

Poznámky pro učitele

k modulu 5:

Polarizace

Polarizace světla je jednou z jeho zásadních vlastností. Pochopení polarizace umožnilo vědcům tento jev řídit a použít v řadě aplikací. Polarizace našla mnohostranné využití ve farmaceutickém průmyslu, v obrazovkách televizorů a počítačů a slouží i v rybářských brýlích. Tento jev tedy není jen zajímavý, ale i velmi užitečný.

Shrnutí: V tomto modulu se žáci dovědí, jak otáčet polarizační rovinu lineárně polarizovaného světla a jak fungují polarizátory. Naučí se také postavit si vlastní polarimetr a měřit natočení polarizační roviny v cukerném roztoku.

Tento modul obsahuje jedinou kapitolu:

- Kroucení světla: použití polarizátorů k natočení polarizační roviny světla; stavba polarimetru

Určeno pro: Vyšší třídy středních škol (přibližný věk žáků 16 až 18 let)

Doba trvání: Ke zpracování modulu je zapotřebí jedna vyučovací hodina o délce asi 40 min.

Předchozí znalosti žáků:

- Světlo se chová jako vlnění

Co se žáci naučí:

- Základní pojmy polarizovaného světla
- Funkce polarizátorů
- Otáčení polarizační roviny světla
- Postavit polarimetr
- Aplikace polarizace v displejích LCD

Tento modul obsahuje:

- 1 pracovní list
- 1 studijní list

Kapitola 1 | Kroucení světla

Doporučený program hodiny

V této kapitole žáci prozkoumají polarizaci světla a způsob, jak využít různé materiály k otáčení polarizační roviny světla. Postaví si rovněž svůj „cukrový polarimetr“ a vyzkoušejí si vliv různých koncentrací cukerného roztoku na polarizaci světla. Pomocí těchto metod poznají, jak lze významnou vlastnost světla – schopnost polarizace – použít k různým účelům a přelomovým objevům, např. displejům z kapalných krystalů (LCD).

Časy v minutách	Činnost	Materiál
Domácí úkol	Prostudování pokynů k bezpečné práci s laserem	Pravidla pro bezpečnou manipulaci s laserem
0-5	Úvod: přečíst první část pracovního listu	WS11.1
5 – 15	Práce na otázkách 1-5 na pracovním listu	WS11.1
15 – 30	Čtení oddílů 6-7 a stavba polarimetru	2 polarizátory 1 laserový modul <i>Součástí vybavení není:</i> Hrnek/sklenička z čirého materiálu Kolíčky na prádlo pro upevnění polarizátoru Obrazovka Voda Cukr (1-2 čajové lžičky)
30 – 40	Prostudovat oddíl s vysvětlením funkce displejů LCD na studijním listu	FS11.1, Čočky

Popis doporučené vyučovací hodiny

Polarizátory a princip jejich funkce

Až si žáci přečtou první část pracovního listu, budou možná potřebovat pomoc s vektorovým rozkladem vlnění. Vysvětlete jim, jak tento princip funguje. Můžete jej předvést s použitím provázku nebo vyložit pomocí nákresu na tabuli. Cílem je přivést je k úvaze, díky které dokáží vyřešit úkoly z oddílu 1 až 5.

Můžete za tím účelem sehrát ve třídě „hru“, při které namísto přímé odpovědi odpovíte na každou jejich otázku další otázkou. Žáky to donutí k co nejkonkrétnějším dotazům a také k přemýšlení nad různými odpověďmi na otázkami, které jim pokládáte vy. To je velmi důležité při tvorbě jejich postoje k objevování a prohloubí to jejich pochopení vědeckých závěrů.

Až žáci dokončí části 1-2 pracovního listu, projděte mezi skupinami a prohlédněte si výsledky jejich pozorování a prodiskutujte je se žáky. Po prohlédnutí různých předmětů skrze polarizátor by pak měli pokračovat v práci na oddílech 3-4. Při těchto pokusech mají žáci nejprve zjistit, že pomocí zkřížených polarizátorů, tj. vzájemně otočených o 90°, světlo zcela zaclonili. Poté, po vložení třetího polarizátoru mezi dva zkřížené, zjistí, že světlo opět prochází.

