

# Seznamte se s polarizací!

Petr Vaněk, Gymnázium Mikuláše Koperníka, Bílovec, petr.vanekk@gmail.com;

Ondřej Zeman, Gymnázium Děčín, ondrejzeman@nazivofest.cz;

Hana Nováková, Masarykovo gymnázium Příbor, hana.novakova@gypri.cz

## Abstrakt:

Zabývali jsme se polarizací světla a jeho využitím v praxi. Experimentálně jsme ověřili Malusův zákon, Brewsterův úhel, interferenci rovnoběžně polarizovaného světla a rotační polarizaci.

## 1 Úvod

S polarizovaným světlem se běžně setkáváme v každodenním životě. Možná se při dívání na 3D film zamýšlíte nad funkcí tohoto prostorového obrazu. Věřte, že vše je založeno na polarizovaném světle, které je poskládáno pomocí speciálních brýlí. Další využití najdeme u chromatografie hospodářských plodin nebo u konstrukce LCD televizorů. Také sluneční brýle, bez kterých bychom se téměř neobešli, jsou založeny na polarizovaných sklech.

Cílem naše miniprojektu bylo dokázat Malusův zákon a najít Brewsterův úhel černého zrcadla.

## 2 Teorie a měření

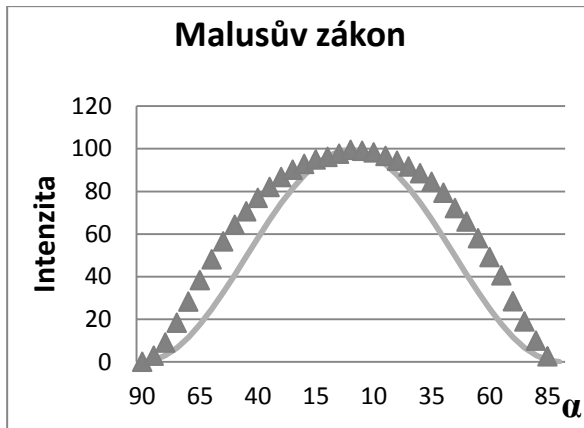
### 2.1 Malusův zákon

Necháme-li procházet lineárně polarizované světlo optickým prvkem, který je schopen sám polarizovat, zjistíme, že intenzita prošlého světla je závislá na vzájemné úhlové poloze polarizační roviny světelného svazku a polarizátoru, jímž tento svazek prochází. Polarizátor může totiž propustit jen složku, spadající do jeho polarizační roviny. Intenzita prošlého světla  $I'$  se mění podle Malusova zákona

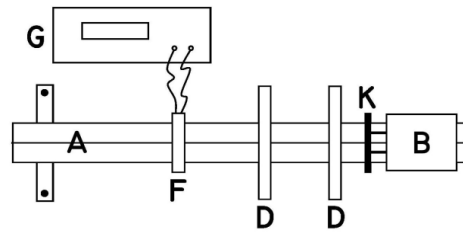
$$I' = I \cos^2 \alpha$$

kde  $I$  je intenzita polarizovaného světla dopadajícího na polarizátor a  $\alpha$  je úhel sevřený polarizačními rovinami paprsku a polarizátoru.

Platnost Malusova zákona můžete vidět v grafu 1, který jsme sestrojili na základě našeho měření. Naše výsledky (body) můžete porovnat s teoretickým předpokladem (spojnice). Schéma měřicí aparatury naleznete na obrázku 1.



graf 1



obr. 1

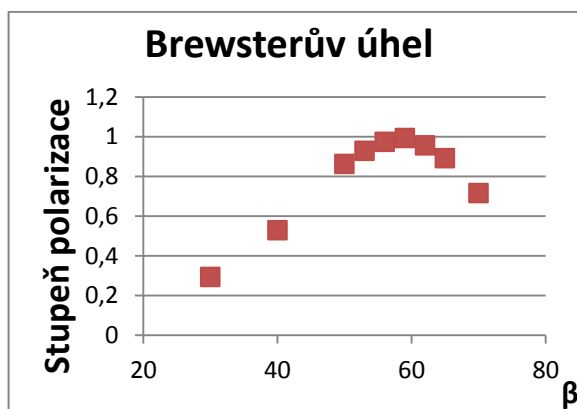
Schéma: Uspořádání při měření Malusova zákona: F – fotočlánek, A – optická lavice, B – světelný zdroj, D – polarizační filtr, K – matnice, G - multimetr

