

Jméno: Vojtěch Fišer
Datum měření: 31.3.2017
Skupina: 2
Klasifikace:

1 Úkoly

1. DŮ: V přípravě odvoďte rovnici (3), načrtněte chod paprsků a zdůvodněte nutnost podmínky $e > 4f$. 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 Pomůcky

Optická lavice s jezdcí a držáky, světelný zdroj, Ramsdenův okulár s Abbeho kostkou, spojné čočky +200, mikroskopický objektiv, clona s šipkou, matnice, pomocný zdroj světla s milimetrovou stupnicí, malá matnice se stupnicí, pomocný dalekohled, pomocný mikroskop s měřicím okulárem, měřítko na zdi, trojnožka

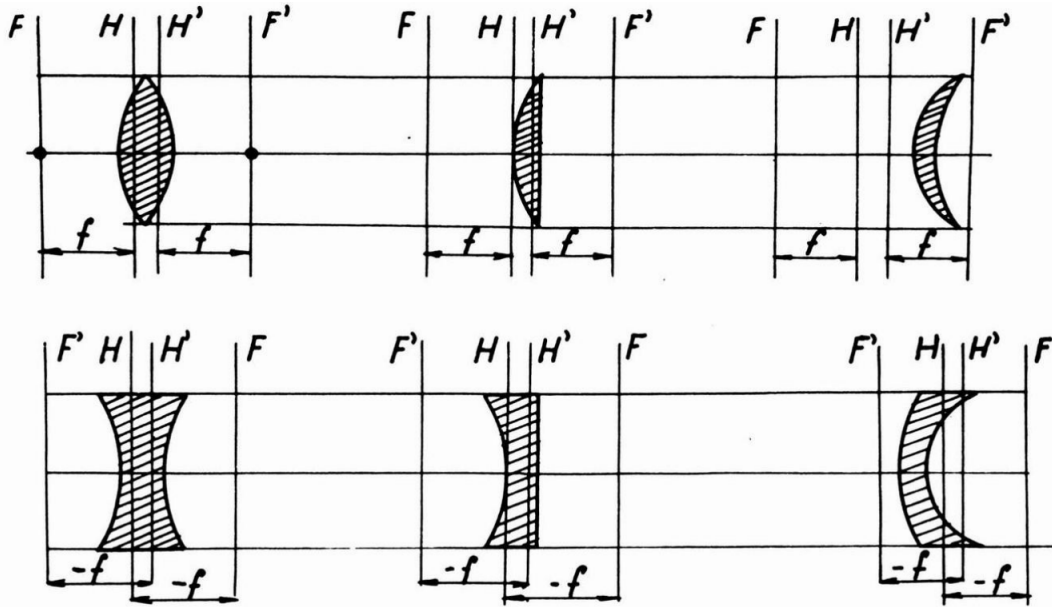
3 Teorie

Geometrická optika je oblastí fyziky zabývající se makroskopickými jevy šíření světla v prostředí. V obecnosti platnosti je již překonána, nicméně pro svou jednoduchost má v praxi mnoho uplatnění.

Paprsek se na rozhraní optických prostředí odráží, popř. láme podle tzv. Snellova zákonu lomu. V této úloze se budeme zabývat situacemi, při kterých je do vzduchu vloženo jiné optické prostředí specifického tvaru - čočka.

Čočky umožňují systematické lámání paprsků a tedy pak zobrazování předmětů. Při zobrazení čočkou existují význačné roviny kolmé na osu čočky. Předmět v nekonečnu (rovnoběžné paprsky na čočce) se promítne ostře do

tzv. ohniskové roviny a obráceně. Dále v předmětové polovině prostoru existují dvě tzv. hlavní roviny (kladná a záporná) - z nich se předmět zobrazí vzpřímený do kladné obrazové, resp. převrácený do záporné předmětové roviny. Vzdálenosti těchto rovin od ohniskové roviny se rovnají ohniskové vzdálenosti, kladné jsou vždy mezi ohniskovou rovinou a čočkou. U tenkých čoček je možné, že kladné roviny splynou a budou obě ležet přímo v čočce.



