

Ćwiczenie 2: Metody spektralne w inżynierii materiałowej

PRZEDMIOT: NOWOCZESNE TECHNIKI BADAWCZE W INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

Opracowała: dr hab. Beata Grabowska

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE	3
2. SPEKTROFOTOMETRIA ABSORPCYJNA	4
2.1. Prawa absorpcji	4
2.2. Ograniczenia w stosowaniu prawa Lamberta-Beera	6
2.3. Spektrofotometria – zasada metody	6
2.4. Zastosowanie spektrofotometrii	7
3. ILOŚCIOWY POMIAR SPEKTROFOTOMETRYCZNY	8
3.1. Kalibracja	8
3.2. Krzywa wzorcowa	9
3.3. Budowa spektrofotometru	11
4. LITERATURA	12
5. INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA:	13
5.1. Temat ćwiczenia: Metody spektralne w inżynierii materiałowej.	13
5.2. Cel ćwiczenia: Spektrofotometryczne oznaczenie wybranych substancji nieorganicznych.	13
5.3. Aparatura i sprzęt laboratoryjny	13
5.4. Odczynniki i materiały	13
5.5. Wykonanie ćwiczenia	13
5.6. Opracowanie sprawozdania	13

1. WPROWADZENIE

Analizując strukturę dowolnej heteroatomowej cząsteczki można stwierdzić, że na jej całkowitą energię składa się energia elektronów wiążących, energia wiązań chemicznych oraz energia swobodnej rotacji cząsteczki. Całkowitą energię cząsteczki E można zatem przedstawić jako sumę trzech składników odpowiadających trzem rodzajom ruchu w cząsteczce:

$$E = E_e + E_{os} + E_{rot} \quad (1)$$

gdzie:

E_e - energia elektronowa (związana z ruchem elektronów),

E_{os} - energia oscylacyjna (związana z ruchem oscylacyjnym),

E_{rot} - energia rotacyjna (związana z ruchem rotacyjnym).

W metodach spektrycznych sygnał analityczny powstaje w wyniku oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego lub korpuskularnego na badaną próbkę. Promieniowanie elektromagnetyczne zachodzi wskutek okresowych zmian pola elektromagnetycznego rozchodzących się w przestrzeni ze skończoną prędkością i związanych z przenoszeniem energii. Promieniowanie elektromagnetyczne składa się z fotonów, czyli kwantów promieniowania (kwantów energii). Charakterystyczną ich własnością jest energia:

$$E = h \cdot \nu \quad (2)$$

gdzie:

E - energia fotonu wyrażona w jednostkach energii (zgodnie z układem SI w dżulach, poprzednio w kaloriach: $1\text{J} = 0,2389\text{ cal}$);

h - stała uniwersalna Plancka ($6,626 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$);

ν - częstotliwość drgań promieniowania emitowanego lub absorbowanego, wyrażona w hercach (Hz).

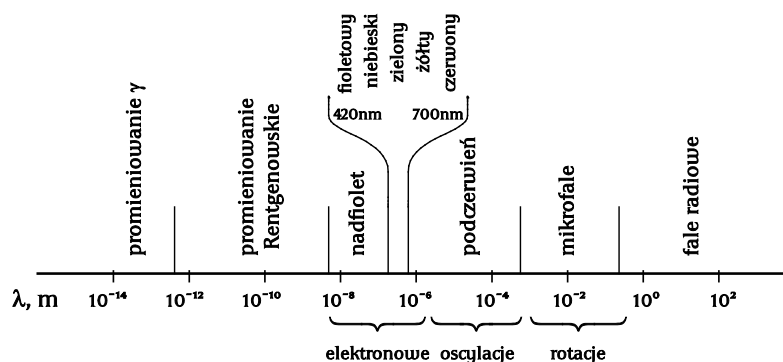
Częstotliwość (częstość) drgań świetlnych związana jest z długością fali świetlnej (λ):

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

gdzie:

c - prędkość światła w próżni ($3 \cdot 10^8\text{ m/s}$).

Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie widma promieniowania elektromagnetycznego z zaznaczeniem zakresów, w których następują zmiany różnych stanów energetycznych cząsteczki.



