

# FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

## Fyzikální praktikum 2

**Zpracoval:** Jan Beran

**Naměřeno:** 5. listopadu 2018

**Obor:** UF

**Skupina:** F3240/01

**Testováno:**

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

$T = 23,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  Snellův zákon

$p = 980\text{ hPa}$

$\varphi = 43\text{ }^{\circ}$

## 1. Povinná část

- Stanovte úhlové závislosti signálu detektoru, resp. odrazivosti  $R_p$ ,  $R_s$  lineárně polarizovaného světla pro danou látku.
- Určete hodnotu Brewsterova úhlu daného dielektrického zrcadla.
- Stanovte ze vztahu (7) hodnotu indexu lomu dané látky.
- Pro tři úhly dopadu stanovte index lomu destičky ze vztahu (8), případně (9). Výsledek porovnejte s předchozím výpočtem.
- Vypočítejte a znázorněte průběh signálu detektoru (odrazivosti) přirozeného světla ze vztahu (6).
- Sestrojte graf závislosti  $R_p$  a  $R_s$  na úhlu dopadu a porovnejte s teoretickou závislostí podle vztahů (3) nebo (4).

### 1.1. Teorie

Chování elektromagnetické vlny na rozhraní dvou neabsorbujících prostředí popisuje obrázek 1. Označíme  $p$  a  $s$  složky amplitudy lineárně polarizovaného světla. Tyto složky jsou s rovinou rovnoběžné, nebo kolmé. Index lomu okolního prostředí označme  $n_0$  (pro vzduch je  $n_0 = 1$ ). Index lomu měřeného dielektrika označme  $n$ . Řešením vlnové rovnice dostáváme pro odraženou vlnu Fresnelovy amplitudy  $r_p$  a  $r_s$  (kde  $r_p = \overline{R}_p/\overline{A}_p$ ,  $r_s = \overline{R}_s/\overline{A}_s$ ; kde  $\overline{R}_s$  a  $\overline{A}_s$  jsou kolmé k rovině nákresu obrázku), které jsou dány vztahy:

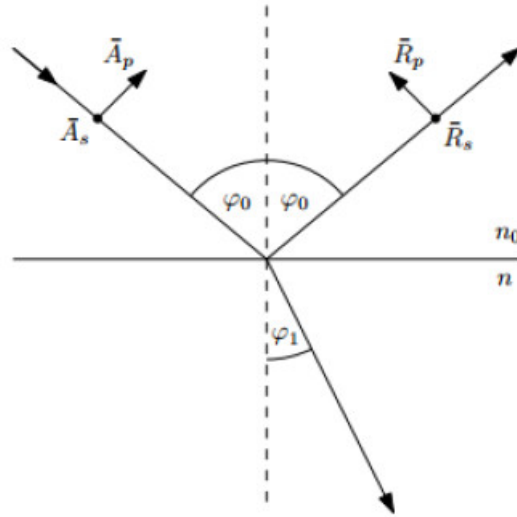
$$r_p = \frac{\tan(\varphi_0 - \varphi_1)}{\tan(\varphi_0 + \varphi_1)} \quad (1)$$

$$r_s = -\frac{\sin(\varphi_0 - \varphi_1)}{\sin(\varphi_0 + \varphi_1)} \quad (2)$$

kde  $\varphi_0$  je úhel dopadu a  $\varphi_1$  je úhel odrazu. Na základě Snellova zákona, je možné přepsat vztahy (1) a (2) do tvarů:

$$r_p = \frac{n \cos(\varphi_0) - n_0 \cos(\varphi_1)}{n \cos(\varphi_0) + n_0 \cos(\varphi_1)} \quad (3)$$

$$r_s = \frac{n_0 \cos(\varphi_0) - n \cos(\varphi_1)}{n_0 \cos(\varphi_0) + n \cos(\varphi_1)} \quad (4)$$



Obrázek 1: Rozklad amplitudy elektromagnetické vlny do s- a p- polarizace při odrazu na rozhraní.