## 2.2 Brewsterův úhel

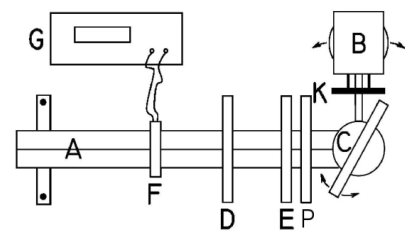
Dopadá-li světlo na skleněnou desku, část světla se odrazí a část láme do prostředí s jiným indexem lomu. Odražený paprsek je částečně lineárně polarizovaný a jeho vektor intenzity elektrického pole bude kmitat v rovině kolmé na rovinu dopadu (= bude kmitat v přímce rovnoběžné s rovinou rozhraní). Stupeň této polarizace závisí na úhlu, který svírá dopadající paprsek s rovinou zrcadla. Optimální hodnota tohoto úhlu je dána Brewsterovým zákonem, který říká, že paprsky odražené a lámající se na rozhraní musí být na sebe kolmé. Jsou-li indexy lomu pro daná prostředí  $n_1$  a  $n_2$ , platí pro Brewsterův úhel  $\alpha$  vztah

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta}{\sin(90^\circ - \theta)} = \operatorname{tg}\theta$$

Výsledek našeho měření můžete vidět na grafu 2. Hodnota Brewsterova úhlu pro černé zrcadlo je zhruba  $59^\circ$ , tudíž náš teoretický předpoklad Brewsterova úhlu  $58^\circ$  byl potvrzen. Schéma měřicí přístroje naleznete na obrázku 2.



graf 2



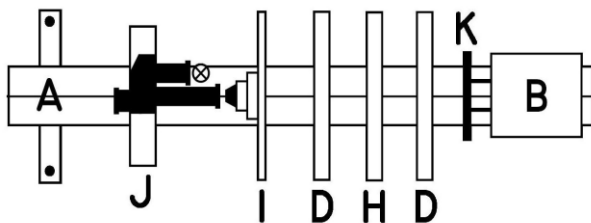
obr. 2

Schéma: Uspořádání k měření Brewsterova úhlu. B – zdroj světla, C – zrcadlo, P – irisová clona, E – čtvrtvlnová destička, D – polarizátor, F - fotočlánek

### 2.3 Interference polarizovaného světla

Některé krystalické látky představují pro průchod světla anizotropní prostředí, tj. jeho optické vlastnosti závisejí na směru šíření světla v krystalu. Paprsek nepolarizovaného světla, procházející takovou látkou, se rozdělí na dva paprsky, z nichž jeden (tzv. paprsek řádný) se řídí Snellovým zákonem a má konstantní index lomu  $n_o$ , druhý (tzv. paprsek mimořádný), se Snellovým zákonem neřídí a jeho index lomu  $n_e$  závisí na směru, v němž se světlo krystalem šíří. V krystalu existují směry, v nichž se indexy lomu pro oba paprsky rovnají, tedy  $n_o = n_e$ . Tyto směry jsou tzv. optické osy krystalů a podle jejich počtu dělíme krystaly na jednoosé (soustava čtverečná a šesterečná) a dvouosé (soustava kosočtverečná, jednoklonná a trojklonná). U dvouosých krystalů se neřídí žádný z paprsků vzniklým dvojlomem a Snellovým zákonem. Paprsky řádný a mimořádný jsou lineárně polarizovány v rovinách navzájem kolmých. Nejznámější dvojlomným materiálem je islandský vápenec a kromě něj řada dalších látek krystalizujících v soustavě čtverečné, kosočtverečné, šesterečné, jednoklonné a trojklonné. Dvojlomnými se mohou stát i některé amorfnní látky (sklo, plexisklo), podrobené mechanickému namáhání (tlaku, tahu).

