

Aula 7 - Ótica - 2020

Uso de lentes:

Lupa, olho humano e outros instrumentos ópticos

(Vários slides são baseados em aulas da Profa. Elisabeth Andreolli)

Aula passada: Equações das lentes finas

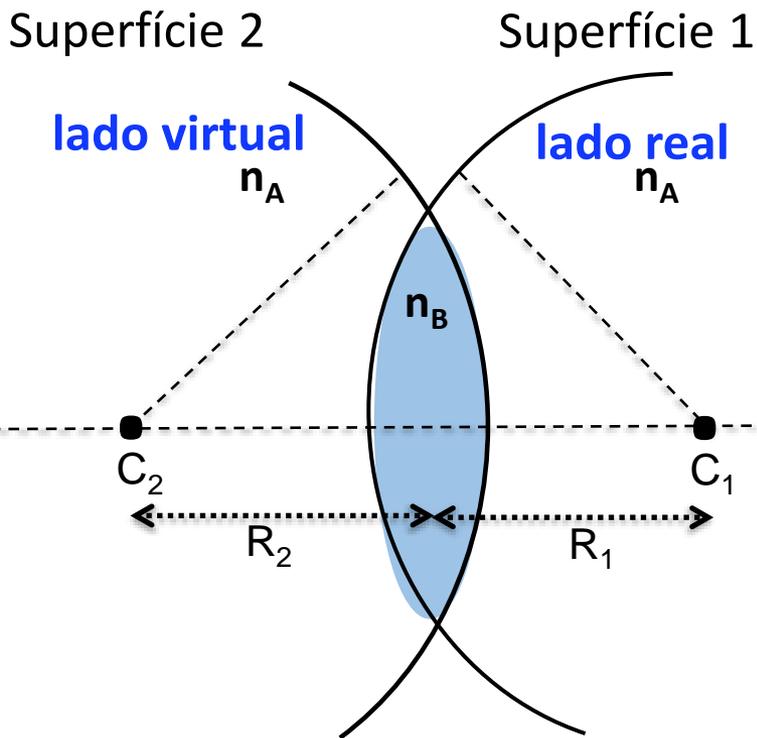
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_B}{n_A} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

ampliação

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

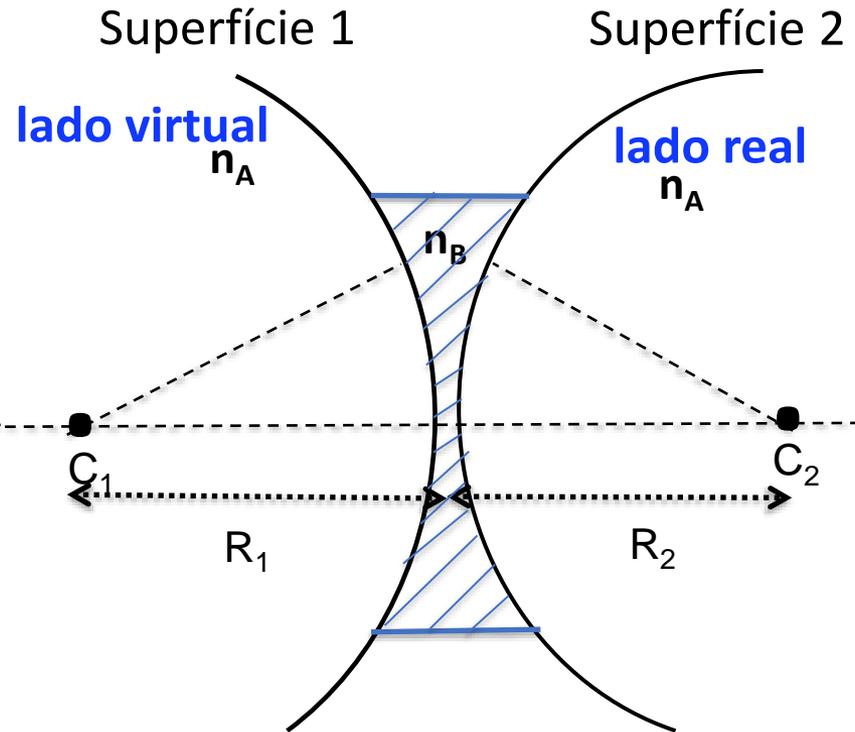
Convergente



R_1 positivo
 R_2 negativo

f positiva

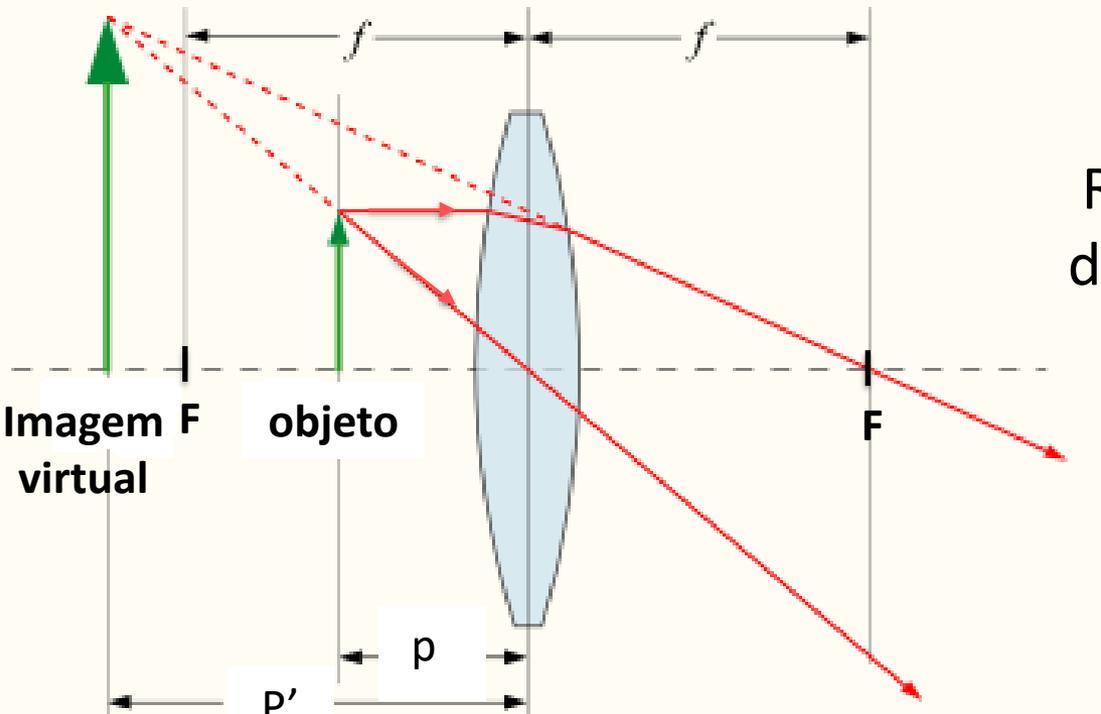
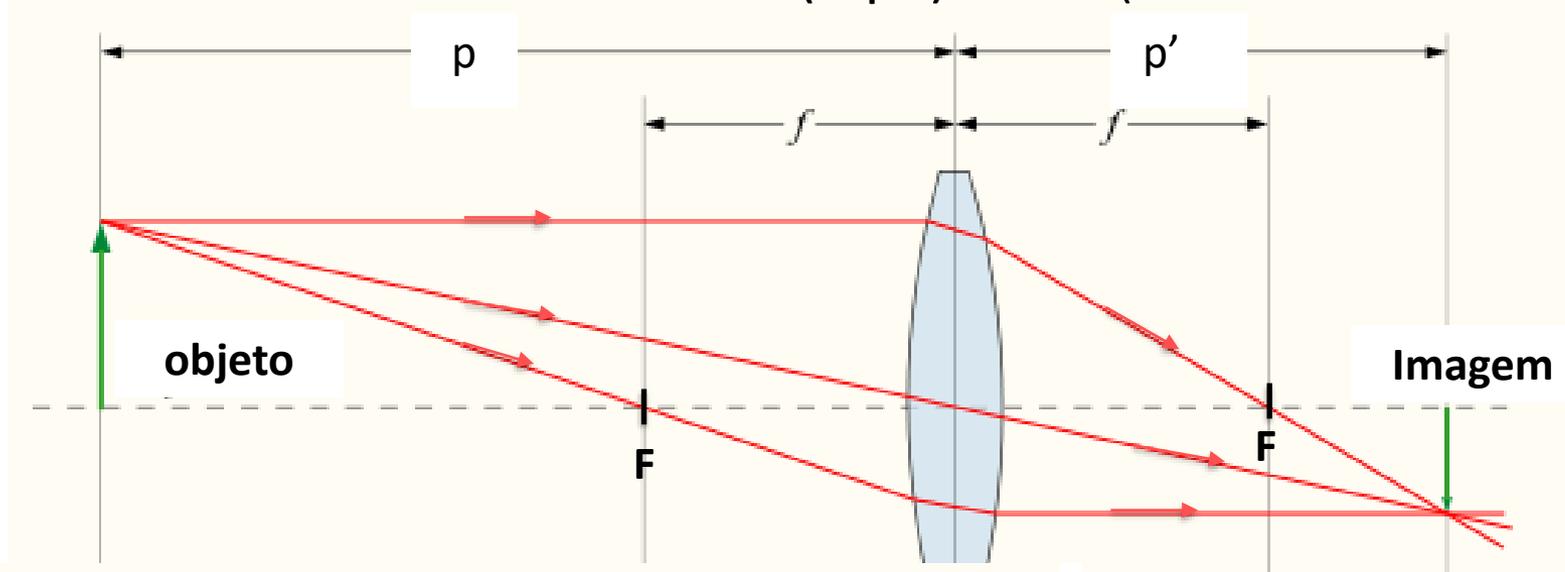
Divergente



