

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Tomáš Plšek

Naměřeno: 10. října 2017

Obor: Astrofyzika **Ročník:** II **Semestr:** III

Testováno:

Úloha č. 8: Měření parametrů zobrazovacích soustav

Povinná část:

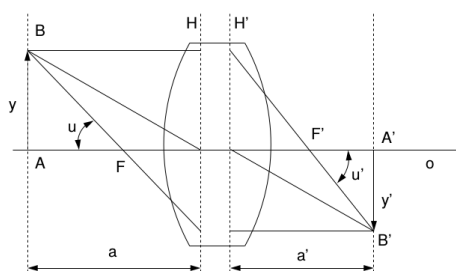
1. Změřte ohniskovou vzdálenost tenké spojky přímoou metodou.
2. Změřte ohniskovou vzdálenost téže spojky ze zvětšení.
3. Změřte ohniskovou vzdálenost téže spojky Besselovou metodou.
4. Změřte ohniskovou vzdálenost rozptylky přímoou metodou.
5. Porovnejte výsledky měření v bodech 1., 2. a 3. mezi sebou.

Povinně volitelná část (varianta A):

1. Změřte posuvným měřítkem hodnotu z sférometru a sférometrem hodnotu h pro měření čočky z povinné části této úlohy.
2. Vypočítejte index lomu měřených čoček.

1. Teoretický úvod

Průchod paprsků soustavou kulových lámavých ploch je popsán základními zobrazovacími parametry, mezi něž patří hlavní a uzlové body, ohniska a ohniskové vzdálenosti. Dopadá-li na zobrazovací soustavu (obrázek 1) svazek paprsků rovnoběžných s optickou osou O , pak po průchodu soustavou se paprsky protínají v obrazovém ohnisku F' . Naopak, svazek paprsků vycházejících z bodu F (předmětové ohnisko) se změní po průchodu soustavou na rovnoběžný svazek. Rovina kolmá k optické ose procházející předmětovým, respektive obrazovým ohniskem se nazývá předmětovou, respektive obrazovou ohniskovou rovinou.



Obrázek 1: Zobrazení pomocí čočky.

1.1. Stanovení ohniskové vzdálenosti spojky přímou metodou

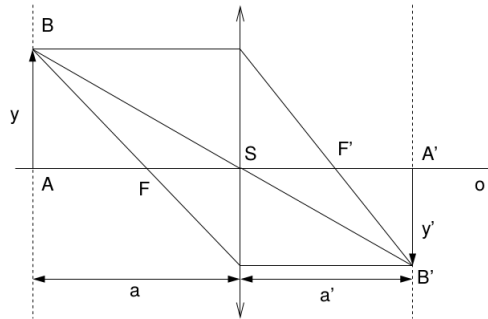
Předmětový i obrazový prostor jsou popsány souřadnou soustavou se středem ve středu čočky. Poloha předmětu bude tedy $a < 0$ a poloha obrazu $a' > 0$ (obrázek 2). Pak platí zobrazovací rovnice:

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

Pro ohniskovou vzdálenost čočky tedy platí:

$$f' = \frac{aa'}{a - a'} \quad (2)$$

Nastavíme čočku do určité vzdálenosti od předmětu na stínítku hledáme ostrý obraz (popřípadě obráceně). Ohniskovou vzdálenost určíme měřením předmětové a obrazové vzdálenosti (v našem případě měříme polohu předmětu, polohu čočky a polohu stínítka).



Obrázek 2: Přímé měření ohniskové vzdálenosti spojky.

1.2. Stanovení ohniskové vzdálenosti spojky ze zvětšení

Obrazem bodů A, B jsou body A', B' (obrázek 1). Poměr úseček $y' = A'B'$ a $y = AB$ se nazývá příčným zvětšením β :

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a}. \quad (3)$$

Po dosazení do rovnice (2) získáme pro ohniskovou vzdálenost tvar:

$$f' = \frac{a'}{1 - \beta} = \frac{a\beta}{1 - \beta}. \quad (4)$$

V našem případě tedy měříme tedy pouze polohu spojky a velikost obrazu.

