

Badanie osłabienia promieniowania gamma przy przechodzeniu przez materię

Maksymilian Nguyen

CLF, Ćwiczenie 11, Kwiecień 2023

Streszczenie

W ćwiczeniu za pomocą detektora scyntylacyjnego zmierzono ilość fotonów przechodzących przez absorbenty ołowiane, aluminiowe i miedziane w czasie. Fotony te pochodziły z rozpadu promieniotwórczego beta dla Cezu. Na podstawie pomiarów wyznaczono współczynniki osłabienia promieniowania gamma dla absorbentów. Otrzymane wyniki są zgodne z wartościami tablicowymi.

1. Wstęp

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika osłabienia promieniowania gamma μ dla absorbentów miedzianych, ołowianych i aluminiowych.

Wiązki kwantów gamma powstają w wyniku rozpadów α i β różnych izotopów promieniotwórczych, w procesie wyzbywania się przez jądro nadmiaru energii (energii wzbudzenia) [1]. W ćwiczeniu użyto jako źródła promieniowania izotopu Cezu 137. Energia kwantów dla tego izotopu dla rozpadu β to 0.66 MeV.

Natężenie wiązki promieniowania gamma podczas przechodzenia przez materię ulega osłabieniu. Natężenie wiązki po przejściu przez absorbent wyraża się wzorem (1)[1]:

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

Gdzie x to grubość absorbentu, I_0 to początkowe natężenie wiązki, μ to współczynnik osłabienia promieniowania gamma.

Natężenia I_0 , I można wyrazić jako stosunek ilości fotonów przepływających przez określoną powierzchnię do czasu przepływu. Jako że powierzchnia detektora w ćwiczeniu jest stała, a czas pomiaru ustalony, wzór (1) można sprowadzić do postaci (2):

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

Gdzie $N(x)$ to ilość fotonów które przeszły przez absorbent o grubości x , a N_0 to początkowa ilość fotonów z źródła.

W ćwiczeniu zmierzono grubości x absorbentów i liczbę fotonów N po przejściu przez ten absorbent. Nie można bezpośrednio wyznaczyć wartości N_0 , ponieważ w wiązce gamma znajdują się także cząstki β . Dlatego aby wyznaczyć współczynnik μ , posłużyono się metodą najmniejszych kwadratów (MNK).

Po zlogarytmowaniu obustronnie wzoru (2) otrzymamy zależność (3):

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

Która jest wyrażeniem postaci $y = ax + b$. Dokonując serii pomiarów wartości $N(x)$ dla różnej grubości absorbentów x , można z pomocą MNK znaleźć parametr $|a|$ któremu odpowiada współczynnik μ i parametr b który odpowiada $\ln(N_0)$ zgodnie z (3), bez konieczności pomiaru wartości N_0 .

2. Metoda przeprowadzenia pomiarów i aparatura

W ćwiczeniu użyto następujących przedmiotów i przyrządów:

- Płytki (absorbenty) ołowiane, miedziane i aluminiowe o różnych grubościach
- Płytki (źródło promieniowania) Cezu 137
- 2 kolimatory
- Domek pomiarowy z podłączonym detektorem scyntylacyjnym
- Komputer z oprogramowaniem do obsługi detektora
- Suwmiarka o dokładności 0.05 mm

Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów w oprogramowaniu wybrano opcję pomiaru 'tła' czyli promieniowania pochodzącego z źródeł innych niż sam izotop Cezu. Potem program podczas pomiarów sam będzie odejmował tę wartość aby uzyskać właściwą ilość kwantów pochodzącej tylko z izotopu.

Następnie wybrano po osiem absorbentów miedzianych i ołowianych o różnej grubości i cztery aluminiowe. Zmierzono ich grubości suwmiarką.

Umieszczono w domku pomiarowym kolejno, od dołu: źródło (izotop Cezu), kolimator 1, absorbent, kolimator 2. Zanotowano grubość i materiał wykonania absorbentu i włączono opcję pomiaru w programie. Po 1 minucie program wypisuje zmierzona ilość kwantów które przeszły przez absorbent. Powtórzono to dla każdego wybranego absorbentu.

3. Wyniki pomiarów

W Tabelach 1, 2, 3 przedstawiono wyniki pomiarów wraz z niepewnościami kolejno dla absorbentów ołowianych, miedzianych i aluminiowych wraz z wartością logarytmu naturalnego z liczby kwantów N .

