



Universidade Federal do ABC

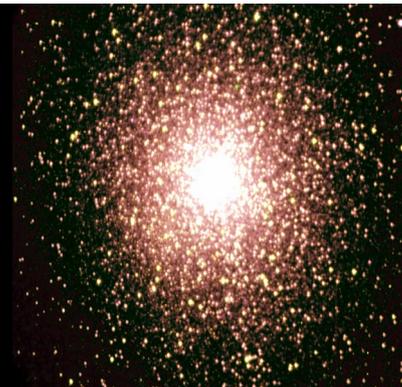
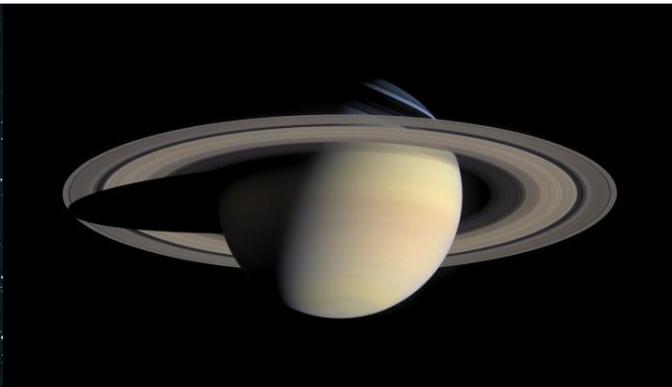
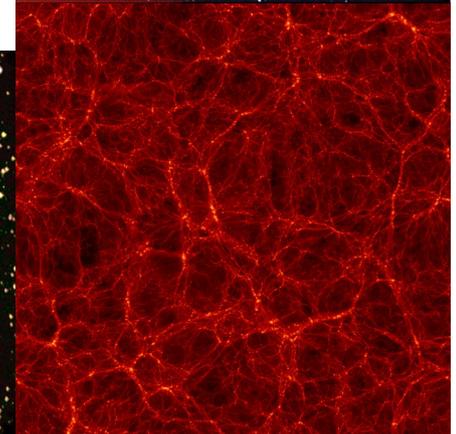
# Noções de Astronomia e Cosmologia

## 3. Distâncias, Magnitudes, Telescópios e Sondas.

Prof. Pieter Westera

[pieter.westera@ufabc.edu.br](mailto:pieter.westera@ufabc.edu.br)

<http://professor.ufabc.edu.br/~pieter.westera/Astro.html>



# Algumas Unidades de Distância

1 **AU** (unidade astronômica, o siglo é do inglês *astronomical unit*) é a **distância média** entre o **Sol** e a **Terra**, o “raio” da órbita da Terra:

$$1 \text{ AU} = 1.496 \cdot 10^{11} \text{ m} \approx 150 \text{ mio. km}$$

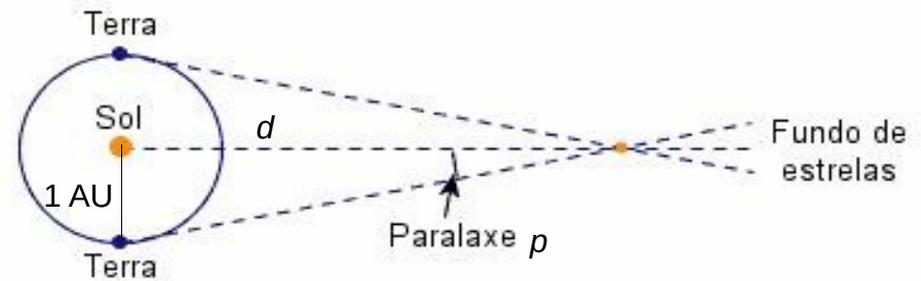
É normalmente usada para distâncias dentro do **Sistema Solar** (ou sistemas de tamanho comparável).

1 **ly** (ano-luz ou *lightyear*) é a distância, que a **luz** percorre em **um ano**:

$$\begin{aligned} 1 \text{ ly} &= 1 \text{ ano} \cdot c = 1.15569 \cdot 10^7 \text{ s} \cdot 299\,792\,458 \text{ m/s} \\ &= 9.46 \cdot 10^{15} \text{ m} \approx 9.5 \text{ trio. km} \end{aligned}$$

# Algumas Unidades de Distância

1 **pc** (parsec) é a distância de um objeto cuja **paralaxe anual** ( $\Rightarrow$  desenho) mede um **segundo de arco** ( $''$ ) (abreviação de *parallax of one second of arc*):



$$1 \text{ pc} = 1 \text{ AU} / \tan^{-1} 1'' = 206\,265 \text{ AU} = 3.26 \text{ ly} \\ = 3.086 \cdot 10^{16} \text{ m} \approx 30 \text{ trilho. km}$$

A distância  $d$  até um objeto com paralaxe anual  $p$  é:

$$d = 1 \text{ AU} / \tan^{-1} p \approx^* 1 \text{ AU} / p = 1 \text{ pc} / p['],$$

onde  $p[']$  é a paralaxe em unidades de segundos de arco.

\* Aproximação válida, se  $p$  é pequeno ( $\Rightarrow d \gg 1 \text{ AU}$ ), que é o caso para objetos fora do Sistema Solar.

# Algumas Unidades de Distância

1 pc é uma **distância típica** entre **estrelas vizinhas**:  
A estrela mais próxima de Sol, Proxima Centauri, ou  $\alpha$  Centauri C é a 1.3 pc daqui.

O método de paralaxe só pode ser usado para objetos (estrelas) **próximos**.  
Senão,  $p$  é pequeno demais para ser medida.

O satélite Hipparcos conseguiu medir as paralaxes de  $\sim 118\ 000$  a 1 mi. estrelas, considerado a vizinhança do Sol.

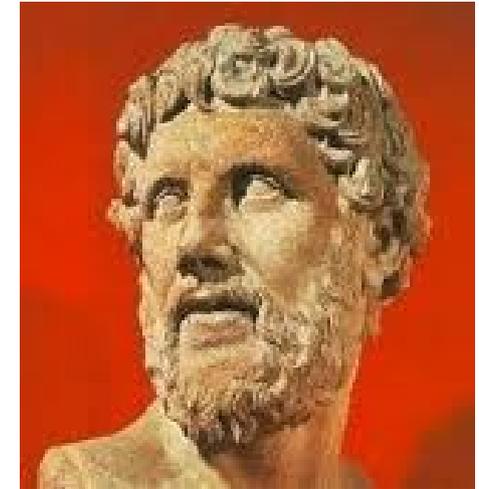


Satélite Hipparcos

O satélite Gaia (lançado em 2013) está fazendo medidas de  $\sim 10$  microssegundos de arco de precisão, assim conseguindo determinar as paralaxes de 20 a 200 mi. estrelas (até 10 kpc), boa parte da Via Láctea.

# Magnitudes Aparentes

Mais de 2000 anos atrás,  
o astrônomo grego **Hiparco**  
(o mesmo dos epiciclos)  
inventou um sistema para classificar  
as estrelas visíveis por  
**brilho aparente** no céu,  
o sistema de **magnitudes**:



Hiparco

As estrelas **mais brilhantes** eram de **1<sup>a</sup> magnitude**,  
as **mau visíveis** de **6<sup>a</sup> magnitude**.

# Magnitudes Aparentes

Como no século XIX se achava que o olho humano percebe brilho de maneira **logarítmica**, e estrelas de 1<sup>a</sup> magnitude são da ordem de **100 vezes** mais brilhantes que as de 6<sup>a</sup> magnitude, aproximaram as magnitudes por (exercício pra casa):

$$m = -2.5 \cdot \log_{10} F/F_0 = -2.5 \cdot \log_{10} F + C,$$

onde  $F$  é a intensidade da radiação observada, e  $F_0$ , aquela de uma estrela de 0<sup>a</sup> magnitude e  $C = 2.5 \cdot \log_{10} F_0$ ;

Por muito tempo se usava a estrela Vega como “ponto zero” da escala (pelo menos na faixa do visível).

! A escala de magnitudes é **decrecente** !

# Magnitudes Aparentes

As magnitudes aparentes de alguns objetos:

Sol: -26.74

Lua: -2.50 a -12.74

Vênus: -3.82 a -4.89

Júpiter: -1.61 a -2.94

Marte: 1.84 a -2.91

Mercúrio: 5.73 a -2.45

Sirius (estrela mais brilhante tirando o Sol): -1.44

Saturno: 1.47 a -0.49

objeto mais fraco já observado: ~36

# Magnitudes Absolutas

A **intensidade observada**  $F$  depende da **luminosidade intrínseca**  $L$  do objeto e da sua **distância**  $d$ :  $F = L/4\pi d^2$

$$\Rightarrow m = -2.5 \cdot \log_{10}(L/4\pi d^2) + C$$

A **magnitude absoluta**  $M$  é a magnitude aparente que o objeto teria, caso se encontrasse a 10 pc de distância:

$$M = -2.5 \cdot \log_{10}(L/4\pi(10 \text{ pc})^2) + C$$

É fácil de mostrar (casa) que

$$M = m - 5 \cdot \log_{10}(d/10 \text{ pc}) \Rightarrow d = 10^{(m-M+5)/5} \text{ pc}$$

A grandeza  $m - M = 5 \cdot \log_{10}(d/10 \text{ pc})$

é chamada **módulo de distância**.

# Magnitude Bolométrica

Caso nas fórmulas para as magnitudes é usada o **fluxo bolométrico**, quer dizer integrada sobre **todos os comprimentos de onda**,

$$F_{\text{bol}} = \int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda$$

se fala de **magnitude bolométrica**:

$$m_{\text{bol}} = -2.5 \cdot \log_{10} \left( \int_0^{\infty} F_{\lambda} d\lambda \right) + C_{\text{bol}}$$

$$\text{e } M_{\text{bol}} = m_{\text{bol}} - (m - M)$$

!!  $C_{\text{bol}}$ , que seria  $2.5 \cdot \log_{10} F_{0,\text{bol}}$  não é ligado à Vega; foi escolhido livremente ( $\Rightarrow$  dois slides pra frente), tal que  $F_{0,\text{bol}}^*$  não tem significado.

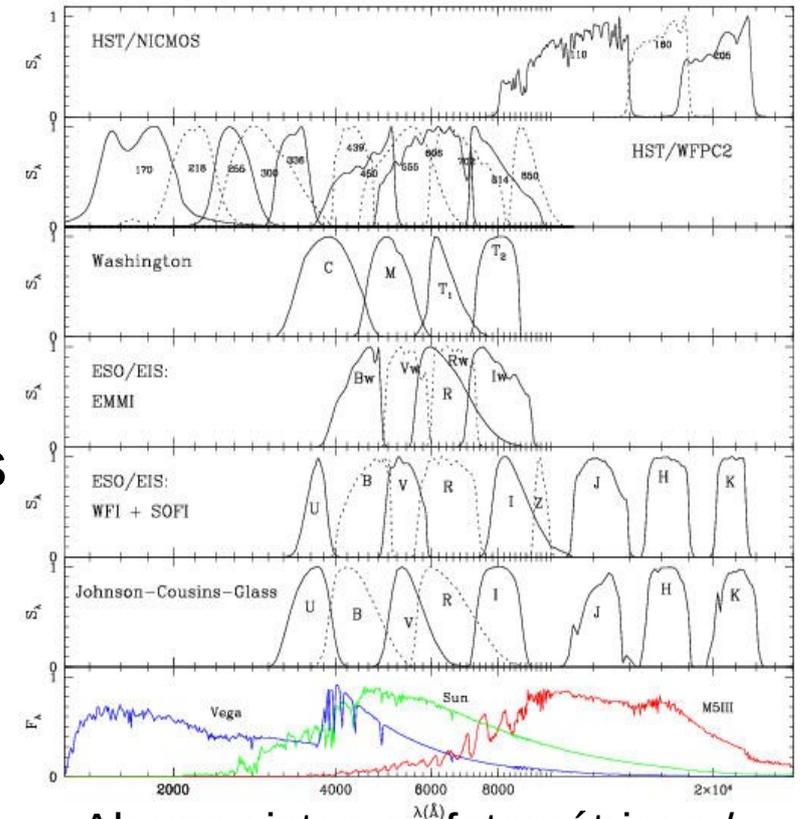
\*Para quem quer saber:  $F_{0,\text{bol}} = 2.518 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$ .

# Bandas Fotométricas

Na prática, não se mede o fluxo em todos os comprimentos de onda, mas usando **detectores** (p. e. câmeras digitais chamadas câmeras CCD), cujas **sensibilidades** dependem do **comprimento de onda** seguindo funções características,  $S_\lambda$ , chamadas **bandas** ou **filtros fotométricos**.

O conjunto de bandas fotométricas de uma câmera se chama **sistema fotométrico**. Ex. No sistema Johnson-Cousins, a banda  $V$  mede no visível (verde),  $B$  no azul, e  $U$  no ultravioleta próximo.

Ex.: O fluxo que se mede no visível é  $F_V = \int_0^\infty S_V \cdot F_\lambda d\lambda$   
 $\Rightarrow m_V = -2.5 \cdot \log_{10} F_V + C_V$  e  $M_V = m_V - (m - M)$



Alguns sistemas fotométricos / espectros de três estrelas

# Bandas Fotométricas

Os **pontos zero** em **cada banda** são um assunto chato:

Até recentemente, se usava com frequência um sistema chamado VegaMag, naquele Vega servia como ponto zero:  
 $m_{X, \text{VegaMag}}(\text{Vega}) = 0$  em todas as bandas  $X$ .

Hoje, é mais comum usar um sistema chamado ABmag, baseado num espectro “cinza” (naquele o fluxo por unidade de frequência é constante para todas as frequências), i.e. um hipotético astro com espectro cinza tem a mesma magnitude em todas as bandas. O “espectro cinza nível zero” foi escolhido tal, que seu fluxo coincide com o da Vega na banda  $V$ :

$$m_{V, \text{ABmag}} = m_{V, \text{VegaMag}}$$

Para quem quer saber: o fluxo por unidade de frequência de um astro cinza ponto zero é  $F_\nu = 3.63 \cdot 10^{-20} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ Hz}^{-1}$ .

# Bandas Fotométricas

Há vários outros sistemas de pontos zero. A **conversão** entre eles se dá **somando/subtraindo constantes**, que idealmente podem ser encontrados em tabelas online.

# Cores

A diferença entre  $m_{\text{bol}}$  e  $m_X$ ,  $BC_X = m_{\text{bol}} - m_X = M_{\text{bol}} - M_X$   
 $= -2.5 \cdot \log_{10}(F_{\text{bol}}/F_X) + C_{\text{bol}} - C_X = -2.5 \cdot \log_{10}(\int F_{\lambda} d\lambda / \int S_X \cdot F_{\lambda} d\lambda) + C_{\text{bol}} - C_X$

é chamada **correção bolométrica** para a banda  $X$ , e é normalmente negativa para estrelas. (Era para ser sempre negativa, mas bobearam na escolha de  $C_{\text{bol}}$ ;

Observe que não é possível definir o “ponto zero ABmag”, já que um espectro “cinza” tem fluxo bolométrico infinito).

Grandezas como

$$B - V := m_B - m_V = -2.5 \cdot \log_{10}(F_B/F_V) + C_{B-V}$$
$$= -2.5 \cdot \log_{10}(\int S_B \cdot F_{\lambda} d\lambda / \int S_V \cdot F_{\lambda} d\lambda) + C_{B-V},$$

onde  $C_{B-V} = C_B - C_V$ ,

se chamam **cores**.

# Cores

exemplo: a cor  $B - V = -2.5 \cdot \log_{10} (F_B / F_V) + C_{B-V}$ ,

quantifica, se o objeto é mais brilhante no verde ou no azul, então  $B - V$ ,  $U - B$ , etc. dão uma dica sobre a **cor** do objeto. Normalmente, a banda concentrada em comprimentos de onda menores entra com sinal positivo e a banda de comprimentos de onda maiores, com sinal negativo.

Em geral: Quanto **maior** é a **cor**, tanto mais o espectro é concentrado em **comprimentos de onda longos** (Na língua dos astrónomos: tanto mais **vermelho** é o objeto; para o caso oposto, ele diz: tanto mais **azul** é o objeto.).

**Vega** tem cor **zero** em **todas** as **cores**, i.e. todos os pares de bandas fotométricos no sistema **VegaMag** (já que  $0 - 0 = 0$ ), e um astro com **espectro cinza**, no sistema ABmag.

# Cores

Não é difícil mostrar, que a **cor** de um objeto **independe** da sua **distância** (bom exercício para casa).

Uma consequência disso é que se pode usar tanto **magnitudes aparentes**, quanto **magnitudes absolutas** para calcular a **cor** de um objeto

(afinal uma magnitude absoluta é nada outro que a magnitude aparente numa dada distância, i.e. 10 pc):

$$M_X - M_Y = m_X - m_Y = X - Y.$$

# Cores

Lembrete de Estrutura da Matéria, Física Quântica, etc. (Corpo Negro):

A **cor** de um corpo que brilha por **conta própria** (i. e. uma estrela)

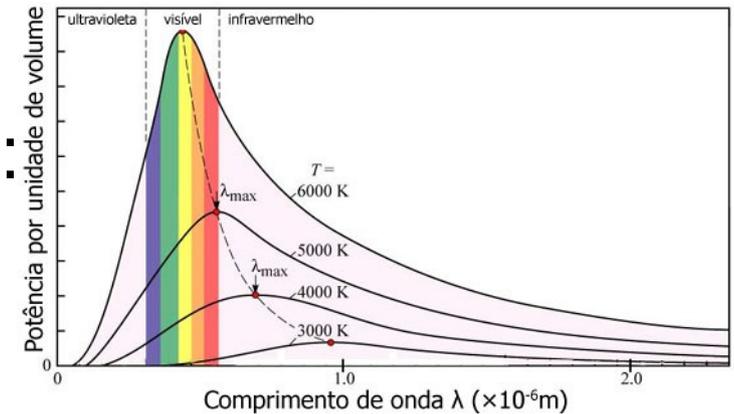
é correlada com a sua

**temperatura:**

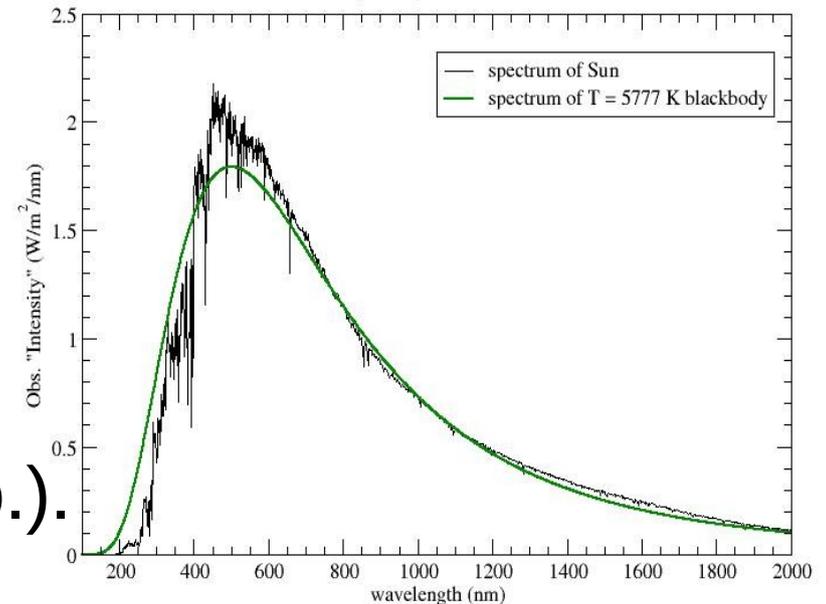
Quanto **maior** é **B – V** (ou outra cor), tanto **mais baixa** é a

**temperatura** da estrela

(podem existir exceções, já que o espectro de uma estrela não é exatamente o de um Corpo Negro.).



