



Jméno: **Michal Červeňák** Kolega: Ondřej Glac  
Kruh: **Útorok** Číslo skup.: 1  
Měřeno: **25.5.2017** Zpracování: 4 h Klasifikace:

---

## 1 Pracovní úkol

1. DU: Odvoďte vzorec (1) pro Brewsterův úhel úplné polarizace. Vycházejte z Obr. 1 a ze zákona lomu světla na rozhraní dvou optických prostředí. Spočítejte Brewsterův úhel pro rozhraní vzduch - skleněné zrcadlo. Při měření Brewsterova úhlu se doporučuje mít připravenou tabulku v Excelu pro výpočet stupně polarizace.
2. Při polarizaci bílého světla odrazem na černé skleněné desce proměřte závislost stupně polarizace na sklonu desky a určete optimální hodnotu Brewsterova úhlu. Výsledky zanepte do grafu a porovnejte s vypočtenou hodnotou z domácího úkolu.
3. Černou otočnou desku nahraďte polarizačním filtrem a proměřte závislost intenzity polarizovaného světla na úhlu otočení analyzátoru (Malusův zákon). Výsledek srovnajte s teoretickou předpovědí, znázorněte graficky a výsledek diskutujte.
4. Na optické lavici prozkoumejte vliv čtyř celofánových dvojlomných filtrů, způsobujících interferenci. Vyzkoušejte vliv otáčení analyzátoru vůči polarizátoru a vliv otáčení dvojlomného filtru mezi zkříženými i rovnoběžnými polarizátory v bílém světle. Pozorováním zjistěte, které vlnové délky (barvy) se interferencí zvýrazní. Výsledky pozorování popište.
5. Pomocí dvou polarizačních filtrů, fotočlánku a barevných filtrů změřte měrnou otáčivost křemene s tloušťkou 1 mm pro 4 vlnové délky světla. Jakou závislost pozorujete mezi vlnovou délkou světla a měrnou otáčivostí? Naměřené hodnoty porovnejte s tabulkovými. Jak se změní výsledek když použijete křemenný vzorek s větší tloušťkou? Diskutujte naměřené výsledky.

## 2 Teória

### 2.1 určenie polarizácie na základe súboru intenzít

Pre naše meranie boli namerané stredné hodnoty

1.  $\langle E_x^2 \rangle_r$  ako hodnota odpovedajúceho napätia pre natočený polarizačný filter o  $0^\circ$ .

2.  $\langle E_y^2 \rangle_r$  ako hodnota odpovedajúceho napätia pre natočený polarizačný filter o  $90^\circ$ .
3.  $\langle E_x E_y \rangle_r + \frac{1}{2} \langle E_y^2 \rangle_r + \frac{1}{2} \langle E_x^2 \rangle_r$  ako hodnota odpovedajúceho napätia pre natočený polarizačný filter o  $45^\circ$ .
4.  $\langle E_x (\omega t - \pi/2) E_y (\omega t) \rangle_r + \frac{1}{2} \langle E_y^2 \rangle_r + \frac{1}{2} \langle E_x^2 \rangle_r$  ako hodnota odpovedajúceho napätia pre natočený polarizačný filter o  $45^\circ$  so zaradením štorvlnnej dosičky.

## 2.2 merná otáčavosť

Pre otáčavosť platí vzťah z [?]

$$\alpha = \frac{B}{\lambda^2},$$

kde  $\lambda$  je vlnová dĺžka a  $A$  a  $B$  sú merné otáčavosti. V našom prípade musíme otáčavosť ešte vydeliť hrúbkou  $d$  vzorku teda dostávame

$$\alpha = \frac{Ad}{\lambda^2}.$$

### 2.2.1 Spracovanie chýb merania

Označme  $\langle t \rangle$  aritmetický priemer nameraných hodnôt  $t_i$ , a  $\Delta t$  hodnotu  $\langle t \rangle - t$ , pričom

$$\langle t \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (1)$$

a chybu aritmetického priemeru

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \langle t \rangle)^2}{n(n-1)}}, \quad (2)$$

prícom  $n$  je počet meraní.

