
Štúdium difrakcie svetla využitím HeNe lasera

Teoretický úvod

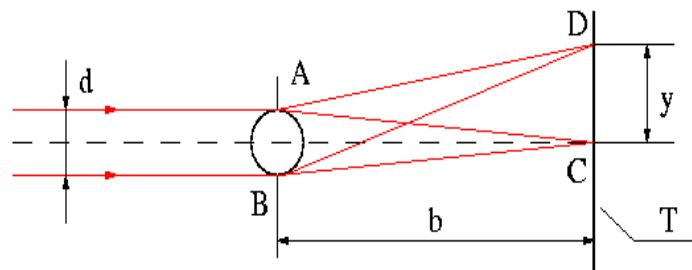
Pod difrakciou (ohybom) svetla rozumieme vo všeobecnosti tie javy, pri ktorých sa svetlo v homogénnom prostredí nešíri priamočiarno. Môžeme ho pozorovať napr. ak osvetlíme nejakú ostrú hranu bodovým zdrojom svetla. Na tienidle je potom prechod z oblasti svetla do tieňa postupný, pričom sa striedajú svetlejšie a tmavšie pruhy, ktoré sú stále bližšie k sebe až sa postupne strácajú.

V tejto úlohe sa budeme zaoberať štúdiom difrakcie svetla na vlákne, na štrbine s premennou šírkou a na optickej mriežke.

Ako zdroj svetla využijeme HeNe laser LA 1003 s výkonom 3mW a vlnovou dĺžkou $\lambda = 633 \text{ nm}$.

Difrakcia svetla na vlákne

Valcové vlákno s priemerom d osvetlíme monofrekvenčným svetlom lasera tak, ako je to znázornené schématicky na obr. 1. Na tienidle T, ktoré je vo vzdialenosti b pozorujeme, že tieň nie je úplne tmavý, a že hlavný tieň je obklopený svetlými a tmavými prúžkami. Okrem toho stred tieňa, ktorý by podľa očakávania geometrickej optiky mal byť najtmavší, má práve v strede jasný prúžok. Nech body A, B sú okraje vlákna (obr. 1), v ktorých sa dopadajúce svetlo "dotýka" vlákna. Podľa *Huygensovho princípu* môžeme tieto body považovať za elementárne zdroje svetla tej istej vlnovej dĺžky a tej istej fázy. Z nich teda vychádzajú lúče všetkými smermi. V bode C na tienidle sa stretnú lúče z bodov A, B s dráhovým rozdielom rovným nule a výsledkom ich interferencie je zosilnenie (svetlý prúžok). Ak v bode D na tienidle vzdialenom od C o y bude dráhový rozdiel lúčov, ktoré vychádzajú z bodov A, B rovný rovný nepárnemu násobku $\lambda/2$, potom sa svetlo interferenciou zoslabuje, prípadne ruší, a preto sa tam objaví tmavý prúžok. Pre body s polohou Y , v ktorých dopadajúce lúčemajú dráhový rozdiel rovný párnemu násobku vlnovej dĺžky, dochádza k zosilneniu svetla. S vetlým prúžkom potom hovoríme difrakčné maximá a tmavým difrakčné minimá. Z geometrie na obr. 1 je možné odvodiť vzťah pre polohu difrakčného maxima



Obr. 1

$$y_{n \max} = 2n \frac{b}{d} \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

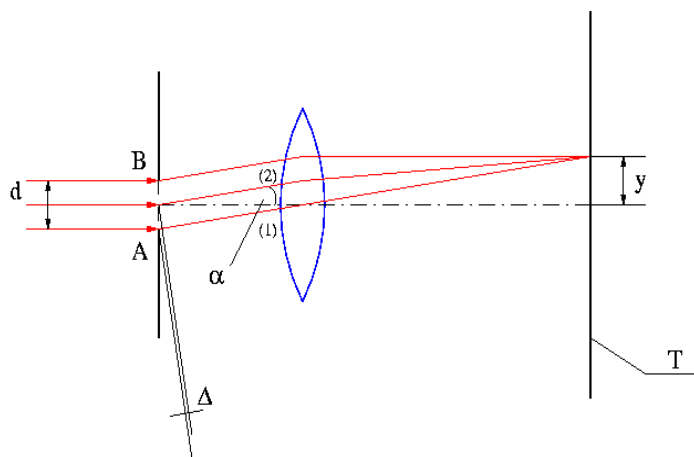
a pre difrakčné minimum

$$y_{n \min} = (2n - 1) \frac{b}{d} \frac{\lambda}{2} \quad (2)$$

V týchto vzťahoch je λ vlnová dĺžka svetla laserového lúča, n je celé číslo, má hodnotu $n = 1$ pre prvý prúžok, $n = 2$ pre druhý prúžok, atď. Tiež hovoríme, že n udáva rád maxima, resp. minima. Intenzita svetelných prúžkov s rastúcim y klesá.

