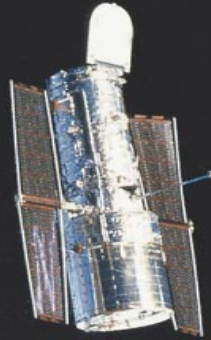


Telescópios II



HST



VLT

Adaptado do curso AGA0215
da **Profa. Thais Idiart**

RESOLUÇÃO DE UM TELESCÓPIO

Poder de resolução : dá a menor distância angular possível entre dois pontos para que apareçam distinguíveis

Unidades : ($^{\circ}$, ' ou ")

1'

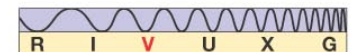
1"



(b)



(d)

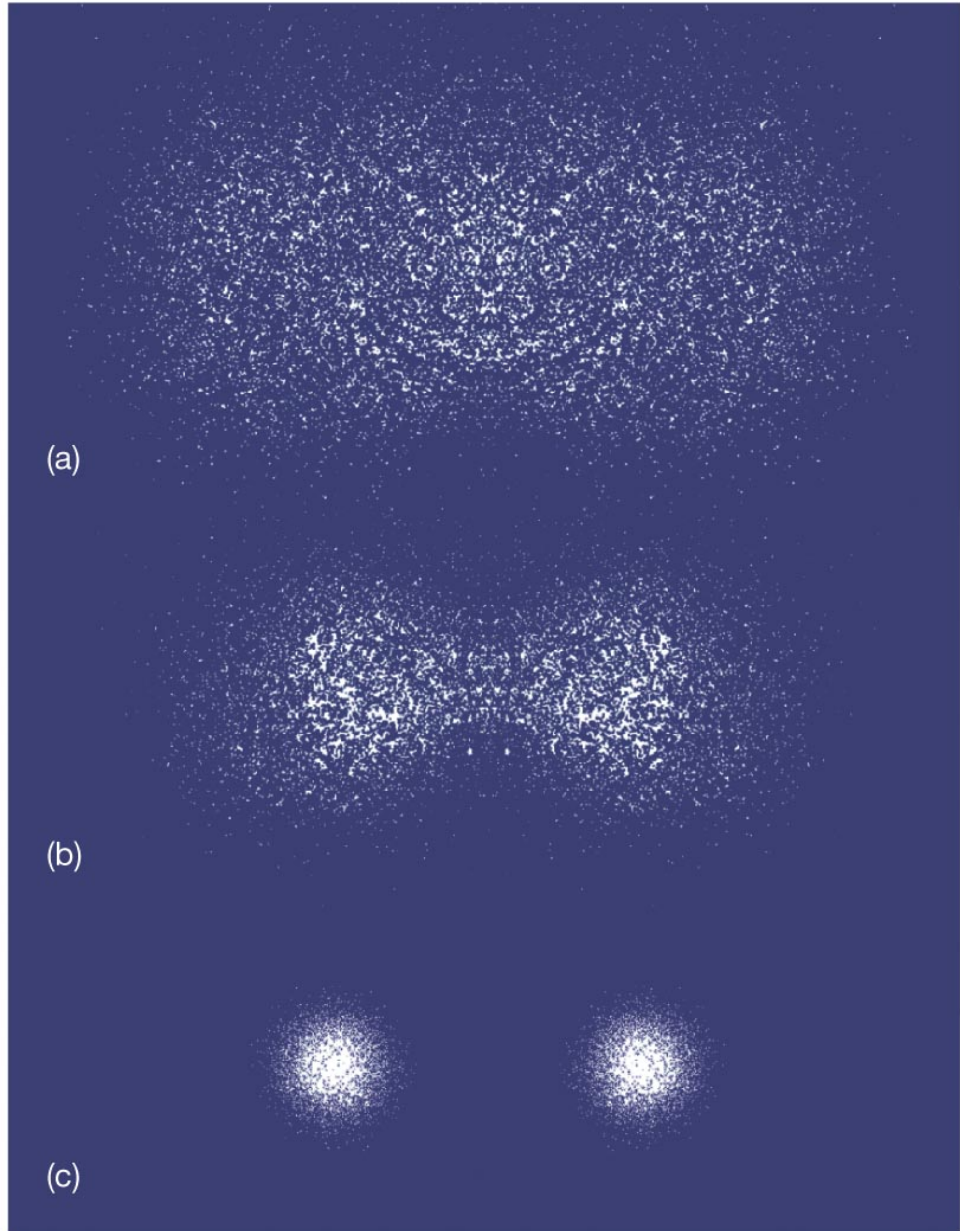


Poder de resolução

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

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

**Quanto menor *Res* \Rightarrow melhor
resolução**



**A ABERTURA DO TELESCÓPIO E O COMPRIMENTO
DE ONDA DA RADIAÇÃO INCIDENTE LIMITA A
RESOLUÇÃO DA OBSERVAÇÃO**

**LIMITE DE DIFRAÇÃO OU LIMITE TEÓRICO DE
RESOLUÇÃO**

Determinação da posição dos máximos e mínimos

A condição para a ocorrência de um mínimo (interferência 100% destrutiva) é dada por:

$$\sin\theta = m \frac{\lambda}{D}$$

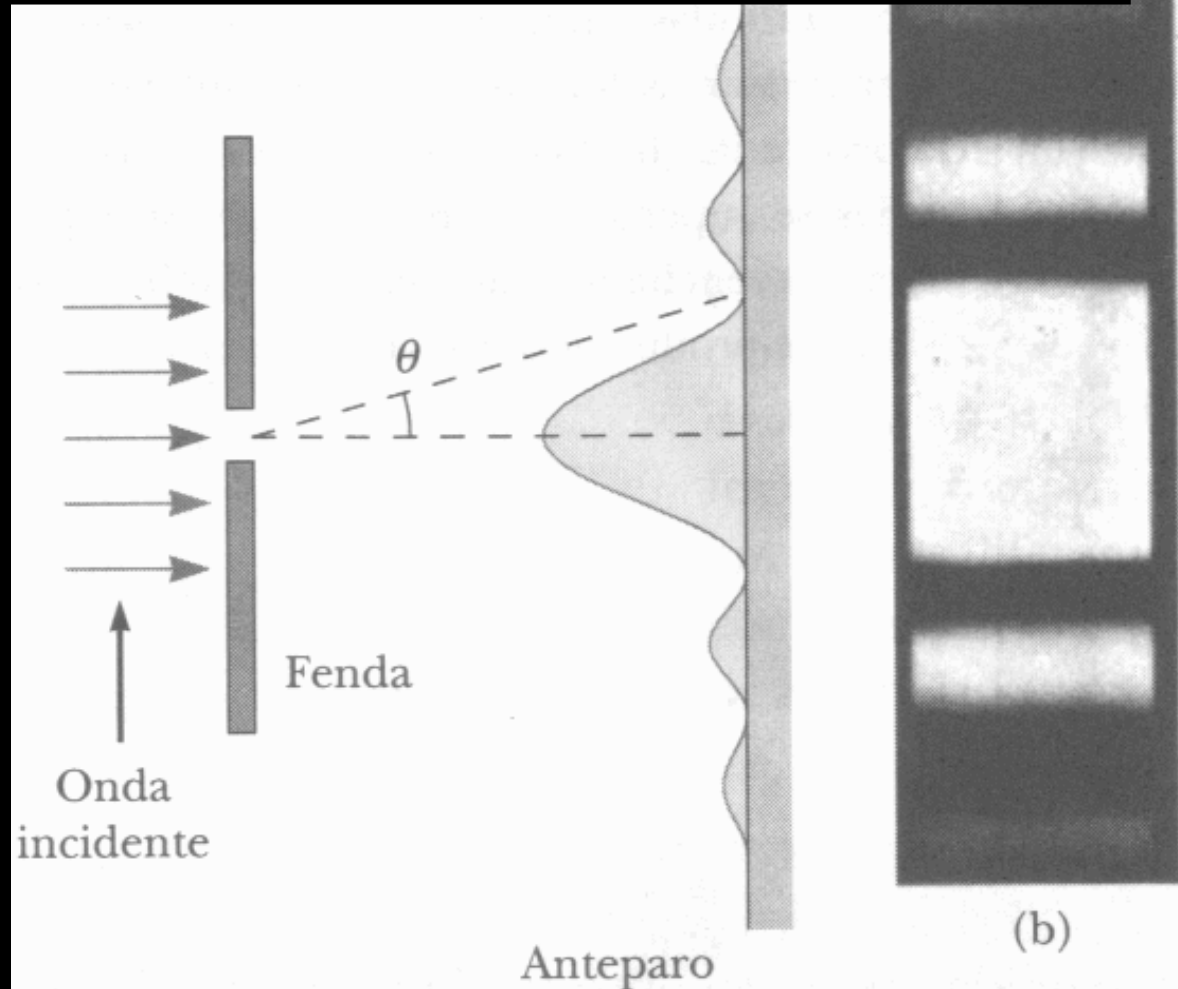
Onde:

θ = separação do máximo central a um mínimo

λ = comprimento de onda dos raios de luz

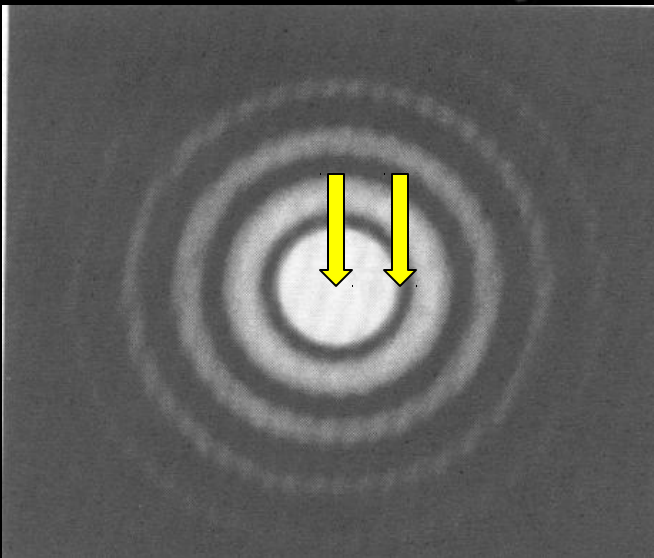
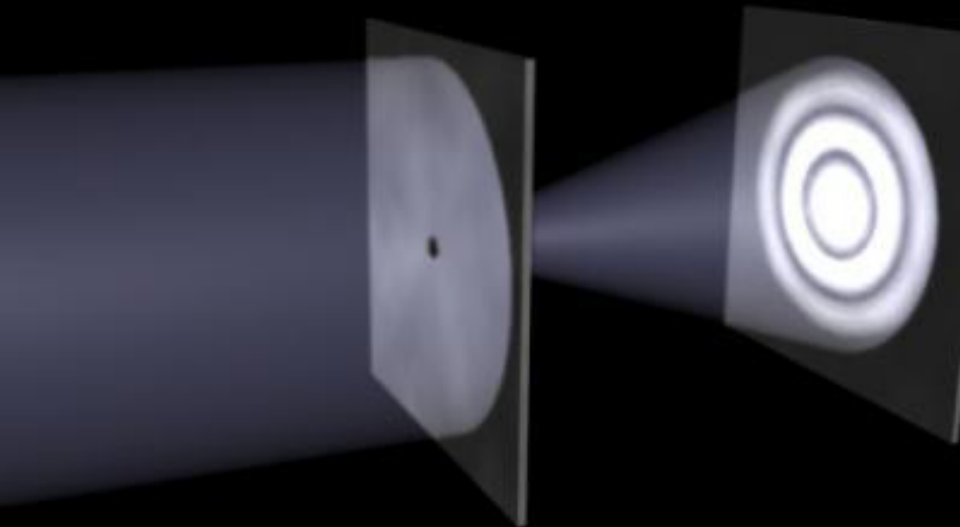
D = tamanho da abertura

m = nº real (não necessariamente inteiro)



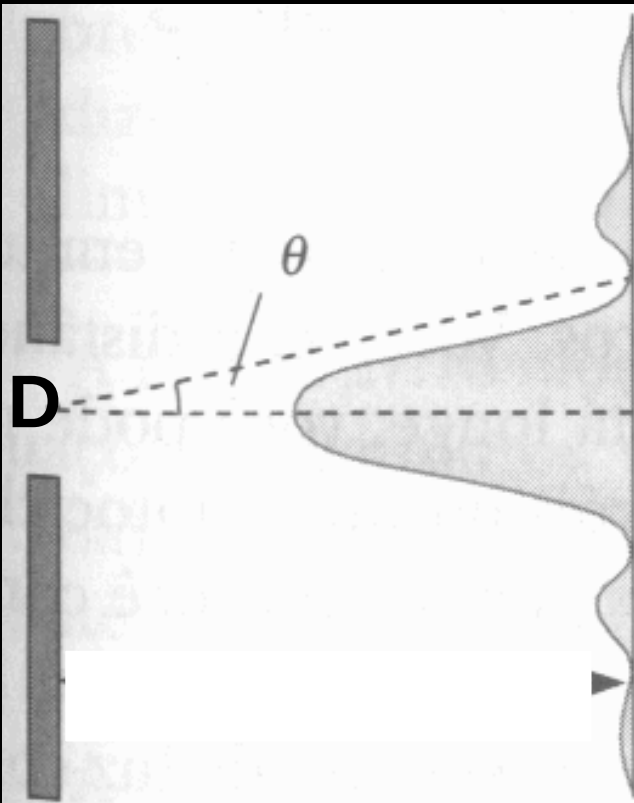
DIFRAÇÃO POR UMA ABERTURA CIRCULAR

A posição do primeiro mínimo para uma abertura circular de diâmetro D é dada por:



$$\sin\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

DIFRAÇÃO POR UMA ABERTURA CIRCULAR



$$\sin\theta = 2,233 \frac{\lambda}{D}$$

$$\sin\theta = 1,220 \frac{\lambda}{D}$$

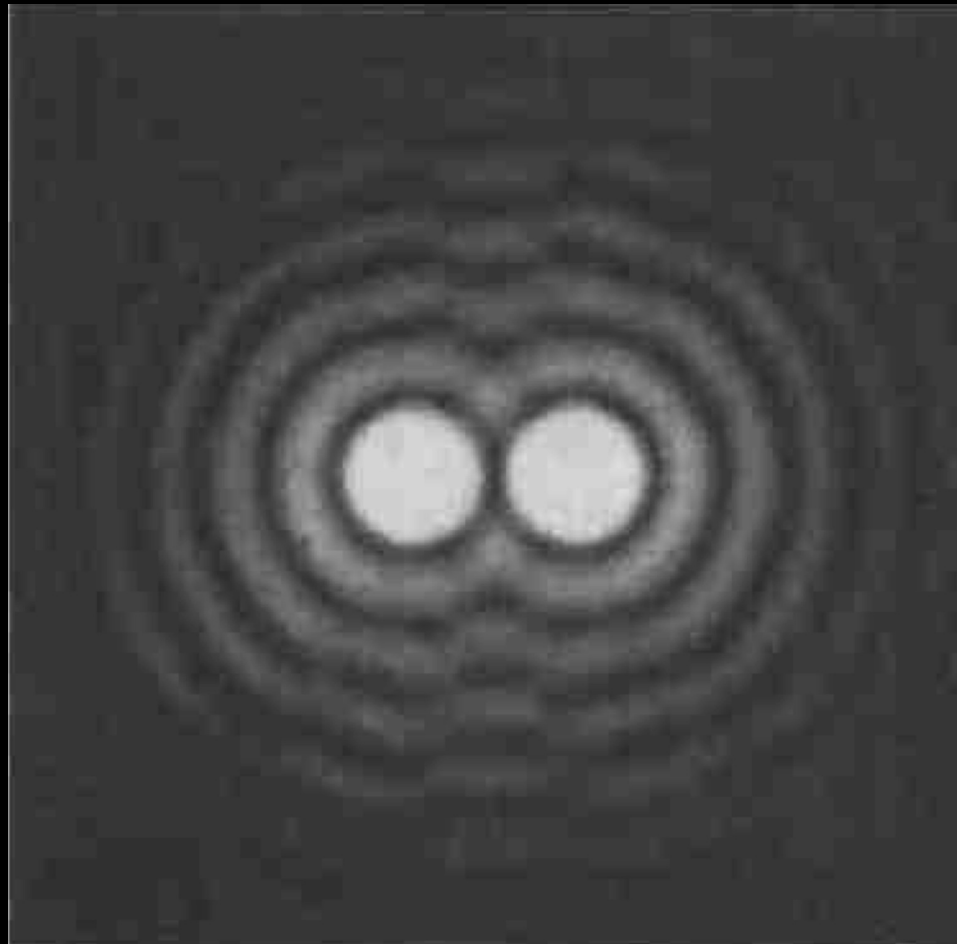
$$\sin\theta = 0$$

$$\sin\theta = -1,220 \frac{\lambda}{D}$$

$$\sin\theta = -2,233 \frac{\lambda}{D}$$

Ring	m	I/I_0
Central maximum	0.000	1.00000
First minimum	1.220	
Second maximum	1.635	0.01750
Second minimum	2.233	
Third maximum	2.679	0.00416
Third minimum	3.238	

Quando os padrões de difração de duas fontes distintas estão suficientemente próximas, os anéis de difração não são claramente visíveis \Rightarrow difícil separar (resolver) as duas fontes



CRITÉRIO DE RAYLEIGH

Duas imagens não podem ser “resolvidas” quando o máximo central de um padrão superpõe o primeiro mínimo do outro.





Assumindo $\Delta\theta_R$ pequeno (radianos) :

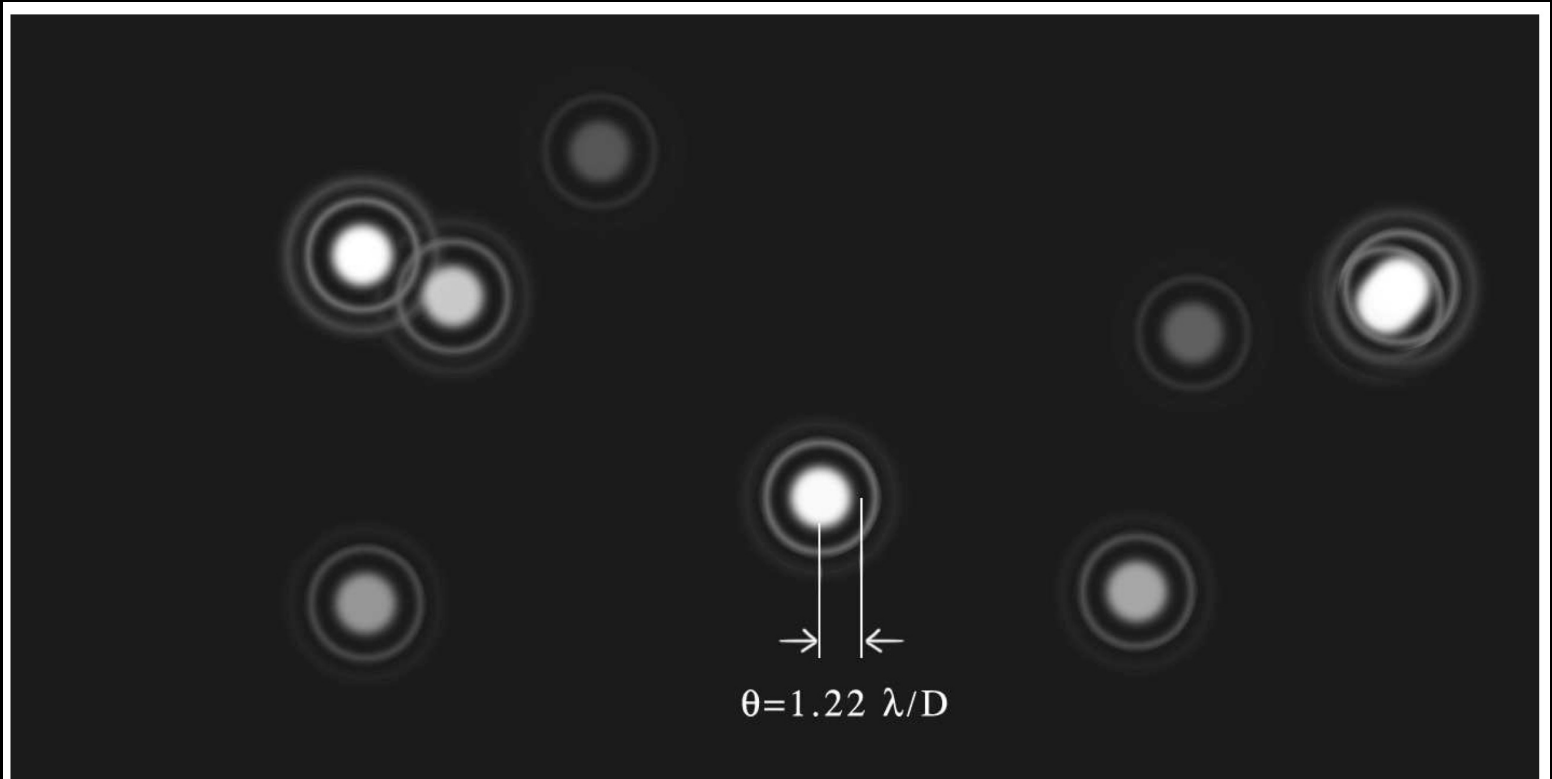
$$\Delta\theta_R \approx 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

$$\Delta\theta = 1,22 \frac{\lambda}{D} \text{ (rad)}$$

Sabendo que 1 rad = 206.265 ''

$$\Delta\theta = 251.643 \frac{\lambda}{D} \text{ (")}$$

Conclusão: A resolução de um telescópio melhora com o aumento da sua abertura e para λ observados mais curtos.



LIMITE DE DIFRAÇÃO OU RESOLUÇÃO TEÓRICA

$$\Delta\theta = 251.643 \frac{\lambda}{D} (")$$

Separação angular mínima que pode ser distinguida por telescópio

Ex. Para um telescópio de 1m

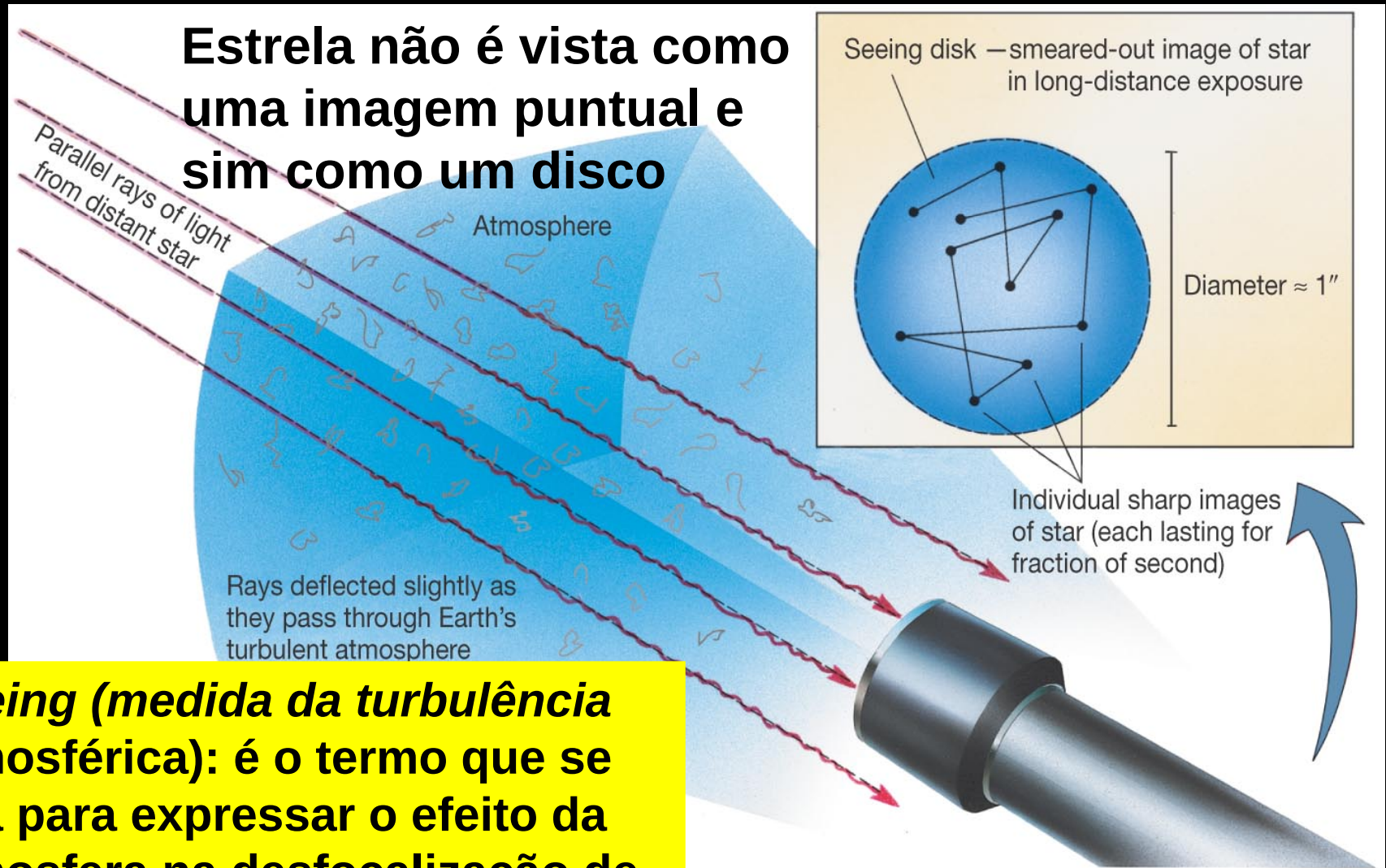
$\lambda=400$ nm (B) resolução $\Delta\theta \sim 0,1''$

$\lambda=10$ μ m (IR) resolução $\Delta\theta \sim 2,5''$

**Resolução teórica (limite de difração) do Keck (10 m):
0,01'' no azul.**

**Mas nenhum telescópio terrestre pode alcançar uma
resolução muito melhor do que $\sim 1'' \Rightarrow$ turbulência
atmosférica**

Resolução angular piora com a turbulência atmosférica: luz sofre refração na atmosfera \Rightarrow altera direção do feixe

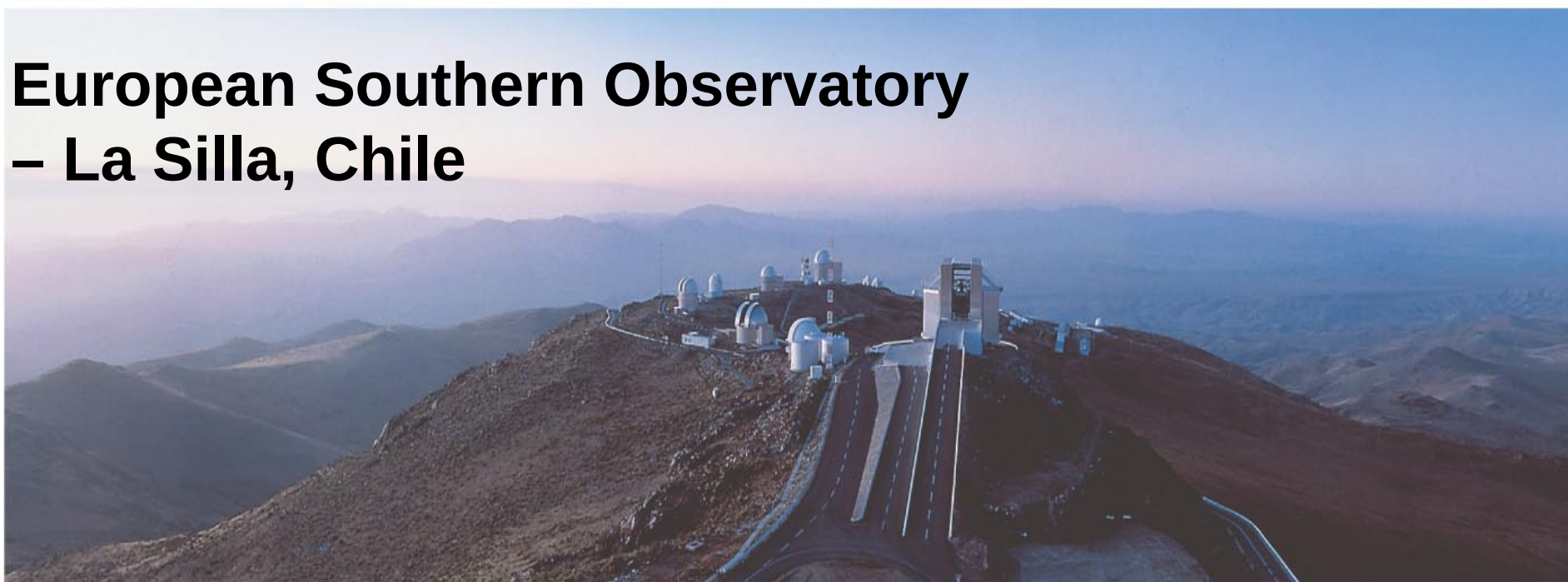


Seeing (medida da turbulência atmosférica): é o termo que se usa para expressar o efeito da atmosfera na desfocalização de imagens.

