

| | | | |
|--|---|-----------------------|---------------|
| Wydział | Dzień poniedziałek 17 ¹⁵ – 19 ³⁰ | | Nr zespołu |
| Matematyki i Nauk Informatycznych | Data | | 18 |
| Nazwisko i Imię: 1. Jasiński Bartosz 2. Sadłocha Adrian 3. Wódkiewicz Andrzej | Ocena z przygotowania | Ocena ze sprawozdania | Ocena Końcowa |
| Prowadzący dr hab. Katarzyna Grebieszko | | Podpis prowadzącego | |

Sprawozdanie nr 6

1. Opis ćwiczenia

Ćwiczenie miało na celu zbadanie stopnia osłabienia promieniowania γ przy przejściu przez 3 różne materiały:

1. Ołów - Pb
2. Miedź - Cu
3. Aluminium - Al

1.1. Wstęp teoretyczny

Promieniowanie γ jest to obok promieniowania α oraz β jedno z trzech podstawowych rodzajów promieniowania występujących w przyrodzie. Jest ono wysokoenergetyczną formą promieniowania elektromagnetycznego, o energii kwantu większej od 50 keV. Podczas zachodzenia przemiany γ następuje pozbycie się nadmiaru energii z jądra atomowego. Liczba nukleonów w jądrze pozostaje bez zmiany. Pozostałe rodzaje promieniowania polegają na emitowaniu cząstek. Odpowiednio dla przemiany α jest to cząstka która składa się z 2 protonów i 2 neutronów, czyli jest jądrem izotopu atomu helu, jest to najmniej przenikliwe promieniowanie z wymienionych. Przemiana β dzieli się na dwa rodzaje β^- oraz β^+ , w pierwszej emitowany jest elektron oraz antyneutrino elektronowe, natomiast w drugim pozyton i neutrino elektronowe. Promieniowanie γ przenika przez materiał, podczas tego procesu oddziałuje ono z elektronami oraz jądrami atomów. Występują 3 zjawiska w których bierze udział cząstka γ :

1. rozpraszanie Komptonowskie
2. zjawisko fotoelektryczne
3. tworzenie par elektron-pozyton

Zjawisko Comptona polega na rozpraszaniu się cząstek promieniowania na elektronach które możemy traktować jako swobodne (znajdują się one na ostatnich orbitach w atomie). Jako rezultat oddziaływania otrzymujemy kwant γ który zmienia kierunek oraz oddaje od część energii dla elektronu.

Zjawisko fotoelektryczne zachodzi pomiędzy cząstkami γ a elektronami znajdującymi się na orbitalach blisko jądra atomowego. Po jego zajściu kwant zostanie pochłonięty i elektron zostanie oderwany od atomu oraz otrzyma pewną energię kinetyczną.

Tworzenie się par elektron-pozyton polega na stworzeniu pary cząstek przy oddziaływaniu kwantów γ z jądrami atomowymi. Energią progową do zajścia tego zjawiska jest 1.02 MeV co jest sumaryczną energią elektronu i pozytonu.

W naszym doświadczeniu jako źródła promieniowania używaliśmy $^{60}_{27}\text{Co}$ którego czas połowicznego rozpadu wynosi 5 lat. Zgodnie ze wzorem

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

gdzie: $N(t)$ – liczba jąder promieniotwórczych, które nie uległy rozpadowi do chwili czasu t , N_0 – liczba jąder promieniotwórczych w chwili czasu $t = 0$, $N(0) = N_0$, λ – stała, zwana stałą rozpadu.

Promieniowanie wysyłane przez naszą próbkę podczas trwania eksperymentu możemy traktować jako stałe ponieważ czas trwania doświadczenia (1h) jest znikomy w porównaniu do 5 lat.

