

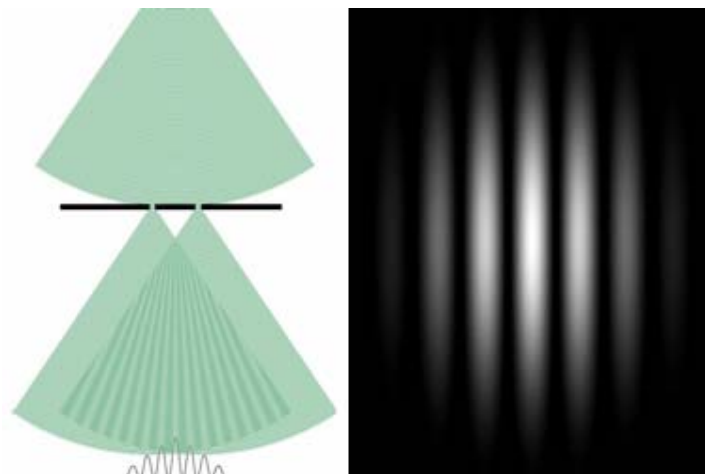
Youngův dvouštěrbinový experiment

Cíl laboratorní úlohy:

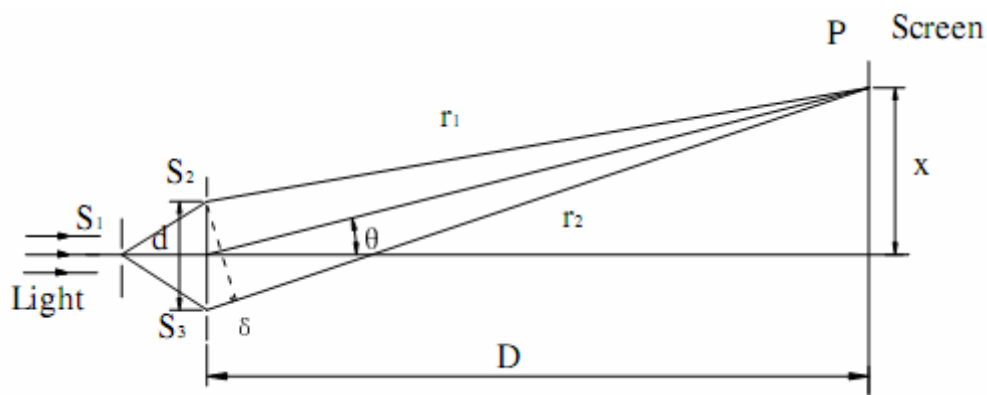
Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip dvouštěrbinové interference a určit vlnovou délku světla na základě rozteče pozorovaných interferenčních proužků.

Teorie úlohy:

V roce 1801 Thomas Young provedl experimentálně pokus, který prokázal, že světlo se chová jako vlnění. Namířil úzký svazek světla na dvě úzké štěrbinny situované blízko sebe a za štěrbinny umístil stínítko. Když světlo proniklo přes štěrbinny a dopadlo na stínítko, objevily se pravidelné bílé a tmavé interferenční proužky (viz. obr.1 a obr.2). Má-li vzniknout interferenční obraz, musí svazky světla vycházející ze štěrbin být dostatečně koherentní.



Obr.1



Obr.2

Projde-li světlo nejdříve přes štěrbinu S_1 a poté dopadá na štěrbinu S_2 a S_3 , jež jsou umístěny symetricky vůči ose štěrbinu S_1 , potom světlo vycházející z těchto štěrbin je koherentní a může interferovat. Pro dráhový rozdíl světla v rovině stínítka umístěného ve vzdálenosti D od dvoušterbiny poté platí:

$$\delta = r_2 - r_1 \approx s \sin \theta \approx d \tan \theta = d \frac{x}{D} \quad , \quad (1)$$

kde d je vzdálenost mezi štěrbinami S_2 a S_3 a x je příčná vzdálenost od osy dvoušterbiny v rovině stínítka.

Pokud je vzdálenost mezi určitým bodem na stínítku a dvěma štěrbinami rovna polovině vlnové délky světla (nebo jejím násobkům), objeví se v interferenčním obrazu tmavý proužek- jedná se o destruktivní interferenci. Pro dráhový rozdíl u tmavých interferenčních proužků (interferenčních minimum) tedy platí:

$$\delta = d \frac{x}{D} = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad , \quad (2)$$

kde k je celé číslo. Naopak, pokud dráhový rozdíl určitého bodu je roven celočíselnému násobku vlnové délky světla, pak dochází ke kompletní konstruktivní interferenci a na stínítku se objeví světlý proužek (interferenční maximum). Pro dráhový rozdíl u světlých interferenčních proužků tedy můžeme psát:

$$\delta = d \frac{x}{D} = \pm k \lambda \quad . \quad (3)$$

Pro vzdálenost mezi dvěma nejbližšími tmavými/světlými proužky tedy můžeme z předchozích vztahů odvodit:

$$\Delta x = \frac{D}{d} \lambda \quad (4)$$

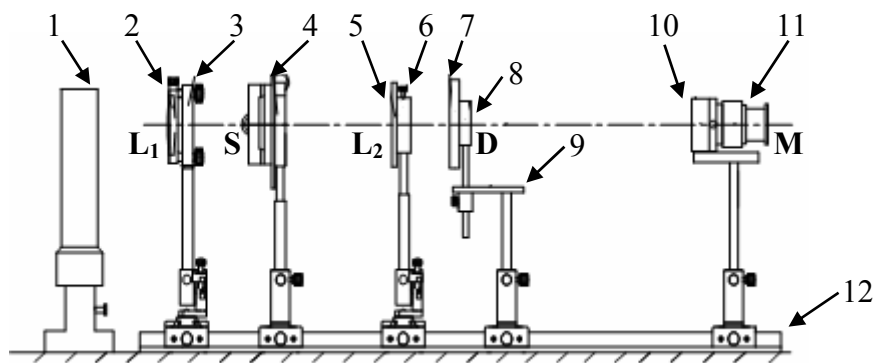
Změřením vzdáleností D a Δx a ze známé vzdálenosti d můžeme určit vlnovou délku λ světla. Experiment bude též jednodušší, použije-li se jako zdroj světla místo sodíkové lampy laser. Také interferenční proužky budou zřetelnější při použití laseru.

Experimentální sestava:

- 1 - Sodíková lampa (LLE-2, včetně clony)
- 2 - Čočka L_1 ($f' = 50\text{mm}$)
- 3 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 4 - Štěrbina s nastavitelnou šířkou (LEPO-28)
- 5 - Držák čočky (LEPO-9)
- 6 - Čočka L_2 ($f' = 150\text{mm}$)
- 7 - Držák na hranol (LEPO-43)
- 8 - Destička s dvouštěrbinou
- 9 - L-držák (LEPO-10)
- 10 - Držák pozorovacího mikroskopu (LEPO-37)
- 11 - Okulár pozorovacího mikroskopu
- 12 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr.3



Obr.4

Postup měření:

1. Sestavte experimentální sestavu podle obr.4, zjustujte všechny prvky do stejné výšky.
2. Zfokusujte zdroj světla pomocí čočky do štěrbin S_1 . Štěrbiny S_1 a dvouštěrbinu je nutno umístit tak, aby byl jejich směr rovnoběžný.
3. Použijte pozorovací mikroskop pro sledování interferenčního obrazce. Pozorujte světlé a tmavé proužky.
4. Změřte interval e mezi dvěma tmavými/světlými sousedícími proužky pomocí pozorovacího mikroskopu. Také změřte vzdálenost D mezi destičkou s dvouštěrbinou a mikroskopem. Použijte známou vzdálenost d mezi štěrbinami S_2 a S_3 a spočítejte vlnovou délku světla podle následujícího vzorce:

$$\lambda = \frac{d \cdot e}{D}$$

Interference světla - Newtonovy kroužky

Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip interference na případu tzv. Newtonových kroužků a vypočítat zakřivení povrchu čočky pomocí měření vzdálenosti interferenčních kroužků.

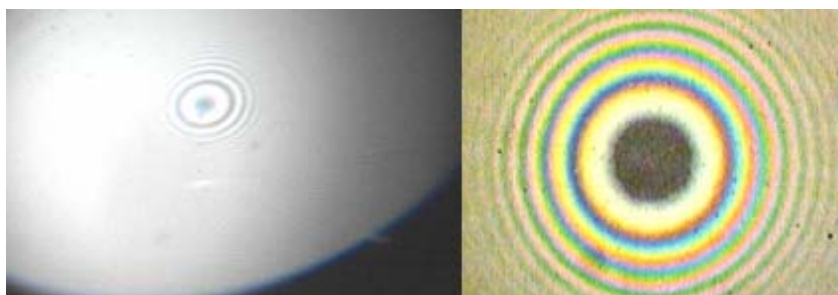
Teorie úlohy:

Newtonovy kroužky jsou interferenční obrazce způsobené fázovým rozdílem mezi interferujícími svazky světla, které vznikají odrazem světla mezi dvěma povrchy (kulový a rovinný tvar). Mezi kulovým povrchem čočky a povrchem rovinného skla se nachází tenká vrstva vzduchu.



Obr.1

Při použití monochromatického světla jsou Newtonovy kroužky v podobě soustředných bílých a tmavých kroužků, které mají střed v místě kontaktu mezi povrchy. Při použití bílého světla se vytvoří soustředné barevné kruhy.

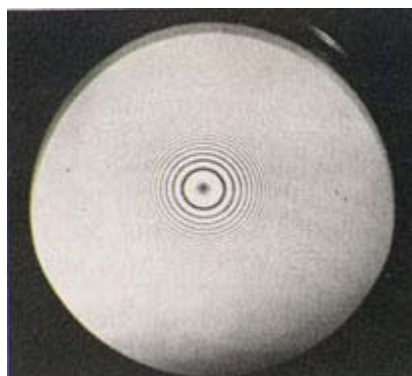
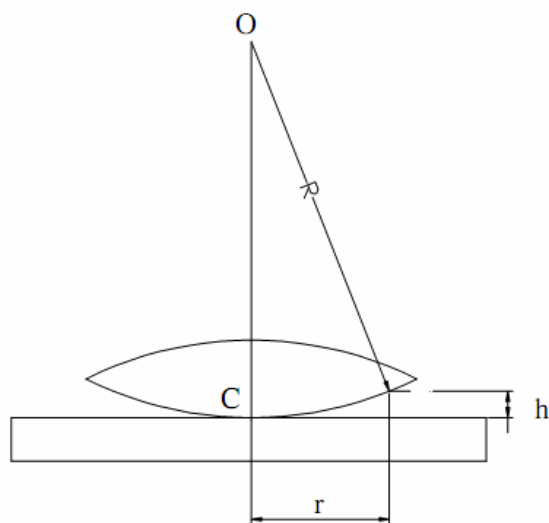


Obr.2

Světlé kroužky jsou způsobeny konstruktivní interferencí mezi svazky světla odrážejících se od obou povrchů, zatímco tmavé kroužky jsou způsobeny interferencí destruktivní.

