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 spočtěte, 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.

Teorie

Divergencí d rozumíme rozbíhavost svazku definovanou vztahem

$$d = \frac{D_2 - D_1}{s}\,, \tag{1}$$

kde D_2 a D_1 jsou průměry svazku na dvou místech ve vzdálenosti s. Dle teorie difrakce je minimální hodnota dosažitelné divergence odhadnuta vztahem

$$d_{\min} \approx \frac{2\lambda}{D_1}\,, \tag{2}$$

kde λ je vlnová délka generovaného světla. Pro pouižtý He-Ne laser platí

$$\lambda = 632.8\,\mathrm{nm}\,.$$

Galileův teleskop je tvořen dvěma čočkami - spojnou a rozptylnou, které mají společné ohnisko. Jeho zvětšení je dáno vztahem

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

kde f_1, resp. f_2 jsou ohniskové vzdálenosti rozptylky, resp. spojky.

Michelsonův interferometr, jehož schéma najde čtenář v [1] obr. 4, je zařízení, ketré umožňuje pozorování interferenčních proužků a kroužků.

Měření

Nejprve jsem proměřila divergenci laserového svazku. Odečet průměru D_2, resp. D_1 jsem provedla na stínítku - milimetrovém papíře na druhém konci místnosti u okna, resp. v místě u výstupu laserového svazku. Vzdálenost s byla změřena pomocí svinovacího metru. Naměřené hodnoty spolu s odhadnutými chybami jsou

$$\begin{aligned} s &= (238.5 \pm 1.0)\,\mathrm{cm} \\ D_1 &= (1.0 \pm 0.2)\,\mathrm{mm} \\ D_2 &= (5.0 \pm 1.0)\,\mathrm{mm} \end{aligned}$$

Nyní jsem pomocí vztahu (1) vypočítala divergenci

$$d = (1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-3}\,.$$

Užitím vztahu (2) mohu určit teoretickou nejmenší hodnotu divergence

$$d_{\min} = (1.3 \pm 0.3) \cdot 10^{-3} \,.$$

Poté jsem sestavila Galileův teleskop. Použila jsem dvě čočky s ohniskovými vzdálenostmi $f_1 = -25\,\mathrm{mm}$ a $f_2 = 200\,\mathrm{mm}$. Pomocí milimetrového papíru jsem ve třech místech změřila průměr rozšířeného svazku. Naměřené hodnoty byly 9.0, 9.5 a 9.0 mm. Pro výpočet zvětšení D_Z/D_1 uvažuji tedy $D_Z = (9.0 \pm 0.5)\,\mathrm{mm}$. Vypočítané zvětšení Z je

$$Z = (9.0 \pm 1.8) \,,$$

což se v rámci přesnosti měření shoduje teoretickou hodnotou $Z = 8$ vypočítanou dle vztahu (3).

Po dostavění Michelsonova interferometru jsem na stínítku S_2, což v mém případě byla přilehlá stěna, pozorovala soustavu interferenčních proužků. Při změně poloh zrcátek Z_3 a Z_4 docházelo ke změně velikosti a počtu proužků. Při ideálním nastavení zrcadel jsou dopadající vlny rovnoběžné, tedy mělo by být možné nastavit rozdíl optických drah mezi rameny interferomnetru tak, aby se na stínítku nic nezobrazilo. Přesnost aparatury však nebyla dostatečná, a tak se mi to nepodařilo.

Po vložení skleněné destičky do optické dráhy jsem pozorovala deformaci interferenčních proužků, což bylo pravděpodobně způsobeno tím, že sklíčko nebylo všude stejně široké, tedy různé části svazku urazily různou optickou dráhu.

Pokud jsem pod jedno rameno postavila kádinku s horkou vodou, tak došlo opět k deformaci proužků.

Diskuze

Největším zdrojem chyb při měření divergence svazku bylo určení okrajů svazku. Naměřená divergence je blízká hodnotě teoretického minima, dokonce se s ní v rámci chyby shoduje.

Měření Galileovým teleskopem bylo zatíženo podobnou chybou jako v případě divergence svazku. Dalším zdrojem chyb mohlo být nepřesné nastavení společné polohy ohnisek čoček.

Pozorované interferenční obrazce byly proužky stejné tloušťky. Proužky stejného sklonu nebyly pozorovány, protože přesnost nastavení aparatury nebyla dostatečná. Při natáčení zrcátek se měnil sklon a tloušťka proužků. Po vložení sklíčka do jednoho z ramen se změnila tloušťka i směr proužků a proužky byly deformované, což bylo pravděpodobně způsobeno tím, že sklíčko nebylo planparalelní a rovinné. Tloušťka proužků se měnila podle šířky sklíčka. Zajímavé bylo také pozorovat změny interferenčních obrazců při zahřívání vzduchu v jednom rameni. Měnila se šířka proužků a opět docházelo k deformaci proužků. Tento jev je důsledkem závislosti indexu lomu vzduchu na teplotě a vlhkosti.

Závěr

V tomto praktiku jsem změřila divergenci laserového svazku $d = (1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-3}$ a určila její teoretické minimum $d_{\min} = (1.3 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$. Zjištěné Zvětšení Galileova dalekohledu $Z = (9.0 \pm 1.8)$ se v rámci přesnosti měření shoduje s teoretickou hodnotou $Z = 8$. Sestavila jsem Michelsonův interferometr a pozorovala interferenční proužky stejné tloušťky, které se při změně nastavení aparatury deformovaly.

Literatura

[1] Studijní texty, Úloha 20 http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/