

Geometrijska optika

4. dio

Optički uređaji:

oko (najsloženije)

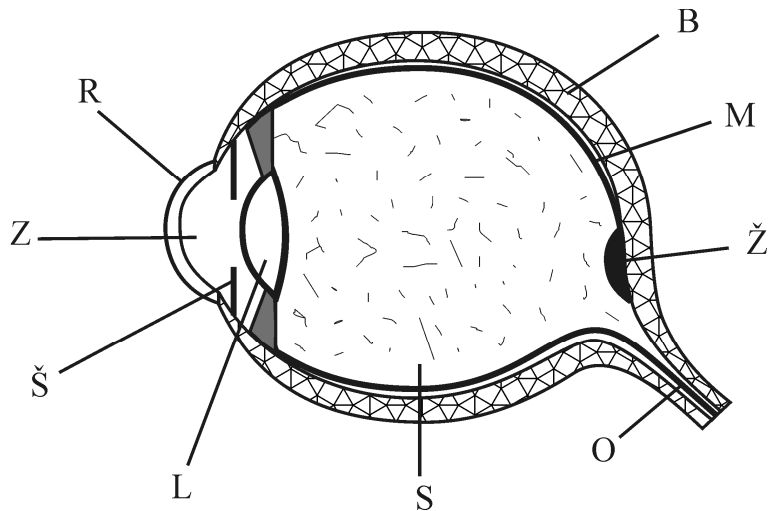
leća – lupa kao najjednostavniji optički uređaj

mikroskop, dalekozor, fotoaparatus

Okno

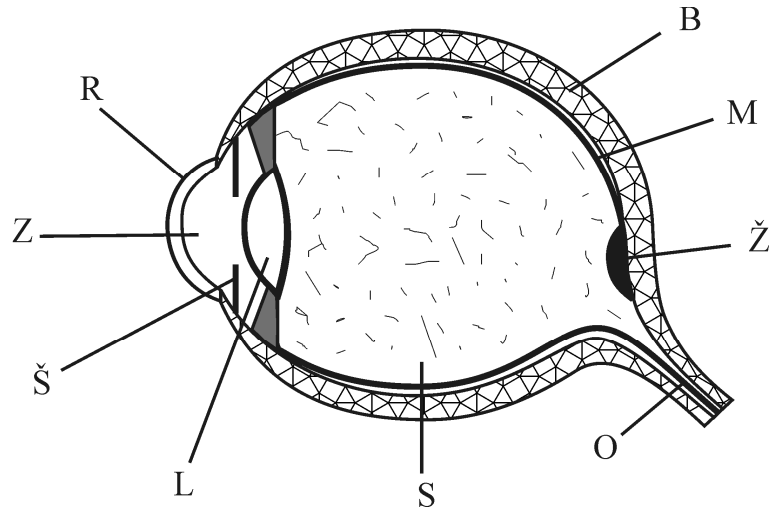
Okno - Organ vida koji neposredno prima svjetlosne utiske. → Živcima u mozak. → Svjesno zamjećujemo predmete od kojih oko stvara sliku.

Anatomija oka: Oko se sastoji od očne jabučice, približno sfernog oblika, promjera oko 2,5 cm. Prednji dio oka je jače zakrivljen i prekriven čvrstom prozirnom membranom zvanom **rožnica (R, cornea, lat.)**, ispred koje je obično zrak, a iza je očna vodica. Rožnica prelazi u **bjeloočnicu (B, sclera, lat.)**, koja omata preostalu očnu jabučicu.



Iza rožnice i očne vodice je **šarenica (Š, iris, lat.)**, koja omeđuje kružni otvor, **zjenicu (Z, pupilla, lat.)**. Promjer otvora šarenice (koja nosi boju ili po kojoj se razlikuje boja očiju) mijenja se od 2 - 8 mm, prema jakosti svjetla. Zjenica je otvor dijafragme oka.

Oko 2

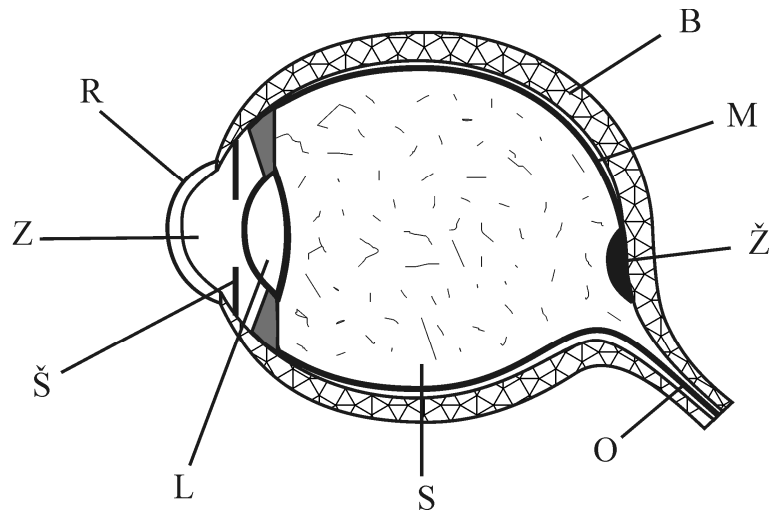


Iza šarenice je **leća** (L) koja je sastavljena od slojeva različitog indeksa loma: na polovima je indeks loma 1,386; na ekvatoru 1,375; u središtu leće 1,406. Leća je bikonveksna i uronjena je u sredstvo manjeg indeksa loma, pa djeluje kao konvergentan sustav (očna vodica i staklasto tijelo iza leće imaju indeks loma približno kao voda).

Djelovanjem mišića za akomodaciju oka može se smanjiti polumjer zakrivljenosti za obje plohe leće u području jakosti od $10 - 17 \text{ m}^{-1}$.

Akomodacijom oko mijenja jakost (konvergenciju) cijelog sustava od $59 - 71 \text{ m}^{-1}$. Srednji indeks loma leće je približno 1,437, što se značajno razlikuje od prednjeg i zadnjeg optičkog sredstva (u odnosu na leću), a glavni lom svjetlosti zbiva se na rožnici.

Oko 3

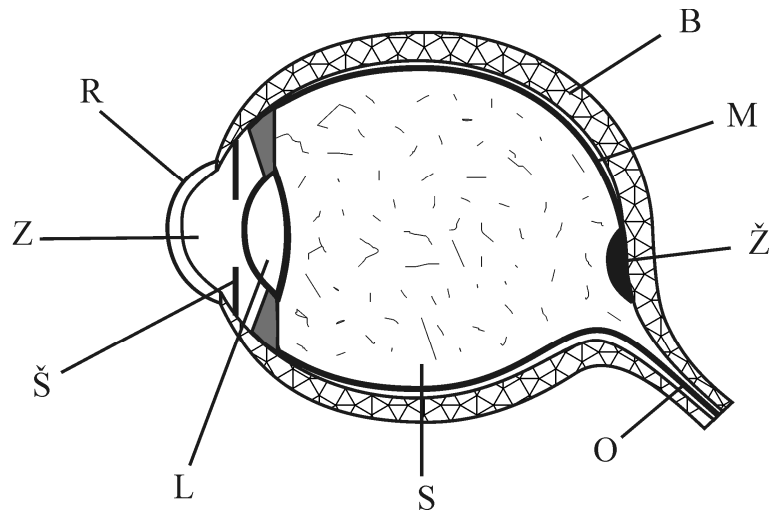


Mrežnica (**M**, *retina*, lat.) prekriva veliki dio stražnje stijene oka, a u geometrijskoj optici predstavlja zastor na kojem optički sustav oka stvara sliku vanjskog predmeta.

Slika je realna i obrnuta, a zastor je u stalnom položaju (ne mijenja se njegova udaljenost od leće). Stoga se oko mora akomodirati, prilagoditi konvergenciju položaju predmeta. Struktura mrežnice omogućuje detekciju zračenja, odnosno svjetlosnih podražaja, te nastajanje živčanih impulsa, koji dovode informaciju o podražaju u mozak.

Osjetljivi elementi na svjetlost, koji se nalaze na mrežnici, nazivaju se **čunjići i štapići**, a oni su preko živčanih vlakana spojeni na očni živac; ovi receptori se razlikuju u strukturi a i obliku (čunjići su na prednjem dijelu prošireni; uzdužni presjek štapića je uži).

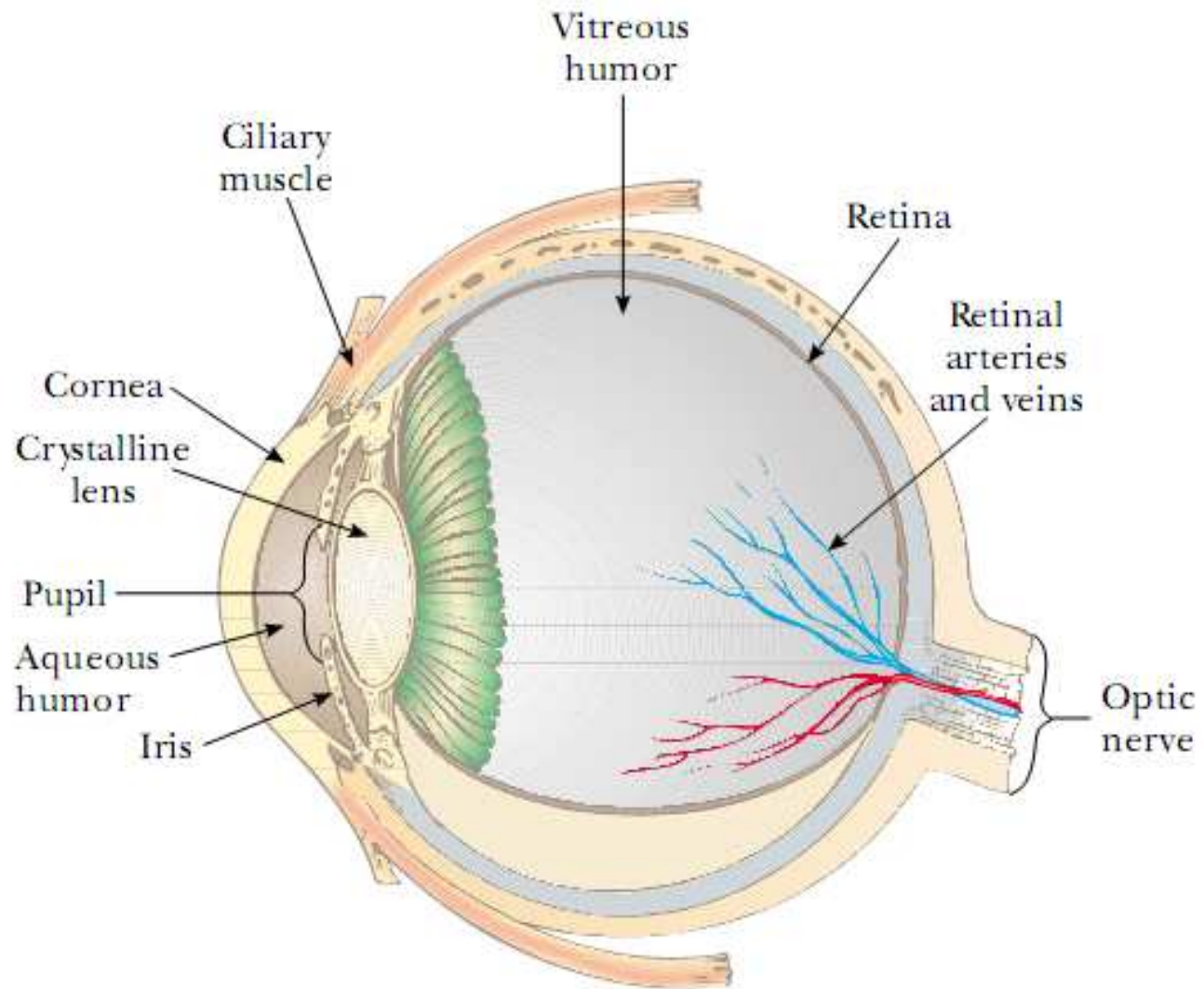
Oko 4



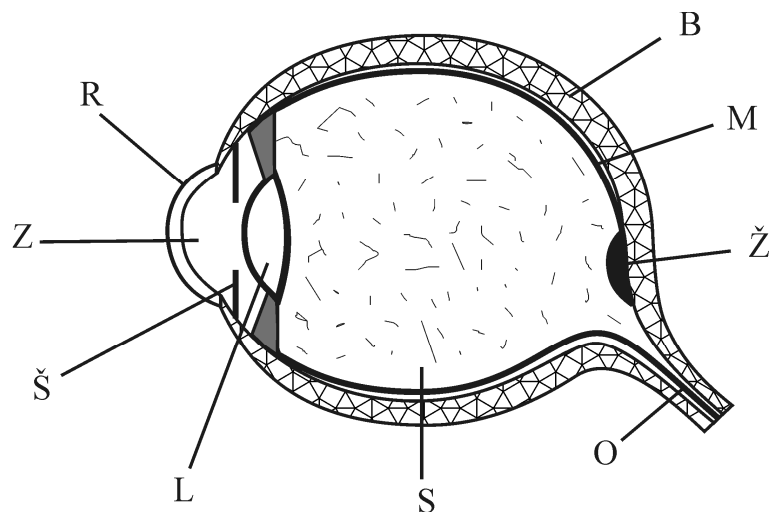
Na stražnjoj strani mrežnice nalazi se **žuta pjega** (**Ž**, *maculata lutea*, lat.), koja sadrži žuti pigment (boju), a u njenom središtu je smještena jamica, udubina (fovea, lat.; nastaje stanjenjem mrežnice, koja se na tom mjestu sastoji samo od čunjića velike gustoće, približno 50 000 čunjića po mm²).

