



12. Úloha

Měření na kapalných krystalech

1 Teoretický úvod

Zatímco u krystalických látek jsou stavební částice (atomy, ionty či molekuly) v prostoru uspořádány do pravidelných krystalových mřížek, v kapalinách jsou molekuly vzájemně vázány mnohem menšími silami a mohou tak snadno měnit tvar.

Kapalné krystaly jsou pak organické látky, které vytvářejí přechod mezi pevnými látkami a kapalinami. Na rozdíl od běžných krystalických látek nemají jednu teplotu tání, ale při tání prochází dvěma fázovými přechody (*teplota tání* a *teplota vyjasnění*). Mezi nimi se nachází ve zvláštní termodynamické fázi (tzv. **mezofázi**), kdy jsou kapalné podobně jako kapaliny, ale jejich molekuly jsou pravidelně uspořádány podobně jako v pevných krystalických látkách. Od ostatních stavů se mezofáze liší svými elektrickými, magnetickými a zejména optickými vlastnostmi.

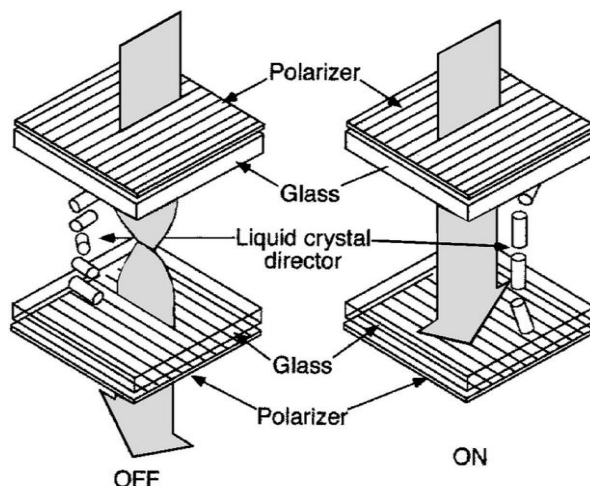
Většina běžných molekul, které tvoří kapalně krystalické fáze, jsou tyčinkovitého tvaru, tj. jedna molekulární osa je mnohem delší než ostatní dvě. Molekuly jsou elektricky neutrální, nicméně velikost elektrického náboje v jednotlivých částech molekuly se může velmi lišit. Pokud má jedna část molekuly kladný náboj a druhá část náboj záporný, pak se molekula stává dipólem. V elektrickém poli pak má dipól snahu otočit se v jeho směru. Tohoto jevu se velmi často využívá v aplikacích využívajících kapalně krystaly, jako jsou různé typy displejů, optické a světelné modulátory, elektrooptické prvky ve vláknové optice atd.

Displeje na bázi kapalných krystalů (**LCD – Liquid Crystal Display**) využívají změnu propustnosti světla procházejícího kapalným krystalem působením vnějšího elektrického pole. Pro tyto aplikace jsou velmi často využívány kapalné krystaly v nematické fázi, jejichž podlouhlé molekuly jsou orientovány v podélném směru mezi dvěma planárními deskami (skleněnými nebo plastovými). Molekuly nematických kapalných krystalů jsou **tzv. chirální** (s významem opticky aktivní – stáčí rovinu polarizovaného světla doleva nebo doprava dle orientace chemických skupin v molekule) a působí tedy na světelné záření procházející kapalným krystalem.

Unikátní optické vlastnosti má tzv. twistovaná (zkroucená) struktura nematických krystalů. Dochází v ní ke stáčení roviny polarizovaného světla o úhel $\pi/2$ bez ohledu na tloušťku vzorku. Umístíme-li ji mezi zkřížené polarizační filtry, umožní průchod světla touto strukturou (obr. 1). V případě, že na protilehlé strany struktury připojíme elektrické napětí, vlivem dipólů na



molekulách kapalného krystalu dojde k jejich stočení ve směru pole, stáčení roviny polarizovaného světla zmizí a světlo strukturou neprojde (nemá vhodnou polarizaci pro protilehlý polarizátor, tzv. analyzátor). Tento optický jev je využíván právě v displejích.

