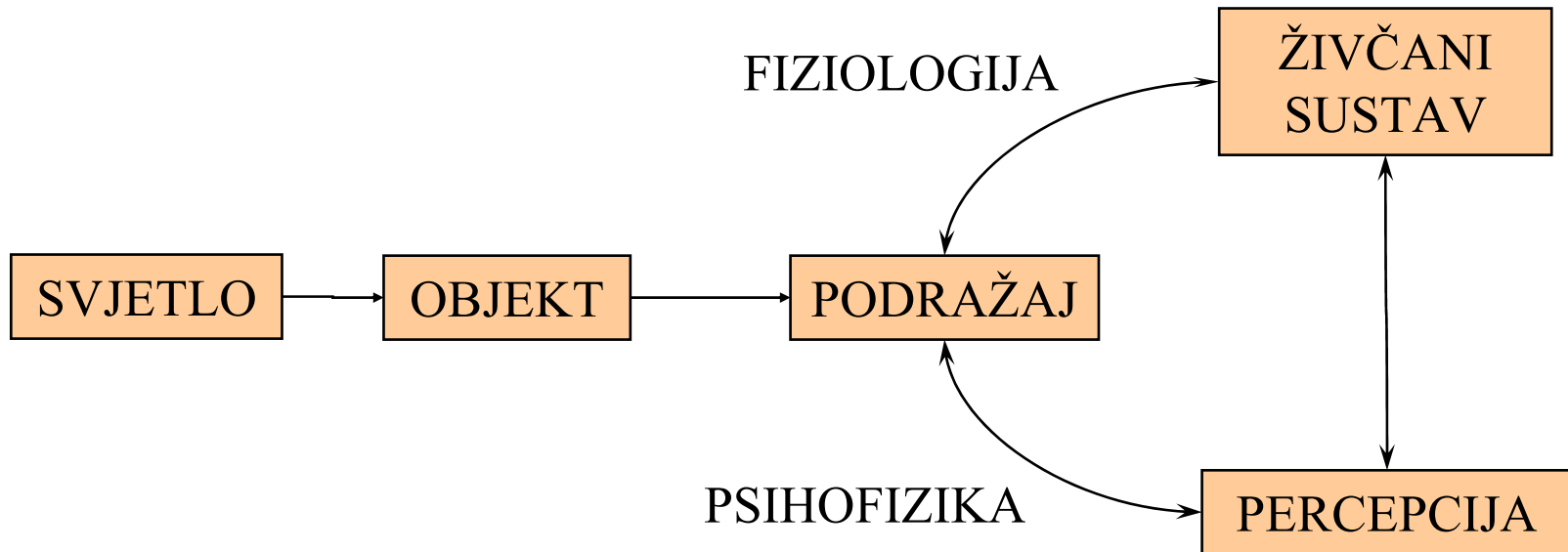


7. Boje

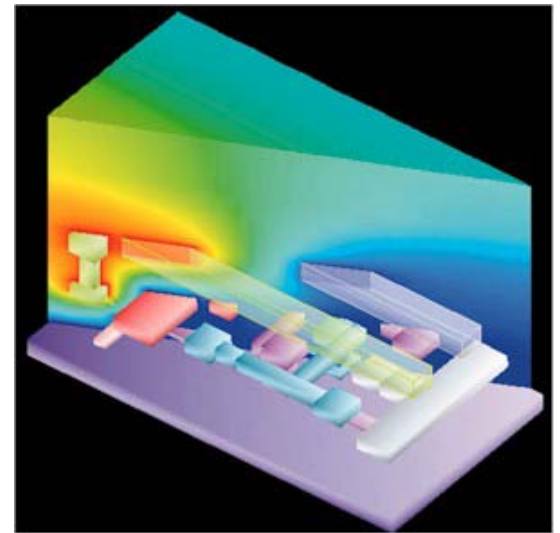
Stvaranje slike:

- osjet boje je biološki osjet

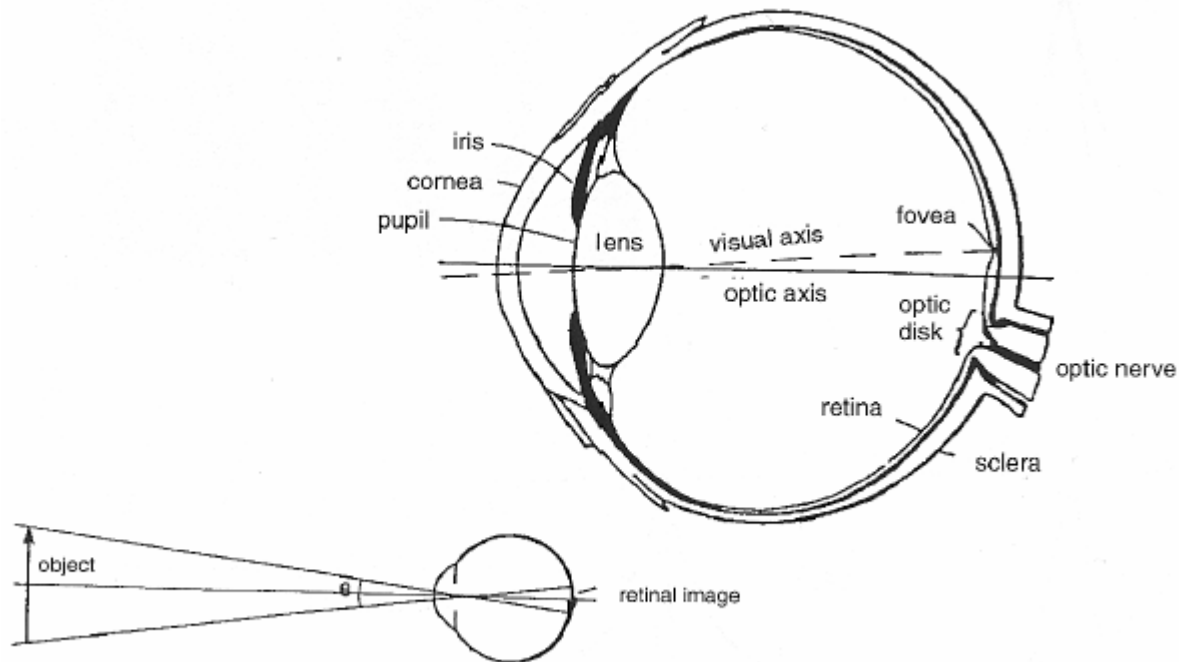


Čovjekov vid:

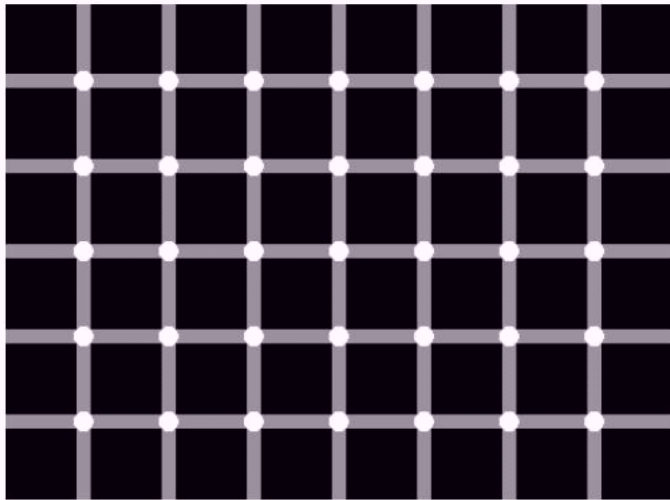
- prostorna razdioba fizikalnih veličina
- informacija predstavljena atributima kao što su svjetlina, boja, rubovi
- boja je rezultat interakcije svjetlosti s živčanim sustavom čovjeka (podražaj počinje s 5 fotona), boja je subjektivni psihički doživljaj, ista boja može dati različiti psihički doživljaj ovisno o prilagođenosti oka
- čovjek razlikuje 10 milijuna boja
- boje se češće koriste u kvalitativnom nego u kvantitativnom smislu
- pridjeljivanje različitog značenja boji



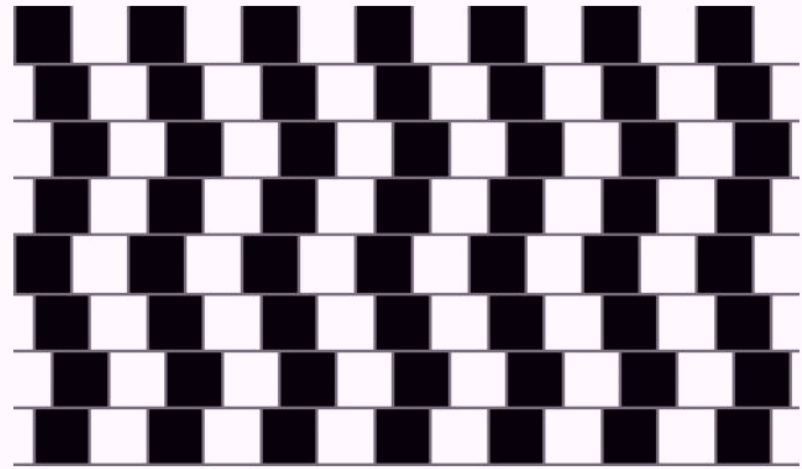
- slika se formira na mrežnici (retini) gdje se nalaze dvije vrste fotoreceptora osjetljivih na svjetlost
 - štapići - ~ 10 milijuna, uski i dugački, aktivni pri slaboj svjetlosti
 - čunjići - ~ 6.5 milijuna, manje osjetljivi, prema tropodražajnoj teoriji postoje tri vrste čunjića (boja)
 - daltonizam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



