

Pracovní úkol

1. Změřte vlnovou délku zelené čáry spektra rtuti Michelsonovým interferometrem. Totéž proveďte pro vlnovou délku He–Ne laseru.
2. Změřte vzdálenost spektrálních čar sodíkového dubletu Fabryho–Perotovým interferometrem.
3. Všechna měření proveďte metodou postupných měření a zpracujte lineární regresí.
4. Stanovte chybu vlnové délky získané v úkolu 1 a 2 lineární regresí.

V úkolu 1 diskutujte vliv zadaného převodního koeficientu pro posuv zrcadla u Michelsonova interferometru na systematickou chybu vlnové délky a hledejte jeho vhodnější velikost.

Teoretický úvod

V Michelsonově interferometru dochází k interferenci dvou svazků vzniklých rozdělením vstupního svazku polopropustným zrcadlem. Délku dráhy jednoho ze svazků můžeme měnit, čímž měníme fázový rozdíl mezi svazky a interferenční proužky se v důsledku toho pohybují přes zorné pole. Podle [1] platí pro vlnovou délku použitého světla

$$2l = \lambda k, \quad (1)$$

kde l je posun jednoho ze zrcadel v interferometru a k počet proužků prošlých nějakým místem v zorném poli.

Ve Fabryho–Perotově interferometru dochází k vícesvazkové interferenci mezi dvěma deskami a měněním vzdálenosti desek dochází stejně jako u Michelsona k posunu proužků. Pokud se použité světlo skládá ze dvou blízkých vlnových délek, vidíme v zorném poli dva systémy proužků, z nich každý se posouvá různou rychlostí, v důsledku čehož jeden systém „předbíhá“ druhý. Pouhým okem můžeme dostatečně dobře rozlišit případy, kdy se systémy překrývají a kdy jsou přesně rozfázované. Opět v [1] je uvedeno, že pro rozdíl obou vlnových délek platí

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_s^2}{2l}, \quad (2)$$

kde λ_s je průměr obou vlnových délek a l je vzdálenost mezi dvěma polohami desek, při kterých se systémy proužků překrývají.

Statistické zpracování

Chybu veličiny $u = f(x_i)$ počítáme ze vztahu

$$\delta_u = \sqrt{\sum_{i,j} \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \delta_{x_i} \delta_{x_j} \rho_{ij}},$$

kde δ_{x_i} jsou chyby veličin x_i a ρ_{ij} je korelační matice. Pro nezávislé veličiny je tedy $\rho_{ij} = \delta_{ij}$.

Při fitování vztahu na naměřená data používáme program *Gnuplot*. Ten aplikuje metodu nejmenších čtverců. V případě lineárního fitování jsou parametry dopočítány algebraicky, v případě nelineárního iterativně. Chyby parametrů fitování mají stejné vlastnosti jako standardní směrodatné odchylky. Vypočítané parametry ovšem nemusí být nezávislé veličiny, je proto nutné s nimi dále pracovat pomocí korelační matice, kterou *Gnuplot* pro každý fit poskytuje.

Výsledky měření

V prvním úkolu máme určit pomocí Michelsonova interferometru vlnové délky zdrojů světla, které ovšem známe. Zelená čára rtuťové výbojky má podle údaje na použitém filtru vlnovou délku 546 nm a He–Ne laser emituje podle [2] převážně na 633 nm. Na druhou stranu neznámý je převodní vztah mezi posunem na mikrometru a skutečným posunem zrcadla. Ve vztahu (1) je tak $l = l'/q$, kde $q \approx 5$, ale přesnou hodnotu neznáme. Místo určení vlnových délek proto určíme tento neznámý poměr.

Naměřená data jsou v Tabulkách 1 a 2. Obě dvě závislosti jsou měřené od počátečních 5 mm. Proložení závislostí

$$2l'(k) = q\lambda k + B$$

je na Obrázcích 1 a 2. Lineární regresí dostaneme hodnoty převodního poměru

$$q_{546} = 4.94 \pm 0.03, \quad q_{633} = 5.12 \pm 0.02.$$

V druhém úkolu jsme měřili rozštěp sodíkového dubletu,¹ který má střed při $\lambda_s = 589.3$ nm, pomocí Fabryho–Perotova interferometru. Zvětšovali jsme postupně vzdálenost desek a odečítali ze stupnice polohu pro překrývající se a přesně rozfázované systémy proužků, jak bylo naznačeno v Teoretickém úvodu. Naměřená data jsou v Tabulce 3. Je nutné podotknout, že odečtená poloha neodpovídá vzdálenosti desek, ale je zvětšena o nějakou konstantu. Proložení vztahem

