

# 1 Pracovní úkoly

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.

# 2 Teoretický úvod

## 2.1 Fresnelovy vzorce

Fresnelovy vzorce (A. J. Fresnel 1821) popisují intenzitu světla po dopadu na rozhraní dvou prostředí, tedy jak intenzitu odražené, tak prošlé složky. Pro tento popis jsou zavedeny dva základní pojmy - *odrazivost*  $R$  a *propustnost*  $T$ . Obě veličiny mohou nabývat hodnot v rozmezí 0 - 1 a jsou navzájem spojeny vztahem

$$T = 1 - R, \quad (1)$$

z něhož je patrné, že součtem  $T$  a  $R$  dostaneme vždy 1, tedy obě veličiny po přenásobení 100 dávají v procentech hodnotu zkoumané intenzity. Hodnota odrazivosti je dána vztahem

$$R = |r|^2, \quad (2)$$

kde  $r$  je *koeficient odrazivosti*. [1]

Odrzivost  $R$  i propustnost  $T$  jsou silně závislé na polarizaci světla dopadajícího na rozhraní. V principu existují dva speciální případy polarizace dopadajícího paprsku -  $TE$  (neboli *s-polarizace*) a  $TM$  (neboli *p-polarizace*). Při *s-polarizaci* je elektrická složka dopadajícího světla  $\vec{E}$  kolmá na rovinu dopadu. Naopak při *p-polarizaci* je  $\vec{E}$  rovnoběžná s rovinou dopadu. Z důvodu závislosti intenzity na polarizaci paprsku tedy rozlišujeme odrazivosti  $R_s$  a  $R_p$ , propustnosti  $T_s$  a  $T_p$  a koeficienty odrazivosti  $r_s$  a  $r_p$  a koeficienty propustnosti  $t_s$  a  $t_p$ , vše značené v souladu s označením typů polarizace výše. [1]

S  $TM$ , neboli *p-polarizací* je spojen pojem tzv. *Brewsterova úhlu*  $\theta_B$ , definovaného vztahem

$$\tan \theta_B = \frac{N_2}{N_1}, \quad (3)$$

kde vystupují indexy lomů prostředí ze kterého se paprsek šíří  $N_1$  a prostředí, do kterého se paprsek šíří  $N_2$ . Brewsterův úhel je významným, protože při jeho dosažení, jakožto úhlu dopadu na rozhraní dvou prostředí, je koeficient odrazivosti pro *p-polarizaci*  $r_p$  roven nule. Tedy dochází k polarizaci dopadajícího světla - odražený paprsek má  $\vec{E}$  zcela polarizovaný kolmo na rovinu dopadu a procházející paprsek má  $\vec{E}$  většinou polarizovaný v rovině dopadu. [3]

Jako Fresnelovy vzorce jsou označovány tvary koeficientů odrazivosti a koeficientů propustnosti, často zapisovány s pomocí indexů lomu  $N_1$  a  $N_2$  obou prostředí, tedy ve tvaru

$$r_s = \frac{N_1 \cos \gamma_1 - N_2 \cos \gamma_2}{N_1 \cos \gamma_1 + N_2 \cos \gamma_2}, \quad (4)$$

$$t_s = 1 + r_s, \quad (5)$$

$$r_p = \frac{N_2 \cos \gamma_1 - N_1 \cos \gamma_2}{N_2 \cos \gamma_1 + N_1 \cos \gamma_2}, \quad (6)$$

$$t_p = \frac{N_1}{N_2}(1 + r_p), \quad (7)$$

kde vystupuje úhle dopadu  $\gamma_1$  a úhel  $\gamma_2$  pod kterým odchází lomený paprsek. [1]

Pro odvození Fresnelových vzorců je nezbytné znát tzv. *Snellův zákon*, jehož podoba je

$$N_1 \sin \alpha_1 = N_2 \sin \alpha_2, \quad (8)$$

kde vystupují indexy lomu obou prostředí  $N_1$ ,  $N_2$  a úhly  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , tedy úhel dopadu a úhel, pod kterým odchází lomený paprsek druhým prostředím. [3]

