

## Úkol

1. Ze změřeného ohybového obrazce zobrazeného na milimetrovém papíru určete mřížkovou konstantu mřížky.
2. Pomocí aparatury proměřte ohybové obrazce: mřížky, štěrbinu a dvojštěrbiny. Konkrétní difrakční prvky vybere vyučující. Zpracováním měření určete parametry použitých difrakčních prvků.
3. Okalibrujte mikroskopový okulár s použitím metody lineární regrese, odhadněte relativní chybu kalibrace.
4. Mikroskopem změřte parametry všech použitých difrakčních prvků.
5. Výsledky měření v úkolech č.1, č.2 a č.4 srovnajte a diskutujte, v kterém případě jsou spočtené parametry zatíženy nejmenší chybou.

## Teorie

V tomto praktiku měříme ohyb laserového svazku způsobený difrakční mřížkou a štěrbinami. Protože použitý laser má poměrně velkou divergenci svazku, použijeme v měření spojnou čočku, viz [1].

Pro získání mřížkové konstanty  $a_m$  využijeme vztahu pro úhel  $\varphi$  mezi dvěma body maximální intenzity difrakčního obrazce

$$\varphi = \frac{\lambda}{a_m}, \quad (1)$$

kde  $\lambda$  je vlnová délka použitého světla. Úhel  $\varphi$  získáme z rovnice

$$\varphi = \frac{x}{l}, \quad (2)$$

kde  $x$  je vzdálenost dvou maxim a  $l$  vzdálenost difrakčního obrazce od spojně čočky.

Pro úhel mezi sousedními dvěma body minimální intenzity světla difrakčního obrazce štěrbinu a obálky obrazce dvojštěrbiny platí vztah

$$\varphi = \frac{\lambda}{b}, \quad (3)$$

kde  $b$  je šířka štěrbin, pro úhel mezi dvěma minimy obrazce dvojštěrbiny pak platí obdobný vztah

$$\varphi = \frac{\lambda}{a}, \quad (4)$$

kde  $a$  je vzdálenost středů štěrbin. Pro úhel  $\varphi$  platí také vztah (2), kde  $x$  je nyní vzdálenost sousedních minim.

## Výsledky

Vzdálenost difrakčních obrazců od čočky byla

$$l = (1,000 \pm 0,005) \text{ m},$$

vlnová délka použitého světla byla

$$\lambda = 632,8 \text{ nm}.$$

### Úkol 1

V tabulce 1 jsou zaneseny vzdálenosti sousedních maxim difrakčního obrazce difrakční mřížky odečtené z milimetrového papíru.

x [mm]	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabulka 1: Vzdálenosti mezi maximy difrakčního obrazce mřížky

