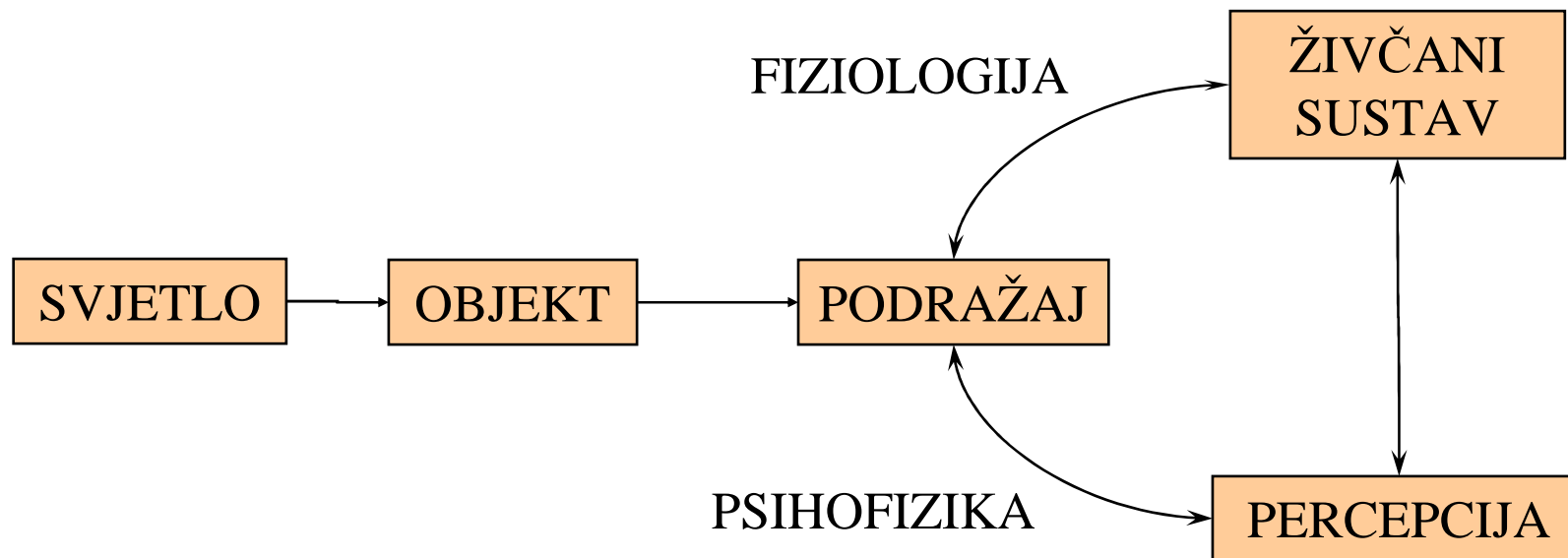


## 9. Boje

Stvaranje slike:

- osjet boje je biološki osjet

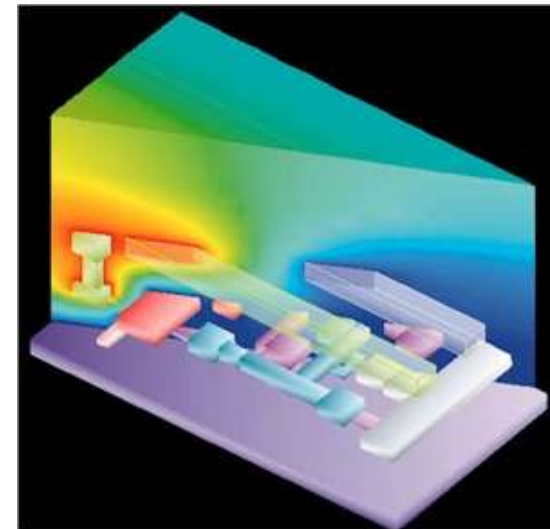


## Čovjekov vid:

- prostorna razdioba fizikalnih veličina
- informacija predstavljena atributima kao što su svjetlina, boja, rubovi
- boja je rezultat interakcije svjetlosti s živčanim sustavom čovjeka (podražaj počinje s 5 fotona), boja je subjektivni psihički doživljaj, ista boja može dati različiti psihički doživljaj ovisno o prilagođenosti oka

<http://www.echalk.co.uk/amusements/OpticalIllusions/colourPerception/colourPerception.html>

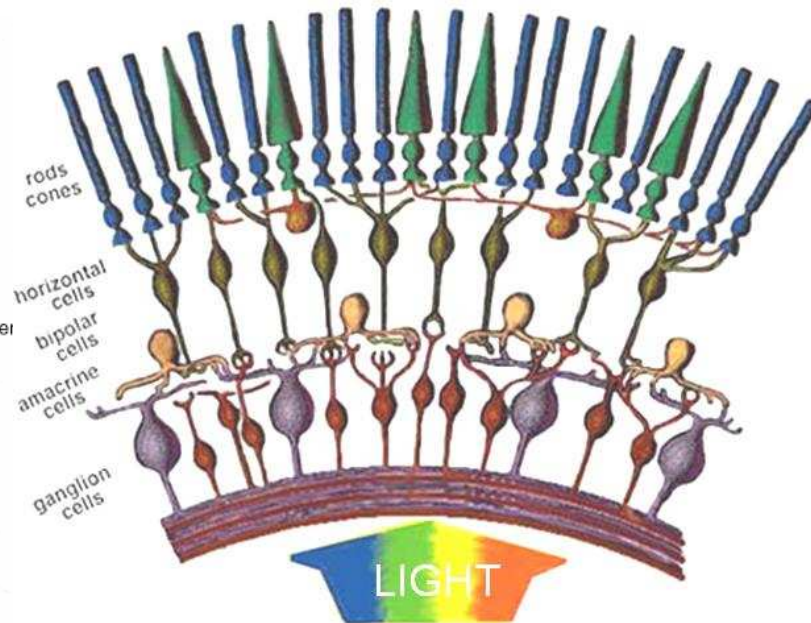
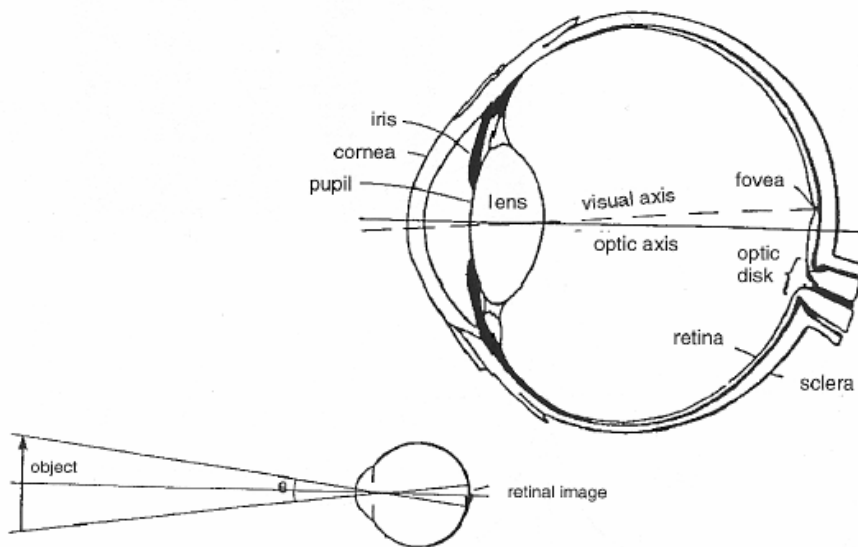
- čovjek razlikuje 10 milijuna boja
- boje se češće koriste u kvalitativnom nego u kvantitativnom smislu
- pridjeljivanje različitog značenja boji

