Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM III.

úloha č. 7

Název: Ověření Fresnelových vzorců

Pracoval: Jakub Michálek stud. skup. 12 dne: 14. dubna 2010

Odevzdal dne: 20. dubna 2010

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
	max. 20	

Posuzoval: dne

ČESKÁ PIRÁTSKÁ STRANA

Pracovní úkol

1. Najděte směr snadného průchodu polarizátoru užívaného v aparatuře.
2. Ověřte, že zdroj světla je polarizován kolmo k vodorovné rovině.
3. Na přiložených vzorcích proměřte závislost intenzity odraženého světla na úhlu dopadu pro TE i TM polarizaci.
4. Naměřené výsledky porovnejte s teoretickým průběhem závislostí.
5. Určete indexy lomů měřených vzorků a jejich relativní chybu.

1 Teorie

Při dopadu rovinné elektromagnetické doby lze odvodit pro složku polarizovanou kolmo k rovině dopadu a rovnoběžně s rovinou dopadu z podmínek spojitosti Fresnelovy vzorce pro reflexní koeficienty

$$r^{\perp} = \sqrt{\frac{E^{\perp}}{E_0^{\perp}}} = \frac{\cos\theta - \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}} \tag{1}$$

$$r^{\parallel} = \sqrt{\frac{E^{\parallel}}{E_0^{\parallel}}} = \frac{n^2\cos\theta - \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}{n^2\cos\theta + \sqrt{n^2 - \sin^2\theta}}, \tag{2}$$

kde nulka u amplitudy značí původní vlnu, n index lomu destičky, θ úhel dopadu. Pro měření intenzity polarizátorem platí Malusův zákon

$$I \sim \cos^2\varphi,$$

kde φ značí úhel natočení. Pro změnu polarizace se používá čtvlnová destička, tak jak to popisuje text [1]. Pro $n \neq 1$ se (1) nemůže rovnat nule. Naopak u rovnoběžné polarizace (2) existuje Brewsterův úhel

$$\tan\theta_{\mathrm{B}} = n,$$

při kterém rovnoběžná složka vymizí. V tomto měření se používá optodiody připojené na zesilovač, takže pro reflexní koeficient platí

$$r^2 = \frac{U(\theta)}{U_0},$$

ČESKÁ PIRÁTSKÁ STRANA

kde U_0 značí napětí při dopadu bez odrazu a $U(\theta)$ napětí při úhlu θ. Chybu tohoto koeficientu určíme klasicky podle Gaussova zákonu přenosu chyb

$$\delta r = \frac{\delta U_0}{2},$$

kde δ značí relativní chybu a chybu měření napětí při daném úhlu zanedbávám.

2 Výsledky měření

Měříme pouze absolutní hodnotu reflexivního koeficientu.

2.1 Směr snadného průchodu

Směr snadného průchodu jsem měřil pomocí minimální intenzity světla polarizovaného odrazem na destičce. Minimální intenzitu jsem změřil při

$$\varphi_{\min} = (324 \pm 3)^\circ \Rightarrow \varphi_{\max} = (54 \pm 2)^\circ. \tag{3}$$

2.2 Kolmá polarizace laserového svazku

Umístil jsem polarizátor za laser; přitom jsem naměřil

$$\varphi'_{\min} = (327 \pm 1)^\circ \Rightarrow \varphi'_{\max} = (57 \pm 1)^\circ. \tag{4}$$

Při zakrytém vstupu optodiody činila hodnota na zesilovači 6 dílků a ve výsledcích ji od měření odečtu.

2.3 Reflexní koeficienty

Vybral jsem si k měření destičky s indexy lomu $n = 1,8051$ (dále malá destička), vyrobenou ze skla SFLG, a $n = 1,509$ (dále velká destička).

2.3.1 Kolmá polarizace

Závislost reflexního koeficientu na úhlu dopadu pro kolmou polarizaci jsem zanesl do tab. 1 a do grafu na obr. 1.

