

Úloha 23

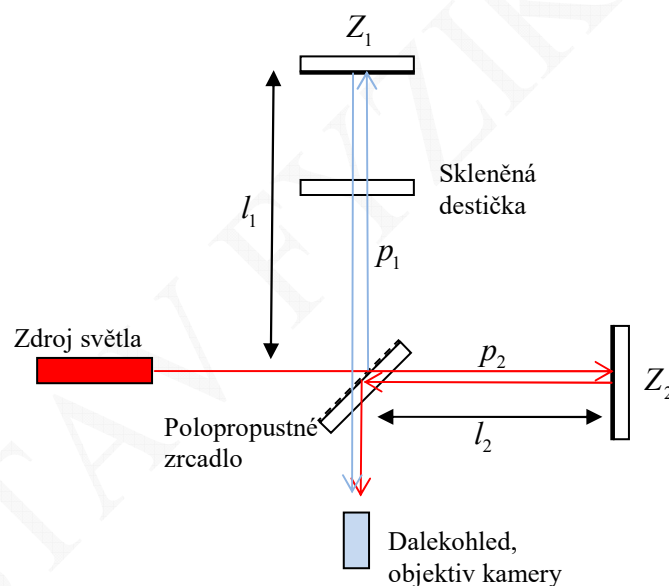
Měření vlnových délek Michelsonovým interferometrem

Zadání

- 1) Určete hodnotu konstanty pákového převodu p a její nejistotu pomocí světla známé vlnové délky He-Ne laseru.
- 2) Určete vlnovou délku žluté čáry spektra sodíku a její nejistotu.
- 3) Změřte rozdíl vlnových délek sodíkového dubletu.

Teorie

Jedním z nejjednodušších, ale současně nejdůležitějším typem interferometru je interferometr Michelsonův, jehož schéma je na obr.1. Michelsonův interferometr můžeme například použít k měření vlnových délek, či měření indexu lomu látek apod.



Obr. 1 Schematické uspořádání Michelsonova interferometru

Paprsek ze zdroje světla dopadá na polopropustné zrcadlo (slabě postříbřená skleněná destička) pod úhlem 45° , které paprsek rozdělí na dva paprsky p_1, p_2 (část světla se odrazí a část projde). Paprsek p_1 se odrazí od zrcadla Z_1 a paprsek p_2 se odrazí od zrcadla Z_2 . Oba paprsky se znovu setkají díky polopropustnému zrcadlu a dopadají spolu do dalekohledu, kterým se dívá pozorovatel. V našem případě je dalekohled nahrazen kamerou. Tyto paprsky budou spolu interferovat. Výsledek interference bude záviset na drahách paprsků p_1, p_2 . Ještě si musíme uvědomit, že paprsek p_2 prošel přes polopropustné zrcadlo celkem 3x, kdežto p_1 jen jednou. Z tohoto důvodu vložíme do cesty paprsku p_1 skleněnou destičku o stejné

tloušťce jako má polopropustné zrcadlo. Podmínka pro interferenci je pak dána vzdálenostmi mezi zrcadly Z_1 , Z_2 a polopropustným zrcadlem. Paprsky tyto vzdálenosti urazí tam i zpět a tedy dráhový rozdíl paprsků je $\delta = 2l_2 - 2l_1$.

Podmínka pro interferenční maximum je dána vztahem $\delta = k\lambda$ (k je celé číslo). V tomto případě bychom viděli světlý střed zorného pole v dalekohledu. Podmínka pro interferenční minimum je $\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ (k je celé číslo). V tomto případě bychom viděli tmavý střed zorného pole. V případě, že jedno zrcadlo není kolmé na dopadající paprsek, či svazek světla ze zdroje se mírně rozšiřuje, pozorujeme v zorném poli buď interferenční proužky, či kroužky. Posuneme-li jedno zrcadlo o $\frac{\lambda}{4}$, pak se dráhový rozdíl se změní o $\frac{\lambda}{2}$ a z interferenčního maxima se stane minimum a opačně. Plynulým posouváním jednoho ze zrcadel pak můžeme pozorovat efekt posunu proužků, či kroužků. Posuneme-li zrcadlo Z_2 o vzdálenost Δz a k tomu spočítáme odpovídající počet světlých proužků k prošlých zaměřovacím bodem na obrazovce monitoru, můžeme snadno určit vlnovou délku použitého záření λ pomocí vztahu

$$2\Delta z = k\lambda, \quad (1)$$

kde λ je vlnová délka použitého světla.

