

Fundamentos da Astrofísica

Como a informação viaja pelo universo e as ferramentas do astrônomo para obtê-la

Roberto D. Dias da Costa
IAG/USP

Os portadores da informação

- **Radiação eletromagnética:**

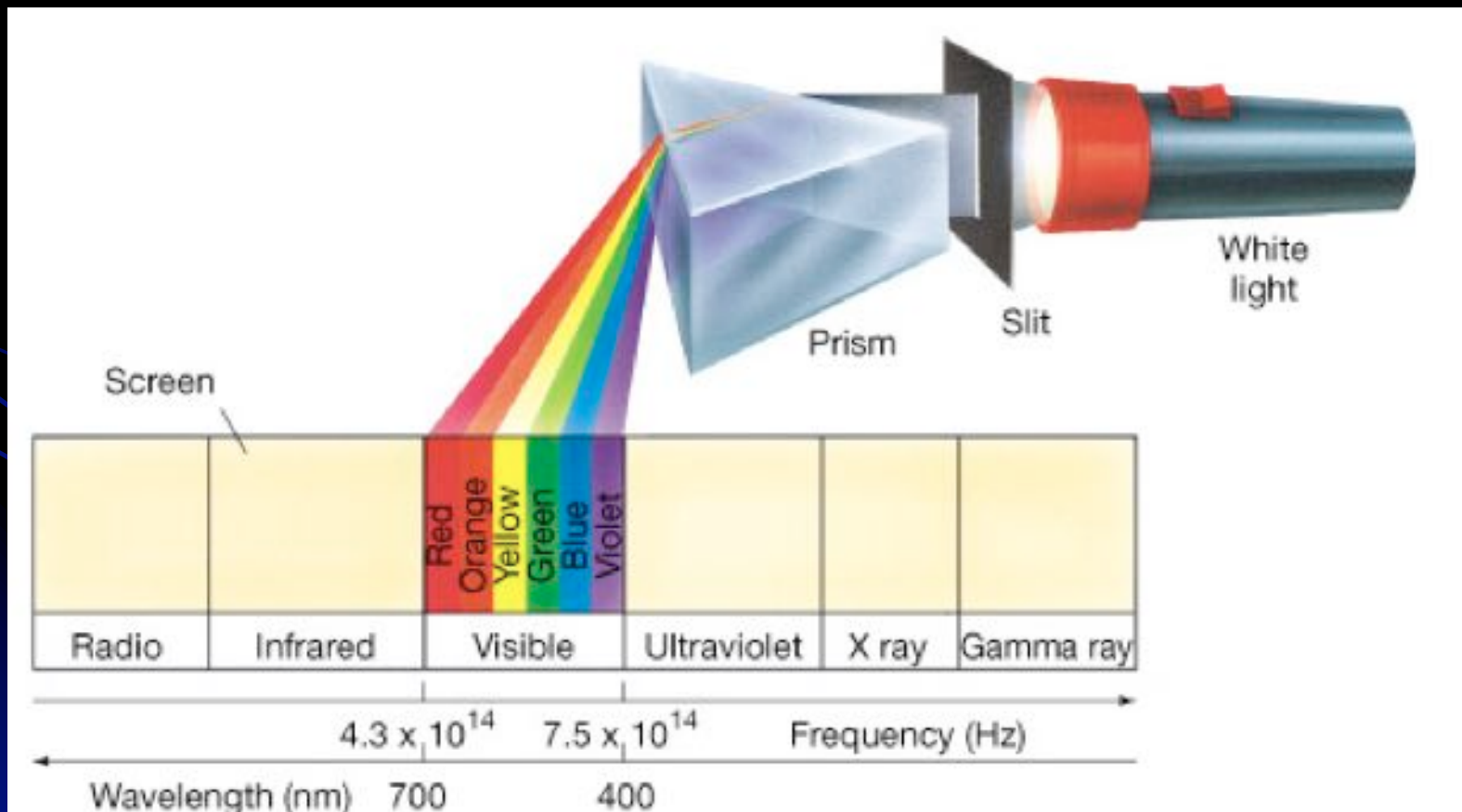
Ondas de rádio, luz visível, infravermelha ou ultravioleta, raios X, raios gama

- **Raios cósmicos** (prótons, elétrons, partículas alfa, etc.) e matéria em geral

- **Ondas gravitacionais**

A radiação eletromagnética

O espectro eletromagnético



AM (540-1650 KHz) FM (88-108 MHz) Microwave

Radio

1 GHz 100 GHz

Infrared
far near

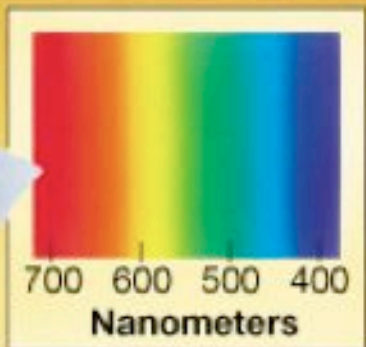
100 microns 1

Visible

Ultraviolet
near far

X rays
"Soft" "Hard"

Gamma rays



Frequency (Hertz)

10^3 10^5 10^7 10^9 10^{11} 10^{13} 10^{15} 10^{17} 10^{19} 10^{21} 10^{23}

Wavelength (meters)

10^4 10^2 1 10^{-2} 10^{-4} 10^{-6} 10^{-8} 10^{-10} 10^{-12} 10^{-14}

Scale



Radio window

Optical window

Opacity (percent)
100
50
0

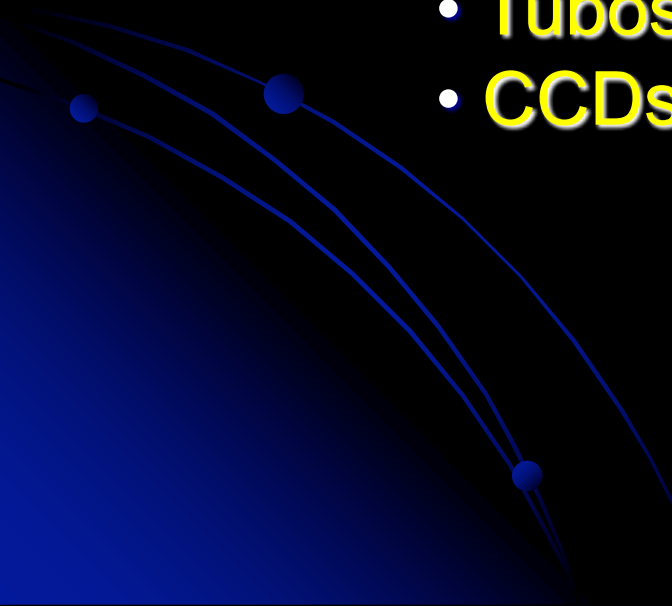
Atmosphere is opaque

Atmosphere is opaque

100 m 1 m 1 cm 10 m 10 cm 100 μ m 1 μ m

espectro completo

Os detetores de radiação eletromagnética

- Visível, ultravioleta e infravermelho:
 - **Olho Humano** (até meados do século XIX)
 - **Emulsões fotográficas** (~1850 → ~1980)
 - **Tubos de imagem** (~1960 → ~1990)
 - **CCDs** (a partir de ~1985)
- 

Os detetores de radiação eletromagnética em outras faixas de energia

- Rádio e microondas
 - Rádio-telescópios
 - Antenas e receptores
- Raios X e γ
 - Detetores Geiger
 - Cintiladores
 - Emulsões

Detetores de raios cósmicos

- Câmaras de bolhas
- Placas fotográficas
- Detetores Geiger

Detetores de ondas gravitacionais

- Antenas interferométricas: é uma técnica que está em estágio experimental, pouquíssimos resultados foram já obtidos.

Técnicas de medida usando a radiação eletromagnética

- **Astrometria**: determinação das posições “exatas” dos corpos celestes
- **Imageamento/fotometria**: medida do fluxo de radiação de uma determinada fonte
- **Espectroscopia**: obtenção do espectro da radiação de uma determinada fonte
- **Polarimetria**: determinação do grau de polarização da luz de uma fonte
- **Magnetometria**: medida da intensidade e direção do campo magnético de uma fonte ou região

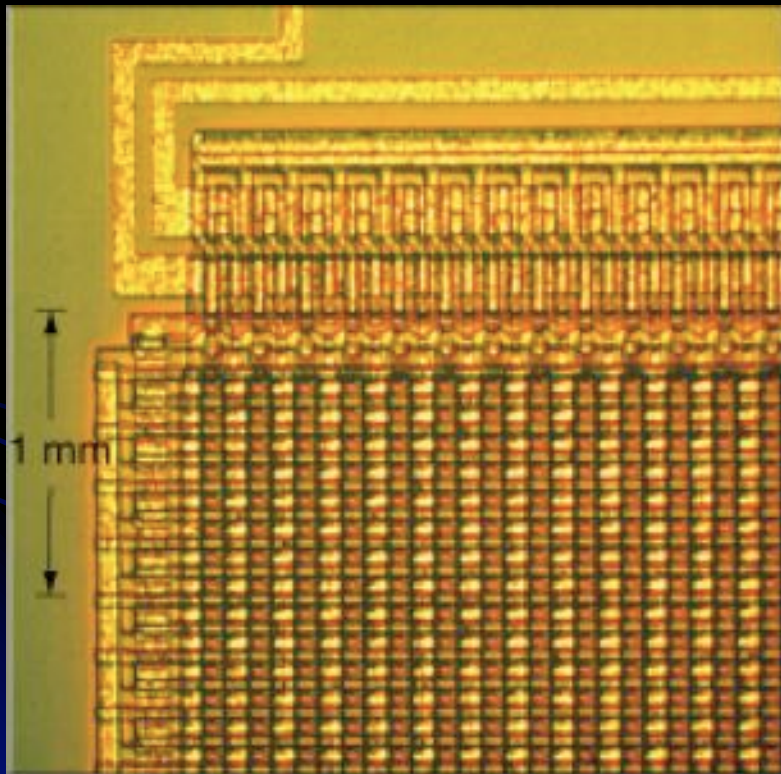
Técnicas de Imageamento/Fotometria

Fotografia digital (com detetores CCD): CCDs funcionam como uma matriz de fotodiodos que formam um análogo eletrônico da imagem. Permitem imagens com muito maior resolução que as “clássicas”.

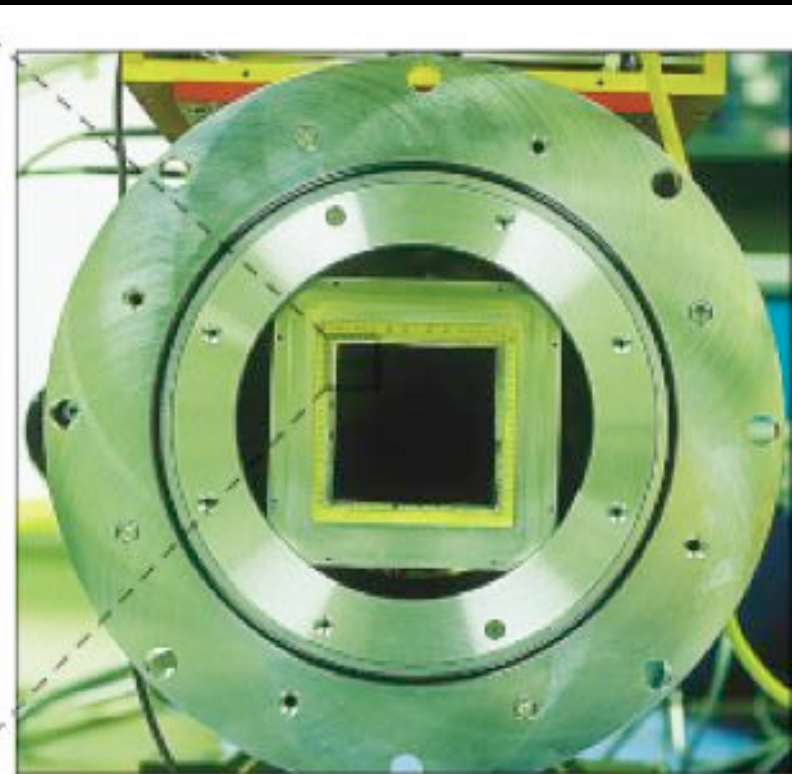
O que permite obter? Intensidades, cores, variações do brilho no tempo (curvas de luz), morfologia de fontes extensas, localização de objetos desconhecidos

O detetor CCD

Hoje virtualmente todas as medidas fotométricas e espectroscópicas no visível, ultravioleta e infravermelho usam CCDs. Eles constituem o “coração” de qualquer câmera digital




(a)

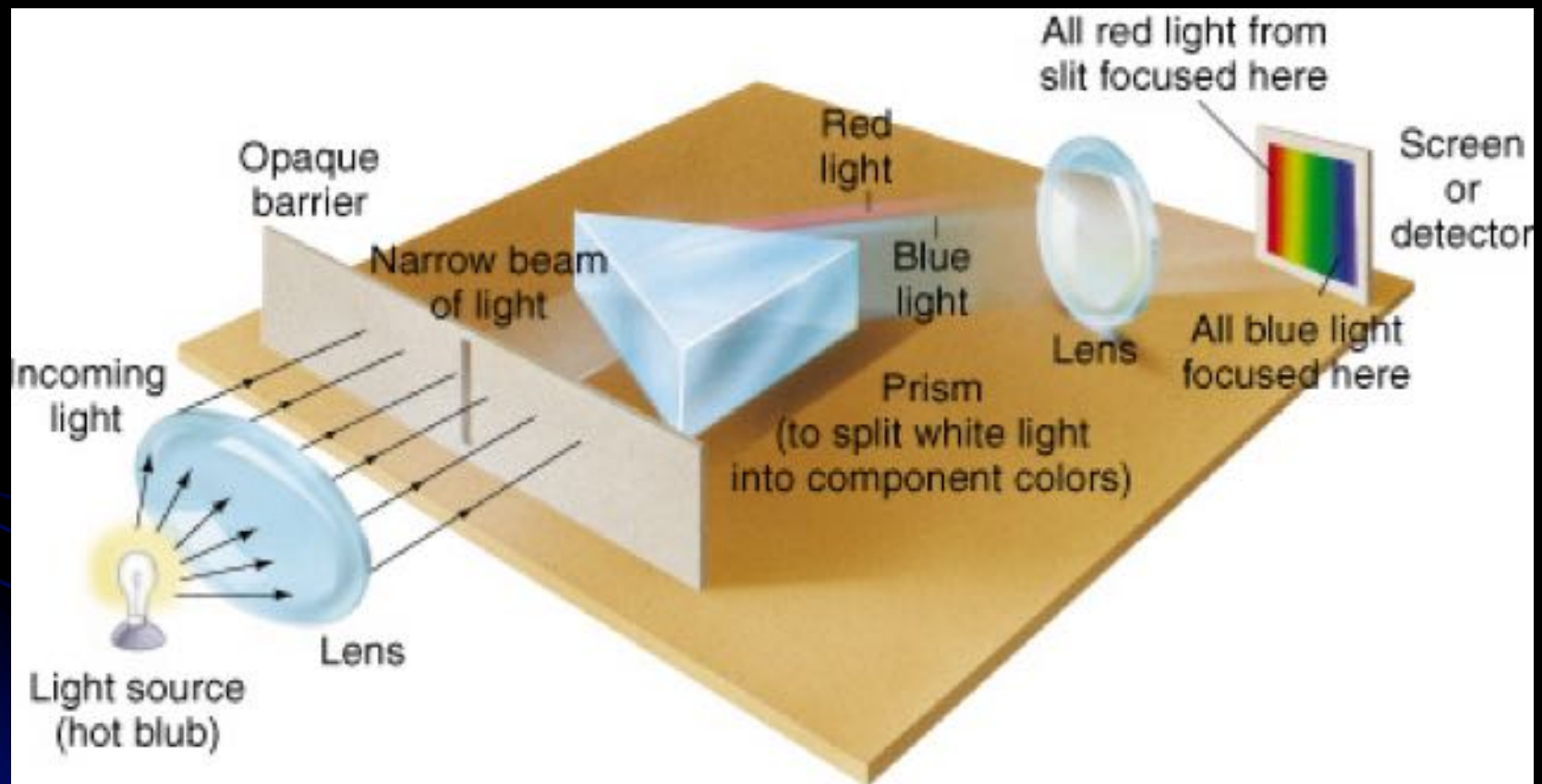


(b)

