

## **2. A Terra e a Lua**

**Introductory Astronomy & Astrophysics, M. Zeilek,  
S. A. Gregory & E. v. P. Smith (Caps. 3 e 4)**

# Dinâmica da Terra

- **Unidades de medida de tempo: convencionadas pelos movimentos principais da Terra e Lua**
- **s, m, h, d: em termos da rotação da T**
- **Semana, mês: movimento orbital da Lua em torno da T**
- **Ano: revolução da T em torno do Sol**

# Evidências da rotação da Terra

- O fato de vermos EC “girando” para O não serve por si so como prova de que a T esta girando para L. Por que?
- Porque este argumento também valido se a T estivesse realmente **ESTATICA!**

# Evidências da Rotação da Terra

(1)



sentido  
da  
rotação

Céline Péroux, ESO (hemisfério Sul) – 4 horas de exposição

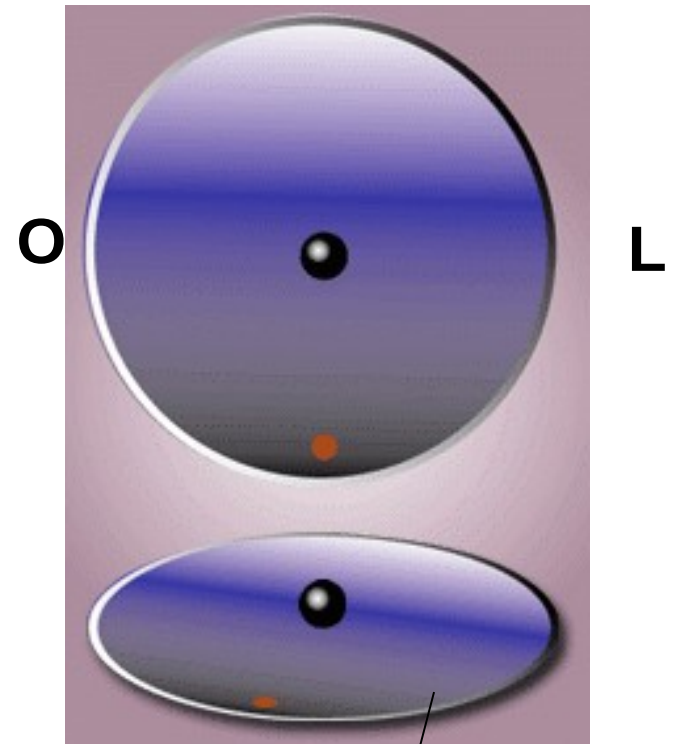
- **Corresponde ao movimento aparente diário dos astros**

# Evidências da rotação da Terra (2)

- **Força de Coriolis:**

Lançando projétil desde PN para o Equador:

- Rotação transporta alvo para L
- Projétil atinge ponto a O do alvo, ao invés de mover-se direto para o S
- Pois durante seu voo: T girou de O para L
- Esta aceleração fictícia (perpendicular à direção do movimento): **Força de Coriolis (1792-1843)**



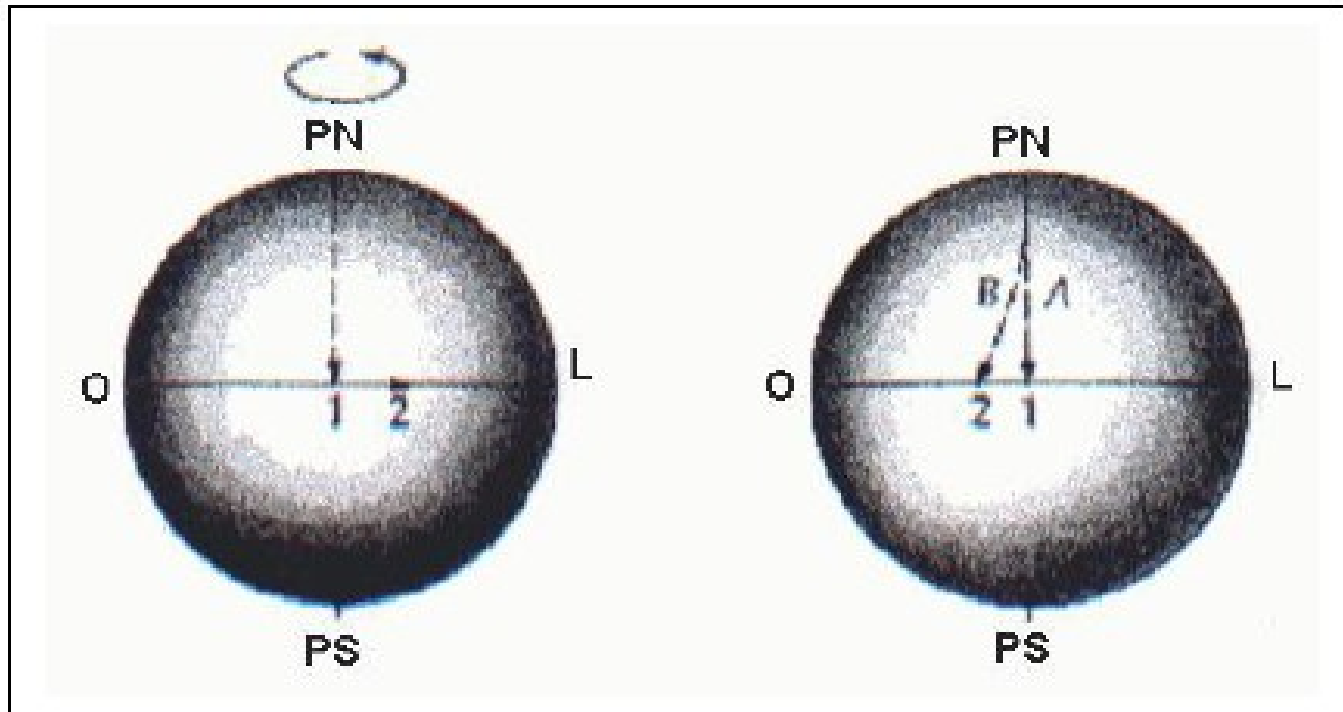
Observador no referencial girante

# Evidências da rotação da Terra (2)

- Força de Coriolis:

Referencial externo

Referencial girante



No instante 1: temos o alvo na posicao 1  
No instante 2: temos o alvo na posicao 2

No instante 1: temos o alvo em 1  
No instante 2: temos o proj. em 2

# Efeito de Coriolis

Direcao da rotacao do prato de O para L

- $v = dr/dt$  (**v do proj.**)
- $ds = dr d\theta$  (**desloc. do alvo**)
- $ds = (v dt) (\omega dt) = v \omega (dt)^2$

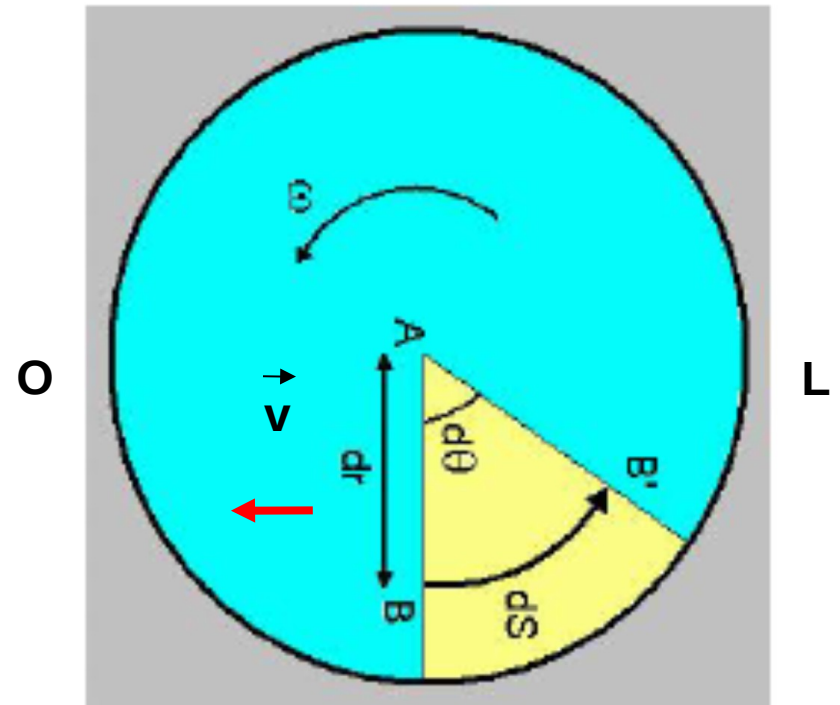
2° Lei de Newton: corpo com aceleracao  $a$ , percorre  $ds$  em  $dt$ :

$$ds = \frac{a (dt)^2}{2}$$

Comparando:

$$a = 2 v \omega$$

→ Aceleracao de Coriolis:  
“desvia” o projeltil de L para O

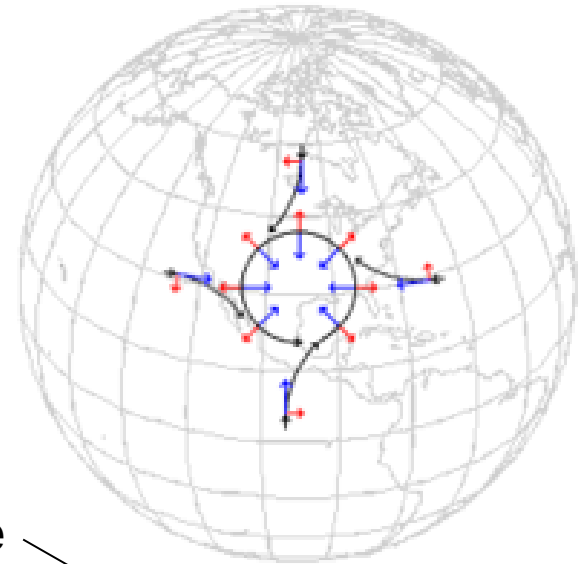


Vetor  $\omega$  aponta perpendicularmente a este slide (para fora)

$$\vec{a}_{\text{Coriolis}} = 2 \vec{v} \times \vec{\omega}$$

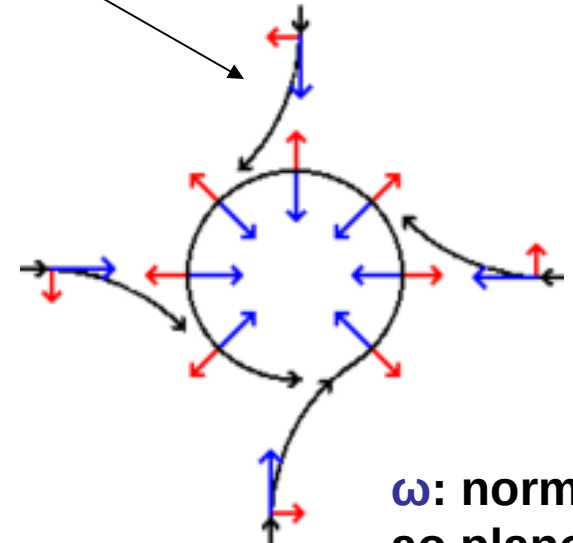
# Efeito de Coriolis

Controla padrão de ventos na atmosfera da T. Ex. 1 ciclone é circulação de ar (de L para O) produzida pela deflexão de Coriolis de ar fluindo em direção ao centro de uma região de baixa pressão



Deflexão de Coriolis

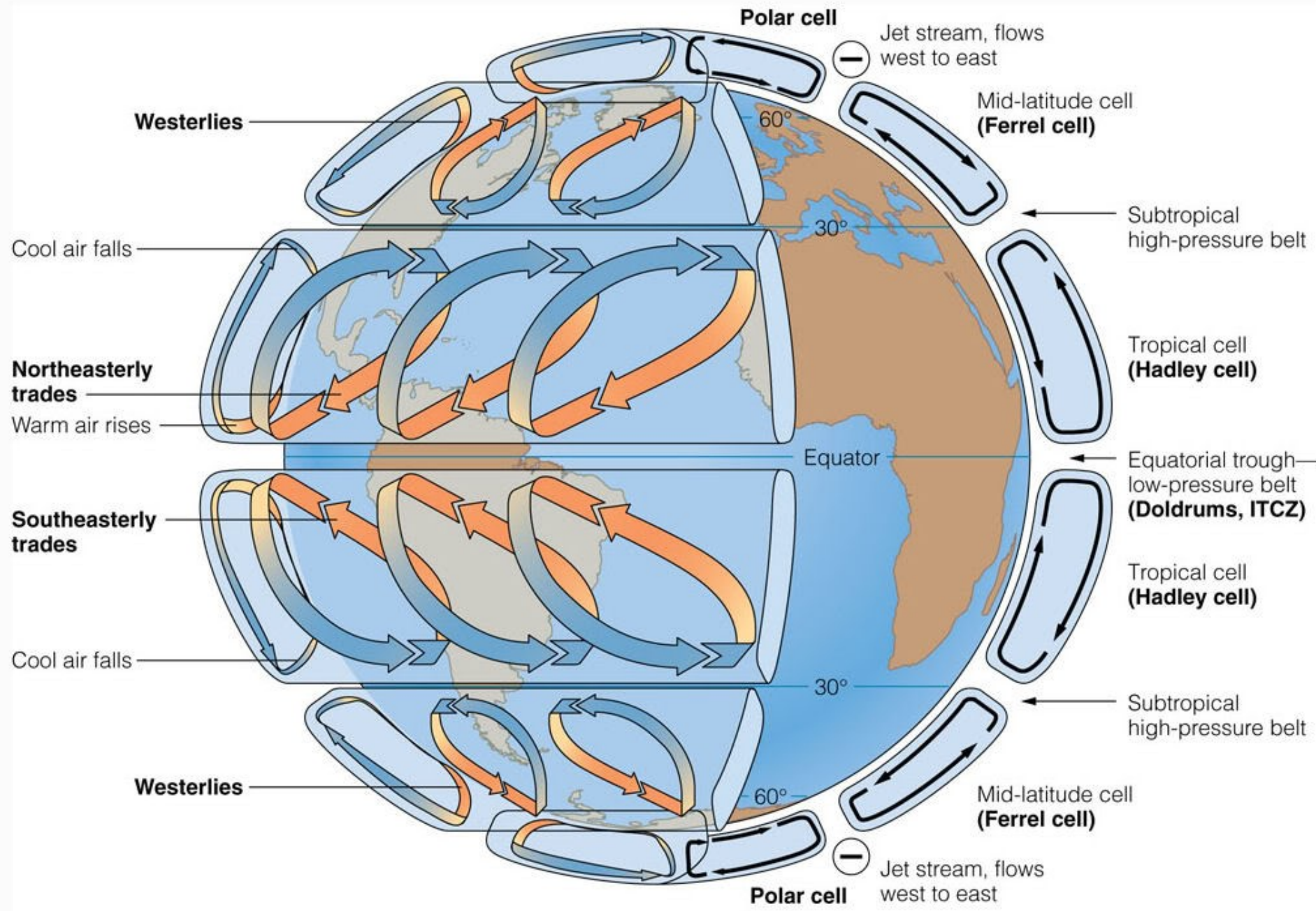
Representação esquemática de fluxo em torno de uma zona de baixa pressão. A força de gradiente de pressão é representada pelas flechas azuis. A força de Coriolis, sempre perpendicular à velocidade, em vermelho



No hemisfério norte: sentido horário  
No hemisfério sul: sentido anti-horário

$\omega$ : normal ao plano





# Evidências da rotação da Terra (3)

## Pendulo de Foucault

(Bernard Leon Foucault)

Pêndulo com  $l = 60$  m no Panteon  
(Paris 1851)

Plano de oscilação gira para O no decorrer de um dia

Se a Terra não girasse:  
o plano de oscilação do pêndulo  
permaneceria imóvel pois forças  
presentes  
(tensão e gravidade) permanecem  
no plano de oscilacao

Como a T gira (de O para L):  
Observemos “fora” e sobre a T o  
que ocorre



# Pendulo de Foucault

No PN:

T (sob pendulo) gira com  $P = 24$  hs para L  
pendulo (visto do chao) parece ter rodado por 24hs  
para O

Na latitude  $\theta$ :

T gira para L  
pendulo parece girar para O com

$$\Omega_p = \Omega \sin \theta$$

$$P_p = \frac{2\pi}{\Omega \sin \theta} = \frac{24 \text{ hs}}{\sin \theta}$$

# Pendulo de Foucault

<http://www.sciences.univ-nantes.fr/physique/perso/gtulloue/Meca/RefTerre/Foucault0.html>

Que Força faz o plano de oscilacao girar ?

