

Paralaxe, Precessão, Nutação, Aberração

Telescópios e Montagens

R. Boczko e R. Costa
IAG-USP

O que é Paralaxe? Para que serve?

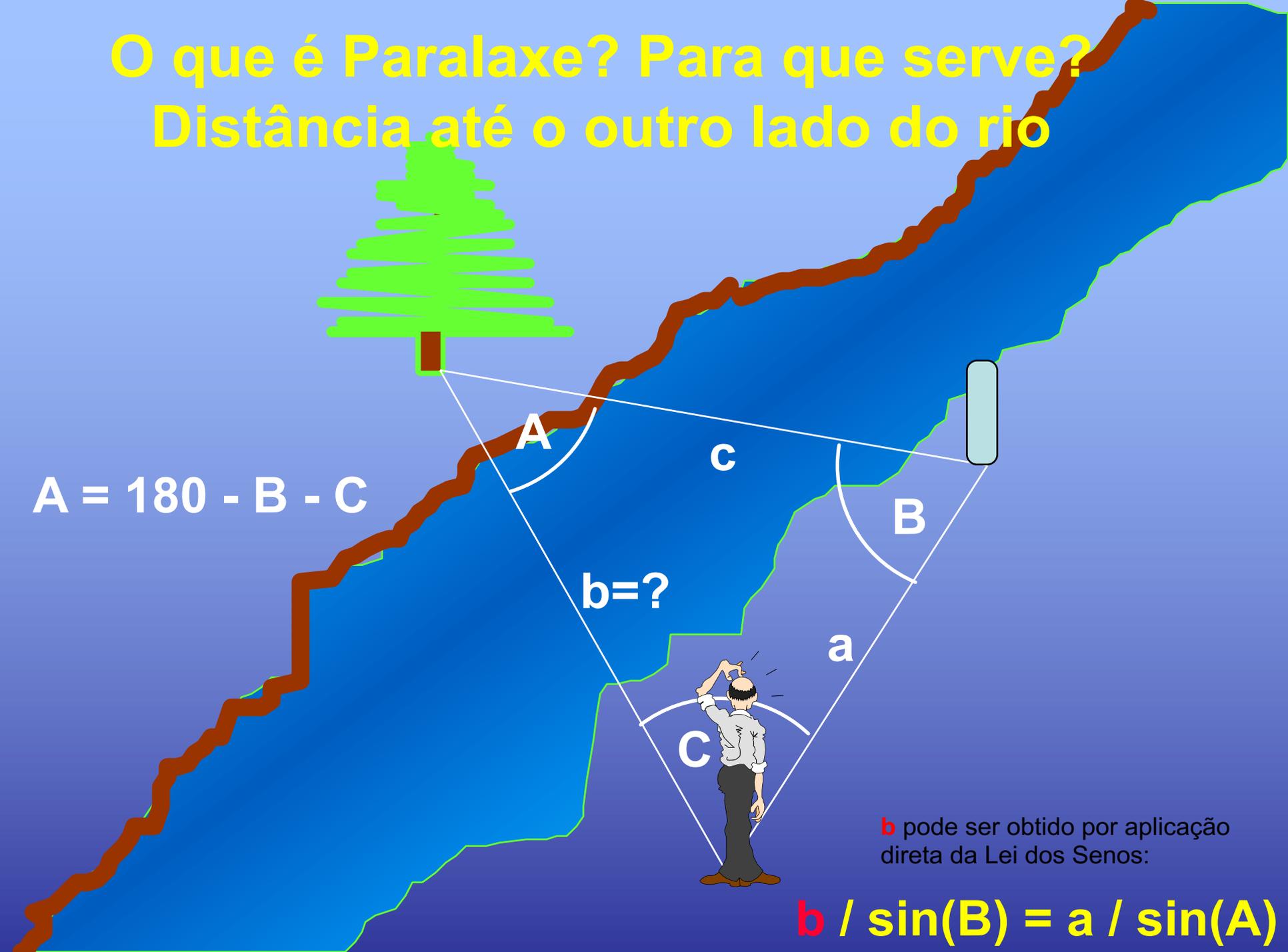
Distância até o outro lado do rio

$$A = 180 - B - C$$

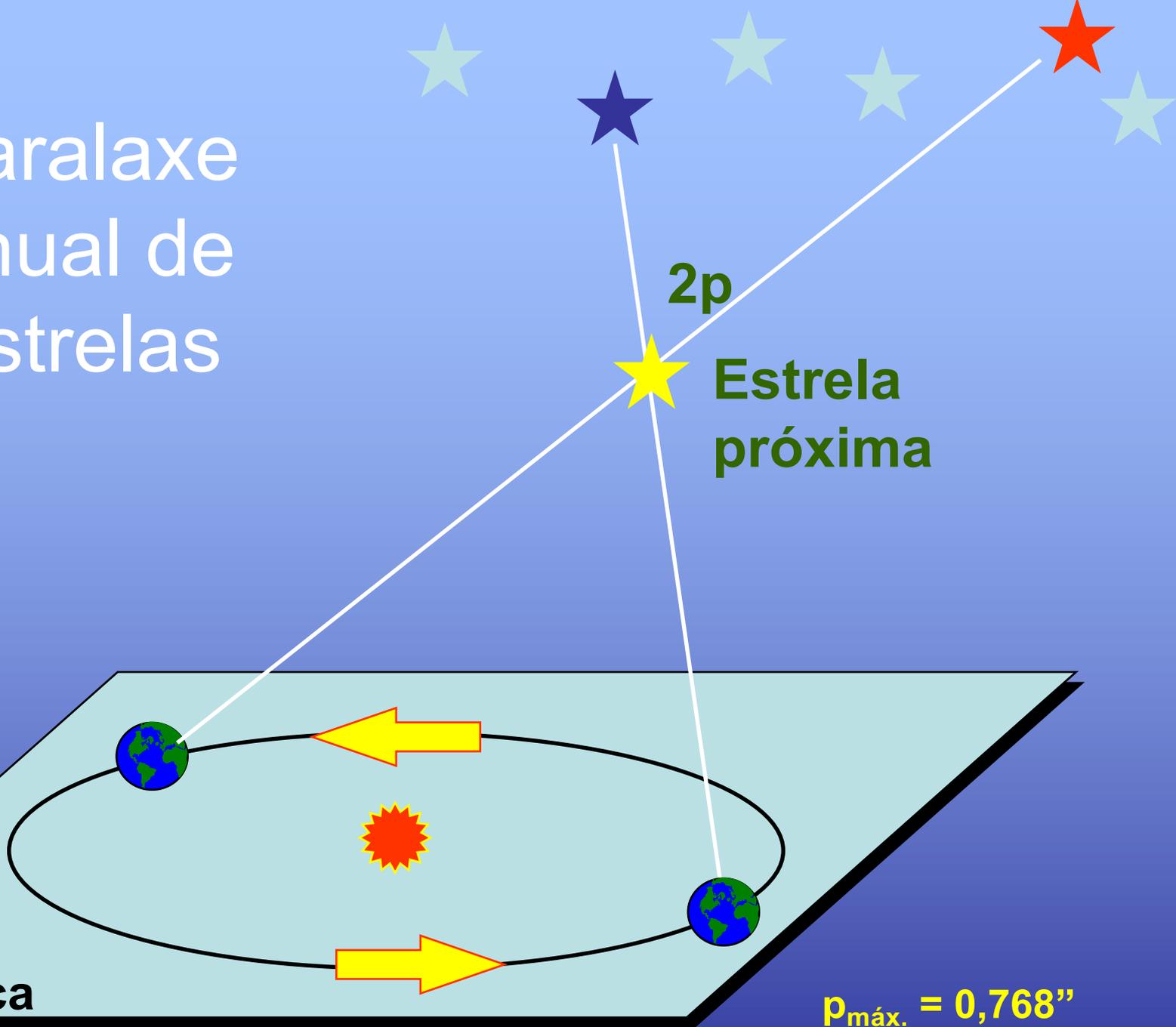
$b = ?$

b pode ser obtido por aplicação direta da Lei dos Senos:

$$b / \sin(B) = a / \sin(A)$$



Paralaxe anual de estrelas



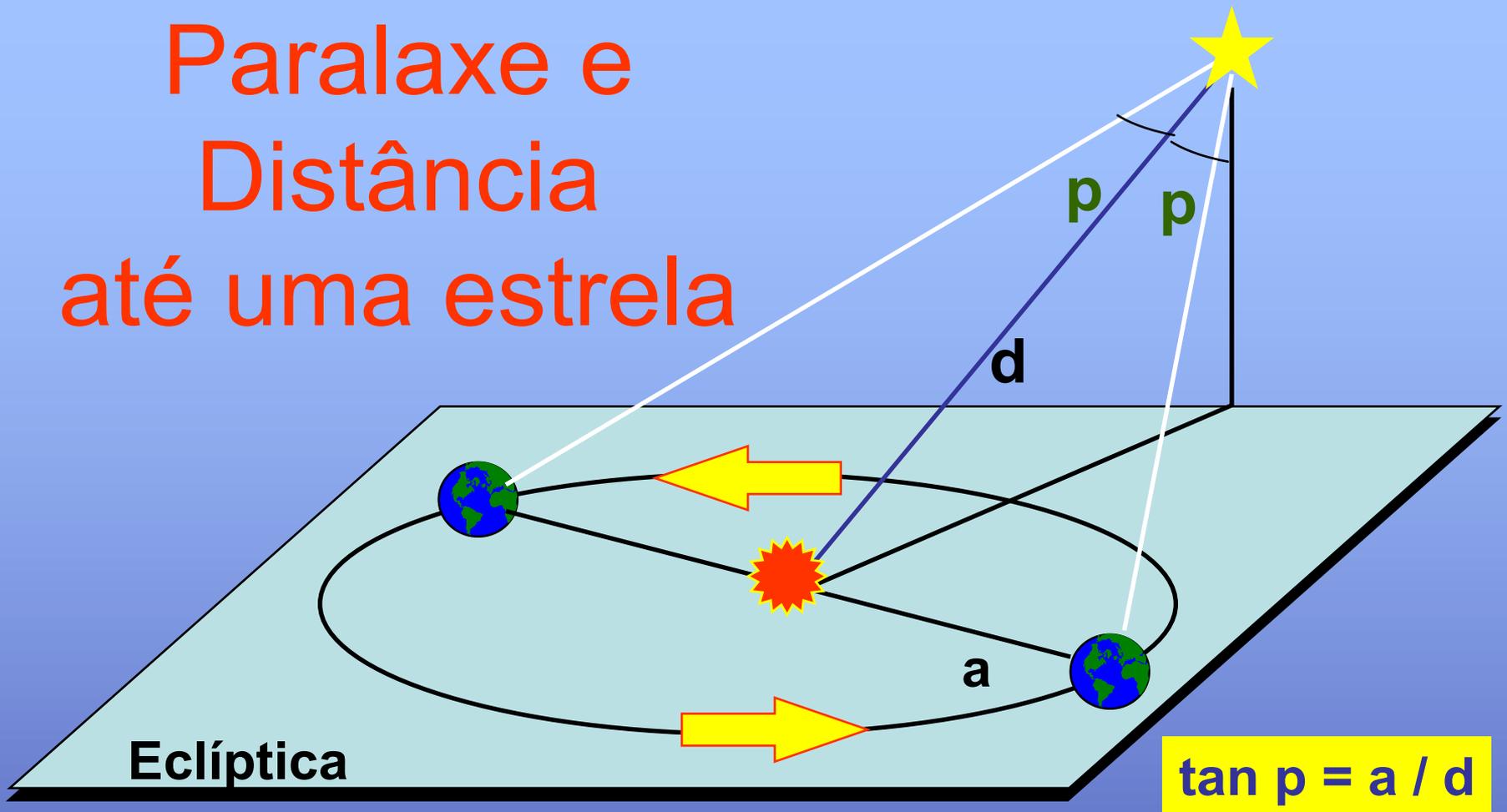
$2p$

Estrela próxima

Eclíptica

$\rho_{\text{máx.}} = 0,768''$

Paralaxe e Distância até uma estrela



Mas p é muito
pequeno, logo
 $\tan p = p^{\text{rad}}$

$$p = a / d$$

Paralaxe anual
de uma estrela

Distância a
uma estrela

$$d = a / p$$

Unidades envolvidas
com a paralaxe

Unidades para a paralaxe

$$p^{\text{rad}} = a / d$$

$$\pi^{\text{rad}} \rightarrow 180^{\circ}$$

$$1^{\text{rad}} \rightarrow x^{\circ}$$

$$x^{\circ} = 180 / \pi$$

$$1^{\text{rad}} = 57,295.779.513^{\circ}$$

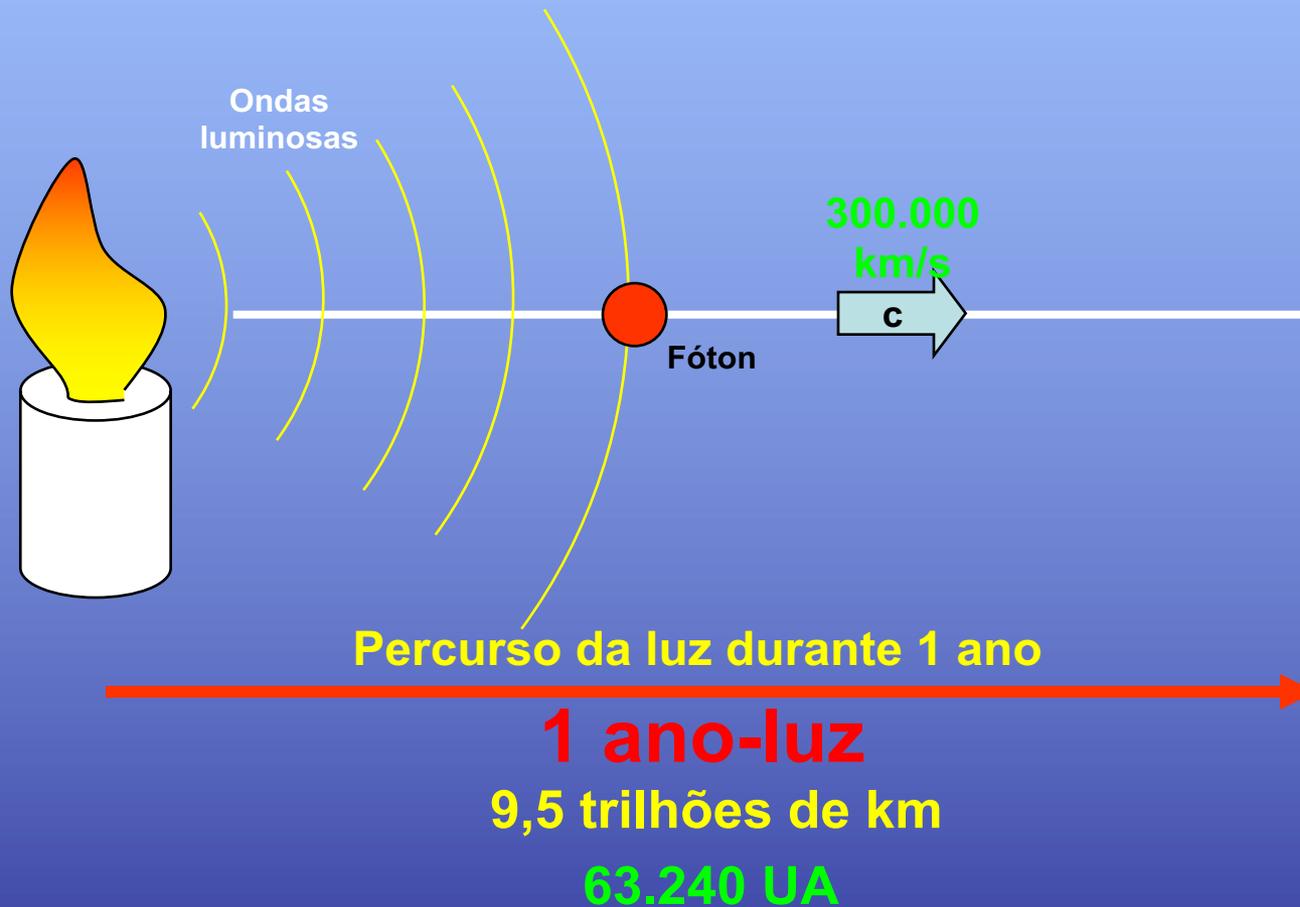
$$1^{\text{rad}} = 57,295.779.513^{\circ} \times 3600''$$

