

## Ćwiczenie O<sub>13</sub>-O<sub>16</sub> BADANIE ABSORPCJI ŚWIATŁA W MATERII Instrukcja dla studenta

### I. WSTĘP

Światło jest falą elektromagnetyczną jak i strumieniem fotonów, których energia jest w bezpośredni sposób związana z częstotliwością (długością) fali:

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

gdzie:  $h$  - stała Plancka,  $\nu$  - częstotliwość fali,  $\lambda$  - długość fali,  $c$  – prędkość rozchodzenia się fali w próżni.

Oddziaływanie światła, rozumianego jako strumień fotonów, z materią opisujemy przy pomocy następujących procesów:

- absorpcji, w wyniku której foton zostaje pochłonięty przez atom, a ten przechodzi w stan wzbudzony,
- emisji spontanicznej, w wyniku której foton emitowany jest samorzutnie przez wzbudzony atom,
- emisji wymuszonej, w wyniku której foton oddziałujący ze wzbudzonym atomem wymusza emisję identycznego fotonu przez ten atom,
- rozpraszania światła, czyli chaotycznej zmiany kierunku rozchodzenia się światła wskutek oddziaływania z zawartymi w ośrodku cząstkami (centrami) rozpraszającymi.

### I.1 Zjawisko absorpcji

Światło absorbowane jest przez materię, gdy energia fotonów odpowiada różnicy energii poziomów energetycznych w atomach lub cząsteczkach, z którymi oddziałuje. Wykorzystuje się to do identyfikacji nieznanymi substancji, poprzez badanie absorpcji światła o różnych długościach fali w próbkach tych substancji – jest to tzw. absorpcyjna analiza spektroskopowa.

O tym, jak „silnie” światło jest absorbowane przez ośrodek, decydują dwa czynniki:

- własności materii,
- ilość materii absorbującej światło.

Pierwszy czynnik opisywany jest tzw. **współczynnikiem absorpcji  $\alpha$** , drugi – tzw. **koncentracją  $c$** , czyli liczbą atomów lub cząsteczek znajdujących się w określonej objętości, lub w przypadku roztworów  **$c$  jest stężeniem substancji** w roztworze. Ilość materii, z którą oddziałuje światło, zależy oczywiście również **od drogi  $l$** , którą światło przebywa w ośrodku, im dłuższą drogę światło pokonuje w ośrodku, tym więcej światła zostanie zaabsorbowane.

Wielkością, która pozwala jednoznacznie określać „ilość światła” – jest **natężenie światła  $I$** , definiowane jako moc fali świetlnej padającej na jednostkę powierzchni. Natężenie światła wyrażone jest w  $[\frac{W}{m^2}]$ .

## I.2 Prawo absorpcji Lamberta-Beera

Gdy wiązka promieniowania monochromatycznego o natężeniu  $I_0$  padnie na warstwę jakiejś substancji to część tego światła ulegnie rozproszeniu ( $I_r$ ) i odbiciu ( $I_{od}$ ), część zostanie pochłonięta ( $I_A$ ), a część przejdzie przez substancję ( $I$ ).

$$I_0 = I_r + I_{od} + I_A + I \quad (2)$$

Gdy mamy ośrodek jednorodny, to natężenie światła rozproszonego jest niewielkie, tak jak ilość światła, która ulega odbiciu i możemy te dwie wartości pominąć.

$$I_0 = I_A + I \quad (3)$$

Główną przyczyną osłabienia natężenia światła przy przechodzeniu przez ośrodek jest więc jego absorpcja.