Až se žáci s tímto jevem seznámí, měli by pokračovat bodem 6 a zjistit, zda si všimnou něčeho podobného, když se mezi zkřížené polarizátory vloží další průhledný materiál. Měli by tedy pochopit, že jak třetí polarizátor, tak

vložený plast ve skutečnosti *stáčí* polarizační rovinu světla za prvním polarizátorem tak, že druhým polarizátorem projde.

Nechte žáky projít bod 6 pracovního listu a vyzkoušet tyto jevy na displeji mobilního telefonu. Požádejte je, aby shrnuli své poznatky a představy a vypracovali hypotézu o tom, jak fungují displeje z kapalných krystalů LCD. Jejich úvahy by se měly dotýkat toho, proč je světlo vycházející z displeje jejich mobilního telefonu polarizované a v jakém směru. Můžete jim také říci, že jejich hypotézu prověří další výklad o fungování displejů LCD, který bude uveden na studijním listu.

Poté si mohou přečíst oddíl 7. Řekněte žákům, že nyní vyzkoušejí, jak a o kolik některé „materiály“ stáčí polarizační rovinu světla. Použijí k tomu vlastní vytvořený „cukrový polarimetr“. Polarimetr slouží k měření úhlu rotace roviny polarizace světla po průchodu opticky aktivní látkou.

Jestliže vaši žáci dosud nepracovali s laserem, měli by si prostudovat a podepsat pracovní list s pokyny pro bezpečnou manipulaci s laserem. Tyto pokyny pak zopakujte znovu, ještě než začnou s lasery pracovat. Bezpečná práce s laserem je totiž jednou ze základních dovedností, které si mají v tomto modulu osvojit.

Požádejte žáky, aby si prostudovali oddíl 8 pracovního listu a postavili vlastní spektrometr. Spektrometr na obrázku představuje jednu z možných poloh polarizátoru. Možná ale přijdou na ještě lepší uspořádání! Jeden z polarizátorů by měl být ustaven stabilně, aby se během pokusu nepřekotil. Žáci pak budou druhým polarizátorem otáčet a hledat úhel, při kterém bude paprsek zcela zcloněn.

K rozpuštění cukru by měla stačit teplá voda z vodovodního kohoutku. Nebude-li k dispozici, lze použít vodu o pokojové teplotě, ale rozpouštění cukru bude trvat déle. Upozorněte žáky, aby vody nepřidávali příliš mnoho, protože ke zviditelnění rotace roviny polarizace je zapotřebí roztok o poměrně vysoké koncentraci.

Žáci také mohou pokus provést nejprve s čistou vodou (bez rozpuštěného cukru) a zjistit tak, zda to má vliv na polarizaci. Pokud však s touto variantou nepřijdou sami, nenavrhujte ji.

Po splnění úkolů z oddílu 8 je požádejte, aby si přečetli část 9 a přišli s vlastní hypotézou. Procházejte mezi skupinami, sledujte úvahy žáků a veďte je prostřednictvím dotazů. Můžete se ptát na to, čím je podle nich polarizace dána (pouze přítomností cukru, pouze přítomností vody, přítomností směsi obou).

Studijní list

Studijní list uvádí informace o displejích z kapalných krystalů (LCD) a popisuje, jak je v nich využito polarizace. Další podklady pro diskusi se žáky najdete v jeho oddílu „Všeobecné základy“. Řekněte žákům, aby si vzpomněli na pokus s displejem mobilního telefonu (nebo notebooku) v oddílu 7 pracovního listu. Poznali při něm, že displej vyzařuje světlo polarizované v určitém směru. Většina žáků pravděpodobně nějaké znalosti o displejích LCD měla již před tímto pokusem a současně má i nějaké zařízení s tímto displejem doma. Nechte je porovnat si své hypotézy o tom, jak otáčení světla umožňuje činnosti displejů LCD, s vysvětlením uvedeným ve studijním listu.

Všeobecné základy

Kapalné krystaly

Kapalné krystaly představují stav hmoty, jehož vlastnosti se pohybují na pomezí pevných látek a kapalin. Na makroskopické úrovni je totiž kapalný krystal tekutý, ale na úrovni mikroskopické jsou jeho molekuly uspořádány krystalicky.

