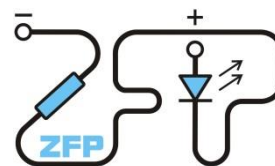


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum III



Úloha č. 16

Název úlohy: Měření indexu lomu Fraunhoferovou metodou

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	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

I. Pracovná úloha

1. Seříd'te goniometr.
2. Změřte lámavý úhel skleněného hranolu a proměřte indexy lomu čar spektra rtuťové výbojky.
3. Změřte lámavý úhel kyvety a proměřte pro přiloženou kapalinu indexy lomu čar spektra rtuťové výbojky.
4. Naměřené hodnoty zpracujte graficky do disperzních křivek. Vypočtete střední disperzi, relativní disperzi a Abbeovo číslo pro změřené materiály.
5. Odvoďte výraz pro chybu nepřímého měření indexu lomu. Spočtete její velikost a diskutujte, kolik desetinných míst indexu lomu tato metoda zaručuje.

II. Teoretická část

Pri meraní indexu lomu Fraunhoferovou metódou sa zvykne využívať trojboký hranol skonštruovaného z meraného materiálu. Cez tento hranol sa nechá prechádzať svetlo s čiarovým spektrom (v tomto praktiku išlo o ortuťovú výbojku). V prípade, že určíme najmenšiu odchýlku vstupného a výstupného paprsku δ_{min} , môžeme vyjadriť index lomu študovaného materiálu vzťahom [1]

$$N = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min} + \varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)}, \quad (1)$$

Pričom φ je lámavý uhol, ktorý je zvieraný dvoma stenami hranolu, na ktorých sa láme prechádzajúce svetlo. Rozdielne vlnové dĺžky majú rôzne uhly minimálnej deviácie δ_{min} a to vďaka disperzným vlastnostiam materiálu.

Lámavý uhol φ sa dopočíta z uhlov nameraných pri kolmom nastavení teleskopu k lámavým stenám α_1, α_2 [2]

$$\varphi = |180^\circ - |\alpha_1 - \alpha_2||. \quad (2)$$

Pri dvoch zrkadlovo symetrických nastaveniach goniometra možno namerať deviačný uhol δ_{min} , pričom zmeriame uhol β v bode, kedy pri otáčaní hranolom dôjde k extrémnemu pohybu výstupného paprsku svetla. Platí vzťah

$$\delta_{min} = \frac{|\beta_1 - \beta_2|}{2}. \quad (3)$$

Disperzia je závislosť indexu lomu na vlnovej dĺžke svetla. Platí [2]

$$N = N_0 + \frac{a}{\lambda + \lambda_0}, \quad (4)$$

pričom N_0, λ_0 sú konštanty, pre ktoré určenie musíme zmerať index lomu aspoň troch rôznych vlnových dĺžok.

Na charakteristiku materiálu môžeme použiť index lomu pri určitých významných vlnových dĺžkach [2] $\lambda_F = 486,1 \text{ nm}$, $\lambda_D = 589,3 \text{ nm}$, $\lambda_C = 656,3 \text{ nm}$.

Definované vzťahy [2] pre

i) Strednú disperziu

$$\Delta = N_F - N_C \quad (5)$$

ii) Relatívnu disperziu

$$\delta = \frac{\Delta}{N_D - 1} \quad (6)$$

iii) Abbeovo číslo

$$\gamma = 1/\delta \quad (7)$$

Chyby sú vypočítané podľa vzťahu [3]

$$\sigma_{f(x_i)} = \sqrt{\sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}. \quad (8)$$

V tomto praktiku je odchýlka pre index lomu

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{[\cos(\delta_{min} + \frac{\varphi}{2})]^2}{[4(\sin(\frac{\varphi}{2}))^2]^2} \cdot (\sigma_{\delta_{min}})^2 + \frac{[\sin(\frac{\delta_{min}}{2})]^2}{[4(\sin(\frac{\varphi}{2}))^2]^2} \cdot (\sigma_{\varphi})^2}. \quad (9)$$

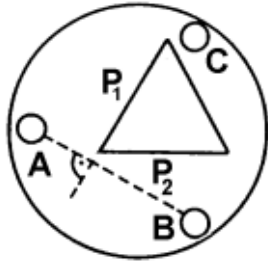
III. Výsledky merania

V praktiku som premerala dva vzorky. Najprv hranol číslo 3 a potom kvapalinu číslo 2.

