

Ćwiczenie: A12

Tytuł ćwiczenia: Refraktometr Abbego

I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie przez studenta podstawowych pojęć i zjawisk takich jak: odbicie i załamania światła na granicy dwóch ośrodków, współczynnik załamania światła, rozszczepienie światła białego, dyspersja światła, stężenie procentowe i molowe, refrakcja molowa. Poza tym student pozna zasadę działania niektórych przyrządów optycznych jak na przykład pryzmatu, lunety, pryzmatu Amici oraz refraktometru Abbego. Dodatkowo pozna metody doświadczalne wyznaczenia współczynnika załamania światła oraz dyspersji badanego ośrodka.

II. Zakres ćwiczenia (zadania do wykonania)

1. Wyznaczenie współczynnika załamania i dyspersji badanych substancji podstawowych metodą promienia stycznego.
2. Wyznaczenie współczynnika załamania i dyspersji roztworów cukru o różnym stężeniu procentowym.
3. Sporządzenie wykresu zależności współczynnika załamania i dyspersji roztworów cukru w zależności od stężenia procentowego.
4. Wyznaczenie refrakcji molowej roztworów cukru o różnym stężeniu procentowym.
5. Sporządzenie wykresu i analiza zależności refrakcji molowej roztworów cukru od stężenia procentowego.

III. Zagadnienia do kolokwium

1. Prawa Snelliusa, zasada Fermata, całkowite wewnętrzne odbicie.
2. Rozszczepienie światła, dyspersja.
3. Przyrządy optyczne i bieg promieni w pryzmacie, pryzmacie Amici, lunecie, zwierciadle płaskim.
4. Metody wyznaczania współczynnika załamania cieczy, refraktometr.
5. Roztwory, stężenia molowe i procentowe.

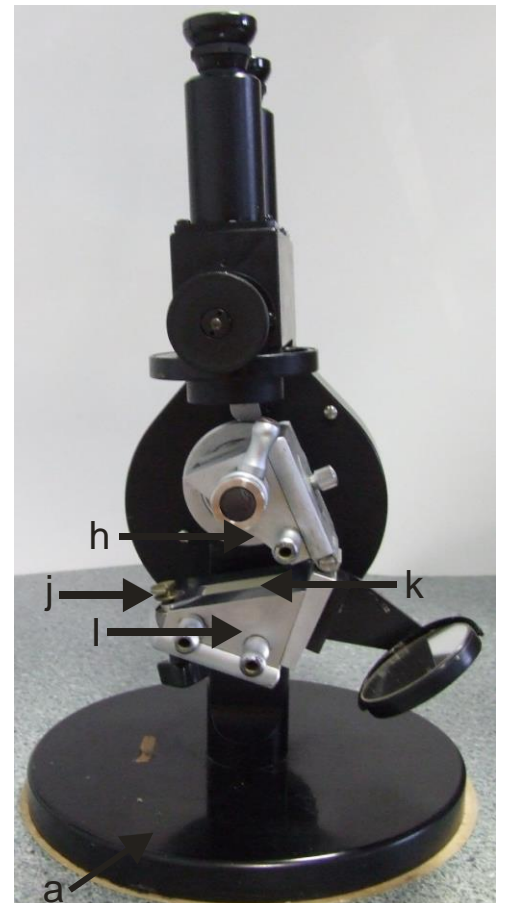
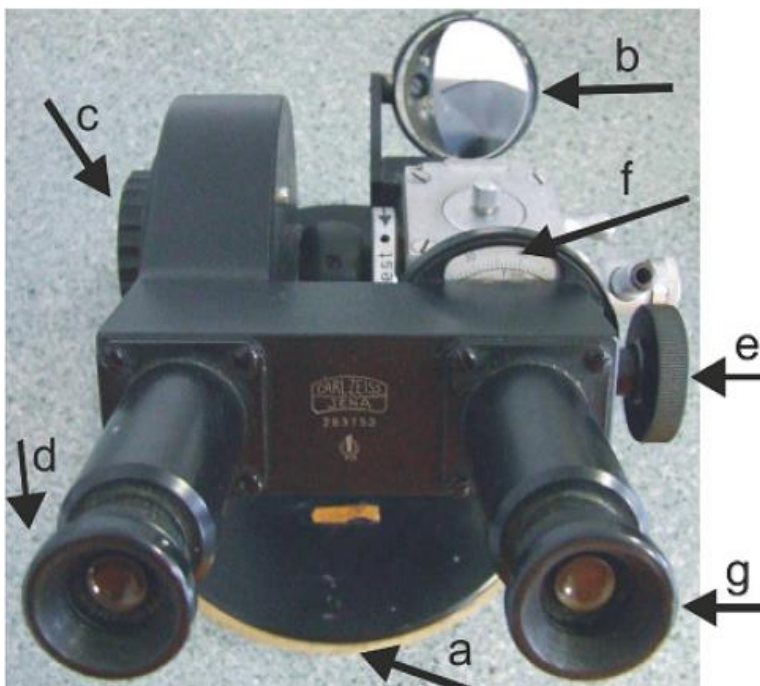
IV. Opis urządzeń i przyrządów używanych w eksperymencie

Refraktometr Abbego (Rys. 1)

Zasada działania refraktometru Abbego została przedstawiona w materiałach uzupełniających. Refraktometr znajdujący się na pracowni został zbudowany w firmie Carl Zeiss Jena i może służyć do badania substancji przy użyciu światła białego. Jak wiadomo światło białe po przejściu przez pryzmat ulega rozszczepieniu, dając obraz barwnej smugi. Zastosowanie konwencjonalnego refraktometru Abbego, dostosowanego do promieniowania jednobarwnego, do działania z użyciem światła białego mocno komplikuje technikę pomiaru, gdyż nie jest możliwe uzyskanie ostrej granicy pomiędzy jasnym i ciemnym polem obrazu w okularze prawym, a przez to niemożliwe jest dokładne znalezienie warunku prawie całkowitego wewnętrznego odbicia. Aby dostosować refraktometr do badań z użyciem światła białego stosuje się specjalne układy kompensujące, oparte o zasadę działania pryzmatu Amici. Te specjalne układy składające się z kilku nawet pryzmatów Amici są umieszczone przed prawą lunetą refraktometru. Refraktometr Abbego znajdujący się na pracowni daje możliwość optycznych badań własności substancji przy użyciu światła białego, do wytworzenia którego wystarczy zwykła lampa oświetleniowa. Pryzmaty z których jest zbudowany mają współczynnik załamania równy $n=1,739$.

