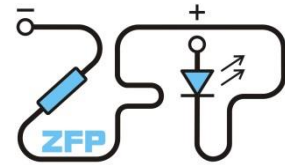


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

## Fyzikální praktikum ...



Úloha č. 20.

Název úlohy: Stavba Michelsonova interferometru a ověření jeho funkce

Jméno: Katarína Križanová

Obor: FOF

Datum měření: 10/03/2017

Datum odevzdání: .....

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
<b>Celkem</b>	max. 20	

Posuzoval:.....

dne: .....

## I. Pracovní úloha

1. Změřte divergenci laserového svazku. Průměry svazku změřte na milimetrovém papíru i měřičem profilu svazků a obě metody porovnejte.
2. Sestavte Galileův teleskop. Změřte, kolikrát rozšiřuje průměr svazku a výsledek porovnejte s výpočtem rozšíření ze známých ohniskových délek čoček.
3. Sestavte Michelsonův interferometr. Vysvětlete princip vzniku interferenčních proužků.

Pozorujte, popište a vysvětlete změny v interferenčním obrazci při:

- a) naklánění zrcadla Z4,
- b) posunu zrcadla Z3 mikrometrickým šroubem,
- c) vkládání skla do svazku ve čtyřech polohách kolem děliče svazku a ohřátí vzduchu v různých místech průchodu svazku.

## II. Teoretická část

### Divergencia svazku

Priemer svazku lineárne rastie pri zväčšujúcej sa vzdialenosti od výstupného otvoru laseru. Divergencia (rozbiehavosť) svazku  $d$  je definovaná vzťahom

$$d = \frac{D_2 - D_1}{s}, \quad (1)$$

Kde  $D_1$  je priemer svazku pri výstupe a  $D_2$  je priemer svazku vo vzdialenosti  $s$  od výstupu laseru.

Minimálnu teoretickú divergenciu, ktorá je určená ohybom svetla, môžeme vypočítať ako (plynie z [1])

$$d_{min} \approx \frac{2\lambda}{D_1}, \quad (2)$$

pričom  $\lambda$  je vlnová dĺžka svetla generovaného laserom.

### Galileov teleskop

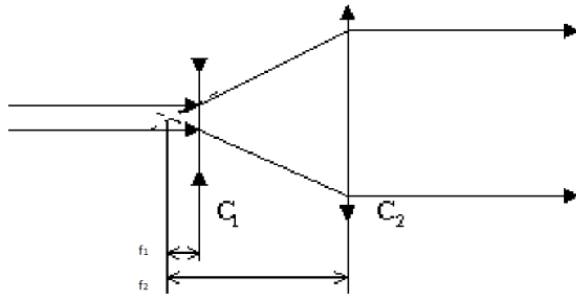
K rozšíreniu laserového svazku môžeme použiť Galileov teleskop, keďže pre Michelsonov interferometer je potrebné, aby mal svazok väčší priemer.

V Galileovom teleskope je usporiadanie dvoch šošoviek, jednej rozptylky  $C_1$  a jednej spojky  $C_2$ . Teleskop je načrtnutý na obrázku 1 prevzatého z [1].

Pre zväčšenie Galileovho teleskopu  $Z$  platí vzťah [2]

$$Z = -\frac{f_2}{f_1}, \quad (3)$$

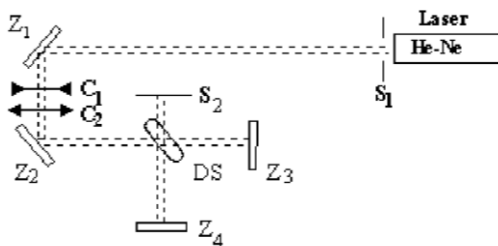
Pričom  $f_1$  a  $f_2$  sú ohniskové vzdialenosti šošoviek.



Obrázok 1: Galileov teleskop

### Michelsonov interferometer

Schéma usporiadania pre Michelsonov interferometer je na obrázku 2 prevzatého z [1]. Vďaka rozdielu optických dráh je možné pozorovať na tienitku  $S_2$  pružky rovnakej hrúbky.



Obrázok 2: Usporiadanie Michelsonovho interferometru

## III. Výsledky merania

### 3.1 Divergencia zväzku

Priemery zväzku laseru pri otvore laseru a v určitej vzdialenosti som zmerala dvoma metódami.

#### 3.1.1 Milimetrový papier

Najprv som zisťovala priemer zväzku za pomoci milimetrového papiera. Chyby merania som určila na základe možnosti presného odčítania hodnôt. V tabuľke T1 sú namerané hodnoty. Podľa vzorca (1) dostávam hodnotu divergencie dosadením priemerných hodnôt. Chybu som určila metódou prenosu chýb z [3]. Hodnota divergencie  $d = (1,97 \pm 0,21) \cdot 10^{-3}$ .

