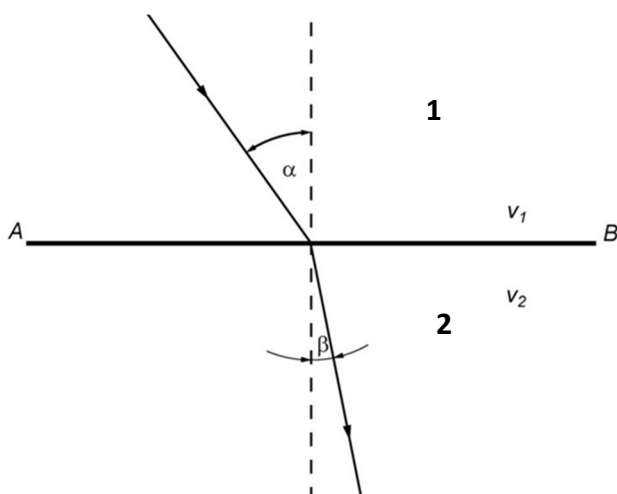


WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA ZAŁAMANIA ŚWIATŁA REFRAKTOMETREM ABBEGO

WSTĘP

Światło, przy przejściu przez granicę dwóch ośrodków optycznych, zmienia kierunek ruchu. Zjawisko to zostało nazywane załamaniem światła. Schemat tego zjawiska przedstawiono na Rys. 1. Promień biegnący ze środowiska optycznego 1 doznaje załamania na granicy AB. Kąt zawarty między kierunkiem promienia padającego i prostopadłą do granicy ośrodków optycznych, nazywa się kątem padania. W sposób analogiczny definiuje się kąt załamania.



Rys. 1. Załamanie promienia światła na granicy ośrodków optycznych

Iloraz sinusa kąta padania α do sinusa kąta załamania β jest dla danej pary ośrodków wielkością stałą. Wartość tego bezwymiarowego stosunku n_{21} nazywa się względnym współczynnikiem załamania ośrodka 2 względem ośrodka 1. Tę samą wartość można również wyrazić stosunkiem prędkości V_1 i V_2 rozchodzenia się światła w tych ośrodkach:

$$n_{21} = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{V_1}{V_2} \quad (1)$$

gdzie: V_1, V_2 – prędkości światła w odpowiednich ośrodkach.

W szczególnym przypadku, w którym mamy do czynienia z przejściem promienia światła z próżni do dowolnego ośrodka, równanie (1) przyjmuje postać:

$$n = \frac{c}{V} \quad (2)$$

w którym: n – bezwzględny współczynnik załamania ośrodka,
 c – prędkość światła w próżni.

Ogólną definicję współczynnika załamania można przekształcić do następującej zależności:

$$n_{21} = \frac{\frac{V_1}{c}}{\frac{V_2}{c}} = \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

Zależność (3) podaje związek między względnym współczynnikiem załamania światła n_{21} na granicy dwu ośrodków a ich bezwzględnymi współczynnikami załamania n_1 i n_2 . Bezwzględny współczynnik załamania światła w danym ośrodku ma wartość równą względnemu współczynnikowi załamania tego ośrodka względem próżni. Prędkość światła w ośrodkach o większej gęstości optycznej (większe n) jest mniejsza. Z zależności tej wynika, że przy przejściu światła z ośrodka o mniejszej gęstości optycznej do ośrodka o większej gęstości optycznej kąt załamania ma mniejszą wartość od kąta padania.

