Instrumentos óticos

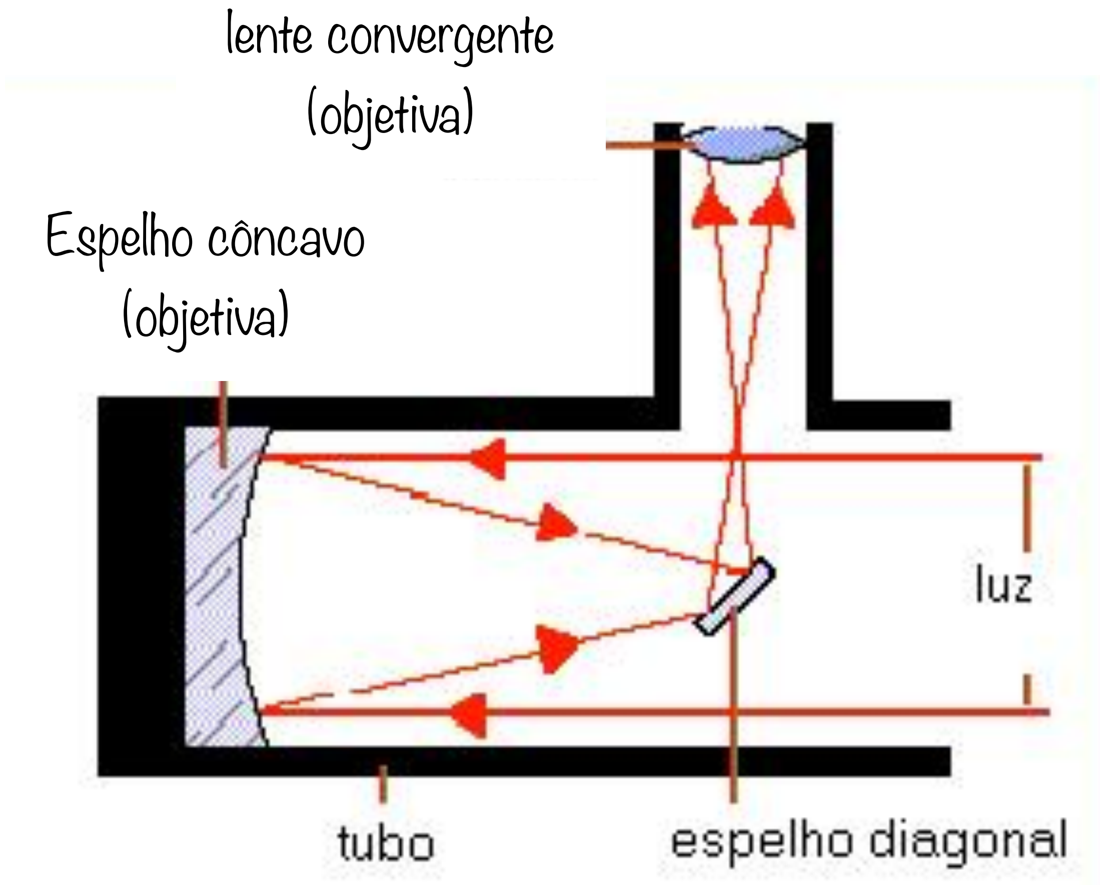
- Telescópio e luneta
  - aumento angular
- Máquina fotográfica
- Olho
- Lupa
- Microscópio composto

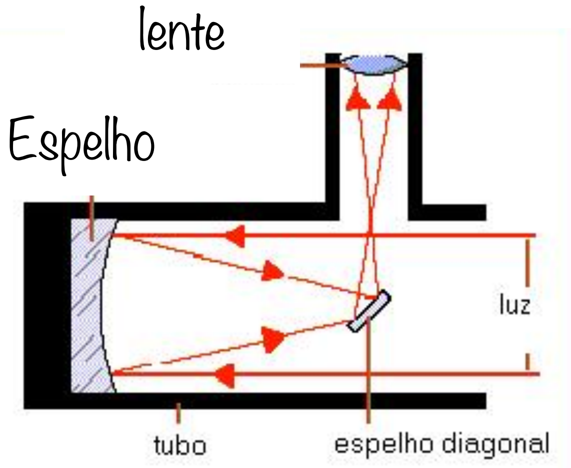
Telescópios e Lunetas

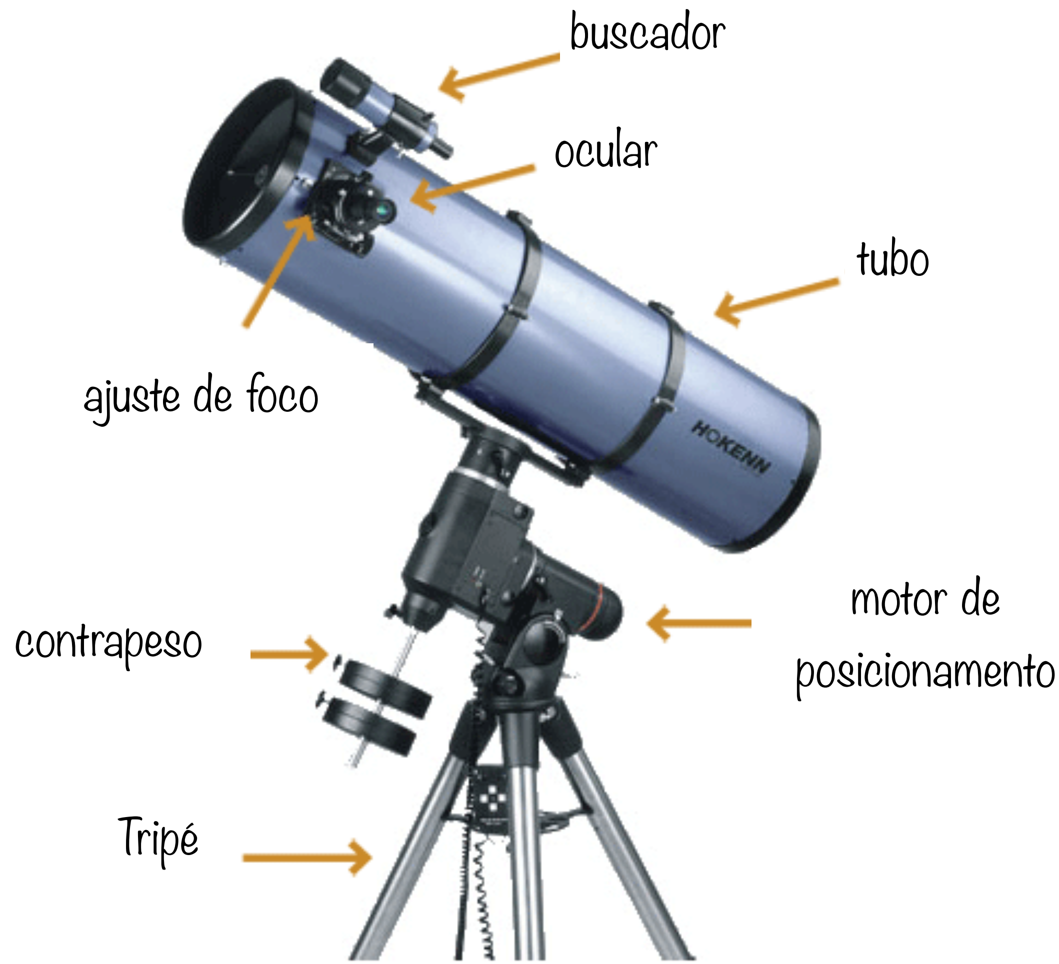
sistema ótico refletor

sistema ótico refrator

Telescópio


lente convergente
(objetiva)
Espelho côncavo
(objetiva)
luz
tubo
espelho diagonal


lente
Espelho
luz
tubo
espelho diagonal

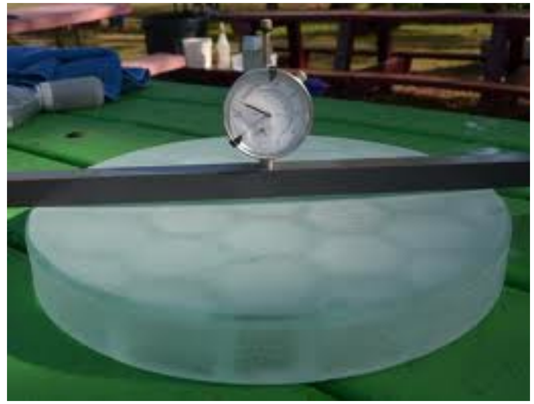

buscador
ocular
tubo
ajuste de foco
HOKENN
contrapeso
motor de
posicionamento
Tripé

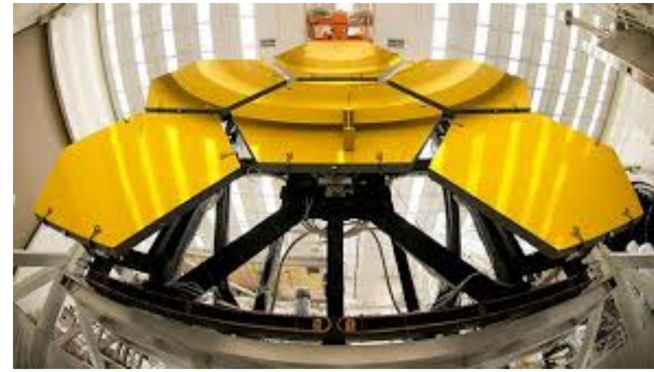
Telescópios de grandes aberturas - pesquisa

Organização	European South Observatory
Localização	Cerro Paranal, Deserto de Atacama-Chile
Altitude	2.635 m
Clima:	>340 noites claras/ano
Website	www.eso.org/projects/vlt/
Telescópios R=29m, f=13m	
Antu (UT1):	8,2 m refletor (diâmetro)
Kueyen (UT2):	8,2 m refletor (diâmetro)
Melipal (UT3):	8,2 m refletor (diâmetro)
Yepun (UT4):	8,2 m refletor (diâmetro)

Matriz de espelhos hexagonais formando um Telescópio Extremamente Grande (ELT- Extremely Large Telescopes)

http://en.wikipedia.org/wiki/Segmented_mirror





Espelhos construídos para o telescópio espacial James Webb

http://jwst.nasa.gov/mirrors.html

Cada um dos espelhos é um espelho plano, feito de berílio, polido com extrema precisão

Vantagens

Berilio - material leve ,

espelhos são montados formando um espelho parabólico-

posição de cada espelho controle automático para posicionamento com precisão

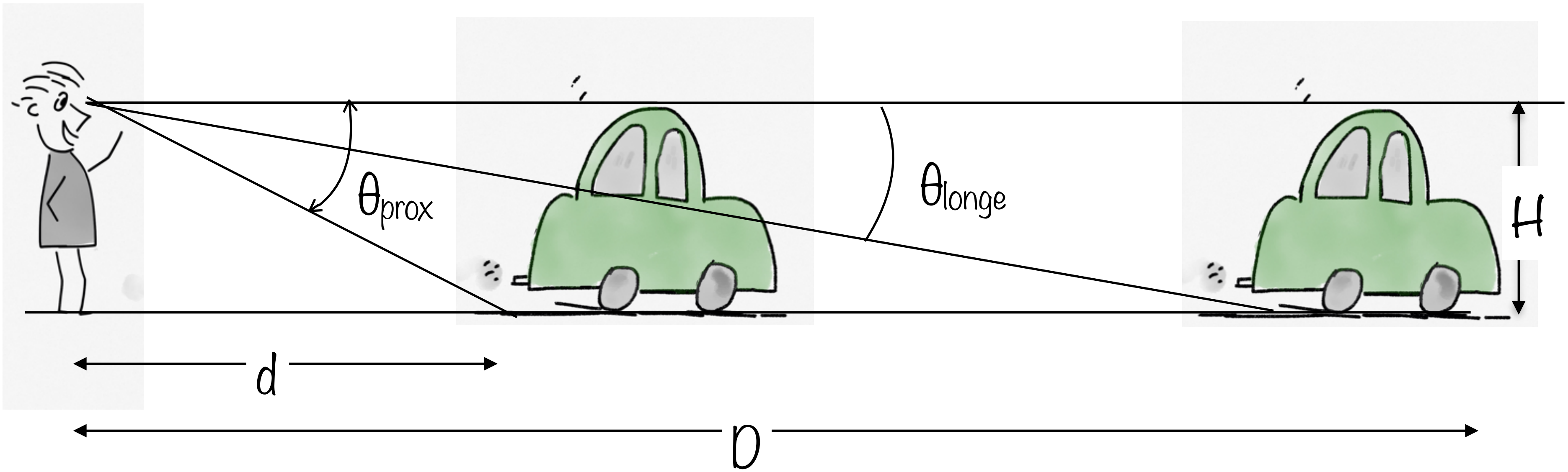
Telescópio Espacial Huble

Organizações	NASA/ESA
Comprimento de onda	Visível, ultravioleta e infravermelho
Localização	Orbita baixa da Terra
Tipo de órbita	Elíptica
Altura da órbita:	589 km.
Período orbital	96-97 min
Velocidade orbital	7.500 m/s,
Aceleração devido à	8,169 m/s^2
Lançamento	24 de abril de 1990
Saída da órbita	Por volta de 2020
Massa	11.110 kg (~11 ton)

Telescópio Espacial Huble

Tipo de telescópio	Ritchey-Chretien refletor
Diametro	2,4 m
Área útil	~ 4,3 m^2
Comprimento focal:	57,6 m
Website:	http://www.nasa.gov/hubble http://hubble.nasa.gov http://hubblesite.org http://www.spacetelescope.org

Tamanho angular



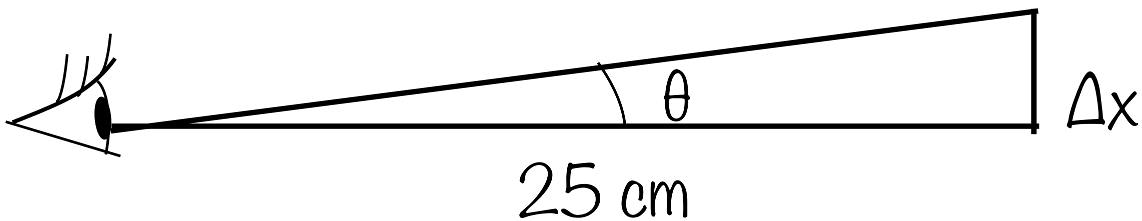
$$\left.\begin{array}{l} \tan\theta_{prox} = H/d \\ \\ \tan\theta_{longe} = H/D \end{array}\right\} \theta_{prox} > \theta_{Longe}$$

O tamanho angular de um objeto depende da distância de observação

Quanto mais próximo do observador maior o tamanho angular de um objeto.

