

FYZIKÁLNE PRAKTIKUM

Spracoval: Vladimír Domček

Namerané: 28.11.2012

Obor: Astrofyzika **Ročník:** II **Semester:** III

Testované:

Úloha č. 11: Interferencia a difrakcia svetla

$$T = 22,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p = 971 \text{ hPa}$$

$$\varphi = 30 \text{ \%}$$

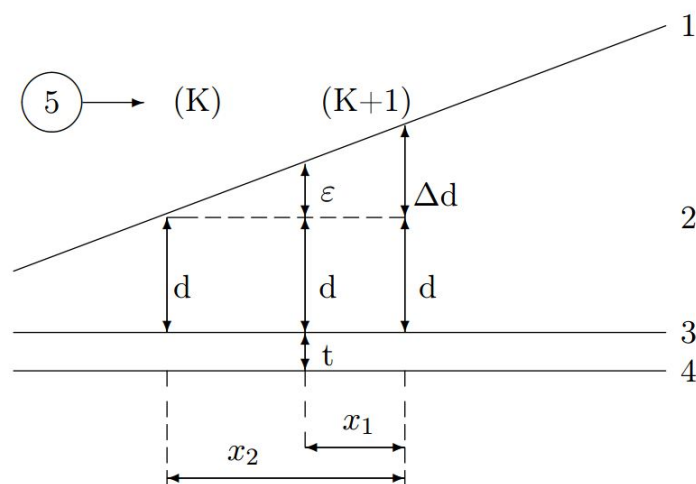
1. Zadanie

- Meranie hrúbky tenkej vrstvy Tolanského metódou
- Difrakcia svetla na mriežke

2. Teória

2.1. Meranie hrúbky tenkých vrstiev Tolanského metódou

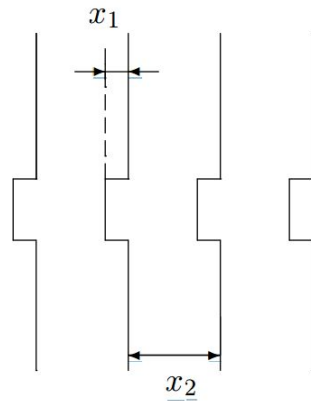
Metóda je založená na viacúčlovej interferencii svetla na vzduchovej medzere vytvorenej medzi meranou vzorkou a polopriepustným zrkadlom. Medzi vzorkou a zrkadlom sa vytvorí klinová medzera s malým uhlom klinu. Celý tento systém sa potom osvetlí monochromatickým svetlom s vlnovou dĺžkou λ (obr.1).



Obr.1 Vznik interferenčných prúžkov na klinovej vzduchovej mezere.

(1) - polopriepustné zrkadlo, (2) - vzduchová medzera, (3) - horná plocha vrypu, (4) - spodná plocha vrypu, (5) - interferenčný rád

V dôsledku interferencie na vzduchovej medzere sa s v zornom poli mikroskopu, ak je v uvažovanom systéme vryp, objavia tmavé pružky (obr. 2).



Obr.2 Schéma obrazu v mikroskope

Keďže ide o pružky rovnakej hrúbky, bude platiť:

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

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

Z toho pre hrúbku vrstvy t vyplýva:

$$t = \Delta d - \epsilon \quad (3)$$

Z podobnosti trojuholníkov na obr.1 vyplýva

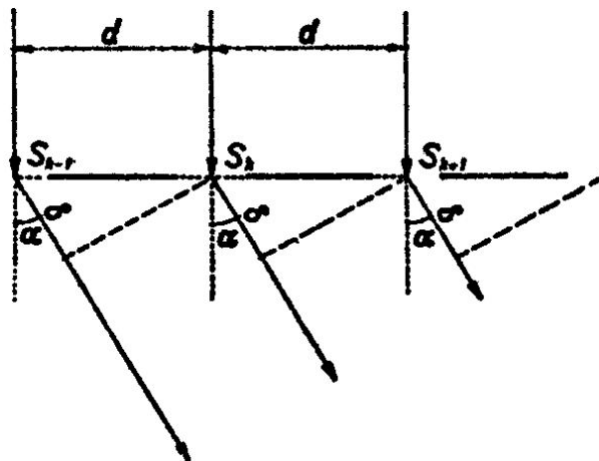
$$\frac{\epsilon}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta d}{x_2} \rightarrow \epsilon = \Delta d \frac{x_2 - x_1}{x_2} \quad (4)$$

Po dosadení a úprave:

$$t = \frac{x_1 \lambda}{x_2 2} \quad (5)$$

2.2. Difrakcia svetla na mriežke

Difrakčná mriežka je planoparalelná sklenená doštička s veľkým počtom tenkých, navzájom rovnobežných a rovnako vzdialených vrypov. Medzerami medzi vrypami prechádza svetlo bez zmeny smeru, na vrypoch sa difraktuje. Pri osvetlení takejto mriežky rovnobežným zväskom paprskov s vlnovou dĺžkou λ sa vryp stávajú podľa Higinsoho princípu zdrojom elementárnych rozruchov a šíria sa do všetkých smerov. Interferenciou sa však zosilujú iba v určitom smere.



