

ÚVODNÍ POZNÁMKA EDITORA

Obsah. Pátá, poslední část publikace *Fyzikální měření pro gymnasia* obsahuje návody k laboratorním pracím z optiky a fyziky mikrosvěta. Je určena pro laboratorní cvičení z fyziky v prvním pololetí posledního ročníku. Konkrétní výběr úloh odpovídá mj. vybavení fyzikální laboratoře Gymnasia F. X. Šaldy. Protože některé pomůcky (optické lavice, lasery, výbojky) nejsou k dispozici ve větším počtu exemplářů, věnuje se každá skupina během jednoho cvičení jiné úloze; v dalších týdnech se skupiny permutují. Aby mohla každá skupina pracovat samostatně, jsou v této brožuře shrnuty návody ke všem měřeným úlohám. Bylo by možno připojit další úlohy (např. měření refraktometrem, určení zvětšení lupy), ale vzhledem ke snížení počtu hodin fyziky a k nutnosti zařadit také cvičení teoretická, se uvedený počet laboratorních měření jeví jako dostatečný. Úlohy jsou vybrány ze tří tradičních celků gymnasiální optiky: první úloha je postavena na základních principech paprskové optiky (zákon odrazu, zákon lomu), druhá se věnuje zobrazovacím soustavám, třetí je vybrána z optiky vlnové. Při měření se užívá laser; zastoupeno je tedy i jedno téma fyziky mikrosvěta.

Uspořádání. V textech pro jednotlivé úlohy jsou uvedeny úkoly, pomůcky a postupy; kromě toho tam lze zpravidla najít i inspiraci k teoretickému úvodu, zpracování měření a závěru. Tato inspirace je někdy formou otázek; cílem však není odpovídat na otázky, nýbrž zformulovat samostatný, souvislý, smysluplný text (těmito otázkami inspirovaný). Podrobnosti o obsahu a formě referátů jsou ostatně na webu vyučujícího <http://jan.gfxs.cz/>. Nutno připomenout, že ke zpracování referátů o měření předložených úloh jsou nutné znalosti z první části učebního textu, zejména znalosti o stanovení chyb měření. Na tuto první část se návody k úlohám soustavně, implicitně odvolávají.

Zdroje a autoři úloh. Vzhledem k vybavení fyzikálních laboratoří nelze vymýšlet příliš „originální“ úlohy, proto i předkládané návody jsou spíše kompilací dříve vydaných učebních textů pro laboratorní měření. Bylo čerpáno z gymnaziálních učebnic i vysokoškolských skript, zejména z knihy [ŽL]; seznam literatury je uveden v závěru tohoto sešitu. Cenným zdrojem inspirace byly editorovi laboratorní úlohy zadávané jeho vyučující J. Kuglerovou.

Zpracování. Návody byly napsány v systému $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}$ - $\mathcal{T}\mathcal{E}\mathcal{X}$. V textu nejsou vzory tabulek a náčrty uspořádání *všech* měření; laboranti případně dostanou potřebnou informaci od vyučujícího.

