

|                                    |                 |   |                                    |                |                   |                        |            |
|------------------------------------|-----------------|---|------------------------------------|----------------|-------------------|------------------------|------------|
| FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM                |                 |   | Jméno a příjmení<br>Tomáš Vavrinec |                |                   | ID<br>240893           |            |
| FEKT VUT<br>BRNO                   | Ústav<br>Fyziky |  | Ročník<br>1                        | Předmět<br>FY2 | Prog./Obor<br>MET | Stud. skup.<br>Kroužek | Lab. skup. |
| Měřeno dne<br>1.4.2022             |                 | Odevzdáno dne   |                                    | Spolupracoval  |                   |                        |            |
| Příprava                           |                 | Opravy  | Učitel                             |                |                   | Hodnocení              |            |
| Název úlohy<br>Polarizované světlo |                 |   |                                    |                |                   | Číslo úlohy<br>42      |            |

## 1 Úkol

1. Ověřte platnost Malusova zákona.
2. Změřte Brewsterův úhel a nalezněte relativní index lomu dvou prostředí.

## 2 Teoretický úvod

Elektromagnetické vlnění se skládá z elektrické  $\vec{E}$  a magnetické  $\vec{B}$  složky. Obě složky jsou vždy navzájem kolmé a zároveň kolmé k vektoru šíření, kolem kterého se mohou během šíření otáčet. Pokud toto otáčení není náhodné, nazývá se tento jev polarizace.

Díky provázání obou složek popsány Maxwellovými rovnicemi se pro popis elektromagnetické vlny dá použít jen jedna ze složek. Polarizace se proto popisuje pomocí elektrické složky.

Popíšme šířící se elektromagnetickou vlnu jako dvě na sebe kolmé sinusové složky šířící se po ose  $X$ , přičemž jejich součet bude vyjadřovat vektor elektrické složky  $\vec{E}$ . Můžeme rozdělit polarizaci na příčnou a eliptickou, jejímž speciálním případem je polarizace kruhová. Příčně polarizovanou vlnu můžeme popsat pomocí dvou na sebe kolmých sinusoid, z nichž má jedna nulovou amplitudu. Vektor elektrické složky tak kmitá v ploše.

Pomocí polarizátoru můžeme z nepolarizovaného světla vyrobit světlo polarizované, u kterého pak pomocí dalšího polarizátoru lze určit směr polarizace.

### Polarizace průchodem - Malusův zákon

Z lineárně polarizovaného světla dopadající na lineární polarizátor projde jen složka rovnoběžná s polarizační rovinou polarizátoru. Platí

$$I_p = I_0 \cos^2 \alpha \quad (1)$$

Kde  $I_p$  je intenzita průchozího světla,  $I_0$  je intenzita dopadajícího světla a  $\alpha$  je úhel, který svírá polarizační rovinou polarizátoru s rovinou, ve které kmitá vektor elektrické intenzity  $\vec{E}$ .

### Polarizace odrazem - Brewsterův úhel

Při odrazu elektrické vlny od průhledného, homogenního a izotropního prostředí dochází k částečné polarizaci. Pokud paprsek dopadá pod tzv. Brewsterovým úhlem  $\varphi_B$ , odrazí se pouze část světla polarizovaného v rovině kolmé na rovinu, v níž leží trajektorie dopadajícího a odraženého paprsku. Brewsterovým úhlem  $\varphi_B$  se také nazývá polarizační úhel. Jde o úhel mezi odraženým paprskem a normálou rozhraní v momentě, kdy je mezi odraženým a prošlým paprskem  $90^\circ$ . Platí tedy

$$\varphi_B = \arctan \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Kde  $n_1$  je index lomu prostředí, z něhož paprsek dopadá na prostředí s indexem lomu  $n_2$ .

### 3 Měření

#### Malusův zákon

Protože jako zdroj světla používáme laser s kruhovou polarizací, použijeme polarizátor, který nám vytvoříme lineárně polarizované světlo. Dalším polarizátorem budeme otáčet, a tak měnit množství světla, které projde do detektoru.