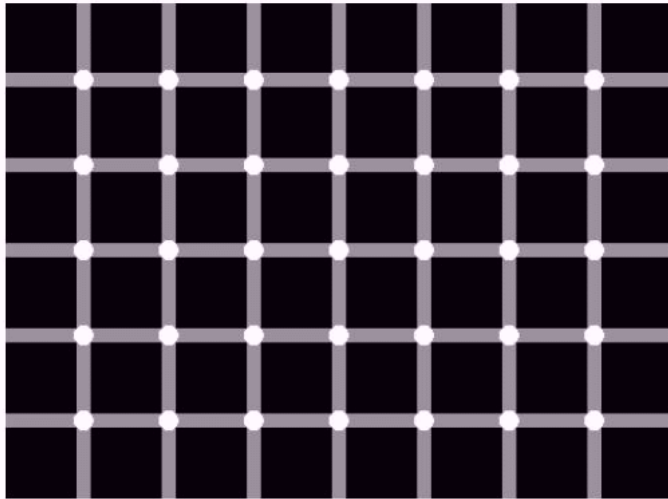


- slika se formira na mrežnici (retini) gdje se nalaze dvije vrste fotoreceptora osjetljivih na svjetlost
  - štapići - ~ 10 milijuna, uski i dugački, aktivni pri slaboj svjetlosti
  - čunjići - ~ 6.5 milijuna, manje osjetljivi, prema tropodražajnoj teoriji postoje tri vrste čunjića (boja)
- daltonizam – problem u razlikovanju nekih boja

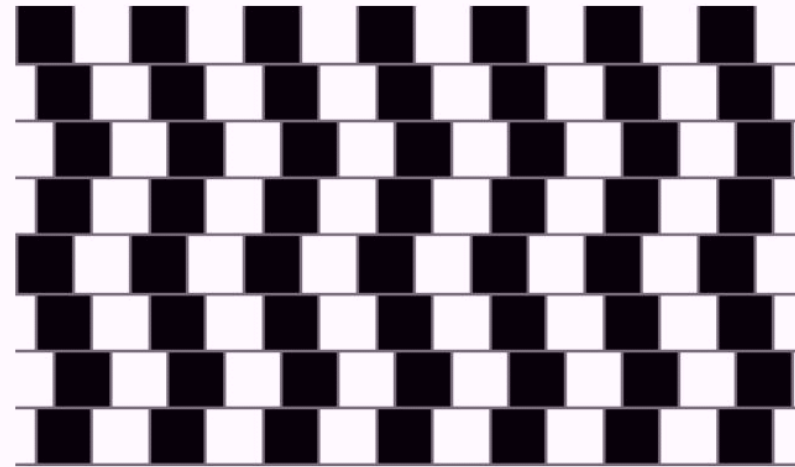
<http://www.tsi.enst.fr/~brettel/DaltonDemo/DD2.html>

