

Fyzikální vlastnosti ve zpracování obrazu

Richter

Využívané Fyzikální vlastnosti

- optika (scéna)
- zpracování signálu
- pomocné veličiny

Pomocné veličiny

- měřené, převedené nebo pomocné veličiny, přispívající ke zvládnutí úkolu
- například čas při stanovování rychlosti
- převod hustoty na obraz (magnetická rezonance, rentgen, radary, ultrazvuk ...)
- využití chemických látek (např. luminiscence ...)
- pomocné značky, kalibry (měřítka, normály ...)

Zpracování signálu

- objektivy, filtry
- převod světla - energie dopadající na senzor se mění na náboj/napětí/proud, který se dále zpracovává;
- diskretizace
- šum
- zesilování signálu
- přesouvání signálu k převodníkům
- zpracování převodníky - digitalizace
- přenos diskrétních dat

Optika - scéna

- Osvětlení – barva, intenzita, směrovost
- Prostředí, objekty – šíření světla, odraz, lom, polarizace, rozptyl (ztráty)
- Promítání – optika, objektivy, zkreslení

Fyzikální vlastnosti – oblasti

Optika

- Fyzikální obor zabývající se světlem a jeho šířením
- Zabývá se též vzájemným působením světelných paprsků a objektů

Geometrická (paprsková) optika

- Šíření světla (přímocharost, lom, odraz)

Vlnová optika

- Fyzikální pohled (interference, polarizace, rozptyl) - vlnění

Kvantová fyzika (optika, elektrodynamika, mechanika)

- Moderní pojetí optiky popisuje jevy precizněji na „nižší“ úrovni
- Např. fotoelektrický jev, polarizace ...

Elektromagnetismus (elektromagnetická optika)

- Světlo je elektromagnetické vlnění, proto se vychází z jeho principů

Fyzikální vlastnosti

- Vnímání světla je subjektivní vjem (vyvolaný energií záření, ovšem různá citlivost na jas a barvu světla u různých lidí/detektorů)
- Obdobně se projeví i pro zobrazovací zařízení (nelineární chování, často upravené pro („průměrné“) lidské vnímání,...)
- Měřením získáváme reakci detektoru na světlo (energii v určité části spektra)
- Světelný charakter/popis bodu tělesa je dán osvětlením a vlastnostmi povrchu v tomto bodě

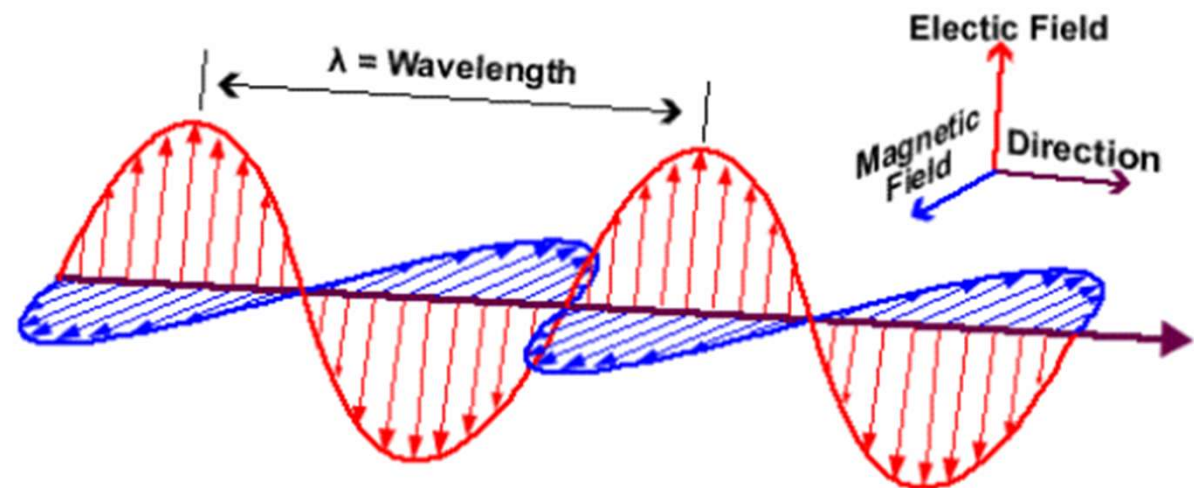
Fyzikální vlastnosti – vjem světla

- [iluze1](https://michaelbach.de/ot/lum-inducedGrating/index.html) <https://michaelbach.de/ot/lum-inducedGrating/index.html>,
[iluze2](https://michaelbach.de/ot/lum-adelsonPlaid/index.html) <https://michaelbach.de/ot/lum-adelsonPlaid/index.html>,
[iluze3](https://michaelbach.de/ot/lum-adelsonCheckShadow/index.html) <https://michaelbach.de/ot/lum-adelsonCheckShadow/index.html>,
[iluze4](https://michaelbach.de/ot/lum-inducedContrastAsym/index.html) <https://michaelbach.de/ot/lum-inducedContrastAsym/index.html>
- Červená Zelená Modrá Červená+zelená Červená+modrá Zelená+modrá

Světlo

- elektromagnetické záření vlnové délky 400-740nm (někdy i UV, NIR, MW, LW (FIR >10um))
- Příčné postupné vlny ve fázi

$$f = \frac{1}{T} = \frac{c}{\lambda} = \frac{\frac{c}{n}}{\frac{\lambda}{n}} = \frac{v}{\lambda'}$$



- $c = 3 \cdot 10^8$ m/s ve vakuu, v hustším prostoru je pomalejší
- (hlavní) Využívané vlastnosti: intenzita, vlnová délka
- vlnové (interference; ohyb, difrakce (výsledné tvary jsou závislé na velikosti otvoru)) a částicové vlastnosti (objekt; přímočarý pohyb; radiace (kvanta energie, fotony);)

Světlo – fáze šíření

Zdroj

- svítivost
- Parametry vysílaného světla (výkon, vlnová délka, směr...),
- Zobrazovací zařízení – (výkon směrovost, kvalita barev, jasů)