Soluções para melhor resolução

- Telescópios em topos de montanhas ou em lugares desérticos:
 - maior altitude (menos atmosfera)
 - Clima seco
 - Afastado de cidades (menos poluição e menos luz)
- Telescópios no espaço

**European Southern Observatory
– La Silla, Chile**



CORREÇÕES PARA MELHORAR A RESOLUÇÃO

- ÓPTICA ATIVA
- ÓPTICA ADAPTATIVA

Óptica Ativa

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

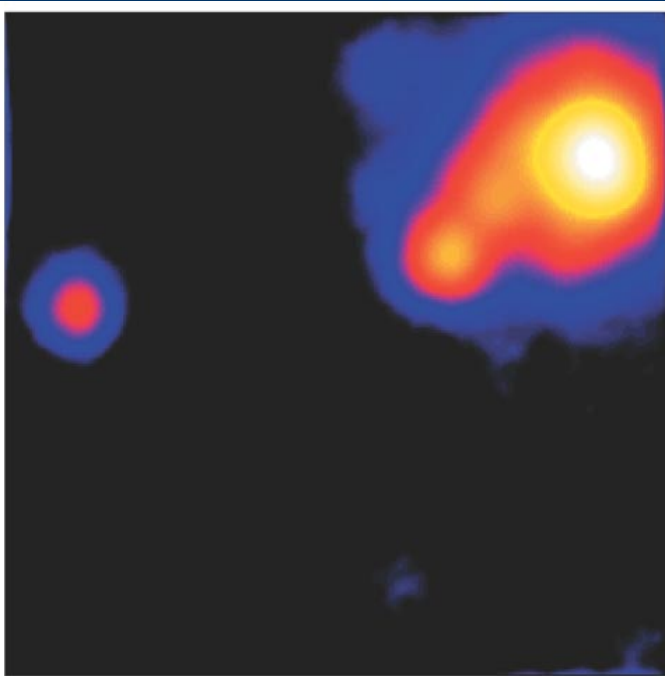
Corrige as deformações no espelho primário devido aos efeitos de variação da T de cúpula e orientação do telescópio.



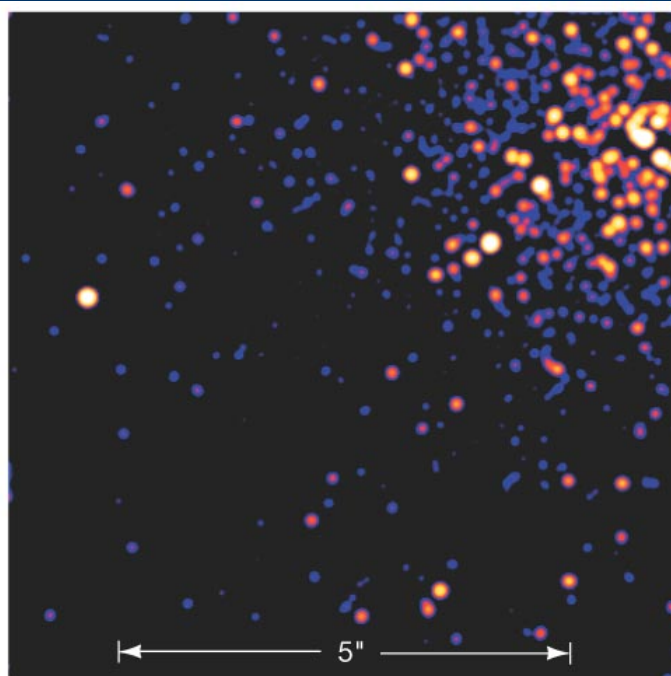
Controle do fluxo de ar na cúpula, T do espelho e pistões hidráulicos para manter com precisão seu formato.

Óptica Ativa

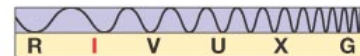
Aglomerado de estrelas R136
telescópio NTT (New Technology Telescope – 3.5 m)



(a)

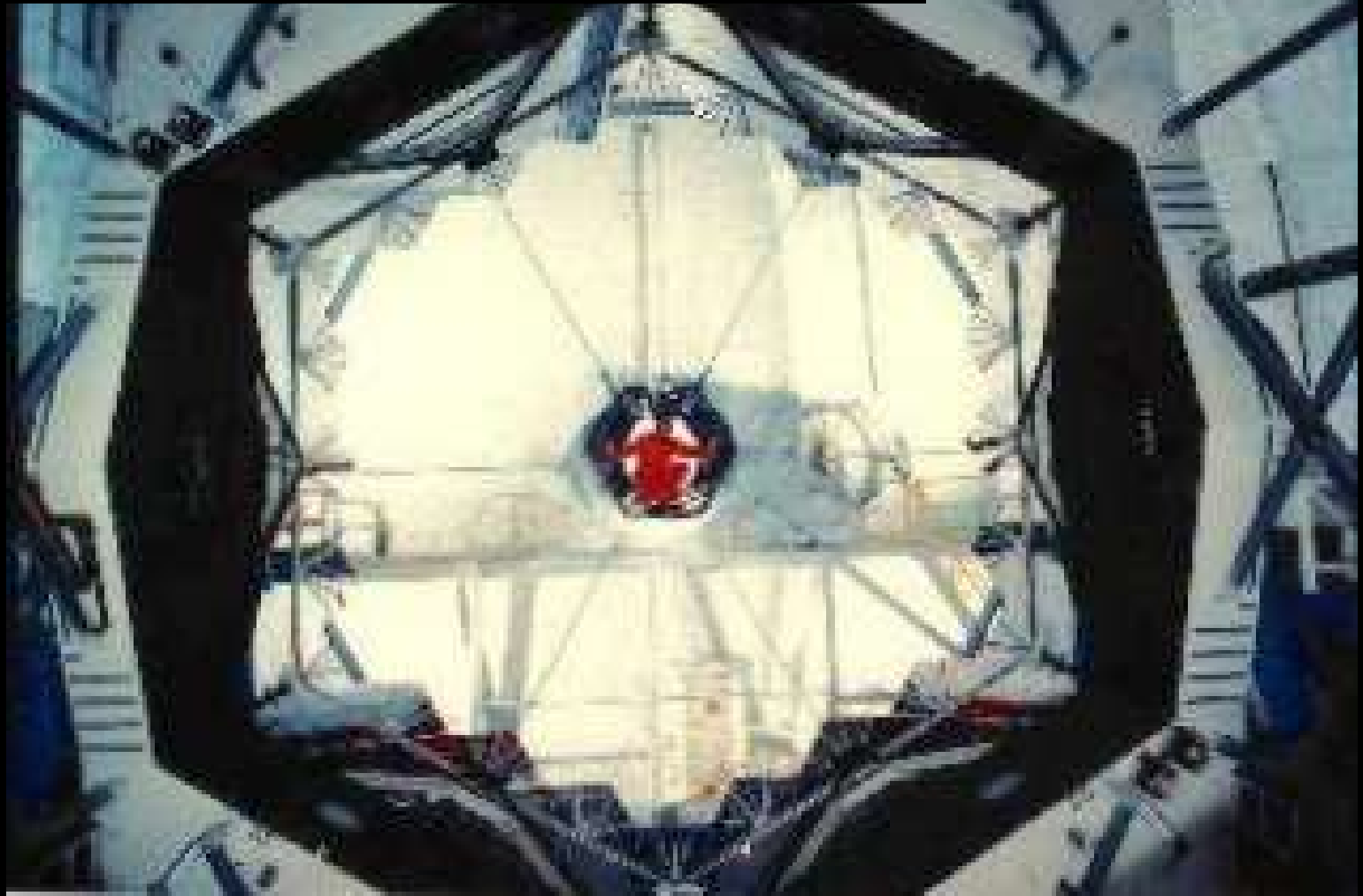


(b)



(a) Sem OA
(b) com o sistema de OA

Keck – espelho primário



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

ÓPTICA ADAPTATIVA

Correção da turbulência atmosférica.



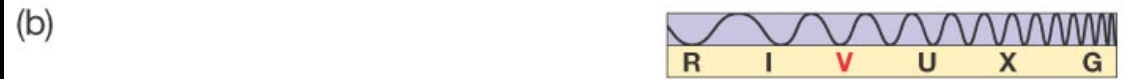
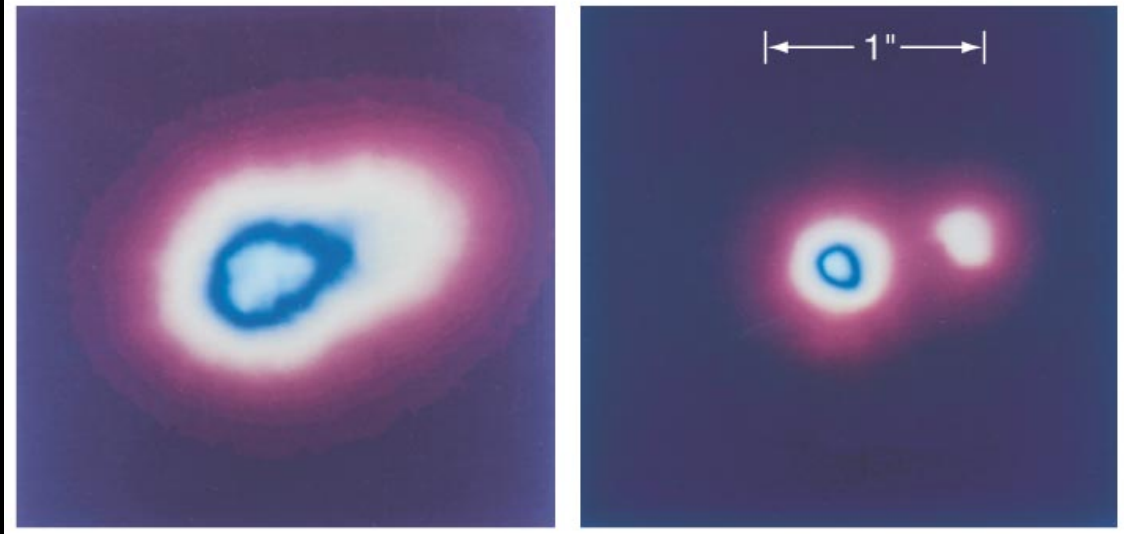
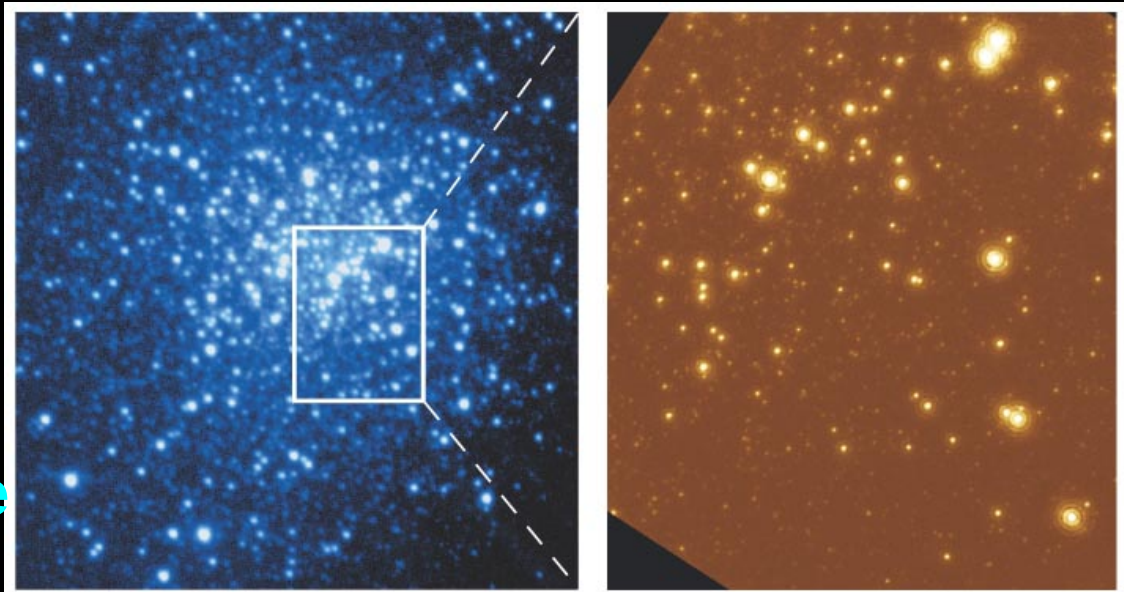
- Laser é usado para criar uma estrela artificial e ter uma estimativa das variações atmosféricas.
- Os pulsos de laser são mandados e focalizados, através de uma lente, a cerca de 10 a 100 km de altura, criando uma estrela artificial cuja radiação é medida pelo telescópio.
- Correções em função destas variações são feitas em outro espelho que é posto no caminho óptico do telescópio. Correções são feitas em tempo real (centenas de vezes por segundo)



Melhorias nas imagens feitas pela óptica adaptativa.

