

Wydział MINI	Dzień/godz Data	Środa 14.15 19.03.2025	Nr zespołu 4
Nazwisko i Imię 1. Przeździecka Alicja 2. Skoczyła Katarzyna 3. Zieliński Miłosz	Ocena z przygotowania	Ocena z sprawozdania	Ocena końcowa
Prowadzący		Podpis	

1 Cel

Celem laboratoriów było zbadanie osłabienia promieniowania γ na skutek przechodzenia przez materię. Zebrane wyniki, czyli ilość kwantów zarejestrowane przez detektor w ciągu ustalonego czasu pomiarowego dla konkretnego materiału: miedzi, aluminium oraz ołowiu występującego w różnych grubościach posłużyły nam do wyznaczenia współczynnika osłabienia dla każdego z trzech materiałów. W celu porównania wyznaczonych wielkości użyliśmy wartości odczytanych z tablic.

2 Wstęp

Przemianom promieniotwórczym α, β, γ towarzyszy badane przez nas promieniowanie gamma. Promieniowanie te podczas przechodzenia przez materię o różnych grubościach ulega różnym zjawiskom, co skutkuje jego osłabieniem. O wielkości osłabienia informuje współczynnik osłabienia μ [1]. Pierwszym zjawiskiem jest zjawisko Comptona zwane rozpraszaniem komptonowskim. Kwant promieniowania przechodząc przez materię oddziałuje z elektronami znajdującymi się na powłokach dalej położonych od jądra (w przybliżeniu elektrony swobodne) i oddaje im część energii. Opisane zjawisko wiąże się ze zmianą kierunku (kwant leci pod pewnym kątem do wiązki), co może potencjalnie skutkować sztucznym obniżeniem wyniku. Zjawisko fotoelektryczne w odróżnieniu od Comptona polega na oddziaływaniu kwantów z elektronami położonych najbliżej jądra, czyli najbardziej z nim związanymi. Taka sytuacja skutkuje tym, że cała energia jest używana do oderwania elektronu od atomu. Ostatnim z podstawowych procesów osłabiających wiązkę kwantów jest zjawisko tworzenia się par elektron-pozyton. W tym procesie konieczna jest duża energia kwantu gamma (przynajmniej 1.02 MeV) oraz obecność trzeciego ciała, które zapewnia zachowanie energii oraz pędu układu. Ostatecznie współczynnik μ jest sumą współczynników pochodzących z każdego z tych zjawisk.

Zależność pomiędzy współczynnikiem osłabienia a grubością absorbenta opisuje wzór:

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

gdzie:

- I – natężenie promieniowania po przejściu przez materiał,
- I_0 – natężenie początkowe (bez materiału),
- μ – liniowy współczynnik osłabienia,
- x – grubość materiału.

Taka postać jednak wymaga znajomości natężenia początkowego, którego wyznaczenie nie jest możliwe ze względu na obecność innego promieniowania przy rozpadzie (na przykład rozpadowi ^{60}Co towarzyszy promieniowanie beta). Równoważnie zależność opisaną wzorem (1) można zapisać w postaci:

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

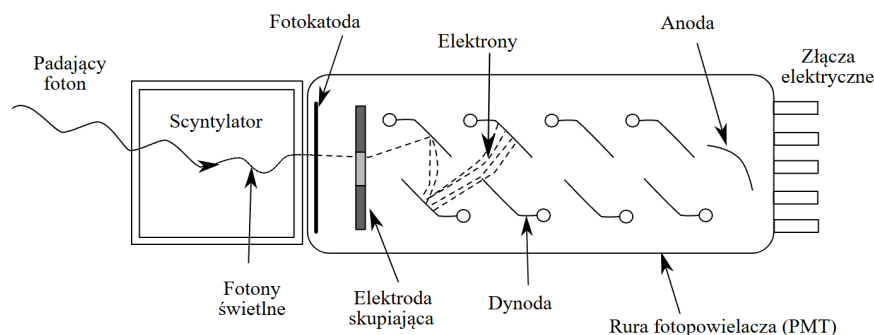
gdzie:

- N – liczba zliczeń po przejściu przez materiał,
- N_0 – liczba zliczeń bez materiału.