Fitováním teoretické závislosti (1) jsem získal programem gnuplot hodnoty

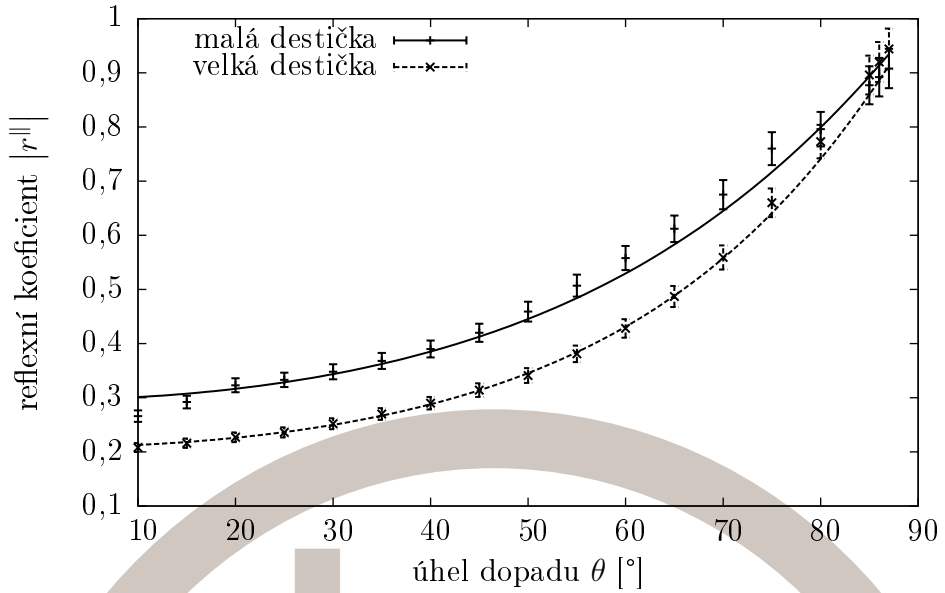
$$\begin{aligned} n_1 &= 1,85 \pm 0,02 \\ n_2 &= 1,48 \pm 0,02. \end{aligned} \tag{5}$$

ČESKÁ PIRÁTSKÁ STRANA

θ [°]	$r^{\parallel}$ pro desku malou	$r^{\parallel}$ pro desku velkou
10	0,266	0,208
15	0,292	0,216
20	0,323	0,227
25	0,333	0,236
30	0,348	0,252
35	0,368	0,270
40	0,390	0,290
45	0,420	0,314
50	0,459	0,341
55	0,507	0,381
60	0,558	0,428
65	0,612	0,487
70	0,675	0,559
75	0,760	0,660
80	0,796	0,773
85	0,877	0,896
86	0,892	0,920
87	0,908	0,944

Tabulka 1: Reflexní koeficient pro polarizaci kolmou na rovinu dopadu u malé a velké destičky.

ČESKÁ PIRÁTSKÁ STRANA



Obrázek 1: Závislost reflexního koeficientu pro polarizaci kolmou na rovinu dopadu u malé a velké destičky. Závislosti jsou proloženy teoretickými křivkami (1).

2.3.2 Rovnoběžná polarizace

Závislost reflexního koeficientu na úhlu dopadu pro rovnoběžnou polarizaci jsem zanesl do tab. 2a a do grafu na obr. 2.

Fitováním teoretické závislosti (2) jsem získal hodnoty

$$\begin{aligned} n_1 &= 1,84 \pm 0,02 \\ n_2 &= 1,527 \pm 0,004. \end{aligned} \tag{6}$$

2.3.3 Měření výseku Brewsterova úhlu

Abych naměřil závislost v okolí Brewsterova úhlu, zvětšil jsem šířku štěrbin v přerušovači, abych zvýšil intenzitu procházejícího světla, a zvýšil jsem citlivost detektoru. Závislost reflexního koeficientu na úhlu dopadu pro rovnoběžnou polarizaci jsem v okolí Brewsterova úhlu zanesl do tab. 2b a do grafu na obr. 3. Pro názorný fyzikální smysl jsem odečítal od všech hodnot nejnižší hodnotu, aby bylo minimum na nule.