Ołów	pomiar	x (mm)	u_x (mm)	N	u_N	$\ln(N)$	$u_{\ln(N)}$
	1	2.200	0.065	2505	50	7.826	0.020
	2	5.000	0.065	1718	41	7.449	0.024
	3	7.050	0.065	1415	38	7.255	0.027
	4	9.800	0.065	1011	32	6.919	0.031
	5	11.900	0.065	818	29	6.707	0.035
	6	14.750	0.065	592	24	6.384	0.041
	7	16.900	0.065	480	22	6.174	0.046
	8	20.000	0.065	295	17	5.687	0.058

Tabela 1: Wyniki pomiarów dla absorbentu ołowianego z niepewnościami

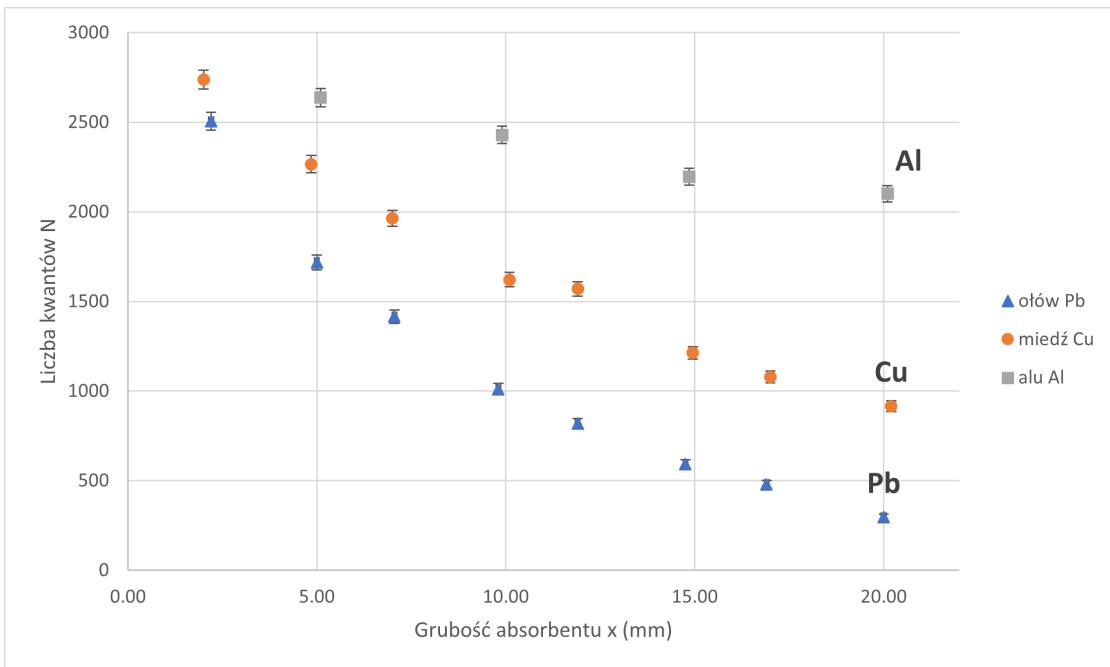
Miedź	pomiar	x (mm)	u_x (mm)	N	u_N	$\ln(N)$	$u_{\ln(N)}$
	1	2.000	0.065	2737	52	7.915	0.019
	2	4.850	0.065	2266	48	7.726	0.021
	3	7.000	0.065	1964	44	7.583	0.023
	4	10.100	0.065	1622	40	7.391	0.025
	5	11.900	0.065	1570	40	7.359	0.025
	6	14.950	0.065	1213	35	7.101	0.029
	7	17.000	0.065	1079	33	6.984	0.030
	8	20.200	0.065	916	30	6.820	0.033

Tabela 2: Wyniki pomiarów dla absorbentu miedzianego z niepewnościami

Aluminium	pomiar	x (mm)	u_x (mm)	N	u_N	$\ln(N)$	$u_{\ln(N)}$
	1	5.100	0.065	2638	51	7.878	0.019
	2	9.900	0.065	2429	49	7.795	0.020
	3	14.850	0.065	2195	47	7.694	0.021
	4	20.100	0.065	2101	46	7.650	0.022

