Kabinet výuky obecné fyziky MFF UK

Fyzikální praktikum III

Úloha č. 22

Název.: Geometrická optika

Měřil.: Michal Švanda.....dne:..9. května 2001.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....
odevzdal dne:.....vráceno:.....
odevzdal dne:.....

Posuzoval:.....dne:.....

Výsledek klasifikace:.....

Připomínky:

Pracovní úkol

1. **Změřte ohniskovou vzdálenost rozptylky navrženou metodou**
2. **Proměřte barevnou vadu spojné i rozptylné čočky**

Teoretický úvod

Pro výsledné zobrazení předmětu optickou soustavou je důležitá její ohnisková vzdálenost. V případě jednoduchých čoček, které můžeme považovat za tenké, máme situaci značně zjednodušenou.

Ohniskovou vzdálenost spojné čočky měříme například Besselovou metodou.

Besselova metoda využívá toho, že zobrazovací rovnice čočky (platná v paraxiálním prostoru)

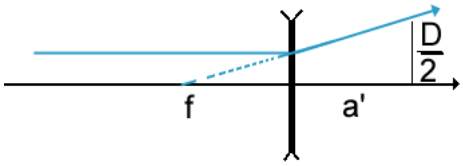
$$(a-f)=(a'-f)=f^2, \qquad [R1]$$

je symetrická vůči a i a'. Proto existují pro danou vzdálenost obrazu a předmětu D (D>4f) existují dvě symetrické polohy čočky, kdy je obraz ostrý. Protože $D=a+a'$ a $\Delta=a'-a$, lze ohniskovou vzdálenost vypočítat podle vztahu:

$$f=\frac{D^2-\Delta^2}{4D}. \qquad [R2]$$

Proto stačí změřit pouze D a Δ a z toho určit ohniskovou vzdálenost podle [R2] a protože potřebujeme znát pouze rozdíl obou symetrických poloh, je nám jedno, v kterých místech se nachází střed čočky, jehož polohu bychom jinak potřebovali znát, pokud bychom chtěli ohniskovou vzdálenost vypočítat přímo ze zobrazovací rovnice.

U rozptylek je situace komplikovanější, protože rovnoběžný svazek za čočkou je měněn na rozbíhavý, nevzniká tedy žádné reálné ohnisko a žádný reálný obraz. Rozbíhavosti původně rovnoběžného paprsku můžeme k měření ohniska rozptylky využít, jak ukazuje měřící schéma na obrázku [O1].



[O1]

Změříme-li tedy sadu průměrů rozbíhavého svazku D ve vzdálenostech a' od čočky, můžeme například lineární regresí vypočítat ohniskovou vzdálenost rozptylky. Z důvodů možných nesymetrií změříme takto ohniskovou vzdálenost ještě v obrácené poloze čočky a jako výslednou ohniskovou vzdálenost vezmeme průměr obou hodnot.

Čočky jsou zhotoveny z materiálů, které vykazují disperzi světla. To se projeví tzn. *barevnou vadou*, tedy vlastně faktem, že k lomu červených paprsků dochází méně než k lomu modrých paprsků. To se projeví rozmazáním ohniska pro průchod polychromatického světla. Vymezováním spektrálních čar (např. pomocí interferenčních filtrů) lze proměřit barevnou vadu takovéto čočky, tedy závislost ohniskové vzdálenosti na vlnové délce.

Výsledky měření

Pomocí navržené metody jsem změřil ohniskovou vzdálenost rozptylné čočky. Rovnoběžný svazek jsem vytvořil použitím polychromatické vláknové lampy, kterou lze považovat za bodový zdroj světla a rozbíhavý svazek jsem kolimoval spojnou čočkou známé ohniskové vzdálenosti Rovnoběžnost svazku jsem ověřil měřením jeho průměru v několika vzdálenostech od kolimační čočky. Měření shrnuje tabulka [T1], získaná ohnisková vzdálenost má hodnotu:

f=(-133±5) mm

Chyby odečítání průměrů a polohy stínítka jsem stanovoval odhadem jako chyby maximální (±1 mm pro odečítání polohy stínítka vůči čočce pásovým měřítkem, ±0,5 pro odečítání průměrů na stínítku vyhotoveném z milimetrového papíru). Chyba celkového měření je vypočtena z chyb regresních koeficientů lineární regrese dat provedené programem `Microsoft Excel 97` (ve čtvercích jsem sečetl relativní chyby jednotlivých koeficientů).

