

1 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 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 Teorie

2.1 Divergence paprsku

Divergence paprsku je definována vztahem

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

kde D_1 je průměr paprsku na začátku a D_2 průměr po uražení dráhy s . Minimální dosažitelná divergence je dána vztahem

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

kde λ je vlnová délka daného paprsku.

2.2 Galileův teleskop

Galileův teleskop se skládá z rozptylky a spojky, které mají jedno společné ohnisko. Jeho zvětšení je dáno vztahem

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

2.3 Interference

Interference vzniká z důvodu fázového rozdílu světla dopadajícího do jednoho bodu, kde se vlny skládají. U světla ze stejného zdroje (stejnou počáteční fází) je fázový náběh způsoben rozdílem drahovým. Pomínky pro maximum a minimum jsou

$$2(l_2 - l_1) = k\lambda \quad (4)$$

$$2(l_2 - l_1) = k\lambda + \lambda/2 \quad (5)$$

Více naleznete v [3].

3 Měření

3.1 Divergence laserového svazku

Nejprve jsem změřil divergenci laserového svazku. Vzhledem k nepřesnosti při měření průměru stačilo pro měření dráhy pouze jedno měření

$$s = (255.0 \pm 0.1)\text{cm} \quad (6)$$

U průměru zase byla chyba měřidla tak výrazná, že opakování měření nemělo smysl.

$$D_1 = (1.0 \pm 0.5)\text{mm} \quad (7)$$

$$D_2 = (6.0 \pm 0.5)\text{mm} \quad (8)$$

Po dosazení do vztahu 1 získáme

$$d = 0.0020 \pm 0.0004. \quad (9)$$

Pro srovnání, minimální dosažitelnou divergencí pro laser o $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ je

$$d_m = 0.0013 \quad (10)$$

3.2 Sestavení stavebnice

Dle návodu v [1] jsem postupně přidával jednotlivé optické součástky. Po přidání každé jsem vždy doladil výšku paprsku, a to za pomoci obrazu, který dopadal na stínítko u zdroje. Po seřízení zrcadel jsem nejprve přidal mezi zrcadla Z_1 a Z_2 rozptylku, kterou jsem seřídil tak, aby světlo z ní vycházející dopadalo na střed zrcadla Z_2 . Nastavení jsem upravoval podle obrazu na stínítku za zrcadlem Z_2 . Následně jsem do vzdálenosti 175 mm umístil spojnou čočku. Tento odhad byl určen dle přibližných ohniskových vzdáleností použitých čoček, které byly

$$f_1 = -25\text{mm} \quad (11)$$

$$f_2 = 200\text{mm} \quad (12)$$

Následně jsem doostřil tak, aby obraz na stínítku u zdroje byl stejný jako před přidáním čoček.

Při tomto rozložení jsem mezi zrcadly Z_2 a Z_3 změřil průměr svazku

$$D'_2 = (9.0 \pm 0.5)\text{mm}, \quad (13)$$

což dle vztahu 3 dává zvětšení

$$Z = 9 \pm 1 \quad (14)$$

Teoretická hodnota zvětšení pro čočky s parametry uvedenými výše je

$$Z_t = 8 \quad (15)$$

Nakonec jsem přidal dělič svazku a poslední zrcadlo. Výsledný interferenční obrazec jsem ještě za pomoci spojné čočky zvětšil.

3.3 Interferenční obrazec

Na vzniklém obraze byly jasně viditelné interferenční obrazce. Vyzkoušel jsem jejich chování při posunu zrcadla Z_3 a při různé manipulaci se zrcadly. Dále jsem zkusil účinek různých sklíček a ohřevu vzduchu v místě průchodu paprsku. Výsledky jsou shrnuty v diskuzi.

4 Dikuze

Naměřená hodnota divergence svazku je spíše pro představu, že se paprsek příliš nerozbíhá, než že by se dala nějak použít. Trpí totiž velkou chybou, která je způsobena nevhodností milimetrového papíru na měření řádově milimetrového paprsku. Pro představu je však zcela dostačující, protože se k žádným výpočtům nepoužívá.

Zvětšení koresponduje s teoretickou hodnotou. Tomu také nasvědčoval fakt, že nebylo třeba při doostřování příliš měnit vzdálenost mezi čočkami. Odchylna je způsobena opět chybou milimetrového papíru.

Interferenční obrazce nebylo příliš složité upravovat za pomoci posuvu zrcadel. Při sebejemnějším pohybu byly změny příliš velké na to, aby se daly pozorovat. K pohybu totiž sloužil mikrometrický šroub, kde posun o jeden dílek byl o dva řády vyšší než vzdálenost potřebná ke změně z minima na maximum. Obrazec se proto nohem lépe upravoval za pomoci natáčení jednoho ze zrcadel, při čemž vnikal výrazně menší drahový rozdíl. V závislosti na vzájemné poloze stop paprsku se měnila nejen vzdálenost proužků, ale i jejich vzájemná orientace. Proužky byly vždy kolmé na spojnici středů stop paprsku a s rostoucí vzdáleností se proužky zhušťovaly. Nejmenší mnou dosažený výsledek byly tři proužky. Přiložená sklíčka lokálně deformovala proužky. Ve skle totiž světlo cestuje pomaleji a v důsledku nehomogenity v tloušťce sklíček tak vzniká další drahový rozdíl. U tlustšího sklíčka byl jev samozřejmě zřetelnější. Podobný efekt mělo zahřátí vzduchu pouze za pomoci ruky. Vlivem vyšší teploty se vzruch zřídí, čímž v něm lehce stoupá rychlost světla. Tento efekt měl za následek vlnění proužků. Při použití zapalovače pak vznikla ostrá hrana, která se opět mírně vlnila.

Celá aparatura byla poměrně náchylná na jakékoliv otřesy. To občas způsobilo rozostření obrazu či lehčí změnu na interferenčních proužcích. Výsledné závěry to však nijak neovlivnilo, naopak mnohdy navodilo nové situace.

5 Závěr

Změřil jsem divergenci laserového paprsku

$$d = 0.0020 \pm 0.0004. \quad (16)$$

Sestavil jsem Mikelsonův interferometr a změřil rozšíření paprsku

$$Z = 9 \pm 1 \quad (17)$$

Pozoroval jsem změnu interferenčního obrazce v závislosti na různých vlivech.

Reference

- [1] **Studijní text na praktikum III**
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_320.htm (8. 3. 2012)
- [2] *J. English*: **Zpracování výsledků fyzikálních měření**
LS 1999/2000
- [3] *prof. RNDr. Petr Malý , DrSc.*: **Optika**
Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum 2008, první vydání