

Pracovné úlohy

1. Seřídte goniometr.
2. Změřte lámavý úhel skleněného hranolu a proměřte indexy lomu čar spektra rtuťové výbojky.
3. Naměřené hodnoty zpracujte graficky do disperzní křivky. Graf vytvořte v praktiku, je povinnou součástí zápisu z měření.
4. Vypočtete střední disperzi, relativní disperzi a Abbeovo číslo pro měřený materiál, proveďte srovnání s tabelovanými hodnotami optických skel.
5. Odvoďte výraz pro chybu nepřímého měření indexu lomu. Spočtete její velikost a diskutujte, kolik desetinných míst indexu lomu tato metoda zaručuje.

Teória

Index lomu materiálu sa dá merať napríklad Fraunhoferovou metódou. Metóda spočíva v disperzii svetla v optickom hranole zo skúmaného materiálu. Ako zdroj svetla použijeme zdroj so spektrálnymi čiarami. Aspoň dve steny hranolu musia byť opracované s optickou kvalitou. Uhol medzi týmito stenami sa nazýva *lámavý uhol* φ . Uhol, o ktorý sa odchýli vystupujúci paprsok od vstupujúceho sa nazýva *deviačný uhol* δ . Pomocou lámavého uhla a uhla minimálnej deviácie δ_{min} môžeme vypočítať index lomu N

$$N = \frac{\sin(\delta_{min} + \varphi/2)}{\sin(\varphi/2)}. \quad (1)$$

Index lomu závisí na vlnovej dĺžke a môžeme ho aproximovať vzťahom

$$N = N_0 + \frac{a}{\lambda + \lambda_0}, \quad (2)$$

kde a , N_0 a λ_0 sú konštanty. Disperziu však namiesto celej disperznej krivky môžeme hrubo charakterizovať nasledujúcimi veličinami:

a) stredná disperzia:

$$\Delta = n_F - n_C, \quad (3)$$

b) relatívna disperzia:

$$\delta = \frac{\Delta}{n_D - 1} = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}, \quad (4)$$

c) Abbeho číslo:

$$\gamma = \frac{1}{\delta} = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}. \quad (5)$$

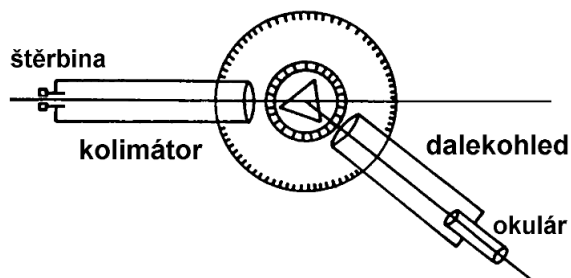
Na meranie použijeme prístroj zvaný goniometer. Je znázornený na obrázku 1. Lámavý uhol zmeriame tak, že nastavíme ďalekohľad kolmo k jednej stene potom k druhej a použijeme vzorec [1]

$$\varphi = |180^\circ - |\alpha_2 - \alpha_1||. \quad (6)$$

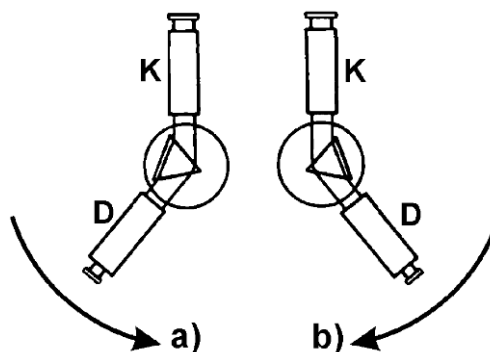
Pri meraní minimálnej deviácie otáčame stolíkom s hranolom a sledujeme kedy sa začne paprsok pohybovať do opačného smeru, hľadáme teda bod obratu. Toto urobíme v dvoch zrkadlovo symetrických polohách (znázornené na obr. 2). Uhol deviácie potom vypočítame zo vzťahu [2]

$$\delta_{min} = \frac{|\beta_2 - \beta_1|}{2}, \quad (7)$$

kde β_1 a β_2 sú namerané uhly.



