

Opis ćwiczenia

M2: Wyznaczanie liniowego i masowego współczynnika pochłaniania promieniowania γ dla różnych materiałów.

Literatura:

- Felix Jaroszyk, *Biofizyka*, wydanie 2 (2014). Rozdziały 3.1-3.4 oraz 22.4, 22.5. 22.3.3,
- OpenStax, *Fizyka* Tom 3 Rozdziały 10.1-10.4, 10.7. 
<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-3/pages/10-wstep>
- Resnick, Halliday, Walker, *Podstawy Fizyki*, Tom 5, wydanie 2 (2016) Rozdział 42.

Zagadnienia:

- Budowa i wielkość jądra atomowego.
- Defekt masy i energia wiązania jądra.
- Rodzaje promieniowania jonizującego. Powstawanie i właściwości cząstek α , β .
- Powstawanie i właściwości promieniowania γ .
- Prawo rozpadu promieniotwórczego. Stała rozpadu. Czas połowicznego zaniku.
- Zmiana natężenia promieniowania po przejściu przez substancję. Prawo pochłaniania promieniowania γ . Współczynniki osłabienia.
- Jednostki promieniowania jonizującego dotyczące aktywności źródeł, dawki, równoważnika dawki.
- Biologiczne skutki działania promieniowania jonizującego.
- Zjawiska związane z oddziaływaniem promieniowania jonizującego z materią.

Wymagane umiejętności:

- Posługiwanie się suwmiarką
- Posługiwanie się tablicami fizycznymi



Cel ćwiczenia:

Wyznaczenie liniowego i masowego współczynnika pochłaniania dla danego materiału.

Definicje i znaczenie wielkości wyznaczanych w ćwiczeniu

Liniowy współczynnik pochłaniania (oznaczany zwykle symbolem μ) to wielkość fizyczna opisująca, w jakim stopniu dane promieniowanie (np. rentgenowskie, gamma) jest pochłaniane przez materiał w przeliczeniu na jednostkę długości. W praktyce mówi nam, jak bardzo intensywność promieniowania zmniejsza się podczas przechodzenia przez dany materiał.

Definicja:

Liniowy współczynnik pochłaniania określa spadek intensywności promieniowania przy przechodzeniu przez warstwę absorbującą zgodnie z prawem wykładniczym:

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

gdzie:

- $I(x)$ – natężenie promieniowania po przejściu przez warstwę materiału o grubości x ,
- I_0 – początkowe natężenie promieniowania,
- μ – liniowy współczynnik pochłaniania [$1/m$],
- x – grubość materiału [m].

Interpretacja:

Im większy współczynnik μ , tym szybciej promieniowanie ulega osłabieniu w danym materiale. Wartość ta zależy od:

- rodzaju i energii promieniowania oraz długości fali promieniowania
- gęstości i składu chemicznego materiału.

Zastosowanie:

- w ochronie radiologicznej,
- w diagnostyce obrazowej (np. tomografia komputerowa),
- w fizyce jądrowej,
- przy projektowaniu osłon przed promieniowaniem.

Masowy współczynnik pochłaniania (oznaczany jako μ/ρ) to wielkość fizyczna, która opisuje pochłanianie promieniowania przez materiał **niezależnie od jego gęstości**. Jest to znormalizowany współczynnik pochłaniania, który umożliwia łatwe porównywanie różnych materiałów. Zależy on wprost proporcjonalnie od liczby atomowej ($\mu_m \sim Z^4$), odwrotnie proporcjonalnie od liczby masowej ($\mu_m \sim \frac{1}{A}$) oraz wprost proporcjonalnie od długości fali ($\mu_m \sim \lambda^3$), co przedstawia się zależnością:

$$\mu_m = 0,0136 \frac{Z^4}{A} \lambda^3$$

Definicja:

Masowy współczynnik pochłaniania to stosunek liniowego współczynnika pochłaniania μ do gęstości materiału ρ :

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

gdzie:

- μ – liniowy współczynnik pochłaniania [1/m],
- ρ – gęstość materiału [kg/m³],
- μ_m – masowy współczynnik pochłaniania [m²/kg].