## 3 Pomôcky

Optická lavica, otočné černé zrcadlo, 2x polarizační filter, multimetr, otočný držák pro dvojlomný vzorek, čtvrtvlnná destička, světelný zdroj s matnicí, fotočlánek, 4 celofánové dvojlomné filtry, 4 barevné filtry, křemenný klín

## 4 Výsledky merania

### 4.1 Určenie Brewsterového uhlu

Pomocou vzťahu 1, 2, 3 a 4 z 2.1 bola spočítaná polarizácia  $P$  pre jednotlivé uhly dopadu dosičky, namerané a spočítané dáta sú v tabuľke 1

$\varphi$ [°]	$U_1$ [mV]	$U_2$ [mV]	$U_3$ [mV]	$U_4$ [mV]	$ P $ [Cm <sup>-2</sup> ]
$30 \pm 1$	$5.0 \pm 1.0$	$2.2 \pm 1.0$	$15.0 \pm 1.0$	$4.0 \pm 1.0$	$3.19 \pm 2.39$
$40 \pm 1$	$10.3 \pm 1.0$	$1.0 \pm 1.0$	$10.0 \pm 1.0$	$5.3 \pm 1.0$	$1.13 \pm 0.95$
$50 \pm 1$	$12.4 \pm 1.0$	$0.1 \pm 1.0$	$7.2 \pm 1.0$	$8.8 \pm 1.0$	$1.02 \pm 0.94$
$60 \pm 1$	$18.5 \pm 1.0$	$-1.3 \pm 1.0$	$5.5 \pm 1.0$	$15.4 \pm 1.0$	$1.27 \pm 0.98$
$70 \pm 1$	$28.0 \pm 1.0$	$4.0 \pm 1.0$	$6.0 \pm 1.0$	$23.1 \pm 1.0$	$1.00 \pm 0.94$

Tab. 1: Namerané hodnoty napätí  $U_i$  v závislosti na uhle dopadu  $\varphi$  a vypočítaná hodnota polarizácie  $|P|$ .

## 4.2 Malusov zákon

V grafe Obr. 1 je vynesená závislosť uhlu analyzačného filtra  $\varphi$  na intenzite svetelného toku reprezentovaného napätím na dióde  $U$ , preložená závislosťou  $f(\varphi) = (0.14 \pm 0.07) \cos^2(\varphi) + (0.034 \pm 0.005)$ . Pri fitovaní funkciou  $f(\varphi) = A \cos^2(B\varphi + C) + D$  boli zafixované parametre  $B = 1$  a  $C = 0$ , ktoré vychádzajú definície polarizácie.

## 4.3 Optická aktivita kremeňa

V grafoch Obr. 2 až Obr. 5 sú vynesené namerané hodnoty intenzity reprezentovanej napätím  $U$  v okolí jej maxima a preložené funkciou  $f(\varphi) = A \cos^2(B\varphi + C) + D$ , kde boli parametre  $B = 1$  a  $D = 0$  fixované. Z fitu boli uhly otočenia pre jednotlivé filtre vynesené v závislosti na vlnovej dĺžke svetla do grafu Obr. 6 a preložené funkciou

$$\alpha(\lambda) = \frac{d(5.64 \pm 1.10) \cdot 10^6}{\lambda^2} [^\circ, \text{mm}, \text{nm}], \quad (3)$$

kde  $d$  je hrubka kremeňa v našom prípade  $d = 1,7 \text{ mm}$ .

