

Bloco 7

Telescópios: Óticos Alta-energias Radiotelescópios

Atualização: Setembro 2015

AST203 – CVR

7-1

Bibliografia

- ↪ Kitchin – Cap. 1
- ↪ Smith – Cap. 2
- ↪ Léna – Cap. 6 (parte)
- ↪ Walker – Cap. 2 e 3

AST203 – CVR

7-2

Telescópios

- Formas de atuação de um telescópio
 - ↪ coleta de energia (proporcional à área)
 - ↪ formação da imagem: define a resolução angular
 - ↪ restrição do campo de visão
- Aumento da área coletora
 - ↪ permite a detecção de objetos de menor fluxo
 - ↪ maior resolução angular

AST203 – CVR

7-3

Resolução angular

- A radiação de objetos astrofísicos puntiformes pode ser considerada coerente (em fase)
- Uma onda plana ao atravessar a abertura de um telescópio é difratada (interferência)
 - ↪ a difração da luz impõe um limite na resolução angular
 - ↪ o padrão de difração de uma abertura é o espectro de potência da transformada de Fourier da forma da abertura
 - ↪ no caso de uma fenda, temos:

$$I(\theta) = I_0 \frac{\sin^2 \left[\pi d \sin \frac{\theta}{\lambda} \right]}{\left[\pi d \sin \frac{\theta}{\lambda} \right]^2}$$

AST203 – CVR

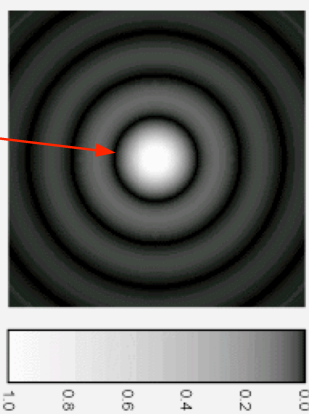
7-4

Supondo uma onda de comprimento de onda, λ , atravessando uma abertura circular de diâmetro, d , que pode ser representada por uma função caixa bidimensional, obtemos para o padrão de difração:

$$I(\theta) \propto \pi^2 \frac{d^4}{m^2} [J_1(2m)]^2,$$

onde $m = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$

- Disco de Airy**
- disco central definido pelo primeiro mínimo do padrão de difração
 - contém 84% do fluxo
 - O primeiro anel contém < 2% do fluxo



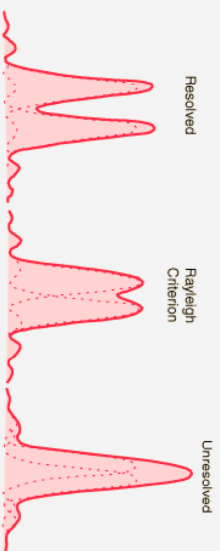
Wikipedia



AST203 – CVR

7-5

Notar que a distância entre os picos é simplesmente a separação angular entre os dois objetos no céu. Para um dado telescópio (e um mesmo comprimento de onda), a largura do padrão de difração é sempre a mesma. Nas 3 figuras, o que muda é a separação angular dos objetos.



http://www.ualberta.ca/~pogosyan/teaching/PHYS_130/FALL_2010/lectures/ect37/lecture37.html

AST203 – CVR

7-7

Critério de Rayleigh

Consideramos dois objetos resolvidos espacialmente se a distância entre os máximos primários de seus padrões de difração é maior que o raio do primeiro mínimo do padrão.

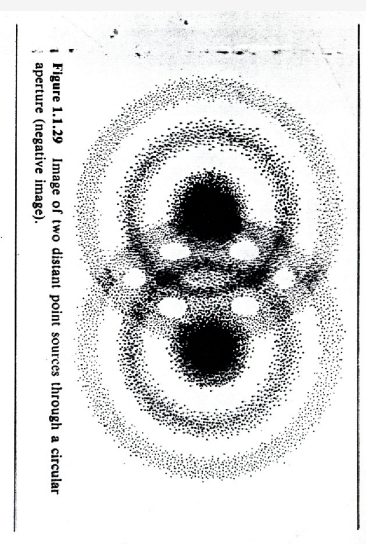


Figure 1.1.29 Image of two distant point sources through a circular aperture (negative image).

O primeiro mínimo ocorre a um raio α dado por:

$$\alpha = \frac{1,22\lambda}{d}$$

AST203 – CVR

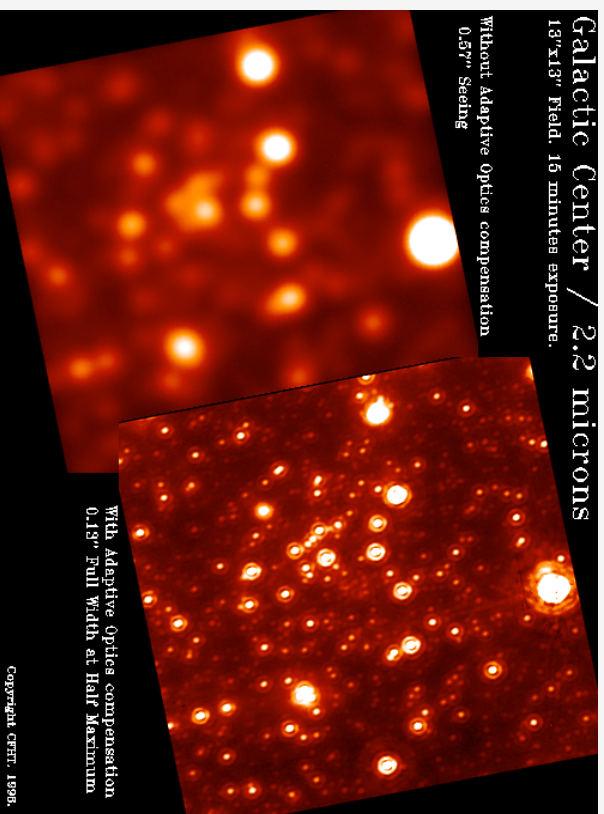
7-6

Seeing x difração

- O tamanho da imagem de uma fonte puntiforme é determinado pela competição do seeing e da difração
- Ambos são função do comprimento de onda e o tamanho da imagem será determinada pelo que possui maior valor em um dado comprimento de onda
- Para uma observação realizada na superfície da Terra e no óptico, o tamanho da imagem é determinado pelo seeing que é por volta ou maior que 1 arcsec
- Em rádio, o seeing é desprezível em face ao tamanho da imagem difratada

AST203 – CVR

7-8



AST203 – CVR

<http://www.ctio.noao.edu/~atkovin/tutorial/part1/turb.html>

7-9

Princípios de ótica

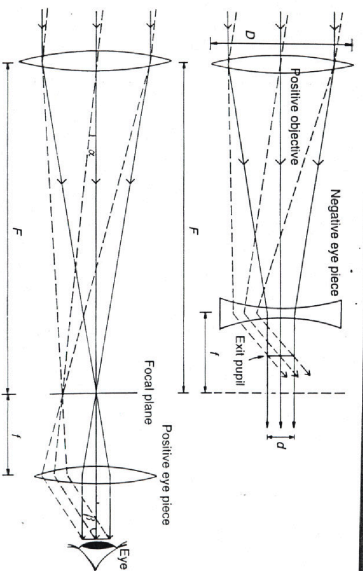
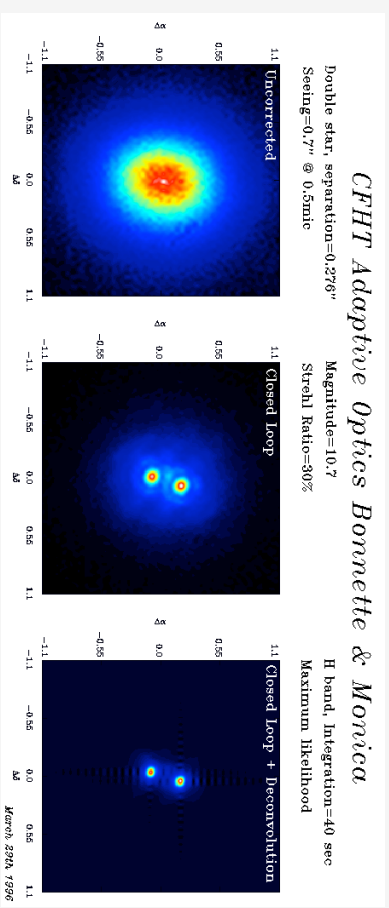


Fig. 2.2. Principles of refracting telescopes. *Upper:* Galileian design. *Lower:* Keplerian design. The objective lens, of diameter D , focuses the parallel light from a distant star in the focal plane, at distance F (the focal length) from the objective; the eyepiece magnifies the image and produces a parallel beam at the eye. The image of the objective formed by the eyepiece is known as the exit pupil and is marked in both diagrams by a vertical bar. The magnification is $m = \beta/\alpha = F/f$. If d is the diameter of the exit pupil, then $d = D/m$. The Galileian design produces an upright image while the more common Keplerian one produces an inverted image. A typical aperture ratio, or focal ratio, is $F/D \approx 15$. (The diagram is not drawn to scale.)

- distância focal: F
- abertura da objetiva: D
- pupila de saída: d
- razão focal: $R = F/D$
- ↳ notação: f/R
- Exemplo: $f/10$
- os instrumentos astronômicos são normalmente colocados no plano focal