Jestliže R je poloměr křivosti konvexní plochy (viz obr.3), pak se tloušťka tenké vrstvy vzduchu mezi oběma povrchy vypočte podle vztahu:

$$h = R - \sqrt{R^2 - r^2} \approx \frac{r^2}{2R} \quad (1)$$



Obr.3

Poloměr m -tého tmavého kroužku je dán poté vztahem:

$$r_m = \sqrt{mR\lambda} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (2)$$

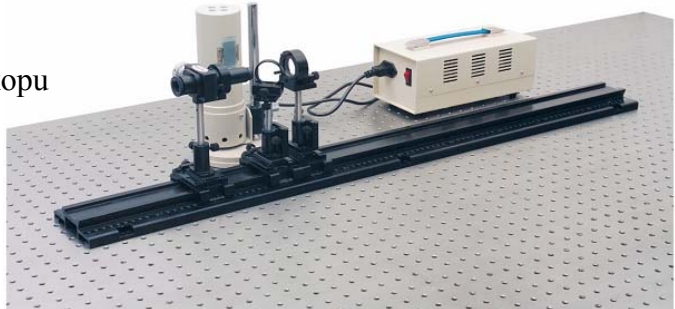
Tímto způsobem lze změřit a vypočítat poloměr křivosti konvexní sférické plochy. Avšak velmi malé prachové částice mohou zrušit kontaktní místo mezi povrchy a tudíž nelze r_m změřit přesně. V tomto případě tedy můžeme změřit poloměry dvou kroužků a použít následující vztah pro výpočet R .

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{m - n} \lambda, \quad (3)$$

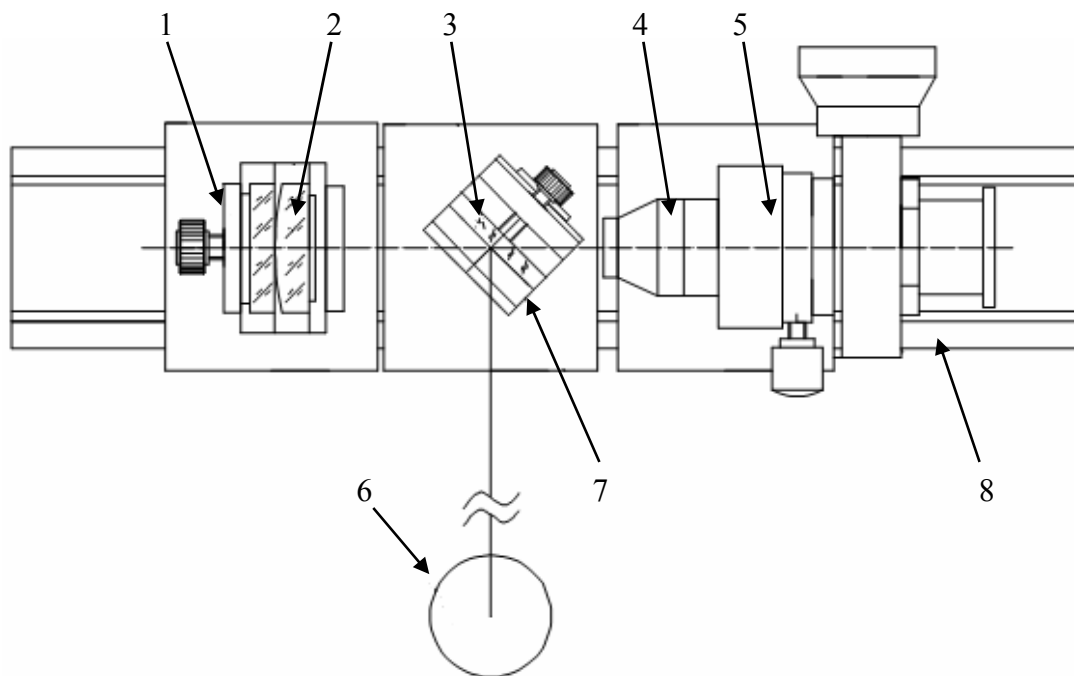
kde m a n znamenají m -tý (n -tý) kroužek.

Experimentální sestava:

- 1 - Držák na Newtonova skla (LEPO-39)
- 2 - Newtonova skla (LEPO-38)
- 3 - Dělič paprsku (5:5)
- 4 - Objektiv pozorovacího mikroskopu
- 5 - Držák mikroskopu (LEPO-37)
- 6 - Sodíková lampa (LLE-2)
- 7 - Držák desek A (LEPO-13)
- 8 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr. 4



Obr. 5

Postup měření:

5. Sestavte experimentální soustavu podle obr.5.
6. Pomocí regulačního šroubu sestavy nastavte kontaktní místo povrchů Newtonových skel přibližně doprostřed.
7. Vhodně nastavte dělič svazku a poté pomocí pozorovacího mikroskopu nalezněte interferenční kruhy.
8. Změřte průměr kruhů pomocí měřicího mikroskopu (například od 10. - 15. kroužku).
9. Vypočtete poloměr zakřivení povrchu sférické plochy pomocí vztahu 3.

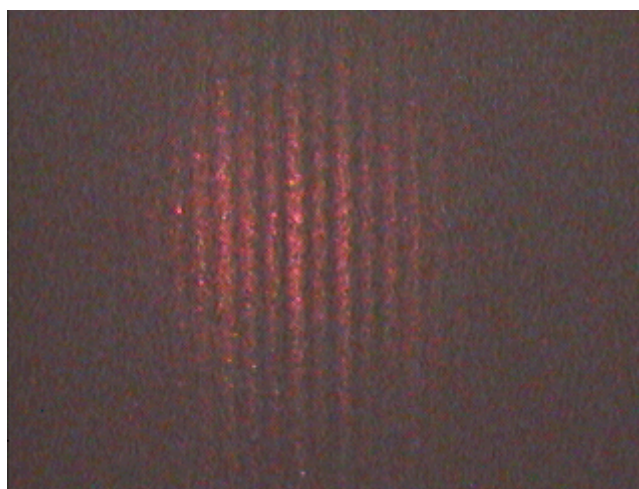
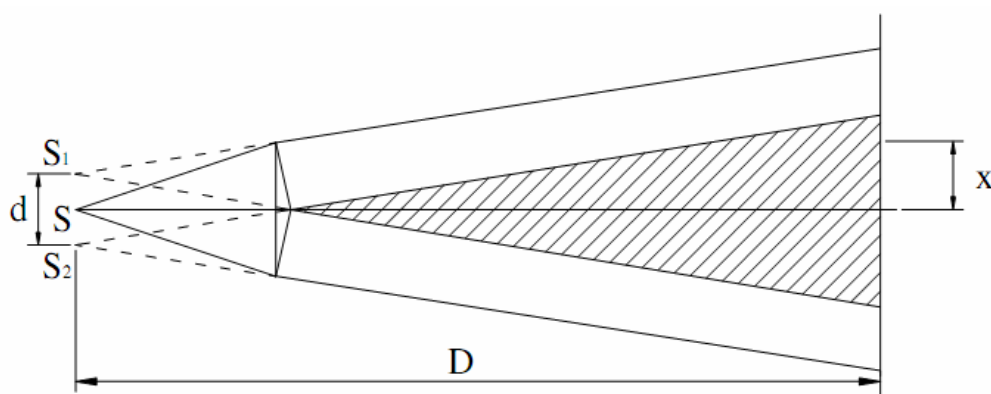
Interference na Fresnelově dvojhranolu

Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip interference Fresnelova dvojhranolu a určit vlnovou délku použitého světla s pomocí interferenčních jevů.

Teorie úlohy:

Fresnelův dvojhranol je optický element, který je složen ze dvou optických hranolů s malými lámavými úhly, které jsou spojené základnami k sobě. Používá se jako dělič svazků metodou dělení vlnoplochy. Svazek světla z bodového zdroje S je rozdělen do dvou vzájemně se překrývajících svazků. Hranoly tvoří dva virtuální obrazy, S_1 a S_2 zdroje světla S (viz. obr.1), které fungují obdobně jako dvě štěrbin v Youngově dvojštěrbinovém experimentu. Překrývající se svazky procházející jednotlivými částmi hranolu poté vytváří interferenční pole.



Obr.1

Pro následující vztahy definujeme d jako vzdálenost mezi dvěma virtuálními obrazy S_1 a S_2 .

Pro dráhový rozdíl v místě minima intenzity interferenčního pole (tmavé interferenční proužky) platí:

$$\delta = d \frac{x}{D} = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Pro dráhový rozdíl v místě minima intenzity interferenčního pole (světlé interferenční proužky):

$$\delta = d \frac{x}{D} = \pm k \lambda \quad (2)$$

Vzdálenost mezi dvěma sousedními tmavými (nebo světlými) interferenčními proužky se poté dá vypočítat dle vztahu:

$$\Delta x = \frac{D}{d} \lambda . \quad (3)$$

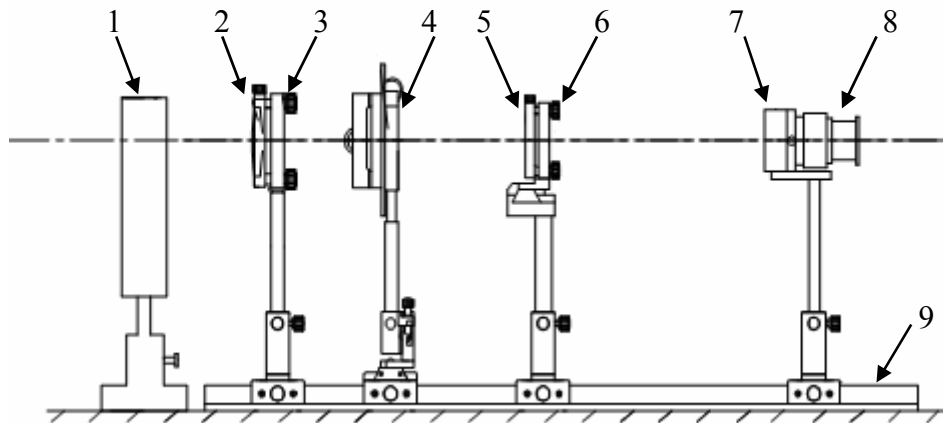
Vzdálenost d mezi dvěma virtuálními obrazy S_1 a S_2 bodového zdroje S nemůžeme měřit přímo. Pokud dáme za Fresnelův dvojhranol čočku a pomocí pozorovacího mikroskopu s měřicím okulárem odečteme vzdálenost mezi obrazy S_1 a S_2 , potom lze již ze zobrazovací rovnice vypočítat vzdálenost d mezi dvěma virtuálními obrazy S_1 a S_2 .

