

Hezká optika s LCD a LED

JOSEF HUBEŇÁK

Univerzita Hradec Králové

Jednou z posledních částí fyziky, kterou se na střední škole pokoušíme zaujmout naše studenty, je optika. Velmi propracovaná učebnice [1] je určena pro gymnázia a zahrnuje jak klasické, tak novější poznatky z optiky.. Současná hodinová dotace na většině gymnázií vede k omezenému výběru povinného učiva a celá řada témat končí sportovně řečeno v outu jako doporučené rozšiřující učivo. Převážně jde o aplikace a pokud se s nimi student zabývá jen letmo nebo vůbec ne, zaniká i důvod ke studiu fyziky. Jen stručný výčet témat „za čarou“ z této učebnice:

Odrazný hranol, optická vlákna, vláknová optika

Hranolový spektroskop

Barva světla, míšení barev

Použití rovinných zrcadel

Zvětšení optického zobrazení, zobrazovací rovnice kulového zrcadla

Optické vady zobrazení čočkou

Podmínky dobrého vidění, setrvačnost zrakového vjemu

Mikroskop, dalekohledy, snímací a projekční přístroje, dataprojektor

Michelsonův interferometr, interference na tenké vrstvě, Newtonova skla

Rozdělení ohybových jevů, omezení rozlišovací schopnosti optických přístrojů

Ohyb na optické mřížce

Holografie

Praktické využití polarizovaného světla

Přenos energie zářením

Luminiscence

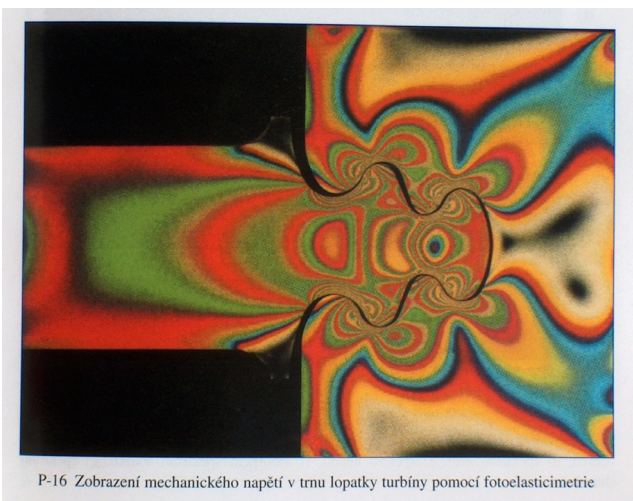
Záření černého tělesa, kvantum záření a Planckův zákon

Historie objevu rentgenového záření a laueogram, rentgenová diagnostika

Rentgenová strukturní analýza, Braggova rovnice

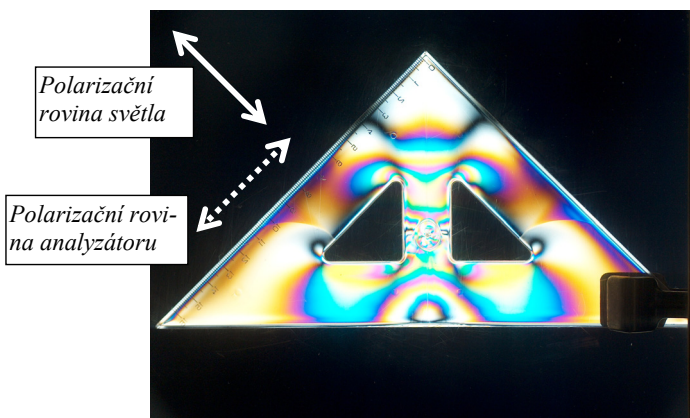
Základní vztahy a poznatky zůstávají ve hře, tvoří ale jen nezbytnou kostru optiky. I když je student zvládne, řadu zajímavých a každodenních setkání s optikou nespojí s fyzikou. Jako by navštívil krásnou zemi a projel ji po dálnici, nezastavil, než u čerpací stanice a MAC DONALDA.