## 2.2 Měřicí aparatura

Měření probíhalo na aparatuře složené z goniometru (HZG3), zdroje laserového svazku a měřicí diody (schéma aparatury viz Fig 1). Ve středu goniometru byl umístěn vzorek a na vnějším disku goniometru byla připevněna měřicí dioda. Díky tomuto uspořádání docházelo při otáčení goniometru k přesně definované změně pozici diody vůči vzorku a sice tak, že pokud byl vzorek vůči laserovému svazku natočen o úhel  $\alpha$ , pak byla dioda natočena o úhel  $2\alpha$ . Dioda byla napojena na voltmetr a zjištěné napětí  $U_\alpha$  bylo na odrazivost  $R_{s,p}$  přepočteno pomocí vztahu

$$R_{s,p} = \frac{U_\alpha}{U_0}, \quad (9)$$

kde  $U_0$  je napětí zjištěné při tzv. *klouzavém dopadu*, tedy při situaci kdy  $\alpha$  je velice blízké nule. [2]

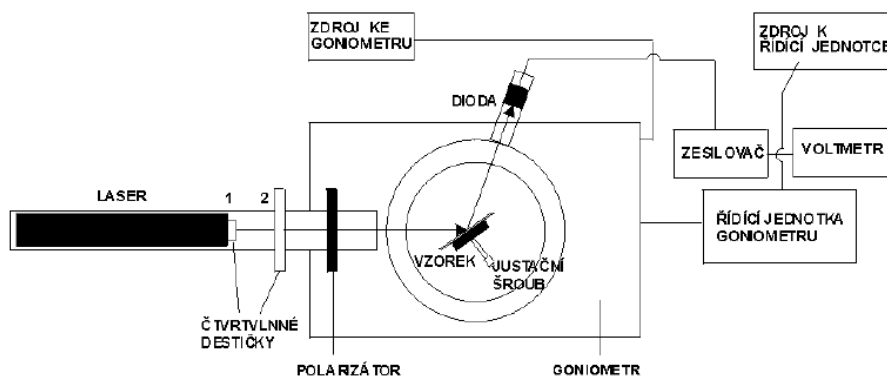


Figure 1: Schéma aparatury použité při experimentu. Převzato z [2].

Přesnost nastavení úhlu  $\alpha$  pomocí goniometru činila  $\pm 0,002^\circ$ . Úhel natočení vzorku  $\alpha$  a úhle dopadu svazku na vzorek  $\gamma$  byly svázány vztahem vycházejícím z geometrie experimentu, tedy

$$\gamma = 90^\circ - \alpha. \quad (10)$$

Použitý laserový svazek byl polarizován v rovině kolmé na vodorovnou rovinu. Mezi zdroj laserového svazku a vzorek byly postupně vloženy až tři prvky - polarizátor a dvě čtvrtvlnné destičky. Experiment probíhal na dvou vzorcích skla. Jako *Vzorek č. 1* bylo označeno velké sklo se zadaným indexem lomu 1,509. Jako *Vzorek č. 2* pak sklo s označením SFL6 a udaným indexem lomu 1,8051.

## 3 Výsledky měření

### 3.1 Polarizátor a polarizace zdroje

Na počátku měření bylo nutné nalézt rovinu snadného průchodu polarizátoru. Přes polarizátor bylo pohlíženo na odraz žárovky stolní lampy na skleněné destičce, přičemž byl nejprve nalezen Brewstův úhel a měření probíhala při poloze polarizátoru zhruba v tomto úhlu, aby pozorovaný efekt ztmavení obrazu byl maximální. Ze zjištěných hodnot (viz tabulka č.1) byl výsledný úhel určen aritmetickým průměrem a jeho chyba jako odmocnina ze součtu kvadrátů nepřesnosti nastavení polarizátoru ( $\pm 2^\circ$ ) a směrodatné odchylky změřených hodnot. Tímto postupem byl určen směr minimální propustnosti, který je o  $90^\circ$  pootočen oproti směru snadného průchodu.

Měření	Úhel při minimální intenzitě [°]
1	72
2	254
3	70
4	74
5	250

Tabulka 1: Hodnoty úhlu natočení polarizátoru při průchodu minimální intenzity světla zjišťované okem. Přesnost nastavení polarizátoru byla  $\pm 2^\circ$ .

Metoda měření	Úhel natočení roviny snadného průchodu [°]
Pohledem	$162,8 \pm 3,3$
Laserovým svazkem a diodou	$160 \pm 2$

Tabulka 2: Úhel sklonu roviny snadného průchodu použitého polarizátoru zjištěný jednak pomocí pohledové metody, jednak pomocí polarizovaného laserového svazku.

