

1 Úkol

1. Ze změřeného ohybového obrazce zobrazeného na milimetrovém papíru určete mřížkovou konstantu mřížky.
2. Pomocí aparatury proměřte ohybové obrazce: mřížky, 2 vybraných štěrbin, 2 vybraných dvojštěrbín. Zpracováním měření určete parametry použitých difrakčních prvků.
3. Okalibrujte mikroskopový okulár metodou postupných měření a lineární regresi, 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.

2 Teorie

2.1 Oprická mřížka

Optická mřížka je optická součástka sloužící k ohybu světla. Tento ohyb je svázán rovnicí

$$\sin \varphi = \frac{k\lambda}{a}, \quad (1)$$

kde φ je úhel pod kterým vychází kolmo dopadající paprsek, k přiroené číslo a a vzálenost mezi vrypy na mřížce. Mřížková konstanta se definuje jako převrácená hodnota a .

2.2 Štěrba a dvojštěrba

Dle [3] dochází na štěrbinách také k ohybu. Vlivem drahových rozdílů následně vzniká na stínítku interferenční obrazec. Pro štěrbinu platí

$$I = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)^2}, \quad (2)$$

kde I_0 je maximum, které nastává pro úhel $\varphi = 0$, b je šířka štěrby.

Pro dvojštěrbinu výraz podobný

$$I = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \varphi\right)^2} \cos^2\left(\frac{\pi a}{\lambda} \varphi\right), \quad (3)$$

kde a je vzdálenost středů štěrbin.

k	x_{k1}/mm	$-x_{k2}/\text{mm}$	x_k/mm	a^{-1}/mm^{-1}
1	13.0 ± 0.5	12.0 ± 0.5	13 ± 1	20 ± 2
2	25.5 ± 0.5	25.0 ± 0.5	25 ± 1	20 ± 2
3	38.0 ± 0.5	37.0 ± 0.5	38 ± 1	20 ± 2
4	50.5 ± 0.5	49.0 ± 0.5	50 ± 1	20 ± 2
5	63.0 ± 0.5	62.0 ± 0.5	63 ± 1	20 ± 2
6	75.0 ± 0.5	75.0 ± 0.5	75 ± 1	20 ± 2
7	88.0 ± 0.5	87.0 ± 0.5	88 ± 1	20 ± 2
8	100.0 ± 0.5	100.0 ± 0.5	100 ± 1	20 ± 2
9	103.0 ± 0.5	103.0 ± 0.5	103 ± 1	18 ± 2
10	116.0 ± 0.5	115.0 ± 0.5	116 ± 1	18 ± 2

Tabulka 1: Výsledky měření mřížky s pomocí milimetrového papíru.

3 Měření

3.1 Mřížková konstanta

Po nastavení stínítka do ohniska čočky v aparatuře ($f = 1 \text{ m}$) jsem na milimetrový papír zanesl ohybový obrazec vzniklý ze mnou požitě mřížky. Odečtené hodnoty jsou vzhledem k bodu nultého řádu v tabulce 1 včetně dopočteného průberu a odpovídající mřížkové konstantě ($\lambda = 632.8 \text{ nm}$).

Po statistickém vyhodnocení a vypuštěním dvou posledních naměřených hodnot (z důvodu vyšší nepřesnosti při odečítání) jsem získal mřížkovou konstantu

$$a^{-1} = (20 \pm 1)\text{mm}^{-1} \quad (4)$$

Dominantní složka chyby byla nepřesnost milimetrového papíru.

Dále jsem k měření použil čidla, které jsem opět umístil do ohniska použité čočky. Data byla zamenována za pomoci počítače. Výsledný graf je na obrázku 1. Z něj jsem za pomoci programu gnuplot odečetl maximální hodnoty a opět vyhodnotil mřížkovou konstantu. V tomto případě mi vyšlo

$$a^{-1} = (19.24 \pm 0.02)\text{mm}^{-1} \quad (5)$$

Dle šířky píků jsem chybu odhadl na 0.1 %.

