

1 Pracovní úkoly

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

2 Teoretický úvod

Pokud světlo prochází prostředím, pak v důsledku elektromagnetické interakce s částicemi obsaženými v prostředí dochází ke zpomalování rychlosti záření. Pokud jsou částice prostředí od sebe relativně hodně vzdálené a nejsou podrobeny složitějším elektrickým vazbám, což v případě běžného tlaku vzduchu dobře platí, pak je zpomalování světla přímo úměrné hustotě částic. Uvažovaná látka se navíc dá velice dobře popsat jako ideální plyn. Za předpokladu konstantní teploty v průběhu experimentu je pak hustota přímo úměrná tlaku. Závislost indexu lomu n na tlaku p lze tedy vyjádřit jako

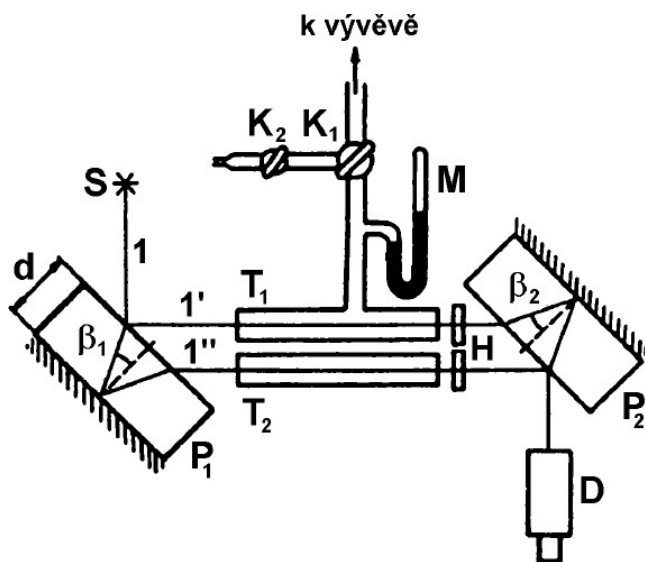
$$n(p) = 1 + \alpha p, \quad (1)$$

kde α je konstanta úměrnosti specifická pro konkrétní plyn.

Jaminův interferometr je přístroj využívající interference pro měření indexu lomu - uspořádání přístroje je znázorněné na obr. č. 1. Umožňuje určit rozdíl indexů lomu Δn při dvou různých tlacích. Platí (dle [2])

$$\Delta n = \frac{k\lambda}{l}, \quad (2)$$

kde k je počet proužků, co prošel po určitým úhlem přes nitkový kříž, λ je použitá vlnová délka použitého monochromatického záření a l je délka kyvety, ve které je prostředí s odlišným tlakem vzduchu.



Obrázek 1: Schema Jaminova interferometru (převzato z [1])

Pro konstantu α pak za předpokladu, že relativní změna λ je malá, plyne

$$\alpha = \frac{\lambda}{la}, \quad (3)$$

kde a je konstanta odpovídající směrnici získanou postupným měřením

$$p = ak + b, \quad (4)$$

kde b je parametr odpovídající počátku měření od nenulového tlaku.

Závislost n na teplotě a tlaku se dá dle textu přiloženého v praktiku vyjádřit jako

$$n_{t,p} - 1 = (n_{15,p_0} - 1) \frac{(1 + 15\gamma)p}{(1 + \gamma t)p_0}, \quad (5)$$

kde γ je teplotní součinitel roztažnosti vzduchu a jeho hodnota je $\gamma = 3,670 \cdot 10^{-3}$, t je číselná hodnota teploty vzduchu ve stupních Celsia a $p_0 = 101,325$ kPa. Dosazením (1) dostáváme postupně

$$\alpha = (n_{15,p_0} - 1) \frac{(1 + 15\gamma)}{(1 + \gamma t)p_0}, \quad (6)$$

$$t = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{(n_{15,p_0} - 1)(1 + 15\gamma)la}{\lambda p_0} - 1 \right) \quad (7)$$

3 Měření

Teplota v místnosti v průběhu experimentu byla 26°C .

