

### Pracovní úkol

1. Změřte vlnovou délku zelené čáry spektra rtuti Michelsonovým interferometrem. Totéž provedte pro vlnovou délku He–Ne laseru.
2. Změřte vzdálenost spektrálních čar sodíkového dubletu Fabryho – Perotovým interferometrem.
3. Všechna měření provedte 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.

### Teorie

#### **Michelsonův interferometr**

Tento interferometr využívá interference dvou paprsků ze stejného zdroje. Na rozdíl odlišných délek drah paprsků závisí interferenční obrazec. Dráhový rozdíl můžeme korigovat posunováním jednoho ze zrcadel, od kterých se odráží paprsky. (Schematické znázornění Michelsonova interferometru viz [1] obr.4.1-1.)

Při zvětšování vzdálenosti jednoho ze zrcadel od polopropustné planparalelní destičky se mění interferenční obrazec. To se projeví posunem interferenčních proužků. Vlnovou délku světla  $\lambda$  lze určit jako:

$$\lambda = \frac{2L}{k} \quad (1)$$

kde  $L$  je posuv zrcadla,  $k$  počet prošlých proužků skrz dalekohled.

U použitého interferometru je pákový převod mezi mikrometrickým šroubem a samotným zrcátkem. V závislosti na výchylce šroubu je poměr posunu šroubu ku posunu zrcátka roven 1:5 - 1:5,2. Proto pro výpočet vlnové délky  $\lambda$  použijeme vztahu:

$$\lambda = \frac{2l}{kM} \quad (2)$$

kde  $M$  je převodní poměr a  $l$  posun mikrometru.

#### **Fabryho-Perotův interferometr**

Při měření tímto interferometrem se využívá mnohonásobného odrazu na mezeře mezi dvěma rovnoběžnými deskami s polopropustnou zrcadlicí vrstvou, z kterých se interferometr skládá. (Schematické znázornění Fabryho-Perotova interferometru viz [1] obr.4.1-3.)

Pokud do interferometru vstupuje světlo s více spektrálními čarami, každá z těchto čar pak vytváří vlastní soustavu světlých interferenčních kroužků. Měníme-li šířku mezery mezi zrcadly  $d$ , začou se interferenční maxima rozcházet, nebo překrývat. Lze určit vzdálenost mezi dvěma překryvy  $l$ . Pak při známém průměru vlnových délek  $\lambda_5$  můžeme určit rozdíl vlnových délek.

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{\lambda_5^2}{2l} \quad (3)$$

### Výsledky měření

#### **Michelsonův interferometr**

Měřila jsem vlnovou délku zelé čáry rtuťové výbojky a také vlnovou délku He-Ne laseru. Otáčela jsem mikrometrem a pozorovala posun proužků. Odečítala jsem hodnotu posunutí po průchodu padesáti proužků přes střední rysku.

Toto jsem opakovala desetkrát. Výsledky jsou v tabulce I.

**Tabulka I – Posun spektrálních čar při otáčení mikrometrem Michelsonova interferometru**

počet prošlých proužků $k$	Poloha šroubu (Hg) $l$ [mm]	Poloha šroubu (He-Ne) $l$ [mm]
0	17,20	15,00
50	17,29	15,09
100	17,36	15,18
150	17,44	15,26
200	17,51	15,34
250	17,58	15,42

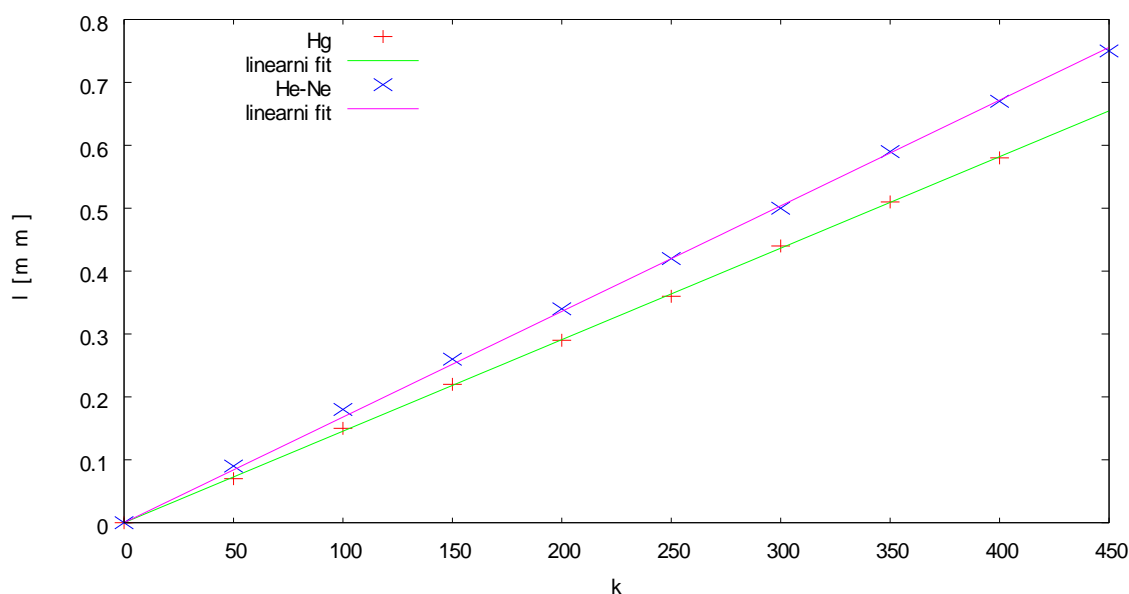
300	17,65	15,50
350	17,73	15,59
400	17,80	15,67
450	17,87	15,75