S udaljenošću od jamice povećava se gustoća štapića u odnosu na broj čunjića. Na mjestu ulaska očnog živca u oko nema ni štapića ni čunjića i tu se slika ne vidi; to je **slijepa pjega** oka.

-građa oka:



Optička svojstva oka



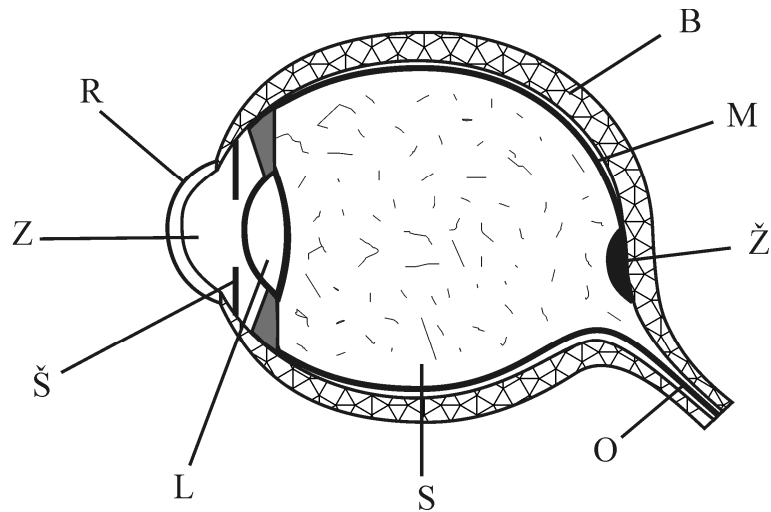
Naprežanjem mišića oko akomodira svoju konvergenciju predmetu.

Daleka točka (točka R; punctum remotum, lat.) = Najdalja točka predmeta, od koje nenapregnuto oko (najmanje jakosti) stvara sliku na mrežnici (daje jasan vid).

Bliza točka (točka P; punctum proximum, lat.) = Najbliža točka predmeta od koje maksimalno napregnuto oko (najveće jakosti) stvara jasnu sliku na mrežnici. Udaljenost točke P od oka označujemo kao najmanju udaljenost jasnog vida (d).

Normalno oko ima točku R u beskonačnosti, dok je točka P na udaljenosti od 7 do 40 cm ispred rožnice u životnoj dobi od 10 do 50 godina; uzima se za cijelu populaciju kao srednja vrijednost najmanje udaljenosti jasnog vida $d_s = 25$ cm.

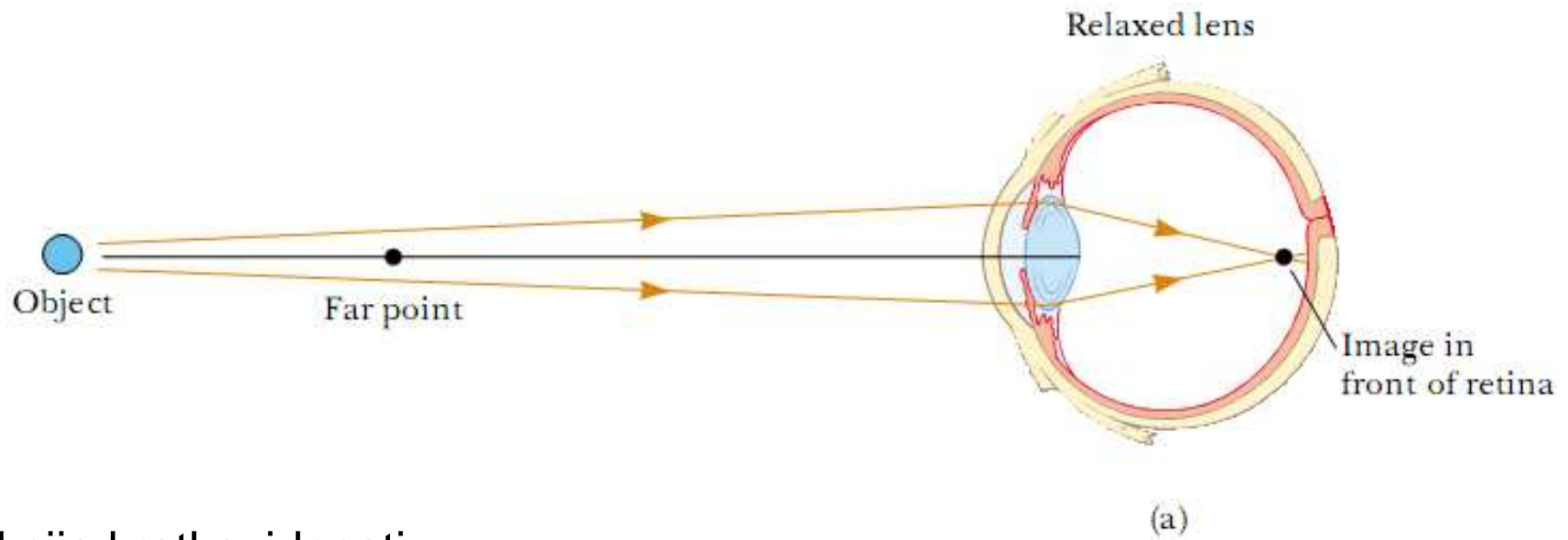
Optička svojstva oka 2



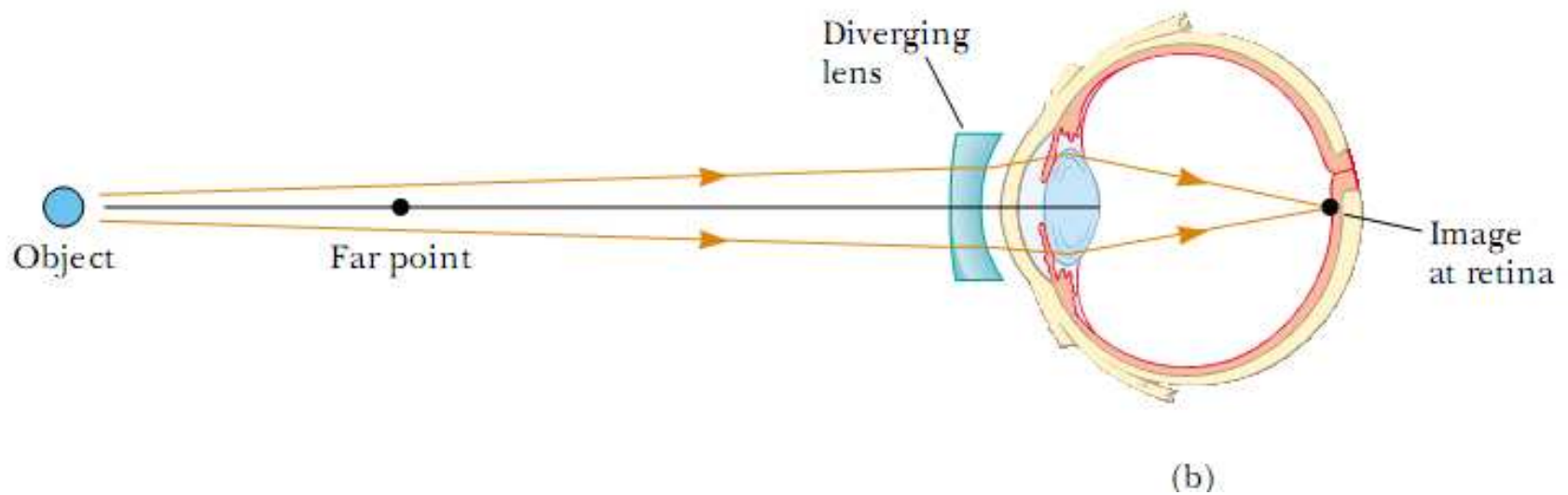
Kratkovidnost (myopia, lat.) =
Nedostatak vida u obliku kada žarište
slike nije na mrežnici nego bliže
rožnici; za predmet u beskonačnosti
slika nije jasna..

Točka R nije u beskonačnosti nego je bliže oku što je oko više kratkovidno; leća oka ima veliku zakrivljenost, pa se kratkovidnost korigira naočalama s negativnom lećom.

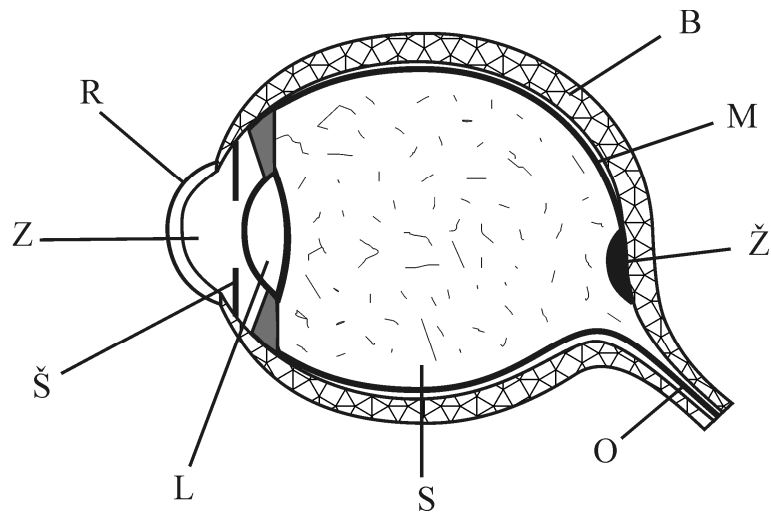
-kratkovidnost:



-korekcija kratkovidnosti:



Optička svojstva oka 3



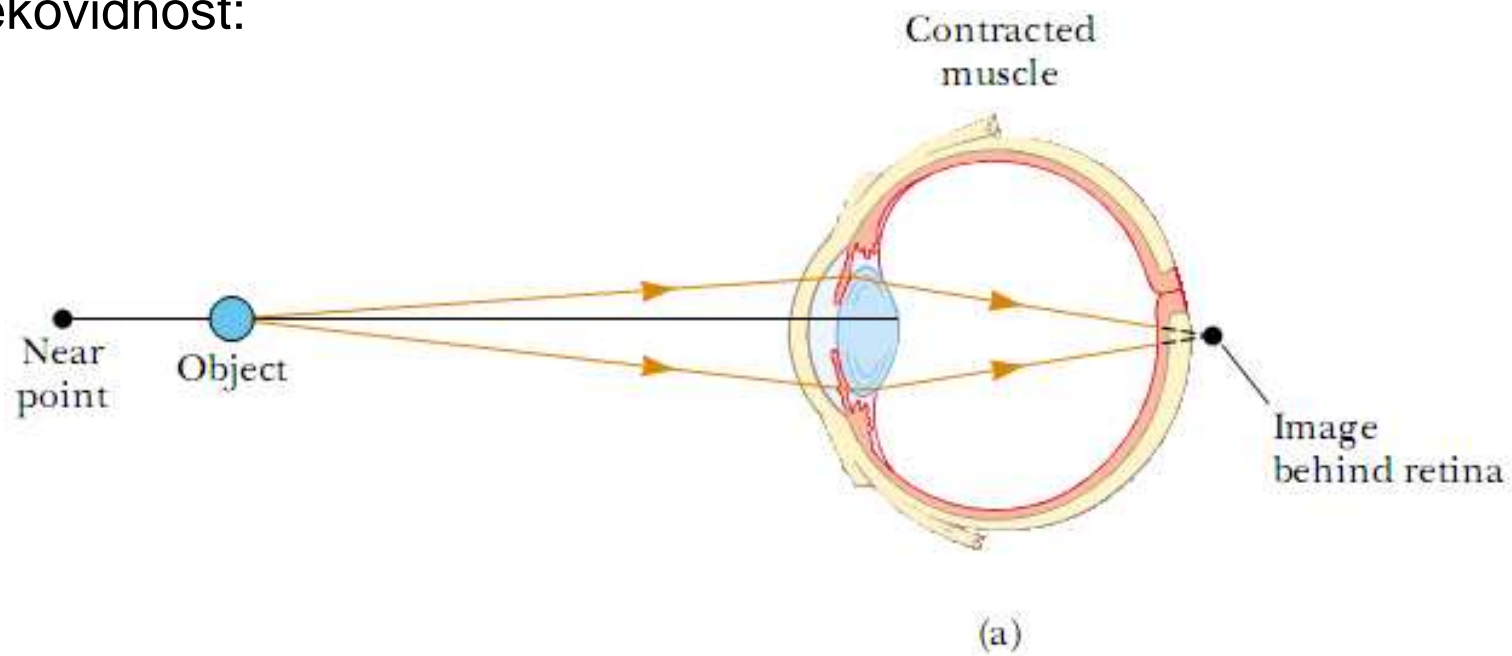
Dalekovidno oko (hypermetropia, lat.) od paralelnih upadnih zraka stvara sliku iza mrežnice.

Dalekovidno oko mora primiti već konvergentne zrake da bi sliku dobilo na mrežnici.

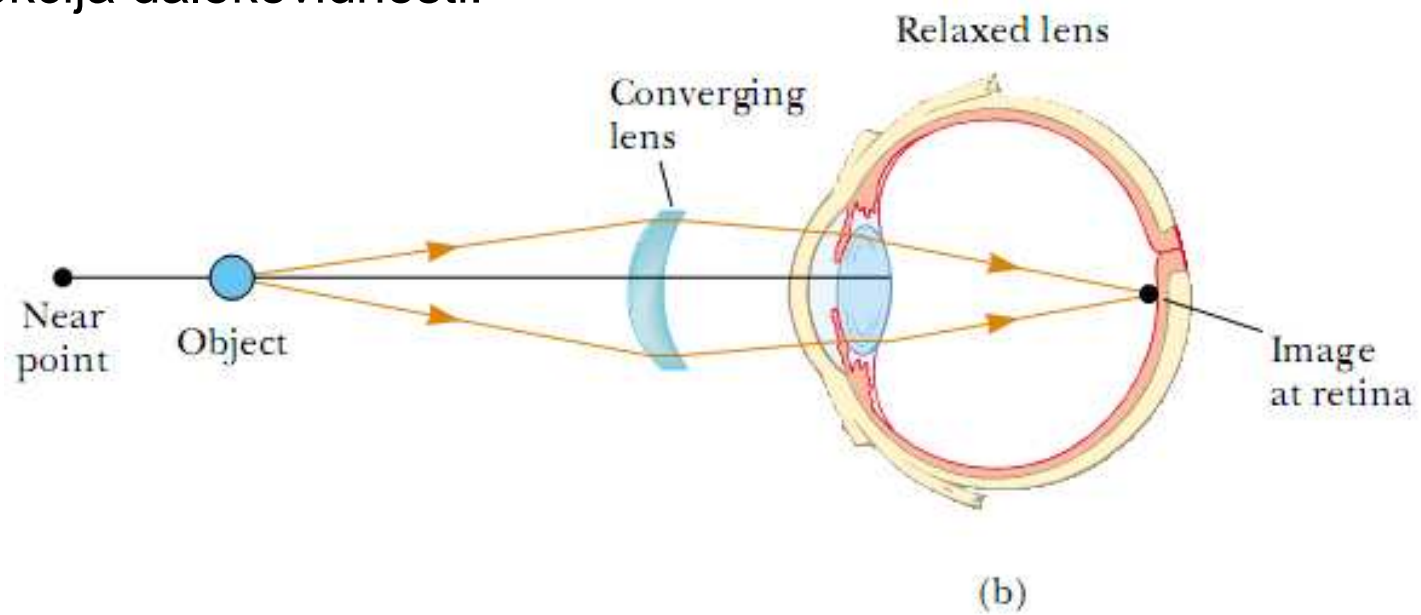
S godinama se sposobnost akomodacije oka smanjuje. → Točka P se udaljava dok ne padne u točku R.

Starovidnost odnosno dalekovidnost oka korigira se pozitivnim lećama.

-dalekovidnost:



-korekcija dalekovidnosti:

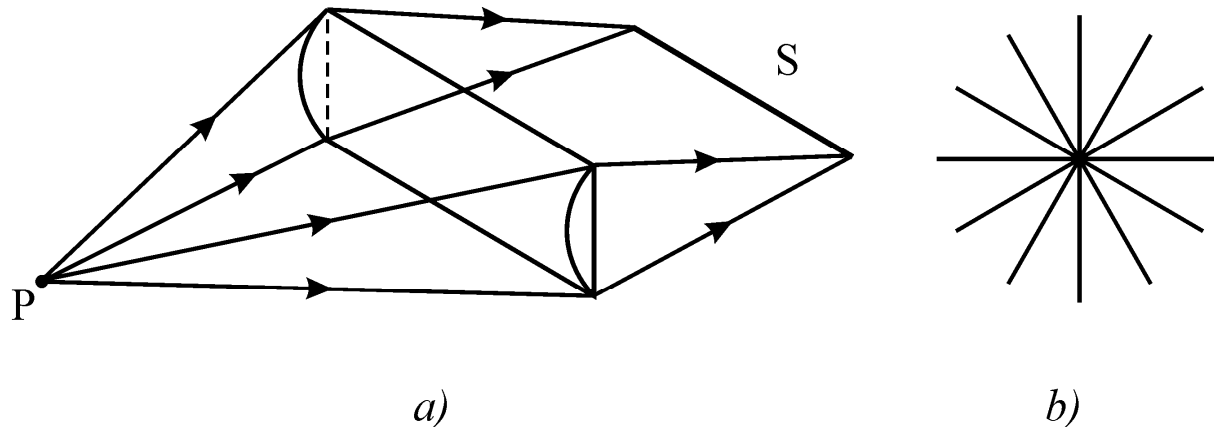


Astigmatičnost oka

Astigmatičnost oka = Pogreška oka koja nastaje zbog nesferičnosti pojedinih dioptrijskih ploha, osobito rožnice (i leće). Točkasti izvor daje linijsku sliku.

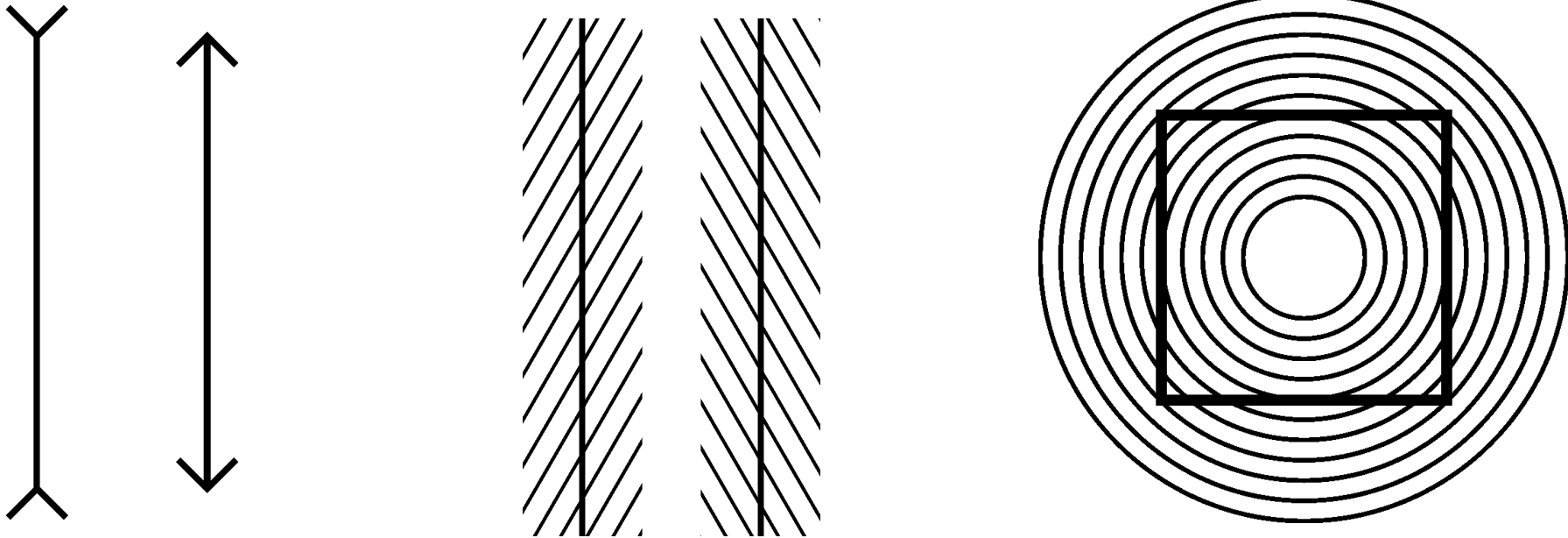
Posljedice - Oko ne vidi jednako jasno npr. okomite prečke na prozoru, tj. vidi dobro vertikalne a ne vidi jasno horizontalne prečke, ili obratno.

Astigmatičnost se ispravlja cilindričnim lećama, koje korigiraju zrake samo u jednoj ravnini (i njoj paralelnoj ravnini) – leće imaju različitu zakrivljenost u međusobno okomitim ravninama.



- a) Cilindrična leća za točkasti predmet (P) daje pravčastu sliku (S).
- b) Test lik za astigmatičnost oka.

Optičke varke



Tumačenje? Na pojavi "konstantnosti veličina" (Rene Descartes, 1637.)

Centar vizualnog osjeta u mozgu neprestano korigira, na temelju iskustva, primarni utisak koji daje slika na mrežnici.

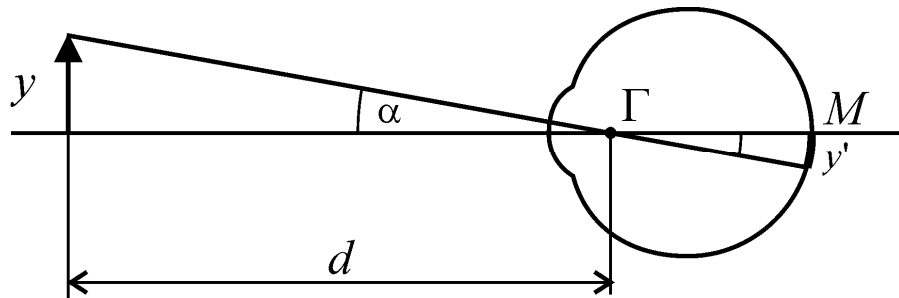
Ta nesvjesna korektura je samo u iznimnim slučajevima pogrešna.