Tamanho angular

Visão Normal- Distância mínima de aproximação para boa acomodação do olho = 25 cm



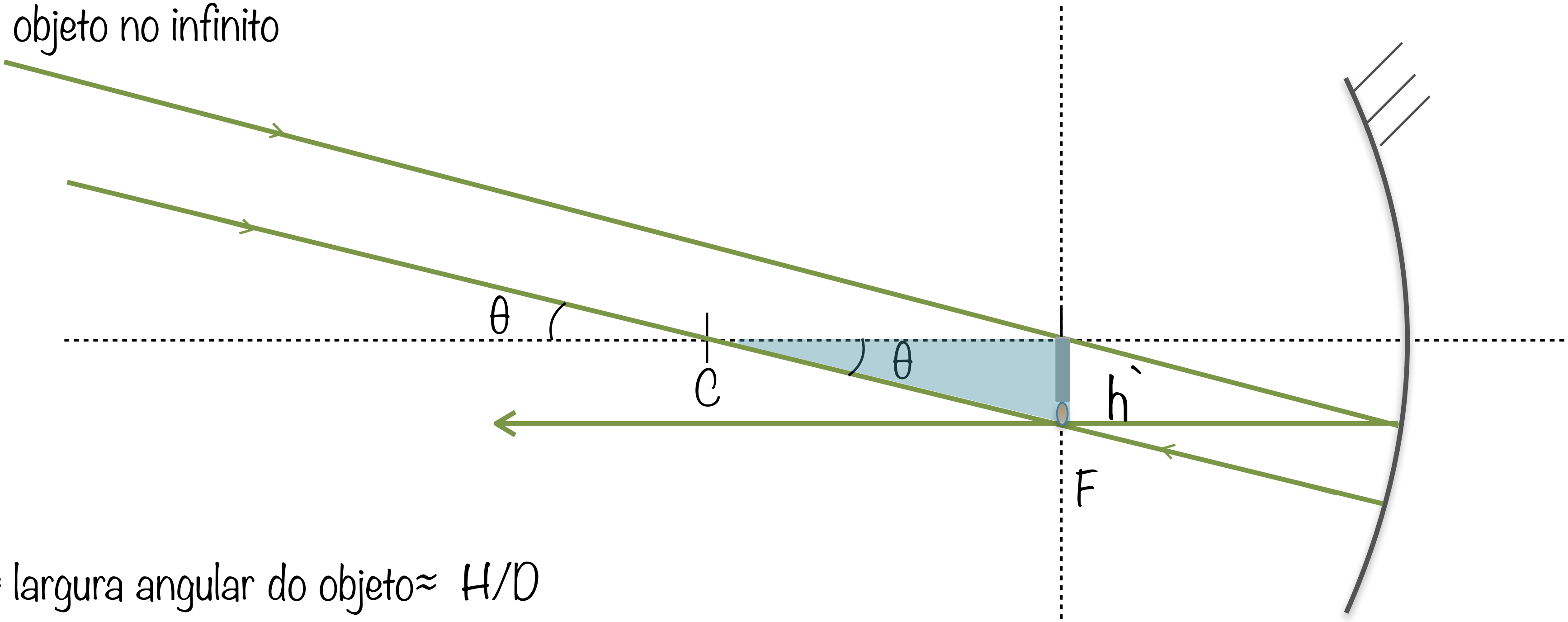
Resolução Angular do olho humano=$1,5\times10^{-4}$ rad *

$\tan\theta = (\Delta x)/(250\ \text{mm}) \cong \theta$

$\Delta x \cong 0,04$ mm

* Tipler -cap.33

Aumento angular de um telescópio



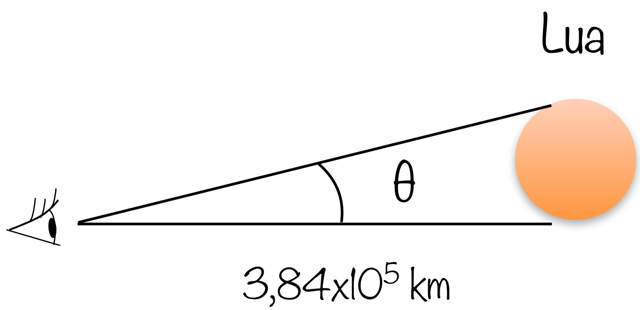
θ= largura angular do objeto≈ H/D

θ=h`/F

A imagem real pode ser observada de perto;
a olho nu, projetada em um anteparo,
ou com uma ocular, que funciona como lupa.

Qual o diâmetro da imagem da Lua no plano focal de um telescópio (terrestre) de 13 m de distância focal, como os que estão instalados no Deserto do Atacama no Chile?

Dados: Distância Terra-Lua= $3{,}84 \times 10^5$ Km e o diâmetro da Lua $=3{,}5 \times 10^3$ Km.



$\tan\theta = 3{,}5\mathrm{x}10^3\ \mathrm{km}/(3{,}84\mathrm{x}10^5\ \mathrm{km})$

$\tan\theta = 9{,}1\mathrm{x}10^{-3}$

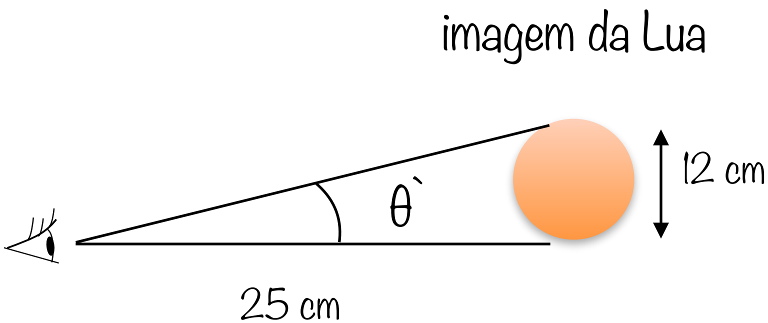
a imagem formada no telescópio terá um diâmetro h\` → $\theta = h\grave{}/F$

$\theta \cong 9{,}1\mathrm{x}0^{-3}$ rad

$h\grave{} = 9{,}1\mathrm{x}10^{-3}\ (13\ \mathrm{m})$ → $h\grave{} = 1{,}18\ \mathrm{x}10^{-1}\ \mathrm{m}$ → $\boxed{h\grave{} \cong 12\ \mathrm{cm}}$

Mas comparando o tamanho do objeto e da imagem, vemos que a imagem é menor do que o objeto. O que o telescópio faz é trazer para um perto um objeto que está distante. Então, o que precisa ser avaliado é o aumento angular.

se a imagem da Lua formada pelo Telescópio for observada a olho nu, sobre um anteparo, a 25 cm;



$$\tan \theta' = 12\text{cm}/(25\text{cm})$$

$$\tan \theta' = 0{,}48$$

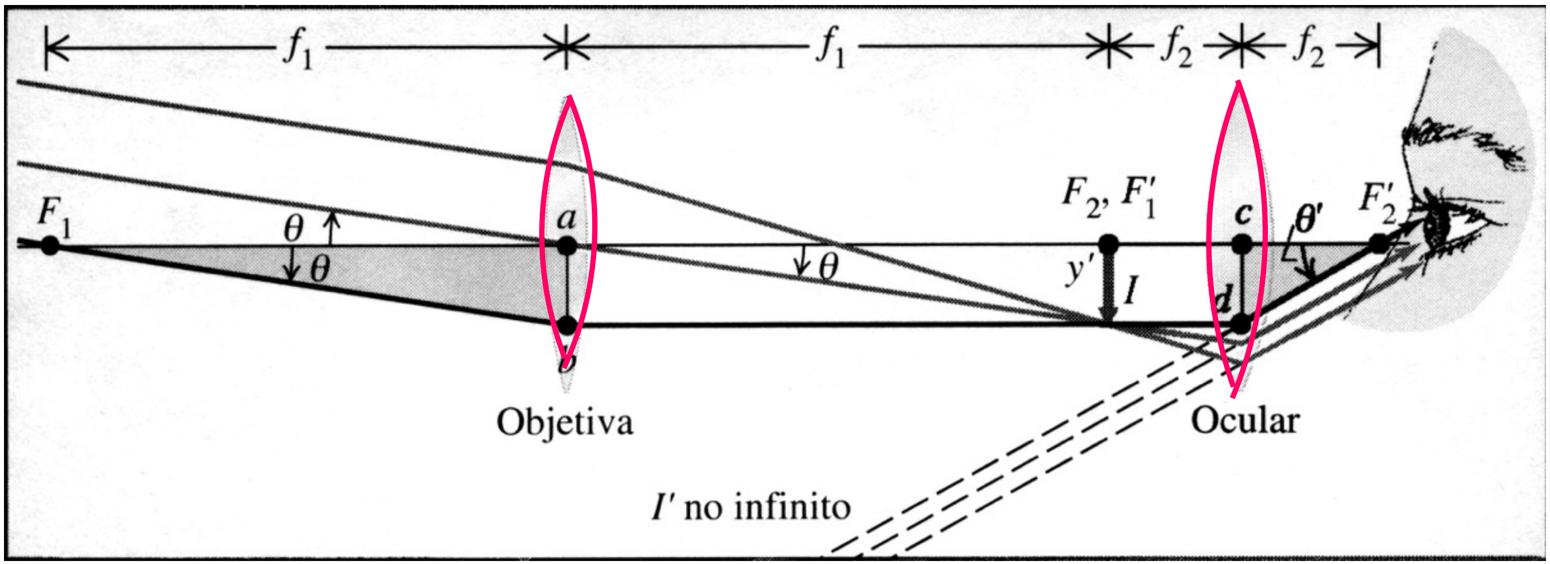
$$\theta' = 0{,}45 \text{ rad}$$

$$\boxed{\text{Aumento Trasversal: } M_\theta = \theta'/\theta}$$

$$M_\theta = 0{,}45 \text{ rad}/(9\text{x}10^{-3} \text{ rad})$$

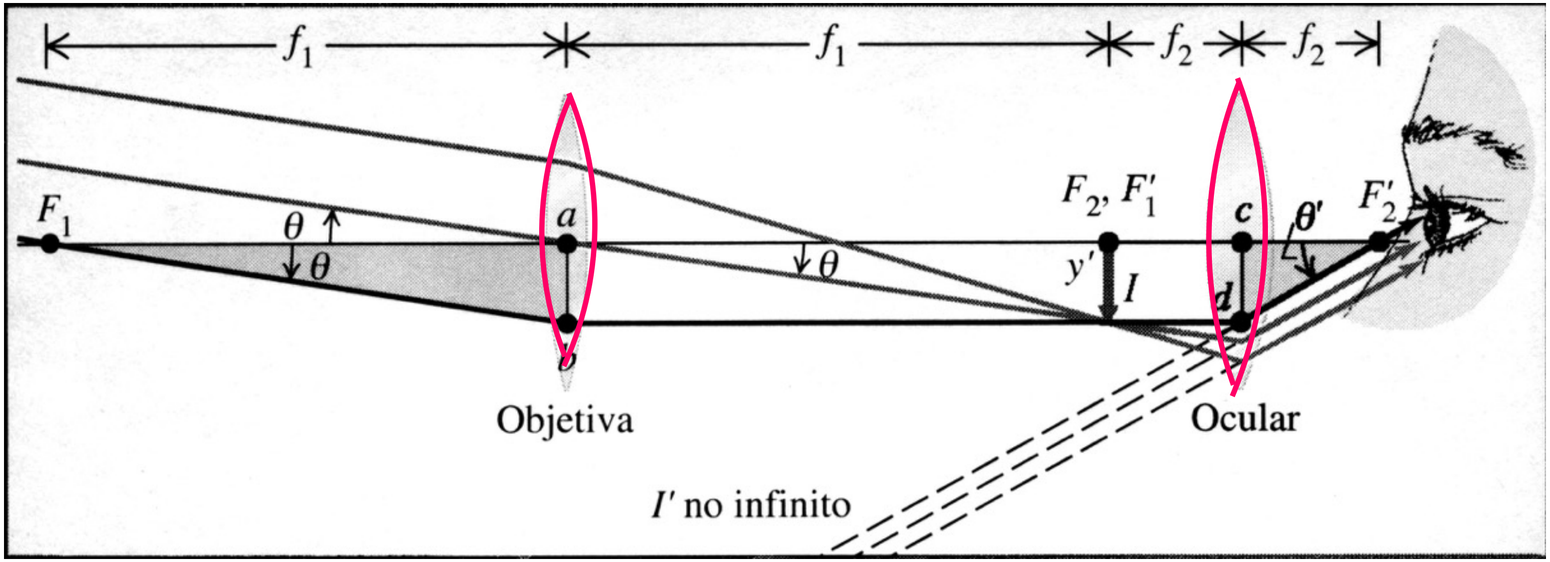
$$\boxed{M_\theta \cong 50}$$

Luneta



A objetiva forma uma imagem real, no seu plano focal. Como no caso da objetiva fotográfica, quanto maior a distância focal, maior será a imagem formada. Essa imagem real, funciona como objeto para um segunda lente convergente, que atua como uma lupa, formando uma imagem final virtual e ampliada do objeto.