Refraktometr składa się z następujących elementów:

- a- statyw
- b- zwierciadło dwustronne po odbiciu od którego światło pada na dolny pryzmat refraktometru
- c- pokrętło służące do obrotu układu pryzmatów, przez co zmianie ulega kąt padania światła na pryzmat dolny. W wyniku obrotu znajduje się warunek padania światła na granicę pryzmat – badana ciecz odpowiadający kątowi bliskiemu granicznemu
- d- okular z wycechowanymi współczynnikami załamania i stężeniami procentowymi badanych substancji
- e- pokrętło służące do precyzyjnego ustawienia granicy między jasnym i ciemnym polem obserwacji widzianym w prawym okularze na przecięciu pajęczych nici. Przekręcając to pokrętło dokonuje się obrotu pryzmatów Amici, kompensując tym samym rozszczepienie światła białego po przejściu przez układ pryzmatów z badaną cieczą
- f- podziałka służąca do odczytu liczby n , zmiany liczby n dokonuje się poprzez obrót pryzmatów Amici (Rys. 2)
- g- okular lunety, który służy do obserwacji granicy między jasnym i ciemnym polem
- h- nieruchomy uchwyt z pryzmatem górnym
- i- ruchomy uchwyt z pryzmatem dolnym
- j- mechaniczny zatrząsk służący do zwarcia obydwu pryzmatów ze sobą
- k- krawędź pryzmatu dolnego na którą nalewa się badaną ciecz



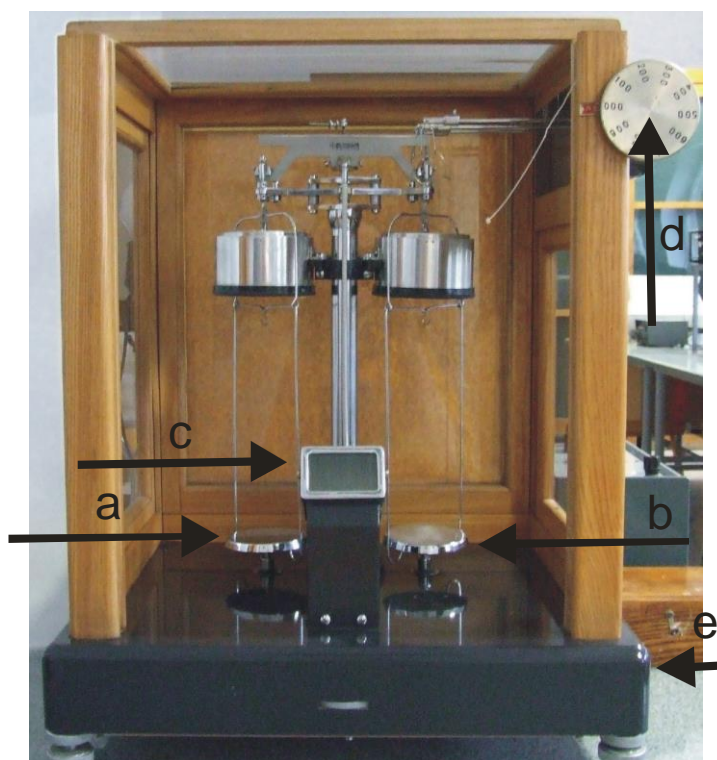
Rys. 1 Refraktometr Abbego, widok z góry (lewy panel) i widok z boku (prawy panel)



Rys. 2 Widok bębna z podziałką (element refraktometru) z którego odczytuje się liczbę z .

Na powyższym rysunku przedstawiono widok bębna z podziałką, z którego odczytuje się liczbę z . Każde położenie bębna odpowiada innemu ustawieniu pryzmatów Amici kompensujących rozszczepienie światła w badanej cieczy. Zmiany położenia bębna dokonuje się przez obrót prawego pokrętła refraktometru.

Waga laboratoryjna



Rys.3 Waga laboratoryjna

Oznaczenia symboli na Rys. 3:

- a- lewa szala wagi, na której umieszcza się ważone substancje
- b- prawa szala wagi, na której umieszcza się odważniki
- c- skala świetlna z podziałką umożliwiającą odczyt wagi substancji z dokładnością do 0,001g
- d- pokrętło dociążenia szali prawej. Przez jego obrót dokonuje się wyboru dociążenia szali prawej w zakresie 0 - 1g. Obrótu pokrętła można jedynie dokonywać przy zablokowanej wadze
- e- pokrętło blokady wagi (niewidoczne na rysunku)

Waga laboratoryjna służy do ważenia danych substancji. Ważenia dokonuje się przy odblokowanej wadze, natomiast wszelkie czynności związane z dokładaniem bądź zdejmowaniem odważników, oraz ujmowaniem bądź dokładaniem ważonej substancji można dokonywać jedynie podczas zablokowanej wagi. Masa danej substancji jest sumą mas odważników i odczytu ze skali świetlnej. Jeżeli wyświetlacz wskazuje zero to masa substancji jest dokładnie równa masie odważników. Przyjęto, że na lewej szali wagi umieszcza się badaną substancję, zaś na prawej szali odważniki. Dodatkowo zamiast umieszczania odważników w zakresie 100 - 1000mg można posłużyć się specjalnym pokrętle, za pomocą którego szala prawa jest odpowiednio dociążana. Wskazanie - 200 na pokrętle oznacza, że szala prawa została dociążona przez 200mg, a to jest równoznaczne sytuacji położenia na tej szali odważnika o masie równej 200mg.