Cesta

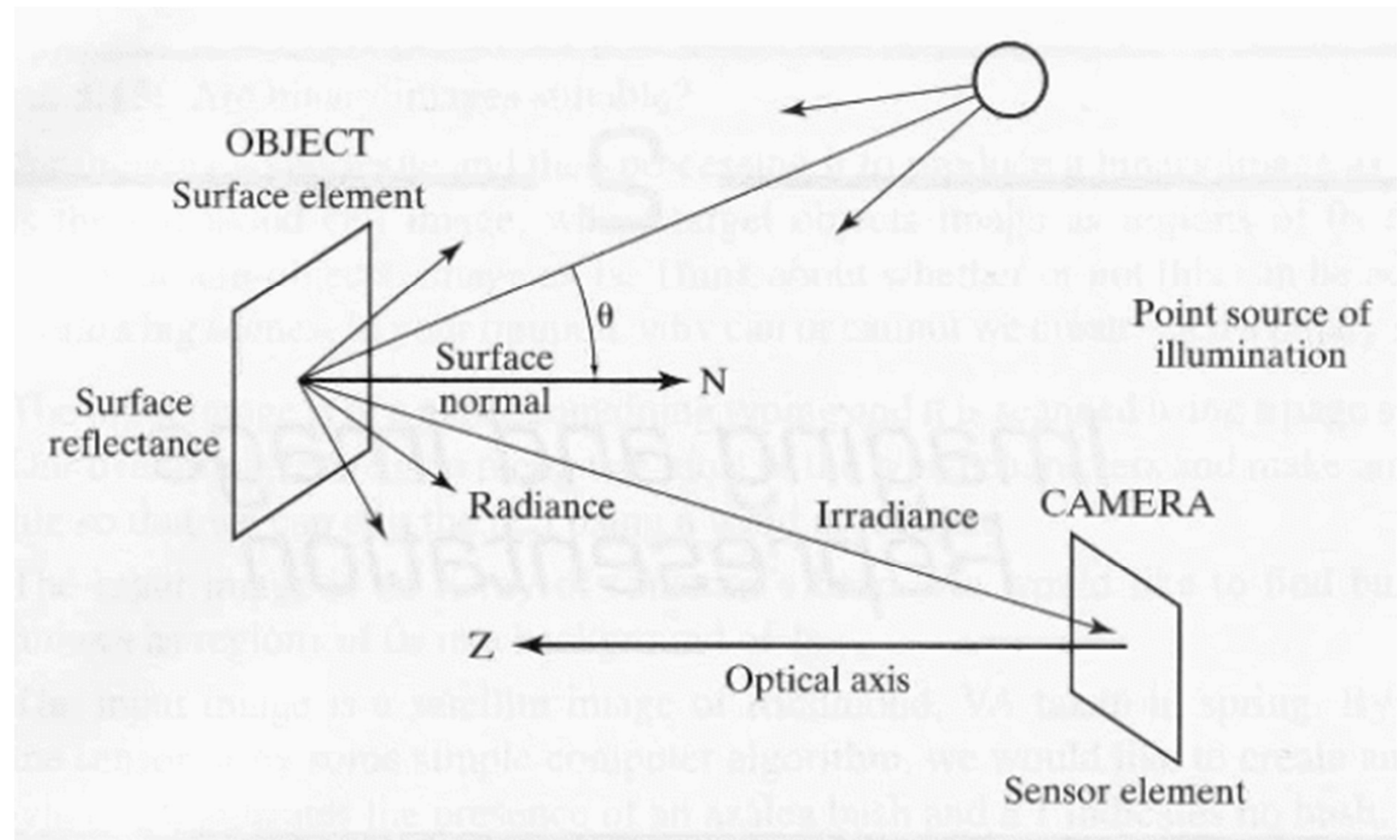
- Světelný tok
- Šíření prostředím

Dopad

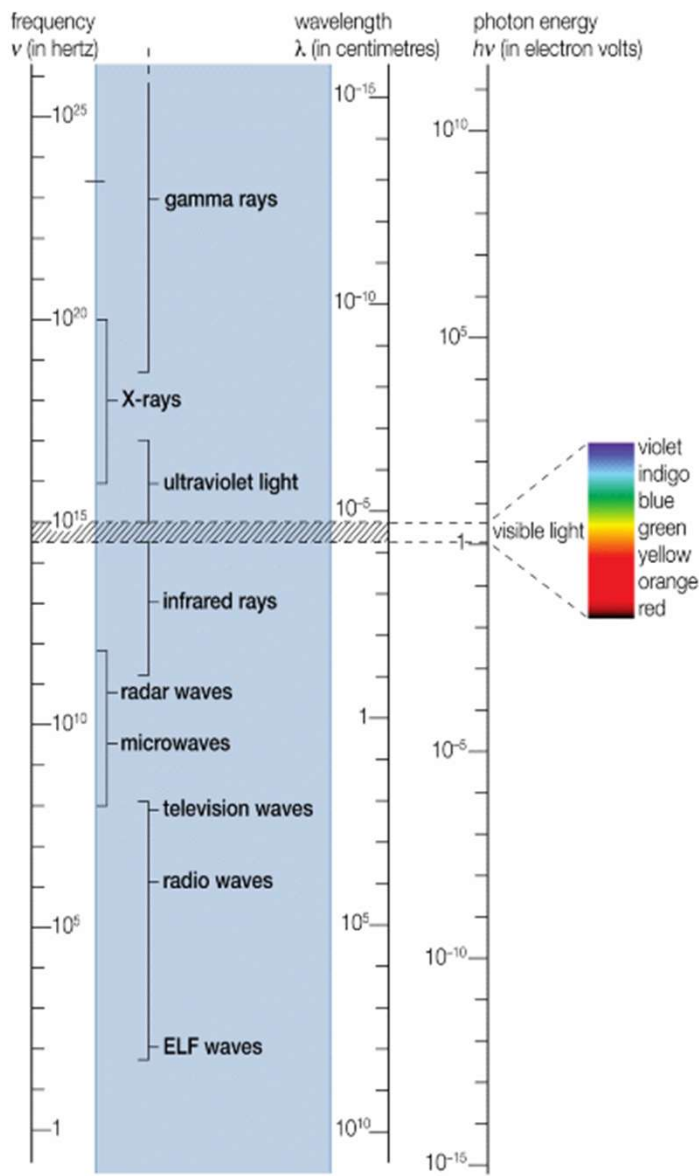
- osvětlení
- reakce s objekty a další šíření (směr, ztráty, odraz, lom ...)

Světlo – fáze šíření

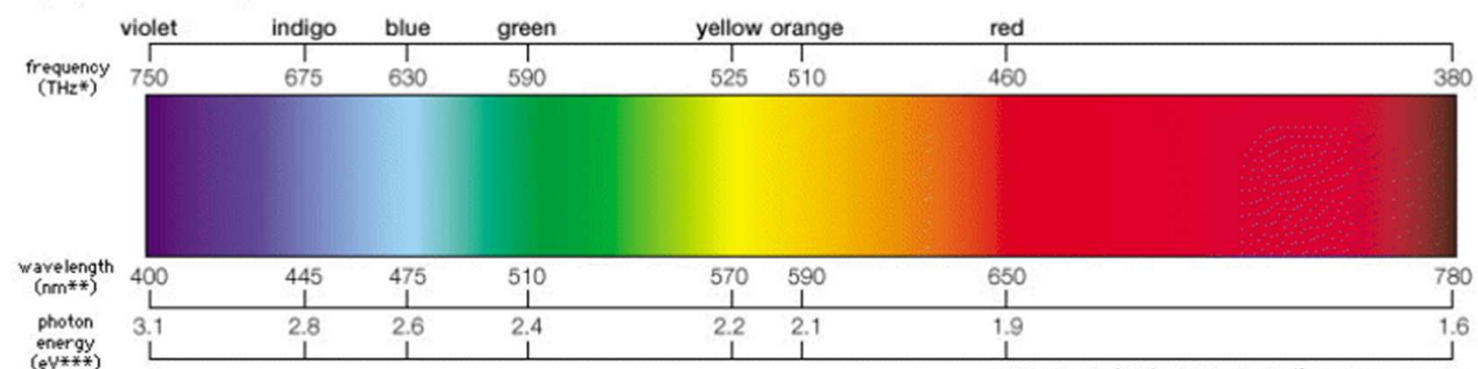
- Šíření světla v prostoru



Frekvenční vlastnosti - barva

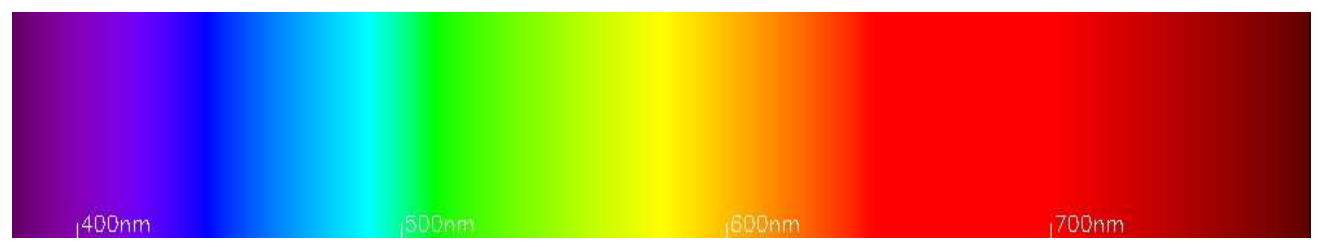


Light, the visible spectrum



© 2006 Encyclopædia Britannica, Inc.

