

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 2

Zpracoval: Jakub Juránek

Naměřeno: 8. říjen 2012

Obor: UF **Ročník:** II **Semestr:** III

Testováno:

Úloha č. 7: Odraz a lom světla. Fresnelovy vztahy,

$T = 23,5^\circ\text{C}$ **Snellův zákon.**

$p = 989 \text{ hPa}$

$\varphi = 37\%$

1. Teorie

1.1. Povinná část

Měření závislosti odrazivosti v S a P polarizaci na dielektriku.

Studujme chování elektromagnetické světelné vlny při odrazu na rozhraní dvou neabsorbujících prostředí. Označme p a s složky amplitudy lineárně polarizovaného světla rovnoběžné s rovinou dopadu resp. kolmé k této rovině, n_0 index lomu okolního prostředí (vzduch), n index lomu měřeného dielektrika. Dále označme intenzitu složek dopadajícího světla I_p^0 a I_s^0 a intenzitu odraženého světla pro obě složky I_p^R a I_s^R , a definujme odrazivosti R_p a R_s jako

$$R_p = \frac{I_p^R}{I_p^0}, \quad R_s = \frac{I_s^R}{I_s^0}$$

Ze vztahů pro Fresnelovy amplitudy odražené vlny a Snellova zákona dostáváme vztahy:

$$R_p = \left(\frac{n \cos \varphi_0 - n_0 \cos \varphi_1}{n \cos \varphi_0 + n_0 \cos \varphi_1} \right)^2, \quad R_s = \left(\frac{n_0 \cos \varphi_0 - n \cos \varphi_1}{n_0 \cos \varphi_0 + n \cos \varphi_1} \right)^2$$

kde φ_0 je úhel dopadu světelného paprsku na rozhraní a φ_1 úhel lomu.

Z těchto vztahů vyplívá, že odrazivost R_s neustále, zatímco R_p nejprve klesá až je pro úhel φ_B , který označujeme jako Brewsterův úhel, kde je rovna nule, a poté opět stoupá, až jsou pro úhel 90° rovny jedné.

Z Brewsterova úhlu je pak možno určit index lomu měřeného dielektrika jako

$$n = \tan \varphi_B$$

s nejistotou

$$u(n) = \frac{1}{\cos^2 \varphi_B} u(\varphi_B)$$

Intenzita přirozeného světla odraženého na rozhraní dvou neabsorbujících prostředí je dána jako průměr I_p^R a I_s^R

$$I^R = \frac{I_p^R}{2} + \frac{I_s^R}{2}$$

Odrazivost přirozeného světla označme R .

Z odrazivostí R_p a R_s jsme schopni stanovit hodnoty indexu lomu měřeného dielektrika vztahy:

$$\text{pro } \varphi_0 < \varphi_B : \quad n = \sqrt{\frac{(1 + \sqrt{R_s})(1 + \sqrt{R_p})}{(1 - \sqrt{R_s})(1 - \sqrt{R_p})}}$$

$$u(n) = \frac{1}{2\sqrt{n}(1 - \sqrt{R_s})^2(1 - \sqrt{R_p})^2} \sqrt{\frac{(1 - R_p)^2}{R_s} u^2(R_s) + \frac{(1 - R_s)^2}{R_p} u^2(R_p)}$$

$$\text{pro } \varphi_0 > \varphi_B : \quad n = \sqrt{\frac{(1 + \sqrt{R_s})(1 - \sqrt{R_p})}{(1 - \sqrt{R_s})(1 + \sqrt{R_p})}}$$

$$u(n) = \frac{1}{2\sqrt{n}(1 - \sqrt{R_s})^2(1 + \sqrt{R_p})^2} \sqrt{\frac{(1 - R_p)^2}{R_s} u^2(R_s) + \frac{(1 - R_s)^2}{R_p} u^2(R_p)}$$

1.2. Varianta A

Průchod světla planparallelní deskou.

V této části budeme měřit závislost posuvu x vstupujícího a vystupujícího paprsku po průchodu planparallelní deskou na úhlu dopadu α .

Označme d tloušťku desky, n_0 index lomu okolního prostředí (vzduch) a n index lomu desky.

