

UNIVERZITA KARLOVA

ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM III.
PRO OBOR OBECNÁ FYZIKA

X. Meranie indexu lomu Pulfrichovym refraktometrom

Autor:
Samuel Kočiščák

28. februára 2017

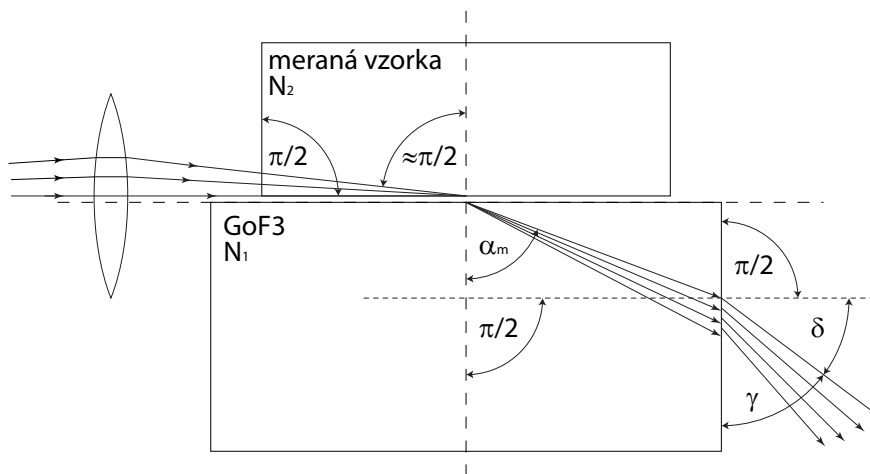
1 Pracovné úlohy

1. Vyneste do grafu disperznú reláciu (spojitú závislosť indexu lomu na vlnovej dĺžke) meracieho hranolu *GoF3* pomocou údajov v tabuľke 1.2.2.
2. Stanovte disperznú reláciu optických skiel, ich strednú disperziu, relatívnu strednú disperziu a Abbeovo číslo. Podľa priloženého výpisu z katalógu optických skiel identifikujte merané vzorky. Disperznú reláciu vyneste do grafu.
3. Stanovte teplotnú závislosť indexu lomu pre zadanú kvapalinu pre 3 rôzne vlnové dĺžky v teplotnom intervale 20 °C – 50 °C. Spracujte namerané závislosti do grafu.
4. Spočítajte chybu nepriameho merania indexu lomu pevných látok aj kvapalín a to všeobecne aj numericky. V úlohe 2 spočítajte chybu nepriameho merania strednej disperzie, reálnej strednej disperzie a Abbeovho čísla.

2 Teoretická časť

Absolútny index lomu materiálu N_i definujeme [H] podiel rýchlosti svetla v danom materiáli c_i a rýchlosti svetla vo vákuu c_0 :

$$N_i = \frac{c_i}{c_0} \quad (1)$$



Obr. 1: Náčert experimentálneho usporiadania metódy medzného uhla

2.1 Aparatúra - neznáme sklo

Na určenie indexu lomu neznámeho skla použijeme metódu medzného uhla. Do optickej sústavy [H] na obrázku 1 vniká svetlo nespojitého spektra (so známymi čiarami). Spojnou šošovkou je zaostrené tak, aby všetky lúče vnikali do meranej vzorky kolmo alebo takmer kolmo. Vďaka indexu lomu meranej vzorky $N_2 > 1$ bude uhlové rozmazanie lúčov vo vzorke ešte nižšie, než mimo vzorky (lúče pôjdu rovnobežnejšie).

Na rozhraní meranej vzorky a známeho hranolu (v našom prípade *GoF3*) platí *Snellov zákon*, ktorý dáva do vzťahu indexy lomu oboch prostredí (N_2, N_1), uhol (od normály rozhrania), pod ktorým lúč vstupuje z meranej vzorky (α_2) a uhol (od tej istej normálovej priamky), pod ktorým lúč vystupuje do známeho materiálu (α_1):

$$N_1 \sin \alpha_1 = N_2 \sin \alpha_2 \quad (2)$$

V prípade, že $\alpha_2 \approx \pi/2$, prejde (2) na jednoduchší tvar:

$$\sin \alpha_1 \equiv \sin \alpha_m = \frac{N_2}{N_1}, \quad (3)$$

pričom v tomto priblížení označujeme $\alpha_1 = \alpha_m$ a nazývame ho *medzným uhlom*. Jeho vlastnosťou je to, že pod žiadnym väčším vstupným uhlom α_x (od normály), než α_m nedokáže prejsť lúč z prostredia s indexom lomu N_1 do prostredia s indexom lomu N_2 , pretože výraz $\frac{N_2}{N_1} \sin \alpha_x$ by bol väčší než 1 a teda mimo obor funkčných hodnôt funkcie $\sin x$, čiže by nevyhovoval Snellovmu zákonu (2).