<http://www.tsi.enst.fr/~brettel/DaltonDemo/DD02.html>

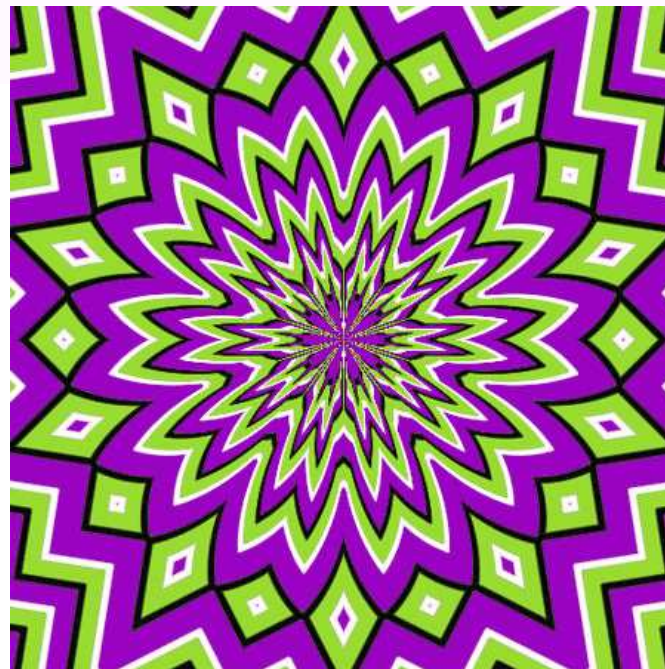




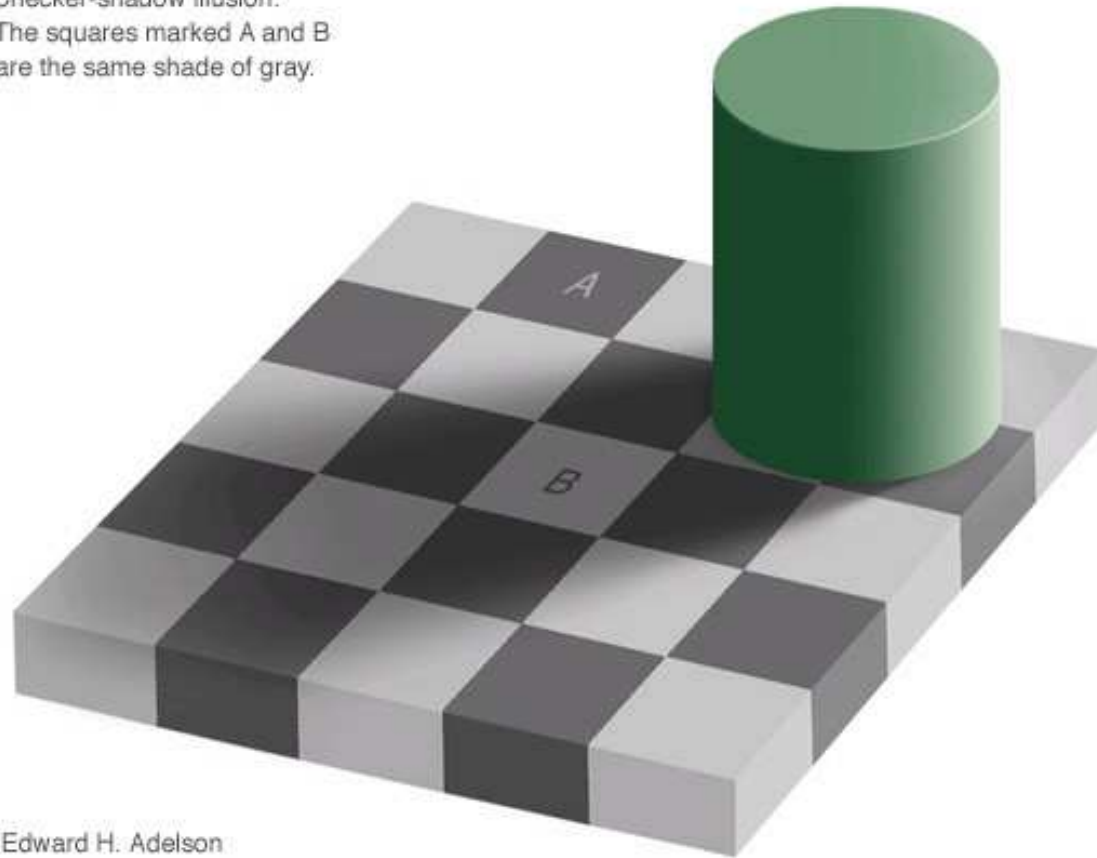
Count the black dots! :o)



Are the horizontal lines parallel or do they slope?



Checker-shadow illusion:  
The squares marked A and B  
are the same shade of gray.