Następujący wzór:

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

gdzie: $I(x)$ – natężenie wiązki po przejściu przez absorbent o grubości x , $I_0 = I(0)$ – początkowe natężenie wiązki, μ – współczynnik osłabienia promieniowania gamma

opisuje związek natężenia wiązki wypromieniowanej po przejściu przez absorbent grubości x . Możemy go wyprowadzić w następujący sposób: Do pochłaniania promieniowania γ w materii przyczyniają się 3 wcześniej wymienione zjawiska. Możemy to zapisać zależnością

$$\mu = \mu_c + \mu_f + \mu_p$$

do sumy włączają się zjawisko Comptona, fotoelektryczne oraz tworzenie się par elektron-pozyton. Jako że zmniejszenie się natężenia kwantów γ jest wprost proporcjonalne do grubości materii przez którą one przeleca możemy zapisać następującą zależność:

$$-dI = B I dx$$

z czego po scałkowaniu otrzymujemy:

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

co daje nam wzór na osłabienie wiązki z współczynnikiem $B = \mu$. W naszym doświadczeniu chcemy właśnie wyznaczyć współczynnik osłabienia μ lecz nie jesteśmy tego w stanie zrobić metodą bezpośrednią (mierząc natężenie początkowe I_0) ponieważ do pomiarów włączają się cząstki powstałe w wyniku przemiany β . By wyznaczyć wspomniany współczynnik posłużymy się metodą najmniejszych kwadratów w następujący sposób:

Logarytmujemy obie strony wyznaczonego wzoru na osłabienie promieniowania otrzymując:

$$\ln(I) = \ln(I_0) - \mu x$$

teraz możemy dokonać podstawienia $\ln(I) = y$ oraz $\ln(I_0) = b$ i $\mu = a$ dzięki czemu otrzymujemy równanie prostej:

$$y = ax + b$$

Z czego po przeprowadzeniu serii pomiarów możemy wyznaczyć wspomniany wcześniej współczynnik

1.2. Układ pomiarowy

Do przeprowadzenia ćwiczenia posłużono się układem pomiarowym, przedstawionym na rysunku 3. Próbka umieszczona w domku osłonowym wysyła promieniowanie które jest formowane przy przejściu przez kolimator, daje trafia ono na absorbent o zadanej grubości. Po przejściu przez absorbent zostaje zliczony przez detektor który wysyła informację do komputera. Kolimator jest przydatny w celu uformowania wiązki, w przeciwnym razie gdyby kwanty γ mogły lecieć w dowolnych kierunkach trafiały one by w takie części absorbenta w których pod wpływem rozpraszania (w którym następuje zmiana kąta) trafiały by do detektora i sztucznie zwiększały ilość zliczeń, przez co mielibyśmy zaburzony współczynnik μ .

2. Pomiary i obliczenia

2.1. Pomiary grubości absorbentów

Na początku ćwiczenia otrzymaliśmy listę ze wcześniej wykonanymi pomiarami grubości absorbentów. Skorzystaliśmy z następujących wzorów w celu wyznaczenia niepewności pomiarowych:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$$

gdzie: $S_{\bar{x}}$ - niepewność typu A, $N = 10$, $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{10}$.

Natomiast niepewność pomiaru z uwzględnieniem niepewności eksperymentatora

$$U_{\bar{x}} = \sqrt{S_{\bar{x}}^2 + \frac{(\Delta x)^2}{3} + \frac{(\Delta x_E)^2}{3}}$$

