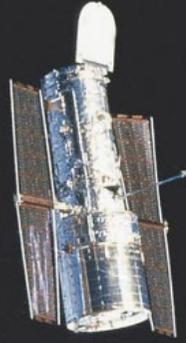


Telescópios



HST



VLT

Telescópios Ópticos

Duas categorias:

Refratores

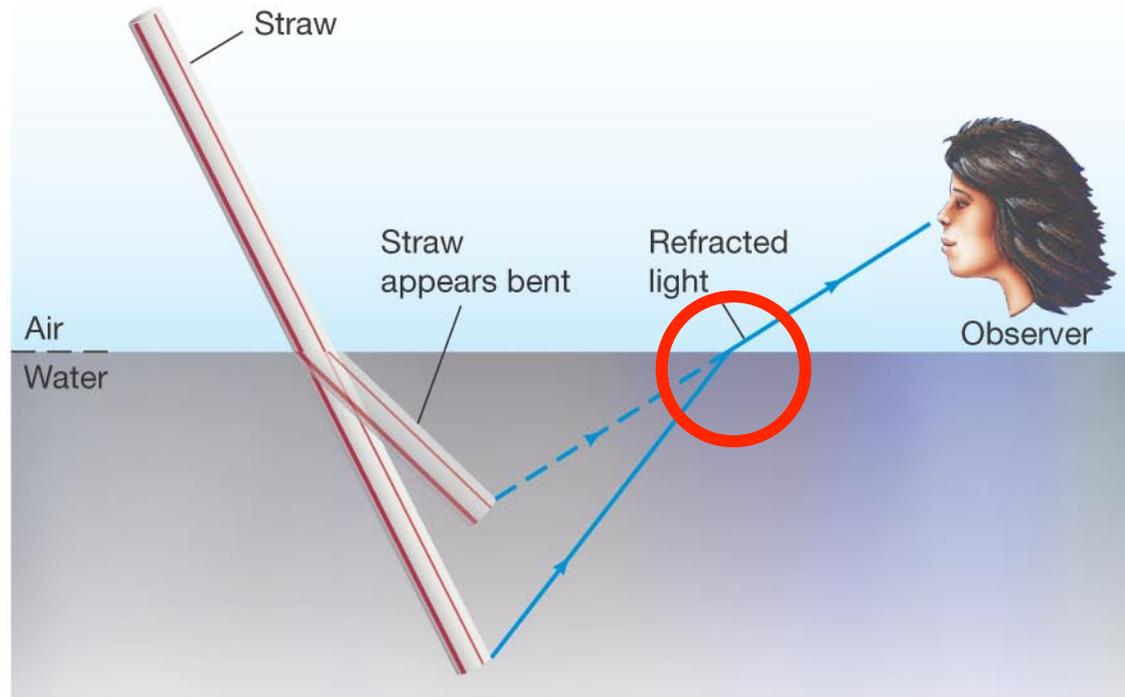
Refletores

Princípio da refração



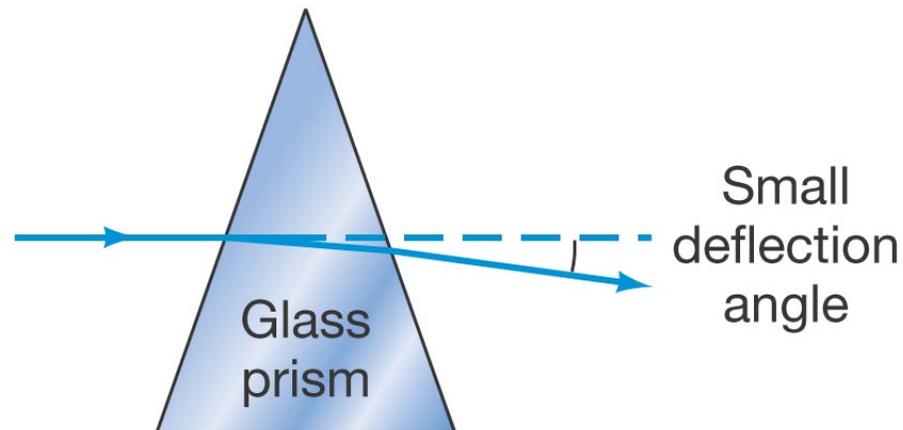
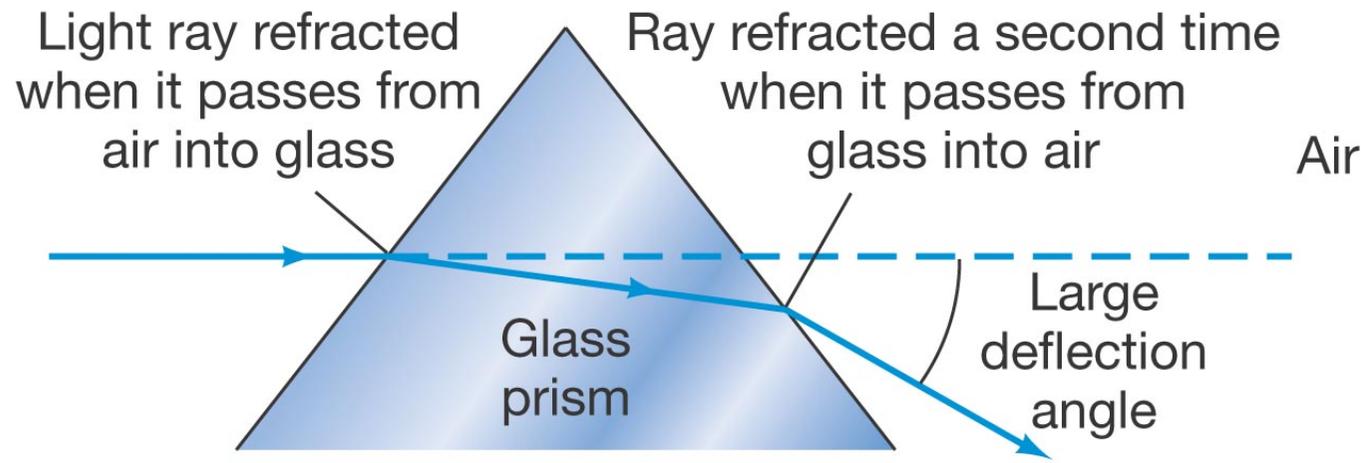
(a)

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.



(b)

Mudança de direção da luz quando atravessa diferentes meios

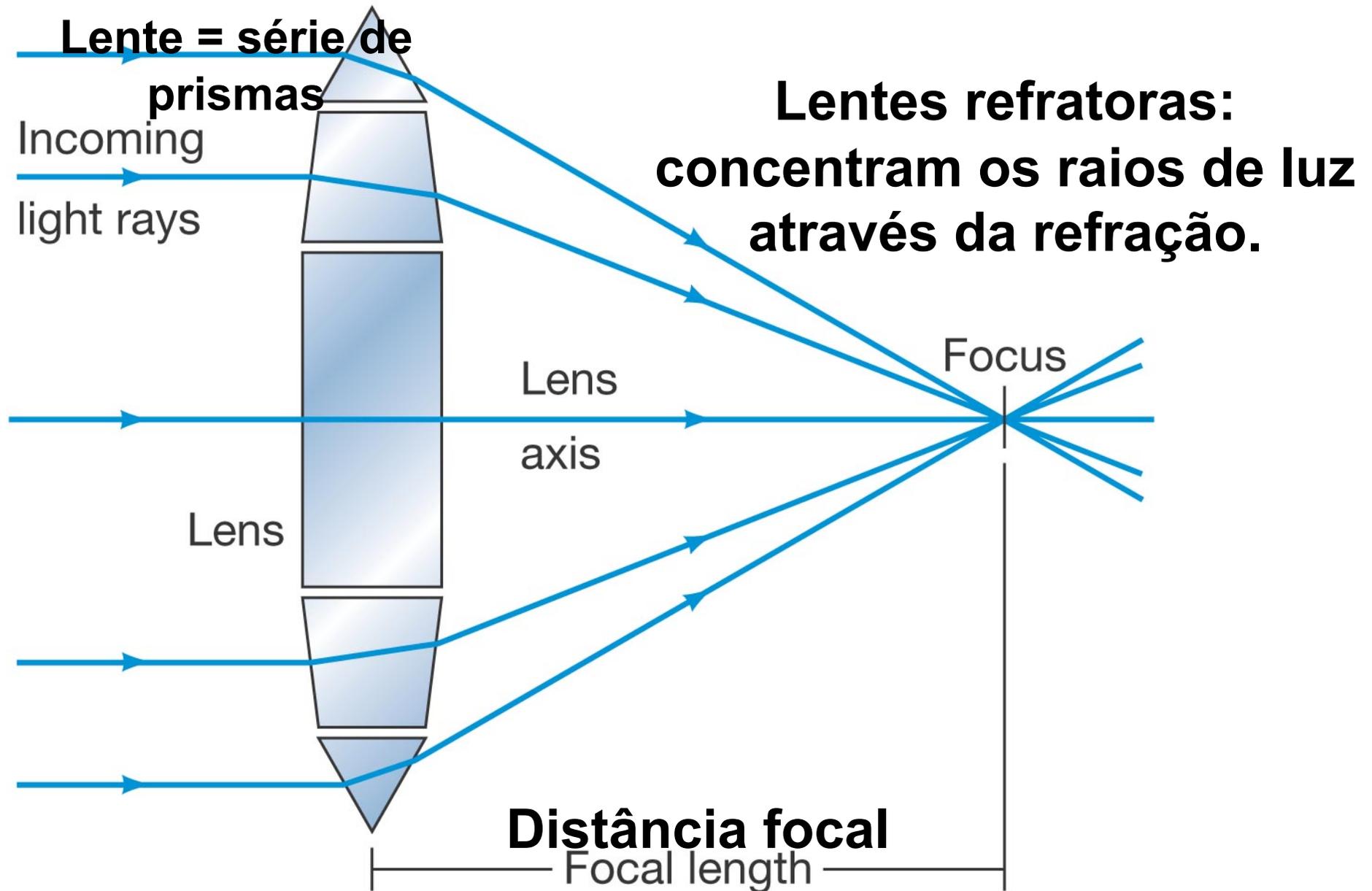


(a)

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

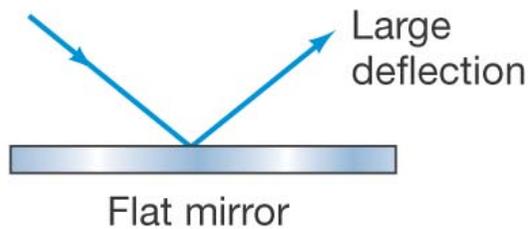
Em um prisma o ângulo de refração depende do ângulo entre suas faces.

Telescópios Refratores

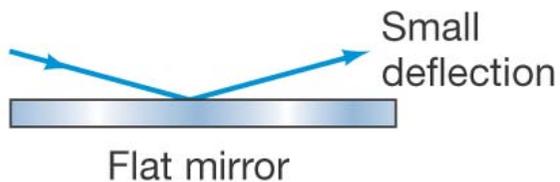


Telescópios Refletores

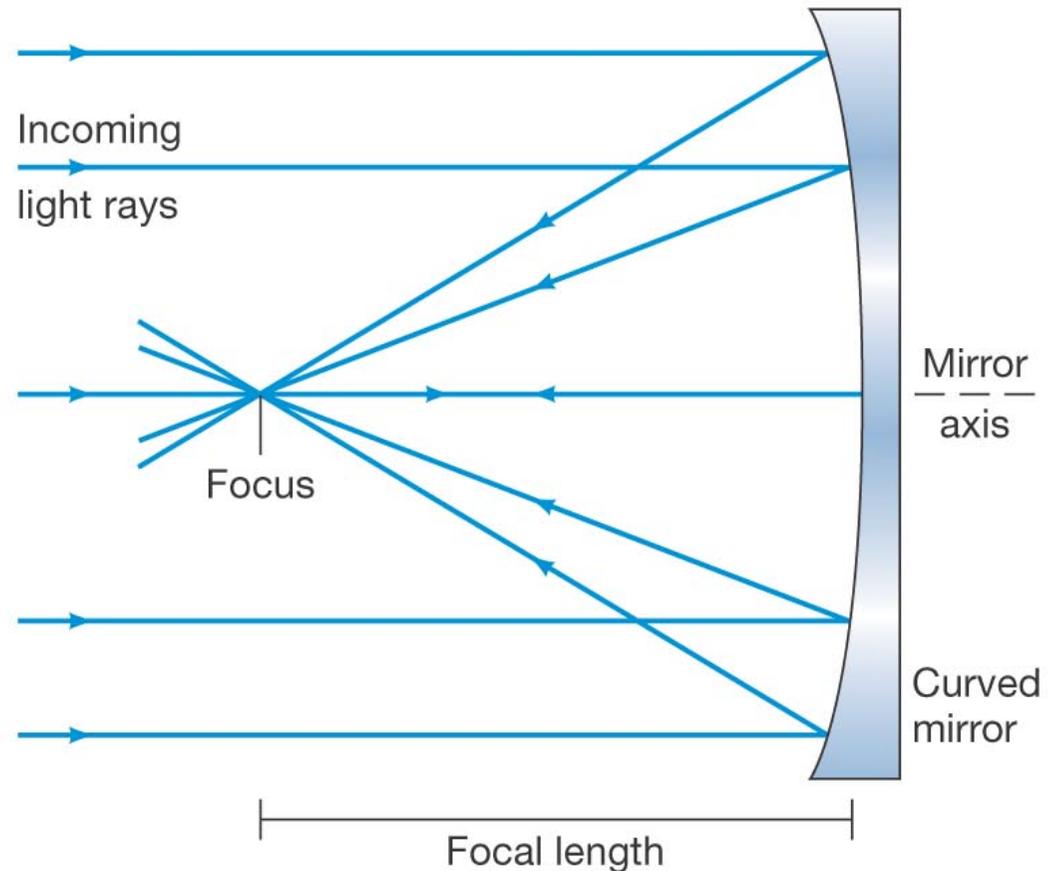
Espelho curvo: concentra os raios de luz através da reflexão em ângulos diferentes



Reflexão depende do ângulo de incidência



(a)



(b)

Razão Focal:

$f = F / D$ distância focal/diâmetro do espelho

Ex. 1:

F=1m; D=20cm

Notação $R_f = \text{“f/5”}$

$$f = \frac{F}{D} = \frac{1}{0,2} = 5$$

Razões menores são de melhor proveito para observações de objetos mais fracos, como nebulosas e galáxias. Já razões muito maiores com dezenas de metros são destinadas exclusivamente para observação solar.

O ideal para o iniciante é ter um aparelho versátil, portanto algo em torno de $f/d = 11$. Com essa razão é possível aproveitar o céu profundo, lua e planetas com boa qualidade.