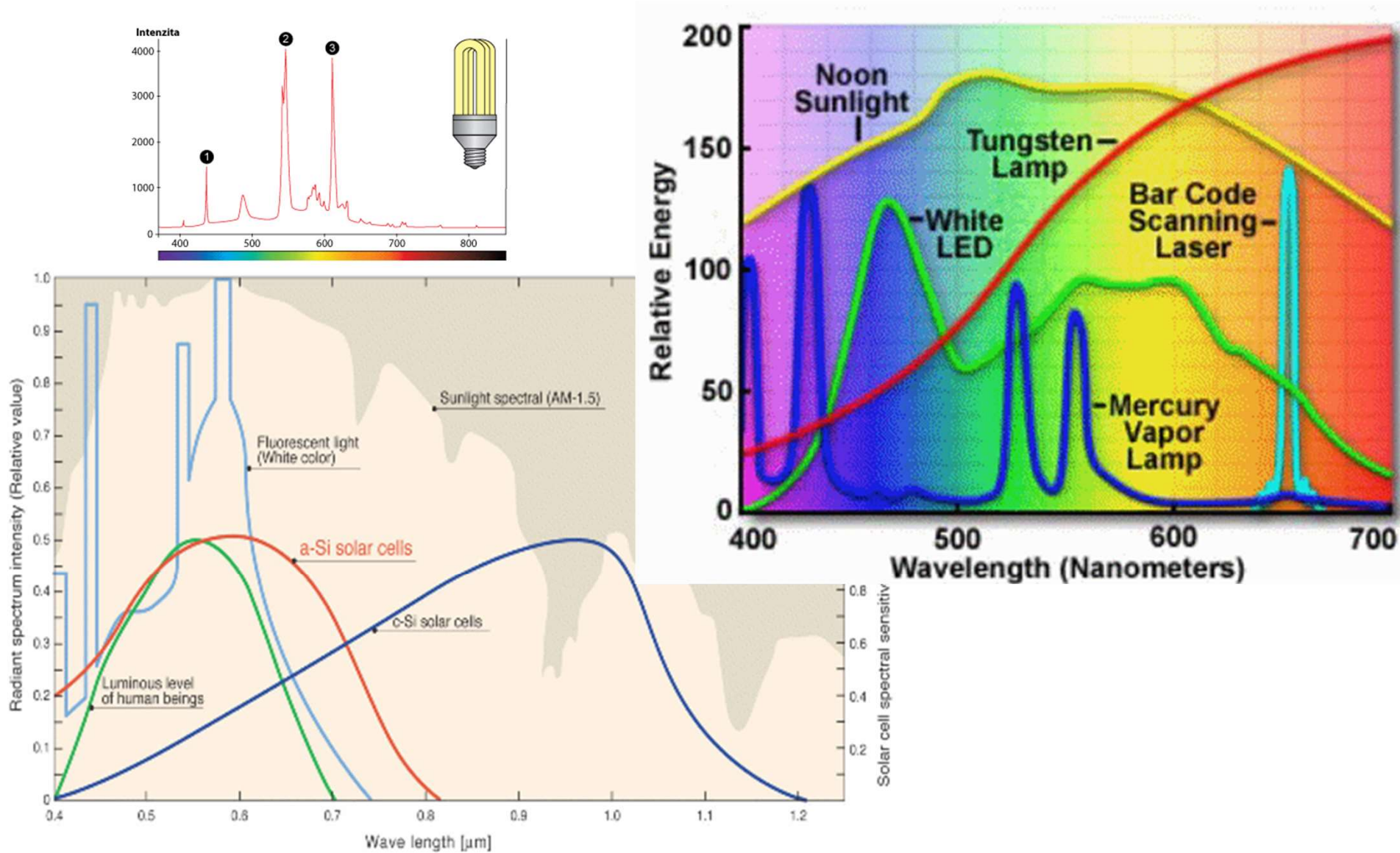
* In terahertz (THz); 1 THz = 1×10^{12} cycles per second.
 ** In nanometres (nm); 1 nm = 1×10^{-9} metre.
 *** In electron volts (eV).



Rozdělení spektra a viditelná část spektra

Světlo – zdroje barva/frekvence

Spektrální zastoupení u světelných zdrojů



Světlo – hodnocení kvality zdrojů

CRI – Index podání barev –(ColorRenderingIndex)

- hodnocení věrnosti barevného vjemu (člověkem) při osvětlení daným zdrojem v porovnání s vjemem, který by způsobil ideální nebo přírodní zdroj (slunce)
- barvu světla – teplá, studená – udává Correlated color temperature – barevná teplota
- Díky třem typům detektorů v lidském oku a jejich šířce pásma, mohou různé originální barvy způsobit stejný vjem
- udává se v procentech
- sodíková nízkotlaká výbojka 0% - nelze rozeznat barvy; čarové spektrum (dobré pro kalibraci spektrometrů) (wiki)
- žárovka 95% (celé spektrum wiki; detail spektra wiki)
- zářivka, horší/běžné LED - 80% (hranice pro běžné lidské pohodlné vnímání)
- pro „náročné“ provozy (nemocnice, kontrola výrobků, potravin ...) alespoň 90%

Světlo – hodnocení kvality zdrojů

CRI – Index podání barev –(ColorRenderingIndex)

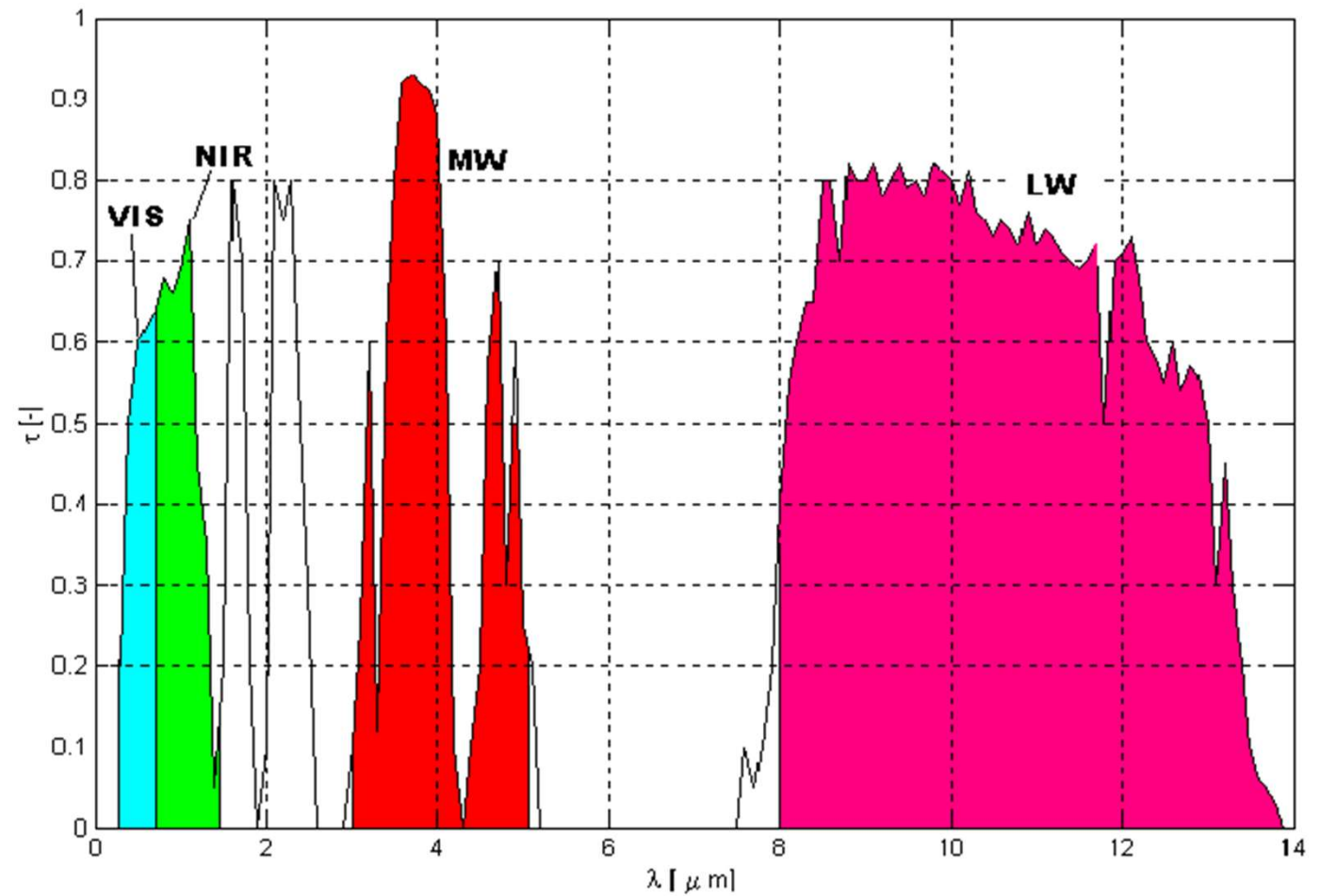
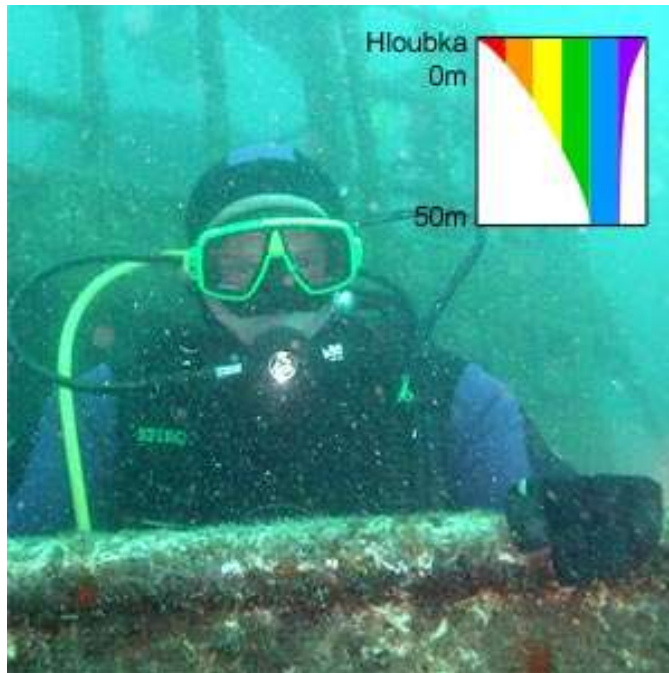
- stanovuje se osvětčováním vzorků daným zdrojem a „kvalitním“ zdrojem (černé těleso) nebo sluncem. Stanovení barevné teploty zdroje a nastavení téže na srovnávacím zdroji. Srovnávání osmi (patnácti vzorků) v obou nasvětleních.
- R96a vylepšená (ale nerozšířená) metoda – jiná množina testovacích barev, srovnávací zdroje jsou definovány jako množina šesti zdrojů; jiné vyhodnocovací vzorce (vážené „průměry“)
- vysoké CRI nemusí znamenat (např u LED se třemi barevnými složkami) kvalitní zobrazení pomocí kamer (CRI se vztahuje k lidskému vnímání, detektor kamery může mít jiný průběh citlivosti detektorů → television lighting consistency).

