Úkoly

1. Změřte závislost indexu lomu vzduchu na tlaku $n(p)$. Závislost zpracujte graficky. Vyneste také závislost vlnové délky sodíkové čáry na indexu lomu vzduchu $\lambda(n)$.
2. Proveďte lineární regresi závislosti $n(p)$, stanovte chybu parametrů získaných lineární regresí.
3. Porovnáním tabelovaného n_{15,p_0} a změřeného n_{t,p_0} stanovte teplotu laboratoře (včetně chyby).

Teorie

Index lomu závisí u plynů na jejich stavových veličinách. Sice v běžné praxi můžeme pokládat často index lomu vzduchu roven jedné, některé speciální případy však vyžadují preciznější přístup. Tím je například interference, kde mají pro světlo odchylky řádově stovky nanometrů výrazný vliv. Pro suchý vzduch za standardních podmínek (15°C, 101,325 kPa) platí vztah

$$(n_{15,p_0} - 1)10^6 = 64,328 + \frac{29498,1}{146 - (1/\lambda_0)^2} + \frac{255,4}{41 - (1/\lambda_0)^2} \tag{1}$$

kde n označuje index lomu vzduchu a λ_0 vlnovou délku použitého světla ve vakuu.

Vypočteme-li tedy index lomu vzduchu za standardních podmínek, můžeme pak použít vztah pro výpočet indexu lomu za různého tlaku a teploty:

$$n = (n_0 - 1)\frac{(1 + 15\gamma)p}{(1 + \gamma t)p_0} + 1 \tag{2}$$

γ je teplotní součinitel roztažnosti vzduchu, p příslušný tlak vzduchu a t teplota ve stupních Celsia.

Schéma Jaminova interferometru lze nalézt v [1]. Z konstrukce vyplývá vztah pro výpočet indexu lomu n_1 ze znalosti n_2 (evakuovaná trubice – $n_2 = 1$):

$$n_1 = n_2 + \frac{k\lambda}{l} \tag{3}$$

kde k označuje počet vlnových délek λ (prošlých proužků v okuláru) a l délku trubic interferometru.

Vlnová délka sodíkové výbojky je ve vzduchu 589,3 nm. Pro přepočet na vlnovou délku ve vakuu se použije jednoduchý vztah

$$\lambda = \lambda_0/n \tag{4}$$

Teplotní součinitel roztažnosti vzduchu je roven $\gamma = 3670 \cdot 10^{-6} K^{-1}$.

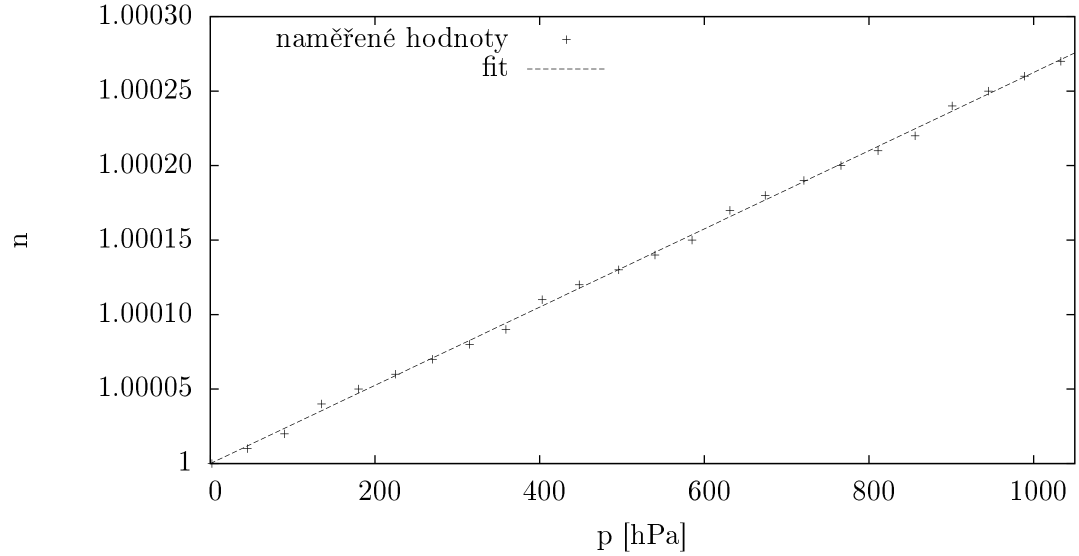
Měření

Aparatura byla již sestavena, její uspořádání je dobře popsáno v [1]. Kompresorem jsme evakuovali jednu z trubic Jaminova interferometru, dokud připojený manometr neukazoval 0 hPa. Poté jsme kohoutem separovali evakuovaný obvod s trubicí a manometrem a okulárem jsme pozorovali pohyb interferenčních proužků za zvyšování tlaku připouštěním. Vždy po deseti proužcích jsme zaznamenali příslušný tlak v trubici, dokud jsme se nedostali na atmosférický tlak, pak jsme ještě foukáním tlak navýšili, abychom doodečetli ještě dalších deset proužků.