AST203 – CVR

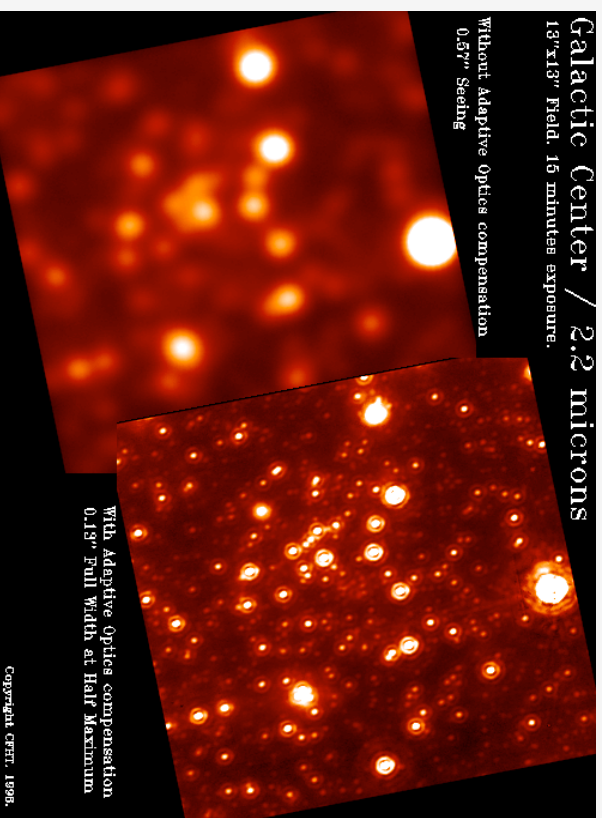
7-11



http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/1351/1384175/image/cfht_adaptive_optics.gif

AST203 – CVR

7-10



AST203 – CVR

<http://www.ctio.noao.edu/~atkovin/tutorial/part1/turb.html>

7-12

- Escala de placa: segundos de arco (do céu) por mm (detector)

$$\text{Escala de placa} \propto \frac{1}{F}$$

↪ a escala de placa aumenta, numericamente, com a diminuição da distância focal

- Energia coletada por área do detector: E

$$E \propto R^{-2} = \left(\frac{D}{F}\right)^2$$

- ↪ velocidade da câmera diminui com o aumento de R
- ↪ o aumento de D aumenta o fluxo que atravessa a objetiva
- ↪ o aumento de F aumenta a dispersão da imagem no detector, isto é, diminui a escala de placa

AST203 – CVR

7-13

Tipos de objetiva

Os telescópios podem ser classificados em:

refletores: a objetiva é um espelho.

- A astronomia é baseada atualmente em telescópios refletores. A seguir, vamos discuti-los mais

refratores: onde a objetiva é uma lente

- importância histórica apenas
- vários problemas
- a distância focal é normalmente grande. Assim, a escala de placa é pequena: são lentos

AST203 – CVR

7-14

Desvantagens dos telescópios refratores

- mecânica
 - ↪ lente deve ser suportada pelas laterais e, pela falta de suporte central, a lente tende a distorcer
- tamanho
 - ↪ tubo deve ser maior que distância focal
 - ↪ assim, o tamanho dos telescópios refratores é grande o que eleva o custo. Exemplo: cúpula enormes
- Aberração cromática
 - ↪ índice de refração varia com o comprimento de onda, assim a distância focal depende do comprimento de onda
 - círculo de confusão mínima
 - correção por fusão de lentes (dobletes, tripletos, etc): porém, não é total

AST203 – CVR

7-15

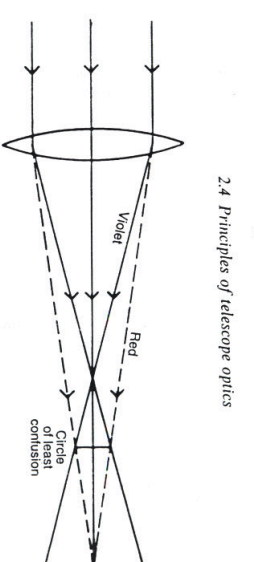


Fig. 2.3. Chromatic aberration (lenses only). The refractive index of glass varies with wavelength and so violet rays are brought to a focus nearer the lens than are red rays. The distance between the two foci is greatly exaggerated in the diagram, but it is several per cent of the mean focal length. The best image of a point source is a filled circle (the circle of least confusion).

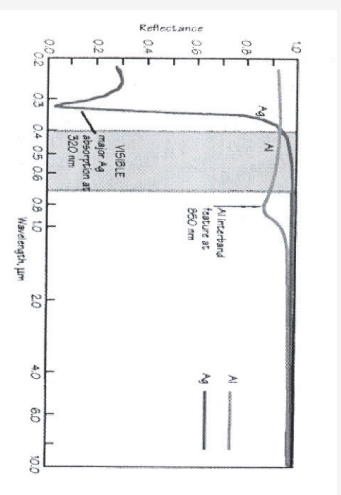
Smith

AST203 – CVR

7-16

Telescópios refletores

- Espelho primário
 - ↳ a forma mais comum é de uma parábola, pois nesse caso um feixe plano-paralelo tem o foco em um único ponto
 - ↳ cobertura de acordo com comprimento de onda
 - ótico: alumínio
 - IR: prata
 - UV: outro material



AST203 – CVR

7-17

Telescópios refletores

- Vantagens (com relação aos refratores)
 - ↳ não possuem aberração cromática
 - ↳ não absorvem luz no UV
 - ↳ sem restrições mecânicas
- Problemas
 - ↳ forma do espelho depende da temperatura
 - material deve possuir coeficiente de expansão baixo
 - ↳ a cobertura desgasta-se rapidamente (meses)