Pro posuv x platí vztah

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

Pro index lomu pak za předpokladu $\alpha \neq 0$ platí

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

Ze zákona šíření nejistot dostáváme:

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

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

$$\left\{ \frac{n_0 \cos \alpha}{\sqrt{\sin^2 \alpha + \left(1 - \frac{x}{d \sin \alpha} \right)^{-2} \cos^2 \alpha}} \left[\sin \alpha - \frac{x \cos^2 \alpha}{d \sin^2 \alpha} \left(1 - \frac{x}{d \sin \alpha} \right)^{-3} - \sin \alpha \left(1 - \frac{x}{d \sin \alpha} \right)^{-2} \right] \right\}^2 u^2(\alpha)$$

2. Měření

2.1. Povinná část

Nejprve změříme intenzitu dopadajících složek světla I_p^0 a I_s^0 , tedy bez odrazové látky, a spočteme intenzitu dopajícího přirozeného světla I^0

$$I_S^0 = (1980,5 \pm 0,5) \text{ mV}$$

$$I_P^0 = (1815,7 \pm 0,5) \text{ mV}$$

$$I^0 = (1898,1 \pm 0,5) \text{ mV}$$

Dále budeme měřit intenzity odražených složek světla I_p^R a I_s^R , dopočteme intenzitu dopajícího přirozeného světla I^R a spočteme odrazivosti R_S , R_P a R .

$\varphi_0 [^\circ]$	$I_S^R [\text{mV}]$	$I_P^R [\text{mV}]$	$I^R [\text{mV}]$	R_S	R_P	R
26	60,6	28,9	44,8	0,031	0,016	0,024
30	74,0	25,3	49,7	0,037	0,014	0,026
35	86,3	17,9	52,1	0,044	0,010	0,027
40	108,0	10,1	59,1	0,055	0,006	0,031
45	132,6	1,9	67,3	0,067	0,001	0,035
50	179,7	1,09	90,4	0,091	0,001	0,048
55	236,8	0,96	118,9	0,120	0,001	0,063
60	303,1	1,00	152,1	0,153	0,001	0,080
65	430,8	14,4	222,6	0,218	0,008	0,117
70	581,2	69,6	325,4	0,293	0,038	0,171
72	664,2	104,7	384,5	0,335	0,058	0,203
74	762,0	160,9	461,5	0,385	0,089	0,243
75	796,8	191,0	493,9	0,402	0,105	0,260
76	849,2	221,6	535,4	0,429	0,122	0,282
78	965,1	312,9	639,0	0,487	0,172	0,337
80	1111,6	453,3	782,5	0,561	0,250	0,412
81	1135,6	494,1	814,9	0,573	0,272	0,429
83	1266,3	675,8	971,1	0,639	0,372	0,512
85	1475,0	928,9	1202,0	0,745	0,512	0,633

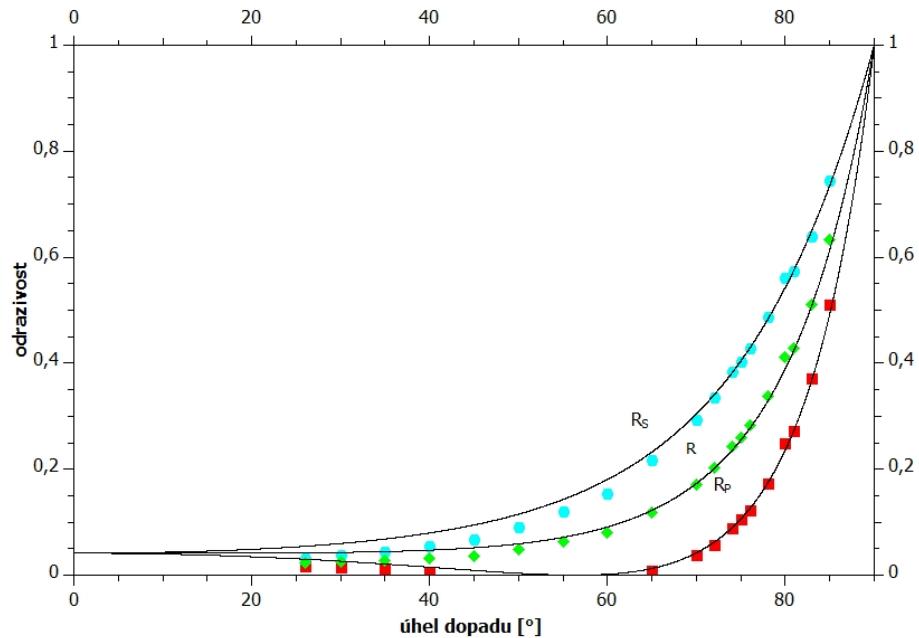
Vidíme, že Brewsterův úhel leží někde mezi 60° a 70° , dáme tedy zesílení signálu na maximum a proměříme intenzitu I_P^R po jednom stupni.

