

Měření indexu lomu kapaliny pomocí CD disku

Online: <http://www.sclpx.eu/lab4R.php?exp=1>

Tento experiment vychází svým principem z klasického experimentu měření vlnové délky světla pomocí CD disku, který je uveden v [46]. Naším cílem nebylo tento experiment zopakovat ani použít k měření indexu lomu běžnou metodu měření úhlů.

Navrhli jsme proto zcela nový experiment, který využívá zaprvé ohybu laserového světla na optické mřížce, kterou je v tomto případě CD disk, a za druhé je zde aplikován princip změny vlnové délky světla v látkovém prostředí za předpokladu konstantní frekvence.

Změříme-li tedy nejprve vzdálenost nultého a prvního maxima na vzduchu a poté stejným způsobem provedeme totéž, akorát s tím rozdílem, že CD disk je ponořen v kapalině, získáme jiný ohybový obrazec a tedy i jinou vzdálenost nultého a prvního maxima. Jelikož z těchto naměřených délek určíme vlnovou délku světla, můžeme z poměru vlnových délek vypočítat index lomu kapaliny. Podrobněji je tento jev vysvětlen v úvodu tohoto experimentu.

K realizaci postačuje jedno laserové ukazovátko, např. obvyklý červený laser. My jsme však z důvodu objektivitu experimentu použili červený laser o vlnové délce $\lambda_R = (650 \pm 10)$ nm, zelený laser o vlnové délce $\lambda_G = (532 \pm 10)$ nm a modrý laser o vlnové délce $\lambda_B = (405 \pm 10)$ nm.

Experiment je svým provedením velice jednoduchý a přitom dává poměrně dobré experimentální výsledky.

Úvod

Jak plyne z teorie [46], mezi vlnovou délkou světla λ , které prochází optickou mřížkou, a vzdáleností nultého a prvního maxima y , platí následující vztah (4.2.1):

$$\lambda = \frac{b}{\sqrt{\frac{l^2}{y^2 + 1}}}, \quad (4.2.1)$$

kde b je tzv. *perioda mřížky* (mřížková konstanta) udávající vzdálenost dvou sousedních štěrbin mřížky, l je vzdálenost mřížky od stínítka, na kterém pozorujeme ohybový obrazec, a y je vzdálenost nultého a prvního maxima.

Převrácená hodnota periody mřížky, tj. $1/b$, udává počet štěrbin (vrypů) na 1 mm délky optické mřížky. CD disk je pak optickou mřížkou, jejíž hustota je 625 vrypů na mm. Mřížková konstanta CD disku je tedy $b = 1,6 \cdot 10^{-6}$ m, [46].

Prochází-li světlo o určité vlnové délce λ_1 z prostředí, ve kterém se šíří rychlostí v_1 , do prostředí, ve kterém se šíří rychlostí v_2 , změní se jeho vlnová délka na hodnotu λ_2 , protože při průchodu elektromagnetického vlnění různými prostředími se nemění jeho frekvence, tudíž platí $f_1 = f_2$, viz [20].

Platí-li současně, že index lomu je dán poměrem rychlosti světla ve vakuu c a rychlosti světla v daném látkovém prostředí v , tedy $n = \frac{c}{v}$, a vlnová délka světla je dána vztahem $\lambda = \frac{v}{f}$, pak pro index lomu můžeme zformulovat jednoduchý vztah (4.2.2):

$$n = \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \quad (4.2.2)$$

kde λ_0 je vlnová délka světla ve vakuu (a přibližně i ve vzduchu) a λ_1 je vlnová délka světla v daném optickém prostředí (např. ve vodě).

Určíme-li tedy z ohybových obrazců vzdálenost nultého a prvního maxima, nejprve ve vzduchu a potom v kapalině, můžeme ze vztahu (4.2.1) vypočítat odpovídající vlnové délky světla v obou prostředích a následně ze vztahu (4.2.2) určit index lomu kapaliny.

