

2.2. Priama metóda - spojka

Zo zobrazovacej rovnice vyplýva pre ohniskovú vzdialenosť vzťah:

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

Na získanie hodnoty ohniskovej vzdialenosti nám teda stačí namerať hodnoty predmetovej a obrazovej vzdialenosti.

2.3. Metóda pričného zväčšenia

Podľa obr.1 pre pričné zväčšenie platí:

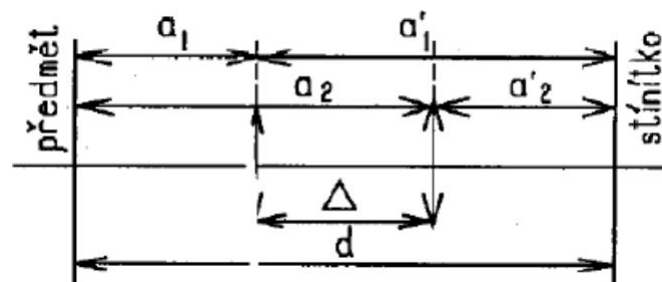
$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} \quad (3)$$

Dosadením do zobrazovacej rovnice dostávame vzťah:

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

Zväčšenie β určíme tak, že na tienidlo zmeriame určitú časť osvetleného milimetrového papiera.

2.4. Besselová metóda



Obr.2 Besselová metóda určovania ohniskovej vzdialenosti

Metóda je založená na poznatku, že pri konštantnej vzdialenosti predmetu a tienidla je možné spojkou vytvoriť ostré obrazy v dvoch polohách spojky. Z obrázku platí:

$$a_1 = -a'_2, \quad a_2 = -a'_1 \quad (5)$$

$$d = |a_1| + |a'_1| = |a_2| + |a'_2| \quad (6)$$

$$\Delta = |a'_1| - |a'_2| = |a_2| - |a_1| \quad (7)$$

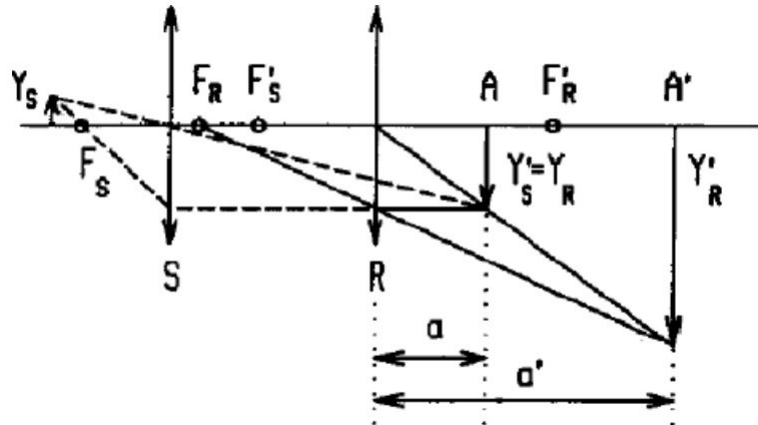
Po úpravách dostaneme:

$$d^2 - \Delta^2 = 4a_1a'_1 = 4a_2a'_2 \quad (8)$$

Ďalšími úpravami sa dostaneme k rovnici pre výpočet ohniskovej vzdialenosti pomocou Besselovej metódy:

$$f' = \frac{d^2 - \Delta^2}{4d} \quad (9)$$

2.5. Priama metóda - rozptylka



Obr.3 Meranie ohniskovej vzdialenosti priamou metódou tenkej rozptylky

Rozptylky vždy vytvárajú neskutočný obraz. Preto je nutné pri meraní rozptylky pridať aj spojku, aby obe šošovky vytvárali sústavu s kladnou optickou mohutnosťou. Na optickú lavicu umiestnime predmet y_S a spojku S vytvoríme reálny obraz y'_S v bode A . Medzi tento obraz a spojku umiestnime rozptylku R . Obraz spojky y'_S je teraz predmetom rozptylky y_R , ktorá teraz vytvára jeho obraz y'_R v bode A' . Ak poznáme polohu rozptylky, nájdeného predmetu a obrazu rozptylky y'_R , platí:

$$a = A - R, \quad a' = A' - R \quad (10)$$

a pre výpočet ohniskovej vzdialenosti rozptylky použijeme vzťah (2).

