

Piotr Janas, Paweł Turkowski
Zakład Fizyki UR
Do użytku wewnętrznego

ĆWICZENIE 44

ABSORPCJOMETRIA. WYZNACZANIE STĘŻENIA ROZTWORU

Kraków, 10.03.2016

SPIS TREŚCI

I. CZĘŚĆ TEORETYCZNA

- Promieniowanie elektromagnetyczne
- Absorpcja promieniowania
- Widma absorpcyjne
- Spektroskopia
- Rodzaje widm molekularnych
- Przepuszczalność i ekstynkcja
- I prawo absorpcji (prawo Lamberta)
- II prawo absorpcji (prawo Beera)
- Metoda analizy ilościowej
- Kolorymetry, absorpcjometry i spektrofotometry
- Spektrofotometr SPEKOL

II. CEL ĆWICZENIA

III. WYKONANIE ĆWICZENIA

IV. OPRACOWANIE WYNIKÓW

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

I. CZĘŚĆ TEORETYCZNA

Zakres wymaganych wiadomości:

Fale elektromagnetyczne. Natężenie promieniowania. Absorpcja. Widma absorpcyjne. Spektroskopia. Rodzaje widm molekularnych. Przepuszczalność. Ekstynkcja. Prawa absorpcji. Metoda fotometrycznej analizy ilościowej. Analityczna długość fali. Absorpcjometr fotoelektryczny. Spektrofotometr SPEKOL.

Promieniowanie elektromagnetyczne

Promieniowanie elektromagnetyczne jest poprzeczną falą rozchodzącą się w próżni z prędkością $c=3\cdot 10^8$ m/s. Rejestrowane doświadczalnie fale elektromagnetyczne obejmują bardzo szeroki zakres długości od fal promieniowania kosmicznego o długości rzędu 10^{-14} m do długich fal radiowych o długości rzędu 10^6 m. *Światło widzialne* jest też falą elektromagnetyczną, zajmuje jednak wąski zakres długości od około $3.8\cdot 10^{-7}$ m do około $7.6\cdot 10^{-7}$ m, to jest od 380nm do 760nm.

Falę elektromagnetyczną cechuje m.inn: prędkość rozchodzenia się c , długość fali λ , częstość drgań ν i liczba falowa $\bar{\nu}$. Wielkości te związane są ze sobą zależnościami:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad \left[\frac{1}{s} \right]$$

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad \left[\frac{1}{cm} \right]$$

Promieniowanie elektromagnetyczne przejawia również naturę korpuskularną - jest zbiorem *kwantów* (porcji) energii. Energia E kwantu promieniowania, zwanego również *fotonem*, jest powiązana z wielkościami c , λ , ν , $\bar{\nu}$, wzorem Plancka:

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

gdzie: h - stała Plancka ($h=6.62\times 10^{-34}$ J·s). Z przyczyn, których nie będziemy tu wyjaśniać energia promieniowania podawana jest często w jednostkach zwanych elektronowoltami (eV). Dla orientacji można podać, że fala elektromagnetyczna o długości 1m ma energię $1.24\cdot 10^{-6}$ eV.

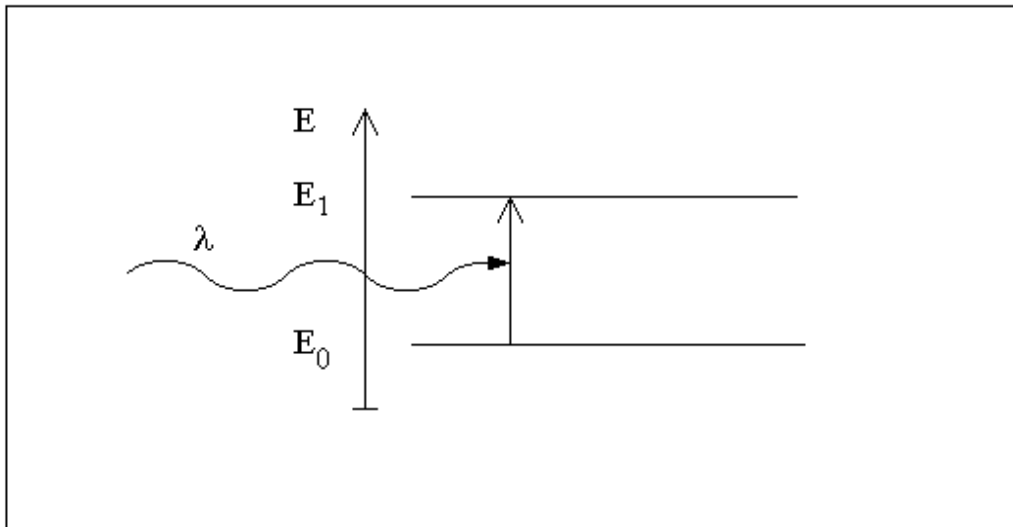
Absorpcja promieniowania

Podczas przechodzenia fal elektromagnetycznych przez ośrodek materialny część jego energii zamieniana jest w sposób nieodwracalny na inne formy energii. Ten proces nazywa się *absorpcją* czyli pochłanianiem.

