

ANTIGUIDADE

Antigas civilizações: egípcios, sumérios, babilônios, etc.

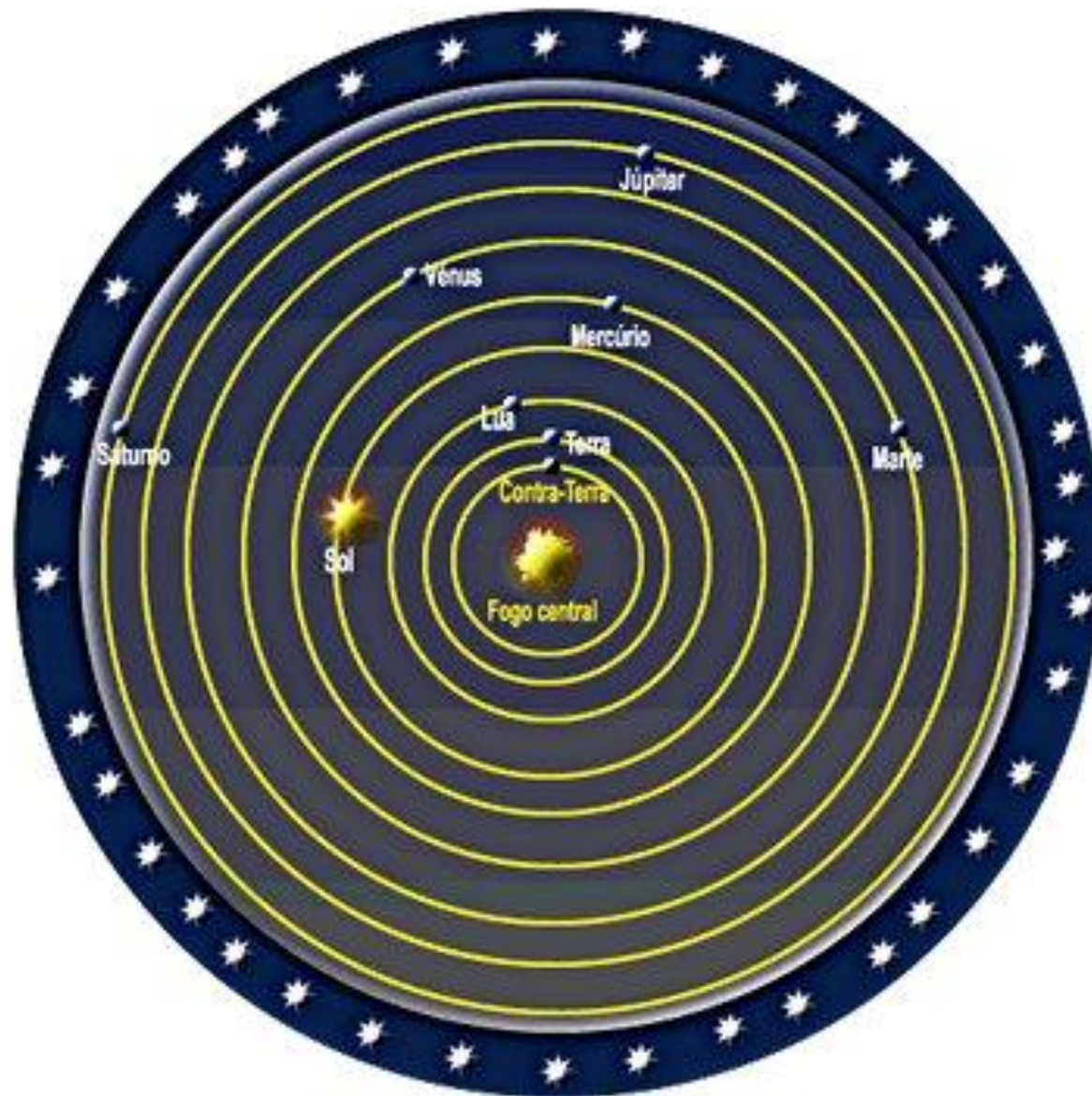
- Grande habilidade com números: aritmética
- Descrição do movimento dos corpos celestes
- Muitos historiadores não consideram isso como ciência
- Não criavam modelos que lhes permitissem fazer previsões ou reproduzir os fenômenos observados

ANTIGUIDADE CLÁSSICA: GRÉCIA

- Filósofos gregos (a partir de ~600 A.C.): fenômenos naturais não são manifestações dos deuses. Suas causas estão dentro da própria Natureza e podem ser explicadas de forma racional, sem a necessidade dos mitos.
- Argumentação lógica
- Sistematização do conhecimento
- Tentativa de explicar (de forma racional) as causas dos fenômenos naturais, incluindo o movimento dos corpos celestes

FILÓSOFOS PITAGÓRICOS

- Pitágoras de Samos (580-500 A.C.)
- “Tudo é número”
- Associaram números à escala musical
- Ligaram a matemática à física: busca de relações matemáticas que descrevessem os fenômenos naturais
- Primeiros a considerar Terra esférica
- Primeiros a imaginar Terra em movimento e não parada no centro do Universo
- Filolau de Crotona (século V a.C.): Terra e todos os outros corpos celestes giram ao redor de um *fogo central*, responsável por toda energia do cosmo, inclusive pelo calor do Sol
- Terra em movimento não era a visão dominante na época
Principal motivo: não percebemos a Terra em movimento



GEOCENTRISMO E O PENSAMENTO PLATÔNICO

- Geocentrismo:

Terra imóvel no centro do Universo

Todos os corpos celestes orbitam ao redor da Terra

Universo é finito e não existe espaço vazio

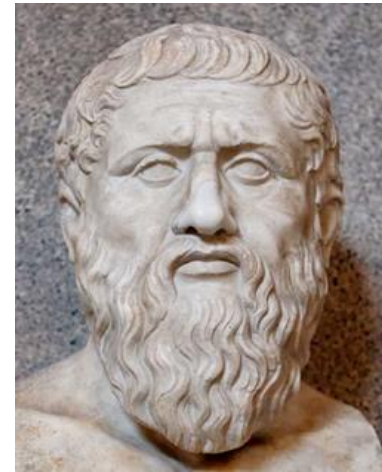
- Gregos: busca pela perfeição

- Platão (427-327 A.C.):

Forma geométrica perfeita: esferas

Organização do Universo refletia a Mente Divida (perfeita)

Logo, os corpos celestes deveriam ser esféricos e seu movimento circular e uniforme, assim como a figura perfeita de um círculo.



- *Salvar os fenômenos:*

Platão propôs um desafio que influenciou o desenvolvimento da Astronomia nos próximos dois mil anos: descrever os detalhes e as irregularidades dos movimentos celestes como combinações de movimentos circulares.

- Eudóxio de Cnido (408-356 A.C.):

Modelo apenas qualitativo, embora satisfatório.