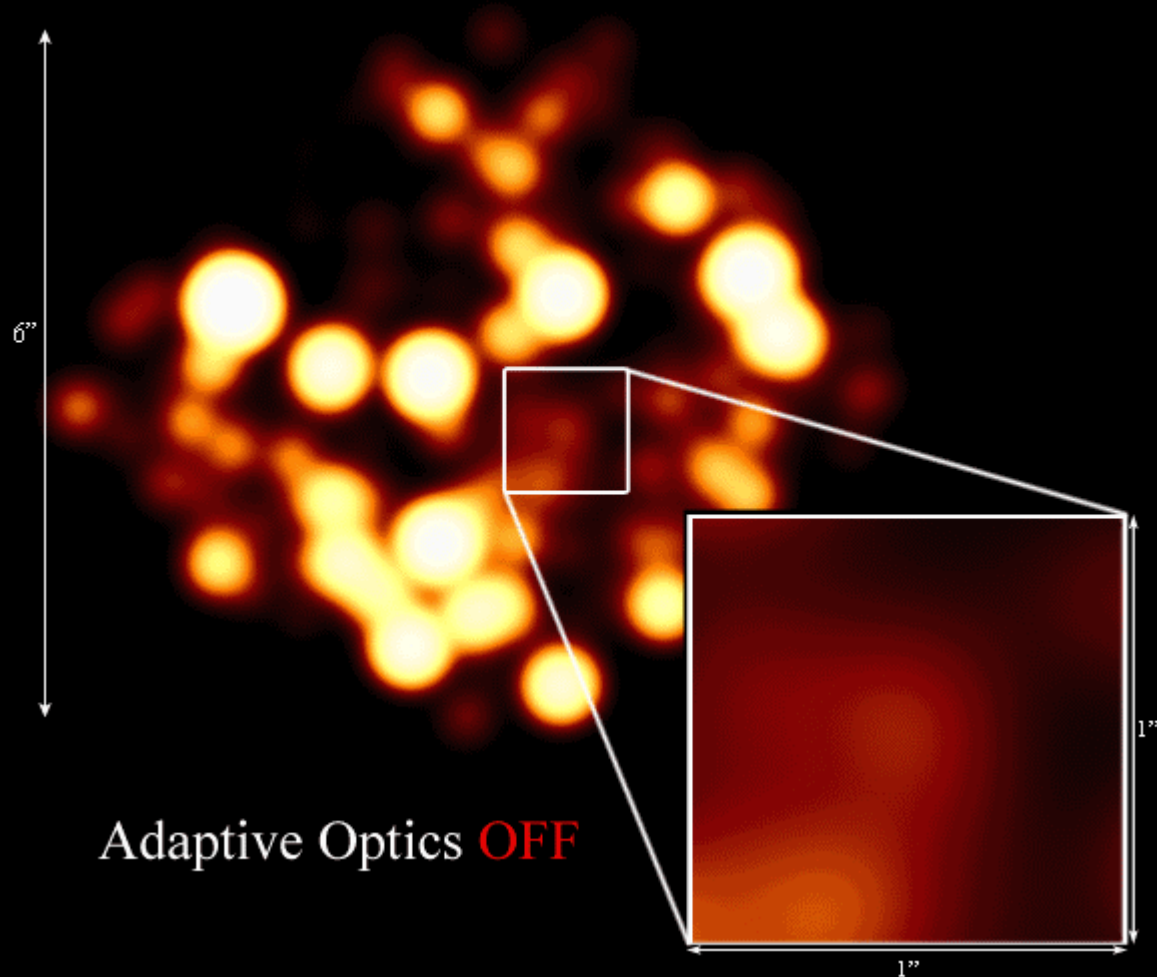
Aglomerado NGC 6934
(correção para $< 1''$)
Telescópio Gemini Norte
de 8m.

Estrela dupla
Observatório militar em
Maui (Hawaii).



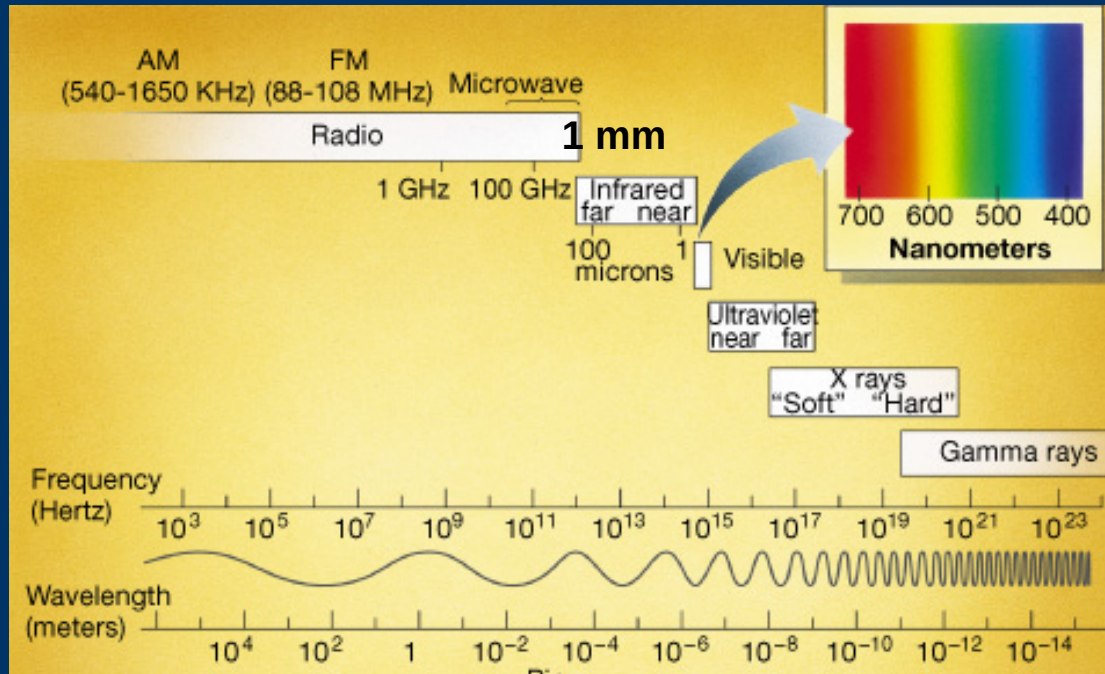
Melhorias nas imagens feitas pela óptica adaptativa.

The Galactic Center at 2.2 microns

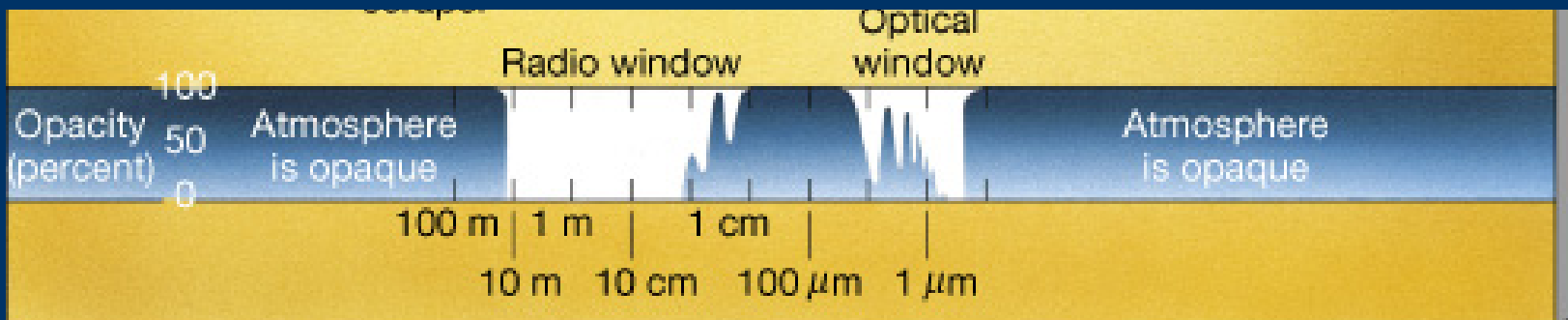


Radio Astronomia

- O intervalo em rádio no espectro eletromagnético é bem maior do que o visível.



- Janela atmosférica maior:



RÁDIO TELESCÓPIOS

Construção similar aos telescópios refletores ópticos:

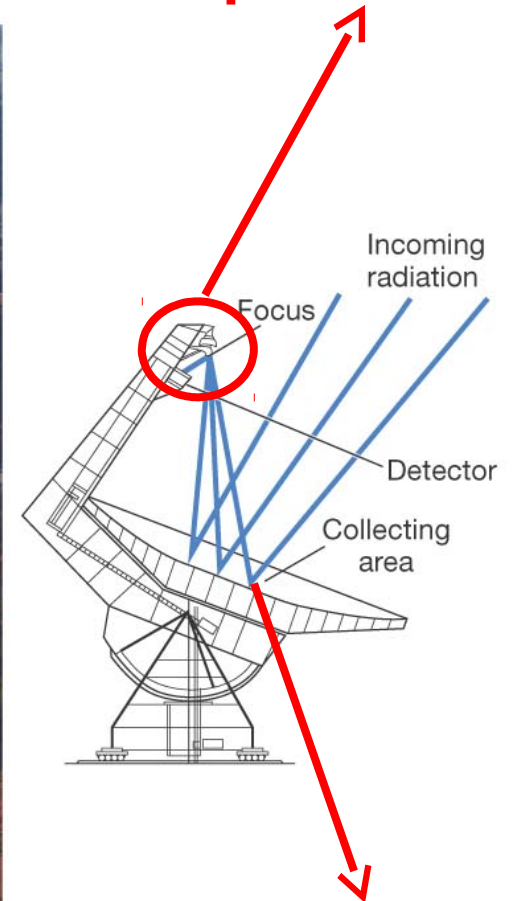
- **coletor de radiação: prato que coleta e reflete as ondas de rádio**
- **foco primário: *receiver* \Rightarrow recebe e amplifica as ondas de rádio (sinais muito fracos tornam-se mensuráveis)**
- **menos sensível a imperfeições (devido ao grande λ): não há limite para tamanho.**
- **observa-se somente um estreito intervalo de $\lambda(\nu)$ (mudança de canal = sintonizador de frequência).**
- **Para se formar uma imagem é necessário a observação em vários ângulos diferentes da mesma fonte**

Rádio telescópio de 105 m (NRAO – USA) National Radio Astronomy Observatory

**Detector
no foco
primário**



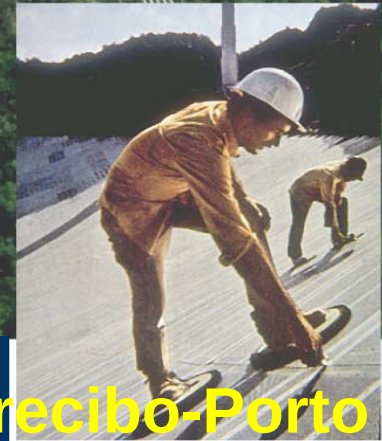
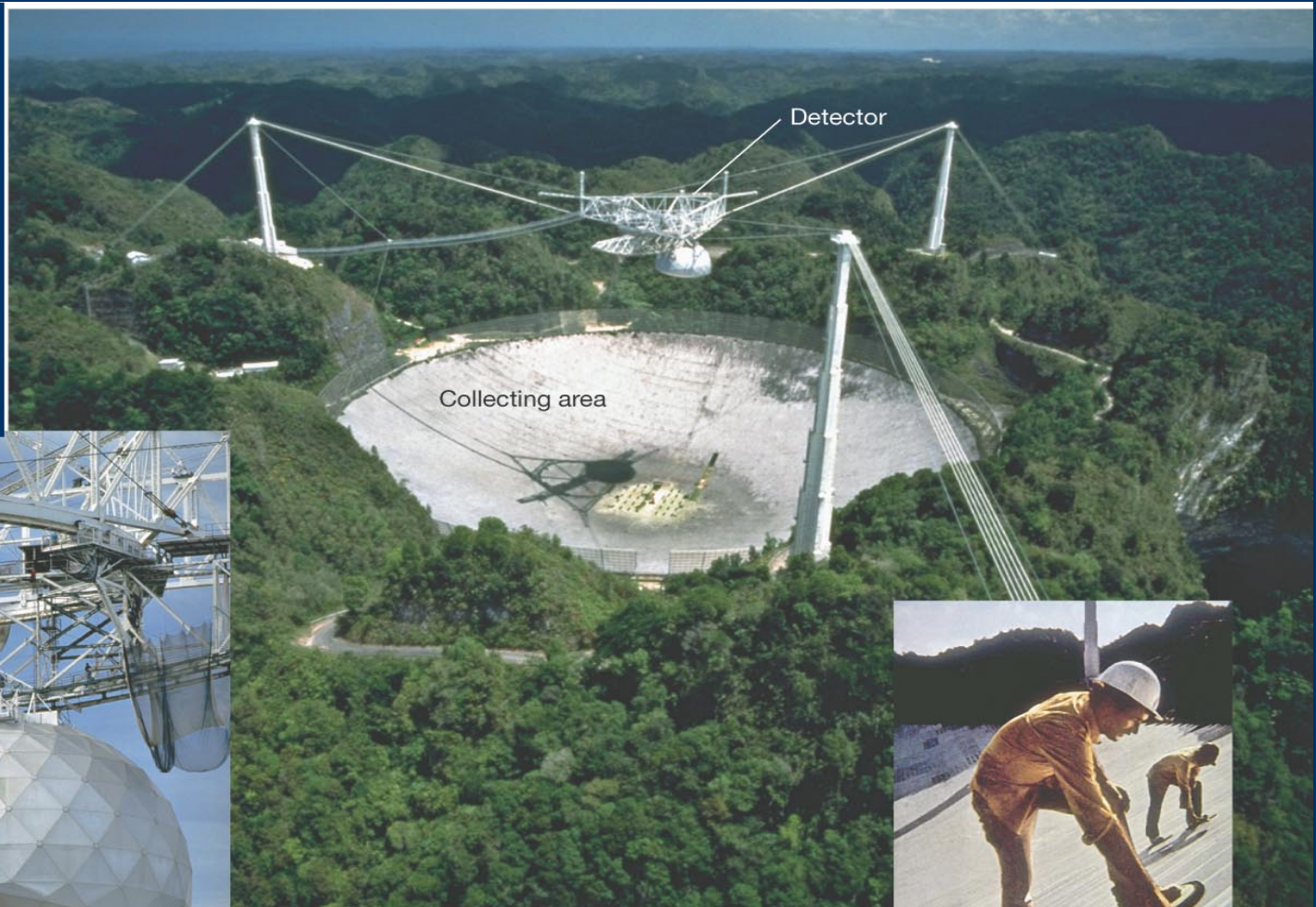
(a)



