

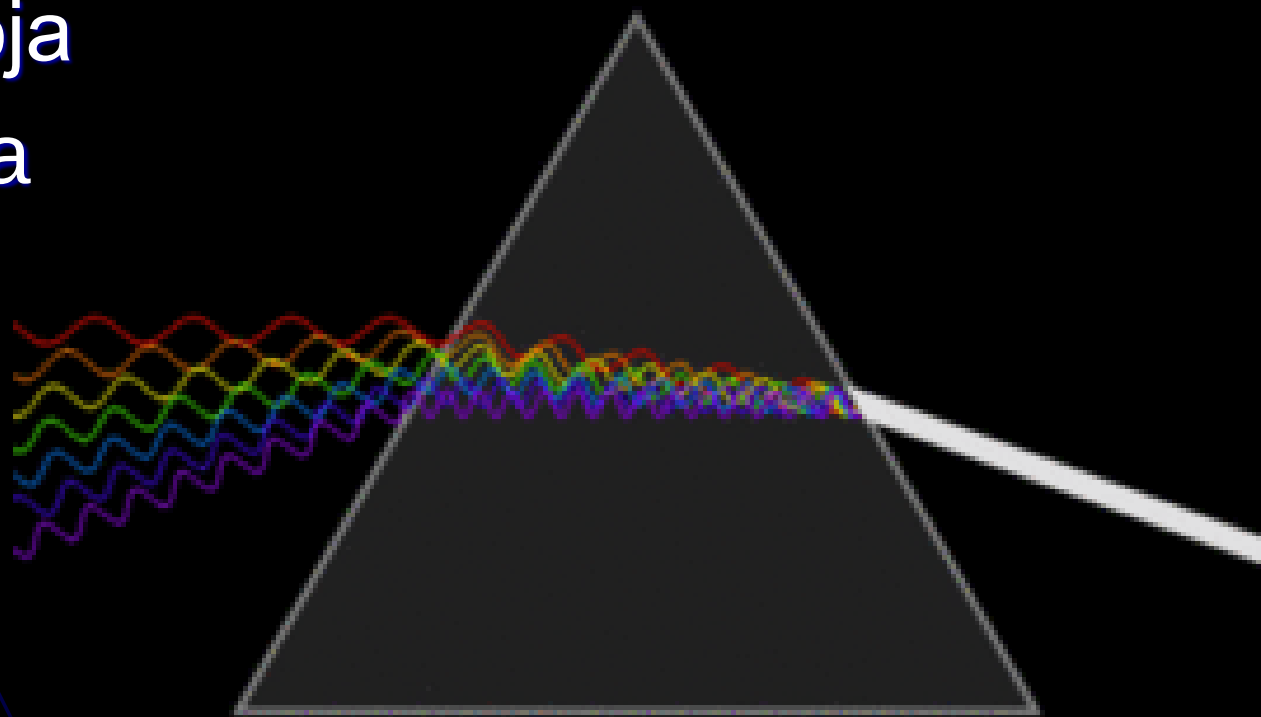


Računarska grafika

predavanja
v.prof.dr. Samir Lemeš
slemes@unze.ba

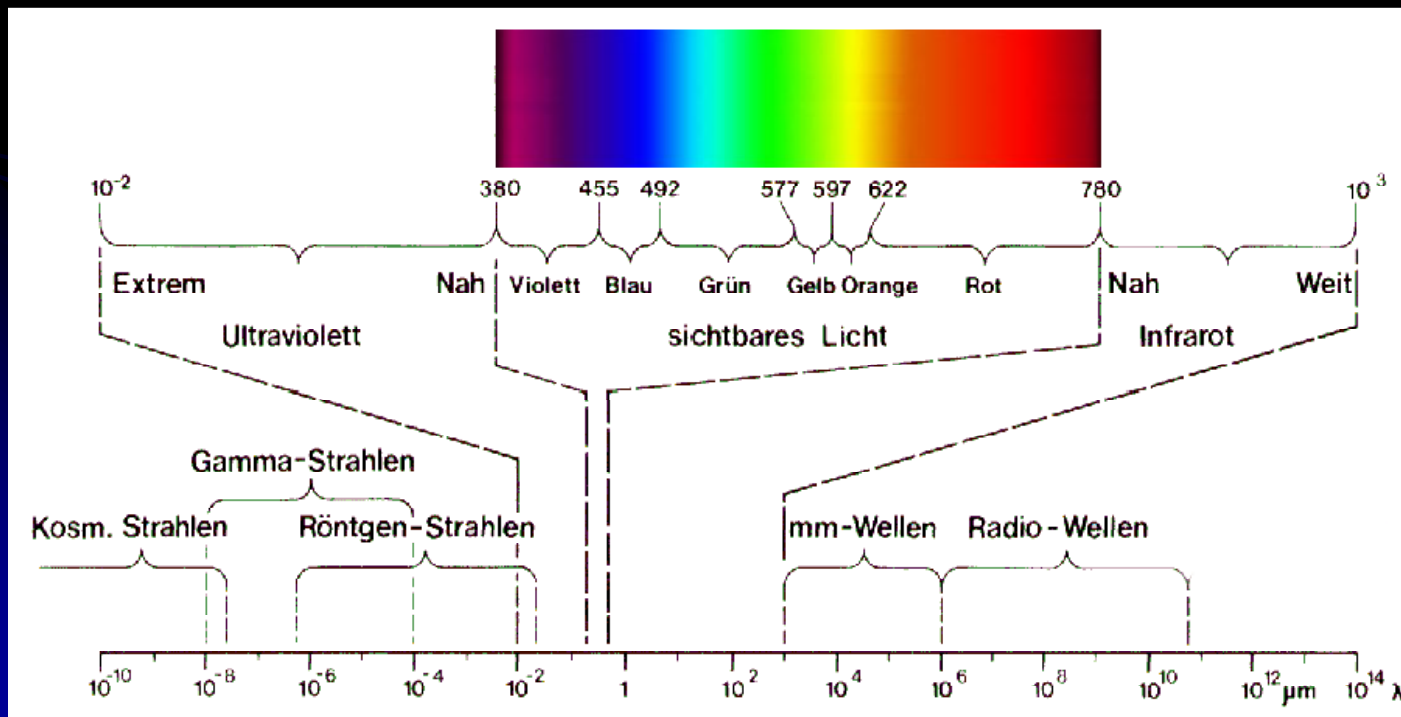
Svjetlost

- Svjetlost
- Percepcija svjetlosti
- Miješanje boja
- Osobine boja
- Gamut



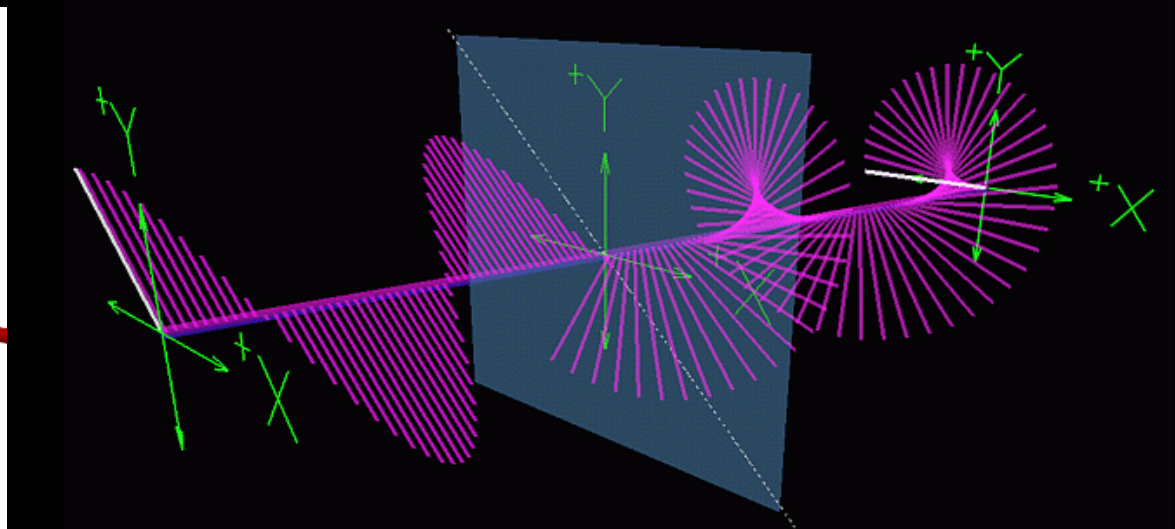
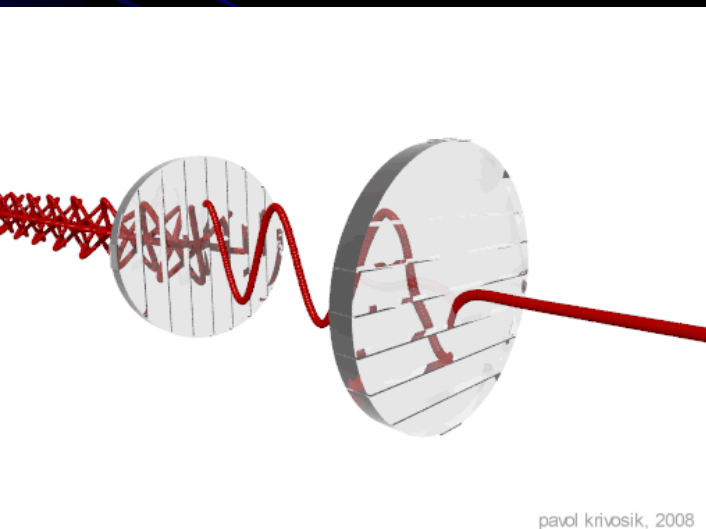
Svjetlost

- Vidljiva svjetlost je dio spektra elektromagnetnog zračenja talasnih dužina od 400-700 nm ($f = 430\text{-}770\text{ THz}$)



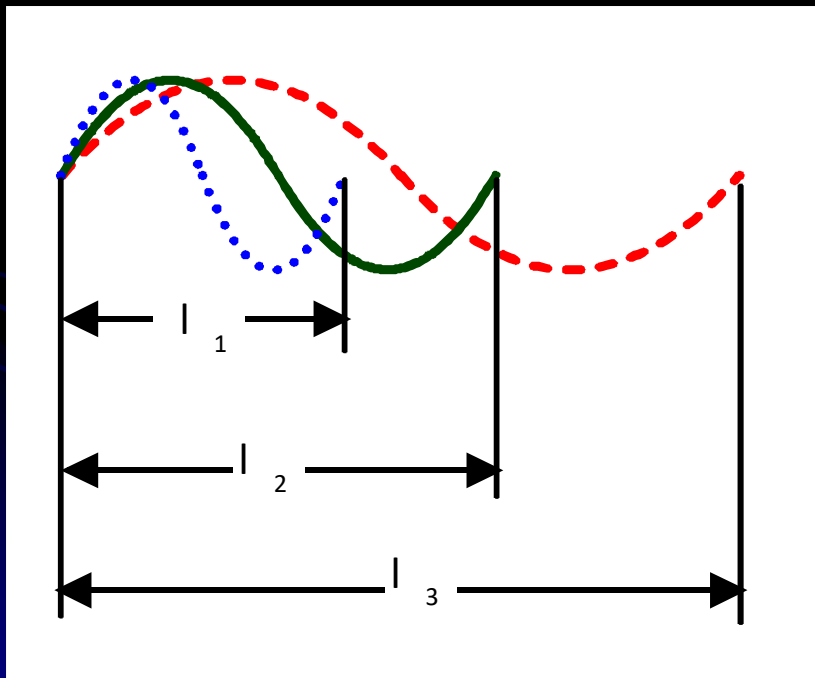
Svjetlost

- Svjetlost se emituje i prenosi u malim paketima energije (fotoni).
- Osnovne osobine svjetlosti su intenzitet, smjer propagacije, frekvencija (talasna dužina), te polarizacija.

