

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM III

Úloha č.: 2

Název: Měření parametrů zobrazovacích soustav

Vypracoval: Vít MAREK

stud. sk. F12

dne 22.3.2001

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

Pracovní úkol:

1. Změřte ohniskovou vzdálenost ploskovypuklé čočky jednak Besselovou metodou, jednak metodou dvojího zvětšení.
2. Užitím goniometru určete vzdálenost hlavních rovin čočky měřené v bodě 1) a rozhodněte, lze-li ji považovat za tenkou čočku. Odhadněte systematickou chybu, které se dopouštíte při měření ohniskové vzdálenosti Besselovou metodou.
3. Na základě výsledků získaných v obou předchozích bodech diskutujte, která z uvedených metod měření ohniskové vzdálenosti je v uvedeném uspořádání přesnější.
4. Změřte kulovou vadu vyšetřované ploskovypuklé čočky v obou polohách čočky vůči dopadajícímu záření pro dvě vzdálenosti předmětu $a_1=30\text{cm}$, $a_2=60\text{cm}$. Získané výsledky zpracujte do jednoho grafu a porovnejte.
5. Určete vzdálenost hlavních rovin velmi tlusté ploskovypuklé čočky změřením vzdálenosti uzlových bodů. Proveďte diskuzi přesnosti měření. Ze známé tloušťky čočky vzdálenosti hlavních rovin určete index lomu skla.

Teorie:

Besselova metoda využívá symetrie rovnice (viz [1] str. 29):

$$(a - f) = (a' - f) = f^2 \quad (1) \quad \text{kde } f \text{ je ohnisková vzdálenost, } a, a' \text{ jsou předmětová a obrazová vzdálenost}$$

která pak přechází na tvar:

$$f = \frac{D^2 - \Delta^2}{4D} \quad (2) \quad \text{kde } D = a' + a + \delta_{pp}, \Delta = a' - a$$

δ_{pp} je vzdálenost hlavních rovin čočky.

U metody dvojího zvětšení měříme pevné poloze předmětu a obrazu příčné zvětšení obrazu pro 2 polohy čočky. Ohniskovou vzdálenost pak získáme dosazením do vztahu (3) nebo (4):

$$f = \frac{\left(\frac{Y'}{Y}\right)_1 \left(\frac{Y'}{Y}\right)_2 |a_1 - a_2|}{\left|\left(\frac{Y'}{Y}\right)_2 - \left(\frac{Y'}{Y}\right)_1\right|} \quad (3)$$

$$f = \frac{|a'_1 - a'_2|}{\left|\left(\frac{Y'}{Y}\right)_2 - \left(\frac{Y'}{Y}\right)_1\right|} \quad (4)$$

kde Y je velikost předmětu, Y' velikost obrazu.

Sférickou vadou nazýváme rozdíl

$$\Delta a' = a'_p - a' \quad (5) \quad \text{kde } a'_p \text{ je vzdálenost obrazu pro paraxiální paprsky, } a' \text{ vzdálenost pro paprsky mimoosové}$$

kdy paprsky procházejí ve vzdálenosti h od osy čočky. (v našem případě $h = (r_1 + r_2)/2$, kde r_1 a r_2 jsou poloměry clony. U jednotlivé čočky lze a vyjádřit v dobrém přiblížení kvadratickou závislostí:

$$\Delta a' = K h^2 \quad (6) \quad \text{kde } K < 0 \text{ pro spojku}$$

Pro plankonvexní čočku se vztah pro vzdálenost hlavních rovin čočky redukuje na vztah (viz [1] str.27):

$$\delta_{pp} = \frac{n-1}{n} d_{pp} \quad (7) \quad \text{kde } n \text{ je index lomu, } d_{pp} \text{ tloušťka čočky, } \delta_{pp} \text{ vzdálenost hlavních rovin.}$$

Výsledky měření:

Na optickou lavici jsem si umístil předmět, ploskovypuklou čočku a stínítko. Polohy těchto elementů jsem odečítal s pomocí centimetrového měřítka (chyba asi 0,1 cm). Zároveň s Besselovou metodou jsem prováděl měření i pro metodu dvojího zvětšení. Velikost Obrazu jsem odečítal ze stínítka pomocí milimetrového měřítka (chyba 0,05 mm). Provedl jsem 6 sad měření. Pro každé měření jsem určil příslušnou ohniskovou vzdálenost (viz *vztahy* (2) pro Besselovu metodu a (3), (4) pro metodu dvojího zvětšení). Získané hodnoty jsem statisticky zpracoval. Získané výsledky jsou uvedeny v *tabulce 1*.

Tabulka 1. Ohniskové vzdálenosti ploskovypuklé čočky určené Besselovou metodou a metodou dvojího zvětšení.