Při odečítání padesáti proužků se snadno mohla udělat chyba. Chybu tohoto odečtu odhaduji na  $\pm 0,01\text{mm}$  v nastavení polohy šroubu.

Tyto polohy jsou pouze posunutím šroubu, který je spojen se zrcátkem pomocí pákového převodu. Poměr posunu šroubu ku posunu zrcátka je 1:5-1:5,2 v závislosti na výchozí poloze šroubu. Pro výpočet vlnové délky jsem proto použila vztahu (2), kde uvažuji  $M_{\text{Hg}} = 5,17$  kvůli tomu, že jsem šroub měla nastaven na vzdálenost ke konci rozsahu a  $M_{\text{He-Ne}} = 5,15$ .

Výslednou závislost jsem zpracovala také do grafu I.

**Graf I – Závislost posunu mikrometrického šroubu na počtu projitých čar**



Pomocí lineární regrese jsem určila směrnici  $A=l/k$  přímky proložené závislostí. U měření zelené čáry spektra rtuti jsem z této statistiky vyjmula první měření kvůli velké chybě.

$$A_{\text{Hg}} = (1,455 \pm 0,004) \mu\text{m}$$

$$A_{\text{He-Ne}} = (1,679 \pm 0,007) \mu\text{m}$$

Z těchto hodnot jsem určila střední hodnotu  $l$  a dosadila do vztahu (1) pro výpočet vlnové délky.

$$\lambda_{\text{Hg}} = (563 \pm 70)\text{nm}$$

$$\lambda_{\text{He-Ne}} = (652 \pm 70)\text{nm}$$

#### **Fabryho-Perotův interferometr**

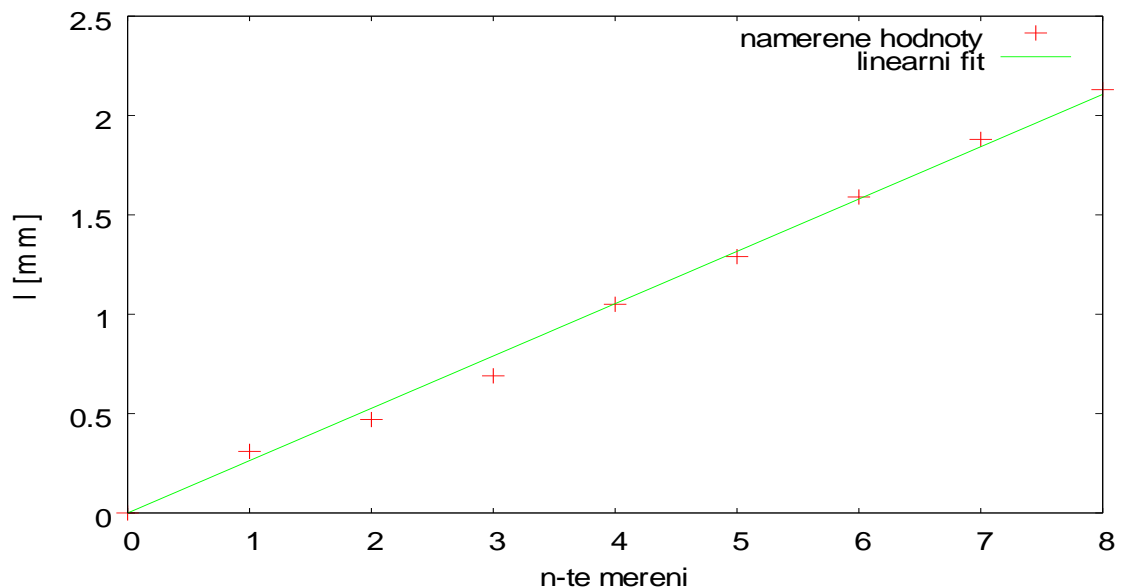
Pozorovala jsem interferenční kroužky při zvětšování vzdálenosti mezi polopropustnými zrcadly. Odečítala jsem polohu zrcadel v okamžiku, kdy kroužky dvou čar se navzájem překrývaly. Naměřené hodnoty jsou v tabulce II.

