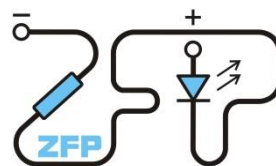


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum ...



Úloha č. 19

Název úlohy: .....

Jméno: Katarína Križanová

Obor: FOF

Datum měření: .....

Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## I. Pracovná úloha

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  $\lambda(n)$ . Proved'te lineární regresi závislosti  $n(p)$ , stanovte chybu parametrů získaných lineární regresi.
3. Porovnáním tabelovaného  $n_{15,p0}$  a změřeného  $n_{t,p0}$  stanovte teplotu laboratoře (včetně chyby).

## II. Teoretická část

### 2.1 Meranie indexu lomu Jaminovým interferometrom

Vďaka elektromagnetickej interakcii pozorujeme, že sa svetlo v rôznych látkach šíri rôznou rýchlosťou. Index lomu  $n$  sa zavádza ako pomer rýchlosti svetla vo vákuu a v inom prostredí.

Na to, aby sme zistili index lomu, možno použiť Jaminový interferometer, jeho náčrt je na obrázku 1 prevzatého z [1].

Tent interferometer sa skladá z dvoch planoparalelných sklenených dosiek  $P_1$  a  $P_2$ , ktoré majú rovnakú hrúbku  $d$ . Dopadajúci zväzok zo zroja  $S$  sa čiastočne odrazí a čiastočne láme a následne odráža na vnútornej stene pod uhlom  $\beta_1$ . Ak rozdelíme pôvodný zväzok na dva zväzky  $1'$  a  $1''$ , ktoré sú navyše rovnobežné, môžeme pozorovať v ďalekohľade pružky rovnakého sklonu (dráhový rozdiel pre všetky rovnobežné paprsky je rovnaký).

Do dráhy zväzkov možno vložiť dve kyvety  $T_1$  a  $T_2$  s dĺžkou  $l$ , naplnené látkou s indexom lomu  $n_1$  a  $n_0$ . Dráhový rozdiel paprskov potom bude

$$\delta_1 = l(n_1 - n_0) + \delta_0, \quad (1)$$

pričom  $\delta_0$  je dráhový rozdiel paprskov pred vložením kyviet.

Ak zmeníme index lomu v prvej kyvete na  $n_2$ , tak sa zmení aj výsledný dráhový rozdiel a to úmerne zmene indexu lomu v prvej kyvete. Platí vzťah

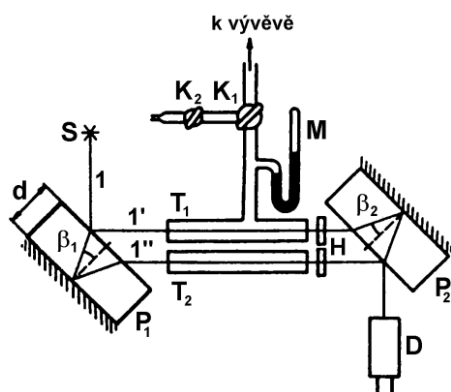
$$\delta = \delta_2 - \delta_1 = l(n_2 - n_1). \quad (2)$$

V prípade, že prebieha táto zmena spojitou a dostatočne pomaly, možno určiť z počtu pružiek  $k$  (tj. interferenčných maxím) prejdenných ďalekohľadom pri vlnovej dĺžke svetla  $\lambda$  ako

$$\delta = k\lambda. \quad (3)$$

V prípade, že je jeden z indexov lomu známy, je možné druhý dopočítať využitím vzťahov (2) a (3). Dostávame

$$n_2 = n_1 + \frac{k\lambda}{l}. \quad (4)$$



Obrázok 1: Jaminov interferometer

### 1.2 Vlnová dĺžka sodíkovej čiar

Ako zdroj svetla som použila sodíkovú výbojku, čo je kvazimonochromatický zdroj svetla. Naozaj ide o dve spektrálne čiar, ktoré sú veľmi blízko pri sebe a preto pre moje potreby možno tento

zdroj považovať za monochromatický. Jeho vlnová dĺžka je 589,3 nm. Závislosť indexu lomu na prostredí možno vyjadriť vzťahom

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n}, \quad (5)$$

pričom  $\lambda_0$  je vlnová dĺžka vo vákuu.

