|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Wydział*  *WEiTI* | *Dzień tygodnia*  Piątek | *Godzina*  08:15 | *Nr zespołu*  3 |
| *Data wykonania ćwiczenia* 28.03.2025 | *Data oddania sprawozdania* 10.04.2025 |
| *Tytuł ćwiczenia*    Badanie osłabienia promieniowania γ przy przechodzeniu przez materię. | | | |
| *Imię i nazwisko*     1. Tymon Zadara      1. Jan Czechowski      1. Kinga Konieczna | *Ocena z przygotowania* | *Ocena ze sprawozdania* | *Ocena końcowa* |
| *Prowadzący*  dr hab. inż. Teodor Buchner | | *Podpis prowadzącego* | |

# **Wstęp**

**Cel ćwiczenia:**

Celem ćwiczenia było zbadanie własności promieniowania gamma, w szczególności jego pochłaniania przez różne materiały (np. ołów, miedź, aluminium). Dążono do ilościowego określenia współczynnika osłabienia wiązki promieniowania gamma oraz jego zależności od rodzaju i grubości pochłaniacza. Teza badawcza zakładała, że natężenie promieniowania maleje wykładniczo wraz ze wzrostem grubości absorbentu, zgodnie z modelem teoretycznym.

**Wstęp teoretyczny:**

Promieniowanie gamma jest jednym z rodzajów promieniowania jonizującego, powstającym najczęściej podczas przemian jądrowych. Charakteryzuje się bardzo dużą energią oraz zdolnością do głębokiej penetracji materii. Z tego powodu jego pochłanianie przez ciała stałe przebiega inaczej niż w przypadku promieniowania alfa czy beta.

Podstawowym modelem opisującym osłabienie wiązki promieniowania gamma w materiale jest prawo wykładniczego zaniku, wyrażone zależnością [1]:

(1)

gdzie:

I(x) - natężenie promieniowania po przejściu przez warstwę o grubości x,

I0 - początkowe natężenie promieniowania,

μ – współczynnik osłabienia charakterystyczny dla danego materiału,

x – grubość pochłaniacza.

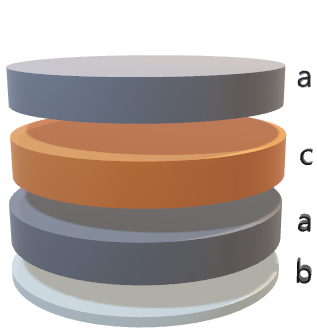
Promieniowanie gamma jest rodzajem promieniowania elektromagnetycznego o bardzo wysokiej energii, powstającym m.in. w wyniku przemian jądrowych. Przechodząc przez materię, wiązka promieni γ ulega osłabieniu głównie dzięki trzem procesom [1]:

* **Rozpraszanie komptonowskie** – kwant γ oddziałuje ze swobodnymi lub słabo związanymi elektronami, tracąc część energii.
* **Zjawisko fotoelektryczne** – kwant γ jest całkowicie pochłaniany przy wybiciu elektronu z atomu.
* **Tworzenie par elektron-pozyton** – przy dostatecznie wysokich energiach kwant γ przekształca się w parę cząstek (elektron i pozyton) w obecności jądra.

W zjawisku rozpraszania promieniowania gamma część kwantów zmienia kierunek i energię, co może prowadzić do ich przypadkowego zarejestrowania przez detektor, jeśli geometria pomiaru nie jest odpowiednio dobrana. Powoduje to sztuczne zaniżenie współczynnika osłabienia. Aby temu zapobiec, należy zastosować kolimator – ołowiany walec z wytoczonym we wnętrzu otworem, który formuje wiązkę i ogranicza docieranie rozproszonych fotonów do detektora [1].

# **Układ i metoda pomiarowa**

Nasz układ pomiarowy przedstawiony na **Rys. 1.** składał się z **detektora scyntylacyjnego**, do którego wkładaliśmy „kanapkę” – kolejno od góry: **kolimator** (ołowiany walec z wytoczonym we wnętrzu otworem)**, absorbent, kolimator** taki sam jak pierwszy oraz **źródło promieniowania**, czyli w naszym przypadku **137Cs** (cez).