Razlučivanje oka

Razlučivanje oka = Sposobnost stvaranja dviju još odvojenih slika za dva bliza točkasta izvora.

Dva točkasta predmeta oko vidi rastavljena ako slika svake točke pada na dva različita čunjića.

Ako obje slike padaju na isti čunjić, oko ih više ne vidi kao rastavljene, tj. ne razlučuje ih.



y' = promjer čunjića

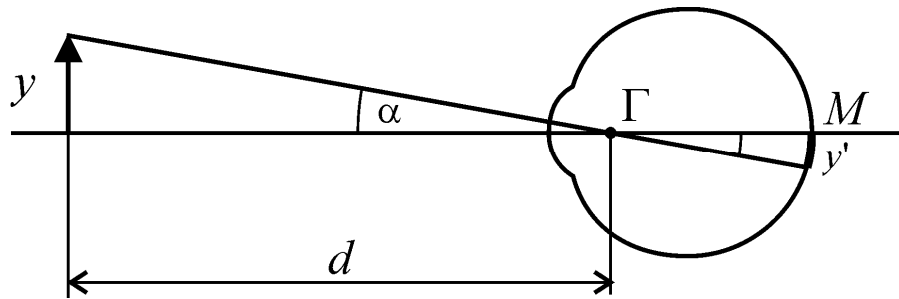
α = upadni kut zrake prema glavnoj osi sustava oka

ΓM = udaljenost optičkog centra oka od mrežnice (gdje nastaje slika)

Za male kutove \rightarrow
$$\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha = \frac{y'}{\Gamma M} = \frac{y}{d}$$

y = Razlučivanje, odnosno udaljenost između dviju točaka koje neće pasti na isti čunjić.

Razlučivanje oka 2



$$\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha = \frac{y'}{\Gamma M} = \frac{y}{d}$$

y' = promjer čunjića

α = upadni kut zrake prema glavnoj osi sustava oka

ΓM = udaljenost optičkog centra oka od mrežnice (gdje nastaje slika)

Stvarnost:

$$y' = 0,004 \text{ mm}$$

$$\Gamma M = 18 \text{ mm}$$

$$d = 25 \text{ cm (najmanja udaljenost jasnog vida)}$$

$$\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha = \frac{y'}{\Gamma M} = \frac{y}{d} \quad \longrightarrow \quad y = \frac{y'}{\Gamma M} d = \frac{0,004}{18} 250 \approx 0,06 \text{ mm}$$

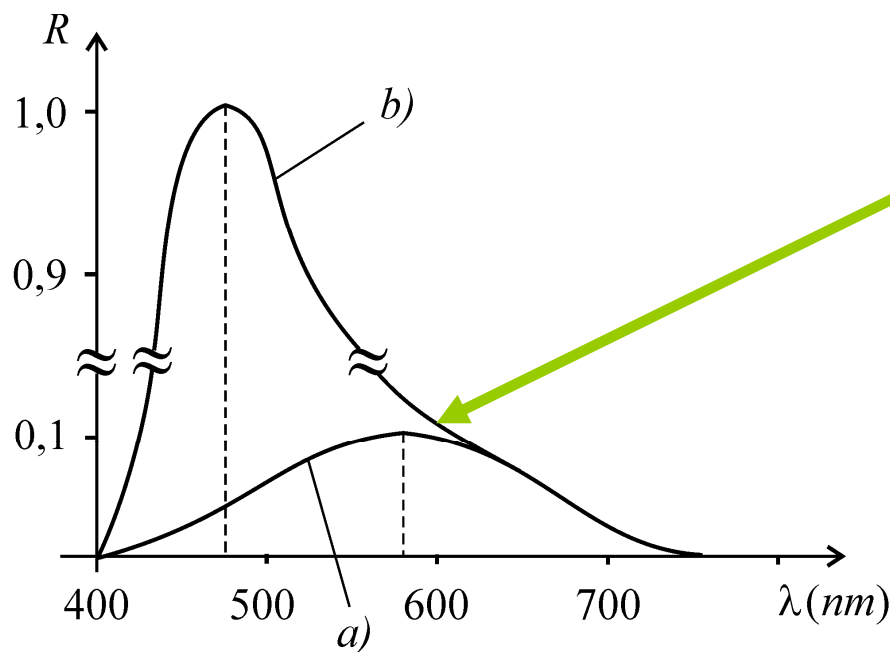
$60 \mu\text{m}$ = Najmanja udaljenost između dviju točaka koje oko vidi još razdvojene

Spektralna osjetljivost oka

Oko - Područje valnih duljina svjetlosti od približno 400 do 750 nm.

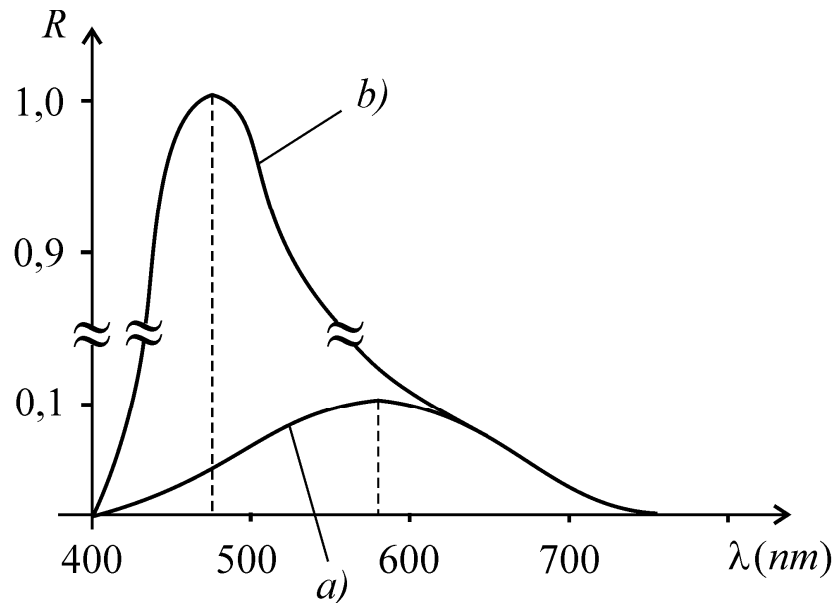
Spektralna osjetljivost oka – "Vidljivost" zavisi i o intenzitetu svjetlosti.

Normalna, dnevna ili jača svjetlost → Percepcija svjetlosti se odvija uglavnom pomoću čunjića (oko najosjetljivije na žuto-zelenu boju).



Spektralna osjetljivost oka
(R, iskazana relativno) za:
a) čunjiće;
b) štapiće

Spektralna osjetljivost oka



Spektralna osjetljivost oka
(R , iskazana relativno) za:
a) čunjiće;
b) štapiće

Manja jakost svjetlosti (odnosno za osvjetljenje ispod približno 3 cd/m^2 ; o jedinici kandela, cd, više u poglavlju iz fotometrije) \rightarrow Čunjići imaju sve manju ulogu, a vid sve više ovisi o djelovanju štapića.

Osvjetljenje ispod 0,3 cd/m^2 \rightarrow Djeluju samo štapići. \rightarrow

Sumrak (mjesčina, noć) \rightarrow Osjetljivost oka pomaknuta prema nižim λ .

Slika \rightarrow Krivulja osjetljivosti za štapiće (vrh) uža ali i 10-tak puta veća od osjetljivosti čunjića; funkcija štapića manje raspoznaje boje ("noću su sve mačke sive").

Spektralna osjetljivost oka

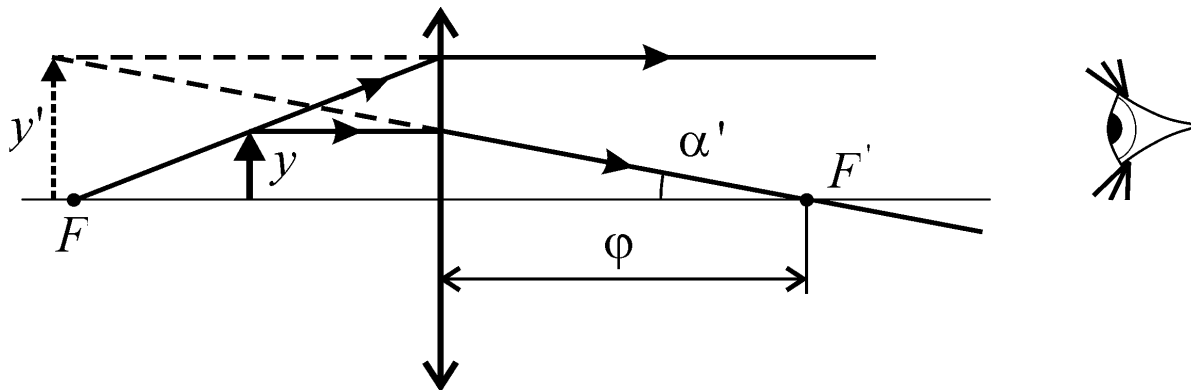
Osjet boje? Mrežnica sadrži tri vrste receptora osjetljivih na tri primarne boje: crvenu, zelenu i plavu. Ako, primjerice, žuta svjetlost pada na mrežnicu, onda su stimulirani crveni i zeleni receptori, pa dvostruki signal u mozgu daje osobi da "vidi" žuto; bijela (polikromatska) svjetlost stimulira signale sve tri vrste receptora na primarnu boju.

Seminar?

Lupa

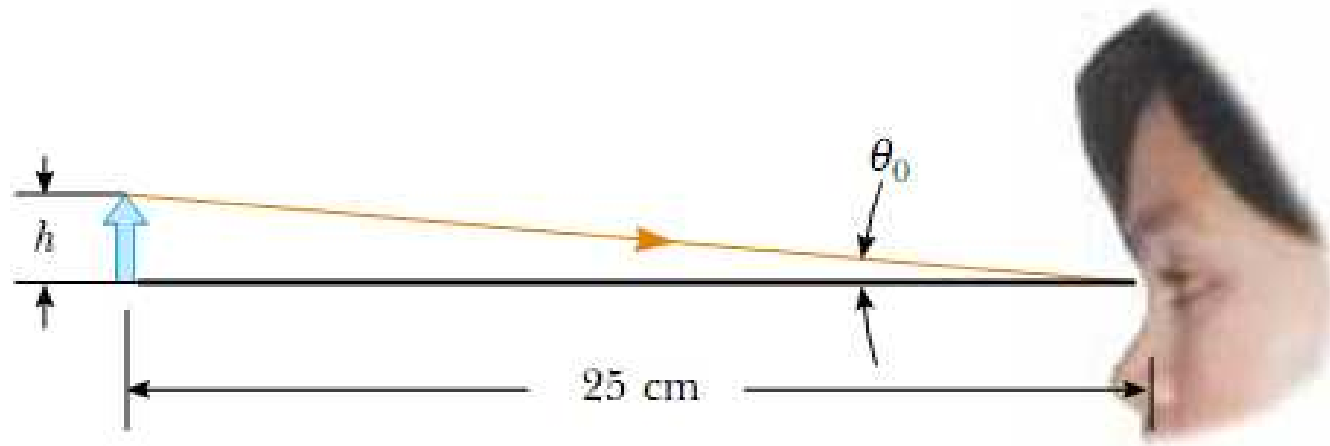
Lupa ili povećalo = Najjednostavniji je optički uređaj, a sastoji se od konvergentne leće jakosti od desetak do 100 dioptrija.

Lupa - Od realnog predmeta daje povećanu virtualnu sliku; od te slike oko stvara realnu i uvećanu sliku na mrežnici.