(b)

prato coletor

Grandes radiotelescópios \Rightarrow radiofontes muito fracas



Maior rádio telescópio: 300 m (Arecibo-Porto Rico)

Maior $\lambda \Rightarrow$ pouca resolução angular (maior difração)

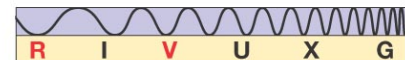
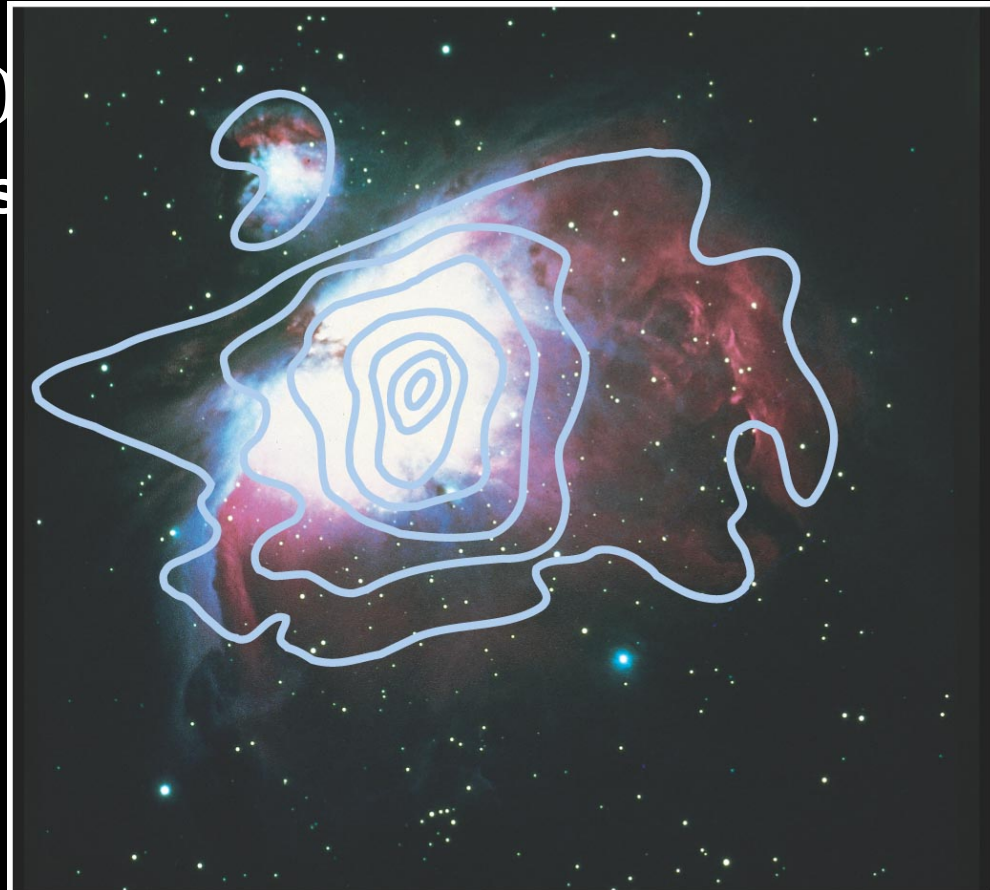
Melhor resolução $\sim 1'$ no intervalo de λ de cm

Vantagens:

Pode-se observar 24 horas por dia

- **Nuvens, chuva e neve não interferem (λ s muito maiores)**
- **observações em diferentes frequências = diferentes informações**

Nebulosa de órion (imagem no visível (estrelas+gás brilhante) superposta com mapa em rádio (linhas azuis indicam regiões de igual brilho em rádio) – informações sobre o material das zonas “escuras” (emissão no visível obscurecida por gás.



INTERFEROMETRIA

- Combina informação de vários rádio-telescópios como se viessem de um único prato.
- rádio imagens com resolução maior do que os melhores telescópios ópticos

VLA(very large array) – Novo México- 27 pratos espalhados ao longo de 21 km em cada linha (diâmetro efetivo de 35 km)



(b)



(a)

INTERFEROMETRIA

- Resolução: prato cujo diâmetro efetivo é igual à separação entre os pratos mais distantes
- Ex. Uma resolução de poucos segundos de arco pode ser atingida com λ rádio típicas (10 cm) usando dois ou mais pratos separados em 5 km de distância máxima, conectados eletronicamente. É equivalente a utilizar um rádio-telescópio de 5 km de diâmetro.



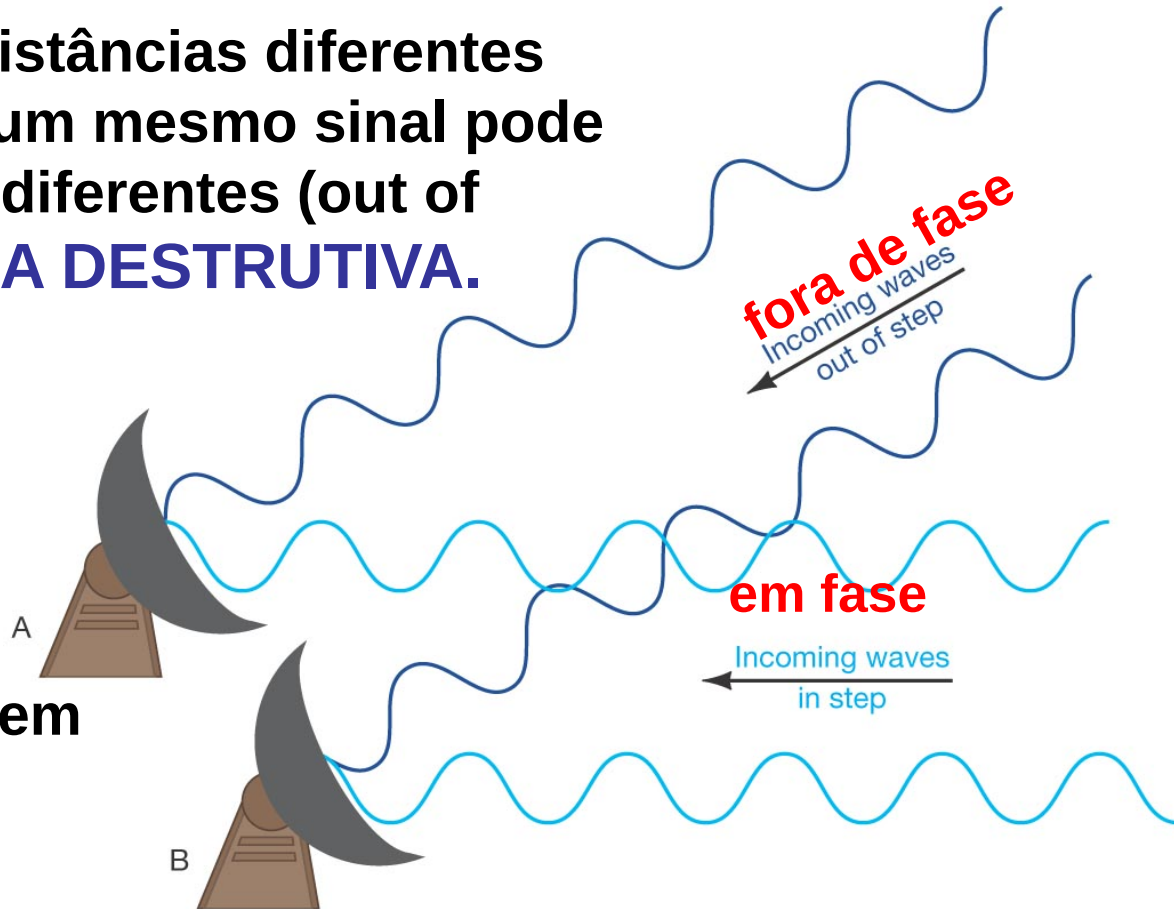
(b)







(a)

INTERFEROMETRIA ENVOLVE UMA COMBINAÇÃO DE SINAIS vindos de receptores diferentes

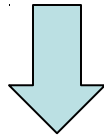
Os detectores estão a distâncias diferentes da fonte de radiação \Rightarrow um mesmo sinal pode ser detectado em fases diferentes (out of step) : **INTERFERÊNCIA DESTRUTIVA.**



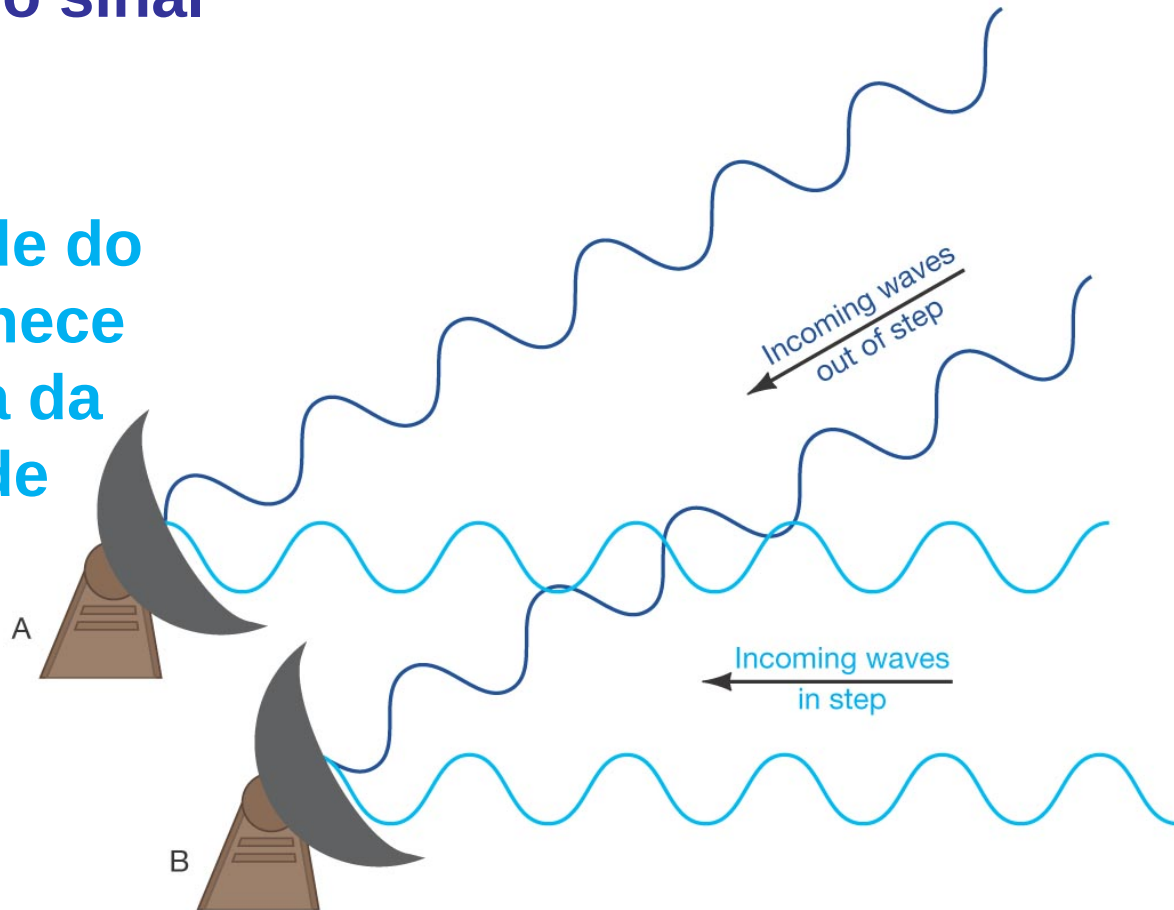
Somente quando estão em fase ocorre **INTERFERÊNCIA CONSTRUTIVA** (in step) \Rightarrow combinados produzem um sinal forte.

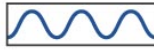



- A  Waves arrive out of step = destructive interference
- B 
- A  Waves arrive in step = constructive interference
- B 

A “quantidade” de interferência depende da direção do sinal



Análise da intensidade do sinal combinado fornece uma medida precisa da posição da fonte de radiação no céu



- A  Waves arrive out of step = destructive interference
- B  = destructive interference
- A  Waves arrive in step = constructive interference
- B  = constructive interference

INTERFEROMETRIA

- Quanto maior a distância entre os rádio-telescópios = maior a linha de base do interferômetro = maior resolução angular



(b)



(a)

ALMA (Atacama Large Milimetric Array)



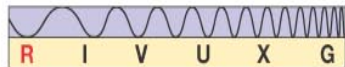
Projeto do rádio-observatório milimétrico do ESO no Chile: conjunto de 66 antenas para observação na região milimétrica (0,3 a 10 mm).



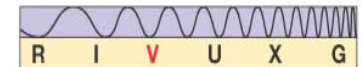
**Antenas móveis ⇒
possibilidade de
zoom de objetos**

Duas galáxias em colisão

Imagem do ALMA e do Hubble
(resoluções comparáveis)

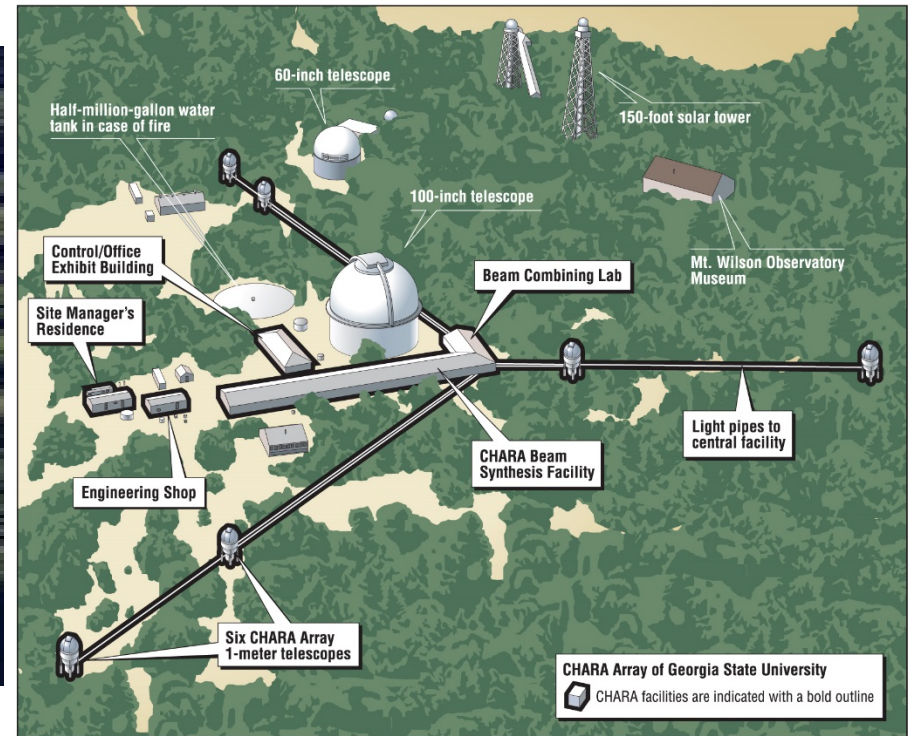


(b)



Interferometria pode ser feita com luz visível.