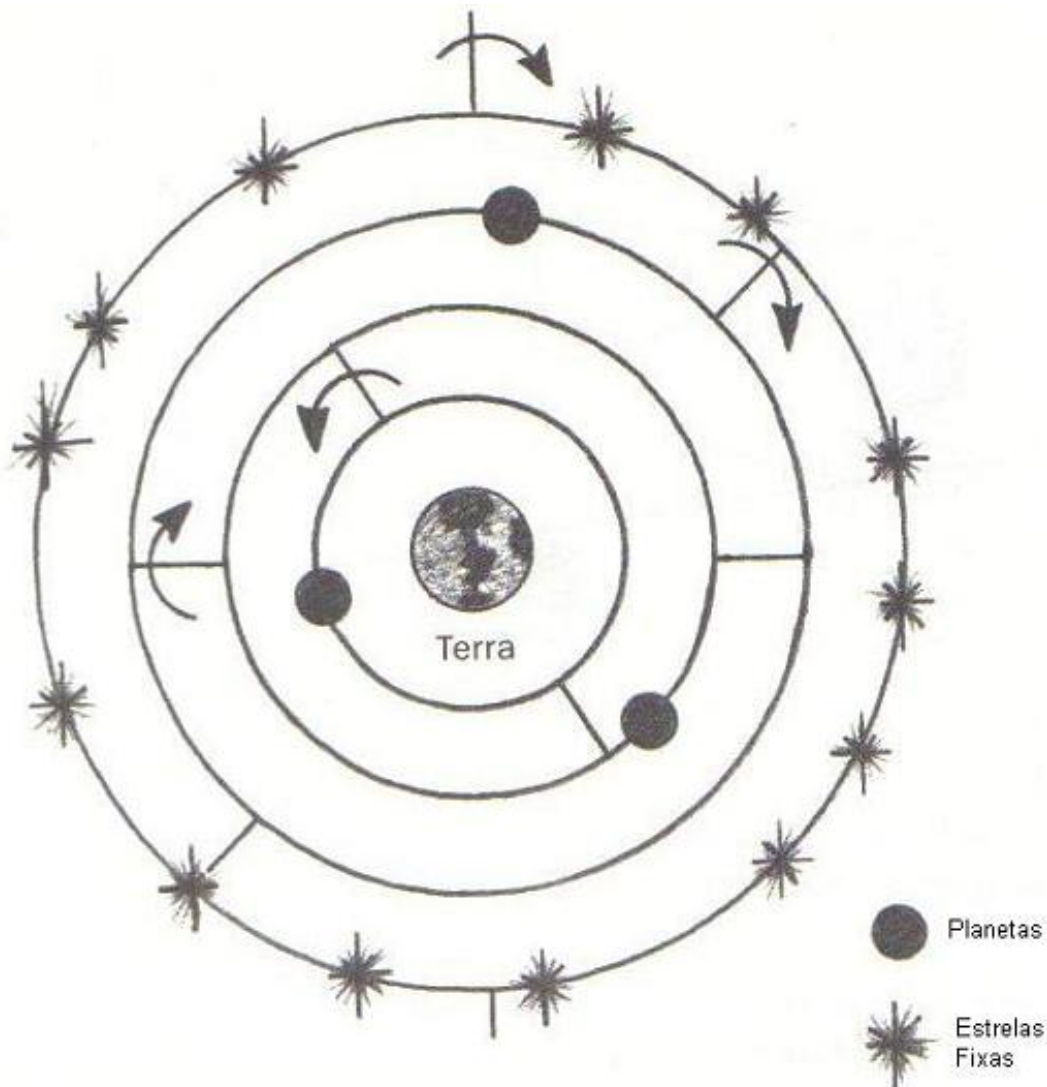
Diversas esferas concêntricas giravam ao redor da Terra, fixa no centro do Universo.

Cada corpo celeste poderia ter mais de uma esfera associada

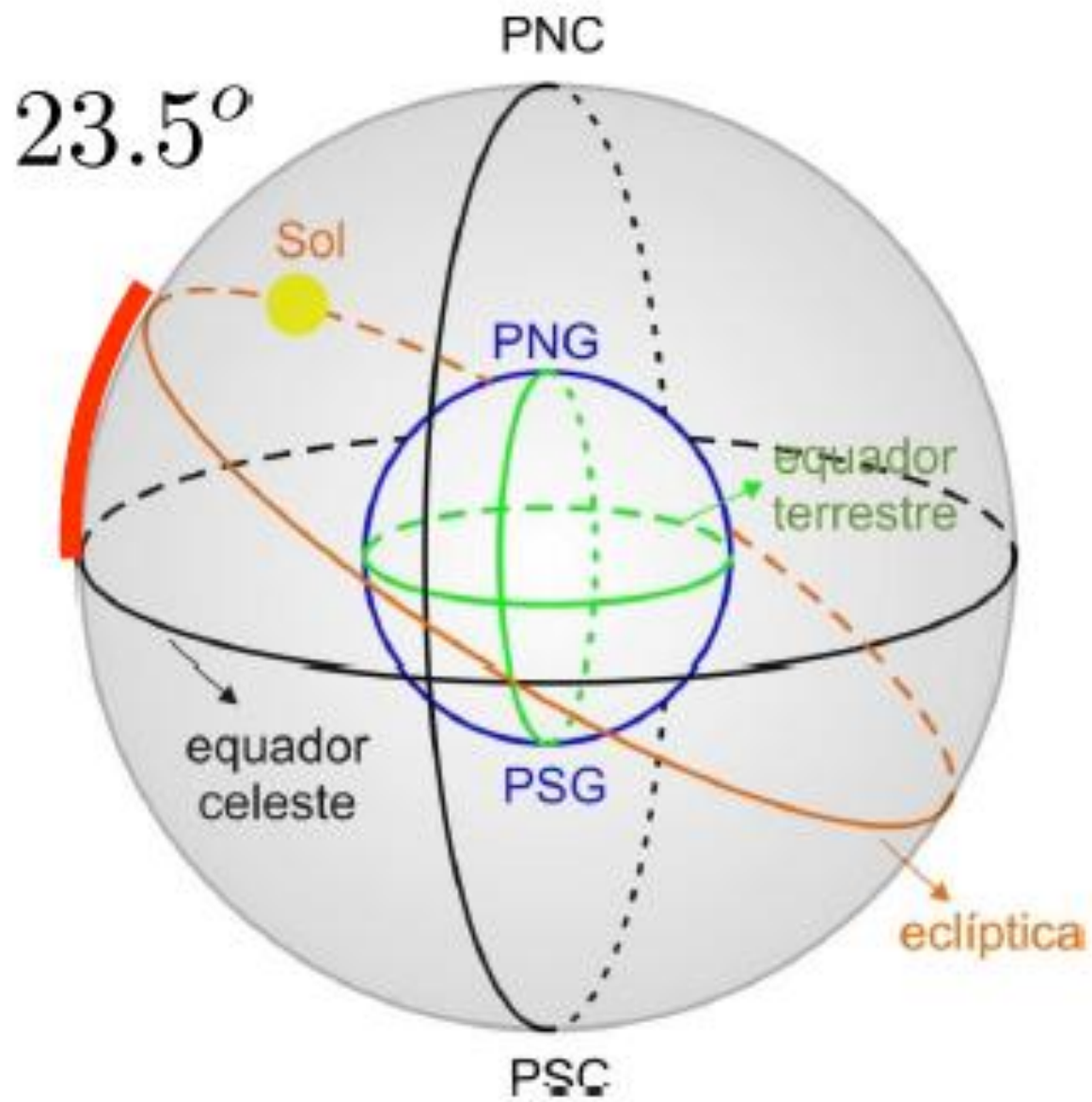
Movimento dos corpos celestes: combinação do movimento das esferas associadas a cada um deles, que podiam girar tanto no sentido horário como anti-horário com qualquer velocidade

