



Současné displeje

Josef Hubeňák¹, Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové

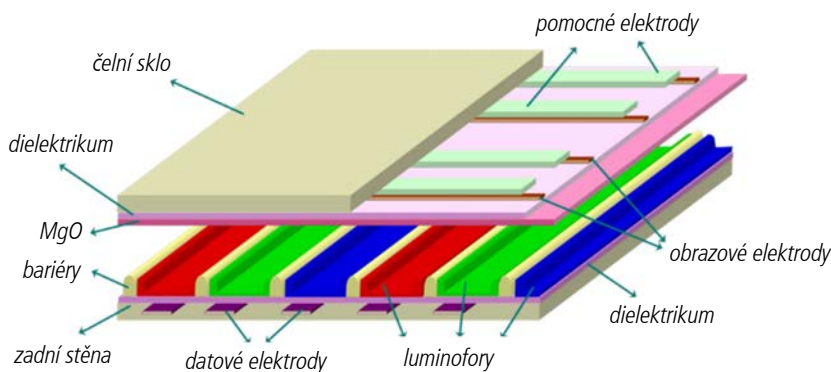
Displeje v televizní a výpočetní technice se stále zdokonalují a využívají různé fyzikální jevy. Vakuová obrazovka CRT (Cathode Ray Tube) se již nepoužívá a její místo obsadily displeje s kapalnými krystaly LCD (Liquid Crystal Display) a displeje plazmové PDP (Plasma Display Panel). Na mobilech a také v TV přijímačích se objevují displeje OLED (Organic Light-Emitting Diode) a novinkou jsou displeje EWD (ElectroWetting Display), využívající elektrokapilární jevy. Článek nabízí informace o fyzikálních principech dnešních displejů.

Informace v podobě obrazu jsou samozřejmou součástí každého dne. Na vakuovou obrazovku již zapomínáme, i když sloužila v televizní technice od 30. let minulého století do nedávné minulosti. Jednu z posledních továren na výrobu barevných vakuových obrazovek postavil koncern Philips v Hranicích na Moravě. Výroba zanikla v roce 2007 a vyprázdněné haly slouží jiným účelům. Barevný obraz vytvářejí dnes displeje využívající jiné fyzikální jevy. Obrazovky s úhlopříčkou 100 cm a větší mohou být *plazmové*. Obrazovky obvyklých rozměrů jsou převážně z *kapalných krystalů* (LCD) a třetím typem jsou displeje smartphonů a TV obrazovky z *organických LED*. Novinkou zobrazovací techniky jsou *displeje EWD*, využívající elektrokapilární jev. (Zkratka *EWD* značí ElectroWetting Display.)

Plazmové displeje

V zobrazovací technice mají své místo plazmové displeje (PDP – Plasma Display Panel). První komerční výrobky byly k dispozici v 90. letech minulého století. Zprvu byly určeny pro velkoplošné zobrazovače, ale technologie je již natolik zvládnuta, že jsou v prodeji plazmové televize s úhlopříčkou kolem 100 centimetrů. Vývoj šel od velkoplošných panelů k přístrojům vhodným do bytu.

Plazmový displej používá výboje v plynu za sníženého tlaku (přibližně 60 až 70 kPa). Mezi přední skleněnou deskou displeje a zadní stěnou jsou umístěny jednotlivé obrazové buňky. Za skleněnou deskou je průhledná vrstva dielektrika, pak následují obrazová a pomocná elektroda. Pod nimi je vrstva oxidu hořčatého MgO. Ta je průhledná a dostatečně vodivá, aby umožnila výboj a uzavírá prostor obrazové buňky, plněné argonem. Obrazové buňky jsou „vystlány“ luminoforem, který mění ultrafialové světlo výboje v argonu na barevné složky RGB (červené, zelené a modré světlo). Trojice takových buněk tvoří jeden pixel. Buňky spočívají na další skleněné desce a zespodu jsou vedeny datové vodiče – pro každou buňku jeden. Datové vodiče jsou kolmé k vodičům obrazovým a pomocným.