Nie rozwiązuje to jednak problemu wyznaczenia wartości bez obecności absorbenta. W takim przypadku do wyznaczenia współczynnika należy posługiwać się pomiarami wielokrotnymi dla różnych grubości tego samego materiału oraz metodą najmniejszych kwadratów. Po zlogarytmowaniu wzoru (2) dostajemy postać prostej, której współczynnik kierunkowy to nasze szukane μ . Kolejną przeszkodą podczas wyznaczania μ jest opisany powyżej skutek zjawiska Comptona. Zmiana kierunku kwantu w stosunku do wiązki może zaniżyć odczyt detektora. W celu uniknięcia sztucznego zaniżenia odczytu stosuje się kolimator. Taką rolę dobrze spełnia ołowiany walec z wytoczonym we wnętrzu otworem. Umieszczenie kolimatora przed absorbentem i za absorbentem pomaga formować wiązkę i pozbyć się skutków wspomnianego zjawiska.

3 Działanie detektora scyntylacyjnego

Detektor scyntylacyjny to główne narzędzie użyte do pomiarów w tym zadaniu. Wiązka promieniowania docierając do pierwszej warstwy zostaje pochłonięta i zamieniona na światło, co jest właściwością pierwszej warstwy budującej detektor. Następnie fotokatoda znajdującą się w fotopowielaczu uwalnia pod wpływem światła elektrony. Dynody znajdujące się na drodze elektronów przyspieszają i powielają strumień elektronów. Taki wzmocniony strumień dostarcza informacji o liczbie zliczeń wykorzystywanej do wyliczenia współczynnika μ .



Rysunek 1: Schemat detektora.[2]

4 Przedmioty i metoda pomiarowa

Stanowisko pomiarowe składało się z ołowianej osłony ("domku"), w której na dnie umieszczano źródło promieniowania γ . W naszym przypadku był to preparat ^{60}Co . Nad źródłem znajdowały się dwa ołowiane kolimatory, a w przestrzeni między nimi były umieszczane odpowiednie absorbenty. W górnej części "domku" umieszczony był detektor scyntylacyjny, który podłączony był do komputera, w którym dzięki odpowiedniemu programowi można było odczytać wyniki.

Przed dokonaniem pomiarów natężenia wiązki wykonaliśmy serię 5 pomiarów tła z których każdy trwał 120 sekund. Na podstawie średniej z tych pomiarów ustaliliśmy, że wartość promieniowania tła wynosi $80 < Nt >$.

Każdy pomiar polegał na umieszczeniu przez 120 sekund blaszki (absorbentu) z odpowiedniego materiału, (kolejno miedzi, aluminium, ołowiu), odpowiedniej grubości w domku i odczytanie z programu komputerowego liczby cząstek jaka dotarła do anody detektora. Liczba cząstek związana z promieniowaniem tła została automatycznie odjęta przez program komputerowy. Dlatego wyniki w tabelach będą bezpośrednio wykorzystywane w obliczeniach. Wszystkie wyniki wraz z błędami znajdują się w kolejnej sekcji. Pomiary były wykonane przy ustawieniu napięcia minimalnego $U_{min} = 0,45$ i $U_{max} = 0,52$.

5 Wyniki pomiarów

Nr pomiaru	d [mm]	$N(d)$ (niepewność)
1	2	1377(37)
2	5	1183(34)
3	7	1030(32)
4	10	891(30)
5	12	849(29)
6	15	745(27)
7	17	650(25)
8	20	637(25)

Tabela 1: Wyniki pomiarów dla blaszek miedzianych.

Nr pomiaru	d [mm]	$N(d)$ (niepewność)
1	1	1460(115)
2	2	1365(111)
3	3	1323(109)
4	5	1248(106)
5	7	1361(111)
6	10	1212(104)
7	12	1125(101)
8	15	1056(97)
9	17	1140(101)
10	20	1048(97)

Tabela 2: Wyniki pomiarów dla blaszek aluminiowych.

Nr pomiaru	d [mm]	$N(d)$ (niepewność)
1	2	1085(33)
2	5	953(31)
3	7	942(31)
4	10	751(27)
5	12	679(26)
6	15	562(24)
7	17	484(22)
8	20	433(21)

Tabela 3: Wyniki pomiarów dla blaszek ołowianych.

