

GÖRME BİYOFİZİĞİ

Yrd. Doç. Dr. Aslı AYKAÇ
NEU Tıp Fakültesi
Biyofizik AD

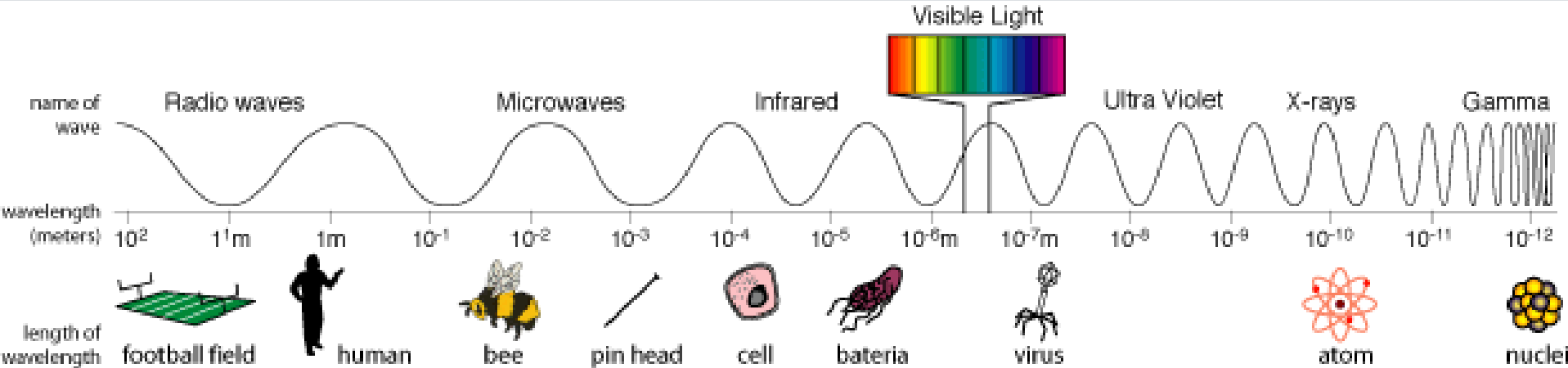


IŞIK

- Işık hem dalga hem de tanecik karakteri taşır
- Işığın yayılma özelliklerinin ortaya çıkışında **dalgasal** yanı ağır basarken **madde ile etkileşimlerinde tanecik** doğası hakimdir



EMD SPEKTRUMU



Düşük Frekans
Uzun dalga boyu

Yüksek Frekans
Kısa dalga boyu

Radio waves

Microwaves

Infra-red

Visible Light

Ultra-violet

X-rays

Gamma rays



Rabbits

Move

In

Very

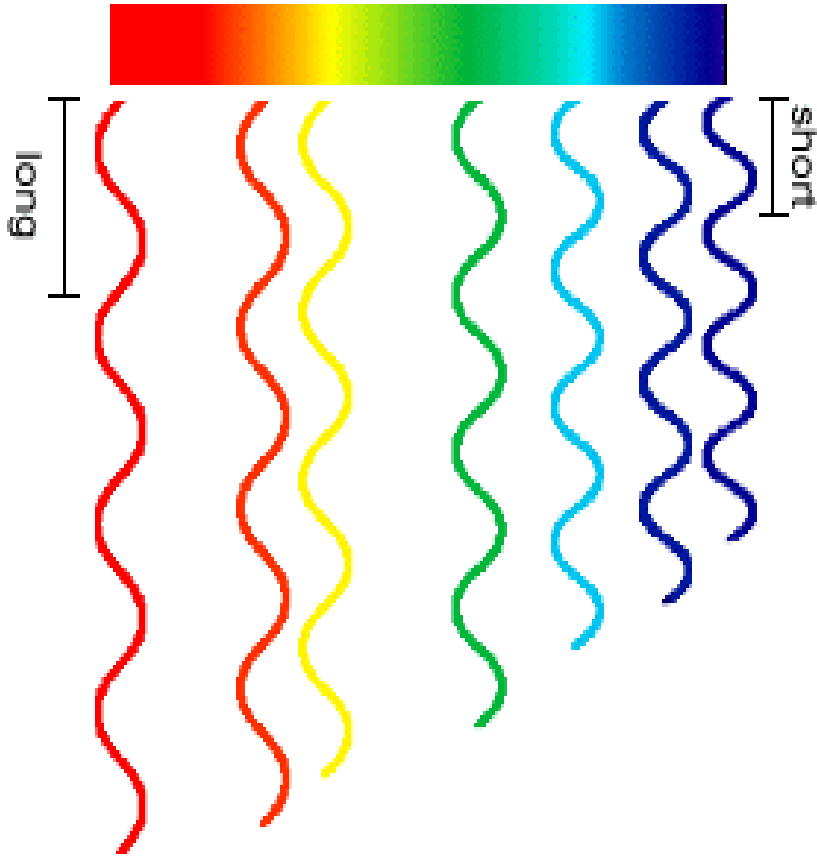
Unusual

eXpensive

Gardens

Görünür Işık Spektrumu

visible spectrum of light



Renkler	Dalga Boyları (nm)
Kırmızı	625 - 740
Turuncu	590 - 625
Sarı	565 - 590
Yeşil	500 - 565
Mavi	450 - 485
Çivit mavisi	450 - 420
Mor	380 - 440



IŞIĞIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Görünür ışık (VIS)

$$\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$$

Kızıl ötesi (IR) > **Görünür ışık (VIS)** > Ultraviolet ışık (UV)

- EMD transverse dalgadır. Ortamın parçacıkları dalganın hareket doğrultusuna dik hareket ediyorsa bu tür dalgalara *enine dalga* denir.

Işık hızı

$$c = 299\,792\,458 \text{ ms}^{-1} \cong 300\,000\,000 \text{ ms}^{-1} = 300\,000 \text{ kms}^{-1}$$



ÇOK RENKLI VE MONOKROMATIK IŞIK

- **Çok renkli ya da beyaz ışık**
çeşitli dalga boylarına sahip ışık
- **Monokromatik ışık**
tek bir dalga boyuna sahip ışık

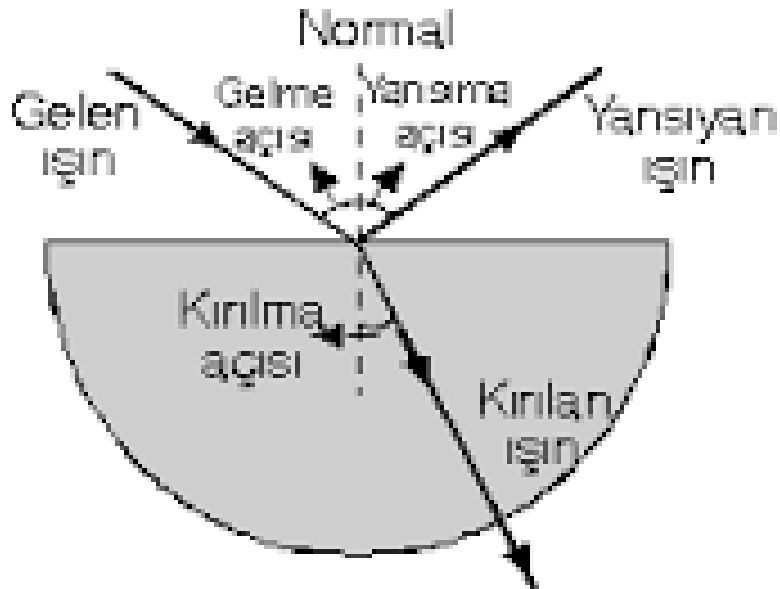
Faz karakterlerine göre ışık

- **Koherent - Eş fazlı**-Kaynaktan aynı mesafede aynı faza sahip ışık. Ör: Lazer
- **İnkoherent – farklı fazlar**
Ör: güneş ışığı ya da ampüller



ARA YÜZEYE DÜŞEN IŞIN

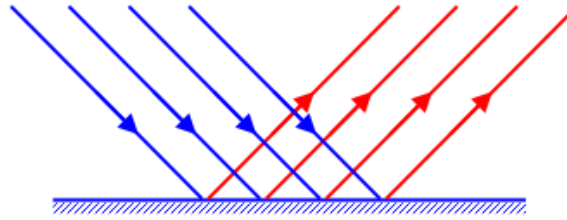
- Işık, iki ortamı ayıran bir ara yüze düştüğü zaman
 - bir kısmını yansımaya
 - bir kısmını da kırılmaya uğrar



KIRILMA VE YANSIMA

Yansima Kanunu:

- 1-Gelen ışın, normal ve yansıyan ışın aynı düzlemedir.
- 2-Gelme açısı yansima açısına eşittir.
- 3-Normal üzerinden gelen ışın kendi üzerinden yansır.



Kırılma: Işık bir ortamdan diğerine geçerken, ışın yön değiştirir. Bu bükülme kırılma olarak adlandırılır.

$$n = c/v \text{ [birimsiz]}$$

n – ortamın kırılma indisi

c – ışık hızı

v – ışığın ortamdaki hızı

vakumun kırılma indeksi:1



Kırılma (Snell Kanunu)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

A – GELİŞ AÇISI

B – KIRILMA AÇISI

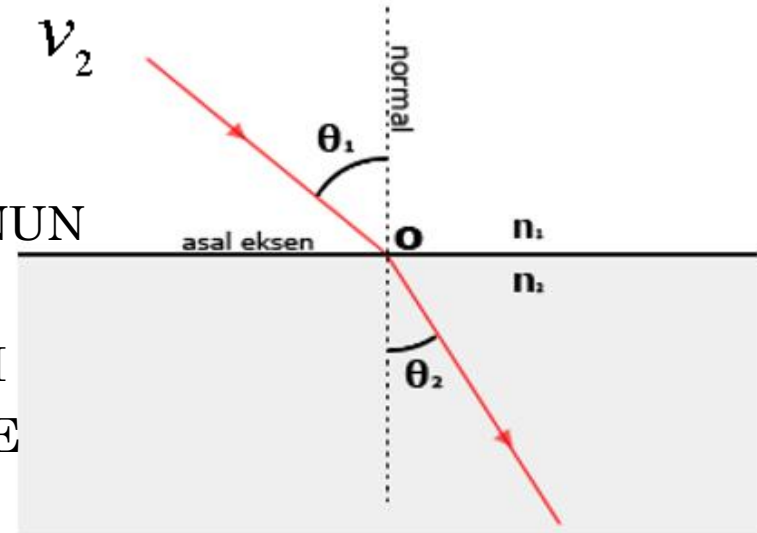
$\alpha = \theta_1$ = IŞIĞIN GELİŞ DOĞRULTUSUNUN
NORMALLE YAPTIĞI AÇI

$\beta = \theta_2$ = IŞIĞIN KIRILDİKTAN SONRAKI
GİDİŞ DOĞRULTUSUNUN NORMALLE
YAPTIĞI AÇI

n_1, n_2 – KIRILMA İNDEKSLERİ

$n_1 > n_2$ – NORMALDEN UZAKLAŞIR

$n_1 < n_2$ – NORMALE DOĞRU KIRILMA
OLUŞUR



$\theta_1 =$ geliş açısı; $\theta_2 =$ kırılma açısı

Işığın hızı, yeni ortamda daha az ise, ışın normal doğru eğilir

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

$n_2 > n_1$ ise ; $\theta_2 < \theta_1$ 'dir.

İkinci ortamın kırılma indeksi daha az ise, ışın normalden uzaklaşır

- Kırıcı ortamın yoğunluğu arttıkça kırılma büyür
- Kırılan ışın doğru boyunca yayılır
- Gelen ışın, kırılan ışın ve normal tek bir düzlemde bulunur
- Yüzeye dik olarak gelen ışın kırılmaz



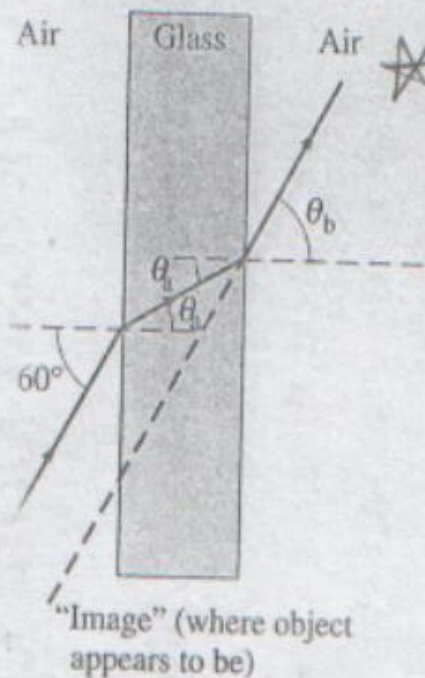


FIGURE 23-20 Light passing through a piece of glass (Example 23-5).

EXAMPLE 23-5 Light strikes a flat piece of glass at an incident angle of 60° , as shown in Fig. 23-20. If the index of refraction of the glass is 1.50, (a) what is the angle of refraction θ_a in the glass; (b) what is the angle θ_b at which the ray emerges from the glass?

SOLUTION (a) We assume the incident ray is in air, so $n_1 = 1.00$ and $n_2 = 1.50$. Then, from Eq. 23-5 we have

$$\sin \theta_a = \frac{1.00}{1.50} \sin 60^\circ = 0.577,$$

so $\theta_a = 35.2^\circ$.

(b) Since the faces of the glass are parallel, the incident angle in this case is just θ_a , so $\sin \theta_a = 0.577$. This time $n_1 = 1.50$ and $n_2 = 1.00$. Thus, $\theta_b (= \theta_2)$ is

$$\sin \theta_b = \frac{1.50}{1.00} \sin \theta_a = 0.866,$$

and $\theta_b = 60.0^\circ$. The direction of the beam is thus unchanged by passing through a plane piece of glass. It should be clear that this is true for any angle of incidence. The ray is displaced slightly to one side, however. You can observe this by looking through a piece of glass (near its edge) at some object and then moving your head to the side so that you see the object directly.