Obr. 1 – složení plazmového panelu - jeden pixel RGB (převzato z [1])

Pracovní cyklus

Elektrody jsou napájeny střídavým napětím. Mezi obrazovou a pomocnou elektrodou je přivedeno napětí s amplitudou asi 200 V, které zajistí částečnou ionizaci argonu. Výboj ve vybrané buňce vzniká až po vložení napětí asi 50 V mezi datovou a obrazovou elektrodou. Po rekombinaci iontů vzniká UV záření, které luminofor převede

¹ josef.hubenak@uhk.cz

na viditelné světlo požadované barvy. Výboj je ukončen přivedením nižšího efektivního napětí mezi obrazovou a pomocnou elektrodou. Úroveň jasů se reguluje počtem tzv. podsímků, nikoliv amplitudou použitých napětí.

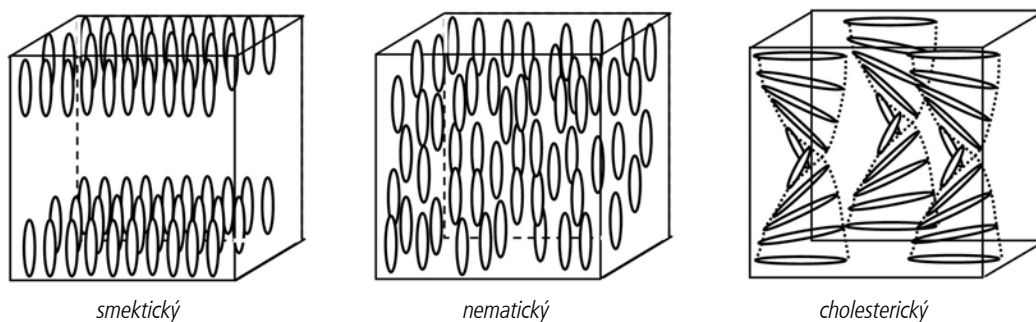
Plazmový displej má malou konstrukční hloubku, dobrou čistotu barev a velký pozorovací úhel. Současné plazmové TV mají příkony srovnatelné s LCD (méně než 100 W při úhlopříčce 100 cm). Velmi krátká doba odezvy dovoluje vytvářet několik set snímků za sekundu.

Špičkové plazmové displeje dodává firma Samsung. Televizor Samsung PN64H5000 má úhlopříčku 163 cm, rozlišení 1920×1080 pixelů a jeho elektronika umožní vytvářet až 600 podsímků za sekundu.

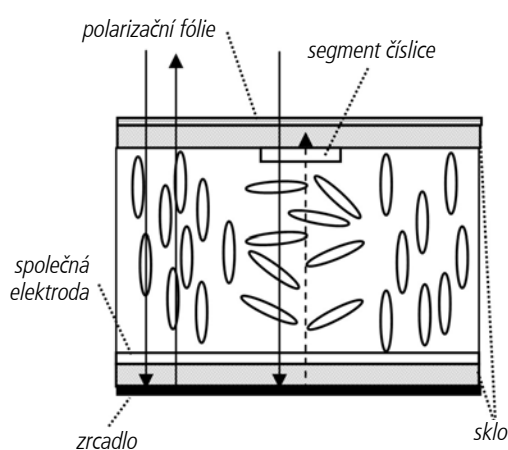
Displeje z kapalných krystalů

Molekuly některých organických sloučenin se i v kapalném stavu uspořádají do pravidelné struktury, a pak je takový roztok sice homogenní, ale anizotropní. Taková kapalina se chová do jisté míry jako krystal a například světlo propouští podobně jako polarizační filtr nebo krystal turmalínu.

Je to způsobeno uspořádáním poměrně rozměrných podlouhlých molekul v kapalině. Je známo uspořádání smectické, nematické a cholesterické.



