

Nazwisko

Data

Nr na liście

Imię

Wydział

Dzień tyg.

Godzina

Ćwiczenie 364

Wyznaczanie zależności współczynnika załamania światła od stężenia roztworu
za pomocą refraktometru Abbego

Roztwór	Stężenie, c [g/cm ³]	Współczynnik załamania, n_i	Średni współ. załamania, n	Kąt graniczny [w stopniach]
Woda destylowana	0			
1	0,050			
2	0,100			
3	0,150			
4	0,200			
5	0,250			
6	0,300			
7	$c_x =$			

Ćwiczenie 364. Wyznaczanie zależności współczynnika załamania światła od stężenia roztworu za pomocą refraktometru Abbego

Odbicie i załamanie światła

Opisując oddziaływanie światła z obiektami makroskopowymi, w wielu wypadkach można stosować przybliżenie, w którym pomija się korpuskularno–falową naturę światła. Posługujemy się wówczas pojęciem *promienia świetlnego*, przez który rozumiemy bardzo wąską wiązkę światła, której oś wyznacza kierunek rozchodzenia się energii świetlnej. Bieg promieni świetlnych w ośrodku przezroczystym można określić opierając się na podstawowym założeniu optyki geometrycznej, że światło w ośrodku jednorodnym i izotropowym rozchodzi się wzdłuż linii prostych, a przecinające się wiązki światła nie oddziałują ze sobą. Założenie to pomija możliwość ugięcia bądź interferencji światła.

Zachowanie się promieni świetlnych na granicy dwóch ośrodków opisują *prawa odbicia i załamania światła*. Prawa te, sformułowane początkowo jako prawa doświadczalne, można uzasadnić również teoretycznie wykorzystując falową lub korpuskularną teorię światła. Gdy wiązka światła trafia na swej drodze na inne środowisko, to na powierzchni granicznej część promieniowania zostaje odbita, rozproszona lub pochłonięta, a reszta przechodzi dalej ulegając załamaniu. Przejście światła z ośrodka **1** do **2** pokazuje rys.1.

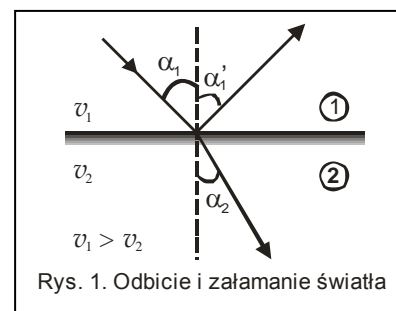
Prawa dotyczące odbicia i załamania światła są następujące:

1. Promień padający, odbity i załamany oraz normalna do powierzchni granicznej leżą w jednej płaszczyźnie.
2. Kąt padania α_1 jest równy kątowi odbicia α_1' :

$$\alpha_1 = \alpha_1'.$$

3. Stosunek sinusa kąta padania α_1 do sinusa kąta załamania α_2 jest wielkością stałą:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = n_{2,1}, \quad (1)$$



gdzie $n_{2,1}$ jest współczynnikiem załamania światła ośrodka **2**, do którego promień wchodzi, względem ośrodka **1**, z którego wychodzi.

Można wykazać, że współczynnik załamania zależy od prędkości światła w obu ośrodkach:

$$n_{2,1} = v_1/v_2, \quad (2)$$

v_1 — prędkość światła w ośrodku **1**, v_2 — prędkość światła w ośrodku **2**. Współczynnik załamania ośrodka względem próżni nosi nazwę *bezwzględnego współczynnika załamania n* ,

$$n = c/v, \quad (3)$$

c — prędkość światła w próżni, v — w danym ośrodku. Bezwzględny współczynnik załamania ośrodka różni się bardzo mało od współczynnika załamania względem powietrza ze względu na to, że prędkość światła w powietrzu v_p jest w dużym przybliżeniu równa prędkości światła w próżni c .

W praktyce posługujemy się współczynnikiem załamania danego ośrodka względem powietrza. Jest on zależny od barwy światła, a więc od jego długości fali. Przekształcając wzór (2) otrzymamy

$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/v_2}{c/v_1} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (4)$$

skąd wynika, że względny współczynnik załamania $n_{2,1}$ dwóch sąsiadujących ze sobą ośrodków równy jest stosunkowi bezwzględnych współczynników załamania tych ośrodków.

Prosty sposób wyznaczania współczynnika załamania ośrodka oparty jest na wykorzystaniu zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia światła.