AST203 – CVR

7-18

Aberrações em telescópios refletores

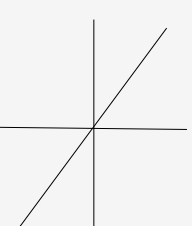
- Espelhos parabólicos possuem aberrações que aumentam com a distância entre a direção da fonte e o eixo focal
- Coma
 - ↳ tamanho da imagem depende da distância ao eixo focal da fonte
 - ↳ a coma diminui com o aumento da razão focal
 - para um telescópio $f/3$ a área útil é da orde de 1 minuto de arco!
- Astigmatismo
 - ↳ imagem formada é elíptica
 - ↳ descreve com razão focal mais lentamente que a coma. Assim, ela domina para razões focais altas

AST203 – CVR

7-19

Coma x astigmatismo

- Tanto a coma quanto o astigmatismo são aberrações intrínsecas de espelhos parabólicos
- Pense em um feixe plano-paralelo incidindo no espelho
 - ↳ a variação do foco com a distância de um raio ao eixo óptico é a coma
 - ↳ a variação do foco com o ângulo do raio com relação ao plano que inclui o objeto e o eixo focal é o astigmatismo



AST203 – CVR

7-20

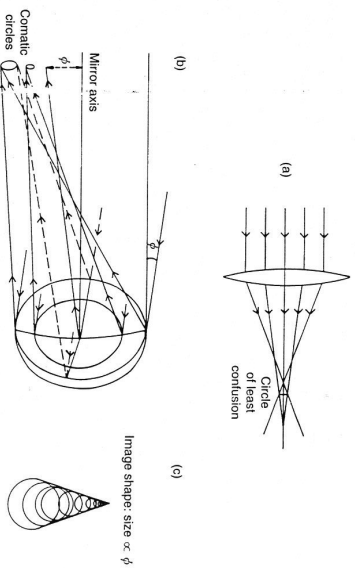


Fig. 2.5. (a) Spherical aberration, illustrated for a lens: the difference in the focal lengths for rays from different parts of the lens is greatly exaggerated, but is typically greater than 1%. (b) Coma for a paraboloidal mirror: each annular zone of the mirror forms a circular image whose size decreases with the size of the zone; for the positive coma illustrated, the smaller images are nearer the axis; within each image, each point is formed by rays from diametrically opposite sides of the mirror. (c) The overall image: shape formed by comatic aberration; the overlapping circles form a 'tear-drop' shape whose size is proportional to the off-axis angle (comatic over).

Smith

Aberração esférica

presente em lentes e espelhos esféricos

7-21

Astigmatismo

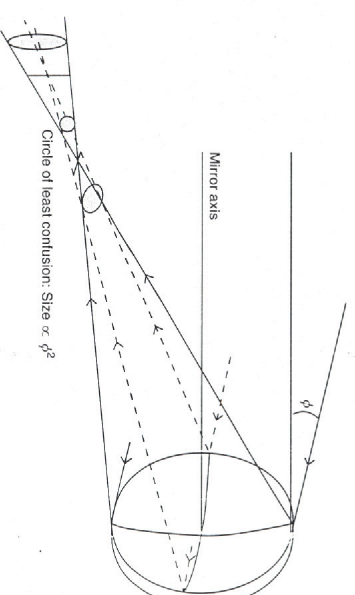


Fig. 2.5 (cont'd). (d) Astigmatism for a paraboloidal mirror: rays in the plane defined by the incoming beam form a line-image in an orthogonal plane; the rays in that plane form a second line-image at a different distance from the mirror; the distance between the line-images, and so the size of the circle of least confusion, is proportional to the square of the off-axis angle.

Smith

7-22

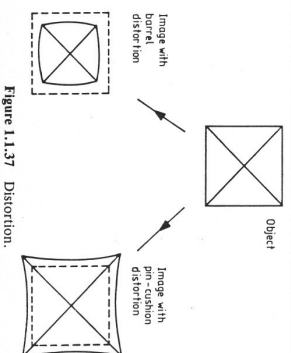


Figure 1.1.37 Distortion.

Kitchen

7-23

• Distorção

• Correção das aberrações

↳ desenho do espelho: desenho óptico

↳ acréscimo de lentes

- Campo útil de um telescópio é normalmente < 1 grau – com exceção da câmara Schmidt

7-24

Montagens

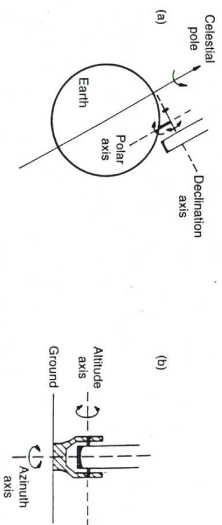


Fig. 2.7. (a) Schematic drawing of an equatorial telescope mounting. The polar axis points to the north (or south) celestial pole and so is parallel to the Earth's rotation axis. The declination axis is perpendicular to the polar axis and to the optical axis of the telescope. The telescope is moved around both axes until it is pointing at the object of interest. It is then clamped in position and kept pointing in the same direction by driving the entire mounting about the polar axis at the same rate as but in the opposite direction to, the Earth's rotation. (b) A schematic alt-azimuth mounting. The telescope is mounted between two vertical supports and moves in a vertical plane about a horizontal axis (the altitude axis). The supports themselves are mounted on a platform, which can rotate about a vertical axis (the azimuth axis). To keep the telescope pointing at a given object, it is necessary to drive simultaneously about both axes to compensate for the Earth's rotation.