Przykładowo gdy światło wysyłane przez rozgrzane ciało stałe przechodzi przez chłodny gaz, wówczas znajdujące się w stanie podstawowym atomy lub cząsteczki tego gazu będą pochłaniały selektywnie światło o pewnych długościach fali. Absorpcja występuje tylko wówczas, gdy w świetle padającym obecne są fale o długościach, dla których energia określona równaniem (1) odpowiada różnicy energii skwantowanych poziomów energetycznych ciała absorbującego (rys.1). Jeżeli niższy stan energetyczny oznaczmy E_0 , a wyższy stan energetyczny E_1 , to absorpcja wystąpi zatem wówczas, gdy

$$\lambda = \frac{hc}{E_1 - E_0} \quad (2)$$

Światło o długościach fal nie spełniających równania (2) zostaje przez substancję przepuszczone.

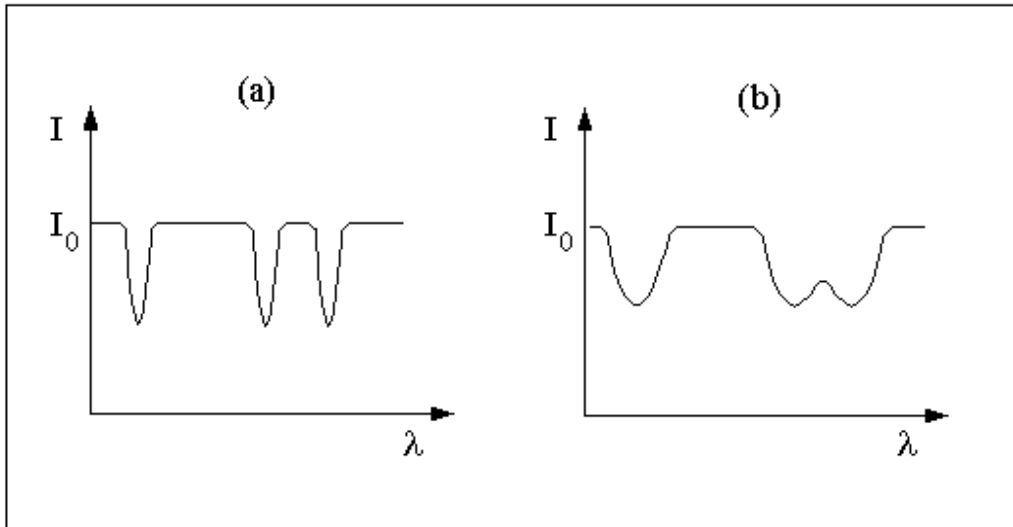


Rys.1. Absorpcja światła o długości fali równej $h_0 / (E_2 - E_1)$ powoduje przejście atomu ze stanu o energii E_0 do stanu E_1

Widma absorpcyjne

Natężeniem promieniowania nazywamy energię przechodzącą w ciągu jednej sekundy przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do kierunku promieniowania.

Widmo absorpcyjne jest to zależność natężenia promieniowania (I) rejestrowanego po przejściu przez substancję absorbującą od długości fali (λ). Zgodnie z tym co powiedziano wyżej widmo absorpcyjne ciała absorbującego o skwantowanych poziomach energetycznych powinno składać się z bardzo wąskich linii absorpcyjnych, tak jak to przedstawia rysa. W rzeczywistości obserwujemy jednak widmo w postaci przedstawionej na rys.2b, tzn. z poszerzonymi liniami widmowymi.



Rys.2. Widmo absorpcyjne o wąskich (a) i poszerzonych (b) liniach widmowych

Istnieje kilka przyczyn poszerzenia linii widmowych. Spośród tych przyczyn wymienimy tu: oddziaływania międzycząsteczkowe, efekty związane z kwantowomechaniczną zasadą nieoznaczoności Heisenberga, efekt Dopplera oraz przyczyny aparaturowe.

Spektroskopia

Spektroskopia to dział fizyki doświadczalnej i teoretycznej obejmujący badanie i interpretację widma promieniowania elektromagnetycznego emitowanego, pochłanianego lub rozpraszanego przez cząsteczki, atomy i jądra atomowe. Biorąc pod uwagę długość fali analizowanego promieniowania elektromagnetycznego, spektroskopię dzielimy na:

- 1) *spektroskopię gamma i rentgenowską* (do 10nm),
- 2) *spektroskopię optyczną*, którą dzieli się na:
 - a) zakres nadfioletu (UV) (od 10 do 400nm),
 - b) zakres widzialny (Vis) (od 400 do 800nm),
 - c) zakres podczerwieni (IR) (od 0.8 do 1000mm),
- 3) *radiospektroskopię* (powyżej 1mm).

W nawiasach podano orientacyjne zakresy długości fal. Ze względu na rodzaj badanych układów spektroskopię dzielimy na *jądrową*, *atomową*, *molekularną* i *spektroskopię kryształów*. Metody otrzymywania widma mogą być różne, w związku z czym rozróżniamy *spektroskopię absorpcyjną*, *emisyjną* i tzw. *ramanowską*. Poniższe ćwiczenie jest wprowadzeniem do absorpcyjnej spektroskopii molekularnej.

