

# Oslabienie promieniowania gamma

## Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest badanie osłabienia wiązki promieniowania gamma przy przechodzeniu przez materię oraz wyznaczenie współczynnika osłabienia dla różnych materiałów.

## Wstęp

### Co to jest promieniowanie gamma?

Promieniowanie gamma to promieniowanie elektromagnetyczne o największej energii kwantów, wysyłane przez jądra atomowe w trakcie rozpadu promieniotwórczego. Nietrwale jądra atomowe mogą ulec przemianie alfa lub beta. W przemianie alfa z jądra emitowana jest cząstka alfa, czyli jądro helu składające się z 2 protonów i 2 neutronów. W rezultacie pozostałe jądro ma liczbę atomową mniejszą o 2, a liczbę masową mniejszą o 4. Przemiana beta polega na emisji z jądra atomowego cząstki beta, czyli elektronu. Oczywiście, jądro atomowe zawiera tylko protony i neutrony, a elektron pojawia się na skutek przemiany jednego z neutronów w proton, elektron i jeszcze jedną cząstkę o znikomej masie zwaną antyneutrinem. Proton pozostaje w jądrze, zwiększając liczbę atomową o 1, a elektron i antyneutrino wylatują z jądra.

Jądra powstałe w wyniku przemiany alfa lub beta są zwykle w stanie wzbudzonym, co oznacza, że ich energia jest wyższa niż najmniejsza możliwa energia, czyli energia stanu podstawowego. Jądro w krótkim czasie pozbywa się nadmiaru energii emitując kwant gamma. Promieniowanie gamma towarzyszy więc zawsze promieniowaniu alfa lub beta.

Do pomiarów używamy źródła promieniotwórczego

$^{137}\text{Cs}$ . Jądro to ulega przemianie

beta, emitując przy tym kwant gamma o energii 0,66 MeV.

*MeV (megaelektronowolt) to energia milion razy większa niż energia, jaką uzyskuje elektron przyspieszany różnicą potencjałów 1V.*

### Oddziaływanie promieniowania gamma z materią.

Co dzieje się z wiązką promieniowania gamma podczas przechodzenia przez materię? Kwant gamma nie posiada ładunku elektrycznego, nie jonizuje więc ośrodka, może

jednak oddziaływać z materią na różne sposoby. Są to: zjawisko fotoelektryczne, zjawisko Comptona i efekt reakcji par elektron-pozyton.

*Jonizacja polega na odrywaniu elektronów od atomów lub cząsteczek przez przechodzącą w ośrodku cząstkę naładowaną. Na drodze takiej cząstki pozostają pary jonów: ujemnych – elektronów i do`datnich – atomów pozbawionych elektronu.*

**Zjawisko fotoelektryczne** to oddziaływanie fotonu

gamma z atomem, w wyniku którego foton zostaje pochłonięty, a z powłoki atomowej wyrzucony zostaje elektron. Foton, który wywołał zjawisko fotoelektryczne, zostaje usunięty z wiązki.

**Zjawisko Comptona** to rozpraszanie fotonu na swobodnym elektronie, podobne do zderzenia kul bilardowych. Foton oddaje część energii elektronowi, który zaczyna się poruszać, a foton o mniejszej energii zmienia kierunek ruchu. Oczywiście w materii zwykle nie ma swobodnych elektronów, ale elektrony słabo związane z atomem, na powłokach walencyjnych, można uznać za quasi-swobodne (prawie swobodne) i to one właśnie biorą udział w rozpraszaniu comptonowskim. Fotony wywołujące zjawisko Comptona wprawdzie nie znikają, ale zmieniają kierunek ruchu i również zostają usunięte z wiązki promieniowania.