Kapalné krystaly objevil v roce 1888 rakouský fyziolog rostlin Friedrich Reinitzer při práci na fyzikálně-chemických vlastnostech cholesterolu (dnes známého jako cholesterická fáze kapalných krystalů), na níž se podílel fyzik Otto Lehmann. Reinitzer objevil tři důležité vlastnosti kapalných krystalů v cholesterické fázi: dva body tání, odraz kruhově polarizovaného světla a schopnost stáčet směr polarizace světla. Na tento výzkum navázal Lehmann, který si uvědomil, že se setkal s novým jevem a že má možnost jej dále zkoumat. Studoval chování několika molekul a koncem srpna 1889 publikoval své výsledky v časopisu Zeitschrift für Physikalische Chemie. Na Lehmannovu práci navázal a výrazně ji rozšířil německý chemik Daniel Vorländer, který za svou aktivní činnost od počátku 20. století do roku 1935 syntetizoval většinu známých kapalných krystalů. Kapalné krystaly však nebyly mezi vědci příliš populární a byly po dalších 80 let pouze kuriozitou. Dalším krokem ke

komerčnímu využití displejů z kapalných krystalů byla úspěšná syntéza dalších chemicky stálých látek (kyanobifenylů) s nízkými teplotami tání, kterou provedl George Gray.

Technologie displejů z kapalných krystalů

Každá buňka displeje LCD se obvykle skládá z několika vrstev molekul zarovnaných mezi dvěma průhlednými elektrodami a dvěma polarizačními filtry, jejichž polarizační roviny jsou navzájem kolmé. Kdyby mezi polarizátory nebyl žádný kapalný krystal, světlo prošlé prvním polarizátorem by druhý polarizátor nepropustil dál. Povrch elektrod má takovou úpravu, aby molekuly kapalných krystalů zarovnal požadovaným směrem.

V některých případech se této úpravy dosahuje směrovým třením polymerové vrstvy textilní látkou. Kapalně krystaly na vrstvě blízké povrchu se tak zarovnají ve směru tření. Elektrody jsou vyrobeny z průhledného a vodivého oxidu indium a cínů (ITO). Nepůsobí-li elektrické pole, zarovnání molekul kapalných krystalů je dáno orientací povrchů elektrod. U klasického zařízení s nematickými krystaly stočenými do šroubovice (další informace jsou uvedeny níže) jsou orientace molekul na povrchu obou elektrod vzájemně kolmé, a tak se molekuly uspořádají do šroubovice. Proto klesá úhel natočení roviny polarizace dopadajícího světla. Displej se při vypnutí jeví jako šedý. Přiloží-li se elektrické napětí, molekuly kapalných krystalů uprostřed vrstvy se plně rozvinou a dopadající světlo tak může projít. Toto světlo však neprojde druhým polarizátorem, a buňka se proto bude jevit černá. Stupeň šedi tak lze řídit prostřednictvím napětí přiloženého na každou buňku. Standardní displej se ale skládá z řady buněk a nelze řídit napětí na každé z nich zvlášť. Proto se vyrábějí displeje multiplexované. V nich jsou buňky seskupeny do sloupců řízených vlastním zdrojem napětí. Elektrody jsou pak seskupeny do řádků a mají své svody napětí. Tyto skupiny pak jsou navrženy tak, že každá buňka má svou jedinečnou kombinaci zdroje a svodu napětí. K zapínání a vypínání svodů a zdrojů pak slouží další elektronické obvody a software.

Displeje LCD s adresováním pasivní a aktivní matice

V některých displejích, např. u starších notebooků, palmtopů, elektronických vah či původních konzol Nintendo GameBoy se lze setkat s pasivní maticí s krystaly STN nebo dvouvrstevným provedením STN (Super Twisted Nematic). U displejů s pasivní adresovanou maticí je každý řádek či sloupec buněk připojen na jeden elektrický obvod. Buňky se pak adresují po jedné podle řádku a sloupce. Tento systém se nazývá pasivní, protože každá buňka si musí uchovat svůj stav mezi obnovovacími signály bez aktivního elektrického náboje. Při zvětšování systému a růstu počtu buněk se pasivní matice stává obtížně realizovatelnou. Tyto displeje trpí pomalou odezvou a slabým kontrastem.

Ve většině dnešních displejů se setkáme s adresováním aktivní matice. U nich je navíc k polarizačním a barevným filtrům osazena matice tenkých fóliových tranzistorů (TFT). Každá buňka má svůj tranzistor, takže každé vedení sloupce umožňuje přístup k jediné buňce. Při aktivaci napájení řádku jsou všechna vedení sloupců propojena s řádkem buněk a správné napětí pak působí na všechna vedení sloupců. Napájení řádku se pak deaktivuje a aktivuje se napájení dalšího řádku. Během obnovení obrazu se tak aktivuje napájení všech řádků. Displeje s adresací aktivní matice má „jasnější“ a „ostřejší“ obraz než pasivní displej téže velikosti. Obvykle má také kratší dobu odezvy, a má tedy výrazně lepší obraz.

