

Astrofísica Observacional (FIS-639)

Mestrado e Doutorado em Física e Astronomia



– Aula 3 –

Coletores de radiação.

Telescópios, antenas, Interferômetros.

Conceitos de ótica ativa e adaptativa.

Prof. Dr. Sergio Pilling

sergiopilling@yahoo.com.br

<http://www1.univap.br/spilling>



Breve histórico:

~ 3500 A.C. – os fenícios descobrem o vidro

~ 500 A.C. – gregos observam e descrevem deformações e caminhos ópticos em vidros e espelhos



Sécs. XIII a XVI – desenvolvimento pleno de lentes unitárias (óculos, lentes e lupas)

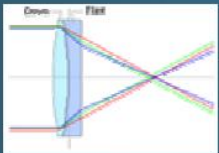
1608 – primeira patente de um telescópio por Hans Lippershey, na Holanda

1609 – Galileu Galilei aponta um telescópio para o céu pela primeira vez.



Breve histórico:

1650 a 1680 – construção dos primeiros refletores
Gregory, Newton, Herschel,
Cassegrain

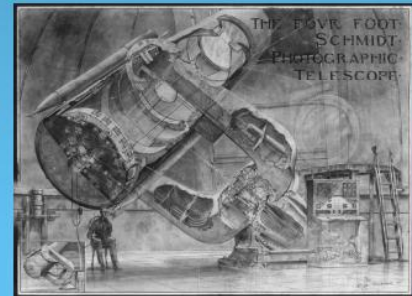


1720 a 1730 – invenção das lentes acromáticas

Sécs. XVIII a XX – aumento da qualidade e tamanho



1970 a 1980 – início dos espelhos de segmentos

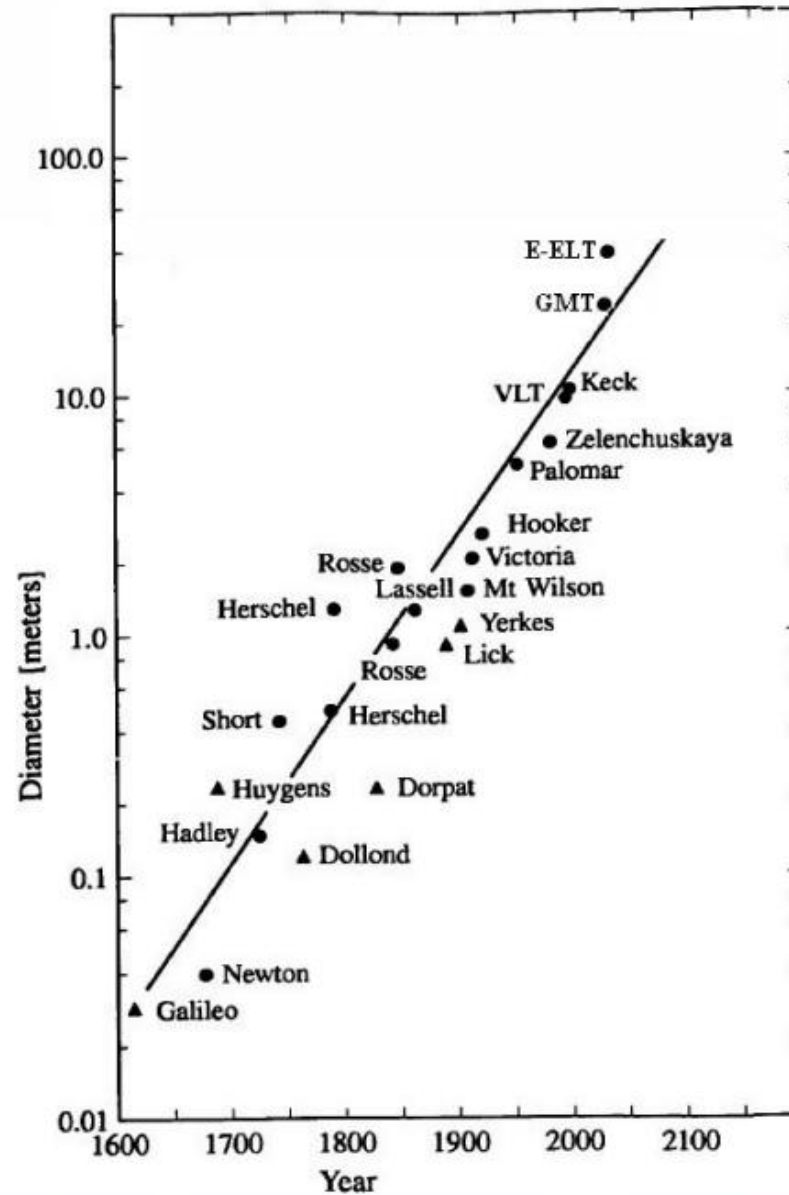


1990 até hoje – telescópio óptico espacial



Breve histórico:

10x ~ 150 anos



- Lentes (vantagens e problemas)

parallel ray
chief ray

$1/s + 1/s' = 1/f$ $s' = \frac{s \cdot f}{s - f}$

Lateral magnification $m = \frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}$

Lens maker's formula $\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$

Power (diopters) $P = \frac{1}{f_{\text{meters}}}$

Thin lenses in contact $P = P_1 + P_2$ $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$

Refração

- Index of refraction is wavelength dependant
- Usual λ s are labeled by their Fraunhofer line labels

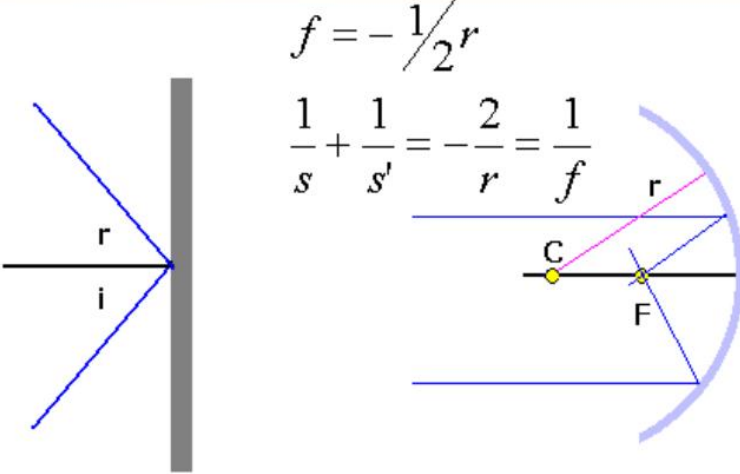
Fraunhofer Line	Color	Index of Refraction
F	blue	1.533
D	yellow	1.527
C	red	1.524

Single lens Crown Flint

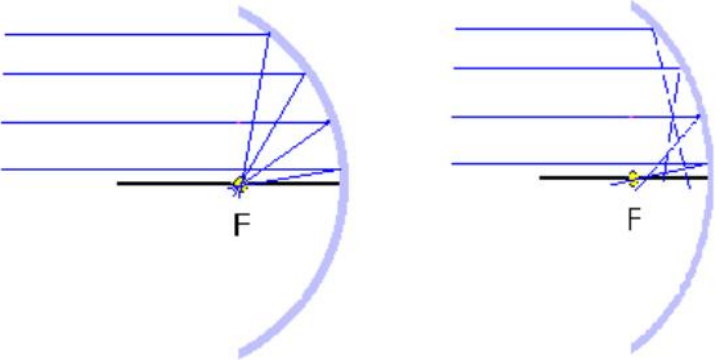
Chromatic aberration Achromatic doublet

Cheap telescopes with single lenses produce blurry images with fringes of false color. The Galileoscope features higher-quality achromatic doublet lenses. Diagrams courtesy Renato Caniatti/Wikipedia; Moon photos by R. Fienberg.

- Espelhos (vantagens e problemas)



The diagram shows a plane mirror on the left with an object distance r and image distance i . On the right, a spherical mirror is shown with its center of curvature C and focal point F . The radius of curvature is r and the focal length is f . The mirror equation is given as $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = -\frac{2}{r} = \frac{1}{f}$. The focal length equation is $f = -\frac{1}{2}r$.



Two diagrams illustrate light ray behavior. The left diagram, labeled "Parabolic Surface", shows parallel rays reflecting through a single focal point F . The right diagram, labeled "Spherical Aberration", shows parallel rays reflecting through different focal points, illustrating the problem of spherical mirrors.

