

Fyzikální praktikum III

Úloha č. 9

Název.: Měření indexu lomu refraktometry

Měřil.: Michal Švanda.....dne:..19. dubna 2001.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....

Posuzoval:.....dne:.....

Výsledek klasifikace:.....

Připomínky:

Pracovní úkol

1. **Zěřte index lomu a střední disperzi vodního roztoku glycerinu závislosti na koncentraci.**
2. **Zěřte indexy lomu některých skleněných vzorků.**
3. **Zěřte index lomu řádného a mimořádného paprsku dvojlomného materiálu v závislosti na směru šíření světla. Naměřené závislosti zpracujte graficky.**

Teoretický úvod

Při měření indexu lomu optického prostředí lze využít totálního odrazu, který nastává pro paprsky jdoucí z prostředí opticky hustšího do opticky řidšího, jež mají úhel od kolmice dopadu větší než jistý úhel mezní α_m . Pozorujeme-li paprsky prošlé z prostředí opticky hustšího do prostředí opticky řidšího, vidíme v dalekohledu rozhraní světla a stínu, které přesně odpovídá meznímu úhlu. Pro mezní úhel platí vztah:

$$\sin \alpha_m = \frac{n_2}{n_1}, \quad [\text{R1}]$$

kde n_1 je prostředí opticky hustší, n_2 je opticky řidší. Přímou tedy vlastně měříme *relativní index lomu* n_{21} , který vypočítáme:

$$n_{21} = \frac{1}{\sin \alpha_m} \quad [\text{R2}]$$

Pro měření úlohy 1 se používá dvouhranolový refraktometr Abbeova typu (viz [L1]). Vzorek kapaliny se kápne mezi dva hranoly. Při správném natočení hranolu ke vstupnímu světlu opět pozorovat v dalekohledu rozhraní světla a stínu. Stupnice pootočení je okalibrovaná takovým způsobem, že na ní rovnou odečítáme index lomu roztoku.

Tento postup je vhodný pro monochromatické světlo. Použijeme-li bílé světlo, bude rozhraní rozmazané díky disperzi. Tento problém řeší kompenzátor se stejnou disperzí opačného znaménka. V námi používaném kompenzátoru používáme dva Amiciho přímohledné hranoly, takže celý systém má disperzi proměnnou a my můžeme relativně přesně změřit střední disperzi roztoku.

Pro střední disperzi platí v našem případě vztah:

$$\Delta = A + B \cos(3C), \quad [\text{R3}]$$

kde A a B jsou kontanty, které určíme z indexu lomu proměřovaného vzorku tabulkou a C je počet dílků na stupnici kompenzátoru.

Úlohu 2 a 3 proměřujeme pomocí Abbeho polokulového refraktometru. Měříme opět relativní index lomu pro styk dvou optických prostředí a odečítáme mezní úhel totálního odrazu. Měření probíhá v praxi tak, že na polokouli z flintového skla o indexu lomu n_1 položíme vzorek o indexu lomu n_2 , kterým může být i vzduch o indexu lomu $n_2=1$, a osvětlíme jej monochromatickým světlem ze strany vzorku. Mezní úhle odečítáme dalekohledem s vláknovým křížem na otočném rameni se stupnicí. Koule může být umístěna mírně asymetricky, proto s ní lze otáčet i v horizontálním směru. Pro výpočty používáme vzorce [R1] resp. [R2].

Výsledky měření

Změřil jsem indexy lomu směsi glycerolu a vody v objemových koncentracích 0% až 100% po krocích 10%. Hodnoty indexu lomu jsem určoval interpolací ve stupnici s přesností $\pm 0,0001$. Měření jsem prováděl pro dvě natočení kompenzátoru, při kterém došlo k eliminaci disperze, za výsledek jsem vzal průměr obou hodnot. Měření shrnuje tabulka [T1], závislost vypočteného indexu lomu na koncentraci jsem vynesl do grafu [G1], z něhož je vidět přísně lineární závislost.

Podle vzorce [R3] a s pomocí tabulky na str. 97 v [L1] jsem pro jednotlivé koncentrace vypočítal hodnoty střední disperze, výpočty jsou též v tabulce [T1] a její závislost na objemové koncentraci jsem vynesl do grafu [G2]. Získaná závislost je lineární mírně rostoucí.

