



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



WYDZIAŁ
MATEMATYKI
I FIZYKI STOSOWANEJ
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

LABORATORIUM PROMIENIOWANIE W MEDYCYNIE

Ćw. nr 2

ABSORPCJA PROMIENIOWANIA GAMMA PRZEZ
OSŁONY

Nazwisko i Imię:	...				
data:	...			ocena (teoria)	...
Grupa	...	Zespół	...	ocena końcowa	...

1 Cel ćwiczenia

Promieniowanie gamma przechodzące przez osłonę ulega absorpcji ze względu na zjawisko fotoelektryczne, efekt Comptona i zjawisko tworzenia par elektron-pozyton. Celem ćwiczenia jest wyznaczenie redukcji natężenia promieniowania gamma przechodzącego przez różne materiały osłonowe, wyznaczenie grubości połówkowej materiału, liniowego współczynnika absorpcji materiału oraz masowego współczynnika absorpcji. Kolejnym celem jest oszacowanie dawki promieniowania przechodzącego przez osłonę.

2 Zagadnienia teoretyczne (*Opracować, umieścić w sprawozdaniu*)

Źródła promieniowania gamma. Kwant promieniowania gamma, energia kwantu, pęd kwantu, przypisana kwantowi długość fali. Oddziaływanie promieniowania gamma z materią: zjawisko fotoelektryczne, efekt Comptona oraz zjawisko tworzenia par. Przekrój czynny. Zależność natężenia promieniowania gamma od grubości warstwy absorbenta. Liniowy współczynnik absorpcji, masowy współczynnik absorpcji. Grubość połówkowa. Układ pomiarowy. Budowa i zasada działania licznika Geigera-Müllera. Czas martwy licznika. Dawki promieniowania.

3 Eksperyment

(Wykonać pod kierunkiem osoby prowadzącej zajęcia)

UWAGA: Wszelkie działania ze źródłami promieniowania jonizującego przeprowadza obsługa laboratorium! Zachować warunki BHP!

3.1 Osoba prowadząca zajęcia omawia ze studentami układ pomiarowy

Schemat układu pomiarowego umieścić w sprawozdaniu (Rys.1).

3.2 Wykonać pomiary według instrukcji osoby prowadzącej zajęcia

Wyniki pomiarów należy zapisać w tabeli.

Tabela z wynikami opisana nazwiskiem studenta musi być podpisana przez osobę prowadzącą pod koniec zajęć.

4 Wyniki pomiarów

4.1 Pomiar tła promieniowania (Zamknąć źródło promieniowania gamma pokrywą ołowianą !)

Czas t pojedynczego pomiaru tła i liczbę K pomiarów określa osoba prowadząca. Wyniki pomiarów zapisać w Tabeli 1.

Tabela 1: Pomiary tła promieniowania

Lp.	Liczba zliczeń w_j w czasie t	Odchylenie od wartości średniej $d_j = w_j - w_{sr}$	Kwadrat odchylenia od wartości średniej d_j^2
1			
2			
3			
.			
.			
.			
.			
K	Wartość średnia $w_{sr} = \frac{w_j}{K}$	Suma odchylenia $d_j =$	Suma kwadratów odchylenia $d_j^2 =$

liczba pomiarów $K = \dots\dots$, czas pojedynczego pomiaru $t = \dots$

Wyliczyć odchylenie standardowe (dyspersję) dla pomiarów tła:

$$w = \frac{\int \overline{d_j^2}}{K} = \quad (1)$$

Jest to odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru, inaczej średnia niepewność każdego pojedynczego pomiaru. Wyliczyć „zmodyfikowane” odchylenie standardowe (pojedynczego pomiaru tła):

$$wz = \frac{\int \overline{d_j^2}}{K \cdot 1} = \quad (2)$$

Wyliczyć odchylenie standardowe wartości średniej pomiarów tła:

$$w_{sr} = \frac{w}{K} = \quad (3)$$

4.2 Pomiar grubości płytek

Wyliczyć odchylenie standardowe (dyspersję) dla pomiarów grubości poszczególnych płytek

$$x = \frac{\int \overline{d_j^2}}{5} \quad (4)$$

Tabela 2: Pomiary grubości płytek żelaza

Nr płytki 1	Grubość płytki (cm) $x_1; x_2; x_3; x_4; x_5;$	Wartość średnia $x_{sr} = \frac{x_j}{5}$	Kwadrat odchyień od wartości średniej $d_j^2 = (x_j - x_{sr})^2$	Suma kwadratów d_j^2	Dyspersja x
1					
2					
3					
.					
.					
.					
.					
L					