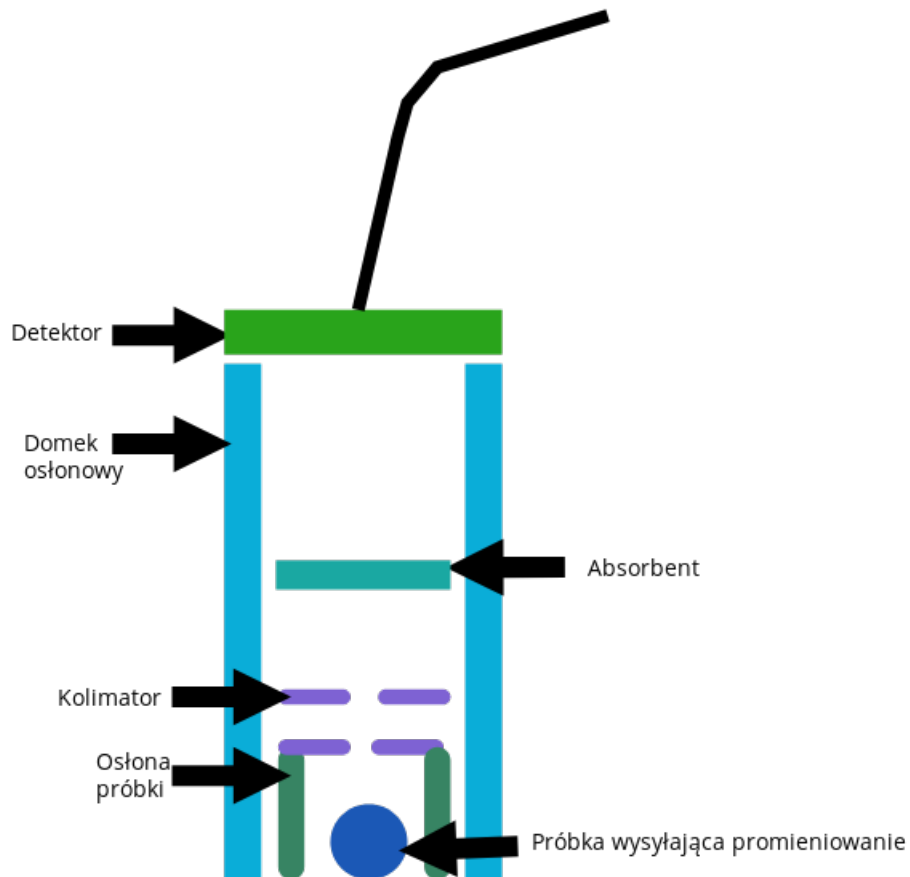
dla parametrów: $\Delta x = 0.001mm$, $\Delta x_E = 0.005mm$

Pomiary w których występuje błąd gruby zostały przekreślone w tabelkach.

Otrzymaliśmy następujące pomiary grubości poszczególnych absorbentów:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | \bar{x} [mm] | Δx [mm] | $S_{\bar{x}}$ [mm] | $U_{\bar{x}}$ [mm] |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 5 | 5.05 | 5.04 | 5.04 | 5.05 | 5.04 | 5.04 | 5.04 | 5.05 | 5.04 | 5.04 | 5.043 | 0.01 | 0.002 | 0.0018 |
| 10 | 10.00 | 10.01 | 10.00 | 10.00 | 10.01 | 10.12 | 10.00 | 10.01 | 10.01 | 10.01 | 10.0056 | 0.01 | 0.002 | 0.0021 |
| 15 | 14.77 | 14.78 | 14.78 | 14.77 | 14.76 | 14.75 | 14.77 | 14.78 | 14.79 | 14.78 | 14.7730 | 0.01 | 0.004 | 0.0044 |
| 20 | 20.07 | 20.08 | 20.07 | 20.06 | 20.06 | 20.07 | 20.07 | 20.08 | 20.08 | 20.07 | 20.0710 | 0.01 | 0.002 | 0.0028 |