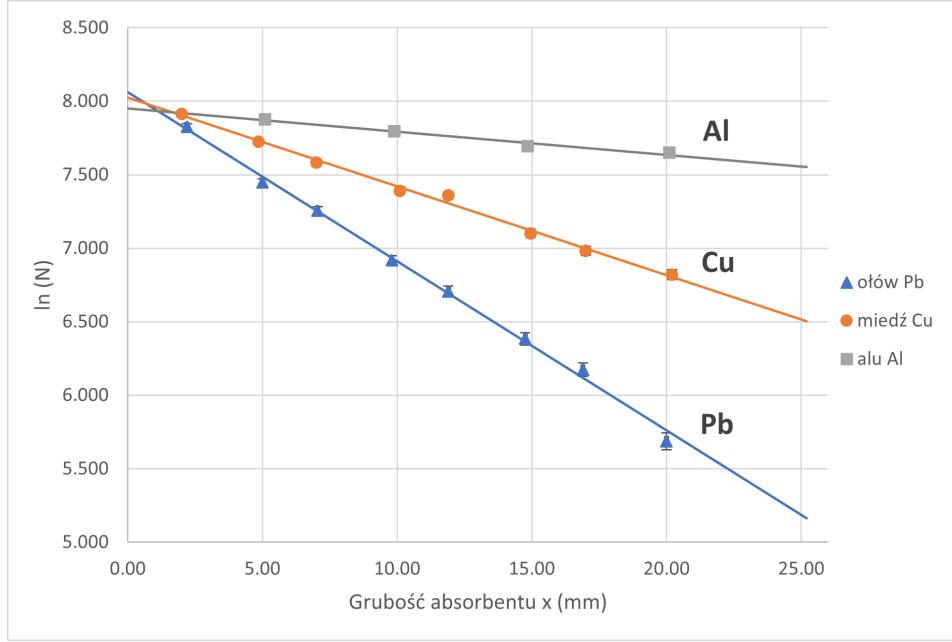
Tabela 3: Wyniki pomiarów dla absorbentu aluminiowego z niepewnościami

Na Rysunku 1 przedstawiono zależność liczby kwantów N od grubości absorbentu x (mm).



Rysunek 1: Zależność liczby kwantów N od grubości absorbentu x (mm) odpowiednio dla absorbentu ołowianego, miedzianego i aluminiowego na podstawie danych z Tabel 1, 2, 3. Niektóre słupki niepewności są zbyt małe aby były widoczne na wykresie.

Na Rysunku 2 przedstawiono zależność logarytmu naturalnego z liczby kwantów N od grubości absorbentu x (mm).



Rysunek 2: Zależność logarytmu naturalnego z liczby kwantów N od grubości absorbentu x (mm) odpowiednio dla absorbentu ołowianego, miedzianego i aluminiowego na podstawie danych z Tabel 1, 2, 3. Niektóre słupki niepewności są zbyt małe aby były widoczne na wykresie. Linie proste postaci $y = ax + b$ zostały uzyskane metodą najmniejszych kwadratów.

Parametry a prostych na Rysunku 2 wyznaczono na podstawie danych z Tabel 1, 2, 3 i wzoru (4):

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w_i x_i y_i - \sum_{i=1}^n w_i x_i \sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w_i x_i^2 - (\sum_{i=1}^n w_i x_i)^2}, \quad (4)$$

Gdzie y_i to kolejne wartości $\ln(N)$, x_i to kolejne wartości x , $w_i = \frac{1}{u_{y_i}^2}$ gdzie u_{y_i} to niepewność wartości $\ln(N)$, n to liczba pomiarów.

Parametry b prostych na Rysunku 2 wyznaczono na podstawie danych z Tabel 1, 2, 3 i wzoru (5):

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i^2 \sum_{i=1}^n w_i y_i - \sum_{i=1}^n w_i x_i \sum_{i=1}^n w_i x_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w_i x_i^2 - (\sum_{i=1}^n w_i x_i)^2}. \quad (5)$$

Wzory (4) i (5) nie uwzględniają niepewności wartości x .