Outras técnicas de medida

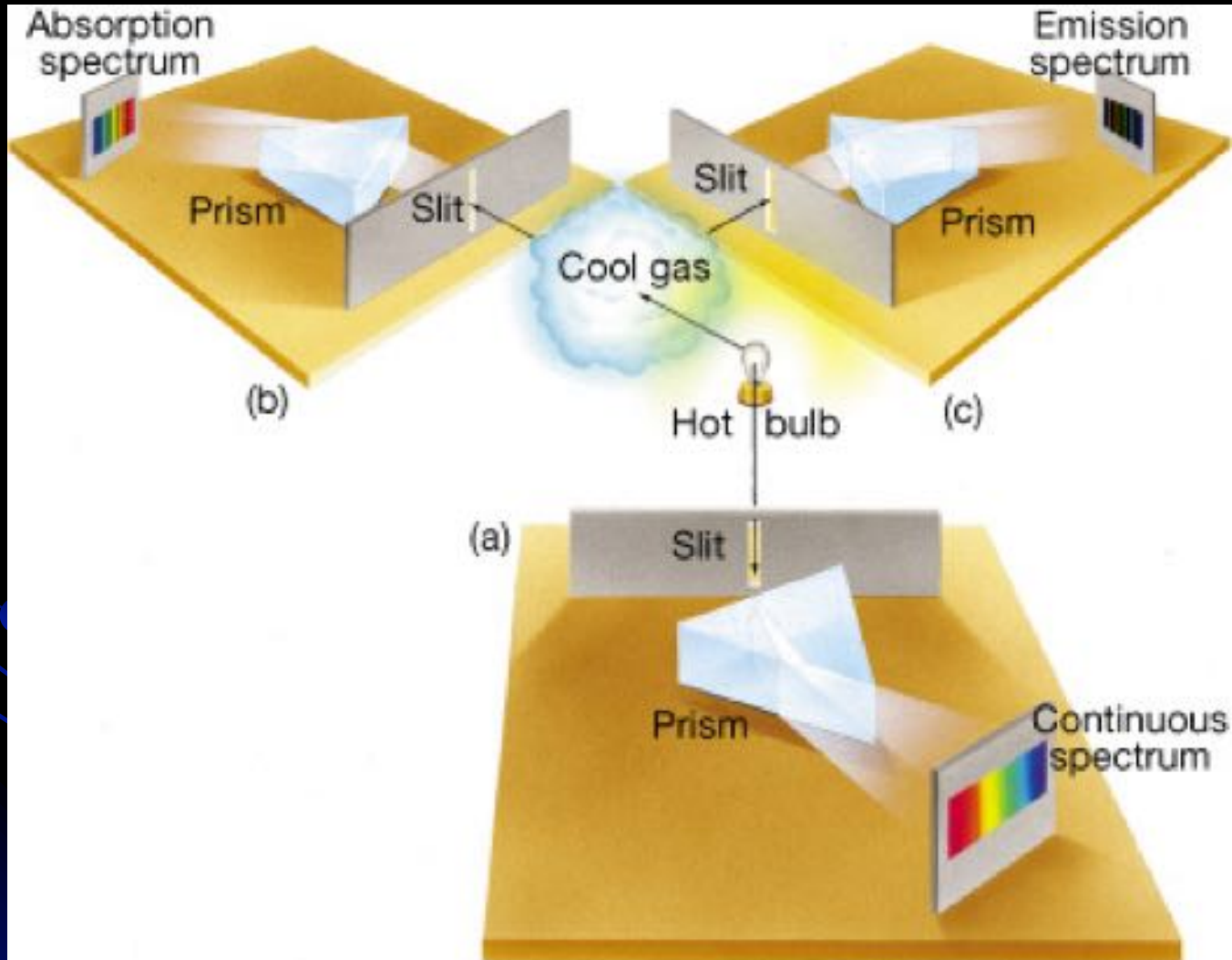
- Interferometria: permite altíssima resolução angular. É muito usada em radioastronomia e considerado a técnica do futuro em astronomia óptica
 - Ocultações: tem uso muito limitado por estar sujeita aos movimentos naturais dos corpos do sistema solar. Permite medidas de alta resolução angular como raios estelares.
 - Radar: adequado apenas para pequenas distâncias, dentro do Sistema Solar.
- 

Espectroscopia

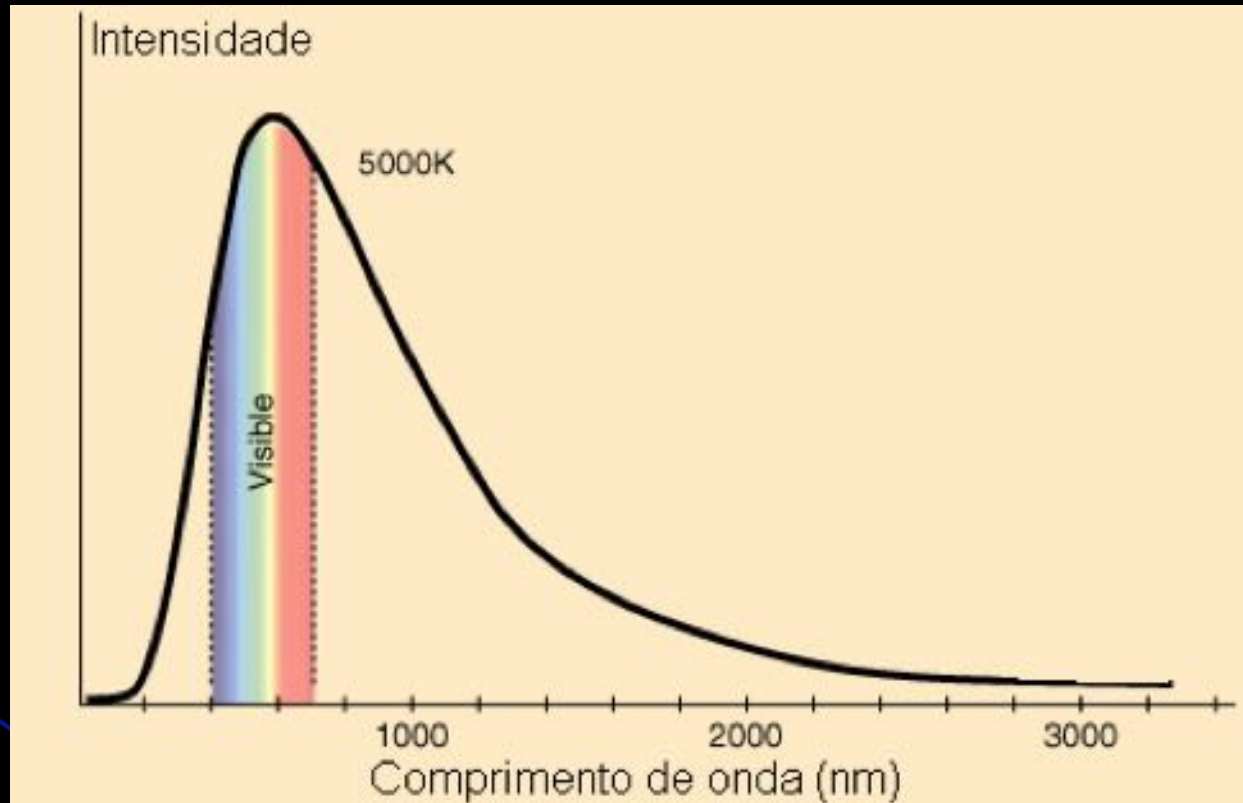


A decomposição da luz em suas cores dá ao astrônomo a possibilidade de estudar distintas propriedades dos corpos celestes tais como composição química e velocidade em relação a nós

Os distintos tipos de espectros: contínuo, de emissão e de absorção

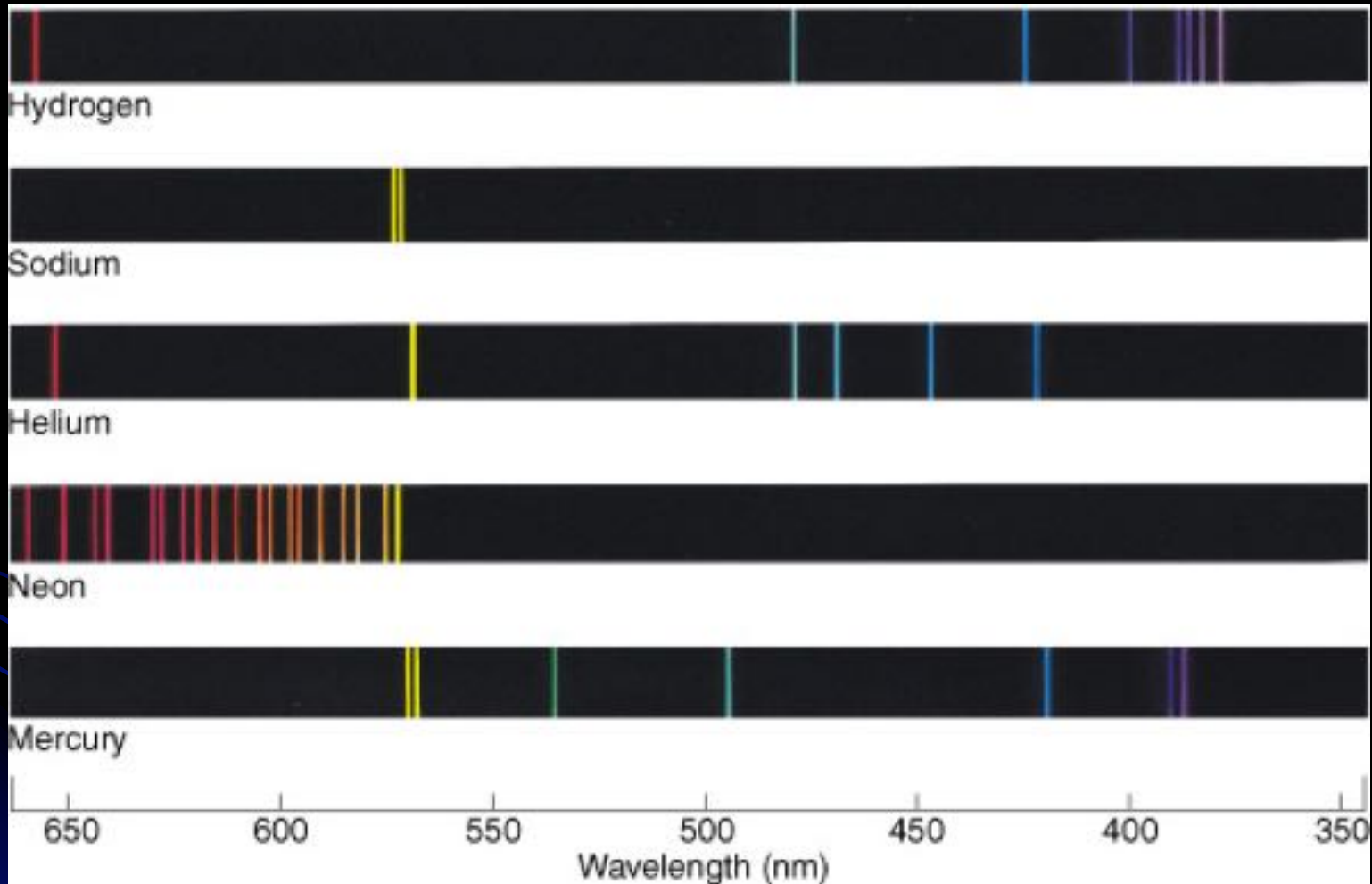


Curva de Planck – Radiação do Corpo Negro

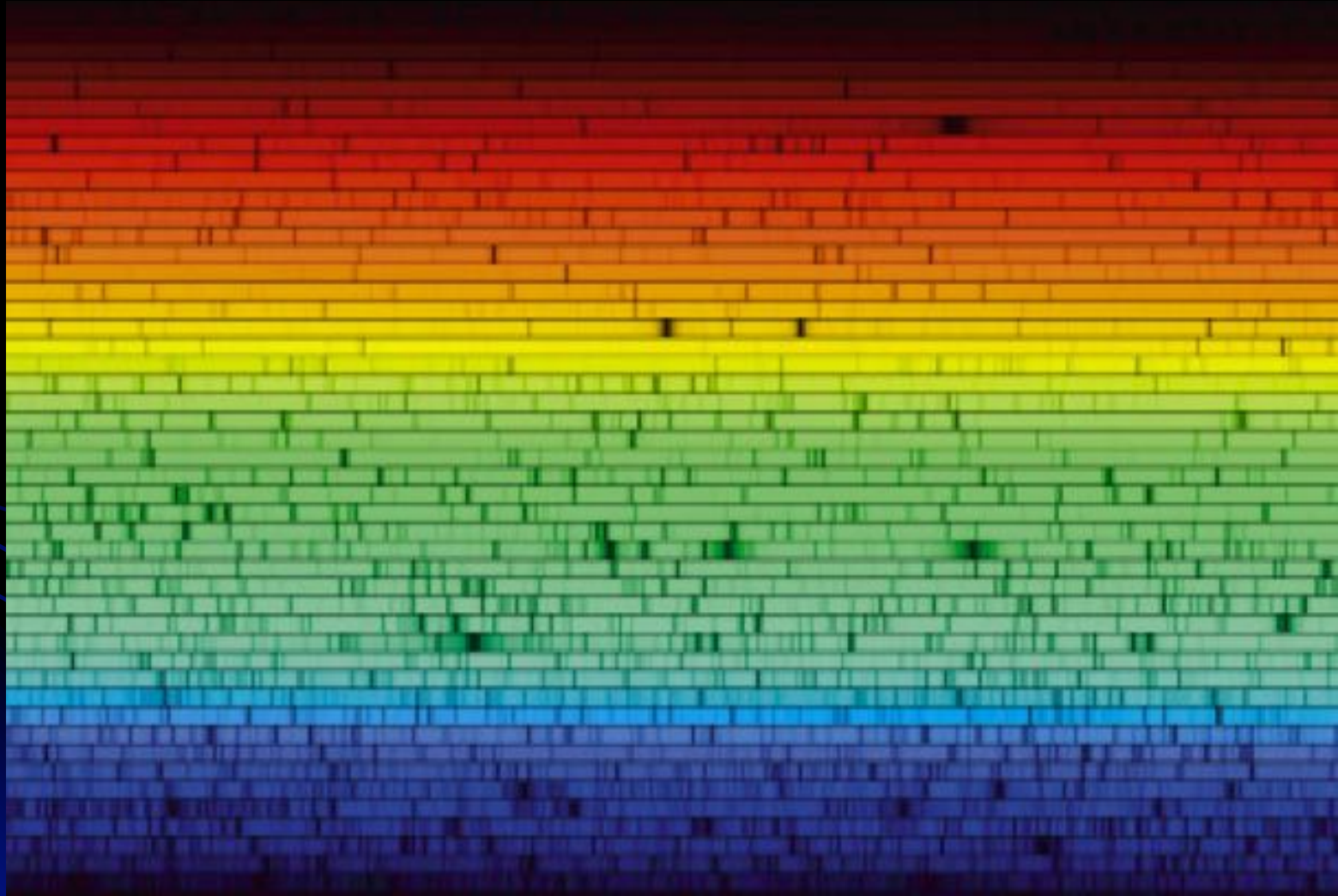


Lembrar: **TODOS** os corpos acima do zero absoluto emitem radiação na forma de um Corpo Negro com uma determinada temperatura efetiva.