CHARA – Center for High Angular Resolution Astronomy
Array de 6 telescópios de 1 m de diâmetro ⇒ telescópio de 300m
Monte Wilson (Califórnia)



**Resolução de 0,0002" : cálculo de posições,
órbitas e raios de estrelas**

VLTI – Very Large Telescope Interferometer

**4 telescópios de 8,2 m de diâmetro
+
4 telescópios móveis de 1,8 m de diâmetro**

Observações no IR



Observatórios no espaço

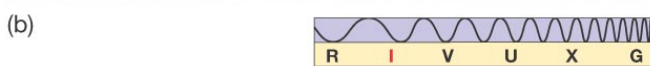
Observação em outros λ s atenuados
pela atmosfera terrestre

ASTRONOMIA INFRAVERMELHA

Através da Radiação IR pode-se fazer imagens onde a radiação visível é bloqueada.



(a) visível
(b) IR de uma região com smog

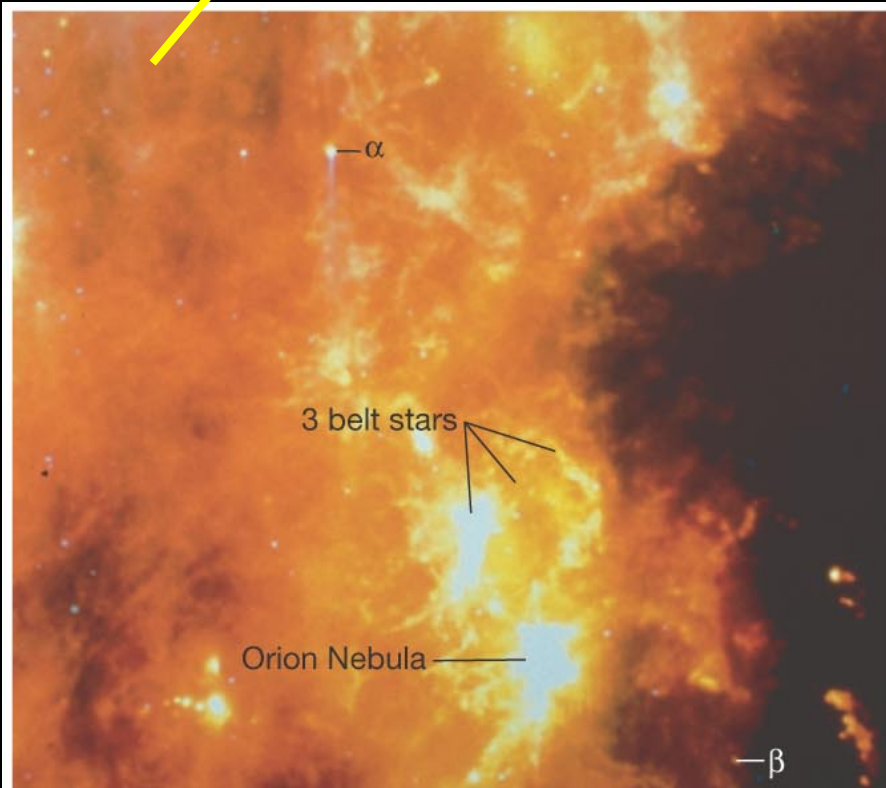


(c) visível
(d) IR da região central da nebulosa de Órion (nuvem de poeira)

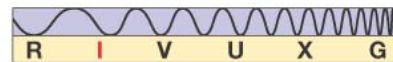


Imagem do satélite astronômico IR de 0,6 cm (IRAS) Janeiro – Novembro (1983)

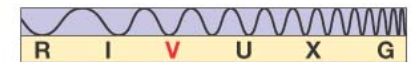
Imagem de Orion, cujas cores denotam apenas diferenças de temperatura do gás nas regiões (branco + quente, preto + frio) – resolução de 1'



(a)



(b)



Visível: 1"

Telescópios também irradiam no IR, a não ser que sejam resfriados a T próxima ao zero absoluto. (Acabou o cooler do IRAS).

Imagens do Spitzer Space Telescope (SST/2003), outro telescópio IR, mas desta vez orbitando ao redor do Sol (minimiza os efeitos do aquecimento devido à proximidade a Terra).

Seus detectores foram resfriados próximo ao zero absoluto (He líquido), assim não sofrem influência do calor do telescópio + equipamentos.

Mas... fuga de He líquido \Rightarrow 2009 SST subiu T para ~ 30 K (corresponde a radiação de pico em $\lambda \sim 100 \mu\text{m}$). Os detectores de λ menores continuam operacionais ($3,6$ e $4,5 \mu\text{m}$).



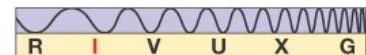
M81

(a)



M82

(b)



SPITZER

Região de
formação estelar:
poeira = laranja



(a)

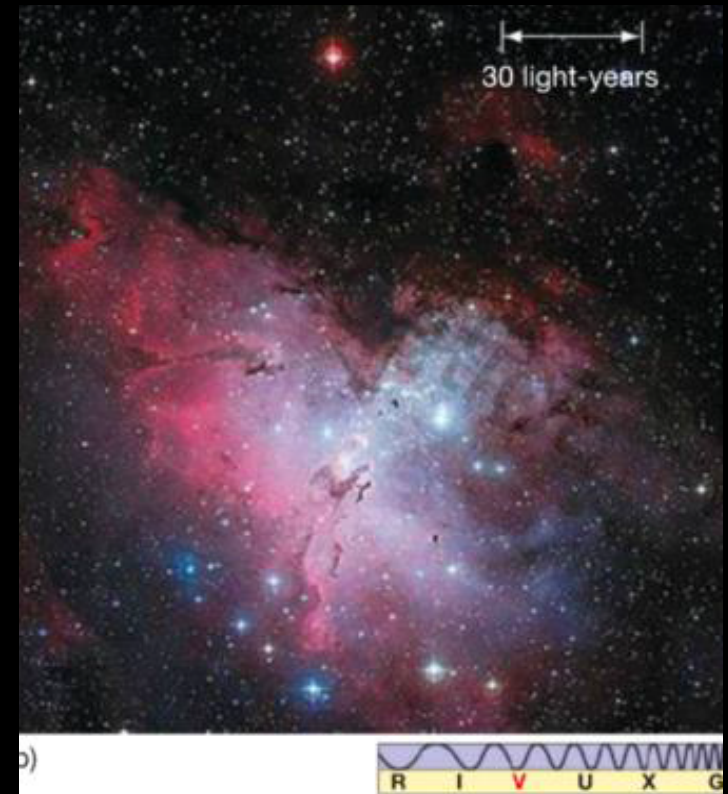
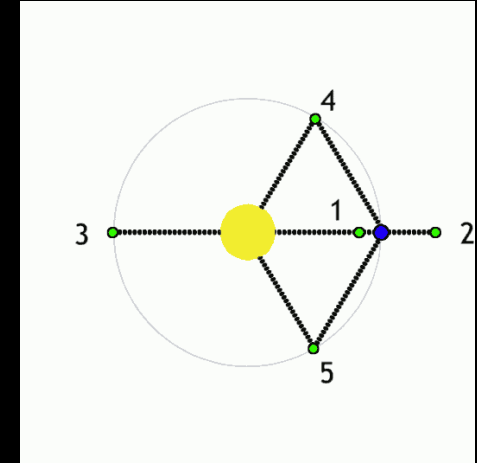


(b)



European Herschel Space Observatory (2009-2013)

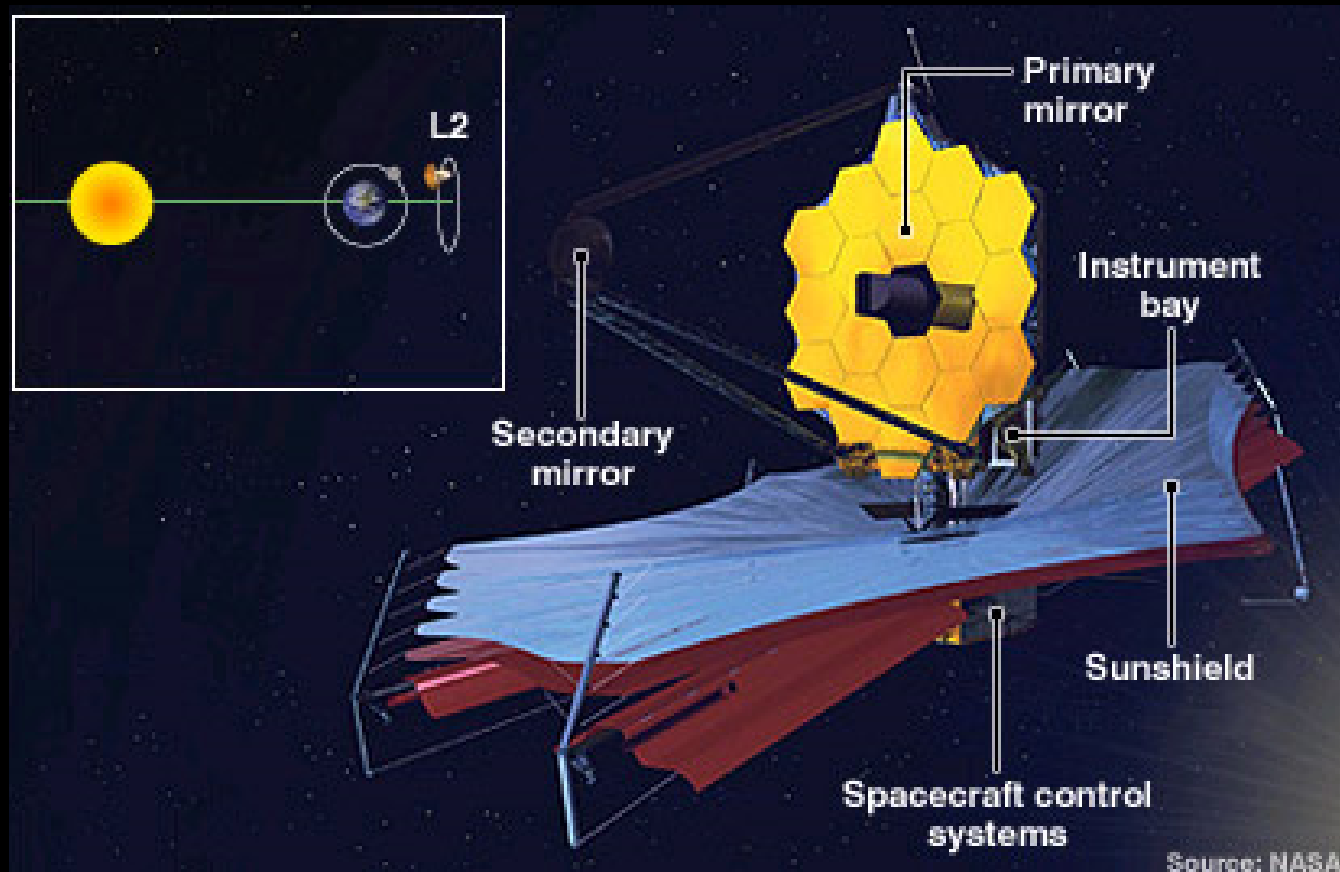
Órbita a 1,5 milhões de km da \oplus (L2)
 λ entre 50 e 700 μm



Combinação de imagens utilizando 3
 λ s : 70, 160 e 250 μm . poeira de T \neq s :
vermelho = + quente

Observatórios no espaço

Observação em outros λ s atenuados pela atmosfera terrestre

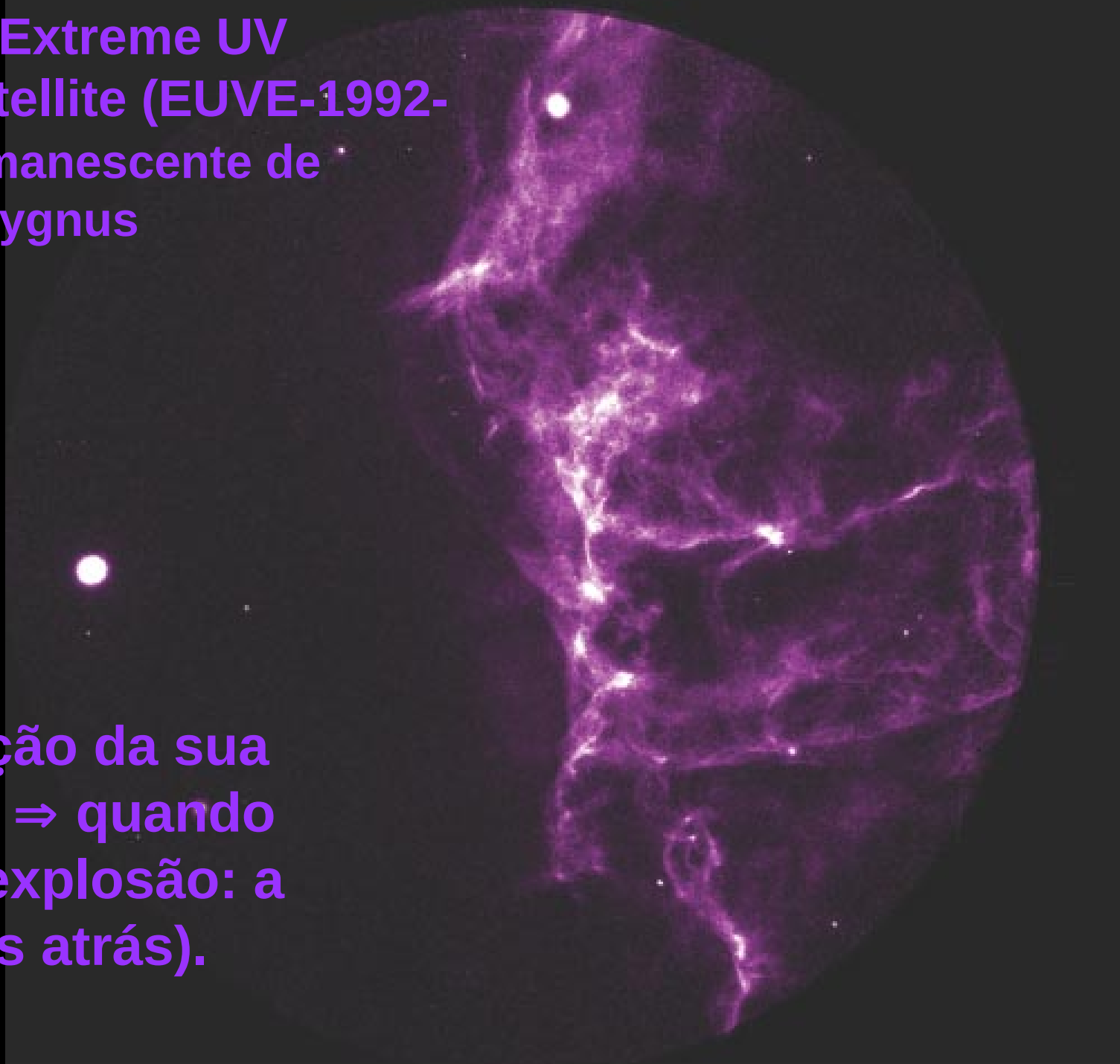


**James Webb Space Telescope (sucessor HST) Projeto previsto para ser lançado em março 2021:
6,5 m – observações no IR**

Astronomia UV

Observações no UV devem ser feitas no espaço, pois a atmosfera da Terra absorve quase toda a radiação UV (quase totalmente opaca a $\lambda < 300$ nm).