Průměrná vzdálenost dvou sousedních maxim byla

$$x = (1,23 \pm 0,05) \times 10^{-2} \text{ m}.$$

Pomocí vztahů (1) a (2) jsme získali mřížkovou konstantu

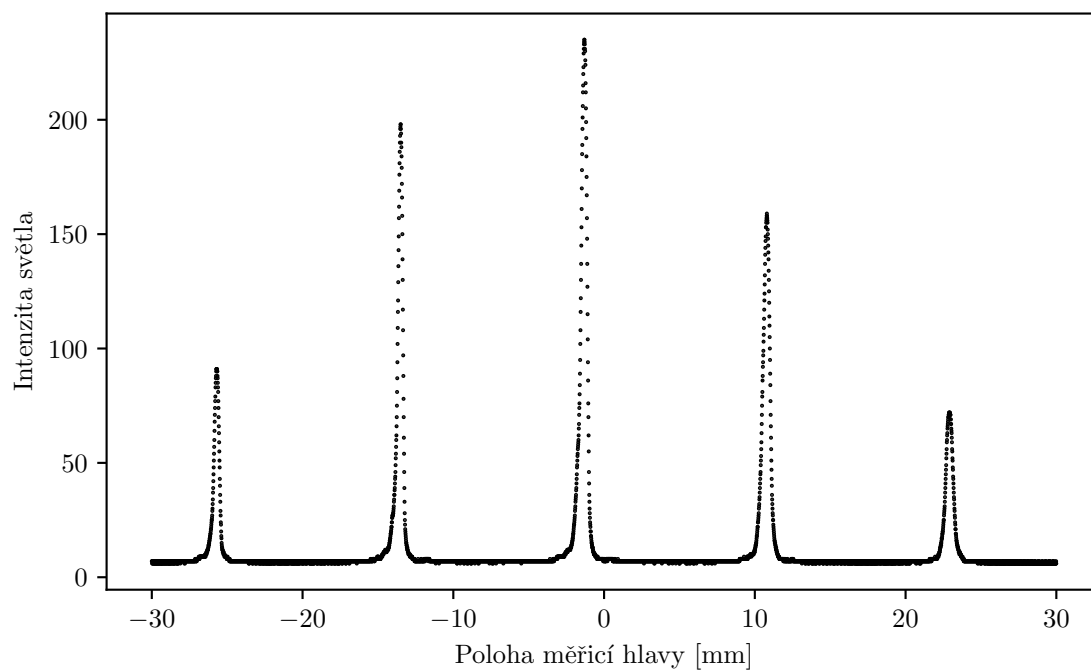
$$a_m = (5,13 \pm 0,10) \times 10^{-5} \text{ m}.$$

### Úkol 2

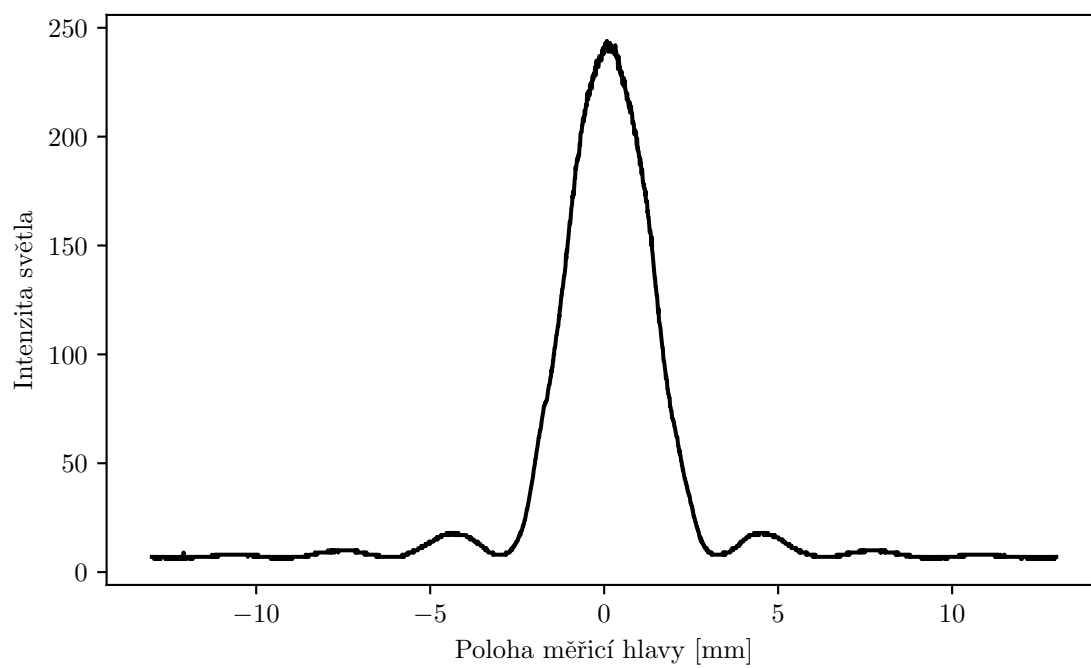
Intenzita světla vynesena v grafech níže nabývá hodnot 0 - 255 a popisuje odezvu snímáče na dopadající světlo.