Experimentální sestava:

- 1 - Sodíková lampa (LLE-2, včetně clony)
- 2 - Čočka L_1 ($f' = 50mm$)
- 3 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 4 - Jednostranná nastavitelná štěrbinová (LEPO-28)
- 5 - Fresnelův dvojhranol
- 6 - Držák na hranol (LEPO-43)
- 7 - Držák mikroskopu (LEPO-37)
- 8 - Okulár měřicího mikroskopu
- 9 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr.2



Obr. 3

Postup měření:

1. Sestavte experimentální sestavu podle obrázku 3, všechny prvky nastavte do stejné výšky.
2. Zfokusujte svazek světla ze zdroje do úzké štěrbinu pomocí čočky. Klíčem úspěchu tohoto měření je ztotožnit směr štěrbinu a hrany Fresnelova dvojhnanolu.
3. Použijte měřicí mikroskop pro sledování interferenčního obrazce (světlé a tmavé interferenčních proužků s konstantní roztečí).
4. Změřte interval Δx mezi dvěma sousedními interferenčními proužky pomocí měřicího mikroskopu. Změřte vzdálenost L mezi štěrbinou a mikroskopem.
5. Pro získání vzdálenosti d mezi dvěma virtuálními obrazy zdroje světla S vytvořenými Fresnelovým dvojhnanolem, vložte čočku L_2 ($f' = 190\text{mm}$) za dvojhranol, abychom získali reálný obraz dvou virtuálních zdrojů S_1 a S_2 . Posuňte mikroskop do roviny reálného obrazu a změřte vzdálenost mezi dvěma reálnými obrazy jako d' . Za pomoci Gaussovy zobrazovací rovnice vypočtete vzdálenost d .
6. Podle následujícího vztahu vypočtete vlnovou délku světla. Interval e mezi dvěma sousedícími proužky je:

$$e = \frac{L \cdot \lambda}{d}$$

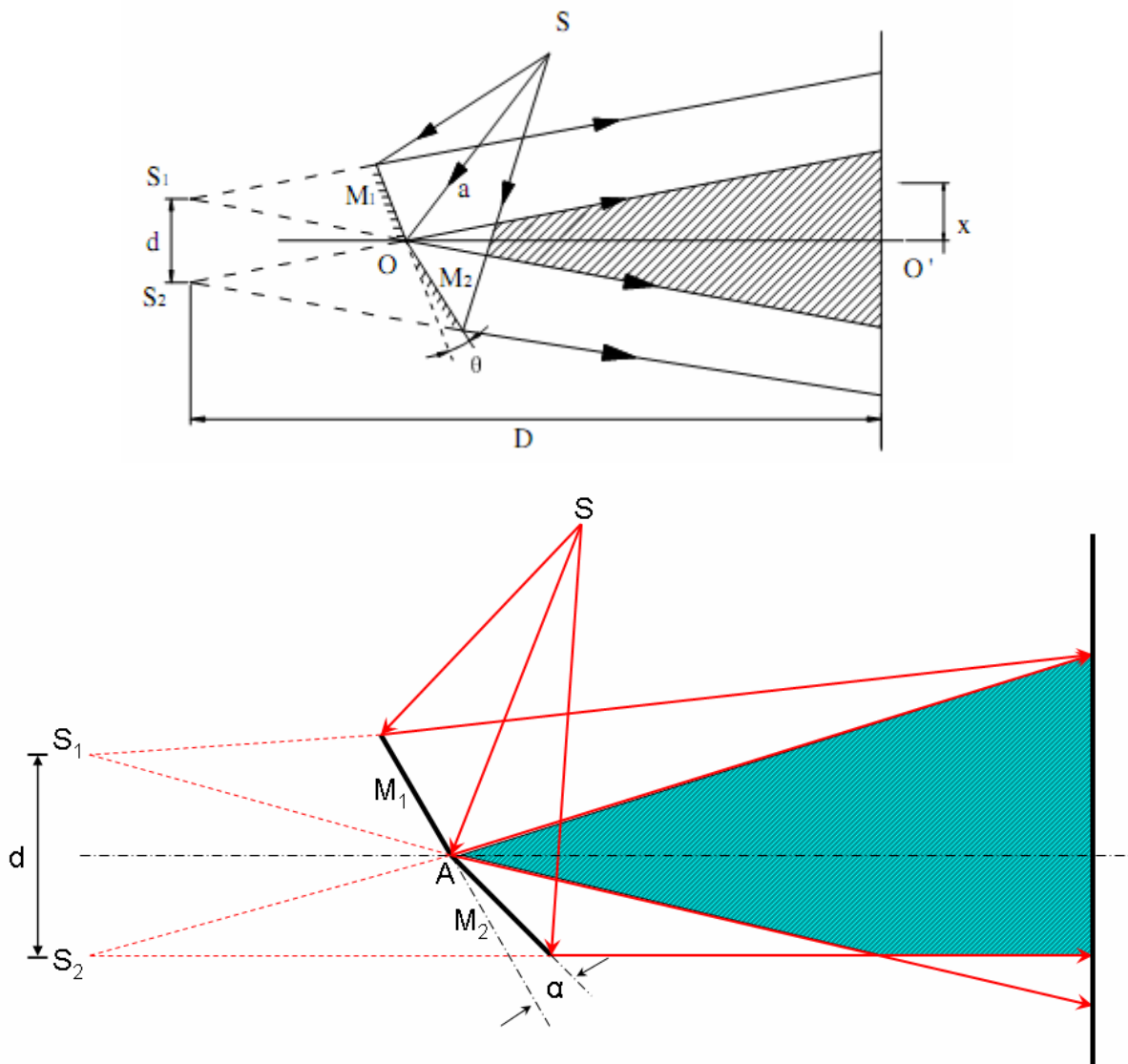
Interference na soustavě dvou zrcadel

Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip interference na soustavě dvou zrcadel (Fresnelova zrcadla) a změřit vlnovou délku světla pomocí pozorovaného interferenčního jevu.

Teorie úlohy:

Princip interference na Fresnelových zrcadlách je znázorněna na obr.1. Fresnelova zrcadla je dvojice rovinných zrcadel M_1 a M_2 , která mezi sebou svírají velmi malý úhel.



Obr. 1

Světlo z bodového zdroje S osvětluje obě zrcadla, a odražené paprsky tvoří virtuální obrazy S_1 , S_2 zdroje světla S, které působí jako koherentní záření. Pokud $SO = a$, pak

$$S_1O = S_2O = a \quad (1)$$

Vzdálenost mezi virtuálními obrazy S_1 a S_2 je

$$d = 2a \sin \theta, \quad (2)$$

kde θ je úhel, který svírají zrcadla. Opět se jedná o podobnou situaci jako v Youngově dvouštrbinovém interferenčním experimentu. Pro dráhový rozdíl v místě minima intenzity interferenčního pole (tmavé interferenční proužky) platí:

$$\delta = d \frac{x}{D} = \pm(2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

Pro dráhový rozdíl v místě minima intenzity interferenčního pole (světlé interferenční proužky):

$$\delta = d \frac{x}{D} = \pm k \lambda. \quad (4)$$

Vlnovou délku použitého zdroje světla poté můžeme určit ze vztahu:

$$\lambda = \frac{d}{D} \Delta x = \frac{2a \sin \theta}{a \cos \theta + OO'} \Delta x \approx \frac{2a \theta}{a + OO''} \Delta x, \quad (5)$$

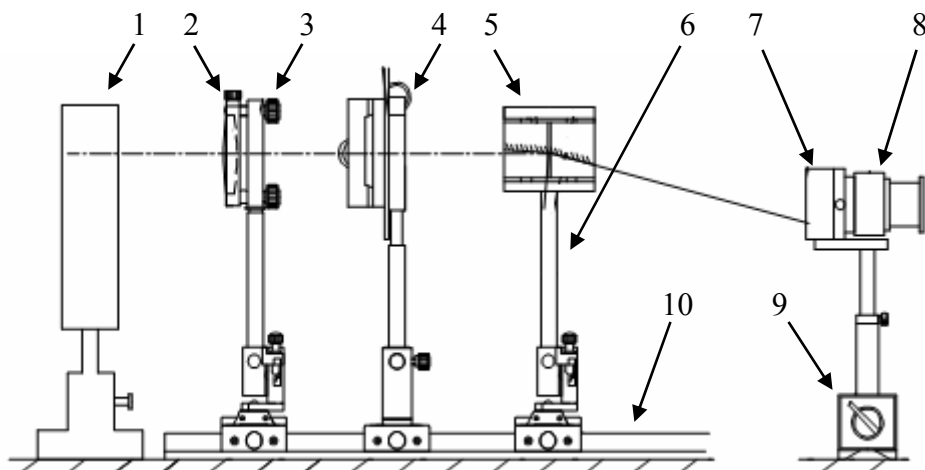
kde Δx je vzdálenost mezi dvěma sousedními tmavými (nebo světlými) interferenčními proužky.

Experimentální sestava:

- 1 - Sodíková lampa (LLE-2, včetně clony)
- 2 - Čočka L_1 ($f' = 50mm$)
- 3 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 4 - Jednostranná nastavitelná štrbina (LEPO-28)
- 5 - Soustava dvou zrcadel (LEPO-32)
- 6 - Držák desek A (LEPO-13)
- 7 - Držák mikroskopu (LEPO-37)
- 8 - Okulár měřicího mikroskopu
- 9 - Dvouosá stůl (LEPO-2)
- 10 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr.2



Obr.3

Postup měření:

1. Sestavte experimentální sestavu (obr.3). Klíčem úspěchu tohoto experimentu spočívá ve správném nastavení směrů obou zrcadel pomocí justážních šroubů na druhé straně Fresnelových zrcadel tak, aby normály obou rovinných zrcadel ležely v jedné rovině.
2. Ke splnění výše uvedených podmínek, použijte laserový svazek pro osvětlení společné oblasti obou zrcadel (polovina svazku na každém zrcadle). Na stínítku lze poté sledovat body z odražených svazků. Jemně nastavte tři šrouby na zadní straně jednoho zrcadla tak, aby vstupující paprsek a dva paprsky odražené byly v jedné rovině. Úhel θ lze získat tím, že se spočítá poměr dvou oddělených stop odražených svazků na stínítku ku vzdálenosti mezi stínítkem a zrcadly (úhel by měl být cca. $0,5^\circ$).
3. Zaostríte zdroj světla na štěrbinu pomocí čočky, otočte štěrbinou tak, aby směr štěrbinou byl rovnoběžný s průsečnicí obou zrcadel.
4. Použijte měřicí mikroskop k pozorování vzniklých interferenčních proužků.
5. Změřte interval Δx mezi dvěma sousedními proužky pomocí mikroskopu a dráhu D mezi štěrbinou a mikroskopem.
6. K získání vzdálenosti d mezi dvěma virtuálními obrazy S_1 , S_2 zdroje světla S vynásobte dvojnásobek úhlu Θ (měřeno v kroku 2.) vzdáleností a mezi štěrbinou a zrcadly.
7. Vypočtete vlnovou délku světla podle vztahu:

$$\lambda = \frac{d}{D} \Delta x$$

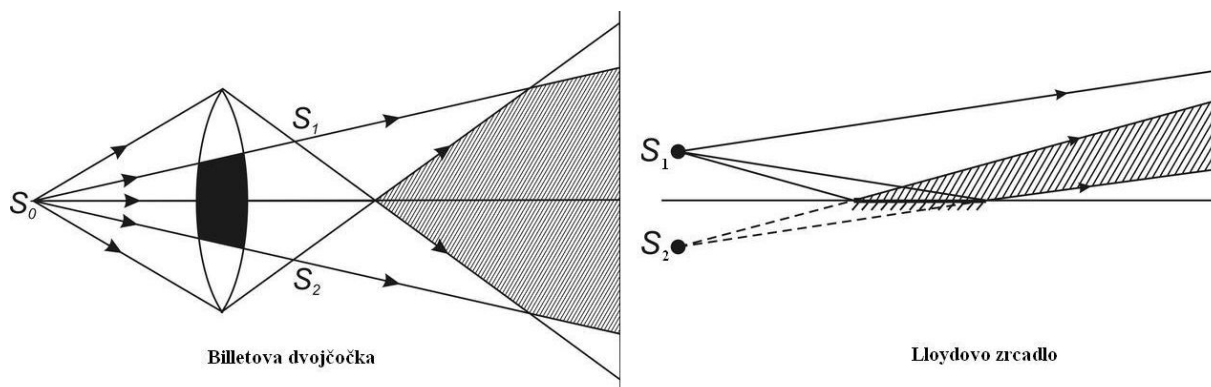
Interference na Lloydově zrcadle

Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip interference na Lloydově zrcadle a určit vlnovou délku světla.

Teorie úlohy:

K interferenci dvou vln nebo svazků dochází v řadě případů. Dva interferující svazky zpravidla vzniknou dělením jednoho svazku. Podle toho, jak dva svazky vzniknou, se dělí uspořádání pro pozorování interference na případ interference pomocí dělení amplitudy a na případ interference pomocí dělení vlnoplochy. Dva příklady experimentálních uspořádání interference s dělením vlnoplochy jsou uvedeny na obr.1. Jedná se o Billetovu dvojčočku a Lloydovo zrcadlo. Billetova dvojčočka je tvořena dvěma částmi čočky, mezi nimiž je neprůhledná překážka. Bodový zdroj světla S_0 je zobrazen každou částí čočky, vzniknou reálné obrazy S_1 a S_2 . Vlny vycházející z těchto dvou zdrojů interferují ve vyšrafované oblasti. U Lloydova zrcadla vzniká při odrazu virtuální obraz S_2 zdroje S_1 a dochází k interferenci vln zdrojů S_2 a S_1 ve vyšrafované oblasti.