Coriolis:

$$\vec{a}_{\text{Coriolis}} = 2 \vec{v} \times \Omega$$

v: velocidade do pendulo;  
 $\Omega$ : velocidade angular de rotaçã o da Terra

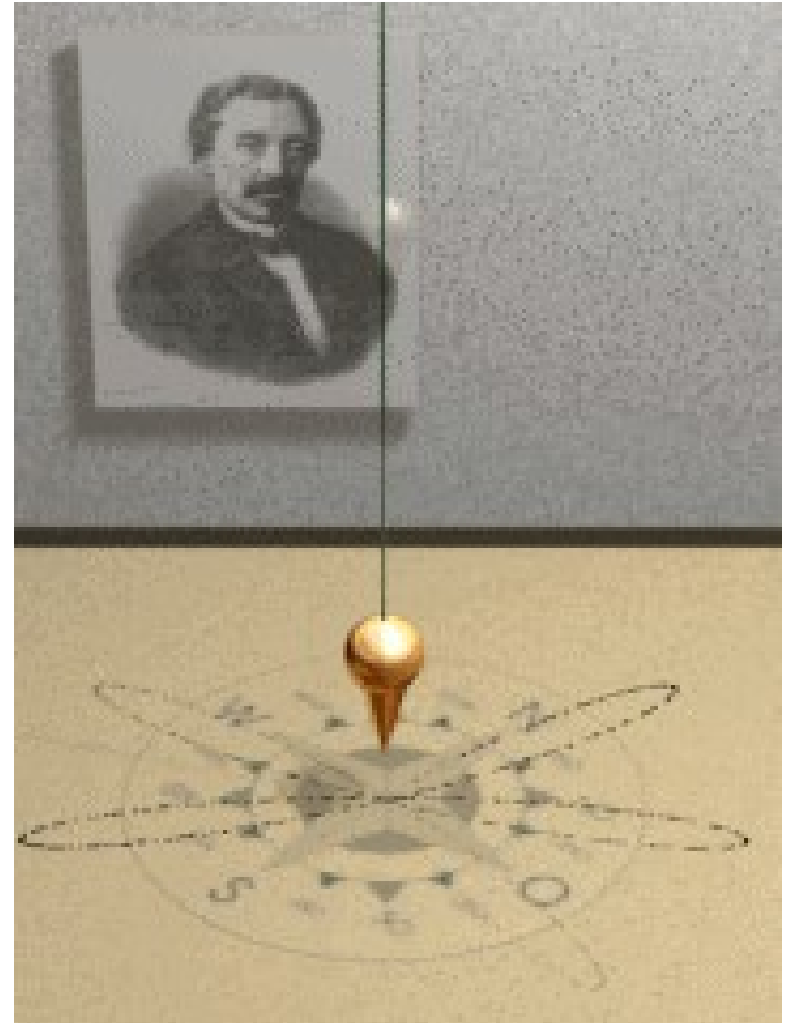
( $\Omega$  é muito menor que a oscilação própria  $\omega$  do pêndulo).



# Evidências da rotação da Terra (3)

## Pendulo de Foucault

...E o sentido de  
rotacao do plano de  
oscilacao do pendulo  
no HS: de O para L



# Pendulo de Foucault

Oscilação própria do pêndulo simples:

$$\omega = \sqrt{g/l}$$

Com a rotacao da Terra:

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 + \Omega^2 \sin^2(\theta)}$$

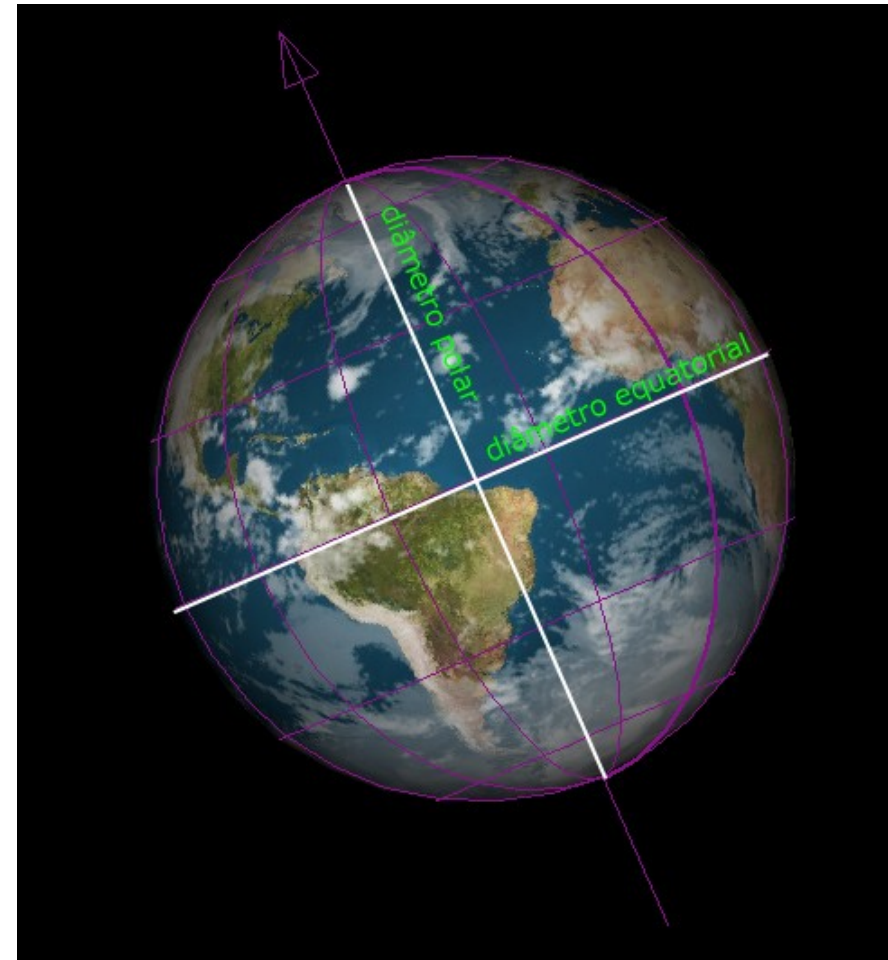
Mas frequencia do pendulo ( $\omega$ ) e muito maior que a de rotaçao da Terra ( $\Omega$ )



# Evidências da rotação da Terra (4)

- **Achatamento da Terra**

- A Terra (e o Sol, os Planetas...) se comportam em grande escala como um fluido.
- Rotação provoca aumento do diâmetro equatorial em relação ao diâmetro polar.
- Na Terra:
  - $R(p) = 6.356,8 \text{ km}$
  - $R(eq) = 6.378,2 \text{ km}$a razão entre estes raios é 0,997 (21km de diferença entre os raios).



- **Demonstracao matematica na lousa....**

# Evidências da Revolucao da Terra ao redor do Sol

- **Aberracao da Luz**

- Consideremos luz proveniente de astro:
- Composicao do movimento:

observador + luz = aberracao da luz



- Em repouso: chuva vertical
- Se eu caminho com  $v_{pessoa}$ :

aparente inclinacao angular da chuva :

tanto  $>$  quanto  $>$   $v_{pessoa}$



# Aberracao da Luz

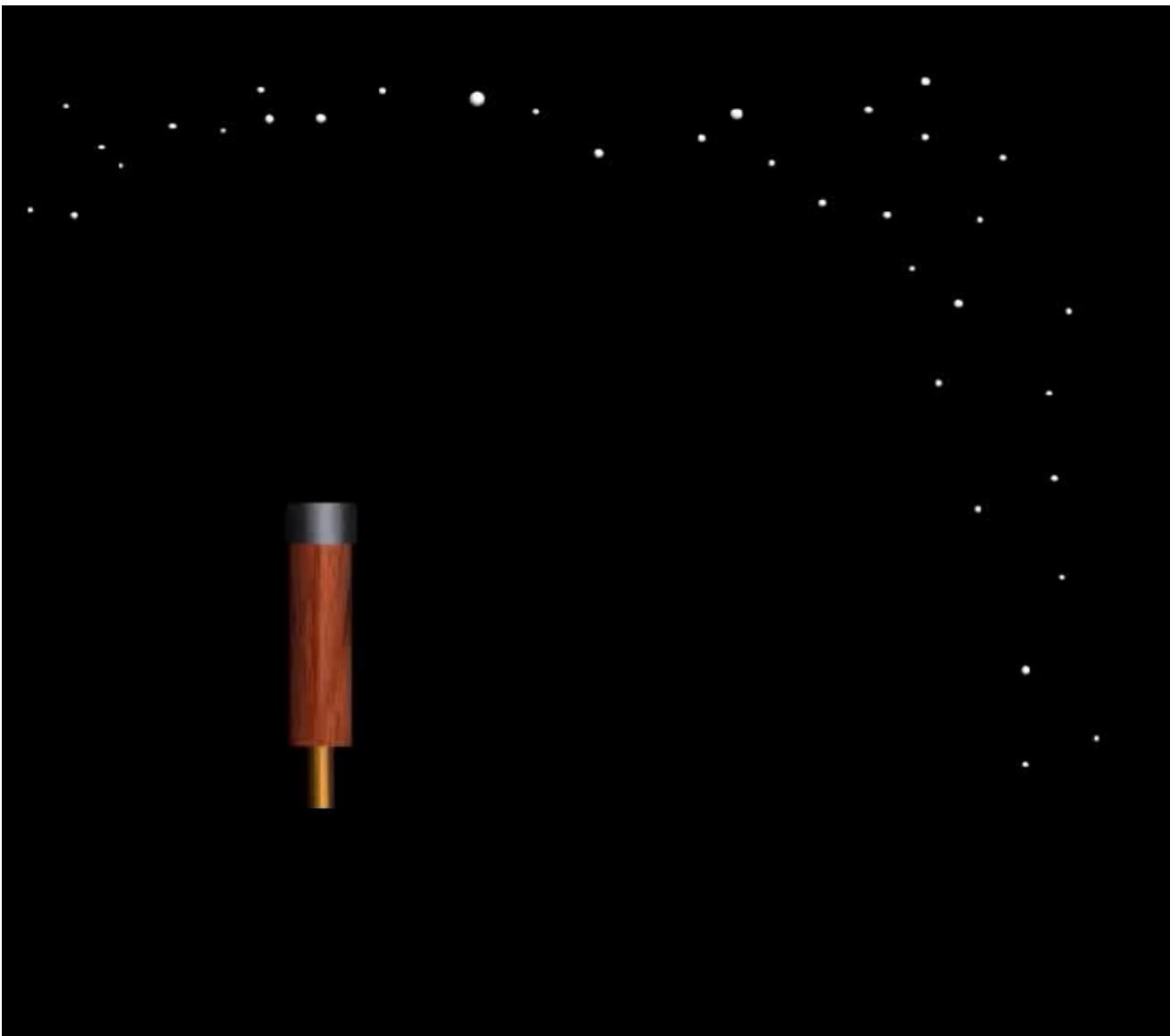
- T move-se com  $V$  em torno do Sol
- Para observar 1 estrela no zenite: telescopio deve ser inclinado de  $\theta$  para que quando luz atinja P, o telescopio possa receber luz.
- James Bradley (1729): descobriu aberracao da luz:
  - $\theta \sim \text{tg } \theta = V/c$
- $\theta$  bem pequeno:
  - $\theta \sim 20.49''$
- Bradley explicou esse efeito como causado pelo movimento orbital da Terra



Telescopio em repouso



$$V = \theta^{\text{rad}} c = (9,934 \times 10^{-5} \text{ rad}) (3 \times 10^5 \text{ km/s}) = 29,80 \text{ km/s}$$



<https://www.youtube.com/watch?v=qwlMo7WmYd4>

# Evidências da Revolucao da Terra ao redor do Sol (2)

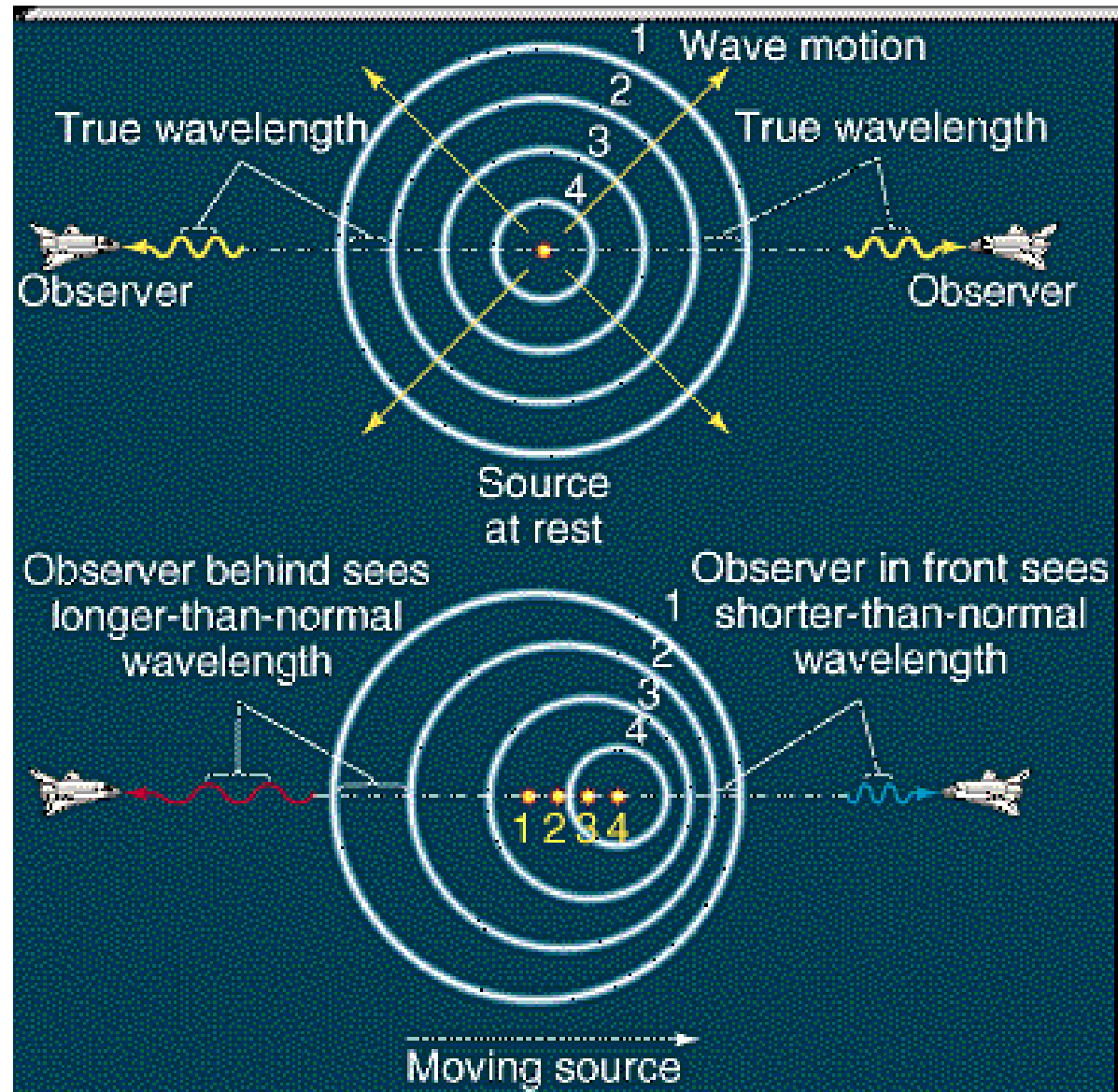
## • Efeito Doppler

- Luz dos astros: radiação com comprimento de onda natural  $\lambda_0$
- Quando ha movimento entre fonte emissora de uma onda e o observador:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

$v$ : velocidade radial do astro relativo à Terra

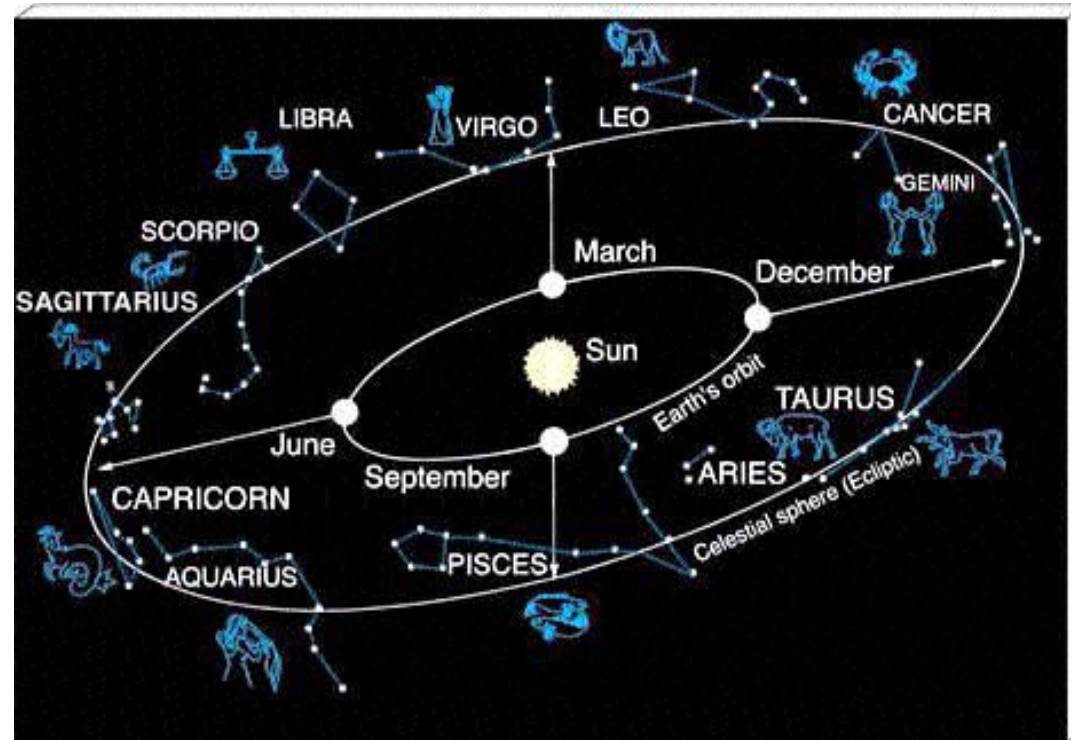
$\lambda$  : comprimento de onda medido



# Efeito Doppler

T roda em torno do S na ecliptica (E):