Ljudsko oko:



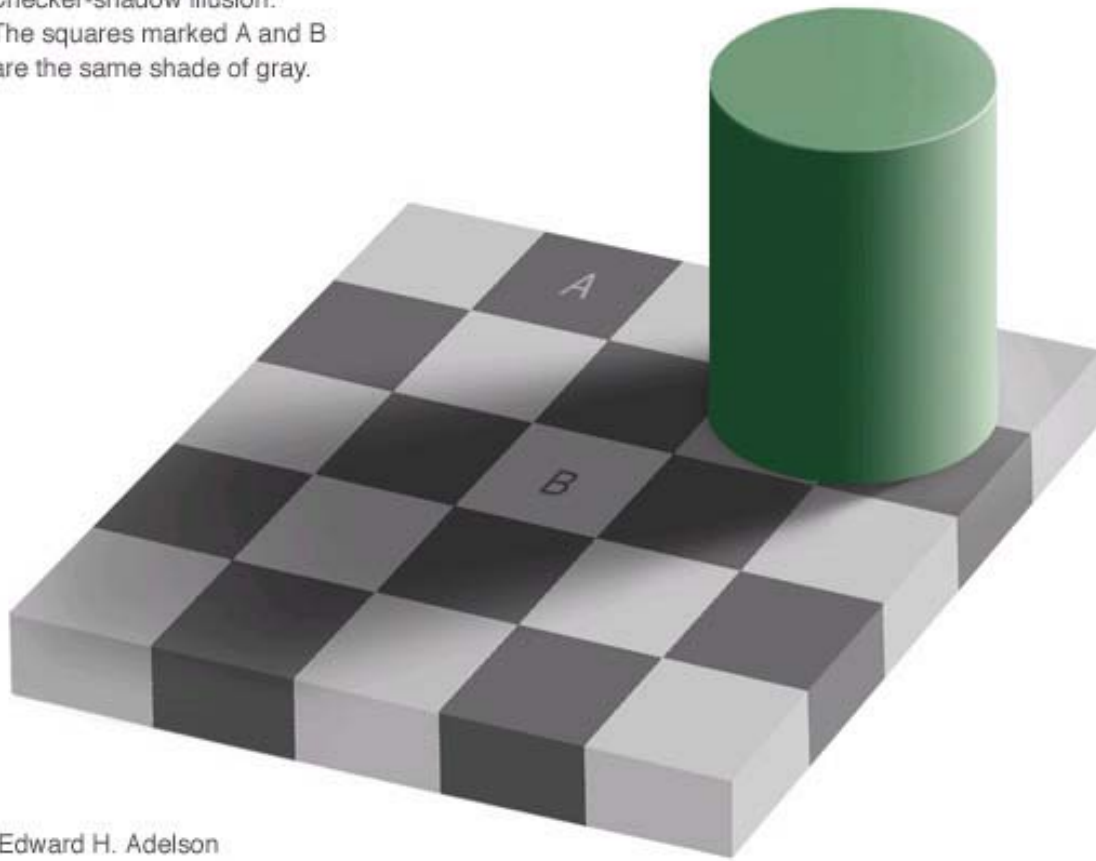
Count the black dots! :o)



Are the horizontal lines parallel or do they slope?