$$1^{\text{rad}} = 206264,806.247.096''$$

$$1^{\text{rad}} \cong 206.265''$$

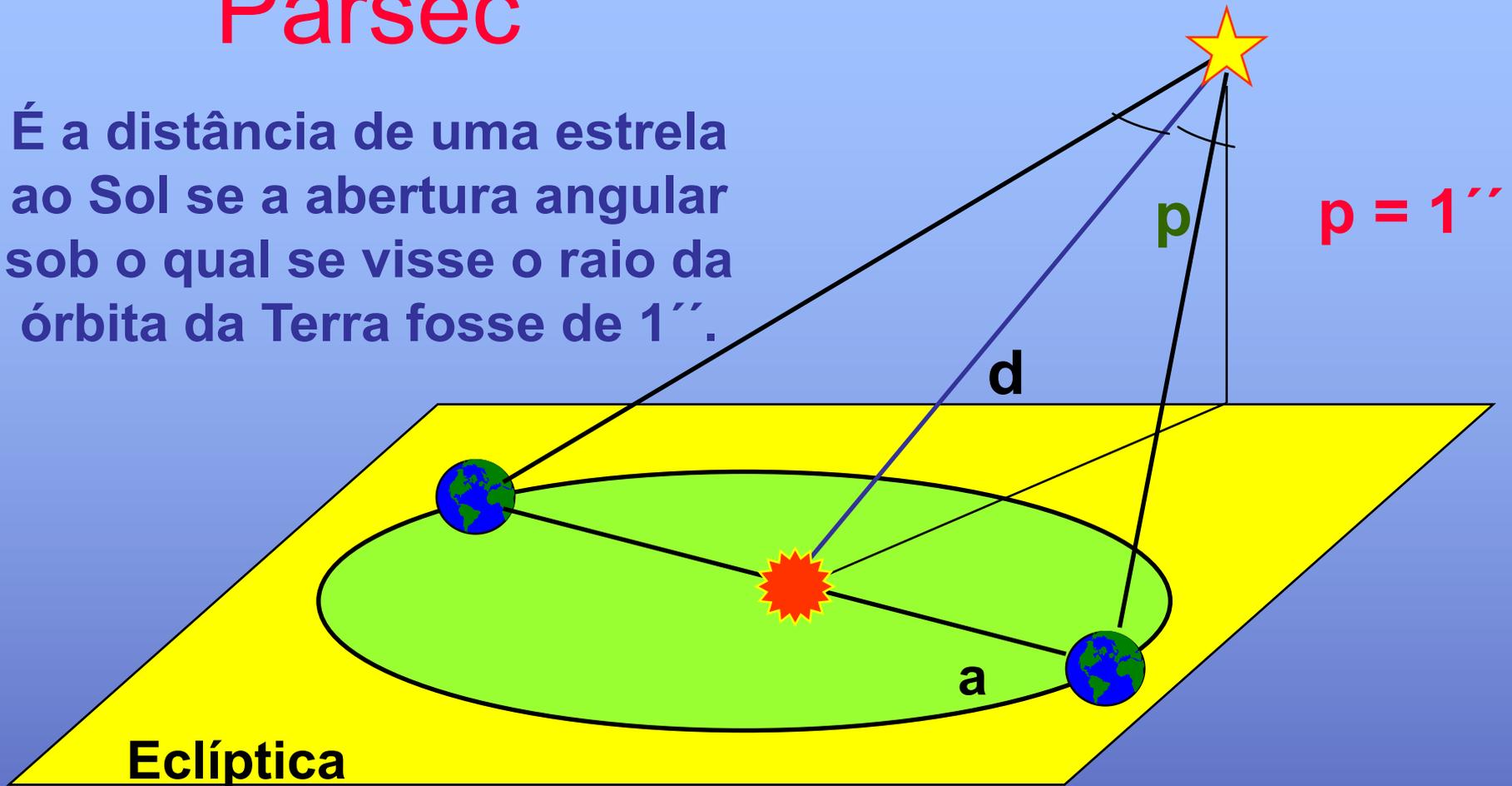
$$p'' = 206.265'' a / d$$

Ano-luz



Parsec

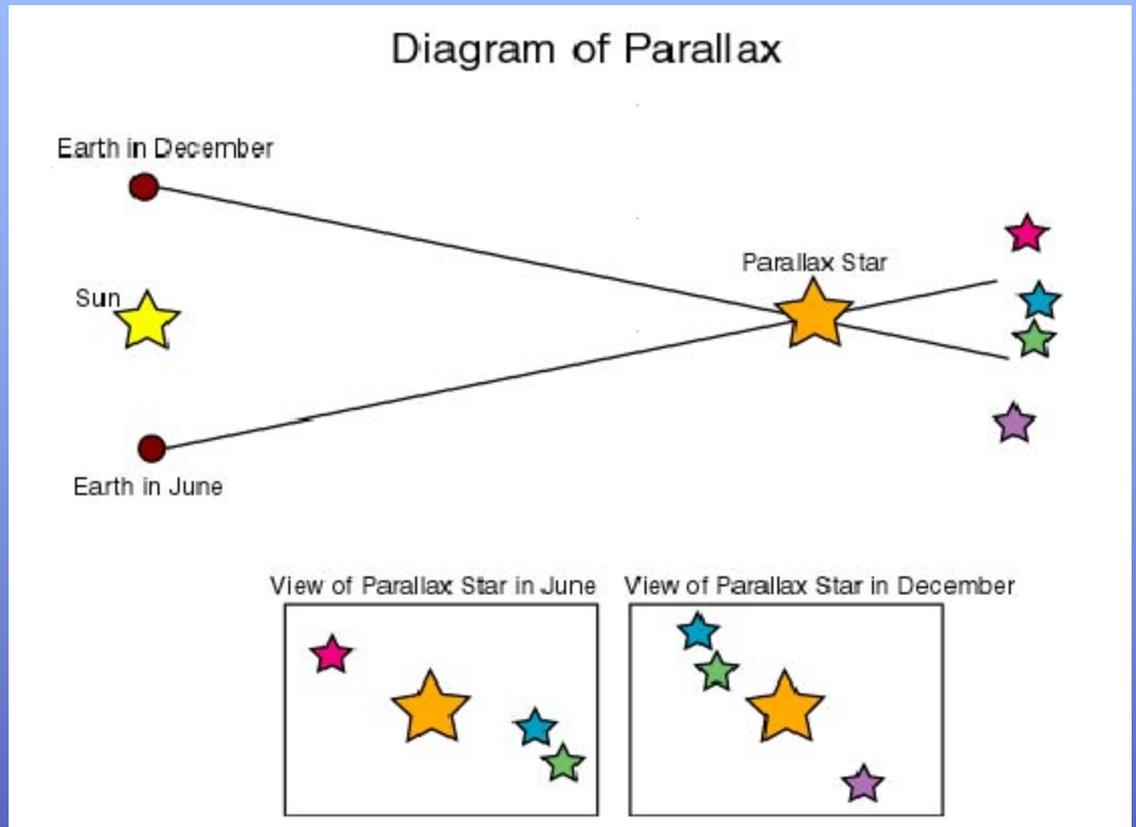
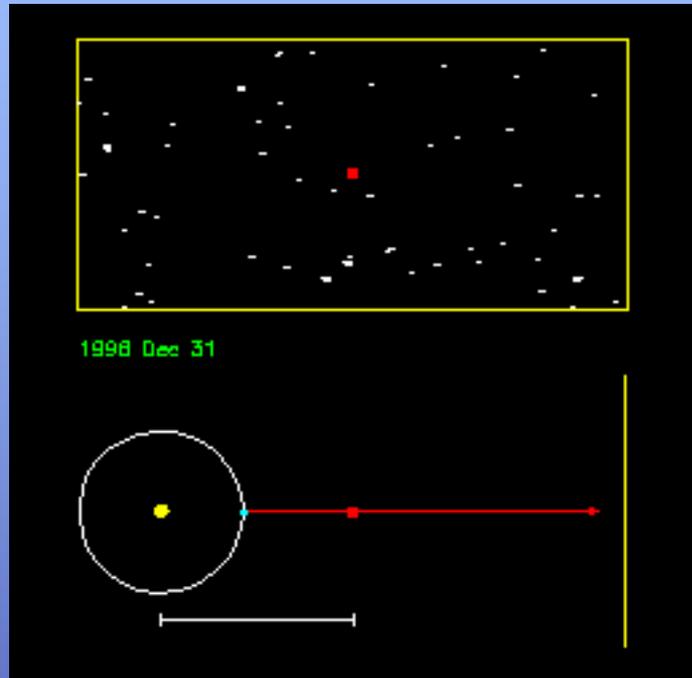
É a distância de uma estrela ao Sol se a abertura angular sob o qual se visse o raio da órbita da Terra fosse de $1''$.



Se $p = 1''$ então $d = 1$ parsec = 1 pc

1 pc = 3,26 anos-luz

Paralaxe



Precessão e nutação

Causas:

Efeitos gravitacionais que deslocam os planos fundamentais de referência

Efeitos:

Mudanças temporais nas coordenadas de um astro

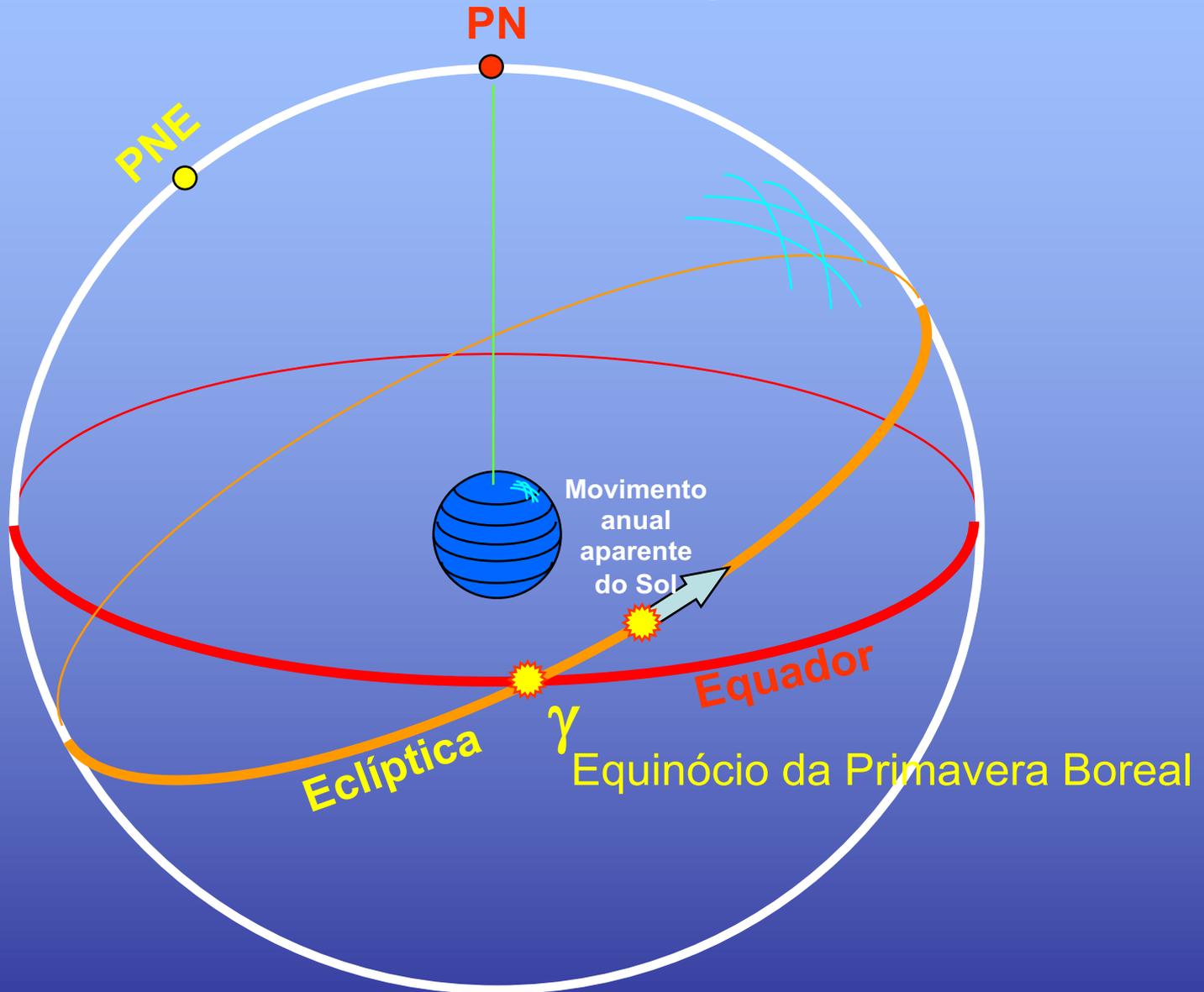
Classificação dos Efeitos:

- **Precessão**: variações de longo período
- **Nutação**: variações de curto período