→  $\lambda$  emitido pelos astros varia ao longo do ano à medida que T caminha por E

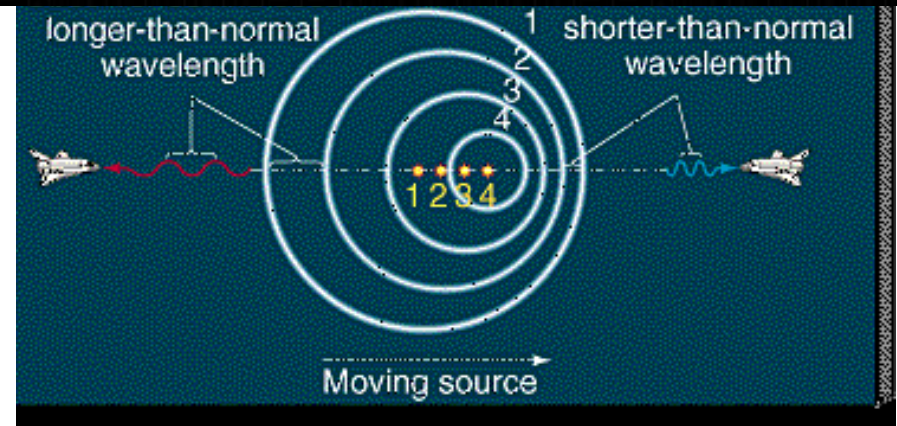


Quando afastamento ou aproximação máxima do astro:

$\Delta\lambda$  medido na luz do astro usado para determinar v orbit

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} \quad q.:$$

$$V = 29,80 \text{ km/s}$$



# Forças gravitacionais diferenciais

- Atração entre 2 corpos esféricos: equivalente à exercida entre 2 partículas pontuais
- Quando corpos não-esféricos, ou elásticos, ou vários corpos envolvidos: existem **forças gravitacionais diferenciais** ao longo do **volume** dos corpos

# Forças gravitacionais diferenciais

- **Marés:**

Normalmente: 2 marés altas e 2 baixas por dia

Altura das marés: desde cm ate varios ms, dependendo da localizacao e epoca do ano

Altura tipica da maré em mar aberto: 1m

O que as causam?

Pistas: variam diaria, mensal e anualmente

Resposta: **resultado da influencia da gravidade da L e do S na Terra!**

Atracao da L: > no lado da T que esta olhando para L

# Forças gravitacionais diferenciais

T fica ligeiramente alongada ao longo da linha T-L

Água (fluido) sente efeito mais fortemente:

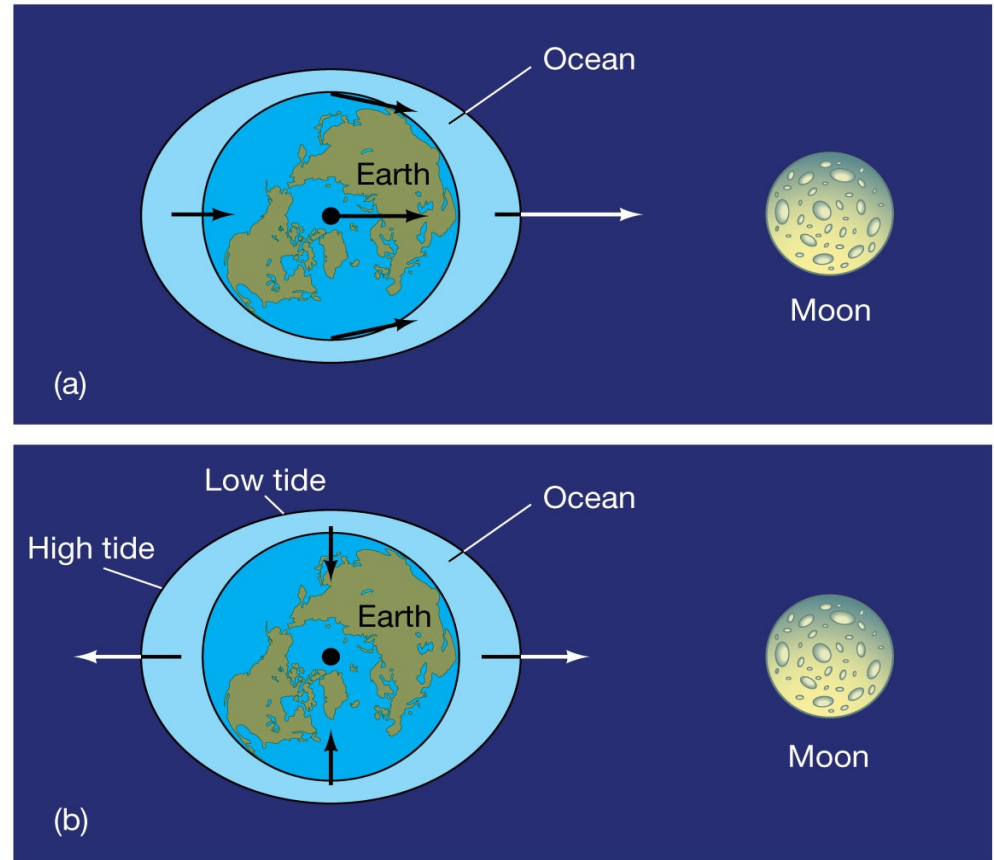
Oceano + fundo ao longo da linha T-L e fica + raso na direção normal

Mares diárias: resultam à medida que T gira

**Note: Força de maré (diferencial) resultante em ambos os lados da T é praticamente a mesma: daí mesmo efeito de Maré!**

(a): força gravitacional da L sobre diferentes pontos da T na sup. e centro

(b): diferença entre forças dadas em (a) e a força no centro da T: forças de maré



© 2011 Pearson Education, Inc.

# Um pouco de matematica

Força de maré da L sobre a T = diferencial de forças entre superfície e centro da Terra devido a atracão da Lua:

$$\Delta F_G = G M_T M_L / (d - R_T)^2 - G M_T M_L / d^2$$

d: distancia T-L

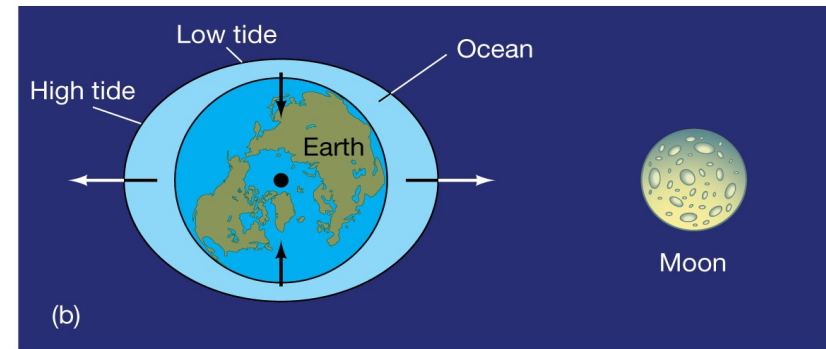
Depois de alguma algebra simples e considerando que  $R_T \ll d$ :

$$\Delta F_G = 2 R_T M_T M_L / d^3$$

→ Força de maré da L sobre a T

e a aceleracao gravitacional diferencial (de maré):

$$a_{\text{maré}} = 2 M_L R_T / d^3$$



© 2011 Pearson Education, Inc.



# Forças gravitacionais diferenciais

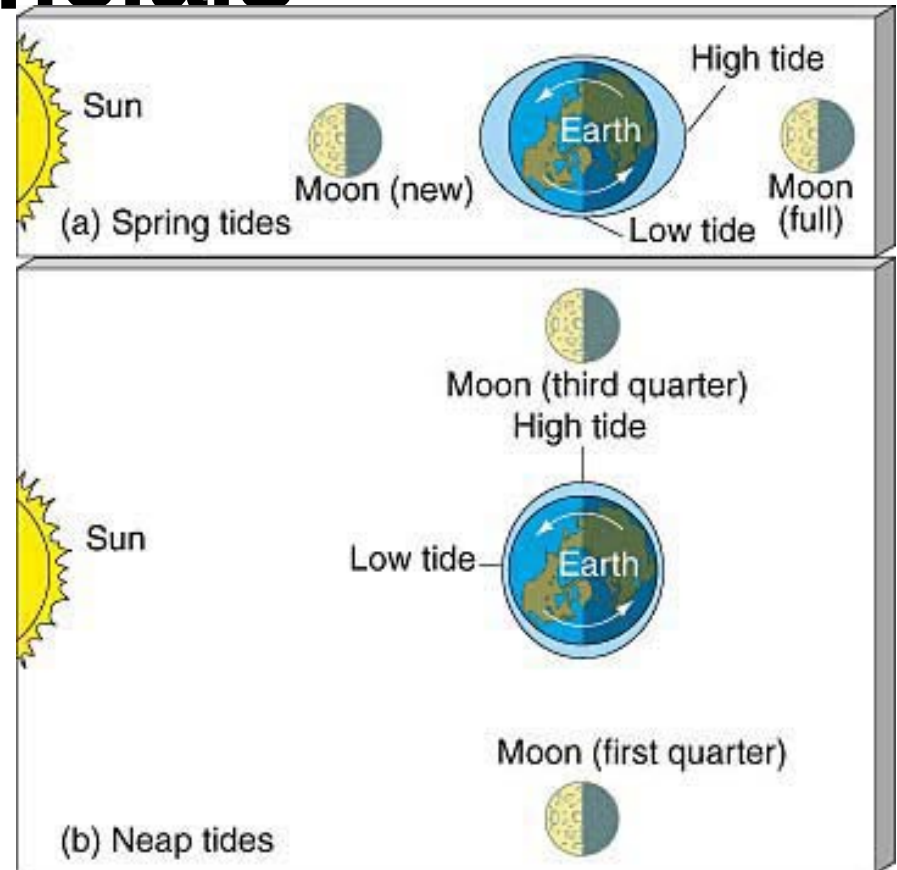
Aceleração diferencial  
proporcional a:

$$MR/d^3$$

R: raio da T e d: distância à L  
ou S

Razão entre forças de maré do  
Sol e da Lua:

$$\frac{M_{\text{Sol}}}{M_{\text{Lua}}} \cdot \left( \frac{d_{\text{Lua}}}{d_{\text{Sol}}} \right)^3 \cong \frac{5}{11}$$



(a): Quando Lua cheia ou nova: L-T-S alinhados e forças de maré da L e S se somam (marés mais altas do mes!)

(b): Quando L crescente ou minguante: efeitos de maré da L cancelam parcialmente os efeitos do Sol, mas dominadas pela L (marés mais baixas)

## Atrito das Marés:

Causa dissipacao de energia em forma de calor:

→ reduz en. Cinetica da Rotacao da T

→ duracao do dia aumenta 0,002 s por seculo!

→ esse processo continuara ate T girar em torno de seu eixo = taxa que Lua orbita a T

→ MOVIMENTO SINCRONO T-L

→ A partir de entao: Lua estara sempre apontando para o mesmo ponto da T (como se ambas em repouso). Quando isso acontecer:

$$P(\text{terra}) = 47 \quad P(\text{hoje}) = 47 \text{ dias}$$

Isso acontecera alguns bilhoes de anos...! (deixo como ex. para dem.)

T perde momento angular e Lua ganha e raio orbital da Lua ( $a$ ) cresce.  
Por que? Lei de Kepler:

$$P^2 = k a^3$$

$$L = m V a = m (2\pi a/P) a = m 2\pi a^2/P = (m2\pi/k) a^{1/2}$$

## Efeito das forças de Maré da T sobre a L:

$$a_{\text{maré}} = M_T R_L / a^3 = 20 \text{ vezes } a_{\text{maré}} \text{ da L sobre a T}$$

→ por causa dessa força: Lua já se encontra em movimento sincrono:

$$P(\text{spin}) = P(\text{orbital})$$

por isso vemos sempre a mesma face da Lua apontando para a T:

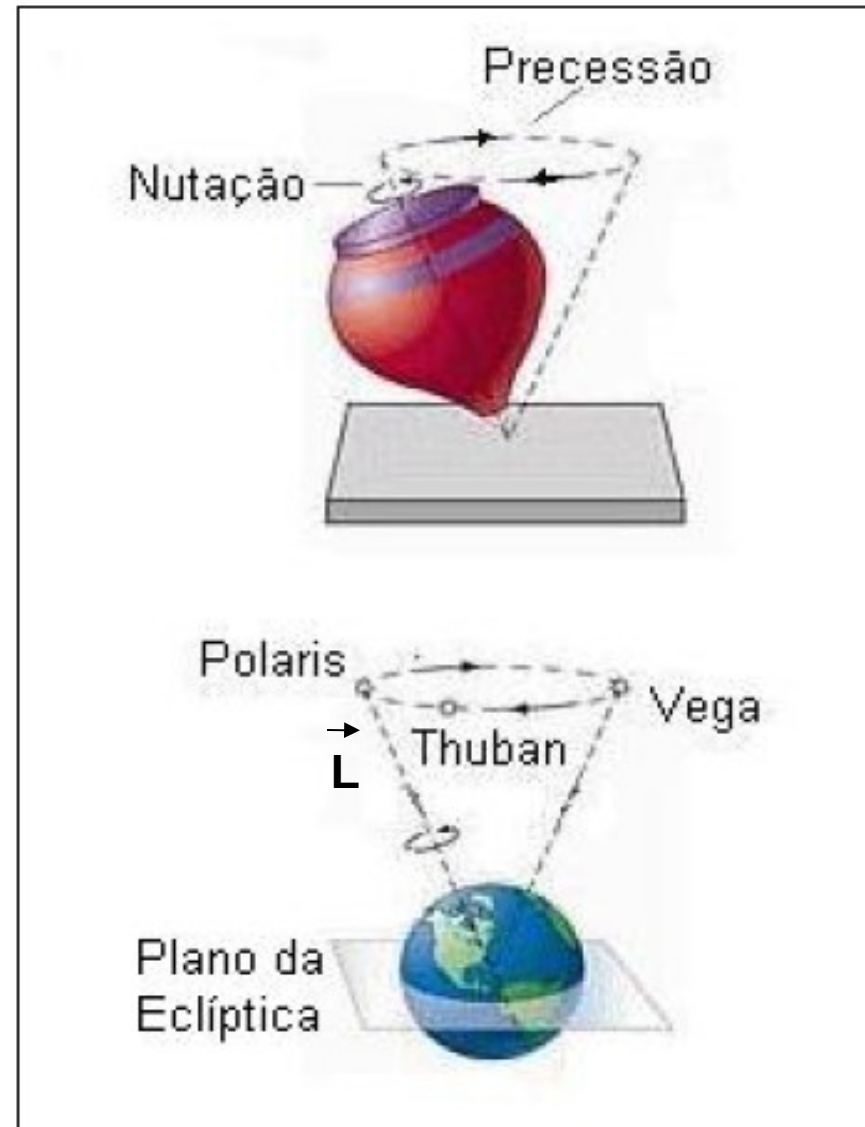
$$\omega(\text{spin}) = \omega (\text{rotacao})$$

Ao girar de um angulo  $\theta$  em torno da T, terá girado do mesmo angulo em torno de seu eixo:

$$\theta = \omega(\text{spin}) t = \omega (\text{rotacao}) t$$

# Movimentos de Longo Período da T

- Precessão e Nutação do eixo de rotação da T: como peao
- **Período de precessão** em torno do eixo da Eclíptica:  
 $P(\text{precessão}) = 26.000 \text{ anos}$
- Causa da Precessão:



