

KATEDRA FIZYKI

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



PRACOWNIA OPTYKI



ĆWICZENIE NR 0-2

***WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA ZAŁAMANIA
ŚWIATŁA DLA CIAŁ STAŁYCH I CIECZY
ZA POMOCĄ REFRAKTOMETRU PULFRICHA.***

I. Zagadnienia do opracowania

1. Fizyczna natura światła
2. Współczynnik załamania
3. Zjawisko załamania i odbicia światła
4. Refraktometr Pulfricha
5. Metoda pomiaru

II. Wprowadzenie teoretyczne

Fale elektromagnetyczne z zakresu widzialnego (400 - 800 nm) zwyczajowo nazywane są światłem. Fale z zakresu widzialnego, którym odpowiada najkrótsza długość fali mają barwę fioletową, natomiast falom o największej długości odpowiada barwa czerwona. Fale spoza zakresu widzialnego: krótsze tj. promieniowanie ultrafioletowe, rentgenowskie, gamma, oraz dłuższe tj. podczerwień, mikrofales, fale radiowe mają tę samą naturę co światło. Fale elektromagnetyczne w próżni rozchodzą się z prędkością około $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Światło w pewnych doświadczeniach tj. interferencja, dyfrakcja, polaryzacja, wykazują falową naturę, a winnych jak np. zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne wykazują naturę korpuskularną. Dlatego mówi się o korpuskularno – falowej naturze światła.

Falę elektromagnetyczną charakteryzujemy drganiami dwóch wektorów: wektora natężenia pola elektrycznego \vec{E} i wektora natężenia pola magnetycznego \vec{H} . Drgania wektora pola magnetycznego i wektora natężenia pola elektrycznego odbywają się w kierunkach wzajemnie prostopadłych z tymi samymi fazami. Wektor prędkości fali jest prostopadły do kierunku obu wektorów \vec{E} i \vec{H} .

Prędkość rozchodzenia się światła w ośrodkach materialnych jest mniejsza niż w próżni. Dla tej samej częstotliwości dwa różne ośrodki charakteryzują się różnymi prędkościami. Im mniejsza jest prędkość rozchodzenia się światła, tym większą gęstością optyczną charakteryzuje się ośrodek. Jeżeli wiązka światła pada na granicę dwóch ośrodków o różnych gęstościach optycznych to na powierzchni granicznej może ulec odbiciu, rozproszeniu, częściowemu pochłonięciu i załamaniu w ośrodku, do którego wniknie. Zachowanie się wiązki załamanej na granicy dwóch ośrodków izotropowych określa prawo załamania. Doświadczalnie znaleziono następujące prawo odbicia:

- promień padający i promień odbity i normalna do powierzchni granicznej leżą w jednej płaszczyźnie,
- kąt padania jest równy kątowi odbicia.

Prawo załamania zostało sformułowane przez W. Snelliusa:

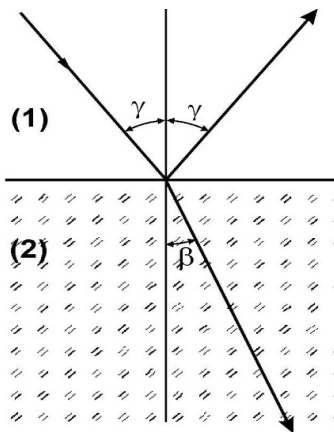
- promień padający i promień załamany i normalna do powierzchni granicznej leżą w jednej płaszczyźnie,
- stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest wielkością stałą:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}$$

przy czym n_{21} nazywamy współczynnikiem załamania środowiska, do którego promień wchodzi **(2)**, względem środowiska, z którego wychodzi **(1)** (rys. 1).

Bezwzględny współczynnikiem załamania nazywamy współczynnikiem załamania danego środowiska względem próżni. Oznaczając prędkość światła w próżni przez c , bezwzględny współczynnik załamania środowiska **(1)** jest równy:

$$n_1 = \frac{c}{v_1}$$



Rys. 1. Kąt padania, kąt odbicia i kąt załamania na granicy dwóch środowisk 1 i 2.

podobnie bezwzględny współczynnik załamania środowiska **(2)** jest równy

$$n_2 = \frac{c}{v_2}$$

Współczynnik załamania środowiska **(2)** względem **(1)** wynosi zatem

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

stąd:

$$n_1 \sin \gamma = n_2 \sin \beta = \text{const.}$$

Jest to inna forma prawa załamania światła. Współczynnik załamania światła to wielkość bezwymiarowa, zależna zarówno od warunków, w których znajduje się ośrodek takich jak: temperatura, ciśnienie, stężenie jak i od długości fali padającego promieniowania. Często współczynnik załamania określany jest względem powietrza. Współczynnik załamania powietrza pod ciśnieniem normalnym i w temperaturze 20°C w stosunku do próżni wynosi 1,00028.