Lampa oświetleniowa, komplet odważników.

Menzurka, zlewka, pipety, waciki, aceton, odważniki.

Substancje badane:

- a) woda destylowana
- b) aceton
- c) czterochlorek węgla
- d) gliceryna
- e) kwas octowy
- f) szczawian dwuetylowy
- g) wodne roztwory cukru

V. Wykonanie ćwiczenia

(sposób postępowania, schematy blokowe, uwagi dotyczące obsługi aparatury i BHP)

1. Przeprowadzenie pomiarów

Czynności wstępne

Na wstępie należy podłączyć przewód z lampy oświetleniowej oraz z wagi laboratoryjnej do gniazda sieciowego. Następnie można ustawić refraktometr w miejscu wygodnym do przeprowadzenia pomiarów, po czym należy wstępnie ustawić lampę oświetleniową i zwierciadło refraktometru, tak by promienie świetlne po odbiciu od zwierciadła wchodziły do refraktometru. W przypadku poprawnego ustawienia refraktometru i lampy pole widziane w lewym okularze refraktometru powinno być jasne.

Przygotowanie doświadczenia

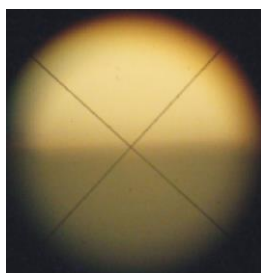
- W celu dokonania badań należy najpierw zwolnić mechaniczny zatrzask i przytrzymując cały korpus refraktometru, odciągnąć dolny uchwyt z pryzmatem.
- Następnie przemyć obie krawędzie pryzmatów acetonem i odczekać około pięciu minut do osuszenia (lub osuszyć je dokładnie wacikiem). Przy zmianie badanej cieczy zawsze należy tę czynność powtórzyć.
- Badane ciecze umieszcza się pomiędzy dwoma pryzmatami, na powierzchni dolnego pryzmatu refraktometru za pomocą jednej z pipet. Badana ciecz powinna wypełniać równomiernie powierzchnię pryzmatu dolnego.
- Po nalaniu cieczy należy przyciągnąć uchwyt z pryzmatem dolnym do nieruchomego uchwyty z pryzmatem górnym i zewrzeć je zamykając zatrzask.

Uwaga: Podczas zamykania pryzmatów należy tak regulować pokrętle C refraktometru (Rys. 1) aby powierzchnia z cieczą pozostawała w położeniu poziomym (w przeciwnym razie ciecz wypłynie z powierzchni pryzmatu dolnego).

Przeprowadzenie pomiarów współczynnika załamania i dyspersji badanych cieczy

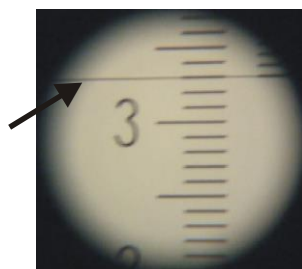
a. Pomiar współczynnika załamania badanej cieczy

Najpierw należy posłużyć się lewym pokrętkiem refraktometru, aby znaleźć granicę między polami jasnym i ciemnym obserwowanymi w prawym okularze refraktometru. Obracając układ pryzmatów uzyskujemy warunek prawie całkowitego wewnętrznego odbicia. Następnie, za pomocą tego samego pokrętkła, należy sprowadzić tę granicę w okolice przecięcia się z niemi pajęczymi okularu (nici są zawsze widoczne). W kolejnym kroku należy tak ustawić pryzmaty Amici, za pomocą pokrętkła prawego, aby ta granica była jak najostrzejsza. Gdy granica jest już ostra (warunek prawie całkowitego odbicia) należy dokładnie ustawić ją na przecięciu się pajęczych nici. Widok w prawym okularze powinien wyglądać mniej więcej jak na zamieszczonym poniżej zdjęciu:



Rys.4. Widok przecięcia się granicy między jasnym i ciemnym polem widzianym przez prawy okular refraktometru.

Dopiero w takim przypadku można odczytać z lewego okularu wartość współczynnika załamania badanej cieczy. Przykładowy widok w lewym okularze wygląda następująco:



Rys.5 Widok w lewym okularze refraktometru.

Na powyższej fotografii zaznaczono strzałką wartość współczynnika załamania w przypadku wody destylowanej, której można użyć do sprawdzenia poprawności działania refraktometru. Na powyższej fotografii widoczna w centrum cyfra 3 odnosi się do setnych części współczynnika załamania. Dziesiąte części oraz jedność na wykonanym zdjęciu nie są widoczne (w lewej części okularu powinna być widoczna liczba 1,3). Zatem współczynnik załamania dla wody destylowanej wynosi 1,333, co zgadza się z wartością podawaną przez literaturę.

Po odczytaniu współczynnika załamania n należy przejść do pomiaru dyspersji światła.

b. Pomiar dyspersji badanej cieczy

W refraktometrze Abbego nie odczytuje się bezpośrednio wartości dyspersji, ale odczytuje się wskazanie liczby z na podziałce po prawej stronie refraktometru. Wartości z są z przedziału $-60 - +60$, wobec czego ważny jest znak z . W zależności od z otrzymuje się wartości σ , których postać jest następująca:

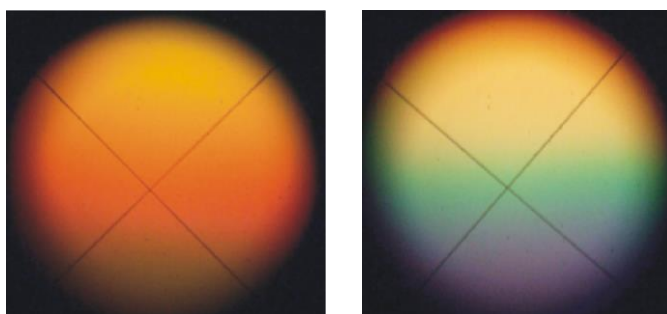
$$\begin{cases} z > 30 \Rightarrow \sigma < 0 \\ z < 30 \Rightarrow \sigma > 0 \end{cases}$$

Wartości σ odczytuje się z tabeli 4. Dyspersję badanego ośrodka wylicza się z następującego wzoru:

$$\nabla n = A + B\sigma$$

gdzie wielkości A i B są stabilizowane względem współczynnika załamania badanej cieczy, tabela 3, natomiast wartości σ względem wartości liczby z .

