

Fénytan, színdinamika

4. előadás: Fény és anyag

Optikai jellemzők

- Abszorpció
- Diszperzió
- Szóródás
- Reflexió
- Transzmisszió
- Diffúz visszaverődés

Abszorpció

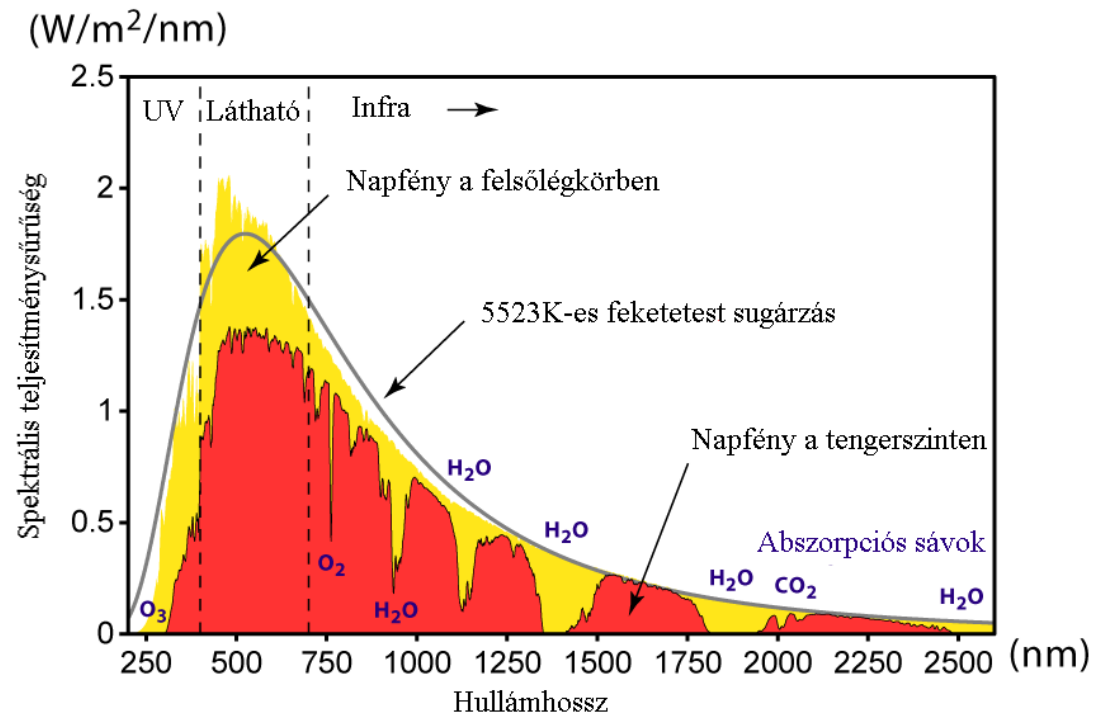
Foton – részecske kölcsönhatás

Hullámhossz függő

Energia veszteség

$$dE = -\kappa dz$$

$$E = E_0 e^{-\kappa z}$$



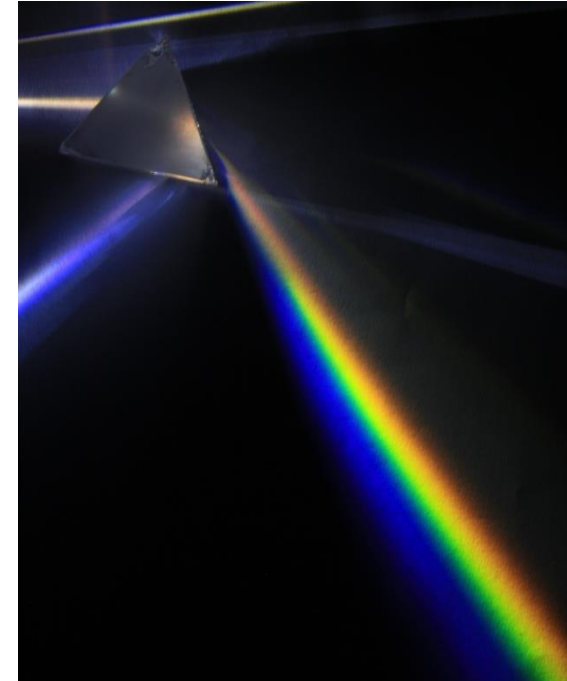
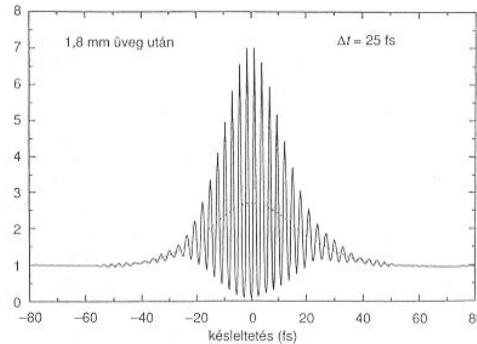
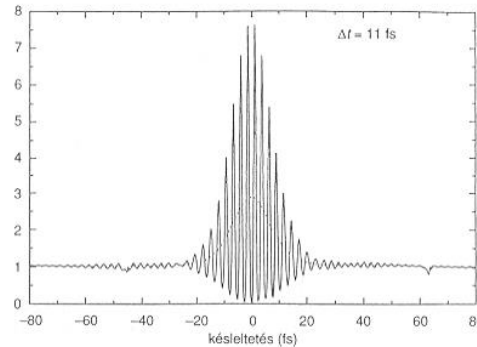
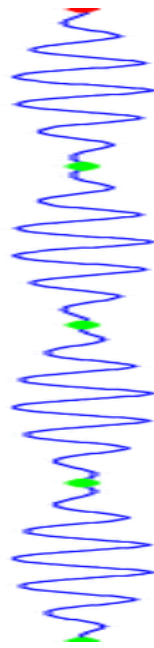
Diszperzió

Anyagjellemzők frekvencia-függése

A törésmutató hullámhossz-függő

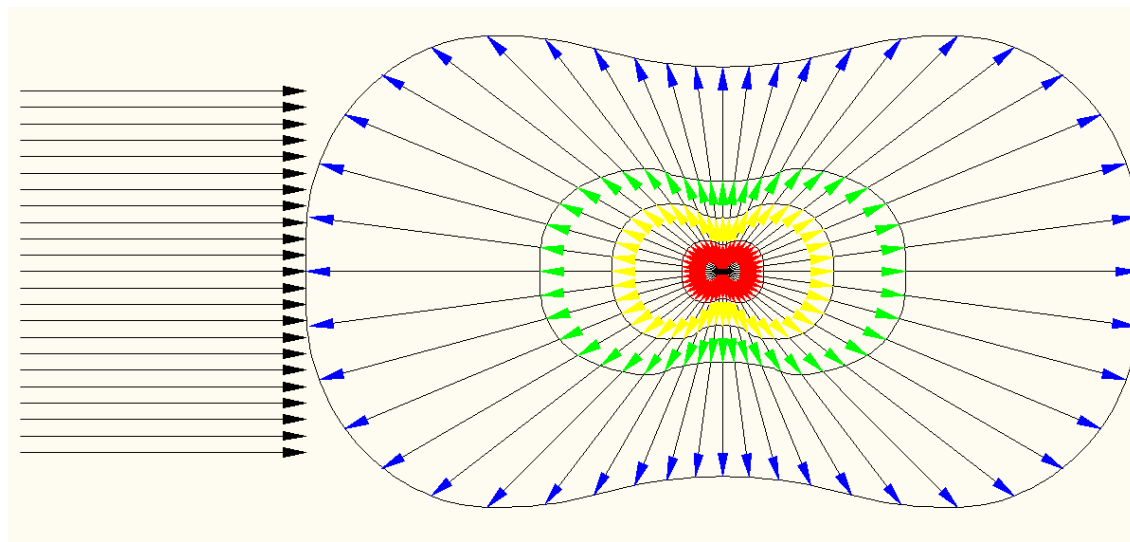
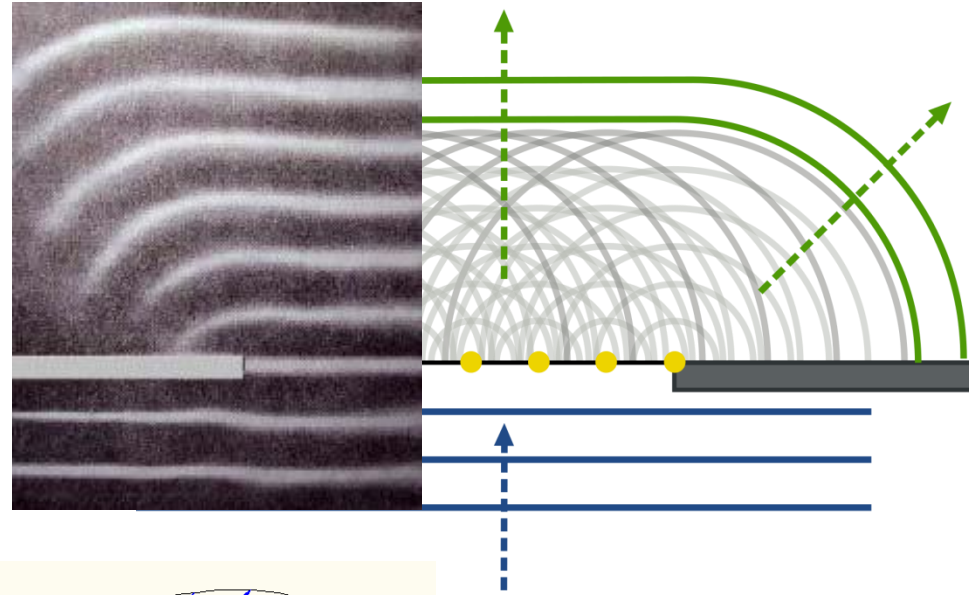
Hullámcsomag szétfolyás

$$v_g = \frac{c}{n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}}$$



Szóródás

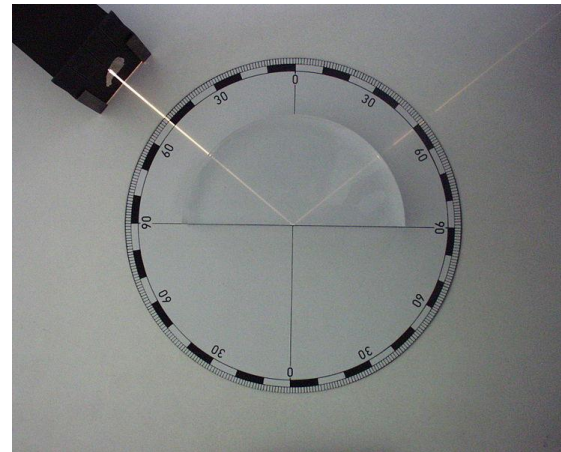
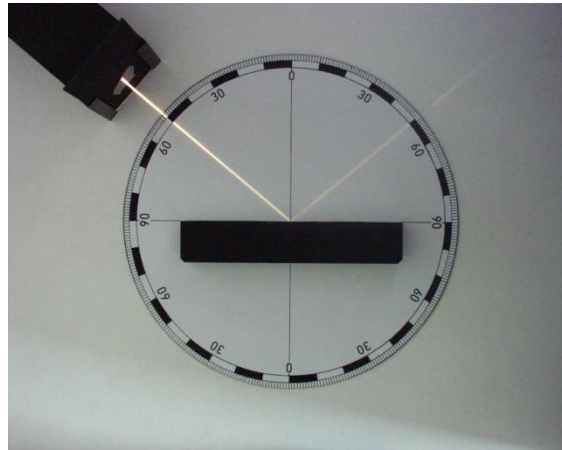
Huygens-Fresnel-elv