Aumento angular de uma luneta



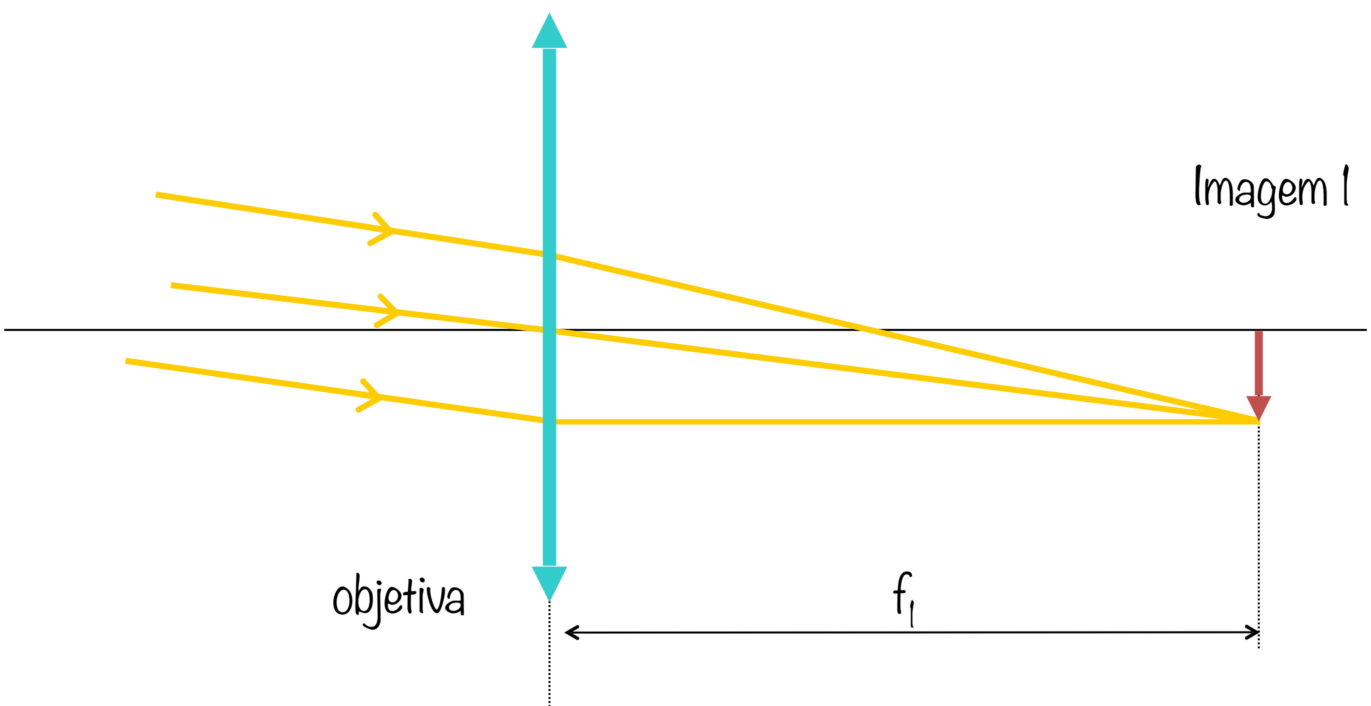
$$ab = cd = y' \qquad \theta = \frac{-y'}{f_1} \qquad \theta' = \frac{y'}{f_2}$$

$$M_\theta = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{-y'/f_2}{y'/f_1}$$

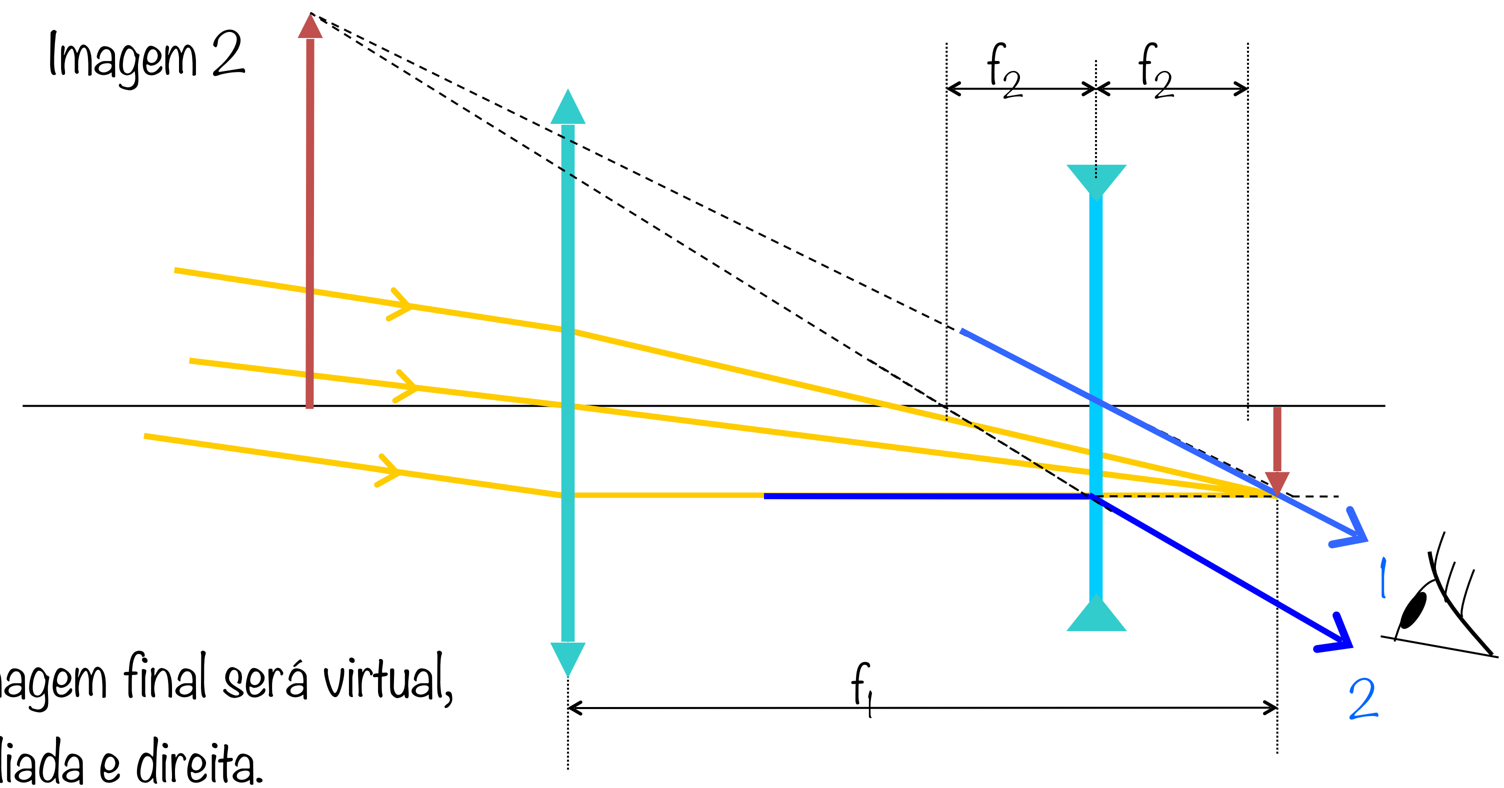
$$M_\theta = -\frac{f_1}{f_2} = -\frac{dist.\ focal\ da\ objetiva}{dist.\ focal\ da\ ocular}$$

Luneta terrestre (de Galileu)

Uma lente convergente forma uma imagem real e invertida de um objeto distante.

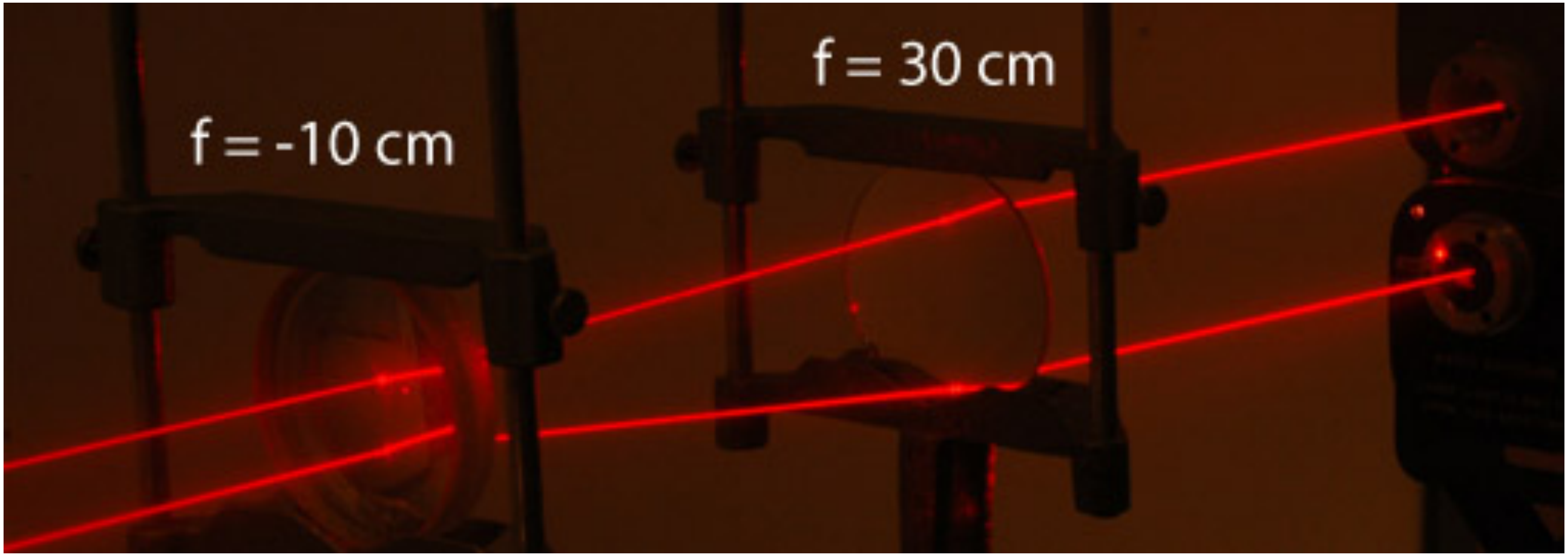


A imagem 1 será um objeto virtual para uma lente divergente, com ponto focal próximo da posição da imagem formada pela primeira lente



A imagem final será virtual, ampliada e direita.

Luneta terrestre (de Galileu)

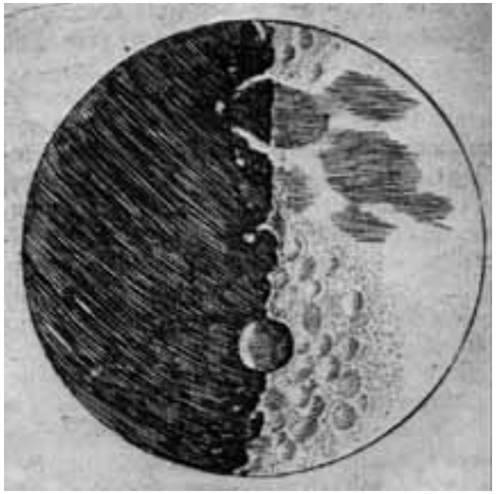


$$M_\theta = -\frac{f_1}{f_2} = -\frac{dist.\ focal\ da\ objetiva}{dist.\ focal\ da\ ocular}$$

O que Galileu viu?

