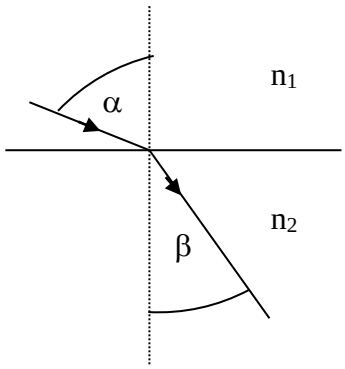
D2. Badanie zależności współczynnika załamania światła od stężenia roztworu za pomocą refraktometru Abbe'go

***Celem ćwiczenia** jest poznanie zjawisk optycznych zachodzących na granicy dwóch ośrodków przeźroczystych oraz doświadczalne wyznaczenie współczynnika załamania światła metodą całkowitego wewnętrznego odbicia.*

Prawo załamania światła (prawo Snelliusa)

Stosunek sinusa kąta padania do sinusa kąta załamania jest dla danych dwóch ośrodków wartością stałą, równą stosunkowi bezwzględnych współczynników załamania światła n_2 do n_1, czyli ***względnemu współczynnikowi załamania światła*** drugiego ośrodka względem pierwszego. Jest on także równy stosunkowi prędkości światła w ośrodku, z którego wychodzi (v_1) do prędkości światła w ośrodku, do którego światło wchodzi (v_2):

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} \qquad (1)$$



Promień padający, normalna w punkcie padania oraz promień załamany leżą w jednej płaszczyźnie.

Bezwzględny współczynnik załamania światła n definiujemy jako stosunek prędkości światła w próżni ***c*** do prędkości światła w danym ośrodku ***v*** : $n = \frac{c}{v}$ (2)

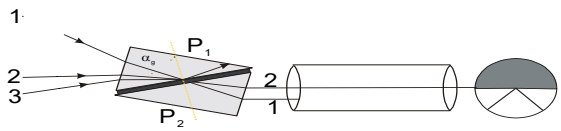
Kąt graniczny – obserwujemy wtedy, gdy światło przechodzi z ośrodka gęstszego do rzadszego optycznie. Istnieje wówczas - w środowisku gęstszym - taki kąt padania, zwany granicznym (α_{gr}), któremu – w środowisku rzadszym – odpowiada kąt załamania równy 90^0.

Ze względu na zasadę odwracalności biegu promienia świetlnego można, korzystając z (1) napisać:

$$n_{2,1} = \frac{\sin 90^o}{\sin\alpha_{gr}} = \frac{1}{\sin\alpha_{gr}} \qquad (3).$$

Dla kątów padania większych od kąta granicznego obserwujemy ***zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia*** („całkowitego", gdyż w promieniu odbitym zawiera się cała energia promienia padającego).

Korzystając z równania (3) można w prosty sposób znaleźć współczynnik załamania światła $n_{2,1}$ wyznaczając doświadczalnie kąt graniczny $\alpha_{gr.}$ Na tej zasadzie oparta jest budowa refraktometrów. Poniżej schemat ***Refraktometru Abbego:***



Zbudowany jest on z dwóch pryzmatów o współczynniku załamania światła większym od współczynników badanej cieczy, którą umieszczamy pomiędzy pryzmatami P_1 i P_2. Tworzy ona cienką, płasko-równoległą warstwę, na którą padają - pod różnymi kątami - promienie wychodzące z pryzmatu P_1. Część promieni ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu, część po załamaniu

opuszcza drugi pryzmat. Promienie padające pod kątem granicznym biegną wzdłuż powierzchni granicznej i zostają pochłonięte przez wyczernione ścianki obudowy pryzmatu. Dzięki takiemu biegowi promieni pole widzenia lunetki podzielone jest na dwie części: ciemną i jasną. Przez obrót odpowiedniego pokrętła ustawiamy linię graniczną obu części na przecięciu krzyża z nici pajęczych i wówczas na skali refraktometru odczytujemy współczynnik załamania badanej cieczy czy roztworu.

Literatura uzupełniająca

1. Cz. Bobrowski, Fizyka- krótki kurs, Rozdz. 5.1, 5.2

2. S. Przestalski, Fizyka z elementami biofizyki i agrofizyki, Rozdz.1.4,

Zobacz też:

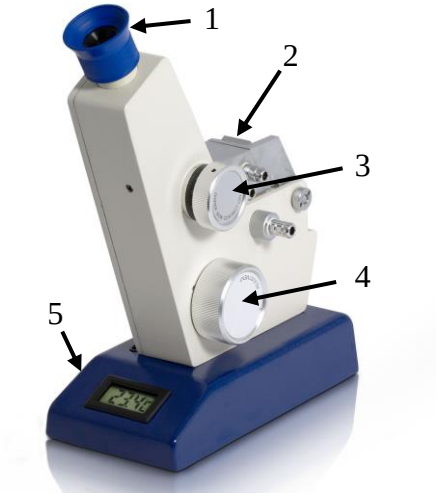
symulacje komputerowe na stronie internetowej *Katedry Fizyki i Biofizyki* **(https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/)** (zakładka: *Symulacje zjawisk fizycznych*),

D2. Protokół pomiarów i obliczeń

Nr pary	Imię i nazwisko studenta	Wydział grupa
data	Imię i nazwisko prowadzącego	Zaliczenie

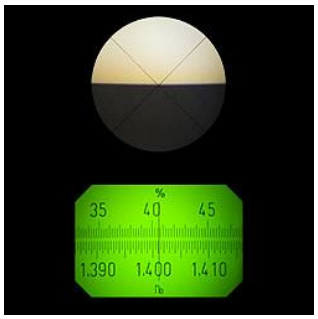
Wykonanie ćwiczenia

Przyrządy: refraktometr Abbego z wbudowaną lampą sodową, zestaw roztworów o różnym stężeniu.