Následně byla ověřena polarizace zdroje laserového paprsku. Před zdroj byl umístěn polarizátor, který byl následně natáčen tak, aby na voltmetru připojeném na detekční diodu byla naměřena co nejnižší hodnota napětí. Tímto mechanismem byl opět určen nepropustný směr polarizátoru (při znalosti polarizace zdroje), respektive ověřena polarizace zdroje (při znalosti roviny snadného průchodu polarizátorem). Výsledky měření touto metodou i výsledný úhle spočtený z měření pohledem jsou zaneseny v tabulce č.2.

### 3.2 Měření intenzity odraženého světla

Měření probíhalo na aparatuře popsané v kapitole 2.2 *Měřicí aparatura*, byla tedy měřena hodnota napětí při různém natočení vzorku a z ní byla dle (9) spočtena odrazivost. Nejprve byla pro oba vzorky proměřena *s-polarizace*, poté *p-polarizace*.

Pro první sadu měření, tedy sadu měření při *s-polarizaci*, byl před zdroje laserového paprsku umístěn pouze polarizátor a to ve směru snadného průchodu kolmém na vodorovnou osu tzn. shodně s polarizací laserového paprsku. Před upnutím prvního vzorku byla naměřena hodnota  $U_0$  maximálního napětí na měřící diodě. Následně byl upnut vzorek 1, seřizena jeho poloha tak, aby stopa odrazu na detekční diodě byla ve správné poloze, a proměřen v rozsahu zhruba  $80^\circ$  s krokem po  $5^\circ$ . Následně bylo to samé provedeno se vzorkem č.2.

Před druhou sadou měření (*p-polarizace*) byly mezi zdroj a polarizátor umístěny dvě čtvrtvlnné destičky. Jedna měla definovanou polohu, druhou bylo nutno nastavit. Nastavení proběhlo tak, že polarizátor byl otočen o  $90^\circ$  tak, aby směr snadného průchodu byl rovnoběžný s vodorovným směrem a následně bylo čtvrtvlnnou destičkou otáčeno, dokud nebylo nalezeno minimum intenzity detekované světla, respektive minimální napětí na diodě. Poté byla tato destička otočena o  $90^\circ$ , čímž bylo dosaženo požadovaného nastavení. Měření poté probíhala stejně jako pro první sadu měření. Na závěr měření každého vzorku bylo ještě detailně (s krokem  $1^\circ$ ) proměřeno okolí (rozumně  $\pm 5^\circ$ ) Brewsterova úhlu, který byl přibližně určen s již zjištěných dat a jeho přesná hodnota byla určena opakovaným hledáním minimálního měřeného napětí - viz tabulka č.5. Výsledná hodnota  $\alpha$  byla určena jako aritmetický průměr a její chyba jako směrodatná odchylka změřených hodnot. Hodnota Brewsterova úhlu  $\theta_B$  je pak s úhlem  $\alpha$  spojena vztahem (10) při dosazení  $\theta_B$  za  $\gamma$  a chyba vzata totožná. Zjištěná hodnota Brewsterova úhlu opět viz tabulka č.5.

Hodnoty naměřené v první sadě měření, tedy při *s-polarizaci* byly zaneseny do tabulky č.3. Data z druhé sady měření (*p-polarizace*) jsou obsažena v tabulce č.4 a údaje získané detailním proměřením okolí Brewstova úhlu jsou zaneseny v tabulce č.6. Zjištěné hodnoty odrazivosti  $R$  pro obě polarizace a

oba vzorky jsou spolu s teoretickou závislostí vycházející z (2) a (6), respektive (4) vyneseny v grafu Fig 2. Průběh  $R$  v blízkém okolí Brewsterova úhlu pro oba vzorky, samozřejmě při  $p$ -polarizaci, je vyneseno spolu s teoretickou závislostí na grafu Fig 3.

Po zpracování všech dat bylo přistoupeno k hledání indexu lomu měřených vzorků. Index lomu je vzhledem k experimentu možné určit dvěma různými způsoby - z Brewsterova úhlu a fitem získané závislosti odrazivosti na úhlu dopadu, tedy za pomoci vztahů (2), (6), (4) a (8). Při výpočtu z Brewsterova úhlu, tedy vztahu (3), byla relativní chyba určení indexu lomu vzata stejná jako relativní chyba určení Brewsterova úhlu. Při lineárním fitu byla jako chyba určení indexu lomu vzata chyba fitu (fitování probíhalo pomocí programu GNU PLOT). Všechny zjištěné hodnoty indexu lomu jsou zaneseny v tabulce č.7.