**Rys. 1.** Skład „kanapki”, która znajdowała się w detektorze scyntylacyjnym – od góry:   
(a) kolimator, (c) absorbent, (a) kolimator i (b) cez. [opracowanie własne]

**Napięcie pracy:**

* Vmin: 0,25 V
* Vmax: 0,35 V

**Absorbenty, które używaliśmy to różnej grubości:**

* Cu (miedź)
* Pb (ołów)
* Al (aluminium)

Grubość każdego z absorbentów mierzyliśmy za pomocą suwmiarki noniuszowej.

Na początku włożyliśmy kolimatory (a) oraz cez (b) do detektora. Między kolimatorami należało zostawić tyle miejsca, żeby najgrubszy absorbent mógł się tam zmienić, żeby usprawnić wymianę absorbentów. Najpierw zrobiliśmy pomiar tła - 5 pomiarów - każdy trwał 1 minutę.

Następnie wykonaliśmy pomiary dla układu z różnej grubości absorbentami (c). Dla każdej grubości pomiar trwał 30 sekund i robiliśmy pomiar od najcieńszego do najgrubszego absorbentu – kolejno miedzi, ołowiu i aluminium.

# **Wyniki pomiarów, opracowanie wyników.**

W celu znalezienia średniej grubości każdego z absorbentów, każdy z nich mierzyliśmy 5 razy w różnych miejscach, co pozwoliło nam uśrednić grubość absorbentu, przez który przechodziła wiązka promieniowania. W **Tabeli 1.** przedstawiliśmy wyniki każdego z pomiarów, materiały absorbentów oraz pomiar natężenia, który zwracał nam program dla danej wartości grubości.

**Tabela 1.** Wyniki pomiarów. [opracowanie własne]

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Nr.** | **Grubość 1 [mm]** | **Grubość 2 [mm]** | **Grubość 3 [mm]** | **Grubość 4 [mm]** | **Grubość 5 [mm]** | **Średnia grubość [mm]** | **Pomiar** | **Materiał** |
| **1** | 2,00 | 2,00 | 1,95 | 2,05 | 1,90 | 1,98 | 3445 | Cu |
| **2** | 5,00 | 4,90 | 4,95 | 4,90 | 5,05 | 4,96 | 3059 | Cu |
| **3** | 7,15 | 7,10 | 7,00 | 7,05 | 7,10 | 7,08 | 2591 | Cu |
| **4** | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,05 | 10,09 | 2109 | Cu |
| **5** | 12,00 | 12,10 | 12,15 | 12,00 | 12,15 | 12,08 | 1914 | Cu |
| **6** | 15,20 | 15,30 | 15,10 | 15,15 | 15,20 | 15,19 | 1598 | Cu |
| **7** | 17,00 | 17,15 | 17,15 | 17,10 | 17,10 | 17,10 | 1475 | Cu |
| **8** | 20,10 | 20,10 | 20,10 | 20,05 | 20,15 | 20,10 | 1240 | Cu |
| **9** | 2,20 | 2,30 | 2,40 | 2,25 | 2,40 | 2,31 | 3188 | Pb |
| **10** | 5,20 | 5,20 | 5,10 | 5,10 | 5,10 | 5,14 | 2324 | Pb |
| **11** | 7,05 | 7,05 | 7,00 | 7,00 | 7,00 | 7,02 | 1862 | Pb |
| **12** | 9,95 | 10,00 | 9,90 | 9,85 | 9,90 | 9,92 | 1350 | Pb |
| **13** | 11,65 | 12,00 | 12,00 | 11,95 | 11,95 | 11,91 | 1117 | Pb |
| **14** | 14,95 | 14,90 | 14,95 | 14,90 | 14,85 | 14,91 | 730 | Pb |
| **15** | 17,05 | 17,10 | 17,05 | 17,00 | 17,00 | 17,04 | 574 | Pb |
| **16** | 20,05 | 20,05 | 20,05 | 20,00 | 20,05 | 20,04 | 432 | Pb |
| **17** | 1,00 | 1,10 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,02 | 3835 | Al |
| **18** | 2,00 | 1,95 | 2,00 | 1,95 | 2,00 | 1,98 | 3797 | Al |
| **19** | 3,10 | 3,05 | 3,05 | 3,00 | 3,05 | 3,05 | 3808 | Al |
| **20** | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,10 | 5,10 | 5,04 | 3564 | Al |
| **21** | 7,00 | 7,00 | 7,00 | 7,00 | 7,00 | 7,00 | 3401 | Al |
| **22** | 9,95 | 9,90 | 9,90 | 9,95 | 9,95 | 9,93 | 3244 | Al |
| **23** | 11,85 | 11,85 | 11,85 | 11,85 | 11,75 | 11,83 | 3068 | Al |
| **24** | 14,85 | 14,85 | 14,80 | 14,85 | 14,85 | 14,84 | 3057 | Al |
| **25** | 17,00 | 16,95 | 16,95 | 16,90 | 16,90 | 16,94 | 2844 | Al |
| **26** | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 20,00 | 2824 | Al |