Pracovní postup

- (1) Na jeden konec optické lavice umístíme předmět (tenký plech s vyřiznutým obrazcem) a osvětlíme světelným zdrojem. Na lavici se dále umístí držák se spojnou čočkou. Obraz se vytvoří na stínítku, které je umístěno ve vzdálenosti d od předmětu; tuto vzdálenost zvolíme pevně, pětkrát změříme a stanovíme chybu měření (chyba měřidla, chyba opakovaných měření). (Vzdálenost d zvolíme tak, aby byla větší než čtyřnásobek předpokládané ohniskové vzdálenosti.)
- (2) Posouváním čočky vytvoříme na stínítku ostrý obraz. Zaznamenejme předmětovou vzdálenost a_1 . Čočku nyní posuneme na opačnou stranu od středu vzdálenosti mezi předmětem a stínítkem, nový obraz zaostříme a změříme novou vzdálenost předmětu a_2 . Rozdíl těchto vzdáleností je roven δ . Vyhledání obou poloh provedeme pětkrát, stanovíme krajní chyby veličin a_1 , resp. a_2 (chyba měřidla, chyba opakovaných měření). Krajní chybu δ vypočteme jako chybu nepřímého měření.
- (3) Podle vzorce (8) vypočteme f ; stanovíme krajní chybu jako chybu nepřímého měření.
- (4) Body (1)–(3) postupu opakujeme *ještě pro jednu jinou* hodnotu d ; oba výsledky porovnáme.
- (5) Na optickou lavici upevníme zdroj, předmět a stínítko; najdeme takovou polohu čočky, aby vznikl zvětšený ostrý obraz předmětu.
- (6) Stanovíme zvětšení Z .
- (7) Stínítko přiblížíme k čočce o zvolenou hodnotu l , vyhledáme takovou polohu předmětu, aby opět vznikl ostrý zvětšený obraz, analogicky dle vztahu (6) určíme zvětšení Z_1 . Ze vztahu (9) určíme f .
- (8) Měření opakujeme pro pět různých vzdáleností l ; vždy vypočteme příslušné f .
- (9) Spočteme průměrnou hodnotu f z pěti měření; chybu měření nebudeme vyhodnocovat.

Zpracování výsledků měření

- Tabulky pro jednotlivá měření. Náčrty uspořádání měření oběma metodami.
- Dva výpočty f (včetně krajní chyby) pro měření Besselovou metodou. Jeden výpočet průměrné hodnoty f pro měření Abbeovou metodou (bez chyby měření).

Náměty pro závěr

- Jaké nepřesnosti, zanedbání apod. ovlivňují výsledek měření? Jak by bylo možno měření zpřesnit, vylepšit?
- Pokuste se navrhnout ještě jinou metodu měření f . Jak by se postupovalo v případě rozptylky, která vytváří zdánlivý obraz?

OPTICKÁ MŘÍŽKA

Pracovní úkol

a) Určete mřížkovou konstantu dodané optické mřížky. b) Určete vlnovou délku laserového ukazovátka.

Pomůcky

Rtuťová výbojka, optická mřížka, tyčová měřítka, laserové ukazovátka, CD, stojany, černé papíry.

Teoretický úvod

Optická mřížka je soustava rovnoběžných štěrbin, oddělených neprůhlednými pruhy. Mřížky se zhotovují rytím rovnoběžných vrypů do povrchu skleněné desky nebo do kovové vrstvy napařené na desku. (Lze je také vyrobit fotografickou cestou.) Světlo může deskou procházet pouze v místech, která nejsou porušena vrypem. Rovinnou mřížku pak tvoří řada štěrbin, přičemž šířku štěrbin a vrypu udává **mřížková konstanta** (perioda mřížky) b .

Dopadá-li světlo kolmo na optickou mřížku, dochází k jeho ohybu a interferenci tak, že na stínítku lze pozorovat maxima ve směrech určených úhly α , pro které platí vztah

$$b \sin \alpha = k \lambda, \quad (11)$$

kde λ je vlnová délka monochromatického světla a $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ je **řád maxima**. Ve středu osvětleného pole je pruh odpovídající maximu nultého řádu ($k = 0$), od něho symetricky na obě strany jsou úzké spektrální čáry odpovídající $k = 1, 2, 3, \dots$. Označí-li se vzdálenost čar stejného řádu od osy aparatury y_+ a y_- , vzdálenost mřížky od stínítka x , potom úhel α ve vztahu (11) lze určit z rovnosti

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x} = \frac{y_+ + y_-}{2x}; \quad (12)$$

y jsme určili jako průměrnou hodnotu z y_+ a y_- , tedy $y = (y_+ + y_-)/2$. Potřebný $\sin \alpha$ je možno vyjádřit také přímo:

$$\sin \alpha = \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{x^2}{y^2} + 1}}. \quad (13)$$