Rayleigh szórás

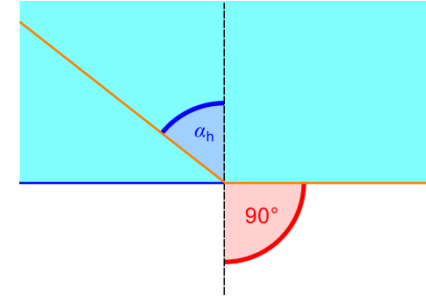
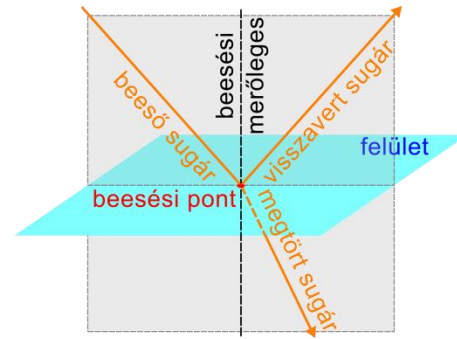
Reflexió

Reflexió fémeken

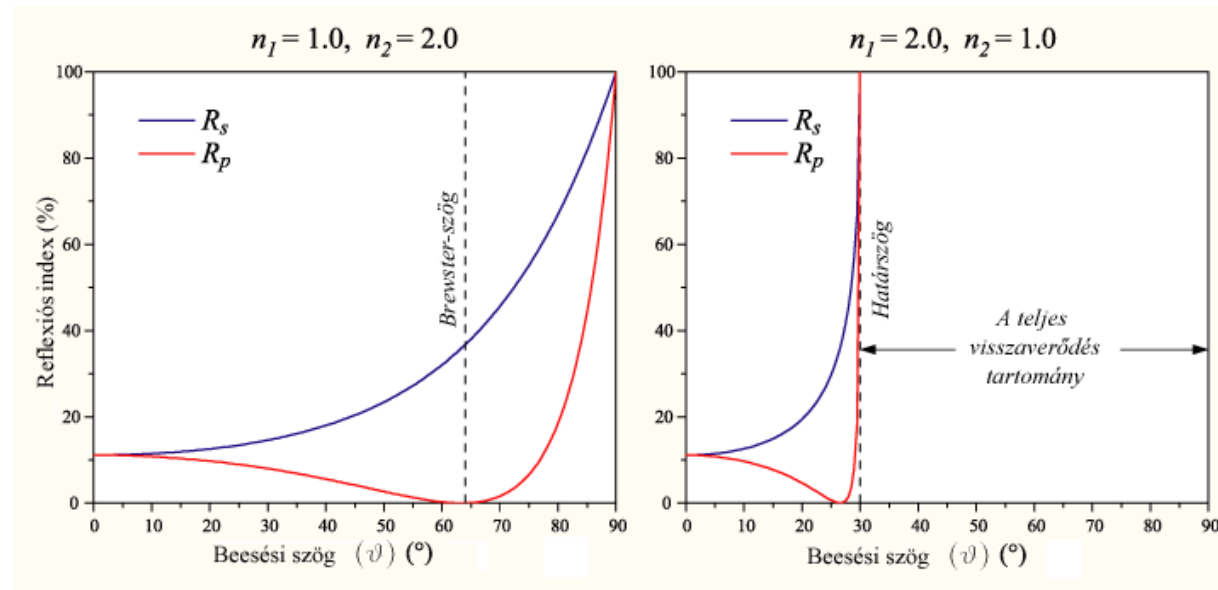


Teljes visszaverődés

Transzmisszió

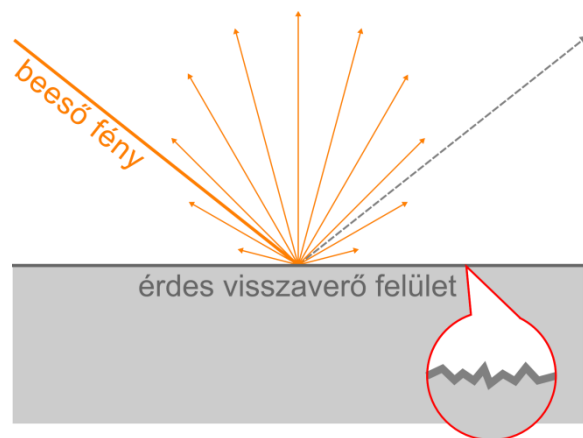


Fresnel-formula

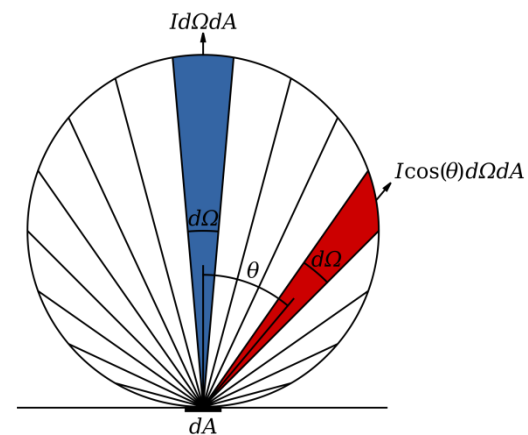
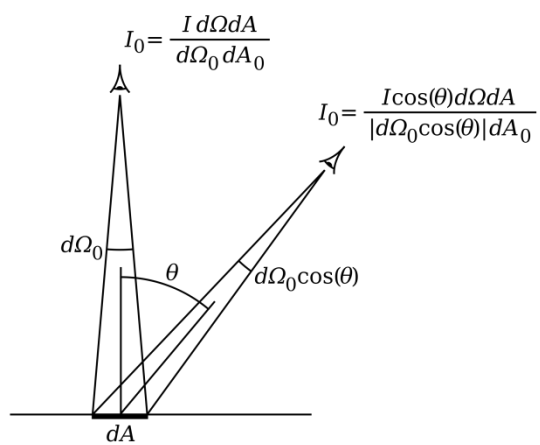


Brewster-szög
Polarizáció

Diffúz visszaverődés

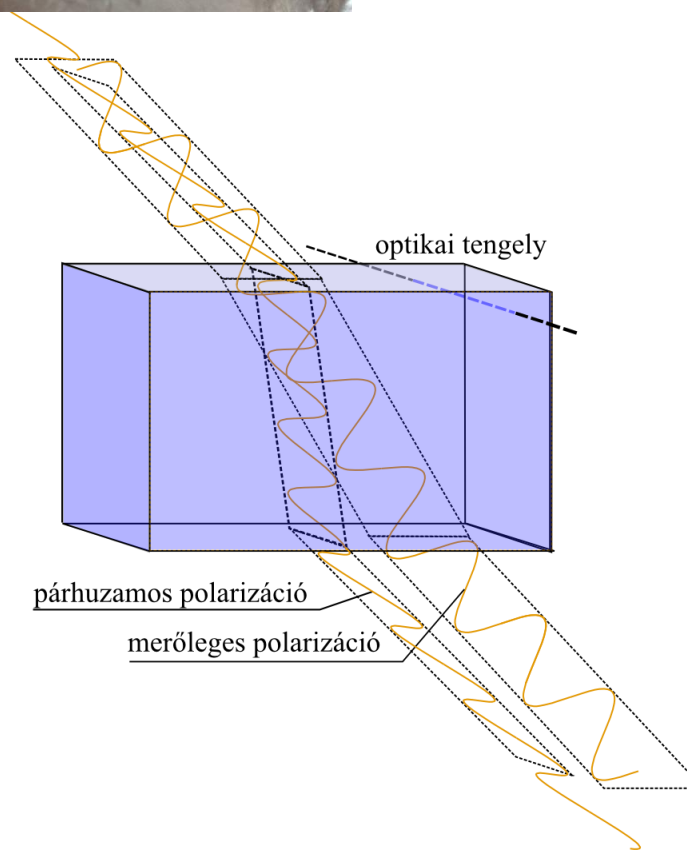
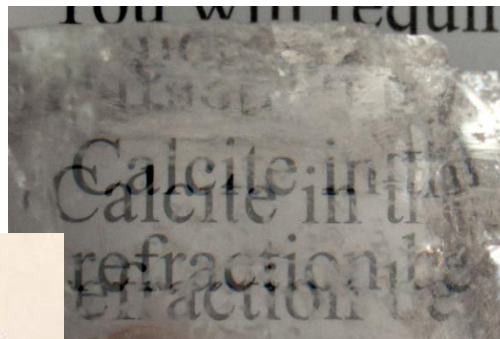