Pred tým, než som začala merať, bolo nutné, aby som správne nastavila goniometer, tj. do roviny rovnobežnej s optickou osou teleskopu.

3.1. Hranol č. 3

Na stolík goniometra som podľa obrázku 1 položila hranol č.3, tak aby bolo A vo vrchole 3, a premeriavala som lámavý uhol.



Obrázok 1: Nastavenie merného hranolu na stole goniometru [2]

Najmenší dielik bol síce 2 sekundy, no rozostup dielikov bol dostatočne veľký, aby som merala na 1 sekundu presne. Meranie som spravila dva razy, s úplne rovnakým výsledkom. Hodnoty sú $\alpha_1 = (238,500 \pm 0,003)^\circ$, $\alpha_2 = (118,500 \pm 0,003)^\circ$. Využitím vzťahu (2) dostávam lámavý uhol $\varphi = (60,000 \pm 0,003)^\circ$. Deviačný uhol δ_{min} sa zistí z nameraných uhlov β v tabuľke T1 cez vzťah (3). Výsledky sú tiež v T1. Index lomu N sa určí podľa vzťahu (1) a chyba merania za pomoci rovnice (8).

V [4] sa uvádza, že index lomu skla je v rozmedzí 1,5-1,9. Hranol je teda vyrobený zo skla.

T1: Index lomu hranola č.3

λ (nm)	β_1 (°)	β_2 (°)	δ_{min} (°)	N	σN
690,7	126,624	203,801	38,589	1,5161	0,0002
671,6	126,752	203,617	38,433	1,5144	0,0002
623,4	126,755	203,859	38,552	1,5157	0,0003
612,3	126,812	203,851	38,519	1,5154	0,0003
607,3	126,753	203,682	38,464	1,5147	0,0003
579,1	126,641	203,811	38,585	1,5161	0,0003
577,0	126,629	203,982	38,676	1,5171	0,0003
546,1	126,500	204,111	38,805	1,5186	0,0004
491,6	126,185	204,391	39,103	1,5220	0,0004
435,8	125,782	204,816	39,517	1,5267	0,0004
407,8	125,473	205,147	39,837	1,5303	0,0005
404,7	125,492	205,095	39,802	1,5299	0,0005

Závislosť som fitovala v programe Wolfram Mathematica (graf 1). Chyba fitu bola určená programom.

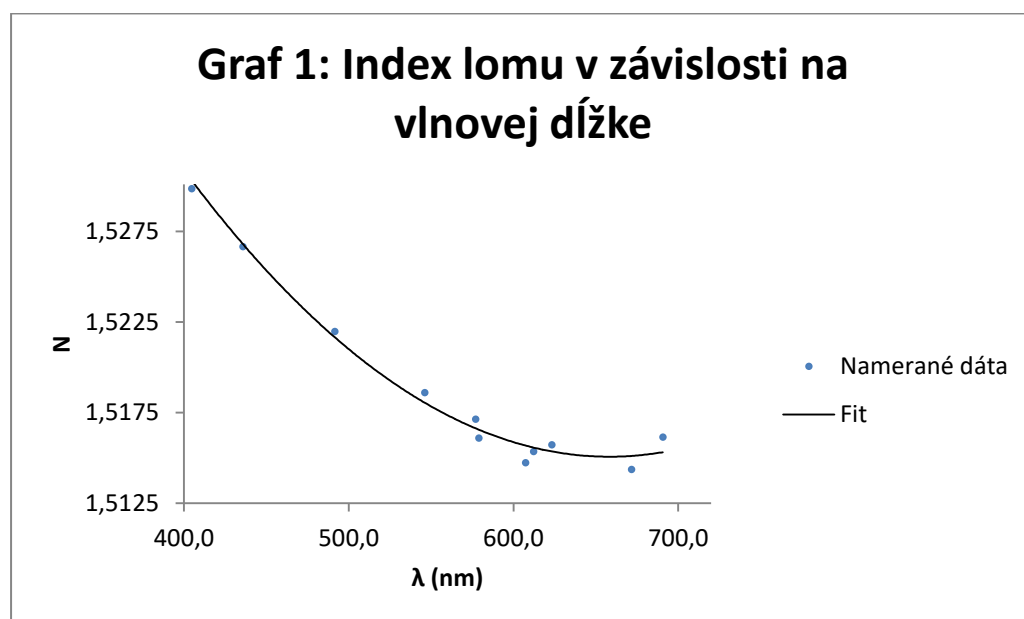
Hodnota konštant je $N_0 = (1,50901 \pm 0,00236)$, $a = (2,210 \pm 0,157) \text{ nm}$, $\lambda_0 = (-303,2 \pm 8,9) \text{ nm}$.

