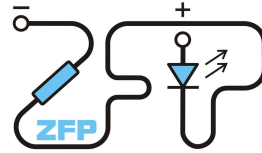


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum ...



Úloha č.

Název úlohy:

Jméno: Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření: Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 3	
Teoretická část	0 - 2	
Výsledky a zpracování měření	0 - 9	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:

dne:

Pracovní úkoly

1. S použitím zelené čáry rtuti okalibrujte pákový převod Michelsonova interferometru. Měřte od polohy mikrometru 15 mm směrem k vyšším hodnotám.
2. Michelsonovým interferometrem změřte vlnovou délku He–Ne laseru.
3. Fabryho-Perotovým interferometrem změřte vzdálenost spektrálních čar sodíkového dubletu.
4. Všechna měření proveďte metodou postupných měření a zpracujte lineární regresí. Stanovte chybu vlnových délek získaných lineární regresí.

[1]

Teorie

Cílem práce je jednak určit vlnovou délku světla He-Ne laseru za pomoci Michelsonova interferometru kalibrovaného podle zelené spektrální čáry Hg, a také určit rozdíl vlnových délek dvou spektrálních čar sodíkového dubletu.

Pro zpřevodovaný Michelsonův interferometr (tedy ten, u něhož hodnota na stupnici přesně neodpovídá dráhovému rozdílu obou paprsků) platí tento vztah:

$$\ell = \frac{\lambda M}{2}k + \ell_0, \quad (1)$$

kde ℓ je vzdálenost na stupnici, λ je vlnová délka měřeného světla, k je ordinální číslo naměřeného maxima a M , ℓ_0 jsou konstanty takové, aby $(\ell - \ell_0)M$ byl skutečný dráhový rozdíl paprsků).[2] Závislost $\ell(k)$ je zřejmě lineární, proto lze konstanty určit lineární regresí. V práci nejprve určíme koeficient M pomocí známé vlnové délky spektrální čáry Hg: $\lambda = 546,0735$ nm. Předpokládáme, že je M na měřeném intervalu konstantní. Následně proměříme maxima helium-neonového laseru, opět zpracujeme lineární regresí a s pomocí M vypočítáme vlnovou délku světla.

Pro Fabry-Perotův interferometr platí vztah:

$$\ell = \frac{\lambda_s^2}{2\Delta\lambda}k + \ell_0, \quad (2)$$

kde ℓ je vzdálenost na stupnici, ℓ_0 je aditivní konstanta zabraňující systematické chybě odečtu vzdálenosti, λ_s je (geometrický) průměr vlnových délek dvou blízkých spektrálních čar a $\Delta\lambda$ je jejich rozdíl.[2] Proměnná k značí v celočíselných hodnotách ordinální číslo naměřeného maxima. Naopak n -tému minimu odpovídá $k = n + \frac{1}{2}$. Průměrná vlnová délka sodíkového dubletu je přibližně $\lambda_s = 589,3$ nm.[2] Výsledky měření opět zpracujeme lineární regresí a díky znalosti λ_s vypočítáme ze směrnice požadované $\Delta\lambda$.

Chyby měření mohly být dány nepřesností lidského oka i přehlédnutím některého maxima. Protože se tyto jevy obtížně kvantifikují, považovali jsme chyby měření za neznámé a určili jsme až chybu směrnice lin. regrese jako ASE (asymptotickou standardní chybu). Pro výpočet chyb

konkrétních veličin ze směrnice jsme použili zákon o přenosu relativních chyb při násobení a dělení.

Protože jsme každou ze závislostí proměřovali několikrát a samotné „přetočení“ zpátky na nulu bylo zatíženo nezanedbatelnou chybou, bylo nutné udělat lineární regresi pro každou sérii naměřených bodů samostatně.¹ Tím vyšla pro každou sérii měření jedna směrnice s nějakou asymptotickou standardní chybou. Výslednou směrnici jsme potom určili váženým průměrem těchto směrnic, kde jejich váhy byly jejich respektivní reciproké variance (inverzní hodnota čtverce chyby). Variance výsledné hodnoty potom byla inverzní hodnota součtu reciprokových variancí.[3]

$$a = \frac{\sum_i a_i \sigma_i^{-2}}{\sum_i \sigma_i^{-2}}, \quad \sigma = \left(\sum_i \sigma_i^{-2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Výsledky měření

Pomůcky

- Michelsonův interferometr
- Fabry-Perotův interferometr
- Rtuťová výbojka
- Sodíková výbojka
- He-Ne laser
- Tap counter

Naměřené hodnoty

Nejprve bylo provedeno měření na Michelsonovu interferometru. Protože bylo potřeba spočítat velké množství maxim, chybu lidského faktoru jsme se pokusili eliminovat použitím tzv. tap counteru, tedy počítadla klepnutí. To je jednoduchá aplikace, která počítá, kolikrát experimentátor ťuknul na obrazovku telefonu. Stačilo tedy pouze zvětšovat ℓ a při průjezdu každým maximem klepnout, a po řádově 50ti maximech zastavit, zapsat hodnotu ℓ na stupnici interferometru a k v tap counteru.