# 5 Diskusia

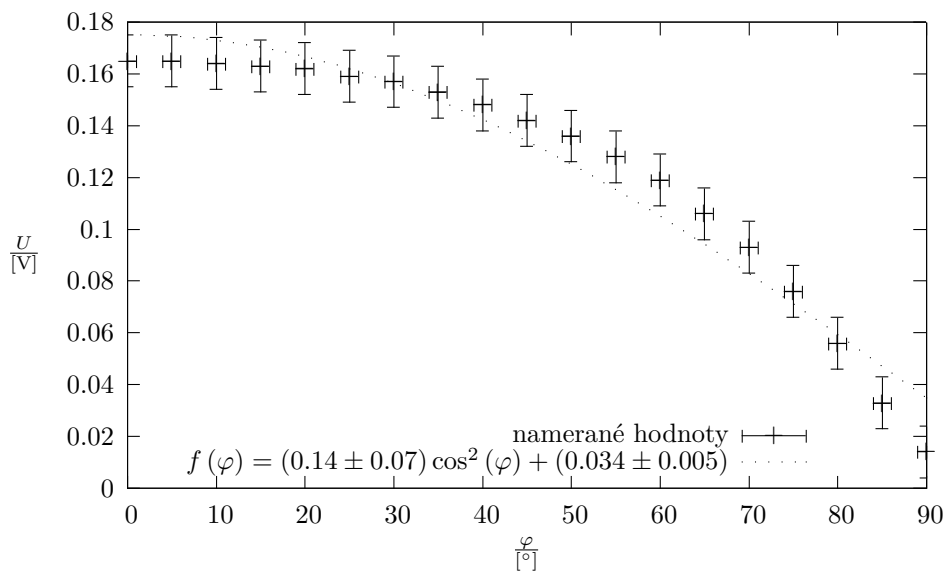
## 5.1 Určenie Brewsterového uhlu

Pri určovaní tohoto uhlu sme počítali s chybou odčítavania uhlu spolu s chybou úvodnej kalibrácie  $\Delta\varphi = 1^\circ$ . Pri meraní napätia však hodnota nebola ustálená a neustále sa menila v rozsahu aj niekoľko desiatok %.

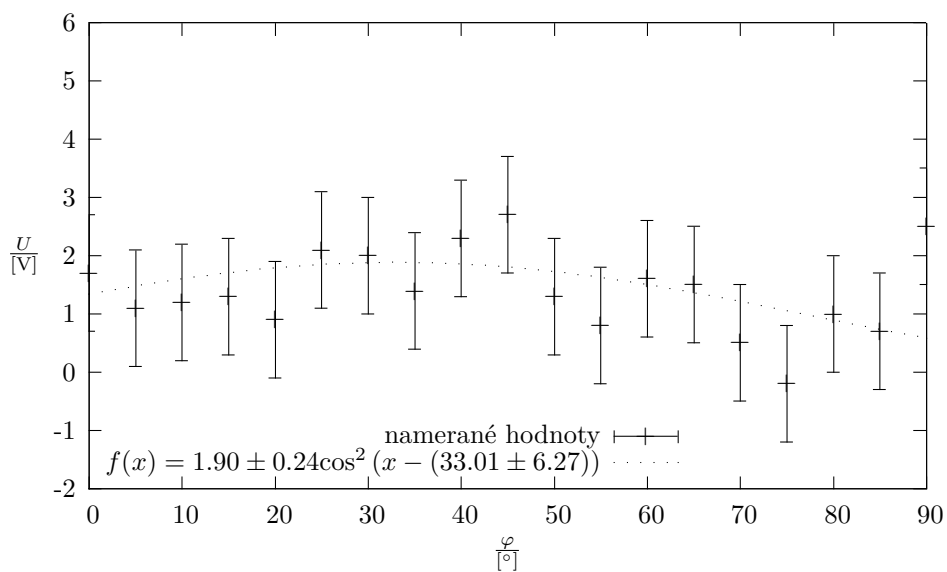
V tabuľke 1 je však chyba bez započítania tejto chyby a je tam zahrnutá len chyba meracieho prístroja. V tejto tabuľke zároveň vidíme, že hodnota  $|P|$  pre ktorú by malo platiť  $0 \leq |P| \leq 1 \text{ m}$  je väčšia ak 1, čo nasvedčuje zle nameraných hodnotám predovšetkým hodnoty  $U_3$ .

## 5.2 Malusov zákon

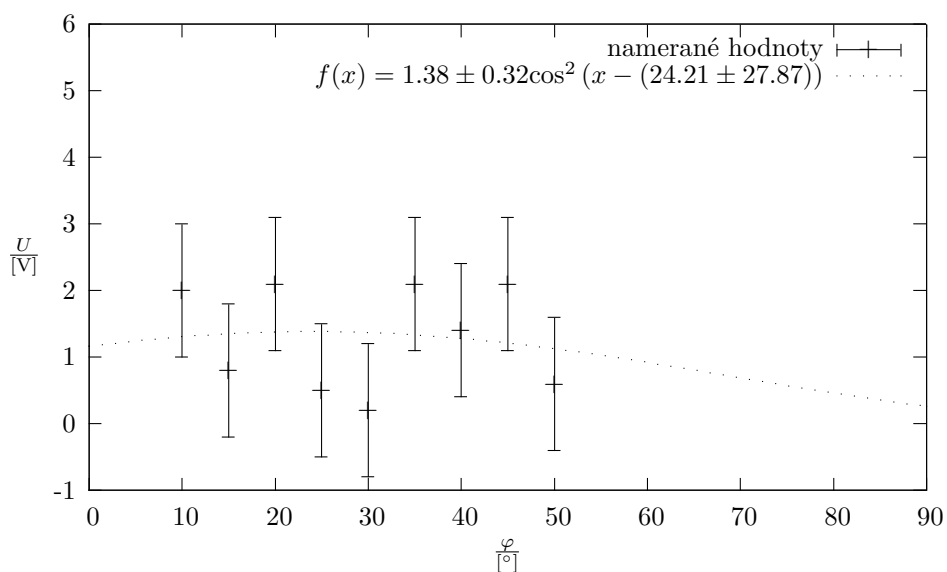
V grafe Obr. 1 vidíme, funkcia  $\cos^2$  neodpovedá dobre nameranej závislosti. Dôvodov bude asi viac, v prvej rade to bude samotná dióda, ktorou sa merala intenzita, ktorá