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

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

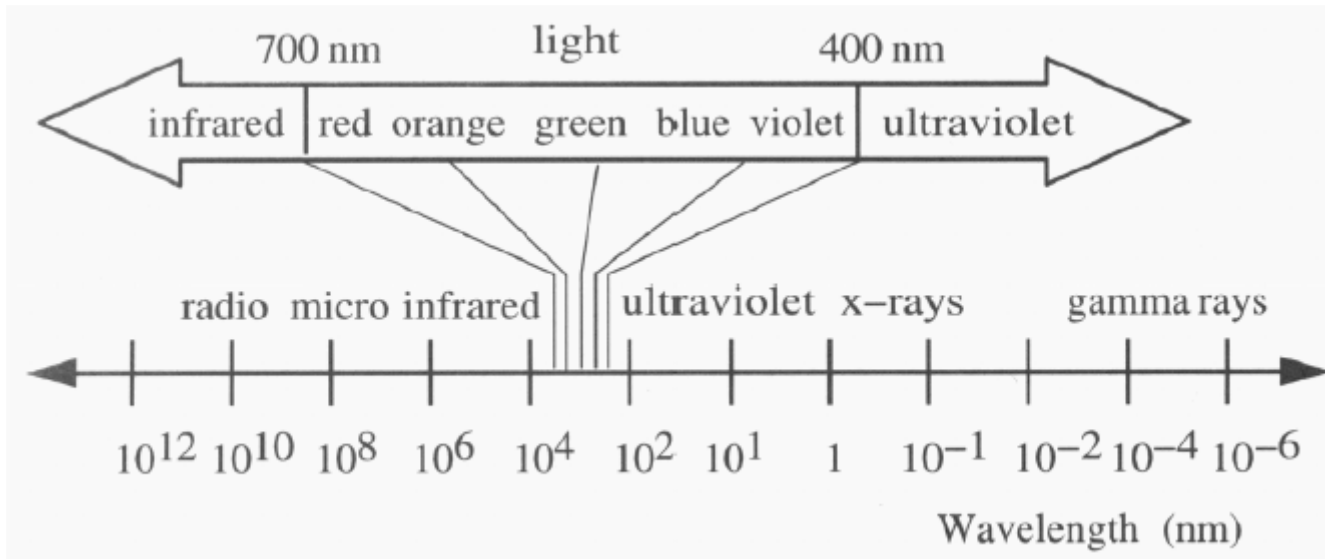


Edward H. Adelson

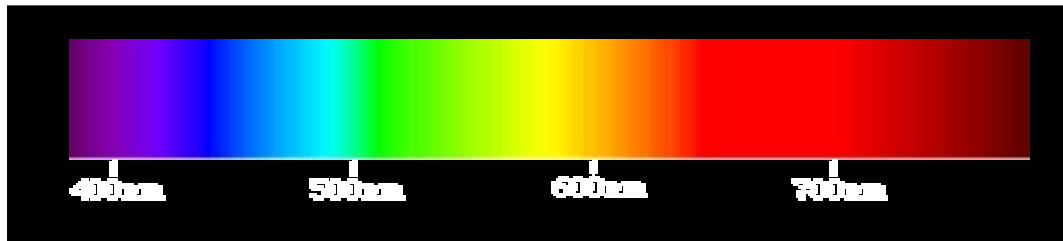
Svjetlost je elektromagnetsko zračenja

Vidljivi spektar ~ 400 – 700 nm

http://www.colorado.edu/physics/2000/waves_particles/index.html



Vidljivi spektar ~ 400 – 700 nm



spektralna boja:

valna dužina:

ljubičasta

400 – 450

plava

450 – 500

zelena

500 – 570

žuta

570 – 590

narančasta

590 – 610

crvena

610 – 700

Sustavi boja

- RGB 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/applet/s/spectrum/two_materials_java_browser.html

RGB – sustav

R – red

G – green

B – blue

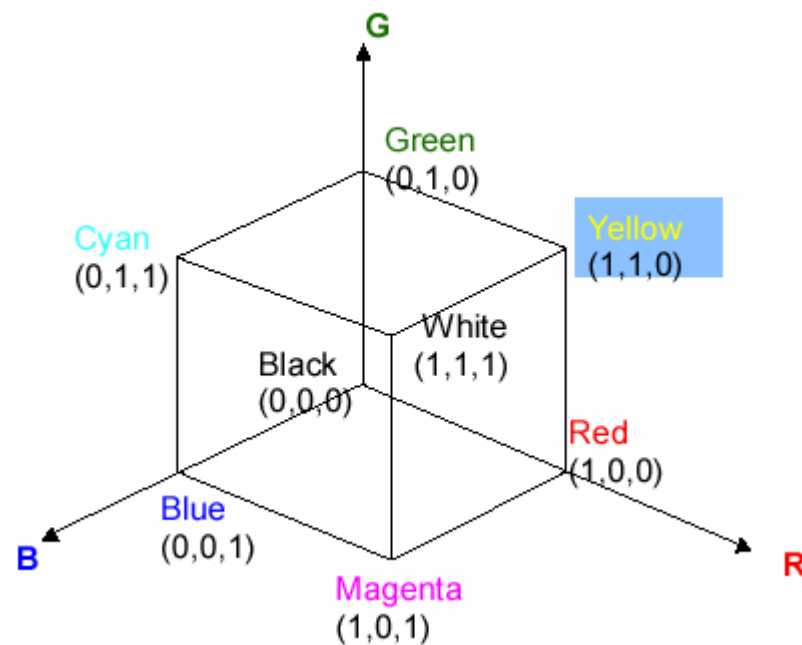
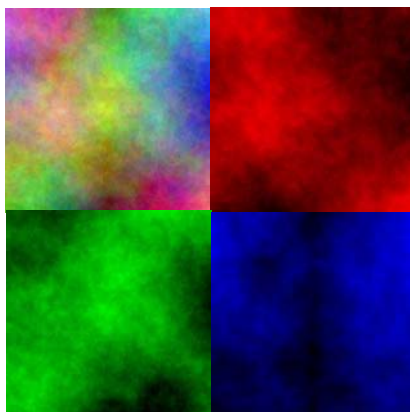
* http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/a_spaces.html