Lambert felület

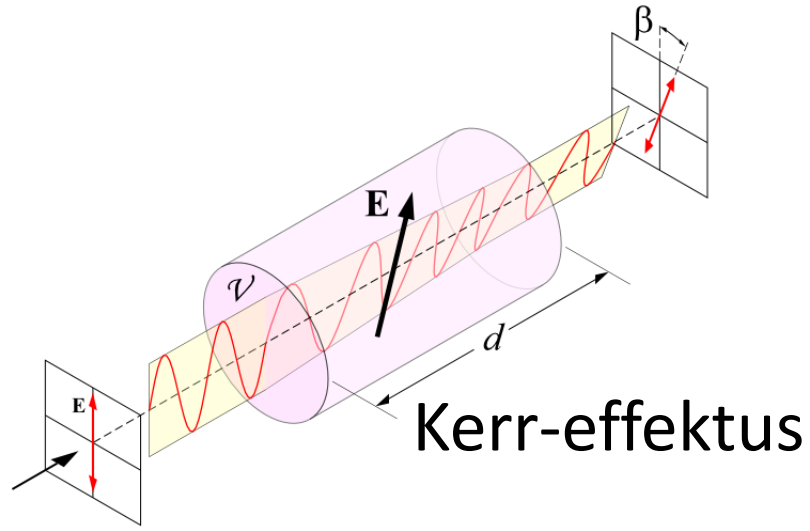


Kristályoptika

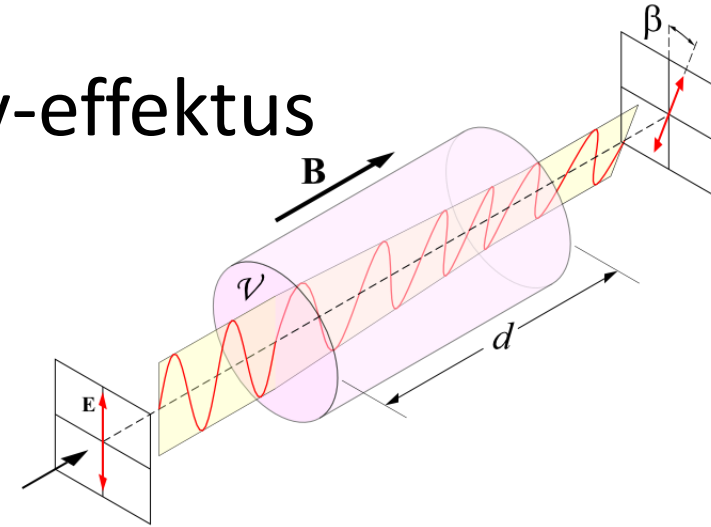
Kettős törés



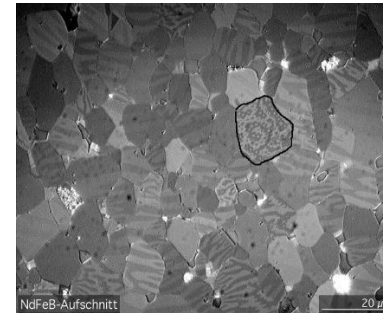
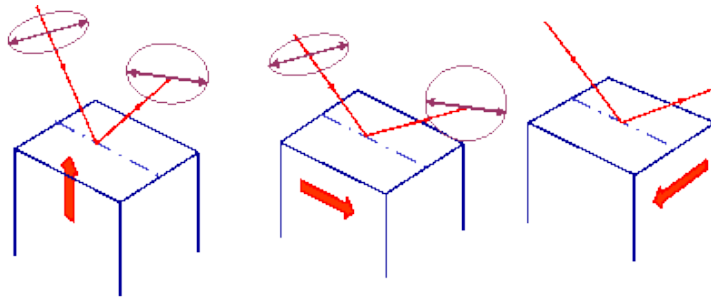
Optikai aktivitás



Faraday-effektus



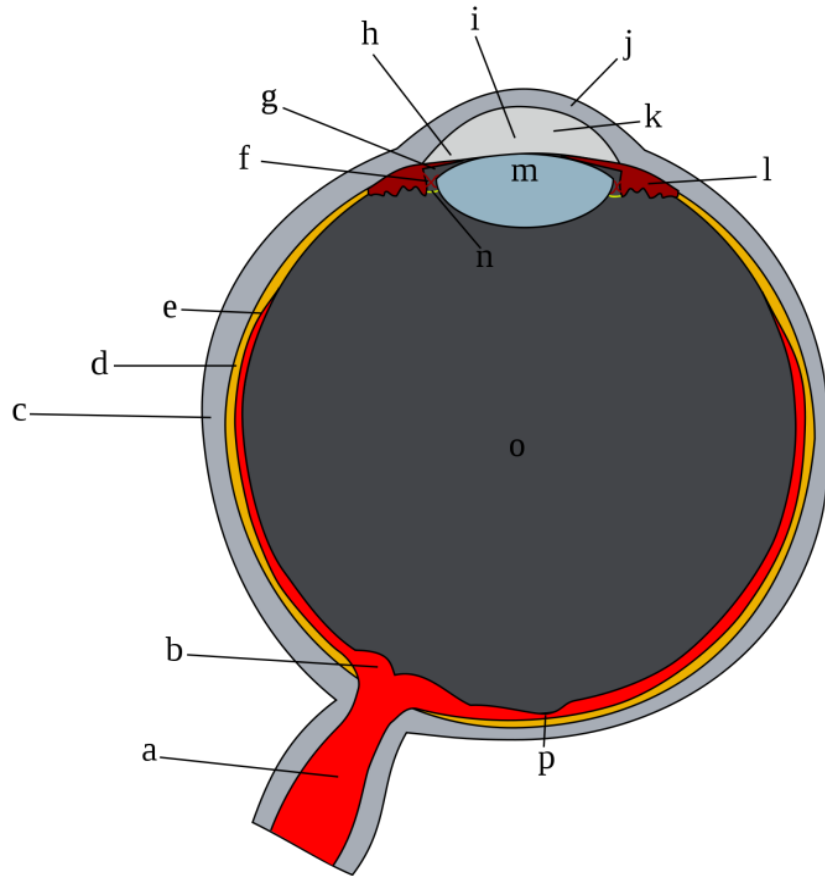
Magnetooptikai Kerr-effektus



Élettani ismeretek

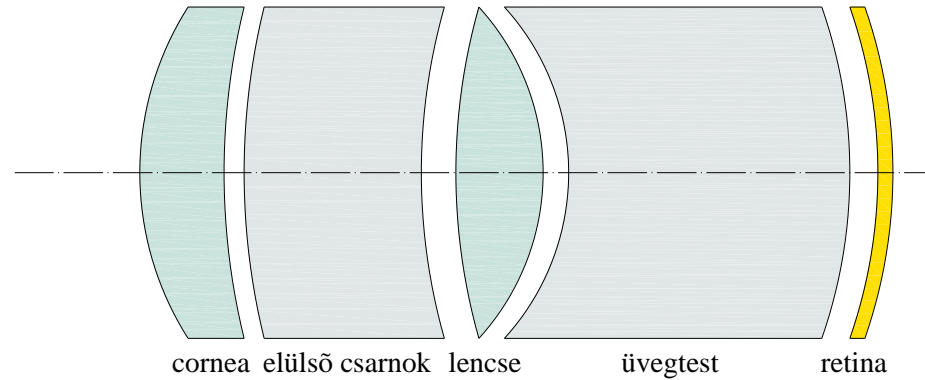
A fény érzékelése és a látás

Az emberi szemfelépítése



- a – látóideg
- b – vakfolt
- c – ínhártya
- d – érhártya
- e – ideghártya, retina
- f – hátsó csarnok
- g – szivárványhártya
- h – csarnokvíz
- i – első csarnok
- j – szaruhártya
- k – csarnokvíz
- l – ciliaris izom
- m – lencse
- n – zonula rost
- o – üvegtest
- p – sárgafolt

Az emberi szem, mint optikai eszköz



A szem fénytörő részei:

- a szaruhártya (cornea),
- az első csarnokot kitöltő csarnokvíz (humor aquaeus),
- a szemlencse (lens crystallina),
- a kocsonyás anyagú üvegtest (corpus vitreum).

A szem törőközegeinek jellemzői

A szaruhártya

elülső felszínének görbületi sugara	7-9 mm	átlag 7,7 mm
hátsó felszínének görbületi sugara	6,8 mm	
vastagsága	0,5-1,0 mm	
törésmutatója	1,37	
törőereje	48,8 D	

A csarnok víz

mélysége	3,2-4,0 mm	átlag 3,6 mm
törésmutatója	1,33	
törőereje	-5,8 D	

A szem törőközegeinek jellemzői

A szemlencse

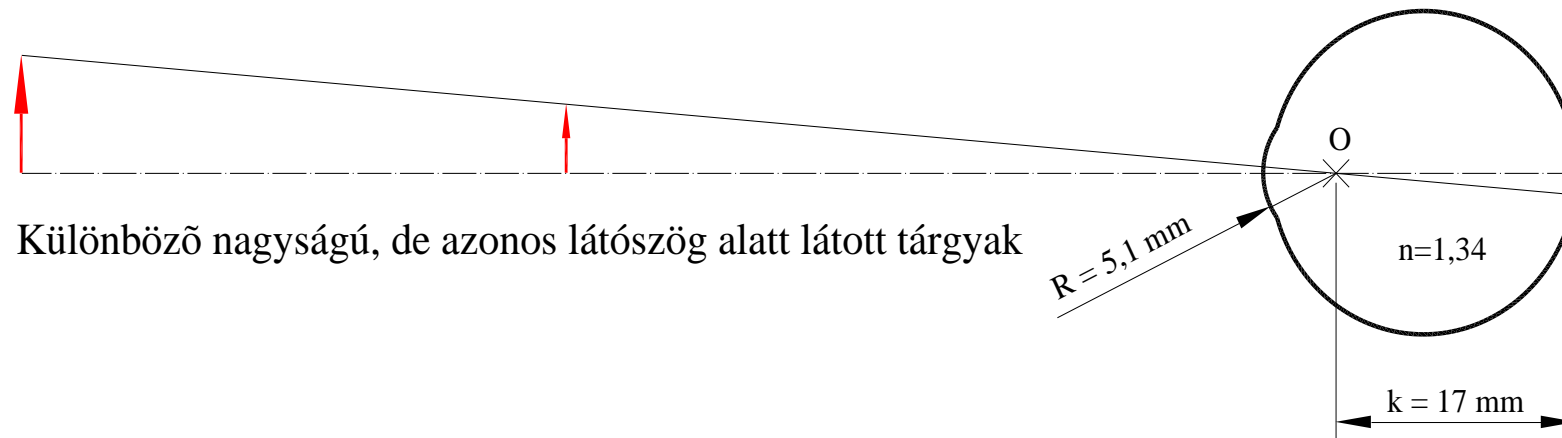
elülső felszínének görbületi sugara	7,9-12,7 mm	átlag 10 mm
hátsó felszínének görbületi sugara	5,1-9,0 mm	átlag 6 mm
vastagsága	3,4-4,4 mm	átlag 3,6 mm
törésmutatója a szélen	1,37-1,41	
törésmutatója a középén	1,41-1,44	
törőereje	21,5D	

Az üvegtest

mélysége	16 mm	
törésmutatója	1,33	

A redukált szem

a redukált szem törésmutatója $n = 1,34$
a törőfelület görbületi sugara $r = 5,1$ mm
optikai középpontja az O pont
O 17 mm-re helyezkedik el a sárgafolttól

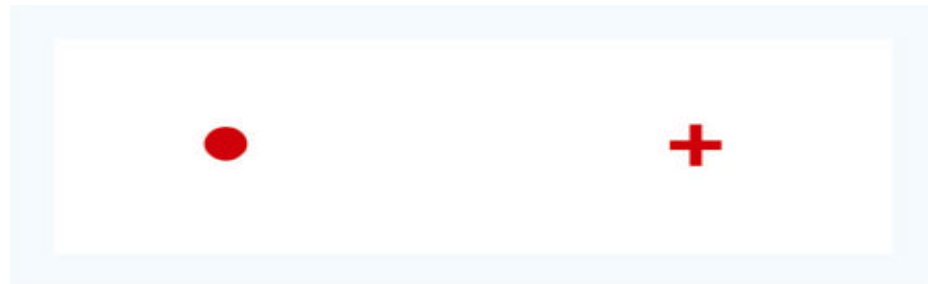


Látásélesség, képalkotás

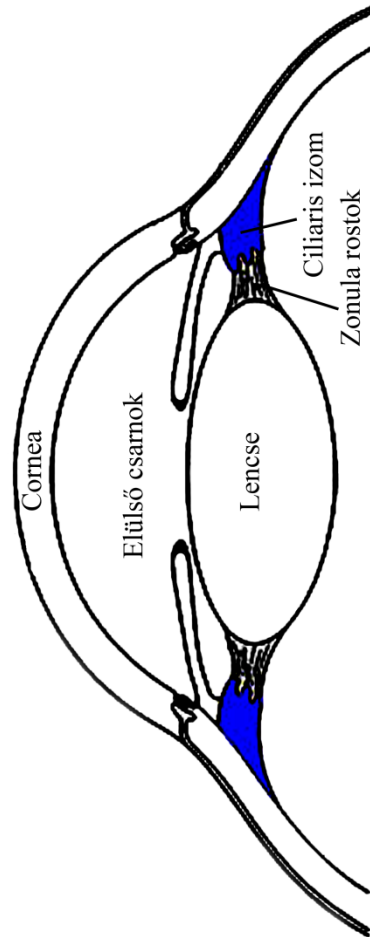
- Látószög
- Látószöghatár
- Visus (látásélesség)
- Éleslátás