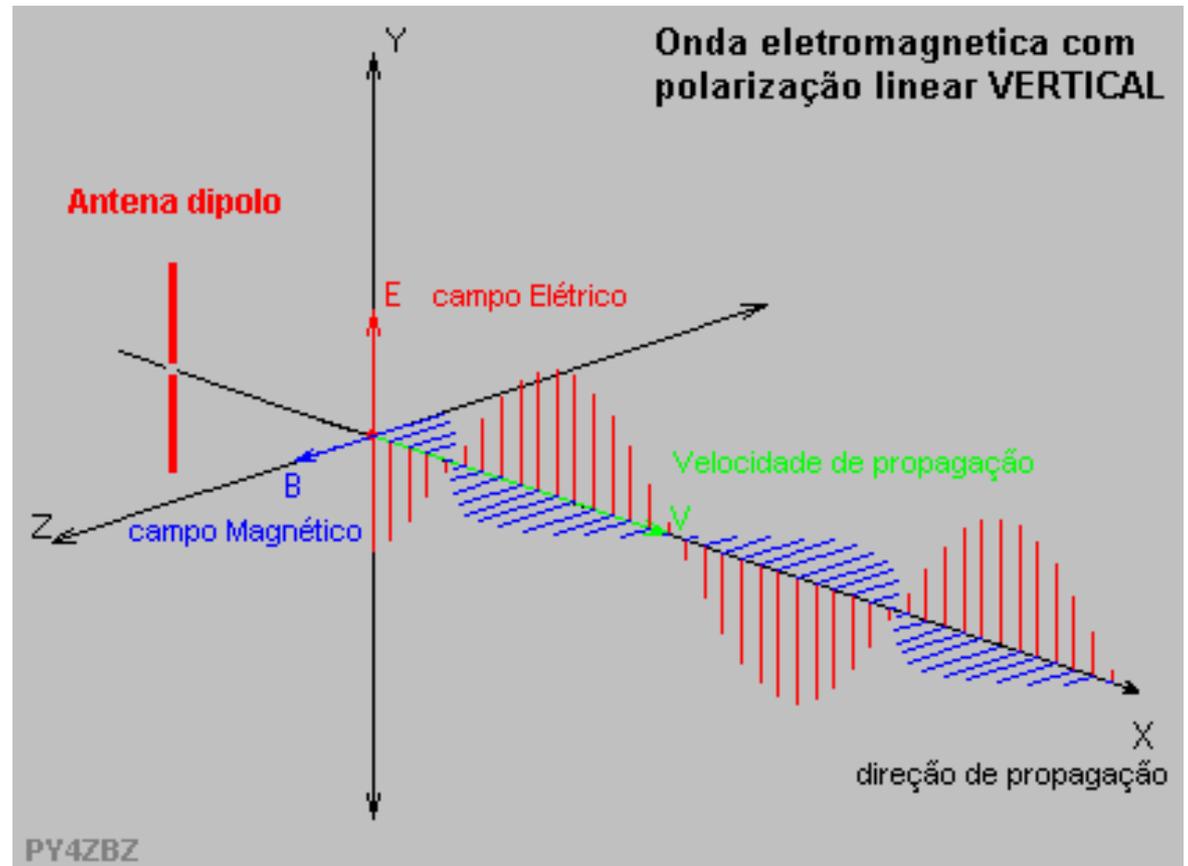
Sun's Spectrum vs. Thermal Radiator  
of a single temperature  $T = 5777$  K



Espectro do Sol e de um Corpo Negro da mesma temperatura

# Luz como Onda

Lembrete de Estrutura da Matéria: Luz é um tipo de **radiação eletromagnética**, uma **onda** que consiste de **campos elétrico e magnético** perpendiculares, que **oscilam** e se **propagam** no vácuo com a velocidade  $c = 299\,792\,458$  m/s.



Relação entre **comprimento de onda**  $\lambda$  e **frequência**  $\nu$ :  
 $c = \lambda \cdot \nu$

# Luz como Partícula

Lembrete de Estrutura da Matéria, Física Quântica, etc.:  
Luz também tem características de **partículas**, chamadas **fótons**.

**Energia  $E$**  e **momento linear  $p$**  de um fóton são relacionados com **frequência** e **comprimento de onda** pelas **Relações de de Broglie (1924)**:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda,$$

$$p = E / c = h \cdot \nu / c = h / \lambda,$$

onde  $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  J·s =  
constante de Planck



Louis V. de Broglie

# Telescópios

Um telescópio capta radiação no seu **coletor**:

- **lente**,
- **espelho**
- ou algo mais inusitado, p. e. uma bacia de água ou gelo (no caso de um telescópio de neutrinos)

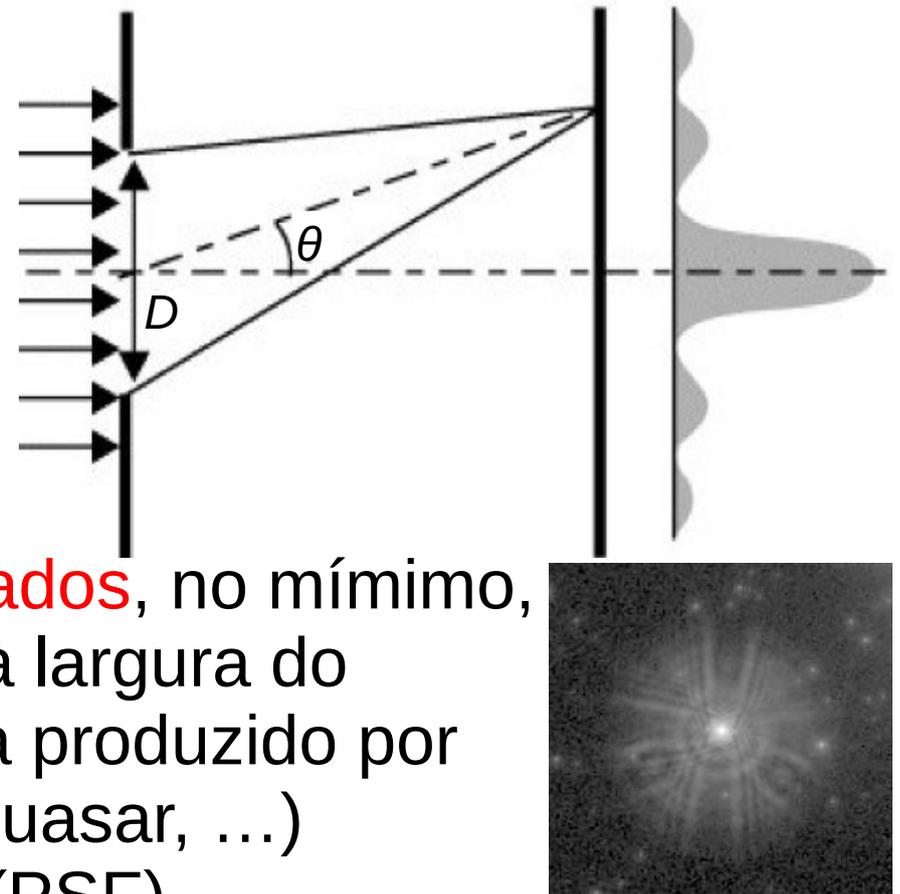
Quanto **maior** é o **coletor**, mais alta será a **sensibilidade**.

# Telescópios

Outra grandeza que determina a qualidade de um telescópio é seu poder de **resolução angular**, **espectral** ou **temporal**.

Um fator que **limita** a **resolução angular** é o **espalhamento de Rayleigh**, **interferência** da luz vindo de partes diferentes do **coletor**.

Para poderem ser distinguidos, dois objetos têm que estar **separados**, no mínimo, por um **ângulo** que corresponde à largura do 1º pico do padrão de interferência produzido por uma fonte “pontiforme” (estrela, quasar, ...) chamado *Point Spread Function* (PSF).



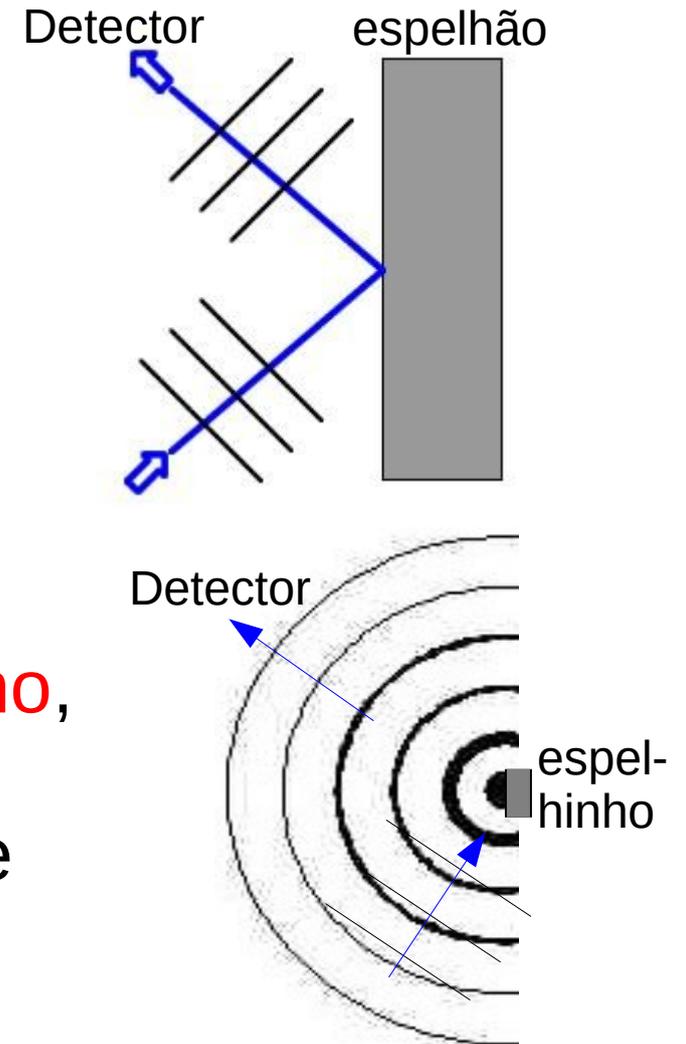
# Telescópios

Argumento qualitativo:

Se o **espelho** (ou lente) é muito **grande comparado** ao **comprimento de onda** da radiação (ótico:  $\lambda \approx 500 \text{ nm}$ ), a onda refletida é plana, é dá para determinar, de onde a onda incidente veio => **alta resolução**

Se o **espelho** (ou lente) é muito **pequeno**, a onda refletida é esférica e perde-se a informação, de onde a onda incidente veio => **baixa resolução**

=> Quanto **maior** o **espelho**, tanto **melhor** a **resolução**.  
=> bons telescópios são **grandes**.



# Telescópios

A **separação angular mínima** que pode ser **resolvida** é:

**critério de Rayleigh**:  $\theta_{\min} = 1.22 \cdot \lambda / D$ ,

onde  $D$  é o **diâmetro** do **coletor** e  $\lambda$ , o comprimento de onda da luz observada.

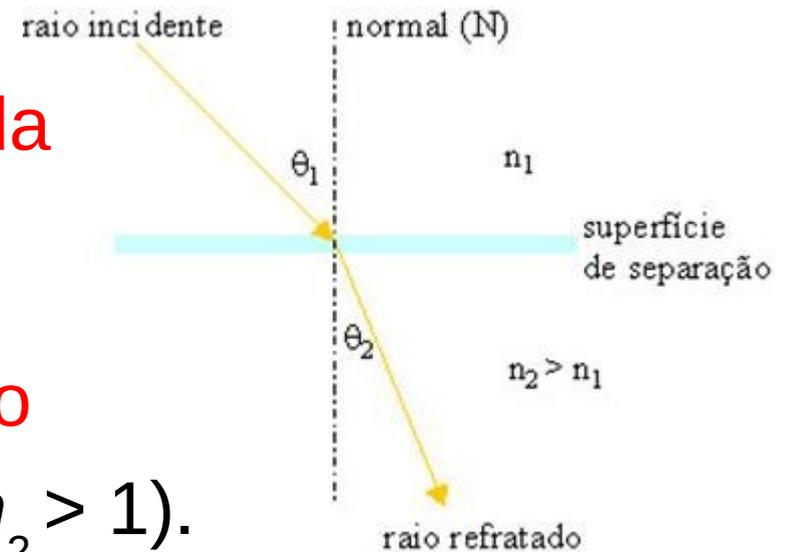
# Telescópios Refratores (Lunetas)

São **telescópios** que funcionam com **lentes**.  
Os **primeiros telescópios** (incl. aquele de Galileu) eram telescópios refratores.

Quando **luz** passa por uma **lente**,  
ela é **defletida** na **entrada** e na **saída**  
da lente seguindo a **Lei de Snel**:

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2,$$

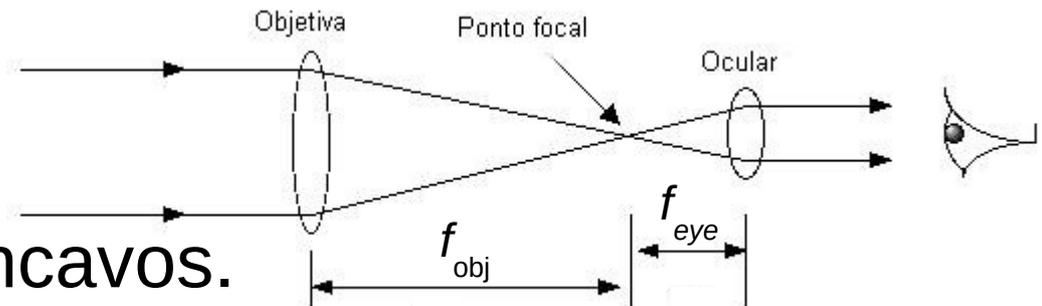
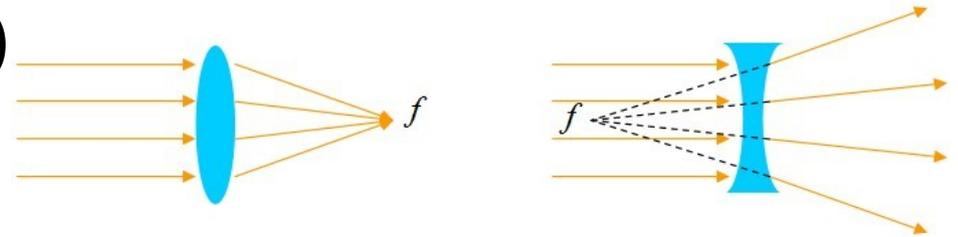
$n_1$  e  $n_2$  sendo os **índices de refração**  
dos dois meios ar ( $n_1 \approx 1$ ) e vidro ( $n_2 > 1$ ).



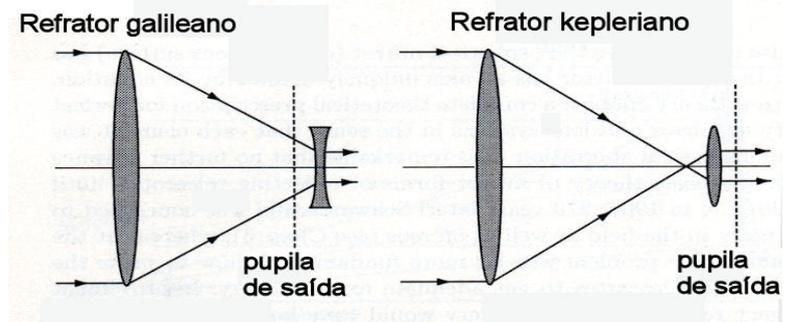
# Telescópios Refratores (Lunetas)

Assim, raios **paralelos** são focados na direção em (lente convexa) ou vindo de (lente côncava) um ponto, o **foco**  $f$ .

A distância lente-foco é chamada distância focal (também denotada por  $f$ ), e é negativa para lentes côncavas.



Colocando **duas lentes** na distância da **soma** das suas **distâncias focais**, obtém-se uma **magnificação angular** de  $m = f_{obj} / f_{eye}$



Existem **diferentes geometrias** de telescópios refratores.

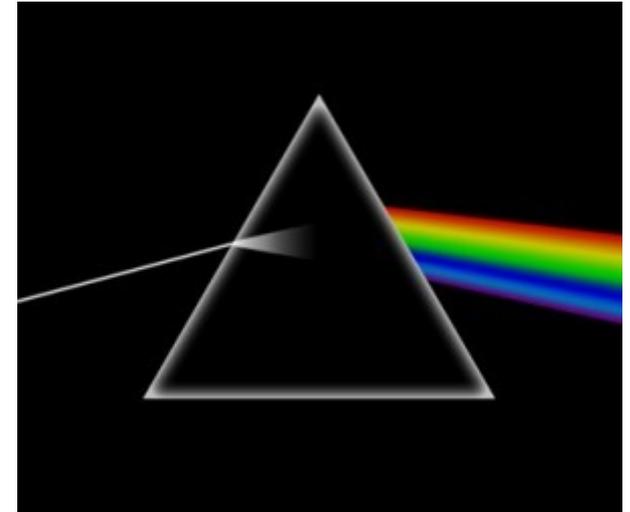
# Telescópios Refratores (Lunetas)

Problema: os **índices de refração** dos materiais **dependem** do **comprimento de onda**.