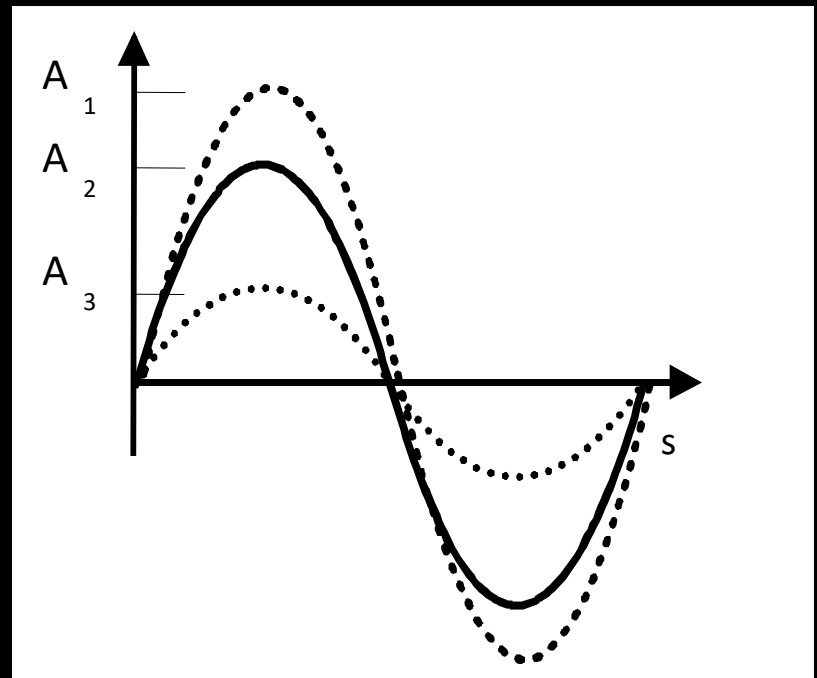


Svjetlost

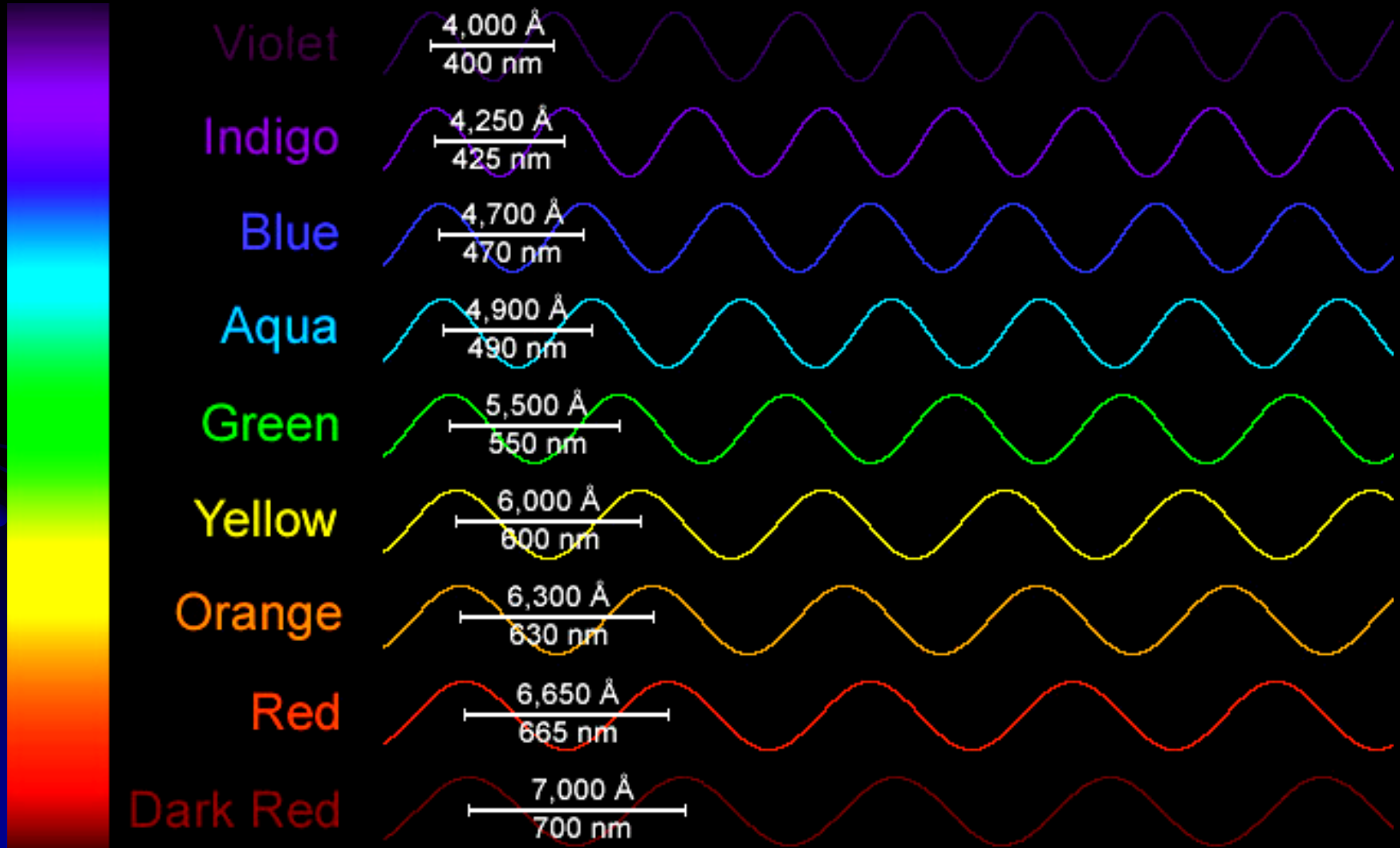
- Talasna dužina određuje boju



- Amplituda određuje intenzitet svjetla

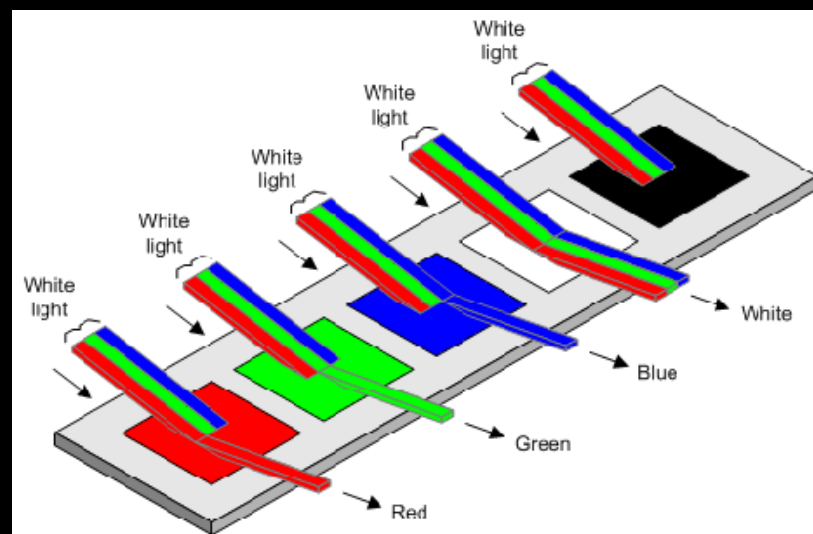


Svjetlost



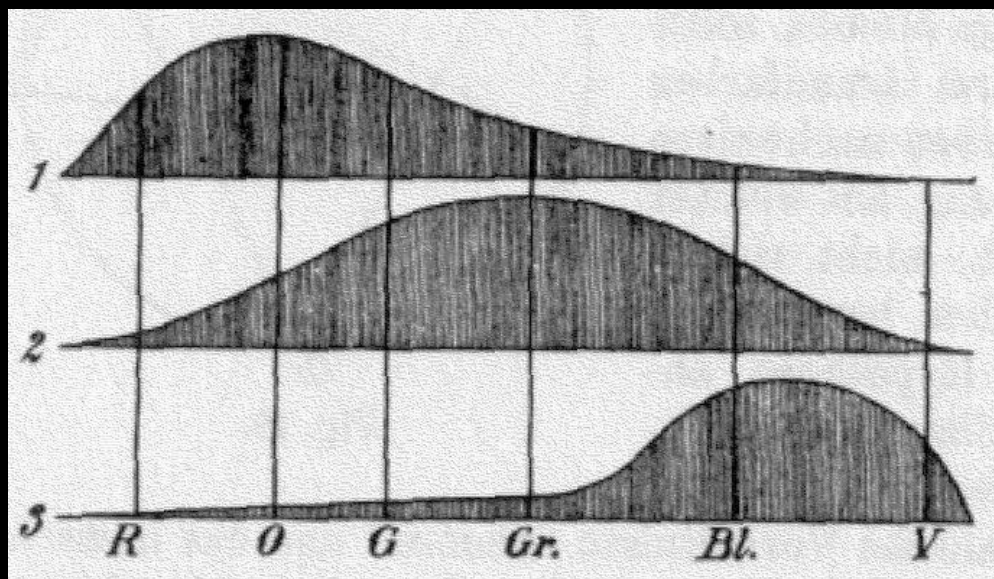
Percepcija svjetlosti

- Za postojanje boje potrebne su tri komponente: posmatrač, objekat i svjetlost.
- Iako se čista bijela svjetlost vidi kao da nema boja, ona u stvari sadrži sve boje vidljivog spektra.
- Kad bijela svjetlost osvjetli objekat, on selektivno blokira neke boje a reflektuje (odbija) druge.
- Samo reflektovane boje doprinose percepciji boja od strane posmatrača.
- Pigment je hemikalija koja apsorbira jednu ili više boja (frekvencija svjetlosti).



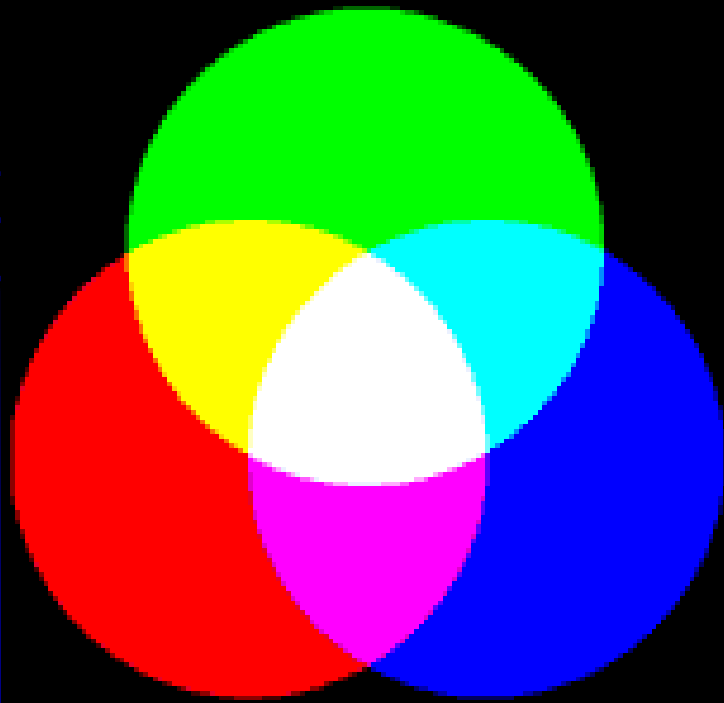
Percepcija svjetlosti

- Percepcija svjetlosti je bila predmet naučne rasprave kroz historiju: od fizičkog objašnjenja *Newtona* (1671), psihološkog *Goethea* (1810), do trihromatske teorije (*Young–Helmholtz* 1802-1850) koja je eksperimentalno potvrđena tek 1956.
- Ljudsko oko sadrži tri vrste ćelija koje registruju boje.
- Zato boju definišemo sa 3 komponente.

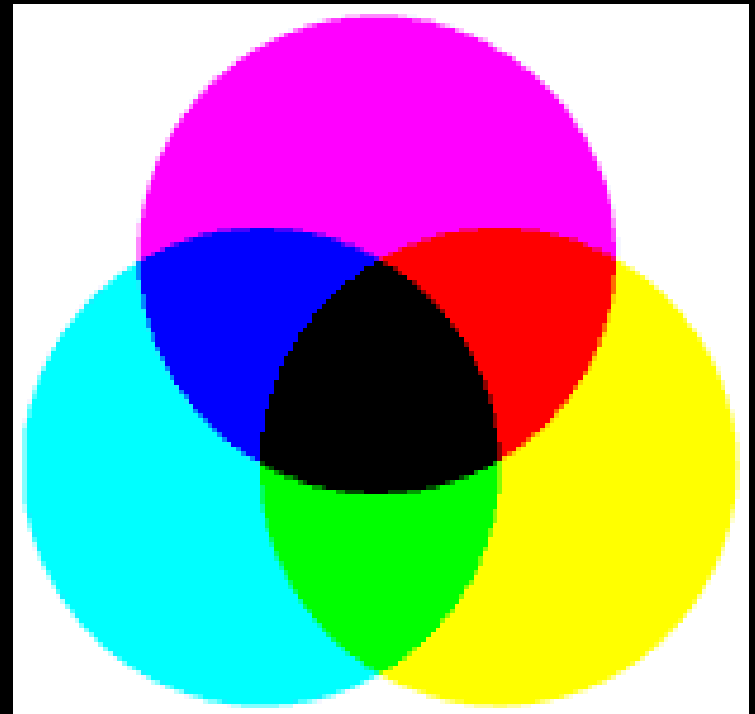


Miješanje boja

- Aditivno
- Dodaje svjetlost na tamnu podlogu



- Subtraktivno
- Pigmentima blokira bijelu svjetlost



Miješanje boja

- Primarne aditivne boje:

- Crvena (Red)
- Zelena (Green)
- Plava (Blue)

- Monitor

- Emituje svjetlo

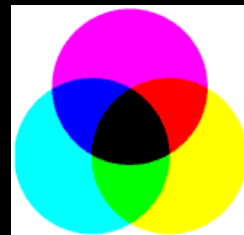


- Primarne subtraktivne boje:

- Plava (Cyan)
- Ljubičasta (Magenta)
- Žuta (Yellow)

- Printer

- Apsorbuje svjetlo



Additive Color Mixing

Red + Green	→	Yellow
Green + Blue	→	Cyan
Blue + Red	→	Magenta
Red + Green + Blue	→	White

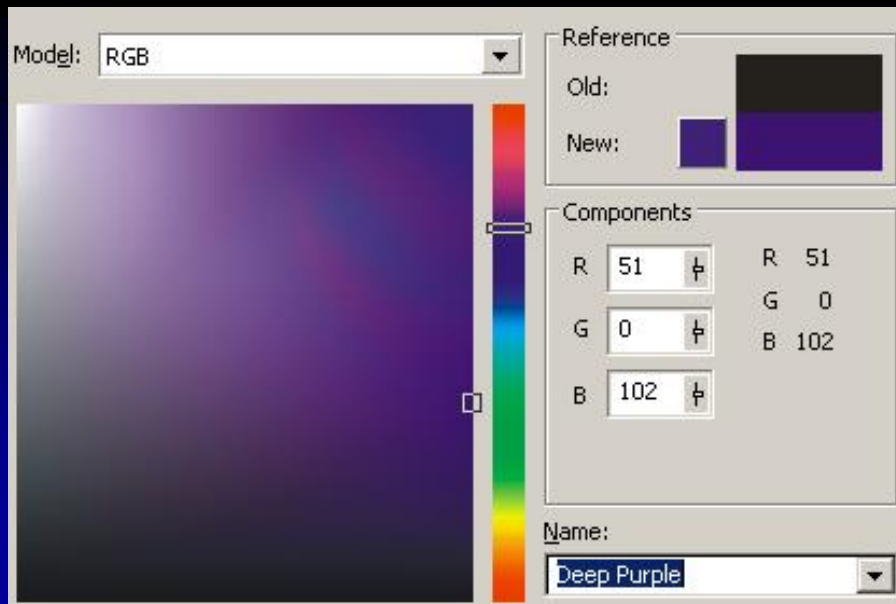
Subtractive Color Mixing

Cyan + Magenta	→	Blue
Magenta + Yellow	→	Red
Yellow + Cyan	→	Green
Cyan + Magenta + Yellow	→	Black

Miješanje boja

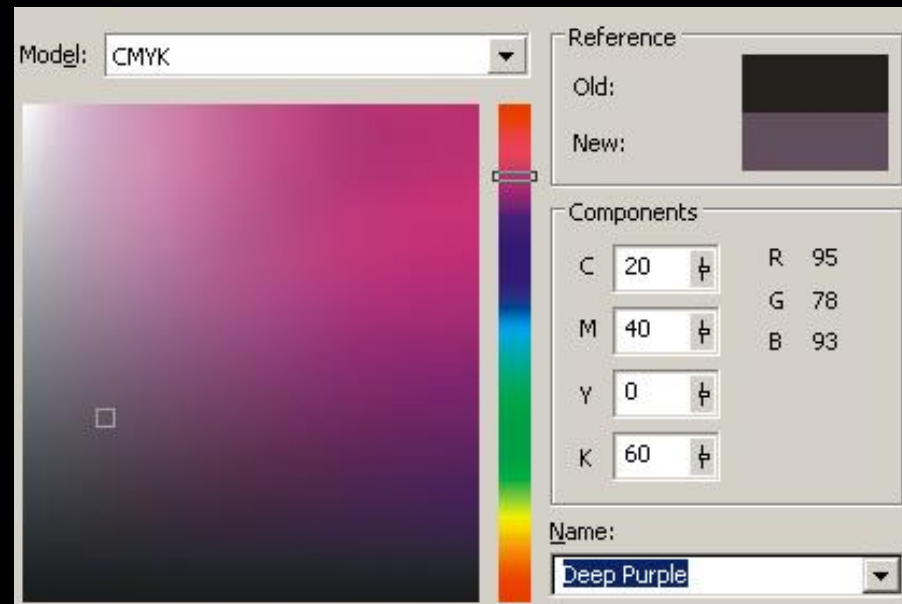
- RGB

- Red (crvena)
- Green (zelena)
- Blue (plava)



- CMYK

- Plava (Cyan)
- Ljubičasta (Magenta)
- Žuta (Yellow)
- Crna (black)



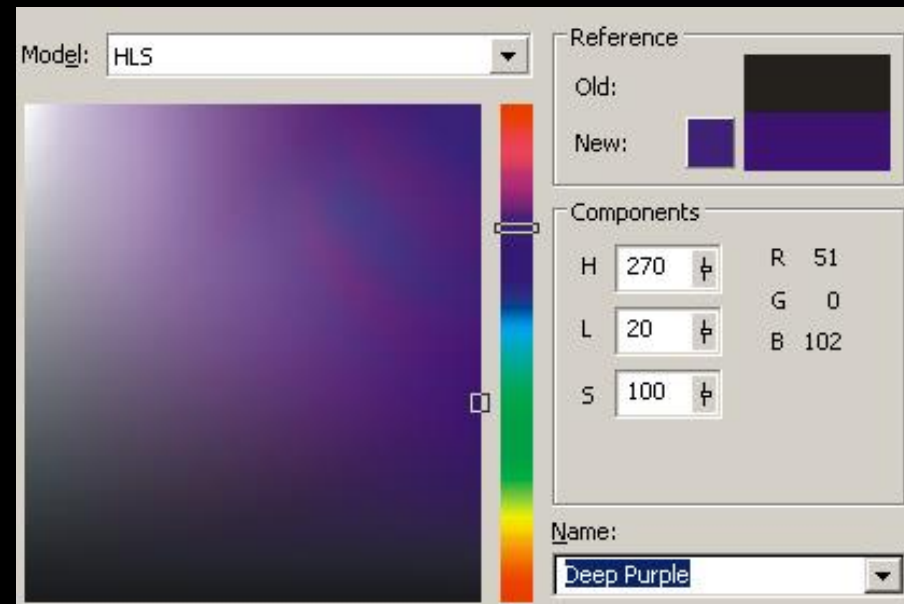
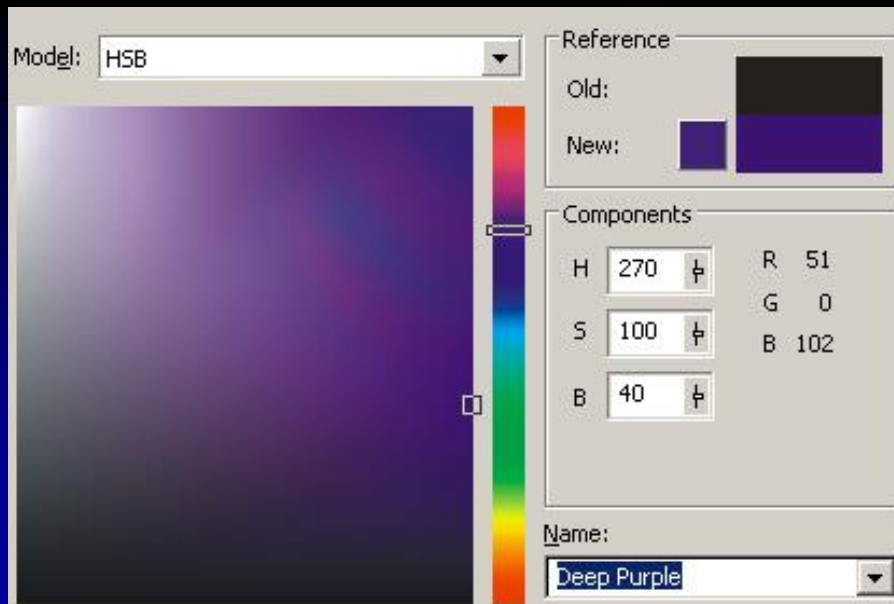
Miješanje boja

- HSB

- Hue (nijansa)
- Saturation (zasićenost)
- Brightness (intenzitet)

- HLS

- Hue (nijansa)
- Ligthness (osvijetljenost)
- Saturation (zasićenost)

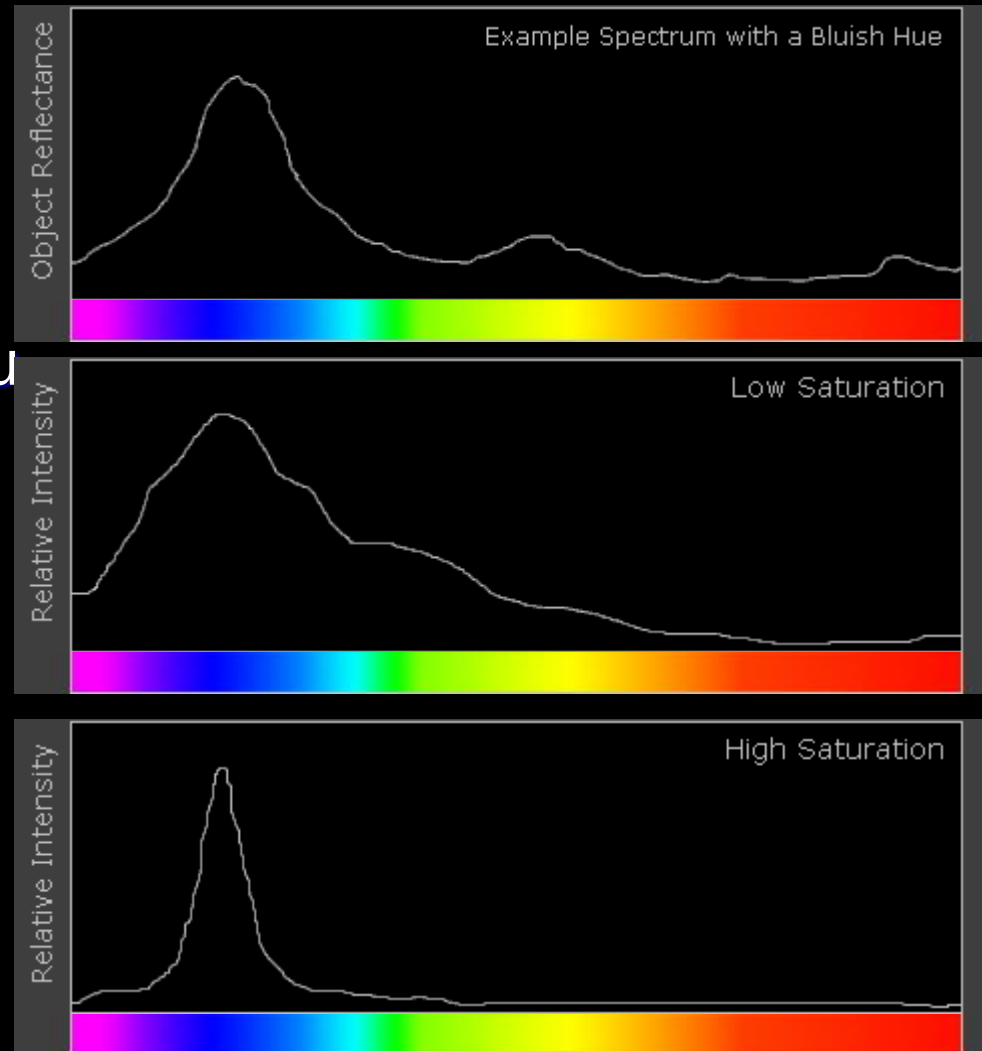


Osobine boja

- *Hue* (nijansa boje, tonalnost, ime spektralne boje, talasna dužina)
- *Saturation* (zasićenost - koliko je boju razrijedila bijela odnosno siva svjetlost)
- *Brightness* (intenzitet)
- *Lighthness, Luminance* (osvijetljenost)
- *Contrast* (kontrast – odnos tamno/svijetlo)