Měření probíhalo tak, že vždy na počátku byl vyčerpán vzduch pomocí vývěvy na úroveň řádově hPa a pak byl postupně upouštěn. Přitom jsem se díval do dalekohledu Jaminova interferometru a vždy pravidelně po průchodu několika proužků jsem upouštění zastavil a poznamenal jsem si aktuální hodnotu tlaku v kyvetě. Tento proces jsem opakoval vždy až do chvíle, kdy se tlak v kyvetě vyrovnal s okolním atmosférickým tlakem, pokud nenastala v průběhu měření nenadálá událost jako to, že mi projelo najednou rychle po sobě víc proužků, které jsem nestihl spočítat kvůli mé nešikovnosti. Nakonec se mi ale podařilo naměřit 3 sady měření bez přerušení. Při těchto měřeních jsem odměřoval tlak po průchodu 10 proužků. Zaznamenané hodnoty jsou v tabulce 1. U ostatních dat jsem si pouze ověřil, že sklon lineární regrese je takřka stejný, pokud jsem prokládat u delších časových úseků.

Délka kyvety byla 0,5 m. V případě, že byla kyveta v tlakové rovnováze se vzduchem v místnosti, tak manometr ukazoval $p_a = 1010$ hPa. Jako zdroj záření posloužila sodíková výbojka vydávající kvazimonochromatické světlo o vlnové délce $\lambda = 589,3$ nm ve vzduchu (ve skutečnosti se jedná o dvě blízké sodíkové čáry a my bereme jejich průměrnou vlnovou délku). Vztah mezi vlnovou délkou ve vzduchu λ a ve vakuu λ_0 je

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}. \quad (8)$$

A pro index lomu vzduchu platí vztah

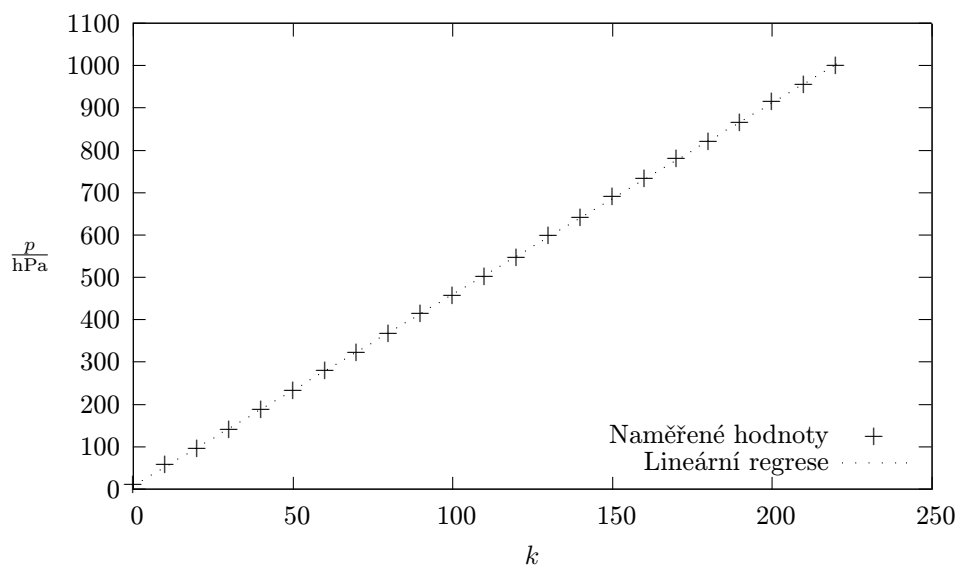
$$(n - 1) \cdot 10^6 = 64,328 + \frac{29498,1}{146 - \left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 + \frac{255,4}{41 - \frac{1}{\lambda_0^2}}} \quad (9)$$