Espectros de distintos elementos químicos



O espectro do Sol



Telescópios

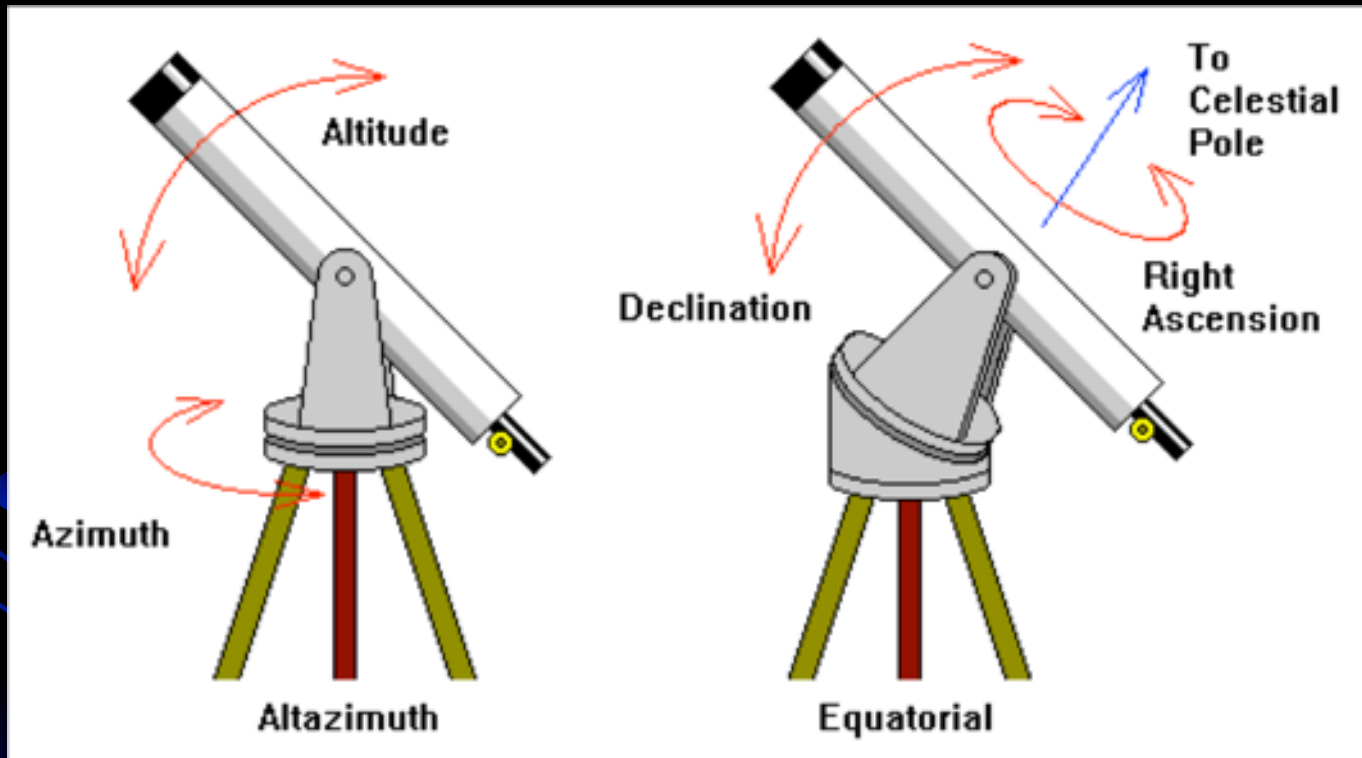


Telescópio de Galileo



Telescópio de Newton

As montagens: o básico



Cada montagem



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 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 perpendicular ao eixo da terra e em outro ortogonal a este. A rotação sobre o eixo da Terra dá o movimento N-S e sobre o outro eixo dá o movimento E-W.

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 dum eixo ortogonal ao eixo polar. Na outra extremidade do eixo é instalado um contrapeso

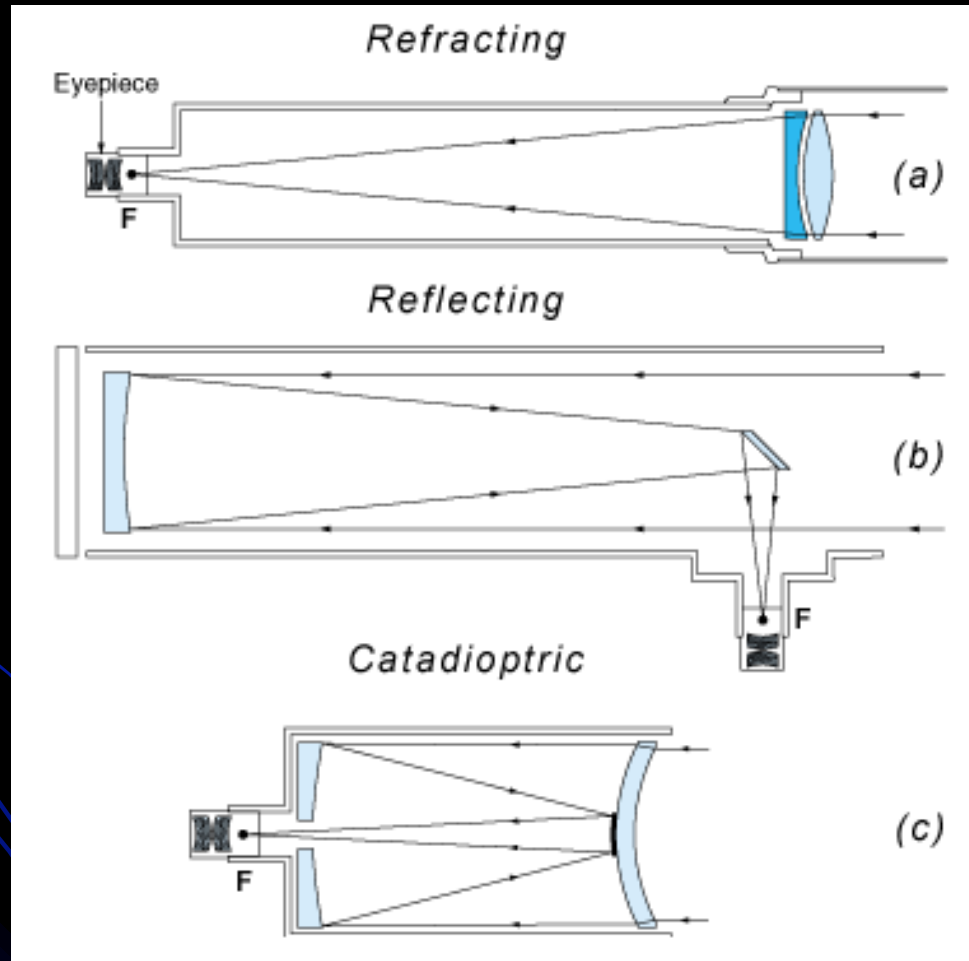
Montagem equatorial em ferradura



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

Tipos de óptica

Refrator



A captação da luz é feita pela lente objetiva (na verdade um par acromático)

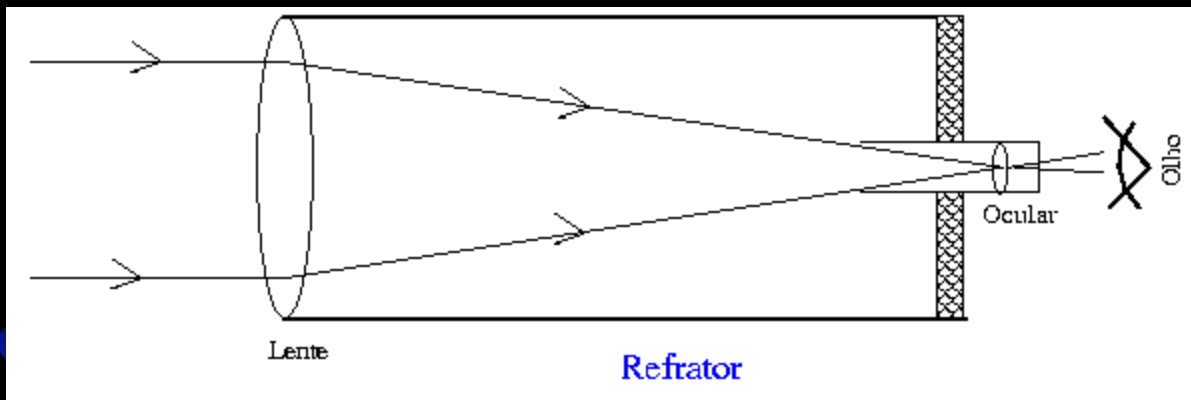
Refletor

A captação da luz é feita pela por um espelho primário

Catadióptrico

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 a aberração esférica

O Refrator





Refratores

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. Outra grande desvantagem é que, ao contrário dos espelhos, as lentes requerem polimento em ambas as faces, o que torna o processo construtivo muito mais complexo.

Yerkes

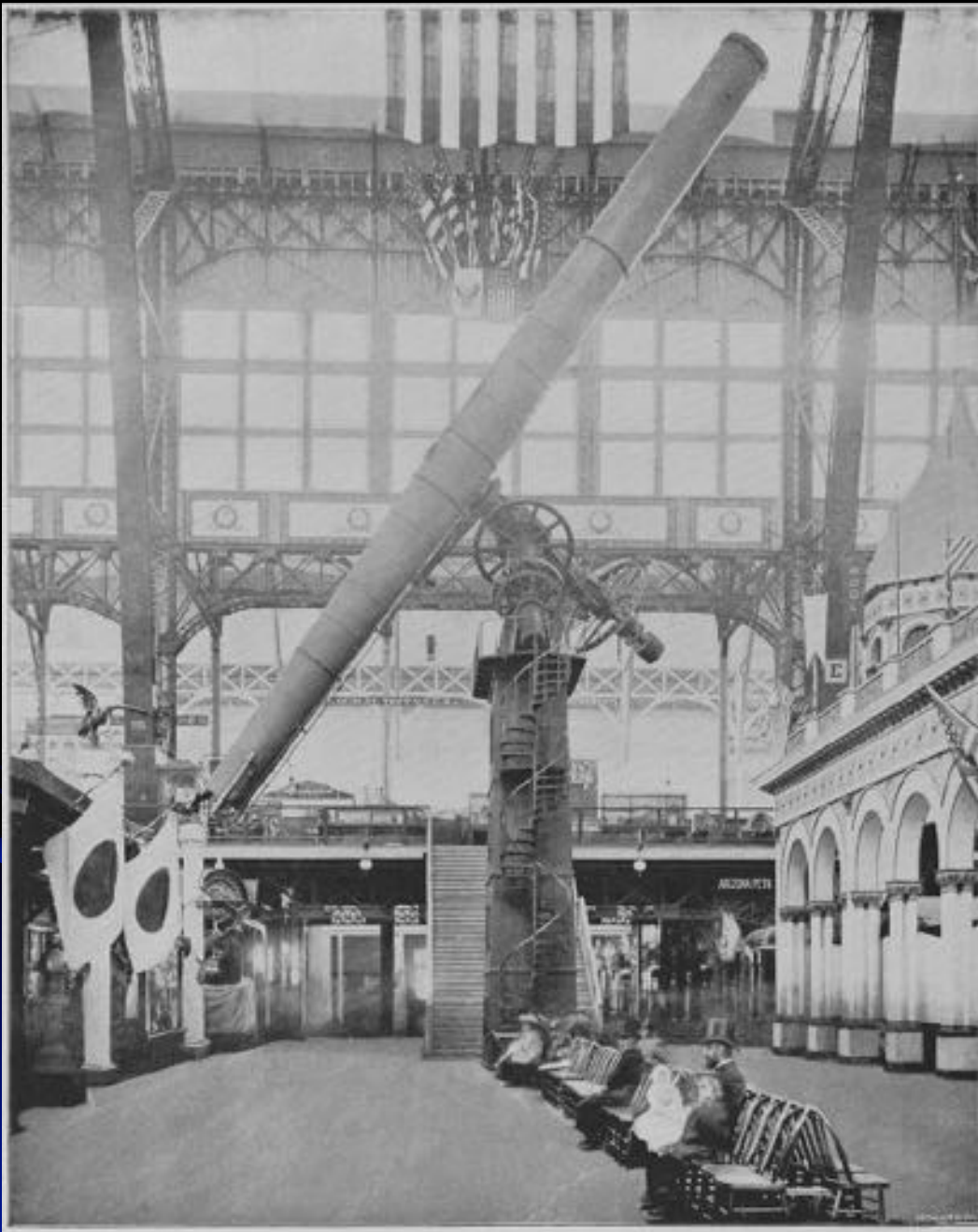
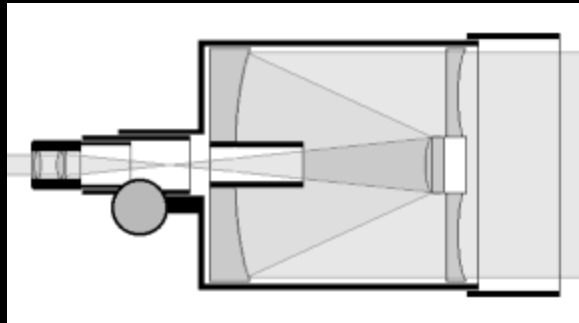
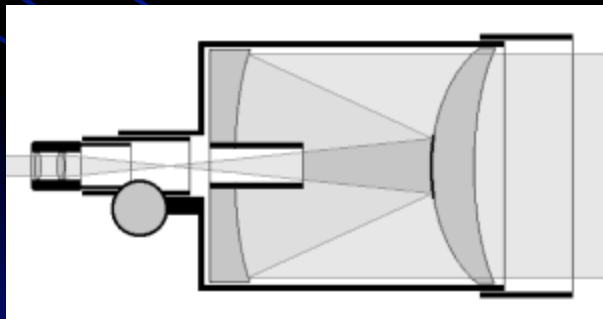


Foto do tel. Yerkes feita durante a Exposição Internacional em Columbus, Ohio, em 1893