Rys. 1. Widmo promieniowania elektromagnetycznego

Zmiany każdej postaci energii wymagają dostarczenia do układu odpowiedniej porcji (wielkości kwantu) energii. Najmniej energii wymaga zmiana rotacji cząsteczki, więcej energii wymaga wprawienie w ruch oscylacyjny cząsteczki, a najwięcej energii (tzw. orbitali elektronowych) potrzeba do przejścia elektronu z niższego stanu orbitalnego na wyższy (wzbudzenie elektronowe), przy czym wzbudzeniu elektronu najczęściej towarzyszą trzy typy zmian energii (rotacji, oscylacji i orbitali atomowych).

2. SPEKTROFOTOMETRIA ABSORPCYJNA

Spektrofotometria z grupy metod fotometrycznych jest techniką instrumentalną, w której do celów analitycznych wykorzystuje się przejścia energetyczne zachodzące w cząsteczkach, spowodowane absorpcją promieniowania elektromagnetycznego w zakresie nadfioletu (UV, 200-380 nm), widzialnym (VIS, 380-780 nm) lub bliskiej podczerwieni (0,78-30000 μm).

2.1. Prawa absorpcji

W związku z absorpcyjnymi właściwościami pewnych związków chemicznych sformułowano szereg zależności pomiędzy ilością zaabsorbowanej energii a pewnymi cechami fizycznymi substancji. Są to prawa absorpcji.

I prawo absorpcji (prawo Lamberta)

Wiązka promieniowania monochromatycznego po przejściu przez jednorodny ośrodek absorbujący o grubości b ulega osłabieniu zgodnie z równaniem:

$$I = I_0 \cdot e^{-kb} \quad (4)$$

gdzie:

I_0 - natężenie wiązki promieniowania monochromatycznego padającego na jednorodny ośrodek absorbujący,

I - natężenie promieniowania po przejściu przez ośrodek absorbujący,

k - współczynnik absorpcji,

b - grubość warstwy absorbującej,

e - podstawa logarytmów naturalnych.

Stąd:

$$\ln \frac{I_0}{I} = k \cdot b = A \quad \text{lub} \quad A = \log \frac{I_0}{I} = ab \quad (5, 6)$$

gdzie:

$a = 0,4343k$;

A - zdolność pochłaniania promieniowania zwana **absorbancją**.

I prawo absorpcji: absorbancja jest proporcjonalna do grubości warstwy absorbującej, jeśli wiązka promieniowania monochromatycznego przechodzi przez jednorodny ośrodek absorbujący.

Stosunek I/I_0 nazywany jest **transmitancją** (T) i jest rejestrowany jako funkcja częstości padającego na próbkę promieniowania. Transmitancja najczęściej wyrażana jest w procentach:

$$T = \frac{I_0}{I} \cdot 100\% \quad (7)$$

II prawo absorpcji (prawo Lamberta-Beera)

Prawo to dotyczy absorpcji promieniowania przez roztwory. Jeśli współczynnik absorpcji rozpuszczalnika jest równy zero, to wiązka promieniowania monochromatycznego po przejściu przez jednorodny roztwór substancji absorbującej o stężeniu c ulega osłabieniu zgodnie z równaniem:

$$I = I_0 \cdot e^{-kbc} \quad (8)$$

Po przekształceniach:

$$A = \log \frac{I_0}{I} = abc \quad (9)$$

II prawo absorpcji: jeżeli współczynnik absorpcji rozpuszczalnika jest równy zero, to absorbancja wiązki promieniowania monochromatycznego przechodzącej przez jednorodny roztwór jest wprost proporcjonalna do stężenia roztworu c i do grubości warstwy absorbującej b .

Wielkość a jest właściwym współczynnikiem absorpcji, gdy stężenie wyrażamy w $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ lub $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Natomiast gdy stężenie c wyrażamy w $\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, równanie to przybiera postać:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot b \quad (10)$$

gdzie:

ε - molowy współczynnik absorpcji, a jego wymiar podawany jest [$\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$] lub w jednostkach SI [$\text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$].