Obr. 1: Poloha kladných hlavních rovin H a ohniskových rovin F u základních čoček. Převzato z [1]

3.1 Čočková rovnice

Pro zobrazení tenkou čočkou platí pro monochromatické paprsky v blízkosti optické osy čoček tzv. čočková rovnice

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

kde a , a' jsou vzdálenosti předmětu resp. obrazu a f je ohnisková vzdálenost čočky. Tato rovnice lze napsat i ve tvaru

$$1 = \frac{f}{a} + \frac{f}{a'} \quad (2)$$

což odpovídá úsekovému tvaru rovnice přímky. Pro různé vzdálenosti vyhovující rovnici by se takto vzniklé přímky měly protínat v bodě na kvadrantu osy, jehož souřadnice budou rovny f .

3.2 Besselova metoda

Rovnice (1) je souměrná na záměnu a a a' . Můžeme označit vzdálenost předmětu od stínítka e . Za dodržení podmínky $e > 4f$ budou existovat právě dvě polohy čočky, při kterých bude promítnutý předmět na stínítku ostrý, jejich vzdálenost mohou označit d . Platí vztah pro ohniskovou vzdálenost f

$$f = \frac{e^2 - d^2}{4e} \quad (3)$$

3.3 Lupa

Lupa je nejjednodušší optický přístroj - jako lupa může sloužit jedna spojná čočka. Jako zvětšení lupy Z bereme poměr tangente zorného úhlu při pozorování lupou u' a zorného úhlu při akomodaci oka na konvenční zrakovou

vzdálenost u . Toto závisí na akomodaci oka při pohledu lupou. Druhou rovnost získáme při uvažování akomodace na nekonečno

$$Z = \frac{\operatorname{tg} u'}{\operatorname{tg} u} = \frac{l}{f} \quad (4)$$

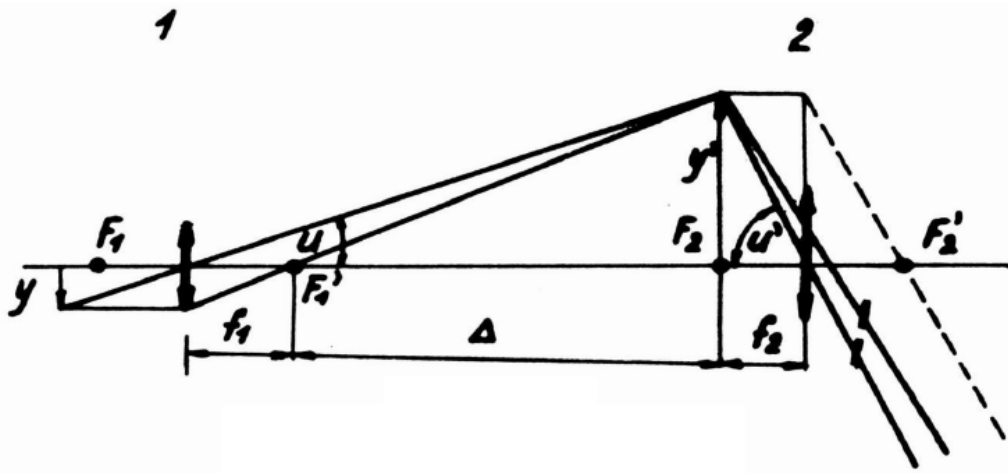
kde f je ohnisková vzdálenost lupy a l je konvenční zraková vzdálenost. Při akomodaci na konečnou vzdálenost je zvětšení větší. Při pozorování okem akomodovaným na l platí pro zvětšení Z_l

$$Z_l = \frac{y'}{y} \quad (5)$$

kde y' je lineární velikost obrazu a y je velikost předmětu.