– aditivni sustav boja

– smjesa tri primarne boje RGB

$256 \times 256 \times 256 = 16.777.216$

256 razina sive



CMYK – sustav

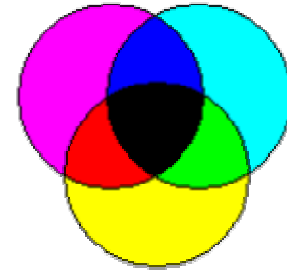
C – cyan

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://www.cs.brown.edu/exploratories/freeSoftware/repository/edu/brown/cs/exploratories/applet/s/combinedColorMixing/combined_color_mixing_java_browser.html

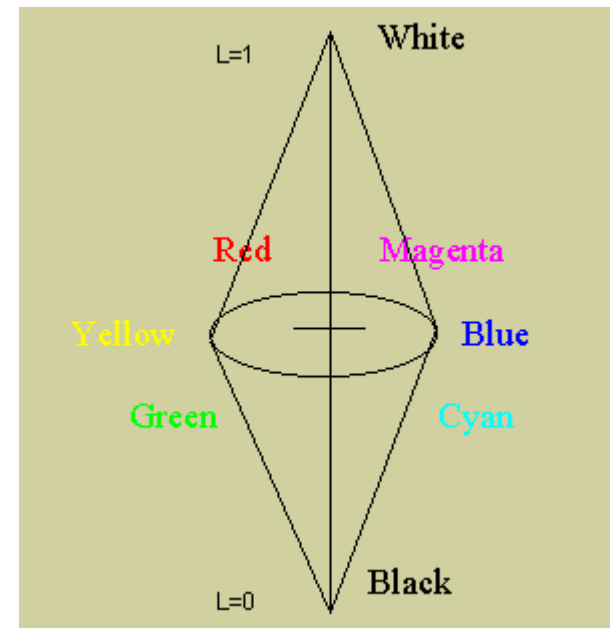
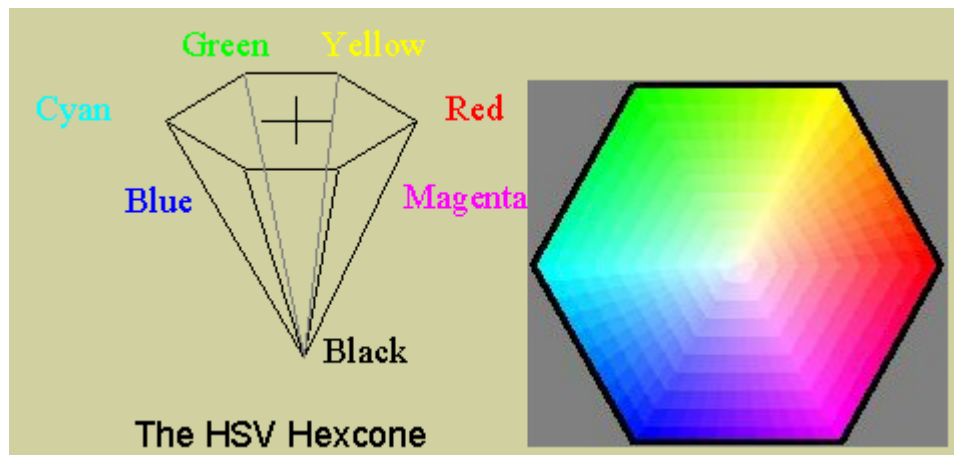
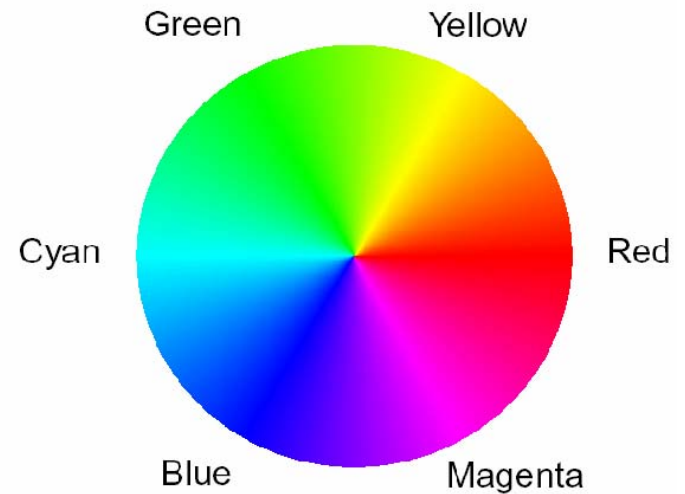
HLS, HIS, HSV – sustav