Alto-azimutal

Smith

- Equatorial

- ↳ comum em telescópios de porte médio não muito novos
 - ↳ 2 eixos: polar e declinação
 - ↳ movimento diurno (para acompanhamento do astro)
 - rotação em um único eixo
 - ↳ montagem fora de eixo
 - não é conveniente para grandes telescópios (pesados)
- Montagem alto-azimutal
 - ↳ 2 eixos: vertical e horizontal
 - ↳ movimento diurno: rotação nos dois eixos
 - ↳ comuns nos grandes telescópios recentes
 - ↳ mecanicamente mais estável que equatorial

- Montagem de trânsito

- ↳ **Círculo meridiano (astrometria)**
- IAG/USP – Valinhos

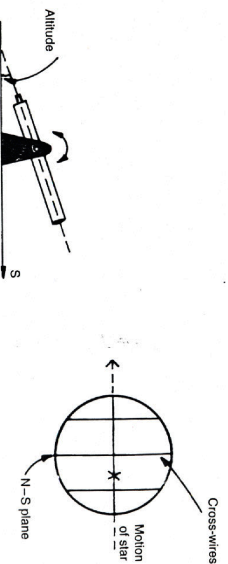


Fig. 2.13. View along the east-west horizontal axis of a transit telescope in the northern hemisphere. The telescope can move only in a vertical plane which is aligned north-south. The inset shows the view through the telescope. The star of interest is placed on the horizontal cross-wire by adjusting the altitude of the telescope and then it is timed as the Earth's rotation causes it to drift from east to west across the vertical cross-wires. The average of the three timings for the case shown gives the time of transit across the optical axis of the telescope. The apparent motion is from right to left (in the northern hemisphere) because of the inversion of the image in an astronomical telescope (see Fig. 2.2).

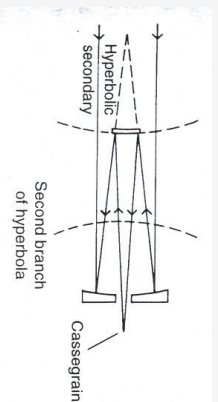
Smith

- O apontamento e a guiagem não são perfeitos em nenhuma montagem

- ↳ alinhamento dos eixos de rotação
- ↳ flexão mecânica da estrutura
- ↳ erros nas engrenagens
- ↳ refração atmosférica
- ↳ correção da guiagem é feita por *guiders* e *auto-guiders*
 - indispensável para integrações longas

Focos de um refletor

- Cassegrain
 - ↪ 2 espelhos
 - espelho primário parabólico
 - espelho secundário hiperbólico
 - ↪ posição do foco adequada para colocar instrumentos
 - ↪ espelho secundário permite grandes distâncias focais do telescópio sem aumentar tamanho do telescópio



Smith

- Ritchey-Chrétien

- ↪ modificação do Cassegrain
- ↪ primário é hiperbólico
- ↪ qualidade da imagem muito melhor

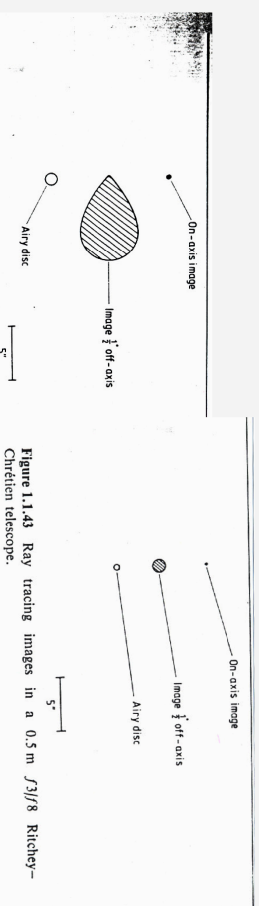
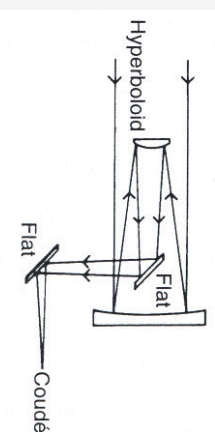


Figure 1.1.42 Images in a 0.25 m $f_4/16$ Cassegrain telescope. (The images were obtained by ray tracing. Since this does not allow for the effects of diffraction, the on-axis image in practice will be the same as the Airy disc, and the $\frac{1}{2}^\circ$ off-axis image will be blurred even further.)

Figure 1.1.43 Ray tracing images in a 0.5 m $f_3/8$ Ritchey-Chrétien telescope.

