

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum ...



Úloha č.

Název úlohy:

Jméno: Obor: FOF FAF FMUZV

Datum měření:

Datum odevzdání:

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 5	
Teoretická část	0 - 1	
Výsledky měření	0 - 8	
Diskuse výsledků	0 - 4	
Závěr	0 - 1	
Seznam použité literatury	0 - 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval:.....

dne:

Pracovní úkoly

1. Změřte ohniskovou vzdálenost tenké ploskovypuklé (plankonvexní) čočky jednak Besselovou metodou, jednak metodou dvojího zvětšení.
2. Změřte kulovou vadu vyšetřované ploskovypuklé čočky v obou směrech pro dvě vzdálenosti předmětu $a = 30\text{ cm}$, $a = 60\text{ cm}$. Získané výsledky zpracujte do jednoho grafu a diskutujte velikost kulové vady v jednotlivých případech.
3. Užitím goniometru určete vzdálenost hlavních rovin čočky měřené v bodě 1 a tlusté ploskovypuklé čočky.
4. Na fokometru změřte optickou mohutnost čočky měřené v bodě 1 a výsledek srovnajte s výsledky měření ohniskové vzdálenosti.
5. Na základě výsledků získaných v bodech 1. a 3. diskutujte, která z uvedených metod měření ohniskové vzdálenosti dle bodu 1. je v uvedeném uspořádání přesnější. Porovnejte relativní chyby měření. Odhadněte systematickou chybu, které se dopouštíme při měření ohniskové vzdálenosti Besselovou metodou.
6. Ze známé tloušťky tlusté ploskovypuklé čočky a změřené vzdálenosti hlavních rovin určete index lomu skla.

Teoretická část

Změříme ohniskovou vzdálenost tenké čočky Besselovou metodou a metodou dvojího zvětšení. Při Besselově metodě umístíme předmět a stínítko do vzájemné vzdálenosti D . Posouváním spojné čočky určíme její dvě polohy, při kterých je obraz zaostřen na stínítko. Pokud je vzdálenost těchto dvou poloh čočky Δ , pak ohnisková vzdálenost čočky f je [1]

$$f = \frac{D^2 - \Delta^2}{4D}. \quad (1)$$

Při metodě dvojího zvětšení změříme příčné zvětšení β při dvou různých vzdálenostech předmětu a nebo obrazu a' . Označíme-li veličiny odpovídající obou uspořádáním dolními indexy 1 resp. 2, pak ohnisková vzdálenost čočky je [1]

$$f = \frac{|a'_1 - a'_2|}{|\beta_2 - \beta_1|} = \frac{\beta_1 \beta_2 |a_1 - a_2|}{|\beta_2 - \beta_1|}. \quad (2)$$

Pokud spojnou čočkou nebudou procházet pouze paraxiální paprsky, zjistíme, že se protnou v jiném místě (viz [1]). Vzdálenost průsečíku neparaxiálních paprsků od průsečíku paraxiálních paprsků nazýváme sférickou vadou čočky a značíme v , přičemž používáme stejnou znaménkovou konvenci. v je funkce polohy předmětu a a vzdálenosti paprsku od optické osy s . Pro jednotlivou čočku platí přibližně [1]

$$v = K s^2, \quad (3)$$

kde K je konstanta. Pro spojnou čočku je $K < 0$.

U čočky splývají hlavní body s uzlovými body, takže můžeme pomocí goniometru určit vzdálenost hlavních rovin δ . Ze známé tloušťky čočky d potom můžeme určit index lomu skla n pomocí vztahu [1]

$$\delta = \frac{n-1}{n} d. \quad (4)$$

Výsledky měření

Jako tenkou čočku jsme použili čočku označenou číslicí 5. Změřili jsme polohu čočky a velikost obrazu pro 5 různých hodnot D . Změřené hodnoty jsou v tabulce 1. Velikost předmětu byla $Y = 10\text{ mm}$. f_B značíme ohniskovou vzdálenost vypočtenou z (1) Besselovou metodou. Standardní odchylku určení polohy čočky, ve které byl obraz ostrý, odhadujeme na 2 mm. Standardní odchylku určení velikosti obrazu odhadujeme na 0,3 mm.