Escala de Placa: determina tamanho linear de imagens de objetos extensos: 1 rad(em graus)/ distância focal

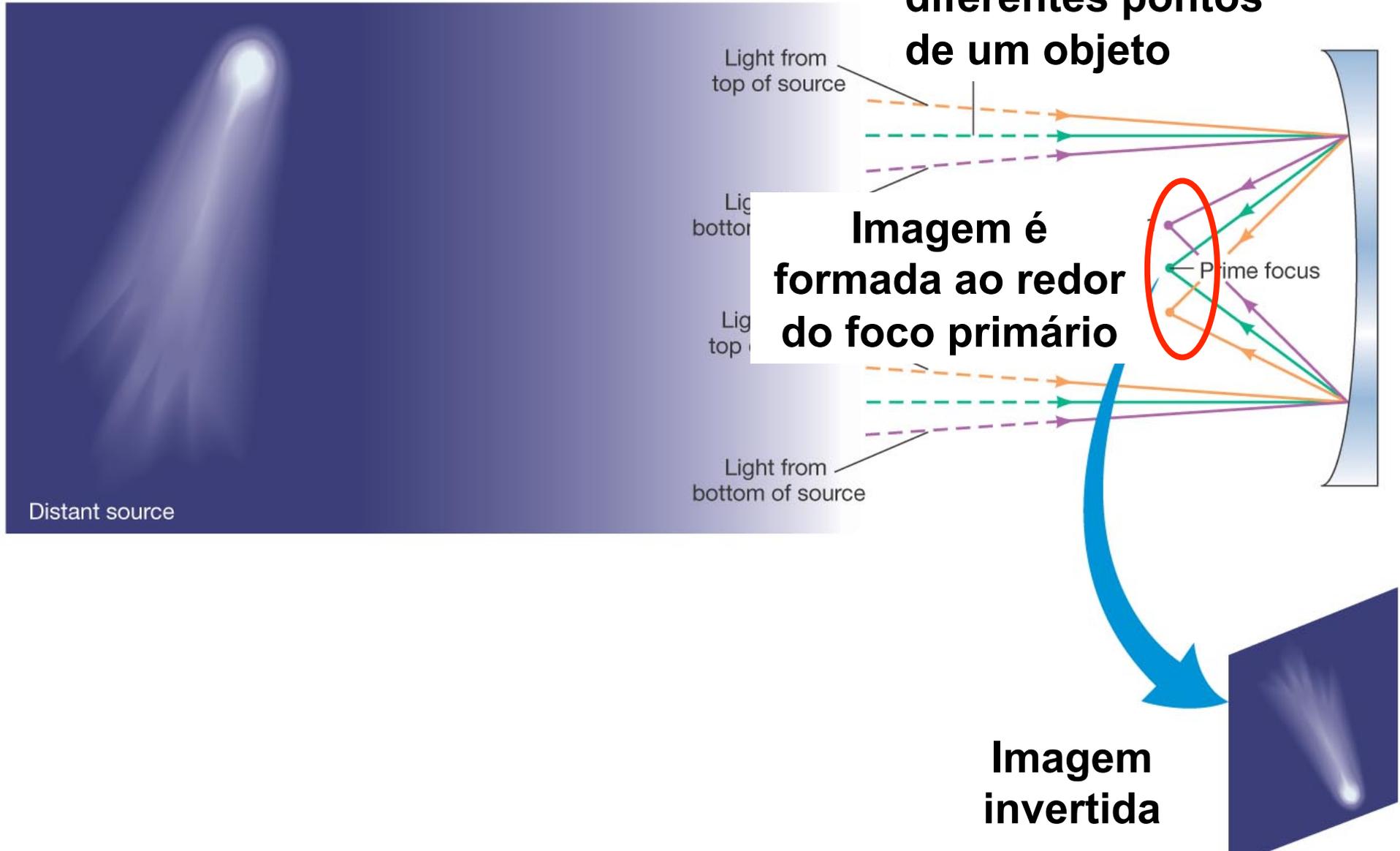
f/13 com D = 60 cm:

$$\frac{F}{D} = 13 \rightarrow F = 13 \times 60 = 780 \text{ cm}$$

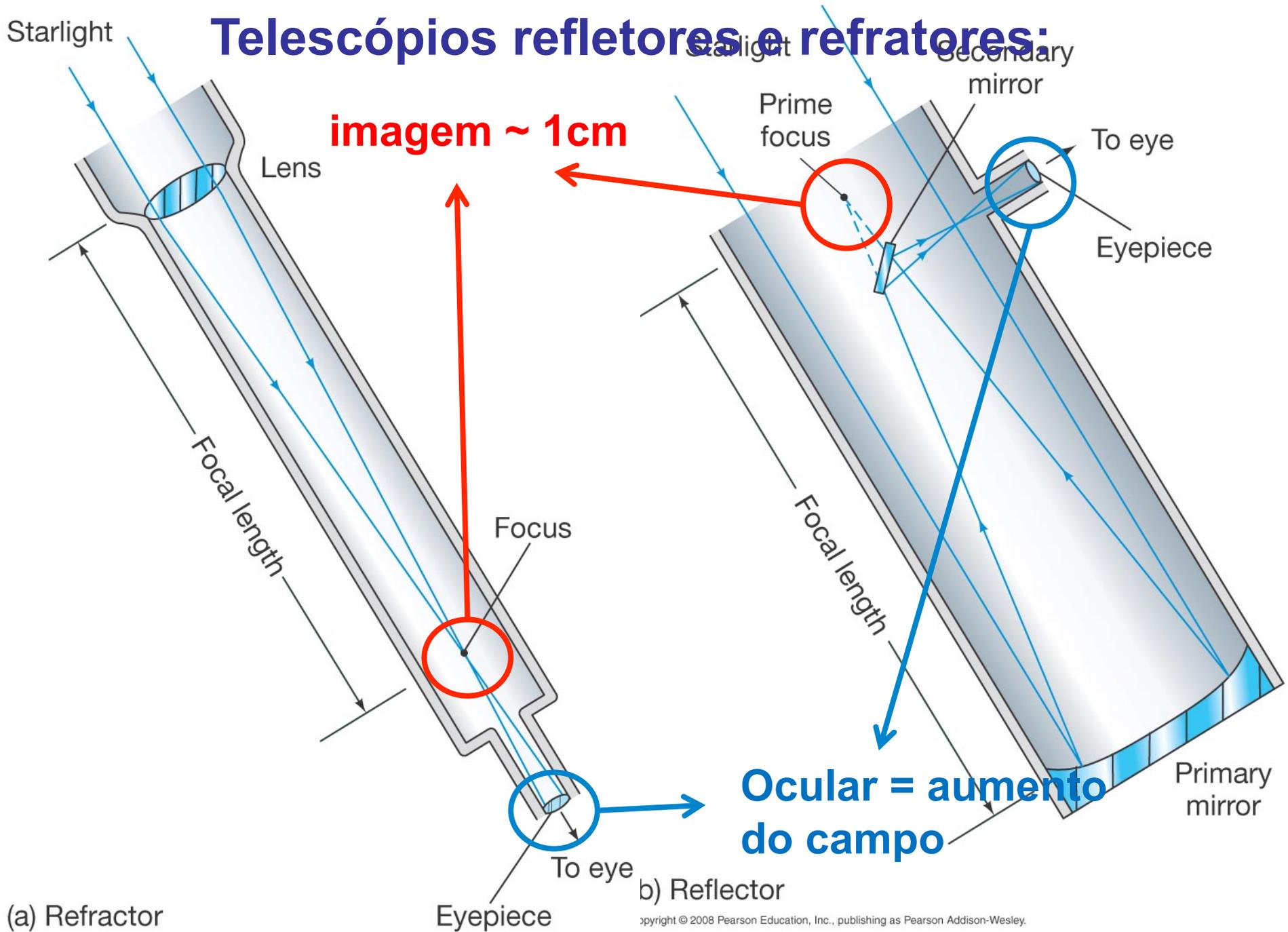
Escala = 57.296° /780cm = 0.07°/cm

Telescópios Refletores

Luz vinda de diferentes pontos de um objeto



Telescópios refletores e refratores:

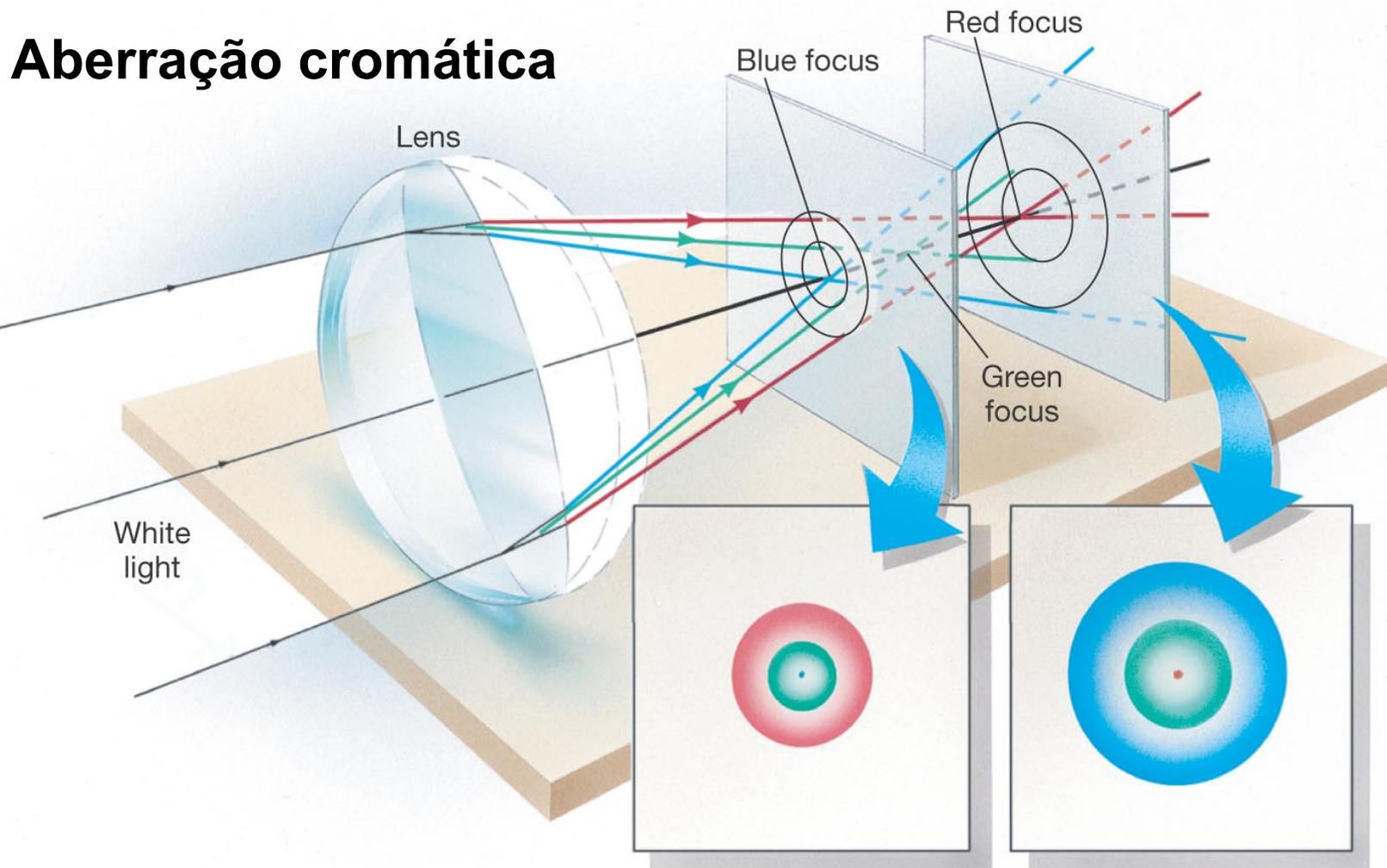


(a) Refractor

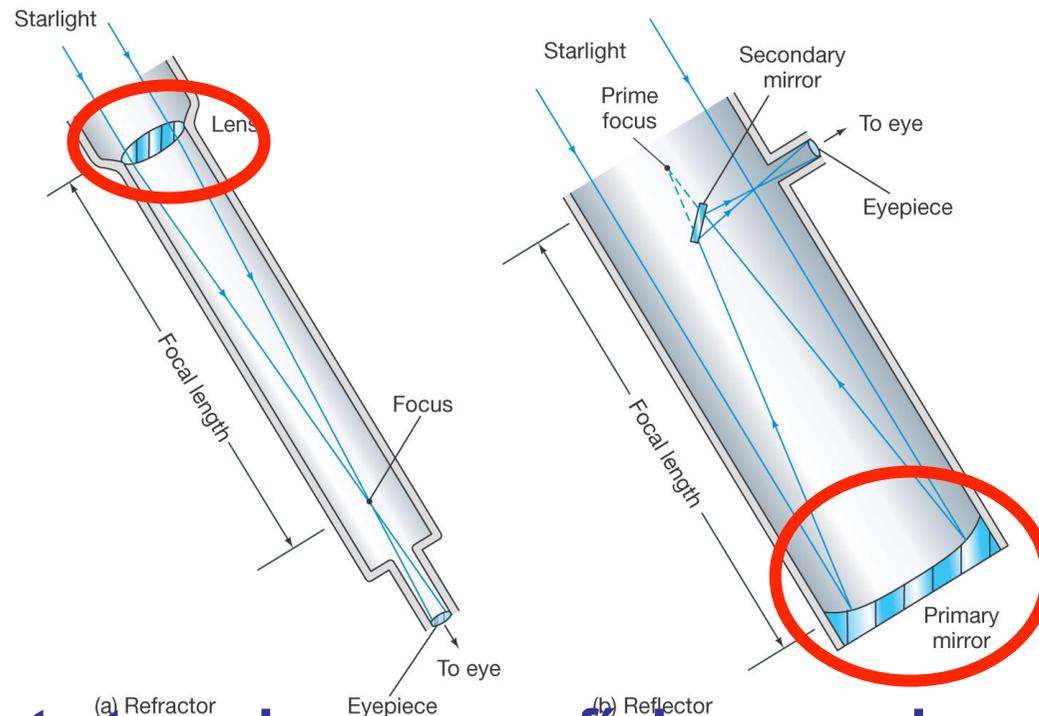
b) Reflector

Telescópios Modernos são todos refletores

- O ângulo de refração varia com o comprimento de onda (não ocorre com espelhos)



- Luz é absorvida parcialmente quando passa pelas lentes (pior para radiação UV e IR onde ocorre maior absorção pelo vidro) (não ocorre com espelhos)
- Lentes maiores podem ser muito pesadas e podem somente ser sustentadas pelas suas bordas



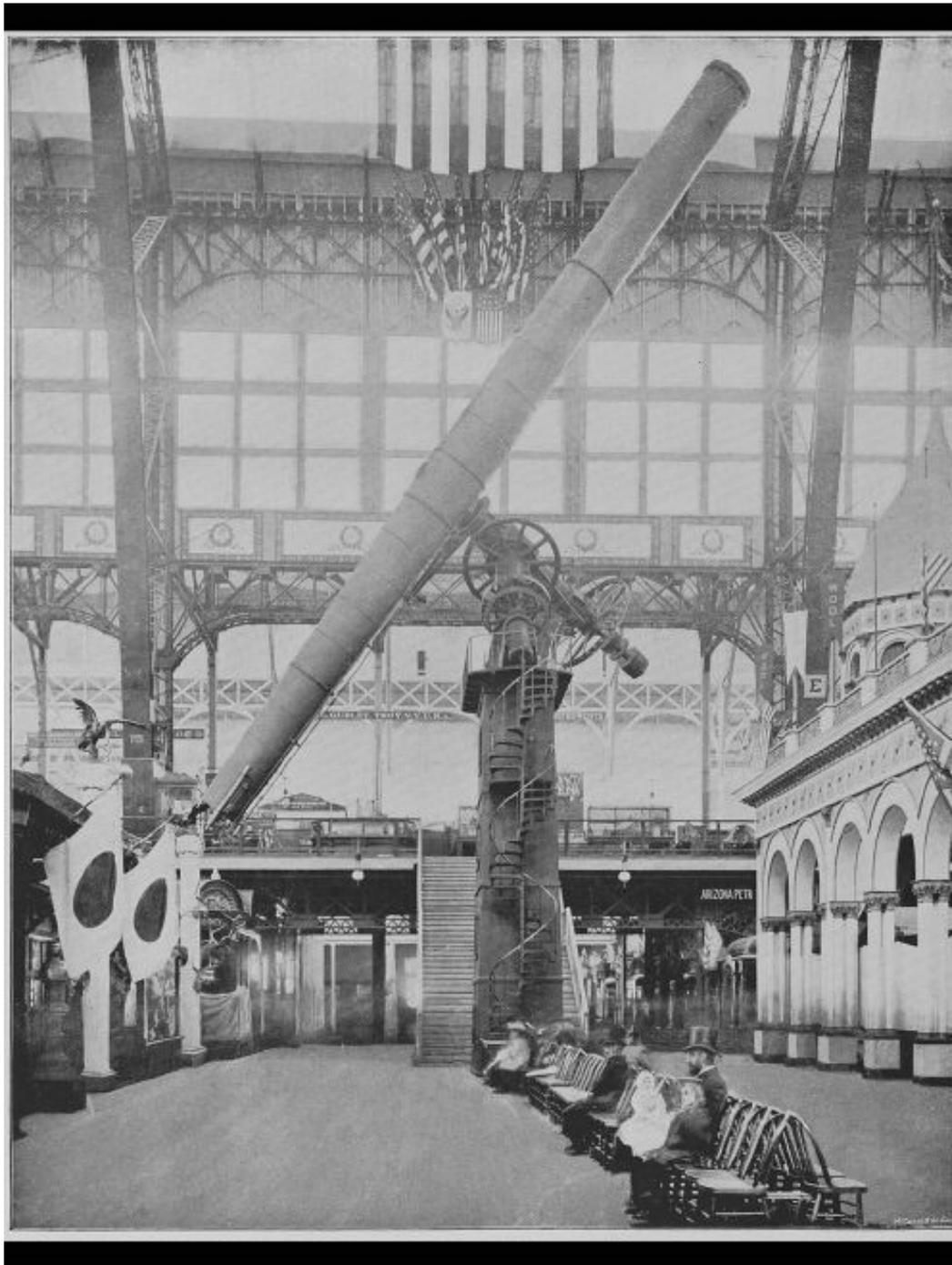
- Uma lente tem duas superfícies que devem ser montadas e polidas (manutenção mais difícil), o espelho só tem uma.