W celu określenia liczby z odczytywanej z podziałki refraktometru należy kilkakrotnie zmienić ustawienie pryzmatów Amici za pomocą pokrętła prawego. Najpierw należy tak obrócić układ pryzmatów, by granica widoczna w prawym okularze była rozmyta i wpadająca w czerwień. Następnie należy, znów za pomocą tej śruby, uzyskać ostrą granicę i odczytać wartość liczby z . Czynność tę należy powtórzyć w drugą stronę przechodząc od rozmytej granicy o niebieskiej barwie do granicy ostrej. Poniższy rysunek przedstawia dwa skrajne obrazy widziane w prawym okularze refraktometru:



Rys. 6 Dwie fotografie przedstawiające widok w prawym okularze w przypadku nieostrej granicy między jasnym i ciemnym polem.

W przypadku obrazów przedstawionych na powyższych fotografiach pryzmaty Amici nie są obrócone o kąt, który pozwala na kompensację rozszczepienia światła białego w badanej cieczy. Wówczas trudno jest znaleźć granicę między oświetlonym i nieoświetlonym polem widzenia w prawym okularze refraktometru. W takiej sytuacji pomiar współczynnika załamania i dyspersji daje zafałszowane wyniki.

Uzyskane wyniki zapisać w formie tabeli dla każdej cieczy osobno, tabela 1.

c. Przeprowadzenie pomiarów dla roztworów cukru

Przygotowanie roztworu cukru o wyjściowym stężeniu

Początkowe stężenie procentowe wagowe cukru w wodzie powinno być w granicach 25%-30%. W celu przygotowania roztworu cukru należy uprzednio obliczyć, jaką masę cukru należy rozpuścić np. w 10cm³ wody destylowanej aby uzyskać odpowiednie stężenie roztworu i odważyć tę ilość cukru na wadze laboratoryjnej. Następnie należy odlać odpowiednią ilość wody destylowanej do zlewki i dokładnie rozpuścić cukier w wodzie, poprzez intensywne mieszanie. Wskazane jest by cukier dosypywać stopniowo do wody.

Po przygotowaniu wyjściowego roztworu cukru należy dokonać pomiaru jego współczynnika załamania (według opisu w punkcie a), dyspersji (według opisu w punkcie b) i stężenia wagowego procentowego. Stężenie to należy odczytać z lewego okularu refraktometru na skali znajdującej się w prawym górnym rogu okularu, Rys. 5.

Przygotowanie roztworów cukru o mniejszych stężeniach.

Najprostszą i najszybszą metodą uzyskania kolejnych mniej stężonych roztworów cukru jest stopniowe dolewanie wody destylowanej do już sporządzonego roztworu. Punktem wyjściowym jest stężenie cukru jakie chcemy uzyskać w kolejnym kroku. Przykładowo jeśli chce się uzyskać stężenie procentowe wagowe równe 20%, to na podstawie wzoru:

$$C_p = \frac{m_s}{m_s + m_{rozp}} * 100\%$$

należy obliczyć masę rozpuszczalnika (wody destylowanej), której należałoby użyć by uzyskać stężenie cukru równe 20%. W powyższym wzorze m_s oznacza masę cukru wyrażoną w gramach

Z uwagi na to, że niepewność pomiaru objętości dolewanej wody jest dużo większa, aniżeli błąd podczas ważenia danej ilości wody, to lepiej jest posługiwać się wielkościami ważonymi, czyli masami. Innymi słowy mniejszą niepewność popełnia się w przypadku ważenia substancji, niż w przypadku pomiaru jej objętości.

Przygotowanie roztworu o wyjściowym stężeniu procentowym wagowym i kolejnego rozcieńczonego roztworu można przedstawić w następujących krokach:

1. Odważenie danej ilości cukru m_c .
2. Obliczenie masy wody destylowanej potrzebnej do wytworzenia np. 25% roztworu cukru.
3. Zważenie czystej zlewki 1, w której będziemy rozrabiać roztwór.
4. Zważenie zlewki z ilością wody odpowiadającą 25% stężeniu wagowemu procentowemu.
5. Wymieszanie cukru z wodą destylowaną.
6. Pomiar objętości 25% roztworu cukru.
7. Pomiar współczynnika załamania, stężenia wagowego procentowego i dyspersji roztworu.
8. Wyznaczenie stężenia odpowiadającego rozcieńczonemu roztworowi. Przykładowo pierwszy rozcieńczony roztwór może być 20%.
9. Wyznaczenie masy wody destylowanej, którą musimy dolać, w celu utworzenia 20% roztworu z roztworu 25%.
10. Zważenie czystej zlewki 2, w której będzie ważona dolewana ilość wody destylowanej.
11. Zważenie wody, której dolanie do roztworu 25% spowoduje jego rozcieńczenie do 20% roztworu.
12. Dolanie i wymieszanie wody do zlewki z roztworem 25%.
13. Pomiar objętości 20% roztworu cukru.
14. Pomiar współczynnika załamania, stężenia wagowego procentowego i dyspersji roztworu 20%.

