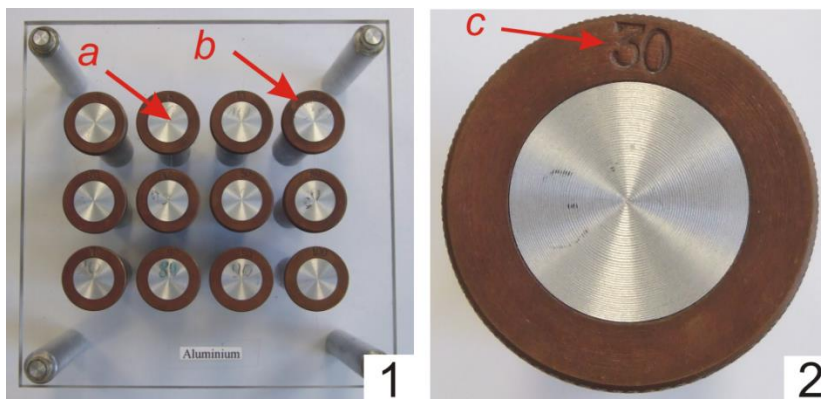
- g - potencjometr dziesięcioobrotowy ze skalą służący do ustawienia progu dyskryminacji impulsów wejściowych
- h - przełączniki polaryzacji impulsów wejściowych (ustawiony na +)
- i - gniazdo do podłączenia wysokiego napięcia do zasilania sondy
- j - gniazda do podłączenia sondy detekcyjnej
- k - gniazdo wejściowe D.C.

Kontener ołowiany z uchwytem na źródło promieniotwórcze

Kontener ołowiany składa się z bloku ołowianego o wymiarach 150×150×225 mm, z wydrążeniem walcowym o średnicy Φ równej 53 mm. Całość umieszczona jest na stalowych prowadnicach umożliwiającym przemieszczanie w kierunku od i do licznika Geigera-Müllera, ułatwiającym wkładanie źródła promieniotwórczego i próbek do pomiaru absorpcji. Prowadnica wyposażona jest w podziałkę centymetrową, dzięki której możliwe jest ustawienie kontenera w odpowiedniej odległości od licznika.

Próbki do pomiaru pochłaniania promieniowania γ

Próbkami do wyznaczenia współczynnika pochłaniania promieniowania γ są walce aluminiowe, żelazne i ołowiane o różnych grubościach, umieszczone na stałe w mosiężnych tubach. Na każdej tubie wybita jest liczba oznaczająca grubość walca w milimetrach.



Rys. 6. Zestaw próbek do pomiaru pochłaniania promieniowania gamma (1), powiększenie próbki o grubości 30 mm (2). a- materiał pochłaniający promieniowanie, b - mosiężna obudowa, c- liczba wskazująca na grubość próbki w milimetrach

Źródło promieniotwórcze.

Źródłem promieniotwórczym jest izotop ^{60}Co zamknięty w kapsułce ołowianej. Energia kwantów gamma jest równa $E_{\gamma} = 1,25 \text{ MeV}$. Podczas gdy ćwiczenie nie jest wykonywane źródło przechowywane jest w ołowianym pojemniku.

2. Instrukcje uruchomienia i regulacji przyrządów

- Zasilacz wysokiego napięcia (High-Voltage Power Supply) ZWN-42:
Włączanie do sieci: wszystkie przełączniki do regulacji wysokiego napięcia ustawić na 0; przełącznik POWER (a na Rys. 4) przestawić w położenie ON.
Regulacja: przełącznik skokowy w zakresie 0 – 2500 V (d na Rys. 4) powinien być ustawiony w położeniu 0; przełącznik skokowy w zakresie 0 – 400V (e na Rys. 4) ustawić na 300 V; potencjometr spiralny 10-cio obrotowy (helipot) 0 – 100 V (d na Rys. 4) ustawiać w zależności od potrzeby. Helipot pokazuje napięcia rzędu dziesiątek woltów w okienku znajdującym się u góry pokrętki (okienko pokazuje liczby od 0 do 10 odpowiadające napięciom w zakresie od 0 V do 100 V). Napięcia rzędu jednostek woltów (od 0 V do 10 V) są zaznaczone na obwodzie pokrętki (białe liczby od 0 do 90); najmniejsza działka pomiędzy białymi kreskami na pokrętkle helipota odpowiada napięciu 0,2 V.

