

1 Pracovní úkoly

1. Změřte tloušťku tenké vrstvy ve dvou různých místech.
2. Vyhodnoťte získané tloušťky a diskutujte, zda je vrstva v rámci chyby nepřímého měření na obou místech stejně silná.
3. Okalibrujte stupnici okuláru metodou postupných měření.
4. Pomocí Newtonových interferenčních kroužků změřte oba poloměry křivosti u dvou vybraných čoček.
5. Chybu v určení poloměru křivosti stanovte z vhodně použité lineární regrese.
6. Výsledky měření v bodě 4 porovnejte s optickou mohutností čoček změřenou pomocí fokometru.

2 Teoretický úvod

2.1 Měření tloušťky tenké vrstvy

Teoretický podklad vychází z textů [1] a [2].

Pro měření tloušťky tenké vrstvy použijeme Tolanského metodu, která spočívá v mnohasvazkové interferenci mezi paprsky odraženými na polopropustném zrcadle a vrstvou, která je pokovená pro vysokou odrazivost. Měření se provádí na okraji vrstvy (vrypu) - měří se tedy vlastně výška okraje. Polopropustní zrcadlo je mírně odchýlené od pokovené vrstvy. Díky tomuto klínku můžeme pozorovat proužky stejné tloušťky. Tloušťku vrstvy t pak můžeme určit pomocí rovnice

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

kde x_1 je posun interferenčních proužků na okraji vrstvy vůči jejich původní poloze, x_2 je vzdálenost proužků v rovné oblasti a λ je vlnová délka použitého světla. Vzhledem k tomu, že jsou obě dvě vzdálenosti v poměru, tak není potřeba měřit absolutní hodnoty vzdáleností, ale stačí proměřit jejich relativní hodnoty a není potřeba pro toto měření určovat kalibraci použitého měřítka.

2.2 Měření poloměru křivosti čoček

Pro měření poloměrů křivosti jednotlivých rozhraní čoček lze použít obdobnou metodu, kdy položíme čočku na rovnou destičku a osvětlíme tuto soustavu tak, že dojde k interferenci mezi čočkou a destičkou ve vzduchové vrstvě. Dojde pak k vytvoření soustředných kroužků (pokud je čočka kulová), pro jejichž poloměry platí vztah

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

kde k je příslušný interferenční řád, ρ_k je poloměr odpovídajícího kroužku a d symbolizuje nedokonalou doléhavost čočky na podložce.

Pro optickou mohutnost φ spojných čoček platí

$$\varphi = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (3)$$

kde n je index lomu skla čočky a R_1 a R_2 jsou poloměry křivosti jednotlivých povrchů jedné čočky.

3 Měření

Při měřeních této úlohy byla použita sodíková výbojka, jejíž záření považujeme za relativně dobře monochromatické s vlnovou délkou $\lambda = 589.3 \text{ nm}$, i když se ve skutečnosti jedná o dublet blízko sebe umístěných čar.

3.1 Měření tloušťky tenké vrstvy

Měření bylo prováděno, jak již bylo zmíněno v teorii, pomocí Tolanského metody a byla určována poloha proužků v dílcích stupnice mikroskopu. Polohy proužků v jedné části jsou označeny A_1 a v druhé A_2 . Naměřená data jsou v tabulce č. 1. Naměřil jsem polohy všech proužků v zorném poli na třech místech (protože v první oblasti navazoval v zorném poli pouze jeden proužek, což prakticky znemožňuje určit chybu měření x_1). Uvažoval jsem, že při určování polohy interferenčního minima jsem se mohl dopouštět chyby zhruba 0,05 dílku a tu jsem kvadraticky připočítal ke statistické chybě. Tloušťky vrstev pak po řadě vycházejí

$$t_1 = (529 \pm 15) \text{ nm},$$

$$t_2 = (521 \pm 19) \text{ nm},$$

$$t_3 = (508 \pm 17) \text{ nm}.$$

V rámci chyby měření se tedy tloušťky vrstev shodují.