**Efekt kreacji par elektron-pozyton.** To najbardziej tajemnicze z opisanych tu zjawisk.

Foton po prostu znika,

zamieniając się w parę cząstek: elektron i antyelektron zwany pozytonem. Może się to zdarzyć tylko w pobliżu jądra atomowego, które odbiera część energii i pędu. Nie

*Energia spoczynkowa cząstki wynosi  $E=mc^2$ ,  
gdzie  $m$  to masa cząstki, a  $c$  jest prędkością  
światła*

każdy foton może spowodować kreację pary elektron-pozyton. Jego energia musi być wystarczająca na utworzenie 2 cząstek. Energia spoczynkowa elektronu i pozytonu jest jednakowa i wynosi 0,511 MeV. Najmniejsza (progowa) energia fotonu, który może spowodować kreację pary wynosi więc 1,022 MeV. Kwanty gamma emitowane przez  $^{137}\text{Cs}$  o energii 0,66 MeV nie wywołują więc kreacji par elektron-pozyton.

**Prawo osłabienia wiązki promieniowania gamma.**

Wiemy już, że wiązka promieniowania gamma przechodząca przez materię ulega osłabieniu, bo wypadają z niej fotony wywołujące takie zjawiska, jak fotoelektryczne czy Comptona. Jak można to osłabienie wiązki opisać ilościowo? Zjawiska oddziaływania kwantów gamma z materią to zjawiska losowe. Kwestią przypadku jest, czy dany foton przejdzie przez warstwę materii absorbentu, czy też spowoduje jedno ze zdarzeń w wyniku, którego zostanie usunięty z wiązki. Ubytek liczby fotonów z wiązki,  $\Delta N$ , po przebyciu warstwy absorbentu  $\Delta x$ , jest więc wprost proporcjonalny do liczby wszystkich fotonów padających na tę warstwę,  $N$ , oraz do grubości warstwy,  $\Delta x$ .

(1)

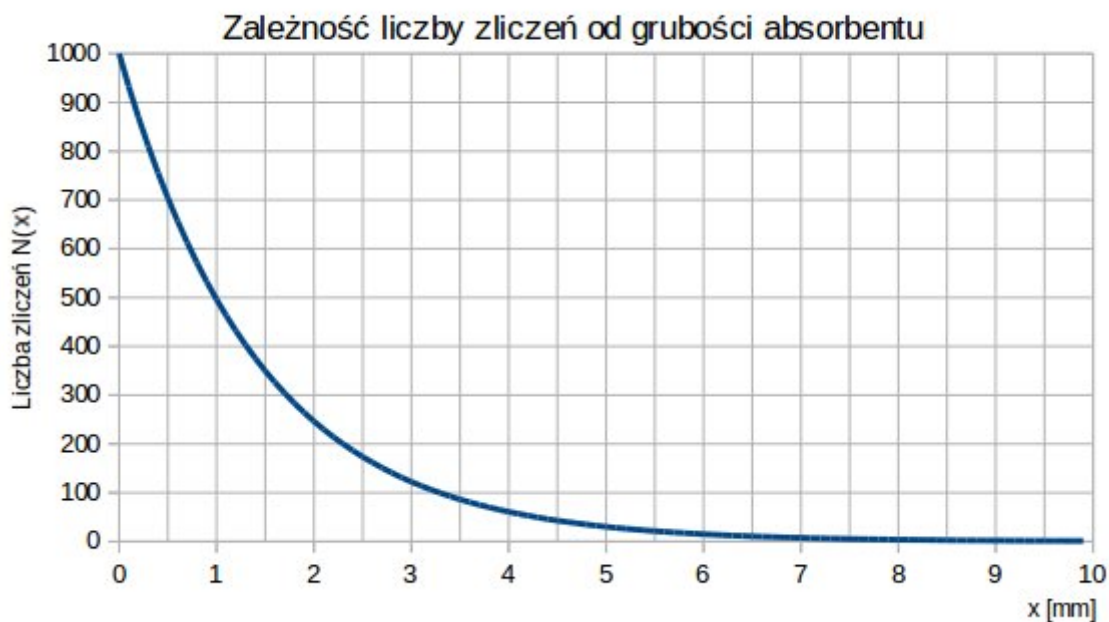
$$\Delta N(x) = -\mu \Delta x N$$

$\mu$  jest współczynnikiem proporcjonalności, zwanym współczynnikiem osłabienia wiązki i jest charakterystyczny dla danego materiału. Znak minus oznacza, że fotonów ubywa z wiązki. Przekształcenie matematyczne (całkowanie) powyższego wzoru prowadzi do równania:

(2)

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

gdzie:  $N_0$  to liczba fotonów padających na warstwę absorbentu,  $N(x)$  – liczba fotonów, która pozostała w wiązce po przejściu przez absorbent o grubości  $x$  (Rys. 1).



Rys. 2. Prawo osłabienia wiązki promieniowania gamma, wzór (2)

Liczba fotonów przy przejściu przez materię zmniejsza się więc wykładniczo ze wzrostem grubości absorbentu,  $x$  (Rys.2)

### Wyznaczanie współczynnika osłabienia promieniowania gamma

Współczynnik osłabienia wiązki dla danego materiału można by wyznaczyć ze wzoru (2), gdybyśmy mogli zmierzyć liczbę fotonów gamma po przejściu przez absorbent o grubości  $x$ ,  $N(x)$  oraz liczbę fotonów bez absorbentu,  $N_0$ . Niestety nie jest to możliwe. Pamiętajmy, że promieniowaniu gamma towarzyszy promieniowanie beta. Jeśli wykonamy pomiar bez absorbentu, otrzymamy łączną liczbę fotonów gamma i cząstek beta. Jednak najcieńsza nawet płytka absorbentu całkowicie pochłania promieniowanie beta. Wykonując pomiary z absorbentami, otrzymujemy więc informację tylko o liczbie fotonów gamma.

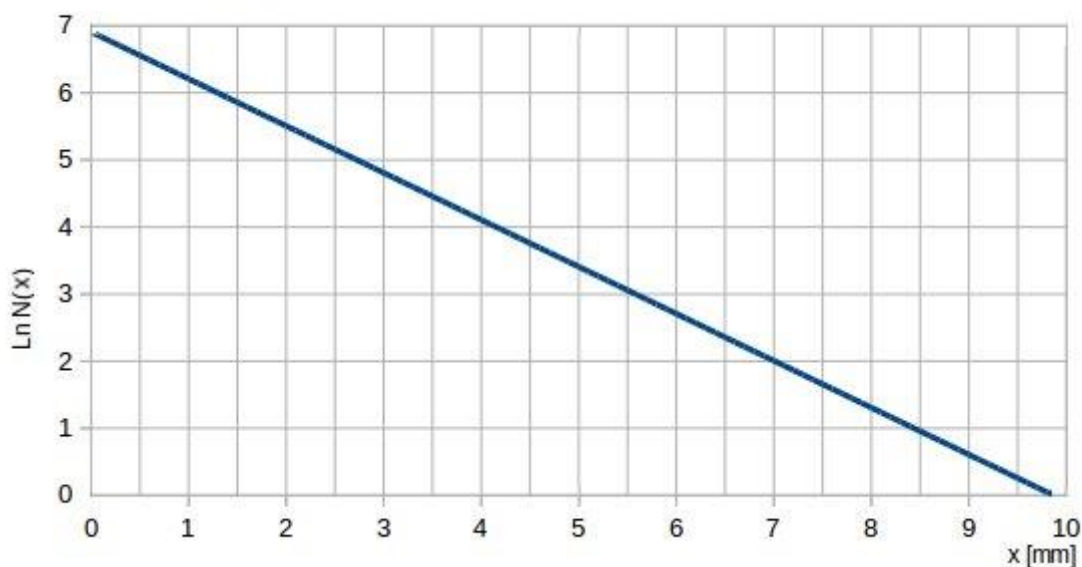
Aby uzyskać wykres z Rys. 2 w dogodniejszej formie, zlogarytmujemy obie strony równania (2). Korzystając z własności logarytmów, otrzymamy:

(3)

$$\ln N = \ln N_0 - \mu x$$

Wzór ten przedstawia funkcję liniową  $y = ax + b$ , gdzie:  $y = \ln N$ ,  $a = -\mu$ ,  $b = \ln N_0$  (Rys. 3).

