

Astronomia de Posição

2º semestre - 2021

Aula_17 – 16/11/2022

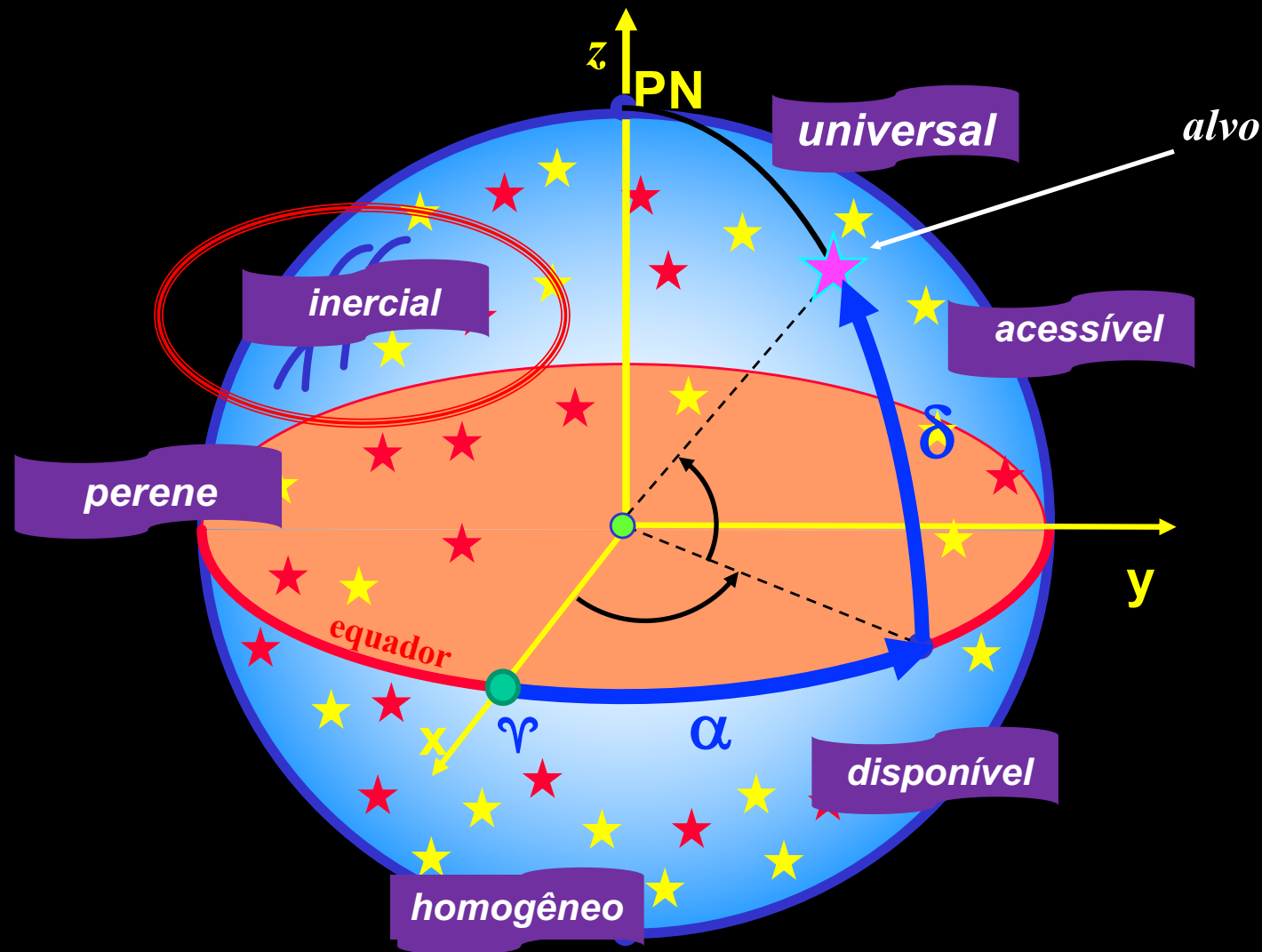
*Sistema de Referência:
inercialidade – planos de referência*

Ramachrisna Teixeira

IAG-USP

rama.teixeira@iag.usp.br

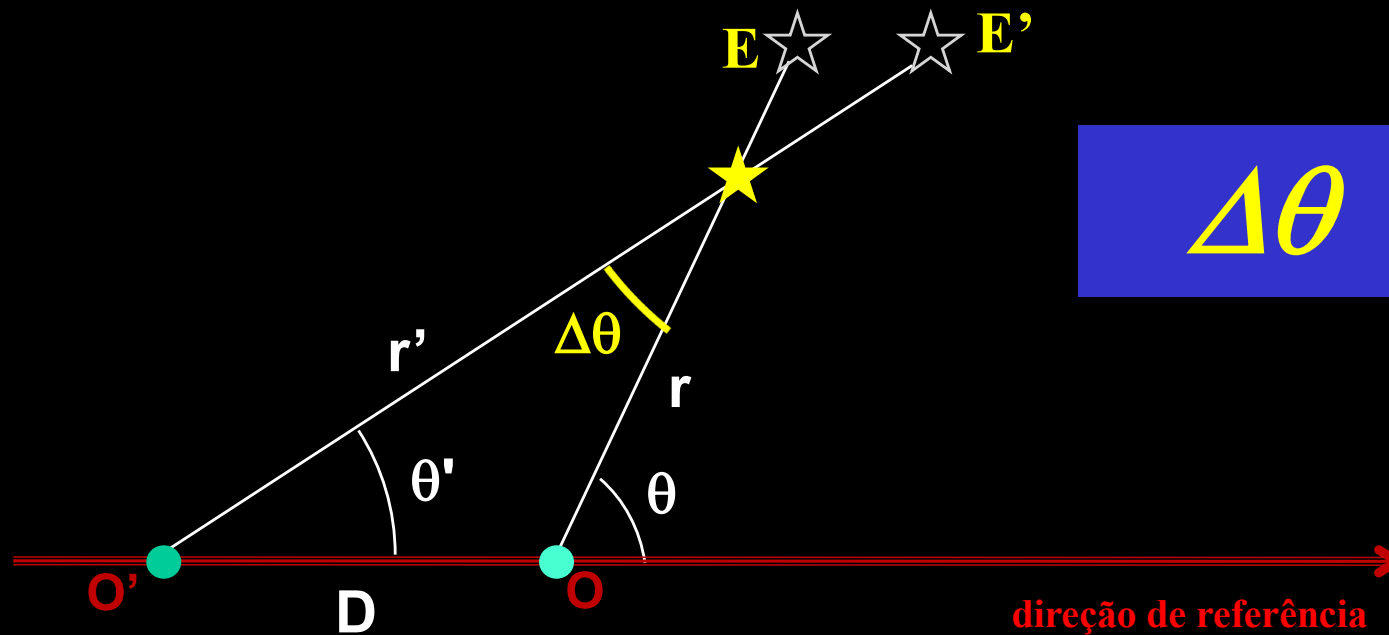
Sistema de Referência Espacial (antes de 1998)



Inercialidade: origem

paralaxe

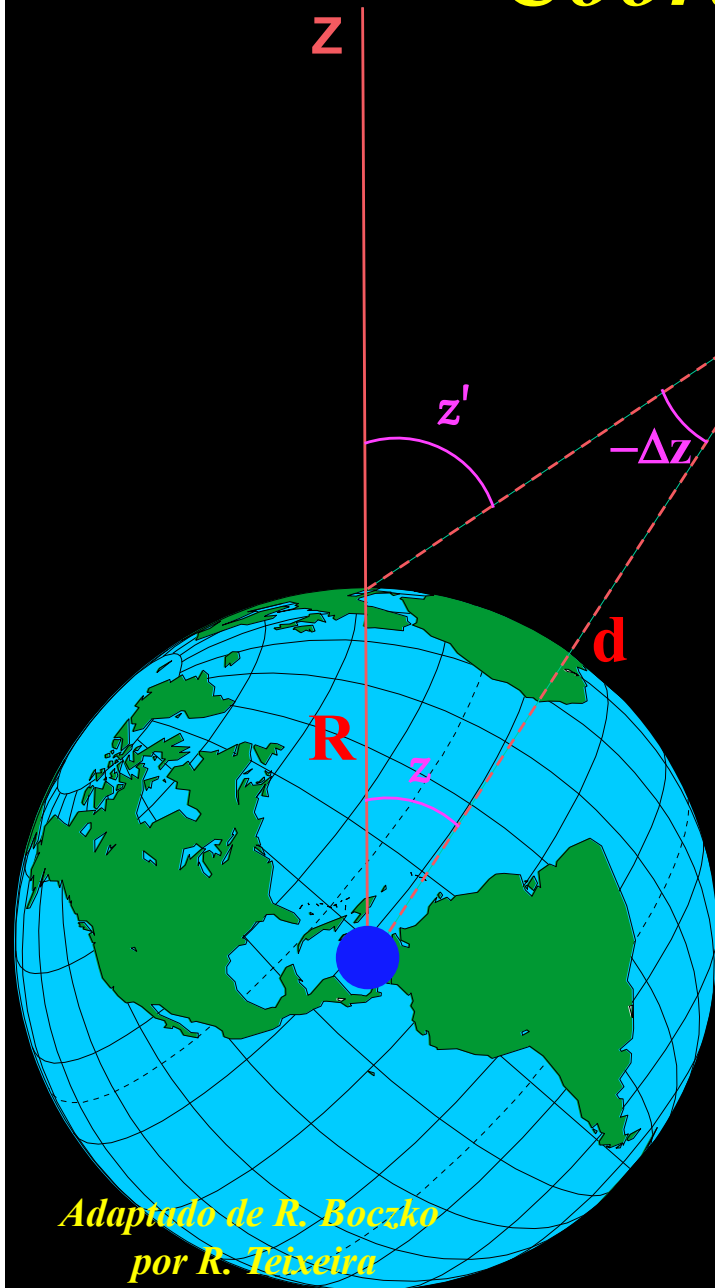
$$\Delta\theta = \theta - \theta'$$



$$\Delta\theta \propto D/r$$

Paralaxe Diurna

Coordenadas Equatoriais



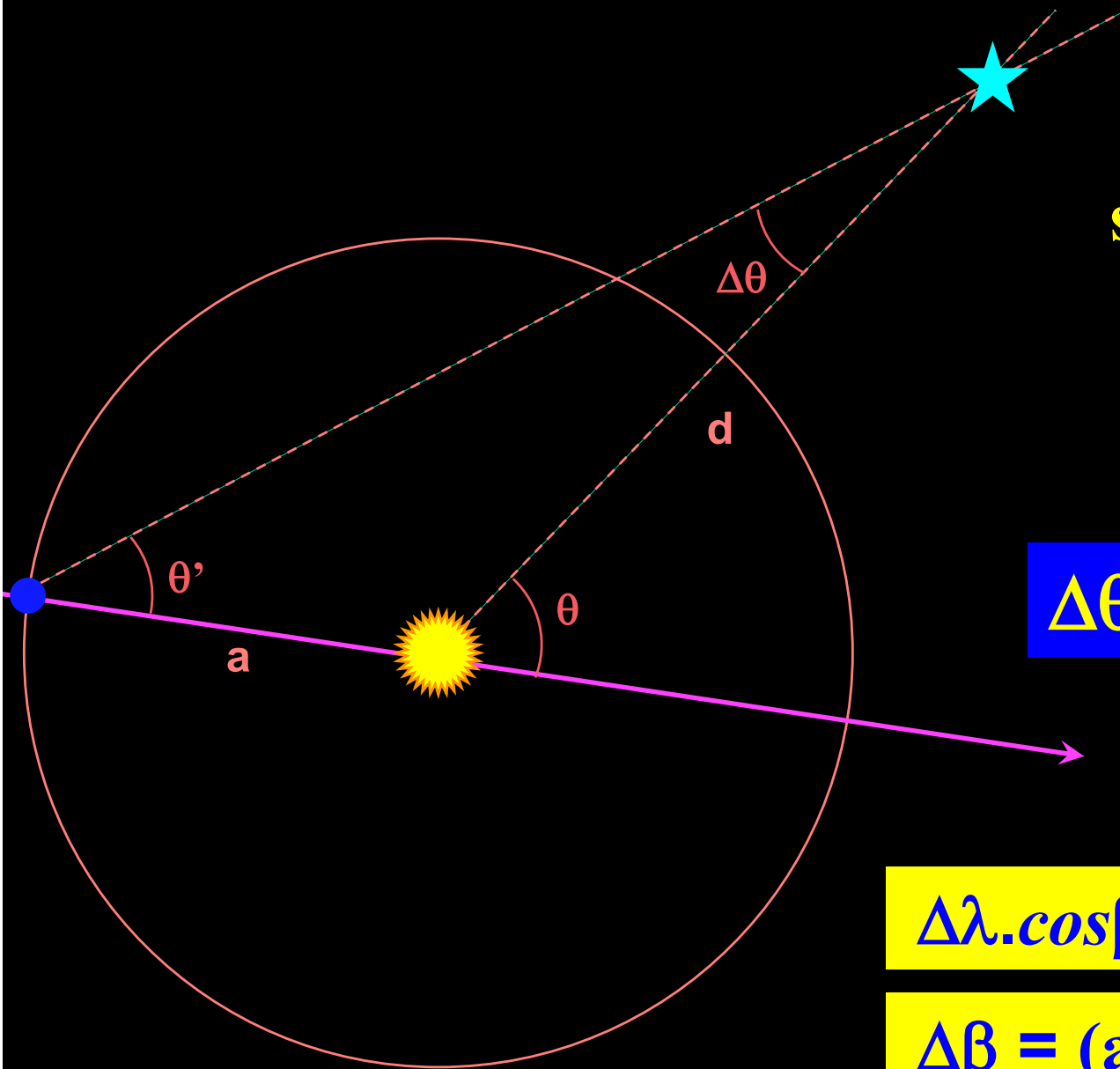
$$\Delta z = - (R/d) \cdot \text{sen } z'$$

$$\Delta \alpha \cdot \cos \delta = (R/d) \cdot \cos \phi \cdot \text{sen } H'$$

$$\Delta \delta = (R/d) \cdot (\text{sen } \phi \cdot \cos \delta' - \cos \phi \cdot \text{sen } \delta' \cdot \cos H')$$