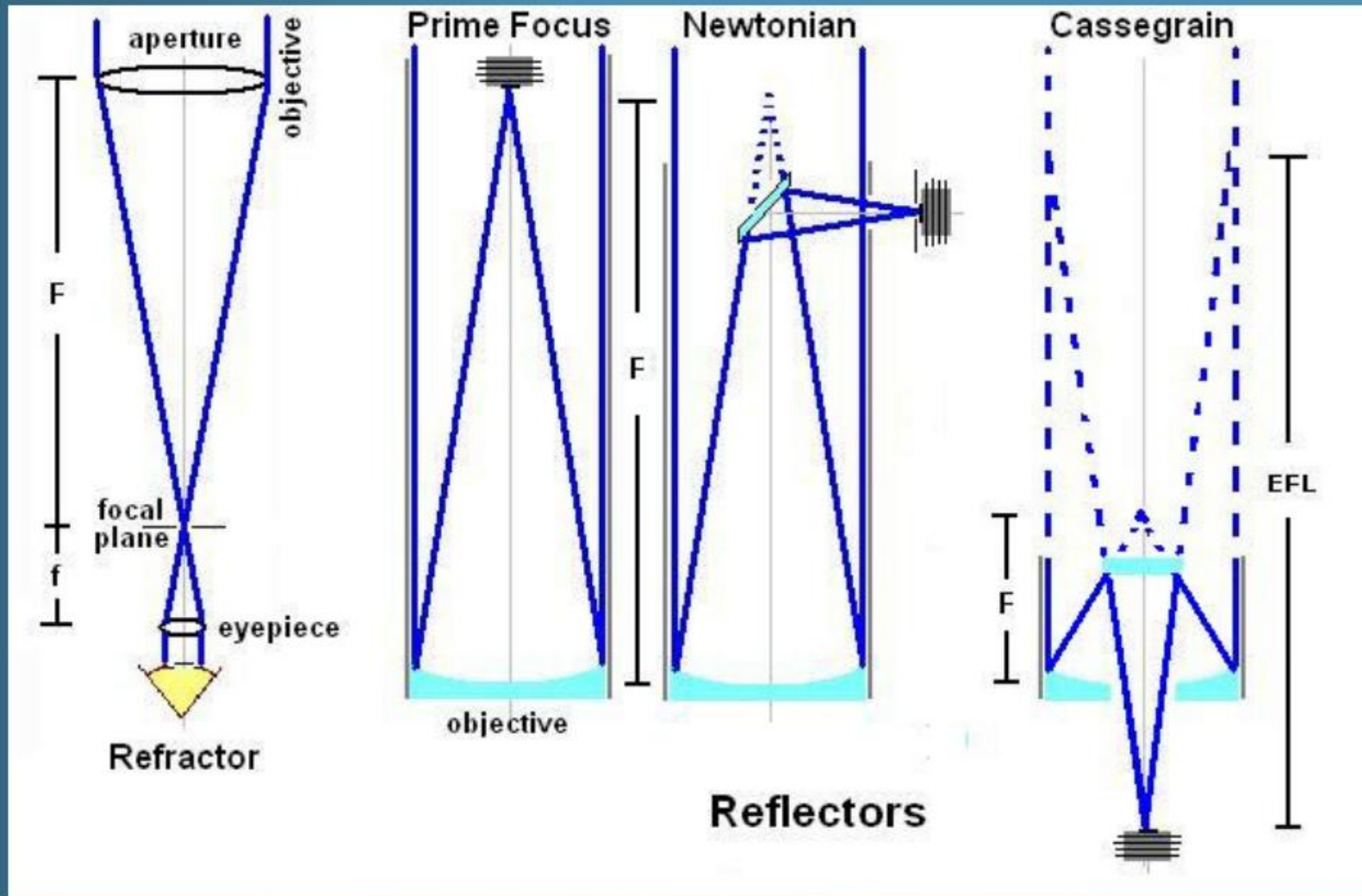


Telescópios

Características importantes

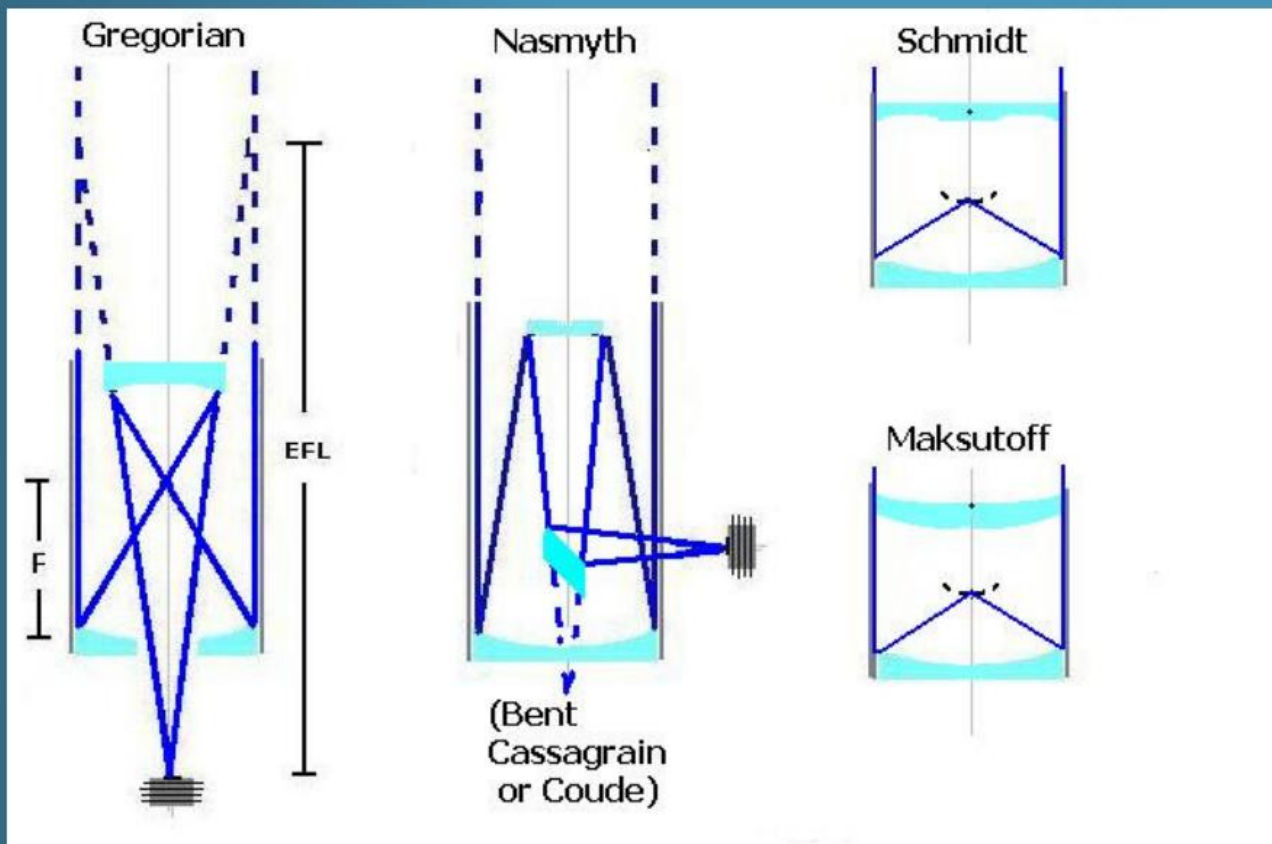
- a) Diâmetro do elemento óptico principal (D)
- b) Distância Focal (f) e Razão de Abertura ($F = D / f$)
- c) Amplificação ($A = f / f'$)
- d) Resolução Espacial ($\text{sen}(\theta) = 1.22 \lambda / D$)
- e) Amplificação Máxima ($A_{\text{max}} = \alpha_{\text{olho}} / \theta$)
- f) Tamanho angular ($s = f \cdot \tan(\beta)$)
- g) Escala de Placa ($s = f / 206.265$)
- h) Tipo de Foco (Newtoniano, Cassegrain, Coudé)

Refratores e Refletores



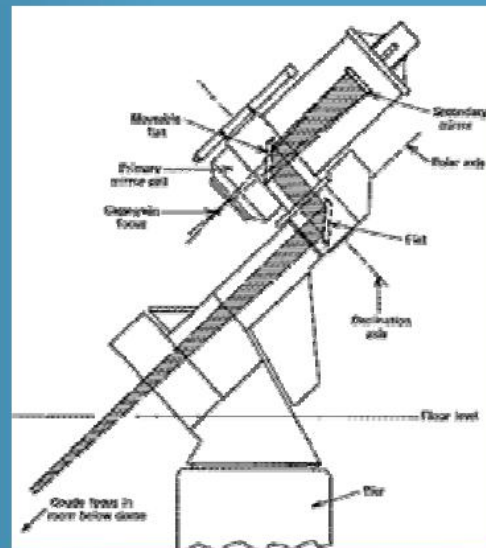
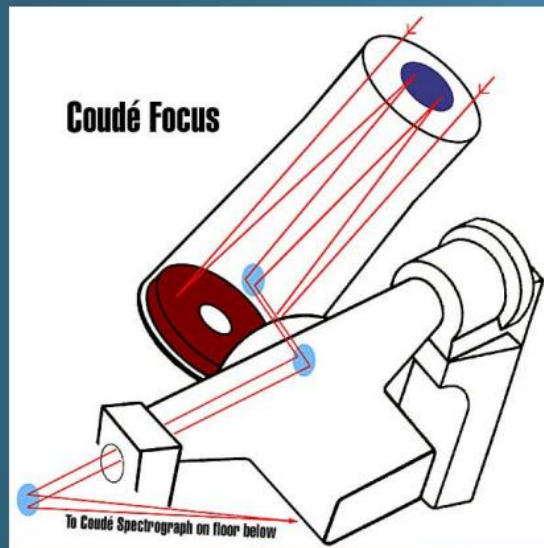
Telescópios

Alternativos e mistos



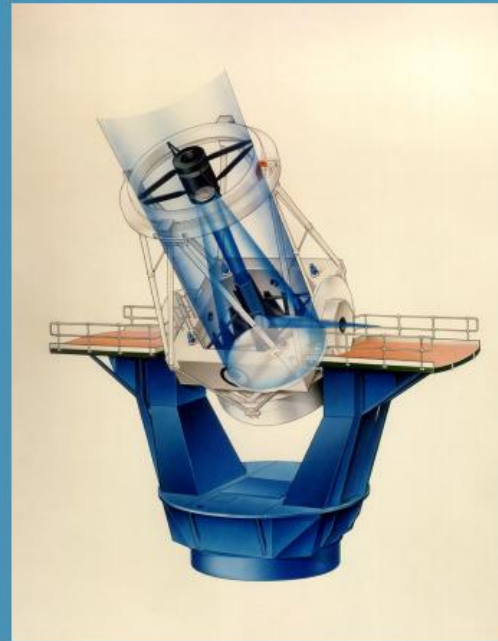
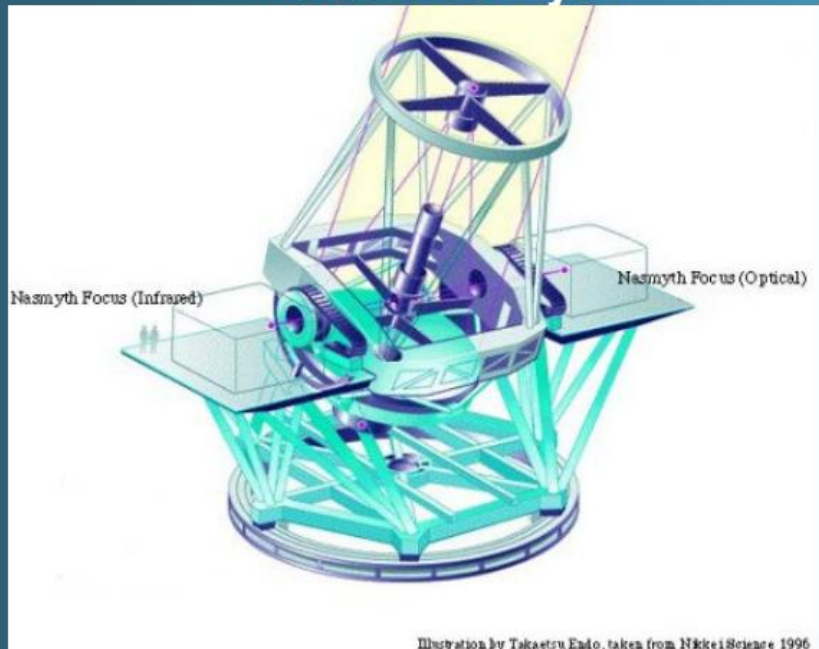
- Detalhes sobre as principais montagens.

Foco Coudé – muito utilizado até meados de 1990.



Possibilitou espectroscopia de alta resolução
Problemas: perda de luz, rotação do campo

Foco Nasmyth



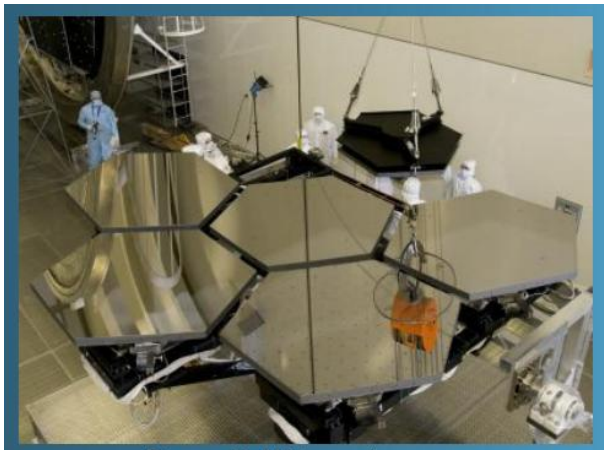
Utilizado nos grandes telescópios, montagem de bancadas multi-instrumentos

Problemas: perda de luz, rotação de campo

Espelhos de multi-elementos (montagem gregoriana)



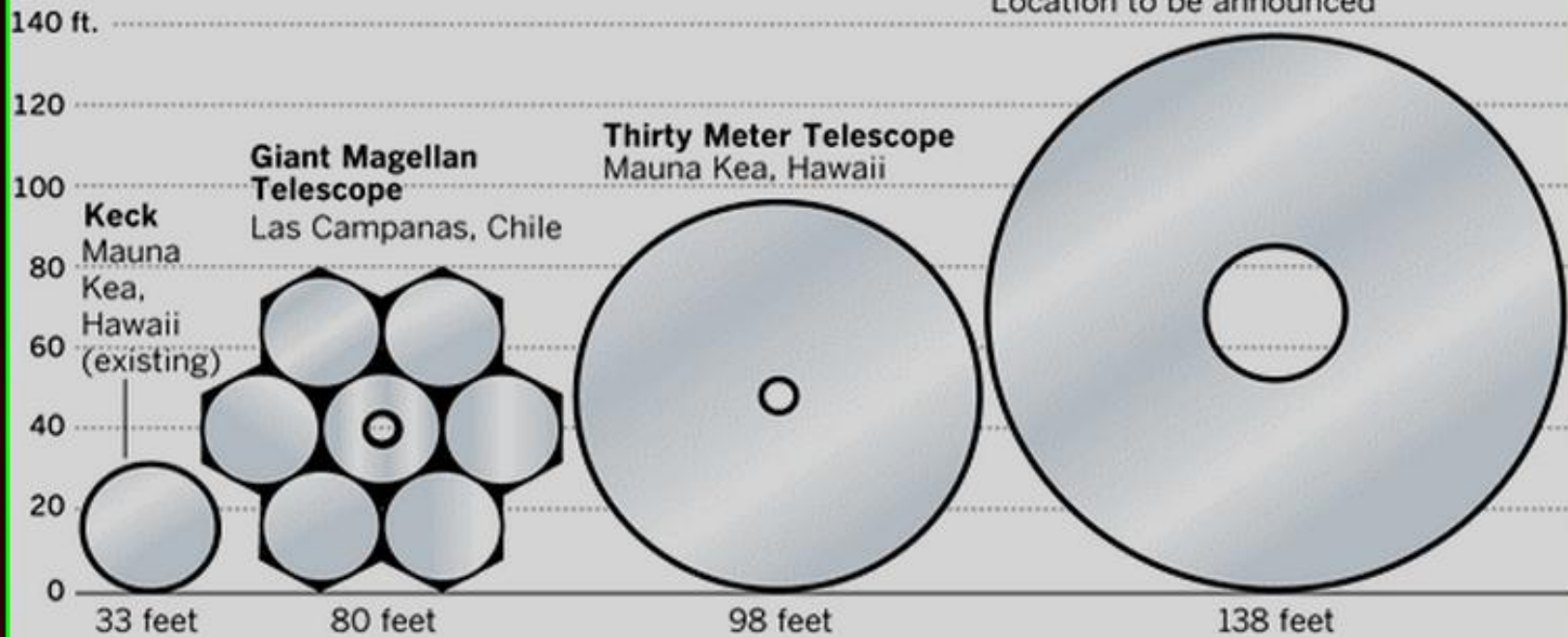
Possibilitou áreas enormes, evitando a deflexão gravitacional
Problemas: manutenção da curvatura do espelho



The Giant Magellan Telescope is one of three monstrous telescopes in various stages of construction around the world. The telescopes are projected to be finished by 2018.

