

Měření s polarizovaným světlem

R. Cajzl* J. Schusser† P. Urban ‡

15. června 2010

Abstrakt

Zabývali jsme se pojmem polarizace. Naměřili a potvrdili jsme základní projevy polarizovaného světla – Malusův zákon a existenci Brewsterova úhlu. Polarimetricky jsme potvrdili přítomnost cukrů v Coca-Cole.

1 Úvod

S polarizací se můžeme setkat v každodenním životě. Většina z Vás používá LCD displej, mnoho z Vás bylo jistě v 3D kině. Kdo z Vás ale tuší, co se za tím vším skrývá?

2 Teorie

Světlo je elektromagnetické vlnění. Prostorem se šíří jako postupná vlna. Vektor elektrické intenzity \vec{E} může kmitat ve všech směrech v rovině kolmé na směr šíření. V případě monochromatické vlny šířící se ve směru osy z můžeme vektor elektrické intenzity \vec{E} rozložit do dvou navzájem kolmých směrů např. ve směru osy x a y

$$E_x(t, z) = E_1 \cos(\omega t - kz + \varphi_1) \text{ a } E_y(t, z) = E_2 \cos(\omega t - kz + \varphi_2),$$

kde t je čas, E_1, E_2 amplitudy, ω úhlová frekvence, k velikost vlnového vektoru, φ_1, φ_2 počáteční fáze. Vektor elektrické intenzity může kmitat několika způsoby

- kruhově: $|\varphi_1 - \varphi_2| = \frac{\pi}{2}$ a $E_1 = E_2$
- elipticky: $|\varphi_1 - \varphi_2| \in (0, \pi)$
- lineárně: $|\varphi_1 - \varphi_2| = 0$ nebo π

V případě polychromatického světla se může stát, že po naměření hodnot nemůžeme určit rozdíl fázových konstant. Jedná se o světlo, k jehož popisu nemůžeme použít výše zmíněný model a nazýváme ho úplně nepolarizovaným světlem.

*Gymnázium Vincence Makovského, Nové Město na Moravě, email: radim.cajzl@gmail.com

†Gymnázium Broumov, email: schusserj@seznam.cz

‡Gymnázium Nad Štolou, Praha, email: patrik.urb@gmail.com

Polarizace průchodem

Prochází-li nepolarizované světlo mřížkou složenou z např. makromolekulárních lineárních řetězců, mohou se elektrony pohybovat pouze ve směru těchto řetězců. Pokud vektor elektrické intenzity míří tímž směrem, tak jsou elektrony podle Newtonova pohybového zákona urychleny Lorentzovou silou a energii vlnění spotřebují na svůj pohyb, tato složka tedy neprojde. Projde pouze složka kolmá na řetězce makromolekul a vzniká lineárně polarizované světlo (tomuto směru říkáme osa propustnosti). Pokud toto světlo necháme procházet dalším polarizačním filtrem, konečná energetická intenzita (tj. kvadrát velikosti vektoru elektrické intenzity) světla se řídí Malusovým zákonem

$$I(\theta) = I_0 \cos^2 \theta$$

kde I_0 je intenzita, která projde při shodné orientaci polarizátorů, θ je úhel, který svírají polarizační roviny polarizátorů, I je intenzita prošlého světla.

Polarizace odrazem

Dopadá-li světlo na odrazivou plochu, tak se podle Fresnelových vzorců rozdělí se na dvě části – jedna projde skrz a řídí se Snellovým zákonem lomu, druhá se odrazí a řídí se zákonem odrazu. Část, která se odrazí, je částečně lineárně polarizovaná v rovině dopadu. Z Fresnelových vzorců taktéž plyne, že existuje úhel, při kterém je odražená vlna úplně polarizovaná. Tento úhel nazýváme Brewsterův.

Polarizace dvojlomem

Existují látky, ve kterých se různým směrem elektromagnetické vlnění šíří různou rychlostí a při průchodu paprsku touto látkou se paprsek rozdělí na dva – řádný a mimořádný, které jsou navíc lineárně polarizované a roviny polarizace těchto paprsků jsou na sebe kolmé. Řádný se řídí Snellovým zákonem, mimořádný nikoliv. Rozdíl rychlosti šíření se projevuje zpomalením mimořádného paprsku. Pokud se nám podaří nalézt úhel dopadu světla, ze kterého se řádný i mimořádný paprsek láme stejně, využíváme pouze posun fází těchto dvou paprsků.