*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Paralaxe Anual: geocêntrica \Leftrightarrow heliocêntrica



$$\text{sen}\Delta\theta/a = \Delta\theta/d$$

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



$$\Delta\theta = (a/d) \cdot \text{sen}\theta'$$

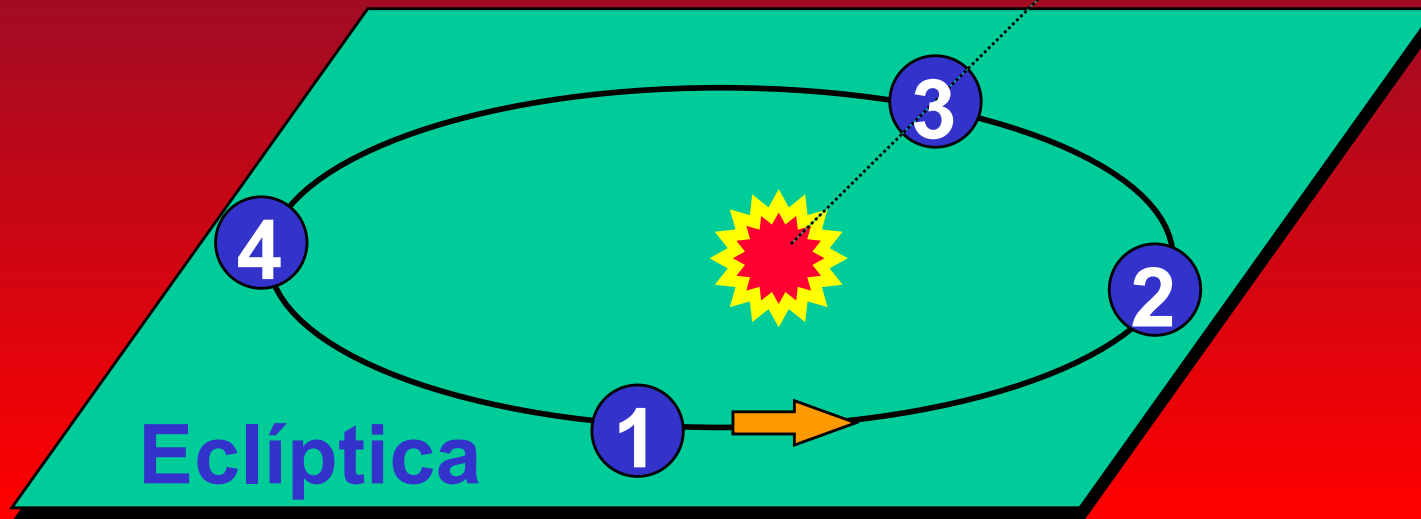
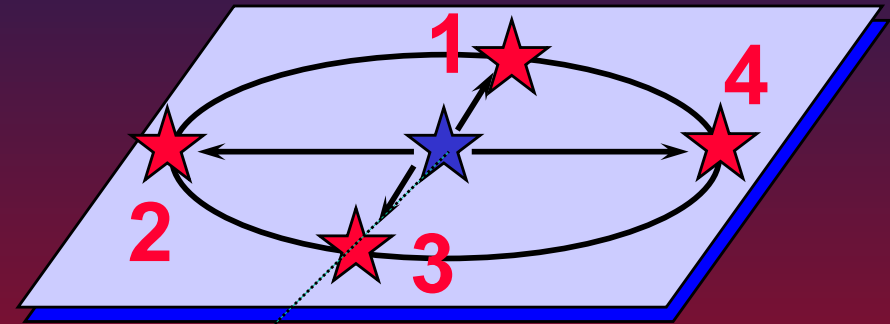


$$\Delta\lambda \cdot \cos\beta = (a/d) \cdot \text{sen}(\lambda' - \lambda_s)$$

$$\Delta\beta = (a/d) \cdot \text{sen}\beta' \cdot \cos(\lambda' - \lambda_s)$$

Efeito da paralaxe anual na posição de uma estrela

Céu visto
de "fora"



Paralaxe Anual: Elipse de Paralaxe

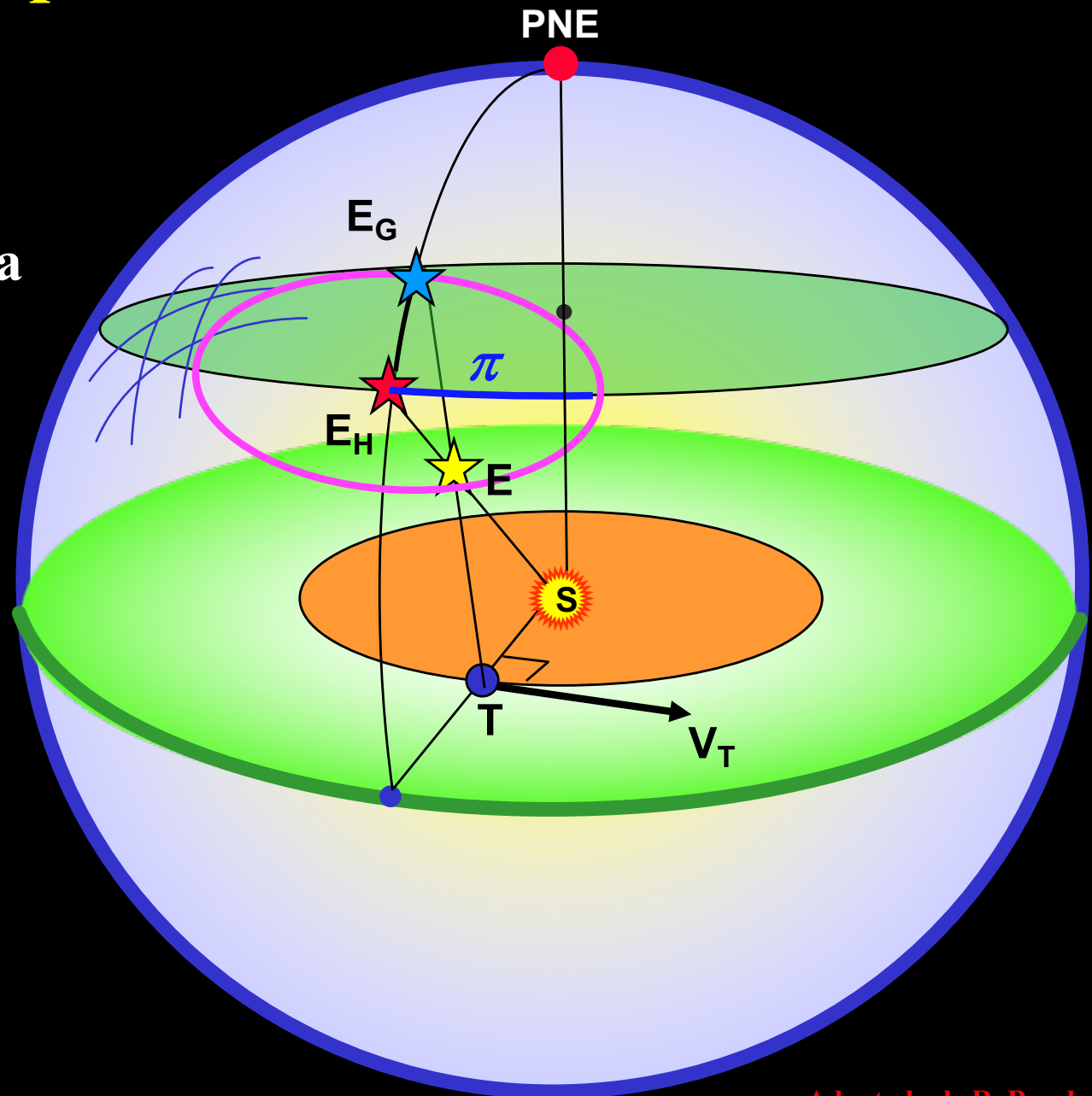
E: posição da estrela

E_G: posição geocêntrica

E_H: posição heliocêntrica

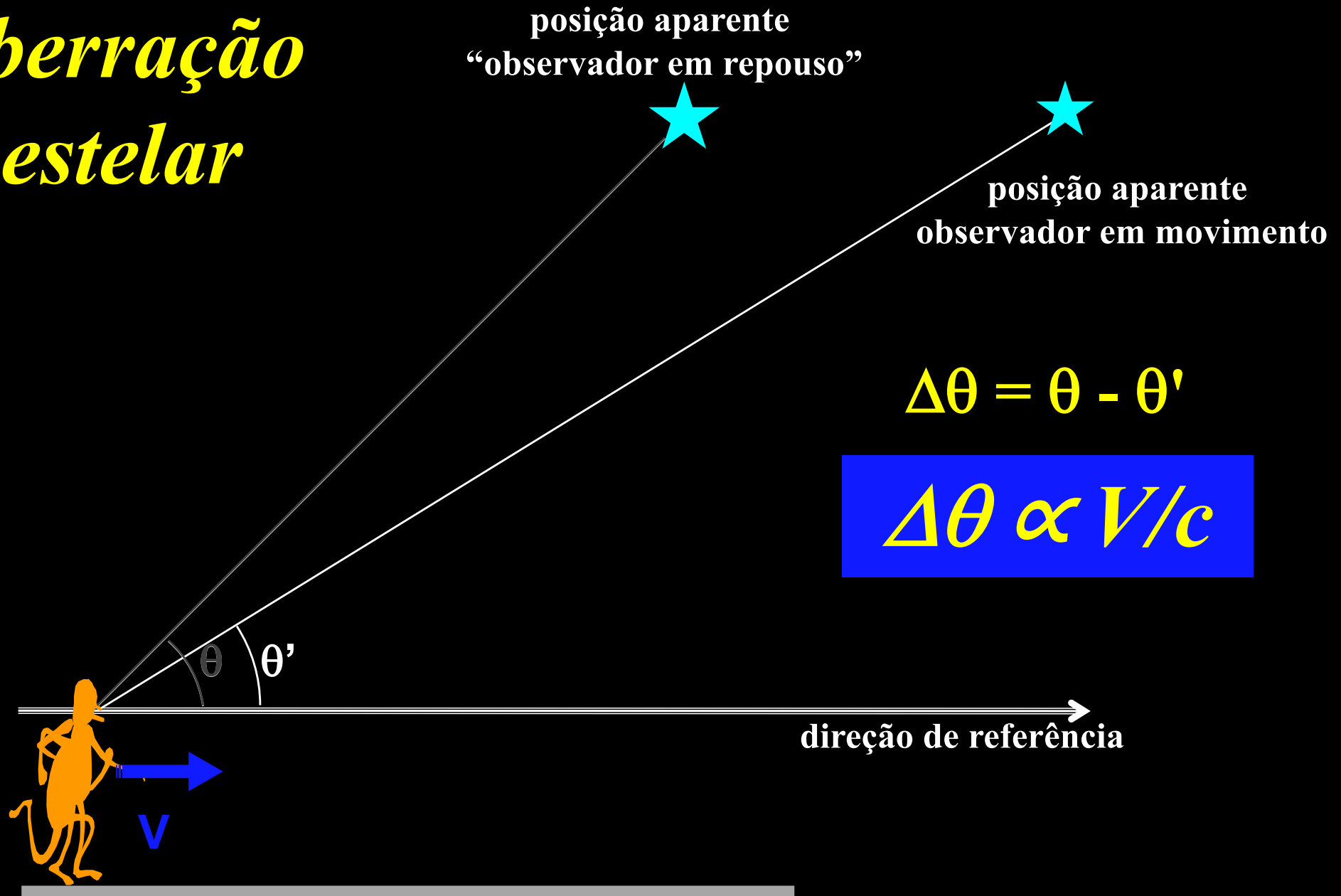
$$\frac{X^2}{\pi^2} + \frac{Y^2}{(\pi \cdot \sin \beta)^2} = 1$$