Z naměřených hodnot byly vytvořeny grafy - z každé naměřené sady jeden. Jsou označené jako obr. č. 2, 3 a 4. Vypočtené hodnoty lineární regrese z proložení v programu gnuplot jsou pak v tabulce č.2. Veličiny σ_a (resp. σ_b) označuje chybu proložení a (resp. b). Výsledná hodnota konstanty a určená jako střední hodnota je

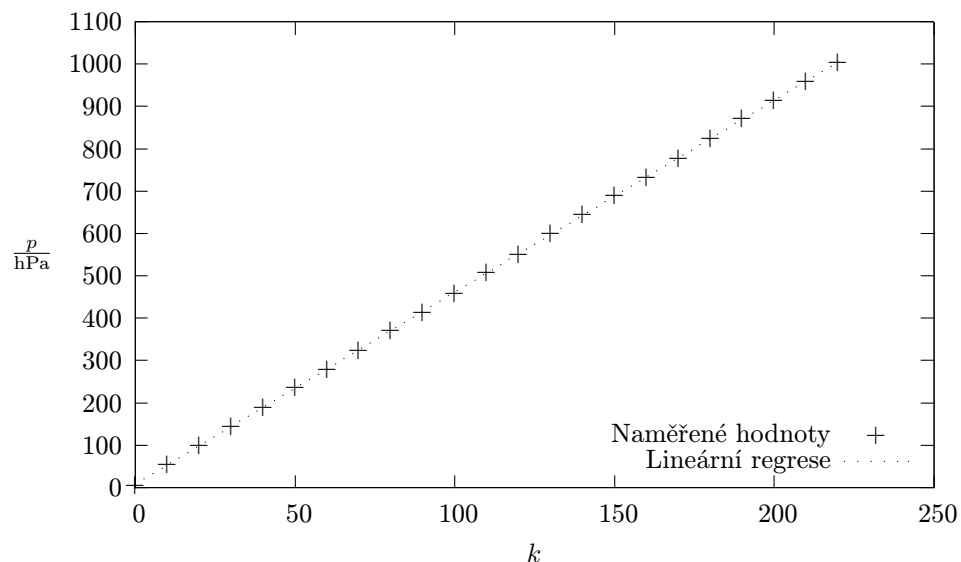
$$a = (4,544 \pm 0,043) \text{ hPa.}$$

Tabulka 1: Naměřené hodnoty závislosti tlaku na počtu prošlých interferenčních proužků

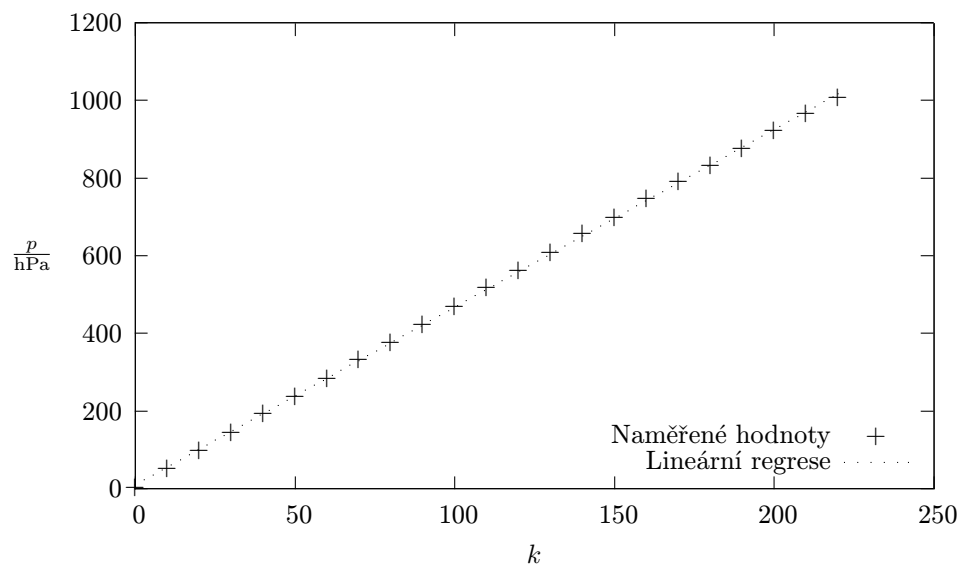
k	p_1/hPa	p_2/hPa	p_3/hPa
0	10	6	4
10	58	55	53
20	97	99	99
30	141	144	145
40	187	191	193
50	232	235	238
60	279	280	283
70	323	325	333
80	368	370	378
90	414	414	423
100	458	460	470
110	503	507	517
120	547	552	562
130	598	600	608
140	642	644	658
150	690	689	699
160	735	733	746
170	780	778	792
180	821	824	832
190	866	870	877
200	916	914	921
210	955	960	967
220	1000	1004	1008