Tabulka 1: Měření poloh proužků stejné tloušťky u tenké vrstvy - v řádku jsou vždy odpovídající si proužky

1. místo		2. místo		3. místo	
A_1	A_2	A_1	A_2	A_1	A_2
	7,74		7,60		6,34
	4,78		5,44	7,76	4,44
7,09	1,94	6,98	3,29	5,83	2,49
4,21		4,95	1,15	3,91	0,53
1,41		2,85		1,95	
		0,73			

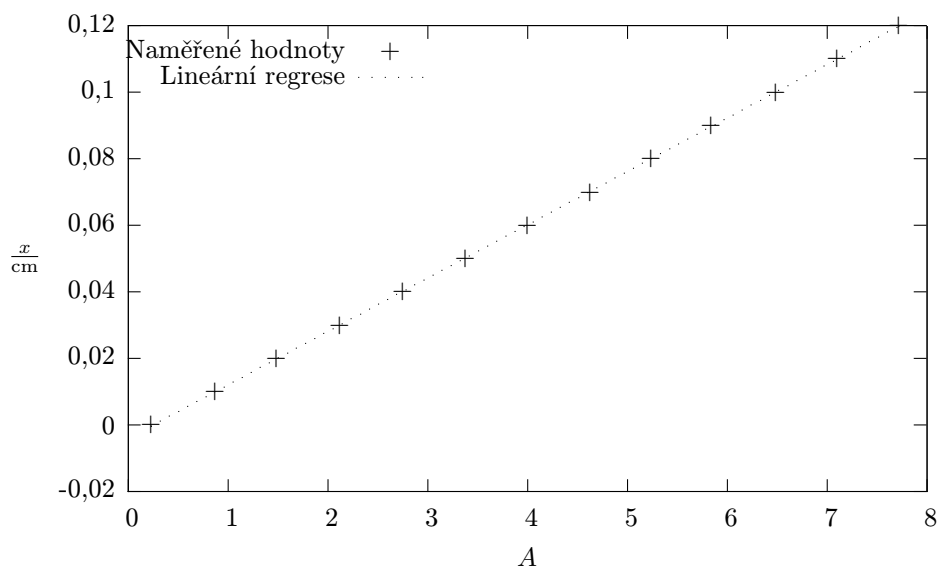
3.2 Měření poloměrů křivosti čočky

Nejprve jsem určil kalibraci dílků na mikroskopu A . Pomocí dílků na mikroskopu byly určeny polohy jednotlivých rysek na měřítku, které bylo umístěno pod mikroskop a jejichž rozteč byla 0,01 cm. Naměřená data ke kalibraci jsou v tabulce č. 2.

Vzdálenost jednotlivých dílků na stupnici je dle kalibrace $(0,01603 \pm 0,0003) \text{ cm}$.

Tabulka 2: Kalibrace stupnice na mikroskopu

A	x/cm
0,23	0,00
0,87	0,01
1,49	0,02
2,12	0,03
2,75	0,04
3,38	0,05
4,00	0,06
4,63	0,07
5,24	0,08
5,84	0,09
6,49	0,10
7,10	0,11
7,72	0,12