$$\pi = (a/d)$$



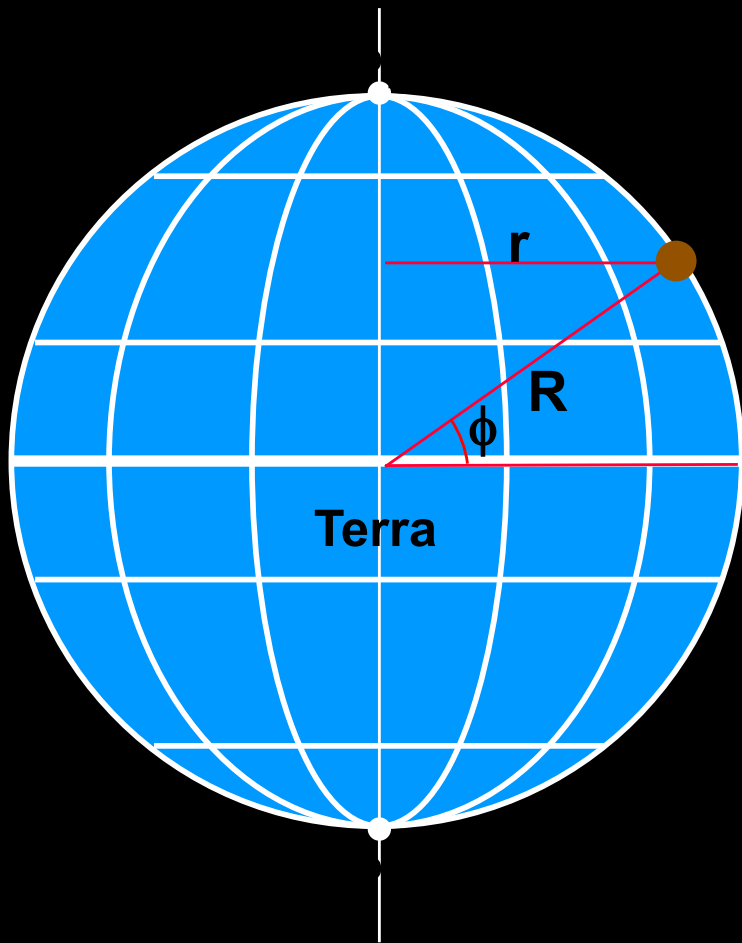
Inercialidade: origem

aberração estelar



Aberração diurna

$$\Delta\theta \propto V/c$$



$$V = \frac{2\pi \cdot r}{T} = \frac{2\pi \cdot R \cdot \cos\phi}{T}$$

$$V \cong (500\text{m/s}) \cdot \cos\phi$$



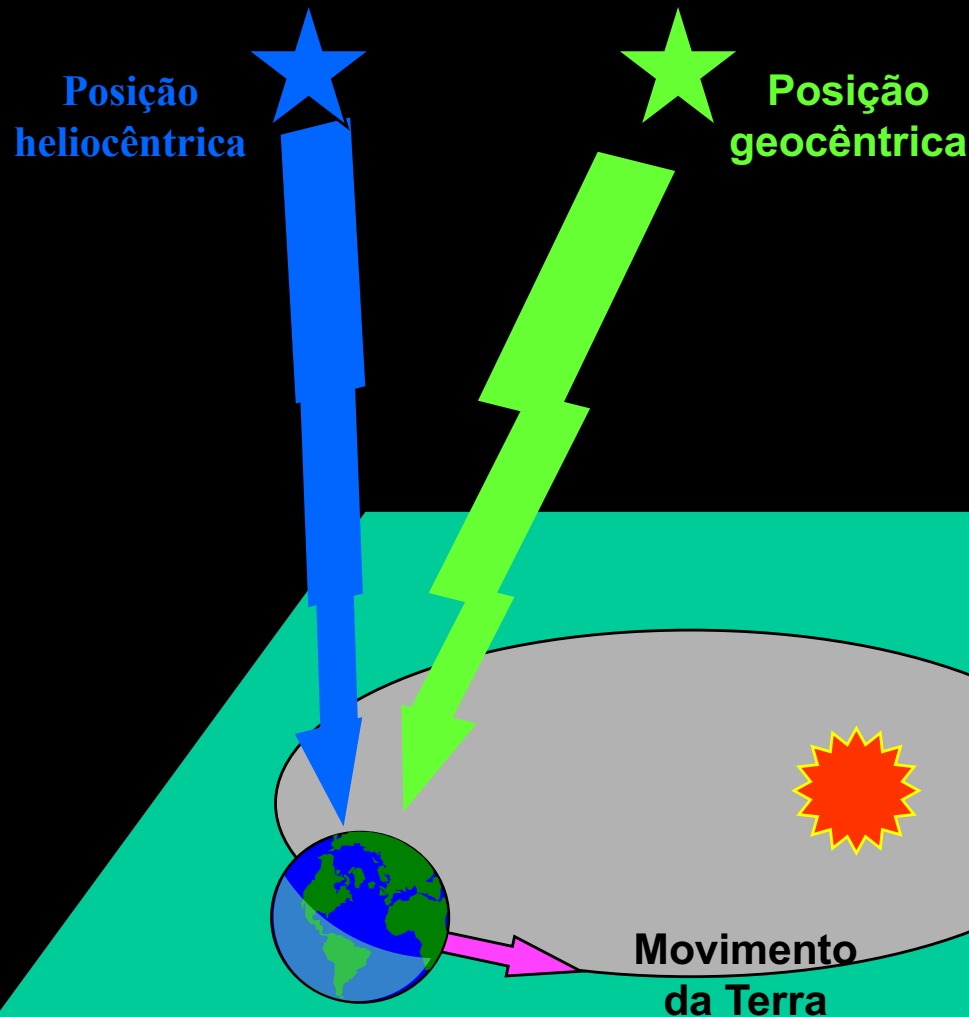
$$(V/c) \cdot \cos\phi \cong 0.0213^s \cdot \cos\phi$$

$$(V/c) \cdot \cos\phi \cong 0.320'' \cdot \cos\phi$$

$$\Delta\alpha = -0.0213^s \cdot \sec\delta' \cdot \cos\phi \cdot \cos H'$$

$$\Delta\delta = -0.320'' \cdot \cos\phi \cdot \text{sen}\delta' \cdot \text{sen}H'$$

aberração Anual: geocêntrica \Leftrightarrow heliocêntrica



$$V_{circ.} \cong 30.000 \text{ m/s}$$

$$V/c = K \cong 20.5''$$



$$\Delta\lambda \cdot \cos\beta = -K \cdot \cos(\lambda_{Sol} - \lambda')$$

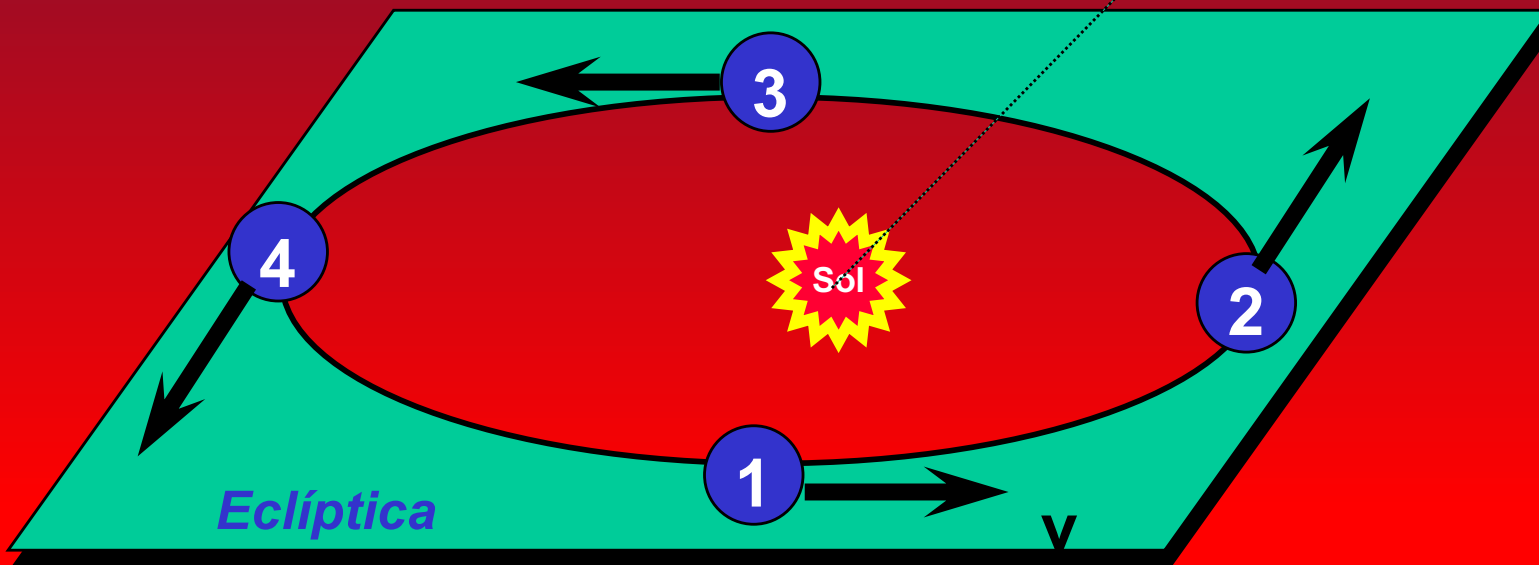
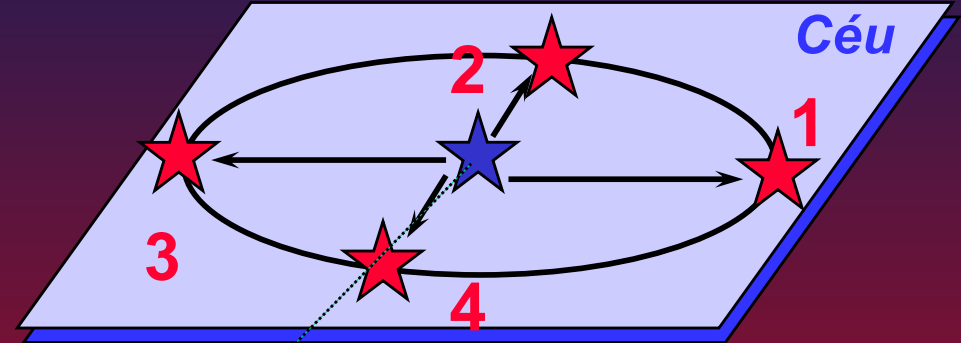
$$\Delta\beta = -K \cdot \sin\beta' \cdot \sin(\lambda_{Sol} - \lambda')$$

$$\frac{X^2}{K^2} + \frac{Y^2}{(K \cdot \sin\beta)^2} = 1$$

Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira

Efeito da aberração anual na posição de uma estrela

Céu visto de "fora"



Adaptado de R. Boczko

Aberração Anual: geocêntrica \Leftrightarrow heliocêntrica

elipse de aberração

E: posição da estrela

E_H : posição heliocêntrica

SE_H

Visão Heliocêntrica

E_G : posição geocêntrica

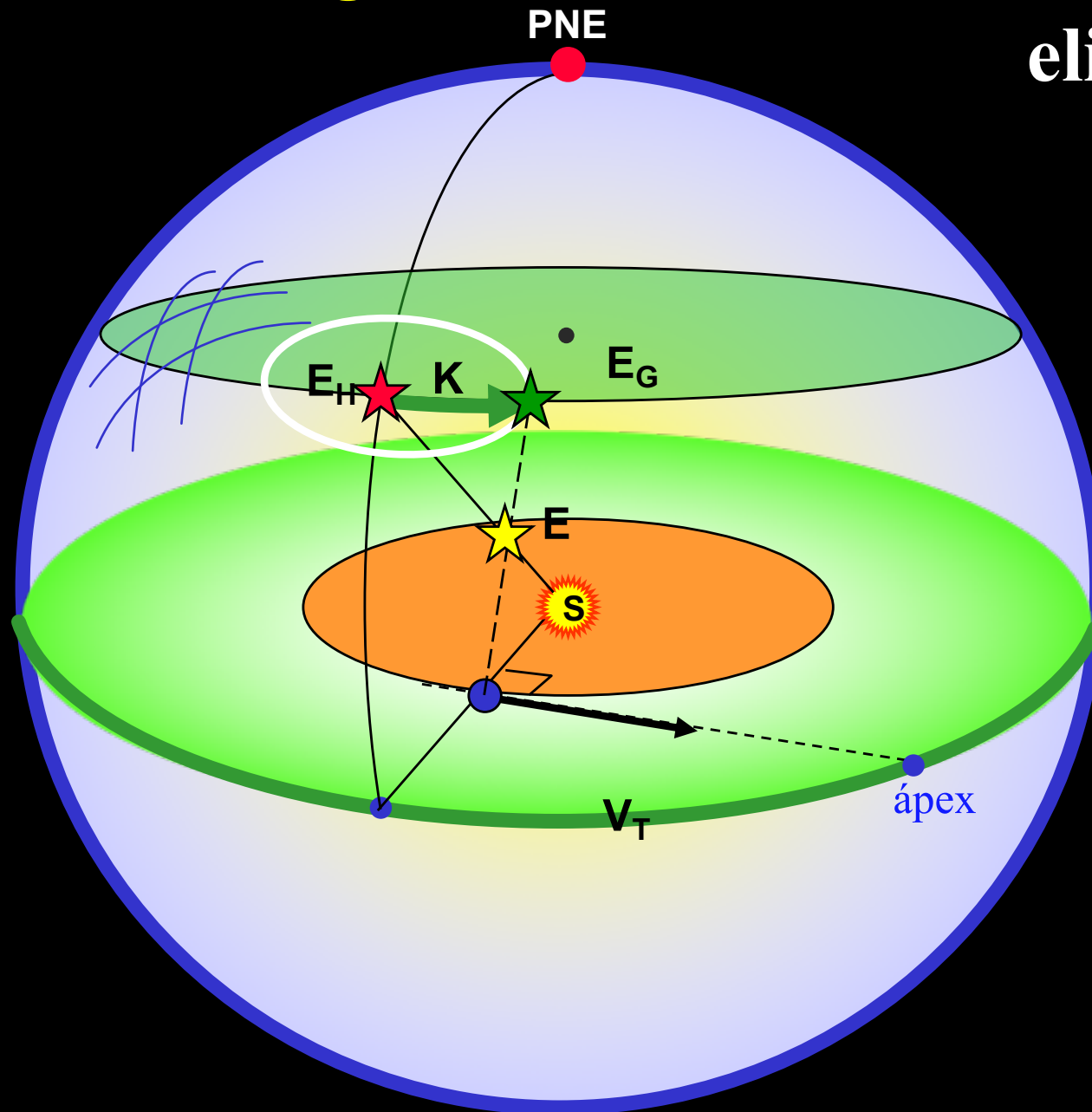
TE_H

Visão Geocêntrica

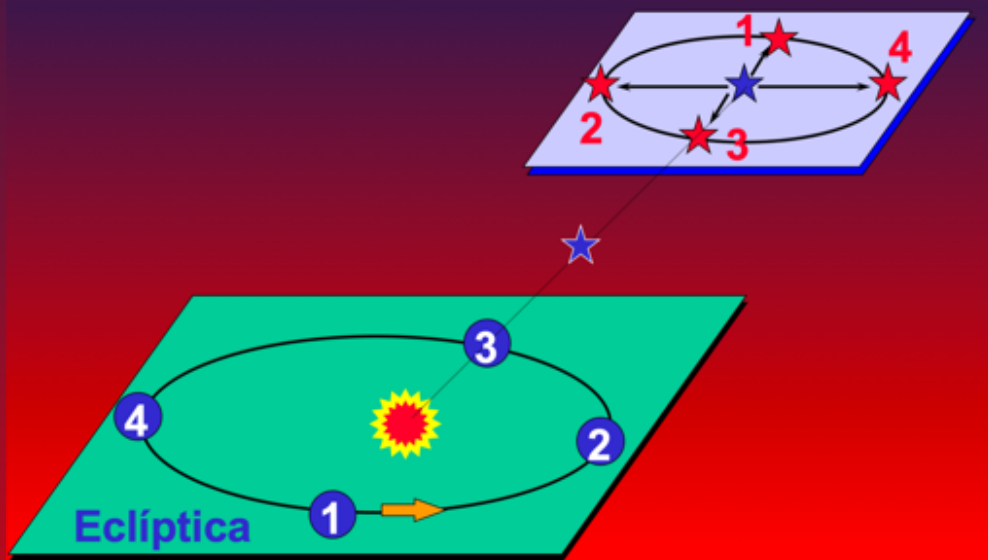
$$\frac{X^2}{K^2} + \frac{Y^2}{(K \cdot \sin \beta)^2} = 1$$