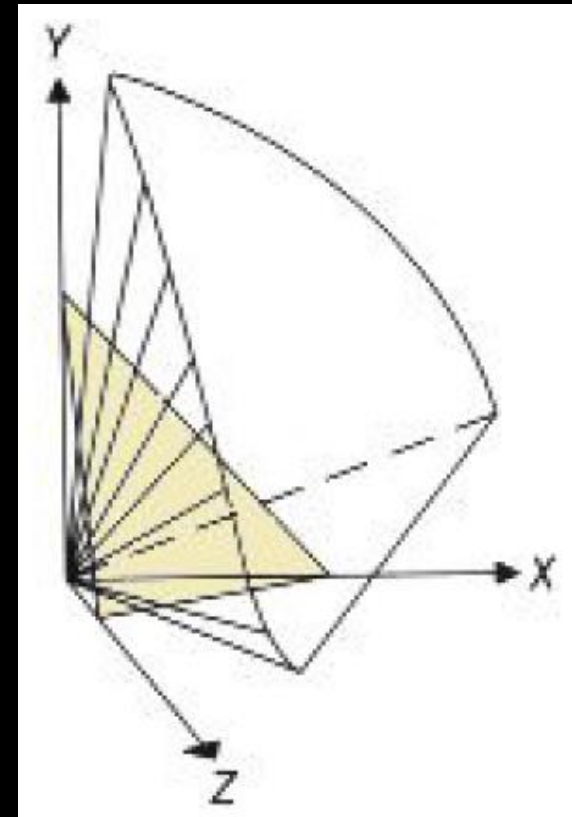
Osobine boja

- U prirodi boje nemaju samo jednu talasnu dužinu.
- Boja koju vidimo je najdominantnija u spektru
- Zasićenost predstavlja čistoću boje.
- Čišća boja ima uži spektar (manje drugih nijansi u spektru).



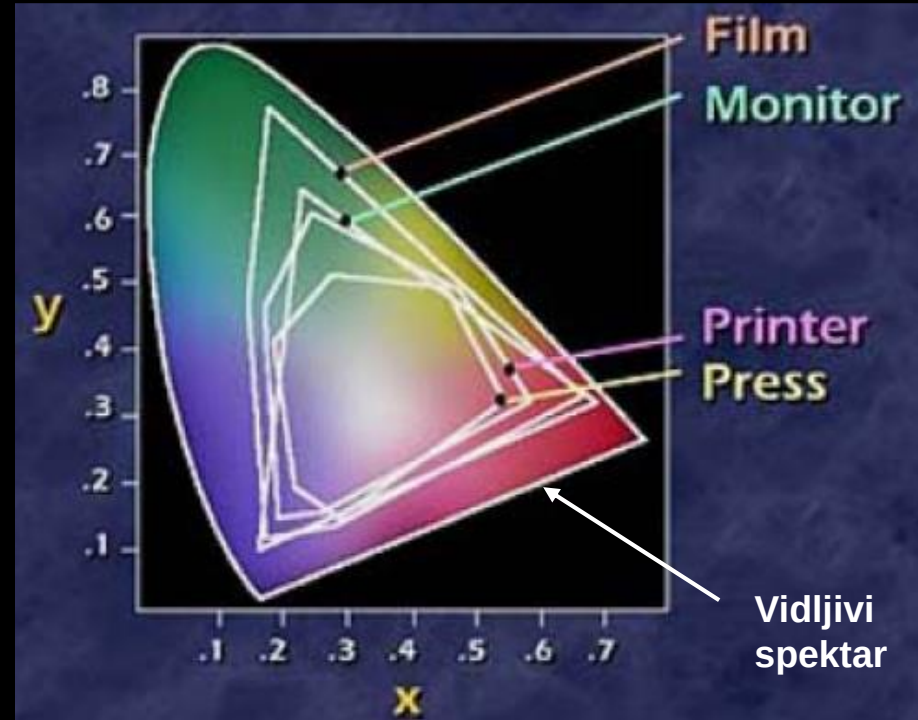
Gamut

- U teoriji boja, gamut je dio prostora boja (paleta boja) koji se može reprodukovati nekim uređajem.
- Ako se neke boje ne mogu dobiti miješanjem komponenti korištenog modela boja, kaže se da su izvan gamuta.
- Čista crvena boja je izvan CMYK gamuta.



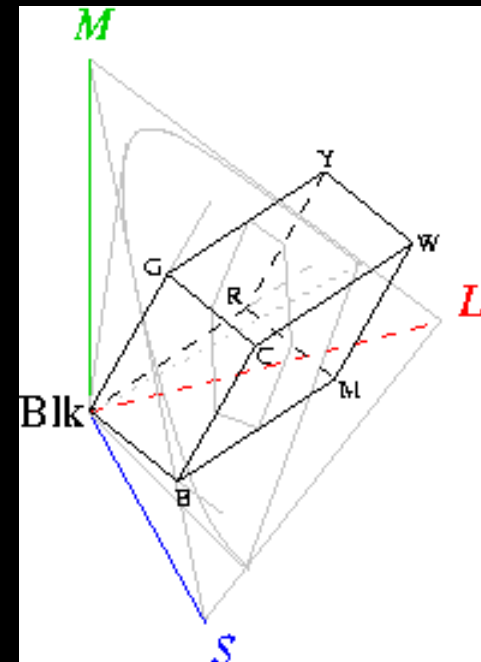
Gamut

- CIE (franc. *Commission Internationale de l'Eclairage*, engl. *International Commission on Illumination*) je usvojila dijagram za uobičajeno predstavljanje gamuta.



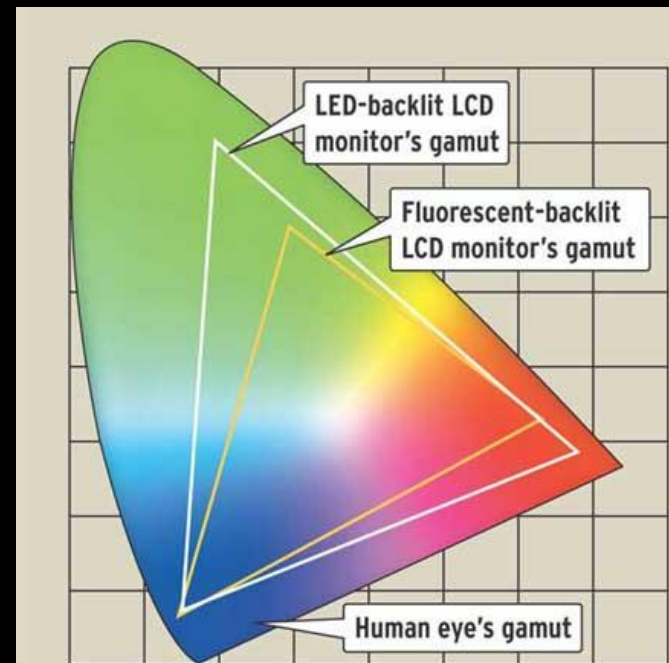
Gamut

- Dijagram kromatičnosti
 - Definiše tri primarne hipotetske boje koje ne postoje i nisu vidljive,
 - boja se označava s XYZ
 - projekcija na XY ravninu daje dijagram kromatičnosti.
- Gamut zavisi od osvjetljenosti; zato se mora prikazivati u 3 dimenzije.



Gamut

- LCD displeji filtriraju svjetlost pozadinskog osvjetljenja; njihov gamut je ograničen spektrom emitovane pozadinske svjetlosti.
- Tipični LCD displeji koriste fluorescetne lampe s hladnom katodom (CCFL) za pozadinsko osvjetljenje.
- Gamut LCD-a zavisi i od ugla posmatranja.



Boja je važna!

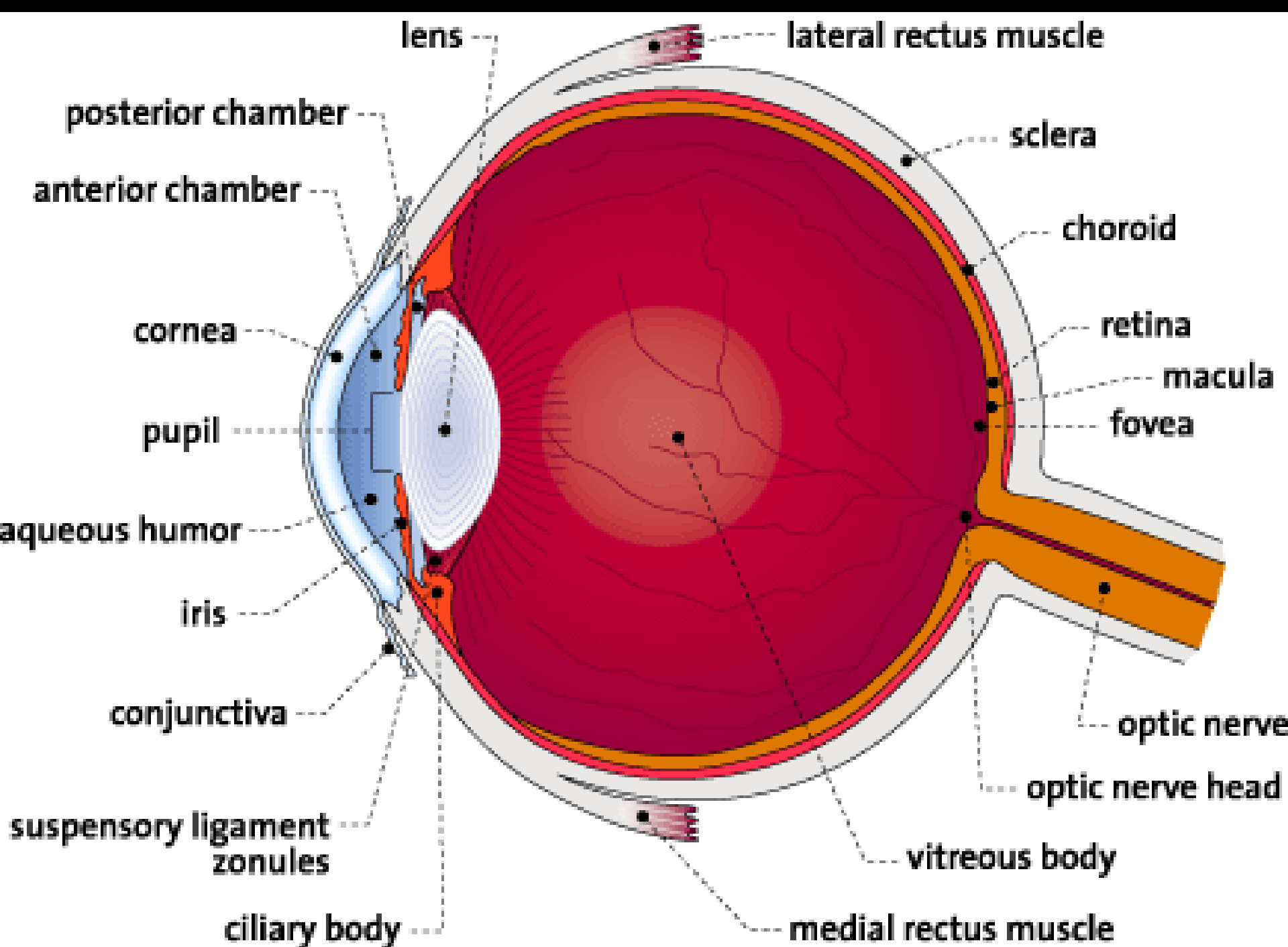
- Crveni auti su brži od ostalih! ;-)



Ljudsko oko

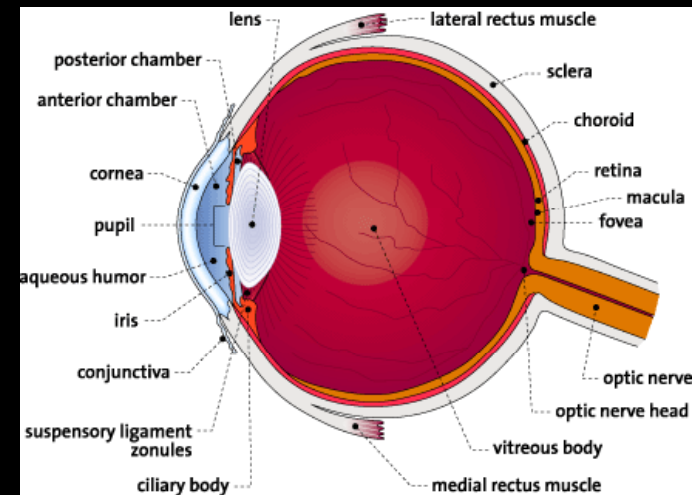
- Anatomija ljudskog oka
- Percepcija svjetlosti
- Poremećaji vida





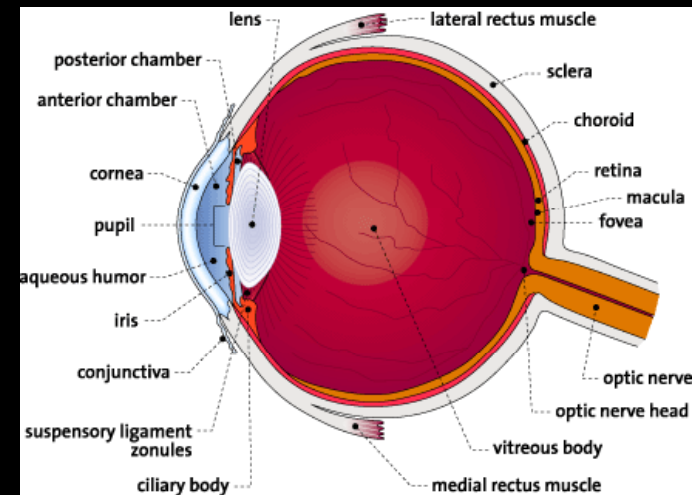
Anatomija ljudskog oka

- Svjetlost ulazi u oko kroz rožnjaču (*cornea*).
- Količina svjetla koja ulazi se kontroliše pomoću zjenice (*pupil*). Mišići irisa je smanjuju i povećavaju po potrebi.
- Svjetlost se lećom (*lens*) fokusira na retinu, koja se sastoji od niza fotoosjetljivih ćelija na zadnjem dijelu oka.
- Retina (*mrežnjača*) šalje signale o registrovanoj slici optičkim nervom u mozak.



Anatomija ljudskog oka

- Unutrašnjost oka je ispunjena staklastom tečnošću (*vitreous body*).
- Između retine i leće nalazi se vodena tečnost sa šećerima, proteinima i solima.
- Konjuktiva je tanka mukoza (glatki mišić) koja pokriva rožnjaču.
- Sklera (bionjača) je bijeli očni omotač.



Anatomija ljudskog oka

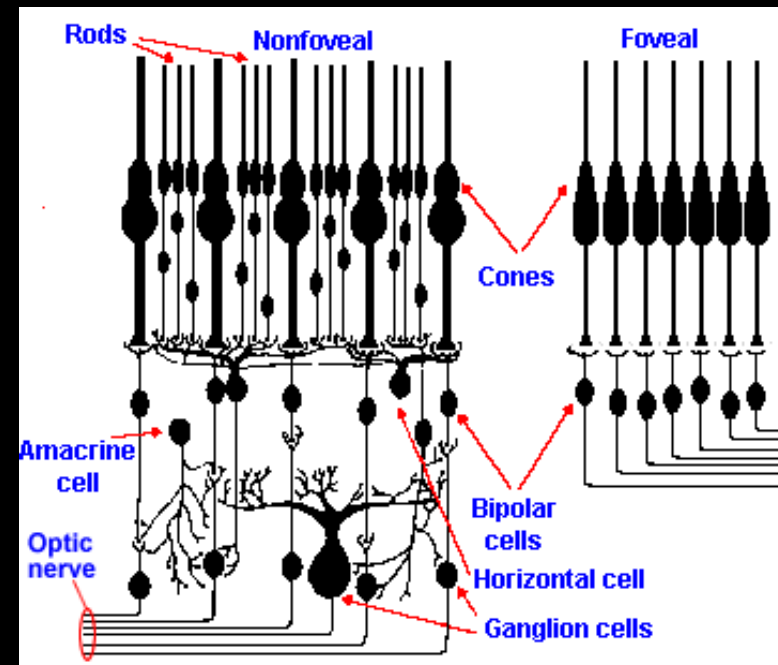
- Žuta mrlja (*Macula lutea*) je oblast žućkastog tkiva u sredini retine.
- U sredini žute mrlje je udubljenje (*Fovea centralis*) sa najvećom koncentracijom čepića, tj. polje najoštrijeg vida.
- To se koristi u nekim algoritmima za kompresiju slike (veća rezolucija slike u sredini nego na periferiji, čime se uštedi na broju piksela).