Wyłączanie z sieci: wszystkie przełączniki regulacji wysokiego napięcia ustawić w pozycji 0, przełącznik POWER przestawić w położenie OFF.

- Przelicznik impulsów (Scaler/Timer) PT-72

Włączanie do sieci: wcisnąć czerwony przycisk **Power** (a na Rys. 5).

Obsługa: przełącznik trybu pracy ustawić w położeniu *preset time* wciskając odpowiednio oznaczony przycisk (d na Rys. 5), przełączniki zakresu i mnożnika (c i d na Rys. 4) ustawić w zależności od potrzeby, przyciskami *start*, *stop* i *reset* odpowiednio uruchomić, zatrzymać i wyzerować licznik.

Wyłączanie z sieci: wcisnąć czerwony przycisk **Power** (a na Rys. 5).

V. Wykonanie ćwiczenia

(sposób postępowania, schematy blokowe, uwagi dotyczące obsługi aparatury i BHP)

Czynności wstępne

Przed rozpoczęciem pomiaru aparaturę należy wygrzewać przez około 0,5 h. Wygrzewanie realizowane jest przez włączenie przelicznika impulsów oraz zasilacza wysokiego napięcia. Po włączeniu należy ustawić napięcie na około 315 V (okolice punktu pracy licznika).

Wskaźnik położenia kontenera na szynach (d na Rys. 2) powinien znajdować się ok. 25 cm od licznika (położenie sprawdzić na metrowej miarce umieszczonej wzdłuż szyn) i podczas pomiarów nie wolno zmieniać położenia kontenera.

Źródło promieniotwórcze przynosi i umieszcza w ołowianym kontenerze opiekun pracowni fizycznej. Po zakończeniu ćwiczenia umieszcza je w specjalnym ołowianym pojemniku.

Sporządzenie charakterystyki licznika Geigera-Müllera

Pomiary przeprowadza się z umieszczonym w ołowianym kontenerze źródłem promieniowania. Charakterystykę licznika Geigera-Müllera należy sporządzić w trybie pracy *preset time* (przyciski e na Rys. 5) przelicznika impulsów, dla czasu zliczania ustawionego na minimum 20s (przyciski c i d na Rys. 5). Przy określaniu progu licznika (U_{pr}) należy zmieniać napięcie co około 0,2 V (helipot b na Rys. 4), w pozostałym obszarze – co 2 V. Maksymalne napięcie nie powinno przekroczyć 365 V.

Na podstawie zebranych wyników sporządza się charakterystykę licznika i ustala napięcie pracy licznika w punkcie leżącym w $1/3$ długości *plateau* licząc od początku

Wyznaczenie współczynników pochłaniania promieniowania $\gamma^{60}\text{Co}$

Pomiary absorpcji promieniowania γ w aluminium, żelazie i ołowiu przeprowadza się w trybie pracy *preset time* (przyciski e na Rys. 5) przelicznika impulsów dla czasu zliczania ustawionego na minimum 20s (przyciski c i d na Rys. 5). Napięcie powinno być ustawione na napięcie punktu pracy licznika, określone na podstawie charakterystyki licznika. Wyboru absorbentów dokonuje prowadzący zajęcia.

Uwaga: próbki umieszczone w tubach, Rys. 6, idealnie pasują do otworu w kontenerze ołowianym od strony licznika i dlatego należy wkładać je tam powoli i ostrożnie aby nie doprowadzić do sprężenia powietrza w otworze kontenera.

Określenie tła licznika (z uwzględnieniem biegu własnego)

Określenie biegu własnego i tła licznika, T, przeprowadza się bez obecności źródła promieniotwórczego. Przelicznik impulsów powinien być ustawiony na tryb pracy *preset time* (przyciski e na Rys. 5), czas zliczania nie powinien być mniejszy niż 1000s (przyciski c i d na Rys. 5).

Przykładowe tło zmierzone w pogodny, bezchmurny dzień przy napięciu pracy licznika 315V wynosiło $T = 1489$ zliczeń na 2000s.