$$K = V/c \cong 20.5''$$

Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira

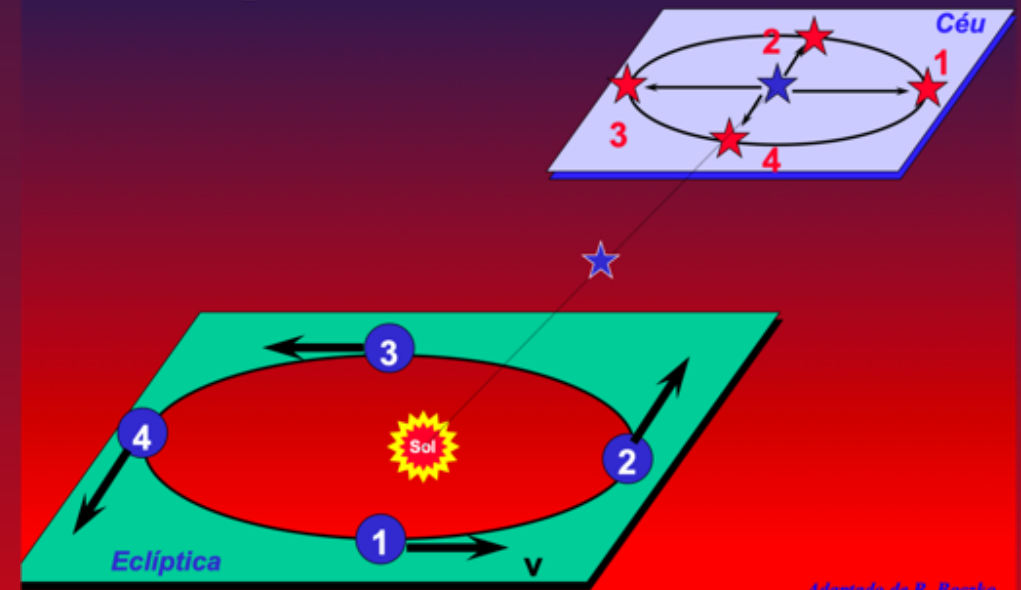


defasagem paralaxe x aberração



Adaptado de R. Boczo

paralaxe



Adaptado de R. Boczo

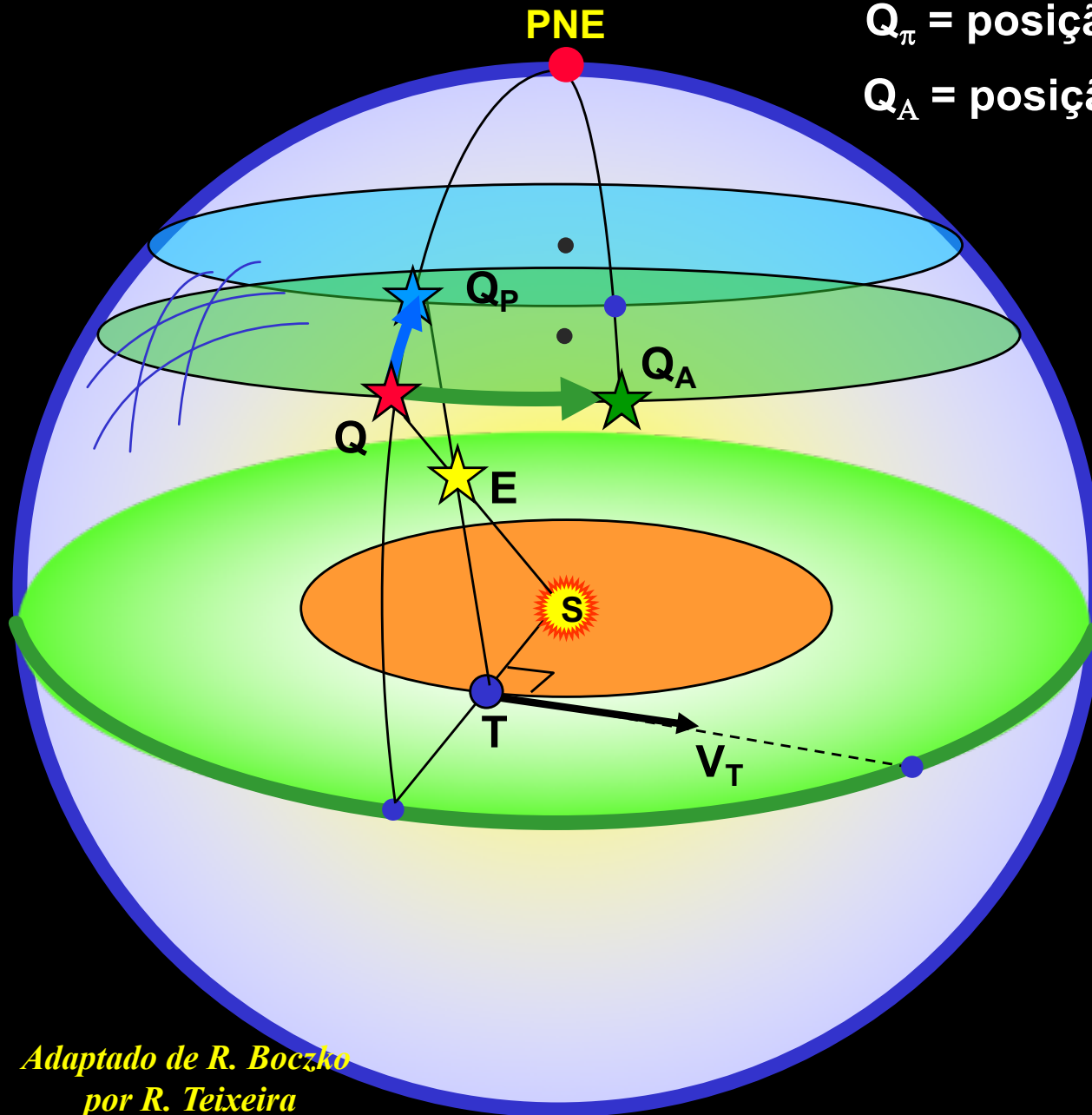
aberração

Elipses de paralaxe e aberração

Q = posição heliocêntrica

Q_{π} = posição afetada pela paralaxe

Q_A = posição afetada pela aberração



Defasagem de 90°

QQ_{π}

**Deslocamento devido
à paralaxe anual
semi-eixo maior = π**

QQ_A

**Deslocamento devido
à aberração anual
semi-eixo maior = K**

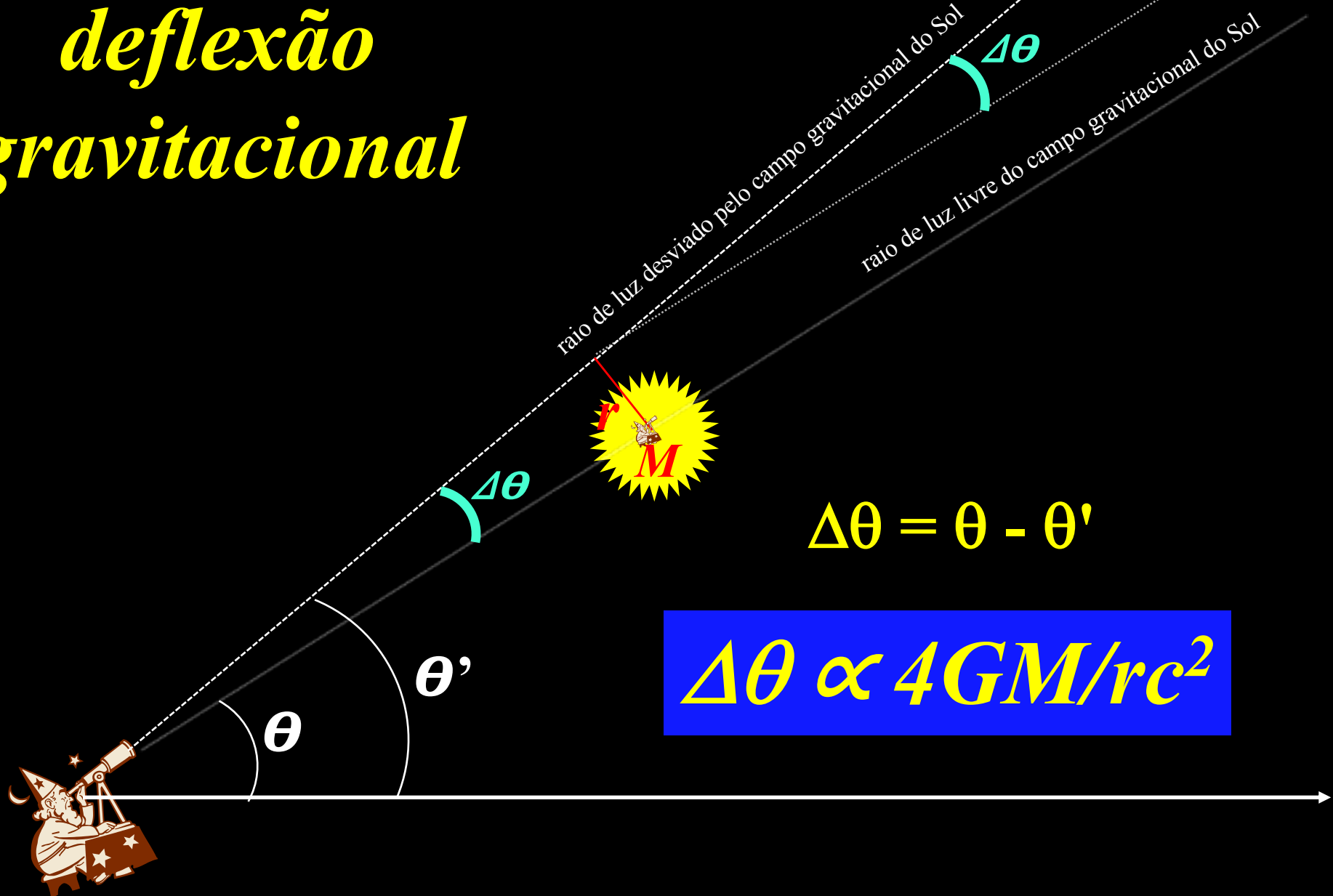
$\pi < 0.7''$ ϵ depende
da distância

$K \sim 20''$ independente do
astro

Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira

Inercialidade: origem

*deflexão
gravitacional*



Transferência de origem

deflexão gravitacional

$$\Delta\alpha \cos\delta = 0.5136 \times 10^{-3} \cdot \cos\delta_{Sol} \cdot \sin(\alpha - \alpha_{Sol}) \cdot \operatorname{cosec}^2(E/2)$$

$$\Delta\delta = 2.04 \times 10^{-3} [\sin\delta \cdot \cos\delta_{Sol} \cdot \cos(\alpha - \alpha_{Sol}) - \cos\delta \cdot \sin\delta_{Sol}] \cdot \operatorname{cosec}^2(E/2)$$

*E = elongação: dist. angular Sol–estrela quando
observados da Terra.*

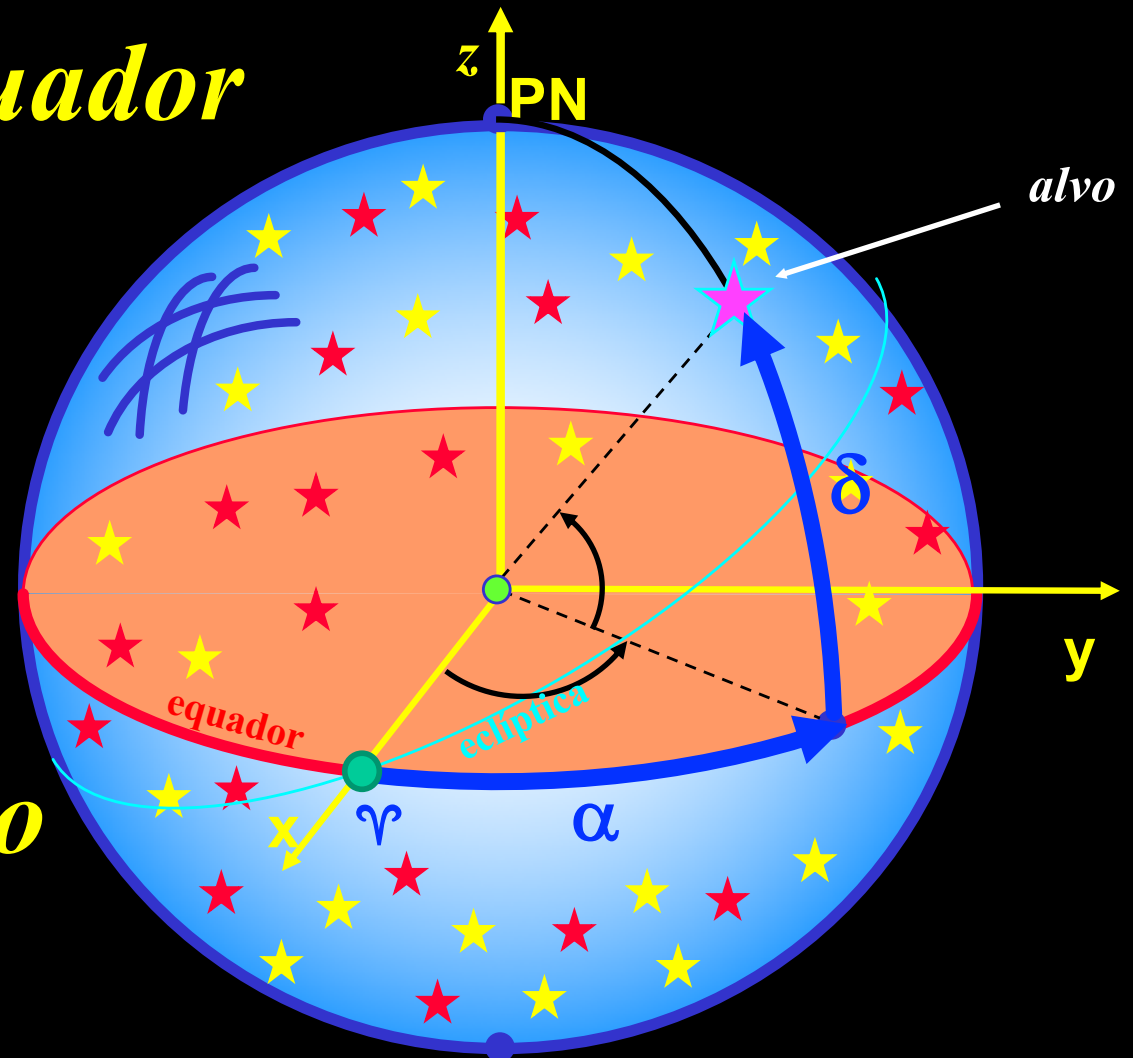
$$\cos E = \sin\delta \cdot \sin\delta_{Sol} + \cos\delta \cdot \cos\delta_{Sol} \cdot \cos(\alpha - \alpha_{Sol})$$

