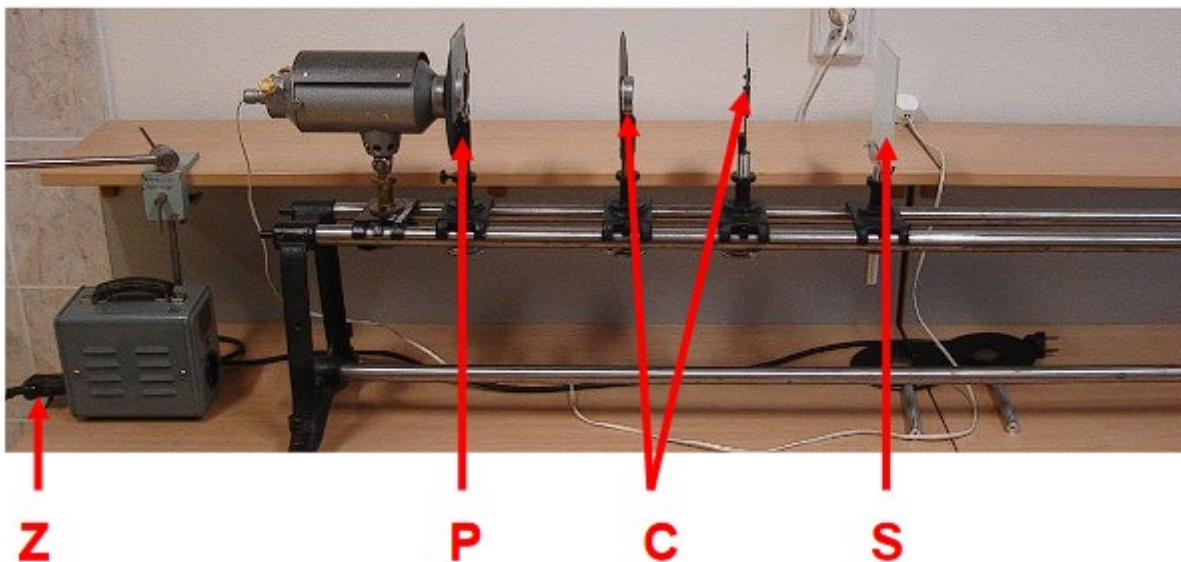


# Měření ohniskových vzdáleností tenkých čoček

- **Autor:** Filip Plachý 1F/46
- **Spolupracoval:** Adam Babovák
- **Datum měření:** 21. 4. 2022
- **Úvod:**

Pozorovat nějaký objekt můžeme buď napřímo zrakem nebo si můžeme obraz zlepšit optickou sadou. Tato optická soustava je souhrn lámavých a odrazových ploch, které ovlivňují přechod světelných paprsků při vytváření obrazu pozorovaného předmětu. Jednou z nejznámějších optických sad je čočka. Čočka je průhledná soustava dvou optických ploch, nejčastěji kulových. Nejdůležitějšími jsou tzv „spojné“ čočky (sdružují k sobě svazek) a „rozptylné“ čočky (opak čoček, rozptylují paprsky od sebe). V názvosloví se spojným čočkám obecně říká „čočky“ a rozptylným čočkám „rozptylky“. Vlastnosti čočky se poté určují vzájemnou polohou rovin a její ohniskovou vzdáleností. I když se tyto údaje dají zjistit pomocí výpočtu, dáváme mnohdy přednost určení ohniskové vzdálenosti pomocí experimentálních metod, které bývají rychlejší a jednodušší na výpočet.



Soustavu, kterou využijeme k měření je optická lavice s předmětem (P), dvěma čočkami (jednou čočkou druhou rozptylkou vyznačené písmenem C) a stínítkem.

- **Zadání:**
  1. Změřte ohniskovou vzdálenost spojky z polohy předmětu a obrazu pro několik různých vzdáleností předmětu a čočky a určete její nejistotu.
  2. Změřte ohniskovou vzdálenost Besselovou metodou pro různé vzdálenosti předmětu a stínítka a určete její nejistotu
  3. Změřte ohniskovou vzdálenost rozptylky a určete její nejistotu.
- **Postup:**

Měření je rozděleno do 3 částí:

  1. Měření ohniskové vzdálenosti spojky  
Na optické lavici umístíme předmět v pozici  $x_1$ , spojku v pozici  $x_2$ , a stínítko do pozice  $x_3$  (rozptylku dáme bokem). Pro stanovení ohniskové vzdálenosti použijeme metodu měření

polohy předmětu a obrazu. Polohu změříme 5x. Pro určení ohniskové vzdálenosti ještě budeme potřebovat vzdálenost předmětu od čočky  $a$  a vzdálenost obrazu od čočky  $a'$ . Vypočítáme ohniskovou vzdálenost čočky  $f'$  a její nejistotu.