4.3 Pomiar absorpcji promieniowania gamma dla żelaza

Prowadzący zajęcia: Otworzyć źródło promieniowania gamma.

Wiązka stanowi zagrożenie!

Wyklucza się jakikolwiek kontakt organizmu z wiązką promieniowania!

Wykonać pomiar liczby zliczeń m promieniowania gamma w zależności od grubości warstwy x .

Czas t pojedynczego pomiaru promieniowania określa osoba prowadząca.

Wyniki pomiarów zapisać w Tabeli 3. Wyliczyć odchylenie standardowe (dyspersję) dla pomiarów

Tabela 3: Pomiar absorpcji promieniowania dla żelaza

Grubość warstwy x (cm)	Liczba zliczeń $m_1; m_2; m_3; m_4; m_5;$	Liczba zliczeń bez tła $n_j = m_j - w_{sr}$ $n_1; n_2; n_3; n_4; n_5$	Wartość średnia $n_{sr} = \frac{n_j}{5}$	Dyspersja n
0				

promieniowania przy poszczególnych grubościach warstwy:

$$n = \frac{\sum d_j^2}{5} \quad (5)$$

W tym przypadku $d_j = n_j - n_{sr}$.

Jest to odchylenie standardowe pojedynczego pomiaru, inaczej średnia niepewność każdego poje-

dynczego pomiaru. Wyliczyć „zmodyfikowane” odchylenie standardowe (pojedynczego pomiaru):

$$n_z = \frac{\sqrt{\frac{\sum d_j^2}{5} - 1}}{1} \quad (6)$$

Wyliczyć odchylenie standardowe wartości średniej pomiarów:

$$n_{sr} = \frac{n}{5} \quad (7)$$

5 Opracowanie wyników pomiaru

5.1 Eksponencjalne prawo absorpcji

Przechodząc przez warstwę absorbenta (osłony) część promieniowania gamma zostaje pochłonięta. Liczba $n(x)$ zliczeń rejestrowanych przez detektor maleje, gdy grubość x warstwy zwiększa się co opisuje wzór:

$$n(x) = n(0)e^{-\mu x} \quad (8)$$

gdzie $n(0)$ jest liczbą zliczeń dla zerowej grubości warstwy a μ (cm^{-1}) jest liniowym współczynnikiem absorpcji. Przyjmując, że dla pewnej grubości absorbenta liczba zliczeń spada o połowę czyli $\frac{n(x)}{n(0)} = \frac{1}{2}$ otrzymuje się z wzoru (8) zależność pomiędzy grubością połówkową absorbenta a liniowym współczynnikiem absorpcji, mianowicie

$$x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (9)$$

Grubość połówkowa jest oznaczona przez $x_{1/2}$.

5.2 Konstrukcja wykresu

Stosownie do Tabeli 2 przyjąć, że grubość płytki to odpowiadające jej x_{sr} . Grubość warstwy x zwiększamy dodając kolejne płytki. Stosownie do Tabeli 3 przyjąć, że

$$n(x) = n_{sr}(x) \quad (10)$$

Logarytmując obustronnie wórow (8) otrzymuje się równanie prostej

$$\ln n(x) = \ln n(0) - \mu x \quad (11)$$

Biorąc pod uwagę wyniki Tabeli 3 nanieść na wykres (Rys.2) wartości x i odpowiadające im wartości $\ln n(x)$. Punkty pomiarowe uzupełnić graficznie o niepewności (błędy) pomiarowe. I tak błąd pomiarowy dla wielkości x przyjąć

$$\Delta x = \Delta x \quad (12)$$

Błąd pomiarowy dla wielkości $\ln n(x)$ przyjąć

$$\Delta \ln n(x) = \frac{n_{sr}}{n} \quad (13)$$

Niepewności x i $\ln n(x)$ tworzą prostokątne otoczenia niepewności punktów pomiarowych.