Inercialidade: planos fundamentais

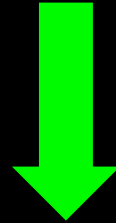
*movimentos do equador
e da eclíptica*



*deslocamento do
polo e do equinócio*



*Inercialidade:
planos fundamentais
solução*



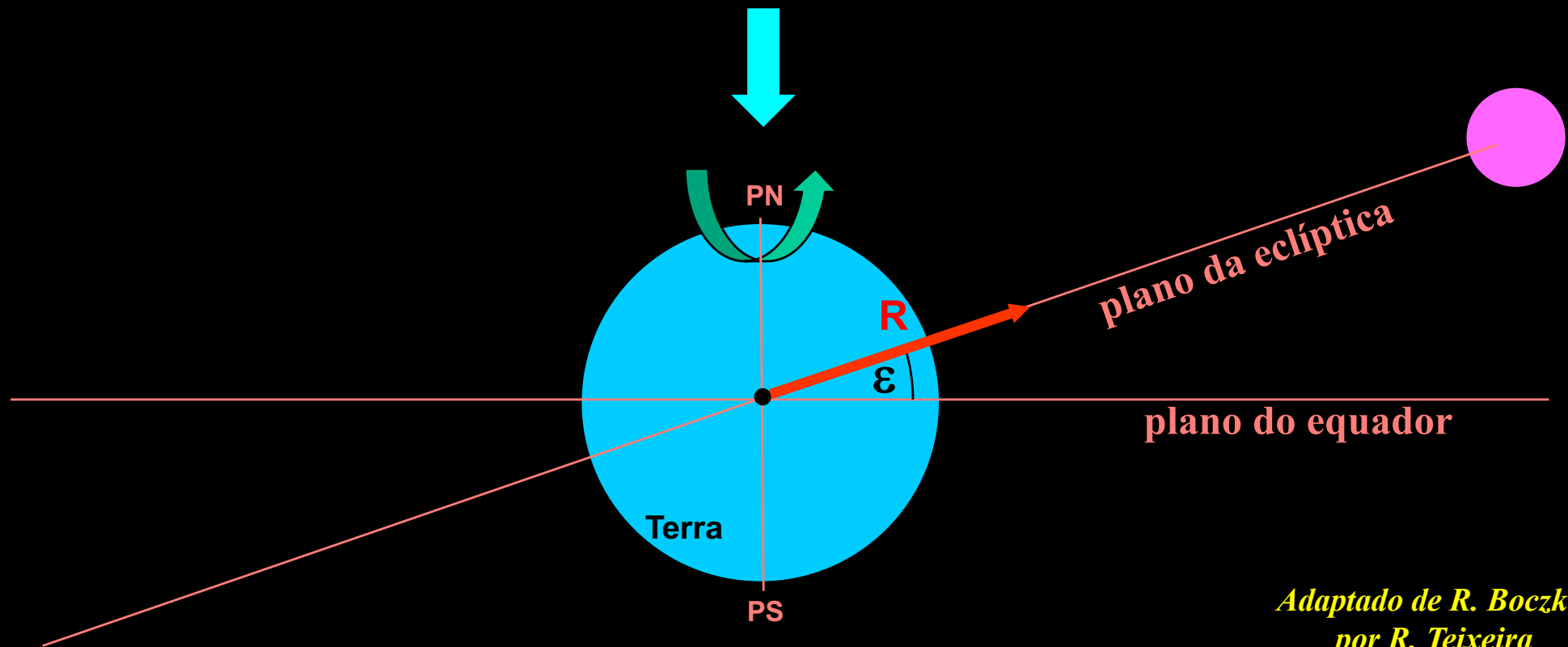
*referencial convencional fixo
para um instante t_0*

$$t_0 = 12:00 \text{ de } 01 \text{ janeiro}/2000 = 2000.0$$

referencial móvel no instante t da observação

Inercialidade: planos fundamentais

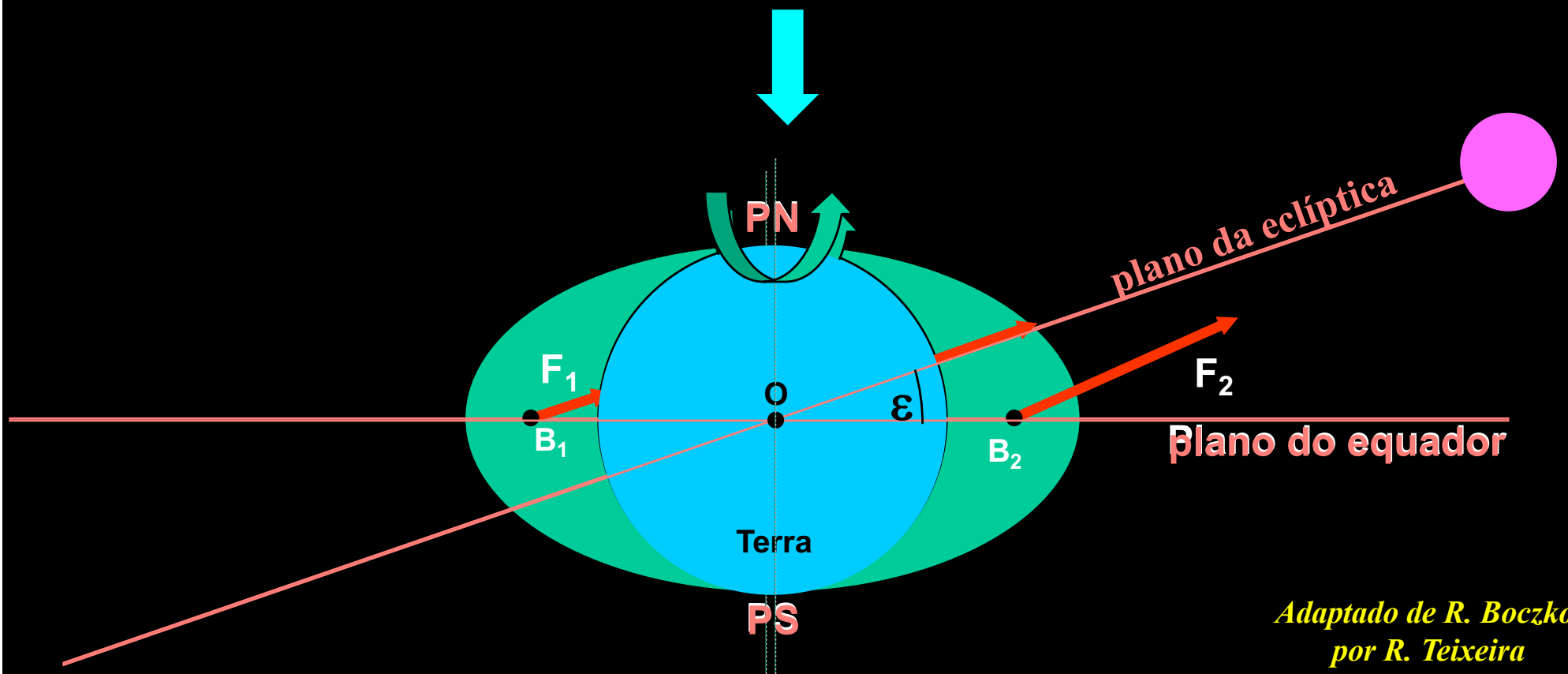
interação gravitacional
Terra perfeitamente esférica e
homogênea x corpos do SS



*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Inercialidade: planos fundamentais

interação gravitacional
Terra bojudada x corpos do SS



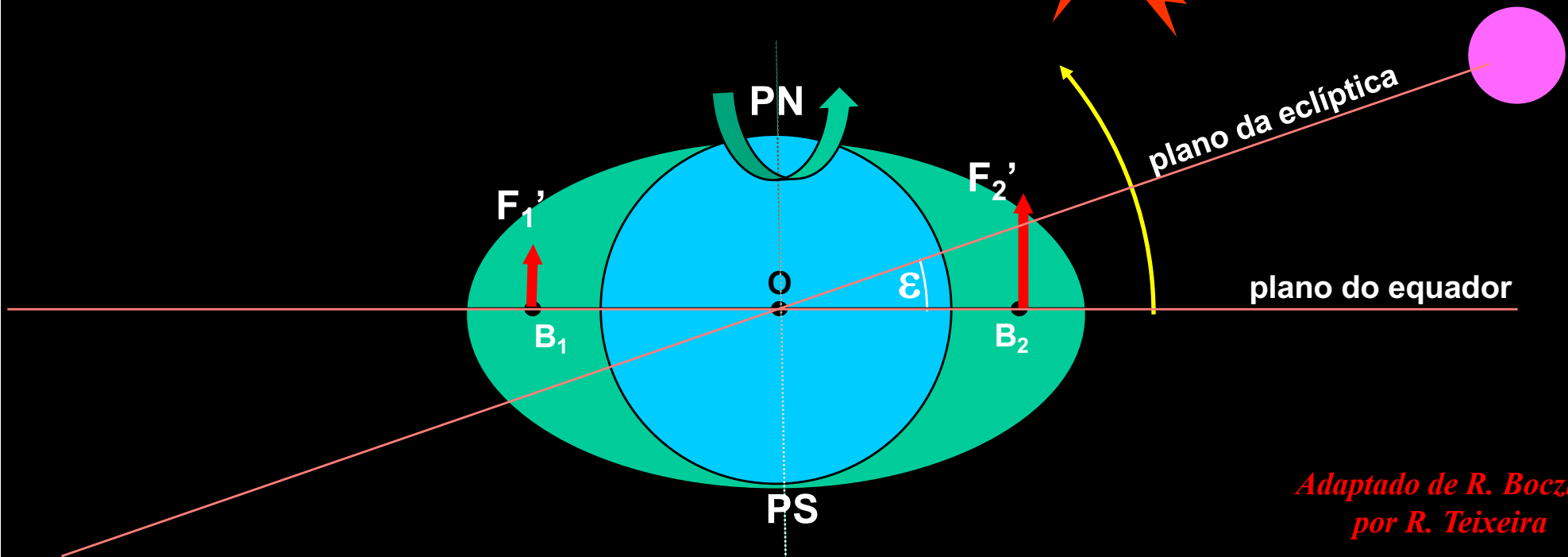
*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Inercialidade: planos fundamentais

torque tende a girar o plano do equador
em direção ao plano da eclíptica

torques

Lua $\sim 2,2 \times$ Sol $\sim 10^5 \times$ planetas



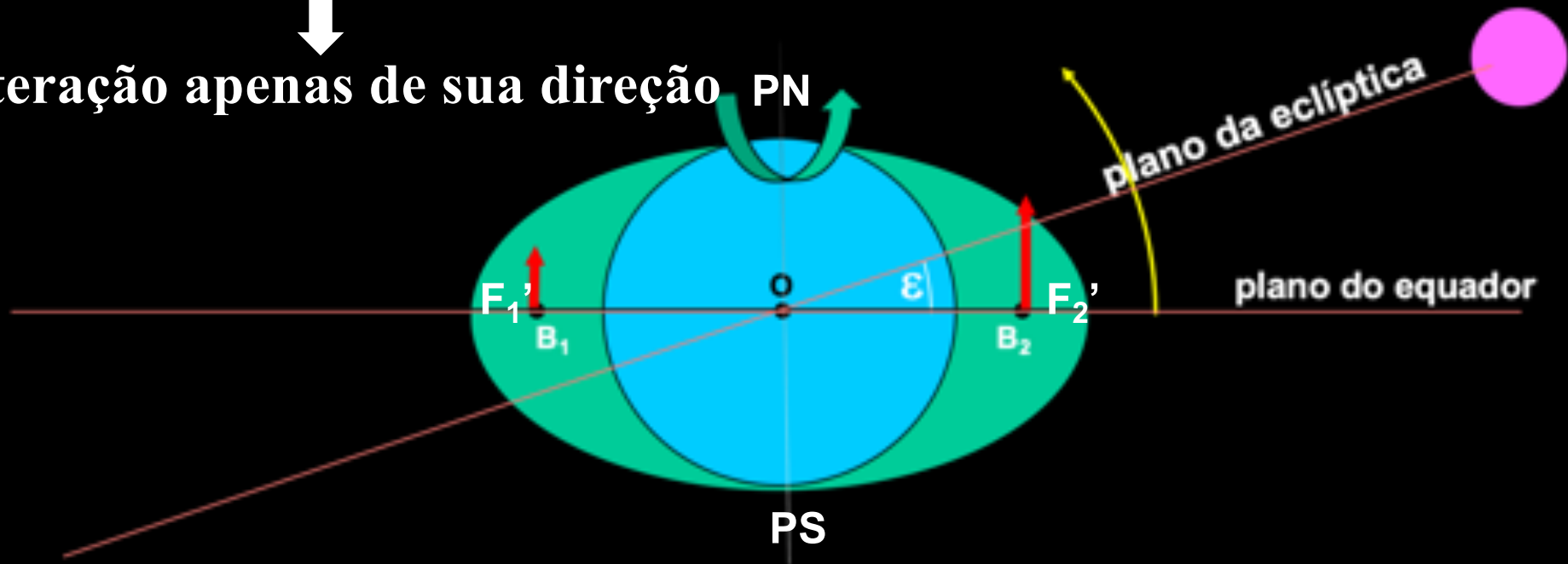
*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Inercialidade: planos fundamentais