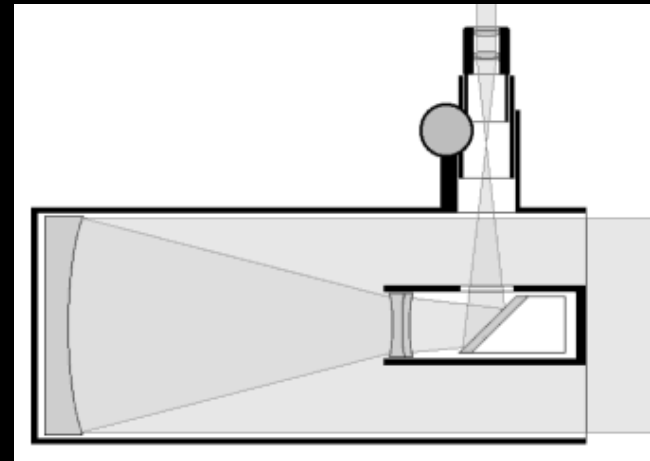
Telescópios catadióptricos



Telescópio Schmidt



Telescópio Maksutov



Tel. Newtoniano Catadióptrico

Telescópio catadióptrico



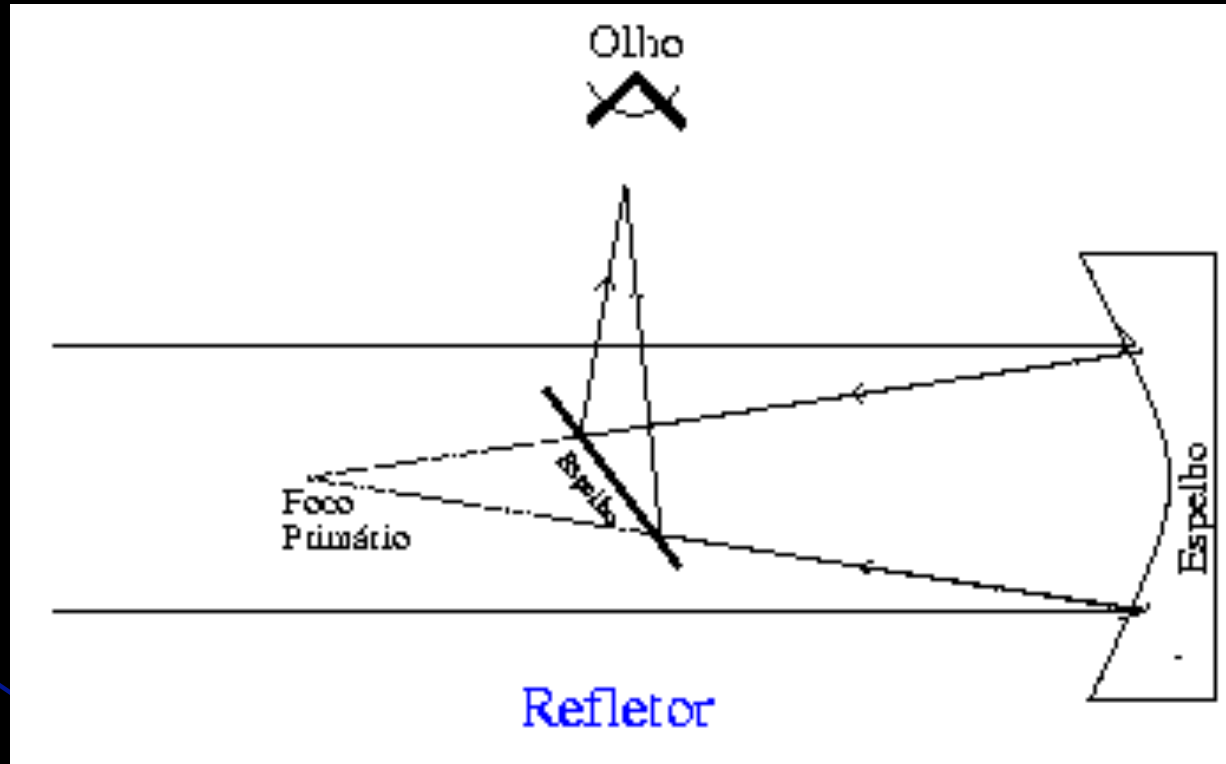
Telescópio amador Meade, com montagem altazimutal. O console preto logo abaixo da ferradura contém a eletrônica de controle dos motores para apontamento e guiagem

Câmara Schmidt



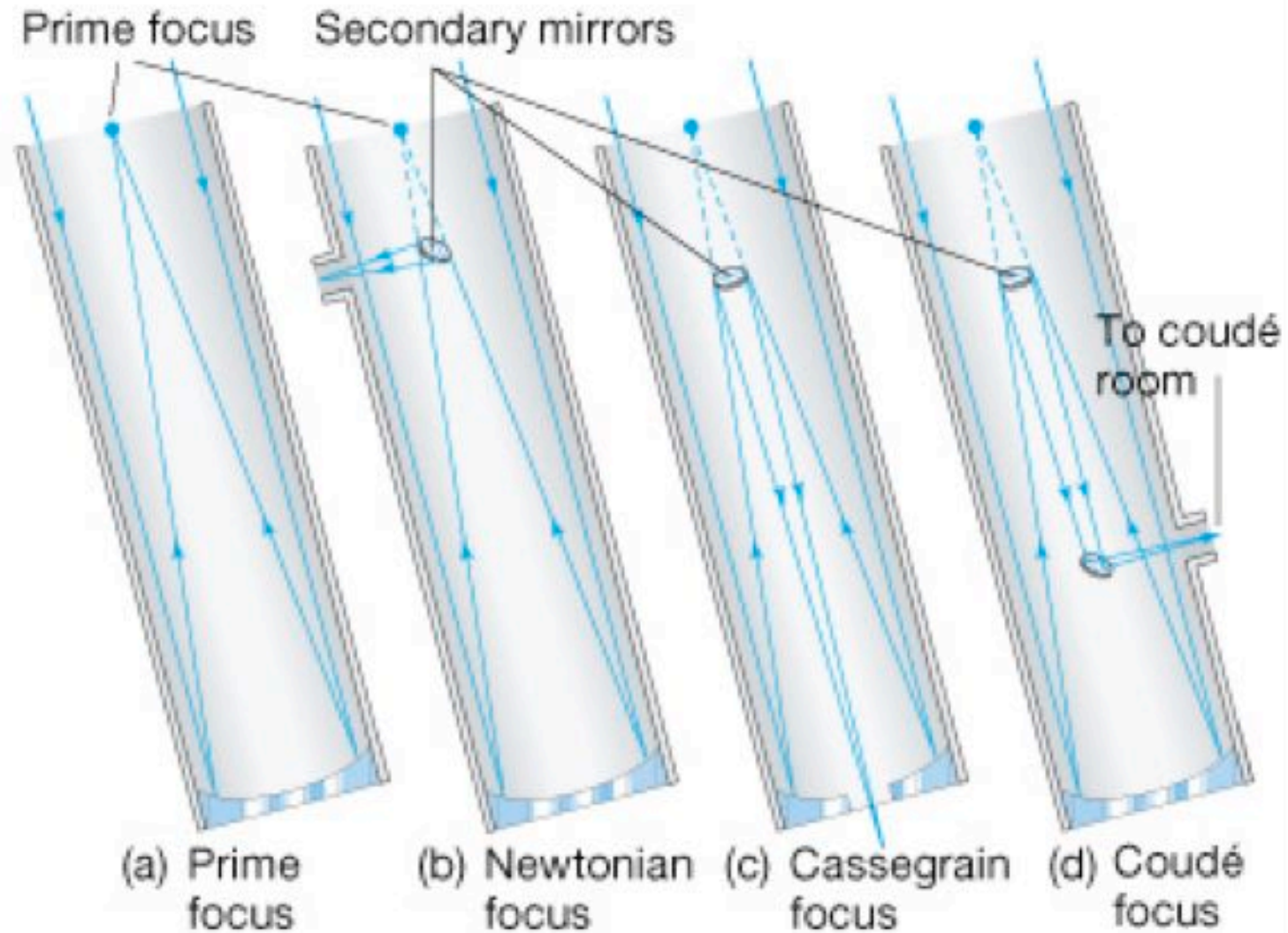
Câmara de 1.2 m de
Mt. Palomar, operada
na foto por E.P. Hubble
(foto de 1949)

O Refletor

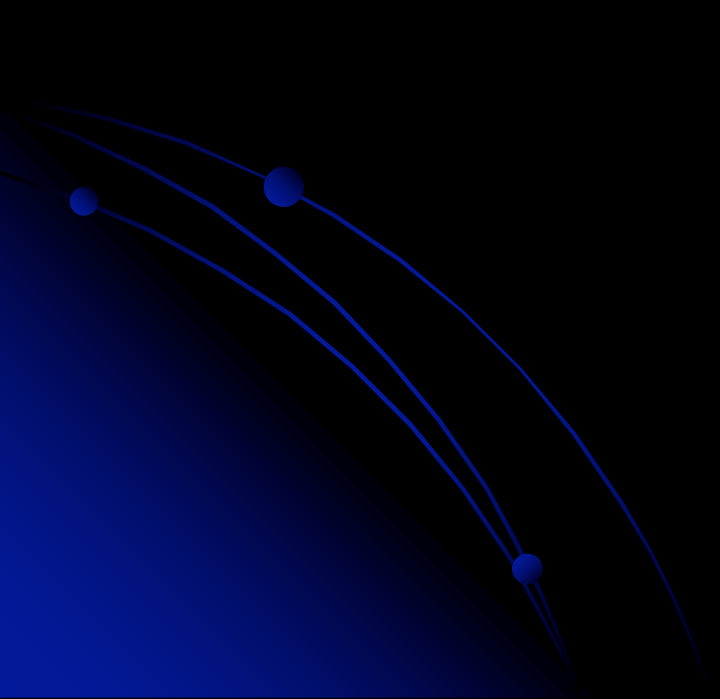


A “chave” do sucesso dos refletores é a rigidez do espelho, que não pode se deformar. Para garantir esta rigidez, usa-se a regra do 6:1, ou seja, para cada 6 unidades de diâmetro, tem-se uma de espessura.

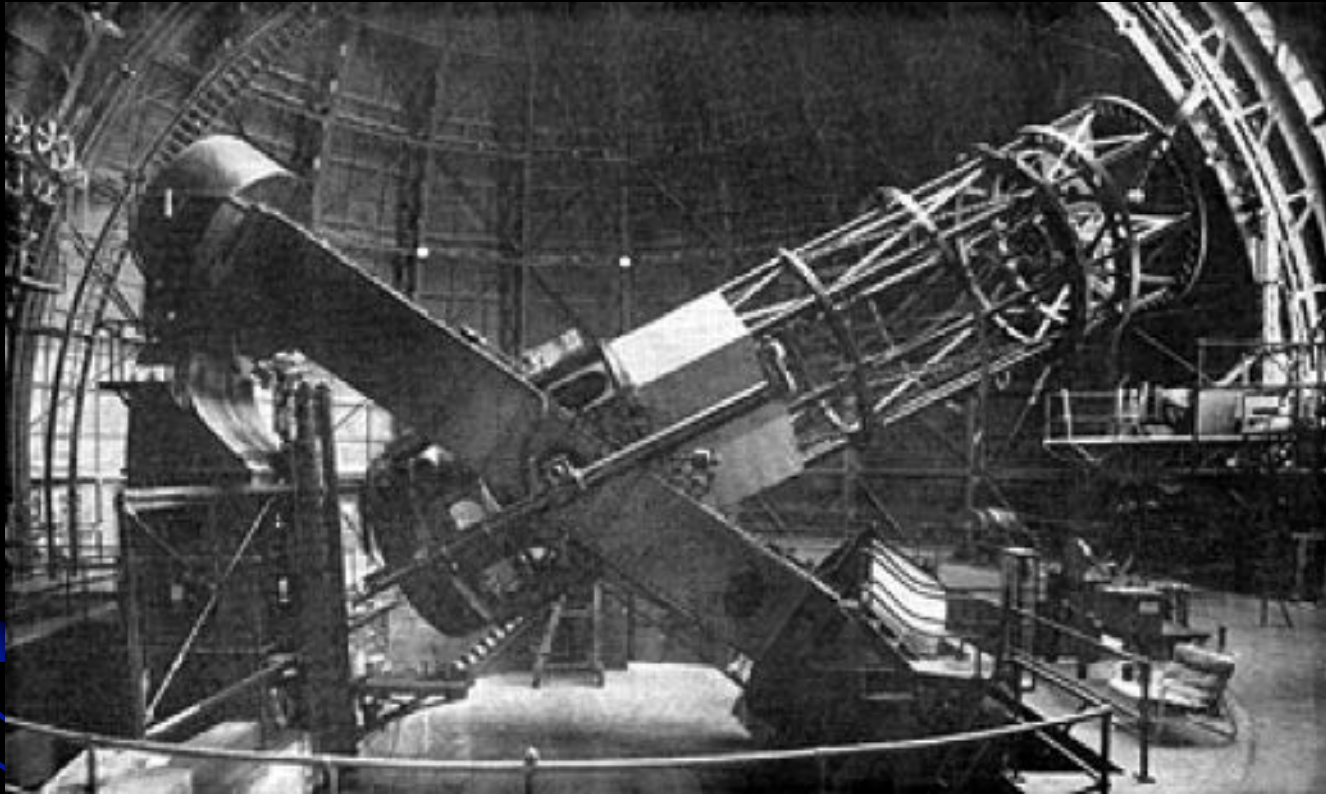
Refletores clássicos



Refletores amadores



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 m como o Gemini, VLT ou Keck.

The
B
I
G

E
Y
E

Hale Observing
on California Institute of Technology



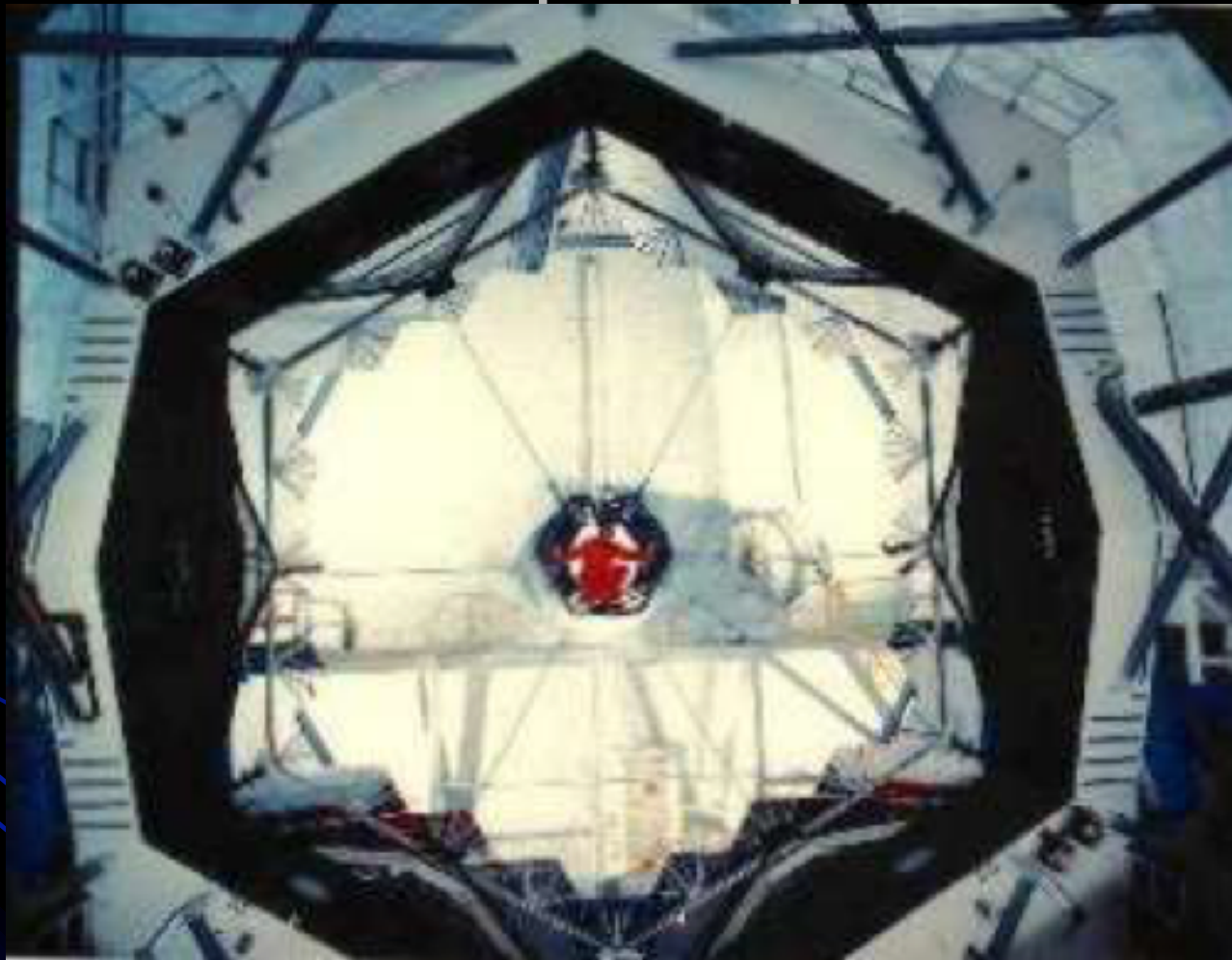
Hale 200" Telescope

Image provided by the Thomas Edison, MIT/Cornell

Keck I (1994), Keck II (1999)

