Fyzikální sekce přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Jakub Juránek **Naměřeno:** 22. říjen 2012

Obor: UF **Ročník:** II **Semestr:** III **Testováno:**

Úloha č. **9:** **Závislost indexu lomu skla na vlnové délce. Refraktometr**

$T = 22,4$ °C
$p = 990$ hPa
$\varphi = 50$ %

1. Teorie

1.1. Povinná část

Měření závislosti indexu lomu skla na vlnové délce metodou minimální deviace.

Lámavým úhlem ω hranolu rozumíme úhel, který svírají jeho sousední stěny, kterými vstupuje a vystupuje paprsek.
Tento lámavý úhel můžeme určit pomocí goniometru tak, že nalezneme polohy s úhly ψ_1, ψ_2, kde je paprsek kolmý k lámavým plochám a odráží se tak přesně zpět.
Lámavý úhel je pak:

$$\omega = 180^\circ - (\psi_1 - \psi_2)$$

a má tedy nejistotu:

$$u(\omega) = \sqrt{u^2(\psi_1) + u^2(\psi_2)}$$

Minimalní odchylka vsupujícího a vystupujícího paprsku se nazývá minimalní deviace δ_m a najdeme ho jako bod obratu vystupujícího paprsku při monotóní změně úhlu dopadu.
V praxi však nemůzeme změrit úhlovou polohu vstupujícího paprsku, proto měříme úhlovou polohu vystupujících paprsků ϕ_1, ϕ_2 do jedné a druhé lámavé plochy při minimální deviaci. Minimální deviace je pak:

$$\delta_m = \frac{\phi_1 - \phi_2}{2}$$

s nejistotou:

$$u(\delta_m) = \frac{1}{2}\sqrt{u^2(\phi_1) + u^2(\phi_2)}$$

Máme-li lámavý úhel hranolu a minimální deviaci pro danou spektrální čáru, můžeme určit index lomu hranolu pro vlnou délku dané spektrální čáry a to vzorcem:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_m + \omega}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)}$$

s nejistotou:

$$u(n) = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\sin^2\left(\frac{\delta_m}{2}\right)}{\sin^4\left(\frac{\omega}{2}\right)}u^2(\omega) + \frac{\cos^2\left(\frac{\delta_m+\omega}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\omega}{2}\right)}u^2(\delta_m)}$$

Závislost indexu lomu na vlnové délce λ popisuje Cauchyho vztah:

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$$

kde $A.B, C$ jsou konstanty pro daný materiál, ze kterého je hranol vyroben (v našem případě sklo).

1.2. Varianta A

Měření indexu lomu polokulovým Abbého refraktometrem.

Pomocí Abbeova refraktrometru můžeme odečítat mezní úhel testované kapaliny.
Označme β_{m0} mezní úhel v situaci, kdy je na polokouli pouze vzduch, a β_m v situaci, kdy je na ní umístěn prstenec s troškou testované kapaliny.
Index lomu testovane kapaliny se pak spocte jako:

$$n = \frac{\sin \beta_m}{\sin \beta_{m0}}$$

s nejistotou:

$$u(n) = \sqrt{\frac{\cos^2 \beta_m}{\sin^2 \beta_{m0}} u^2(\beta_m) + \frac{\sin^2 \beta_m \cos^2 \beta_{m0}}{\sin^4 \beta_{m0}} u^2(\beta_{m0})}$$

2. Měření

2.1. Povinná část

Nejprve provedeme justování goniometru.
Střídavě na každé straně změříme pětkrát úhly ψ_1, ψ_2, s nejistotou $1''$, a dopočteme lámavý úhel.

ψ_1	ψ_2	ω
$140°20'\ 8''$	$20°20'19''$	$60°\ 0'11''$
$129°47'49''$	$9°47'49''$	$60°\ 0'\ 0''$
$146°58'13''$	$26°58'\ 6''$	$59°59'53''$
$156°35'31''$	$36°35'47''$	$60°\ 0'16''$
$166°51'18''$	$46°51'13''$	$59°59'55''$

$$\omega = 60°0'0'' \pm 5''$$

Nyní změříme úhlové polohy ϕ_1, ϕ_2, s nejistotou $1''$, a dopočteme úhel minimální deviace.
Toto provedeme pro spektrální čáry uvedené v tabulce 1 v návodu.

barva	ϕ_1	ϕ_2	δ_m
fialová	$146°35'47''$	$8°16'\ 3''$	$69°\ 9'52''$
fialová	$144°54'48''$	$8°30'\ 7''$	$68°12'21''$
modrá	$142°56'52''$	$9°56'19''$	$66°30'17''$
modrozelená	$140°33'\ 3''$	$12°\ 8'46''$	$64°12'\ 9''$
zelená	$139°19'58''$	$13°42'14''$	$62°48'52''$
žlutá	$138°44'47''$	$14°\ 8'\ 8''$	$62°18'19''$
žlutá	$138°42'25''$	$14°20'25''$	$62°11'\ 0''$
červená	$138°10'44''$	$14°46'39''$	$61°42'\ 2''$

