

# FYZIKÁLNÉ PRAKTIKUM

## FYZIKÁLNÉ PRAKTIKUM II

**Vypracoval:** Patrik Žilka

**Namerané:** 3. 10. 2011

**Obor:** AF

**Ročník:** II

**Semester:** III

**Testované:**

---

### Úloha č. 11a: Meranie tenkých vrstiev Tolanského metódou

$$T = 24,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p = 99,1 \text{ kPa}$$

$$\varphi = 45 \%$$

#### Teória:

Jednou z najpoužívanejších metód merania hrúbky tenkých vrstiev ( hrúbka 10 až 100 nm) je interferometrická metóda podľa Tolanského, ktorá sa nazýva aj Fizeauova metóda. Metóda je založená na viaclúčovej interferencii monochromatickeho svetla na vzduchovej medzere medzi meranou vrstvou ( pre vysokú odrazivosť je meraná vrstva pokrytá napr. Al, Ag ) a polopriepustným zrkadlom. V dôsledku interferencie na vzduchovej medzere sa v zornom poli mikroskopu, za predpokladu, že by v meranej vrstve nebol vryp, objaví systém rovnobežných tmavých čiarok v tých miestach, kde je splnená podmienka minim interference.

$$2d = K\lambda \quad \wedge \quad 2(d + \Delta d) = (K + 1)\lambda \quad \Rightarrow \quad \Delta d = \frac{\lambda}{2}$$

Ak by bol v meranej vrstve vryp, potom vzťahy s hrúbkou vrstvy  $t$  budú vyzerať nasledovne:

$$2(d + \Delta d) = (K + 1)\lambda \quad \wedge \quad 2(d + \varepsilon + t) = (K + 1)\lambda \quad \Rightarrow \quad t = \Delta d - \varepsilon$$

pričom pre  $\varepsilon$  platí  $\varepsilon = \Delta d \frac{x_2 - x_1}{x_2}$  a z toho vyplíva  $t = \frac{x_1 \lambda}{x_2 2}$

kde  $x_1$  je posunutie čiar dôsledkom vrypu a  $x_2$  je vzdialenosť medzi rovnobežnými čiarkami v zornom poli mikroskopu. Tieto hodnoty sa dajú odpočítať pomocou stupnici v okulári. Pre čo najpresnejšie odmeranie by mali byť rovnobežné čiarky tiež rovnobežne so stupnicou.

Úlohou bolo zistiť hrúbku tenkých vrstiev v rôznych náklonoch polopriepustného zrkadla.

### Meranie:

Použité monochromatické svetlo:  $\lambda = 589,2 \text{ nm}$

Tabuľka odpočítaných hodnôt ( počet dielikov na stupnici ) pre dve rôzne náklony zrkadla, pričom  $x_1 = x' - x''$  a  $x_2 = x'_{n+1} - x'_n$

n	hodnoty pre 1. náklon [ dieliky ]				hodnoty pre 2. náklon [ dieliky ]			
	x'	x''	x1	x2	x'	x''	x1	x2
1	5,410	5,159	0,251	0,557	6,139	5,790	0,349	0,740
2	4,853	4,576	0,277	0,584	5,399	5,038	0,361	0,755
3	4,269	4,019	0,25	0,573	4,644	4,281	0,363	0,786
4	3,696	3,428	0,268	0,536	3,858	3,523	0,335	0,746
5	3,160	2,894	0,266	0,608	3,112	2,721	0,391	0,786
6	2,552	2,308	0,244	0,534	2,326	2,007	0,319	0,780
7	2,018	1,741	0,277	0,571	1,546	1,229	0,317	0,754
8	1,447	1,205	0,242	0,572	0,792	0,444	0,348	0,754
9	0,875	0,624	0,251	0,592	0,038	-0,332	0,370	0,822
10	0,283	0,040	0,243	0,612	-0,784	-	-	-
11	-0,329	-0,551	0,222	0,541	-	-	-	-
12	-0,87	-1,129	0,259	-	-	-	-	-
<b>priemer</b>			<b>0,254167</b>	<b>0,570909</b>			<b>0,350333</b>	<b>0,769222</b>