Vliv prostředí na šíření

- Spektrální propustnost atmosféry

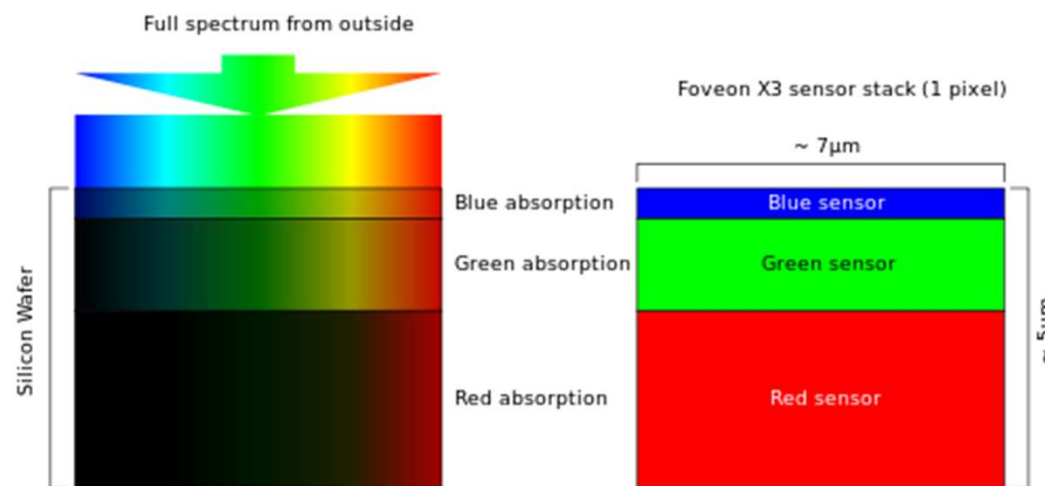
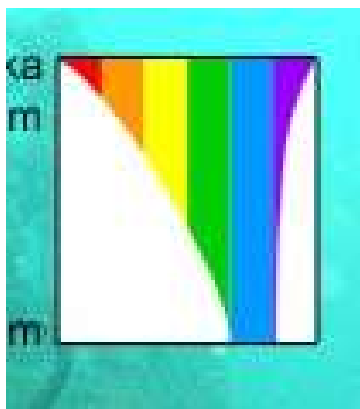
(transmittance atmosféry, převzato z Baláž, Řehoř Dosahy OE přístrojů v reálných podmínkách)

- útlum ve vodě [FR]



Vliv prostředí na šíření

- modrá a foveon – proniká nejméně do materiálu
voda absorbuje světlo od nejdelších vlnových délek (selective absorption – ztráty na molekulách vody, díky vibracím a deformacím molekul způsobeným absorpcí světla. U křemíku je absorpce opačná – nejprve krátké vlnové délky.
pronikání vodou a buňkou Foveon [wikipedie]



- (<https://www.pveducation.org/pvcdrom/materials/optical-properties-of-silicon>)

- modrá proniká nejhlouběji do vody; ostatní barvy jsou absorbovány; modrá se i odrazí – voda je modrá; hlubinná ryba je výhodnější červená – není vidět
- modrá má největší energii
- modrá má největší rozptyl (scatter) na malých částicích – modrá obloha (UV a fialová ještě větší rozptyl – ale tam je oko už málo citlivé)
- New possibilities also include the use of a blue laser (next to more common red). Due to its shorter wavelength, it does not penetrate the target surface, projecting a small light spot on the surface and therefore providing stable and precise results. This technology is preferably used with organic and (semi-)transparent objects, as well as for red-hot glowing metals.
(<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.714>)
- (<https://www.pveducation.org/pvcdrom/materials/optical-properties-of-silicon>)

Cesta světla

- Různé materiály pohlcují/odrážejí různé frekvence
- Kovy při zahřívání vyzařují větší množství frekvencí, plyny omezené množství (spektrální čáry).
- Můžeme pozorovat emisní (vyzařování) nebo absorpční (pohlcování) spektra – absorpce znamená, že pokud má foton správnou energii, je tato využita k přesunu elektronu na vyšší hladinu.
- Spektrální čáry jsou výhodné k ověřování vlastností nebo ke kalibraci přístrojů pracujících se spektrem (spektrometry)

- absorpce – pohlcení, změna na energii (frekvenčně závislé)
- reflected (odraženo=emise) – odraz/vrácení
- transmitted (propuštěno), refracted (lom) - průchod

- vlastnosti jsou frekvenčně závislé -> návrh optiky pro frekvenční rozsah (střední fr.)

- (<https://cnx.org/contents/yo4SfREA@3/Optical-Phenomena-and-Properties-of-Matter>)

Cesta světla

- absorpce – pohlcení, změna na energii (frekvenčně závislé)
- reflected – odraz/vrácení
- transmitted - průchod

- Proč jsou listy zelené? Jaké vlastnosti se uplatňují? Proč jsou zelené i zespodu?
- Proč jsou některé listy zespodu fialové (červeno modré)?



- (<https://cnx.org/contents/yo4SfREA@3/Optical-Phenomena-and-Properties-of-Matter>)

Detektory

- Vnímaná barva dána působícím zdrojem světla a vlastnostmi objektu (odraz, pohlcení, propustnost)
- Vnímaná barva je složena z (jedné/několika/mnoha) vlnových délek spektra. Tím mohou vzniknout i barvy ve spektru se nevyskytující (nespektrální) – růžová, purpurová ...
- Vjem barvy je subjektivní (závisí na detektoru).
- Nejkratší vlnové délky (fialová) mají energii 3.1 eV/foton, nejdelší 1.6eV/foton
- Monochromatické světlo obsahuje jednu „barvu“. Achromatické světlo obsahuje všechny vlnové délky.
- Většina vlastností je závislá na frekvenci (útlum, lom, ...), důležité při návrhu optického systému
- Odezva lidského oka je nelineární (stejně tak i jiné detektory a zdroje)