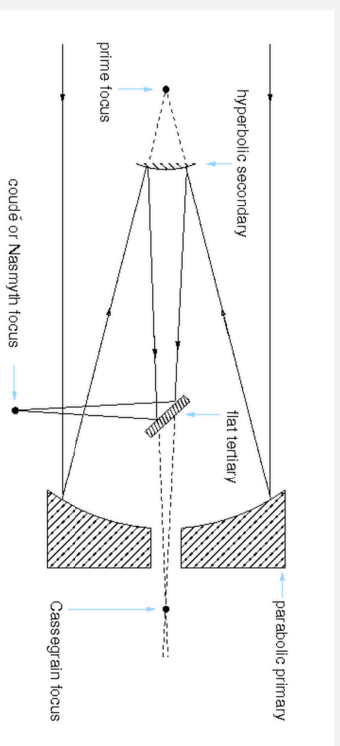
Kitchin

- Coude
 - ↪ série de espelhos planos
 - ↪ distância focal alta
 - escala de placa pequena
 - ↪ posição do foco é fixa: independente do movimento do telescópio
 - configuração adequada para instrumentos grandes e pesados
 - ↪ espectrógrafo Coude no OPD
- Nasmyth
 - ↪ foco fixo com montagem azimutal



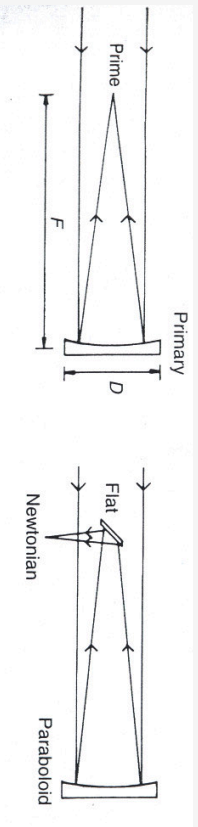
Smith

- Nasmyth
 - ↪ modificação do Cassegrain
 - ↪ comuns em telescópios recentes com montagem azimutal



- Foco primário
 - ↳ imagens ruins mesmo próximo ao eixo focal
 - ↳ intercepta feixe de entrada
 - só factível em telescópios grandes

- Newtoniano
 - ↳ variação do primário



Smith

Câmara Schmidt

- telescópio híbrido: refrator e refletor
 - ↳ espelho primário esférico (sem coma e aberrações do espelho parabólico)
 - ↳ lente antes do primário que corrige aberração esférica
- única aberração: curvatura de campo
 - ↳ correção por lente
- imagens boas dentro de um campo muito grande (> 7 graus)
- razão focal pequena
 - Ideal para levantamentos em grandes áreas
- Maksutov: variação

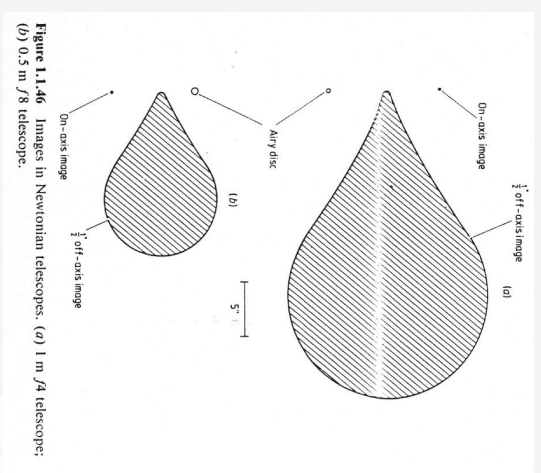


Figure 1.1.46 Images in Newtonian telescopes: (a) 1 m $f/4$ telescope; (b) 0.5 m $f/8$ telescope.

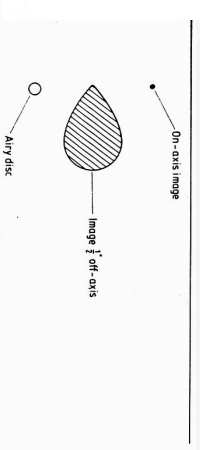


Figure 1.1.42 Images in a 0.25 m $f/16$ Cassegrain telescope. (The images were obtained by ray tracing. Since this does not allow for the effects of diffraction, the on-axis image in practice will be the same as the Airy disc, and the off-axis image will be blurred even further.)

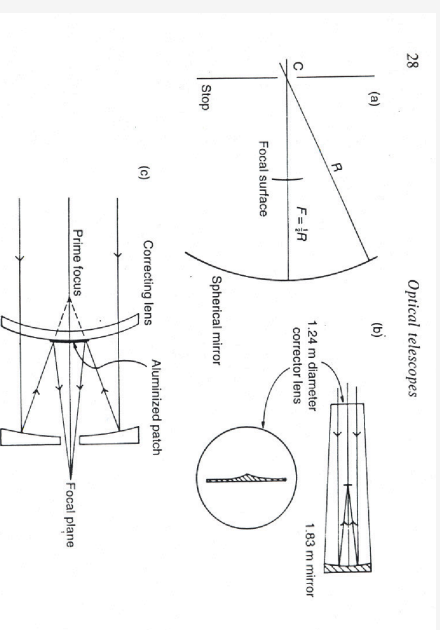
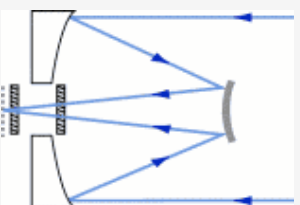


Fig. 2.6. (a) The principle of the Schmidt camera: all rays pass through the centre of curvature, C , because other rays are cut out by a stop at C , and so there are no off-axis aberrations; if the spherical mirror has radius R then the focal surface, which is also spherical, is at $R/2$ from the mirror. (b) A schematic scale drawing of the UK Schmidt Telescope on Sliding Spring Mountain, Australia; the inset shows the approximate shape of the corrector lens; note that in practice the clear aperture at C is a fair fraction of the mirror diameter (cf (a)). (c) A schematic drawing of a Maksutov–Cassegrain camera in which the tube is made considerably shorter because the light is reflected off an aluminized patch on the back of the mirror.