5.3 Wyznaczanie współczynnika

Przeprowadzić prostą o maksymalnym nachyleniu przechodzącą przez możliwie największą liczbę takich otoczeń. Z nachylenia prostej wyznaczyć maksymalny w granicach błędu pomiarowego współczynnik absorpcji $_{max}$. Kolejno przeprowadzić prostą o minimalnym nachyleniu przechodzącą przez możliwie największą liczbę otoczeń. Z nachylenia tej prostej wyznaczyć minimalny w granicach błędu pomiarowego współczynnik absorpcji $_{min}$. Wyliczyć wartość średnią współczynnika absorpcji

$$_{sr} = \frac{_{max} + _{min}}{2} \quad (14)$$

Wyliczyć różnicę

$$= _{max} - _{min} \quad (15)$$

stanowiącą niepewność (błąd pomiarowy) wyznaczenia współczynnika $_{sr}$. Rezultat pomiaru przedstawić w postaci

$$= _{sr} \quad (16)$$

Wyliczyć ile wyniesie grubość połówkowa $x_{\frac{1}{2}}$ dla żelaza stosując wzór (9).

Wiedząc, że gęstość żelaza wynosi $= 7,89 \text{ g/cm}^3$ wyliczyć masowy współczynnik absorpcji dla tego metalu a mianowicie

$$= - \quad (17)$$

gdzie $_{sr}$ mierzy się w jednostkach cm^2/g .

6 Pomiary absorpcji innych materiałów

Przeprowadzić pomiary współczynnika $_{sr}$ dla ołowiu, miedzi, aluminium, betonu, pleksi; wybór według poleceń prowadzącego.

7 Dyskusja otrzymanych rezultatów pomiarowych

7.1 Moc dawki

Liczba kwantów gamma padających w ciągu 1s na powierzchnię S okienka licznika wynosi

$$\frac{n}{t} = A \left(\frac{S}{4r^2} \right) \quad (18)$$

gdzie A jest aktywnością źródła promieniowania a r jest odległością okienka od punktowego źródła promieniowania. Jest to przybliżenie, gdyż źródło i okienko jest rozciągnięte, posiada swoje wymiary. Mierzoną liczbę zliczeń na sekundę wylicza się korzystając z Tabeli 3.

Gdyby w miejscu okienka licznika Geigera-Müllera umieścić cienką warstwę materiału o współczynniku absorpcji $_{sr}$ to energia promieniowania gamma P pochłonięta w ciągu 1s w warstwie o grubości dr czyli w objętości Sdr wyniesie

$$P = \left(\frac{AS}{4r^2} \right) E \quad (19)$$

gdzie E jest energią kwantu gamma. Objętość Sdr warstwy posiada masę Sdr , gdzie ρ jest gęstością wspomnianej warstwy. Zatem moc dawki czyli energia pochłonięta w ciągu 1s przez jednostkę masy wyniesie

$$P = \left(\frac{AS}{4r^2}\right)E \frac{dr}{Sdr} = A\left(\frac{S}{4r^2}\right)E \frac{1}{S} \quad (20)$$

7.2 Wyliczanie dawki pochłoniętej przy braku osłony

- A. Zakładając, że w miejscu okienka licznika Geigera-Müllera znajduje się woda (cienka warstwa) której $\rho = 0,0294 \text{ cm}^2/\text{g}$ wyliczyć moc dawki P przypadającą na jednostkę masy pochodzącą od źródła promieniotwórczego ^{60}Co stosując wzory (18– 20). Przyjąć w tym celu wartość tablicową energii kwantu gamma $E = 1,3 \text{ MeV}$ oraz powierzchnię licznika $S = 0.64\text{cm}^2$. Kolejno wyliczyć dawkę D jaką pochłonięłaby woda w czasie trwania zajęć laboratoryjnych $2 \times 45 \text{ min}$ stosując wzór

$$D = P t \quad (21)$$

Wyniki rachunków podawać wykorzystując również jednostkę Gy (grej).