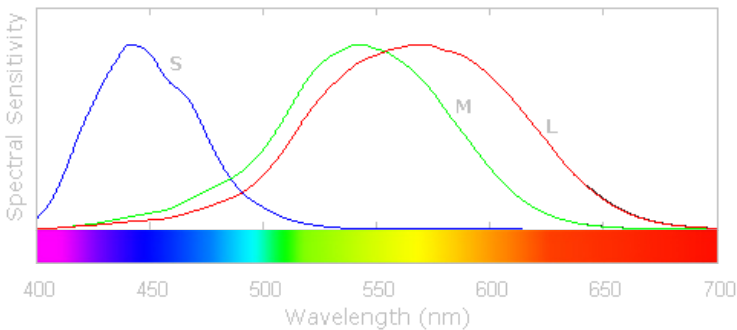
Anatomija ljudskog oka

- Na retini (mrežnjači) nalazi se sloj pigmenta i nervnog sloja sa milionima senzitivnih ćelija (neurona) i njihovih vlakana.
- Prve ćelije u lancima neurona su receptori, tj. njihova završna vlakna (dendroni) koja šalju impulse kad na njih padnu svjetlosni zraci. Ta vlakna su oblika čepića i štapića.

Percepcija svjetlosti

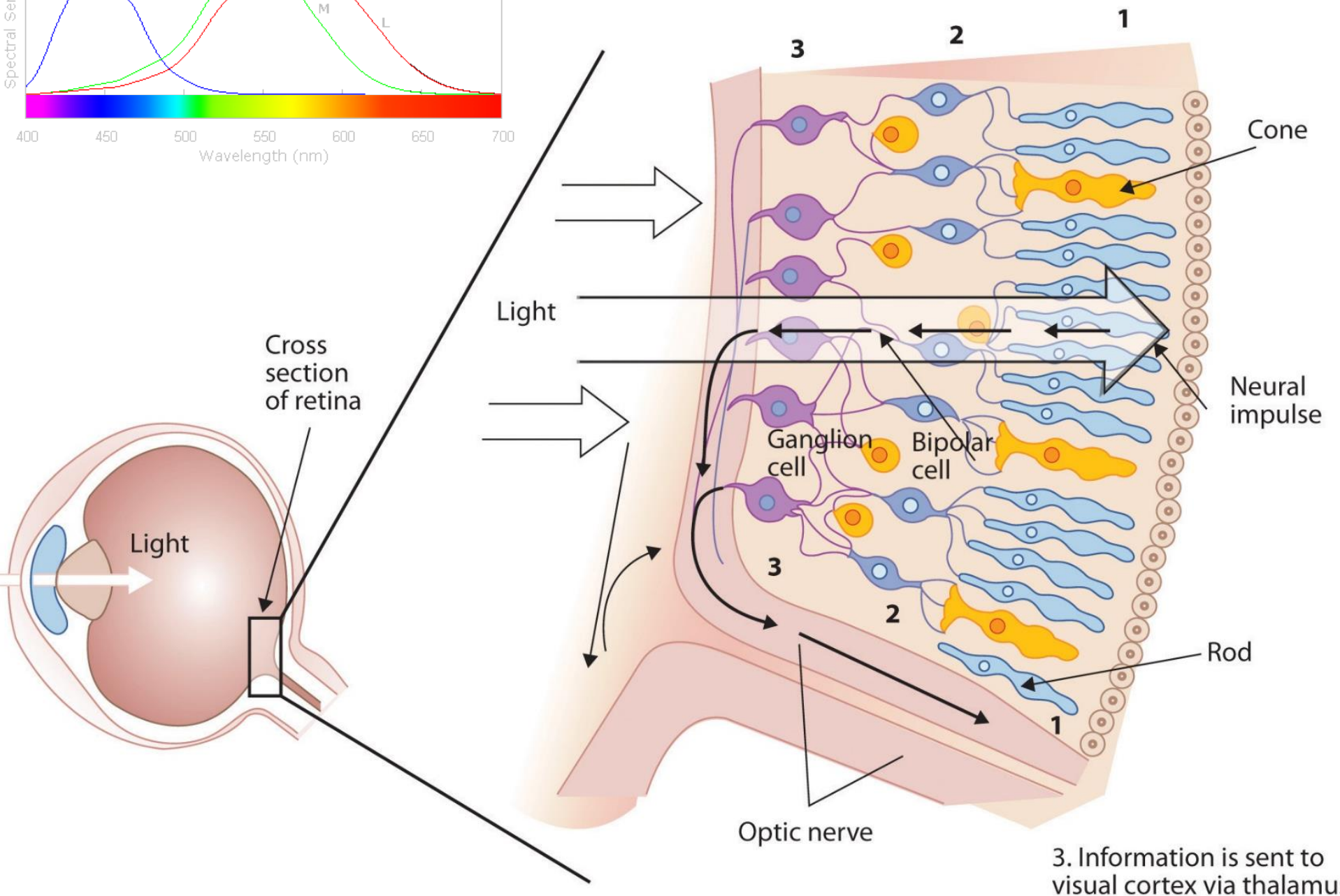
- Ljudsko oko svjetlost detektuje fotoreceptorima.
- Čelije oblika štapića bolje detektuju slabu svjetlost, ali registruju samo intenzitet svjetla.
- Konusne ćelije razlikuju i boje, ali ne registruju slabiji intenzitet.
- Oko sadrži 3 tipa konusnih ćelija, osjetljivih na svjetlosti kratke (B), srednje (G) ili duge (R) talasne dužine.





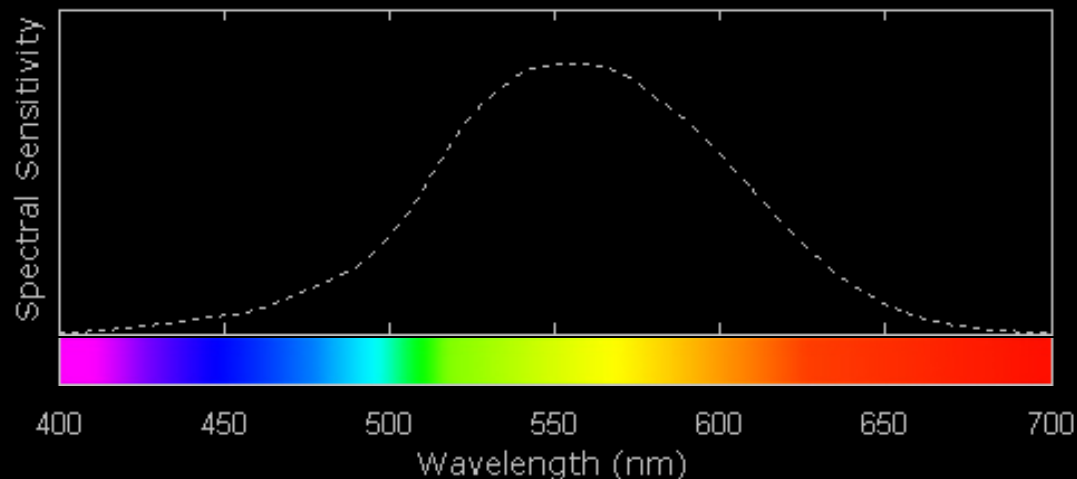
1. Light entering eye triggers photochemical reaction in rods and cones at back of retina.

2. Chemical reaction in turn activates bipolar cells.

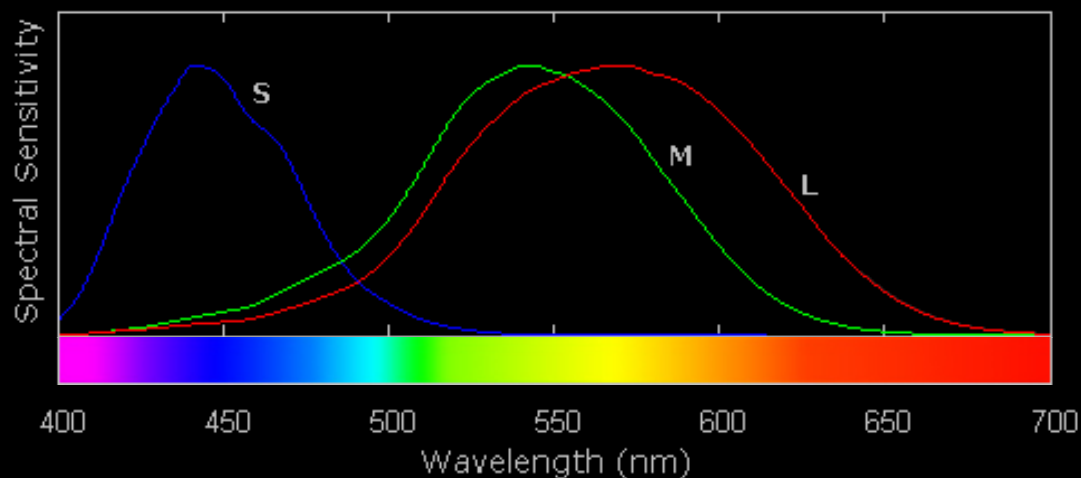


Percepcija svjetlosti

- Relativna osjetljivost ćelija na intenzitet svjetla

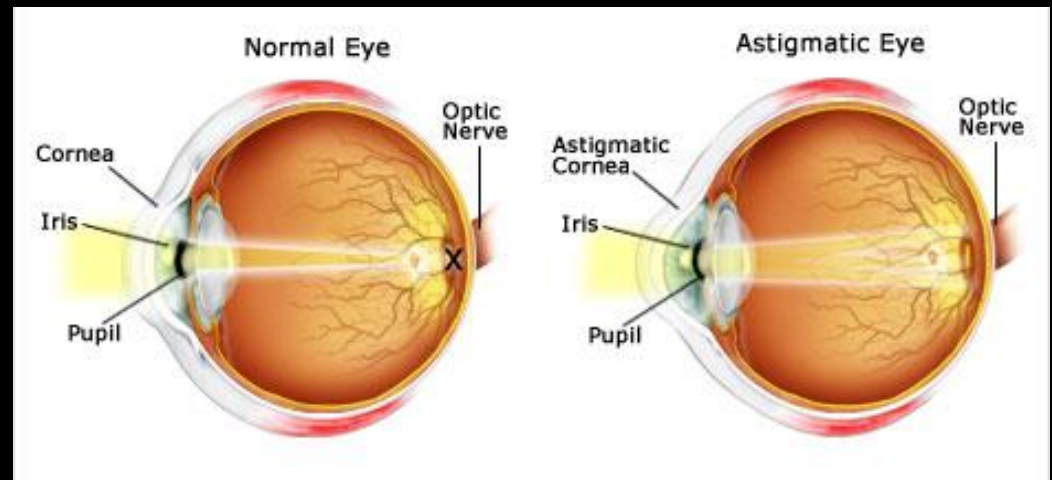


- Relativna osjetljivost konusnih ćelija



Poremećaji vida

- Astigmatizam je poremećaj oblika rožnjače (umjesto da je okrugla, ima oblik elipsoida).
- Svjetlost se usljed defekta fokusira na više tačaka, umjesto na jednu, čime se dobija mutna slika.

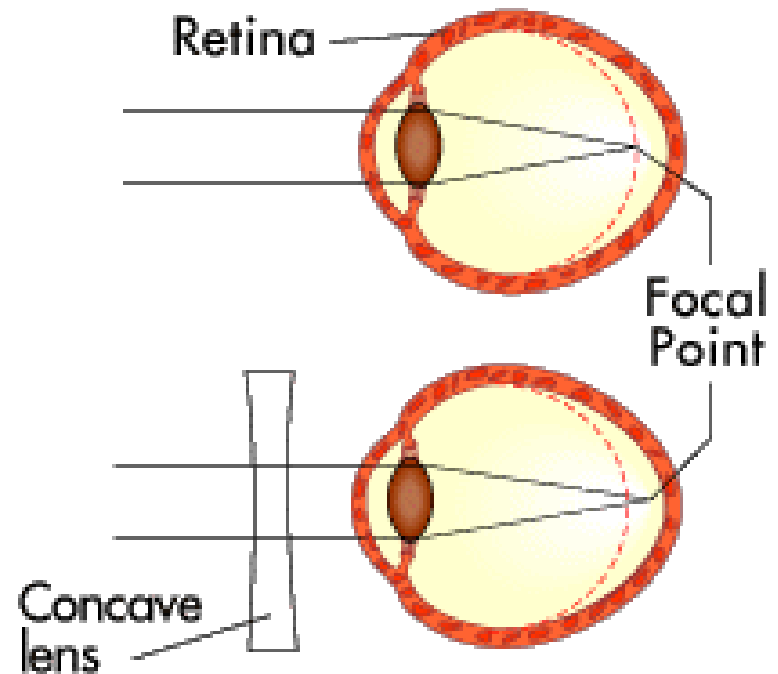
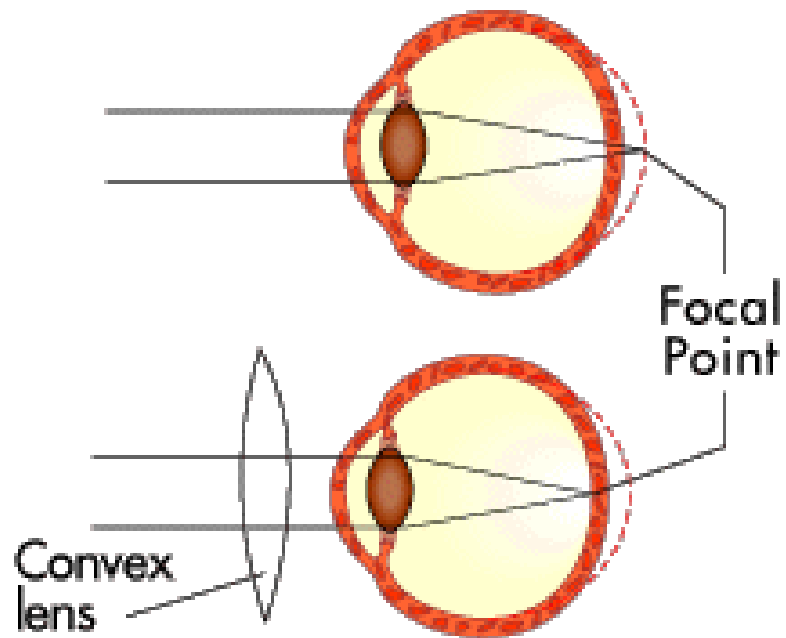


Poremećaji vida

- Kratkovidost (miopija) – poremećaj fokusiranja; slika pada ispred mrežnjače
- Kod mlađih osoba; pri slaboj svjetlosti leća se stalno mora prilagođavati bliskim predmetima, čime se smanji mogućnost akomodacije za gledanje udaljene predmete.
- Dalekovidost (hipermetropija) - slika pada iza mrežnjače.
- Česta kod starijih osoba jer leća otvrdne, a mišići olabave.