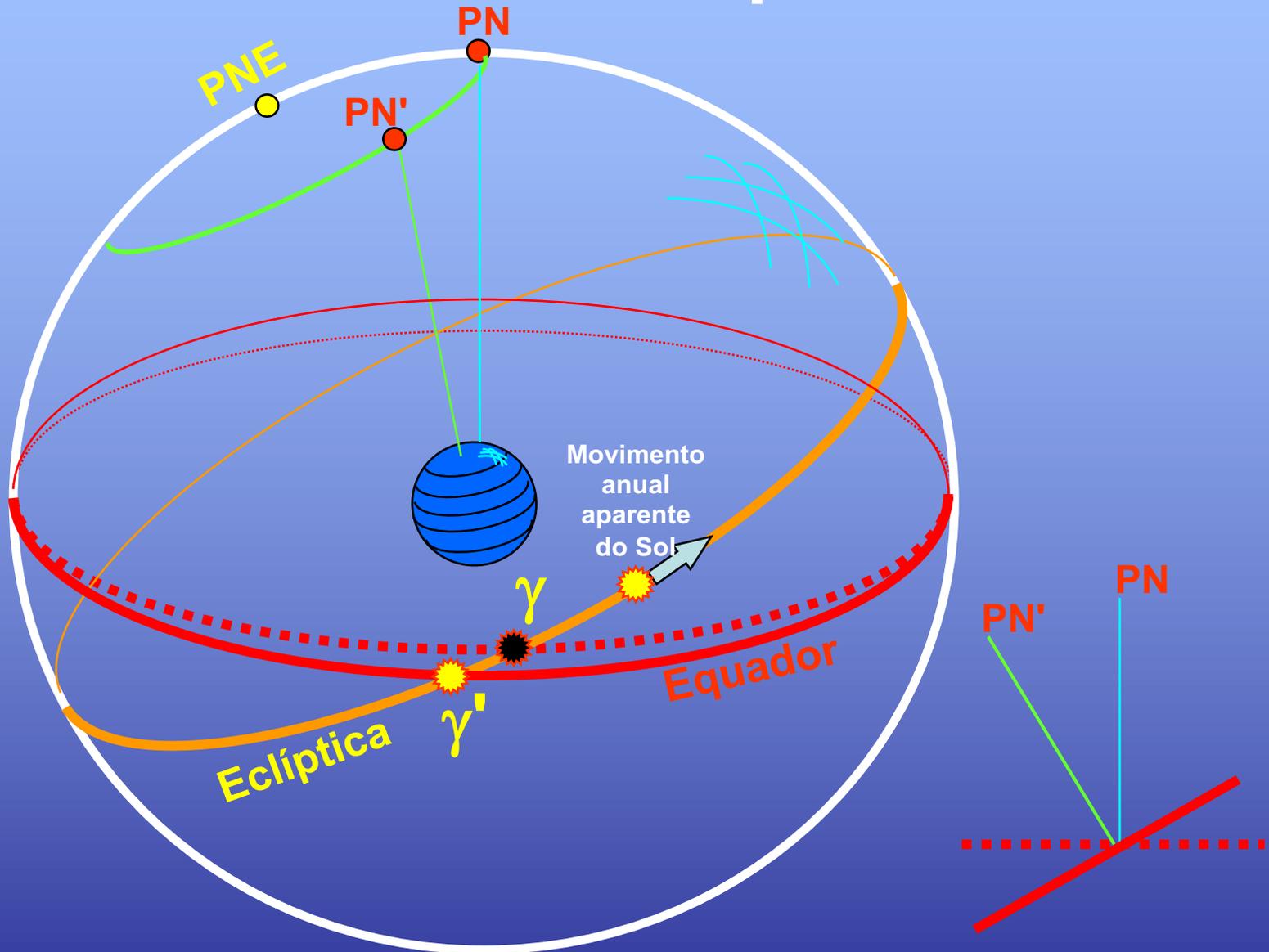
Precessão e nutação



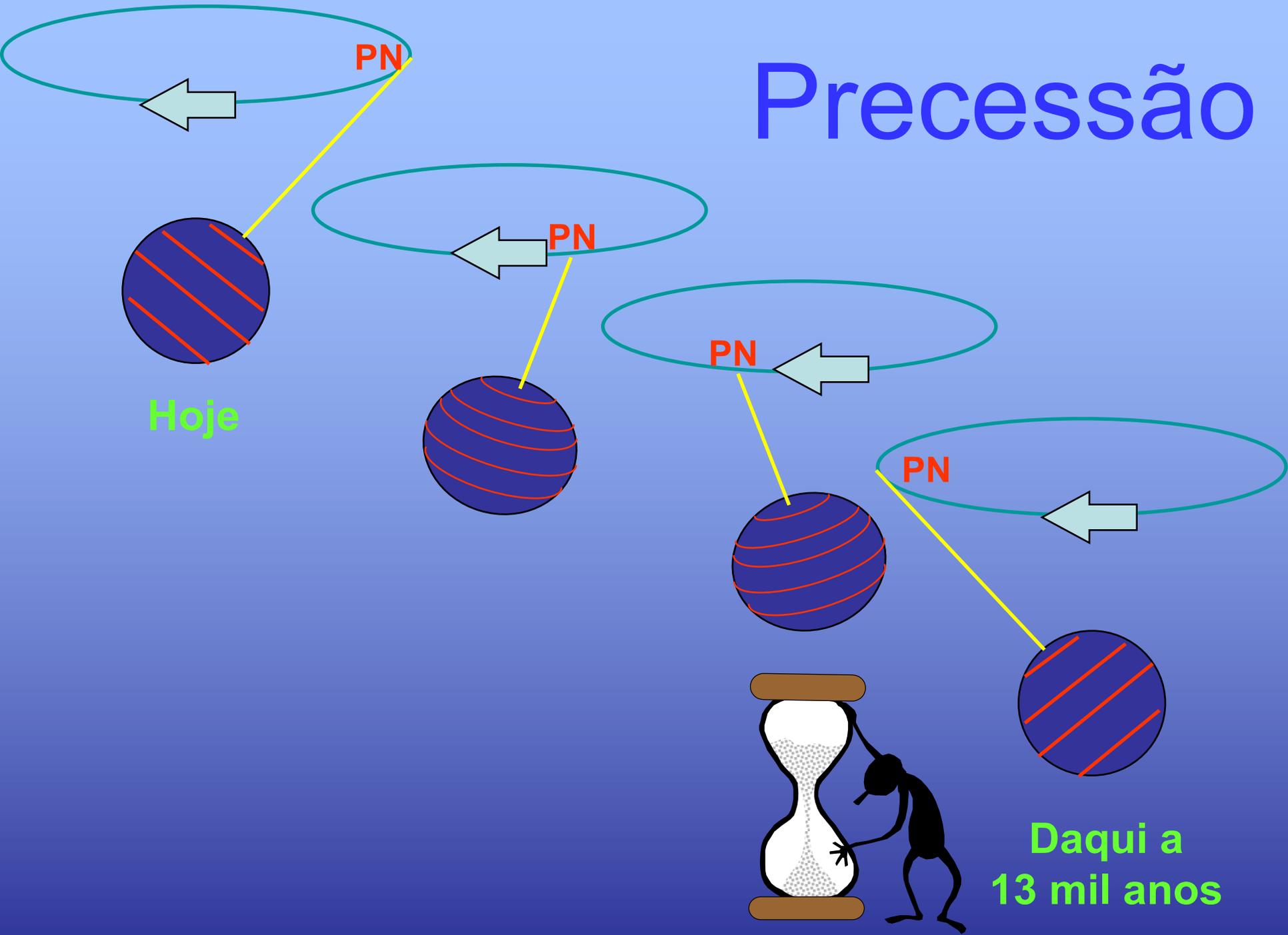
Precessão dos equinócios



Precessão dos equinócios



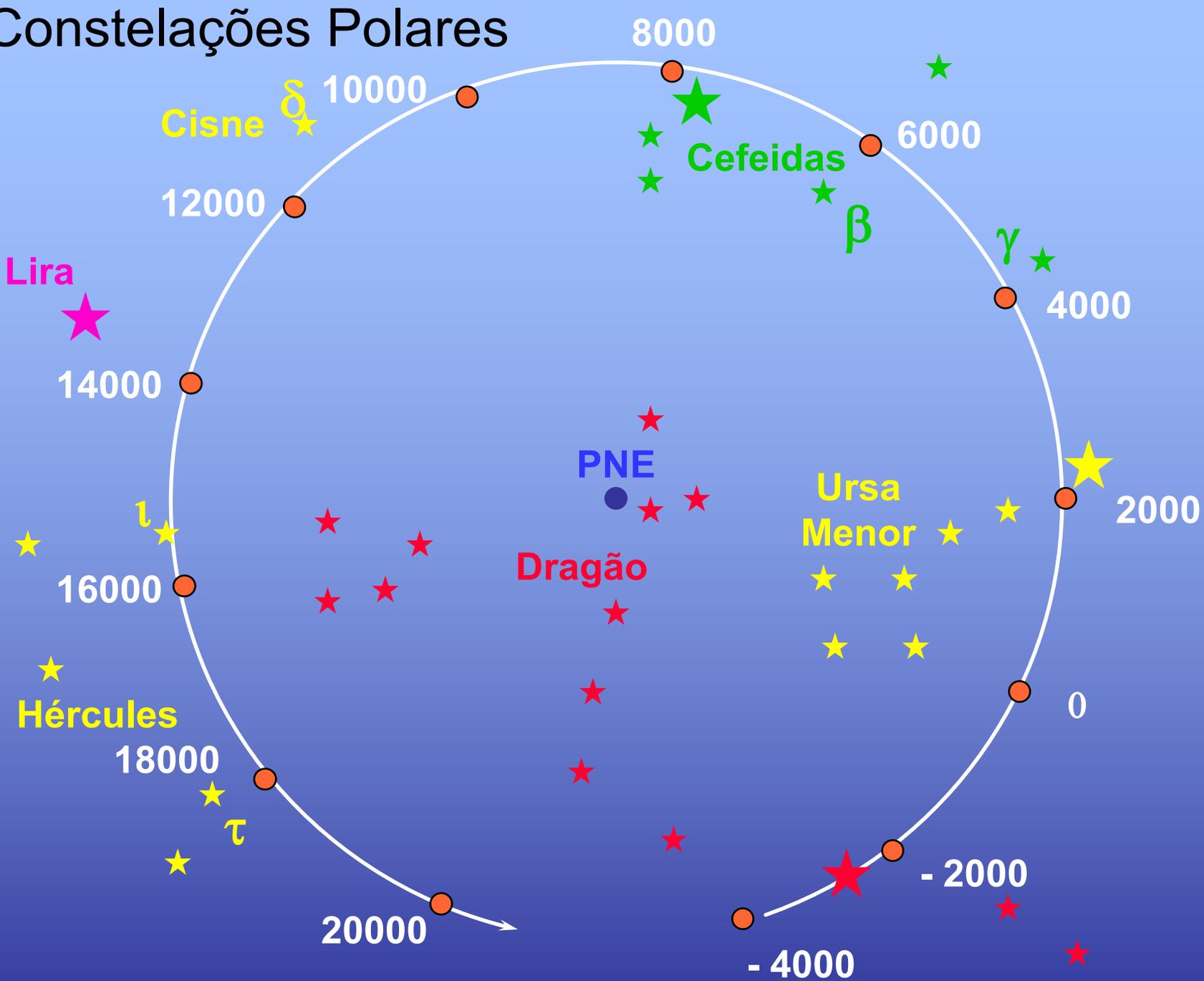
Precessão

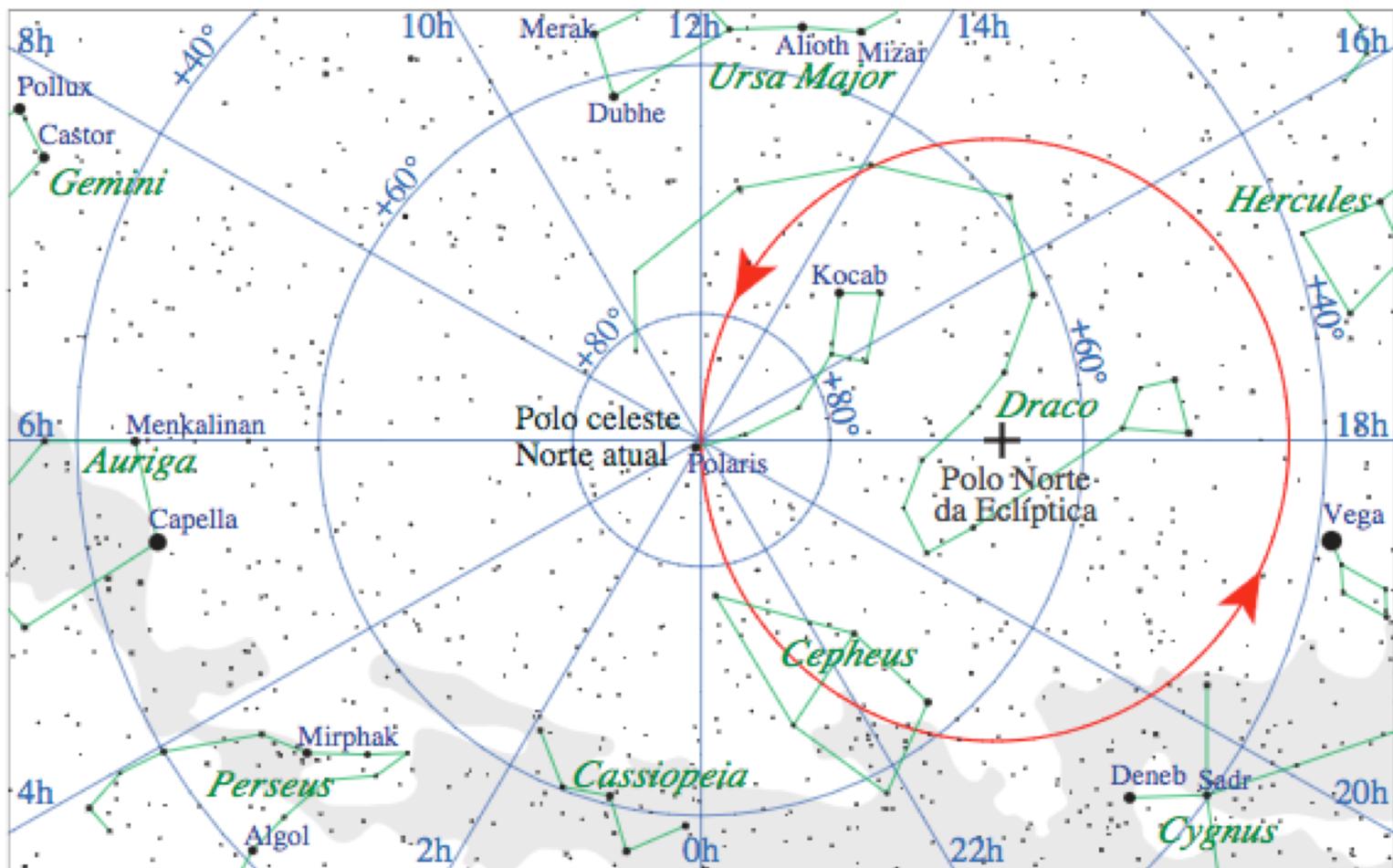


Hoje

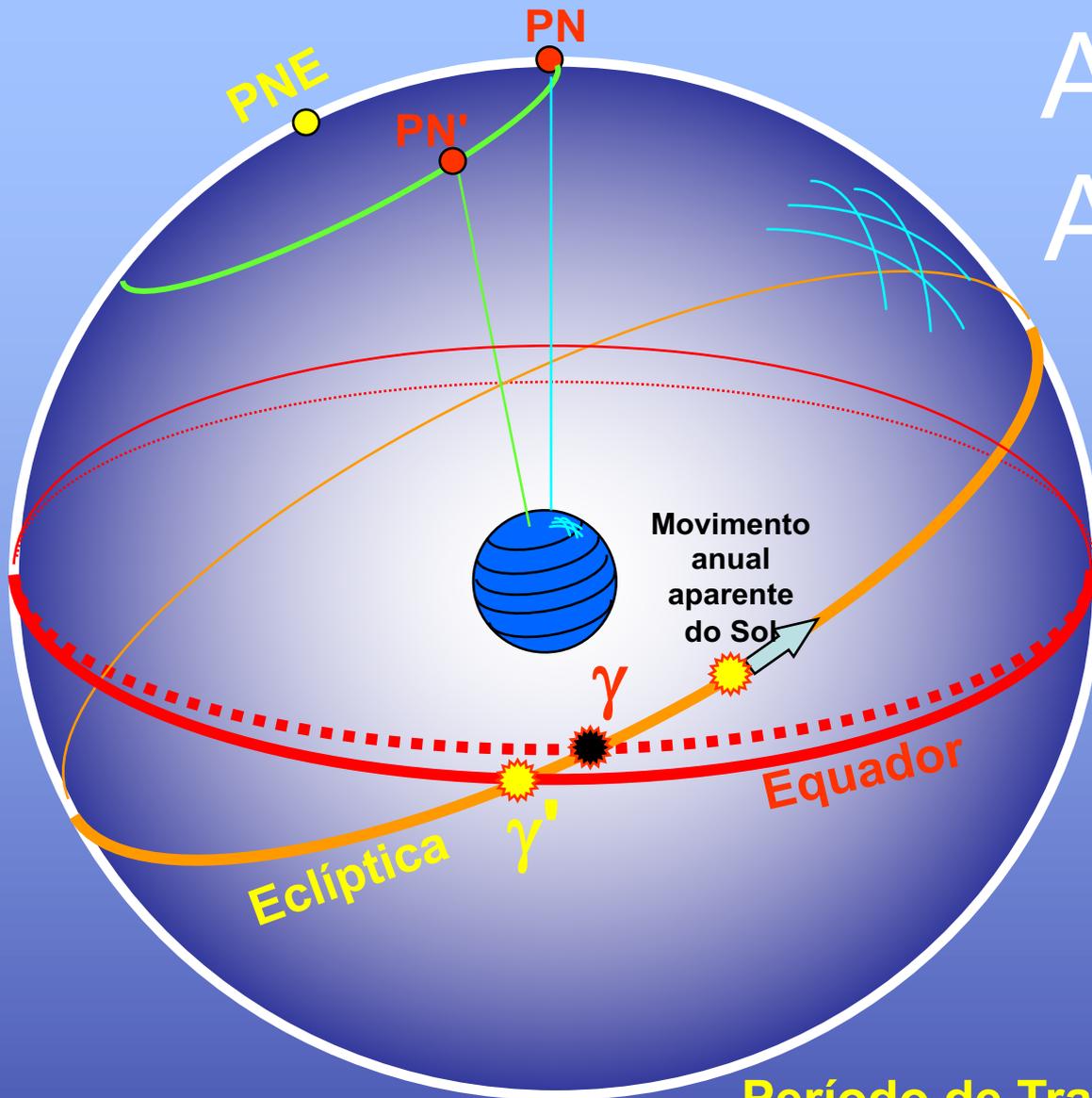
Daqui a
13 mil anos

Constelações Polares





Ano Solar e Ano Sideral

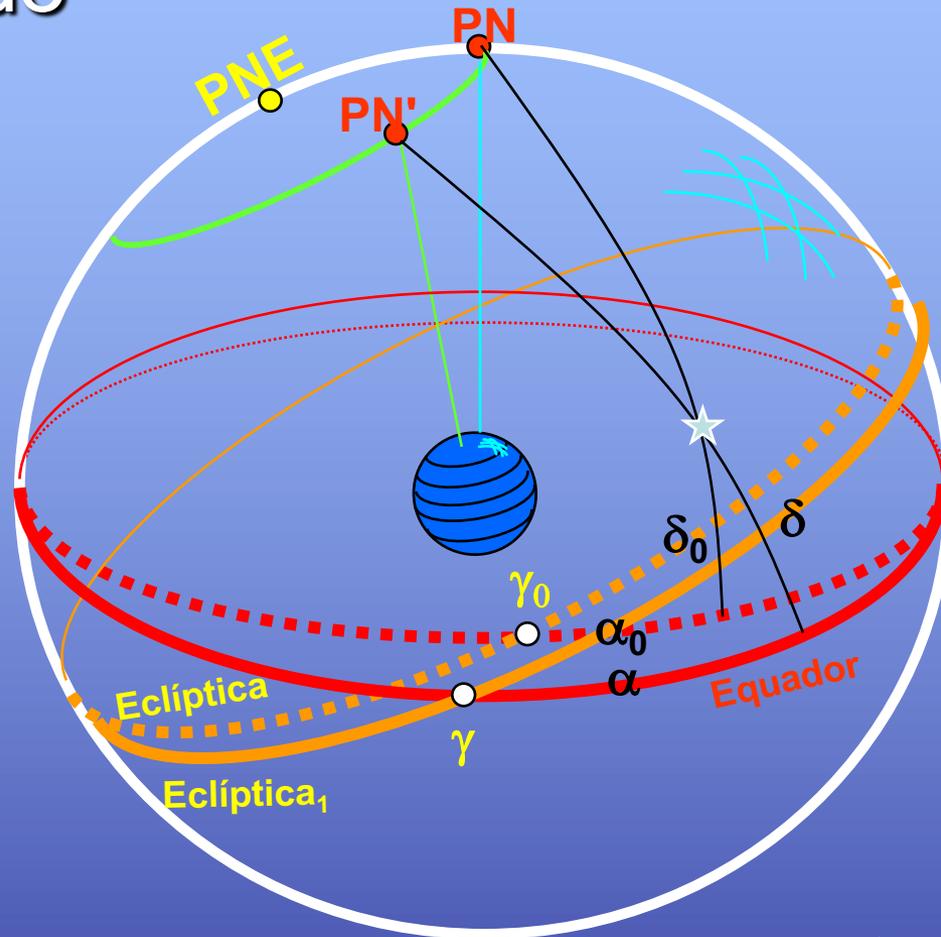


Período de Translação = 365d06h09m09s

Ano Trópico = 365d05h48m46s

Consequência: as estações **NÃO** mudam com a precessão.

Variação nas coordenadas equatoriais devido à precessão

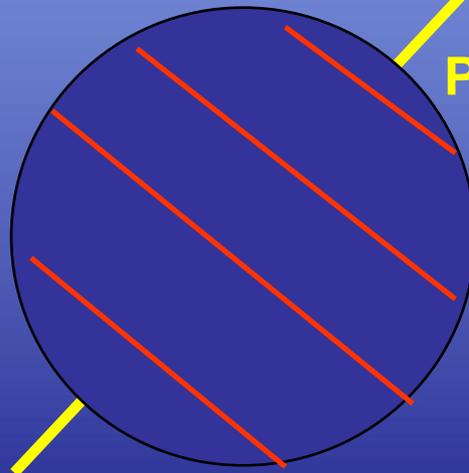
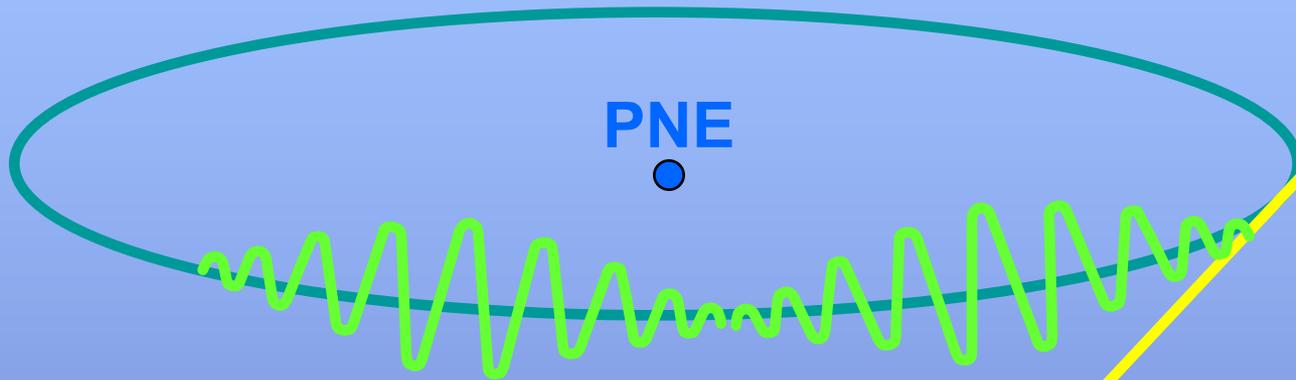


- **Coordenadas na época** = α_0, δ_0
- **Coordenadas na data** = α, δ

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0$$