Obr.3 Schéma merania s difrakčnou mriežkou

Z obr.3 je zrejme, že sa tieto paprsky nestretávajú s rovnakou fázou. Ak označíme S_k a S_{k+1} stredmi dvoch susedných štrbín, potom ich vzdialenosť d sa nazýva mriežková konštanta a ich stredné paprsky majú dráhový rozdiel $d \cdot \sin \alpha$. Ak spĺňa dráhový rozdiel δ podmienku:

$$\delta = d \cdot \sin \alpha = m\lambda \quad (6)$$

zosilňujú sa stredné paprsky vychádzajúce zo všetkých štrbín.

Pretože vrypy na optickej mriežke sú orientované zvislo, budú difraktované zväzky odchýlené vodorovne vľavo a vpravo od primárneho zväzku. Ak označíme všeobecne vzdialenosť miesta dopadu priameho a difraktovaného paprsku ako y , bude platiť:

$$\sin \alpha_m = \frac{y_m}{\sqrt{y_m^2 + x^2}}, m = 1, 2, \dots \quad (7)$$

Odchylku paprskov na tienidle určíme ako priemer:

$$y_1 = \frac{y'_1 + y''_1}{2} \quad \text{a} \quad y_2 = \frac{y'_2 + y''_2}{2} \quad (8)$$

Dosadením (7) do (6) môžeme so znalosťou vlnovej dĺžky λ zistiť vzdialenosť vrypov d , resp. ich hustotu N .

3. Postup

3.1. Meranie hrúbky tenkých vrstiev Tolanského metódou

- nastavíme v zornom poli 5-10 interferenčných prúžkov
- zmeriame x_1, x_2
- nastavíme iný počet interferenčných prúžkov a opäť zmeriame x_1, x_2
- nájdeme si inú časť vzorku a celé meranie opakujeme

3.2. Difrakcia svetla na mriežke

- zapojíme He-Ne laser, ktorého lúč prechádza priamo optickou mriežkou a dopadá na tienidlo
- optickú sústavu nastavíme tak, aby sa na tienidle z milimetrového papiera objavili 2 interferenčné maximá a odmeriame ich v 10 polohách vzdialenosti mriežky od tienidla
- vymeníme optickú mriežku za druhú a celý pokus opakujeme
- dopočítame mriežkovú konštantu b

4. Meranie

4.1. Meranie hrúbky tenkých vrstiev Tolanského metódou

sodíková lampa: $\lambda = 589,3 \text{ nm}$

| x_1 | x_2 | $t \text{ [nm]}$ |
|-------|-------|------------------|
| 1,06 | 1,27 | 245,93 |
| 1,12 | 1,38 | 239,14 |
| 0,99 | 1,16 | 251,47 |
| 1,04 | 1,28 | 239,40 |
| 1,03 | 1,2 | 252,91 |
| 1,02 | 1,23 | 244,34 |

Tabulka 1: Poloha 1, meranie hrúbky vrypu č.1

Priemerná hodnota: $\bar{t}_{11} = (246 \pm 6) \text{ nm}$

| x ₁ | x ₂ | t [nm] |
|----------------|----------------|--------|
| 0,88 | 1,04 | 249,32 |
| 0,81 | 1,03 | 231,72 |
| 0,8 | 0,99 | 238,10 |
| 0,76 | 0,99 | 226,20 |
| 0,75 | 0,97 | 227,82 |
| 0,81 | 0,98 | 243,54 |
| 0,79 | 0,98 | 237,52 |

Tabulka 2: Poloha 1, meranie hrúbky vrypu č.2

Priemerná hodnota: $\bar{t}_{12} = (236 \pm 9)$ nm

| x ₁ | x ₂ | t [nm] |
|----------------|----------------|--------|
| 1,11 | 1,31 | 249,67 |
| 1,11 | 1,27 | 257,53 |
| 1,15 | 1,29 | 262,67 |
| 1,15 | 1,31 | 258,66 |
| 1,12 | 1,24 | 266,14 |