Pozorovali jsme interferenci lineárně polarizovaného světla. Na obrázku č. 3 je zachycena experimentální aparatura.



obr. 3

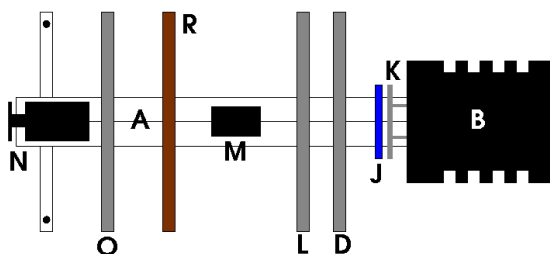
Schéma: Uspořádání k měření interference. B - zdroj světla, K – matnice, H – vzorek, D – depolarizátor, I – přímohledný spektroskop

### 2.4 Rotační polarizace

Některé látky (např. křemenná destička vyříznutá kolmo k optické ose, roztok třtinového cukru, kyseliny vinné atd.) mají schopnost stáčet rovinu polarizace. Mluvíme o látkách opticky činných (aktivních). Vložíme-li vzorek aktivní látky mezi zkřížený polarizátor a analyzátor, zorné pole se vyjasní. Aby světlo opět zhaslo, je nutno analyzátozem otočit o určitý úhel. Otáčíme ve směru hodinových ručiček, mluvíme o látce pravotočivé, otáčíme-li proti směru hodinových ručiček, látka je levotočivá.

Otočení je závislé na barvě světla (kratším vlnovým délkám přísluší větší otočení) a je úměrné tloušťce aktivní vrstvy. Je-li polarizované světlo bílé, jsou tedy jednotlivé barvy stáčeny různě. Mluvíme o tzv. rotační disperzi. Protože analyzátor propouští nejvíce paprsky polarizované v jeho vlastní polarizační rovině, způsobí otáčení polarizátoru i změnu barvy zorného pole. Otáčení vzorkem aktivní látky nemá na barvu zorného pole vliv na rozdíl od dvojlomnosti.

Změřili jsme měrnou otáčivost křemíku. Aparaturu jsme postavili podle obrázku č. 4. Měření bylo čisté subjektivní založené na pouhém pozorování okem. Přes vysokou relativní systematickou chybu (30% - 40%) jsme ověřili, že měrná otáčivost klesá při zvyšující se vlnové délce. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 1.



obr. 4

Schéma: Uspořádání k měření optické aktivity křemíku. B – zdroj světla, K – matnice, J – barevný filtr, D – polarizátor, L – poloviční polarizační filtr, M – spojka, R – vzorek, O – přesný polarizační filtr, N – dalekohled

vlnová délka [nm]	491	510	590	630
měrná otáčivost křemíku [°]	29	24,6	18,4	13,4

tabulka 1

### 3 Shrnutí

Dokázali jsme platnost Malusova zákona. Určili jsme Brewsterův úhel pro černé zrcadlo  $59^\circ$ . Pozorovali jsme interferenci rovnoběžného lineárně polarizovaného světla. Určili jsme měrnou optickou aktivitu křemíku. Všechna naše měření jsou v dobré shodě s teoretickými předpoklady.

### Poděkování

V první řadě bychom chtěli poděkovat paní Ing. Olze Hájkové za její vstřícnost a obětavost. Na každou naši otázku znala odpověď a vždy ráda pomohla v našich nesnázích. Dále bychom chtěli poděkovat panu Ing. Svobodovi za jeho poutavé přednášky a iniciativu v organizování Týdne vědy. V neposlední řadě patří velký dík fakultě FJFI ČVUT, že nám umožnila zúčastnit se na této ojedinělé akci, která nemá v České republice obdoby.

### Reference:

- [1] FRIŠ, TIMOREVA: *Kurs fyziky, díl III, kap. 24*, NČSAV, Praha, 1954.
- [2] PETRŽILKA: *Fyzikální optika*, Přírodovědné nakladatelství, Praha, 1952, str. 118 až 187.
- [3] BROŽ: *Základy fyzikálních měření I*, SPN, Praha, 1983, str. 556 až 568.
- [4] <http://praktikum.fjfi.cvut.cz/polarizace>[19.6.2012]