Diameter

European Extremely Large Telescope
Location to be announced

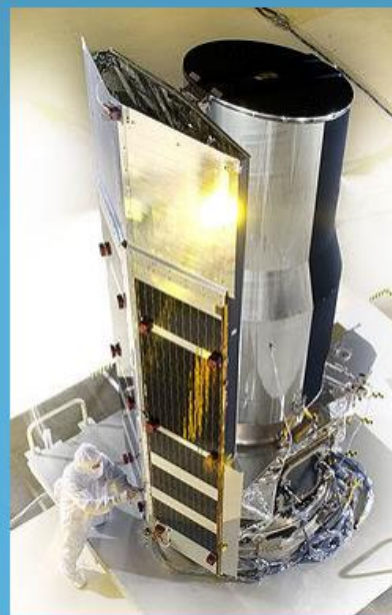


Sources: European Southern Observatory, GMTO Corp., TMT

MARK HAPER Los Angeles Times

<http://horse-doc.com/html/homeopathy2.html>

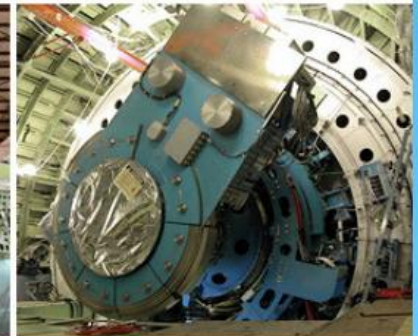
Telescópios ajustados para regiões do espectro



A especialização pode ser para o azul (UV) ou para o infravermelho. Inclui lentes, espelhos e coatings especiais, design especializado e resfriamento.

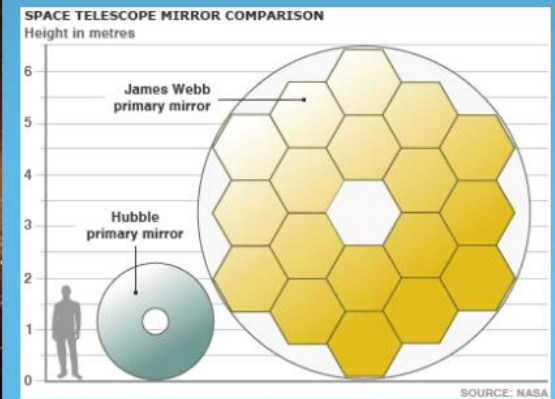
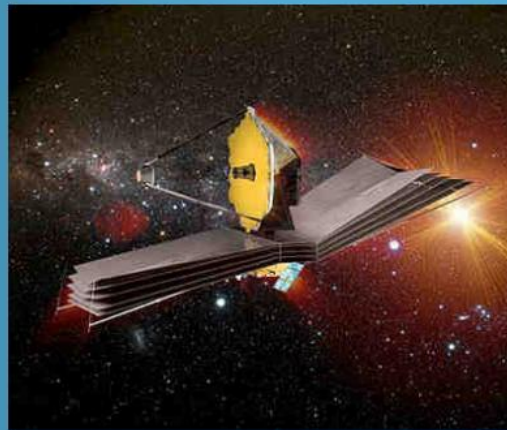
Problemas: telescópio especialista, pouco versátil.

Telescópios Espaciais e estratosféricos



Fogem dos efeitos atmosféricos
Problemas: grandes custos de montagem e operacional

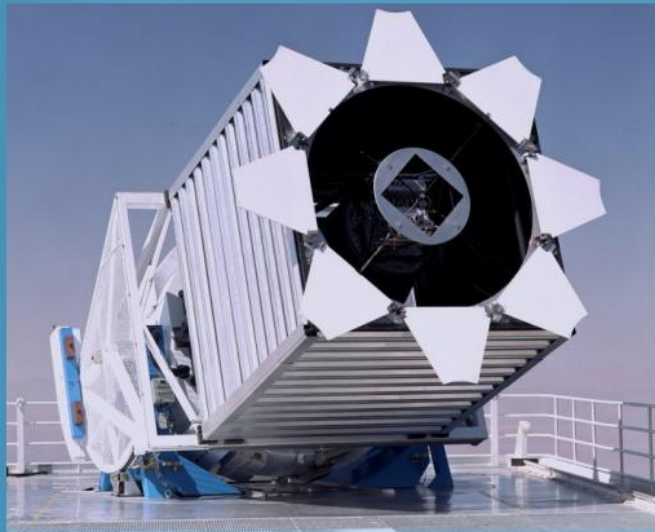
Telescópios Espaciais e estratosféricos



Fogem dos efeitos atmosféricos

Problemas: grandes custos de montagem e operacional

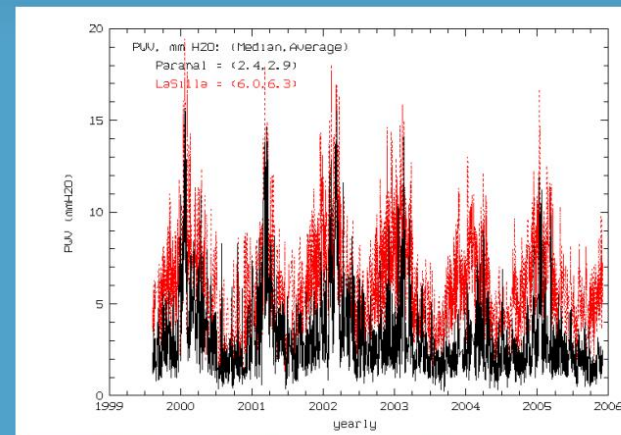
Telescópios Dedicados



Surveys, robóticos, grande campo
Problemas: muito específicos e exclusivos

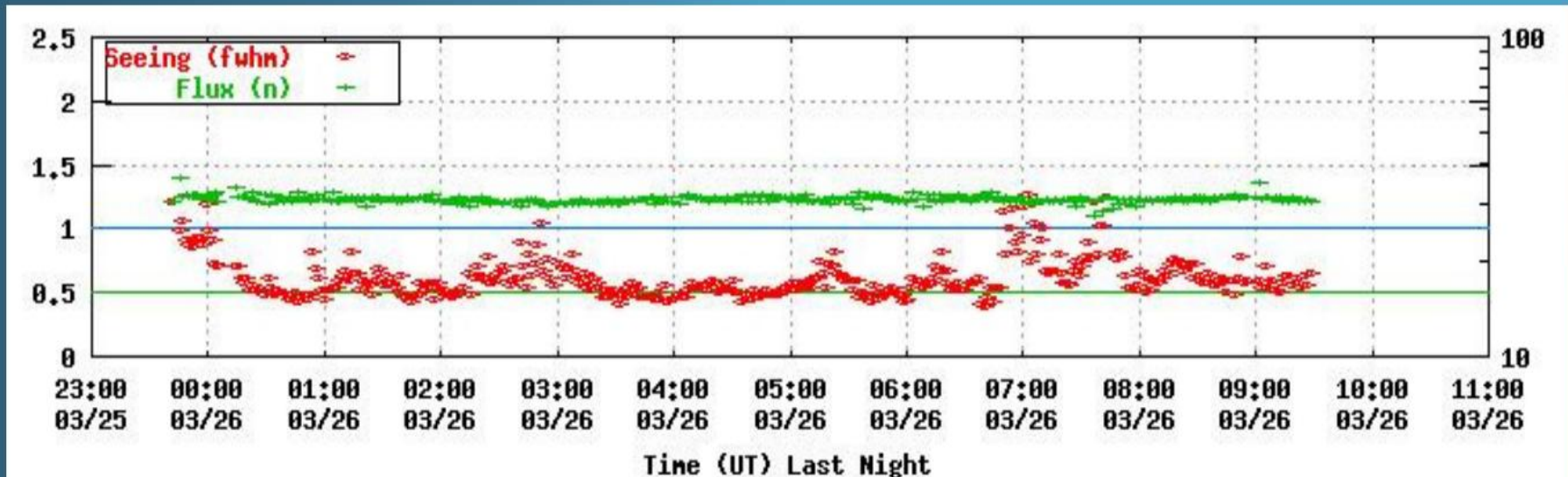
A importância do sítio do telescópio

- Grandes altitudes (preferência $h > 4.000$ m)
- Cobertura de nuvens pequena ($< 25\%$ do tempo)
- Pequena coluna de vapor de água (< 10 mm)
- Regime de ventos (estável e suave)
- Variabilidade térmica (a mínima possível)
- Terreno estável (maciços rochosos)
- Longe de poluição luminosa
- O mais próximo possível de logística adequada (custo)



Fugir dos efeitos atmosféricos (grandes altitudes)
Estabilidade atmosférica (cobertura de nuvens e turbulência)

A importância do sítio do telescópio



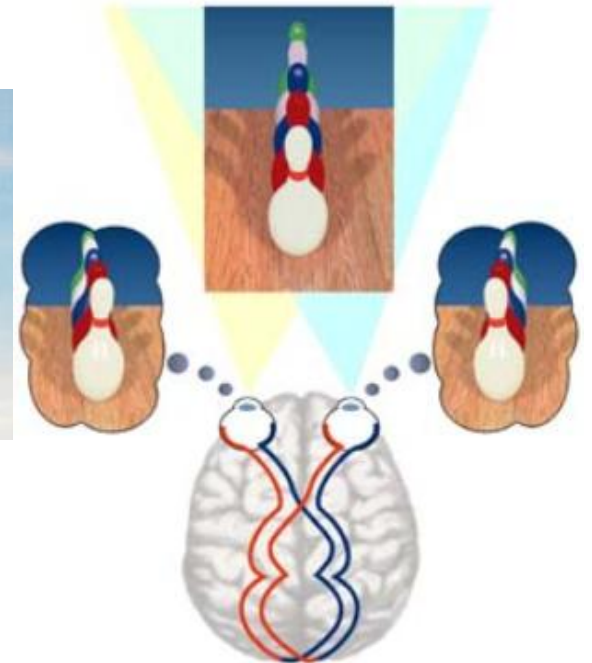
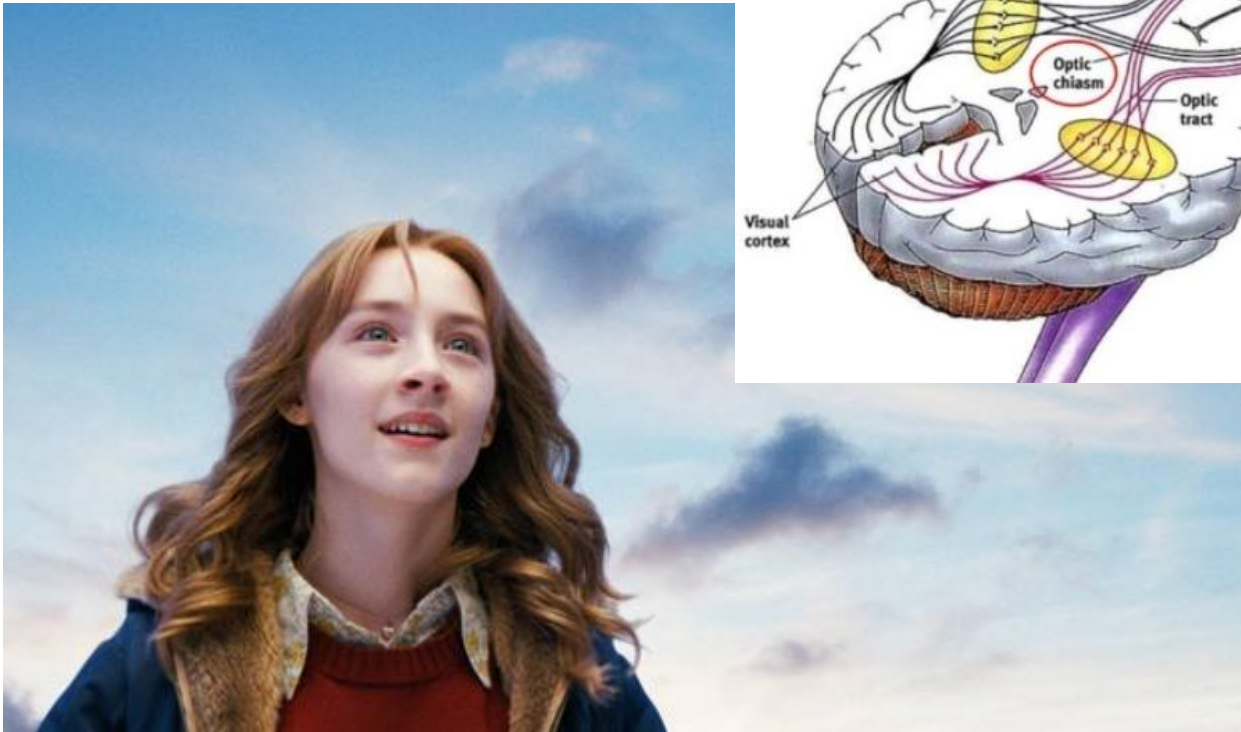
Cerro Tololo – 25-26 de Março de 2010

Fugir dos efeitos atmosféricos (grandes altitudes)

Estabilidade atmosférica (cobertura de nuvens e turbulência)