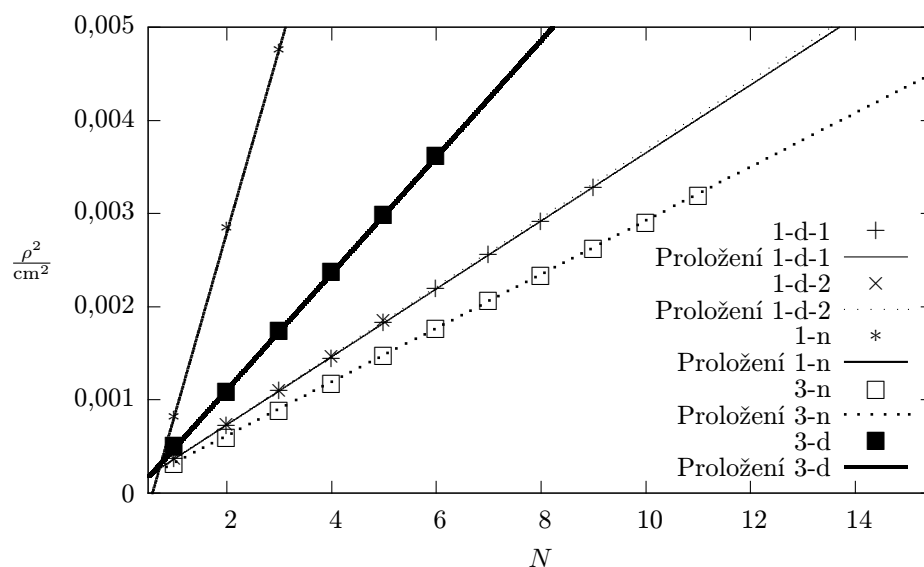


Obrázek 1: Kalibrace stupnice na mikroskopu

Při určování průměru je kritické si nastavit čočku tak, aby byl měřen skutečný průměr kroužků a ne pouze sečna přes kroužky. Čočka byla proto nastavena tak, aby ideálně v nějaké poloze záměrného kříže byl nějaký kroužek v takové pozici, že záměrný kříž byl tečný na kroužek. Poté mohly být použity dvě metody - buď měření přímo okrajů kroužků (metoda 1) nebo měření v pozici, kdy je kříž tečný na kroužek (metoda 2). Pro měření prvního lámavého rozhraní čočky byly vyzkoušeny obě metody, ale vzhledem k tomu, že při použití druhé metody ve středním případě naměříme okraje $\sqrt{2}$ -krát méně kroužků, tak pro další měření byla použita pouze první metoda. Naměřené data k této části úlohy jsou v tabulce č. 3 a graficky jsou pak výsledky zpracovány v obr. č. 2, kde je použita lineární regrese.

Tabulka 3: Měření Newtonových kroužků

	Čočka 1				Čočka 3					
	Metoda 1		Metoda 2		nahore		nahore		dole	
	Cedulka dole									
1	5,91	3,51	6,42	2,98	5,96	2,39	5,03	2,76	6,13	3,32
2	6,37	3,01	7,10	2,32	7,44	0,79	5,42	2,34	6,74	2,63
3	6,77	2,64	7,62	1,76	8,46	-0,14	5,75	1,99	7,29	2,08
4	7,06	2,31	8,07	1,31			6,02	1,71	7,71	1,63
5	7,37	2,04	8,51	0,91			6,28	1,47	8,09	1,27
6	7,61	1,76		0,56			6,50	1,23	8,42	0,92
7	7,84	1,53		0,21			6,72	1,02		0,61
8	8,06	1,32					6,89	0,84		0,31
9	8,26	1,12					7,05	0,65		0,05
10	0,94						7,25	0,51		-0,20
11	0,73						7,41	0,34		
12	0,55									



Obrázek 2: Měření Newtonových interferenčních kroužků - proložení závislost druhé mocniny jejich poloměru na čísle kroužku (vysvětlivky legendy - první číslo je číslo čočky, druhé písmeno je poloha čočky (d - cedulka označující čočku je dole (tzn. právě probíhá měření této lámavé plochy), n - cedulka nahore)

Poloměry křivosti vypočítané z těchto proložení jsou pak v tabulce č. 4.

Optické mohutnosti jednotlivých čoček pak jsou (pokud uvažujeme, že jsou ze skla z indexu lomu $n = 1,5$)

$$\varphi_1 = (9,6 \pm 0,1) \text{ D}$$

$$\varphi_3 = (14,9 \pm 0,1) \text{ D}$$

Tabulka 4: Poloměry křivosti čoček

Čočka	poloha	R/cm	σ_R/cm
1	d-1	6,19	0,02
1	d-2	6,26	0,05
1	n	33,4	0,5
3	n	4,90	0,02
3	d	10,61	0,07

3.3 Srovnání s měřením pomocí fokometru

Měření pomocí fokometru probíhalo podle návodu [3].