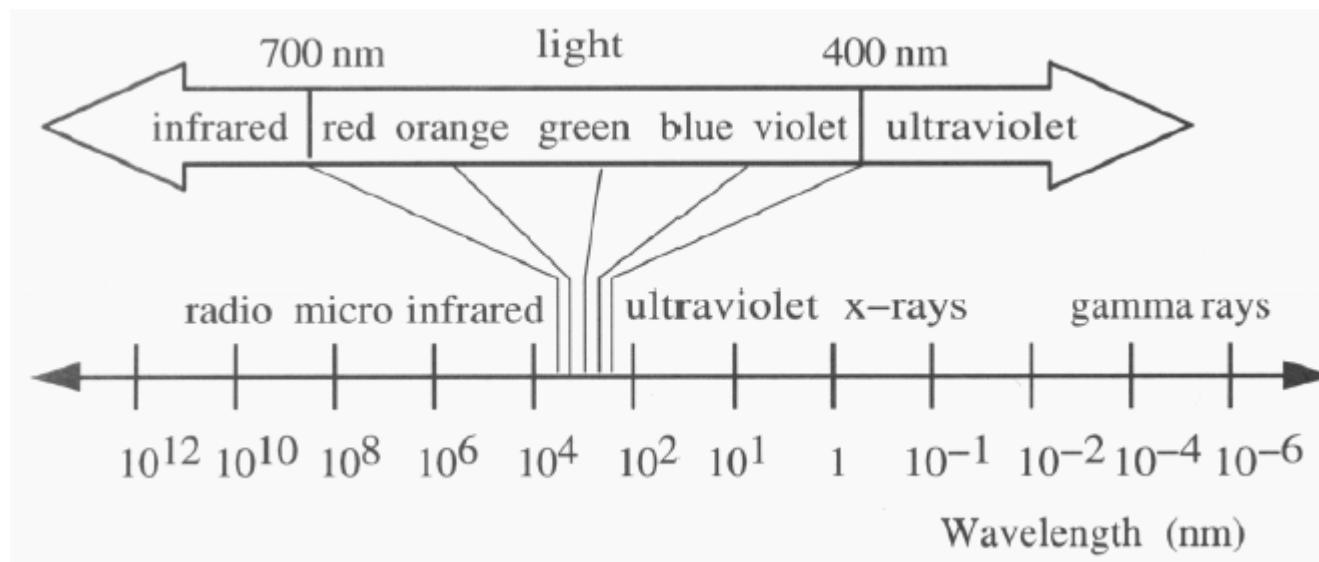


Edward H. Adelson

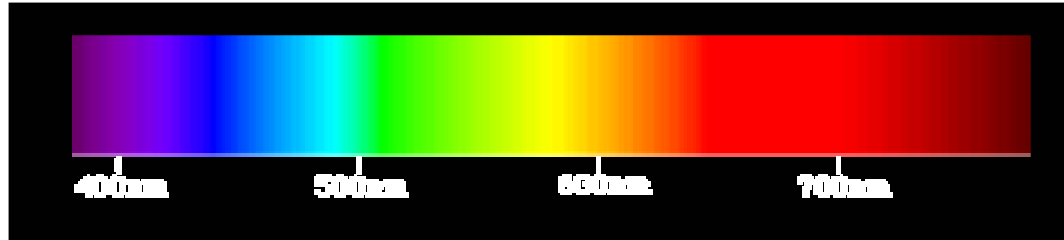
Svjetlost je elektromagnetsko zračenje

Vidljivi spektar ~ 400 – 700 nm

[http://www.colorado.edu/physics/2000/waves\\_particles/index.html](http://www.colorado.edu/physics/2000/waves_particles/index.html)



Vidljivi spektar ~ 400 – 700 nm



spektralna boja:

valna duljina:

ljubičasta

400 – 450

plava

450 – 500

zelena

500 – 570

žuta

570 – 590

narandžasta

590 – 610

crvena

610 – 700

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/viewtopic.php?t=61>

## Sustavi boja

- RGB [http://www.colorado.edu/physics/2000/laptops/laptop\\_screen.html](http://www.colorado.edu/physics/2000/laptops/laptop_screen.html)
- CMYK
- HLS

dijagram kromatičnosti CIE (franc. Commission Internationale de l'Eclairage)

- Munsell Color Science Laboratory

[http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/spectrum/two\\_materials\\_java\\_browser.html](http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/spectrum/two_materials_java_browser.html)



## RGB – sustav

R – red

G – green

B – blue

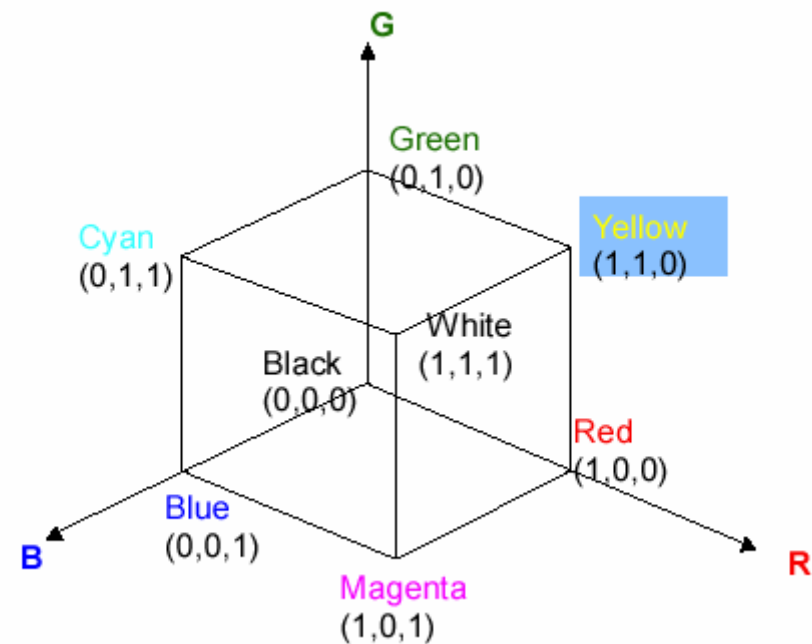
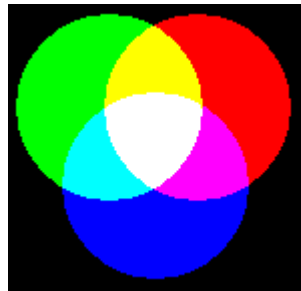
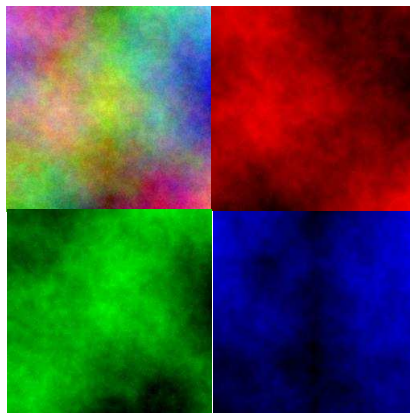
- [http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/a\\_spaces.html](http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/a_spaces.html)
- <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/viewtopic.php?t=56>
- <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/scienceopticsu/primarycolors/colorfilters/index.html>

- aditivni sustav boja

– smjesa tri primarne boje RGB

$$256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$$

256 razina sive



## CMYK – sustav

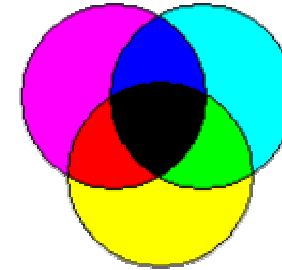
C – cyan

M – magenta

Y – yellow

K – black

- subtraktivan sustav boja
- smjesa pigmenata apsorbira određene valne duljine i reflektira preostale  
npr. cyan filtrira crvenu boju pa ostaje plava i zelena  
zeleni papir je zelen jer reflektira zelenu boju, a apsorbira ostale.



Ukoliko su filtrirane sve boje preostaje crna.