Vzhledem k tomu, že posun zrcadla je nutno provádět a měřit v řádech hodnot vlnové délky je mezi posuvem zrcadla a posunovacím mikrometrem pákový mechanismus s konstantou převodu p . Odečtený posuv na mikrometrickém šroubu neodpovídá tedy přímo posuvu zrcadla Z_2 , ale pro posuv zrcadla Δz proto musíme určit konstantu pákového převodu p . Změna posuvu mikrometru o Δl souvisí se změnou polohy zrcadla Z_2 o Δz podle vztahu

$$\Delta l = p\Delta z, \quad (2)$$

tedy

$$\Delta z = \frac{\Delta l}{p}. \quad (3)$$

Po úpravě vztahů (1) a (2) či (3) získáme pro výpočet konstanty pákového převodu vztah

$$p = \frac{2\Delta l}{k\lambda}, \quad (4)$$

a opačně pro vlnovou délku světla vztah

$$\lambda = \frac{2\Delta l}{pk}. \quad (5)$$

Měření

V prvním úkolu pro určení konstanty pákového převodu použijeme He-Ne laser jako zdroj monochromatického záření o známé vlnové délce $\lambda = 632,8 \text{ nm}$. Měření provádíme metodou následných měření a to tak, že vždy po 20-ti světlých interferenčních proužcích ($k = 20$), které projdou značkou na monitoru, odečteme údaj l_i na mikrometrickém šroubu. Naměřené hodnoty l_i v závislosti na pořadovém čísle i (lineární závislost) se zpracují metodou nejmenších čtverců a směrnice této proložené přímky je pak hodnotou Δl , kterou dosazujeme do vztahu (4) k výpočtu konstanty pákového převodu.

V druhém úkolu ke stanovení vlnové délky neznámého zdroje (určujeme vlnovou délku žluté čáry sodíkového spektra) postupujeme obdobně. Měření provádíme opět s využitím metody následných měření. Po průchodu 20-ti světlých interferenčních proužků ($k = 20$), odečteme údaj na mikrometru l'_i . Naměřené hodnoty l'_i v závislosti na pořadovém čísle i se zpracují metodou nejmenších čtverců, směrnice této proložené přímky je pak hodnotou $\Delta l'$, kterou dosazujeme do vztahu (5) k výpočtu vlnové délky světla λ neznámého zdroje.

V třetím úkolu při stanovení rozdílu vlnových délek λ_1 a λ_2 čar žlutého dubletu sodíkového spektra je nutné si uvědomit, že každá čára sodíkového dubletu vytváří své interferenční pole (maxima a minima). Zvětšujeme-li postupně vzdálenost zrcadla Z_2 pozorujeme výrazné změny intenzity výsledného interferenčního pole (světlé proužky se zvýrazňují či zcela se ztrácejí). Toto je způsobeno splynutím maxim či minim obou interferenčních polí.

Při praktickém provedení odečteme polohu několika za sebou následujících splynutí a lineární závislost této vzdálenosti s_j na pořadovém čísle j zpracujeme metodou nejmenších čtverců.