TOPLAM İÇ YANSIMA

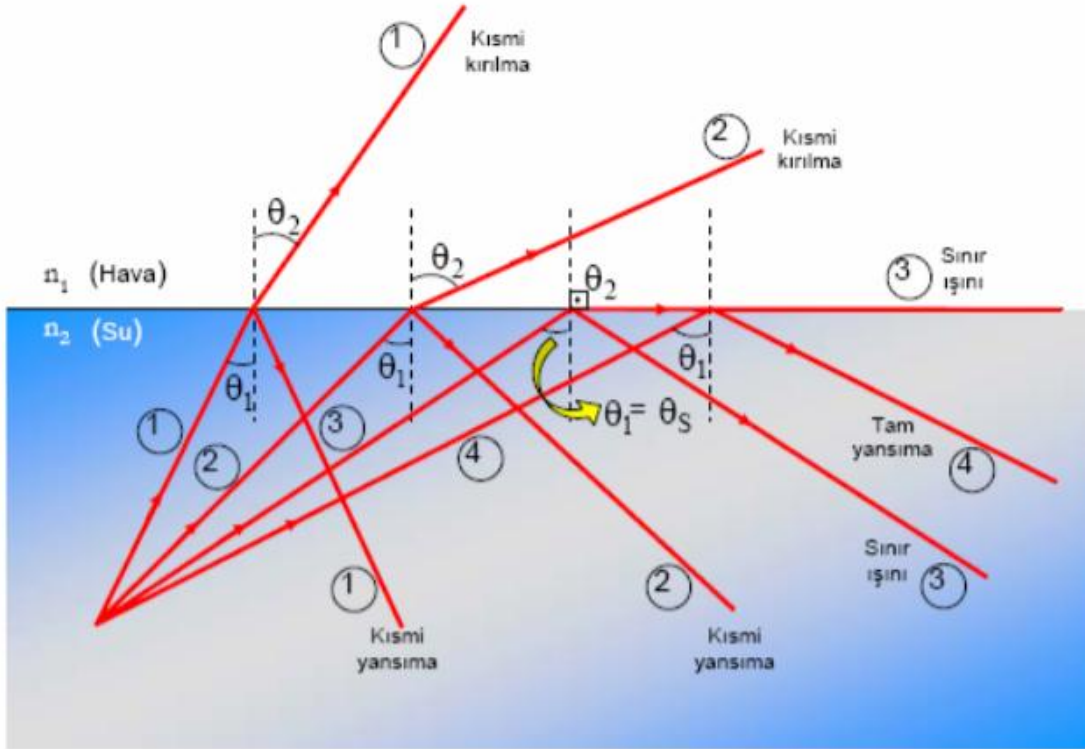
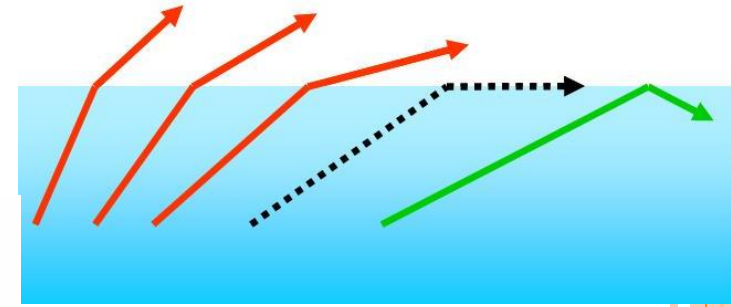
- Kırılma indisi yüksek olan bir ortamdan kırılma indisi küçük ortama geçen dalganın kritik açının hemen altındaki açılarda yansımalar yapmasıdır.
 - Kritik açı: Yansıyacak bir yüzeye gelen ışının yüzey içinde kalmadan yüzeyden yansıyabileceği açı değeri

$$\theta_c = n_2 / n_1 \quad (\sin 90)$$

- Işık daha az kırılma indeksi ile ortama geçer ve ışın normalden uzaklaşır



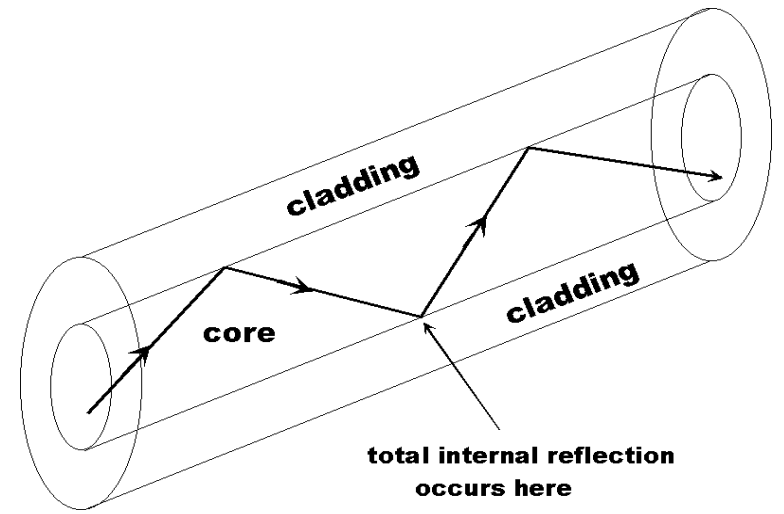
TOPLAM İÇ YANSIMA



Gelme açısı kritik açıdan daha büyük ise: tüm ışık yansıtılır. Bu etkiye "toplam iç yansımaya" denir.



Fiber Optik



- Bir fiber optik, merkezden daha düşük kırılma indeksi olan bir dış kaplama ile çevrili cam, plastik ya da silika çekirdekten oluşur

Fiber optik;

- toplam iç yansıma yoluyla ışığı iletir
- içindeki ışığı tamamen çekirdeğine geri yansıtır
- ışık fiber sonuna ulaşınca kadar sıçrayarak fiber boyunca hareket eder
- avantajı enerji kaybetmeden, ışığın bozulmadan oldukça uzun mesafelerde seyahat edebiliyor olmasıdır

MERCEKLER/LENSLER

- **Mercek** ışığın yönünü değiştiren, ışık ışınlarını birbirine yaklaştıran ya da uzaklaştıran optik aleti
- **Basit mercek** tek bir optik elemanın kullanıldığı, bileşik mercek ise iki optik elemanın bir arada olduğu mercek tipidir
- **Bileşik mercekler**, basit mercek kullanıldığında ortaya çıkan sapınç olayının etkisini azaltmak için kullanılır

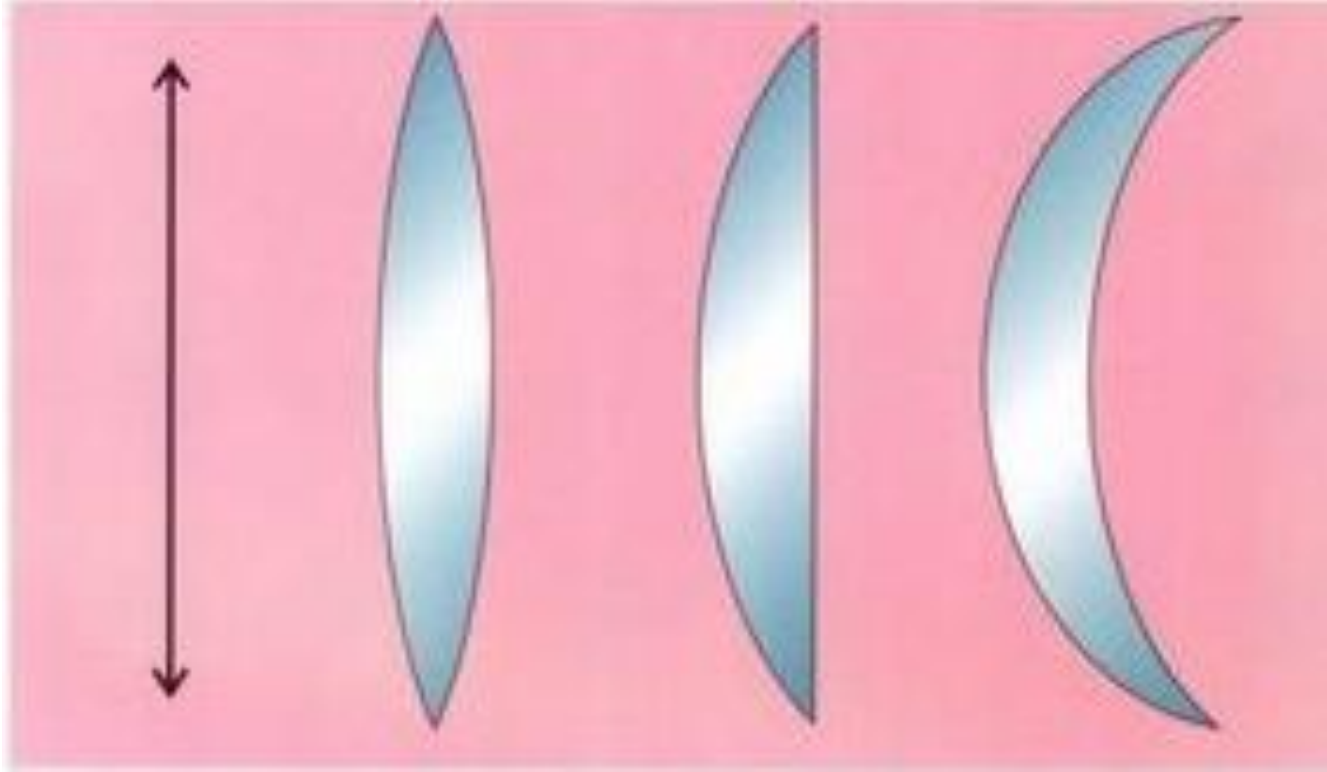


İNCE KENARLI MERCEKLER

- Uç noktaları ince, orta noktaları kalın olan merceklerdir
- İnce kenarlı mercekler ışığı toplama özelliğine sahiptir
- İnce kenarlı mercekler belirli mesafelerdeki cisimlerin düz ve büyük görüntülerini oluşturur
 - büyüteç görevi



İNCE KENARLI MERCEKLERİN GÖSTERİM ŞEKLİ

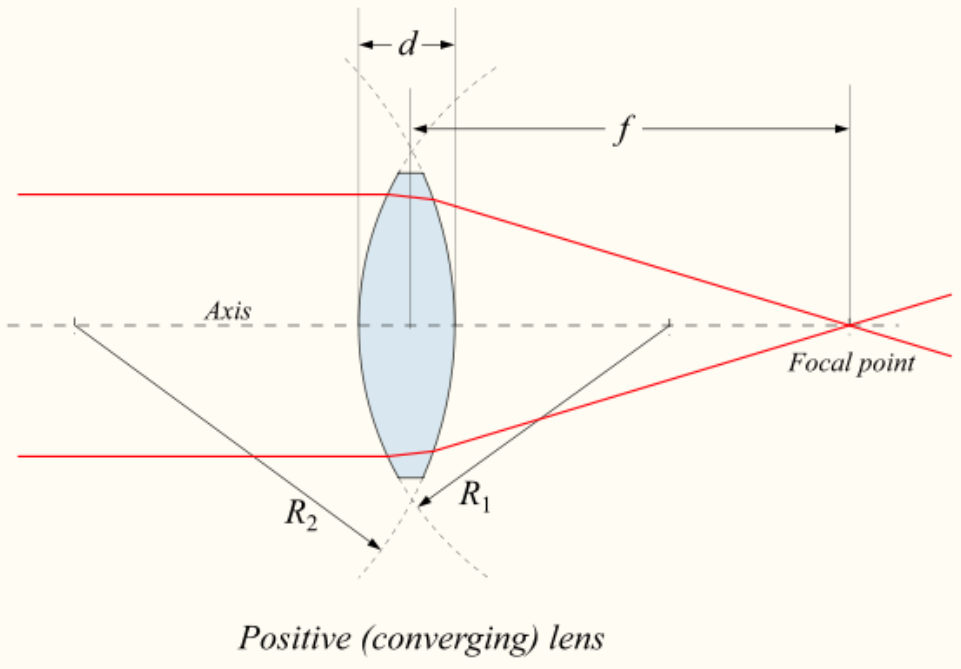


- İnce kenarlı merceğe gelen paralel ışınlar merceğin karşı tarafında bir noktada toplanır.
- Işınların toplandığı bu noktaya merceğin **odak noktası** denir.
- **Optik Eksen** (Asal Eksen) Bir merceğin geometrik merkezinden geçen ve yüzeylerinin eğrilik merkezlerini birbirine bağlayan doğru



İNCE KENARLI MERCEK

DİŞBÜKEY MERCEK/YAKI NSAK MERCEK



d: iki kırıcı yüzey arasındaki uzaklık

f: merceğin odak uzaklığı

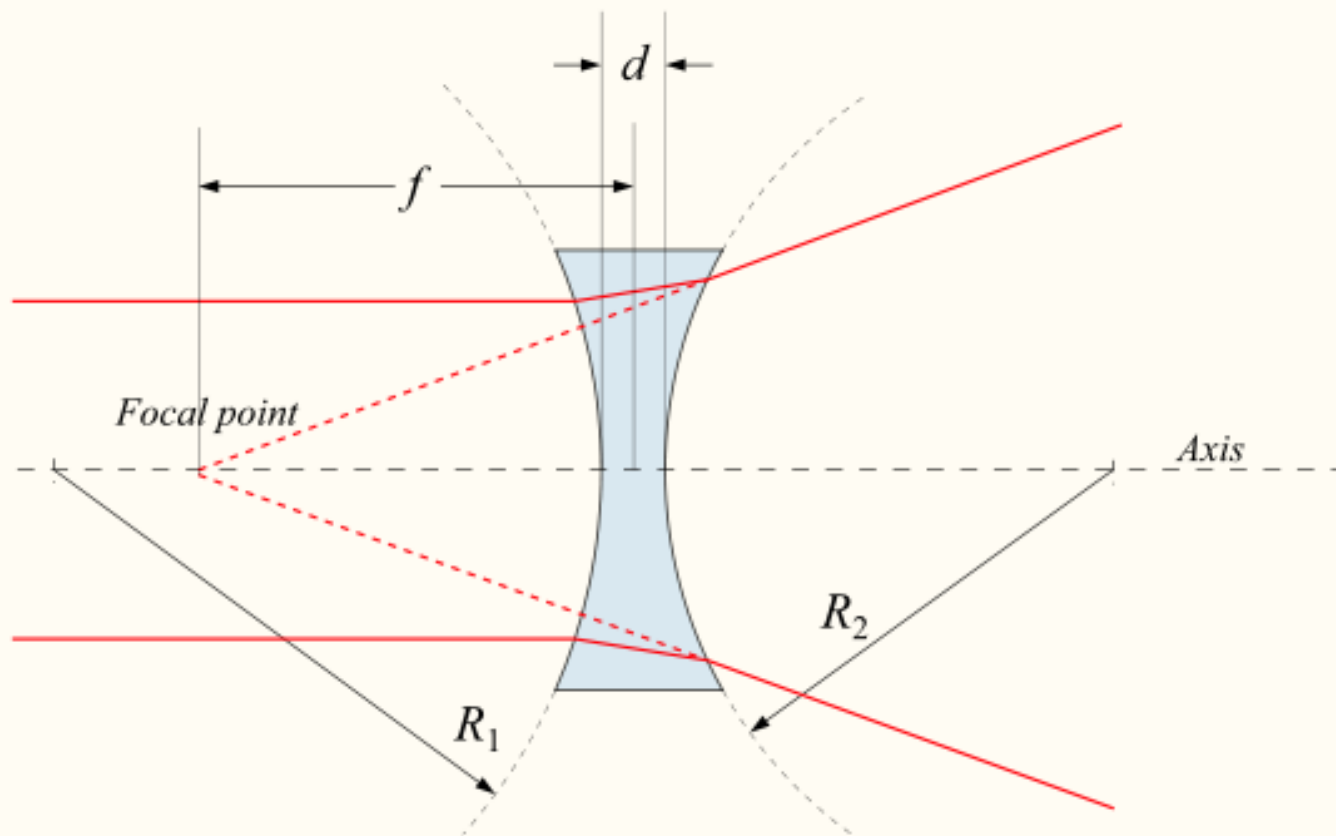
Mercekler temel olarak iki eğrisel kırıcı yüzeyden oluşur: Bu eğrileri uzatıp çember yaptığımızda oluşan çemberlerin yarıçapları **eğrilik yarıçapı** olarak adlandırılır. R_1 ve R_2



Kalın kenarlı mercek

- Uç noktaları geniş, orta noktaları ince olan mercekler
- Üzerine gelen ışınları dağıtan mercekler
- İçbükey mercek/ıraksak mercek olarak da bilinir
- Kalın kenarlı mercekler cisimlerin düz ve küçük görüntülerini oluşturur





Negative (diverging) lens



○ Optometristler ve ophthalmologistler odak uzunluğuna karşılık lensin kırma gücünü kullanırlar:

○ $P = 1 / f$ *f: odak uzaklığı*

○ Lens gücü birimi diopterdir

○ $1 \text{ D} = 1 \text{ m}^{-1}$.

○ Ör: 20 cm odak uzunluğuna sahip lensin gücü $1/0.20$
m
= 5 D



Eğrilik yarıçapı pozitif ise mercek dışbükey,
Eğrilik yarıçapı negatif ise mercek içbükeydir.
Dioptri güç: bir merceğin optik gücünü (kıırma gücünü) ifade eden birimdir.

Dioptrik güç

$$\phi = D = S = 1/f \quad [m^{-1} = \text{dpt} = D \text{ (dioptre)}]$$

Yakınsak lenslerde: f ve ϕ pozitif

Iraksak lenslerde: f ve ϕ negatif



LENS-MAKER DENKLEMİ

- Bir lens tarafından oluşturulan bir görüntünün konumu, yönü ve büyüklüğü 2 şey ile belirlenir:
 - Lensin odak uzunluğu
 - Orijinal nesnenin konumu

Merceğin odak uzunluğu ise

1. Lensin eğrilik yarıçapı
2. Lens yapıldığı malzemenin kırılma indisi

ile belirlenir



- d_o : nesnenin uzaklığı; d_i : görüntünün uzaklığı
- h_o : nesnenin yüksekliği ; h_i : görüntünün yüksekliği
- İraksak mercek için mercek denklemi:
$$(1/d_o) - (1/d_i) = -(1/f)$$
- Yatay büyütme:
$$M = h_i / h_o = -d_i / d_o$$



LENS DENKLEMİ (GÖRÜNTÜ DENKLEMİ)

Ana eksene paralel ışınlar (yakınsak lens) arka odak halinde kırılır. Lensin merkezi içinden geçen ışınlar yönü etkilenmemiş olarak kalır.

