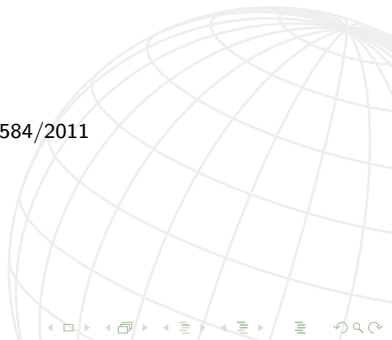


Barvy

Radek Fiala

fialar@kma.zcu.cz

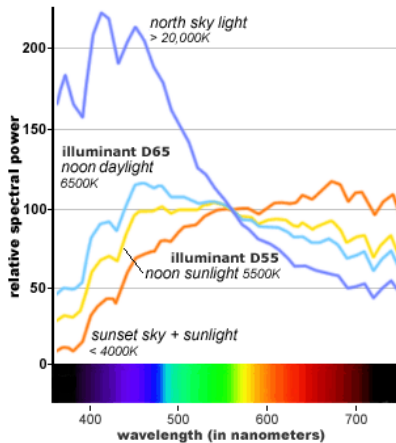
Podpořeno z projektu FRVŠ 584/2011



Kde se berou barvy?

Co je barva

- Světlo jako elmg. záření nemá barvu. Jednou z vlastností světla je tzv. spektrální rozdělení (Spectral Power Distribution, SPD) popisující, jak je energie záření rozložena v závislosti na frekvenci/vlnové délce.
- Barva je výsledek vnímání světla dopadajícího na sítnici oka. Vnímání barvy souvisí právě s SPD.



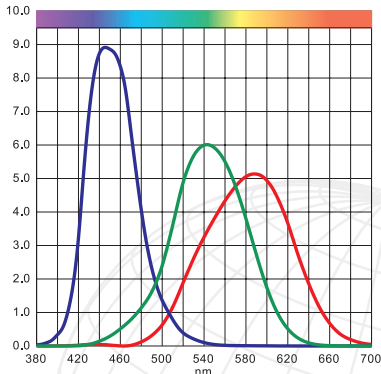
Jak vnímáme světlo

Čípky

- 3 druhy; citlivé na světlo s různou vlnovou délkou (červenou (oranžovou), zelenou a modrou barvu)
- 3 typy fotoreceptorů \Rightarrow stačí tři hodnoty pro popis barvy

Tyčinky

- uplatňují se při nočním vidění, kdy čípky nemají dostatečnou citlivost (max. citlivost kolem 500 nm)



Spektrální citlivost čípků
(jeden z mnoha existujících modelů)

Spektrální citlivost oka

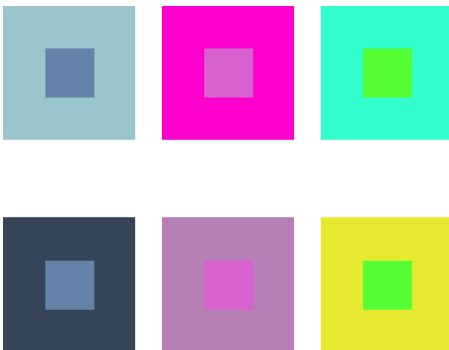
Spektrální citlivost oka

- kolorimetrické experimenty: 360–830 nm
- běžně: 380–780 nm
- zjednodušeně: 400–700 nm nm
(citlivost rychle klesá pro $\lambda > 650$ nm a $\lambda < 400$ nm)

Oko

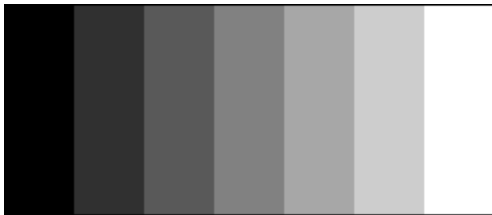
- V každém oku je kolem 100 miliónů tyčinek a 6 miliónů čípků (poměr červených, zelených a modrých je asi 16 : 8 : 1)
- Do mozku přenáší informaci z oka „jen“ asi 1 milión nervových vláken
- Optika oka má chromatickou vadu – jen světlo jedné vlnové délky je na sítnici „zaostřeno“, zbytek je rozmazaný
- Dynamický rozsah oka (poměr mezi nejtmaším a nejsvětlejší částí obrazu mezi nimiž ještě vnímáme rozdíly jasu) je asi 1 : 30 000 (15 EV) v jedné scéně; rozsah zahrnující světelnou adaptaci je až 1 : 10⁹ (30 EV)
pro srovnání: barevný diapozitiv má rozsah asi 1 : 32 (5 EV), ČB negativy a dobré digitální fotoaparáty téměř 1 : 1 000 (10 EV)

