

1 Pracovní úkol

1. Změřte divergenci laserového svazku.
2. Z optické stavebnice sestavte Michelsonův interferometr. K rozšíření svazku sestavte Galileův teleskop. Ze známých ohniskových délek použitých čoček spočítejte, 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 Teorie

Divergence laserového svazku d je dána vztahem:

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

kde D_1 je průměr svazku ihned po opuštění laseru, D_2 je průměr svazku ve vzdálenosti s od laseru. Nejmenší možná divergence d_{min} je dána ohybem světla a platí pro ni:

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

přechemž λ je vlnová délka použitého světla. V našem případě používáme He-Ne laser, který vyzařuje světlo o $\lambda=632,8$ nm.

Galileův teleskop je tvořen dvěma čočkami. Jeho schematický náčrtek je na obrázku 1. Jedno ohnisko mají společné, jak je ostatně patrné z obrázku. Jeho teoretické zvětšení Z_{teor} spočítáme jakožto:

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

kde f_2 je ohnisková vzdálenost spojky, f_1 ohnisková vzdálenost rozptylky.

Michelsonův interferometr je nakreslen na obrázku 2. Z He-Ne laseru vychází paprsek, který rozšíříme pomocí Galileova teleskopu. Poté ho necháme dopadat na dělič svazku, který ho rozdělí na dva paprsky. Jeden se odrazí od zrcadla Z_3 , druhý od zrcadla Z_4 . Poté se opět složí dohromady a na stínítku S_2 můžeme pozorovat proužky stejné tloušťky.

Interferenční proužky na stínítku jsou dány různými optickými drahami dvou paprsků. Po průchodu rozdělovačem DS jeden paprsek urazí dráhu $2|DS - Z_3|$, druhý dráhu $2|DS - Z_4|$. Po odrazu se opět složí, přičemž vlny budou vzájemně posunuty o $\Delta\ell = 2||DS - Z_3| - |DS - Z_4||$. Pokud platí $\Delta\ell = k\lambda$ ($k \in \mathbb{Z}$), skládají se vlny konstruktivně, pokud platí $\Delta\ell = k\lambda + \lambda/2$ ($k \in \mathbb{Z}$), vlny se skládají destruktivně. V první případě budeme pozorovat dvojnásobnou intenzitu oproti případu, kdyby žádná interference nebyla, ve druhém případě budeme pozorovat nulovou intenzitu.

3 Výsledky měření

Průměr svazku D_1 jsme měřili hned u laseru, na místě stínítka S_1 . Průměr D_2 jsme měřili v přímém směru asi 2,5 m od laseru. Průměr D_3 potřebný pro zvětšení Galileova teleskopu jsme měřili mezi zrcadlem Z_2 a děličem svazku DS. Vzdálenost s je vzdálenost mezi místy měření D_1 a D_2 .

$$D_1 = (2 \pm 1) \text{ mm}$$

$$D_2 = (6 \pm 1) \text{ mm}$$

$$D_3 = (10 \pm 1) \text{ mm}$$

$$s = (242 \pm 2) \text{ cm}$$

Podle (1) nám vychází divergence:

$$d = (1,7 \pm 0,6) \cdot 10^{-3}$$

Minimální hodnotu divergence spočítáme podle (2):

$$d_{min} = (6 \pm 3) \cdot 10^{-4}$$

Ke konstrukci Galileova teleskopu bylo použito rozptylky ($f_1=-25$ mm) a spojky ($f_2=200$ mm). Teoretické zvětšení podle (3) činí:

$$Z_{teor} = 8$$

Podělíme-li D_3 a D_1 , dostaneme skutečnou hodnotu zvětšení Z_{real} :
 $Z_{real} = (5 \pm 3)$

Po sestavení Michelsonova interferometru jsme pozorovali interferenční proužky (přibližně znázorněné na obr. 4. Zrcadla Z_3 a Z_4 nejsou připevněna zcela napevno, můžeme je natáčet jak ve vertikálním, tak v horizontálním směru. Proužky jsou dány dráhovým rozdílem paprsků. Jestliže změníme polohu zrcadla z P_0 na P_1 (viz obr. 3), dráha jednoho z paprsků se prodlouží. Čím je úhel α větší, tím rychleji se mění Δs místo od místa. Na stínítku tedy pozorujeme více maxim a minim. Pokud však bude α malé, budeme interferenčních proužků pozorovat pouze několik málo. Vzhledem k tomu, že můžeme měnit sklon jak ve vodorovném, tak ve svislém směru, je výsledný obrazec dán oběma náklony. Můžeme pak pozorovat proužky libovolného náklonu.

Po vložení sklíčka mezi dělič svazků a jedno ze zrcadel jsme pozorovali posunutí proužků a jejich pokřivení (viz obr. 5). Posunutí bylo dáno změnou optické dráhy jednoho ze svazků. Pokřivení způsobila nekonstantnost tloušťky sklíčka.