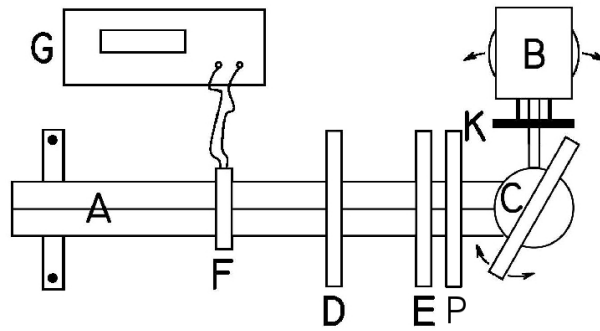
3 Experimentální uspořádání

Brewsterův úhel

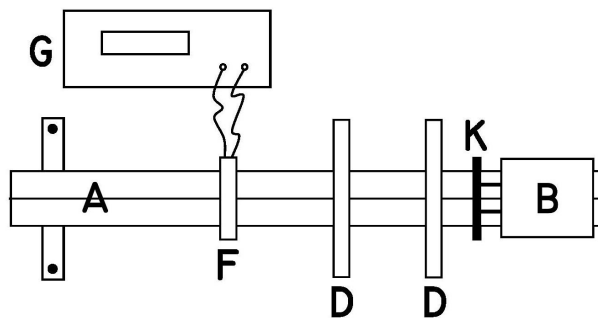
Schéma experimentálního uspořádání je na obr. 1. Ze zdroje světla B vychází přes matnici K bílé světlo, které se odráží na černém zrcadle C. Světlo pak prochází irisovou clonou P a polarizačním filtrem D, v posledním uspořádání i čtvrtvlnnou destičkou E. Signál je snímán fotočlánkem F a hodnoty odečítáme z multimetru G.

Malusův zákon

Schéma experimentálního uspořádání je na obr. 2. Před zdroj B vložíme polarizátor D, který vytvoří z nepolarizovaného lineárně polarizované světlo. Malusův zákon ověřujeme pomocí průchodu tohoto světla dalším polarizátorem D, u kterého měníme orientaci, umístěným před měřící fotočlánek F.



Obr. 1: Uspořádání při měření polarizace odrazem – určování Brewsterova úhlu: A – optická lavice, B – světelný zdroj, C – otočné černé zrcadlo, D – polarizační filtr, E – čtvrtvlnná destička, F – fotočlánek, G – multimetr, K – matnice, P – irisová clona



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

Stáčení roviny polarizace

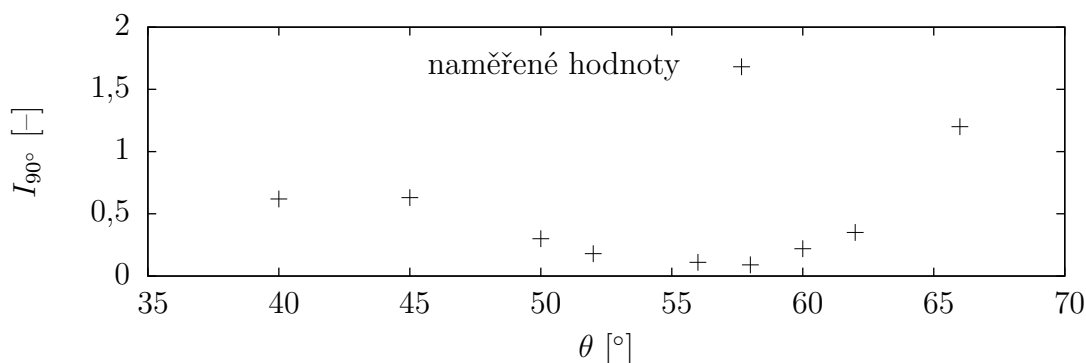
Ze sodíkové lampy přes barevný filtr a polarizátor prochází lineárně polarizované světlo do nádoby se vzorkem, který stáčí rovinu polarizace. Úhel stáčení změříme dalším polarizačním filtrem jako úhel, pod kterým vidíme vzorek nejtmaší, neboť pak jsou analyzátor a polarizátor „zkřížené“.