H (hue) nijansa boje, tonalnost,
ime spektralne boje

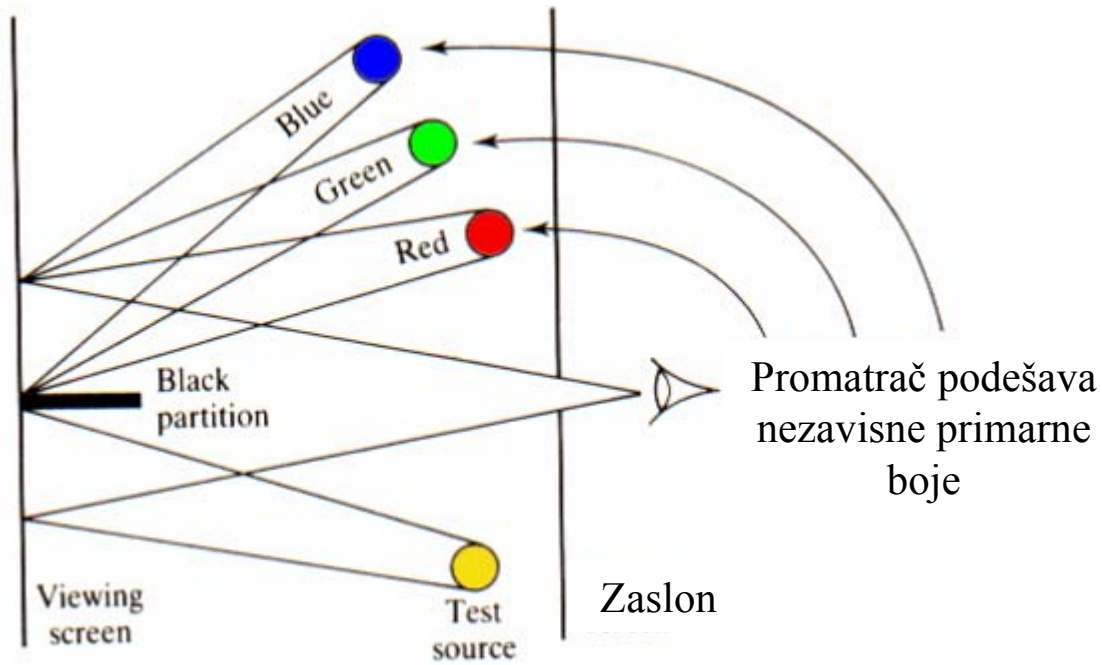
L (lightness, luminance) svjetlina,

I (intensity) intenzitet

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

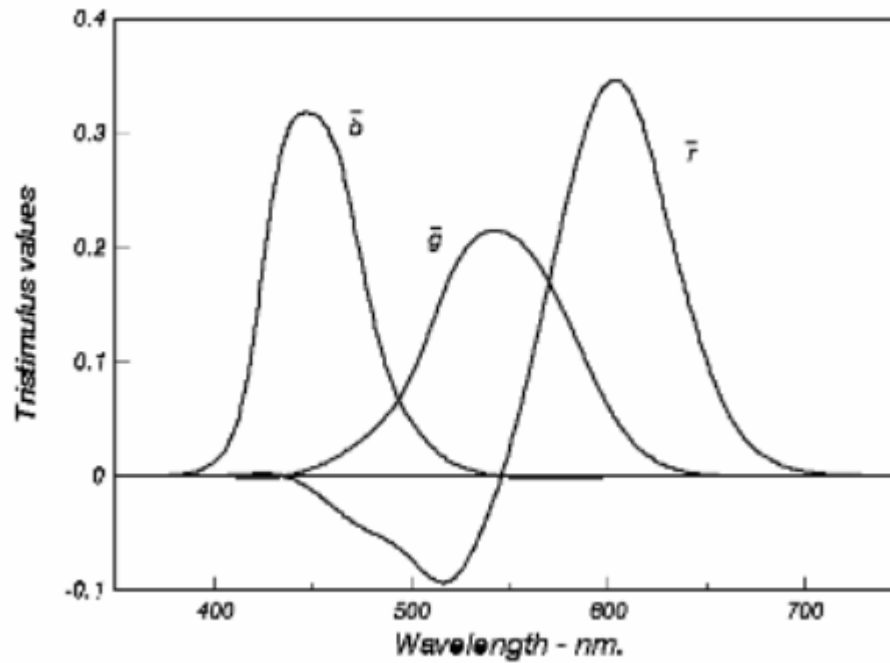


Pokus podudaranja boja



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

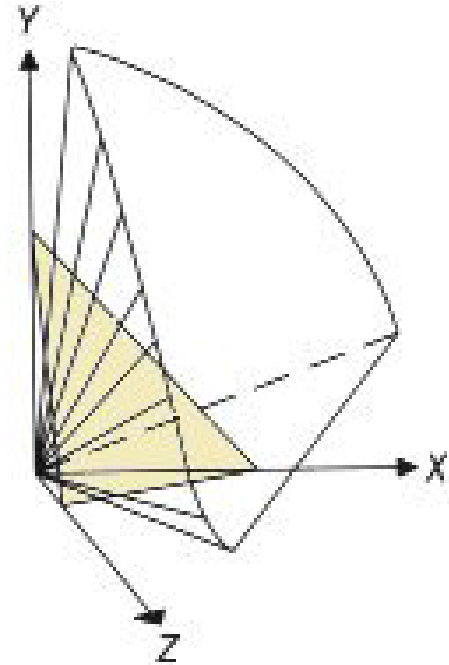
- definira tri primarne hipotetske boje koje ne postoje i nisu vidljive, kako bi se izbjegli negativni koeficijenti
- boja se označava s XYZ