Gdy promień świetlny przechodzi z ośrodka optycznie gęstszego (woda, szkło) o współczynniku załamania n do ośrodka rzadszego (powietrze) o współczynniku załamania n' , to zgodnie z prawem Snelliusa zachodzi równość:

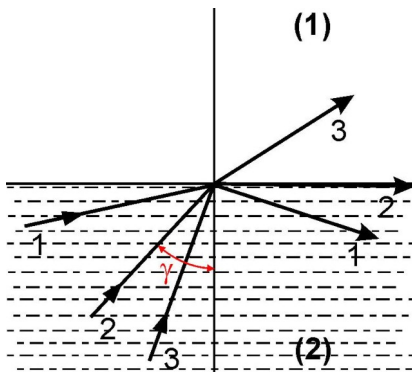
$$n \sin \gamma = n' \sin \beta$$

a ponieważ $n' < n$, więc $\sin \gamma < \sin \beta$, czyli $\gamma < \beta$. Coraz większym kątom γ odpowiadają coraz większe kąty β , ale zawsze $\gamma < \beta$. Kąt, dla którego kąt załamania jest kątem prostym ($\beta = 90^\circ$), nazywamy kątem

granicznym ($\gamma = \gamma_{gr}$). Zachodzi to dla promienia **2** (rys.2). promień załamany biegnie wtedy stycznie do powierzchni granicznej czyli

$$\sin \gamma_{gr} = \frac{n' \sin 90^\circ}{n} = \frac{n'}{n}.$$

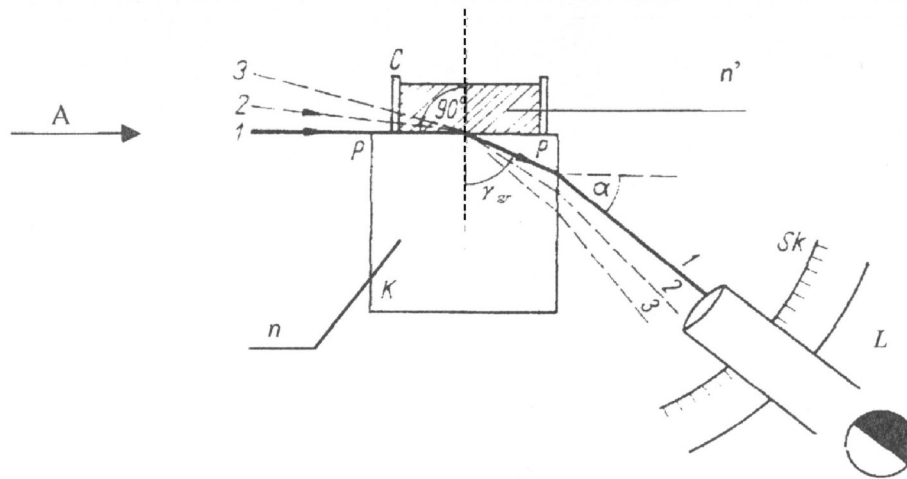
Dla kątów większych od kąta granicznego zachodzi tzw. całkowite wewnętrzne odbicie co pokazane jest na (rys.2) dla promienia **1**. Wszystkie promienie świetlne wracają wówczas do ośrodka gęstszego odbijając się od powierzchni rozdzielającej dwa ośrodki.



Rys. 2. Kąty: załamania, odbicia i graniczny całkowitego wewnętrznego odbicia, 1-promień odbity, 2 - promień padający pod kątem granicznym, 3- promień załamany.

Do wyznaczania współczynników załamania cieczy i przezroczystych ciał stałych mogą być stosowane refraktometry, w których metoda pomiaru współczynnika załamania opiera się na wykorzystaniu zjawiska granicznego załamania lub całkowitego wewnętrznego odbicia. W przypadku refraktometru Pulfricha zasadniczą częścią jest kostka szklana K (rys.3) o współczynniku załamania n . Jej boczna, oszlifowana ścianka jest dokładnie prostopadła do oszlifowanej ścianki górnej. Dookoła osi poziomej leżącej w płaszczyźnie górnej ścianki kostki obraca się lunetka L sztywno związana ze skalą kątową. Załóżmy, że rozciągle, monochromatyczne źródło światła o określonej długości fali, dla której mierzy się współczynnik załamania badanego materiału, promieniuje z kierunku A . Badany materiał ustawia się na pryzmacie wzorcowym (kostka K) zapewniając kontakt optyczny przy użyciu cieczy imersyjnej (np. olejek cedrowy). Współczynnik cieczy imersyjnej n_c powinien być mniejszy od współczynnika załamania szkła pryzmatu wzorcowego i większy od współczynnika załamania badanego materiału: $n' > n_c > n$.