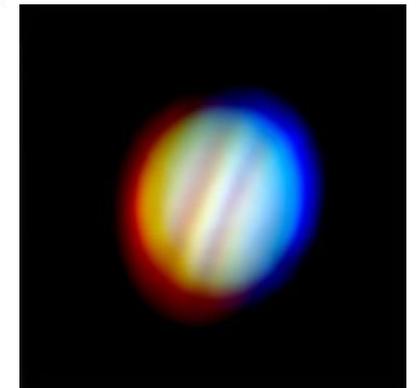
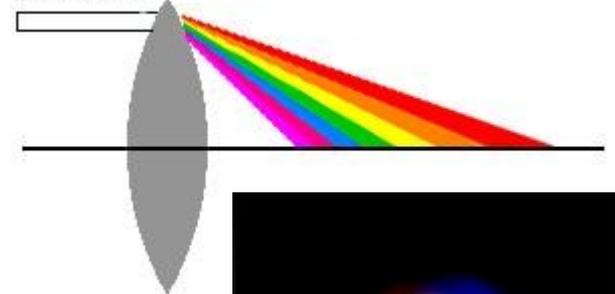
=> **Luz** de **cores diferentes** é **focada** em **pontos diferentes**, fenômeno chamado **aberração cromática**.

Para um dado arranjo de lentes, apenas uma cor é bem focada.

Outro problema: Lentes de mais de 1 m de diâmetro se deformam sob seu próprio peso.



Luz branca



# Telescópios Refletores

=> Usar **espelhos**:

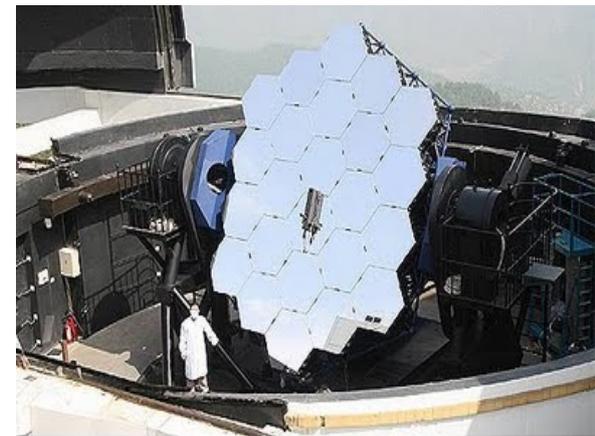
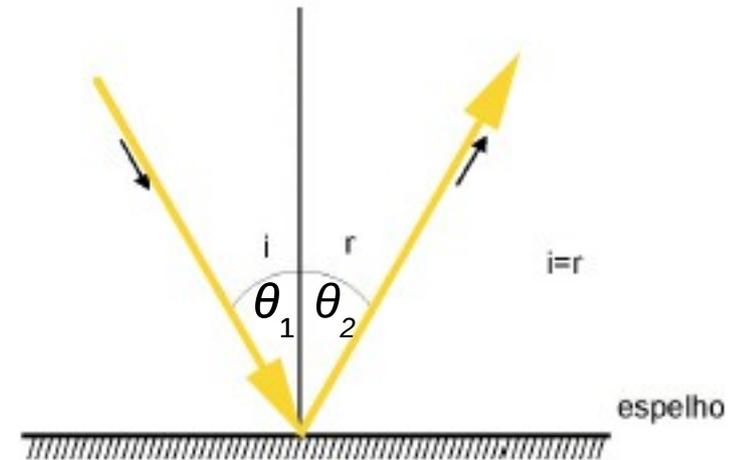
O **ângulo de reflexão não** depende de  $\lambda$ :  $\theta_1 = \theta_2$

=> não causa aberração cromática,

e **espelhos** podem ser feitos **muito finos** e ser **segmentados**.

=> praticamente sem limites para o tamanho.

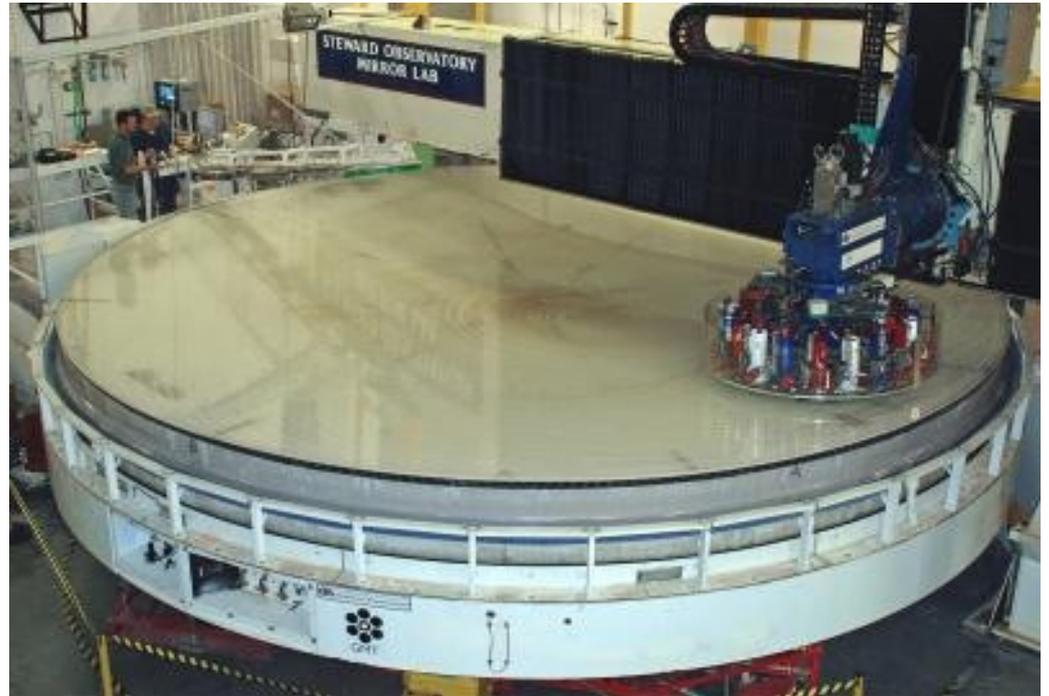
=> Os **telescópios** mais **modernos** são **refletores**.



# Telescópios Refletores

O(s) espelho(s) tem que ser bem **polido(s)**:

Este espelho do telescópio em construção *Giant Magellan Telescope* (GMT) de 8.4 m de diâmetro, leva três anos a ser polido, até que a superfície está dentro de 25 nanômetros da forma perfeita.

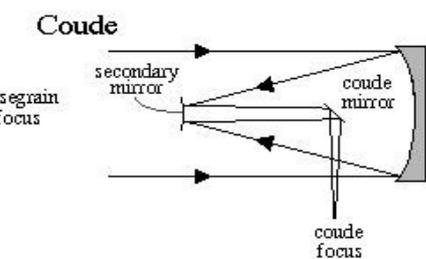
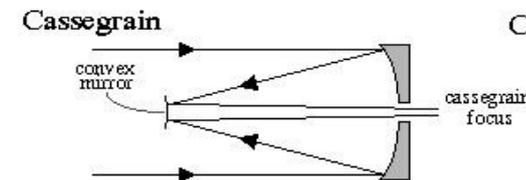
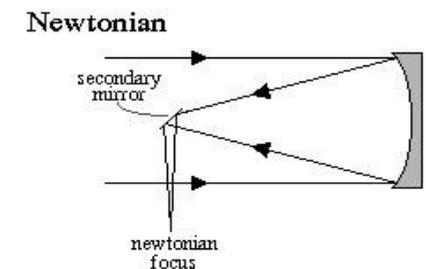
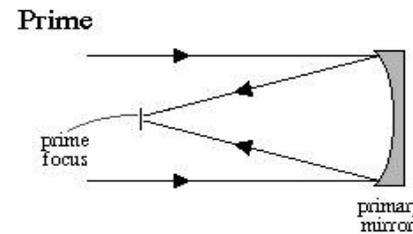
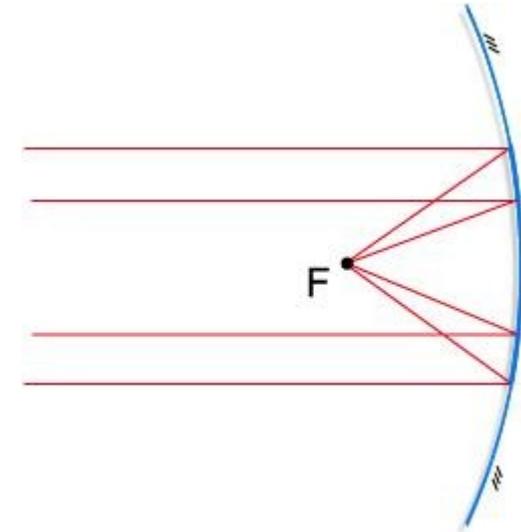


# Telescópios Refletores

Espelhos **parabólicos** focam raios paralelos em um **ponto**.

=> O espelho **coletor**, ou **primário**, normalmente é parabólico.

Também existem **várias geometrias** de telescópios refletores, na maioria usando espelhos adicionais, os **espelhos secundários**.

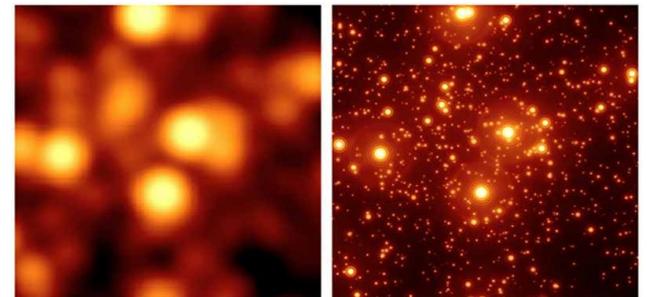
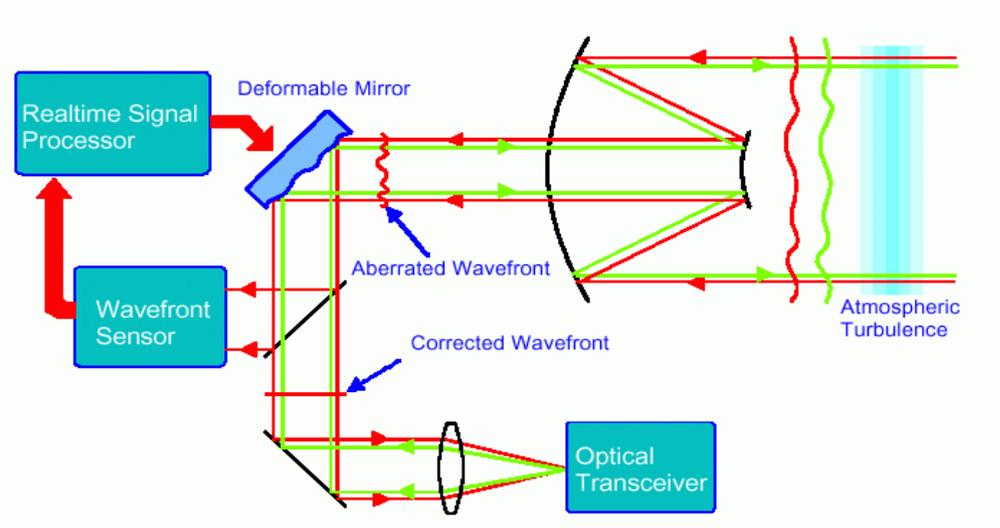


# Telescópios Refletores

Outro problema: **Turbulências** na **atmosfera** **distorcem** as frentes de onda da luz.

Se chama a qualidade da imagem devido às condições atmosféricas de **Seeing**.

Solução: **Ótica adaptativa**:  
A **deformação** do **espelho** secundário em **tempo real** para compensar a distorção.



Melhoras no seeing devido à ótica adaptativa

# Telescópios Óticos

Maiores atuais:  
**espelhos primários** da  
ordem de **10 m** de  
**diâmetro**.

Encontram-se em lugares  
**altos, secos** e politicamente  
estáveis: Havaí,  
Chile (deserto Atacama),  
Ilhas Canárias, ...

Alguns são **múltiplos**

Trouxeram avanços em todas as áreas da astronomia.



*Very Large Telescope (VLT), Chile:*  
4 telescópios de 8 m

# Telescópios Óticos

No futuro (~2027-2029):  
3 telescópios de ~30 m:

- *Giant Magellan Telescope*,  
Chile, 24.5 m, 7 espelhos

- *30 Meters telescope (TMT)*  
Havaí ou La Palma,  
492 segmentos

- *European Enormously  
Large Telescope (E-ELT)*, Chile, 39.3 m, 798 segmentos

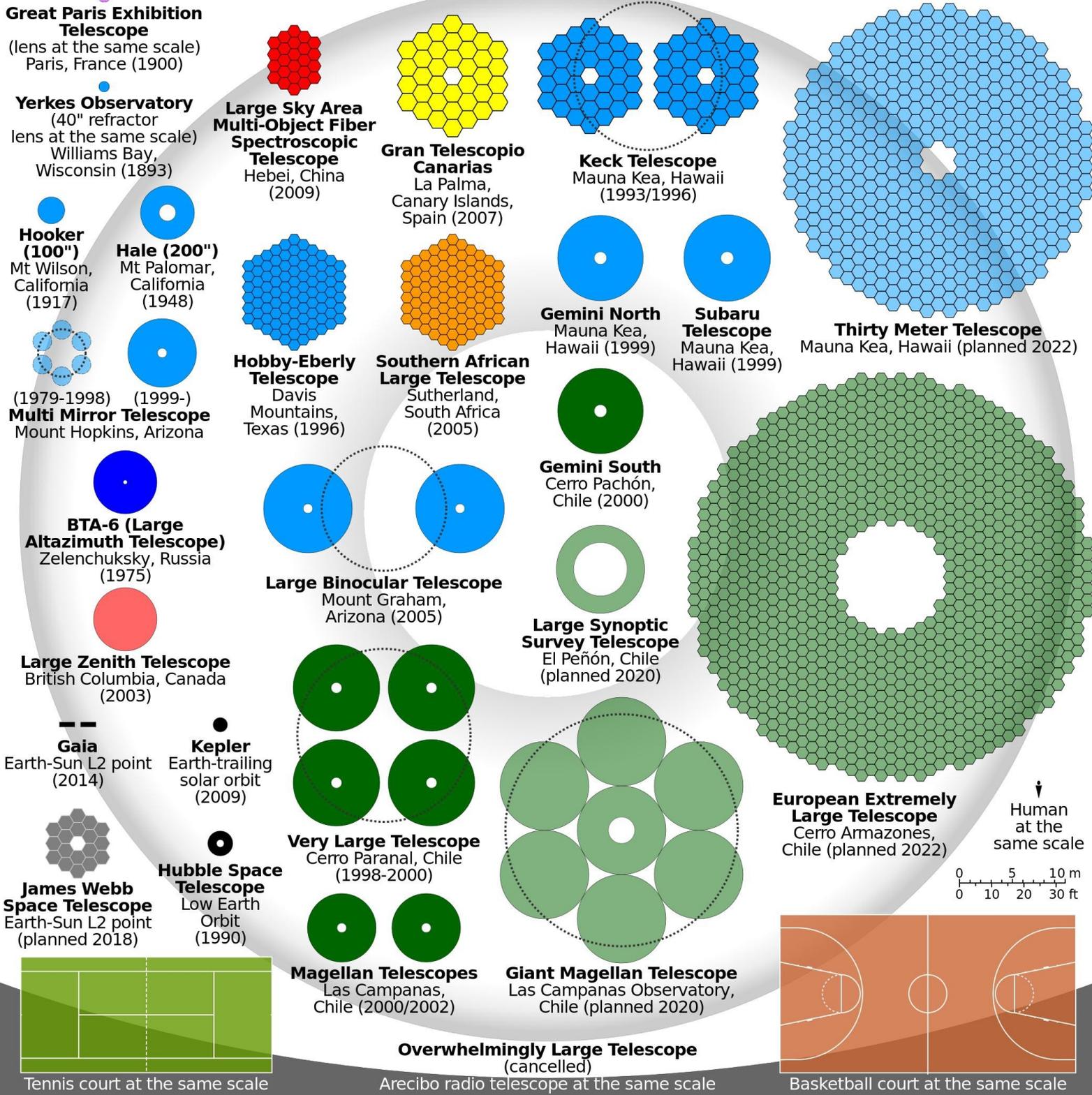
Investigarão (entre outros): exoplanetas habitáveis,  
as natureza e distribuição das Matéria e Energia Escura,  
a primeira luz e as primeiras galáxias do Universo



E-ELT comparado com a Sagrada Família  
(Interpretação artística)

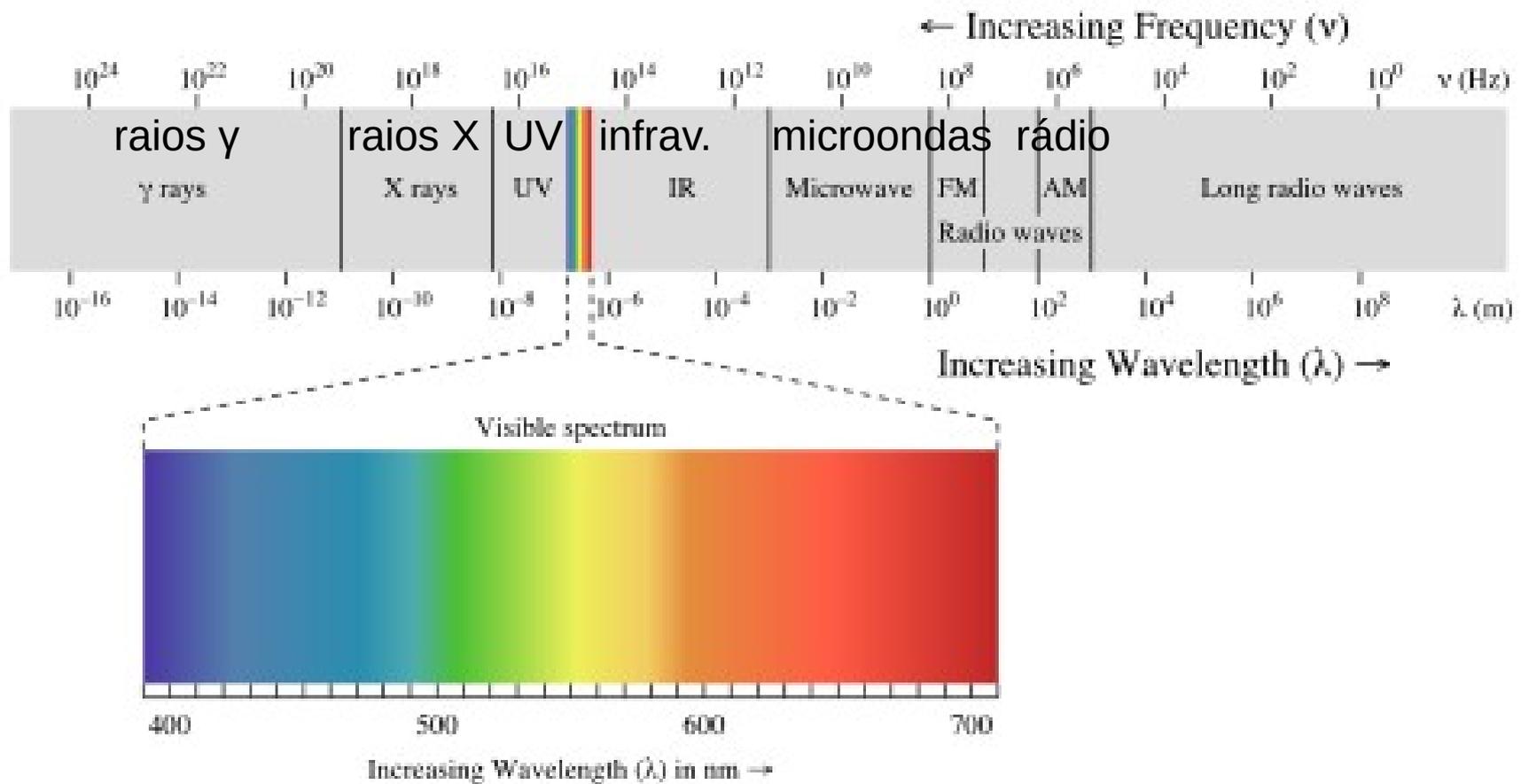
# Comparação dos tamanhos dos espelhos primários

