

ZOBRAZOVACÍ TECHNOLOGIE



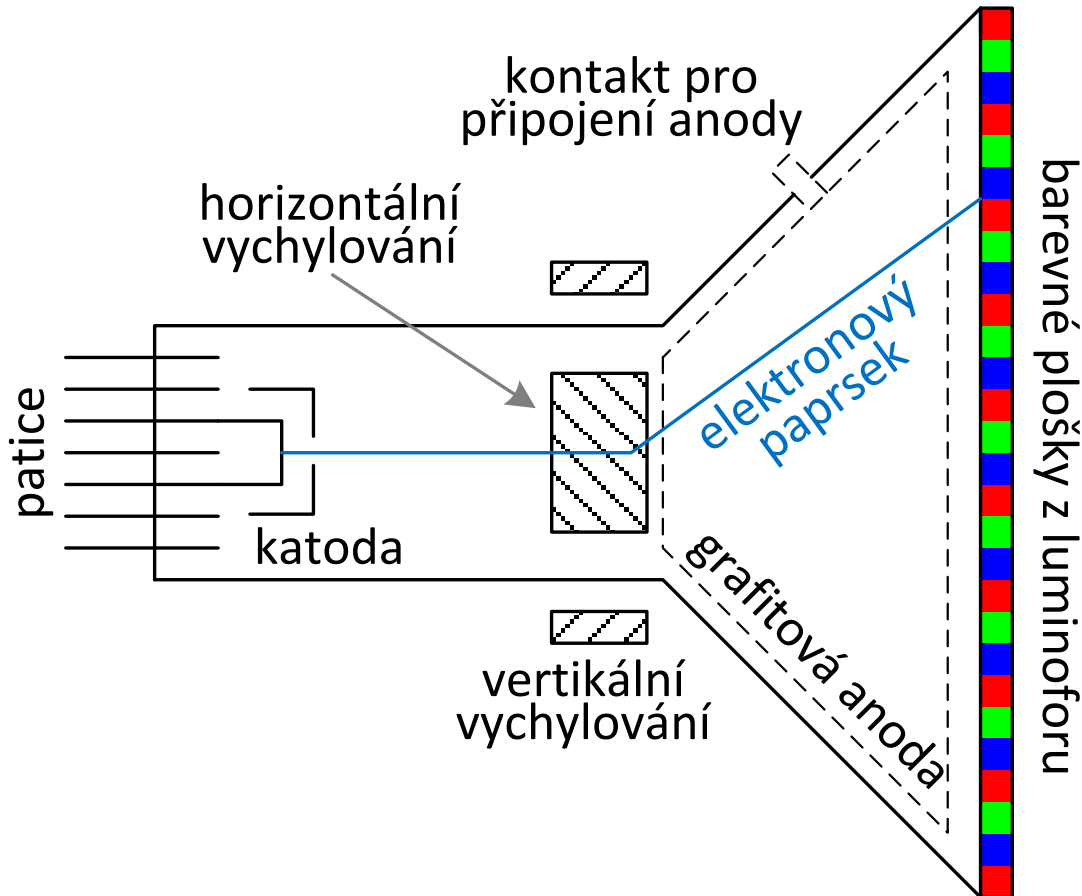
Kurz: **VIDEOTECHNIKA A MULTIMÉDIA**

Lektor: Kamil Říha

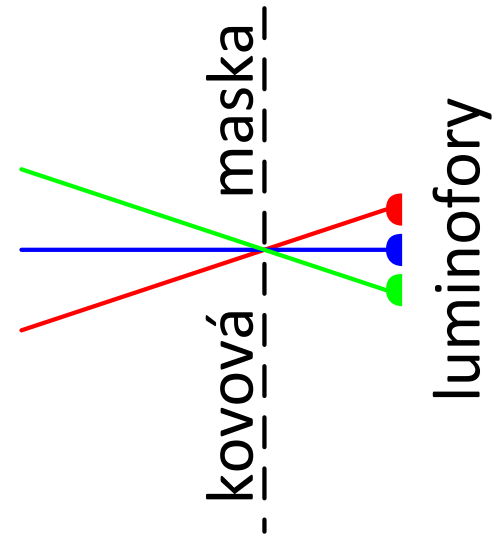
Cathode Ray Tube – vakuová obrazovka

- Vynalezena 1897 Karlem Ferdinandem Braunem
- Základní princip je elektronka, tedy vakuová baňka, ve které jsou dvě elektrody: žhavená katoda emitující elektrony, připojená na záporné napětí a anoda. Pokud je na anodě kladné napětí, protéká vakuem proud.
- Elektrony emitované katodou jsou urychlovány vysokým anodovým napětím (>10 kV) a po dopadu na speciální stínítko (luminofor) způsobí emisi fotonů
- Luminofory mohou mít různé barvy (RGB)
- Paprsek je vychylován a tím je definováno místo (pixel), kam dopadne
- Elektrony ze sekundární emise na stínítku jsou „sbírány“ grafitovou anodou
- Dva základní typy vychlování:
 - elektrostatický (osciloskopy): odolný proti emg. rušení, malý úhel vychýlení ($< 30^\circ$), vhodný i pro vysoké frekvence
 - elektromagnetický (televize): velký vychylovací úhel, vhodný pro menší frekvence
- Nevýhody: spotřeba, rozměry, komplikovanost, blikání, vydutí obrazovky
- Výhody: rychlost odezvy, vysoký jas, velké pozorovací úhly, podání barev

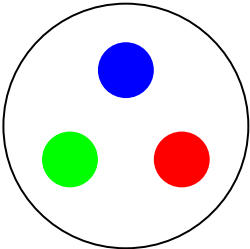
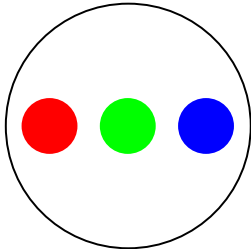
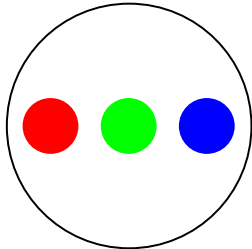
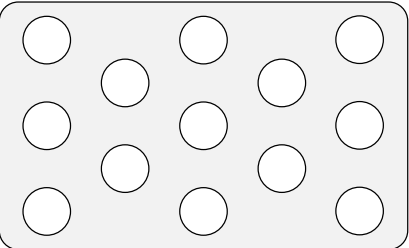
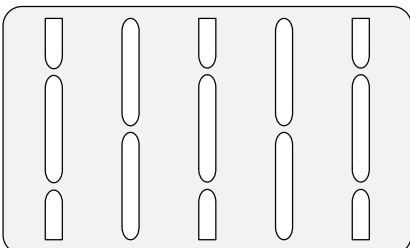
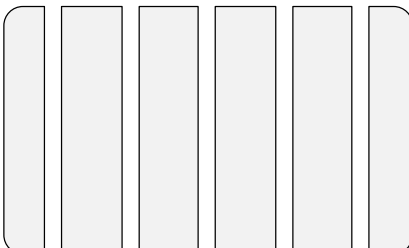
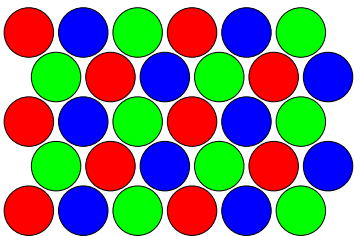
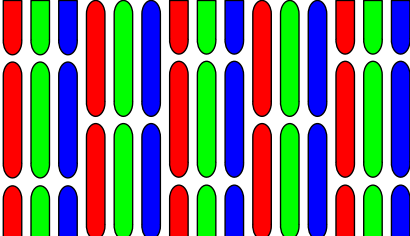
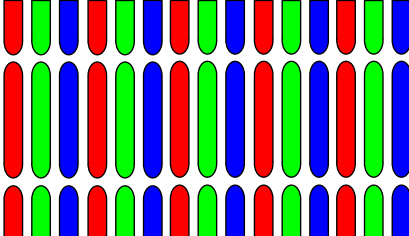
CRT obrazovka



v barevné obrazovce jsou tři elektronové paprsky konfigurované tak, aby na stínítku řídily jas partikulární barvy



RGB trysky a luminofory u CRT obrazovek

	typ delta	typ in line	typ trinitron
trysky			
maska			
luminofory			

Liquid Crystal Display – LCD – princip

pevná krystalická látka:

pravidelně uspořádané molekuly bez možnosti pohybu v krystalické mřížce, takže látka může mít v každém směru jiné vlastnosti - anizotropnost; pro naše účely jsou důležité vlastnosti optické

kapalná látka:

molekuly nejsou vázány na pevných pozicích, ale mohou se pohybovat v celém objemu; vlastnosti takové látky jsou ve všech směrech stejné - izotropnost

tekutý krystal:

mezistupeň mezi pevným a kapalným skupenstvím, který se chová částečně jako kapalina a částečně jako pevný krystal; molekuly se tedy mohou volně pohybovat (látka je homogenní, tj. ve všech místech má stejné vlastnosti), ale jsou uspořádány pravidelně, takže jsou anizotropní; existuje mnoho variant takových stavů; vnitřní uspořádání a tedy i vlastnosti tekutého krystalu mohou být snadno ovlivněny působením vnější fyzikální veličiny

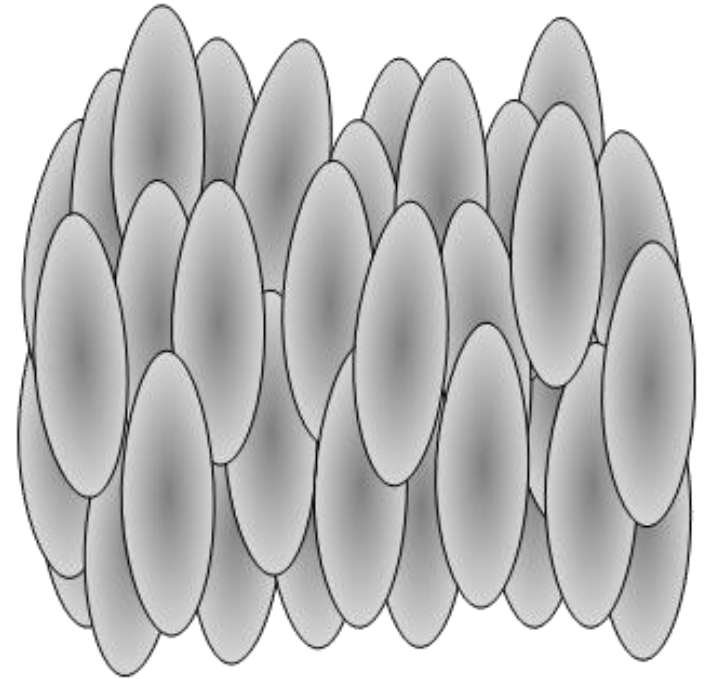
Liquid Crystal Display – LCD – princip

chování tekutých krystalů v elektrickém poli:

- velikost elektrického náboje v jednotlivých částech molekuly se může značně lišit
- jedna část molekuly může mít kladný náboj a druhá část záporný
- molekula je tedy elektrický dipól
- v elektrickém poli má dipól snahu otočit podle směru elektrického pole
- natočení molekul se tedy dá měnit pomocí přiloženého napětí
- natočení molekuly má vliv na optické vlastnosti tekutého krystalu
- optické vlastnosti se tedy dají měnit pomocí připojeného elektrického napětí
- využívá se v displejích, kdy jsou optické vlastnosti elementární LCD buňky řízeny přivedeným napětím