## 4 Diskuze

Všechna měření provedená pomocí goniometru vykazují vysokou teoretickou přesnost. Ovšem při pohledu na graf Fig 2 je jasně patrné, že v případě  $s$ -polarizace se změřená data liší od teoretické závislosti řádově více, než je chyba daná měřicími přístroji. V případě  $p$ -polarizace je shoda mezi změřenými daty a teoretickou závislostí značně vyšší, ovšem i zde je velký počet bodů, které se liší o mnohem více, než pouze chybu danou měřicími přístroji. Navíc vzorek č.1 vykazuje vyšší odrazivost při  $s$ -polarizaci, než jaká je teoretická, ovšem vzorek č.2 naopak při stejné polarizaci zdroje vykazuje podstatně nižší odrazivost, než jakou by vykazovat dle teorie měl. Toto poslední zjištění vede k domněnce, že měření nebylo zatíženo systematickou chybou, ale náhodnou.

Určení Brewsterova úhlu je zatíženo pouze relativně malou teoretickou chybou. Ovšem při srovnání proměřené odrazivosti v okolí Brewsterova úhlu s teoreticky předpovězenými hodnotami (viz Fig 3) je dobře patrné, že skutečná hodnota Brewsterova úhlu je až o  $6^\circ$  jiná.

Při určování indexu lomu vzorků bylo různými metodami dosaženo značně odlišných hodnot - viz tabulka č.7. Jak již bylo diskutováno výše - všechna změřená data odrazivosti trpí značnou chybou, což vysvětluje, proč při použití různých metod pro určení indexu lomu, bylo dosaženo tak odlišných výsledků, které se liší od reálného indexu lomu vzorků (viz kapitola 2.2 *Měřicí aparatura*). Nicméně je zajímavé si povšimnout, že samotná chyba fitu funkce závislé na hledaném indexu lomu trpí jen velmi malou chybou. Zjištěná závislost odrazivosti  $R$  na úhlu dopadu tedy vykazuje poměrně přesně tvar předpovězený teorií, ovšem pro jiný index lomu.

Ze zjištěných fakt tedy vše vypadá tak, jako by se v průběhu mezi jednotlivými měřeními měnil index lomu vzorků. Tento efekt mohl vzniknout hned několika mechanismy. Jednak vzorek nebyl pro měření obou polarizací upnut do naprosto přesně stejného místa ve smyslu, že stopa laserového svazku nedopadala na přesně stejné místo. Tedy pokud by při jednom s měření dopadala světelná stopa na místo vzorku, které bylo mechanicky poškozeno, například drobným škrábancem, část světla by se od vzorku do detektoru vůbec neodrazila. Druhým faktorem, který mohl hrát roli, bylo zašpinění vzorku. Mastnota, či prach na vzorku by jistě ovlivnili jeho odrazivost.

## 5 Závěr

Cílem experimentu bylo proměřit závislost odrazivosti  $R$  na úhlu dopadu  $\gamma$  laserového svazku na dva vzorky skla. Měření probíhala jak pro  $s$ -polarizaci, tak pro  $p$ -polarizaci zdroje. Dosažené výsledky při měření  $s$ -polarizací se značně liší od teoretických hodnot, ovšem měření při  $p$ -polarizaci zdroje se poměrně dobře shoduje s teorií - viz graf Fig 2 a Fig 3. Kromě odrazivosti byla zjišťována také hodnota Brewsterova úhlu, která byla ovšem také určena poměrně dosti nepřesně.

Protože provedená měření se s teorií neshodovala příliš dobře, tak i výpočet indexu lomu měřených vzorků (viz tabulka č.7) dal hodnoty značně odlišné od těch, které byly udány na vzorcích.