# Movimentos de Longo Período da T

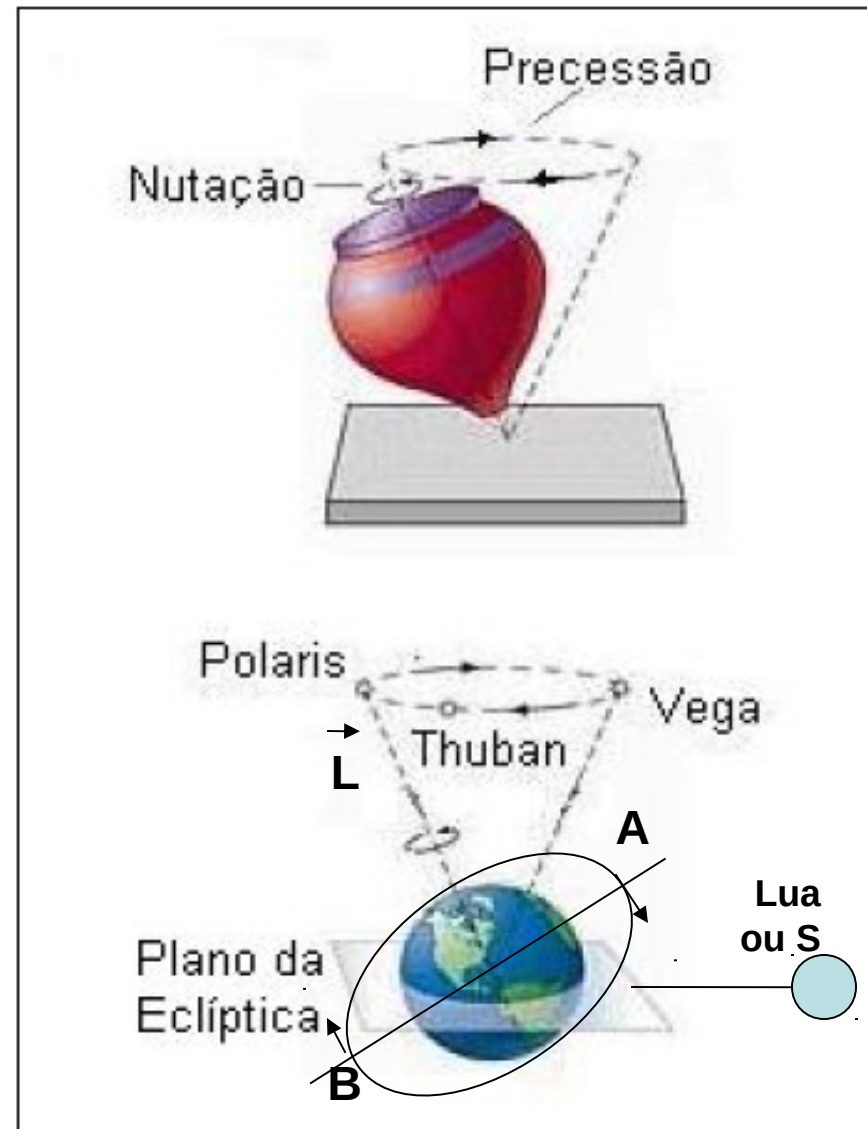
- Precessão e Nutação do eixo de rotação da T: como peão
- **Período de precessão** em torno do eixo da Eclíptica:

$P(\text{precessão}) = 26.000 \text{ anos}$

- Causa da Precessão:

**Forças de Maré** (gravitacionais diferenciais do S e sobretudo da L): em A e B causam Torque para dentro da página: que faz com que →

L precesse para Oeste



# Movimentos de Longo Período da T

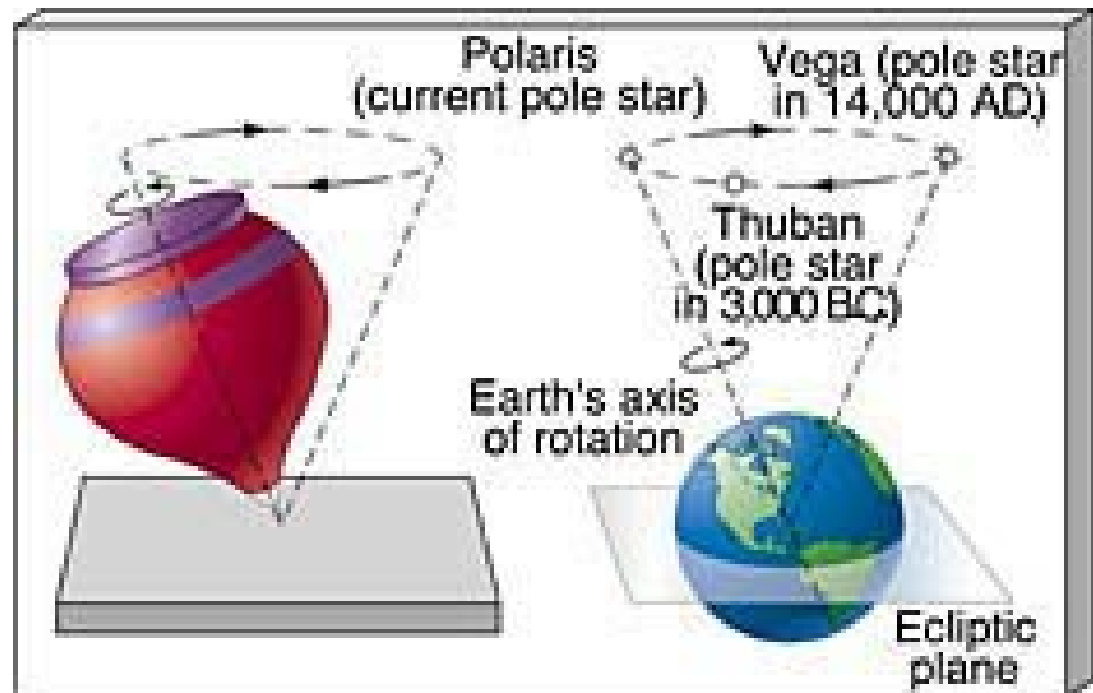
Hoje eixo aponta para estrela Polar

A 5000 anos: apontava para Thuban

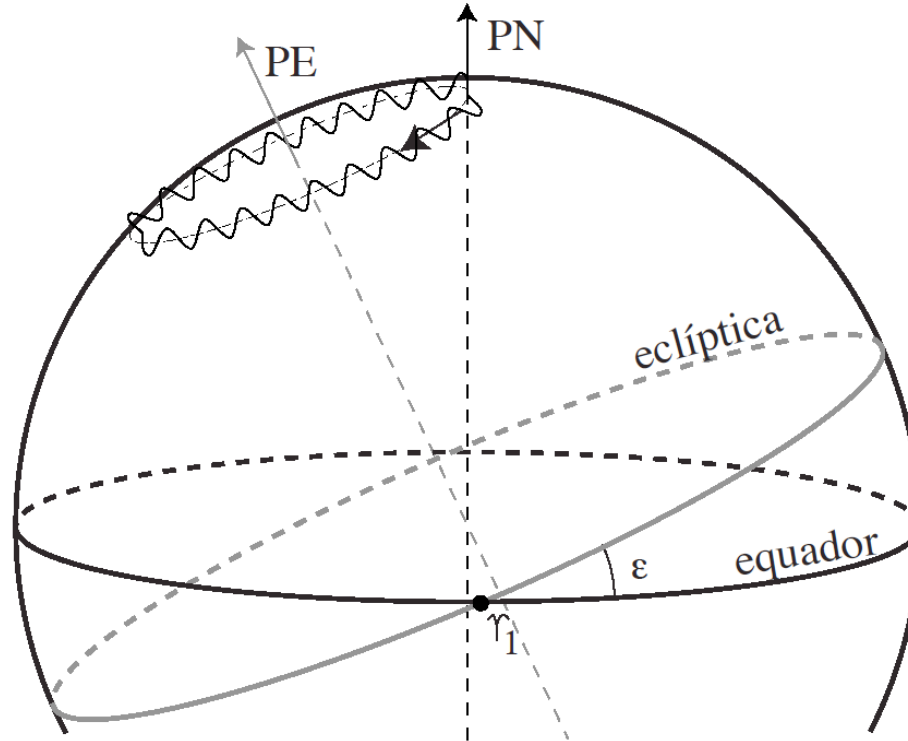
Daqui a 12.000 anos: apontará para Vega

**Nutação:** como a Lua e o S movem-se abaixo e acima do plano equatorial da T: há variações periódicas nos torques em A e B – levando a bamboejamento do eixo de rotação

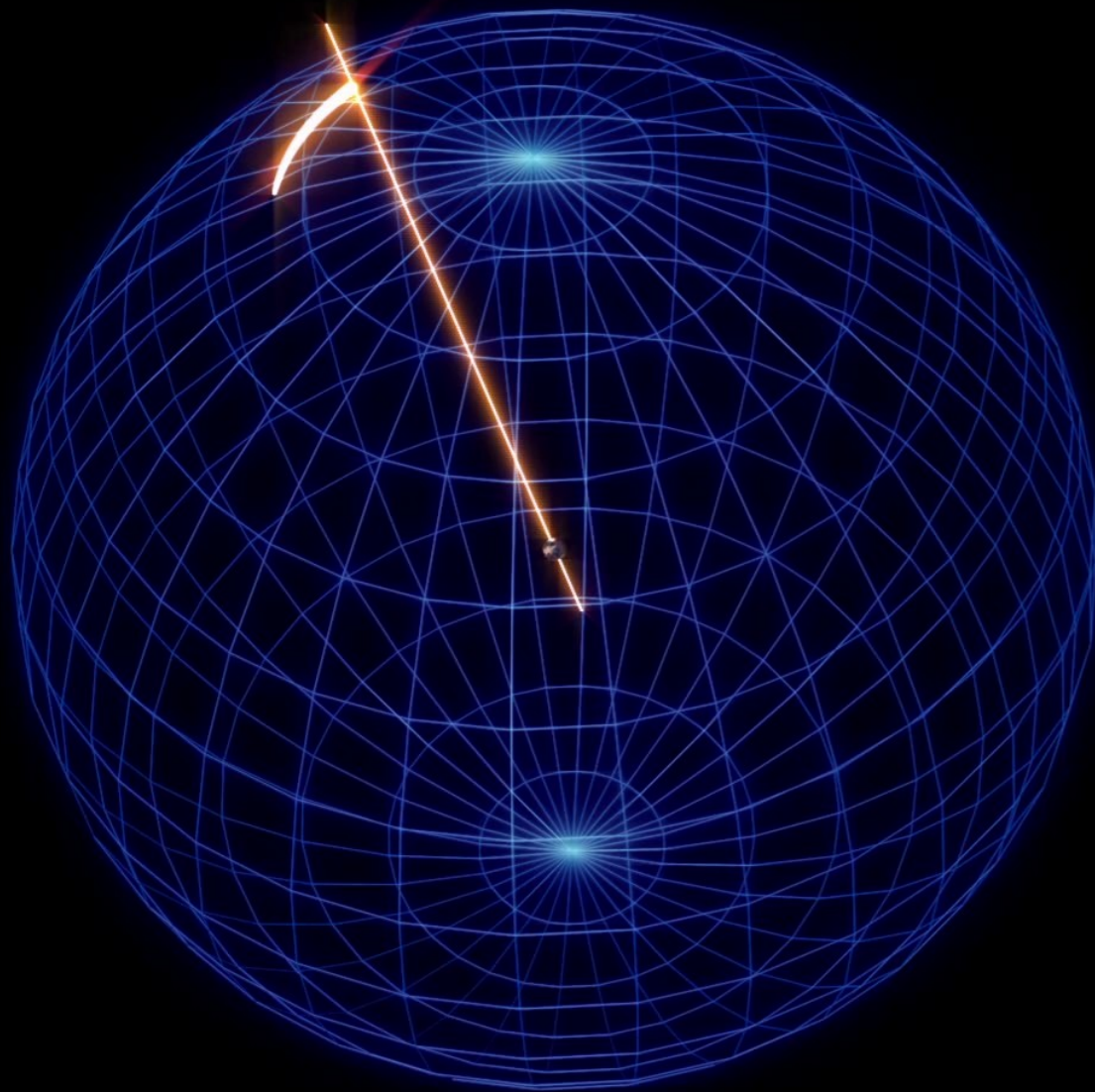
$P(\text{nutação}) = 18,6 \text{ anos}$



# Nutação



- Causado pela ação da Sol e Lua (principalmente);
- Pequena amplitude e período de  $\sim 18.6$  anos;
- Descoberto em 1747 por James Bradley

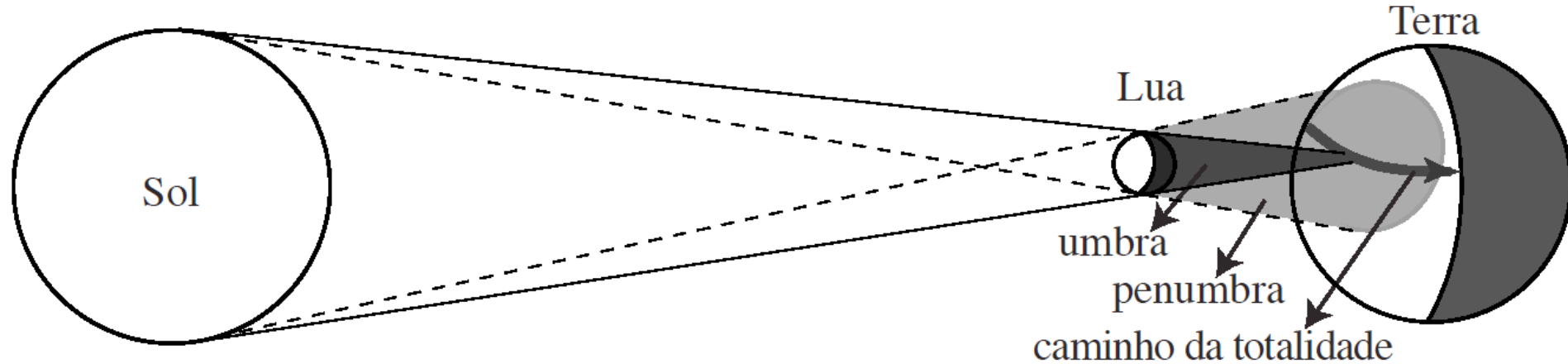




# Eclipses

- Do grego, "deixar de existir".
- Definição astronômica: fenômeno que ocorre quando um corpo celeste passa pela sombra de outro corpo.
  - **Eclipse da Lua** => a Lua passa pela sombra da Terra
  - **Eclipse do Sol** => a Terra passa pela sombra da Lua

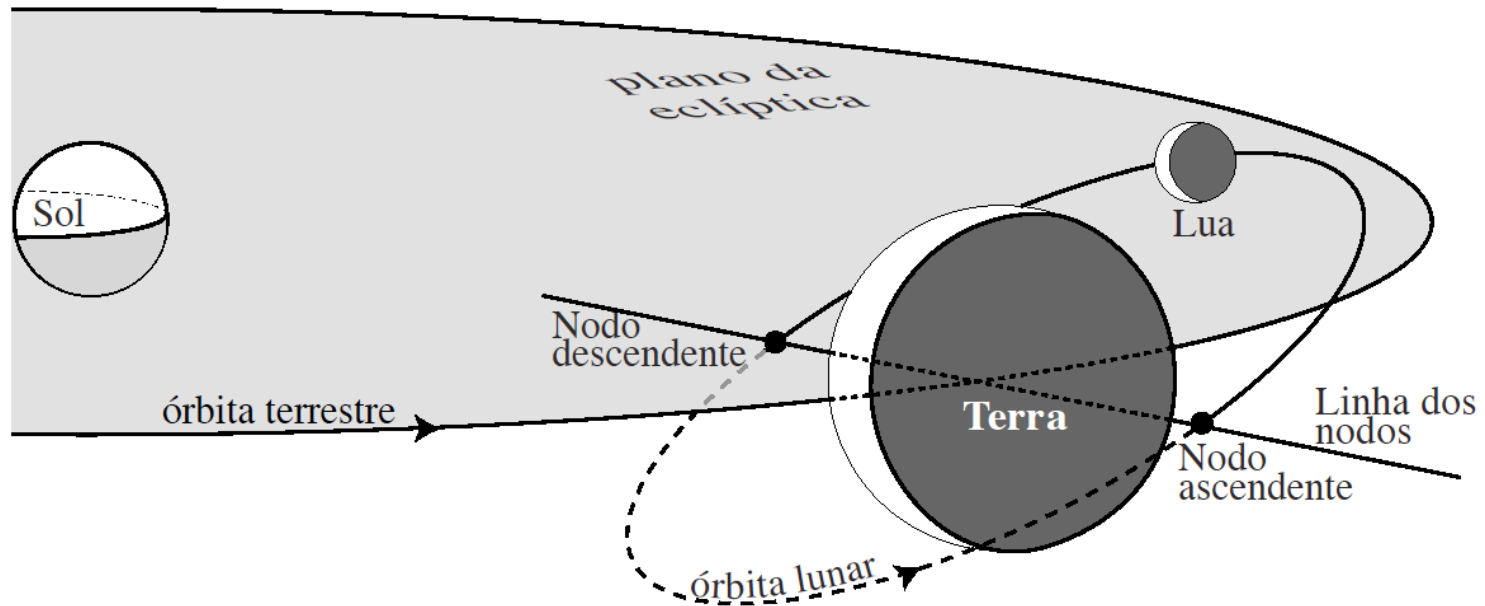
# Eclipse do Sol



- Um observador na umbra observa um eclipse total do Sol;
- Um observador na penumbra observa um eclipse parcial;
- Se a umbra não chega até a superfície da Terra, observa-se um eclipse anular do Sol.

