

FYZIKÁLNE PRAKTIKUM

Spracoval: Vladimír Domček

Namerané: 31.10.2012

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

Testované:

Úloha č. 7: Odraz a lom svetla

$$T = 21,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$p = 977 \text{ hPa}$$

$$\varphi = 32 \text{ }^\circ$$

1. Zadanie

- Zmerajte závislosť odrazivosti v S a P polarizácií na dielektriku
- Z Brewsterovho uhlu určite index lomu a porovnajte namerané závislosti s vypočítanými
- Prechod svetla planparalelnou doštičkou

2. Teória

Správanie elektromagnetickej vlny na rozhraní dvoch optických prostredí sa dá odvodiť z Maxwellových rovníc. Ak A a R sú amplitúdy dopadajúcej a odrazenej vlny, môžeme riešením vlnovej rovnice dospieť k Fresnelovým amplitúdam $r_p = \frac{R_p}{A_p}$ a $r_s = \frac{R_s}{A_s}$, ktoré vyjadrujú vzťahy:

$$r_p = \frac{\tan(\varphi_0 - \varphi_1)}{\sin(\varphi_0 + \varphi_1)}, \quad r_s = -\frac{\sin(\varphi_0 - \varphi_1)}{\sin(\varphi_0 + \varphi_1)} \quad (1)$$

kde φ_0 je uhol dopadu a φ_1 je uhol lomu. Ak vezmeme v úvahu Snellov zákon:

$$n_0 \sin \varphi_0 = n_1 \sin \varphi_1 \quad (2)$$

môžeme odvodiť vzťahy:

$$r_p = \frac{n \cos \varphi_0 - n_0 \cos \varphi_1}{n \cos \varphi_0 + n_0 \cos \varphi_1}, \quad r_s = \frac{n_0 \cos \varphi_0 - n \cos \varphi_1}{n_0 \cos \varphi_0 + n \cos \varphi_1} \quad (3)$$

2.1. Brewsterov uhol

Rozbor vzťahov (1) ukazuje, že amplitúda $r_s < 0$ pre všetky uhly dopadu, zatiaľ čo $r_p > 0$ pre $\varphi < \varphi_B$ a $r_p < 0$ pre $\varphi > \varphi_B$, kde φ_B je tzv. polarizačný Brewsterov uhol, pre ktorý $r_p = 0$. V tomto prípade sa totižto odráža len s zložka lineárne polarizovaného svetla. Zo vzťahu (3) a za podmienky $n_0 = 1$ pre $r_p = 0$ dostávame matematický zápis Brewsterovho zákona:

$$\tan \varphi_B = n \quad (4)$$

Ak si intenzitu dopadajúceho svetla označíme I_0 a odrazeného I_R , môžeme pomocou ich pomeru definovať odrazivosť R_p a R_s :

$$R_p = \frac{I_p^R}{I_0^R}, \quad R_s = \frac{I_s^R}{I_0^R} \quad (5)$$

Odrazivosť je potom daná vzťahom:

$$R_p = r_p^2, \quad R_s = r_s^2 \quad (6)$$

Z odrazivostí R_p a R_s sme schopný určiť hodnoty indexu lomu meraného dielektrika pre $\varphi < \varphi_B$:

$$n = \sqrt{\frac{(1 + \sqrt{R_s})(1 + \sqrt{R_p})}{(1 - \sqrt{R_s})(1 - \sqrt{R_p})}} \quad (7)$$