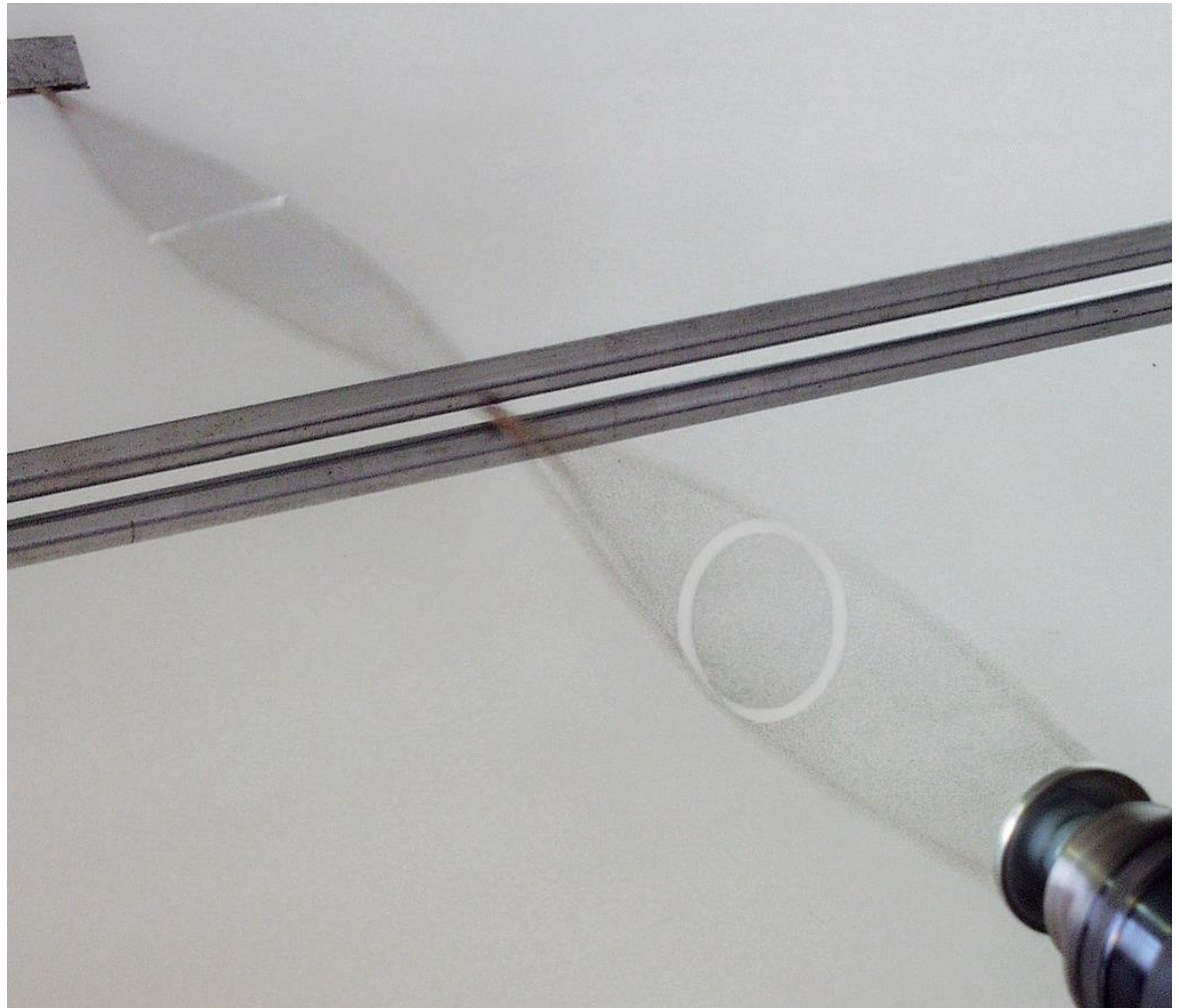
Nematické tekuté krystaly

- ve zobrazovací technice se využívá tzv. *nematické* struktury tekutých krystalů:
- skládá se z podlouhlých molekul, které jsou orientovány přibližně stejným směrem a chovají se jako dipóly, protože náboj na dvou koncích jedné molekuly je různý
- díky tomu se v elektrickém poli molekuly mají snahu natáčet směrem odpovídajícím největšímu rozdílu potenciálů
- takto **natočené krystaly mění směr polarizace procházejícího světla**: směr polarizace se stáčí ve směru natočení molekul tekutého krystalu



Polarizace

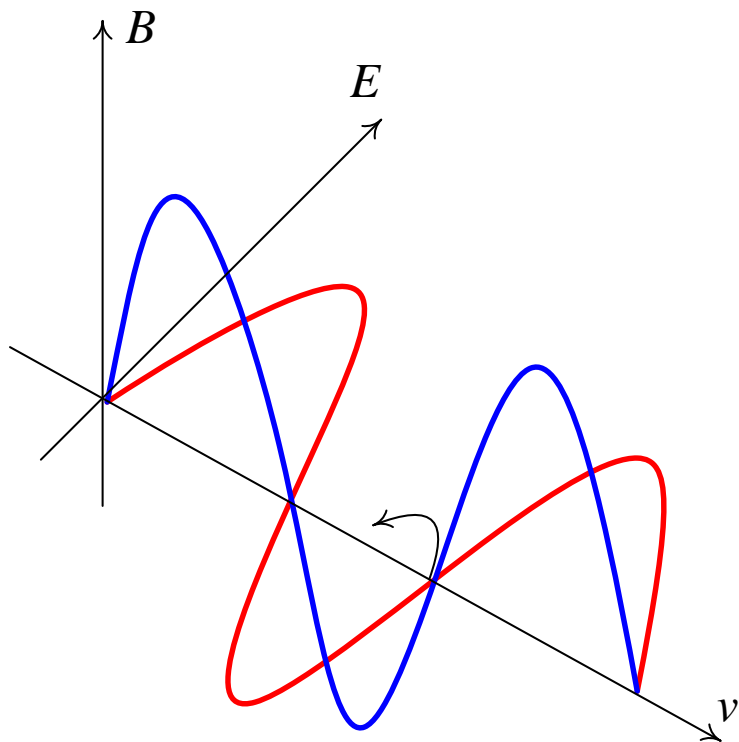
- kruhová polarizace gumového vlákna
- lineárně polarizovaná po průchodu štěrbinou



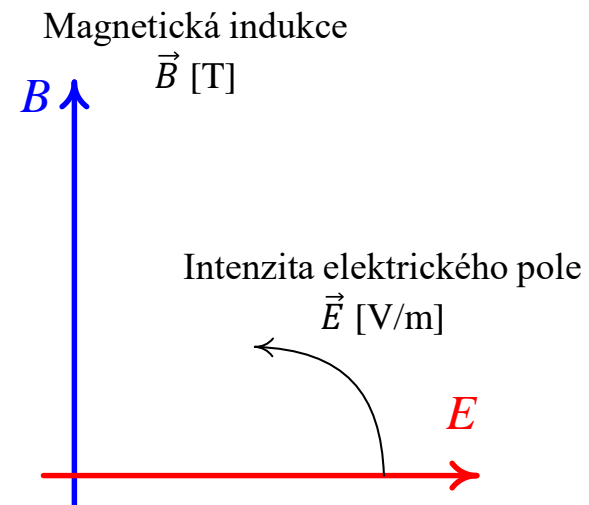
By Zátonyi Sándor, (ifj.) Fizped [GFDL or CC BY-SA 3.0], from Wikimedia Commons

Polarizace světla

- světlo je elektromagnetické vlnění, které má dvě navzájem kolmé složky: elektrickou \vec{E} a magnetickou \vec{B} , vlna se šíří ve směru osy \vec{v}



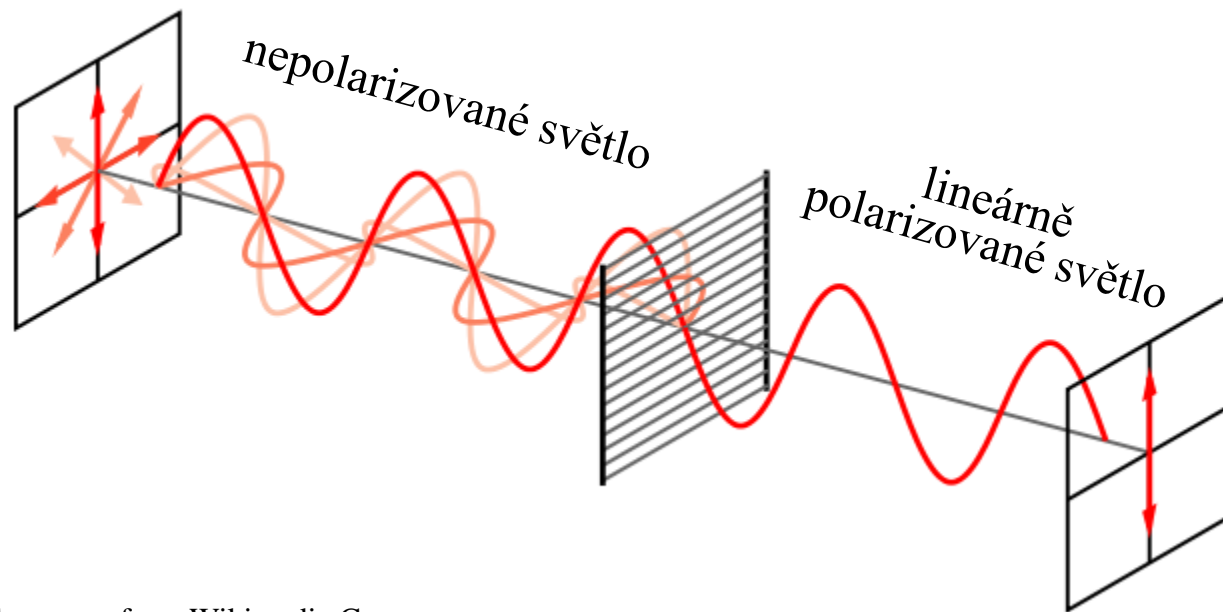
- libovolná změna jednoho z polí má za následek vznik druhého pole
- u nepolarizované vlny se mění s časem orientace obou vektorů
- směr polarizace se ztotožňuje s \vec{E}
- polarizace často nastává odrazem a lomem, proto se odlesky (např. na hladině) a paprsky po lomu (např. v mracích) dají částečně filtrovat **polarizačním filtrem**



Polarizační filtr

základní princip: průchod nepolarizovaného světla horizontálně orientovanou vodivou mříží; elektrické pole (jeho složky), které je polarizováno paralelně k vodičům se zčásti odrazí a zčásti přemění v teplo, zatímco vlna polarizovaná kolmo k vodičům prochází (až na malé ztráty)

v praxi jsou používány filtry s podlouhlými, souhlasně natočenými nanočásticemi stříbra v tenké skleněné destičce