Pomiar zarejestrowany z numerem 19 nieznacznie odbiega od trendu z jakim idą wartości zliczeń promieniowania. Dla każdego materiału widać tendencje spadkową dla wartości zliczeń promieniowania wraz z wzrostem grubości absorbentu. Wartość pomiaru 19 jest większa wartość pomiaru 18 który został zmierzony dla cieńszego materiału, i jednocześnie jest większa od pomiaru następującego po nim tj. pomiaru 20.

Zaobserwowana rozbieżność jest bardzo nieznaczna. Może być to spowodowane niepoprawnym ustawieniem próbki, błędami pomiaru, niedoskonałością sprzętu (ze względu na starość i zużycie), różnice w gęstości absorbentu.

Pomiar w powyższej tabeli to:

(2)

Gdzie:

N(d) – liczba zliczeń promieniowania po przejściu przez absorbent o grubości d, po odjęciu wpływu tła

Na - liczba zliczeń promieniowania gamma rejestrowana bez żadnego absorbentu (czyli tzw. *natężenie początkowe*)

⟨Nt​⟩ – średnia liczba zliczeń **promieniowania tła**, czyli zliczenia zarejestrowane przez detektor bez źródła promieniowania

Niepewność pomiarowa N(d) do krzyża błędu dla wykresu logarytmiczno – liniowego wynosi [1]:

(3)

Zależność wartości zliczeń promieniowania po przejściu przez absorbent (opisane wzorem (2)) od grubości absorbentu jest zależnością liniową [2]. W związku z tym do wykresów przedstawiających te zależności zostanie dołączona prosta o postaci *y = ax + b* wyznaczona metodą najmniejszych kwadratów (MNK).

Do wyznaczenia parametrów metodą MNK wykorzystana została funkcja REGLINP w aplikacji MS Excel. Funkcja ta dla danych wartości xi (grubość absorbentu) oraz yi (wartość zliczeń promieniowania) dla i ∈ <1,n> gdzie n = ilość wykonanych pomiarów absorbentów zwraca wartości:

a = wartość współczynnika kierunkowego równania

b = wartość wyrazu wolnego równania

Sa = wartość niepewności współczynnika kierunkowego

Sb = wartość niepewności wyrazu wolnego

Podane wyżej wartości zależą od materiału badanego absorbentu oraz z typu wykresu na jakim ta zależność jest ukazywana (czy liniowo – liniowy czy logarytmiczno – liniowy). Poszczególne wartości dla danych absorbentów przedstawione będą bezpośrednio przed danymi wykresami.

Wykresy:

**Wykres liniowo – liniowy dla miedzi (Cu):**

Dane prostej dopasowanej wyznaczonej z MDK:

Wzór prostej: y = -124,09641x + 3552,9325

Sa = 9,1429964

Sb = 114,44913

Jak widać na **Rys.2**. przepuszczalność promieniowania gamma przez absorbent miedziany jest umiarkowana w porównaniu do pozostałych dwóch badanych materiałów (patrz **Rys.4**. – Pb, oraz **Rys.6**. – Al). Pierwiastek miedzi posiada większą liczbę atomową niż aluminium ale mniejszą niż ołów. Potwierdza to wartość przepuszczalności promieniowania dla absorbentów o grubości 20 mm, dla których to absorbent ołowiany przepuszcza najmniej promieniowania, natomiast absorbent aluminiowy najwięcej.