Obr. 2 – kapalně krystaly



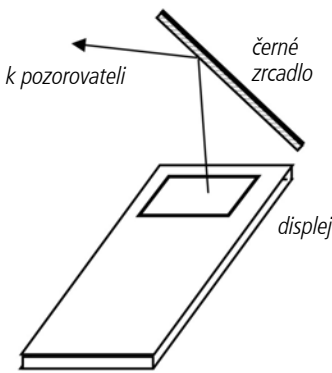
Obr. 3 – struktura pasivního displeje s nematickou kapalinou

Ve struktuře smectické jsou molekuly orientovány rovnoběžně a uskládány v pravidelných vrstvách. Nematická struktura má rovnoběžné molekuly, ale vrstvy se částečně prolínají a nejsou pravidelné. Cholesterická struktura má vrstvy, v nichž se orientace pravidelně stáčí a molekuly tvoří jakoby zkroucené žebříčky. Displej z cholesterické kapaliny využívá polarizované světlo, které při vhodné orientaci polarizační roviny projde, v opačném případě je pohlceno.

Světlo se polarizuje při průchodu horní fólií, projde až k zrcadlu a odráží se. Orientované molekuly kapalného krystalu polarizaci nenaruší a světlo úspěšně vyjde ven. Tato plocha je světlá. Na průhlednou elektrodu segmentu a společnou spodní elektrodu přivedeme střídavé napětí. Elektrické pole naruší orientaci molekul, tím se dvakrát ruší polarizace světla a tato plocha je tmavá.

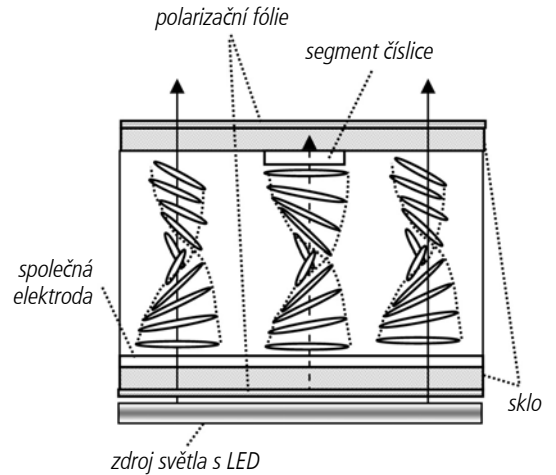
Vodivé průhledné elektrody jsou z oxidu cínatého SnO, vrstvička kapaliny mezi skly má tloušťku desetin milimetru. Zobrazovač nesmí zmrznout ani se přehřát. Tento typ displeje se používá například v kalkulátorech. Střídavé napětí na elektrodách má efektivní hodnotu 5 V a frekvenci 50 Hz. Proud je nepatrný – na jeden segment pouze 0,1 μ A. Chvilí ale trvá, než segment ztmavne a zase zjasní. Na ztmavnutí potřebuje 120 ms, na zjasnění 350 ms.

O tom, že číslice kalkulátoru s displejem z kapalných krystalů pozorujeme v polarizovaném světle, se přesvědčíme pomocí „černého zrcadla“. Kousek tabulového skla (10×10 cm) na jedné straně přelepíme černou



Obr. 4 – polarizace

izolepou, nebo přelepíme černým papírem. Stačí také jednu stranu stříknout černým lakem na auto. Sledujeme obraz displeje a otáčejeme kalkulačkou na stole. Dvakrát během otočení o 360° obraz takřka zmizí a dvakrát je jasně viditelný. Při odrazu od skla se světlo také polarizuje, a pokud je již polarizováno, odráží se dobře jen tehdy, pokud polarizační roviny souhlasí.



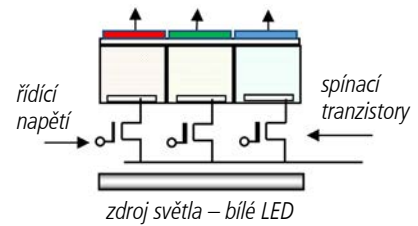
Obr. 5 – aktivní LCD

Pasivní displeje z kapalných krystalů nemají vlastní zdroj světla a dnes je vytlačují displeje osvětlené zezadu pomocí LED.