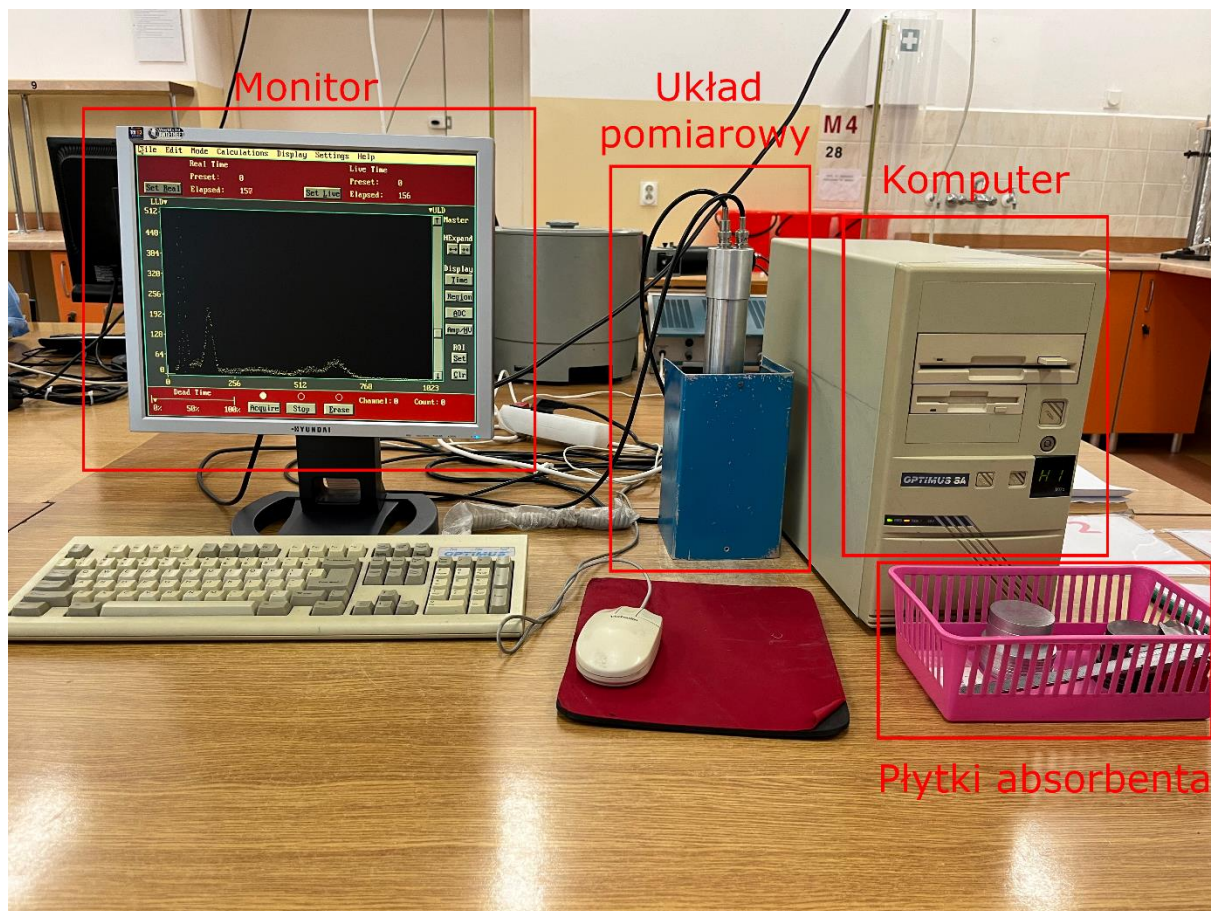
Znaczenie i zastosowanie:

- **Umożliwia porównania:** Dzięki temu współczynnikowi można porównywać zdolność różnych materiałów do pochłaniania promieniowania, bez względu na ich gęstość.
- **Ułatwia obliczenia:** Jest często używany w fizyce i inżynierii jądrowej, ponieważ pozwala łatwo obliczać osłabienie promieniowania w materiałach o znanej masie i składzie.
- **Używany w bazach danych:** Wartości μ/ρ są standardowo publikowane w tabelach dla różnych materiałów i różnych energii promieniowania (np. baza NIST (National Institute of Standards and Technology)).

Opis metody pomiarowej:

Celem eksperymentu/doświadczenia jest wyznaczanie liniowego i masowego współczynnika pochłaniania promieniowania γ dla różnych materiałów.

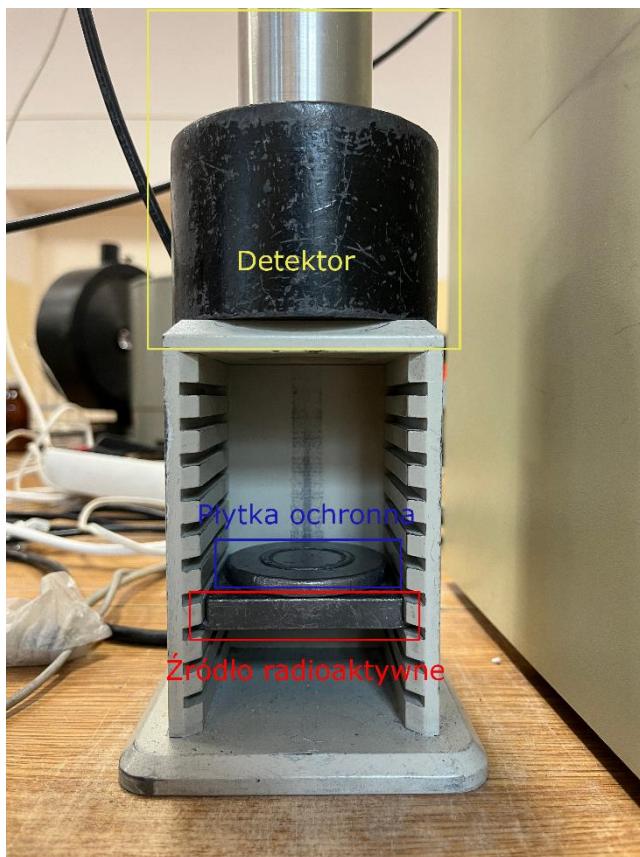
Używane w doświadczeniu źródła promieniowania γ są źródłami zamkniętymi, tzn. korzystamy tylko z promieniowania nie mając dostępu do substancji promieniotwórczej.



Rysunek 1. Zestaw do pomiaru liniowego i masowego współczynnika pochłaniania promieniowania γ .

Zestaw do pomiaru współczynnika pochłaniania promieniowania γ składa się z przedstawionego na rysunku 1 układu pomiarowego, komputera z odpowiednim oprogramowaniem sterującym układem pomiarowym oraz rejestrującym pomiary, a także monitora wyświetlającego zebrane wyniki.

Układ pomiarowy (Rys. 2) składa się ze źródła promieniotwórczego, detektora - scyntylatora i fotopowielacza konwertującego zarejestrowane kwanty gamma na sygnał elektryczny transmitowany przewodowo do komputera ze specjalistycznym oprogramowaniem. Podczas pomiarów ilości kwantów gamma przechodzących przez absorbent, warstwę płytek pochłaniających to promieniowanie umieszcza się w przestrzeni pomiędzy źródłem a detektorem. Należy pamiętać o usunięciu ołowianej płytki ochronnej przed rozpoczęciem pomiarów.



Rysunek 2. Układ pomiarowy złożony ze źródła radioaktywnego oraz detektora (scyntylator i fotopowielacz) rejestrującego docierające do niego kwanty gamma.