© Cmglee



# O Espectro da Radiação Magnética

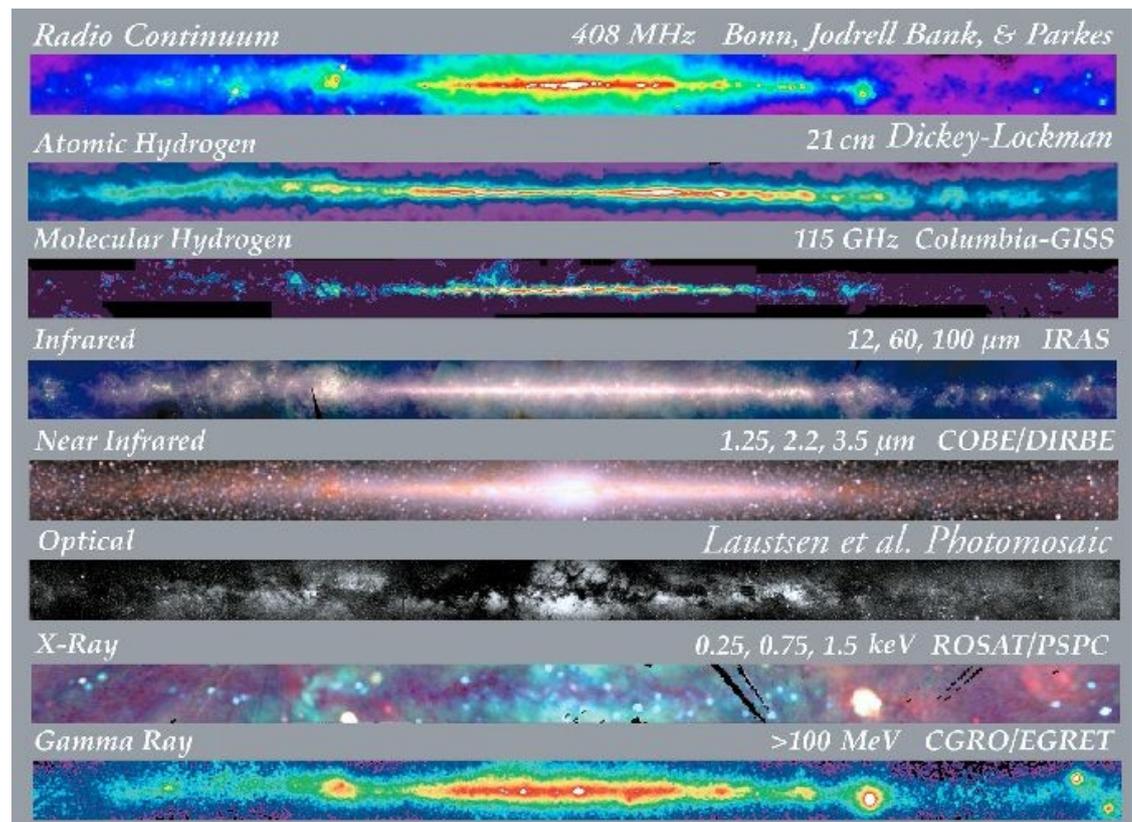
Mas **radiação eletromagnética** não é só luz visível ...  
(=> Estrutura da Matéria)



# O Espectro da Radiação Magnética

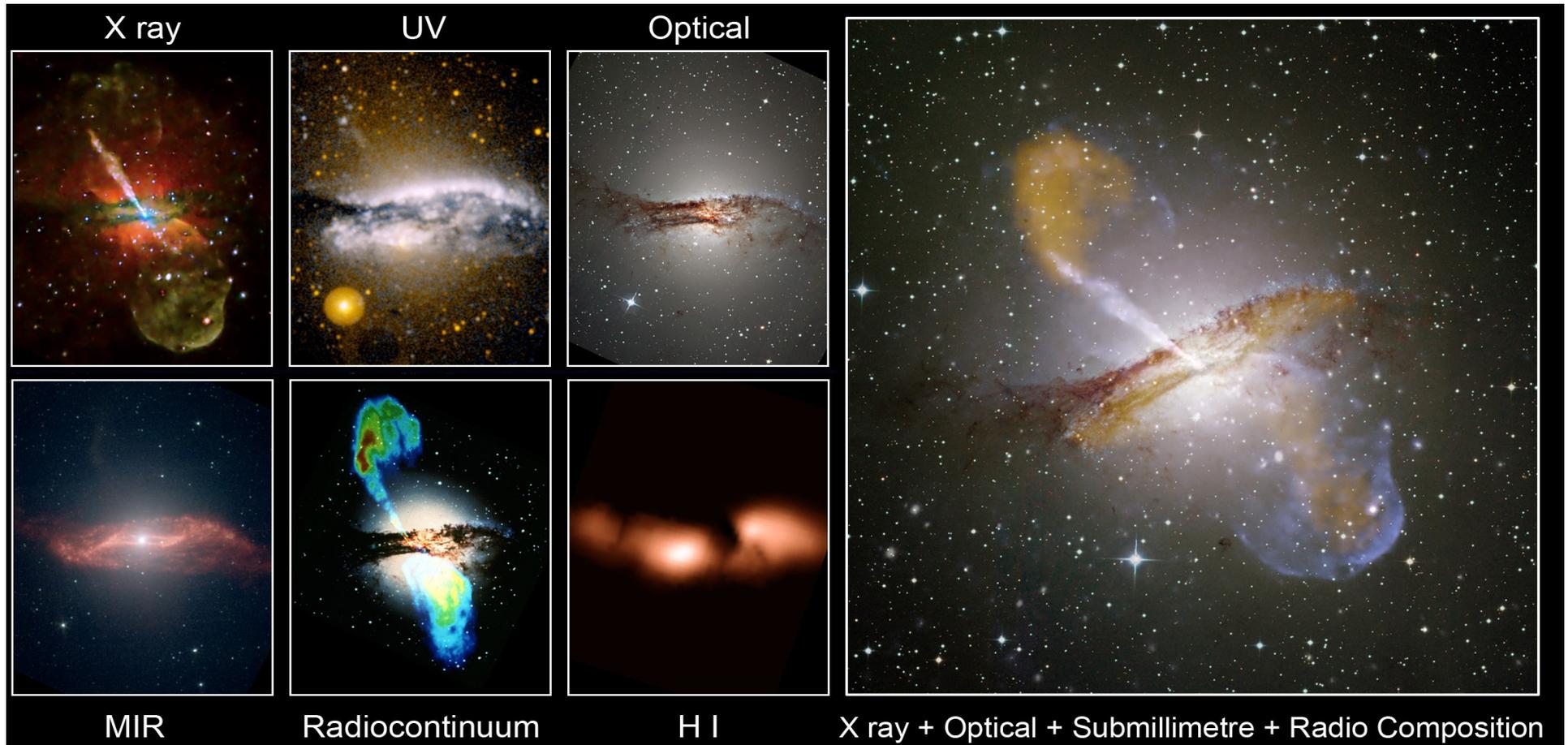
Para ter uma visão geral dos objetos/processos astronômicos temos que observar em **todos** os **comprimentos de onda**:

- Rádio
- Microondas
- Infravermelho (IR)
- Ótico
- Ultravioleta (UV)
- Raios X
- Raios gama ( $\gamma$ )



A Via Láctea vista em várias partes do espectro eletromagnético

# O Espectro da Radiação Magnética



Outro exemplo de um objeto visto em diferentes faixas espectrais: A rádio-galáxia Centaurus A  
(=> aula Galáxias Ativas / AGNs)

# Rádio-Telescópios

Ondas **rádio** têm **comprimentos de onda maiores** (1 m - vários km)  
=> **Espelhos maiores**

Desvantagem: Não dá pra apontar para um objeto

Vantagens:  
O espelho não precisa ser tão polido,  
e ondas rádio atravessam nuvens  
=> observações com céu nublado possíveis



Radiotelescópio de Arecibo

# Rádio-Telescópios

O radiotelescópio de Arecibo em Porto Rico foi por 53 anos (1963 -2016) o maior telescópio fixo do mundo, com um espelho de 305 m de diâmetro feito de placas de alumínio...



Radiotelescópio de Arecibo em dezembro 2020

Determinou distâncias e massas de galáxias, observou vários pulsares, também fez parte do projeto SETI (*Search for Extraterrestrial Intelligence*), uma busca por vida extraterrestre.

Infelizmente, múltiplos danos causaram a desativação em 2020 e logo depois, ele desabou.

# Rádio-Telescópios

... mas agora a China construiu o radiotelescópio FAST (*Five hundred meter Aperture Spherical Telescope*, também chamado 天眼 (*Tianyan*, "Olho do céu"), de 500 m, que teve *first light* em setembro 2016, e foi inaugurado em janeiro 2020.



FAST

Ele está observando pulsares, quasares, ...

# Interferometria

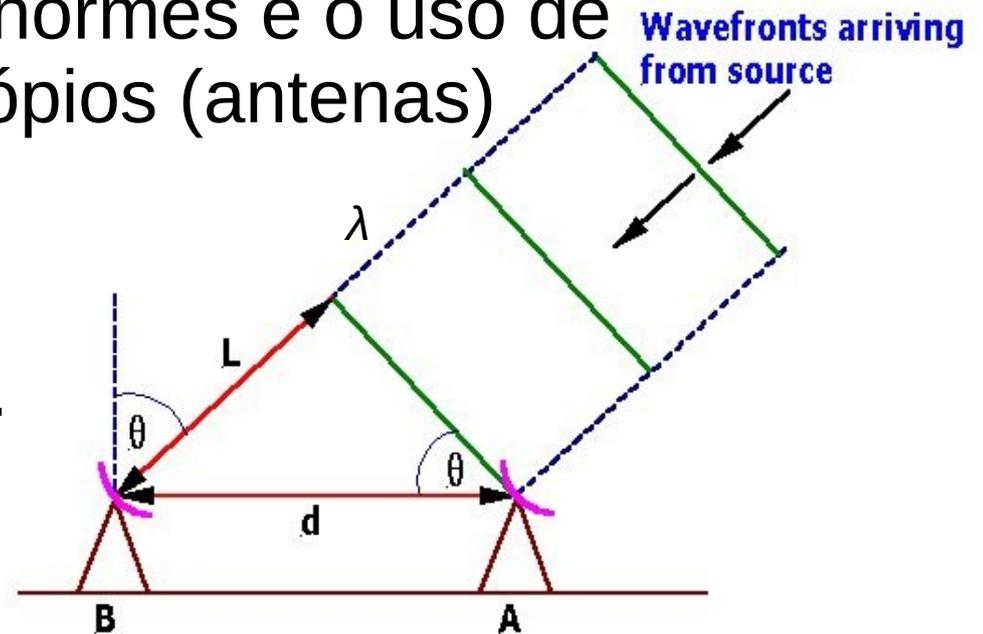
Mais comum que espelhos enormes é o uso de **interferometria**, vários telescópios (antenas) trabalhando **juntos**:

A **distância** entre as antenas é chamada **linha de base** ( $d$ ).

As frentes de ondas chegam nas antenas com uma

**diferença de caminho**  $L$ , onde  $\sin \theta = L/d$ , e são **sobrepostos**.

Dependendo da **diferença de fase**,  $L/\lambda$ , os sinais se amplificam:  $L/\lambda = i$  ( $i=0,\pm 1,\pm 2,\dots$ )  $\Rightarrow$  **interferência construtiva**, se cancelam:  $L/\lambda = i+0.5$  ( $i=0,\pm 1,\pm 2,\dots$ )  $\Rightarrow$  **interferência destrutiva**, ou algo intermediário.



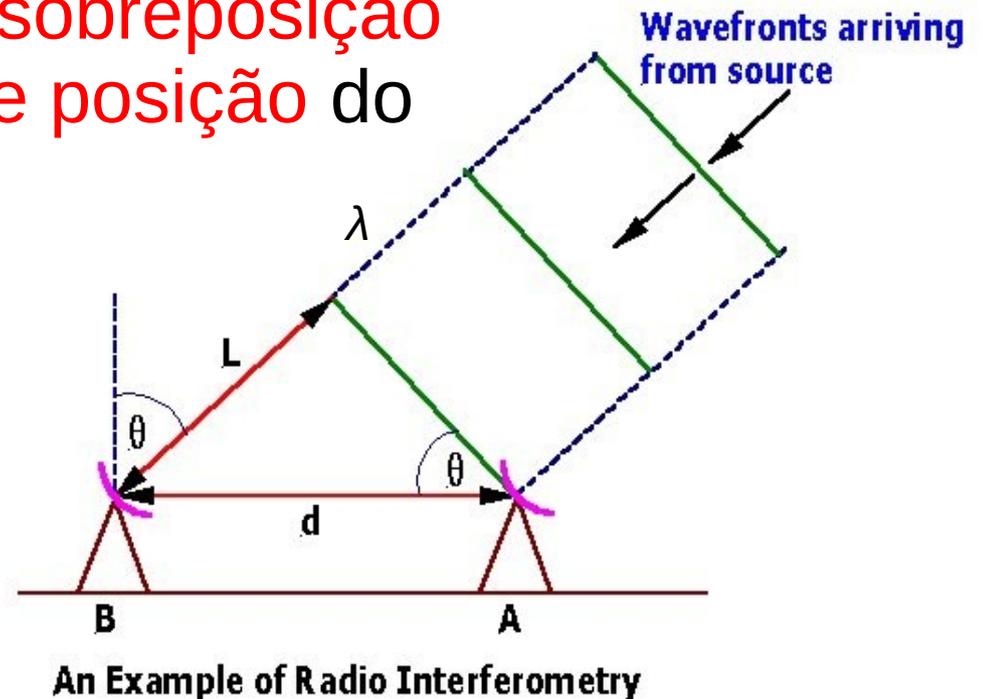
An Example of Radio Interferometry

# Interferometria

=> A **intensidade** do sinal da **sobreposição** dos sinais nos dá o **ângulo de posição** do objeto observado.

Consegue-se a **resolução angular** que teria um telescópio de **diâmetro  $d$**  (mas não a sensibilidade; esta é proporcional à área total dos coletores juntos).

Interferometria é usada para outras faixas espectrais também, mas é mais difícil ajustar as distâncias entre os telescópios, por causa dos comprimentos de onda mais curtos.



# Rádio-Telescópios

Redes **LBI** (*Long Baseline Interferometry*)

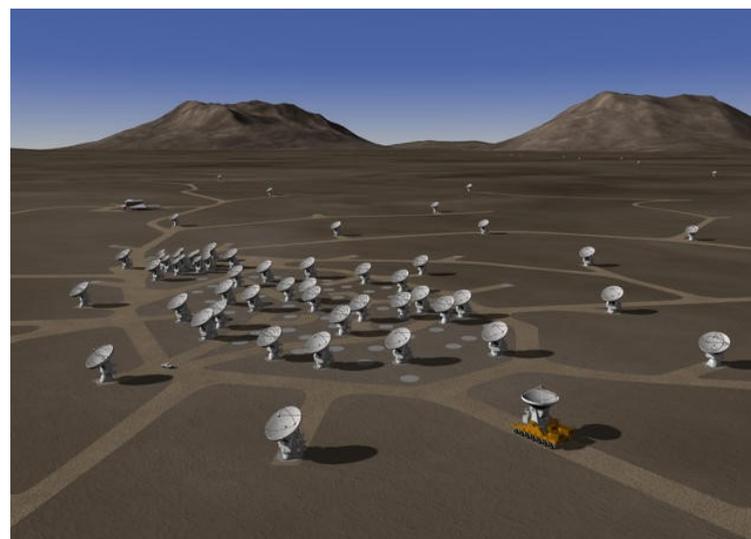
VLA (*Very Large Array*):  
27 antenas, 25 m cada um,  
New Mexico, EUA,  
linha de base máxima 36 km

2012: ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*): 50-64 antenas,  
12 m ou 7 m cada uma,  
deserto de Atacama, Chile,  
5000 m de altura,  
distância máxima 16 km

Estudam radiogaláxias, quasares,  
pulsares, Sol e planetas, formação  
de galáxias, estrelas e planetas



Antenas do VLA



Arranjo das Antenas do ALMA

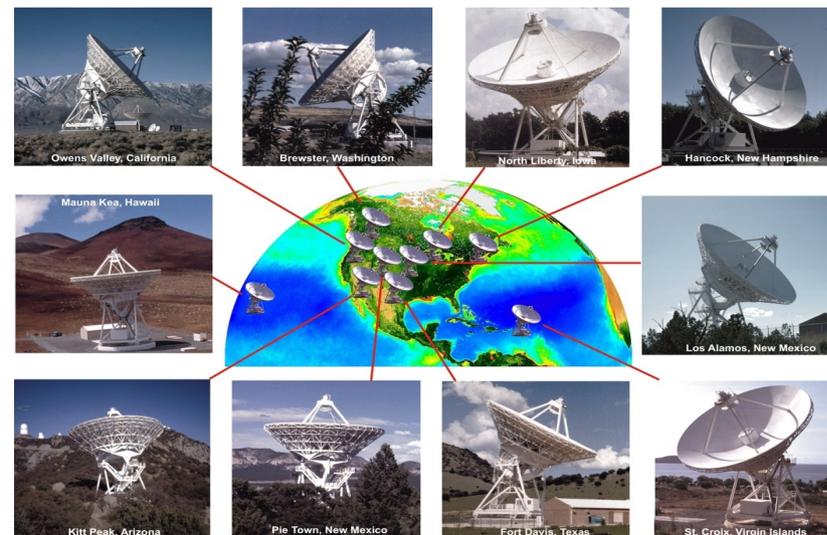
# Rádio-Telescópios

... e **VLBI** (*Very Long Baseline Interferometry*)

Já há redes que se estendem por continentes inteiros:  
VLBA: *Very Long Baseline Array*, Estados Unidos

e pela Terra inteira:  
EVN: *European VLBI Network*,  
EHT: *Event Horizon Telescope*

Às vezes, várias redes colaboram para formar uma rede maior ainda.