Maior refrator construído: Yerkes (1896)

40'' = 1 m de diâmetro

A construção deste telescópio se revelou ser o limite da tecnologia dos refratores: o par de lentes objetivas é muito pesado e tende a se deformar pelo seu próprio peso. Além disso, ele é muito espesso e impede uma grande fração da luz incidente de atravessar.

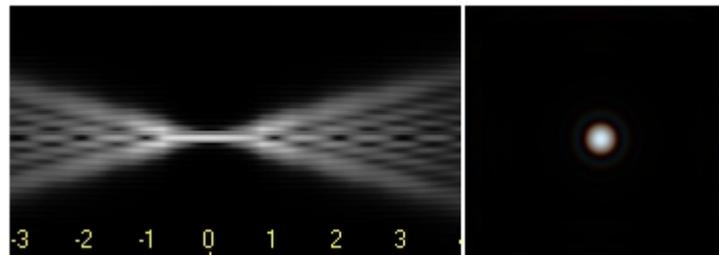
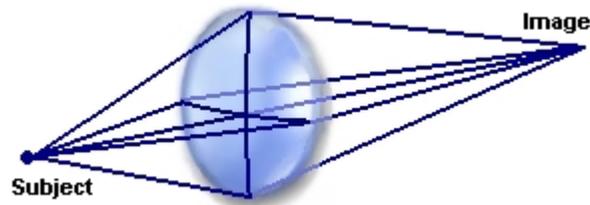


Yerkes

**Foto feita durante a
Exposição Internacional
em Columbus, Ohio, em
1893**

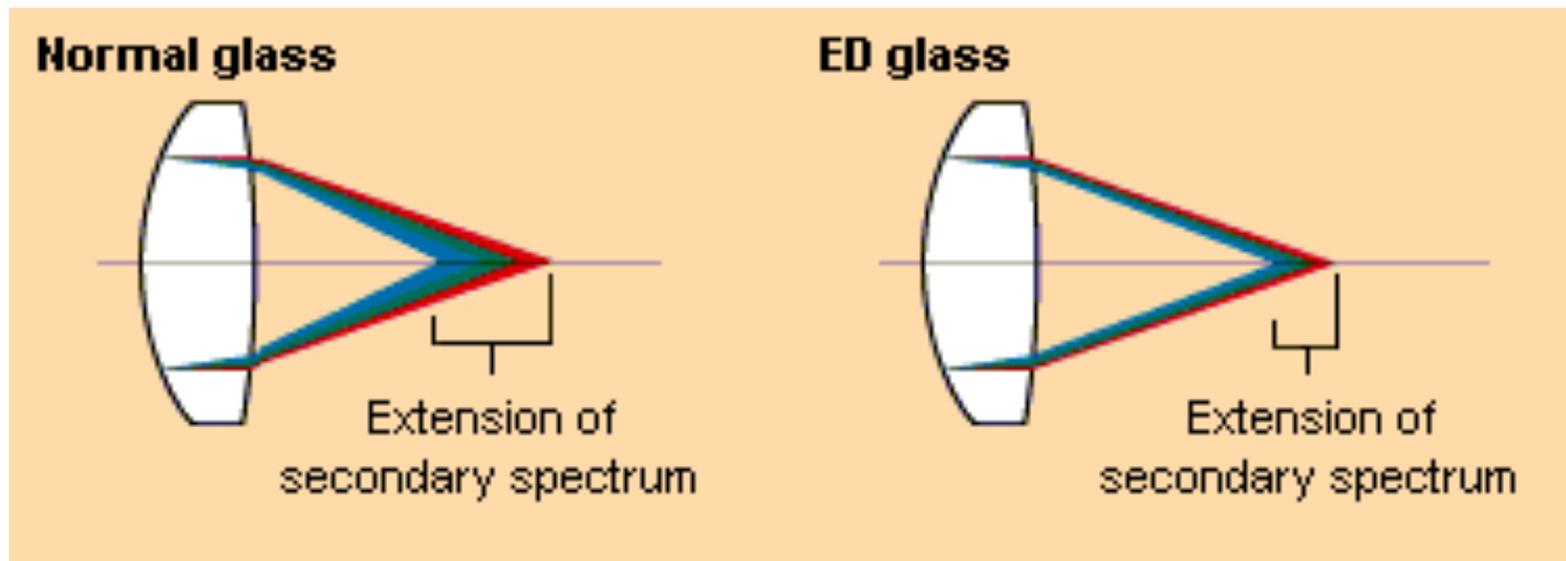
Aberrações

Imagem sem aberração:

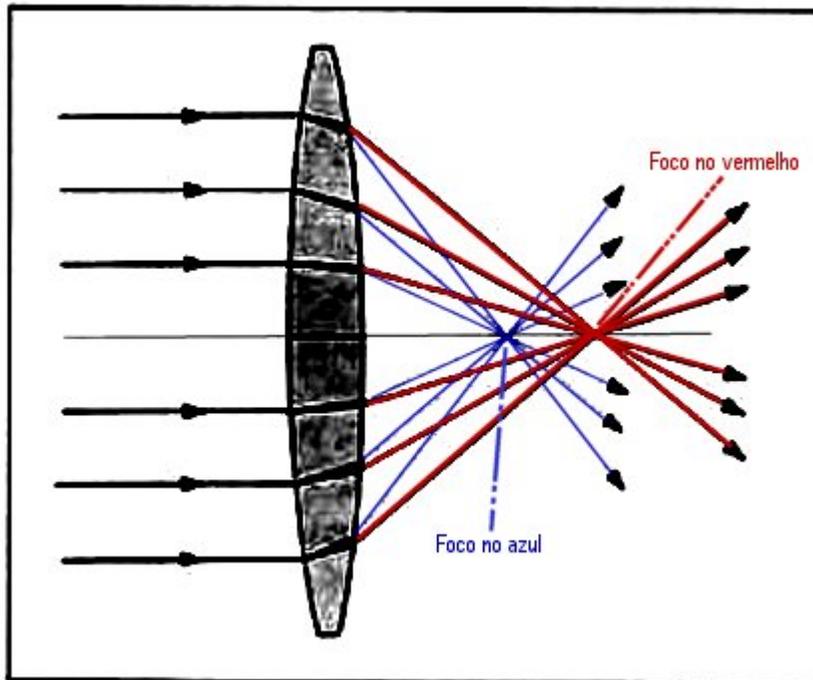


**Disco de Airy de
uma imagem de
teste, sem
distorção**

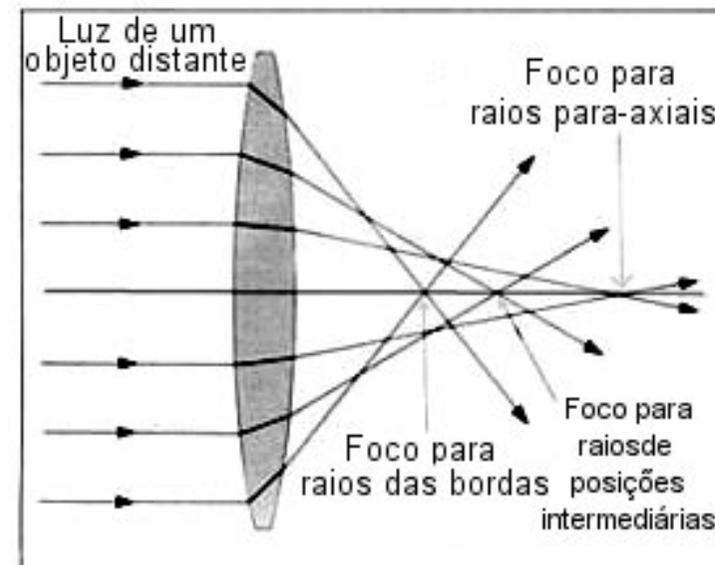
Aberração cromática: diferente para distintos materiais

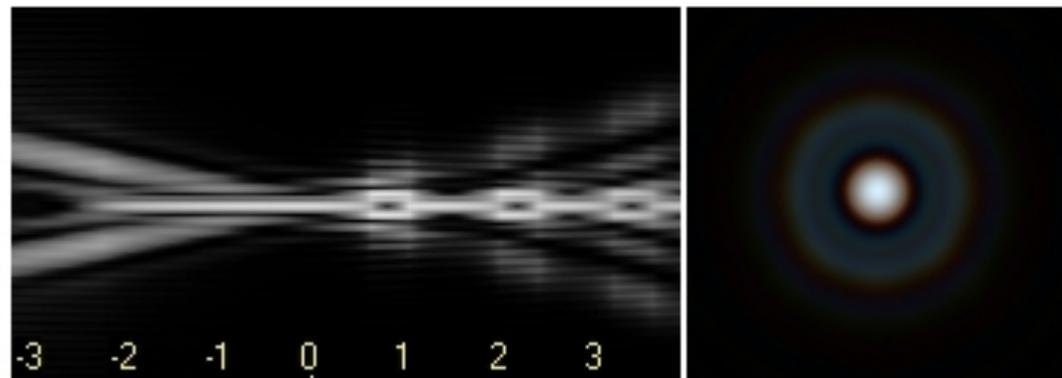
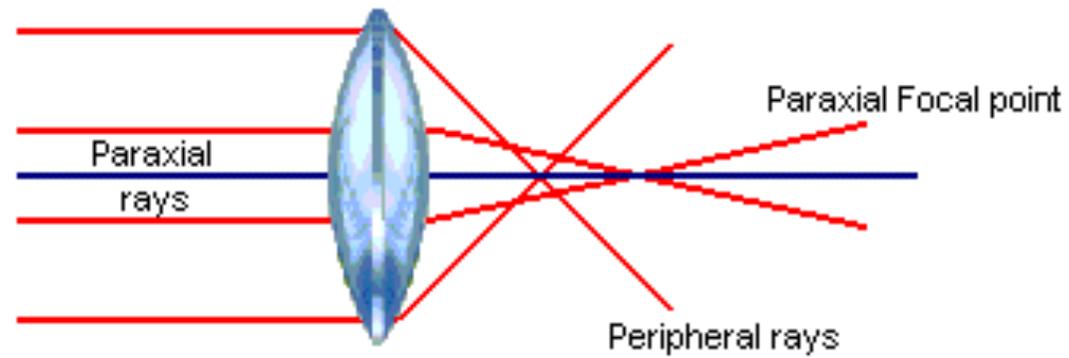


Aberração cromática

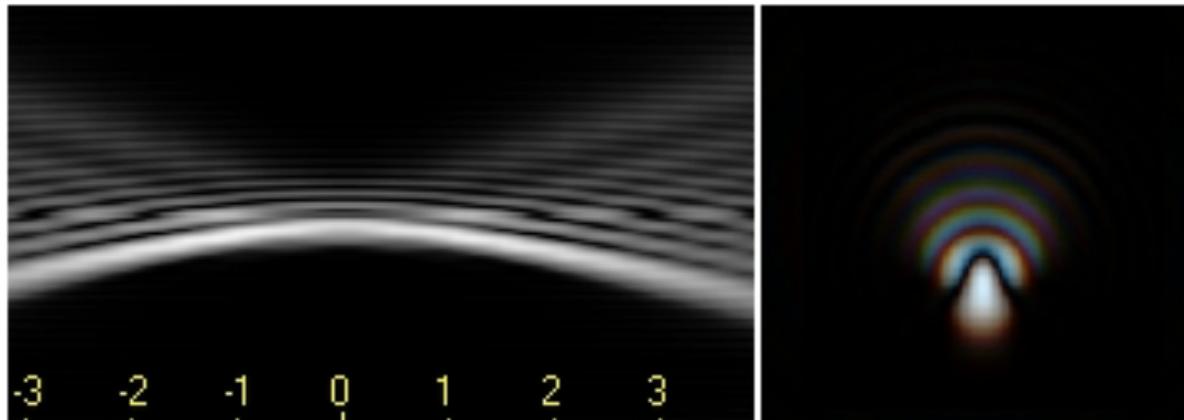
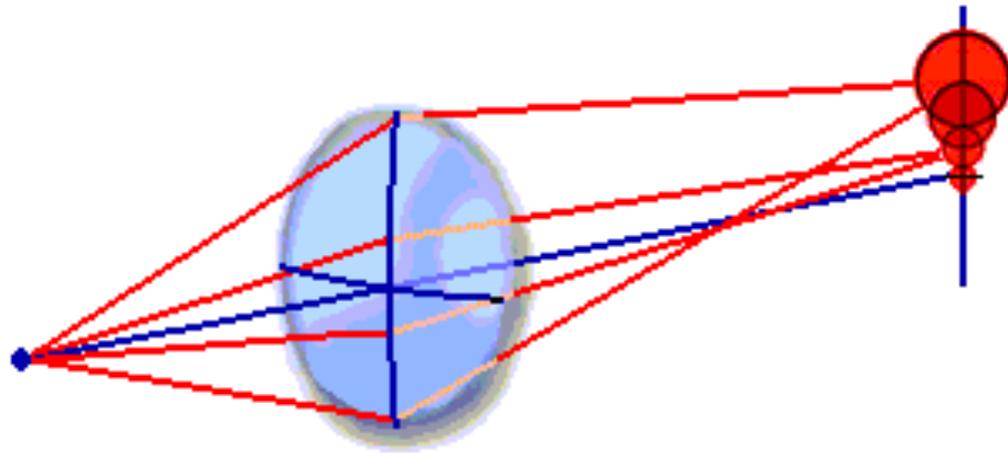


Aberração geométrica

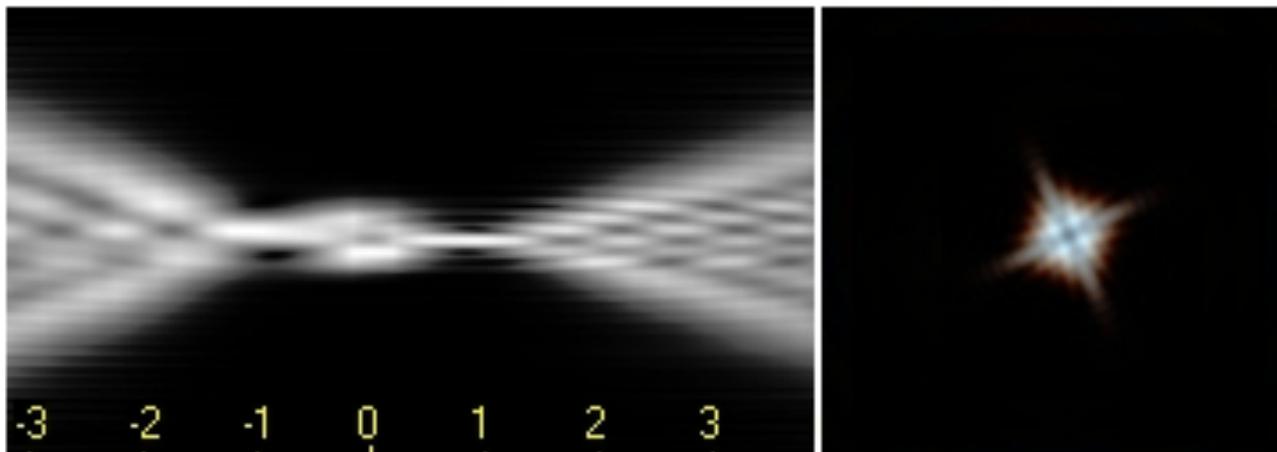
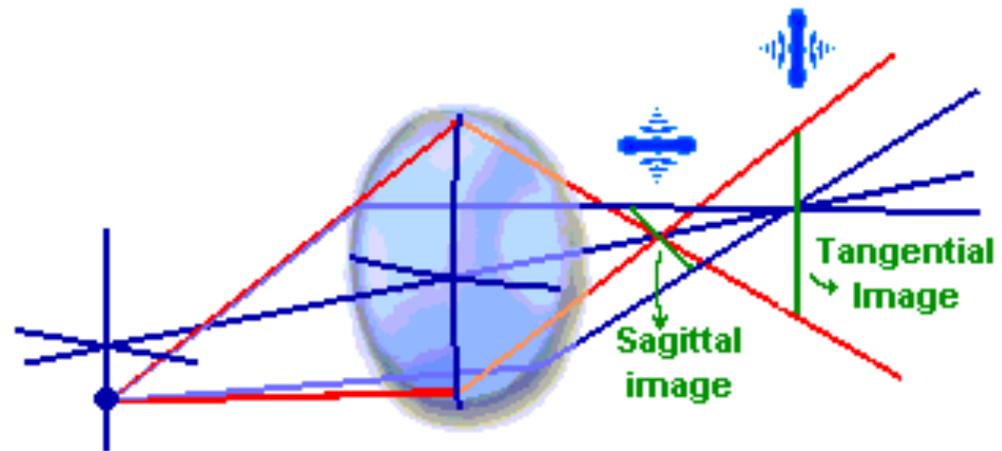