Zo znalosti uhla α_m a indexu lomu N_1 možno teda určiť index lomu N_2 . Lúč, ktorý vstúpil do známeho hranolu pod uhlom α_m sa na rozhraní N_1 a vzduchu (s indexom lomu $N_{vzduch} = 1$) zlomí podľa Snellovho zákona (2):

$$N_1 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_m \right) = 1 \sin \delta \quad (4)$$

a keďže ľavú stranu vieme upraviť pomocou vzťahu $\sin \left(\frac{\pi}{2} - x \right) = \cos x$ a refraktometrom sme schopní merať iba γ , platí aj vzťah:

$$N_1 \cos \alpha_m = \cos \gamma, \quad (5)$$

z ktorého vieme podľa [St] za použitia vzťahu (3) a goniometrickej identity $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ odvodiť hľadanú závislosť $N_2 = f(N_1, \gamma)$:

$$N_1 \sqrt{1 - \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2} = \cos \gamma \Rightarrow N_1^2 \left(1 - \frac{N_2^2}{N_1^2} \right) = \cos^2 \gamma \Rightarrow N_2 = \sqrt{N_1^2 - \cos^2 \gamma} \quad (6)$$

Smerodajná odchýlka σ_{N_2} určenia N_2 potom bude:

$$\sigma_{N_2} = \sqrt{\left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \sigma_{N_1}^2 + \left(\frac{\sin \gamma \cos \gamma}{N_2} \right)^2 \sigma_\gamma^2} \quad (7)$$

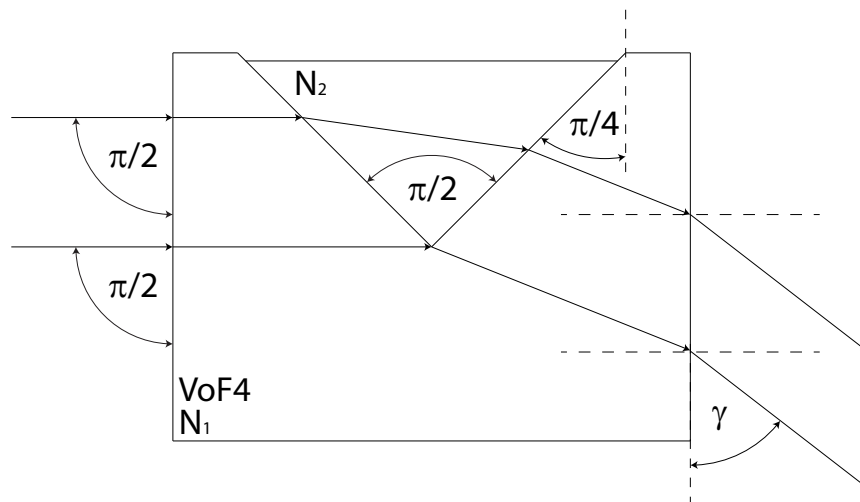
2.2 Aparatúra - neznáma kvapalina

Neznámu kvapalinu môžeme podrobiť určeniu jej indexu lomu vychyľovacou metódou, aparátúrou [H] na obrázku 2. Na hranol známeho indexu lomu s osovo symetrickým pravouhlým výrezom naplneným neznámou kvapalinou svietime rovnobežnými lúčmi zo zdroja so známym čiarovým spektrom. Priamo meriame uhol γ . Lúč sa na každom rozhraní zlomí, aplikáciou výpočtov troch po sebe nasledujúcich lomov svetla podľa Snellovho zákona (2) obdobne, [H] v predchádzajúcom prípade, dospejeme ku vzťahu $N_2 = f(\gamma)$:

$$N_2 = \sqrt{N_1^2 - \cos \gamma \sqrt{N_1^2 - \cos^2 \gamma}}, \quad (8)$$

z ktorého možno podľa [St] stanoviť smerodajnú odchýlku určenia N_2 :

$$\sigma_{N_2} = \sqrt{\left(N_1 \frac{2 - \frac{\cos \gamma}{\sqrt{N_1^2 - \cos^2 \gamma}}}{2N_2} \right)^2 \sigma_{N_1}^2 + \left(\frac{\sin \gamma \sqrt{N_1^2 - \cos^2 \gamma} - \frac{\cos^2 \gamma \sin \gamma}{\sqrt{N_1^2 - \cos^2 \gamma}}}{2N_2} \right)^2 \sigma_\gamma^2} \quad (9)$$



Obr. 2: Náčert experimentálneho usporiadania vychyľovacej metódy

2.3 Disperzia

Je známe, že index lomu sa so zmnou vlnovej dĺžky svetla mení. Disperznou reláciou nazývame závislosť $N = f(\lambda)$, kde N je index lomu pri vlnovej dĺžke svetla λ . Jed-

noduchšie možno disperzné charakteristiky popísať *strednou disperziou* Δ :

$$\Delta = N_F - N_C, \quad (10)$$

relatívnou disperziou δ :

$$\delta = \frac{N_F - N_C}{N_D - 1}, \quad (11)$$

a *Abbeovým číslom* A :

$$A = \frac{1}{\delta} = \frac{N_D - 1}{N_F - N_C}, \quad (12)$$

kde N_C je index lomu študovaného materiálu pri vlnovej dĺžke svetla $\lambda_C = 656,3$ nm, N_D je index lomu pri $\lambda_D = 587,6$ nm a N_F je index lomu pri $\lambda_F = 486,1$ nm. Ak nepoznáme jednotlivé indexy lomu presne, ale sú zaťažené istou chybou, budú smerodajné odchýlky určenia Δ , δ a A :