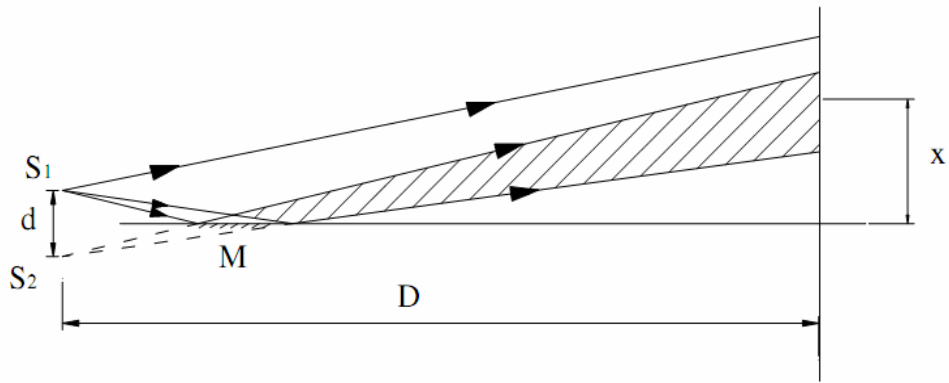


Obr.1

Bodový zdroj S_1 je umístěn v určité vzdálenosti od rovinného zrcadla M a blízko k rovině povrchu zrcadla. Interferují tedy vlny vycházející z primárního zdroje S_1 a jeho virtuálního obrazu S_2 , jež jsou koherentní. Podobně jako u experimentu s interferencí na Fresnelových zrcadlech, dostáváme výraz pro vlnovou délku:

$$\lambda = \frac{d}{D} \Delta x, \quad (1)$$

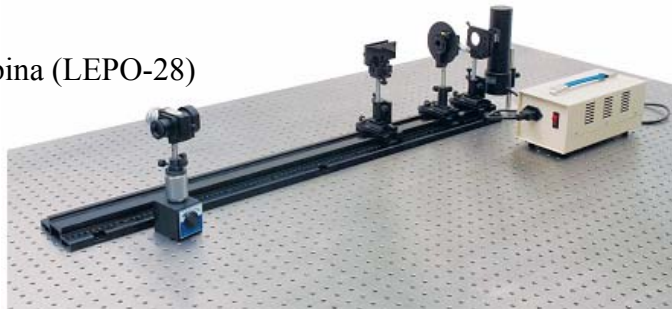
kde Δx je vzdálenost mezi dvěma sousedními tmavými (nebo světlými) interferenčními proužky, D je vzdálenost zdrojů od stínítka a d je vzdálenost mezi zdroji S_1 a S_2 (obr.2).



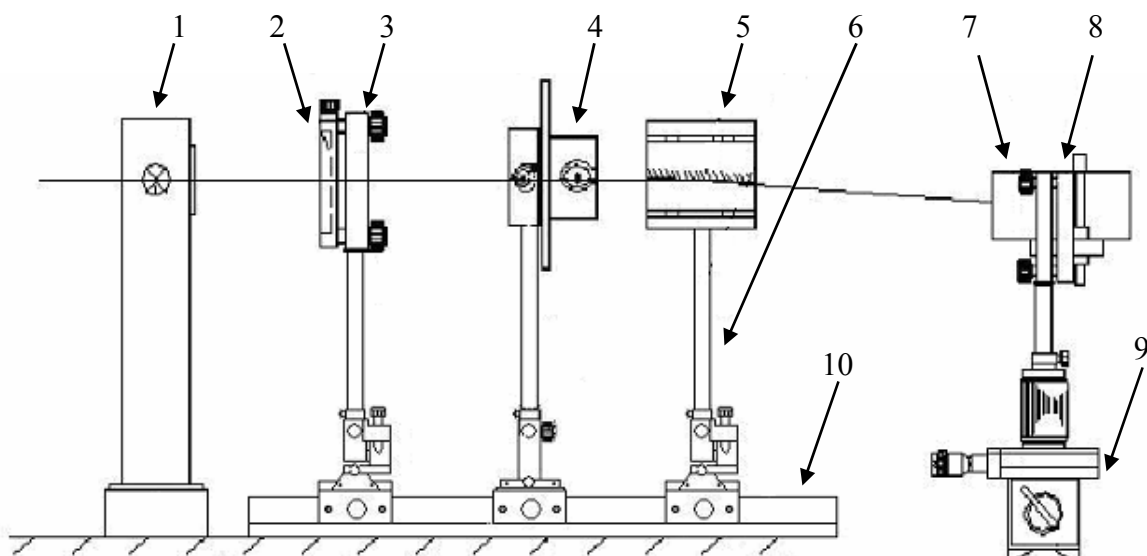
Obr.2

Experimentální sestava:

- 1 - Sodíková lampa (LLE-2, včetně clony)
- 2 - Čočka L_1 ($f' = 50mm$)
- 3 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 4 - Jednostranná nastavitelná štěrbinová (LEPO-28)
- 5 - Lloydovo zrcadlo (LEPO-33)
- 6 - Držák desek A (LEPO-13)
- 7 - Držák mikroskopu (LEPO-37)
- 8 - Okulár měřicího mikroskopu
- 9 - Dvouosý nastavitelný stolek (LEPO-2)
- 10 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr.3



Obr.4

Postup měření:

1. Sestavte experimentální soustavu podle obr.4, prvky umístěte do stejné výšky.
2. Zfokusujte zdroj světla na štěrbinu pomocí čočky a umístěte Lloydovo zrcadlo do svislé polohy.
3. Pomalu pohybujte Lloydovým zrcadlem blízko optické osy, ať světlo vstupuje přes zrcadlo. Za zrcadlem pozorujte přímý a odražený svazek, zdroj S_1 a jeho virtuální obraz S_2 .
4. Otáčejte štěrbinou tak, aby S_1 a jeho virtuální obraz S_2 byly rovnoběžné. Zafixujte Lloydovo zrcadlo, jestliže vzdálenost mezi S_1 a S_2 bude přibližně 2 mm.
5. Použijte měřicí mikroskop pro sledování vzniklého interferenčního obrazce pomocí Lloydova zrcadla a pozorujte světlé a tmavé interferenční proužky.
6. Změřte vzdálenost Δx mezi dvěma sousedními proužky pomocí měřicího mikroskopu a vzdálenost D mezi štěrbinou a mikroskopem.
7. Chcete-li získat vzdálenost d mezi S_1 a S_2 , umístěte čočku L_2 ($f' = 190$ mm) za Lloydovo zrcadlo. Získáte tak dva reálné obrazy zdrojů světla. Posuňte měřicí mikroskop do roviny, kde vzniká reálný obraz zdrojů a změřte vzdálenost mezi reálnými obrazy a označte ji jako d' . Pomocí Gaussovy zobrazovací rovnice pak vypočtete vzdálenost d .
8. Použijte naměřené veličiny pro výpočet vlnové délky světla pomocí vztahu (1).

Fresnelova difrakce na štěrbině

Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip Fresnelovy difrakce a pozorovat příslušné difrakční jevy na štěrbině.

Teorie úlohy:

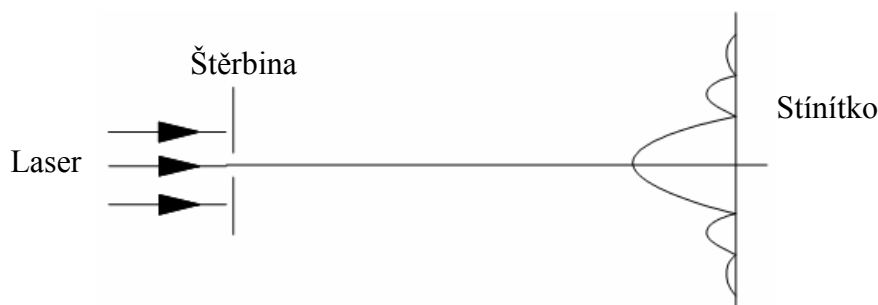
Difrakcí rozumíme takovou odchylku od přímočarého šíření světla, kterou nelze vysvětlit pomocí geometrické optiky. Difrakce nastává při šíření prostorově ohraničeného svazku světla. Difrakční jevy jsou nejlépe pozorovatelné při průchodu svazku světla štěrbinou nebo přes překážky o velikostech řádově srovnatelných s vlnovou délkou světla.

Existují různé teorie difrakce, jedna předpokládá, že dopadající světelná vlna není ovlivněna uvnitř otvoru (prochází beze změn). Druhá pak předpokládá, že světelná vlna vůbec neprojde (je nulová) za neprůsvitnou částí stínítka. Vlny v určité vzdálenosti od stínítka se potom určí pomocí zákonitostí šíření světla ve volném prostoru. Podle charakteru tohoto šíření (tj. podle vzdálenosti stínítka) rozlišujeme difrakci Fraunhoferovu a Fresnelovu.

Rozhodnutí, o který typ difrakce světla se jedná, se v praxi často charakterizuje pomocí podmínky, aby tzv. Fresnelovo číslo bylo buď mnohem menší než 1 (Fraunhoferova difrakce) nebo srovnatelné s 1 (Fresnelova difrakce). Fresnelovo číslo je definováno jako

$$N_F = \frac{b^2}{\lambda d}, \quad (1)$$

kde b je maximální rozměr apertury, na které nastává difrakce, a d je vzdálenost mezi rovinou apertury (clony) a rovinou pozorování. Pokud podmínka $N_F \ll 1$ splněna není (pro blízké vzdálenosti pozorovací roviny od štěrbinou), nastává případ tzv. Fresnelovy difrakce.