Smith

Sloan Telescope

- Duas lentes corretivas de campo
- As imagens são boas dentro de um campo de aproximadamente 1 grau de raio!



www.sdss.org

- Sloan Digital Sky Survey: levantamento fotométrico
 - ↳ cobertura: 8.000 graus quadrados

AST203 – CVR

7-37

Aumento do primário

- A construção de telescópios com grandes espelhos esbarra em dificuldades
 - ↳ produção de um espelho único e de forma precisa
 - ↳ estrutura: grande e precisa
- Soluções
 - ↳ espelho muito finos
 - ↳ mosaico de espelhos
 - Keck: 10m = 36 x 1,8m
 - suporte de cada espelho é independente (ótica ativa)
 - ↳ telescópios acoplados
 - Multi Mirror Telescope: 6 x 1,8m
 - Very Large Telescope: 4 x 8,2m

AST203 – CVR

7-38

40

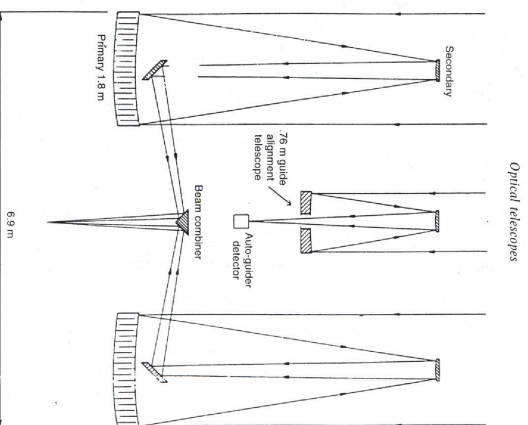


Fig. 2.17. The light paths through two of the six telescopes of the Multi-Mirror Telescope, showing how the light is brought to a common focus at the centre of the hexagonal array (Fig. 2.15). The guide telescope is mounted centrally above the beam combiner. (Reproduced, with permission, from *Telescopes for the 1990s*, ©1991, by Annual Reviews Inc.)

AST203 – CVR

7-39

Melhorando a imagem

- Ótica ativa
 - ↳ correções devidas a deformações no espelho primário devido à gravidade, vento e tensões mecânicas, por exemplo
 - ↳ ajuste realizados no espelho primário
 - ↳ tempo típico: minutos
- Ótica adaptativa
 - ↳ correção da turbulência atmosférica
 - ↳ espelho secundário
 - ↳ 10-100 ms
 - ↳ precisa de uma estrela guia: natural ou laser

AST203 – CVR

7-40

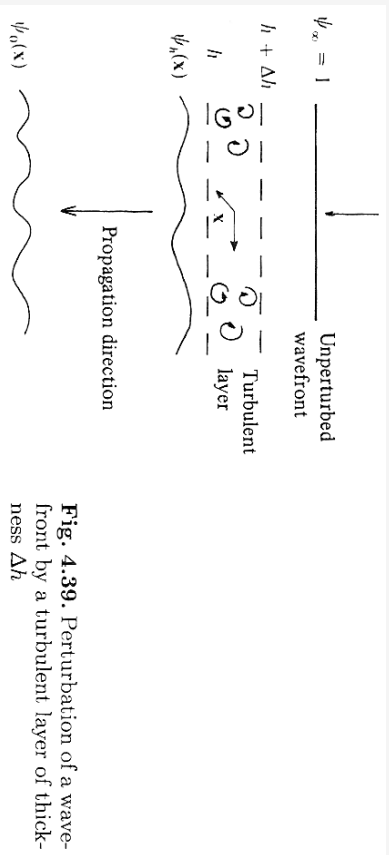
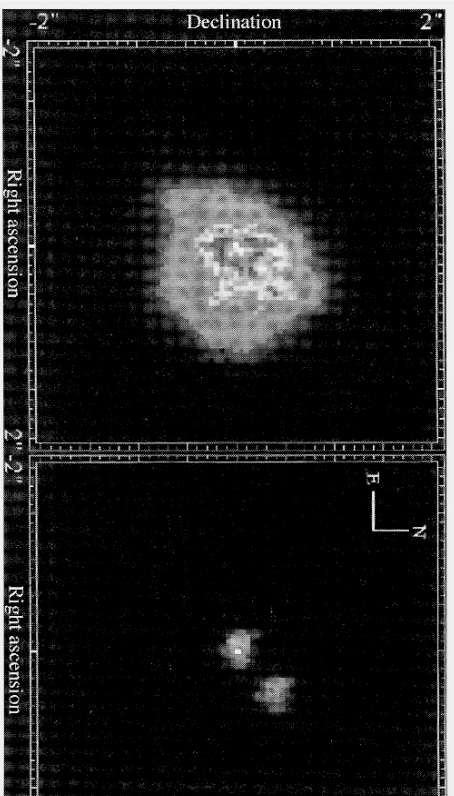