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\sigma_{N_F} + \sigma_{N_C}} \quad (13)$$

$$\sigma_{\delta} = \sqrt{\frac{\sigma_{N_F}^2}{(N_D - 1)^2} + \frac{\sigma_{N_C}^2}{(N_D - 1)^2} + \frac{\delta^2 \sigma_{N_D}^2}{(N_D - 1)^2}} \quad (14)$$

$$\sigma_A = \frac{\sigma_{\delta}}{\delta} \quad (15)$$

3 Výsledky merania

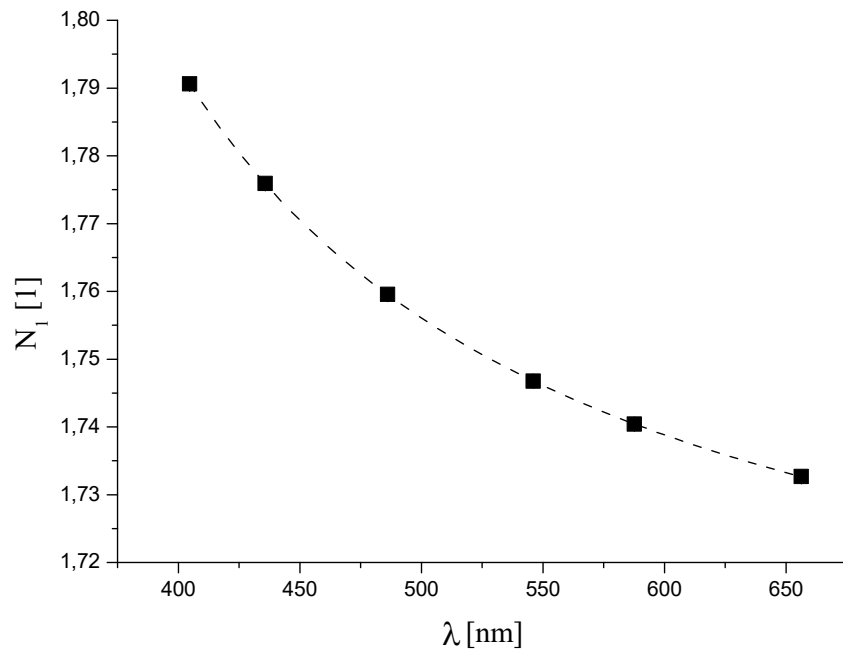
Meranie prebehlo v priestoroch Základného fyzikálneho praktika, pri teplote okolitého vzduchu $25,4$ °C, relatívnej vlhkosti vzduchu 37% a tlaku $978,8$ hPa. Teplota, vlhkosť aj tlak sa počas merania menili, no nevýrazne a ich malé zmeny nemali vplyv na meranie.

3.1 Disperzná relácia hranolu GoF3

V grafe na obrázku 3 vidno vynesenu závislosť indexu lomu N_1 na vlnovej dĺžke svetla λ hranolu *GoF3* podľa tabuľky 1.2.2 z [Pm]. Je preložená funkciou podľa predpisu:

$$N_1 = A + \frac{B}{C + \lambda} \quad (16)$$

a fitom určené hodnoty parametrov A , B a C sú zapísané v tabuľke 1.



Obr. 3: Disperzná relácia hranolu GoF3

Tabuľka 1: Koefficienty fitu disperznej relácie hranolu GoF3

	hodnota	smerodajná odchýlka
A	1,6917	0,0002
B	17,6 nm	0,1 nm
C	-227,1 nm	0,8 nm

Pre spracovanie ďalších experimentov budeme potrebovať poznať spojitú závislosť $N_1 = f(\lambda)$ pre hranol GoF3, budeme používať model podľa vzťahu (16). Ak zanedbáme nepresnosť určenia λ (k tomuto predpokladu sa vrátíme v diskusii), tak smerodajná odchýlka σ_N určenia N_1 bude

$$\sigma_N = \sqrt{\sigma_A^2 + \frac{1}{(c + \lambda)^2} \sigma_B^2 + \frac{B^2}{(c + \lambda)^4} \sigma_C^4} \quad (17)$$

3.2 Disperzná relácia neznámych hranolov

Pulfrichovym difraktometrom značky Carl Zeiss Jena sme v experimentálnom usporiadaní [H] na obrázku 1 merali index lomu dvoch neznámych hranolov, označujeme ich odteraz [H] *hranol 5* a *hranol 6*, veličiny s indexmi 5 a 6 sa budú týkať jednotlivých hranolov. Medzi hranol *GoF3* a hranol 5 resp. 6 sme kvapli malé množstvo brómnaftalénu, ktoré zabezpečilo dobré priliehanie hranolov. Jeho tenká vrstva nemohla meranie ovplyvniť, keďže meriame len uhol vstupu lúča z hranola *GoF3*.