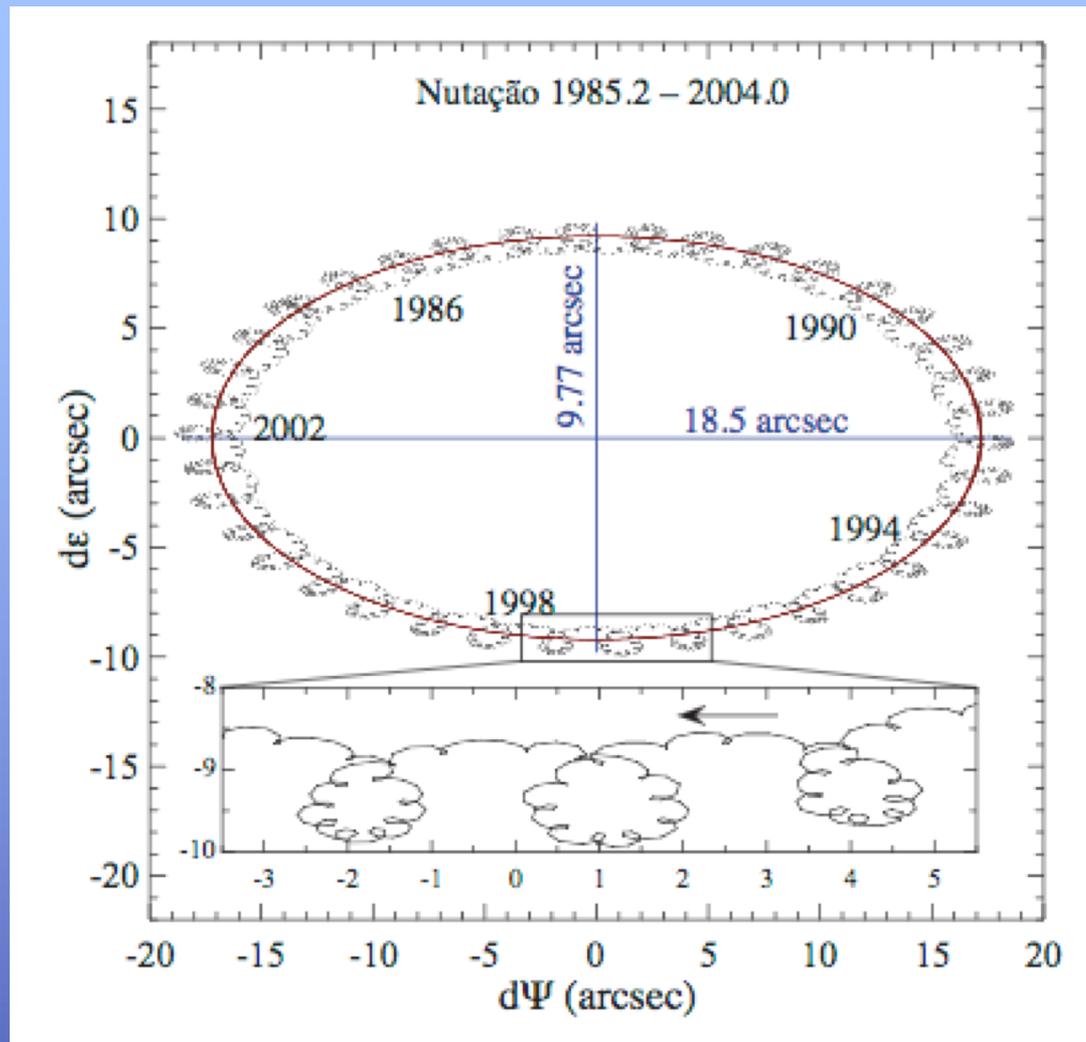
$$\Delta\delta = \delta - \delta_0$$

Nutação



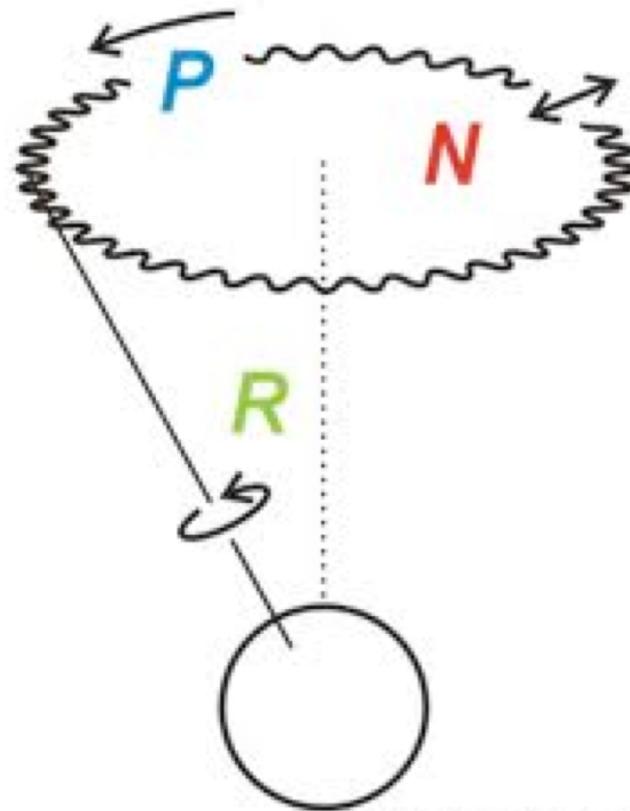
PN

Nutação
É a flutuação dos planos de referência em torno de um plano médio.
Costuma-se dizer que a nutação é a parte oscilatória de pequeno período.



Variação da obliquidade ($d\epsilon$) e longitude ($d\Psi$) devido à nutação. A elipse representa o principal termo da nutação de 18,6 anos. Em destaque, detalhe do movimento de nutação.

Precession (P) and Nutation (N)

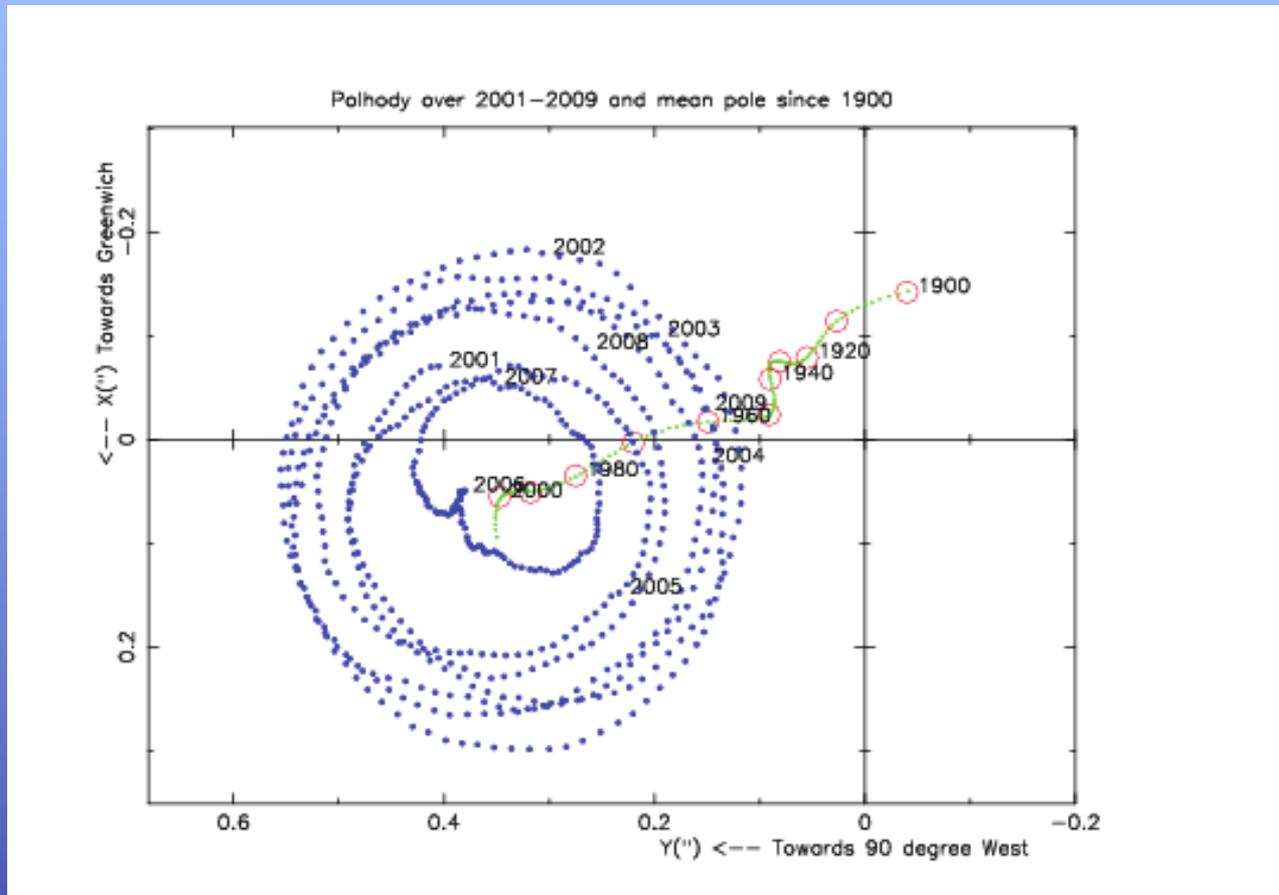


Creative Commons Herbye

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

Polôdia

Movimento dos polos resultante da combinação das interações com os corpos do sistema solar com a estrutura do interior da Terra