Hrúbka vrstvy z hodnôt 1. náklonu  $t_1 = ( 131,2 \pm 3,2 ) \text{ nm}$   $\delta t_1 = 2,4 \%$

Hrúbka vrstvy z hodnôt 2. náklonu  $t_2 = ( 134,2 \pm 3,7 ) \text{ nm}$   $\delta t_2 = 2,8 \%$

Hrúbka vrstvy z hodnôt oboch náklonov  $t = ( 132,7 \pm 2,4 ) \text{ nm}$   $\delta t = 1,8 \%$

### Záver:

V tejto časti úlohy bola odmeraná vrstva s hrúbkou 132,7 nm a s relatívnou chybou 1,8 %. Presnosť merania avšak závisí aj od monochromatického svetla a od odrazivosti polopriepustného skla alebo krycej vrstvy. Nepresnosť merania mohla byť spôsobená aj povrchovými nezrovnalosťami.

## Úloha č. 11b: Prechod svetla planparalelnou doskou a hranolom

### Teória:

Pri prechode svetla sklenenou planparalelnou doskou dochádza k posunu vystupujúceho lúča a vstupujúce a vystupujúce lúče sú rovnobežné. Pri priechodu svetla hranolom dochádza k uhlovej odchylke ( k deviaci ) vystupujúceho a vstupujúceho lúča. Ak je dopadajúce svetlo biele, dochádza k jeho rozkladu na jednotlivé farebné zložky. Tieto skutočnosti vyplývajú zo zákona lomu a zo závislosti indexu lomu na vlnovej dĺžke.

Pri meraní s planparalelnou doskou je potrebné vedieť hrúbku dosky  $d$ , vstupujúci a vystupujúci uhol  $\alpha$ , index lomu prostredia  $n_0$ . Potom je možné určiť závislosť posuvu  $x$  vystupujúceho a vstupujúceho lúča od indexu lomu skla a od spomínaných veličín. Zo zákona lomu na rozhraniach platí  $n_0 \sin \alpha = n \sin \beta$ , pre dĺžku dráhy lúča  $\frac{d}{\cos \beta}$  a pre posunutie vstupujúceho a vystupujúceho lúča platí  $x = \frac{d}{\cos \beta} \sin \alpha - \beta$ . Potom úpravou a použitím vzťahov  $\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$  a  $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta$  dostaneme vzťah pre posunutie lúčov a z neho vyjadrený index lomu skla:

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

Posunutie lúča planparalelnou doskou sa meralo výchylkomerom.

U hranolu zo zákona lomu na rozhraniach platí:

$$n_0 \sin \alpha = n \sin \beta_1 \quad n \sin \beta_2 = n_0 \sin \alpha_2$$

Kedže pre lámavý uhol ( uhol sklonu hrán ) platí  $\omega = \beta_1 + \beta_2$ , potom pre deviaciu platí

$$\delta = (\alpha - \beta_1) + (\alpha_2 - \beta_2) \quad \delta = \alpha - \omega + \alpha_2$$

Z predchádzajúcich vzťahov je potom možné určiť závislosť deviacie na uhlu dopadu  $\alpha$ , indexu lomu  $n$  hranolu a  $n_0$  prostredia a lámavom uhle hranolu  $\omega$

$$\delta = \alpha - \omega + \sin^{-1} \left[ \sin \omega \sqrt{\left( \frac{n}{n_0} \right)^2 - \sin^2 \alpha} - \cos \omega \sin \alpha \right]$$

Úlohou bolo tiež zistiť index lomu hranola a na to je vhodné použiť vzťah s minimálnou deviaciou. V momente min. deviacie sú vstupujúce a vystupujúce lúče symetrické k rovine rozdeľujúcej lámavý uhol presne na polovicu. Pre index lomu hranola teda platí

$$n = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \beta_1} = \frac{\sin 0,5(\omega + \delta_{min})}{\sin 0,5\omega}$$