V grafu 1 je zobrazen difrakční obrazec difrakční mřížky. Odečtením poloh peaků a použitím vzorce (1) a (2) jsme dostali mřížkovou konstantu

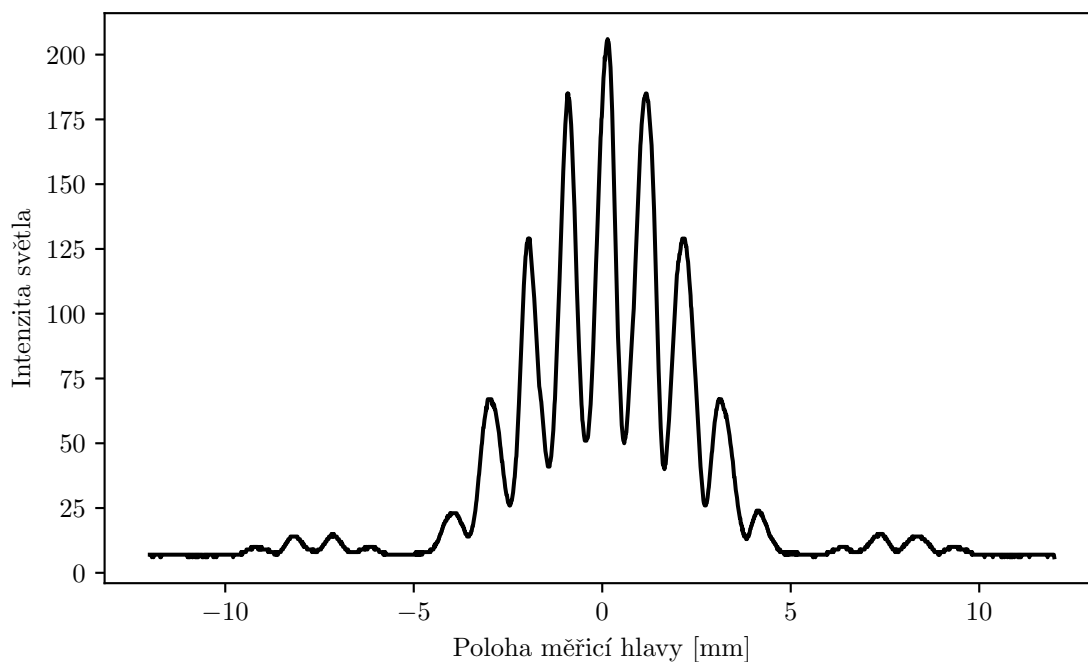
$$a_m = (5,20 \pm 0,05) \times 10^{-5} \text{ m}.$$



Obrázek 1: Difrakční obrazec mřížky



Obrázek 2: Difrakční obrazec štěrbin



Obrázek 3: Difrakční obrazec dvojštěrbiny

Použitím průměrné hodnoty poloh minim z grafu 2 ve vztahu (2) a (3) dostaneme šířku štěrbin