**Imagem do Extreme UV
Explorer satellite (EUVE-1992-
2002) da remanescente de
supernova Cygnus**



**Determinação da sua
velocidade \Rightarrow quando
ocorreu a explosão: a
12.000 anos atrás).**

**Galáxia espiral M81
e sua companheira
M82 feita pelo
Galaxy Evolution
Explorer satellite
(GALEX: 2003-2012).**

**Formação estelar
nos braços de
espirais.**

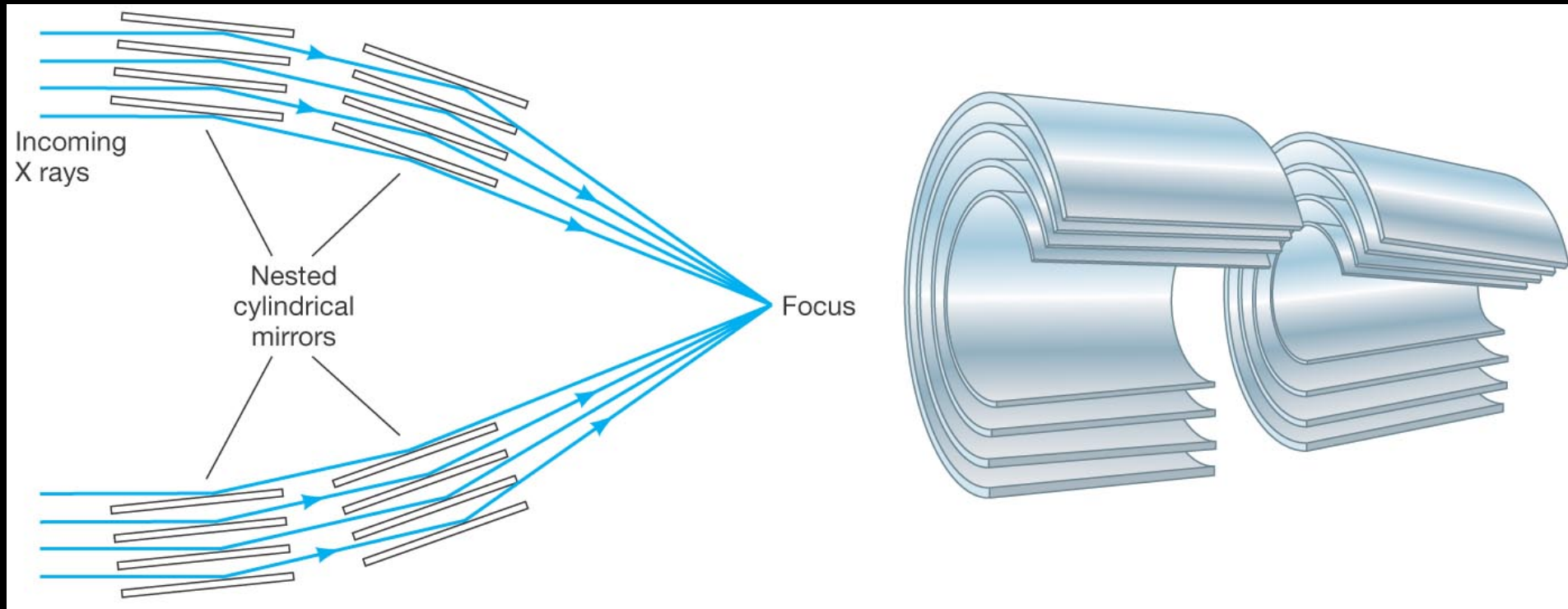


Astronomia de altas energias

Raios-X e raios γ não podem ser refletidos por simples espelhos como em outros λ s: ou passam diretamente ou são absorvidos

RAIOS-X

podem refletir em ângulos bem RASANTES. Espelhos cilíndricos podem ser construídos de forma a coletar os raios-X que incidem com ÂNGULOS RASANTES e focá-los para obter uma imagem.

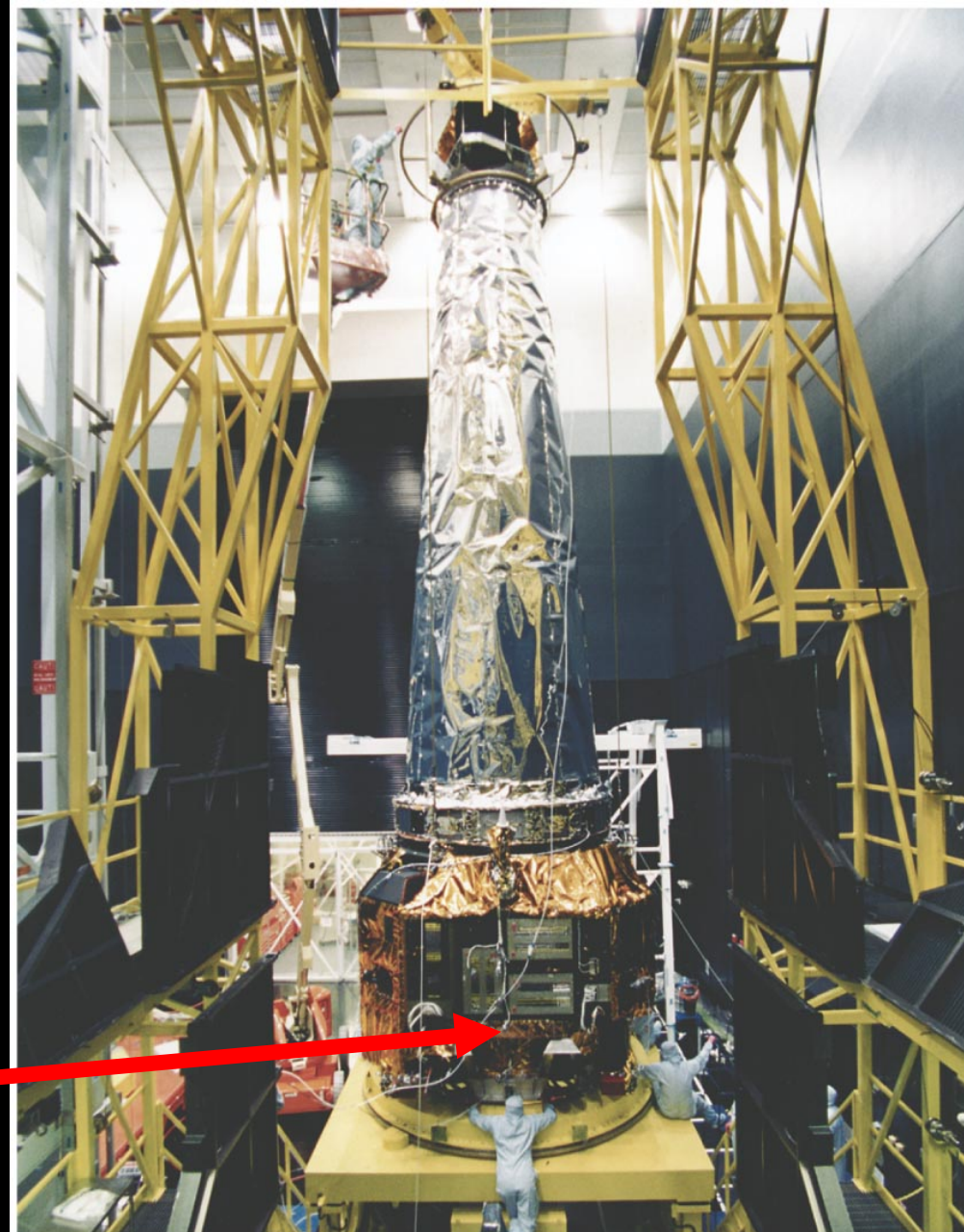
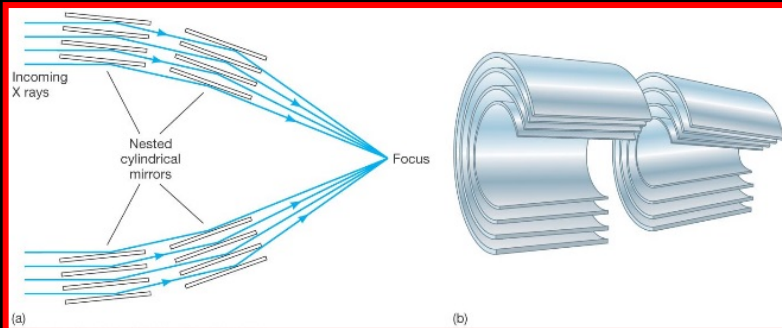


Fótons de alta energia são bastante escassos no universo: detectores eletrônicos fazem contagens de cada fóton.

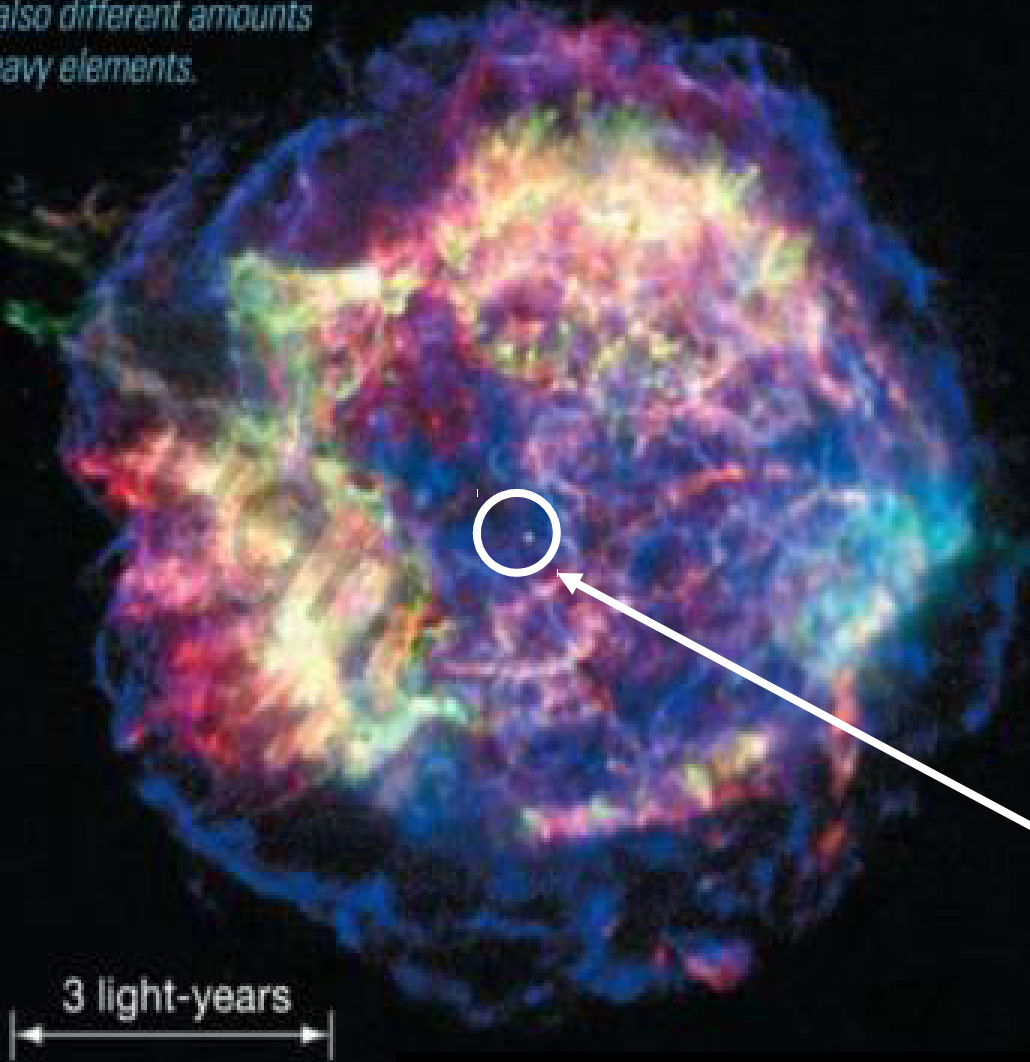
- ***Einstein Observatory (1978-1980):* primeiro telescópio de raios-X que foi capaz de formar uma imagem.**
- **ROSAT (Röntgen Satellite: 1991-1999).**