Dáme-li mezi dělič svazků a jedno ze zrcadel kádinku s teplou vodou, proužky se začnou vlnit (viz obr. 6, časově proměnné). Je to dáno tím, teplý vzduch (ohřátý od vody) má jiný index lomu než studený. Protože teplý vzduch stoupá vzhůru, index lomu prostředí, kudy prochází paprsek se neustále mění. Proto se mění i interferenční proužky.

Po vložení šedého filtru by teoreticky mělo dojít ke snížení kontrastu mezi maximy a minimy (viz obr. 7). Ve skutečnosti jsme však nepozorovali žádné interferenční jevy. Bylo to zřejmě zapříčiněno tím, že filtr pohltl příliš mnoho světla a druhý paprsek meněl s čím interferovat.

Zrcadlo Z_3 bylo spojeno s mikrometrickým šroubem, mohli jsme zrcadlo přibližovat a oddalovat od děliče svazků. Otočení mikrometru o jeden dílek odpovídalo posunutí zrcátka o $10\ \mu\text{m}$, což je asi $16\ \lambda$ použitého světla. Při pootočení šroubu sice docházelo ke změnám v interferenčním obrazci, avšak tyto změny byly spíše náhodné, než závislé na vůli experimentátora.

4 Diskuse

Měření divergence laserového svazku jsme prováděli pomocí milimetrového papíru. Vzhledem k tomu, že naměřené hodnoty jsou v řádu jednotek milimetrů (stejně jako rozlišení milimetrového papíru), je měření zatíženo značnou chybou. Též nebylo patrné, díky postupnému klesání intenzity od středu paprsku, kde končí stopa laseru, jaký průměr máme změřit. "Nejintenzivnější část stopy svazku" je dosti relativní pojem; zejména u větších hodnot průměrů (D_2 a D_3) jsme se mohli dopustit jisté chyby.

Chybu měření délky s jsme odhadli na $\pm 2\text{ cm}$, ačkoli použité měřidlo bylo mnohem přesnější. K tomu jsme se uchýlili proto, že při měření docházelo k prohnutí měřidla.

Zjištěná divergence d je asi 2,5x větší než minimální dosažitelná divergence d_{min} .

Teoretická hodnota zvětšení Galileova teleskopu je větší, než námi naměřená. Ohniska spojky a rozptylky se nemusela přesně krýt. Také se do výsledku promítlo nepřesné určení průměrů svazku. Také jsme zanedbali divergenci svazku. Hodnota zvětšení by měla být tedy ještě nepatrně menší.

Popis pozorovaných jevů, stejně jako jejich vysvětlení, je uveden v sekci Výsledky měření.

5 Závěr

Divergence laserového svazku byla stanovena na:

$$d = (1,7 \pm 0,6) \cdot 10^{-3}$$

Ze známých ohniskových délek jsme počítali, že svazek by měl mít zvětšení:

$$Z_{teor} = 8$$

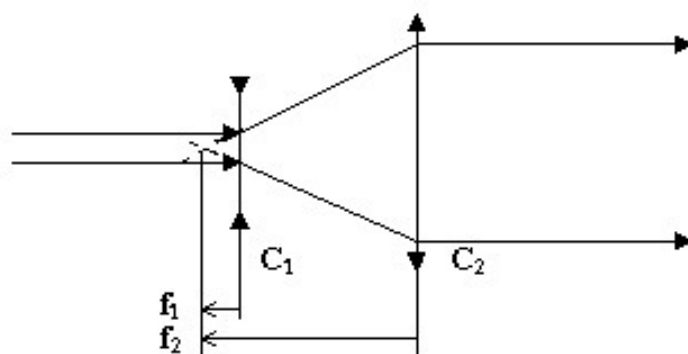
Z naměřených hodnot jsme vypočítali skutečnou hodnotu zvětšení:

$$Z_{real} = (5 \pm 3)$$

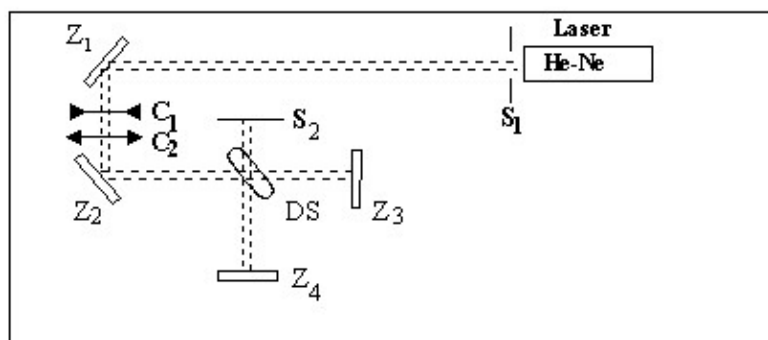
Popis pozorovaných interferenčních jevů, jakožto i jejich vysvětlení nalezneme v sekci Výsledky měření. Nákresy jednotlivých pozorovaných jevů jsou na obrázcích 4, 5, 6.