- B. Zakładając, że w miejscu okienka licznika Geigera-Müllera znajduje się tkanka miękka (cienka warstwa) której $\rho = 0,0292 \text{ cm}^2/\text{g}$ wyliczyć moc dawki P przypadającą na jednostkę masy pochodzącą od źródła promieniotwórczego ^{60}Co stosując wzory (18– 20). Kolejno wyliczyć dawkę D jaką pochłonięłaby tkanka miękka w czasie trwania zajęć laboratoryjnych $2 \times 45 \text{ min}$.
- C. Zakładając, że w miejscu okienka licznika Geigera-Müllera znajduje się powietrze (cienka warstwa) którego $\rho = 0,0265 \text{ cm}^2/\text{g}$ wyliczyć moc dawki P przypadającą na jednostkę masy pochodzącą od źródła promieniotwórczego ^{60}Co stosując wzory (18– 20). Kolejno wyliczyć dawkę D jaką pochłonięłoby powietrze w czasie trwania zajęć laboratoryjnych $2 \times 45 \text{ min}$.
- D. Zakładając, że w miejscu okienka licznika Geigera-Müllera znajduje się ołów (cienka warstwa) którego $\rho = 0,0564 \text{ cm}^2/\text{g}$ wyliczyć moc dawki P przypadającą na jednostkę masy pochodzącą od źródła promieniotwórczego ^{60}Co stosując wzory (18– 20). Kolejno wyliczyć dawkę D przypadającą na jednostkę masy jaką pochłonięłoby ołów w czasie trwania zajęć laboratoryjnych $t = 2 \times 45 \text{ min}$.

7.3 Dawki promieniowania przechodzącego przez osłonę

W przypadku przechodzenia promieniowania gamma przez warstwę osłony o grubości x , promieniowanie to ulega częściowej absorpcji już w samej osłonie.

Znając $\frac{n(x)}{t}$ (Tabela 3) oraz wzory (18– 20) oraz (21) wyliczyć zależność dawki pochłoniętej $D(x)$ przejętej przez materiał (cienka warstwa) umieszczony w obszarze okienka licznika, w czasie trwania zajęć laboratoryjnych $2 \times 45 \text{ min}$ dla

- wody znajdującej się w położeniu okienka licznika,
- dla tkanki miękkiej znajdującej się w położeniu okienka licznika,

- c) dla powietrza znajdującego się w położeniu okienka licznika,
- d) dla ołowiu znajdującego się w położeniu okienka licznika.

Zależności $D(x)$ dla wody, tkanki miękkiej, powietrza i ołowiu przedstawić na wspólnym wykresie (Rys. 3).

7.4 Dyskusja otrzymanych wyników

Ustosunkować się do otrzymanych rezultatów. Ocenić jakość eksperymentu. Podać wnioski pomiarowe. Podać wnioski dotyczące pochłanianych dawek. Określić dyspersję dawki pochłoniętej.

Literatura

1. J.R. Taylor, Wstęp do analizy błędów pomiarowych, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 1995
2. G.L. Squires, Praktyczna fizyka, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa, 1992
3. A. Strzałkowski, Wstęp do fizyki jądra atomowego, PWN, Warszawa, 1969
4. B. Dziunikowski, S.J. Kalita, Ćwiczenia laboratoryjne z jądrowych metod pomiarowych, (Skrypty uczelniane, 1440) Wydawnictwa AH, Kraków, 1995 (dostępne w sieci www)
5. K. Małuszyńska, M. Przytuła, Laboratorium fizyki jądrowej, PWN, Łódź, 1969
6. B. Gostkowska, Ochrona radiologiczna, wielkości, jednostki i obliczenia, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa, 2016
7. A. Hryniewicz, Dawki i działanie biologiczne promieniowania jonizującego, Państwowa Agencja Atomistyki, Instytut Fizyki Jądrowej, Warszawa-Kraków, 1993