$$b = (2,05 \pm 0,02) \times 10^{-4} \text{ m.}$$

Obdobným použitím vztahu (4) pro minima grafu 3 dostaneme vzdálenost štěrbin

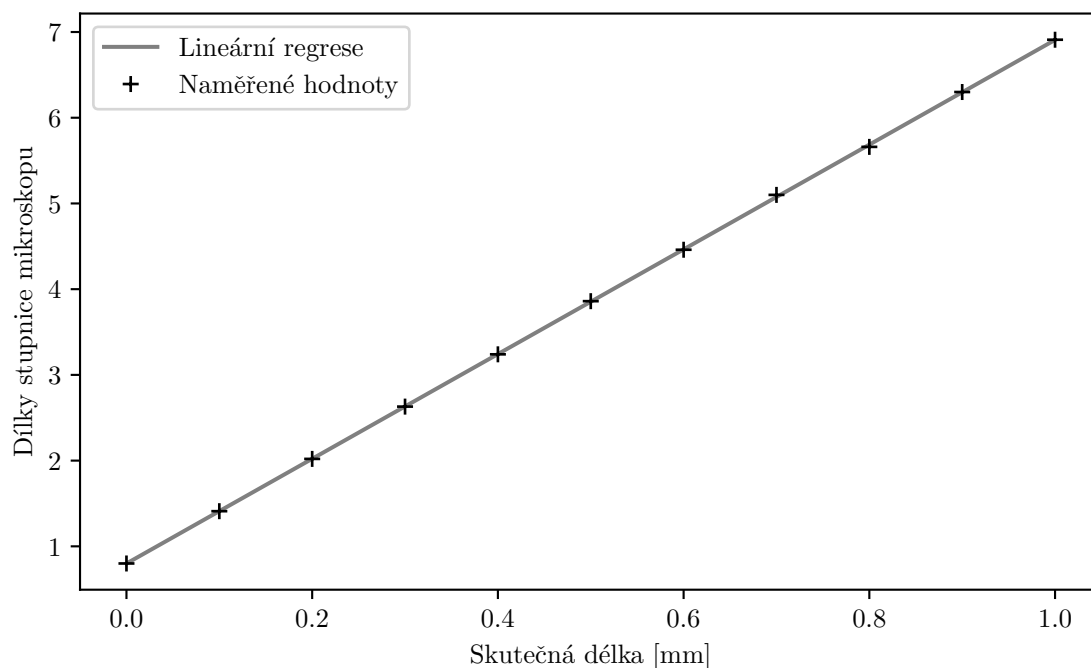
$$a = (6,00 \pm 0,09) \times 10^{-4} \text{ m.}$$

Obálka tohoto grafu nemá dostatečný počet zřetelných minim pro použití předešlé metody, vzdálenostem susedních minim jsou však ekvivalentní vzdálenosti minim prvního řádu od maxima řádu nultého. Použitím těchto hodnot ve vztahu (2) a (3) dostaneme šířky štěrbin

$$b_d = (1,18 \pm 0,02) \times 10^{-4} \text{ m.}$$

### Úkol 3

Byla provedena kalibrace měřítka mikroskopu metodou postupných měření. Data byla zpracována lineární regresí, směrnice regrese je  $6,10 \pm 0,01$ . Jeden dílek na stupnici mikroskopu tedy odpovídá  $\frac{1}{6,10}$  milimetrům, relativní chyba kalibrace činí  $\pm 0,2\%$ .



Obrázek 4: Kalibrace stupnice mikroskopu

#### Úkol 4

Pomocí mikroskopu jsme získali rozměry použitých optických prvků, tabulka 2 obsahuje vzdálenosti deseti vrypů mřížky, tabulka 3 šířku štěrbin na třech místech a tabulka 4 šířku a vzdálenost štěrbin na třech místech.

poloha vrypu [dílky mikroskopu]	vzdálenost od dalšího vrypu [dílky mikroskopu]	vzdálenost od dalšího vrypu [m]
3,54	0,32	$5,24 \times 10^{-5}$
3,83	0,29	$4,75 \times 10^{-5}$
4,16	0,31	$5,08 \times 10^{-5}$
4,47	0,32	$5,24 \times 10^{-5}$
4,79	0,31	$5,08 \times 10^{-5}$
5,10	0,32	$5,24 \times 10^{-5}$
5,42	0,31	$5,08 \times 10^{-5}$
5,73	0,33	$5,40 \times 10^{-5}$
6,02	0,29	$4,75 \times 10^{-5}$
6,34		

Tabulka 2: Hodnoty vzdáleností vrypů mřížky

Průměrná hodnota vzdálenosti dvou vrypů a tedy i mřížkové konstanty je

$$a_m = (5,09 \pm 0,07) \times 10^{-5} \text{ m.}$$

měření	poloha začátku št. [dílek mikroskopu]	poloha konce št. [dílek mikroskopu]	šířka štěrby [dílek mikroskopu]	šířka štěrby [m]
1	2,50	3,80	1,30	$2,13 \times 10^{-4}$
2	2,52	3,81	1,29	$2,11 \times 10^{-4}$
3	2,74	2,74	1,24	$2,03 \times 10^{-4}$

