

Pracovní úkoly

1. Změřte vlnovou délku zelené čáry spektra rtuti Michelsonovým interferometrem. Diskutujte vliv zadaného převodního koeficientu pro posuv zrcadla u Michelsonova interferometru na systematickou chybu vlnové délky a hledejte jeho vhodnější velikost.
2. Změřte vlnovou délku He-Ne laseru.
3. Změřte vzdálenost spektrálních čar sodíkového dubletu Fabryho – Perotovým interferometrem.
4. Všechna měření proveďte metodou postupných měření a zpracujte lineární regresí. Stanovte chybu vlnových délek získaných lineární regresí.

Teoretická část

Michelsonův interferometr je zkonstruován tak, že přilétající paprsek se rozdělí na dva a následně každá část putuje k jinému zrcadlu. Od zrcadel se odrazí a dopadnou na společné stínítko, kde spolu interferují (jsou koherentní, jelikož vycházejí ze stejného zdroje). Pokud budeme měnit vzdálenost jednoho zrcadla od stínítka, bude docházet ke změně interferenčního obrazce. Interferenční obrazec se posune. Pohneme-li se zrcadlem o vzdálenost l a posune-li se interferenční obrazec o k maxim, platí pro vlnovou délku λ dle [1] následující vzorec:

$$\lambda = \frac{2l \cdot p}{k} \quad (1)$$

Kde p je poměr posunu nastavujícího šroubu a posunu zrcadla (dán konstrukcí Michelsonova interferometru použitého v našem případě). Poměr p se pohybuje v rozmezí $\frac{1}{5}$ až $\frac{1}{5.2}$. Vlnová délka λ tedy odpovídá směrnici grafu $2pl(k)$.

Fabry-Perotův interferometr funguje na bázi mnohanásobné interference. Paprsek světla vlétává mezi dvě polopropustná planparalelní zrcadla, kde dochází k mnohonásobné interferenci. Pokud je paprsek tvořen dvěma blízkými vlnovými délkami, které se liší o $\Delta\lambda$ a posunou-li se zrcadla o vzdálenost l , která odpovídá tomu, že se interferenční obrazce posunou vůči sobě o svůj násobek n , pak dle [1] platí:

$$\Delta\lambda \doteq \frac{\lambda_s^2}{2l} n \quad (2)$$

Kde λ_s je střední hodnota těchto dvou vlnových délek. V našem případě činí λ_s 589.3 nm [2]. Rozdíl vlnových délek $\Delta\lambda$ je tedy roven velikosti směrnice závislosti $n(\frac{2l}{\lambda_s^2})$.

Metoda měření

Nejprve jsme Michelsonovým interferometrem změřili vlnovou délku zelené čáry spektra rtuti. Měření probíhalo tak, že jsme určovali vzdálenost, o kterou se posune zrcadlo při posunutí interferenčního obrazce o určitý počet (50) interferenčních maxim.

Poté jsme měřili obdobným způsobem vlnovou délku He-Ne laseru.

Rozdíl vlnových délek sodíkového dubletu jsme určili za pomoci Fabry-Perotova interferometru. Měření probíhalo tak, že jsme zaznamenávali vzdálenost zrcadel, vždy když se interferenční obrazce sodíkového dubletu vůči sobě relativně posunuly o svůj násobek (vždy když se překryly maxima nebo minima nebo minima s maximy).

Pomůcky

- Rtuťová výbojka
- Sodíková výbojka
- Helium-neonový laser
- Michelsonův interferometr
- Fabryho-Perotův interferometr