Redes de antenas do VLBA ...

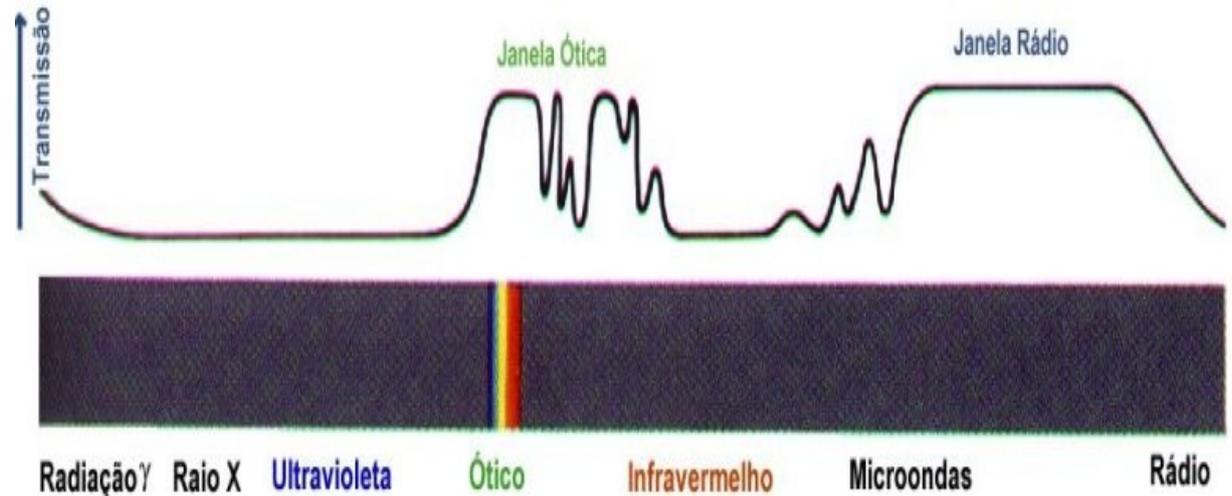


e EVN

# A Curva de Transparência da Atmosfera

E os outros tipos de radiação eletromagnética?

Infelizmente, só a radiação ótica (e infravermelho próximo) e rádio chegam até a superfície da Terra.



=> Para as **outras faixas**, temos que ir pro **espaço**.

=> **Telescópios Espaciais**

# Telescópios Infravermelhos

Enquanto no **infravermelho próximo** ainda dá para observar desde **montanhas altas** e da **altura** da nossa **atmosfera** ...

... pro **infravermelho** mais distante é necessário ir pro **espaço**.

**Telescópios infravermelhos** funcionam **similar** como **telescópios óticos**, mas têm que ser **resfriados**, i. e. com hélio líquido, senão a **radiação térmica** deles mesmos atrapalharia (assim como aquela da Terra, outro motivo para ir pro espaço).

No infravermelho dá para observar a formação de estrelas e galáxias, a composição química de planetas, ...



# Telescópios Espaciais: Microondas e UV

Telescópios para **microondas** e o **ultravioleta próximo** também funcionam de maneira **similar** que telescópios **óticos** (os pro ultravioleta distante são mais como telescópios para raios X, => próximo slide)

Em microondas se observa a radiação cósmica de fundo, a formação do Universo, ...

e no ultravioleta, a formação de estrelas e galáxias, mapas UV do céu, ...



Telescópio microondas Planck (ESA)

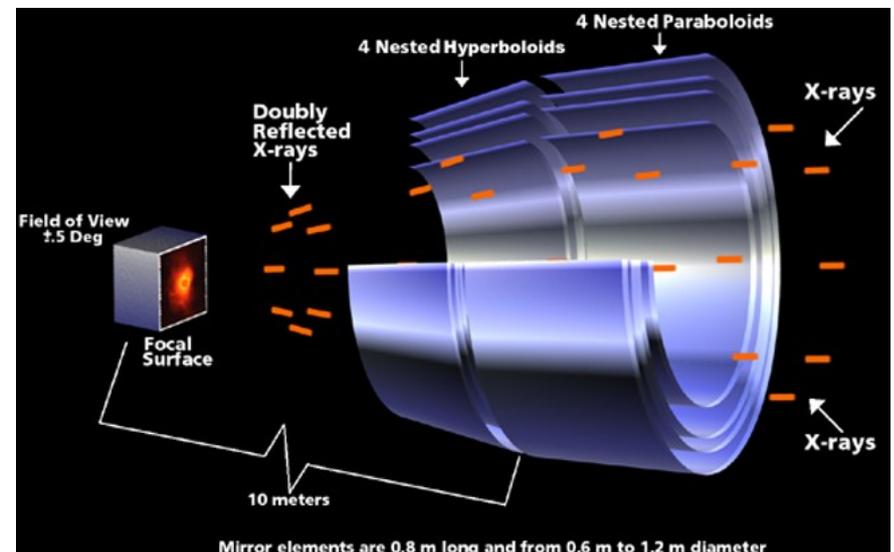
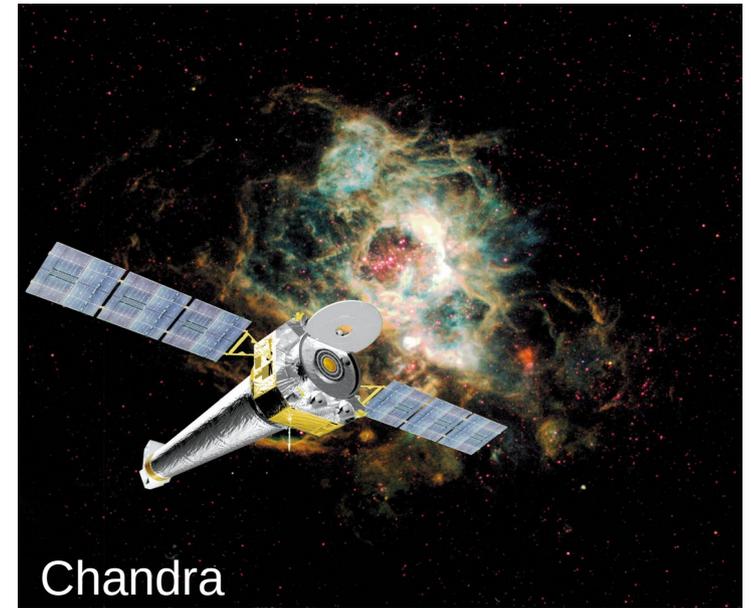


Telescópio ultravioleta GALEX (NASA)

# Telescópios Espaciais: Raios X

Raios X não podem ser refletidos como raios óticos. Eles atravessariam o espelho sem serem defletidos. Só “roçando” o espelho, eles ricocheteiam direção detector. Por isto, telescópios de raios X são feitas de vários espelhos hiperbólicos concêntricos.

Raios X são bons pra observar Supernovas e Buracos Negros e determinar a distribuição de Matéria e Energia Escuras.



# Telescópios de Raios Gama

**Raios  $\gamma$  não** podem ser **defletidos** por espelhos nem “roçando”. São fótons de energia tão alta, que chegam “fóton por fóton”.

É preciso de técnicas similares àquelas pra detecção de **raios cósmicos** (por partículas secundárias => jájá).

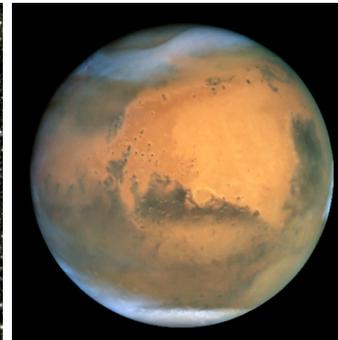
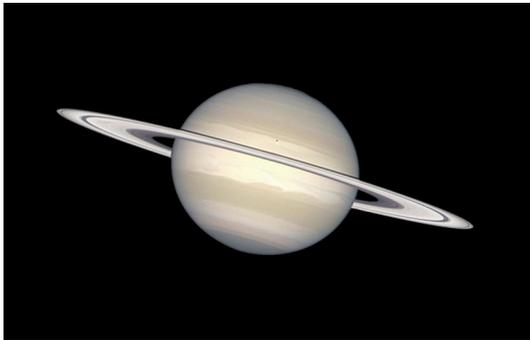
Na faixa  $\gamma$  conseguimos detectar as misteriosas erupções de raios gama, que são provavelmente as explosões finais de Estrelas de Nêutrons (=> aula Estágios Finais).



# Telescópios Espaciais

## O *Hubble Space Telescope* (HST, NASA/ESA)

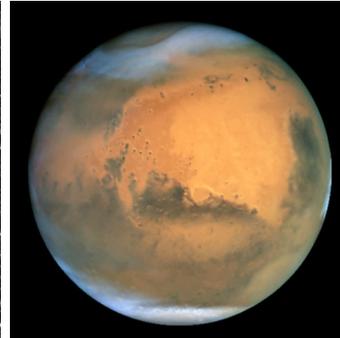
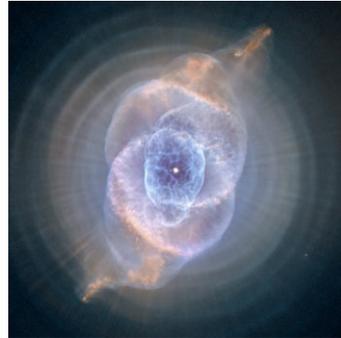
- Ótico, infravermelho e UV
- Espelho de 2.4 m
- Resolução no ótico: 0.05"
- Funcionando desde 1990 e desde 1993 com uma lente corrigindo um erro no espelho, última missão de manutenção em 2009



# Telescópios Espaciais

## O *Hubble Space Telescope*

- Ainda em operação graças ao sucesso enorme
- Já fez o seu 25<sup>imo</sup> aniversário, e será aposentado quando os instrumentos falharem (2030-2040?)
- Avanços em cada área da astronomia, e imagens lindas



# Telescópios Espaciais

*James Webb Space Telescope (JWST)*, “Sucessor” do HST  
(NASA, ESA, CSA)

- infravermelho (0.6-28.3  $\mu\text{m}$ )
- espelho 6.5 m
- resolução  $\sim 0.1$  arcsec
- lançado 2021
- tempo de vida 10 a 20 anos
- contribuições nos estudos das primeiras estrelas e galáxias, exoplanetas habitáveis, ...



# Telescópios Espaciais

## Mais Recentes e Futuros Telescópios Espaciais

2018: *Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS)*, em operação

2019: *CHaracterising ExOPlanets Satellite (CHEOPS)*

2021: *IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer)*

2021: *SHIELDS (Spatial Heterodyne Interferometric Emission Line Dynamics Spectrometer)*, ultravioleta

2023: *Euclid* (óptico e IR)

2026: *PLANetary Transits and Oscillations of stars (PLATO)*

2035: *ATHENA (Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics, raios X)* e outros



TESS

# Outros tipos de Radiação

Além da **radiação eletromagnética** existem outros tipos de **radiação**, i. e.

- **neutrinos**
- **raios cósmicos**
- **ondas gravitacionais**

Estes requerem **telescópios** que funcionam de **maneiras diferentes**.

# “Telescópios” de Neutrinos

Neutrinos ( $\nu$ ) são partículas produzidas no *Big Bang*, em explosões de Supernovas, dentro do Sol e em certos processos de desintegração.

Eles quase não interagem com a matéria.

A cada segundo, passam uns  $10^{14}$  pelo seu corpo e um interage com você a cada  $\sim 35$  anos.

=> Difícilimos de detectar

=> É preciso de muito material para captar/detectar um

# “Telescópios” de Neutrinos

Exemplo:

Super-Kamiokande  
no Japão:

- 50 000 toneladas  
(Ø 33.8 m, altura 36.2 m)  
de **água ultra-purificada**
- 1 km de baixo da terra  
para bloquear outros sinais
- 11 146 **tubos**  
**fotomultiplicadores**  
(detectores muito sensíveis à luz)  
montados em torno da bacia

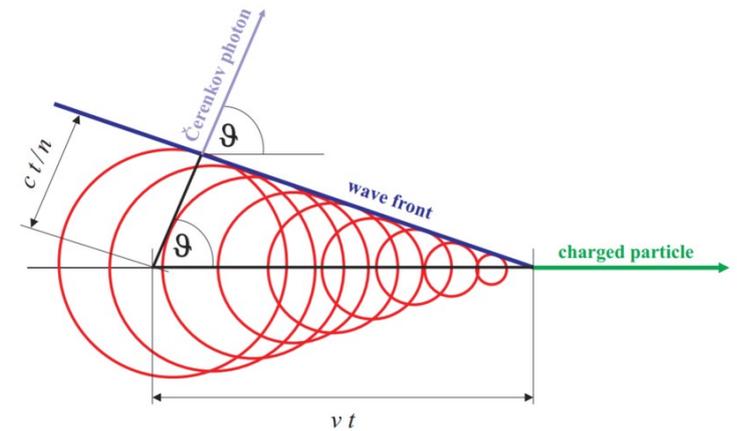


Interior de Super-Kamiokande

# “Telescópios” de Neutrinos

$\nu$  passando pode **interagir** com uma **molécula de água**, o que gera uma **partícula carregada de alta velocidade** (que praticamente herdou energia e momento linear do neutrino), que também **interage** com a **água**, emitindo radiação Tcherenkov, uma **radiação** (normalmente azul), que surge, quando uma **partícula** (carregada) passa por um **meio com velocidade acima** da velocidade da **luz naquele meio** (neste caso água).

É o **análogo ótico** ao **estrondo sônico**.



Павел Алексеевич  
Черенков (1904-1990)



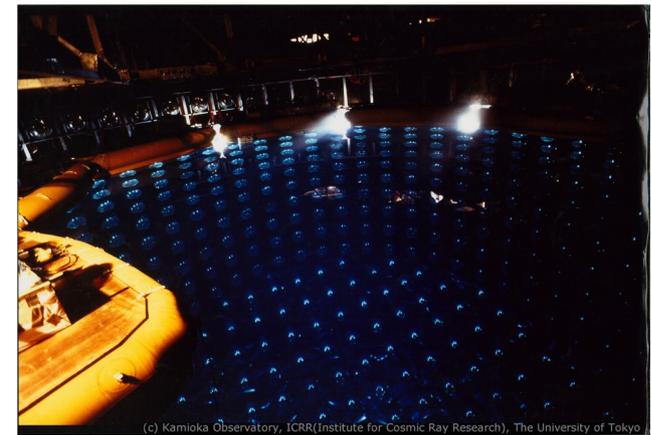
Prêmio Nobel  
em 1958

# “Telescópios” de Neutrinos

=> **sinal** em forma de anel  
na grade de  
**fotomultiplicadores**

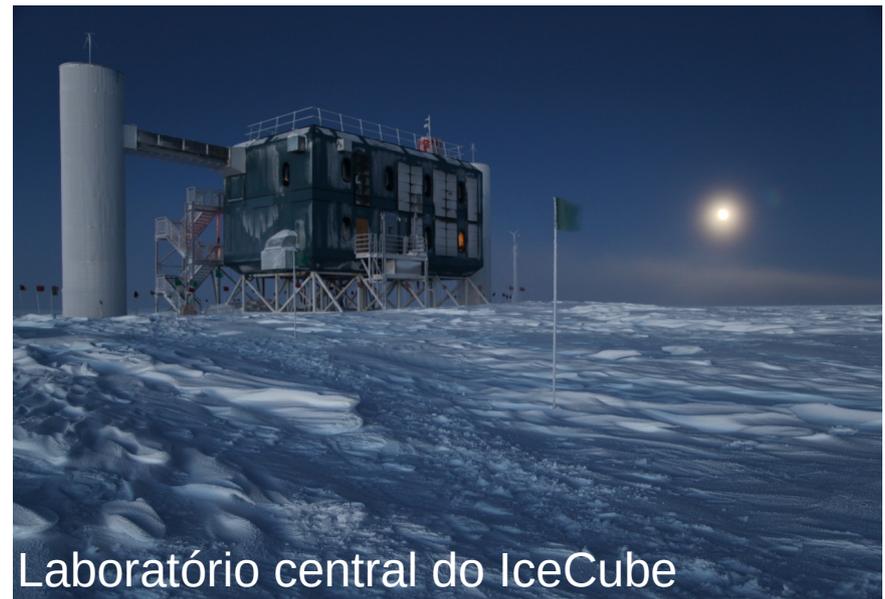
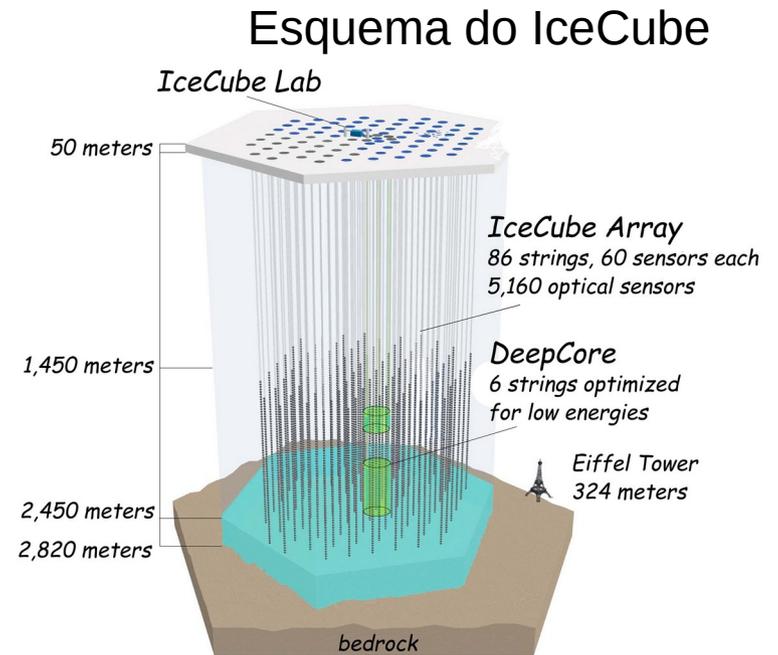
Pelos **orientação** e **tamanho** do  
anel dá para reconstruir as  
**energia** e **direção** de **propagação**  
da partícula carregada e com isto,  
do **neutrino**.