Bezpieczeństwo pracy

Kontener (pojemnik) na źródło promieniotwórcze został zaprojektowany tak, aby eksperymentator był możliwie najlepiej zabezpieczony przed szkodliwym działaniem promieniowania γ . Samo źródło ma stosunkowo małą aktywność, wystarczającą do wykonania tylko najprostszych badań z dziedziny spektroskopii promieniowania gamma. Mimo to, dla zapewnienia maksimum bezpieczeństwa, eksperymentator musi stosować się do następującej reguły:

Podczas wykonywania pomiarów preparat promieniotwórczy powinien przez cały czas znajdować się w przeznaczonym na to ołowiowym kontenerze. Zabrania się wyjmowania źródła z kontenera bez istotnej potrzeby, oglądania go lub przenoszenia bez specjalnego pojemnika ołowiowego.

W trakcie przeprowadzania pomiarów napięcie pomiędzy elektrodami licznika wynosi ponad 300V. Zabrania się dotykania przewodów doprowadzających napięcie do licznika, poprawiania izolacji a także wszelkich manipulacji przy panelu tylnym zasilacza wysokiego napięcia. Zabrania się włączania wysokiego napięcia powyżej 380V. Może to spowodować uszkodzenie licznika. Szczególną uwagę należy zwrócić na przełącznik napięcia w zakresie 0-2500V (d na Rys. 4). Powinien bezwzględnie pozostać w pozycji 0V.

VI. Opracowanie wyników i raport końcowy**1. Przedstawienie wyników pomiarów**

Wyniki pomiarów i obliczeń należy przedstawić w formie tabel.

Tabela 1. Przedstawienie przykładowych wyników pomiarów charakterystyki licznika Geigera-Müllera

<i>nr pomiaru</i>	<i>U[V]</i>	<i>Liczba zliczeń, N /20s</i>
1	305,0	0
2	305,4	0
3	305,8	72
4	306,0	1206
5	306,2	1551
6	306,4	1682
7	306,6	1677
...

2. Metoda wyznaczenia napięcia punktu pracy licznika GM i nachylenia *plateau*

Zakres *plateau* wyznacza się na podstawie charakterystyki licznika Geigera-Müllera. Jest to płaski obszar charakterystyki z punktami pomiarowymi, pomiędzy którymi można poprowadzić prostą.

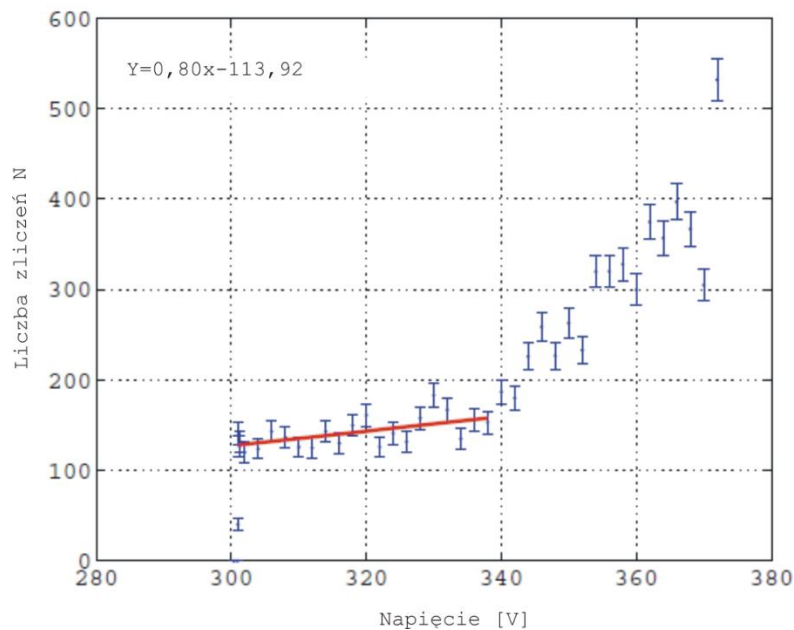
Nachylenie prostej *plateau* określa się metodą najmniejszych kwadratów. Wybieramy w tym celu punkty pomiarowe pomiędzy napięciem początku i końca *plateau* (U_1) i (U_2), i wpisujemy w nie prostą jak na Rys. 7 (a – współczynnik kierunkowy, b- wyraz wolny). Należy podać wartości wyznaczonych współczynników a i b oraz ich niepewności (w tym celu najlepiej skorzystać z odpowiednich programów komputerowych np. Matlab, Gnuplot, Excel). Wartość nachylenia *plateau* oblicza się ze wzoru:

$$\eta = \frac{1}{N_0} \frac{N_2 - N_1}{U_2 - U_1} \times 100\% , \quad (1)$$

gdzie: N_0 , N_1 , N_2 to liczba zliczeń obliczona na podstawie wyznaczonego równania prostej odpowiednio w środku, na początku i na końcu *plateau*. Po podstawieniu do równia prostej *plateau* otrzymuje się:

$$\eta = \frac{2a}{(U_1 + U_2)a + 2b} \times 100\% . \quad (2)$$

Napięcie punktu pracy licznika Geigera-Müllera należy wybrać w punkcie leżącym w 1/3 długości *plateau*, licząc od początku (U_{pp}).



Rys. 7. Charakterystyka licznika Geigera-Müllera wykonana na podstawie przykładowych wyników z wpisaną prostą plateau

3. Metoda wyznaczania liniowych i masowych współczynników pochłaniania

Liniowy współczynnik pochłaniania oblicza się na podstawie wzoru $I = I_0 e^{-\mu x}$ (wzór 3.9, materiały uzupełniające). Logarytmując obie strony otrzymuje się:

$$\ln I = -\mu x + \ln I_0 \quad (3)$$

Strumień promieni γ : padający na warstwę absorbenta I_0 oraz przechodzący I zależą liniowo od liczby kwantów padających na absorbent N_0 i rejestrowanych przez licznik N . Od liczby kwantów rejestrowanych należy odjąć tło licznika T . Ostatecznie otrzymuje się:

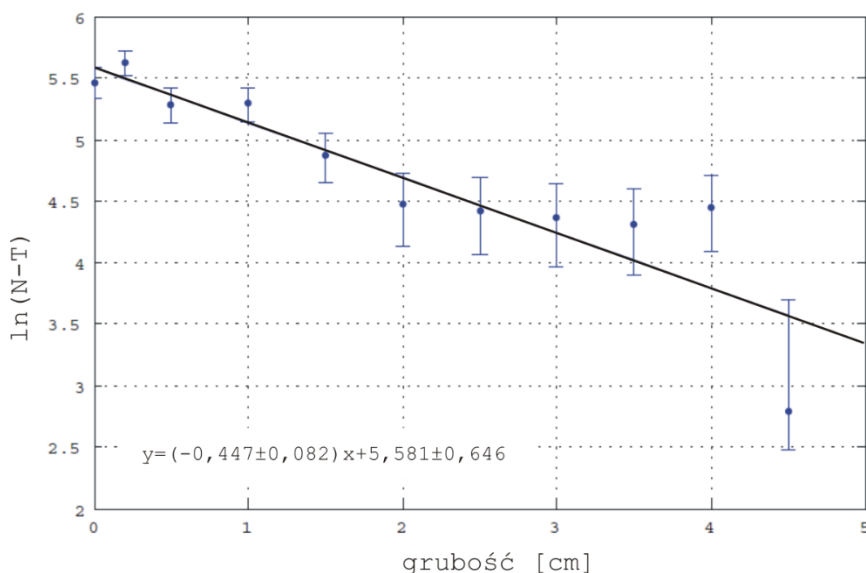
$$\ln(N - T) = -\mu x + \ln N_0 . \quad (4)$$

Powyższa zależność jest funkcją liniową, przy czym μ jest współczynnikiem kierunkowym prostej, a $\ln N_0$ – wyrazem wolnym. Obie wielkości wyznacza się wpisując w punkty pomiarowe prostą korzystając z metody najmniejszych kwadratów. Należy podać wartości otrzymanych współczynników oraz ich niepewności.

W tabeli 2 zapisane zostały przykładowe dane eksperymentalne wraz z wyliczonymi wielkościami niezbędnymi do wykonania wykresu, Rys. 8, oraz wyznaczenia współczynników pochłaniania i ich niepewności pomiarowych (pojedynczych punktów).

Tabela 2. Przedstawienie przykładowych wyników pomiarów zależności liczby zliczeń od grubości absorbenta

Nr pomiaru	Grubość absorbenta [cm]	Liczba zliczeń, N	$(N-T)$	$\ln(N-T)$	$\Delta \ln(N-T)_u$	$\Delta \ln(N-T)_d$
1	0	2821				
2	0,2	2485				
3	0,5	1952				
4	1	1606				
...