Gdy rozpatrzmy nieskończenie cienką warstwę ośrodka o grubości  $dl$ , zawierającego absorbującą światło substancję o współczynniku  $k$  (który zwany jest tutaj naturalnym współczynnikiem absorpcji) i koncentracji  $c$ , absorbowane jest światło o natężeniu proporcjonalnym do początkowego natężenia  $I$ , współczynnika  $k$ , koncentracji  $c$  oraz grubości warstwy  $dl$  (jest to słuszne tylko dla nieskończenie cienkiej warstwy). Zatem natężenie światła  $I$  zmieni się o  $dI$  równe:

$$dI = -kcdlI \quad (4)$$

Dzieląc to równanie obustronnie przez  $I$ , otrzymujemy:

$$\frac{dI}{I} = -kcdl \quad (5)$$

Równanie to można scałkować obustronnie otrzymując:

$$\ln I + C = -kcl \quad (6)$$

gdzie stała  $C$  to stała całkowania wyznaczana z warunków początkowych, dla których natężenie początkowe  $I = I_0$ , wynosi  $C = -\ln I_0$ . Podstawiając stałą  $C$  do równania 6 otrzymujemy:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -kcl \quad (7)$$

Funkcją odwrotną do funkcji logarytmicznej jest funkcja wykładnicza, zatem ostatecznie otrzymujemy, że natężenie światła (promieniowania monochromatycznego) zmniejsza się wykładniczo ze wzrostem grubości ośrodka.

$$I(l) = I_0 e^{-kcl} \quad (8)$$

gdzie:  $I(l)$  to natężenie światła po przejściu przez ośrodek o grubości  $l$ , w którym jest substancja absorbująca światło z charakterystycznym współczynnikiem  $k$  i o koncentracji  $c$ , natomiast  $I_0$  jest natężeniem światła padającego.

Aby uzyskać informację, jaka część światła została zaabsorbowana wygodniej jest korzystać ze wzoru opisującego prawo absorpcji w postaci przedstawionej wzorem 7 dodatkowo zastępując logarytm naturalny logarytmem dziesiętnym otrzymując prawo absorpcji w postaci:

$$\log \frac{I_0}{I(l)} = \alpha c l \quad (9)$$

Wielkość  $\log \frac{I_0}{I(l)}$  oznacza się literą  $A$  i nazywa **absorbancją**, zaś  $\alpha$  nosi nazwę **współczynnika absorpcji** i związana jest ze współczynnikiem  $k$  w następujący sposób  $\alpha = k \log e$ .

Ostatecznie prawo absorpcji w następującej postaci

$$A = \alpha c l \quad (10)$$

zwane jest prawem Lamberta–Beera, i w prosty sposób wiąże absorbancję, czyli wielkość będącą miarą absorpcji, z własnościami absorpcyjnymi ośrodka, koncentracją centrów absorbujących i grubością warstwy i mówi, że absorbancja światła monochromatycznego jest wprost proporcjonalna do grubości ośrodka i koncentracji centrów absorbujących (stężenia substancji).

Korzystając z tego równania trzeba pamiętać o jednostkach poszczególnych wielkości fizycznych:

- $l$  mierzymy w metrach lub centymetrach [m, cm],
- $c$  wyrażamy w „sztukach” na jednostkę objętości [ $\frac{1}{\text{m}^3}$ ,  $\frac{1}{\text{cm}^3}$ ],
- $a$  wyrażamy natomiast w  $\text{m}^2$  lub  $\text{cm}^2$ , tak, aby cały iloczyn  $\alpha c l$  był wielkością bezwymiarową, bo tylko taki może być argument funkcji wykładniczej.

## II. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

W wykonywanym ćwiczeniu należy zbadać zależność absorbancji preparatu od jego grubości.

### **Masz dyspozycji:**

1. Laser – jako źródło światła;
2. Fotodiode podłączoną do woltomierza – jako detektor światła;
3. Komplet płytek szklanych o różnych grubościach zawierających substancję absorbującą światło (filtry).

Wszystkie te elementy oprawione są w metalowe walce o jednakowej średnicy, więc aby zmontować z nich układ optyczny wystarczy ułożyć je w dostarczonym kątowniku tak, aby wiązka światła z lasera przechodziła przez filtry i trafiała do detektora.

