

**Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK**

**PRAKTIKUM III**

Úloha č.: 20

Název: Stavba Michelsonovho interferometra a overenie jeho funkcie

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk. F 11 ..... dne: 1. 3. 2006

Odevzdal dne: .....vráceno: .....

Odevzdal dne: .....vráceno: .....

Odevzdal dne: .....

---

Posuzoval: .....dne: ..... výsledek klasifikace:20 .....

Připomínky:

- komentár ku chybe  $D_1$  a  $D_2$ : „Na milimetrovom papieri sa vám skutočne podarilo unížiť chybu odčítania až na 0,2 mm.“

- v diskusii komentár ku vete ...*nedalo sa jednoznačne určiť, ktorá časť stopy laserového zväzku...*: „Ale napriek tomu sa vám podarilo rozpoznať odchýlku 200  $\mu m$ ! To je znamenitý výkon!“

- komentár ku predposlednej odrážke: Ak by sme to natočili, pozorovali by sme rovnaké efekty jako při posune jedného zo zrkadiel  $Z_3$  a  $Z_4$ .

-

## Pracovné úlohy:

1. Zmerajte divergenciu laserového zväzku.
2. Z optickej stavebnice zostavte Michelsonov interferometer. Na rozšírenie zväzku zostavte Galileov teleskop. Zo známych ohniskových vzdialeností použitých šošoviek vypočítajte, koľkokrát bude laserový zväzok rozšírený a porovnajte s nameranou hodnotou.
3. Pozorujte interferenčné krúžky pri zmene polohy zrkadla  $Z_3$ , vysvetlite pozorovaný efekt. Do jedného z interferujúcich zväzkov vložte niektoré z priložených zrkadiel. Popíšte a vysvetlite zmeny v interferenčnom obraze.

## Teoretická časť:

### Divergencia laserového zväzku

Divergencia laserového zväzku  $d$  je veličina, ktorá popisuje rozbiehavosť zväzku, teda zväčšenie jeho priemeru s rastúcou vzdialenosťou. Ak poznáme priemer tohto zväzku pri zdroji, teda pri laseri  $D_1$  a potom ešte priemer  $D_2$  v nejakej vzdialenosti  $s$  od zdroja (prípadne vzdialenosť od prvého meraného priemeru), definujeme divergenciu  $d$  (viď [1])

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

Minimálna hodnota divergencie  $d_m$  je daná ohybom svetla a môžeme ju odhadnúť ako

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

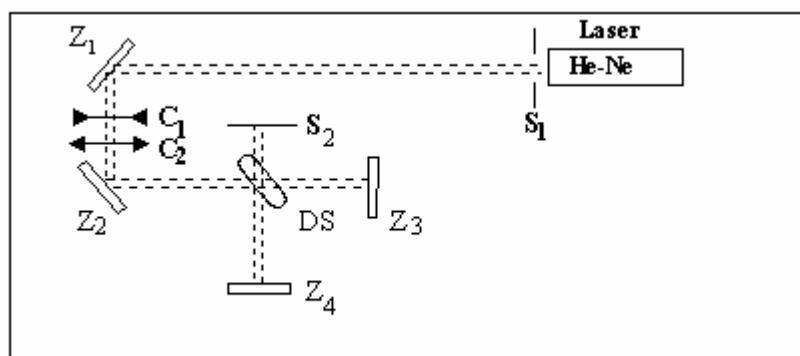
kde  $\lambda$  je vlnová dĺžka použitého svetla. Pre použitý He – Ne laser platí, viď [1]

$$\lambda = 632,8 \text{ nm}. \quad (3)$$

### Michelsonov interferometer, Galileov teleskop

Michelsonov interferometer je znázornený na obr. 1 a princíp jeho činnosti je nasledovný: Laserový zväzok je deličom zväzku  $DS$  rozdelený na dva zväzky; jeden postupuje k zrkadlu  $Z_3$  ako zväzok  $DS-Z_3$ , druhý naopak k zrkadlu  $Z_4$  ako zväzok  $DS-Z_4$ , potom sa oba zväzky vrátia k deliču  $DS$  a sú zobrazované na tienidlo  $S_2$ , kde v dôsledku rozdielnych optických dráh  $DS-Z_3$  a  $DS-Z_4$  vzniká interferencia (interferenčné pružky vznikajú natočením zrkadla  $Z_3$  a  $Z_4$ ).

Použitý laserový zväzok môžeme považovať za kvazimonochromatickú rovinnú vlnu a vytvorí teda obraz interferenčných pružkov rovnakej hrúbky.