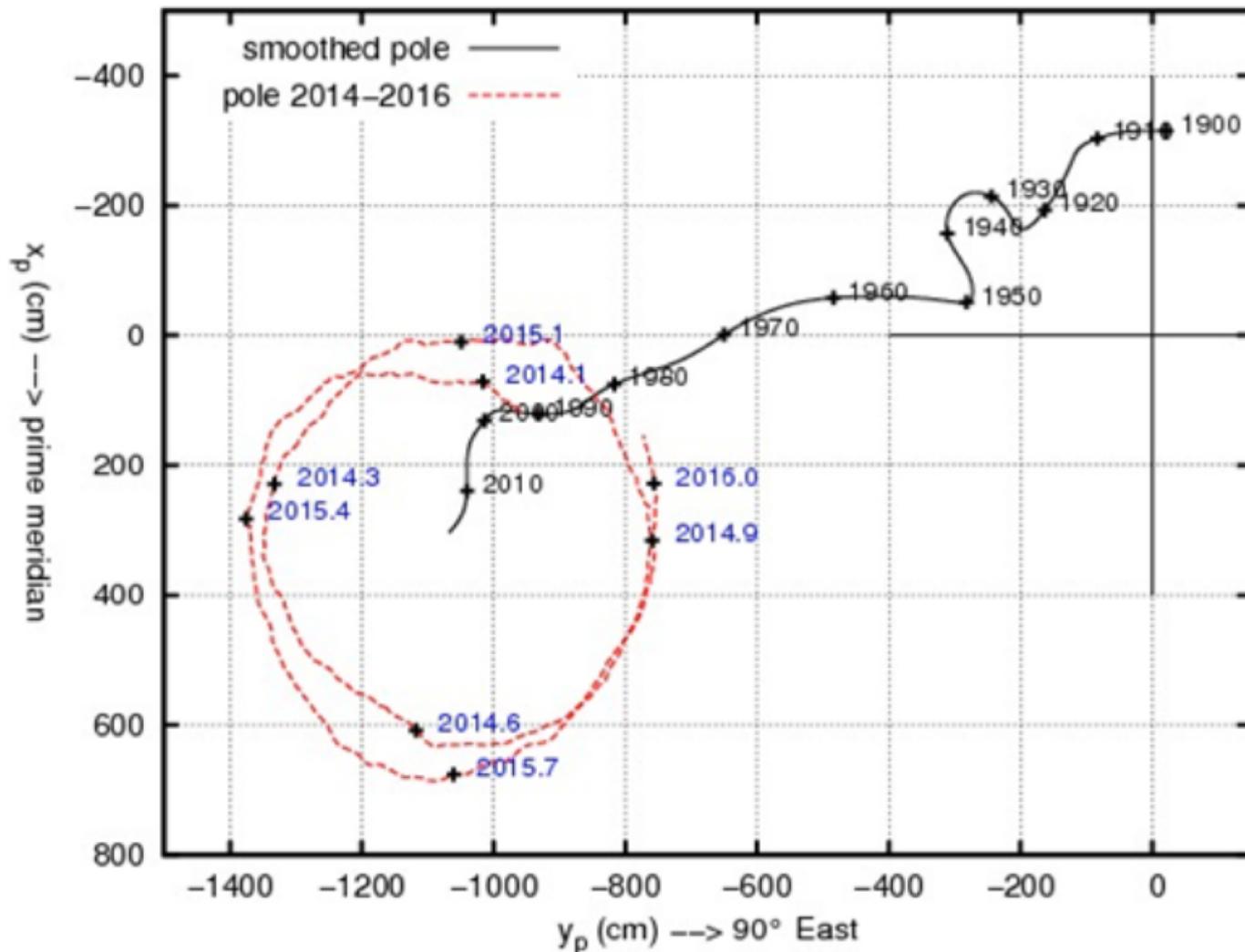
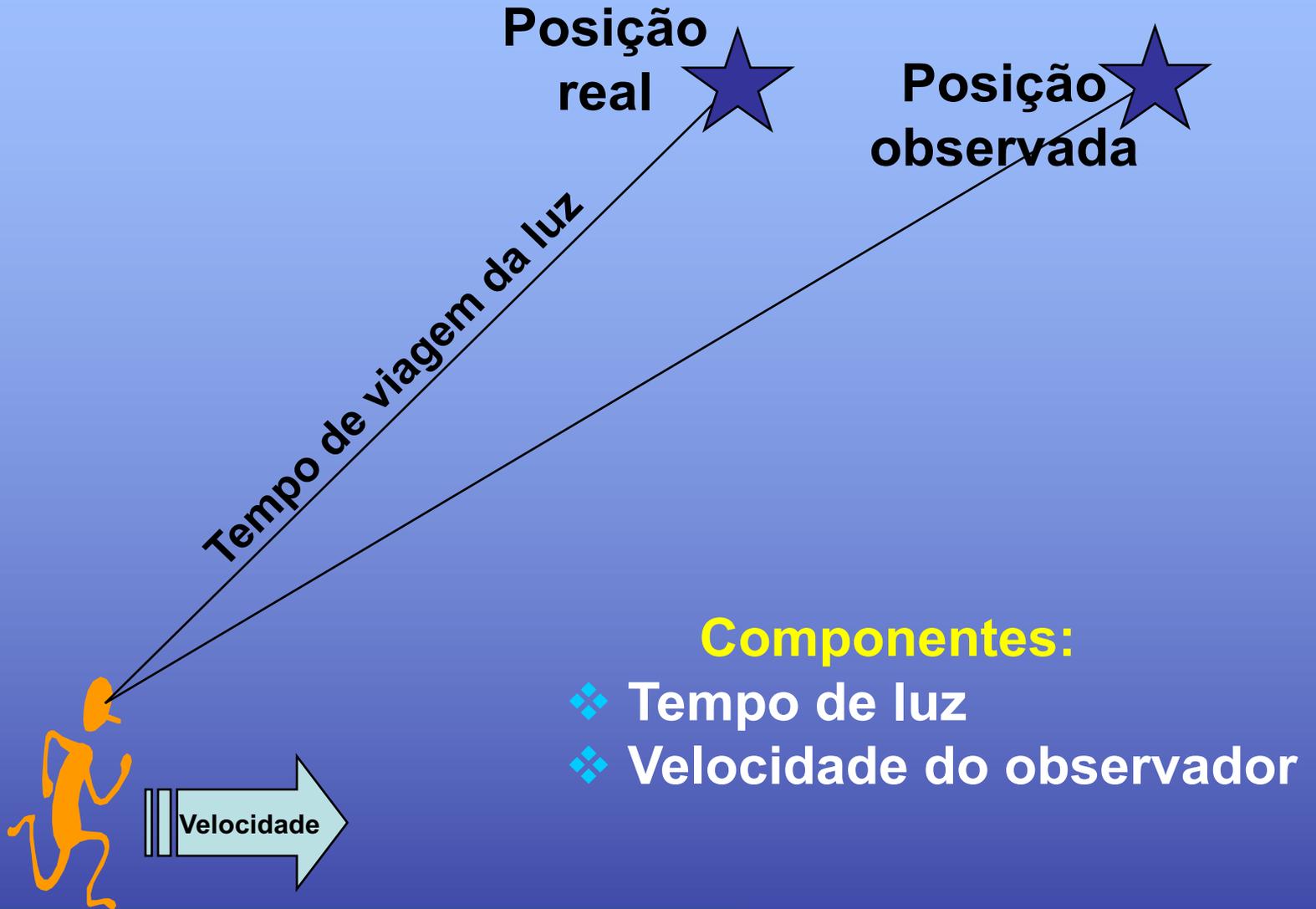
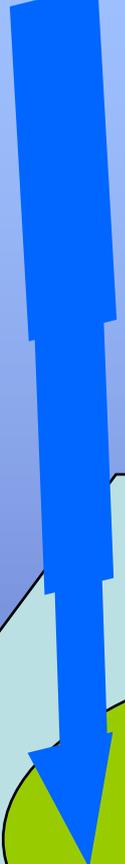


Fig. 1: Mean polar motion (1900–2016.0) and IERS C04 polhody over 2014–2016.0.

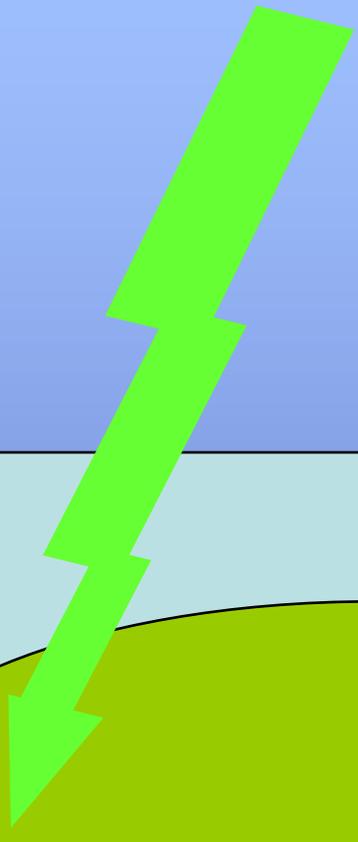
Aberração



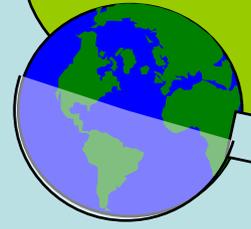
Posição
real da
estrela



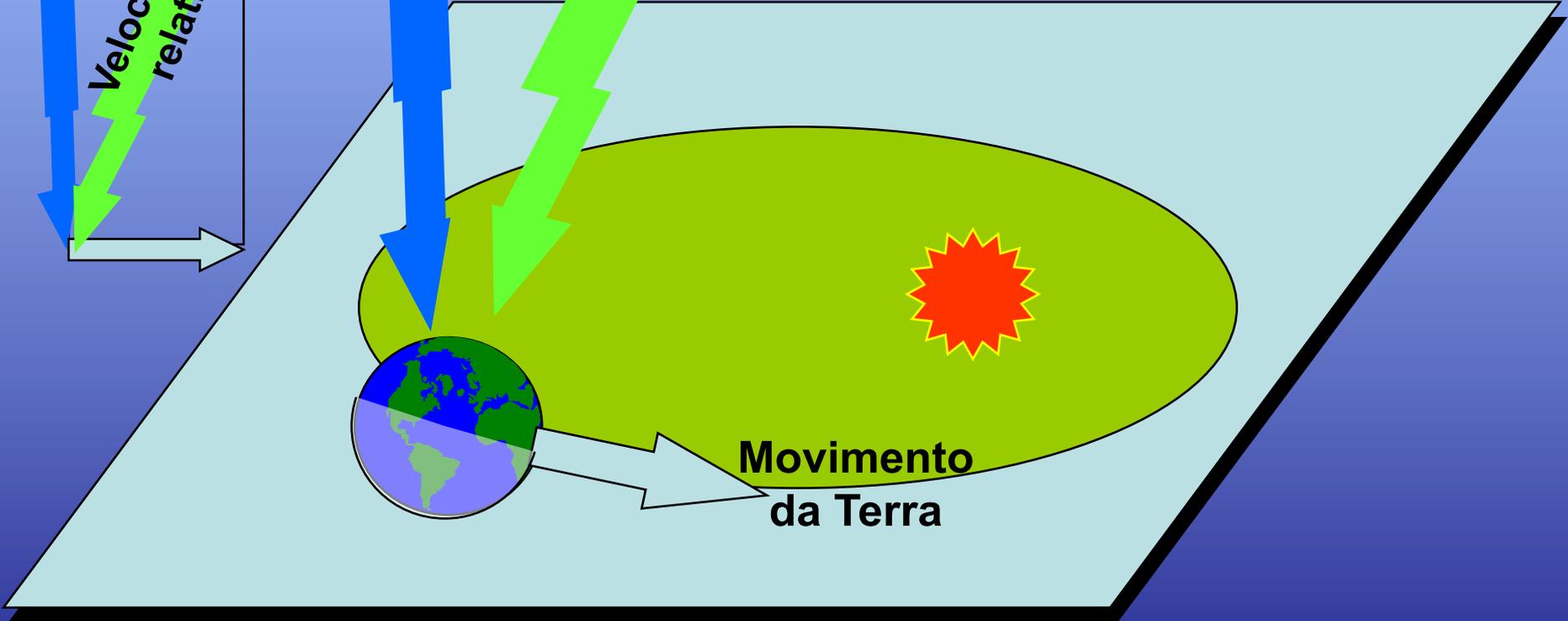
Posição
"observada"
da estrela



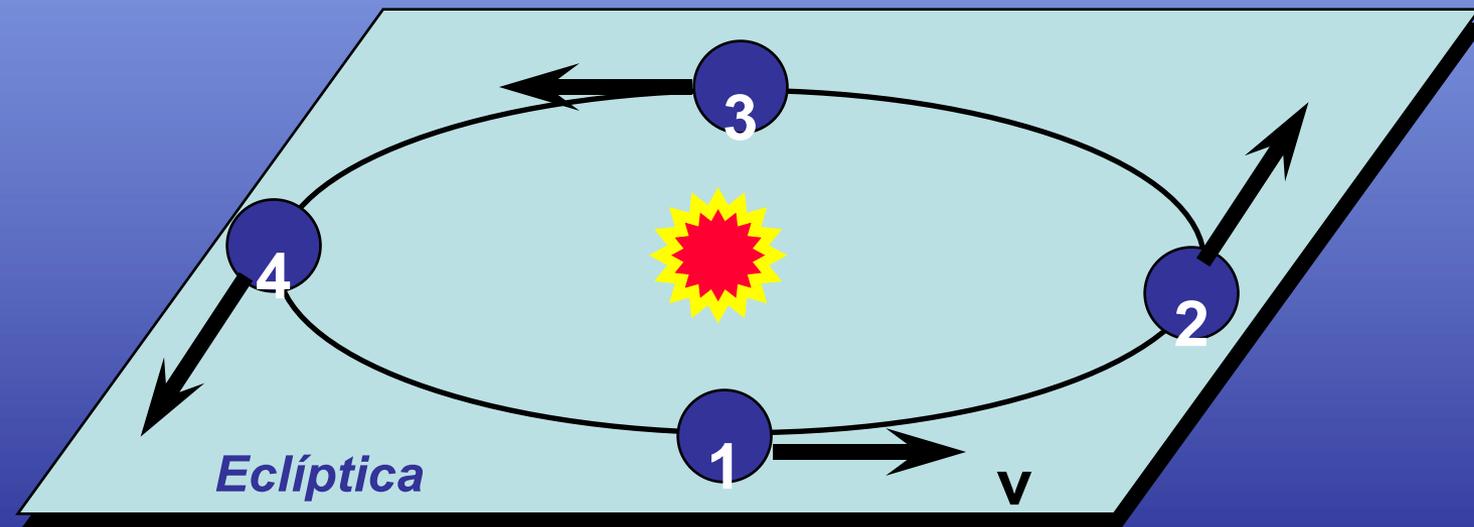
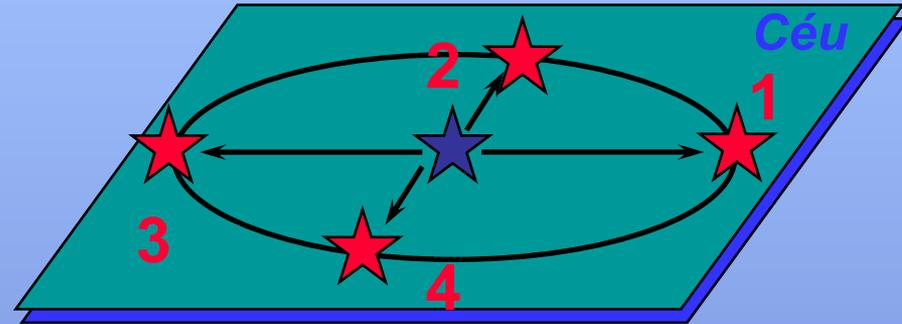
Aberração anual
(Bradley 1725)