$U_{0s} = 1845 \pm 10$							
Vzorek č.1, s-polarizace							
Měření	$\alpha_1 [^\circ]$	$U_{\alpha_1}$	$\delta U_{\alpha_1}$	$\gamma_1 [^\circ]$	$\delta \gamma_1 [^\circ]$	$R_{1s} [10^{-2}]$	$\delta R_{1s} [10^{-2}]$
1	2,44	1685	10	87,56	0,02	91,33	0,73
2	7,5	1281	10	82,5	0,02	69,43	0,66
3	12,5	985	10	77,5	0,02	53,39	0,61
4	17,5	752	10	72,5	0,02	40,76	0,59
5	22,5	536	5	67,5	0,02	29,05	0,31
6	27,5	410	5	62,5	0,02	22,22	0,30
7	32,5	319	5	57,5	0,02	17,29	0,29
8	37,5	254	2	52,5	0,02	13,77	0,13
9	42,5	209	2	47,5	0,02	11,33	0,12
10	47,5	179	2	42,5	0,02	9,70	0,12
11	52,5	150	2	37,5	0,02	8,13	0,12
12	57,5	123	1	32,5	0,02	6,67	0,07
13	62,5	108	1	27,5	0,02	5,85	0,06
14	67,5	96	1	22,5	0,02	5,20	0,06
15	72,5	89	1	17,5	0,02	4,82	0,06
16	77,5	82	1	12,5	0,02	4,44	0,06
17	80	81	1	10	0,02	4,39	0,06
Vzorek č.2, s-polarizace							
Měření	$\alpha_2 [^\circ]$	$U_{\alpha_2}$	$\delta U_{\alpha_2}$	$\gamma_2 [^\circ]$	$\delta \gamma_2 [^\circ]$	$R_{2s} [10^{-2}]$	$\delta R_{2s} [10^{-2}]$
1	4,6	1405	5	85,4	0,02	76,15	0,49
2	9,6	981	5	80,4	0,02	53,17	0,40
3	14,6	705	5	75,4	0,02	38,21	0,34
4	19,6	500	2	70,4	0,02	27,10	0,18
5	24,6	377	2	65,4	0,02	20,43	0,15
6	29,6	295	1	60,4	0,02	15,99	0,10
7	34,6	247	1	55,4	0,02	13,39	0,09
8	39,6	207	1	50,4	0,02	11,22	0,08
9	44,6	175	1	45,4	0,02	9,49	0,07
10	49,6	150	1	40,4	0,02	8,13	0,07
11	54,6	132	1	35,4	0,02	7,15	0,07
12	59,6	116	1	30,4	0,02	6,29	0,06
13	64,6	101	1	25,4	0,02	5,47	0,06
14	69,6	97	1	20,4	0,02	5,26	0,06
15	74,6	72	1	15,4	0,02	3,90	0,06
16	79,6	96	1	10,4	0,02	5,20	0,06

Tabulka 3: Měření při *s-polarizaci* zdroje. Naměřené hodnoty napětí v závislost na úhlu otočení vzorku  $\alpha$  vzhledem ke zdroji laserového paprsku (levá část tabulky). V pravé části tabulky jsou vypočtené hodnoty úhlu dopadu  $\gamma$  laserového svazku na vzorek a hodnoty odrazivosti  $R_s$  a to vše pro dva vzorky. V záhlaví tabulky je uvedena maximální hodnota napětí naměřená bez vzorku.