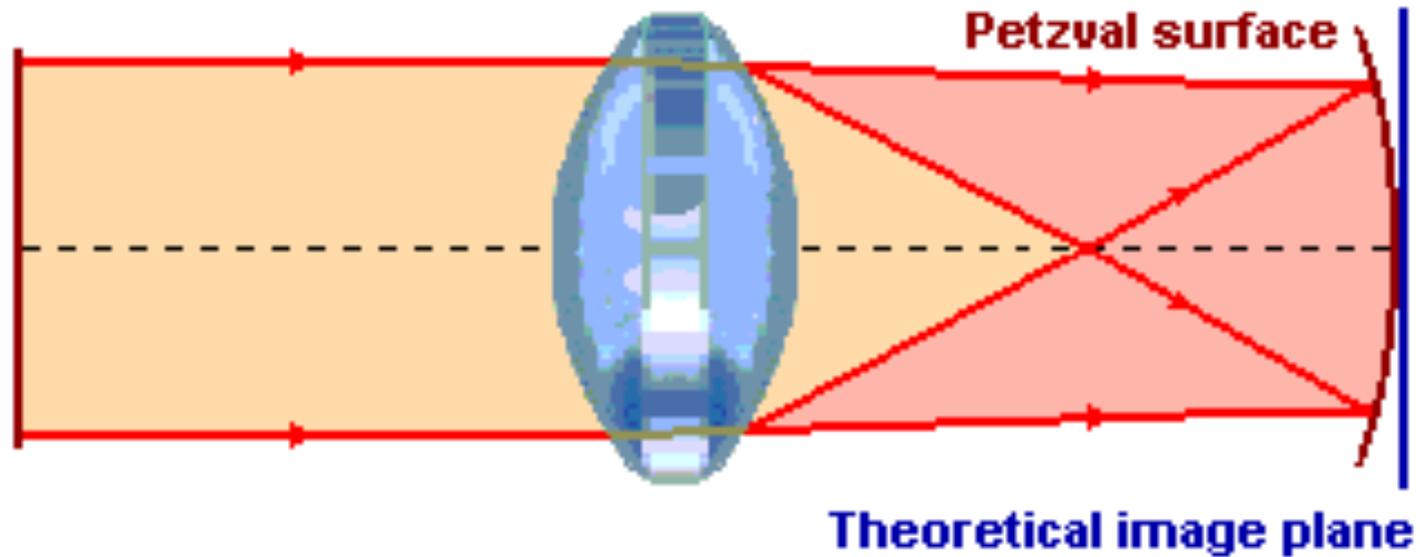
Aberração esférica, mostrando raios vindo de distintos pontos da lente convergindo em distâncias focais distintas



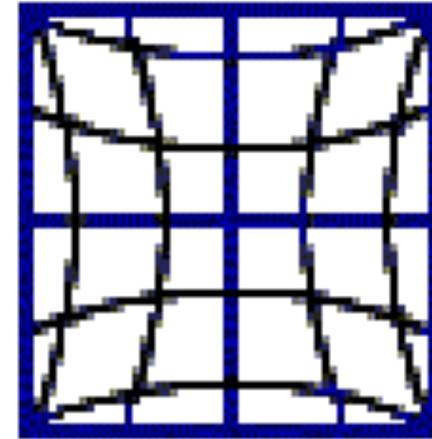
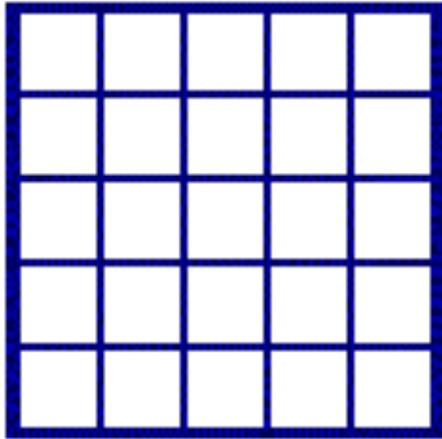
Coma: a imagem tem a forma de um “cometa”; depende da qualidade do polimento da lente ou espelho e é dependente da abertura; sendo mais importante para objetos no bordo externo da imagem



Astigmatismo: causado por não-esfericidade da lente ou espelho, não depende da abertura

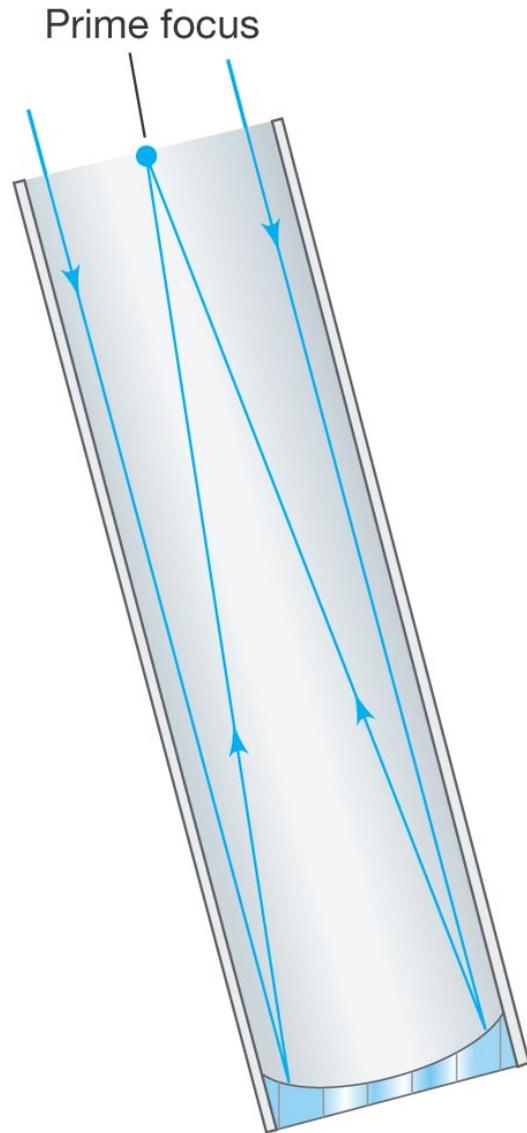


Curvatura do campo: o plano focal verdadeiro é curvo devido às diferentes trajetórias dos raios de luz paraxiais ou das bordas. Em função disto, o campo pode ficar desfocado nas extremidades



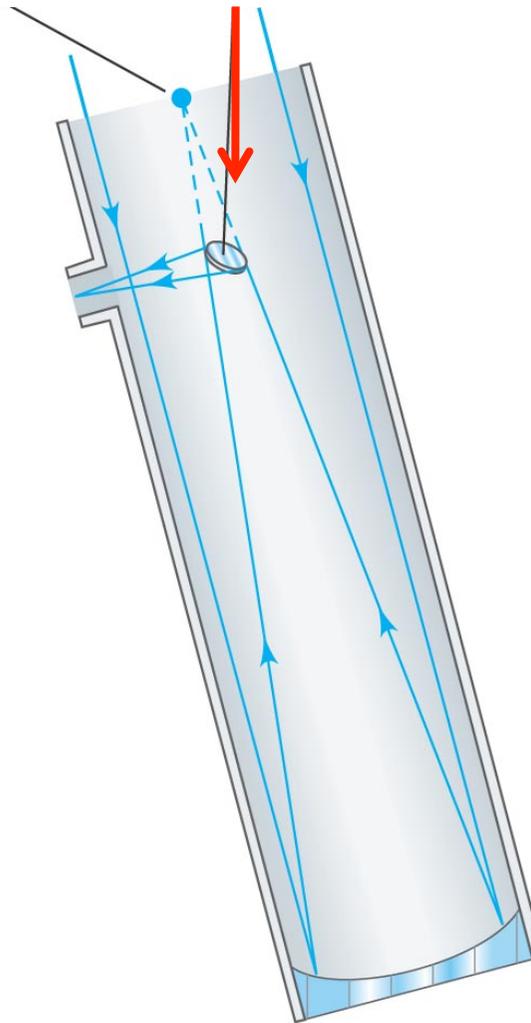
Distorção: incapacidade de um sistema óptico de reproduzir um campo retilíneo; não altera as cores ou o foco, mas distorçe a imagem

Telescópios refletores



(a) Prime focus

ii Espelho secundário

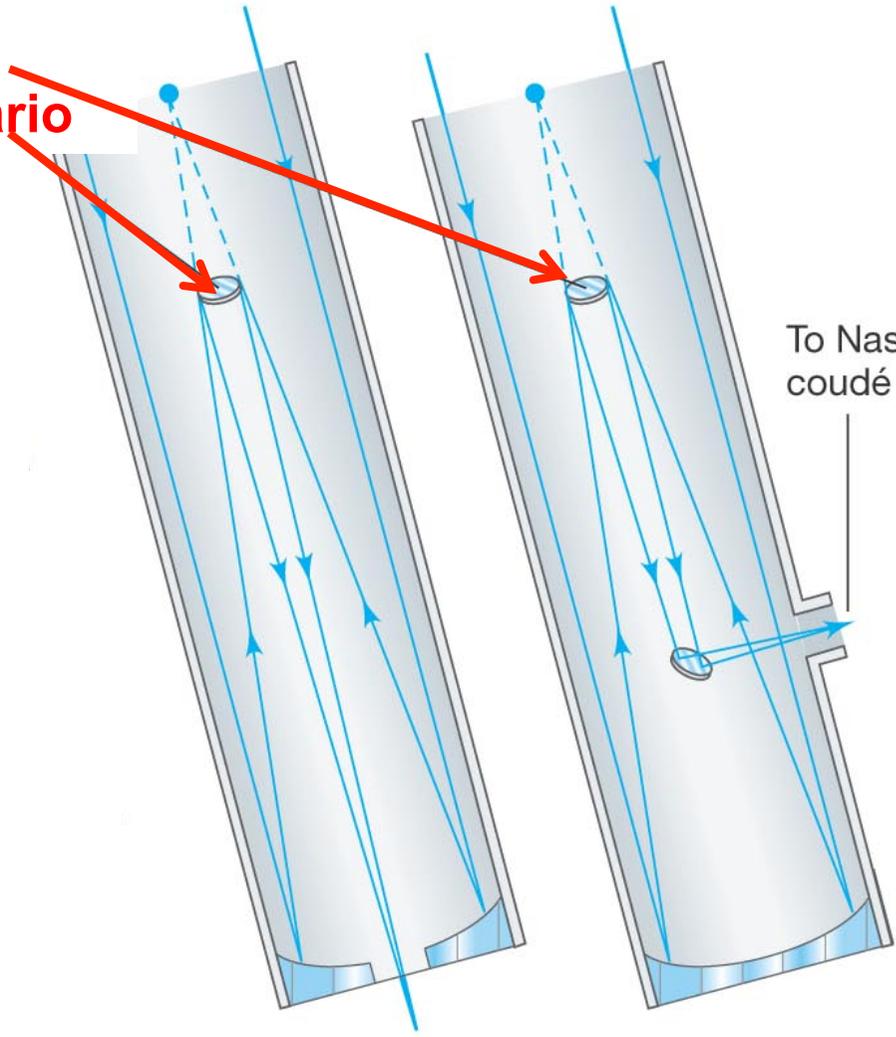


(b) Newtonian focus

Foco newtoniano: bom para telescópios pequenos (astronomia amadora)

Tipos de telescópios refletoras: óptica

Espelho secundário



(c) Cassegrain focus

(d) Nasmyth/ coudé focus

**Foco Cassegrain:
bom para
equipamentos
medianamente
pesados**

**Foco Nasmyth/
Coudé: bom para
equipamentos muito
pesados**

As montagens



Montagem altazimutal:

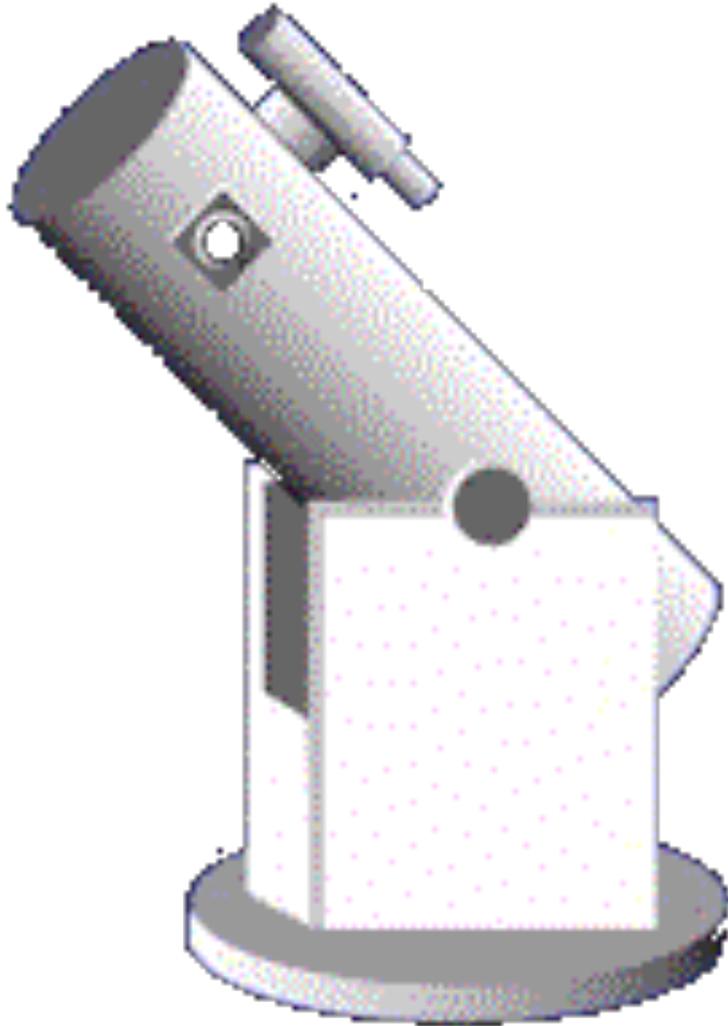
O Telescópio se move num eixo de azimute (no plano horizontal local) e num eixo de altura ortogonal a este.

Vantagens:

Prática de montar, compacta, mais leve do que as demais

Desvantagem: necessita 2 motores se movendo em velocidades variáveis para fazer o acompanhamento sideral. Isso requer processamento de dados online para controle dos motores.