Podľa vzťahu (4) som následne dopočítala význačné hodnoty indexu lomu:

$N_F = (1,5211 \pm 0,002) \text{ nm}$, $N_D = (1,517 \pm 0,002) \text{ nm}$, $N_C = (1,515 \pm 0,001) \text{ nm}$.

Dosadením týchto hodnôt do rovníc (5), (6) a (7) dostávam hodnoty strednej a relatívnej disperzie a tiež Abbeovo číslo.

$\Delta = (0,006 \pm 0,002)$, $\delta = (0,011 \pm 0,004)$, $\gamma = (88 \pm 298)$



3.2. Kvapalina č. 2

Do kvety s tvarom rovnakým, aký mal sklenený hranol som naliala kvapalinu číslo 2 a umiestnila som ju na stôl goniometra podľa obrázku 1. Namerala som $\alpha_1 = (214,110 \pm 0,003)^\circ$, $\alpha_2 = (100,420 \pm 0,003)^\circ$. Využitím vzťahu (2) dostávam lámavý uhol $\varphi = (66,310 \pm 0,003)^\circ$.

V tabuľke T2 sú namerané uhly β a dopočítané hodnoty uhlu δ_{min} a indexu lomu N .

T2: Index lomu kvapaliny č.2

λ (nm)	β_1 (°)	β_2 (°)	δ_{\min} (°)	N	σ_N
690,7	139,416	190,967	25,775	1,3611	0,0008
579,1	139,323	191,097	25,887	1,3626	0,0005
577,0	139,328	191,109	25,891	1,3626	0,0005
546,1	139,230	191,181	25,975	1,3637	0,0004
491,6	139,020	191,378	26,179	1,3663	0,0004
435,8	138,757	191,646	26,445	1,3697	0,0004
407,8	138,515	191,867	26,676	1,3726	0,0003

Závislosť som fitovala v programe Wolfram Mathematica (graf 2). Chyba fitu bola určená programom.

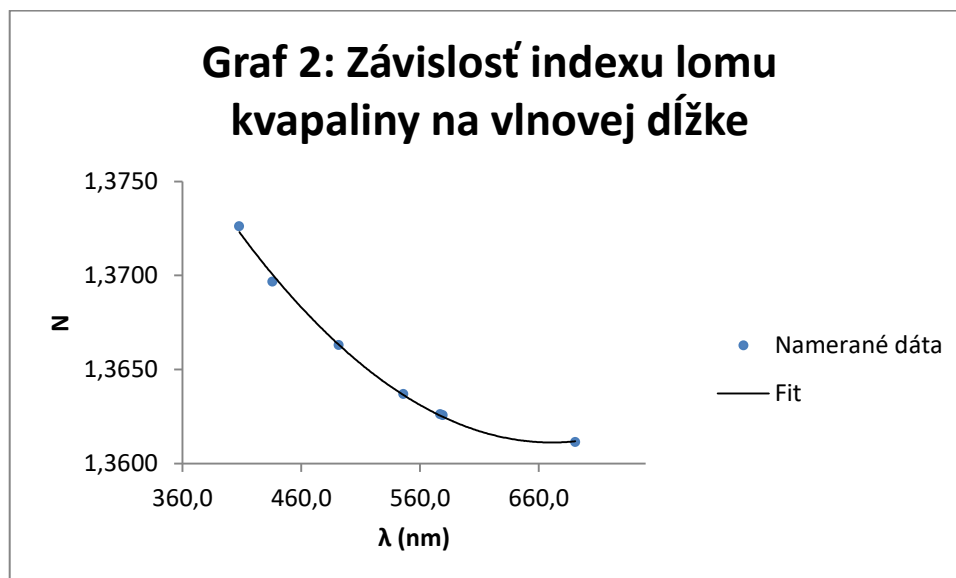
Hodnota konštant je $N_0 = (1,35601 \pm 0,00101)$, $a = (1,990 \pm 0,077) \text{ nm}$, $\lambda_0 = (-288,953 \pm 5,76) \text{ nm}$.