$U_{0p} = 1853 \pm 5$							
Vzorek č.1, p-polarizace							
Měření	$\alpha_1 [^\circ]$	$U_{\alpha_1}$	$\delta U_{\alpha_1}$	$\gamma_1 [^\circ]$	$\delta \gamma_1 [^\circ]$	$R_{1p} [10^{-2}]$	$\delta R_{1p} [10^{-2}]$
1	4,5	1034	3	85,5	0,02	55,80	0,22
2	9,5	506	3	80,5	0,02	27,31	0,18
3	14,5	234	2	75,5	0,02	12,63	0,11
4	19,5	102	2	70,5	0,02	5,50	0,11
5	24,5	36	2	65,5	0,02	1,94	0,11
6	29,5	10	1	60,5	0,02	0,54	0,05
7	34,5	5	1	55,5	0,02	0,27	0,05
8	39,5	6	1	50,5	0,02	0,32	0,05
9	44,5	13	1	45,5	0,02	0,70	0,05
10	49,5	22	1	40,5	0,02	1,19	0,05
11	54,5	31	1	35,5	0,02	1,67	0,05
12	59,5	40	1	30,5	0,02	2,16	0,05
13	64,5	48	1	25,5	0,02	2,59	0,05
14	69,5	54	1	20,5	0,02	2,91	0,05
15	74,5	59	1	15,5	0,02	3,18	0,05
16	78,6	62	1	11,4	0,02	3,35	0,05
Vzorek č.2, p-polarizace							
Měření	$\alpha_2 [^\circ]$	$U_{\alpha_2}$	$\delta U_{\alpha_2}$	$\gamma_2 [^\circ]$	$\delta \gamma_2 [^\circ]$	$R_{2p} [10^{-2}]$	$\delta R_{2p} [10^{-2}]$
1	3,5	1105	3	86,5	0,02	59,63	0,23
2	8,5	517	2	81,5	0,02	27,90	0,13
3	13,5	226	2	76,5	0,02	12,20	0,11
4	18,5	84	1	71,5	0,02	4,53	0,06
5	23,5	31	1	66,5	0,02	1,67	0,05
6	28,5	11	1	61,5	0,02	0,59	0,05
7	33,5	11	1	56,5	0,02	0,59	0,05
8	38,5	24	1	51,5	0,02	1,30	0,05
9	43,5	41	1	46,5	0,02	2,21	0,05
10	48,5	58	1	41,5	0,02	3,13	0,05
11	53,5	75	1	36,5	0,02	4,05	0,06
12	58,5	90	1	31,5	0,02	4,86	0,06
13	63,5	101	1	26,5	0,02	5,45	0,06
14	68,5	111	1	21,5	0,02	5,99	0,06
15	73,5	136	1	16,5	0,02	7,34	0,06
16	78,6	100	1	11,4	0,02	5,40	0,06

Tabulka 4: Měření při *p-polarizaci* zdroje. Naměřené hodnoty napětí v závislost na úhlu otočení vzorku  $\alpha$  vzhledem ke zdroji laserového paprsku (levá část tabulky). V pravé části tabulky jsou vypočtené hodnoty úhlu dopadu  $\gamma$  laserového svazku na vzorek a hodnoty odrazivosti  $R_p$  a to vše pro dva vzorky. V záhlaví tabulky je uvedena maximální hodnota napětí naměřená bez vzorku.

Vzorek č.1		Vzorek č.2	
Měření	Úhel natočení vzorku $\alpha_1$ [°]	Měření	Úhel natočení vzorku $\alpha_2$ [°]
1	35,72	1	32,12
2	37,10	2	29,34
3	32,56	3	30,88
4	38,12	4	30,54
5	35,20	5	30,70
Průměr	$35,7 \pm 2,2$	Průměr	$30,7 \pm 0,1$
$\theta_{B1} = 54,3 \pm 2,2$		$\theta_{B2} = 59,28 \pm 0,1$	

Tabulka 5: Úhel natočení vzorku  $\alpha$  vykazující nejmenší hodnotu detekovaného napětí. Data jsou uvedena pro oba vzorky. Chyba nastavení úhlu na goniometru činila  $\pm 0,02^\circ$ .

Vzorek č.1, p-polarizace							
Měření	$\alpha_1$ [°]	$U_{\alpha_1}$	$\delta U_{\alpha_1}$	$\gamma_1$ [°]	$\delta\gamma_1$ [°]	$R_{1p}$ [10 <sup>-2</sup> ]	$\delta R_{1p}$ [10 <sup>-2</sup> ]
1	30,7	7	1	59,3	0,02	0,38	0,05
2	31,7	5	1	58,3	0,02	0,27	0,05
3	32,7	4	1	57,3	0,02	0,22	0,05
4	33,7	4	1	56,3	0,02	0,22	0,05
5	34,7	4	1	55,3	0,02	0,22	0,05
6	35,7	4	1	54,3	0,02	0,22	0,05
7	36,7	4	1	53,3	0,02	0,22	0,05
8	37,7	4	1	52,3	0,02	0,22	0,05
9	38,7	5	1	51,3	0,02	0,27	0,05
10	39,7	6	1	50,3	0,02	0,32	0,05
11	40,7	7	1	49,3	0,02	0,38	0,05