Tablica 1: Wyniki wielokrotnych pomiarów grubości aluminiowego absorbentu



Rysunek 1: Schemat układu pomiarowego

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | \bar{x} [mm] | Δx [mm] | $S_{\bar{x}}$ [mm] | $U_{\bar{x}}$ [mm] |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 2 | 1.88 | 1.89 | 1.9 | 1.88 | 1.89 | 1.9 | 1.87 | 1.89 | 1.89 | 1.88 | 1.887 | 0.01 | 0.003 | 0.0036 |
| 5 | 5 | 5.01 | 5 | 5.01 | 5.01 | 5.01 | 5.02 | 5 | 5.01 | 5.03 | 5.0100 | 0.01 | 0.003 | 0.0035 |
| 7 | 6.99 | 6.98 | 6.98 | 6.99 | 6.98 | 6.98 | 6.98 | 6.97 | 6.98 | 6.98 | 6.9810 | 0.01 | 0.002 | 0.0021 |
| 10 | 9.91 | 9.9 | 9.92 | 9.91 | 9.91 | 9.92 | 9.9 | 9.9 | 9.91 | 9.9 | 9.9080 | 0.01 | 0.002 | 0.0030 |
| 12 | 11.89 | 11.9 | 11.9 | 11.89 | 11.88 | 11.89 | 11.89 | 11.9 | 11.9 | 11.89 | 11.8930 | 0.01 | 0.002 | 0.0025 |
| 15 | 14.97 | 14.98 | 14.98 | 14.99 | 14.98 | 14.98 | 14.97 | 14.98 | 14.97 | 14.97 | 14.9778 | 0.01 | 0.002 | 0.0026 |
| 17 | 16.99 | 16.98 | 16.98 | 16.97 | 16.99 | 16.98 | 16.98 | 16.97 | 16.98 | 16.98 | 16.9800 | 0.01 | 0.002 | 0.0025 |
| 20 | 20.01 | 20.02 | 20 | 20.01 | 20.02 | 20.01 | 20.02 | 20.01 | 20.01 | 20.01 | 20.0120 | 0.01 | 0.002 | 0.0024 |

Tablica 2: Wyniki wielokrotnych pomiarów grubości ołowianego absorbentu

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | \bar{x} [mm] | Δx [mm] | $S_{\bar{x}}$ [mm] | $U_{\bar{x}}$ [mm] |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 2 | 1.95 | 1.94 | 1.98 | 1.96 | 1.95 | 1.94 | 1.95 | 1.95 | 1.94 | 1.95 | 1.9510 | 0.01 | 0.004 | 0.0045 |
| 5 | 4.88 | 4.89 | 4.88 | 4.88 | 4.89 | 4.9 | 4.88 | 4.87 | 4.88 | 4.9 | 4.8850 | 0.01 | 0.003 | 0.0037 |
| 7 | 7.07 | 7.08 | 7.08 | 7.09 | 7.09 | 7.08 | 7.09 | 7.09 | 7.08 | 7.08 | 7.0830 | 0.01 | 0.002 | 0.0025 |
| 10 | 10.08 | 10.07 | 10.08 | 10.08 | 10.09 | 10.07 | 10.07 | 10.07 | 10.08 | 10.08 | 10.0770 | 0.01 | 0.002 | 0.0025 |
| 12 | 12.05 | 12.04 | 12.05 | 12.06 | 12.06 | 12.05 | 12.04 | 12.05 | 12.06 | 12.05 | 12.0510 | 0.01 | 0.002 | 0.0028 |
| 15 | 15.06 | 15.05 | 15.04 | 15.06 | 15.06 | 15.05 | 15.06 | 15.04 | 15.05 | 15.06 | 15.0530 | 0.01 | 0.003 | 0.0031 |
| 17 | 17.08 | 17.09 | 17.09 | 17.08 | 17.07 | 17.08 | 17.08 | 17.09 | 17.08 | 17.07 | 17.0810 | 0.01 | 0.002 | 0.0028 |
| 20 | 20.15 | 20.14 | 20.15 | 20.15 | 20.14 | 20.13 | 20.13 | 20.14 | 20.15 | 20.16 | 20.1440 | 0.01 | 0.003 | 0.0036 |

Tablica 3: Wyniki wielokrotnych pomiarów grubości miedzianego absorbentu

2.2. Promieniowanie tła

Na początku ćwiczenia dokonaliśmy kilku pomiarów promieniowania tła (bez umieszczenia próbki promieniotwórczej w domku osłonowym) w celu zbadania średniego promieniowania które dociera do detektora z różnych źródeł np. promieniowania kosmicznego, promieniowania wysyłanego przez inne materiały. Promieniowanie tła było następnie automatycznie odejmowane od otrzymanej liczby zliczeń przez program komputerowy. Promieniowanie tła było rzędu kilkudziesięciu zliczeń w ciągu minuty.

