

<b>Zad. E03</b>	<b>I PRACOWNIA FIZYCZNA Instytut Fizyki US</b>
<b>Temat:</b>	<b>Badanie zależności współczynnika załamania światła od stężenia gliceryny przy użyciu refraktometru Abbego</b>

*Cel:* Zapoznanie się z metodą wyznaczania współczynnika załamania cieczy za pomocą refraktometru Abbego i wyznaczenie przy jego użyciu współczynnika załamania światła. Zbadanie zależności współczynnika załamania wodnego roztworu gliceryny od jego gęstości. Wyznaczenie nieznanego stężenia roztworu gliceryny. Sporządzanie stężeń roztworów o zadanych parametrach.

*Przyrządy:* Refraktometr laboratoryjny RL-3 firmy PZO, źródło światła, naczynia miarowe, zlewki, badane cieczy (woda destylowana, gliceryna), pipeta, środki do przemywania pryzmatu (denaturat, ręcznik papierowy), waga o rozdzielczości 0,01 g.

## 1. ZAGADNIENIA

1. Zjawiska odbicia, załamania, całkowitego wewnętrznego odbicia światła i prawa dotyczące tych zjawisk. Kąt graniczny. Bieg światła w pryzmacie.
2. Zależność współczynnika załamania od temperatury i długości fali światła.
3. Budowa i zasada działania refraktometru Abbego na przykładzie refraktometru laboratoryjnego RL-3 firmy PZO.
4. Stężenie masowo-objętościowe roztworu, ułamek molowy, przygotowanie roztworu o zadanym stężeniu.

## 2. OPIS ZAGADNIENIA

Patrz poprzednia Instrukcja, Instrukcja Refraktometr laboratoryjny RL-3 i przedstawienie zagadnienia w podanych pozycjach w: Literatura.

Pomiar współczynnika załamania cieczy oparty jest na pomiarze kąta granicznego przy przejściu promieni świetlnych z badanej cieczy do szkła pryzmatu (o większym współczynniku załamania niż ciecz). (...)

## 3. UKŁAD POMIAROWY

Patrz *Instrukcja Refraktometr laboratoryjny RL-3, Opis budowy refraktometru* z rys. 1 i 2 – na końcu, przedstawienie zagadnienia w podanych pozycjach w: Literatura.

Głównym elementem składowym refraktometru Abbego jest kostka złożona z dwu prostokątnych pryzmatów wykonanych ze szkła o dużym współczynniku załamania. Po między, złożone razem, powierzchnie przeciwprostokątne tych pryzmatów, wprowadza się kilka kropel badanej cieczy. Wiązka promieni pada na pryzmat oświetlający (...).

Do pomiaru używa się światła białego, więc zmierzony współczynnik załamania  $n$  jest współczynnikiem średnim, odpowiadającym długości linii D Fraunhofera ( $\lambda = 589,6$  nm).

(...)

## 4. PRZEBIEG WYKONANIA ĆWICZENIA

1. Sporządzić co najmniej pięć roztworów wodnych gliceryny o stężeniach (ułamki masowe [6]) ok. 10 %, 25 %, 40 %, 55 %, 70 %.

W tym celu odmierzyć pipetą (pipeta automatyczna) po 1 cm<sup>3</sup> gliceryny (roztwór 86 %), wlać do wcześniej zważonego cylindra miarowego (o pojemności 10 mL) i zważyć (lub tylko zważyć bez odmierzania pipetą – wg zalecenia prowadzącego). Do każdej porcji dolać odpowiednią ilość wody destylowanej – patrz Tabela 2.

Uwaga 1. Pipetowanie. Zawsze trzymaj pipetę w pozycji pionowej i obchodź się z nią delikatnie. Nabieranie cieczy – wcisnij przycisk pipetowania do pierwszego oporu, zanurz końcówkę w cieczy na ok. 0,5 cm. Powolnym, płynnym ruchem zwolnij przycisk pobierając ciecz. Odczekaj ok. 2 sekundy i wyciągnij końcówkę z cieczy przesuwając po ścianie naczynia (pionowo). Przenieś pipetowaną ciecz do naczynia do-

celowego. Wydanie cieczy: przyłóż koniec końcówki do ścianki naczynia, powoli naciśnij przycisk do pierwszego oporu. Po 1 sekundzie dociśnij przycisk do drugiego oporu (tzw. wydmuch). Trzymając przycisk wciśnięty do końca wyjmij delikatnie końcówkę przesuwając ją po ściance naczynia. Zwolnij przycisk pipetowania. Odstaw pipetę na stojak. Więcej patrz, np.: <http://www.pchba.amu.edu.pl/cw%20CBA/cw1.pdf>, <http://www.e-biotechnologia.pl/Artykuly/technika-pipetowania>;

Uwaga 2. Ważymy kolejno cylinder miarowy, cylinder miarowy z gliceryną, cylinder miarowy z gliceryną i z dolną wodą.