9876543210123456789

- Pásztázó mozgás
- Vakfolt



Fókuszálás, akkomodáció



nyugalomban

ciliaris izomzat elernyedt állapotban
lencsefüggesztő (zonula) rostok megfeszülve
ellapult szemlencsét

6 méternél közelebbi tárgyra fókuszál

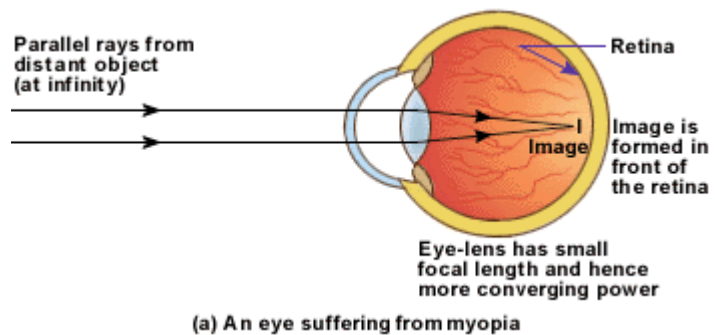
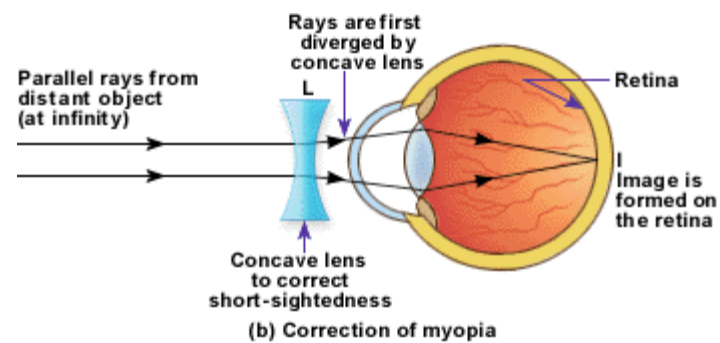
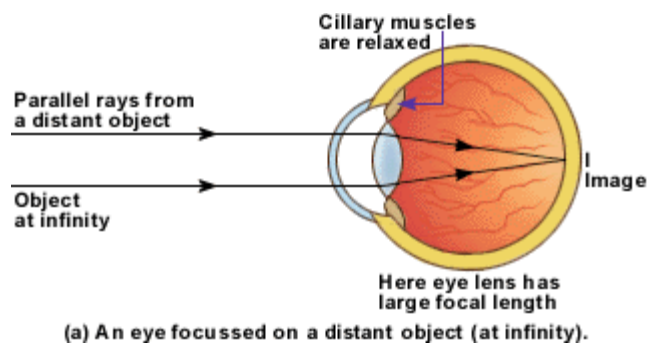
a ciliaris összehúzódik, nyílásának átmérője csökken
zonula rostok elernyednek
a lencse domborúbbá válik

Öregedés

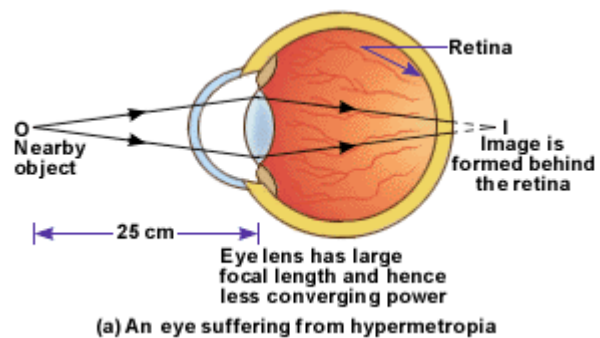
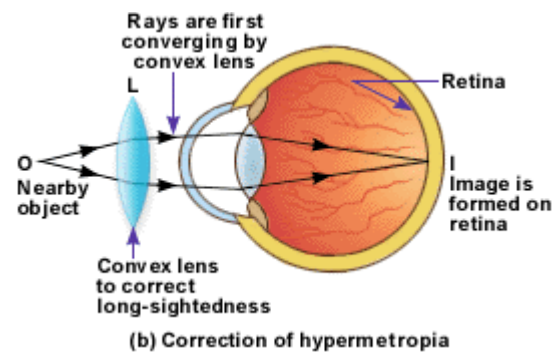
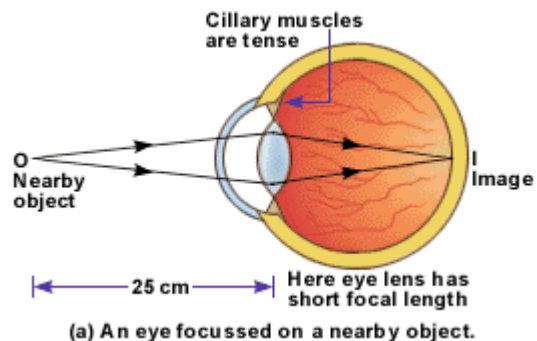
- 10 éves kor 14D
- 20 éves kor 9D
- 35 éves kor 4D
- 45-50 éves kor 1-2D (szemüveg)
- 70 éves kor 0 D

- a ciliaris izmok gyengülése
- a szemlencse megnagyobbodik
 újszülött 3,3 mm 70 éves koráig 5 mm
- a szemlencse görbületi sugara nő
- a szemlencse törésmutatója csökken
 alfa-krisztallin oldhatatlan részecskékké alakul
- a szemlencse veszít rugalmasságából

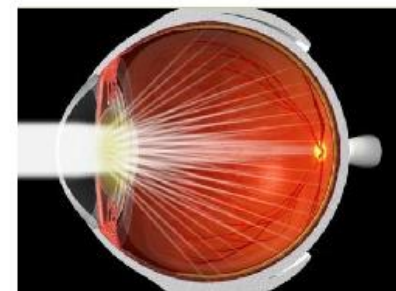
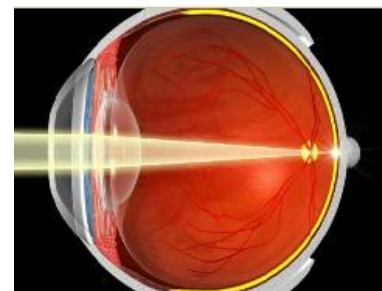
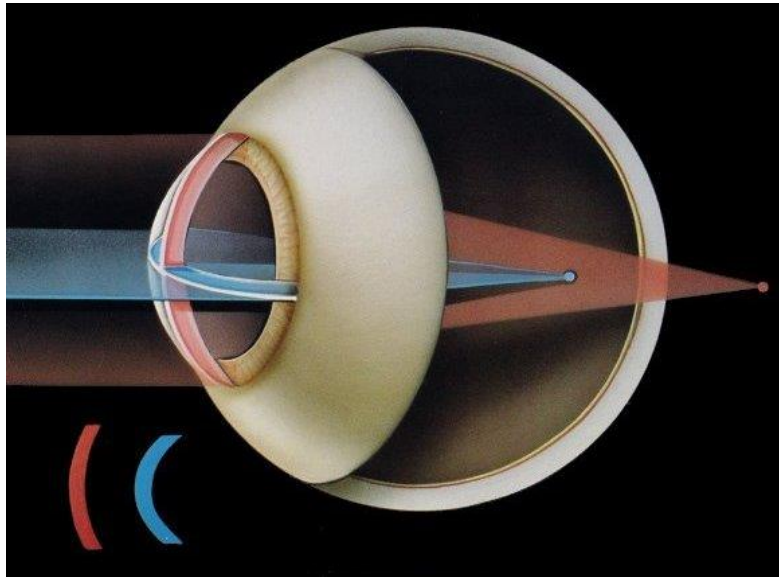
Közellátás



Távollátás

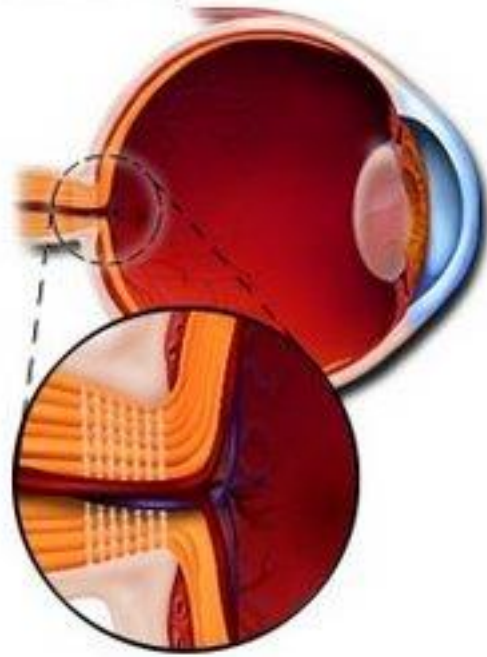


Lencsehibák: astigmatia, szürkehályog

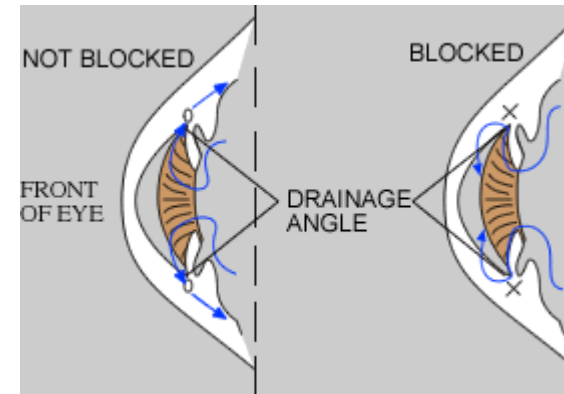
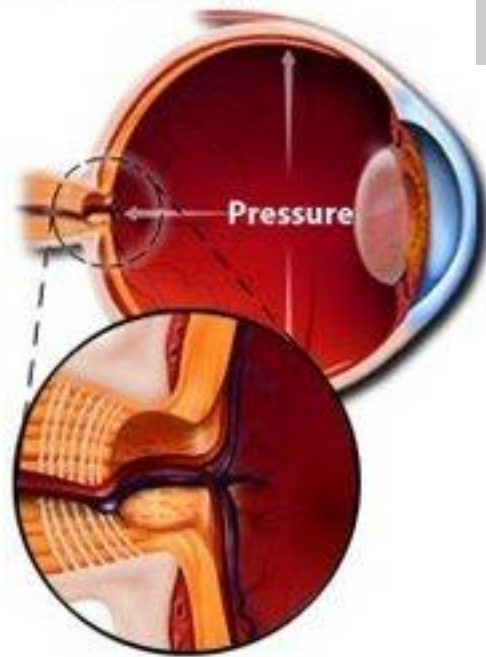