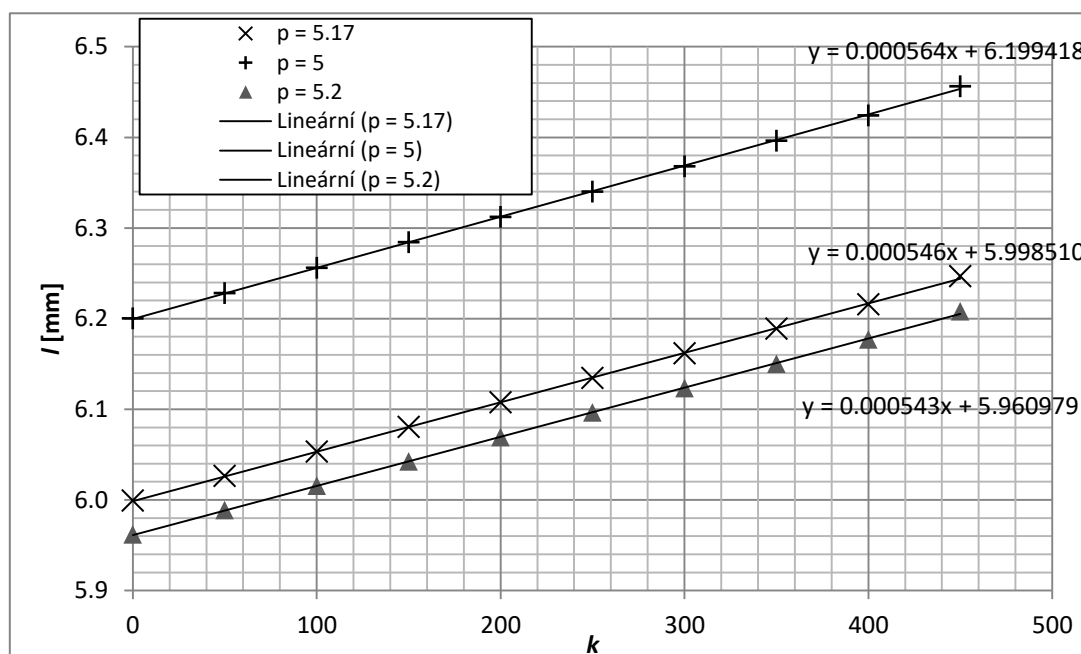
Výsledky měření

Laboratorní podmínky by neměly ovlivnit výsledky měření.

Tabulka 1: Vlnové délky pro různé převody

	hodnota	chyba
λ_5 [nm]	564	3
$\lambda_{5.2}$ [nm]	543	2

Převod pohonu zrcadla u Michelsonova interferometru je udělán poměrně nešikovně a není znám přesný poměr posunu nastavujícího šroubu a zrcadla. Poměr se nachází v rozsahu 1:5 až 1:5.2. Pro tyto mezní hodnoty jsme spočetli za pomoci lineární regrese (viz graf č. 1) vlnovou délku, které jsou uvedeny v tabulce č. 1. Uvedené chyby jsou chybami lineární regrese. Poté jsme porovnáním s tabulkovou hodnotu [2]: $\lambda = 546.074$ nm našli správný převodový poměr, který činí $p = (5.17 \pm 0.05)$. Chybu jsme odhadli jako 1%. Chyba lineární regrese činí 0.4%.



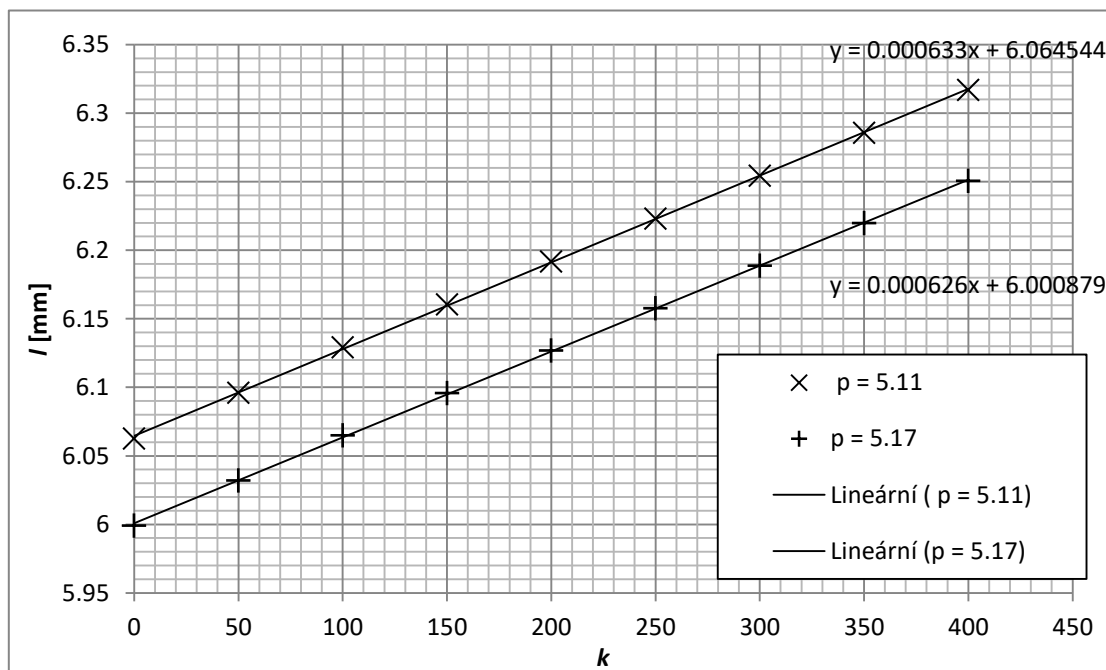
Graf 1: Závislosti polohy nastavujícího šroubu zrcadla na aktuálně pozorovaném maximu

Tabulka 2: Vlnová délka He-Ne laseru ($p = 5.17$)

λ [nm]	\pm [nm]
626	3

vlnová délka je uvedena v tabulce č. 2, uvedená chyba je chyba lineární regrese, která činila opět 0.4%.