**Rys. 2.** Zależność N(d) od grubości **miedzi.** [opracowanie własne]

**Wykres logarytmiczno – liniowy dla miedzi (Cu):**

Dane prostej dopasowanej wyznaczonej z MDK:

Wzór prostej: y = -0,057735x + 8,2689018

Sa = 0,0015432

Sb = 0,0193179

Na **Rys. 3.** poniżej przedstawiliśmy zależność N(d) od grubości miedzi w skali logarytmiczno – liniowej.

**Rys. 3.** Zależność ln(N(d)) od grubości **miedzi.** [opracowanie własne]

**Wykres liniowo – liniowy dla ołowiu (Pb):**

Dane prostej dopasowanej wyznaczonej z MDK:

Wzór prostej: y = -150,7354x + 3110,6787

Sa = 17,190338

Sb = 213,63464

Przy 20 mm grubości absorbentu z ołowiu, wartość promieniowania przechodząca wynosi jedynie 432 – patrz **Rys. 4**. Wynika to z tego, że ołów bardzo mocno tłumi promieniowanie gamma. Jest to spowodowane wysoką liczbą atomową (Z). Oznacza to, że w jądrze atomu występuje wiele protonów i tym samym jest większa szansa na wystąpienie rozpraszania Komptonowskiego, zjawiska fotoelektrycznego czy zjawiska tworzenia się par elektron – pozyton [1].

**Rys. 4.** Zależność N(d) od grubości **ołowiu.** [opracowanie własne]

**Wykres logarytmiczno – liniowy dla ołowiu(Pb):**

Dane prostej dopasowanej wyznaczonej z MDK:

Wzór prostej: y = -0,114612x + 8,3383868

Sa = 0,0018323

Sb = 0,0227706

Na **Rys. 5.** poniżej przedstawiliśmy zależność N(d) od grubości ołowiu w skali logarytmiczno – liniowej.

**Rys. 5.** Zależność ln(N(d)) od grubości **ołowiu.** [opracowanie własne]

**Wykres liniowo – liniowy dla aluminium (Al):**

Dane prostej dopasowanej wyznaczonej z MDK:

Wzór prostej: y = -58,471623x + 3879,9755

Sa = 4,0723071

Sb = 45,244924

Z **Rys. 6.** można odczytać, że wartości promieniowania gamma przechodzące przez absorbent aluminiowy utrzymują się na wysokich wartościach (w porównaniu do poprzednich materiałów) zarówno przy małych grubościach absorbentów jak i dużych. Wynika to z tego, że aluminium jest najlżejszym pierwiastkiem z trzech badanych w trakcie laboratorium. Posiada on najmniejszą liczbę atomową i tym samym najsłabiej blokuje promieniowanie gamma.

**Rys. 6.** Zależność N(d) od grubości **aluminium**. [opracowanie własne]

**Wykres logarytmiczno – liniowy dla aluminium (Al):**

Dane prostej dopasowanej wyznaczonej z MDK:

Wzór prostej: y = -0,0176678x + 8,2705526

Sa = 0,001082

Sb = 0,0120217

Na **Rys. 7.** poniżej przedstawiliśmy zależność N(d) od grubości aluminium w skali logarytmiczno – liniowej.

**Rys. 7.** Zależność ln(N(d)) od grubości **aluminium**. [opracowanie własne]

# **Rachunek niepewności**

4.1. Rachunek niepewności, dla pomiarów ręcznych, grubości absorbentów wykonywanych przy użyciu suwmiarki noniuszowej.

4.1.1. Niepewność standardowa typu A (zależna od absorbentu) [2]:

(4)

Gdzie:

n = liczba pomiarów

ss = średnia arytmetyczna pomiarów serii dla danego absorbentu (grubość i materiał)

si =kolejne pomiary w serii dla danego absorbentu

W **Tabeli 2., Tabeli 3.** oraz w **Tabeli 4.** przedstawiliśmy niepewności typu A dla absorbentów kolejno: miedzianych (Cu), ołowianych (Pb) i aluminiowych (Al).