<http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/scienceopticsu/primarycolors/colorseparation/index.html>

[http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/combinedColorMixing/combined\\_color\\_mixing\\_java\\_browser.html](http://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applets/combinedColorMixing/combined_color_mixing_java_browser.html)

# HLS, HIS, HSV – sustav

H (hue) nijansa boje, tonalnost,

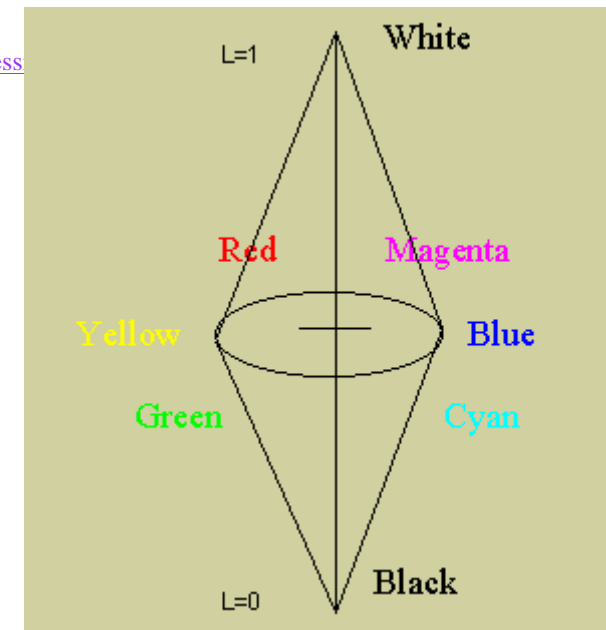
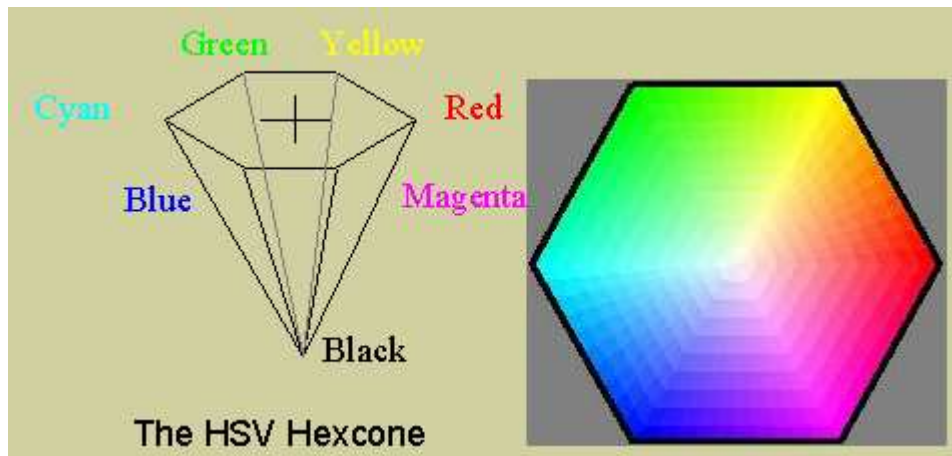
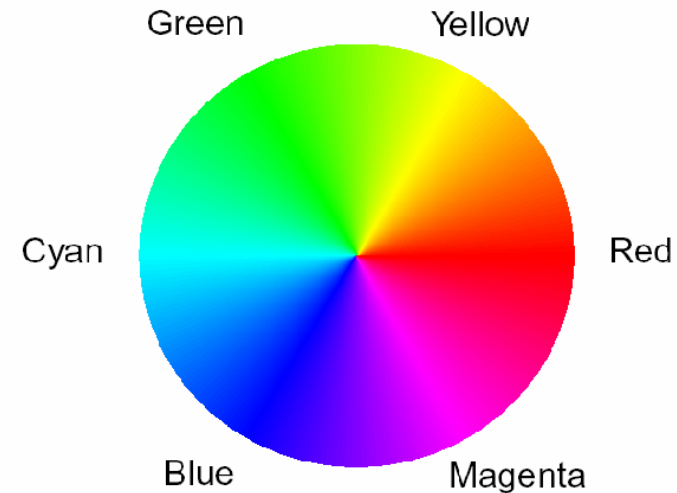
ime spektralne boje

L (lightness, luminance) svjetlina,

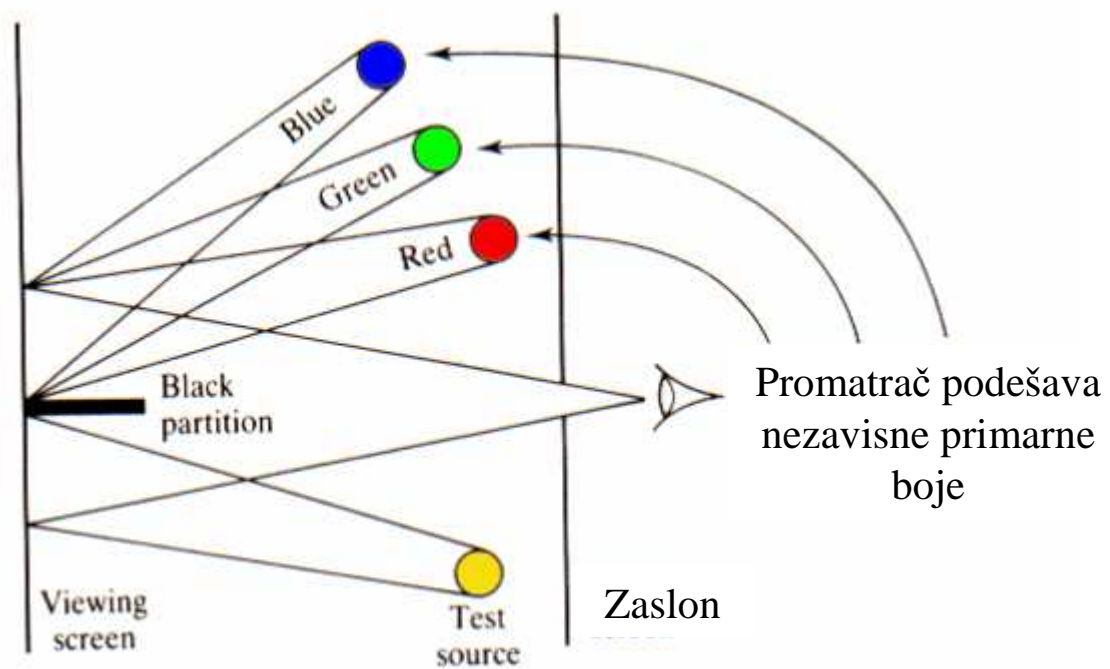
I (intensity) intenzitet

S (saturation) zasićenje – koliko je boju razrijedila bijela odnosno siva svjetlost

<http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/applets/hades/webdemos/00-intro/02-imageprocess>