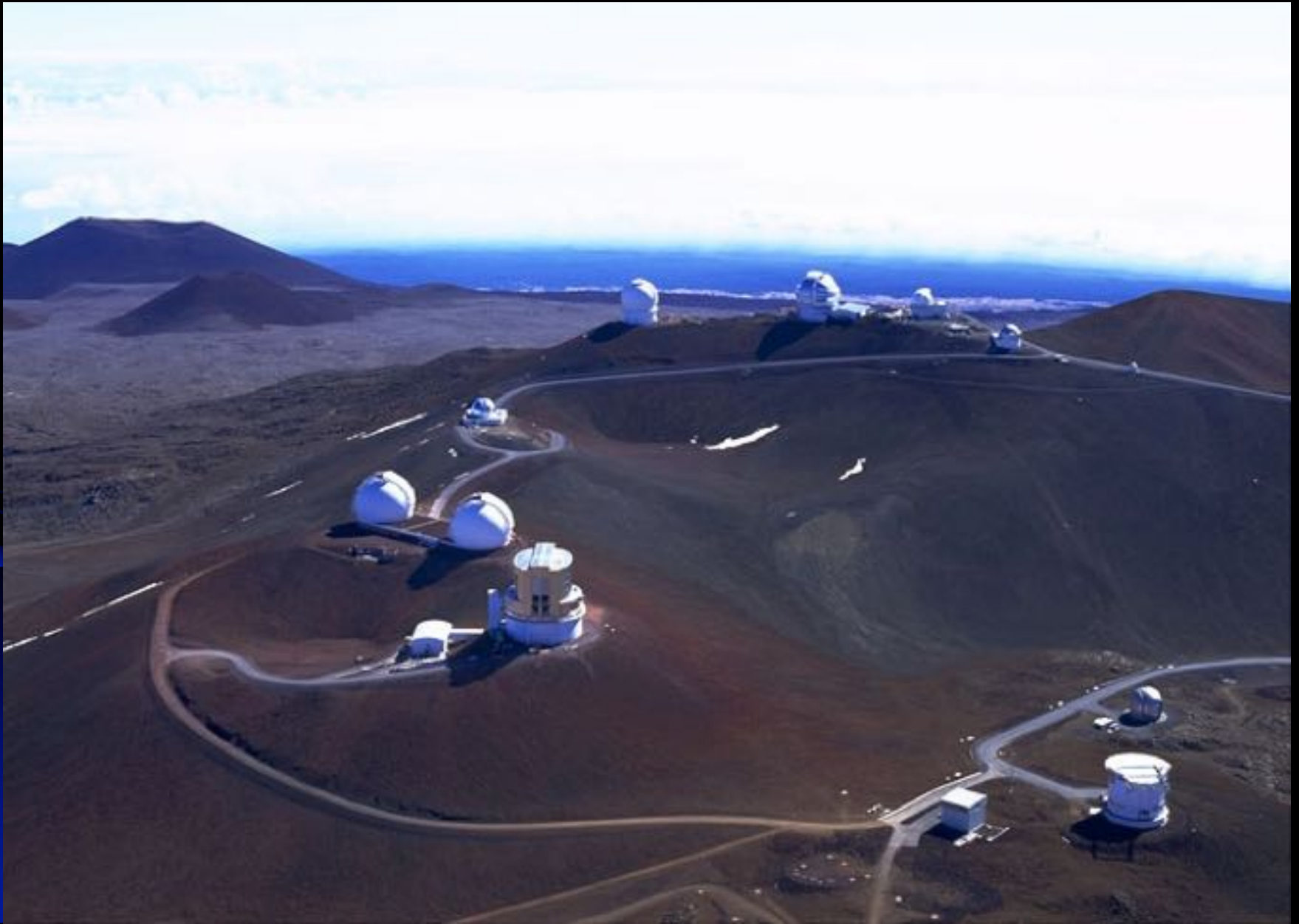


Keck – espelho primário



O espelho é um mosaico constituído de 36 hexágonos finos, que não seguem a regra do 6:1. Sua rigidez é garantida por atuadores hidráulicos (pistões) por baixo. Estas correções são feitas constantemente e esta técnica se chama “óptica ativa”.

Mauna-Kea

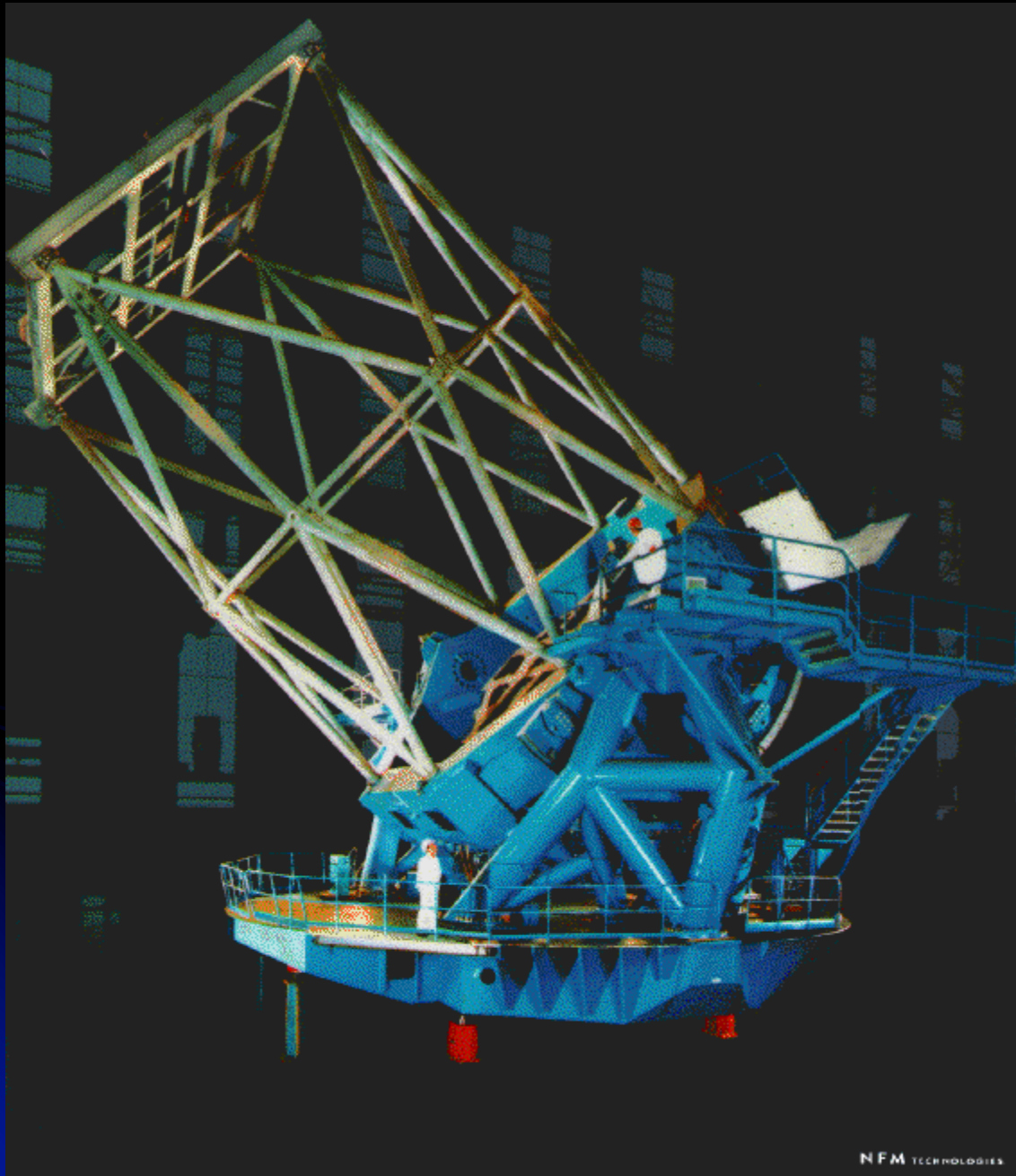


Gemini-N

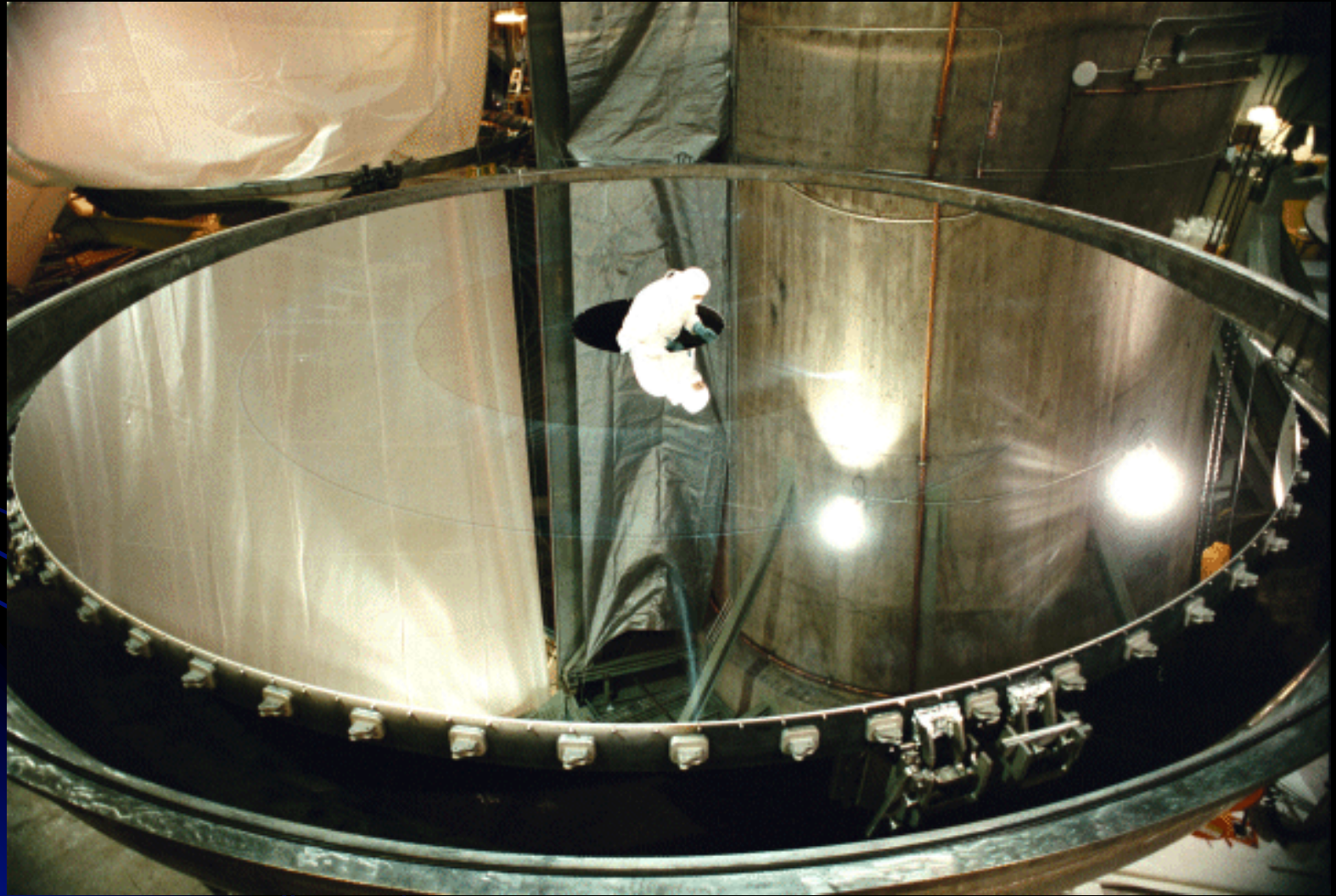


Gemini-S

Montagem da
estrutura mecânica



O espelho fino de 8 m do Gemini



VLT : Cerro Paranal, Chile



© gerhard hüdepohl - alacama photo

No Brasil: LNA

Pico dos Dias: uma instalação para treinamento
Opera o Gemini e o SOAR pelo Brasil



SOAR



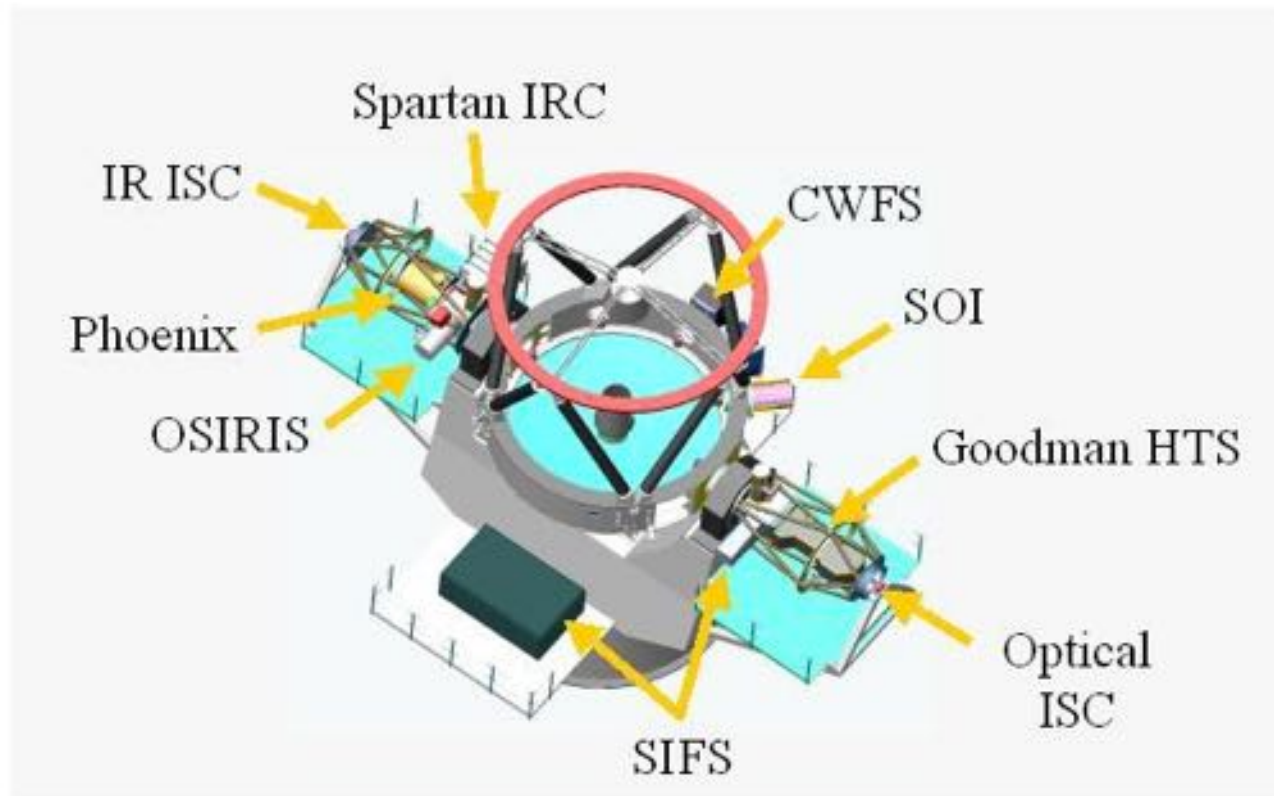


Duas visões do SOAR. Pode-se ver na esquerda a montagem altazimutal e na direita os atuadores hidráulicos da óptica ativa.