Fig. 4.39. Perturbation of a wavefront by a turbulent layer of thickness Δh

Léna



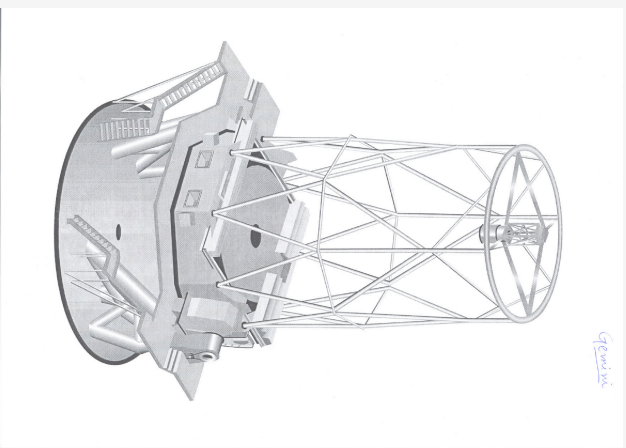
Léna - Fig. 4.46 Imagem de um sistema binário com e sem óptica adaptativa.



Wikipedia

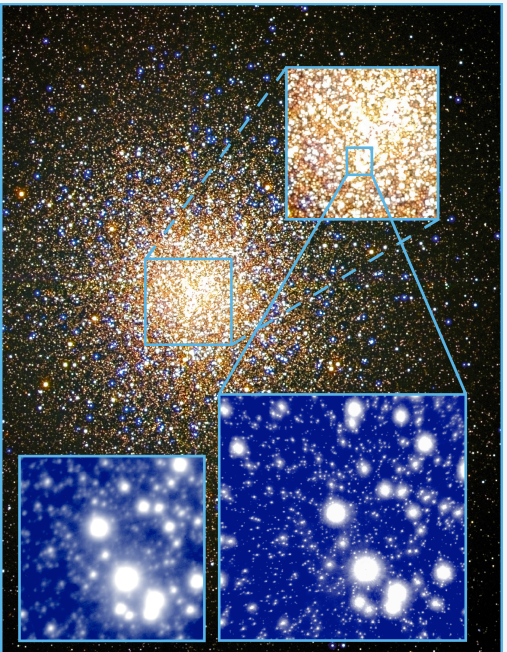
Ver também (Urano com e sem óptica adaptativa):

http://www2.keck.hawaii.edu/news/science/uranus/power_of_ao_uch.jpg



Gemini

Alto-azimutal
Instrumentos no foco Nasmyth
Óticas ativa e adaptativa



www.gemini.edu

This composite image shows a small section of the core of the globular cluster M-13 as imaged by the Altair adaptive optics system on Gemini North (upper blue inset; 0.060 arcsecond resolution). Beneath the Altair image is an uncorrected "natural seeing" image (0.26 arcsecond resolution). Wide-field background image courtesy of the Canada-France-Hawaii Telescope/Coelum/ Jean-Charles Cullandre.

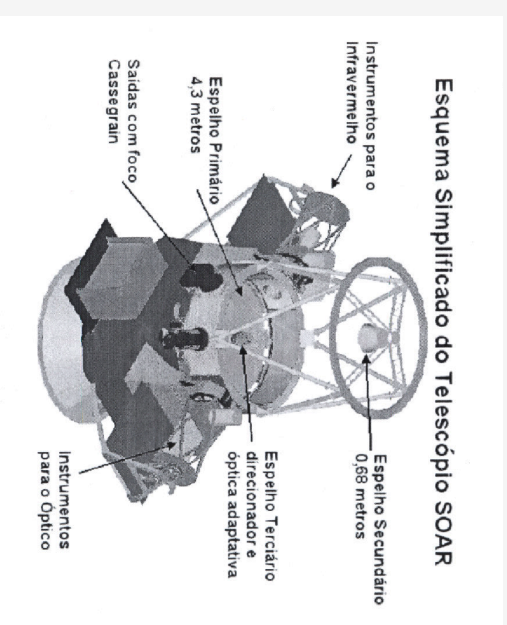
AST203 – CVR

7-45

- resultados do SOAR
 - ↳ SAM, por exemplo
 - ↳ espectros?
 - ↳

AST203 – CVR

7-47



AST203 – CVR

7-46

- Highly sensitive telescope designs for higher contrast observations**
- http://spie.org/x91920.xml?WT.mc_id=KNRASTROE
 - no link acima tem PSF de alguns desenhos de telescópios
 - disco de Airy é valido para aberturas circulares simples, mas não é sempre assim. Tem o secundário e seus suportes, por exemplo, que já introduzem modificações

AST203 – CVR

7-48