

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Radek Žemlička

Obor: Obecná Fyzika

Naměřeno: 8.10 2009

Testováno:

Úloha č. 11: Měření tloušťky tenkých vrstev Tolanského metodou, průchod světla planparalelní deskou

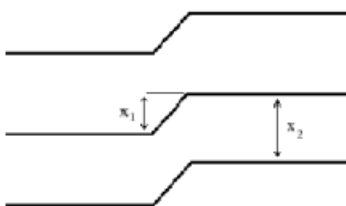
1. Měření tloušťky tenké vrstvy interferometrickou metodou

1.1. Úvod

Dle návodu je tato metoda měření tenkých vrstev jedna z nejužívanějších. Je založena vícepaprskové interferenci světla na vzduchové mezeře vytvořené mezi měřeným vzorkem a klínem, který dovluje, aby na vzorek dopadalo kolmo monochromatické záření, to se od něj odrazilo, část odraženého světla prošla klínem do oběktivu mikroskopu, ale většina se od klínu odrazila zpět a způsobila tak již zmíněnou interferenci.

1.2. Teorie a způsob měření

Vzorek byl vytvořen následujícím způsobem. Na sklíčko byla nanесena přerušovaná vrstvička hliníku. Ta byla následně z části překryta druhou, stejně tlustou vrstvičkou, které zároveň pokryla i místa, kde předtím hliník nebyl. Tím pádem se na sklíčku vyskytují vedle sebe vrstvy hliníku o tloušťce t a $2t$. Budeme-li vzorek zkoumat soustavou, jejíž princip byl nastíněn v úvodu, a zaměříme-li se právě na místo, kde tyto dvě vrstvy hraničí, spatříme v okuláru mikroskopu systém tmavých proužků v těch místech, kde je splněna podmínka interference. Tento systém je znázorněn na následujícím schématu



Obrázek 1: Systém proužků vzniklý interferencí světla, díky kterému můžeme stanovit tloušťku tenké vrstvy.

Význam x_1 a x_2 je z obrázku zřejmý. Pro tloušťku t pak plyne vztah:

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

kde λ je vlnová délka monochromatického záření. Zřejmě nemá smysl zabývat se jednotkami x_1 a x_2 , neboť nás zajímá pouze jejich poměr.

1.3. Měření

Pro vlastní měření bylo použito záření o vlnové délce $\lambda = 589nm$ a smamotné měření bylo provedeno na vzorku s označením 2008/ZS1. Vzdálenosti jednotlivých úseků byly měřeny odečítacím okulárem, a udávány (z výše zmíněných důvodů) v blíže neurčených jednotkách délky. Výsledky jsou zapsány v následujících tabulkách. Poslední desetinné místo bylo pouze odhadováno na základě polohy rysky mezi dvěma dílky. Byl jsem upozorněn, že tato snaha o vysokou přesnost je vzhledem k charakteru měřících přístrojů pravděpodobně zbytečná, zvláště, pokud při odečítání pohybuji zaměřovacím křížem všemi možnými směry, neboť mezi zuby mechanické soustavy existuje jistá vůle. Pro eliminaci a zároveň ozřejmění tohoto vlivu na měřené výsledky bylo měření porovedeno dvakrát, přičemž při prvním měření bylo zaměřování prováděno posunováním měřícího kříže pouze jedním směrem a při druhém měření směrem opačným.

V obou tabulkách značí p_1 spodní část interferenčního proužku (viz Obrázek 1) a p_2 dolní část. Poměr $\frac{x_1}{x_2}$ byl z těchto údajů vypočítán následující způsobem. Náleží-li p_{1_n} , p_{2_n} , a $\left(\frac{x_1}{x_2}\right)_n$ n-tému řádku tabulky, pak:

$$\left(\frac{x_1}{x_2}\right)_n = \frac{p_{1_n} - p_{2_n}}{0,5((p_{1_{n+1}} - p_{1_n}) + ((p_{2_{n+1}} - p_{2_n})))} \quad (2)$$

p_1	p_2	$\frac{x_1}{x_2}$
0.549	0.419	0.200
1.193	1.077	0.171
1.880	1.744	0.220
2.482	2.379	0.150
3.160	3.078	0.124
3.843	3.713	0.197
4.495	4.378	0.172
5.170	5.061	0.171
5.801	5.706	0.147
6.452	6.351	0.152
7.127	7.002	0.187
7.790	7.675	0.171
8.452	8.355	

