

Interference a ohyb světla

P. Smíšitel, J. Bobek

Gymnázium Bučovice, Střední průmyslová škola Třebíč
smisa.p@seznam.cz, pepebob382@email.cz

Abstrakt:

V miniprojektu jsme zjišťovali pomocí difrakčního obrazce průměr malého kruhového otvoru, velikost štěrbinu a mřížkovou konstantu difrakční mřížky. Navíc jsme pomocí interferenčního obrazce přeměřili vlnovou délku laserového paprsku. Všechny experimenty jsme prováděli za použití He-Ne laseru.

1 Úvod

V našem miniprojektu jsme pomocí difrakce laserového paprsku měřili velikost kruhového otvoru, štěrbinu a mřížkovou konstantu difrakční mřížky. Difrakce neboli ohyb je jedním z projevů vlnových vlastností světla. Jako světelný zdroj jsme použili laserový paprsek. Ten je zvláště vhodný proto, že poskytuje světlo monochromatické (s přesně danou frekvencí) a koherentní (s neměnným rozdílem fáze). Dále jsme pomocí Michelsonova interferometru změřili vlnovou délku použitého laseru.

2 Difrakce

Postavíme-li světlu do cesty překážku velikostně srovnatelnou s jeho vlnovou délkou (např. kruhový otvor), dojde k difrakci. Každý bod otvoru můžeme považovat za zdroj sekundárních vln a interferencí těchto vln vznikne na stínítku difrakční obrazec. Pomocí měření vzdáleností jednotlivých maxim nebo minim můžeme vypočítat velikost otvoru. K Fraunhoferově difrakci dochází tehdy, jsou-li rozměry clony mnohem menší, než je vzdálenost clony od stínítka.

Průměr laserového paprsku se s rostoucí vzdáleností od výstupního zrcadla laseru zvětšuje (je divergentní). Pro měření na kruhovém otvoru a na štěrbině budeme potřebovat světelný svazek rozšířit, díky čemuž se z velké části zbavíme i divergence svazku. Toho docílíme pomocí sestavy dvou spojných čoček, která se nazývá Keplerův dalekohled. Laserový paprsek necháme dopadat na spojku o ohniskové vzdálenosti $f_1 = 50$ mm a do jejího předmětového ohniska umístíme obrazové ohnisko spojky o ohniskové vzdálenosti $f_2 = 200$ mm. Rozšířeným rovnoběžným světelným paprskem posvítíme na štěrbinu či kruhový otvor a na stínítku budeme pozorovat ohybový obrazec. Vzdálenost stínítka od štěrbinu musí být dostatečně velká, abychom pozorovali Fraunhoferovu difrakci. Dráhu světelného paprsku si prodloužíme dvěma rovinnými zrcadly, stínítko je umístěno na zdi.

Fraunhoferova difrakce na štěrbině

Posvítíme-li si rozšířeným laserovým paprskem na štěrbinu, získáme na stínítku difrakční obrazec. Změříme-li polohy minima, můžeme vypočítat šířku štěrbinu, známe-li vzdálenost štěrbinu od stínítka (tu jsme si prodloužili pomocí rovinných zrcadel) a vlnovou délku použitého světla. K výpočtu šířky štěrbinu použijeme vztah