Obrázek 2: Graf závislosti naměřeného tlaku na počtu proužků, které prošly přes nitkový kříž - 1. (nepřetržitě) měření



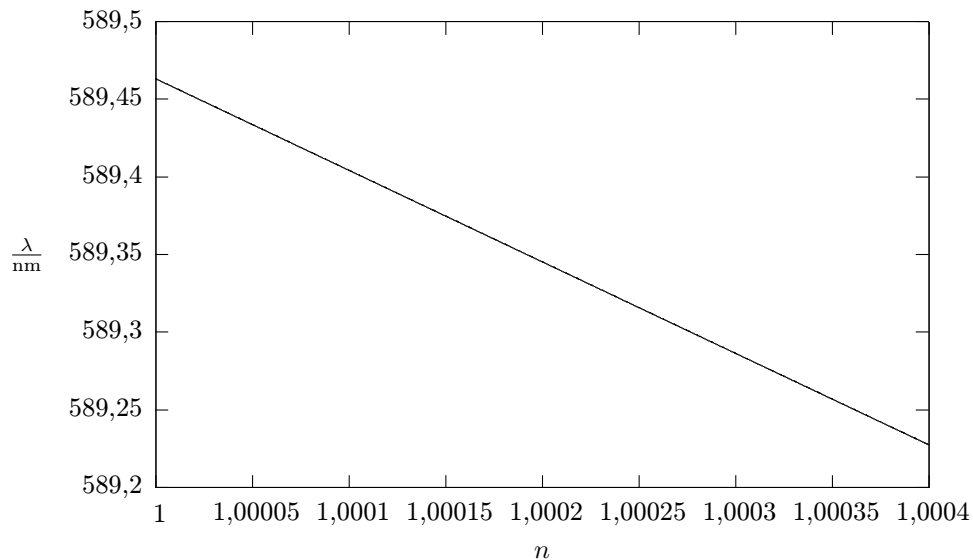
Obrázek 3: Graf závislosti naměřeného tlaku na počtu proužků, které prošly přes nitkový kříž - 2. (nepřetržitě) měření



Obrázek 4: Graf závislosti naměřeného tlaku na počtu proužků, které prošly přes nitkový kříž - 3. (nepřetržitě) měření

Tabulka 2: Vypočtené hodnoty lineární regrese

a/hPa	σ_a/hPa	b/hPa	σ_b/hPa
4,524	0,008	7,6	1,1
4,532	0,004	8,1	0,5
4,577	0,012	9,9	1,6



Obrázek 5: Graf závislosti vlnové délky na indexu lomu vzduchu

Dle tabulek je pro vlnovou délku $\lambda_x = 0,6 \mu\text{m}$ odpovídající index lomu $n_x = 1,000277$ při atmosférickém tlaku. V obr. 5 je zachycena závislost vlnové délky použitého světla na indexu lomu.

