

Fyzikální praktikum III

Úloha č. 22

Název. : Geometrická optika - ohnisková vzdálenost rozptylky

Měřil . : Michal Švanda.....dne : ...18. května 2001.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....vráceno:.....

odevzdal dne:.....

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

Výsledek klasifikace:.....

Připomínky:

Pracovní úkol

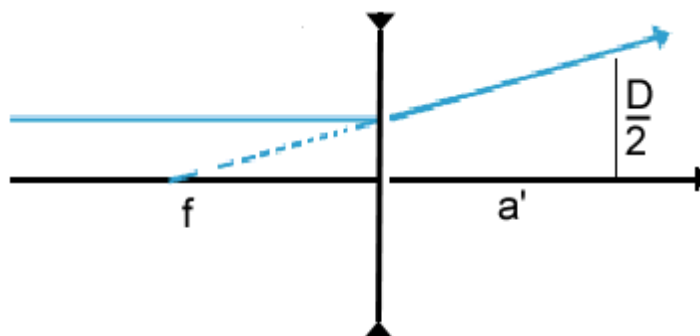
1. Změřte ohniskovou vzdálenost rozptylky metodou divergence svazku.
2. Změřte ohniskovou vzdálenost rozptylky kompenzací spojnou čočkou.

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 spojně čočky měříme například Besselovou metodou.

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

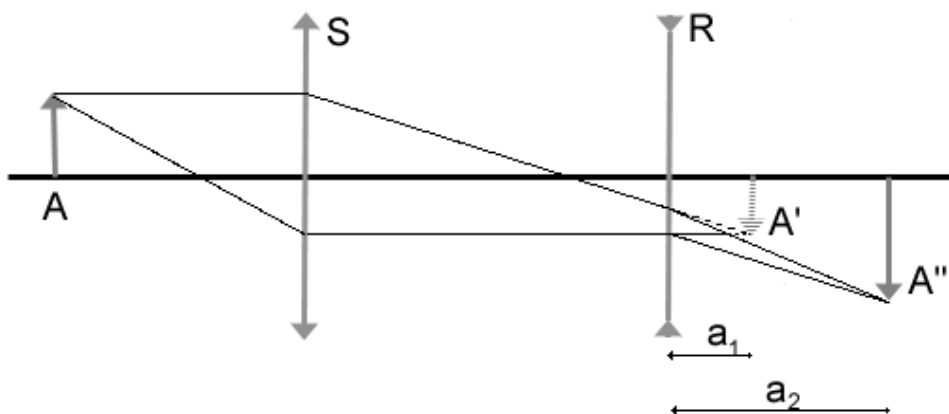


[O1]

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.

Jiná možnost, jak zjistit ohniskovou vzdálenost rozptylky, je zkombinovat ji do soustavy se spojnou čočkou větší optické mohutnosti, než je optická mohutnost měřené rozptylky (dá se ověřit například přiložením obou čoček na sebe - budou-li se chovat jako spojka, tedy podobně jako lupa zvětšovat blízké předměty, je tato kombinace pro měření vhodná).

Uvažujme uspořádání podle obrázku [O2].



[O2]

Svazek paprsků vycházející z bodu A předmětu se po projití spojnou čočkou S sbíhá v bodě A' obrazu. Zařadíme-li tomuto svazku do cesty rozptylku R tak, aby bod A' ležel mezi ní a jejím předmětovým ohniskem, nebude se skutečný svazek paprsků sbíhat v bodě A' , ale až v bodě A'' . Bod A'' představuje obraz bodu A vytvořený soustavou obou čoček. Pro rozptylku představuje bod A' neskutečný předmět, takže po výpočtu obou čočkových rovnic dostáváme pro ohniskovou vzdálenost rozptylky vztah:

$$f = \frac{a_1 a_2}{a_2 - a_1}, \quad [\text{R1}]$$

kde všechny hodnoty jsou brány absolutně, tedy takto vypočítanou ohniskovou vzdálenost musíme vzít záporně.

Výsledky měření

Pomocí navržených metod 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].

Tabulka [T1]

Ohnisková vzdálenost rozptylky divergencí

a [cm]	D [mm]		
10	21		
15	26		
20	29		
25	31		
±	±		
0,1	0,5		
<f>=	-18,4	δ _f [%]	18,6
σ _f [cm]	3,4		

Získaná ohnisková vzdálenost má hodnotu:

$$f = (-18,4 \pm 3,4) \text{ cm.}$$

relativní chyba měření je 18,6%.

Chyby odečítání průměrů a polohy stínítka jsem stanovoval odhadem jako chyby maximální (± 1 mm pro odečítání polohy stínítka vůči čočce pásovým měřítkem, $\pm 0,5$ 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). Chybu jsem stanovil jako maximální.