- koordinate kromatičnosti $x y z$
- projekcija na XY ravninu daje dijagram kromatičnosti

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

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

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

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



rub potkove označava (eng. spectral locus)

- krivulju spektralnih boja

ravna linija određuje

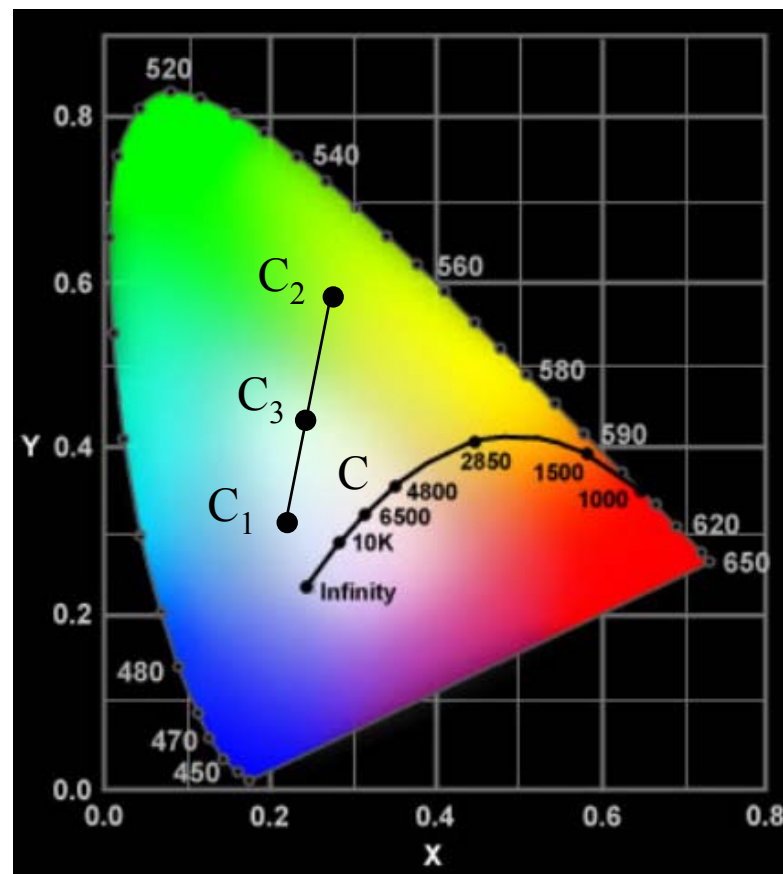
- dužinu purpurne boje
(nespektralne boje) Npr. duga.