Uwaga 3. Aby otrzymać roztwór o ułamku wagowym  $w$  mając roztwór gliceryny o masie  $M_0$  o ułamku masowym  $w_0$  (u nas  $w_0 = 0,86$ ) należy dolać wody o masie  $m_w$  tak aby:  $m_w/M_0 = w_0/w - 1$ . Korzystając z definicji gęstości możemy obliczyć stosunki masowo-objętościowe czy objętościowo-objętościowe (oblicz korzystając z danych w Tabeli 1 i porównaj z danymi w Tabeli 2).

**Uwaga! Każdy roztwór należy dokładnie wymieszać.**

2. Otworzyć okienka oświetlające pole widzenia refraktometru, obracając okularem nastawić ostrość widzenia skali i nici pajęczej
3. Za pomocą **plastikowej** pipety (pipeta Pasteura) umieścić kilka kropel wody destylowanej między pryzmatami tak, aby **powierzchnie pryzmatów były całkowicie pokryte**. Używając lewego pokrętki refraktometru (11 na rys. 1), ustawić na skrzyżowaniu nici pajęczych linię ograniczającą jasną część pola widzenia od ciemnej. Pokrętkiem 9 na rys. 1, skompensować dyspersję (usunięcie zabarwienia linii granicznej).
4. Odczytać na górnej skali współczynnik załamania światła (z dokładnością do czwartego miejsca po przecinku). Pomiar powtórzyć 6 razy.
5. Czynności z punktu 3-4 wykonać dla przygotowanych roztworów gliceryny oraz dla gliceryny 86 %.
6. Wymieszać pozostałe roztwory. Odczytać współczynnik załamania światła dla takiego roztworu.
7. Zmierzyć temperaturę na początku i na końcu pomiarów.
8. Pozostawić stanowisko uporządkowane i posprzątane.

## 5. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

### A. Wyznaczenie wartości pomiarowych. Obliczenie niepewności pomiaru.

1. Obliczyć ułamki wagowe  $w$  sporządzonych roztworów:

$$w = \frac{m}{M}$$

gdzie:  $m$  – masa gliceryny,  $M$  – masa roztworu:  $M = m + m_w$ ,  $m_w$  – masa wody.

2. Wyznaczyć wartości średnie i odchylenia standardowe wyznaczonych współczynników załamania dla analizowanych roztworów. Dla małej próby zastosować współczynniki  $t_{n,\alpha}$  Studenta przy poziomie ufności  $\alpha = 0,95$ .
3. Sporządzić wykres zależności współczynnika załamania światła od gęstości roztworu (stężenia masowo-objętościowego  $\rho$ )  $n = f(\rho)$ . Uwzględnić punkty odpowiadające stężeniu 86 % i 0 %. Dla każdego punktu nanieść odcinki niepewności pomiaru. (Dopasować prostą metodą regresji liniowej). Otrzymałą liniową zależność  $n = A\rho + B$  porównaj z prawem Gladstone'a-Dale'a (patrz J.R.Arendt-Meyer: *Wstęp do optyki*, str. 29; Wikipedia).

Sporządzić również wykres zależności współczynnika załamania światła od ułamka wagowego roztworu  $w$ :  $n = f(w)$ . Porównać obie zależności.

Uwaga: odpowiadające dla danego ułamka masowego wartości gęstości stężeń są podane w Tabeli 1. Tablice danych można odnaleźć na stronach www – patrz Tablice.

4. Korzystając z otrzymanych wyników (wykresu) znaleźć stężenie i gęstość nieznanego roztworu.
5. Porównać otrzymane wartości współczynnika załamania z wartościami tablicowymi, skomentować uzyskane wyniki pomiarów, skorzystać z kryterium zgodności.