Uwagi dotyczące wymaganej dokładności

Pomiar współczynnika załamania należy wykonać z dokładnością do 0,001. Pomiaru stężenia sporządzanych roztworów cukru należy dokonać z dokładnością do 0,5%. Odczytu liczby z należy dokonać z dokładnością do 0,1 dziesiątki. Dokładność ważenia sacharozy powinna być rzędu 0,001g, nie gorsza niż 0,01g. Należy pamiętać, że podczas sporządzania coraz to bardziej rozcieńczonych roztworów cukru niepewność bezwzględna masy rozpuszczalnika (wody destylowanej) będzie coraz większa, z uwagi na powtarzanie czynności dolewania. Dodatkowo niepewność ważenia masy wody destylowanej będzie zawsze sumą dwóch niepewności: jednej związanej z pomiarem samej zlewki i drugiej związanej z pomiarem wody destylowanej w zlewce. Pomiaru objętości sporządzonych roztworów należy dokonać z dokładnością nie większą niż 1cm^3 .

Wyniki pomiarów dla współczynnika załamania i dyspersji.

Substancje podstawowe

Należy dokonać dziesięciokrotnego pomiaru współczynnika załamania każdej z badanych substancji. W przypadku pomiaru dyspersji należy pięciokrotnie dokonać pomiaru przechodząc od barwy czerwonej do ostrej granicy, oraz pięciokrotnie w drugą stronę, od barwy niebieskiej do ostrej granicy, dla każdej substancji. Wyniki należy umieścić w tabeli 1.

Obliczenia dyspersji dokonujemy według wzoru $n_f - n_c = A + B\sigma$, gdzie współczynniki A , B i σ odczytuje się z tabel 3 i 4. Obliczenia niepewności pomiarowych zostały omówione w części VI.

Tabela wyników pomiarów i obliczeń					
Nazwa substancji					
Numer pomiaru	1	2	3	4	5
z_{cx}					
n_{cx}					
z_{nx}					
n_{nx}					
Średni współczynnik załamania n					
Δn					
Średnia liczba z					
Δz					
A					
ΔA					
B					
ΔB					
σ					
$\Delta\sigma$					
dyspersja $n_f - n_c$					
$\Delta(n_f - n_c)$					

Tab.1 Tabela mierzonych i obliczanych wielkości doświadczalnych

Wielkości z_{cx} i n_{cx} są odpowiednio zmierzonymi wartościami z i współczynnika załamania n , przy czym pomiaru dokonuje się przechodząc od barwy czerwonej do ostrej granicy między polem jasnym i ciemnym w prawym okularze refraktometru, natomiast z_{nx} i n_{nx} są również wartościami z i n , ale zmierzonymi przechodząc od barwy niebieskiej do ostrej granicy.

Współczynnik załamania n badanej substancji jest średnią arytmetyczną z pomiarów n_c (od barwy czerwonej) i n_n (od barwy niebieskiej). Wielkości A i B odczytuje się z tabeli 3 dla średniego współczynnika załamania. Wielkość σ odczytuje się z tabeli 4 dla średniej wartości z .

Tabele należy sporządzić osobno dla wszystkich badanych substancji podstawowych.

Roztwory cukru

Należy dokonać dziesięciokrotnego pomiaru współczynnika załamania oraz stężenia wagowego procentowego dla każdego roztworu cukru. Wskazana jest jak największa liczba roztworów cukru, powinna ona wynosić co najmniej 5. Wyniki pomiaru n dla każdego stężenia należy zapisać w tabeli i wyliczyć średnią wartość współczynnika załamania.

W przypadku pomiaru dyspersji należy pięciokrotnie dokonać pomiaru przechodząc od barwy czerwonej do ostrej granicy, oraz pięciokrotnie w drugą stronę, od barwy niebieskiej do ostrej granicy, dla każdego roztworu. Podobnie jak dla substancji podstawowych obliczenia dyspersji dla roztworów dokonujemy według wzoru $n_f - n_c = A + B\sigma$ (korzystając przy tym z tabeli 3 i 4).

Dla każdego sporządzonego roztworu należy dokonać pomiaru objętości roztworu oraz masy dolewanej wody destylowanej.

Obliczenia refrakcji molowej dla roztworów cukru oraz niepewności wyznaczenia refrakcji zostały omówione w części VI. Mając wyliczone wszystkie poszukiwane wartości należy uzupełnić tabelę 2 dla roztworów .

Obliczone wielkości optyczne w zależności od stężenia procentowego roztworów cukru						
	$C_p(1)$	$C_p(2)$	$C_p(3)$	$C_p(4)$	$C_p(5)$	$C_p(6)$
n						
Δn						
A						
ΔA						
B						
ΔB						
z						
Δz						
σ						
$\Delta\sigma$						
$n_F - n_C$						
$(n_F - n_C)$						
R_m						
ΔR_m						

Tab. 2 Współczynnik załamania, dyspersja i refrakcja molowa w zależności od stężenia procentowego roztworów cukru $C_p(1-6)$

Typowe problemy i sposoby ich usunięcia

- Brak granicy między polem jasnym i ciemnym w okularze refraktometru
Należy właściwie ustawić lampę względem refraktometru i optymalnie ustawić zwierciadło refraktometru. W przypadku takich problemów z cieczami łatwo parującymi należy zwiększyć odległość lampy oświetleniowej od refraktometru.
- Nierówna granica pomiędzy polem jasnym i ciemnym w prawym okularze.
Ciecz znajdująca się pomiędzy dwoma pryzmatami nie jest równomiernie rozłożona, prawdopodobnie części powierzchni pryzmatów w ogóle nie pokrywa.

Sytuacje niebezpieczne

Niebezpieczeństwa dla zdrowia

W zasadzie podczas wykonywania opisywanego doświadczenia nie ma się styczności z niebezpiecznymi dla zdrowia i życia sytuacjami. Jedyne zagrożenia wynikają ze styczności z substancjami takimi jak na

przykład aceton. W celu ograniczenia niebezpieczeństwa należy unikać wdychania par jakichkolwiek substancji, oraz wylewania ich na stolik, czy ciało.