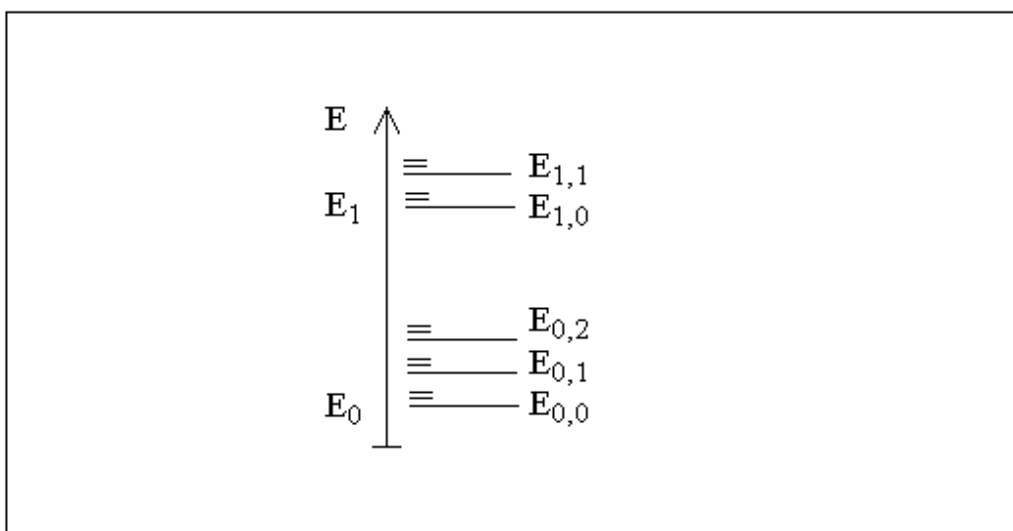
Niekiedy substancja pod wpływem stałego pola magnetycznego zaczyna pochłaniać fale elektromagnetyczne o pewnych długościach. Zjawisko to wykorzystywane jest w metodach spektroskopii *EPR* (elektronowy rezonans paramagnetyczny) i *MRJ* (jądrowy rezonans magnetyczny).

Rodzaje widm molekularnych

Całkowita wewnętrzna energia kinetyczna E molekuly może być w przybliżeniu wyrażona w postaci sumy energii ruchu elektronowego E_{el} , oscylacyjnego E_{osc} i rotacyjnego (obrotowego) E_{rot} . Zmiana energii cząsteczki ΔE zachodząca w wyniku absorpcji promieniowania elektromagnetycznego wynosi:

$$\Delta E = \Delta E_{el} + \Delta E_{osc} + \Delta E_{rot}.$$

W konsekwencji prosty schemat poziomów energetycznych cząsteczki przedstawiony na rys. 1 powinien zostać zastąpiony bardziej realistycznym, przedstawionym na rys.3.



Rys.3. Schemat poziomów energetycznych cząsteczki. E_0 i E_1 oznaczają poziomy elektronowe a $E_{0,1}$, $E_{0,2}$ i $E_{1,1}$ poziomy oscylacyjne

Zgodnie z tym rysunkiem poziomowi elektronowemu (E_0 , E_1, \dots) odpowiada grupa poziomów oscylacyjnych ($E_{0,1}$, $E_{0,2}$, $E_{1,1}$, ...) a poziomowi oscylacyjnemu - poziomy rotacyjne. Skala energii na rysunku (skala pionowa) jest jedynie schematyczna, ponieważ wartości energii elektronowej, oscylacyjnej i rotacyjnej mają się do siebie w przybliżeniu tak jak:

$$\Delta E_{el} : \Delta E_{osc} : \Delta E_{rot} = 1000 : 10 : 1$$

gdzie ΔE_{el} jest rozumiane jako np. $E_1 - E_0$ natomiast $\Delta E_{osc} = E_{0,1} - E_{0,0}$ itd. Przejścia pomiędzy poziomami poszczególnych rodzajów odpowiadają więc absorpcji w zupełnie innych zakresach długości fal elektromagnetycznych. Poniżej podajemy orientacyjne dane na temat zakresów długości fal i energii odpowiadających przejściom pomiędzy poszczególnymi poziomami.

- 1) Poziomy elektronowe wewnętrznych i zewnętrznych powłok elektronowych. Energia przejść między poziomami wewnętrznymi jest rzędu dziesiątków i tysięcy elektronowoltów a otrzymane widmo jest widmem rentgenowskim. Energia wynikająca z przejść pomiędzy

poziomami zewnętrznymi powłokami elektronowymi jest rzędu kilku elektronowoltów, a powstające widmo przypada na zakres widzialny i ultrafiolet.