Foi com esse tipo de luneta que Galileu observou, com uma objetiva de comprimento focal de 1000 mm e uma lente divergente de 50mm, conseguindo um aumento de 20X.

crateras na Lua

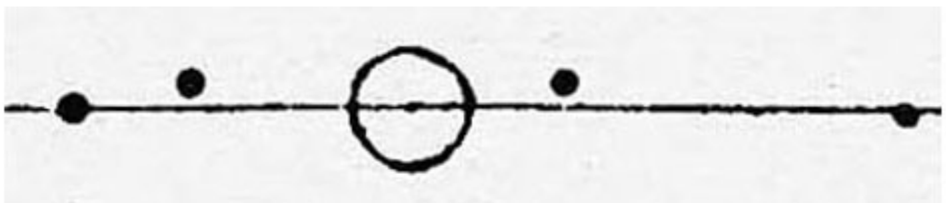


Desenho de Galileo

Foto com montagem equivalente

O que Galileu viu?

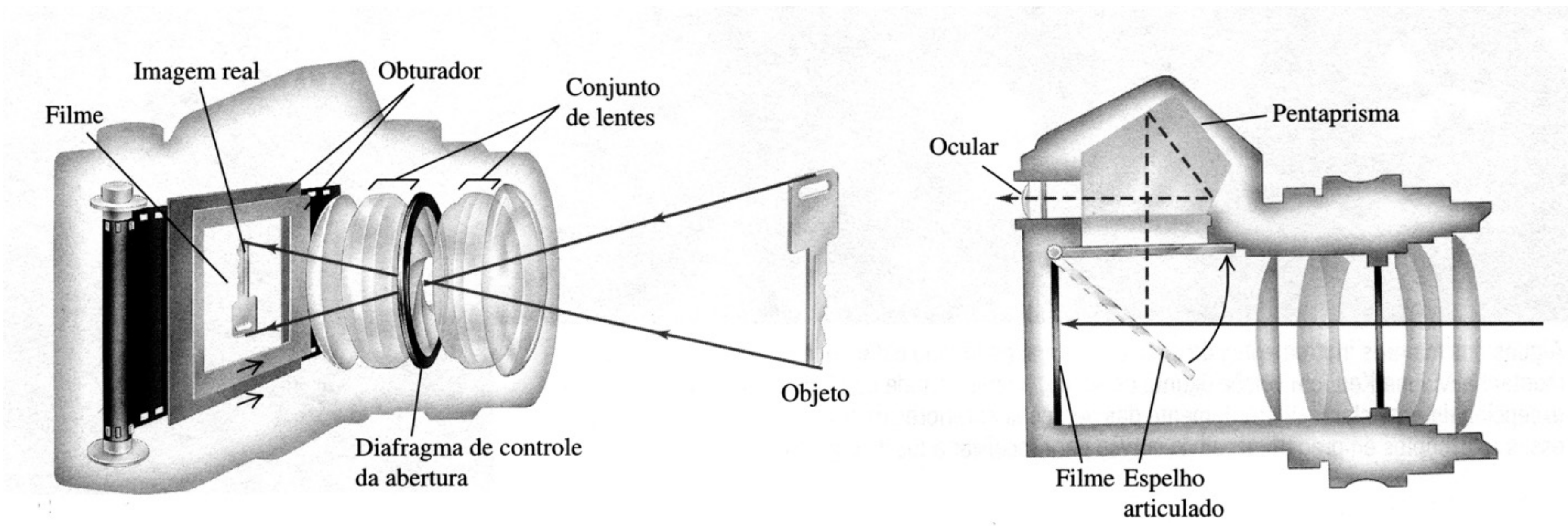
Luas de Júpiter



NEBULOSA ORIONIS

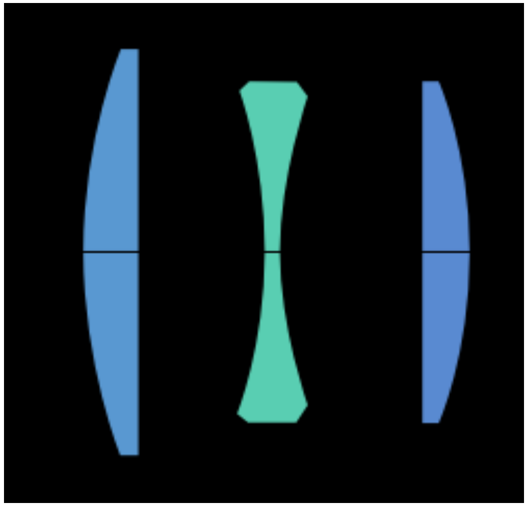
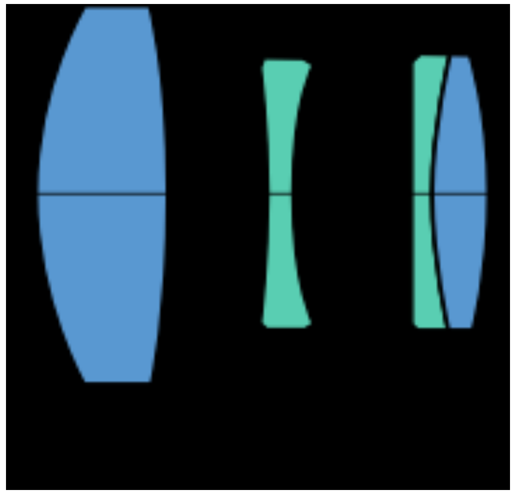
Fases de Vênus

Máquina fotográfica



(a) (b)

Máquina fotográfica

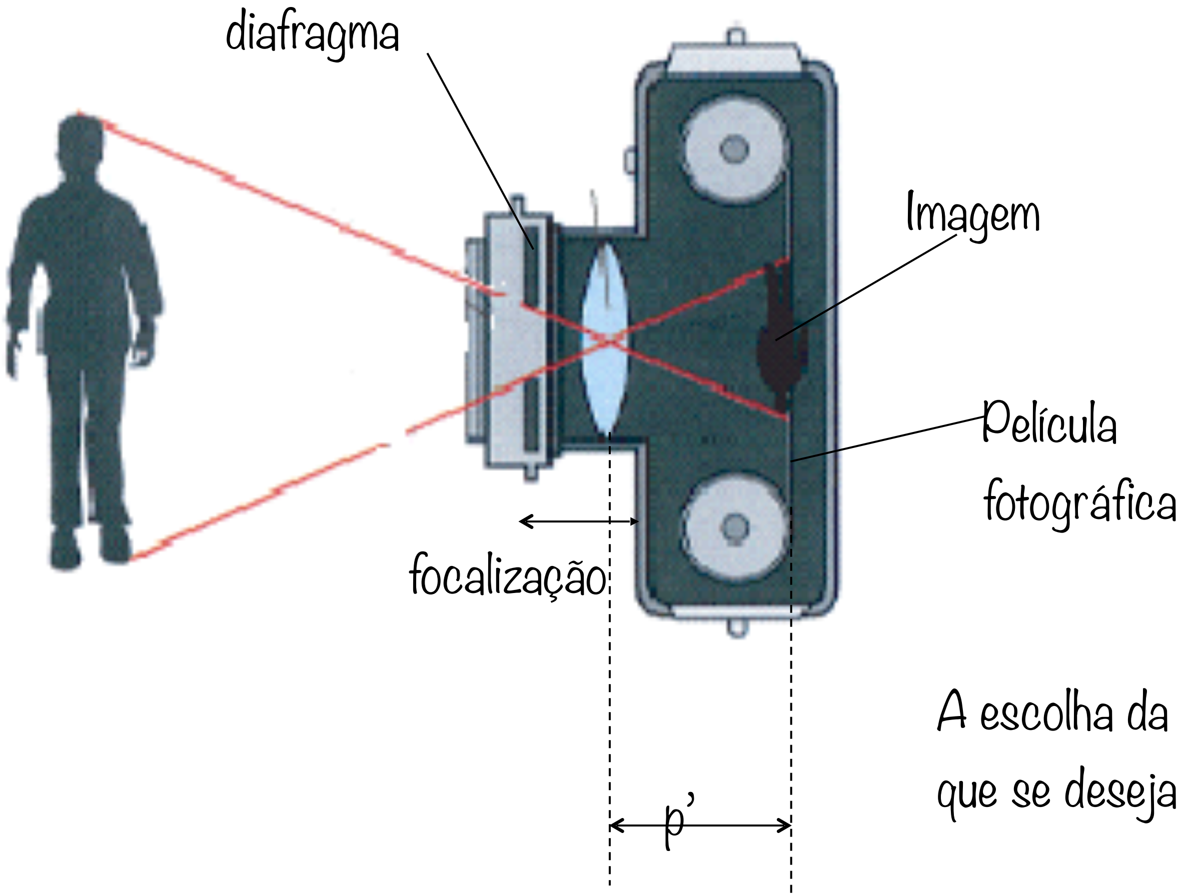
  

Tipos de objetivas de máquinas fotográficas

Combinação de lentes convergentes e divergentes, feitas de vidros diferentes para minimizar as aberrações (cromática, esférica, etc.)

Máquina fotográfica

Filmes fotográficos 35mm



A escolha da objetiva depende do que se deseja fotografar

Máquina fotográfica
escolha da distância focal da objetiva

Como o aumento depende da posição da imagem, se usarmos uma lente com distância focal maior, a distância imagem também será maior, portanto será também mais ampliada.

Por isso trabalhar com objetivas de grande distância focal, permite fotografias de objetos distantes, porém o campo de visada, é reduzido, uma vez que a área do filme (tela) permanece inalterada. Algumas objetivas fotográficas podem ter algumas lentes móveis que permitem um "zoom" no objeto fotografado, isto é, a distância focal da objetiva pode ser variada dentro de um certo intervalo.

28 mm

70mm

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{p'}{p}$$

Máquina fotográfica
escolha da distância focal da objetiva

28 mm

50 mm

70 mm

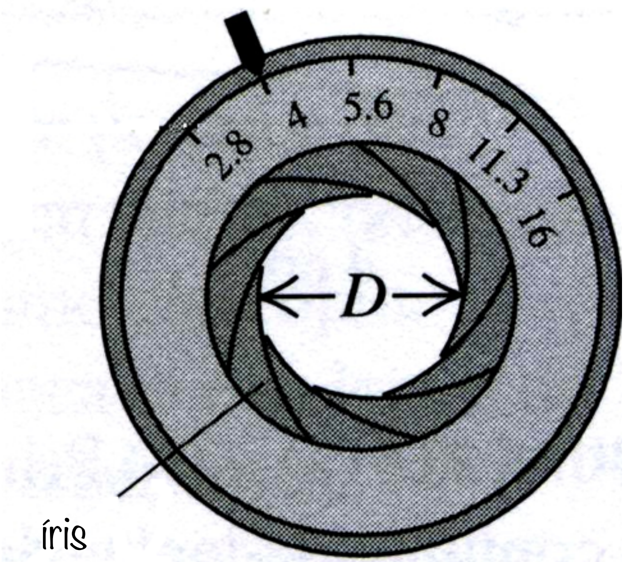
210 mm

Máquina fotográfica

escolha da abertura da objetiva

Em fotografia, utiliza-se o número f, para denominar a abertura da lente

$$Número\ \ f = \frac{f}{D} = \frac{distância\ \ focal}{diâmetro\ efetivo\ da\ objetiva}$$



íris

f= 28mm Nº f=2,8 D=10mm

f= 28mm Nº f=4 D=7mm

f= 28mm Nº f=16 D=1,75mm

f=70mm Nº f=2,8 D=25mm

Máquina fotográfica

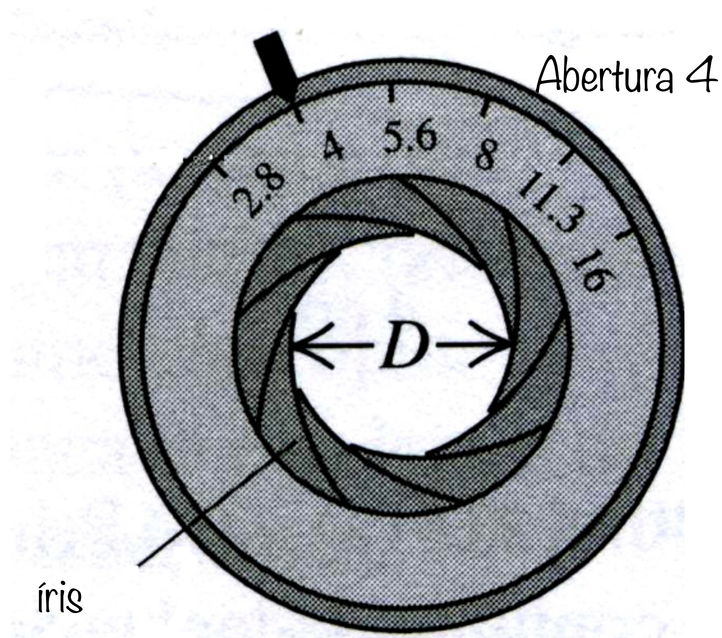
escolha da abertura da objetiva

A intensidade de luz que atinge o filme (I) é proporcional à área efetiva da objetiva:

$$I \,\alpha\, (D)^2$$

$$I \,\alpha\, \frac{f}{(Num.\ f)^2}$$

A energia luminosa (E) que atinge o filme é produto da intensidade de luz (I) pelo tempo de exposição t; E= I.t