Wiązka promieniowania γ przechodząc przez absorbent ulega osłabieniu. W scyntylocie kwanty promieniowania γ wywołują błyski luminescencyjne, które rejestruje fotopowielacz. Ilość rozbłysków podawana przez komputer jako ilość zliczeń N jest proporcjonalna do natężenia wiązki promieniowania γ dochodzącej do scyntylocie $N \propto I$. Z teorii wiemy, że natężenie promieniowania przechodzącego przez absorbent zależy od jego grubości zgodnie ze wzorem:

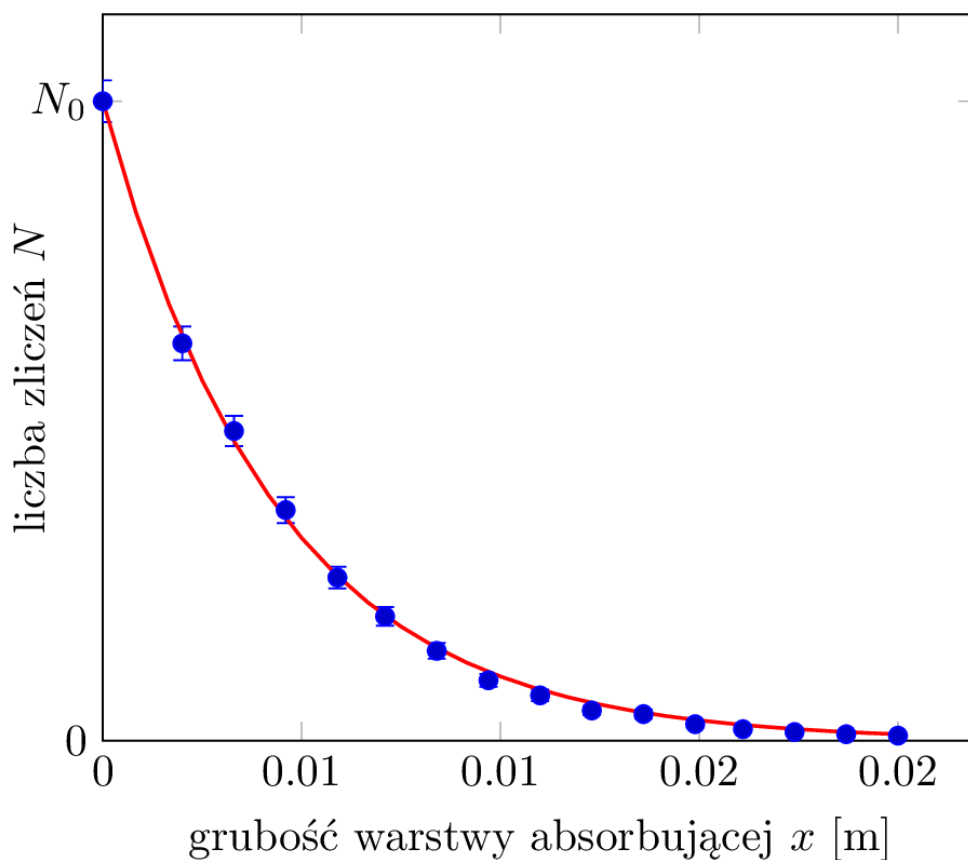
$$I = I_0 e^{-\mu x} + I_t \quad (1)$$

w którym $I_0 = I(x = 0 \text{ m})$ jest natężeniem promieniowania emitowanego przez próbkę radioaktywną (bez absorbentu), I_t jest natężeniem promieniowania tła, a μ jest liniowym współczynnikiem pochłaniania. Wykorzystanie faktu proporcjonalności liczby zliczeń kwanów γ zarejestrowanych przez fotopowielacz do natężenia wiązki przechodzącej $N \propto I$, pozwala na zapisanie następującego wzoru:

$$N(x) = N_0 e^{-\mu x} + N_t \quad (2)$$

w którym $N_0 = N(x = 0 \text{ m})$ jest ilością zliczeń zarejestrowanych przez fotopowielacz bez warstwy pochłaniającej, natomiast N_t jest liczbą zliczeń promieniowania tła.