Zöldhályog

Normal eye



Glaucoma eye

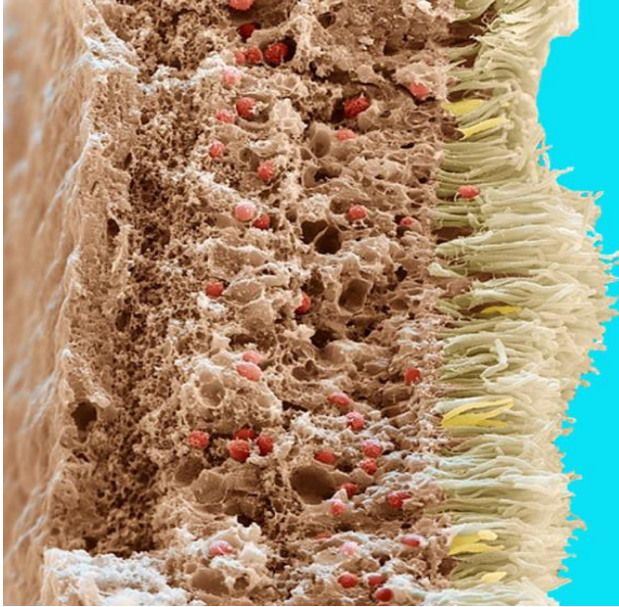


A retina működése

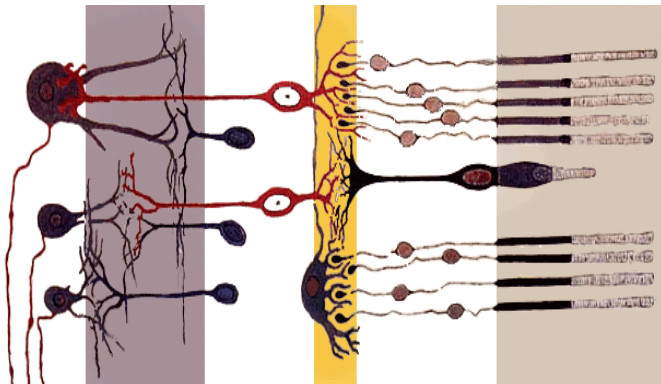
Látási mechanizmusok

- Látógödöri látás
 - Csapok, szűk látószög, nagy felbontás
- Sárgafolti látás
 - Csapok, függőlegesen 3° vízszintesen 12° - 15°
- Perifériás látás
 - Pálcikák, kis felbontás, mozgásérzékenység, nagy látószög

A retina sejszerkezete

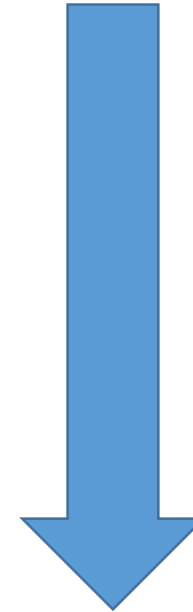


- Ganglion sejtek
- Amacrin sejtek
- Bipoláris sejtek
- Horizontális sejtek
- Receptor sejtek

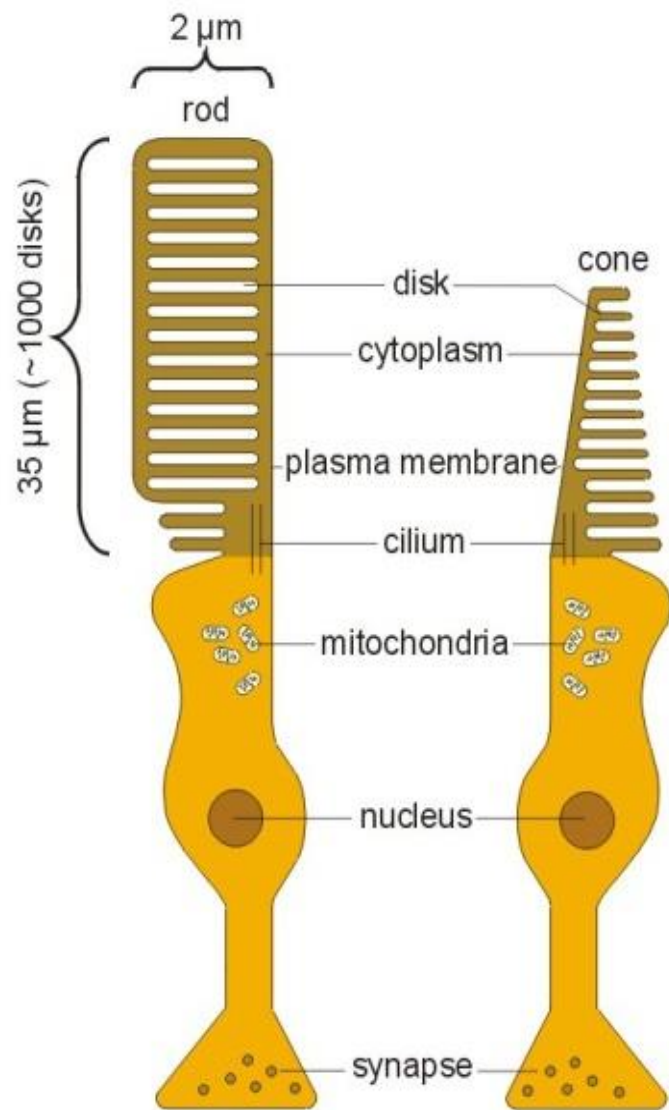


A retina rétegeinek szerepe

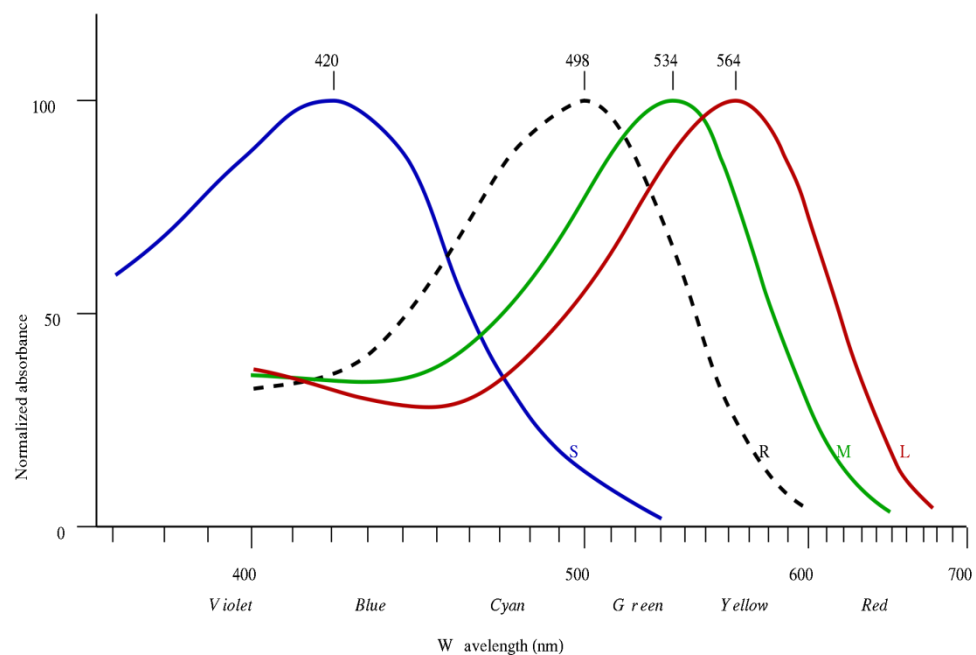
- a fényenergia idegi jelekké történő átalakítása
 - csapok
 - pálcikák
- jelfeldolgozás
 - amacrin sejtek
 - bipoláris sejtek
 - horizontális sejtek
- Jeltovábbítás
 - Látóideg



Pálcikák és csapok



- fényérzékeny membránrendszert
- látópigmentek
- rodopszin
- R, K és H csapok pigmentje

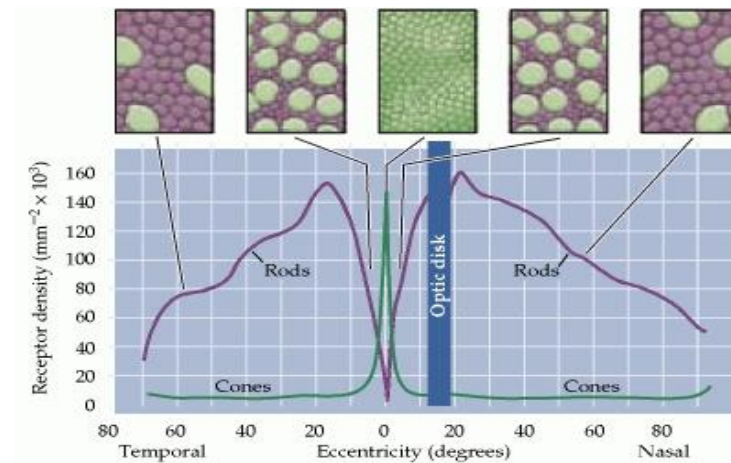
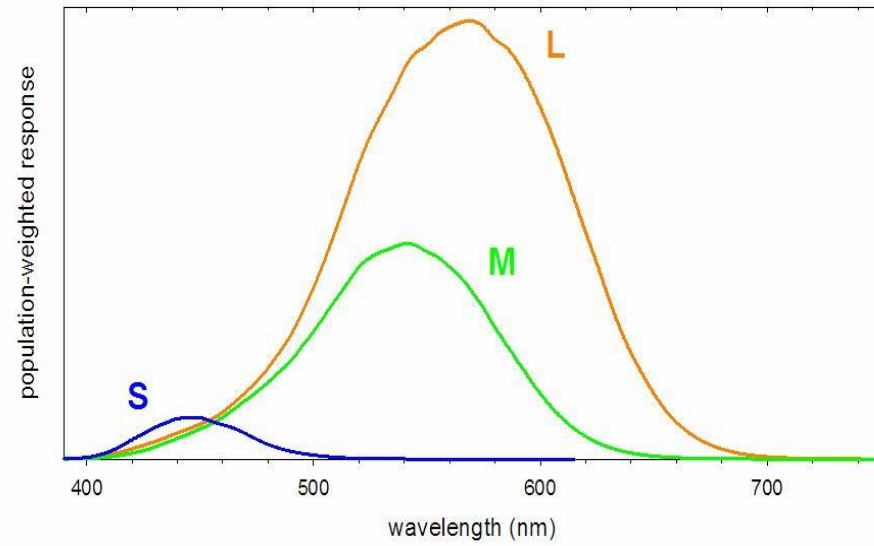
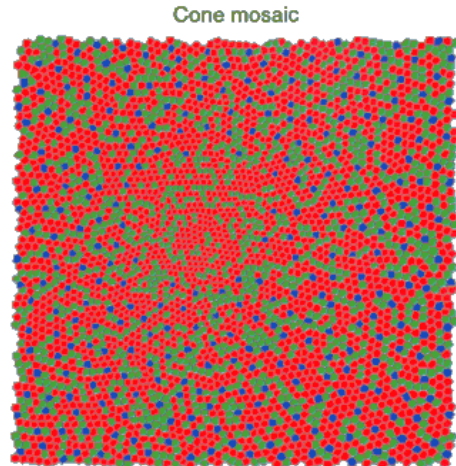