## 2. Měření ohniskové vzdálenosti rozptylky

Na lavici přidáme mezi spojku a stínítko rozptylku. K naměřeným hodnotám přidáme naměřenou polohu rozptylky  $x_4$ . Obraz na stínítku se díky rozptylce rozptýlí, tudíž musíme najít vhodnou polohu stínítka, kde se obraz opět zaostří  $x_5$ . Měření opět provedeme 5x.

## 3. Měření ohniskové vzdálenosti pomocí Besselovy metody

Ta funguje na principu, že poloha stínítka a předmětu se nemění. Zatímco existují 2 polohy čočky, která potom vytváří ostrý obraz. Poloha stínítka je  $x_1$ , poloha předmětu  $x_4$ , a 5x naměříme 2 různé polohy čočky  $x_2$  a  $x_3$ .

### • Měření a výpočet:

#### Měření ohniskové vzdálenosti spojky

Naměřené hodnoty:

n	$x_1$ (mm)	$x_2$ (mm)	$x_3$ (mm)
1	1600	1800	2011
2	1600	1800	2013
3	1600	1800	2017
4	1600	1800	2005
5	1600	1800	2010

Pouze u  $x_3$  zjistíme průměr  $\overline{x_3}$  odchylku  $\Delta x_3$

$$\overline{x_3} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i = 2011,2 \text{ mm}$$

Nejistota typu A:

$$\Delta_A \overline{x_3} = k * \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} * \sum_{i=1}^n (x_i - \overline{x_3})^2} = 5,45 \text{ mm}$$

Kdy součinitel  $k = 2,78$

Nejistota typu B je rovna 0,5 mm

Kombinovaná nejistota:

$$\Delta x_3 = \sqrt{(\Delta_A x)^2 + (\Delta_B x)^2} = 5,47 \text{ mm}$$

Výsledky měření spojky:

$$\underline{x_1 = 1600 \pm 0,5 \text{ mm}}$$

$$\underline{x_2 = 1800 \pm 0,5 \text{ mm}}$$

$$\underline{x_3 = 2011,2 \pm 5,47 \text{ mm}}$$

K výpočtu ohniska potřebujeme znát vzdálenost předmětu od čočky:

$$a = -(x_2 - x_1) = -200 \text{ mm}$$

Nejistota se zjistí pomocí součtu  $\Delta x_1$  a  $\Delta x_2 \Rightarrow \Delta a = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 1 \text{ mm}$

$$\underline{a = -200 \pm 1 \text{ mm}}$$

A vzdálenost obrazu od čočky:

$$a' = x_3 - x_2 = 211,2 \text{ mm}$$

Nejistota se opět zjistí pomocí součtu, tentokrát  $\Delta x_3$  a  $\Delta x_2 \Rightarrow \Delta a' = \Delta x_3 + \Delta x_2 = 5,97 \text{ mm}$

$$\underline{a' = 211,2 \pm 5,97 \text{ mm}}$$

Výpočet ohniskové vzdálenosti:

$$f' = \frac{a * a'}{a - a'} = 102,72 \text{ mm}$$

Nejistota ohniskové vzdálenosti se vypočítá pomocí vzorce:

$$\Delta f' = \sqrt{\left[ \frac{a'^2}{(a - a')^2} * \Delta a \right]^2 + \left[ \frac{a^2}{(a - a')^2} * \Delta a' \right]^2} = 1,43 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{f' = 102,72 \pm 1,43 \text{ mm}}}$$

**Měření ohniskové vzdálenosti rozptylky:**

Naměřené hodnoty:

n	$x_1 \text{ (mm)}$	$x_2 \text{ (mm)}$	$x_3 \text{ (mm)}$	$x_4 \text{ (mm)}$	$x_5 \text{ (mm)}$
1	1600	1800	2011	1916	2058
2	1600	1800	2013	1916	2057
3	1600	1800	2017	1916	2066
4	1600	1800	2005	1916	2069
5	1600	1800	2010	1916	2059

Opět zjistíme u  $x_5$  průměr  $\bar{x}_5$  a odchylku  $\Delta x_5$ .

$$\bar{x}_5 = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n x_i = 2061,8 \text{ mm}$$

Typu A:

$$\Delta_A \bar{x}_5 = k * \sigma(\bar{x}_5) = \sqrt{\frac{1}{n * (n - 1)} * \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_5)^2} = 6,66 \text{ mm}$$

