

Seznamte se s polarizací!

J. Klinkovský*

Z. Špačková†

N. Závadská‡

Abstrakt

Zabývali jsme se teorií a využitím polarizovaného světla. Při průchodu světla dvěma polarizačními filtry jsme ověřili Malusův zákon. Určili jsme Brewsterův úhel pro odraz na černém skle jako 56° . Měřili jsme také odraz světla na hliníkové fólii, kde jsme v souladu s teorií neprokázali existenci Brewsterova úhlu.

1 Úvod

Polarizaci objevil Étienne Louis Malus při pozorování odrazu světla od skleněné tabulky přes islandský vápenec a zjistil, že dva paprsky vytvořené dvojlomem (sklo, krystal) zmizí, když s ním rotujeme. Na jeho výzkum navázal David Brewster svým pozorováním odrazu světla na skle a objevil úhel odrazu tzv. Brewsterův úhel. Další výzkum odhalil vztah mezi indexem lomu prostředí a Brewsterovým úhlem, což umožnilo určování indexu lomu optického skla pomocí odrazu lépe než lomu. Při studiu polarizace nacházíme mnoho zajímavých jevů, které lze aplikovat do praxe např. LCD displeje či 3D kina.

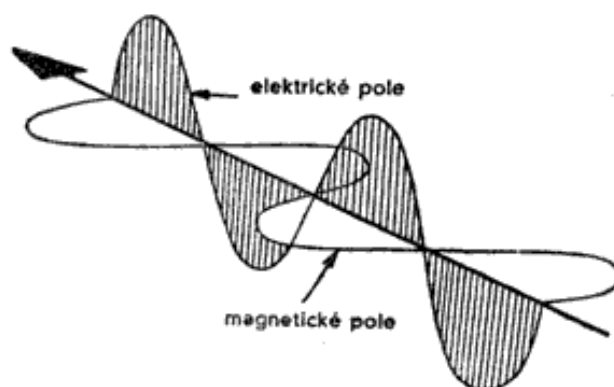
Jako cíl naší práce jsme si stanovili ověření Malusova zákona a určení Brewsterova úhlu.

2 Teorie

Viditelné světlo je elektromagnetické vlnění o vlnové délce 390 nm až 750 nm. Je složeno ze dvou složek – z elektrické a z magnetické, které jsou v čase proměnné, a tudíž spolu vzájemně interagují. Vektory intenzity elektrického pole \mathbf{E} , magnetické indukce \mathbf{B} a rychlosti šíření vlny v jsou v obvyklých případech vzájemně kolmé.

Elektromagnetické vlnění obecně lze popsat třemi základními charakteristikami – intenzitou, spektrem (obsaženými barvami tj. frekvencemi či vlnovými délkami) a polarizací (směrem \mathbf{E}).

V nepolarizovaném světle vektor intenzity elektrického pole \mathbf{E} nepravidelně kmitá v různých směrech kolmých ke směru šíření vlny. V opačném případě se jedná o polarizované světlo.



Obr. 1: Šíření elektromagnetické vlny v prostoru

*Gymnázium Blansko, kuba.klinkovsky@gmail.com

†Gymnázium Lipník nad Bečvou, spackova.zdenka@centrum.cz

‡SPŠ-Karviná, nikola.zavadska@seznam.cz

Dále se budeme zabývat pouze elektrickou složkou monochromatické úplně polarizované elektromagnetické vlny, magnetickou část lze vždy dopočítat. Vektor intenzity elektrického pole \mathbf{E} můžeme rozložit do dvou složek E_x a E_y podle zvolené soustavy souřadnic viz obr. 1, výsledné pole můžeme zapsat jako

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_{x0} \cos(\omega t + \varphi_1) + \mathbf{E}_{y0} \cos(\omega t + \varphi_2).$$

Podle fázového rozdílu $\varphi_1 - \varphi_2$ těchto složek rozlišujeme několik druhů polarizace – eliptická, kruhová a lineární:

- eliptická $|\varphi_1 - \varphi_2| \in (0, \pi)$,
- kruhová $|\varphi_1 - \varphi_2| = \frac{\pi}{2}$,
- lineární $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ nebo π .

V elipticky polarizovaném světle opisuje vektor intenzity elektrického pole \mathbf{E} elipsu (popř. kružnici). Výsledná elektromagnetická vlna se tedy stáčí v čase či v prostoru do pravotočivé nebo levotočivé šroubovice. V lineárně polarizovaném světle kmitá vektor intenzity elektrického pole \mathbf{E} stále ve stejné rovině, na které leží osa z .

Z nepolarizovaného světla vytvoříme polarizované světlo jedním z těchto způsobů: absorpce, odraz a dvojlom.

Podle Malusova zákona dojde po průchodu lineárně polarizovaného světla polarizačním filtrem k zeslabení intenzity elektromagnetické vlny I v závislosti na úhlu stočení θ osy propustnosti filtru vzhledem ke směru polarizace $I = I_0 \cos^2 \theta$, kde I_0 je prošlá intenzita při nulovém stočení.