Obr.1

Pokud je úzká štěrbiná o šířce a osvětlena rovinnou vlnou (např. laserový svazek), pak rozložení intenzity pozorované na stínítku v úhlu θ s ohledem na směr dopadu, je dáno vztahem

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha^2}, \quad (2)$$

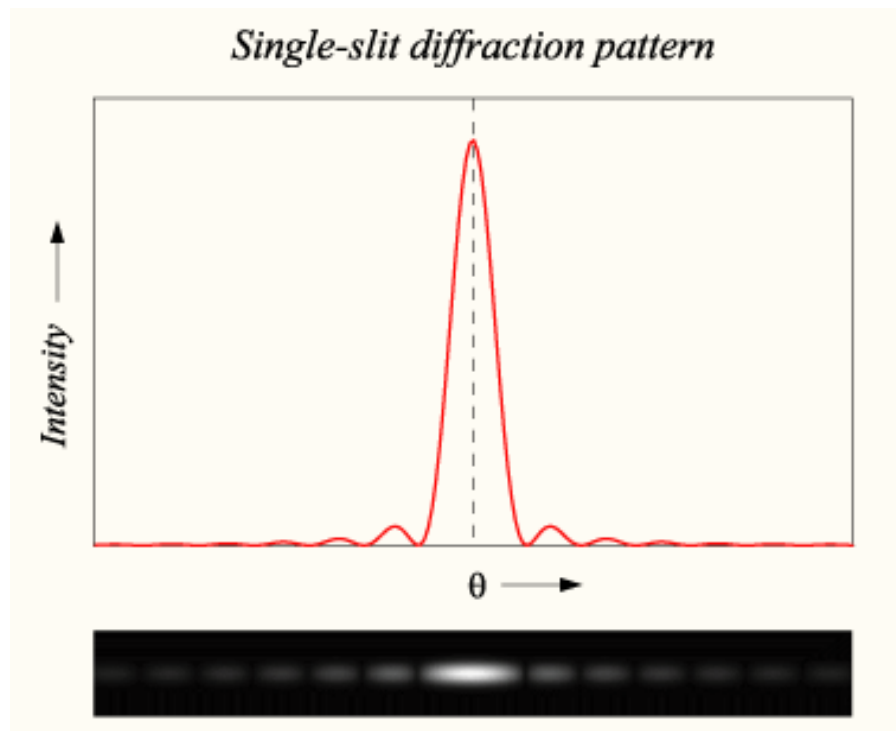
kde I_0 je maximální intenzita centrálního proužku difrakčního obrazce, kde parametr α je dán vztahem:

$$\alpha = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \quad (3)$$

Minima intenzity v difrakčním obrazci lze poté získat ze vztahu:

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{a}, \quad m = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (4)$$

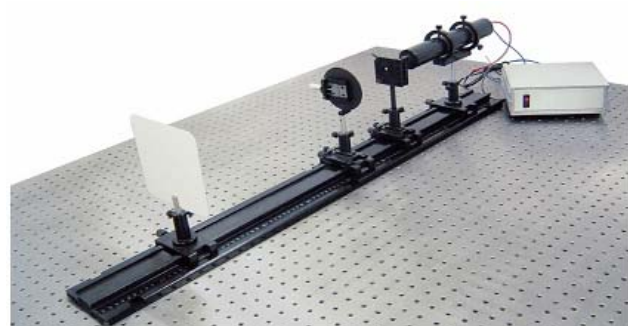
kde θ je úhel pozorování směru intenzity s ohledem na směr dopadu.



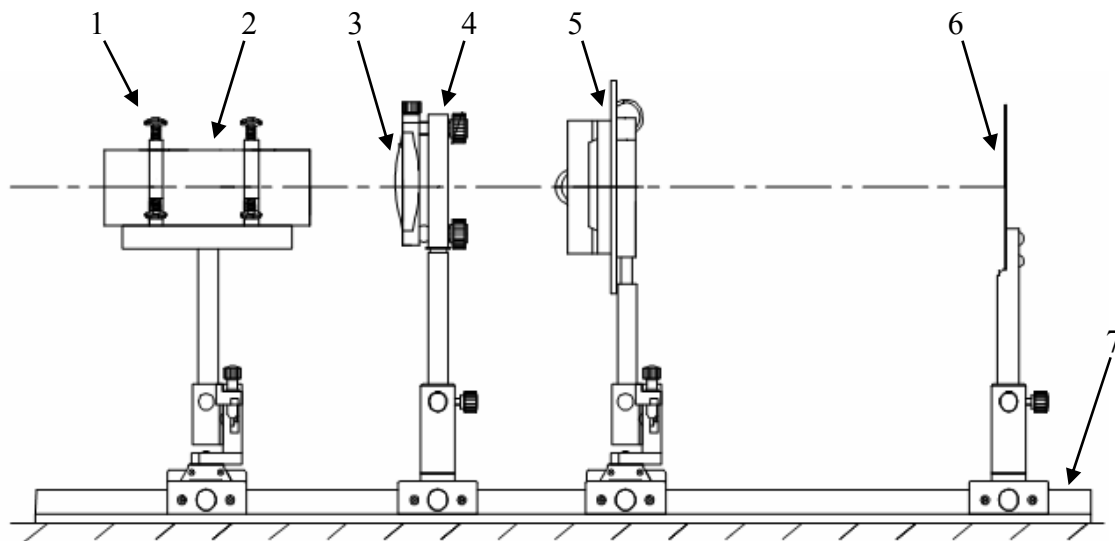
Obr.2

Experimentální sestava:

- 1 - Držák na laser (LEPO-44)
- 2 - He-Ne laser (LLL-2)
- 3 - Čočka ($f' = 4,5\text{mm}$)
- 4 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 5 - Jednostranná nastavitelná štěrbiná (LEPO-28)
- 6 - Stínítko (LEPO-14)
- 7 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr.3



Obr. 4

Postup měření:

1. Sestavte experimentální sestavu podle obr. 4, všechny prvky umístěte do stejné výšky.
2. Nastavte vzdálenost mezi čočkou a štěrbinou na cca.100 mm a vzdálenost stínítka od štěrbinu na cca.500 mm
3. Zapněte laserový zdroj a na stínítku pozorujte difrakční obrazec
4. Změňte šířku štěrbinu a pozorujte změnu difrakčního obrazce
5. Na základě měření pozice prvního minima difrakčního obrazce určete vlnovou délku použitého zdroje záření (He-Ne laser). Místo stínítka použijte digitální kameru a výsledky zpracujte na počítači.

Fresnelova difrakce na kruhové cloně

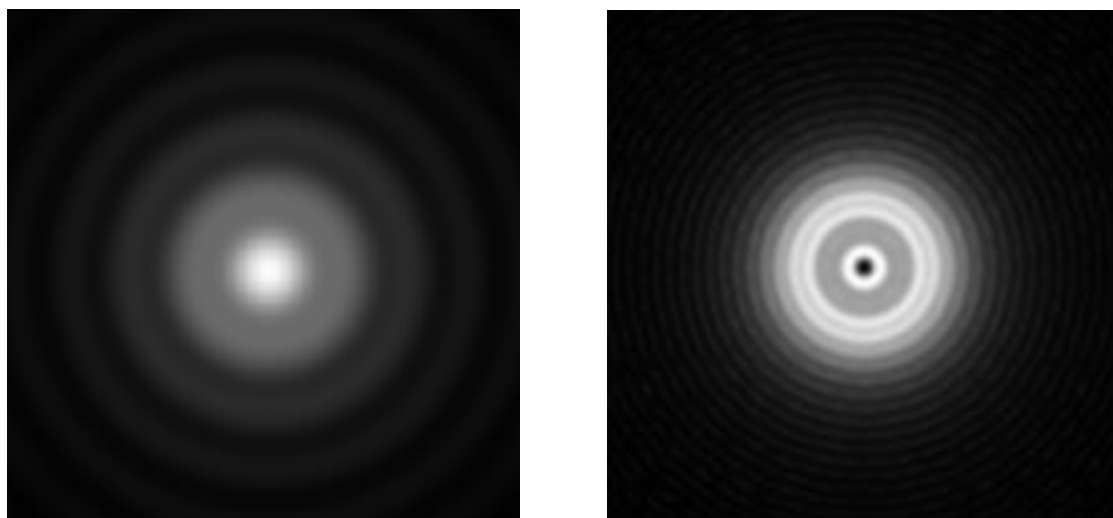
Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip Fresnelovy difrakce na kruhové cloně a pozorovat příslušné difrakční vzory na stínítku.

Teorie úlohy:

Difrakcí rozumíme takovou odchylku od přímočarého šíření světla, kterou nelze vysvětlit pomocí geometrické optiky. Difrakce nastává při šíření prostorově ohraničeného svazku světla. Difrakční jevy jsou nejlépe pozorovatelné při průchodu svazku světla štěrbinou nebo přes překážky o velikostech řádově srovnatelných s vlnovou délkou světla.

Pro případ difrakce na cloně o tvaru kruhové dírky můžeme za kruhovým otvorem clony o průměru d pozorovat difrakční obrazec složený ze soustředných kroužků s postupně klesající intenzitou. Prostorové rozložení intenzity v difrakčním obrazci je závislé na vzdálenosti roviny pozorování od roviny dírky, na šířce dírky a vlnové délce světla (tj. na Fresnelově čísle).



Obr.1

Intenzita může být vypočtena stejným způsobem, jako u jediné štěrbině. Podmínka pro pozorování prvního minima intenzity v difrakčním obrazci je:

$$\sin \theta = 1,22 \frac{\lambda}{d}, \quad (1)$$

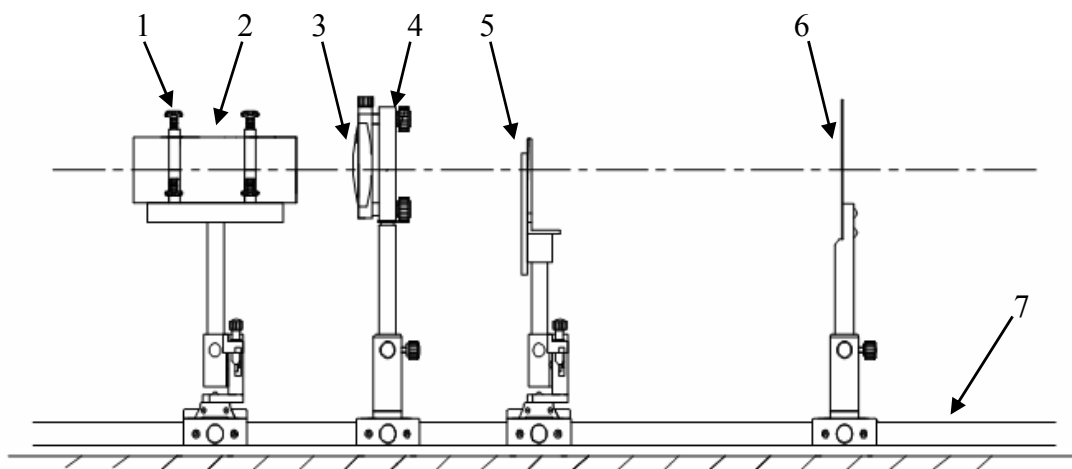
kde θ je úhel pozorování směru intenzity s ohledem na směr dopadu, λ je vlnová délka světla a d je průměr kruhové clony.

Experimentální sestava:

- 1 - Držák na laser (LEPO-44)
- 2 - He-Ne laser (LLL-2)
- 3 - Čočka ($f' = 4,5\text{mm}$)
- 4 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 5 - Disk s dírkovými clonami (LEPO-24),
- 6 - Stínítko (LEPO-14)
- 7 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr. 2



Obr. 3

Postup měření:

1. Sestavte experimentální sestavu podle obr.3, všechny prvky umístěte do stejné výšky.
2. Zapněte zdroj laserového záření a pozorujte na stínítku difrakční obrazec.
3. Při pomalém posouvání stínítka od kruhové clony (změna Fresnelova čísla), na které nastává difrakce, se centrální část difrakčního obrazce mění od světlé až po tmavou.

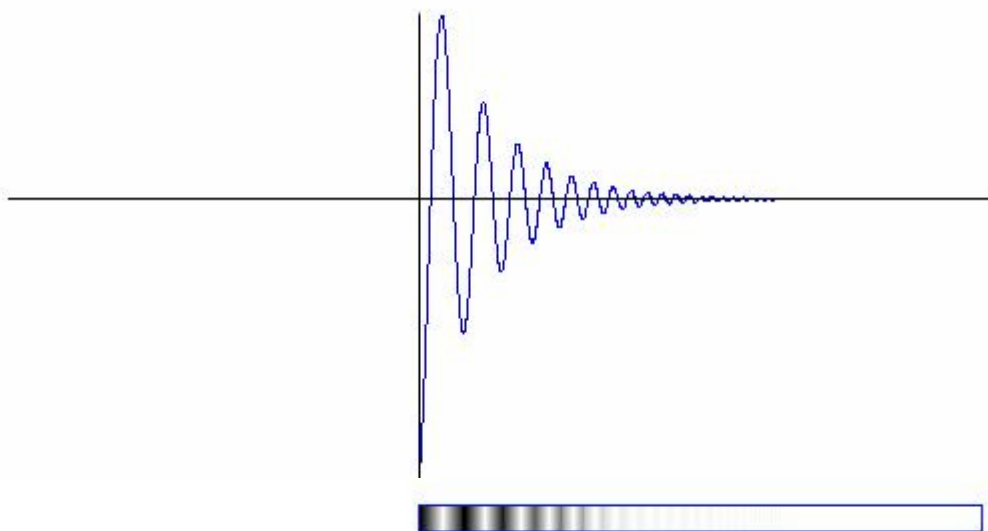
Fresnelova difrakce na ostré hraně

Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip Fresnelovy difrakce na ostré hraně a pozorovat příslušné difrakční jevy.