T1: Namerané hodnoty priemerov zväzkov vo vzájomnej vzdialenosti metódou

D2 [mm]	D1 [mm]	s [m]
6±0,5	1±0,5	2,24±0,01
	2±0,5	1,85±0,01
	2±0,5	2,18±0,01
	2±0,5	2,35±0,01

#### 3.1.2 Merač profilu

Priemery zväzku som tiež určovala za pomoci merača profilu zväzku, tzv. Beam profileru. Tento prístroj premieňa dopadajúce svetlo na energiu elektrického signálu a

veľkosť zväzku som odčítala na obrazovke počítača. Program mi dokonca vypísal veľkosti poloos zväzku (nešlo presne o kružnicu, ale o elipsu, ktorá sa veľmi blížila kružnici). Vzďialenosť s som predĺžila vďaka odrazu od zrkadielka. Hodnoty namerané detektorom sú v tabuľke T2 aj spolu s dopočítanými priemermi zväzku, ktoré som brala ako priemernú hodnotu malej a veľkej poloosy a divergenciou vypočítanou podľa vzťahu (1).

T2: Priemery zväzku zistené meračom profilu a dopočítaná divergencia

a1 [μm]	b1 [μm]	D1 [μm]	a2 [μm]	b2 [μm]	D2 [μm]	s [cm]	d.10 <sup>-3</sup>
854	920	887	870	1150	1010	19,0±0,5	0,65
			1588	1510	1549	32,5±0,5	2,04
			1720	1752	1736	60,2±0,5	1,41

### 3.1.3 Minimálna divergencia

Minimálnu divergenciu som dopočítala podľa vzťahu (2). Jej približná hodnota je  $d_{min} \approx 1,43 \cdot 10^{-3}$  pri vlnovej dĺžke  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ . Porovnaním hodnôt divergencie v tabuľke T2 s približnou hodnotou  $d_{min}$  zistujem, že prvá hodnota je zásadne menšia a preto ju nepočítam do výslednej divergencie, ktorú som spočítala ako priemer dvoch zistených hodnôt. Divergencia zistená deličom zväzku teda je  $d = (1,72 \pm 0,44) \cdot 10^{-3}$ . Chybu beriem ako smerodajnú odchýlku.

### 3.2 Galileov teleskop

Schéma Galileovho teleskopu je na obrázku 1. Zmerala som za pomoci milimetrového papiera priemer zväzku po zväčšení, hodnota je  $D_z = (1,70 \pm 0,05) \text{ cm}$ . Zväčšenie som vypočítala podľa vzťahu  $Z = \frac{D_z}{D_1}$ , dostávam teda výsledok  $Z = (19,7 \pm 7)$ . Chybu som stanovila ako maximálnu podľa [3]. Teoretická hodnota zväčšenia Galileovho teleskopu môže byť určená vďaka znalosti ohniskových vzdialeností,  $f_1 = -25 \text{ mm}$ ,  $f_2 = 200 \text{ mm}$ . Teoretická hodnota zväčšenia vypočítaná podľa (3) je  $Z_{teor} = 8$ .

### 3.3 Michelsonov interferometer

Podľa obrázku 2 som zostavila Michelsonov interferometer a pozorovala som interferenčný obrazec na tienitku S2.

Svetelné zväzky sú v pevných miestach v pevných fázových závislostiach, to znamená že sú na sebe závislé. V určitých bodoch môže byť intenzita menšia, prípadne väčšia než len súčet intenzít. Maximá vznikajú v miestach, kde je dráhový rozdiel rovný celistvému násobku  $\lambda$ . Minimá zas vznikajú tam, kde dráhový rozdiel je rovný celistvému násobku  $\lambda/2$ .

Na tienitku som pozorovala pružky rovnakej hrúbky s konštantným fázovým rozdielom (viď obrázok 3). Pozorovala som zmeny v interferenčnom obraze pri zmenách v nastavení.

Nakláňaním zrkadla Z4 som dosiahla rozširovanie, prípadne úženie pružkov. Taktiež som vypožorovala zmenu naklonenia pružkov. K tomuto javu došlo pretože dráhový rozdiel v rôznych miestach bol rôzny.

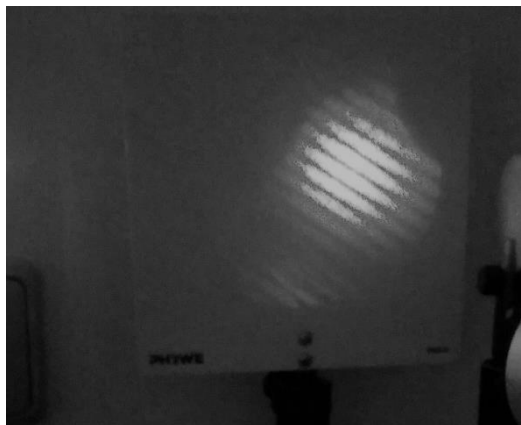
Posunom zrkadla Z3 za pomoci mikrometrického šróbu som pozorovala posun čiar. Najmenšiu zmenu, ktorú som mohla zaznamenať bola  $\lambda/4 \sim 150 \text{ nm}$ . Presnosť

som mohla teoreticky zväčšiť použitím iného laseru, ktorý by bol zdrojom svetla s inou vlnovou dĺžkou alebo viacnásobným odrazom.