Typu B jsou opět 0,5 mm

Kombinovaná nejistota:

$$\Delta x_5 = \sqrt{(\Delta_A x)^2 + (\Delta_B x)^2} = 6,7 \text{ mm}$$

Výsledky:

$$\underline{x_4 = 1916 \pm 0,5 \text{ mm}}$$

$$\underline{x_5 = 2061,8 \pm 6,7 \text{ mm}}$$

Vzdálenost rozptylky od čočky:

$$a = x_3 - x_4 = 95,2 \text{ mm}$$

Její nejistota:

$$\Delta a = \Delta x_3 + \Delta x_4 = 5,97 \text{ mm}$$

$$\underline{a = 95,2 \pm 5,97 \text{ mm}}$$

Vzdálenost obrazu a rozptylky:

$$a' = x_5 - x_4 = 145,8 \text{ mm}$$

Nejistota:

$$\Delta a' = \Delta x_5 + \Delta x_4 = 7,2 \text{ mm}$$

$$\underline{a' = 145,8 \pm 7,2 \text{ mm}}$$

Ohnisková vzdálenost:

$$f' = \frac{a * a'}{a - a'} = -247,31 \text{ mm}$$

Nejistota:

$$\Delta f' = \sqrt{\left[ \frac{a'^2}{(a - a')^2} * \Delta a \right]^2 + \left[ \frac{a^2}{(a - a')^2} * \Delta a' \right]^2} = 55,7 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{f' = 247,31 \pm 55,7 \text{ mm}}}$$

### Měření pomocí ohniska Besselovy metody:

Naměřená data:

n	$x_1 \text{ (mm)}$	$x_2 \text{ (mm)}$	$x_3 \text{ (mm)}$	$x_4 \text{ (mm)}$
1	1600	1756	1956	2100
2	1600	1754	1956	2100
3	1600	1756	1957	2100
4	1600	1750	1958	2100
5	1600	1754	1956	2100

Opět zjistíme průměrné hodnoty hodnot, které nejsou stejné:

$$\overline{x_2} = 1754 \text{ mm}$$

$$\overline{x_3} = 1956,6 \text{ mm}$$

Použijeme i stejný vzorec pro výpočet nejistot typu A a kombinovanou nejistotu:

$$\Delta x_2 = 3,1 \text{ mm}$$

$$\Delta x_3 = 1,2 \text{ mm}$$

$$\underline{x_2 = 1754 \pm 3,1 \text{ mm}}$$

$$\underline{x_3 = 1956,6 \pm 1,2 \text{ mm}}$$

Pro Besselovu metodu potřebujeme 2 vzdálenosti:

Vzdálenost mezi stínítkem a předmětem:

$$d = x_4 - x_1 = 500 \text{ mm}$$

Vzdálenost mezi polohami čočky:

$$s = x_3 - x_2 = 202,6 \text{ mm}$$

Nejistoty obou vzdáleností vypočítáme opět součtem:

$$\Delta d = \Delta x_4 + \Delta x_1 = 1 \text{ mm}$$

$$\Delta s = \Delta x_2 + \Delta x_3 = 4,3 \text{ mm}$$

$$\underline{d = 500 \pm 1 \text{ mm}}$$

$$\underline{s = 202,6 \pm 4,3 \text{ mm}}$$

Ohnisková vzdálenost se vypočítá tímhle vzorcem:

$$f' = \frac{d^2 - s^2}{4d} = 104,47 \text{ mm}$$

A nejistota:

$$\Delta f' = \sqrt{\left[ \frac{d^2 + s^2}{4d^2} * \Delta d \right]^2 + \left[ \frac{s * \Delta s}{2d} \right]^2} = 0,92 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{f' = 104,47 \pm 0,92 \text{ mm}}}$$

- Závěr:**

Měřením jsme zjistili ohniskové vzdálenosti čočky aji rozptylky. U čočky jsme použili dva způsoby, kdy při nám vyšli výsledky  $f' = 102,72 \pm 1,43 \text{ mm}$  a z Besselovy metody  $f' = 104,47 \pm 0,92 \text{ mm}$ . Intervaly hodnot se překrývají, takže skutečná vzdálenost se nachází někde mezi nimi. Jejich průměr se určí následujícím vzorcem:

$$\bar{f'} = \frac{\sum g_i * f'_i}{\sum g_i} = 103,59 \text{ mm}$$

Kdy vypočítáme z nejistot  $g_i = \frac{1}{(\Delta f'_i)^2}$  a průměru obou hodnot  $f'_i$ .

Nejistotu zjistíme pomocí vzorce:

$$\Delta f' = \sqrt{\frac{1}{\sum g_i}} = 0,8 \text{ mm}$$

Výsledek je tedy  $103,59 \pm 0,8 \text{ mm}$ .

Ohnisková vzdálenost rozptylky je  $f' = 247,31 \pm 55,7 \text{ mm}$ .

Měření jsem se bohužel nemohl účastnit, proto jsem byl závislý na poznatcích mého kolegy.