1.3. Stanovení ohniskové vzdálenosti spojky Besselovou metodou

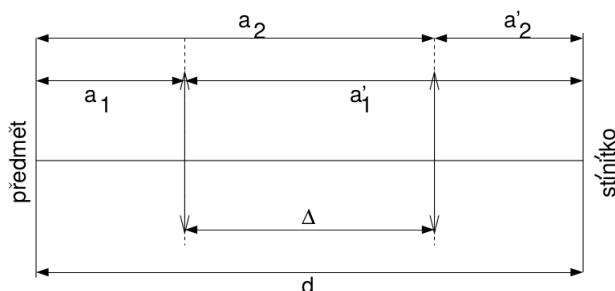
Vzdálenost stínítka od předmětu d ponecháme pevnou (obrázek 3). Pak se dá dokázat, že pro $d > 4f$ existují právě dvě polohy spojky, ve kterých se na stínítku vytvoří ostrý obraz. Pro jednotlivé veličiny na obrázku 3 platí následující vztahy:

$$d = |a_1| + |a'_1| = |a_2| + |a'_2| \quad (5)$$

$$\Delta = |a'_1| - |a'_2| = |a_2| - |a_1|. \quad (6)$$

Po dosazení do rovnice (2) získáme pro ohniskovou vzdálenost vztah:

$$f' = \frac{d^2 - \Delta^2}{4d}. \quad (7)$$



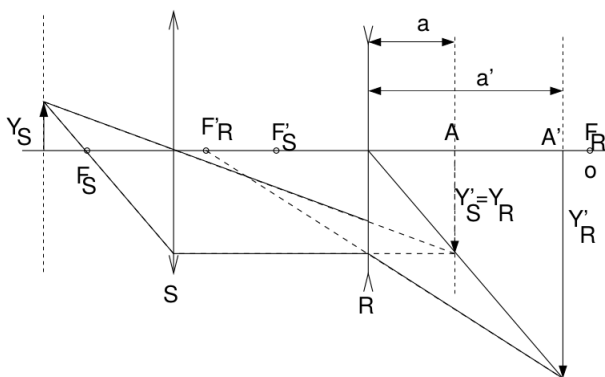
Obrázek 3: Besselova metoda měření ohniskové vzdálenosti.

1.4. Stanovení ohniskové vzdálenosti rozptylky

Rozptylky obecně vytvářejí neskutečný obraz předmětu, je tedy potřeba přidat mezi rozptylku a předmět spojku, jejíž obraz vytvoří předmět pro rozptylku, která následně vytvoří obraz na stínítku (viz obrázek 4). V našem případě tedy budeme měřit polohu stínítka při zobrazení pouze spojkou a následně po přidání rozptylky polohu rozptylky a opět polohu ostrého obrazu na stínítku. Pro polohu předmětu rozptylky (obrazu spojky) a obrazu rozptylky platí vztahy:

$$a = A - R \quad a' = A' - R. \quad (8)$$

Ohniskovou vzdálenost nyní dopočteme z rovnice (2).

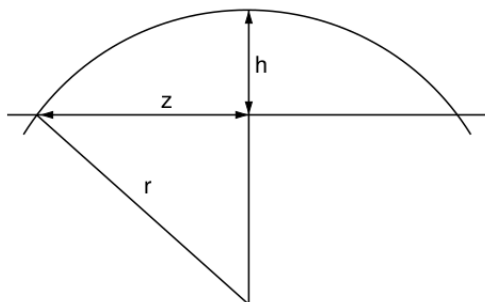


Obrázek 4: Měření ohniskové vzdálenosti rozptylky.