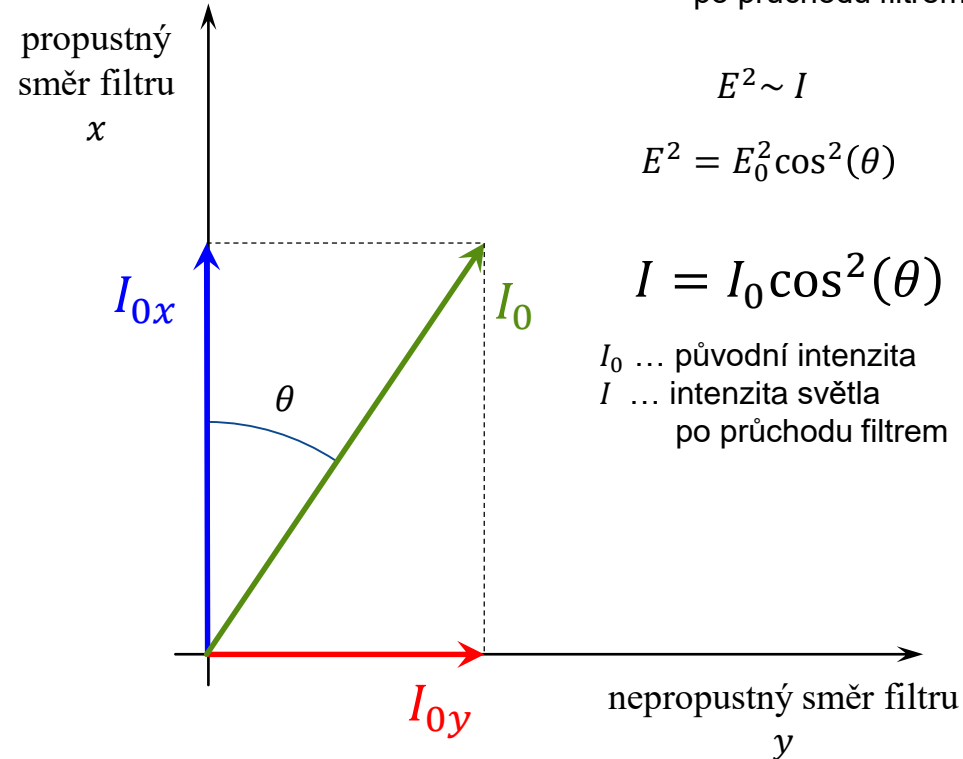


By Bob Mellish, via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Polarizační filtr

Malusův zákon:

- Vektor původního paprsku I_0 rozdělíme do dvou směrů.
- Vektor I_{0x} je orientován souhlasně s propustným směrem filtru.
- Vektor I_{0y} je orientovaný kolmo na propustný směr filtru.
- Složka I_{0y} bude filtrem zcela pohlcena.
- Složka I_{0x} filtrem projde bez ztráty intenzity.
- **Směr kmitání vlny po průchodu filtrem odpovídá propustnému směru filtru, takže se směr kmitání natáčí podle orientace filtru.**



$$E = E_0 \cos(\theta)$$

E_0 ... amplituda původní vlny

E ... amplituda vlny po průchodu filtrem

$$E^2 \sim I$$

$$E^2 = E_0^2 \cos^2(\theta)$$

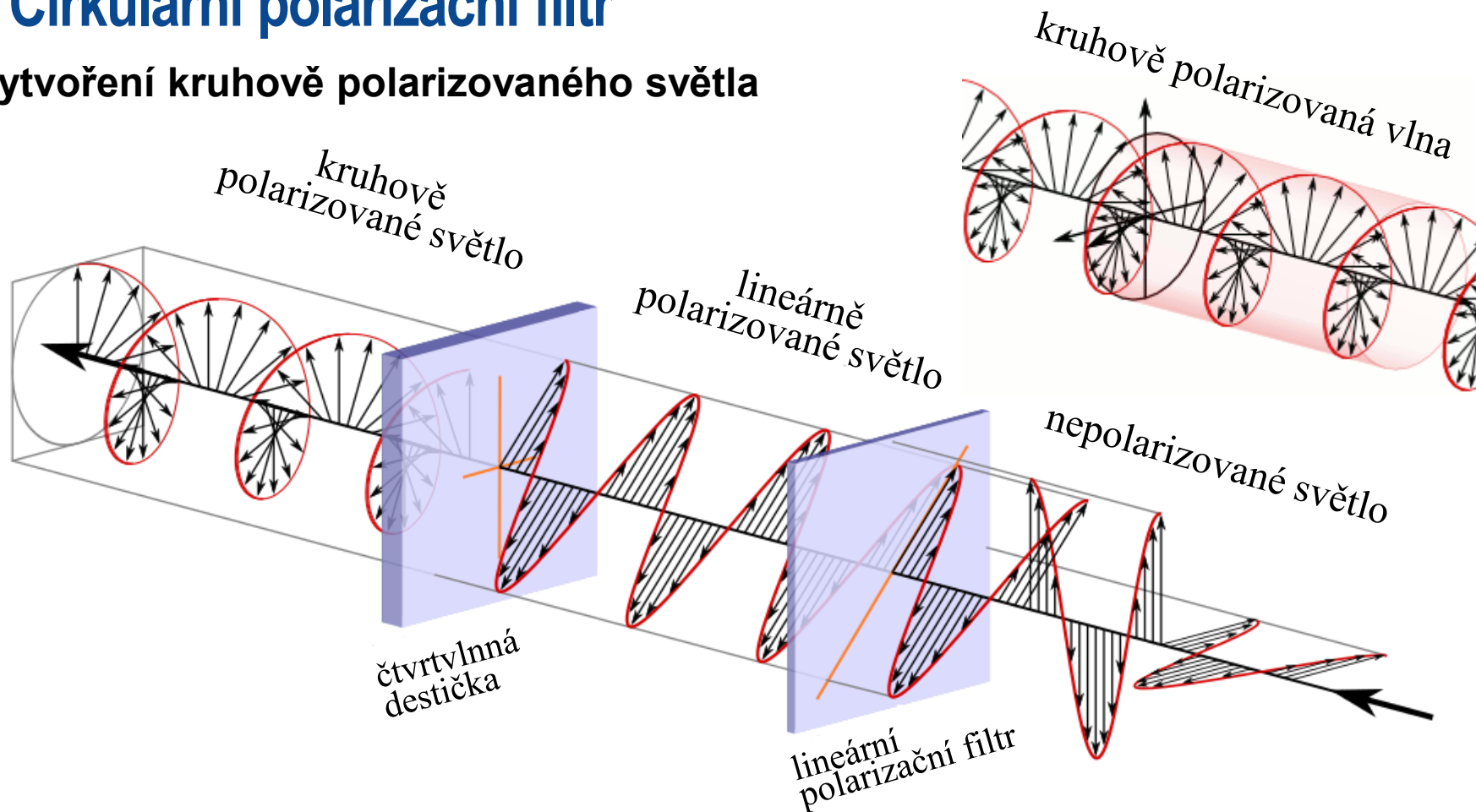
$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$

I_0 ... původní intenzita

I ... intenzita světla po průchodu filtrem

Cirkulární polarizační filtr

vytvoření kruhově polarizovaného světla



By Dave3457 [Public domain], via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Čtvrtvlnná destička (quarter-wave plate)

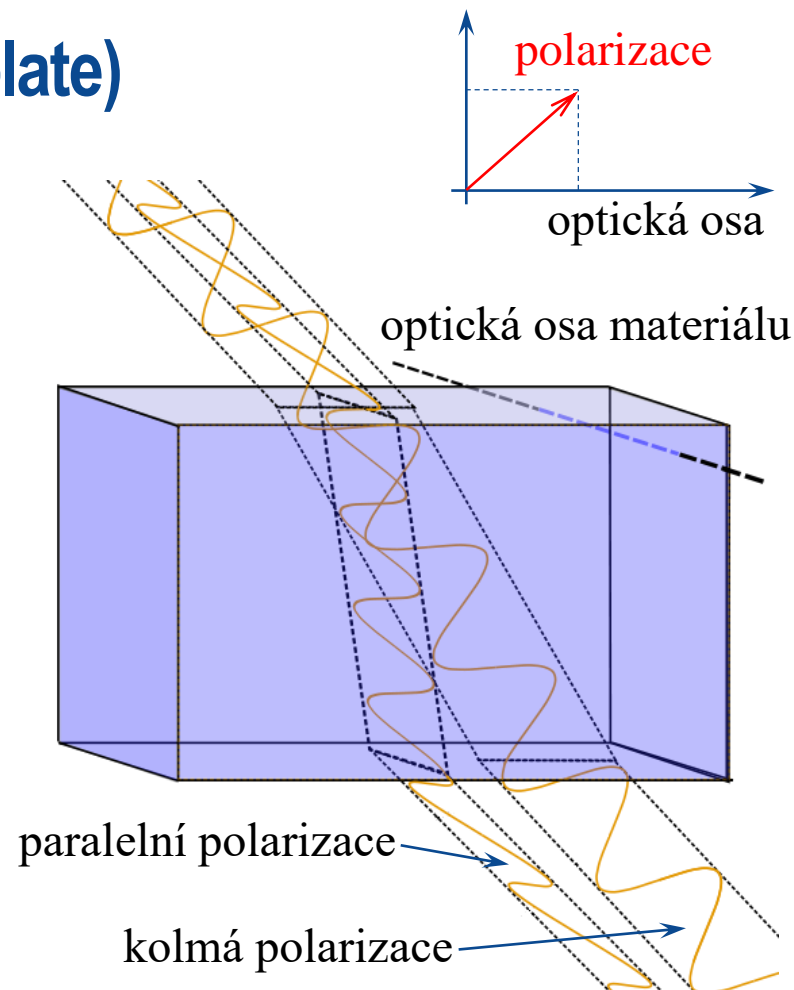
- destička z *birefraktivního* materiálu (např. kalcit), který vykazuje optické vlastnosti (index lomu) závislé na směru polarizace
- rychlost vlny v_1 s polarizací **ve směru optické osy** materiálu je dána indexem lomu n_1 jako

$$v_1 = \frac{c}{n_1}$$

- rychlost vlny v_2 s polarizací **kolmou na směr optické osy** materiálu je dána indexem lomu n_2 jako

$$v_2 = \frac{c}{n_2}$$

- vlny s různým směrem polarizace se tedy šíří birefraktivním materiálem dvěma různými rychlostmi
- tloušťka destičky je stanovena tak, aby tyto dvě vlny na konci vykazovaly fázový rozdíl $\frac{\pi}{2}$
- vzhledem k malé tloušťce destičky nejsou vlny prakticky prostorově oddělené, takže se po průchodu destičky sčítají s rozdílnou fází
- jestliže je na vstupu destičky lineárně polarizovaná vlna s polarizací ve sklonu 45° k optické ose, má taková vlna dvě vektorové složky, které projdou destičkou s různou fází a na konci po vektorovém součtu vytvoří kruhově polarizovanou vlnu

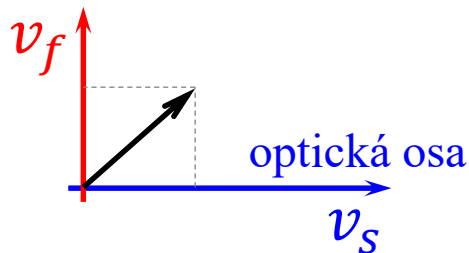


By Mikael Häggström [Public domain], via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

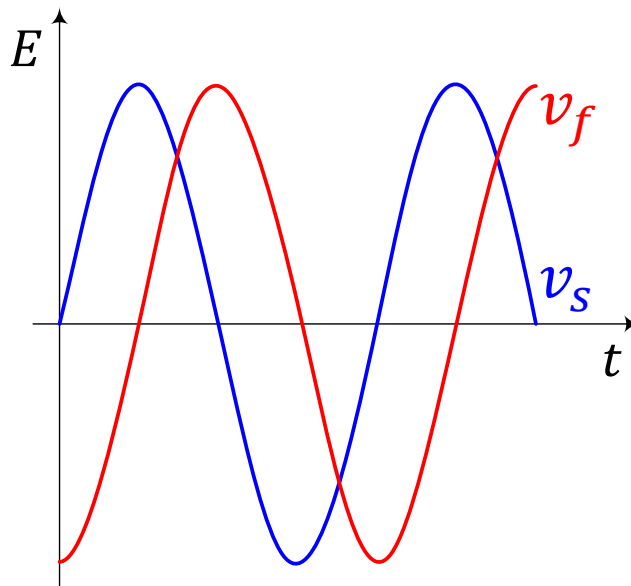
Čtvrtvlnná destička (quarter-wave plate)

vytvoření kruhově polarizovaného světla

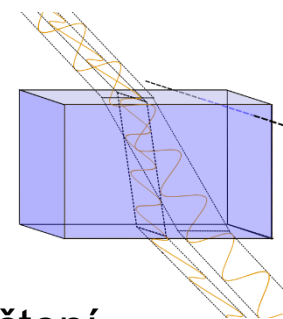
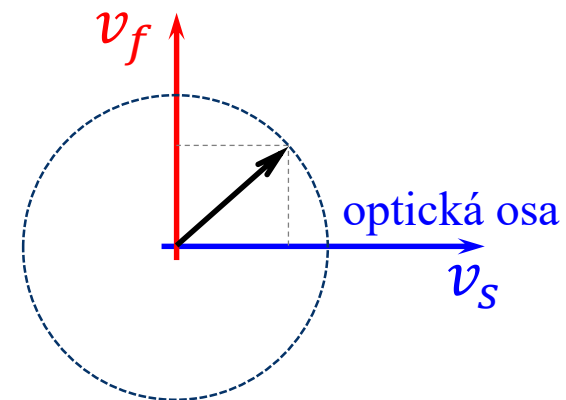
Původní vlna je rozdělena na dvě složky posunuté navzájem o $\frac{\pi}{2}$...