Nejistotu v měření indexu lomu vypočítáme z následujícího vztahu (4.2.3):

$$\Delta n = \bar{n} \left(\frac{\Delta \lambda_0}{\lambda_0} + \frac{\Delta \lambda_1}{\lambda_1} \right) \quad (4.2.3)$$

Nejistotu v určení vlnové délky λ podle vztahu (4.2.1) určíme ze vztahu (4.2.4):

$$\Delta \lambda = \bar{\lambda} \left(\frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta y}{y} \right) \quad (4.2.4)$$

Pomůcky: červený laser, zelený laser, modrý laser, CD disk, skleněná kádinka, plastové měřítko, kancelářská sponka, stativový materiál

Postup práce

Uspořádání experimentu z horního pohledu je na obrázku 4.2.1 s detailním pohledem v pravé části obrázku na plastové měřítko (zde z grafických důvodů otočené o 90°). Pomocí stativového materiálu upevníme CD disk tak, aby byl z větší části uvnitř kádinky. Na zadní stěnu kádinky připevníme pomocí kancelářské sponky plastové měřítko. Laser upevníme v horizontální poloze tak, aby jeho paprsek procházel CD diskem a současně aby se ohybový obrazec objevil na plastovém měřítku.



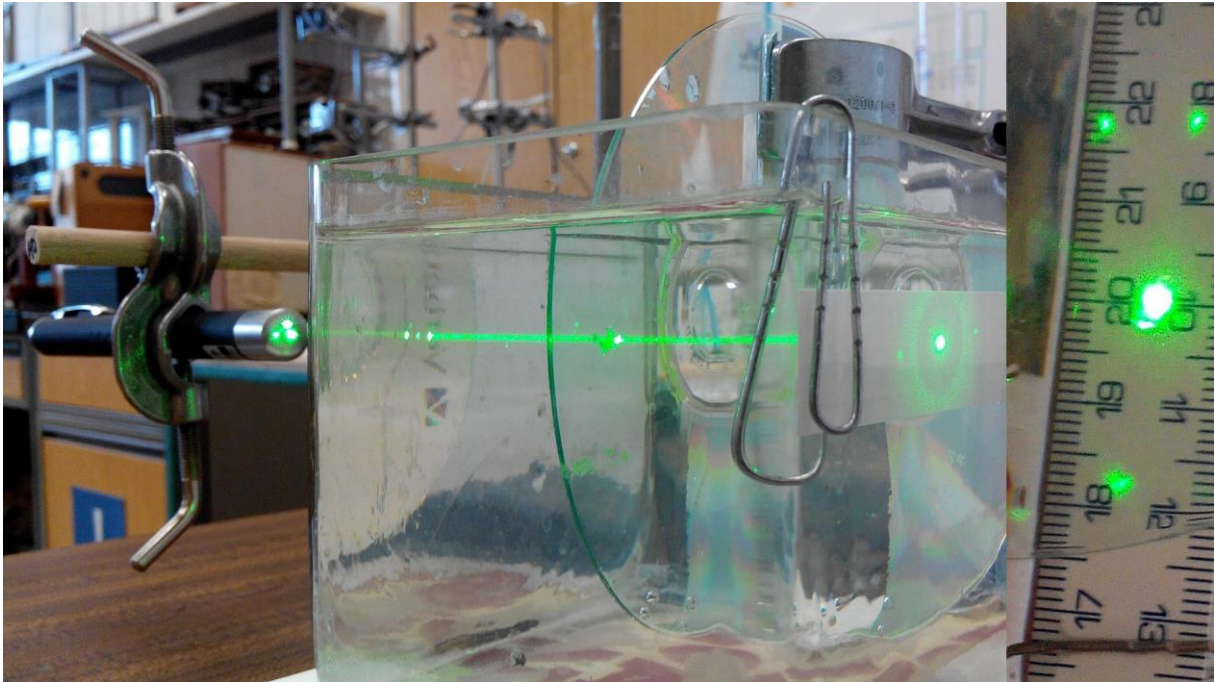
Obrázek 4.2.1 Uspořádání experimentu – Měření indexu lomu kapaliny pomocí CD disku – boční pohled

Na plastovém měřítku zjistíme hodnotu vzdálenosti y nultého (nejvýraznější světelný bod ve směru původního laserového paprsku) a prvního maxima (méně výrazný světelný bod nalevo i napravo od nultého maxima).