Ako zdroj svetla sme použili ortuťovú výbojku, ktorej čiarové spektrum vo viditeľnej oblasti je zapísané v tabuľke 2. Čiary v okulári boli mierne rozmazané, trúbame si ich polohu určiť s presnosťou $\sigma_\gamma = 0,02$ deg, otroti tejto chybe je chyba prístroja (0,0008 deg) zanedbateľná.

Tabuľka 2: Čiarové spektrum ortuťovej výbojky

farba	orientačná relatívna intenzita	vlnová dĺžka [nm]
červená ¹	1	690,7
červená ¹	0,8	671,6
červená	0,8	623,4
červená	0,3	612,3
červená	0,5	607,3
žltá ³	10	579,1
žltá	2	577,0
zelená	20	546,1
modrozelená ³	0,5	491,6
modrá ³	5	435,8
modrá	0,5	434,8
modrá ²	0,2	433,9
fialová ²	1,5	407,8
fialová ²	3	404,7

Bohužiaľ, nie všetky vlnové dĺžky sme boli schopní pozorovať, pri hranole 5 ani 6 sme neboli schopní zmerať ďaleké červené čiary (v tabuľke 2 označené indexom 1), pri meraní hranolu 6 už ani ďaleké fialové čiary (v tabuľke 2 označené 2). Namerané hodnoty γ_i sú zapísané v tabuľkách 3 a 4.

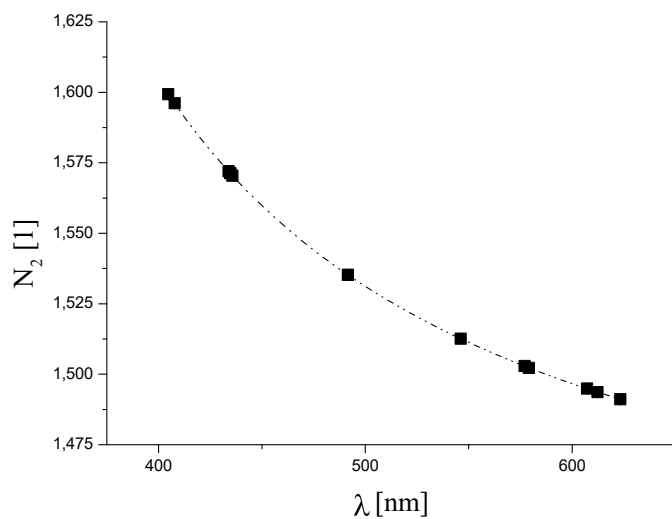
Tabuľka 3: Namerané hodnoty uhla γ pre hranol 5

λ [nm]	γ_5 [deg]	N_2 [1]	σ_{N_2} [1]
623,4	50,950	1,4911	$4 \cdot 10^{-4}$
612,3	50,847	1,4936	$4 \cdot 10^{-4}$
607,3	50,797	1,4849	$4 \cdot 10^{-4}$
579,1	50,500	1,5022	$4 \cdot 10^{-4}$
577,0	50,470	1,5029	$4 \cdot 10^{-4}$
546,1	50,070	1,5126	$4 \cdot 10^{-4}$
491,6	49,102	1,5353	$5 \cdot 10^{-4}$
435,8	47,527	1,5704	$6 \cdot 10^{-4}$
434,8	47,487	1,5713	$6 \cdot 10^{-4}$
433,9	47,453	1,5720	$6 \cdot 10^{-4}$
407,8	46,313	1,5961	$7 \cdot 10^{-4}$
404,7	46,165	1,5993	$7 \cdot 10^{-4}$

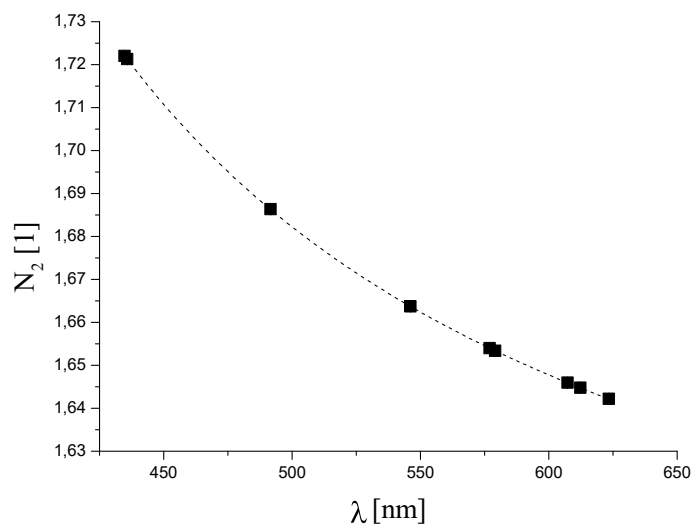
Tabuľka 4: Namerané hodnoty uhla γ pre hranol 6