Sytuacje niebezpieczne dla wagi laboratoryjnej

Należy pamiętać, że wszelkich manipulacji przy wadze można dokonywać tylko przy zablokowanych szalach wagi. Za manipulacje przy wadze uważa się wszelkie czynności związane z dokładaniem i odejmowaniem ważonych substancji i odważników, oraz obrotu pokrętką, za pomocą którego dociąga się prawą szalę wagi. Podobnie wszelkie czynności korygujące ustawienia wagi, takie jak wypoziomowanie wagi również należy przeprowadzać przy zablokowanej wadze.

VI. Opracowanie wyników i niepewności pomiarowe

Niepewności pomiarowe n

Dla każdej badanej cieczy oraz roztworów cukru współczynnik załamania jest obliczany jako średnia arytmetyczna z 10 pomiarów. Za niepewność współczynnika załamania przyjmuje się maksymalne odchylenie od wartości średniej Δn .

Niepewności pomiarowe A , B , z

Maksymalna niepewność wielkości A jest związana z niedokładnością pomiaru współczynnika załamania światła. Ponieważ odczytu współczynnika załamania dokonujemy z dokładnością do 0,001, to dla uzyskania poprawnych liczb A i B odpowiadających tym dokładnościom, wartości A i B należy odpowiednio interpolować liniowo. ΔA i ΔB oznaczają odpowiednio maksymalne bezwzględne niepewności współczynników A i B , odpowiadające dokładności pomiaru 0,001 współczynnika załamania. W przypadku gdy maksymalna bezwzględna niepewność współczynnika załamania (Δn) będzie różniła się od wartości 0,001, to maksymalne bezwzględne niepewności ΔA i ΔB należy pomnożyć przez odpowiednie współczynniki. Przykładowo, jeśli zmierzylimy $n=1,333\pm 0,002$ to ΔA będzie równy 0,00002.

W celu znalezienia wartości niepewności ΔA należy z tabeli 3 odczytać jakiemu przedziałowi wartości A odpowiada zmiana we współczynniku załamania n o niepewność maksymalną $\pm \Delta n$.

Podobnie należy obliczyć maksymalną niepewność ΔB .

Maksymalną niepewność wielkości z oblicza się w identyczny sposób jak dla wielkości A i B . Przy pomiarze liczby z z dokładnością do 0,1, wartości σ należy odpowiednio interpolować liniowo, korzystając z tabeli 4. $\Delta \sigma$ jest maksymalną niepewnością bezwzględną wielkości σ , która dla każdej wartości z jest wypisana w tabeli 4. W przypadku pomiaru liczby z z inną dokładnością należy te niepewności pomnożyć, bądź podzielić przez odpowiednie wartości.

Zależność współczynnika załamania i dyspersji od stężenia procentowego roztworów cukru

a) Należy sporządzić wykres zależności współczynnika załamania n od stężenia procentowego wagowego roztworów C_p (na podstawie tabeli 2). W wartości doświadczalne należy wpisać prostą metodą najmniejszych kwadratów i podać jej parametry oraz ich niepewności.

b) Należy sporządzić wykres dyspersji $n_F - n_C$ od stężenia procentowego roztworów C_p . W wartości doświadczalne należy wpisać prostą metodą najmniejszych kwadratów i podać jej parametry z niepewnościami.

Oszacowanie niepewności dyspersji

Korzystając ze wzoru na dyspersję maksymalna niepewność względna dyspersji wyraża się wzorem:

$$\frac{\Delta(n_f - n_c)}{|n_f - n_c|} = \left| \frac{\partial(n_f - n_c)}{\partial A} \right| \left| \frac{l}{n_f - n_c} \right| \Delta A_{max} + \left| \frac{\partial(n_f - n_c)}{\partial B} \right| \left| \frac{l}{n_f - n_c} \right| \Delta B_{max} + \left| \frac{\partial(n_f - n_c)}{\partial \sigma} \right| \left| \frac{l}{n_f - n_c} \right| \Delta \sigma_{max}$$

Dodatkowo należy określić maksymalną niepewność procentową i maksymalną niepewność bezwzględną.

Wszystkie trzy wielkości od których zależy dyspersja są obarczone niepewnością. Niepewności wielkości A i B są podane w tabeli 3, są one różne dla różnych współczynników załamania. Tabela zawiera wartości współczynnika załamania dane krokiem co 0,01. Dla współczynników załamania określonych z dokładnością do 0,001 należy wartości A i B interpolować liniowo. Podobnie każdej odczytanej liczbie z odpowiada stabelowana liczba σ , przy czym istotny jest znak tej liczby. Liczbę z odczytuje się bezpośrednio z podziałki refraktometru. Niepewność zmierzonej dyspersji dla wszystkich użytych w doświadczeniu cieczy należy wyznaczyć metodą różniczkową.

Obliczenie refrakcji molowej i oszacowanie jej niepewności

Refrakcję molową oblicza się ze wzoru:

$$R_m = \frac{(n^2 - 1)M_{1,2}}{(n^2 + 2)\rho}$$

gdzie n oznacza współczynnik załamania badanej cieczy, ρ gęstość roztworu, a $M_{1,2}$ oznacza masę cząsteczkową roztworu, którą wyznacza się na podstawie wzoru:

$$M_{1,2} = M_1 f_1 + M_2 f_2,$$

gdzie M_1 oznacza masę cząsteczkową cukru ($C_{12}H_{22}O_{11}$), M_2 masę cząsteczkową wody (H_2O), zaś f_1 i f_2 odpowiednio stężenia molowe, które określa się na podstawie wzoru:

$$f_1 = \frac{c}{c - \frac{M_1}{M_2}(c - 1)},$$

gdzie c oznacza stężenie wagowe. Stężenie drugiej substancji można wyznaczyć na podstawie wzoru:

$$f_2 = 1 - f_1$$

Po wstawieniu wszystkich powyższych wyrażeń uzyskuje się wzór na refrakcję molową postaci:

$$R_m = \frac{(n^2 - 1)M_1 M_2}{(n^2 + 2)\rho(cM_2 - cM_1 + M_1)}$$

Gęstość roztworu wyraża się wzorem:

$$\rho = \frac{(M_c + M_w)}{V},$$

gdzie M_C i M_W oznaczają odpowiednio masę cukru i masę wody destylowanej zawartych w roztworze wyrażonych w gramach, a V jest objętością roztworu.