Bez vložené čočky jsem si ověřil, že naměřené optická mohutnost byla $\varphi_0 = (0 \pm 0,25) \text{ D}$. Chybu jsem bral jako velikost nejmenšího dílku.

Pro první čočku byly naměřeny optické mohutnosti (pro různé polohy čočky)

$$\varphi_{1-n} = (12,25 \pm 0,25) \text{ D}$$

$$\varphi_{1-d} = (12,00 \pm 0,25) \text{ D}$$

$$\varphi_{3-n} = (16,75 \pm 0,25) \text{ D}$$

$$\varphi_{3-d} = (17,25 \pm 0,25) \text{ D}$$

4 Diskuse

Při měření proužků byly využívány temné kroužky a ne světlé, protože lidské oko dokáže líp rozeznat polohu středu temného proužku než středu světlého proužku, kde může být oko přesvícené.

Při měření tloušťky tenké vrstvy je důležité mít nastavené proužky tak, aby byly kolmé ke stupnici, aby nedošlo ke zkreslení odečítaných hodnot. Snažil jsem se tedy o to, ale je možné, že mírná chyba měření mohla být vnesena tímto faktorem.

Tloušťky tenké vrstvy se shodují v rámci chyby měření, což ale neznamená, že celá tenká vrstva má tuto tloušťku. Dvě měření proběhly totiž relativně velice blízko sebe a navíc byl pozorován pouze jeden okraj (vryp) vrstvy a ne více míst. Ale z mého měření se dá usuzovat, že je možné, že tato tenká vrstva může mít konstantní výšku.

Při měření Newtonových kroužků bylo měření ovlivněno nedoléhavost čočky v rovinné destičce, ale tento faktor byl zohledněn při výpočtu lineární regrese. Také rovinná destička nemusela být zcela rovinná a čočka zcela kulová, což by ovlivnilo měření.

Při určování šířky Newtonových kroužků bylo kritické dobré vycentrování čočky, aby měření průměru kroužků bylo opravdu měření průměru a ne sečny. Snažil jsem se o co nejlepší nastavení, ale drobná odchylka může plynout i z tohoto nastavení.

Ze srovnání mohutnosti je vidět, že mohutnosti vypočítané teoreticky z naměřených poloměrů čočky neodpovídají mohutnosti naměřené na fokometru. To bude nejspíše zejména způsobeno tím, že index lomu použitého skla byl pouze odhadnutý, ale nebyl známý. Liší se i naměřené hodnoty na fokometru, pokud se čočka otočila, což je způsobené tím, že čočka není dokonale tenká a fokometr je uzpůsobený na měření co nejtenčích čoček, které budou umístěné přesně v určitém bodě. To, že je čočka tlustá vede k tomu, že fokometr nemůže změřit přesnou hodnotu optické mohutnosti.

5 Závěr

Změřil jsem tloušťku tenké vrstvy na třech různých místech s výsledky

$$t_1 = (529 \pm 15) \text{ nm},$$

$$t_2 = (521 \pm 19) \text{ nm},$$

$$t_3 = (508 \pm 17) \text{ nm}.$$

Okalibroval jsem stupnici okuláru mikroskopu, na kterém bylo prováděno měření průměrů Newtonových kroužků.

$$\frac{x}{\text{cm}} = (0,01603 \pm 0,0003) A$$

6 Literatura

- [1] **Studijní text k fyzikálnímu praktiku:** Interference a ohyb (difrakce)
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/txt_341.pdf
- [2] **Pokyny k měření fyzikálního praktika:** Jednoduché aplikace interferenčních jevů
http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/mereni_330.pdf
- [3] **Stručný návod k fokometru:** Fokometr F-910
<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/fokometr.pdf>