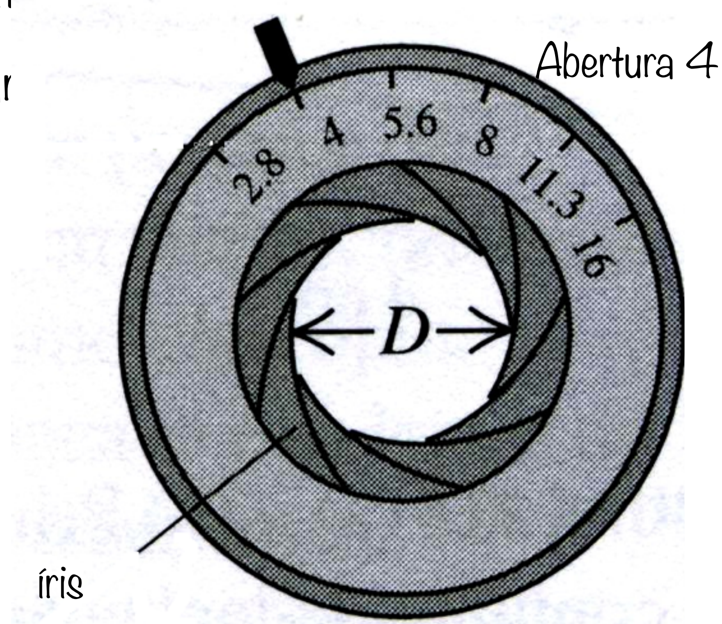
Máquina fotográfica

escolha da abertura da objetiva

Para aumentar a intensidade de luz de um fator 2, a abertura tem que aumentar de um fator $1/\sqrt{2}$.

Essa abertura é regulada pelo diafragma, na objeti... que tem a forma de íris, com uma graduação, que var... $1/\sqrt{2}$:

f/2, f/2,8, f/4, f/5,6, f/8 e f/16



Máquina fotográfica

escolha da velocidade

$$I \, \alpha \, (D)^2$$

$$I \, \alpha \, \frac{f}{(Num. \;\; f)^2}$$

Os tempos de exposição são dados em fração de segundos; 1/500, 1/250, 1/100, etc.

Ex.: quando a abertura passa de f/4 para f/5,6, o tempo de exposição tem que ser aumentado de um fator 2.

Ao reduzir a abertura de um fator 2, o tempo de exposição deve aumentar de um fator 4.

Abertura x Velocidade

Grandes aberturas (tempo de exposição curto) são úteis para fotografar objetos em movimento.

Abertura x Velocidade

Aberturas pequenas requerem longo tempo de exposição.

Essas condições são mais indicadas para fotografar objetos em repouso (paisagem).

Abertura x Velocidade

Exemplo

A lente de uma máquina fotográfica utilizando filmes de 35mm de largura tem uma distância focal de 55 mm e uma abertura de f/1,8. Sob certas circunstâncias de iluminação e para essa abertura, o tempo de exposição é de (1/500) s.

a) Determine o diâmetro da objetiva

b) Calcule o tempo de exposição correto se o número f for modificado para f/4, com as mesmas condições de iluminação

---

$$\text{número } f = \frac{f}{D} \Rightarrow 1{,}8 = \frac{55mm}{D}$$

$$D = 30{,}6mm$$

A abertura diminui, então o tempo de exposição deve aumentar.

$$I \,\alpha\, \frac{1}{(Num.\ f)^2} \qquad E = I.t \Rightarrow I_1 t_1 = I_2 t_2$$

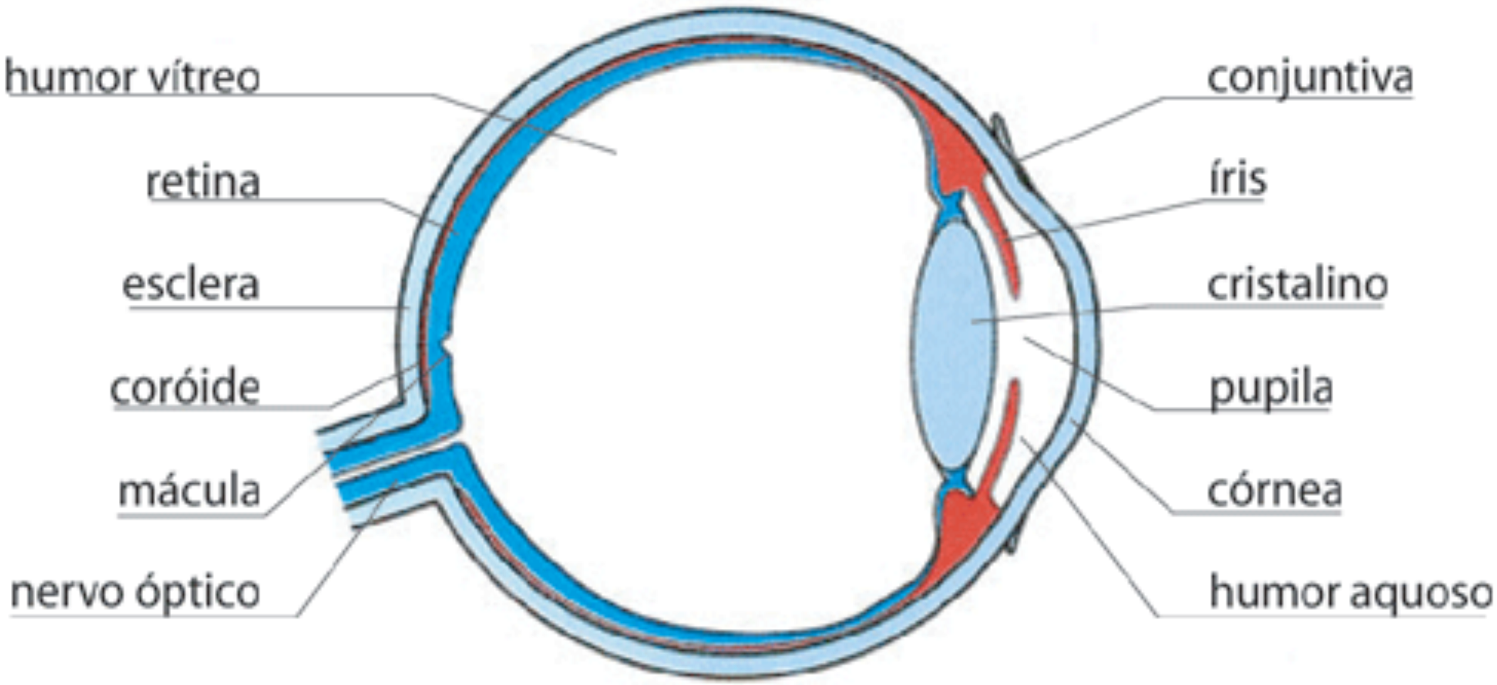
$$\frac{t_1}{(num.\ f_1)^2} = \frac{t_2}{(num.\ f_2)^2}$$

$$\frac{t_1}{(1{,}8)^2} = \frac{t_2}{(4)^2} \Rightarrow t_2 = \left(\frac{4}{1{,}8}\right)^2 (1/500)s$$

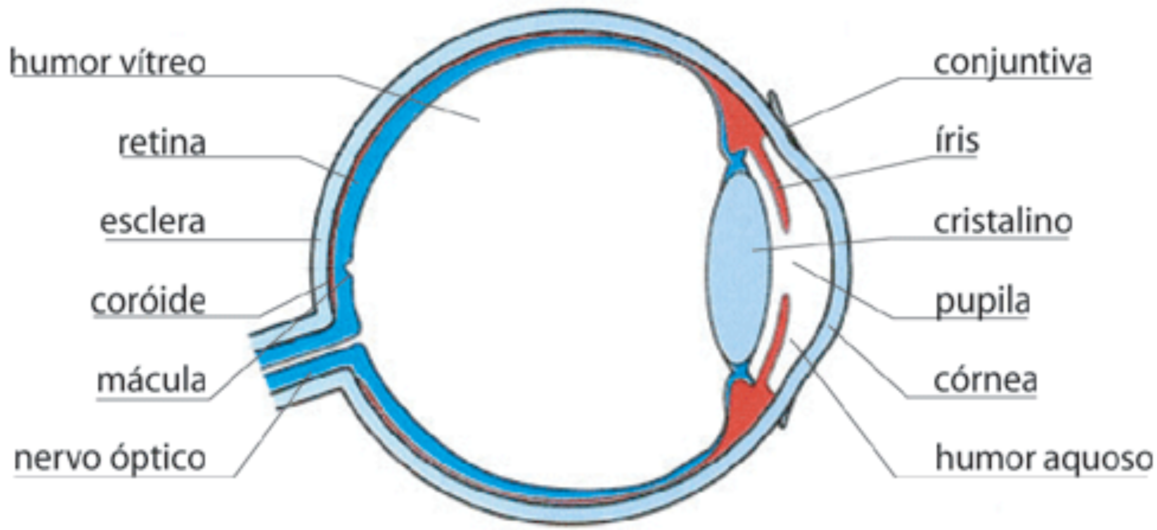
$$t_2 \cong 5(1/500)s \cong (1/100)s.$$

A abertura diminui de um fator ≈ 2,2 e o tempo de exposição aumenta de um fator ≈ 5.

Olho



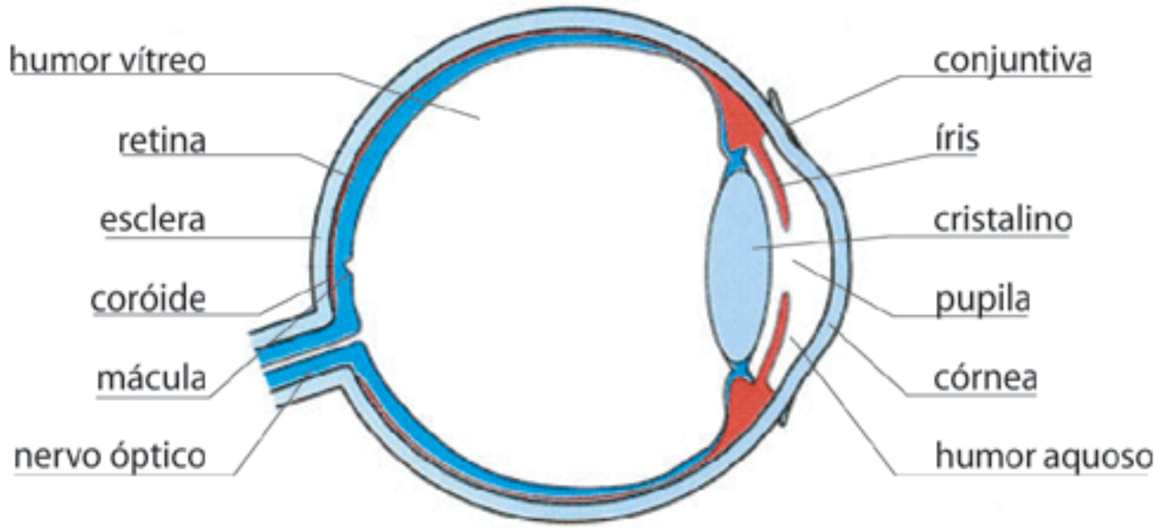
globo ocular



globo ocular

A forma do olho humano é quase esférica, com diâmetro aproximado de 25 mm. A parte frontal é ligeiramente mais encurvada, recoberta por uma membrana dura e transparente, a córnea.

A região atrás da córnea contém um líquido, chamado de humor aquoso e a seguir vem o cristalino, uma lente em forma de cápsula com uma gelatina fibrosa dura no centro e progressivamente mais macia à medida que se aproxima da sua periferia. A íris, é um diafragma que controla a entrada de luz.