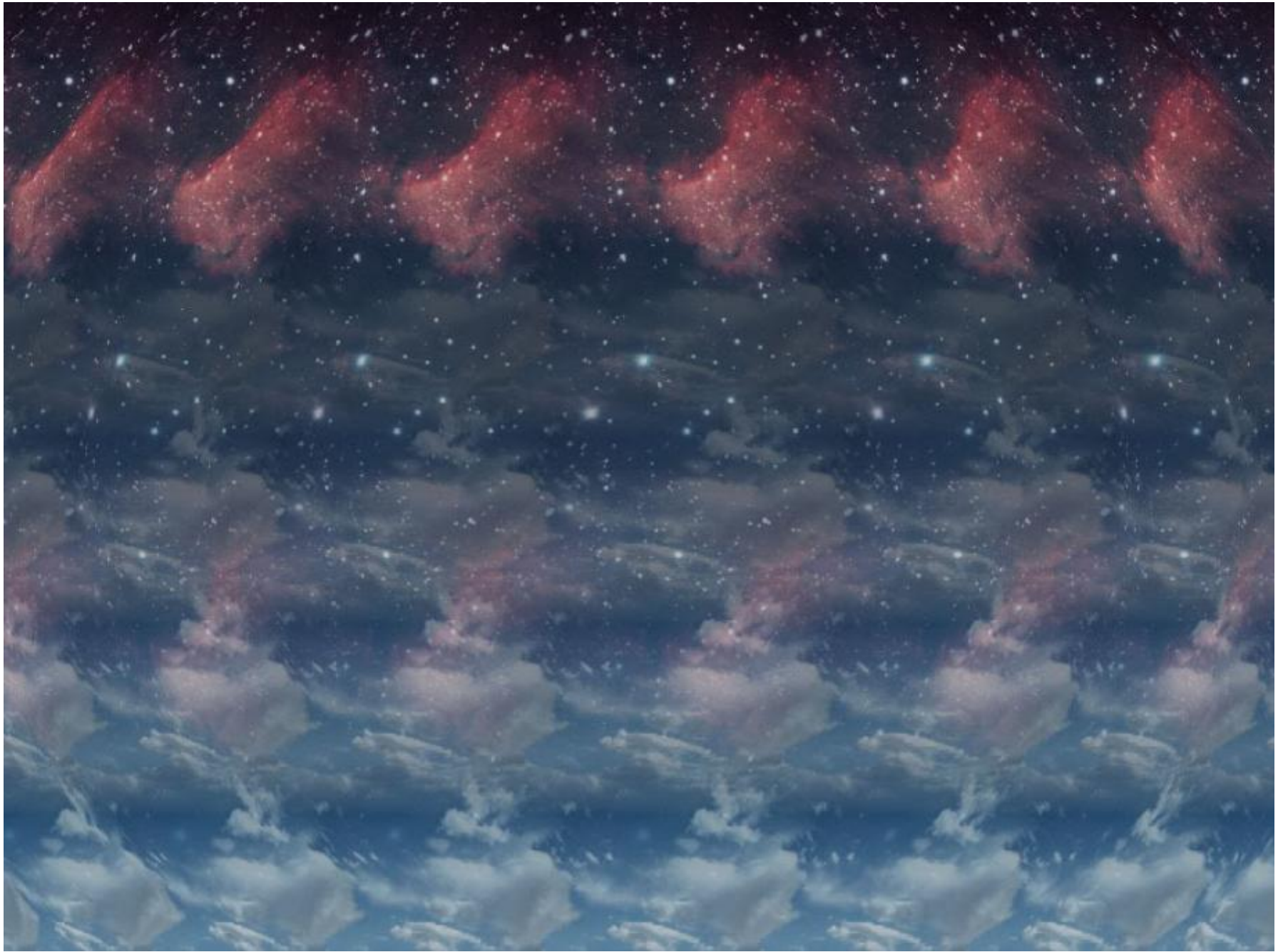
Interferômetros

- Olhos (“primeiro interferômetro”)
- Visão binocular, profundidade.

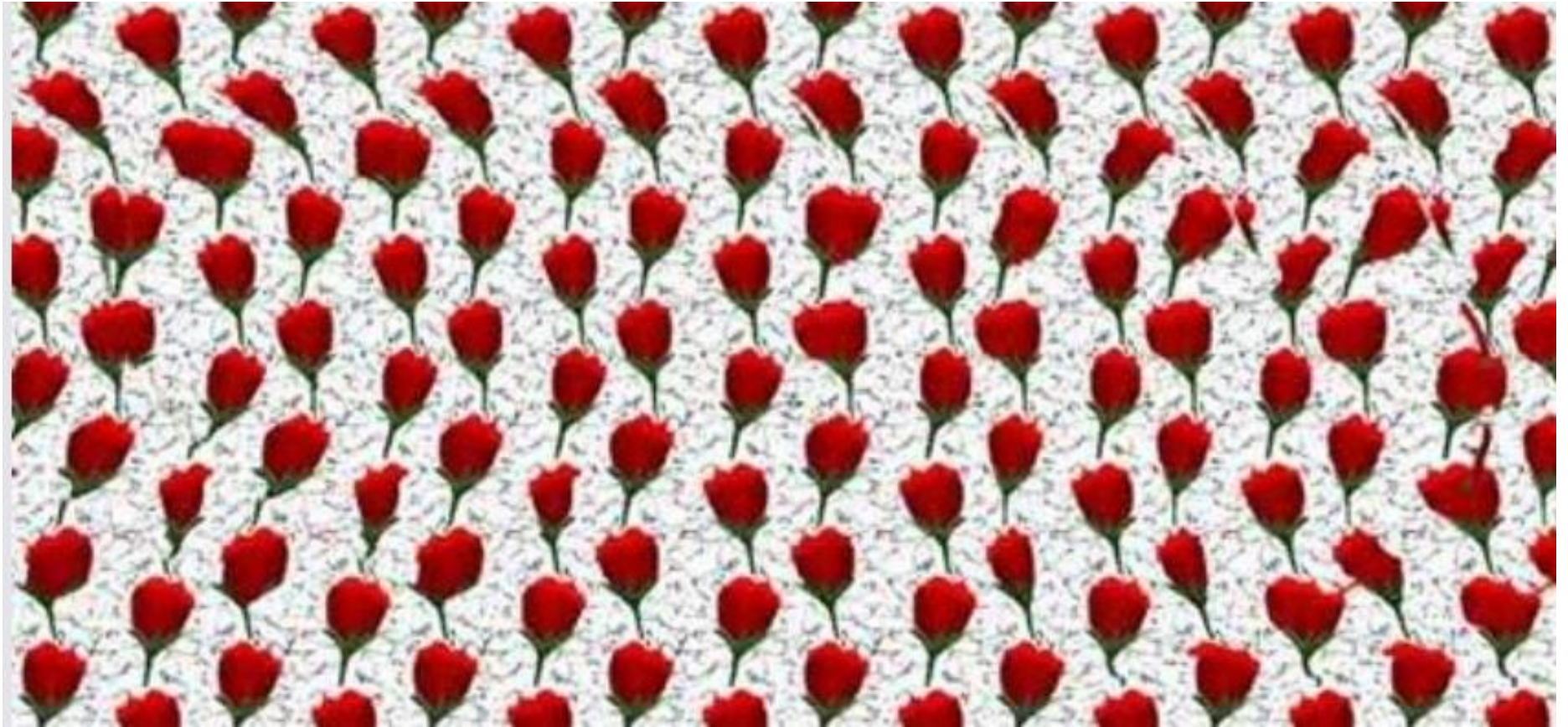




<http://www.eyetricks.com/3dstereo148.htm>

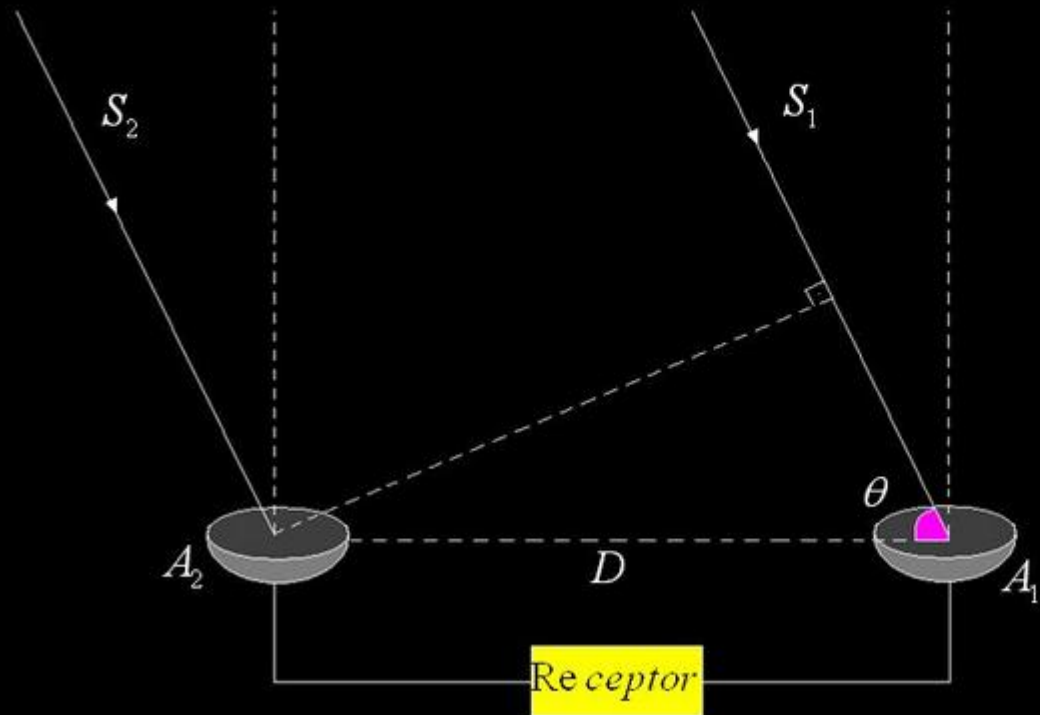


<http://mustangforums.com/forum/off-topic/520594-stereograms-lots-of-pictures.html>



<http://mustangforums.com/forum/off-topic/520594-stereograms-lots-of-pictures.html>

Interferometria

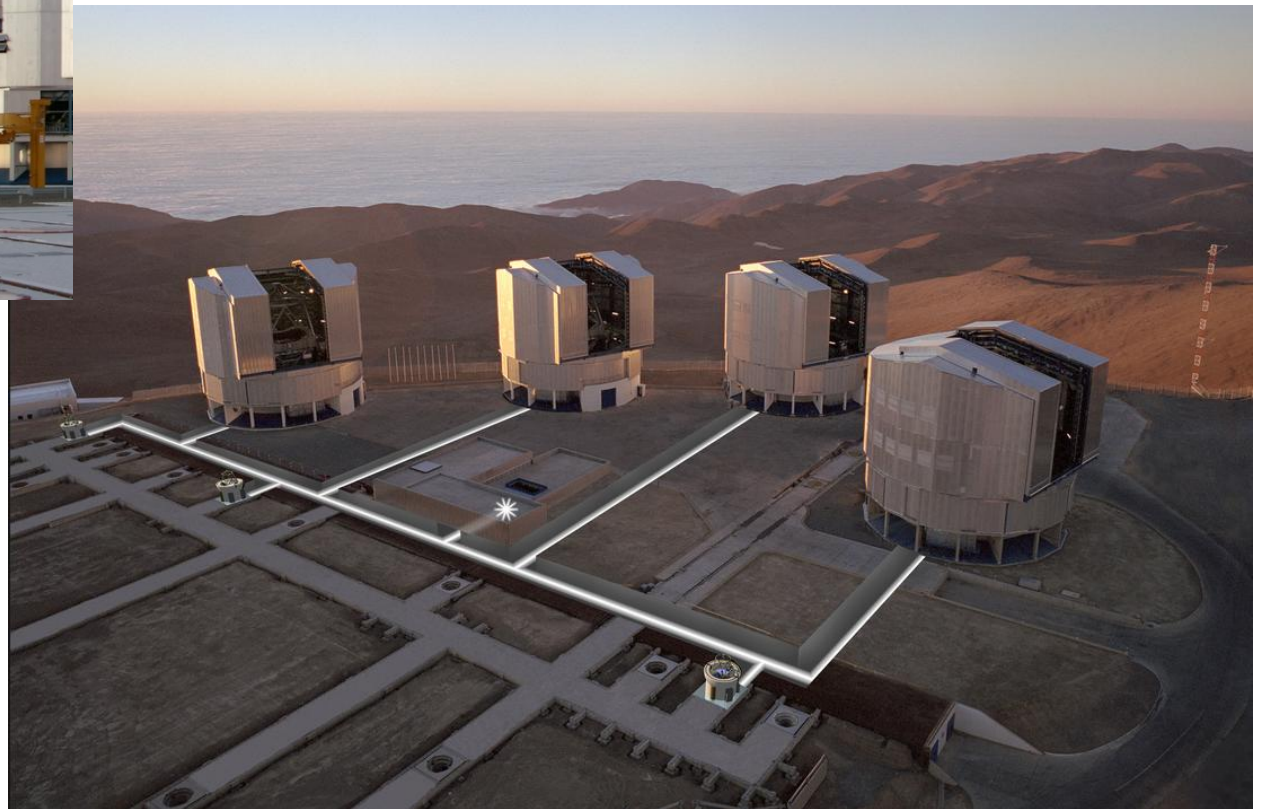


$$\phi = \frac{2\pi D}{\lambda} \cos \theta + \phi_c$$

Correlação
dos dados:

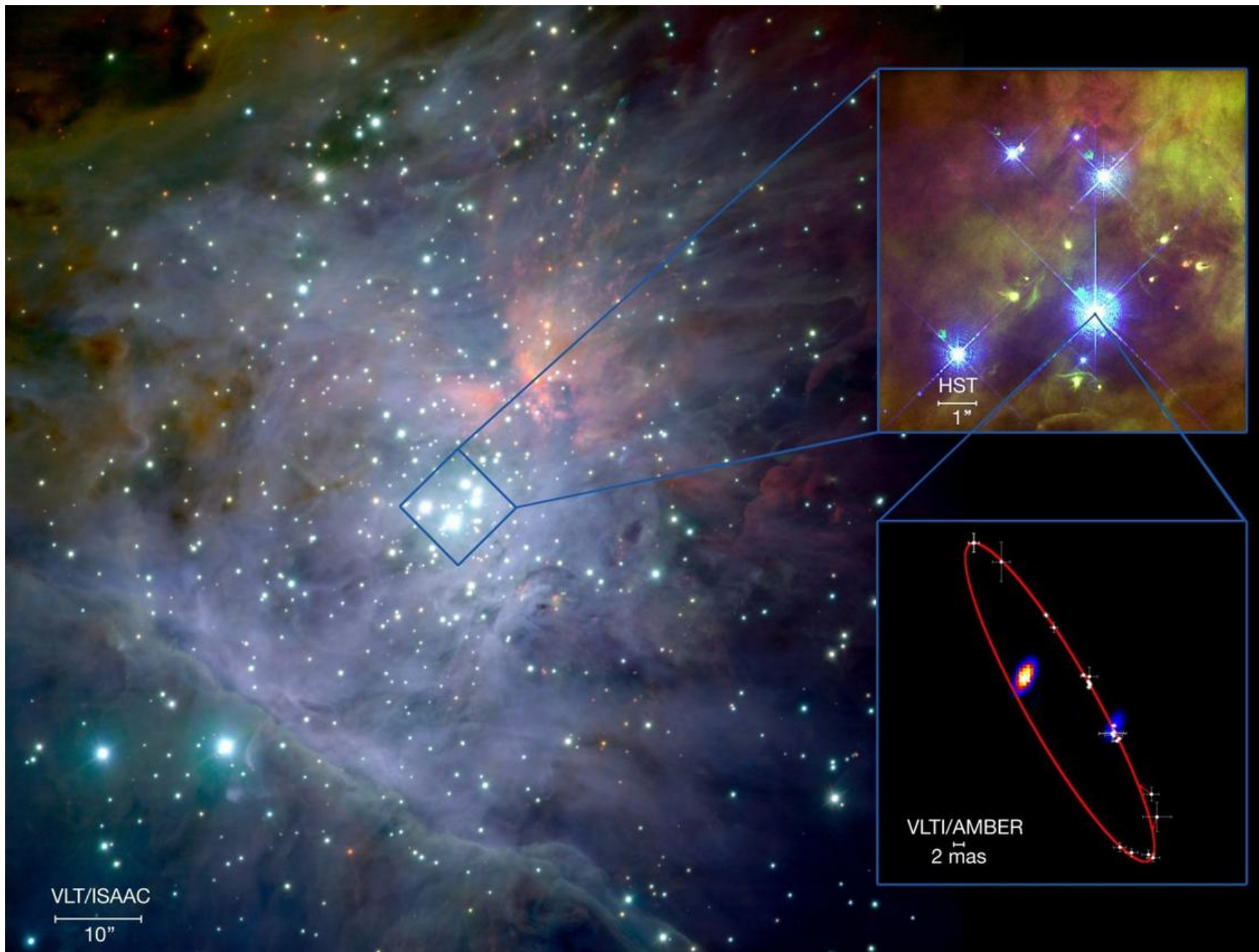
$$P = P_0 \cos \phi$$

VLT & VLTI



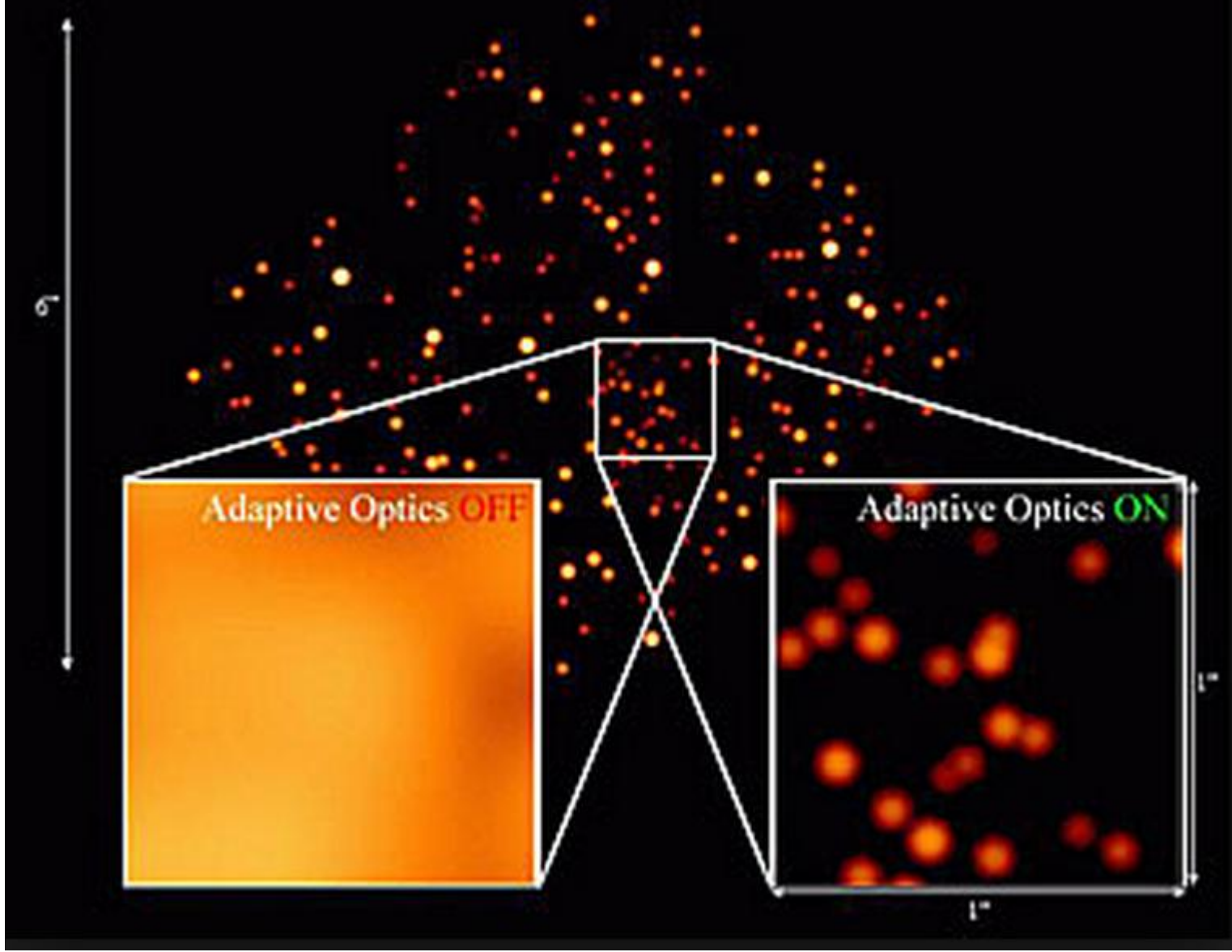


<http://www.space.com/15717-vlt-action.html>



<http://phys.org/news/2009-02-metre-virtual-telescope-captures-unique.html> (Double stars)

The Galactic Center at 2.2 microns



O Alma em ação

As etapas do processo de captação, transmissão e processamento de dados pelo conjunto de 66 antenas





VLA - VERY LARGE ARRAY

Socorro, New Mexico-EUA



VLBA - VERY LARGE BASELINE ARRAY

VLBA Very Long
Baseline Array



*Mount Kea
Hawaii*



*Owens Valley
California*



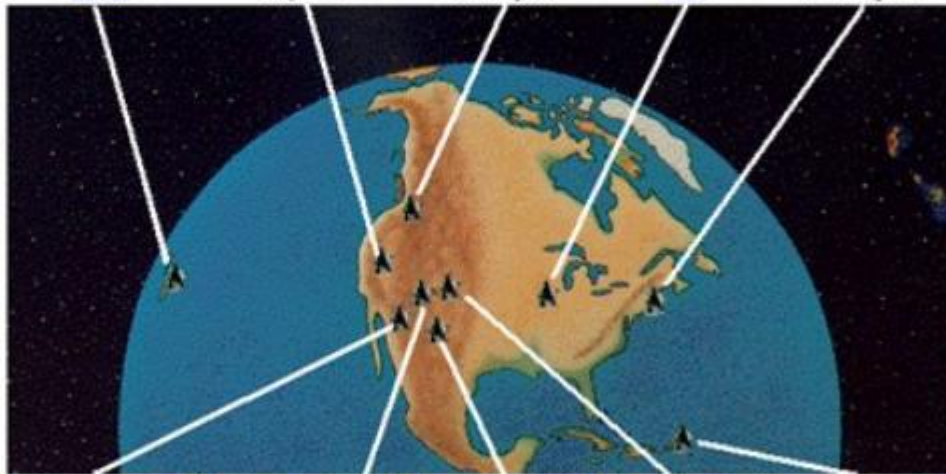
*Brewster
Washington*



*North Liberty
Iowa*



*Hancock
New Hampshire*



*Kitt Peak
Arizona*



*Pie Town
New Mexico*



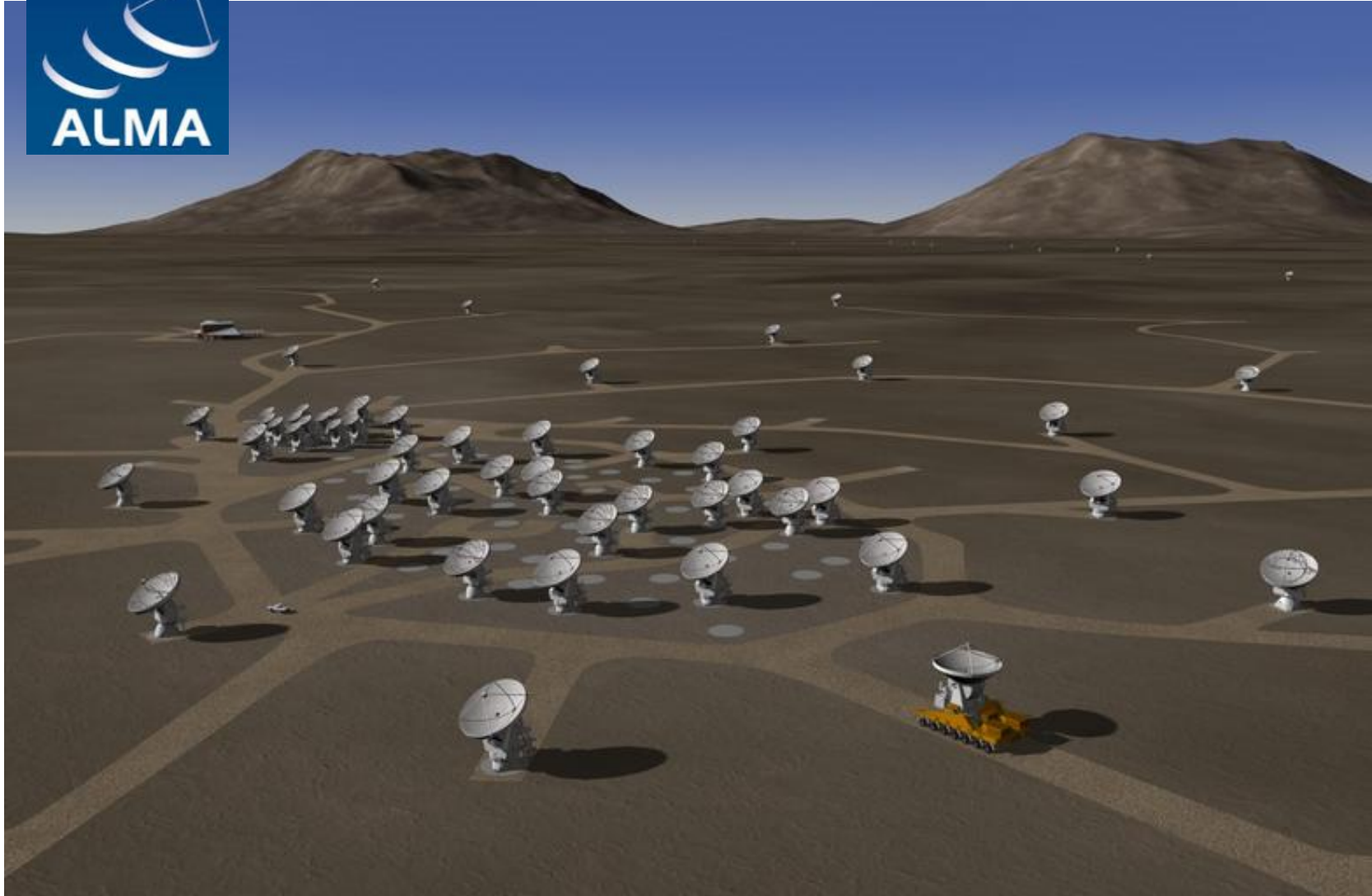
*Fort Davis
Texas*



*Los Alamos
New Mexico*



*St. Croix
Virgin Islands*






One Huge Telescope Made From Many Small Dishes

The ALMA array is an **interferometer**: many small radio telescopes working together as a single large telescope.

