

Úloha č.4.

## MĚŘENÍ INDEXU LOMU

**Potřeby:** refraktometr, lampička, skleněná tyčinka, měřené kapaliny, čistící kapalina, hadřík

### **Pracovní úkol:**

1. Pomocí stolního Abbéova refraktometru určete index lomu daných kapalin.
2. Pomocí Pulfrichova refraktometru stanovte disperzní relaci optických skel na vlnové délce, jejich střední disperzi, relativní střední disperzi a Abbeovo číslo.
3. Spočítejte chybu nepřímého měření indexů lomu pevných látek i kapalin a to obecně i numericky. V úkolu 2. spočítejte chybu nepřímého měření střední disperze, relativní střední disperze a Abbeova čísla.

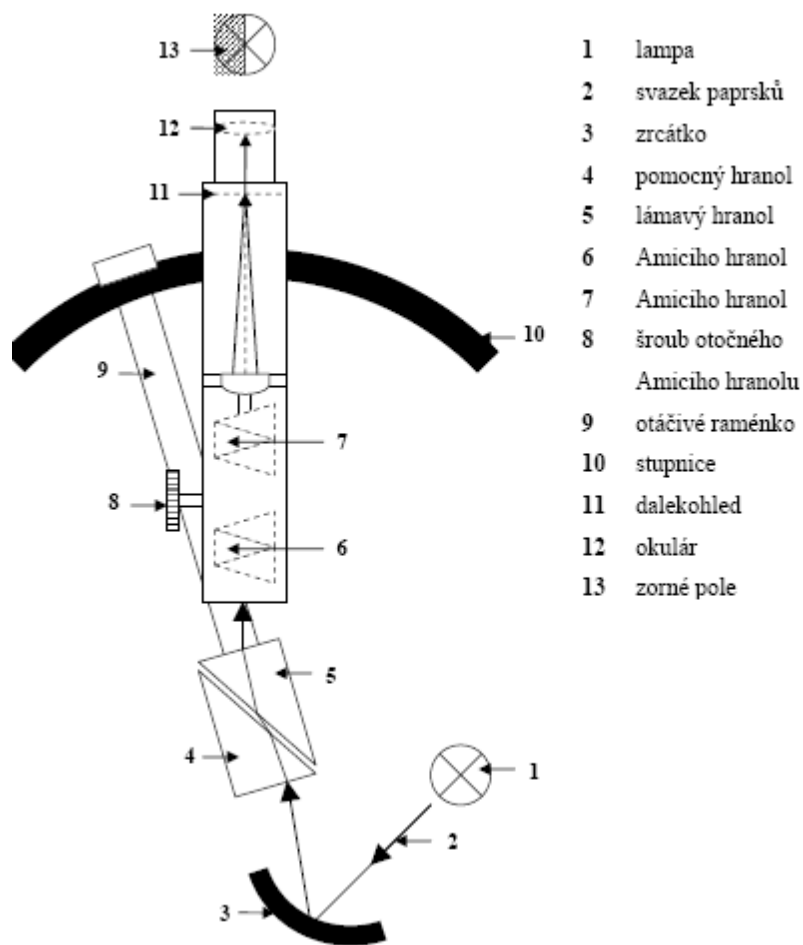
### ***Teorie***

Při refraktometrických měřeních se volí uhel dopadu o velikosti  $90^\circ$ , tzv. klouzavý paprsek a sleduje se maximální mezní uhel lomu. Jelikož je poměr vzduch – hranol konstantní, pak má pro nás význam poměr vzduch – vzorek. Všechny paprsky, jejichž uhel je větší než mezní uhel, se do prostředí s indexem lomu  $n_2$  nedostanou, a tak vzniká rozhraní mezi světlem a tmou. Poloha rozhraní mezi světlou a tmavou oblastí tedy závisí na velikosti mezního uhlu a současně i na hodnotě indexu lomu kapalného vzorku. U roztoků, jejichž koncentrace se mění, dochází i ke změně indexu lomu. S rostoucí koncentrací se index lomu zpravidla zvětšuje a mění se tak poloha rozhraní, zvětšuje se tmavá oblast.