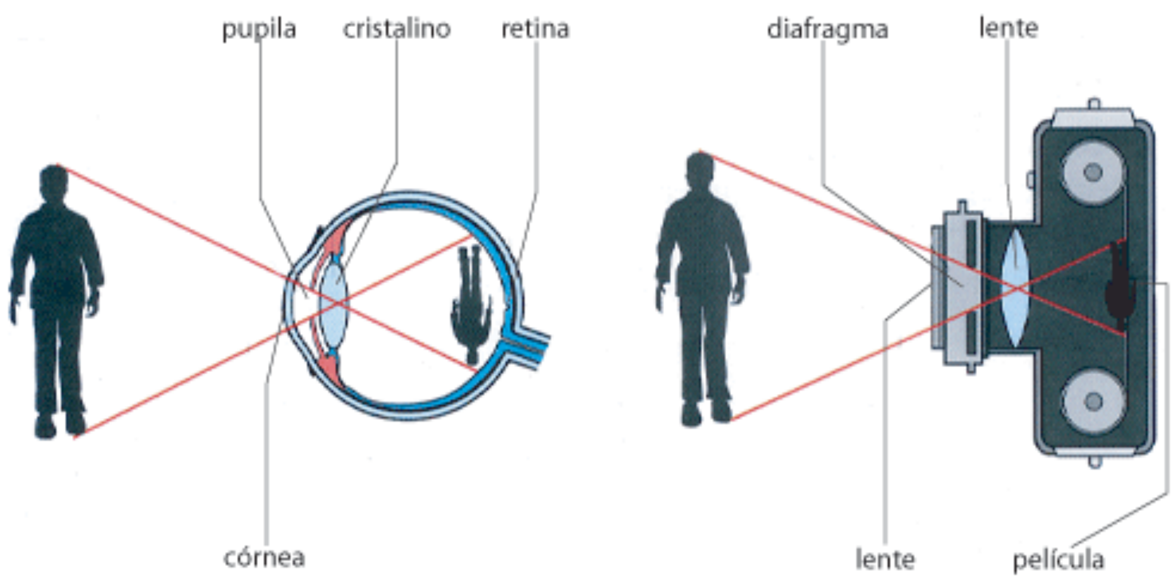
globo ocular

Atrás do cristalino, o olho está cheio de um líquido gelatinoso, chamado de humor vítreo.

Os índices de refração do humor vítreo, e do humor aquoso são aproximadamente iguais a 1,336, valor quase igual ao índice de refração da água.

O cristalino apesar de não ser homogêneo, possui um índice de refração de 1,437. Esse valor não é muito diferente do índice de refração do humor vítreo e do humor aquoso; **a maior parte da refração ocorre na superfície externa da córnea**.

O olho e máquina fotográfica

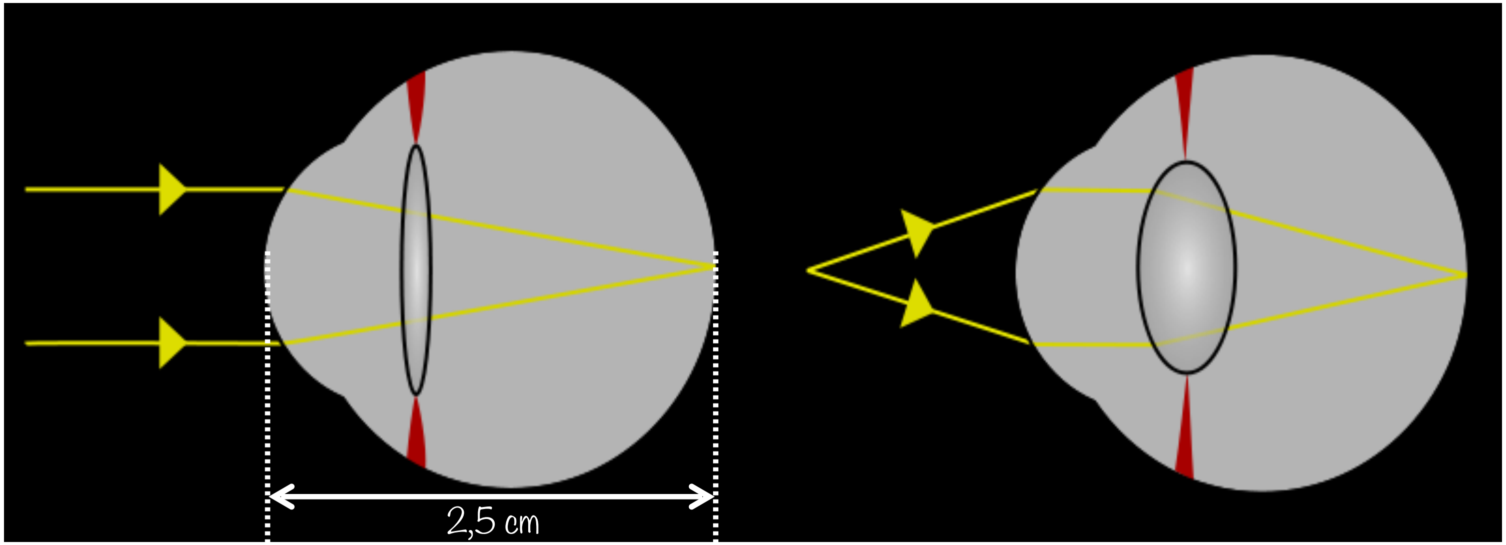


o olho e a máquina fotográfica

Abertura da íris- varia de f/2 a f/8- para controlar a intensidade de luz.

Distância focal ajustável para que a imagem se forme sobre a retina

Acomodação

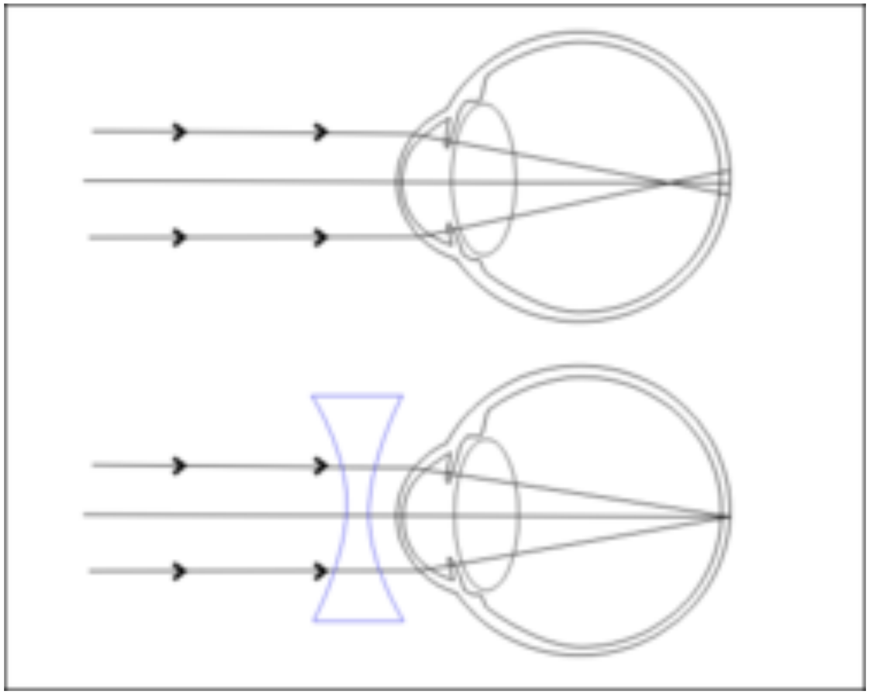


Distância objeto	Distância Focal
0,25m	1,59 cm
1 m	1,67 cm
3 m	1,69 cm
100 m	1,70 cm
∞	1,70 cm

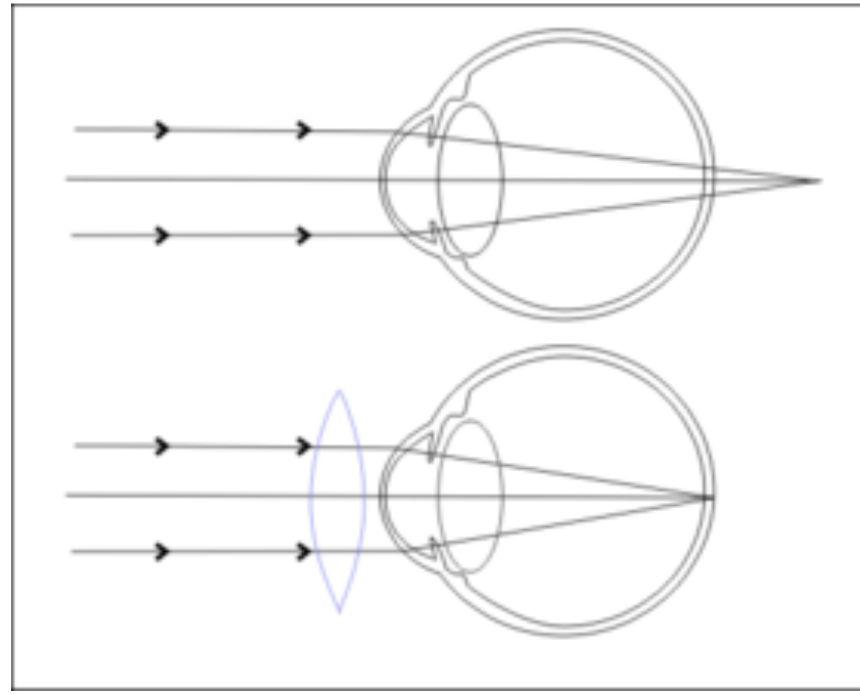
Ponto Próximo - 25cm

Menor distância para a qual é possível obter uma imagem nítida na retina.

Problemas de acomodação e correção



Miopia



Hipermetropia

Problemas de acomodação e correção

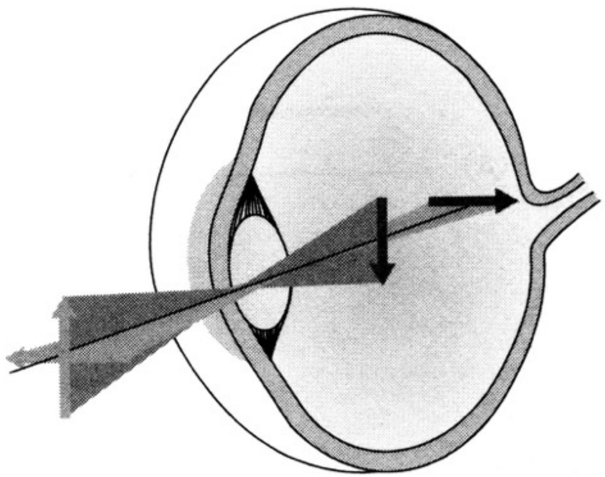


FIGURA 36.9 As imagens de linhas verticais se formam antes da retina para este olho com astigmatismo.

Astigmatismo

Córnea ou cristalino, não são esféricos (como a superfície de um câmara de pneu)

Correção: lentes cilíndricas

Exemplo 1

Uma pessoa com hipermetropia tem seu ponto próximo a 75 cm. Utilizando óculos de leitura, a distância do ponto próximo do sistema lente-olhos é deslocado para 25 cm. Isto é, se um objeto é colocado a 25 cm das lentes, uma imagem virtual é formada a uma distância de 75 cm na frente das lentes.

a) Qual a potência das lentes dos óculos (potência da lente $=1/f$)?.

b) Qual a ampliação lateral da imagem formada pelas lentes?

Solução

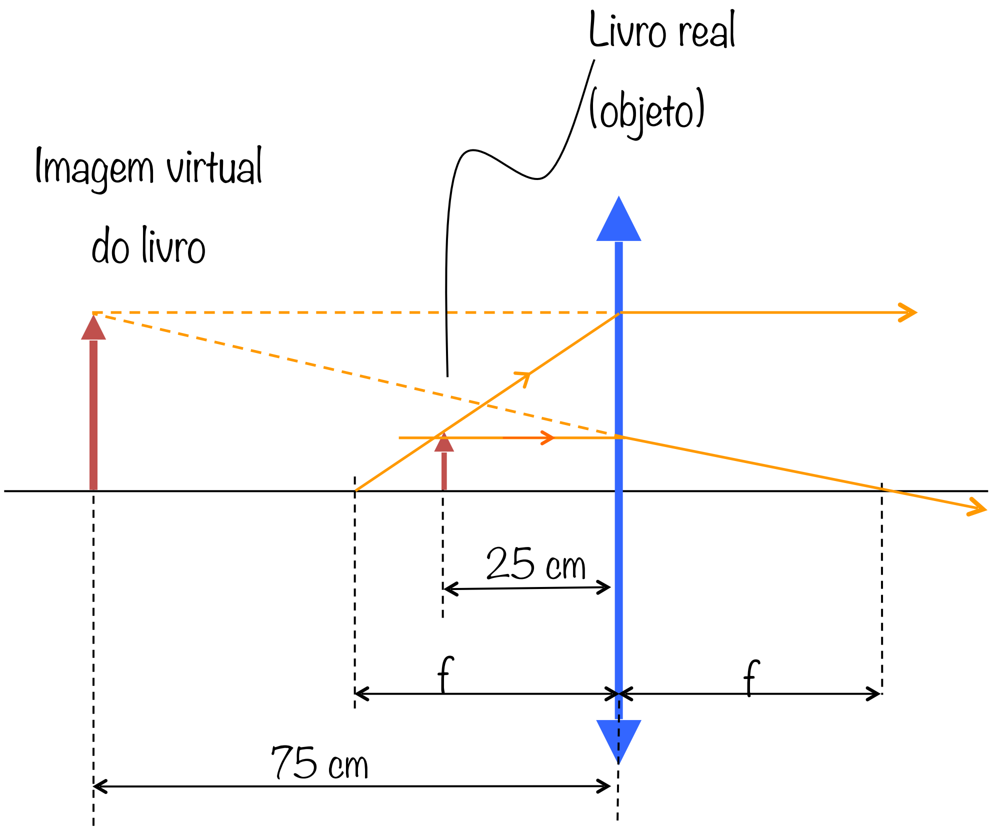
Objeto virtual a 75 cm (é o que olho vê no final)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{25cm} + \frac{1}{(-75cm)}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3-1}{75cm} = \frac{2}{0{,}75m} =$$

$$\frac{1}{f} = 2{,}67\ m^{-1} = 2{,}67\ diptrias$$

$$f = 37{,}5cm$$



f>0, Lente convergente,

$$M = -\frac{p'}{p} = -\frac{-75cm}{25cm} = 3$$

Exemplo 2

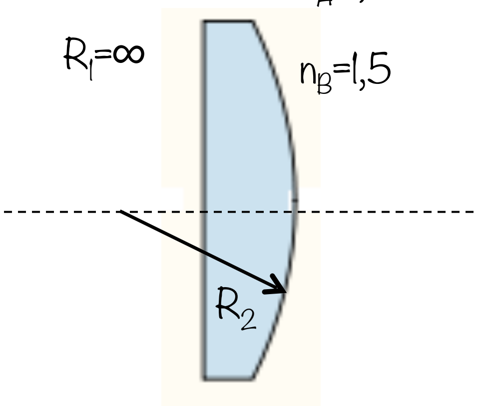
O ponto próximo de uma pessoa com hipermetropia está a 100 cm em frente ao olho. (a) Para ver com nitidez um objeto situado a uma distância de 25 cm do olho, qual é potencia da lente corretora?