Each individual dish is up to 40 feet in diameter (12 meters) and weighs 115 tons. Dishes are being provided by European, Asian and American partners.

The dishes can be picked up and rearranged by large transport vehicles.



Array of up to 66 antenna dishes collects radiation from the sky and creates a digital signal

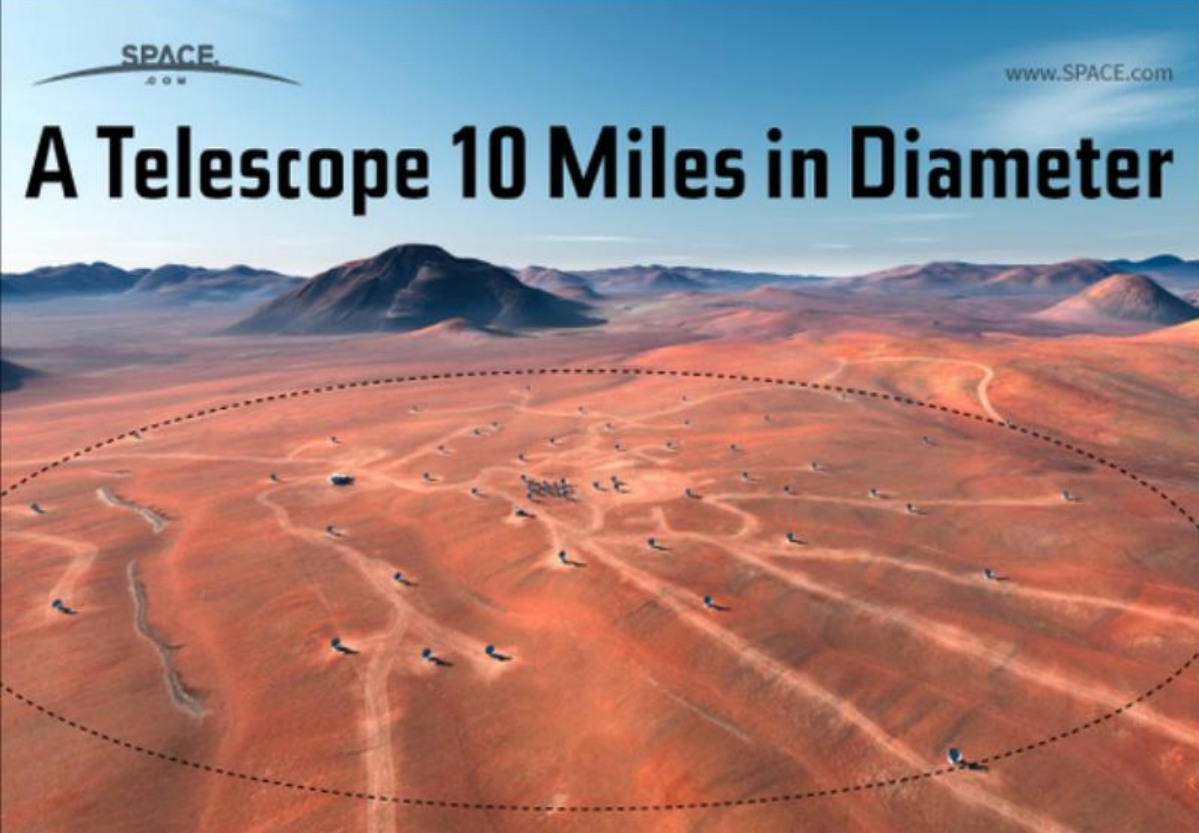
Optical fiber carries the digital signal up to 10 miles (16 km)

Operations support facility combines the output into a single image

Human to scale

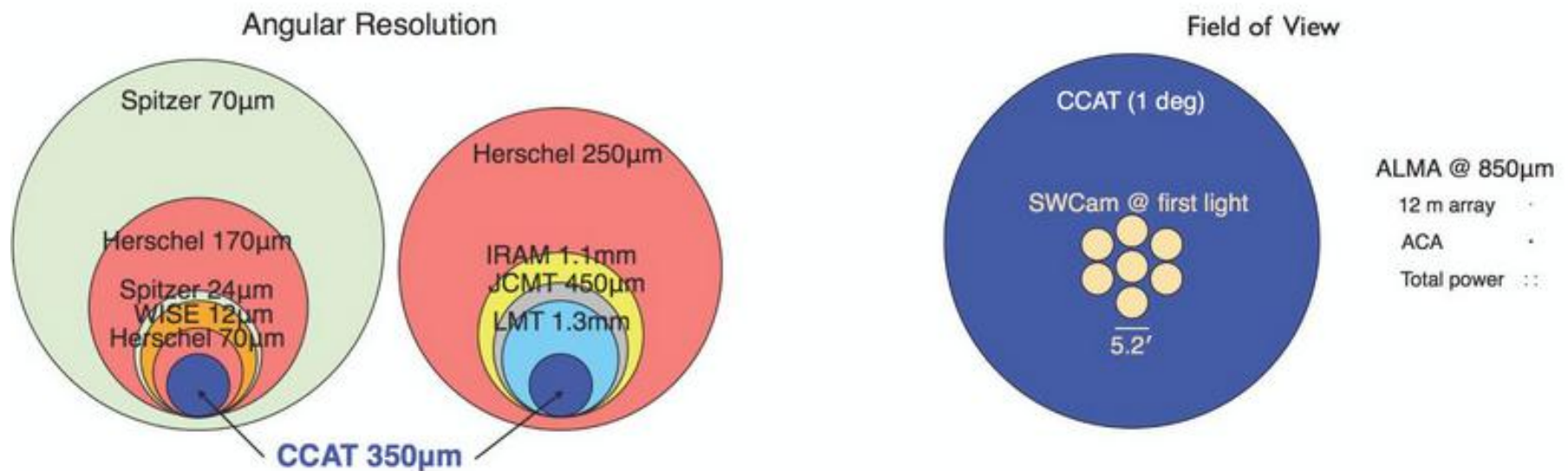
SPACE.com www.SPACE.com

A Telescope 10 Miles in Diameter



ABOVE: ARTIST'S RENDERING OF COMPLETED ALMA TELESCOPE ARRAY (CREDIT: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), L. CALCADA (ESO))

Resolução angular (espacial) & Campo de Visão



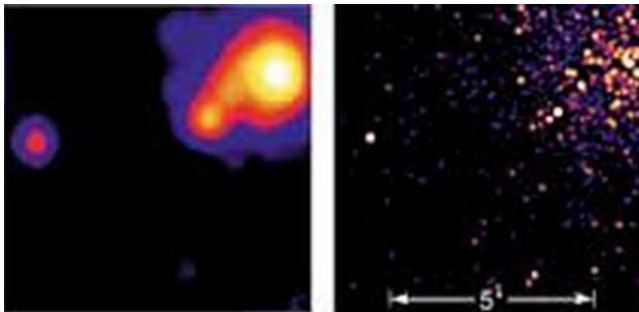
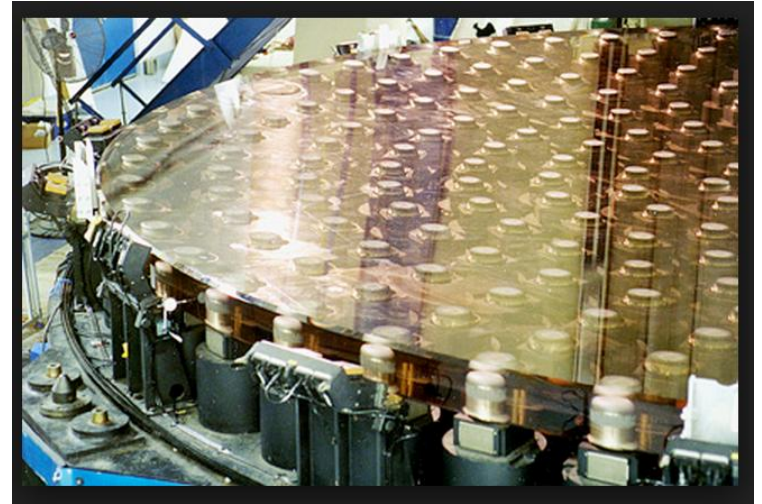
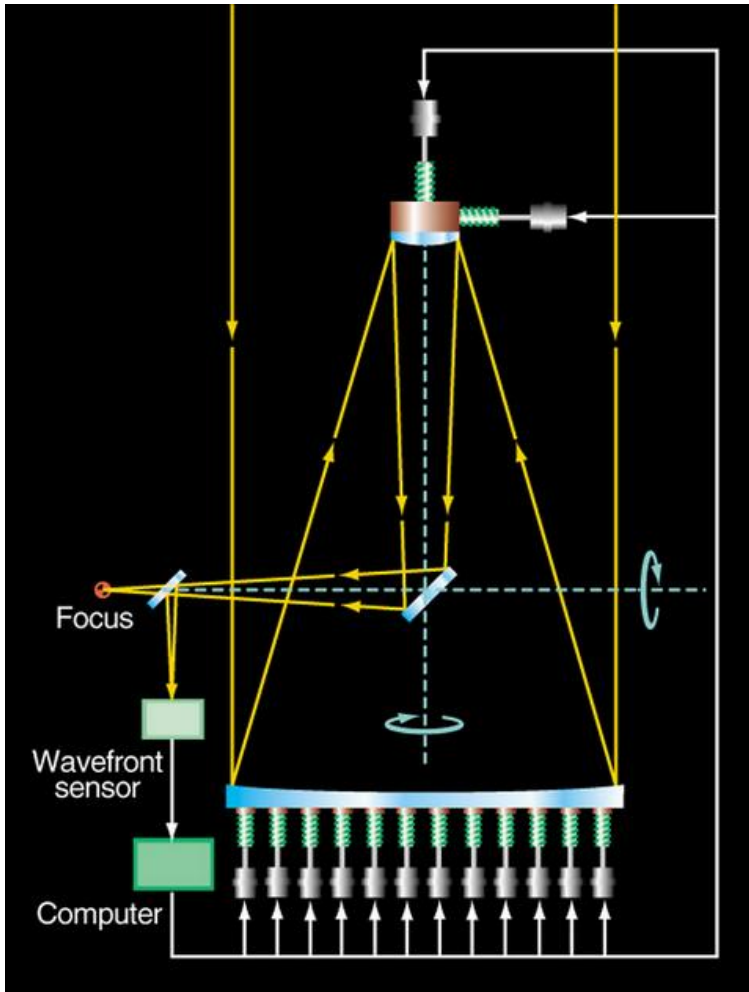
http://www.ccatobservatory.org/index.cfm/page/science/science-facts/star_formation.htm

Óptica ativa e adaptativa

- Técnicas para corrigir as distorções na propagação das ondas EM pela atmosfera terrestre e através da óptica do telescópio.

Óptica Ativa

- Corrige o sistema óptico do telescópio para deformações no primário, desalinhamento do eixo focal ou deformações nos componentes do detector (colimadores, lentes focalizadoras, etc) causadas pela gravidade, pelo vento e outros fatores.
- Efeitos deste tipo atuam em escalas de tempo da ordem 1s ($f \sim 1\text{Hz}$) e se aplicam ao telescópio como um todo.

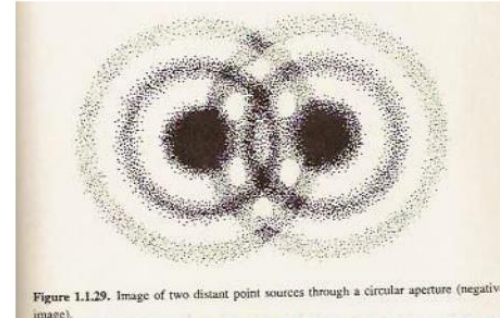
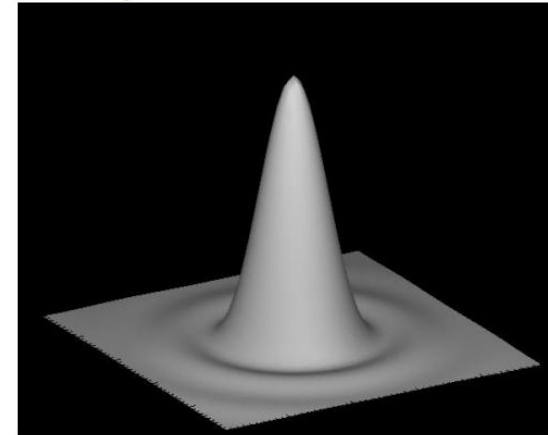


Óptica Adaptativa (AO – Adaptative optics)

- Conceitos iniciais

Padrão de difração

- Padrão com máximos e mínimos de intensidade (anéis de Airy).
- $\Theta_{\text{lim}} = 1.22 \lambda/D$: largura do máximo primário.
- Imagens pontuais a menos de Θ_{lim} nunca se resolvem.