- 2) Poziomy oscylacyjne są wynikiem ruchów oscylacyjnych jąder. Energia tych drgań wynosi 0.01 do 1eV. Widmo powstałe w wyniku przejść między tymi poziomami przypada na zakres podczerwieni.
- 3) Poziomy rotacyjne są wynikiem ruchu obrotowego cząsteczki jako całości wokół własnej osi. Energia przejść między tymi poziomami wynosi 10^{-5} - 10^{-2} eV. Widmo powstałe w wyniku tych przejść leży w podczerwieni.
- 4) Poziomy tzw. struktury subtelnej wynikają ze spinu elektronowego. Energia tych przejść zbliżona jest do 10^{-4} eV. Przejścia te bada się metodami radiospektroskopii.
- 5) Poziomy tzw. struktury nadsubtelnej są wynikiem istnienia spinu jądrowego. Energia przejść między tymi poziomami wynosi od 10^{-8} do 10^{-7} eV. Badanie tych przejść jest dostępne metodami: rezonansu magnetycznego i tzw. rezonansu kwadrupolowego.

W przypadku cząsteczek izolowanych, np. w stanie gazowym, może ujawnić się struktura oscylacyjno-rotacyjna (tzw. struktura subtelna) widma elektronowego. W roztworach, w wyniku zahamowanej rotacji i oddziaływania rozpuszczalnika na poziomy oscylacyjne, struktura subtelna zwykle zanika i przejście elektronowe odzwierciedla w widmie szeroka, wygładzona obwiednia poszczególnych przejść oscylacyjno-rotacyjnych.

Przepuszczalność i ekstynkcja

Przepuszczalność i ekstynkcja opisują ilościowo pochłanianie światła w substancji absorbującej. *Przepuszczalność (transmitancja)* ϑ jest to stosunek natężenia światła I_T przechodzącego przez substancję absorbującą do natężenia światła padającego I_0 :

$$\vartheta = \frac{I_T}{I_0} \quad (3)$$

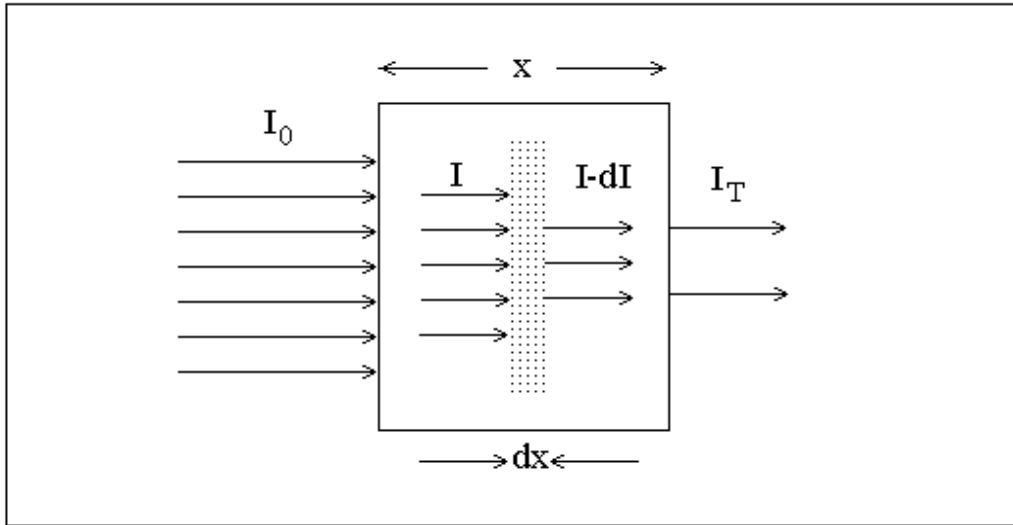
Ponieważ wartości ϑ zawierają się w przedziale od 0 do 1 transmitancja najczęściej wyrażana jest w procentach. Drugą wielkością pozwalającą ocenić spadek natężenia wiązki światła po przejściu przez absorbującą warstwę jest ekstynkcja. *Ekstynkcją* E nazywamy logarytm dziesiętny odwrotności transmitancji:

$$E = \log \frac{1}{\vartheta} \quad (4)$$

I prawo absorpcji (prawo Lamberta)

By opisać od czego zależy wartość przepuszczalności i ekstynkcji rozważmy absorbującą równoległościenną ciało o szerokości x przedstawione na rys.4. Natężenie padającego monochromatycznego światła oznaczmy przez I_0 . Światło to przechodząc przez ciało ulega absorpcji i na wybraną cienką warstwę (na rysunku zakresowaną) pada światło o mniejszym

natężeniu I . Wewnątrz tej warstwy oraz w dalszej części próbki następuje ustawiczne zmniejszanie natężenia światła. Natężenie światła wychodzącego oznaczmy przez I_T .