#### Abbeho refraktometr

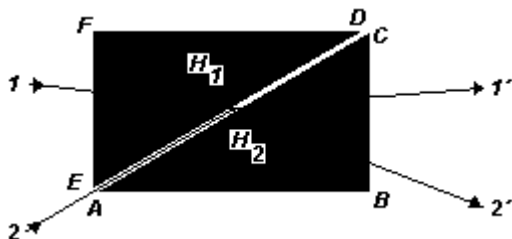
U většiny refraktometrů dopadne svazek paprsků pod uhem  $90^\circ$  na plochu lámavého hranolu (obr.1 a obr.2), na kterou se nanáší malé množství analyzovaného kapalného vzorku. Tuhý vzorek se přitiskne na plochu lámavého hranolu za použití kapaliny s vysokým indexem lomu (např. monobromnaftalen). Na rozhraní vzorku a lámavého hranolu pak dojde k lomu paprsků. Zdrojem světla je polychromatické (bílé) světlo, které vyzařuje svazek paprsků, jež dopadá na vyleštěnou lomnou plochu lámavého hranolu. K měření malého množství kapalin slouží pomocný hranol, jehož matná plocha je přitisknuta k lomné ploše lámavého hranolu.

Lomene a lomem rozložené paprsky polychromatického záření vstupují do dalekohledu, v jehož tubusu je umístěno kompenzační zařízení složené z Amicich hranolů. Jeho hlavním úkolem je zrušení optické disperze měřené soustavy, tj. složení lomem rozloženého polychromatického záření. V zorném poli dalekohledu je nitkovitý kříž, na jehož střed zaměřujeme světelné rozhraní (viz obrázek č. 3). Dalekohled je spojen s pomocnou lupou zaostřenou na stupnici.



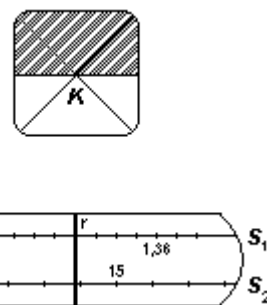
- 1 lampa
- 2 svazek paprsků
- 3 zrcátko
- 4 pomocný hranol
- 5 lámavý hranol
- 6 Amiciho hranol
- 7 Amiciho hranol
- 8 šroub otočného Amiciho hranolu
- 9 otáčivé raménko
- 10 stupnice
- 11 dalekohled
- 12 okulár
- 13 zorné pole

Obr.1. Abbe refraktometr



Obr. 2

*Chod světla dvojhnanolovým refraktometrem*



Obr.3

*Zorné pole okuláru se stupnicí indexu lomu a cukernatosti*

### Pulfrichův refraktometr

Pulfrichův refraktometr umožňuje měření indexu lomu pevných vzorku metodou mezního úhlu a indexu lomu kapalin vychylovací metodou použitím V-hranolu.

## Metoda mezního úhlu

Na rozhraní dvou průhledných prostředí 1 a 2 se světelné paprsky lámou tak, že mezi úhlem dopadu  $\alpha_1$  a úhlem lomu  $\alpha_2$  (měřenými od kolmice k rozhraní) platí zákon lomu:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{N_2}{N_1} = n_{12} \quad (1)$$