Je-li intenzita složek dopadajícího světla  $I_p^0$  a  $I_s^0$  a intenzita odraženého světla  $I_p^R$  a  $I_s^R$ , pak definujeme odrazivosti  $R_p$ ,  $R_s$  jako:

$$R_p = \frac{I_p^R}{I_p^0} \quad R_s = \frac{I_s^R}{I_s^0}, \quad (5)$$

kde  $\frac{I_p^R}{I_p^0}$  a  $\frac{I_s^R}{I_s^0}$  jsou jednotlivé složky dopadajícího světla a platí pro ně:

$$I^R = \frac{\frac{I_p^R}{I_p^0} + \frac{I_s^R}{I_s^0}}{2} \quad (6)$$

Úhel dopadu ve kterém je intenzita s-složky dopadajícího světla nulová se nazývá Brewsterův úhel  $\varphi_B$ . Pomocí něho se dá jednoduše spočítat index lomu dielektrik jako:

$$n = \tan \varphi_B \quad (7)$$

Při měření na skle můžeme index lomu stanovit pro úhly  $\varphi_0 \leq \varphi_B$  jako:

$$n = \sqrt{\frac{(1 + \sqrt{R_s})(1 + \sqrt{R_p})}{(1 - \sqrt{R_s})(1 - \sqrt{R_p})}} \quad (8)$$

$$n = \sqrt{\frac{(1 + \sqrt{R_s})(1 - \sqrt{R_p})}{(1 - \sqrt{R_s})(1 + \sqrt{R_p})}} \quad (9)$$

## 1.2. Postup měření

Jednou jsem naměřil intenzitu složek dopadajícího světla  $I_p^0$ ,  $I_s^0$ . Pro úhly do 30 ° do 70 ° jsem naměřil hodnoty intenzity odraženého světla  $I_p^R$  a  $I_s^R$  pro jednu danou látku. Z naměřených hodnot jsem vyčetl, že Brewsterův úhel bude ležet někde mezi 50° až 60°. Zesílil jsem tedy signál a proměřil jsem intenzitu  $R_p^R$  po jednom stupni.

### 1.3. Naměřené hodnoty

Tabulka 1: Naměřené hodnoty pro odražené intenzity a dopadající intenzity v polarizaci s a p.

$\varphi_0$ [°]	$I_s^R$ [mV]	$I_p^R$ [mV]	$I_s^0$ [V]	$I_s^0$ [V]
30	65,05	68,15	4,787	2,750
35	101,24	61,50		
40	149,30	41,54		
45	195,44	19,63		
50	250,5	0,78		
55	318,2	0,74		
60	461,4	5,30		
65	611,0	68,32		
70	803,0	213,4		

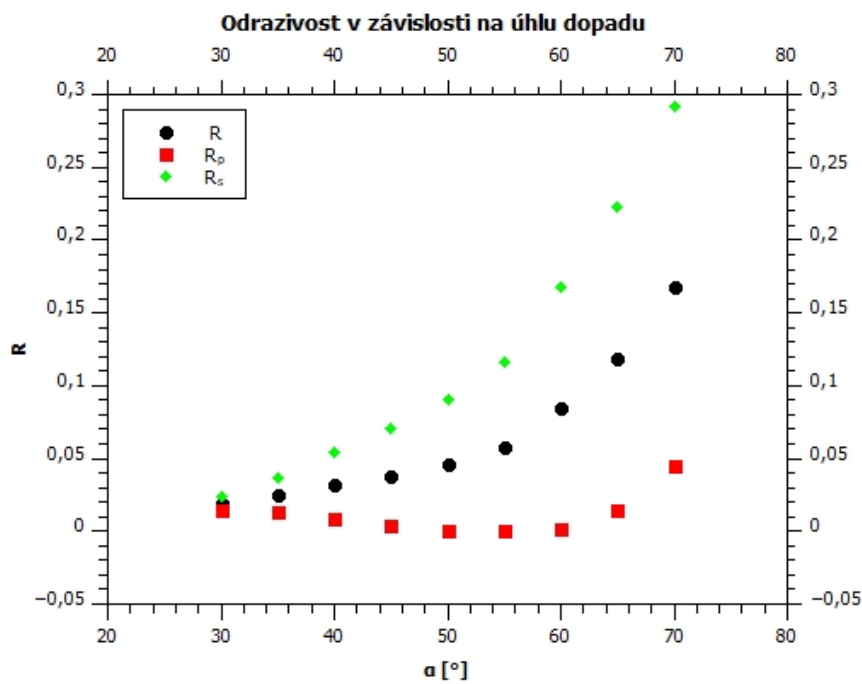
Tabulka 2: Naměřené hodnoty odrazivosti p složky pro hledání Brewsterova úhlu.