$$d(n) = nl + B$$

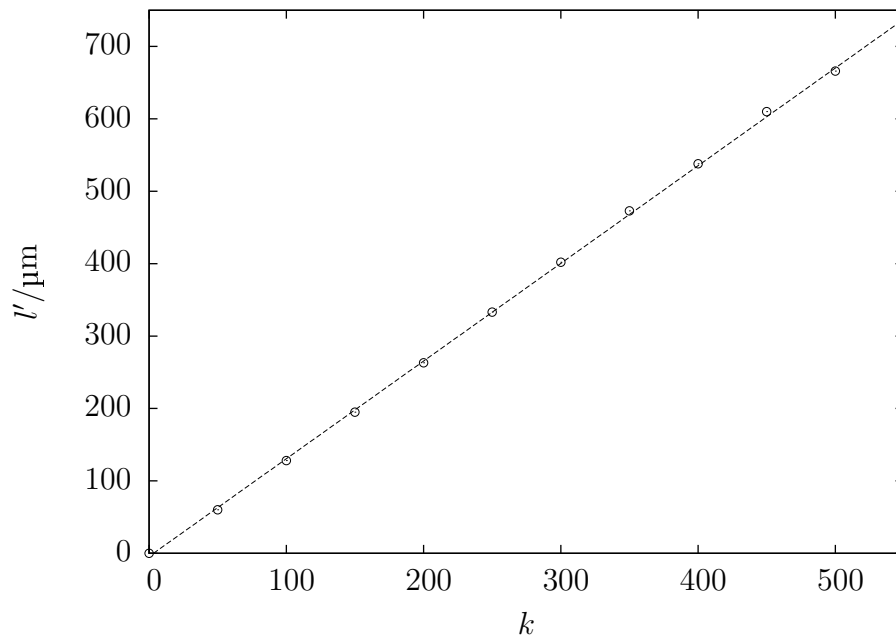
¹Zdrojem světla byla sodíková výbojka.

k	$l'/\mu\text{m}$
0	0
50	60
100	128
150	195
200	263
250	333
300	402
350	473
400	538
450	610
500	666
550	732

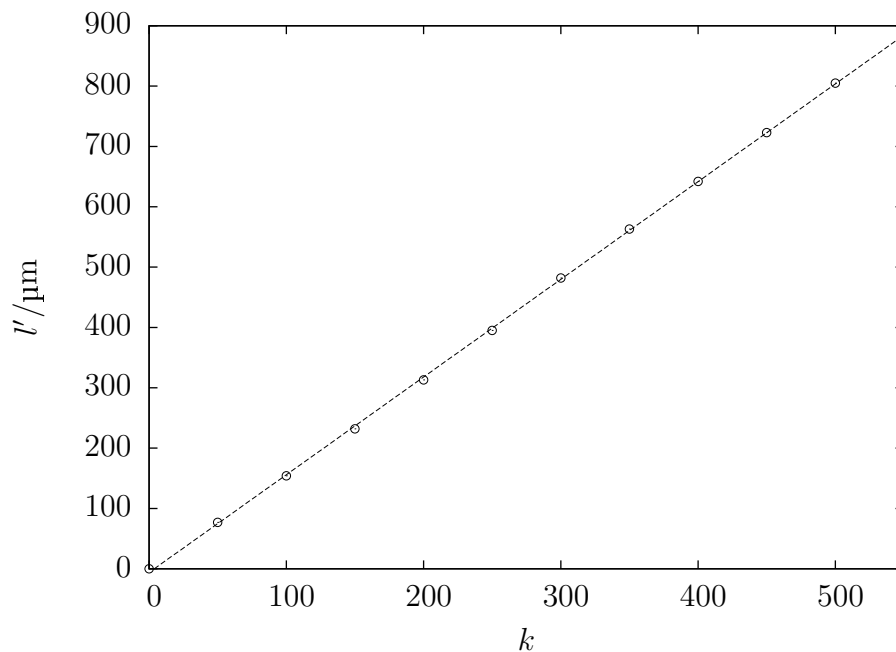
Tabulka 1: Měření zelené čáry rtuťové výbojky

k	$l'/\mu\text{m}$
0	0
50	77
100	154
150	232
200	313
250	395
300	482
350	563
400	642
450	723
500	805
550	885

Tabulka 2: Měření He–Ne laseru



Obrázek 1: Zelená čára rtuťové výbojky (závislost mikrometrického posunu zrcadla na počtu prošlých proužků)