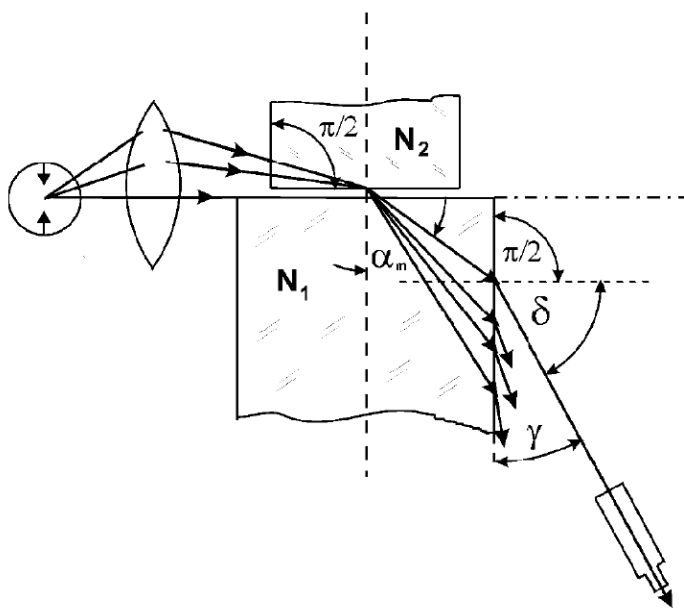
kde  $N_1, N_2$  jsou absolutní indexy lomu prostředí 1, 2 a  $n_{12}$  je relativní index lomu. Pro prostředí o větším absolutním indexu lomu nazýváme opticky hustší.

Při lomu z prostředí opticky hustšího (index lomu  $N_1 > N_2$ ) do prostředí opticky řidšího se paprsek odchyluje směrem od kolmice. Maximální hodnota úhlu  $\alpha_2$  je  $\pi/2$ . Té odpovídá hodnota úhlu  $\alpha_1 \equiv \alpha_m$ , pro kterou platí vztah

$$\sin \alpha_m = \frac{N_2}{N_1} = n_{12} \quad (2)$$

Úhlu  $\alpha_m$  říkáme mezní úhel, protože pro větší úhly než je mezní nemůže nastat lom a veškeré dopadající světlo se odráží.

V Pulfrichově refraktometru je prostředí o známém indexu lomu  $N_1$  tvořeno měřicím hranolem, jehož vrchní stěna a jedna z bočních stěn jsou navzájem kolmé a jsou opticky opracovány (viz obr. 1).



obrázek 4: Pulfrichův refraktometr

Na vrchní stěnu měřicího hranolu pokládáme vzorek materiálu, jehož index lomu  $N_2$  chceme stanovit. Tento vzorek musí být upraven tak, že má též dvě přibližně kolmé ( $90^\circ \pm 10'$ ) optické plochy, z nichž jedna je v optickém kontaktu s měřicím hranolem a druhou vstupuje do vzorku světlo z osvětlovací soustavy (kolimátoru) refraktometru. Světlo, procházející měřicím hranolem pod mezním úhlem  $\alpha_m$ , vstupuje do vzduchu z boční stěny pod úhlem  $\delta$

ke kolmici. Ze zákona lomu můžeme psát

$$N_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_m\right) = \sin \delta \quad (3)$$

pokládáme-li index lomu vzduchu roven jedné.

Protože

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha_m\right) = \cos \alpha_m \quad (4)$$

můžeme vyjádřit  $\sin \delta$  jako funkci indexu lomu  $N_1, N_2$

$$\sin \delta = N_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_m} = N_1 \sqrt{1 - \frac{N_2^2}{N_1^2}} = \sqrt{N_1^2 - N_2^2} \quad (5)$$

Protože Pulfrichův refraktometr je konstruován tak, že se neměří úhel  $\delta$  ale doplňkový úhel  $\gamma = \pi/2 - \delta$ , má vzorec pro hledaný index lomu tvar

$$N_2 = \sqrt{N_1^2 - \cos^2 \gamma} \quad (6)$$

Chyba indexu lomu  $N_2$  je dána vztahem

$$\Delta N_2 = \sqrt{\left(\frac{\partial N_2}{\partial N_1} \Delta N_1\right)^2 + \left(\frac{\partial N_2}{\partial \gamma} \Delta \gamma\right)^2} = \sqrt{\frac{(\Delta N_1)^2 + (\Delta \gamma \sin 2\gamma)^2}{N_1^2 - \cos^2 \gamma}} \quad (7)$$