torque perpendicular ao
momento angular da rotação

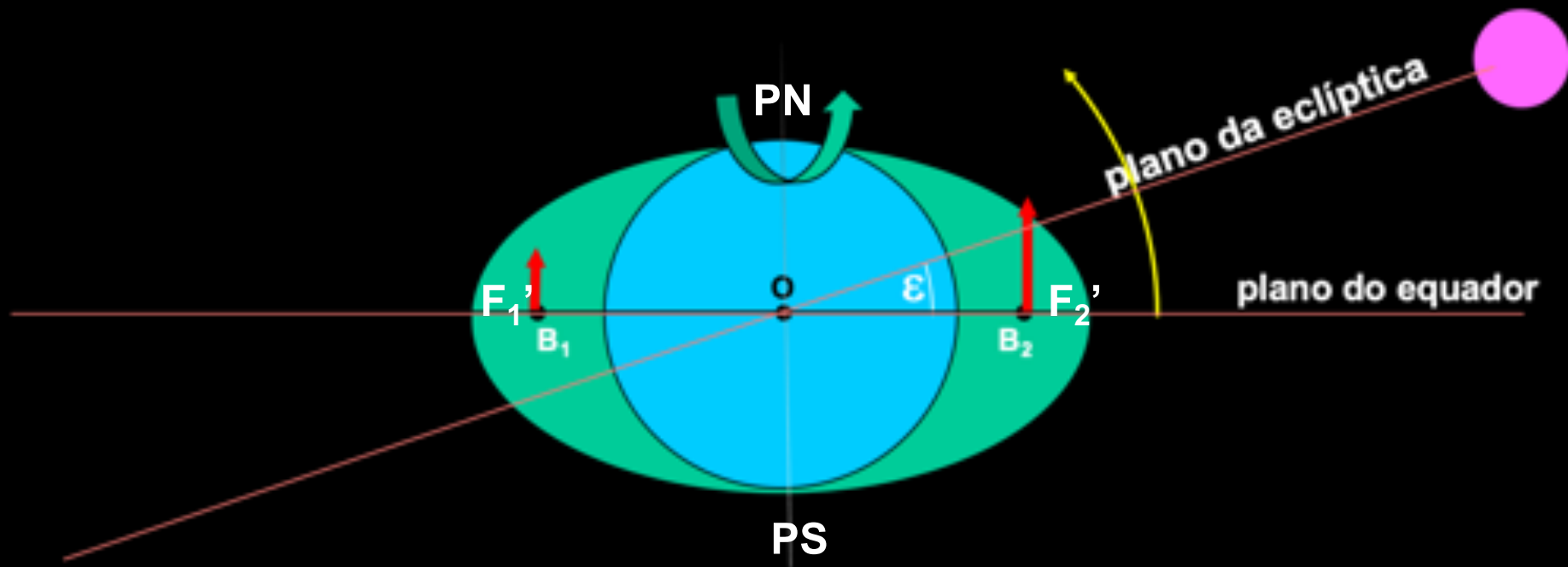


alteração apenas de sua direção PN



**deslocamento do eixo de rotação e
portanto, dos polos, equador e equinócios**

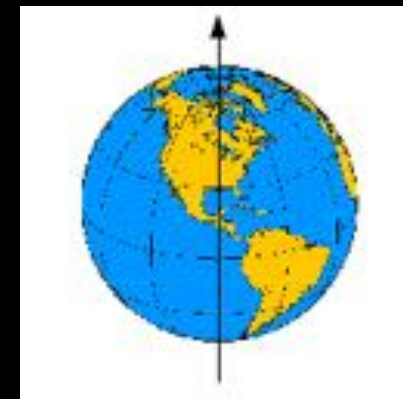
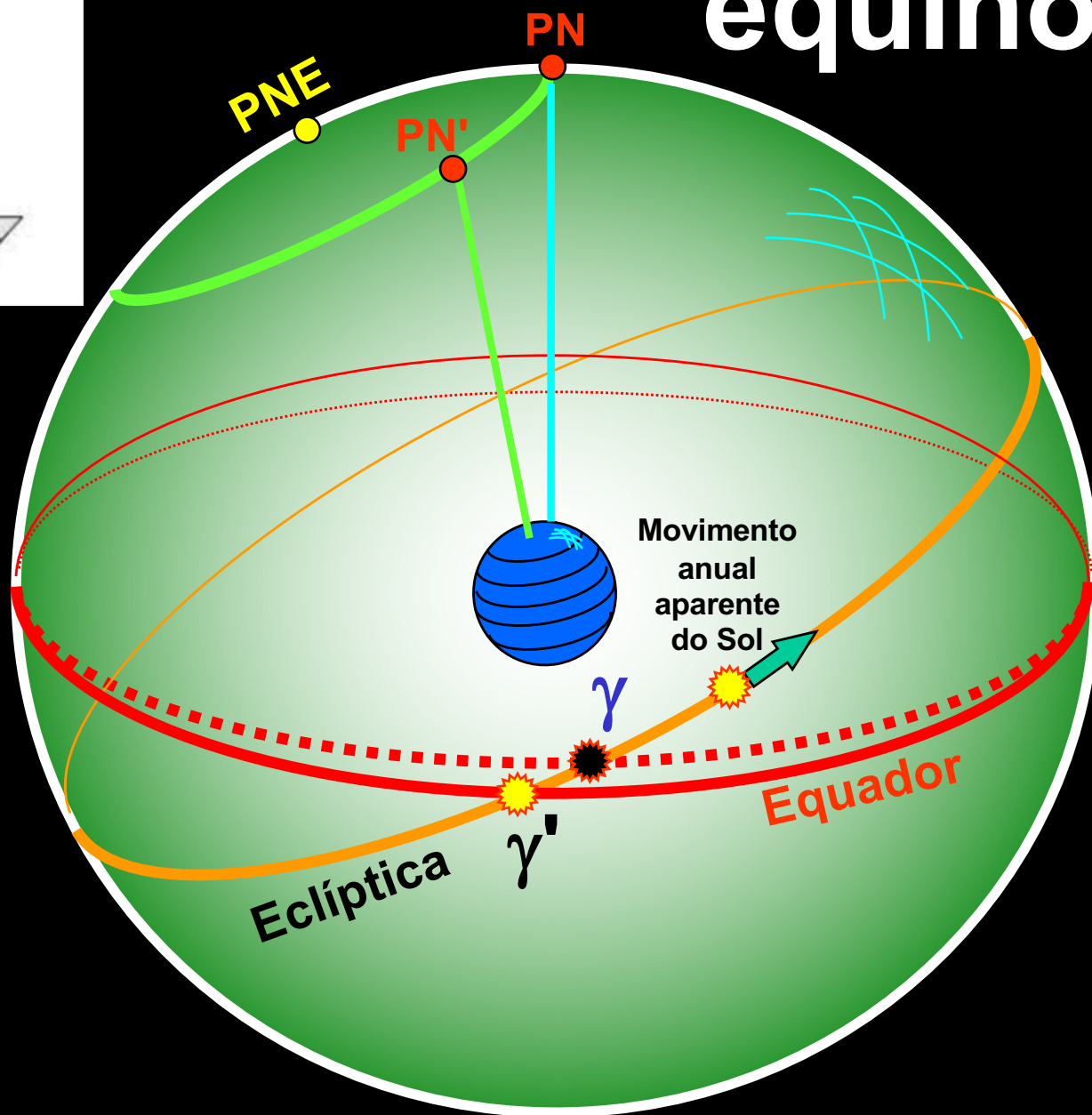
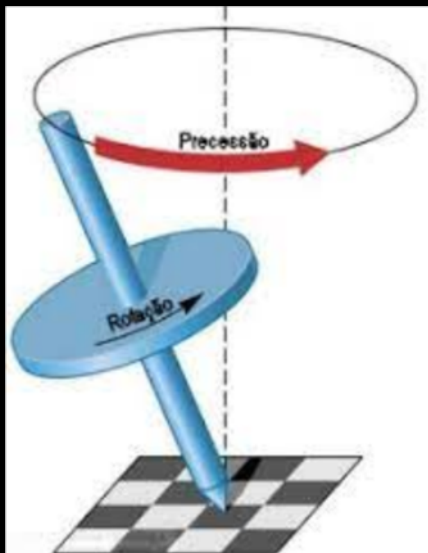
Inercialidade: planos fundamentais



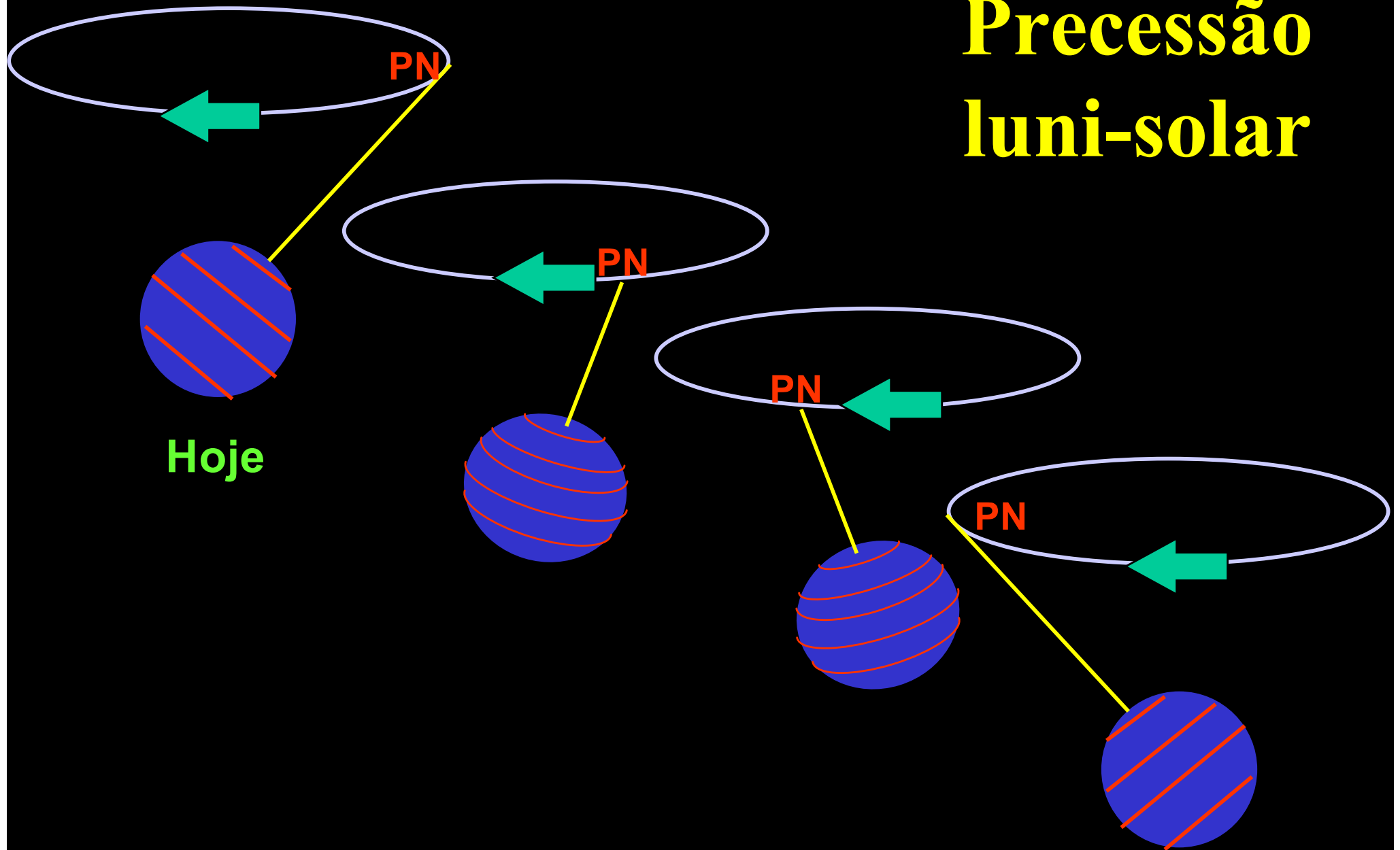
componente secular → precessão luni-solar
componentes periódicas → nutação