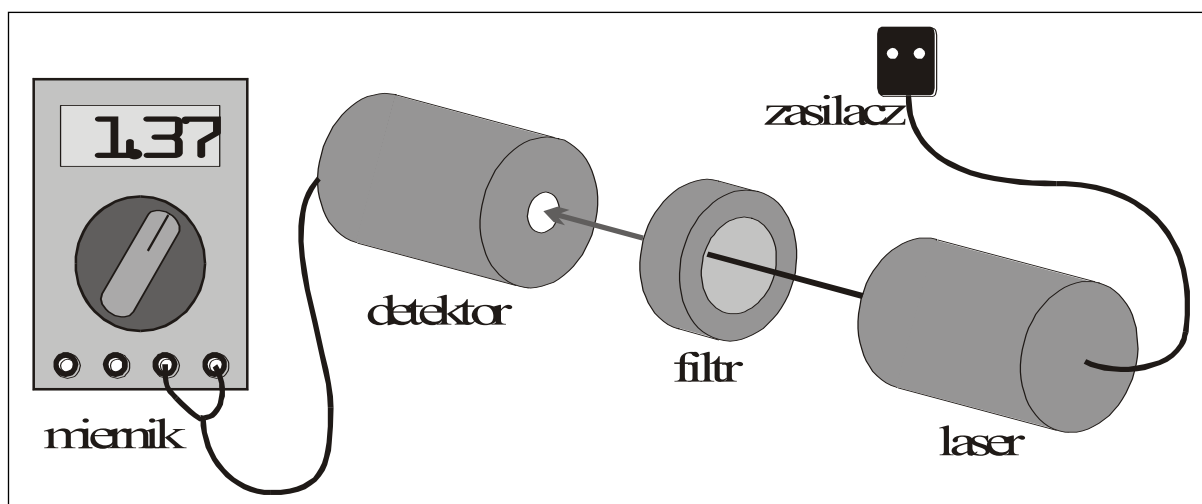
Laser uruchamia się wkładając do kontaktu wtyczkę zasilacza – nie ma on dodatkowego wyłącznika. **Posługując się laserem należy zachować szczególną ostrożność, aby nie skierować wiązki lasera w oko – może to spowodować poważne uszkodzenie wzroku!**

Przed pomiarami fotodiode należy włączyć przełącznikiem umieszczonym na tylnej ścianie obudowy, a po pomiarach należy ją wyłączyć, by uniknąć niepotrzebnego rozładowania baterii. Fotodiode należy podłączyć do miernika uniwersalnego ustawionego na odpowiedni zakres pomiaru napięcia. Napięcie wskazywane przez woltomierz jest wprost proporcjonalne do natężenia światła padającego na fotodiode – w ten sposób mierzone natężenie światła wyrażane jest w jednostkach umownych – poprzez napięcie na zaciskach fotodiody. Woltomierz w czasie każdego pomiaru należy ustawić na najmniejszy zakres, który jest większy od mierzonego napięcia – dzięki temu dokładność pomiaru będzie największa.

W skład zestawu wchodzi 6 filtrów, których grubości podane są na ich obudowach. Są one wykonane ze szkła zawierającego tę samą substancję absorbującą i o takiej samej koncentracji. **Nie wolno dotykać palcami powierzchni szklanych filtrów, gdyż pozostają na nich trudne do usunięcia ślady, które dodatkowo zmniejszają natężenie światła przechodzącego przez filtr.** Filtrów można używać pojedynczo, a także umieszczając pomiędzy laserem a detektorem 2 lub 3 filtry. Należy jednak pamiętać, że od każdej powierzchni filtru odbija się pewna ilość światła (ok. 4% natężenia padającego), co wpływa na wynik pomiaru.

### Wykonanie pomiarów:

Należy zmontować układ optyczny składający się z lasera i detektora światła tak jak to opisano powyżej i przedstawiono schematycznie na rysunku. 1.