Pro pět vlnových délek jsem proměřoval barevnou vadu spojné čočky a rozptylky. Nejprve jsem stanovil ohniskovou vzdálenost spojné čočky v bílém světle Besselovou metodou.

$$\mathbf{f_{polychromatická}=(24,2\pm0,7)\ cm}$$

Chybu měření jsem stanovoval výpočtem ze vztahu [R2].

Pak jsem proměřoval ohniskovou vzdálenost Besselovou metodou pro pět vlnových délek vymezovaných úzkopásmovými interferenčními filtry. Měření je shrnuto v tabulce [T2], získal jsem následující výsledky:

λ [nm]	466	491	550	633	656
f [cm]	23,1	23,3	24	25	25,2
σf [cm]	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Hodnoty jsem vynesl do grafu [G1] a daty proložil lineární regresní křivku.

Chyby měření jsou stanovovány odhadem pro odečet jako chyby mezní (±2 mm pro každou polohu čočky). Empiricky jsem pro danou čočku získal regresní závislost:

f[cm] = (0,0114±0,0002).λ[nm] + (17,8±0,1)

Koeficient korelace dat je 0,999, tedy jde skutečně o závislost lineární.

Stejné měření jsem provedl s rozptylkou o ohniskové vzdálenosti zjištěné měřením v úkolu 1. Chyby jsem stanovoval stejným způsobem.

Měření je shrnuto v tabulce [T3]. Výsledkem jsou následující data:

λ [nm]	466	491	550	633	656
f [cm]	-121	-144	-147	-148	-159
σf [cm]	8	12	8	8	27

Hodnoty jsem vynesl do grafu [G2].

Z grafu i tabulky je patrné, že absolutní hodnota ohniskové vzdálenosti s rostoucí vlnovou délkou roste, což odpovídá teoretickým předpokladům. Proložená regresní přímka má rovnici (proloženo váženou regresí pomocí programu `Origin 5.0`):

$$\mathbf{f\ [mm] = -(0{,}14 \pm 0{,}05).\lambda[nm] - (67 \pm 31)}$$

Koeficient korelace dat je 0,82, závislost lze považovat za lineární.

Diskuse

Navržená metoda určování ohniskové vzdálenost rozptylky nám umožňuje tuto vzdálenost měřit s přesností řádově 5%, což je přibližně dvojnásobně velká nepřesnost než při měření ohniskové vzdálenosti spojky Besselovou metodou.

Pro měření barevné vady je Besselova metoda metodou dostatečně přesnou. Metoda navrhovaná pro měření ohniskovou vzdálenost rozptylky je metodou pro měření spektrální disperze nevhodnou, protože dává výsledky značně zašuměné experimentálními chybami způsobenými odečítáním průměrů svazku a vzdálenosti stínítka od čočky. Obě metody jsou nezávislé na znalosti počátku souřadnic (hlavního bodu čočky), v případě Besselovy metody je chyba způsobená zanedbáním této hodnoty řádu procent; v případě navrhované metody měření ohniskových vzdáleností rozptylky je toto zanedbání vyloučeno měřením předmětového i obrazového ohniska vztaženého k jednomu bodu čočky a průměrováním obou hodnot (ze symetrie je tento postup jistě správný).

Závěr

Změřil jsem ohniskovou vzdálenost rozptylky a navrhl metodu na její měření, proměřil jsem barevnou vadu čočky spojné i rozptylné.

Literatura

[L1] Pelant, Fiala, Pospíšil, Fähnrich - Fyzikální praktikum III. - Optika