1.5. Měření poloměru křivosti lámavých ploch

Poloměry křivosti čočky r_1 a r_2 můžeme určit pomocí sférometru - dotykové čidlo (úchylkoměr) upevněné v držáku s kruhovou základnou (obrázek 5). Poloměr kruhové základny změříme mikrometrem. Následně pomocí rovinného zrcadla nastavíme na sférometru nulovou polohu. Sférometr postavíme na měřenou kulovou plochu o poloměru křivosti r - základna sférometru vytne na kulové ploše výseč o výšce h . Pro poloměr křivosti tedy platí vztah:

$$r = \frac{z^2 + h^2}{2h}. \quad (9)$$



Obrázek 5: Určení poloměru křivosti kulové plochy.

1.6. Určení indexu lomu čoček z ohniskové vzdálenosti a poloměru křivosti

Při určování indexu lomu ze znalosti ohniskové vzdálenosti a poloměrů budeme vycházet ze vztahu:

$$\frac{1}{f'} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{d (n - 1)^2}{n r_1 r_2}. \quad (10)$$

Řešením kvadratické rovnice získáme pro index lomu n dva kořeny, z fyzikální postaty však uvažujeme pouze kladné řešení. Po zanedbání tloušťky čočky $d = 0$ získáváme pro index lomu vztah:

$$n = 1 + \frac{1}{f'} / \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (11)$$

2. Měření

2.1. Ohnisková vzdálenost spojky přímoou metodou

Provedl jsem 8 měření předmětové a obrazové vzdálenosti a pro naměřené hodnoty jsem použil vztah (2).

Tabulka 1: Měření ohniskové vzdálenosti přímoou metodou.

a [cm]	a' [cm]	f' [cm]
-21,0	68,7	16,084
-23,5	51,8	16,166
-26,0	44,0	16,343
-28,5	39,3	16,520
-31,0	34,7	16,373
-33,5	32,8	16,573
-36,0	31,3	16,743
-38,5	29,7	16,766

Ohnisková vzdálenost $f' = (16,5 \pm 0,2)$ cm.

2.2. Ohnisková vzdálenost spojky ze zvětšení

Pro každé měření přímou metodou (odst. 2.1.) jsem provedl i měření velikosti obrazu. Velikost předmětu známe $y = 5$ cm.

Tabulka 2: Měření ohniskové vzdálenosti ze zvětšení.

a' [cm]	y' [cm]	β	f' [cm]
68,7	-15,7	-3,14	15,928
51,8	-10,6	-2,12	15,968
44,0	-8,1	-1,62	16,076
39,3	-6,4	-1,28	16,000
34,7	-5,4	-1,08	16,096
32,8	-4,6	-0,92	16,052
31,3	-4,1	-0,82	16,220
29,7	-3,6	-0,72	16,116

Ohnisková vzdálenost $f' = (16,1 \pm 0,3)$ cm.

2.3. Ohnisková vzdálenost spojky Besselovou metodou

Pro určení ohniskové vzdálenosti Besselovou metodou jsem provedl 10 měření a pro naměřené hodnoty jsem použil vztahy (6) a (7).

Tabulka 3: Měření ohniskové vzdálenosti Besselovou metodou.

a_1 [cm]	a_2 [cm]	d [cm]	Δ [cm]	f' [cm]
21,0	67,1	90,2	46,1	16,660
22,0	60,0	83,9	38,0	16,672
23,0	52,2	77,6	29,2	16,653
24,0	47,6	74,1	23,6	16,646
25,0	44,6	71,7	19,6	16,586
26,0	41,5	69,6	15,5	16,537
27,0	38,3	68,1	11,3	16,556
28,0	37,2	68,0	9,2	16,689
29,0	36,8	67,1	7,8	16,548
30,0	33,0	66,2	3,0	16,516

Ohnisková vzdálenost $f' = (16,6 \pm 0,2)$ cm.

2.4. Ohnisková vzdálenost rozptylky

Tabulka 4: Měření ohniskové vzdálenosti rozptylky.