Usado para estudos dos neutrinos  
solares e atmosféricos e a detecção  
de neutrinos de Supernovas na  
Via Láctea.



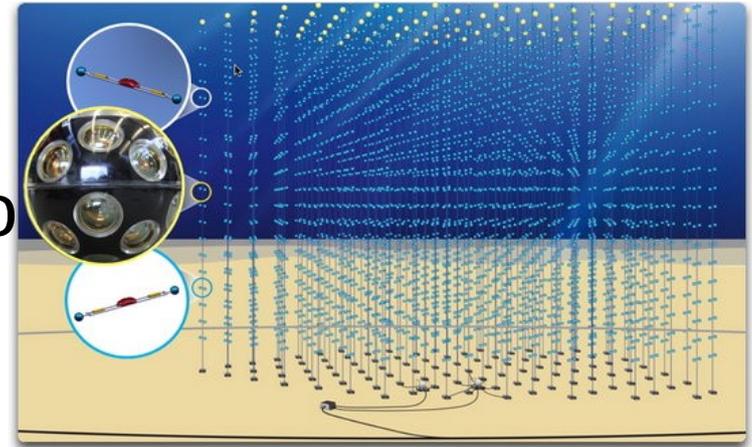
# “Telescópios” de Neutrinos

- Alguns outros “telescópios” de neutrinos:
- Antares
- IceCube: um km<sup>3</sup> de gelo na Antártica



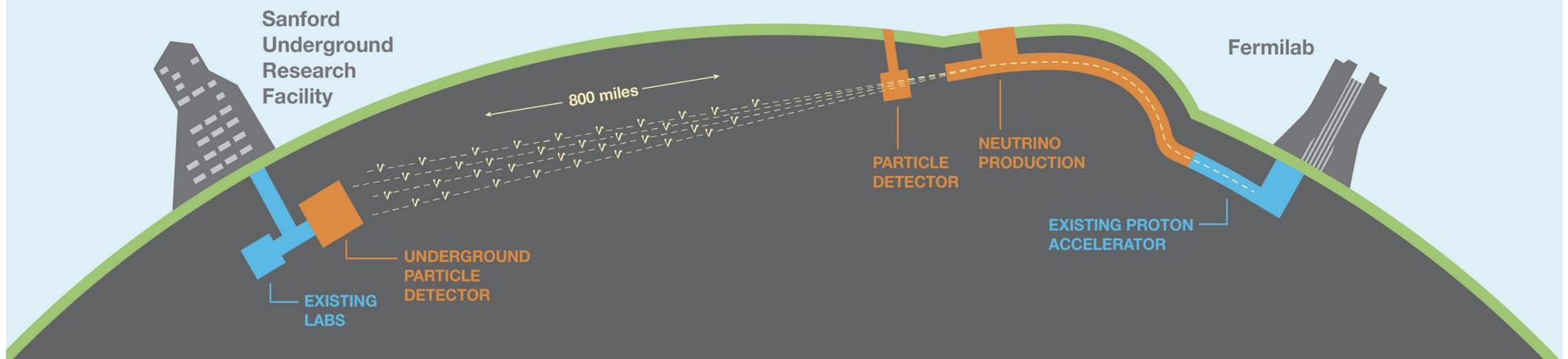
# “Telescópios” de Neutrinos

- Alguns outros “telescópios” de neutrinos:
- Km3net: se usa de um km cúbico de água no mar mediterrâneo



Previsto para 2027:

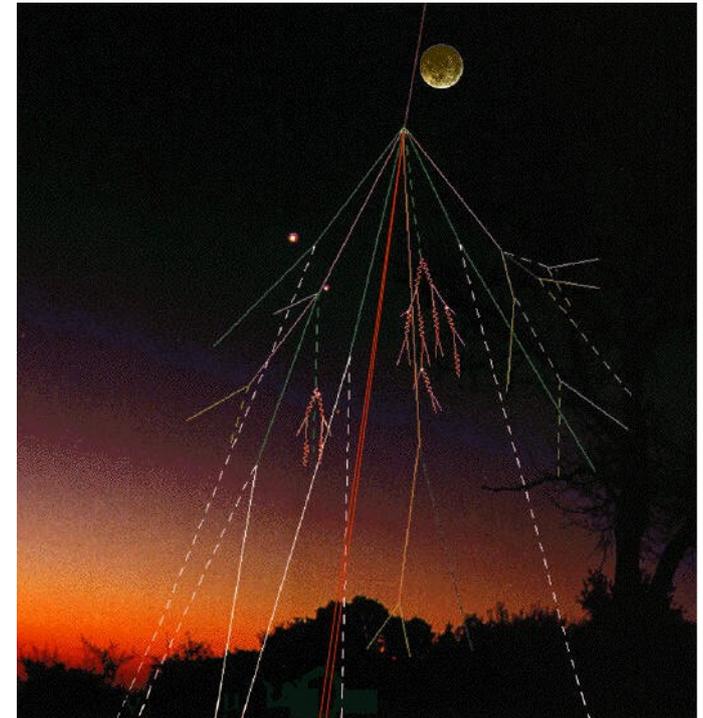
DUNE (*Deep Underground Neutrino Experiment*)  
coletor: 40 kton de argônio líquido



# “Telescópios” de Raios Cósmicos

Raios Cósmicos: **Partículas** de **átomos** (prótons, núcleos de hélio, elétrons, ... => não são raios!) de alta energia

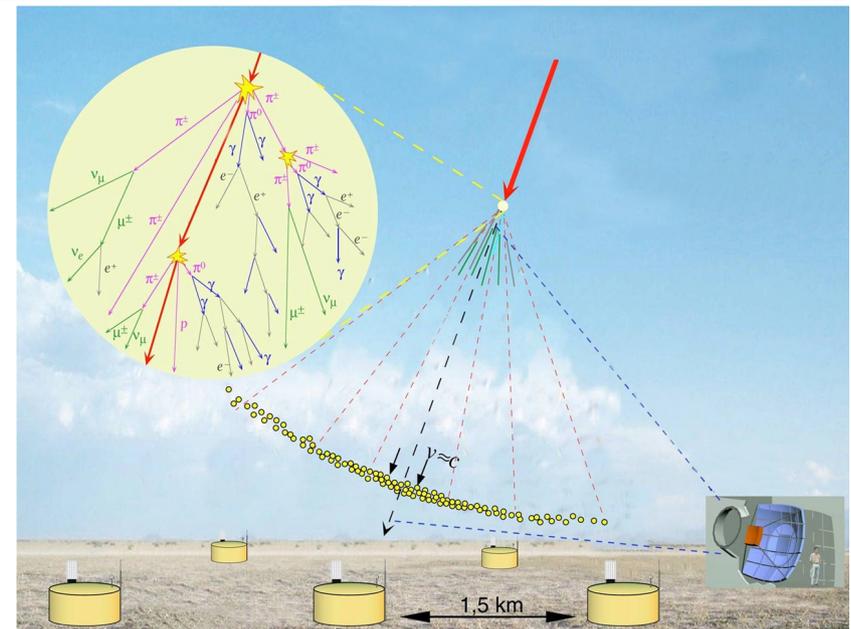
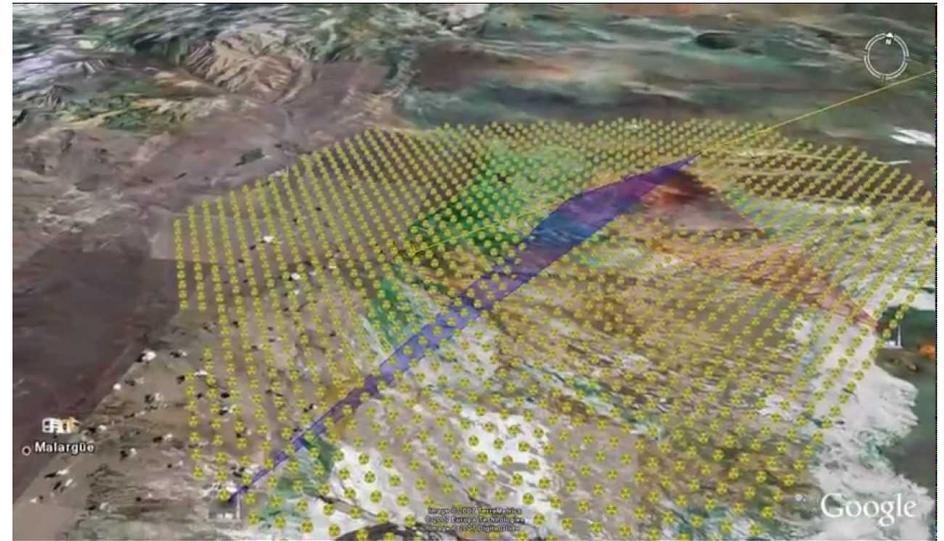
- Origem **solar**, **Galáctica** ou **extragaláctica** (Buracos Negros, Pulsares, Quasares ?)
- Ao chegar na **atmosfera** da Terra, produzem **chuva** de “**partículas secundárias**”
- “Telescópios” de raios cósmicos detectam estas partículas secundárias



# “Telescópios” de Raios Cósricos

Exemplo: Observatório Pierre Auger (Argentina)

- **Grade** de **detectores** distribuídos numa área de 3000 km<sup>2</sup>
- Por **Correlação temporal** dos **sinais** nos detectores consegue se determinar
  - a **energia total**, e
  - a **direção de vinda** da **partícula primária**
- Inaugurado em 2008



# “Telescópios” de Raios Cósmicos

Observatório Pierre Auger

Evidenciou que raios cósmicos de alta energia nos chegam isotropicamente de todas as direções.

=> as fontes devem ser extragalácticas.

Verificou o limite GZK (Greisen-Zatsepin-Kuzmin), que é a energia máxima para raios cósmicos, devido à interação com a Radiação Cósmica de Fundo (=> aulas Cosmologia)



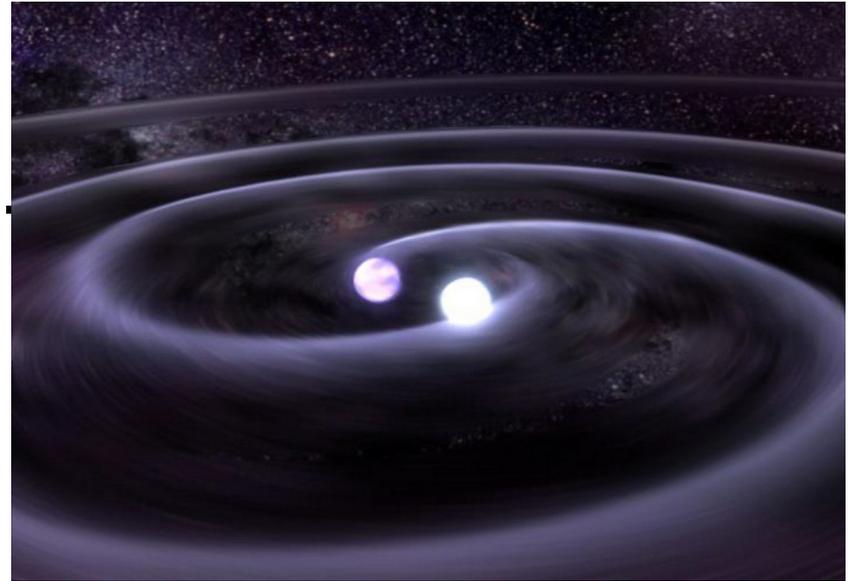
# “Telescópios” de Ondas Gravitacionais

Ondas gravitacionais são previstas pela teoria da **Relatividade Geral** (Einstein, 1915, => aula Relatividade).

São **deformações** periódicas do **espaço-tempo** que se **propagam** à **velocidade** da **luz**.

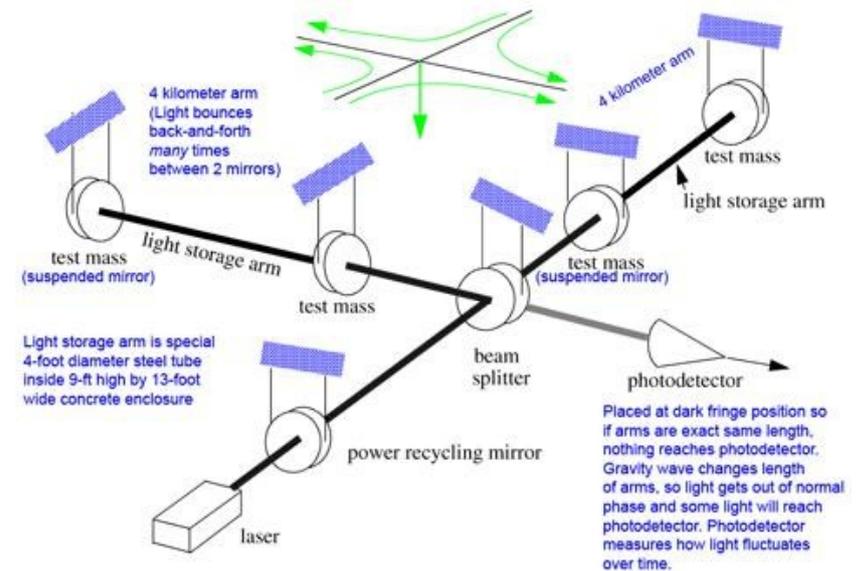
As mais intensas deveriam provir de binários de Estrelas de Nêutrons e/ou Buracos Negros (=> aula Estágios Finais), e de uma época chamada Inflação logo depois do *Big Bang* (=> aulas Cosmologia).

Já houve **detecções indiretas**: Perda de energia rotacional nas órbitas de pares de pulsares, i. e. o pulsar binário PSR1913+16, ou Hulse-Taylor (1974) (=> aula Estágios Finais).



# “Telescópios” de Ondas Gravitacionais

Elas devem ser diretamente **detectáveis** medindo as **diferenças de comprimentos** de dois **braços perpendiculares** de um “telescópio” de ondas gravitacionais. Isto é feito medindo a **diferença de tempo de viagem** de **dois raios de luz** (laser) percorrendo os braços. **Sobrepondo** os raios após o caminho pode-se medir diferenças de caminho muito pequenas pela **interferência** dos sinais.



# “Telescópios” de Ondas Gravitacionais

Já foram construídos vários destes telescópios na Europa e nos Estados Unidos, como Virgo, na Itália, que entrou em operação em 2007.

O mais sensível até hoje é o LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) em Livingston e Hanford (EUA), que está operando desde 2010.



LIGO, EUA

# Evidências para Ondas Gravitacionais

14/09/2015 (anunciado 11/02 2016)

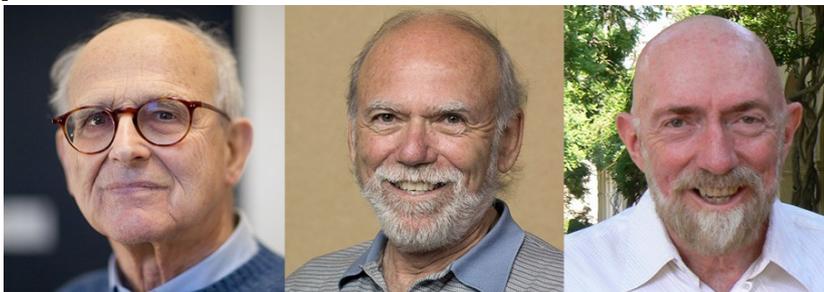
LIGO (Hanford e Livingston, EUA):

**Detecção** de **ondas gravitacionais**

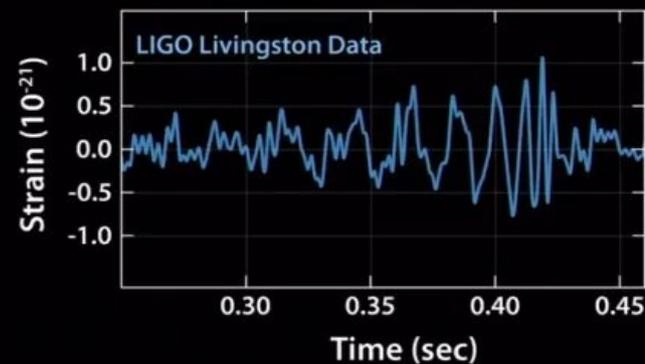
devidas a um evento de fusão de 2 Buracos Negros.

Hoje já são mais de 20 detecções, e no caso de uma, também foi detectada a contrapartida ótica.

=>  Prémio Nobel de física (2017) para K. Thorne, R. Weiss e B. C. Barish.



LIGO detector em Hanlon



# “Telescópios” de Ondas Gravitacionais

Telescópios de ondas gravitacionais do futuro incluem conjuntos de satélites, resultando em braços muito maiores.

O “telescópio” LISA (*Laser Interferometer Space Antenna*) foi projetado como

colaboração das NASA e ESA. Porém, a NASA saiu do projeto por causa dos custos altos, e a ESA redimensionou o projeto, agora projetado para ser lançado em 2035.

O Japão propôs um telescópio similar, chamado DECIGO (*Deci-Hertz Interferometer Gravitational wave Observatory*), a ser lançado nos anos 2030 (2037?).