Z fitu teoretické závislosti (2) na tomto grafu jsem získal hodnoty indexů

ČESKÁ PIRÁTSKÁ STRANA

a)

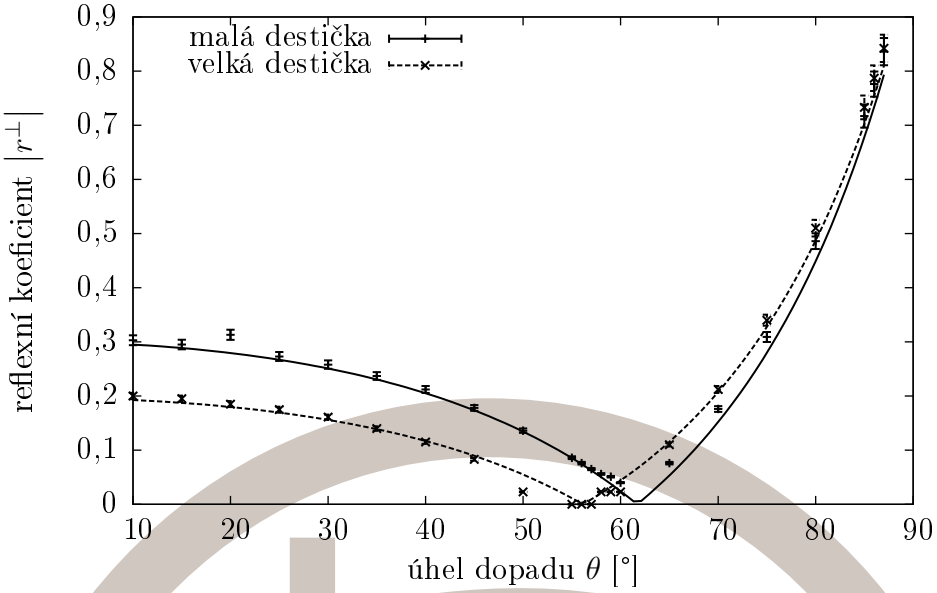
θ [°]	$r^{\parallel}$ pro desku malou	$r^{\parallel}$ pro desku velkou	θ [°]	$r^{\parallel}$ pro desku malou	$r^{\parallel}$ pro desku velkou
10	0,303	0,200	62	0,040	
15	0,295	0,195	63	0,051	
20	0,313	0,185	64	0,061	
25	0,273	0,175	65	0,076	0,110
30	0,258	0,161	66	0,092	
35	0,237	0,140	67	0,112	
40	0,212	0,115	68	0,132	
45	0,178	0,083	69	0,152	
50	0,136	0,023	70	0,176	0,212
53		0,023	71	0,199	
54		0,000	72	0,225	
55	0,086	0,000	73	0,250	
56	0,076	0,000	74	0,279	
57	0,065	0,000	75	0,309	0,340
58	0,056	0,023	80	0,486	0,510
59	0,051	0,023	85	0,717	0,733
60	0,040	0,023	86	0,776	0,787
61	0,040		87	0,836	0,842

b)

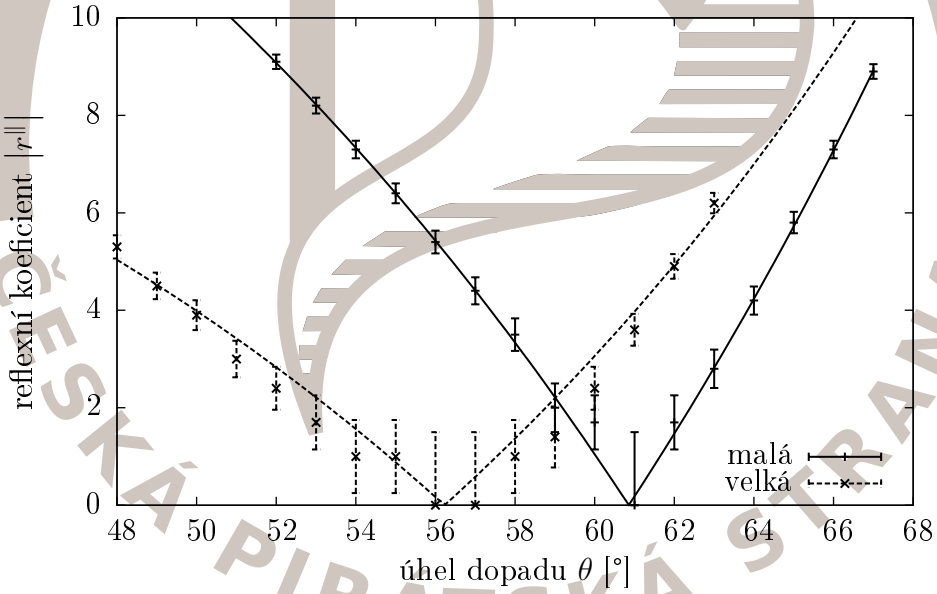
θ [°]	$r^{\parallel}$ pro desku* malou	$r^{\parallel}$ pro desku* velkou
48		5,3
49		4,5
50		3,9
51		3,0
52	9,1	2,4
53	8,2	1,7
54	7,3	1,0
55	6,4	1,0
56	5,4	0,0
57	4,4	0,0
58	3,5	1,0
59	2,0	1,4
60	1,7	2,4
61	0,0	3,6
62	1,7	4,9
63	2,8	6,2
64	4,2	
65	5,8	
66	7,3	
67	8,9	