Movimento
da Terra



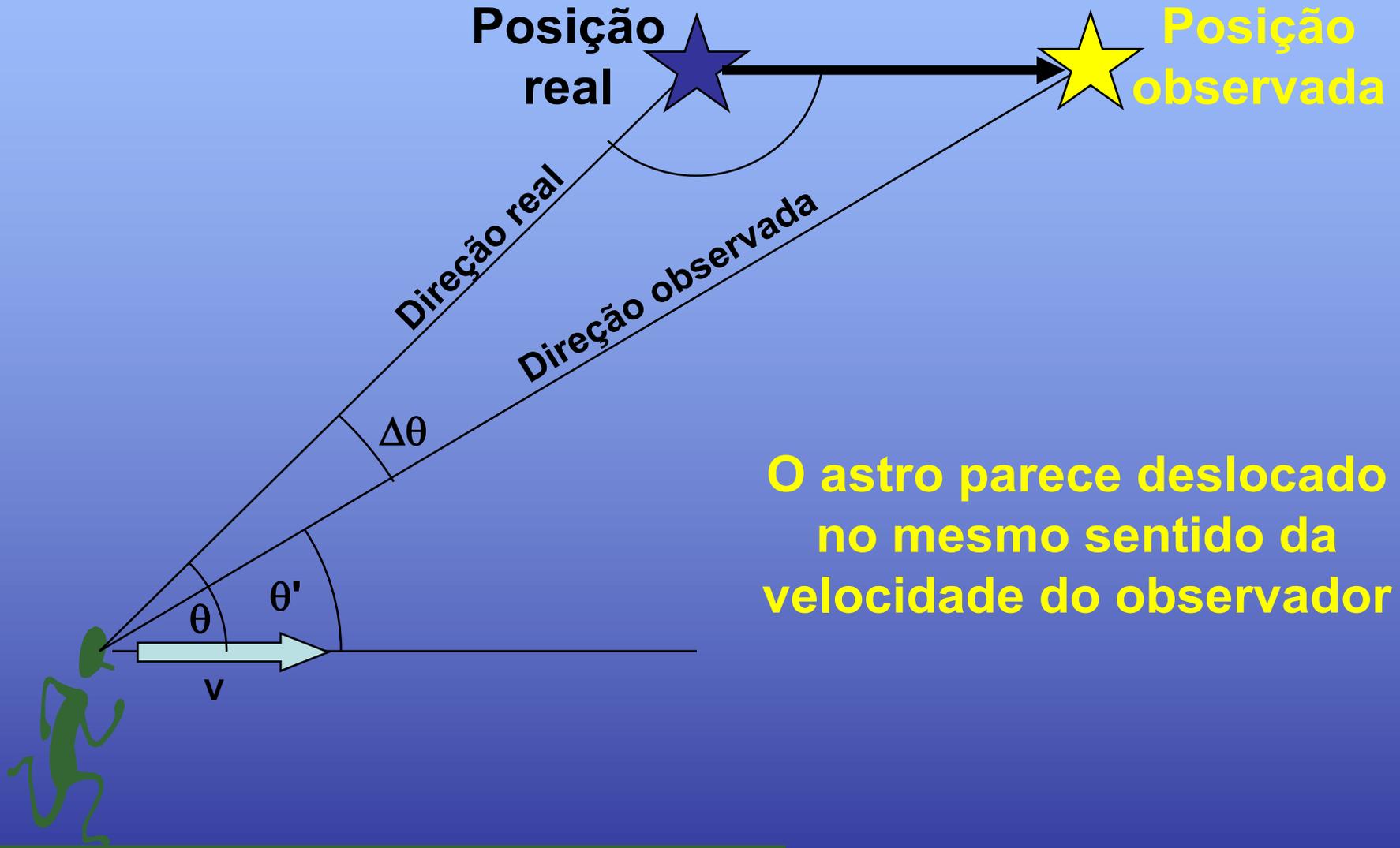
Efeito da Aberração da Luz na posição de uma estrela



Conclusão:

A aberração anual das estrelas prova que a Terra está em movimento em torno do Sol.

Direção do deslocamento do astro devido à aberração



Ângulo de Aberração anual

$$\Delta s = v \cdot \Delta t \quad \textcircled{1}$$

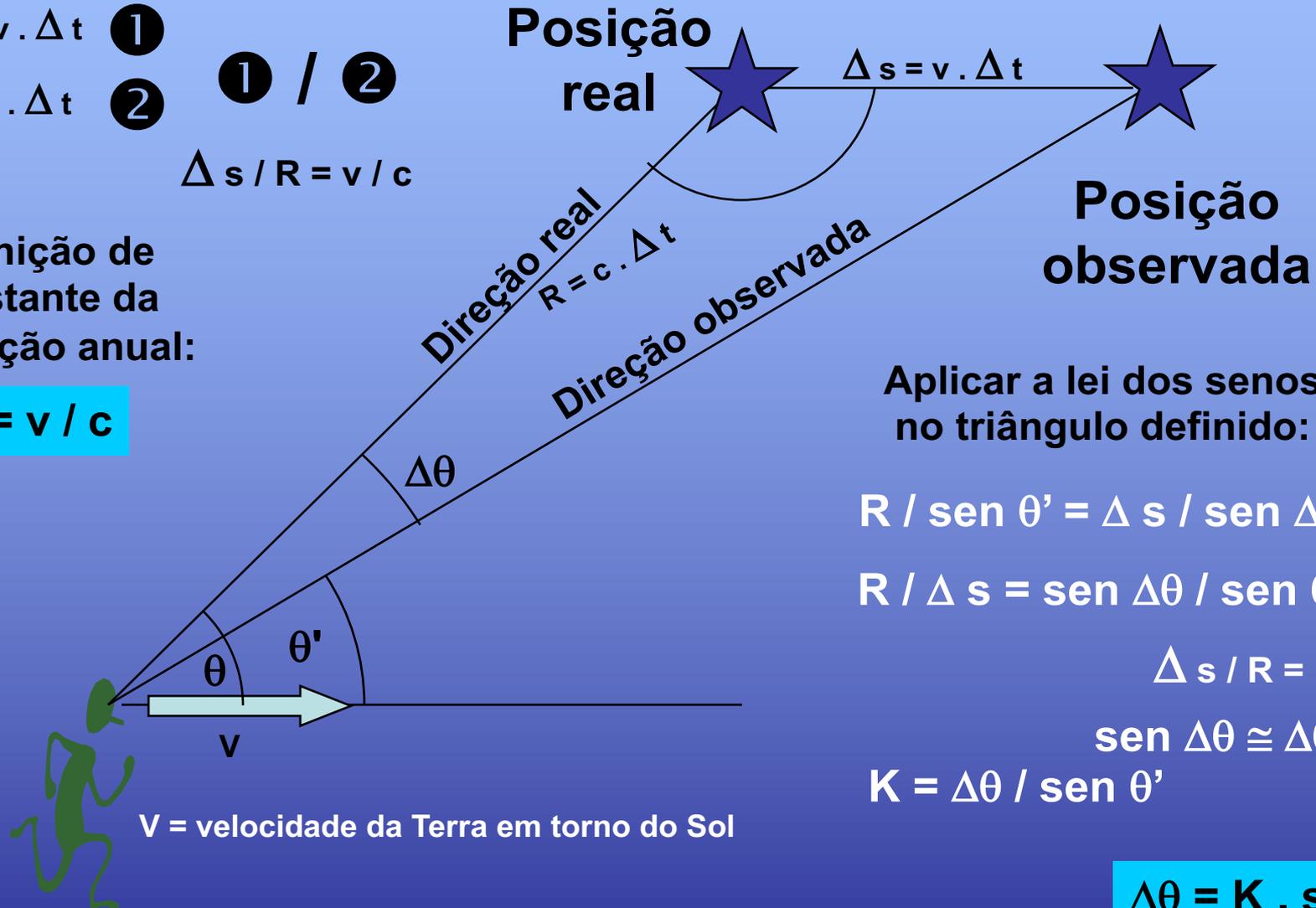
$$R = c \cdot \Delta t \quad \textcircled{2}$$

$$\textcircled{1} / \textcircled{2}$$

$$\Delta s / R = v / c$$

Definição de constante da aberração anual:

$$K = v / c$$



v = velocidade da Terra em torno do Sol

Aplicar a lei dos senos no triângulo definido:

$$R / \text{sen } \theta' = \Delta s / \text{sen } \Delta\theta$$

$$R / \Delta s = \text{sen } \Delta\theta / \text{sen } \theta'$$

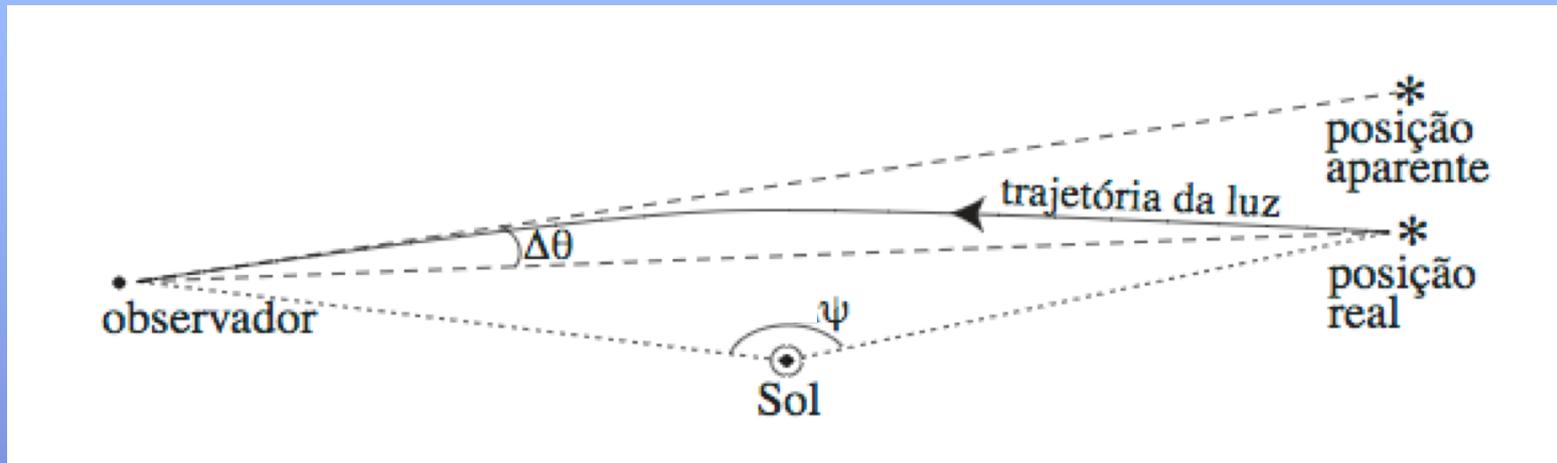
$$\Delta s / R = K$$

$$\text{sen } \Delta\theta \cong \Delta\theta \text{ rad}$$

$$K = \Delta\theta / \text{sen } \theta'$$

$$\Delta\theta = K \cdot \text{sen } \theta'$$

Desvio gravitacional da luz

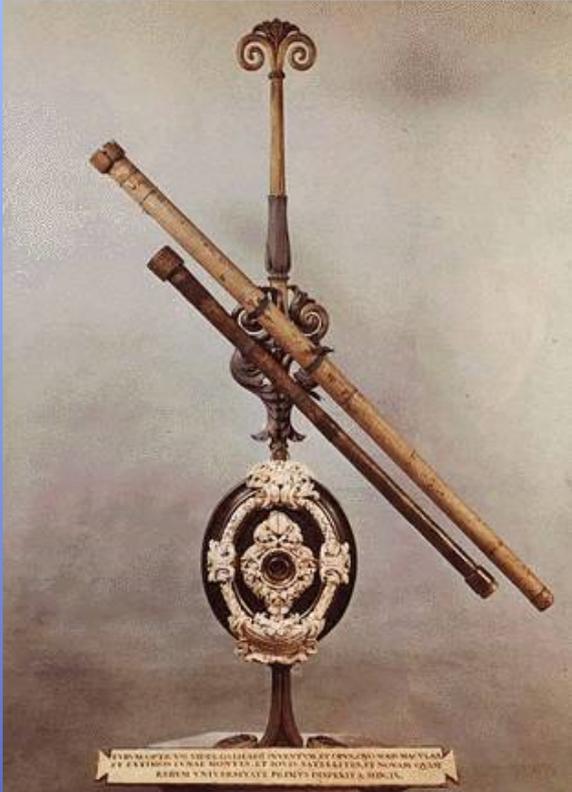


É um efeito relativístico, não pode ser explicado pela gravitação clássica.
Matematicamente tem-se:

$$\Delta\theta = \frac{2GM_{\odot}}{c^2 R_{\odot}} \frac{\text{sen } \psi}{1 + \cos \psi}$$

Definindo a *elongação geocêntrica* $D = 180 - \psi$, o desvio gravitacional só será importante se $D < 2^{\circ}$

Telescópios e Montagens

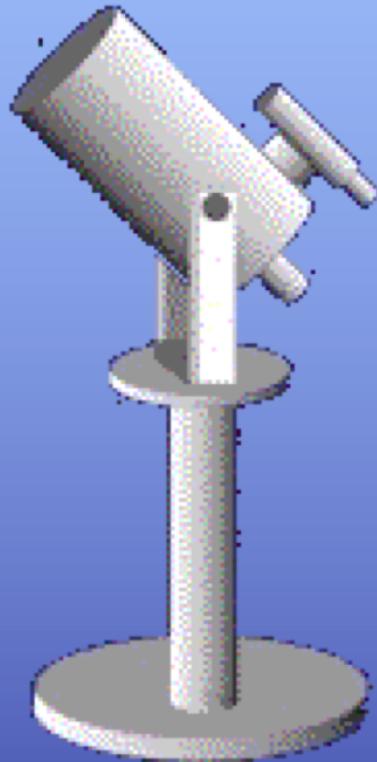


Telescópio de Galileo



Telescópio de Newton

As montagens



Montagem altazimutal:

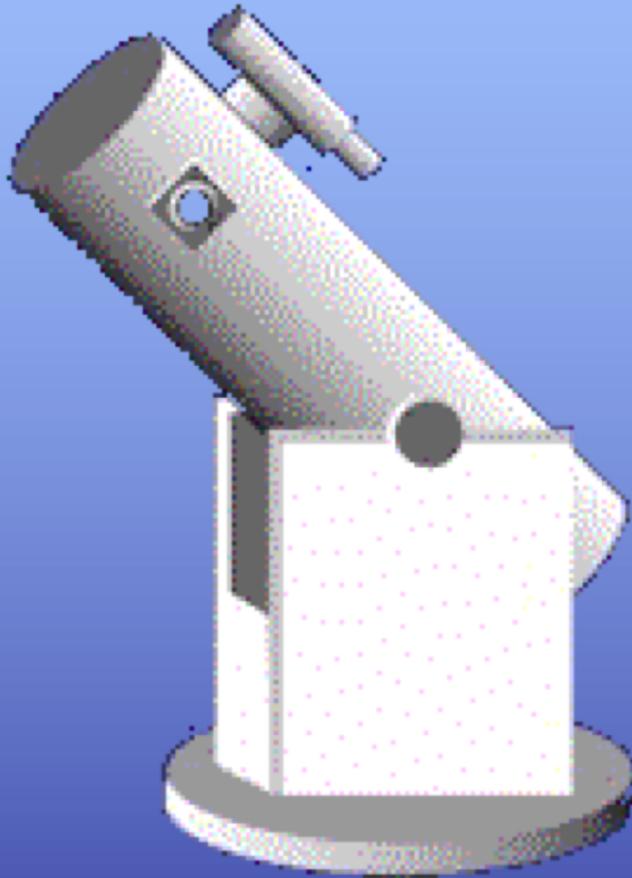
O Telescópio se move num eixo de azimute (no plano horizontal local) e num eixo de altura ortogonal a este.

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.