Wyrażenie to daje możliwość wyznaczenia współczynnika pochłaniania μ (wraz z niepewnością $u(\mu)$), poprzez dopasowanie powyższej zależności analitycznej do danych doświadczalnych za pomocą specjalistycznego oprogramowania. W wyniku dopasowania otrzymujemy współczynnik μ wraz z niepewnością $u(\mu)$.



Rysunek 3. Przykładowe dopasowanie krzywej teoretycznej do punktów doświadczalnych.

Tabela 1 – Masowy oraz liniowy współczynnik pochłaniania promieniowania gamma dla aluminium w zależności od energii pochłanianego promieniowania.

Energia [MeV]	Masowy współczynnik pochłaniania μ/ρ [m²/kg]	Liniowy współczynnik pochłaniania μ [1/m]
0.20	0.0170	45.90
0.25	0.0140	37.80
0.30	0.0120	32.40
0.35	0.0105	28.35
0.40	0.0095	25.65
0.45	0.0084	22.68
0.50	0.0075	20.25
0.55	0.0069	18.63
0.60	0.0064	17.28
0.65	0.0060	16.20
0.70	0.0057	15.39
0.75	0.0054	14.58
0.80	0.0052	14.04

Niepewności:

Niepewność liniowego współczynnika pochłaniania $u(\mu)$ należy odczytać z wyników dopasowania krzywej teoretycznej do danych doświadczalnych.

Niepewność masowego współczynnika pochłaniania $u(\mu_m)$ obliczyć stosując metodę obliczania niepewności złożonych:

$$u(\mu_m) = \sqrt{\left(\frac{\partial \mu_m}{\partial \mu}\right)^2 u^2(\mu)} \quad (\text{N.1})$$

gdzie:

$$\frac{\partial \mu_m}{\partial \mu} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{N.2})$$

Stąd otrzymujemy wzór końcowy:

$$u(\mu_m) = \frac{u(\mu)}{\rho} \quad (\text{N.3})$$

Pytania i zadania:

1. Dlaczego w ciężkich jądrach liczba neutronów jest większa niż liczba protonów?
2. Czas połowicznego rozpadu izotopu wynosi 30 min. Oblicz stałą rozpadu.
3. Czas połowicznego rozpadu pewnego pierwiastka wynosi **15 minut**. Ile procent jąder rozpadnie się w ciągu **dwóch i pół godziny**?
4. Ile cząstek α i cząstek β^- emitowanych jest podczas przemian izotopu promieniotwórczego $^{222}_{86}\text{Rn}$ w izotop $^{206}_{82}\text{Pb}$?
5. Promieniotwórczy izotop $^{30}_{15}\text{P}$ przekształca się w izotop $^{30}_{14}\text{Si}$, emitując dwie cząstki. Jakie to cząstki?
6. Co się stanie jeśli elektron spotka pozyton?
7. Liniowy współczynnik pochłaniania promieniowania γ przez pewien materiał wynosi **30 m^{-1}** . Jakiej grubości przesłona z tego materiału osłabia promieniowanie tysiąc razy?
8. Ile razy zmaleje natężenie wiązki promieniowania rentgenowskiego, która podczas badania tomograficznego przejdzie przez **3 cm** mięśni, **2 cm** kości, i ponownie **1 cm** mięśni? Liniowe współczynniki osłabienia tego promieniowania wynosiły: mięśnie: **$0,25\text{ cm}^{-1}$** , kości: **$0,5\text{ cm}^{-1}$** .
9. Oszacuj średnią gęstość materii w jądrach o dużej liczbie masowej.