

# Fyzikální měření pro gymnasia

V. část

**Optika**

**Fyzika mikrosvěta**

Gymnasium F. X. Šaldy • Honsoft  
Liberec 2009

## Pracovní postup

- (1) Mřížku prosvítíme úzkým svazkem paprsků známé vlnové délky (rtuťovou výbojkou) a na stínítku pozorujeme maxima.
- (2) Změříme vzdálenost stínítka a mřížky  $x$ .
- (3) Desetkrát měříme vzdálenost  $y_+ + y_-$  1., resp. 2. maxim. Pro obě maxima spočítáme průměrnou hodnotu  $y$  této vzdálenosti a dle vztahu (12) určíme úhel  $\alpha$ .
- (4) Ze vztahu (11) vypočteme mřížkovou konstantu  $b$ . Chybu měření nebudeme stanovovat.
- (5) Body (1)–(4) postupu opakujeme pro dvě různé vzdálenosti mřížky od stínítka.
- (6) Kompaktní disk upevníme (užitím držáku) do svislé polohy a zhruba ve vzdálenosti 10 cm umístíme tuhý bílý papír s otvorem, jehož průměr odpovídá průměru laserového ukazovátka. Výška otvoru nad plochou stolu je 6 cm (poloměr kompaktního disku). Laserové ukazovátko upevníme vodorovně do stojanu rovněž ve vzdálenosti 6 cm od plochy stolu a vsuneme ho do otvoru v papíru. Laserový paprsek namíříme přibližně do středu záznamu na disku.
- (7) Desetkrát změříme vzdálenost  $x$  stínítka (tedy papíru s otvorem) a CD; stanovíme krajní chybu měření (chyba opakovaných měření, chyba měřidla).
- (8) Rozsvítíme ukazovátka. Na papíru pozorujeme jednak výraznou stopu paprsku odraženého od povrchu disku (difrakční maximum 0. řádu; při přesném seřízení stopa dopadne zpět na ukazovátka a není vidět), jednak po obou stranách méně výrazná difrakční maxima 1. a 2. řádu. Desetkrát změříme vzdálenost  $y_+ + y_-$  maxim 1. řádu; spočteme  $y = (y_+ + y_-)/2$ ; stanovíme krajní chybu tohoto měření. Podobně postupujeme pro maxima 2. řádu.
- (9) Hodnotu  $\lambda$  vypočteme podle (14); stanovíme krajní chybu jako chybu nepřímého měření (přítom chyba  $b$ , tj. chyba vzniklá při výrobě CD, je vzhledem k chybám ostatních měřených veličin zanedbatelná).

## Zpracování výsledků měření

- Dvě dvojice tabulek (dvě měření, dvojí maxima) obsahující výsledky měření  $y_+ + y_-$ .
- Čtyři výpočty průměrných hodnot  $y_+ + y_-$ , čtyři výpočty mřížkových konstant.
- Porovnání jednotlivých výsledků, diskuse; průměrná hodnota  $b$  ze všech měření.
- Tabulka pro 10 měření vzdálenosti CD a stínítka. Tabulka pro dvakrát 10 měření  $y_+ + y_-$  pomocí CD (maxima 1. řádu, maxima 2. řádu).
- Výpočet  $\lambda$  laserového ukazovátka včetně výpočtu chyby měření.
- Náskresy uspořádání.

## Náměty pro závěr

- Porovnání naměřených údajů s údaji uvedenými na mřížce, resp. laserovém ukazovátku.
- Jaké nepřesnosti, zanedbání apod. ovlivňují výsledek měření?
- Jak by bylo možno měření zpřesnit, vylepšit?

# OHNISKOVÁ VZDÁLENOST ČOČKY

## Pracovní úkol

Změřte ohniskovou vzdálenost spojky a) Besselovou, b) Abbeovou metodou

## Pomůcky

Optická lavice, spojná čočka, světelný zdroj, předmět, stínítko, milimetrové měřítko.

## Teoretický úvod

Poloha obrazu a předmětu při zobrazení tenkou spojnou čočkou je dána zobrazovací rovnicí, která má (s užitím obvyklé znaménkové konvence) tvar

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}. \quad (3)$$

Podíl

$$\varphi := \frac{1}{f} \quad (4)$$

definuje **optickou mohutnost čočky**. Jednotkou je dioptrie (D).