Objektif denklemi (görüntünün denklemi, görüntüleme denklemi):

d_o - a – nesnenin uzaklığı [m]

d_i - b – görüntünün uzaklığı [m]

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

İşaret kuralı:

a lensin önünde *pozitif*, arkasında *negatif*;

b lensin önünde *negatif*; lensin arkasında *pozitif* işarete sahip

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

Odak uzaklığı f

- Kırılma indeksleri ve yarıçaplara bağlı
- Yüksekliğe bağlı değildir.

f – odak uzaklığı [m]

n_2 – lensin kırılma indeksi

n_1 – ortamın kırılma indeksi

r_1, r_2 – lensin eğrilik yarıçapları



50 MM ODAK UZUNLUĞUNA SAHIP BİR KAMERA LENSİNDEN 1M UZAKLIĞA YERLEŞTİRİLEN 7.6CM YÜKSEKLİĞİNDEKİ ÇİÇEĞİN GÖRÜNTÜSÜNÜN YERİ, BOYUTU VE YATAY BÜYÜTMESİ NEDİR?

$f = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$ ve $d_o = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$;

$(1/d_i) = (1/f) - (1/d_o) = 5.26 \text{ cm}$ merceğin arkasında

○ Yatay büyütme

$$m = h_i / h_o = -d_i / d_o = -5.26 / 100 = -0.0526$$

○ $h_i = m h_o = (-0.0526) (7.6) = -0.4 \text{ cm}$. Görüntü 4 mm yüksekliğinde ve terstir.



GÖZ

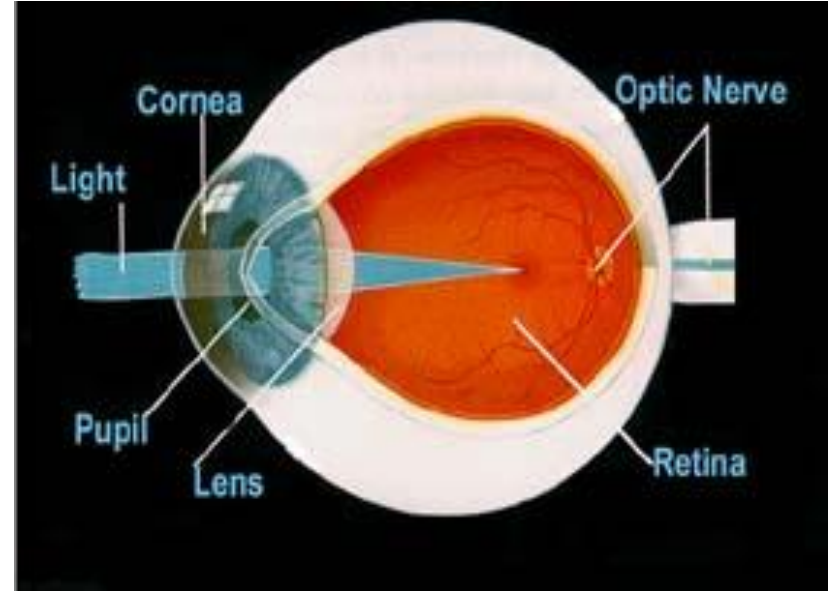
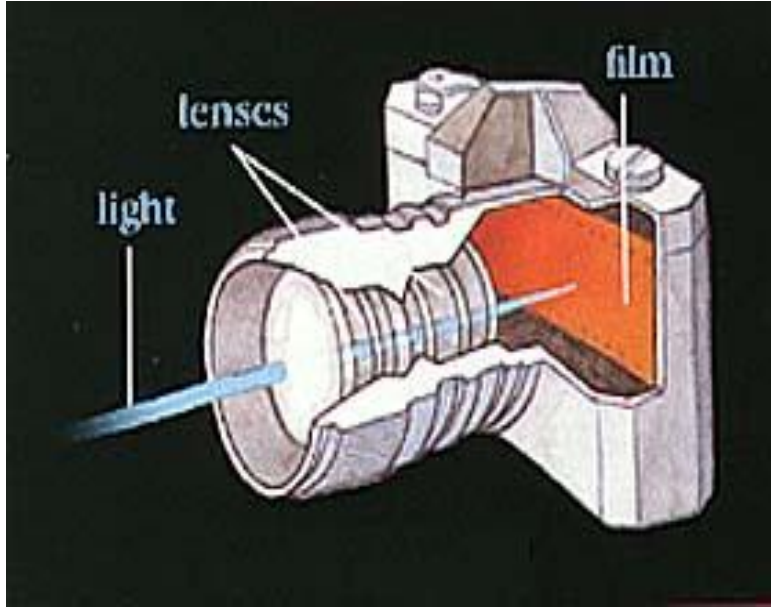
Her bir göz

- Bir mercek sistemine
- Bir reseptör tabakasına
- Uyarıları beyne ileten bir sinir sistemine sahiptir



İNSAN GÖZÜ NASIL ÇALIŞIR?

HER BÖLÜM NET GÖRÜŞÜ SAĞLAYAN HAYATI GÖREVE SAHIPTIR.



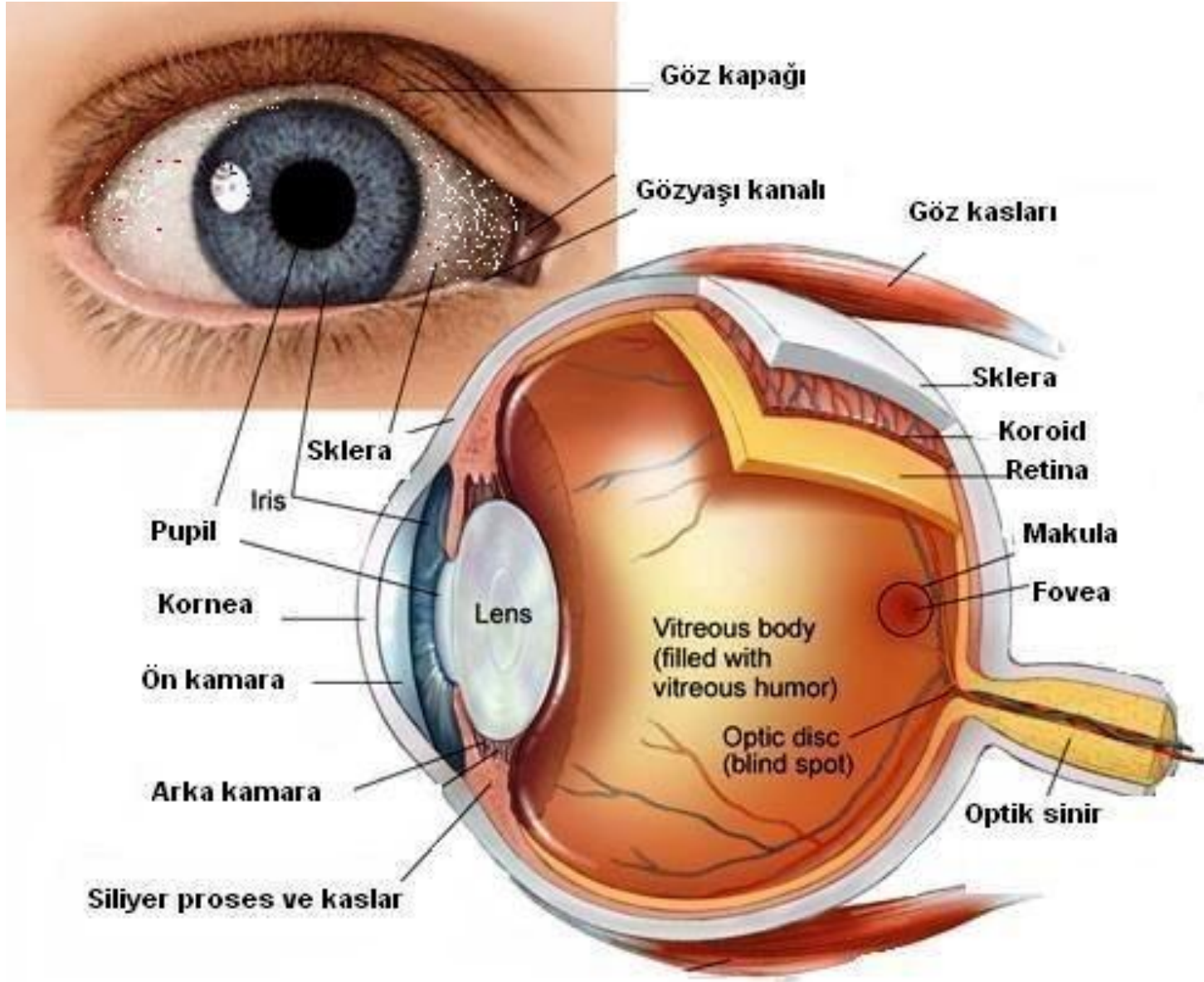
- Göz içi basıncı $\cong 20$ mmHg
- Göz $10^{10}:1$ oranına ulaşan geniş aralıktaki ışık şiddeti değişimlerinde etkin olarak çalışabilmektedir
- Pupilla aralığı değişebilmektedir
- Görüntü retinada ters oluşur, beyinde düz olarak algılanır

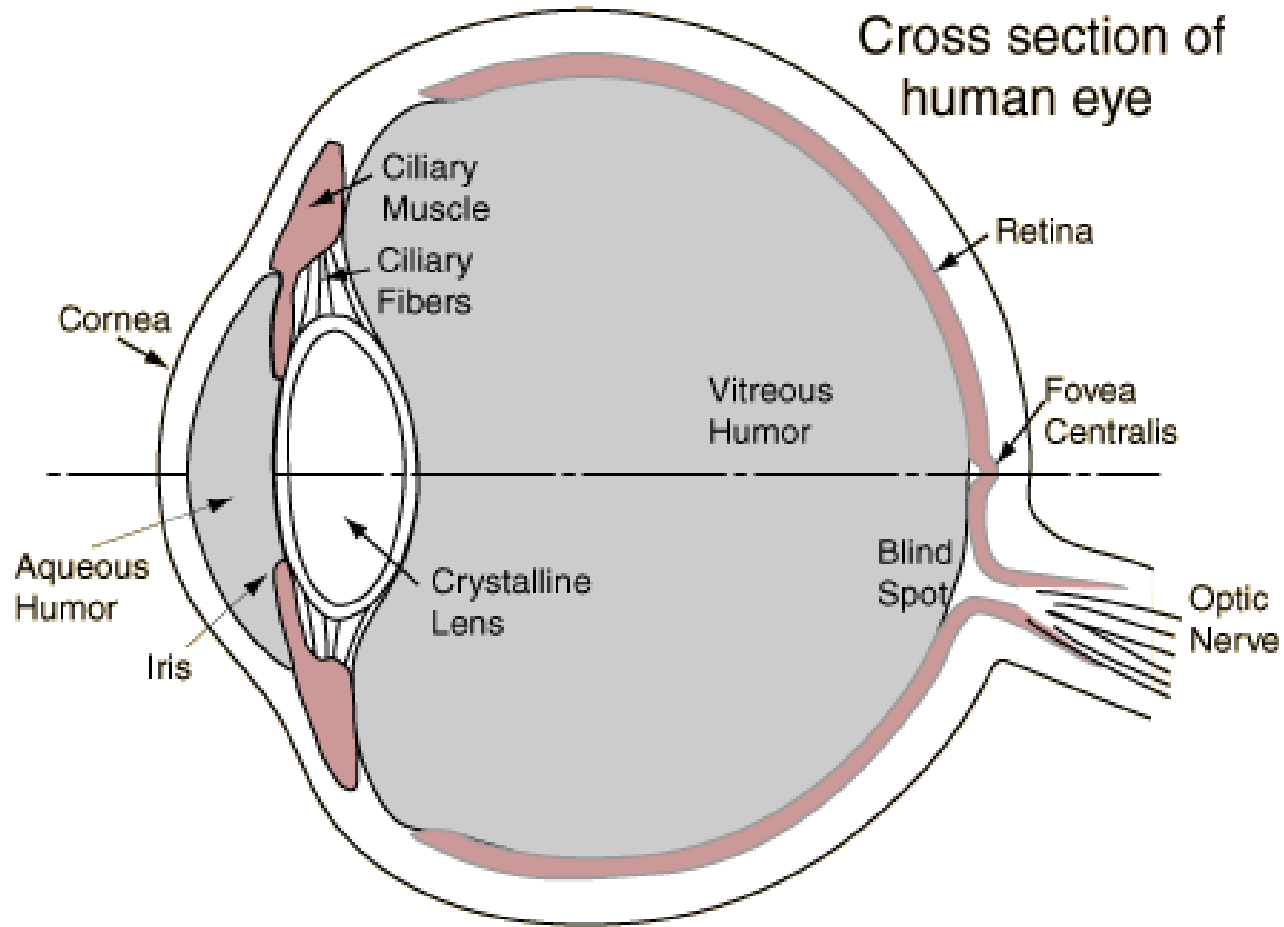


GÖZÜN YAPISI

- Yaklaşık küre biçiminde göz yuvarlağının ortalama çapı 2,5 cm
- Sclera; fibröz bağ doku; gözün en dış tabakası, çok sert, dayanıklı ve gözün koruyucu yapısıdır
- Retina: ince (soğan zarı gibi), ışığa duyarlı saydam sinir tabaka
- Kornea: scleranın bombeleşip, ışınların göze girdiği saydam tabaka-kan damarları bulunmaz-ışığın engelsiz geçmesini sağlar
- Koroid: göz akı ve retina arasında pigmentli damar tabaka, göz yuvarlağının içini döşeyen tabaka, koyu renkli pigmentler taşır, lüzumsuz yansımaları engeller
- İris: göz renginden sorumludur
- Pupil: irisin merkezindeki açıklığı oluşturur







GÖZ DUVARı 3 KATMANDAN OLUŞUR

- 1 Fibril dış tabaka: kornea, conjunctiva ve sclera
- 2 Damarlı orta tabaka: iris ve choroid
- 3 En iç tabaka: retinanın sinirsel katmanı



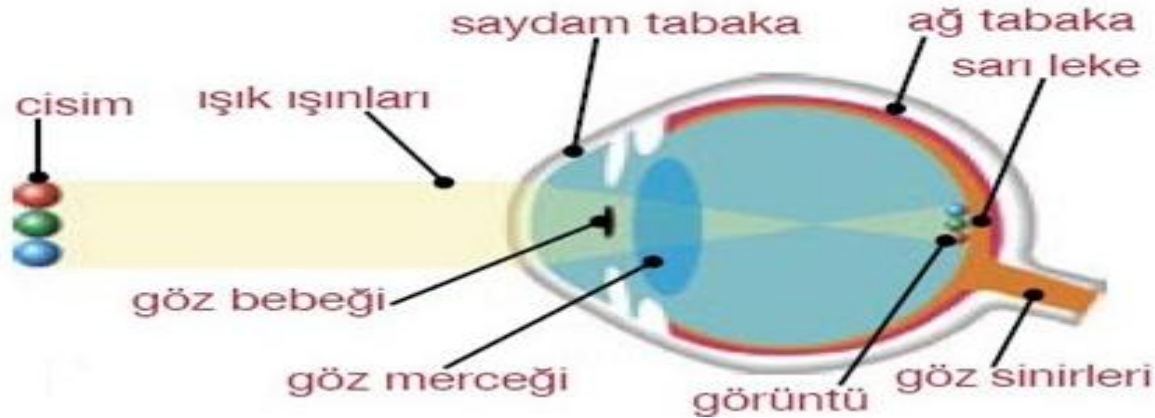
GÖZ MERCEĞİ

- Hücresel yapıdadır
- Kırılma indisi dıştan içe doğru bir miktar büyür
- Göz ışığının iki önemli niteliğini ayırt eder
 - Parlaklık
 - Dalga boyu