λ [nm]	γ_6 [deg]	N_2 [1]	σ_{N_2} [1]
623,4	32,273	1,6422	$4 \cdot 10^{-4}$
612,3	32,070	1,6448	$4 \cdot 10^{-4}$
607,3	31,972	1,6460	$4 \cdot 10^{-4}$
579,1	31,377	1,6534	$4 \cdot 10^{-4}$
577,0	31,325	1,6540	$4 \cdot 10^{-4}$
546,1	31,518	1,6637	$4 \cdot 10^{-4}$
491,6	28,515	1,6863	$5 \cdot 10^{-4}$
435,8	25,075	1,7213	$5 \cdot 10^{-4}$
434,8	24,997	1,7220	$5 \cdot 10^{-4}$

Pomocou vzťahu (6) sme z hodnôt $\gamma = f(\lambda)$ určili hodnoty N_2 . Na to sme potrebovali poznať hodnoty indexu lomu hranolu $Gof3$ N_1 , tie sme pre jednotlivé hodnoty vlnových dĺžok λ dopočítali pomocou vzťahu (16) s dosadenými hodnotami 1 a s chybou podľa (17). Jednotlivé priebehy možno vidieť v grafoch na obrázkoch 4 a 5.



Obr. 4: Disperzná relácia hranolu 5



Obr. 5: Disperzná relácia hranolu 6

Disperzné relácie hranolov 5 a 6 sme fitovali parametrickou krivkou (16). Fitováním určené hodnoty konštánt A_i , B_i , C_i sú zapísané v tabulke 5.

Tabuľka 5: Koefficienty fitu disperznej relácie hranolov 5 a 6

	hodnota	smerodajná odchýlka
A_5	1,4009	0,0002
B_5	36,1 nm	0,1 nm
C_5	-222,7 nm	0,4 nm
A_6	1,5516	0,0003
B_6	36,5 nm	0,2 nm
C_6	-220,9 nm	0,6 nm

V tabuľke 6 sú zapísané podľa modelu (16) s chybou (17) dopočítané hodnoty N_{Fi} , N_{Ci} a N_{Di} (kde i je index určujúci, či sa jedná o hranol 5 alebo hranol 6 a F , C a D určujú vlnovú dĺžku svetla, tak, $[H]$ vo vzťahoch (10), (11) a (12).

Tabuľka 6: Indexy lomu N_{Fi} , N_{Ci} a N_{Di} pre hranoly 5 a 6

index lomu	hodnota [1]	smerodajná odchýlka [1]
N_{C_5}	1,4842	0,0003
N_{D_5}	1,4998	0,0003
N_{F_5}	1,5380	0,0004
N_{C_6}	1,6354	0,0005
N_{D_6}	1,6511	0,0006
N_{F_6}	1,6892	0,0008

Pomocou údajov z tabuľky 6 a za použitia vzťahov (10), (11), (12), (13), (14) a (15) určíme Δ_i , δ_i a A_i , tieto sú zapísané v tabuľke 7.

Tabuľka 7: Hodnoty δ_i , Δ_i a A_i pre hranoly 5 a 6

veľičina	hodnota [1]	smerodajná odchýlka [1]
Δ_5	0,0538	0,0005
δ_5	0,108	0,001
A_5	9,29	0,01
Δ_6	0,0538	0,001
δ_6	0,083	0,001
A_6	12,10	0,02

Hodnoty N_i , Δ_i , δ_i a A_i nezodpovedajú žiadnym sklám uvedeným v tabuľke 1.2.4 v [Pm].

3.3 Teplotná závislosť indexu lomu neznámej kvapaliny

Merali sme index lomu neznámej kvapaliny vychyľovacou metódou, pri meraní sme použili V-hranol *VoF4* naplnený meranou kvapalinou v usporiadaní $[H]$ na obrázku 2. Ako zdroj svetla sme použili rovnakú ortuľovú výbojku, $[H]$ v minulej úlohe. Merali

sme 3 jej rôzne čiary, v tabuľke 2 sú označené indexom 3. Budeme ich označovať [H] m (modrá), mz (modrozelená) a z (žltá).

Na reguláciu teploty hranolu sme použili cirkulačný termostat, ktorým sme pomaly priebežne (v priebehu asi 20 minút) zvyšovali teplotu z počiatočných 24 °C na 50 °C. Teplotu sme odčítavali na teplomeri pri hranole a chybu určenia teploty odhadujeme na základe času potrebného na premeranie uhlov jednotlivých čiar na 1 °C, čo je bezpečne viac [H] chyba samotného teplomera.

V tabuľke 8 sú zapísané namerané hodnoty uhla γ pre jednotlivé čiary a jednotlivé teploty t . Keďže čiary boli opäť neostre a so zvyšujúcou teplotou sa ešte rozmazávali, trúbame si určiť ich polohu s presnosťou $\sigma_\gamma = 0,02$ deg, s touto chybou budeme ďalej počítať.