# Eclipses

- **Porquê não ocorrem 2 eclipses por mês, um do Sol na Lua Nova e um da Lua na Lua Cheia?**

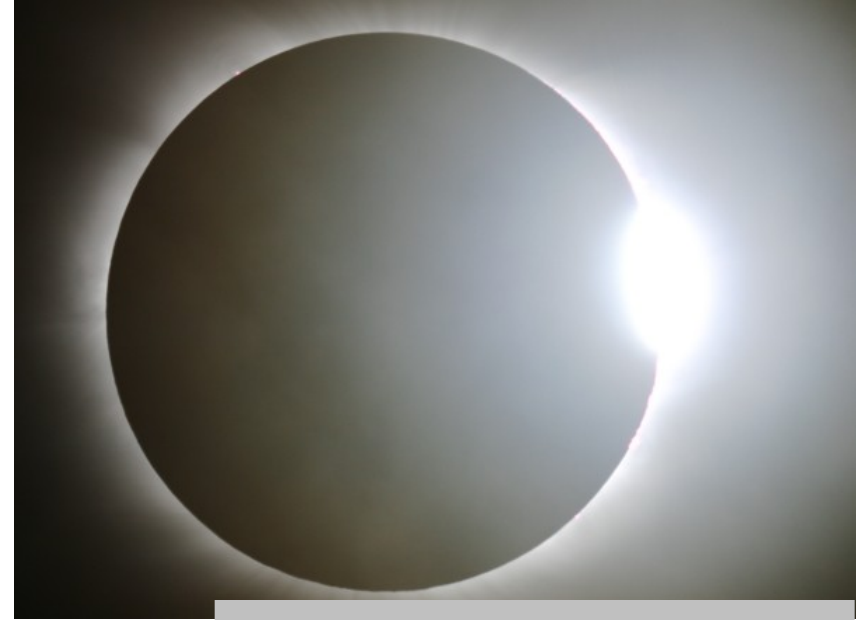


- **O plano da órbita da Lua não coincide com o plano da órbita da Terra (a eclíptica). (5.9° de declinação relativo a eclíptica)**
- **Para ocorrer um eclipse, a Lua deve estar próxima do nodo.**

# Eclipses do Sol



- Eclipse anular,  
3/10/2005,  
Stefan Seip



- Eclipse total,  
29/3/2006,  
Anthony  
Ayiomamitis

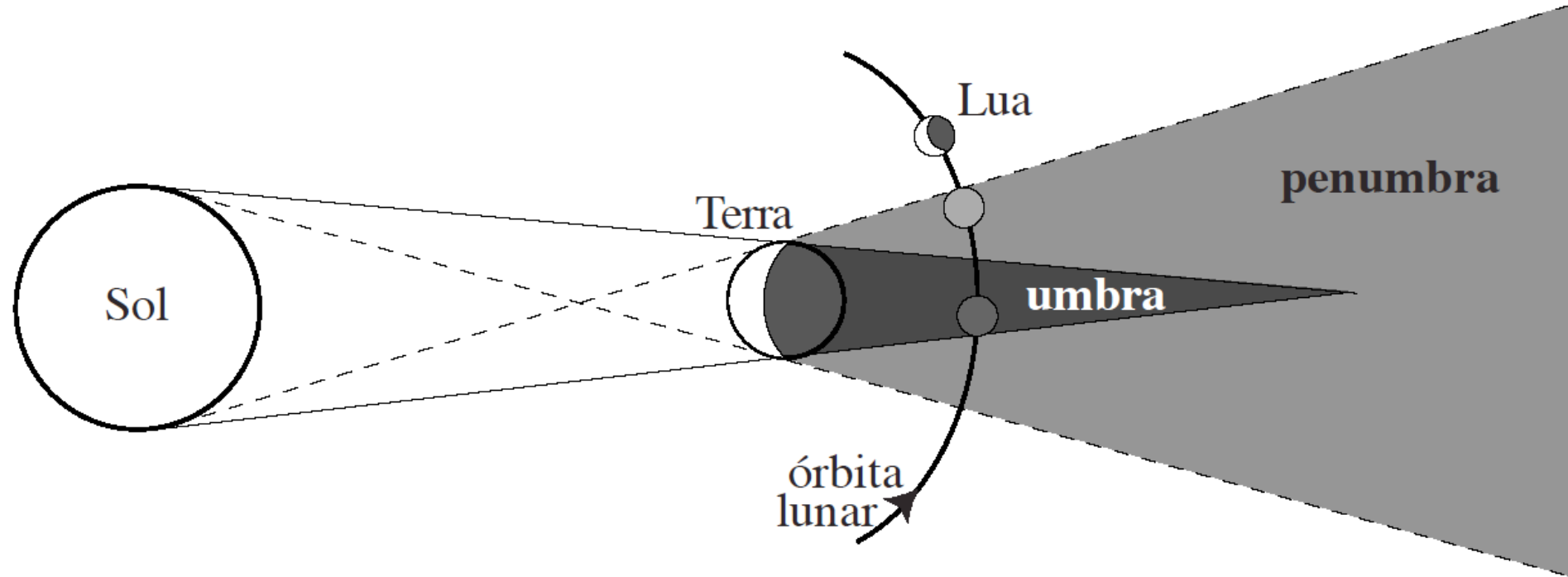


- Eclipse total,  
29/3/2006,  
Gerhard Bachmayer



Coroa solar

# Eclipse da Lua



- Se a Lua passa pela umbra, temos um eclipse total;
- Se a Lua passa parcialmente pela umbra, temos um eclipse parcial.
- Se a Lua passa apenas pela penumbra, temos um eclipse penumbral.

# Sistema T-L: Características Físicas

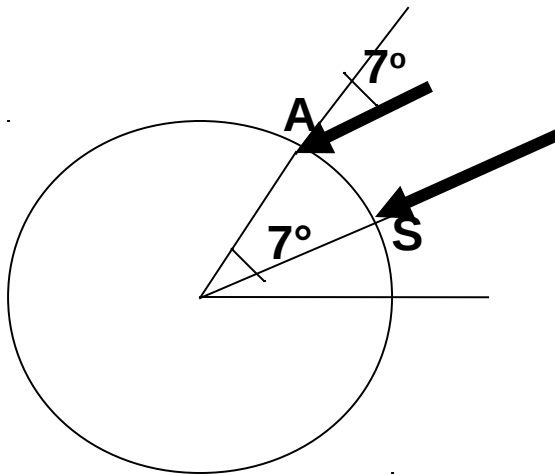
- **Raio da Terra:**

Erastotenes (sec. IIIAC):

Solstício de verão: raios do Sol perpendicular ao poço em Siena

Em Alexandria: a 800 km: inclinação dos raios de  $7^\circ$

Assumindo T redonda: avaliou perímetro da T:



$$\frac{7^\circ}{360^\circ} = \frac{800 \text{ km}}{p}$$

$$AS = \theta R_T$$

$$\text{Perímetro } p = 2\pi R_T$$

Obtem-se: valor próximo ao conhecido hoje:

$$R_T = 6378,2 \text{ km}$$

# Sistema T-L: Características Físicas

## Distancia T-L:

Valores hoje: radar e satelites – medindo  $\Delta t$  entre saída e chegada de pulso entre Lua e T:

$$d(T-L) = a_L = c\Delta t/2 = 384.405 \text{ km} = 60,3 R_T$$

**Massa da Terra:** podemos desprezar massa da Lua e usar 3° lei de Kepler:

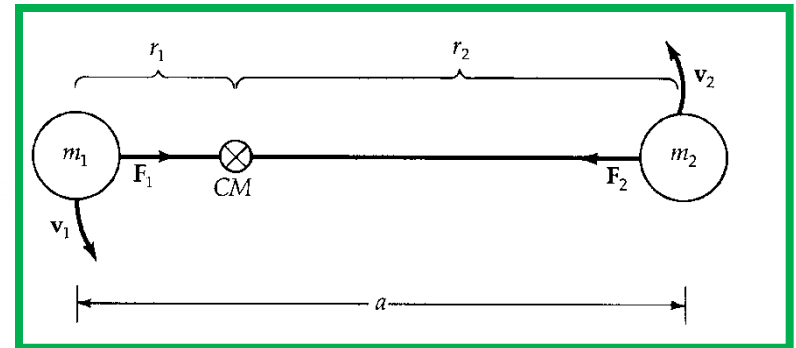
$$M_T = \frac{4\pi^2 a_L^3}{G P_L^2} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg},$$

# Sistema T-L: Características Físicas

Sabendo a priori a massa da Lua =  $7,35 \cdot 10^{22}$  kg =  $0.0123 M_T$

obtem-se:

$$r_1 = a \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$



→ **Posição do CM:**

$$d_T = \frac{M_L a_L}{M_T + M_L} = \frac{(0,0123)(384.405)}{1,0123} = 4671 \text{ km}$$

→ O CM do sistema está a 1707 km abaixo da superfície da Terra.



**E como determinar a massa e o raio da Lua?**

# Sistema T-L: Características Físicas

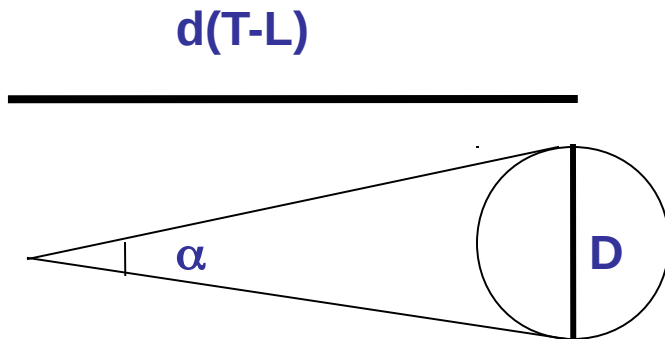
**Massa da Lua:** com sondas espaciais obtem-se hoje o valor acurado

Note-se que com distancia da T e L ao CM, e massa da T:

$$M_L = \left( \frac{d_\oplus}{d_L} \right) M_\oplus = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ Kg} = \left( \frac{1}{81,3} \right) M_\oplus$$

Mas já havíamos usado a massa da Lua para calcular a posição do CM...

**Diâmetro da Lua** - Sabendo  $d(T-L)$  e medindo diâmetro angular aparente da Lua:



$$D / d(T-L) = \alpha(\text{rad})$$

$$R(L) = D/2 = 1738 \text{ km} = 0,272 R_T$$

# Sistema T-L: Estrutura Interna

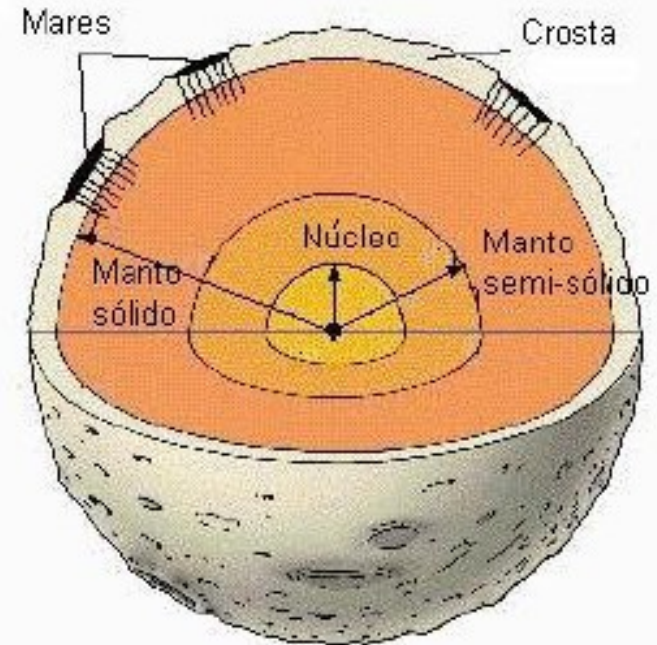
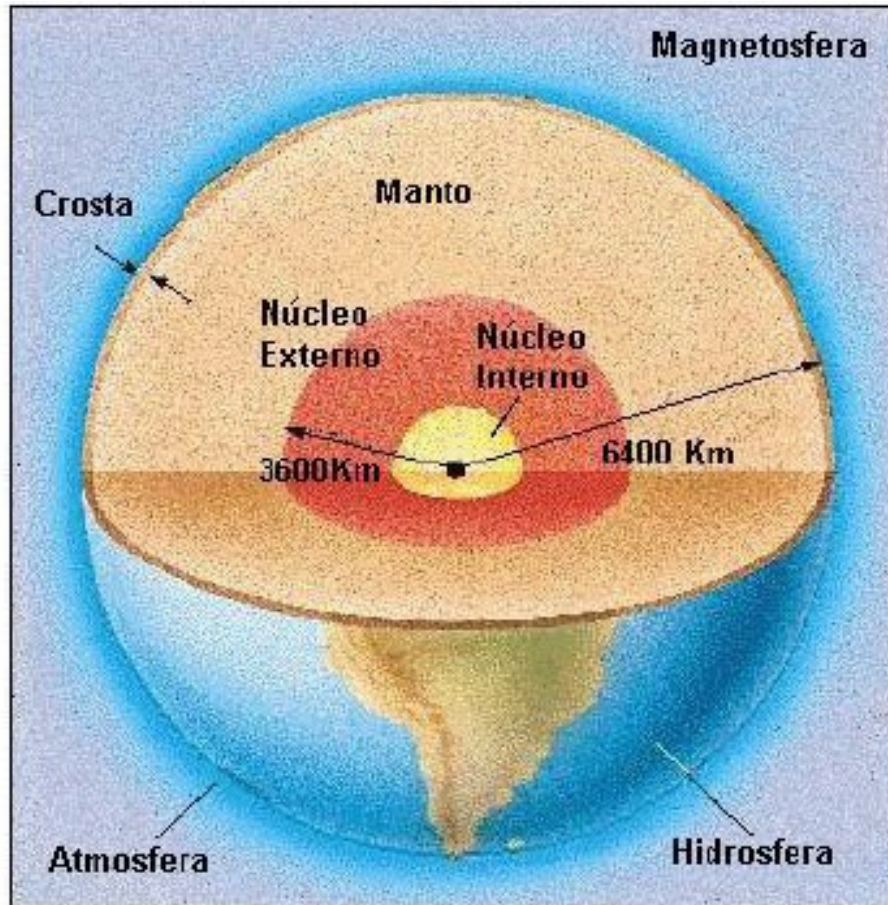
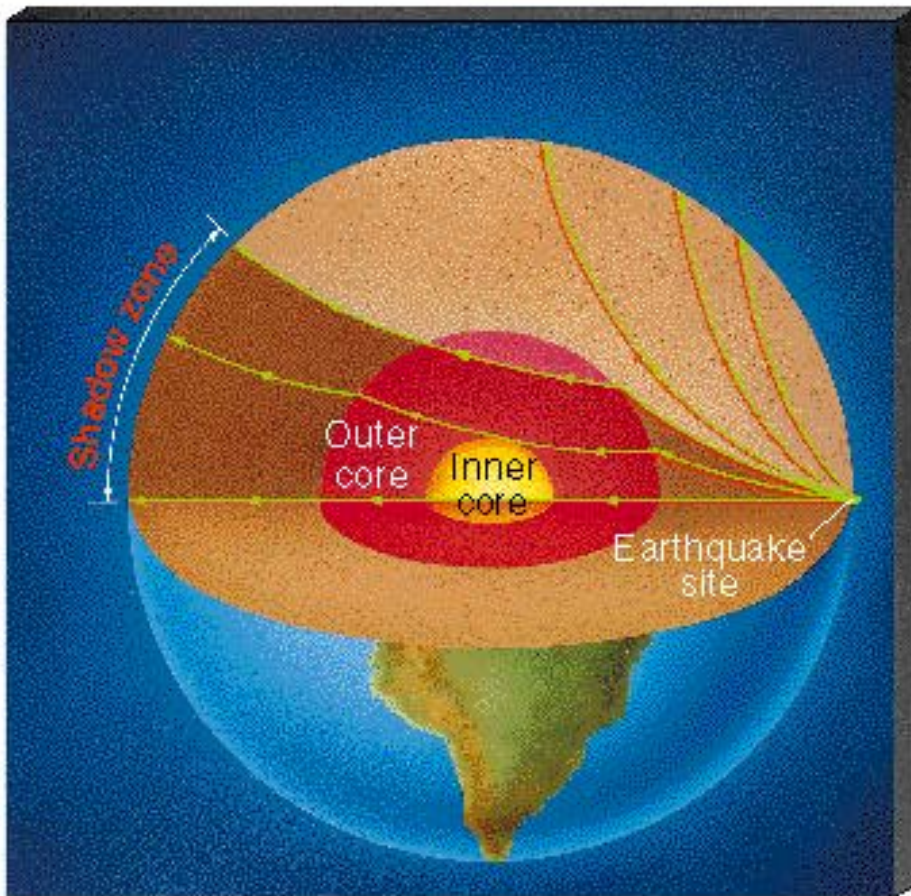


