

O9 DIFRAKCIA SVETLA LASERA, URČENIE HRÚBKY TENKÉHO DRÔTU ¹

Úlohy merania:

- určiť vlnovú dĺžku svetla lasera,
- určiť hrúbku drôtu s využitím ohybových javov.

Pomôcky:

zdroj svetla – laserové ukazovadlo, optická lavica, tenký drôť neznámeho priemeru, optická mriežka v rámci s mriežkovou konštantou $d = 0,05 \text{ mm}$, tienidlo s papierom, tenká fixka, dĺžkové meradlo, posuvné meradlo, mikrometrická skrutka.

Teória:

Difrakcia - ohyb svetla: Pri prechode svetla okolo prekážok nastáva zmena šírenia svetla. Tento jav môžeme vysvetliť pomocou Huygensovej princípu: body, do ktorých sa svetlo dostane, možno vnímať ako zdroje vlnenia. Svetlo sa čiastočne šíri aj do oblasti geometrického tieňa. Keď sú rozmery prekážky porovnateľné s vlnovou dĺžkou vlnenia (vlas, úzka štrbina, malý otvor), zachováva sa koherentnosť vlnenia šíriaceho sa okolo prekážky. Vtedy je možné pozorovať na vzdialenom tienidle interferenčný obrazec. Maximum intenzity osvetlenia budeme pozorovať v bodoch, kde sú dopadajúce vlnenia vo fáze, minimum, kde sú v protifáze.

Difrakcia na drôte

Umiestnime tenký drôt s priemerom p do rovnobežného zväzku lúčov vychádzajúcich z lasera. Na tienidle pozorujeme ohybový obrazec v tvare jasných a tmavých prúžkov rovnobežných s drôtom (Obr.1). Pre rozloženie maxim a mínim je určujúci dráhový rozdiel Δ medzi vlneniami dopadajúcimi súčasne do jednotlivých bodov tienidla. Pre vznik maxim je dráhový rozdiel Δ rovný párnemu násobku pol vlnovej dĺžky $\Delta = (2i) \lambda / 2$, pre minimá svetelnej intenzity je dráhový rozdiel Δ rovný nepárnemu násobku pol vlnovej dĺžky $\Delta = (2i - 1) \lambda / 2$; i je rád príslušného maxima, resp. minima a λ je vlnová dĺžka svetla lasera. V strede ohybového obrazca (t. j. v strede geometrického tieňa drôtu) je jasný prúžok – nulté maximum, pretože práve v tomto mieste majú prichádzajúce vlnenia dráhový rozdiel Δ rovný nule.

Na tienidle je stred nultého maxima svetelnej intenzity znázornený bodom B_0 , bod B_1 znázorňuje polohu stredu prvého minima svetelnej intenzity nad osou (priamka OB_0), bod B_{-1} , súmerný s bodom B_1 , zobrazuje stred prvého minima intenzity svetla pod osou. Úsečka LM má veľkosť $\Delta \approx \lambda / 2$ a predstavuje dráhový rozdiel medzi vlneniami, prichádzajúcimi do bodu B_1 z bodov K a L . Vzdialenosť prvého minima od nultého maxima (veľkosť úsečky B_0B_1) označme h_1 , vzdialenosť i -teho minima od nultého maxima označme h_i . Vzdialenosť tienidla od drôtu je $x = OB_0$. Vzhľadom na skutočné veľkosti λ lasera a priemeru použitého drôtu p , aby bol interferenčný obrazec pozorovateľný musí byť vzdialenosť $x \gg p$. Z tejto podmienky vyplýva, že $\angle LKM = \angle B_1OB_0 = \varphi_1$, $B_1M \perp KM$. Preto platia nasledovné vzťahy pre intenzitu osvetlenia:

$$\text{pre minimum} \quad \Delta = (2i - 1) \lambda / 2 = p \sin \varphi_i \approx p \tan \varphi_i = p h_i / x, \quad (1)$$

$$\text{pre maximum} \quad \Delta = (2i) \lambda / 2 = p \sin \varphi_i. \quad (2)$$