Zależność logarytmu naturalnego liczby zliczeń od grubości absorbentu

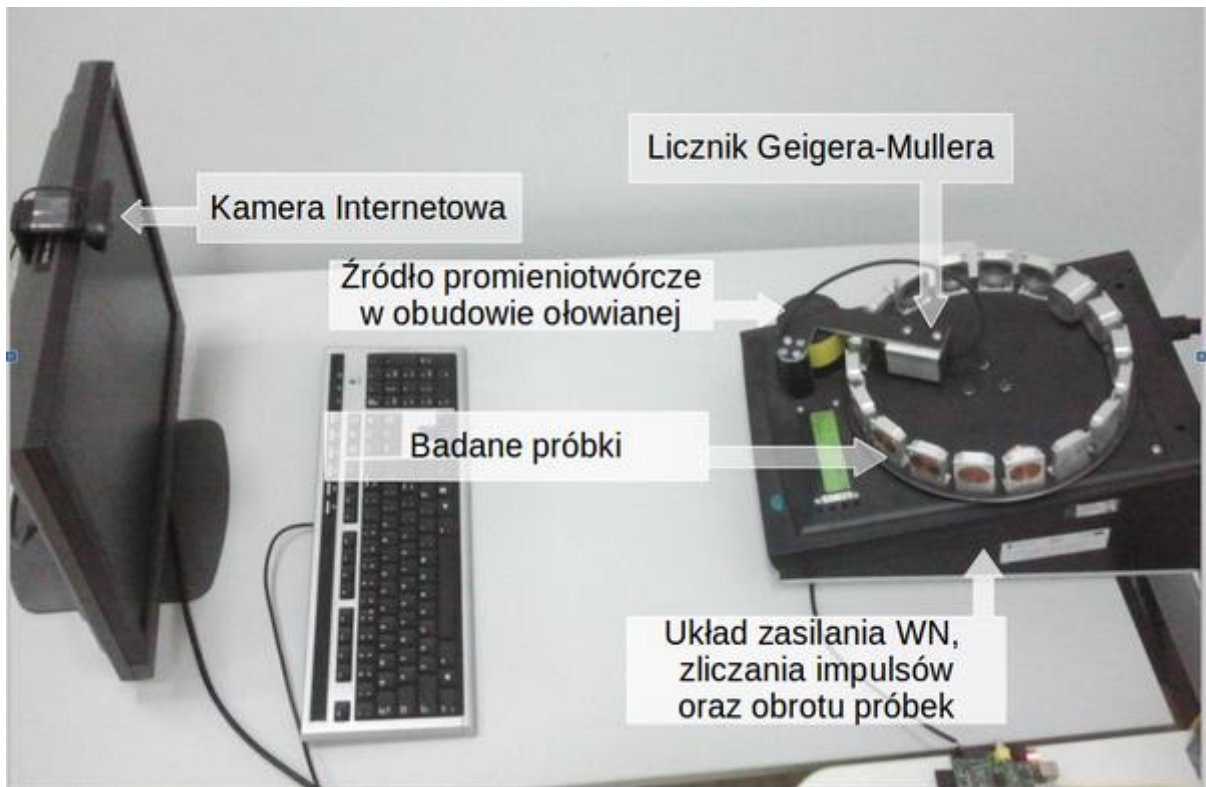


Rys. 3. Prawo osłabienia wiązki promieniowania gamma w skali półlogarytmicznej, wzór (3)

Wyznaczając współczynnik kierunkowy prostej, otrzymamy szukany współczynnik osłabienia wiązki dla danego materiału.