A fényérzékeny sejtek sajátosságai

- Csapok
 - Kis érzékenység
 - Gyors válasz
 - Nagy számsűrűség
- Pálcikák
 - Nagy érzékenység, zaj
 - Lassú válasz
 - Telítődés
 - Kis számsűrűség

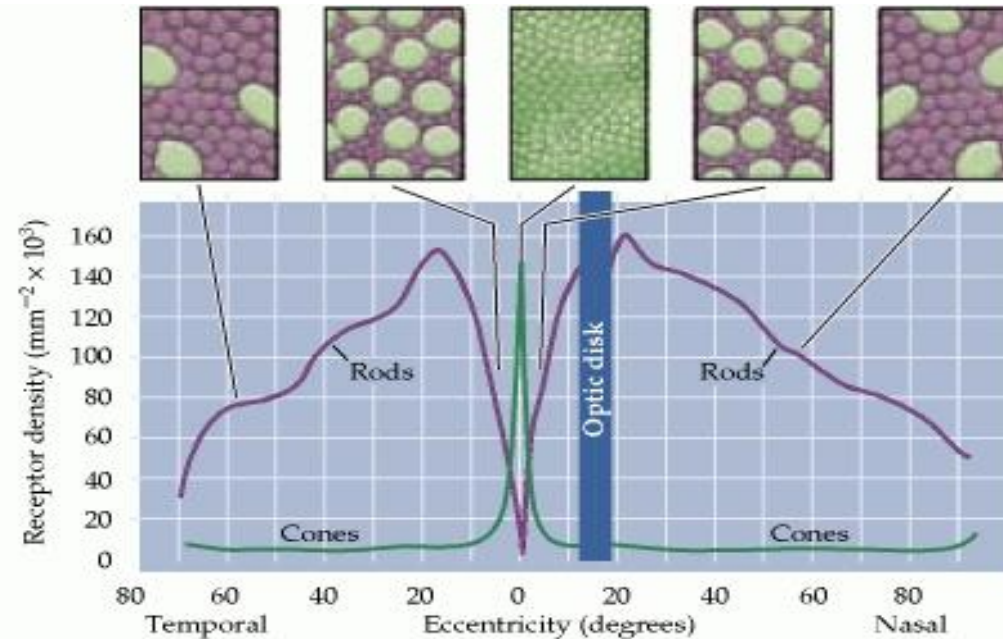
A csapok elhelyezkedése

- fényadaptált (fotopikus) látás
- 4,5 millió csap
 - 6%-a R
 - 63%-a H
 - 31%-a K

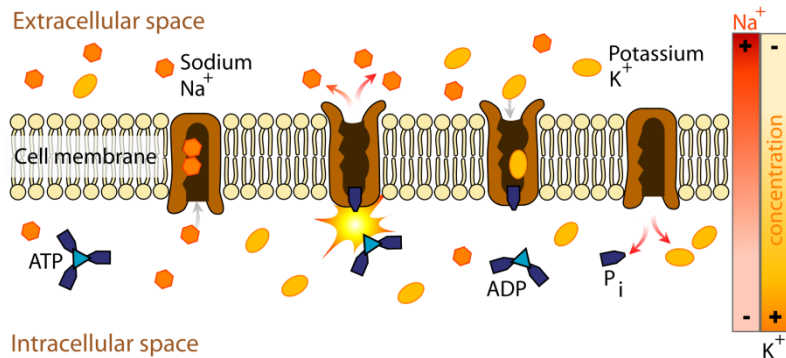
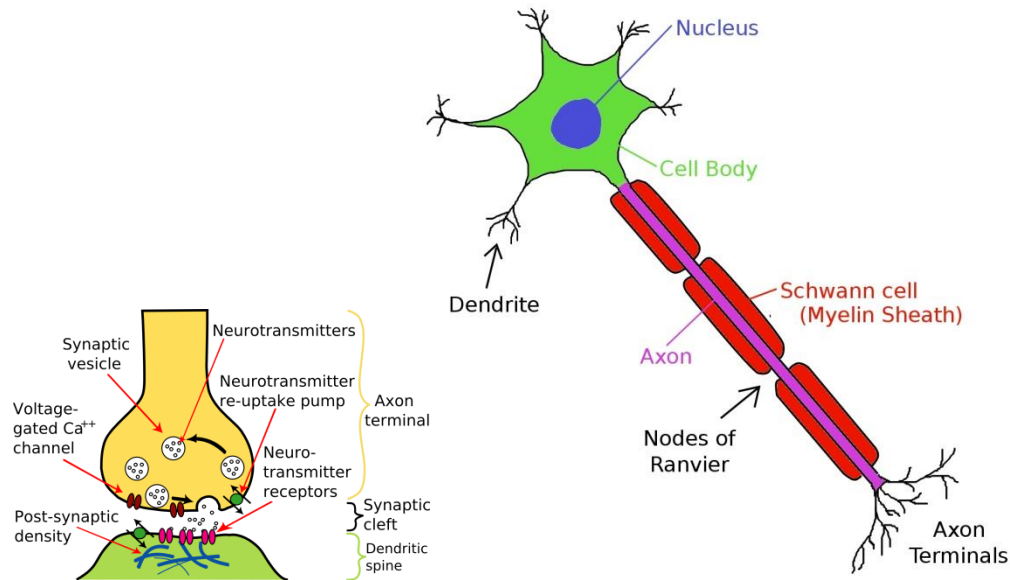


A pálcikák elhelyezkedése

- telítődés
- sötétadaptált (szkotopikus) látás
- 90 millió pálcika
- perifériális elhelyezkedés
- rossz felbontás



Az idegi impulzus



- axonok
- dendridek
- szinapszisok
- neurotranszmitterek
- ioncsatornák
- ionpumpák
- nyugalmi potenciál
 - belül kálium
 - kívül nátrium és clorid
 - belül 60-90 mV

Az idegi impulzus terjedése

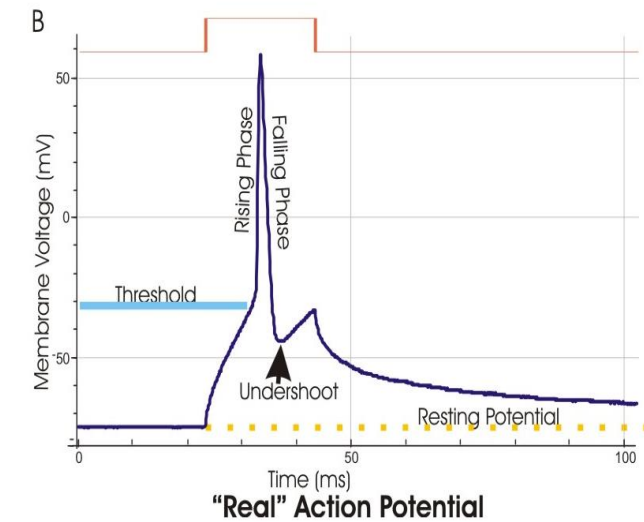
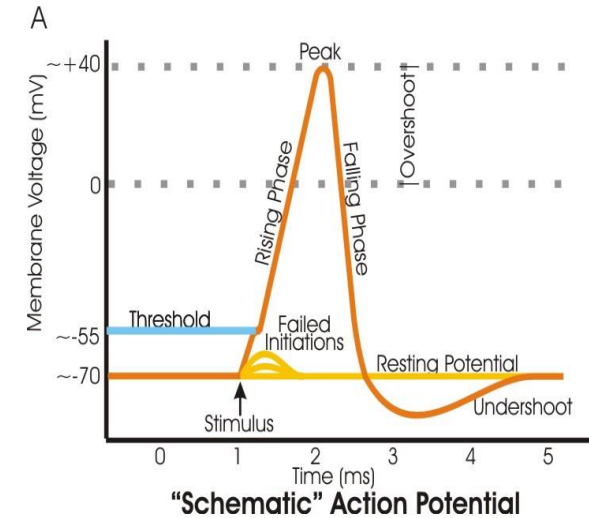
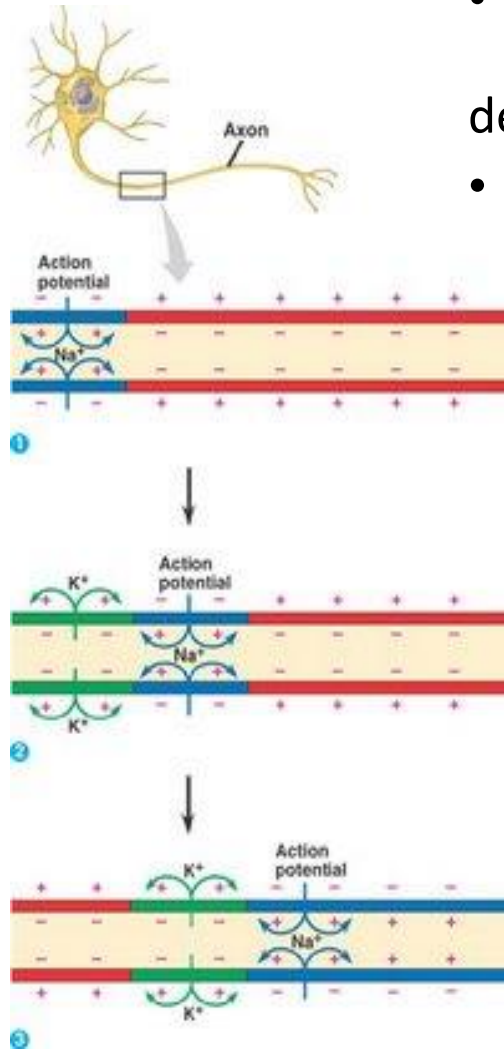
akciós potenciál