3.4 Další optické přístroje

Složitější optický přístroj je mikroskop, vyobrazený na Obr. 2. Zvětšení mikroskopu Z má stejný význam jako



Obr. 2: Náčrtek mikroskopu: 1 - objektiv, 2 - okulár. Převzato z [1]

u 3.3, tedy poměr velikosti obrazu ku předmětu a rovná se součinu zvětšení jeho okuláru Z_2 a objektivu Z_1 a dle Obr. 2 platí

$$Z = Z_1 \cdot Z_2 = \frac{\Delta \cdot l}{f_1 \cdot f_2} \quad (6)$$

kde tzv. optický úsek Δ znamená vzdálenost ohniskových rovin objektivu a okuláru.

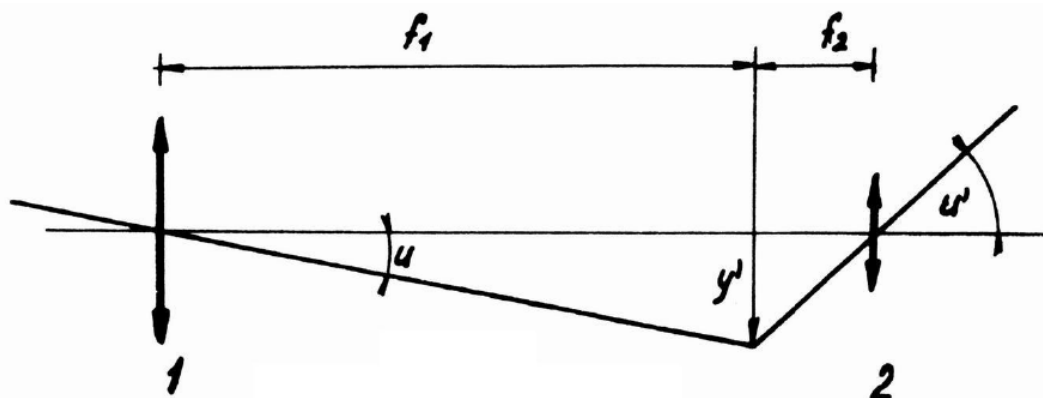
Další optický přístroj je dalekohled. Ten obvykle zpracovává paprsky přicházející pod téměř nulovým úhlem. Jeho princip zachycuje Obr. 3 Zvětšení dalekohledu Z se nazývá poměr tzv. pupil

$$Z = \frac{D_1}{D_2} \quad (7)$$

Z čočkové rovnice a z Obr. 3 plyne pro pozorování blízkého předmětu ve vzdálenosti a

$$Z = \frac{a}{a - f_1} \quad (8)$$

kde f_1 je vzdálenost ohniskové roviny objektivu.



Obr. 3: Nákres dalekohledu: 1 - objektiv, 2 - okulár. Převzato z [1]

4 Postup měření

Nejprve jsme měřili ohniskovou vzdálenost přímou metodou - na optickou lavici jsme umístili v pořadí: zdroj světla, předmět (clonu s orientovanou šipkou), čočku označenou +200 a stínítko (matnici). Pětkrát jsme si určili polohu stínítka a pro každou jsme našli polohu čočky takovou, aby obraz byl ostrý, zapsali jsme poté vzdálenost předmětu od stínítka a čočky od stínítka.

Následně jsme měřili ohniskovou vzdálenost Besselovou metodou. Pro pět měření jsme vždy našli pro pevně umístěné stínítko dvě polohy čočky takové, aby obraz byl ostrý. Zapsali jsme vzdálenost předmětu od stínítka e a vzdálenost poloh čočky d .

Dále jsme měřili Besselovou metodou ohniskové vzdálenosti Ramsdenova okuláru a mikroskopického objektivu. Pro tato měření jsme nahradili matnici pomocným mikroskopem a šipku skleněným kvádříkem se stupnicí. Opět jsme oba přístroje změřili pětkrát a zapisovali jsme e a d .