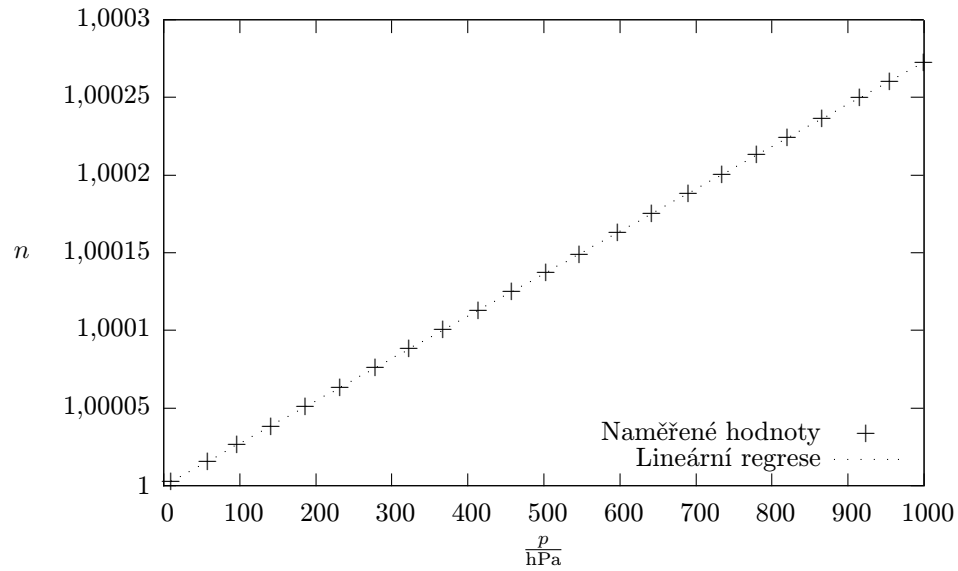
Hodnota konstanty úměrnosti je

$$\alpha = (2,59 \pm 0,03) \cdot 10^{-7} \text{hPa}^{-1}$$

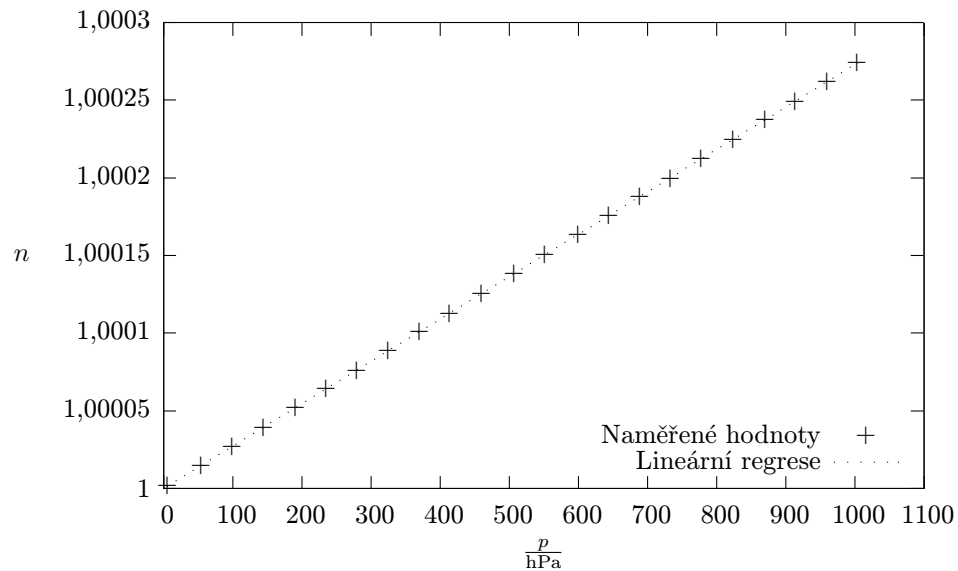
A teplota místnosti vychází jako

$$t = (31 \pm 2)^\circ \text{C}$$

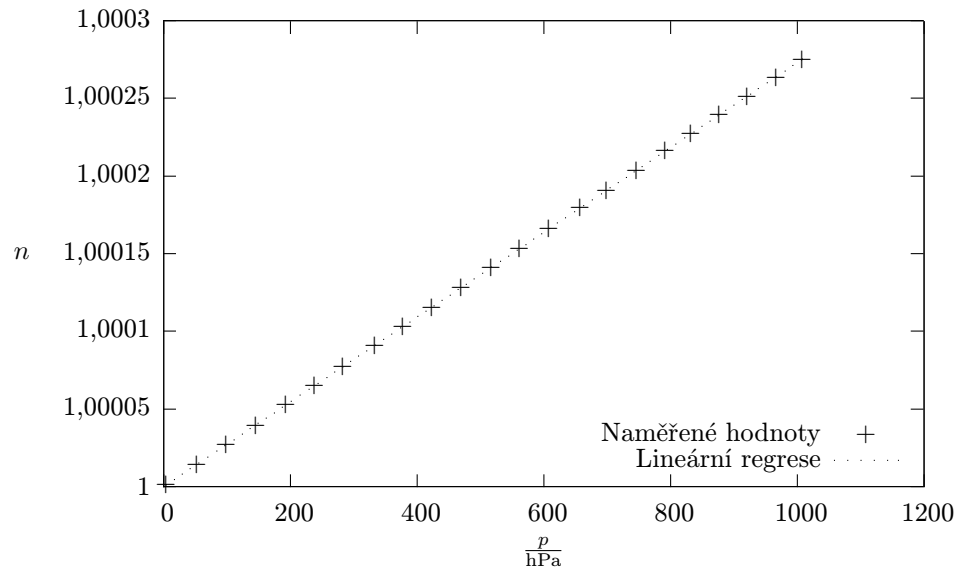
Graficky jsem znázornil závislosti $n(p)$ v obr. č. 6, 7 a 8.



Obrázek 6: Graf závislosti určeného indexu lomu na tlaku č.1



Obrázek 7: Graf závislosti určeného indexu lomu na tlaku č. 2



Obrázek 8: Graf závislosti určeného indexu lomu na tlaku č. 3

4 Diskuse

Chyba měření a odchylka určené teploty místnosti od teploty změřené teploměrem byla nejspíš určena některým, či více následujícími faktory.

Tabelované hodnoty pro index lomu vzduchu jsou pro suchý vzduch, ale vzduch v místnosti praktika nebyl dokonale suchý.

Dalším faktorem může být to, že i když jsem se snažil, aby nedošlo k tomu aby mi projelo místo 10 proužků 11, tak se to mohlo stát např. v průběhu zapisování hodnoty, kdy jsem se nedíval do dalekohledu, vzhledem k tomu, že aparatura nebyla dokonalá těsná a nejspíše jsem úplně nezastavil únik vzduchu. Ale věřím, že tato situace se stala spíše ojediněle.

V rámci místnosti nebyla úplně konstantní teplota a v místě, kde byl položen teploměr mohla být teplota odlišná od teploty v kyvetě.