2.3. Badanie liczby zliczeń kwantów gamma

Każde zliczanie kwantów gamma trafiających w detektor trwało 1 min. Dla ołowiu oraz miedzi przeprowadziliśmy 8 pomiarów (każdy z inną grubością absorbenta) oraz 4 pomiary dla aluminium. Liczba wypromieniowanych kwantów γ podlega rozkładowi Poissona dzięki czemu $u_N = \sqrt{N}$.

Niepewność $u_{\ln N}$ została policzona wzorem:

$$u_{\ln N} = \sqrt{\left(\frac{\delta \ln N}{\delta N}\right)^2 u_N^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right)^2 (\sqrt{N})^2} = \frac{\sqrt{N}}{N}$$

Otrzymaliśmy następujące pomiary zliczeń w zależności od rodzaju absorbenta oraz jego grubości:

| Nr | $x(u_N)$ [mm] | $N(u_N)$ | $\ln N(u_{\ln N})$ |
|----|----------------|----------|--------------------|
| 1 | 5.0430(0.007) | 1514(39) | 7.323(0.026) |
| 2 | 10.0056(0.007) | 1380(37) | 7.230(0.027) |
| 3 | 14.7730(0.007) | 1285(36) | 7.159(0.028) |
| 4 | 20.0710(0.007) | 1226(35) | 7.112(0.029) |

Tablica 4: Liczba otrzymanych kwantów gamma w zależności od grubości aluminium

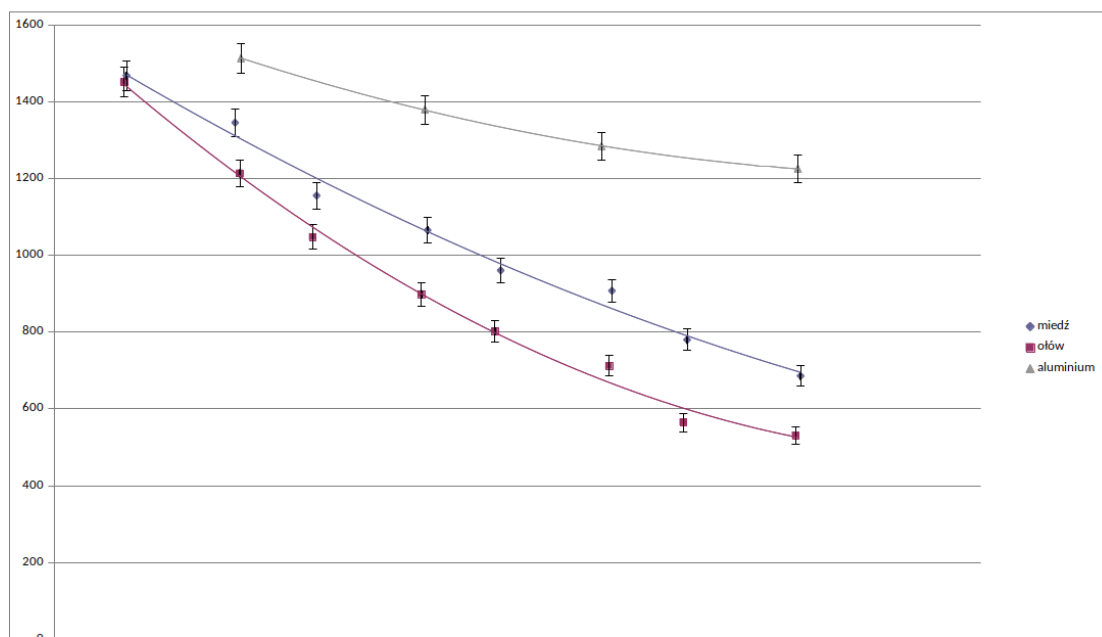
Otrzymujemy odpowiednio wykresy liniowo-liniowy oraz logarytmiczno-liniowy.