### B. Zestawić wyniki i niepewności pomiaru.

## 6. Dokonać dyskusji wyników, zapisać wnioski i uwagi dotyczące doświadczenia.

## LITERATURA

1. B. Pawlak, R. Gąsowski, J. Kozłowski: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki dla przyrodników*. Szczecin, Wyd. Naukowe US, 2005.
2. *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice*. Red. T. Rewaj. Warszawa, PWN, 1985 (lub inne wyd.).
3. Lipiec J., Rębilas K., *Refraktometr Abbego. Pomiar współczynnika załamania i wyznaczenie stężenia roztworów*. Pracownia Fizyczna, UR w Krakowie. <http://krzysztofrebilas.republika.pl/Gotowe/cw-43.pdf>
4. *Wyznaczanie współczynnika załamania światła dla cieczy przy użyciu refraktometru Abbego*. I Pracownia Fizyczna, WFİS UŁ; <http://kawe.wfis.uni.lodz.pl/IPF/Instrukcje/O-7.pdf>
5. Instrukcja: *Refraktometr laboratoryjny RL-3*; <http://www.pomiarymetr.pl/biblioteka/instrukcje/PZO/r13.pdf>
6. Pojęcie *Stężenie* – <https://pl.wikipedia.org/wiki/Stężenie>

### Tablice

1. *Physical Properties of Glycerine and Its Solutions*.  
[http://www.aciscience.org/docs/physical\\_properties\\_of\\_glycerine\\_and\\_its\\_solutions.pdf](http://www.aciscience.org/docs/physical_properties_of_glycerine_and_its_solutions.pdf)  
lub na [http://edge.rit.edu/edge/P13051/public/Research%20Notes/same tablice: Density of Glycerine-Water Solutions i Refractive Index of Glycerine-Water Solutions at 20°C](http://edge.rit.edu/edge/P13051/public/Research%20Notes/same%20tablice%20Density%20of%20Glycerine-Water%20Solutions%20and%20Refractive%20Index%20of%20Glycerine-Water%20Solutions%20at%2020%20C.pdf).
2. *Zestawienie danych fizykochemicznych. Stężenia roztworów. Gęstość wodnych roztworów gliceryny*. <http://zylla.wipos.p.lodz.pl/baza/spis04.html>
3. Wygodnie jest uzyskać dane z: *Calculate density and viscosity of glycerol/water mixtures*.  
[http://www.met.reading.ac.uk/~sws04cdw/viscosity\\_calc.html](http://www.met.reading.ac.uk/~sws04cdw/viscosity_calc.html)

Należy jednak zwrócić uwagę na występujące różnice w danych poz. 2 i 3 w stosunku do 1.

Tabela 1. Gęstość wodnego roztworu gliceryny ( $C_3H_5O_3$ ) w zależności od jego stężenia procentowego (ułamka wagowego) dla temperatury 20 °C i 25 °C.

Temperatura °C	Stężenie – ułamek masowy, $m_{\text{glic.}}/m_{\text{roztw.}}$ w %						
	86	70	55	40	25	10	0
	gęstość, $kg/m^3$						
20	1224,45	1181,25	1140,05	1099,30	1059,80	1022,10	998,23
25	1221,35	1178,40	1137,40	1097,10	1058,00	1020,70	997,08

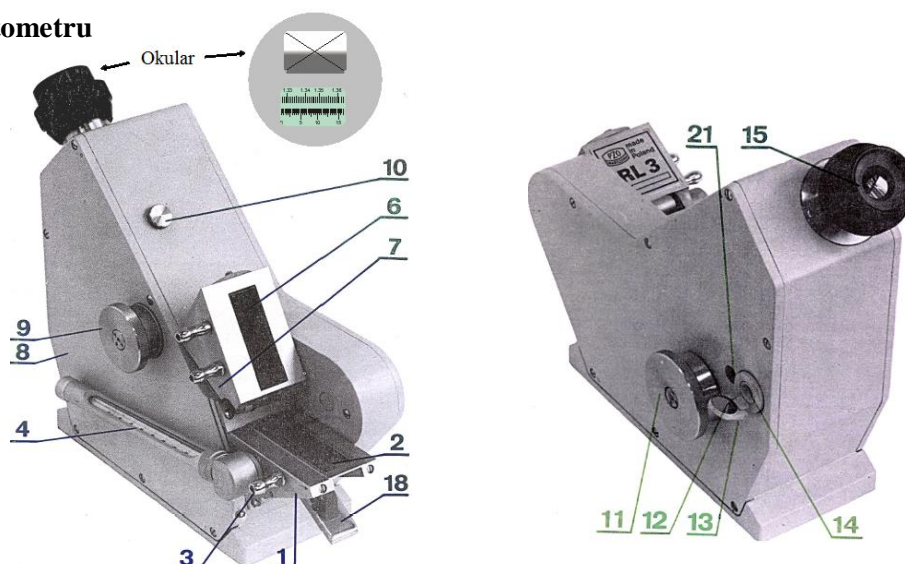
Tabela 2. Wartości odpowiednich współczynników do zrobienia wodnego roztworu gliceryny korzystając z 86 % wodnego roztworu gliceryny ( $C_3H_5O_3$ ). Dane dla temperatury 20 °C.