V této situaci můžeme alespoň nabídnout pohled na technické využití optiky – v učebnici [1] mají tuto roli barevné přílohy. Jednu z nich si připomeňme:



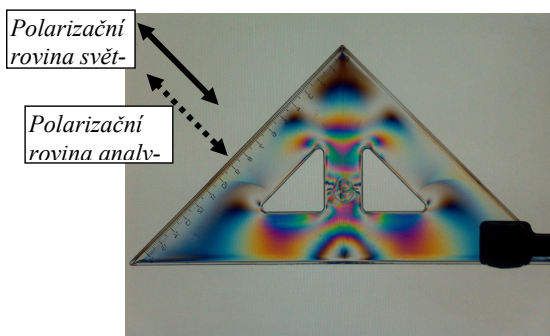
Obr.1 (Převzato z učebnice [1])

Pro fyzika je takový obraz potěšením, ale pro studenta může být jen jedním z mnoha zrakových vjemů, které denně zachytí a pak zapomene. Dnes ale máme skvělou možnost pozorovat podobné světelné „zázraky“ přímo. Zdrojem polarizovaného světla je LCD monitor počítače, pak potřebujeme jen vhodný polaroid jako analyzátor nebo digitální fotoaparát s polarizačním filtrem. Obrázek 3 ukazuje trojúhelník mezi monitorem a analyzátozem, přičemž polarizační rovina polaroidu je kolmá k polarizační rovině světla:



Obr.3 Trojúhelník v tmavém poli

Pohled na trojúhelník v případě rovnoběžných polarizačních rovin světla a analyzátoru je na obr. 4:



Obr.4 Trojúhelník ve světlém poli

Barevná pole se objeví i na víčku od krabice s cédéčky nebo na obalu od CD.

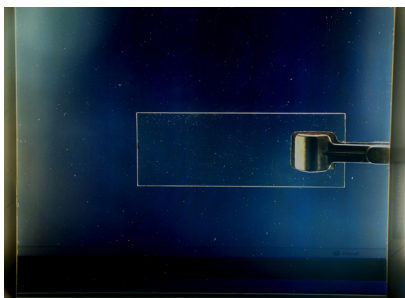


Obr.5 Víčko od krabice s CD

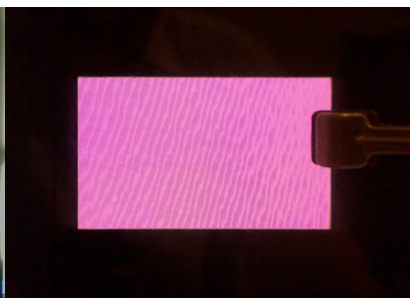


Obr.6 Pouzdro od CD

Vysvětlit podstatu takových jevů není tak snadné a máme-li možnost a čas v hodinách fyzikálního semináře, můžeme nejprve sledovat průchod lineárně polarizovaného světla planparalelní skleněnou deskou a deskou z organického skla (polymethylmetakrylátu):

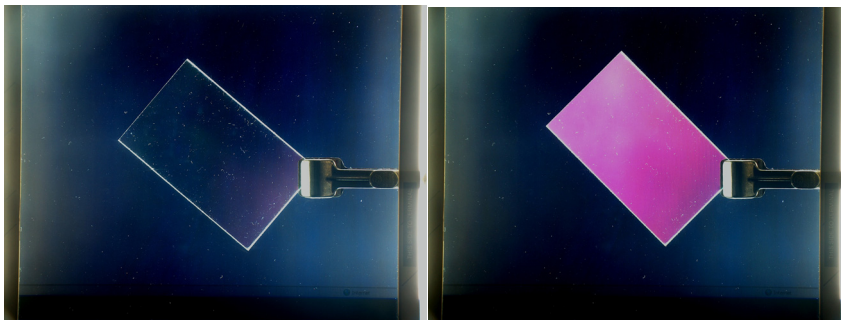


Obr.7 Sklo v tmavém poli



Obr. 8 Organické sklo v tmavém poli

Skleněná deska může být natočena libovolně a světlo neprojde. Organické sklo v uvedené poloze (obr.8) se chová jinak a výsledkem je purpurové zbarvení. I pro organické sklo najdeme polohu, kdy pole zůstane tmavé:



Obr. 9 Organické sklo skloněné o $\pi/4$

Obr.10 Organické sklo skloněné o $\pi/4 + \alpha$

Na obrázku 10 je ale vzorek otočen o něco více než 45° a opět se objeví zbarvení. LCD monitor skládá své lineárně polarizované světlo ze tří složek – červené, zelené a modré. Purpurová barva je dokladem absence zelené složky. Jak k tomu došlo?