Última esfera: estrelas fixas

ESFERA CELESTE

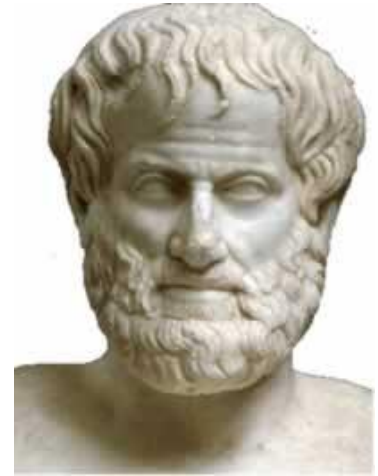


M. Gleiser, *A dança do universo*, Companhia das Letras (1997)

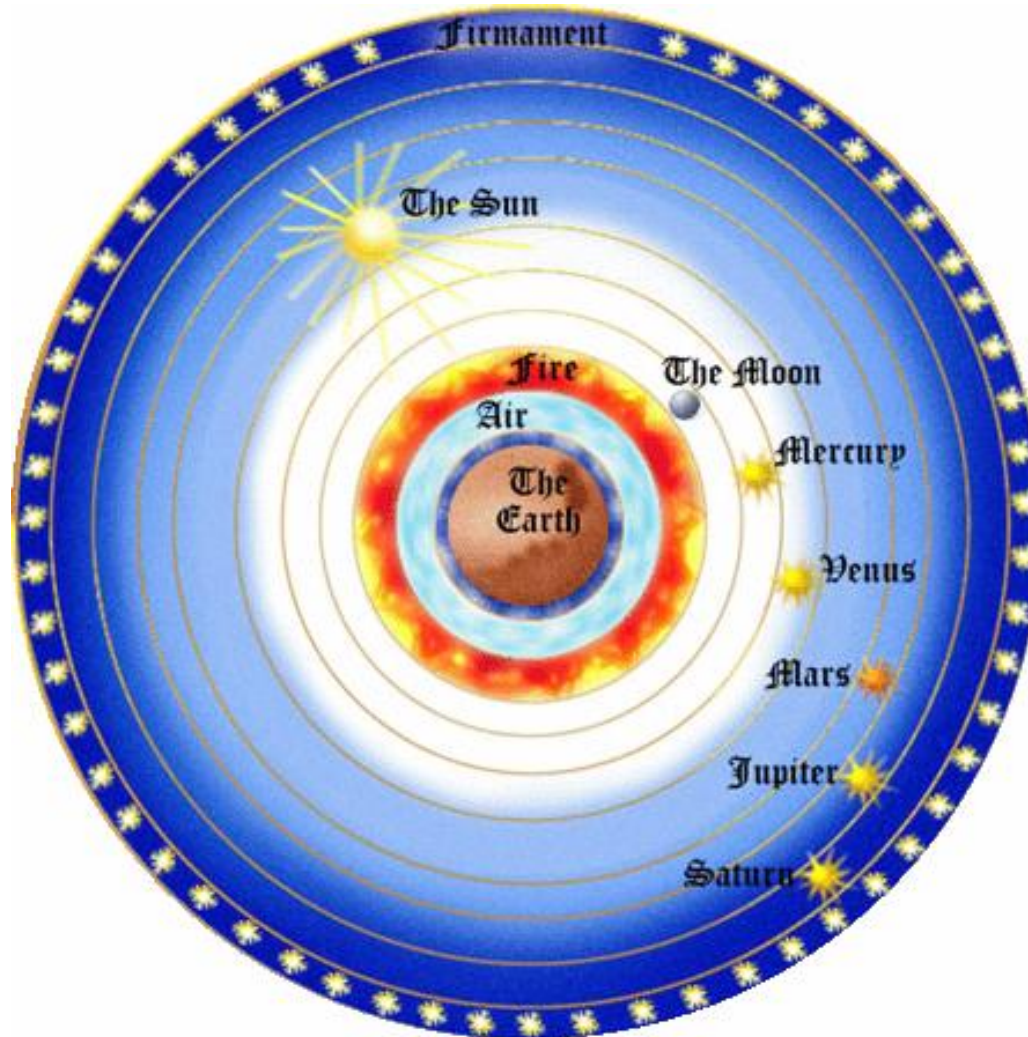


ARISTÓTELES (384-322 A.C.)

- Terra esférica localizada no centro do Universo
- Terra composta de 4 elementos:
terra, água, ar e fogo
- *Lugar natural*: tudo se move para o seu lugar natural
terra e água (pesados) se move para baixo: primeira “ideia de gravidade”
fogo e ar (leves) se movem para cima
- Movimento contrário ao natural só acontece de forma violenta (“ideia de força”) e será interrompido depois de algum tempo (“ideia de atrito e resistência do ar”)
- Universo preenchido pelo *éter*. Espaço vazio = absurdo!



Modelo geocêntrico de Aristóteles: organização dos elementos da natureza, da Lua, do Sol, dos planetas, e a distante esfera das estrelas fixas.



FÍSICA ARISTOTÉLICA

- Aristóteles escreveu livremente sobre lógica, filosofia, teologia, ciências (física, ótica, astronomia, biologia), metafísica, ética, psicologia, literatura, retórica, política, artes, entre outros.
- Sobre o movimento dos corpos (física) podemos destacar:
- O movimento de queda dos corpos pesados é natural e dirigido para o centro da Terra que coincide com o centro do universo (primeira “ideia de gravidade”).
- A taxa de queda de um corpo depende de dois fatores: seu peso (errado!!!) e resistência do meio em que ele se desloca (“ideia de atrito e resistência do ar”).

- Os corpos celestes são dotados de movimento natural descrevendo uma trajetória circular perfeita.
- Movimentos naturais na Terra acontecem em linha reta.
- Todos os corpos pertencentes a Terra, quando em movimento não dirigido para o centro do universo, seu lugar natural, são dotados de movimento violento provocado por algum agente externo a eles (“ideia de força”). A velocidade dos corpos aumenta com o aumento da intensidade do agente; quando o agente é removido ou cessa de atuar, o movimento para.
- Não pode existir movimento não natural infinito; em consequência não pode existir o vácuo.

Viagens espaciais seriam impossíveis no universo Aristotélico!

- O ar deslocado por um corpo em movimento também é um agente secundário de movimento, por exemplo, no movimento de projéteis o ar deslocado tenderia a ocupar o vazio deixado pelo corpo transformando-se num motor de segunda ordem.



PRIMEIRO MODELO HELIOCÊNTRICO

- Modelos propostos por filósofos: descreviam o Universo sem detalhes e sem fazer cálculos.

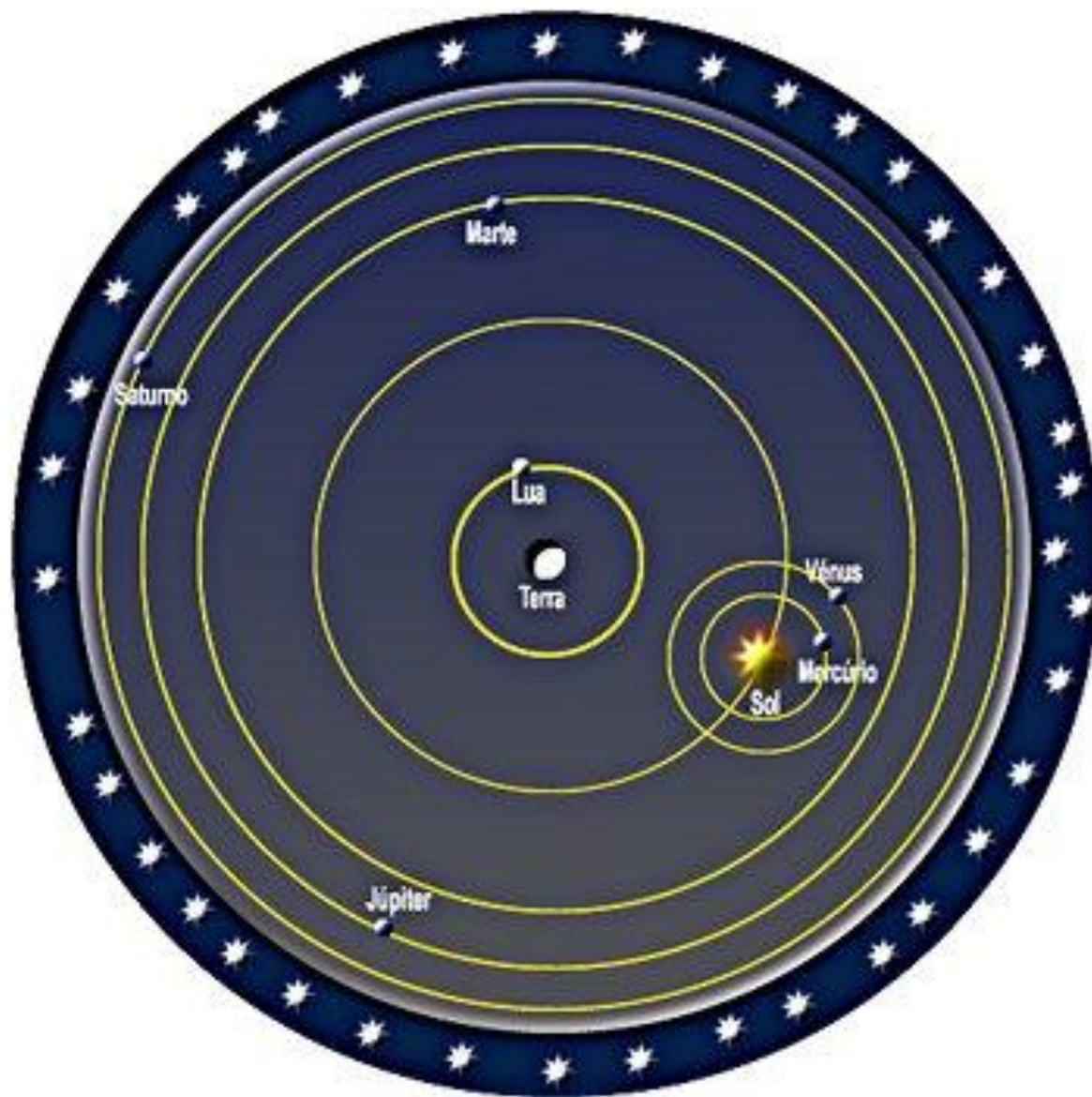
Modelos qualitativos que apresentam muitas contradições com as observações astronômicas.