### 1.3 Závislosť indexu lomu na teplote

Závislosť indexu lomu  $n_{t,p}$  na teplote  $t$  pri tlaku  $p$  je popísaná vzťahom

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

pričom  $\gamma = 3,67 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ ,  $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$  a  $(n_{15,p_0} - 1)$  je podľa [2] pre svetlo vlnovej dĺžky 550 nm je  $277,8 \cdot 10^{-6}$  a pre 600 nm je to  $277,0 \cdot 10^{-6}$ .

## III. Výsledky merania

### 2.1 Závislosť indexu lomu na tlaku p

Z jednej z dvoch kyviet interferometru bol pomocou vývevy odčerpaný vzduch. Potom som pozvoľna pripúšťala vzduch späť a zároveň som ďalekohľadom pozorovala vniknutý interferenčný obrazec. Zakaždým, keď prešlo 10 prúžkov cez nitkový kríž, som pripúšťanie vzduchu zastavila a odčítala hodnotu z digitálneho tlakometra. Takto som pokračovala, až kým som nedosiahla tlak rovnaký ako ten, čo bol v laboratóriu. Toto meranie som urobila päť krát. Pri prvom meraní však dochádzalo ku väčším otrasom v miestnosti z dôvodu pohybu mojich kolegov a bolo ťažké pozorovať prúžky, ktoré v dôsledku tohto „skackali“. Pri druhom meraní mi zas „ušli prúžky“. Ďalšie tri merania sa veľmi zhodujú, sú zaznačené v tabuľke T1. Chybu manometru beriem ako 1hPa a chybu odčítania prúžkov odhadujem na 1 prúžok, keďže tri rozdielne namerané hodnoty sú veľmi zhodné.

T1: Posun k prúžkov pri zmena tlaku p

k	p3 [hPa]	p4 [hPa]	p5 [hPa]
0	7	6	6
10	52	51	51
20	97	96	96
30	142	141	141
40	186	186	186
50	232	232	231
60	277	276	276
70	322	321	321
80	367	366	366
90	413	411	410
100	456	456	456
110	501	501	501
120	546	546	545
130	590	591	591
140	635	636	635
150	680	680	680
160	725	725	725
170	770	770	770
180	815	815	815
190	860	859	860
200	905	905	905
210	950	950	950

220	995	995	994
223	1007	1007	1007

Využitím vzťahu (4) dostávam zistené hodnoty  $n_2$ . Lineárnou regresiou v tabulkovom editore Excel som zistila koeficienty v rovnici  $n = \alpha p + \beta$ , kde  $\beta = n_0 = 1$  (predpokladám, že na začiatku pri vyčerpaní vzduchu bolo v kyvete úplné vákuum). Koeficienty  $\alpha$  mi vyšli nasledovne:

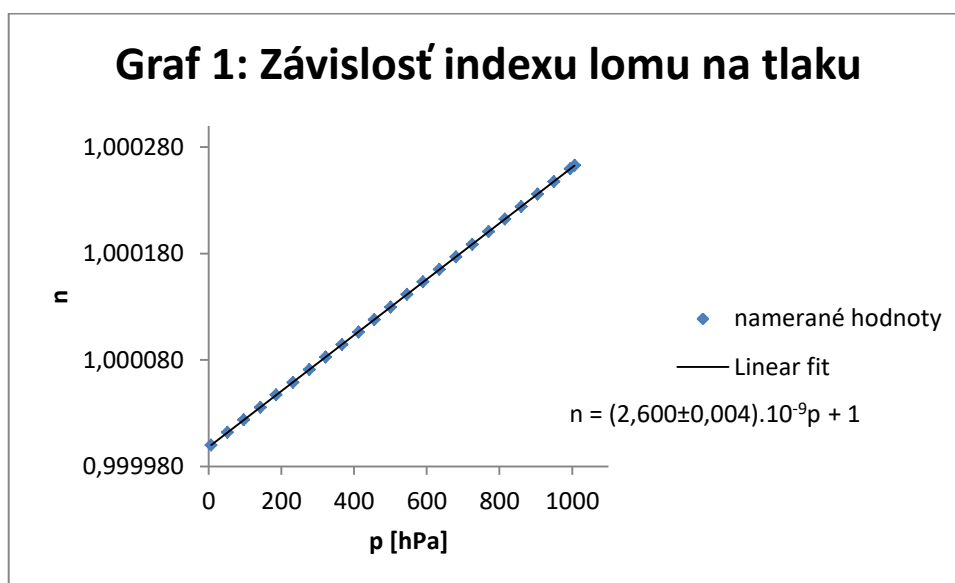
$$\alpha_3 = (2,600 \pm 0,004) \cdot 10^{-9} Pa^{-1}$$

