

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Jan Beran

Naměřeno: 3. prosince 2018

Obor: UF

Skupina: F3240/01

Testováno:

Úloha . 11: Interference a difrakce světla

$$T = 22,9\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$p = 987\text{ hPa}$$

$$\varphi = 38,9\text{ \%}$$

Poznámka: Z důvodu časového bylo místo povinné části měřena další nepovinná část.

1. Povinně volitelná varianta A: Newtonova skla

- Sestavte přípravek s čočkou a deskou, vložte jej do objektivu mikroskopu, zaostřete interferenční proužky a umístěte střed kroužků do středu zorného pole mikroskopu, ověřte funkci měřicího okuláru a případně zostřete stupnici čočkou okuláru.
- Osvětlete vzorek diodu LED (je napájena přes regulační odpor z baterie o napětí 4,5 V) a proměřte průměry všech kroužků v rozsahu stupnice. Určete vlnovou délku LED.)
- Z výsledků měření 1 a 2 určete průměr a Hertzovy skvrny.

1.1. Teorie

K měření vlnové délky světla se využívá interferenční jev na tenké vzduchové mezeře mezi rovinnou skleněnou deskou a čočkou ($R = 80\text{ mm}$) na ni položenou. V tomto případě je místo rovinné desky použita druhá čočka. V prošlém světle pak vidíme střídající se tmavé a světlé kroužky s rostoucím poloměrem r . Těmto kroužkům říkáme Newtonovi kroužky. Na styku čoček dojde k nepatrné deformaci a z bodového kontaktu vznikne kruhová ploška tzv. Hertzova skvrna, jejíž poloměr je $a/2$.

Pakliže mají obě čočky stejné poloměry křivosti (jak je tomu v našem případě), změní se na dvojnásobek velikost vzduchové mezery l a dráhový rozdíl interferujících paprsků bude vyjádřen jako:

$$D = 4l + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Poloměr k -tého tmavého proužku bude dán:

$$r_k^2 = \frac{1}{2}\lambda Rk + \frac{a^2}{4}, \quad (2)$$

kde a je poloměr Hertzovy skvrny.

Z rovnice (2) vyplývá, že druhá mocnina poloměru tmavého kroužku je lineární funkcí řádu minima k . Vyneseme-li závislost (2) do grafu, získáme rovnici:

$$Y = A + B \cdot k, \quad (3)$$

kde $Y = r_k^2$ a $X = k$ a $A = \frac{a^2}{4}$ a $B = \frac{\lambda R}{2}$, z čehož můžeme určit vlnovou délku a poloměr Hertzovy skvrny jako:

$$\lambda = \frac{B}{R} \quad (4)$$

$$\frac{a}{2} = \sqrt{A} \quad (5)$$

Vlnovou délku z poloměrů Newtonových kroužků určíme jako:

$$\lambda = 2 \cdot \frac{r_k^2 - r_n^2}{R(k - n)} \quad (6)$$

Přičemž platí:

$$r' = \frac{d' - d''}{2} \quad (7)$$

$$r = \frac{r'}{Z_x} \quad (8)$$

kde d' a d'' jsou polohy dvou bodů kroužku, jimiž pakliže vedeme přímku, ona přímka bude procházet středem Hertzovy skvrny.

Zvětšení mikroskopu je v tomto případě $Z_x = 8,61$ dílků/mm

1.2. Postup měření

Změřil jsem polohy Newtonových kroužků, jak pro žlutou, tak pro modrou LED diodu.

1.3. Naměřené hodnoty

Tabulka 1: Naměřené hodnoty poloh Newtonových kroužků pro sodíkovou výbojku.

	1	2	3	4
d'	7,39	6,87	6,25	5,43
d''	0,02	0,58	1,17	1,92

Tabulka 2: Naměřené hodnoty poloh Newtonových kroužků pro modrou LED diodu.