Tabulka 1: Měření poloh interferenčních proužků jedním směrem (z výše zmíněných důvodů bylo při zaměřování pohybováno měřícím křížem právě v jenom směru). Veličiny p určují polohu dvou částí jendoho pružku (viz Obrázek 1). Poměr x_1 a x_2 je vypočítán vztahem (2)

Pro toto měření vyšel poměr $\frac{x_1}{x_2}$ se spolehlivostí 68,3% na 0.172 ± 0.019 .

p_1	p_2	$\frac{x_1}{x_2}$
8.458	8.356	0.157
7.812	7.700	0.170
7.151	7.040	0.172
6.501	6.396	0.158
5.850	5.720	0.198
5.185	5.072	0.171
4.522	4.410	0.172
3.873	3.753	0.184
3.209	3.110	0.154
2.579	2.451	0.191
1.906	1.785	0.186
1.254	1.139	0.164
0.535	0.459	

Tabulka 2: Měření poloh interferenčních proužků druhým směrem (viz komentář k tabulce 1). I zde veličiny p určují polohu dvou částí jendoho pružku (viz Obrázek 1). Poměr x_1 a x_2 je vypočítán vztahem (2)

Pro měření opačným směrem vyšel poměr $\frac{x_1}{x_2}$ se spolehlivostí 68,3% na 0.173 ± 0.011 .

Dosadíme-li zprůměrovanou hodnotu poměru $\frac{x_1}{x_2}$ do vztahu (2) získáme výsledek:

$$t = (51 \pm 4)nm$$

1.4. Diskuze

Přesnost výsledku není nikterak překvapující vzhledem k tomu, že interferenční proužky se nejevily vždy ve stejné vzdálenosti od sebe a zaměřování středu proužku bylo děláno odhadem (resp., všiml jsem si, že pokud jsem si nebyl jistý, zda zaměřovací kříž skutečně ukazuje přesný střed proužku, načež jsem jeho hodnotu nepatrně upravil, změnila se číselná hodnota polohy relativně významně). To, a hlavně odchylka samotného výsledku mi ukázaly, že snaha o co nejpřesnější odečítání a odhadování třetího desetinného místa byla zbytečná. Dále při porovnání tabulky 1 a 2 zjistíme, že vliv vůle mezi jednotlivými díli měřicí soustavy je rozhodně patrný. Avšak pokud bude měření prováděno takovým způsobem, jakým jsem ho prováděl já (zaměřování pouze jedním směrem), bude tento vliv eliminován, což dokazují téměř shodné výsledky vyplývající z každé tabulky zvlášť.

2. Průchod světla planparalení deskou

2.1. Úvod

V tomto úkolu se zabýváme měřením indexu lomu skla pomocí laseru procházejícím planparalení deskou.

2.2. Teorie a způsob měření

Pokud vstoupí světelný paprsek do planparalení desky, bude směr vystupujícího paprsku stejný avšak jeho poloha se bude od vstupujícího lišit. Paprsek bude tedy posunut. Velikost tohoto posunu závisí na úhlu dopadu α paprsku na desku, na tloušťce desky d , na indexu okolního prostředí n_0 , a na indexu lomu skla n . Zřejmě můžeme určit index lomu skla, známe-li, či naměříme, ostatní veličiny. Vztah, který k tomu užijeme zní (za předpokladu, že $\alpha \neq 0$):

$$n = n_0 \sqrt{\sin^2 \alpha + \left(1 - \frac{x}{d \sin \alpha}\right)^{-2} \cos^2 \alpha} \quad (3)$$