Je možné, že se projevila i teplotní nerovnováha mezi plynem v kyvetě a okolním prostředím, ale tento vliv by nejspíše vedl spíše k určení nižší teploty v místnosti.

Z proložených lineárních regresí vychází, že se v průběhu posledních 3 měření mírně sklon zvýšil. To přisuzuji nejpravděpodobněji tomu, že má přítomnost v místnosti zvýšila vlhkost vzduchu a nejspíše i teplotu.

Měření, která nebyl kompletní jsem ze zpracování vynechal, ale provedl jsem si alespoň zběžné ověření určením regresní konstanty a , že při naměřeném delším úseku vychází prakticky totožná.

5 Závěr

Ověřil jsem lineární závislost indexu lomu na tlaku plynu.

Závislost indexu lomu vzduchu na tlaku jsem určil jako

$$n(p) = 1 + (2,59 \pm 0,03) \cdot 10^{-7} \text{hPa}^{-1} \cdot p.$$

Teplotu místnosti jsem určil jako

$$t = (31 \pm 2)^\circ \text{C}.$$

Výsledky jsem také graficky zpracoval.

6 Literatura

- [1] **Příprava k fyzikálnímu praktiku:** Měření indexu lomu Jaminovým interferometrem
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/mereni_319.pdf
- [2] **Studijní text k fyzikálnímu praktiku:** Interference a ohyb (difrakce)
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_341.pdf