

## Úkol

1. Seřídte spektrometr pro kolmý dopad světla pomocí bočního osvětlení nitkového kříže (rovina optické mřížky je kolmá k ose kolimátoru).
2. Stanovte mřížkovou konstantu použité mřížky. K měření užíjte čar sodíkového dubletu v 1. a 2. řádu.
3. Odhadněte rozlišovací schopnost spektrometru ze zobrazení sodíkového dubletu ve spektru 1. a 2. řádu. Vypočtěte teoreticky maximální dosažitelnou rozlišovací schopnost a oba výsledky porovnejte.
4. Proměřte viditelné čáry ve spektru rtuti v 1. řádu. S pomocí vámi stanovené mřížkové konstanty z úkolu 2. spočtěte vlnové délky rtuťového spektra a porovnejte je s tabelovanými hodnotami.
5. Vytvořte kalibrační křivku spektrometru jako závislost vlnové délky na úhlu.
6. Určete úhlovou disperzi mřížky ve žluté oblasti spektra 1. a 2. řádu. Vypočtěte teoretické hodnoty a porovnejte s experimentálními hodnotami.
7. Spočtěte relativní chyby výsledků.

## Teorie

V tomto praktiku využijeme mřížkový spektrometr pro měření poloh spektrálních čar rtuťové výbojky. Použitá aparatura je popsána v pokynech [1].

Pro získání mřížkové konstanty  $a$  využijeme vzorec udávající úhlovou polohu  $\varphi_k$  difrakčního maxima řádu  $k$

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

kde  $\lambda$  je použitá vlnová délka.

Protože poloha nultého maxima difrakčního vzoru nemusí nutně odpovídat nule na stupnici, měříme polohy spektrálních čar vždy na obou stranách a naměřené úhlové polohy  $\psi_1$  a  $\psi_2$  průměrujeme:

$$\varphi_k = \frac{|\psi_1 - \psi_2|}{2}. \quad (2)$$

Rozlišovací schopnost mřížky je definovaná jako

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}, \quad (3)$$

její teoretickou hodnotu lze spočítat podle vztahu

$$R_{teorie} = 0,82 \frac{Dk}{a}, \quad (4)$$

kde  $D = 18 \text{ mm}$  je průměr výstupní pupily kolimátoru [1].

Teoretickou úhlovou disperzi mřížkového spektrometru v určité oblasti spočteme podle vztahu

$$D_{a,teorie} = \frac{k}{a \cos \varphi}, \quad (5)$$

úhlovou disperzi z naměřených hodnot pak spočteme pomocí

$$D_a = \frac{d\varphi}{d\lambda}, \quad (6)$$

kde  $d\varphi$  je rozdíl poloh dvou blízkých proužků a  $d\lambda$  rozdíl odpovídajících vlnových délek.

## Výsledky

### Úkol 2

Pomocí seřízeného mřížkového spektrometru byly naměřeny polohy sodíkového dubletu v nultém, prvním a druhém řádu na obou stranách. Výsledné hodnoty jsou zobrazeny na obrázku 1. Chyba měření byla odhadnuta jako nejmenší možný rozdíl poloh, který lze odečíst ze stupnice (nikoli nejmenší rozdíl poloh, který je rozeznatelný dalekohledem).

$(45,67 \pm 0,08)^\circ$	$(21,50 \pm 0,08)^\circ$	$(0,67 \pm 0,08)^\circ$	$(-20,17 \pm 0,08)^\circ$	$(-44,93 \pm 0,08)^\circ$
$(45,60 \pm 0,08)^\circ$	$(21,50 \pm 0,08)^\circ$		$(-20,17 \pm 0,08)^\circ$	$(-44,87 \pm 0,08)^\circ$

Obrázek 1: Naměřené hodnoty úhlových poloh proužků sodíkového dubletu

Pro určení mřížkové konstanty byly použity polohy sodíkového dubletu ve druhém maximu. Podle vzorce (1) vychází pro  $\lambda_1 \doteq 589,00$  nm

$$a_1 = (1,661 \pm 0,002) \mu\text{m},$$

pro  $\lambda_2 \doteq 589,59$  nm

$$a_2 = (1,657 \pm 0,002) \mu\text{m}.$$

Pro další výpočty budeme používat jejich průměrnou hodnotu

$$a = (1,659 \pm 0,003) \mu\text{m}.$$

Tato hodnota má relativní chybu 0,2 %.