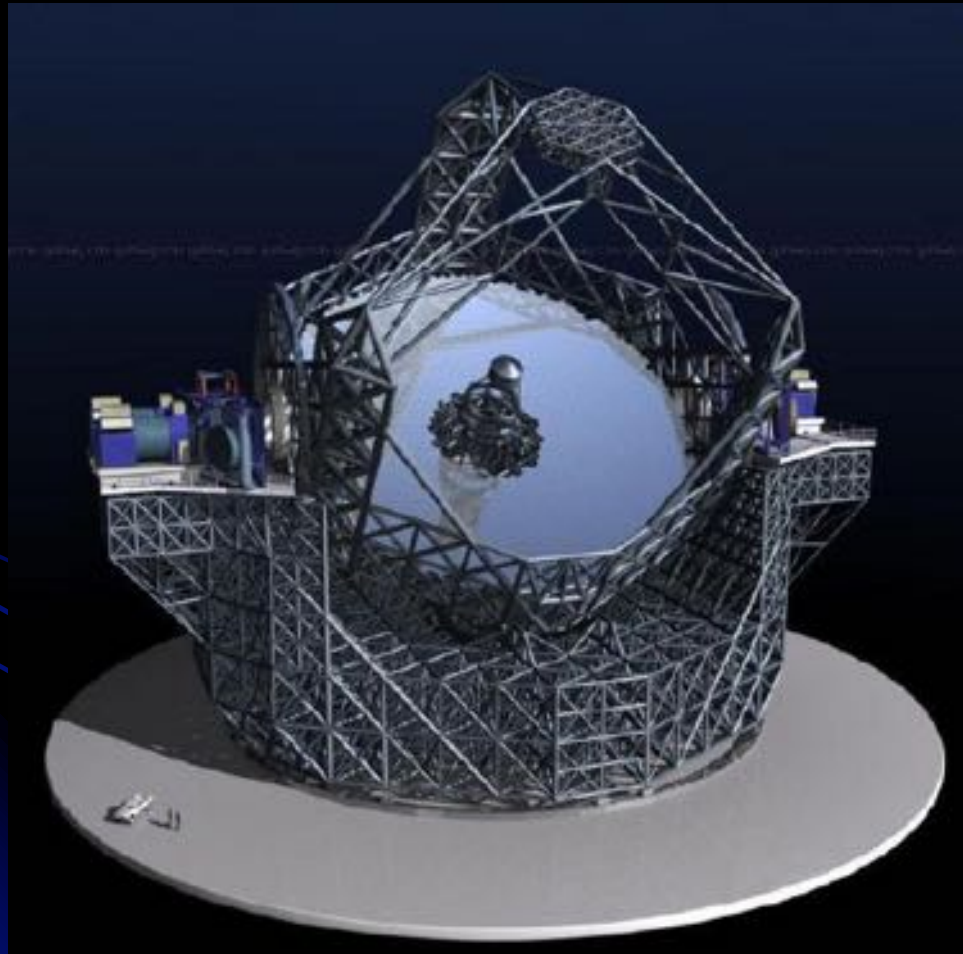
Telescópio Gemini sul (à frente) e SOAR (ao fundo) no Cerro Pachón, Chile

Disposição dos instrumentos no telescópio SOAR

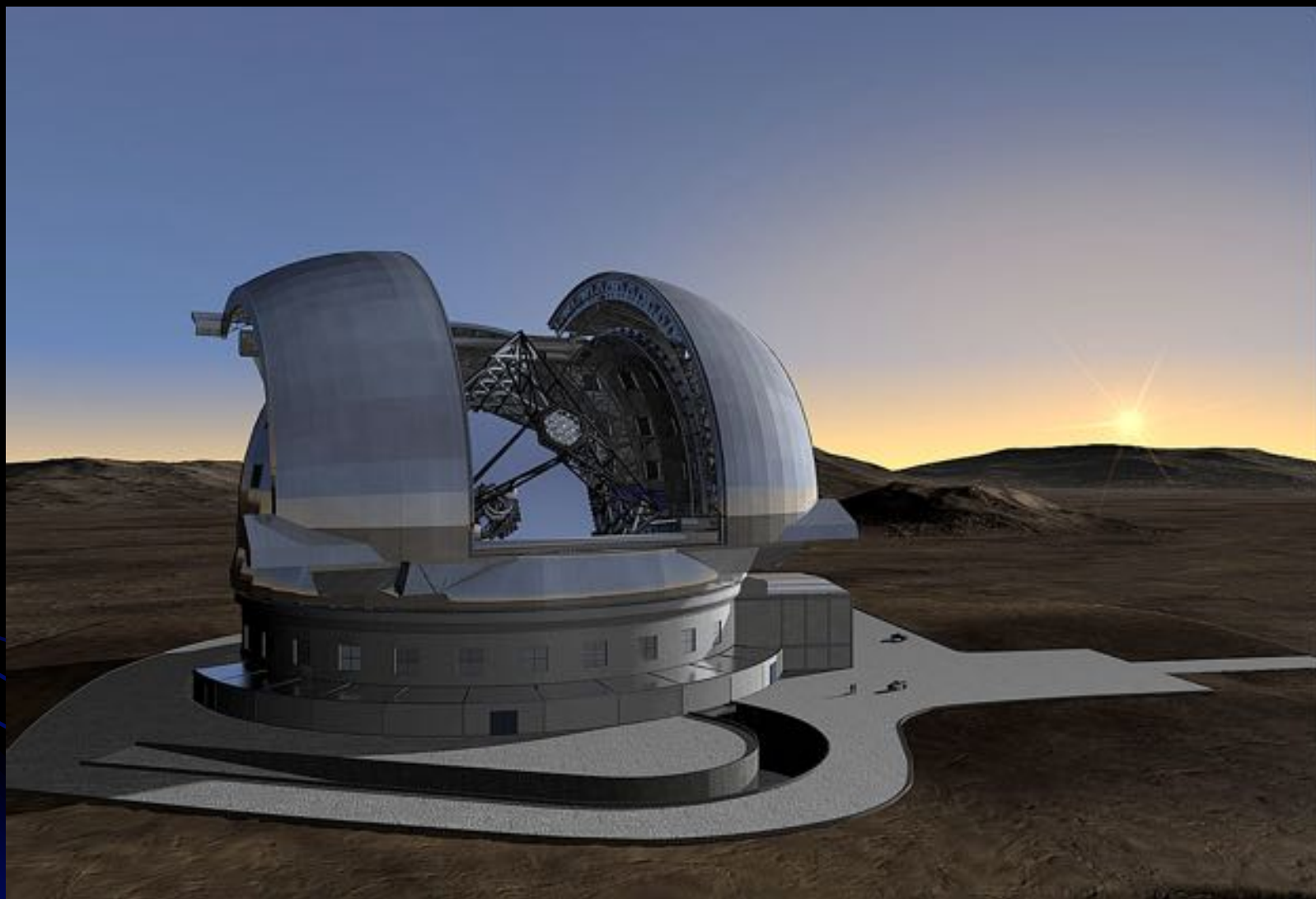


Algumas visões do futuro:

European – Extremely Large Telescope (E-ELT)

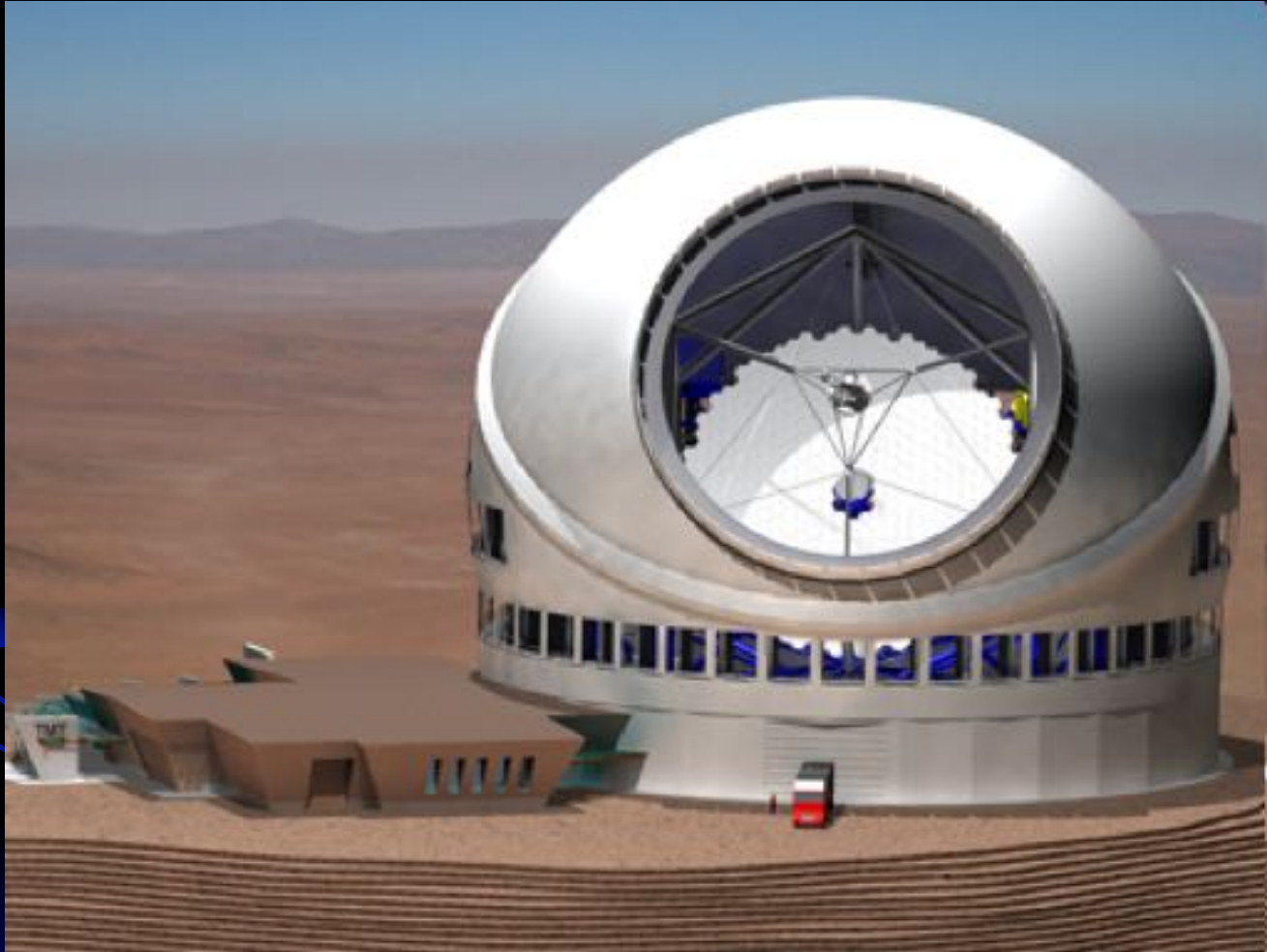


Projeto europeu (ESO)
39 m de abertura
Altazimutal
A ser instalado no Chile

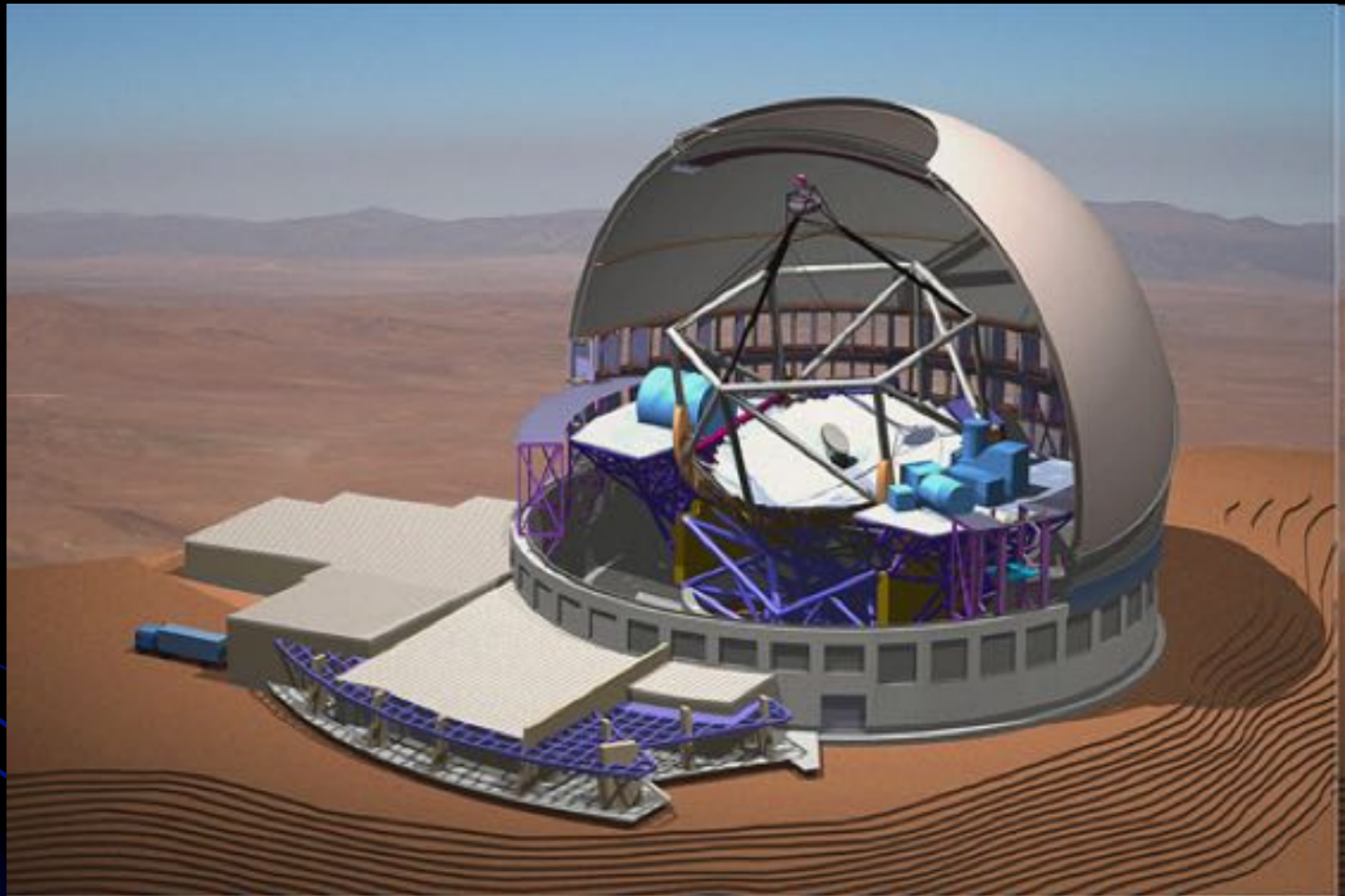


Visão artística do domo do E-ELT. O prédio terá cerca de 100 m de altura e 90 de diâmetro

Thirty Meter Telescope (TMT)