Následně jsme přímou metodou měřili zvětšení lupy - Ramsdenova okuláru. Na optické lavici jsme nechali milimetrové měřítko a na Ramsdenův okulár jsme nasadili Abbeho kostku. Kolmo na lavici jsme umístili pomocné měřítko do konvenční zrakové vzdálenosti. Polohu předmětu jsme volili takovou, aby bylo při pohledu přes Abbeho kostku možno vidět pomocné i milimetrové měřítko ostře. Při pohledu skrz Abbeho kostku jsme potom zvolili délku na pomocném měřítku a odečetli na milimetrovém, tyto dvě hodnoty jsme zapsali.

Při měření ohniskových rovin jsme v konfiguraci měření ohniskové vzdálenosti vyměnili pomocný mikroskop za pomocný dalekohled zaostřený na nekonečno. Mikroskopický objektiv jsme při měření otočili.

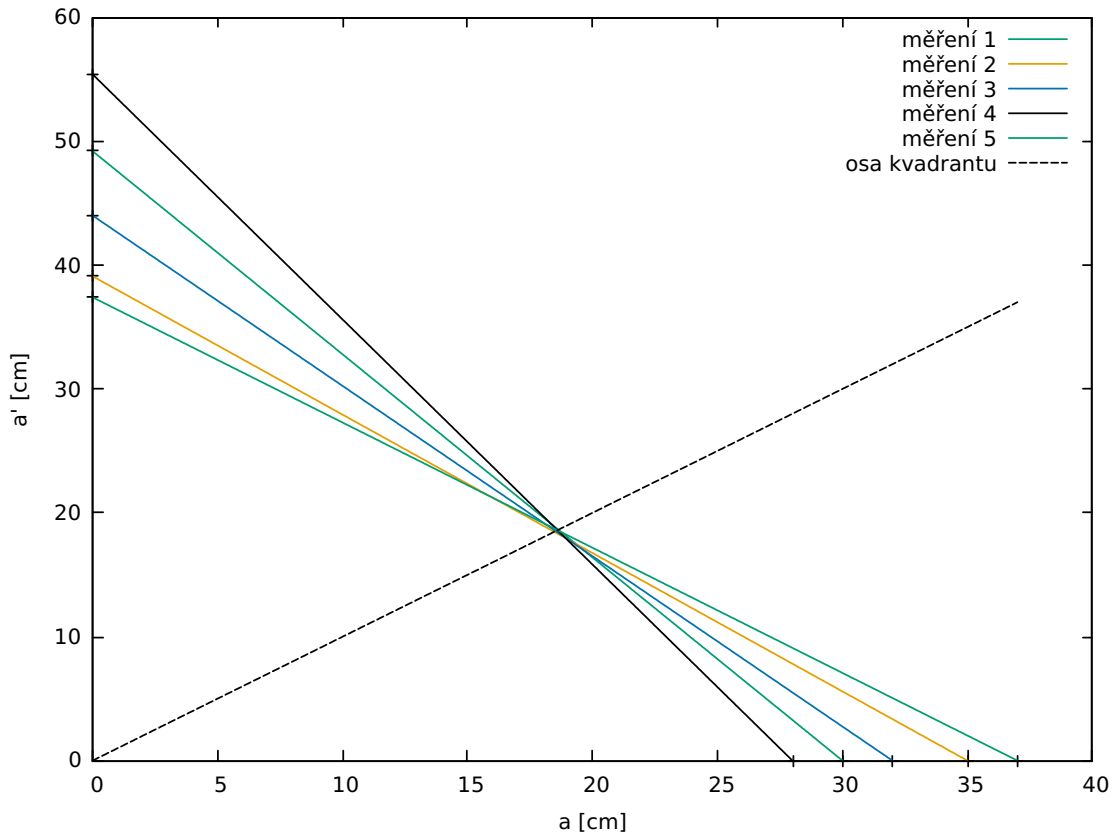
Při měření mikroskopu jsme modifikovali aparaturu měření zvětšení lupy - Ramsdenův okulár zůstal dále od předmětu a blíže k předmětu jsme umístili mikroskopický objektiv.