Wtedy wyrażenie na refrakcję molową przybiera postać:

$$R_m = \frac{(n^2 - 1)M_1M_2V}{(n^2 + 2)(M_C + M_W)(cM_2 - cM_1 + M_1)}$$

Dodatkowo jeśli skorzystamy ze wzoru na stężenie wagowe:

$$c = \frac{M_C}{M_C + M_W},$$

to uzyskamy ostateczną postać wzoru na refrakcję molową:

$$R_m = \frac{(n^2 - 1)M_1M_2V}{(n^2 + 2)(M_C M_2 + M_W M_1)}$$

Dla wszystkich roztworów cukru należy obliczyć niepewność refrakcji metodą różniczkową. Maksymalna niepewność względna refrakcji molowej wyraża się wzorem:

$$\left| \frac{\Delta R_m}{R_m} \right| = \left| \frac{\partial R_m}{\partial n} \right| \left| \frac{1}{R_m} \right| \Delta n + \left| \frac{\partial R_m}{\partial V} \right| \left| \frac{1}{R_m} \right| \Delta V + \left| \frac{\partial R_m}{\partial M_C} \right| \left| \frac{1}{R_m} \right| \Delta M_C + \left| \frac{\partial R_m}{\partial M_W} \right| \left| \frac{1}{R_m} \right| \Delta M_W$$

Dodatkowo należy obliczyć maksymalną niepewność procentową i maksymalną niepewność bezwzględną refrakcji molowej.

Po obliczeniu refrakcji molowej i oszacowaniu niepewności **należy sporządzić wykres** zależności refrakcji molowej od stężenia wagowego procentowego roztworów cukru (na podstawie danych z tabeli 2).

Uzyskane wyniki współczynników załamania, dyspersji i refrakcji molowej należy porównać z danymi literaturowymi i omówić przyczyny ich niezgodności.

Wielkości A i B w zależności od współczynnika załamania					
n	A	$\Delta A \times 10^{-5}$	B	$\Delta B \times 10^{-5}$	n
1,300	0,02470	0,6	0,03182	1,4	1,300
1,310	0,02464	0,5	0,03168	1,5	1,310
1,320	0,02459	0,5	0,03153	1,7	1,320
1,330	0,02454	0,5	0,03136	1,8	1,330
1,340	0,02449	0,5	0,03118	2,0	1,340
1,350	0,02444	0,5	0,03098	2,1	1,350
1,360	0,02439	0,5	0,03077	2,3	1,360
1,370	0,02434	0,4	0,03054	2,4	1,370
1,380	0,02430	0,4	0,03030	2,6	1,380
1,390	0,02426	0,4	0,03004	2,8	1,390
1,400	0,02422	0,4	0,02976	2,9	1,400
1,410	0,02418	0,4	0,02947	3,1	1,410
1,420	0,02414	0,3	0,02916	3,3	1,420
1,430	0,02411	0,3	0,02883	3,5	1,430
1,440	0,02408	0,3	0,02848	3,6	1,440
1,450	0,02405	0,3	0,02812	3,8	1,450
1,460	0,02402	0,3	0,02774	4,0	1,460
1,470	0,02399	0,2	0,02734	4,1	1,470
1,480	0,02397	0,2	0,02693	4,4	1,480
1,490	0,02395	0,2	0,02649	4,6	1,490
1,500	0,02393	0,2	0,02603	4,8	1,500
1,510	0,02391	0,1	0,02555	5,0	1,510
1,520	0,02390	0,1	0,02505	5,2	1,520
1,530	0,02389	0,0	0,02453	5,5	1,530
1,540	0,02389	0,0	0,02398	5,7	1,540
1,550	0,02389	0,0	0,02341	6,0	1,550
1,560	0,02389	0,0	0,02281	6,2	1,560
1,570	0,02389	0,1	0,02219	6,5	1,570
1,580	0,02390	0,2	0,02154	6,8	1,580
1,590	0,02392	0,2	0,02086	7,2	1,590
1,600	0,02394	0,3	0,02014	7,6	1,600
1,610	0,02397	0,3	0,01938	8,0	1,610
1,620	0,02400	0,4	0,01858	8,3	1,620
1,630	0,02404	0,5	0,01775	8,8	1,630
1,640	0,02409	0,6	0,01687	9,4	1,640
1,650	0,02415	0,7	0,01593	10,0	1,650
1,660	0,02422	0,9	0,01493	10,7	1,660
1,670	0,02431	1,0	0,01386	11,5	1,670
1,680	0,02441	1,3	0,01271	12,5	1,680
1,690	0,02454	1,6	0,01114	13,9	1,690

Tab. 3 Tabela współczynników A , B w zależności od współczynnika załamania i ich niepewności.

Wartości σ w zależności od liczby z			
z	σ	$\Delta\sigma$	z
0	1,000	0,1	60
1	0,999	0,1	59
2	0,995	0,4	58
3	0,988	0,7	57
4	0,978	1,0	56
5	0,966	1,2	55
6	0,951	1,5	54
7	0,934	1,7	53
8	0,914	2,0	52
9	0,891	2,3	51
10	0,866	2,5	50
11	0,839	2,7	49
12	0,809	3,0	48
13	0,777	3,2	47
14	0,743	3,4	46
15	0,707	3,6	45
16	0,669	3,8	44
17	0,629	4,0	43
18	0,588	4,1	42
19	0,545	4,3	41
20	0,500	4,5	40
21	0,454	4,6	39
22	0,407	4,7	38
23	0,358	4,9	37
24	0,309	4,9	36
25	0,259	5,0	35
26	0,208	5,1	34
27	0,156	5,2	33
28	0,104	5,2	32
29	0,052	5,2	31
30	0,000	5,2	30