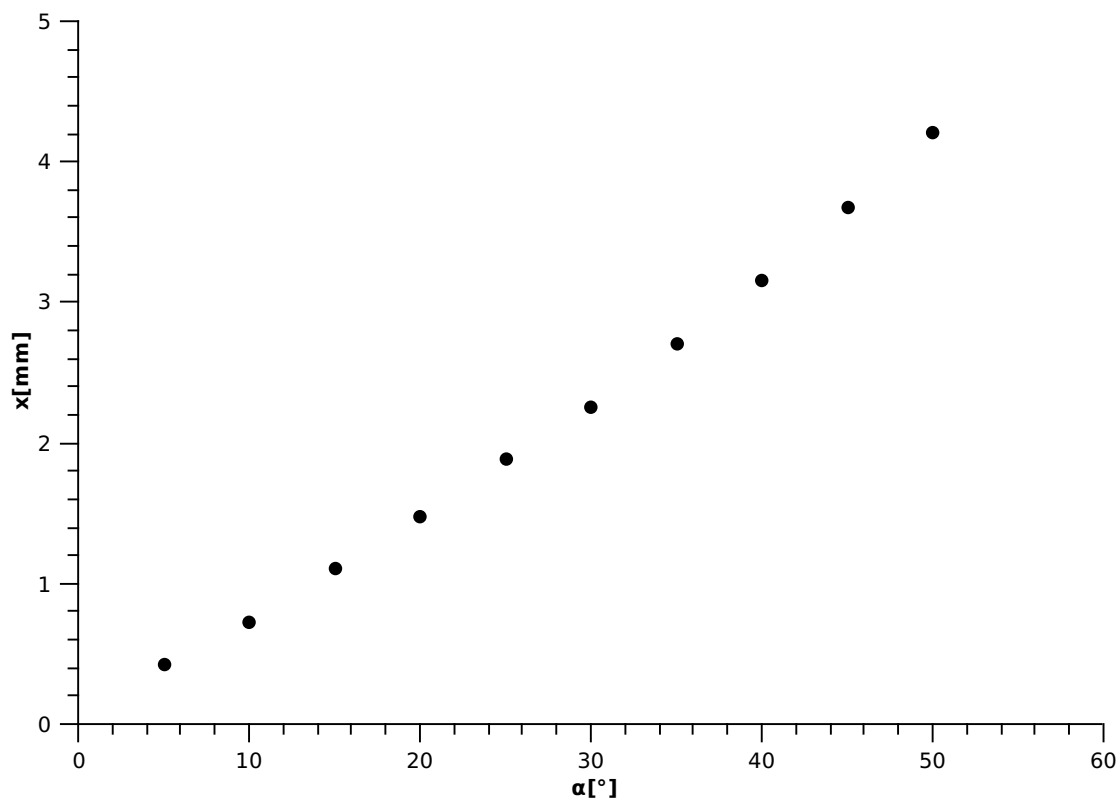
Měření bylo provedeno následujícím způsobem. Planparalení deska byla zafixována na otáčející se plošinu, která funguje jako goniometr, a lze z ní odečítat úhel α , o který byla plošina otočena. Na desku bylo svíceno nehybným zdrojem laserového záření. Na opačné straně byl umístěn odporový snímač, kterým bylo možné pohybovat ve směru kolmém k záření vystupujícím ze zdroje. Posuv detektoru bylo možné měřit úchylkometrem. Poloha místa, kam na snímač dopadalo nejvíce záření, byla určena pomocí ampermetru - vždy bylo hledáno takové místo pro detektor, kde obvodem, jímž byl ampermetr a detektor součástí, tekla největší proud.

2.3. Měření

Měření bylo provedeno na dvou deskách. Výsledky měření první desky shrnuje následující tabulka. Výsledný index lomu n byl vypočítán pomocí vztahu (3). Tloušťka desky d byla změřena posuvným měřítkem, ($d = (10,00 \pm 0,05)mm$), a index lomu okolního prostředí byl přibližně ($n_0 = 1$).

$\alpha[^\circ]$	$x[mm]$	n
5	0,29	1,496
10	0,59	1,502
15	0,9	1,504
20	1,22	1,501
25	1,57	1,503
30	1,92	1,493
35	2,34	1,498
40	2,8	1,502
45	3,29	1,500
50	3,85	1,503

Tabulka 3: Měření úhlu dopadu světla na desku a posuvu papsku. Index lomu byl vypočítán vztahem (3)



Obrázek 2: Závislost posuvu paprsku na úhlu dopadu

Závislost posuvu paprsku na úhlu dopadu zobrazuje graf na obrázku 2. Výsledek se spolehlivostí 68,3% činí