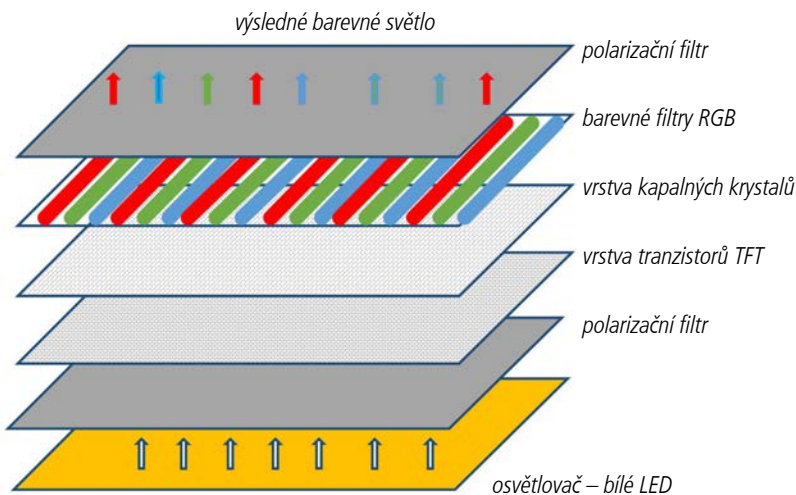
Na rozdíl od pasivních displejů jsou zde dvě polarizační fólie (polarizátor a analyzátor) a kapalný krystal má cholesterickou strukturu. Polarizační roviny polarizátoru a analyzátoru jsou zkřížené. Aby světlo prošlo, otáčí kapalný krystal polarizační rovinu světla o 90°. Napětí vložené na elektrody změní stočení „žebříčku“ molekul kapaliny a světlo neprojde.

Barevné LCD displeje jsou špičkovým oborem zobrazovací techniky a princip zůstává stejný jako u výše popsaného aktivního LCD displeje. Jeden obrazový bod (dále pixel) je tvořen třemi buňkami s nematickými kapalnými krystaly. Napětí ovládající každou buňku je spínáno tranzistory, které jsou vytvořeny na společné skleněné podložce a jejich rozměry jsou tak malé, že se skrývají do hran vaniček, oddělujících jednotlivé buňky.

Současné displeje LCD mají jednotlivé buňky propouštějící bílé světlo a teprve vrstva barevných filtrů RGB rozhoduje o barvě.



Obr. 6 – pixel barevného LCD



Obr. 7 – schéma displeje z kapalných krystalů

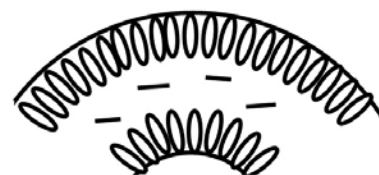
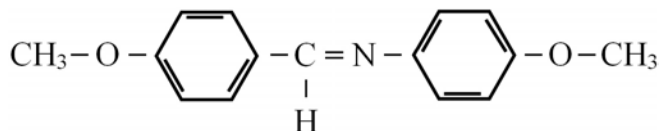
Displej s minimálním rozlišením 800 × 600 bodů má tedy celkem $3 \times 800 \times 600 = 1,44$ milionů tranzistorů a právě tolik miniaturních barevných buněk. Každá je řízena tranzistorem TFT (Thin Film Transistor).

Televizní obraz s vysokým rozlišením je v plné kvalitě zobrazen na LCD obrazovkách jen tehdy, jestliže displej má stejné rozlišení. V současnosti se používají rozlišení:

Standard	rozlišení	poměr stran	počet pixelů
HDTV	1 920 × 1 080	16 : 9	2,1 · 10 ⁶
4K UHD	3 840 × 2 160	16 : 9	8,3 · 10 ⁶
8K UHD	7 680 × 4 320	16 : 9	33,2 · 10 ⁶

Obraz na displeji se obnovuje například stokrát za sekundu. Jak dlouho smí trvat návrat molekul kapalného krystalu do původního stavu, aby se za pohybujícím objektem na displeji nevytvářely „barevné chvosty“, lze snadno spočítat, bez rezervy je to 10 milisekund. Má-li být i pohybující se objekt kreslen bez závad, musí být tzv. doba odezvy kratší – špičkové displeje mají dobu odezvy asi 6 ms. V jednotlivých buňkách těchto displejů nejsou cholesterické kapalně krystaly, ale krystaly nematické a ty jen mírně změni svou orientaci působením elektrického pole. To stačí, aby polarizované světlo změnilo svou intenzitu. Řídící elektrody nejsou nad a pod buňkou, nýbrž po stranách. Poslední novinkou jsou displeje s cholesterickou kapalinou a elektrodami v rovině – na dně pixelu. Označují se zkratkou IPS – In Plane Switching.