Obrázok 1 - Schéma Michelsonovho interferometra

Galileov teleskop sa skladá z rozptylky  $C_1$  (ohnisková vzdialenosť  $f_1$ ) a spojky  $C_2$  (ohnisková vzdialenosť  $f_2$ ), pričom obrazové ohnisko prvej šošovky a predmetové ohnisko druhej šošovky je spoločné. Zväčšenie ďalekohľadu  $Z$  je dané vzťahom, viď [1]

$$Z = -\frac{f_2}{f_1}. \quad (4)$$

V tejto úlohe sa Galileov teleskop používa na rozšírenie laserového zväzku.

## Výsledky meraní:

### Divergencia laserového zväzku

Pred vloženíím rovinného zrkadla  $Z_1$  do držiaku som určil divergenciu laserového zväzku.

Šírku laserového zväzku  $D_1$  a  $D_2$  som určil pomocou milimetrového papiera, ktorý som použil ako tienidlo. Za priemer zväzku som považoval najintenzívnejšiu časť stopy zväzku. Chybu určenia šírky zväzku odhadujem podľa rozmazania na milimetrovom papieri

$$D_1 = (0,9 \pm 0,2) \text{ mm},$$

$$D_2 = (5,8 \pm 1,0) \text{ mm}.$$

Vzdialenosť  $s$  som zmeral pomocou pásového meradla – chybu odhadujem podľa prehnutia meradla

$$s = (2370 \pm 10) \text{ mm}.$$

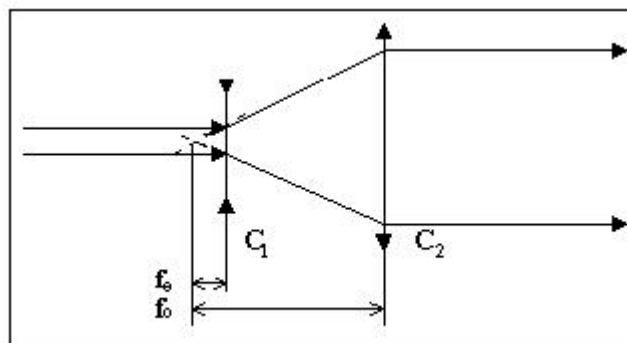
Divergenciu laserového zväzku  $d$  som určil podľa (1). Chybu  $d$  som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [2]

$$d = (2,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}.$$

Teoretická minimálna divergencia  $d_m$  je daná vzťahom (2). Pre vlnovú dĺžku  $\lambda$  použitého svetla podľa [1] platí  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ . Chybu  $d_m$  som určil na základe toho, že relatívna chyba určenia priemeru  $D_1$  je rovnaká ako relatívna chyba určenia  $d_m$ , t.j. platí

$$d_m = (1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}.$$

### Galileov teleskop



Obrázok 2 - Galileov teleskop

Na zostavenie Galileovho teleskopu (obrázok 2) som použil dve šošovky s ohniskovými vzdialenosťami  $f_1 \approx -25 \text{ mm}$  a  $f_2 \approx 200 \text{ mm}$ , vid' [1].

Podľa (4) som určil teoretické zväčšenie Galileovho teleskopu  $Z_{teor}$

$$Z_{teor} = 8.$$

Tesne pred a za Galileovým teleskopom som zmeral priemer laserového zväzku  $D_3$  a  $D_4$ , pričom chybu  $D_3$  resp.  $D_4$  odhadujem podľa rozmazania laserového zväzku

$$D_3 = (1,2 \pm 0,2) \text{ mm},$$

$$D_4 = (9,5 \pm 1,0) \text{ mm}.$$

Podľa hodnôt  $D_3$  a  $D_4$  som určil namerané zväčšenie Galileovho teleskopu (chybu  $Z_{exp}$  som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [1])

$$Z_{exp} = (7,9 \pm 1,6).$$

### Michelsonov interferometer

Pri zostavovaní Michelsonovho interferometra som postupoval podľa postupu uvedenom v [1], pričom som dbal na to, aby stopa laseru dopadala do stredu každého zrkadla a aby stopa vytvorená odrazom od zrkadiel dopadala do stredu tienidla  $S_1$ . Na tienidlo  $S_2$  som pozoroval interferenčné pružky (pružky rovnakej hrúbky), ktoré vznikli interferenciou zväzkov  $DS-Z_3$  a  $DS-Z_4$ .

- pri zmene polohy zrkadla  $Z_3$  sa prúžky posunuli
- pri zmene naklonenia zrkadla  $Z_4$  sa zmenila hrúbka prúžkov
- keď do optickej dráhy jedného zväzku som vložil filter, tak interferencia bola menej výrazná
- keď do optickej dráhy jedného zväzku som vložil planparalelné sklo, tak prúžky zmenili svoju hrúbku aj sklon
- keď som pod optickú dráhu  $DS-Z_3$  vložil nádobu s horúcou vodou, ktorá ohriala vzduch na ňou, tak prúžky sa začali rôzne vlniť

Celá aparátúra bola veľmi citlivá na otrasy v blízkom okolí.