**Tabela 2.** Tabela niepewności typu A dla absorbentów miedzianych (Cu). [opracowanie własne]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tabela niepewności typu A dla absorbentów miedzianych (Cu)** | | | |
| **Nr** | **Grubość nominalna [mm]** | **Średnia grubość [mm]** | **Niepewność typu A [mm]** |
| **1** | 2,00 | 1,98 | 0,026 |
| **2** | 5,00 | 4,96 | 0,030 |
| **3** | 7,00 | 7,08 | 0,026 |
| **4** | 10,00 | 10,09 | 0,010 |
| **5** | 12,00 | 12,08 | 0,034 |
| **6** | 15,00 | 15,19 | 0,034 |
| **7** | 17,00 | 17,10 | 0,028 |
| **8** | 20,00 | 20,10 | 0,016 |

**Tabela 3.** Tabela niepewności typu A dla absorbentów ołowianych (Pb). [opracowanie własne]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tabela niepewności dla absorbentów ołowianych (Pb)** | | | |
| **Nr** | **Grubość Nominalna** | **Średnia grubość [mm]** | **Niepewność typu A** |
| **1** | 2 | 2,31 | 0,04 |
| **2** | 5 | 5,14 | 0,025 |
| **3** | 7 | 7,02 | 0,013 |
| **4** | 9 | 9,92 | 0,026 |
| **5** | 12 | 11,91 | 0,066 |
| **6** | 14 | 14,91 | 0,019 |
| **7** | 17 | 17,04 | 0,019 |
| **8** | 20 | 20,04 | 0,011 |

**Tabela 4.** Tabela niepewności typu A dla absorbentów aluminiowych (Al). [opracowanie własne]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tabela niepewności dla absorbentów aluminiowych (Al)** | | | |
| **Nr** | **Grubość 5 [mm]** | **Średnia grubość [mm]** | **Niepewność typu A** |
| **1** | 1 | 1,02 | 0,02 |
| **2** | 2 | 1,98 | 0,013 |
| **3** | 3,05 | 3,05 | 0,016 |
| **4** | 5,1 | 5,04 | 0,025 |
| **5** | 7 | 7 | 0 |
| **6** | 9,95 | 9,93 | 0,013 |
| **7** | 11,75 | 11,83 | 0,02 |
| **8** | 14,85 | 14,84 | 0,01 |
| **9** | 16,9 | 16,94 | 0,019 |
| **10** | 20 | 20 | 0 |

4.1.2. Niepewność standardowa typu B (zależna od suwmiarki) [2]:

(5)

Gdzie:

∆ s = 0,05mm = niepewność wzorcowania – najmniejsza podziałka suwmiarki noniuszowej

∆ se = 0,05 mm = niepewność eksperymentatora - przyjęto najmniejszą podziałkę suwmiarki noniuszowej jaką był w stanie odczytać eksperymentator [3].

Niepewność typu b jest stała i niezmienna dla wszystkich absorbentów i wynosi ona:

4.1.3. Niepewność całkowita [2]:

(6)

Niepewności całkowite dla danych pomiarów zostały przedstawione w **Tabeli 5**., **Tabeli 6.** oraz w **Tabeli 7**.

4.1.4. Tabele pomiarów absorbentów wraz z ich niepewnościami:

**Tabela 5.** Tabela niepewności dla absorbentów miedzianych (Cu). [opracowanie własne]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tabela niepewności dla absorbentów miedzianych (Cu)** | | | | | |
| **Nr** | **Grubość nominalna [mm]** | **Średnia grubość [mm]** | **Niepewność typu A [mm]** | **Niepewność typu B [mm]** | **Niepewność Całkowita [mm]** |
| **1** | 2,00 | 1,98 | 0,026 | 0,041 | 0,049 |
| **2** | 5,00 | 4,96 | 0,030 | 0,051 |
| **3** | 7,00 | 7,08 | 0,026 | 0,049 |
| **4** | 10,00 | 10,09 | 0,010 | 0,043 |
| **5** | 12,00 | 12,08 | 0,034 | 0,054 |
| **6** | 15,00 | 15,19 | 0,034 | 0,054 |
| **7** | 17,00 | 17,10 | 0,028 | 0,05 |
| **8** | 20,00 | 20,10 | 0,016 | 0,045 |