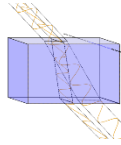
...které po průchodu destičkou...



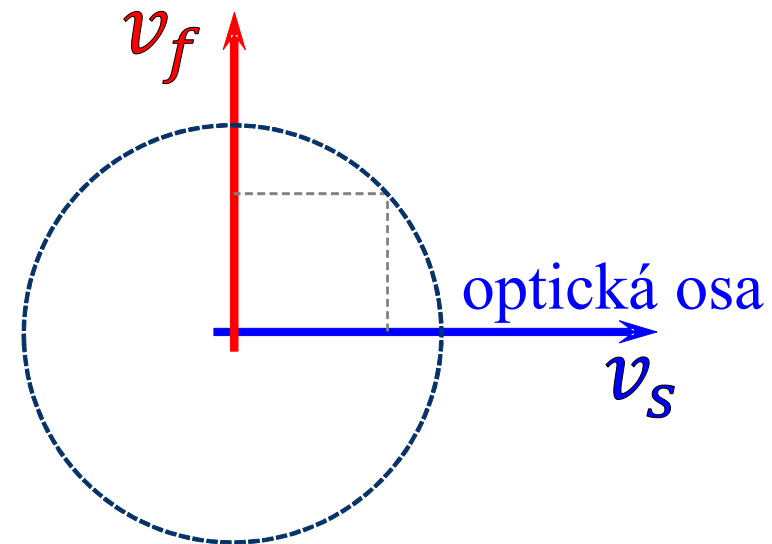
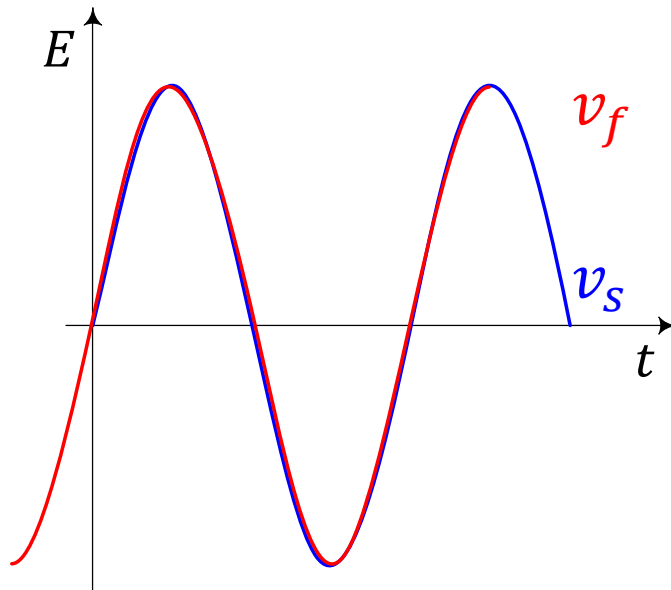
... a po sečtení definují vektor s kruhovou polarizací.



Čtvrtvlnná destička (quarter-wave plate)

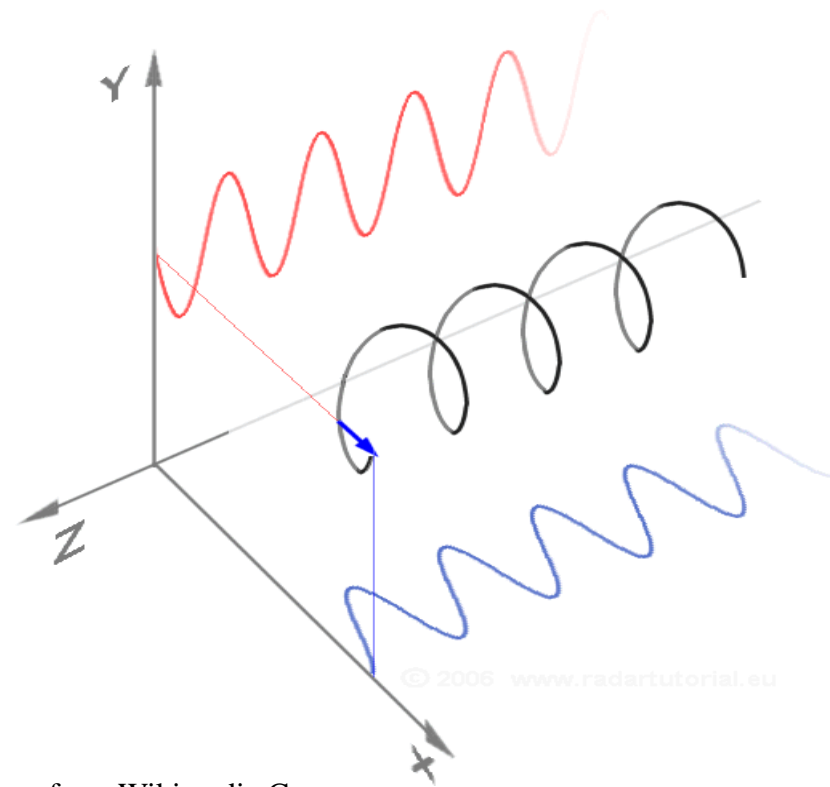
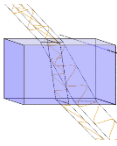
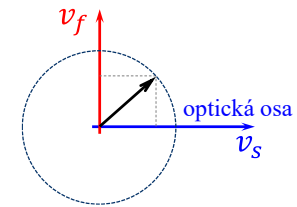
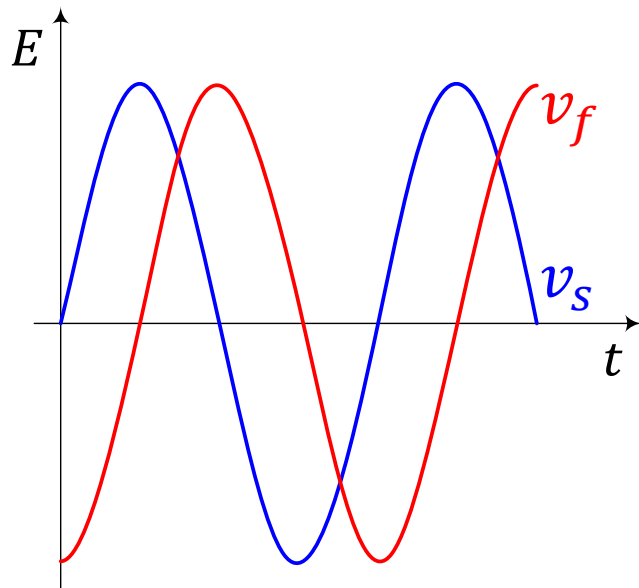


dvě směrové složky lineárně polarizované vlny na vstupu čtvrtvlnné destičky kmitají ve fázi, každá ale představuje ortogonální složku jedné vlny (směr x a směr y , v_s a v_f)



Čtvrtvlnná destička (quarter-wave plate)

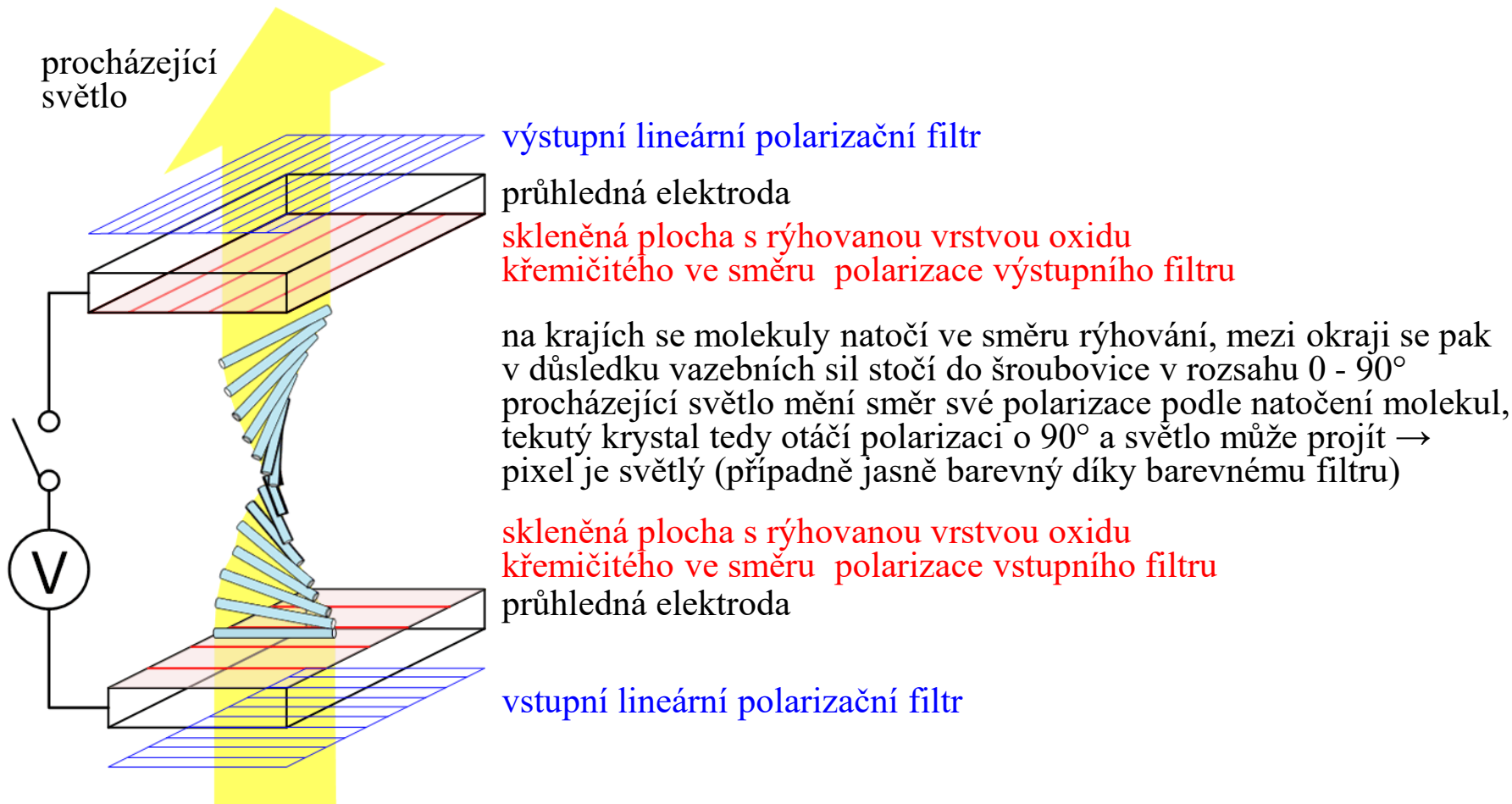
vytvoření kruhově polarizovaného světla vektorovým součtem dvou složek s čtvrtvlnným fázovým rozdílem