Obr. 1: Nákres goniometru



Obr. 2: Meranie deviačného minima

Výsledky merania

Chyba σ_s pre veličinu vypočítanú z n iných veličín x_i bola určená pomocou vzťahu pre prenos chýb [2]

$$\sigma_s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \sigma_{x_i}^2}. \quad (8)$$

Na toto meranie som si zvolil hranol číslo 3 a lámavý uhol vo vrchole 1. Najskôr bolo potrebné nastaviť goniometer. Musel som nastaviť sklon stolíka, ďalekohľadu. Nastavenie stolíka mi zabralo dosť času a aj tak nebolo absolútne presné. Po nastavení som na stolík položil hranol a znovu som stolík doladil aby bol čo najrovnejšie. Najskôr som zmeral lámavý uhol. Odchýlku pre meranie uhlov α som volil odhadom.

Namerané hodnoty pre hranol boli

$$\alpha_1 = 209^\circ 27' 38'' \pm 2''$$

$$\alpha_2 = 89^\circ 27' 52'' \pm 2''$$

a lámavý uhol mi vyšiel podľa (6)

$$\varphi = 59^\circ 59' 53'' \pm 2,8''.$$

Pri meraní deviačného minima som volil odchýlku merania $30'$. Namerané hodnoty sú v tabuľke 1. Hodnoty som vyniesol do grafu a pomocou programu Gnuplot som nafiťoval vzťah (2). Nafiťované hodnoty sú v tabuľke 2. Disperzná závislosť je na obrázku 3. Vzťah pre odchýlku indexu lomu podľa (8) je

$$\sigma_N = \sqrt{\left(\frac{\cos((\delta_{min} + \varphi)/2)}{2 \sin(\varphi/2)}\right)^2 (\sigma_{\delta_{min}})^2 + \left(\frac{\sin(\delta_{min}/2)}{2 \sin^2(\varphi/2)}\right)^2 (\sigma_\varphi)^2} \quad (9)$$

| λ | β_1 | β_2 | δ_{min} | N | σ_N |
|-----------|------------|------------|----------------|--------|------------|
| 404,7 | 125°56'40" | 205°38'24" | 39°50'52" | 1,5304 | 0,0079 |
| 407,8 | 125°59'10" | 205°35'40" | 39°48'15" | 1,5299 | 0,0079 |
| 435,8 | 126°15'40" | 205°19'10" | 39°31'45" | 1,5268 | 0,0080 |
| 491,6 | 126°40'57" | 204°54'1" | 39°6'32" | 1,5221 | 0,0080 |
| 546,1 | 126°58'18" | 204°36'18" | 38°48'60" | 1,5188 | 0,0080 |
| 577,0 | 127°5'54" | 204°28'42" | 38°41'24" | 1,5173 | 0,0080 |
| 579,1 | 127°6'42" | 204°28'22" | 38°40'50" | 1,5172 | 0,0080 |
| 607,3 | 127°12'43" | 204°22'6" | 38°34'42" | 1,5160 | 0,0080 |
| 612,3 | 127°13'38" | 204°21'0" | 38°33'41" | 1,5159 | 0,0081 |
| 623,4 | 127°15'40" | 204°19'13" | 38°31'46" | 1,5155 | 0,0081 |
| 671,6 | 127°24'34" | 204°11'13" | 38°23'19" | 1,5139 | 0,0081 |
| 690,7 | 127°26'44" | 204°7'39" | 38°20'27" | 1,5133 | 0,0081 |