$\varphi_0$ [°]	$I_p$ [mV]
50	642,6
51	453,3
52	272
53	89,74
54	50,01
55	72,23
56	123,2
57	303,7
58	536,2
59	851,7

## 1.4. Zpracování měření

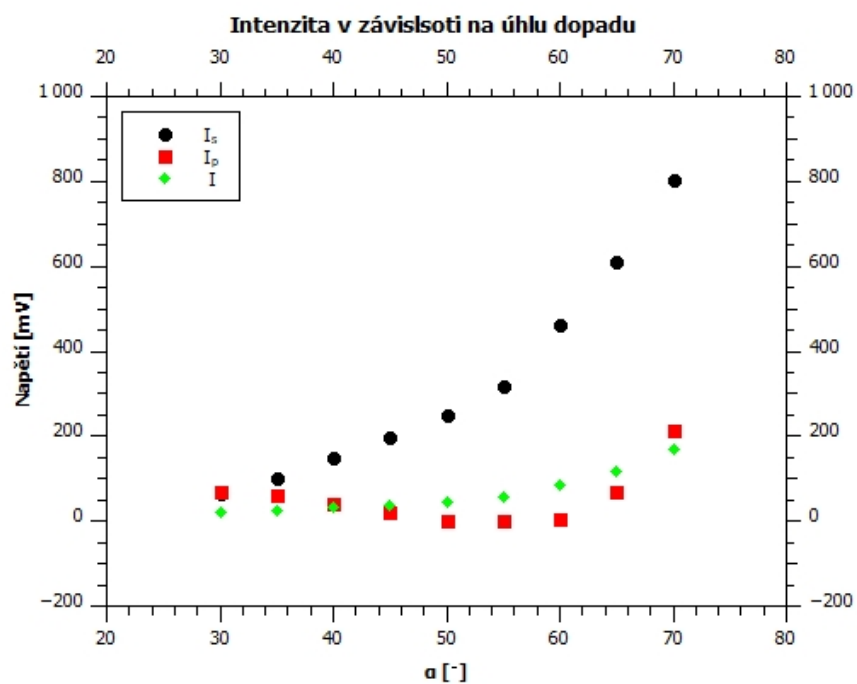
Tabulka 3: Vypočtené hodnoty pro odrazivosti a intenzitu

$\varphi_0$ [°]	$R_p$	$R_s$	$R$	$I$ [mV]
30	0,014236474	0,023654545	0,018945510	18,94550962
35	0,012847295	0,036814545	0,024830920	24,83092011
40	0,008677669	0,054290909	0,031484289	31,48428889
45	0,004100689	0,071069091	0,037584890	37,58489014
50	0,000162941	0,090909091	0,045536016	45,53601610
55	0,000154585	0,115709091	0,057931838	57,93183812
60	0,001107165	0,167781818	0,084444492	84,44449171
65	0,014271987	0,222181818	0,118226902	118,2269024
70	0,044579068	0,292000000	0,168289534	168,2895342



Obrázek 2: Závislost odrazivosti na úhlu dopadu.

Brewsterův úhel jsem určil z tabulky 2 jako  $\varphi_B = (54 \pm 0,5)^\circ$ . Index lomu dielektrika, který určíme podle vztahu (7) pro Brewsterův úhel a pro další tři úhly, který určíme ze vztahu (8) resp. ze vztahu (9) jsou v tabulce 4.



Obrázek 3: Závislosti intenzit na závislosti úhlu

Tabulka 4: Vypočtené hodnoty indexu lomu pro tři různé úhly a pro Brewsterův úhel.

$\varphi$ [°]	$n$
B	$(1,37 \pm 0,02)$
35°	1,36
50°	1,34
55°	1,40
$\bar{\varphi}$	$(1,37 \pm 0,03)$

## 2. Povinně volitelná varianta A

- Proved'te justaci přístroje a určete závislost posuvu vystupujícího paprsku z planparalelní desky na úhlu dopadu. Naměřte asi 10 hodnot dvojic  $x$  a  $\alpha$ .
- Z naměřené závislosti určete pomocí vztahu (13) index lomu desky. Tloušťku planparalelní desky  $d$  určete pomocí posuvného měřítka nebo mikrometru.
- Vyneste naměřenou závislost posuvu na úhlu dopadu do grafu a porovnejte s teoretickou závislostí podle vztahu (12).

