

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM III

Úloha č.: 30

Název: Jednoduché aplikace interferenčních jevů

Vypracoval: Viktor Babjak.....stud. sk. F 11 dne: 23. 3. 2006

Odevzdal dne:

Hodnocení:

Připomínky:

- komentár ku *Meraniu hrúbky tenkej vrstvy*: „Ak chybu počítate (neodhadujete!), uvádzajte vzťah, z ktorého ste ju počítali a jeho úpravu (napr. derivácia funkcie,...) – týka sa úloh, kde je konkrétne stanovenie chýb priamo v pracovnej úlohe

kapitola referátu	možný počet bodů	udělený počet bodů
Teoretická část	0 - 3	3
Výsledky měření	0 - 10	9
Diskuse výsledků	0 - 4	4
Závěr	0 - 2	2
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	19

Posuzoval:.....

dne:.....

Pracovné úlohy:

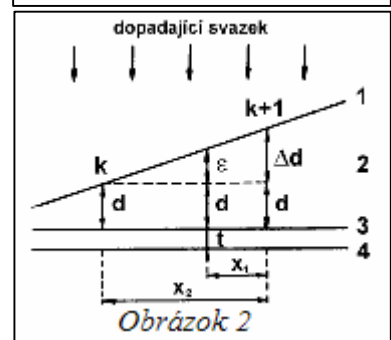
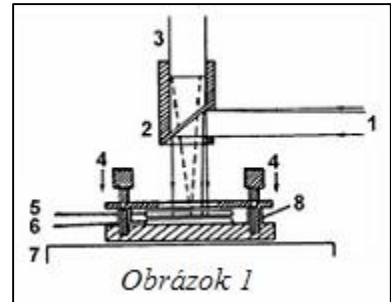
1. Zmerajte hrúbku tenkej vrstvy na dvoch rôznych miestach.
2. Vyhodnoťte získané hrúbky a diskutujte, či je vrstva v rámci chyby nepriameho merania na oboch miestach rovnako hrubá.
3. Okalibrujte stupnicu okuláru metódou postupných meraní.
4. Pomocou Newtonových interferenčných krúžkov zmerajte oba polomery krivosti dvoch vybraných šošoviek.
5. Chybu určenia polomerov krivosti stanovte z vhodne použitej lineárnej regresie.

Teoretická časť:

Meranie hrúbky Tolanského metódou

Tolanského metóda je založená na viacvzázkovej interferencii svetla na vzduchovej medzere vytvorenej medzi meranou vzorkou a polopriepustným zrkadlom. Meraná vzorka je pripravená tak, že na časti podložky je meraná vrstva odstránená (napr. vrypom). Potom sa tento systém naparením pokryje nepriepustnou (krycou) vrstvou kovu, ktorá dokonale reprodukuje vryp.

Meracia aparátúra je znázornená na obr. 1. Svetlo z monochromatického zdroja (1) dopadá na delič zväzku (2), polopriepustné zrkadlo (5) a potom na meranú vzorku (6). Medzi polopriepustným zrkadlom a vzorkou je vzduchová klinová medzera s malým uhlom klinu. Na tento systém dopadá takmer kolmo rovnobežný zväzok lúčov monochromatického svetla. Na vzduchovej medzere dochádza ku viacvzázkovej interferencii, a tak vznikajú pružky rovnakej hrúbky – bez prítomnosti vrypu by išlo o rovnobežné tmavé pružky s rovnakou vzdialenosťou x_2 (za predpokladu konštantnej hrúbky vrypu). Vo vrype dochádza ku posunu interferenčných pružkov oproti ich pozícii na vrstve – toto posunutie označujeme x_1 , vid' obr. 2. Pre hrúbku vrstvy t podľa týchto údajov platí, vid' [1]



$$t = \frac{x_1}{x_2} \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

kde λ je vlnová dĺžka použitého svetla. Takto určená hrúbka je jednoznačne určená, ak platí $t < \frac{\lambda}{2}$.

