



Jméno: **Michal Červeňák** Kolega: Ondřej Glac  
Kruh: **Útorok** Číslo skup.: 1  
Měřeno: **4.4.2017** Zpracování: 5 h Klasifikace:

---

## 1 Pracovní úkol

1. DU: V přípravě odvoďte rovnici 5, načrtněte chod paprsků a zdůvodněte nutnost podmínky e i 4f. Vysvětlete rozdíl mezi Galileovým a Keplerovým dalekohledem. Zjistěte, co je konvenční zraková vzdálenost.
2. Určete ohniskovou vzdálenost spojné čočky +200 ze znalosti polohy předmětu a jeho obrazu (pro minimálně pět konfigurací, proveďte též graficky) a Besselovou metodou.
3. Změřte ohniskovou vzdálenost mikroskopického objektivu a Ramsdenova okuláru Besselovou metodou. V přípravě vysvětlete rozdíl mezi Ramsdenovým a Huygensovým okulárem.
4. Změřte zvětšení lupy při akomodaci oka na konvenční zrakovou vzdálenost. Stanovte z ohniskové vzdálenosti lupy zvětšení při oku akomodovaném na nekonečno.
5. Určete polohy ohniskových rovin tlustých čoček (mikroskopický objektiv a Ramsdenův okulár) nutných pro výpočet zvětšení mikroskopu.
6. Z mikroskopického objektivu a Ramsdenova okuláru sestavte na optické lavici mikroskop a změřte jeho zvětšení.
7. Ze spojky +200 a Ramsdenova okuláru sestavte na optické lavici dalekohled. Změřte jeho zvětšení přímou metodou.
8. Výsledky měření zvětšení mikroskopu a dalekohledu porovnejte s hodnotami vypočítanými z ohniskových vzdáleností.

## 2 Teória

Pre zobrazovanie tenkou šošovkov platí zobrazovacia rovnica

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f},$$

kde  $a$  a  $a'$  sú vzdialenosti obrazu a predmetu od šošovky a  $f$  je ohnisková vzdialenosť. Po jej úprave na tvar

$$\frac{f}{a} + \frac{f}{a'} = 1,$$

vidíme, že rovnica pripomína úsekový tvar rovnice priamky, teda zvolíme body  $[a_1, 0]$  a  $[0, a'_1]$ , a inú dvojicu  $[a_2, 0]$  a  $[0, a'_2]$  pretnú sa v bode  $\mathbf{F} = [f, f]$ .

## 2.1 Besselova metóda

Označme  $d$  vzdialenosť oboch polôh šošovky od seba, a  $e$  vzdialenosť obrazu od predmetu pre ohnisko  $f$  platí

$$f = \frac{e^2 - d^2}{4e},$$

v našom prípade  $d = |s_1 - s_2|$  a  $d = |s_p - s_o|$  potom dostávame vzťah

$$f = \frac{(s_p - s_o)^2 - (s_1 - s_2)^2}{4|s_p - s_o|}. \quad (1)$$

### 2.1.1 Spracovanie chýb merania

Označme  $\langle t \rangle$  aritmetický priemer nameraných hodnôt  $t_i$ , a  $\Delta t$  hodnotu  $\langle t \rangle - t$ , pričom

$$\langle t \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (2)$$

a chybu aritmetického priemeru

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \langle t \rangle)^2}{n(n-1)}}, \quad (3)$$

pričom  $n$  je počet meraní.

## 3 Pomôcky

Optická lavice s jezdcí a držáky čoček, svetelný zdroj pro optickou lavici, mikroskopický objektív, Ramsdenův okulár v držáku s Abbeho kostkou, spojné čočky +200, matnice, clona se šípkou, pomocný světelný zdroj s milimetrovou stupnicí, křížový vodič s objektivovým mikrometrem, matnička se stupnicí  $50 \times 0,1$  mm, pomocný mikroskop s měřicím okulárem, pomocný dalekohled, kovové měřítko, trojnožka.