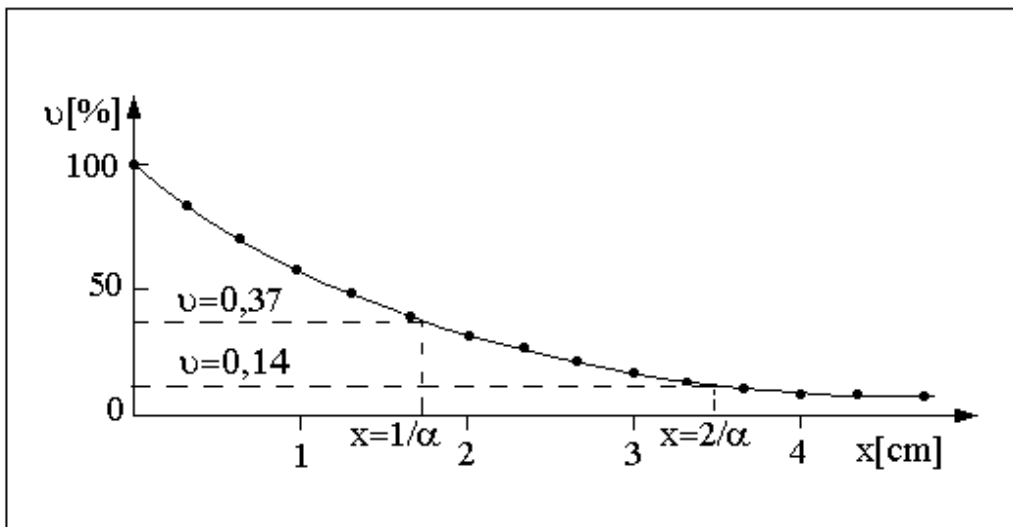


Rys.4. Absorpcja światła w płycie równoległościennej

Natężenie światła I_T wychodzącego z warstwy absorbującej o grubości x opisywane jest *prawem Lamberta*:

$$I_T = I_0 e^{-\alpha x} \quad (5)$$

gdzie e jest podstawą logarytmów naturalnych. Stała proporcjonalności α nazywa się *współczynnikiem absorpcji* i dla danej długości fali λ charakteryzuje ośrodek absorbujący.



Rys.5. Przepuszczalność ν równoległościennych płytek szklanych tworzących warstwy o grubościach x .

Dla przykładu na rysunku 5 przedstawiono zgodną z prawem Lamberta zależność przepuszczalności ν od grubości warstwy absorbującej x . Pomiary przeprowadzono zmieniając liczbę płytek szklanych absorbujących światło białe. Zgodnie z równaniem (5) przedstawiona na rys.5 zależność $\nu(x)$ ma postać eksponencjalną: $\nu = e^{-\alpha x}$. Dla bardzo cienkich warstw ($x \ll 1/\alpha$) przepuszczalność jest bliska 1. Po przejściu przez warstwę o grubości $x=1/\alpha$ natężenie światła spada o czynnik $e^{-\alpha x} = e^{-1} = 1/e \approx 0.3679$. Podwojenie tej grubości ($x = 2/\alpha$) powoduje zmniejszenie natężenia o $(1/e)^2$, tzn. I_T stanowi $0.1353 \cdot I_0$.

II prawo absorpcji (prawo Beera)

W celach analitycznych często bada się absorpcję substancji rozpuszczonych w ciekłych rozpuszczalnikach. Wówczas współczynnik absorpcji zależy nie tylko od długości fali ale i od stężenia roztworu. *Prawo Beera* stwierdza, że zależność współczynnika absorpcji (α) od stężenia (c) jest liniowa:

$$\alpha = k c$$

tzn:

$$I_T = I_0 e^{-k c x} \tag{6}$$

Po prostych przekształceniach i zlogarytmowaniu równania (6) otrzymujemy następujący związek pomiędzy ekstynkcją i grubością warstwy roztworu oraz jego stężeniem:

$$E = \varepsilon c x \tag{7}$$

gdzie współczynnik $\varepsilon = k \cdot \log e = k/2.3026$ nazywany jest *współczynnikiem ekstynkcji*. Jeśli stężenie c wyrażone jest w molach na dm^3 to ε nosi nazwę *molowego współczynnika ekstynkcji*. Wyrażając grubość warstwy roztworu x w [cm] wartości ε otrzymujemy w [$\text{dm}^3/\text{cm} \cdot \text{mol}$].

Prawo Beera w postaci (7) stwierdza, że ekstynkcja (E) roztworu substancji absorbującej jest wprost proporcjonalna do jej stężenia (c) i grubości próbki (x). Związek (7) wyjaśnia także dlaczego oprócz przepuszczalności do opisu absorpcji posługujemy się pojęciem ekstynkcji. Jest to użyteczne, ponieważ zależność przepuszczalności od stężenia jest bardziej skomplikowana od liniowej zależności (7).

Prawo Beera nie jest uniwersalnym prawem przyrody. W literaturze uzupełniającej podano przykłady odstępstw od tego prawa. Mogą być one spowodowane czynnikami fizycznymi, chemicznymi lub aparaturowymi.

III prawo absorpcji (prawo addytywności ekstynkcji)

W roztworze dwuskładnikowym lub o większej liczbie składników cząsteczki poszczególnych substancji mogą nie oddziaływać na siebie tak, by wpływać na zmianę wartości współczynników ekstynkcji. Ekstynkcja roztworu jest wtedy sumą ekstynkcji poszczególnych składników:

$$E = (\varepsilon_1 c_1 + \varepsilon_2 c_2 + \dots + \varepsilon_m c_m) x$$

Metoda analizy ilościowej

Związek pomiędzy stężeniem badanej substancji i ekstynkcją można wykorzystać w metodzie *analizy ilościowej*, tzn. przy wykorzystaniu pomiarów fotometrycznych do wyznaczenia nieznanego stężenia substancji.