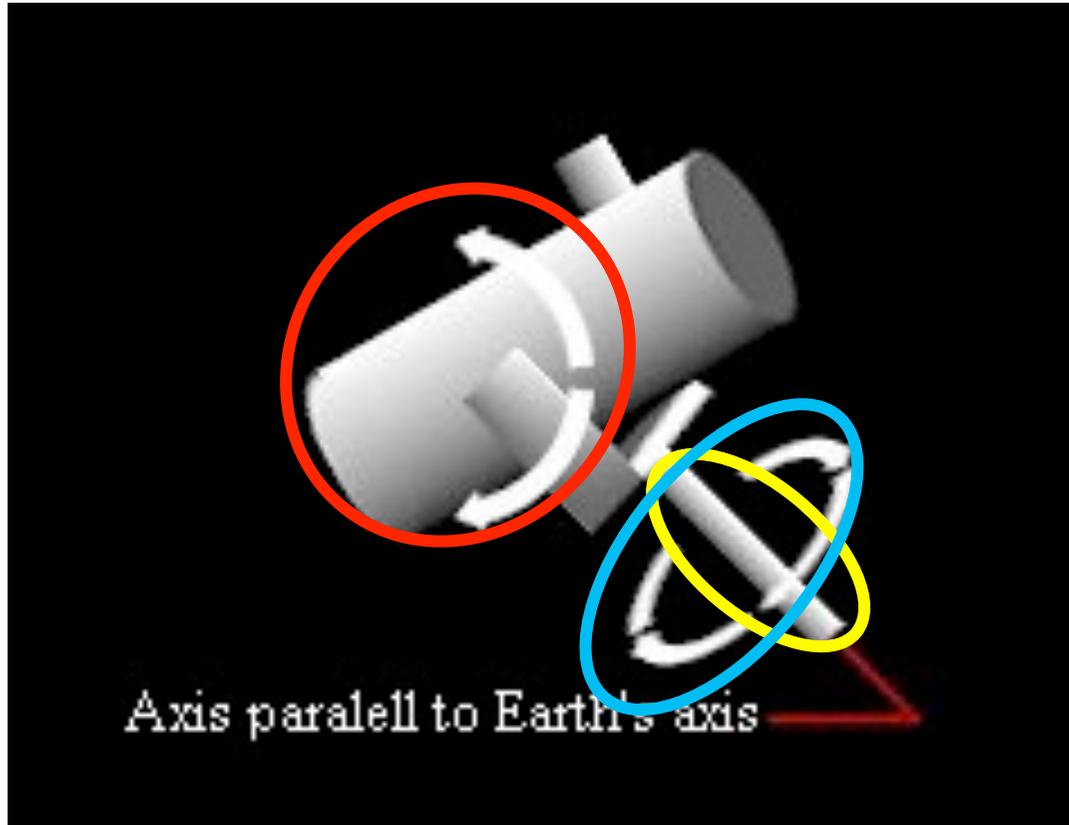
Montagem altazimutal dobsoniana



É a preferida dos amadores por ser fácil de montar e desmontar.

A grande desvantagem é que a ocular fica no alto da montagem, o que impede a instalação de instrumentos pesados.

Montagem equatorial



O Telescópio é montado num eixo paralelo ao eixo de rotação da terra (eixo polar).

A rotação do eixo polar dá o movimento E-W (ascensão reta)

A rotação do outro eixo ortogonal ao eixo polar dá o movimento N-S (declinação).

A grande vantagem é que basta um único motor funcionando a velocidade constante para fazer o acompanhamento sideral.

A desvantagem é que a montagem é assimétrica e portanto mais massiva, mais cara e mecanicamente mais instável.

Montagem equatorial alemã



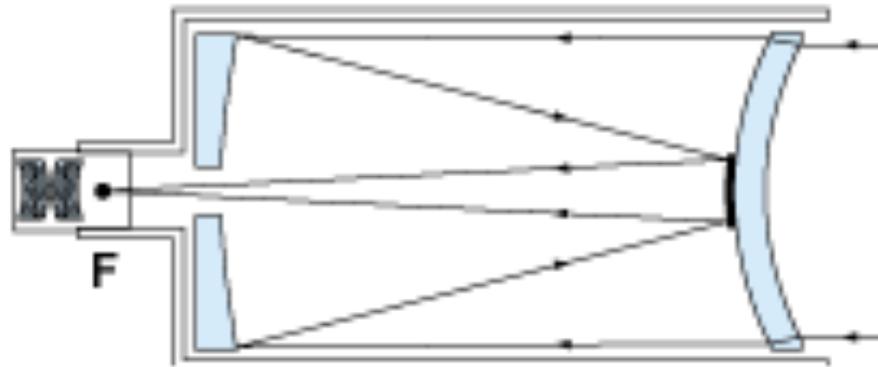
O Telescópio é instalado na extremidade de um eixo ortogonal ao eixo polar. Na outra extremidade do eixo é instalado um contrapeso

Montagem equatorial em ferradura



O Telescópio é instalado dentro de uma ferradura que gira centrada no eixo polar. Deve-se notar que toda a carga mecânica da parte móvel é exercida na junção da ferradura com o pilar

Óptica catadioptrica: Câmara Schmidt e Câmara Maksutov



A captação da luz é feita por um espelho primário, porém antes de chegar no mesmo a luz passa por uma lente corretora para minimizar os efeitos de coma.

CÂMERA SCHMIDT



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

Este instrumento utiliza lentes para correção do FOV inteiro

Cobre vários graus de céu.

Schmidt de 1.2 m de diâmetro (Mt. Palomar)

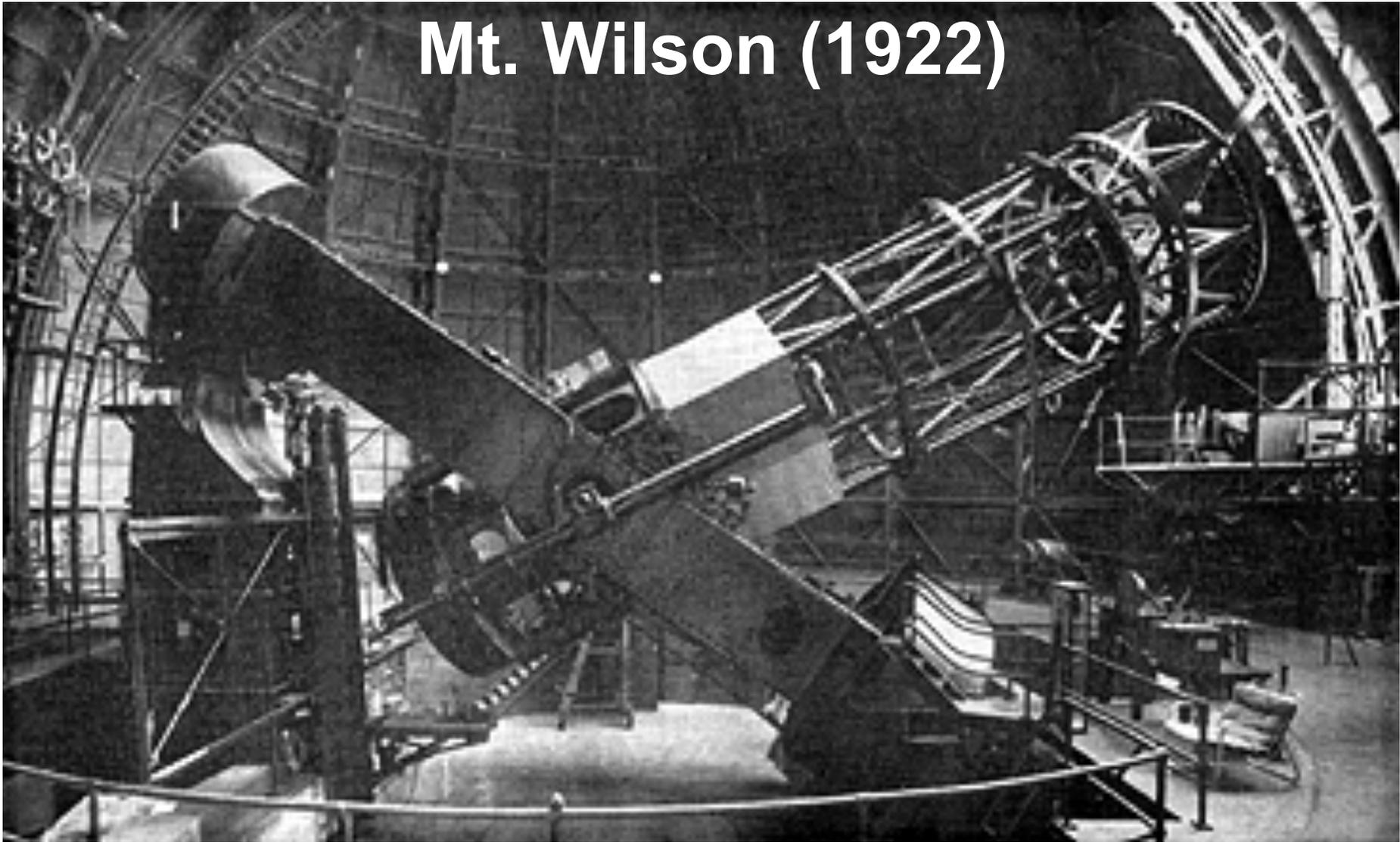
Produz uma imagem curva que não é adequada a observação a olho nú e sim filmes fotográficos especiais.

Câmara Schmidt



**Câmara de 1.2 m de
Mt. Palomar, operada
na foto por E.P. Hubble
(foto de 1949)**

Mt. Wilson (1922)



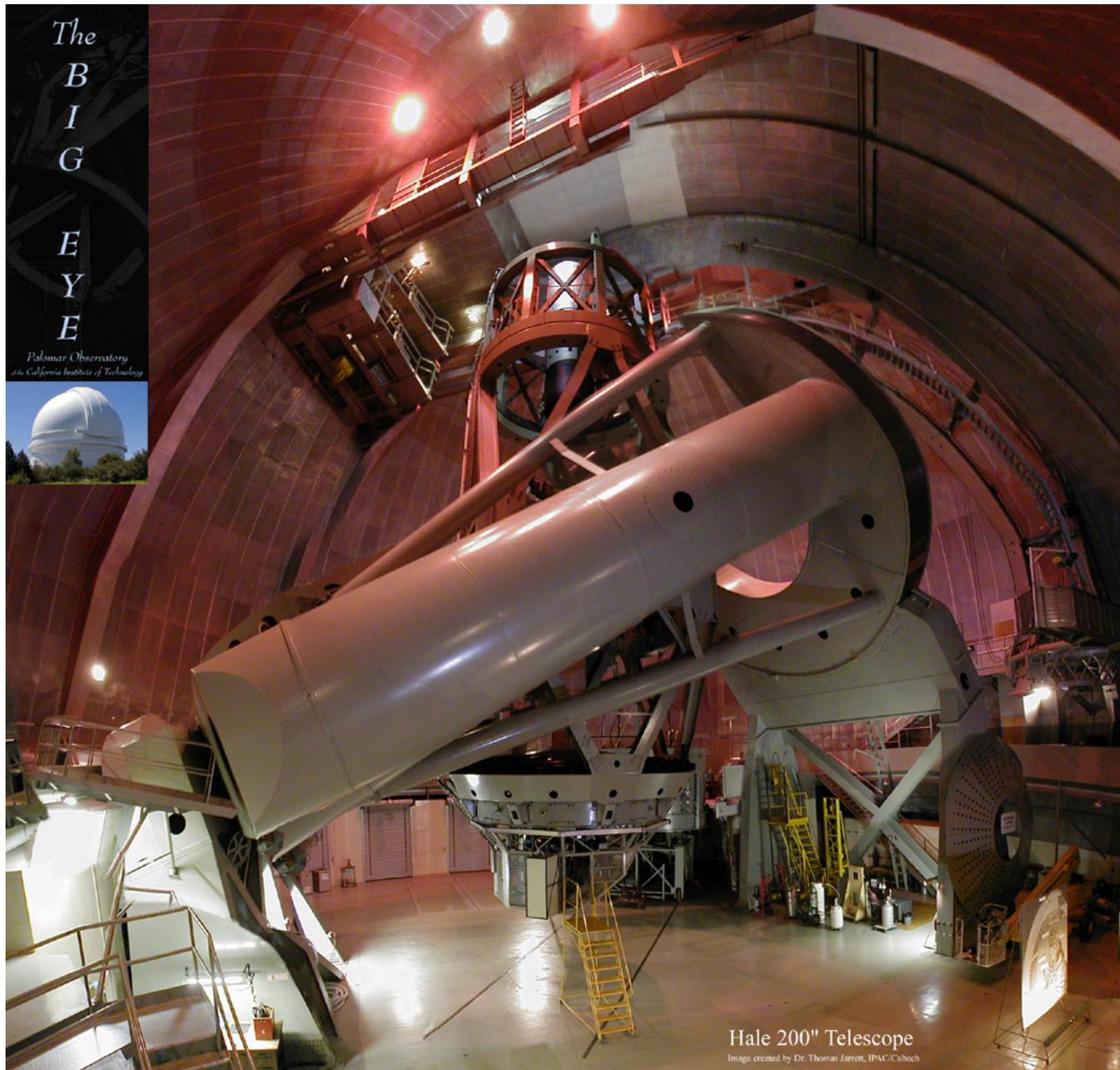
Montagem equatorial em ferradura com dois pés devido à grande massa do telescópio. A linha que une o pé sul (mais baixo) e o pé norte (mais alto) aponta para o Polo norte Celeste. Usando este telescópio Edwin Hubble provou que existiam outras galáxias e descobriu o movimento de recessão do Universo (a lei de Hubble) entre 1922 e 1929.

Mt. Palomar (1948) : 200" (5 m)



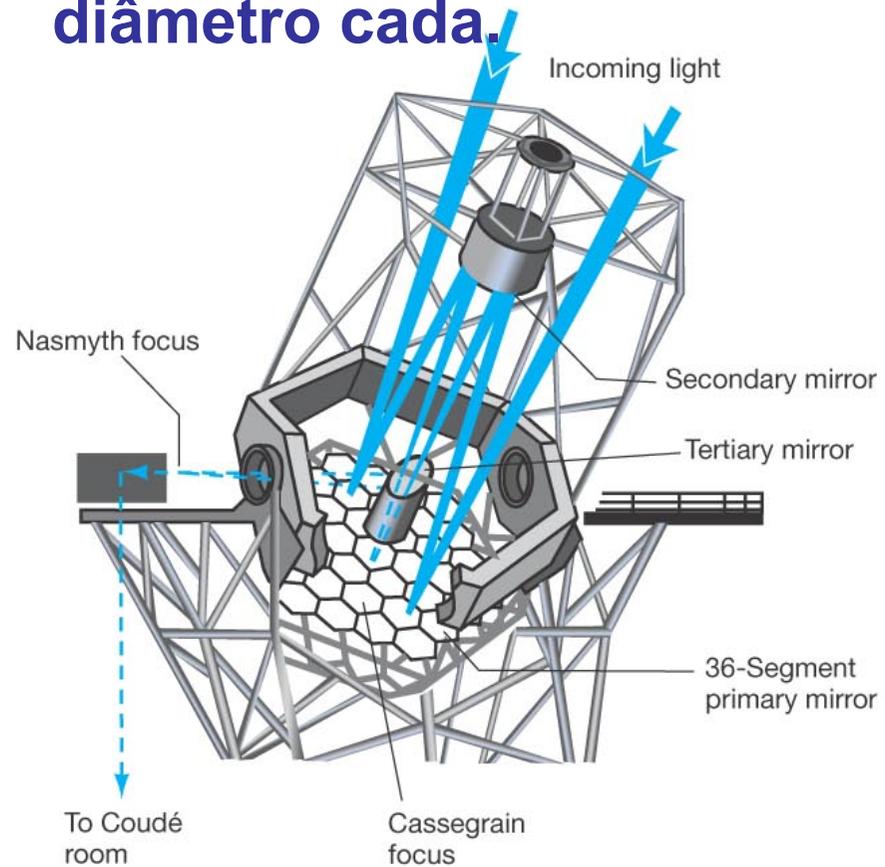
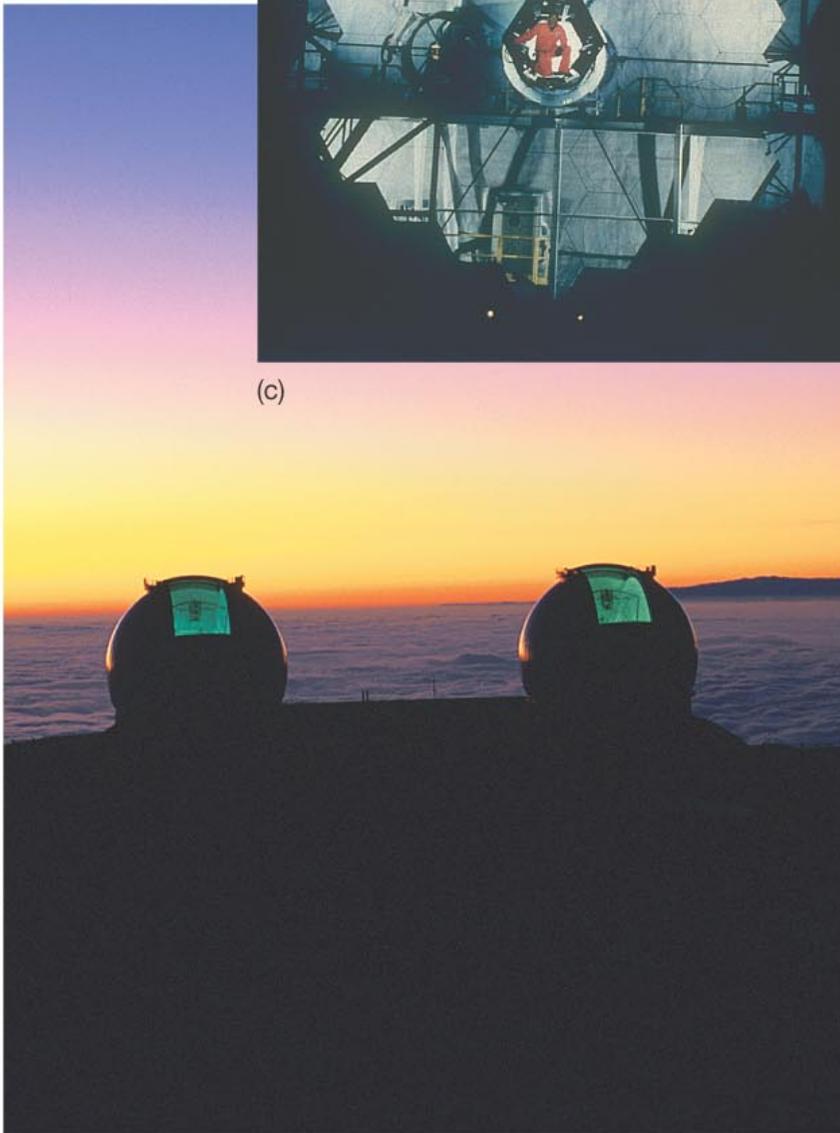
Montagem análoga a Mt. Wilson: equatorial em ferradura com dois pés. Até os anos 70 foi o maior telescópio do mundo. O telescópio russo de 6m construído nos anos 70 nunca funcionou direito e este aqui foi na prática o maior do mundo até a entrada em operação dos telescópios da classe de 8-10 m como o Gemini, VLT ou Keck.