## 4 Postup merania

1. Pre rozne vzdialenosti predmetu (šípky) a obrazu(tienidla) sme našli pozíciu kde je ostrý obraz na tienidle.

2. tento postup sme zopakovali pre šošovku „+200“ a Ramsdenový objektív a Mikroskopický objektív.
3. následne sme zostavili lupu a pomocou Ábelovej kocky si paprsok rozdelil tak aby sme videli stupnicu referenčnú (na konvenčnú zrkovú vzdialenosť od kocky) a druhú pozorovanú na ktorú mierila lupa.
4. Následne sme podľa obrázkov na nástenke zostavili mikroskop<sup>1</sup> a odmerali jeho zväčšenie rovnako u lupy.
5. Potom sme na trojnožke zostavili ďalekohľad a odmerali jeho zväčšenie priamou metódou pozorovaním tej istej stupnice cez Ábelovú kocku, priamo a cez ďalekohľad.

## 5 Výsledky merania

### 5.1 Šošovka „+200“

Pre spojku „+200“ boli hodnoty zaznamenané v Tab. 1. Pomocou programu L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X<sup>2</sup> boli graficky určené polohy ohniskových vzdialeností  $f_i$  pre jednotlivé merania

$$f_1 = [20,30 \pm 0,05, 16,88 \pm 0,05] \text{ cm} ,$$

$$f_2 = [-, -] ,$$

$$f_3 = [18,13 \pm 0,05, 18,55 \pm 0,05] \text{ cm} ,$$

$$f_4 = [17,70 \pm 0,05, 18,92 \pm 0,05] \text{ cm} ,$$

pričom pre druhé meranie sa nepodarilo určiť priesečník. Zo zvyšných troch bodov bolo vypočítané ťažisko  $\mathbf{f} = [18,71 \pm 0,9, 18,12 \pm 0,8] \text{ cm}$  a pomocou vzťahu 2 určená smerodajná odchylka, z  $\mathbf{f}$  bola určená  $f_g = 184,1 \pm 11,1 \text{ mm}$ .

Z tabuľky pomocou vzťahu 2 a 3 sa určili mohutnosť šošovky  $f_B = 181,76 \pm 4,87 \text{ mm}$ .

$\frac{s_1}{[\text{cm}]}$	$\frac{s_2}{[\text{cm}]}$	$\frac{s_z}{[\text{cm}]}$	$\frac{s_o}{[\text{cm}]}$	$\frac{f_B}{[\text{mm}]}$	$\frac{f_g}{[\text{mm}]}$
$50,20 \pm 0,05$	$71,50 \pm 0,05$	$100,0 \pm 0,1$	$20,0 \pm 0,1$	$185,82 \pm 0,1$	$185,8 \pm 18,0$
$62,70 \pm 0,05$	$65,50 \pm 0,05$	$100,0 \pm 0,1$	$30,0 \pm 0,1$	$174,68 \pm 0,1$	—
$35,50 \pm 0,05$	$74,20 \pm 0,05$	$100,0 \pm 0,1$	$10,0 \pm 0,1$	$183,34 \pm 0,1$	$183,4 \pm 2,1$
$42,10 \pm 0,05$	$73,70 \pm 0,05$	$100,0 \pm 0,1$	$15,0 \pm 0,1$	$183,13 \pm 0,1$	$183,1 \pm 5,1$

Tab. 1: Namerané hodnoty pre spojku „+200“, pričom  $s_1$  a  $s_2$  sú polohy šošovky na dráhe,  $s_o$  je poloha tienidla na dráhe,  $s_z$  je poloha o zdroja (predmetu) na dráhe,  $f_B$  je vypočítané ohnisko Besselovou metódou podľa vzťahu 1 a  $f_g$  je ohnisko učené grafickou metódou.

<sup>1</sup>A ako toto mám sakra citovať??? – poznámka autora

<sup>2</sup>balíček metapost, ktorý je súčasťou distribúcie texlive-full.

## 5.2 Mikroskopický objektív

Namerané hodnoty sú zaznamenané v tabuľke Tab. 2 a z hodnôt  $f_B$  vypočítané pomocou vzťahu 2 a 3 vypočítaná ohnisková vzdialenosť  $f = 92,15 \pm 2,63$  mm. Ďalej bola určená poloha ohniskových rovín, zdroj svetla bol umiestnený na optickej lavici  $s_z = (93,0 \pm 0,5)$  cm, objektív  $s_o = (87,8 \pm 0,1)$  cm, teda  $x = (52 \pm 6)$  mm.