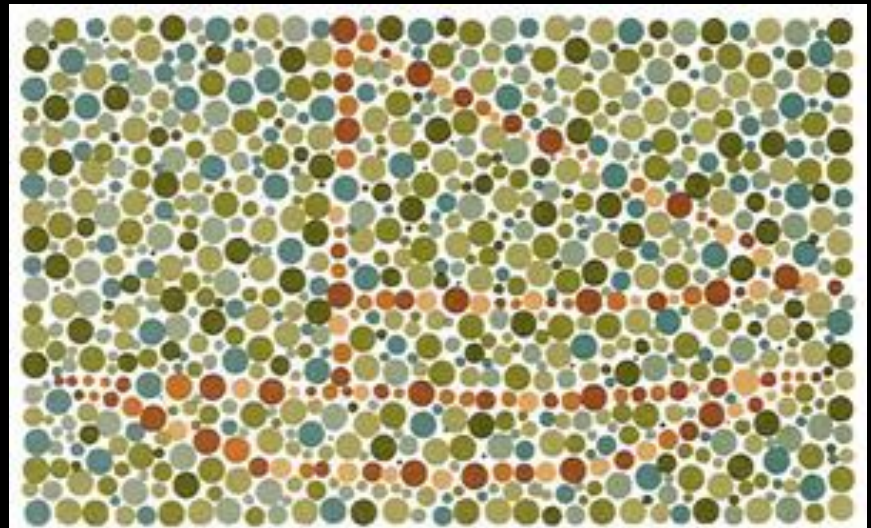
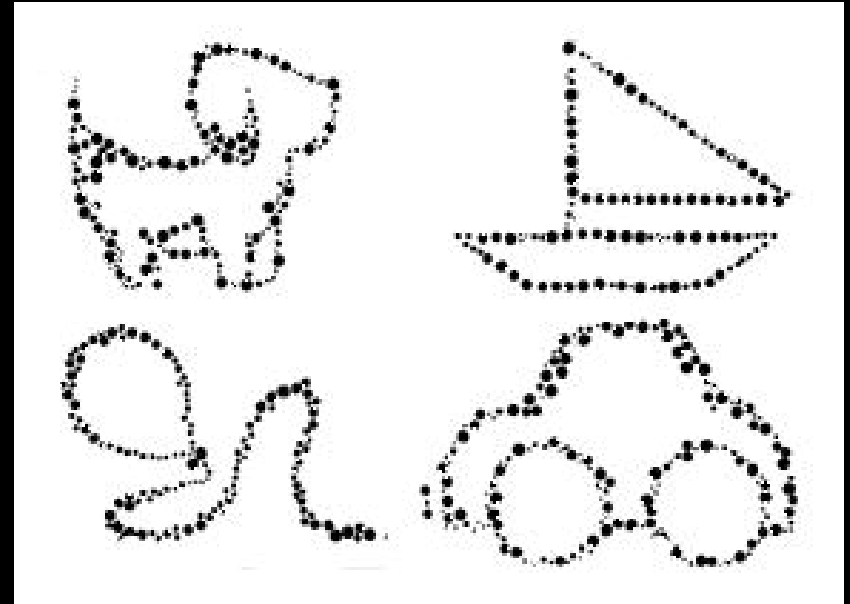
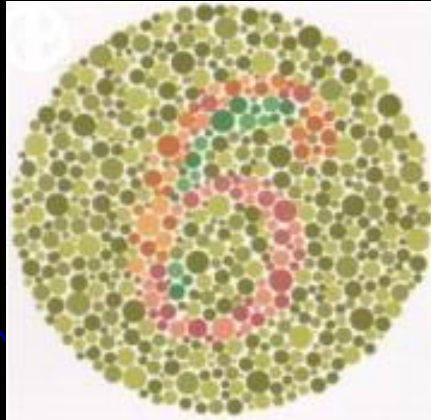
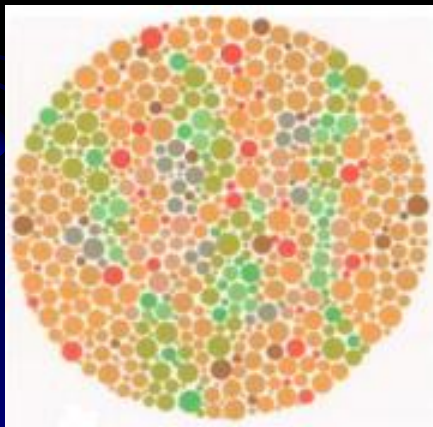
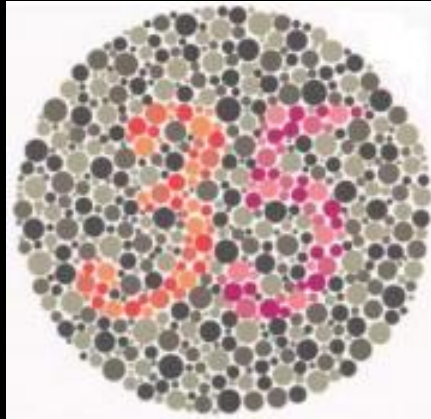
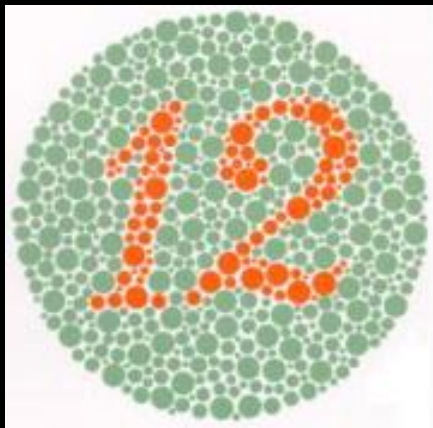
Poremećaji vida



Poremećaji vida

- Trihromat – osoba koja razlikuje sve tri osnovne boje
- Dihromatizam – razlikuje samo dvije osnovne boje:
 - protanopizam – ne raspoznaje crvenu boju
 - deuteranopizam – ne razlikuje zelenu boju
 - tritanopizam – ne razlikuje plavu boju
- Daltonizam – defekt u raspoznavanju boja (fizičar John Dalton 1766-1844)

Poremećaji vida



Optičke varke

- Ljudsko oko je nesavršeno.
- Ljudski mozak je nesavršen.
- Kombinacija oka i mozga čine greške; te se greške nazivaju optičke varke.

<http://www.michaelbach.de/ot/>

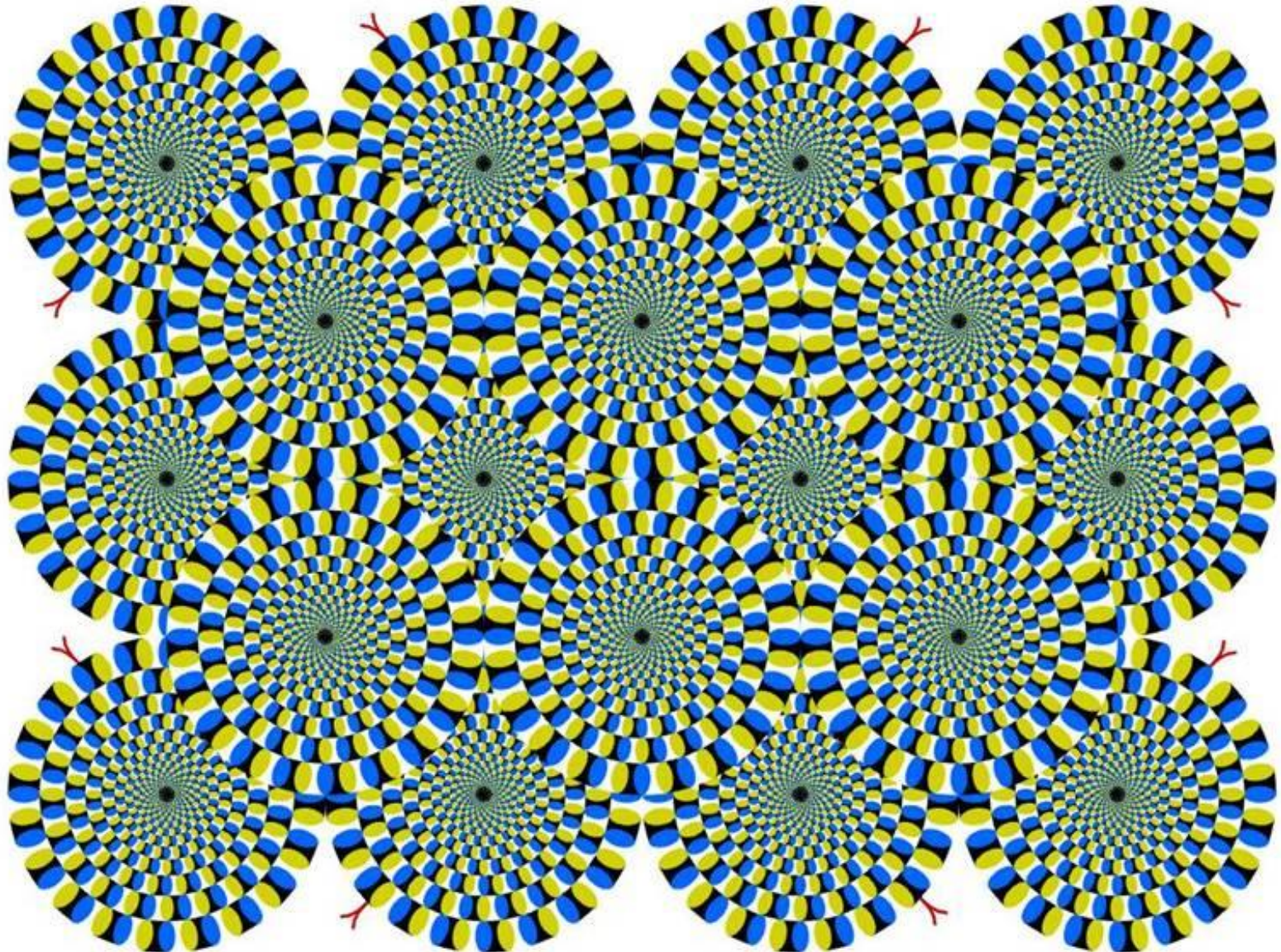
Optičke varke

- Vizuelni fenomeni se nekad nazivaju optičke varke ili vuzelne varke.
- Većina tih iluzija se zasniva na putanji vida, a ne na optici oka.
- Može se reći da su to prilagođavanja ljudskog čula vida standardnim pojavama.
- To prilagođavanje ima korijen u mozgu, tako da putem nekih vještačkih manipulacija može dovesti do pogrešne interpretacije onoga što vidimo.
- Purkinje: "Iluzije čula nam govore istinu o percepciji"

Korisna nesavršenost mozga

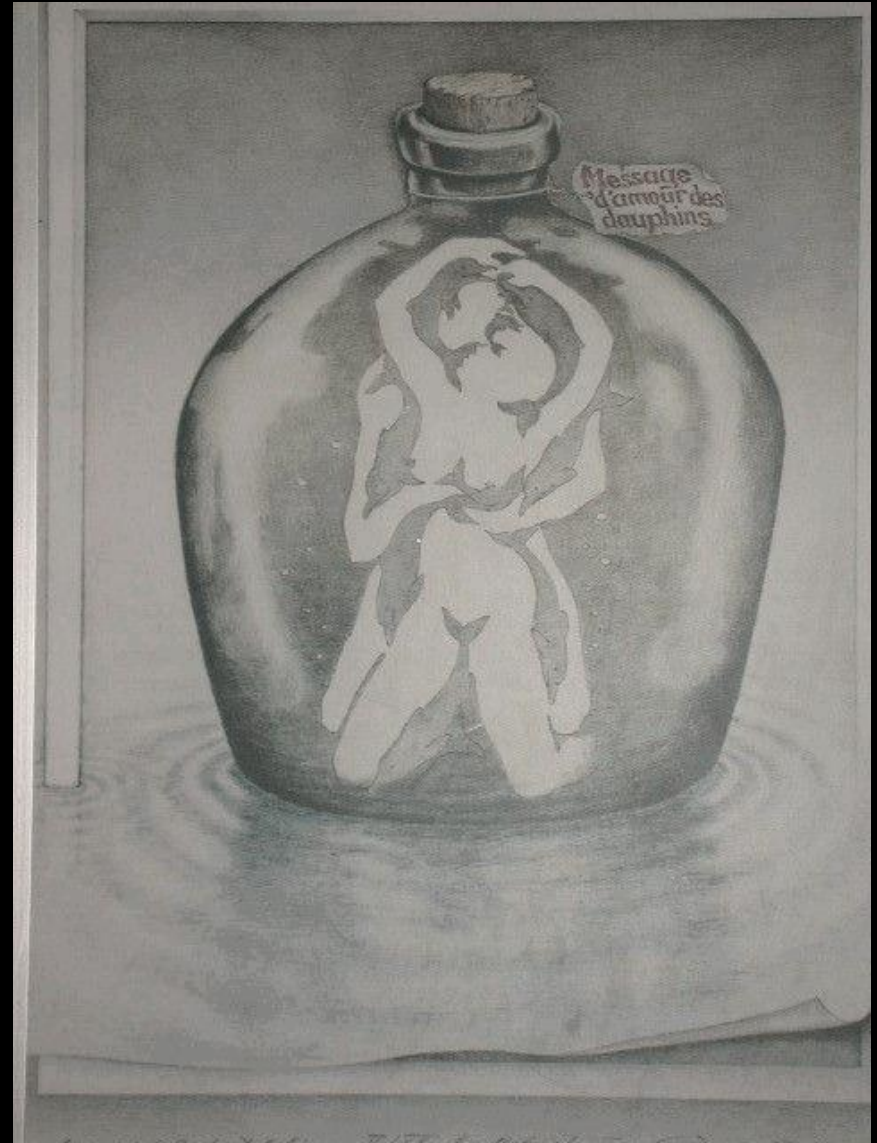
- Nsiam mgoao vejroavti da svtanro rzamuiejm ono što čtiam. Fnenoemnlana sanga ljdkusog uma!
- Perma rzeulttaima itsaržiavnja na Cmabrigde Unervtisy, nije vžano kjoim rdeosljiedom su soležna solva u rjičei, vžnao je smao da pvro i zdanje sovlo bduu na sovm msjetu. Osatatk mžoe btii u toatlonm ndereu, a oept se mžoe čtitai bez prolbmea.
- To je ztao što ljukdsi maozk ne čtia svkao slvoo psoenbo, ngeo rčije i kao cjlenie. Čuednso zar ne? A ja sam ujevik mlisio da je spelovanje vanžo.
- Uparvo ztao čtee prnoaći pnuo geršaka u skirpti za oavj perdmēt. I u savokj durogj knjzii, narvano.

Ova slika je statična, nije animacija

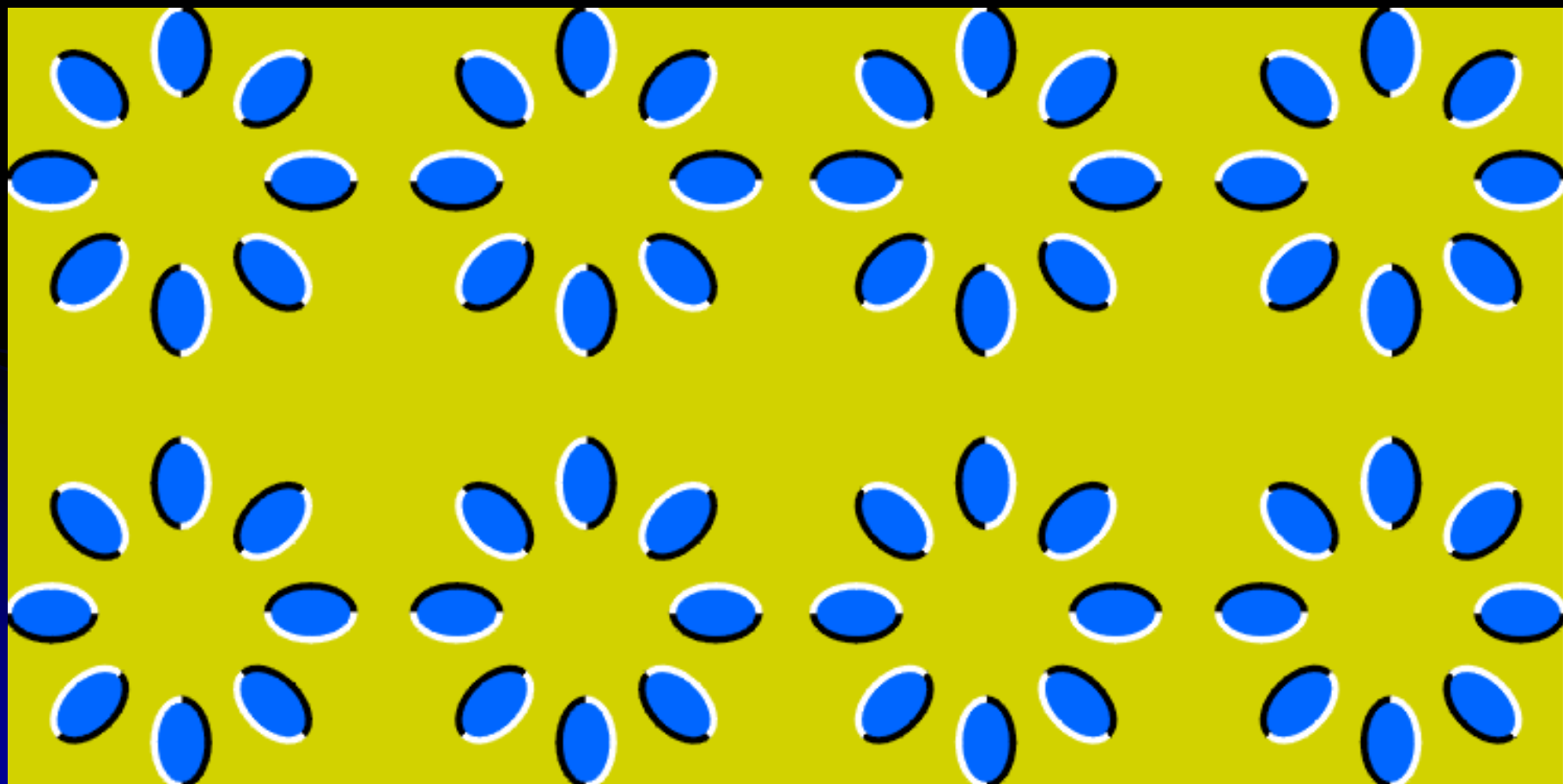


Šta vidite na slici?