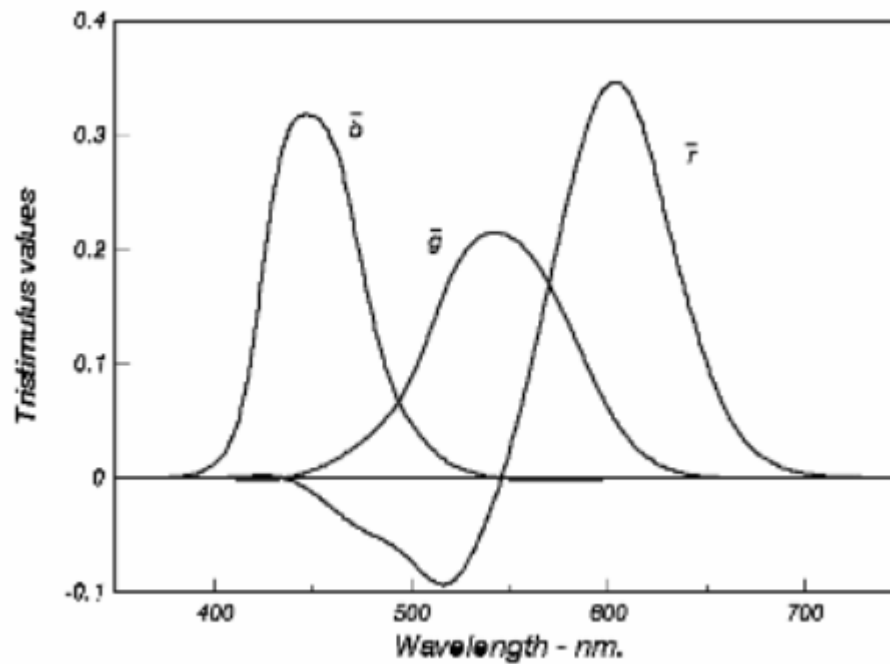


## Pokus podudaranja boja



## Pokus podudaranja boja

- u području oko 500 nm podudaranje boja nije ostvarivo kao aditivna kombinacija tri primarne boje



CIE (franc. Commission Internationale de l'Eclairage)  
(engl. International Commission on Illumination)

### Dijagram kromatičnosti

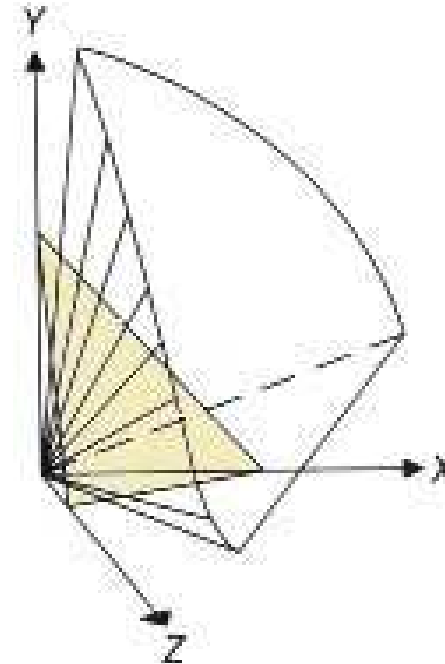
- definira tri primarne hipotetske boje koje ne postoje i nisu vidljive, kako bi se izbjegli negativni koeficijenti
- boja se označava s XYZ
- koordinate kromatičnosti  $x$   $y$   $z$
- projekcija na XY ravninu daje dijagram kromatičnosti

$$x = \frac{X}{X + Y + Z},$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z},$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z},$$

$$x + y + z = 1.$$



rub potkove označava (eng. spectral locus)

- krivulju spektralnih boja

ravna linija određuje

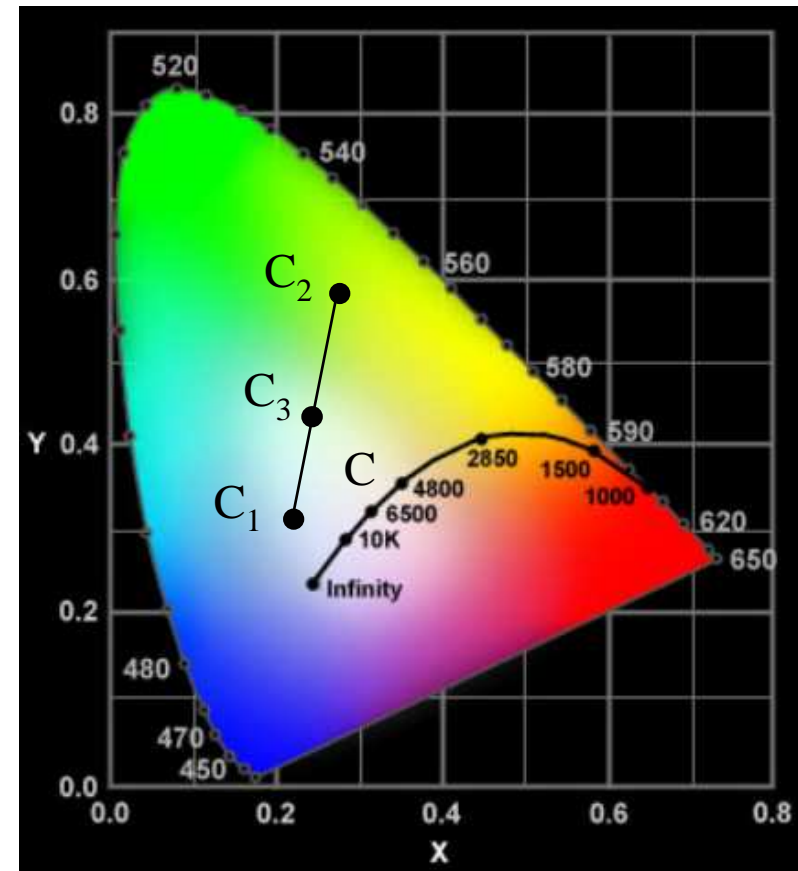
- dužinu purpurne boje  
(nespektarne boje) Npr. duga.