Vzorek č.2, p-polarizace							
Měření	$\alpha_2$ [°]	$U_{\alpha_2}$	$\delta U_{\alpha_2}$	$\gamma_2$ [°]	$\delta\gamma_2$ [°]	$R_{2p}$ [10 <sup>-2</sup> ]	$\delta R_{2p}$ [10 <sup>-2</sup> ]
1	25,7	19	1	64,3	0,02	1,03	0,05
2	26,7	15	1	63,3	0,02	0,81	0,05
3	27,7	12	1	62,3	0,02	0,65	0,05
4	28,7	10	1	61,3	0,02	0,54	0,05
5	29,7	9	1	60,3	0,02	0,49	0,05
6	30,7	8	1	59,3	0,02	0,43	0,05
7	31,7	8	1	58,3	0,02	0,43	0,05
8	32,7	9	1	57,3	0,02	0,49	0,05
9	33,7	11	1	56,3	0,02	0,59	0,05
10	34,7	13	1	55,3	0,02	0,70	0,05
11	35,7	15	1	54,3	0,02	0,81	0,05

Tabulka 6: Proměrování okolí Brewsterova úhlu při *p-polarizaci* zdroje. Naměřené hodnoty napětí v závislosti na úhlu otočení vzorku  $\alpha$  vzhledem ke zdroji laserového paprsku (levá část tabulky). V pravé části tabulky jsou vypočtené hodnoty úhlu dopadu  $\gamma$  laserového svazku na vzorek a hodnoty odrazivosti  $R_p$  a to vše pro dva vzorky.

Metoda určení	Vzorek č.1	Vzorek č.2
z Brewsterova úhlu	$N_1 = 1,39 \pm 0,04$	$N_2 = 1,683 \pm 0,002$
fitem hodnot odrazivosti pro s-polarizaci zdroje	$N_{1s} = 1,60 \pm 0,02$	$N_{2s} = 1,46 \pm 0,01$
fitem hodnot odrazivosti pro p-polarizaci zdroje	$N_{1p} = 1,44 \pm 0,03$	$N_{2s} = 1,72 \pm 0,02$

Tabulka 7: Indexy lomu vzorků určené různými metodami - z Brewsterova úhlu a fitem získané závislosti odrazivosti na úhlu dopadu a to pro obě polarizace zdroje.