3.2 Štěrbina

Čidlo jsem dále použil pro měření dvou štěrbin různé šířky. Výsledky jsou na obrázku 2 a 3. Na naměřené hodnoty jsem nafitoval křivky odpovídající předpisům z rovnic 2 a 3. Z toho jsem získal parametry štěrbin. Grafy jsou také posunuty, aby bylo maximum v bodě

x/mm	$x/\text{d. mik.}$
0.0	0.48
0.1	1.08
0.2	1.78
0.3	2.38
0.4	2.98
0.5	3.59
0.6	4.15
0.7	4.79
0.8	5.37
0.9	5.98
1.0	6.60
1.1	7.17
1.2	7.78
1.3	8.38
1.4	9.00
1.5	9.62

Tabulka 2: Hodnoty z kalibrace mikroskopu

nula. Konkrétně rozměr štěrbin A a C

$$b_{StA} = (0.1227 \pm 0.0001)\text{mm} \quad (6)$$

$$b_{StC} = (0.4514 \pm 0.0008)\text{mm} \quad (7)$$

Pro dvojštěrbičky vyšlo

$$b_{DStA} = (0.1183 \pm 0.0006)\text{mm} \quad (8)$$

$$a_{DStA} = (0.6106 \pm 0.0005)\text{mm} \quad (9)$$

$$b_{DStC} = (0.2015 \pm 0.0002)\text{mm} \quad (10)$$

$$a_{DStC} = (1.2049 \pm 0.0003)\text{mm} \quad (11)$$

3.3 Mikroskop

Pro měření za pomoci mikroskopu se nejdříve musela provést jeho kalibrace. K tomu jsem použil přiloženou stupnici a odpovídající hodnoty odečtené na mikroskopu jsou v tabulce 2. Z nich jsem sestavil kalibrační křivku 6, z které jsem stanovil velikost jednoho dílku mikroskopu

$$d_{mik} = (0.1652 \pm 0.0005)\text{mm} \quad (12)$$

a následně naměřil rozměry zkoumaných předmětů 3.

	$x/\text{d. mik.}$	x/mm
a_{mriz}	0.335	0.0553 ± 0.0002
b_{StA}	0.77	0.127 ± 0.001
b_{StC}	2.85	0.471 ± 0.001
b_{DStA}	0.76	0.126 ± 0.001
a_{DStA}	3.71	0.613 ± 0.001
b_{DStC}	1.30	0.215 ± 0.001
a_{DStC}	7.35	1.214 ± 0.001

Tabulka 3: Hodnoty naměřené mikroskopek

4 Dikuze

Měření za pomoci milimetrového papíru se ukázalo být vcelku přesné pro stanovení přibližné hodnoty. Jeho chyba se však od ostatních metod lišila o celý řád. Jako nejpřesnější hodnotím interferenční jevy. Fitování na naměřené hodnoty sice bylo často zdlouhavé a zejména u dvouštěrbiny C jsem narazil na problém s rozpoznávací schopností čidla. Relativní chyba je však nejmenší. U mikroskopu navíc není zcela přesně započítána chyba způsobená nepřesností kalibrační stupnice. Největším problémem při fitování za pomoci programu gnuplot byla potřeba přibližných hodnot, kolem kterých se má fitovat, k čemuž jsem samozřejmě použil hodnoty z měření mikroskopem. Bez těchto hodnot by bylo celé fitování téměř nemožné.

5 Závěr

Změřil jsem mřížkovou konstantu ohybové mřížky třemi metodami. Hodnoty jsou v pořadí milimetrový papír, čidlo, mikroskop.

$$a^{-1} = (20 \pm 1)\text{mm}^{-1} \quad (13)$$

$$a^{-1} = (19.24 \pm 0.02)\text{mm}^{-1} \quad (14)$$

$$a^{-1} = (18.03 \pm 0.07)\text{mm}^{-1} \quad (15)$$

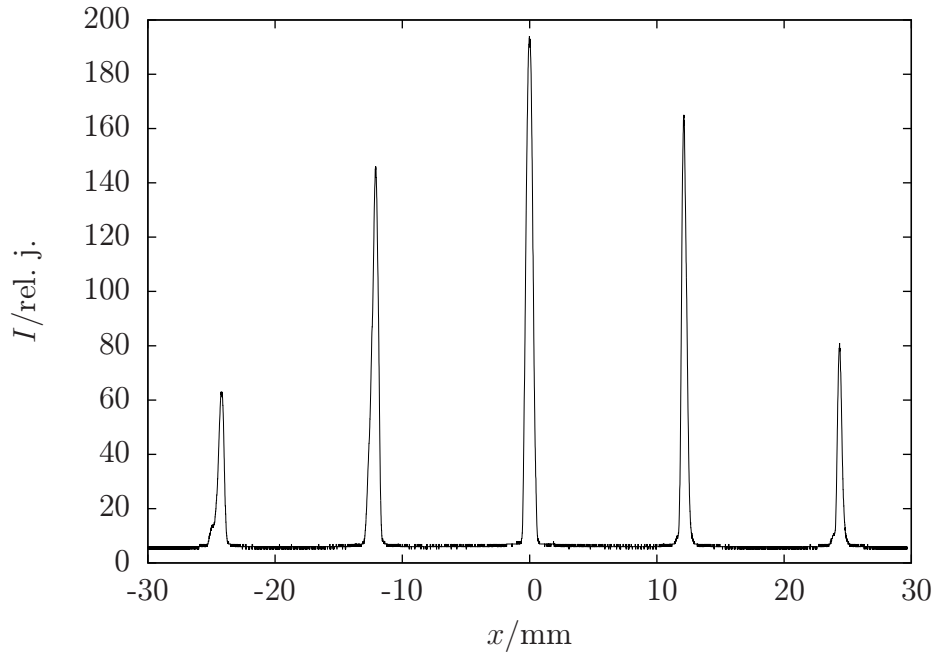
Změřil jsem rozměry dvou různých štěrbin a to v pořadí za pomoci čidla a mikroskopem.