	1	2	3	4
d'	7,07	6,64	6,01	5,39
d''	2,08	1,37	0,76	0,38

1.4. Zpracování měření

Tabulka 3: Vypočtené hodnoty r'_m pro NA výbojku.

r'_1	r'_2	r'_3	r'_4
4,6550	4,0200	3,4150	2,7250

Tabulka 4: Vypočtené hodnoty r'_m pro modrou LED diodu.

r'_1	r'_2	r'_3	r'_4
4,575	4,005	3,385	2,885

Tabulka 5: Vypočtené hodnoty r_m pro NA výbojku.

r_1 [mm]	r_2 [mm]	r_3 [mm]	r_4 [mm]
0,54	0,47	0,40	0,32

Tabulka 6: Vypočtené hodnoty r_m pro modrou LED diodu.

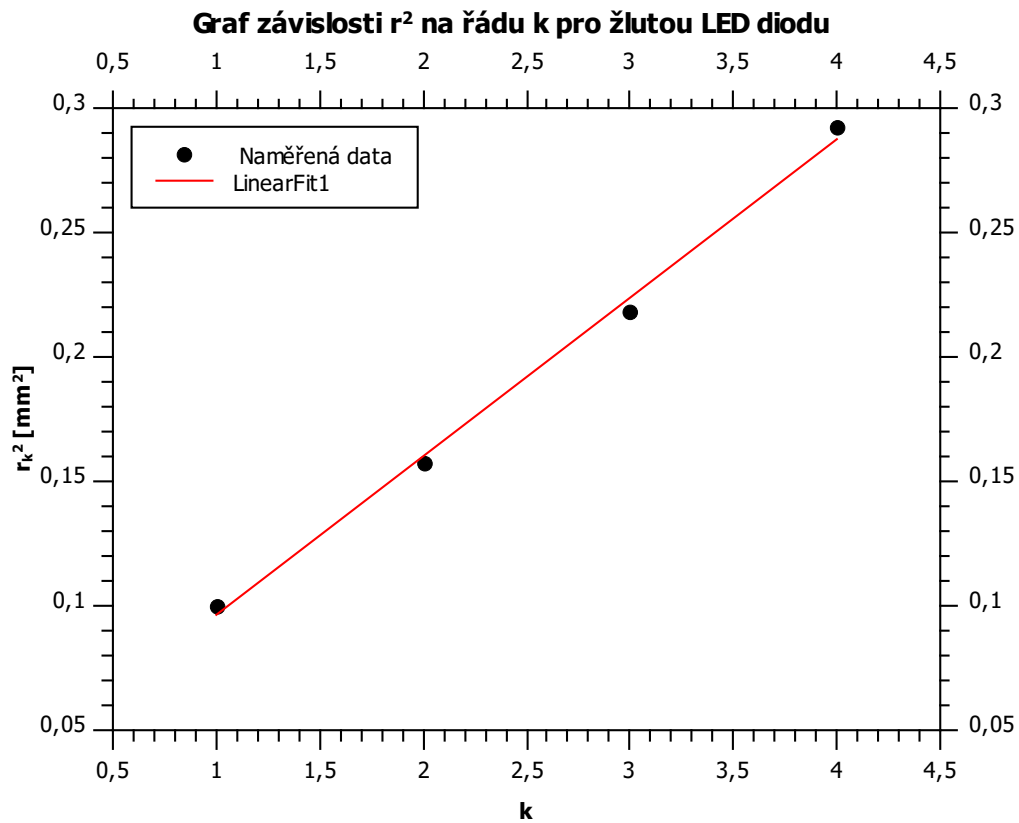
r_1 [mm]	r_2 [mm]	r_3 [mm]	r_4 [mm]
0,531	0,465	0,393	0,335

Tabulka 7: Vypočtené hodnoty r_k^2 pro NA výbojku.