R_1 negativo
 R_2 positivo

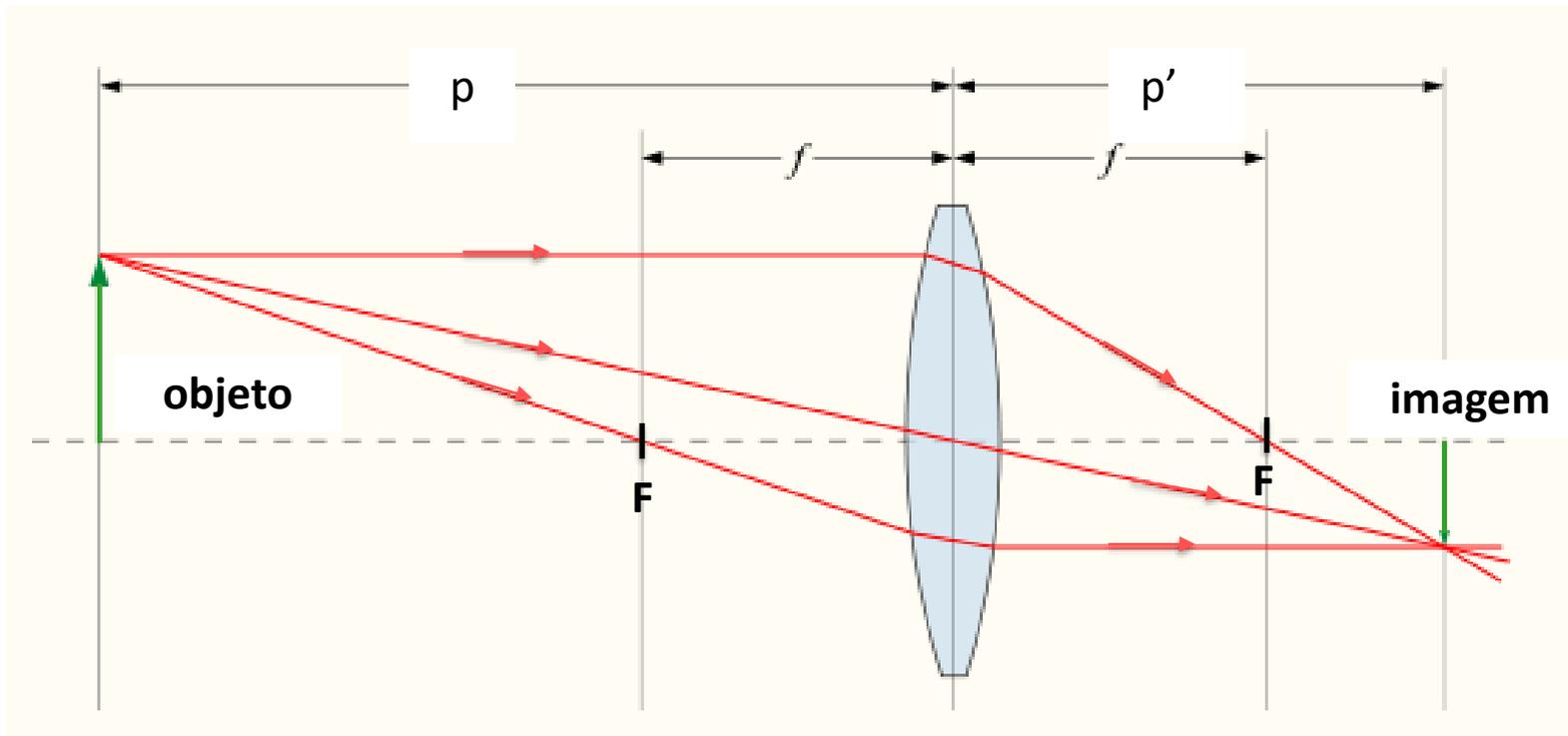
f negativa

Pergunta 1: Como conseguir uma imagem real com uma lente biconvexa (lupa)? (Seria uma atividade em classe...)



Resposta: Com o objeto a uma distância da lente maior do que a distância focal.

Pergunta 2: Como medir a distância focal de uma lente biconvexa?



Resposta: Coloco um objeto a uma distância maior do que a distância focal, meço essa distância, p . A imagem gerada através da lente será real, projeto ela em um anteparo, e meço a distância do anteparo à lente, p' . E uso a equação para calcular f :

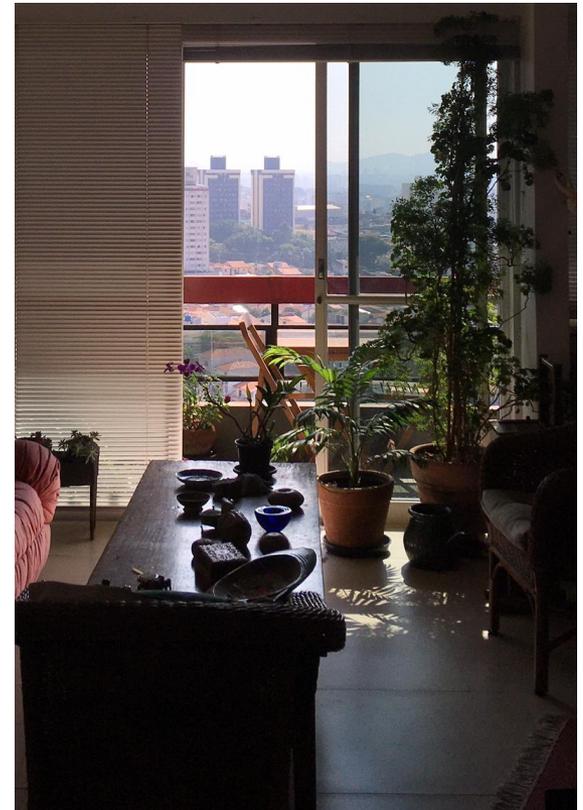
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

Experimento fácil de fazer se você tem uma lupa (lente biconvexa) (E que é feito em sala de aula)

Projete na parede a janela da sala, **que deve estar a uma distância da lente muito maior do que sua distância focal**. Isto é, para a lente o objeto está praticamente no infinito.

$$\text{Se } p \rightarrow \infty \quad 1/p \rightarrow 0 \quad \Rightarrow \quad f \approx p'$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad \text{e mede-se } p'$$



O que é chamado “**Potência de uma lente**”: $\frac{1}{f}$

Repare que $1/f$ tem unidade de distância⁻¹: cm^{-1} , m^{-1}

Quanto maior f , menor $1/f$, portanto menor a potência de uma lente.

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_B}{n_A} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

Se $R_2 = -R_1$ e se fazemos $n_B/n_A = n$

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

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{-R}\right) = (n - 1) \frac{2}{R} \qquad f = \frac{R}{2(n - 1)}$$

Só para mostrar que quanto maior R maior f

O que é chamado “Potência de uma lente”: $\frac{1}{f}$

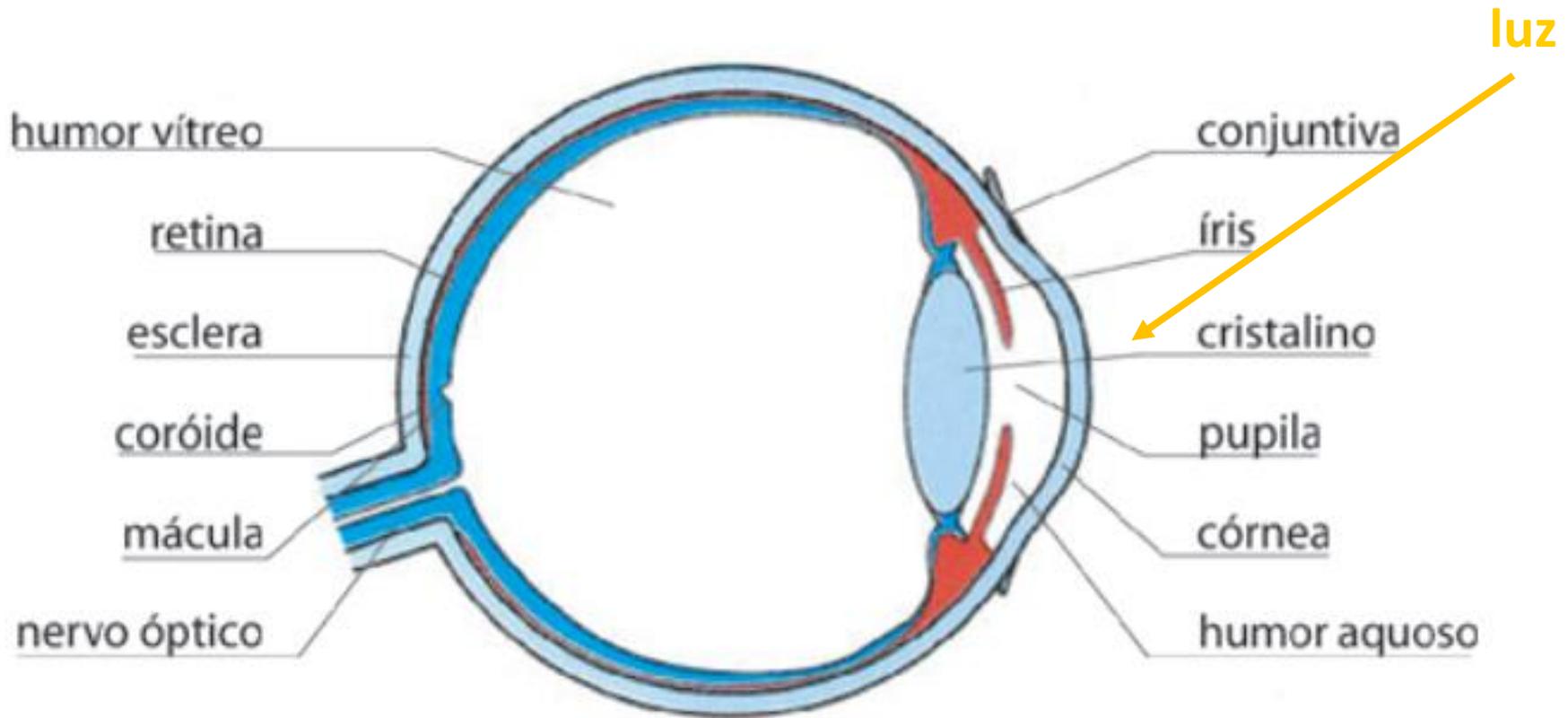
**Só para mostrar que quanto maior R maior f, portanto, menor $1/f$,
portanto, menor a potência de uma lente**

Em um dos exercícios para entregar da aula passada, você teve que descobrir que quanto mais aumentamos o raio de uma superfície esférica, mas ela se aproxima de uma plano ... até que... Se $R \rightarrow \infty$ a superfície esférica vai para um plano.