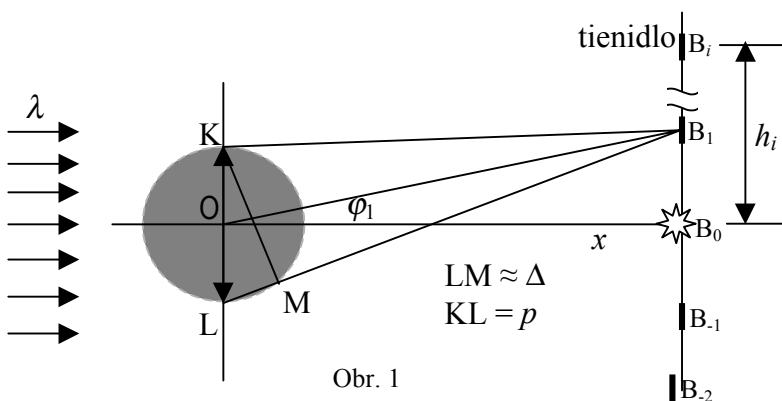
Z Obr. 1. je zrejmé, že vzdialenosť mínim (maxim) na tienidle je nepriamo úmerná priemeru drôtu.

Optická mriežka

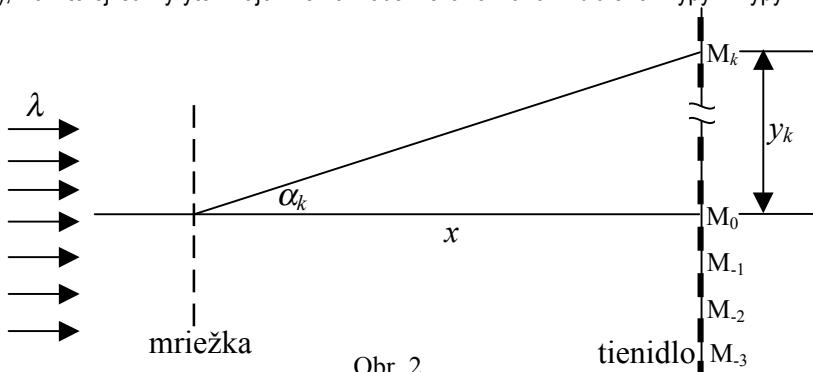
je tenká planoparalelná doštička (sklo, fólia), na ktorej sú vyryté vzájomne rovnobežné a rovnako vzdialené vrypy. Vrypy predstavujú nepriehľadné miesta. Štrbiny medzi vrypami svetlo prepúšťajú. Sú to koherentné zdroje svetla. Vzdialenosť d stredov dvoch susedných štrbín (resp. vrypov) sa nazýva mriežková konštanta. Zobecnením vyššie uvedených úvah, resp. teórie pre interferenciu od dvoch štrbín ², možno dokázať: Pre rozloženie stredov maxim M_k intenzity svetla (súmerne podľa osi, prechádzajúcej stredom nultého maxima M_0), dopadajúceho na tienidlo pod uhlami α_k , platí:

$$\text{pre maximum} \quad d \sin \alpha_k = (2k) \lambda / 2, \quad (3)$$

kde k je rád príslušného maxima intenzity svetla. Vzdialenosť k -teho maxima M_k od nultého maxima M_0 je y_k . Uhol α_k zvierá priamka, ktorá je kolmá na optickú mriežku a prechádza stredom nultého maxima intenzity svetla s priamkou spájajúcou mriežku so stredom k -teho maxima na tienidle. Čím má mriežka menšiu mriežkovú konštantu, tým sa na nej výraznejšie prejavuje ohyb svetla vznikajúci pri prechode monochromatického svetla s vlnovou dĺžkou λ mriežkou.