- Heraclides do Ponto (388-310 a.C.):

Volta a falar na rotação da Terra para explicar o movimento diário dos céus.

Ao contrário dos pitagóricos que acreditavam que a Terra girava ao redor do fogo central, Heraclides propôs que a Terra gira em torno de seu eixo.

Observando que Mercúrio e Vênus nunca são vistos longe do Sol, ele concluiu que os dois planetas devem girar ao redor do Sol e não da Terra.



- Aristarco de Samos (310-230 a.C.):

Deslocou o centro das órbitas de todos os planetas, incluindo a Terra, para o Sol = primeiro modelo heliocêntrico do cosmo!!

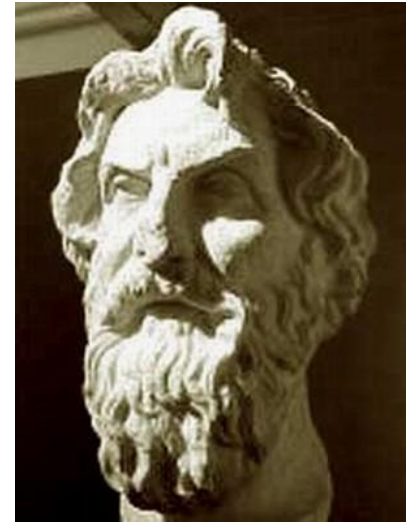
Excelente matemático e observador.

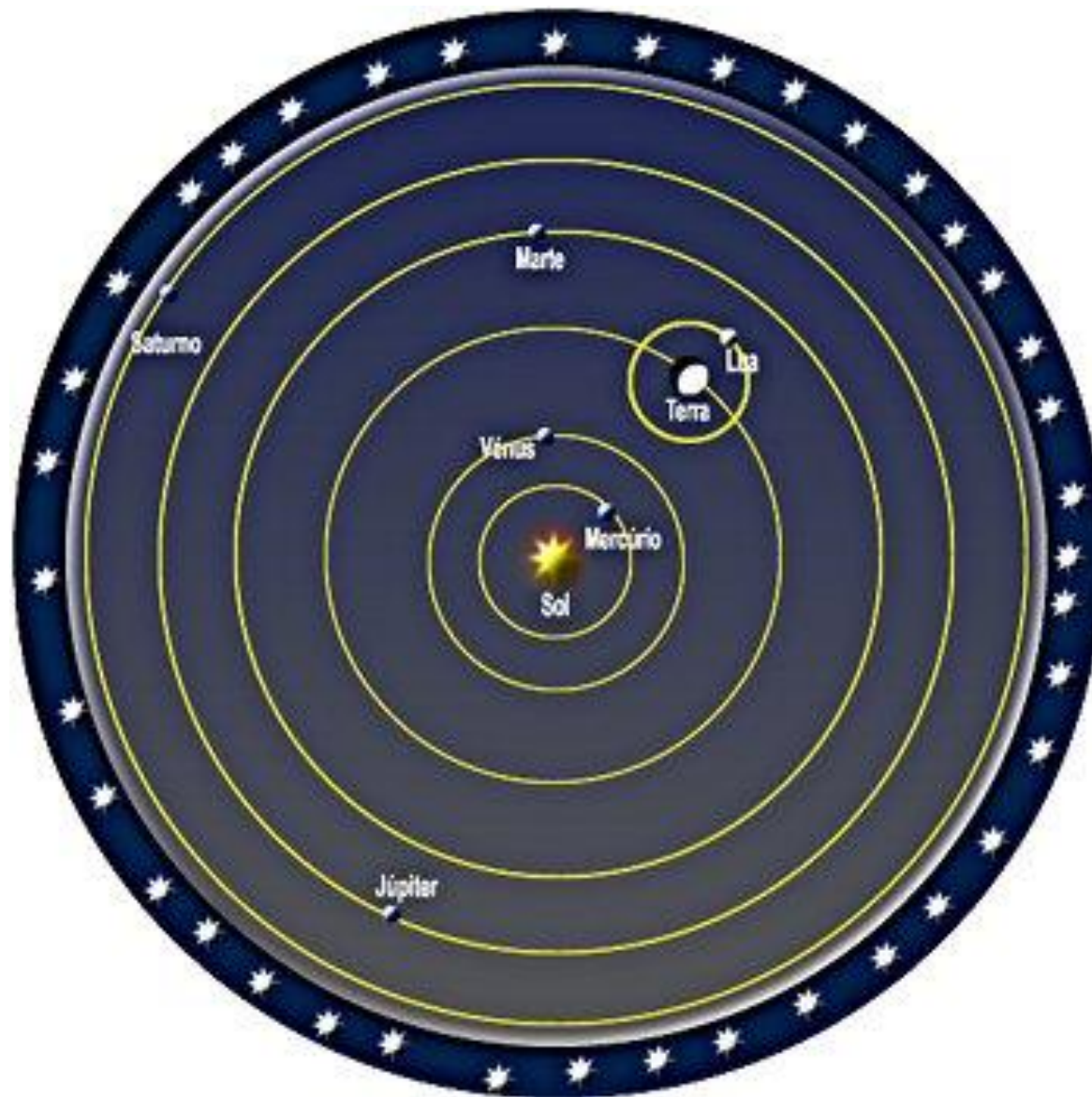
Geometria e dados astronômicos:

- primeiro a fazer medidas das distâncias e do tamanho do Sol e da Lua
- Lua era menor do que a Terra e estava mais próxima do que o Sol
- Sol era bem maior do que a Terra

Medidas astronômicas feitas a olho nu, sem telescópio!!

Poucos escritos de Aristarco chegaram até nossa época.





MEDIDAS DA TERRA E DO COSMO

- Babilônios e egípcios:

Representação para os números e unidades de medida

Medidas diretas: massas, comprimentos, áreas, quantidades

- Gregos:

Primeiros a realizar medidas indiretas

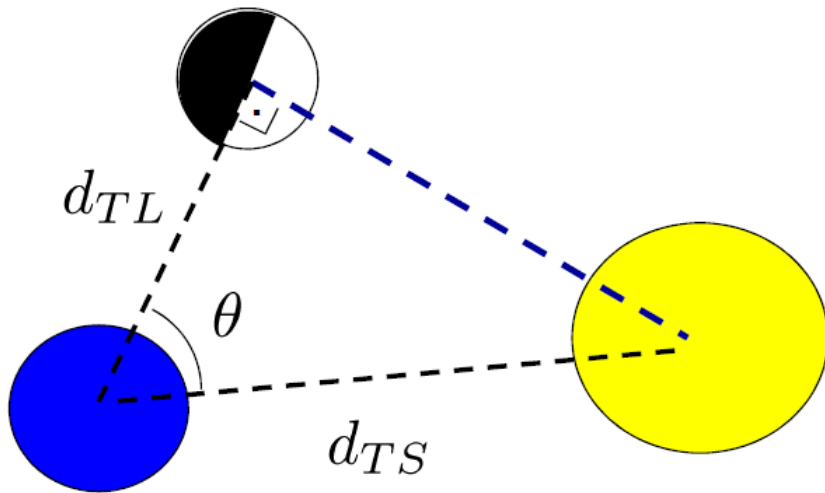
Determinação da circunferência da Terra, do tamanho do Sol e da Lua, da distância da Terra até o Sol e até a Lua

Conhecimento avançado de geometria

DISTÂNCIAS DO SOL E DA LUA À TERRA

Aristarco de Samos:

Tratado “Sobre os tamanhos e distâncias do Sol e da Lua”



Luis Gregório Dias da Silva (IFUSP),
Notas de aula de Gravitação (2014)

Lua exatamente meio-cheia
(quarto crescente ou quarto
minguante):

1-) Ângulo entre os centros da
Terra e do Sol: 90°

2-) Ângulo entre os centro da Lua
e do Sol vistos da Terra:

Aristarco: $\theta \approx 87^\circ$

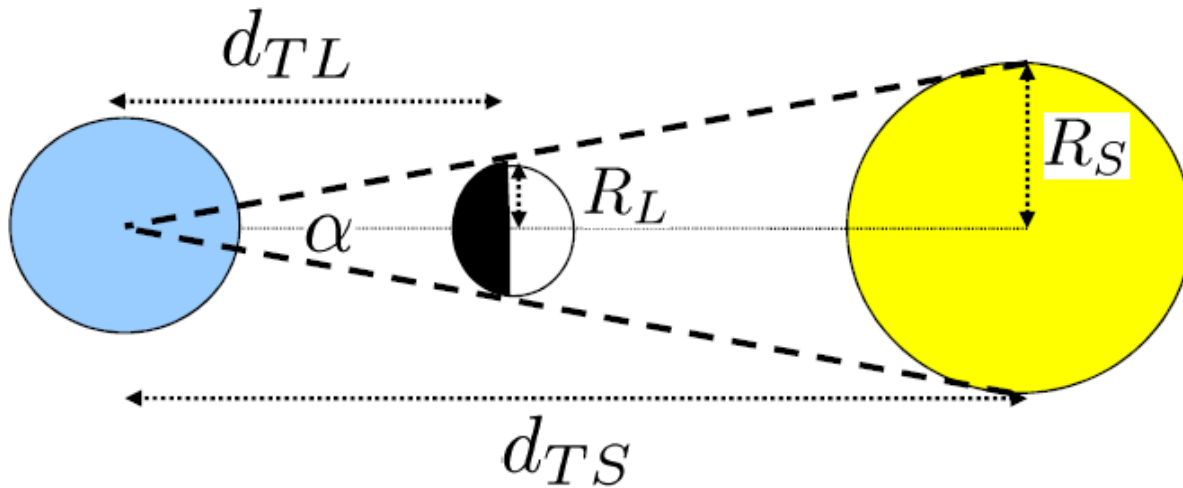
Moderno: $\theta \approx 89,858^\circ$

Exercício: Determine as razões d_{TL} / d_{TS} entre as distâncias Terra-Lua e Terra-Sol obtidas por Aristarco e a moderna.

A olho nu Aristarco cometeu um erro de apenas $2,858^\circ$ (3%) em θ .

Entretanto, isso acarretou erro de cerca de 2000% para razão d_{TL} / d_{TS} !!

TAMANHOS DO SOL E DA LUA



Luis Gregório Dias da Silva (IFUSP),
Notas de aula de Gravitação (2014)

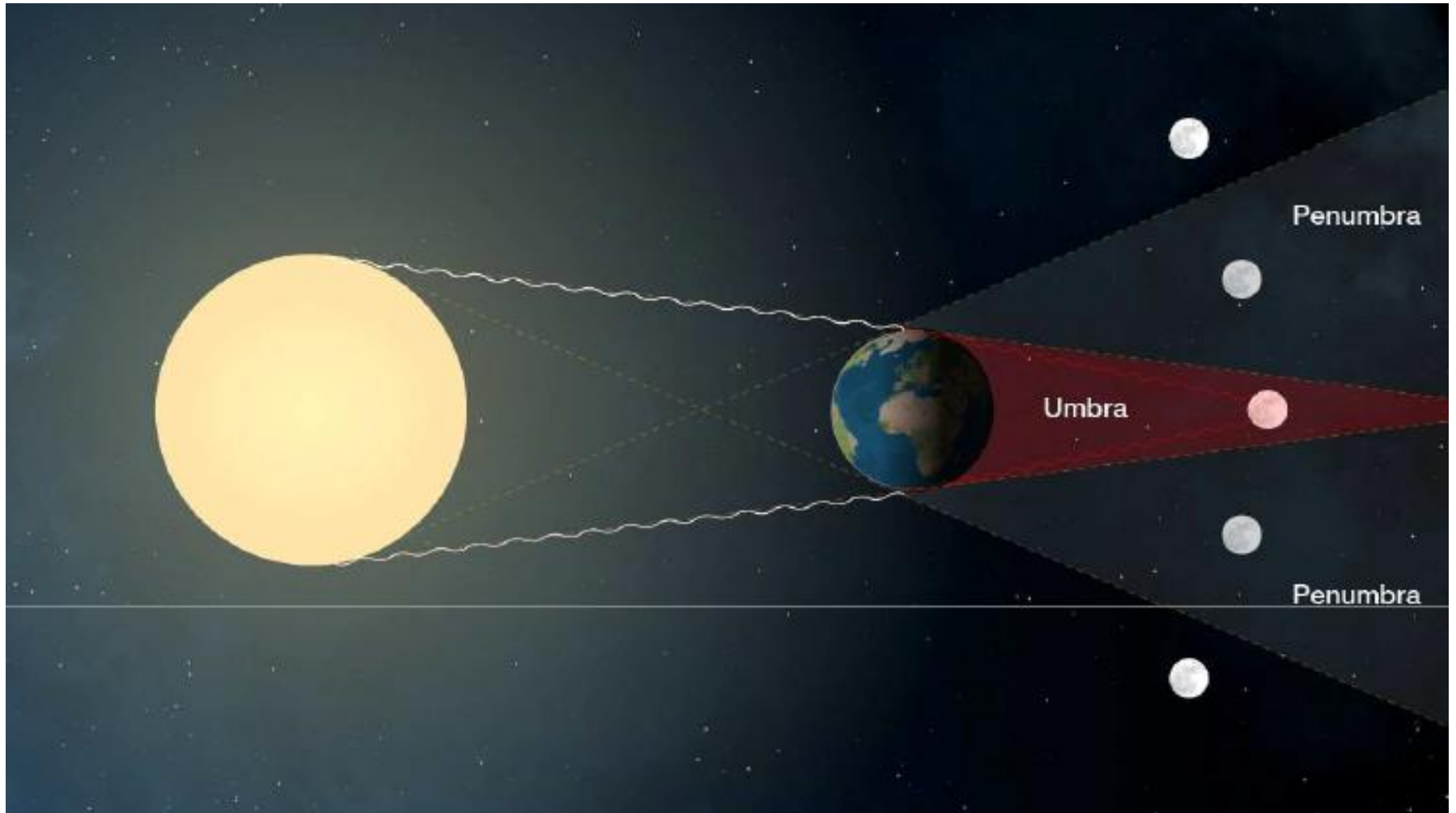
Eclipse total do Sol:

A Lua cobre completamente o Sol

Os “tamanhos aparentes” da Lua e do Sol, vistos da Terra, são iguais

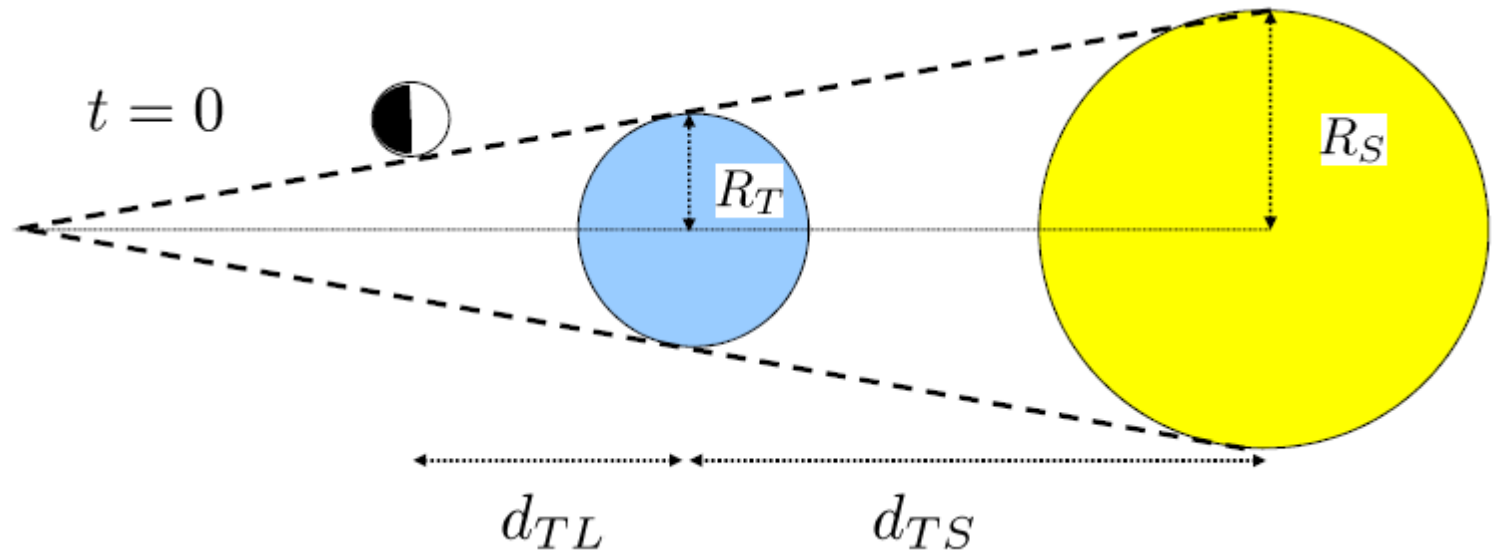
Exercício: Determine as razões R_L / R_S obtidas por Aristarco e a moderna.