$\overline{s_1}$ [cm]	$\overline{s_2}$ [cm]	$\overline{s_z}$ [cm]	$\overline{s_o}$ [cm]	$\overline{f_B}$ [mm]
$47,50 \pm 0,05$	$88,70 \pm 0,05$	$93,0 \pm 0,5$	$30,0 \pm 0,1$	$90,1 \pm 0,6$
$37,30 \pm 0,05$	$88,60 \pm 0,05$	$93,0 \pm 0,5$	$20,0 \pm 0,1$	$92,4 \pm 0,6$
$27,40 \pm 0,05$	$88,80 \pm 0,05$	$93,0 \pm 0,5$	$10,0 \pm 0,1$	$93,9 \pm 0,6$

Tab. 2: Namerané hodnoty pre mikroskopický objektív, pričom  $s_1$  a  $s_2$  sú polohy šošovky na dráhe,  $s_o$  je poloha tienidla na dráhe,  $s_z$  je poloha o zdroja (predmetu) na dráhe,  $f_B$  je vypočítané ohnisko Besselovou metódou podľa vzťahu 1.

## 5.3 Ramsdenový objektív

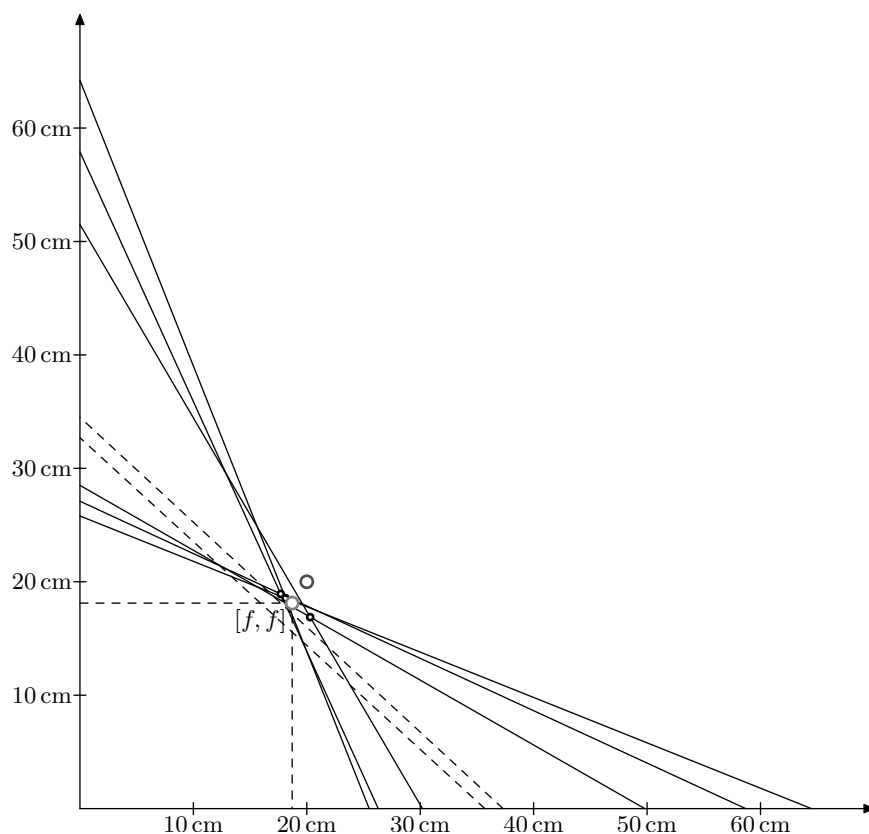
Namerané hodnoty sú zaznamenané v tabuľke Tab. 3 a z hodnôt  $f_B$  vypočítané pomocou vzťahu 2 a 3 vypočítaná ohnisková vzdialenosť  $f = 93,27 \pm 0,73$  mm. Ďalej bola určená poloha ohniskových rovín, zdroj svetla bol umiestnený na optickej lavici  $s_z = (93,0 \pm 0,5)$  cm, objektív  $s_o = (81,7 \pm 0,1)$  cm, teda  $x = (113 \pm 6)$  mm.