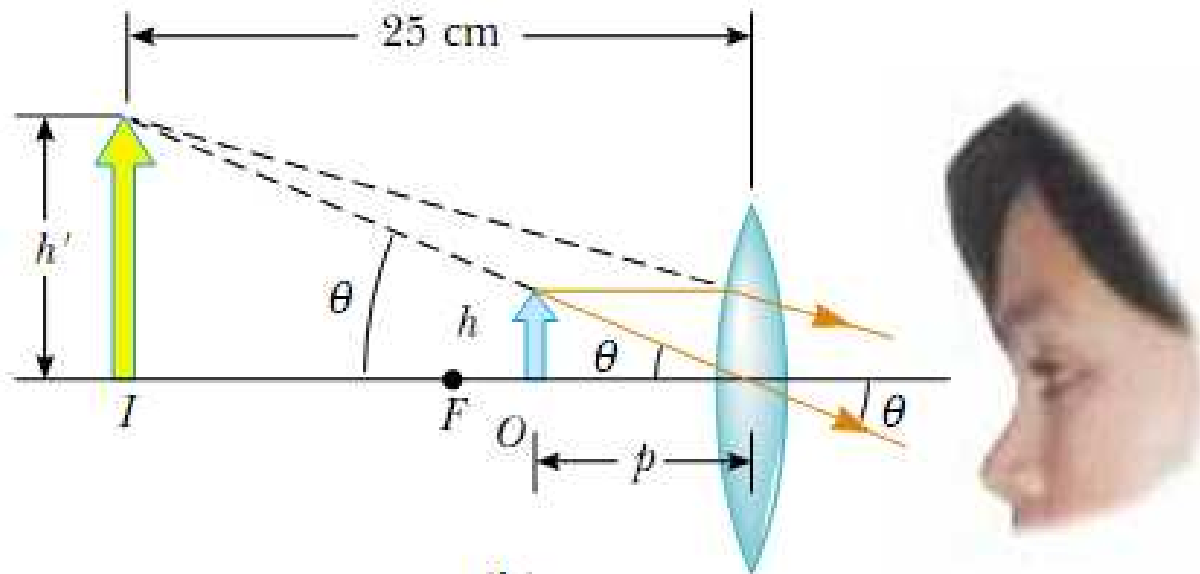


Bitno : Predmet staviti između žarišta predmeta i tjemena leće.

Najpovoljnije za oko - Predmet se nalazi u žarištu leće tj. lupe: tada leća daje od svake točke predmeta virtualnu sliku u beskonačnosti, a od realnih paralelnih zraka oko stvara realnu sliku na mrežnici (pri tom se oko ne napreže; predmet kao da je u beskonačnosti)

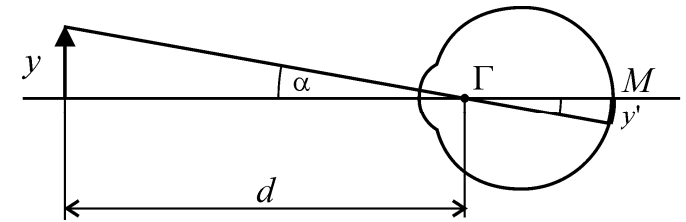
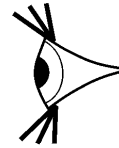
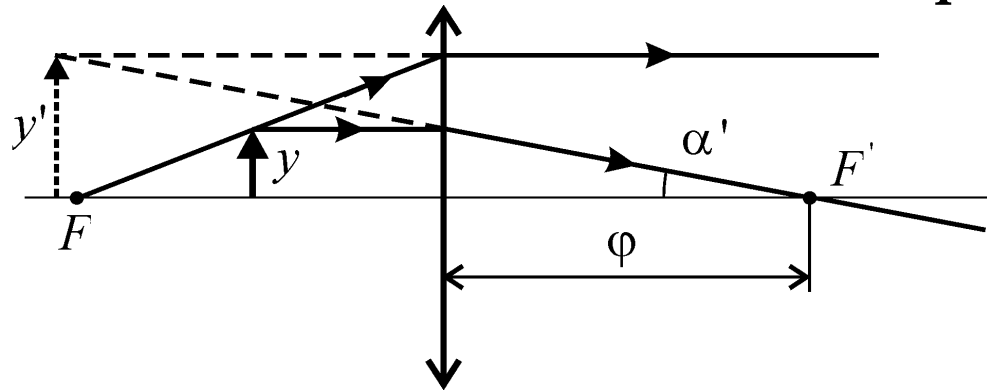


(a)



(b)

Lupa 2



Kutno povećanje lupe = (def) = omjer kutova: $G = \alpha'/\alpha$

α' - prividni promjer predmeta gledanog kroz lupu, ili kut što ga zatvara zraka na izlasku iz leće s osi.

α - prividni promjer predmeta kad se on nalazi na najmanjoj udaljenosti jasnog vida, d (=25 cm) ili kut između krajnjih zraka predmeta.

U Gausovim aproksimacijama vrijedi: $\alpha' = y/\varphi$; $\alpha = y/d$ \Rightarrow

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{\frac{y}{\varphi}}{\frac{y}{d}} = \frac{d}{\varphi} \quad \Rightarrow \quad G = d \cdot j$$

Povećanje lupe je razmjerno jakosti leće (tzv. snaga lupe)

Lupa 3

$$G = d \cdot j$$

Povećanje lupe je razmjerno najmanjoj udaljenosti jasnog vida (d). →

G je veće za dalekovidne osobe.

Primjer:

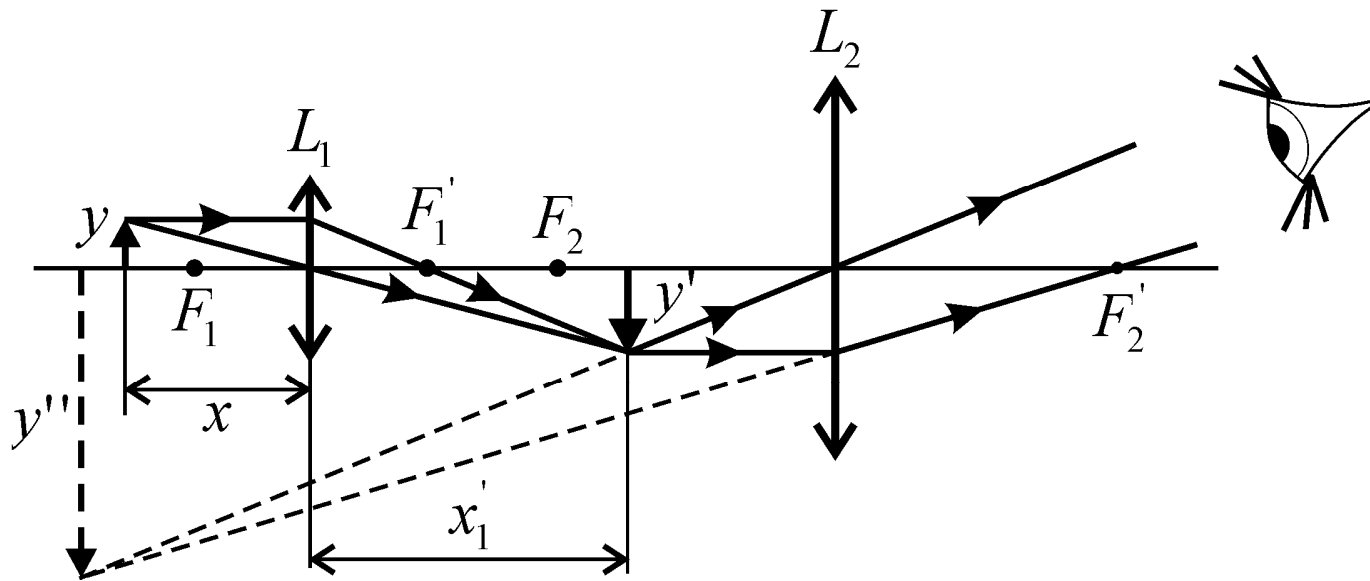
Povećanje lupe jakosti $j = 10 \text{ m}^{-1}$, za srednju udaljenost jasnog vida $d = 0,25 \text{ m}$, iznosi $G = d j = 2,5$.

Za starovidno oko s najmanjom udaljenosti jasnog vida od $0,50 \text{ m}$ ista lupa daje povećanje $G = d j = 5$.

Mikroskop

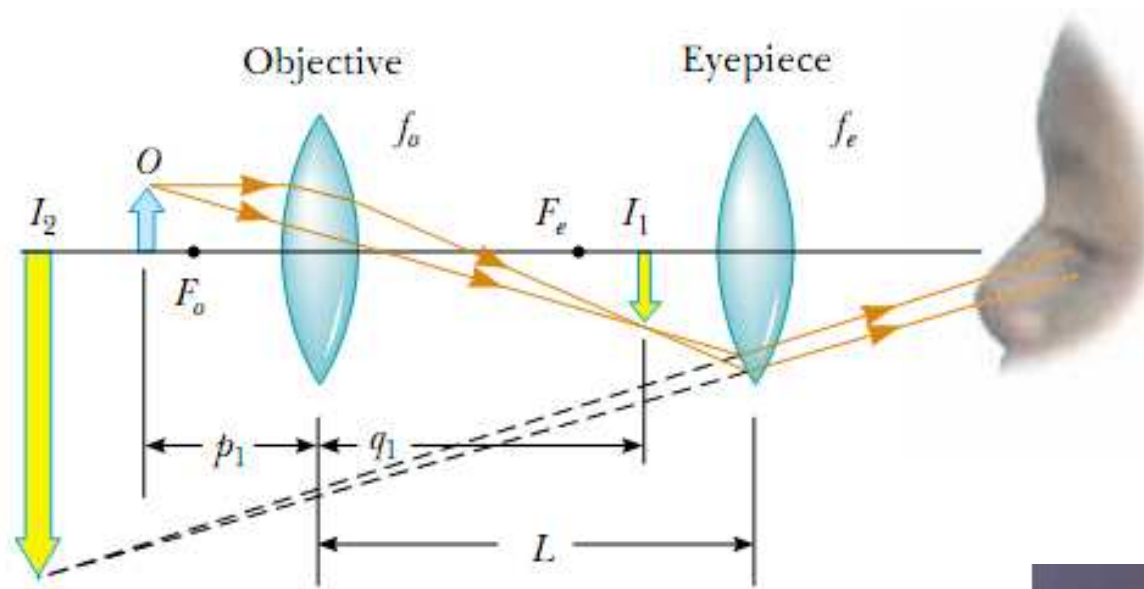
Optički uređaj, služi za promatranje predmeta reda veličine $1\ \mu\text{m}$.

Povećanja slike postižu se upotrebom objektiv mikroskopa, koji od realnog predmeta daje povećanu realnu sliku; ta slika služi kao predmet za okular, koji onda daje povećanu virtualnu sliku, a od te virtualne slike oko stvara na mrežnici realnu sliku. Za osvjetljenje predmeta (objekta) služi sustav leća nazvan kondenzor.