Nakonec jsme konstruovali dalekohled nasazením čočky +200 dále od oka a Ramsdenova okuláru blíže k oku na malou optickou lavici a následně nasazením té na trojnožku. Pokoušeli jsme se srovnávat přímý pohled přes Abbeho kostku a zrcátko s přiblíženým pohledem přes soustavu čoček.

5 Vypracování

Graficky jsem vyhodnocoval ohniskovou vzdálenost z naměřených dat 1. Pro každé měření jsem vynesl a na osu x a a' na osu y a tyto body jsem spojil, Obr. 4.

Přímky jsou vzájemně rovnoběžné a všechny se, v souladu s teorií, protínají ve vyznačeném kvadrantu poblíž osy kvadrantu, mám tedy pro $n = 5$ měření celkem $\binom{n}{2} = 10$ průsečíků. Pro ně jsem pomocí aritmetického



Obr. 4: Spojené body pro grafické zpracování měření ohniskové vzdálenosti. Rozlišení jednotlivých přímek není nezbytné.

průměru spočítal průměrnou hodnotu a odchylku

$$\bar{x} = (19 \pm 1) \text{ cm} \quad (9)$$

$$\bar{y} = (18 \pm 1) \text{ cm} \quad (10)$$

a vynesl do grafu Obr 5.

Jelikož podle teorie má ležet hledaný bod přímo na ose kvadrantu, určil jsem pomocí váženého průměru ohniskovou vzdálenost

$$f_c = (18.5 \pm 0.3) \text{ cm}. \quad (11)$$

Dále jsme tuto vzdálenost měřili i Besselovou metodou, data v Tab. 2. Pomocí (3) a aritmetického průměru jsem spočítal

$$f_c = (18,54 \pm 0,04) \text{ cm}. \quad (12)$$

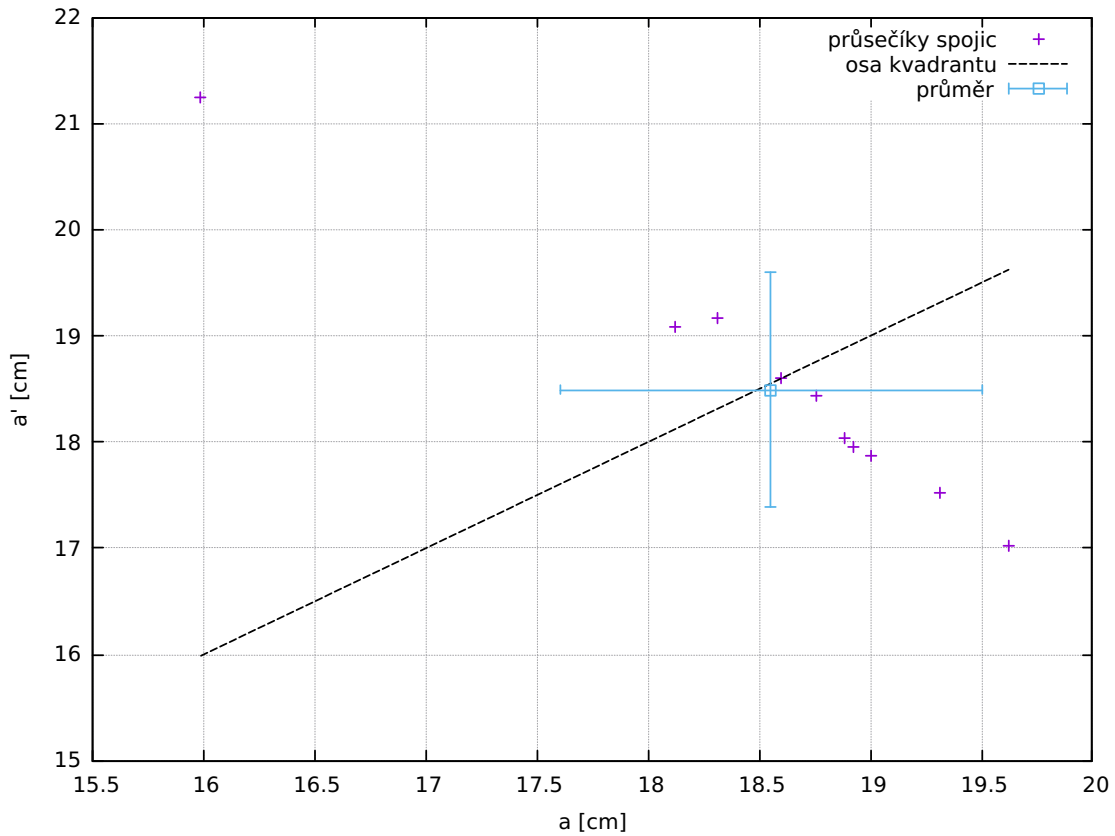
Dále uvádím v Tab. 4 naměřené hodnoty pro měření mikroskopického objektivu a v Tab. 3 pro měření Ramsdenova okuláru. Ohniskovou vzdálenost mikroskopického objektivu f_m i Ramsdenova okuláru f_r jsem opět určil pomocí (3) a aritmetickým průměrem