Kapaliny používané jako kapalně krystaly jsou složité organické látky. Smectickou strukturu vytváří molekuly mýdla při povrchu mýdlové bublinky. Při povrchu blány bubliny vně i uvnitř jsou molekuly mýdla ve vodě srovnány, jak ukazuje obrázek, a teprve uvnitř je roztok s neuspořádanými molekulami. Jako příklad nematika uvedme methylobenzyliden p-n-butyl-anilin se vzorcem



Obr. 8 – smectická struktura v mýdlové bláně

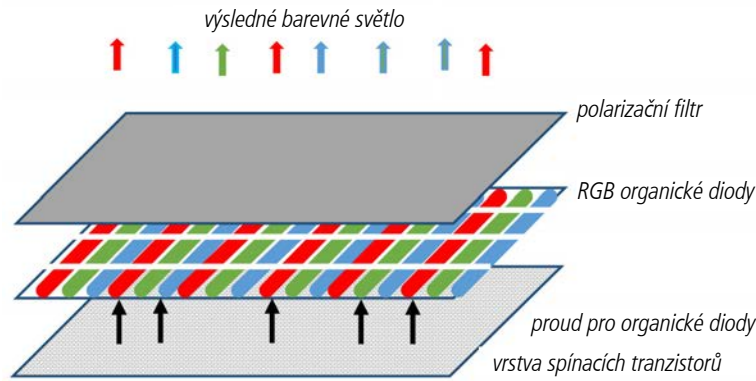
Cholesterické kapaliny jsou tvořeny složitějšími molekulami.

Podsvícení velkoplošných LCD panelů je řešeno bílými zářivkami. Pro TV a monitory jsou používány bílé LED, rozmístěné podél okrajů nebo v celé ploše displeje. Novým řešením je podsvícení každého pixelu čtveřicí barevných LED (červená, dvě zelené a modrá).

Fyzika a chemie LCD displeje jsou krásnou ukázkou aplikované vědy, ovšem jako spotřebitelé se budeme zajímat také o příkon, dobu spolehlivé funkce a další parametry. Kvalitní širokoúhlý LCD TV Samsung UE46F8000 s úhlopříčkou 116 cm má rozlišení 1 920 × 1 080 pixelů, pozorovací úhel 178°, jas do 293 cd·m⁻² a kontrast 2 930 : 1. Příkon je 94 W, v pohotovostním stavu 0,2 W.

OLED displeje

Novinkou jsou displeje OLED, AMOLED a PMOLED. Zkratky znamenají Organic Light Emitting Diode, Active Matrix OLED a Passive Matrix OLED. Základem jsou svítící diody z organických polovodičů. Polymery – plasty považujeme za izolanty a teprve nedávno byly objeveny vodivé a polovodivé organické látky. V roce 2000 dostali Nobelovu cenu za chemii objevitelé vodivých polymerů – Hideki Shirakawa, Alan J. Heeger a Alan G. MacDiarmid. Jejich přínosem byl polyacetylen oxidovaný parami jódu a tato organická sloučenina vede elektrický proud podobně jako kovy – dochází k vedení pomocí volných elektronů. Z organických látek byly vytvořeny polovodiče děrové a elektronové, diody a tranzistory, fotočlánky i světlo emitující diody. Organické LED lze vytvářet v celé ploše displeje a spínat každou diodu pomocí vlastního tranzistoru – to je aktivní matice, nebo spojit všechny katody jednoho sloupce diod a všechny anody jednoho řádku diod a pak se rozsvítí dioda na křížení *x*-tého sloupce a *y*-tého řádku. To je tzv. pasivní matice. První komerční OLED TV displej pochází z roku 2007 (firma Sony), experimentální provedení je ještě o dva roky mladší (fa Samsung). Displeje s aktivní maticí (AMOLED) mají jednodušší strukturu než displeje LCD.