2.6. Určenie indexu lomu čočiek z ohniskovej vzdialenosti a merania krivosti

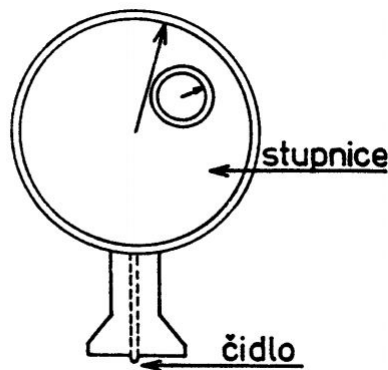
Index lomu určíme zo vzťahu:

$$\frac{1}{f'} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{d(n - 1)^2}{nr_1r_2} \quad (11)$$

Pre tenké šošovky pokladáme hrúbku $d = 0$, preto ohniskovú vzdialenosť vieme určiť z prvého člena nasledovnej rovnice, ak poznáme polomery krivosti lámavých plôch r_1, r_2 . Po úprave získame vzťah:

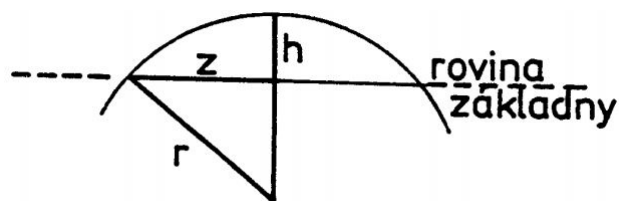
$$n = 1 + \frac{1}{f'} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (12)$$

Hľadané polomery krivosti stanovíme pomocou sférometru (obr.4)



Obr.4 Sférometer

Nulová poloha sa určuje tak, že sa sférometer položíme na rovinné sklo. Keď položíme sférometer na guľovú plochu s polomerom krivosti r , vytne nám jeho základňa s polomerom z guľový výsek s výškou h (obr.5).



Obr.5 Určenie polomeru krivosti guľovej plochy

Rozdiel údajov sférometra na šošovke a na rovinnom zrkadle udáva práve túto výšku. Ak určíme hodnotu z , tak pre polomer krivosti platí:

$$r = \frac{z^2 + h^2}{2h} \quad (13)$$

3. Meranie

3.1. Priama metóda

a_1 [cm]	a'_1 [cm]	f_1 [cm]	a_2 [cm]	a'_2 [cm]	f_2 [cm]
-22,8	55,7	16,18	-53,7	24,8	16,97
-22,9	55,6	16,22	-53,5	25	17,04
-23,7	54,8	16,54	-53,8	24,7	16,93
-22,9	55,6	16,22	-54	24,5	16,85
-22,7	55,8	16,14	-53,7	24,8	16,97
-22,8	55,7	16,18	-53,9	24,6	16,89
-22,9	55,6	16,22	-53,5	25	17,04
-23	55,5	16,26	-53,8	24,7	16,93
-22,8	55,7	16,18	-53,7	24,8	16,97
-23	55,5	16,26	-53,9	24,6	16,89

Tab.1 Hodnoty získané priamou metódou pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 78,5$ cm

$$\bar{f}_{p_1} = (16,6 \pm 0,5) \text{ cm}$$

a_1 [cm]	a'_1 [cm]	f_1 [cm]	a_2 [cm]	a'_2 [cm]	f_2 [cm]
-23,9	49,6	16,13	-47,6	25,9	16,77
-24,4	49,1	16,30	-47	26,5	16,95
-24,2	49,3	16,23	-47,5	26	16,80
-24,5	49	16,33	-47,3	26,2	16,86
-24,3	49,2	16,27	-47,2	26,3	16,89
-24,6	48,9	16,37	-47,2	26,3	16,89
-24	49,5	16,16	-47,4	26,1	16,83
-24,1	49,4	16,20	-47,3	26,2	16,86
-24,3	49,2	16,27	-47,5	26	16,80
-24,5	49	16,33	-47,1	26,4	16,92

Tab.2 Hodnoty získané priamou metódou pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 73,5$ cm

$$\bar{f}_{p_2} = (16,6 \pm 0,4) \text{ cm}$$

a_1 [cm]	a'_1 [cm]	f_1 [cm]	a_2 [cm]	a'_2 [cm]	f_2 [cm]
-26,7	41,8	16,30	-39,5	29	16,72
-26,9	41,6	16,34	-40	28,5	16,64
-27,1	41,4	16,38	-39,7	28,8	16,69
-27,2	41,3	16,40	-39	29,5	16,80
-27,1	41,4	16,38	-39,2	29,3	16,77
-27,4	41,1	16,44	-39,6	28,9	16,71
-26,8	41,7	16,31	-39,4	29,1	16,74
-27	41,5	16,36	-39,5	29	16,72
-27,2	41,3	16,40	-39,1	29,4	16,78
-26,8	41,7	16,31	-39,3	29,2	16,75