Stycznie do powierzchni poziomej PP (kąt padania 90°), odgraniczającej kostkę K od próbki, rzucamy wiązkę światła monochromatycznego (lampa sodowa, rys.3). Wiązkę tę reprezentuje promień **1**, który załamuje się w kostce K pod kątem granicznym γ_{gr} i wchodząc do powietrza pod kątem α trafia do lunety. W lunecie widoczne jest pole podzielone na dwa obszary: jasny i ciemny. Promień **1** jest więc skrajnym promieniem wszystkich promieni wychodzących z refraktometru. Odpowiada mu ściśle określone położenie lunety L , określone kątem α , przy którym ostro zaznacza się wyżej wspomniana granica między jasnym polem widzenia a ciemnym.



Rys. 3. Zasada działania refraktometru Pulfricha.

Zgodnie z prawem Snelliusa

$$\frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \gamma_{gr})} = n,$$

czyli

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \gamma_{gr}} = n,$$

skąd

$$\cos \gamma_{gr} = \frac{\sin \alpha}{n},$$

Z kolei z definicji kąta granicznego wynika, że

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin \gamma_{gr}} = \frac{n}{n'},$$

czyli

$$\sin \gamma_{gr} = \frac{n'}{n},$$

skąd

$$n' = n \sin \gamma_{gr} = n \sqrt{1 - \cos^2 \gamma_{gr}},$$

a zatem

$$n' = \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha},$$

gdzie: n – współczynnik załamania dla kostki K refraktometru,

n' –współczynnik badanej cieczy lub ciała stałego,

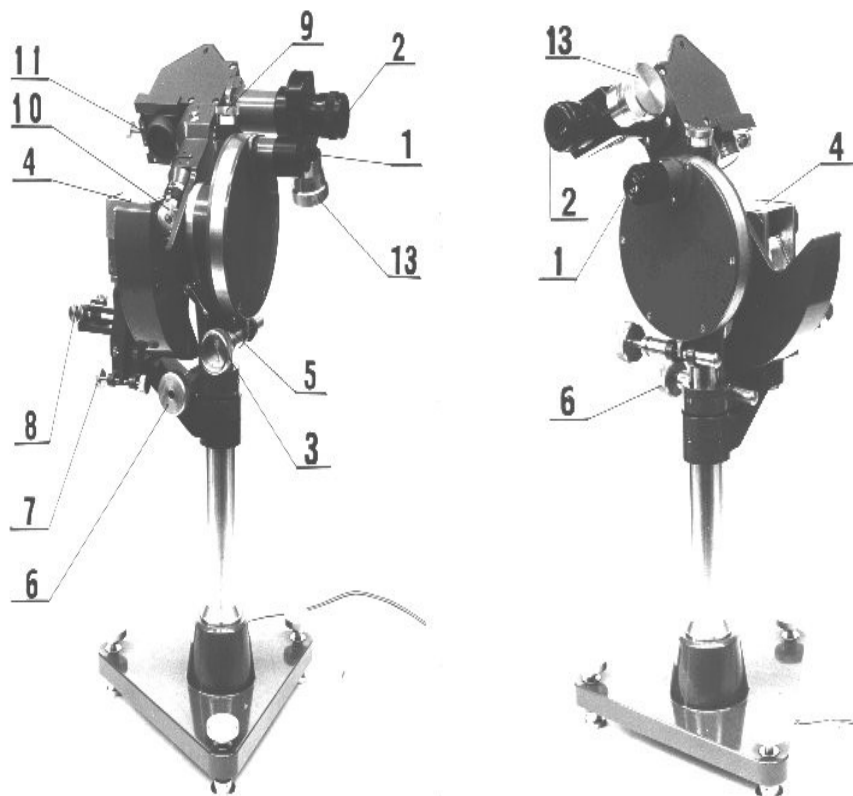
α - mierzony kąt.