**Tabela 6.** Tabela niepewności dla absorbentów ołowianych (Pb). [opracowanie własne]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tabela niepewności dla absorbentów ołowianych (Pb)** | | | | | |
| **Nr** | **Grubość Nominalna** | **Średnia grubość [mm]** | **Niepewność typu A** | **Niepewność typu B** | **Niepewność Całkowita** |
| **1** | 2,00 | 2,31 | 0,040 | 0,041 | 0,058 |
| **2** | 5,00 | 5,14 | 0,025 | 0,049 |
| **3** | 7,00 | 7,02 | 0,013 | 0,044 |
| **4** | 9,00 | 9,92 | 0,026 | 0,049 |
| **5** | 12,00 | 11,91 | 0,066 | 0,078 |
| **6** | 14,00 | 14,91 | 0,019 | 0,046 |
| **7** | 17,00 | 17,04 | 0,019 | 0,046 |
| **8** | 20,00 | 20,04 | 0,011 | 0,043 |

**Tabela 7**. Tabela niepewności dla absorbentów aluminiowych (Al). [opracowanie własne]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tabela niepewności dla absorbentów aluminiowych (Al)** | | | | | |
| **Nr** | **Grubość 5 [mm]** | **Średnia grubość [mm]** | **Niepewność typu A** | **Niepewność typu B** | **Niepewność Całkowita** |
| **1** | 1,00 | 1,02 | 0,020 | 0,041 | 0,046 |
| **2** | 2,00 | 1,98 | 0,013 | 0,044 |
| **3** | 3,05 | 3,05 | 0,016 | 0,045 |
| **4** | 5,10 | 5,04 | 0,025 | 0,049 |
| **5** | 7,00 | 7,00 | 0,000 | 0,041 |
| **6** | 9,95 | 9,93 | 0,013 | 0,044 |
| **7** | 11,75 | 11,83 | 0,020 | 0,046 |
| **8** | 14,85 | 14,84 | 0,010 | 0,043 |
| **9** | 16,90 | 16,94 | 0,019 | 0,046 |
| **10** | 20,00 | 20,00 | 0,000 | 0,041 |

4.2. Rachunek niepewności dla pomiarów osłabienia promieniowania gamma przy przejściu przez absorbent.

Niepewność dla pomiarów promieniowania γ przy przejściu przez absorbent wyraża się wzorem [1]:

(7)

Została ona przedstawiona w **Tabeli 8.** Poniżej dla zmierzonych grubości różnych absorbentów.

**Tabela 8**. Niepewność pomiarów osłabienia promieniowania γ. [opracowanie własne]

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Niepewność pomiarów osłabienia promieniowania γ** | | | | | | |
| Grubość nominalna | N(d) = Na - <Nt> | | | Niepewność ΔN(d) | | |
| Miedź | Ołów | Aluminium | Miedź | Ołów | Aluminium |
| 1 | ------------ | ------------ | 3835 | ------------ | ------------ | 62 |
| 2 | 3445 | 3188 | 3797 | 59 | 57 | 62 |
| 3 | ------------ | ------------ | 3808 | ------------ | ------------ | 62 |
| 5 | 3059 | 2324 | 3564 | 56 | 49 | 60 |
| 7 | 2591 | 1862 | 3401 | 51 | 44 | 59 |
| 10 | 2109 | 1350 | 3244 | 46 | 37 | 57 |
| 12 | 1914 | 1117 | 3068 | 44 | 34 | 56 |
| 15 | 1598 | 730 | 3057 | 40 | 28 | 56 |
| 17 | 1475 | 574 | 2844 | 39 | 24 | 54 |
| 20 | 1240 | 432 | 2824 | 36 | 21 | 54 |

Ponadto, w **Tabeli 9.** przedstawiliśmy niepewności pomiarów osłabienia promieniowania γ, których używamy w wykresach logarytmiczno – liniowych.

**Tabela 9.** Niepewność pomiarów osłabienia promieniowania γ dla wykresu logarytmiczno – liniowego. [opracowanie własne]

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Niepewność pomiarów (wykres log.) osłabienia promieniowania γ** | | | | | | |
| Grubość nominalna | N(d) = Na - <Nt> | | | Niepewność pomiarowa dla wykresu logarytmiczno – liniowego ΔNl(d) | | |
| Miedź | Ołów | Aluminium | Miedź | Ołów | Aluminium |
| 1 | ------------ | ------------ | 3835 | ------------ | ------------ | 0,017 |
| 2 | 3445 | 3188 | 3797 | 0,018 | 0,018 | 0,017 |
| 3 | ------------ | ------------ | 3808 | ------------ | ------------ | 0,017 |
| 5 | 3059 | 2324 | 3564 | 0,019 | 0,021 | 0,017 |
| 7 | 2591 | 1862 | 3401 | 0,020 | 0,024 | 0,018 |
| 10 | 2109 | 1350 | 3244 | 0,022 | 0,028 | 0,018 |
| 12 | 1914 | 1117 | 3068 | 0,23 | 0,030 | 0,019 |
| 15 | 1598 | 730 | 3057 | 0,026 | 0,038 | 0,019 |
| 17 | 1475 | 574 | 2844 | 0,027 | 0,042 | 0,019 |
| 20 | 1240 | 432 | 2824 | 0,029 | 0,049 | 0,019 |