Projeto americano de um telescópio de 30 m a ser instalado no Havaí



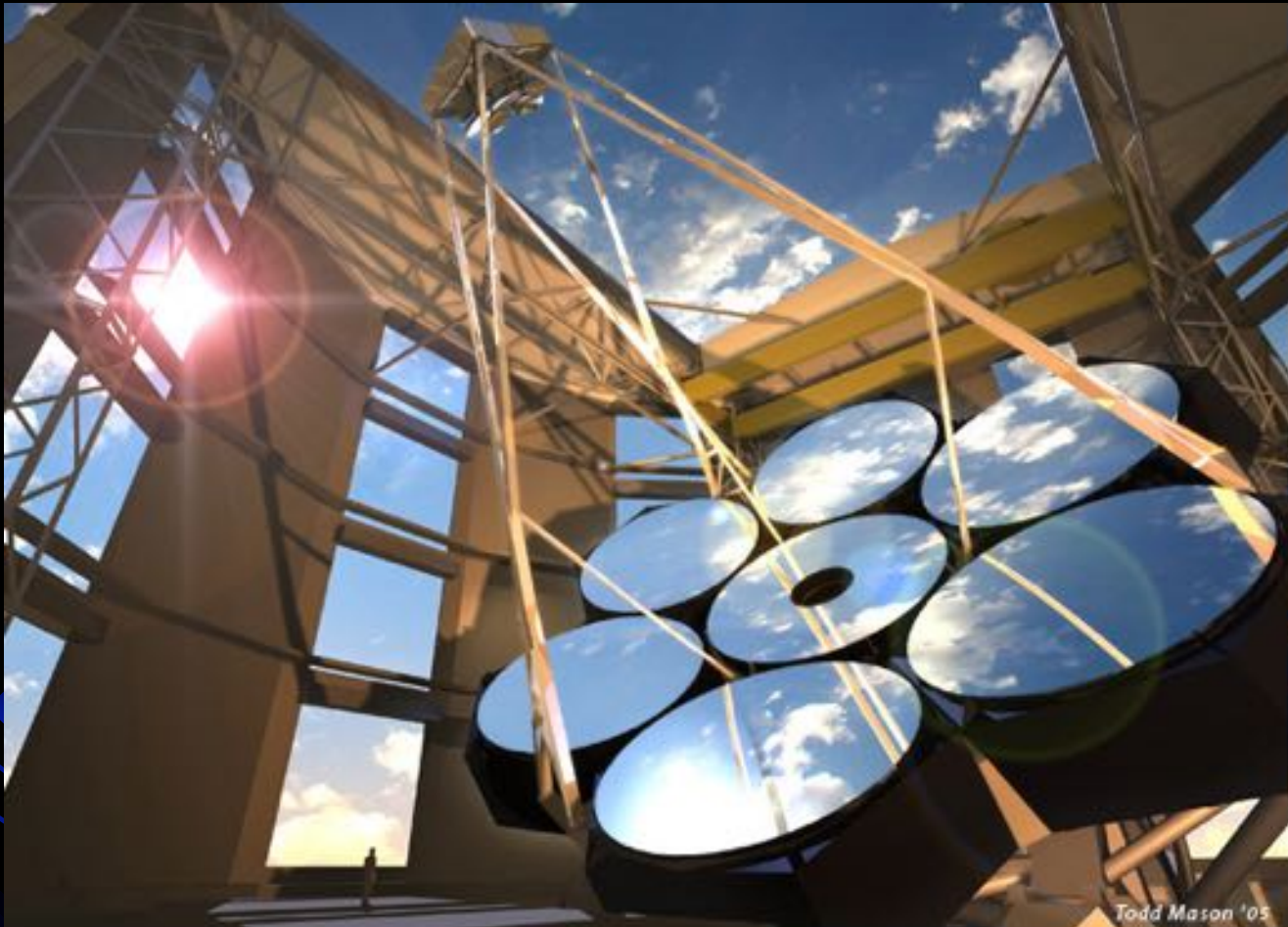
Giant Magellan Telescope



Abertura equivalente:
24 m

Constitui-se de 7
telescópios de 8 m de
diâmetro

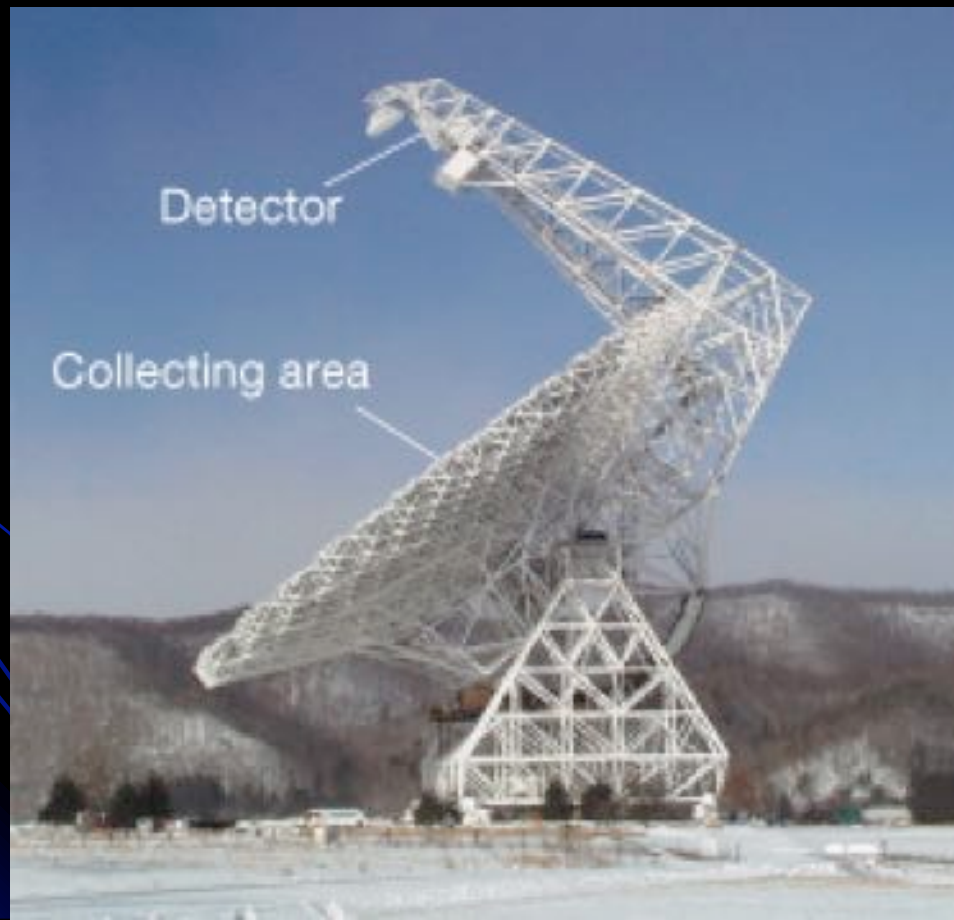
A ser instalado no Chile.
Tem participação do Brasil
através da FAPESP.



Giant Magellan Telescope Organization

Rádiatelescópios

Telescópio de 105 m, NRAO , West Virginia, USA



Rádio-telescópios



Radio-telescópio em montagem equatorial. O maior comprimento de onda da radiação requer áreas coletoras maiores.

VLA (Very Large Array)

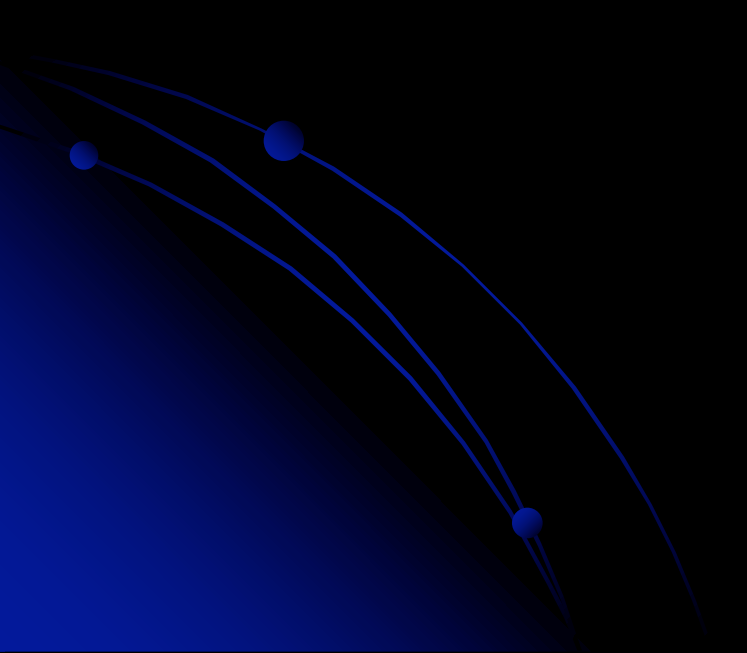


Conjunto de radio-telescópios instalados no Novo México, EUA. O conjunto opera de forma coordenada, observando a mesma fonte simultaneamente em todos. Isto permite obter imagens com altíssima resolução angular, numa técnica denominada interferometria.

ALMA (Atacama Large Milimetric Array)

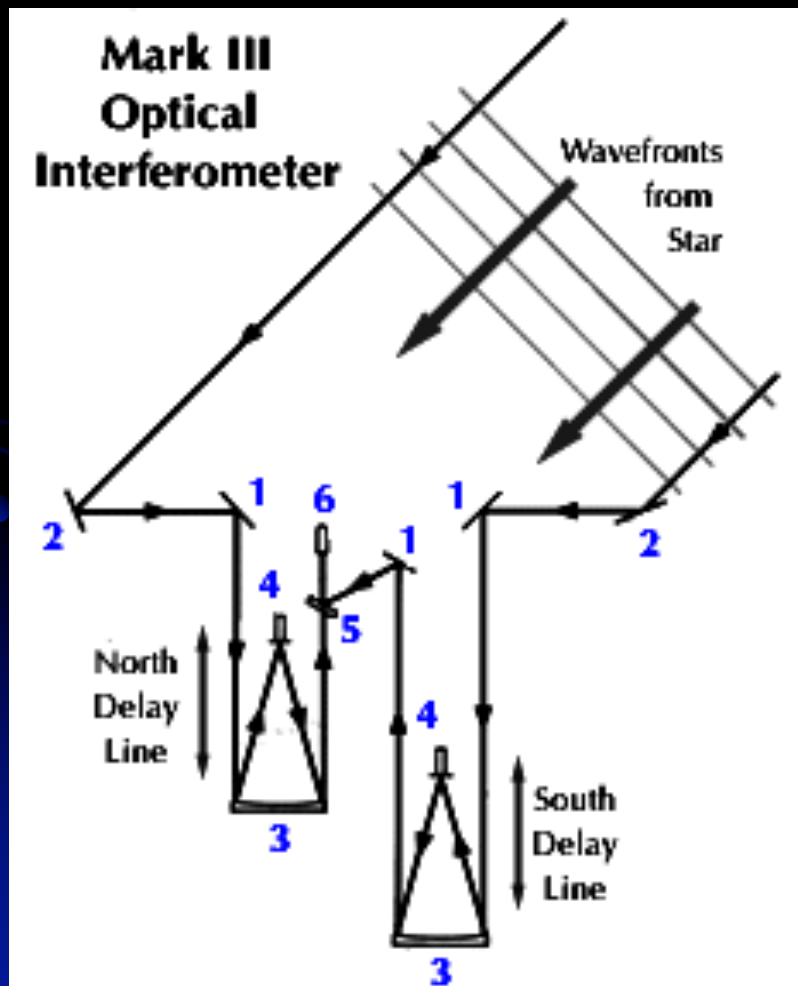


Rádio-observatório milimétrico do ESO instalado no Planalto da Chajnantor no Chile, a 5200 metros acima do nível do mar.



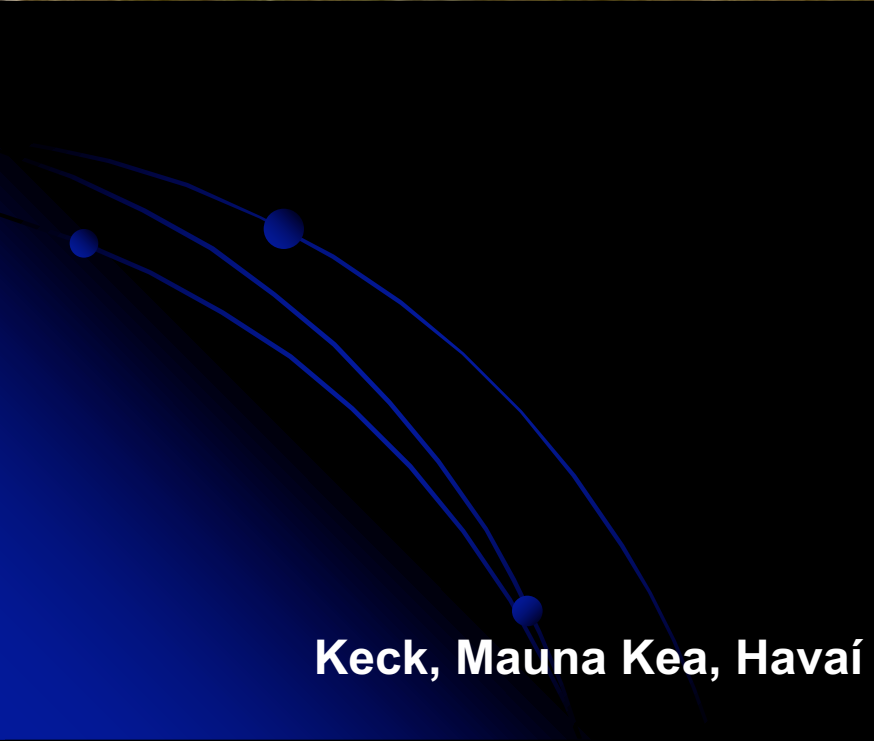
Interferometria óptica

O princípio:



1. Espelhos fixos
2. Telescópios
- 3+4. Linhas de atraso ópticas
5. Semi-espelho
6. Detetor de franjas de interferência

GI2T – Plateau de Calern, França



Keck, Mauna Kea, Havaí



Raios cósmicos e meteoritos

- São as únicas oportunidades de se examinar as propriedades de *matéria* vinda do espaço. Os raios cósmicos são partículas elementares como prótons e elétrons, e os meteoritos são fragmentos macroscópicos de material condensado nas origens do sistema solar.



Meteoritos



Allende (México, 1969), o mais antigo material sólido do sistema solar, com 4,56 bilhões de anos



Zagami (Nigéria, 1962), é um pedaço de Marte arrancado pela colisão de um asteróide!



Meteorito de Bendengó (o maior encontrado no Brasil), com 5,3 toneladas, encontra-se no Museu Nacional, no RJ. Foi encontrado em 1784 e transportado para o RJ em 1887 por ordem de D. Pedro II.

Raios cósmicos

- O que são?

Partículas de alta energia vindas do espaço

90% prótons

9% núcleos de hélio (partículas alfa)

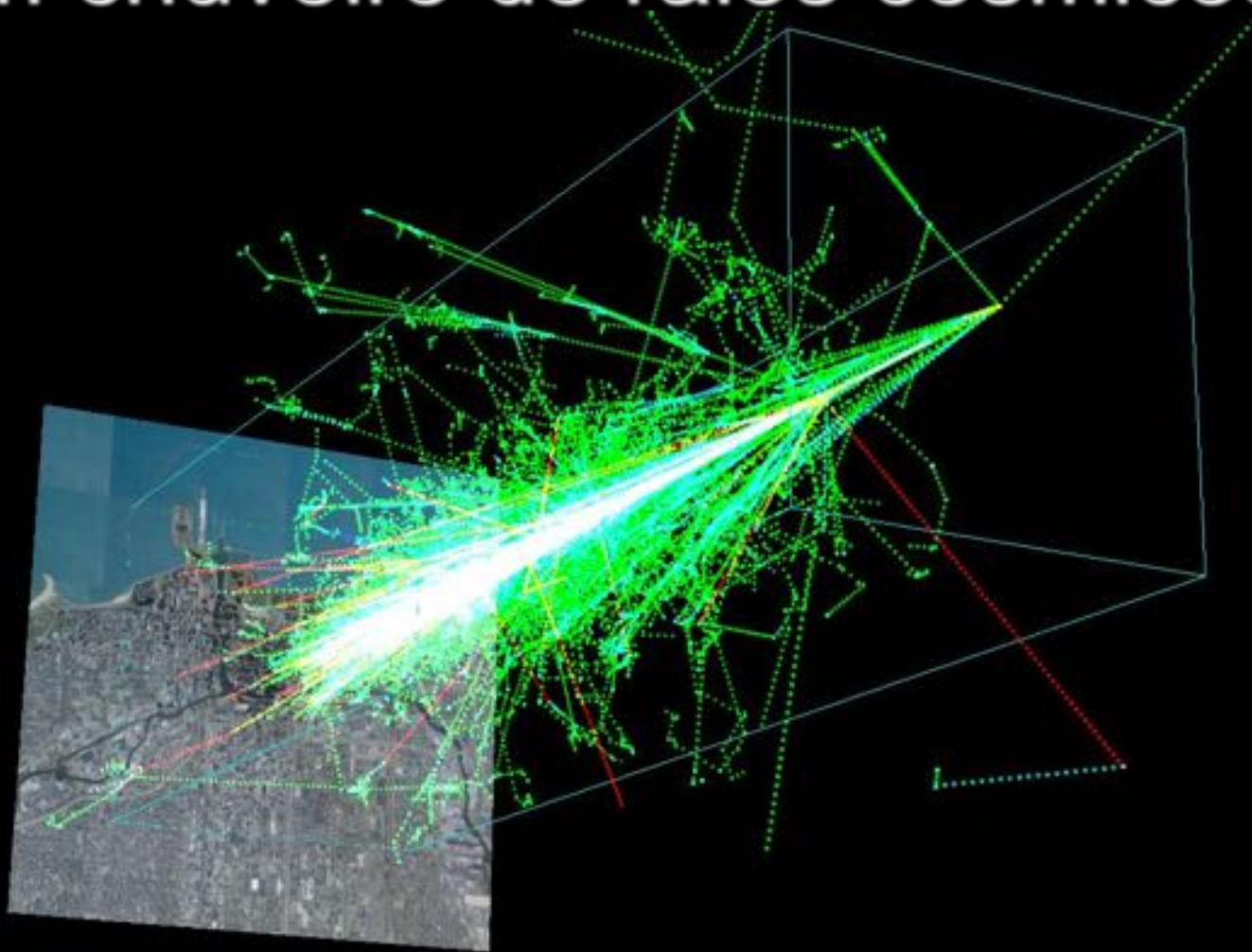
1% elétrons e núcleos mais pesados

NOTAR QUE O TERMO “RAIO” É EQUIVOCADO: SÃO PARTÍCULAS E NÃO RADIAÇÃO!