Telescópio Hale – Monte Palomar



Telescópios óticos/IR Keck (Mauna Kea – Hawai):

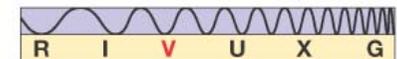
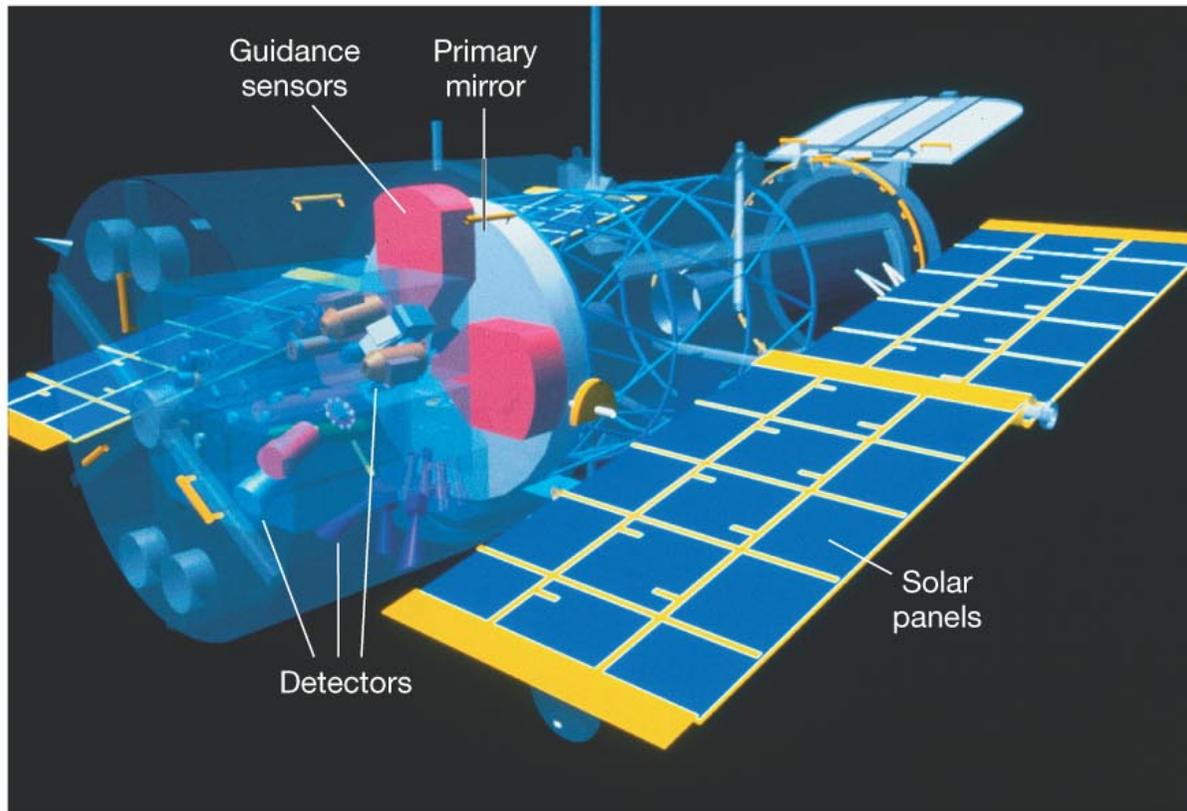
10 m de diâmetro (mosaico formado por 36 espelhos hexagonais de 1,8 m de diâmetro cada).



(a)

(b)

O Hubble Space Telescope (HST) é um telescópio Cassegrain de 2,4 m de diâmetro: detectores para medidas do óptico, IR e UV (100 nm a 2200 nm).



Custo : \$9 bilhões

Altitude orbital: 600 km

Órbita completa em 95 min

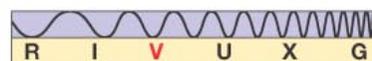
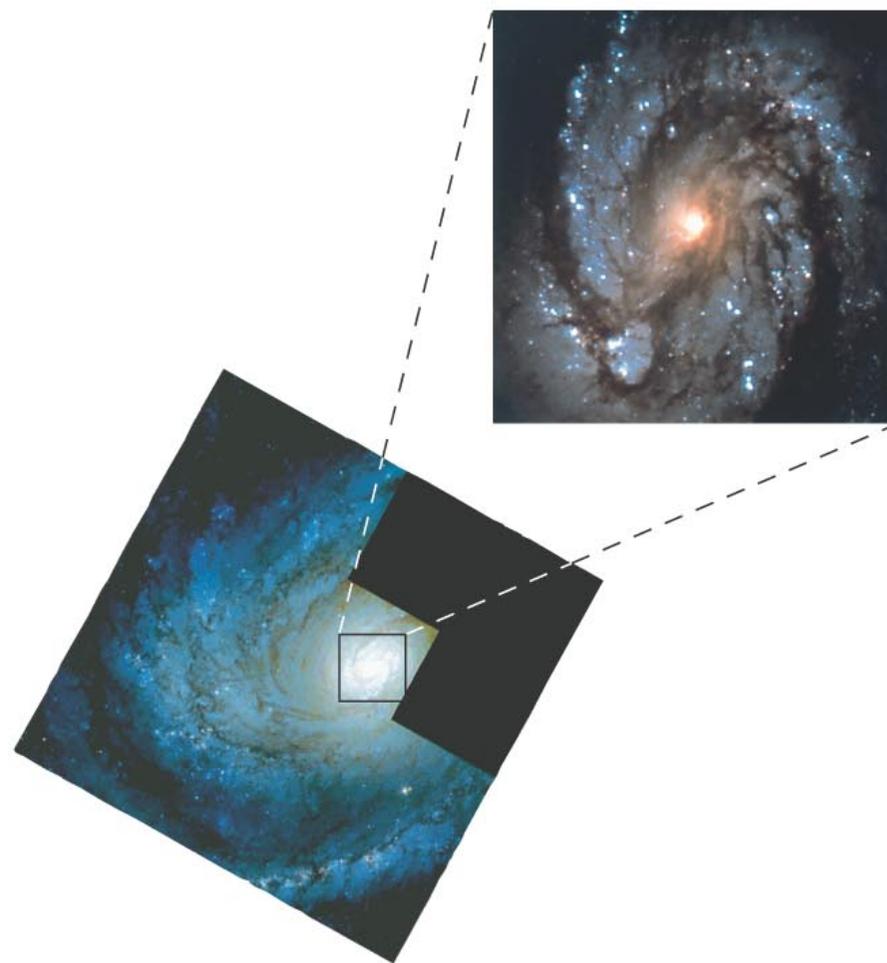
Dimensões : 13 m x 12 m (incluindo os coletores solares)

Peso: 11.000 kg



**HST sendo
retirado da
Discovery em 1990**

Comparação entre a melhor imagem feita de M100 por um telescópio na Terra e com o HST.



Tamanho do telescópio

- Quanto mais luz o telescópio coleta, maior detalhes se tem (objetos mais fracos) (light-gathering power) (MAIOR ÁREA COLETORA)

- O brilho observado é diretamente proporcional à área da superfície coletora

Brilho: proporcional à área do espelho ou seja, proporcional ao diâmetro²

Definição de ganho de um telescópio em relação a outro

DIÂMETRO ↑

GANHO ↑

$$\frac{B_1}{B_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$$

DIÂMETRO ↑

$t_{\text{EXPOSIÇÃO}}$ ↓

$$\frac{t_1}{t_2} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2$$

Ex.

um telescópio de 5 m produzirá uma imagem 25 vezes mais brilhante do que um telescópio de 1 m

Tempo: exposição de 1 hora com um telescópio de 1m é ~ 2,4 min com um telescópio de 5m (4% do tempo de um telescópio de 1 m)

Tamanho do telescópio

Andrômeda medida com o mesmo tempo de exposição , sendo o telescópio (b) duas vezes o tamanho de (a).



(a)



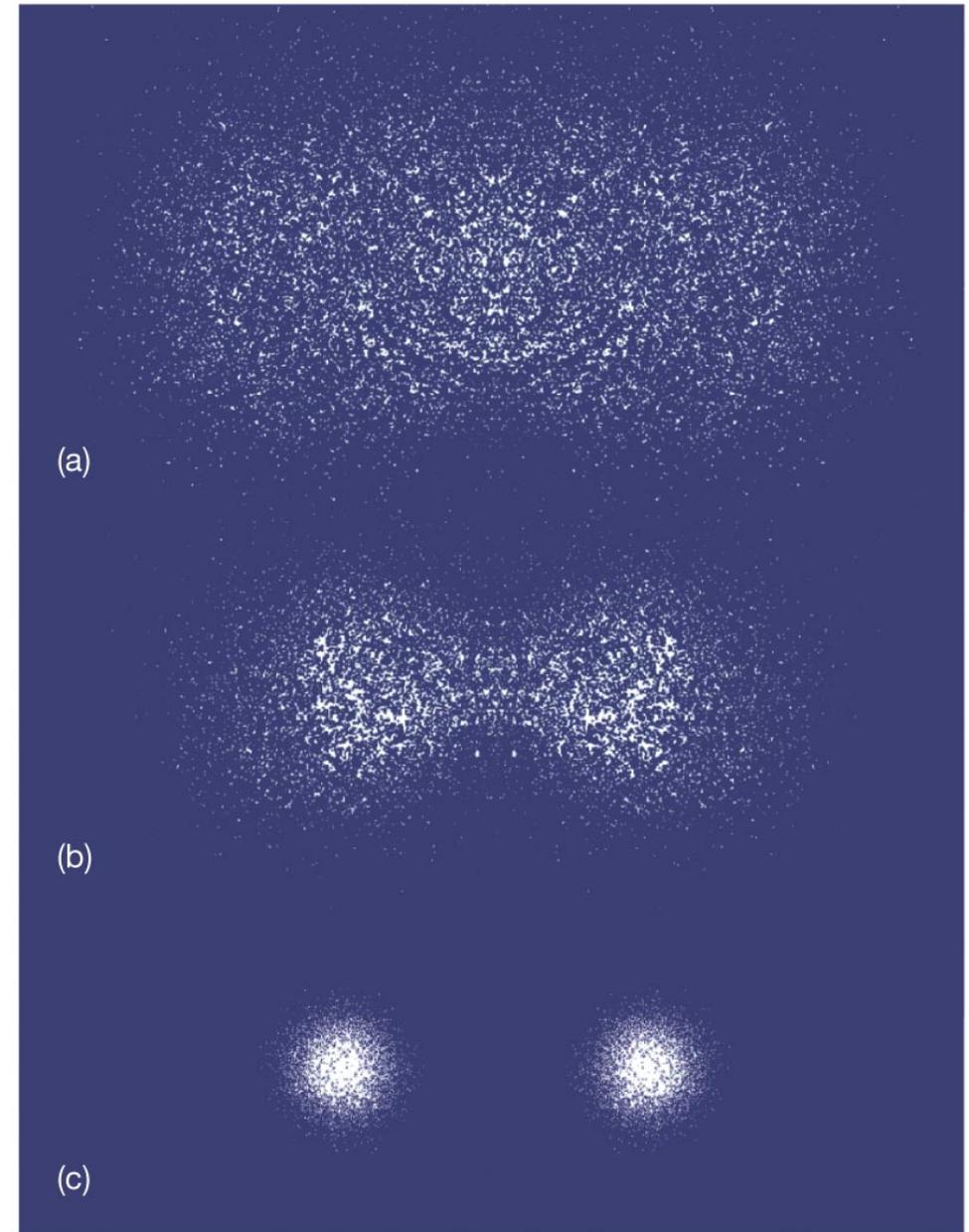
(b)



Poder de resolução

**Melhor resolução angular:
pode-se distinguir objetos
muito próximos angularmente**

**Resolução é proporcional ao
comprimento de onda e
inversamente proporcional ao
tamanho do telescópio**



Efeito do aumento de resolução:

(a) 10'; (b) 1'; (c) 5"; (d) 1"



(a)



(b)



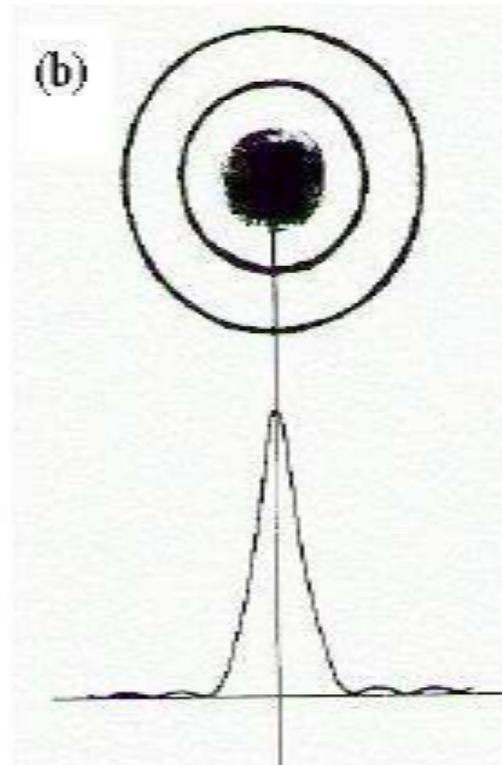
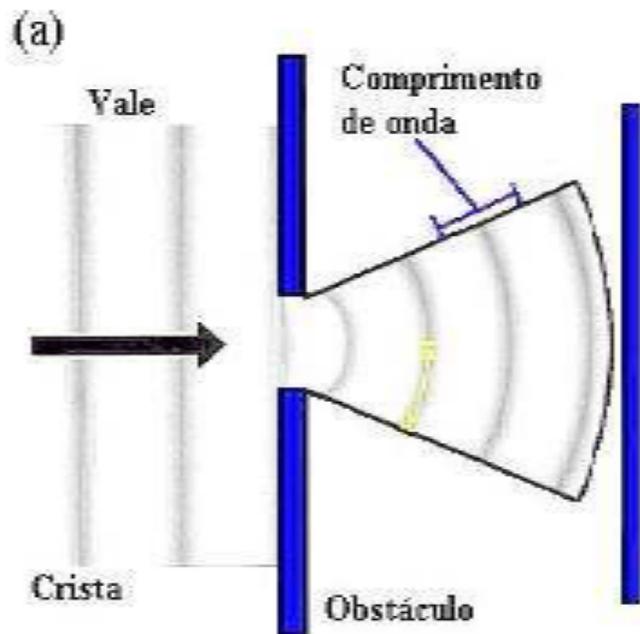
(c)



(d)



LIMITE DE DIFRAÇÃO



Quando feixe incide no coletor do telescópio: luz é dispersada diminuindo a concentração do feixe => perda de resolução da imagem

Difração é uma propriedade intrínseca das ondas e limita a resolução de um telescópio, dependendo do comprimento de onda e tamanho do telescópio.