Tabulka 3: Poloha 2, meranie hrúbky vrypu č.1

Priemerná hodnota: $\bar{t}_{21} = (259 \pm 9)$ nm

| x ₁ | x ₂ | t [nm] |
|----------------|----------------|--------|
| 0,99 | 1,17 | 249,32 |
| 0,95 | 1,14 | 245,54 |
| 0,95 | 1,18 | 237,22 |
| 0,96 | 1,11 | 254,83 |
| 0,98 | 1,16 | 248,93 |
| 0,95 | 1,17 | 239,25 |

Tabulka 4: Poloha 2, meranie hrúbky vrypu č.2

Priemerná hodnota: $\bar{t}_{22} = (246 \pm 9)$ nm

4.2. Difrakcia svetla na mriežke

He-Ne laser: $\lambda = 632 \text{ nm}$

| x [cm] | y' [cm] | d [μm] | y'' [cm] | d [μm] |
|--------|---------|---------------------|----------|---------------------|
| 21,9 | 8,55 | 1,967 | 21,8 | 1,932 |
| 20,5 | 8 | 1,887 | 20,4 | 1,882 |
| 19 | 7,5 | 1,887 | 19 | 1,889 |
| 18 | 7 | 1,896 | 17,85 | 1,888 |
| 15,5 | 6,05 | 1,865 | 15,3 | 1,877 |
| 12,9 | 5,05 | 1,886 | 12,8 | 1,888 |
| 11,6 | 4,5 | 1,879 | 11,4 | 1,884 |
| 10,4 | 4 | 1,894 | 10,2 | 1,886 |
| 9,1 | 3,5 | 1,879 | 8,9 | 1,880 |
| 7,6 | 3 | 1,879 | 7,5 | 1,898 |

Tabulka 5: Meranie mriežkovej konštanty mriežky č.1

Priemerná hodnota: $\bar{d}_1 = (1,891 \pm 0,005) \mu\text{m}$

Hustota vrypov: $N_1 = 529 \text{ mm}^{-1}$

| x [cm] | y' [cm] | d [μm] | y'' [cm] | d [μm] |
|--------|---------|---------------------|----------|---------------------|
| 24,4 | 8,15 | 1,660 | 23,55 | 1,651 |
| 23,3 | 7,8 | 1,657 | 22,5 | 1,651 |
| 22,3 | 7,45 | 1,653 | 21,5 | 1,648 |
| 21,2 | 7,1 | 1,656 | 20,45 | 1,652 |
| 20,2 | 6,75 | 1,652 | 19,45 | 1,649 |
| 19,1 | 6,4 | 1,656 | 18,4 | 1,653 |
| 18 | 6,05 | 1,651 | 17,35 | 1,652 |
| 17 | 5,7 | 1,655 | 16,35 | 1,654 |
| 15,9 | 5,35 | 1,650 | 15,3 | 1,653 |
| 10,7 | 3,6 | 1,637 | 10,2 | 1,653 |

Tabulka 6: Meranie mriežkovej konštanty mriežky č.2

Priemerná hodnota: $\bar{d}_2 = (1,652 \pm 0,001) \mu\text{m}$

Hustota vrypov : $N_2 = 605 \text{ mm}^{-1}$

5. Záver

V prvej časti tejto úlohy sme merali hrúbku vrstvy pomocou Tolanského metódy. Merali sme na 2 miestach vzorku a vyšli nám nasledujúce hodnoty: $\bar{t}_{11} = (246 \pm 6) \text{ nm}$, $\bar{t}_{12} = (236 \pm 9) \text{ nm}$, $\bar{t}_{21} = (259 \pm 9) \text{ nm}$, $\bar{t}_{22} = (246 \pm 9) \text{ nm}$. Hodnoty sa nám začali prekrývať až pri intervale spoľahlivosti 98%.

V druhej časti sme merali hustotu vrypov na dvoch optických difrakčných mriežkach. Na prvej mriežke nám vyšla mriežková konštanta $\bar{d}_1 = (1,891 \pm 0,005) \mu\text{m}$ a hustota vrypov $N_1 = 529 \text{ mm}^{-1}$, pri druhej mriežke $\bar{d}_2 = (1,652 \pm 0,001) \mu\text{m}$ a hustota vrypov $N_2 \text{ mm}^{-1} = 605 \text{ mm}^{-1}$. Tieto hodnoty sú relatívne presné, kde pre druhú mriežku bola uvedená hodnota $N = 600 \text{ mm}^{-1}$.