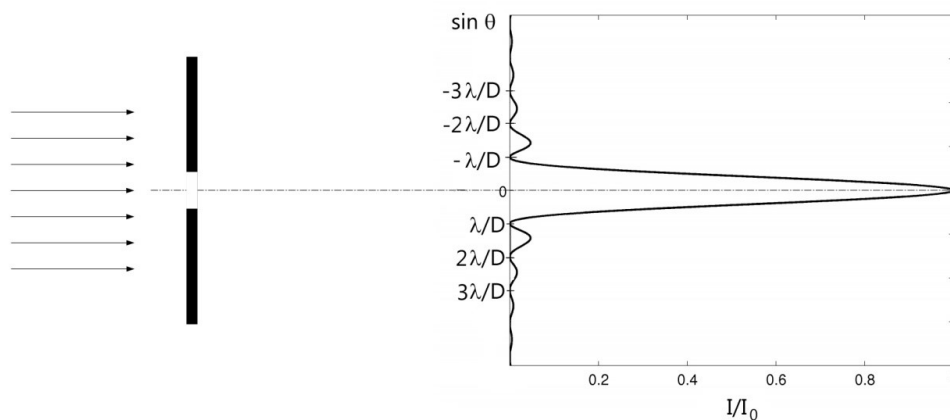
$$D = \frac{m\lambda}{\sin \theta}$$

kde m je řád minima, λ je vlnová délka světla, $\sin \theta \approx \frac{a}{d}$, a je vzdálenost minima od středu difrakčního obrazce a d je celková vzdálenost štěrbinu od stínítka.

My jsme k měření použili laser o vlnové délce $\lambda = 633 \text{ nm}$, vzdálenost $d = 3730 \text{ mm}$.

Pro jednotlivá minima jsme naměřili $a_1 = 5 \text{ mm}$, $a_2 = 9 \text{ mm}$, $a_3 = 14 \text{ mm}$.

Šířka štěrbinu nám vyšla $D = 0,46 \pm 0,04 \text{ mm}$. Tuto hodnotu jsme ovšem neměli s čím porovnat, neznali jsme šířku štěrbinu, protože indikátorové hodinky ukazovaly nepřesně.



Obrázek 1: Závislost relativní intenzity I/I_0 na úhlu θ

Fraunhoferova difrakce na kruhovém otvoru

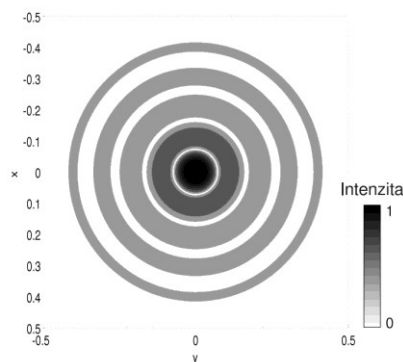
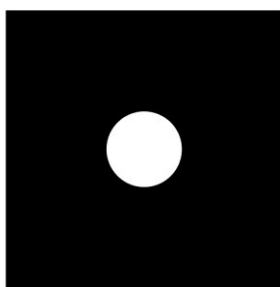
Princip je stejný, jako u difrakce na štěrbině. Opět používáme vztah

$$D = \frac{m\lambda}{\sin \theta}$$

ovšem za m dosazujeme pro minimum prvního řádu $m_1 = 1,22$, druhého řádu $m_2 = 2,23$ a minimum třetího řádu $m_3 = 3,24$.

Nyní jsme pracovali s hodnotami $\lambda = 633 \text{ nm}$, $d = 3810 \text{ mm}$ a dostali jsme $a_1 = 5,5 \text{ mm}$, $a_2 = 11,0 \text{ mm}$, $a_3 = 16,0 \text{ mm}$.

Vypočítali jsme hodnotu $D = 0,49 \pm 0,01 \text{ mm}$. Hodnota naměřená mikroskopem je $D = 0,5 \pm 0,1 \text{ mm}$.



Obrázek 2: Kruhový otvor a difrakční obrazec vzniklý za tímto otvorem

Fraunhoferova difrakce na difrakční mřížce

Difrakční mřížka je skleněná destička, do níž jsou vyryty rovnoběžné vrypy. Vzdálenost jednotlivých vrypů se nazývá mřížková konstanta D . U difrakční mřížky je difrakční obrazec pozorovatelný již při menší vzdálenosti od stínítka, nepoužili jsme tedy prodloužení vzdálenosti rovinnými zrcadly. Hlavní maxima jsou popsána rovnicí

$$D = \frac{m\lambda}{\sin \theta}$$

kde za m dosazujeme řád maxima.