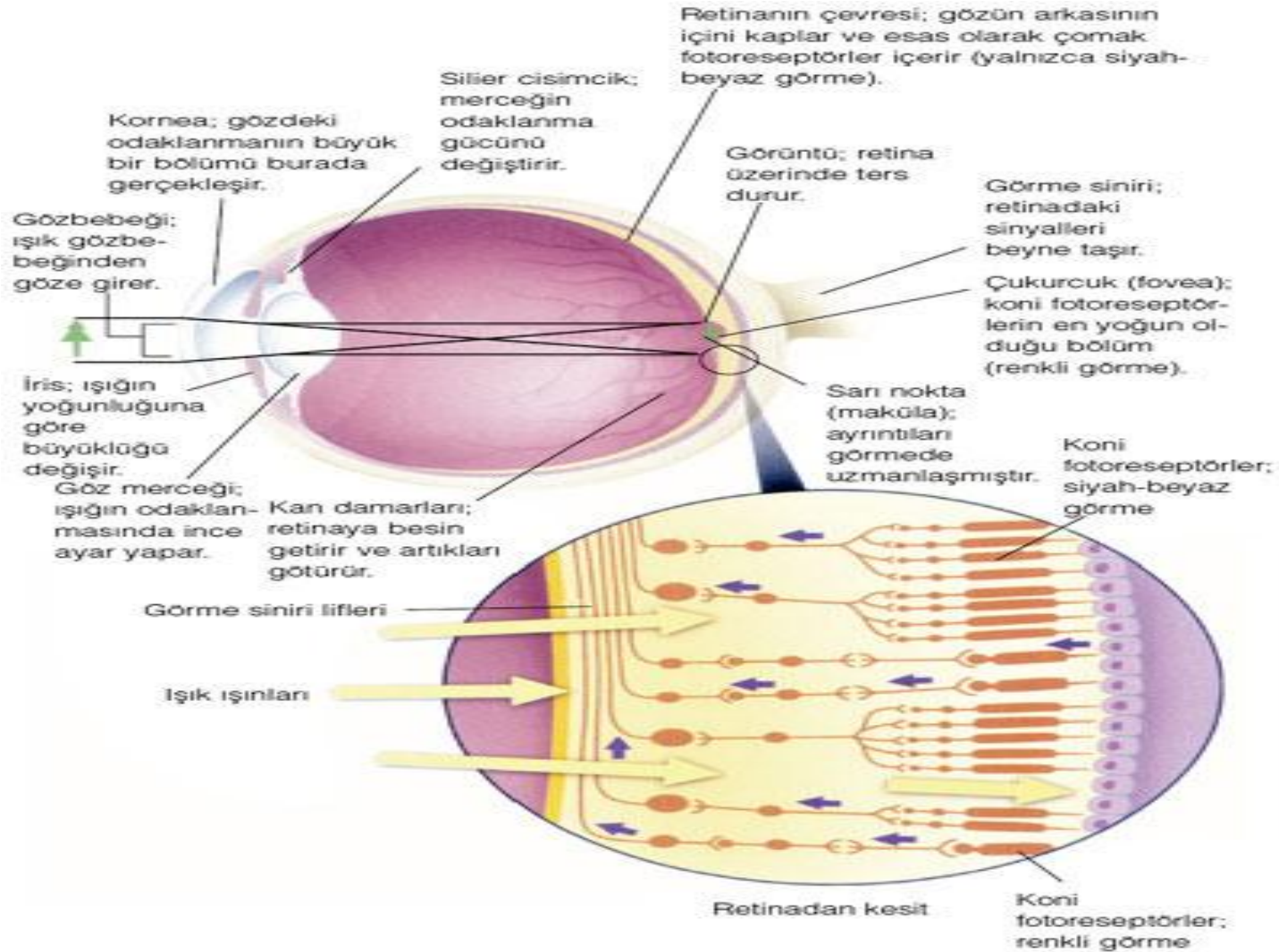
GÖZE GELEN IŞIĞIN YOLU

- Kornea tabakasına geçer
- Aqueus humore ilerler
- Pupilladan göz merceğine girer
- Lens tarafından retinaya odaklanır



Cisimden Gelen Işık → Kornea (Saydam Tabaka) (Işık kırıldı) → Göz bebeği → Göz merceği
(Işık kırıldı) → retina → Sarı benek (leke) → Göme sinirleri → Beyindeki Göme merkezi →
▶ Göme





GÖZÜN LENS SİSTEMİNİ OLUŞTURAN BILEŞENLER

- (1) hava ve **korneanın** ön yüzeyi arasındaki ara yüz
- (2) korneanın arkası ve **aqueus humor** arasındaki ara yüz
- (3) aqueus humor ve **merceğin ön yüzeyi** arasındaki ara yüz
- (4) Lensin arka yüzeyi ve **vitreous humor** arasındaki ara yüz



<i>GÖZÜN BÖLÜMLERİ</i>	<i>N</i>	<i>EĞRİLİK YARIÇAPı</i> <i>(R)</i>
○ <i>Kornea</i>	<i>1.38</i>	<i>7.7-6.8 (ön-arka)</i>
○ <i>Aqueous humor</i>	<i>1.34</i>	
○ <i>Lens</i>	<i>1.41</i>	
○ <i>Vitreous humor</i>	<i>1.34</i>	<i>10-5.5</i>

○ **Lensin kırma gücü 13-26 D arasında değişir**

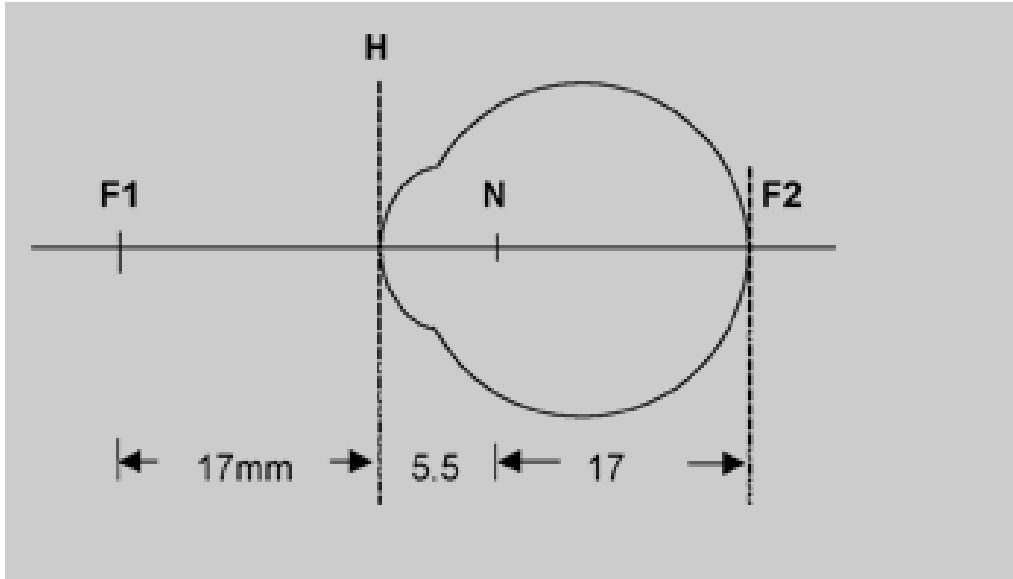


- n/f oranı ile tanımlanan gözün toplam kırma gücü 59D civarındadır.
- Odak uzaklığın tersi olarak tanımlandığında ise 43D
- *En yüksek kırılma korneada görülür*
 - *Hem korneanın eğrilik yarıçapı yüksektir*
 - *hem de hava ile kornea arasındaki kırılma indeksi farkı büyüktür*
- Kornea toplam kırma gücü içinde en yüksek orana sahip yaklaşık 2/3'ü ($D_{\text{kornea}}=43$ dioptri)



İNDİRGENMİŞ GÖZ

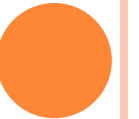
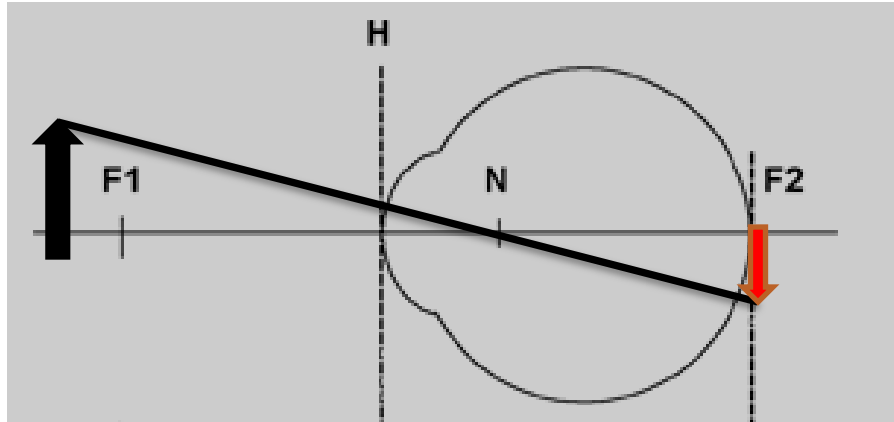
- Kırılma indisleri büyük olmakla beraber birbirlerine çok yakın olduğundan göz tek bir lensmiş gibi kabul edilebilir. Buna *indirgenmiş göz* denir.



Işık korneadan geçerek 5.5 mm arkada bir düğüm noktasından geçerek 17.2 mm arkadaki retinaya düşer. Yani görüntü uzaklığı sabittir. İndirgenmiş gözde uzunluk $5.5 + 17.2 = 22.7$ mm



- Bu tek lensin konumu retinadan 2.2 cm uzaklıktadır
- İndirgenmiş gözde oluşacak görüntü sadece düğüm noktasından geçen ışın kullanılarak çizilebilir.



○ *Ör: Gözden 2m uzakta 1.80m boyunda bir insanın retinada oluşan görüntüsünün boyu ne kadardır?*

Cismin boyu: $c = 1,80\text{m}$

Görüntünün boyu: $g = ?$

Cismin uzaklığı: $u = 2\text{m}$

Görüntünün uzaklığı: $u' = 17.2\text{ mm}$

$g/c = u/u'$

$(1.80 \times 17.2) / 2 = 15.48\text{ mm}$



GÖRÜNTÜ NETLİĞİ NELERE BAĞLIDIR?

- Lense
- İris
 - ışık miktarını
 - görüntü derinliğini ayarlar
- Pupil
 - kasıldığında görüntü derinliği artar



EMETROP VE AMETROP GÖZ

- Dinlemin halinde bir gözde çok uzaklardaki cisimlerin görüntüleri tam retina üzerinde oluşur
- Görüntüyü tam retina üzerinde oluşturamayan göze ametrop göz denir. Ametrop gözün kırma gücü ve göz kürelerinin boyutları normalden farklı olmasına göre 2 tipi vardır:



HIPERMETROPI

- Göz küresinin eksenini gözün kırma gücüne göre normalden kısadır ya da
- Gözün kırma kuvveti normalden düşük olduğundan sonsuzdan paralel gelen ışınlar retina arkasında odaklanır.
- Bozukluk odak uzaklığını kısaltarak gözün kırma gücüne yardım eden konveks/yakınsak merceklerle düzeltilebilir.
- Çocuk dünyaya geldiğinde hipermetroptur.
- Yaşlılıkta ise lensin kırma kuvveti azalır. Yaşlılıkta oluşan bu çeşit hipermetropiye ise presbiyopi denir.



MIYOPI

- Gözün ön-arka çapı normalden daha uzundur. Miyopinin kalıtımsal olduğu söylenir
- Öte yandan deney hayvanlarında gelişim sırasında kırılmada değişiklik yaparak miyopi meydana getirilebilir
- Böylece göz biçiminin kısmen göze sunulan kırılma tarafından belirlendiği ortaya çıkmaktadır
- Genç ergin insanlarda ders çalışma gibi yoğun, yakın mesafede çalışmalar miyopinin gelişmesini hızlandırır
- Bu kusur paralel ışık ışınlarını göze girmeden önce hafifçe ayrıştıran bikonkav/ıraksak merceklerle düzeltilebilir



ASTİGMATİZMA

- Kornea eğriliğinin uniform olmadığı sık rastlanılan bir durumdur.
- Bir meridyendeki eğrilik diğerlerinden farklı olduğu zaman, o meridyende kırılan ışınlar farklı bir odağa gideceğinden retinadaki görüntünün o kısmı bulanır.
- Astigmatizma genellikle bütün meridyenlerde kırılmayı eşitleyecek şekilde yerleştirilen silindirik merceklerle düzeltilebilir



KATARAKT

- Özellikle yařlılarda görölen bir gözbozukluđu
- Mercekte bulutsu veya opak alan olarak tanımlanır
- Işık geçişini azalttığından merceğin cerrahi olarak çıkarılmasıyla durum düzeltilebilir



PRESBİYOPI

- Akomodasyon kuvvetinin yaş ilerledikçe azalması, hemen hemen akomodasyon yeteneğini kaybetmesi durumudur.
- Nedeni, lensin dış tabakalarının gittikçe yoğunlaşması ve proteinlerinin ilerleyici denatürasyonu sonucu esnekliğini kaybetmesidir



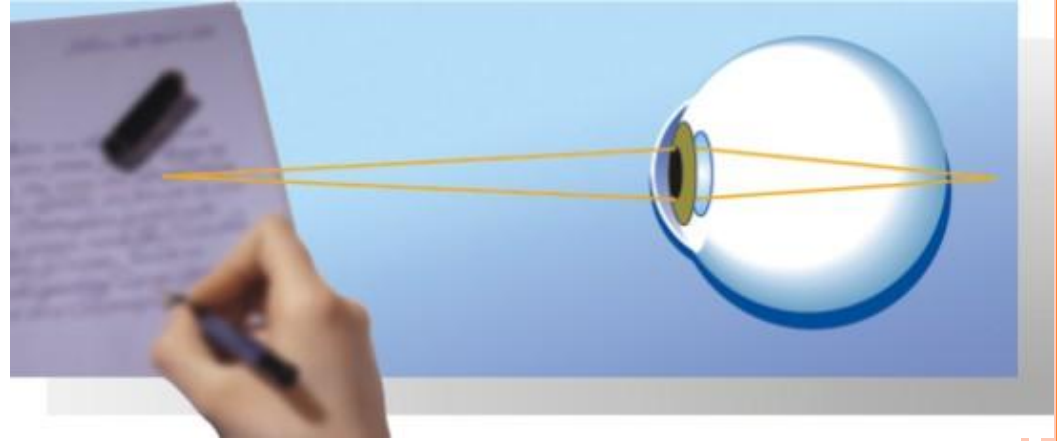
PRESPIYOPI

○ Emetrop gözün

- odak uzaklığı: 22.7 mm
- kırma gücü 59D
- 0.25m'den kitap okuyabilmesi için odak uzaklığı 21 mm ye düşürmesi kırma gücünü 63D'ye çıkarması gerekir.

○ Uyum genişliği

- Çocuklarda 12 D
- Yetişkinlerde 4D
- 40-50 yaşlarında 2D'ye kadar düşer



Göz Kusurları

Görüntünün Oluşumu ve Tedavi Yolları

Miyopluk



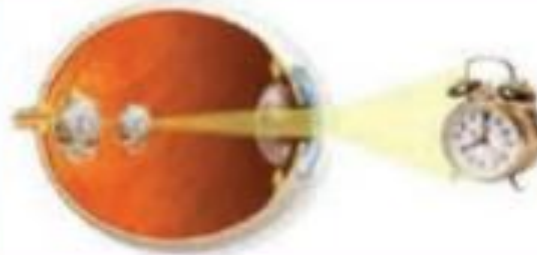
Görüntü sarı lekenin önünde oluşur. Yakını iyi görür, uzağı göremez. Mercekle düzeltilir.

Hipermetropluk



Görüntü, sarı lekenin arkasında oluşur. Uzağı iyi görür, yakını göremez. Mercekle düzeltilir.

Astigmatizm



Göz merceği yüzeyinin pürüzlü bir hâl alması ya da korneanın kavislenmesi sonucunda görüntü sarı lekeye bulanık ve şekli bozuk olarak düşer. Mercekle düzeltilir.

Katarakt



Göz merceğinin içindeki sıvının ya da göz merceğinin saydamlığını kaybetmesi sonucunda görüntü sarı lekeye düşmez. Ameliyatla düzeltilebilir.