Znalost mřížkové konstanty b a určení úhlu α umožňuje stanovit vlnovou délku spektrální čáry, nebo naopak: z údaje vlnové délky *jisté* čáry a úhlu α lze vypočítat b . Ze vztahů (11) a (13) dostáváme (pro $k = 1$) užitečný vztah

$$\lambda = \frac{b}{\sqrt{\frac{x^2}{y^2} + 1}}. \quad (14)$$

Záznam zvuku nebo počítačového souboru na **kompaktním disku** (CD audio, popř. CD ROM) má podobu mikroskopických prohlubní různé délky (tzv. pitů), jejichž posloupnost nese informaci. Pitý jsou v drážkách stejné šířky, které na zrcadlovém povrchu disku vytvářejí v podstatě optickou mřížku na odraz. Na 1 mm šířky záznamu připadá 625 drážek. To znamená, že kompaktní disk má vlastnosti optické mřížky s mřížkovou konstantou $b = 1/625 \text{ mm} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ m}$.

INDEX LOMU SKLA

Pracovní úkol

Změřte index lomu skla pomocí a) půlkruhové skleněné desky, b) skleněné krychle (resp. kvádru).

Pomůcky

Půlkruhová skleněná deska, skleněná krychle (resp. kvádr), papírový úhломěr, špendlíky, milimetrové měřítko, posuvné měřítko, obdélníková stěna, polystyrenová podložka.

Teoretický úvod

- Pojednejte o zákonu lomu, definujte absolutní index lomu.

Pracovní postup

- (1) Půlkruhovou skleněnou desku položíme na větší papírový úhломěr tak, aby jejich středy splynuly (viz OBR. 1A z [ŽL]).
- (2) Do středu S a některého bodu A stupnice zabodneme svisle špendlíky a najdeme na stupnici takovou polohu B pro další špendlík, abychom při pohledu přes skleněnou desku viděli všechny tři špendlíky v jedné přímce.
- (3) Určíme příslušné úhly α a β (měříme je *od* kolmice!) a podle zákona lomu vypočteme n . Měření v dané poloze opakujeme pětkrát; krajní chybu určíme jako chybu opakovaných měření.¹⁾
- (4) Měření popsané v bodech (2)–(3) opakujeme pro tři různé polohy bodů A , B .
- (5) Na horní stěnu skleněné krychle (resp. kvádru) o hraně 4 cm až 8 cm přilepíme papírovou milimetrovou stupnici; před těleso umístíme svislou obdélníkovou stěnu výšky h tak, aby byla kolmá k hraně s milimetrovou stupnicí (viz OBR. 1B z [ŽL]).
- (6) Díváme-li se přes horní okraj stěny na vzdálenější spodní hranu krychle, promítně se tato hrana na horní stěnu krychle do vzdálenosti i od zadní stěny. Je-li d vzdálenost plechové stěny od zadní stěny krychle, platí pro úhly α , resp. β :

$$\sin \alpha = \frac{d - i}{\sqrt{(h - a)^2 + (d - i)^2}}, \quad \sin \beta = \frac{i}{\sqrt{a^2 + i^2}}. \quad (1)$$

- (7) Index lomu n spočítáme dle vztahu

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{(d - i)\sqrt{a^2 + i^2}}{i\sqrt{(h - a)^2 + (d - i)^2}}. \quad (2)$$

- (8) Měření v dané poloze opakujeme pětkrát; krajní chybu určíme jako chybu opakovaných měření.
- (9) Měření popsané v bodech (5)–(8) opakujeme pro tři různé polohy krychle vzhledem ke stěně.

Kolektiv autorů

Fysikální měření pro gymnasia

V. část – Optika, Fysika mikrosvětla

Uspořádal Jan Voženílek

Sazbu v systému $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}\text{-T}\mathcal{E}\mathcal{X}$ připravil Honsoft

Vydáno pro Gymnasium F. X. Šaldy v Liberci

v roce 2009

Vydání 4., upravené

2008 – 4.0 – 091001

¹⁾ Tento postup není zcela korektní; správnější by bylo opakovaně měřit úhly, stanovit jejich krajní chybu (chybu opakovaného měření, chybu měřidla) a z těchto výsledků určit krajní chybu indexu lomu jako chybu nepřímého měření. Popsaný postup však nelze v gymnasiu realizovat, neboť „neumíme“ spočítat chybu výrazu typu $\sin \alpha$.