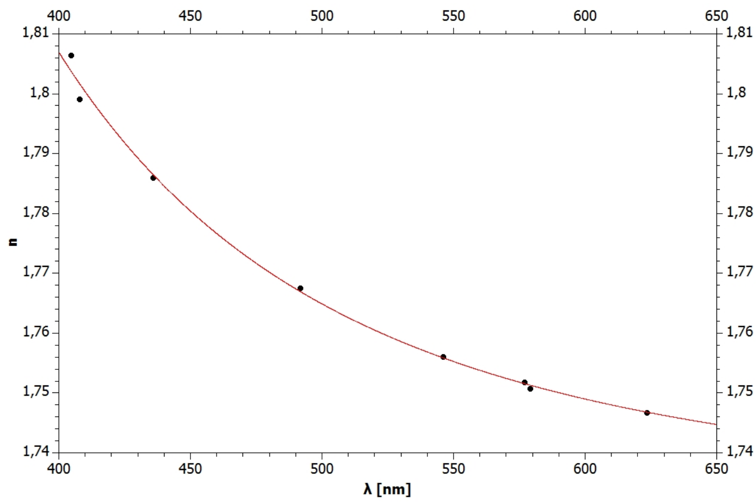
Dle tabulky 1 přiřadíme jednotlivým spektrálním čarám vlnovou délku a dopočteme pro ně index lomu, včetně nejistoty.

barva	λ[nm]	n
fialová	$404,6$	$1,80640 \pm 0,00003$
fialová	$407,8$	$1,79916 \pm 0,00003$
modrá	$435,8$	$1,78599 \pm 0,00002$
modrozelená	$491,6$	$1,76755 \pm 0,00002$
zelená	$546,1$	$1,75609 \pm 0,00002$
žlutá	$576,9$	$1,75182 \pm 0,00002$
žlutá	$579,1$	$1,75079 \pm 0,00002$
červená	$623,4$	$1,74670 \pm 0,00002$

Naměřenou závisloslost proložíme Cauchyho vztahem, čímž získáme hodnoty konstant A, B, C. Pro toto proložení použijeme program gnuplot.

$$\begin{aligned} A &= 1,73 \pm 0,01 \\ B &= (2 \pm 5) \cdot 10^3 \text{ nm}^2 \\ C &= (16 \pm 6) \cdot 10^8 \text{ nm}^4 \end{aligned}$$

Nakonec vložíme získanou závislost do grafu spolu s naměřenými hodnotami.



2.2. Varianta A

Nejprve bude měřit mezní úhel v prošlém světle β_{m0}, tak, že refraktometr nastavíme do polohy, kdy rozhraní tmavého a světlého pole prochází středem nitkového kříže.
Poté na rovinnou část polokoule umístíme prvně skleněný prstenec který naplníme troškou izopropylalkoholu a změříme β_{mi}, poté troškou destilované vody a změříme β_{md}.
Měření provádíme s přesností $0,1^\circ$.

$\beta_{m0}[^\circ]$	$\beta_{mi}[^\circ]$	$\beta_{md}[^\circ]$
$34,3$	$51,8$	$50,5$
$35,5$	$52,5$	$50,0$
$36,2$	$52,4$	$49,3$
$36,3$	$51,3$	$48,6$
$35,0$	$50,5$	$48,3$
$33,4$	$50,9$	$49,2$

$$\begin{aligned}\beta_{m0} &= (35,3 \pm 0,5)^\circ \\ \beta_{mi} &= (51,6 \pm 0,3)^\circ \\ \beta_{md} &= (49,3 \pm 0,3)^\circ\end{aligned}$$

Z těchto úhlů vypočteme index lomu izopropyalkoholu n_i a destilované vody n_d.

$$\begin{aligned}n_i &= 1,36 \pm 0,02 \\ n_d &= 1,31 \pm 0,02\end{aligned}$$

3. Závěr

Měřený lámavý úhel nám vyšel velmi přesně, nejistota $5''$ je způsobena tím, že jsme měřili na mírně omláceném hranolu.
Naměřené hodnoty indexů lomu pro různé spektrální čáry nám vyšli s velmi malou nejistou, protože pomocí goniometru můžeme určit úhel s velmi velkou přesností.
Proložením Cauchyho vztahem jsme sice získali konstantu B s nejistotou 260 %, což se může jevit jako velká nejistota, ale uvážíme-li, že máme jen osm hodnot a že kdybychom mírně neupravili parametry fitovacího programu, či nevyměnili fitovací program jako takový, měli bychom u konstant nejistotu i 10^6 %.
Index lomu izopropylalkoholu odpovídá přímo tabulkové hodnotě 1,36, index lomu destilované vody odpovídá tabulkové hodnotě 1,33 v rámci nejistoty.