Podle návodu ve skriptech jsem stanovil index lomu polokoule Abbeho refraktometru pro průchod i odraz monochromatického světla. Měření jsou vynesena v tabulce [T2]. Hodnota získaná průchodem světla je $n=(1,743\pm 0,001)$, zatímco hodnota získaná odrazem světla je $n=(1,744\pm 0,005)$. Větší chyba je způsobena větší nejistotou odečítání mezního úhlu, protože v případě odrazu světla je světelné rozhraní matné a neostré. V dalších výpočtech jsem proto uvažoval pouze index lomu získaný měřením průchodem světla.

Postupem popsaným v [L1] jsem proměřil indexy lomů tří druhů skla, jejichž měření jsou shrnuta v tabulce [T2].

Výsledky jsou následující:

$$\text{simax: } n=(1,472\pm 0,002)$$

$$\text{pyrex: } n=(1,469\pm 0,002)$$

$$\text{sklo } n_D=1,560: n=(1,511\pm 0,002)$$

Nakonec jsem měřil závislost řádného a mimořádného indexu lomu dvojlomného materiálu na směru vstupu paprsků. Měření shrnuje tabulka [T3]. Řádný index lomu se mírně mění v důsledku nesymetrií uchycení polokoule Abbeho refraktometru a průměrem vzaná hodnota je:

$$\text{řádný index lomu: } n_o=(1,540\pm 0,002)$$

Mimořádný index lomu je závislý na směru vstupu paprsků a tuto závislost jsem vynesl do grafu [G3]. Je vidět, že závislost má sinusový tvar (což jsem předpokládal), mírně modulovaný nesymetrií uchycení polokoule refraktometru. S ohledem na nepřesnosti měření však proložená sinusovka velmi dobře vystihuje pozorovanou závislost.

Diskuse

Chyby měření v úloze 1 jsou způsobeny výhradně chybami odečtů údajů ze stupnic. Index lomu jsem odečítal s přesností 0,0001 v absolutní škále. Z této chyby se také odvíjí chyba průměru, který jsem pak vynášel do grafu. Parametr C, tedy natočení dvou přímohledných hranolů v Amiciho kompenzátoru, jsem odečítal s přesností 0,2 v absolutní škále. Z této chyby se odvíjí chyba určení střední disperze, která činí

0,001 v absolutní škále, což znamená relativní chybu řádu desítek procent. Ostatně o tom svědčí i délka chybových úseček v grafu [G2]. Spolehlivost nalezené závislosti je tedy dosti malá.

Odměrováním malého množství obou kapalin jsem se dopouštěl chyb koncentrací řádu 5%. V případě hledání závislosti indexu lomu na koncentraci je tato chyba mnohem větší, než chyba měřeného indexu lomu a proto jsem při hledání regresní přímky pomocí programu `Origin` uvažoval jako váhu měření pouze tuto chybu. Jinak je tomu v případě závislosti střední disperze na koncentraci.

Při stanovování chyb měření Abbeovým polokulovým refraktometrem jsem určoval chybu pouze z chyby odečtu mezního úhlu, kterou jsem stanovil na 5' pro průchod a 15' pro odraz. I proto jsem nadále uvažoval pouze měření průchodem světla, protože je přibližně třikrát přesnější.

Porovnal jsem index lomu čisté destilované vody ($n=1,3300\pm 0,0002$) s tabulkovou hodnotou ($n=1,333$ bez uvedení chyby) pro vlnovou délku D-čáry sodíku; obě hodnoty dosahují dobré shody.

Závěr

Proměřil jsem závislost indexu lomu a střední disperze na objemové koncentraci směsi glycerolu a vody a potvrdil předpokládané rostoucí lineární závislosti. Změřil jsem pomocí Abbeova polokulového refraktometru index lomu flintového skla a dalších tří vzorků skel a také závislost řádného a mimořádného indexu lomu dvojlomného materiálu na směru průchodu paprsků vzorkem.

Literatura

- [L1] Pelant, Fiala, Pospíšil, Fährnich - Fyzikální praktikum III. - Optika