*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Precessão dos equinócios

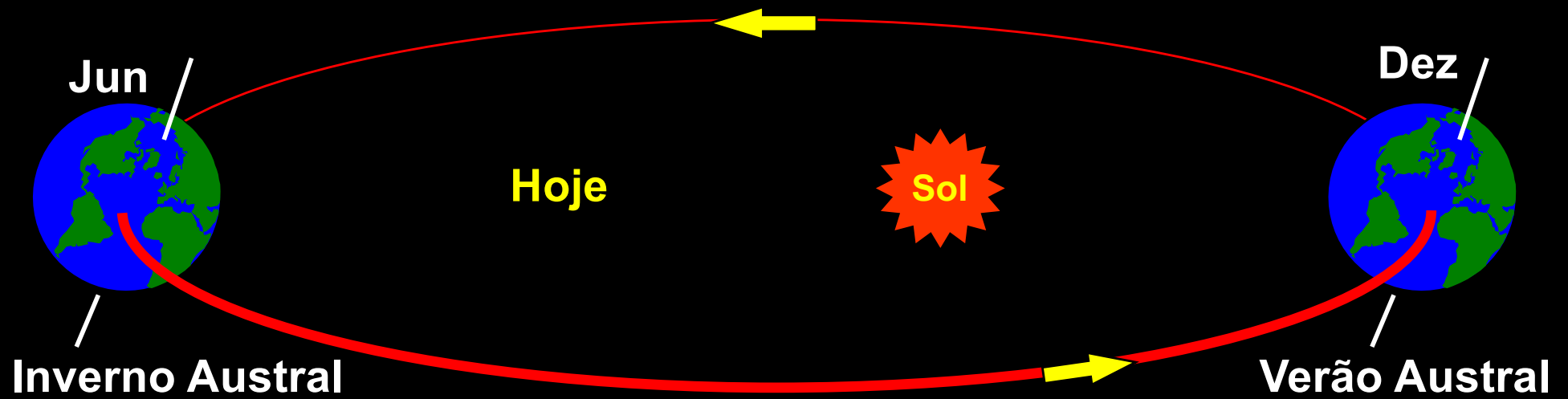


Precessão luni-solar

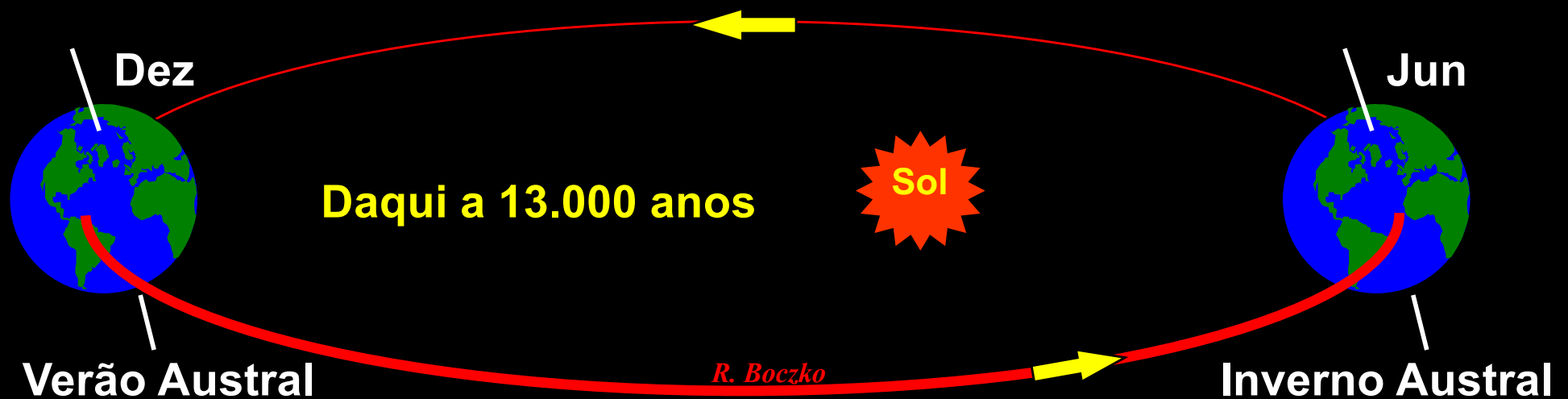


Período da precessão \cong 26.000 anos

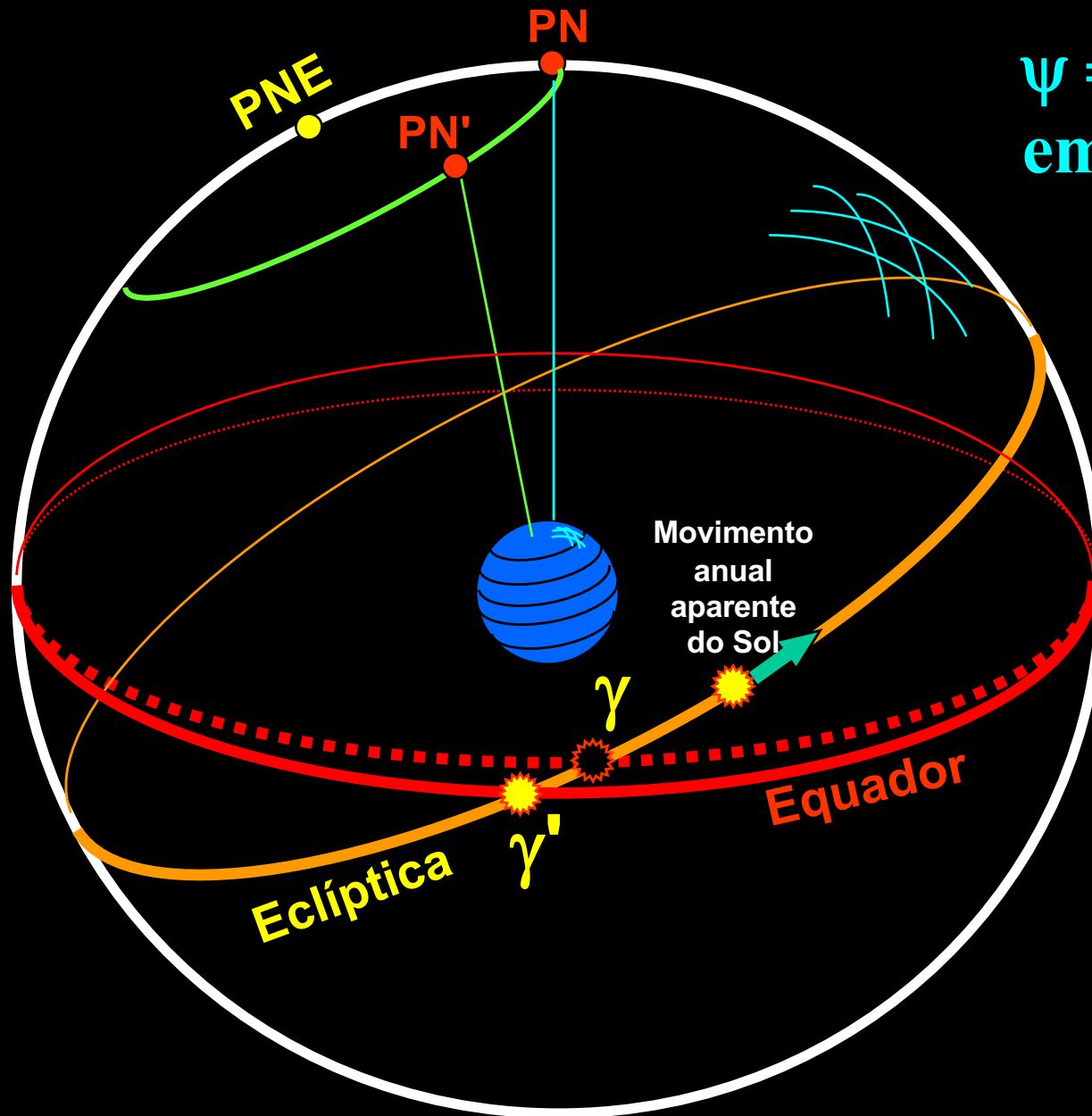
Daqui a
13 mil anos



Efeitos da precessão sobre as estações do ano



Precessão dos equinócios (luni-solar)

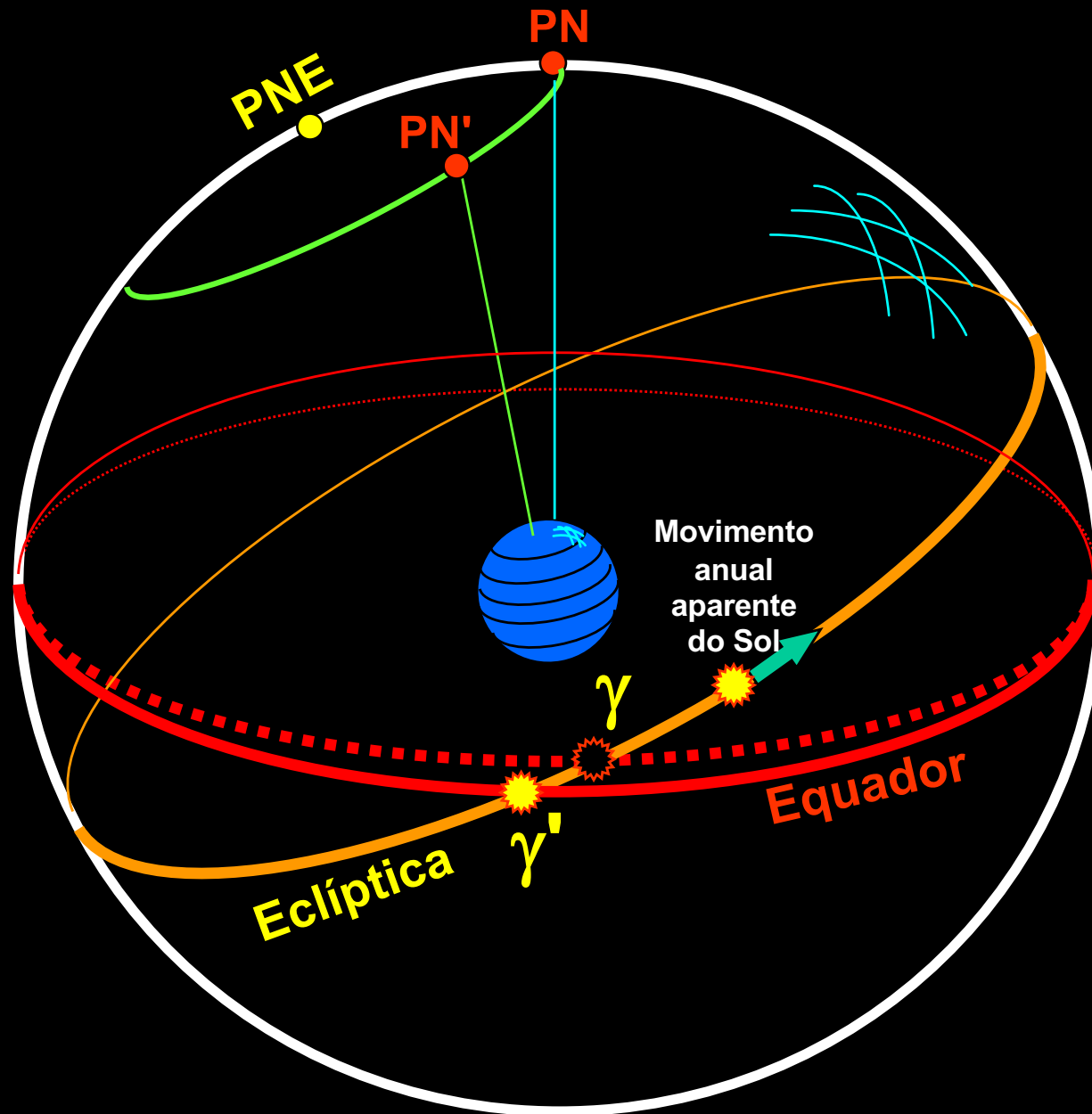


ψ = precessão luni-solar
em longitude $\cong 50''/\text{ano}$

λ , α e δ variam

β e ε constantes

Precessão dos equinócios (luni-solar)



Ano Sideral

$\gamma \rightarrow \gamma$
365^d 06^h 09^m 09^s

Ano Trópico

$\gamma \rightarrow \gamma'$
365^d 05^h 48^m 46^s

*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Retrogradação do Equinócio

Hiparco: $\lambda_S = 174^\circ$ (129 a .C.)

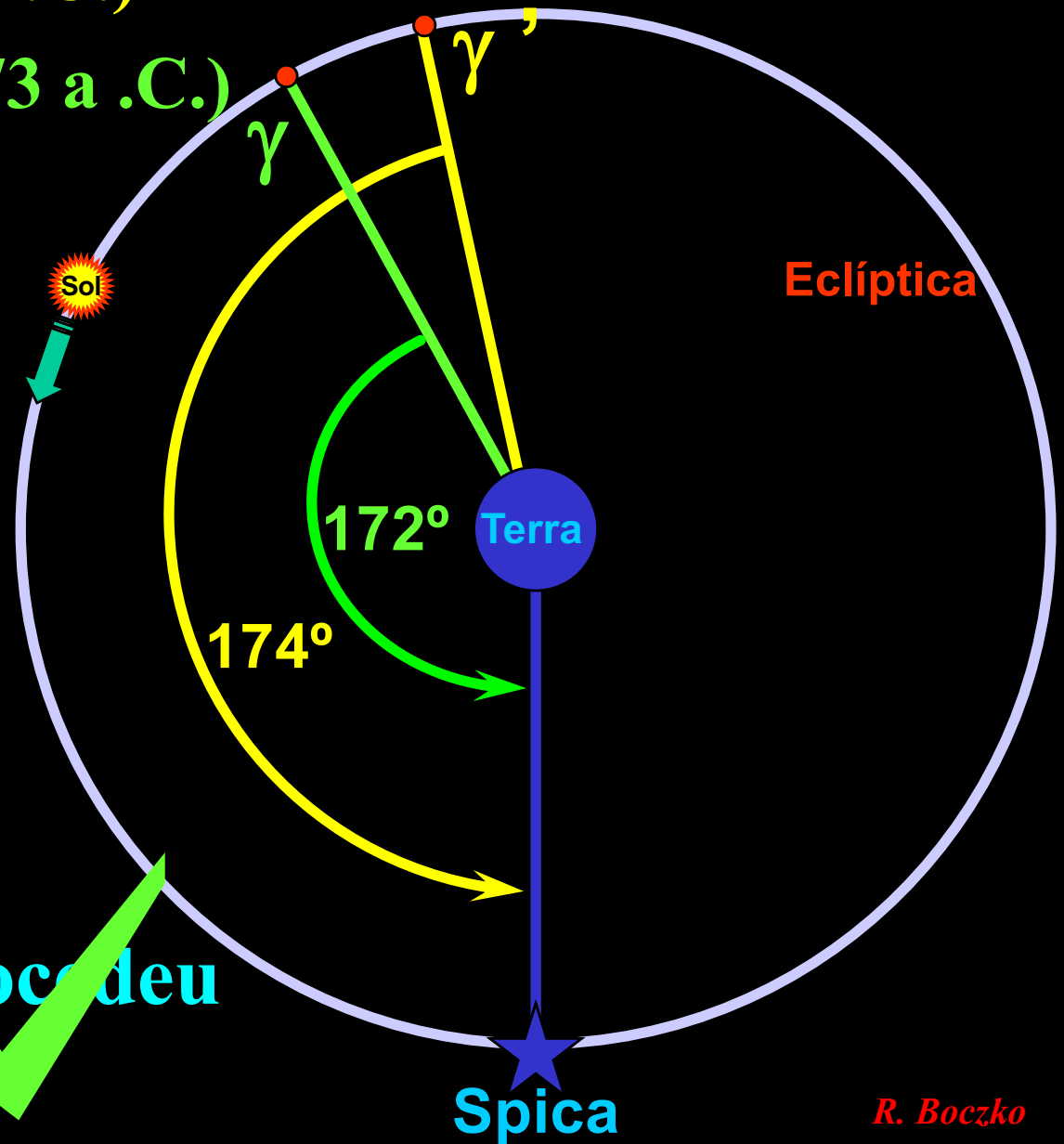
Timocharis: $\lambda_S = 172^\circ$ (273 a .C.)