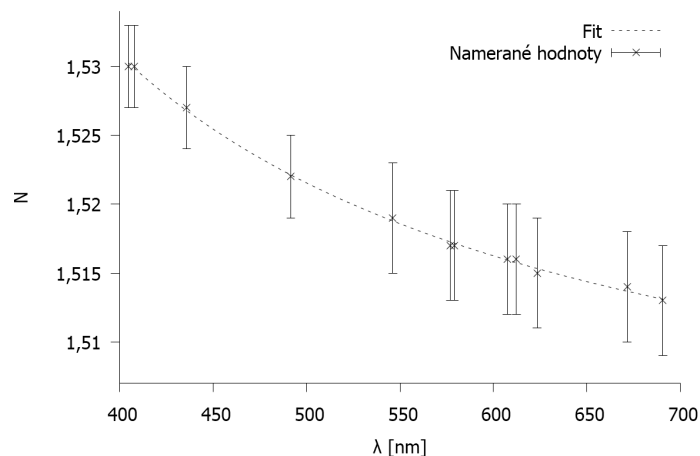
Tabuľka 1: Namerané a vypočítané hodnoty

$$a = (8,9 \pm 1,2) \text{ nm}$$

$$N_0 = (1,4970 \pm 0,0017)$$

$$\lambda_0 = (-135 \pm 25) \text{ nm}$$

Tabuľka 2: Nafitované hodnoty z disperznej závislosti



Obr. 3: Disperzná závislosť hranolu

Následne som z grafu odčítal indexy lomu pri vlnových dĺžkach C, D, F a vypočítal strednú, relatívnu disperziu a Abbeho číslo:

| Čiara | λ | N | σ_N |
|-------|-----------|--------|------------|
| F | 486,1 | 1,5225 | 0,0080 |
| C | 656,3 | 1,5142 | 0,0081 |
| D | 589,3 | 1,5167 | 0,0080 |

Tabuľka 3: Indexy lomu významných vln. dĺžok

$$\Delta = 0,008 \pm 0,011$$

$$\delta = 0,016 \pm 0,022$$

$$\gamma = 62 \pm 84$$

Tabuľka 4: Disperzné parametre

| Čiara | λ | N |
|-------|-----------|---------|
| F | 486,1 | 1,52238 |
| C | 656,3 | 1,51432 |
| D | 589,3 | 1,51673 |

Tabuľka 5: Tabuľkové indexy lomu skla N-BK7 [3]

Diskusia

Ustavenie stolíka a ďalekohľadu mi zabralo dosť času a myslím si, že som ich nastavil celkom presne ale aj tak to mohlo vnieť dodatočnú chybu do merania. Chybu pri meraní uhlov pre lámavý uhol som určil ako jeden dielik stupnice pretože kolimačný kríž nemusel byť presne v strede. Pri meraní deviačného uhlu som zvolil odchýlku $0,5^\circ$ pretože nebolo ľahké určiť presnú polohu minima. Chyby disperzných parametrov sú väčšie ako namerané hodnoty pretože sme odčítali dve veľmi blízke čísla a presnosť merania nebola dostatočná. Namerané indexy lomu pri čiarach F, D sa v rámci chyby zhodujú s tabuľkovými hodnotami pre sklo N-BK7 na štyri desiatinné miesta a hodnota čiary C na tri. Z toho je vidieť, že chyby odčítania

uhla som mohol voliť aj menšiu. Aj z grafu je vidieť že naitovaná závislosť relatívne presne sedí na namerané hodnoty. Táto metóda nám teda spoľahlivo dáva index lomu na tri desatinné miesta.

Záver

Lámavý uhol hranola je $\varphi = 59^{\circ}59'53'' \pm 1,4''$. Meranie indexu lomu skleneného hranolu sedí najlepšie na materiál N-BK7. Táto metóda nám zaručuje index lomu na tri desatinné miesta. Hodnoty strednej disperzie, relatívnej disperzie a Abbeho čísla nemôžeme považovať za použiteľné. Vzťah pre chybu indexu lomu je v rovnici (9).

Literatúra

- [1] Študijný text a pokyny merania k úlohe 16. Meranie indexu lomu Fraunhoferovou metódou:
<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/316>
- [2] J. English, *Úvod do praktické fyziky I: Spracovanie výsledků měření*, 1. vyd. Praha: Matfyzpress, 2006
- [3] <http://www.schott.com/d/advancedoptics/ac85c64c-60a0-4113-a9df-23ee1be20428/1.3/schott-optical-glass-collection-datasheets-english-17012017.pdf>