Polomery krivosti šošoviek

Meranie je založené na Newtonových krúžkoch, ktoré sú spôsobené interferenciou svetla na tenkej vzduchovej vrstve medzi dvoma dotýkajúcimi sa povrchmi – z nich jeden alebo oba povrchy môžu byť zakrivené. Newtonove krúžky realizujeme tak, že na sklenenú rovinnú dosku položíme šošovku s polomerom krivosti R . Medzi šošovkou a doskou vzniká tenká vzduchová vrstva, ktorej hrúbka sa spojitاً mení. Miesta s rovnakou hrúbkou vyplňajú kružnice so stredom v bode dotyku šošovky s doskou. Pre polomer ρ_k tmavého krúžku k -tého radu ($k = 0, 1, 2, \dots$) podľa [1] platí

$$\frac{r_k^2}{R} = k\lambda, \quad (2)$$

kde λ je vlnová dĺžka použitého svetla. Vzťah (2) platí len pri dokonalom kontakte šošovky a dosky. Všeobecne musíme previesť korekciu vzťahu (2), po ktorej dostávame

$$\frac{r_k^2}{R} + d = k\lambda, \quad (3)$$

kde d je vzdialenosť šošovky od dosky. Polomer krivosti šošovky určíme tak, že nameriame niekoľko polomerov interferenčných krúžkov a hodnotami preložíme vzťah (2).

Výsledky meraní:

Ako zdroj monochromatického svetla som použil sodíkovú výbojku, ktorá emituje svetlo s vlnovou dĺžkou jej charakteristického dupletu

$$I = (589,3 \pm 0,3) \text{ nm}. \quad (4)$$

Chybu určenia λ môžeme v ďalších výpočtoch zanedbať.

Meranie hrúbky tenkej vrstvy

Meranie hrúbky tenkej vrstvy som previedol na dvoch rôznych miestach tak, že pohybom nitkového kríža mikroskopu som odčítal polohy x_1 a x_2 jednotlivých prúžkov. Pri meraní na jednom mieste vrstvy som nitkovým krížom pohyboval len jedným smerom, aby pri spätnom pohybe nedošlo k nejakému systematickému posunu.

Z nameraných polôh prúžkov som určil vzdialenosti x_1 a x_2 . Chybu určenia x_1 a x_2 odhadujem na 4 dieliky stupnice mikroskopu. Pre každú dvojicu x_1 a x_2 som určil podľa (1) hrúbku vrstvy t_i , pričom absolútnu chybu s_{t_i} som určil podľa kvadratického zákona prenosu chýb, vid' [2]. Výslednú hrúbku vrstvy som určil ako aritmetický priemer vypočítaných hodnôt t_i . Chybu priemeru som určil ako smerodajnú odchýlku nameraných hodnôt, vid' [1]. Namerané a vypočítané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 1* resp. v *tabuľke 2*.

Tabuľka 1 – Hrúbka tenkej vrstvy v mieste 1

x_1	x_2	t [nm]	σ_t [nm]
3,76	1,98	559,5	12,8
3,61	1,94	548,3	12,8
3,56	1,94	540,7	12,7

Tabuľka 2 – Hrúbka tenkej vrstvy v mieste 2

x_1	x_2	t [nm]	σ_t [nm]
2,65	1,45	538,5	16,9
2,65	1,53	510,3	15,4
2,57	1,42	533,3	17,2
2,66	1,54	508,9	15,3

Výsledné hrúbky tenkej vrstvy v oboch miestach sú

- miesto 1: $t_1 = (550 \pm 8) \text{ nm}$
- miesto 2: $t_2 = (523 \pm 13) \text{ nm}$

Kalibrácia stupnice okuláru mikroskopu

Kalibráciu som previedol pomocou sklíčka s mierkou s najmenšími vyznačenými vzdialenosťami 0,1 mm. Určoval som dieliky mikroskopu zodpovedajúce jednotlivým vrypom na sklíčku. Namerané hodnoty sú uvedené v *tabuľke 3*.

Tabuľka 3 – Kalibrácia stupnice mikroskopu

x [r.j.]	0,21	0,84	1,47	2,10	2,73	3,35	3,99	4,61	5,23	5,85	6,47	7,10	7,72	8,34
x [mm]	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3

r.j. označujú relatívne jednotky stupnice okuláru. Pomocou lineárnej regresie podľa programu *Origin* som určil prevodný vzťah medzi vzdialenosťou v dielikoch a mikrometroch.

$$x[\text{mm}] = (1,538 \pm 0,010)x[\text{r.j.}] \quad (5)$$

Relatívna chyba prevodného koeficientu je 0,6 %, t.j. v ďalších výpočtoch som ju neuvažoval.

Polomery krivosti šošoviek

Meral som polomery krivosti šošoviek označených číslami 5 a 6.

Polomery jednotlivých Newtonových krúžkov som určoval pohybom nitkového kríža mikroskopu. Polohu Newtonových krúžkov som nastavil tak, aby obe strany nitkového kríža mikroskopu tvorili dotýčnice ku krúžkom. Potom som stred jednotlivých krúžkov určil podľa priemeru prvého krúžku, pričom krížom mikroskopu som pohyboval len jedným smerom, aby nedošlo k určitému systematickému posunu pri spätnom pohybe.