## Opis układu pomiarowego

Układ pomiarowy składa się z domku pomiarowego wykonanego z ołowiu oraz detektora rejestrującego fotony gamma. W domku umieszczone jest źródło promieniotwórcze ( $^{137}\text{Cs}$ ). Detektorem promieniowania jest licznik Geigera-Mullera podłączony do układu zasilania wysokiego napięcia i układu zliczającego impulsy. Między źródłem a detektorem promieniowania umieszczane są badane płytki ołowiane, miedziane lub aluminiowe o różnej grubości. Płytki umieszczone są na obrotowym talerzu. Obrót realizowany jest za pomocą silnika krokowego sterowanego mikroprocesorem. Fotografie układu przedstawiono na rys. 4.



Rys.4. Układ pomiarowy.

## Wykonanie ćwiczenia

Po zalogowaniu się do Laboratorium przyciskiem **Podłącz** wybieramy parametry pomiaru poprzez ustawienie oczekiwanej wartości w odpowiednim okienku. Ustawiamy:

- Badany materiał absorbujący promieniowanie (aluminium, miedź lub ołów). Możemy też wybrać pomiar z zasłoniętym źródłem. Zmierzymy wówczas promieniowanie tła.
- Czas zliczeń dla jednej grubości próbki [sek]

Nawet jeśli nie ma w pobliżu żadnego źródła promieniotwórczego licznik będzie rejestrował promieniowanie docierające do nas z kosmosu.

Wybór czasu zliczeń zależy od dokładności, którą zamierzamy uzyskać oraz od czasu jaki możemy poświęcić na pomiary.

Po naciśnięciu przycisku **Start** rozpoczyna się cykl pomiaru. Komputer sterujący ustawia pomiędzy źródłem a detektorem wybraną próbkę o najmniejszej grubości. Poprzez sieć internetową wyniki pomiarów są sukcesywnie przesyłane na komputer użytkownika i wyświetlane w postaci wykresu na ekranie monitora. W dowolnej chwili można przerwać pomiar, zapisać dane na dysku, zmienić parametry i ponownie uruchomić pomiary. Po upływie wybranego czasu zliczeń, komputer sterujący zmienia próbkę na następną, o większej grubości i powtarza tę procedurę do

Liczba zliczeń jest wielkością losową. Im większa jest liczba zliczeń, tym mniejszy wpływ fluktuacji statystycznych. Staramy się więc ustawić jak najdłuższy czas pomiaru, uwzględniając oczywiście czas dostępny do wykonania ćwiczenia

momentu kiedy próbki o wszystkich grubościach zostaną zmierzone. Otrzymamy wykres liczby zarejestrowanych fotonów gamma po przejściu przez kolejne płytki.

Można wykonać pomiary dla jednego, dwóch lub trzech absorbentów. Jeśli wyznaczymy współczynniki osłabienia wiązki dla wszystkich trzech absorbentów, będziemy mogli je porównać i wyciągnąć wnioski, jakie materiały najlepiej chronią przed promieniowaniem gamma.

## **Opracowanie wyników**

Obliczamy logarytm naturalny z liczby zliczeń dla każdej grubości absorbentu i wykonujemy wykres zależności  $\ln N$  w funkcji grubości absorbentu  $x$ . Mierząc kąt nachylenia wykresu do osi  $x$ , wyznaczamy współczynnik kierunkowy prostej, a tym samym współczynnik osłabienia wiązki promieniowania gamma dla danego absorbentu.

Jeśli wykonaliśmy pomiary dla wszystkich absorbentów, warto wszystkie wykresy umieścić na jednym wykresie. Od razu będziemy mogli wtedy porównać nachylenie poszczególnych prostych i ocenić, który materiał najlepiej osłabia wiązkę promieniowania gamma.