# **Wnioski i podsumowanie.**

W wyniku analizy pomiarów, w których zastosowano metodę regresji liniowej, udało się oszacować wartość początkowego natężenia promieniowania oraz wyznaczyć współczynniki absorpcji dla badanego materiału. Ze względu na promieniowanie β, niemożliwe było bezpośrednie określenie ​. Dlatego też, poprzez analizę logarytmowaną danych, uzyskano estymowane wartości , które odpowiadają ​ po cofnięciu transformacji logarytmicznej.

Zastosowana metoda polegała na wyznaczeniu wyrazu wolnego równania regresji, co po odwrotnej transformacji pozwoliło na oszacowanie natężenia początkowego promieniowania:

* Dla miedzi uzyskano
* Dla ołowiu uzyskano
* Dla aluminium uzyskano

Powyższe wartości dla miedzi i aluminium są zbliżone, natomiast dla ołowiu wartość odbiega. Może to wynikać z wielu powodów takich jak błędy pomiarowe czy różnice w zdolności absorpcyjnej materiałów.

Współczynnikom absorbcji μ (odpowiadające współczynnikom „a” w równaniach) są następujące:

* Dla miedzi uzyskano μ = - 0,57735 [cm⁻¹]
* Dla ołowiu uzyskano μ = - 1,14612 [cm⁻¹]
* Dla aluminium uzyskano μ = - 0,176678 [cm⁻¹]

Im większy |μ|, tym większą wartość promieniowania pochłania absorbent, co widać w naszym przypadku – w największym stopniu pochłania ołów, a w najmniejszym aluminium.

Przedstawiony poniżej **Rys. 8**. przedstawia zależność współczynnika absorbcji μ od energii kwantu gamma dla ołowiu (oraz jego składowych) oraz dla jego trzech zależności – zjawisko fotoelektryczne, zjawisko tworzenia par elektron-pozyton i rozproszenie komptonowskie.

Dla ołowiu współczynnik absorbcji μ może osiągnąć większe wartości niż dla aluminium lub miedzi. Przy wysokich energiach kwantu (200 – 500 MeV) współczynnika absorbcji μ dla aluminium lub miedzi nie osiąga wartości powyżej 0,6 [cm-1], natomiast dla ołowiu przekracza współczynnik absorbcji μ = 1 [cm-1]. Jest to ściśle związane z liczbą atomową tych pierwiastków. Im większa liczba atomowa, a tym samym wyższy współczynnik absorbcji, tym mniejsza ilość promieniowania przedostaje się przez absorbent.

Obraz zawierający tekst, diagram, linia

Zawartość wygenerowana przez sztuczną inteligencję może być niepoprawna.

**Rys. 8.** Zależność współczynnika absorbcji μ od energii kwantu γ dla miedzi, ołowiu i aluminium.

Cez emituje promieniowanie gamma o energii o 0,662 MeV (wartość tablicowa) [4], co mniej więcej pokrywa się z wartością, którą możemy odczytać z wykresu dla naszego μ.

W celu zwiększenia dokładności wyników pomiarowych, zasadne byłoby wykonanie serii pomiarów dla każdego rodzaju absorbentu o określonej grubości, zamiast ograniczania się do pojedynczych odczytów. Podejście to umożliwiłoby redukcję wpływu fluktuacji statystycznych oraz zminimalizowanie błędów przypadkowych. Seria pomiarów została przeprowadzona w odniesieniu do promieniowania tła, przy czym uzyskane wartości cechują się istotnym rozrzutem względem średniej arytmetycznej, co potwierdza konieczność stosowania uśredniania wyników.