$$f_m = (10,4 \pm 0,7) \text{ cm} \quad (13)$$

$$f_r = (9,8 \pm 0,7) \text{ cm}. \quad (14)$$

Zvětšení lupy jsem podle (5) z Tab. 7 spočítal jako

$$Z = (24 \pm 2) \cdot 10^3. \quad (15)$$



Obr. 5: Přibližné průsečíky přímek vzniklých spojením naměřených bodů.

Při měření ohniskových rovin mikroskopického objektivu f_1 a Ramsdenova okuláru f_2 jsem pouze spočetl aritmetický průměr měřených vzdáleností (Tab. 5, 6).

$$f_1 = (2,0 \pm 0,2) \text{ cm} \quad (16)$$

$$f_2 = (2,34 \pm 0,05) \text{ cm} \quad (17)$$

Z hodnot v Tab. 8 jsem spočetl zvětšení mikroskopu

$$Z = (10,0 \pm 0,5). \quad (18)$$

teoretická hodnota podle (4) je 10,7.

Z hodnot v Tab. 9 jsem spočetl zvětšení dalekohledu

$$Z = (6,1 \pm 0,1). \quad (19)$$

6 Diskuze

Všechna naše měření vykazovala statistické chyby v řádech jednotek až stovek milimetrů. Na optické lavici jsme však měřili s přesností na milimetry. Shledal jsem, že tedy zanedbám nejistotu měřítka jako zdroj systematické chyby. Chyby jsem pak určoval jako odchylky průměru. Odhaduji, že zdrojem chyby mohla být nepřesnost aparatury, popř. nedokonalé nastavení.

Hodnoty ohniskové vzdálenosti čočky získané přímým měřením i Besselovou metodou velmi dobře odpovídají. Besselova metoda možná přinesla vyšší přesnost, jelikož jsme měli velkou nejistotu při zjišťování absolutní polohy samotné čočky.

Překvapivé bylo, že teoretická hodnota zvětšení lupy mi vyšla větší, než skutečné měření s akomodací na konečnou vzdálenost. Vzhledem k statistickým chybám zde ale zásadní problém neshledávám.

Problematické se ukázalo měření s pomocí Abbeho kostky. Přes Abbeho kostku bylo špatně vidět. Na experimentech, při kterých se používala, se to projevilo i větší chybou.