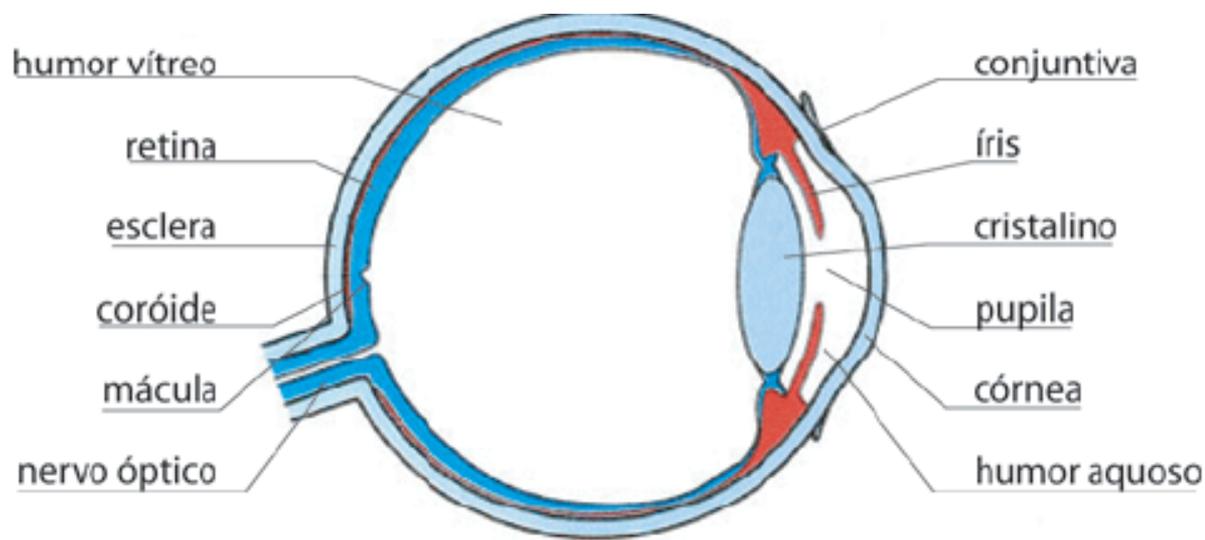
Portanto, uma lente com raios pequenos, mais curva, é mais potente

Quando você escreve a potência de uma lente, $1/f$, em m^{-1}
este valor é chamado **dioptria**

Olho Humano



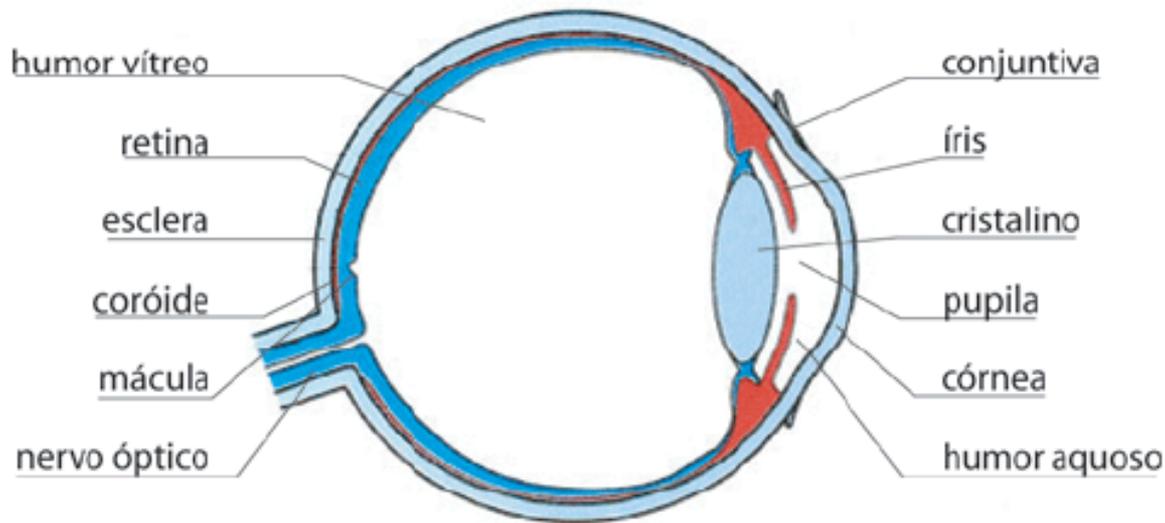
globo ocular



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.



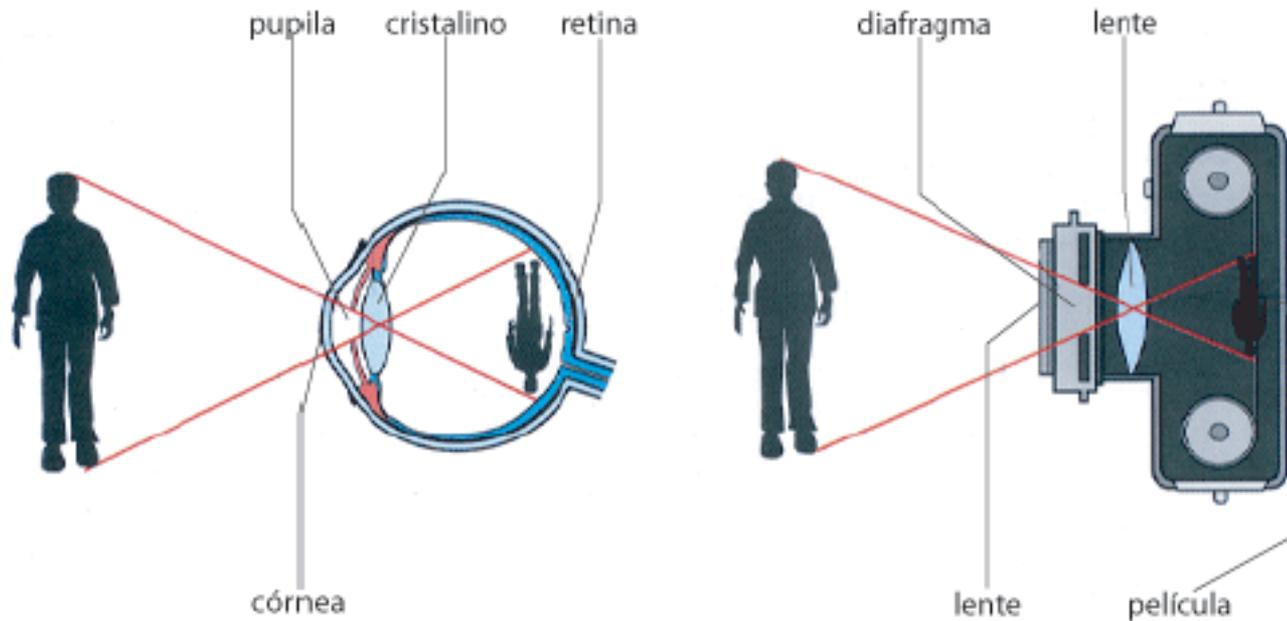
globo ocular

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

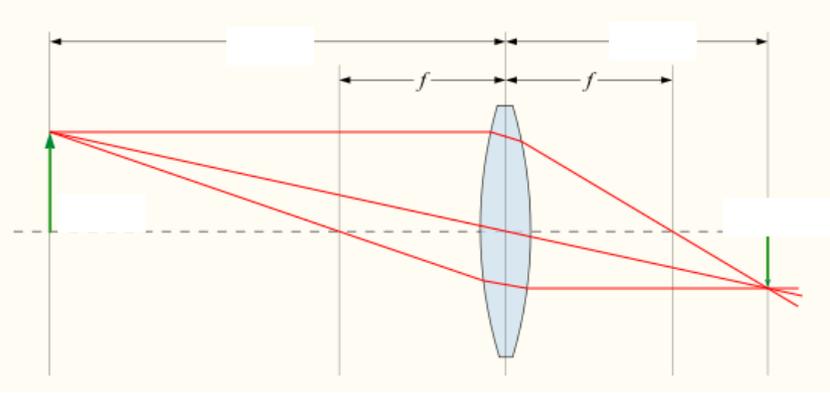
Os índices de refração do humor vítreo, e do humor aquoso são aproximadamente iguais a 1,336, valor quase igual ao índice de refração da água.