Interpretação artística de LISA

# Além de Telescópios

Quando o objeto de interesse se encontra no nosso Sistema Solar, ele pode ser estudado (além de com telescópios) usando vários tipos de **sondas espaciais**:

- (- Os **Telescópios Espaciais** são, às vezes, classificados como sondas)
- **Sondas Sobrevoos**: Sobrevoam o corpo celeste de interesse, ou passam perto dele no caminho para um outro destino, às vezes para assistência gravitacional (ser impulsionado pelo astro)
- **Sondas Orbitadoras**: Orbitam e observam o corpo de interesse
- **Sondas de Impacto**: Colidem com o corpo, analisando-o durante a queda e/ou ejetam material do corpo, para ser analisado por uma sonda sobrevoos ou orbitadora por perto
- **Sondas Aterrisadores**: Pousam no astro para estudá-lo in situ
- **Sondas Veiculares**: Se deslocam sobre rodas na superfície do astro, alvo preferido: Marte

# Sondas para os Planetas do Sistema Solar

Uma lista (praticamente completa, tirando o enorme número de missões que falharam):

**Луна** (Luna) 1 a 24 (1959 a 1976): série de sondas soviéticas (todos os tipos) estudando a Lua, entre elas as 1<sup>as</sup> sondas a trazer material de um outro corpo celeste pra Terra, e a 1<sup>a</sup> a tirar fotos do lado escuro da Lua

**Венера 1** (Venera 1), Зонд 1 (Zond 1), Венера 2 e 3: lançados 1961, 64, 64, 65, passaram por Vênus, não forneceram dados

**Mariner 2**: lançado 1962, estudou Vênus no mesmo ano

Mariner 4, 6 e 7: lançados 1964, 69 e 69, passaram Marte

Венера 4, 5 e 6: lançados 1967, 69, 69, entraram e analisaram a atmosfera de Vênus nos mesmos anos



Reprodução da Venera 1, 1<sup>a</sup> sonda a sobrevoar um outro planeta

# Sondas para os Planetas do Sistema Solar

Mariner 5: lançado 1967, passou por Vênus no mesmo ano

Venera 7 a 16: lançados 1970 a 1983, orbitaram, passaram e/ou aterrissaram em Vênus

Mariner 9: lançado 1971, orbitou Marte de 1971 a 1973

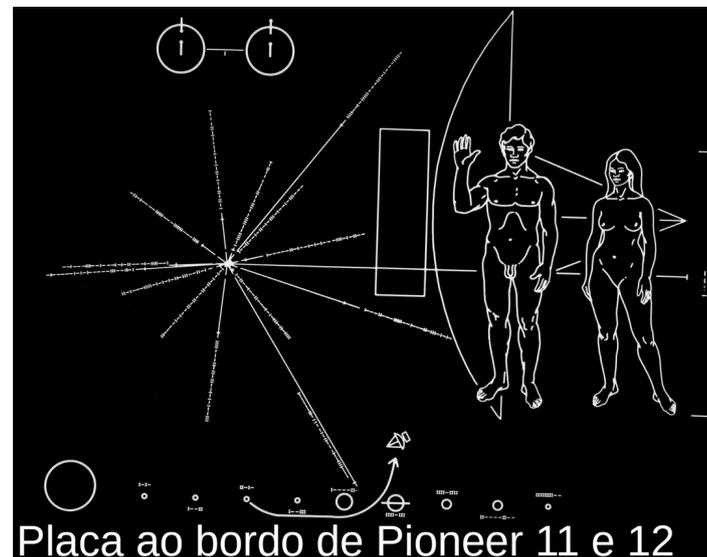
Mapc-2 e -3 (Mars 2 e 3): lançados 1971, orbitaram Marte, deixaram cair aterrissadores (o de Mapc-3 conseguiu pousar)

**Pioneer 11 e 12**: lançados 1972, 73, passaram Júpiter, Saturno (só P. 11), hoje no limite do Sistema Solar

Mariner 10: l. 1973, estudou Mercúrio e Vênus

**Viking 1 e 2**: lançados 1975, orbitaram Marte, deixaram aterrissadores pousarem no planeta

**Voyager 1 e 2**: lançados 1977, passaram Júpiter, Saturno, Urano e Netuno (só V. 2), em 2012 e 2018 e ultrapassaram o limite do Sistema Solar e ainda mandando dados!



Placa ao bordo de Pioneer 11 e 12



Um dos Voyagers (interpretação artística)

# Sondas para os Planetas do Sistema Solar

Pioneer Venus 1 e 2: lançados 1978,

P. V. 1 orbitou Vênus de 1978 a 1992

P. V. 2 entrou a atmosfera de Vênus em 1978, uma sub-sonda aterrisou

Bera (Vega) 1 e 2: lançados 1984, passaram Vênus e deixaram cair uma sonda na atmosfera do planeta, no caminho pro cometa de Halley

Фобос 2 (Fobos 2): I. 1988, orbitou Marte, falhou em pousar na lua marciana Phobos

**Magellan**: lançado 1989, orbitou Vênus de 1990 a 1994

**Galileo**: lançado 1989, passou por Vênus, mandou uma sonda entrar na atmosfera de Júpiter em 1995, orbitou o planeta de 1995 a 2003

**Mars Global Surveyor**: lançado 1996, orbitou e mapeou Marte por 7 anos

**Mars Pathfinder**: lançado 1996, rolou sobre Marte por 84 dias

**Cassini-Huygens**: lançados 1997, passou por Vênus e Júpiter, estudaram Saturno e Titã em 2004-2005, Huygens aterrisou em Titã, Cassini se suicidou entrando na atmosfera de Saturno em 2017



Cassini (interpretação artística)

# Sondas para os Planetas do Sistema Solar

Mars Odyssey: lançado 2001, orbitando Marte até hoje

Mars Express: lançado 2003, orbitando Marte até hoje

**Spirit, Opportunity**: lançados 2003, rolaram sobre Marte, Opportunity até hoje

**MESSENGER** (*M*ercury *S*urface, *S*pace *E*Nvironment, *G*Eochemistry, and *R*anging): lançado 2004, passou várias vezes por Mercúrio, Vênus e a Terra, orbitou e mapeou e estudou o campo magnético de Mercúrio de 2011 a 2013

Venus Express: I. 2005, orbitou Vênus de 2006 a 2014

MRO (*M*ars *R*econnaissance *O*rbiter): lançado 2005, orbitando Marte

Phoenix: lançado 2007, aterrisou em Marte

Akatsuki: I. 2010, passou por Vênus em 2010, orbitando esta desde 2015

IKAROS (*I*nterplanetary *K*ite-craft *A*ccelerated by *R*adiation *O*f the *S*un): lançado 2010, sobrevoou Vênus

**Curiosity**: lançado 2011, rolou sobre Marte até 2018 (perda de contato)

Juno: lançado 2011, orbitando Júpiter desde 2016

Mars Orbiter Mission, MAVEN (*M*ars *A*tmosphere and *V*olatile *E*volution): lançados 2013, orbitando Marte

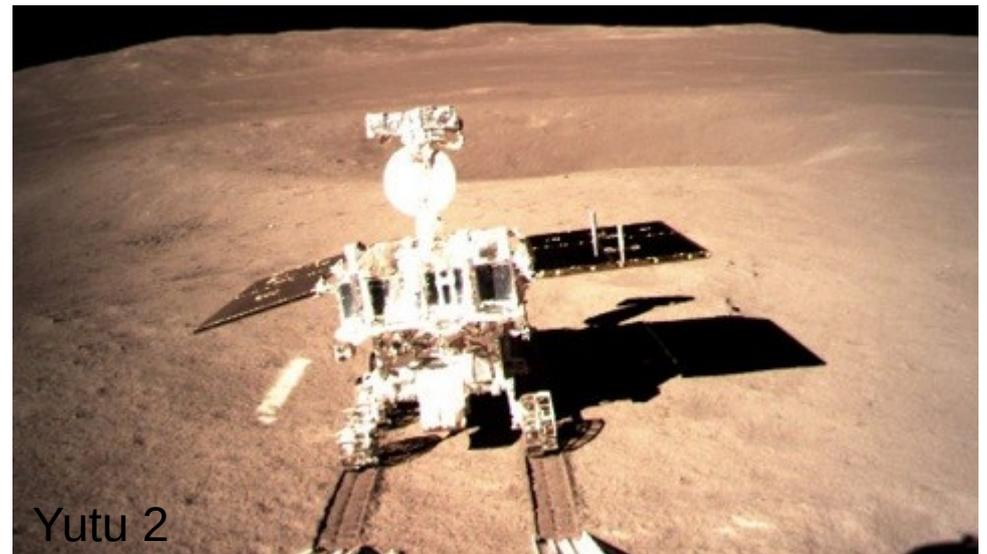


# Sondas para os Planetas do Sistema Solar

**ExoMars:** lançado 2016, está orbitando Marte, soltou a sonda aterrissadora Schiaparelli que era para procurar um sítio pro pouso de mais um carrinho, dois anos depois, mas acabou quebrando na tentativa de pouso.

InSight: lançado 05/03/2018, pousou em Marte 26/11/2018

Chang'e 4: pousou (03/01/2019) na Bacia Sul-Aitken, do lado "escuro" da Lua e soltou a sonda veicular Yutu 2



# Sondas para os Planetas do Sistema Solar

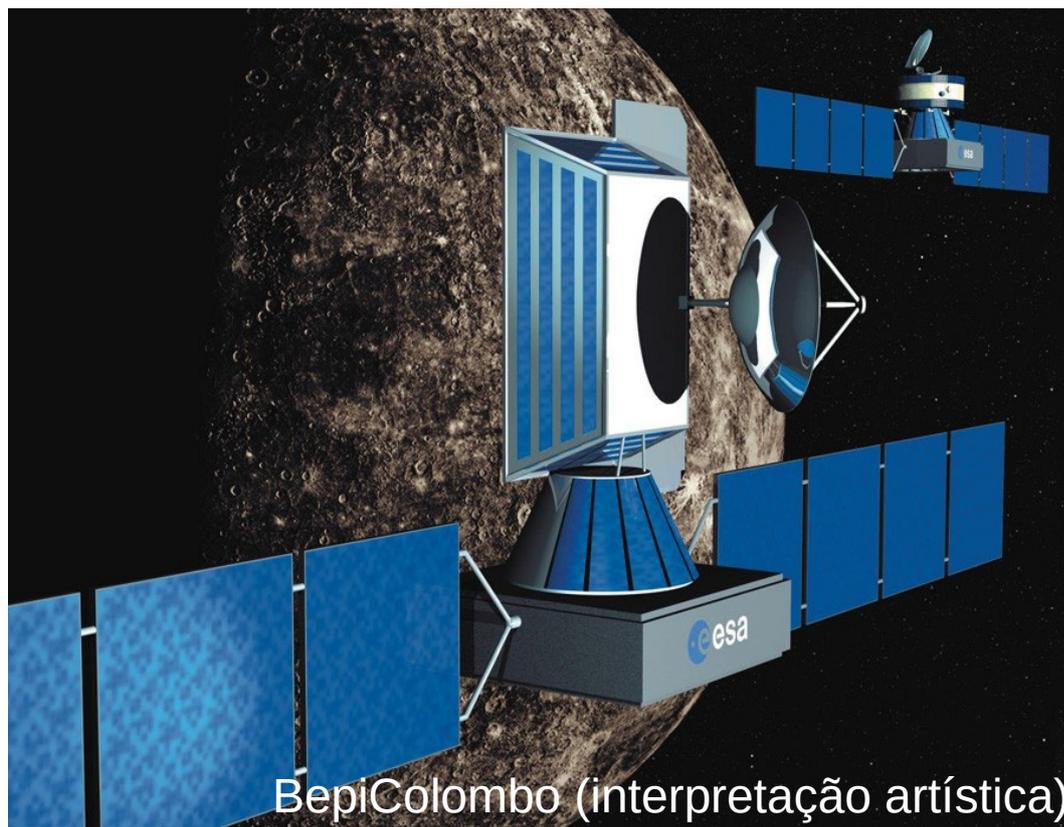
## Missões Recentes e Futuras

BepiColombo: 2 sondas,  
lançados 2018, passaram  
por Vênus, orbitarão, mapearão  
e medirão o campo magnético  
de Mercúrio em 2025

Hope Mars: lançado 2020,  
orbitará Marte

*Emirates Mars Mission*  
e Tianwen-1 (China):  
orbitando Marte desde 2021

Perserverance (veículo) e  
Ingenuity (Helicóptero)  
em Marte desde 2021



BepiColombo (interpretação artística)

# Sondas para os Planetas do Sistema Solar

## Missões Recentes e Futuras

JUICE (*JUpiter ICy moons Explorer*): lançamento 04/2023, orbitará Ganímedes e estudará Ganímedes, Calisto e Europa  
Europa Clipper e Lander: 2024, aterrissaria em Europa

+ um monte de missões propostas, mas ainda não aprovadas



JUICE (impressão artística)

# Sondas para os Corpos Menores

ICE (*International Cometary Explorer*): 1985 sobrevoou cometa 21P/Giacobini-Zinner  
Bera 1 e 2, Suisei e Giotto: 1986 sobrevoaram cometa 1P/Halley  
Giotto: sobrevoou 1992 cometa 26P/Grigg-Skjellerup  
Galileo: sobrevoou asteróides 951 Gaspra (1991) e 243 Ida (1993) e descobriu a lua deste, Dactyl

**NEAR Shoemaker** (*Near Earth Asteroid Rendezvous – Shoemaker*): sobrevoou asteróide 253 Mathilde (1997) e orbitou e pousou no asteróide 433 Eros (1998-2001)

**Hayabusa**: pousou 2005 no asteróide 25143 Itokawa e levou amostras pra Terra



# Sondas para os Corpos Menores

Deep Space 1: sobrevoou  
asteróide 9969 Braille (1999)  
e cometa 19P/Borrelly (2001)

**Stardust**: sobrevoou 2002 asteróide  
5535 Annefrank e 2004 cometa 81P/Wild,  
coletou material da cauda deste,  
e sobrevoou o cometa 9P/Tempel 2011

Deep Impact: sobrevoou cometa  
9P/Tempel (e soltou um impactador)  
em 2005 e 103P/Hartley em 2010

**Rosetta**: lançado 2004, passou por  
Marte, sobrevoou asteróides 2867 Šteins  
(2008), 21 Lutetia (2010) e  
cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko,  
e a sonda **Philae** pousou no cometa  
(2014)



Stardust (interpretação artística)

Rosetta + Philae (interpretação artística)

# Sondas para os Corpos Menores

**New Horizons:** lançado 2006, passou por Júpiter em 2007, hibernou até fim de 2014, passou por Plutão em julho 2015, sobrevoou o objeto trans-netuniano 2014 MU<sub>69</sub> (Ultima Thule) em 01/2019

Dawn: 2007 (lançamento), sobrevoou Marte, orbitou asteróide 4 Vesta 2011-2012 e está orbitando asteróide 1 Ceres

Chang'e 2: 2012 sobrevoou 4179 Toutatis

OSIRIS-REx (*Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer*): lançada 2016, em outubro 2020 pegou material do asteróide 101955 Bennu e o levará pra Terra em 2023

Hayabusa 2: lançado 2014, levou para o asteróide Ryugu sondas veiculares, aterrisador e impactador

DART (*Double Asteroid Redirection Test*), lançado 2021, colidiu com Dimorphus (lua do asteroide 65803 Didymos) em 2022

Lucy, lançado 2021, sobrevoará 8 asteroides até 2033  
+ algumas propostas e projetadas



# Sondas para os Corpos Menores

**Psyche** (NASA), lançado 2023, orbitará e estudará o asteroide metálico do mesmo nome, chegada prevista: 2029.

**Hera** (ESA), lançamento 2024, estudará o resultado do impacto de DART em Dimorphus

DESTINY+ (Japão), lançamento 2025(?), sobrevoará o asteroide 3200 Phaethon,

fonte da chuva de meteoros Geminídeas, e outros corpos menores

天问二号 (Tianwen-2, chinês), lançamento 2025(?),

coleccionará material do NEA 469219 Kamo'oalewa e estudará o asteroide ativo (cometa?) 311P/PanSTARRS.



Hera

orbitando

Didymos (interpretação artística)

# Sondas para o Sol

## Até agora

Pioneer 5-9, lançados 1960-1968, mediram o campo magnético solar e observaram vento solar, erupções, etc.

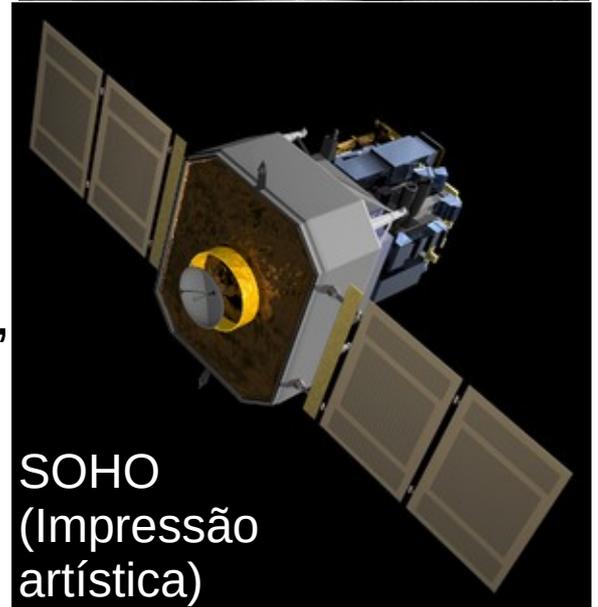
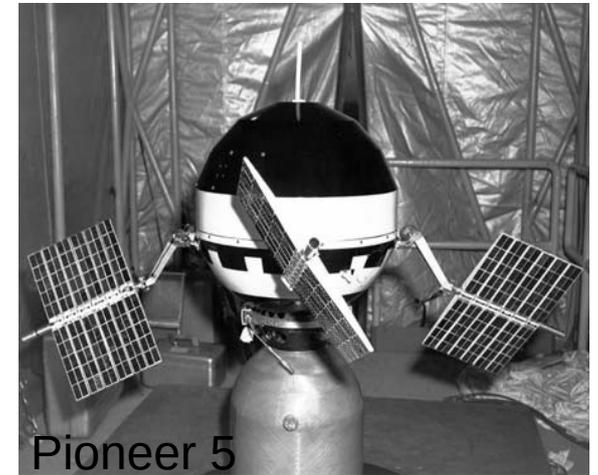
Helios A e B, 1974/1976, observaram vento solar, campos magnéticos e elétricos, raios cósmicos e poeira interplanetária

ISEE-3 (*International Sun-Earth Explorer-3*), 1978, estudou a interação entre o vento - e e campo magnético solar

WIND, 1994, estudando ondas rádio e plasma solares

SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*), 1996, explorando o Sol, e descobriu >4000 cometas

ACE (*Advanced Composition Explorer*), 1997, estudando raios cósmicos do Sol



SOHO  
(Impressão  
artística)

# Sondas para o Sol

Até agora

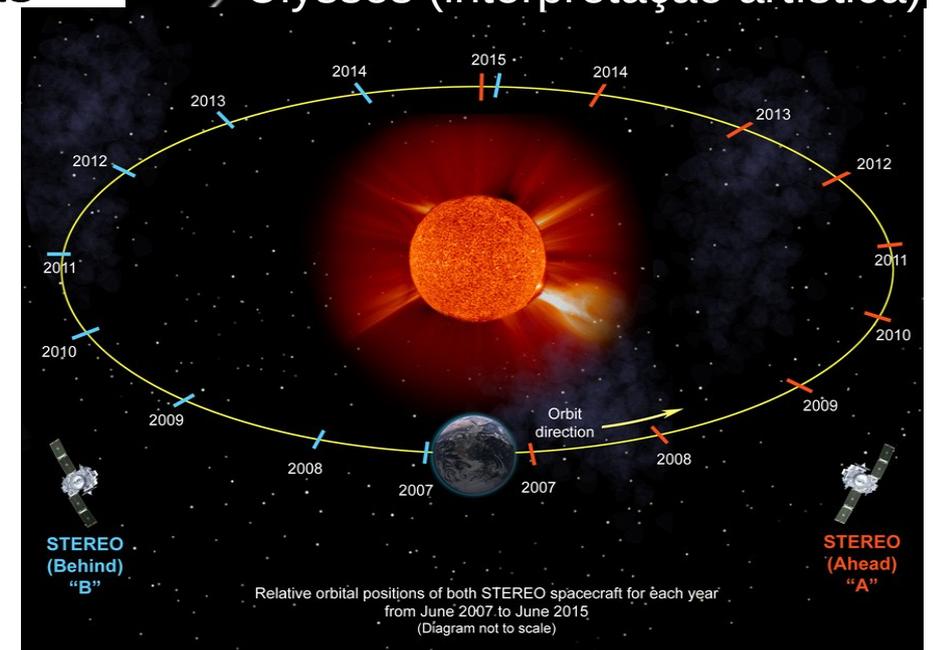
**Ulysses**, lançado 1990, orbitou o Sol de 1994 até hoje em uma órbita polar, parou a comunicação em 2009, examinou o campo magnético solar, o plasma do vento solar e raios cósmicos Galácticos.