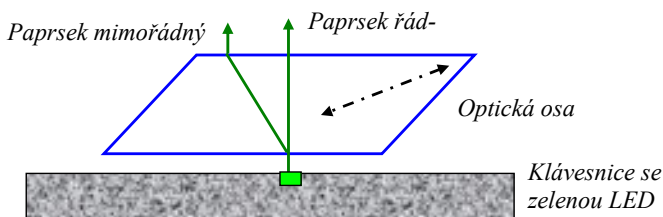
Na úrovni střední školy nemůžeme použít teorii, kterou zájemce najde v učebnicích optiky pro vysoké školy [2], [3]. Experimentem ale můžeme dokázat, že existují opticky anizotropní látky a v nich se paprsek světla rozdělí na paprsek řádný, splňující zákon lomu a paprsek mimořádný, který směřuje jinak, dokonce i při kolmém dopadu na rozhraní. Snímek 11 ukazuje pohled na klávesnici přes krystal islandského vápence :



Obr.11 Dvojlom

Tlačítko s hvězdičkou umožní rozhodnout, který obraz vznikl díky řádnému paprsku – hvězdička v úrovni znaménka mínus je řádná. Všechny obrazy posunuté vlevo dolů

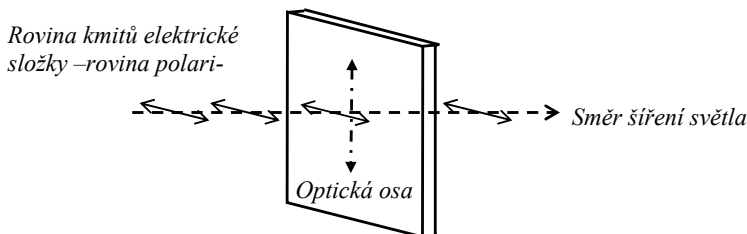
pod úhlem asi 45° vznikly ve světle mimořádného paprsku. Polaroidem snadno zjistíme, že v „řádém obraze“ má světlo polarizační rovinu kolmou k rovině určené optickou osou a směrem šíření světla (rovinu hlavního řezu). Otočením polaroidu o 90° řádný obraz mizí a zůstane obraz tvořený mimořádným paprskem. Mimořádný paprsek má ještě jednu pozoruhodnou vlastnost: ačkoliv na spodní stěnu krystalu dopadl kolmo, zlomil se od kolmice, prošel krystalem šikmo a na výstupu se „srovnal“ do kolmice a pokračuje rovnoběžně s paprskem řádným. Pokud bychom paprsky mohli pozorovat z boku, bude šíření světla vypadat takto:



Obr. 12 Řádný a mimořádný paprsek

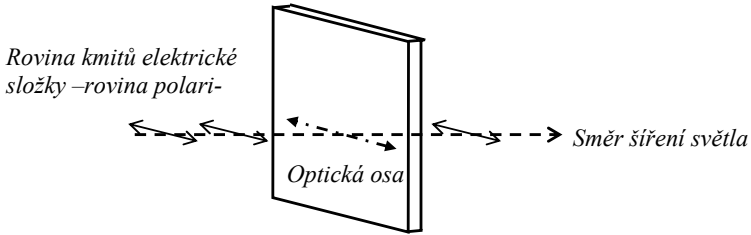
Podstatné pro vysvětlení našich experimentů je to, že v anizotropním prostředí se lineárně polarizované světlo šíří jako dvě lineárně polarizovaná světla. Paprsek řádný (ordinární) je polarizován v rovině kolmé k rovině hlavního řezu a paprsek mimořádný (extraordinární) v rovině rovnoběžné s rovinou hlavního řezu. Další důležitou skutečností je, že paprsek procházející kolmo planoparalelní deskou nemění svůj směr, pokud je optická osa vzorku rovnoběžná s povrchem desky. Ještě jednu vlastnost extraordinárního paprsku potřebujeme pro pochopení našich experimentů: extraordinární paprsek se šíří v anizotropním materiálu jinou rychlostí a má tedy jiný index lomu, než paprsek ordinární.