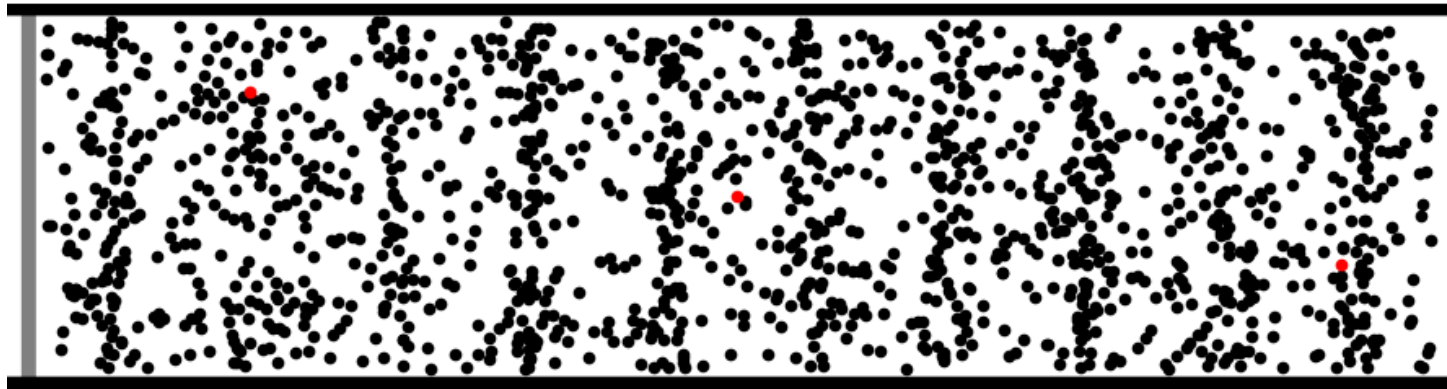
Figura 8. Representação esquemática das estruturas da Terra (painel à esquerda) e da Lua (painel à direita).

# Terra: Estrutura Interna



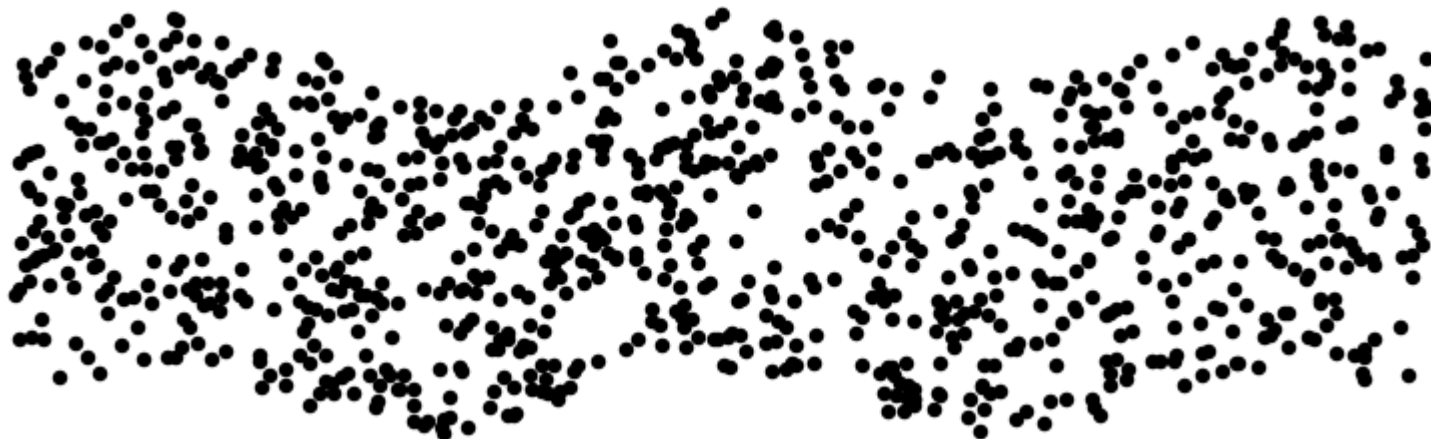
- Interior mapeado com propagação de **ondas sísmicas (S)**
- Ondas são desviadas de acordo com **densidade e T** do interior.
- Ondas S **nao atravessam** o núcleo externo → o mesmo é líquido

Ondas longitudinais (P): se propagam no liquido

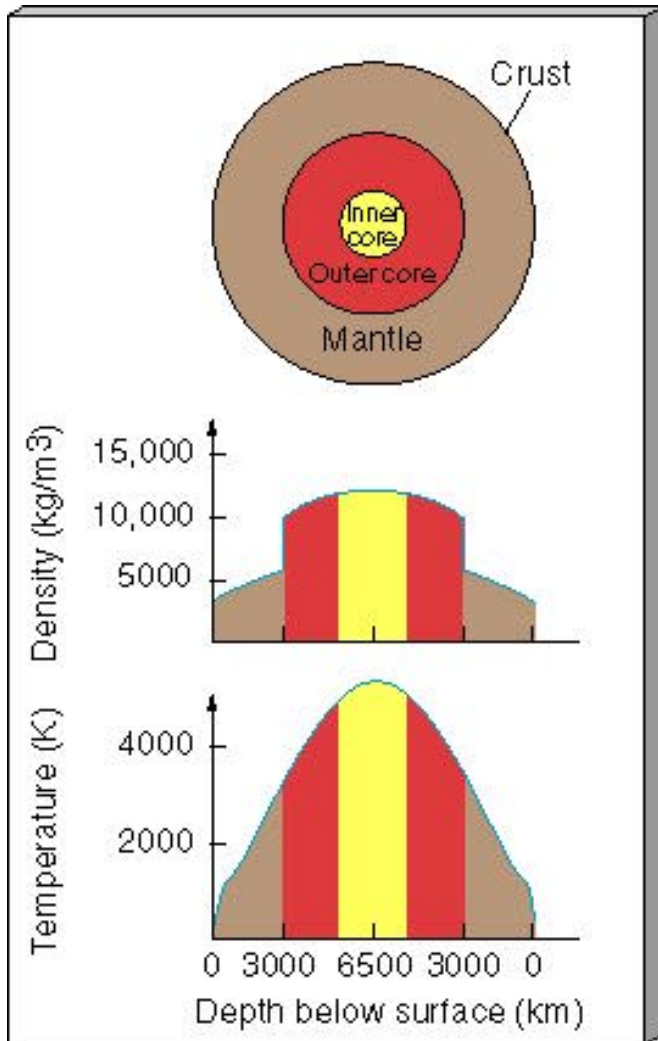


©2011. Dan Russell

Ondas transversais (S)



# Terra: Estrutura Interna



- **Crosta:** 35 km de espessura: rochas
- **Manto** (conhecido por erupcao vulcanica: semi-solido - ate 2900 km para dentro (silicatos))
- **Nucleo exterior:** liquido evidenciado por ondas sismicas que nao atravessam liquido (2200 km esp.)
- **Nucleo interior** (raio 1300 km): solido devido altissima pressao (material metalico: niquel + ferro?)
- **Camadas mais externas:** hidrosfera, magnetosfera, atmosfera
- **Superficie da T (litosfera):** 70% hidrosfera com placas continentais flutando sobre manto



**PERMIAN**  
225 million years ago



**TRIASSIC**  
200 million years ago



**JURASSIC**  
150 million years ago



**CRETACEOUS**  
65 million years ago



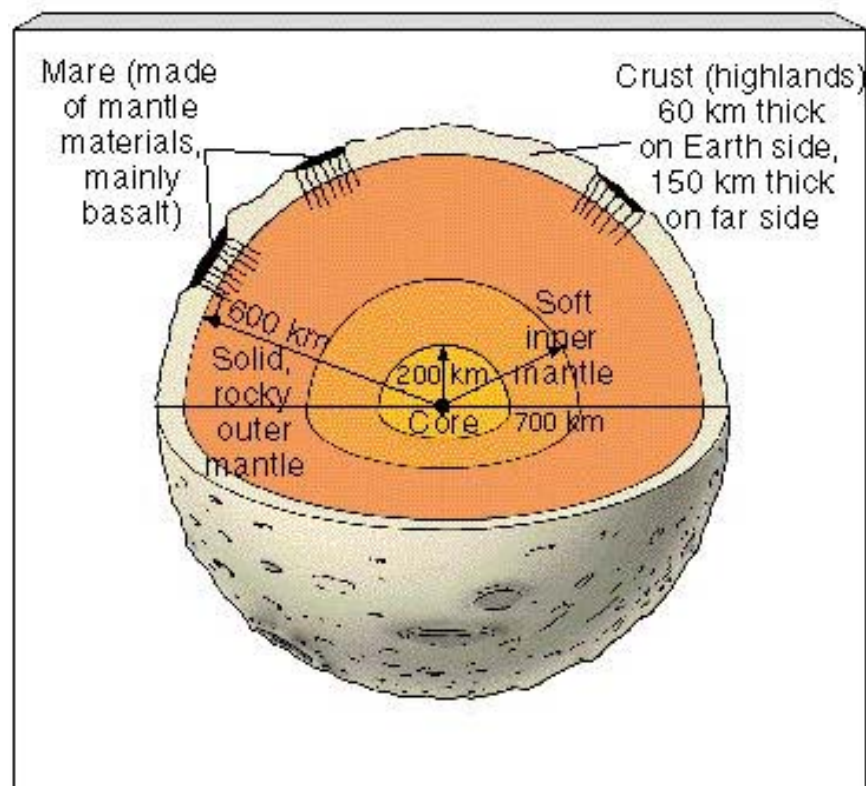
**PRESENT DAY**

**Lua:**

**Pouca atividade sísmica**

**→ Interior modelado:**

- **Núcleo não metálico e sólido (raio: 200 km)**
- **Manto interno: parcialmente fundido com rochas semelhantes a manto da T**
- **Manto externo: sólido rochoso**
- **Crosta: 60-150 km de espessura**



(b)

**Lua: Estrutura Interna**

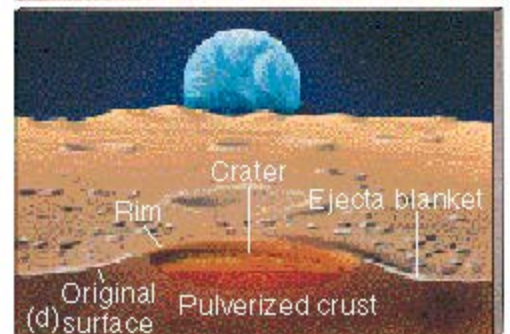
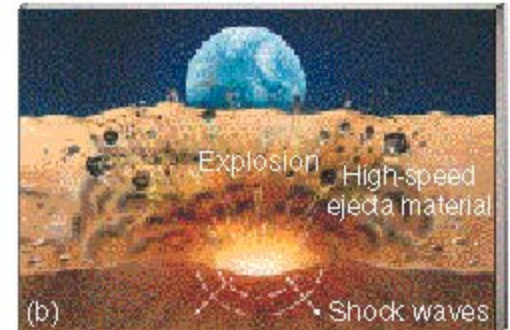
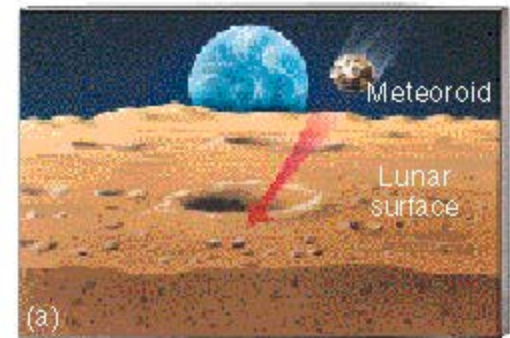


# Lua: Estrutura Interna

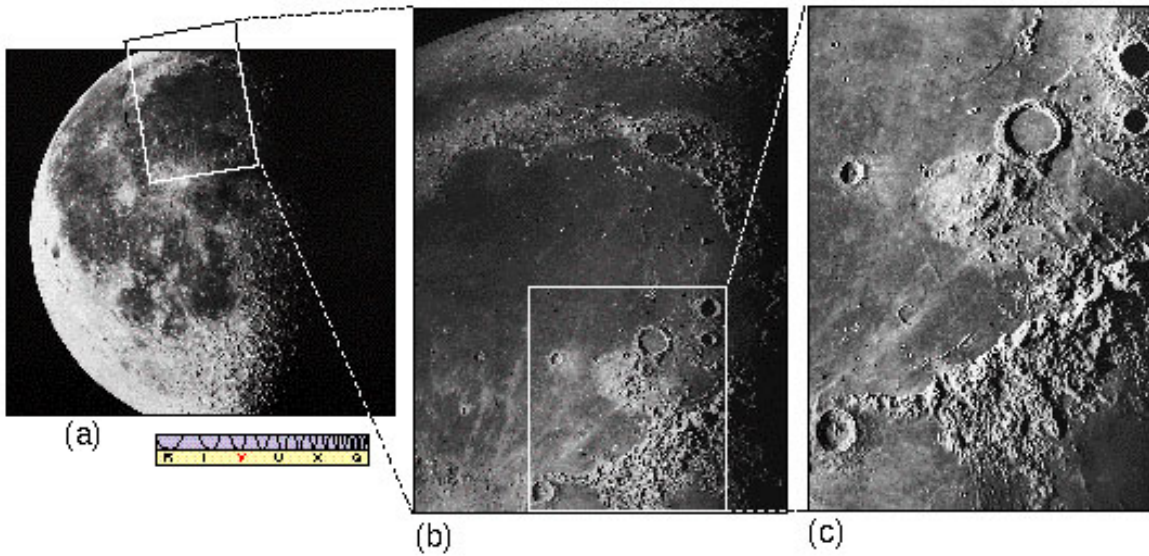
- Terra: interior quente + atmosfera erosiva: superfície mudou bastante
- Lua: interior frio e sem atmosfera: superfície preservada desde sua formação
- Lua: densidade media =  $3370 \text{ kg/m}^3$
- Gravidade:  $F(L) = 1/6 F(T)$

$$GM_L/R_L^2 < GM_T/R_T^2$$

- Superfície da Lua: composição basáltica: planaltos, planícies ou “mares” - regioes escuras extensas formadas de material basaltico - e crateras formadas por impacto de meteroritos