Difrakcia svetla na štrbine

Nech nepriehľadná stena má štrbinu šírky d . Ak na túto stenu dopadá rovinná harmonická vlna, vychádzajú podľa Huygensovho princípu z jednotlivých bodov štrbiny elementárne valcové svetelné vlny (obr. 2).



Obr. 2

Uvažujme svetelné lúče (1) a (2) na obr. 2. Pretože bod B leží v strede štrbiny, potom pre úsečku $AC = \Delta$ platí $AC = \Delta = d/2 \sin \alpha$. Táto úsečka predstavuje dráhový rozdiel medzi uvažovanými lúčmi svetla, ktoré po prechode šošovkou na tienidle v mieste y interferujú.

Ak platí

$$\frac{d}{2} \sin \alpha = \frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

potom svetelné lúče (1) a (2) sa pri interferencii navzájom kompenzujú. Tiež sa kompenzujú dvojice lúčov, ktoré zo štrbiny vychádzajú vo vzájomnej vzdialenosti $d/2$. Difrakčné minimum v mieste y vznikne teda pre všetky lúče, ktoré vystupujú zo štrbiny pod uhlom α_{\min} , pričom je splnený vzťah

$$\sin \alpha_{\min} = \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

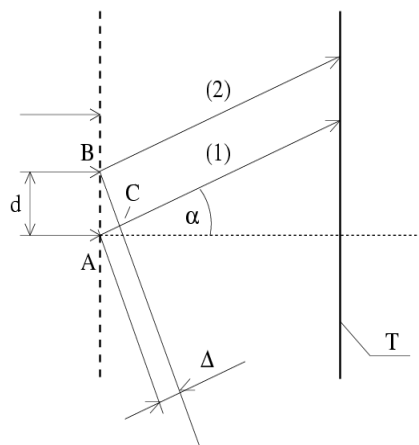
Podobnou úvahou môžeme odvodiť vzťah pre prvé vedľajšie maximum (t.j. svetelný prúžok smerom od svetelného stredy), ktoré vzniká interferenciou lúčov, ktoré zo štrbiny vystupujú pod uhlom α_{\max} a splňujú vzťah

$$\sin \alpha_{\max} = \frac{3}{2} \frac{\lambda}{d} \quad (5)$$

Treba si uvedomiť, že pre malý pomer λ/d sú aj uhly α_{\min} a α_{\max} malé a teda celý interferenčný obraz je koncentrovaný do nepatrného priestoru na rozhraní svetla a tieňa. Inými slovami, dobre viditeľné interferenčné obrazce dosiahneme vtedy, keď je šírka štrbiny d porovnateľná s vlnovou dĺžkou, t.j., keď pomer $\lambda/d \doteq 1$. d teda nemá byť podstatne väčšie ako λ , lebo potom nemožno, alebo len veľmi ťažko ohyb svetla pozorovať. O tejto skutočnosti sa môžeme presvedčiť, keď použijeme štrbinu s premennou šírkou.

Difrakcia svetla na optickej mriežke

Optická mriežka je sklenená doska, na ktorej je vyrytých niekoľko sto vzájomne rovnobežných a rovnako vzdialených vrypov. Vrypky predstavujú nepriehľadné miesta, pričom medzery medzi vrypami sa uplatňujú ako štrbiny. Vzdialenosť stredov dvoch susedných vrypov (alebo vzdialenosť stredov dvoch susedných štrbín) je tzv. mriežková konštanta. Optickú mriežku je tiež možno realizovať fotografickou cestou na celuloidovom filme.



