

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 2

**Zpracoval:** Tomáš Plšek

**Naměřeno:** 31. října 2017

**Obor:** Astrofyzika    **Ročník:** II    **Semestr:** III

**Testováno:**

---

### Úloha č. 11: Interference a difrakce světla

Povinná část:

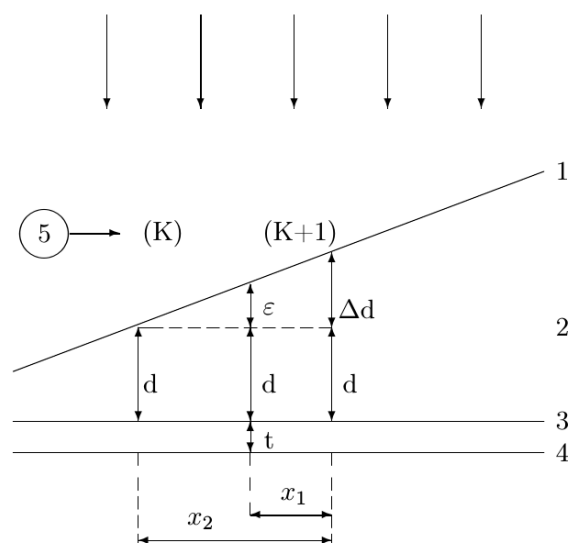
1. Nastavte v zorném poli mikroskopu 5 - 10 interferenčních proužků.
2. Pro tři různé počty proužků proměřte interferenční obrazec.
3. Stanovte hodnotu tloušťky tenké vrstvy.

Povinně volitelná část:

1. Pozorujte na stínítku difrakční jev a vzdálenost  $x$  nastavte tak, aby bylo možno pozorovat dvě difrakční maxima po obou stranách stopy primárního svazku. Změřte polohu maxim a měření opakujte pro tři různé polohy  $x$ .
2. Určete u obou mřížek vzdálenost vrypů  $d$ .

## 1. Teoretický úvod

Pro měření tloušťky tenké vrstvy (v rozmezí  $10^1$  až  $10^2$  nm) se nejčastěji využívá metoda Tolanského. Tato metoda je založena na vícepaprskové iterferenci monochromatického světla na vzduchové mezeře mezi měřeným vzorkem a polopropustným zrcadlem. Na systém dopadají téměř kolmo rovnoběžné paprsky a interferují na vzduchové mezeře, což má za následek vznik interferenčních proužků v zorném poli mikroskopu.



Obrázek 1: Vznik interferenčních obrazců na klínové vzduchové mezeře.

Pro vrstvu bez vrypu platí:

$$2d = K \lambda \quad 2(d + \Delta d) = (K + 1) \lambda, \quad (1)$$

kde  $K$  je interferenční řád a z toho vyplývá:

$$\Delta d = \frac{\lambda}{2}. \quad (2)$$

Pro vrstvu s vrypem platí:

$$2(d + \Delta d) = (K + 1) \lambda \quad 2(d + \epsilon + t) = (K + 1) \lambda, \quad (3)$$

z čehož plyne:

$$t = \Delta d - \epsilon, \quad (4)$$

kde  $t$  je hledaná tloušťka vrstvy.

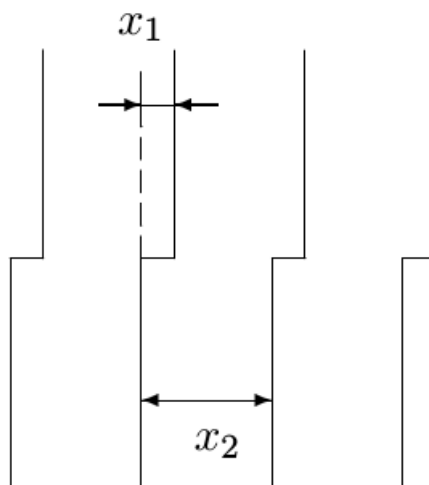
Z podobnosti trojúhelníků plyne:

$$\frac{\epsilon}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta d}{x_2} \quad \longrightarrow \quad \epsilon = \Delta d \frac{x_2 - x_1}{x_2}. \quad (5)$$

Po dosazení tedy získáváme:

$$t = \frac{x_1}{x_2} \frac{\lambda}{2}. \quad (6)$$

Při měření pouze odečítáme polohy interferenčních proužků, z nichž následně určíme hodnoty  $x_1$  a  $x_2$  (obrázek 2).