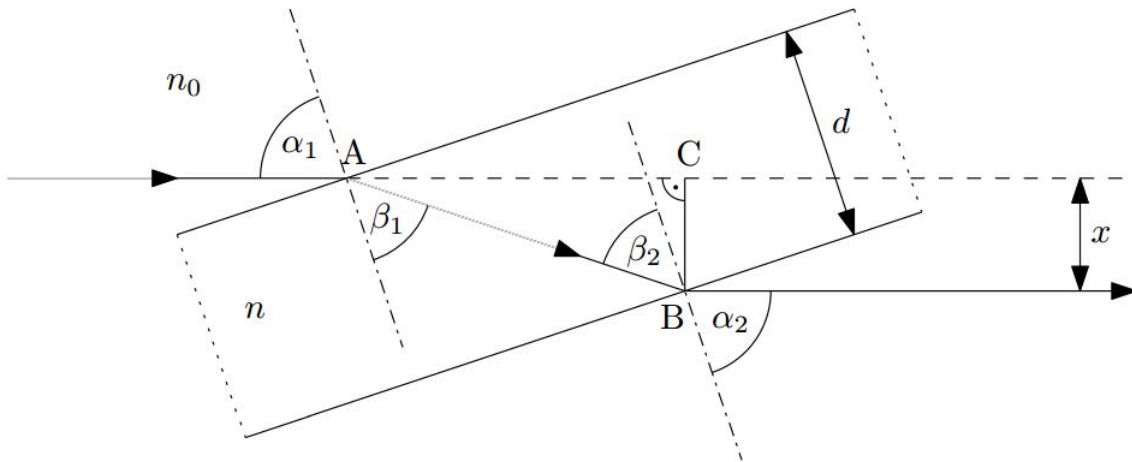
a pre $\varphi > \varphi_B$:

$$n = \sqrt{\frac{(1 + \sqrt{R_s})(1 - \sqrt{R_p})}{(1 - \sqrt{R_s})(1 + \sqrt{R_p})}} \quad (8)$$

2.2. Prechod svetla planparalelnou doskou

Pri prechode svetla sklenenou planparalelnou doskou dochádza k posunu vystupujúceho a vstupujúceho lúču. Tieto lúče sú rovnobežné a platí že:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha, \quad \beta_1 = \beta_2 = \beta \quad (9)$$



Obr.1 Prechod svetla planparalelnou doskou

Pre obe rozhrania sa dá aplikovať Snellov zákon (2) a pre dĺžku dráhy lúču platí:

$$|AB| = \frac{d}{\cos\beta} \quad (10)$$

Odchýlka vstupujúceho a vystupujúceho lúča x je daná vzťahom:

$$x = |BC| = |AB|\sin(\alpha - \beta) \quad (11)$$

Postupnými úpravami môžeme z predchádzajúcich vzťahov odvodiť vzťah pre odchýlku:

$$x = \left(1 - \frac{n_0 \cos\alpha}{\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2\alpha}}\right) \quad (12)$$

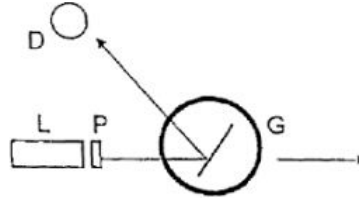
Z tohto vzťahu vieme určiť index lomu skla za predpokladu, že $\alpha \neq 0$:

$$n = n_0 \sqrt{\sin^2\alpha + \left(1 - \frac{x}{d \sin\alpha}\right)^{-2} \cos^2\alpha} \quad (13)$$

3. Postup

3.1. Brewsterov uhol

- zmeriame intenzitu polarizovaného lúča s aj p bez dielektrika
- vložíme dielektrikum do trajektórie lúča a natočíme ho pod určitým uhlom
- meriame intenzity odrazeného lúča v oboch polarizácia pre rôzne uhly dopadu
- z daných intenzít určíme odrazivosť, z ktorej pomocou Fresnelových amplitúd určíme index lomu dielektrika



Obr.2 Experimentálne usporiadanie pre meranie uhlovej závislosti odrazivosti dielektrika.
L - laserová dióda, P - Polarizátor, G - goniometer, D - detektor

3.2. Prechod svetla planparalelnou doskou

- zmeriame hrúbku planparalelnej dosky pomocou mikrometrického meradla
- spravíme justáciu prístroja
- do trajektórie laseru vložíme planparalelnú dosku a meriame odchýlky výstupného lúča
- určíme index lomu
- závislosť odchýlky od uhlu dopadu vynesieme do grafu a porovnáme s teoretickou hodnotou