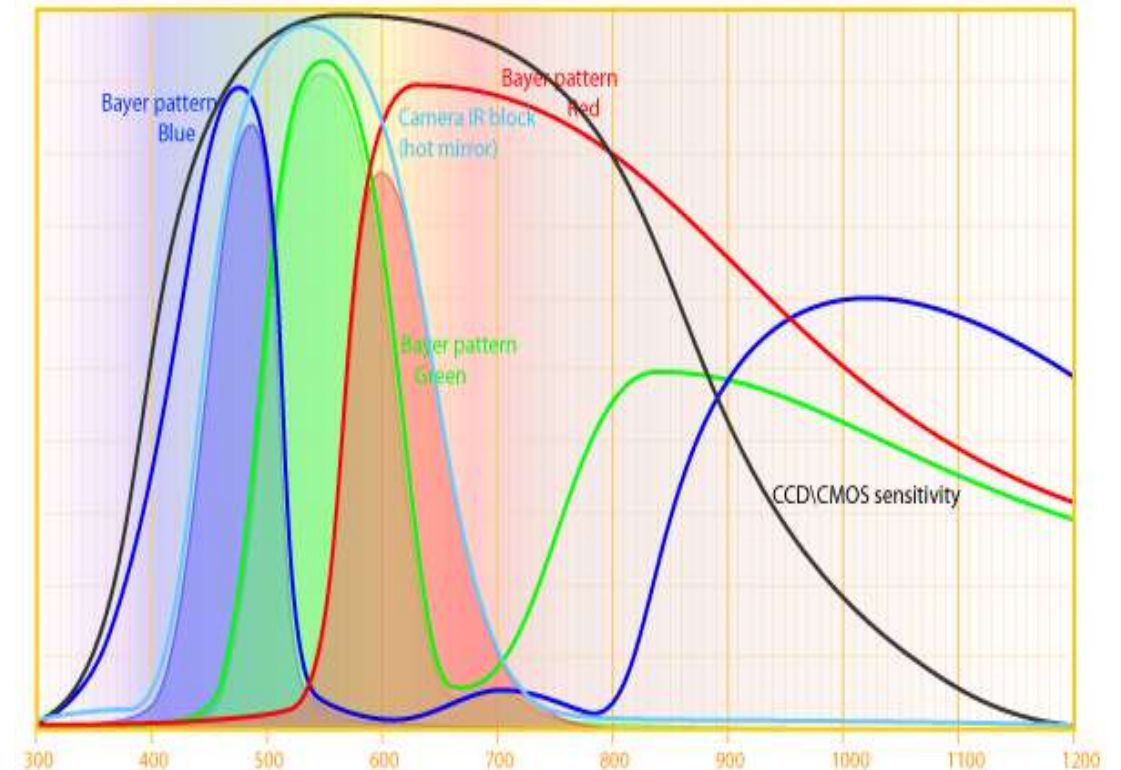
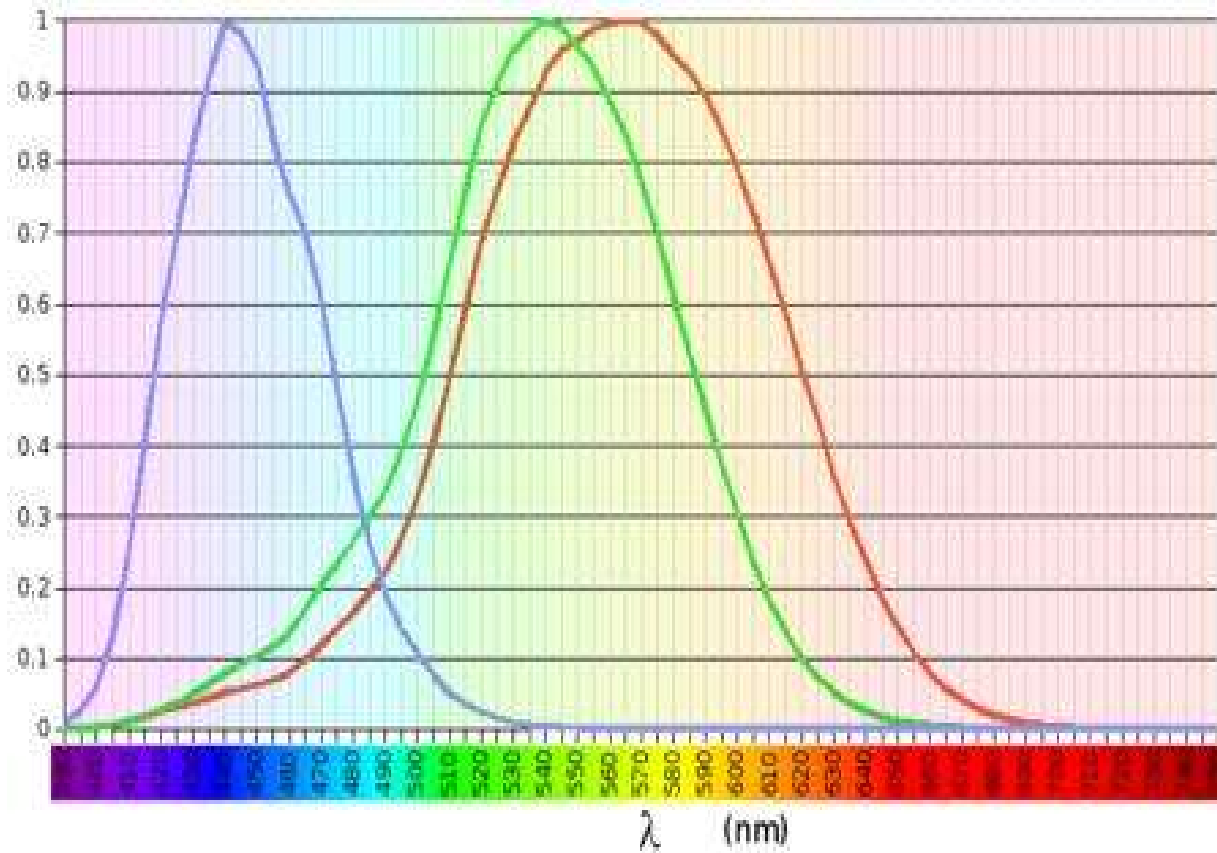
Fyzikální vlastnosti – vliv detektoru

fotometrické vlastnosti lidského oka

- Lidské oko vnímá barvu a jas pomocí detektorů. Každý člověk vnímá různě. (Různá citlivost na různé barevné složky. Muži mohou mít slabší cit pro červenou, ženy jsou citlivější na všechny barvy a jejich rozlišení).
- Různě vnímáme i při různých úrovních jasu. Pro účely měření jsou stanoveny parametry „normalizovaného“ oka (během let jsou upravovány).
- Čípky – méně citlivé, detekují barvu (7 mil), centrální část vidění
- tyčinky – více citlivé, detekují jas (130mil)

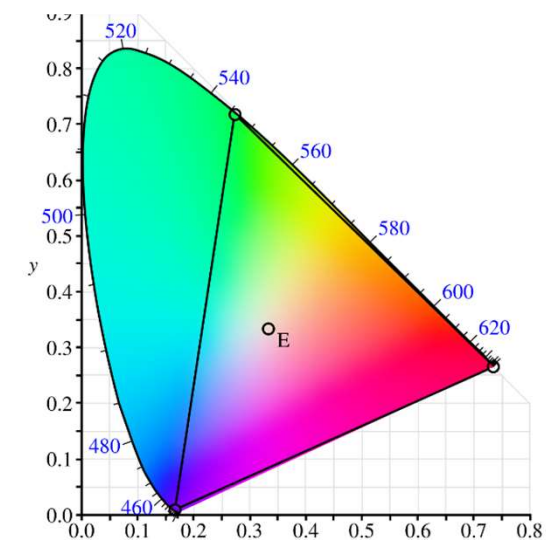
Světlo – citlivost oka/CCD detektoru

- Spektrální citlivost čípků v oku [wikiskripta.eu] a citlivost CCD detektorů kamery [https://www.ir-photo.net/]