Obr. 9 – schéma OLED displeje (převzato z [2])

Zdrojem červeného, zeleného a modrého světla jsou diody LED, není třeba osvětlovač a zbytečné jsou i barevné filtry. Polarizační filtr omezuje vliv odrazů světla z okolí televizního přijímače. Displej má menší příkon a vyšší kontrast. Jas lze řídit napájecím napětím diod. Technologie umožňuje vyrábět ohebné displeje bez jakékoliv nosné skleněné vrstvy a velké obrazovky mohou být prohnuté do oblouku.

Tím, že je panel televizoru tvarován do oblouku, nemusí oko diváka akomodovat při pozorování kteréhokoli bodu obrazovky. LED jsou schopny zcela zhasnout – z toho vyplývá vyšší kontrast než u jiných displejů. Rozlišení je standardní Full HD, tj. 1920×1080 pixelů. Rychlost reakce LED umožňuje snímkovou frekvenci až 50 kHz. Elektronika dopočítává mezipolohy pohybujících se objektů a k dvojrozměrnému obrazu (2D) také dotváří třetí rozměr. Dojem 3D zobrazení je řešen softwarově u pohybujících se objektů zpožděním obrazu pro jedno oko, u statických obrázků rozostřením pozadí. Prostorový vjem odpovídající stereoskopickému záznamu ze dvou objektivů nelze softwarově vytvořit a převod 2D na 3D jen využívá nedokonalosti zpracování obrazu v oku a v mozku.

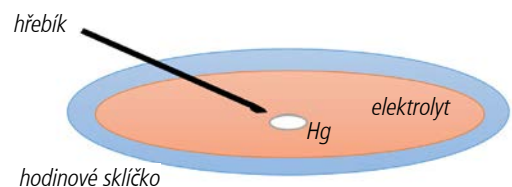


Obr. 10 – OLED TV LG 55EA980V (převzato z [3])

Displeje EWD

Zadáme-li do Googlu heslo Rtuťové srdce, dostaneme celou řadu odkazů na experiment, prokazující existenci elektrokapilárních jevů. Rtuť je dnes pro práci žáků nepřístupná, takže jim můžeme z internetu nabídnout video, nebo experiment provést s dodržением odpovídajících bezpečnostních opatření. Zde je návod.

Připravíme roztok 5 ml koncentrované kyseliny sírové a 100 ml vody. Roztok ochladíme a přidáme několik krystalků peroxidisíranu draselného (sodného). Nemáme-li jej, stačí nějaké jiné silné oxidační činidlo, např. manganistan draselný nebo dichroman draselný (0,5 g na 100 ml roztoku). V těchto případech však někdy trvá déle, než pokus uvedeme do chodu. Na hodinové skličko umístíme kapku rtuti o průměru asi 4 mm, přelijeme roztokem a dobře očištěným ocelovým drátem (stačí i tenký hřebík) se jí dotkneme. Dotyk musí být zcela lehký, nejlépe je drátek potom trochu oddálit. Nejprve kapka všelijak uhýbá a pohybuje se, při správném dotyku se však začne rychle smršťovat a natahovat pravidelnými rychlými pohyby, připomínajícími tepající srdce. Upevníme-li drát v této poloze, tepá „srdce“ delší dobu. Neprojevili se pohyb hned, přidáme do roztoku několik krystalků peroxidisíranu.