### Diskusia výsledkov:

Chyba určenia divergencie laserového zväzku  $d$  je daná predovšetkým chybou určenia priemerov zväzku  $D$  na milimetrovom papieri – nedalo sa jednoznačne určiť, ktorá časť stopy laserového zväzku bola najintenzívnejšia. Meranie priemeru  $D_1$  bolo takisto komplikované malým rozlíšením milimetrového papiera. Chyba určenia vzdialenosti  $s$  sa na chybe určenia divergencie  $d$  prejavuje oveľa menej, pretože je viac ako o rad menšia ako chyba určenia priemerov zväzku  $D$ .

Namerané zväčšenie Galileovho teleskopu  $Z_{exp}$  sa zhoduje s teoretickou hodnotou  $Z_{teo}$  určenou podľa ohniskových vzdialeností uvedených v [1]. Chyba zväčšenia  $Z_{exp}$  je daná podobnou chybou ako pri určovaní divergencie  $d$ . Na chybu  $Z_{exp}$  pravdepodobne vplýva aj to, že sa mi nepodarilo dosiahnuť, aby ohniská oboch šošoviek padli do jedného bodu, a tak vystupujúci zväzok mohol byť mierne divergentný.

Pozorované interferenčné obrazce zodpovedajú prúžkom rovnakej hrúbky. Ak by zrkadla  $Z_3$  a  $Z_4$  boli kolmé k dopadajúcemu laserovému lúču, tak namiesto prúžkov by sme na stene mohli pozorovať maximum (keď dráhový rozdiel medzi zväzkami zodpovedá celistvému násobku vlnovej dĺžky použitého žiarenia) resp. minimum (keď dráhový rozdiel zodpovedá nepárnemu celistvému násobku polovice vlnovej dĺžky). Keď zrkadlo  $Z_3$  resp.  $Z_4$  nie je kolmé na dopadajúci lúč, tak lúče môžu konštruktívne interferovať a vznikajú prúžky.

- pri zmene naklonenia zrkadla  $Z_4$  sa zmenila hrúbka prúžkov
- pri zmene polohy zrkadla  $Z_3$  sa prúžky postupne posúvali (posun maxima a minima). Polohu zrkadla  $Z_3$  som menil pomocou mikrometrickej skrutky s najmenším dielikom  $10\ \mu m$ . Na realizáciu posunu o jeden prúžok by bolo nutné zmeniť polohu zrkadla o polovicu vlnovej dĺžky.
- keď do optickej dráhy zväzku  $DS-Z_3$  som vložil filter, tak došlo k zníženiu kontrastu interferencie – interferovala menšia časť zväzku
- keď do optickej dráhy zväzku  $DS-Z_3$  som vložil planparalelné sklo, tak prúžky zmenili svoju hrúbku aj sklon. Ku zmene prúžkom došlo vďaka tomu, že dané sklíčko nebolo presne planparalelné. Ak by dané sklíčko bolo presne planparalelné a vložili by sme ho kolmo na lúče, tak by sa prúžky nemali zmeniť.
- keď som pod optickú dráhu  $DS-Z_3$  vložil kadičku s horúcou vodou, tak prúžky sa rôzne menili (vlnili). Ku zmene interferenčných prúžkov dochádzalo v dôsledku závislosti indexu lomu vzduchu na vlhkosti a teplote, ale aj v dôsledku nehomogénneho prúdenia vzduchu nad kadičkou.

### Záver:

Zmeral som divergenciu laserového zväzku  $d$ , ktorá sa výrazne nelíšila od teoretickej minimálnej hodnoty  $d_m$

$$d = (2,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-3},$$

$$d_m = (1,4 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$$

Zostavil som Michelsonov interferometer a overil som jeho funkciu. Laserový zväzok som rozšíril pomocou Galileovho teleskopu. Z nameraných priemerov zväzku som určil zväčšenie  $Z_{exp}$  Galileovho teleskopu, podľa údajov v [1] som určil teoretické zväčšenie  $Z_{teo}$

$$Z_{\text{exp}} = (7,9 \pm 1,6),$$

$$Z_{\text{teor}} = 8.$$

Na tienidle  $S_2$  som pozoroval interferenčné pružky – boli to pružky rovnakej hrúbky. K ich zmenám dochádzalo kvôli nehomogenitám optickej sústavy prípadne prostredia.

**Literatúra:**

[1] študijný na stránkach fyzikálneho praktika: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>

[2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, LS 1999/2000