Podľa vzťahu (4) som následne dopočítala význačné hodnoty indexu lomu:

$N_F = (1,359 \pm 0,004) \text{ nm}$, $N_D = (1,358 \pm 0,004) \text{ nm}$, $N_C = (1,358 \pm 0,003) \text{ nm}$.

Dosadením týchto hodnôt do rovníc (5), (6) a (7) dostávam hodnoty strednej a relatívnej disperzie a tiež Abbeovo číslo.

$\Delta = (0,001 \pm 0,002)$, $\delta = (0,002 \pm 0,005)$, $\gamma = (774 \pm 301)$



IV. Diskusia výsledkov

Na začiatku, pri nastavovaní goniometra išlo o veľmi jemnú prácu a i keď bolo tejto úlohe obatovaný veľký čas, nebol goniometer nastavený bezchybne a tak bola týmto spôsobom vnášaná do merania istá nepresnosť. Taktiež čiarka v krížiku mala nejakú tlšťku, ktorá mohla zhoršiť odčítanie. Chyba merania lámavého uhlu bola však i tak celkom malá, keďže pri dvoch opakovaných meraniach vyšla rovnaká hodnota. Preto nakoniec chybu určenia uhlov odhadujem iba na polovicu najmenšieho dielika a to jednu sekundu.

Chyba merania deviacného uhlu je však už vyššia.

Pri meraní kvapaliny je chyba väčšia, pretože som merala sústavu sklo-tekutina.

Mohlo dôjsť ku zámene spektrálnych čiar rovnakej farby, najmä pri červenej, kde bolo spektrálnych čiar veľa. Chybu hodnôt indexu lomu som vypočítala podľa vzťahu (9). Odčítanie čiar

bolo čitateľnejšie pri sklenenom hranole, pri kvapaline boli čiary menej intenzívne, preto mám i menej nameraných hodnôt.

V grafoch 1 a 2 vidno závislosť indexu lomu na vlnovej dĺžke, v grafoch sa nachádza i fit.

Hodnota Abbeovho čísla, ktoré som dopočítala má obrovskú chybu a preto nám nedáva žiadnu informáciu.

Porovnaním hodnôt indexu lomu významných vlnových dĺžok, ktoré som dopočítala, som zistila, že kvapalina č.2 bola pravdepodobne etanol. Udávaný [5] index lomu etanolu je 1,36.

V. Záver

Výsledky merania sú:

Sklenený hranol č.3: lámavý uhol $\varphi = (60,000 \pm 0,003)^\circ$, $\Delta = (0,006 \pm 0,002)$, $\delta = (0,011 \pm 0,004)$, $\gamma = (88 \pm 298)$

Kvapalina č.2: lámavý uhol $\varphi = (66,310 \pm 0,003)^\circ$, $\Delta = (0,001 \pm 0,002)$, $\delta = (0,002 \pm 0,005)$, $\gamma = (774 \pm 301)$

Zistila som, že kvapalina je etanol.

V grafoch 1 a 2 sú znázornené závislosti N na vlnovej dĺžke spolu s fitom.

VI. Zoznam použitej literatúry

[1] P. Malý: Optika, Nakladatelství Karolinum, Praha 2008

[2] Študijný text dostupný z webových stránok Základní fyzikální praktikum: http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_3016.pdf

[3] English J.: Zpracování výsledku fyzikálních měření, 1999, <http://physics.mff.cuni.cz/to.en/vyuka/zfp>

[4] Webové stránky s elektronickými tabulkami: <http://www.converter.cz/tabulky/index-lomu.htm>

[5] Elektronická encyklopédia Wikipédia: https://en.wikipedia.org/wiki/Refractive_index