4 Výsledky a diskuze

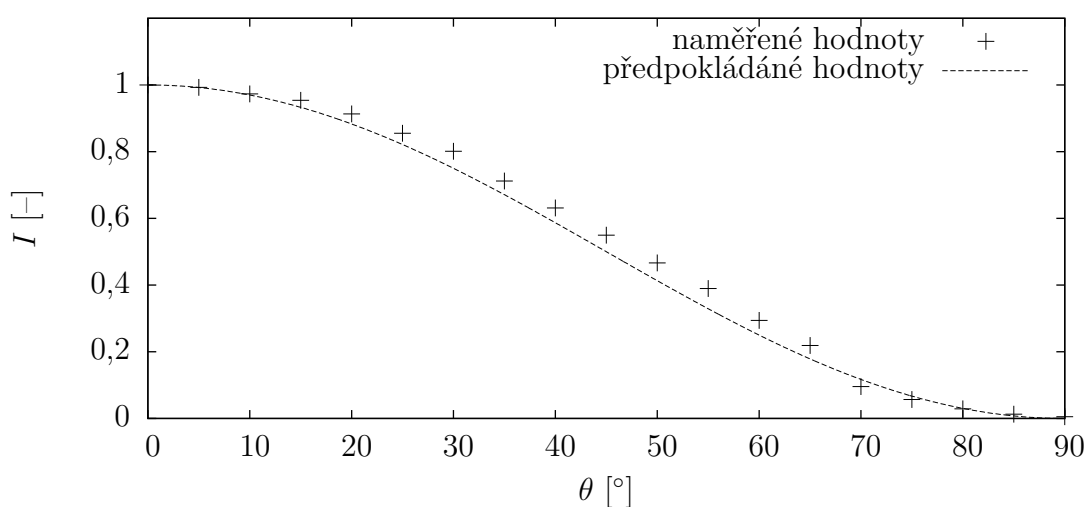
Při měření intenzity světla I_{90° odraženého od černého zrcadla v závislosti na úhlu dopadu θ jsme pro vlnu polarizovanou v rovině kolmé na rovinu dopadu naměřili hodnoty uvedené na obr. 3. Je vidět, že pro úhel cca 58° jsme obdrželi nejmenší intenzitu, tj. odražené světlo bylo téměř úplně polarizované v rovině dopadu, což odpovídá Brewsterově úhlu a shoduje se s teoretickou předpovědí.

Zkoumali jsme intenzitu světla I procházející přes polarizátor a analyzátor v závislosti na vzájemném stočení os propustnosti θ . Naměřené hodnoty jsou na obr. 4. Zjistili jsme, že naměřená data odpovídají velmi dobře teorii.

Snažili jsme se ověřit stáčení polarizační roviny cukernatým roztokem. Pro tento účel jsme se pokusili odbarvit Coca-Colu pomocí aktivního uhlí. Odbarvenou Coca-Colu jsme vložili mezi dva polarizační filtry. Srovnávali jsme minimum intenzity světla prošlého zkříženými polarizátory pro průchod vzduchem a pro průchod Coca-Colou a zjistili jsme, že v našem roztoku dochází k otočení o cca 2° levotočivě.



Obr. 3: Závislost intenzity I_{90° odraženého světla polarizovaného v rovině kolmé na rovinu dopadu na úhlu dopadu θ



Obr. 4: Ověřování Malusova zákona – závislost relativní intenzity I na úhlu θ stočení analyzátoru vůči polarizátoru

5 Shrnutí

Ověřili jsme Malusův zákon a existenci Brewsterova úhlu. Polarimetricky jsme potvrdili přítomnost cukrů v Coca-Cole.

Poděkování

Děkujeme FJFI ČVUT v Praze za organizaci Týdne vědy na Jaderce 2010. Dále děkujeme garantovi našeho miniprojektu Jiřímu Slabému za objasnění teoretických i praktických podkladů k zajímavé úloze.

Použitá literatura

- [1] Kolektiv katedry fyziky *Úlohy fyzikálních praktik – Měření s polarizovaným světlem*
<http://praktika.fjfi.cvut.cz/Polarizace/>