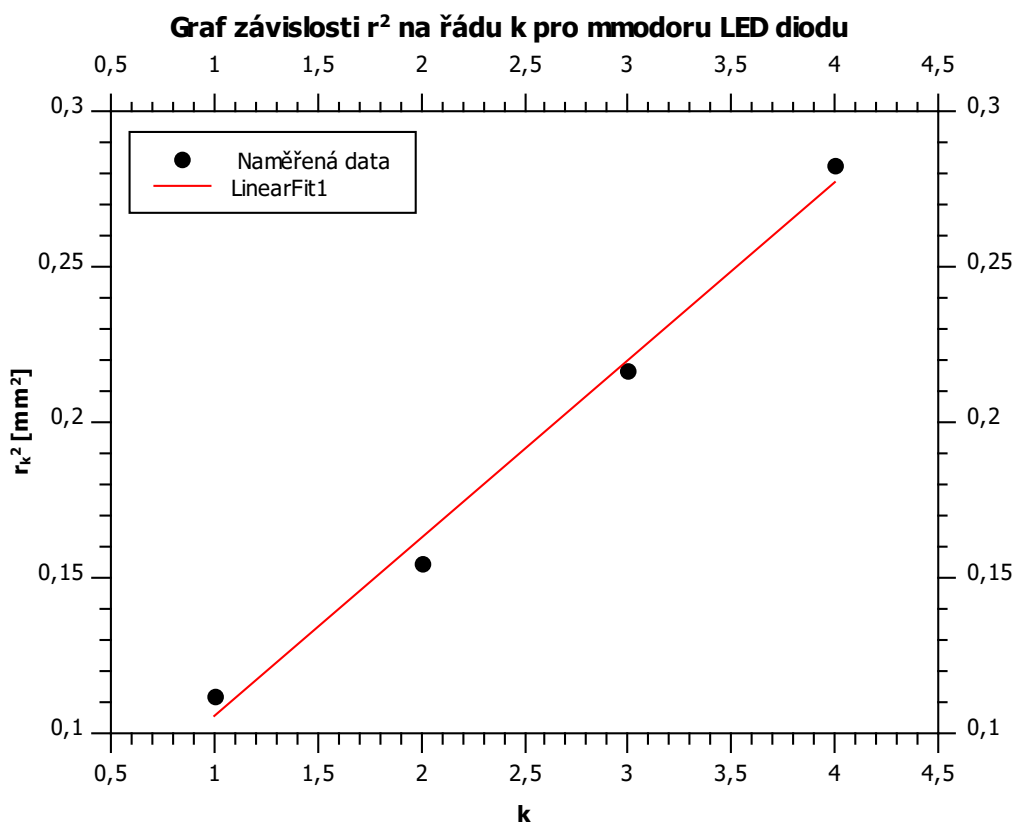
r_1^2 [mm ²]	r_2^2 [mm ²]	r_3^2 [mm ²]	r_4^2 [mm ²]
0,292	0,217	0,157	0,100

Tabulka 8: Vypočtené hodnoty r_k^2 pro NA LED diodu.

r_1^2 [mm ²]	r_2^2 [mm ²]	r_3^2 [mm ²]	r_4^2 [mm ²]
0,282	0,216	0,154	0,112



Obrázek 1: Graf závislosti r_k^2 na řádu k pro sodíkovou výbojku a tato data jsou proložena lineární regresí.



Obrázek 2: Graf závislosti r_k^2 na řádu k pro modrou LED diodu a tato data jsou proložena lineární regresí.

Vlnová délka a poloměr Hertzovy skvrny pro modrou LED diodu:

$$\lambda = (800 \pm 38) \text{ nm} \qquad \frac{a}{2} = (0,18 \pm 0,09) \text{ mm}$$

Vlnová délka a poloměr Hertzovy skvrny pro žlutou LED diodu:

$$\lambda = (713 \pm 50) \text{ nm} \qquad \frac{a}{2} = (0,22 \pm 0,06) \text{ mm}$$

2. Povinně volitelná varianta B: Difrakce světla na mřížce

- Pozorujte difrakční jev na stínítku a vzdálenost x nastavte tak, aby bylo možno pozorovat dvě difrakční maxima po obou stranách stopy primárního svazku. Změřte polohu všech maxim a měření opakujte pro různé hodnoty x . Stejně měření proveďte pro druhou mřížku.
- Určete u obou mřížek vzdálenost vrypů d a jejich hustotu N . Zjištěné hodnoty porovnejte s hodnotami uvedenými výrobcem mřížek. Vlnovou délku He-Ne laseru určete např. z tabulek.