Z rovnice (3) plyne pro ohniskovou vzdálenost tenké čočky

$$f = \frac{a \cdot a'}{a + a'}. \quad (5)$$

Je-li velikost předmětu  $y$  a obrazu  $y'$ , odvodí se (viz např. [OP]) z podobnosti trojúhelníků pro příčné zvětšení vztah

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a'}{a} = \frac{f - a'}{f}, \quad (6)$$

a tedy

$$f = \frac{a'}{1 - Z}. \quad (7)$$

Potíže s přesným měřením vzdáleností  $a$  a  $a'$  odstraňuje **Besselova metoda**. Nemění-li se vzdálenost  $d$  předmětu od stínítka, pro  $d > 4f$  existují dvě polohy čočky vzdálené  $\delta$ , při kterých se předmět zobrazí na stínítku ostře (jeden obraz je zvětšený, druhý zmenšený – viz OBR. 2). Vzdálenost  $d$  je možno vyjádřit jako lineární kombinace vzdáleností předmětu a obrazu v obou polohách; uváží-li se dále, že  $a_1 = -a'_2$  a  $\delta = a_2 - a_1$ , vychází

$$f = \frac{d^2 - \delta^2}{4d}. \quad (8)$$

S velikostí předmětu a obrazu pracuje **metoda Abbeova**. Při určitých pevných polohách předmětu  $P$  a stínítka  $S$  najdeme takovou polohu čočky, aby na  $S$  vznikl zvětšený ostrý obraz předmětu. Pak změříme velikost  $y$  předmětu a  $y'$  obrazu a určíme zvětšení  $Z = y'/y$ . Při nezměněné poloze čočky přiblížíme stínítko k čočce o délku  $l$  do polohy  $S_1$  a vyhledáme takovou polohu předmětu  $P_1$ , aby opět vznikl ostrý zvětšený obraz, jehož velikost  $y'_1$  odečteme; stanovíme pak nové zvětšení  $Z_1$ . Z čočkové rovnice obdržíme:

$$f = \frac{l}{Z - Z_1}. \quad (9)$$

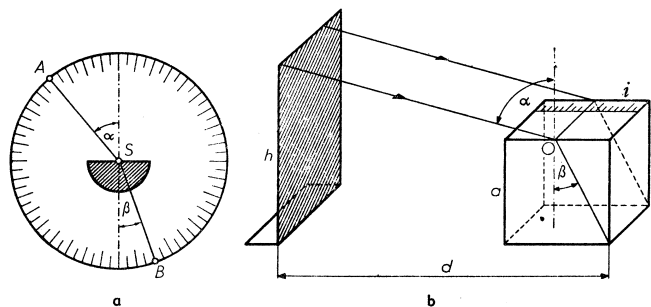
- Odvoďte podrobně vztahy (8) a (9).

## Zpracování výsledků měření

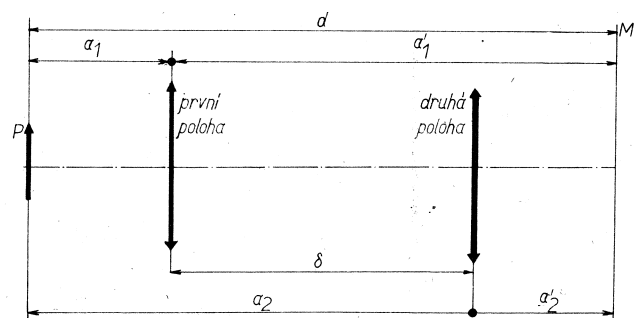
- Pro každou metodu: tři tabulky pro trojí měření za různých podmínek; každá obsahuje pět opakovaných měření potřebných veličin (s výpočtem chyby opakovaných měření).
- Šestý výpočet  $n$  pro tři různé polohy v obou metodách včetně výpočtu krajní chyby.

## Náměty pro závěr

- Porovnání měření oběma metodami, diskuse o chybě měření.



OBR. 1



OBR. 2

## LITERATURA

- [Bro83] Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření I. 1. vyd. Praha: SPN, 1983.
- [Mád91] Mádr, V. – Knejzlík, J. – Kopečný, J. – Novotný, I.: Fyzikální měření. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991.
- [ČMB] Čmelík, M. – Machonský, L. – Burianová, L.: Úvod do fyzikálních měření. 1. vyd. Liberec: TUL, 1999.
- [Kaz76] Kazda, V. – Soška, F.: Laboratorní cvičení z fyziky. 1. vyd. Liberec: VŠST, 1976.
- [Čme85] Čmelík, M. – Machonský, L.: Fyzikální laboratoře. 1. vyd. Liberec: VŠST, 1985.
- [ŽL] Živný, F. – Lepil, O.: Praktická cvičení z fyziky. 7. vyd. Praha: SPN, 1977.
- [Vyb02] Vybíral, B.: Zpracování dat fyzikálních měření. 1. vyd. Hradec Králové: MAFY, 2002.
- [OP] Lepil, O.: Fyzika pro gymnázia: Optika. 3. vyd. Praha: Prometheus, 2002.
- [Hor61] Horák, Z. – Krupka, F. – Šindelář, V.: Technická fyzika. 3. vyd. Praha: SNTL, 1961.
- [VSF] Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2001.
- [SŠF] Slovník školské fyziky. 1. vyd. Praha: SPN, 1988.