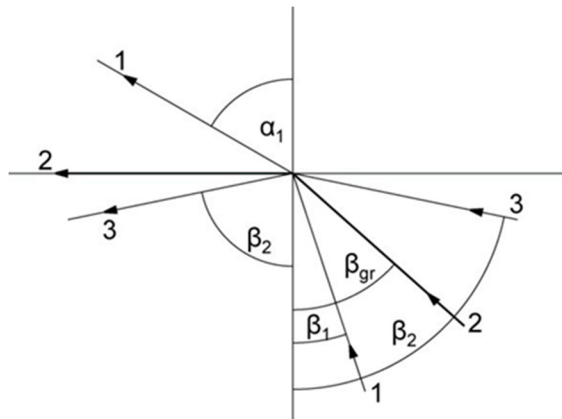
Przykładem wartym szczególnej uwagi jest rozpatrzenie zakresu stosowalności prawa załamania. Niech ośrodek 2 będzie ośrodkiem o większej gęstości optycznej. Wtedy wartość kąta załamania w ośrodku 1 jest większa od kąta padania. Istnieje pewna wartość kąta padania, dla której odpowiadająca jej wartość kąta załamania jest równa 90° . W takich warunkach załamany promień światła będzie ślizgać się wzdłuż granicy ośrodków (Rys .2.). Kąt padania, dla którego kąt załamania wynosi 90° , nazywa się kątem granicznym. Dla promieni padających pod kątem większym od kąta granicznego zachodzi całkowite wewnętrzne odbicie – nie obserwuje się zjawiska załamania światła na granicy ośrodków. Dokładniejsza analiza zjawiska załamania i odbicia wykazuje ciągłość tych zjawisk. Natężenie światła w promieniu

załamany, przy zbliżaniu do kąta granicznego, maleje w sposób ciągły do zera. Prawo załamania w zastosowaniu dla kąta granicznego przyjmuje postać:

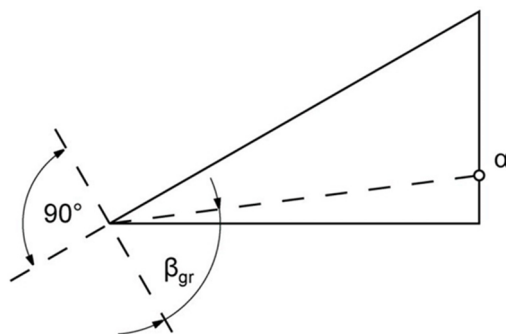
$$n_{21} = \frac{\sin(90^\circ)}{\sin(\beta_{gr})} = \frac{1}{\sin(\beta_{gr})} \quad (4)$$

$$\sin(\beta_{gr}) = \frac{1}{n_{21}}$$

Załamanie promienia światła przy kącie granicznym zostało pokazane na Rys. 2.



Rys. 2. Załamanie promienia światła dla różnych kątów padania β .



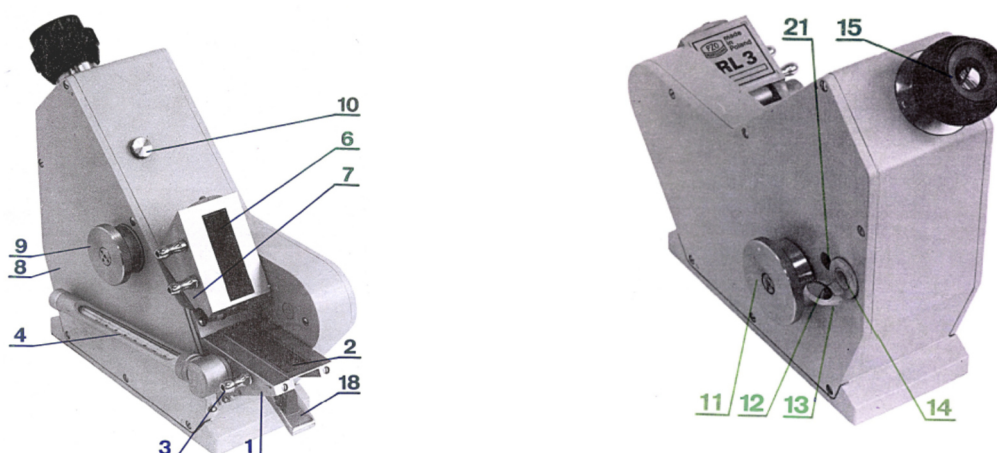
Rys. 3. Promień graniczny w refraktometrze Abbego. α – najniższy oświetlony punkt na pionowej ścianie pryzmatu refraktometrycznego.