3.1. Analiza niepewności

Niepewność grubości absorbentu x obliczono ze wzoru (6):

$$u_x = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_E}{\sqrt{3}}\right)^2}, \quad (6)$$

Gdzie Δx to niepewność wzorcowania, Δx_E niepewność eksperymentatora. Δx przyjęto jako 0.05 mm, zgodnie z najmniejszą podziałką suwmiarki. Δx_E przyjęto 0.1 mm ponieważ taka była największa rozbieżność pomiędzy pomiarami których dokonywały różne osoby na tym samym absorbencie.

Niepewność liczby kwantów N obliczono ze wzoru (7):

$$u_N = \sqrt{N}, \quad (7)$$

Co jest uzasadnione rozkładem Poissona.

Niepewność wyrażenia $f = \ln(N)$ została obliczona z prawa propagacji niepewności (8):

$$u_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial N}\right)^2 (u_N)^2} = \frac{\sqrt{N}}{N}. \quad (8)$$

Niepewność parametrów a prostych na Rysunku 2 obliczono na podstawie (9):

$$u_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i}{\sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w_i x_i^2 - (\sum_{i=1}^n w_i x_i)^2}}, \quad (9)$$

Natomiast niepewność parametrów b prostych na Rysunku 2 obliczono na podstawie (10):

$$u_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i (x_i)^2}{\sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w_i x_i^2 - (\sum_{i=1}^n w_i x_i)^2}}, \quad (10)$$

składowe wzorów (9) i (10) zostały objaśnione przy (4).

3.2. Opracowanie wyników

Zgodnie z (3) wartość bezwględna parametrów a prostych wyznaczonych na podstawie (4) równa jest odpowieniem współczynnikom osłabienia promieniowania gamma. Wynoszą one:

- Dla absorbentu ołowianego $\mu_{Pb} = 0.1150$ (0.0021) 1/mm,
- Dla absorbentu miedzianego $\mu_{Cu} = 0.0604$ (0.0015) 1/mm,
- Dla absorbentu aluminiowego $\mu_{Al} = 0.0158$ (0.0019) 1/mm.

Jeśli spełniona jest nierówność, zwana testem "3δ" (11):

$$\frac{|\mu_{dosw} - \mu_{tab}|}{u_{\mu_{dosw}}} < 3, \quad (11)$$

gdzie μ_{dosw} to otrzymana w ćwiczeniu wartość współczynnika osłabienia, μ_{tab} to wartość tablicowa współczynnika, $u_{\mu_{dosw}}$ to niepewność wyznaczonego wsp. w ćwiczeniu, to uzyskane doświadczalnie wartości są zgodne z tablicowymi w granicach 3 standardowych odchyleń.

Podczas ćwiczenia zostały podane następujące wartości tablicowe:

- Dla absorbentu ołowianego $\mu = 0.119$ 1/mm,
- Dla absorbentu miedzianego $\mu = 0.060$ 1/mm,
- Dla absorbentu aluminiowego $\mu = 0.017$ 1/mm.

Po podstawieniu tych wartości wraz z otrzymanymi doświadczalnie wartościami do wzoru (11), nierówność jest spełniona dla wszystkich wyznaczonych w ćwiczeniu współczynników. Oznacza to że wyniki są zgodne z wartościami tablicowymi.

4. Podsumowanie i wnioski

W ćwiczeniu zmierzono ilość fotonów przechodzących przez absorbenty ołowiane (Pb), aluminiowe (Al) i miedziane (Cu) o różnych grubościach w czasie. Fotony te pochodziły z rozpadu beta dla izotopu Cezu 137. Na podstawie tych serii pomiarów dopasowano proste za pomocą MNK wyznaczając tym samym współczynniki osłabienia promieniowania gamma: $\mu_{Pb} = 0.1150$ (0.0021) 1/mm, $\mu_{Cu} = 0.0604$ (0.0015) 1/mm, $\mu_{Al} = 0.0158$ (0.0019) 1/mm. Cel ćwiczenia został osiągnięty i na podstawie testu "3 δ " wyniki są zgodne z wartościami tablicowymi.

Głównym czynnikiem który wpłynąłby na poprawę wyników to czas pomiaru. Program podawał wynik po 1 minucie. Można wydłużyć ten okres lub dokonać takich 1 minutowych pomiarów wielokrotnie.

5. Bibliografia

- [1] Jolanta Gałazka-Friedman, „Badanie osłabienia promieniowania gamma przy przechodzeniu przez materię”