| Nr | $x(u-x)$ [mm] | $N(u_N)$ | $\ln N(u_{\ln N})$ |
|----|---------------|----------|--------------------|
| 1 | 1.887(0.007) | 1452(38) | 7.281(0.026) |
| 2 | 5.010(0.007) | 1214(35) | 7.102(0.029) |
| 3 | 6.981(0.007) | 1048(32) | 6.955(0.031) |
| 4 | 9.908(0.007) | 899(30) | 6.801(0.033) |
| 5 | 11.893(0.007) | 803(28) | 6.688(0.035) |
| 6 | 14.978(0.007) | 712(27) | 6.568(0.037) |
| 7 | 16.980(0.007) | 565(24) | 6.337(0.042) |
| 8 | 20.012(0.007) | 531(23) | 6.75(0.043) |

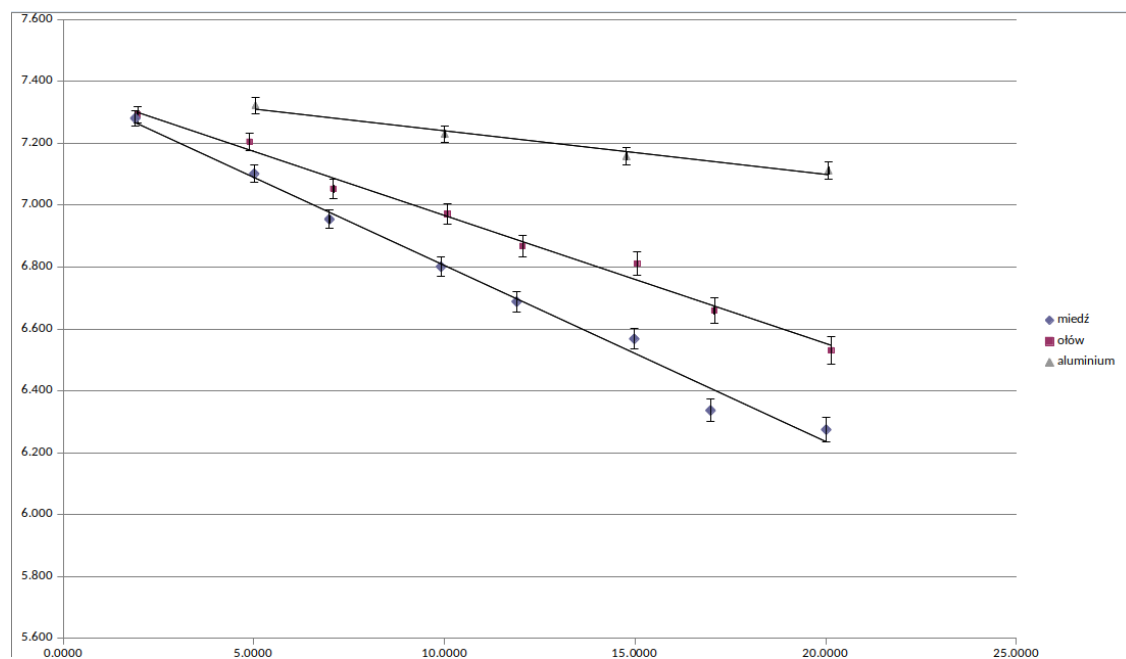
Tablica 5: Liczba otrzymanych kwantów gamma w zależności od grubości ołowiu