# Mares e Crateras da Lua



**Crateras: 500 m a 50 km**

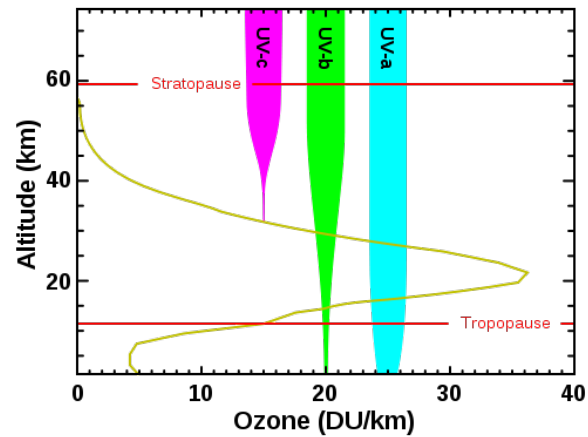
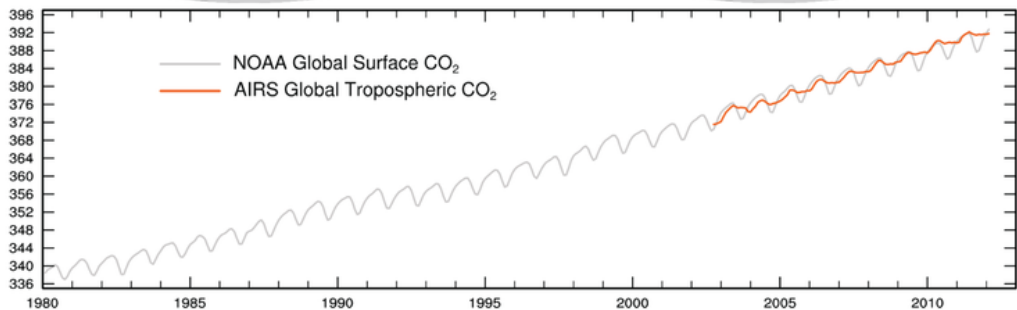
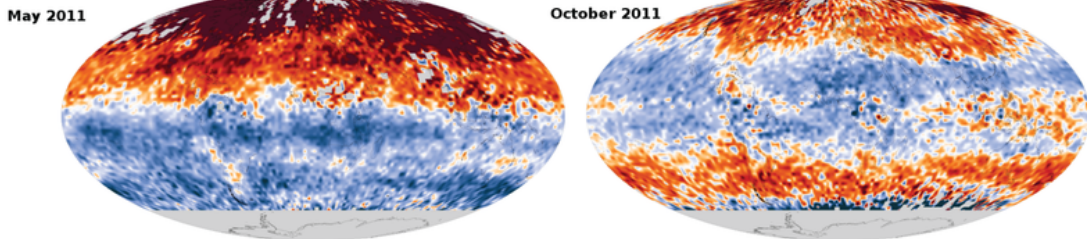
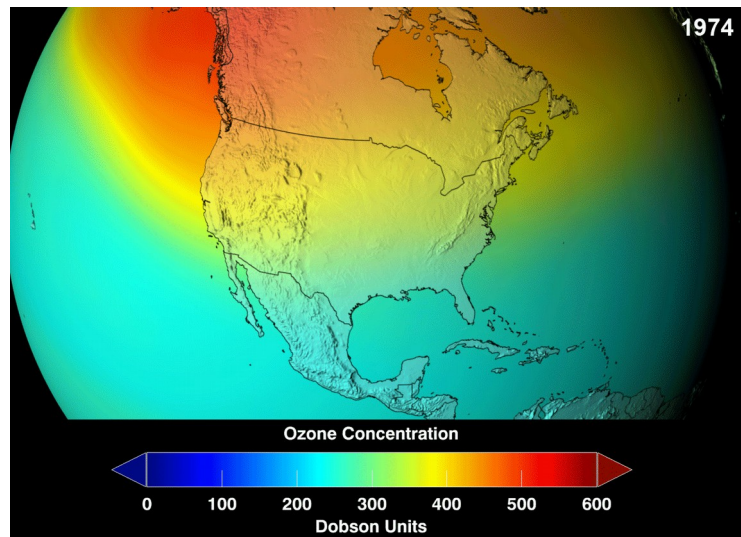
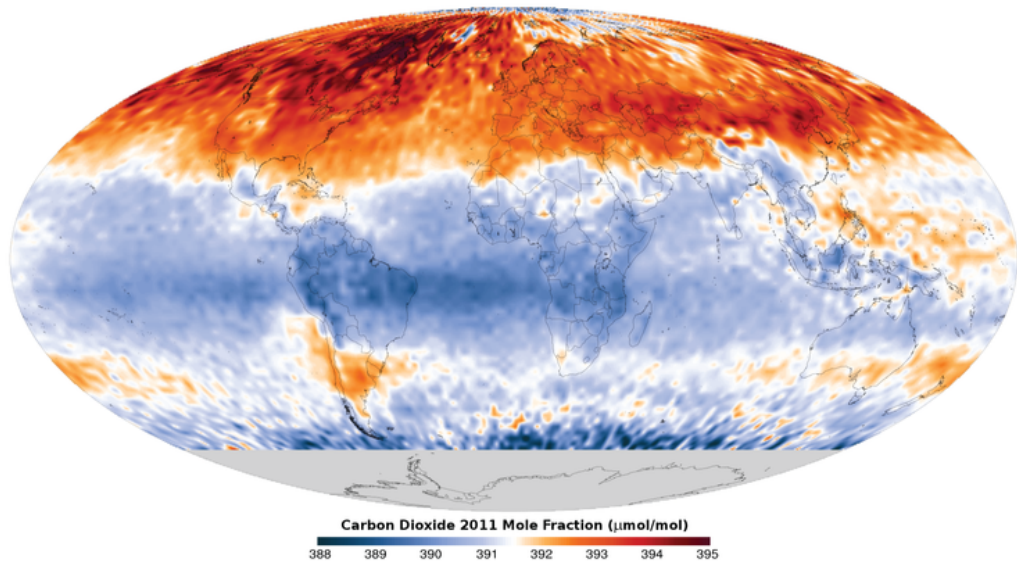


# Atmosfera da Terra

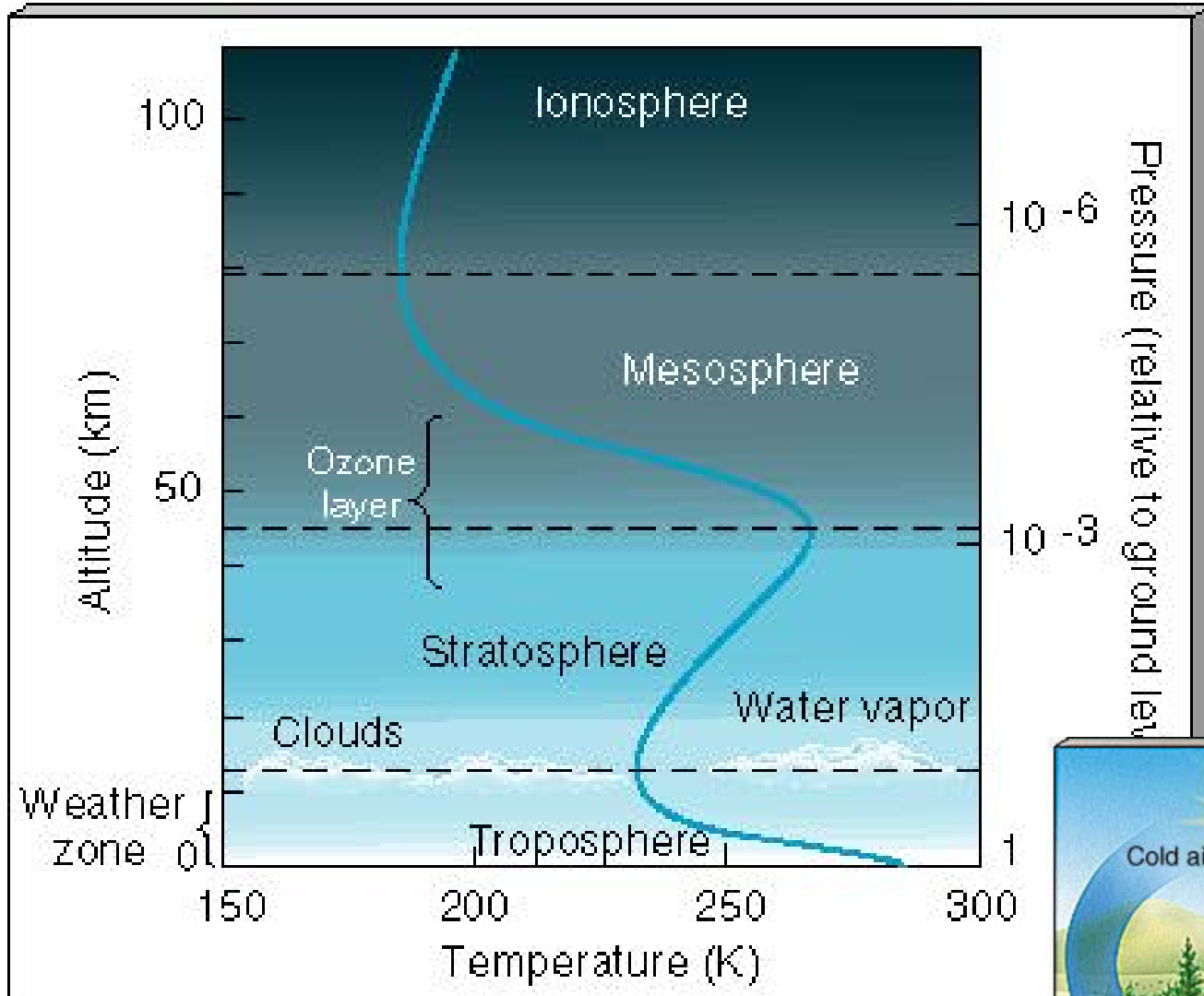
- Terra: atmosfera atual - resultado de vulcanismo, emissões gasosas, gravidade forte para reter gás

Gás	%
Nitrogênio ( N <sub>2</sub> )	78,08
Oxigênio ( O <sub>2</sub> )	20,95
Argônio ( Ar )	0,934
Dióxido de Carbono ( CO <sub>2</sub> )	0,033
Neônio ( Ne )	0,0018

# Concentrações de CO2 e Ozônio (O3)



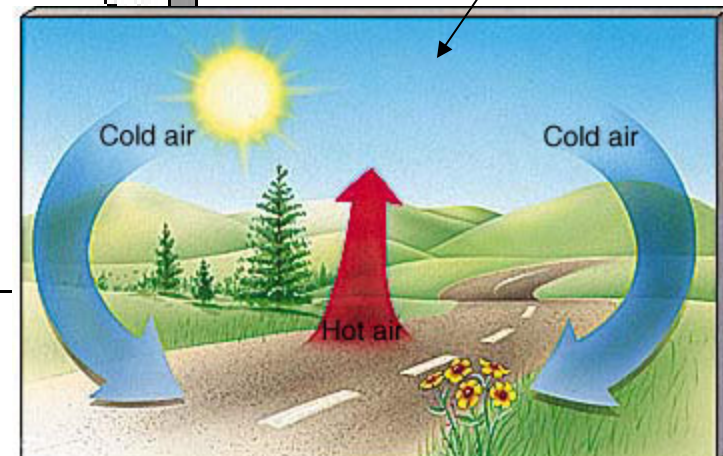
# Atmosfera da Terra



**Ionosfera:**  
camada protetora  
– raios X e UV do  
Sol ionizam  
átomos e  
dissociam  
moléculas

**Ozônio:** absorve  
UV

**Troposfera:** onde  
se dá a convecção



**Escala Kelvin (K) = graus Celsius + 273**

0 K (todos os movimentos cessam)

273 K (a água congela)

373 K (a água ferve)

# Campo Magnetico da Terra

- Campo magnetico da Lua:

**$B < 10^{-9}$  Tesla**

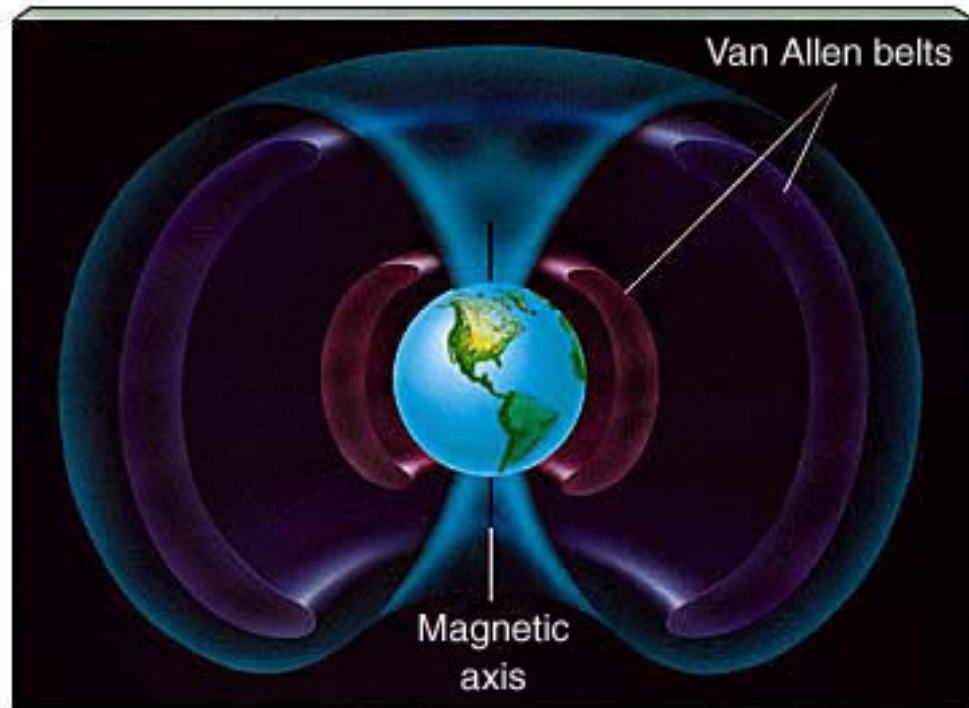
- Campo magnetico da Terra:  
**dipolar** - como imã

**$B = 0.4 \times 10^{-4}$  Tesla = 0.4 Gauss**

- T: eixo do dipolo inclinado de  $12^\circ$

- **Cinturoes de Van Allen:** 3000 a 12000 km: 2 cinturoes com particulas carregadas de alta energia – vindas com o vento solar e sao capturadas pelo campo magnetico da Terra

- Cinturao de fora: eletrons principalmente
- Cinturao de dentro: protons



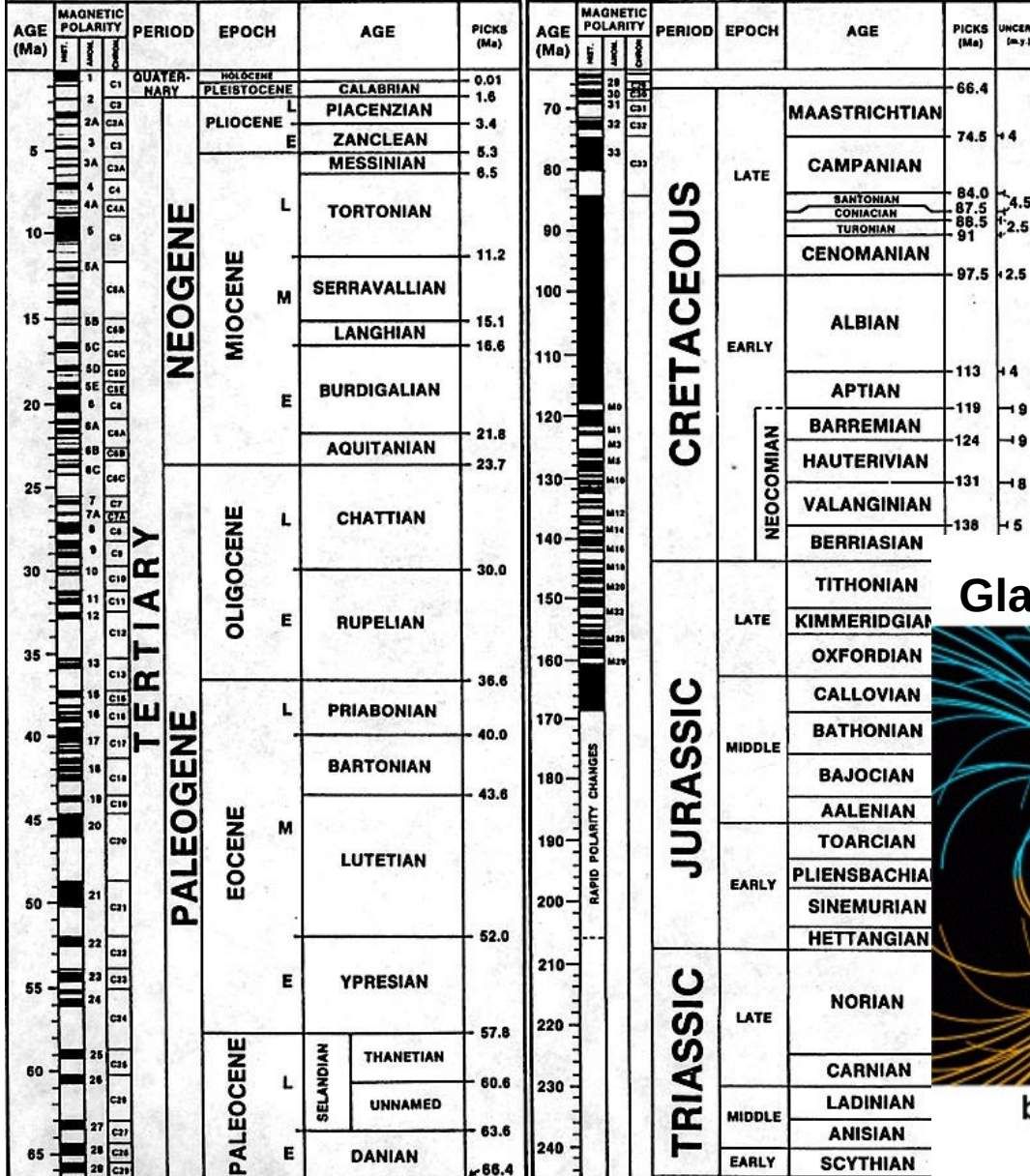


DNAG

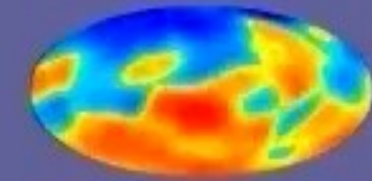
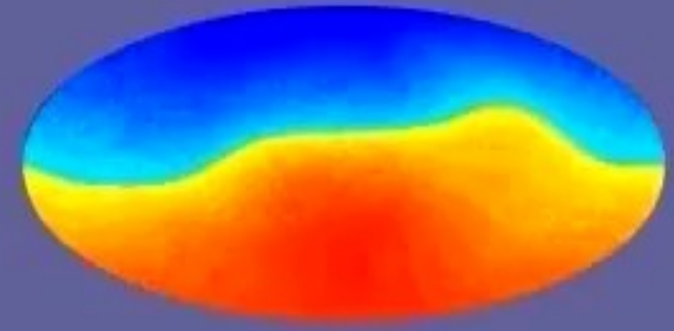
# DECADE OF NORTH AMERICAN GEOLOGIC TIME