GÖZÜN UYUM YAPMASI

- 6 m' den daha yakında olan nesnelerin net görülebilmesi için lens ile retina arasındaki uzaklığın arttırılması veya lensin eğrilik veya kırma gücünün arttırılmasıdır
- Akomodasyon üç bileşeni olan bir refleksle oluşur
 - lensin eğriliğinin arttırılması,
 - pupilla konstriksiyonu,
 - konvergens

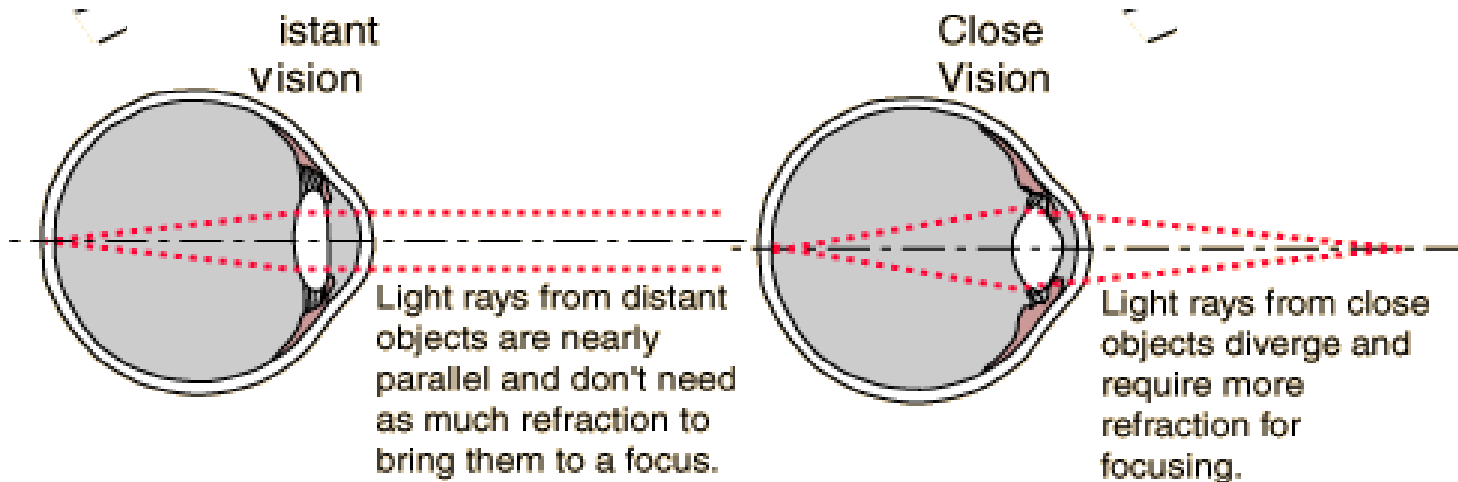


GÖZÜN UYUM YAPMASI

- Daha yakındaki cisimlerin net görüntüsü retinanın arkasına kayar
 - 10-13 m uzaklıktaki cisimler için kayma 0.05 mm
 - Cisimler 1m'ye kadar yakınlaştırılırsa, net görüntü düzlemindeki kayma 0,5 mm
 - Kitap okuma uzaklığına getirildiğinde 1.5-2mm kadar; cisimler yaklaştıkça görüntüleri dairelere dönüşür, farklı noktaların görüntülerinin kaynaşması sonucu netlik bozulur



- Net görüntünün retinanın arkasına kayması sonucu netlik bozulunca, merceği halka biçiminde çevreleyen ciliary kasların etkisi ile merceğin şişkinliği artar. ***Odak uzaklığı küçülünce net görüntü yine retinanın üzerine düşürülür.***
- Gözün cismin uzaklığına göre odak uzaklığını küçültmesine ***uyum (accommodation)*** denir



AKOMODASYON PARASEMPATİK SINIRLERLE DENETLENİR

Akomodasyon

- parasempatik sinirlerin uyarılmasıyla,
- silyer kasın kasılmasına ,
- lens bağlarının gevşemesine
- lensin kırma gücünün artmasına yol açar



PUPIL KONSTRIKSİYONU

AKOMODASYON REAKSİYONU

- Pupillayı halka şeklinde çevreleyen M. constrictor iridisin lifleri kasılınca, göz bebeği her yönden daralır (miyosis).
- Pupillanın genişlemesi (midriasis) ise irisde radyer doğrultuda seyreden M. dilatator iridisin kasılması ile sağlanır. Her iki kasın yapısında düz kas lifleri bulunur.
- Yakına bakma esnasında akomodasyonun artmasıyla beraber, pupilla da daralır.
- Uzağa bakarken akomodasyonun azalmasıyla, pupilla genişler.
- Bu şekilde, pupillanın uzaklığa uyarak çapının değişmesine *akomodasyon reaksiyonu* denir



KONVERGENS

- Her iki gözü cisim üzerine fokuslayabilmek için iki gözün bakışı başın merkezine doğru kayar.



GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA MEKANİZMASI

- Çevredeki nesnelerin görüntüleri retina üzerine odaklanır
- Retinaya çarpan ışınlar basil ve konilerde potansiyeller üretir
- Gözler, görünür spektrumdaki enerjiyi optik sinirdeki aksiyon potansiyeline çevirir
- Retinada başlayan impulslar, görme duyusu oluşturdukları serebral kortekse iletilir



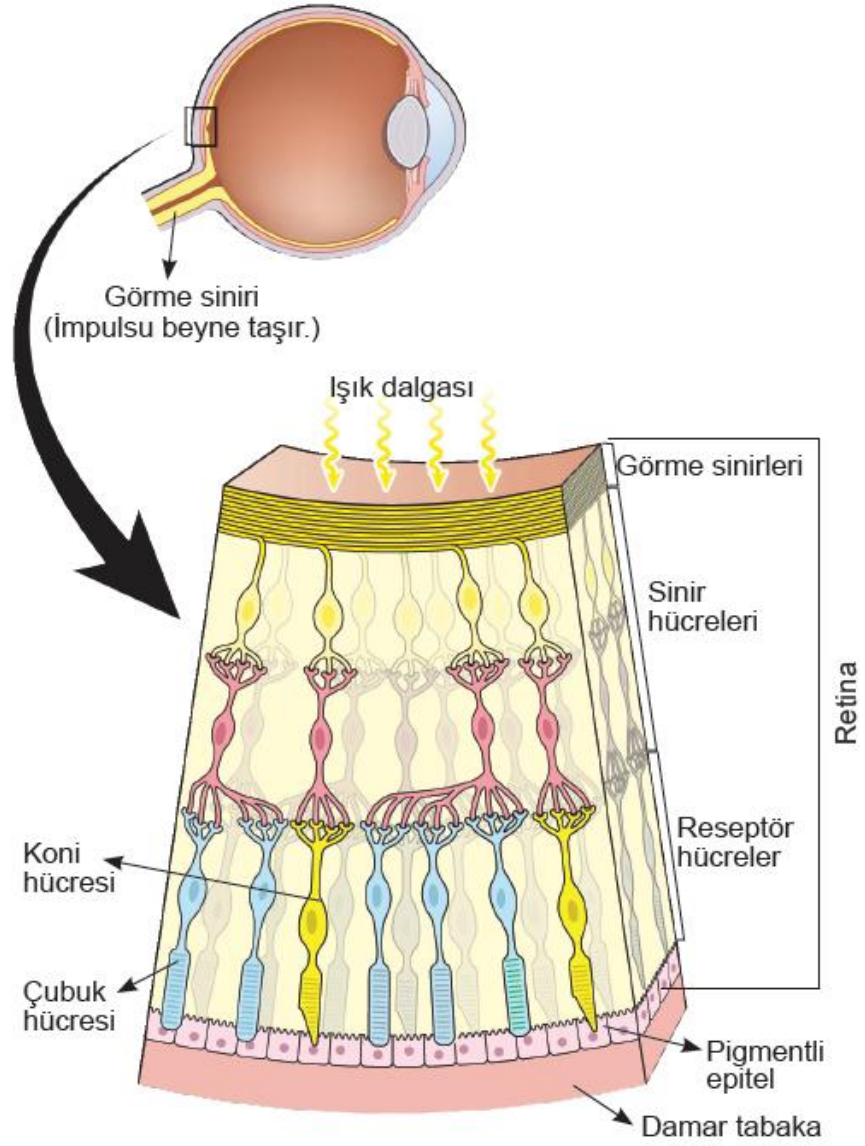
KÖR NOKTA

Retinadaki fotoreseptörler ve bağlantılı oldukları nöronlar karmaşık devreler oluştururlar

Işık sinir ağını geçerek daha arkada bulunan fotoreseptörlere ulaşır

İki tip olan fotoreseptörlerden ***çubuk*** (basil, rod) biçimli olanlar ***karanlık*** görmede, ***koni*** biçimli olanlar ***aydınlık***, ***renkli*** görmede etkindirler



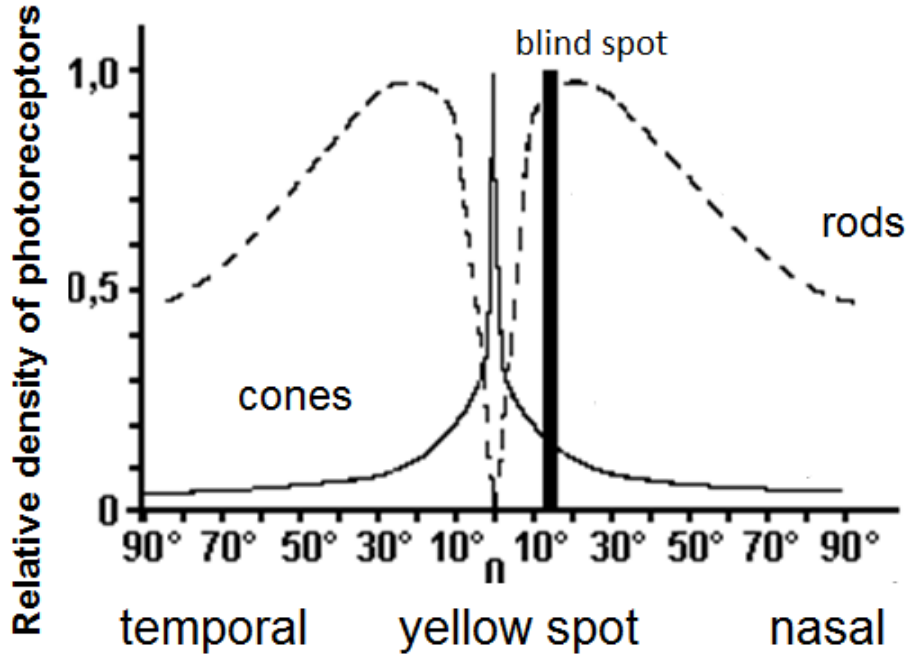


Şekil 1.6.21 Göze gelen ışınlar çubuk ve koni hücreleri tarafından algılanır.



KÖR NOKTA

Görme keskinliğinin en yüksek olduğu sarı lekede (fovea) yalnızca koniler bulunur.



Görme ekseninden açısal uzaklık ile retinada birim yüzeydeki fotoreseptör sayısının değişimi:

Konilerin sayısı

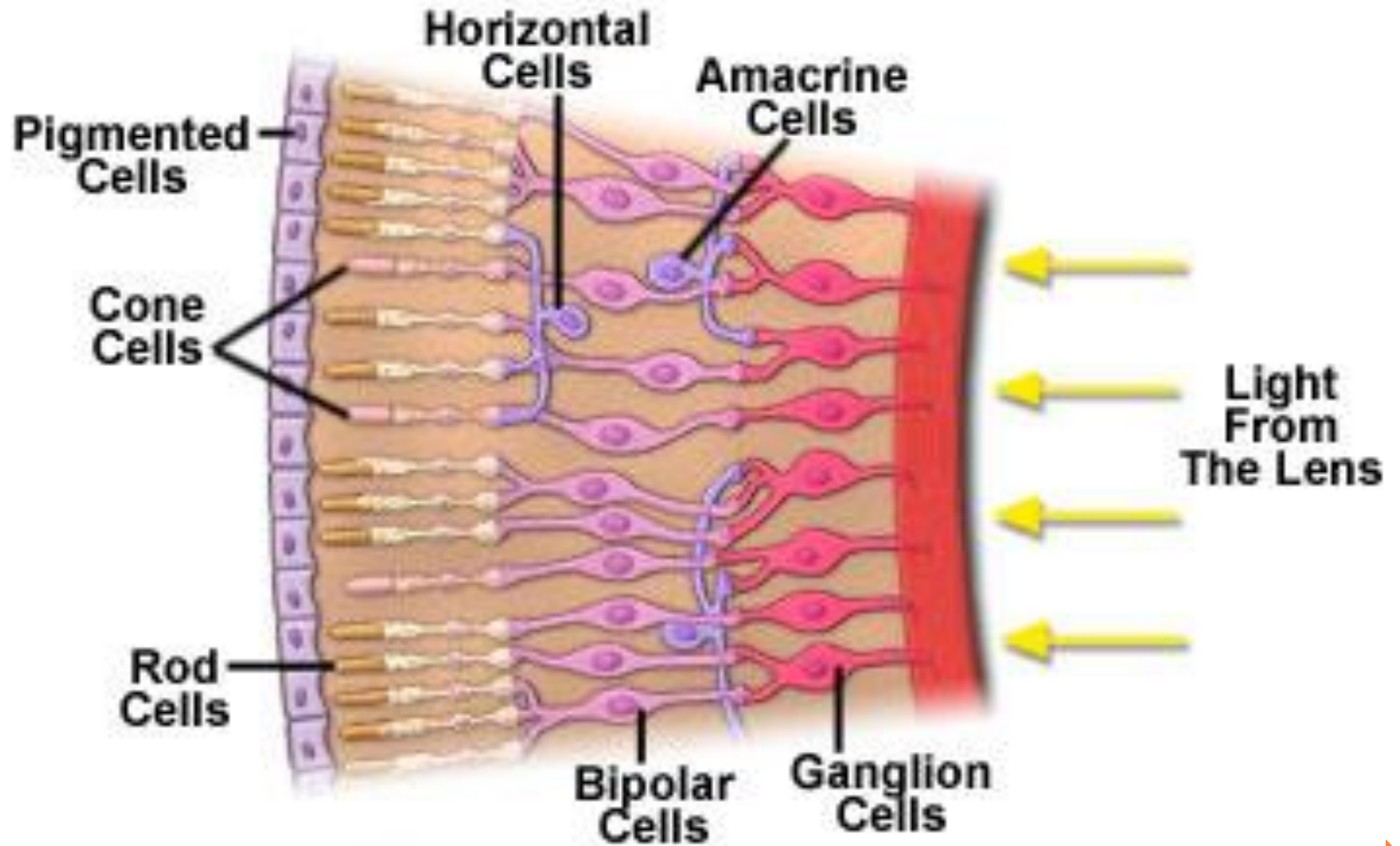
- merkezde max
- periferde doğru hızlıca azalır.