Wartość absorbancji A i wartość molowego współczynnika absorpcji ε zależy od długości fali λ promieniowania padającego. **Wykres zależności A lub ε od długości fali λ określa się mianem krzywej absorpcji lub elektronowym widmem absorbcyjnym.**

III prawo absorpcji (Prawo addytywności absorpcji)

Prawo addytywności absorpcji (III prawo absorpcji) wykorzystuje się w spektrofotometrycznej analizie układów wieloskładnikowych.

Jeśli w roztworze jest więcej substancji, które absorbują promieniowanie przy wybranej długości fali, to absorpcja tego roztworu jest równa sumie absorpcji jego poszczególnych składników.

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = (\epsilon_1 c_1 + \epsilon_2 c_2 + \epsilon_3 c_3 + \dots + \epsilon_n c_n) \cdot l \quad (11)$$

gdzie:

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ i ϵ_n - współczynniki absorpcji odpowiednich substancji obecnych w roztworze;

c_1, c_2, c_3 i c_n - stężenia tych substancji; l - grubość warstwy absorbującej.

2.2. Ograniczenia w stosowaniu prawa Lamberta-Beera

W myśl II prawa absorpcji zależność absorpcji od stężenia powinna mieć charakter liniowy. Jednak w praktyce należy liczyć się z odstępstwami od takiej zależności. Spotykamy się zarówno z ujemnymi, jak i z dodatnimi odchyleniami od przebiegu prostoliniowego. Odchylenia takie są wywołane przez:

a) podstawowe ograniczenia prawa Lamberta-Beera (L-B):

- występują inne oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego;
- L-B odnosi się do roztworów rozcieńczonych ($< 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$), gdyż przy większych stężeniach wartość współczynnika absorpcji zależy zwykle od stężenia oznaczanej substancji. Zależność pomiędzy absorpcją a stężeniem analitu w warunkach, gdy badany układ spełnia prawo L-B ma charakter prostoliniowy i można ją wykorzystać do wyznaczenia stężenia analitu w próbce.

b) czynniki chemiczne:

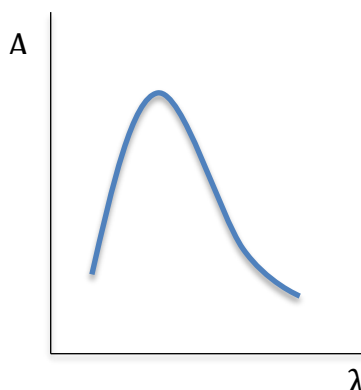
- powodujące odchylenia od prostoliniowego przebiegu absorpcji są związane z reakcjami chemicznymi zachodzącymi w analizowanym roztworze,
- zmiana pH roztworu,
- zachodzenie w badanym roztworze reakcji dysocjacji, asocjacji, polimeryzacji, solwatacji, a także różne reakcje kompleksowania. Takim reakcjom towarzyszą zmiany właściwości optycznych analizowanych roztworów.

2.3. Spektrofotometria – zasada metody

Fotometria opisuje wrażenia wzrokowe, czyli oddziaływanie światła na oko ludzkie. Fotometryczne metody analizy obejmują grupy technik analitycznych:

1. metody wykorzystujące różnice pomiędzy przechodzącym strumieniem światła przez barwne związki w roztworach: kolorymetria, kolorymetria fotometryczna lub spektrofotometria;
2. metoda reflektometryczna tj. pomiaru różnicy stosunku strumienia światła padającego i odbitego od powierzchni substancji;
3. metody analizy rozproszonego strumienia światła;
4. metoda fluorymetryczna.

Spektrofotometria polega na pomiarze spektrofotometrem stosunku natężeń (lub funkcji tego stosunku, np. absorbancji) dwóch wiązek promieniowania w funkcji długości fali. Jedna wiązka jest wiązką promieniowania oddziałującego z badaną próbką, a druga wiązką odniesienia. Zbadanie zależności absorbancja-długość fali (UV-VIS) pozwala na uzyskanie tzw. widma absorpcyjnego badanego związku (Rys. 2).