Newtonové interferenčné krúžky boli dostatočne tenké, tak chybu určenia stredu krúžkov a ich polohy odhadujem na 2 dieliky stupnice okuláru. Keďže polomer jednotlivých krúžkov som určoval ako rozdiel dvoch polôh, tak výslednú chybu polomeru krúžkov som určil ako kvadratický priemer im zodpovedajúcich chýb, t.j. približne $8,7 \mu\text{m}$.

Namerané polomery Newtonových krúžkov pre obe šošovky a pre obe strany sú uvedené v *tabuľke 4* resp. v *tabuľke 5*.

Tabuľka 4 – Polomery Newtonových krúžkov pre šošovku 5

k	ρ_a [mm]	ρ_b [mm]
1	0,201	0,194
2	0,283	0,280
3	0,348	0,348
4	0,403	0,404
5	0,449	0,455
6	0,492	0,498
7	0,532	0,537
8	0,568	0,577
9	0,603	0,609
10	0,635	0,644
11	0,666	0,677
12	0,694	0,707

Tabuľka 5 – Polomery Newtonových krúžkov pre šošovku 6

k	ρ_a [mm]	ρ_b [mm]
1	0,161	0,205
2	0,234	0,291
3	0,281	0,357
4	0,325	0,411
5	0,363	0,460
6	0,398	0,504
7	0,431	0,546
8	0,458	0,583
9	0,488	0,615
10	0,512	0,651
11	0,537	
12	0,561	

Koeficienty a a b označujú jednotlivé strany šošovky.

V *grafoch 1* a *2* je zobrazená závislosť $k\lambda$ na polomere kružníc ρ_k . Týmito bodmi pre každú guľovú plochu je pomocou programu *Origin* preložená krivka zodpovedajúca vzťahu (3), t.j. krivka s rovnicou $y = A + Bx^2$.

Jednotlivé polomery krivosti šošoviek R som určil ako prevrátenú hodnotu im zodpovedajúcich koeficientov B .

Chybu určenia polomerov krivosti som podľa zadania určil metódou lineárnej regresie so závislosti r_k^2 na lk (pomocou programu *Origin*), pričom som uvažoval chybu lineárnej regresie aj chybu určenia polomeru jednotlivých interferenčných krúžkov.

Určené polomery krivosti šošoviek sú

- šošovka 1, strana *a*: $R_{1a} = (68,3 \pm 1,3)mm$
- šošovka 1, strana *b*: $R_{1b} = (71,3 \pm 1,3)mm$
- šošovka 2, strana *a*: $R_{2a} = (44,4 \pm 1,2)mm$
- šošovka 2, strana *b*: $R_{2b} = (71,8 \pm 1,6)mm$

Zistené hodnoty vzdialenosti d šošovky od sklenenej dosky sú radovo stotiny mikrometra.

Diskusia:

Meranie hrúbky tenkej vrstvy

Hrúbku tenkej vrstvy som určoval na dvoch rôznych miestach vrstvy (pri určovaní vzdialenosti x_1 resp. x_2 problémom bol relatívne malý počet prúžkov v zornom poli mikroskopu). Namerané hodnoty t_1 a t_2 sa v rámci chyby nezhodujú (ich stredné hodnoty sa odlišujú asi o 5 %). Tento rozdiel je daný tým, že tenká vrstva nie je rovnomerne naparená na celej ploche, t.j. nie je rovnako hrubá na celej ploche.

Podľa [1] vyplýva, že určenie hrúbky tenkej vrstvy nie je jednoznačné, lebo nie je splnená podmienka $t < \frac{\lambda}{2}$. Použitý zdroj svetla bol dobre monochromatický, no výsledok merania mohla ovplyvniť odrazivosť polopriepustného zrkadla i krycej vrstvy, popr. ich povrchové drsnosti.

Chyba určenia t je hlavne spôsobená tým, že prúžky neboli ostré, a preto sa nedala jednoznačne určiť poloha ich stredov.

Polomery krivosti šošoviek

Pred meraním Newtonových krúžkov som okalibroval stupnicu okuláru mikroskopu. Určenie prevodného vzťahu medzi vzdialenosťou v dielikoch a mikrometroch je celkom presné; relatívna chyba 0,6 %.

Pri určovaní polomeru krúžkov som v mikroskope videl dostatočný počet interferenčných miním; presnosť merania ich polomerov znižovala neostrosť týchto miním.

V *grafoch 1 – 2* sú zobrazené závislosti $k\lambda$ na polomere interferenčných krúžkov a nimi je preložený kvadratický fit podľa (3), z ktorého môžeme určiť polomer krivosti R . Nameraná závislosť je kvadratická, t.j. dobre zodpovedá vzťahu (3).

