

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM III

Úloha č.:

Název: Ověření Fresnelových vzorců

Vypracovala: stud. sk. dne: 12/2004.....

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne: vráceno:

Odevzdal dne:

Posuzoval: dne výsledek klasifikace

Připomínky:

I. Pracovní úkol

- I. Najděte směr snadného průchodu polarizátoru užívaného v aparatuře.
- II. Ověřte, že zdroj světla je polarizován kolmo k rovině dopadu.
- III. Na přiložených vzorcích proveďte závislost velikosti odraženého signálu a rovnoběžné a kolmé složky na úhlu dopadu. Určete index lomu skla.
- IV. Výsledky porovnejte s teoretickými hodnotami a diskutujte chyby měření.

II. Teorie

Pro průchod záření na rozhraní dvou průhledných dielektrických prostředí platí Snellův zákon lomu:

$$N_1 \sin \alpha_1 = N_2 \sin \alpha_2 \quad (1)$$

N_1 index lomu prvního prostředí

N_2 index lomu druhého prostředí

α_1 úhel dopadu

α_2 úhel odrazu

Pro odražené světlo platí, že úhel odrazu se rovná úhlu dopadu.

Informaci o tom, jaká část výkonu dopadajícího světla se odráží a jaká se lomí v závislosti na úhlu dopadu na rozhraní nám poskytují Fresnelovy vzorce. Rozdělení intenzity světla odraženého a lomeného paprsku závisí na polarizaci dopadajícího paprsku. Budeme uvažovat tyto dva případy:

I. Vektor \vec{E} je kolmý na rovinu dopadu

II. Vektor \vec{E} leží v rovině dopadu, tj. paprsek je rovnoběžně polarizován

Pro odraz kolmo polarizovaného paprsku platí:

$$r_s = \frac{E_{3s}}{E_{1s}} = -\frac{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} = \frac{N_1 \cos \alpha_1 - N_2 \cos \alpha_2}{N_1 \cos \alpha_1 + N_2 \cos \alpha_2} \quad (2)$$

r_s koeficient odrazivosti pro kolmé složky

E_{3s} amplituda elektrického pole odražené vlny

E_{1s} amplituda elektrického pole dopadající vlny

Pro odraz rovnoběžně polarizovaného paprsku platí:

$$r_p = \frac{E_{3p}}{E_{1p}} = \frac{\tan(a_1 - a_2)}{\tan(a_1 + a_2)} = \frac{N_2 \cos a_1 - N_1 \cos a_2}{N_2 \cos a_1 + N_1 \cos a_2} \quad (3)$$

r_p koeficient odrazivosti pro rovnoběžné složky

E_{3p} amplituda elektrického pole odražené vlny

E_{1p} amplituda elektrického pole dopadající vlny

Pokud se $a_1 + a_2 = 90^\circ$, světlo dopadá pod tzv. Brewsterovým úhlem a jak je vidět z předešlých vzorců, rovnoběžná složka odraženého světla je rovna 0. Odražený paprsek je tedy úplně polarizovaný kolmo k rovině dopadu.

Odrazivost R spočteme z experimentálních hodnot podle vzorce:

$$R = \frac{U_a}{U_0} \quad (4)$$

U_a hodnota odraženého signálu při úhlu α

U_0 hodnota signálu při klouzavém dopadu, tj. $\alpha_i = 90^\circ$

Do grafu budeme vynášet závislost koeficientu odrazivosti $|r_{sp}| = \sqrt{\frac{U_a}{U_0}}$

III. Výsledky měření

A. Zjištění směru snadného průchodu

tab. 1 – úhel nastavení polarizátoru při pozorování pod Brewsterovým úhlem

β [°]	82	84	86	78	80
-------------	----	----	----	----	----

Úhel snadného průchodu $\varphi = (172 \pm 1)^\circ$

Polarizace laseru – laser byl polarizován kolmo k rovině dopadu.

Úhel na straně polarizátoru pro minimum $\varphi = (84 \pm 1)^\circ$

Směr snadného průchodu $\varphi = (176 \pm 1)^\circ$

B. Určení Brewsterova úhlu

tab. 2 – určení Brewsterova úhlu

$90 - \alpha_B [^\circ]$	34,12	33,72	34,02	33,78	33,80	33,90	33,88
$\alpha_B [^\circ]$	55,88	56,28	55,98	56,22	56,20	56,10	56,12