Teorie úlohy:

V případě osvětlení monochromatickým světlem dochází při difrakci na hraně ke vzniku difrakčního obrazce ve tvaru proužků, které jsou rovnoběžné s přímou hranou.

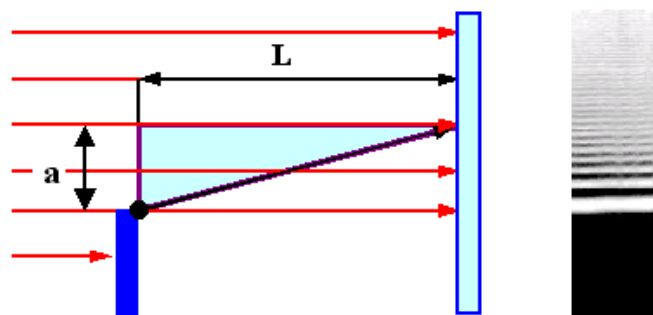


Obr.1 Rozdělení intenzity světla

Šíří-li se záření o vlnové délce λ kolem hrany, dochází k interferenci mezi paprsky původního svazku a paprsky difraktujícími na hraně (viz obr.2). V případě, že dráhový rozdíl těchto paprsků je roven celistvému násobku vlnových délek, dojde na stínítku v jisté vzdálenosti a od hrany objektu k interferenci záření. Je-li vzdálenost stínítka od objektu L , pak pro difrakci na hraně platí vztah:

$$\sqrt{a^2 + L^2} - L = k \cdot \lambda \quad k = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

Difrakční jev bývá výrazný na nezaostřených hranách objektů osvětlených koherentním zářením.



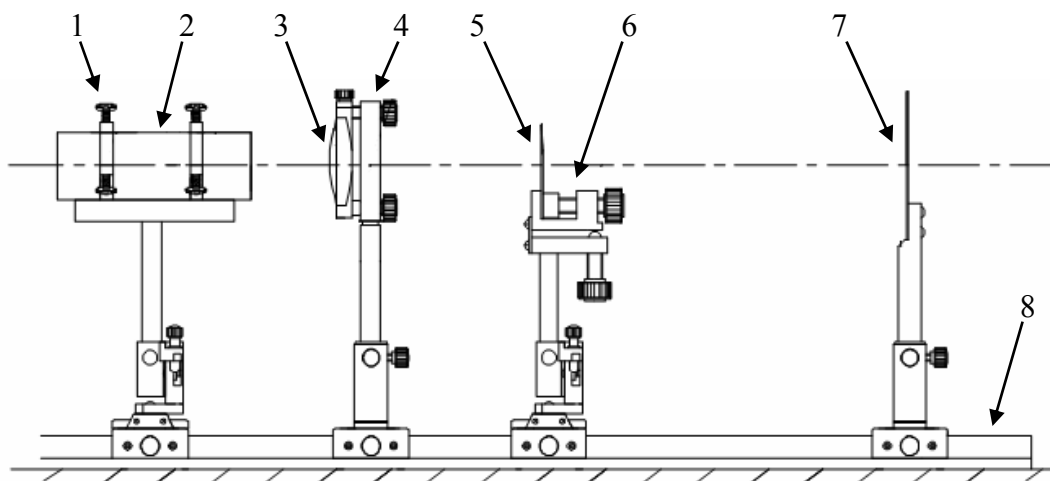
Obr.2 Difrakce na hraně

Experimentální sestava:

- 1 - Držák na laser (LEPO-44)
- 2 - He-Ne laser (LLL-2)
- 3 - Čočka ($f' = 4,5mm$)
- 4 - Dvousý držák (LEPO-8)
- 5 - Břitva
- 6 - Držák desek B (LEPO-19)
- 7 - Stínítko (LEPO-14)
- 8 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr.3



Obr. 4

Postup měření:

1. Sestavte experimentální sestavu podle obr.4.
2. Zapněte zdroj laserového záření a na stínítku pozorujte difrakční obrazec.
3. Pozorujte a analyzujte difrakční obrazec s ohledem na teoretické analýzu daného difrakčního jevu.

Fraunhoferova difrakce na štěrbině

Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip difrakčních Fraunhoferových jevů a na základě pozorování Fraunhoferova difrakčního obrazce vypočítat šířku štěrbinu.

Teorie úlohy:

Difrakcí rozumíme takovou odchylku od přímočarého šíření světla, která nelze vysvětlit jako důsledek lomu nebo odrazu světla. Difrakce nastává při šíření prostorově ohraničeného svazku světla. Difrakční jevy jsou nejlépe pozorovatelné při průchodu svazku světla štěrbinou nebo přes překážky o velikostech řádově srovnatelných s vlnovou délkou světla.

Existují různé teorie difrakce, jedna předpokládá, že dopadající světelná vlna není ovlivněna uvnitř otvoru (prochází beze změn). Druhá pak předpokládá, že světelná vlna vůbec neprojde (je nulová) za neprůsvitnou částí stínítka. Amplituda a intenzita světla v určité vzdálenosti od stínítka se potom určí pomocí zákonitostí šíření světla ve volném prostoru. Podle charakteru tohoto šíření (tj. podle vzdálenosti místa pozorování od apertury, na které nastává difrakce) rozlišujeme případ Fraunhoferovy a Fresnelovy difrakce.

Případ Fraunhoferovy difrakce nastává pro dostatečně velké vzdálenosti mezi clonkou (aperturou) a rovinou pozorování (například pro štěrbinu o velikosti 2,5 cm, a pro vlnovou délku $\lambda = 600$ nm - červené světlo - musí pro vzdálenost d , na které již lze hovořit o Fraunhoferově difrakci platit $d \gg 1600$ metrů). Fraunhoferovy difrakční obrazce lze ovšem pozorovat na vzdálenostech mnohem menších, např. při použití spojné čočky, která bude difraktované záření kolimovat.

Rozhodnutí, o který typ difrakce světla se jedná, se v praxi často charakterizuje pomocí podmínky, aby tzv. Fresnelovo číslo bylo buď mnohem menší než 1 (Fraunhoferova difrakce) nebo srovnatelné s 1 (Fresnelova difrakce). Fresnelovo číslo je přitom definováno jako

$$N_F = \frac{b^2}{\lambda d},$$

kde b je maximální rozměr apertury, a d je vzdálenost mezi clonou a rovinou pozorování. Pokud podmínka $N_F \ll 1$ není splněna (pro blízké vzdálenosti pozorovací roviny od štěrbinu), potom nastává případ tzv. Fresnelovy difrakce. V zásadě lze pozorovat Fresnelovu i Fraunhoferovu difrakci v témže experimentálním uspořádání. Avšak při

dostupných laboratorních rozměrech experimentu ($d \approx 0,5$ až 1m) vzniká Fraunhoferova difrakce pouze při velmi úzkých štěrbinách.

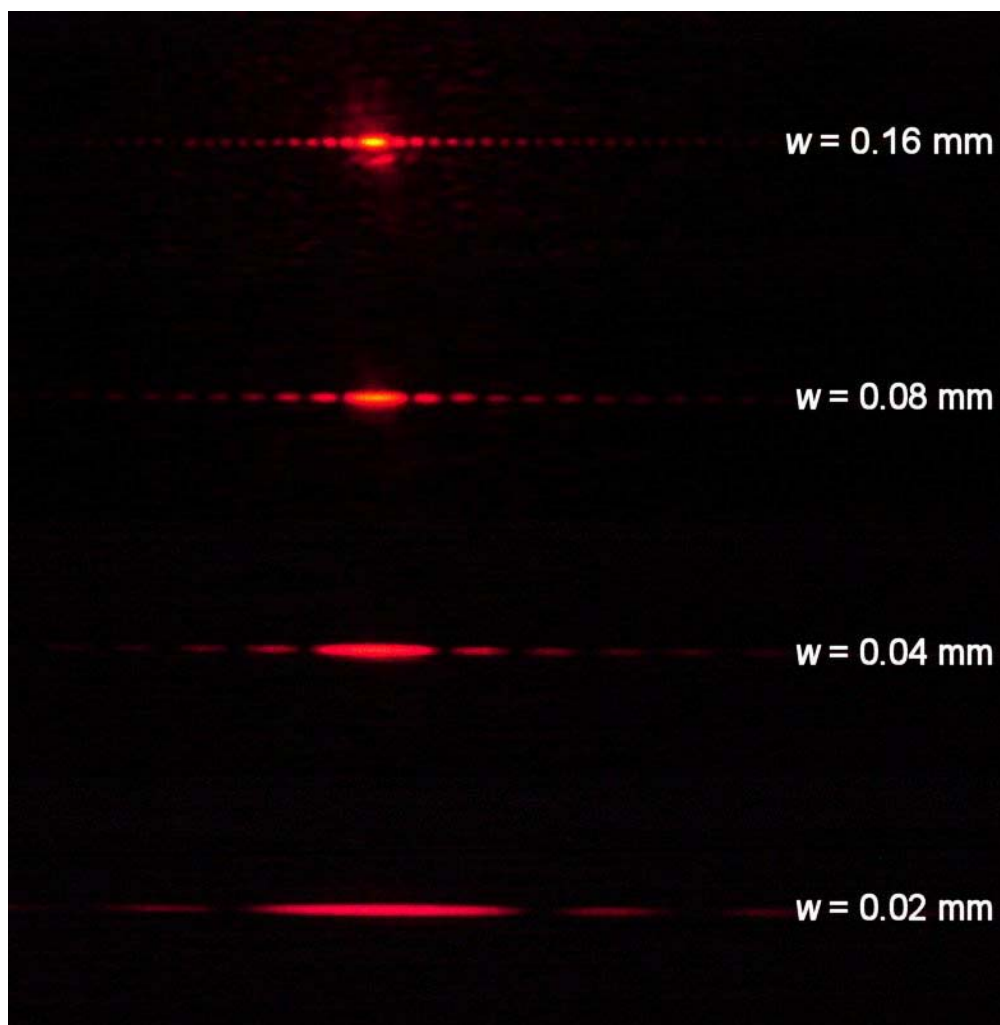
Difrakcí na úzké štěrbině vznikne na stínítku (rovina pozorování kolmá k ose štěrbiny), kde pozorujeme difrakční jev, specifické prostorové rozdělení intenzity světla (tzv.difrakční obrazec). Pro výsledný vztah mezi difrakčním úhlem a intenzitou světla v rovině pozorování lze psát:

$$I = I_0 \frac{\sin^2 \beta}{\beta^2},$$

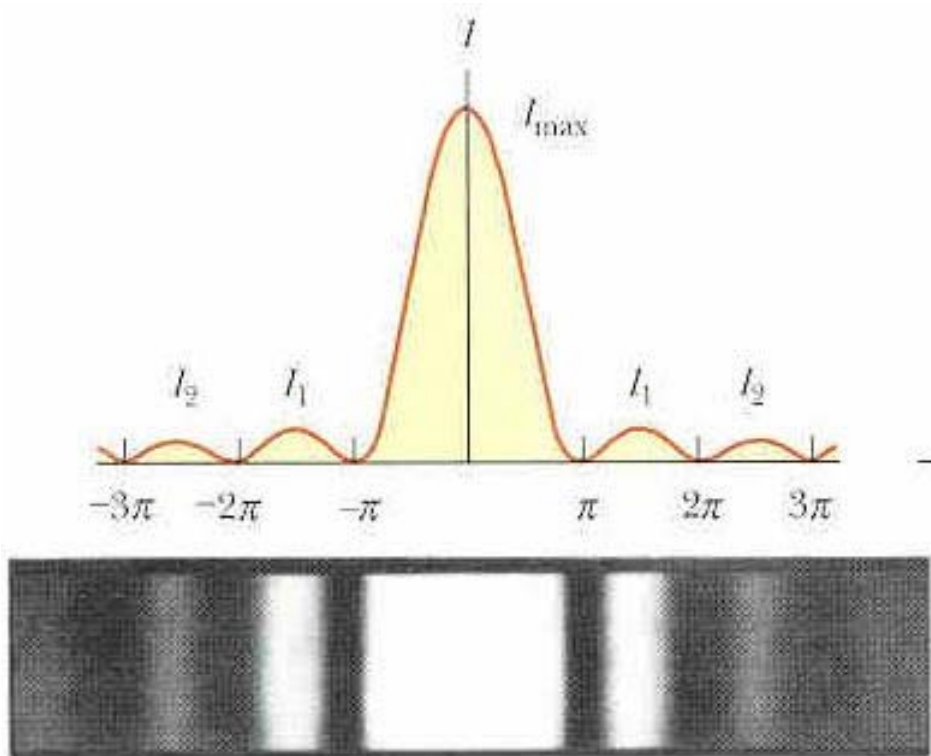
kde

$$\beta = \frac{2\pi a}{\lambda} \sin \theta,$$

a je šířka štěrbiny, θ je difrakční úhel, λ je vlnová délka a I_0 je intenzita světla v maximum difrakčního obrazce.



Obr.1: Difrakce na štěrbině pro různou šířku štěrbiny

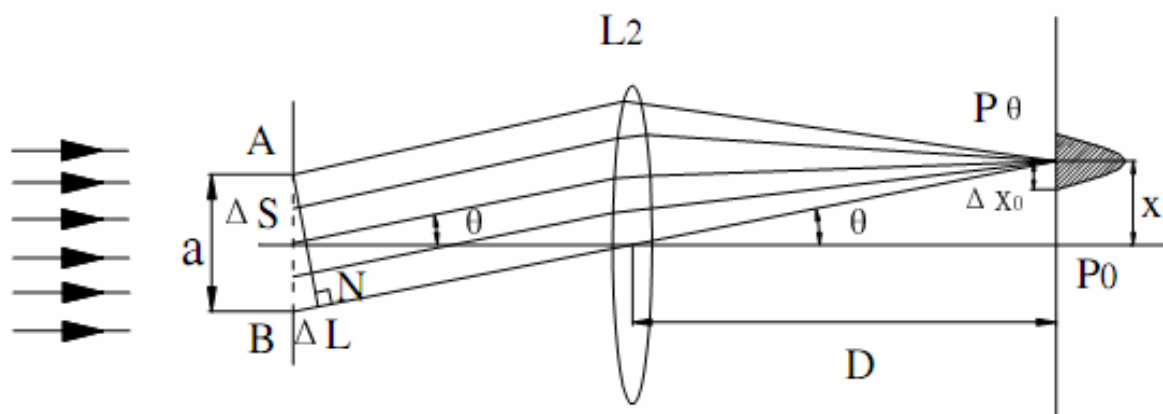


Obr.2: Difrakce na štěrbině – příčný řez

Pro $\beta = n\pi$ nastávají v difrakčním obrazci minima intenzity, kde n je celé číslo udávající řád vzniklého minima intenzity v difrakčním obrazci. První minimum intenzity (obr.2, obr.3) tedy vzniká pro úhel:

$$\theta = \frac{\lambda}{a}$$

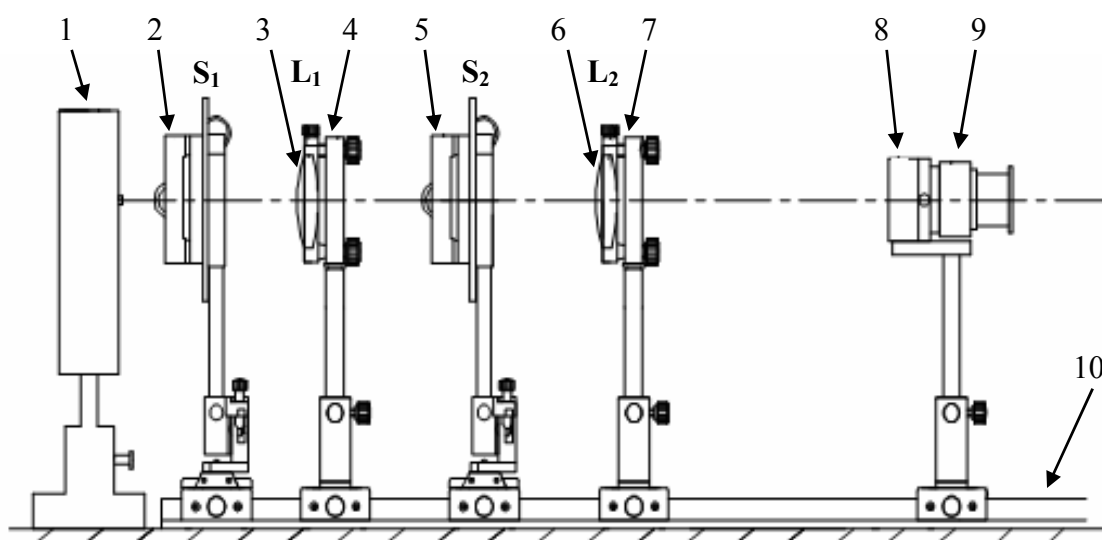
Tímto způsobem, může být vypočítána šířka štěrbiny, jestliže co nejpřesněji určíme vzdálenost x prvního minima intenzity v difrakčním obrazci.



Obr.3: Difrakce na štěrbině

Experimentální sestava:

- 1 - Sodíková lampa (LLE-2)
- 2 - Rotační štěrbinu S_1 (LEPO-42)
- 3 - Čočka L_1 ($f' = 150\text{mm}$)
- 4 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 5 - Jednostranná nastavitelná štěrbinu S_2 (LEPO-28)
- 6 - Čočka L_2 ($f' = 300\text{mm}$)
- 7 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 8 - Držák měřicího mikroskopu (LEPO-37)
- 9 - Okulár měřicího mikroskopu
- 10 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr. 4: Experimentální sestava – Fraunhoferova difrakce na štěrbině

Postup měření:

1. Sestavte experimentální sestavu podle obr.4
2. Zjustujte výškově všechny prvky
3. Vložte čočku L_1 za štěrbinu S_1 do vzdálenosti 150 mm (ohnisková vzdálenost L_1) a zkolimujte svazek světla.
4. Vložte štěrbinu S_2 za čočku L_1 do kolimovaného svazku
5. Vložte čočku L_2 za štěrbinu S_2 pro zfokusování difraktovaného světla.

6. Použijte metodu měřicí mikroskop a umístěte ho do obrazové ohniskové roviny čočky L_2 , kde můžete pozorovat světlé a tmavé proužky (difrakční obrazec)
7. Změřte šířku Δx_0 centrálního proužku pomocí měřicího mikroskopu
8. Vypočítejte šířku štěrbiny a s použitím následujícího vztahu při vlnové délce $\lambda = 589,3 \text{ nm}$:

$$a = \frac{2\lambda f'}{\Delta x_0}$$

9. Pomocí měřicího mikroskopu přímo změřte tloušťku štěrbiny a výsledek poté porovnejte s vypočteným výsledkem na základě difrakce.

Fraunhoferova difrakce na kruhové cloně

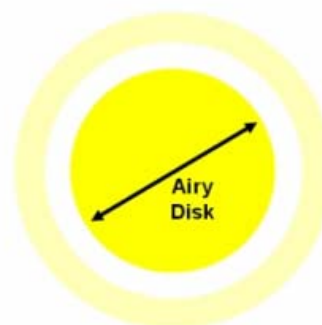
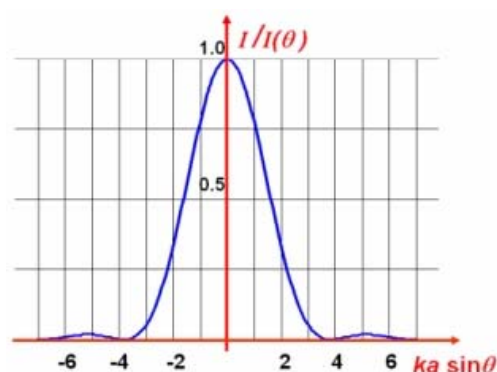
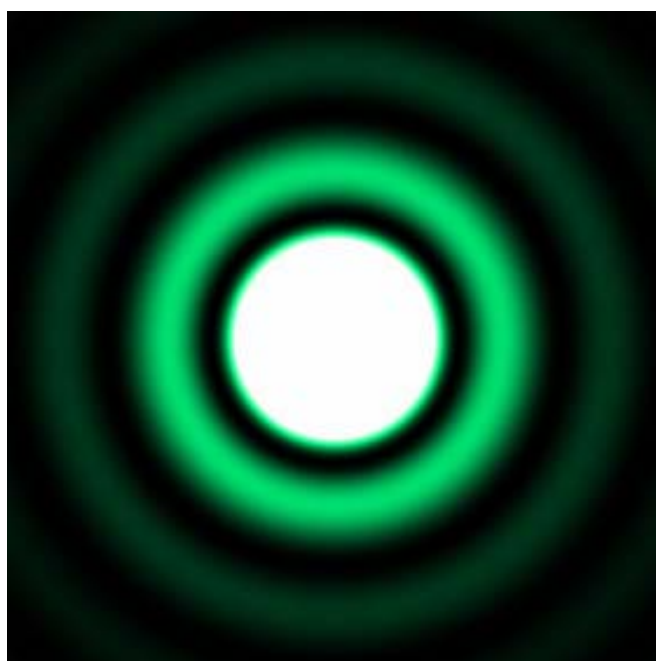
Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pochopit princip Fraunhoferovy difrakce, pozorovat příslušné jevy a na základě pozorování difrakčního obrazce vypočítat velikost otvoru clonky, na kterém dochází k difrakci světla.

Teorie úlohy:

Prochází-li světlo malým kruhovým otvorem, jako obraz na stínítku se neobjevuje jasný bod, ale kruhový disk obklopený soustřednými světlými a tmavými kruhovými prstenci. Tento příklad difrakce je velmi důležitý, protože mnoho optických přístrojů (a oko) má jako aperturu, která omezuje průchod světla kruhovými otvory. Různý tvar clony bude vytvářet různé difrakční obrazce.

Pro kruhovou aperturu, na které nastává difrakce světla, vznikne ve velké vzdálenosti specifický difrakční obrazec charakterizovaný maximy a minimy intenzity světla (obr.1).