hiperpolarizáció

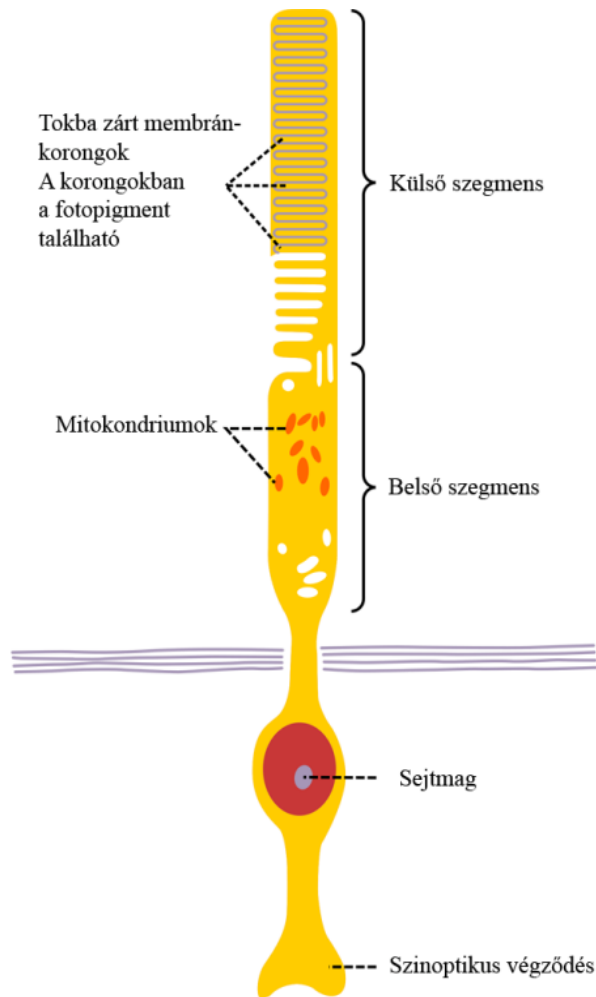
- gátló posztszinaptikus potenciál

depolarizáció

- serkentő posztszinaptikus potenciál



A fotoreceptor elektromos jele



Ingerületátvivő:

ciklikus guanozin-monofoszfát (cGMP)

Sötétben:

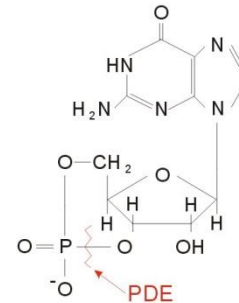
kálium kifelé nátrium befelé áramlik, sötétáram

A fény zárja a nátrium csatornákat:

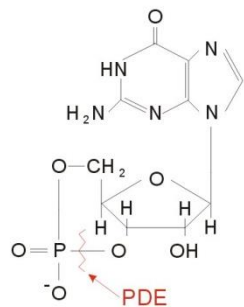
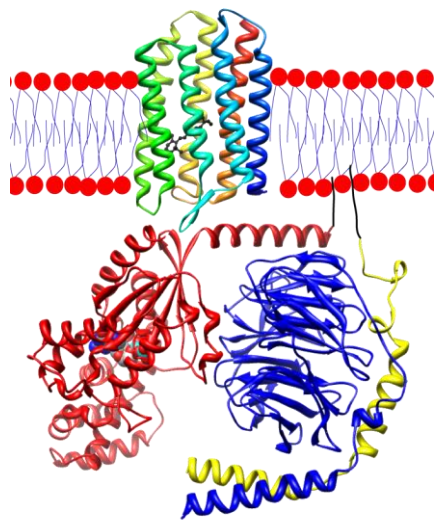
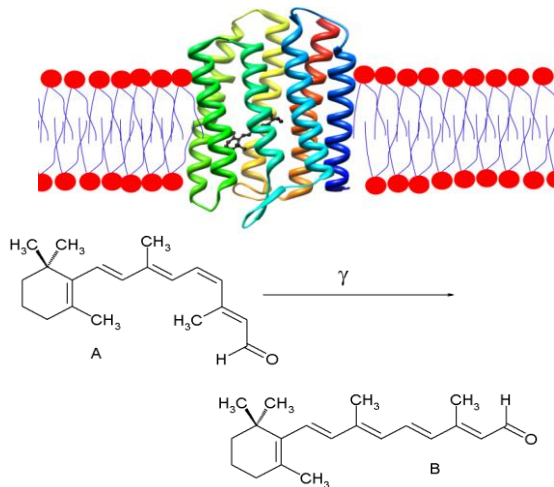
hiperpolarizáció

A hiperpolarizáció eléri a szinapszist

Ingerületátadás más sejteknek



A fényérzékelés kémiai alapja



- lipid kettősréteg
- fényelnyelő rodopszin
 - 11-cisz-retinál (fotoaktív)
 - opszin (fehérje)
- transzducin aktiválása
 - foszfodiszéter-kötés
 - foszfodiészteráz enzim
 - hidrolizált cGMP-molekula
- nátriumcsatornák záródnak
- 50%-os kvantumhatásfok
- pikoamperes impulzusok

A mozgásérzékelése

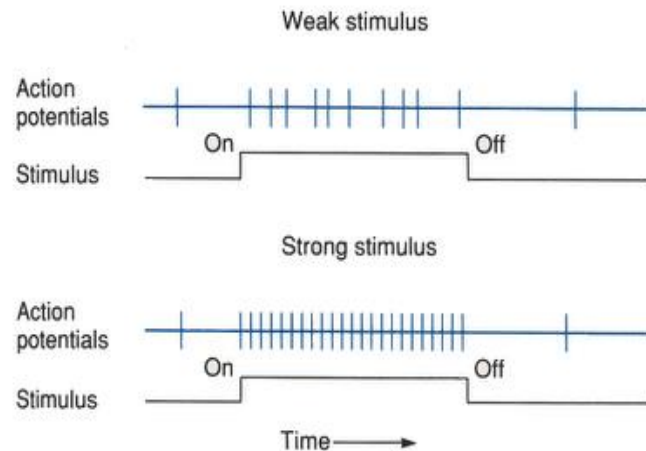
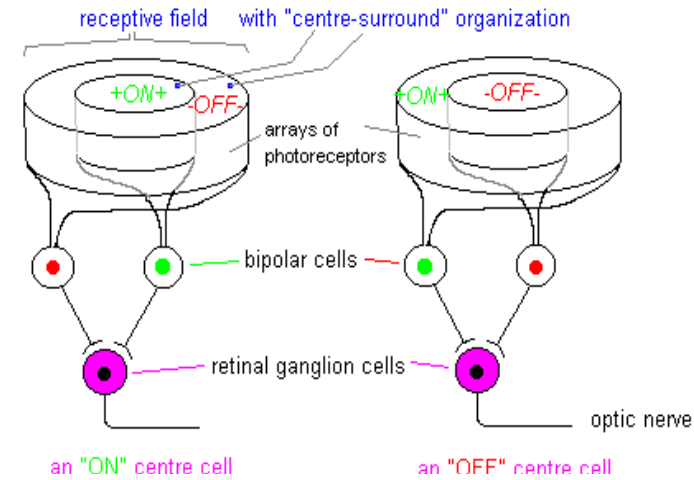
- Irányszelektív sejtek
 - gátló sestek
 - lassú ingerület terjedés
 - serkentő sejtek
 - gyors ingerületterjedés
- korai serkentés – akciós potenciál
- egyidejű ingerlés – csendes gátlás

A csendes gátlás elvén működő szinapszisok szempontjából az a legelőnyösebb, ha vagy közvetlenül a serkentő szinapszisok mellett, vagy valahol a serkentő szinapszisok és a ganglion sejtteste között helyezkednek el.

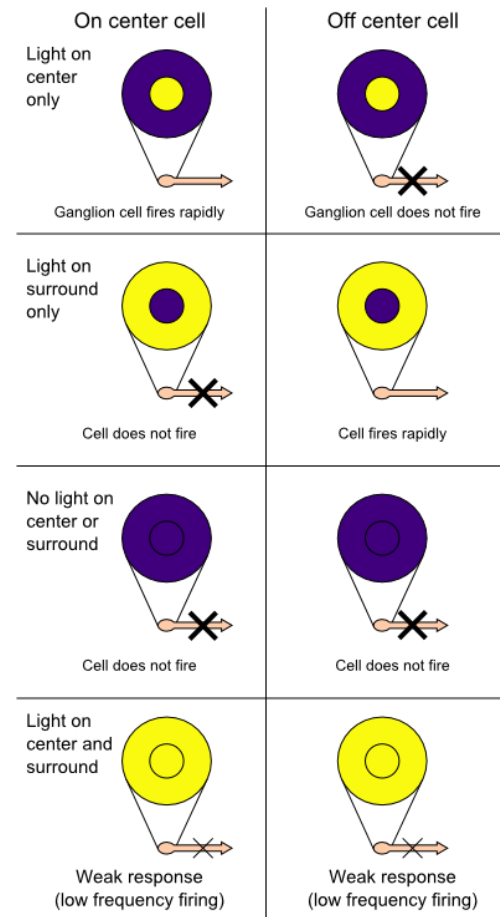
A serkentő és gátló jel még azelőtt kölcsönhatásba lépnek, mielőtt elérnék a sejttestet.

Receptív mező

Laterális kapcsolatok is, melyek a horizontális és az amakrin sejtek segítségével valósulnak.



Az egy ganglionsejthez kapcsolódó receptorsejtek csoportját a ganglionsejt receptív mezőjének nevezzük.



A receptív mezők hatása

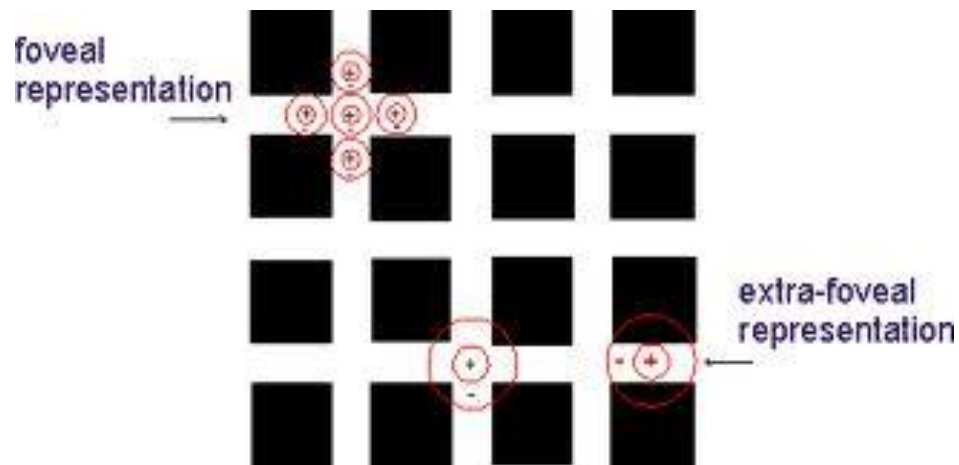
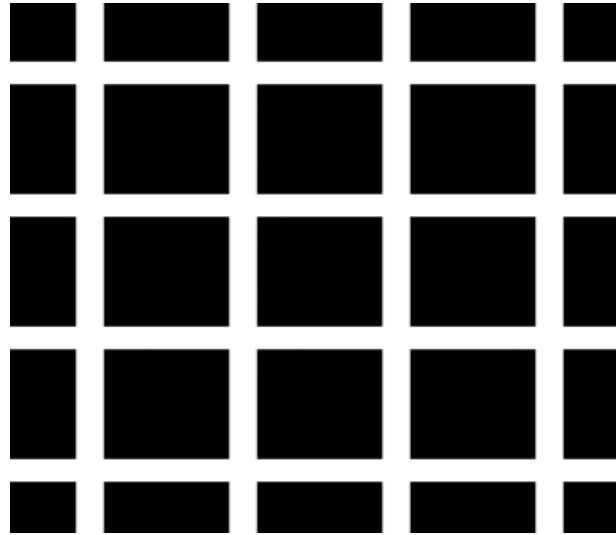
A ganglionsejtek a helyi kontrasztokra reagálnak: az on-középpontú sejtek a sötét háttér előtti világos, az off-középpontúak pedig a világos háttér előtti sötét tárgyakat észleléséért felelnek.