Całkowite wewnętrzne odbicie

Ma ono miejsce wówczas, gdy promień świetlny biegnie ze środowiska optycznie gęstszego **2** do rzadszego **1** (tzn. z ośrodka, w którym prędkość światła jest mniejsza do ośrodka, w którym prędkość światła jest większa) pod kątem większym od tzw. kąta granicznego, rys. 2. Światło przechodząc z ośrodka **2** do ośrodka **1** ulega załamaniu od normalnej, czyli kąt załamania jest większy od kąta padania. W tym przypadku musi, więc, istnieć taki graniczny kąt padania α_g , przy którym kąt załamania równy jest $\pi/2$ i wówczas promień załamany biegnie równoległe do granicy dwóch ośrodków. Przy kącie padania $\alpha > \alpha_g$, promienia załamane nie obserwuje się w ogóle. Zjawisko to nosi nazwę całkowitego wewnętrznego odbicia, ponieważ w promieniu odbitym zawiera się całkowita energia promienia padającego. Z prawa załamania światła wynika, że w przypadku przejścia światła z ośrodka **2** do **1** możemy napisać

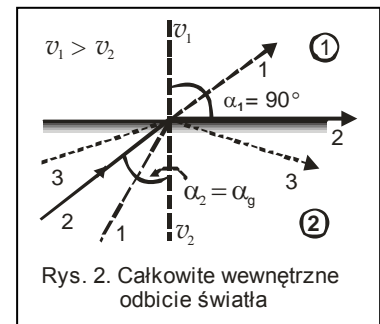
$$\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = n_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{n_{2,1}} \quad (5)$$

Wartość kąta granicznego $\alpha_2 = \alpha_g$ określona jest przez warunek, aby kąt załamania α_1 w ośrodku **1** był równy 90° i z (5) otrzymujemy:

$$n_{2,1} = 1/\sin \alpha_g. \quad (6)$$

Mierząc graniczny kąt padania w ośrodku **2** optycznie gęstszym, możemy ze wzoru (6) wyznaczyć jego współczynnik załamania $n_{2,1}$ względem ośrodka **1** optycznie rzadszego. Dodatkowo, jeżeli znamy bezwzględny współczynnik załamania jednego z ośrodków, z zależności (4) możemy wyznaczyć bezwzględny współczynnik załamania drugiego ośrodka.

Pomiar kąta granicznego w celu wyznaczenia współczynnika załamania wykorzystano w refraktometrach. Służą one przede wszystkim do pomiaru współczynnika załamania cieczy.



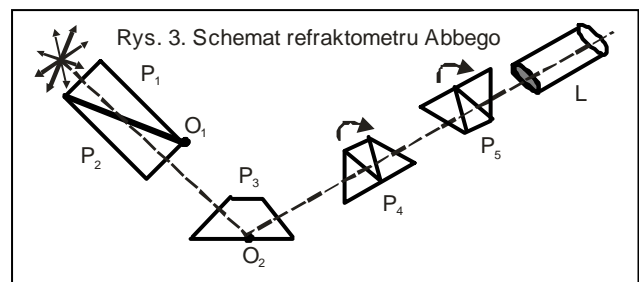
Rys. 2. Całkowite wewnętrzne odbicie światła

Wykonanie ćwiczenia

Celem tego ćwiczenia jest pomiar zależności współczynnika załamania światła od stężenia roztworów. Do badania wykorzystywane są wodne roztwory chlorku sodu bądź gliceryny. Współczynnik załamania cieczy wyznaczany jest przy użyciu refraktometru Abbego.

Zasada działania refraktometru Abbego.

Uproszczony schemat budowy refraktometru Abbego pokazany jest na rys. 3. Zasadniczą częścią refraktometru Abbego są dwa prostokątne pryzmaty — oświetlany P_1 i pomiarowy P_2 , wykonane ze szkła o dużym współczynniku załamania (szkło flintowe). Pryzmat P_1 może obracać się wokół osi O_1 . Między te pryzmaty wprowadzamy kilka kropeł badanej cieczy, której współczynnik załamania powinien być mniejszy niż współczynnik załamania szkła pryzmatów. Ciecz tworzy między przeciwprostokątnymi powierzchniami pryzmatów cienką, płasko-równoległą warstewkę. Do oświetlenia pryzmatu P_1 stosuje się światło białe rozproszone. Pada ono pod różnymi kątami na powierzchnię graniczną między pryzmatem P_1 a warstewką cieczy. Do cieczy przechodzą tylko promienie padające pod kątem mniejszym od kąta granicznego. Promienie, które przechodzą dalej biegają przez pryzmat P_2 , doznając w warstwie cieczy niewielkiego równoległego przesunięcia. Pryzmat P_3 , zwany kierującym, zmienia kierunek promieni przechodzących, które docierają do lunetki L przez układ pryzmatów Amiciego P_4 i P_5 .