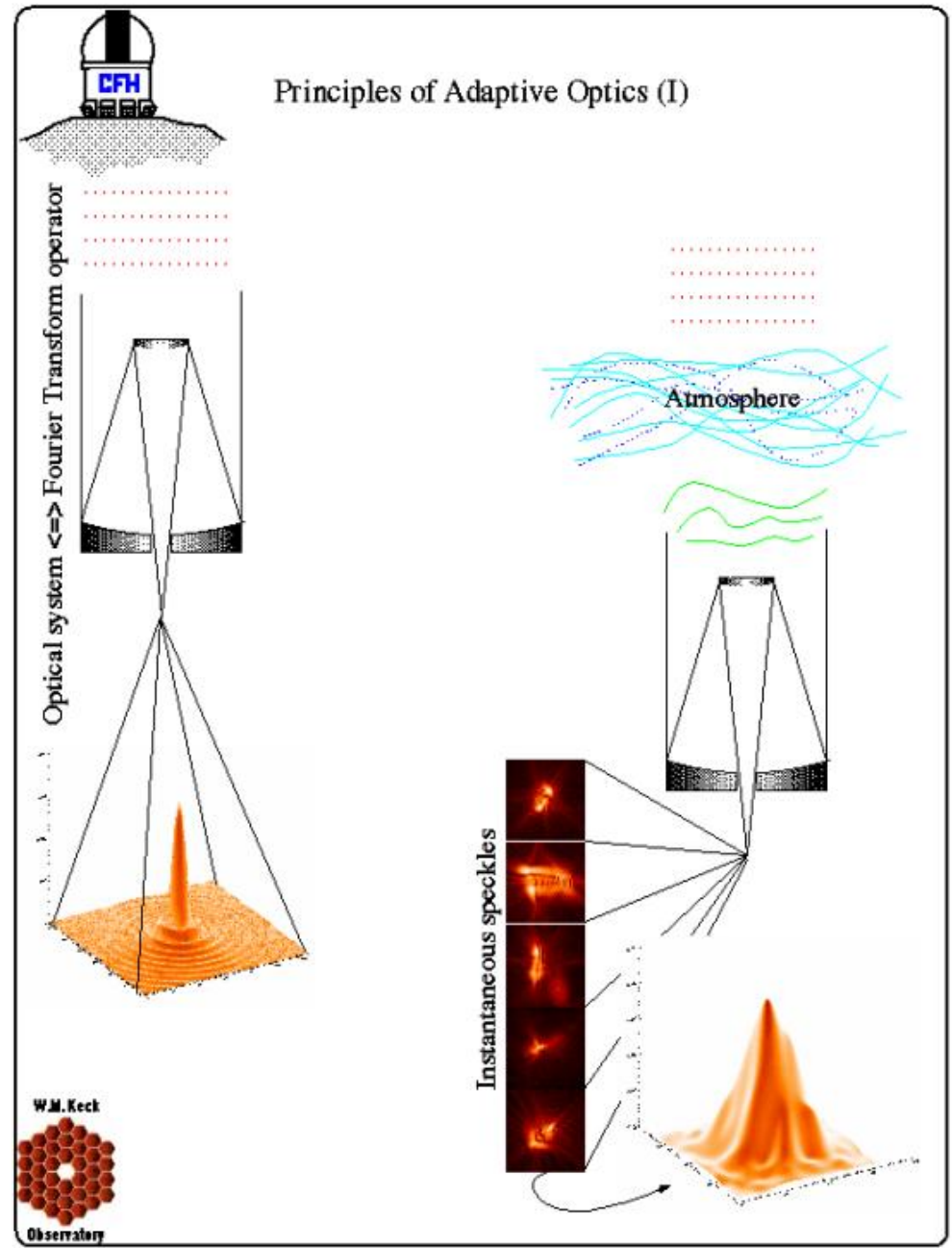


A turbulência atmosférica

- Imagens ópticas e no infra-vermelho próximo sofrem com o efeito da turbulência atmosférica (seeing)
- Seeing: as ondas EM (de luz) chegam ao telescópio com fases diferentes em pontos diferentes das superfícies primária, secundária e no detetor.
- Vista em alta frequência, a imagem de uma fonte pontual parece dançar no plano focal (diagrama de picos).
- Conseqüência: limite de difração de grandes telescópios nunca é atingido por causa do seeing.

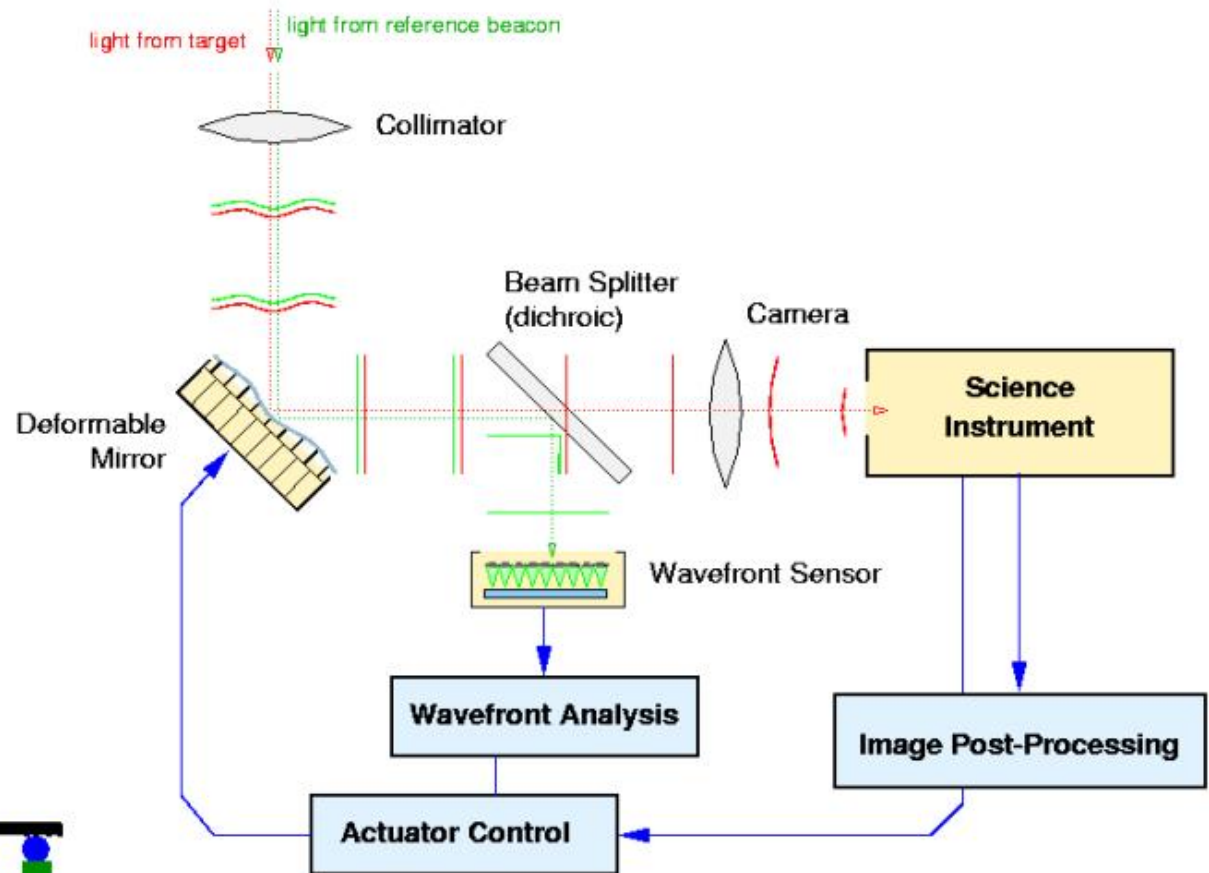
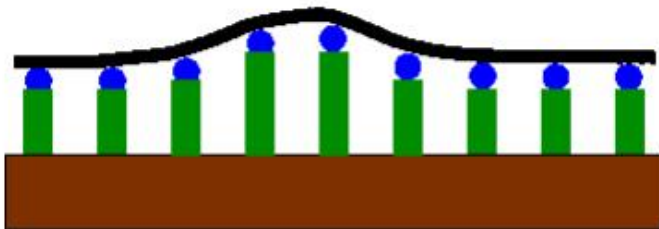
Óptica Adaptativa

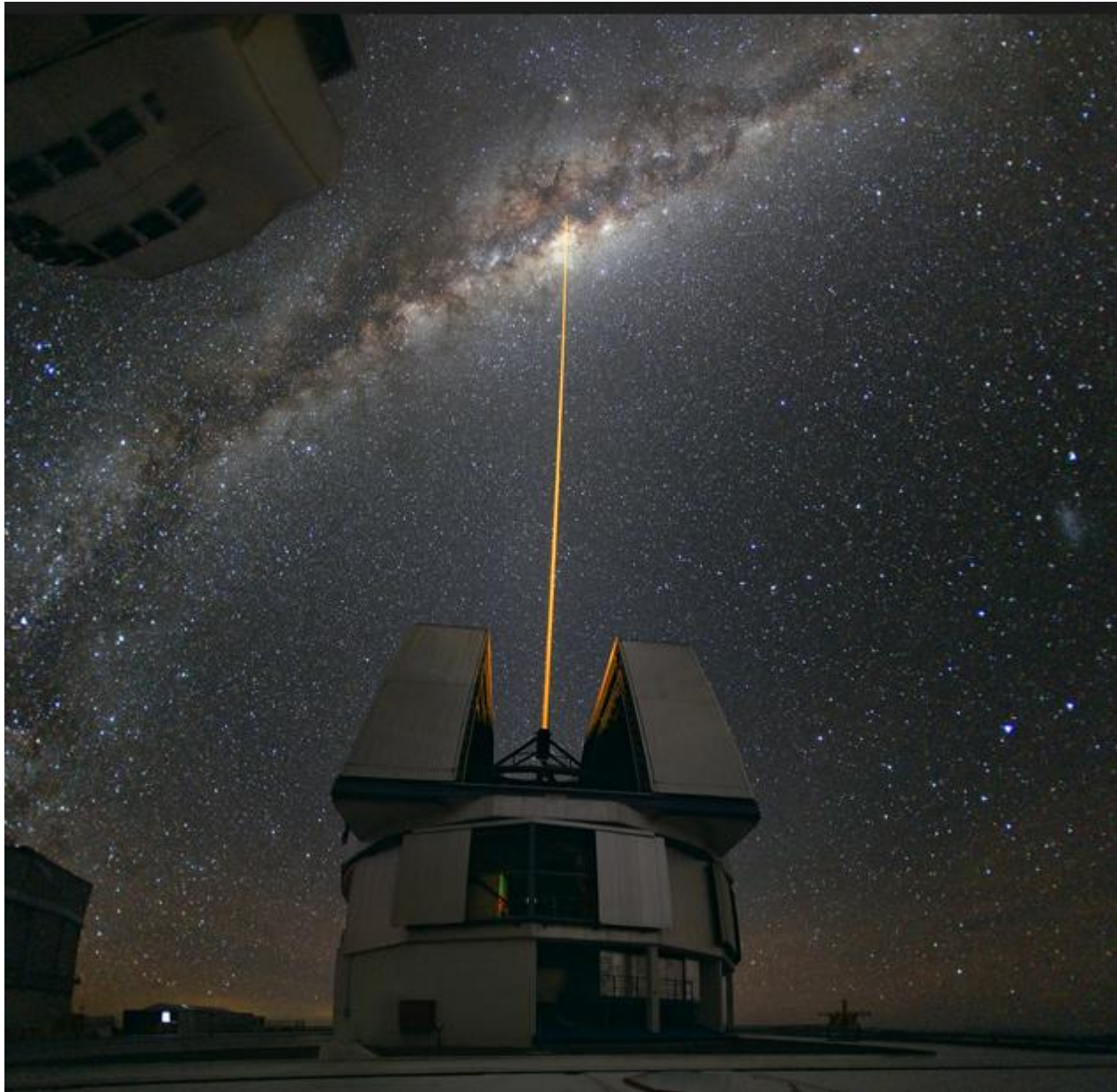
- Sem o seeing, imagens formam-se no limite de difração, θ_{lim} .
- A distorção das frentes de onda gera imagens distorcidas e que variam a cada instante.
- A composição dessas imagens durante o tempo de integração gera uma imagem de pior resolução (mais larga) do que θ_{lim} .