Hodnoty f_B se příliš neliší, takže z nich určíme střední hodnotu a standardní odchylku, ve které zohledníme chyby přímo měřených veličin

$$f_B = 10,82(10)\text{ cm}$$

Z hodnot v tabulce 1 jsme spočítali z (2) ohniskovou vzdálenost f_a resp. $f_{a'}$ metodou dvojího zvětšení pro variaci předmětové resp. obrazové vzdálenosti. Vzorec (2) je citlivý na blízké hodnoty argumentů a , a' nebo β .

Proto jsme vybrali jen několik měření, ve kterých se příslušné argumenty dostatečně liší. Vybraná měření jsou uvedeny v tabulce 2. Výsledné hodnoty jsou

$$f_a = 10,2(10) \text{ cm} \quad f_{a'} = 10,4(1) \text{ cm}.$$

D (cm)	Δ (cm)	a (cm)	a' (cm)	Y' (mm)	β	f_B (cm)
54,0	24,1	38,5	15,5	3,7	0,37	10,81
		14,4	39,6	26,5	2,65	
114,0	89,3	11,7	102,3	87,3	8,73	10,81
		101,0	13,0	1,2	0,12	
94,0	68,9	12,0	82,0	66,8	6,68	10,87
		80,9	13,1	1,7	0,17	
79,0	53,1	65,5	13,5	2,0	0,20	10,83
		12,4	66,6	53,4	5,34	
64,0	36,7	49,8	14,2	2,6	0,26	10,74
		13,1	50,9	37,7	3,77	
46,0	12,3	16,2	29,8	26,7	2,67	10,68
		28,5	17,5	5,6	0,56	

Tabulka 1: Měření ohniskové vzdálenosti Besselovou metodou

a_1 (cm)	a_2 (cm)	a'_1 (cm)	a'_2 (cm)	β_1	β_2	f_a (cm)	$f_{a'}$ (cm)
11,7	28,5	102,3	17,5	8,73	0,56	10,0(8)	10,38(1)
11,7	12,4	102,3	66,6	8,73	5,34	9,6(30)	10,53(3)
101,0	12,4	13,0	66,6	0,12	5,34	10,9(30)	10,27(2)
12,4	49,8	66,6	14,2	5,34	0,26	10,2(14)	10,31(2)
28,5	12,0	17,5	82,0	0,56	6,68	10,1(8)	10,54(1)
38,5	12,0	15,5	82,0	0,37	6,68	10,4(10)	10,54(1)

Tabulka 2: Měření ohniskové vzdálenosti metodou dvojího zvětšení

Pro měření kulové vady jsme použili sadu mezikružných clon. Jako vzdálenost paprsku od optické osy s považujeme podle zadání aritmetický průměr největšího a nejmenšího poloměru. Změřené hodnoty jsou v tabulce 3 a zaneseny do grafu 1.

Závislost $v(s)$ jsme nafitovali funkcí tvaru (3) a dostali hodnoty

$$\begin{aligned} K_{V|a=30 \text{ cm}} &= -39(2) \text{ m}^{-1} & K_{V|a=60 \text{ cm}} &= -19,7(3) \text{ m}^{-1} \\ K_{P|a=30 \text{ cm}} &= -58(3) \text{ m}^{-1} & K_{P|a=60 \text{ cm}} &= -48(2) \text{ m}^{-1} \end{aligned} \quad (5)$$

s (mm)	$a = 30 \text{ cm}$				$a = 60 \text{ cm}$			
	vypuklá		ploská		vypuklá		ploská	
	a' (cm)	v (cm)	a' (cm)	v (cm)	a' (cm)	v (cm)	a' (cm)	v (cm)
0,0	22,4	—	23,0	—	18,7	—	19,8	—
7,5	22,2	-0,2	22,9	-0,1	18,6	-0,1	19,6	-0,2
12,5	21,7	-0,7	22,3	-0,7	18,4	-0,3	19,1	-0,7
17,5	21,3	-1,1	21,2	-1,8	18,1	-0,6	18,4	-1,4
22,5	20,4	-2,0	20,0	-3,0	17,7	-1,0	17,3	-2,5