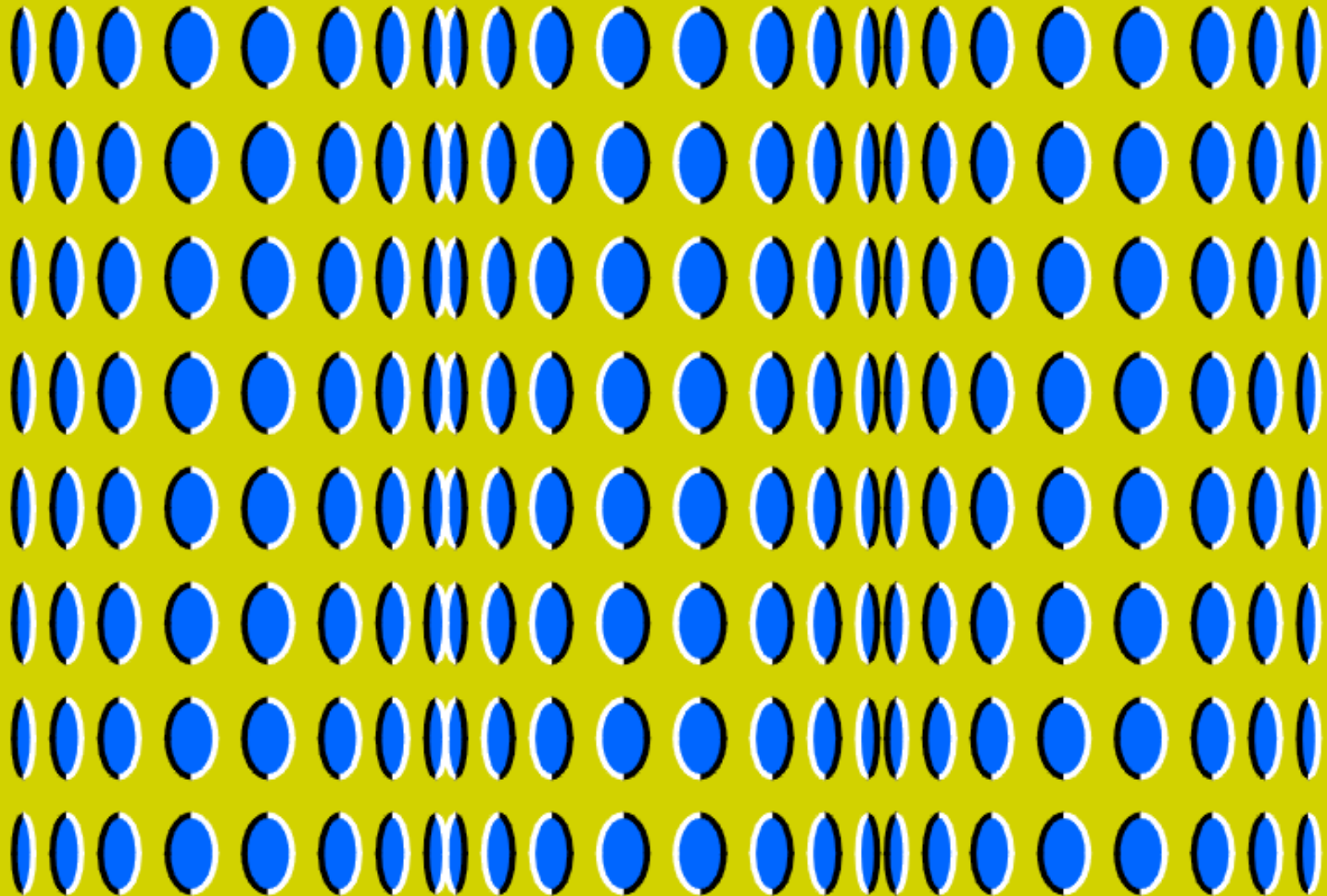
- Djeca vide devet delfina
- To je zato što dječiji mozak još nema asocijaciju na čovjeka i ženu u ovom položaju



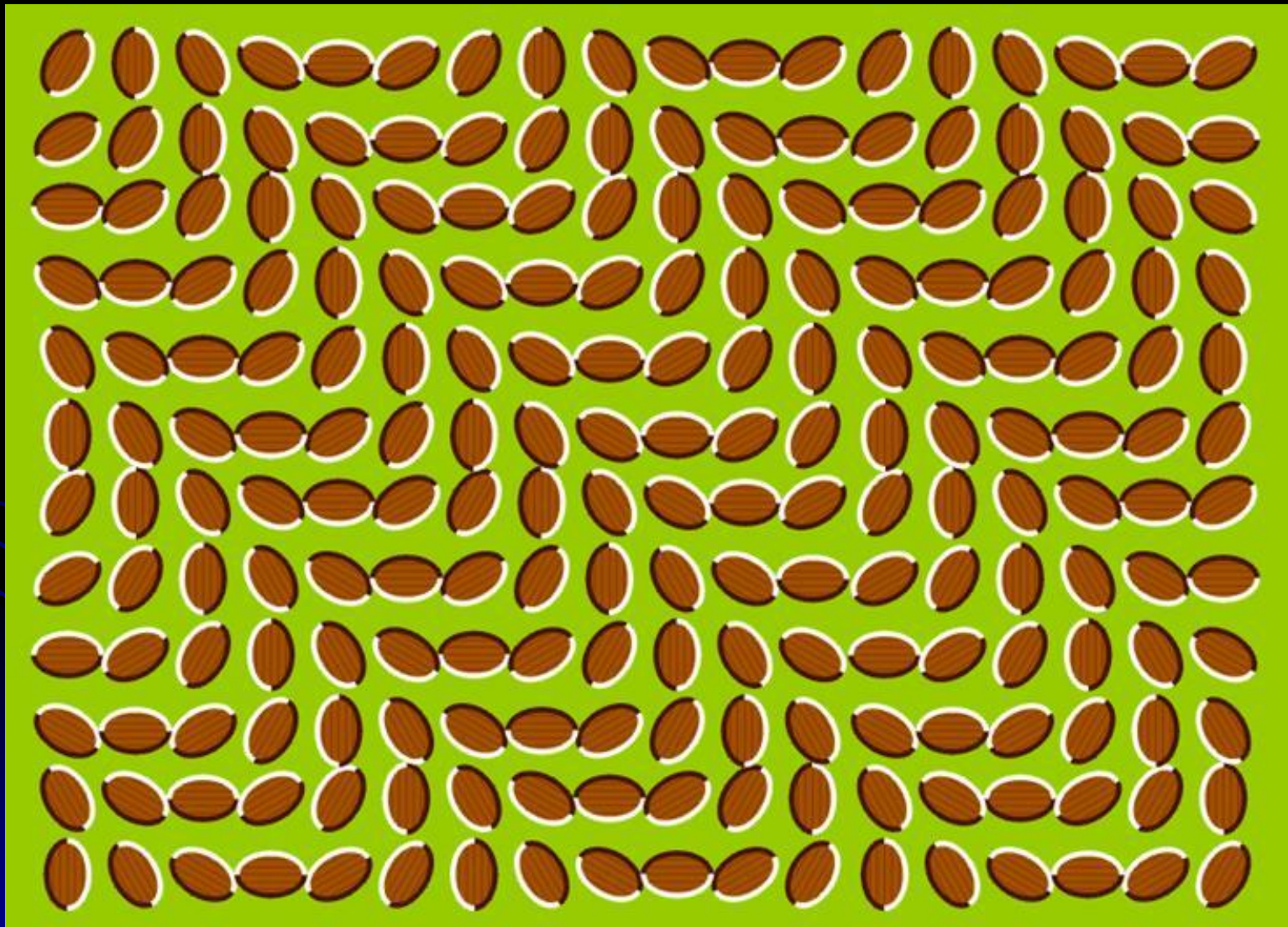
Statična slika ili animacija?



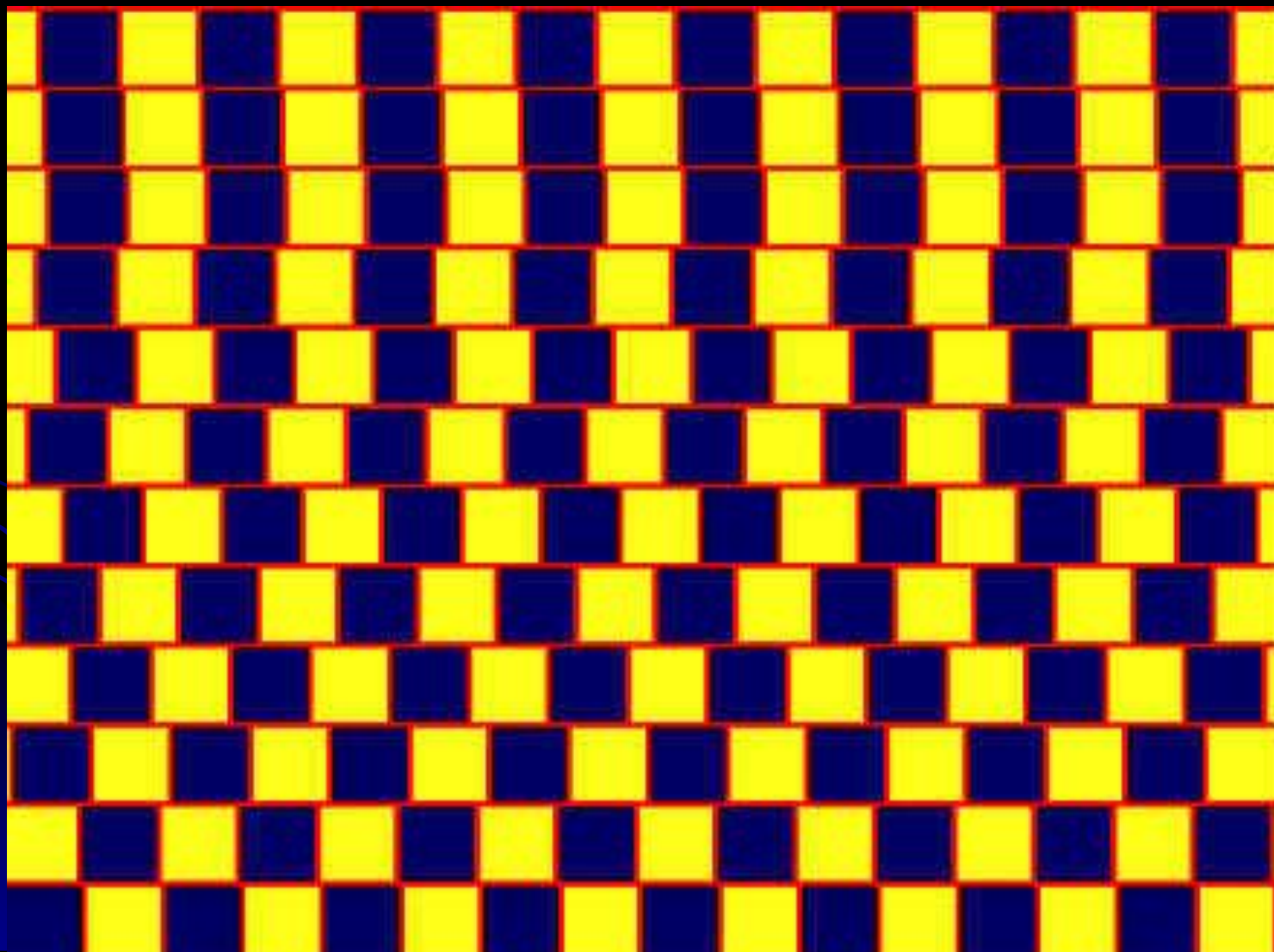
Statična slika ili animacija?



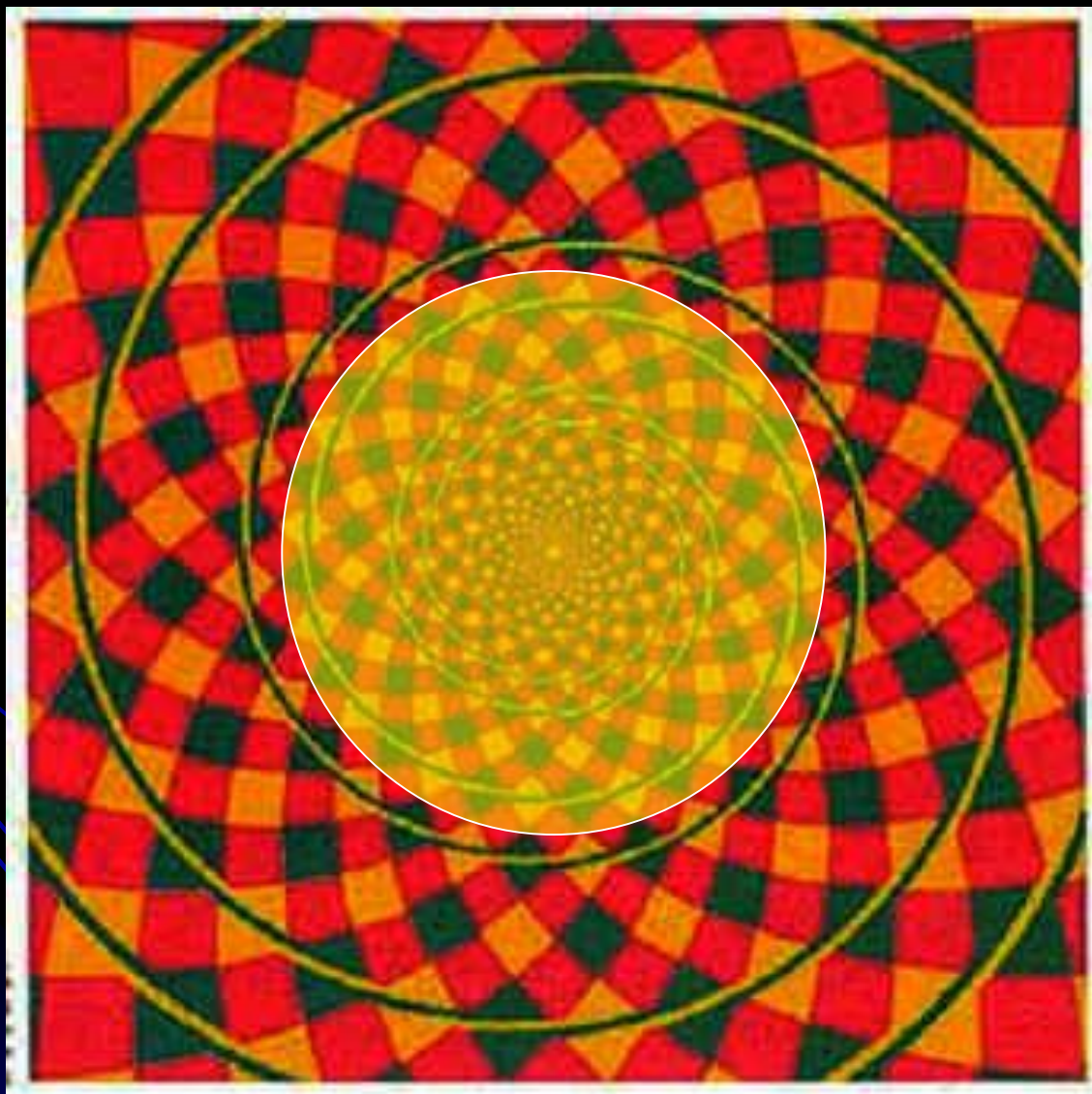
Statična slika ili animacija?



Jesu li linije paralelne?

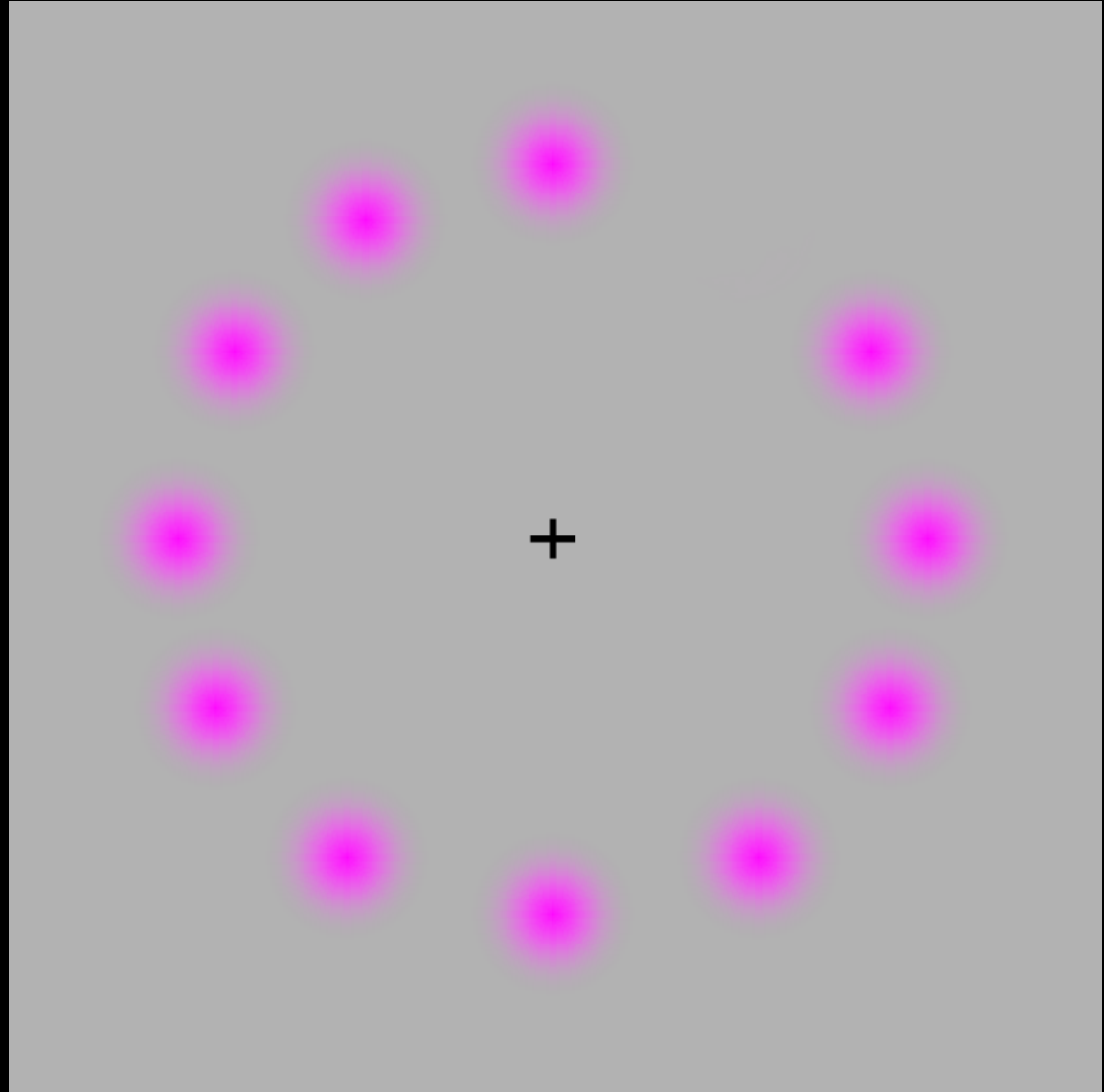


Spirala ili krug?