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. (2/3)**

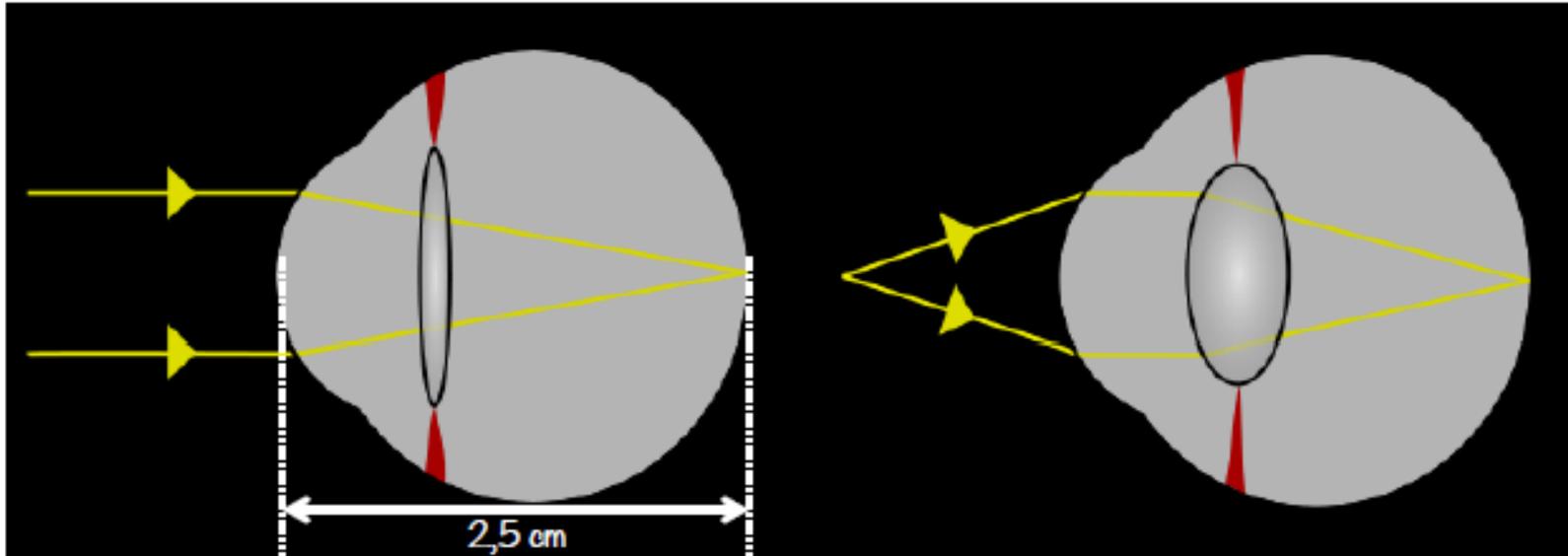
O olho e máquina fotográfica



o olho e a máquina fotográfica



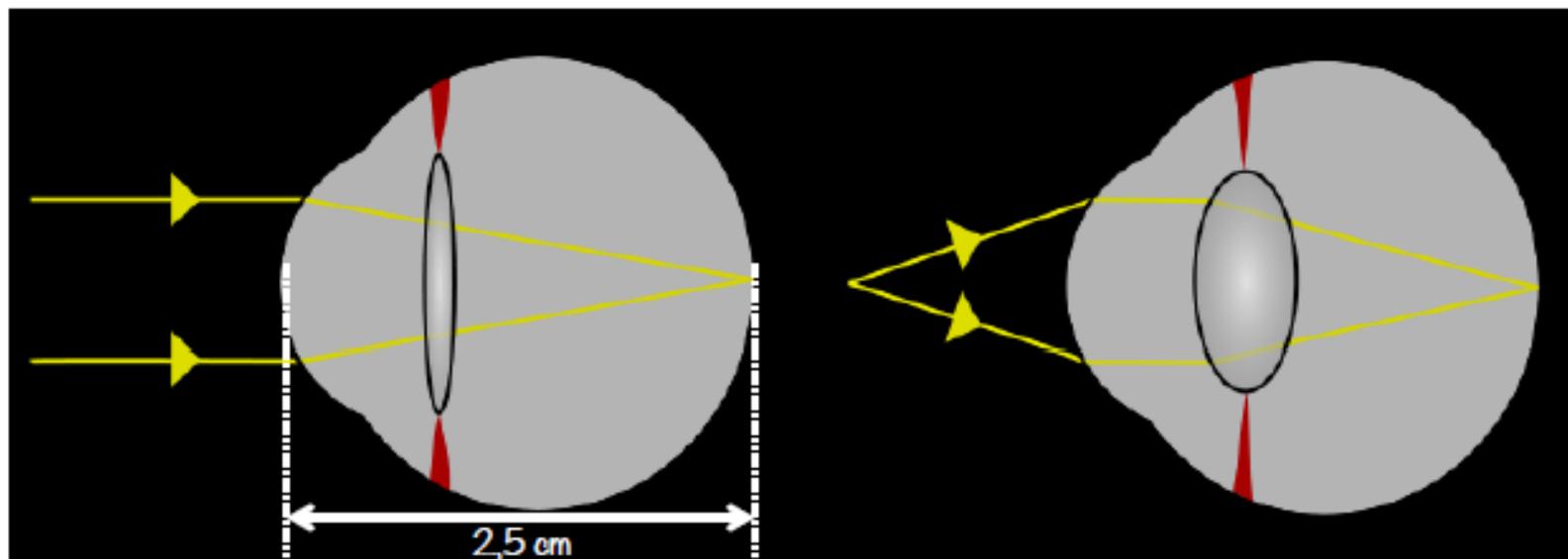
Acomodação



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

O cristalino se adapta para focalizar a imagem na retina, no fundo do olho, onde estão as proteínas que funcionam como receptores de luz, ligadas a nervos, que disparam o sinal nervoso para o cérebro.

Acomodação



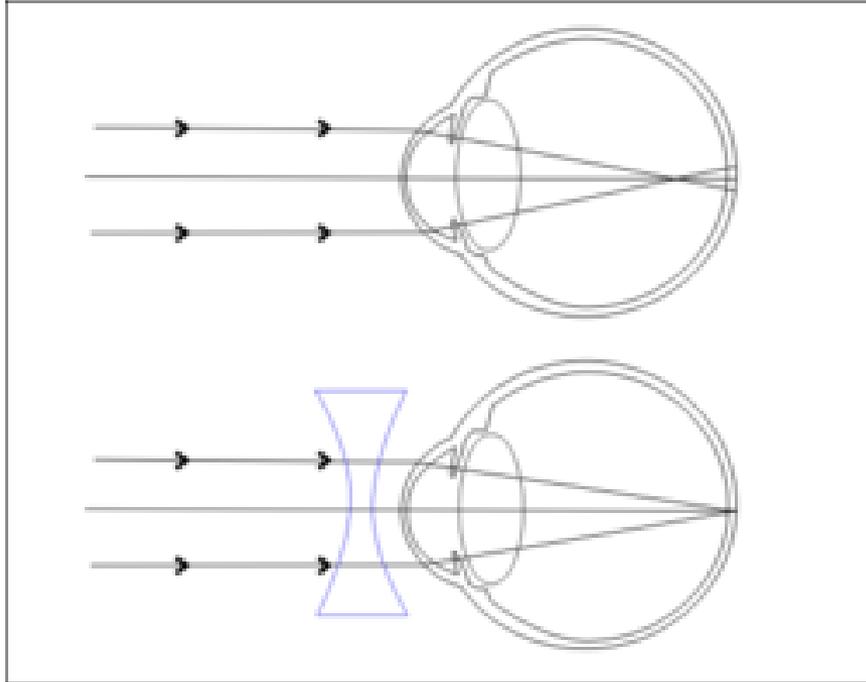
← - - - - - →
25 cm

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

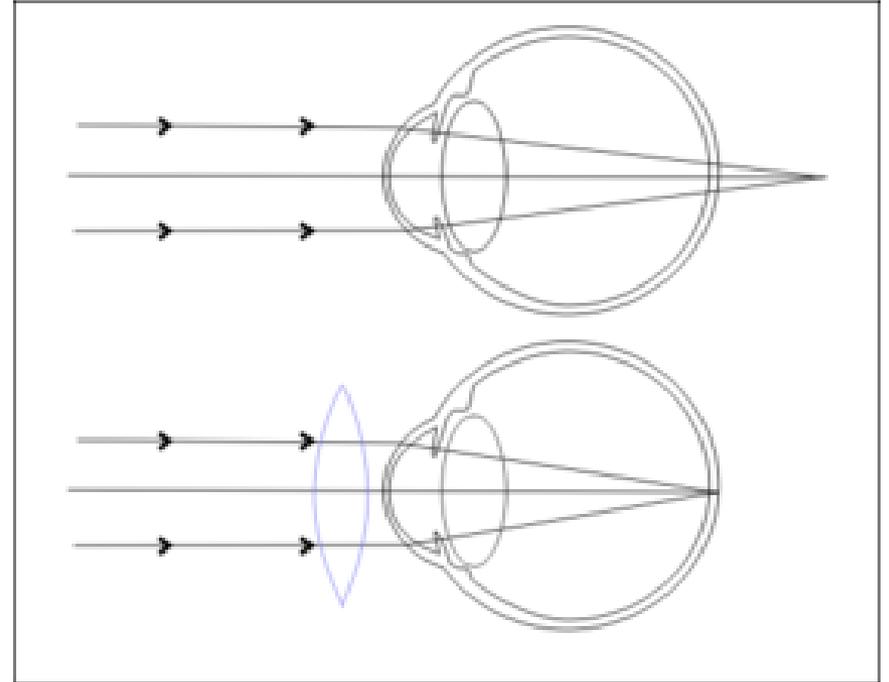
Ponto Próximo - 25cm

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

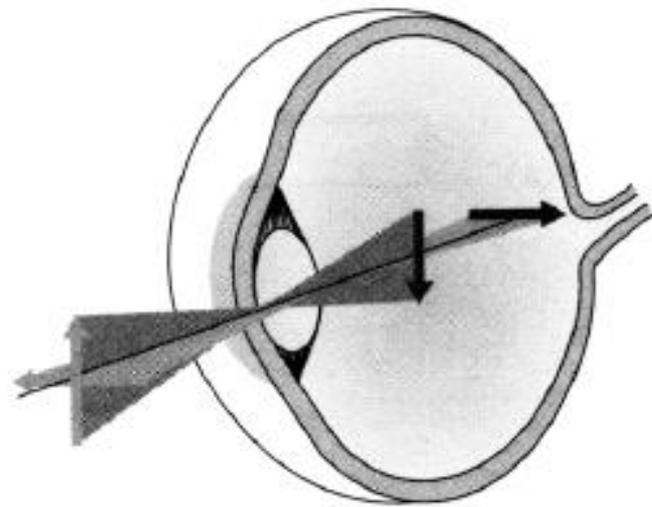


FIGURA 36.9 As imagens de linhas verticais se formam antes da retina para este olho com astigmatismo.