Tabuľka 8: Hodnoty γ pre neznámu kvapalinu v hranole $VoF4$

$t[^\circ\text{C}]$	$\gamma[\text{deg}]$		
	z	mz	m
24	35,10	31,98	28,11
29	35,04	31,93	28,05
35	34,88	31,75	27,83
40	34,72	31,58	27,62
45	34,56	31,38	27,38
50	33,43	31,18	27,15

Aby sme mohli pomocou vzťahu (8) dopočítať index lomu meranej kvapaliny, potrebujeme poznať indexy lomu hranolu $VoF3$ pri týchto teplotách a vlnových dĺžkach. Jeho indexy lomu pri 20 °C pri vlnových dĺžkach m , mz a z určíme interpoláciou zo známych hodnôt podľa tabuľky 1.2.5 interpoláciou podobne, [H] v predchádzajúcich úlohách (fitovaním modelom podľa vzťahu (16)). Kvôli prehľadnosti neuvádzame graf, fitom určené hodnoty sú však: $A_V = 1,6926(3)$, $B_V = 17,5(2)$ nm a $C_V = -226(1)$ nm a hodnoty indexu lomu pri 20 °C a hľadaných vlnových dĺžkach sú teda:

$$N_1(\lambda = 579,1 \text{ nm}, t = 20^\circ\text{C}) = 1,7421(4), \quad (18)$$

$$N_1(\lambda = 491,6 \text{ nm}, t = 20^\circ\text{C}) = 1,7601(5), \quad (19)$$

a

$$N_1(\lambda = 435,8 \text{ nm}, t = 20^\circ\text{C}) = 1,77620(1) \quad (20)$$

Potrebujeme určiť hodnoty $\frac{dN_1}{dt}$ pre vlnové dĺžky m , mz a z . Budeme interpolovať pre každý riadok z tabuľky 1,2,6 z [Pm] zvlášť. Kvôli prehľadnosti neuvádzame medzivýsledky, no opäť používame model (16) (k jeho použitiu sa vrátíme v diskusii). Dopočítané body závislosti sú zapísané v tabuľke (9).

Tabuľka 9: Interpolované hodnoty $\frac{dN_1}{dt}$ VoF4

$t[^\circ\text{C}]$	$\frac{dN_1}{dt}(z) [\frac{10^{-5}}{^\circ\text{C}}]$	$\frac{dN_1}{dt}(mz) [\frac{10^{-5}}{^\circ\text{C}}]$	$\frac{dN_1}{dt}(m) [\frac{10^{-5}}{^\circ\text{C}}]$
15	0,69	0,89	1,08
20	0,72	0,90	1,09
30	0,74	0,93	1,12
40	0,75	0,95	1,15
50	0,77	0,97	1,17
60	0,78	0,98	1,18

Tieto hodnoty sú však iba deriváciami v istých bodoch, aby sme zistili závislosť $N_{1i} = f(t)$ pre m , mz a z potrebujeme závislosti z tabuľky 9 vyintegrovať podľa teploty t . Spojité derivácie získame fitovaním, tentokrát afinnou funkciou $\frac{dN_1}{dt} = pt + q$. Určené hodnoty parametrov sú zapísané v tabuľke 10.

Tabuľka 10: Hodnoty parametrov p a q pre čiary m , mz a z

čiara	$p [\frac{10^{-5}}{^\circ\text{C}^2}]$	$q [\frac{10^{-5}}{^\circ\text{C}}]$
z	0,0018	0,676
mz	0,0021	0,862
m	0,0024	1,047

Z parametrov p a q (teda zo znalosti spojitých závislostí derivácie indexu lomu na teplotu) pre jednotlivé vlnové dĺžky a hodnôt $N_1(t = 20^\circ\text{C})$ vieme určiť závislosť $N = f(t)$ pre každú skúmanú vlnovú dĺžku – vlnovú dĺžku prislúchajúcu jednej z čiar m , mz , z :

$$N_1(\lambda = 579,1 \text{ nm}, t) = 9 \cdot 10^{-9}t^2 + 6,76 \cdot 10^{-6}t + 1,7420, \quad (21)$$

$$N_1(\lambda = 491,6 \text{ nm}, t) = 1,1 \cdot 10^{-8}t^2 + 8,62 \cdot 10^{-6}t + 1,7588, \quad (22)$$

a

$$N_1(\lambda = 435,8 \text{ nm}, t) = 1,2 \cdot 10^{-8}t^2 + 1,047 \cdot 10^{-5}t + 1,7758 \quad (23)$$