$$b_{StA} = (0.1227 \pm 0.0001)\text{mm} \quad (16)$$

$$b_{StC} = (0.4514 \pm 0.0008)\text{mm} \quad (17)$$

$$b_{StA} = (0.127 \pm 0.001)\text{mm} \quad (18)$$

$$b_{StC} = (0.471 \pm 0.001)\text{mm} \quad (19)$$



Obrázek 1: Ohybový obrzec mřížky

Změřil jsem rozměry dvou různých dvojštěrbín opět dvěmi metodami.

$$b_{DStA} = (0.1183 \pm 0.0006)\text{mm} \quad (20)$$

$$a_{DStA} = (0.6106 \pm 0.0005)\text{mm} \quad (21)$$

$$b_{DStC} = (0.2015 \pm 0.0002)\text{mm} \quad (22)$$

$$a_{DStC} = (1.2049 \pm 0.0003)\text{mm} \quad (23)$$

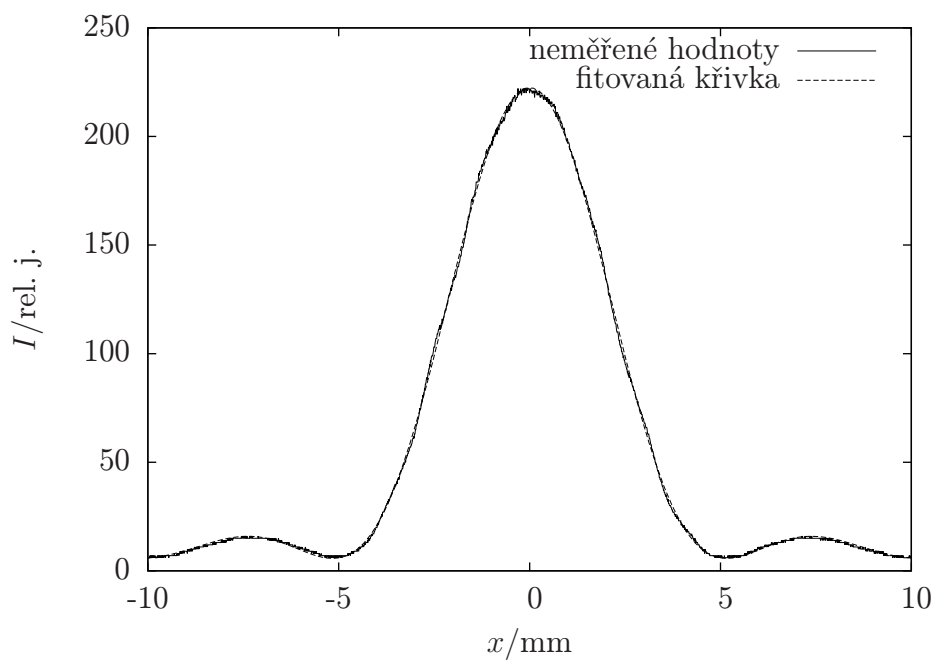
$$b_{DStA} = (0.126 \pm 0.001)\text{mm} \quad (24)$$