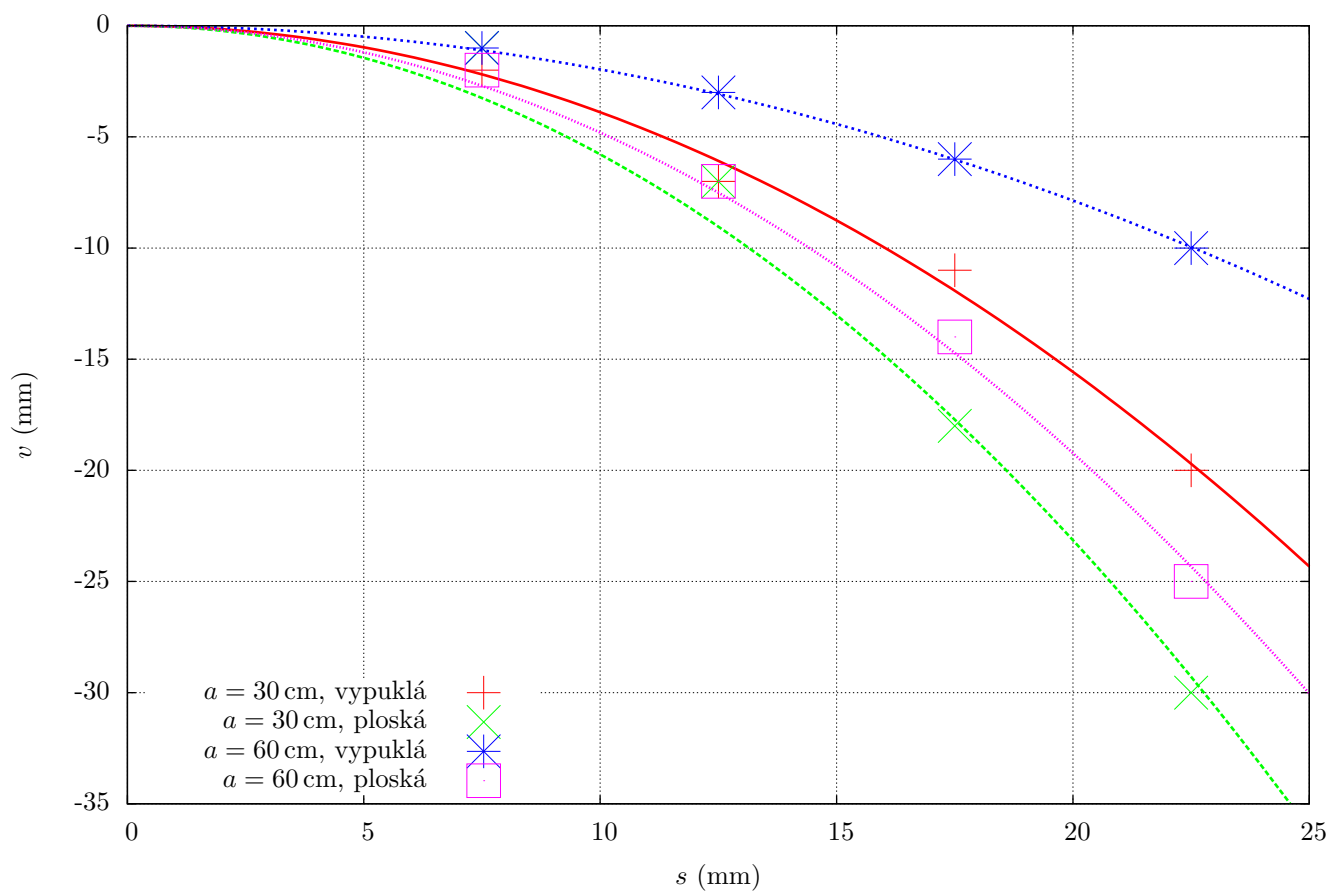
Tabulka 3: Kulová vada tenké čočky. Vypuklá/ploská označuje, která strana čočky byla směrem k předmětu.

Pomocí goniometru jsme změřili vzdálenost hlavních rovin. Polohy obou uzlových bodů jsme změřili víckrát, z hodnot jsme určili standardní odchylku a tu přenesli součtem čtverců do hodnoty δ . Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4. Celkové výsledky jsou

$$\delta_{tenka} = 12,9(3) \text{ mm} \quad \delta_{tlusta} = 3,9(3) \text{ mm}$$

Na fokometru jsme změřili optickou mohutnost tenké čočky. Vypuklou stranou čočky k okuláru jsme změřili $10,25(25) \text{ m}^{-1}$, ploskou stranou $9,75(25) \text{ m}^{-1}$.