6 Opracowanie wyników

W celu wyznaczenia współczynników osłabienia badanych absorbentów skorzystamy z metody najmniejszych kwadratów, tak jak opisano to we Wstępie. Logarytmując wzór (2) otrzymujemy:

$$\ln(N) = \mu x + \ln(N_0) \quad (3)$$

Możemy zauważyć, iż uzyskaliśmy zależność, którą można opisać wzorem:

$$y = ax + b \quad (4)$$

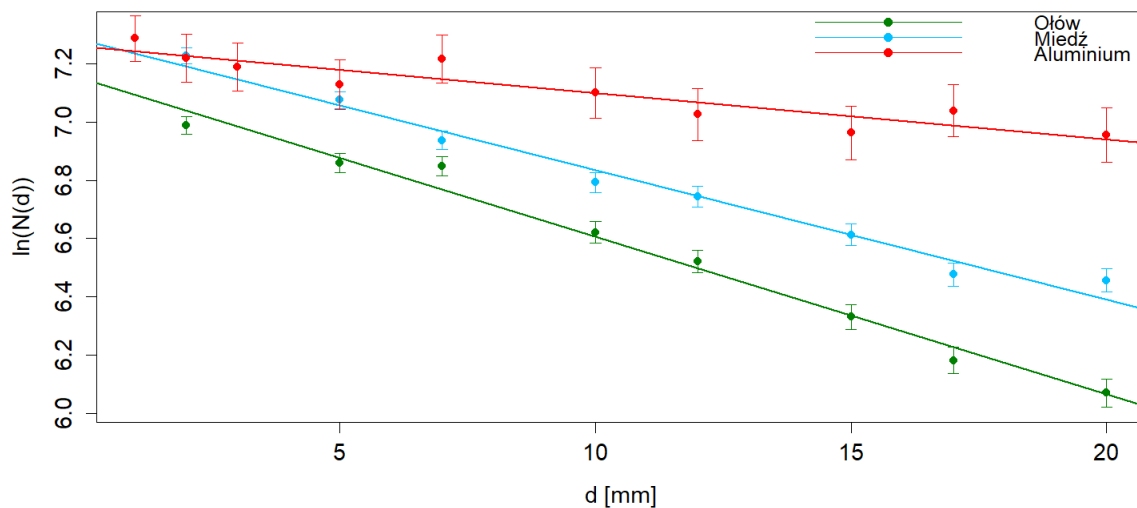
Do wyliczenia wartości parametru a , czyli szukanego współczynnika osłabienia, skorzystaliśmy z języka R i funkcji $\text{lm}()$. Wyniki poniżej.

$$\mu_{Cu} = 0,440 \frac{1}{cm} \quad \mu_{Al} = 0,159 \frac{1}{cm} \quad \mu_{Pb} = 0,541 \frac{1}{cm} \quad (5)$$

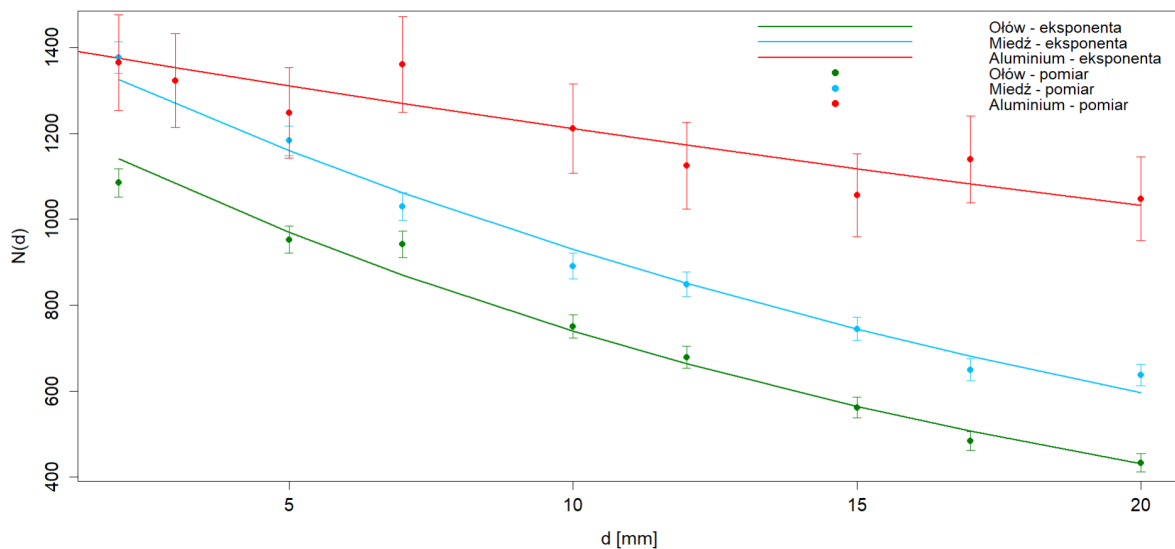
Odpowiednie niepewności współczynnika osłabienia również wyliczyliśmy przy użyciu języka R. Mierzone wielkości N podlegają rozkładowi Poissona, co wynika z ich statystycznego charakteru. W przypadku miedzi i ołowiu za niepewność pomiarową N przyjęliśmy \sqrt{N} , które obejmuje około 68 % możliwych wartości N . W przypadku aluminium było to $3\sqrt{N}$. W wynikach pomiarowych dla tej substancji występowały liczne fluktuacje, dlatego zdecydowaliśmy się na zwiększenie niepewności pomiarowej, aby objąć około 99,7 % obserwacji. W tabelach z wynikami umieściliśmy odpowiednie błędy w nawiasach.