$$a_{DStA} = (0.613 \pm 0.001)\text{mm} \quad (25)$$

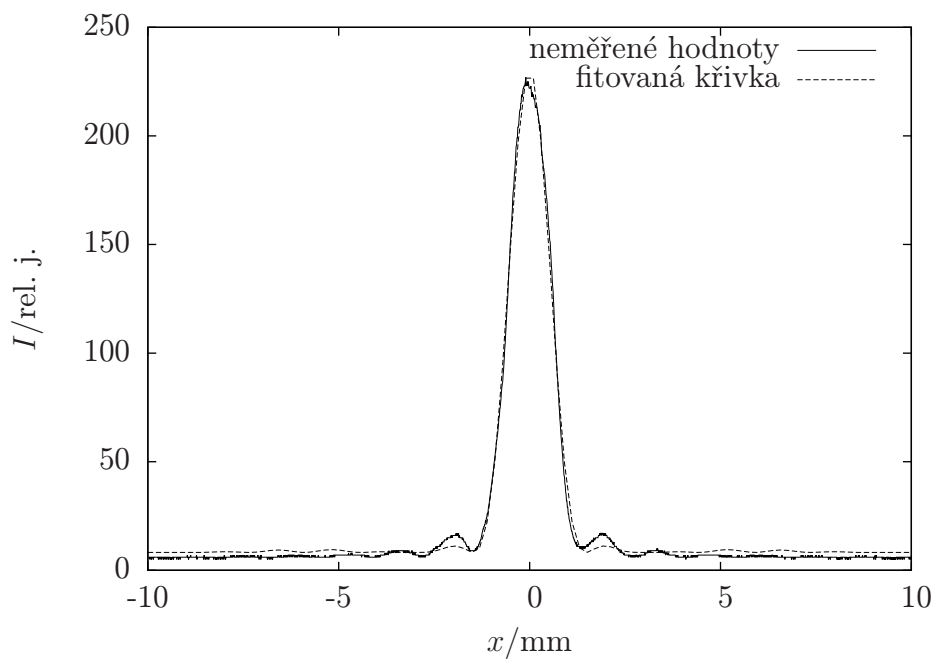
$$b_{DStC} = (0.215 \pm 0.001)\text{mm} \quad (26)$$

$$a_{DStC} = (1.214 \pm 0.001)\text{mm} \quad (27)$$

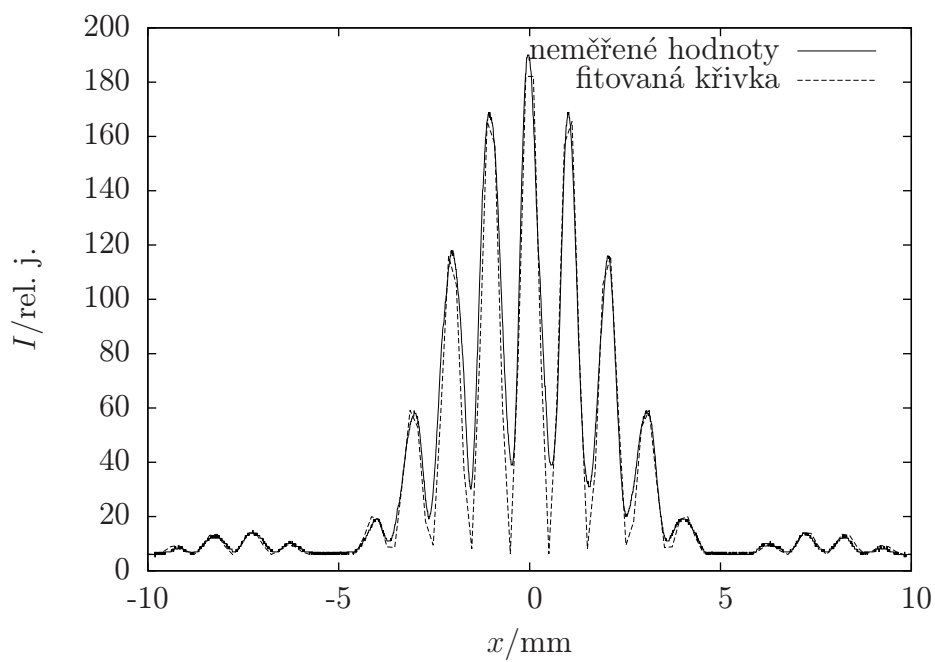
Nakalibroval jsem mikroskop. Kalibrační křivka je na obrázku 6.