## Disperze

Index lomu látky závisí na vlnové délce světla. Tato závislost se nazývá disperze a lze aproximovat například Sellmeierovým vztahem

$$N^2 = A + \frac{B}{\lambda^2 - C} - D\lambda^2 \quad (8)$$

kde A, B, C, D jsou konstanty příslušné danému materiálu. Tento vztah je velmi přesný, ale pro praktické účely je často dostatečné použití jednoduššího vztahu

$$N = N_0 + \frac{a}{\lambda + \lambda_0} \quad (9)$$

Pokud potřebujeme znát pouze hrubou disperzní charakteristiku daného materiálu, používáme k jejímu vyjádření některou z veličin:

$$\text{střední disperze} \quad \Delta = n_F - n_C \quad (10)$$

$$\text{relativní disperze} \quad \delta = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1} \quad (11)$$

Abbeovo číslo

$$\gamma = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} \quad (12)$$

kde  $n_{C,D,F}$  jsou indexy lomu pro příslušné spektrální čáry (jejich vlnové délky, jakožto i značení a vlnové délky dalších čar lze nalézt např. v [1]).

### Disperzní relace

Disperzní relací nazýváme závislost  $\omega = \omega(k)$ , kde  $\omega$  je úhlová frekvence záření a  $k = \frac{2\pi}{\lambda_0} n$  je vlnový vektor.

### Pracovní postup:

Refraktometr Abbe<sub>2</sub>

1. Osvětlovací hranol  $H_2$  odklopíme vzhůru až na doraz. Povrchy stěn hranolů velmi opatrně očistíme měkkým hadříkem navlhčeným čistým lihem. Na vodorovně umístěnou zrněnou plochu měřicího hranolu  $H_1$  nanese se skleněnou tyčinkou několik kapek zkoumané kapaliny. Osvětlovací hranol přiklopíme k měřicímu hranolu a vyčkáme, až se teploty kapaliny a hranolů vyrovnají.
2. Odkryjeme boční osvětlovací okénko  $O_1$  na levé straně pláště a okénko  $O_2$  osvětlovacího hranolu. Lampu nastavíme tak, aby obě stany okénka byla dobře osvětlena. Otáčíme točítkem  $T_1$  na levé straně pláště, až se v zorném poli okuláru objeví rozhraní mezi světlým a tmavým polem. Otočíme-li potom točítkem  $T_2$  na pravé straně pláště, stane se toto rozhraní ostrým a bezbarvým. Toto rozmezí umístíme přesně na střed nitkového kříže  $K$ .
3. Na stupnici  $S_1$  ukazuje svislá ryska  $r$  index lomu. Další stupnici  $S_2$  nepoužíváme. Pomocí ní bychom pro cukerné roztoky mohli z polohy rysky přečíst také cukernatost  $P$ . Stupnice  $S_2$  nám udává v % (podle hmotnosti) cukernatost roztoku.
4. Měření opakujeme. Vyhodnotíme též přesnost provedených měření.

Pulfrichův refraktometr

5. Na hranol Pulfrichova refraktometru **dáme velmi malou kapku** monobromnaftalenu. Přiložíme vzorek, který kapalinou opticky spojíme s lámavým hranolem.
6. Změříme index lomu pro různé spektrální čáry
7. Stanovíme disperzní relaci optických skel na vlnové délce

### Literatura

- I. Pelant, J. Fiala, J. Fänhrich, J. Pospíšil: Fyzikální praktikum III. Optika, Karolinum, Praha 1993  
Kazda, V., Soška, F.: *Laboratorní cvičení z fyziky*, skripta VŠST Liberec 1976 str. 238  
Brož, J. a kol.: *Základy fyzikálních měření I* SPN Praha 1983, str. 441  
Kopal a kol.: *Fyzika II*. Liberec: TUL, 2006.