Deska z organického skla je také anizotropní materiál a její optická osa je rovnoběžná s povrchem desky. Světlo z displeje je lineárně polarizované a předpokládejme, že jeho polarizační rovina je kolmá na optickou osu:

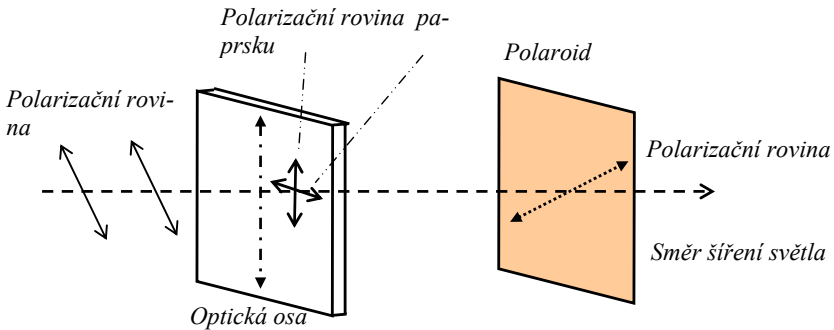


Obr. 13 Lineárně polarizované světlo prochází jen jako řádný paprsek

Obrázek 13 a 14 ukazují případy, kdy po průchodu zůstane polarizační rovina beze změny. To je případ pozorování v tmavém poli, kdy organické sklo obraz neovlivní.



Obr.14 Lineárně polarizované světlo prochází jen jako mimořádný paprsek



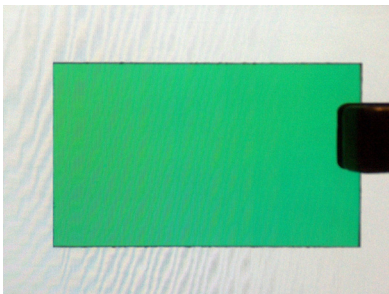
Obr.15 Průchod tenkou anizotropní fólií

Z obrázku 15 je zřejmé, proč tenká fólie „rozsvítí“ jinak temné zorné pole. Elektrické složky řádného a mimořádného paprsku mají nenulové průměty do polarizační roviny polaroidu. Tyto průměty již spolu interferují a dávají nenulový výsledek.

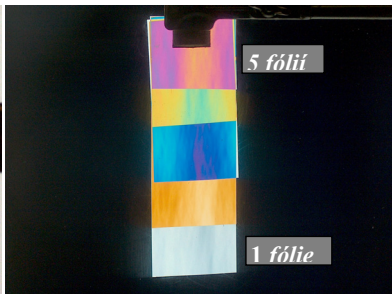
Barevné efekty souvisí s různými rychlostmi šíření a tedy s rozdílnými indexy lomu paprsku řádného a mimořádného. Oba absolvují v anizotropním vzorku jiné optické dráhy a na výstupu ze vzorku o tloušťce d mají fázový rozdíl

$$\varphi = 2\pi \frac{(n_o - n_e) \cdot d}{\lambda}.$$

Jestliže je rozdíl fází násobek 2π , jsou na výstupu vzorku stejné složky ve svislé i vodorovné rovině a jejich složením dostaneme opět lineárně polarizované světlo v téže polarizační rovině, jako před vzorkem. Světlo s takovou vlnovou délkou polaroidem neprojde. Ostatní vlnové délky „rozsvítí“ obraz, ovšem tentokrát barevně. To ukazuje obr. 8 a 10. Je patrné, že v původně bílém světle chybí zelená barva. Ve světlem poli zelená projde a ostatní jsou naopak potlačeny:

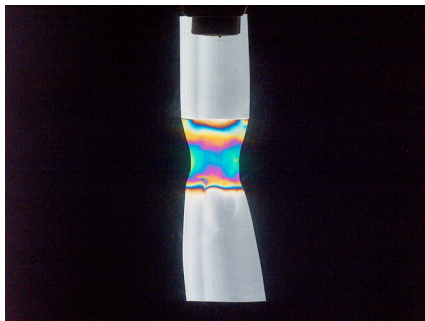


Obr.16 Plexi ve světlém poli

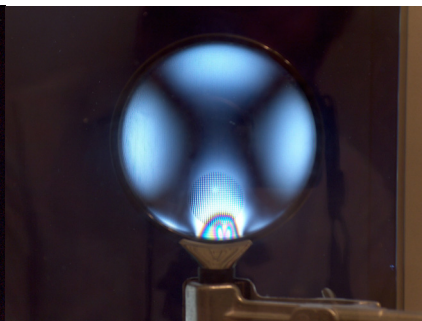


Obr.17 Vrstvení tenké fólie v tmavém poli

Rozdíl indexů lomu ordinárního a extraordinárního paprsku je možné měnit mechanicky tlakem nebo tahem a v lisovaném trojúhelníku z plastu zůstanou místa s vnitřním pnutím. Trojúhelník má dostatečnou tloušťku pro vznik fázového posuvu a vytvoření barevných polí. Fólii z PVC lze vytáhnout po překročení meze pružnosti a dlouhé molekuly se přesouvají do jiného uspořádání – okamžitě vidíme barevné efekty. Optické sklo je obvykle amorfní, ale při výrobě mohou zůstat v materiálu vnitřní pnutí, která lze zviditelnit.



Obr.18 Vytažená fólie PVC

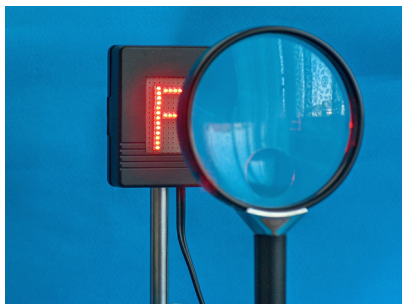


Obr.19 Lupa v tmavém poli

Na obr. 19 se objevuje tmavý obrazec, který vzniká díky sbíhavosti svazku paprsků po průchodu lupou. Studenti by mohli najít vysvětlení – stačí si uvědomit, že tmavá místa jsou tam, kde vektor elektrické intenzity lineárně polarizovaného světla má nulový průmět do polarizační roviny polaroidu.

Polarizační filtr je jedinou problematickou potřebou k popsaným experimentům. Lze jej získat prakticky zdarma z vyřazených mobilních telefonů: po demontáži z displeje pouze odstraníme zadní neprůhlednou vrstvu.

Snadno dostupné LED mohou usnadnit i měření ohniskové vzdálenosti spojky. Na optické lavici se obvykle používá svítící předmět určený výřezem v plechu a osvětlený žárovkovým zdrojem.



Obr.20 Svítící předmět pro zobrazování – 24 x LED

Svítící objekt ve tvaru písmene F (obr. 20) je sestaven ze 24 diod typu L-2060SRC. Jsou seskupeny do čtyř sériových skupin, takže napájení 12 V plně vyhovuje. Univerzální tištěný spoj má rozteč 2,5 mm a svislá část písmene je vysoká právě 30 mm. Diody mají poměrně malý vyzařovací úhel, takže při měření není nutné zatemnění a obraz lze promítnout i na stěnu místnosti.

Měřením byly získány pro danou lupu údaje:

- předmětová vzdálenost $a = 21$ cm
- velikost předmětu $y = 3$ cm
- velikost obrazu $y' = -33$ cm
- obrazová vzdálenost $a' = 233$ cm

Pro výpočet ohniskové vzdálenosti lupy považované za tenkou spojku lze použít vzorec pro zvětšení

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{a - f} \quad \text{a z toho dostaneme } f = 19,25 \text{ cm.}$$

Další možnost je ve vzorci

$$Z = \frac{y'}{y} = -\frac{a' - f}{f} \quad \text{a dostaneme blízkou hodnotu } f = 19,4 \text{ cm.}$$

Výhodou je měření poměrně velkých vzdáleností, kdy i rozměrnou lupu můžeme považovat za tenkou čočku. Konečně i rozsvícené velké písmeno **F** bude žákům připomínat, že poznávají fyziku.

Literatura

1. Lepil, O.: *Fyzika pro gymnázia Optika* Prométheus Praha, 3. přepracované vydání 2002, ISBN 80-7196-237-4
2. Malý, P.: *Optika* Karolinum, Praha 2008, ISBN 978-80-246-1342-0
3. Štrba, A.: *Všeobecná fyzika 3 – Optika* ALFA B