Rys.1. Refraktometr Abbego: 1 – okular ze skalą; 2 – pryzmat górny oświetlający, 3 – pokrętło korekcji dyspersji, 4 – pokrętło nastawcze, 5 – termometr.

1. Włączamy do sieci zasilacz lampy sodowej wbudowanej w górny pryzmat (2) refraktometru (rys.1).
2. Odchylamy górny pryzmat refraktometru, przemywamy pryzmaty wodą destylowaną i delikatnie wycieramy ręcznikiem papierowym.
3. Na dolny pryzmat nanosimy cienką warstwę wody tak, aby pokrywała całkowicie jego powierzchnię. Po opuszczeniu górnego pryzmatu i zablokowaniu go pokrętłem LOCK, znajdującym się po lewej stronie obudowy, usuwamy ręcznikiem papierowym nadmiar wypływającej wody.
4. Ustawiamy okular tak, aby zobaczyć ostry obraz krzyża pajęczego i skali. Skala jest podwójna (rys.2); w dolnej części podane są wartości współczynników załamania, które odczytujemy, natomiast w górnej części podane są wartości stężenia dla wodnych roztworów sacharozy, które nie dotyczą niniejszego ćwiczenia.
5. Obserwujemy obraz w polu widzenia okularu. Pole powinno być podzielone na część jasną i ciemną. Ewentualne rozszczepienie barwne niwelujemy pokrętłem (3) DISPERSION CORRECTION znajdującym się po prawej stronie obudowy przyrządu.
6. Obracając pokrętłem (4) ADJUSTMENT przesuwamy linię graniczną pomiędzy polami jasnym i ciemnym dokładnie na środek krzyża pajęczego (rys.2).
7. Odczytujemy wartość współczynnika załamania na dolnej skali w polu widzenia okularu.



Rys.2. Pole widzenia w okularze refraktometru Abbego.

8. Oczyszczamy powierzchnię pryzmatów i nanosimy pierwszy roztwór o najniższym stężeniu. Postępując analogicznie jak dla wody odczytujemy dla niego współczynnik załamania n.
9. W ten sam sposób mierzymy współczynniki załamania światła dla pozostałych roztworów o znanym stężeniu oraz dla roztworu o nieznanym stężeniu c_x.

Tabela

c [%]	0 (woda)						c_x
n	$n_0 =$						$n_x =$

$\Delta n = \Delta n_o = \Delta n_x =$ ……

Opracowanie wyników

1. Na papierze milimetrowym wykonujemy wykres zależności $n = f(c)$.
2. Wyznaczamy współczynnik kierunkowy otrzymanej prostej oraz jego błąd bezwzględny. Wartość współczynnika kierunkowego prostej jest równa jednocześnie tzw. *inkrementowi współczynnika załamania światła d,* który jest miarą przyrostu wartości współczynnika załamania światła wraz ze wzrostem stężenia badanej substancji *(dn/dc).*

   Uwaga 1: W celu wyznaczenia współczynnika kierunkowego prostej (inkrementu współczynnika załamania światła) d oraz jego błędu pomiarowego Δd możemy posłużyć się odpowiednim programem komputerowym.

   Uwaga 2: Jeśli współczynnik kierunkowy d otrzymanej prostej wyznaczamy z wykresu sporządzonego na papierze milimetrowym, wówczas błąd współczynnika kierunkowego Δd wyznaczamy z dokładności odczytu poszczególnych wartości naniesionych na wykresie – patrz „Graficzna analiza wyników" (https://sparrow.up.poznan.pl/kfb/).

   odpowiednim zaokrągleniu znalezionych wartości zapisujemy:

   d = (……..…±……) [……..]

3. Znając współczynnik kierunkowy prostej d, obliczamy następnie stężenie nieznanego roztworu korzystając ze wzoru: $c_x = \frac{n_x - n_o}{d}$, gdzie n_x jest współczynnikiem załamania światła dla roztworu o nieznanym stężeniu x, a n_o – współczynnikiem załamania światła dla rozpuszczalnika (wody).

4. Rachunek błędu pomiarowego dla obliczonej wartości nieznanego stężenia przeprowadzamy metodą różniczki zupełnej: $\Delta c_x = \left|\frac{1}{d}\right|\Delta n_x + \left|\frac{-1}{d}\right|\Delta n_o + \left|\frac{n_x - n_o}{d^2}\right|\Delta d$,

   przy czym $\Delta n_x = \Delta n_o$ oznacza błąd odczytu współczynnika załamania światła na skali refraktometru, a Δd, - błąd popełniony przy wyznaczaniu współczynnika kierunkowego prostej (tj. inkrementu współczynnika załamania światła).
5. Zestawiamy otrzymany wynik c_x z – odpowiednio zaokrąglonym – błędem bezwzględnym tej wielkości w postaci $(c_x \pm \Delta c_x)$ [jedn.SI].