Ponadto, aby jeszcze bardziej zwiększyć precyzję i wiarygodność pomiarów można by:

* **zastosować mikrometr** – pozwala na dokładniejszy pomiar (dokładność do 0,01 mm),
* **sprawdzić kalibrację suwmiarki** – przed pomiarami warto zweryfikować, czy suwmiarka daje poprawne wskazania (np. przez pomiar wzorca),
* **wydłużyć czas pomiaru** – zwiększa statystyczną pewność wyników (np. zliczenia przez 10 minut zamiast 30 sekund),
* **stworzyć stabilne warunku układu pomiarowego** – np. zapewnienie stałej temperatury, eliminacja wibracji, ekranowanie od zakłóceń elektrycznych.

Bibliografia:

1. Jolanta Gałązka – Friedman, „Badanie osłabienia promieniowania gamma przy przechodzeniu przez materię”, PW, 28 styczeń 2011
2. Centralne Laboratorium Fizyki, „Niepewności pomiarowe”, Wydział Fizyki PW
3. Katarzyna Grebieszkow, „Obliczanie niepewności pomiarów na podstawie Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)”, Wydział Fizyki PW, październik 2024
4. Wojciech Głuszewski, Zbigniew P. Zagórski, Grażyna Przybytniak, Zbigniew Zimek, „Modyfikacja radiacyjna polimerów”, październik 2014

Spis treści

[**1.** **Wstęp** 2](#_Toc195218173)

[**2.** **Układ i metoda pomiarowa** 3](#_Toc195218174)

[**3.** **Wyniki pomiarów, opracowanie wyników.** 4](#_Toc195218175)

[**4.** **Rachunek niepewności** 12](#_Toc195218176)

[**5.** **Wnioski i podsumowanie.** 17](#_Toc195218177)

Spis ilustracji:

[**Rys. 1.** Skład „kanapki”, która znajdowała się w detektorze scyntylacyjnym – od góry: (a) kolimator, (c) absorbent, (a) kolimator i (b) cez. [opracowanie własne] 3](#_Toc195228788)

[**Rys. 2.** Zależność N(d) od grubości **miedzi.** [opracowanie własne] 6](#_Toc195228789)

[**Rys. 3.** Zależność ln(N(d)) od grubości **miedzi.** [opracowanie własne] 7](#_Toc195228790)

[**Rys. 4.** Zależność N(d) od grubości **ołowiu.** [opracowanie własne] 8](#_Toc195228791)

[**Rys. 5.** Zależność ln(N(d)) od grubości **ołowiu.** [opracowanie własne] 9](#_Toc195228792)

[**Rys. 6.** Zależność N(d) od grubości **aluminium**. [opracowanie własne] 10](#_Toc195228793)

[**Rys. 7.** Zależność ln(N(d)) od grubości **aluminium**. [opracowanie własne] 11](#_Toc195228794)

[**Rys. 8.** Zależność współczynnika absorbcji μ od energii kwantu γ dla miedzi, ołowiu i aluminium. 18](#_Toc195228795)

Spis tabel:

[**Tabela 1.** Wyniki pomiarów. [opracowanie własne] 4](#_Toc195227634)

[**Tabela 2.** Tabela niepewności typu A dla absorbentów miedzianych (Cu). [opracowanie własne] 12](#_Toc195227635)

[**Tabela 3.** Tabela niepewności typu A dla absorbentów ołowianych (Pb). [opracowanie własne] 13](#_Toc195227636)

[**Tabela 4.** Tabela niepewności typu A dla absorbentów aluminiowych (Al). [opracowanie własne] 13](#_Toc195227637)

[**Tabela 5.** Tabela niepewności dla absorbentów miedzianych (Cu). [opracowanie własne] 14](#_Toc195227638)

[**Tabela 6.** Tabela niepewności dla absorbentów ołowianych (Pb). [opracowanie własne] 15](#_Toc195227639)

[**Tabela 7**. Tabela niepewności dla absorbentów aluminiowych (Al). [opracowanie własne] 15](#_Toc195227640)

[**Tabela 8**. Niepewność pomiarów osłabienia promieniowania γ. [opracowanie własne] 16](#_Toc195227641)

[**Tabela 9.** Niepewność pomiarów osłabienia promieniowania γ dla wykresu logarytmiczno – liniowego. [opracowanie własne] 16](#_Toc195227642)