Rys. 8. Wykres zależności $\ln(N-T)$ od grubości absorbenta potrzebny do wyznaczenia współczynnika pochłaniania wykonany na podstawie wyników z tabeli 2

Masowe współczynniki pochłaniania obliczane są przez podzielenie liniowego współczynnika pochłaniania przez gęstość absorbentu. Obliczenia takie należy przeprowadzić dla każdej z badanych próbek. Ostateczne wyniki wraz z niepewnościami pomiarowymi zapisać w tabeli, tabela 3.

Tabela 3. Wyniki obliczeń otrzymane na podstawie danych z tabeli 2.

μ [1/cm]	$\Delta \mu$ [1/cm]	ρ [g/cm ³]	μ_{mas} [cm ² /g]	$\Delta \mu_{mas}$ [cm ² /g]
0,447	0,082	11,34	0,039	0,007

4. Analiza niepewności pomiarowej

Pojedynczy pomiar liczby zliczeń obarczony jest błędem statystycznym równym $\sqrt{N_i}$. Niepewność względna wynosi zatem $1/\sqrt{N_i}$.

Niepewność współczynnika kierunkowego prostej i niepewność wyrazu wolnego wyliczane są w oparciu o metodę najmniejszych kwadratów. Niepewność współczynnika kierunkowego prostej jest miarą niepewności współczynnika absorpcji.

Za niepewność różnicy $N-T$ przyjmuje się:

$$\Delta(N_i - T) = \sqrt{(\sqrt{N_i})^2 + (\sqrt{T})^2} = \sqrt{N_i + T}.$$

Niepewność pojedynczego pomiaru $\Delta \ln(N_i - T)$ otrzymuje się licząc różnice:

$$\Delta \ln(N_i - T)_U = \ln(N_i - T + \Delta(N_i - T)) - \ln(N_i - T)$$

$$\Delta \ln(N_i - T)_D = \ln(N_i - T) - \ln(N_i - T - \Delta(N_i - T))$$

przy czym wzór znajdujący się wyżej określa górne odchylenie, a wzór znajdujący się niżej dolne odchylenie od wartości $\ln(N_i - T)$.

Uzyskane wyniki dla każdej z próbek należy porównać z danymi literaturowymi i omówić przyczyny ich niezgodności.

Literatura

1. J. Araminowicz, K. Małuszyńska, M. Przytuła, *Laboratorium fizyki jądrowej*, PWN Warszawa, 1978.
2. J.M. Massalski, *Detekcja promieniowania jądrowego*, PWN Warszawa, 1978.
3. A. Strzałkowski, *Wstęp do fizyki jądra atomowego*, PWN Warszawa, 1978.
4. Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna, cz. VI*, PWN Warszawa, 1974.
5. A.A. Sanin, *Elektroniczne przyrządy fizyki jądrowej*, WNT Warszawa, 1964.
6. T. Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN Warszawa, 1978.
7. H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna*, PWN Warszawa, 1989.
8. J. B. England, *Metody doświadczalne fizyki jądrowej*, PWN Warszawa, 1980.
9. K. N. Muchin, *Doświadczalna fizyka jądrowa, t. 1 i 2*, PWN Warszawa 1978.
10. Podręcznik wikibooks M. Makowiecki „Wstęp do fizyki jądra atomowego”
https://pl.wikibooks.org/wiki/Wst%C4%99p_do_fizyki_j%C4%85dra_atomowego

Appendix: Materiały pomocnicze

1. Zjawisko rozpadu promieniotwórczego.

Prawo rozpadu promieniotwórczego.

Rozpad promieniotwórczy to zjawisko samorzutnego procesu przemiany jąder atomowych danego pierwiastka na jądra innego pierwiastka w wyniku, którego emitowane są cząstki alfa, beta oraz najczęściej promieniowanie elektromagnetyczne gamma.