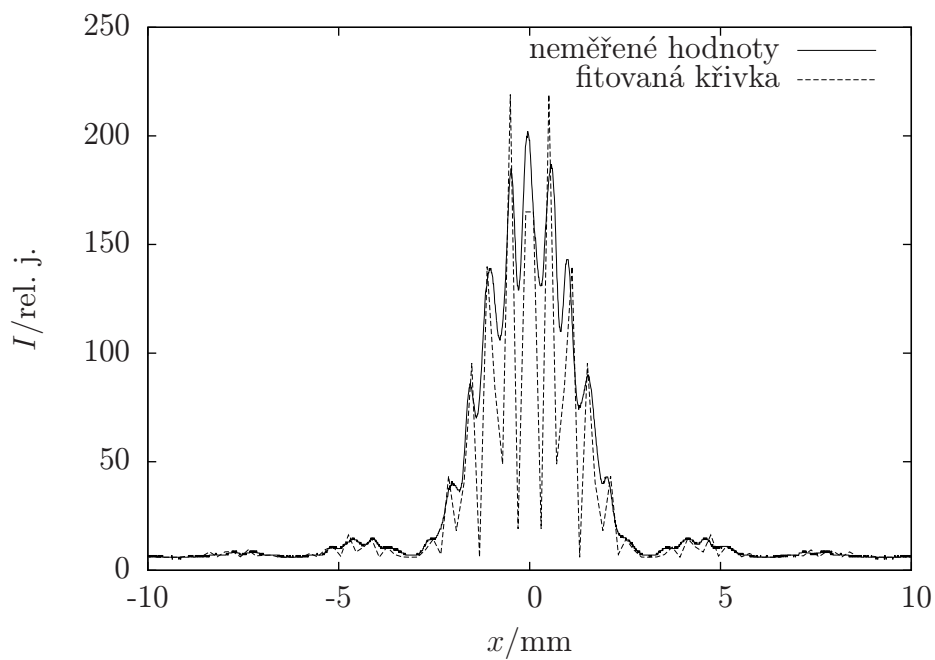
Obrázek 2: Graf relativní intenzity na stínítku v závislosti na poloze pro šterbinu A.



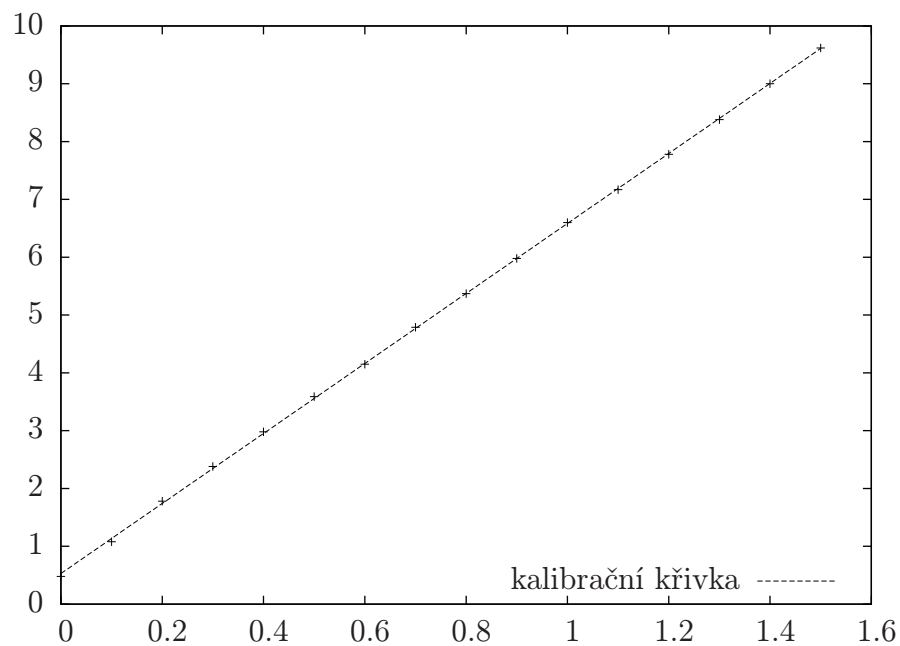
Obrázek 3: Graf relativní intenzity na stínítku v závislosti na poloze pro šterbinu C.



Obrázek 4: Graf relativní intenzity na stínítku v závislosti na poloze pro dvojštěrbinu A.



Obrázek 5: Graf relativní intenzity na stínítku v závislosti na poloze pro dvojštěrbinu C.



Obrázek 6: Kalibrační křivka mikroskopu.

Reference

- [1] **Studijní text na praktikum III**
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_306.htm (8. 3. 2012)
- [2] *J. English*: **Zpracování výsledků fyzikálních měření**
 LS 1999/2000
- [3] *prof. RNDr. Petr Malý , DrSc.*: **Optika**
 Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum 2008, první vydání