$$\alpha_4 = (2,602 \pm 0,003) \cdot 10^{-9} Pa^{-1}$$

$$\alpha_5 = (2,600 \pm 0,003) \cdot 10^{-9} Pa^{-1}$$

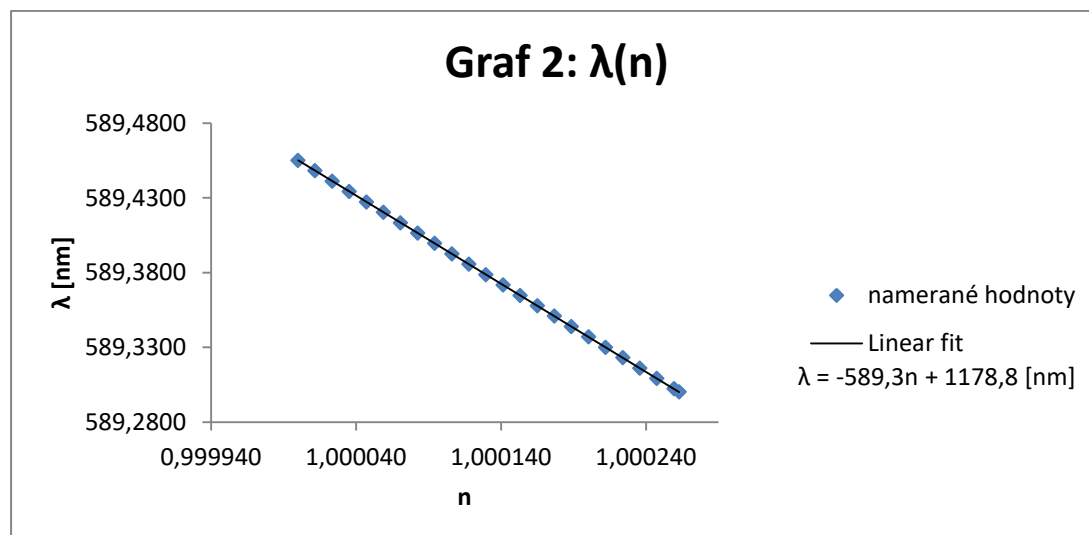
Taktiež som zo získaných hodnôt vypočítala priemernú hodnotu, tá je  $\alpha = (2,601 \pm 0,004) \cdot 10^{-9} Pa^{-1}$ .

V grafe 1 je zobrazená závislosť indexu lomu na tlaku pre meranie číslo 3. Namerané hodnoty sú preložené priamkou lineárneho fitu.



## 2.2 Vlnová dĺžka sodíkovej čiary

V následných výpočtoch využijem hodnoty z merania 3, keďže sa ostatnými dvoma zhodujú. Keďže poznám vlnovú dĺžku sodíkovej čiary vo vzduchu,  $\lambda = 589,3 \text{ nm}$ , môžem pomocou vzťahu (5) určiť vlnovú dĺžku sodíkovej čiary vo vákuu  $\lambda_0$ . Index lomu  $n$  beriem ako hodnotu dopočítanú podľa vzťahu (4) pre tlak v kyvete vyrovnaný s tlakom v laboratóriu, tj.  $n = 1,000263$ . Zo získanej vlnovej dĺžky  $\lambda_0$  vypočítam zostávajúce indexy lomu dosadením do vzťahu (5). Výsledky sú v tabuľke T2 a načrtnuté v grafe 2.