Tabulka 3: Hodnoty šířky štěrby na třech místech

Průměrná hodnota šířky štěrby je

$$b = (2,09 \pm 0,03) \times 10^{-4} \text{ m.}$$

měření	1	2	3
začátek první štěrby [dílek]	2,08	2,20	2,06
konec první štěrby [dílek]	2,75	2,94	2,80
začátek druhé štěrby [dílek]	5,72	5,90	5,76
konec druhé štěrby [dílek]	6,46	6,75	6,51
šířka první štěrby [dílek]	0,67	0,74	0,74
šířka první štěrby [mm]	0,109	0,121	0,121
šířka druhé štěrby [dílek]	0,74	0,85	0,75
šířka druhé štěrby [mm]	0,121	0,140	0,123
vzdálenost štěrbin [dílek]	3,64	3,70	3,70
vzdálenost štěrbin [mm]	0,596	0,606	0,606

Tabulka 4: Hodnoty šířky a vzdálenosti štěrbin na třech místech

Aritmetický průměr vzdálenosti štěrbin je

$$a = (6,02 \pm 0,03) \times 10^{-4} \text{ m.}$$

Protože hodnoty šířek štěrbin jsou pro obě štěrby téměř shodné, považujeme obě štěrby za stejně široké a aritmetický průměr této veličiny počítáme ze všech naměřených hodnot. Tento průměr činí

$$b_d = (1,23 \pm 0,04) \times 10^{-4} \text{ m.}$$

## Diskuse

Všechny hodnoty parametrů difrakčních prvků použitých v tomto měření měřené nepřímou metodou pomocí difrakčních obrazců se v rámci chyby shodují s hodnotami měřenými přímo zkalibrovaným mikroskopem.

Chybové údaje u hodnot měřených nepřímou metodou jsou o něco menší než u odpovídajících hodnot metody přímé především proto, že při měření difrakcí není snadné odhadnout skutečnou míru nejistoty měření. K tomu dále přistupuje skutečnost, že díky relativně úzkému laserovému svazku se v difrakčním obrazci projevila velmi lokalizovaná hodnota šířky štěrby resp. dvojštěrby, zatímco mikroskopem byla měřena jejich šířka po celé délce štěrbin.

## Závěr

Z milimetrového papíru byly odečteny polohy maxim difrakčního obrazce difrakční mřížky a pomocí nich spočtena mřížková konstanta

$$a_m = (5,13 \pm 0,10) \times 10^{-5} \text{ m.}$$

Pomocí aparatury byly změřeny difrakční obrazce mřížky, štěrbin a dvojštěrbiny.

Z těchto obrazců byla určena hodnota mřížkové konstanty

$$a_m = (5,20 \pm 0,05) \times 10^{-5} \text{ m,}$$

šířka štěrbin

$$b = (2,05 \pm 0,02) \times 10^{-4} \text{ m,}$$

šířka obou štěrbin dvojštěrbiny

$$b_d = (1,18 \pm 0,02) \times 10^{-4} \text{ m}$$

a vzdálenost jejich středů

$$a = (6,00 \pm 0,09) \times 10^{-4} \text{ m.}$$

Byla provedena kalibrace mikroskopu.

Zkalibrovaným mikroskopem byly naměřeny parametry použitých prvků:  
mřížková konstanta

$$a_m = (5,09 \pm 0,07) \times 10^{-5} \text{ m,}$$

šířka štěrbin

$$b = (2,09 \pm 0,03) \times 10^{-4} \text{ m,}$$

šířka obou štěrbin dvojštěrbiny

$$b_d = (1,23 \pm 0,04) \times 10^{-4} \text{ m}$$

a vzdálenost jejich středů

$$a = (6,02 \pm 0,03) \times 10^{-4} \text{ m.}$$

## Reference

- [1] Pokyny k měření "Studium ohybových jevů v laserovém svazku", dostupné z [http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/pokyny/mereni\\_306.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_306.pdf), 18.3.2018