Astigmatismo

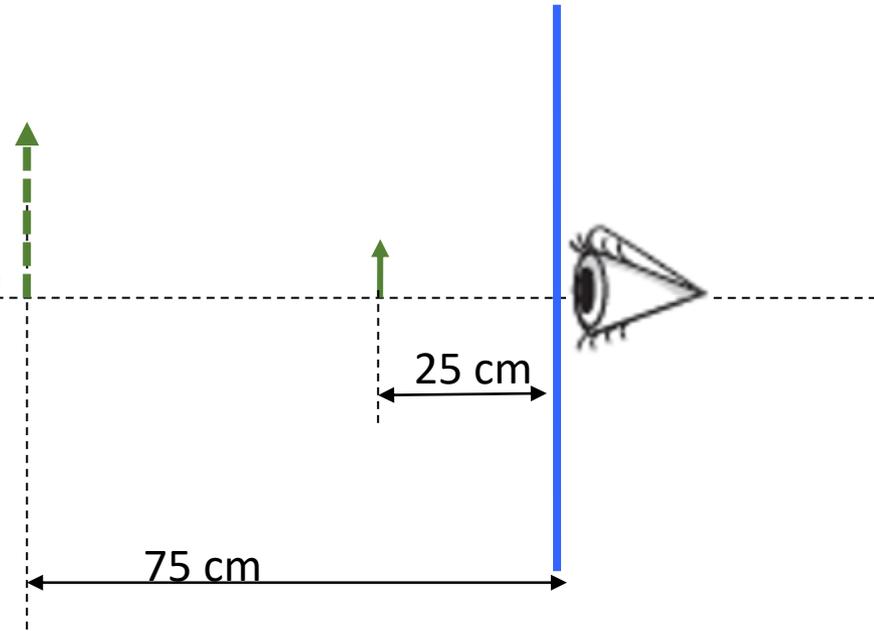
Córnea ou cristalino, não são esféricos (como a superfície de um câmara de pneu)

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-olho é deslocado para 25 cm.**

Isto é, se um objeto é colocado a 25 cm da lente, uma imagem virtual é formada a uma distância de 75 cm na frente da lente.



- Qual a potência das lentes dos óculos (potência da lente = $1/f$)?
- Qual a ampliação lateral da imagem formada pelas lentes?

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 da lente, uma imagem virtual é formada a uma distância de 75 cm na frente da lente.

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

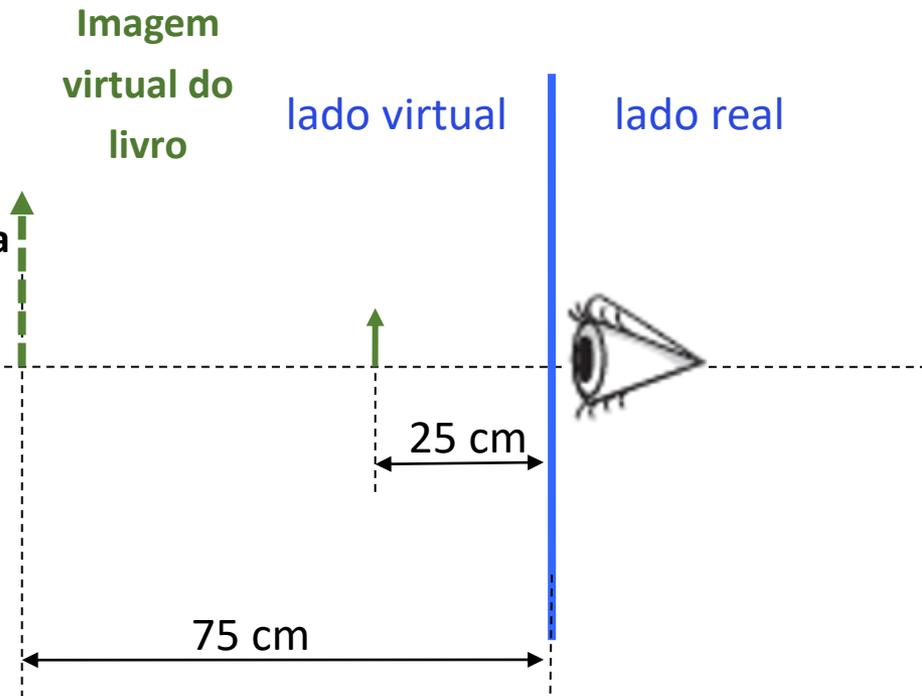
b) Qual a ampliação lateral da imagem formada pelas lentes?

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

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

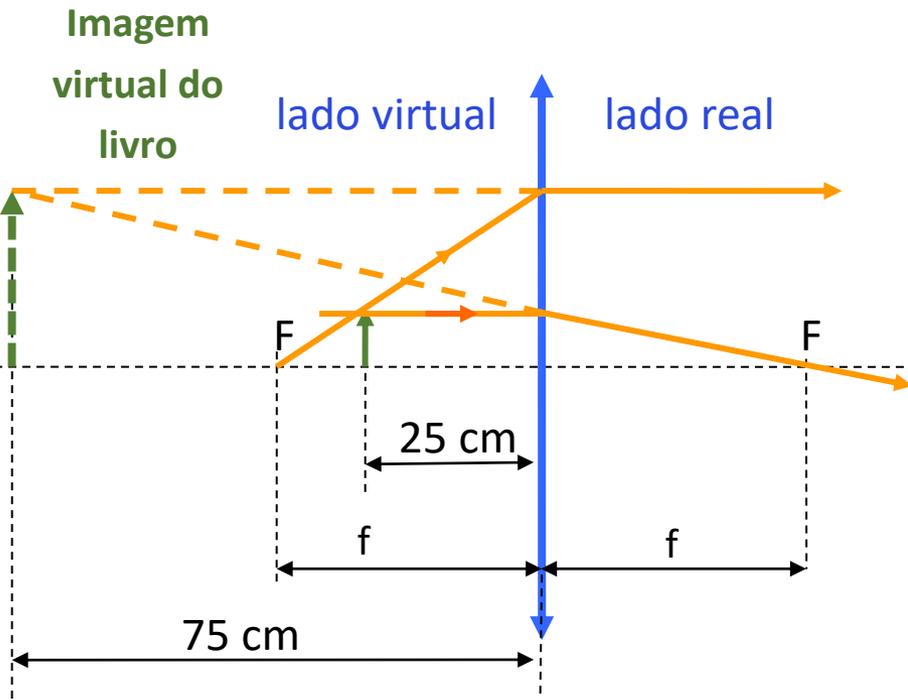
$$\frac{1}{f} = 2,67 \text{ m}^{-1} = 2,67 \text{ dioptrias (grau da lente)}$$

$$f = 37,5\text{cm} \quad \mathbf{f > 0, Lente convergente}$$



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 da lente, uma imagem virtual é formada a uma distância de 75 cm na frente da lente.



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

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

a)

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

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

$$\frac{1}{f} = 2,67 \text{ m}^{-1} = 2,67 \text{ dioptrias (grau da lente)}$$

$f = 37,5\text{cm}$ **$f > 0$, Lente convergente**

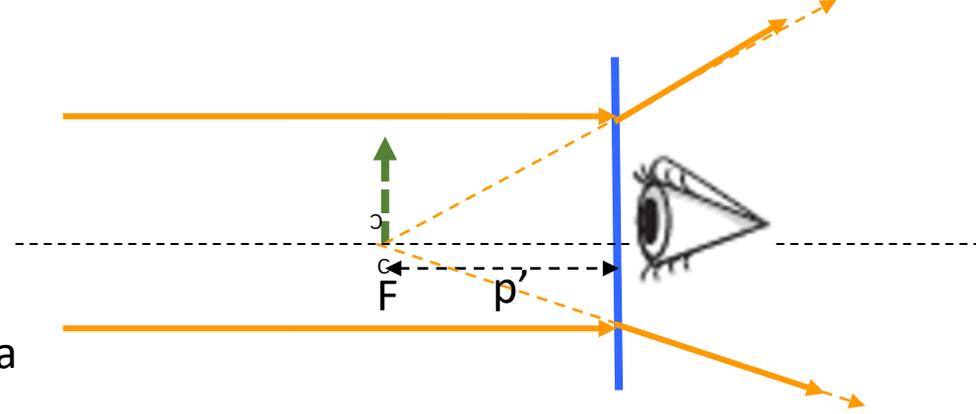
b) Ampliação:

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

Exemplo 2 - miopia

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

- a) Qual seria a distância focal da lente prescrita 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?