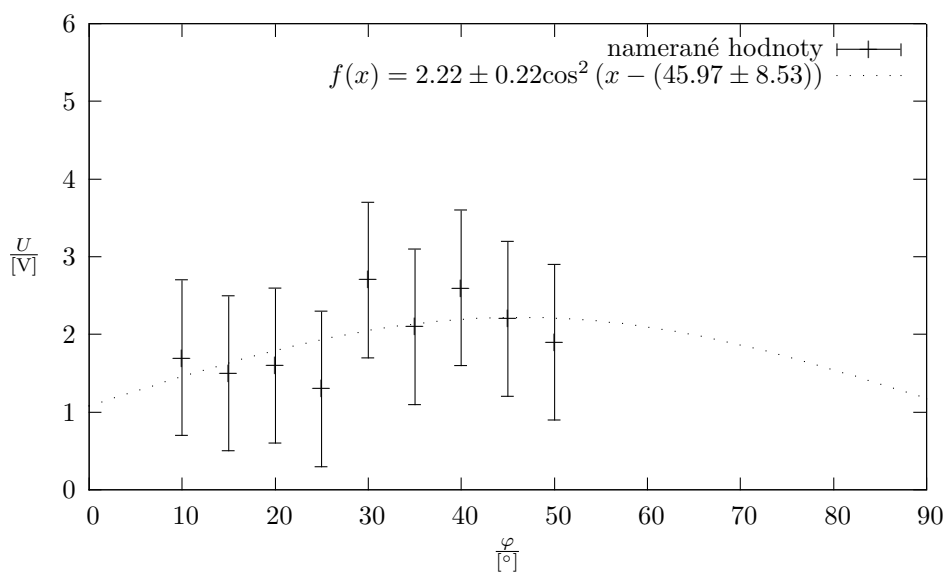
Obr. 1: Namerané hodnoty intenzity reprezentovanej napätím  $U$  na uhle otočenia analyzačného polarizačného filtra  $\varphi$ , preložená závislosť  $f(\varphi) = (0.14 \pm 0.07) \cos^2(\varphi) + (0.034 \pm 0.005)$



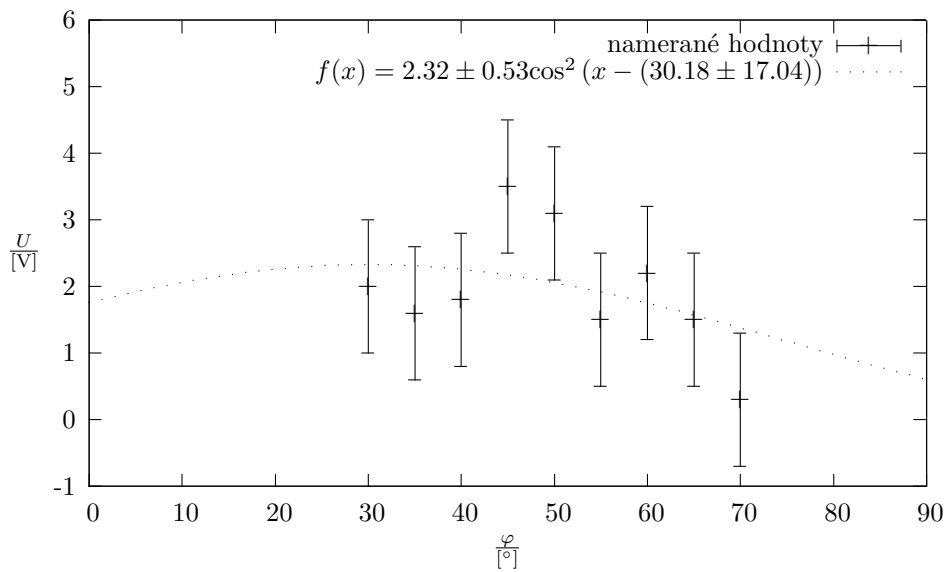
Obr. 2: Namerané hodnoty intezty reprentovanje napätim  $U$  na úhle otočenia polarizačného filtra  $\varphi$  pre modrý filter