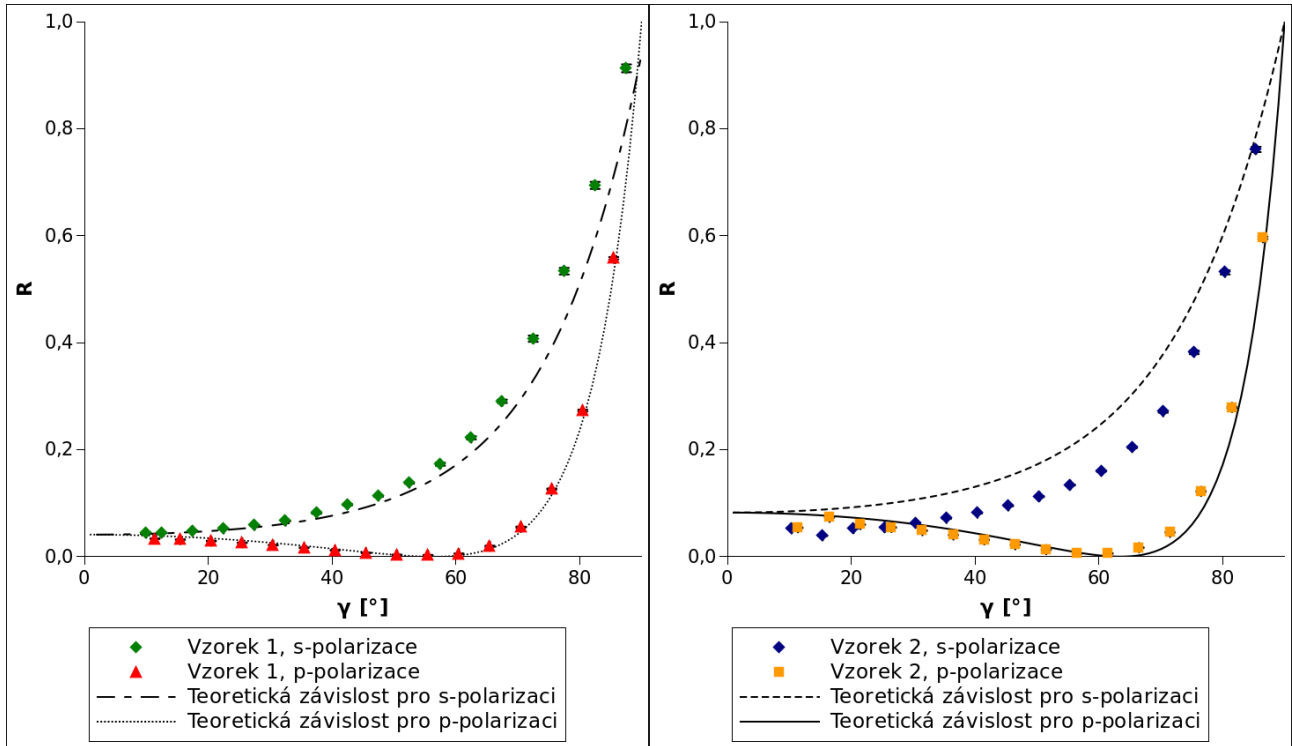


Figure 2: Závislost odrazivosti  $R$  na úhlu dopadu  $\gamma$  laserového paprsku na vzorek č.1 (levá část) a vzorek č.2 (pravá část). V grafech jsou znázorněny obě možné polarizace zdroje - *s-polarizace* i *p-polarizace*. Data jsou proložena teoretickou závislostí. Grafy obsahují i chybové úsečky, ovšem ty jsou příliš malé, než aby byly rozeznatelné.

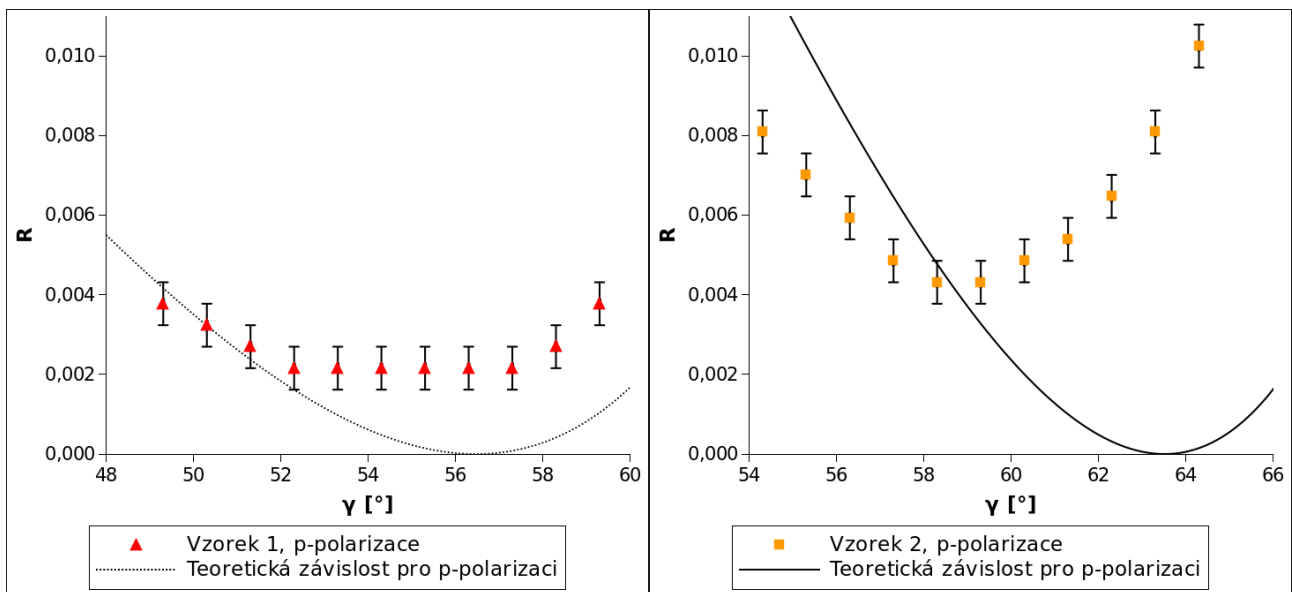


Figure 3: Závislost odrazivosti  $R$  na úhlu dopadu  $\gamma$  laserového paprsku na vzorek č.1 (levá část) a vzorek č.2 (pravá část) v okolí Brewsterova úhlu při *p-polarizaci* zdroje. Data jsou proložena teoretickou závislostí.



## 6 Literatura

1. I. Pelant et al.; Fyzikální praktikum III, Optika; Matfyzpress; Praha, 2005
2. Pokyny k měření k úloze č. *Ověření Fresnelových vzorců*:  
[http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/\\_media/zadani/pokyny/mereni\\_307.pdf](http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_307.pdf)
3. P. Malý; Optika; Karolinum; Praha, 2008