Obrázek 2: Obraz interferenčních proužků v zorném poli mikroskopu.

### 1.1. Difrakce světla na mřížce

Difrakční mřížka je planoparalelní skleněná destička s velkým počtem tenkých rovnoběžných vrypů, na nichž dochází k difrakci světla. Pozorujeme-li světlo prošlé mřížkou dalekohledem zaostřeným na nekonečno, protnou se paprsky vystupující ze všech šterbin pod týmž úhlem  $\alpha$  v ohniskové rovině objektivu. Tyto paprsky se však nesetkávají se stejnou fází. Vzdálenost středů dvou sousedních šterbin označíme jako  $d$  a paprsky tedy mají dráhový rozdíl  $d \sin \alpha$  a platí:

$$\delta = d \sin \alpha = m \lambda, \quad (7)$$

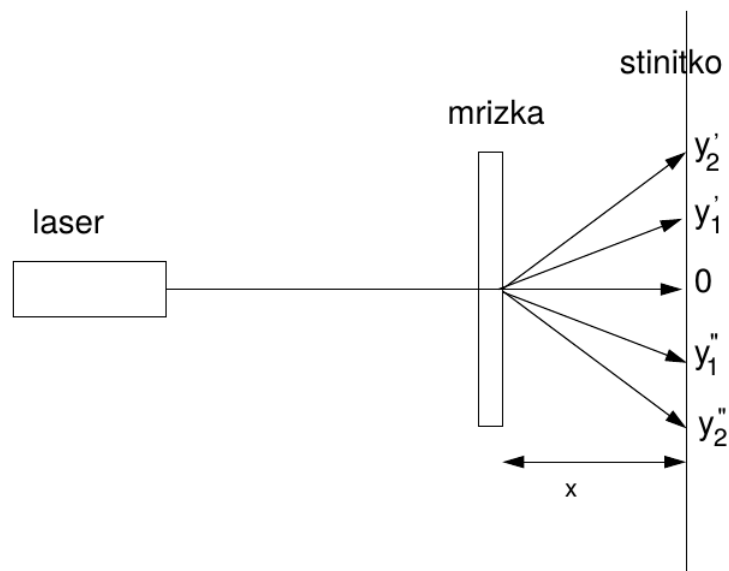
kde  $m$  je řád maxima a  $\lambda$  je vlnová délka He-Ne laseru ( $\lambda = 633 \text{ nm}$ ). Monochromatické světlo tedy vytvoří maxima ve směrech  $\alpha_1, \alpha_2 \dots$  Pro tyto úhly platí:

$$\sin \alpha_1 = \lambda / d, \sin \alpha_2 = 2\lambda / d, \dots \quad (8)$$

Ze znalosti vzdálenosti mřížky od stínítka a odchylek prvního a druhého řádu maxima (obrázek 3) jsme schopni určit úhel  $\alpha$ :

$$y_1 = \frac{y'_1 + y''_1}{2} \quad y_2 = \frac{y'_2 + y''_2}{2} \quad (9)$$

$$\sin \alpha_m = \frac{y_m}{\sqrt{y_m^2 + x^2}}. \quad (10)$$



Obrázek 3: Schéma měření s difrakční mřížkou.

## 2. Měření

### 2.1. Interferenční obrazec

Pomocí mikroskopu s odečítacím okulárem jsem naměřil polohy čar pro tři různé náklony a vypočítal pro ně velikosti  $x_1$  a  $x_2$ . Ze znalosti vlnové délky použitého monochromatického světla  $\lambda = 589$  nm jsem následně ze vztahu (6) určil tloušťku tenké vrstvy.

Tabulka 1: Polohy interferenčních prožků.

$x'_{L_1}$	$x'_{P_1}$	$x'_{L_2}$	$x'_{P_2}$	$x'_{L_3}$	$x'_{P_3}$
2,07	2,42	1,76	2,18	1,85	2,27
2,67	2,98	2,48	2,94	2,67	3,16
3,21	3,54	3,23	3,66	3,49	4,01
3,84	4,18	4,01	4,42	4,37	4,85
4,39	4,71	4,74	5,16	5,18	5,69
5,05	5,33	5,47	5,91	6,04	6,53
5,58	5,91	6,21	6,66	6,90	7,35
6,14	6,46	6,98	7,38		
6,77	7,11	7,67	8,13		
7,33	7,64				

Tabulka 2: Určení velikostí  $x_1$  a  $x_2$  z hodnot z tabulky 1.