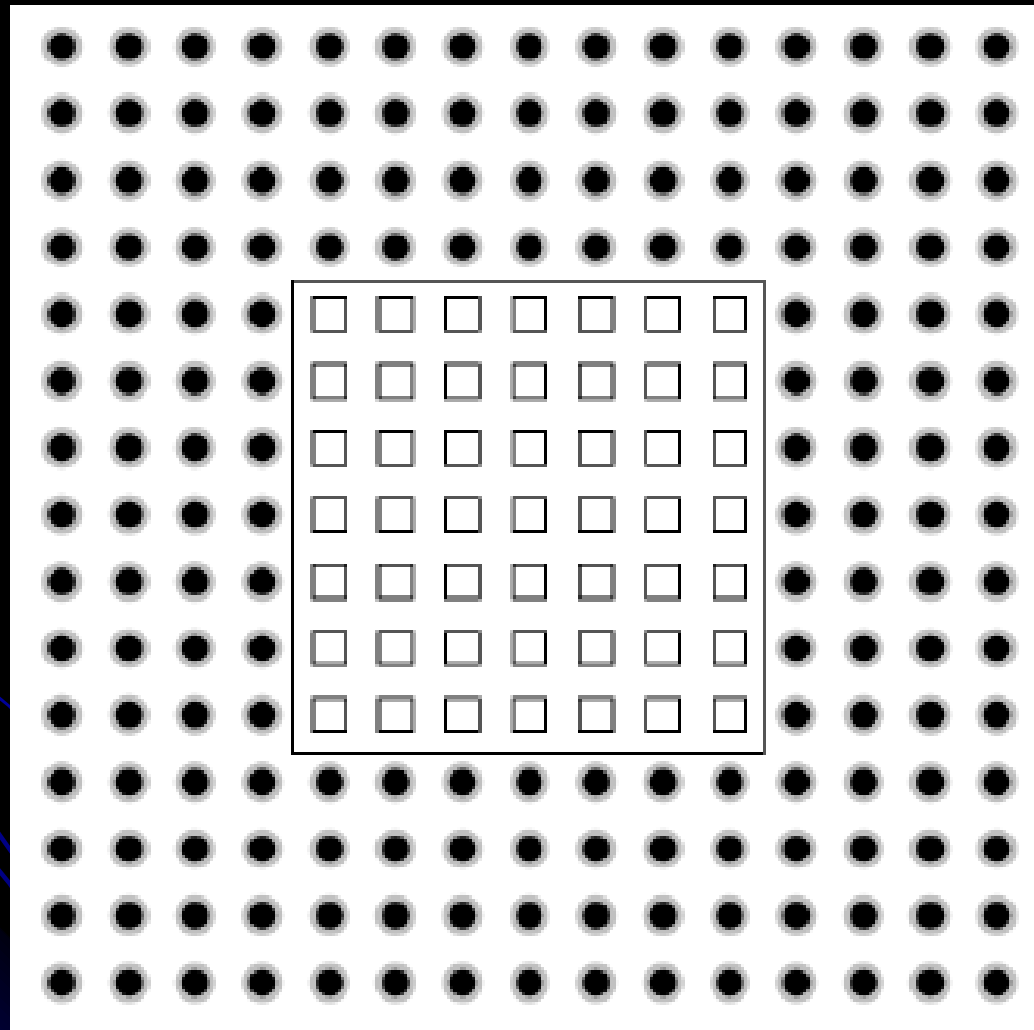


Koncentrirajte se na krstić u centru

- Ljubičasta tačka koja se kreće postaje zelena.
- Nakon izvjesnog vremena sve tačke osim zelene nestaju.



Kvadrat daje iluziju trodimenzionalnosti



Efekat zamagljivanja (blur)



Efekat zamagljivanja (blur)



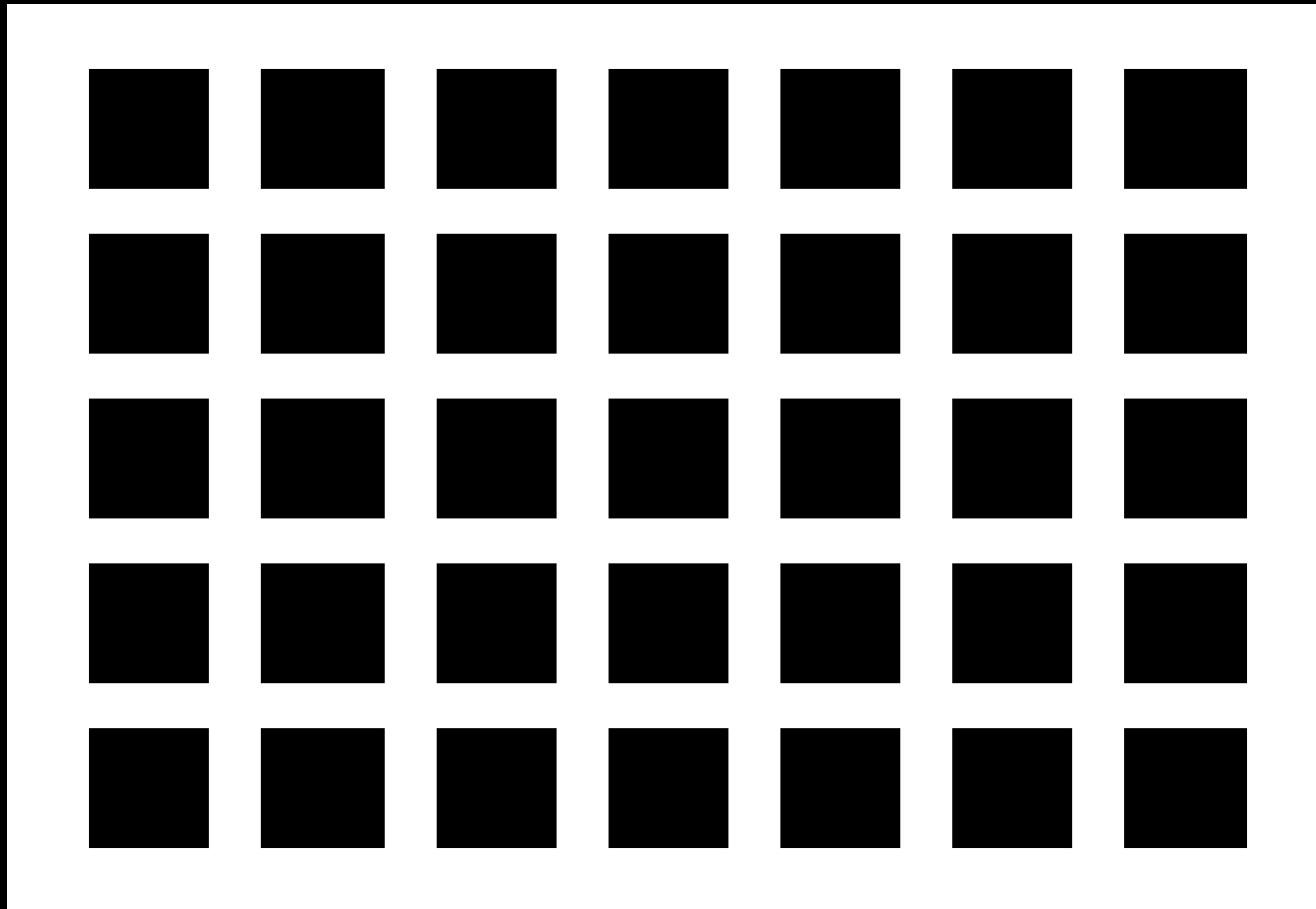
Efekat zamagljivanja (blur)



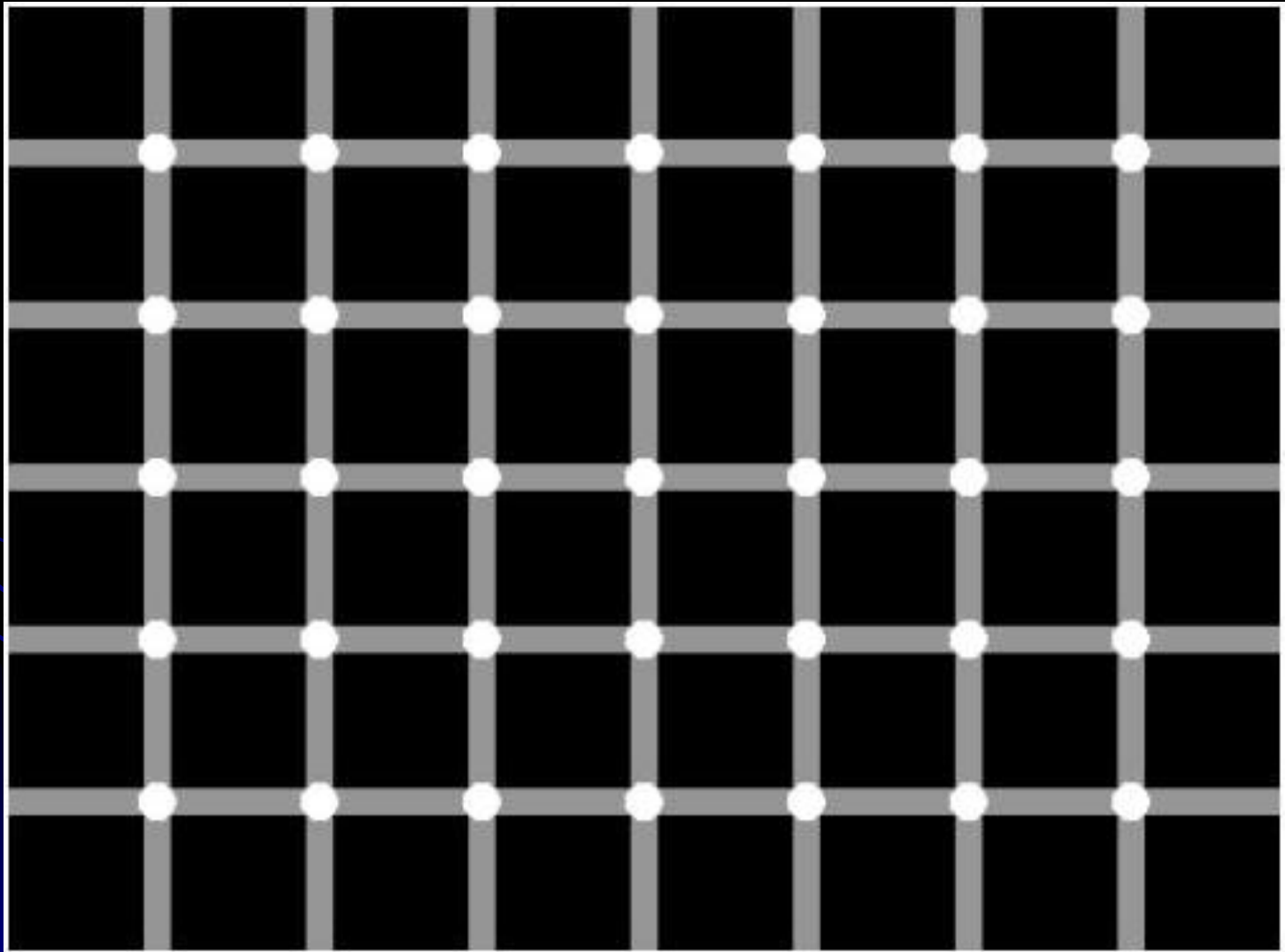
Efekat zamagljivanja (blur)



Šta je sivo između kvadrata?

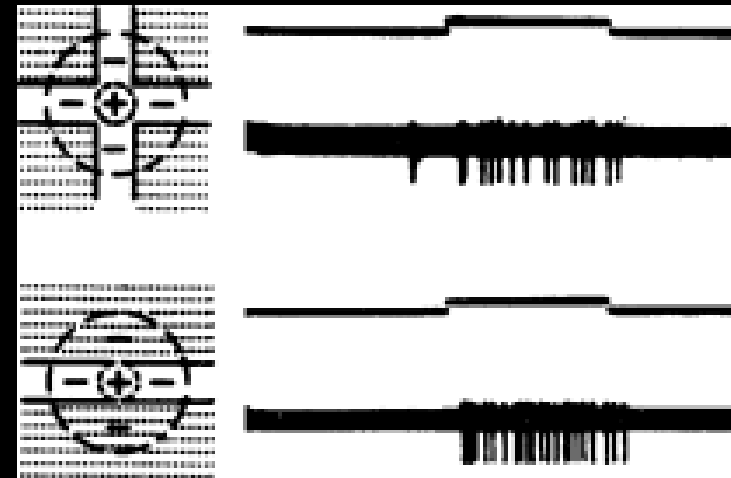
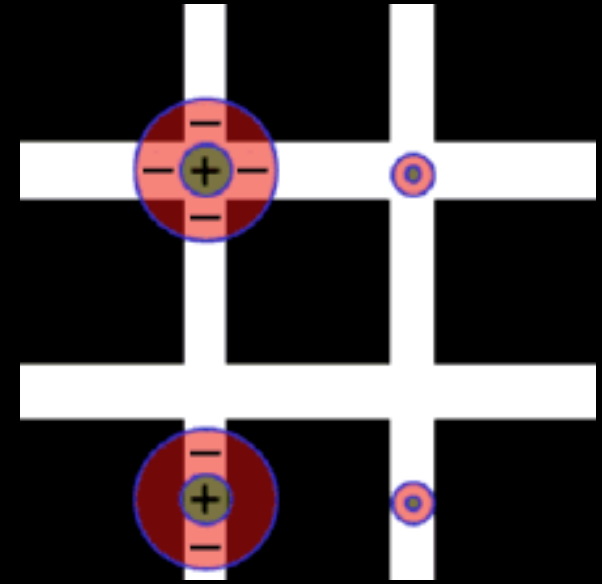


Koliko ima crnih tačaka?

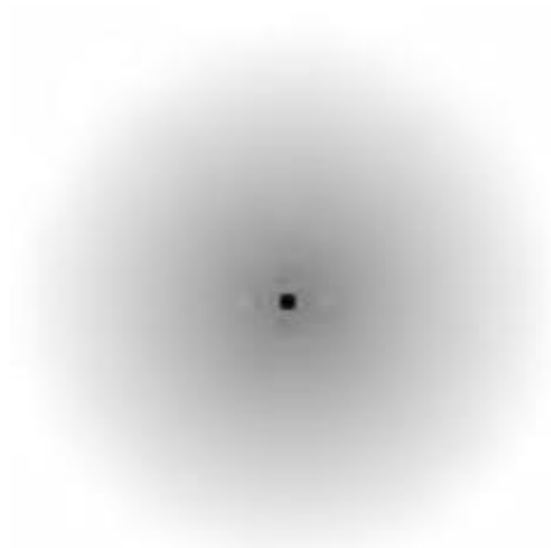


Objašnjenje Hermann-grid iluzije

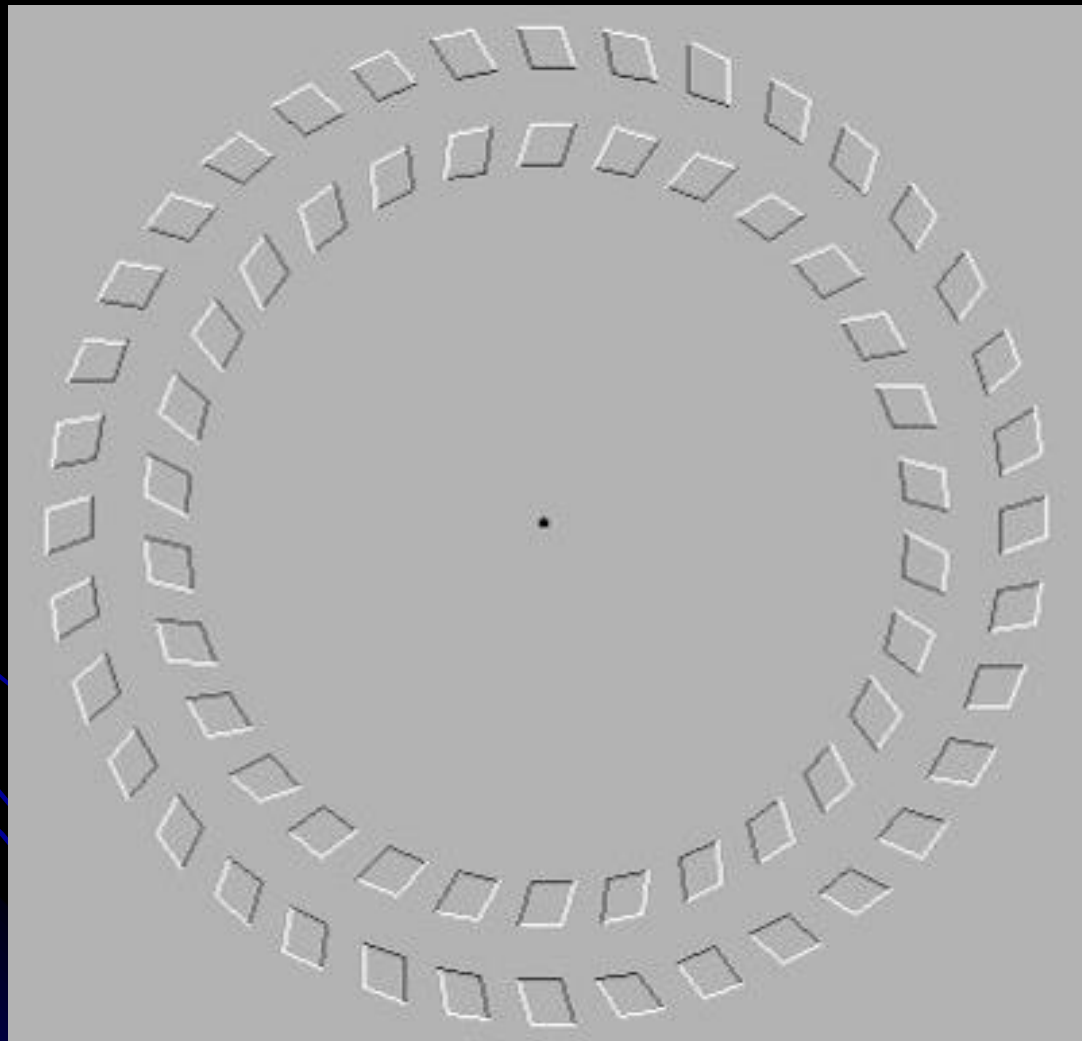
- Baumgartner (1960):
- 4 svijetle tačke oko fokusa:
manja reakcija oka
- 2 svijetle tačke:
jača reakcija oka