Podle schématu na obrázku [O2] jsem proměřoval ohniskovou vzdálenost téže čočky. Jako spojnou čočku jsem použil čočku s ohniskovou vzdáleností 11 ± 1 cm ze sady čoček v praktiku. Měření viz tabulka [T2]. S fixním předmětem jsem spojil nulu při měření všech dalších vzdáleností na součásti na optické lavici. Zobrazením předmětu ve zvolené předmětové vzdálenosti a jsem získal jeho obraz a změřil jeho vzdálenost od předmětu a' . Poté jsem do svazku vložil rozptylku a změřil její polohu vztahenou k předmětu D . Posouváním stínítka jsem získal opět ostrý obraz ve vzdálenosti a'' . Veličiny a_1 a a_2 definované podle obrázku [O2] a potřebné pro výpočet podle vzorce [R1] jsou pak dány přepočty:

$$a_1 = a' - D - a$$

$$a_2 = a'' - D - a$$

Měření jsem provedl pro různé polohy předmětu a rozptylky. Pro každou polohu jsem vypočítal podle vzorce [R1] příslušnou ohniskovou vzdálenost čočky a její chybu, danou chybami odečítání poloh jednotlivých elementů soustavy (zatímco polohu spojky a rozptylky lze odečíst s přesností ± 1 mm, polohu zaostřených obrazů lze odečítat s přesností ± 5 mm díky subjektivnímu pocitu ostrosti).

Ze sady hodnot jsem udělal průměr a ten prohlásil za změřenou ohniskovou vzdálenost rozptylky. Spočítal jsem směrodatnou odchylku sady dat, tu ve čtverci spojil s maximem z absolutních chyb jednotlivých měření a tuto hodnotu prohlásil za výslednou maximální chybu změřené ohniskové vzdálenosti.

Tabulka [T2] Ohnisková vzdálenost rozptylky kompenzací

a [cm]	a' [cm]	D [cm]	a'' [cm]	a ₁ [cm]	a ₂ [cm]	f [cm]	$\sigma_{f, \text{odhad}}$ [cm]
20	47,3	40	54	-12,7	-6	-11,4	1,1
20	47,3	35	50	-7,7	-5	-14,3	1,9
25	46,8	38	55,6	-16,2	-7,4	-13,6	1,1
25	46,8	40	56	-18,2	-9	-17,8	1,1
25	46,8	42	58	-20,2	-9	-16,2	1

a [cm]	a' [cm]	D [cm]	a'' [cm]	a ₁ [cm]	a ₂ [cm]	f [cm]	σ _{f,odhad} [cm]
30	49,2	40	62	-20,8	-8	-13	0,9
30	49,2	42	64	-22,8	-8	-12,3	0,9
17	53,6	44,7	57	-8,1	-4,7	-11,2	1,5
±	±	±	±	±	±		
0,1	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5		

<f> [cm]	-13,7	δ _f [%]	20,8
σ _{f,stat} [cm]	2,2		
σ _f [cm]	2,9		

Získaná ohnisková vzdálenost má hodnotu:

$$f = (-13,7 \pm 2,9) \text{ cm.}$$

relativní chyba měření je 20,8%.

Diskuse

Hodnoty ohniskových vzdáleností získané odlišnými metodami se v rámci svých chybových intervalů překrývají. Obě metody nám umožňují měřit v daném uspořádání ohniskovou vzdálenost rozptylky s přesností řádu 20%, která je způsobena především provizorním sestavením pokusu.

Největších chyb jsem se dopouštěl při odečítání poloh optických členů na pásovém měřítku. Je to dáno jednak špatně definovanou polohou středu čočky, při nastavování ostrého obrazu se také projevila polychromatická použitá lampy. Použitím monochromatické lampy, měřítka pevně spojeného s optickou lavicí a čoček přesně upevněných ve stojánku se středem vyznačeným nejlépe šipkou na patě stojánku pro snadný odečet polohy na měřítku optické lavice bych zřejmě přesnost měření zvětšil přibližně pět a vícekrát.

Pro měření ohniskové vzdálenosti rozptylky je zřejmě vhodná spojná čočka, jejíž ohnisková vzdálenost je přibližně 1,5 krát menší, než ohnisková vzdálenost rozptylky, což se dá ověřit například přiložením obou čoček na sebe - měly by se chovat jako spojka přibližně s 1,6 krát větší ohniskovou vzdáleností, než známá spojná čočka. S ohledem na délku optické lavice (neměla by přesáhnout 1,5 metru, aby byl snadný přístup ke všem optickým členům na ní uložených) jsou vhodné **spojné čočky** s ohniskovými vzdálenostmi **10÷30 cm** a **rozptylky** s ohniskovou vzdáleností **-15÷-45 cm**. Experiment je náročný na trpělivost a jeho úspěch závisí na co nejpřesnějším odečtu poloh optických členů a co nejpečlivějším vyhledání poloh obrazů.

Lze předpokládat, že při vylepšení uspořádání experimentu podle mých návrhů (monochromatická lampa, měřítko pevně spojené s optickou lavicí a lépe vyřešené odečítání poloh

optických členů) bude druhá metoda s použitím silnější spojné čočky řádově přesnější než metoda výpočtu z divergence svazku, která například vyžaduje rovnoběžný vstupní svazek paprsků.

Závěr

Změřil jsem ohniskovou vzdálenost rozptylky dvěma metodami. Obě metody dávají v provizorním uspořádání experimentu přibližně stejné výsledky s řádově stejnými relativními chybami. Po několika úpravách uspořádání by se měření mohlo stát plnohodnotnou úlohou do fyzikálního praktika.

Literatura

- [L1] Pelant, Fiala, Pospíšil, Fährnich - Fyzikální praktikum III. - Optika
- [L2] Brož a kol. - Základy fyzikálních měření I.