

## 1 Pracovní úkoly

1. Změřte divergenci laserového svazku.
2. Z optické stavebnice sestavte Michelsonův interferometr. K rozšíření svazku sestavte Galileův teleskop. Ze známých ohniskových délek použitých čoček spočtete, kolikrát bude laserový svazek rozšířen a porovnejte s naměřenou hodnotou.
3. Pozorujte interferenční proužky při změně polohy zrcadla  $Z_3$ , vysvětlete pozorovaný efekt. Do jednoho z interferujících svazků vložte některé z přiložených skel. Popište a vysvětlete změny v interferenčním obrazci.

## 2 Teoretický úvod

### 2.1 Divergence svazku

Divergenci svazku  $d$  definujeme dle [1] jako

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

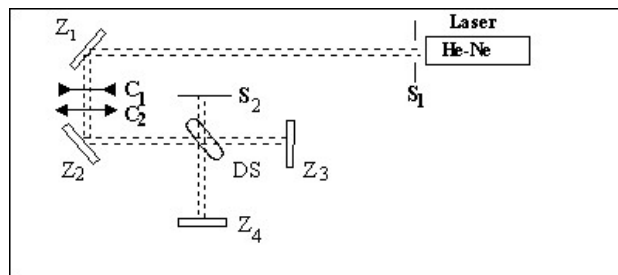
kde  $D_1$  označuje průměr laserového svazku u výstupu laseru,  $D_2$  pak jeho průměr ve vzdálenosti  $s$ . Minimální možná divergence svazku způsobená difrací je

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

kde  $\lambda$  je vlnová délka, na které laser pracuje.

### 2.2 Michelsonův interferometr

Michelsonův interferometr je schematicky znázorněn na obrázku 1. Funguje tak, že paprsek vycházející z laseru se odrazí na zrcátko  $Z_1$ , dále projde Galileovým teleskopem složeným z rozptylky  $C_1$  a spojky  $C_2$ , pak se znovu odrazí na zrcátku  $Z_2$ , na děliči svazku  $DS$  (vlastně polopropustném zrcadle) se rozdělí na dva svazky, z nichž jeden pokračuje k zrcátku  $Z_3$  a druhý k zrcátku  $Z_4$ . Oba tyto svazky se pak vrací na dělič  $DS$ , kde část světla od zrcátka  $Z_4$  děličem projde a část od zrcátka  $Z_3$  se odrazí a při správném nastavení pak můžeme na stínítku  $S_2$  pozorovat interferenční jevy.



Obrázek 1: Schematické znázornění Michelsonova interferometru, převzato z [1]

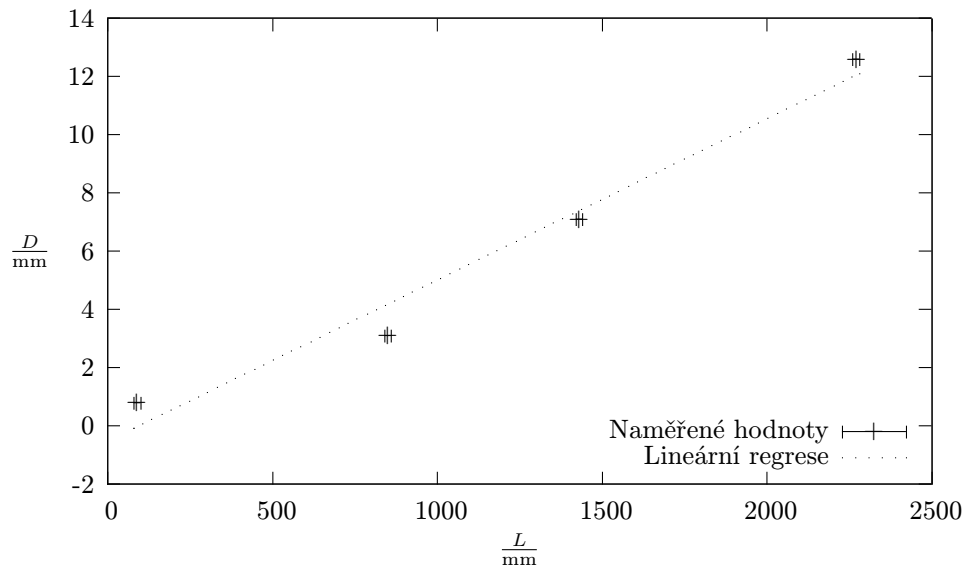
V Galileově teleskopu dojde k rozšíření laserového svazku a to s úhlovým zvětšením

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

kde  $f_1$  je ohnisková vzdálenost rozptylky  $C_1$  a  $f_2$  ohnisková vzdálenost spojky  $C_2$ . (Čočky jsou v Galileově teleskopu nastaveny tak, že jejich ohniska splývají.)

Tabulka 1: Naměřené hodnoty plochy svazku pro určení divergence svazku

$X_i/\text{mm}$	$L_i/\text{mm}$	$S_i/\text{mm}^2$	$D_i/\text{mm}$
200	90	1	0,79
960	850	4	3,1
1540	1430	9	7,1
2380	2270	16	12,6



Obrázek 2: Graf závislosti šířky svazku na vzdálenosti od výstupního otvoru laseru

### 3 Měření

#### 3.1 Divergence svazku

Na stínítku v různých vzdálenostech od výstupu laseru byla změřena plocha, kterou zabírala nejsvětlejší část paprsku. Tato plocha  $S_i = \pi D_i^2/4$  byla odhadována pomocí milimetrového papíru. Vzdálenost byla měřena od stojanu laseru  $X_i$  a posléze byla odečtena vzdálenost od místa upevnění laseru k jeho výstupu  $x_0$  pro výpočet divergence ( $L_i = X_i - x_0$ ,  $x_0 = (11 \pm 0,5)\text{cm}$ ). Chybu určení vzdáleností odhaduji jako  $\pm 1\text{ cm}$ . Naměřená data jsou v tabulce 1 a graficky zpracovaná pomocí lineární regrese v obrázku č. 2. Šířku svazku u výstupu laseru beru jako tu naměřenou ve vzdálenosti 9 cm, protože byla z hlediska pozorování okem prakticky stejná.