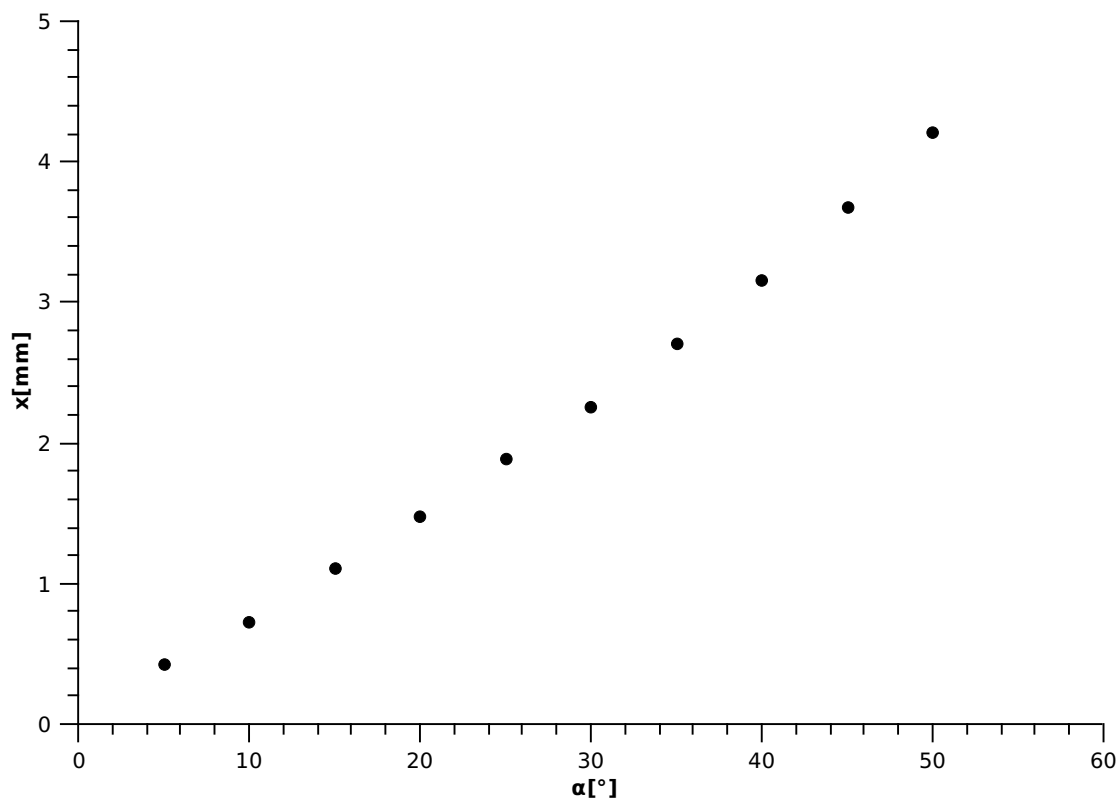
$$n = 1.50 \pm 0.01$$

Výsledky měření druhé desky shrnuje následující tabulka. Výsledný index lomu n byl vypočítán pomocí vztahu (3). Tloušťka desky d byla změřena posuvným měřítkem, ($d = (9,20 \pm 0,05)mm$), a index lomu okolního prostředí byl přibližně ($n_0 = 1$).

$\alpha [^\circ]$	$x [mm]$	n
5	0,42	2,095
10	0,73	1,823
15	1,1	1,815
20	1,48	1,808
25	1,88	1,806
30	2,26	1,775
35	2,71	1,780
40	3,16	1,767
45	3,68	1,776
50	4,21	1,772

Tabulka 4: Měření úhlu dopadu světla na druhou desku a posuvu papsku. Index lomu byl vypočítán vztahem (3)

Závislost posuvu paprsku na úhlu dopadu zobrazuje graf na obrázku 3.



Obrázek 3: Závislost posuvu paprsku na úhlu dopadu

Vyloučíme-li při výpočtu indexu lomu údaj odpovídající pětistupňové výchylce, který se výrazně liší od ostatních, vychází nám se spolehovostí 68,3%:

$$n = 1.79 \pm 0.05$$

2.4. Diskuze

Při porovnání našeho výsledku s tabulkovými hodnotami bylo zjištěno, že naměřený index lomu odpovídá téměř přesně takzvanému "soda-lime" sklu. Při měření proud procházející ampérmetrem často kolísal bez závislosti na poloze čidla, a já jsem si mnohdy nebyl jist, zda jsem již dosáhl maxima, nebo proud klesnul z jiného důvodu.

3. Závěr

V tomto úkolu byla měřena tloušťka vrstvy hliníku interferenční metodou a poté index lomu skla pomocí laserového paprsku procházejícím planparalelní deskou. I když na některé podúkoly nezbyl čas, trůfám si označit provedená měření za úspěšná. Další závěry plynoucí z jednotlivých měření shrnují diskuze ke každému úkolu zvlášť.