**Tabulka II – Polohy zrcadel Fabry-Perotova interferometru při překryvu interf. Kroužků**

	$l_1$ [mm]	$l_2$ [mm]	$l$ [mm]
1	2,10	2,41	0,31
2	2,41	2,57	0,26
3	2,57	2,79	0,22
4	2,79	3,15	0,36
5	3,15	3,39	0,24
6	3,39	3,69	0,30
7	3,69	3,98	0,29
8	3,98	4,23	0,25

Najít správnou chvíli, kdy se proužku ze dvou sodíkových spektrálních čar překrývaly nebylo jednoduché. Proto uvažuji chybu určení polohy zrcadla  $\pm 0,05\text{mm}$ .  
Výsledné hodnoty jsem zpracovala do grafu II.

**Graf II – Měření rozdílu vlnových délek sodíkového dubletu**



Z grafu jsem určila směrnici  $A$  lineárního fitu dané závislosti. Tím jsem získala hodnotu  $l$  ze vztahu (3). Podle tohoto vztahu jsem pak dále vypočetla vzdálenost spektrálních čar sodíkového dubletu.

Při výpočtu vzdálenosti spektrálních čar sodíkového dubletu jsem použila hodnotu ze zadání:

$$\lambda_s = 589,3 \text{ nm}$$

$$A = (0,263 \pm 0,003) \text{ mm}$$

$$\Delta\lambda = (0,66 \pm 0,03) \text{ nm}$$

#### Diskuze

Při měření Michelsonovým interferometrem je celkem velká chyba měření způsobená nepřesným odpočítáním padesáti prošlých proužků. Tuto chybu odhaduji na  $\pm 0,01\text{mm}$ . Další chybu vneseme při zpracování, kdy převodní koeficient  $M$  mezi posunem šroubu a zrcátka se pohybuje v rozmezí  $5 - 5,2$ . Mikrometrický šroub má rozsah  $2\text{cm}$ . Při této hodnotě je  $M$  maximální. Tedy odhaduji, že při např. naměřené hodnotě  $15\text{mm}$  by mělo být  $M=5,15$ . Z důvodu této úvahy jsem při měření zelené spektrální čáry rtuti použila  $M=5,17$  a pro He-Ne laser  $M=5,15$ .

Naměřené hodnoty jsem nechala fitovat programem Gnuplot, který vypočetl danou směrnici. Z té jsem pak určila výslednou hodnotu. Toto zpracování je podle mého názoru přesnější než statistické zprůměrování. Hodnota chyby u výsledné veličiny je určena z kvadratického zákona o přenosu chyb.

Při měření zelené čáry rtuti byl před výbojku umístěn zelený filtr, který propouštěl pouze světlo o vlnové délce  $\lambda_{\text{Hg-zelena}} = 546,1 \text{ nm}$ . V rámci chyby se s touto hodnotou shodují. (Z této známé hodnoty jsem zkusila vypočítat ideální převodový koeficient  $M$ . Vyšlo mi  $M=5,33$ . Tato hodnota není povolena, proto se držím předešlé úvahy o určení  $M$ .)

Při měření s Fabryho-Perotovým interferometrem jsem měla největší problém s rozlišením maxima. Hledala jsem místo, kdy se kroužky obou čar překrývají. Bylo to ovšem velice těžko rozlišitelné. Z počátku jsem naměřila pouze každé druhé maximum. Proto chybu měření odhaduji na  $\pm 0,07\text{mm}$ . Přes tuto skutečnost je z grafu II vidět, že se závislost celkem dobře shoduje s lineárním fitem. Dle [2] je hodnota  $\Delta\lambda = 0,596$ . V rámci chyby se mnou naměřená hodnota s touto shoduje. Hodnota této chyby je opět určena pomocí kvadratického zákona o přenosu chyb.

### *Závěr*

V dané úloze jsem se seznámila s praktickým využitím Michelsonova a Fabryho-Perotova interferometru.

Naměřila jsem vlnovou délku zelené čáry spektra rtuti:  $\lambda_{Hg} = (563 \pm 70)nm$

Naměřila jsem vlnovou délku He-Ne laseru:  $\lambda_{He-Ne} = (652 \pm 70)nm$

Zjistila jsem vzdálenost spektrálních čar sodíkového dubletu:  $\Delta\lambda = (0,66 \pm 0,03)nm$

### *Použitá literatura*

[1] I. Pelant a kolektiv: Fyzikální praktikum III, Optika; matfyzpress, 2005

[2] J. Mikulčák a kolektiv: Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro SŠ; Prometheus, 1988