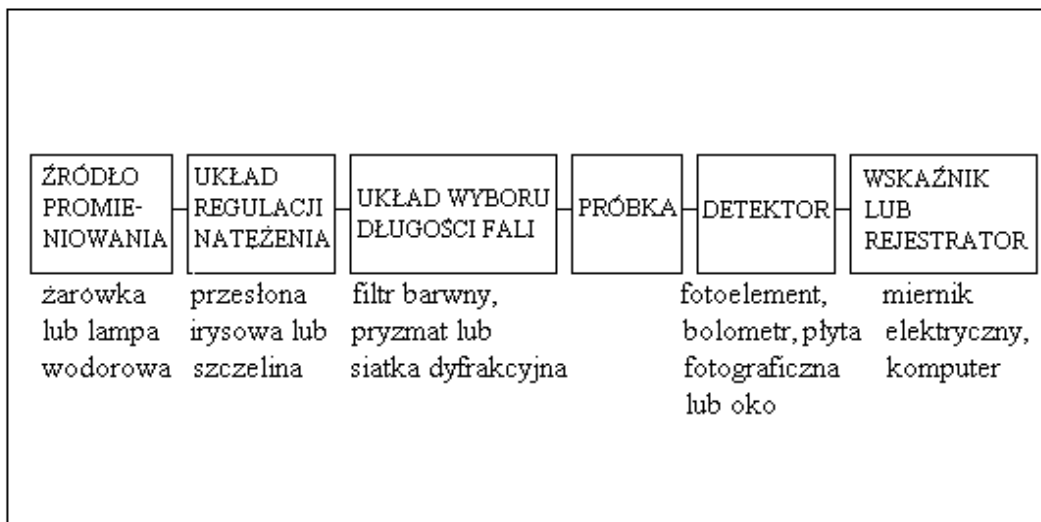
Pomiar stężenia roztworu wymaga doboru odpowiedniej do badań długości fali światła. Ta wybrana do analizy długość nazywa się *analityczną długością fali*. Sposób jej doboru dla poszczególnych zagadnień opisany jest w literaturze [patrz np. E.Szysko]. W tym ćwiczeniu jako analityczną długość fali światła obieramy tę wartość λ , dla której ekstynkcja E osiąga wartość maksymalną. Pomiar rozpoczyna się więc od wyznaczenia ekstynkcji w funkcji długości fali $E(\lambda)$ w celu określenia położenia maksimum.

Nieznanne stężenie roztworu można ustalić mierząc przy wybranej analitycznej długości fali ekstynkcję dla próbki nieznannej i dla szeregu próbek o różnych ale znanych stężeniach. Ze sporządzonego na podstawie tych pomiarów wykresu $E(c)$ odczytać można bezpośrednio wartość nieznanego stężenia. Można również skorzystać z II prawa absorpcji (prawa Beera). Z wykresu $E(c)$ odczytujemy lub obliczamy wartość współczynnika kierunkowego prostej $E(c)$, który jest na podstawie równania (7) równy εx i obliczamy wartość molowego współczynnika ekstynkcji ε . Następnie, dysponując wynikiem pomiaru wartości ekstynkcji dla roztworu o nieznanym stężeniu, obliczamy to stężenie korzystając z równania (7).

III prawo absorpcji może być użyteczne w analizie ilościowej układów wieloskładnikowych. Jeżeli możliwy jest odpowiedni dobór różnych analitycznych długości fal: $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$, to dokonanie pomiaru ekstynkcji: $E(\lambda_1), E(\lambda_2), \dots, E(\lambda_m)$ umożliwi obliczenie stężeń poszczególnych m składników.

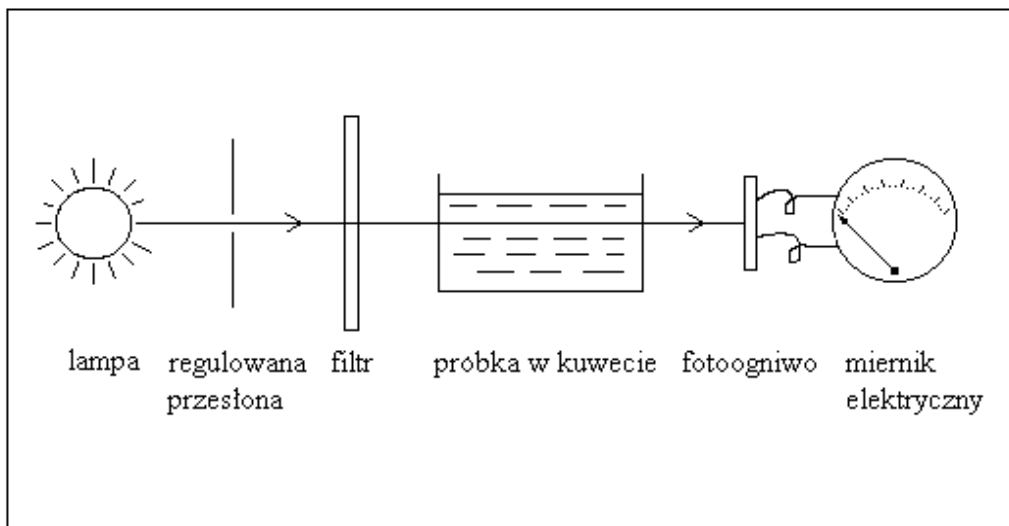
Kolorymetry, absorpcjometry i spektrofotometry

Do pomiarów selektywnej absorpcji w roztworach służą kolorymetry, absorpcjometry i spektrofotometry. We wszystkich tych aparatach występują elementy realizujące podobne funkcje (rys.6).