boje u unutrašnjosti

- manje su zasićene od  
dominantne spektralne boje
- aditivna smjesa dvije boje  $C_1C_2$   
leži  $C_3$  na njihovoj spojnici

spektar zračenja crnog tijela

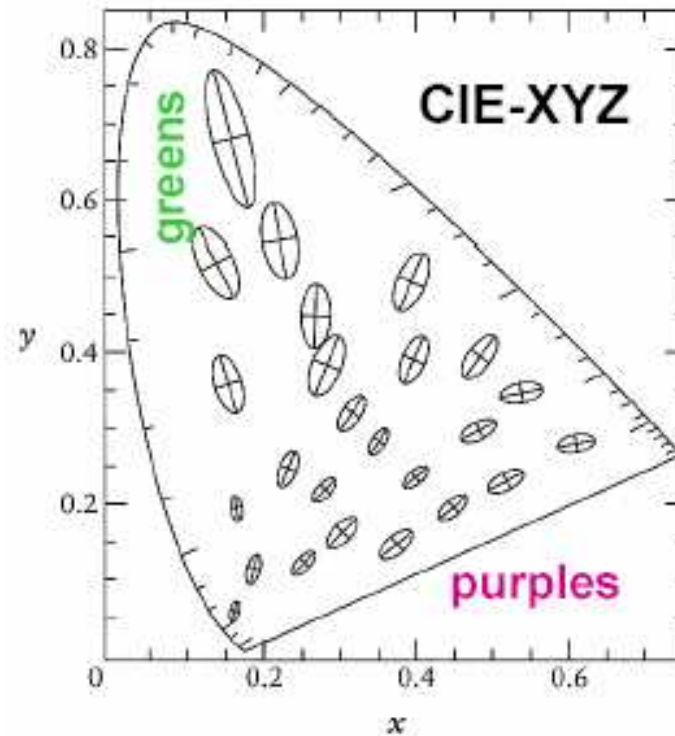
- boja užarenog karbona
- dnevna svjetlost 6500K



<http://www.microscopy.fsu.edu/primer/java/colortemperature/index.html>

C – standardno bijelo svjetlo,  
- neuniformna područja

komplementarne boje su one čijim se miješanjem može dobiti bijela boja  
smeđa boja - je crveno narančasta uz manju svjetlinu (lightness)

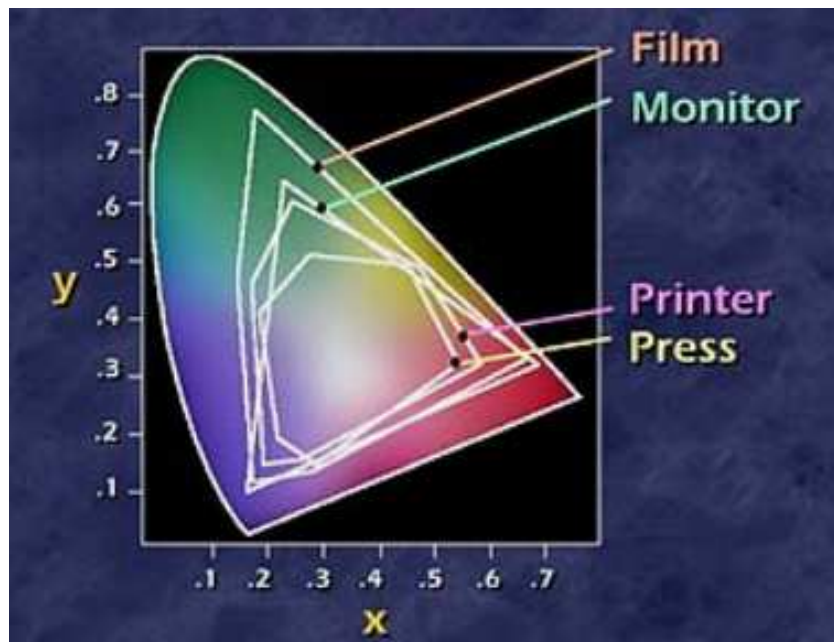




## Gamut uređaja

gamut je definiran primarnim bojama koje uređaj koristi  
ne mogu se ostvariti sve vidljive boje

\* [http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/a\\_chroma.html](http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/a_chroma.html)



## Odabir intenziteta

- odabir intenziteta ne uzima u obzir važnu činjenicu da je oko osjetljivo na omjer intenziteta, a ne na apsolutni iznos

Npr:

50          100          150          200          250

$$\frac{100}{50} = 2, \quad \frac{250}{200} = 1.25.$$

$$I_0 = I_0, \quad I_1 = rI_0, \quad I_2 = rI_1 = r^2I_0, \quad \dots \quad I_{255} = r^{255}I_0 = 1 \rightarrow r = \left( \frac{1}{I_0} \right)^{\frac{1}{255}},$$

$$I_j = r^j I_0 = \left( \frac{1}{I_0} \right)^{\frac{j}{255}} I_0 = I_0^{\left( 1 - \frac{j}{255} \right)}$$

$$n+1 \text{ razina} \quad r = \left( \frac{1}{I_0} \right)^{\frac{1}{n}} \quad I_j = I_0^{\left( 1 - \frac{j}{n} \right)}, \quad j = 0..n$$

Tipično  $I_0 = 0.005 - 0.025$

# Gamma korekcija

- pored toga karakteristika monitora je nelinearna što se često ne uzima u obzir (na SGI postoji ova korekcija)