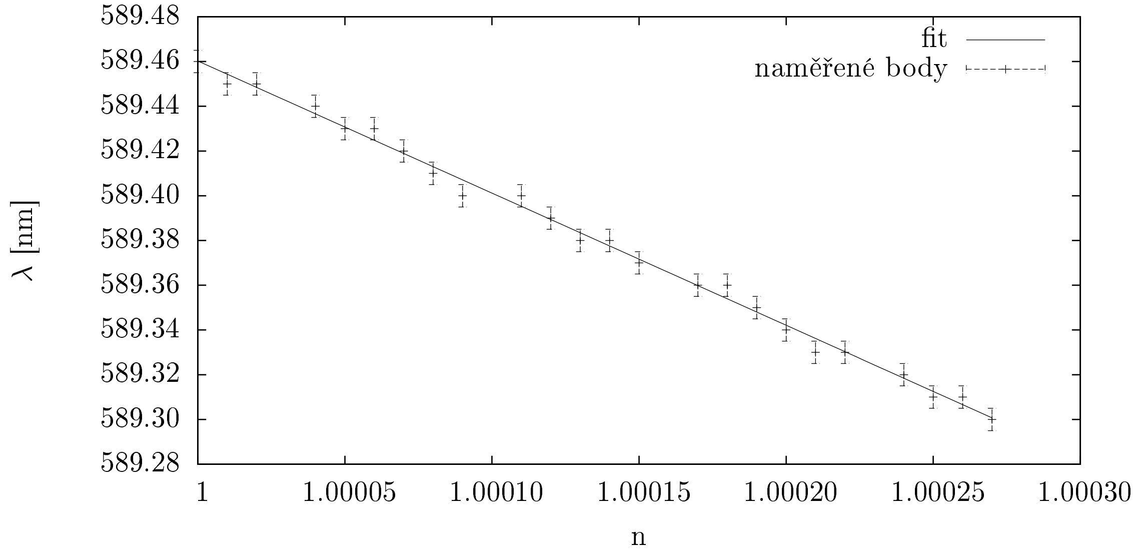
Výlsledky měření jsou zaznamenány v tabulce 1. Indexy lomů z jednotlivých měření jsme spočetli pomocí vztahu 3, kde jsme počáteční index lomu položili $n_2 = 1,00000$ a chybu u všech indexů stanovujeme na $\pm 0,00001$. Délka trubic interferometru je $(50,0 \pm 0,5)$ cm.

První měření jsme fitovali v programu GNUplot funkcí $f(x) = kx + 1$, kde nám vyšel koeficient

$$k = (2,63 \pm 0,01) \cdot 10^{-9}\mathrm{Pa}^{-1} \qquad \delta = 0,4\%$$



Obrázek 1: Graf závislosti indexu lomu na tlaku



Obrázek 2: Graf závislosti vlnové délky sodíkové čáry na indexu lomu vzduchu

Teplota v laboratoři byla (22,5 ± 0,5)°C. Tlak vzduchu byl (100,3 ± 0,2)kPa. Pomocí vzorce 1 jsme vypočetli index lomu vzduchu $n_{15,p_0} = 1,0002772$ za teploty 15°C a tlaku $p_0 = 101,325$kPa pro vlnovou délku $\lambda = 589,3$nm. Ze vzorce 2 a již získaných hodnot jsme pak určili teplotu v laboratoři

$$t = (25 \pm 5)^\circ\mathrm{C}$$

Diskuse

Z grafu je čitelné, že fitovací funkce je vhodně zvolená, neboť naměřené hodnoty vykazují lineární závislost a chyba stanovení koeficientu k je nízká (viz. měření). Pro vyprázdněnou kyvetu jsme volili index lomu $n = 1$, což je, jak jsme zjistili při zpracování, dobrý odhad, který v rámci měřících chyb experiment neznehodnocuje.

Při výpočtu indexů lomů jsme zanedbali proměnnost vlnové délky, protože její vliv se po zaokrouhlení neprojeví.

Vypočtená teplota se s naměřenou shoduje v rámci chyb měření, které jsou způsobeny citlivostí na jen drobné změny indexu lomu. Chyba vypočtená standardními statistickými metodami byla nereálně malá, proto jsme ji odhadem nadhodnotili na uvedenou velikost.

Závěr

Jaminovým interferometrem jsme měřili závislost indexu lomu vzduchu na tlaku. Výsledky měření jsou na obrázku 1, závislost vlnové délky sodíkové čáry na indexu lomu je na obrázku 2. Teplotu v laboratoři jsme ze vzorce 2 spočetli na $t = (25 \pm 5)^\circ\mathrm{C}$, na teploměru jsme naměřili $t = (22,5 \pm 0,5)^\circ\mathrm{C}$.

Literatura

[1] text k úlohám z pratika 3, http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani_f3.htm

Tabulka 1: měření s Jaminovým interferometrem

k	p [hPa]			$\tilde{n}$
0	2	5	3	1,00000
10	45	51	47	1,00001
20	90	95	91	1,00002
30	135	142	135	1,00004
40	180	185	179	1,00005
50	225	230	225	1,00006
60	270	277	2271	1,00007
70	315	320	316	1,00008
80	359	363	360	1,00009
90	403	408	407	1,00011
100	448	454	450	1,00012
110	496	499	495	1,00013
120	540	543	538	1,00014
130	585	588	584	1,00015
140	631	635	632	1,00017
150	674	681	676	1,00018
160	721	725	720	1,00019
170	766	768	765	1,00020
180	811	813	810	1,00021
190	856	858	854	1,00022
200	901	902	899	1,00024
210	945	947	944	1,00025
220	989	991	988	1,00026
230	1033	1036	1034	1,00027