Následne som vkladala dve sklíčka s rozdielnymi hrúbkami okolo deliča zväzku. Pri hrubšom sklíčku som vyzorovala, že z jednej strany vznikali na tienitku tenšie prúžky a pretočením sklíčka na druhú stranu vznikali zas hrubšie prúžky. Obrázec sa deformoval kvôli nedokonalostiam sklíčka, tj. Sklíčko malo rôznu hrúbku v rôznych miestach. Vkladaním tenšieho sklíčka do zväzku som pozorovaním interferenčného obrazu zistila, že by bolo možné zistiť touto metódou šírku materiálu, na ktorú zväzok dopadá.

Potom som skúmala závislosť interferenčného obrazu na teplote. Najprv som priložila ku zväzku ohriate ruky. Už vtedy som spozorovala deformáciu obrazca, prúžky boli deformované. Deformácia prúžkou bola ešte znateľnejšia pri priložení rozpálenej sviečky ku zväzku. Usúdila som, že je tomu tak vďaka závislosti indexu lomu na teplote a teda kvôli tomuto dochádzalo i ku zmene optickej dráhy.

Nakoniec som do zväzku vložila šedý filter a overila som, že po vložení prúžky zmiznú, čo dokazuje, že na pozorovanie interferenčného obrazca potrebujem paprsky s približne rovnakou intenzitou, pretože inak by bol odraz na tienitku jednoliaty a nebolo by možné nič pozorovať.



Obrázok 3: Michelsonov interferometer: prúžky viditeľné na tienitku

#### IV. Diskusia výsledkov

Meranie divergencie bolo zaťažené veľkou chybou. Za prvé som predpokladala lineárnu závislosť. Za druhé obe typy meraní mali ešte ďalšie nepresnosti. Pri meraní s milimetrovým papierom boli odčítané hodnoty okom, pri meraní pomocou merača profilu zväzku zas bola zaznamenávaná iba hodnota intenzity, ktorá mala určitú minimálnu veľkosť. Meranie divergencie by bolo možné zlepšiť zväčšením vzdialenosti  $s$ , no to bohužiaľ podmienky laboratória nedovoľovali.

Divergencia nameraná za pomoci milimetrového papiera je o niečo väčšia než teoretická minimálna divergencia, čo bolo i očakávané.

Namerané zväčšenie Galileovho teleskopu sa nezhoduje ani v rámci chyby s teoretickou hodnotou. Došlo pravdepodobne k príliš veľkej nepresnosti merania zapríčinenou odčítaním priemeru zväzku.

Pozorovanie interferenčného obrazca v Michelsonovom interferometri zodpovedalo teoretickým predpokladom. Na tienitku S2 som videli prúžky rovnakej hrúbky, ktoré sa menili, keď som nakláňala zrkadlo Z4, posúvala zrkadlom Z3, vkladala sklíčka do zväzku, ohrievala vzduch či vložila do zväzku šedý filter.

Možné praktické využitie experimentu vidím či už na určenie veľmi malých dĺžok, hrúbky materiálu alebo i meraní teploty, keďže práve teplota ovplyvňuje index lomu, čo som i experimentálne overila pri pozorovaní deformácii prúžkou v Michelsonovom interferometri.

## V. Záver

Zmerala som divergenciu zväzku pomocou milimetrového papiera,  $d = (1,97 \pm 0,21) \cdot 10^{-3}$  a pomocou CCD detektora,  $d = (1,72 \pm 0,44) \cdot 10^{-3}$ . Na rozšírenie zväzku som použila Galileov teleskop, ktorého teoretické zväčšenie je  $Z = (19,7 \pm 7)$  a nameraná hodnota zväčšenia je  $Z_{teor} = 8$ .

Zostavila som Michelsonov interferometer a pozorovala som interferenčný obrazec- prúžky rovnakej šírky, ktorý sa menil pri zmene teploty, naklonenia zrkadla, posune zrkadla či vloženia skla do zväzku.

## VI. Zoznam použitej literatúry

- [1] Študijný text dostupný z webových stránok Základní fyzikální praktikum:
- [2] P. Malý: Optika, Nakladatelství Karolinum, Praha 2008
- [3] J. English: Základy zpracování fyzikálních měření, Praha 2006