Směrnici této vyrovnané přímky s poté dosadíme do vztahu:

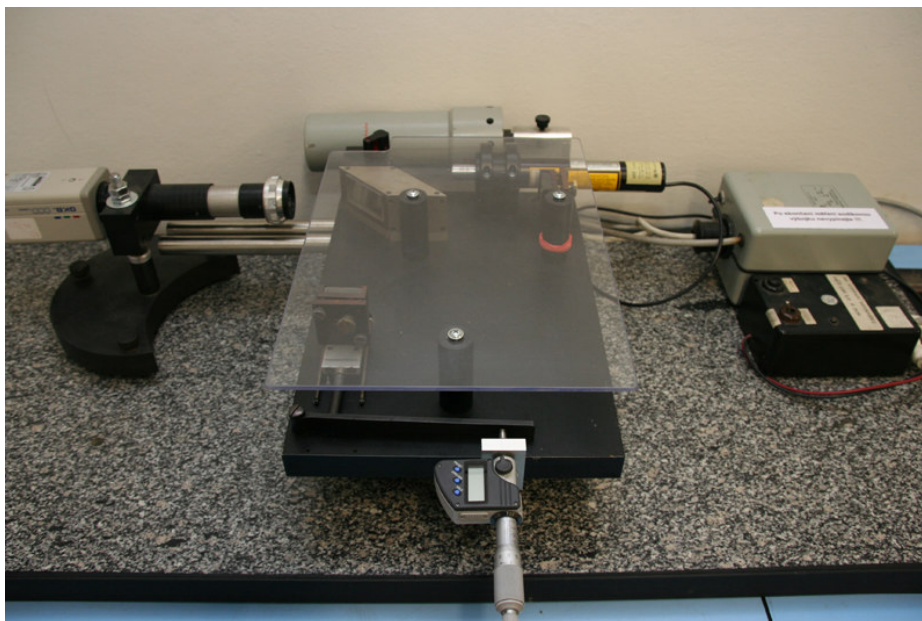
$$\lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda^2 p}{2s}, \quad (6)$$

kde hodnota vlnové délky λ je získána z předcházejícího měření.

Orientační hodnota konstanty pákového převodu činí $p = (6,28 \pm 0,03)$.

Spektrální čáry sodíku

Relativní intenzita	Vlnová délka [nm]
30	330,237
15	330,298
2000	588,995
1000	589,592
110	818,326
220	819,482



Obr. 2 Fotografie pracoviště úlohy

Nejistoty měření

Zdrojem nejistoty hodnoty pákového převodu je nepřesnost stanovení hodnoty Δl , určené vyrovnáním naměřených hodnot l_i v závislosti na počtu měření i pro He-Ne laser. Jedná se o nejistotu typu A, která je rovna směrodatné odchylce směrnice lineární závislosti

Relativní nejistota pákového převodu při zanedbání chyby v určení vlnové délky laseru je rovna

$$u_{rpA} = u_{r\Delta lA} \cdot \quad (7)$$

Relativní nejistotu měřené vlnové délky λ žluté čáry (přesněji řečeno měříme průměrnou vlnovou délku žlutého dubletu sodíkové výbojky) $u_{r\lambda A}$ určíme pomocí vztahu pro relativní nejistotu podílu přímo měřených veličin $\Delta l'$ a p . Pro relativní nejistotu typu A vlnové délky λ získáme vztah

$$u_{r\lambda A} = \sqrt{u_{rpA}^2 + u_{r\Delta l'A}^2} \cdot \quad (8)$$

Relativní nejistotu typu A rozdílu vlnových délek sodíkového dubletu určíme opět jako součet relativních nejistot typu A veličin λ , s , p . Nejistotu typu A u veličiny s určíme ze směrodatné odchylky směrnice vyrovnávající přímky s_j na pořadovém čísle j . Výslednou relativní nejistotu v určení vzdálenosti sodíkového dubletu určíme pomocí vztahu:

$$u_{r(\lambda_1-\lambda_2)A} = \sqrt{4u_{r\lambda A}^2 + u_{rsA}^2 + u_{rpA}^2} \quad (9)$$

Literatura: Kohout Z., Budinská Z., Králová R., Pospíšil J., Bláhová I., Solar M.: *Laboratorní cvičení z fyziky*. 1vyd. Praha: ČVUT 2003.