boje u unutrašnjosti

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

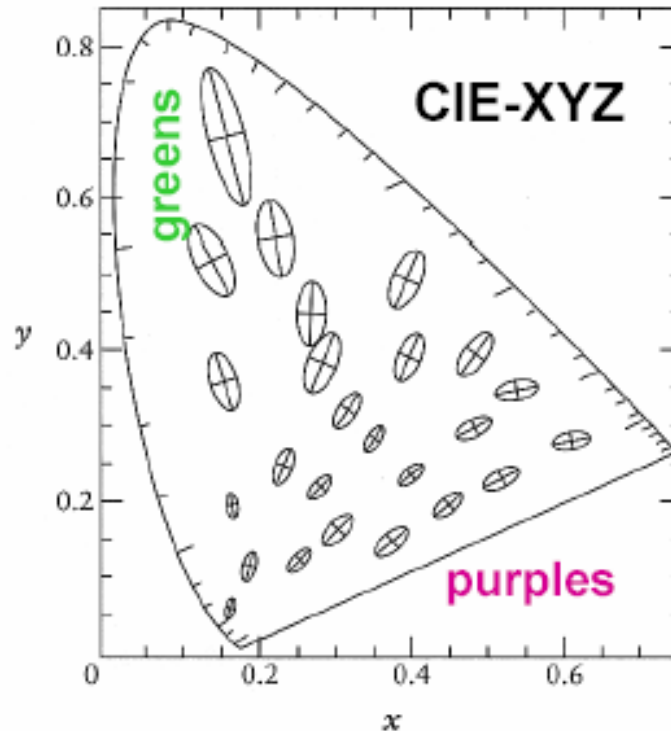
spektar zračenja crnog tijela

- boja užarenog karbona
- dnevna svjetlost 6500K



C – standardno bijelo svjetlo,
- neuniformna područja

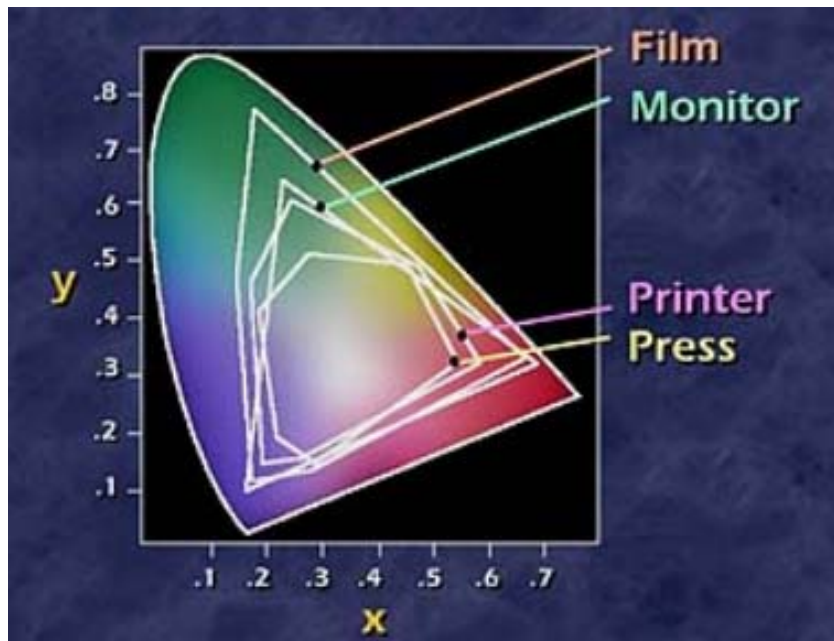
komplementarne boje su one čijim se miješanjem može dobiti bijela boja
smeđa boja - je crveno narančasta uz manju svjetlinu (lightness)



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



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 pogada fosfor

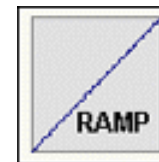
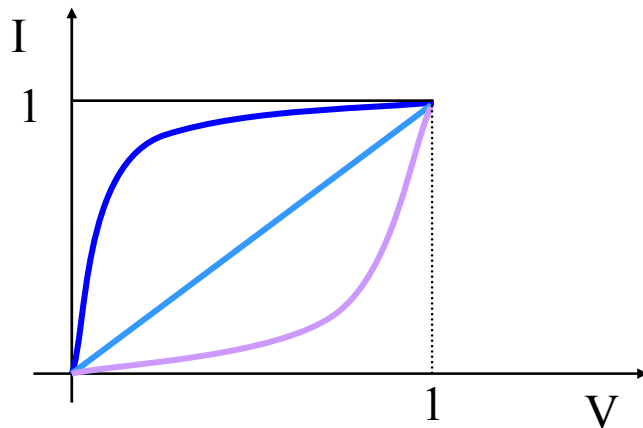
$$I = K V^\gamma$$

~ proporcionalan je naponu V,

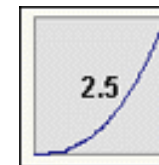
~ odnosno vrijednostima slikovnih elemenata

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

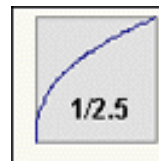
LUT - tablice



$$L \sim V$$



$$L \sim V^{2.5}$$



$$L \sim V^{1/2.5}$$

Gamma korekcija

- podatak o korekciji načinjenoj na slici često nije predviđen u zapisu slike (za slike na Internetu često se pretpostavi γ i slike su korigirane)
- odabir intenziteta
- * - <http://www.cs.berkeley.edu/~efros/java/gamma/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
programaska podrška i postupci preslikavanja za npr. 8-bitu po boji
 - izlazni uređaji – monitori, printeri