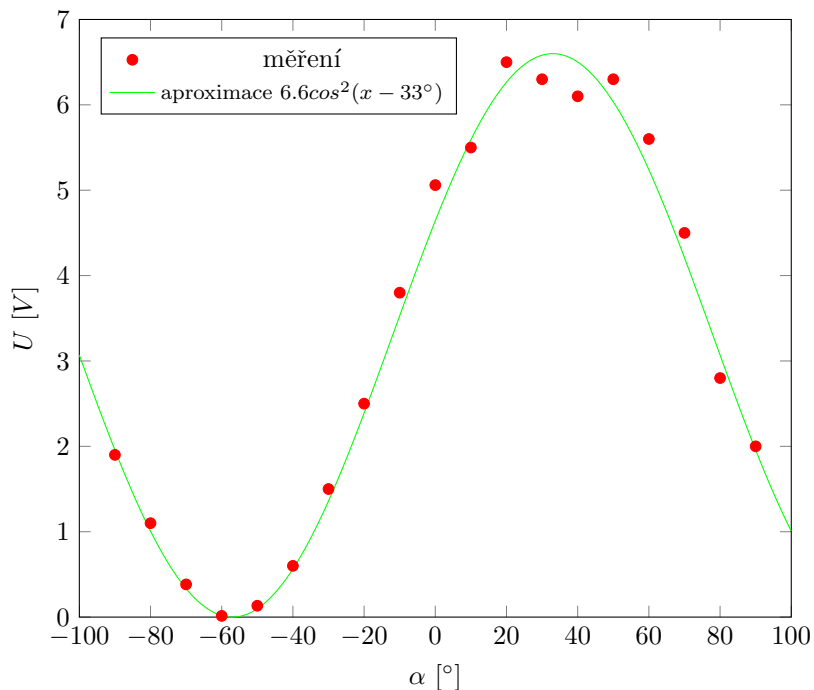
#### Malusův zákon

| $\alpha$             | $\delta_1$             | $U_1$                        |
|----------------------|------------------------|------------------------------|
| $\alpha_0 = 0^\circ$ | $\delta_0 = 110^\circ$ | $U_{max} = 5.06 \text{ [V]}$ |
| $10^\circ$           | 100                    | 3.8                          |
| $20^\circ$           | 90                     | 2.5                          |
| $30^\circ$           | 80                     | 1.5                          |
| $40^\circ$           | 70                     | 0.6                          |
| $50^\circ$           | 60                     | 0.133                        |
| $60^\circ$           | 50                     | 0.014                        |
| $70^\circ$           | 40                     | 0.383                        |
| $80^\circ$           | 30                     | 1.1                          |
| $90^\circ$           | 20                     | 1.9                          |

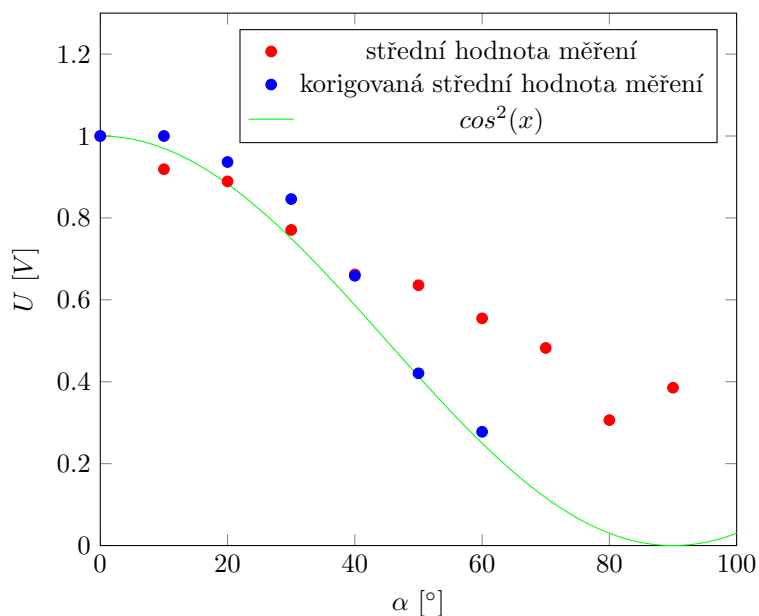
  

| $\alpha$             | $\delta_2$             | $U_2$                        |
|----------------------|------------------------|------------------------------|
| $\alpha_0 = 0^\circ$ | $\delta_0 = 110^\circ$ | $U_{max} = 5.06 \text{ [V]}$ |
| $10^\circ$           | 120                    | 5.5                          |
| $20^\circ$           | 130                    | 6.5                          |
| $30^\circ$           | 140                    | 6.3                          |
| $40^\circ$           | 150                    | 6.1                          |
| $50^\circ$           | 160                    | 6.3                          |
| $60^\circ$           | 170                    | 5.6                          |
| $70^\circ$           | 180                    | 4.5                          |
| $80^\circ$           | 190                    | 2.8                          |
| $90^\circ$           | 200                    | 2.0                          |

Graf neupravených měřených hodnot



Graf střední hodnota měření



Během našeho určování  $U_{max}$  se pravděpodobně změnila světelnost v místnosti, což vedlo ke změně měřeného napětí. Z toho důvodu jsme  $U_{max}$  určili chybně (výsledek je v grafu znázorněn červeně). Z grafu surového měření je vidět, že měření kopíruje cosinusoidu, ale posunutou o  $33^\circ$ .