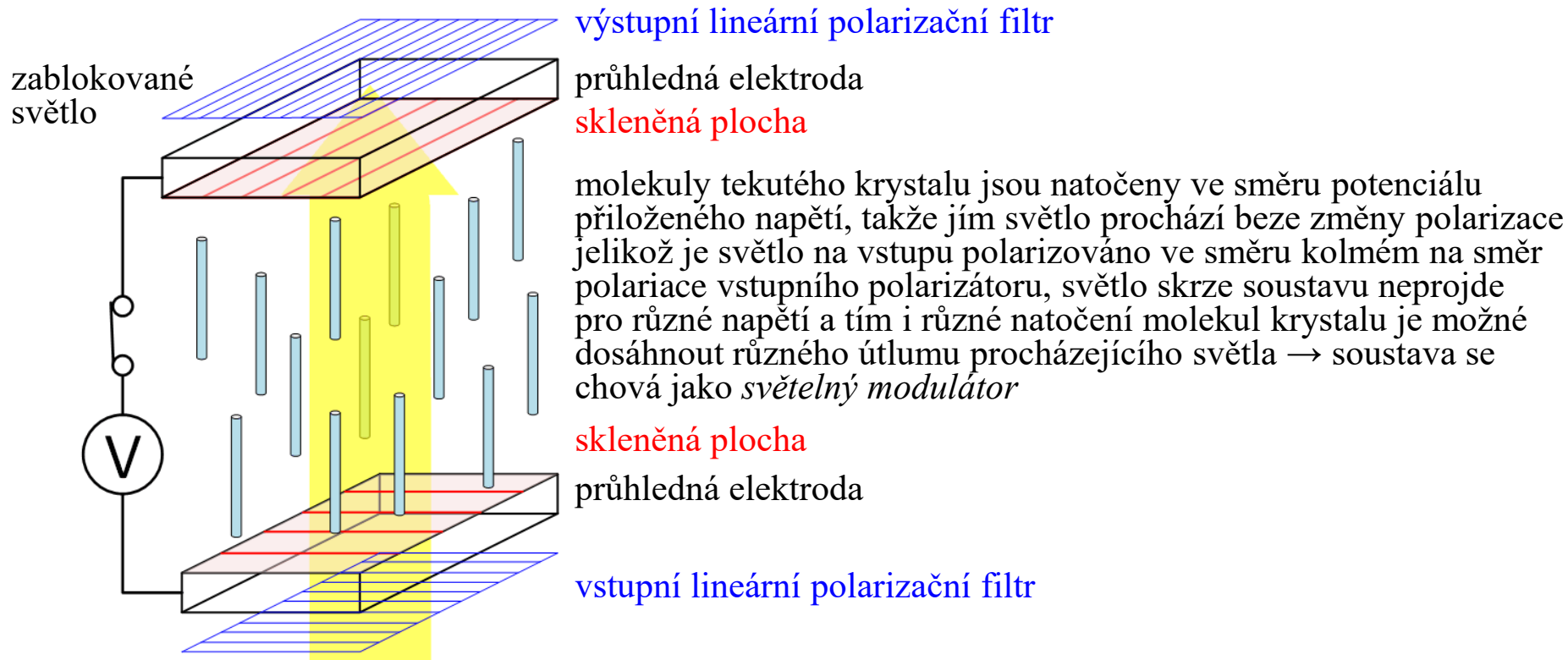
© 2006 www.radartutorial.eu

By Mikael Häggström [Public domain], via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Modulátor světla se stočeným tekutým krystalem



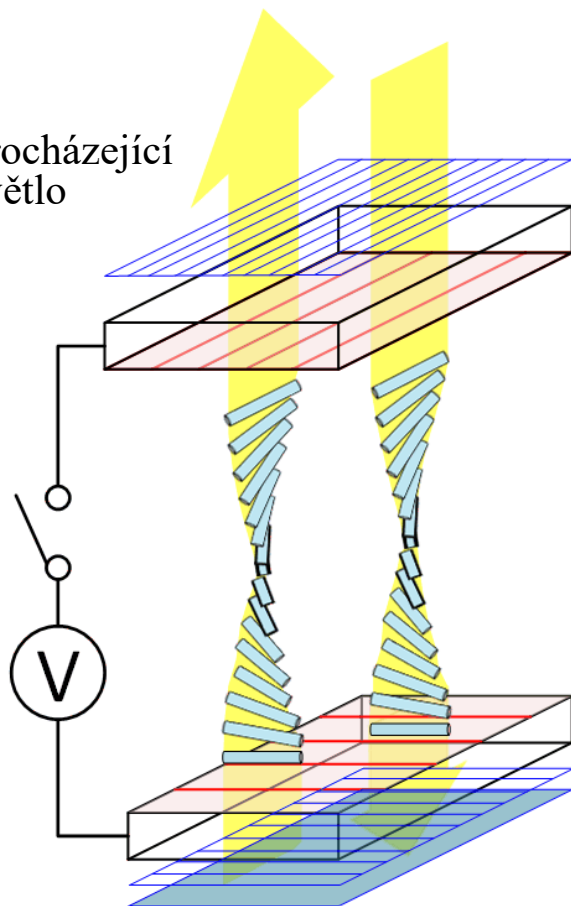
Modulátor světla se stočeným tekutým krystalem



Displej bez podsvícení



procházející světlo



vstupní lineární polarizační filtr

průhledná elektroda

skleněná plocha s rýhovanou vrstvou

bez přiloženého napětí jsou molekuly tekutého krystalu natočeny ve směru rýhování krajních destiček a mezi rýhovanými plochami se v důsledku vazebních sil stočí do šroubovice v rozsahu $0 - 90^\circ$ takto uspořádaný tekutý krystal mění směr polarizace procházejícího světla vždy o 90° , takže dopadající světlo prochází dvojicí polarizačních filtrů na zrcadlo, odráží se, opět prochází dvojicí polarizačních filtrů a vychází zpět → displej je světlý

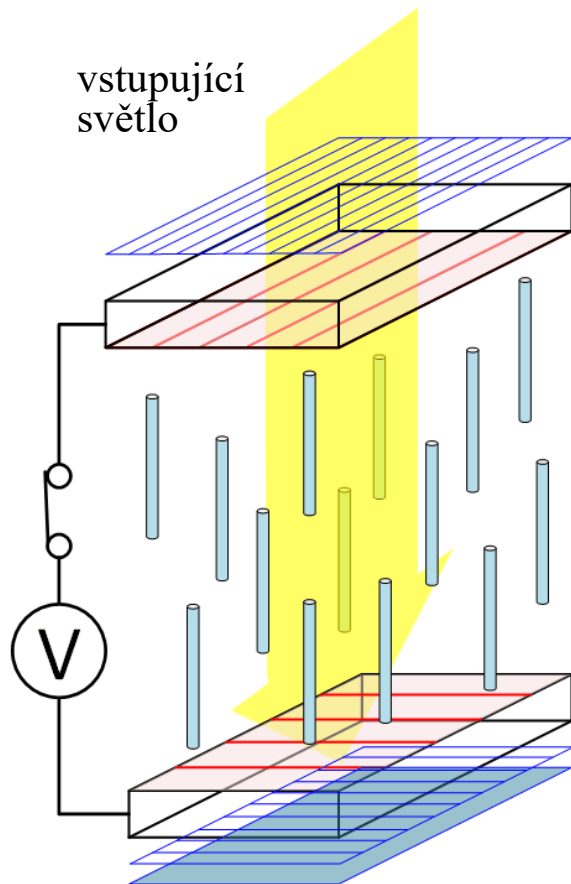
skleněná plocha s rýhovanou vrstvou

průhledná elektroda

lineární polarizační filtr

zrcadlo

Displej bez podsvícení



vstupující světlo

vstupní lineární polarizační filtr

průhledná elektroda

skleněná plocha

molekuly tekutého krystalu jsou natočeny ve směru potenciálu přiloženého napětí, takže jím světlo prochází beze změny polarizace jelikož je světlo na vstupu polarizováno ve směru vstupního polarizátoru s druhý polarizátor je pootočen o 90° , světlo skrze soustavu neprojde (druhý polarizátor je neprůchozí) oblast, ve které jsou molekuly polarizovány přiloženým napětím, se jeví jako černá → tvar elektrody definuje tvar grafického elementu

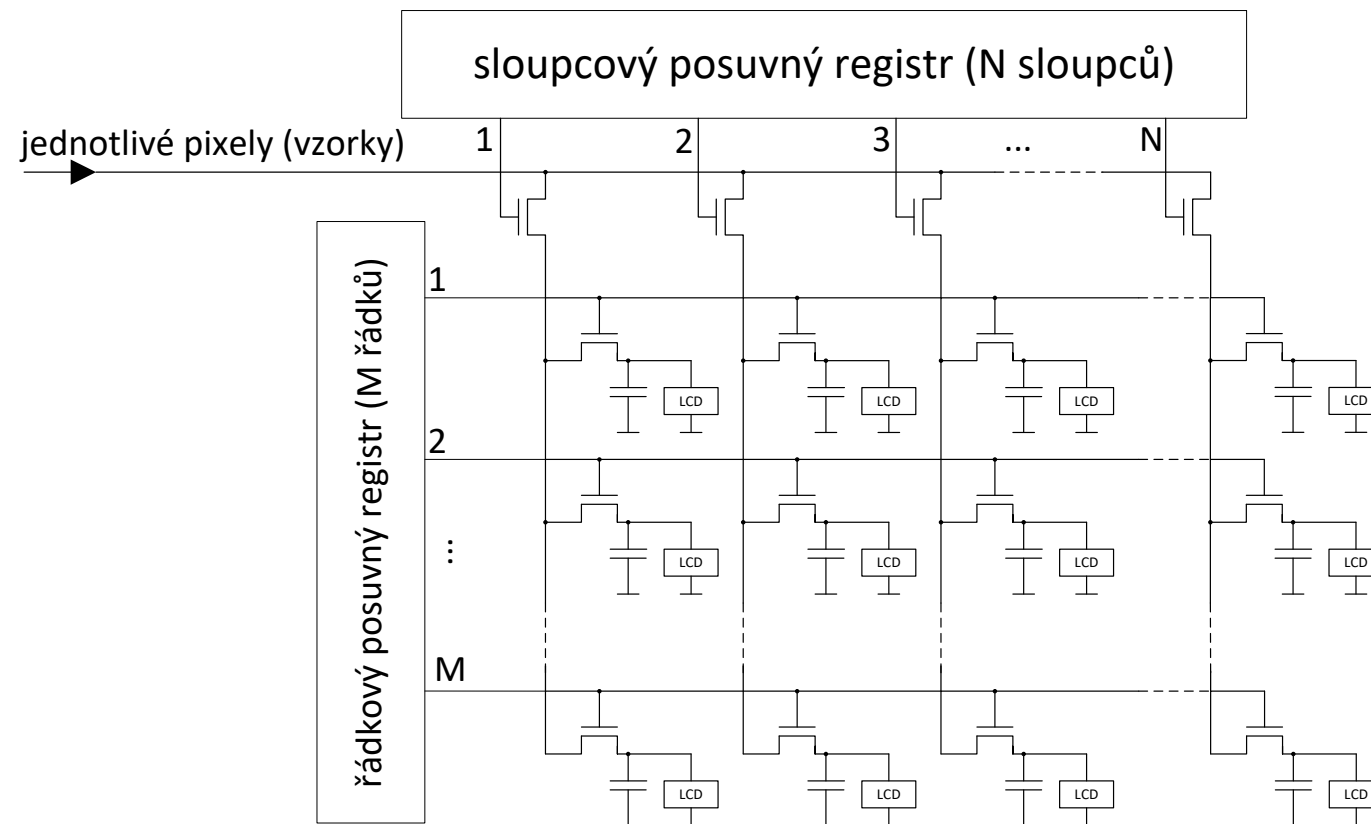
skleněná plocha s rýhovanou vrstvou

průhledná elektroda

lineární polarizační filtr

zrcadlo

Konstrukce LCD panelu s TFT



přístup k jednotlivým pixelům pomocí adresných tranzistorů TFT (thin-film-tranzistor)