2.1. Teorie

Difrakční mřížka na průchod je planoparalelní skleněná destička s velkým počtem tenkých, navzájem rovnoběžných a stejně vzdálených vrypů. Mezerami mezi vrypy prochází světlo beze změny směru. Na vrypech je světlo difraktováno. Osvětíme-li takovou mřížku, jako je na obrázku ??, rovnoběžným svazkem paprsků s vlnovou délkou λ , stávají se vrypy podle Huygensova principu zdrojem elementárních rozruchů a šíří se do všech směrů. Interferencí se však zesilují pouze v určitém směru. Pozorujeme-li světlo prošlé mřížkou dalekohledem zaostřeným na nekonečno, protnou se paprsky vystupující ze všech štěrbin pod týmž úhlem α v ohniskové rovině objektivu. Ale nestřetnou se se stejnou fází, a proto

monochromatické světlo vytvoří se směrech, které jsou dány úhly $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ maxima. Pro tyto úhly bude platit:

$$\sin \alpha_m = \frac{m\lambda}{d}, \quad (9)$$

kde d je vzdálenost vrypů.

Z obrázku 3 vyplývá vztah pro α_m :

$$\sin \alpha_m = \frac{y_m}{\sqrt{y_m^2 + x^2}} \quad m = 1, 2, \dots \quad (10)$$

kde x je vzdálenost stínítka od mřížky.

Spojením vztahů (9) a (10) lze vypočítat vzdálenost vrypů jako:

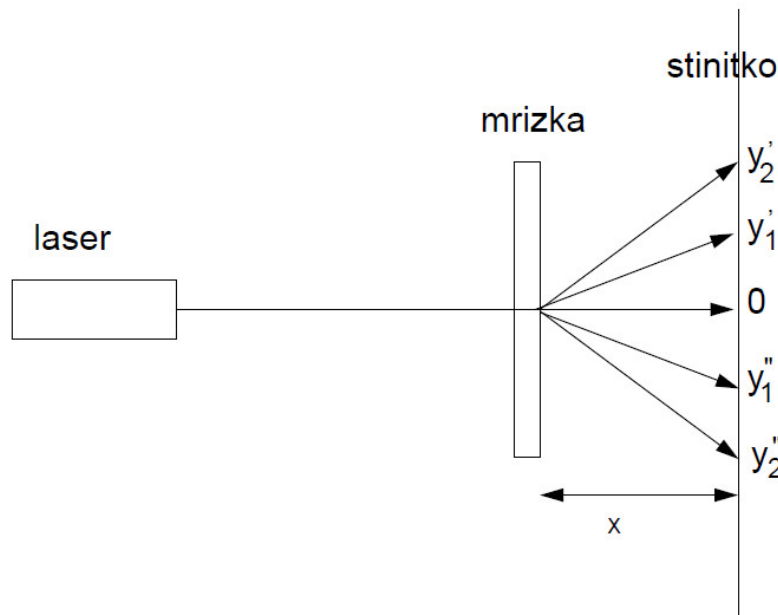
$$d = m\lambda \frac{\sqrt{y_m^2 + x^2}}{y_m} \quad (11)$$

Odchylku na stínítku spočteme jako:

$$y_m = \frac{y'_m + y''_m}{2} \quad (12)$$

Z čehož nakonec určíme hustotu vrypů jako:

$$N = \frac{1}{d} \quad (13)$$



Obrázek 3: Schéma měření s difrakční mřížkou na průchod.

2.2. Postup měření

Měřil jsem podle schématu na obrázku 3. Měření jsem prováděl pro difrakční mřížky a pro každou z oněch difrakčních mřížek jsem nastavil tři různé vzdálenosti stínítka, tedy polohu x . Pro každou tuto polohu jsem naměřil vzdálenost všech řádů maxim, která byla vidět na stínítku. Hodnoty jsem zapsal do tabulek 9 a 10.