objektiv = leća L_1

okular = leća L_2

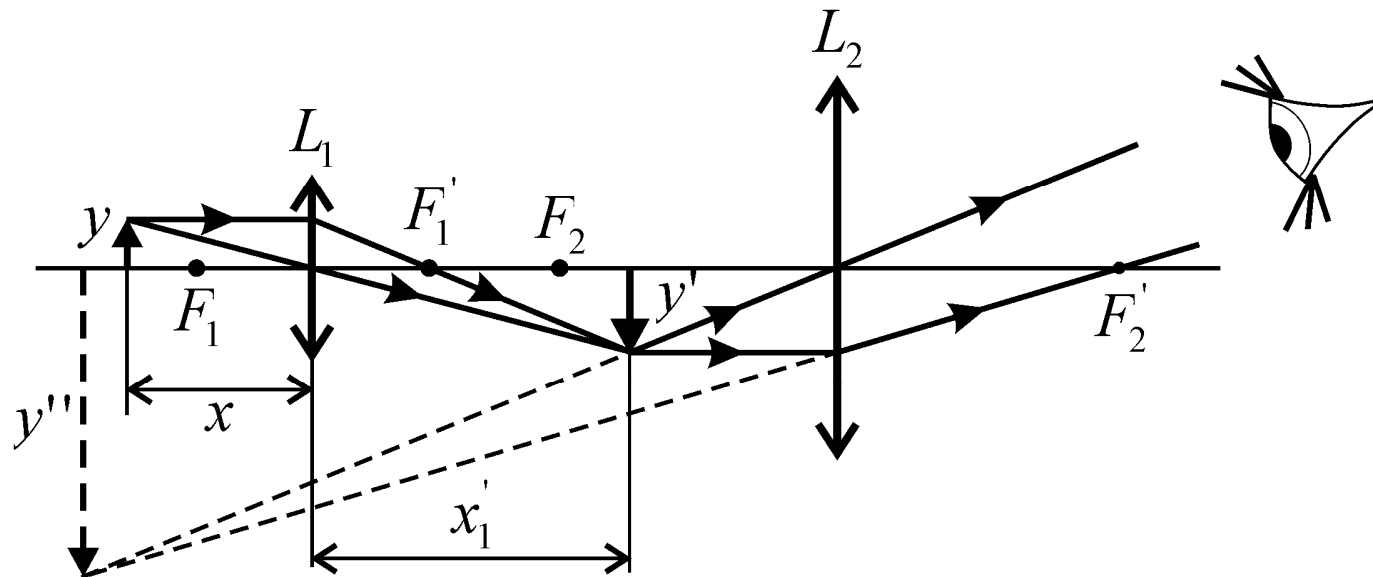


Mikroskop 2

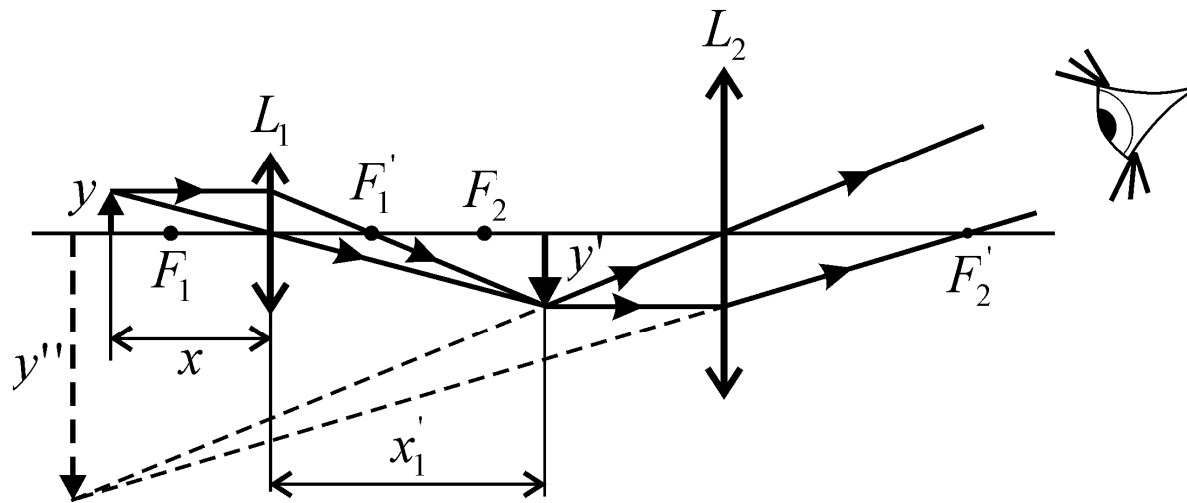
Zbog smanjenja sfernih aberacija. → Objektiv i okular se grade kao konvergentni sustavi leća (npr., tzv. Ramsdenov okular je dublet, izgrađen od dviju plankonveksnih leća.

Povećanje mikroskopa (P) = umnožak linearnog povećanja objektivna (γ_1) i kutnog povećanja okulara (G_2).

Povećanje objektivna? → Povećanje leće → $\gamma_1 = y'/y = x_1'/x$



Mikroskop 3



Povećanje leće:
 $\gamma_1 = y'/y = x_1'/x$

Konjugirana jednačba za leću: $\frac{1}{-x} + \frac{1}{x'} = \frac{1}{\varphi_1} \Rightarrow \frac{1}{x} = \frac{1}{x_1'} - \frac{1}{\varphi_1} = \frac{\varphi_1 - x_1'}{\varphi x_1'}$

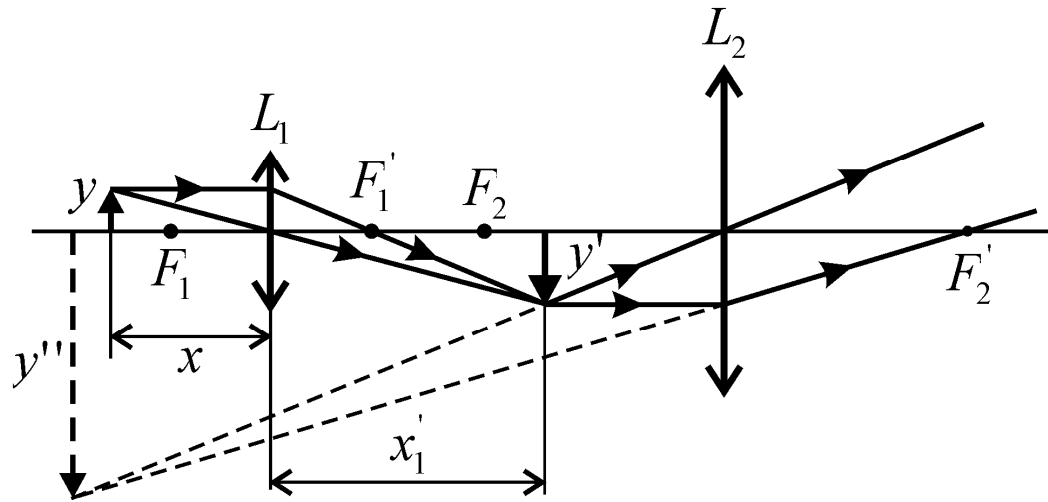
Konstrukcija mikroskopa je takva da je: $(x_1' - \varphi_1) \approx F_1'F_2 = L$

Linearno povećanje objektiva: $\gamma_1 = y'/y = x_1'/x \rightarrow$

$$\gamma_1 = \frac{x_1'}{x} = x_1' \frac{\varphi_1 - x_1'}{\varphi x_1'} \approx \frac{L}{\varphi}$$

L = Optička duljina mikroskopa (Udaljenost između žarišta slike objektiva F_1' i žarišta predmeta okulara F_2 .)

Mikroskop 4



$$\gamma_1 = \frac{x'_1}{x} = x'_1 \frac{\varphi_1 - x'_1}{\varphi x'_1} \approx \frac{L}{\varphi}$$

Kutno povećanje okulara?

Princip isti kao kod lupe: $\rightarrow G_2 = \frac{d}{\varphi_2}$

Ukupno povećanje mikroskopa (umnožak povećanja objektivna i okulara): $\rightarrow P = \gamma_1 G_2 = \frac{Ld}{\varphi_1 \varphi_2}$

Katalozi o mikroskopu \rightarrow Uobičajeno objektivni nose oznaku linearnog povećanja (primjerice, **x 60**, tj. **$\gamma_1 = 60$**), a okular nosi oznaku kutnog povećanja (npr. **x 10**, tj. **$G_2 = 10$**). $\rightarrow P = 60 \times 10 = 600$

Mikroskop - Povećanja do 3000. (Toliko puta je veći prividni promjer slike od promjera predmeta što ga obično oko vidi na udaljenosti d (0,25 m).

Razlučivanje mikroskopa

Ograničeno valnim svojstvima svjetlosti, npr. pojavom ogiba svjetlosti, i zavisi o valnoj duljini svjetlosti.

Rayleighov kriterij (slijedi iz raspodjele maksimuma i minimuma figura ogiba za leću) → Razlučivanje ili rezolucija objektiva mikroskopa:

$$y = \frac{1,22 \lambda}{2n \sin \alpha}$$

λ = valna duljina upotrijebljene svjetlosti

n = indeks loma sredstva ispred leće objektiva (uobičajeno zrak)

α = kut otvora snopa svjetlosti, koji iz točkastog predmeta ulazi u objektiv

$n \sin \alpha$ = numerička apertura

Veća numerička apertura. → manji y → bolje razlučivanje mikroskopa

Velika povećanja mikroskopa → Bolje razlučivanje s *imerzijskim* objektivom ispod kojega se nalazi cedrovo ulje velikog indeksa loma (n 1,5).

Razlučivanje mikroskopa 2

Primjer:

Imerzijski objektiv ispod kojega se nalazi cedrovo ulje indeksa loma $n = 1,5$ ima kut otvora snopa 74° . Kolika je rezolucija mikroskopa za svjetlost valne duljine $0,55 \mu\text{m}$?

$$n = 1,5$$

$$\lambda = 0,55 \mu\text{m}$$

$$\alpha = 74^\circ$$

$$y = \frac{1,22 \lambda}{2n \sin \alpha} = \frac{1,22 \cdot 0,55 \mu\text{m}}{2 \cdot 1,5 \cdot \sin 74^\circ}$$

$$\longrightarrow y \approx 0,23 \mu\text{m} \approx \frac{\lambda}{2}$$

$0,23 \mu\text{m}$ = Rezolucija ili najmanja udaljenost između dvaju točkastih izvora ili dviju pruga koje oko pomoću danog mikroskopa vidi odvojeno.

Kako poboljšati razlučivanje?

Upotreba kraćih valnih duljina (elektronski mikroskop).

Elektronski mikroskop

Elektronski mikroskop - Snopovi elektrona zamjenjuju svjetlost.

Prema ideji Luis de Brogliea (1925.), s obzirom na valnu i korpuskularnu pojavnost fotona, može se materijalnim česticama, npr. elektronima, pripisati dvojna narav, pa se one mogu ponašati kao čestice ali i kao val.

Pretpostavka je eksperimentalno dokazana s pokusom difrakcije elektrona na kristalnoj rešetki.

Za elektron vrijede izrazi za energiju i količinu gibanja:

$$E = mc^2 = h\nu \qquad p = mv = \frac{h}{\lambda}$$

Primjer: Elektrone ubrzavamo razlikom potencijala od 10^5 V. Kolika je njihova valna duljina?

$$\frac{m_e v^2}{2} = eU \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} \Rightarrow p = m_e v = \sqrt{2m_e eU} = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e eU}}$$

$$\lambda = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^5}} \text{ m} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2,912 \cdot 10^{-44}}} \text{ m} = 3,87 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Elektronski mikroskop 2

Valna duljina elektrona = $4 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 4 \text{ pm}$ → Razlučivanje elektronskog mikroskopa $y \approx \lambda/2 = 2 \text{ pm}$

Prisjećanje, za optički mikroskop je razlučivanje bilo oko $0,23 \text{ }\mu\text{m}$. →

Razlučivanje elektronskog mikroskopa je za oko sto tisuća puta veće od optičkog mikroskopa (uz navedene parametre $2 \cdot 10^{-12} / 0,23 \cdot 10^{-6}$).

Leće u elektronskom mikroskopu?

Ulogu optičkog sustava za elektrone imaju električna i magnetska polja u kojima se elektroni otklanjaju; naime, rotacijski simetrična magnetska polja djeluju na snopove elektrona kao konvergentne leće.

Svaka magnetska leća sadrži zavojnicu namotanu oko feromagnetskog sustava koji određuje oblik magnetskog polja. Mijenjanjem jakosti električne struje kroz zavojnicu, mijenja se jakost magnetskog polja a time i zakret odnosno lom snopa elektrona.

Kao izvor elektrona služi užarena katoda (analogno izvoru svjetlosti).

Elektronski mikroskop 3

Predmet mikroskopiranja je vrlo tanki preparat (oko $1\mu\text{m}$) kroz koji dijelom prolazi snop elektrona.

Sve se odvija u vakuumu (kod približno 10^{-2} Pa), a slika se dobiva na luminiscentnom zastoru.

Atomi i manje molekule se ne vide elektronskim mikroskopom, ali se mogu promatrati npr. velike proteinske molekule i virusi.

Dalekozor

Dalekozori ili teleskopi - Uređaji za promatranje dalekih predmeta.