Wartość współczynnika załamania można wyznaczyć metodą pośrednią (1), korzystając z wartości kątów padania i załamania otrzymanych z pomiarów bezpośrednich.

Do bezpośrednich pomiarów wartości współczynnika załamania cieczy stosowany jest refraktometr Abbego. Działanie tego przyrządu oparte jest na wykorzystaniu zjawiska całkowitego wewnętrznego odbicia promienia światła na granicy ośrodków optycznych utworzonej przez powierzchnie badanej cieczy i pryzmatu refraktometrycznego. Zmieniając kąt nachylenia pryzmatu względem kierunku promieni padającego światła i obserwując obraz obszaru granicznego poprzez okular refraktometru, doprowadza się układ do osiągnięcia granicznego kąta padania (Rys. 3.). Przyrząd wyposażony jest w skalę, z której odczytuje się wartość współczynnika załamania badanej cieczy.

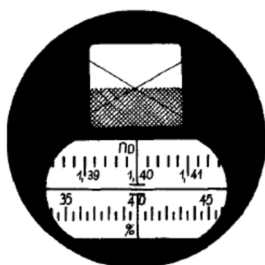
STANOWISKO DO BADAŃ

Na Rys. 4. przedstawiono fotografie ukazujące refraktometr Abbego w dwóch perspektywach.



Rys. 4. Refraktometr Abbego, typu laboratoryjnego. Objaśnienia oznaczeń ważniejszych elementów w tekście.

Podstawowym elementem przyrządu jest pryzmat refraktometryczny w obudowie (1) z poziomo ustawioną płaszczyzną pomiarową (2) przeznaczoną do nanoszenia cienkiej warstwy cieczy do badań. Pryzmat górny zamocowany w obudowie (2) podczas pomiaru jest opuszczony, nakrywając ciecz. Znajdująca się w górnej części obudowy osłona okna służy do oświetlenia cieczy w trybie pomiaru w świetle przechodzącym. Do pomiaru cieczy silnie absorbujących (o ciemnej barwie) należy nasunąć osłonę na okno, następnie odchylić zwierciadło (18) dla oświetlenia dolnej części pryzmatu refraktometrycznego. Podczas pomiaru załamana na płaszczyźnie pomiarowej wiązka światła trafia do wnętrza obudowy refraktometru i trafia na zespół pryzmatów Amici'ego. Obrót zespołu pryzmatów pokrętkiem (9) umożliwia usunięcie zabarwienia linii granicznej (Rys. 5.).



Rys. 5. Pola widzenia w okularze refraktometru. Górne pole – obszar z linią graniczną. Górna podziałka – skala współczynników załamania.

Po przejściu przez zespół pryzmatów Amici'ego wiązka promieni pada na obiektyw i zostaje zogniskowana w jego górnym polu widzenia. W dolnej części pola widzenia obiektywu widoczna jest podziałka współczynników załamania. Oświetlenie skali zapewnia płaskie zwierciadło (12) zamocowane w obrotowej oprawie (13), kierujące światło do wnętrza obudowy przez okienko (14).

Pokrętkiem (11) dokonuje się przesuwania linii granicznej oraz podziałki współczynników załamania w polu widzenia okularu.

Do badań przygotowano zestaw pojemników z cieczami wzorcowymi, którymi są wodne roztwory gliceryny. Każdy pojemnik posiada oznaczenie liczbowe informujące o procentowym wagowym stężeniu gliceryny. Stężenia roztworów zostały oszacowane z pewnym odchyleniem standardowym, którego wartość podaje Prowadzący zajęcia.

Dodatkowo zestaw z cieczami zawiera dwa pojemniki oznaczone symbolami X i Y, zawierające wodne roztwory gliceryny o nieokreślonych wartościach stężeń.

Do nanoszenia warstwy badanej cieczy na powierzchnię pomiarową służy dołączona do zestawu pipeta. Do usuwania cieczy po pomiarze, przemywania powierzchni i ich osuszania przygotowany jest pojemnik z wodą destylowaną oraz miękkie chusteczki papierowe. Operując pipetą, należy koniecznie po każdym użyciu, przepłukać jej rurkę w wodzie destylowanej.