Rys. 2. Przykładowe widmo absorpcyjne

Wystąpienie maksimum absorpcji na widmie elektronowym związane jest na ogół z obecnością w cząsteczce badanego związku łatwo wzbudzalnych elektronów. Mogą to być np. elektrony częściowo zapełnionych podpowłok d jonów metali przejściowych. Ten rodzaj absorpcji powoduje zabarwienie wodnych roztworów takich metali jak: chrom, mangan, żelazo, kobalt, nikiel i in. Pochłanianie światła w tym zakresie jest typowe dla związków organicznych ze względu na występowanie w ich strukturze wiązań wielokrotnych. Związki organiczne nasycone nie absorbują światła nawet w dalekim nadfiolecie. Nienasycone grupy, które absorbują promieniowanie w zakresie 200-800 nm są nazywane chromoforami (tabela 1).

Tabela 1 Właściwości wybranych chromoforów

Chromofor	Związek	Rozpuszczalnik	Maksimum absorpcji nm
-NO ₂	nitrometan	etanol	167
C=C	okten	heksan	185
C=S	Tiowęglan dietylu	etanol	330

2.4. Zastosowanie spektrofotometrii

Metoda spektrofotometryczna charakteryzuje się: prostotą w obsłudze, wysoką czułością pomiaru, dużą dokładnością [1-5%] [0.2-0.5% dla metod różnicowych], wysoką precyzją pomiaru dla stężeń >10⁻⁴% [<10%] dla śladów >10⁻⁷ [<30%] oraz uniwersalnością (absorbancja powinna się mieścić w zakresie od 0,1 do 1,0). Ponadto jest to metoda tania i ogólnie dostępna. Dlatego też znalazła szerokie zastosowanie zarówno w analizie nieorganicznej, jak i organicznej.

W analizie nieorganicznej zastosowanie znajduje głównie spektrofotometria UV i VIS. Metodą spektrofotometrii UV-VIS można oznaczać substancje organiczne (np. w tym węglowodory aromatyczne, aldehydy, ketony, kwasy i aminy) i nieorganiczne (np. pierwiastki ziem rzadkich, ozon, SO₂) wykazujące absorpcję w nadfiolecie, związki absorbujące promieniowanie w zakresie

widzialnym, w tym barwne związki organiczne (barwniki) i barwne sole metali (np. KMnO_4 , CuSO_4) oraz substancje, których formy absorbujące promieniowanie uzyskuje się na drodze reakcji chemicznych. Do celów tych najczęściej wykorzystuje się reakcje kompleksowania. Opracowano wiele procedur oznaczeń kationów metali w formie barwnych związków kompleksowych z ligandami organicznymi.

W inżynierii odlewniczej metody spektrofotometryczne wykorzystywane są głównie w badaniach wymywalności substancji szkodliwych ze zużytych mas formierskich i rdzeniowych. Wykonywane są w tym zakresie oznaczenia stężeń związków organicznych (m.in. fenole, formaldehyd) i nieorganicznych (m.in. azotany, fosforany, siarczany), które to mogą być uwalniane do środowiska podczas składowania zużytych mas.

Dodatkowo metody spektrofotometryczne wykorzystuje się w oznaczeniach zawartości montmorillonitu w bentonitach (metoda błękitu metylenowego, metoda kompleksu Cu(II) -trietylenotetraminy).

3. ILOŚCIOWY POMIAR SPEKTROFOTOMETRYCZNY

Do precyzyjnych pomiarów fotometrycznych stosowane są przyrządy wykonujące pomiary energii strumienia światła z wykorzystaniem zjawiska fotoelektrycznego, zazwyczaj z użyciem ogniw fotoelektrycznych i elektrometrycznym pomiarem ich sygnału.

W spektrofotometrach, przeprowadza się równocześnie wyodrębnienie wybranej i wąskiej części widma, jak też poszerzenie jego zakresu poza obszar widzialny do podczerwieni lub bliskiego nadfioletu. Spektrofotometry umożliwiają wykonanie oznaczeń kilku składników w jednym roztworze w oparciu o pomiar absorpcji w kilku zakresach widma. Specjalistyczne spektrofotometry, wyposażane są w kontrolery mikroprocesorowe wykonujące bieżące przeliczanie wzorcowych pomiarów stężeń, w tym również z uwzględnieniem odchyień od prawa Beer'a, lub umożliwiające wprowadzanie wartości współczynników adsorpcji i bezpośrednie odczyty wyników.