$x_1^1$	$x_2^1$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_1^3$	$x_2^3$
0,35	0,56	0,42	0,76	0,42	0,89
0,31	0,56	0,46	0,72	0,49	0,85
0,33	0,64	0,43	0,76	0,52	0,84
0,34	0,53	0,41	0,74	0,48	0,84
0,32	0,62	0,42	0,75	0,51	0,84
0,28	0,58	0,44	0,75	0,49	0,82
0,33	0,55	0,45	0,72	0,45	
0,32	0,65	0,40	0,75		
0,34	0,53	0,46			
0,31					

1. poloha:  $x_1 = 0,32 \pm 0,02$ ,  $x_2 = 0,58 \pm 0,01$ ,  $t = (163 \pm 6)$  nm.

2. poloha:  $x_1 = 0,43 \pm 0,01$ ,  $x_2 = 0,74 \pm 0,01$ ,  $t = (171 \pm 4)$  nm.

3. poloha:  $x_1 = 0,48 \pm 0,02$ ,  $x_2 = 0,84 \pm 0,01$ ,  $t = (167 \pm 5)$  nm.

Tloušťka vrstvy  $t = (167 \pm 7)$  nm.

## 2.2. Měření vzdálenosti vrypů

Z měření poloh paprsků prvního a druhého řádu na stínítku určíme odchylku paprsků v závislosti na vzdálenosti mřížky od stínítka. Následně ze získaných hodnot určíme vzdálenost vrypů  $d$  a také jejich hustotu na jeden milimetr  $N$ .

Tabulka 3a: Ochylky paprsků prvního a druhého řádu ( $N = 600$  vr./mm).

$x$ [cm]	$y_1$ [cm]	$y_2$ [cm]	$d_1$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_2$ [ $\mu\text{m}$ ]
20,50	8,15	23,60	$1,71 \pm 0,02$	$1,684 \pm 0,005$
17,00	6,70	19,10	$1,73 \pm 0,02$	$1,695 \pm 0,006$
13,00	5,10	14,45	$1,73 \pm 0,03$	$1,703 \pm 0,008$

Vzdálenost středů vrypů  $d_1 = (1,71 \pm 0,03) \mu\text{m}$ .

Hustota vrypů  $N_1 = (590 \pm 10)$  vr./mm.

Tabulka 3b: Ochylky paprsků prvního a druhého řádu ( $N = 300$  vr./mm).

$x$ [cm]	$y_1$ [cm]	$y_2$ [cm]	$d_1$ [ $\mu\text{m}$ ]	$d_2$ [ $\mu\text{m}$ ]
50,00	9,50	20,15	$3,39 \pm 0,02$	$3,39 \pm 0,01$
45,00	8,50	18,15	$3,41 \pm 0,03$	$3,38 \pm 0,01$
40,00	7,55	16,10	$3,41 \pm 0,03$	$3,39 \pm 0,01$

Vzdálenost středů vrypů  $d_2 = (3,40 \pm 0,04) \mu\text{m}$ .

Hustota vrypů  $N_2 = (294 \pm 3)$  vr./mm.

## 3. Závěr

Pro tři různé náklony (počty interferenčních proužků) jsem určil tloušťku tenké vrstvy  $t = (167 \pm 7)$  nm.

Pro dvě mřížky s různou hustotou vrypů jsem určil vzdálenost středů dvou sousedních vrypů a následně i hustotu vrypů. Pro první mřížku jsem získal hodnotu  $d_1 = (1,71 \pm 0,03) \mu\text{m}$  a  $N_1 = (590 \pm 10)$  vr./mm a pro druhou mřížku hodnotu  $d_2 = (3,40 \pm 0,04) \mu\text{m}$  a  $N_2 = (294 \pm 3)$  vr./mm. Hustoty mřížek se docela shodují s hodnotami udávanými výrobcem - pro první hodnotu 600 vr./mm a pro druhou 300 vr./mm.