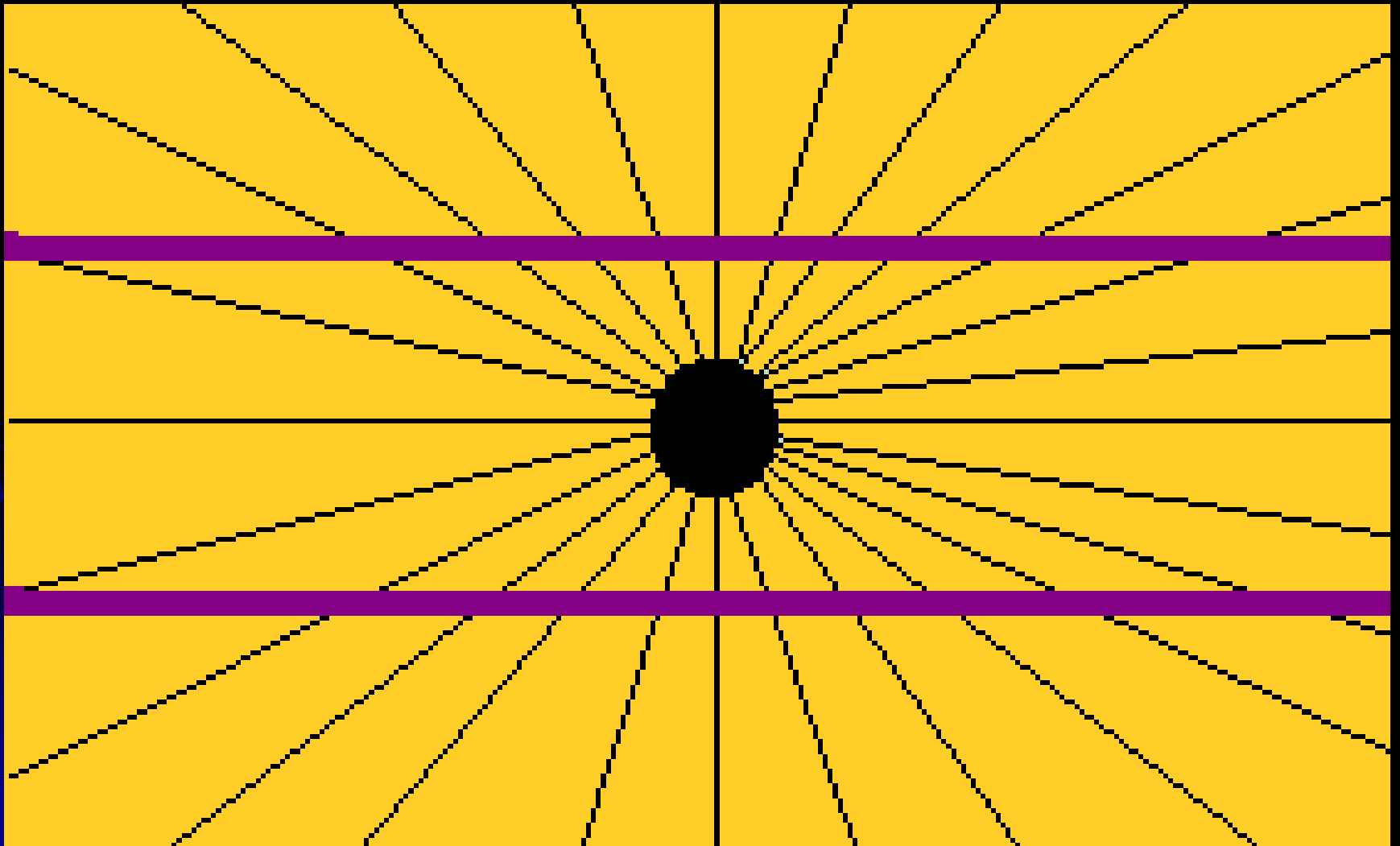
Sivi krug se smanjuje



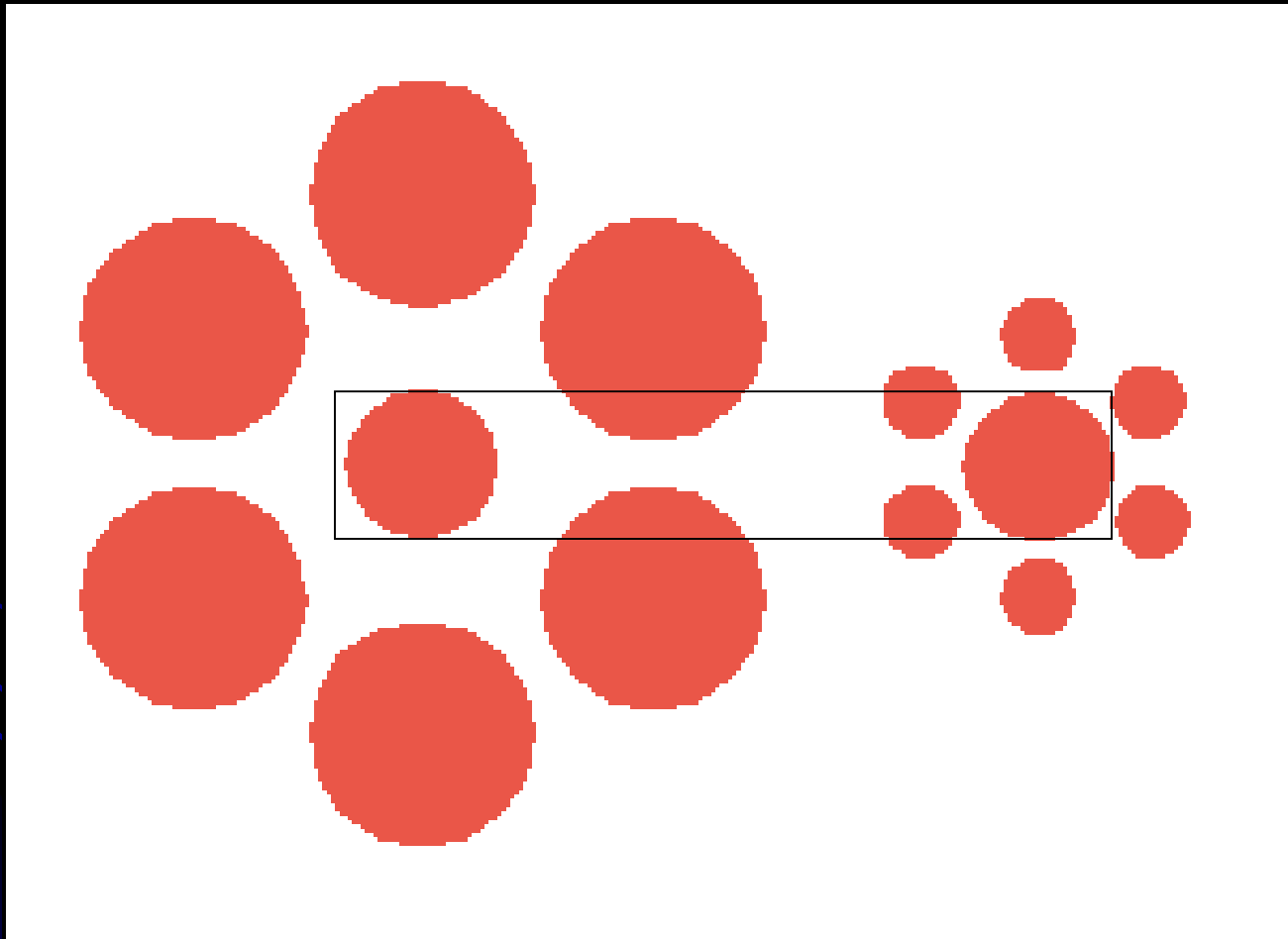
Pomjerajte glavu naprijed-nazad



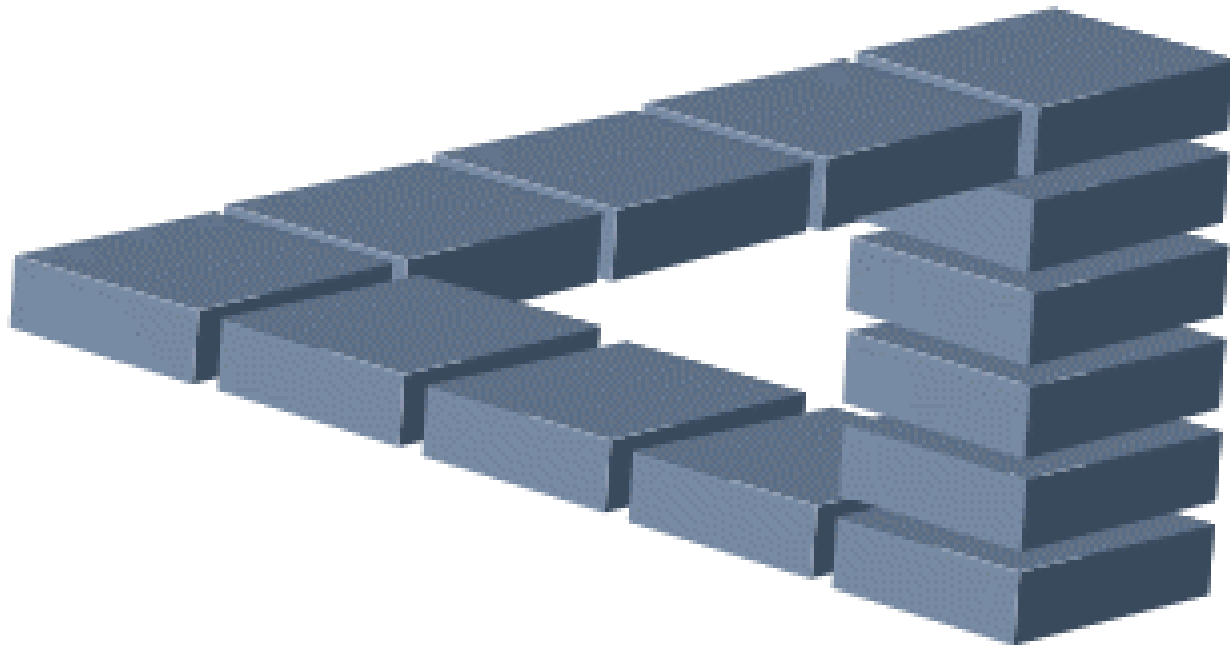
Jesu li ljubičaste linije ravne?



Koji krug je veći?

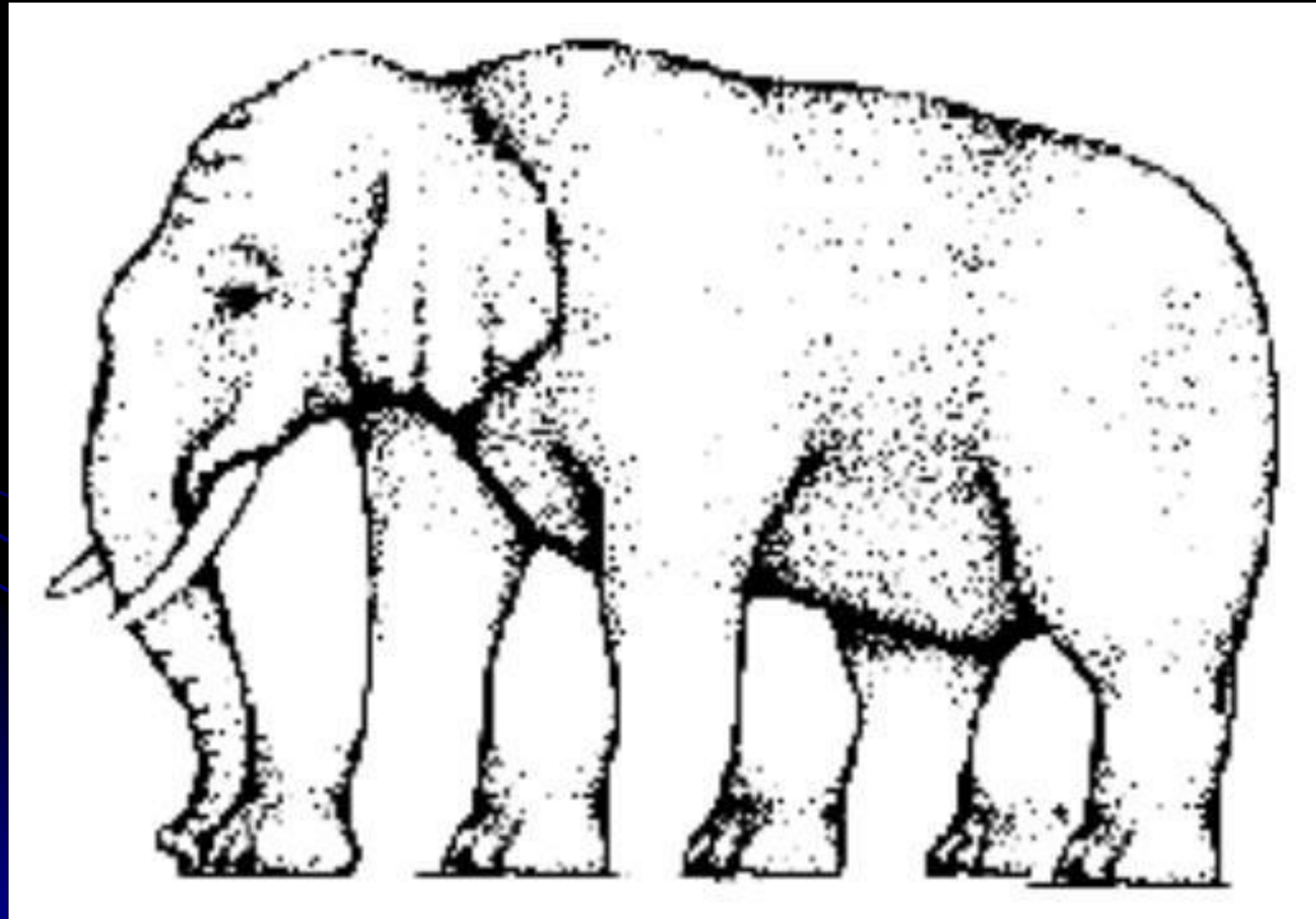


Je li ovo moguće (2D vs. 3D)

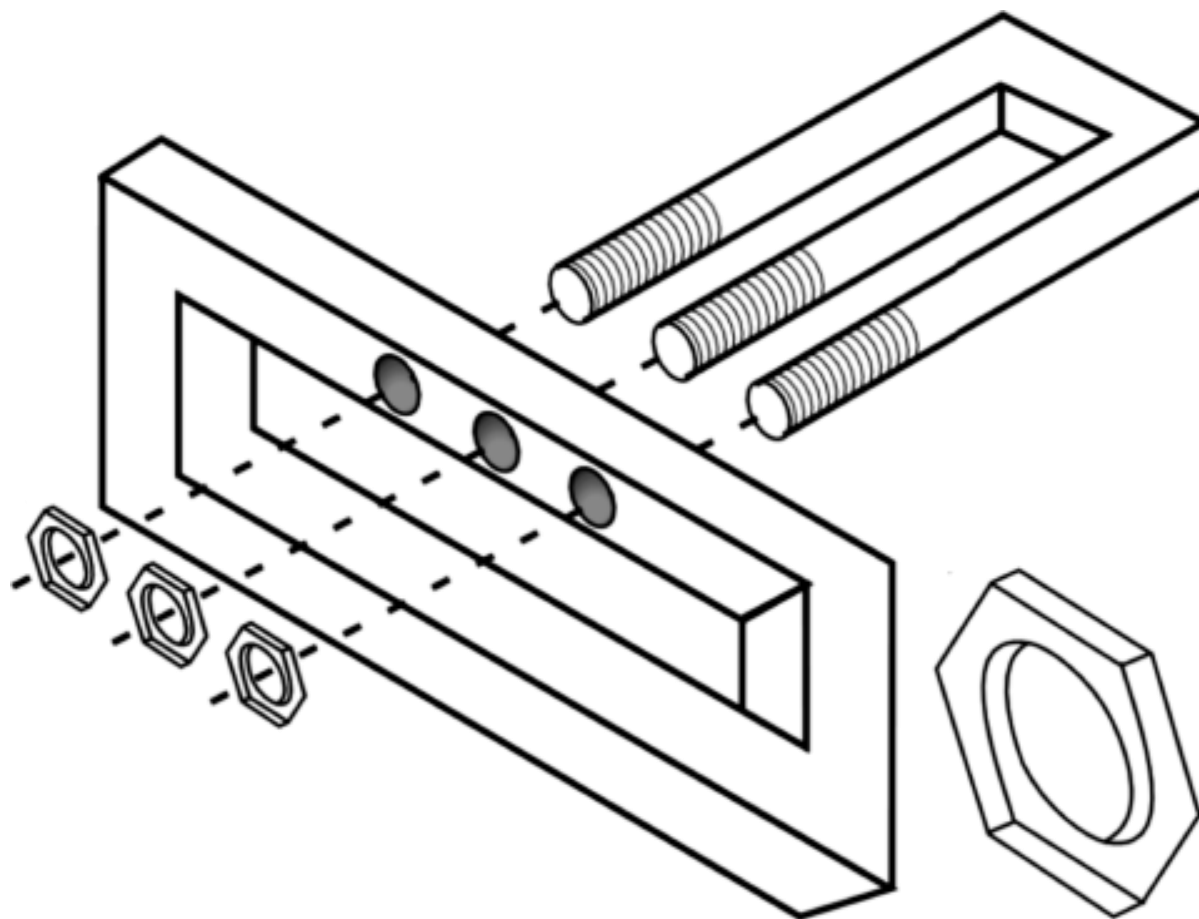




Koliko nogu ima slon?



Šta ovdje ne valja?



Escher