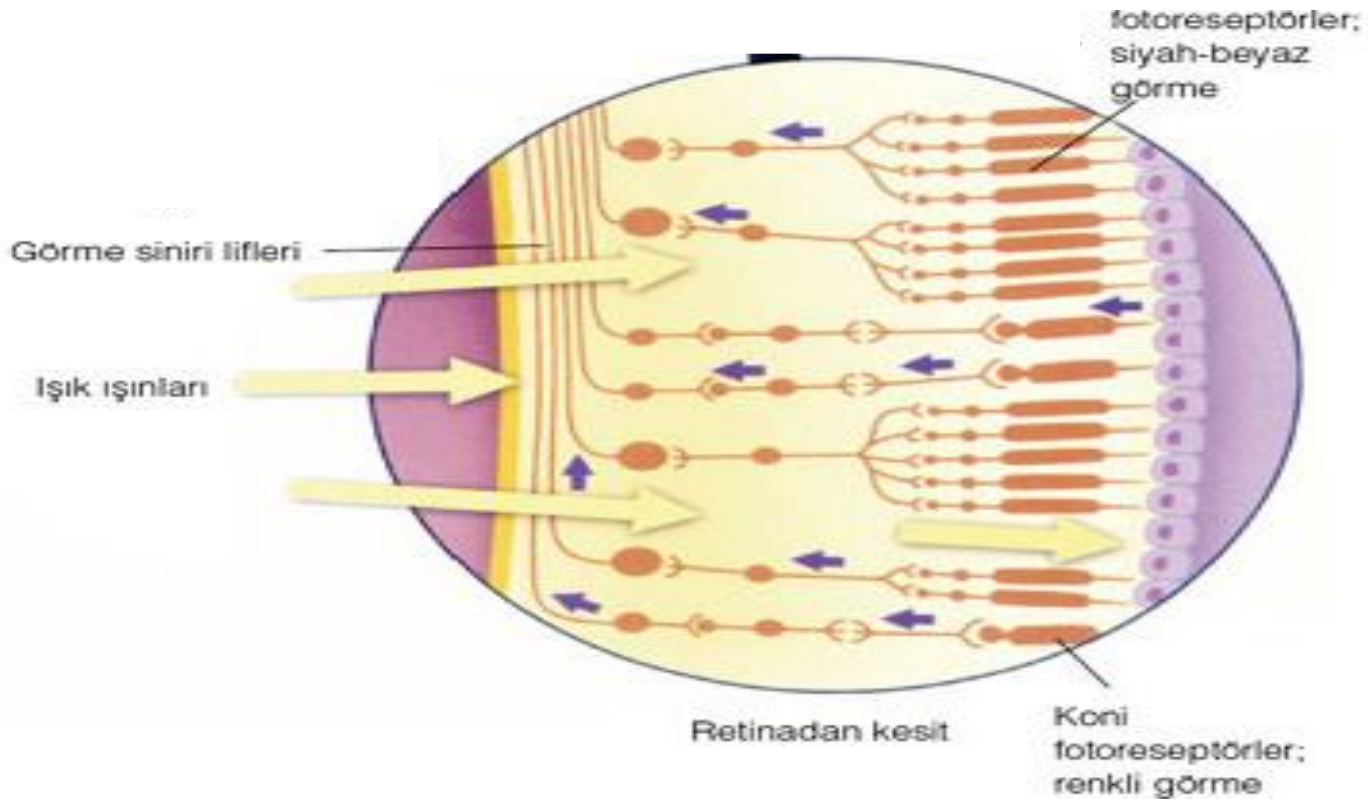
Basillerin (çubukların) sayısı

- görme eksenine göre 17-20° lik bir doğrultuda max

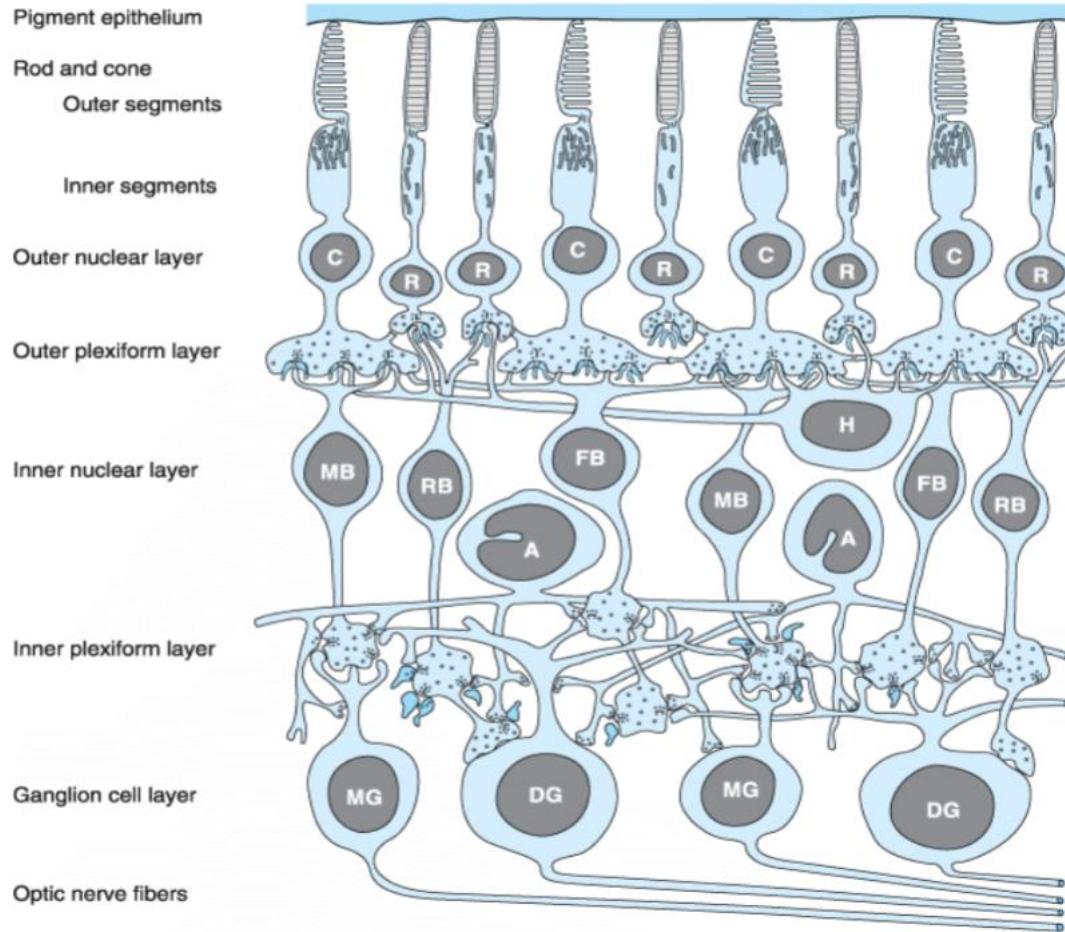


Microscopic Anatomy of the Retina





Retina



Copyright ©2006 by The McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.



RETINA

- Retinanın reseptör tabakası koroidin karşısında yer aldığından ışık ışınları koni ve basillere ulaşmak için gangliyon hücresi ve bipolar hücre tabakalarından geçmek zorundadır
- Koroidin retinaya bitişik pigmentli tabakası, ışık ışınlarını, retinaya geri yansımalarını önlemek için absorbe eder. Böyle bir yansıma görsel imajların bulanmasına yol açacaktır
- Retinanın nöral elemanları, Müller hücreleri denen glial hücreler tarafından birbirine bağlıdır. Bu hücrelerin çıkıntıları retinanın iç yüzeyinde bir iç sınır (limitan) zarı, reseptör tabakasında bir dış sınır zarı oluştururlar



RETINA

- Optik sinir göz küresinin arka kutbunda yer alan bir noktadan gözü terk ederken retina kan damarları bu noktadan göze girerler
- Bu bölge oftalmoskopta optik disk olarak görülür. Disk üzerinde hiçbir görme reseptörü bulunmadığından bu nokta kördür (kör nokta)

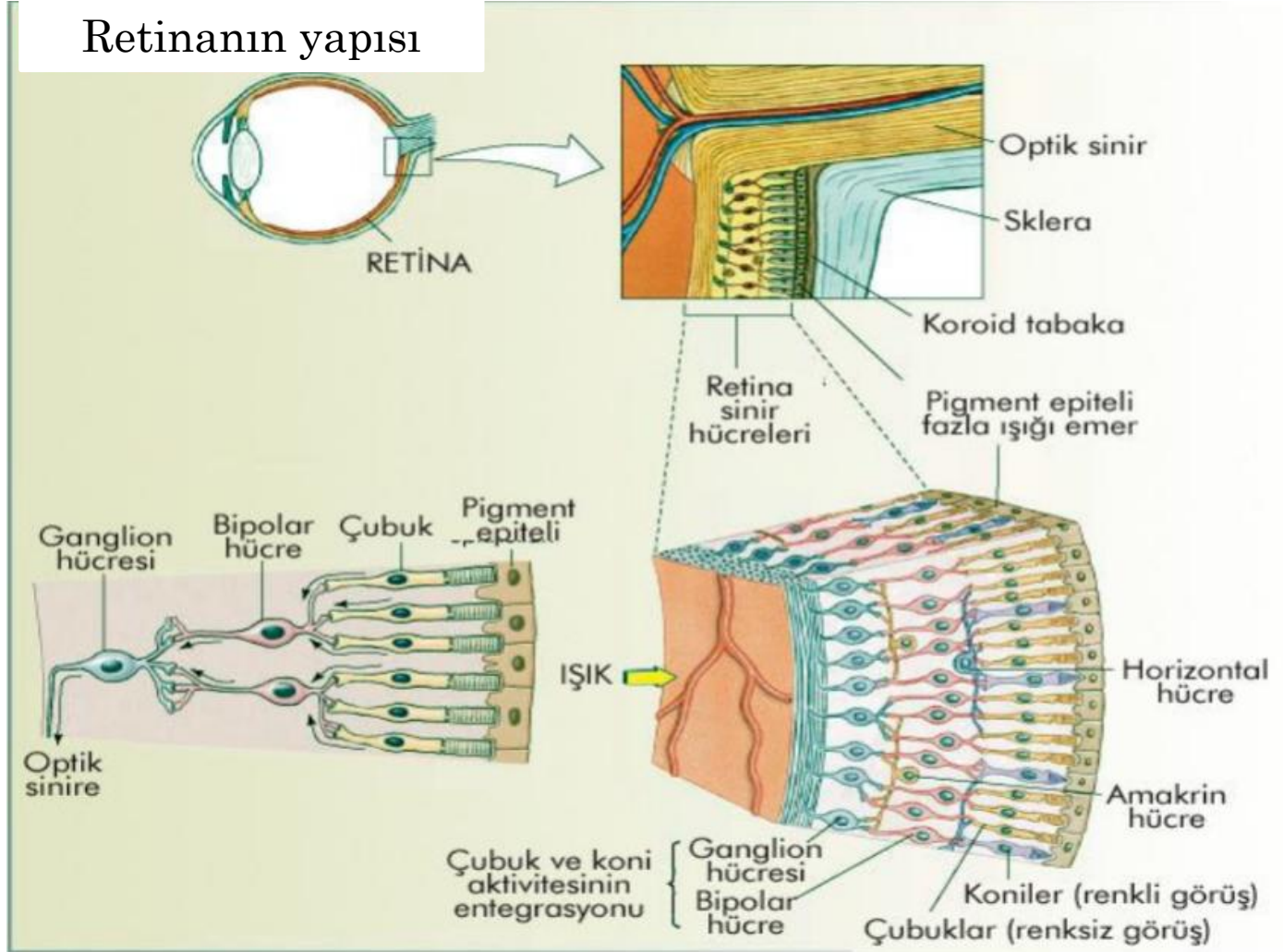


RETINA

- Fovea insanlarda iyi gelişmiştir. Görme keskinliğinin en fazla olduğu nokta burasıdır.
- Bir cisme dikkatle bakıldığında gözler, bu cisimden gelen ışık ışınlarını fovea üzerine düşürecek şekilde hareket ederler



Retinanın yapısı



FOTORESEPTÖRLER

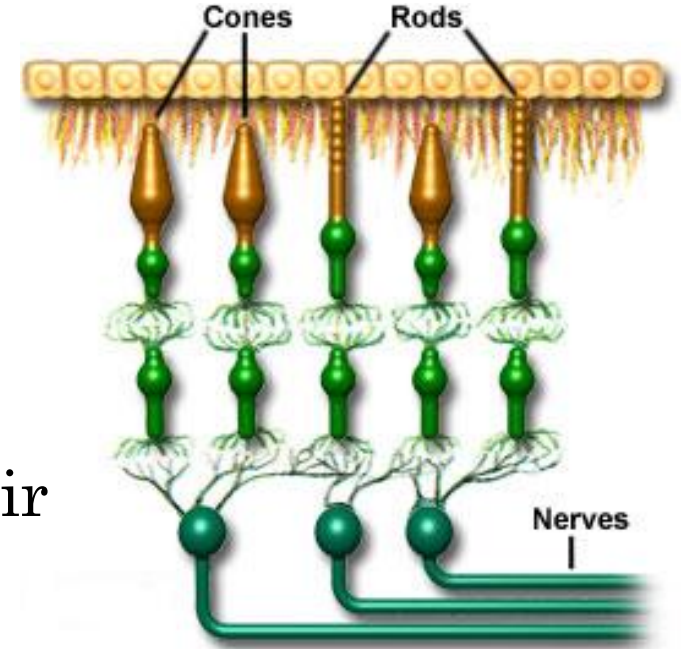
- Her basil ve koni, bir dış segment ile bir nükleer bölge ve bir sinaptik alan içeren bir iç segmente bölünür
- Dış segmentler değişime uğramış silialar olup düzenli yassı kese grupları veya zardan yapılmış disklerden oluşmuştur
- Bu kese ve diskler ışıkla reaksiyona girerek görme yollarında aksiyon potansiyellerini başlatan fotosensitif bileşikler içerir. İç segmentler mitokondriden zengindir



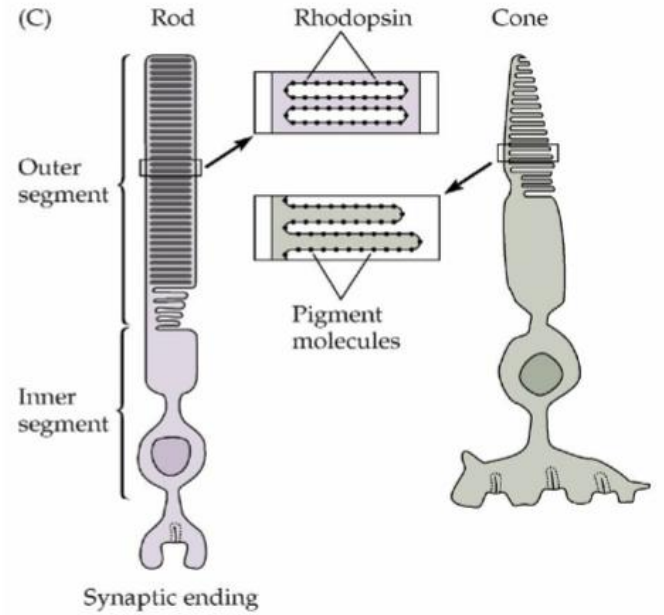
FOTORESEPTÖRLER VE ÇEVİRİM

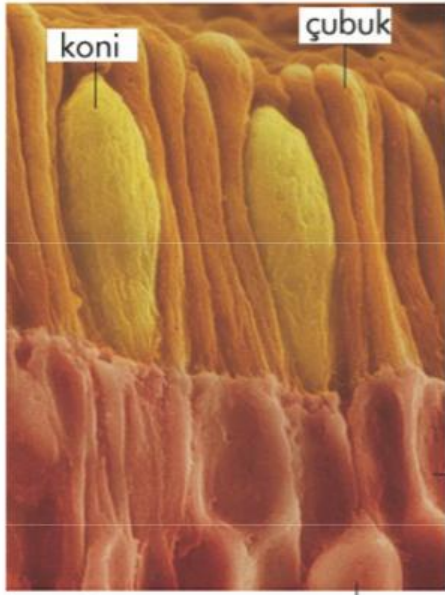
İki tip fotoreseptör hücre vardır:

- Çubuklar ve koniler
 - Hücre gövdesi
 - Dış bölge
 - İç bölge
 - Sinaptik terminal bölümleri
- Rodlar daha çok fotopigment içerir