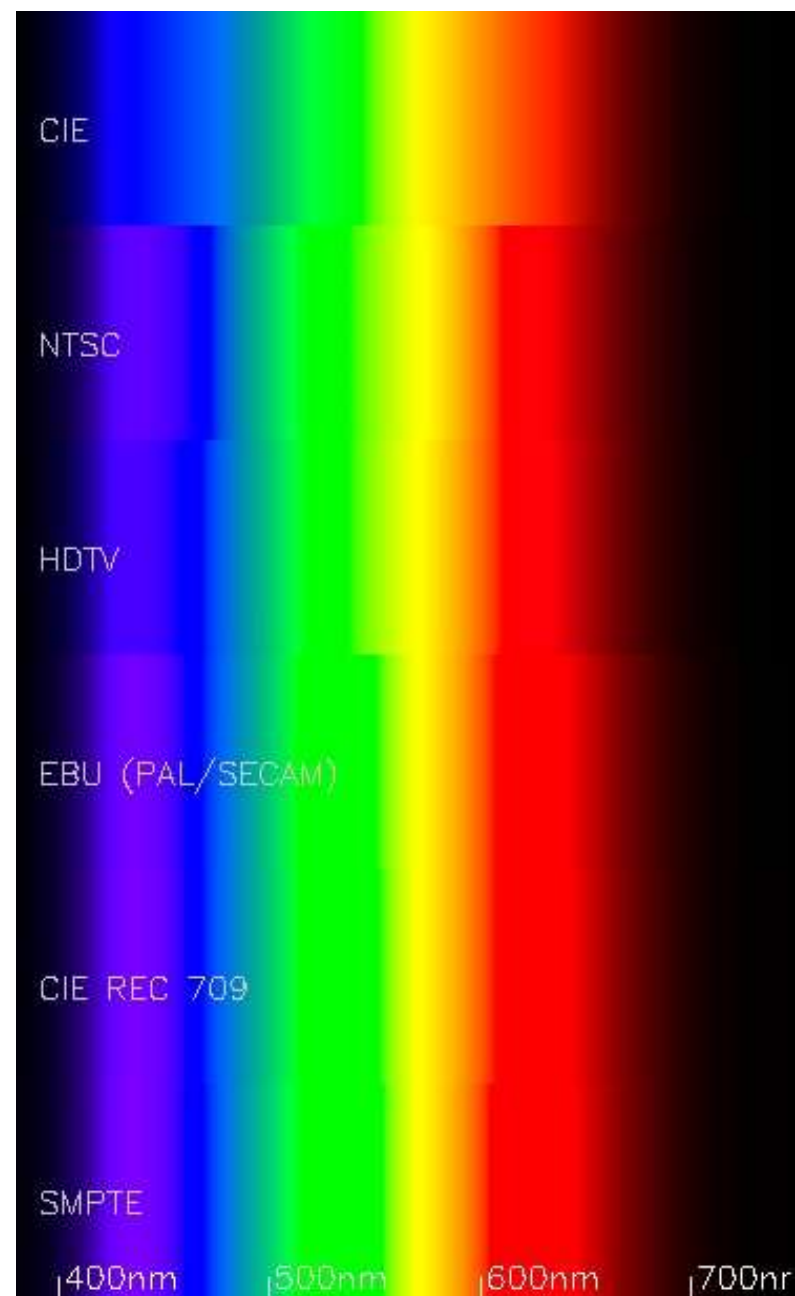
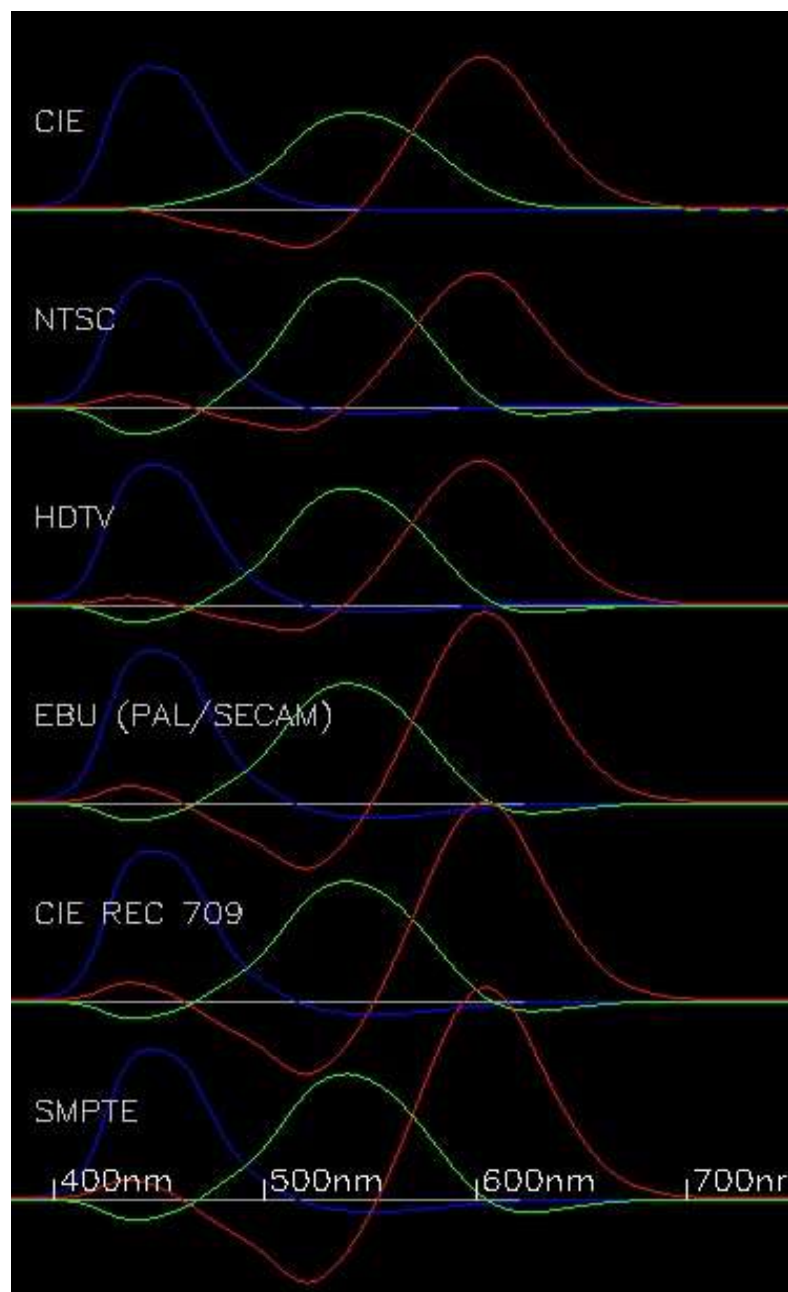


Světlo – hodnocení kvality

- CIE – barevný prostor, chromatický diagram
- Vybereme-li si barvy (dvě či více), barvy mezi nimi je možné vyjádřit jejich kombinací ((nelineární) součet)
- RGB zdroj vytvoří trojúhelník možných barev (trojúhelník pro RGB primární barvy) – barvy mimo nelze na daném zařízení vytvořit
- Zobrazovací normy udávají vrcholy trojúhelníku a polohu bílé. Barvy mimo nelze na daném zařízení zobrazit. Následující průběhy skládání barev v zobrazovacích modelech ukazují, že pro správnou interpretaci všech barev by byly potřebné i záporné hodnoty barev.



Světlo – HW zobrazovací modely



Světlo – HW vlastnosti

- Přihlédnutí k účelu
- Je-li účelem zobrazení pro člověka – sladění snímání a zobrazení
- Různé zobrazovací modely – byly by potřebné záporné hodnoty (které nelze realizovat), + gama korekce
- Nutnost kalibrace zařízení/soustavy (vzory: lidská tvář, příroda, umělé předlohy)

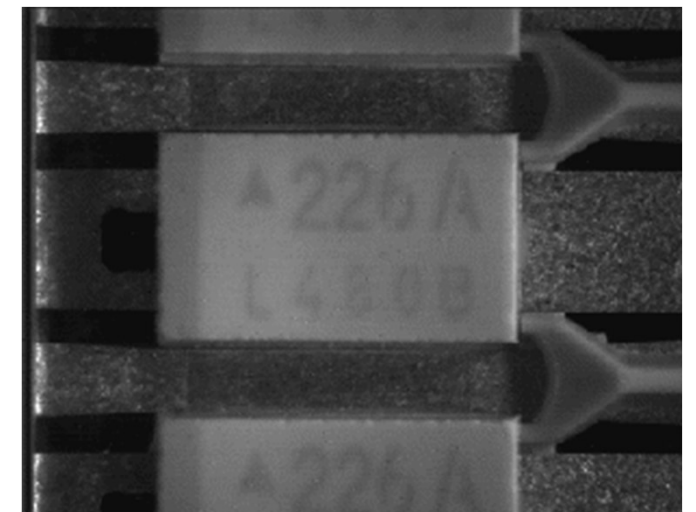
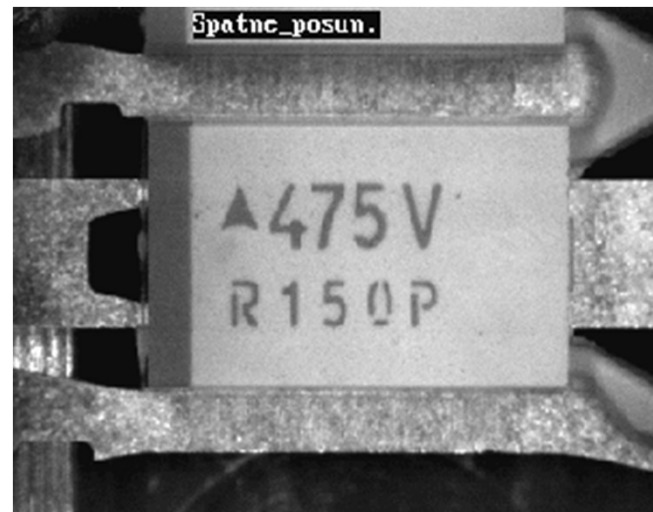


Využití vlastností světla

- spektrální nebo polarizační filtry – zvýšení kontrastu
- směr světla – zadní, difuzní, směrové, čelní, boční směrové
- Zdroje světla: Laser, LED, xenonové zdroje, halogen, klasické (tepelné) žárovky

Detekce – přizpůsobení světelné informaci filtry

- jsou optické součástky, které se přidávají do optické cesty aby upravily obraz
- spektrální filtry – odrazem nebo propustností mění spektrum – propusti, nebo zadržé
- odstranění IR složky u barevných kamer
- „výběr“ barevné složky – například při nasvícení scény (jednobarevným) laserem – zvýšení kontrastu
- odstranění části spektra – např. opar, „nádech“ od žárovky, zářivky ... a tím zvýšit kvalitu
- výběr části spektra, která (ne)nese danou informaci – na obr je pohled ve viditelné a IR části – popis „zmizel“
- polarizační filtry
- filtry rozptylující světlo – v objektivu, ve zdroji
- filtry pro světelné efekty – ve fotografii
- holografické filtry - „rozloží“ bodový paprsek do obrazu
- u zobrazovacích zařízení (projektory, TV) filtry pohlcují energii (zahřívají se)