Funkce nematických kapalných krystalů stočených do šroubovice (twisted nematic)

V nematické fázi nejsou organické molekuly kapalných krystalů ve tvaru tyčinek uspořádány ve smyslu vzájemných poloh a proudí stejně jako kapalina. Mají však uspořádání na dlouhou vzdálenost, v němž jsou vyrovnány tak, že jejich delší osy jsou rovnoběžné. Lze je také snadno vyrovnat působením elektrického nebo magnetického pole.

Základem funkce nematik je přesně řízené opětovné vzájemné vyrovnání molekul pod vlivem elektrického pole. K němu stačí jen malé množství energie a nízká provozní napětí. Ve vypnutém stavu, tedy v okamžiku, kdy mezi elektrodami není elektrické pole, se molekuly kapalných krystalů mezi skleněnými destičkami stočí. Při zapnutí, tedy při působení elektrického pole mezi elektrodami, se molekuly vyrovnají ve směru vnějšího pole (diagram vpravo). Zruší se tak stočený tvar a nedojde ke srovnání procházejícího polarizovaného světla.

Displeje s organickými světelnými diodami (OLED) ve srovnání s displeji LCD

Organické diody LED jsou dnes na vzestupu. **Organická světelná dioda (OLED)** je světelná dioda (LED), kde elektroluminiscenční vrstvu tvoří film organických sloučenin, jež při průchodu elektrického proudu vyzařují světlo. Tato vrstva organického polovodičového materiálu je uložena mezi dvěma elektrodami. Obvykle je alespoň jedna z těchto elektrod průhledná. Základní rozdíl mezi displeji OLED a LCD spočívá v tom, že první z nich světlo vytváří, kdežto druhý jej zacloňuje. Displeje OLED mohou být tenčí a lehčí než displeje LCD. Mají také vyšší kontrast. Vlivem přítomnosti organických sloučenin však mají displeje OLED výrazně kratší životnost než displeje LCD.

Možné dotazy žáků

Jak fungují polarizační sluneční brýle?

Když světlo dopadne na rozhraní dvou prostředí o různých indexech lomu, jeho malá část se odrazí. Velikost této části závisí na polarizaci a úhlu dopadu. Dopadá-li světlo pod tzv. Brewsterovým úhlem (který je dán $\theta_B = \arctan(n_2/n_1)$), světlo s vektorem polarizace p se neodrazí. Dopadne-li nepolarizované světlo, tj. např. sluneční světlo na odrazivý povrch pod Brewsterovým úhlem, bude odražené světlo dokonale polarizované (s polarizací s) ve směru kolmém k rovině dopadu. Pro sklo ($n_2 \approx 1,5$) ve vzduchu ($n_1 \approx 1$) je Brewsterův úhel viditelného světla asi 56° . Na rozhraní vzduchu a vody ($n_2 \approx 1,33$) je cca 53° .

Polarizační brýle mají chránit oči před těmito odlesky světla od povrchů jako je voda nebo kov. Tento odraz je většinou polarizován horizontálně a polarizační rovina skel brýlí je svislá, a tak toto světlo blokuje.

Polarizační filtry ve fotografii?

Polarizační filtry většiny moderních fotoaparátů jsou kruhové polarizátory. Prvním stupněm je lineární filtr, který odfiltruje světlo s lineární polarizací v určitém směru. Druhý stupeň pak z technických důvodů, jež souvisejí s použitím automatických snímačů ve fotoaparátu, zajišťuje kruhovou polarizaci světla před jeho vstupem do optické soustavy aparátu. Polarizační filtry mají v barevné i černobílé fotografii dvě použití: omezují odrazy od některých povrchů a ztmavují oblohu. Elektrony v molekulách vzduchu rozptylují sluneční světlo (Rayleighův rozptyl), přičemž modrá část spektra (kratší vlnové délky) se rozptyluje více než červená (s větší vlnovou délkou), a tak se obloha jeví jako modrá. Polarizační filtr fotoaparátu dokáže v barevné fotografii odfiltrovat polarizovanou část světla oblohy, čímž se zvýší kontrast modré oblohy a bílých oblaků.