$\overline{s_1}$ [cm]	$\overline{s_2}$ [cm]	$\overline{s_z}$ [cm]	$\overline{s_o}$ [cm]	$\overline{f_B}$ [mm]
$74,40 \pm 0,05$	$92,80 \pm 0,05$	$93,0 \pm 0,5$	$50,0 \pm 0,1$	$87,8 \pm 0,6$
$64,30 \pm 0,05$	$92,90 \pm 0,05$	$93,0 \pm 0,5$	$40,0 \pm 0,1$	$93,9 \pm 0,6$
$54,30 \pm 0,05$	$93,00 \pm 0,05$	$93,0 \pm 0,5$	$30,0 \pm 0,1$	$98,0 \pm 0,6$

Tab. 3: Namerané hodnoty pre Ramsdenový objektív, pričom  $s_1$  a  $s_2$  sú polohy šošovky na dráhe,  $s_o$  je poloha tienidla na dráhe,  $s_z$  je poloha o zdroja (predmetu) na dráhe,  $f_B$  je vypočítané ohnisko Besselovou metódou podľa vzťahu 1

## 5.4 Lupa

Zväčšenie lupy bolo priamou metódou, pričom referenčná stupnica bola umiestnená do vzdialenosti  $l = (25 \pm 1)$  cm a presnosť určenia počtu dielikov bol  $1 \text{ dielik} = 10\%$  určené na  $Z_l = 10 \pm 1$ .



Obr. 1: Grafické riešenie čočkovej rovnice pre spojku, kde malé body sú priesečníky  $f_i, i \in \{1, 3, 4\}$ , šedý veľký krúžok je zistené ohnisko, a čierny je predpokladané ohnisko, čiarkovanou čiarou je druhé meranie, ktoré sa nepretína.

## 5.5 Ďalekohľad

Zväčšenie ďalekohľadu sme určili na základne porovnania zorných uhlov, pričom sme videli jeden dielik v ďalekohľade ako 20 dielikov „vzoru“ teda zväčšenie je  $Z = 20 \pm 1$ .

## 6 Diskusia

V prvej časti, pri meraní šošovky „+200“, sme sa podotýkali s komplikáciami pri určovaní presnej polohy kedy je obraz ostrý. Hĺbka ostrosti tohoto obrazu bola veľká teda sme nevedeli určiť kde presne je obraz. Preto treba uvažovať pri tomto meraní ešte systematickú chybu  $\sim \pm 2\text{cm}$  teda  $f_B = 181,76 \pm 4,87\text{stat.} \pm 20\text{sys. mm}$  a  $f_g = 184,1 \pm 11,1\text{stat.} \pm 20\text{sys. mm}$ .

Pri zvyšných meraniach nehrala bola hĺbka ostrosti v ráde  $0,5\text{mm}$ , teda pre nás ne-

merateľná a môžeme túto chybu zanedbať.

Tu sa vynára ďalší problém, a to presnosť určenia polohy zdroja svetla, síce držiak bol umiestnený v polohe 100,0 cm, ale meraný predmet bol presunutý o  $7.0\text{cm} \pm 0.5\text{cm}$ , čo pri malých vzdialenostiach meraného optického prístroja od predmetu môže vytvoriť veľkú chybu. Nepresnosť určovania pochádza hlavne z toho, že sa táto vzdialenosť od osi nedá priamo odmerať, a teda sa meria na viackrát.

Obecne pri práci s Ábelovou kockou sme mali problém sa správne zamerať na cieľ a spočítať pomer. Všetky nakoniec pomery boli veľmi jednoducho vyčítateľné.

## 7 Záver

Ohnisková vzdialenosť šošovky „+200“ bola určená Besselovou metódou  $f_B = 181,76 \pm 4,87 \text{stat.} \pm 20 \text{sys. mm}$  a geometrickou ako  $f_g = 184,1 \pm 11,1 \text{stat.} \pm 20 \text{sys. mm}$ .

Ohnisková vzdialenosť mikroskopického objektívu  $f = 92,15 \pm 2,63 \text{ mm}$  a jeho ohnisková rovina,  $x = (52 \pm 6) \text{ mm}$ .

Ohnisková vzdialenosť Ramsdenového objektívu  $f = 93,27 \pm 0,73 \text{ mm}$  a jeho ohnisková rovina,  $x = (113 \pm 6) \text{ mm}$ .

Následne boli určené pomery zväčšenia nasledovne lupa  $10 \pm 1$ , mikroskop  $50 \pm 1$  a ďalekohľadu  $20 \pm 1$

## Reference

- [1] Geometrická optika [cit. 27.03.2017] Dostupné po prihlásení z Kurz: Fyzikální praktikum II: [https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/419/mod\\_resource/content/5/Optika\\_170217.pdf](https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/419/mod_resource/content/5/Optika_170217.pdf)