A kísérlet eredményeiből arra következtethetünk, hogy a retina főleg a megvilágítás kezdetét és végét – be- illetve kikapcsolását – jelzi az agynak.

Tapasztalhattuk továbbá, hogy a lokalizált megvilágítás sokkal hatásosabb ingerület kiváltó, mint a szórt fény.

A ganglionsejt tehát a fényváltozásokra reagálnak, a megvilágításban észlelt tér- és időbeli különbségeket regisztrálja.

Hermann-rács

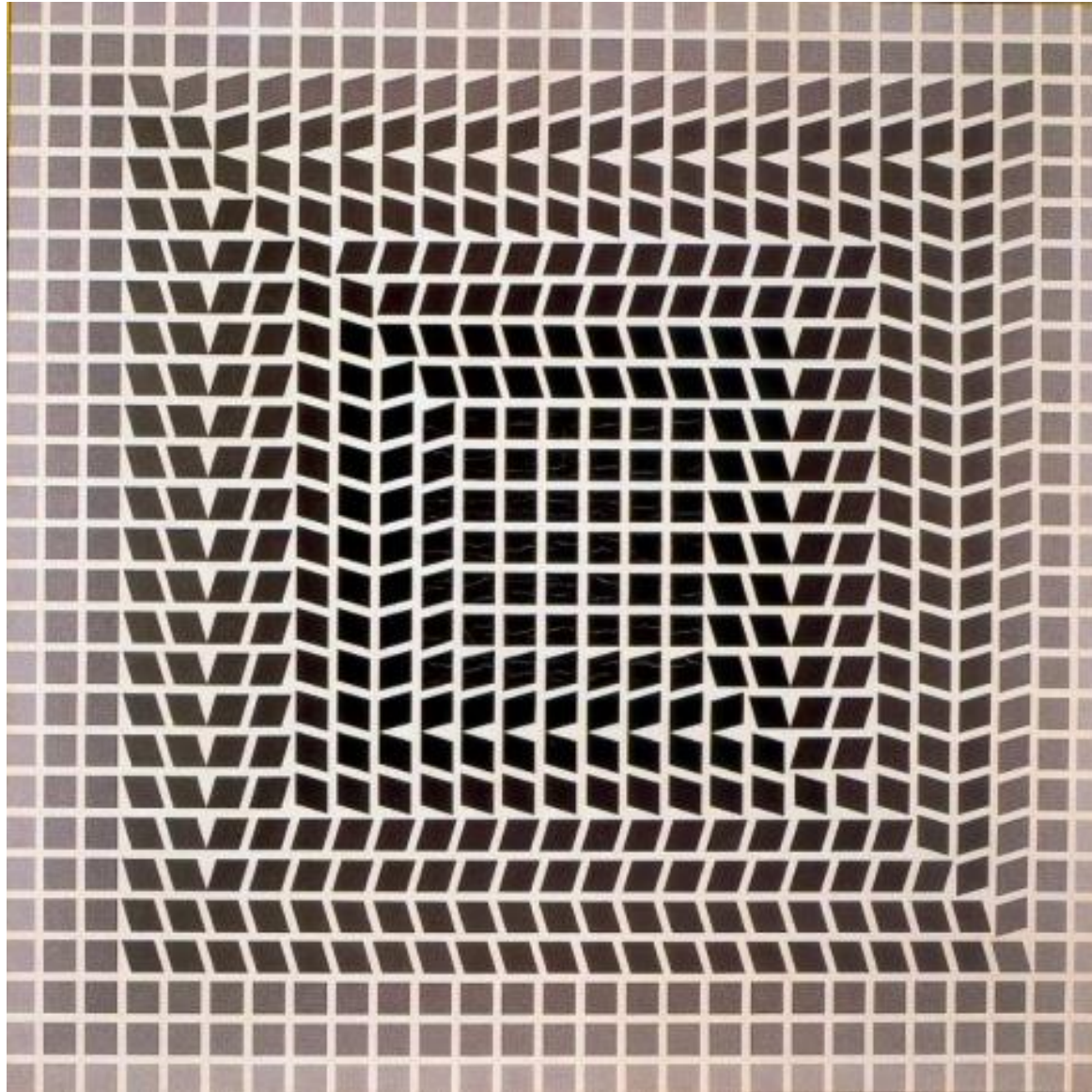


Az az on-központú ganglionsejt, amelynek receptív mezeje a csíkokra (de nem a kereszteződésre) esik, igen erős ingerületbe jön, hiszen a jórészt sötét háttér miatt gátlás nem alakul ki.

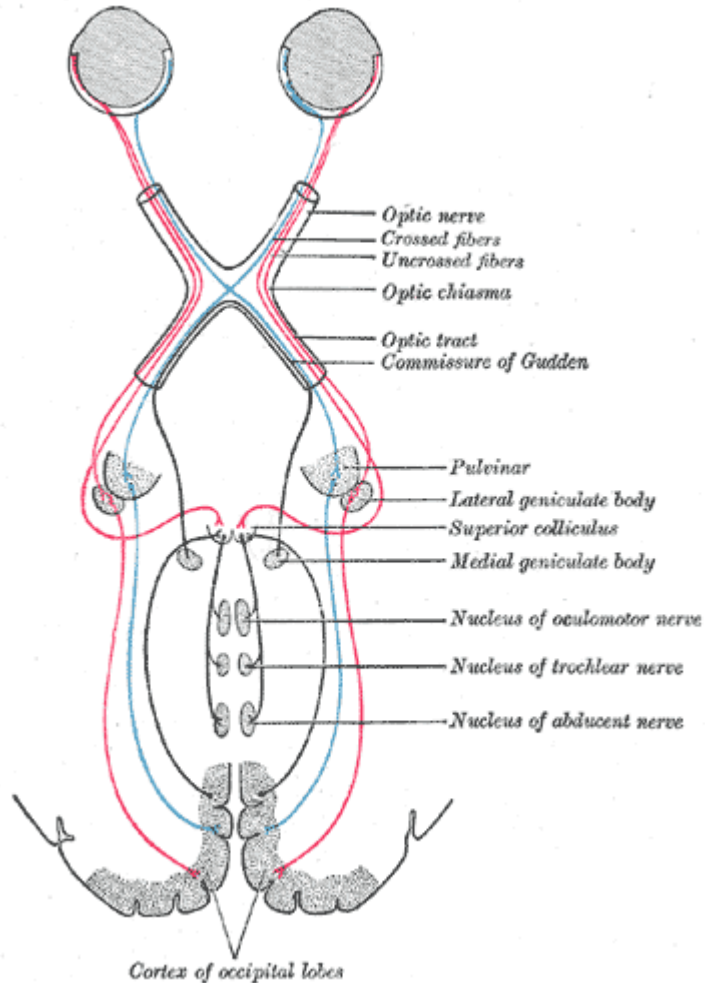
A kereszteződésben viszont a gátló környezet kétszer annyi fényt kap, mint az előbb, az így gátolt neuron aktivitása tehát lényegesen csökken.

Az agy tehát azt az információt kapja, hogy a kereszteződések sötétebbek, mint a csíkok.

Vasarely Tau-Ceti



Agyi képfeldolgozás



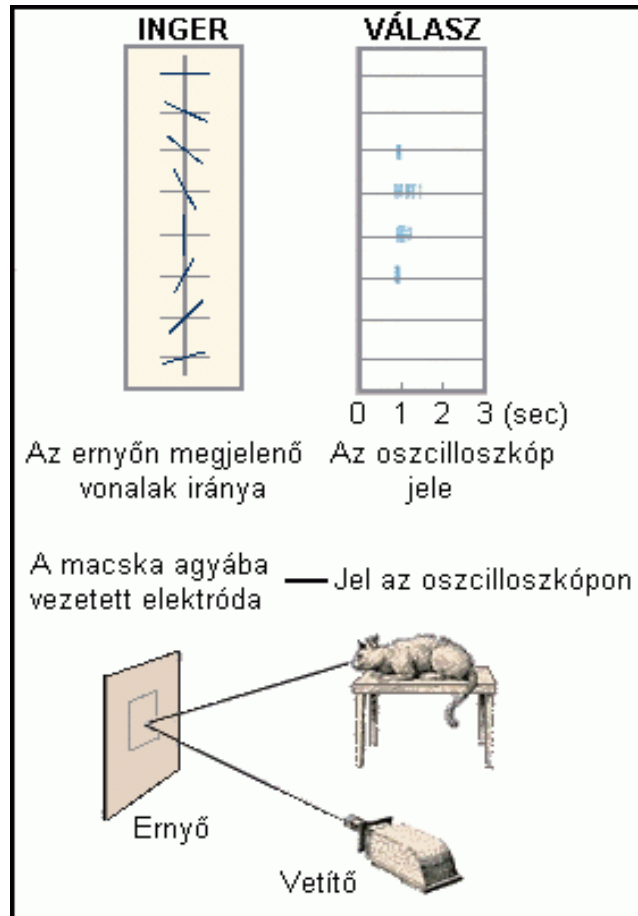
A retinából a látókéregbe futó idegrostok először két kötegre oszlanak.

Egyik felük az ellentétes agy azonos, a másik az oldali féltekéjébe jut.

A látókéreg mindegyik fele mindkét szemből kap információkat.

A két szemből jövő kevert impulzusok az oldalsó kérgestestben lévő szinapszisokon keresztül a látókéregbe jutnak.

Agykérgi sejtek



A receptív mezők az agykérgi sejtek esetében is megtalálhatók.

Az úgynevezett komplex sejtek a receptív mezőben felbukkanó mozgó vagy határoló vonalakra jeleznek élénken.

A hiperkomplexnek nevezett sejtek akkor jönnek ingerületbe, ha a vonal vagy határzóna rövid, vagy ha 90°-os szögletet tartalmaz.

A látókéreg különböző sejtjei különböző irányú vonalakra érzékenyek. Egyesek a függőlegesre, mások a vízszintesre, megint mások egyéb szögekre.

A képfelismerés

A látás nem a külvilágból érkező fotonok keltette jelek idegsejtek általi egyszerű leképezése.

Az ingert fel is kell dolgozni, azonosítani és értelmezni kell.

A fizikai ingereket össze kell vetni az agyban tárolt ismeretekkel.