Simultánní kontrast



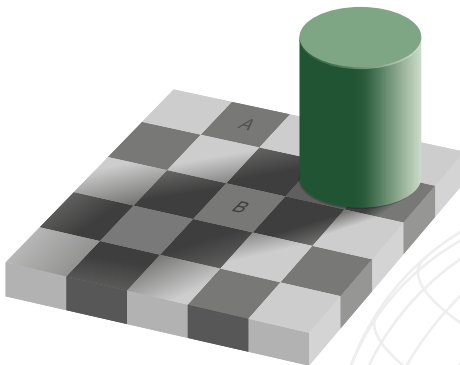
velké čtverce se liší, malé jsou stejné, přesto se zdá, že mají různý jas (vlevo), saturaci (uprostřed) a barevný tón (vpravo)

Machovy pruhy



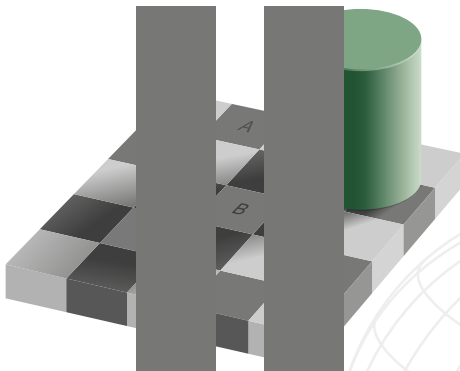
kontrast hran se jeví větší než jaký je ve skutečnosti
(levá strana pruhů vypadá světlejší než pravá)

Adelsonův klam



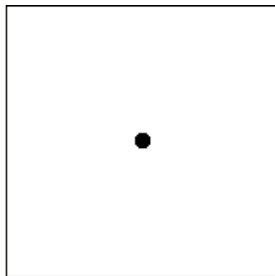
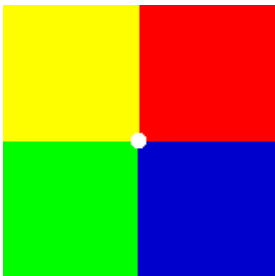
čtverec A je stejně šedý, jako čtverec B

Adelsonův klam – důkaz



čtverec A je stejně šedý, jako čtverec B

Adaptace oka



dívejte se asi 30 sekund na bílý bod vlevo; pak na černý bod vpravo
(objeví se barevné čtverce v komplementárních barvách)

CIE barvé modely

CIE – Commission internationale de l'éclairage, International Commission on Illumination

- pokus o matematické popsání vnímání barev člověkem
- byly definovány funkce \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} (přibližně odpovídající spektrální citlivost čípků)
- výsledkem vnímání světla je tzv. tristimulus XYZ
- X , Y , Z lze vyjádřit jako integrál SPD s váhami \bar{x} , \bar{y} , \bar{z}

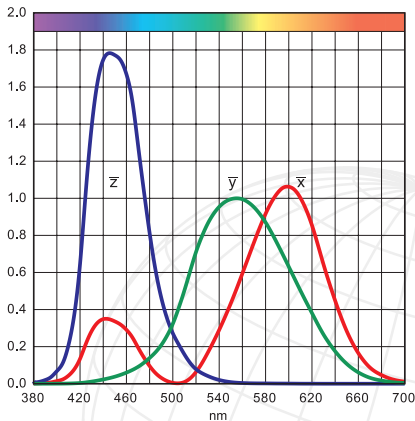
$$X = \int_{\lambda} SPD(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \quad Y = \dots \quad Z = \dots$$

CIE barvé modely

Tristimulus

- X , Y , Z tvoří třírozměrný prostor barev
- Y odpovídá jasů
- všechny viditelné barvy lze určit kladnými souřadnicemi
- stejný tristimulus znamená vnímání shodné barvy \Rightarrow jako shodné barvy můžeme vnímat světla s různou SPD

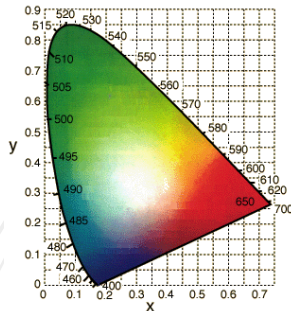
Visualizing the XYZ Color Space



CIE barvé modely

CIE XYZ, CIE xyY (1931)

- pro definici barevnosti stačí hodnoty
$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$
- doplníme-li jas Y získáme model xyY
- mísením dvou barev získáme barvy ležící na úsečce mezi těmito barvami
- podkovovitý okraj diagramu odpovídá vnímání monochromatického světla s měnící se vlnovou délkou
- vzdálenost na diagramu neodpovídá rozdílu vnímaných barev