Interferenční maxima jsme měřili při třech různých vzdálenostech mřížky od stínítka:

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$d = 305 \text{ mm}$$

$$d = 396 \text{ mm}$$

$$a_1 = 54 \text{ mm}$$

$$a_1 = 124 \text{ mm}$$

$$a_1 = 54160 \text{ mm}$$

$$a_2 = 164 \text{ mm}$$

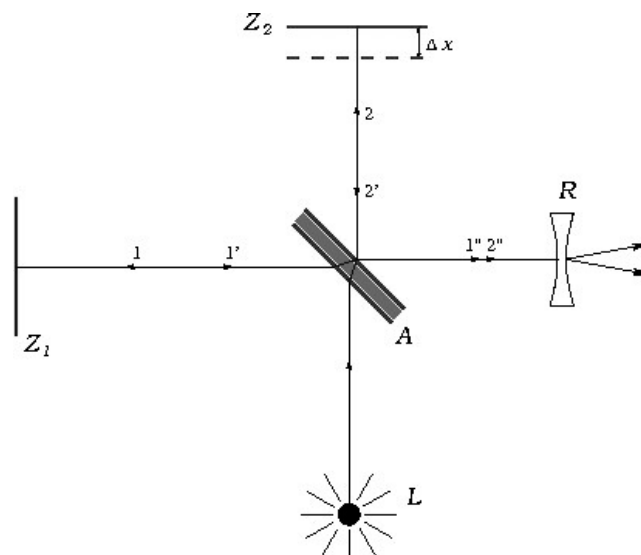
$$a_2 = 372 \text{ mm}$$

$$a_2 = 425 \text{ mm}$$

Mřížková konstanta nám vyšla $D = 1,71 \pm 0,06 \mu\text{m}$, přičemž skutečná hodnota byla $D = 1,67 \mu\text{m}$.

3 Měření vlnové délky laseru pomocí interference

Sestavili jsme si Michelsonův interferometr (viz obr. vpravo). Laserový paprsek ze zdroje L necháme dopadat pod úhlem 45° na polopropustné rozhraní v děliči svazku A (Abbého kostka). Paprsek se částečně odrazí (paprsek 1) a částečně projde (paprsek 2). Rovinnými zrcadly Z_1 a Z_2 vrátíme oba paprsky (1' a 2') do stejného místa na rozhraní v děliči svazku. Část 1' jím projde a část 2' se odrazí. Tyto dvě části paprsku jsou nyní fázově posunuté a interferují. Interferenční obrazec tvořený soustavou tmavých a světlých proužků je velmi malý, proto ho zvětšíme rozptylnou čočkou R , kterou vložíme mezi dělič svazku a stínítko.



Zrcadlo Z_2 je připevněno na posuvné zařízení. Posun zrcadla o $\Delta x = \lambda/4$ zkrátí dráhu paprsku 2 o $\lambda/2$ a celý obrazec se posune o šířku jednoho proužku. Zvolíme-li si na stínítku nějaký referenční bod a budeme-li počítat počet N proužků tímto bodem prošlých, můžeme určit vlnovou délku světla jako

$$\lambda = \frac{2\Delta x}{N}$$

Provedli jsme 5 měření, kdy jsme posouvali zrcadlo, dokud se interferenční obrazec neposunul o 20 proužků a poté jsme zjistili velikost posunutí zrcadla. Tímto způsobem jsme došli k vlnové délce $\lambda = 680 \pm 50 \text{ nm}$. Skutečná vlnová délka laseru byla $\lambda = 633 \text{ nm}$.

4 Shrnutí

Pomocí difrakčního obrazce se nám podařilo změřit poloměr kruhového otvoru, šířku štěrbiny a mřížkovou konstantu difrakční mřížky. Dále jsme pomocí Michelsonova interferometru změřili vlnovou délku použitého laserového obrazce. Všechny výsledky přibližně odpovídaly skutečným hodnotám.

Poděkování

Na závěr bychom chtěli poděkovat našemu supervizorovi Daliboru Skoupilovi za jeho čas, předané vědomosti a trpělivost a všem organizátorům Týdne vědy, zejména panu Vojtěchu Svobodovi.

Reference:

návod k úloze Interference a difrakce světla