Fyzikální vlastnosti

Podle detekované energie rozdělujeme na :

- Radiometrie
 - Fyzikální pohled (skutečný stav)
- fotometrie
 - Fyzikální pohled s přihlédnutím k vlastnostem lidského zraku (hodnotí se reakce/vjem)
 - Pro potřeby výpočtů se vytvářejí normály vjemů („průměrné oko“) – citlivost na jas, na barvy ...
 - Prakticky se tak chová každý detektor (u HW možnost kalibrace a převod na radiometrické jednotky)
 - hodnocení jasu může být subjektivní, jasový vjem záleží na kontextu => standardizovaný uživatel

Mají rozdílné veličiny, jednotky

Fyzikální vlastnosti

Radiometrie

- popisuje skutečné výkonové poměry (skutečně přenášená energie)
- zdroj popisujeme **zářivostí** (svítivostí) – výkon do prostoru 1sr [W/sr] (+ skutečný úhel)
- **zářivý (světelný) tok** Φ udává celkově vyzářenou energii (do prostoru, do kterého se svítí) [W= J/s]
- **Osvětlení** E udává výkon záření, který dopadá na (celkově ozářenou) plochu [W/m²] (hustota zářivého toku/intenzita vyzařování) – klesá se vzdáleností (zvětšuje se plocha, na kterou tok dopadá)
- k měření energie záření se používá radiometr

- 1 radián (rad) – úhel, který při poloměru 1m vytkne na kružnici délku 1m
- 1 steradián (sr) – úhel (vrcholový kužele), který na kouli o poloměru 1m vytkne plochu 1m²

Fyzikální vlastnosti

fotometrie

- Fyzikální pohled s přihlédnutím k vlastnostem lidského zraku (hodnotí se energie způsobující reakci/vjem) – skutečné energie je váhovaná citlivostí pro danou frekvenci
- Pro potřeby výpočtů se vytvářejí normály vjemů („průměrné oko“ CIE 1924) – citlivost na jas, na barvy ...
- Prakticky se tak chová každý detektor (u HW možnost kalibrace a převod na radiometrické jednotky)

- rozdílné veličiny, jednotky než radiometrie

Fyzikální vlastnosti – vliv detektoru

fotometrie

- přihlíží k citlivosti lidského oka
- svítivost I [cd, kandela] spojena se zdrojem do daného prostoru 1sr
- optický (světelný) tok Φ [$\text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr}$, lumen] je (celkově vyzážené) světlo procházející daným prostorem
- osvětlení E [$\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2$, lux] udává velikost toku dopadajícího (či odraženého) na plochu – měří se luxmetry (fotočlánek)
- difuzní záření plochy (luminance) má jednotku nit [cd/m^2] – hodnocení monitorů; sněžná plocha; písek; betonová plocha – sekundární zdroj plošného světla
- cd – jak silný je proud světla určitým směrem/úhlem (hodnota udává vyzáření do steradiánu a k tomu se přidává skutečný úhel, do kterého září). 1cd je cca svítivost jedné svíčky
- lm – celkové „množství“ světla (vyzářené do daného prostoru)
- expozimetr – slouží ke stanovení parametrů pro pořízení kvalitních snímků na základě použitého materiálu a nastavených parametrů

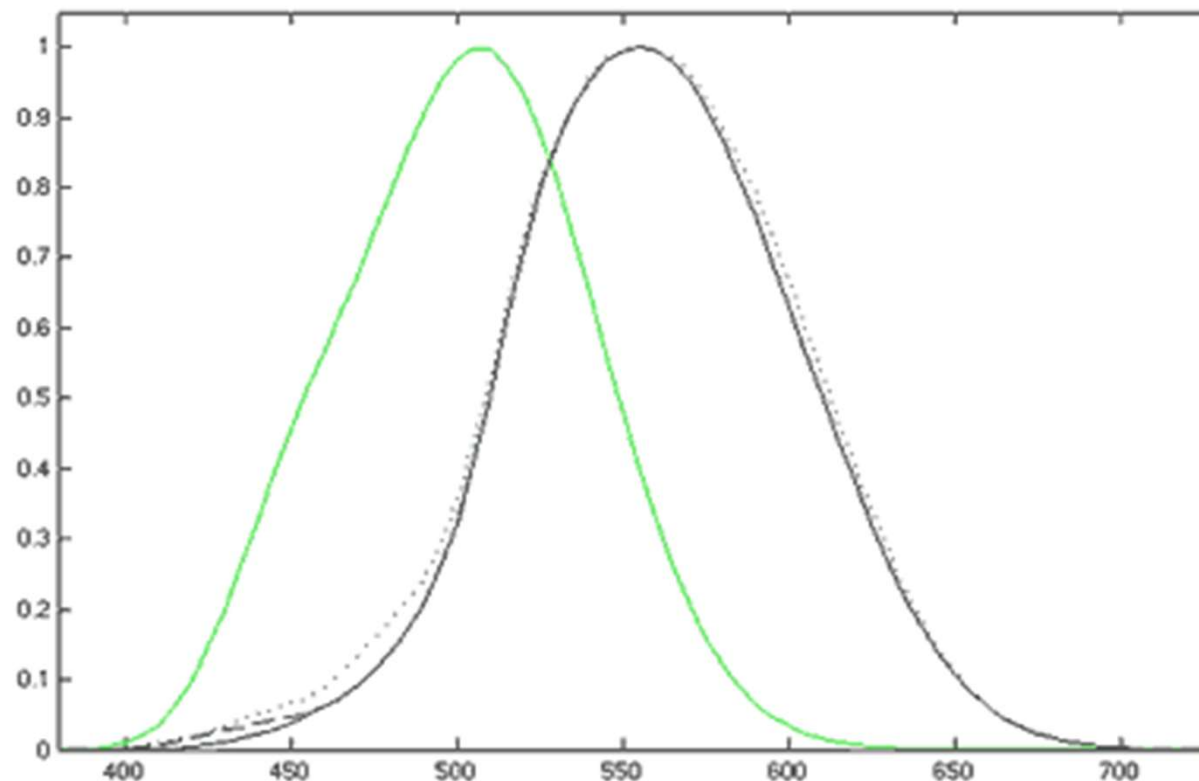
Fyzikální vlastnosti – vliv detektoru

fotometrie

- cd udává jaký výkon je vyzářen do jednoho steradiánu (výkonová hustota) u údaje v cd je nutné uvést do jakého (skutečného) kužele je vyzářen, používá se u směrových zdrojů
- lm udává výkon (intenzita světla) na průniku koule (a vyzařovacího kužele) používá se u všesměrových zdrojů, jinak je nutné uvést k jakému kuželu se vztahuje
- přepočítání cd na lm podle skutečné vyzařovací plochy
 $[lm] = [cd] \cdot 2\pi \cdot (1 - \cos(\beta/2))$ beta je vrcholový (celý) úhel vyzařovacího kužele
1 cd do 1sr (65.54stupňů) = 1 lm = 1 lx v 1m
1 cd všesměrově = $4 \cdot \pi \cdot 1 = 12.6$ lm = 1 lx v 1m
1 cd do 40 stupňů = 0.379 lm = 1 lx v 1m
33cd do 40 stupňů = 12.6 lm = 33 lx v 1m
33cd všesměrově = 414 lm = 33 lx v 1m
zúžíme-li kužel při stejném výkonu, dostaneme vyšší svítivost (i osvětlení v lx ve stejné vzdálenosti)
při stejné svítivosti je v menším kuželu menší výkon
- lx výkonová hustota světla dopadajícího na plochu (např. 1m²), na kterou zdroj svítí, klesá s kvadrátem vzdálenosti (ve dvojnásobné vzdálenosti je čtyřnásobná plocha)
 $[lx] = [lm] / [m^2] = [lm] / (4 \cdot \pi \cdot r^2)$ pro kouli o poloměru r