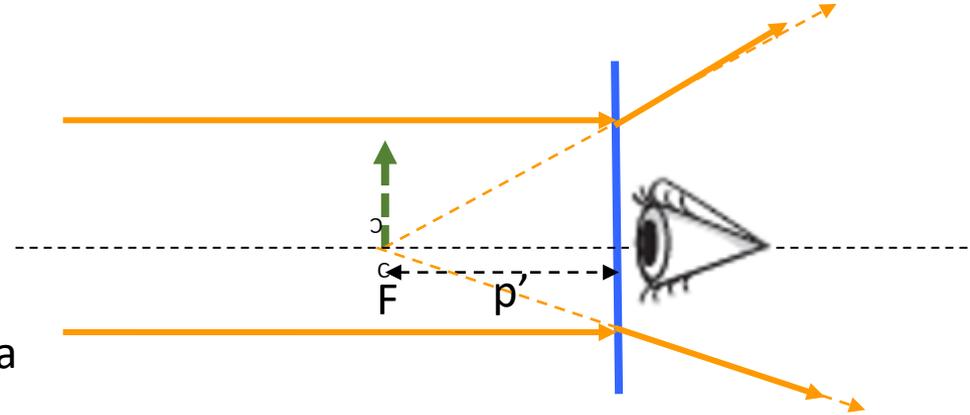
Exemplo 2 - miopia

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

a) Qual seria a distância focal da lente prescrita 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

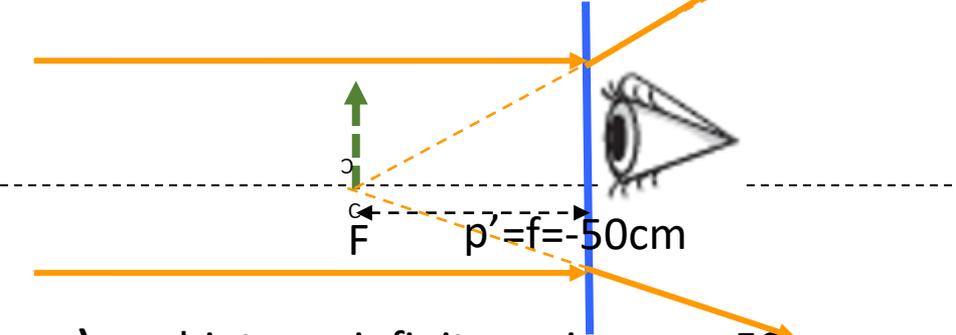


a) objeto no infinito \Leftrightarrow imagem 50 cm

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

Exemplo 2 - miopia

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



- a) Qual seria a distância focal da lente prescrita 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

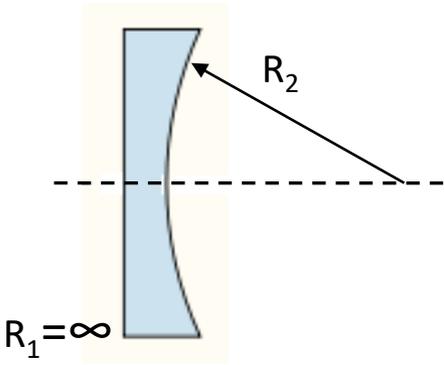
a) objeto no infinito \Leftrightarrow imagem 50 cm

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

$$f = -50cm = -0,5 m$$

A lente corretora deve ser divergente!

b) Potência da lente: $P = 1/f$ (f em metros)
 $f = -0,5m$ $P = -2$ dioptrias (grau -2,0)



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

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

$$R_2 = 25cm$$

Telescópios

sistema ótico refletor



sistema ótico refrator



sistema óptico refractor

Objetiva
Objective

Ocular
Eyepiece

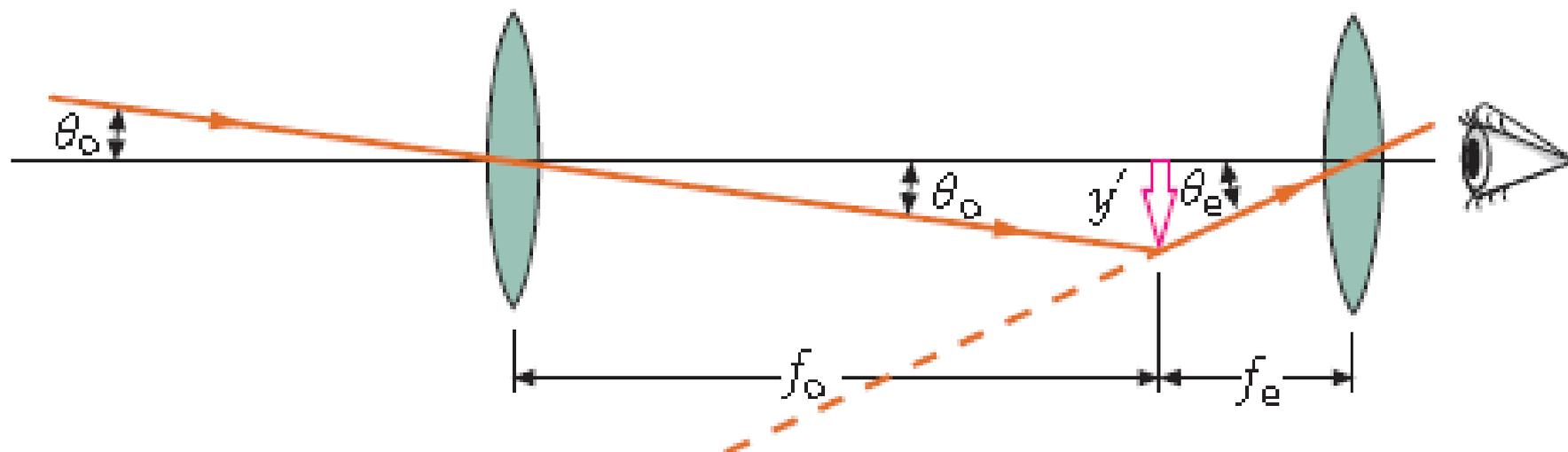
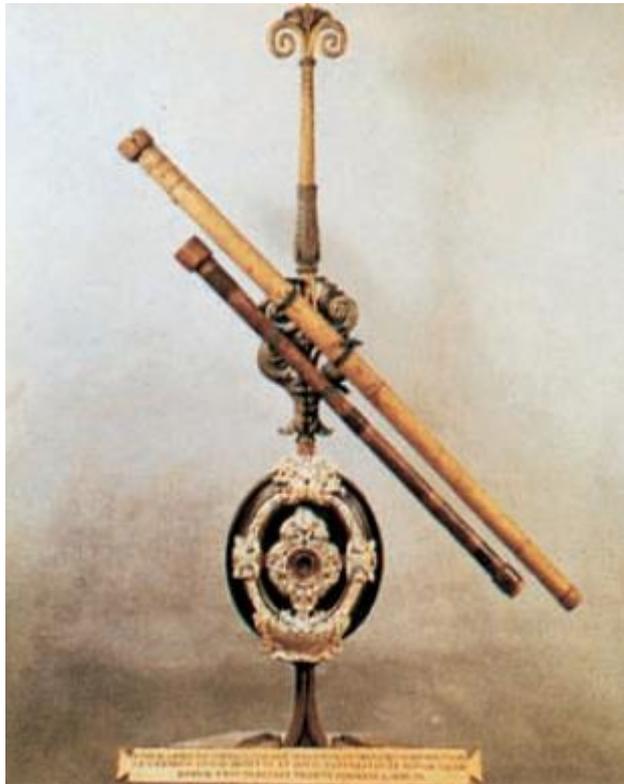


FIGURE 32-53 Schematic diagram of an astronomical telescope.

The objective lens forms a real, inverted image of a distant object near its second focal point, which coincides with the first focal point of the eyepiece. The eyepiece serves as a simple magnifier to view the image.

(a) Galileo's seventeenth-century telescope, with which he discovered mountains on the moon, sunspots, Saturn's rings, and the bands and moons of Jupiter



(Tipler)

Por que telescópios com espelhos e não lentes?

- * Lentes grandes deformam a imagem e são mais difíceis de serem construídas
- * Espelhos grandes captam mais luz, imagem mais clara, não deformam a imagem, e são mais leves.
- * Podem ser construídos com a montagem de muitos espelhos menores, possibilitando ajustes.

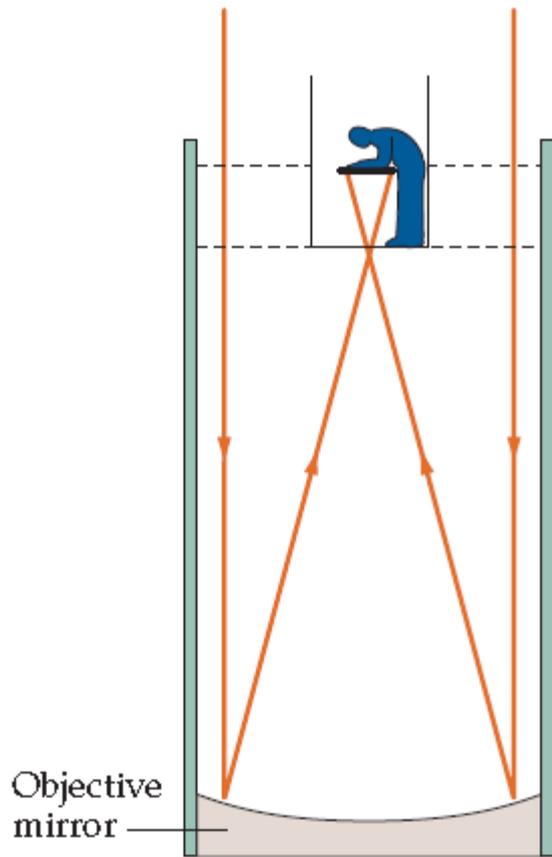
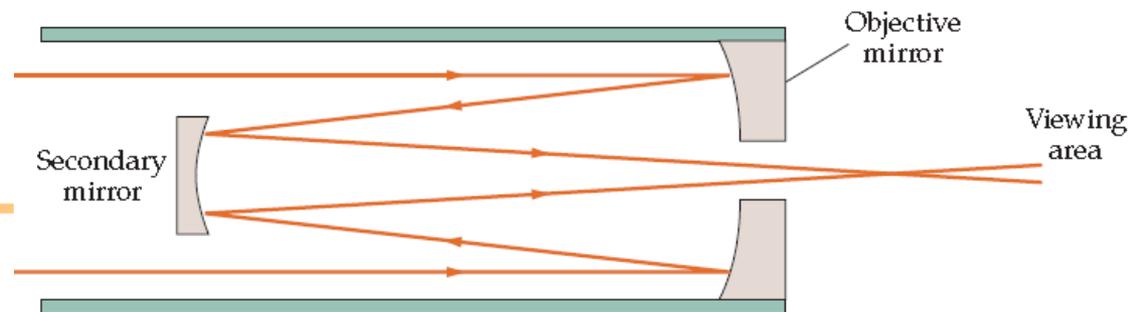


FIGURE 32-64 A reflecting telescope uses a concave mirror instead of a lens for its objective. Because the viewer compartment blocks off some of the incoming light, the arrangement shown here is used only in telescopes with very large objective mirrors.