ECLIPSE LUNAR TOTAL



<http://mars.nasa.gov/allaboutmars/nightsky/total-lunar-eclipse/>

CÁLCULO DE R_L/R_T E R_S/R_T



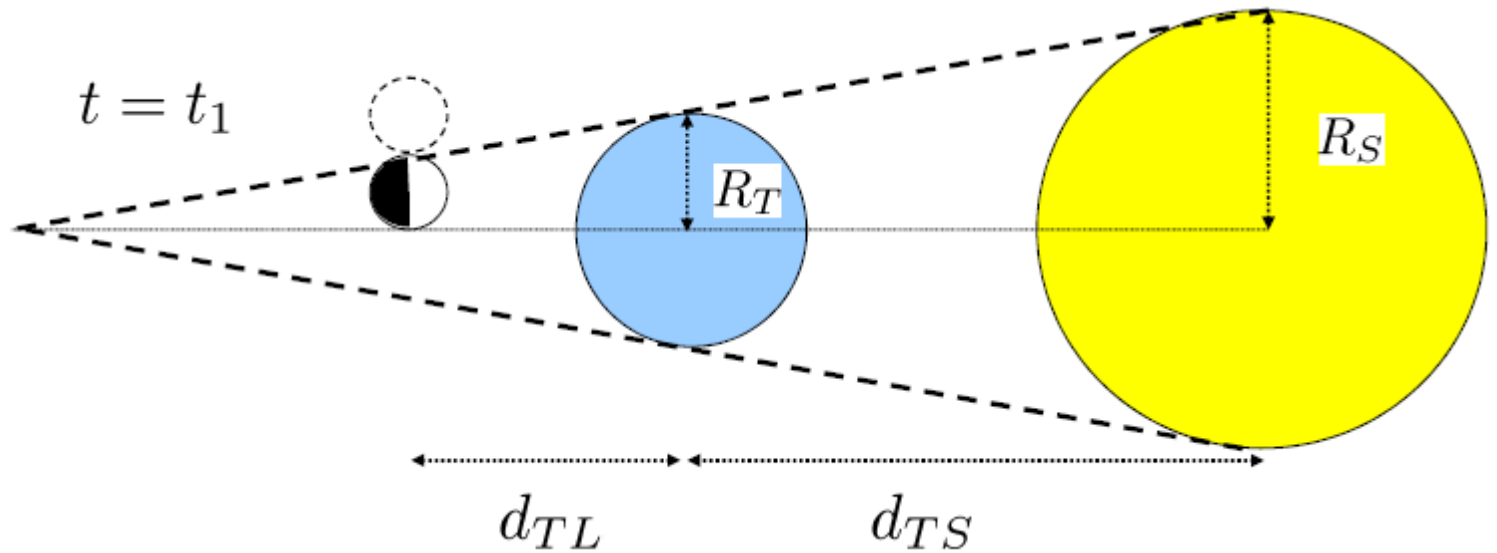
Luis Gregório Dias da Silva (IFUSP), *Notas de aula de Gravitação* (2014)

Eclipse total da Lua:

Lua, Terra e Sol perfeitamente alinhados

Lua entra completamente na região encoberta pela Terra

$t=0$: Aristarco determinou o instante em que a Lua começou a ser encoberta pela Terra

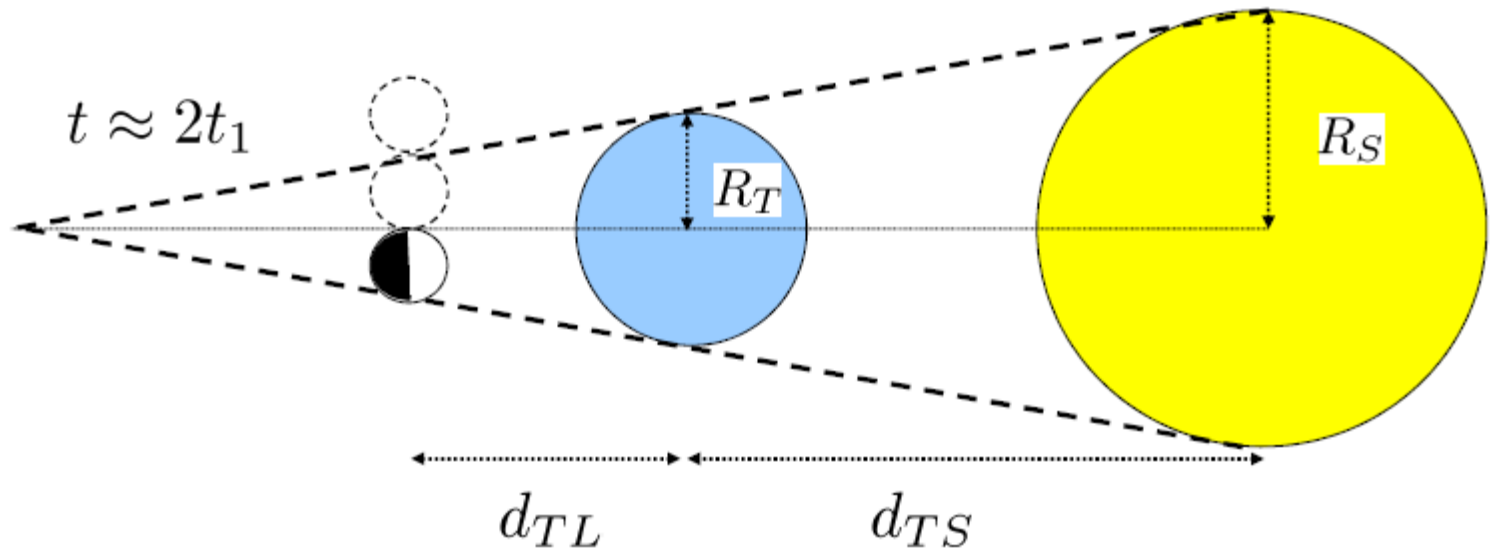


Luis Gregório Dias da Silva (IFUSP), *Notas de aula de Gravitação* (2014)

Eclipse total da Lua:

Aristarco determinou o instante em que a Lua começou a ser encoberta pela Terra: $t = 0$