Fyzikální vlastnosti – vliv detektoru

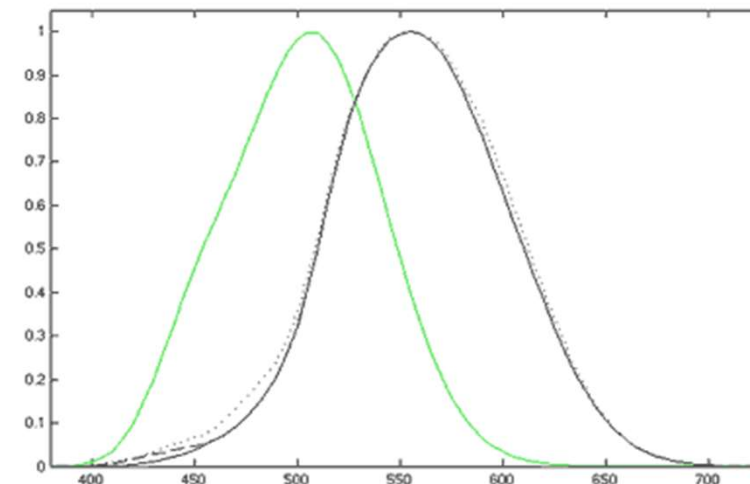
- fotometrie
- Citlivost lidského oka (tyčinky) na různé barvy (nejméně citlivé na modrou, nejvíce na zelenou) [FR]
- Relativní citlivost oka na vlnovou délku světla (fotopická – za dne – černá křivka; scotopická – v noci – zelená) [FR]
- Rozsah vnímaných jasových hodnot je cca 8 řádů – vždy však pouze část rozsahu



Fyzikální vlastnosti – vliv detektoru

fotometrie

- Purkyňův jev (Purkinje effect; dizertace JEP) – Při jasné scéně převládá vjem z barevných detektorů - čípky. V okamžiku, kdy se začne stmívat, se začnou uplatňovat jasové detektory – tyčinky (jejichž citlivostní křivka je posunutá). V přechodném období tedy vnímáme scénu kombinovaně jas a barva z různých detektorů. To vede k tomu, že červené objekty tmavnou nejrychleji, žluté blednou, zatímco modré (míchané s jasovou informací) jsou jasnější.
- Přechod z barevného na černobílé vidění je delší než deset minut (úplný přechod až hodinu), přechod na světlo desetiny sekundy. (Akomodace na tmu/světlo)
- detektory přizpůsobují vidění intenzitě přicházejícího světla
- v místech, kde je nutné zůstat přivyklý na tmu (pozorování hvězd; noční příroda; prostory s nízkým jasnem ... jako doly; velíny elektráren, lodí; ponorky ...) se svítí červeným světlem, („protože to tyčinky nevidí, a tudíž na něj nereagují a zůstávají „nastaveny“ na „šero“. Čas na přechod na slabě osvětlené vnímání pomocí tyčinek (červeně osvětlený papír se zápisky a pohled na hvězdy), není potom nutný.“)
- [PJ]



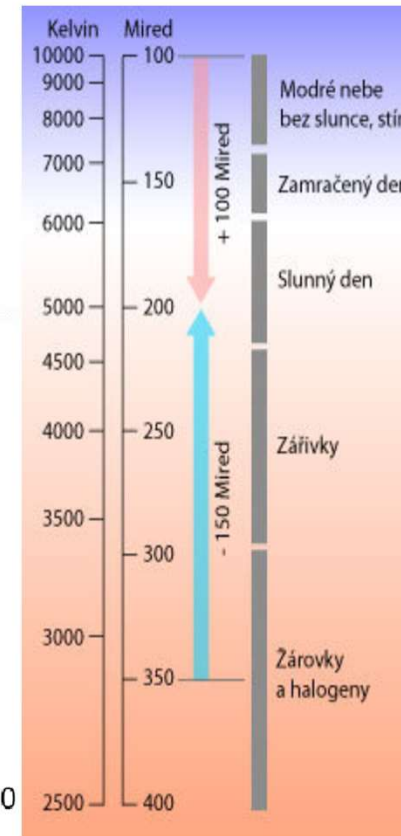
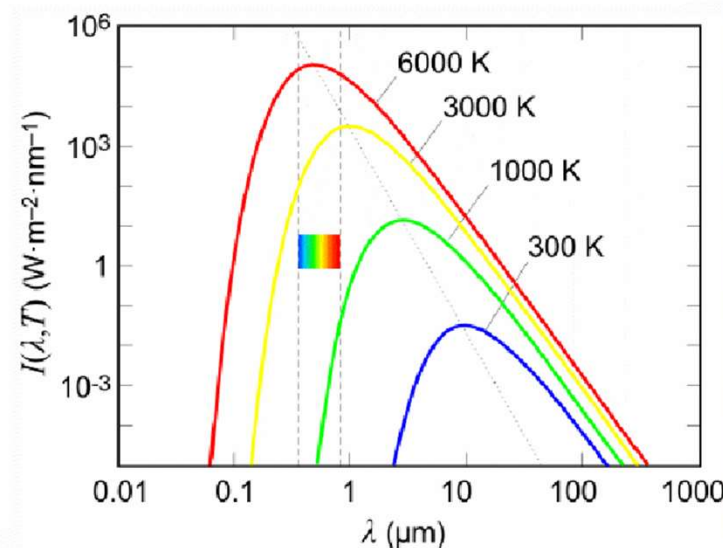
Světlo – barevná teplota

- etalon/reference pro srovnávání – vyzařování absolutně černého tělesa (abstrakce, přesně respektující fyzikální zákony - Planck),
 h, k - konstanty planckova a boltzmannova, I intenzita záření, T teplota abs.č.t, λ vlnová délka

$$I_{0\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{hc}{k\lambda T}} \right)} \quad [W \cdot m^{-3}]$$

- Wienův posunovací zákon
 b je konstanta

$$\lambda_{MAX} = \frac{b}{T} \quad [m]$$



Světlo – barevná teplota

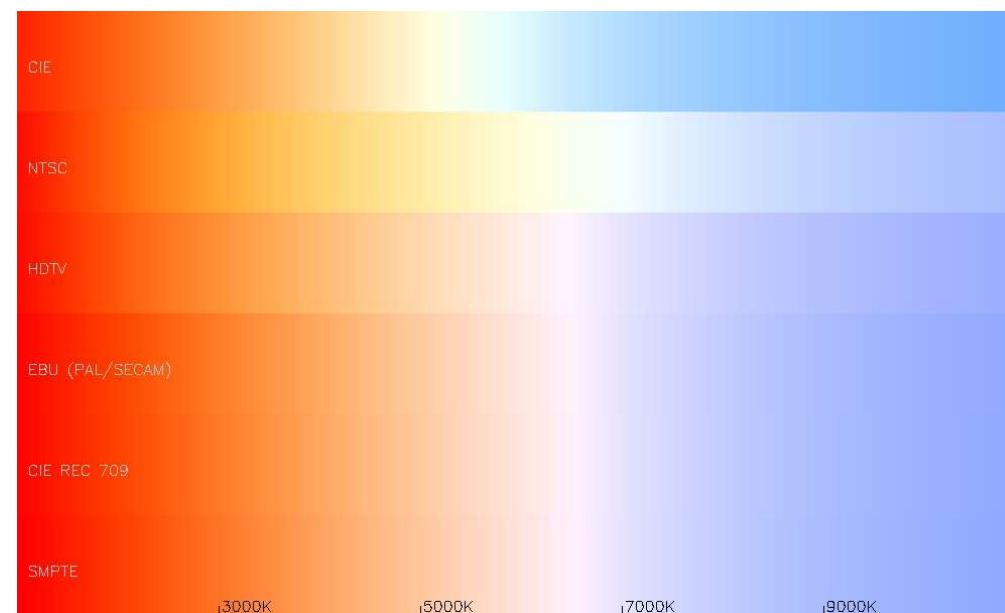
- Některé zdroje vystihuje dobře, u jiných jsou nutné korekce
- využívá se pro definování nastavení zobrazovacích zařízení (monitory, tiskárny), přizpůsobení citlivosti detektoru povaze zdroje – např. 6500K pro nastavení bílého bodu, svíčka červená (1500), žárovka dává žluté světlo (3000), zářivka bílá (4500), sluneční světlo (5500), denní obloha bez slunce (9000) ...

- Stefan-Boltzmannův zákon – celková vyzářená energie

$$I = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [W \cdot m^{-2}]$$

ε emisivita tělesa (ve srovnání s absolutně č.t.)

- pomocí kalibrů na principu černého tělesa se testují a kalibrují IR zařízení
- vyjádření barevné teploty v různých modelech – barvy v nízkých teplotách jsou „teplé“ při vysokých teplotách „studené“



Zdroje

- Wikipedia.com pro daná hesla
- Fotoroman.cz (nyní přes waybackmachine 2018)
- [PJ] <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/purkynuv-jev-a-astronomie.pdf>