**Rysunek 1.** Schemat układu.

Przed włożeniem jakiegokolwiek filtru należy zmierzyć i zanotować napięcie  $U_0$  odpowiadające natężeniu światła emitowanego przez laser, czyli natężeniu światła  $I_0$  padającego na filtry. Pomiar ten powinno się powtarzać po każdej zmianie filtru, gdyż natężenie światła emitowanego przez laser może zmieniać się w czasie. Wkładamy do układu poszczególne filtry i rejestrujemy napięcia  $U(l)$ , odpowiadające natężeniu światła przechodzącego przez filtry o różnych grubościach zapisując dane w tabeli. Następnie wkładamy do układu pary, ewentualnie trójki filtrów i wykonujemy analogiczne pomiary dla układów 2 i 3 filtrów tak, aby łączna liczba wszystkich pomiarów była większa lub równa 10. Budując zestawy należy wybierać filtry o mniejszych absorbancjach, aby natężenie światła przechodzącego przez układ 2 lub 3 filtrów dało się jeszcze zmierzyć.

Tabela 1. Pomocnicza tabela do zapisu wyników pomiarów oraz ich niepewności

Filtr	Grubość filtra $l$ [jd] <sup>1</sup>	$u_l$ [jd]	$U_0$ [jd]	$\Delta U_0$ [jd]	$u_{U_0}$ [jd]	$U(l)$ [jd]	$\Delta U(l)$ [jd]	$u_{U(l)}$ [jd]
X1								
X2								
..								
..itd								

<sup>1</sup>jd -jednostki

Należy pamiętać o zanotowaniu wartości grubości ośrodków, przez które przechodziło światło. Ponadto trzeba sprawdzić, jaka jest dokładność użytych przyrządów pomiarowych, aby móc przeprowadzić analizę niepewności pomiarowych.

### III. RAPORT KOŃCOWY

Opracowując uzyskane wyniki należy utożsamić odczytane z woltomierza wartości napięcia z wartościami natężenia światła. i obliczyć absorbancję ( $A$ ) filtrów lub ich zestawów wraz z niepewnością ( $u_A$ ). (*Pamiętaj o uprzednim obliczeniu niepewności dla mierzonych wartości napięć ( $u_{U_0}$ ,  $u_{U(l)}$ ).*)

Wykonaj wykres zależności absorbancji od grubości ośrodka. Sprawdź, czy otrzymane wyniki doświadczenia spełniają prawo Lamberta-Beera. Dopasuj prostą do uzyskanych wyników zależności  $A(l)$  dla pojedynczych filtrów. Czy widzisz jakieś różnice dla uzyskanych absorbancji dla danej grubości ośrodka przy stosowaniu układu kombinacji dwóch lub trzech filtrów? Spróbuj uwzględnić fakt występowania odbić na powierzchni filtrów – wiedząc, że około 4% natężenia światła padającego ulega odbiciu od powierzchni filtra.

Wykonując opis należy pamiętać o jego poprawnej formie:

- 1. Streszczenie** - ma zawierać cel przeprowadzonego doświadczenia, oraz informację czy uzyskana zależność absorbancji  $A$  od grubości ośrodka spełnia prawo Lamberta – Beera.
- 2. Wstęp** – ma zawierać omówienie zjawiska absorpcji światła przez materię i sformułowanie prawa Lamberta – Beera.
- 3. Układ doświadczalny** – ma zawierać schemat i opis układu doświadczalnego wraz z informacją o komplecie stosowanych w doświadczeniu filtrów, oraz opis przebiegu pomiarów.
- 4. Wyniki i ich analiza** – ma zawierać uzyskane wyniki pomiarów, jak i ich analizę przeprowadzoną według podanej powyżej instrukcji. Uzyskane wyniki z niepewnościami należy zamieścić w przejrzystych tabelach. Wszystkie tabele i wykresy muszą być opisane.
- 5. Dyskusja wyników** – ma zawierać komentarz do uzyskanych wyników.

### IV. LITERATURA

1. Z. Józwiak, G. Bartosz (red), Biofizyka – wybrane zagadnienie wraz z ćwiczeniami., PWN, Warszawa 2008.
2. H. Szydłowski, Pracownia Fizyczna wspomagana komputerem., PWN, Warszawa 2003.