Tabulka 9: Naměřené hodnoty vzdáleností pro mřížku (300/mm).

x [cm]	y'_4 [cm]	y'_3 [cm]	y'_2 [cm]	y'_1 [cm]	y_0 [cm]	y''_1 [cm]	y''_2 [cm]	y''_3 [cm]	y''_4 [cm]
45,0			8,7	7,6	0,0	7,8	8,5		
35,0		8,2	6,2	5,7	0,0	5,6	6,4	8,4	
25,0	9,2	5,5	4,2	3,7	0,0	3,7	4,1	5,5	9,2

Tabulka 10: Naměřené hodnoty vzdáleností pro mřížku (600/mm).

x [cm]	v'_{y2} [cm]	v'_{y1} [cm]	v_{y0} [cm]	v''_{y1} [cm]	v''_{y2} [cm]
25,0	15,0	8,1	0,0	8,8	14,9
20,0	11,0	6,0	0,0	6,2	10,9
15,0	7,0	3,9	0,0	3,9	7,0

2.3. Naměřené hodnoty

2.4. Zpracování měření

Vlnová délka He-Ne laseru je 632,8 nm.

Nejistotu měření vzdálenosti vrypů jsem definoval jako 0.1 cm.

Tabulka 11: Vypočtené hodnoty y_m (300 mm).

x [cm]	y'_4 [cm]	y'_3 [cm]	y'_2 [cm]	y'_1 [cm]	y_0 [cm]	y''_1 [cm]	y''_2 [cm]	y''_3 [cm]	y''_4 [cm]
45			16,3	7,6	0	7,8	16,3		
40		20,1	11,9	5,7	0	5,6	12	20,4	20,4
35	22,6	13,4	7,9	3,7	0	3,7	7,8	13,3	22,5

Tabulka 12: Vypočtené hodnoty y_m (600).

x [cm]	y'_2 [cm]	y'_1 [cm]	y_0 [cm]	y''_1 [cm]	y''_2 [cm]
25	23,1	8,1	0	8,8	23,7
20	17	6	0	6,2	17,1
15	10,9	3,9	0	3,9	10,9

Tabulka 13: Vypočtené hodnoty vzdáleností d .

x [cm]	d_1 [cm]	d_2 [cm]	d_3 [cm]	d_4 [cm]
45	3748,85	3713,09		
35	3967,48	3913,66	3787,68	
25	4318,70	4221,13	4026,87	3776,02
25	1974,62	1850,51		
20	2167,33	1949,22		
15	2512,70	2151,16		

Výsledné hodnoty vzdálenosti vrypů d a hustoty vrypů N pro jednotlivé mřížky jsou:

$$d_{300} = (3900 \pm 200) \text{ nm} \quad (14)$$

$$d_{600} = (2100 \pm 200) \text{ nm} \quad (15)$$

$$N_{300} = (250 \pm 13) \text{ mm}^{-1} \quad (16)$$

$$N_{600} = (477 \pm 50) \text{ mm}^{-1} \quad (17)$$

3. Závěr

U varianty jsem měl spočít vlnovou délku a poloměr Hertzovy skvrny pro dvě diody (modrou a žlutou) pomocí Newtonových skel. Vlnová délka modré diody vyšla $(800 \pm 38) \text{ nm}$ a žluté LED diody $(713 \pm 50) \text{ nm}$. Tento výsledek je zcela mimo tabulkové hodnoty vlnových délek modrých a žlutých diod. Měření tedy muselo být zatíženou nějakou hrubou chybou. Velikosti Hertzovy skvrny ovšem nemám s čím porovnat.

U varianty B jsem měřil vzdálenosti vrypů d a hustotu vrypů N na mřížkách, které měli mít hustou 300 a 600 vrypů na milimetr. Moje naměřené hodnoty byly $d_{300} = (3900 \pm 200) \text{ nm}$, $d_{600} = (2100 \pm 200) \text{ nm}$, $N_{300} = (250 \pm 13) \text{ mm}^{-1}$, $N_{600} = (477 \pm 50) \text{ mm}^{-1}$. Z těchto hodnot je jasně vidět, že toto měření nebylo dostatečně přesné. Bohužel není zcela jasné proč.