Hipóteses:

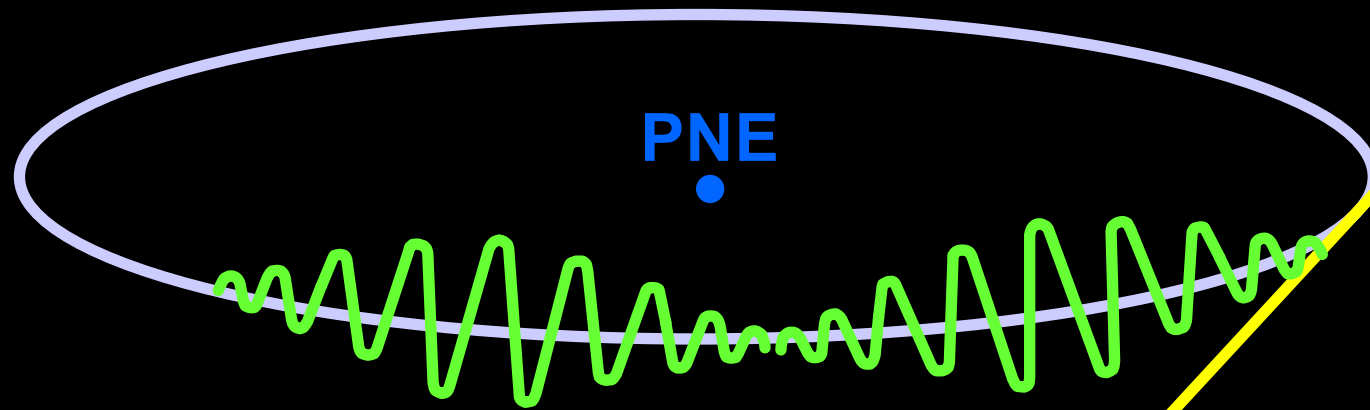
~~Timocharis errou.~~

~~Spica se deslocou
de 2° em 144 anos.~~

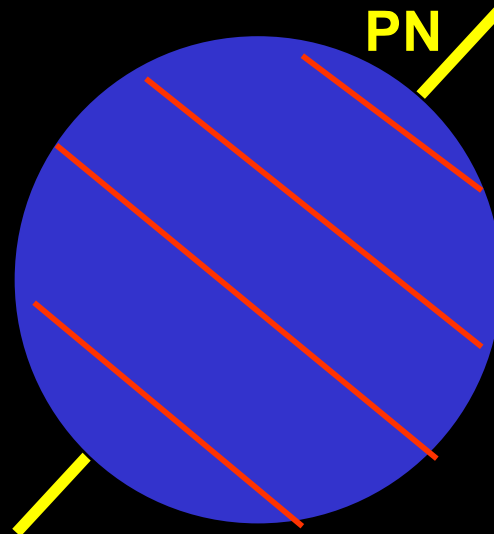
Equinócio Vernal retrocedeu
 2° em 144 anos. ✓



Nutação



oscilação dos planos de referênciã em torno de um plano médio



λ , α e δ variam

$\Delta\epsilon$ = nutação em obliquidade

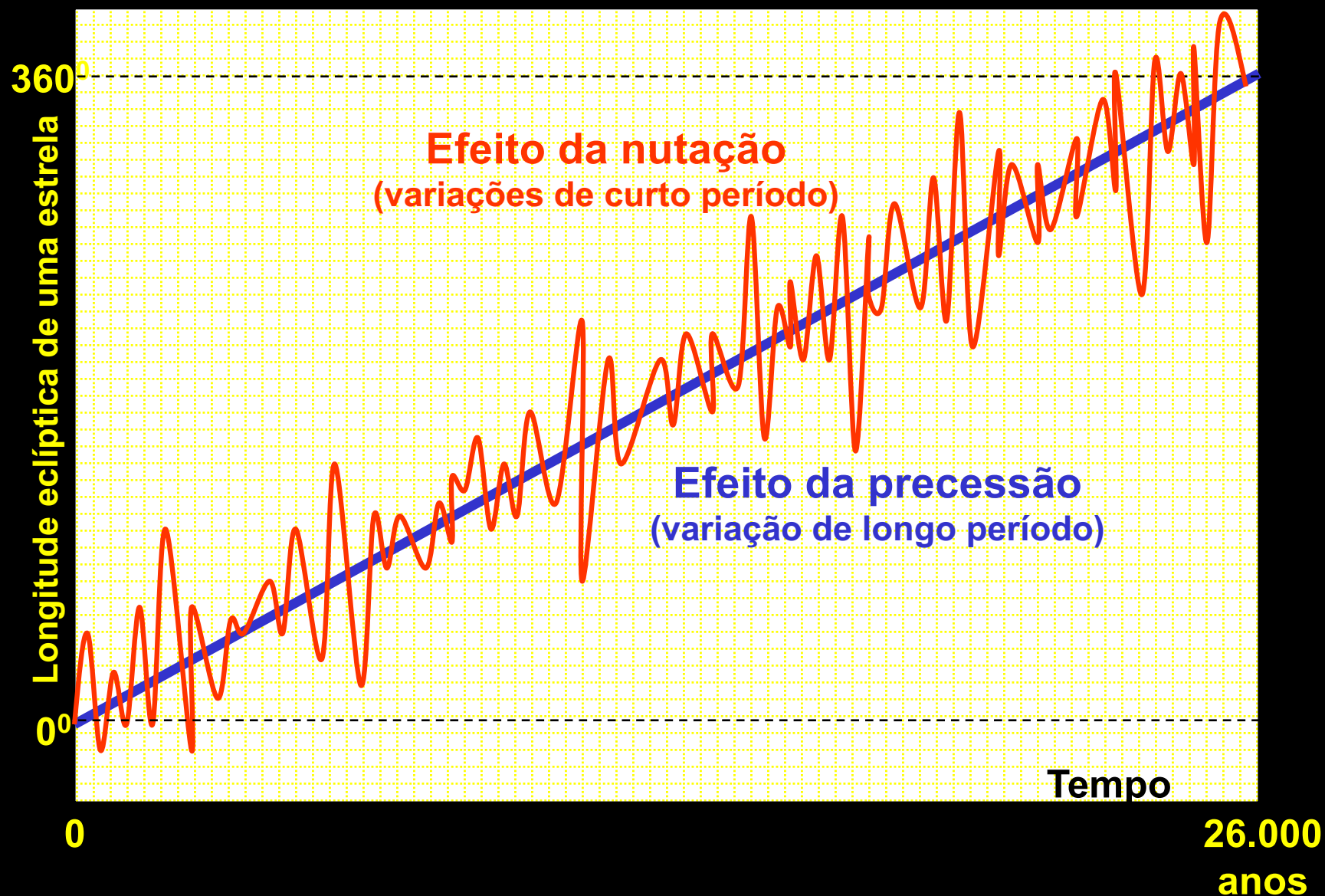
$\Delta\psi$ = nutação em longitude

termo principal da nutação

$T \cong 18$ anos

$\Delta\psi \cong 9''$ $\Delta\epsilon \cong 7''$

Precessão Luni-solar e nutação



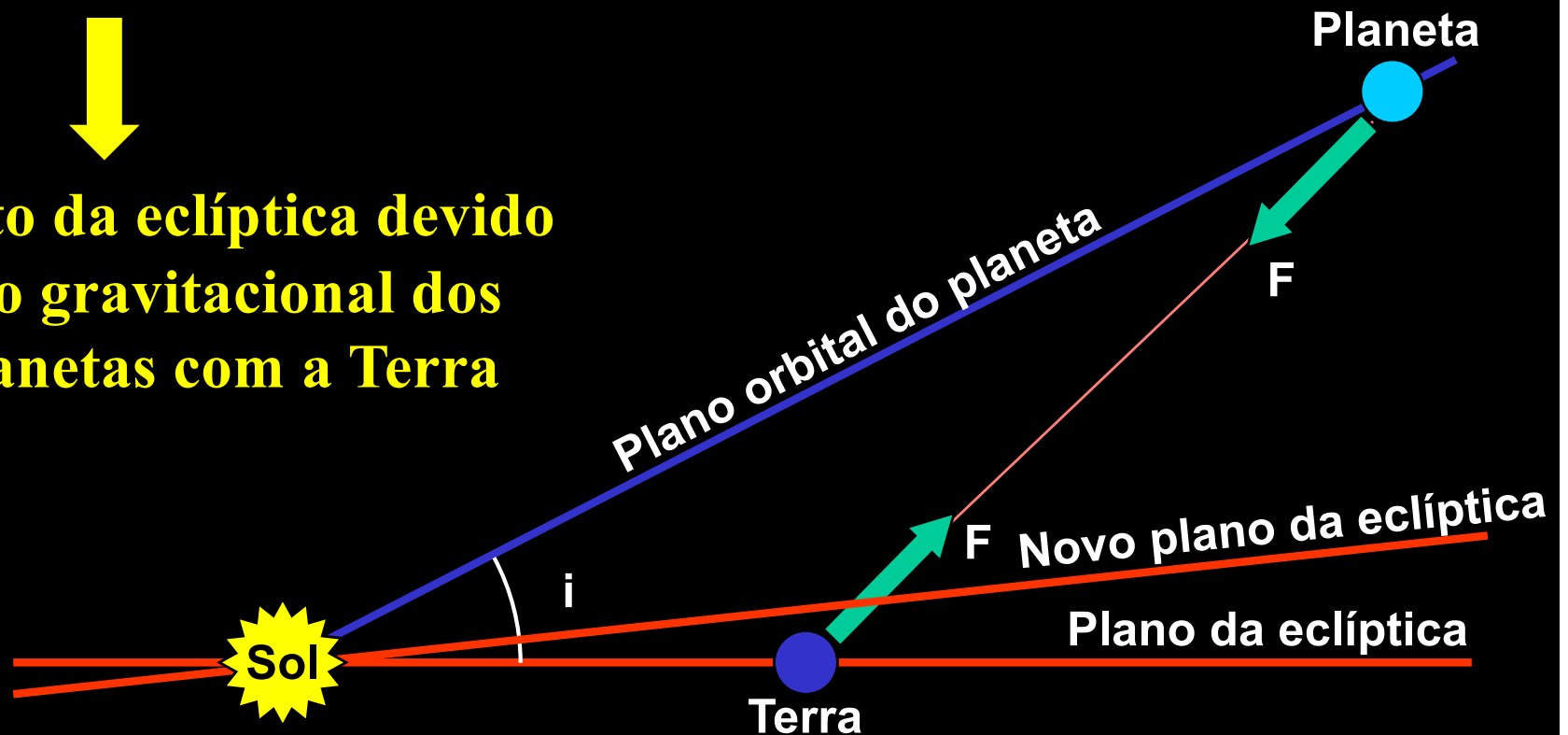
*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Inercialidade: planos fundamentais

Precessão Planetária



**deslocamento da eclíptica devido
à interação gravitacional dos
demais planetas com a Terra**



Variação da longitude $\lambda' \cong 0.10''/\text{ano}$

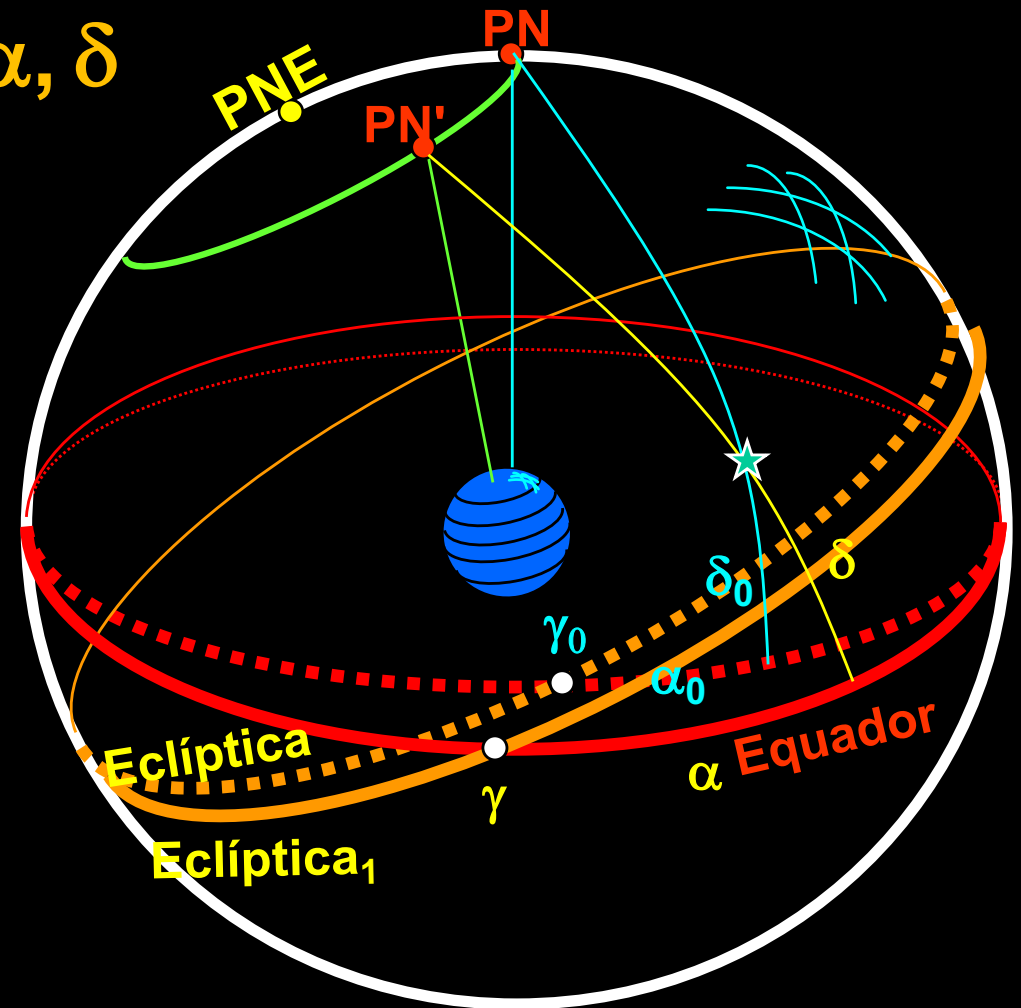
Variação da obliquidade $\pi \cong 0.50''/\text{ano}$

*Adaptado de R. Boczko
por R. Teixeira*

Precessão geral: luni-solar + planetária

Coordenadas em $t_0 = \alpha_0, \delta_0$

Coordenadas em $t = \alpha, \delta$



Movimentos dos planos fundamentais

Precessão geral $\Delta t < 1$ ano

$$\Delta \delta = [n \cdot \cos \alpha_0] [t - t_0]$$

$$\Delta \alpha = [m + n \cdot \sec \alpha_0 \cdot \tan \delta_0] [t - t_0]$$

$$m \sim 3,07234 \text{ s/ano}$$

$$n = 20,0468 \text{ "/ano}$$

Nutação

$$\Delta \delta = \sin \varepsilon \cdot \cos \alpha \cdot \Delta \psi + \sin \alpha \cdot \Delta \varepsilon$$

$$\Delta \alpha = (\cos \varepsilon + \sin \varepsilon \cdot \sin \alpha \cdot \tan \delta) \cdot \Delta \psi - \cos \alpha \cdot \tan \delta \cdot \Delta \varepsilon$$

F I M