



ĆWICZENIE

13e

LABORATORIUM FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ

Przechodzenie promieniowania X przez materię

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie absorpcji promieniowania X z molibdenowej lampy rentgenowskiej w funkcji liczby atomowej absorbentu przy ustalonej długości fali (pomijając zjawisko krawędzi absorpcji).

2. Wstęp teoretyczny

1. Opis zjawiska

Promieniowanie X i γ , przechodząc przez materię, może ulec dwóm zjawiskom: absorpcji i rozproszeniu. Oba te zjawiska wpływają na to, że przez pochłaniacz o określonej grubości przechodzi dalej bez zmiany kierunku tylko określony odsetek promieniowania. Opisuje to zależność wykładnicza zwana *prawem Lamberta* i opisana równaniem:

$$R = R_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

gdzie R i R_0 oznaczają natężenie przechodzące przez pochłaniacz oraz natężenie bez pochłaniacza, d jest grubością pochłaniacza, natomiast μ to tzw. *liniowy współczynnik pochłaniania*, charakterystyczny dla danego materiału. Można go przedstawić jako sumę współczynnika τ , opisującego absorpcję, oraz współczynnika σ , opisującego rozpraszanie promieniowania.

$$\mu = -\frac{\ln \frac{R}{R_0}}{d} = \tau + \sigma \quad (2)$$

Analogicznie można zdefiniować *atomowy współczynnik pochłaniania*, μ_a , który opisuje te same właściwości pochłaniacza, ale w odniesieniu do pojedynczego atomu, a nie warstwy pochłaniacza o określonej grubości. Pomiędzy liniowymi a atomowymi współczynnikami istnieją następujące zależności:

$$\mu_a = \mu \frac{A}{\rho N_A} \quad \tau_a = \tau \frac{A}{\rho N_A} \quad \sigma_a = \sigma \frac{A}{\rho N_A} \quad (3)$$

gdzie ρ to gęstość materiału pochłaniacza, A to średnia masa atomowa danego pochłaniacza, zaś N_A to liczba Avogadro równa $6,022 \cdot 10^{23}$ atomów/mol.

2. Hipoteza

Zarówno pochłanianie, jak i rozpraszanie promieniowania X (oraz γ) następuje na elektronach zawartych w materiale pochłaniacza. Zrozumiałe jest zatem, że współczynniki μ_a , τ_a i σ_a będą zależne od średniej liczby atomowej Z materiału pochłaniacza, która opisuje m.in. ile elektronów znajduje się w atomie danego pierwiastka. Nie jest to jednak prosta proporcjonalność. Teoria (której tutaj nie będziemy opisywać) przewiduje, że zależność atomowego współczynnika absorpcji od Z będzie typu:

$$\tau_a = \text{const} \cdot Z^n \quad (4)$$

gdzie n jest wykładnikiem potęgi i powinno wynosić 4. Można to zweryfikować doświadczalnie dzięki odpowiednim przekształceniom matematycznym powyższego równania. Po zlogarytmowaniu obu stron można je przekształcić w równanie:

$$\ln \tau_a = n \cdot \ln Z + \ln const \quad (5)$$

które jest równaniem linii prostej $y = a \cdot x + b$, której współczynnik nachylenia względem odpowiednio dobranych osi ($y = \ln \tau_a$, $x = \ln Z$) jest równy poszukiwanemu wykładnikowi n . Można więc wyznaczyć n znając parametry materiału pochłaniacza oraz mierząc współczynnik pochłaniania μ i obliczając na jego podstawie τ_a . W używanym w ćwiczeniu układzie wynosi on:

$$\tau_a = \left(\frac{\mu}{\rho} - 0,2 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) \cdot \frac{A}{N_A} \quad (6)$$

Oczywiście zjawiska takie jak pochłanianie i rozpraszanie promieniowania X zależą również od długości fali, czyli także energii pojedynczych fotonów, ale w tym ćwiczeniu nie będziemy zajmować się tą zależnością.

3. Przebieg doświadczenia

- A)** Włączyć urządzenie pomiarowe X-Ray Apparatus w konfiguracji z monokryształem NaCl.
- B)** Ustawić parametry pracy: $U = 35,0 \text{ kV}$, $I = 0,60 \text{ mA}$, $\Delta\beta = 0,0^\circ$ oraz $\Delta t = 50 \text{ s}$. Nacisnąć przycisk COUPLED i ustawić kąt β na $4,1^\circ$ (ta wartość kąta pozwala ominąć zjawiska związane z tzw. *krawędzią absorpcji*).
- C)** Uruchomić pomiar przyciskiem SCAN, a po jego zakończeniu nacisnąć przycisk REPLAY i z wyświetlacza na urządzeniu odczytać wartość średnią natężenia promieniowania. Odczytaną wartość zapisać w odpowiednim miejscu tabeli 1.
- D)** Zamontować jeden z absorbentów przed detektorem i ponownie uruchomić pomiar. Po skończonym pomiarze odczytać wynik i wpisać w wierszu tabeli odpowiadający danemu absorbentowi.
- E)** Powtórzyć pomiary dla pozostałych absorbentów.
- F)** Po zakończonych pomiarach uzupełnić tabelę 1 o obliczone wartości μ i τ_a obliczone na podstawie wzorów (2) i (6).
- G)** Uzupełnić w tabeli 1 kolumny x i y , a następnie wykonać wykres zależności y od x . Czy punkty układają się wzdłuż linii prostej?
- H)** Do danych z kolumn x i y dopasować (graficznie lub numerycznie) linię prostą oraz wyznaczyć jej współczynnik nachylenia a . Czy zgadza się on z teoretyczną wartością n równą 4?

Tabela 1						$R_0 = \dots\dots\dots 1/\text{s}$			
	Z	A [g/mol]	ρ [g/cm ³]	d [cm]	R [1/s]	μ	τ_a	x	y
Al	13	26,98	2,70	0,050					
Fe	26	55,85	7,86	0,050					
Cu	29	63,55	8,92	0,007					
Zr	40	91,22	6,49	0,005					
Ag	47	107,87	10,50	0,005					