Hodnota divergence určená pomocí lineární regrese je

$$d = (5,5 \pm 0,6) \cdot 10^{-3}.$$

Teoretická minimální rozbíhavost pro laserový svazek s vlnovou délkou  $\lambda = 632,8\text{ nm}$  je

$$d_{\min} = 1,6 \cdot 10^{-3}.$$

V naměřených hodnotách neuvažuji chybu určení plochy/průměru svazku, protože zejména pro malou šířku svazku může tato chyba být v řádu desítek procent.

### 3.2 Stavba interferometru

Stavba interferometru probíhala podle návodu [1] a to tak, aby se vždy paprsek vracel optickou cestou i zpět do laseru - tím bylo rozpoznáno, že je optická dráha paprsku v interferometru dostatečně centrována, aby pak mohlo docházet na stínítku k interferenci.

Šířka svazku byla změřena 3,5 cm před Galileovým teleskopem ( $D_a = 1,5$  mm) a 8,5 cm za ním ( $D_b = 35$  mm). Ohniskové vzdálenosti čoček byly  $f_1 = -2,5$  cm a  $f_2 = 20$  cm a jejich vzdálenost 17,5 cm. Teoretická hodnota zvětšení je  $Z_{teo} = 8$ . Naměřená hodnota zvětšení teleskopu po zanedbání divergence svazku v měřené oblasti je  $Z_a = 6,7$ . Pokud uvážíme divergenci svazku jako souběžný děj v teleskopu, tak docházíme k hodnotě zvětšení samotného teleskopu  $Z_b = 3,8$ .

Jedno ze zrcadel bylo umístěno na podložce s mikroposuvem, takže jsem mohl při pozorování interferenčních jevů i odhadnout vlnovou délku laseru pomocí počítání prošlých interferenčních proužků při posouvání zrcátka. Během posunutí o  $a = 0,03$  mm jsem napočítal  $N = 70$  prošlých proužků. To odpovídá vlnové délce světla

$$\lambda_n = \frac{2a}{N} \approx 860 \text{ nm},$$

což sice není příliš přesný výsledek, ale jedná se alespoň o dobrý řádový odhad, který odpovídá skutečné hodnotě.

## 4 Diskuse

### 4.1 Pozorování interferenčních jevů a ověření funkce interferometru

- Pokud se posouvalo zrcátko  $Z_3$ , pak jsem mohl pozorovat pohyb interferenčních proužků jedním směrem. To jsem využil pro odhad vlnové délky použitého světla.
- Pokud se mírně natáčelo zrcátko  $Z_3$ , či  $Z_4$ , či polopropustné zrcátko, pak jsem mohl pozorovat změnu hustoty interferenčních proužků.
- Pokud vložíme do jednoho ramena interferometru průsvitnou destičku, pak můžeme pozorovat změny hustoty a směru proužků, což odpovídá tomu, že destička není dokonale planoparalelní.
- Pokud vložíme pod jedno rameno interferometru kádinku s teplou vodou nebo když pod ním zapálíme sirku nebo i když pod něj dáme jen ruku, která má o něco vyšší teplotu než okolní prostředí, tak změníme index lomu vzduchu a můžeme pak pozorovat vlnění interferenčního obrazu.

### 4.2 Divergence a zvětšení teleskopu

Při určování divergence svazku byla největší chyba spojená s určením šířky svazku. Svazek zejména u výstupu z laseru byl velice úzký a byl opravdu velice dobře kolimovaný, takže při určování pomocí zraku nemohla být dosažena přílišná přesnost. Ale snažil jsem se přesnost měření vylepšit tím, že jsem proměřil rozšíření svazku pro více hodnot vzdáleností od laseru. Při měření zvětšení teleskopu byly ovšem naměřeny pouze dva hodnoty a proto se zde projevila chyba ještě více.

Při určování vlnové délky laseru jsem uvažoval, že vzduch má index lomu  $n = 1$ . Daleko větší chyba mohla být způsobena tím, že i přes velice opatrný a pomalý pohyb mikroposuvu se proužky pohybovaly relativně velice rychle a tak se nepočítaly snadno a je možné, že jsem nenapočítal správný počet proužků (nejspíš bych napočítal menší, což odpovídá trochu vyšší hodnotě vlnové délky). Také určení vzdálenosti, o kterou se zrcátko posunulo bylo trochu nepřesné.

## 5 Závěr

Sestavil jsem Michelsonův interferometr, ověřil jeho funkčnost a pozoroval jsem na něm interferenční jevy. Změřil jsem divergenci svazku a změřil jsem zvětšení teleskopu.

## 6 Literatura

- [1] **Pokyny k fyzikálnímu praktiku:** Stavba Michelsonova interferometru a ověření jeho funkce  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt\\_320.htm](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_320.htm)
- [2] **Studijní text k fyzikálnímu praktiku:** Interference a ohyb  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt\\_341.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_341.pdf)