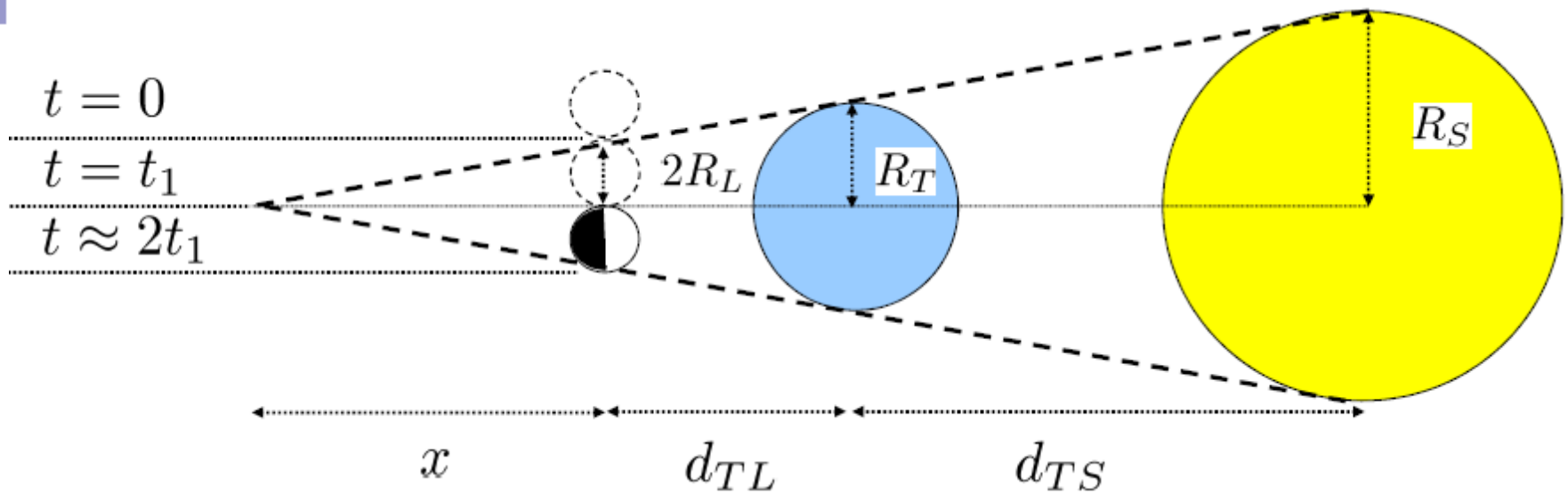
e mediu o intervalo de tempo necessário para que a Lua fosse totalmente encoberta, desaparecendo do céu: $\Delta_1 t = t_1 \Rightarrow t = t_1$



Luis Gregório Dias da Silva (IFUSP), *Notas de aula de Gravitação* (2014)

Eclipse total da Lua:

Aristarco mediu o intervalo de tempo em que a Lua permanece totalmente encoberta e obteve aproximadamente o mesmo valor obtido na etapa anterior: $\Delta_2 t \approx t_1 \Rightarrow t \approx 2t_1$

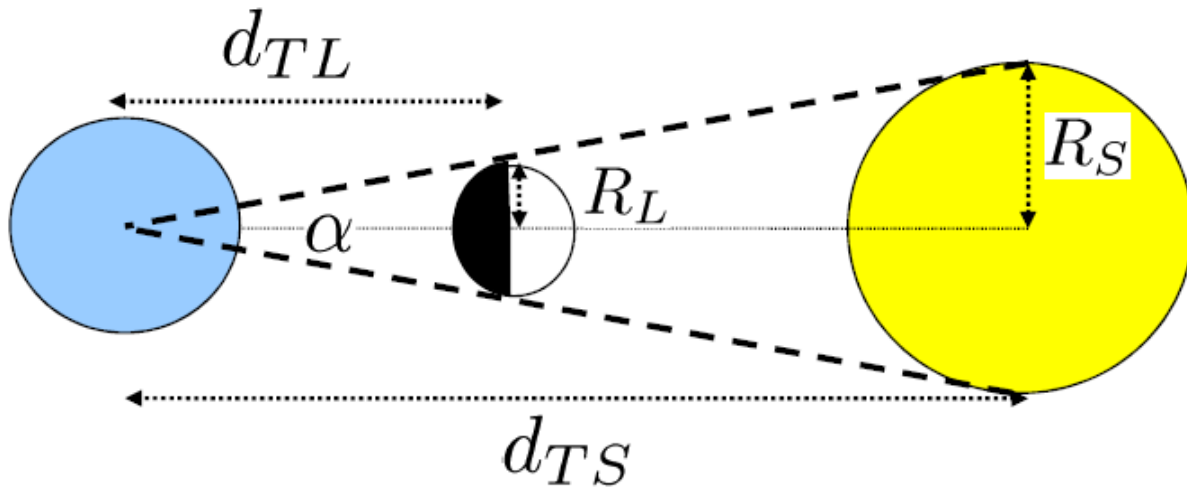


Astrônomos supunham que a Lua se move com velocidade uniforme. Logo, as medidas de tempo obtidas por Aristarco determinam que a base do triângulo menor é $4R_L$

Exercício 1: Determine as razões R_L / R_T e R_S / R_T obtidas por Aristarco. Considere $d_{TL} / d_{TS} = 1/19$.

Exercício 2: Atualmente, a base do triângulo menor é medida como $\sim 5,4R_L$ durante um eclipse total da Lua. Determine as razões modernas R_L / R_T e R_S / R_T . Considere o valor de d_{TL} / d_{TS} obtido nos slides anteriores.

ECLIPSE SOLAR TOTAL



Luis Gregório Dias da Silva (IFUSP),
Notas de aula de Gravitação (2014)

Ângulo subtendido pelo Sol e pela Lua, como visto da Terra:
 $\alpha \approx 0,5^\circ$

Considerando órbitas circulares: ângulo total das órbitas = 360°

Logo, são necessários 720 diâmetros da Lua e do Sol para preencher toda a circunferência

Exercício: Determine as distâncias d_{TL} e d_{TS} em função de R_T obtidas por Aristarco e a moderna.

COMPARAÇÃO ARISTARCO X ATUAL

Grandeza	Aristarco	Valor atual
d_{TL} / d_{TS}	1/19	$2,57 \times 10^{-3}$ (*)
R_L / R_S	1/19	$2,50 \times 10^{-3}$ (**)
R_L / R_T	$20/57 = 0,35$	0,273 (**)
R_S / R_T	$20/3 = 6,67$	109 (**)
d_{TL}	$80 R_T$	$60 R_T$ (*) (**)
d_{TS}	$1528 R_T$	$23456 R_T$ (*) (**)

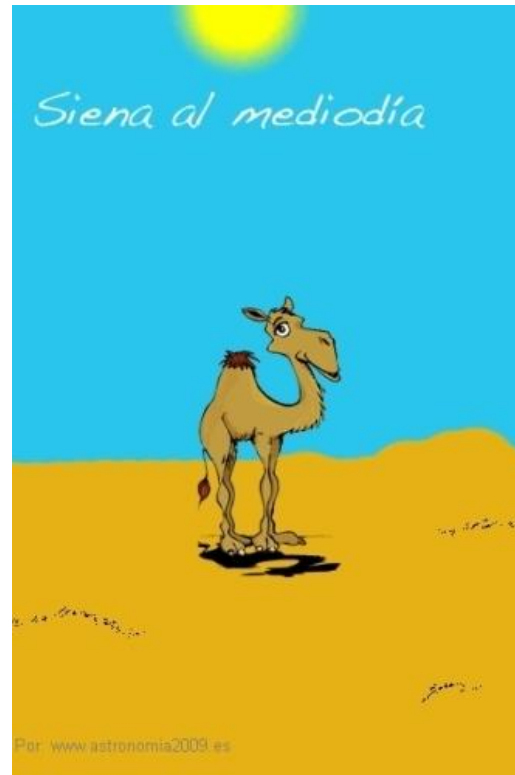
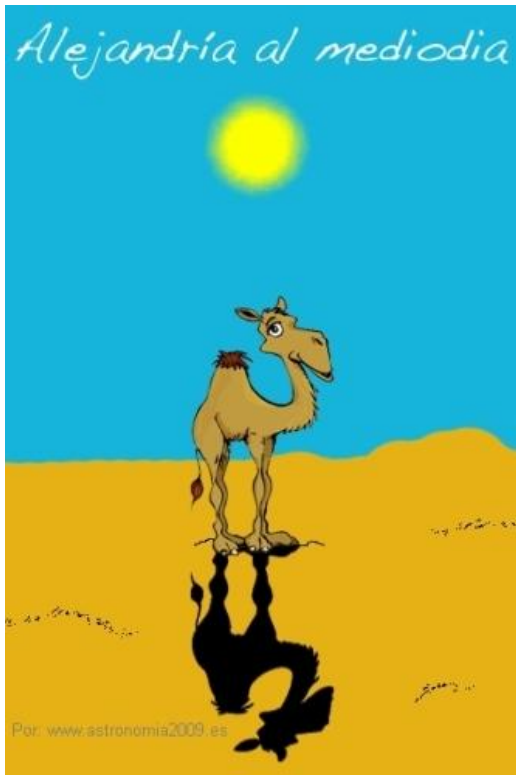
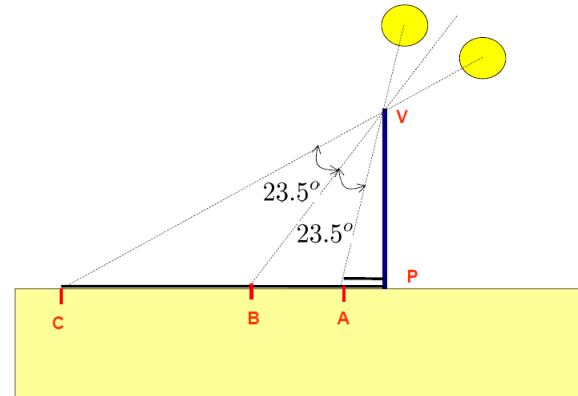
(*) As distâncias Terra-Lua e Terra-Sol não são constantes, pois as órbitas não são circunferências perfeitas. Os valores se referem às distâncias Terra-Lua e Terra-Sol médias.