(Tipler)

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)

Telescópio Espacial Hubble



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 gravidade:	8,169 m/s ²
Lançamento	24 de abril de 1990
Saída da órbita	Por volta de 2020
Massa	11.110 kg (~11 ton)

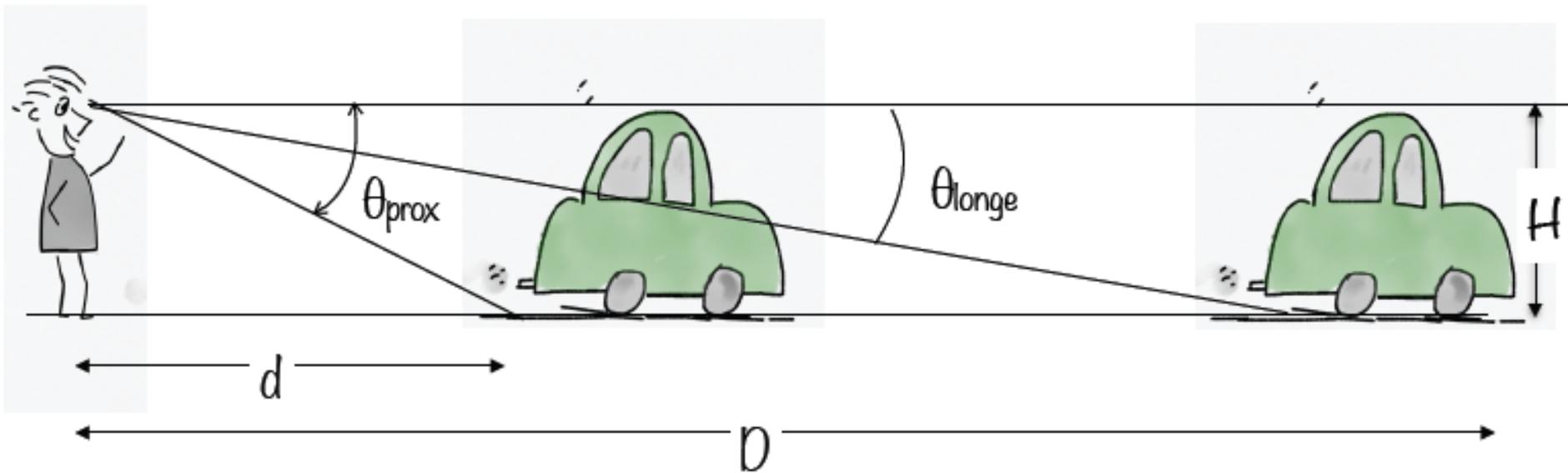
Edwin Powell **Hubble** foi o físico, astrônomo, quem primeiro viu, e discutiu, a expansão do universo.

Telescópio Espacial Hubble



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

Tamanho angular



$$\tan\theta_{prox} = H/d$$

$$\tan\theta_{longe} = H/D$$

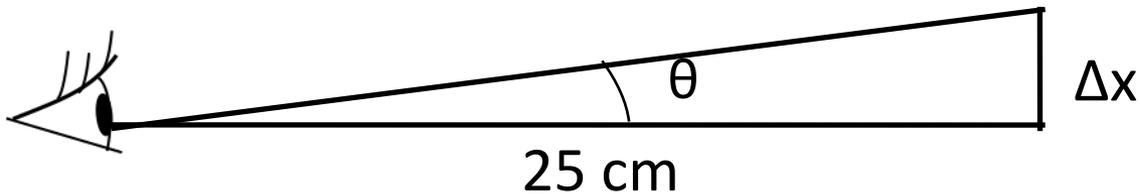
$$\theta_{prox} > \theta_{longe}$$

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 $\approx 1,5 \times 10^{-4}$ rad = $0,0086^\circ$ *

$$\tan\theta = (\Delta x)/(250 \text{ mm}) \approx \theta \text{ (em radianos)}$$

$$\tan\theta = (\Delta x)/(250 \text{ mm}) \approx \theta = 1,5 \times 10^{-4} \text{ radianos}$$

$$\Delta x \approx 1,5 \times 10^{-4} \times 250 \text{ mm}$$

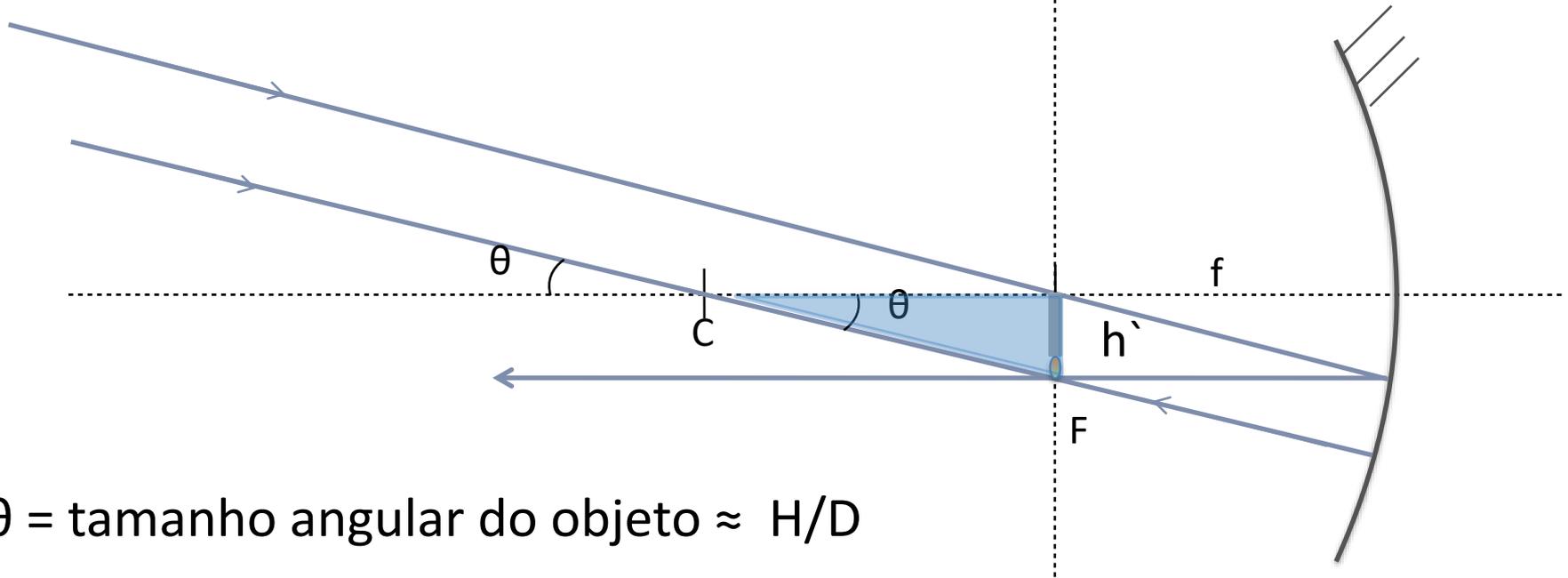
$$\Delta x \approx 0,04 \text{ mm}$$

Mínimo tamanho que conseguimos enxergar

* Tipler -cap.32

Vamos ver como calcular a **ampliação angular** de um telescópio refletor, isto é, de quanto o telescópio aumenta o **tamanho angular** do objeto

Objeto de tamanho H , a uma distância muito grande D (no infinito)



$$\theta = \text{tamanho angular do objeto} \approx H/D$$

$$\theta \approx h'/f$$

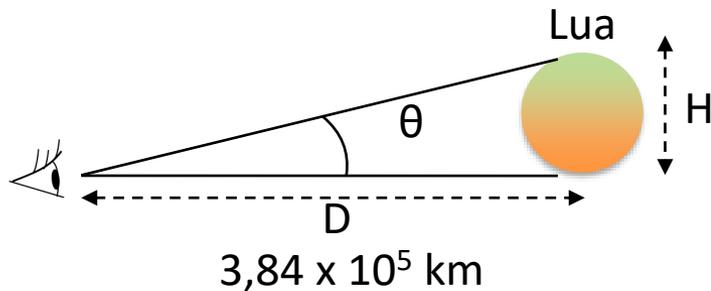
$\theta \approx H/D \approx h'/f$ então, sabendo H , D e f é possível calcular h'

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

Exemplo: 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

Diâmetro da Lua = $3,5 \times 10^3$ Km.



Vimos que $\theta \approx H/D \approx h'/f$

$$\theta \approx H/D = 3,5 \times 10^3 \text{ km} / (3,84 \times 10^5 \text{ km})$$

$$\theta \approx 9,1 \times 10^{-3}$$

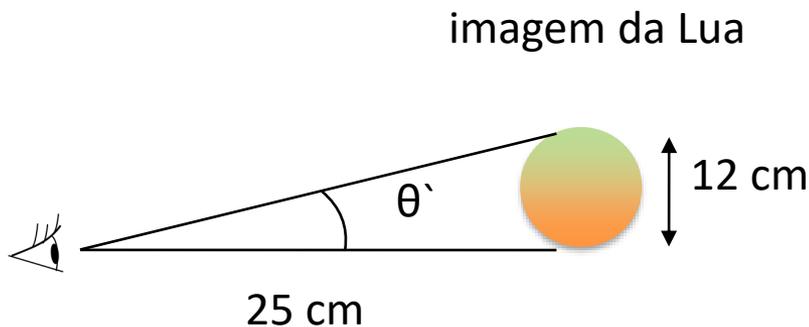
a imagem formada no telescópio terá um diâmetro h' \rightarrow $\theta \approx h'/f$

$$h' \approx 9,1 \times 10^{-3} \times (13 \text{ m}) \rightarrow h' \approx 1,18 \times 10^{-1} \text{ m} \rightarrow \boxed{h' \approx 12 \text{ cm}}$$

Comparando o **tamanho** do objeto e da imagem, vemos que a imagem é muito menor do que o objeto. Óbvio!

O que o telescópio faz é trazer para perto um objeto que está distante. Então, o que precisa ser avaliado é a **ampliação angular**.