Vlnovou délku He-Ne laseru jsme určili opět za pomoci lineární regrese. Ve vzorci (1) jsme tentokrát použili poměr p zjištěný z předchozí části (tedy $p = 5.17$). Poté jsme poměr dopočítali tak aby odpovídal tabulkové hodnotě [3]: 633 nm. Došli jsme k poměru $p = (5.11 \pm 0.05)$. Chybu jsme opět odhadli na 1%. Graf č. 2 znázorňuje naměřená data a lineární regresi. Zjištěná



Graf 2: Závislost polohy nastavujícího šroubu zrcadla na aktuálně pozorovaném interferenčním maximu He-Ne laseru

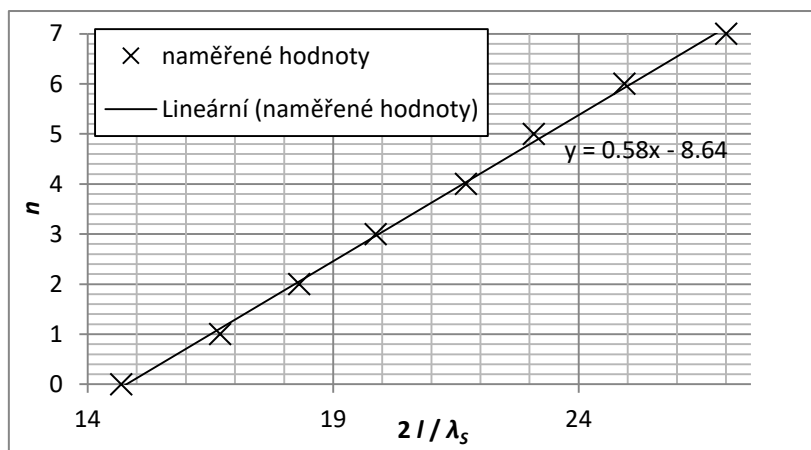
Tabulka 3: Rozdíl vlnových délek sodíkového dubletu

$\Delta\lambda$ [nm]	\pm [nm]
0.594	0.011

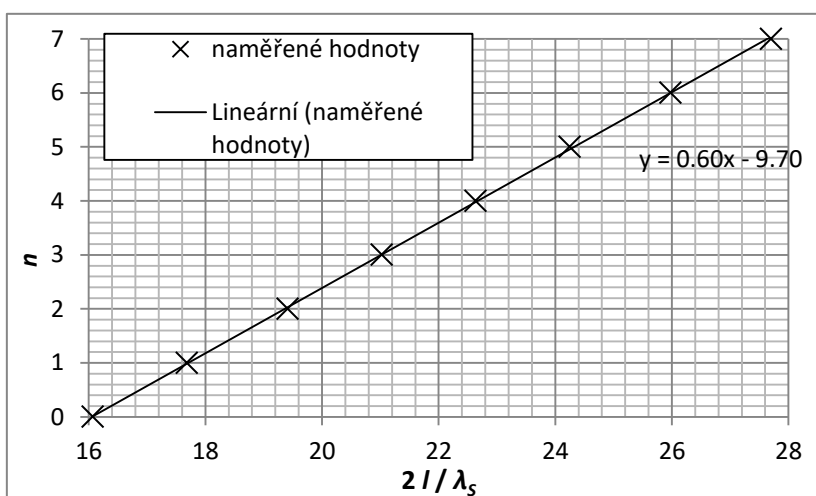
posunuty o polovinu. V grafech č. 3 až 5 jsou uvedeny naměřené hodnoty vztažené na kvadrát střední vlnové délky sodíku, tak aby se mohla lineární regresí získat hodnota rozdílu vlnových délek sodíkového dubletu podle vzorce (2). Výsledný rozdíl vlnových délek sodíkových čar jsme určili jako aritmetický průměr¹. Chybu jsme určili jako geometrický průměr relativních chyb aritmetického průměru a lineární regrese. Výsledek je uveden v tabulce č. 3.