LIMITE DE DIFRAÇÃO

Para um espelho circular e óptica perfeita a resolução angular de um telescópio é:

$$\theta = \frac{206265\lambda}{D} \quad \text{em ''}$$

1 rad = 206265''

Separação angular mínima que pode ser distinguida por telescópio

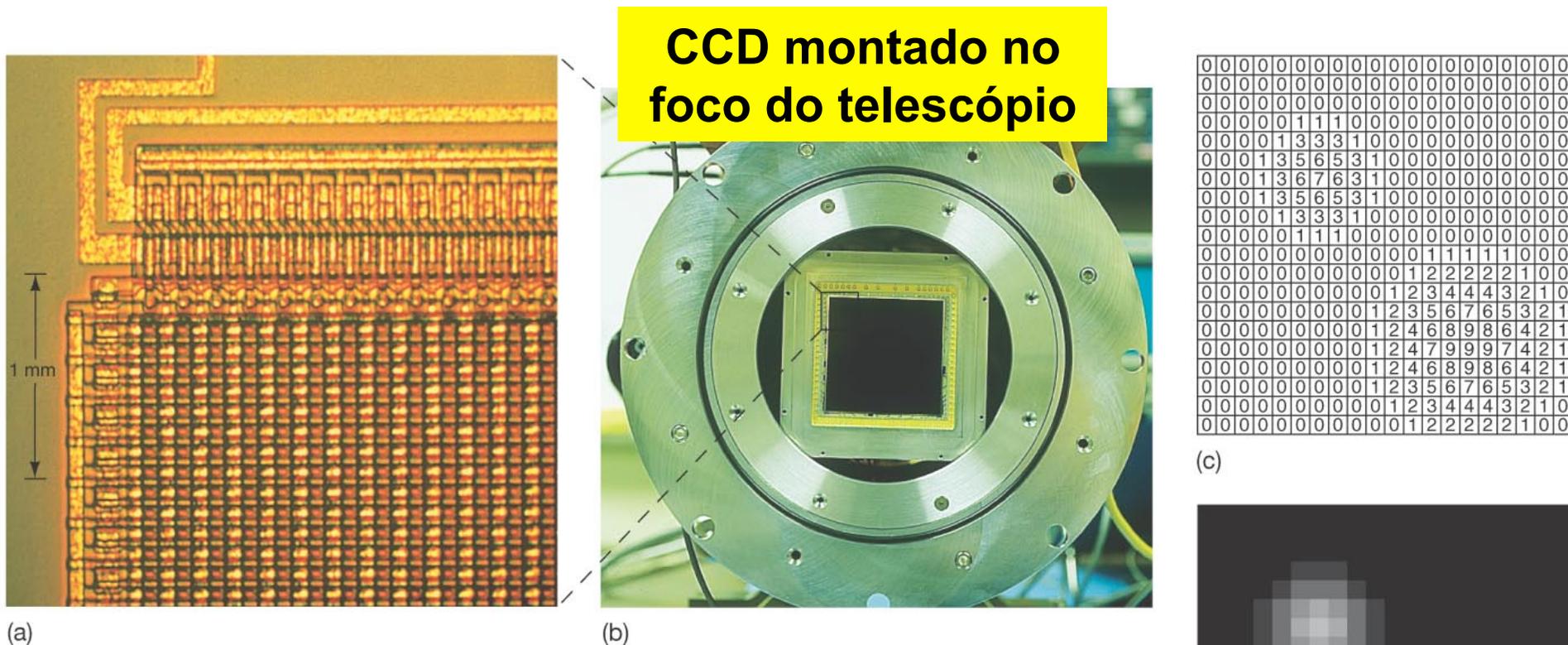
Ex. Para um telescópio de 1m

$\lambda=400$ nm (B) resolução $\theta \sim 0.1''$

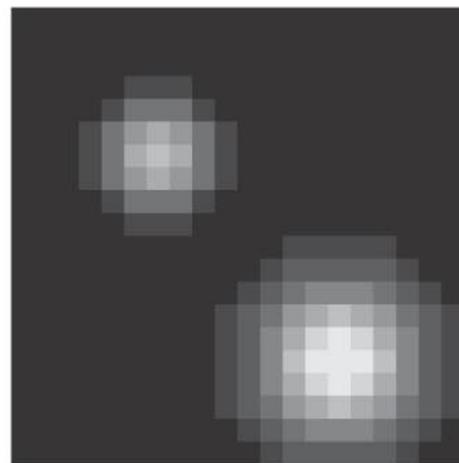
$\lambda=10$ μm (IR) resolução $\theta \sim 2.0''$

Imagens e Detectores

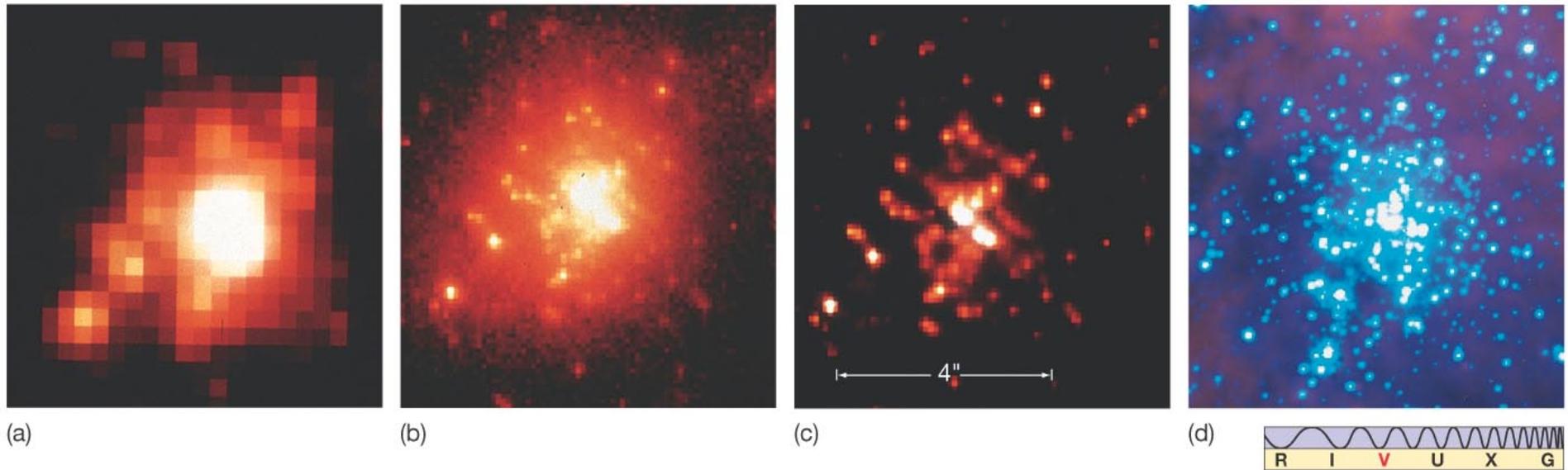
Aquisição de imagem: Charge-coupled device (CCD)



CCD : 10^5 ou 10^6 células sensíveis à luz (PIXEIS). Luz incidente em cada pixel causa uma descarga elétrica, que é lida e é reconstruído o padrão de luz pelo computador. (d)



Processamento de imagens



(a) Aglomerado de estrelas R136 da LMC

(b) Imagem bruta do HST (1990)

**(c) mesma imagem após reparos no espelho do HST e
feito processamento de imagens**

(d) mesma imagem vista de um λ mais azul

INSTRUMENTOS PARA A ANÁLISE DA RADIAÇÃO

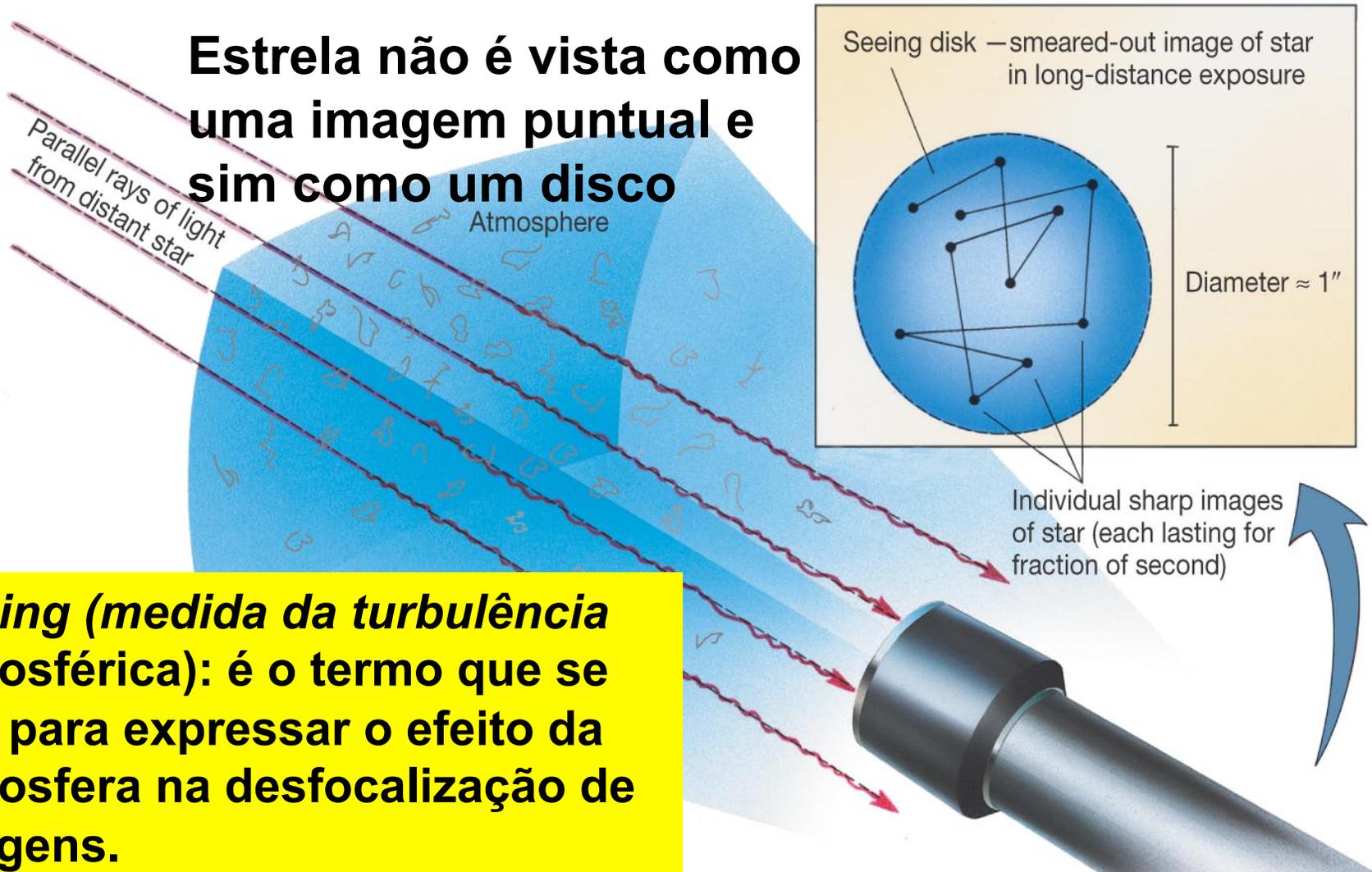
FOTÔMETRO : medida da radiação em diferentes filtros = cores (intervalos de λ)

ESPECTRÓGRAFO: rede de difração para obtenção dos espectros.

ASTRONOMIA DE ALTA RESOLUÇÃO

Resolução angular é diminuída ainda mais pela turbulência atmosférica: luz sofre refração na atmosfera, o que altera a direção do feixe

Estrela não é vista como uma imagem puntual e sim como um disco



Seeing (medida da turbulência atmosférica): é o termo que se usa para expressar o efeito da atmosfera na desfocalização de imagens.

Resolução teórica (limite de difração) do Keck (10 m) = 0.01'' no azul.

Mas nenhum telescópio terrestre pode alcançar uma resolução muito maior do que ~1'' = turbulência atmosférica

Soluções

Telescópios em topos de montanhas ou em lugares desérticos:

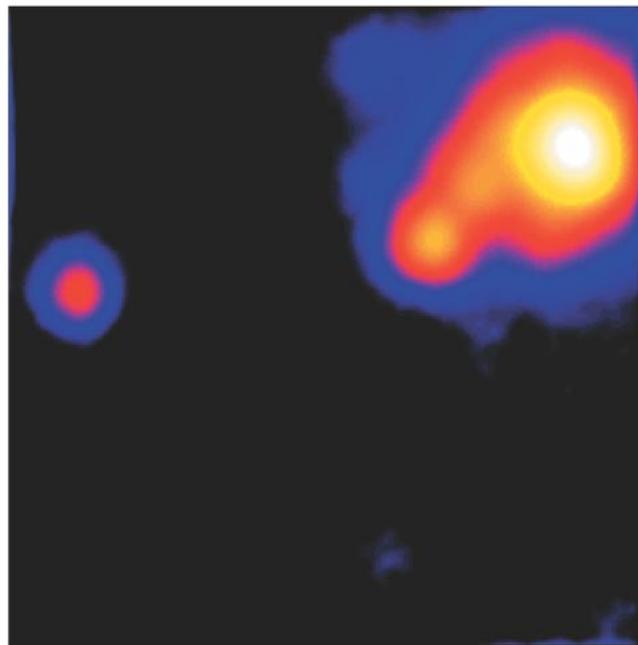
- **Maior Altitude**
- **Clima seco**
- **Afastado de cidades (menos poluição e menos luz)**
- **Telescópios no espaço**



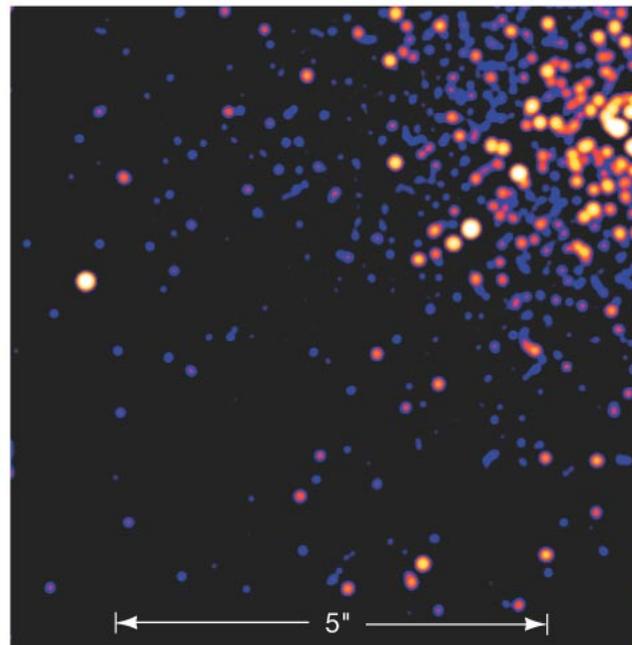
Óptica Ativa

Variação de temperatura na cúpula e movimento do telescópio podem distorcer o espelho.