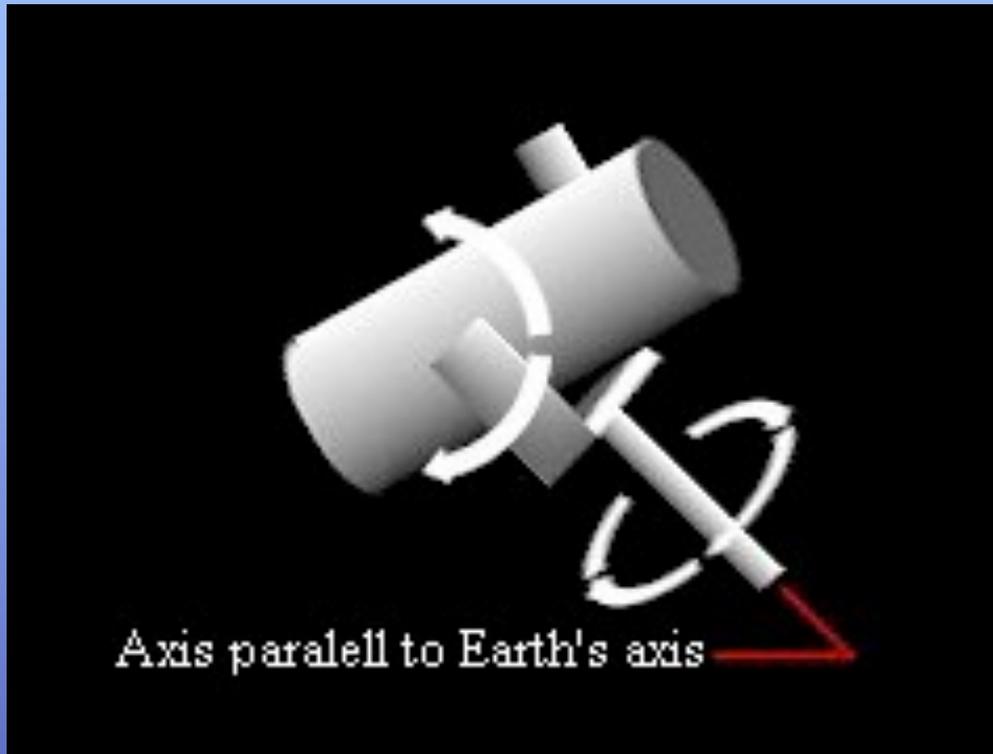
Montagem altazimutal dobsoniana



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

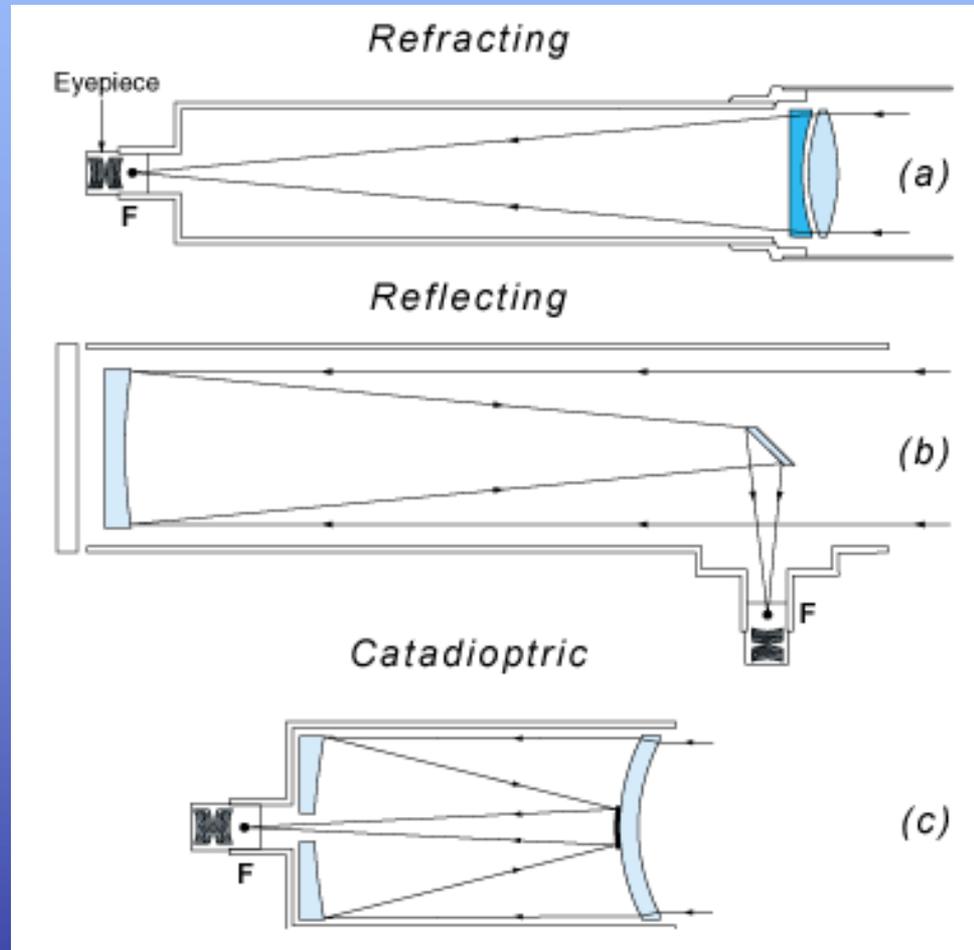
Montagem equatorial em ferradura



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



Refletor

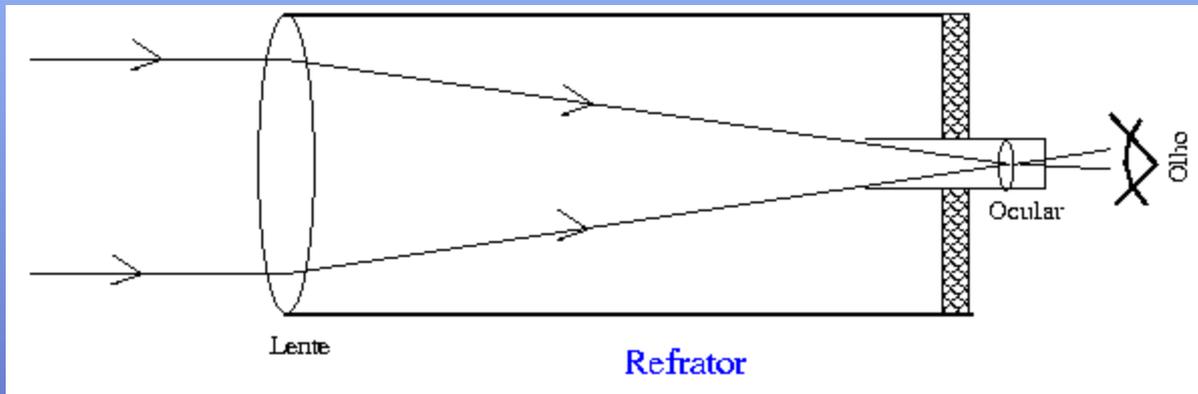
A captação da luz é feita pela lente objetiva (na verdade um par acromático)

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





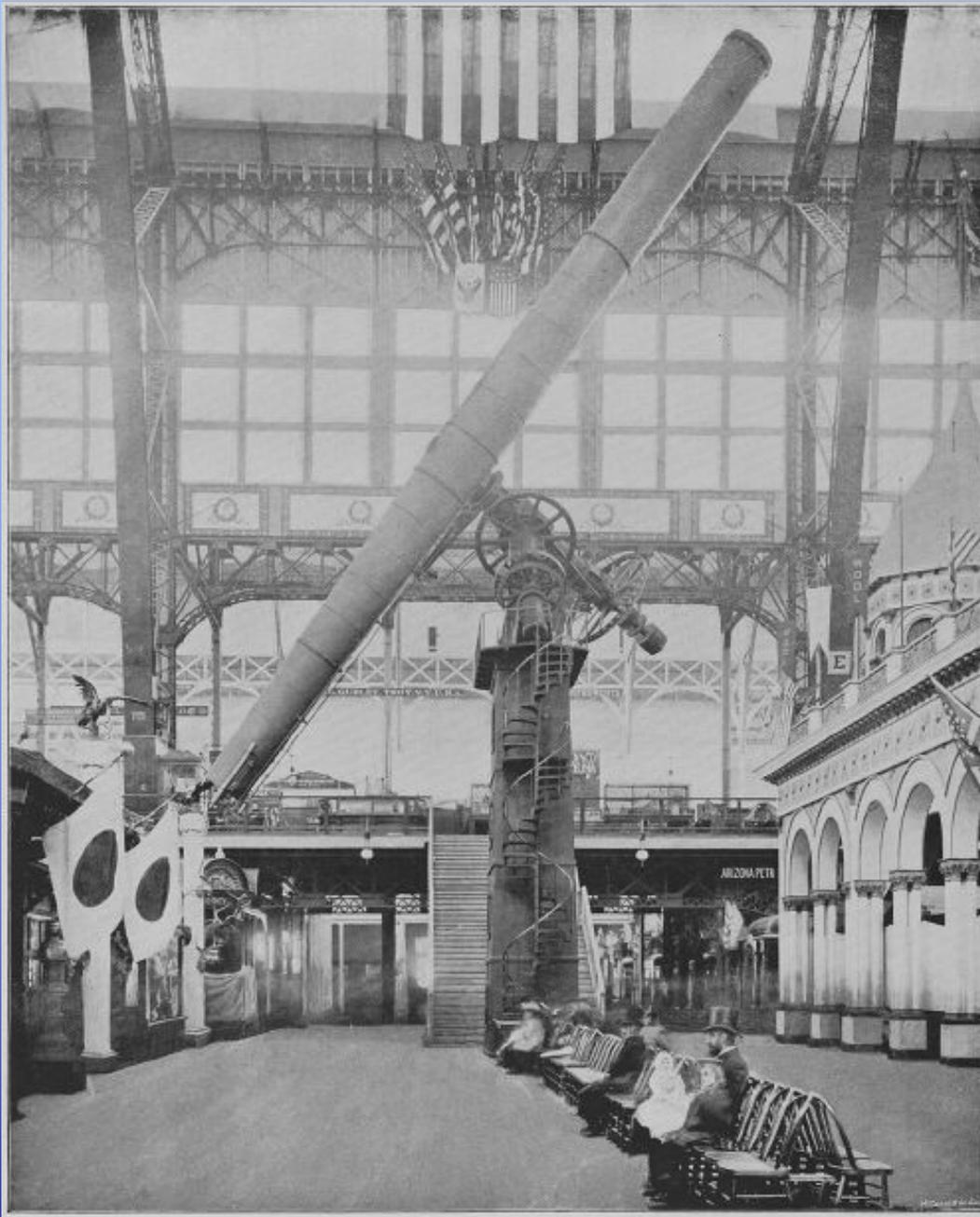
Refratores

Yerkes (1896)



40" = 1 m de diâmetro

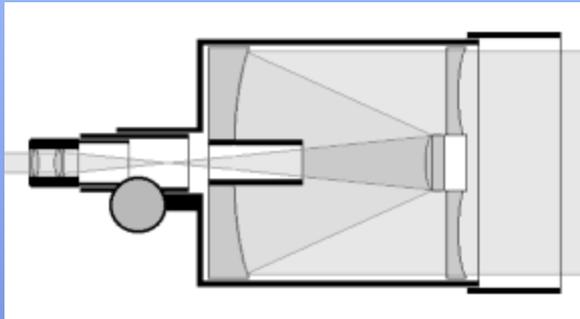
A construção deste telescópio se revelou ser o limite da tecnologia dos refratores: o par de lentes objetivas é muito pesado e tende a se deformar pelo seu próprio peso. Além disso, ele é muito espesso e impede uma grande fração da luz incidente de atravessar. Outra grande desvantagem é que, ao contrário dos espelhos, as lentes requerem polimento em ambas as faces, o que torna o processo construtivo muito mais complexo.



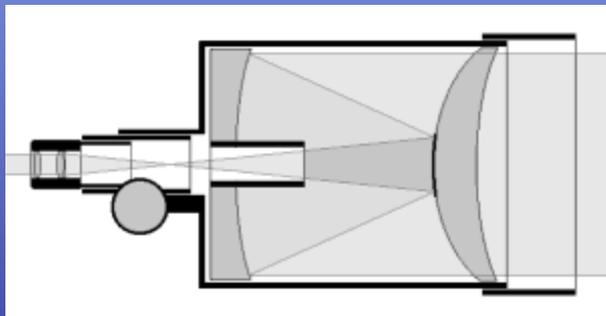
Yerkes

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

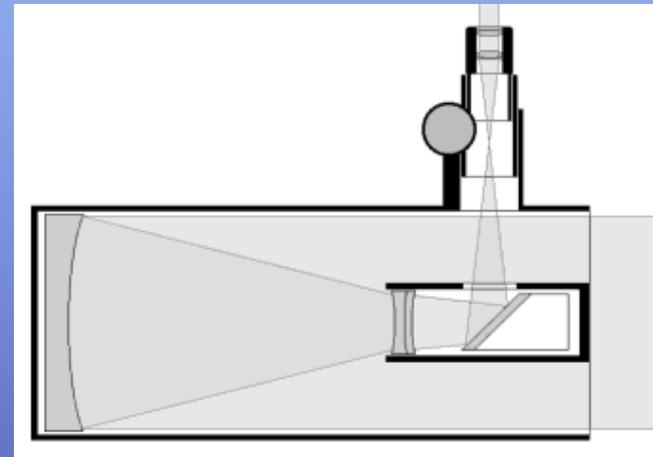
Telescópios catadióptricos



Telescópio Schmidt



Telescópio Maksutov



Tel. Newtoniano Catadióptrico

Telescópio catadióptrico



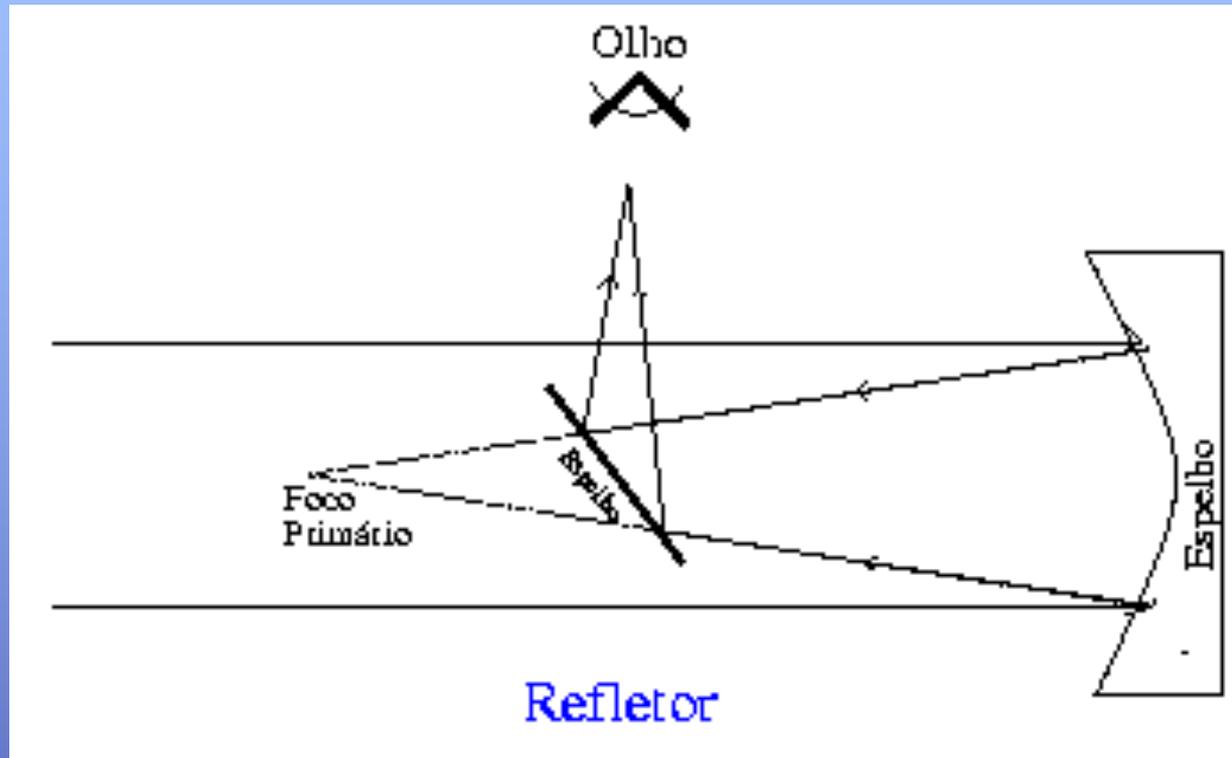
Telescópio amador Meade, com montagem altazimutal. O console preto logo abaixo da ferradura contém a eletrônica de controle dos motores para apontamento e guiagem