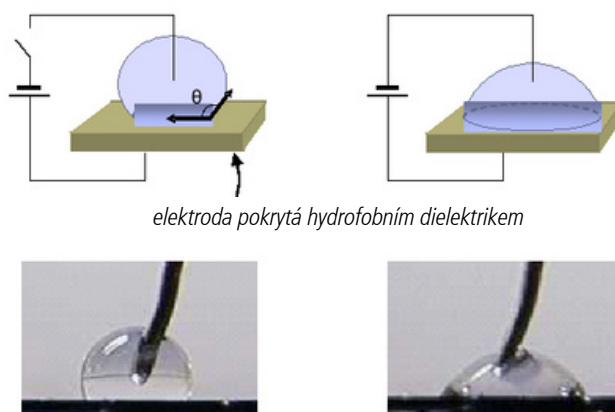


Obr. 11 – experiment rtuťové srdce

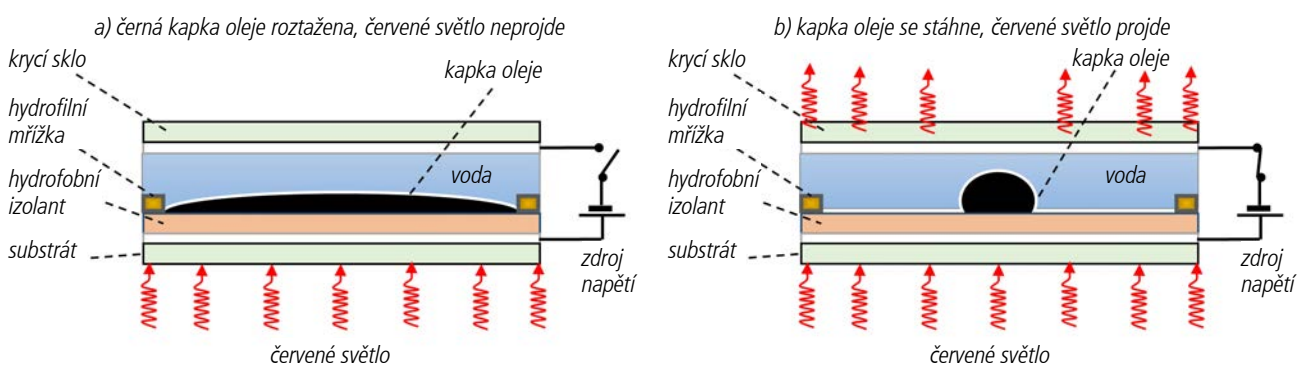
Fyzikální podstatu lze snadno vysvětlit: na povrchu kovů vzniká elektrická dvojrstva a snižuje povrchové napětí. Kapka rtuti změní tvar a při doteku s ocelovým hřebíkem se vzniknuvší galvanický článek zkratuje. Povrchové napětí rtuti se opět zvětší, kapka se stáhne a děj se opakuje.

Změnu povrchového napětí vyvolá i přítomnost polarizačních nábojů. Kapku vody na teflonovém povrchu lze roztáhnout pomocí vložené elektrody a stejnosměrného napětí, viz obrázek vpravo.

Na tomto principu jsou založeny ElectroWetting Displays – elektrokapilární displeje, které jsou dosud ve stadiu vývoje. Schéma jednoho pixelu je na následujících obrázcích.



Obr. 12 – změna tvaru kapky (převzato z [4])



Obr. 13 – schéma pixelu EWD

Úplný barevný pixel je tvořen třemi buňkami se světly Red, Green a Blue. Další variantou je osvětlování bílým světlem a použití barevných filtrů RGB pod krycím sklem. Ukázka takového displeje je na obr. 14. Displeje EWD jsou patrně nejnovější technologií zobrazování a vývoj probíhá u holandské firmy Liquavista.

Závěr

Současná zobrazovací technologie využívá řadu fyzikálních jevů. Obsah obrazové informace může být velmi pomíjivý, kdežto znalost fyzikálních jevů, které displej využívá, je cennou součástí fyzikálního vzdělání.



Obr. 14 – displej EWD (převzato z [5])

Literatura a zdroje

- [1] <http://sanjaykram.blogspot.cz/2007/10/dielectric-emissive-coatings-in-high.html>
- [2] <http://amoledtv.com/technology/>
- [3] <http://www.alza.cz/55-1g-55ea980v-d515878.htm>
- [4] <http://loolab.chem.ucla.edu/research/proteomics.html>
- [5] <http://www.extremetech.com/computing/145253-electrowetting-displays-brighter-than-lcd-lower-power-and-daylight-readable>