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



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

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

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

O que vimos antes:

$$\theta \approx 9,1 \times 10^{-3}$$

Ampliação Angular: $M_{\theta} = \theta'/\theta$

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

$$M_{\theta} \approx 50$$

Microscópio composto

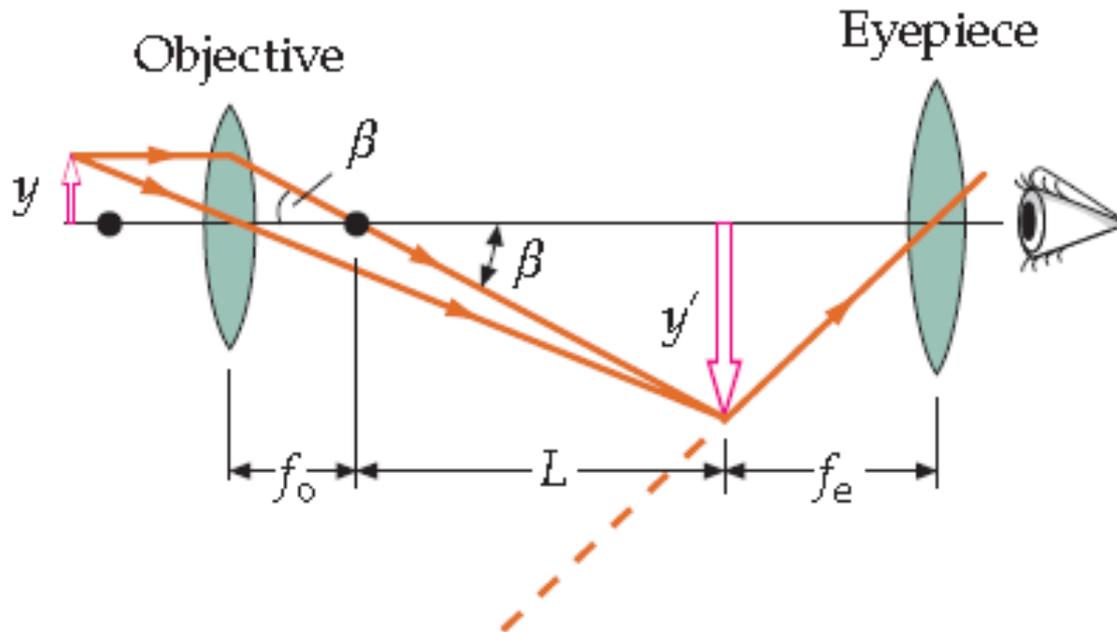


FIGURE 32-52 Schematic diagram of a compound microscope consisting of two positive lenses, the objective of focal length f_o and the eyepiece of focal length f_e . The real image of the object formed by the objective is viewed by the eyepiece, which acts as a simple magnifier. The final image is at infinity.

Microscópio composto

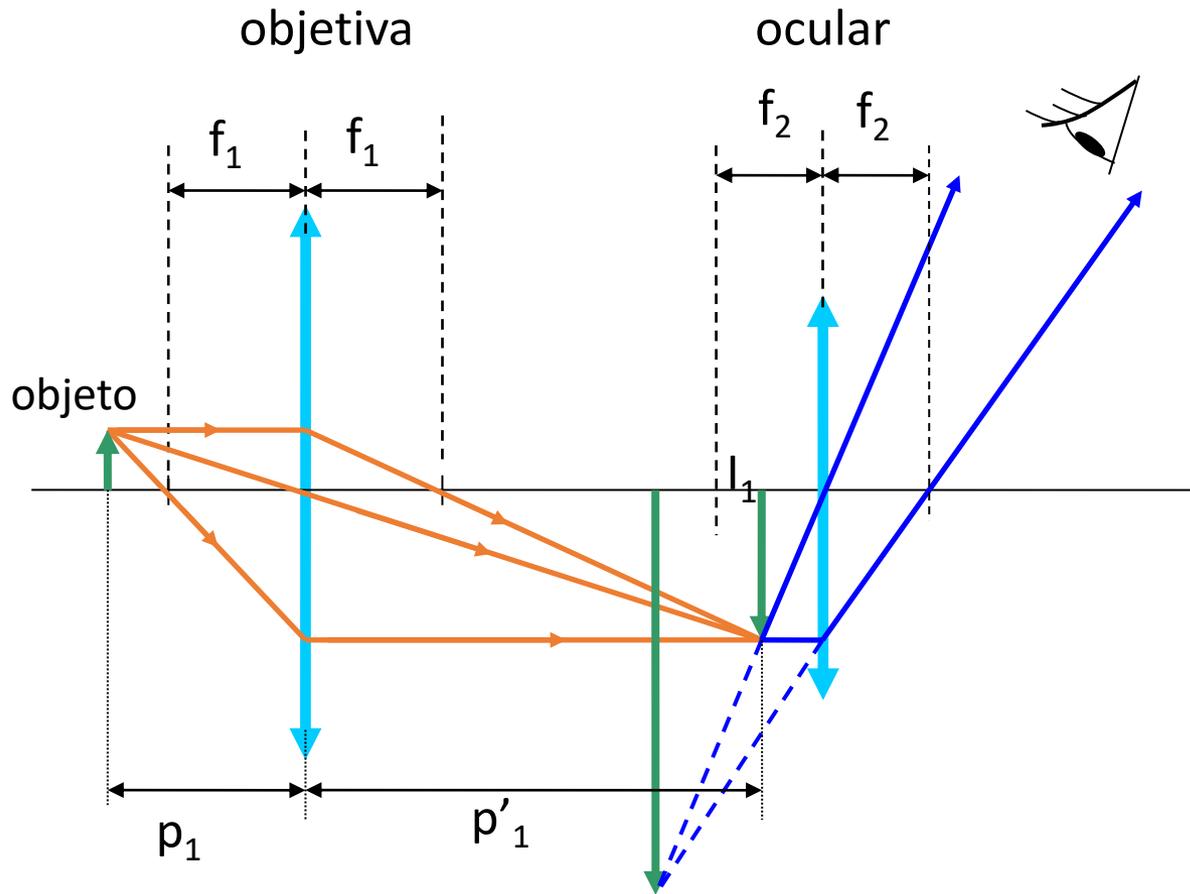


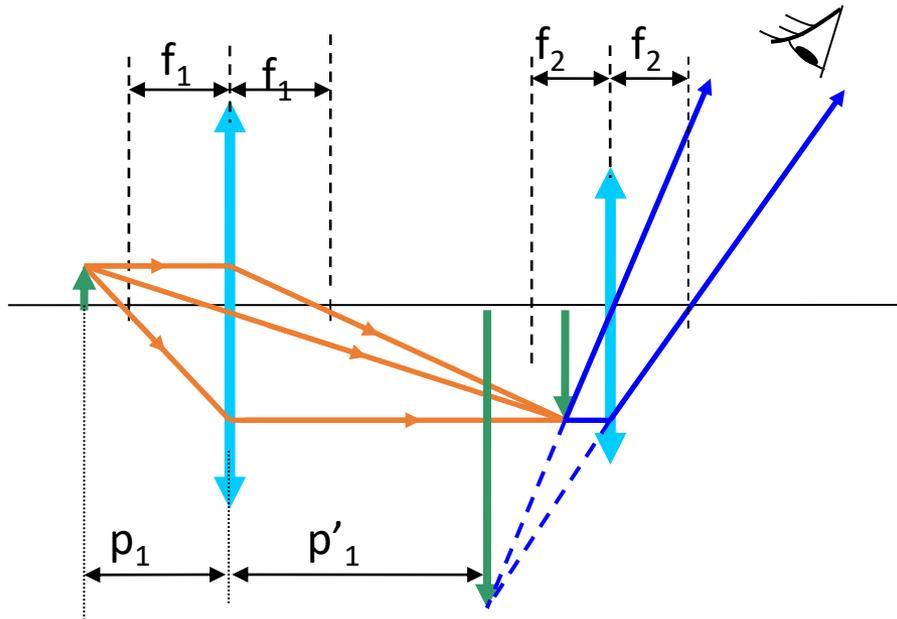
Imagem virtual, invertida

Aumento total=M

M=aumento transversal da objetiva x aumento angular da ocular ⑨

$$M=m_1 \cdot M_\theta$$

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



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

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

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

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 separação mínima entre dois pontos que pode ser resolvida por esse microscópio?

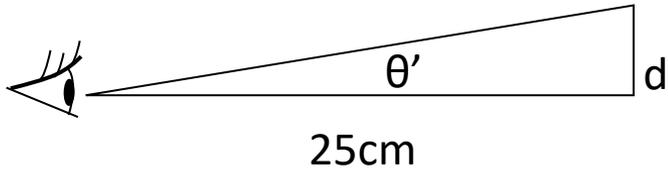
f_1 e f_2 são positivos pois ambas as lentes são convergentes e p'_1 é positivo porque a imagem formada pela objetiva é real.

Temos: $p'_1=16,5\text{cm}$, $f_1=0,5\text{cm}$ e $f_2=2,6\text{cm}$

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

continua





Na imagem observada, para $d=0,1$ mm

$$\text{tg}\theta' \approx \theta' = (0,1 \text{ cm}) / (25 \text{ cm}) (0,004 \text{ rad})$$

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

$$\theta = -\frac{0,004}{-317} = 1,3 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

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

$$d' = (25 \text{ cm}) \cdot \theta \Rightarrow d' = (25 \text{ cm}) \cdot 1,3 \times 10^{-5}$$

$$d' = 3,3 \times 10^{-4} \text{ cm} = 3,3 \mu\text{m}$$

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

Exercícios para entregar:

1. 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 a potência 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?
 2. Qual a diferença entre um telescópio e um microscópio?
 3. Quais os tipos de lentes usados em um telescópio de refração?
 4. E em um microscópio?
- (Certifique-se que VOCÊ entende bem porque esses dois instrumentos usam essas lentes. E como eles as usam de maneiras diferentes)