Prawo rozpadu promieniotwórczego mówi, że liczba promieniotwórczych atomów, które nie uległy rozpadowi zmniejsza się w czasie według prawa wykładniczego:

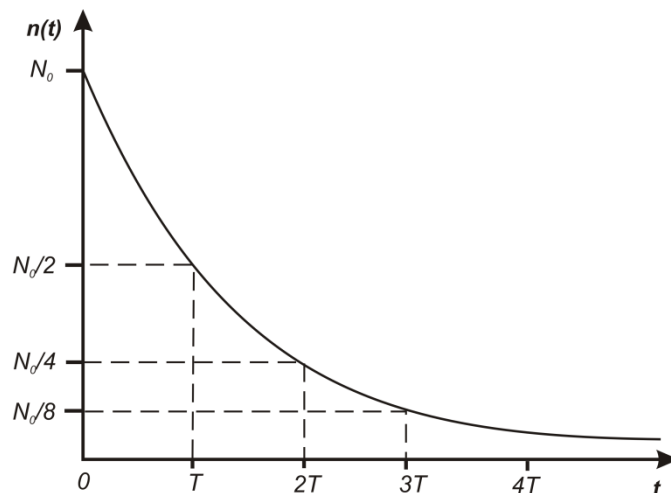
$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (3.1)$$

gdzie e jest podstawą logarytmów naturalnych, N_0 początkowa liczba atomów w czasie $t=0$, λ charakterystyczną dla danego izotopu stałą wielkością, nazywaną stałą rozpadu.

Wielkość: $\tau = \frac{1}{\lambda}, \quad (3.2)$

nazywana jest *średnim czasem życia*. Średni czas życia jest czasem, po upływie którego początkowa liczba jąder zmaleje e razy. Zamiast stałej rozpadu lub średniego czasu życia, najczęściej stosuje się wielkość nazwaną *półokresem rozpadu* T . Jest to czas, w ciągu którego początkowa liczba jąder zmaleje o połowę. Zależność między czasem życia a stałą rozpadu wyraża się wzorem:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}. \quad (3.3)$$



Rysunek 1. Zależność liczby jąder n , które jeszcze nie uległy rozpadowi, od czasu t

Rozpad alfa α

Rozpad alfa to rozpad promieniotwórczy, w wyniku którego powstaje cząstka alfa i jądro o liczbie masowej mniejszej o 4 i atomowej o 2, od jądra macierzystego. Cząstka alfa ma tę samą liczbę masową i atomową co atom helu. Równanie rozpadu α jest więc postaci:

**Rozpad beta β**

Rozpad beta to rozpad promieniotwórczy, w wyniku którego emitowana jest cząstka beta (elektron lub pozyton). Wyróżniamy dwa rodzaje rozpadu: β^- i β^+ . W wyniku rozpadu β^- powstaje elektron, w wyniku rozpadu β^+ pozyton. Równania przemiany β mają postać:



Podczas rozpadu β^- jeden z neutronów w jądrze atomowym przekształca się w proton, a z jądra wysyłany jest wówczas elektron i antyneutrino elektronowe. Można to zapisać w postaci:



Podczas przemiany β^+ jeden z protonów istniejących w jądrze przekształcony zostaje w neutron przy jednoczesnej emisji pozytonu i neutrino elektronowego:

**Promieniowanie gamma γ .**

Promieniowanie γ to promieniowanie elektromagnetyczne o długości fali mniejszej niż 10 pm. Towarzyszy rozpadowi α i β , powstaje w wyniku przejścia jądra ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego.

2. Oddziaływanie promieniowania γ z materią**Mechanizmy oddziaływania promieniowania γ z materią.**

Promieniowanie γ przechodzące przez ośrodek materialny ulega osłabieniu. Ma na to wpływ kilka procesów. W wyniku oddziaływania z materią kwant γ może ulec:

absorpcji, rozpraszaniu koherentnemu, rozpraszaniu niekoherentnemu.