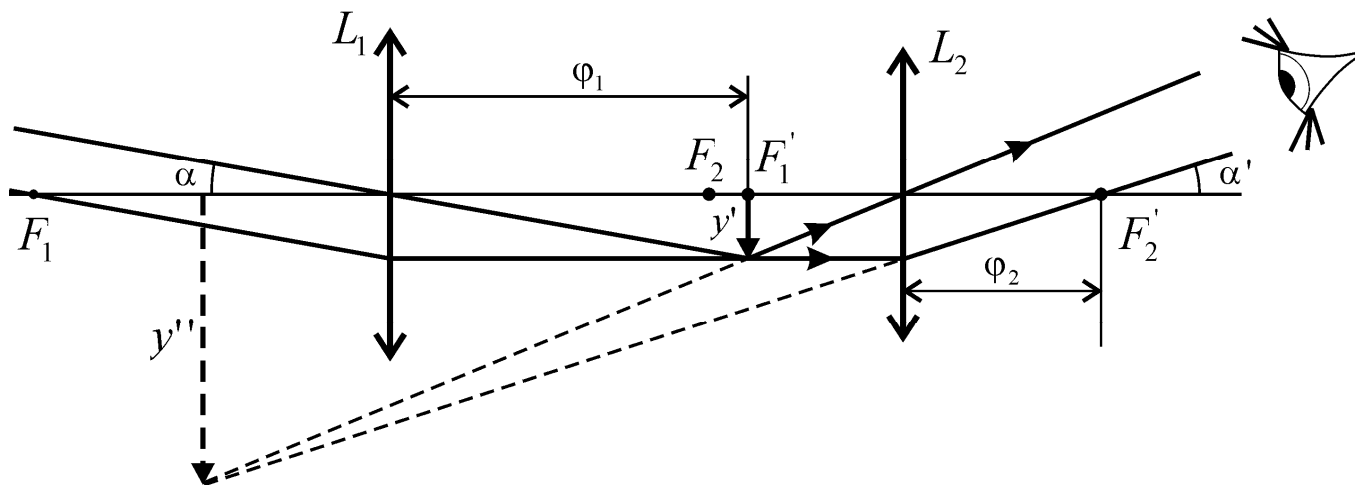
Razlikujemo:

- a) refraktorske (s lećama)
- b) reflektorske teleskope (s konkavnim sfernim i paraboličnim zrcalima)

Astronomski refraktorski teleskop: - objektiv i okular koji su centrirani na istu os.

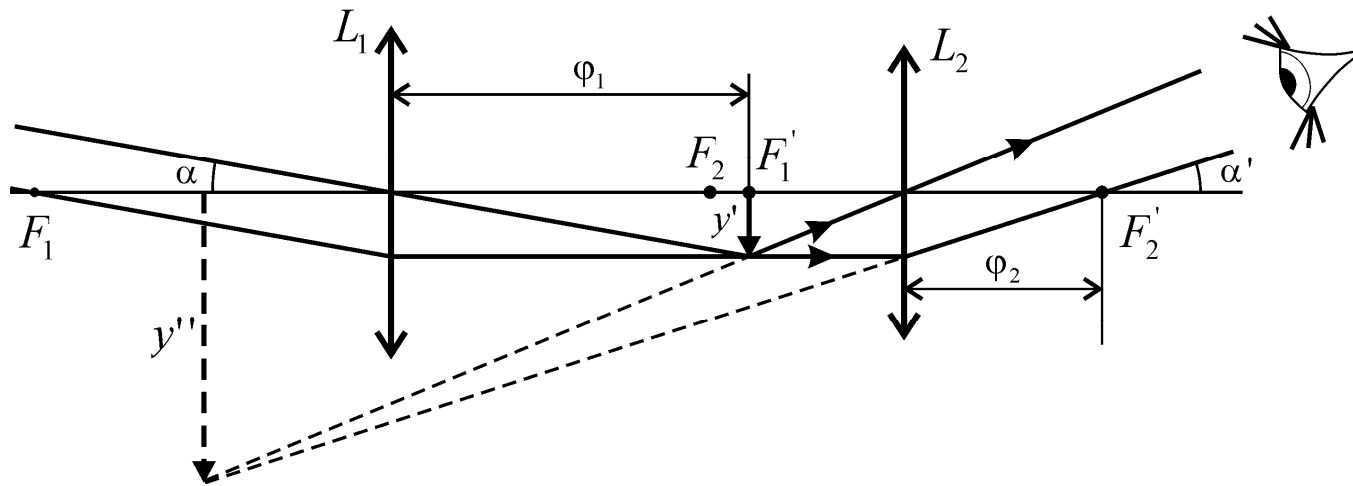
Dalekozor 2

Primjer: Takozvani Keplerov teleskop sadrži objektiv (L_1), koji daje od predmeta u beskonačnosti (ili vrlo daleko) sliku u svojoj žarišnoj daljini; ovu realnu sliku promatramo pomoću okulara (L_2) koji daje virtualnu, povećanu i obrnutu sliku.



Da bi prva realna slika (y') bila što veća (premda je manja od promatranog predmeta, y) potrebno je da žarišna daljina slike objektiva (φ_1) bude što veća (nekoliko metara), dok je poželjno da žarišna daljina okulara (φ_2) bude što manja (nekoliko cm).

Dalekozor 3



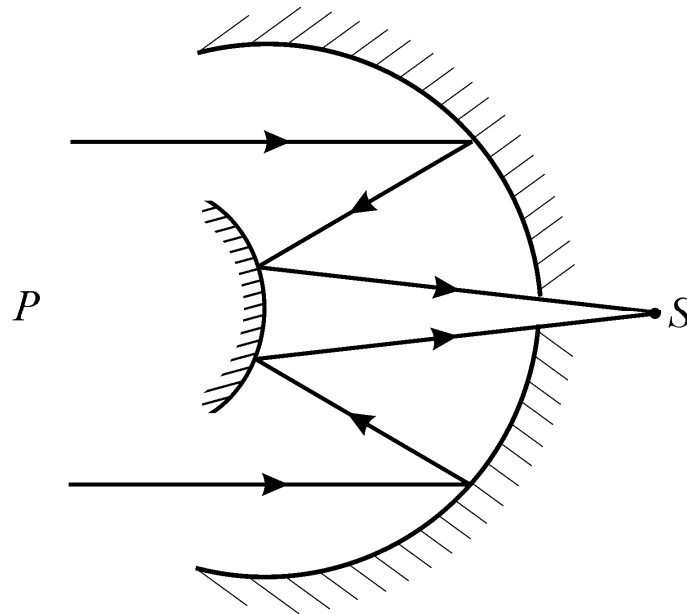
Kutno povećanje teleskopa $G = \alpha'/\alpha$ (za mali kut tangens kuta zamjenjujemo približno s kutom) \rightarrow

$$\alpha \cong y''/\varphi_1 \quad \alpha' \cong y'/\varphi_2 \quad \longrightarrow \quad G = \varphi_1/\varphi_2$$

Dalekozor 4

Reflektorski teleskop - Koristi konkavna zrcala za dobivanje slike vrlo dalekog predmeta.

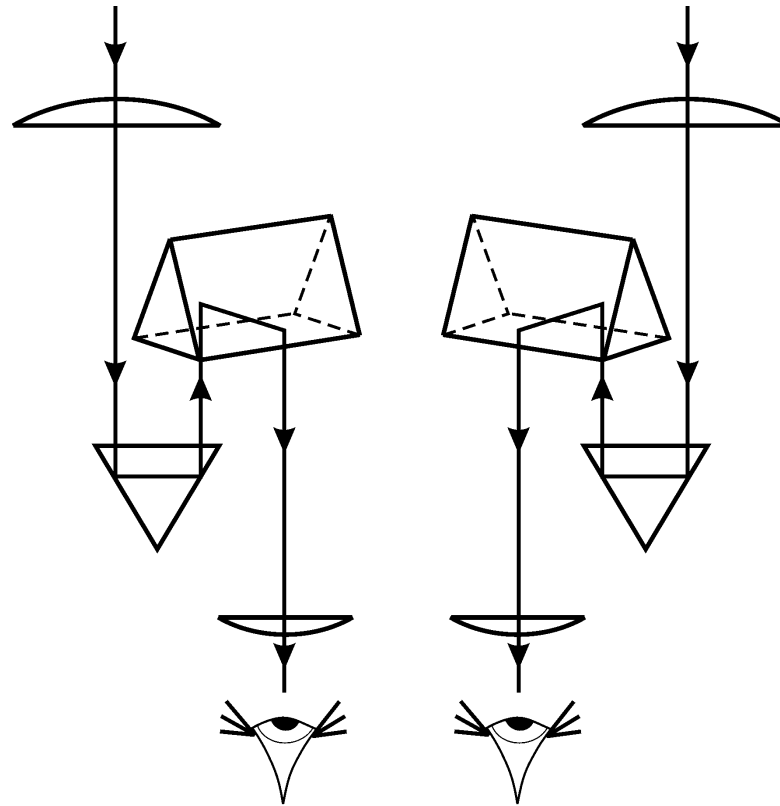
Primjer: Hubbelov svemirski teleskop s promjerom zrcala od 2,4 m, koji se nalazi na udaljenosti od oko 500 km iznad Zemlje. (*Seminar?*)



Dalekozor 5

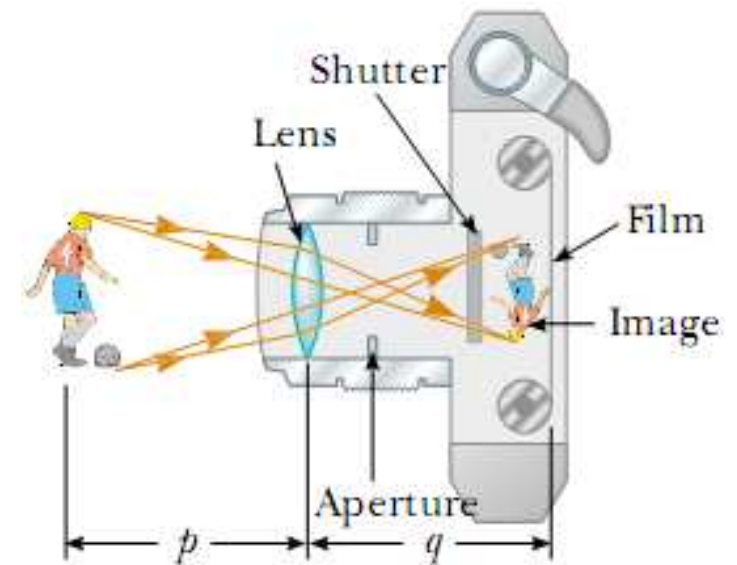
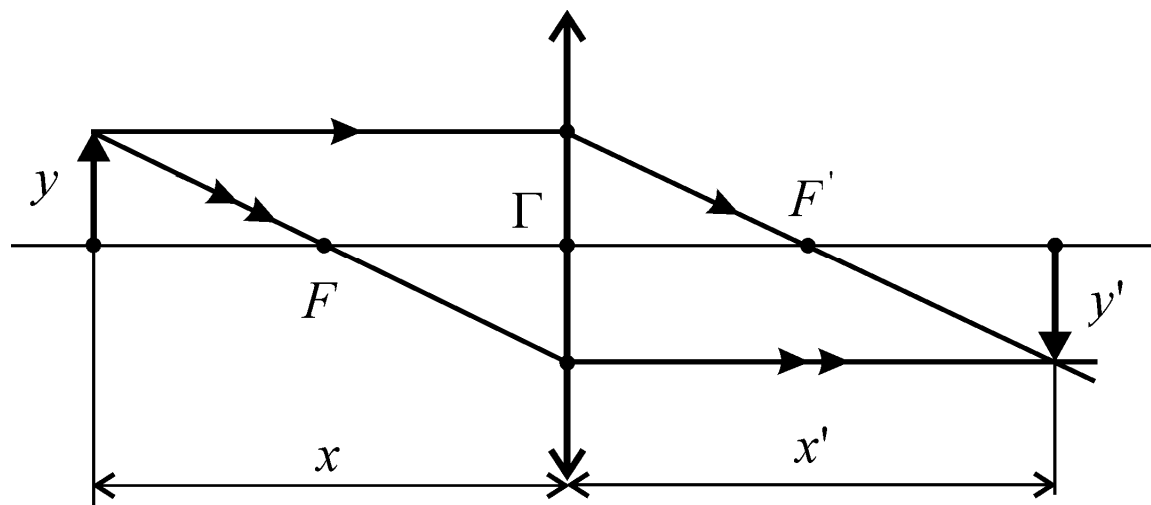
Dalekozori za promatranje na zemlji - traži se da slika bude uspravna.