Chybu určenia jednotlivých polomerov krivosti šošoviek R (1,8 % – 2,7 %) som určil metódou lineárnej regresie, pričom som uvažoval chybu lineárnej regresie aj chybu určenia jednotlivých interferenčných krúžkov.

Meranie bolo náchylné na otrasy v okolí, ktoré rozochvievali obraz interferenčných krúžkov.

Záver:

Pomocou viacväzkovej interferencie svetla som zmeral hrúbku tenkej vrstvy na dvoch miestach s výslednými hodnotami

$$t_1 = (550 \pm 8)nm,$$
$$t_2 = (523 \pm 13)nm.$$

Metódou postupných meraní som okalibroval stupnicu okuláru. Určil som prevodný vzťah medzi relatívnymi jednotkami stupnice mikroskopu a vzdialenosťou v μm

$$x[mm] = (1,538 \pm 0,010)x[r.j.].$$

Podľa polomerov Newtonových krúžkov som zmeral polomery krivosti dvoch šošoviek

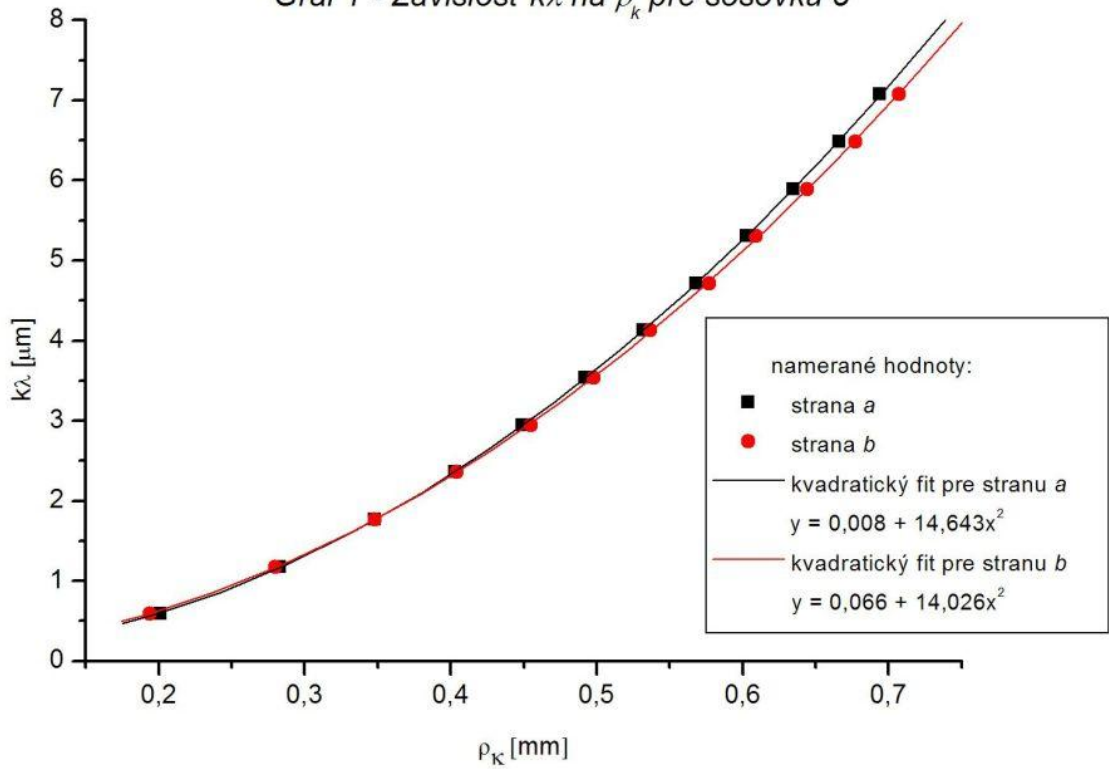
- šošovka 1, strana *a*: $R_{1a} = (68,3 \pm 1,3)mm$
- šošovka 1, strana *b*: $R_{1b} = (71,3 \pm 1,3)mm$

- šošovka 2, strana a : $R_{2a} = (44,4 \pm 1,2)mm$
- šošovka 2, strana b : $R_{2b} = (71,8 \pm 1,6)mm$

Literatúra:

- [1] študijný text na stránkach fyzikálneho praktika: <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>
[2] English, J.; Zpracování výsledků fyzikálních měření, LS 1999/2000

Graf 1 - Závislosť $k\lambda$ na ρ_k pre šošovku 5



Graf 2 - Závislosť $k\lambda$ na ρ_k pre šošovku 6