Rys.6. Schemat blokowy przyrządu do pomiaru selektywnej absorpcji

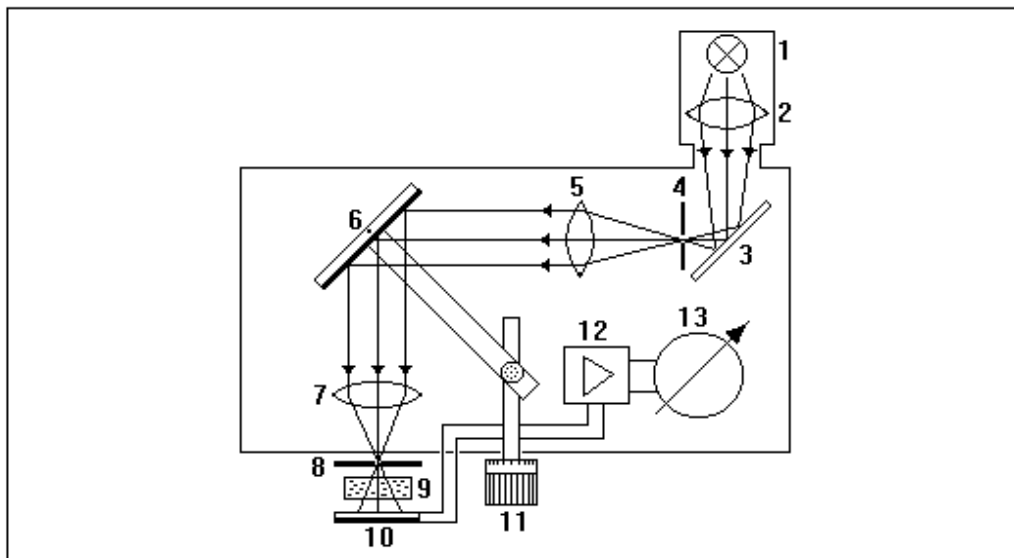
Przykład konstrukcji prostego absorpcjometru fotoelektrycznego ilustruje rys.7. Zasadniczymi elementami przyrządu są: żarówka z wklęsłym reflektorem, układ regulacji natężenia światła w formie regulowanej przesłony, barwny filtr szklany, próbka w kuwecie, fotoogniwo i połączony z nim miernik elektryczny. Wskazania miernika są proporcjonalne do natężenia światła docierającego do fotoogniwa. Pomiar absorpcji polega na porównaniu wskazań przyrządu uzyskanych dla cieczy wzorcowej, np. wody lub innego rozpuszczalnika, ze wskazaniami dla badanej cieczy.



Rys.7. Absorpcjometr fotoelektryczny

Spektrofotometr SPEKOL

W ćwiczeniu wykorzystywany jest spektrofotometr SPEKOL wyprodukowany przez firmę C. Zeissa w Jenie. Schemat układu pomiarowego przedstawia rys.8.



Rys.8. Schemat układu spektrofotometru SPEKOL

Źródłem światła białego jest lampa żarzeniowa (1). Światło przechodzi przez soczewkę skupiającą (2) i odbija się od ukośnie ustawionego lusterka (3). Po przejściu przez szczelinę wejściową monochromatora (4) i kolimator (5) światło pada w postaci równoległej wiązki na powierzchnię odbiciowej siatki dyfrakcyjnej (6). Odbita wiązka światła przechodząc przez soczewkę skupiającą (7) ogniskowana jest w płaszczyźnie szczeliny wyjściowej (8). Po przejściu przez szczelinę monochromatyczna wiązka przechodzi przez kuwetę (9) z badaną cieczą i pada na powierzchnię fotoogniwa selenowego (10). Długość fali światła może być regulowana poprzez zmianę kąta ustawienia siatki. Umożliwia to pokrętło (11). Proporcjonalny do natężenia światła I fotoprąd wzmacniany jest we wzmacniaczu tranzystorowym (12). Połączony ze wzmacniaczem mikroamperomierz (13) wyskalowany jest w wartościach transmitancji τ (skala liniowa od 0% do 100%) i ekstynkcji E (skala logarytmiczna od 2 do 0).

II. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie: analitycznej długości fali, molowego współczynnika ekstynkcji i określenie nieznanych stężeń dla wodnych roztworów badanej substancji.