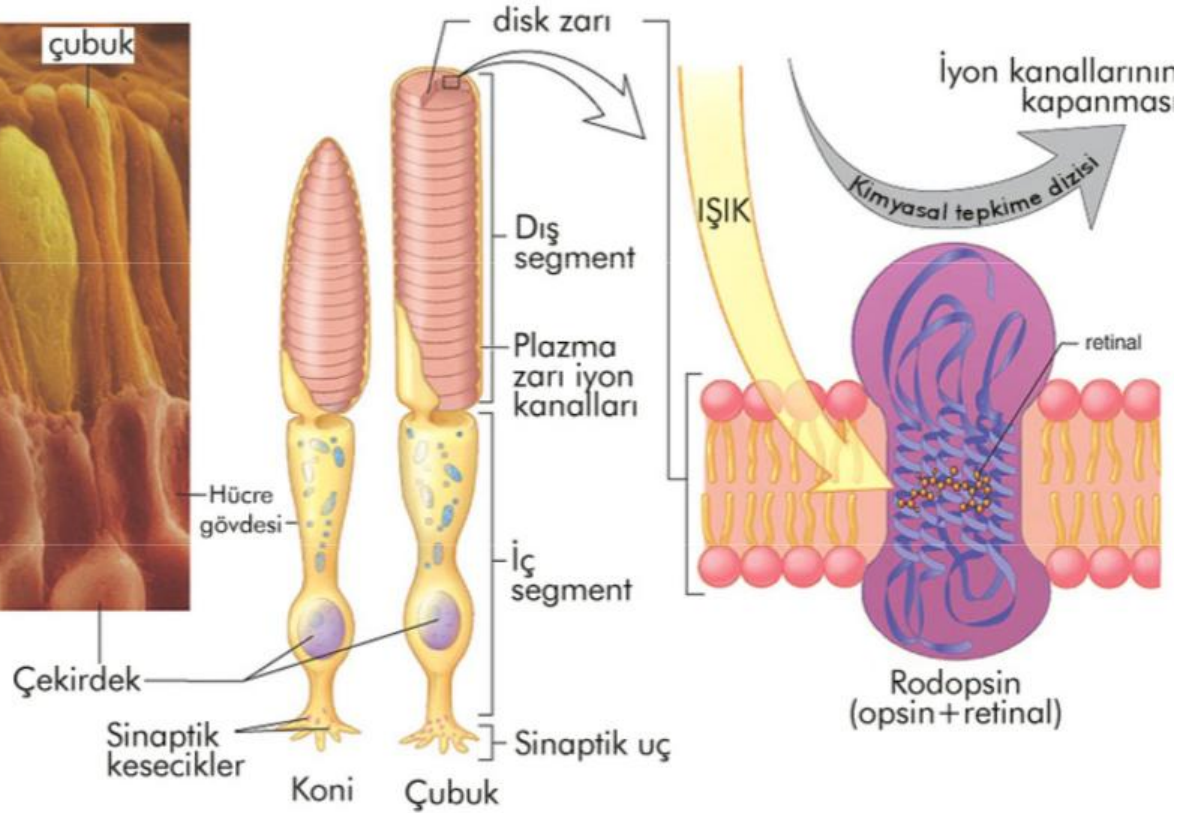


- Dış segment basillerde ince ve uzun, konilerde konik bir yapıya sahiptir
- İç segment, sitoplazma ve sitoplazmik organelleri içerir. Özellikle mitokondri miktarı fazladır ve fotoreseptör işlevi için enerji sağlamada önemlidirler
- Sinaptik gövde, koni ya da basilin sonraki sinir hücreleri olan, horizontal ve bipolar hücreler ile bağlantı sağlayan bölümdür



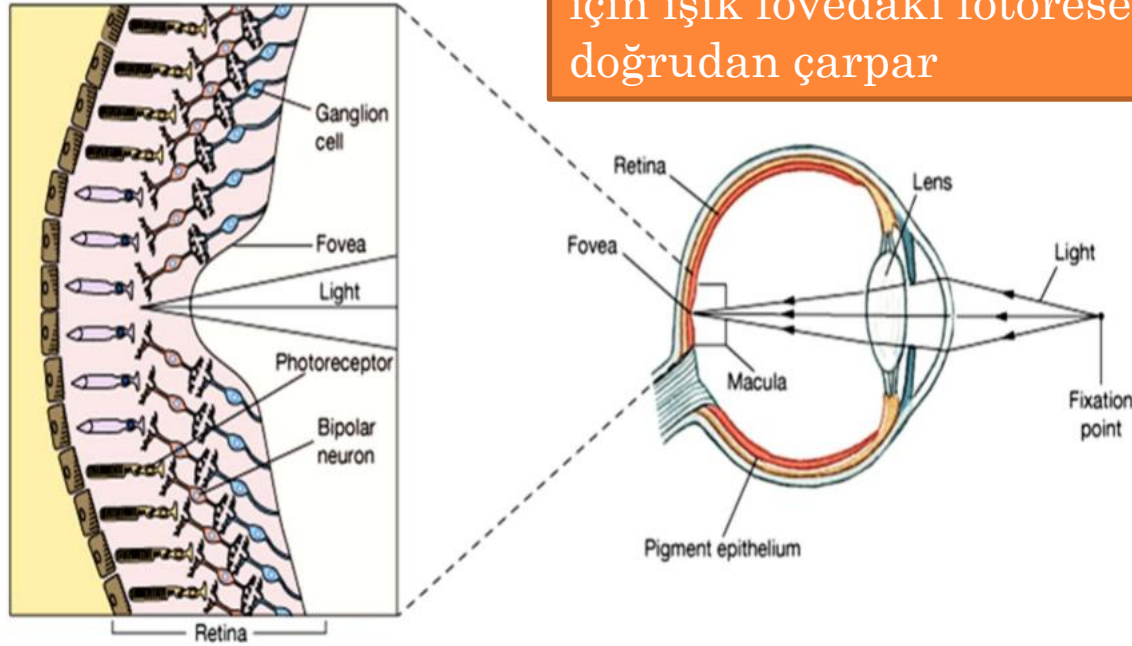


20 µm



FOVEA

Üstte bulunan nöronlar kenara itildiği için ışık fovedaki fotoresptörlere doğrudan çarpar



- Foveada hiç basil bulunmaz ve foveadaki her koni kendisini bir tek gangliyon hücreesine bağlayan tek bir midjet bipolar hücreye sahip olduğu için optik sinirdeki tek bir life bağlıdır
- Retinanın diğer bölgelerinde basiller hakimdir ve önemli düzeyde kavuşum (konverjans) görülür
- Yassı bipolar hücreler çok sayıda koni ve basil ile sinaps yaparken basil bipolar hücreleri de çok sayıda basille sinaps yapmaktadır
- Her insan gözünde 6 milyon koni ile 120 milyon basil bulunurken her optik sinirde sadece 1.2 milyon sinir lifi bulunduğundan reseptörlerin bipolar hücreler aracılığı ile gangliyon hücreleri üzerinde yaptığı genel kavuşum oranı yaklaşık 105: 1' dir



GÖRMENİN FOTOKİMYASI

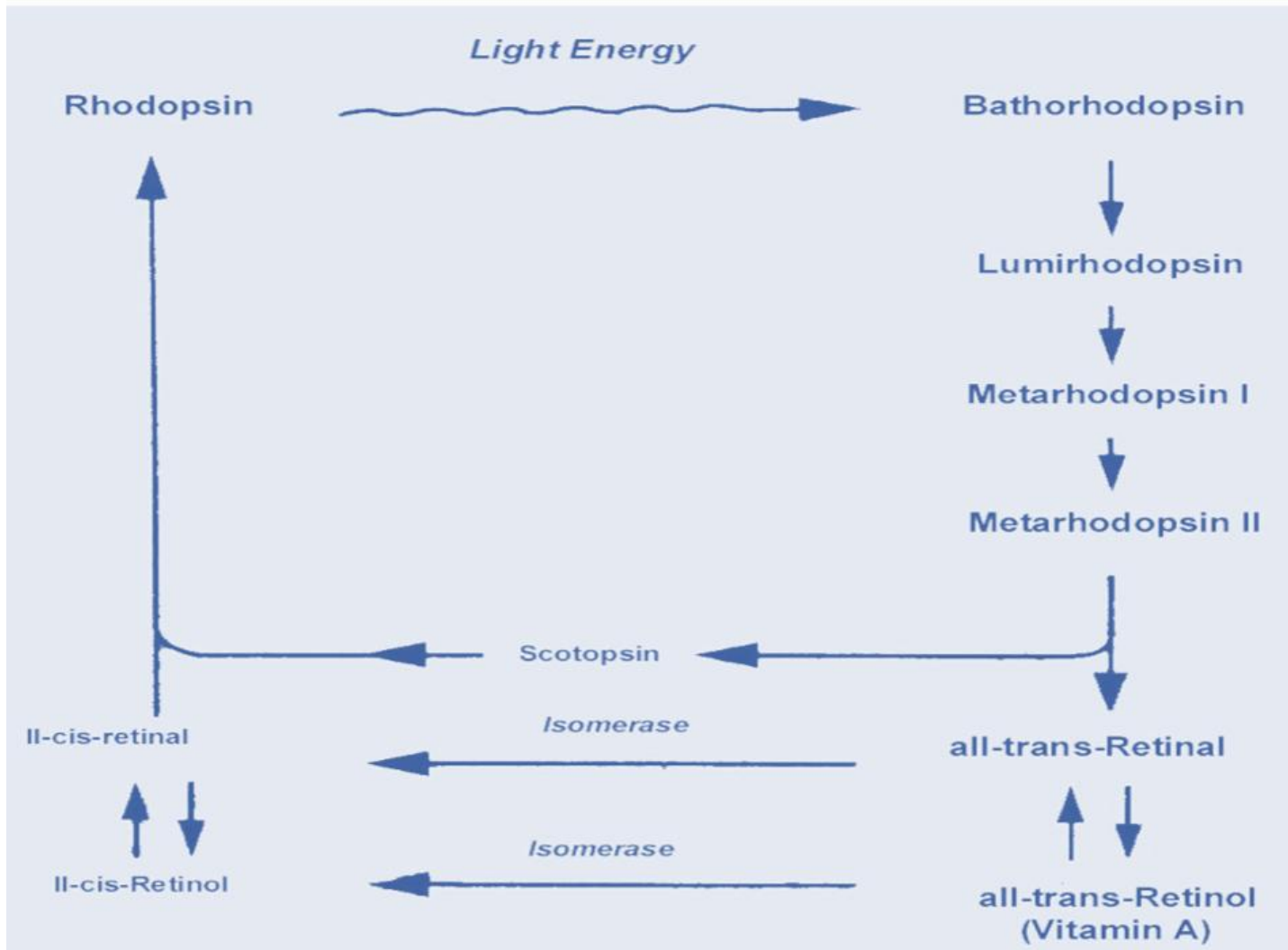
- Koni ve basiller ışığa maruz kalınca, basillerde rodopsin, konilerde koni pigmenti parçalanır ve gözden çıkan sinir lifleri uyarılır.
- Az ışıkta görmeyi (skotopik görüş) sağlayan basillerde pigmentin (rodopsin) opsini skotopsin,
- Aydınlikta görmeyi (fotofobik görüş) sağlayan konilerde bulunan pigmentin (koni pigmenti) opsini ise fotopsindir
- Retinal yapısı her iki pigment de ortaktır



Basilin dış segmenti

- %40 Rodopsin denen ışığa duyarlı pigment içerir.
- Kırmızı renginden dolayı görme moru da denir. Bu madde skotopsin ve retinalin bileşiminden oluşur.
- Retinal 11-cis formundadır.
- Çünkü sadece bu form skotopsinle birleşip rodopsin sentezleyebilir





RODOPSIN-RETINAL GÖRME DÖNGÜSÜ

- Rodopsin → skotopsin + 11-cis-retinal
- Işık , rodopsin → 11-cis-retinal → all-trans-retinal'e çevrilir.
- All trans-retinal skotopsinden uzaklaşmaya başlar.
- All-trans-retinal ve skotopsinin kısmen ayrılmış parçası → batorodopsin'i Batorodopsin → lumirodopsin'e → metarodopsin 1'e → metarodopsin 2
- Sonuçta → skotopsin ile all-trans-retinal'e dönüşür.
- Rodopsinin rengi koyu kırmızıdır (görme moru)
- Metarodopsin 2 ise saridir (ışıkta rodopsinin solması)



RODOPSININ YENIDEN OLUŞUMU

- All-trans-retinal → 11-cis-retinal (Retinal izomeraz)
- 11-cis-retinal, skotopsin ile birleşerek rodopsinin yeniden oluşumunu sağlar
- All-trans-retinal → all-trans-retinol (A vitamini) 'e de dönüşebilir.
- İzomerazlar ile All-trans-retinol → 11-cis-retinal 'a dönüşür.
 - Retinal ve A vitamini arasındaki karşılıklı dönüşüm farklı ışık siddetlerine retinanın uzun süreli adaptasyonunda özellikle önemlidir
- A vitamini eksikliğinde gece körlüğü oluşur. Nedeni, uygun miktarda retinale dönüşecek A vitamininin olmamasıdır.

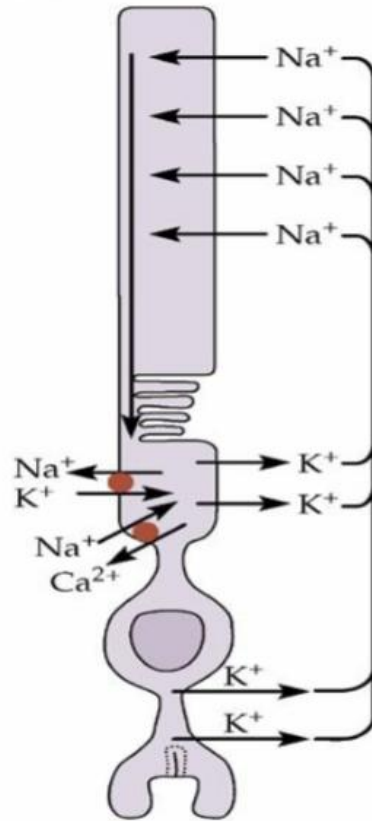


GÖRME RESEPTÖRLERİNDE RESEPTÖR POTANSİYELİ

- Görme reseptörleri ışık ile uyarılınca hiperpolarizasyon meydana gelir. Bunun nedeni, rodopsin parçalandığında, basilin dış segment membranının Na geçirgenliğinin azalmasıdır
- Işık → basil ve konilerde hiperpolarize edici reseptör potansiyeli yaratır. Karanlıkta basil ya da koninin membranı Na ve K iyonlarına karşı eşit derecede geçirgendir.
- Bu durum -40 mV'luk istirahat potansiyeline neden olur. Basilin dış segmentindeki rodopsin ışık ile parçalanmaya başlayınca, dış segmentten Na içeri alımı azalır. Pozitif iyonlar basil içinde azalır, membran içi negatiflik artar, hiperpolarizasyon olur.
- Maksimum ışık şiddetinde membran potansiyeli -70 - 80 mV'a yaklaşır (K^+ membran denge potansiyeline yakındır)

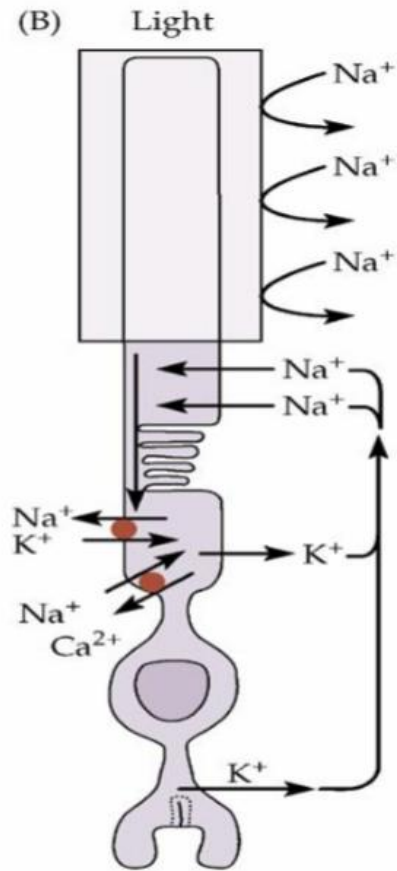


(A)



In dark
Depolarized
High release

(B)