| Nr | $x(u-x)$ [mm] | $N(u_N)$ | $\ln N(u_{\ln N})$ |
|----|---------------|----------|--------------------|
| 1 | 1.948(0.007) | 1469(38) | 7.292(0.026) |
| 2 | 4.885(0.007) | 1346(37) | 7.205(0.027) |
| 3 | 7.083(0.007) | 1156(34) | 7.053(0.029) |
| 4 | 10.077(0.007) | 1066(33) | 6.971(0.031) |
| 5 | 12.051(0.007) | 961(31) | 6.868(0.032) |
| 6 | 15.053(0.007) | 908(30) | 6.811(0.033) |
| 7 | 17.081(0.007) | 780(28) | 6.659(0.036) |
| 8 | 20.144(0.007) | 686(26) | 6.531(0.038) |

Tablica 6: Liczba otrzymanych kwantów gamma w zależności od grubości miedzi



Rysunek 2: Wykres liniowo liniowy liczby zliczeń w zależności od grubości absorbentów



Rysunek 3: Wykres logarytmiczno liniowy liczby zliczeń w zależności od grubości absorbentów

2.4. Wyniki

By wyznaczyć poszczególne współczynniki użyliśmy metody najmniejszych kwadratów w sposób w jaki zostało to opisane we wstępie teoretycznym. Odpowiednio otrzymujemy:

Aluminium:

$$\mu_{Al} = 0.014$$

$$u_{\mu} = 0.002$$

$$b = 7.381$$

$$S_b = 0.022$$

$$\text{Odpowiedź: } \mu_{Al} = 0.014(0.002) \frac{1}{mm}$$

Ołów:

$$\mu_{Pb} = 0.056$$

$$u_{\mu} = 0.002$$

$$b = 7.374$$

$$S_b = 0.030$$

$$\text{Odpowiedź: } \mu_{Pb} = 0.056(0.002) \frac{1}{mm}$$

Miedź:

$$\mu_{Cu} = 0.041$$

$$u_{\mu} = 0.002$$

$$b = 7.381$$

$$S_b = 0.023$$

$$\text{Odpowiedź: } \mu_{Cu} = 0.041(0.002) \frac{1}{mm}$$

Co możemy porównać z wartościami tablicowymi dla poszczególnych materiałów (wyliczone przez

program komputerowy)

| materiał | MeV | $\mu[1/\text{mm}]$ |
|----------|------|--------------------|
| Al | 1.33 | 0.012 |
| Cu | 1.33 | 0.043 |
| Pb | 1.33 | 0.062 |

Tablica 7: Wartości tablicowe współczynników osłabienia promieniowania

2.5. Wnioski

Policzmy czy wyznaczone wartości współczynników są zgodne z wartościami tablicowymi. Skorzystajmy w tym celu z testu 2δ (tu dla wersji z ołowiem):

$$\frac{|\mu_{Pb\text{tablicowe}} - \mu_{Pb\text{otrzymane}}|}{S_{Pb}} \leq 2$$

Jeśli powyższy test zostanie spełniony oznacza to że otrzymaliśmy poprawne współczynniki. Mamy więc

| materiał | wynik | czy zgodne |
|----------|-------|------------|
| Al | 1.00 | TAK |
| Cu | 1.00 | TAK |
| Pb | 3.50 | NIE |

Tablica 8: Wartości tablicowe współczynników osłabienia promieniowania

Z powyższego ćwiczenia możemy wyciągnąć następujące wnioski

- Ołów jest najlepszy absorbentem promieniowania gamma
- Różnice pomiędzy wartościami tablicowymi a zmierzoną wartością można wytłumaczyć poprzez krótkie czasy pomiarów oraz rozkładem statystycznym wyników które w rzadkich przypadkach mogą dawać duże rozbieżności pomiędzy wartością zbadaną a wartością tablicową
- Wyznaczanie współczynnika osłabienia dla ołowiu charakteryzowało się największą różnicą pomiędzy wartością tablicową, a wartością zmierzoną