Tab.3 Hodnoty získané priamou metódou pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 68,5$ cm

$$\bar{f}_{p3} = (16,5 \pm 0,4) \text{ cm}$$

a_1 [cm]	a'_1 [cm]	f_1 [cm]	a_2 [cm]	a'_2 [cm]	f_2 [cm]
-21,8	61,7	16,11	-59,7	23,8	17,02
-22	61,5	16,20	-59,9	23,6	16,93
-21,9	61,6	16,16	-59,5	24	17,10
-21,8	61,7	16,11	-59,9	23,6	19,63
-22,2	61,3	16,30	-59,7	23,8	17,01
-21,9	61,6	16,16	-59,8	23,7	16,97
-21,8	61,7	16,11	-59,6	23,9	17,06
-22	61,5	16,20	-59,8	23,7	16,98
-22,1	61,4	16,25	-59,9	23,6	16,93
-21,9	61,6	16,16	-59,7	23,8	17,02

Tab.4 Hodnoty získané priamou metódou pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 83,5$ cm

$$\bar{f}_{p4} = (16,6 \pm 0,5) \text{ cm}$$

Priemerná hodnota nameraná priamou metódou: $\bar{f}_p = (16,6 \pm 0,9) \text{ cm}$

3.2. Metóda pričného zväčšenia

a_1 [cm]	-22,8	-22,9	-23,7	-22,9	-22,7	+22,8	-22,9	-23	-22,8	-23
β	-2,32	-2,3	-2,3	-2,32	-2,34	-2,32	-2,3	-2,3	-2,32	-2,3
f_{z1} [cm]	15,93	15,96	16,52	16,00	15,90	15,93	15,96	16,03	15,93	16,03

Tab.5 Hodnoty získané metódou pričného zväčšenia pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 78,5$ cm a veľkosti predmetu $y = 5$ cm

$$\bar{f}_{z1} = (16,02 \pm 0,2) \text{ cm}$$

a_1 [cm]	-23,9	-24,4	-24,2	-24,5	-24,3	-24,6	-24	-24,1	-24,3	-24,5
β	-1,96	-1,9	-1,94	-1,9	-1,92	-1,88	-1,96	-1,96	-1,92	-1,88
f_{z2} [cm]	15,83	15,99	15,97	16,05	15,98	16,06	15,89	15,96	15,98	15,99

Tab.6 Hodnoty získané metódou pričného zväčšenia pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 73,5$ cm a veľkosti predmetu $y = 5$ cm

$$\bar{f}_{z2} = (15,97 \pm 0,2) \text{ cm}$$

a_1 [cm]	-26,7	-26,9	-27,1	-27,2	-27,1	-27,4	-26,8	-27	-27,2	-26,8
β	-1,48	-1,46	-1,44	-1,44	-1,44	-1,42	-1,48	-1,46	-1,44	-1,48
f_{z_3} [cm]	15,93	15,97	15,99	16,05	15,99	16,08	15,99	16,02	16,05	15,99

Tab.7 Hodnoty získané metódou pričného zväčšenia pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 68,5$ cm a veľkosti predmetu $y = 5$ cm

$$\bar{f}_{z_3} = (16,01 \pm 0,3) \text{ cm}$$

a_1 [cm]	-21,8	-22	-21,9	-21,8	-22,2	-21,9	-21,8	-22	-22,1	-21,9
β	-2,7	-2,6	-2,7	-2,7	-2,6	-2,7	-2,7	-2,6	-2,6	-2,7
f_{z_4} [cm]	15,91	15,89	15,98	15,91	16,03	15,98	15,91	15,89	15,96	15,98

Tab.8 Hodnoty získané metódou pričného zväčšenia pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 83,5$ cm a veľkosti predmetu $y = 1$ cm

$$\bar{f}_{z_4} = (15,94 \pm 0,2) \text{ cm}$$

Priemerná hodnota nameraná metódou pričného zväčšenia: $f_z = (16 \pm 0,5) \text{ cm}$

3.3. Besselová metóda

Δ [cm]	30,9	30,6	30,1	31,1	31	31,1	30,6	30,8	30,9	30,9
f_{B_1} [cm]	16,58	16,64	16,74	16,54	16,56	16,54	16,64	16,6	16,58	16,58