## CENOZOIC

## MESOZOIC

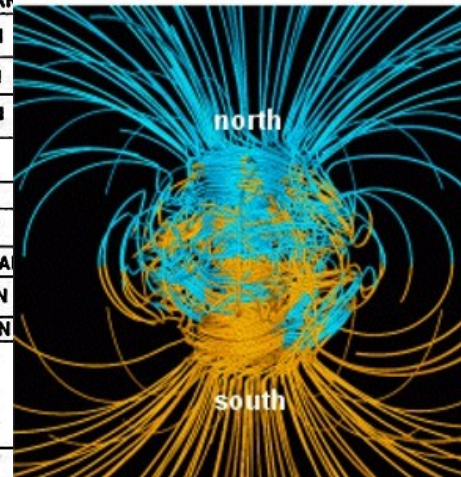


Surface of the Earth

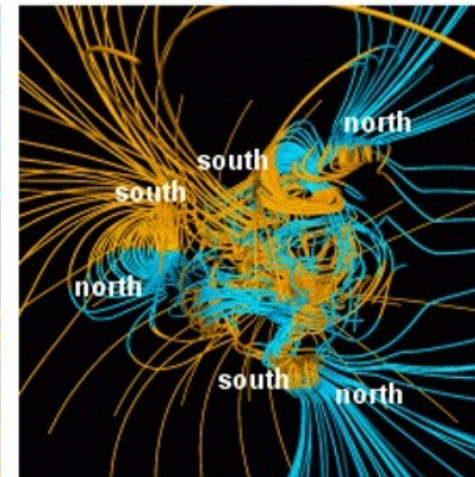


Surface of the Outer Core

Glatzmaier+ (1995)



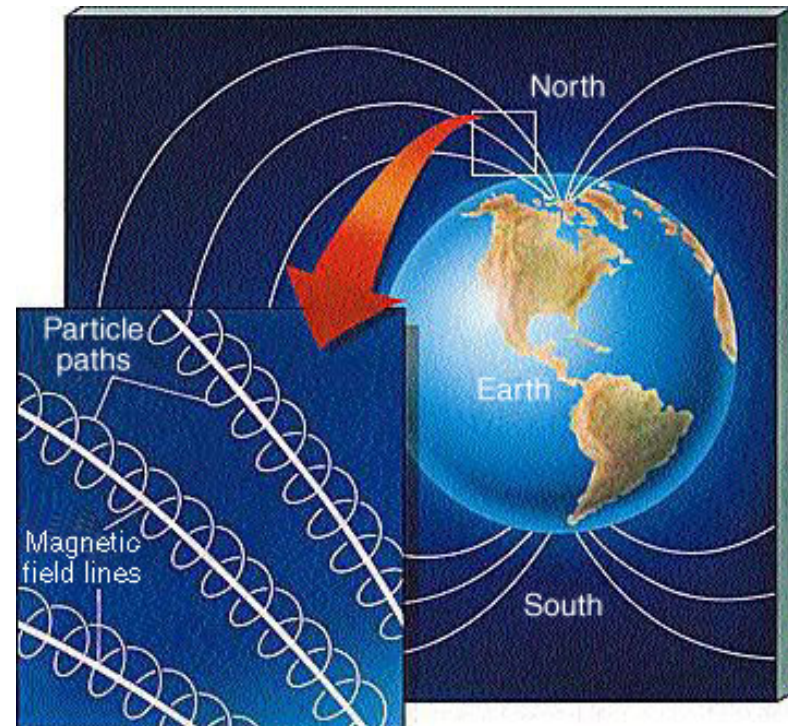
between reversals



during a reversal

# Campo Magnético da Terra

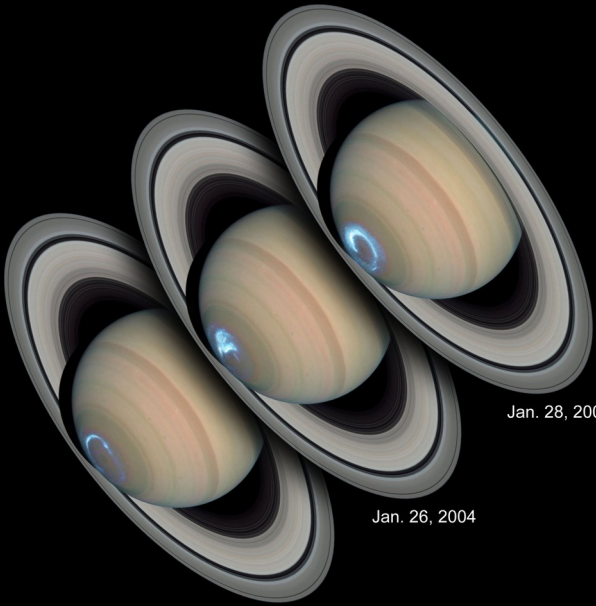
- Partículas carregadas espiralam no campo e escapam da magnetosfera pelos polos magnéticos: colisões com moléculas do ar: liberam energia
- Produzindo auroras: resultado da emissão de radiação pelas partículas (brilhantes nas altas latitudes: Artico e Antartica)







Earth



Jan. 28, 2004

Jan. 26, 2004

Jan. 24, 2004



Sun

Coronal Mass Ejection

# Origem da Lua e da Terra

- **Terra: planeta dos mais evoluídos** – mas continua em evolução
- **Lua: mundo fossil** que preserva evidências dos 1ºs estágios da evolução do sistema planetário
- **3 modelos possíveis de formação:**

# Origem da Lua e da Terra

- **Teoria de conformação** (teoria das irmãs): T e L formaram-se ambas ao mesmo tempo – formaram-se ambas do mesmo fragmento

**Ponto fraco:** T e L - densidade e composição distintas

# Origem da Lua e da Terra

- **Teoria de captura:** T e L formaram-se separadamente e L capturada + tarde.

**Ponto fraco:** captura gravitacional da L teria sido muito difícil num encontro próximo no passado; também mantos de ambas são similares e provavelmente não se formaram completamente independentes

# Origem da Lua e da Terra

## - Teoria do impacto: + aceito

Colisao entre T jovem + 1 planeta do tamanho de Marte:

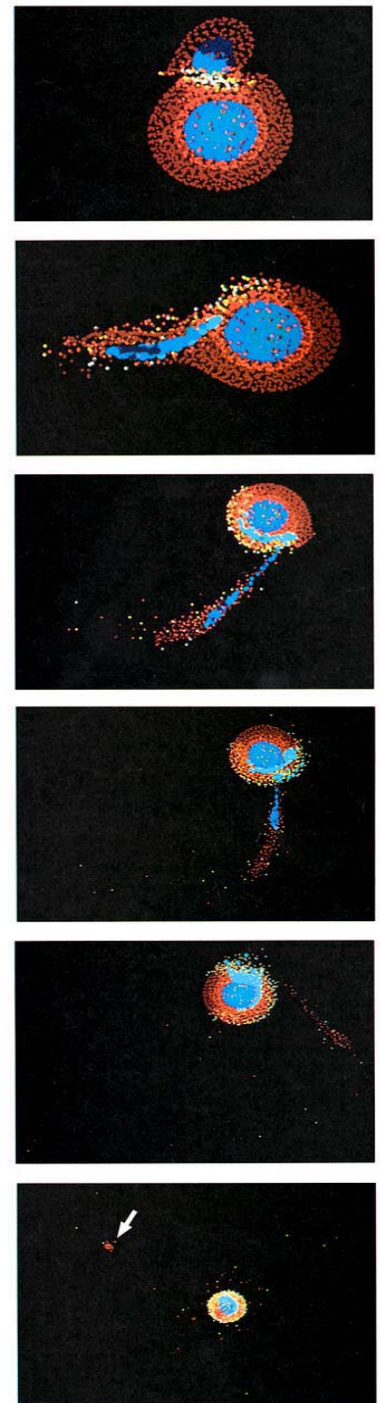
Simulacoes numericas: pedaços da T e do planeta coalesceram em orbita estavel formando L

- ambos teriam manto similar
- L nao teria nucleo metalico (azul)
- Mas T sim se ja houvesse se formado antes da colisao

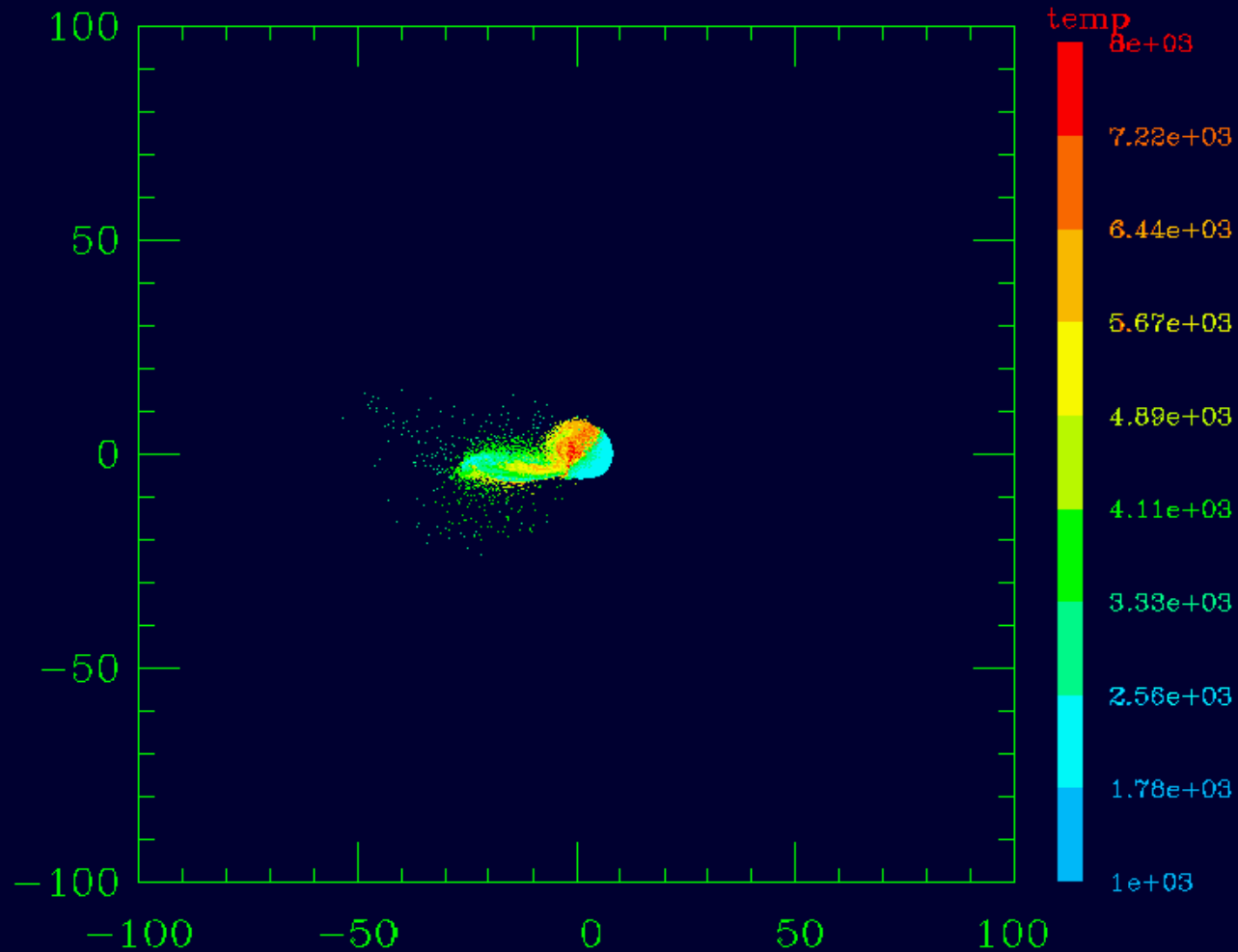
azul: nucleo metalico

vermelho: manto rochoso

Canup, R. (2004)

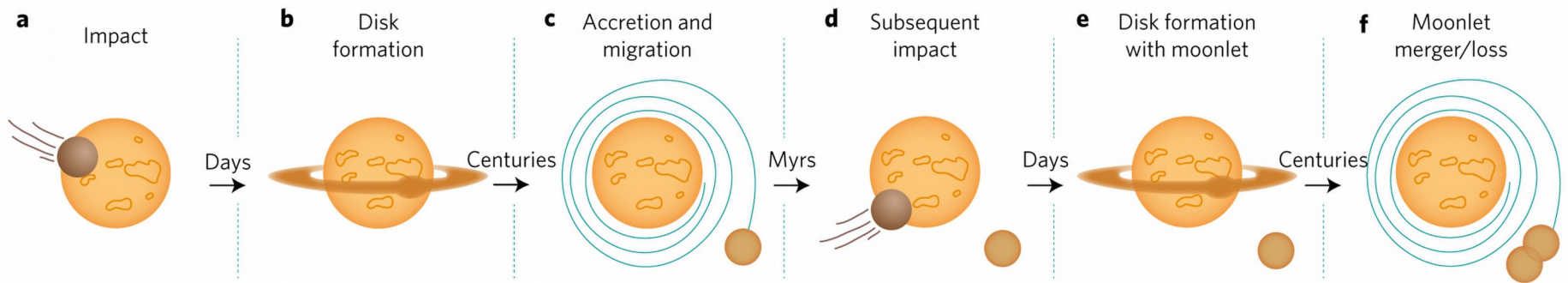


$t = 1.18361 \text{ hr}$



<http://www.boulder.swri.edu/~robin/moonimpact/>

# Teoria de múltiplos impactos



Rafu et al. (2017) Nature

# Informação Complementar



# Historia Geologica da T e L

## Terra:

- A 4,6 bilhoes de anos: formou-se por coalescencia de material do disco proto-planetario
- Rochas + velhas na T: 3,9 bilhoes a. – solidificaram-se depois da formacao, e erosao + eficaz apagou detalhes do passado
- Parcialmente derretida no 1º bilhao de a. – materia mais densa afundou no nucleo e material + leve ficou na superficie
- Ate 3,9 bi. a: bombardeamento intenso de meteoritos ajudaram a manter T derretida
- Aquecimento por radiatividade no interior continuou mesmo com solidificacao da superficie
- Com o tempo: resfriamento de fora para dentro – formacao da crosta e estratificacao conhecida hoje pelos estudos sismicos
- As altas T's do nucleo: o que restou de bem quente dos primordios da T
- Atividade vulcanica: formacao da atmosfera
- Queda dos meteoritos: fratura das crostas
- A 3,7 bi. a: surgimento dos 1ºs continentes
- Muita chuva e vento: erosoes da superficie
- A 600 mi. a.: processos anteriores diminuiram progressivamente – T tornou-se semelhante ao que é hoje

# Historia Geológica da T e L

## Lua

- 4,6 bi.a.: formou-se
- **Crosta: começou a solidificar 4,4 bi.a. (corresponde a datacao rochas lunares mais antigas) e bombardeada por meteoritos**
- Planaltos: partes + antigas
- **Mares: + recentes**
- 1ºs 500 mi.a.: bombardeamento por meteoritos violento o bastante para manter derretidas camadas superficiais (rochas nao boas condutoras de calor)
- **Lua pouco massiva: radiatividade insuficiente para mante-la liquefeita**
- 3,9 bi.a.: bombardeamento intenso parou – forma-se crosta solida dentada com varias bacias largas
- **3,9 a 3,2 bi.a. atras: vulcanismo preencheu bacias com material basaltico : MARES**
- Pela atracão gravitacional da T: crosta + espessa do lado oculto: < atividade ocorreu ali: sem grandes mares, ja que a crosta é muito espessa
- **L: menor que a T: resfriou + rapido: atividade vulcanica terminou e crosta tornou-se espessa demais nao permitindo intenso vulcanismo e nem a formacao de placas tectonicas ou continentes**
- Lua tem permanecido a mesma nos ultimos 3 bi.a. (exceto por pequena erosão superficial por meteoros): **INATIVA**