

# Fresnelovy vzorce

## 1. Úkol měření

- Proměřte závislost intenzitních koeficientů odrazu elektromagnetické vlny (laserového paprsku) na dielektrickém rozhraní reprezentovaném optickým hranolem. Z naměřených hodnot určete Brewsterův úhel.
- Nalezněte úhel dopadu, při kterém je deviace paprsku minimální, vypočtete s jeho pomocí index lomu hranolu a Brewsterův úhel.
- Naměřené koeficienty odrazu v grafu porovnejte s teoretickými hodnotami pro zjištěný index lomu hranolu. Porovnejte Brewsterův úhel naměřený v bodě 1 s Brewsterovým úhlem vypočteným v bodě 1.b.

## 2. Pomůcky k měření

- Goniometrická soustava s optickým hranolem a fotodetektorem.
- Nd:YVO4 laser o výkonu 1mW.
- Digitální multimetr Goodwill GDM-8246

## 3. Postup měření

- Zapneme digitální multimetr a tlačítkem s označením  $\mu A$  jej přepneme na rozsah „mikroampéry“.
- Otočné rameno goniometru natočíme ve směru pevného ramene na kterém je umístěný Nd:YVO4 laser. Otočnou stupnici s optickým hranolem natočíme tak, aby pevný ukazatel mířil přesně na střed stupnice.
- Pomocí klíčku zapneme laser. Laser je opatřený zeleným tlačítkem, které se spíná nasunutím speciálního nástavce a které zvyšuje výstupní výkon na 1 mW. Zkontrolujeme, že je tlačítko sepnuto. Laserový paprsek by měl procházet před stěnou optického hranolu a neměl by se na ní odrážet.
- Zkontrolujeme, zda světelná stopa laserového paprsku dopadá ve vertikálním směru do středu fotodetektoru, pokud ne, jeho výšku upravíme otočným prvkem.
- Mezi zapnutím laseru a začátkem vlastního měření by měla být prodleva alespoň 10 minut, po kterou se laser zahřívá a jeho výstupní výkon stabilizuje.
- Změříme proud fotodetektorem  $i_{ot}$  v okamžiku, kdy na něj nedopadá laserový paprsek.
- Stupnici a otočné rameno goniometru vrátíme do výchozí polohy.
- Polarizační filtr nastavíme na hodnotu 0.
- Najdeme takovou polohu otočného ramene, kdy je proud fotodetektorem maximální (laserový paprsek dopadá přesně do středu fotodetektoru). Odečteme proud fotodetektorem. Tento proud je přímo úměrný intenzitě vlny, jejíž intenzita elektrického pole je polarizována kolmo k rovině dopadu.
- Otočnou stupnici s hranolem pootáčíme po  $5^\circ$ , vždy změříme maximální proud fotodetektorem tak, že najdeme polohu otočného ramene, kdy paprsek dopadá

přesně do středu fotodetektoru. Dbáme na skutečnost, že polohu otočného ramene musíme nastavit dosti pečlivě.

- k. Celé měření zopakujeme s polarizačním filtrem nastaveným na hodnotu  $90^\circ$ . Tím budeme měřit proud úměrný intenzitě vlny, jejíž intenzita elektrického pole je polarizována v rovině dopadu.

#### 4. Naměřené hodnoty

- a. tabulka naměřených hodnot:

úhel goniometrického ramene $[\circ]$	proud detektoru při polarizačním filtru v $0^\circ$ $[\mu A]$	proud detektoru při polarizačním filtru v $90^\circ$ $[\mu A]$
0	85,95	87,8
5	60,4	70,77
10	50,8	20,55
15	39,88	8,51
20	31,28	2,99
25	25	0,71
30	19,94	0,1
35	16,4	0,78
40	13,48	1,04
45	11,38	1,87
50	9,79	2,68
55	8,58	3,62
60	7,45	4,24
65	6,84	4,92
70	6,4	5,4
75	5,87	5,87

- b. Proud protékající fotodetektorem bez dopadajícího laserového

paprsku:  $i_{ot} = 0,05 \mu A$

- c. Změřený úhel dopadu při minimální deviaci laserového paprsku:

$\theta_{min} = 60[?][?]$

#### 5. Zpracování naměřených hodnot.

- a. Laserový paprsek se na optickém hranolu jednak odráží a jednak jím prochází (láme se na něm). Paprsek lomeného světla je pozorovatelný na stěně laboratoře za goniometrem. Budeme-li otočnou stupnicí s hranolem otáčet z nulové polohy (ukazatel na středu stupnice) ve směru hodinových ručiček, světelná stopa se bude nejprve posouvat doprava, čímž bude celkové odchýlení paprsku (deviace) klesat. V jistém okamžiku se posuv světelné stopy zastaví a při dalším pootáčení stupnice s hranolem se světelná stopa začne posouvat směrem doleva, čímž deviace začne opět narůstat. Najdeme takový úhel dopadu  $\theta_{\min}$ , kdy je deviace paprsku minimální a pomocí vzorce  $n = 2 \sin \theta_{\min}$  vypočteme relativní index lomu hranolu  $n$  a jeho nejistotu:

$$n = 2 \sin 60[?][?]$$

$$n = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \simeq 1,732$$

- b. Vypočítáme Brewsterův úhel pro tento index lomu a určíme jeho nejistotu:

$$\tan \theta = n \equiv \tan \theta_B$$

$$\theta_B = \arctan n = 60[?][?]$$

- c. Nestatická nejistota typu B:

$$\mu_b = \frac{1}{\sqrt{12}} = \frac{\sqrt{3}}{6} \simeq 0,29$$

- d. Intenzitní koeficienty odrazů:

$$R_{\parallel} = \frac{i_{\theta}^{\parallel} - i_{0t}^{\parallel}}{i_{90[?][?]}^{\parallel} - i_{0t}^{\parallel}}$$

$$R_{\perp} = \frac{i_{\theta}^{\perp} - i_{0t}^{\perp}}{i_{90[?][?]}^{\perp} - i_{0t}^{\perp}}$$

ukázkový výpočet:

$$R_{\parallel} = \frac{i_{90[?][?]}^{\parallel} - i_{0t}^{\parallel}}{i_{90[?][?]}^{\parallel} - i_{0t}^{\parallel}} = \frac{85,95 \mu A - 0,05 \mu A}{85,95 \mu A - 0,05 \mu A} \simeq 1$$

...