Jakość otrzymanych wyników w bardzo dużym stopniu będzie wynikiem zachowania ekstremalnych warunków zapobiegających mieszanii badanych cieczy poprzez ich kontakt z pipetą.

PRZYGOTOWANIE REFRAKTOMETRU DO POMIARÓW

Odsłonić okienko oświetlające i odchylić obudowę górnego pryzmatu. Z użyciem wody destylowanej i chusteczek starannie oczyścić i osuszyć powierzchnie pryzmatów. Gdy zajęcia odbywają się za dnia, ustawić refraktometr stroną pryzmatów do okna pracowni. W przypadku wieczoru, przygotować włączoną lampkę biurową a światło od niej skierować w stronę okna oświetlającego refraktometru. Spoglądając w okular, ustawić lusterko (12) w pozycji zapewniającej oświetlenie skali współczynników załamania.

WYKONANIE POMIARÓW

1. Z użyciem pipety na powierzchnię pomiarową nanieść cienką warstwę badanej cieczy. Ciecz powinna pokryć całą powierzchnię. Górnym pryzmatem nakryć powierzchnię cieczy a jej nadmiar spływający z boków pryzmatów odsączyć papierową chusteczką.
2. Próbkę oświetlić światłem przechodzącym lub odbitym (używanie równocześnie obu źródeł skutkuje nieostrym obrazem).
3. Przez obrót pryzmatów Amici'ego pokrętkiem (9) doprowadzić do powstania wyraźnej granicy między dwiema częściami pola widocznego w okularze.
4. Pokrętkiem (11) sprowadzić linię graniczną do punktu przecięcia dwu skrzyżowanych nici widocznych w polu widzenia okularu.
5. Ze skali odczytać wartość współczynnika załamania badanej cieczy.
6. Wykonać trzykrotnie pomiar dla każdego roztworu wzorcowego, roztworów X oraz Y, oraz dla wody destylowanej.
7. Podczas wykonywania pomiarów osobno dla każdej badanej cieczy szacować wartość niepewności eksperymentatora. Za niepewność wzorcowania przyjąć najmniejszą działkę skali współczynników załamania.
8. Wyniki zapisać w Tabeli Pomiarów.

TABELA POMIARÓW

roztwór	n_1	$\Delta_e(n_1)$	n_2	$\Delta_e(n_2)$	n_3	$\Delta_e(n_3)$
[%]	[-]		[-]		[-]	
10						
20						
0						
X						
Y						

Względna procentowa niepewność stężeń roztworów:

$$\varepsilon = \frac{u(c)}{c} \cdot 100\% = \dots \dots [\%]$$

$$\Delta_d(n) = \Delta_d(n_1) = \Delta_d(n_2) = \Delta_d(n_3) = \dots \dots$$

OPRACOWANIE WYNIKÓW

1) Dla stężenia dowolnego roztworu wykonać przykład oszacowania niepewności $u(C)$:

$$u(C) = \frac{\varepsilon}{100} \cdot C \quad (5)$$

2) Dla dowolnego wyniku pomiaru n_i wykonać przykład oszacowania wartości całkowitej niepewności $u(n_i)$:

$$u(n_i) = \sqrt{\frac{(\Delta_d(n_i))^2 + (\Delta_e(n_i))^2}{3}} \quad (6)$$

3) Wykonać obliczenia z pkt. 1. i pkt. 2. dla pozostałych dla pozostałych wartości a wyniki zapisać w Tabeli Wyników.

4) Wykonać przykład obliczenia średniej wartości n :

$$n = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3} \quad (7)$$

5) Wykonać przykład oszacowania rozszerzonej ($k = 2$) wartości całkowitej niepewności $U(n)$ z uwzględnieniem metody typu A i metody typu B:

$$U(n) = k \cdot u(n) = k \cdot \sqrt{(u_A(n))^2 + (u_B(n))^2} = k \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (n - n_i)^2}{3 \cdot (3-1)} + \frac{\sum_{i=1}^3 (u(n)_i)^2}{3}} \quad (8)$$

6) Wykonać pozostałe obliczenia a wyniki zapisać w Tabeli Wyników.