Tab. 4 Tabela współczynników σ w zależności od wartości z

Literatura

- [1] S. Pieńkowski, *Fizyka doświadczalna*, Tom II, PWN, Warszawa, 1955
 [2] Sz. Szczeniowski, *Fizyka doświadczalna*, cz. IV. PWN, Warszawa, 1980
 [3] T. Dryński, *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN, Warszawa, 1978
 [4] H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna*, PWN, Warszawa, 1999
 [5] S. Frisz, A. Tymoriewa, *Kurs fizyki*, Tom III, PWN, Warszawa, 1959
 [6] F. Kaczmarek, (red.), *II pracownia fizyczna- Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki dla zaawansowanych*, PWN, Warszawa, 1976

Appendix: Materiały pomocnicze

Zasada Fermata

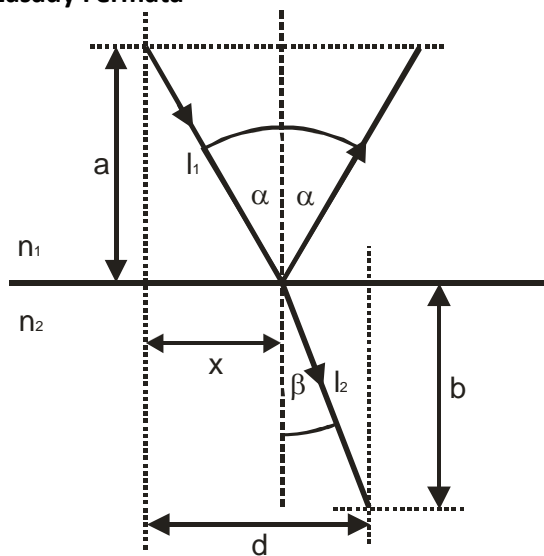
Drogą optyczną nazywa się iloczyn drogi geometrycznej s i współczynnika załamania ośrodka n , w którym ten promień biegnie. Zasada Fermata powiada, że rzeczywista droga optyczna jaką przebywa promień świetlny między dwoma punktami jest najkrótsza ze wszystkich możliwych

$$\sum_{i=1}^k n_i s_i = \text{minimum}$$

Inna treść zasady Fermata mówi, że promień świetlny biegnie tak, by przebyć drogę w możliwie

najkrótszym czasie, co można zapisać w postaci: $\int_o^{t_f} dt = \text{minimum}$

Wyprowadzenie prawa załamania z zasady Fermata



Rys. 1 Schematyczne zobrazowanie zjawiska załamania i odbicia światła na granicy dwóch ośrodków.

$$n_1 l_1 + n_2 l_2 = \text{minimum}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (n_1 \sqrt{a^2 + x^2} + n_2 \sqrt{(d-x)^2 + b^2}) = 0$$

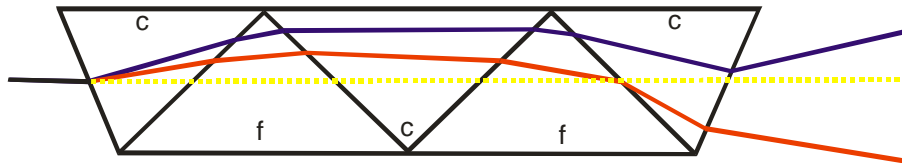
Po zróżniczkowaniu powyższego wyrażenia otrzymuje się postać prawa załamania:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Pryzmat Amici („a vision directe”)

Pryzmaty Amici służą do rozczepienia wiązki światła białego bez powodowania jej odchylenia. Zazwyczaj pryzmaty takie buduje się poprzez złożenie ze sobą kilku pryzmatów o odpowiednio różnych współczynnikach załamania i różnych kątach łamiących, tak dobranych, aby światło o długości fali żółtej linii sodowej ($589,3nm$) nie uległo odchyleniu przy przejściu przez układ. Po raz pierwszy pryzmat taki został zbudowany przez Giovanniego Amici, stąd jego nazwa.

Przykład pryzmatu Amici został przedstawiony na poniższym rysunku:



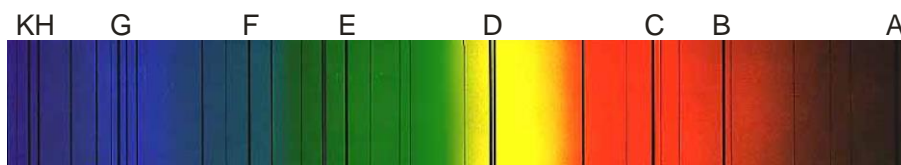
Rys. 2 Przejście światła białego przez układ (pryzmat Amici) zbudowany z pięciu pryzmatów. Przykładowo dwa z pryzmatów są zbudowane z ciężkiego szkła flint (f), a trzy pozostałe z lekkiego crown (c).

Dyspersja i zdolność rozszczepiająca danego ośrodka

Rozszczepienie albo dyspersja danego środowiska jest definiowana jako:

$$\Delta n = n_F - n_C$$

gdzie n_F i n_C są odpowiednio współczynnikami załamania dla linii F i C Fraunhofera. Linie Fraunhofera zostały oznaczone kolejnymi dużymi literami alfabetu, poczynając od linii leżących w części czerwonej. Linie te zajmują w widmie określone miejsce, zatem mogą służyć do orientacji w nim. W widmie światła białego, w którym od jednej barwy do drugiej przechodzi się w sposób płynny, trudno jest znaleźć charakterystyczne barwy, wobec czego niemożliwe jest zdefiniowanie na jego podstawie takich wielkości jak dyspersja, czy zdolność łamiąca ośrodka. Próba znalezienia charakterystycznych linii w widmie światła białego zawsze jest obarczona błędem, powodowanym przez niewystarczającą zdolność odróżniania dwóch barw przez oko ludzkie.



Rys. 3 Linie Fraunhofera światła Słońca

Zdolność rozszczepiającą danego ośrodka definiuje się jako:

$$\frac{I}{K} = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$$

przy czym n_D jest współczynnikiem załamania dla linii D Fraunhofera.