### 2.1. Teorie

Při přechodu přes skleněnou planparalelní desku dochází k posuvu vystupujícího paprsku. Vstupující a vystupující paprsky jsou rovnoběžné. Planparalelní deska je v prostředí s indexem lomu  $n_0 = 1$ . Situace je znázorněná na obrázku 4. Protože jsou obě rozhraní:  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$  a úhel lomu  $\beta_1$  na prvním rozhraní je roven úhlu lomu  $\alpha_2$  na druhém rozhraní  $\beta_2$ . Délka dráhy paprsku  $AB$  v planparalelní desce je

$$|AB| = \frac{d}{\cos \beta}. \quad (10)$$

Odchylka  $x$  vstupujícího a vystupujícího paprsku je

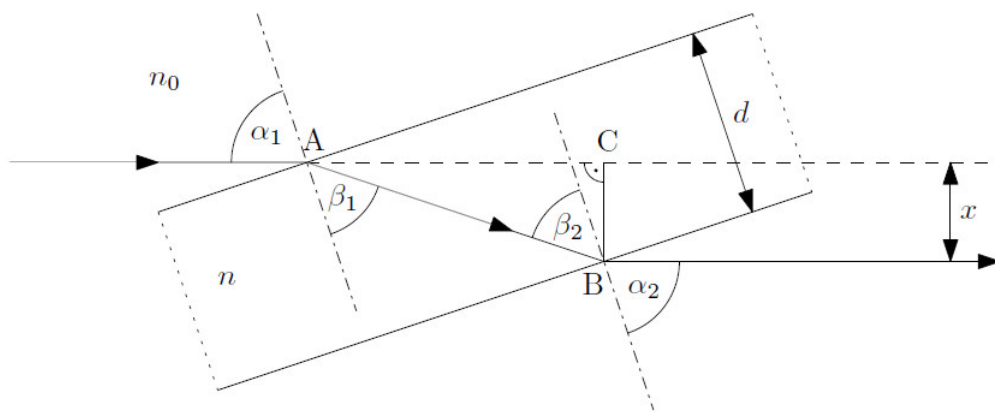
$$x = |BC| = |AB| \sin(\alpha - \beta). \quad (11)$$

Úpravou těchto vztahů dostaneme pro odchylky paprsků vztah

$$x = \left( 1 - \frac{n_0 \cos \alpha}{\sqrt{n^2 - n_0^2 \sin^2 \alpha}} \right) d \sin \alpha, \quad (12)$$

a za předpokladu, že  $\alpha \neq 0$  potom pro index lomu platí:

$$n = n_0 \sqrt{\sin^2 \alpha + \left( 1 - \frac{x}{d \sin \alpha} \right)^{-2} \cos^2 \alpha}. \quad (13)$$



Obrázek 4: Průchod světla planparalelní deskou.

### 2.2. Postup měření

Změřil jsem závislost posuvu  $x$  na úhlu dopadu  $\alpha$  pro hodnoty  $\alpha = 5$  až  $\alpha = 50^\circ$ . Opakovaně – pětkrát – jsem naměřil šířku skleněné desky pomocí mikrometru.

### 2.3. Naměřené hodnoty

Tabulka 5: Naměřené hodnoty úhlu dopadu  $\alpha$ , posunu  $x$  a tloušťky desky  $x$ .