Měření	D [cm]	l [cm]	l' [cm]	Y [mm]	Y' [mm]	Y'' [mm]	Y''' [mm]	Besselova met.		Met. dvoj. zvětšení	
								f [m]	er f [m]	f [m]	er f [m]
1	75	32,6	48,1	101,8	86,0	99,0	92,5	0,1795	0,0006	0,169	0,003
2	77	31,9	51,2	102,4	85,0	98,8	93,0	0,1804	0,0006	0,167	0,002
3	79	31,1	54,5	102,9	83,7	98,6	93,4	0,1802	0,0006	0,167	0,002
4	81	30,3	56,7	103,4	82,6	98,5	93,7	0,1810	0,0006	0,165	0,002
5	83	29,8	59,5	103,8	81,6	98,5	94,0	0,1809	0,0007	0,168	0,001
6	85	29,2	62,5	104,2	80,4	98,2	94,1	0,1799	0,0007	0,167	0,001
								0,1803	0,0008	0,167	0,002

kde D je vzdálenost předmětu a obrazu, l, l', vzdálenosti čočky od počátku (poloha předmětu l = 5,8 cm), Y krajní polohy obrazu, f ohnisková vzdálenost, er f jeho chyba.

Pak jsem proměřil kulovou vadu čočky pro vzdálenosti předmětu 30 a 60 cm pro obě polohy čočky. Závislosti na vzdálenosti paprsku od osy jsou zaznamenány v grafu 1.

Pomocí goniometru jsem určil vzdálenost hlavních rovin tenké a tlusté čočky (chyba měření 0,1 mm). Výsledné hodnoty jsem zapsal do tabulky 2.

Tabulka 2.

Měření	Tenká čočka				Tlustá čočka			
	l [mm]	er l [mm]	l' [mm]	er l' [mm]	l [mm]	er l [mm]	l' [mm]	er l' [mm]
1	16,6	0,1	20,8	0,1	15,5	0,1	28,7	0,1
2	16,2	0,1	20,8	0,1	15,4	0,1	28,6	0,1
3	16,5	0,1	20,7	0,1	15,5	0,1	28,7	0,1
	16,4	0,2	20,8	0,1	15,5	0,1	28,7	0,1
				4,3	0,3			
							13,2	0,2

kde l, l' jsou krajní vzdálenosti, er l jejich chyby, vzdálenost hlavních rovin čočky.

Jak je z tabulky 2 vidět, tak hlavní osy tenké čočky nejsou totožné, ale jsou posunuty o $\delta = (4,3 \pm 0,3) \text{ mm}$. Měli bychom to započítat do vztahu (2). Jak je z tohoto vztahu vidět, tak se to projeví na nepřesném určení Δ . Chyba činí 2 δ . To se projeví zvýšením chyby ohniska na 0,002 mm.

Vzdálenost hlavních rovin tlusté čočky je

$$\delta = (13,2 \pm 0,2) \text{ mm}.$$

Index lomu skla získám dosazením do vztahu (7), tloušťka čočky je 38 mm.

$$n = (1,53 \pm 0,01)$$

Diskuse:

Rozdíl mezi ohniskovou vzdáleností čočky určené pomocí Besselovy metody a pomocí metody dvojího zvětšení (výsledky se liší o 8%) je pravděpodobně způsoben nepřesným měřením a možná i nesprávným odhadem chyb, kterých jsem se při měření jednotlivých veličin dopouštěl.

Podle získaných výsledků z tabulky 1 by se mohlo zdát, že Besselova metoda je přesnější. Po započtení chyby způsobené neznámou polohou hlavních rovin čočky se však obě metody ukázaly být stejně přesné.

Také v grafu 1 jsem se dopustil chyby, když jsem paprsek procházející 2,5 mm od osy považoval za osový. (Graf by měl být posunut).

Polohy hlavních rovin tlusté čočky se také neurčovaly snadno. Možná i tato chyba měření by měla být větší.

Závěr:

- Ohnisková vzdálenost ploskovypuklé čočky změřená Besselovou metodou je $f = (0,180 \pm 0,002) \text{ m}$ a určená metodou dvojího zvětšení $f = (0,167 \pm 0,002) \text{ m}$

2. Vzdálenost hlavních rovin této čočky je $\delta = (4,3 \pm 0,3) \text{ mm}$
4. Závislost kulové vady na vzdálenosti paprsku od osy je znázorněna v *grafu 1*.
5. Vzdálenost hlavních rovin tlusté čočky je $\delta_t = (13,2 \pm 0,2) \text{ mm}$. Její index lomu je $n = (1,53 \pm 0,01)$.

Použitá literatura:

- [1] Fyzikální praktikum III. Optika, *I. Pelant, J. Fiala, J. Pospíšil, J. Fährnich* Praha 1993