Óptica adaptativa

- Corrige as frentes de onda EM
- Ondas chegam em fase em diferentes pontos do detetor





https://www.youtube.com/watch?v=3BpT_tXYy_I

<https://www.youtube.com/watch?v=gDGvNyVApgg>



Keck: $\Theta_{\text{lim}} \times \text{seeing}$

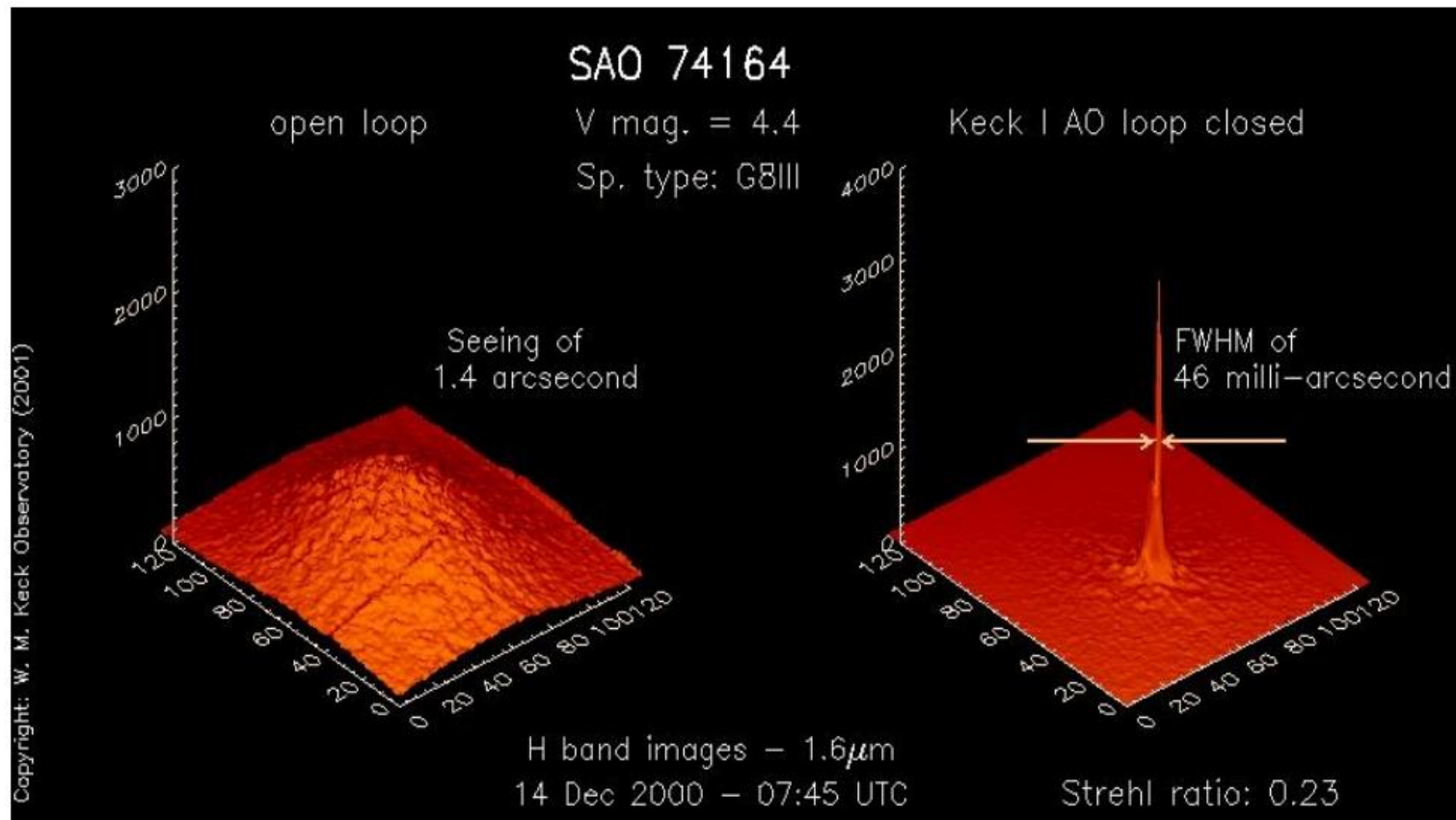
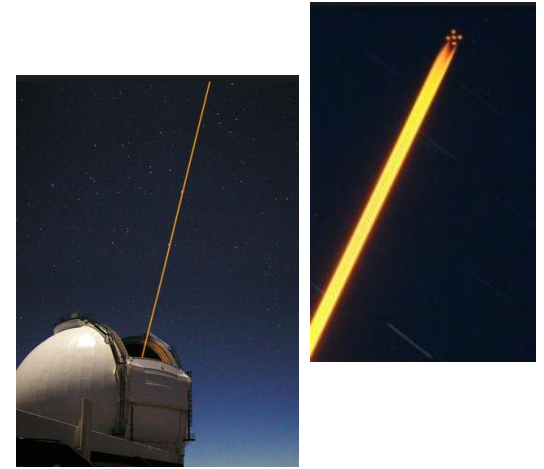
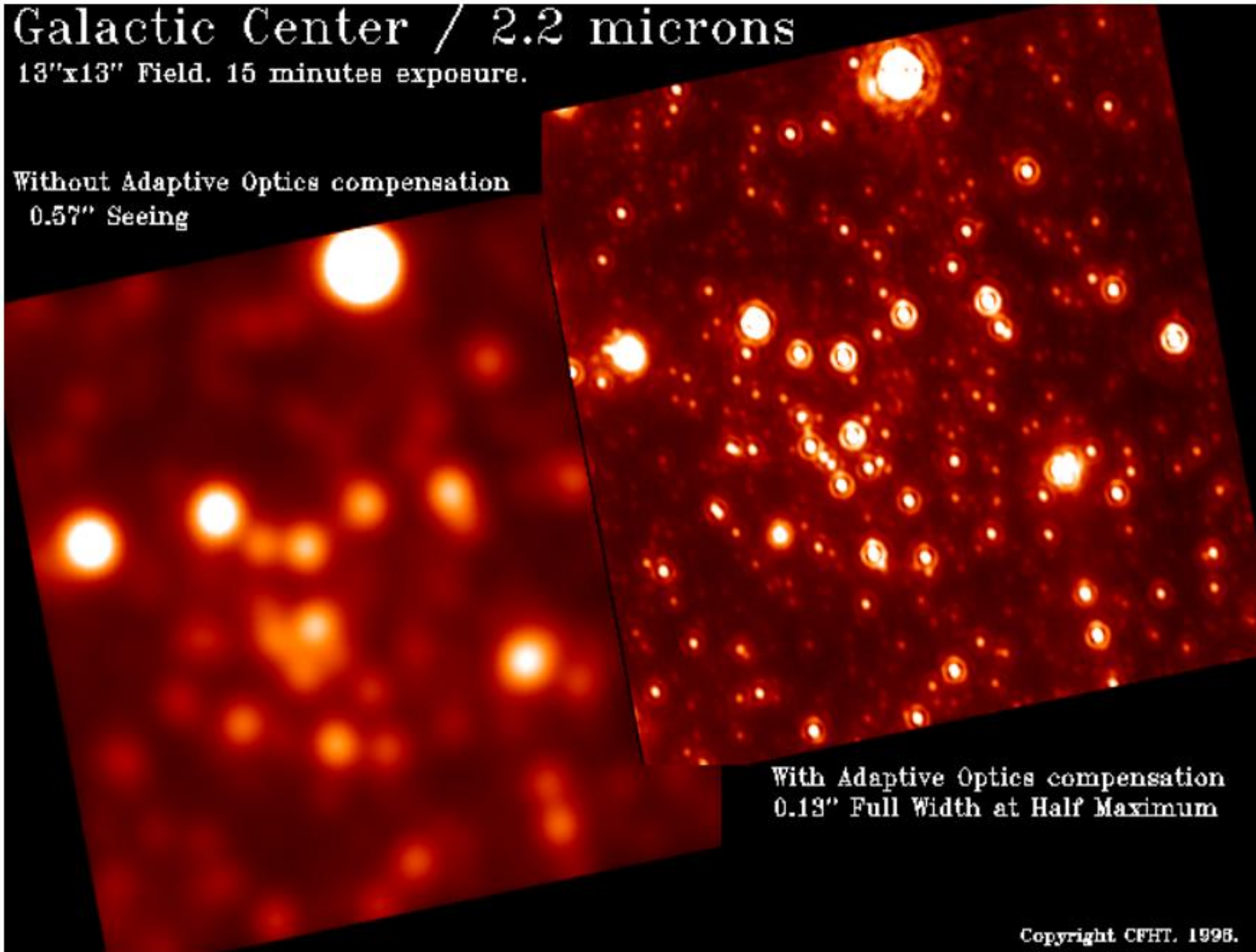


Imagem em $\lambda=2.2\mu\text{m}$ do bojo da Galáxia

Galactic Center / 2.2 microns

13"x13" Field. 15 minutes exposure.

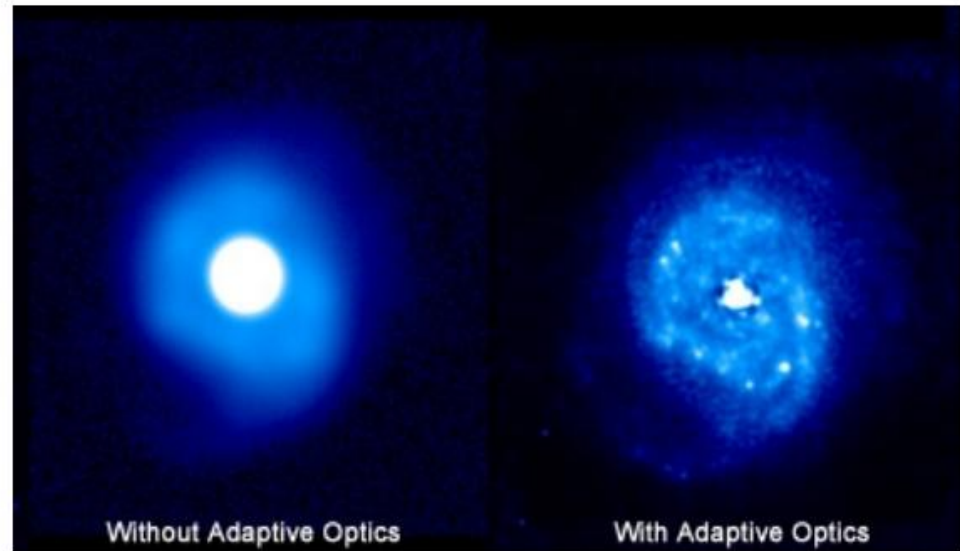
Without Adaptive Optics compensation
0.57" Seeing



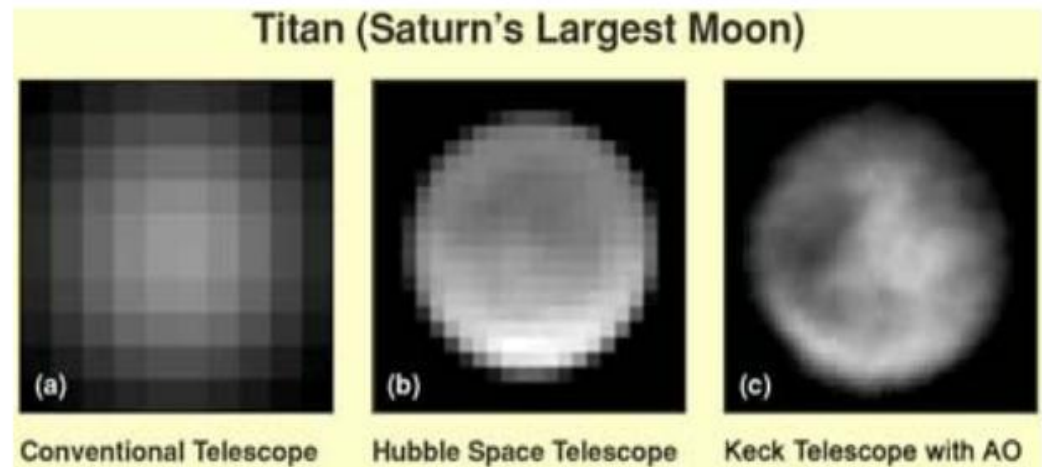
With Adaptive Optics compensation
0.19" Full Width at Half Maximum

Mais imagens com e sem AO

Galáxia NGC 7469,
observada com o CFHT



Titan, lua de Saturno,
observada com o Keck



- **Bibliografia e literatura recomendada**

- **Notas de aula da prof. Claudia Rodrigues (INPE)**

- <http://www.das.inpe.br/~claudia.rodrigues/ast203/>

- **Notas de aula do Prof. Gabriel Hickel (UNIVEI)**

- <https://sites.google.com/site/profgabrielhickel/home/tecobsast>

- **Notas de aula do Prof. Basilio Santiago (UFRGS)**

- <http://www.if.ufrgs.br/oei/santiago/fis02014/>

- Kitchin, C.R., Astrophysical Techniques, 4a. edição, Editora IOP, 2003.

- Lená, P., Lebrun, F., Minard, F., Observational Astrophysics, 2a. Edição, Editora Springer, 1998.

- Smith (cap.2)

- Walker (cap. 2 e 3)

- **Literatura recomendada**

- "An Expanded View of the Universe – Science with the European Extremely Large Telescope (E-ELT)"

- https://www.eso.org/public/archives/brochures/pdfsm/brochure_0025.pdf

- "An Overview of Extremely Large Telescopes Projects"

- <http://arxiv.org/ftp/astro-ph/papers/0512/0512499.pdf>