$\alpha$ [°]	$x$ [mm]	$d$ [mm]	$d$ [mm]
5	0,23	10,08	10,08
10	0,61	10,10	10,10
15	0,85	10,12	10,12
20	1,12	10,08	10,08
25	1,67	10,09	10,09
30	1,85		
35	2,23		
40	2,45		
45	3,08		
50	3,60		

### 2.4. Zpracování měření

Pro tloušťku desky jsem naměřil její šířku jako:

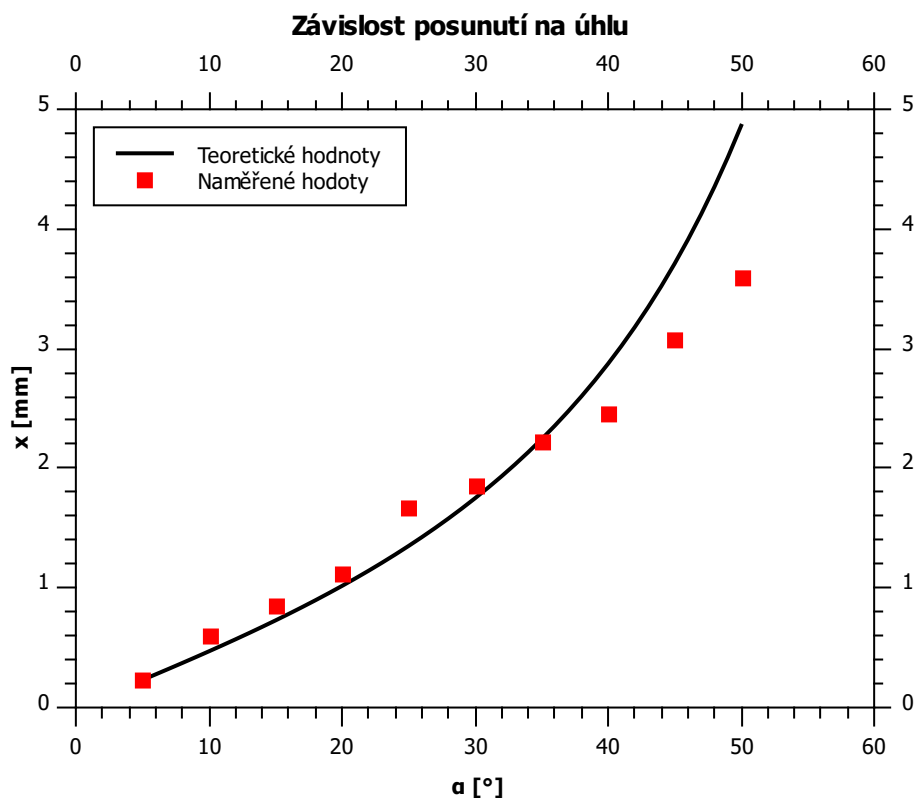
$$d = (10,09 \pm 0,02) \text{ mm} \quad (14)$$

Tabulka 6: Spočtené hodnoty indexu lomu, pro jednotlivé úhly a k nim příslušné posunutí  $x$ .

$\alpha$ [°]	$n$
5	1,35
10	1,52
15	1,45
20	1,43
25	1,54
30	1,45
35	1,45
40	1,38
45	1,43
50	1,42

Index lomu kvádříku, který jsem měřil je tedy:

$$n = (1,45 \pm 0,07) \quad (15)$$



Obrázek 5: Závislost posunutí  $x$  na úhlu dopadu  $\alpha$

### 3. Závěr

V povinné části jsem zjistil index lomu zrcadla různými metodami. Hodnotu indexu lomu pomocí Brewsterova úhlu jsem stanovil jako  $(1,37 \pm 0,02)$ . Průměrnou hodnotu indexu lomu jsem určil jako  $(1,37 \pm 0,03)$ . Jak je vidět, tak tyto hodnoty jsou až na jejich nejistoty stejné, a ani ty se o moc neliší. Zatímco u metody hledání indexu lomu pomocí Brewsterova úhlu je nejtěžší najít Brewsterův úhel, a poté je již měření a vypočtení hodnoty indexu lomu triviální, tak druhá metoda je mnohem obtížnější na zpracování měření. Je i vidět, že se zde zanáší větší chyba, což je způsobeno velkým množstvím měřených dat k výpočtu oproti triviálnímu vzorci (7).

V povinně volitelné části jsem změřil závislost posunutí  $x$  na úhlu  $\alpha$ , které jsem potom vynesl do grafu (na obrázku 5) s teoreticky vypočtenou hodnotou, a jak je vidět hodnoty jsou si blízké a „kopírují“ onu teoretickou křivku. Vypočítal jsem index lomu, který vyšel  $(1,45 \pm 0,07)$ .