Genesis, lançado 2001, trouxe amostras de partículas do vento solar pra Terra, mas se acidentou na aterrissagem (parte das amostras foram “salvas”)

**STEREO** (*Solar TERrestrial RELations Observatory*), lançados 2006, 2 orbitadores gêmeos, estão gerando imagens estereoscópicas e coletando dados 3D sobre o Sol e ejeções de massa coronal.



Ulysses (interpretação artística)



# Sondas para o Sol

## Sondas Recentes e Futuras

**DSCOVR** (*Deep Space Climate Observatory*), lançado 2015, monitora Terra e o clima espacial (vento solar)

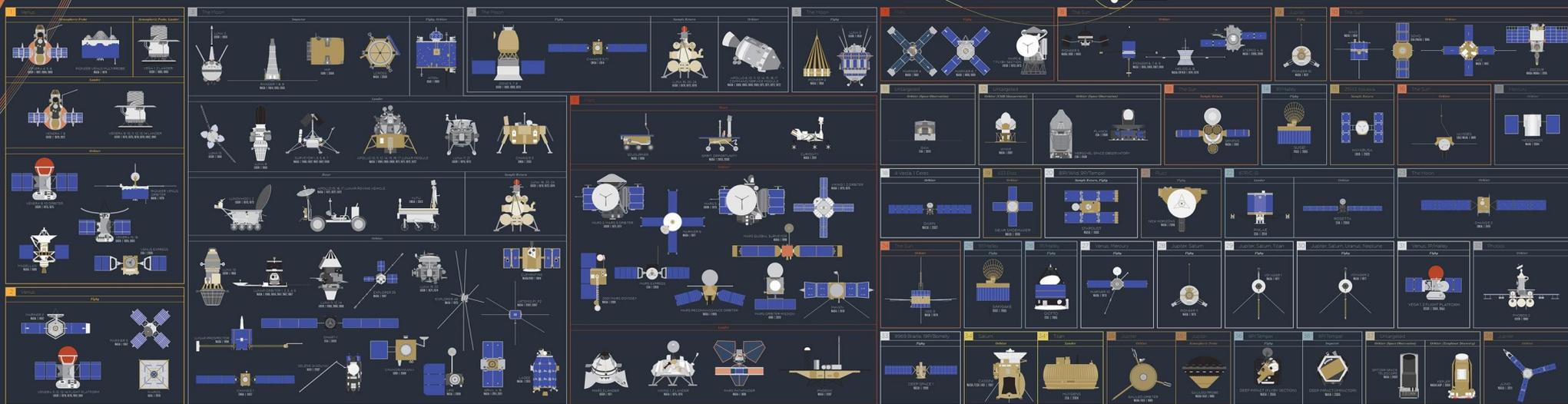
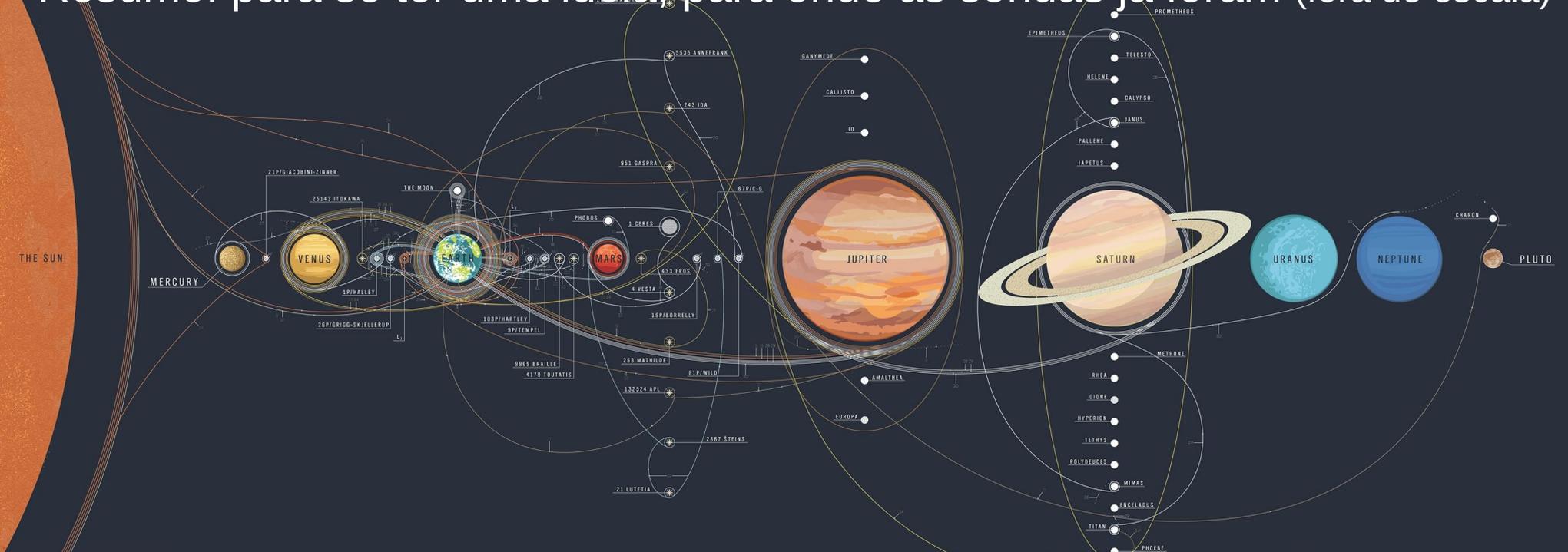
**Parker Solar Probe**, lançado 2018, orbitará o Sol (a 9.86 raios solares!), se aproxima ao Sol para fazer medidas diretas das partículas e energia provindas da coroa solar.

**Solar Orbiter** (SoO), lançado em 2020, orbitando o Sol (0.28 AU) para estudar como o Sol cria e controla a sua heliosfera.  
**CubeSat for Solar Particles (CuSP)**, lançado 16/11/2022, perdido



# Sondas

Resumo: para se ter uma ideia, para onde as sondas já foram (fora de escala)



## THE CHART OF COSMIC EXPLORATION

Original Mission  
Planned Mission  
Mission Status

Legend:  
● Venus  
● Mars  
● Jupiter  
● Saturn  
● Uranus  
● Neptune  
● Pluto

# Presença Humana no Espaço

Alguns conhecimentos astronômicos vêm das nossas visitas ao espaço fora da atmosfera terrestre.

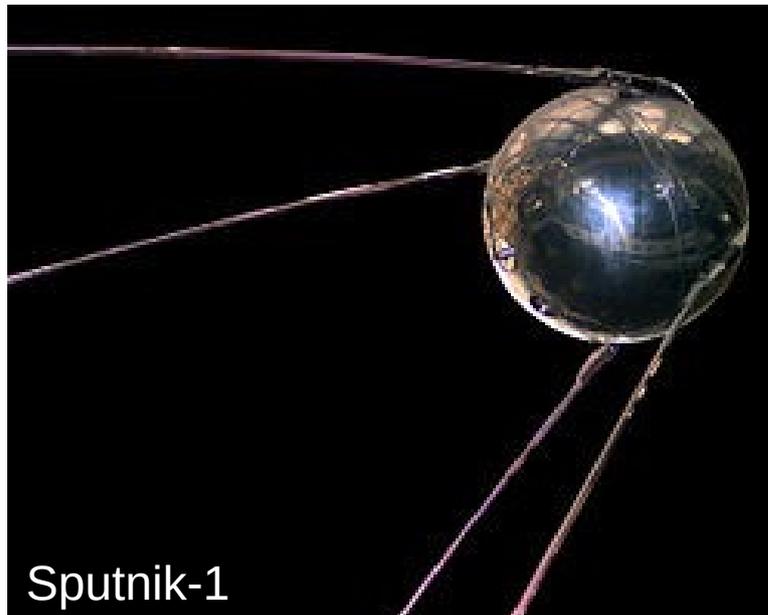
## Algumas datas históricas

~1947-~1991: A **Guerra Fria**,  
uma das frentes desta sendo:

1955-1969: A **Corrida Espacial**\*

1957: Спутник-1 (Sputnik-1):

**1º satélite  
artificial**



\*Algumas das sondas mencionadas nos slides anteriores também resultam da corrida espacial

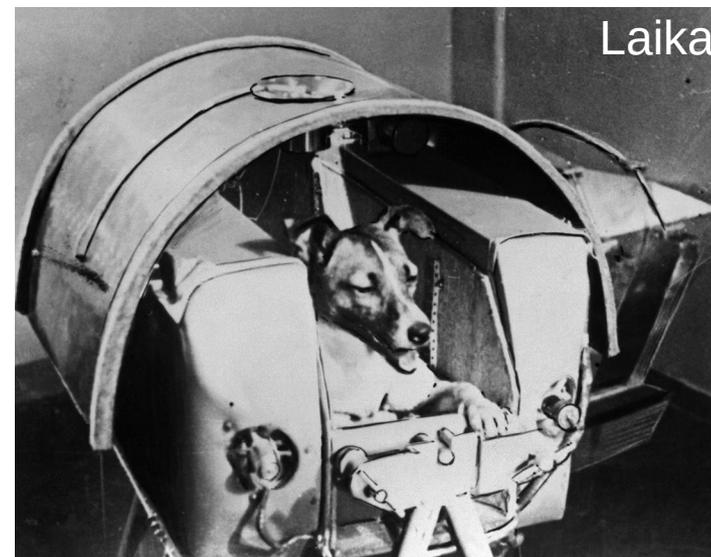
# Presença Humana no Espaço

## Algumas datas históricas

1957: **1º ser vivo no espaço:**  
A cachorra Лайка (Laika)  
ao bordo da Спутник-2 (Sputnik-2)

1961: **Primeira pessoa no espaço:**

Юрий Гагáрин  
(Yuri Gagarin)  
ao bordo da Востóк-1  
(Vostok-1)



1965: Алексéй Леóнов (Alexei Leonov):  
Primeiro passeio espacial em torno  
da espaçonave Вoсход-2 (Voskhod-2)

1967-hoje: **Naves espaciais Союз (Soyuz)**

# Presença Humana no Espaço

## Algumas datas históricas

1969: missão **tripulada** numa **órbita lunar** na Apollo 8  
(Frank Borman, James Lovell e William Anders)

1969: **Primeiras pessoas na Lua** (dia 20/07):  
Neil Armstrong e Buzz Aldrin  
ao bordo da Apollo 11

1971: **1ª Estação espacial** Салют-1 (Salyut-1)

1975(1981) - 2011: ônibus espaciais *Space Shuttles*  
2 explodiram: 1986, o Challenger,  
e 2003, o Columbia



Buzz Aldrin na Lua



Um dos *Space Shuttles*

# Presença Humana no Espaço

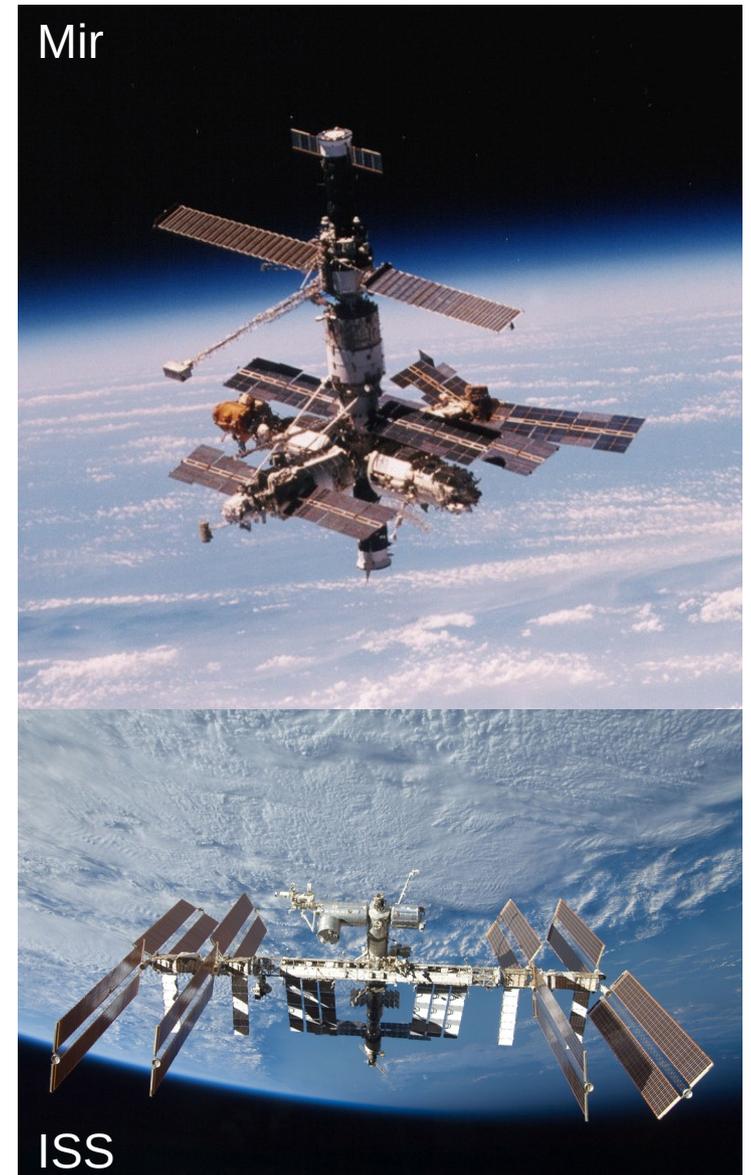
## Algumas datas históricas

1986(1996)-2001: Estação espacial **Мир**  
(Mir)

ao bordo deste ocorreu a mais longa estadia de uma pessoa no espaço:  
Валерий Поляков (Valeri Polyakov),  
437 d 18 h

1998(2011)-2030(?): Estação espacial **ISS**  
(*International Space Station*),  
tripulada ininterrompidamente desde  
2000

visível a olho nú!



# Presença Humana no Espaço

## Algumas datas históricas

2001: 1º turista espacial: Dennis Tito

2006: 1º brasileiro no espaço:

Marcos Cesar Pontes

2008: 1º foguete comercial no espaço  
(Dragon da empresa SpaceX)

Esta empresa também construiu o primeiro foguete reutilizável (Falcon 9, 2017), e pretende mandar gente para Marte (previsão deles: 1ª chegada a partir de 2029) em parceria com a NASA e ainda sonha em colonizar o planeta vermelho.

Recentemente, o ex-presidente dos EUA, Donald Trump, também mencionou intenções para a volta humana à Lua e a ida para Marte.



Marcos Pontes



Foguete *Dragon*

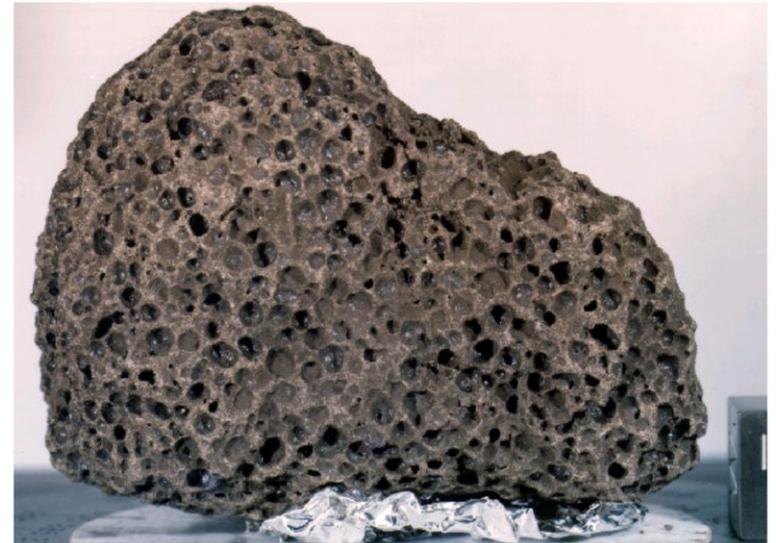
# Além de Telescópios

Voltando pro chão:

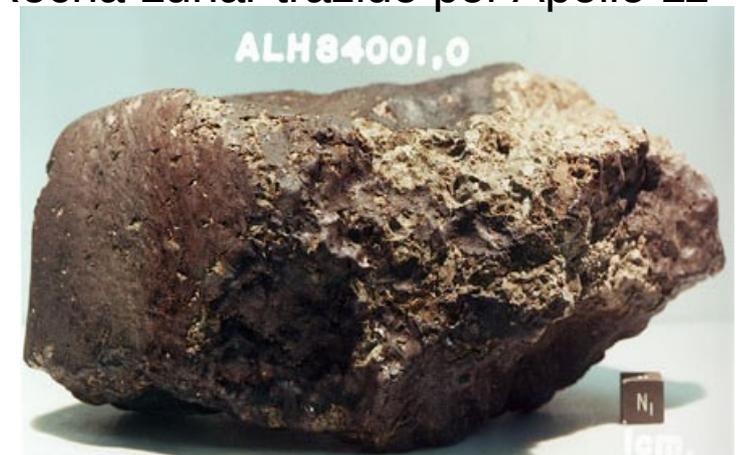
## Outras fontes de informação

No caso da nossa **Lua**, também obtivemos informação de **material** trazido pra **Terra** por **sondas** e **visitas pessoais**,

e no caso da Lua e de **Marte**, por **meteoritos** encontrados na Terra, mas provindo do satélite natural / do planeta irmão (até agora, 8 de Marte).



Rocha Lunar trazido por Apollo 11



Meteorito que originou em Marte



Universidade Federal do ABC

# Noções de Astronomia e Cosmologia

## FIM PRA HOJE