Měření s Fabry-Perotovým interferometrem probíhalo celkem třikrát. Poprvé jsme měřili polohu nastavení zrcadel při překrytí maxim. Podruhé jsme zaznamenávali vzdálenost tak, že v maximum prvního interferenčního obrazce bylo v minimum druhého interferenčního obrazce. Potřetí jsme měřili vzdálenost jak při překrytí maxim tak okamžik, kdy jsou interferenční obrazce

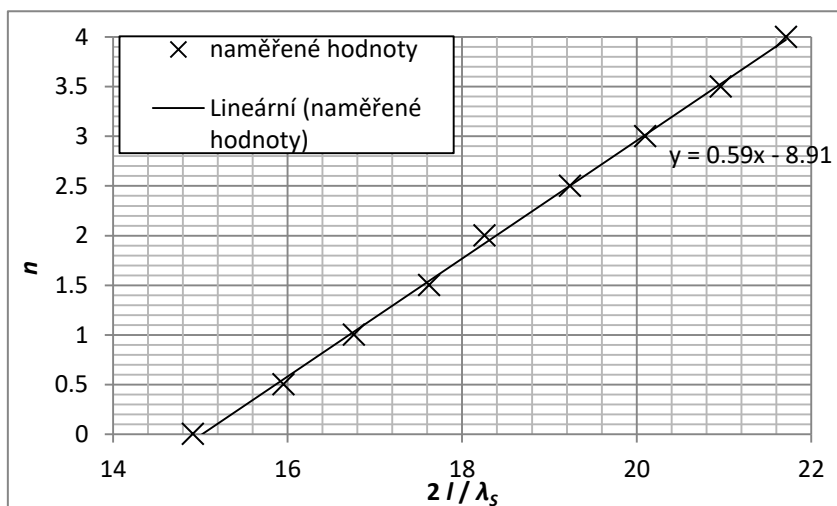
¹ Data jsme nemohli „zkombinovat“ a udělat lineární regresi z bohatších dat, protože během vracení zrcadel Fabry-Perotova interferometru se projevovovala velká vůle v nastavovacím mechanismu, proto jsou naměřená data vzájemně neporovnatelná.



Graf 3: Kolikrát se překryli maxima interferenčních obrazců v závislosti na nastavení zrcadel F-P interferometru



Graf 4: Kolikrát padlo minimum jednoho do maxima druhého interferenčního obrazce v závislosti na nastavení zrcadel F-P interferometru



Graf 5: O kolik se relativně posunuly interferenční obrazce v závislosti na nastavení zrcadel F-P interferometru

Diskuse

Při měření vlnové délky zelené čáry spektra rtuti byl problém určit převodní poměr p pro posuv zrcadla. Věděli jsme však, že se pohybuje mezi $\frac{1}{5}$ a $\frac{1}{5.2}$. Maximální systematická chyb plynoucí z neznalosti tohoto převodního poměru měla být 4%. V ideálním případě by bylo dobré interferometr nejprve zkalibrovat pomocí vlnových délek známé velikosti z nich určit převodní poměr a následně měřit neznámou vlnovou délku. V našem případě jsme převodní koeficient určili porovnáním naměřené hodnoty s tabulkovou. Měření je náchylné také na hrubé chyby, kdy může dojít k přehlédnutí jednoho nebo více interferenčních proužků. Přesnost měřidla vzdálenosti zrcadla zde nehraje zásadní roli, poněvadž je zatížena chybou z neznámého převodního koeficientu.

Pokud porovnáme vlnovou délku He-Ne, jež jsme naměřili při započítání převodního poměru zjištěném v první části, s hodnotou uvedenou v tabulkách [3] zjistíme, že se liší o 1.1%, což je v rámci odhadované chyby měření.

Při měření pomocí Fabry-Perotova interferometru vzbuzoval největší pochyby mechanismus posouvání zrcadel, který trpěl neskutečně velkou vůlí, což je vzhledem k míře zpřevodování pochopitelné. Nicméně výsledky ukázaly, že naše obavy byly liché, jelikož k nepřesnostem docházelo jen, pokud se měnil směr pohybu zrcadel. Měření pomocí Fabry-Perotova interferometru je velmi přesné, rozdíl námi naměřené hodnoty a hodnoty uvedené v tabulkách [2] činil pouze 0.4%.

Závěr

Vlnová délka zelené čáry rtuti se v závislosti na převodním koeficientu pohybovala mezi hodnotami:

$$\lambda = (564 \pm 3) \text{ nm a } \lambda = (543 \pm 2) \text{ nm}$$

Převodní koeficient určený za pomoci tabulkové hodnoty zelené čáry spektra rtuti vyšel:

$$p = (5.17 \pm 0.05)$$

Vlnová délka He-Ne laseru byla zjištěna jako:

$$\lambda = (626 \pm 3) \text{ nm}$$

Vzdálenost spektrálních čar sodíkového dubletu jsme naměřili:

$$\Delta\lambda = (594 \pm 11) \cdot 10^{-3} \text{ nm}$$

Literatura

- [1] Měření vlnových délek interferometry. *Fyzikální praktikum* [online]. [cit. 31.03.2017]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/mereni_308.pdf

- [2] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 1. vyd. Praha SPN, 1989, 171 s.
- [3] Laser. *Wikipedie* [online].
[cit. 31. 03. 2017]. Dostupné z:
<https://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>