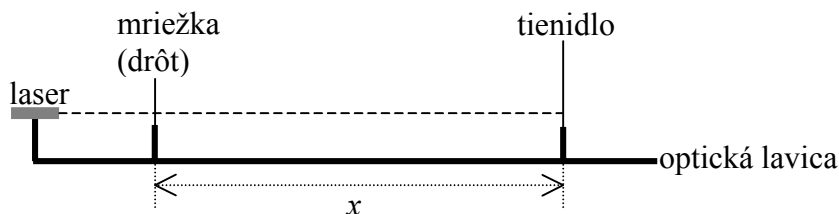


Obr. 1



Obr. 2

UPOZORNENIE: Svetlo lasera škodí zraku. Dávajte pozor, aby vám priamy alebo odrazený lúč svetla nezasvietil priamo do očí!



Obr. 3

1. Pozorujte štruktúru mriežky pod mikroskopom.
2. Podľa Obr. 3 umiestnite na optickú lavicu laser, optickú mriežku, na tienidlo pripevnite čistý hárok papiera. Posúvaním tienidla zvolte jeho polohu tak, aby bolo možné zreteľne rozlíšiť interferenčné maximá aspoň do 10 rádu. Odmerajte x a na papier zakreslite polohy interferenčných maxim do 10. rádu, nulté maximum zvýraznite. Posuvným meradlom odmerajte vzájomné vzdialenosti maxim zhodných rádov $2y_k$. Pre presnejšie odčítanie je vhodné cez interferenčný obrazec nakresliť priamku. Údaje zapíšte do tabuľky pre mriežku.
3. Mriežku nahraďte drôtom. Posúvaním tienidla zvolte takú hodnotu x , aby bolo možné zreteľne rozlíšiť polohu minim aspoň do 10. rádu. Odmerajte x a na papier zakreslite polohy 10 párov susediacich interferenčných minim, nulté maximum zvýraznite. Posuvným meradlom odmerajte vzájomné vzdialenosti minim zhodných rádov $2h_i$. Pre presnejšie odčítanie je vhodné cez interferenčný obrazec nakresliť priamku. Údaje zapíšte do tabuľky pre drôt.
4. Ďalej postupujte podľa referátu:
 - Určite vlnovú dĺžku λ na základe vzorca (3). Keď dôsledne vyplníte tabuľku pre mriežku môžete vidieť, že pre prvých 5 maxim platí, že $\alpha_k < 5^\circ$, čiže $\text{tg } \alpha_k \approx \sin \alpha_k (\approx \alpha_k \text{ v radiánoch})$. Pre maximá vyšších rádov toto priblíženie už neplatí.
 - Vypočítajte priemer drôtičky p . Použitý drôt je dosť hrubý, preto bude stále platiť, že $\varphi_i < 5^\circ$, čiže $\text{tg } \varphi_i \approx \sin \varphi_i (\approx \varphi_i \text{ v radiánoch})$. Podľa vzorca (2) potom pre i -te a $(i + 1)$ -vé minimum platí:

$$(2i - 1) \lambda / 2 = p h_i / x \quad \text{a} \quad [2(i + 1) - 1] \lambda / 2 = p h_{i+1} / x,$$
 odkiaľ potom platí

$$p = \lambda x / (h_{i+1} - h_i) = \lambda x / b_i.$$
 Vzdialenosti b_i medzi susediacimi minimami (maximami) sú ekvidistantné.
 - Jedenkrát odmerajte priemer drôtičky mikrometrickou skrutkou.
 - Vyhodnoťte chyby a neistoty meraní.

¹ Úloha bola vypracovaná podľa úlohy zo 43. ročníka fyzikálnej olympiády, ktorej autormi sú doc. RNDr. Ján Krajčo, CSc. a doc. RNDr. Stanislav Holec, CSc.:

I. Čáp a L. Konrád a kol.: Fyzika v zaujímavých úlohách, Iuventa, Bratislava, 2004, str. 229

² J. Hlaváčová a kol.: Fyzika II, elfa, Košice, 2007, str. 78