4. Meranie

4.1. Odrazivosť a Brewsterov uhol

$$I_p^0 = 1625 \text{ mV}, \quad I_s^0 = 1835 \text{ mV}$$

φ [°]	I_p^R [mV]	I_s^R [mV]	R_p	R_s	n_d
35	23,2	82,5	0,0143	0,045	1,40
40	16	97,9	0,0098	0,053	1,40
45	7,8	118,9	0,0048	0,065	1,39
50	0,7	147,8	0,0004	0,081	1,37
55	0,7	187,3	0,0004	0,102	1,42
60	0,8	247	0,0005	0,135	1,44
65	8	329,3	0,0049	0,179	1,46
70	14,5	441	0,0089	0,240	1,56
75	67,6	605	0,0416	0,330	1,56
80	197,5	841	0,1215	0,458	1,58

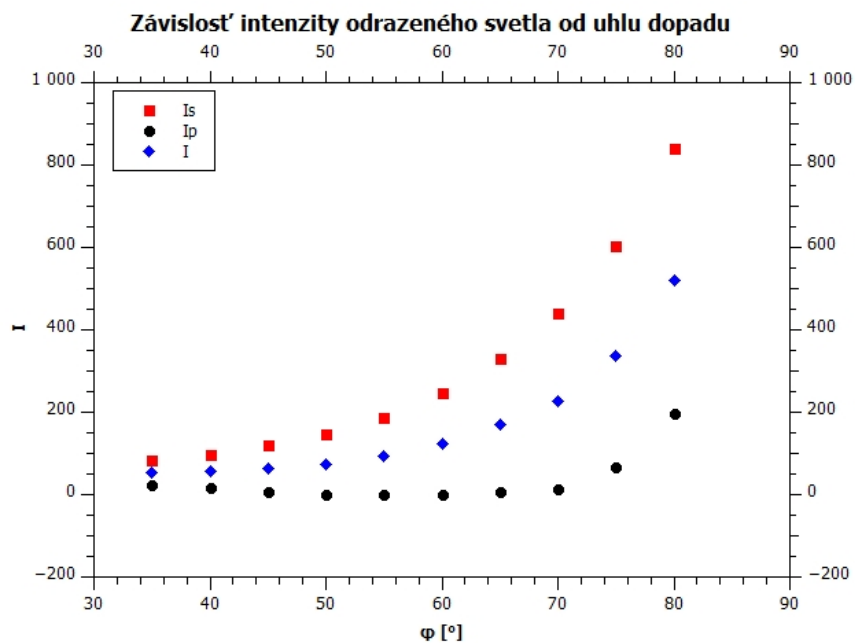
Tab.1 Meranie odrazivosti

Priemerná hodnota indexu lomu z merania:

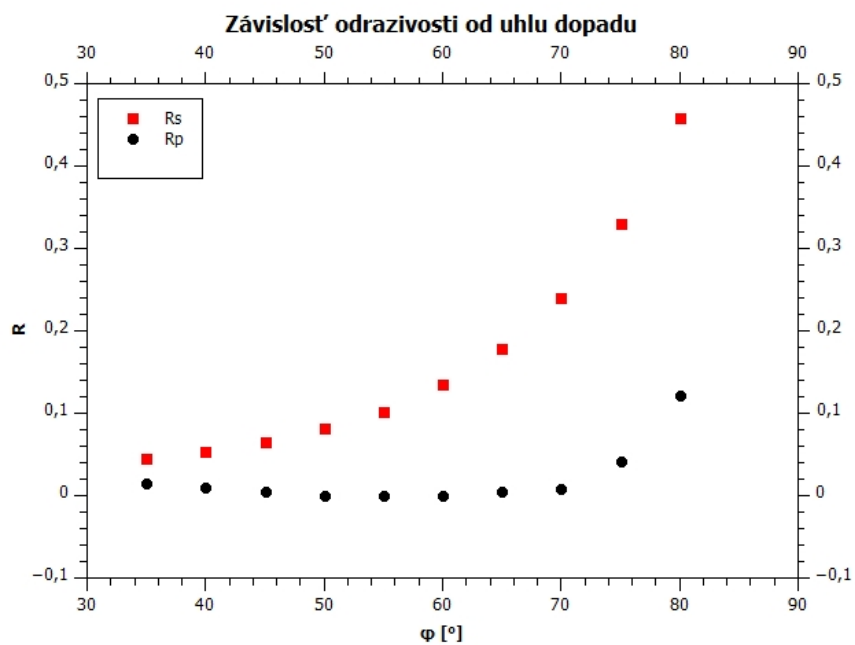
$$\bar{n}_d = (1,46 \pm 0,03)$$

Hodnota indexu lomu pomocou Brewsterovho uhlu:

$$\varphi \approx 55^\circ \Rightarrow n_B = 1,43$$



Obr.3 Závislosť intenzity odrazeného svetla od uhlu dopadu



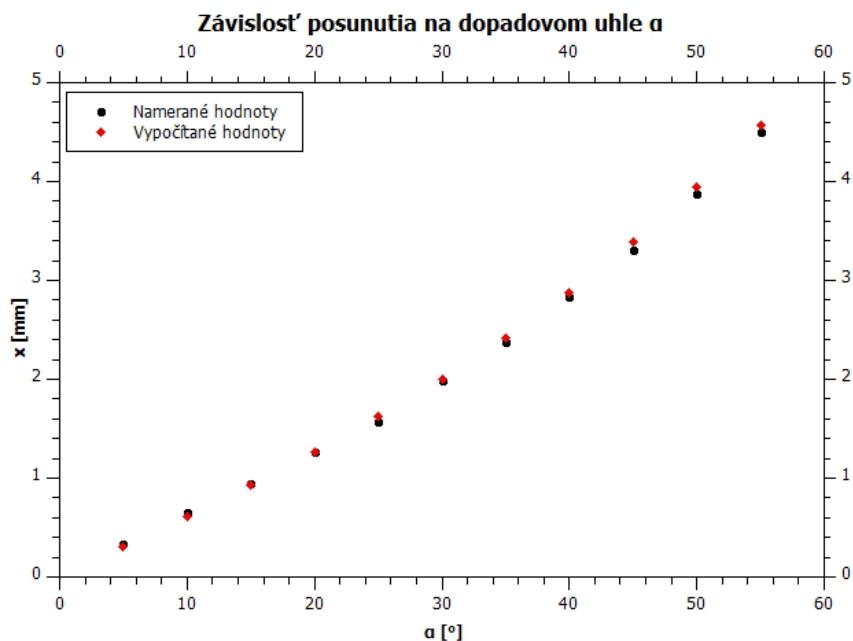
Obr.4 Závislosť odrazivosti od uhlu dopadu

4.2. Prechod svetla planparalelnou doskou

α [°]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
x [mm]	0,34	0,65	0,94	1,26	1,57	1,99	2,37	2,83	3,30	3,87	4,50
n	1,625	1,574	1,530	1,518	1,495	1,514	1,500	1,503	1,493	1,497	1,501
x_t [mm]	0,30	0,61	0,93	1,26	1,62	2,00	2,42	2,88	3,39	3,95	4,57

Tab.2 Nameraná (x) a teoretická (x_t) odchýlka svetla pri prechode planparalelnou doskou

$$\bar{n}_p = (1,52 \pm 0,01)$$



Obr.5 Graf závislosti posunutia na dopadovom uhle α

5. Záver

V prvej časti úlohy sme merali odrazivosť dielektrika pri S a P polarizovanom svetle. Z týchto odrazivosti sme vypočítali index lomu použitého dielektrika $\bar{n}_d = (1,46 \pm 0,03)$. Index lomu sme dopyčítali aj pomocou Brewsterovho uhlu. Ten sme odhadli približne na hodnotu $\varphi \approx 55^\circ$. Pri tejto hodnote nám index lomu vyšiel $n_B = 1,43$. Presnejšie by sa dal určiť, keby sme postupovali po menších krokoch a zvýšili intenzitu lasera. I tak si môžeme všimnúť že sa hodnoty vrámci chyby zhodujú.

Na grafoch sme zobrazili závislosť intenzity a odrazivosti pre obe polarizácie od uhlu. Graf závislosti intenzity sme doplnili o prirodzené svetlo.

V druhej časti úlohy sme merali index lomu pomocou prechodu laserového lúča cez planparalelnú dosku. Index lomu nám vyšiel: $\bar{n}_p = (1,52 \pm 0,01)$. Do grafu na obr.5 sme vyniesli závislosť odchýlky od uhlu dopadu aj s teoretickými hodnotami v týchto bodoch.