T2: Vlnová dĺžka sodíkovej čiary

k	p3 [hPa]	n2	$\lambda$ [nm]
0	7	1,000000	589,4550
10	52	1,000012	589,4480
20	97	1,000024	589,4411
30	142	1,000035	589,4341
40	186	1,000047	589,4272
50	232	1,000059	589,4203
60	277	1,000071	589,4133
70	322	1,000083	589,4064
80	367	1,000094	589,3994
90	413	1,000106	589,3925
100	456	1,000118	589,3855
110	501	1,000130	589,3786
120	546	1,000141	589,3716
130	590	1,000153	589,3647
140	635	1,000165	589,3577
150	680	1,000177	589,3508
160	725	1,000189	589,3438
170	770	1,000200	589,3369
180	815	1,000212	589,3300
190	860	1,000224	589,3230
200	905	1,000236	589,3161
210	950	1,000248	589,3091
220	995	1,000259	589,3022
223	1007	1,000263	589,3001

### 2.3 Zistenie teploty v laboratóriu

Na začiatku aj na konci merania som zmerala teplomerom teplotu v miestnosti, chybu beriem ako polovicu najmenšieho dielika. Namerané hodnoty teploty sú:  $T_1 = (24,0 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ ,  $T_2 = (26,0 \pm 0,05)^\circ\text{C}$ . Priemerná teplota počas merania zmeraná teplomerom bola teda  $T = (25 \pm 1,5)^\circ\text{C}$ .

Teplotu v laboratóriu možno určiť podľa vzťahu (6), dostávam vzťah pre teplotu

$$t = \frac{1}{\gamma} \left[ (1 + 15\gamma) \frac{n_{15,p_0}^{-1} p}{n_{t,p}^{-1} p_0} - 1 \right]. \quad (7)$$

Poznám  $\gamma$  a  $p_0$ . Ako som zistila  $p = 100,7 \text{ kPa}$  a z [2]  $n_{15,p_0} = 277,2 \cdot 10^{-6}$  odhadom. Navyše z tabuľky T2 dostávam, že  $(n_{t,p} - 1) = (263 \pm 3) \cdot 10^{-6}$ . Dosadením hodnôt do (7) dopočítam výslednú teplotu v laboratóriu,  $t = (28,7 \pm 2,5)^\circ\text{C}$ .

## IV. Diskusia výsledkov

Závislosť indexu lomu vzduchu na tlaku je lineárna, čo som experimentálne overila, vidno v grafe 1, kde je znázornená i priamka lineárnej regresie. Zistené koeficienty úmernosti pre tri merania, ktoré som prevádzkala sa v rámci chyby zhodujú.

V prípade, že experimentátor spočíta správne prúžky, tak je toto meranie reprodukovateľné (veľká zhoda dát zo všetkých troch meraní).

Ďalšie nepresnosti merania sú napríklad zanedbanie zmeny vlnovej dĺžky sodíkovej čiary či to, že index lomu sa mení i s vlhkosťou vzduchu.

Ako vidno z hodnôt teploty nameranej pred a po meraní, teplota v laboratóriu sa v priebehu merania zmenila a to určite ovplyvnilo i samotné meranie. Zistená teplota i tak ale zodpovedá v rámci chyby teploty odčítanej na teplomere.

## V. Záver

Zmerala som závislosť indexu lomu vzduchu na tlaku a znázornila som túto lineárnu závislosť graficky. Koeficienty závislosti pre tri merania zistené fitovaním sú:

$$\alpha_3 = (2,600 \pm 0,004) \cdot 10^{-9} Pa^{-1}$$

$$\alpha_4 = (2,602 \pm 0,003) \cdot 10^{-9} Pa^{-1}$$

$$\alpha_5 = (2,600 \pm 0,003) \cdot 10^{-9} Pa^{-1}$$

V grafe 2 je vynesená závislosť vlnovej dĺžky sodíkovej čiary na indexu lomu vzduchu.

Zistila som teplotu laboratória  $t = (28,7 \pm 2,5)^\circ C$ , ktorá v rámci chyby zodpovedá teplote odčítanej z teplomeru  $T = (25 \pm 1,5)^\circ C$ .

## VI. Zoznam použitej literatúry

[1] Študijný text dostupný z webových stránok Základní fyzikální praktikum:

[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/media/zadani/pokyny/mereni\\_319.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/media/zadani/pokyny/mereni_319.pdf)

[2] Brož V., Valouch M.: Fyzikální a matematické tabulky, SNTL, Praha, 1980