v jednom okamžiku je nabíjen/vybíjen pouze jeden obrazový element

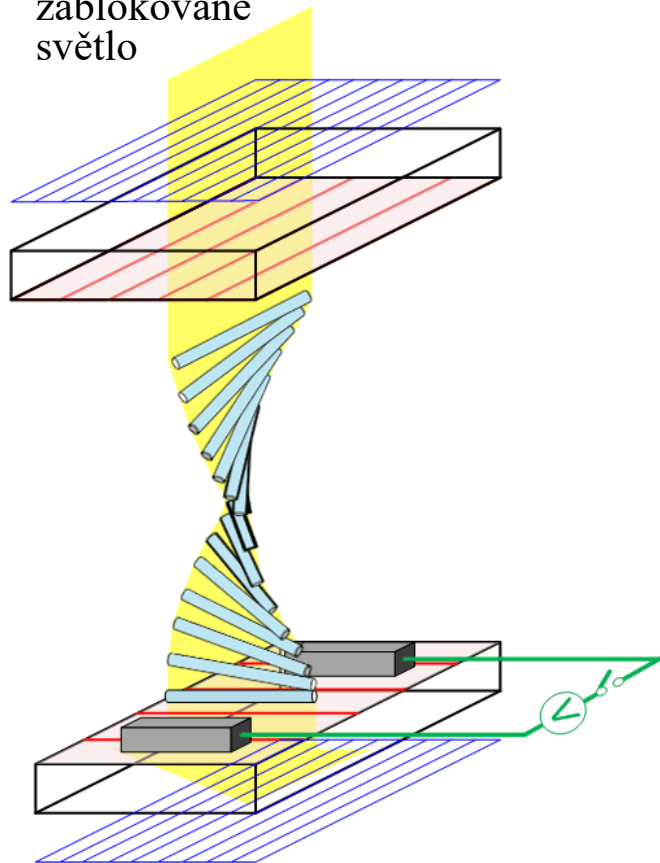
paralelní kondenzátory udržují napětí na LCD prvku po celou dobu jednoho snímku

jedna elektroda společná, druhá adresná pro každý z pixelů (barevných elementů)

každá buňka reguluje průchod světla ze společného podsvícení

Technologie IPS – in-plane switching

zablokované
světlo



vstupní lineární polarizační filtr (orientovaný stejně jako výstupní)

skleněná plocha s rýhovanou vrstvou

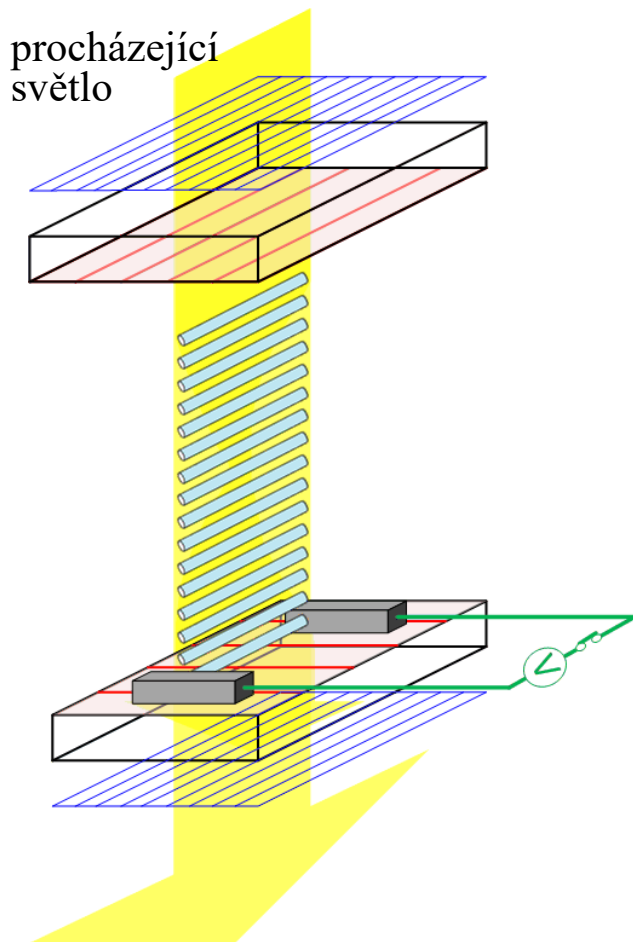
bez přiloženého napětí jsou molekuly tekutého krystalu natočeny ve směru rýhování krajních destiček a mezi rýhovanými plochami se v důsledku vazebních sil stočí do šroubovice v rozsahu $0 - 90^\circ$ takto uspořádaný tekutý krystal mění směr polarizace procházejícího světla o 90° , takže dopadající světlo neprojde druhým ze souhlasně orientovaných polarizačních filtrů

dvojice elektrod umístěných v jedné rovině

skleněná plocha s rýhovanou vrstvou

výstupní lineární polarizační filtr (orientovaný stejně jako vstupní)

Technologie IPS – in-plane switching



vstupní lineární polarizační filtr (orientovaný stejně jako výstupní)
skleněná plocha s rýhovanou vrstvou

po přiložení napětí jsou molekuly tekutého krystalu natočeny ve směru potenciálu napětí, takže se nemění směr polarizace procházejícího světla a to může projít oběma polarizačními filtry (kresba není v měřítku, vrstva tekutého krystalu je velmi tenká (několik mikrometrů) a proto je velmi malá v porovnání se vzdáleností elektrod)

dvojice elektrod umístěných v jedné rovině
skleněná plocha s rýhovanou vrstvou

výstupní lineární polarizační filtr (orientovaný stejně jako vstupní)

výhoda: větší zorný úhel než *twisted nematic*, nevykazují změnu jasu při stisku (dotykové obrazovky)
nevýhoda: vyšší spotřeba než *twisted nematic*, dražší, delší časová odezva

VA – vertical alignment

- v klidovém stavu jsou molekuly natočeny kolmo k obrazové rovině
- polarizátory jsou pootočené o 90° => bez napětí je obraz černý
- po přiložení napětí se molekuly stočí do šroubovice, takže světlo může projít
- tyto panely mají lépe podanou černou

Podsvětlení LCD panelů

- CCFL (cold cathode fluorescent lamp)



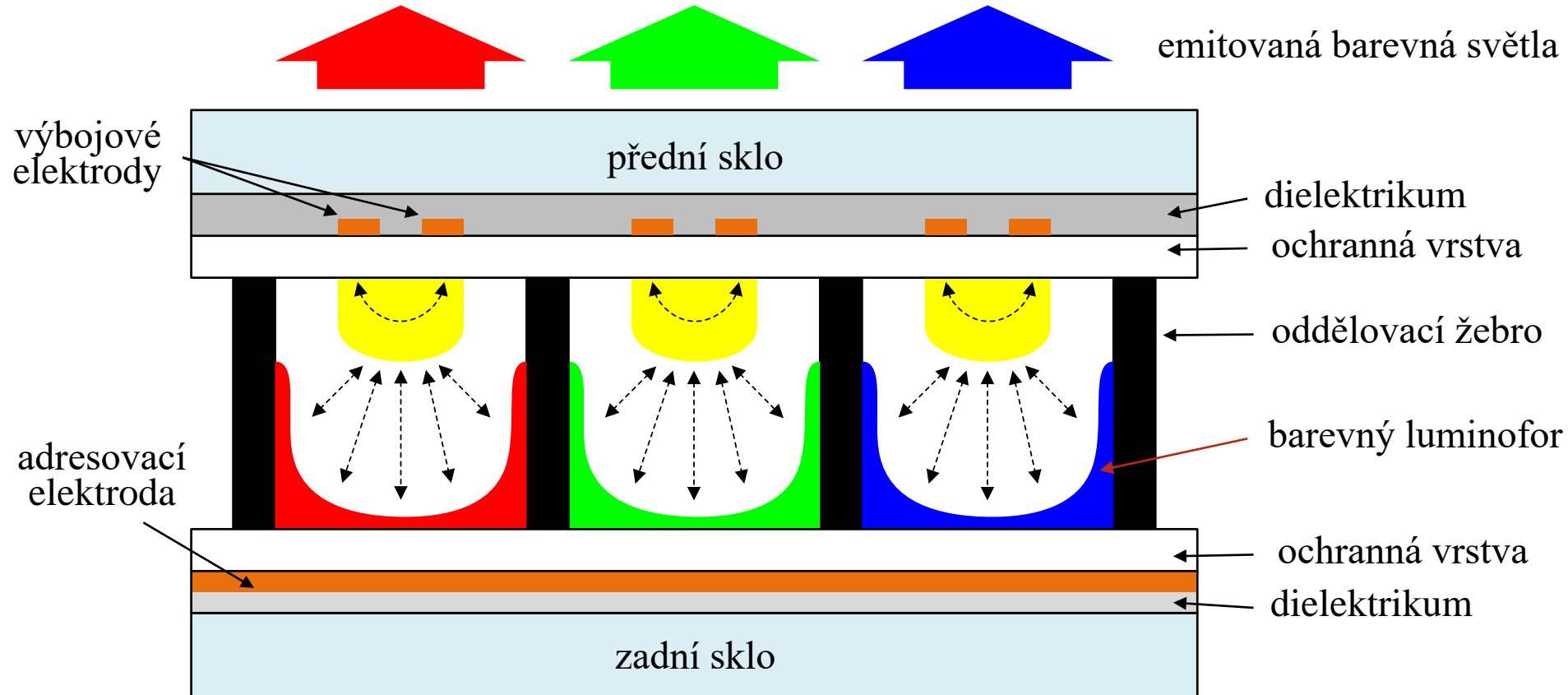
už se příliš nepoužívá:
nehomogenní
podsvětlení,
horší barevné podání,
existují další varianty
(External Electrode
Fluorescent Lamp,
Hot Cathode
Fluorescent Lamp,
Flat Fluorescent
Lamp), stále se však
jedná principiálně o
zářivkové trubice,
jejichž nevýhody je
pomalu vytlačily z trhu