Měření pro zelenou spektrální čáru rtuti bylo provedeno třikrát a naměřené hodnoty jsou společně s vypočtenou převodní konstantou M v tabulce /1/. Měření helium-neonového laseru proběhlo dvakrát a naměřené hodnoty jsou společně s určeným λ v tabulce /2/.

Následně proběhlo měření sodíkového dubletu Fabry-Perotovým interferometrem. Při měření jsme začínali na prvním minimu a pokračovali až do čtvrtého maxima, pro větší ℓ už nebylo

¹Protože bylo přetočení na začátek zatíženo chybou, bylo technicky nemožné začít měřit vždy od stejného ℓ_0 . A protože byla ℓ_0 pro různá měření různá, nejednalo se o stejnou závislost a volba počátku by ovlivnila výsledek lineární regrese, ačkoliv se jedná o volbu zcela arbitrární, která nemá žádný fyzikální význam.

pouhým okem možné určit přesnou polohu maxim a minim. Měření bylo provedeno dvakrát, při druhém měření experimentátor „prošvihl“ druhé a třetí minimum a v zájmu zabránění vzniku systematické chyby už se k nim nevracel.² Naměřené hodnoty společně s vypočteným $\Delta\lambda$ byly zapsány do tabulky /3/.

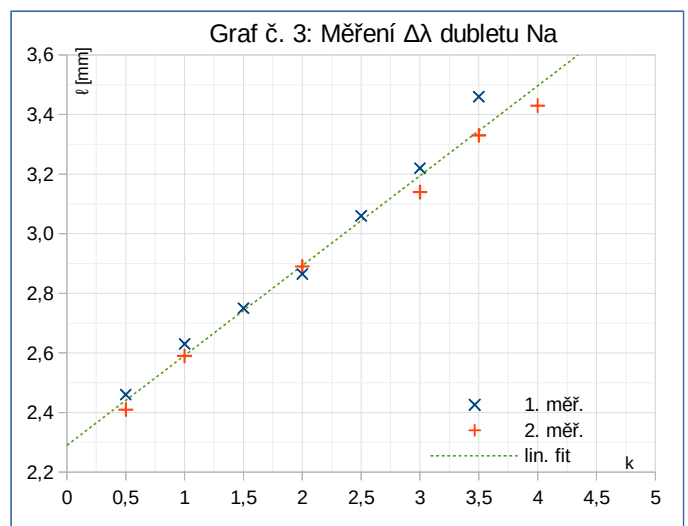
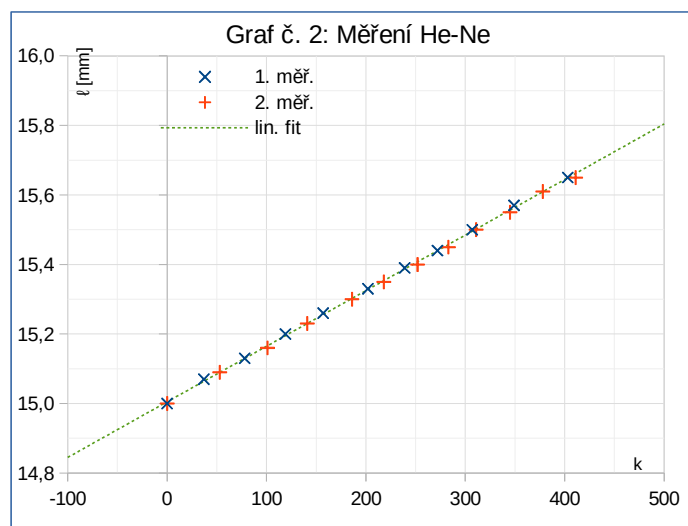
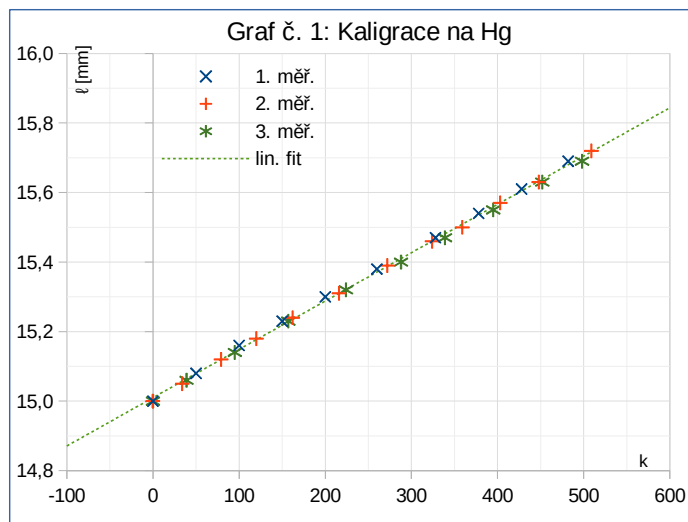
Data z tabulek /1/ až /3/ byly zaneseny do grafů č. 1 až č. 32. Směrnice lineární regrese byla určena přes reciproké variance postupem popsáním v teorii. Absolutní hodnota lineárního fitu nebyla pro žádné výpočty potřeba, proto byla v grafu pouze odhadnuta – posunutí přímky zde nemá žádný fyzikální význam.