Tloušťka tlusté čočky byla 38 mm. Dosazením do (4) jsme určili index lomu skla $n_{tlusta} = 1,51(3)$.



Graf 1: Kulová vada tenké čočky. Vypuklá/ploská označuje, která strana čočky byla směrem k předmětu.

Tenká čočka				
vypuklá	12,3 mm	12,1 mm	12,1 mm	
ploská	16,0 mm	15,7 mm	16,3 mm	16,2 mm
Tlustá čočka				
vypuklá	13,7 mm	13,2 mm	13,3 mm	13,3 mm
ploská	26,1 mm	26,2 mm	26,5 mm	

Tabulka 4: Měření vzdálenosti hlavních rovin pomocí goniometru. První sloupec označuje, která strana čočky byla směrem k okuláru, ostatní sloupce jsou poloha uzlového bodu na mikrometru.

Diskuze

Při měření kulové vady jsme považovali clonu č. 1 za paraxiální, tedy kulovou vadu pro ostatní clony jsme měřili jako rozdíl mezi polohami obrazu první a oné clony. Vzniklá chyba je zanedbatelná v porovnání s ostatními vlivy.

Podle zadání jsme považovali za s aritmetický průměr vnějšího a vnitřního poloměru clony. K tomuto postupu není zřejmý důvod, jako lepší se jeví místo aritmetického průměru použít kvadratický průměr nebo ještě lépe s středované přes intenzitu světla. Obraz bude v každém případě rozostřen a my neznáme přesný mechanismus vyhodnocování jeho polohy a nemůžeme tedy rozhodnout, která z možností je nejlepší. Proto předpokládáme, že použití aritmetického průměru má dobrý důvod a je správné.

Kulová vada je u obou předmětových vzdáleností větší, když je čočka orientovaná ploskou stranou k předmětu, což kvalitativně odpovídá našim výpočtům. Kulová vada je větší pro menší z obou předmětových vzdáleností.

Při Besselově metodě jsme se dopustili systematické chyby, protože jsme zanedbali tloušťku čočky. D ve skutečnosti není vzdálenost předmětu a obrazu, ale $D = a + a'$, kde a a a' se měří od hlavních rovin. Abychom dostali správnou hodnotu D , musíme od změřené odečíst vzdálenost hlavních rovin δ_{tenka} . Potom by vyšla ohnisková vzdálenost 10,69(10) cm, tedy jsme se dopustili systematické chyby přibližně 1,3 %.

Při metodě dvojího zvětšení je vnesená systematická chyba zanedbatelná. Výpočet ze změny obrazových vzdáleností byl přesnější. V každé dvojici má vždy buď součin $\beta_1\beta_2$ nebo rozdíl $|a_1 - a_2|$ velkou chybu.

Rozmezí obou hodnot optické mohutnosti, které jsme změřili na fokometru, přibližně odpovídá změřené optické vzdálenosti.

Metoda dvojího zvětšení byla přesnější.

Index lomu skla vypočtený z tloušťky tlusté čočky a vzdálenosti jejích hlavních rovin je v rozsahu hodnot, kterých běžně nabývá. Tabelaovaná hodnota je 1,5-1,9.

Závěr

Změřili jsme ohniskovou vzdálenost tenké čočky Besselovou metodou

$$f_B = 10,82(6) \text{ cm}$$

a metodou dvojího zvětšení

$$f_a = 10,2(10) \text{ cm} \quad f_{a'} = 10,4(1) \text{ cm}.$$

Změřili jsme kulovou vadu téže čočky pro dvě různé předmětové vzdálenosti, viz tabulka 3 a graf 1.

Změřili jsme vzdálenost hlavních rovin tenké a tlusté čočky

$$\delta_{tenka} = 12,9(3) \text{ mm} \quad \delta_{tlusta} = 3,9(3) \text{ mm}$$

Na fokometru jsme změřili optickou mohutnost tenké čočky v obou směrech

$$\varphi_V = 10,25(25) \text{ m}^{-1} \quad \varphi_P = 9,75(25) \text{ m}^{-1}.$$

Ze známé tloušťky čočky a vzdáleností jejích hlavních rovin jsme určili index lomu skla, ze kterého byla zhotovena

$$n_{tlusta} = 1,51(3).$$

Seznam použité literatury

1. *Základní fyzikální praktikum* [online]. [cit. 2017-04-20]. Dostupný z WWW: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/start>.