By BBCLCD [CC0], via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

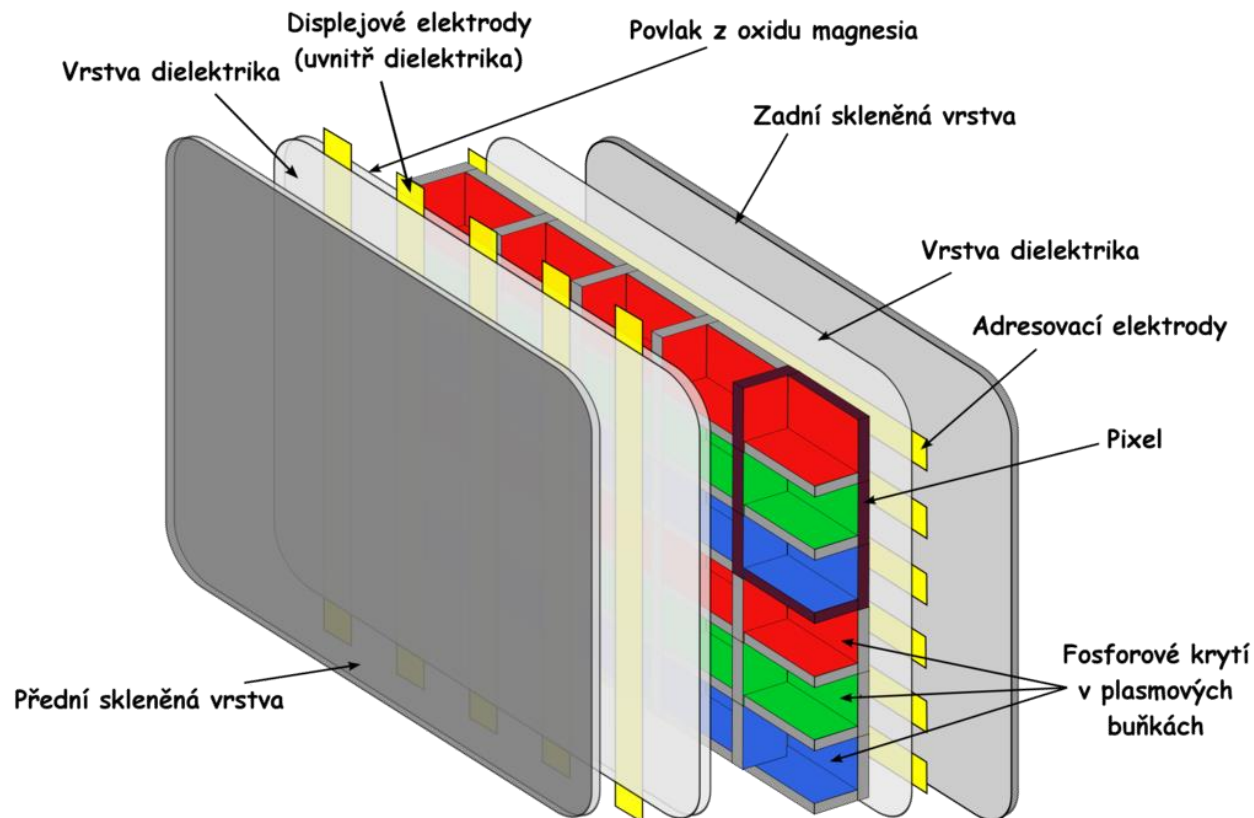
Podsvětlení LED

- menší spotřeba
- dlouhá životnost
- větší kontrast a jas
- větší gamut
- ekologičtější (neobsahují rtuť)
- základní typy:
 - Full-array LED – homogenní plocha podsvícení bez možnosti lokálních změn
 - Edge-lit LED – rám z LED osvětluje difúzní panel, který rozptyluje světlo za LCD
 - Dynamic local dimming – LED jsou řízeny individuálně (nebo po skupinách) tak, aby se jejich jas přizpůsobil povaze aktuálně zobrazované scény (lepší podání tmavých/světlých ploch), podsvícení vlastně na pozadí vytváří šedotónovou verzi obrazu s nižším rozlišením
 - technologie *quantum dot* (2009) – viz dále

Plazmové obrazovky - princip



Plazmové obrazovky - uspořádání



By Kukusak, via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Řízení jasu plazmových obrazovek

Celé zobrazení probíhá ve třech fázích:

1. Adresování:

- jednotlivé buňky jsou adresně „před-nabíjeny“ na hodnotu, která odpovídá jasu daného pixelu
- daný element dostane příslušný počet impulzů (0-255), tedy napěťových potenciálů určitého trvání mezi výbojovými a adresními elektrodami
- každý element je tedy v této fázi „nabit“ na hodnotu v rozsahu 0-255 – modulace jasu
- střídavé napětí mezi adresními elektrodami je udržováno těsně pod úrovní, kdy začne vznikat plazma
- k ionizaci samotné pak dojde díky přivedení napětí na adresovací elektrodě

2. Zobrazení:

- pomocí výbojových (displejových) elektrod je iniciován výboj ve všech buňkách současně
- výhodou je, že v buňkách, ve kterých neproběhlo žádné „nabití“ v adresovací fázi, nedojde vůbec ke vzniku plazmatu a jsou tedy zcela tmavé → dobré podání černé

3. Zhášení:

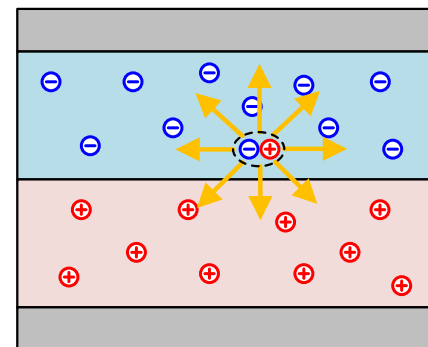
- po ukončení zobrazení je náboj ve všech buňkách nutné vynulovat přivedením vhodného potenciálu

Výhody: velký zorný úhel, rychlá odezva, vysoký jas a kontrast

Nevýhody: technologicky problematická výroba malých obrazovek, vyšší spotřeba

OLED (organic light emitting diode)

- organické molekuly jsou elektricky vodivé s chováním podobným klasickým polovodičům: při průchodu proudu se pohybují díry a elektrony k příslušným elektrodám a při rekombinaci je uvolňovaná energie vyzářena jako barevné světlo
- OLED je proto LED dioda z několika vrstev organických materiálů, které jsou uspořádány tak, aby v emisní vrstvě docházelo k co nejvíce rekombinacím a tím je dosaženo vyšší efektivity přeměny elektřiny na světlo než u klasických LED
- výhody:** jedná se o primární zářiče, nikoli o filtraci podsvícení, proto vykazují efektivnější zobrazování tmavých ploch, vysoký kontrast, velký pozorovací úhel, rychlá odezva
- nevýhody:** omezená životnost a z ní vyplývající změny barevného podání při (různém) stárnutí jednotlivých typů barevných elementů, vyšší spotřeba při zobrazování světlých ploch
- využití:** zejména u menších panelů (tablety, mobily...)
- varianty:** PMOLED (Passive Matrix OLED) a AMOLED (Active Matrix OLED) se od sebe liší řízením. Pasivní princip používá řádkové a sloupcové adresování, kdy v jeden okamžik může být proudem řízený svit pouze jednoho pasivního prvku, zatímco aktivní přístup používá pro každý prvek příslušné TF tranzistory, které nabíjí a vybíjí (paměťový) kondenzátor udržující napětí na OLED. PMOLED se používají pro méně náročné, např. jen textové rastry a malým rozlišením.



katoda

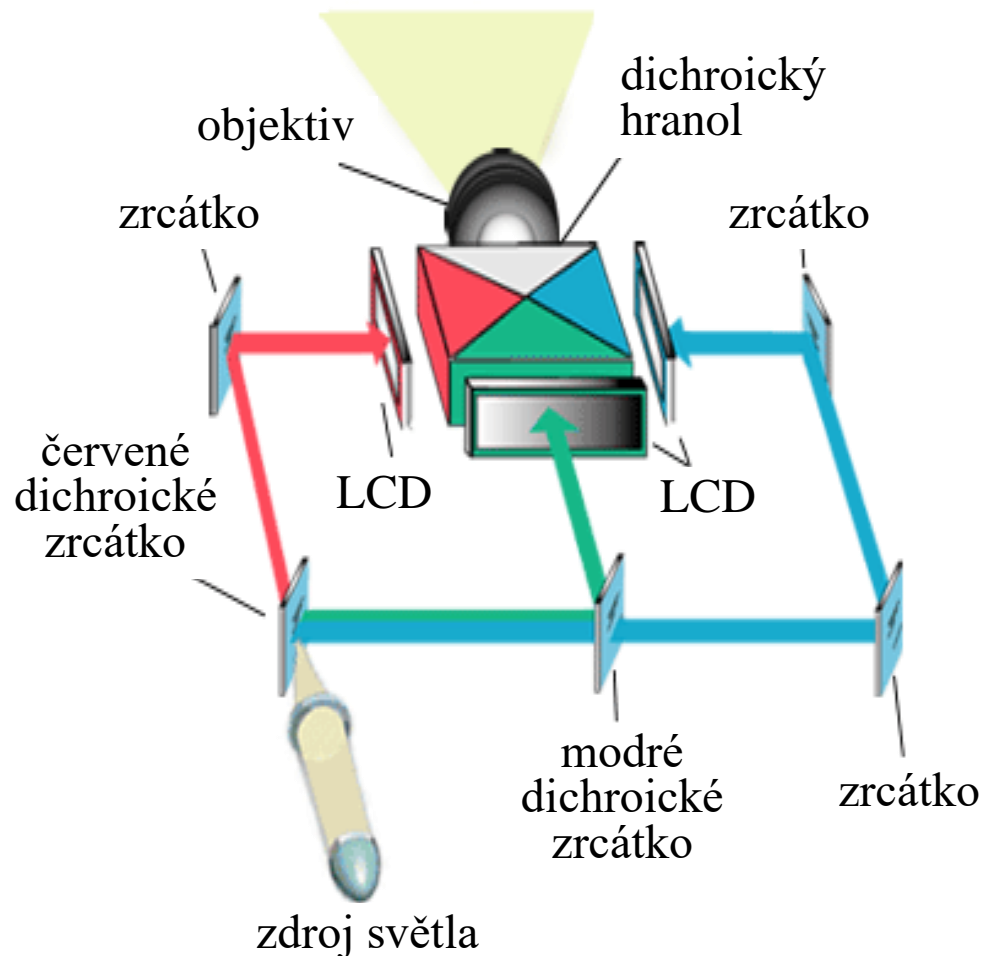
emisní
vrstvavodivostní
vrstva(průhledná)
anoda

Quantum Dot – budoucnost?