Rys. 3. Schemat refraktometru Abbego

W wyniku zjawiska wewnętrznego odbicia na przeciwprostokątnej powierzchni pryzmatu P_1 , część pola widzenia w lunecie jest oświetlona, a część pozostaje ciemna. Linie odgraniczającą część oświetloną od nieoświetlonej możemy przesuwając w górę i w dół obracając pryzmat P_3 wokół osi O_2 — do pomiaru ustawiamy ją na przecięciu nici pajęczych okularu lunety L. Z pryzmatem P_3 połączona jest podziałka, na której odczytujemy wartość kąta granicznego lub bezpośrednio współczynnik załamania cieczy — podziałkę tę obserwujemy w dodatkowej lunecie.

W pryzmatach refraktometru jak i w badanej cieczy występuje zjawisko dyspersji, czyli rozszczepienia światła białego. W wyniku tego zjawiska, linia rozgraniczająca pole widzenia nie jest ostra, lecz barwna i rozmyta. W refraktometrze Abbego rozszczepienie jest skompensowane przy użyciu dwóch układów pryzmatów P_4 i P_5 , wykonanych z kilku pojedynczych pryzmatów z różnych gatunków szkła. Kąty łamiące poszczególnych pryzmatów są tak dobrane, że światło żółtej linii sodu nie ulega żadnemu odchyleniu, a odchylen w przeciwnych kierunkach doznają promienie czerwone i fioletowe. Przez względny obrót pryzmatów kompensatora można zlikwidować zabarwienie linii podziałki.

Czynności pomiarowe

1. Odkręcamy zakrętkę zawierającą pryzmaty pomiarowe P_1 i P_2 refraktometru. Przemycamy powierzchnie pryzmatów wodą destylowaną i suszymy bibułą. Wprowadzamy kilka kropeł badanej cieczy na matową powierzchnię dolnego pryzmatu. Pryzmaty zamykamy.
2. Włączamy źródło światła (lampę elektryczną) i za pomocą lusterka refraktometru kierujemy strumień światła na oba pryzmaty tak, aby mogło ono jednocześnie trafić do znajdującej się nad nimi lunetki obserwacyjnej L.
3. Kręcimy pokrętkę umieszczoną z boku refraktometru (po przeciwnej stronie niż pryzmaty), aż do momentu ujrzenia linii rozgraniczającej pola jasne i ciemne.
4. Kręcąc śrubą kompensatora przy lunecie L, usuwamy zabarwienie linii granicznej.
5. Nastawiamy okular lunetki L tak, aby zobaczyć ostry obraz krzyża z nitek pajęczych i wyraźną linię rozgraniczającą półkola jasne i ciemne.
6. Ustawiamy położenie linii granicznej na skrzyżowaniu nici pajęczych.
7. Odczytujemy na skali, widocznej w dodatkowej lunecie, bezwzględny współczynnik załamania n badanej cieczy. Odczytu należy dokonać z dokładnością do 0,0005. Powtarzamy pomiar trzykrotnie i obliczamy wartość średnią n .
8. Obliczamy kąt graniczny α_g z zależności: $\sin \alpha_g = 1/n$. Jest to kąt graniczny dla promieni świetlnych przechodzących z cieczy do powietrza.
9. Opisane powyżej czynności pomiarowe wykonujemy kolejno dla wody destylowanej i kilku roztworów gliceryny — o znanym stężeniu oraz dla jednego roztworu o nieznanym stężeniu c_x . Po każdym pomiarze czyścimy powierzchnie pryzmatów.
10. Rysujemy wykres zależności współczynnika załamania od stężenia roztworu. Z wykresu określamy nieznane stężenie c_x roztworu, którego współczynnik załamania zmierzaliśmy.

Rachunek błędów

1. Przyjmujemy, że stężenia roztworów c podane są z dokładnością $\Delta c = 0,0025 \text{ g/cm}^3$.
2. Błąd pomiaru Δn jest równy połowie najmniejszej podziałki skali refraktometru (0,0005).
3. Zaznaczamy błędy pomiarowe wokół punktów pomiarowych na wykresie (linia, przedstawiająca zależność $n = f(c)$ powinna przecinać narysowane prostokąty błędów).
4. Oceniamy dokładność wyznaczenia stężenia nieznanego roztworu — Δc_x . Jako Δc_x przyjmujemy maksymalną wartość odległości, mierzonej wzdłuż osi poziomej, pomiędzy punktami pomiarowymi a linią wykresu $n = f(c)$.