- e. Tabulka vypočtených intenzitních koeficientů odrazů podle naměřených hodnot:

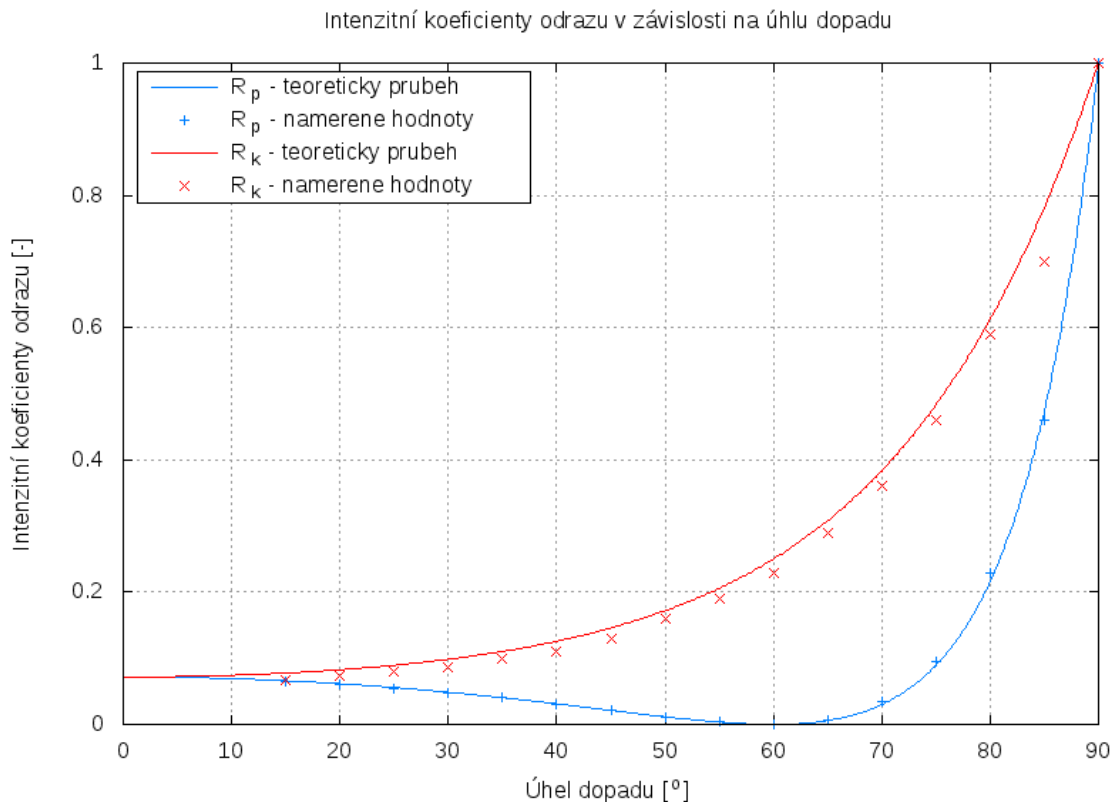
$\theta$	$R_{\parallel}$	$R_{\perp}$
90°	1	1
85°	0,70	0,46
80°	0,59	0,23
75°	0,46	0,096
70°	0,36	0,034
65°	0,29	0,0075
60°	0,23	0,00057
55°	0,19	0,0038
50°	0,16	0,011
45°	0,13	0,021
40°	0,11	0,030
35°	0,10	0,041
30°	0,086	0,048
25°	0,079	0,055
20°	0,074	0,061
15°	0,068	0,065

- f. Proud fotodetektorem je přímo úměrný intenzitě dopadající vlny, takže intenzitní koeficient odrazu pro daný úhel dopadu a polarizaci vlny můžeme vypočítat

$$R_{\parallel, \perp} = \frac{i_{\parallel, \perp} - i_{0t}}{i_{\parallel, \perp} + i_{0t}}$$

pomocí vztahu kde proud  $i$  je naměřený proud fotodetektořem, kdy laserový paprsek prochází před optickým hranolem, a je úměrný intenzitě dopadající vlny (pro danou polarizaci). Naměřené koeficienty odrazu vyneseme do grafu (jako body) spolu s teoretickými průběhy, podle vzorců

6.



## Závěr

Z naměřených hodnot jsme určili Brewsterův úhel  $60^\circ$

Dále jsme našli úhel, při kterém byla deviace paprsku minimální, odpovídá  $60^\circ$ .

S jeho pomocí jsme spočítali index lomu: 1,732 a Brewsterův úhel:

$$60^\circ \pm 0,29^\circ$$

Z grafu je patrné, že měření (s menší odchylkou) odpovídá teoretickému průběhu intenzitních koeficientů v závislosti na úhlu odrazu.

Naměřený a vypočtený Brewsterův úhel se shodují.