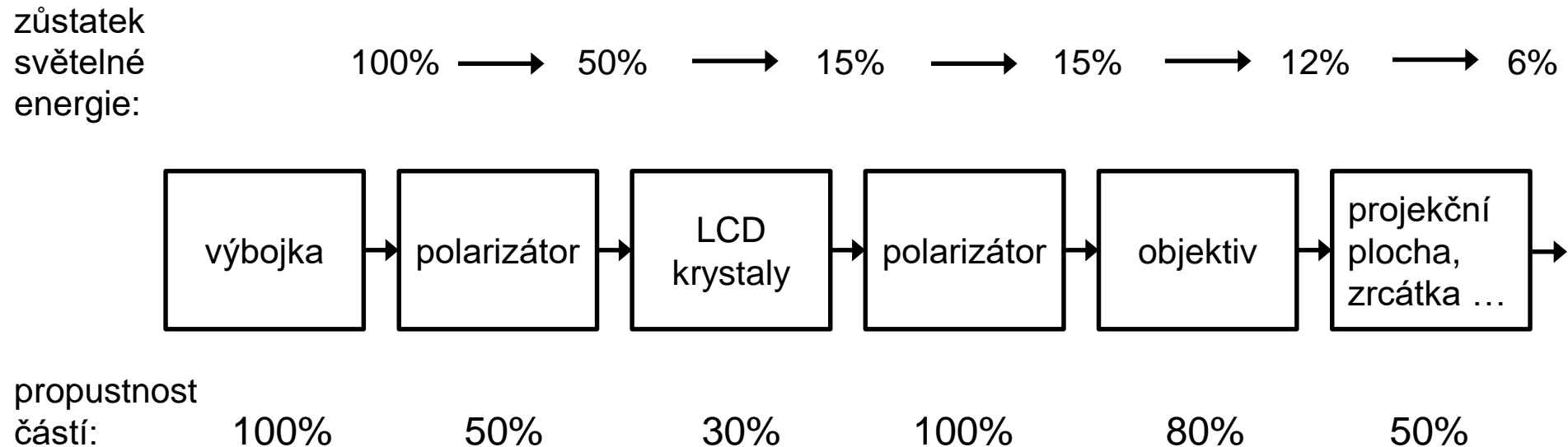
- Quantum Dot (kvantové tečky): v podstatě opět LED dioda, ovšem velmi malých rozměrů (jednotky až desítky nanometrů): nanočástice, jejíž velikost ovlivňuje vlnovou délku vyzářeného světla.
- Chová se také jako převodník světla jedné vlnové délky (typicky modré) na jinou (větší), ovlivnitelnou zejména velikostí nanočástice.
- Dnešní bílé LED produkují modré světlo a používají fosforový převodník na bílé světlo, které je dále filtrováno. Toto řešení nedává příliš čisté základní barvy.
- Quantum Dot (QD) umožňuje převod klasického modrého LED světla na velmi kvalitní bílé světlo získané jejich smícháváním pomocí filtrů tvořených ze směsi nanočástic 3 různých barev. Toto bílé světlo pak slouží jako podsvícení klasického LCD.
- Vysoký kontrast a velký gamut QD skýtá vysoký dynamický rozsah (HDR, tedy High Dynamic Range), který je však možné efektivně využít pouze s vyšším bitovým rozlišením jasových hladin → trend produkování HDR obsahu pro HDR TV.
- Výhodné vlastnosti (relativně snadná výroba, malá velikost, efektivita) předurčují tuto technologii ke konstrukci primárních RGB barevných elementů: QLED: budoucnost?

LCD projektory

- zastaralé CRT projektory trpěly řadou nevýhod: složité nastavení, velké rozměry, malý jas, velká spotřeba, „vypalování“ dlouho zobrazených jasných objektů...
- LCD projektor používá silný zdroj bílého světla (halogenidová výbojka)
- bílé světlo se pomocí dichroických zrcátek rozdělí na tři složky samostatně směřované a procházející LCD maticemi
- výsledný obraz je složen v dichroickém hranolu (zelená prochází přímo, modré a červené paprsky jsou odráženy)
- výsledný obraz je možné promítat pomocí objektivu zepředu na plátno nebo zezadu na matnici

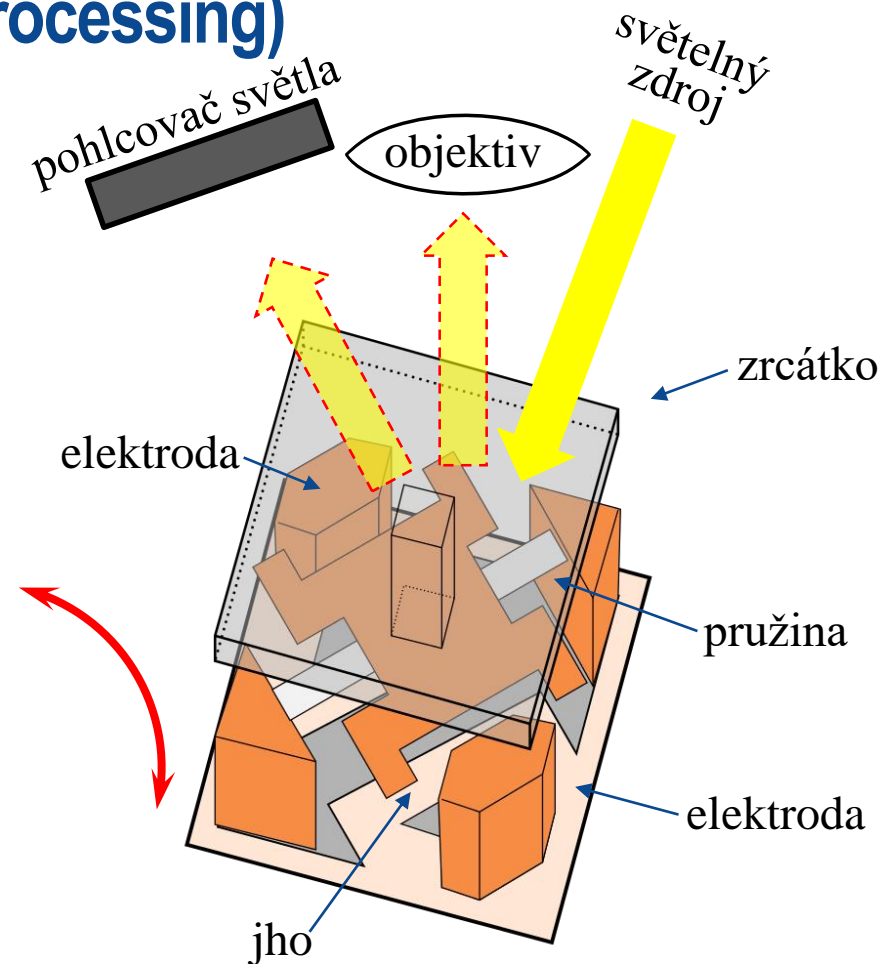


Světelná účinnost LCD projektorů



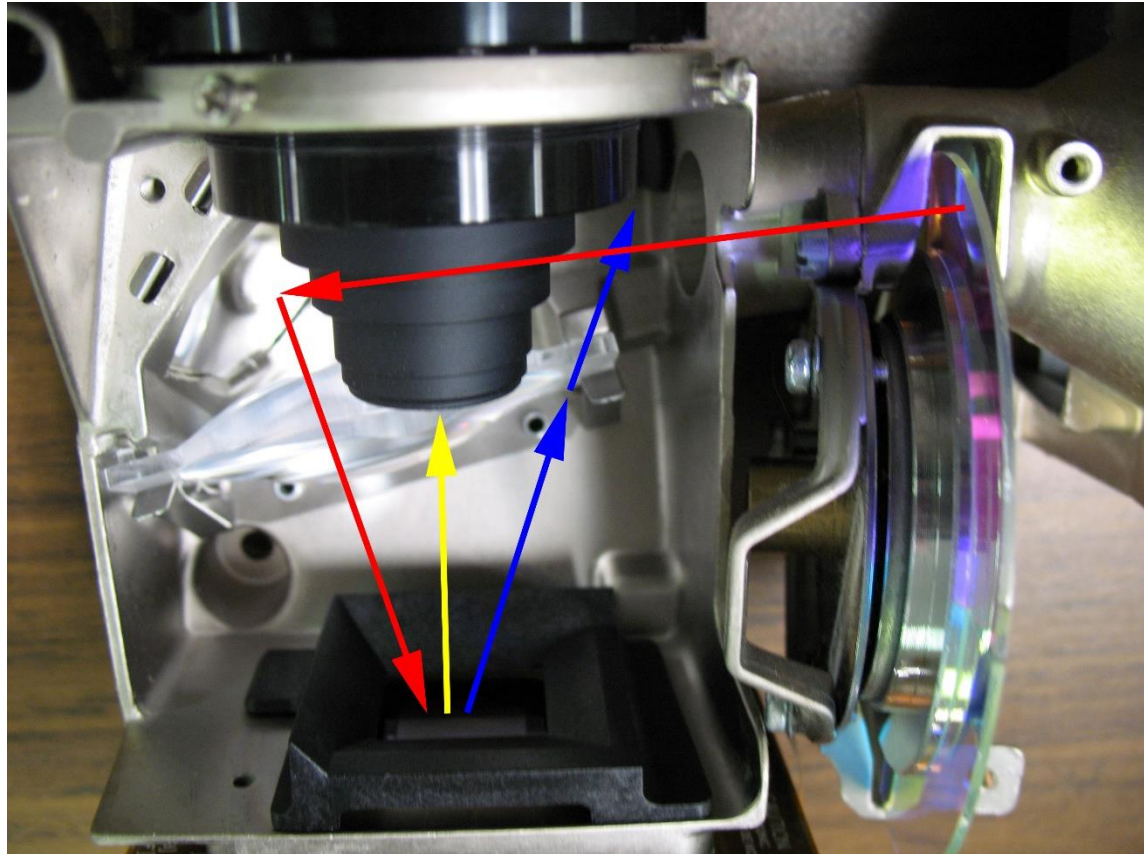
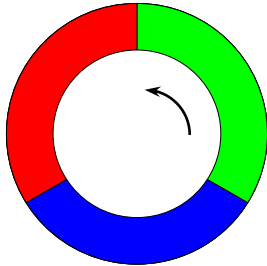
Projektory DLP (Digital Light Processing)

- technologie DLP využívá matici miniaturních (rozteč cca 10 um) zrcátek DMD (Digital Micromirror Device), která jsou elektrostaticky natáčena tak, aby se měnilo množství světla, které prochází objektivem → optický modulátor
- v klidové poloze se téměř všechno světlo odrazí do výstupního objektivu
- při natočení zrcátka se více dopadajícího světla odrazí do pohlcovače a méně do objektivu



DLP projektor s trojbarevným filtračním kotoučem

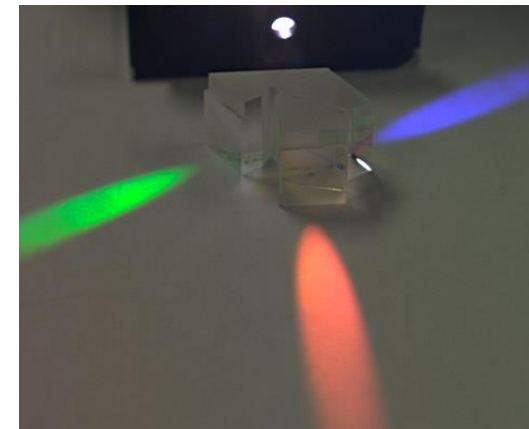
- bílé světlo prochází trojbarevným rotujícím kotoučem
- odráží se od zrcátka na DMD
- doba, kdy je světlo filtrováno příslušnou barvou je doba projekce daného RGB kanálu
- odražené paprsky jsou (částečně) promítnuty skrze objektiv a (částečně) pohlceny uvnitř



By DMahalko, Dale Mahalko, Gilman, WI, USA via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

DLP projektory – 3- čipová varianta

- tříčipová varianta 3DLP používá k výrobě barevných složek dichroický hranol, každý barevný kanál je upravován zvláštní DMD maticí a následně opět sčítán pro výstup do objektivu → cca 3× větší jas
- díky efektivnímu využití plochy matice zrcátek (cca 90 %) dosahují 3DLP projektory vysokého jasu a kontrastu při vysokém rozlišení
- jako zdroj základního světla je stále použita výbojka s (nedokonalým) bílým světlem → budoucnost patří LASERu?:
 - zaostřeno i na nerovných plochách
 - vysoká svítivost separovaných barevných zdrojů
 - obtížně dostupné vlnové délky pro RGB
 - životnost LASERových zářičů...



By Dick Lyon via Wikimedia Commons from Wikimedia Commons

Děkuji za pozornost