Tabulka 2: a) Reflexní koeficient pro polarizaci rovnoběžnou s rovinou dopadu u malé a velké destičky, b) měření výseku reflexního koeficientu kolem Brewsterova úhlu (*koeficient není normován a vyjadřuje jen úměrnost).

ČESKÁ PIRÁTSKÁ STRANA



Obrázek 2: Závislost reflexního koeficientu pro polarizaci rovnoběžnou s rovinou dopadu u malé a velké destičky. Závislosti jsou proloženy teoretickými křivkami (2).



Obrázek 3: Závislost reflexního koeficientu pro polarizaci rovnoběžnou s rovinou dopadu u malé a velké destičky. Závislosti jsou fitovány teoretickými křivkami (2).

ČESKÁ PIRÁTSKÁ STRANA

lomu

$$\begin{aligned} n_1 &= 1,793 \pm 0,001 \\ n_2 &= 1,495 \pm 0,006. \end{aligned} \tag{7}$$

3 Diskuse

Výsledky měření směru snadného průchodu polarizátoru pomocí odrazu na destičce a měření intenzity laseru se v rámci chyby shodují (první měření bylo bez pevného držení, takže poměrně nepřesné.) Neprokázalo se, že by byl laser natočen a lze shrnout, že byl zdroj světla polarizován kolmo k vodorovné rovině.

Výsledky (7) jsou v porovnání s (5), (6) nejpřesnější, ale myslím, že jejich chyby jsou podhodnoceny, a proto bych přidám ještě odhad chyby měřidla 1 % způsobený kolísáním intenzity laseru, změnou náklonu vzorku při otáčení, zesilovačem a dalšími vlivy. Celkem tak odhaduji chybu indexu lomu

$$\begin{aligned} n_1 &= 1,79 \pm 0,02 \\ n_2 &= 1,50 \pm 0,02, \end{aligned}$$

takže relativní chyba činí 1 % (statistická chyba je zanedbatelná). Tyto hodnoty se v rámci chyby shodují s hodnotami na vzorcích.

Odpovídají jim Brewsterovy úhly

$$\begin{aligned} \theta_{\mathrm{B1}} &= (60,8 \pm 0,3)\,^\circ \\ \theta_{\mathrm{B2}} &= (56,3 \pm 0,4)\,^\circ. \end{aligned}$$

Z grafů na obr. 1, 2, 3 je zřejmé, že naměřené hodnoty odpovídají teoretické závislosti vyjma okolí Brewsterova úhlu, kde nepozorujeme ostré minimum, ale plato. Hodnoty na obr. 2 jsou poněkud posunuté, protože jsem nepozoroval stejné minimum jako při zakrytí vstupu optodiody (jen u jedné destičky). Toto posunutí jsem korigoval, ale použil jsem ho k odhadu chyby měření.

4 Závěr

Ověřil jsem průběh závislostí Fresnelových vzorců (1), (2) a vynesl jsem je do grafů na obr. 1, 2, 3, kde jsou porovnány s teoretickou předpovědí. Naměřil indexy lomu destiček

$$\begin{aligned} n_1 &= 1,79 \pm 0,02 \\ n_2 &= 1,50 \pm 0,02. \end{aligned}$$

Reference

[1] Pokyny k měření: *Ověření Fresnelových vzorců.* `http://physics.mff.cuni.cz/to/vyuka/zfp/mereni_307.pdf` (Přístup 19. dubna 2010)