Obr.1: Fraunhoferova difrakce na kruhovém otvoru

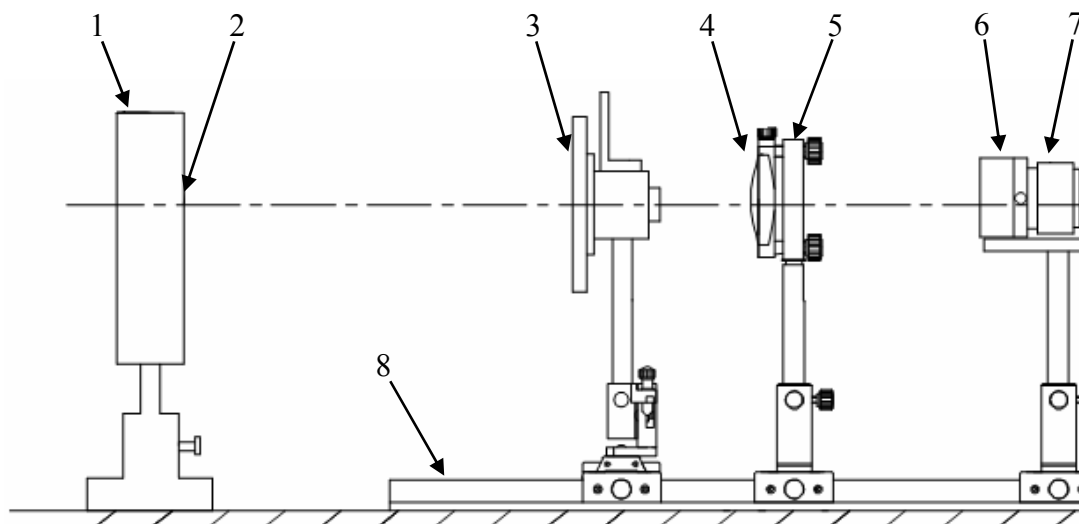
Pro úhel θ odpovídající prvnímu minimu difrakčního obrazce (tzv. Airyho disk - první tmavý prstенец vzhledem k optické ose) platí následující vztah

$$\theta = 1,22 \frac{\lambda}{a},$$

kde a je průměr kruhového otvoru clonky a λ je vlnová délka použitého záření.

Experimentální sestava:

- 1 - Sodíková lampa (LLE-2)
- 2 - Clona ($\Phi = 1\text{mm}$)
- 3 - Disk s dírkami (LEPO-24, 0,2 – 0,5 mm)
- 4 - Čočka L_1 ($f' = 70\text{mm}$)
- 5 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 6 - Držák měřicího mikroskopu (LEPO-37)
- 7 - Okulár měřicího mikroskopu
- 8 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr.2: Experimentální sestava – Fraunhoferova difrakce na dírci

Postup měření:

1. Sestavte experimentální sestavu podle obr.2.
2. Umístěte disk s dírkami daleko od zdroje světla (přibližně 600 mm), tato vzdálenost by přibližně měla odpovídat podmínkám Fraunhoferovy difrakce.
3. Vyberte si jednu z dírek na disku
4. Vložte čočku L_1 za disk a zfokusujte difraktované světlo.
5. Pomocí měřicího mikroskopu zaměřte na obrazovou ohniskovou rovinu čočky L_1 , kde lze pozorovat světlé a tmavé kroužky difrakčního obrazce
6. Změřte průměr Airyho disku d pomocí měřicího mikroskopu
7. Vypočtete průměr otvoru apertury a podle vztahu

$$a = \frac{1,22\lambda f'}{d}$$

8. Přímou změřte průměr otvoru apertury měřicím mikroskopem a porovnejte tento výsledek s výsledkem vypočítaným.

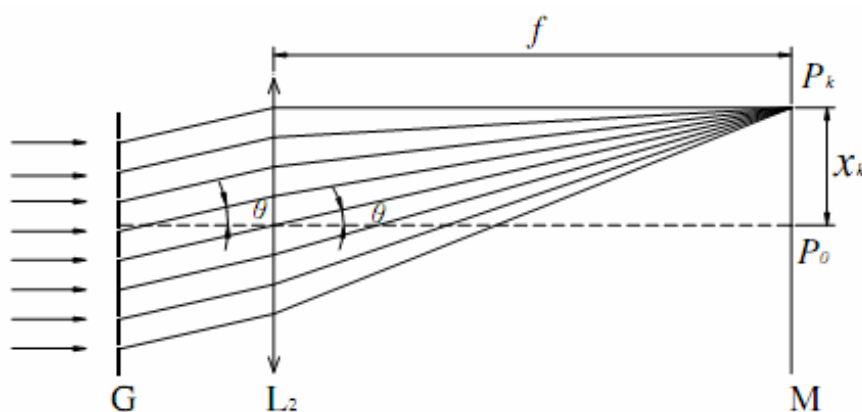
Difrakce na mřížce

Cíl laboratorní úlohy:

Cílem laboratorní úlohy je pozorování difrakce na mřížce a využití tohoto jevu pro měření vlnové délky použitého zdroje světla.

Teorie úlohy:

Velké množství pravidelně a hustě rozložených velmi tenkých štěrbin (vrypů) označujeme jako optickou (difrakční) mřížku. Vzdálenost d středů dvou sousedních štěrbin se nazývá *mřížková konstanta*. Na štěrbinách dochází k difrakci dopadajícího záření. Základní vlastností difrakční mřížky je její schopnost rozkládat světlo na jednotlivé spektrální (monochromatické) složky (podle vlnových délek).



Obr.1

Pro intenzitu difraktovaného záření na difrakční mřížce ve formě štěrbin platí (v rámci Fraunhoferovy difrakce):

$$I = I_0 \left(\frac{\sin B}{B} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin NA}{A} \right)^2, \quad (1)$$

kde I_0 je intenzita v tzv. nultém řádu difrakce $\Theta_i = \Theta_d$, N je počet štěrbin, parametr A vyjadřuje intenzitu vzniklou difrakcí na jedné štěrbině šířky b a parametr B vyjadřuje intenzitu vzniklou interferencí vln od jednotlivých štěrbin. Platí pro ně vztahy:

$$A = \frac{\pi}{\lambda} d (\sin \Theta_i - \sin \Theta_d) \quad (2)$$

$$B = \frac{\pi}{\lambda} b (\sin \Theta_i - \sin \Theta_d), \quad (3)$$

kde b je šířka štěrbin, d je perioda mřížky, Θ_i je úhel dopadu a Θ_d je difrakční úhel.

Difrakční obrazec má velmi úzká interferenční minima a maxima, které jsou od sebe vzdálena tím více, čím je perioda mřížky menší. Pokud na mřížku dopadá rovnoběžný svazek světla, stanou se všechny body štěrbin zdroji elementárního vlnění. Budeme-li sledovat světlo, které z mřížky vystupuje pod úhlem θ , uvidíme pouze paprsky, které jsou od kolmice k mřížce odchýleny o úhel θ . Mezi paprsky ze dvou sousedních štěrbin je dráhový rozdíl δ . Pokud je splněna následující podmínka, pak dochází k zesílení:

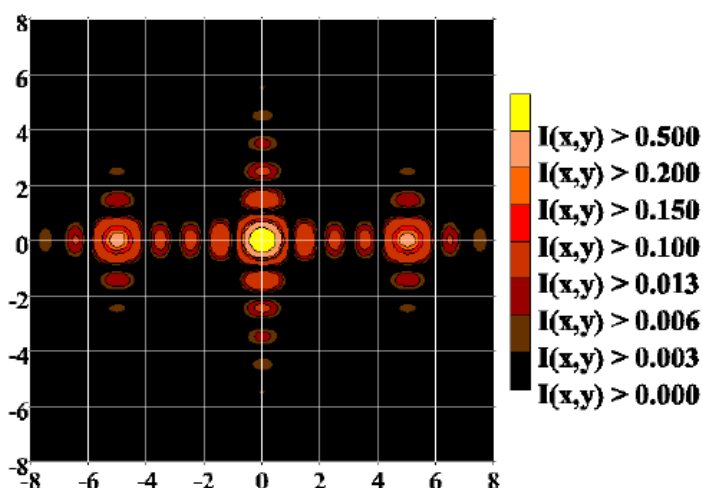
$$d \sin \theta = k\lambda, \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (4)$$

kde k určuje řád difrakčního maxima. Při velkém počtu štěrbin se ve všech směrech, které nevyhovují uvedené podmínce světlo téměř vyruší. Interferenční jev tedy při ohybu na optické mřížce dává sérii velmi úzkých tenkých maxim na tmavém pozadí.

Protože je úhel α velmi malý platí přibližně:

$$d \frac{x_k}{f} = k\lambda \quad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (5)$$

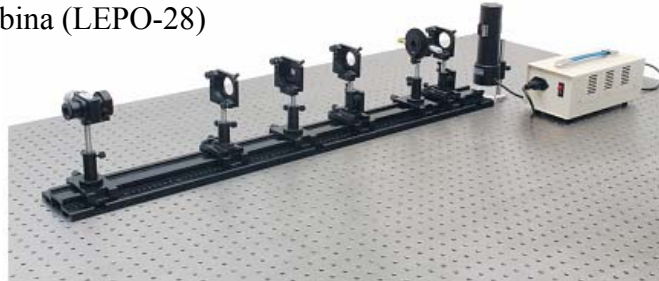
Fraunhoferův difrakční obrazec harmonické mřížky = periodická změna určité vlastnosti mřížky (např. propustnosti) je harmonická; je zobrazen na obr. 2. Mřížka omezena čtvercovou aperturou, a proto se kromě tří obrazů jednotlivých difrakčních řádů ve vodorovném směru objevují další vedlejší minima a maxima ve směru svislém, které jsou výsledkem difrakce na vlastní štěrbině omezující mřížku.



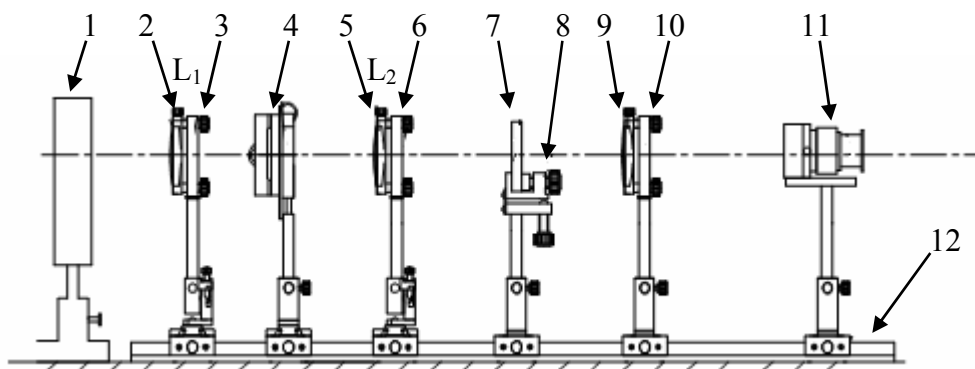
Obr. 2 Fraunhoferův difrakční obrazec mřížky omezené čtvercovou aperturou

Experimentální sestava:

- 1 - Rtuťová lampa (LLE-1)
- 2 - Čočka L_1 ($f' = 50\text{mm}$)
- 3 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 4 - Jednostranná nastavitelná štěrbinová (LEPO-28)
- 5 - Čočka L_2 ($f' = 190\text{mm}$)
- 6 - Dvouosý držák (LEPO-8)
- 7 - Mřížka ($d = 0,05\text{mm}$)
- 8 - Držák desek B (LEPO-19)
- 9 - Čočka L_3 ($f' = 225\text{mm}$)
- 10 - Držák čočky (LEPO-9)
- 11 - Držák (LEPO-37) s okulárem pozorovacího mikroskopu
- 12 - Optická kolejnice (LEPO-54)



Obr.3



Obr.4

Postup měření:

1. Sestavte experimentální sestavu podle obr.4.
2. Nastavte mřížku do svislé polohy tak, aby čáry mřížky byly rovnoběžné s nastavitelnou štěrbinou.
3. Zužte šířku štěrbinu a posouvejte okulárem mikroskopu tak, abyste dostali jasný difrakční obrazec.
4. Pomocí měřicího mikroskopu změřte umístění spektrálních maxim pro rtuťovou lampu. Vypočítejte vlnové délky těchto spektrálních čar užitím vztahu (5).