(b) Se a lente corretora tiver uma face plana e for feita de um vidro com índice de refração igual 1,5, qual deve ser o raio de curvatura da superfície curva da lente?

Solução

A lente deve formar uma imagem virtual a 100 cm do olho quando o objeto for colocado a uma distância confortável, no ponto próximo, igual a 25 cm do olho.

Assim temos: p=25 cm e p'=-100 cm (virtual)



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{25cm} + \frac{1}{(-100cm)}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{4-1}{100cm} = \frac{3}{100cm} \Rightarrow f = 33cm$$

$$P = \frac{1}{f} = 3{,}3\ m^{-1} = 3{,}3\ dioptrias$$

f>0 lente convergente!

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$3{,}3 = -\frac{0{,}5}{R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{0{,}5}{3{,}3m}$$

$$R_2 = -0{,}15m$$

Exemplo 3 - miopia

Uma pessoa não pode perceber com clareza objetos além de de 50 cm.

a) Qual seria a distância focal da lente receitada para corrigir esse problema de acomodação?

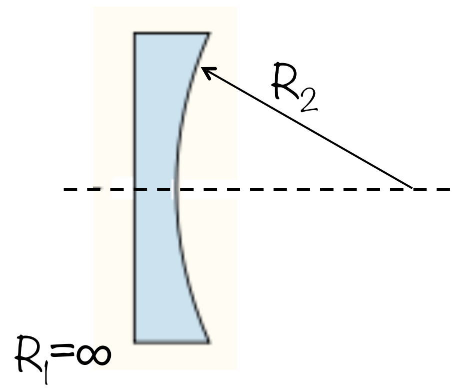
b) Qual a potência dessa lente?

c) supondo que essa lente seja fabricada com uma face plana e de um vidro com índice de refração igual a 1,5, qual será o raio de curvatura da outra superfície

Solução

O objetivo da lente corretora é deslocar objetos do infinito até um ponto em que possam ser focalizados pelo olho; para uma distância de 50 cm do olho.

Essa será uma imagem virtual para o olho, pois ainda estará a frente da lente corretora (isto é do lado oposto aos raios emergentes).



Assim: p=∞, p'=-50cm.

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{f}=\frac{1}{\infty}-\frac{1}{50cm}$$

$$f=-50cm$$

Potência da Lente: P=1/f (f em metros)

f=0,5m, P=-2 dioptrias

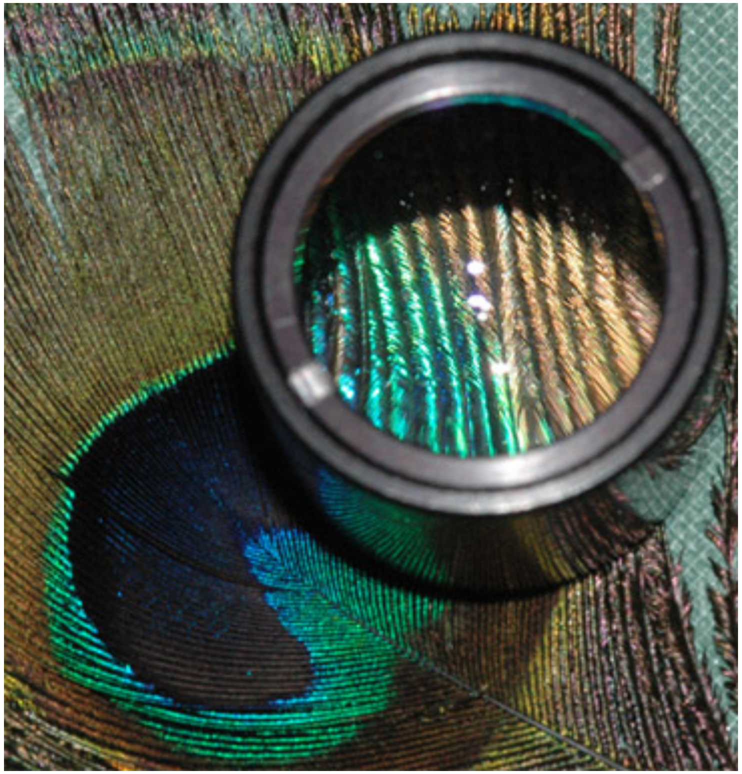
A lente corretora deve ser divergente!

$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{\infty}-\frac{1}{R_2}\right)$$

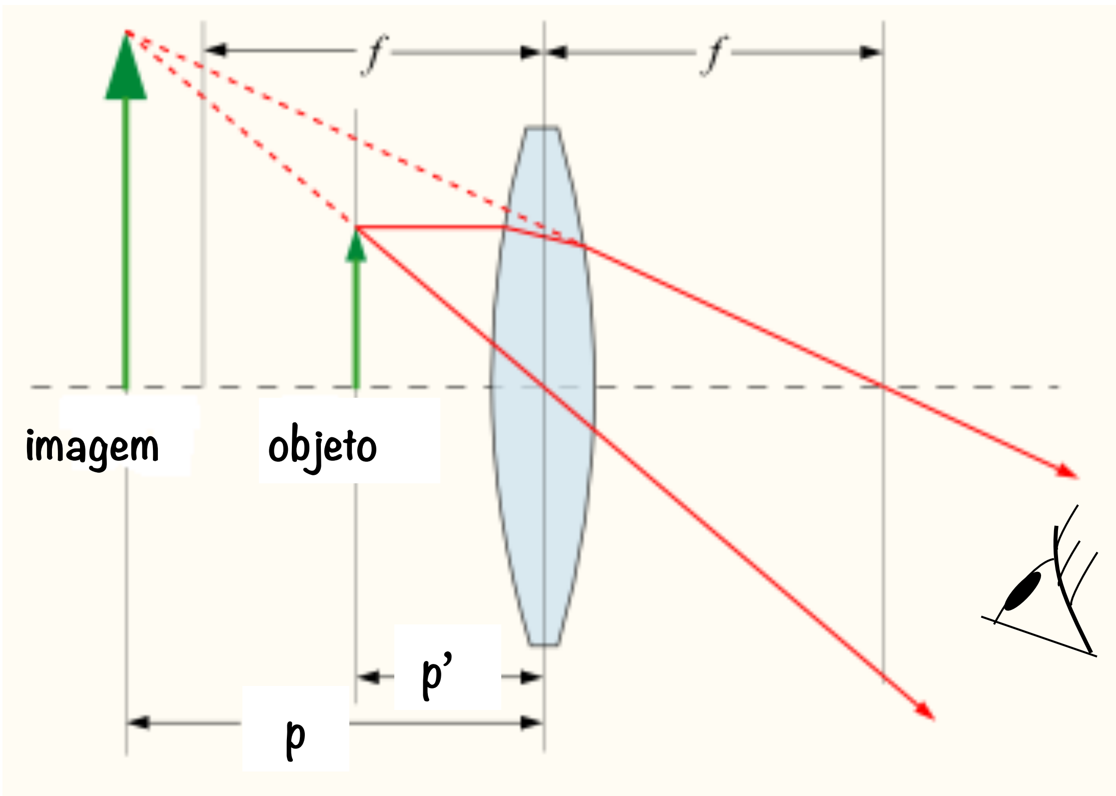
$$-\frac{1}{0,5m}=-\frac{0,5}{R_2} \Rightarrow R_2=0,5x0,5m=0,25m$$

$$R_2=25cm$$

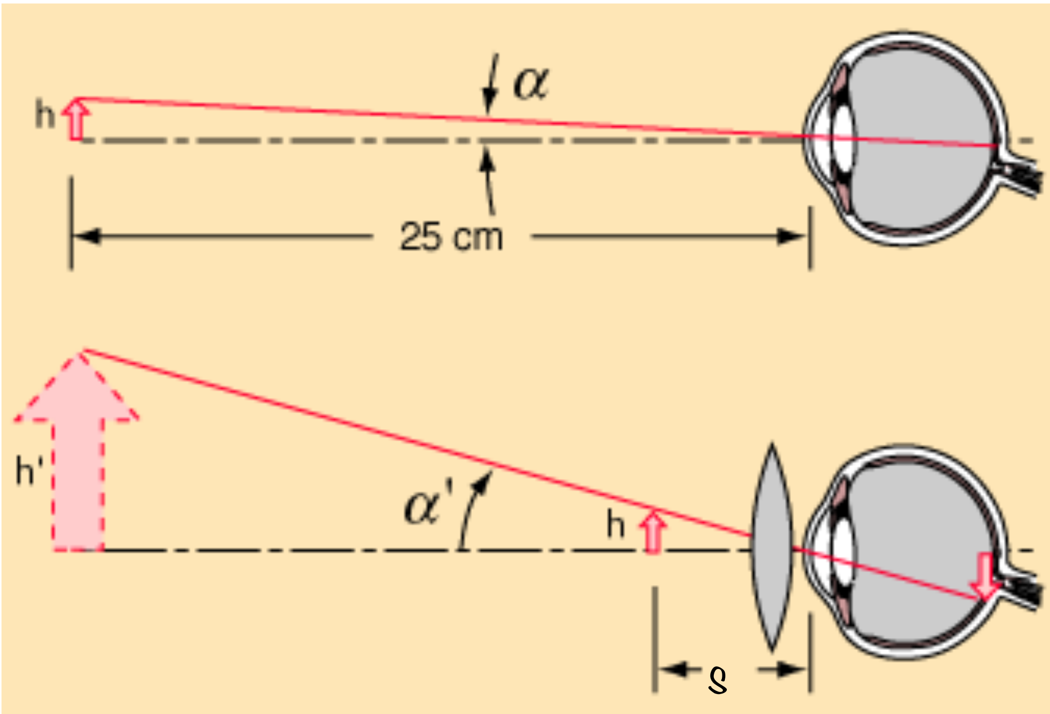
Lupa



Lupa



Lupa



Para pequenos ângulos

$$\alpha = \frac{h}{25} \qquad \alpha' = \frac{h}{s}$$

$$M_\alpha = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{h/s}{h/25} = \frac{25}{s}$$

Quanto maior o valor de s', maior o aumento, e isso acontece quando s≅f.

Se o objeto é colocado aproximadamente no ponto focal da lupa s≅f

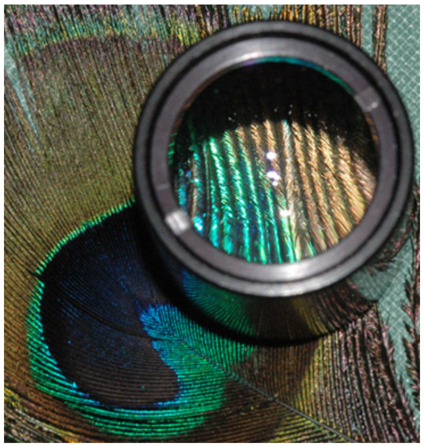
Ponto próximo=25 cm

M_α= aumento angular

$$* M_\alpha = \frac{25cm}{f}$$

Obs.: com o valor de f em centímetros

Lupa



aumento	Distância focal da lupa
2x	12,5
4x	6,25
5x	5,0
10x	2,5
20x	1,25

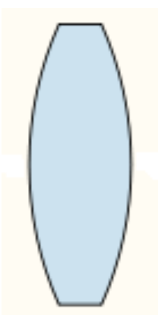
Oculares

Exemplo

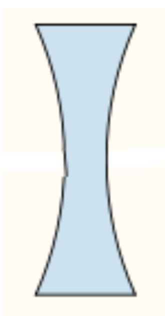
Você dispõe de duas lentes de plástico, uma bicôncava, e outra biconvexa, ambas com distância focal com valor absoluto igual a 10,0 cm.