$\varphi_0 [^\circ]$	$I_P^R [\text{mV}]$
50	278,4
51	186,7
52	118,4
53	75,2
54	34,2
55	3,2
56	1,3
57	29,0
58	60,0

$$\varphi_B = (56,5 \pm 0,5)^\circ$$

$$n = 1,511 \pm 0,009$$

Nyní vyneseme do grafu naměřené závislosti odrazivostí na úhlu dopadu, jako body, a porovnáme s teoretickou hodnotou pro index lomu spočtený s Brewsterova úhlu.



Nakonec spočteme index lomu z odrazivostí pro tři různé úhly dopadu

$$\begin{array}{ll}
 \varphi_0 = 30^\circ & n = 1,369 \pm 0,002 \\
 \varphi_0 = 65^\circ & n = 1,516 \pm 0,003 \\
 \varphi_0 = 81^\circ & n = 1,508 \pm 0,001
 \end{array}$$

2.2. Varianta A

Nejprve změříme tloušťku d planparalelní desky.

$$d = (20,12 \pm 0,01) \text{ mm}$$

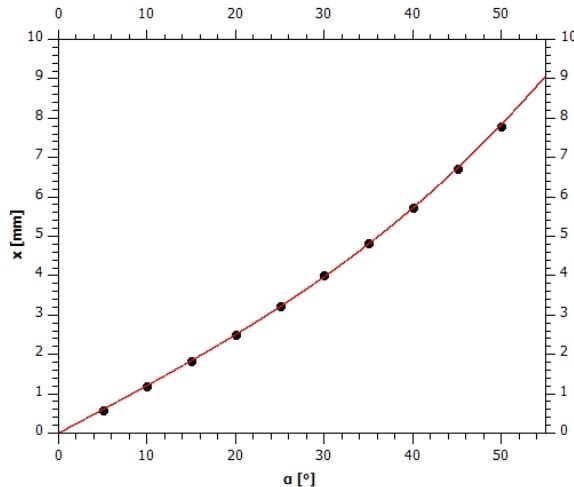
Dále změříme závislost posuvu x na úhlu dopadu α pro deset různých úhlů.

Pro každý pak spočteme index lomu.

$\alpha [\circ]$	$x [\text{mm}]$	n
5	0,58	1,491
10	1,20	1,510
15	1,84	1,516
20	2,51	1,518
25	3,22	1,519
30	4,01	1,524
35	4,83	1,521
40	5,72	1,517
45	6,71	1,514
50	7,79	1,509

$$n = 1,516 \pm 0,004$$

Nakonec vyneseme do grafu naměřenou závislost posuvu na úhlu dopadu, jako body, a porovnáme s teoretickou hodnotou pro spočtený index lomu.



3. Závěr

Index lomu z Brewsterova úhlu odpovídá indexu lomu skla, který se pohybuje mezi 1,5 až 1,9.

Naměřené závislosti odrazivostí na úhlu dopadu pro přirozené světlo a P polarizaci také odpovídají teoretickým závislostem, odrazivost pro S polarizaci nám pro úhly pod 60° pod touto teoretickou závislostí, což se projevilo i na tom, že nám zde vyšel index lomu o něco menší, zatím co pro vyšší úhly indexy lomů odpovídají hodnotě z Brewsterova úhlu.

Nejspíš to bude způsobeno tím, že se nepodařilo najít přesné maximum intenzity, což bylo celkově na tomto měření nejsložitější.

Měřená závislost posuvu světla po průchodu planparallelní deskou nám a stanovení indexu lomu této skleněné destičky nám vyšla velmi dobře, což bude způsobeno velmi kvalitní měřící aparaturou.