Binokularni refraktorski dalekozor s parom prizama - U totalnoj refleksiji zakreću sliku četiri puta (prizme su tako postavljene da je jedan brid prizme okomit na brid druge prizme):



Fotografski aparat

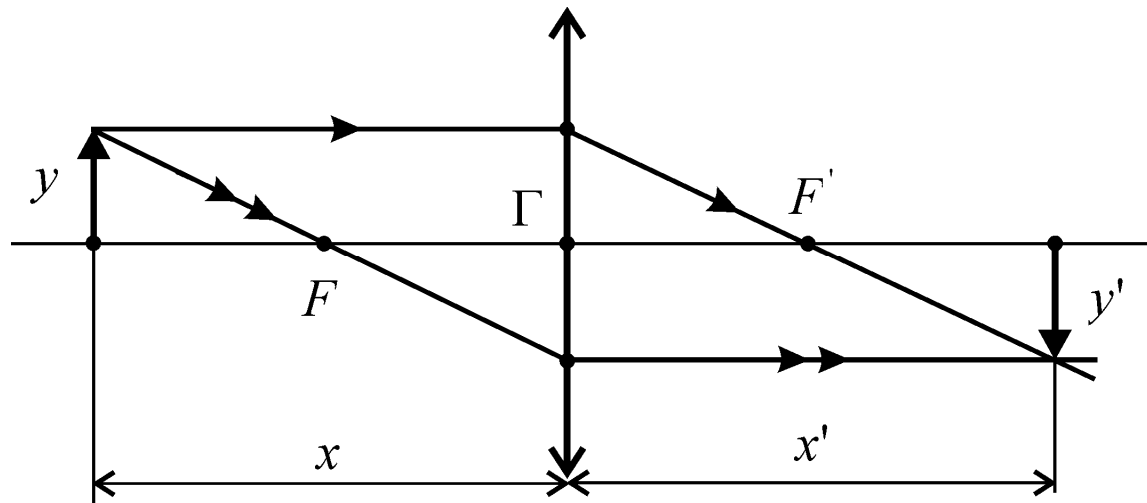
Fotografski aparat ili fotokamera je optički uređaj s objektivom, izgrađenim kao konvergentni sustav leća, koji daje umanjenu, obrnutu i realnu sliku na fotografskom filmu, odnosno na zastoru digitalne fotokamere, kad je predmet na udaljenosti većoj od dvostruke žarišne daljine; princip nastanka umanjene slike predmeta kao za tanku leću:



-fokusiranje se vrši promjenom udaljenosti (x') između leće i filma

Projektor

Dijaprojektor ili kinoprojektor - Svjetlost iz izvora (žarulje) usmjeruje se pomoću leća kondenzora na dijapozitiv ili transparentni film, a zatim na pozitivnu leću, koja na zastoru daje realnu, obrnutu i povećanu sliku predmeta s filma. Predmet odnosno film se postavlja ispred leće na udaljenosti između jedne i dvije žarišne daljine; konstrukcija slike predmeta izvodi se kao i kod fotokamere:



Grafoskop - Povećana slika transparentne folije. Vertikalnom snopu zraka svj. nakon pozitivne leće može se pomoću ravnog zrcala promijeniti smjer npr. za 90° i dati realnu sliku na okomitom zastoru.

Fotometrija

Fotometrija se bavi energijom koju prenosi vidljiva svjetlost.

Primarni izvori svjetlosti (kao i toplinskog, odnosno elektromagnetskog zračenja) - Sva tijela pri dovoljno visokim temperaturama (npr. Sunce, električna žarulja).

Hladni izvori zračenja - Plinovi pod niskim tlakom kroz koje prolazi električna struja (izboj u plinovima).

Sekundarni izvori svjetlosti

Refleksijom i transmisijom zračenja (Mjesec)

Svjetlosni tok Φ - Energija koju izvor svjetl. odašilje u jedinici vremena.

Svjetlosni tok Φ - Snaga izvora svjetlosti, odnosno brzina zračenja energije vidljive svjetlosti.

Svjetlosni tok Φ (ili fluks) = Kvocijent diferencijala energije i vremena.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

Fotometrija 2

Svjetlosni tok Φ (ili fluks) = Kvocijent diferencijala energije i vremena.

$$\Phi = \frac{dQ}{dt}$$

Q = Energija vidljivog zračenja koju odašilje tijelo, tj. izvor svjetlosti, u cijeli prostor (dakle u puni prostorni kut od 4π steradiana)

Jedinica toka svjetlosti je ***lumen*** s oznakom ***lm***: $[\Phi] = [lm]$

Definicija svjetlosne jakosti: 1 lm odgovara snazi zračenja od 1/683 W za zelenkastu svjetlost valne duljine 555 nm.

Primjer: Električna žarulja od ***100 W*** daje tok svjetlosti od ***1630 lm***, dok fluorescentna svjetiljka iste električne snage od ***100 W*** daje svjetlosni tok oko ***4400 lm***. →

Fluorescentna svjetiljka, s obzirom na žarulju, ima 2,7 puta veću efikasnost emisije svjetlosti!!!

Fotometrija 3

Svjetlosna jakost, ili intenzitet (***I***), točkastog izvora svjetlosti (def) – Tok svjetlosti izvora po jedinici prostornog kuta:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

kandela (cd) - Jedinica svjetlosne jakosti (osnovna jedinica MS).

1 kandela (cd) – (def)= Jakost svjetlosti u danom pravcu izvora, koji emitira monokromatsko zračenje frekvencije $5,4 \times 10^{14}$ Hz i čija je energijska jakost u tom pravcu $1/683$ W/sr (vata po steradianu).

Navedena frekvencija pripada zelenoj svjetlosti valne duljine 555 nm u vakuumu.

Fotometrija 4

Tok svjetlosti u neki prostorni kut?

Integralni izraz za tok svjetlosti u neki prostorni kut:

$$\Phi = \int_0^{\Omega} I d\Omega$$



$$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot 1 \text{ sr}$$

Točkasti izvor svjetlosne jakosti 1 cd odašilje u jedinični prostorni kut od 1 sr tok svjetlosti 1 lm.

1 sr ima prostorni kut iznad kojega je površina sfere jednaka r^2 .

Ukupna energija vidljivog zračenja koje neko tijelo emitira u vremenu t ?

$$Q = \int_0^t \Phi dt \quad \longrightarrow \quad [Q] = [\text{lm} \cdot \text{s}]$$

Fotometrija 5

Za neki ravni (planarni), plošni izvor svjetlosti definiramo:

Luminancija (L) ili sjaj = Svjetlosna jakost po jedinici površine izvora:

$$L = \frac{dI}{dS} \quad \longrightarrow \quad [L] = [cd \cdot m^{-2}]$$

Primjeri:

- primarni izvor, Sunce u zenitu, ima sjaj od $1,65 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$
- oblačno nebo oko $5 \cdot 10^3 \text{ cd/m}^2$
- neonska svjetiljka 10^3 cd/m^2
- noćno nebo 10^{-3} cd/m^2
- sekundarni izvor svjetlosti Mjesec $7 \cdot 10^3 \text{ cd/m}^2$

Osvijetljenost

Osvijetljenost (E) ili iluminancija (ponekad se naziva i **rasvjeta**) neke površine definira se kao tok svjetlosti po jedinici površine:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad \longrightarrow \quad [lx] = [lm \cdot m^{-2}] \quad \text{lux}$$

Kako izračunati osvjetljenost površine točkastim izvorom svjetlosti, jakosti I ?

Kombiniramo jednađbe za svjetlosnu jakost i osvjetljenost:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad \longrightarrow \quad E = \frac{d\Phi}{dS} \quad \longrightarrow \quad E = \frac{I d\Omega}{dS}$$

$d\Phi = I d\Omega$

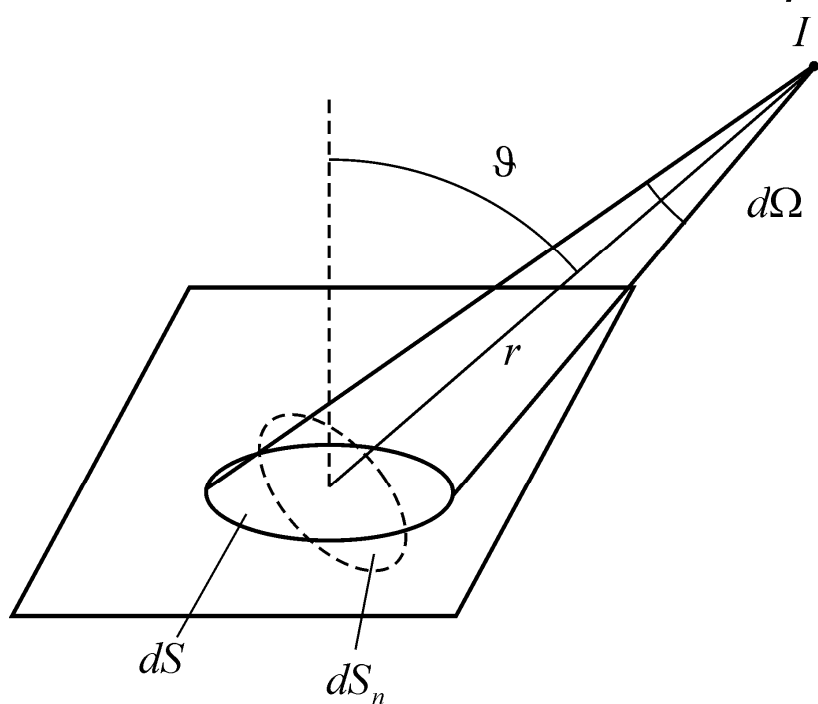
Osvijetljenost 2

Kako je po definiciji:

$$d\Omega = \frac{dS_n}{r^2}$$




$$E = \frac{I d\Omega}{dS}$$



r = Udaljenost točkastog izvora od elementa promatrane površine

dS_n = Diferencijal površine koja je okomita na radijus r , a što je ortogonalna projekcija elementa površine dS promatrane plohe, pa vrijedi odnos: $dS_n = dS \cos \vartheta$

ϑ = Kut između normale plohe i radijusa r (to je također kut između jediničnih vektora navedena dva elementa površine).


$$E = \frac{I \cos \vartheta}{r^2}$$

Lambertov zakon (J. Lambert, 18. st.) = Osvijetljenost plohe, koja je na udaljenosti r od točkastog izvora svjetlosti, jakosti I .

Osvijetljenost 3

Svjetlomjer ili luksmetar = Uređaj za mjerenje osvijetljenosti.

Svjetlomjer ili luksmetar - Sadrži fotoelement, čiji rad se zasniva na fotoelektričnom efektu (upadna svjetlost s površine metala izbacuje elektrone, odnosno daje električnu struju; jakost te fotostruje razmjerna je svjetlosnom toku).

Pokus: Kad zakrećemo površinu fotoelementa, odnosno svjetlomjer, i mijenjamo kut ϑ , te mjerimo E , empirijski možemo provjeriti valjanost Lambertovog zakona. Naravno, sličnu provjeru možemo izvesti mijenjanjem udaljenosti (r) između svjetlomjera i izvora svjetlosti.

Osvijetljenost, potrebna za čitanje, je oko 400 lx, za rad 200 lx, za kirurške operacije tisuću i više luksa.

Sunčeva svjetlost daje osvijetljenost od 10^5 lx, oblačan dan 10^4 lx, u prostoriji pored prozora može biti 10^3 lx; umjetna svjetlost npr. od žarulja obično je stotinjak luksa, pun Mjesec daje 0,2 lx, a zvjezdano nebo ima luminanciju od oko 0,0003 lx