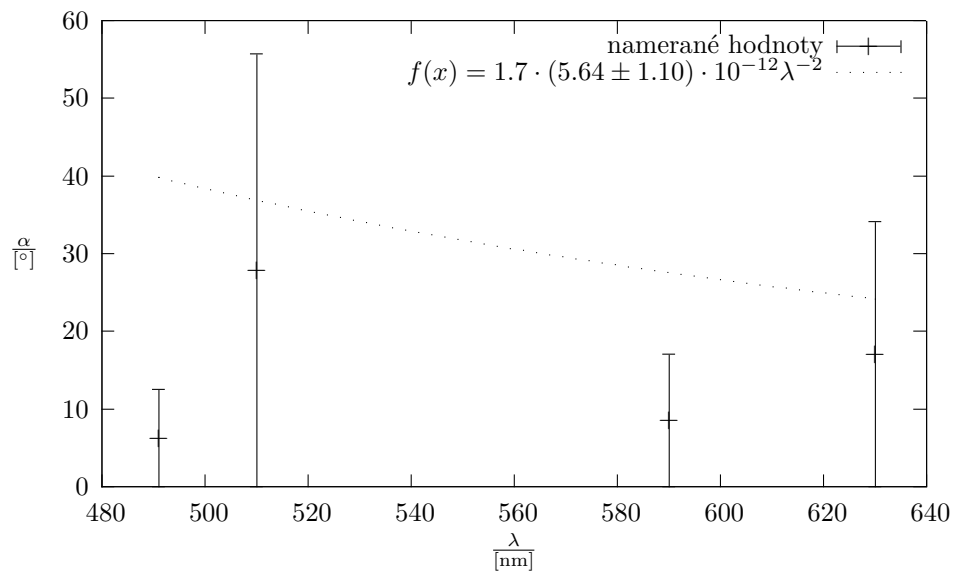
Obr. 3: Namerané hodnoty intezty reprezentovanje napätim  $U$  na úhle otočenia polarizačného filtra  $\varphi$  pre zelený filter



Obr. 4: Namerané hodnoty intezty reprezentovanje napätim  $U$  na úhle otočenia polarizačného filtra  $\varphi$  pre oranžový filter



Obr. 5: Namerané hodnoty intezity repretovanej napätim  $U$  na úhle otočenia polarizačného filtra  $\varphi$  pre červený filter



Obr. 6: Namerané hodnoty úhlu stočenia osi polarizácie  $\alpha$  na vlnovej dĺžke svetla  $\lambda$

bude mať pravdepodobne kalibračnú krivku intenzity k napätiu nelineárnu. Možnou ďalšou príčinou je nedokonalosť polarizačných filtrov, a vplyv okolitého žiarenia.

### 5.3 Optická aktivita kremeňa

V tomto meraní hrala najväčšiu úlohu chyba multimetru a premenlivosť meraného napätia. Táto nestálosť napätia spôsobila nemožnosť odčítavania je ho veľkú chybu  $\Delta U = 1 \text{ mV}$ , pričom stojí za pripomenutie, že hodnoty sa pohybovali v rádoch jednotiek mV. Aj napriek tomu sa podarilo získať nejaké hodnoty a zistiť mernú otáčavosť kremeňa.

## 6 Záver

Brewsterového uhla sa nám nepodarilo nájsť a overiť platnosť tohoto zákona.

Naše namerané hodnoty odpovedajú Malasovmu zákonu.

Merný otáčavý uhol kremeňa bol určený  $A = (5,64 \pm 1,10) \cdot 10^{-9} \text{ }^\circ\text{m}$ .

## Reference

- [1] Polarizace světla [cit. 2.5.2017]Dostupné po přihlášení z Kurz: Fyzikální praktikum II:[https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/422/mod\\_resource/content/7/Polariace\\_170223.pdf](https://praktikum.fjfi.cvut.cz/pluginfile.php/422/mod_resource/content/7/Polariace_170223.pdf)