Obr. 3

Nech na optickú mriežku dopadá kolmo monofrekvenčný zväzok rovnobežných svetelných lúčov. Všetky body v jednotlivých štrbinách mriežky sa podľa Huygensovho princípu stávajú zdrojmi elementárnych vln, ktoré sa šíria za mriežkou na všetky strany. Na mriežke vzniká ohyb svetla, ktorý sa na tienidle prejaví vznikom interferenčného obrazca. Ploha maxim a miním pri tomto ohybe svetla závisí od mriežkovej konštanty. Keď opäť uvažíme lúče (1) a (2), ktoré vychádzajú z bodov A, B mriežky a zvierajú uhol α , bude dráhový rozdiel medzi týmito lúčmi $\Delta = AC = d \sin \alpha$. Keď sa tento dráhový rozdiel rovná práve celočíselnému násobku vlnovej dĺžky použitého

svetla, potom sa interferenciou zosilňujú nielen tieto dva lúče, ale aj všetky ostatné lúče, ktoré vychádzajú z jednotlivých štrbín mriežky pod tým istým uhlom α , ak sme ich spojovou šošovkou sústredili do jedného miesta tienidla. Difrakčné maximá intenzity osvetlenia vznikajú teda vo všetkých smeroch lúčov, pre ktoré je splnený vzťah

$$d \sin \alpha = n \lambda$$

kde n je celé číslo, $n = 0, 1, 2, \dots$

Podľa toho, aká hodnota prislúcha číslu n , hovoríme o maxime nultého, prvého, druhého až n -tého rádu. Podobnou úvahou je možné ukázať, že vo všetkých ostatných smeroch, ktoré nespĺňajú predchádzajúci vzťah sa interferenciou svetlo ruší a teda v týchto smeroch sa svetlo nešíri.

Pomocou tohto vzťahu môžeme ľahko určiť vlnovú dĺžku použitého svetla (napr. lasera), ak z merania určíme uhol α odchyľujúceho lúča príslušného maxima pri známej mriežkovej

konštante. Je možný aj opačný postup, t.j. určenie mriežkovej konštanty d pri známej vlnovej dĺžke λ .

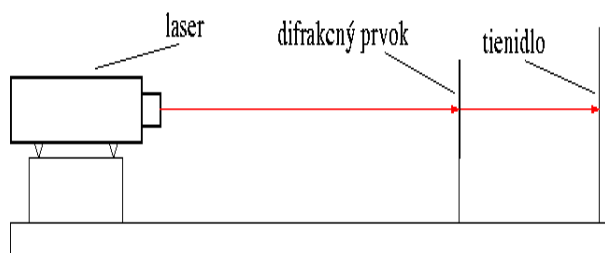
Určenie vlnovej dĺžky použitého svetla a mriežkovej konštanty mriežky

Úloha:

1. Využitím difrakčného obrazca určte hrúbku d rôznych vzoriek vlákien kruhového prierezu. Pre výpočet použite vzťah (1).
2. Využitím štrbiny s premenlivou šírkou vypracujte nasledujúce zadania:
 - Menením šírky štrbiny zistíte, kedy je už difrakcia pozorovateľná voľným okom.
 - Voľte postupne rôzne šírky štrbiny a z difrakčného obrazca stanovte ich príslušné hodnoty
3. Určte mriežkovú konštantu mriežky.

Metóda merania a pomôcky

Pre meranie použijeme zariadenie schématicky znázornené na obr 4. Toto pozostáva z optickej lavice s milimetrovou stupnicou, tienidla, HeNe lasera, optického difrakčného prvku (vlákno, štrbina, mriežka). Optická lavica je tiež opatrená lištou s milimetrovou stupnicou a posuvným bežcom pomocou ktorého určujeme vzdialenosť difrakčného prvku od tienidla.



Obr. 2 Meracia súprava

Laserom je možné posúvať v smere kolmom na optickú os a potom ho za-fixovať. Svetelný lúč po difrakcii napr. na vlákne (štrbina, mriežka) pripevne-nom na špeciálnom prípravku dopadá na tienidlo alebo matnicu, na ktorých je možné pomocou mm stupnice určo-vať polohu jednotlivých maxim a mi-ním intenzity svetelného lúča.

Pretože rez laserového lúča je kru-hový, difrakčné maximá nebudú mať tvar rovných prúžkov.

UPOZORNENIE: I keď výkon laserového zväzku je v tomto prípade len 5 mW, musíme byť pri meraní veľmi opatrní. Laserové žiarenie je pre ľudské oko veľmi nebezpečné. Nikdy nesmieme z optickej lavice demontovať tienidlo, pokiaľ je laser v prevádzke!

Kontrolné otázky

1. Vysvetlite vznik difrakcie svetla na valcovom vlákne.
2. Využitím vzťahu (1) napíšte vzťah pre hrúbku vlákna.
3. Vysvetlite vznik difrakcie svetla na štrbine.
4. Čo je optická mriežka?
5. Vysvetlite vznik difrakcie na optickej mriežke.
6. Čo je difrakčné maximum a minimum?
7. Využitím vzťahov (4) a (5) napíšte vzťahy pre n -té difrakčné maximum (minimum).
8. Čo je rád maxima a minima?