Wykonaliśmy dwa wykresy. Pierwszy z nich (Rysunek 2) przedstawia zależność logarytmu naturalnego liczby zliczeń N od grubości absorbentu wraz z dopasowaną linią regresji. Za niepewności pomiarowe przyjęliśmy dla ołowiu i miedzi $\frac{1}{\sqrt{N}}$ oraz dla aluminium $\frac{3}{\sqrt{N}}$, z powodów takich jak opisane powyżej. Drugi wykres (Rysunek 3) przedstawia zależność liczby zliczeń N od grubości absorbentu. Na podstawie obliczonych współczynników μ dopasowaliśmy eksponentę.

Wyliczone współczynniki kierunkowe prostej a - czyli szukane współczynniki osłabienia promieniowania wraz z błędami standardowymi współczynników regresji przedstawione są w Tabeli 4.



Rysunek 2: Wykres zależności logarytmu liczby zliczeń N od grubości absorbentu z dopasowaną linią regresji.



Rysunek 3: Wykres zależności liczby zliczeń N od grubości absorbentu z dopasowaną eksponentą.

7 Wyniki

Material	Współczynnik obliczony (niepewność) $[\frac{1}{cm}]$	Współczynnik z tablic $[\frac{1}{cm}]$ [3]
Cu	0,443(26)	0,440
Al	0,159(23)	0,139
Pb	0,541(27)	0,622

Tabela 4: Ostateczne wyniki.

Otrzymane wyniki porównaliśmy z wartościami tablicowymi. Współczynnik wymagał od nas odczytania z tablic wartości przypisanej dla konkretnej energii emitowanego kwantu gamma. Za wartość energii przyjęliśmy większą z dwóch emitowanych, czyli $1.33 MeV$ [4]. Odczytana wartość została pomnożona przez gęstości odpowiednich materiałów, aby otrzymać wynikowe współczynniki. Wyliczone i odczytane wartości są zbliżone. Możemy zauważyć, że tylko w przypadku ołowiu nie mieszczą się one w niepewnościach pomiarowych.

8 Podsumowanie

Podsumowując, celem tych ćwiczeń było badanie osłabienia promieniowania gamma przy przechodzeniu przez materię. Udało nam się wyznaczyć współczynniki osłabienia miedzi, aluminium i ołowiu oraz sporządzić odpowiednie wykresy prezentujące wyniki.

Literatura

- [1] Jolanta Gałązka-Friedman. Badanie osłabienia promieniowania gamma przy przechodzeniu przez materię. *Centralne Laboratorium Fizyki*, 2011.
- [2] Licznik scyntylacyjny. *Wikipedia*.
- [3] Xcom elements options. *National Institute of Standards and Technology*.
- [4] Kobalt-60. *Wikipedia*.

Wkład poszczególnych osób w wykonanie ćwiczenia:

1. Katarzyna Skoczylas: Przygotowanie wykresów, obliczenie niepewności, Opracowanie wyników
2. Alicja Przeździecka: Wstęp oraz Działanie detektora scyntylacyjnego
3. Miłosz Zieliński: Opracowanie wyników, Przedmioty i metoda pomiarowa