W przypadku roztworu jednym z parametrów, od którego zależy współczynnik załamania światła jest jego stężenie. Do wyznaczenia nieznanego współczynnika załamania dokonano pomiaru współczynnika załamania roztworu gliceryny o znanym stężeniu. Uwzględniając możliwości pomiarowe refraktometru określono zależność pomiędzy współczynnikiem załamania a stężeniem procentowym dla stężenia gliceryny z zakresu 60% – 90%. Zależność stężenia od współczynnika załamania jest liniowa i może być opisana zależnością:

$$C\% = 747,13 * n' - 982,25.$$

Zestaw pomiarowy

lampa sodowa, refraktometr Pulfricha, zasilacz 6V, zestaw próbek pomiarowych.



- 1. - mikroskop odczytowy
- 2. - okular lunety
- 3. - pokrętło zerowania mikroskopu odczytowego
- 4. - pryzmat wzorcowy
- 5. - pokrętka blokująca położenie lunety
- 6. - pokrętło precyzyjnego obrotu lunety
- 7. - mechanizm do pochylenia pryzmatu
- 8. - mechanizm do obrotu pryzmatu
- 9,10. - oświetlacz
- 11. - obiektyw lunety

- 1. - mikroskop odczytowy
- 2. - okular lunety
- 4. - pryzmat wzorcowy
- 5. - pokrętka blokująca położenie lunety
- 6. - pokrętło blokujące położenie lunety działa po zablokowaniu lunety pokrętką /5/
- 13. - śruba mikrometryczna okularu lunety

Rys. 4. Refraktometr Pulfricha.

III. Przebieg ćwiczenia

1. Włączyć lampę sodową i odczekać, aż będzie świecić światłem żółtym. Przed przystąpieniem do pomiaru wyczyścić pryzmat wzorcowy oraz badane próbki alkoholem (denaturat). Włączyć podświetlenie skali kątomierza refraktometru.

2. Sprawdzenie i regulacja refraktometru:

- a) Zerowe położenie osi celowej lunety. Luneta ustawiona jest prawidłowo, gdy w okularze lunety /2/ (rys.4) bisektor obejmuje kreskę oznaczoną cyfrą 4 oraz bęben śruby mikrometrycznej /13/ ustawiony jest na zero (krzyż z nici pajęczych znajduje się w centrum pola widzenia).
- b) Ustawienie pryzmatu wzorcowego w poziomie. Po ustawieniu obiektywu lunety /11/ nad pryzmatem wzorcowym /4/, zdjęciu osłony i załączeniu oświetlenia przyrządu należy doprowadzić do pokrycia obrazu świecącego krzyża lunety autokolimacyjnej, danego przez górną powierzchnię pryzmatu wzorcowego, z ciemnym krzyżem w okularze lunety /2/. W przypadku niezgodności dokonać regulacji:

lewo – prawo - obrotem lunety

góra –dół - obrotem pryzmatu za pomocą pokręteł mechanizmu /7/.

- c) Zerowanie mikroskopu odczytowego /1/. Obiektyw lunety /11/ ustawić na wprost bocznej ściany pryzmatu wzorcowego, doprowadzić do pokrycia obrazu świecącego krzyża lunety autokolimacyjnej, danego przez boczną powierzchnię pryzmatu wzorcowego, z ciemnym krzyżem w okularze lunety. W przeciwnym razie dokonać regulacji

lewo – prawo - pokrętkami mechanizmu /8/

góra –dół - obrotem lunety

Za pomocą pokrętła /3/ doprowadzić do zera odczyt w mikroskopie pomiarowym /1/. Przeprowadzenie regulacji refraktometru może uniemożliwić zbyt intensywne oświetlenie pola widzenia w lunecie /2/. Aby dokonać regulacji należy lampę sodową oddalić od refraktometru i obrócić o kąt około 90° co powinno umożliwić pojawienie się obrazu świecącego krzyża lunety autokolimacyjnej. Po dokonaniu wyżej wymienionych regulacji refraktometr gotowy jest do pracy.

3. Wyznaczanie współczynnika załamania dla pleksi.

W celu zapewnienia kontaktu optycznego użyć olejku cedrowego jako cieczy imersyjnej dla wszystkich próbek (jedna kropla powinna wystarczyć do wszystkich pomiarów). Kroplę cieczy imersyjnej umieścić na pryzmacie wzorcowym. Ustawić na kropli pojemnik (pleksi) z cieczą dociskając go do powierzchni pryzmatu. Obracając lunetą odszukać obraz pokazany na rysunku

(rys.2) z widoczną granicą obszaru jasnego i ciemnego. Umieścić krzyż z nici pajęczych na granicy obszarów i odczytać kąt graniczny w mikroskopie odczytowym /1/ zgodnie ze wzorem.

$$\alpha = (360^{\circ} - \beta^{\circ}) + \gamma \quad (1)$$

gdzie:

β - odczyt ze skali kątowej wyrażony w stopniach,

γ - odczyt kąta wyrażony w minutach.