Na proces absorpcji składa się:

- Zjawisko fotoelektryczne – zachodzi na elektronach silnie związanych w atomie. W jego wyniku pochłaniany jest foton a emitowany elektron o energii równej $E=h\nu-W$, gdzie W jest energią wiązania elektronu w atomie.
- Tworzenie się par elektron pozyton – zachodzi w polu elektrycznym jądra lub elektronu, w przypadku gdy energia kwantu γ jest ponad dwukrotnie większa od energii spoczynkowej elektronu $h\nu_{progowe}=2m_0c^2$, gdzie m_0 jest masą spoczynkową elektronu. W wyniku tworzy się para elektron – pozyton.
- Fotoreakcje – procesy polegające na wychwyceniu przez jądro kwantu γ i emisją neutronu lub cząstki naładowanej

Procesy rozpraszania koherentnego to takie procesy, w których energia kwantu rozproszonego równa jest energii kwantu pierwotnego. Składa się na nie:

- Rozproszenie rezonansowe – polega na wzbudzeniu jądra, po którym, gdy jądro przechodzi do stanu podstawowego emitowany jest kwant γ o energii równej kwantowi padającemu.
- Rozproszenie Thomsona na jądrach – zachodzi w wyniku zderzenia się kwantu γ z jądrem. Kwant γ zmienia swój kierunek, ale nie zmienia się jego energia.
- Rozproszenie Rayleigh'a – zachodzi na elektronach powłoki atomowej. Polega na rozproszeniu kwantów γ , przy zachowaniu ich energii.
- Rozproszenie Delbruka – polega na utworzeniu się w polu elektrycznym jądra pary elektron – pozyton. W wyniku anihilacji tej pary powstaje kwant γ o energii równej energii kwantu padającego.

Procesy rozpraszania niekoherentnego to procesy, w których powstaje kwant o energii mniejszej od energii kwantu padającego. Składa się na nie:

- Rozproszenie Thompsona – polega na przekazaniu elektronowi energii równej różnicy pomiędzy dwoma stanami wzbudzenia atomu w wyniku czego powstaje atom wzbudzony i kwant γ o energii mniejszej o tę różnicę.
- Zjawisko Comptona – polega na zderzeniu kwantu γ z elektronem, w wyniku czego kwant przekazuje elektronowi część swojego pędu i powstaje tzw. elektron komptonowski oraz kwant γ o mniejszej energii. Zachodzi na elektronach swobodnych lub słabo związanych.
- Rozproszenie niesprężyste – zachodzi na skutek wychwycenia przez jądro kwantu γ . Powstaje wtedy jądro wzbudzone i wyemitowany zostaje kwant γ o energii niższej od energii kwantu padającego.

3. Liniowy i masowy współczynnik pochłaniania promieniowania γ .

Wielkością charakteryzującą osłabienie strumienia promieniowania γ jest liniowy współczynnik osłabienia μ . Jest to współczynnik proporcjonalności relacji:

$$-dI = \mu I dx, \quad (3.8)$$

gdzie: I – strumień promieni γ padający na warstwę absorbentu (strumień promieniowania - energia promieniowania padająca w jednostce czasu na jednostkę powierzchni), dI – część strumienia zaabsorbowana i rozproszona w warstwie dx .

Po scałkowaniu otrzymuje się:

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad (3.9)$$

gdzie: I_0 – strumień promieniowania padającego na absorbeta, I – strumień promieniowania po przejściu przez warstwę o grubości x .

Często stosuje się również masowy współczynnik pochłaniania μ_{mas} , który określa prawdopodobieństwo oddziaływania promieniowania z jednostką masy materiału. Otrzymujemy go przez podzielenie liniowego współczynnika pochłaniania przez gęstość absorbenta:

$$\mu_{mas} = \mu / \rho. \quad (3.10)$$

Wartości współczynników masowych pochłaniania zależą od energii kwantów gamma (przykładowe wartości pokazane są w tabeli poniżej).

Zależność masowych współczynników pochłaniania od energii kwantów γ

Energia kwantu γ (MeV)	Aluminium (cm²/g)	Żelazo (cm²/g)	Cyna (cm²/g)	Ołów (cm²/g)
0,100	0,169	0,370	1,650	5,460
0,150	0,138	0,196	0,589	1,920
0,200	0,122	0,146	0,324	0,942
0,300	0,104	0,110	0,163	0,378
0,400	0,0927	0,0939	0,115	0,220
0,500	0,0844	0,0840	0,0923	0,152
0,600	0,0779	0,0769	0,0797	0,119
0,800	0,0683	0,0668	0,0660	0,0866
1,000	0,0614	0,0598	0,0573	0,0703
1,500	0,0500	0,0484	0,0463	0,0523
2,000	0,0431	0,0422	0,0407	0,0456
3,000	0,0353	0,0359	0,0361	0,0413