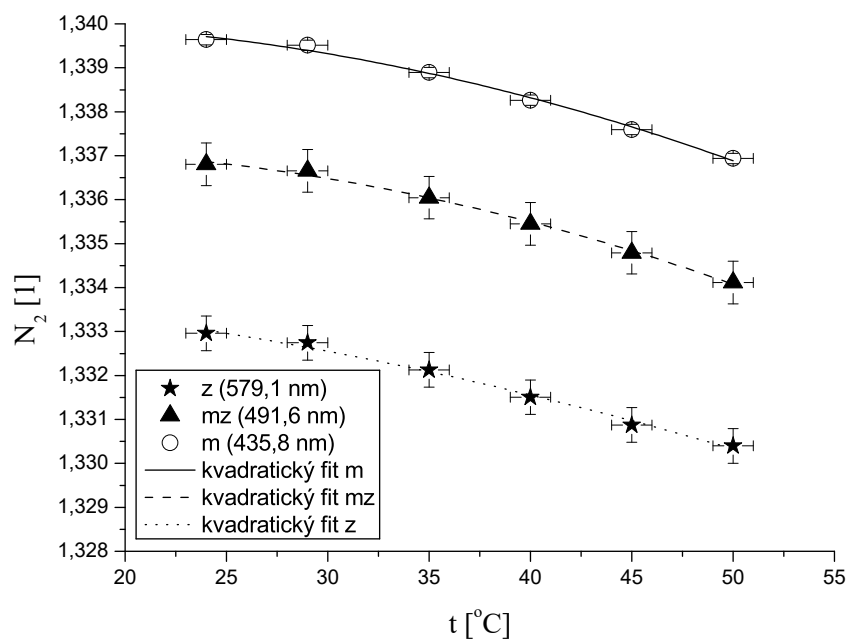
Za presnosti ich určenia pre čiary z a mz považujeme presnosti N_1 zodpovedajúcich vlnových dĺžok, pre čiaru m sa kvôli chybe korekcie obmedzíme na presnosť $1e - 4$.

Pomocou vzťahov (8) a (9) vieme dopočítať index lomu kvapaliny N_2 aj so smerodajnou odchýlkou σ_{N_2} pre každú z čiar a pre každú teplotu. Tieto sú zapísané v tabuľke 11.

Tabuľka 11: Hodnoty σ_{N_2} pre neznámu kvapalinu v hranole VoF4

$t [^{\circ}\text{C}]$	$N_2 [1]$			$\sigma_{N_2} [1]$		
	z	mz	m	z	mz	m
24	1,3330	1,3368	1,3396	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
29	1,3328	1,3367	1,3395	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
35	1,3321	1,3361	1,3389	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
40	1,3315	1,3355	1,3383	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
45	1,3309	1,3348	1,3376	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
50	1,3304	1,3341	1,3369	$4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$

Tieto hodnoty zodpovedajú podľa [C] vode. Kvapalina bola bez farby a zápachu, takže je veľmi pravdepodobné, že išlo naozaj o destilovanú vodu. Hodnoty z tabuľky 11 sú zobrazené v grafe na obrázku 6.



Obr. 6: Teplotná závislosť indexu lomu neznámej kvapaliny

Namerané hodnoty sú fitované ($[H]$ vidno v grafe na obrázku 6) kvadratickou závislosťou podľa predpisu

$$N_2 = at^2 + bt + c, \quad (24)$$

kde hodnoty koeficientov a , b a c sú zapísané v tabuľke 12.

Tabuľka 12: Hodnoty parametrov a , b a c pre čiary m , mz a z

čiara	$a \left[\frac{10^{-5}}{^{\circ}\text{C}^2} \right]$	$b \left[\frac{10^{-5}}{^{\circ}\text{C}} \right]$	$c [1]$
z	$-1,2 \pm 0,7$	-2 ± 5	$1,3341 \pm 0,0009$
mz	$-2,2 \pm 0,5$	5 ± 4	$1,3369 \pm 0,0006$
m	$-2,2 \pm 0,6$	5 ± 4	$1,3397 \pm 0,0008$

4 Diskusia výsledkov

Na spresnenie všetkých meraní by bolo vhodné použiť namiesto oka CCD kameru. Meranie by bolo lepšie op[H]vatené, keďže nie každý človek vníma jednotlivé farby rovn[H] intenzívne. Pri meraní sme mali problém nájsť čiary zodpovedajúce ďalekej červenej a ďalekej fialovej farbe. Taktiež by bolo možné trvalejší obraz lepšie analyzovať za účelom priradenia prúžkov k očakávaným spektrálnym čiaram.

Na určenie N_C pre hranoly 5 resp. 6 sme museli závislosť z grafu na obrázku 4 resp. 5 extrapolovať na 656,3 nm aj keď závislosť sme mali premeranú iba po 623,4 nm. Podľa [Op] je pre nižšie frekvencie hladko monotóne klesajúca a naša extrapolácia nebola ďaleká. Navyše hodnoty Δ , δ a A majú hlavne informatívny charakter, keďže nezohľadňujú celý priebeh, ktorý môže byť všeobecne zložitejší.

Pri určení indexu lomu hranola *GoF3* (a tým pádom následne indexov lomu hranolov 5 a 6) sme neuvažovali nepresnosť určenia vlnovej dĺžky prihlúčajúcej jednotlivým čiaram spektra, keďže tie sú dnes už veľmi dobre premerané, predpokladáme, že všetky uvedené cifry sú presné, teda majú nepresnosť $\pm 0,1$ nm, čo je vyššia presnosť, než presnosť, s [H]u sme určovali uhol γ a nepresnosť polohy čiary je to v podstate tá istá.