Snellovy zákony určují směry šíření elektromagnetických vln, které prochází lomem z jednoho prostředí do druhého resp. odráží se (zákon lomu, zákon odrazu). Intenzity vln šířících se v jednotlivých směrech udávají Fresnelovy vzorce. Z těchto vzorců plyne, že v případě rozhraní neabsorpčních prostředí existuje tzv. Brewsterův úhel, což je úhel dopadu, při kterém dochází k úplné lineární polarizaci odraženého světla.

Při odrazu nepolarizovaného světla od skleněné destičky dojde k částečné polarizaci odraženého světla. Poměr polarizovaného a nepolarizovaného světla vyjadřuje stupeň polarizace $|\mathbf{P}|$. Pokud je

- $|\mathbf{P}| = 1$ úplně polarizované světlo,
- $|\mathbf{P}| = 0$ nepolarizované světlo,
- $|\mathbf{P}| \in (0; 1)$ částečně polarizované světlo.

Měřením souboru čtyř intenzit (při pootočení polarizačního filtru o 0° , 90° , 45° , $45^\circ +$ čtvrtvlnová destička) lze zjistit stupeň polarizace viz [3].

2.1 Využití polarizace

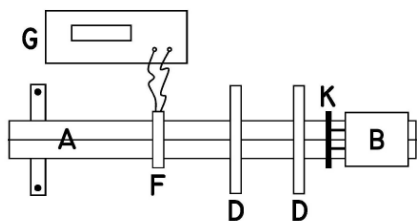
- 3D kino: Divák dostane polarizační brýle, jejichž sklíčka jsou lineární polarizátory, které mají osy propustnosti pootočené o 90° . Projektory promítají dva obrazy s různou polarizací natočené dvěma kamery, díky polarizačním brýlím poté vzniká dojem 3D obrazu.
- LCD displej: Displej obsahuje dva lineární polarizační filtry se zkříženými osami propustnosti, mezi nimiž je vrstva tekutých krystalů uspořádaných do spirálovité struktury, které stáčí rovinu polarizace o 90° . Po připojení napětí k této vrstvě dojde k rozrušení struktury, krystaly tedy neovlivní rovinu polarizace a světlo přes polarizační filtry neprojde.

3 Experiment

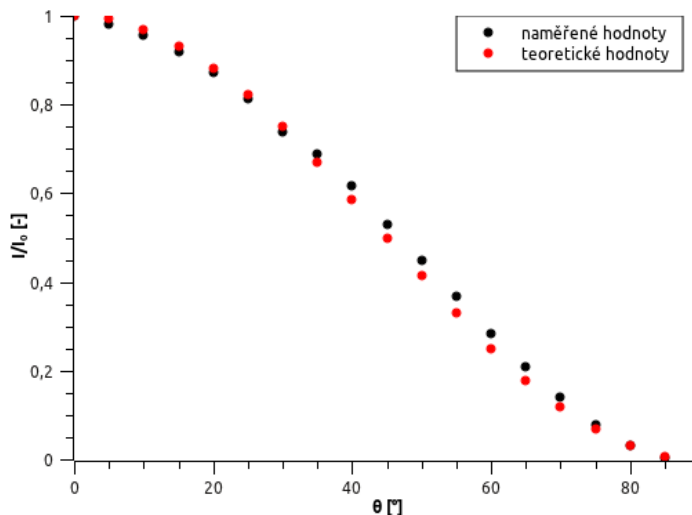
3.1 Malusův zákon

Na optickou lavici A jsme umístili světelný zdroj nepolarizovaného světla B, před který jsme vložili polarizátor D, který nám vytvořil lineárně polarizované světlo. Před fotočlánek F jsme vložili další polarizátor D (analyzátor), jehož osu propustnosti jsme stáčeli viz obr. 2.

Z grafu na obr. 3 plyne, že naměřené hodnoty se téměř shodují s teoretickými hodnotami.



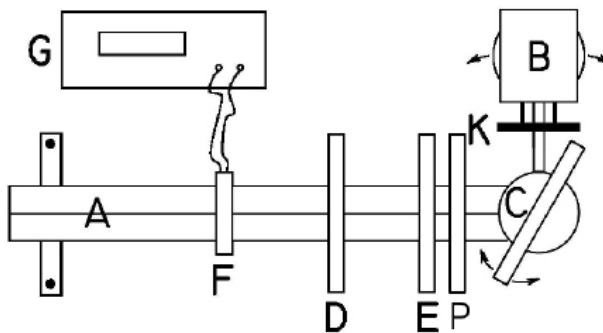
Obr. 2: Uspořádání při měření Malusova zákona: F - fotočlánek, A – optická lavice, B – světelný zdroj, D – polarizační filtr, K – matnice, G – multimetr