Corrige as distorções no espelho primário dos efeitos de variação de temperatura de cúpula e orientação do telescópio.



(a)



(b)

(a) Sem e (b) com o sistema de óptica-ativa (NTT)

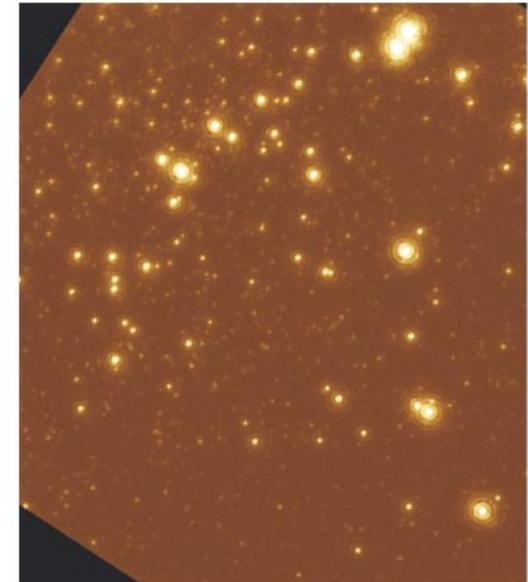
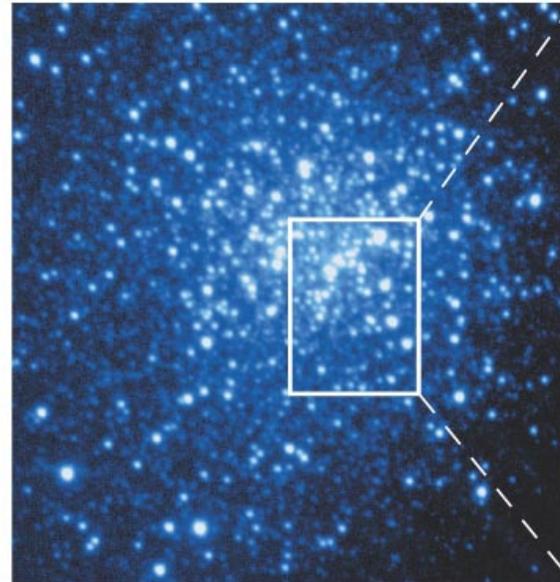
**Aglomerado de estrelas R136 NTT
(New Technology Telescope – 3.5 m)**

Óptica adaptativa: correção da turbulência atmosférica.

Laser é usado para criar uma estrela artificial e ter uma estimativa das variações atmosféricas. Correções em função destas variações são feitas em outro espelho que é posto no caminho óptico. Correções são feitas em tempo real (centenas de vezes por segundo)

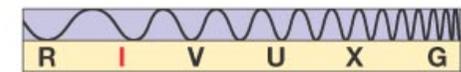
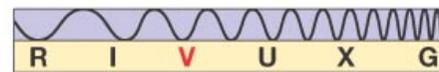


Melhorias nas imagens feitas pela óptica adaptativa.

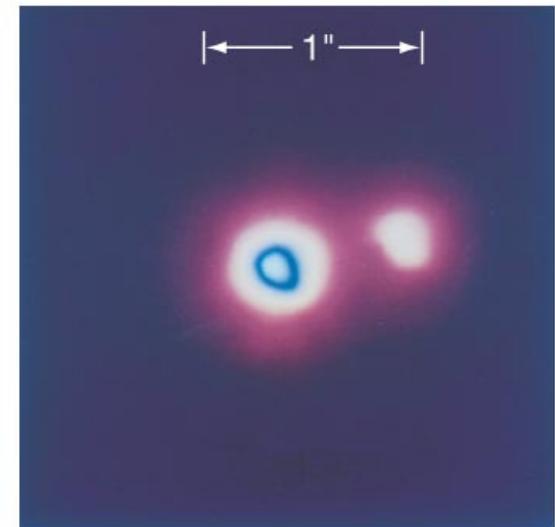


(a) Aglomerado NGC 6934 (correção para $< 1''$)

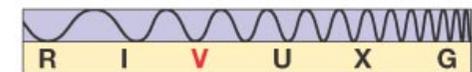
(a)



(b) Estrela dupla



(b)



Keck I (1994), Keck II (1999)

Grandes telescópios construídos a partir dos anos 90 tem montagem altazimutal. Ambos os Keck têm 10 m de diâmetro

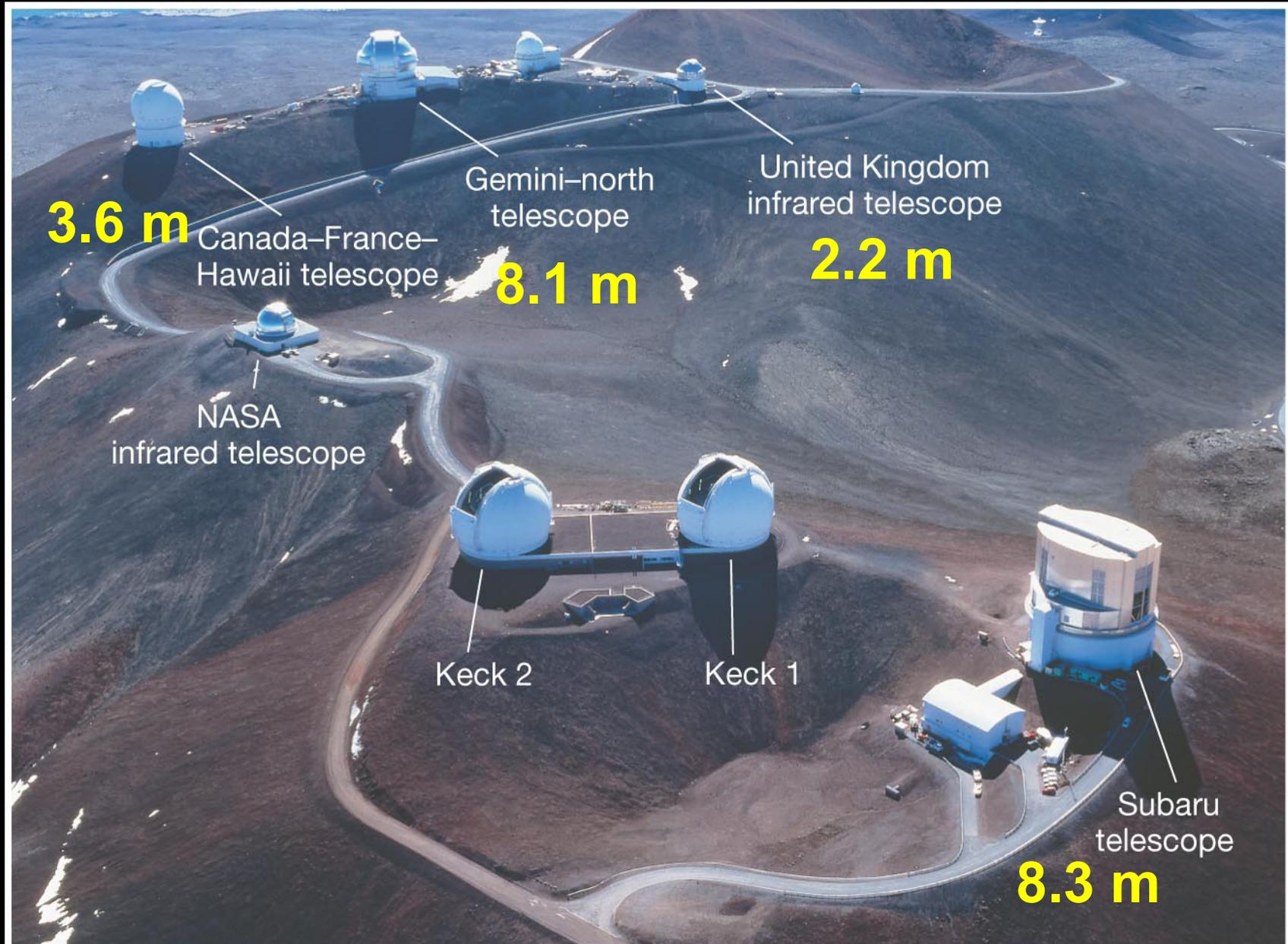


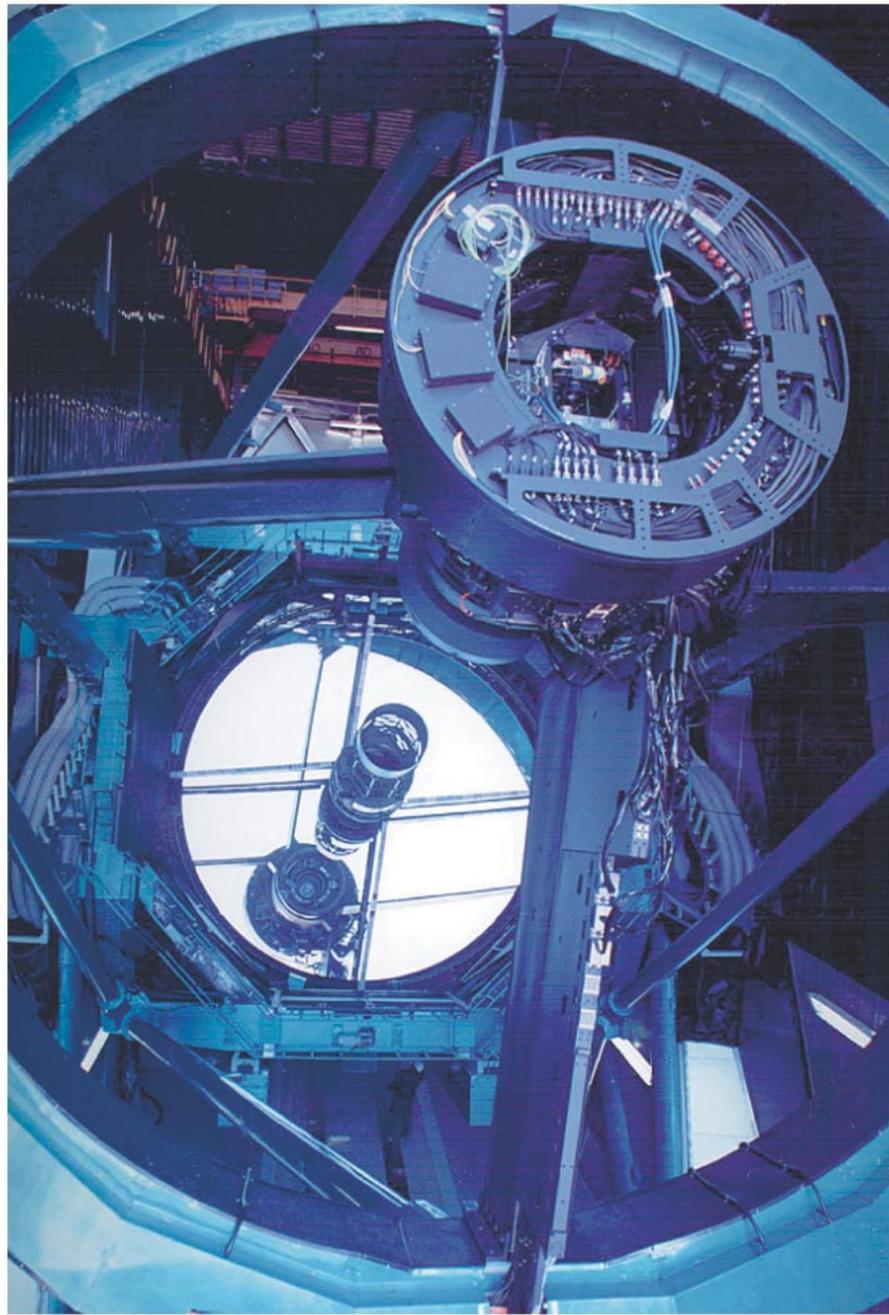
Keck – espelho primário



O espelho é um mosaico constituído de 36 hexágonos finos, de 1.8 m. Sua rigidez é garantida por atuadores hidráulicos (pistões) por baixo. Estas correções são feitas constantemente (óptica ativa).

Observatório Mauna-Kea





Espelho do telescópio Subaru

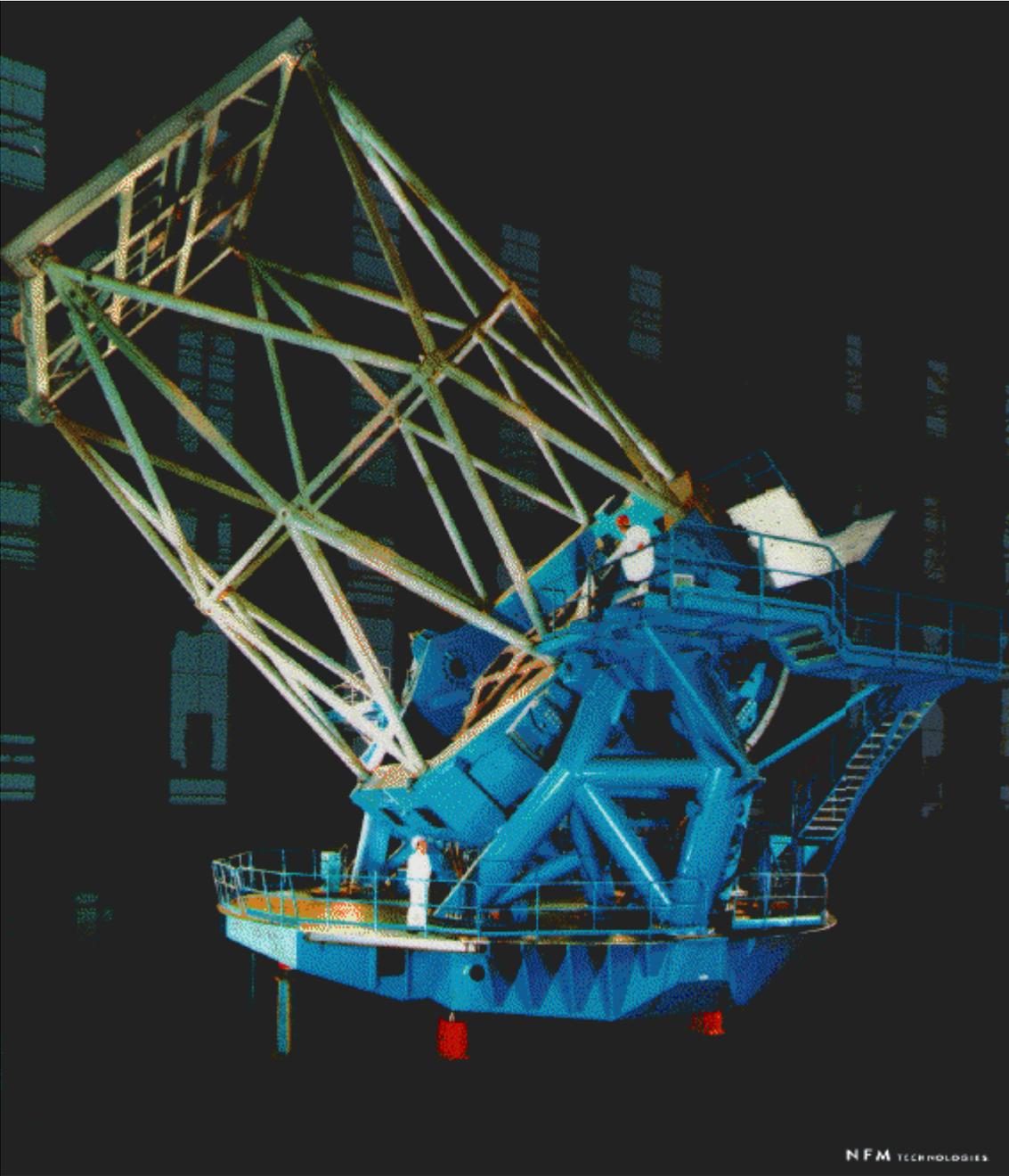
(b)

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.

Gemini-N



Gemini-S



O espelho fino de 8 m do Gemini