(**) Terra, Lua e Sol não são esferas perfeitas. Os valores foram obtidos considerando-se os raios da Terra, da Lua e do Sol medidos no Equador.

- Aristarco fez todas as medidas a olho nu, o que resultou em uma série de erros de medida por limitações técnicas.
- Na determinação do ângulo correspondente à posição da Lua meio-cheia, um erro de $1/2^{\circ}$ grau, extremamente pequeno para observações a olho nu, acarretaria um erro muito grande na determinação das distâncias relativas entre o Sol e a Lua.
- É muito difícil precisar exatamente quando a Lua está meio-cheia.
- Também é difícil determinar com exatidão os centros do Sol e da Lua.
- Apesar dos erros de medida, os métodos empregados nos cálculos são brilhantes, representando os melhores esforços dos cientistas gregos.

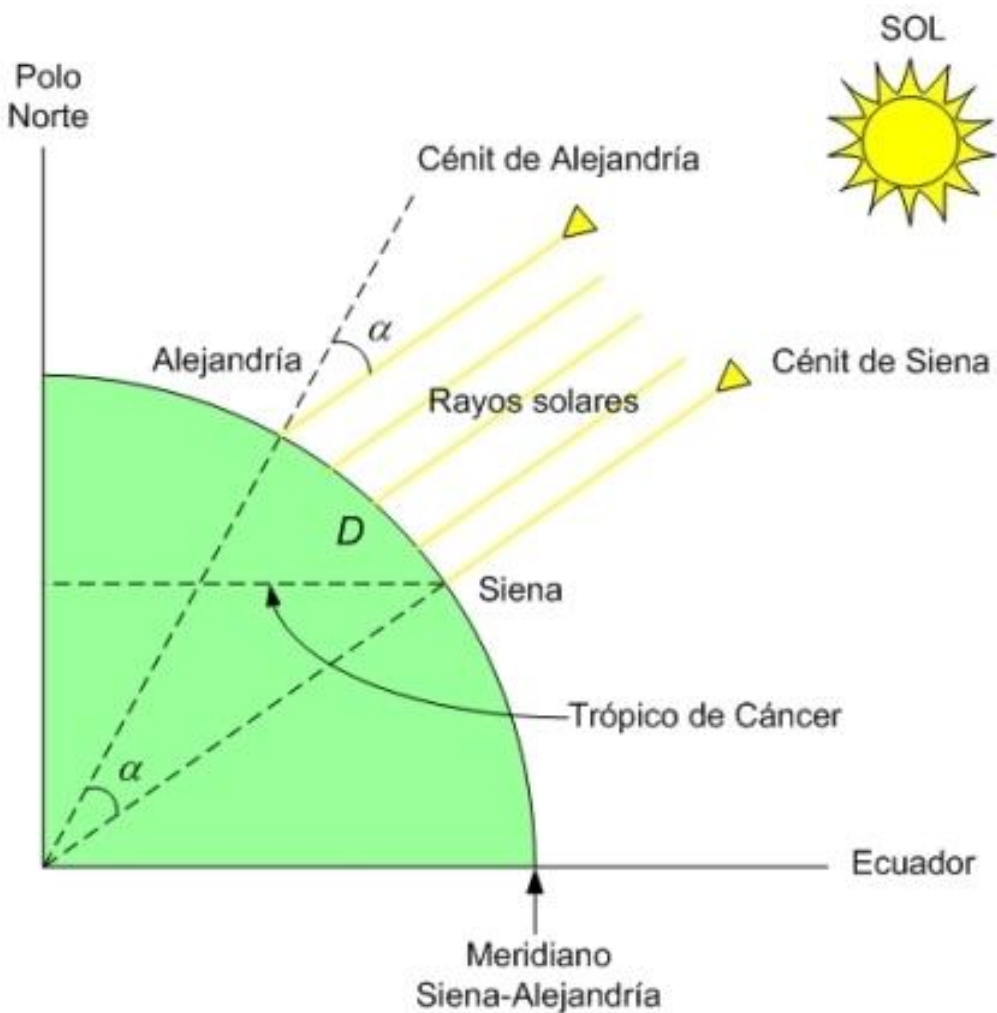
ESFERICIDADE DA TERRA

Solstício de verão:
menor comprimento da haste
ao meio-dia
(comprimento PA)



Comprimento PA não é o mesmo em toda a superfície da Terra.

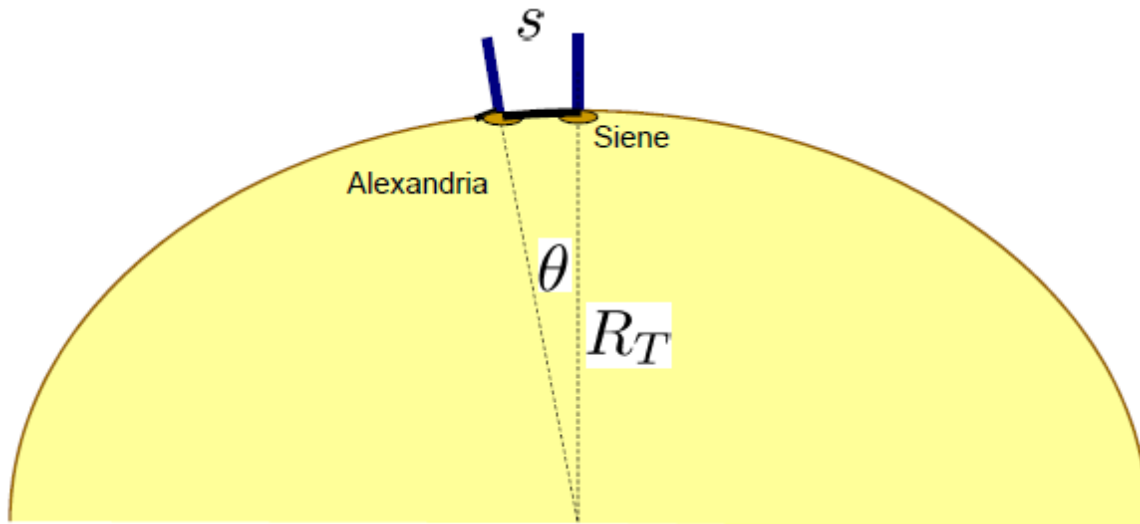
SIENA-ALEJANDRÍA: SOLSTICIO DE VERANO



© www.demundoenmundo.com

- Siene (atual Aswan, Egito) fica praticamente na latitude do Trópico de Câncer. No solstício de verão, não há sombra ao meio-dia.
- Nesse mesmo dia e horário, o ângulo do Sol é $\alpha = 7,2^\circ$ em Alexandria (ao norte de Siene no mesmo Meridiano).
- Distância Terra-Sol \ll Raio da Terra: raios solares podem ser considerados paralelos.
- Conclusão: Terra é esférica!!!

- Eratóstenes (século III A.C.):
- $\theta = 7,2^\circ$
- $s = 5000$ “estádios” (distância entre Siene e Alexandria)
- **Exercício: Determine o raio e a circunferência da Terra em “estádios”, lembrando que s é um comprimento de arco ($s = R_T\theta$, com θ em rad).**
- Não se sabe ao certo o valor da unidade “estádio”. Algumas estimativas sugerem que a medida de Eratóstenes para a circunferência da Terra estaria entre 37.000 e 45.000 km, próxima do valor de cerca de 40.000 km aceito atualmente.



Luis Gregório Dias da Silva (IFUSP),
Notas de aula de Gravitação (2014)