7 Závěr

Dařilo se měřit úlohy ze zadání. Ohniskovou vzdálenost spojné čočky jsem určil z grafického řešení rovnice

$$f_c = (18.5 \pm 0.3) \text{ cm} \quad (20)$$

i početně pomocí Besselovy metody s přesnějším výsledkem

$$f_c = (18,54 \pm 0,04) \text{ cm.} \quad (21)$$

Ohniskovou vzdálenost mikroskopického objektivu f_m i Ramsdenova okuláru f_r jsem určil

$$f_m = (10,4 \pm 0,7) \text{ cm} \quad (22)$$

$$f_r = (9,8 \pm 0,7) \text{ cm.} \quad (23)$$

Zvětšení lupy jsem určil

$$Z = (24 \pm 2) \cdot 10^3. \quad (24)$$

Určil jsem vzdálenosti ohniskových rovin mikroskopického objektivu f_1 a Ramsdenova okuláru f_2

$$f_1 = (2,0 \pm 0,2) \text{ cm} \quad (25)$$

$$f_2 = (2,34 \pm 0,05) \text{ cm.} \quad (26)$$

Dále jsem spočetl zvětšení mikroskopu

$$Z = (10,0 \pm 0,5) \quad (27)$$

i dalekohledu

$$Z = (6,1 \pm 0,1). \quad (28)$$

Literatura

- [1] Návod - Geometrická optika - <http://praktikum.fjfi.cvut.cz/mod/resource/view.php?id=342>
[cit.14.3.2017]

Přílohy

a [cm]	a' [cm]
30	49.2
35	39.1
32	44.0
28	55.4
37	37.4

Tab. 1: Vzdálenost čočky od stínítka a' a od předmětu a při zobrazení tenkou čočkou.

e [cm]	d [cm]
80	22.1
75	6.8
85	30.3
90	37.6
95	44.6

Tab. 2: Vzdálenost předmětu od stínítka e a vzdálenost dvou poloh čočky d při měření ohniskové vzdálenosti Besselovou metodou.

e [cm]	d [cm]
36	4.9
38	5.0
40	4.8
42	4.7
44	4.6

Tab. 3: Vzdálenost předmětu od roviny obrazu e a vzdálenost dvou poloh čočky d při měření ohniskové vzdálenosti Ramsdenova okuláru Besselovou metodou.

e [cm]	d [cm]
38	4.9
40	5.0
42	4.8
44	5.0
46	4.9

Tab. 4: Vzdálenost předmětu od roviny obrazu e a vzdálenost dvou poloh čočky d při měření ohniskové vzdálenosti mikroskopického objektivu Besselovou metodou.

a [cm]	2,4	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tab. 5: Vzdálenost předmětu a mikroskopického objektivu při kolimovaných paprscích a .

a [cm]	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3
----------	-----	-----	-----	-----	-----

Tab. 6: Vzdálenost předmětu a Ramsdenova okuláru při kolimovaných paprscích a .

$y[\text{cm}]$	$y'[\text{mm}]$
1,0	0,95
1,0	01,0
1,0	01,1
1,0	0,95
1,0	01,0

Tab. 7: Velikost na zvoleném srovnávacím měřítku y , odpovídající velikost na měřicí stupnici y' pozorované přes lupu.

$y [\text{cm}]$	$y' [\text{dílek}]$	$l [\text{cm}]$
1,0	25	12,3
1,0	23	11,2
1,0	26	11,2
1,0	22	11,3

Tab. 8: Velikost na zvoleném srovnávacím měřítku y , odpovídající velikost na měřicí stupnici (100 dílků na mm) y' a vzdálenost objektivu a okuláru taková, aby byly obě stupnice ostré l .

y'	y
45	6
6	1
6	1
45	8
70	13

Tab. 9: Velikost při pohledu přímo y , odpovídající velikost při pohledu dalekohledem y' . Jednotky jsou pro každé měření v obou případech stejné, avšak pro různá měření různé, proto je neuvádím.