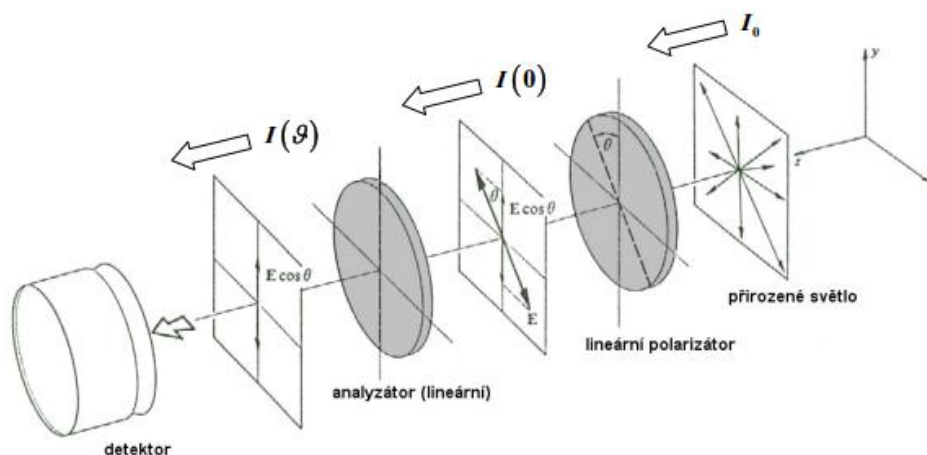


Obr. 1: Vizualizace principu displeje se strukturou ze “zkroucených” nematických kapalných krystalů (*Twisted Nematic Liquid Crystal Display – TN LCD*).

Struktura se tak chová podobně jako dvojice otočných lineárních polarizátorů, popsatelná tzv. **Malusovým zákonem**. Ten říká, že jestliže necháme 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 dle vztahu

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi,$$

kde I_0 je intenzita polarizovaného světla dopadajícího na polarizátor a φ je úhel sevřený polarizačními rovinami paprsku a polarizátoru.



Obr. 2: Průběh intenzity světelného záření pro dva polarizátory (Malusův zákon).

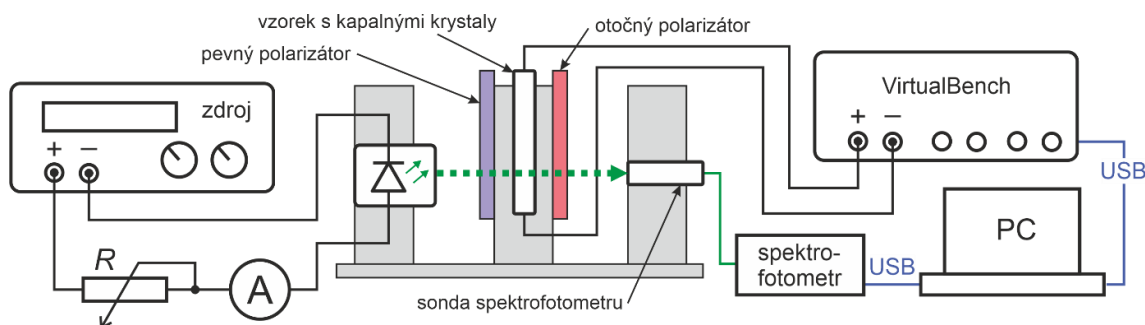
2 Zadání

- 1) Změřte závislost intenzity světelného záření procházejícího dvojicí polarizačních filtrů na úhlu jejich vzájemného natočení v rozsahu 0° až 180° .
- 2) Vypočítejte teoretický průběh intenzity záření v závislosti na úhlu natočení dvojice filtrů dle Malusova zákona.
- 3) Vytvořte graf porovnávající teoretickou a naměřenou závislost intenzity na vzájemném úhlu natočení. Porovnáním obou průběhů posuďte, zda jsou použité filtry lineární.
- 4) Změřte závislost světelné propustnosti struktury s kapalnými krystaly a dvojicí polarizačních filtrů na přiloženém napětí pro vzájemný úhel natočení 90° (konfigurace využívaná v displejích s kapalnými krystaly).
- 5) Sestrojte graf závislosti relativní intenzity na přiloženém napětí. Proveďte lineární regresi střední části grafu a ze směrnice regresní přímky určete strmost změny optické propustnosti vrstvy kapalných krystalů na napětí.



3 Použité přístroje a další laboratorní vybavení

- optická soustava se dvěma polarizačními filtry (jeden na otočném držáku)
- měřicí stanice VirtualBench (využita jako regulovatelný napěťový zdroj LCD)
- vzorek s kapalnými krystaly
- spektrofotometr
- LED světelný zdroj
- laboratorní napěťový zdroj
- odporová dekáda
- multimetr ve funkci ampérmetru



Obr. 3: Blokové schéma zapojení používané pro měření s kapalnými krystaly (obecné schéma pro oba experimenty).