UWAGA!

Istotne jest, by podczas analizy ilościowej dokonać wyboru:

- analitycznej długości fali przy której będą wykonane pomiary,
- odpowiednich stężeń substancji oznaczanej,
- metody pomiaru.

3.1. Kalibracja

Przeprowadzenie pomiaru wymaga przygotowania próbki kalibrującej przyrząd pomiarowy, któremu przypisuje się zerową ekstynkcję lub odpowiednio: 100 % transmisji. W przyrządach pomiarowych wykorzystujących dwie kuwety; porównawczą i pomiarową (Rys. 3), próbka kalibrująca znajduje się w kuwecie porównawczej w całym cyklu pomiarów. Do kalibracji stosuje się roztwory zerowe, przygotowane według receptury wzorców bez dodatku oznaczanego składnika, lub rozpuszczalnik roztworu, zwykle wodę destylowaną.



Rys. 3. Kuwety pomiarowe firmy: a) HELLMA, b) Hanna

Pomiary przeprowadza się wprowadzając kuetę porównawczą i kuetę pomiarową napełnione odpowiednimi roztworami w strumień światła przyrządów pomiarowych, zgodnie z ich cechami konstrukcyjnymi, równocześnie lub kolejno. Należy dążyć do wykonania pomiarów krzywej wzorcowej w możliwie jak najkrótszym czasie, w jednej serii łącznie z badanymi próbkami, wykonanymi najlepiej w środku cyklu pomiarów (Rys. 4).



Rys. 4. Pomiar spektrofotometryczny

3.2. Krzywa wzorcowa

Roztwory wzorcowe przygotowuje się w laboratoryjnych kolbach miarowych o wybranych pojemnościach: 10, 25, 50 lub 100 cm³. Wprowadza się do nich wstępną ilość rozpuszczalnika zazwyczaj wody destylowanej, a następnie roztwór oznaczanego składnika w zróżnicowanych ilościach odpowiednich dla oczekiwanej skali stężeń (Tabela 2). Następnie dodaje się pozostałe odczynniki w ilościach zgodnych z przepisem w celu przeprowadzenia reakcji barwnych w wybranych warunkach stężeń i pH środowiska. Kolby miarowe uzupełnia się rozpuszczalnikiem do kreski kalibracyjnej i dokładnie miesza ich zawartość.

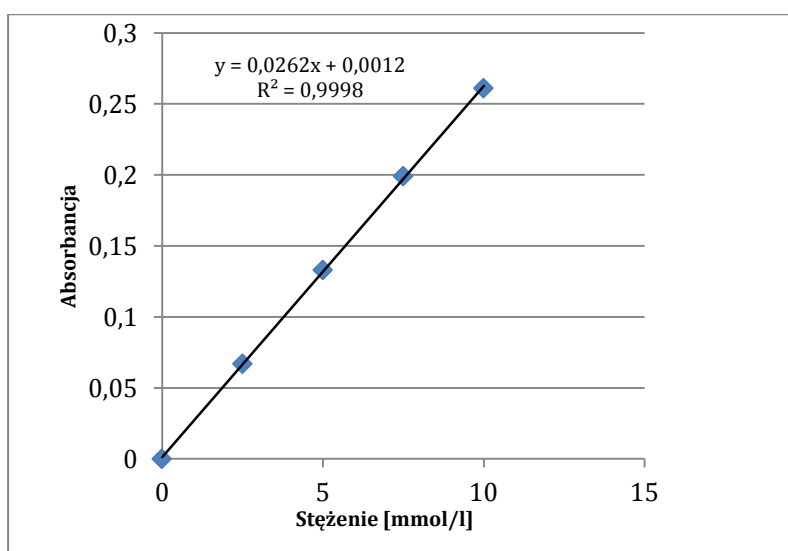
Tabela 2 Stężenia roztworów wzorcowych

Lp	Objętość roztworu wzorcowego [ml]	Objętość wody [ml]	Stężenie roztworu wzorcowego [mmol/l]
1	0	50	0
2	2,5	47,5	0,5
3	5	45	1
4	7,5	42,5	1,5
5	10	40	2

Przy doborze zakresu stężeń i grubości kuwet należy uwzględnić, że skrajne wartości gęstości optycznej powinny wynosić od 0,05 do 1,5, przy czym zaleca się utrzymanie zakresu 0,1 ÷ 0,7 (10 ÷ 70 % transmisji).