**Chandra X-ray
Observatory (1999-até
hoje): maior campo e
maior resolução do que
os outros.**

**resolução angular: 1”
Órbita a 1/3 da
distância a Lua
(140.000 km)**



*The colors here indicate different intensities of X-rays
and also different amounts
of heavy elements.*



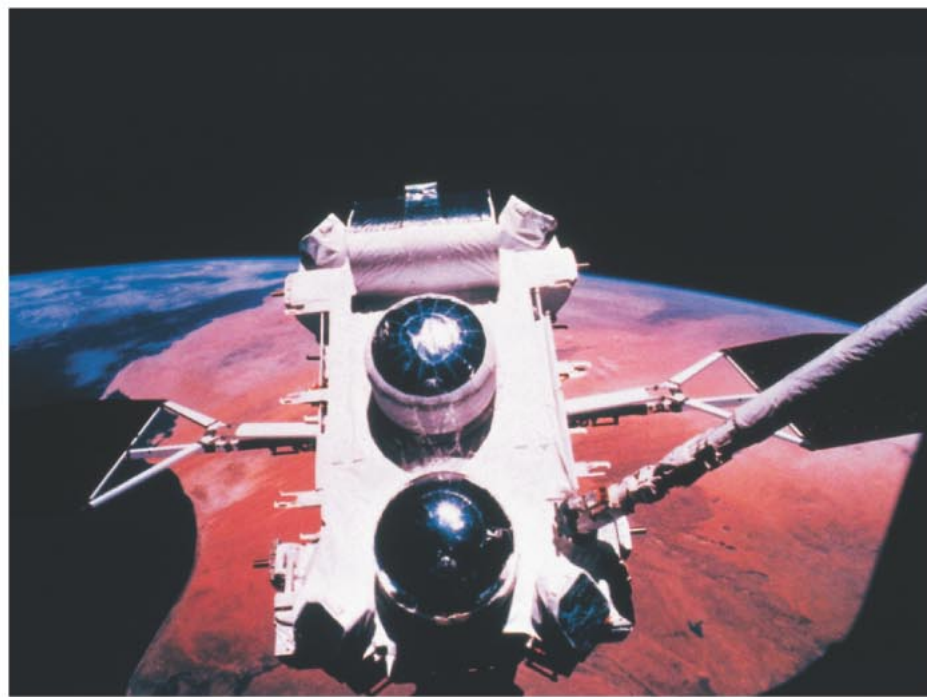
**Imagem em raios-X da
remanescente de supernova
Cas A (Chandra).**

**Cores representam a
intensidade de raios-X
(branco = + brilhante e
vermelho = + fraca)**

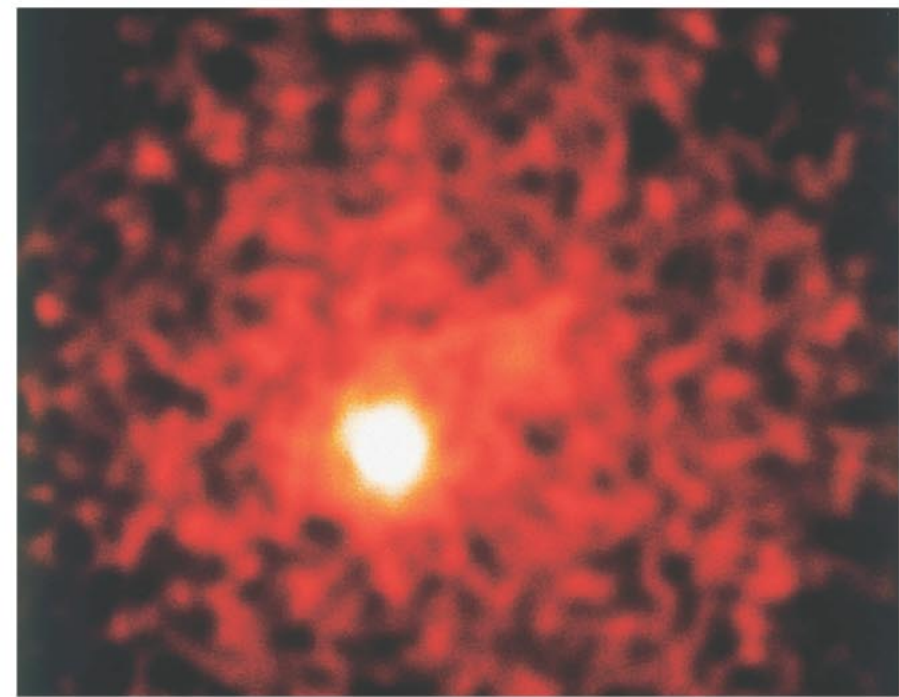
**Temperatura muito quente:
Gás a $T=50 \times 10^6$ K.**

**Ponto brilhante = buraco
negro**

Raios gama não podem ser focados, portanto a resolução angular é muito pobre (1°).



(a)



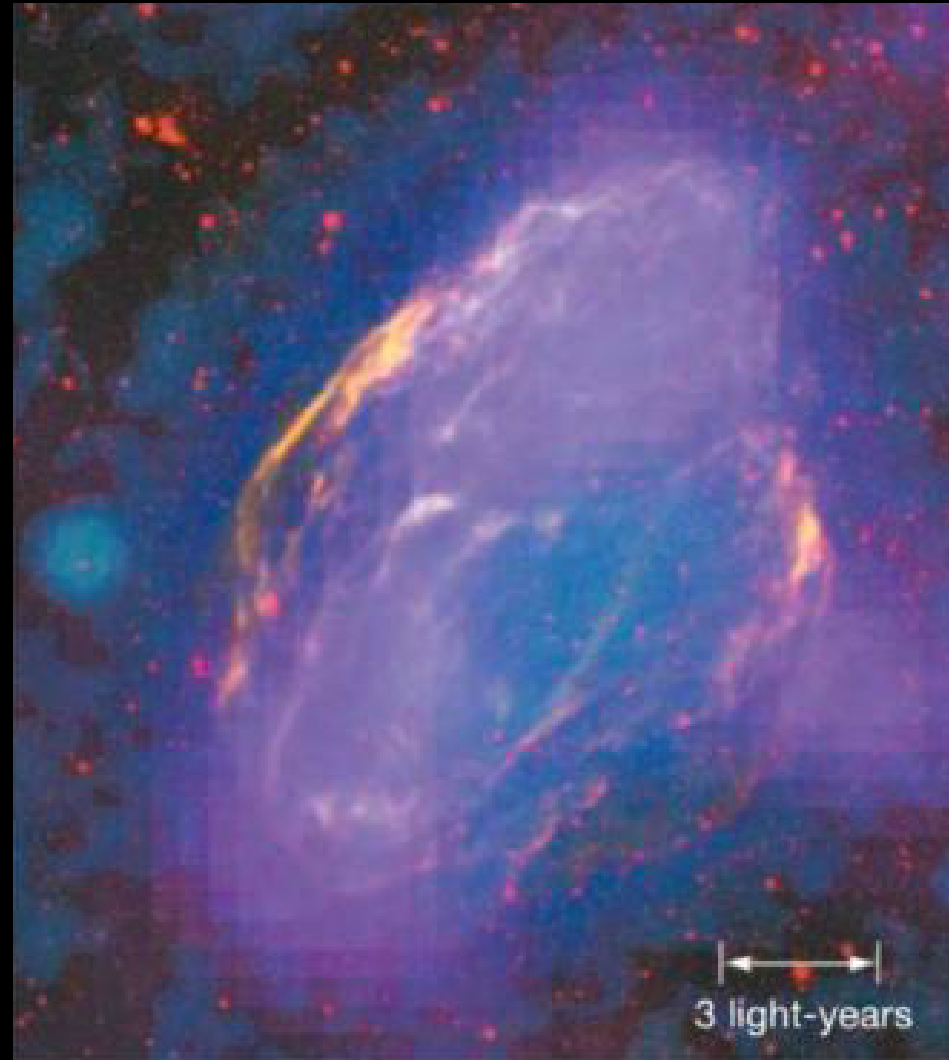
(b)

- (a) Compton gamma-ray observatory (CGRO:1991-2000) fotografia feita da Atlantis**
- (b) Evento altamente energético no centro da galáxia 3C279 (quasar)**

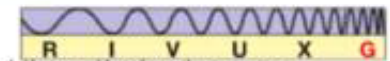
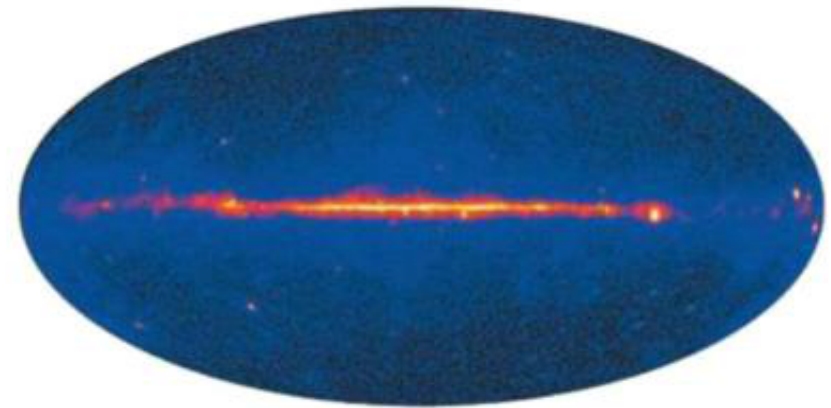
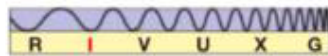
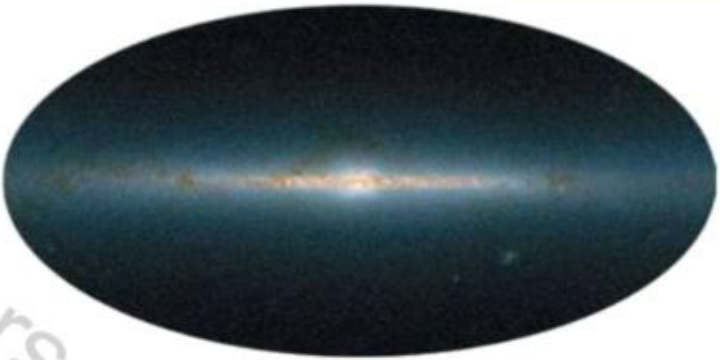
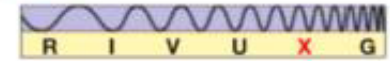
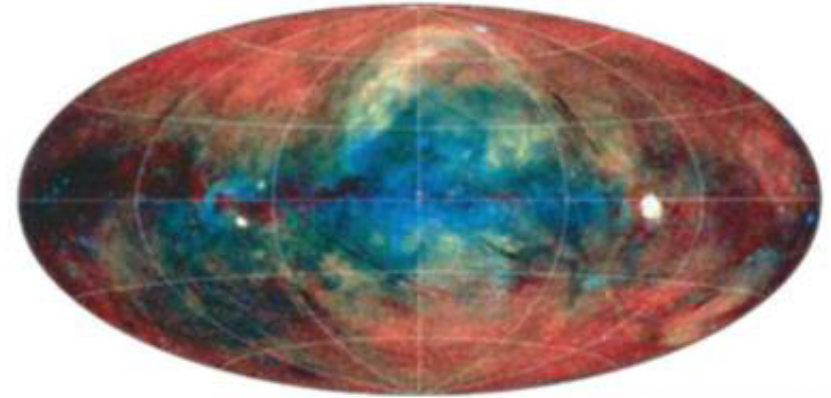
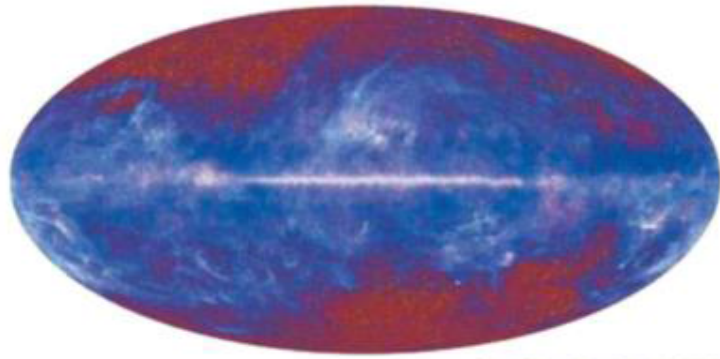
Fermi gamma-ray Space Telescope (2008- até hoje)



**Explosão de
supernova numa
galáxia distante:
magenta = raios
gama**



Toda a cobertura espectral



(e)

A via Láctea vista em vários comprimentos de onda.

Astronomia em múltiplos λ s

Rádio	<p>Pode penetrar regiões de poeira no espaço interestelar.</p> <p>Atmosfera da Terra transparente a uma larga faixa.</p> <p>Pode-se observar a luz do dia.</p> <p>Alta resolução requer telescópios muito grandes ou interferômetros.</p>	<p>Estudo de planetas através de radar</p> <p>Campos magnéticos planetários</p> <p>Nuvens de gás e moleculares</p> <p>Centro de galáxias</p> <p>Radiação cósmica de fundo</p>
IR	<p>Pode penetrar regiões de poeira no espaço interestelar.</p> <p>Atmosfera da Terra é somente parcialmente transparente ao IR</p> <p>Telescópios espaciais: as vezes</p>	<p>Formação estelar</p> <p>Centro da Via Láctea</p> <p>Galáxias Ativas</p> <p>Estrutura em grande escala do Universo</p>
Visível	<p>Atmosfera da Terra transparente a luz visível</p>	<p>Planetas</p> <p>Estrelas e evolução estelar</p> <p>Galáxias normais e ativas</p> <p>Estrutura em grande escala do Universo</p>
UV	<p>Atmosfera da Terra é opaca à radiação UV</p> <p>Telescópios espaciais: sempre</p>	<p>Meio interestelar quente</p> <p>Estrelas quentes</p>
Raios-X	<p>Telescópios espaciais: sempre</p> <p>Espelhos especiais para imageamento.</p>	<p>Atmosferas estelares</p> <p>Estrelas de nêutrons e buracos negros</p> <p>Núcleos ativos de galáxias</p> <p>Gás quente em aglomerados de galáxias</p>
Raios gama	<p>Para detecção direta:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Telescópios espaciais: sempre - Relativamente baixa resolução. 	<p>Supernovas</p> <p>Estrelas de nêutrons</p> <p>Núcleos ativos de galáxias</p>