Považujeme proto bod  $[6.3 \text{ V}; 30^\circ]$  za nové maximum a berme v úvahu jen šest měření v jeho okolí (výsledek je grafu znázorněn modře).

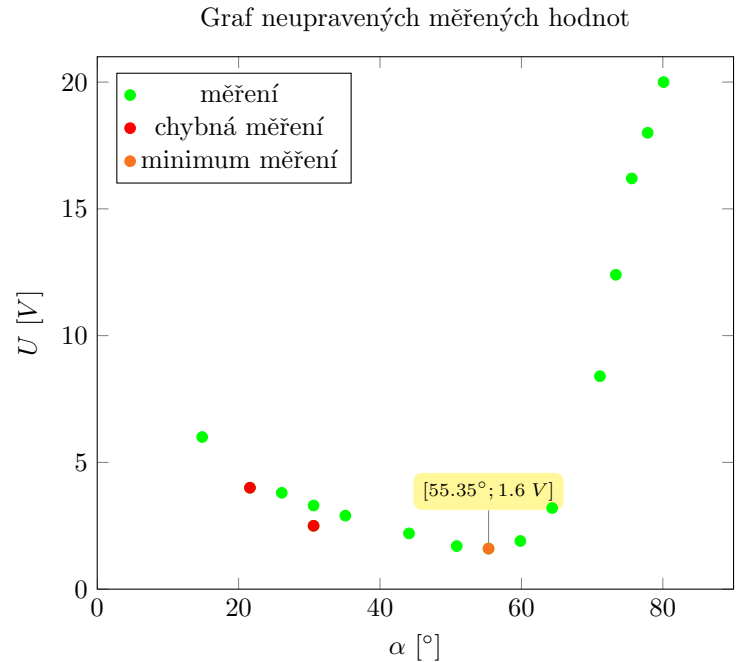
## Brewsterův úhel

Polarizátorem zajistíme světlo polarizované v rovině dopadu na rotující PMMA (PolyMethylMethAkrylát). Protože PMMA rotuje uvnitř válcového stínítka, vytvoří odraženým světlem na jeho stěnách stopu. Zároveň je lineárně polarizované v rovině dopadu, a tak se při dopadu pod Brewsterovým úhlem  $\varphi_B$  neodrazí  $\Rightarrow$  stopa na stínítku bude na dvou místech přerušena. Přerušování stopy nastane právě při hodnotě Brewsterova úhlu  $\varphi_B$ , čehož využijeme pro jeho měření.

| $\beta_{det}$ | $\varphi = \beta_{det}$ | $U$  | $\beta_{det}$ | $\varphi = \beta_{det}$ | $U$  |
|---------------|-------------------------|------|---------------|-------------------------|------|
| [°]           | [°]                     | [mV] | [°]           | [°]                     | [mV] |
| 160.2         | 80.1                    | 20.0 | 101.7         | 50.85                   | 1.7  |
| 155.7         | 77.85                   | 18.0 | 88.2          | 44.1                    | 2.2  |
| 151.2         | 75.6                    | 16.2 | 61.2          | 30.6                    | 2.5  |
| 146.7         | 73.35                   | 12.4 | 70.2          | 35.1                    | 2.9  |
| 142.2         | 71.1                    | 8.4  | 61.2          | 30.6                    | 3.3  |
| 128.7         | 64.35                   | 3.2  | 52.2          | 26.1                    | 3.8  |
| 119.7         | 59.85                   | 1.9  | 43.2          | 21.6                    | 4    |
| 110.7         | 55.35                   | 1.6  | 29.7          | 14.85                   | 6    |

Z měření plyne, že Brewsterův úhel  $\varphi_B$  je blízko  $55.35^\circ$ , předpokládáme tedy  $\varphi_B = 55.35^\circ$ . Pomocí Brewsterova úhlu  $\varphi_B$  určíme relativní index lomu ze vztahu 2 jako

$$\frac{n_2}{n_1} = \tan \varphi_B = \tan 55.35^\circ = 1.45 [-]$$



Protože paprsek dopadal na PMMA ze vzduchu, můžeme říct  $n_1 = 1 [-]$ , a tím pádem index lomu PMMA  $n_2 = 1.45 [-]$

## 4 Závěr

Kvůli chybě při určování maxima  $U_{max}$  při přípravě měření Malusova zákona mi graf znázorňující střední napětí při daném úhlu  $\alpha$  nevyšel a cosinusoidě se podobal jen klesavou tendencí. Stanovil jsem proto nové maximum  $U_{max}$ , což výsledky k cosinusoidě zásadně přiblížilo.

Brewsterův úhel jsem z měření stanovil na  $55.35^\circ$  a z něj určil index lomu PMMA jako  $n_2 = 1.45$ , což znamená odchylku 0.03 od hodnoty  $n_2 = 1.48$ , která je uvedena v zadání měření.