4 Postup měření

Měření optických vlastností dvou polarizačních filtrů

1. Obvod s LED zapojte dle schématu na obr. 3 bez vzorku s tekutými krystaly připojeného k měřicí stanici VirtualBench. Na odporové dekádě nastavte hodnotu 100 Ω . Zapněte napěťový zdroj pro napájení LED a proud diodou nastavte na 20 mA.
2. Nastavte otočný polarizační filtr na značku 90°. Zkontrolujte, že světlo ze zdroje dopadá na sondu spektrofotometru.
3. Pomocí USB kabelu připojte spektrofotometr SpectroVis Plus k počítači a spusťte program *Vernier Spectral Analysis* (ikona programu je umístěna na ploše počítače). V úvodním menu programu vyberte volbu *Emisní spektrum vs. vlnová délka (celé spektrum)*.
4. Nastavte parametry měření kliknutím na ikonu ozubeného kolečka v pravém horním rohu



- programu (integrační čas 10 ms, průměrování z vlnových délek po 5 nm, časové průměrování 1). V programu by mělo být vidět vyzařované spektrum LED zdroje, které nebude saturované (plochý ořez v horní části průběhu).
5. Kliknutím na maximum průběhu si do programu vložte kurzor odečtu, který bude ukazovat na velikost intenzity v místě odpovídající dominantní vlnové délce LED.
 6. Následně otočný filtr nastavte na 0° a odečtěte velikost intenzity odpovídající dopadajícímu světelnému záření.
 7. Otočte filtr na 15° a opět odečtěte hodnotu intenzity. Proveďte měření závislosti intenzity dopadajícího světelného záření pro různé vzájemné úhly natočení polarizačních filtrů od 0° do 180° s krokem 15° .
 8. Vypočítejte teoretický průběh intenzity dopadajícího světelného záření v závislosti na vzájemném úhlu natočení obou polarizačních filtrů. Protože filtry pochází z LCD displeje, jsou již na počátku konstrukčně vzájemně pootočené o úhel $\alpha = 90^\circ$, který je třeba připočítat k úhlu odečítanému na úhlové stupnici držáku filtru.
 9. Vytvořte společný graf závislosti intenzity dopadajícího záření na úhlu vzájemného natočení polarizačních filtrů pro naměřené hodnoty a teoretické hodnoty (I_{teor}) získané z Malusova zákona. Za I_0 dosazujte hodnotu maximální naměřené intenzity ze získaných dat.

Měření optických vlastností kapalných krystalů (displej)

1. Obvod zapojte opět dle schématu na obr. 3 (na dekádě nastaven odpor 100 Ω).
2. Umístěte vzorek s kapalnými krystaly mezi oba polarizační filtry a připojte ho k výstupu 6 V stejnosměrného zdroje měřicí stanice VirtualBench.
3. Otočný polarizační filtr nastavte na hodnotu 0° a zapněte světelný zdroj (proud diodou nastavte opět na 20 mA). Zkontrolujte, že paprsek dopadá na sondu spektrofotometru.
4. Na spektrofotometru nastavte opět měření emisního spektra.
5. Na napěťovém zdroji nastavte hodnotu 2,0 V a odečtěte výšku píku záření procházejícího přes strukturu s kapalným krystalem.
6. Zvyšte napětí o 0,1 V a opět odečtěte hodnotu maxima křivky. Takto postupujte do napětí 5 V s krokem 0,1 V.
7. Sestrojte graf závislosti intenzity dopadajícího světelného záření na velikosti přiloženého



stejnoseměrného napětí. Pro lepší názornost vyjádření optické propustnosti struktury s kapalnými krystaly vynášejte intenzitu opět jako relativní hodnotu I_N , vyjádřenou tentokrát v procentech výchozí hodnoty, tzn. $I_N = \frac{I}{I_{max}} \cdot 100 = f(U)$, kde I_{max} je hodnota intenzity záření při napětí 2 V a I je hodnota intenzity pro dané napětí U .

8. Pro hodnocení vlastností vrstvy kapalných krystalů se často používá oblast vymezená hodnotami 90 % (I_{90}) a 10 % (I_{10}) rozsahu intenzity světelného záření. Vytvořte graf závislosti intenzity dopadajícího světelného záření na velikosti přiloženého stejnosměrného napětí pro tuto část průběhu (přibližně lineární závislost) a proložte ji regresní přímkou. V rovnici této přímky určuje její směrnice velikost změny (poklesu) intenzity světelného záření procházejícího vrstvou krystalů při změně napětí o 1 volt (strmost charakteristiky).