CIE barvé modely

CIE $L^*u^*v^*$ (CIELUV) (1960, 1976)

- velmi podobné xyY , ale vzdálenosti v $L^*u^*v^*$ alespoň přibližně odpovídají rozdílu vnímaných barev
- jednoduché transformace z/do XYZ

CIE $L^*a^*b^*$ (1976)

- dvě barvé osy
 - a^* – červeno-azurová
 - b^* – modro-žlutá
- relativně složitá transformace z/do CIE XYZ

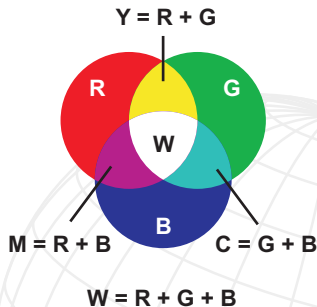
Není vše jednoduché

- intenzita (intensity) – míra energie přenášené zářením (integrál SPD přes λ)
- jas (luminance) – jak jasně je vnímáno světlo s různou SPD (integrál SPD přes λ s váhovou funkcí odpovídající spektrální citlivosti vidění)
- světlost (lightness) – zahrnuje nelineární vnímání jasu (přibližně logaritmické); poloviční světlost má zdroj s pouze 18% jasem

Barvový model RGB

RGB

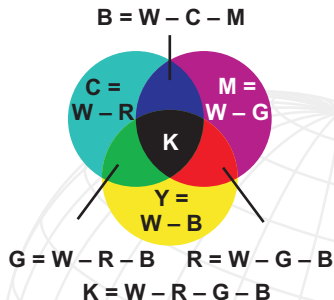
- používá se pro zařízení emitující světlo (TV, monitor, dataprojektor)
- 3 základní barvy:
 - R – červená
 - G – zelená
 - B – modrá
- barva vzniká aditivním mísením (sčítáním) barev (SPD jednotlivých barev se sčítají)
- intenzita složek se často udává relativně (0–1, 0–100 %, 0–255)



Barvý model CMY

CMY

- používá se pro tisk (ofsetový tisk, inkoustové a laserové tiskárny...)
- 3 základní barvy:
 - C – azurová (cyan)
 - M – purpurová (magenta)
 - Y – žlutá (yellow)
- barva vzniká subtraktivním mísením (odčítáním) barev (SPD je násobena spektrální propustností barvy)
- CMY jsou doplňkové barvy k RGB



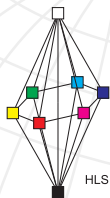
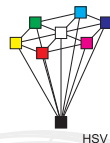
Barvový model CMYK

CMYK

- rozšíření CMY o černou barvu (black)
- výhody
 - místo přetisku barvami CMY stačí vytisknout jen K (ušetříme peníze za barvy, papír je méně vlhký)
 - lepší podání černé barvy (přetisk reálných barev CMY většinou vychází jako tmavě hnědá)
- nevýhody
 - nutná příprava pro další barvu

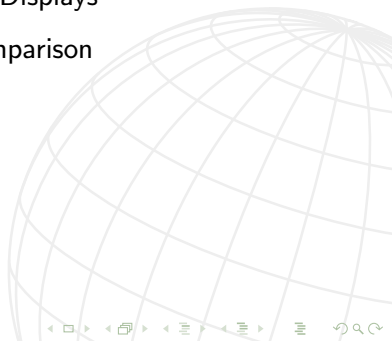
Barvé modely HSV a HLS

- H – barevný tón (hue)
 - udává jaké z vnímaných barev (nebo kombinaci dvou z nich) je barva podobná
 - mění se s posunem dominantní vlnové délky
- S – sytost (saturation)
 - označuje míru barevnosti, tedy jak moc je SPD koncentrovaná u jedné vlnové délky
 - černá, šedá, bílá – nejsou barevné (SPD je roztažená po celém viditelném spektru)
 - červená, oranžová, zelená... – syté barvy (záření obsahuje v extrémním případě jedinou vlnovou délku)
- V, B, L – jas (value, brightness, lightness)



Ukázky

- Color is Communication by Portrait Displays
- Color Gamuts Visualization and Comparison



Literatura

-  Mikšovský, M. *Kartografická polygrafie a reprografie 10*. Vydavatelství ČVUT. Praha 1999.
-  Hoffmann, G. *CIE Color Space*. 2006.
-  Poynton, C. *Frequently Asked Questions about Color*.
<http://www.poynton.com>
-  <http://www.paladix.cz/>