III. WYKONANIE ĆWICZENIA

1. Włączyć zasilacz spektrofotometru i odczekać około 10 minut do czasu ustalenia się równowagi cieplnej w obudowie żarówki. Dźwignia z lewej strony płyty czołowej winna znajdować się cały czas w położeniu "0" (zasłonięta fotokomórka).
2. Jedną z kuwet napełnić wodą destylowaną i umieścić w lewym uchwycie koszyczka. Nie należy przy tym dotykać przezroczystej części kuwety.
3. Drugą kuwetę napełnić barwnym roztworem o stężeniu $c_0=25\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ i umieścić w prawym uchwycie koszyczka.
4. Ustawić pokrętkiem służącym do nastawienia długości fali światła wartość 450nm.
5. Koszyczek z kuwetami przesunąć w prawo. Na drodze wiązki światła znajdzie się wówczas kuweta z wodą destylowaną.
6. Gałką potencjometru oznaczoną "0" ustawić wskazówkę miernika na wartość 0 na skali przepuszczalności (transmitancji) oznaczonej $\nu\%$. Następnie przestawić dźwignię w położenie "1" (odsłonięta fotokomórka) i za pomocą gałki potencjometru oznaczonej "100" ustawić wskazówkę miernika na wartość 100 na skali oznaczonej $\nu\%$.
7. Przesunąć koszyczek z kuwetami w lewo. Na drodze promieni znajdzie się wówczas kuweta z roztworem. Odczytać wartość ekstynkcji E.
8. Zmieniając długość fali co 50nm powtórzyć czynności opisane w punktach 5-7. Dla każdej długości fali zanotować wartości E. Pomiar zakończyć dla długości fali równej 700nm. Wyniki zapisać w następującej tabeli:

Tabela wyników pomiarów $E(\lambda)$ dla roztworu o stężeniu $c_0 = 25\mu\text{mol}/\text{dm}^3$

$\lambda[\text{nm}]$	E
450	
500	
...	
700	

9. Sporządzić roztwory o stężeniach $0.2c_0$, $0.4c_0$, $0.6c_0$ i $0.8c_0$. W tym celu do probówek nalać pipetą 2, 4, 6 i 8 cm^3 roztworu o znanym stężeniu $c_0 = 25\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ i dolać odpowiednio 8, 6, 4 i 2 cm^3 wody destylowanej.
10. Na podstawie danych z tabeli pomiarów zapisać w sprawozdaniu długość fali λ , dla której ekstynkcja E osiąga wartość maksymalną. Ta długość fali nazywa się *analityczną długością fali*, ponieważ wybrana jest do przeprowadzenia pomiaru nieznanych stężeń roztworów X i Y (punkty 11 i 12 w wykonaniu ćwiczenia).
11. Pokrętło spektrofotometru służące do ustalenia długości fali ustawić w położeniu odpowiadającym długości analitycznej. Dla tej jednej długości fali przeprowadzić wg. punktów 5-7 pomiary ekstynkcji sporządzonych roztworów. Przed napełnieniem kuwety nowym roztworem należy ją przemyć niewielką ilością tego samego roztworu.

12. Wykonać pomiary dla roztworów o nieznanach stężeniach X i Y. Wyniki zapisać w następującej tabeli:

Tabela wyników pomiarów E(c) dokonanych przy długości fali $\lambda = \dots$ [nm]

c	c [$\mu\text{mol}/\text{dm}^3$]	E
0.2c ₀		
0.4c ₀		
0.6c ₀		
0.8c ₀		
c ₀		
X		
Y		

IV. OPRACOWANIE WYNIKÓW

1. Sporządzić wykres zależności E od długości fali świetlnej: $E=f(\lambda)$.
2. Sporządzić wykres zależności E od stężenia c wyrażając stężenie w $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$: $E=f(c)$.
3. Z wykresu E(c) odczytać wartości stężeń X i Y.
4. Korzystając z wykresu E(c) obliczyć molowy współczynnik ekstynkcyj ε [$\text{dm}^3/\text{cm} \cdot \mu\text{mol}$] dla badanego roztworu. Zgodnie z równaniem (7) zależność E(c) jest liniowa a współczynnik kierunkowy prostej dopasowanej do punktów pomiarowych jest równy εx , gdzie x oznacza grubość kuwety, $x=1\text{cm}$. W celu wyznaczenia tego współczynnika kierunkowego do punktów pomiarowych na wykresie E(c) dopasować graficznie lub numerycznie prostą. Po wyznaczeniu współczynnika kierunkowego prostej obliczyć wartość molowego współczynnika ekstynkcyj ε .

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA

- Encyklopedia Fizyki, Tom 3, PWN, Warszawa 1974, s.373-419
Encyklopedia Fizyki Współczesnej, PWN, Warszawa 1983, s.285-345
Pigoń, K., Różewicz, Z., Chemia fizyczna, PWN, Warszawa 1986, cz.2, s.662-762
Sobczyk, L., (współautor), Eksperymentalna chemia fizyczna, PWN, Warszawa 1982, s.79-88, 146-162
Szczepaniak, W., Metody instrumentalne w analizie chemicznej, PWN, Warszawa 1985, s.15-77, 104-124, 208-215
Szyszko, E., Instrumentalne metody analityczne, PZWL, Warszawa 1982, s.91-184, 229-272