Zwykle wykonuje się serie pomiarów na wzorcowych stężeniach badanych substancji barwnych przy odpowiednio dobranej długości fali. Na ich podstawie wykonuje się reprezentację graficzną w postaci wykreślonej krzywej, nazwanej krzywą wzorcową (zależność $A = f(c)$). Z krzywej wzorcowej, która w wybranym zakresie stężeń dobrze spełnia prawo Lamberta - Beera, a więc jest przybliżana do prostej, wyznacza się graficznie wartość stężenia oznaczanego składnika w badanym roztworze (Rys. 5).

Dla sporządzenia krzywej wzorcowej dobiera się możliwie dużą ilość wzorców w celu zwiększenia dokładności pomiaru. Roztwór oznaczanego składnika w badanej próbce jest przygotowywany według receptury sporządzania wzorców, a zakres, w którym może zmieniać się jego zawartość, powinien być tak dobrany, by mieścił się w granicach stężeń przygotowanych roztworów wzorcowych.

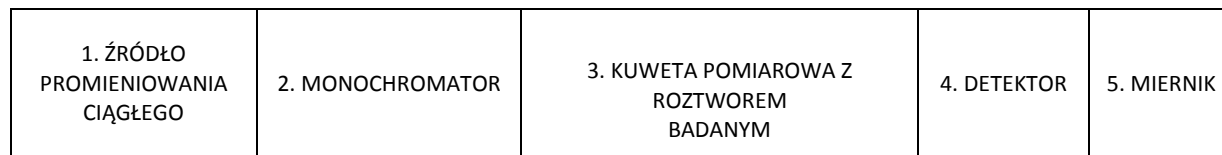
**Rys. 5.** Przykładowa krzywa wzorcową

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów sporządza się wykres krzywej wzorcowej. Zwyczajowo na osi odciętych odkłada się zawartości oznaczanego składnika w roztworach wzorcowych, a na osi rzędnych wartości ekstynkcji, dobierając jednostki w ten sposób, by osiągnąć

przebieg krzywej w pobliżu dwusiecznej układu współrzędnych (nachylenie około 45°). Przebieg krzywej na wykresie powinien uwzględniać wyjściową hipotezę liniowości i zasady interpolacji numerycznej lub graficznej. Na wykres wprowadza się wartość ekstynkcji dla badanego spektrofotometrycznie roztworu oznaczanego składnika i dokonuje odczytu odpowiedniej jego zawartości w roztworze lub stężenia w badanej próbce. Następnie przelicza się oznaczoną zawartość składnika na stężenie w próbce roztworu przeznaczonego do badań, z uwzględnieniem ewentualnych rozcieńczeń pośrednich.

3.3. Budowa spektrofotometru

Na rysunku 6 zamieszczono schemat blokowy spektrofotometru używanego do badań. Zazwyczaj wykonuje się pomiary na wzorcowych stężeniach badanych substancji barwnych i określa eksperymentalna funkcje ekstynkcji. Reprezentacja graficzna tej zależności w postaci krzywej nazywana jest krzywą wzorcową. Z krzywej wzorcowej która spełnia prawo Lamberta – Beera wyznacza się graficznie wartość stężenia oznaczanego składnika w badanym roztworze.



Rys. 6. Schemat blokowy spektrofotometru

Najważniejsze elementy w budowie spektrofotometru:

1. Źródło promieniowania

Źródłem światła w zakresie 350-700 nm jest lampa wolframowa, a w zakresie 180-400nm lampa wodorowa lub deuterowa (180-380 nm).