(a) qual das duas lentes pode ser usada como lupa?

(b) Qual a ampliação angular?



biconvexa
f=+10 cm



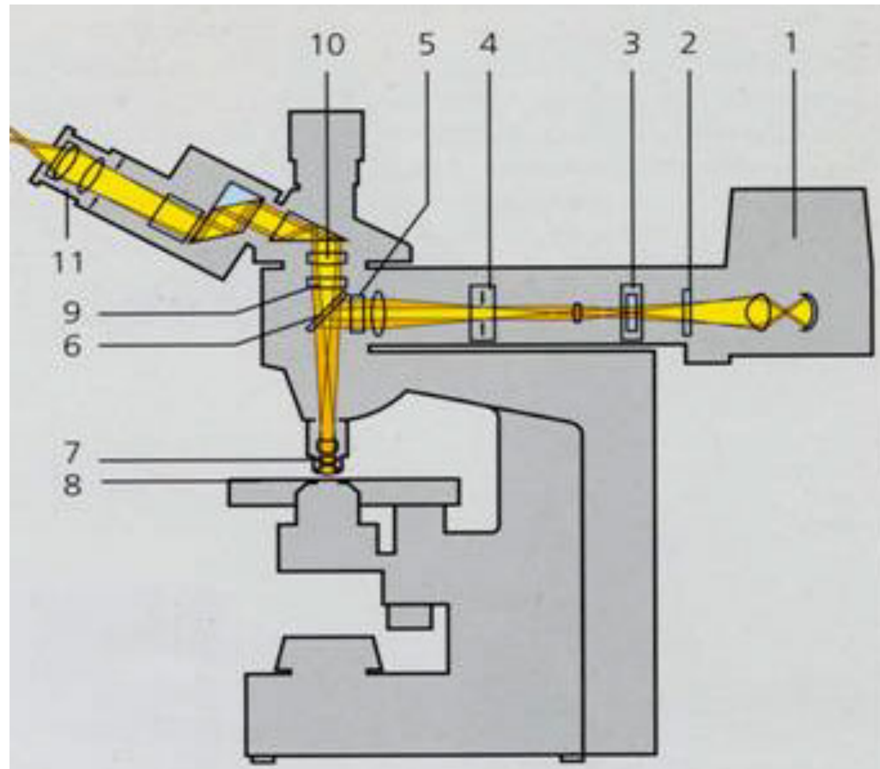
bicôncava
f=-10 cm

Para atuar com uma lupa, precisamos de uma lente convergente. Portanto, somente a lente biconvexa poderá serve para esses fim.

$$M_\theta = \frac{25cm}{f} = \frac{25cm}{10cm} = 2{,}5$$

A ampliação angular será de 2,5x.

Microscópio composto



7- objetiva

8- objeto

11- ocular

Microscópio composto

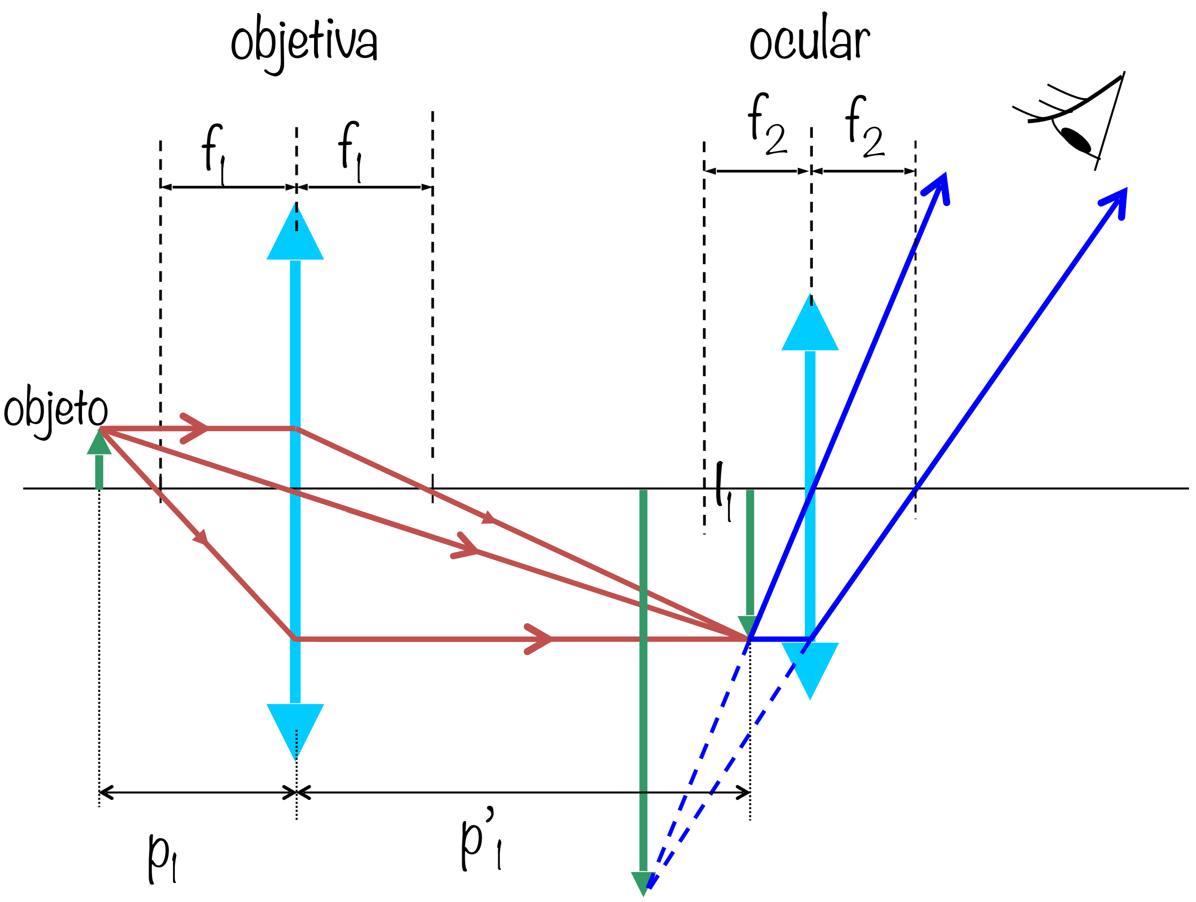
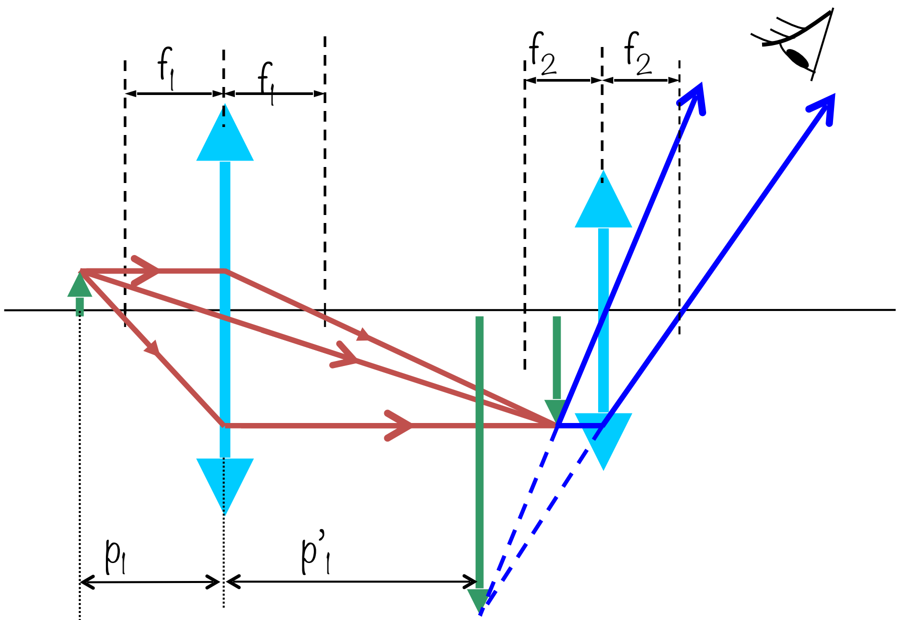


Imagem virtual, invertida

Aumento total=M

M=aumento transversal da objetiva x aumento angular da ocular ➔ $M = m_1 . M_\theta$

$$m_1 = -\frac{p'_1}{p_1} \qquad M_\theta = \frac{25cm}{f_2} \quad *$$



Como em geral o objeto está muito próximo do foco da objetiva e p'_1 é muito maior que p_1;

$$p_1 \cong f_1 \Rightarrow m_1 = -\frac{p'_1}{f_1}$$

$$* \quad M = -\frac{p'_1 . (25cm)}{f_1 . f_2}$$

O sinal negativo indica que a imagem é invertida.

Obs.: com os valores de p'_1, f_1 e f_2 em centímetros

Exemplo

A objetiva de um microscópio com distância focal de 5,0 mm forma uma imagem a uma distância de 16 mm. A ocular possui distância focal de 26,0 mm.

(a) Qual a ampliação angular do microscópio?

(b) Sabendo-se que o olho nu pode separar dois pontos na vizinhança do ponto próximo quando a distância entre os pontos for aproximadamente igual a 0,1 mm, determine a a separação mínima entre dois pontos que pode ser resolvida por esse microscópio?

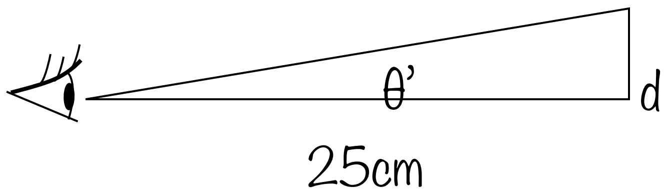
---

f_1 e f_2 são positivos pois ambas as lentes são convergentes e p'l é positivo porque a imagem formada pela objetiva é real.

Temos: p'_1=16,5cm, f_1=0,5cm e f_2=2,6cm

$$M = -\frac{p'_1.(25cm)}{f_1 \cdot f_2} \Rightarrow M = -\frac{(16{,}5cm).(25cm)}{(0{,}5cm).(2{,}6cm)} \cong -317$$

continua



Na imagem observada, para d=0,1 mm

tgθ'≈ θ' = (0,1 cm)/(25 cm)(0,004 rad)

$$M = -\frac{\theta'}{\theta} \Rightarrow \theta = -\frac{\theta'}{M}$$

$$\theta = -\frac{0,004}{-317} = 1,3x10^{-5}\,rad$$

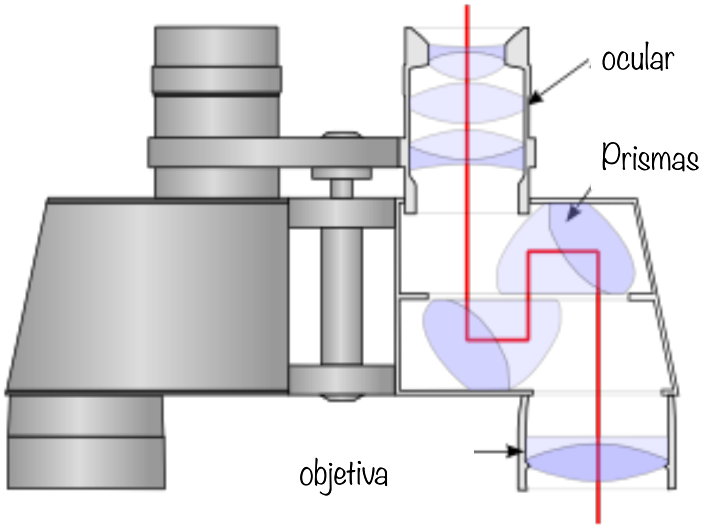
No objeto, isso corresponderia a uma separação entre dois pontos igual a d':

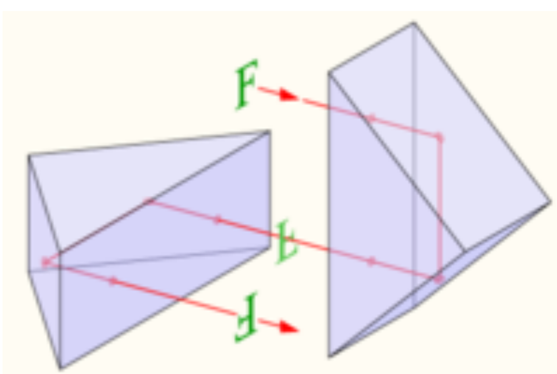
$$d' = (25cm).\theta \qquad \Rightarrow \qquad d' = (25cm).1,3x10^{-5}$$

$$d' = 3,3x10^{-4}\,cm = 3,3\ \mu m$$

Utilizando esse microscópio dois pontos separados por uma distância igual a cerca de 3 μm podem ser distinguidos.

Binóculo





Binóculos de Galileu (mesmo principio da luneta de Galileu)

Microscópios acoplados a fibras óticas

comunicação

endoscopia