### Úkol 3

Je nutno oddělit schopnost opticky rozlišit jednotlivé spektrální čáry od schopnosti tyto rozdíly poloh odečíst na stupnici, tyto dvě hodnoty se totiž značně liší. Sodíkový dublet má mezi sebou mezeru  $\approx 0,6$  nm, v dalekohledu byly tyto dvě čáry jasně odděleny s velmi ostře definovanou tmavou oblastí mezi nimi. To přispělo k odhadu optické rozlišovací schopnosti v prvním řádu

$$\delta\lambda_{opt} = 0,2 \text{ nm},$$

$$R_{opt} = 2945.$$

Na druhé straně stojí rozlišovací schopnost mřížkového spektrometru jakožto měřicího přístroje. Ta je kvůli nepříliš povedenému provedení stupnice tak nízká, že bylo možné odečíst rozdíl poloh čar sodíkového dubletu v prvním řádu. Rozlišovací schopnost spektrometru v prvním řádu byla proto odhadnuta na dvojnásobek této vzdálenosti,

$$\delta\lambda = 1,2 \text{ nm},$$

$$R = 491.$$

Pomocí vztahu (4) spočteme teoretickou rozlišovací schopnost

$$R_{teorie} = 8897 \pm 16.$$

#### Úkol 4

V tabulce 1 jsou uvedeny naměřené hodnoty úhlových poloh spektrálních čar rtuťové výbojky společně s vypočítanými hodnotami vlnových délek a teoretických vlnových délek získaných z tabulky v praktiku. Chyba  $\psi_1$  a  $\psi_2$  byla odhadnuta jako výše.

$\psi_1$ [°]	$\psi_2$ [°]	$\varphi$ [°]	$\lambda$ [nm]	$\sigma_\lambda$ [nm]	$\lambda_{teorie}$ [nm]	barva
14,65	-13,52	14,08	403,7	0,7	404,7	fialová
14,80	-13,67	14,23	407,9	0,7	407,8	fialová
15,75	-14,63	15,19	434,7	0,8	433,9	modrá
15,77	-14,65	15,21	435,2	0,8	434,8	modrá
15,78	-14,67	15,23	435,7	0,8	435,8	modrá
17,80	-16,65	17,23	491,3	0,9	491,6	modrozelená
19,75	-18,67	19,21	545,8	1,0	546,1	zelená
20,88	-19,80	20,34	576,7	1,0	577,0	žlutá
21,00	-19,87	20,43	579,2	1,0	579,1	žlutá
22,01	-20,98	21,50	608,0	1,1	607,3	červená
22,23	-21,15	21,69	613,2	1,1	612,3	červená
22,63	-21,58	22,11	624,4	1,1	623,4	červená
24,37	-23,35	23,86	671,0	1,2	671,6	červená
25,08	-24,13	24,61	690,8	1,2	690,7	červená