- De onde vêm?

Principalmente do Sol, mas também de outras estrelas e de fora da nossa galáxia. A origem dos raios cósmicos de ultra-alta energia é ainda fonte de muita controvérsia

Um chuva de raios cósmicos



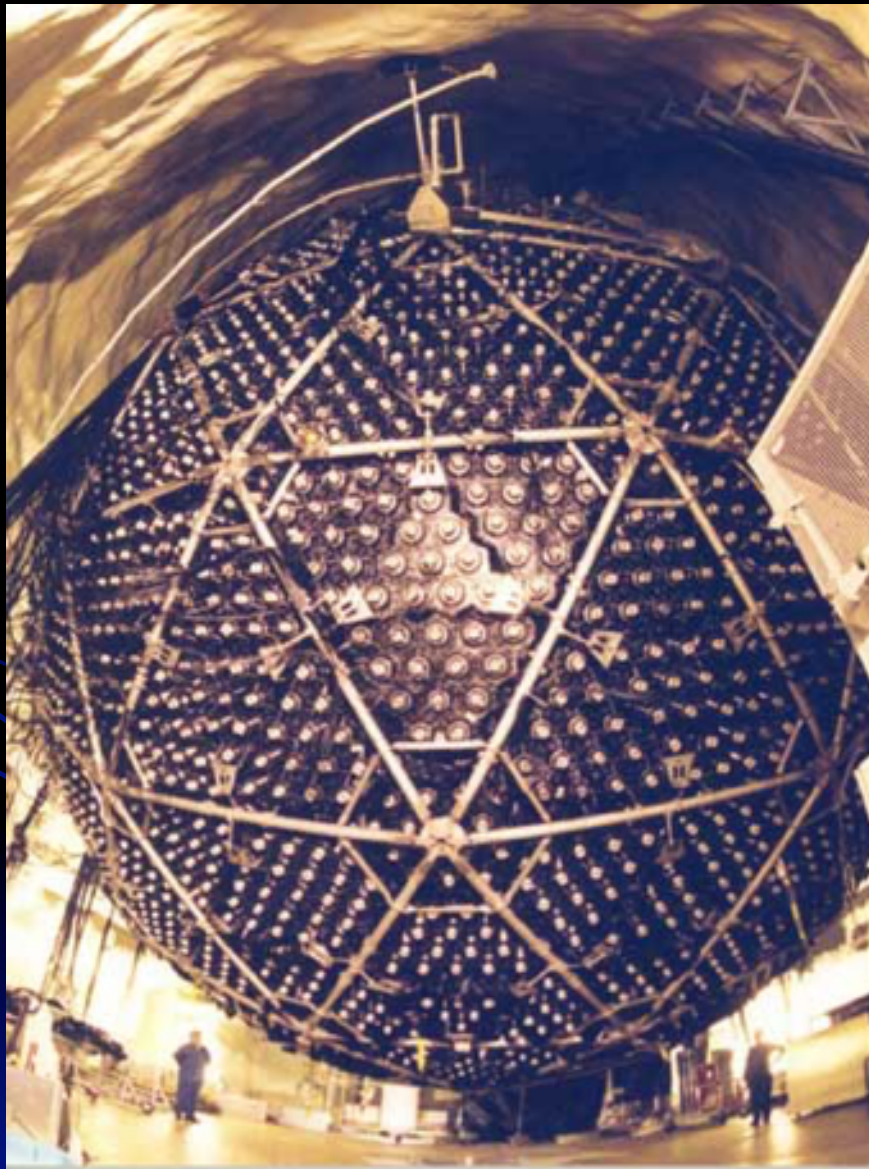
Um próton de altíssima energia chega na atmosfera superior e colide com diversas partículas que por sua vez colidem com outras, produzindo um “chuveiro” detectável do solo. Os detetores precisam ter milhares de km^2

Observatório Pierre Auger



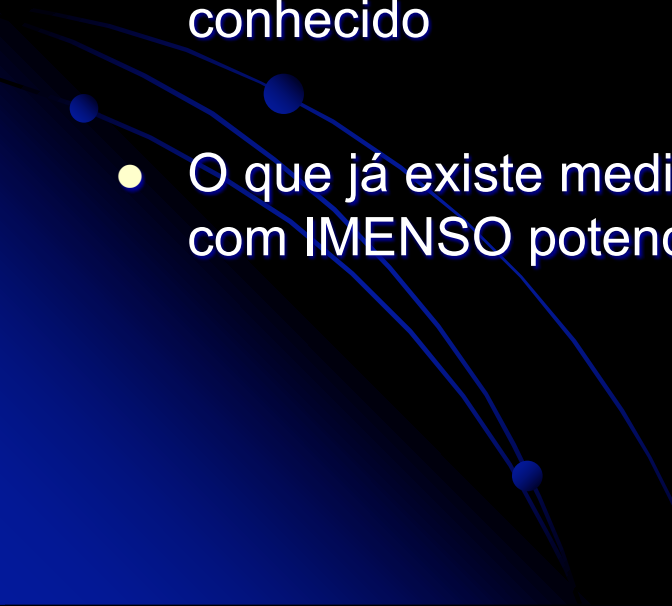
Um dos detetores de raios cósmicos. O observatório, localizado no noroeste da Argentina, consiste em aproximadamente 1600 detetores similares espalhados numa área de 3200 km²

“Telescópio” de neutrinos



Neutrinos são subprodutos da produção de energia pelas estrelas. Eles produzidos nos núcleos estelares e portanto são os únicos portadores de informação do que está acontecendo num núcleo estelar

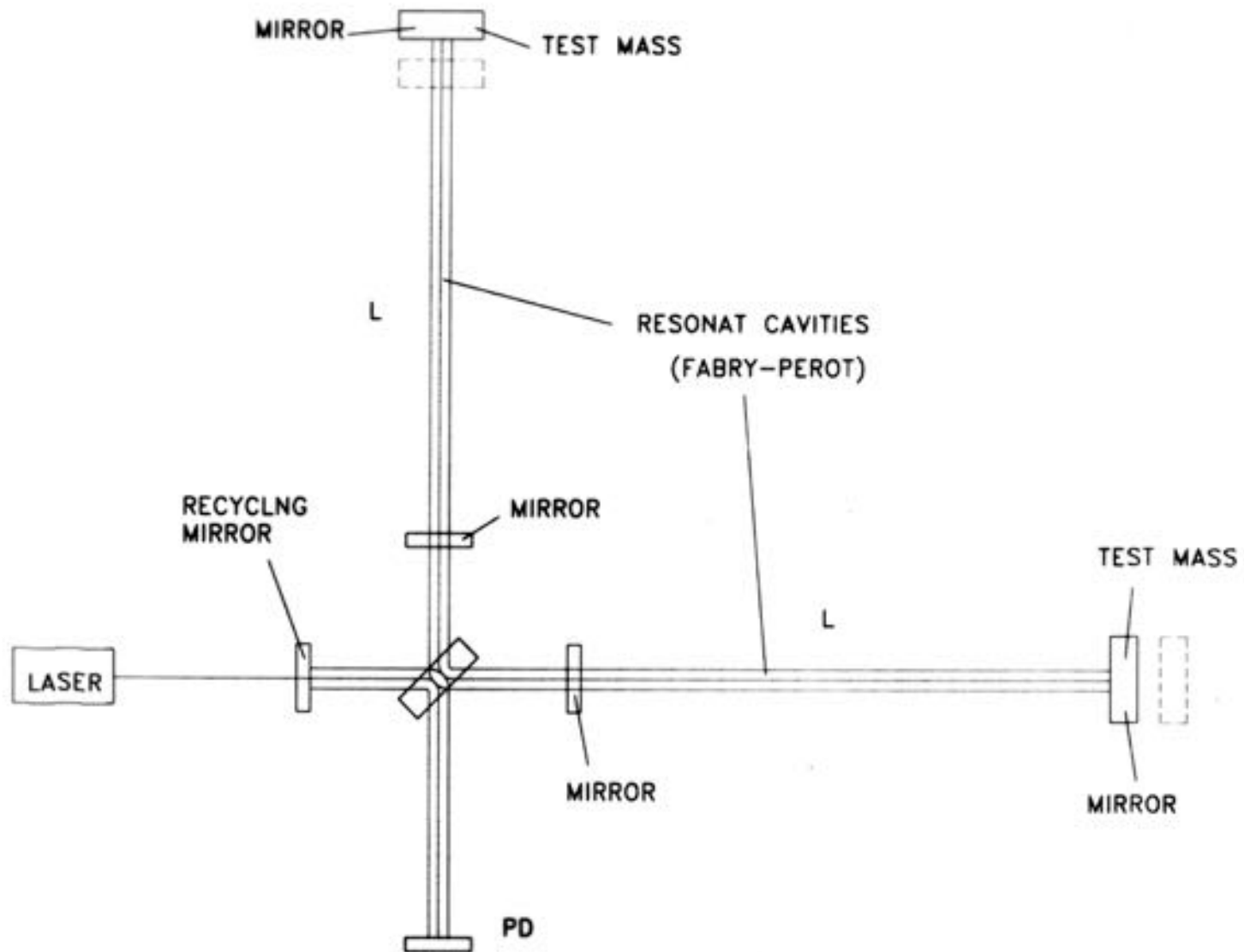
Ondas gravitacionais

- O que são: são deformações no espaço produzidas por grandes massas que se movem (como estrelas duplas por exemplo), e que se propagam com a velocidade da luz. Apesar de estranho, este conceito é previsto pela teoria da relatividade geral de Einstein
 - Como medir: tentando medir pequeníssimas deformações em “antenas” muito longas, ou então em esferas de diâmetro bem conhecido
 - O que já existe medido: apenas duas detecções, mas é uma técnica com IMENSO potencial de crescimento.
- 

**Um detetor de ondas gravitacionais: O projeto Virgo
vista aérea do detetor (próximo a Florença, Itália)**

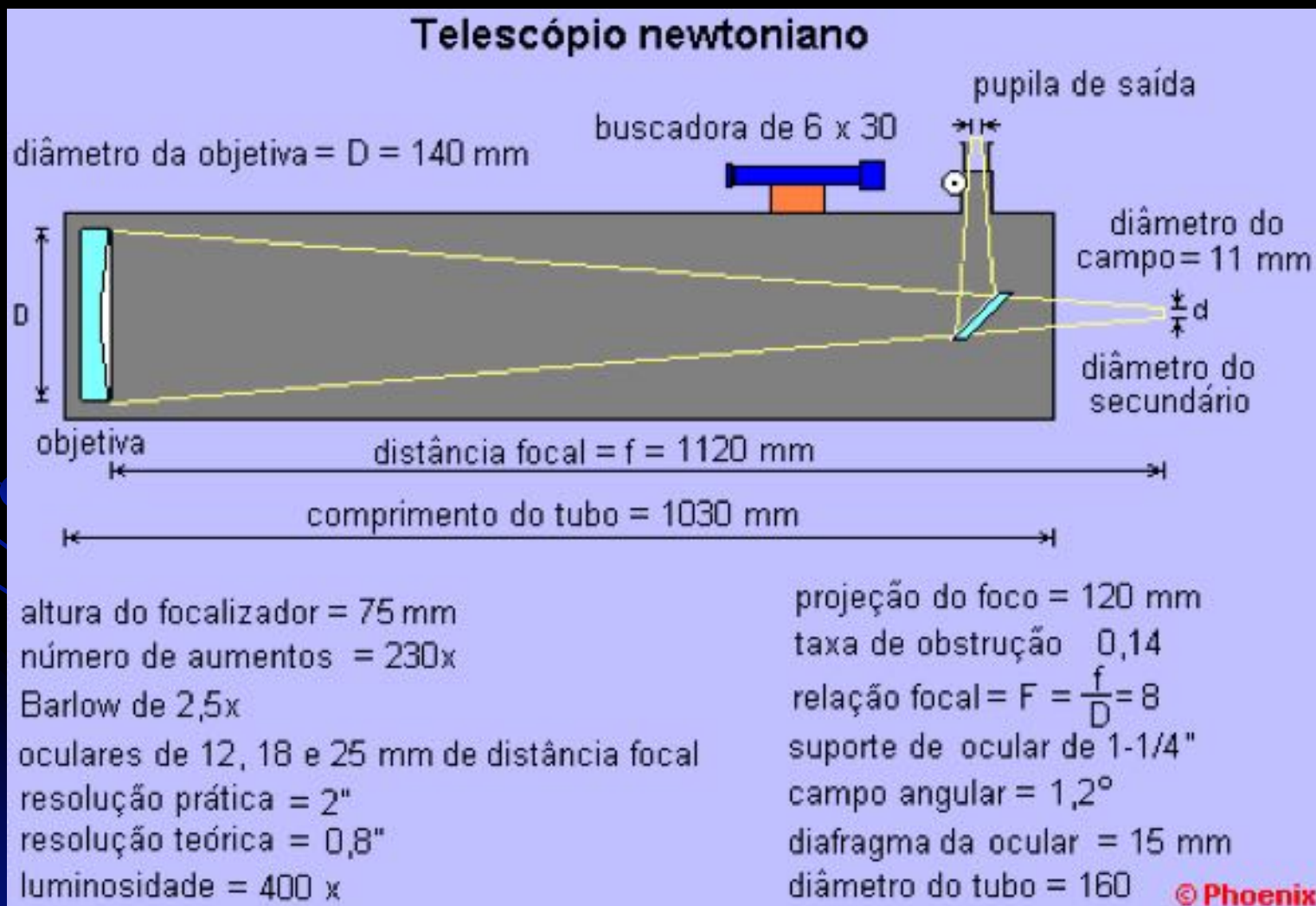


Antenas gravitacionais: o princípio de funcionamento



As equações mais importantes para compreender-se o funcionamento de um telescópio refletor (e eventualmente comprar-se um ...)

Um exemplo:



Conceitos básicos:

- **Abertura** : normalmente designada pela letra **D** de diâmetro.
- **Poder de resolução** : é a capacidade de separar dois corpos muito próximos. Em seg. de arco: $114 / D$. (teórico) ou $300 / D$ (na prática).
- **Luminosidade** (ganho de luz) (**PGL**) : considerando que a pupila do olho humano tem em média 7 mm, depois de adaptada à escuridão, podemos dizer que o ganho de luz será de $PGL = (D / 7)^2$.
- **Distância focal** da objetiva e da ocular, normalmente são representadas por **f-ob** ou simplesmente **f** e **f-oc**.
- **Número de aumentos** : obtém-se dividindo a distância focal da objetiva pela distância focal da ocular em uso.
- **Razão focal**, ou f / D , às vezes representada por **F**. A relação focal nos dá a quantidade de luz por unidade de área no plano focal.
- **Taxa de obstrução**: obtém-se dividindo-se o diâmetro do secundário pelo diâmetro da objetiva **D**.