Pri určovaní indexu lomu hranolov 5 a 6 sme nespravili teplotnú korekciu na 25 °C, ale uvažovali sme index lomu pri 20 °C. Táto korekcia by bola menšia, než je nepresnosť, ktorú sme uvažovali, nedpoušfame sa teda chyby v tom zmysle, že namerané hodnoty s ohľadom na neistotu sú správne.

Keďže hodnoty indexu lomu hranolov 5 a 6 vyšli všetky medzi 1,46 a 1,73, mohli sme podľa [Pm] použiť hranol *GoF3*. Keďže všetky boli menšie než 1,657, mohli sme podľa [Pm] použiť [H] imerznú kvapalinu brómnaftalén.

Hodnoty indexu lomu a disperzných charakteristík hranolov 5 a 6 neukazujú na žiadne sklo z tabuľky 1.2.4 z [Pm]. Buď sme merali sklá, ktoré v tabuľke nie sú uvedené, alebo sme použili nesprávnu konštantu, napríklad pre *GoF3*, čo by okrem iného mohlo vysvetliť, prečo sme nepozorovali ďaleké červené prúžky (ak by index lomu hranolu bol nižší, než je uvedené v tabuľke 1.2.2). Keďže to, že sme nepozorovali ďaleké červené prúžky možno vysvetliť jednoduchšie nedokonalosťou oka pozorovateľa a hodnoty pre hranoly 5 a 6 vyšli intuitívne správne (s rozumnou veľkosťou aj závislosťou), prikláňame s ak vysvetleniu, že tieto sklá len nie sú vo výňatku z katalógu.

Pri meraní teplotnej závislosti indexu lomu neznámej kvapaliny sme odčítali teplotu z teplomeru pri hranole, avšak nie priamou meranej kvapaliny, keďže tomuto bola prispôbená aparatura. Na spresnenie merania odporúčame zaviesť teplomer

priamo do meranej kvapaliny, čo by malo byť geometricky možné tak, aby to neručilo meranie. Taktiež je možné použiť bezdotykový (radiačný) teplomer na niektorú ofarbenú (nepriehľadnú) stranu hranola.

Hyperbolický fit, ktorý sme viackrát používali (model podľa vzťahu (16)) nemá hlbší fyzikálny základ, ale veľmi dobre fituje namerané dáta, považujeme ho za čisto fenomenologický - nefyzikálny a takto sme s ním aj narábali (rovn[H] s fitom (24)).

Za presnosti určenia závislosti $N_1(t)$ sme považovali jej presnosť pri 20 °C, keďže teplotná korekcia bola malá, toto je najlepší odhad, aký sme na základe disponibilných dát mohli podať.

Presnosť merania teplotnej závislosti indexu lomu by značne zvýšilo ([H] vidno na chybových úsečkách v grafe na obrázku 6), keby sme tabuľku 1.2.5 a tabuľku 1.2.6 z [Pm] mali k dispozícii aj pre naše merané čiary, keďže meranie bolo možné kvôli technickému stavu prístroja robiť len pomocou ortuťovej výbojky. Referenčné čiary vodíka a hélia sme nemali k dispozícii.

5 Záver

Vyniesli sme do grafu závislosť indexu lomu na vlnovej dĺžke pre hranol *GoF3*.

Stanovili sme disperziu, reaktívnu disperziu, Abbeovo číslo [H] aj celú disperznú reláciu meraných skiel pre viditeľné spektrum. Podstatné namerané hodnoty:

$$N_{D_5} = 1,4998(3), \quad (25)$$

$$\Delta_5 = 0,0538(5), \quad (26)$$

$$\delta_5 = 0,108(1), \quad (27)$$

$$A_5 = 9,29(1), \quad (28)$$

$$N_{D_6} = 1,6511(6), \quad (29)$$

$$\Delta_6 = 0,0538(1), \quad (30)$$

$$\delta_6 = 0,083(1) \quad (31)$$

a

$$A_6 = 12,10(2) \quad (32)$$

Disperzné relácie sme vyniesli do grafu. Podľa výňatku z katlógu sa nám sklá identifikovať nepodarilo.

Stanovili sme teplotnú závislosť indexu lomu nemznámej kvapaliny pre tri rôzne vlnové dĺžky a na základe jej indexu lomu približne 1,33 sme ju identifikovali [H] vodu.

6 Zoznam použitej literatúry

- [St] Kolektív ZFP KVOF MFF UK. *Študijný text k meraniu: Meranie indexu lomu Pulfrichovym refraktometrom*. [cit. 2017-02-24]. URL: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_309.pdf>.
- [Pm] Kolektív ZFP KVOF MFF UK. *Pokyny pro měření: Měření indexu lomu pevných látek a kapalin Pulfrichovým refraktometrem*. [cit. 2017-02-24]. URL: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_310.pdf>.
- [C] kolektív conVERTER. *Index lomu* [cit. 2017-02-27]. URL: <<http://www.converter.cz/tabulky/index-lomu.htm>>.
- [Op] MALÝ, Petr 2013. *Optika*. Praha: Karolinum, 2013. s. 266-269.