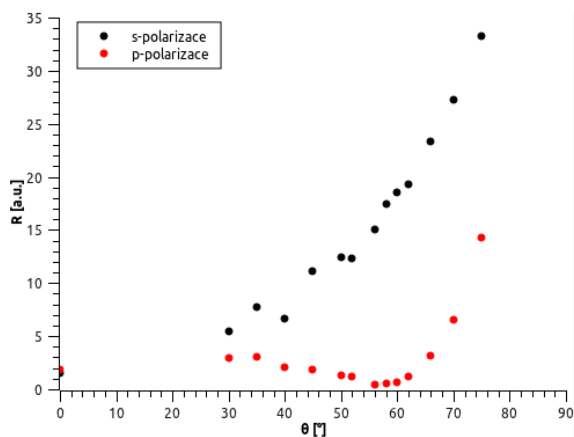
Obr. 3: Naměřené hodnoty relativní intenzity I/I_0 v závislosti na úhlu stočení polarizátoru a analyzátoru θ a teoreticky předpověděné hodnoty

3.2 Určování Brewsterova úhlu

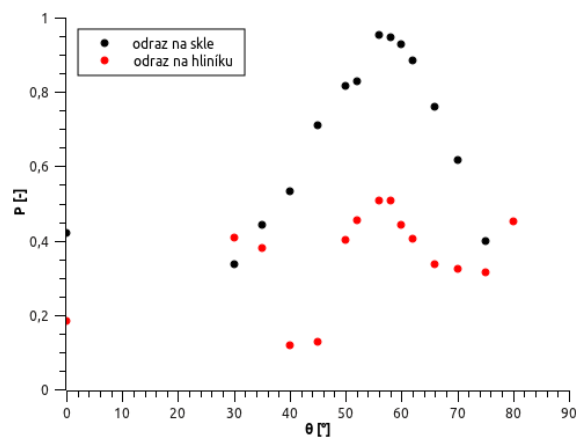
Na optickou lavici A jsme umístili černé zrcadlo C, od kterého jsme v daných úhlech odráželi světlo do irisové clony P. Před fotočlánek F jsme vložili polarizační filtr D. U něj jsme stáčeli osu propustnosti na 0° , 90° , 45° a 45° s čtvrtvlnovou destičkou E, která se vkládá mezi polarizační filtr D a irisovou clonu P viz obr. 4.



Obr. 4: Uspořádání při určování Brewsterova úhlu: A – optická lavice, B – světelný zdroj, C – otočné černé zrcadlo, D – polarizační filtr, E – čtvrtvlnová destička, F – fotočlánek, G – multimetr, K – matnice, P – irisová clona



Obr. 5: Závislost odrazivosti energie R na úhlu dopadu θ na skle pro různé polarizace



Obr. 6: Závislost stupně polarizace P odraženého světla na úhlu dopadu θ na skle a hliníkové folii

Na obr. 5 naleznete závislost odrazivosti R na úhlu dopadu θ na skle pro dvě navzájem kolmé polarizace. Naměřené hodnoty odpovídají teoretickému modelu. Na obr. 6 naleznete stupeň polarizace pro světlo odražené na skle a na hliníkové folii. Pro rozhraní vzduch-sklo jsme ověřili existenci a určili Brewsterův úhel (56 ± 3)°. Pro odraz na hliníkové folii viz obr. 6 jsme nezjistili existenci úhlu, pod kterým by se odráželo vysoce polarizované světlo.

4 Závěr

Měřili jsme intenzitu světla procházejícího polarizátorem a analyzátozem v závislosti na stočení jejich os propustnosti. Námi naměřené hodnoty se téměř shodují s teoretickými hodnotami, tedy jsme ověřili Malusův zákon. Brewsterův úhel pro odraz světla od černého skla jsme určili podle maxima jako (56 ± 3)°. Měřením odrazu světla od hliníkové fólie jsme neprokázali existenci Brewsterova úhlu, při kterém by bylo odražené světlo plně polarizované, což se shoduje s teoretickým předpokladem.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT v Praze za organizaci Týdne vědy na Jaderce. Dále děkujeme našemu supervizorovi Jiřímu Slabému za poskytnutí vyčerpávajících informací ohledně problematiky polarizace a světla jako takového a za pomoc při měření.

Použitá literatura

- [1] Goldstein D., *Polarized light*, 2.vyd., Marcel Dekker, Inc, 2003.
- [2] Polarizace (vlnění) *Wikipedia : the free encyclopedia.*, 24.5.2007, naposledy změněno 11.11.2010 [cit. 2011-06-21], Dostupné z WWW: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Polarizace_\(vlnění\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Polarizace_(vlnění))
- [3] Kolektiv katedry fyziky *Úlohy fyzikálních praktik – Měření s polarizovaným světlem* <http://praktika.fjfi.cvut.cz/Polarizace/>
- [4] Slabý J., *Fyzikální praktikum FJFI ČVUT v Praze, úloha 9: Polarizace*, 2010