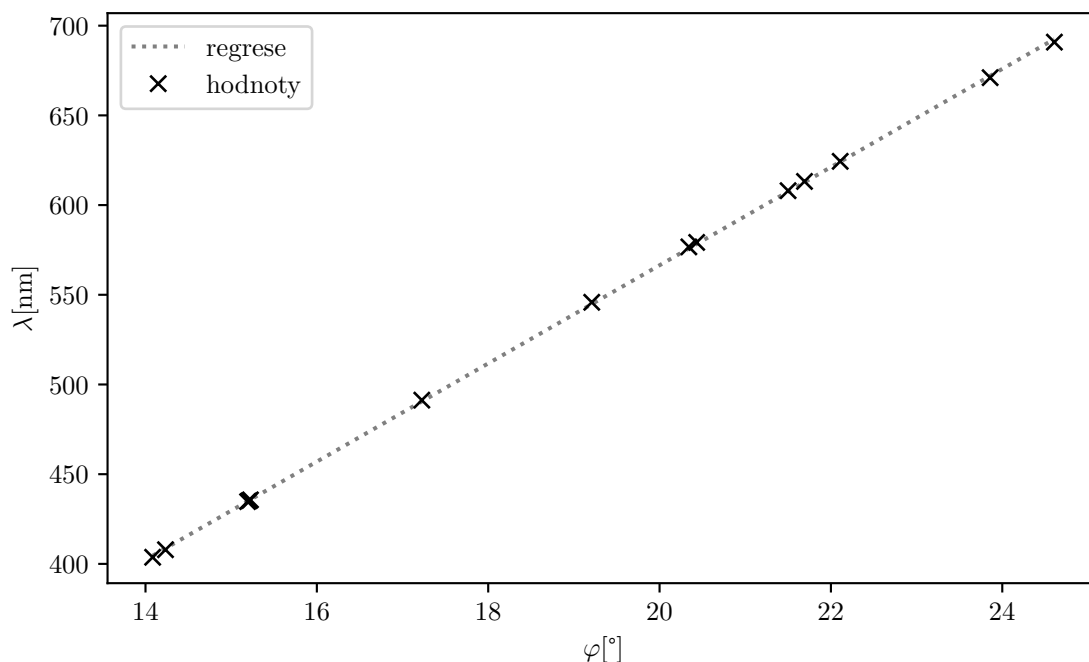
Tabulka 1: Naměřené a spočtené hodnoty pro zjištění poloh interferenčních proužků

#### Úkol 5

Kalibrační křivka byla sestavena s pomocí hodnot z tabulky 1. Hodnoty byly proloženy přímkou  $\lambda = A\varphi + B$ .

$$A = 27,36 \pm 0,07,$$

$$B = 19 \pm 1.$$



Obrázek 2: Kalibrační křivka spektrometru

## Úkol 6

Pomocí hodnot úhlů  $\varphi$  žlutého dubletu rtuťové výbojky z tabulky 1 (přepočítaných na radiány) a vztahu (6) spočteme úhlovou disperzi spektrometru v prvním řádu

$$D_a = (7 \pm 10) \times 10^5 \text{ m}^{-1},$$

protože však při výpočtu odečítáme velmi blízké hodnoty s nezanedbatelnou chybou, relativní chyba této veličiny převyšuje číslo 1 a činí tak tento výpočet zbytečným. Teoretickou hodnotu spočteme pro aritmetický průměr poloh dubletu podle (5),

$$D_{a,\text{teorie}} = (6,43 \pm 0,01) \times 10^5 \text{ m}^{-1}.$$

Relativní chyba je 0,1 %.

## Diskuse

Až na polohu prvního fialového proužku všechny interferenční proužky odpovídají v rámci chyby teoretickým hodnotám z tabulky v praktiku. Během měření byly pozorovány také spektrální čáry v oblasti modrozeleného a žlutého spektra, které v této tabulce nebyly uvedeny, nebyl na ně však brán zřetel.

Jak již bylo řečeno výše, u této úlohy je významná skutečnost, že rozlišovací schopnost spektrometru jako takového se nemůže měřit s rozlišovací schopností optickou. Toto odráží zvolené hodnoty chyb. Z grafu 2 lze vyčíst, že kalibrační křivkou spektrometru je téměř dokonalá přímka, závislost úhlu na vlnové délce tedy není nijak deformovaná.

## Závěr

Spektrometr byl seřízen podle návodu.

Z měření sodíkového dubletu byla získána mřížková konstanta

$$a = (1,659 \pm 0,003) \mu\text{m}.$$

Byla odhadnuta rozlišovací schopnost spektrometru v prvním řádu

$$R = 491.$$

Byly proměřeny spektrální čáry rtuťové výbojky. Z naměřených hodnot byly spočítány odpovídající vlnové délky. Následně byla vytvořena kalibrační křivka spektrometru.

Byla spočtena teoretická hodnota úhlové disperze ve žluté oblasti spektra

$$D_{a,teorie} = (6,43 \pm 0,01) \times 10^5 \text{ m}^{-1}.$$

Hodnota vypočtená z naměřených hodnot je bezvýznamná kvůli vysoké relativní chybě.

## Reference

- [1] Pokyny k měření “Mřížkový spektrometr”, dostupné z [http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/pokyny/mereni\\_303.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_303.pdf), 11. 4. 2018