A [cm]	A' [cm]	R [cm]	a [cm]	a' [cm]	f' [cm]
73,4	91,2	58,0	15,4	33,2	-28,72
72,9	84,9	59,7	13,2	25,2	-27,72
79,1	86,1	68,0	11,1	18,1	-28,70
89,1	93,6	80,1	9,0	13,5	-27,00
70,2	75,0	60,4	9,8	14,6	-29,81
72,6	86,7	58,2	14,4	28,5	-29,11
71,2	76,4	61,1	10,1	15,3	-29,72
71,2	74,2	63,1	8,1	11,1	-29,97
71,2	77,5	60,9	10,3	16,6	-27,14
76,5	84,1	65,4	11,1	18,7	-27,31

Ohnisková vzdálenost $f' = (-28,5 \pm 0,6)$ cm.

2.5. Srovnání naměřených ohniskových vzdáleností spojky

Metoda [cm]	f' [cm]
Přímá metoda	$16,5 \pm 0,2$
Ze zvětšení	$16,1 \pm 0,3$
Besselova m.	$16,6 \pm 0,2$

Tabulka 5: Srovnání ohniskové vzdálenosti spojky pro různé metody měření.

2.6. Poloměr křivosti čoček měřený sférometrem

Tabulka 6: Měření poloměru křivosti čoček a poloměru sférometru.

h_{spojka_L} [mm]	h_{spojka_R} [mm]	$h_{rozptylka_L}$ [mm]	$h_{rozptylka_R}$ [mm]	z_s [cm]	z_r [cm]
1,836	0,005	-0,501	-0,503	17,51	18,59
1,838	0,006	-0,500	-0,503	17,50	18,58
1,839	0,005	-0,501	-0,505	17,50	18,59
1,840	0,006	-0,502	-0,504	17,50	18,58
1,839	0,005	-0,501	-0,504	17,50	18,58
1,837	0,006	-0,502	-0,503	17,51	18,58
1,841	0,006	-0,501	-0,503	17,49	18,59
1,839	0,006	-0,499	-0,504	17,48	18,58
1,840	0,005	-0,502	-0,503	17,50	18,58
1,838	0,006	-0,501	-0,504	17,50	18,59

Poloměry křivosti spojky jsou $r_1 = (84,2 \pm 0,3)$ mm a $r_2 = (27 \pm 23)$ m.

Poloměry křivosti rozptylky jsou $r_1 = (306 \pm 4)$ mm a $r_2 = (306 \pm 4)$ mm.

2.7. Stanovení indexu lomu čoček

Pomocí vzorce (11) jsem ze znalosti ohniskových vzdáleností a poloměrů křivosti stanovil index lomu čoček.

Index lomu spojky $n = 1,51 \pm 0,01$.

Index lomu rozptylky $n = 1,52 \pm 0,04$.

3. Závěr

Ohnisková vzdálenost spojky měřená přímou metodou vyšla $f' = (16,5 \pm 2)$ cm, ze zvětšení $f' = (16,1 \pm 0,3)$ cm a Besselovou metodou $f' = (16,6 \pm 2)$ cm. Výsledky se shodují v rámci chyby měření.

Ohniskovou vzdálenost rozptylky jsem stanovil na $f' = (-28,5 \pm 0,6)$ cm.

Index lomu spojky jsem určil na hodnotu $n = 1,51 \pm 0,01$ a index lomu rozptylky $n = 1,54 \pm 0,04$. Vidíme, že výsledky si v rámci chyby měření odpovídají. Naměřený index lomu docela dobře odpovídá indexu lomu skla $n_{sklo} = 1,5 - 1,9$ [1].

4. Zdroje

[1] CONVERTER. Převody jednotek, fyzikální tabulky; Index lomu, Index lomu skla. Dostupný z <http://www.converter.cz/tabulky/index-lomu.htm>.