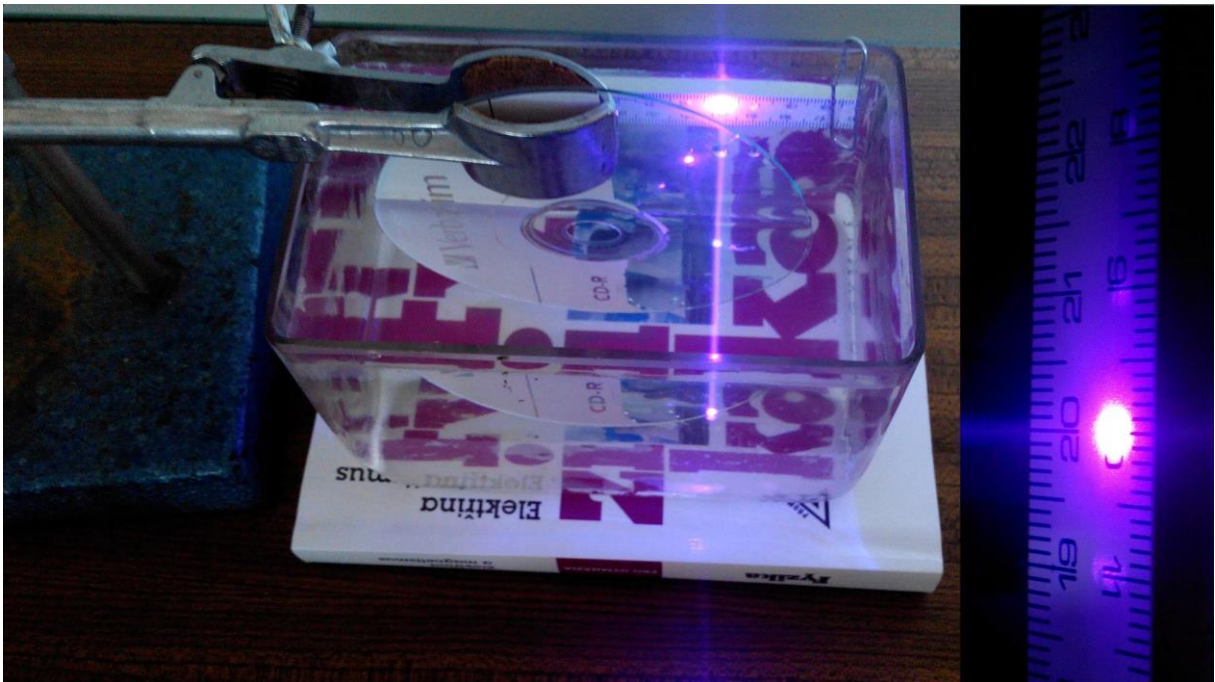
Dále změříme vzdálenost l CD disku od stínítka (plastového měřítka) a společně s naměřenou hodnotou y dosadíme do vztahu (4.2.1), ze kterého vypočítáme vlnovou délku světla.

Experiment opakujeme stejným způsobem s tím rozdílem, že do kádinky nalijeme tolik vody (případně jiné kapaliny), aby byl laserový paprsek zcela pod hladinou.

Na obrázku 4.2.2 vidíme stejnou situaci ze zadního pohledu a na obrázku 4.2.3 je použit modrý laser.



Obrázek 4.2.2 Uspořádání experimentu – Měření indexu lomu kapaliny pomocí CD disku – zadní pohled