TABELA WYNIKÓW

C	u(C)	n_1	$u(n_1)$	n_2	$u(n_2)$	n_3	$u(n_3)$	n	U(n)
[%]	[%]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
10									
20									
0									
X	nie dotyczy								
Y	nie dotyczy								

7) Wykonać wykres zależności współczynnika załamania światła n od stężenia wodnego roztworu gliceryny C . Między punktami doświadczalnymi poprowadzić prostą najlepszego dopasowania.

8) Z użyciem funkcji REGLINP (arkusz Excel) wyznaczyć i zapisać w Tabeli Wyników wartości parametrów równania prostej najlepszego dopasowania:

$$n = a \cdot C + b \quad (9)$$

TABELA WYNIKÓW

parametry równania prostej	nachylenie		odcięta		miara jakości dopasowania
	a	u(a)	b	u(b)	R ²
	$\left[\frac{1}{\%}\right]$	$\left[\frac{1}{\%}\right]$	[-]	[-]	[-]
przed zaokrągleniem					
po zaokrągleniu					

9) Wykonać przykład wyznaczenia wartości stężenia jednego z roztworów X lub Y w oparciu o równanie (9), np.:

$$C = \frac{n-b}{a} \quad (10)$$

10) Wykonać przykład oszacowania wartości niepewności wyznaczenia stężenia roztworu:

$$u(C) = \sqrt{\left(\frac{\partial C}{\partial n} \cdot u(n)\right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial a} \cdot u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial b} \cdot u(b)\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{a} \cdot u(n)\right)^2 + \left(-\frac{n-b}{a^2} \cdot u(a)\right)^2 + \left(-\frac{1}{a} \cdot u(b)\right)^2} = C \cdot \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \frac{(u(n))^2 + (u(b))^2}{(n-b)^2}} \quad (11)$$

11) Wykonać obliczenia z pkt. 9. i pkt. 10. dla drugiego roztworu. Wyniki wpisać do Tabeli Wyników:

TABELA WYNIKÓW

roztwór	C	u(C)
	[%]	[%]
X		
Y		

12) Dokonać omówienia dokładności zastosowanej metody wyznaczenia stężeń roztworów X i Y na podstawie oceny wartości ich względnych procentowych niepewności:

$$\theta = \frac{u(C)}{C} \cdot 100\% \quad (12)$$

13) Zastosowana metoda badawcza umożliwia wyznaczenie wartości współczynnika załamania światła dla wody n_{H_2O} na podstawie:

- a) średniej z pomiarów bezpośrednich (Tabela Wyników, pkt. 6.),
- b) obliczenia wartości ekstrapolowanej, gdy w równaniu (9) przyjmiemy wartość $C = 0$. Wtedy $n_{H_2O} = b$, $u(n_{H_2O}) = u(b)$ (patrz Tabela Wyników, pkt. 8.)

14) W Tabeli Wyników zestawień wartości wyznaczonych w ćwiczeniu współczynników załamania światła dla wody z wartością tablicową.

TABELA WYNIKÓW

	n_{H_2O}	$u(n_{H_2O})$
	[-]	[-]
średnia z pomiarów bezpośrednich		
wartość ekstrapolowana (9)		
wartość tablicowa		

15) Dokonać oceny zastosowanej metody badawczej i otrzymanych wyników końcowych.

LITERATURA

[1] DRYŃSKI T.: Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa 1978.
 [2] SZCZENIOWSKI S.: Fizyka doświadczalna, cz. IV - Optyka, PWN, Warszawa 1980.
 [3] Ćwiczenia Laboratoryjne z Fizyki (praca zbiorowa), Skrypt Nr 279, Politechnika Opolska 2007.
 [4] Refraktometr laboratoryjny RL-3. Instrukcja obsługi, Polskie Zakłady Optyczne S.A., Warszawa.