Pomiaru kąta dokonać trzy razy za każdym razem odjeżdżając lunetką.

4. Wyznaczanie współczynnika załamania oleju parafinowego i gliceryny o różnych stężeniach.

W przypadku cieczy widoczne są dwie granice obszaru jasnego i ciemnego. Pierwsza wyraża kąt graniczny dla materiału, z którego wykonany jest pojemnik (pleksi), a druga, mniej wyraźna, odnosi się do kąta granicznego badanej cieczy. Odszukać drugą granicę zacienionego obszaru (rys.2). Doprowadzając do pokrycia krzyża z nici pajęczych z granicą obszarów jasnego i ciemnego odczytać wartość kąta granicznego zgodnie ze wzorem (1). Odczyt powtórzyć trzykrotnie dla każdej badanej cieczy za każdym razem odjeżdżając lunetką.

5. Wyznaczanie współczynnika załamania dla szkła.

Dokonując pomiaru kąta dla szkła zwrócić uwagę aby olejek znajdował się jednocześnie na pryzmacie i na szklanej próbce. Ochroni to pryzmat przed zarysowaniem. Następnie aby zapewnić kontakt optyczny nasunąć szkło na pryzmat z prawej strony jednocześnie “wkręcając” szkło w pryzmat. Obracając lunetą odszukać w okularze lunety /2/ obrazu pokazanego na rysunku (rys.2). Doprowadzając do pokrycia krzyża z nici pajęczych z granicą obszarów jasnego i ciemnego odczytać kąt w mikroskopie odczytowym /1/ zgodnie ze wzorem (1). W razie otrzymania nieostrej granicy obszarów jasnego i ciemnego należy “wkręcać” szkło w pryzmat jednocześnie obserwując obraz w okularze lunetki /2/.

Zmierzyć kąt graniczny trzy razy za każdym razem odjeżdżając lunetką.

IV. Tabela pomiarowa

Badany Materiał	α_1	α_2	α_3	kąt średni $\bar{\alpha}$	współczynnik załamania n'	stężenie roztworu gliceryny C%
pleksi						
gliceryna I						
gliceryna II						
gliceryna III						
olej parafinowy						
szkło						

V. **Opracowanie ćwiczenia**

1. Pryzmat pomiarowy wykonany ze szkła SF2 wg katalogu Schotta o współczynniku załamania $n_d=1,64787$.

Z każdej serii pomiarowej danego kąta należy obliczyć wartość średnią. Znając n obliczyć współczynniki załamania badanych cieczy i ciał stałych ze wzoru:

$$n' = \sqrt{n^2 - \sin^2 \bar{\alpha}}$$

gdzie:

n' – współczynnik załamania badanego materiału

n - współczynnik załamania pryzmatu wzorcowego

$\bar{\alpha}$ - kąt mierzony (wartość średnia)

2. Na podstawie zależności współczynnika załamania światła od stężenia roztworu wyznaczyć stężenie procentowe C% dla wodnego roztworu gliceryny z równania :

$$C\% = 747,03 * n' - 982,25$$

gdzie: n' – wyznaczony współczynnik załamania.

3. Wyniki umieścić w Tabeli i porównać z wartościami tablicowymi.

VI. **Rachunek błęd**

1. Wyznaczyć błąd maksymalny $\Delta n'$ metodą różniczki zupełnej. Niepewność pomiarową odczytu kąta wyrazić w radianach.

$$\Delta n' = \left| \frac{\partial n'}{\partial \alpha} \right| \cdot |\Delta \alpha|$$

gdzie $\Delta \alpha = 2' = \dots\dots\dots rad$.

2. Obliczyć błąd względny wyznaczanych wielkości.

VII. **Literatura**

1. S. Szczeniowski – Fizyka doświadczalna cz. IV
2. I. W. Sawieliew – Wykłady z fizyki t. II
3. J. Masalski, M. Masalska – Fizyka dla inżynierów t. I,
4. D. Halliday, R. Resnick – Fizyka t. II
5. S. Pieńkowski – Optyka
6. H. Szydłowski – Laboratorium fizyczne
7. II Pracownia Fizyczna – pod red. F. Kaczmarka