Câmara Schmidt



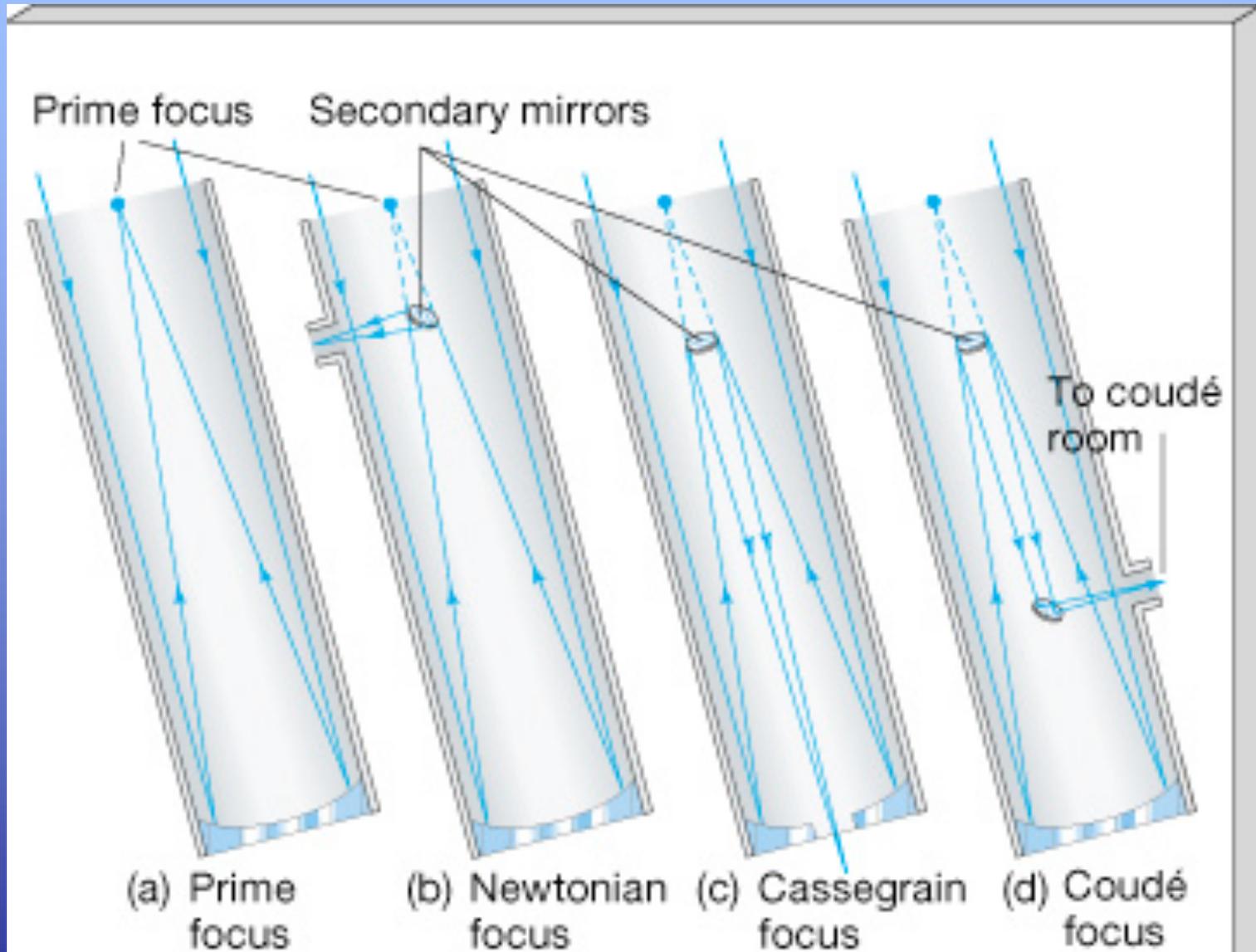
Câmara de 1.2 m de
Mt. Palomar, operada
na foto por E.P. Hubble
(foto de 1949)

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.

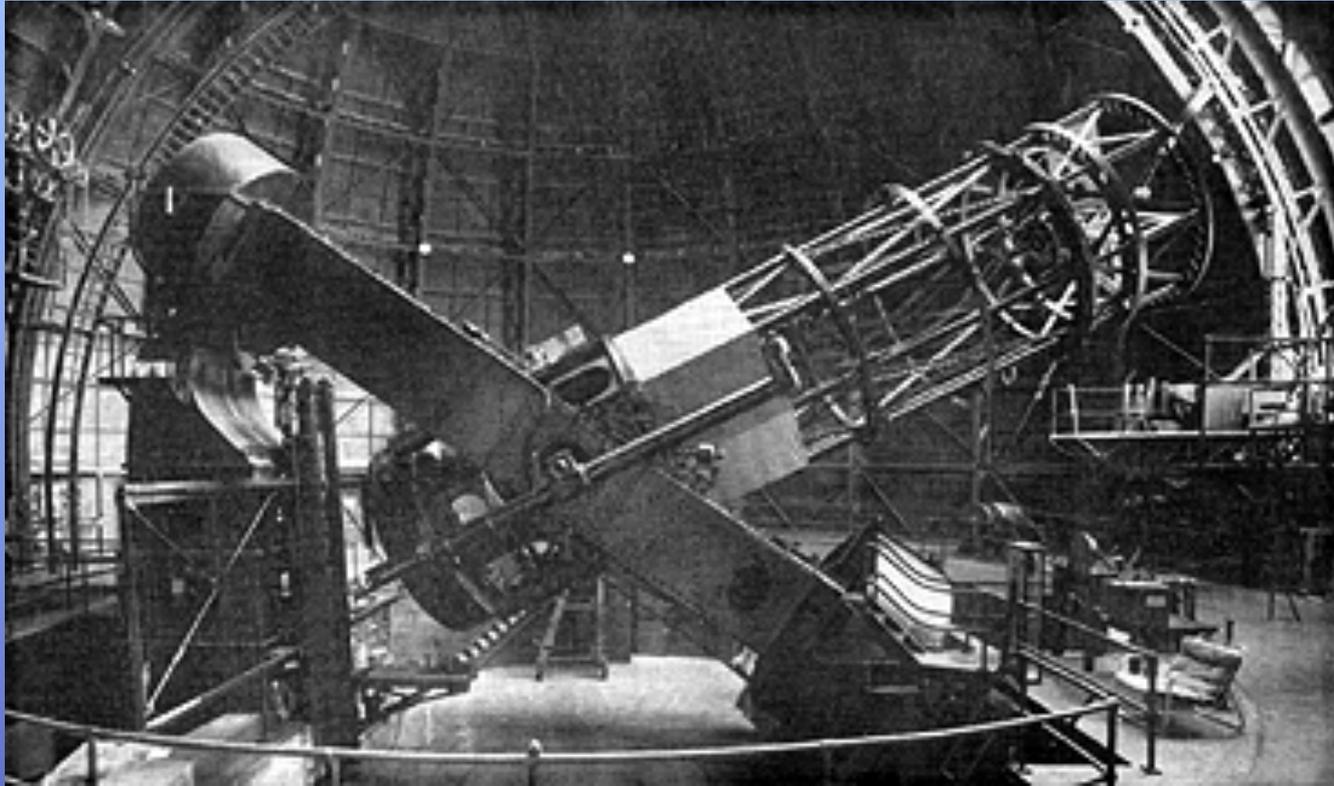
Refletores clássicos



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)

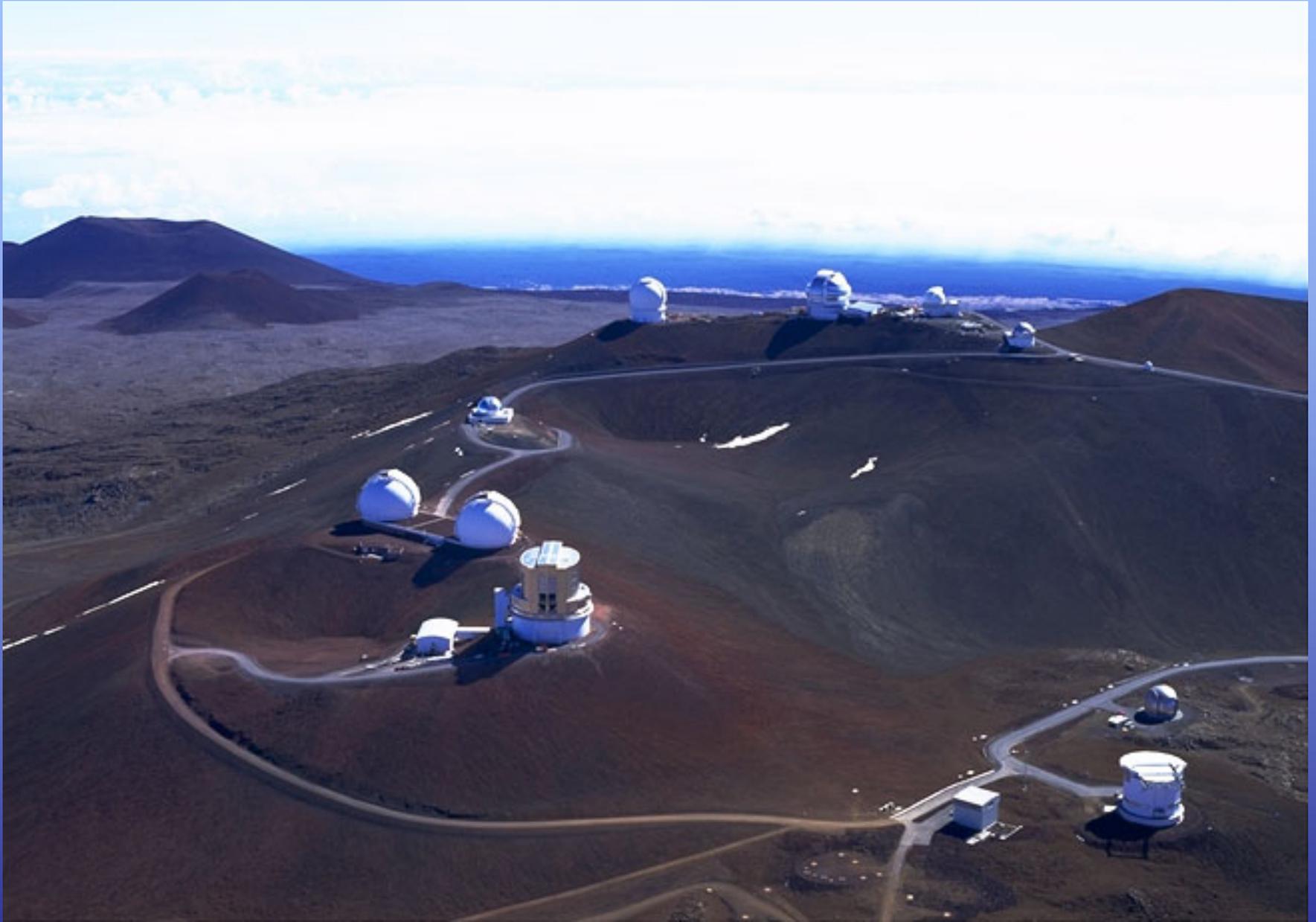


Montagem análoga a Mt. Wilson: equatorial em ferradura com dois pés. Até os anos 70 foi o maior telescópio do mundo. O telescópio russo de 6m construído nos anos 70 nunca funcionou direito e este aqui foi na prática o maior do mundo até a entrada em operação dos telescópios da classe de 8 m como o Gemini, VLT ou Keck.

Keck I (1994), Keck II (1999)



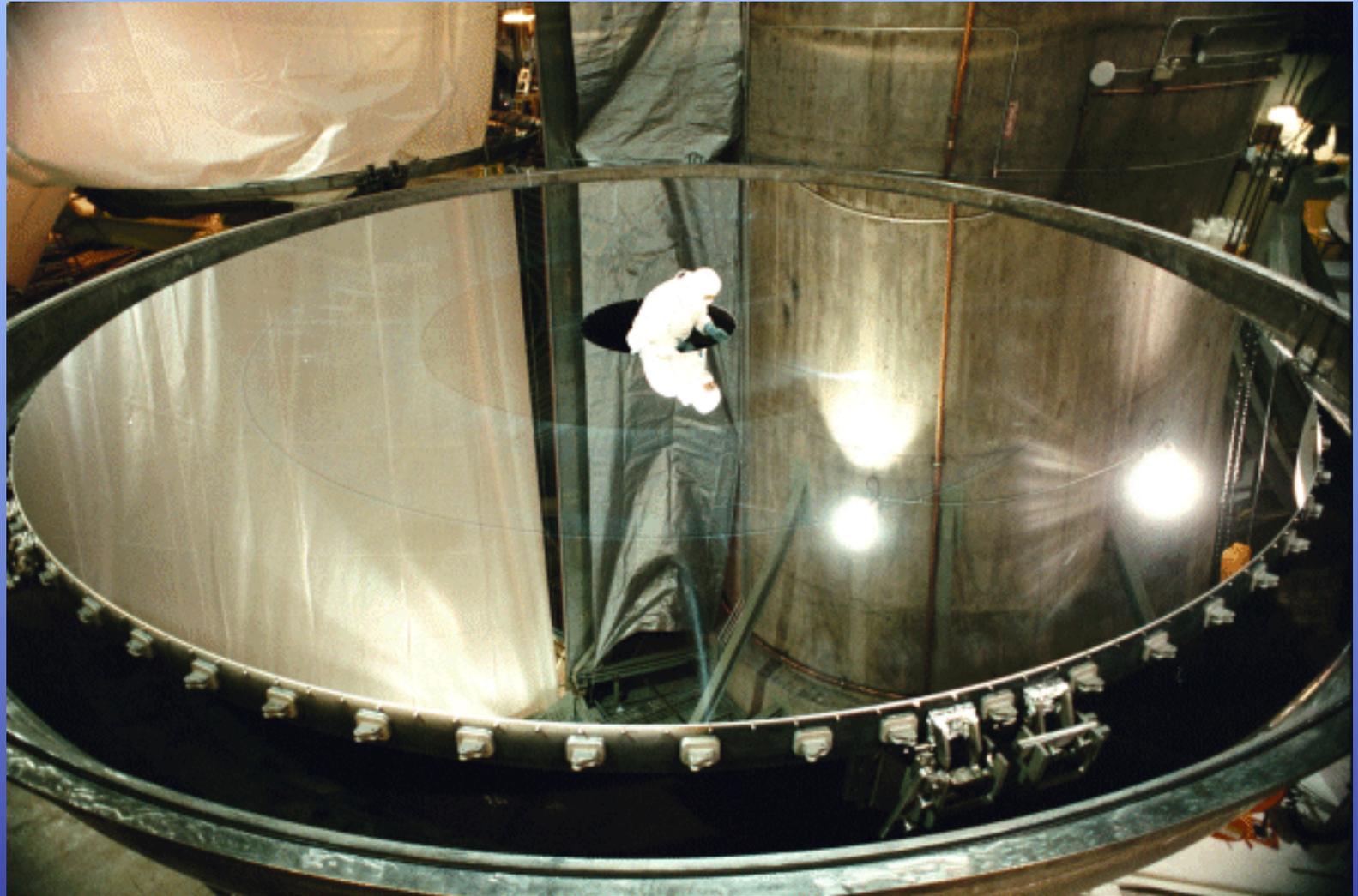
Mauna-Kea



Gemini-N



O espelho fino de 8 m do Gemini



VLT : Cerro Paranal, Chile