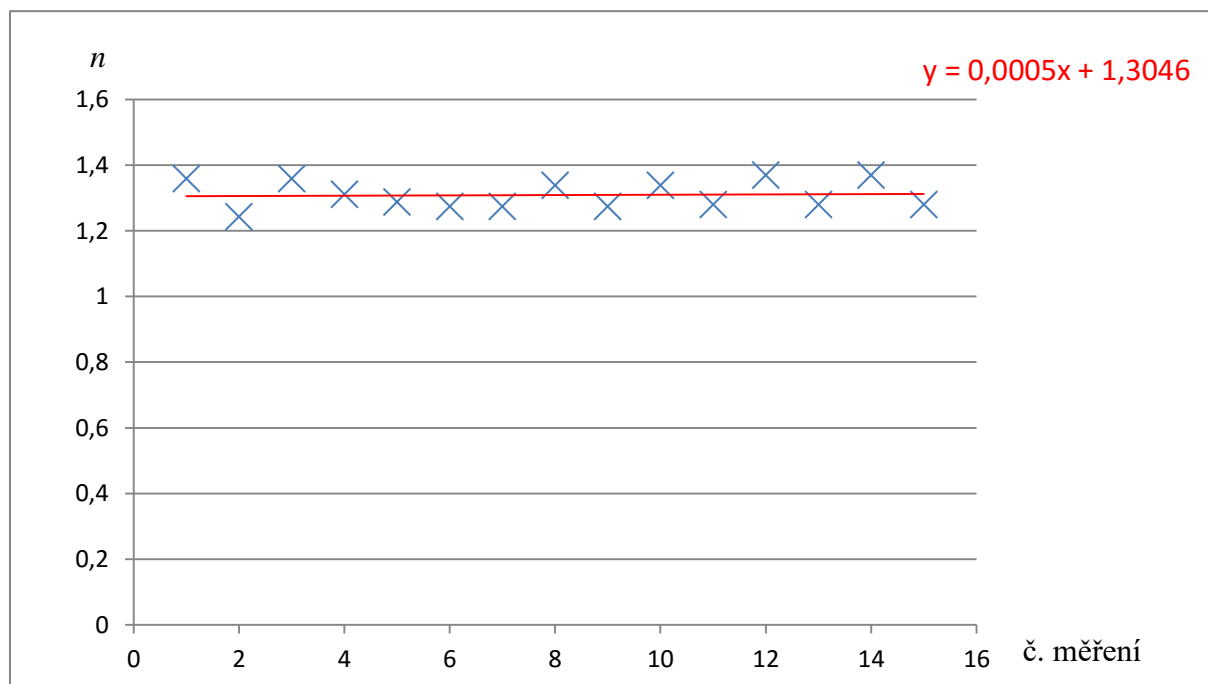


Obrázek 4.2.3 Uspořádání experimentu – Měření indexu lomu kapaliny pomocí CD disku – modrý laser

Námi naměřené hodnoty pro vodu jsou uvedeny v tabulce 4.2 a graf hodnot indexů lomu vody n je na obrázku 4.2.4.

Tabulka 4.2 Měření indexu lomu vody pomocí CD disku

Laser	y_0 (cm)	λ_0 (nm)	y_1 (cm)	λ_1 (nm)	n
Red	2,3	728	1,6	536	1,36
Red	2,2	703	1,7	565	1,24
Red	2,3	728	1,6	536	1,36
Red	2,2	703	1,6	536	1,31
Red	2,3	728	1,7	565	1,29
Green	1,7	565	1,3	444	1,27
Green	1,7	565	1,3	444	1,27
Green	1,8	594	1,3	444	1,34
Green	1,7	565	1,3	444	1,27
Green	1,8	594	1,3	444	1,34
Blue	1,3	444	1,0	347	1,28
Blue	1,4	475	1,0	347	1,37
Blue	1,3	444	1,0	347	1,28
Blue	1,4	475	1,0	347	1,37
Blue	1,3	444	1,0	347	1,28



Obrázek 4.2.4 Graf hodnot indexu lomu vody – Měření indexu lomu kapaliny pomocí CD disku

Závěr

Průměrná hodnota indexu lomu vody vypočítaná na základě údajů uvedených v tabulce 4.2 má velikost $n = (1,31 \pm 0,01)$ a je ve velmi dobré shodě s tabulkovou hodnotou $n = 1,33$. Relativní nejistota měření je $\delta n = \frac{0,01}{1,31} \doteq 1 \%$. Odchylka od tabulkové hodnoty je cca 2 %.

Otázky na závěr

1. Jaká je hodnota indexu lomu vody, kterou můžeme určit z grafu na obrázku 4.2.4?
2. Jak se liší průměrné hodnoty vlnových délek laserů od hodnot uvedených na obalu laserů?