### Meranie:

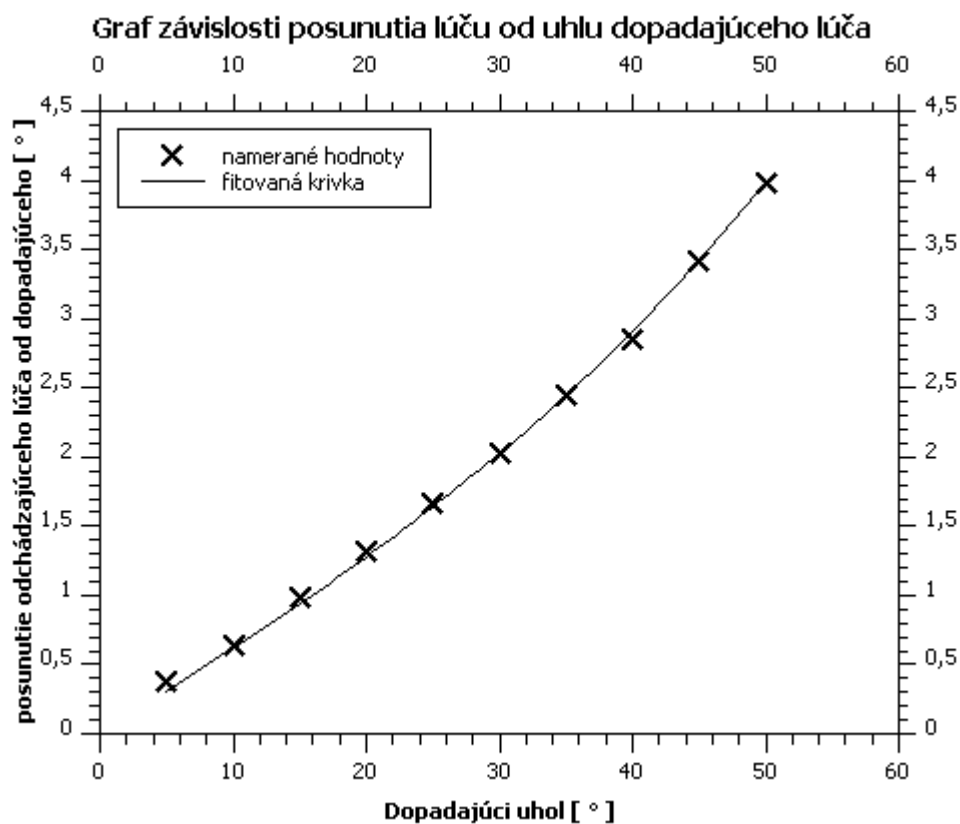
Hrúbka použitej planparalelnej dosky  $d = 10,1 \text{ mm}$

Namerané nulté hodnoty pri meraní s hranolom:  $\alpha_0 = 54^\circ 28'$   $\beta_0 = 276^\circ 37'$

Tabuľka nameraných hodnôt pri meraní s panparalelnou doskou a s hranolom:

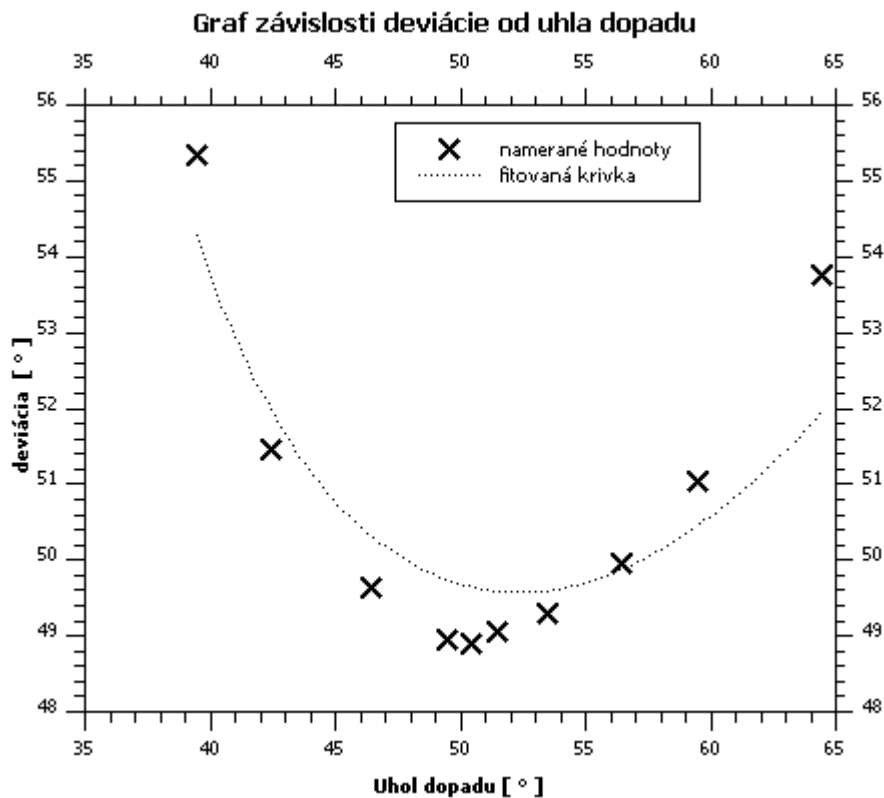
planparalelná doska				Uhol dopadu a elevácia hranolu			
n	$\alpha [^\circ]$	x [mm]	n	$\alpha_n [^\circ]$	$\alpha_0 - \alpha_n [^\circ]$	$\beta_n [^\circ]$	$\beta_0 - \beta_n [^\circ]$
1	5	0,37	1,777	15	39,28	221°17'	55°20'
2	10	0,63	1,592	12	42,28	225°10'	51°27'
3	15	0,99	1,636	8	46,28	226°58'	49°39'
4	20	1,32	1,629	5	49,28	227°40'	48°57'
5	25	1,66	1,619	4	50,28	227°43'	48°54'
6	30	2,03	1,611	3	51,28	227°33'	49°4'
7	35	2,45	1,609	1	53,28	227°20'	49°17'
8	40	2,85	1,583	-2	56,28	226°39'	49°58'
9	45	3,41	1,593	-5	59,28	225°35'	51°2'
10	50	3,98	1,587	-10	64,28	222°52'	53°45'

Index lomu planparalelnej dosky  $n = (1,621 \pm 0,016)$   $\delta n = 1,0 \%$



Index lomu získaný fitovaným podľa vzorca z úvodnej teórie cez program QtiPlot:

$n = (1,590 \pm 0,050)$   $\delta n = 3,1 \%$



Index lomu hranola fitovaným hodnôt cez Qtiplot  $n = ( 1,6239 \pm 0,0038 )$   $\delta n = 0,2 \%$

Minimálny deviačný uhol odčítaný z grafu  $\delta_{min} = ( 49,0 \pm 0,20 )^\circ$   $\delta_r = 0,4 \%$

Index lomu použitým min. deviačného uhla  $n = ( 1,6280 \pm 0,0040 )$   $\delta n = 0,2 \%$

**Záver:**

Úlohou tejto časti bolo hlavne overenie vyššie odvodených vzťahov a zistenie indexy lomu. Podľa grafov fitované krivky približne opisujú namerané hodnoty, ale je tiež vidieť nepresnosť, ktorá mohla byť spôsobená nepresným meraním alebo nedokonalosťou panparallelnej dosky alebo hranolu. Indexy p. dosky a aj hranola vyšli okolo hodnoty 1,6 , ktorá odpovedá tabuľkovej hodnote indexu lomu skla.