ułamek wagowy $m_{\text{glic.}}/m_{\text{roztw.}}$	86 %	70 %	55 %	40 %	25 %	10 %
$m_{\text{wody}}/m_{\text{roztw. 86\%}}$	0,000	0,229	0,564	1,150	2,440	7,600
$V_{\text{wody}}/m_{\text{roztw. 86\%}}$ , mL/g	0,000	0,229	0,565	1,152	2,444	7,613
$V_{\text{wody}}/V_{\text{roztw. 86\%}}$	0,000	0,270	0,644	1,266	2,590	7,782
$m_{\text{wody}}/V_{\text{roztw. 86\%}}$ , g/mL	0,000	0,270	0,643	1,264	2,586	7,768

Tabela 3. Współczynniki załamania światła wodnego roztworu gliceryny ( $C_3H_5O_3$ ) w zależności od jego stężenia procentowego (ułamka masowego  $w$ ) dla temperatury 20 °C.

$w$ , %	86	70	55	40	25	10	0
$n$	1,45237	1,42789	1,40554	1,38413	1,36404	1,34481	1,33303

## Opis budowy refraktometru



Rys. 1. Refraktometr laboratoryjny (Abbego) RL-3 firmy PZO. Widok od strony pryzmatu pomiarowego (po lewej) i od strony okularu (po prawej stronie). W kole – widok pola widzenia w okularze refraktometru. Na skrzyżowaniu nici pajęczych linia graniczna, poniżej widok dwóch skal: z wartościami współczynnika załamania i niżej, stężenia zawartości cukru w roztworze.

Podstawowym elementem przyrządu jest pryzmat refraktometryczny w obudowie (1) z poziomo ustawioną płaszczyzną pomiarową (2). Takie położenie płaszczyzny pomiarowej zabezpiecza przed sypnięciem badanej cieczy z pryzmatu. Nad pryzmatem refraktometrycznym znajduje się pryzmat górny (6) umieszczony w zawieszonym zamocowanej obudowie (7) służący do oświetlenia substancji mierzonych w świetle przechodzącym. Do oświetlenia substancji przy pomiarach w świetle odbitym służy zwierciadło (18) przymocowane wahadłowo do obudowy pryzmatu refraktometrycznego.

Podczas pomiaru wiązka promieni skierowana zostaje do pryzmatu refraktometrycznego przez zwierciadło (18) lub okienko oświetlające pryzmatu górnego. Po załamaniu na płaszczyźnie pomiarowej przedostaje się do wnętrza kadłuba refraktometru (8), gdzie po przejściu przez pryzmat kierujący trafia do zespołu pryzmatów Amiciego. Obrót pryzmatów Amiciego uzyskiwany za pomocą pokrętki (9) umieszczonej na zewnątrz kadłuba refraktometru powoduje zmianę rozszczepienia światła białego. Zjawisko to zostało wykorzystane do usuwania zabarwienia linii granicznej. Podziałka nacięta na pokrętce umożliwia odczytanie wartości dyspersji „Z”. Po przejściu przez zespół pryzmatów Amiciego wiązka promieni pada na obiektyw i zostaje zogniskowana w górnym okienku pola widzenia okularu. Możliwość regulacji położenia obiektywu zapewnia wkręt regulacyjny wystający z oprawy obiektywu na zewnątrz kadłuba refraktometru i zabezpieczony przed przypadkowym poruszeniem nakrętką (10). W dolnym okienku pola widzenia okularu widoczna jest podziałka współczynników załamania i procentowej zawartości wagowej cukru, oświetlona światłem skierowanym przez płaskie zwierciadło (12), zamocowane w obrotowo-przechyłnej oprawie (13). Żółto-zielony filtr (14) w układzie oświetlacza powoduje nie męczące wzroku zabarwienie obrazu podziałki w okularze refraktometru. Obrót pokrętki (11) powoduje przesuwanie linii granicznej oraz podziałki współczynników załamania w polu widzenia okularu. W obudowach obu pryzmatów wykonane są kanały zakończone łącznikami (3). Daje to możliwość podłączenia refraktometru do termostatu. Termometr (4) jest włączony w obieg cieczy z termostatu, co pozwala prowadzić stałą kontrolę temperatury w zakresie od 0 °C do 75 °C. Okular (15) posiada przesuw dioptryjny w zakresie  $\pm 5$  dioptrii.

Rys. 2. Schemat optyczny: *a* – lustro, *b* – pryzmat refraktometryczny, *c* – pryzmat oświetlający, *d* – pryzmat kierujący, *e* – pryzmaty Amiciego, *f* – obiektyw, *g* – przysłona, *h* – okular, *i* – układ odczytowy, *k* – układ oświetlający, *l* – płytka z podziałką.