6 Literatura

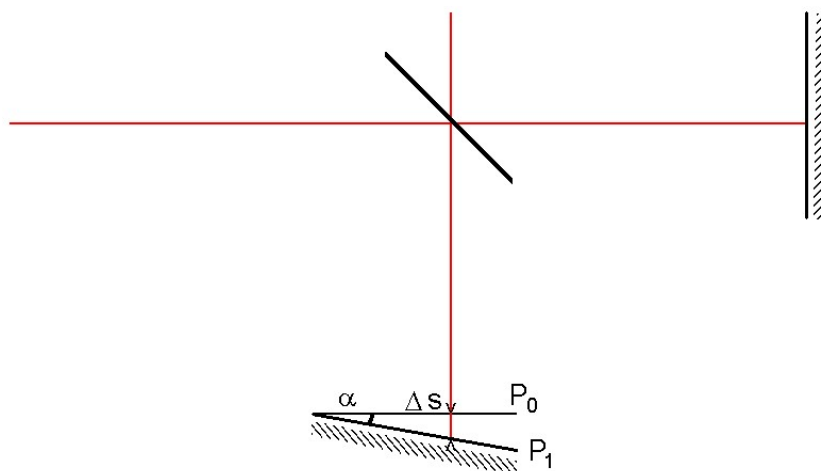
- [1] I. Pelant, J. Fiala, J. Pospíšil, J. Fährnich: Fyzikální praktikum III - Optika, Karolinum, Praha, 1993
- [2] J. English: Zpracování výsledků fyzikálních měření, Praha, 2000
- [3] studijní text (http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_320.htm)



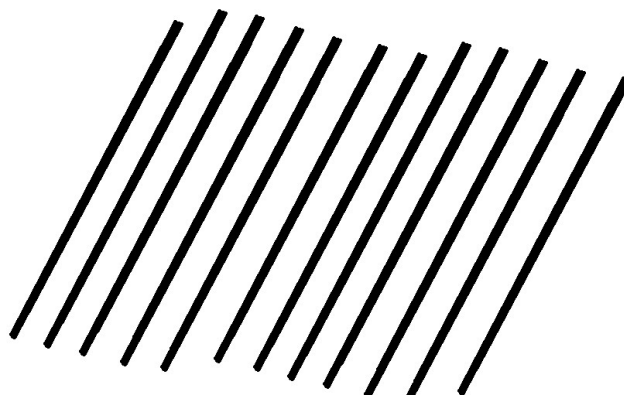
Obrázek 1: Galileův teleskop



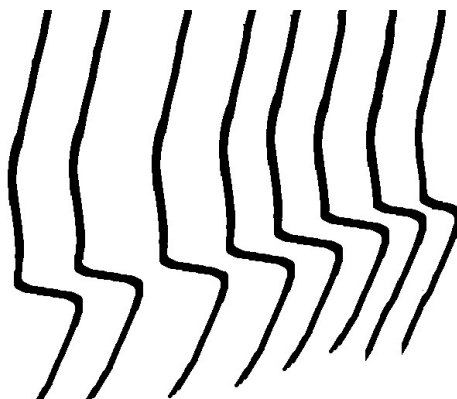
Obrázek 2: Michelsonův interferometr



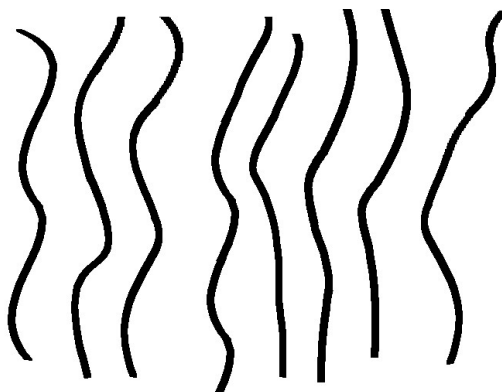
Obrázek 3: Dráhové rozdíly



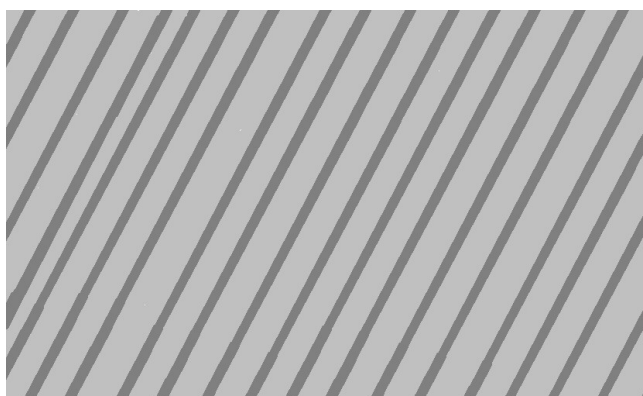
Obrázek 4: Interferenční proužky



Obrázek 5: Interferenční proužky po vložení sklíčka



Obrázek 6: Interferenční proužky po vložení kádinky s teplou vodou (časově proměnné)



Obrázek 7: Předpokládané interferenční proužky po vložení filtru