In light
Hyperpolarized
Low release

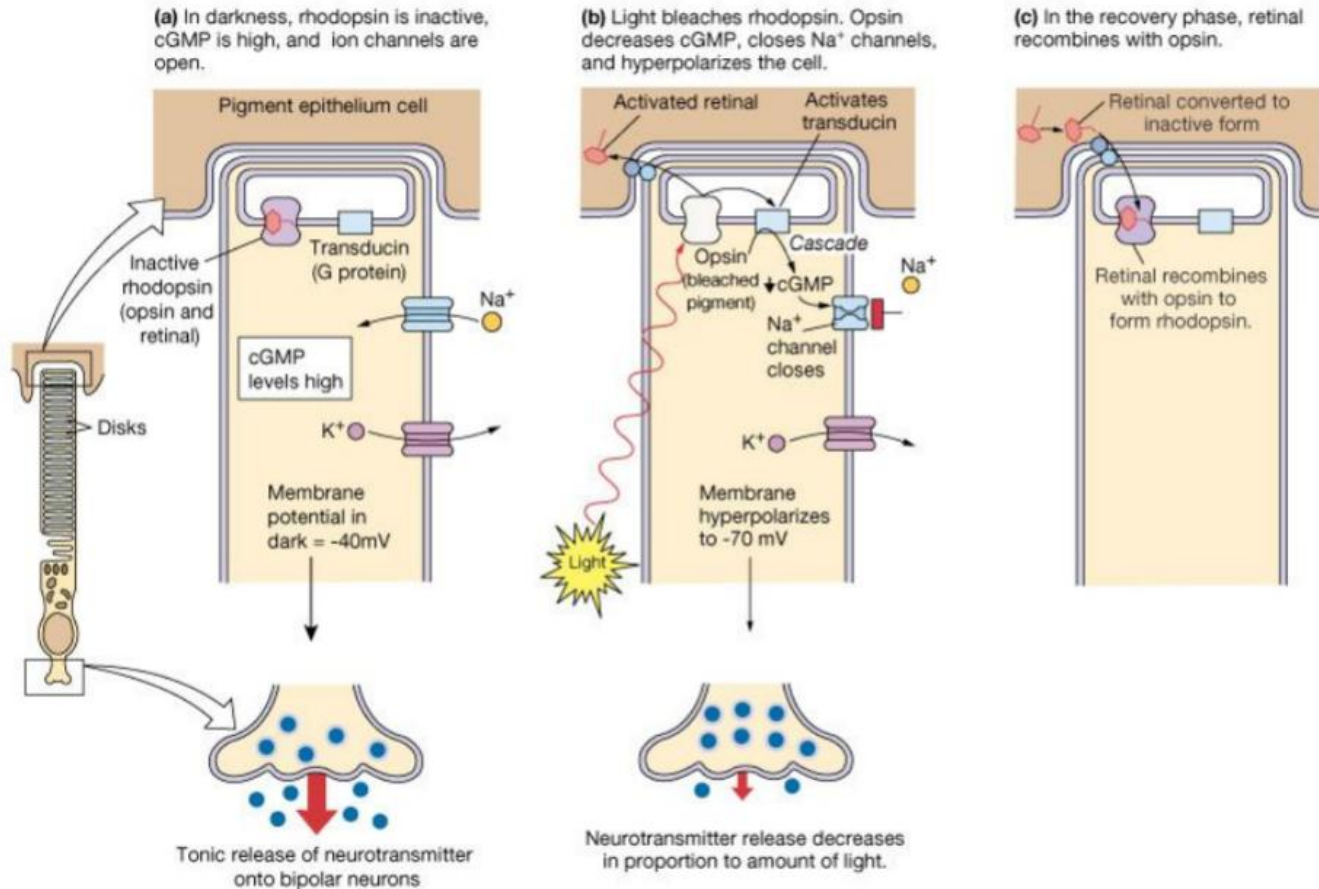
© 2001 Sinauer Associates, Inc.

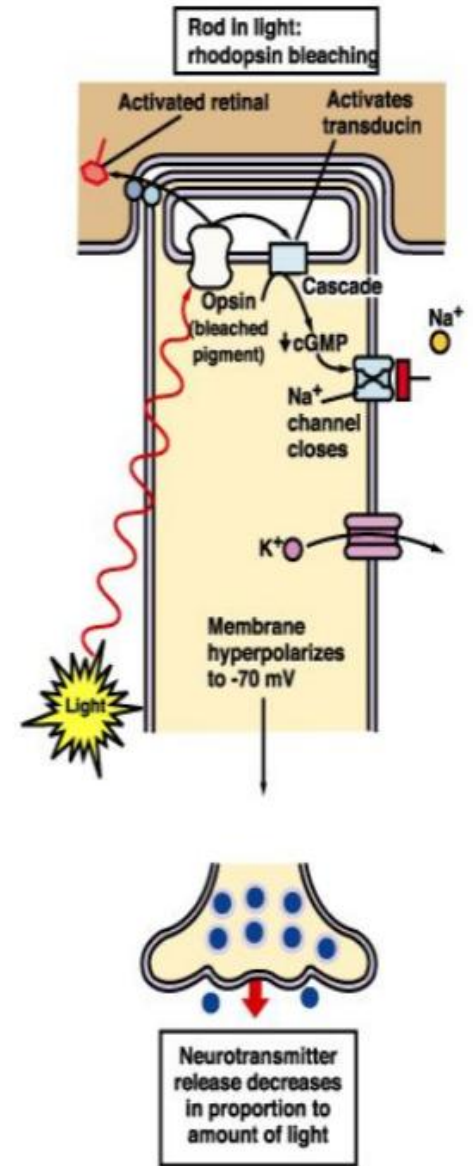
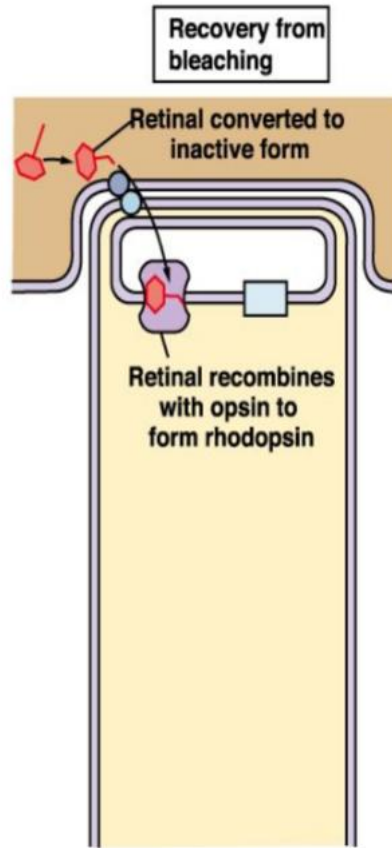
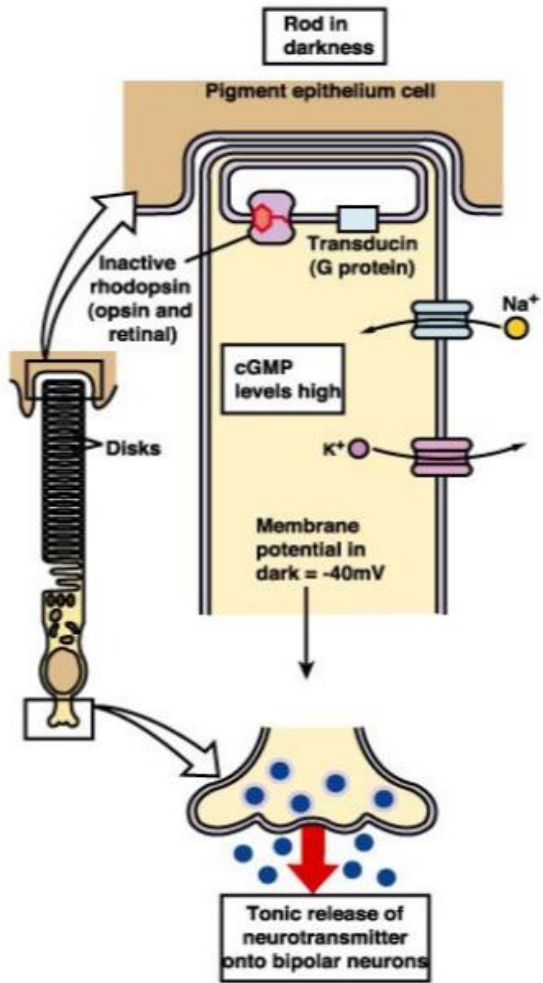


- Her çubuk 10^8 kadar pigment molekülü rodopsin içerir
- Işık fotonunun etkisiyle
 - Rhodopsin: retinal+opsin ayrımı
- Karanlıkta Na^+ kanalları açıktır: hücre depolarize dinlenme potansiyeli -40mV
- Bunun sonucunda sinapslardan sürekli nörotransmitter (Glutamat) salınarak horizontal ve bipolar hücrelere yayılır



Reseptör Potansiyeli

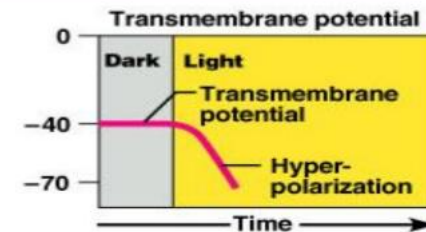
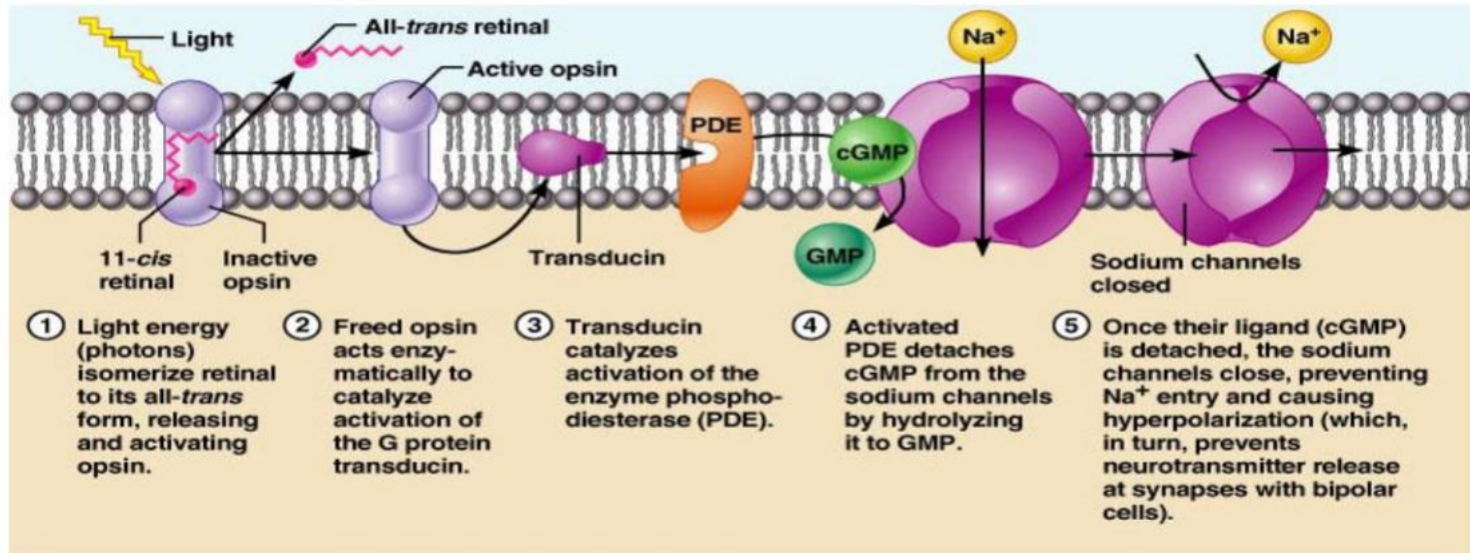




- Işığın soğurulması transducin adı verilen G-proteini aktive eder
- Transducin ise cGMP fosfodiesterazı aktive eder
 - cGMP Na⁺ kanallarının açık kalmasını sağlar
- Sitoplazmada cGMP derişimi düşer
- Böylece hiperpolarizasyon başlar



Fototransdüksiyon



AYDıNLığA UYUM VE CA²⁺ NıN ETKİSİ

- Karanlıktan hızla aydınlığa geçildiğinde tüm cGMP-kapılı Na⁺ kanalları kapanır
- Zar -40 mV dinlenim durumundan K⁺ denge potansiyeli olan -70mV ta doğru hiperpolarize olur
- Kanalların kapanması, cGMP-kapılı ve çok seçici olmayan Na⁺ kanallarından 1/7 oranında içeri sızan Ca²⁺ da engellenir



AYDINLIĞA VE KARANLIĞA UYUM

- Bir kişi uzun süre parlak ışıhta durduysa, basil ve konilerdeki fotokimyasal maddeler retinal ve opsinlere geri dönüşmüş olacaktır.
- Retinalin çoğu da A vitaminine dönüşecektir. Buna bağlı gözün ışığa duyarlılığı azalır. Buna aydınlığa uyum denir.
- Kiři uzun süre karanlıkta kalırsa, basil ve konilerdeki retinal ve opsinler yeniden ışığa duyarlı pigmentlere dönüşür. A vitamini de retinale dönüştürölür. Buna karanlığa uyum denir



- Ca^{2+} ayrıca taşıyıcı protein tarafından da atıldığından hücre içi Ca^{2+} derimi düşmeye başlar
- Ca^{2+} miktarı azalınca cGMP miktarı artar cGMP kapılı kanallar açılır
- Koniler yavaş yavaş depolarize olmaya ve tekrar ışığa yanıt vermeye hazır hale gelir



KARANLIĞA UYUM

- Çubuk hücreler daha fazla sayıda pigment içerdikleri için foton soğurma olasılıkları fazladır ve ışığa daha duyarlıdırlar
- Çubuklar gündüz ışığında kolaylıkla doygunluğa ulaşırken, koniler ancak çok şiddetli ışık altında doygunluğa ulaşırlar
- Uzun süre aydınlıkta kalığımızda bir çubuk hücrelerinde rhodopsinlerin retinal ve opsine ayrılmış olacağından, karanlık ortama geçtiğimizde yeniden rhodopsin sentezi için bir müddet beklemek gerekir. Bu da karanlığa uyumu sağlayacaktır



RENKLI GÖRME

Konilerdeki renk duyarlı kimyasallar koni pigmentleri olarak adlandırılır. Rodlardaki kimyasallara çok benzer.

3 tip renk duyarlı pigment vardır:

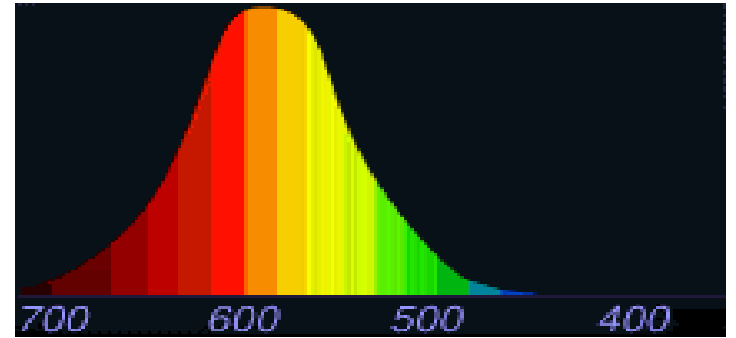
- **Kırmızıya duyarlı pigment**
- **Yeşile duyarlı pigment**
- **Maviye duyarlı pigment**

Her bir koni hücresi bu 3 pigmentten birine sahiptir
İnsan gözü kırmızı, mavi ve yeşil karıştırıldığında
hemen hemen tüm renk derecelerine duyarlıdır

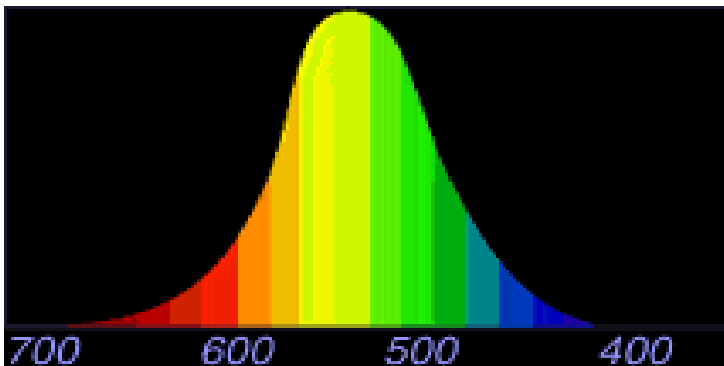


SPEKTRAL DUYARLILIK

“Kırmızıya duyarlı” ya da “L” koniler



“yeşile duyarlı” ya da “M” koniler



“Maviye duyarlı” ya da “S” koniler