²Posuvný šroub Fabry-Perotova interferometru měl velkou vůli, při otočení zpátky by se tudíž změnilo ℓ_0 a naměřené hodnoty by odpovídaly jiné závislosti.

/1/ Mich., Hg – zelená	
k	l [mm]
0	15,00
50	15,08
100	15,16
150	15,23
200	15,30
260	15,38
328	15,47
378	15,54
428	15,61
482	15,69
0	15,00
34	15,05
79	15,12
120	15,18
162	15,24
216	15,31
272	15,39
324	15,46
359	15,50
403	15,57
448	15,63
509	15,72
0	15,00
39	15,06
95	15,14
157	15,23
224	15,32
288	15,40
339	15,47
395	15,55
452	15,63
498	15,69
M	
5,09 ± 0,02	

/2/ Mich., He-Ne	
k	l [mm]
0	15,00
37	15,07
78	15,13
119	15,20
157	15,26
202	15,33
239	15,39
272	15,44
307	15,50
349	15,57
403	15,65
0	15,00
53	15,09
101	15,16
141	15,23
186	15,30
218	15,35
252	15,40
283	15,45
311	15,50
345	15,55
378	15,61
411	15,65
λ [nm]	
628 ± 3	

/3/ Fabry-Perot	
k	l [mm]
0,5	2,46
1,0	2,63
1,5	2,75
2,0	2,87
2,5	3,06
3,0	3,22
3,5	3,46
4,0	3,63
0,5	2,41
1,0	2,59
2,0	2,89
3,0	3,14
3,5	3,33
4,0	3,43
$\Delta\lambda$ [nm]	
0,58 ± 0,01	



Diskuse výsledků

Při měření Michelsonovým interferometrem jsme předpokládali konstantnost převodního faktoru M , z linearity naměřeného vztahu lze usoudit, že bylo M na pozorovaném intervalu skutečně konstantní. Systematická chyba způsobená tím, že neznáme polohu nultého maxima, nebo tím, že nepřesně nastavíme počáteční bod $\ell = 15$ mm byla eliminována použitím absolutního členu ℓ_0 . Náhodné chyby byly kvantifikovány díky mnohonásobnému měření. Naměřená hodnota $\lambda = 628 \pm 3$ nm se s tabulkovou hodnotou $\lambda = 632,8$ nm neshoduje na 1σ , na 2σ ale už ano.

Při měření Fabry-Perotovým interferometrem mohla vzniknout systematická chyba způsobená vůlí posuvného šroubu a neznalostí přesné polohy nultého maxima, tyto chyby byly ale eliminovány použitím absolutního členu ℓ_0 . Naměřená hodnota $\Delta\lambda = 0,58 \pm 0,01$ nm není ve shodě s tabulkovou hodnotou $\Delta\lambda = 0,6$ nm při konfienčním intervalu 1σ , na 2σ ale už ano.

Závěr

Naměřená vlnová délka He-Ne laseru

$$\lambda = 628 \pm 3 \text{ nm} \quad (4)$$

se na 2σ shoduje s tabulkovou hodnotou.

Naměřený rozdíl vlnových délek dvou čar sodíkového dubletu

$$\Delta\lambda = 0,58 \pm 0,01 \text{ nm} \quad (5)$$

se na 2σ shoduje s tabulkovou hodnotou.

Literatura

- [1] KUDRNOVÁ, Hana et al. (8) Měření vlnových délek světla interferometry *Základní fyzikální praktikum: ... vše o fyzikálním praktiku najdete právě na těchto stránkách* [online]. Praha, 10. 7. 2017 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/zadani/308>
- [2] *4.1 Měření vlnových délek světla interferometry* [online]. [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_308.pdf
- [3] Inverse-variance weighting. *Wikipedia: The Free Encyclopedia* [online] [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Inverse-variance_weighting