Tab.9 Hodnoty získané Besselovou metódou pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 78,5$ cm

$$\bar{f}_{B_1} = (16,60 \pm 0,4) \text{ cm}$$

Δ [cm]	23,7	22,6	23,3	22,8	22,9	22,6	23,4	23,2	23,2	22,6
f_{B_2} [cm]	16,46	16,64	16,53	16,61	16,59	16,64	16,51	16,54	16,54	16,64

Tab.10 Hodnoty získané Besselovou metódou pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 73,5$ cm

$$\bar{f}_{B_2} = (16,57 \pm 0,3) \text{ cm}$$

Δ [cm]	12,8	13,1	12,6	11,8	12,1	12,2	12,6	12,5	11,9	12,5
f_{B_3} [cm]	16,53	16,50	16,55	16,62	16,59	16,58	16,55	16,55	16,61	16,55

Tab.11 Hodnoty získané Besselovou metódou pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 68,5$ cm

$$\bar{f}_{B_3} = (16,56 \pm 0,3) \text{ cm}$$

Δ [cm]	37,9	37,9	37,6	38,1	37,5	37,9	37,8	37,8	37,8	37,8
f_{B_4} [cm]	16,57	16,57	16,64	16,53	16,66	16,57	16,60	16,60	16,60	16,60

Tab.12 Hodnoty získané Besselovou metódou pri vzdialenosti tienidla od zdroja $d = 83,5$ cm

$$\bar{f}_{B_4} = (16,59 \pm 0,4) \text{ cm}$$

Priemerná hodnota nameraná Besselovou metódou: $\bar{f}_B = (16,58 \pm 0,7) \text{ cm}$

3.4. Priama metóda - rozptylka

A [cm]	A' [cm]	R [cm]	a [cm]	a' [cm]	f_R [cm]
70	94	53	17	41	-29,04
70	88	54	16	34	-30,22
70	85	55	15	30	-30
70	83	56	14	27	-29,08
70	80	57	13	23	-29,9
70	78	58	12	20	-30
70	77	59	11	18	-28,29
70	75,5	60	10	15,5	-28,18
70	74,5	61	9	13,5	-27
70	73,5	62	8	11,5	-26,29

Tab.13 Hodnoty získané priamou metódou pre rozptylku

$$\bar{f}_R = -(29,6 \pm 0,6) \text{ cm}$$

3.5. Určenie indexu lomu čočiek z ohniskovej vzdialenosti a merania krivosti

N	1	2	3	4	5	\bar{z}
vnútorný priemer [cm]	3,45	3,47	3,43	3,48	3,45	1,73
vonkajší priemer [cm]	3,71	3,72	3,70	3,71	3,72	1,86

Tab.14 Hodnoty priemerov základne sférometra

$$f' = 16,3 \text{ cm}$$

h_1	r_1	n
1,836	82,24	1,504
1,837	82,19	1,504
1,838	82,15	1,504
1,836	82,24	1,504
1,840	82,06	1,503

Tab.15 Meranie indexov lomu spojky

$$f' = 29,6 \text{ cm}$$

h_1	h_2	r_1	r_2	n
0,505	0,504	34,13	34,20	1,577
0,511	0,502	33,73	34,34	1,575
0,508	0,503	33,93	34,27	1,576
0,509	0,503	33,86	34,27	1,575
0,508	0,502	33,93	34,34	1,577

Tab.15 Meranie indexov lomu rozptylky

4. Záver

V prvej časti úlohy sme merali ohniskovú vzdialenosť spojnej šošovky. Merali sme tromi metódami a to konkrétne priamou metódou: $\bar{f}_p = (16,6 \pm 0,9)$ cm, metódou priečného zväčšenia $f_z = (16 \pm 0,5)$ cm a Besselovou metódou: $\bar{f}_B = (16,58 \pm 0,7)$ cm. Všetky 3 hodnoty sa nám s neistotami prekrývajú, čo dokazuje správnosť našich meraní. Neistoty vznikali hlavne pri problematickom určovaní ostrosti obrazu.

V druhej časti úlohy sme merali ohniskovú vzdialenosť dvoj-dutej rozptylky. Robili sme tak priamou metódou s výsledkom nasledovným: $\bar{f}_R = -(29,6 \pm 0,6)$ cm.

V poslednej časti úlohy sme merali index lomu použitých šošoviek a využili sme tak namerané hodnoty ohniskových vzdialenosti z predošlých časti úlohy. Pre sponku nám vyšla hodnota $n_S=1,504$, pre rozptylku $n_R=1,576$. Tieto hodnoty zodpovedajú indexom lomu skla. Ich rozdiel môže byť vzniknutý chybami merania v predchádzajúcich častiach úlohy.