$I = k N^\gamma$        $I$  .. intenzitet koji emitira fosfor

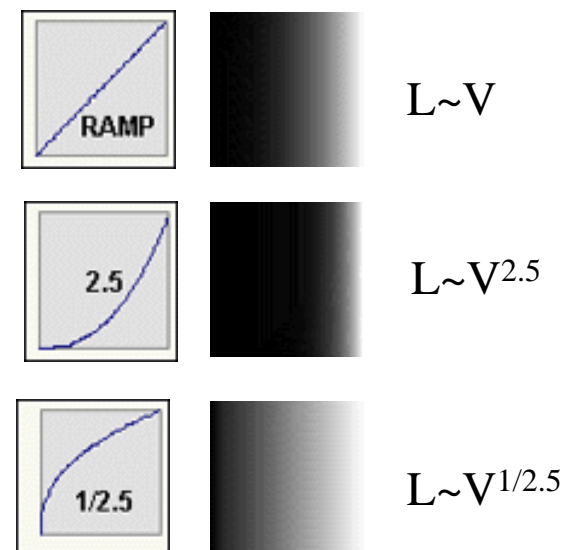
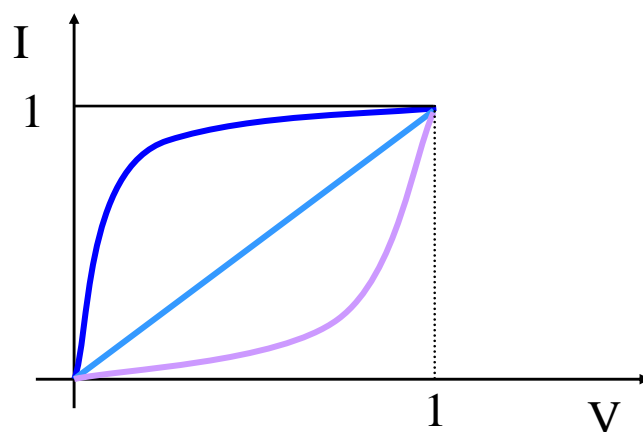
N .. broj elektrona koji pogađa fosfor

$I = K V^\gamma$

- ~ proporcionalan je naponu V,
- ~ odnosno vrijednostima slikovnih elemenata

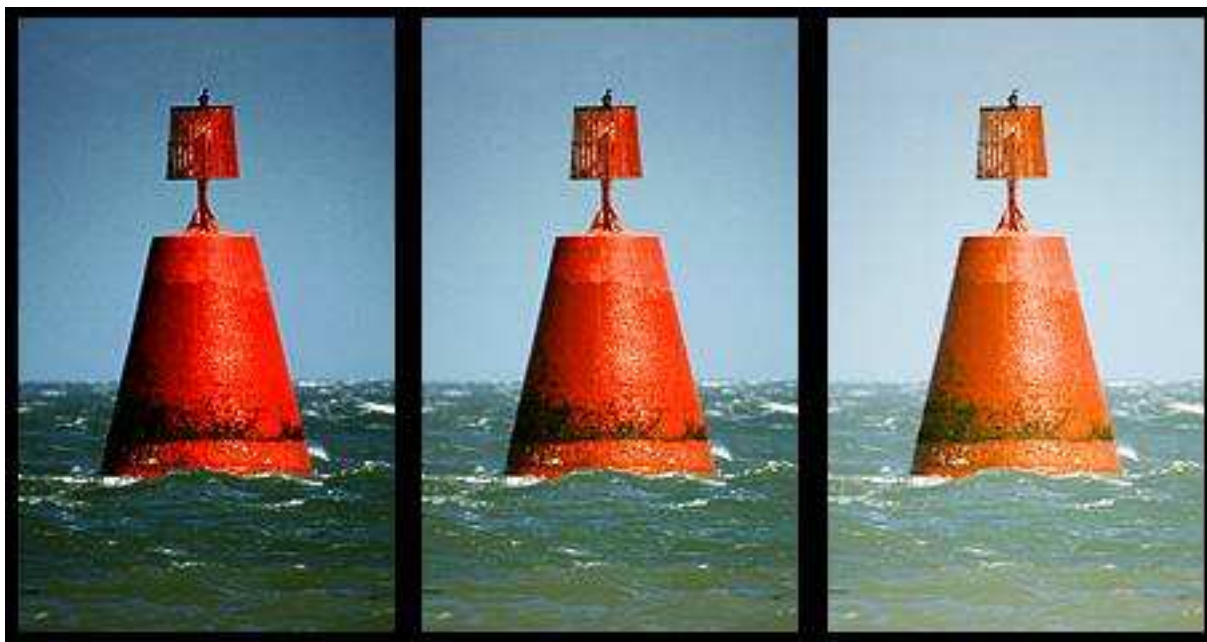
$k, K, \gamma$  .. konstante, tipično za monitor  $\gamma = 2.5$

## LUT - tablice



## Gamma korekcija

- podatak o korekciji načinjenoj na slici često nije predviđen u zapisu slike (za slike na Internetu često se pretpostavi  $\gamma$  i slike su korigirane)
- odabir intenziteta
  - <http://www.tsi.enst.fr/~brettel/TESTS/Gamma/Gamma.html>
  - <http://epaperpress.com/monitorcal/index.html>
  - <http://tams-www.informatik.uni-hamburg.de/applets/hades/webdemos/00-intro/02-imageprocessing/gamma.html>



## HDR – veliki dinamički raspon boja (High Dynamic Range)

- 8 bita po boji (0-255) za visoko kvalitetan prikaz često nije dovoljno
- dolazi do izražaja na mjestima gdje se izvori svjetla vide izravno
- primjer kod fotografija:
  - promjenom kontrasta jedne slike nećemo dobiti dobre rezultate



kombinacija slika različitih osvjetljenja (ekspozicija) kako bi se ostvario rezultat  
→ s dobro vidljivim sjenama (tamno) i vidljivim zelenilom kroz prozor (svjetlo)

# HDR

- vidimo detalje ili u osvijetljenom dijelu ili u pozadini



- povećanje raspona za dobivanje, zapis i reprodukciju komponenti boje
  - kamera, CT – 14 bita, slike generirane praćenjem zrake jesu 0.0 - 1.0
  - zapisa - OpenEXR – ILM (Industrial Light & Magic)
  - slikovni elementi - 16-bit floating-point, 32-bit floating-point, 32-bit integersklopovska podrška na grafičkim karticama
- programska podrška i postupci preslikavanja za npr. 8-bita po boji
  - izlazni uređaji – monitori, printeri