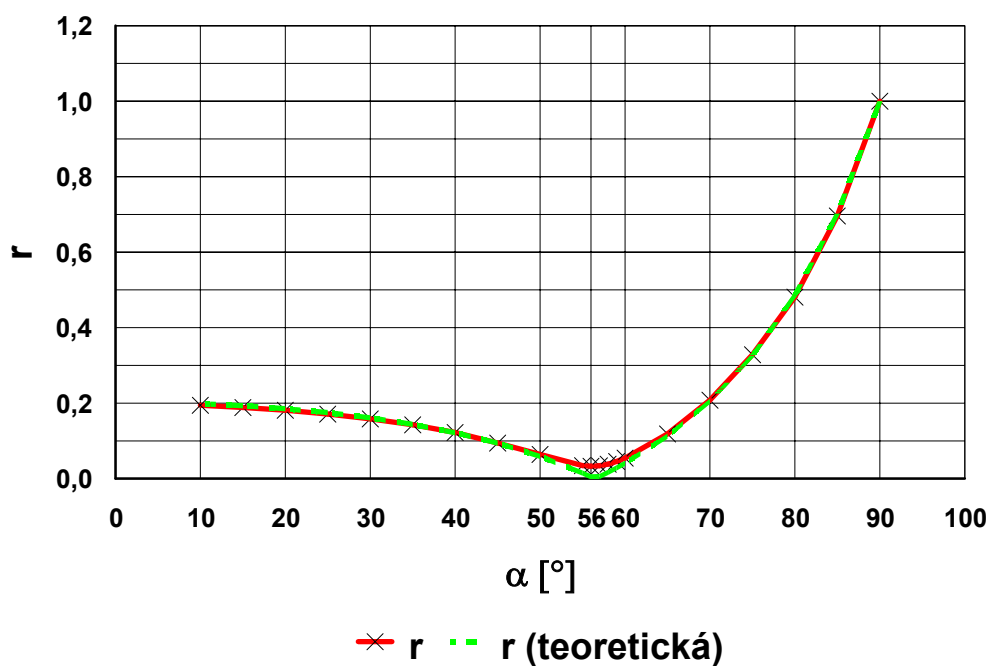
Brewsterův úhel $\alpha_B = (56,1 \pm 0,4)^\circ$

C. Závislost rovnoběžné složky E_{3p} na úhlu dopadu

tab. 3 – závislost rovnoběžné složky E_{3p} na úhlu dopadu

$90 - \alpha_i [^\circ]$	0	5	10	15	20	25	30	31	32	33	34	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\alpha_i [^\circ]$	90	85	80	75	70	65	60	59	58	57	56	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$U_{a1} [\text{mV}]$	5220	2440	1170	570	230	71,71	15,16	10,91	7,77	5,97	5,47	6,10	20,52	46,11	77,22	106,22	126,00	146,90	164,10	177,10	188,70
$U_{a2} [\text{mV}]$	5140	2455	1166	531	214	69,81	14,88	10,30	7,34	5,75	5,38	6,07	21,48	48,57	75,66	101,03	125,10	146,49	164,72	188,80	188,94
$U_{a3} [\text{mV}]$	5130	2499	1190	553	215	70,14	14,87	10,37	7,41	5,82	5,44	6,09	20,59	40,61	76,77	106,00	133,00	155,00	171,70	178,30	201,13
$U_{a4} [\text{mV}]$	4747	2396	1160	529	217	72,23	15,45	10,74	7,61	5,90	5,47	6,13	20,88	45,13	72,74	99,26	123,80	145,00	162,90	176,60	187,00
$\bar{U}_n [\text{mV}]$	5060	2450	1172	546	219	71,0	15,09	10,6	7,53	5,86	5,44	6,100	20,9	45	75,6	103	127	148	166	180	191
$\delta U_n [\text{mV}]$	70	10	4	6	2	0,4	0,09	0,1	0,07	0,03	0,01	0,008	0,1	1	0,7	1	1	2	1	2	2
R	1	0,4842	0,2316	0,1079	0,0433	0,014	0,003	0,0021	0,0015	0,0012	0,0011	0,0012	0,0041	0,0089	0,0149	0,0204	0,0251	0,0293	0,0328	0,0356	0,0378