2. Monochromator

Monochromator jako element dyspersyjny (rozszerzający) układu ma zadanie wyłonić z szerokiego zakresu promieniowania polichromatycznego właściwe pasmo o żądanej długości fali λ . Podczas pomiaru absorpcji promieniowanie ze źródła światła (odpowiedniej lampy) prowadzone jest wzdłuż głównej osi optycznej, a po przejściu przez element rozszerzający (siatkę dyfrakcyjną, rzadziej pryzmat) coraz to inne częstotliwości promieniowania padają na sektor wirujący, który rozdziela wiązkę na dwie, z których jedna pada na próbkę, a druga na odnośnik (zwykle rozpuszczalnik).

3. Kuweta pomiarowa

Kuwety pomiarowe muszą być precyzyjnie wykonane i zapewniać dokładnie znaną grubość warstwy absorbującej, wykazywać odporność na działanie chemikaliów i dużą transmisję promieniowania. Stosuje się głównie kuwety wykonane ze szkła kwarcowego lub optycznego, rzadziej z tworzywa sztucznego, o grubości 10 mm, spotyka się jednak również kuwety o mniejszej lub większej grubości.

4. Detektor

Kolejny sektor wirujący miesza obie wiązki wychodzące z próbki i kieruje na detektor, zwykle fotopowielacz, w którym następuje zamiana impulsów świetlnych na elektryczne.

Zadaniem detektora jest więc pomiar natężenia promieniowania. Stosowane są detektory fotoelektryczne, które przetwarzają energię promieniowania na energię elektryczną. Oprócz fotopowielaczy stosowane są fotokomórki i fotodiody.

5. Miernik

Następnie mierzony sygnał trafia do komputera gdzie obliczany jest stosunek I/I_0 dla danej, zadanej długości fali.

4. LITERATURA

[1] Cygański A.: Metody spektroskopowe w chemii analitycznej, WNT Warszawa 2013.

[2] Jarosz M., Malinowska E.: Pracownia Chemiczna. Analiza instrumentalna, WSiP Warszawa 1999.

[3] Grabowska B. and all, Spectrophotometry Application For The Montmorillonite Content Determination In Moulding Sands With Bentonite, Metallurgy And Foundry Engineering, Vol. 37, 2011, No. 1

5. INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA:

5.1. Temat ćwiczenia: Metody spektralne w inżynierii materiałowej.

5.2. Cel ćwiczenia: Spektrofotometryczne oznaczenie wybranych substancji nieorganicznych.

5.3. Aparatura i sprzęt laboratoryjny

- wirówka
- spektrofotometr firmy Hach, typ DR 2500 Odyssey. Dane techniczne spektrofotometru: szerokość pasma < 4 nm+/-1 nm dla 456,07 nm; dokładność długości fali: +/-1 nm w zakresie 400-700 nm; rozdzielczość długości fali: 0,5 nm.

5.4. Odczynniki i materiały

- roztwór Cu(II)-trietylenotetraminy,
- próbka masy zużytej,
- chlorek baru,
- kwas askorbinowy,
- woda destylowana.

5.5. Wykonanie ćwiczenia

1. Zawartość kolby z badaną próbą odwirować i przesączyć,
2. Skalibrować spektrofotometr dla wody destylowanej przy zadanej długości fali λ ,
3. Sprawdzić wskazania spektrofotometru (A – absorbcja, T – transmisja) przy zadanej długości fali λ ,
4. W uzyskanych przesączach oznaczyć spektrofotometrycznie wskazane substancje przez prowadzącego. Oznaczenie prowadzi zgodnie z otrzymaną metodyką postępowania.
5. Zestawić wyniki w tabeli.

Tabela wyników

Oznaczenie	Jednostka	Wynik oznaczenia		Średni wynik
		Próba A	Próba B	
Barwa przesączu				
.....				
.....				

5.6. Opracowanie sprawozdania

Imię i Nazwisko Rok Kierunek	TEMAT ĆWICZENIA	Data wykonania:
		Zaliczenie:

- wstęp teoretyczny;
- cel ćwiczenia;
- wykonanie ćwiczenia;
- stosowana aparatura;
- metodyka oznaczeń;
- tabela wyników;
- wnioski.