Obrázek 2: He–Ne laser (závislost mikrometrického posunu zrcadla na počtu prošlých proužků)

je na Obrázku 3. Lineární regresí dostaneme

$$l = (290 \pm 1) \mu\text{m}$$

ze vztahu (2). Dosazením potom

$$\Delta\lambda = (0.599 \pm 0.002) \text{ nm.}$$

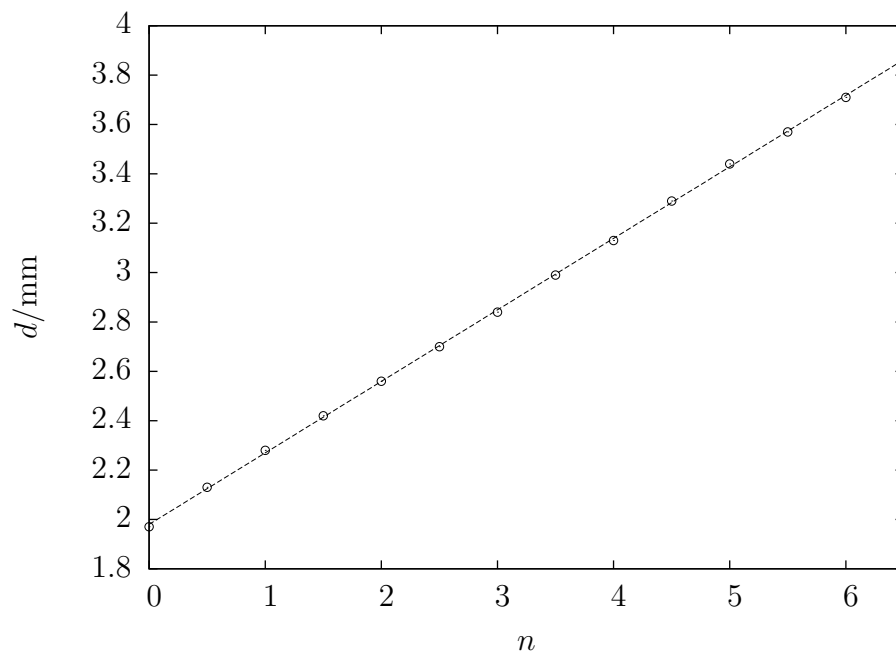
Diskuse výsledků

Převodní poměr nám vyšel pro oba světelné zdroje různě a to příliš na to, abychom to svalili na statistiku. Vzhledem k jednoduchosti použité metody je celkem obtížné identifikovat možnou příčinu této neshody. Chyba v počítání proužků by byla zřejmě spíše náhodná a neměla by takhle velký vliv. Použité hodnoty vlnových délek jsou také velmi důvěryhodné, a proto musím konstatovat, že nevím, kde by mohl být problém.

Podle [3] je rozštěp sodíkového dubletu 0.5974 nm a námi naměřená hodnota je tak v rámci statistické chyby správná. Přesnost metody je omezena hlavně tím, že proužky jsou velmi drobné a obtížně se rozlišuje, kdy jsou oba systémy v překryvu případně mezi sebou. Pro kvalitnější výsledky by tak byl třeba pravděpodobně mikroskop s kalibrovanou stupnicí v okuláru.

n	d/mm
0	1.97
$1/2$	2.13
1	2.28
$1\frac{1}{2}$	2.42
2	2.56
$2\frac{1}{2}$	2.70
3	2.84
$3\frac{1}{2}$	2.99
4	3.13
$4\frac{1}{2}$	3.29
5	3.44
$5\frac{1}{2}$	3.57
6	3.71
$6\frac{1}{2}$	3.87

Tabulka 3: Měření sodíkového dubletu



Obrázek 3: Závislost posunu desek na pořadí překrytí systémů proužků

Závěr

Uričli jsme převodní poměr l'/l mezi mikrometrickým posunem a skutečným posunem zrcadla v Michelsonově interferometru. Dostali jsme dvě různé hodnoty

$$q = 4.94 \pm 0.03, \quad q = 5.12 \pm 0.02$$

a tento rozdíl jsme nedokázali vysvětlit.

Pomocí Fabryho–Perotova interferometru jsme určili rozštěp sodíkového dubletu

$$\Delta\lambda = (0.599 \pm 0.002) \text{ nm},$$

což odpovídá hodnotám uváděným v literatuře.

Reference

- [1] *Studijní texty Praktika III* [online]. <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>.
- [2] *IUPAC Gold Book* [online]. <http://goldbook.iupac.org/>.
- [3] *Sodium* [online]. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/>.