Závislost r na úhlu dopadu

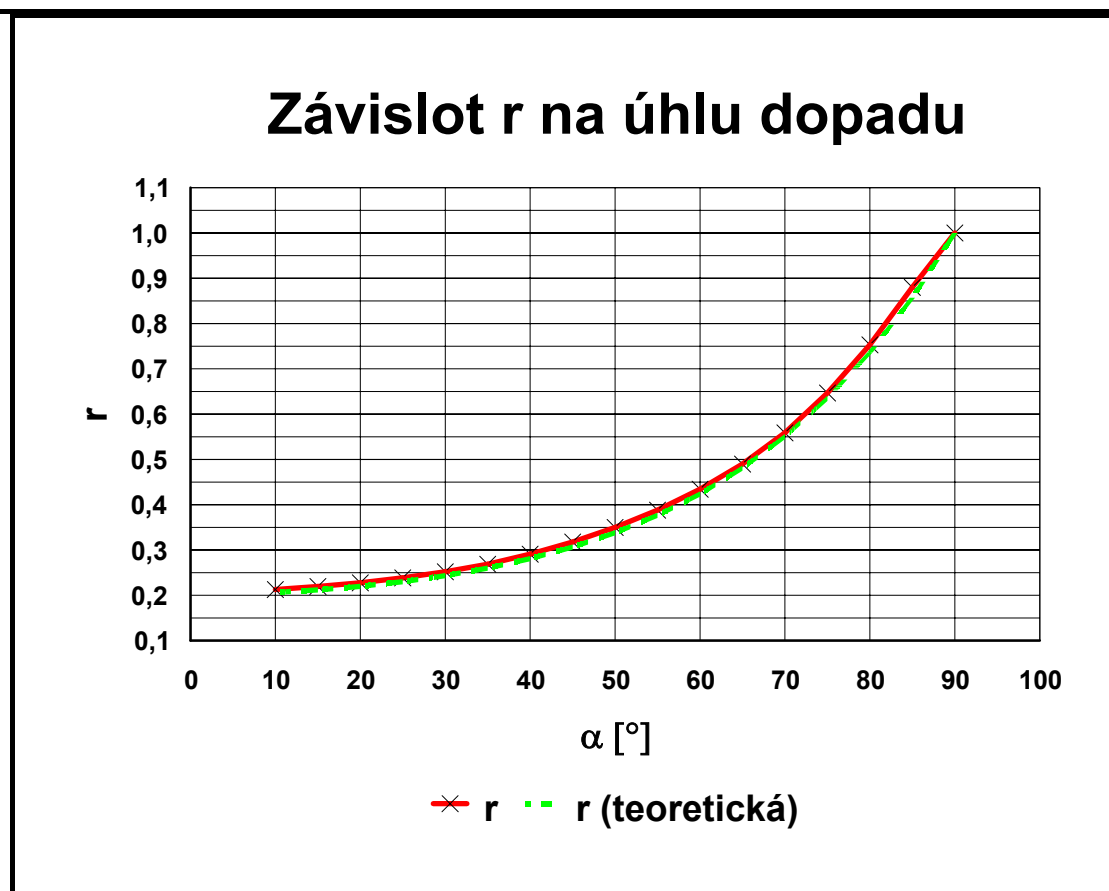


graf 1

D. Závislost kolmé složky E_{3s} na úhlu dopadu

tab. 4 – závislost kolmé složky E_{3s} na úhlu dopadu

$90 - \alpha_1 [^\circ]$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\alpha_1 [^\circ]$	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10
$U_{a1} [V]$	6,740	5,279	3,896	2,886	2,151	1,637	1,281	1,027	0,851	0,708	0,596	0,512	0,450	0,406	0,369	0,341	0,318
$U_{a2} [V]$	7,010	5,400	3,937	2,893	2,154	1,651	1,291	1,021	0,829	0,679	0,568	0,485	0,428	0,386	0,356	0,334	0,317
$U_{a3} [V]$	7,010	5,420	3,970	2,925	2,198	1,715	1,366	1,096	0,889	0,733	0,615	0,524	0,456	0,406	0,366	0,337	0,313
$U_{a4} [V]$	6,995	5,400	3,950	2,903	2,165	1,661	1,303	1,036	0,834	0,684	0,572	0,488	0,428	0,383	0,351	0,328	0,312
$\bar{U}_a [V]$	6,94	5,38	3,94	2,902	2,17	1,67	1,31	1,04	0,85	0,70	0,59	0,502	0,441	0,395	0,360	0,335	0,315
$\delta U_a [V]$	0,07	0,03	0,02	0,008	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,009	0,007	0,006	0,004	0,003	0,001
R	1	0,7745	0,5674	0,4182	0,3122	0,2401	0,1888	0,1506	0,1226	0,101	0,0847	0,0723	0,0635	0,0569	0,0519	0,0483	0,0454



graf 2

IV. Diskuse

Změřili jsme úhel snadného průchodu paprsku polarizátorem při Brewstově úhlu. Potvrdilo se, že laser je polarizován kolmo k rovině dopadu. Proměřili jsme závislost rovnoběžné i kolmé složky paprsku v závislosti na úhlu dopadu. Obě závislosti se nám velmi dobře shodují s teoretickými hodnotami (viz grafy 1, 2). Zjistili jsme také index lomu pro rovnoběžně polarizovaný paprsek, vychází $N = (1,51 \pm 0,01)$, pro kolmo polarizovaný paprsek vychází $N = (1,50 \pm 0,01)$, což se shoduje s teoretickou hodnotou $N = 1,509$. Z proměření rovnoběžně polarizovaného paprsku jsme zjistili Brewsterův úhel $\alpha_B = (56,1 \pm 0,4)^\circ$, teoretická hodnota je $\alpha_B = 56,47^\circ$.

Největší chybu do měření nám vneslo kolísání výkonu laseru, což jsme částečně odstranili vícenásobným měřením a zprůměrováním hodnot.

V. Závěr

Laser byl kolmo polarizován. Potvrdili jsme předpokládaný průběh kolmo polarizovaného paprsku a rovnoběžně polarizovaného paprsku, viz grafy 1, 2.

Změřený index lomu pro kolmo polarizovaný paprsek $N = (1,50 \pm 0,01)$

Změřený index lomu pro rovnoběžně polarizovaný paprsek $N = (1,51 \pm 0,01)$

Teoretická hodnota indexu lomu $N = 1,509$

Brewsterův úhel $\alpha_B = (56,1 \pm 0,4)^\circ$

Teoretická hodnota Brewserova úhlu $\alpha_B = 56,47^\circ$

VI. Literatura

Ivan Pelant a kol. Fyzikální praktikum III optika Praha 2001