

# Introdução à Astronomia

---

## Movimento dos Planetas

Rogério Riffel

e-mail: [riffel@ufrgs.br](mailto:riffel@ufrgs.br)

<http://www.if.ufrgs.br/~riffel>

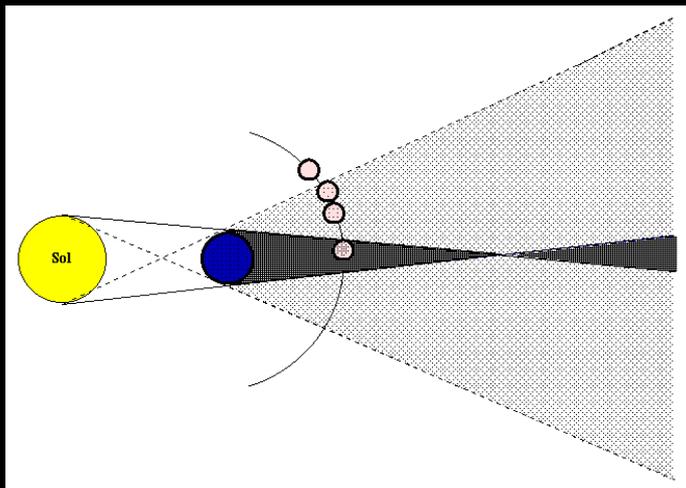
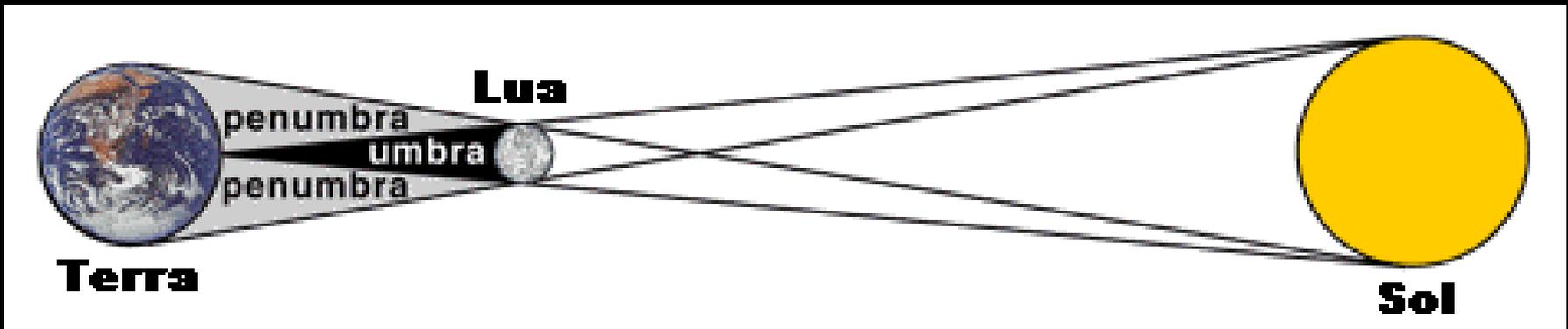
Sala: N106

Livro texto: *Astronomia e Astrofísica* – Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva

Hipertexto: <http://www.astro.if.ufrgs.br>

# Revisão - Eclipses

• Os eclipses acontecem quando ocorre o alinhamento entre Sol, Terra e Lua, de forma que **a sombra da Lua atinge a Terra (eclipse solar)** ou a **Lua fique na sombra da Terra (eclipse lunar)**.



**Umbra:** região da sombra que não recebe luz de nenhum ponto da fonte.

**Penumbra:** região da sombra que recebe luz de alguns pontos da fonte.

# Revisão - Eclipses

---

## **Simulador de Eclipses!**

[http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/simulador\\_eclipses\\_Pablo.exe](http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/simulador_eclipses_Pablo.exe)

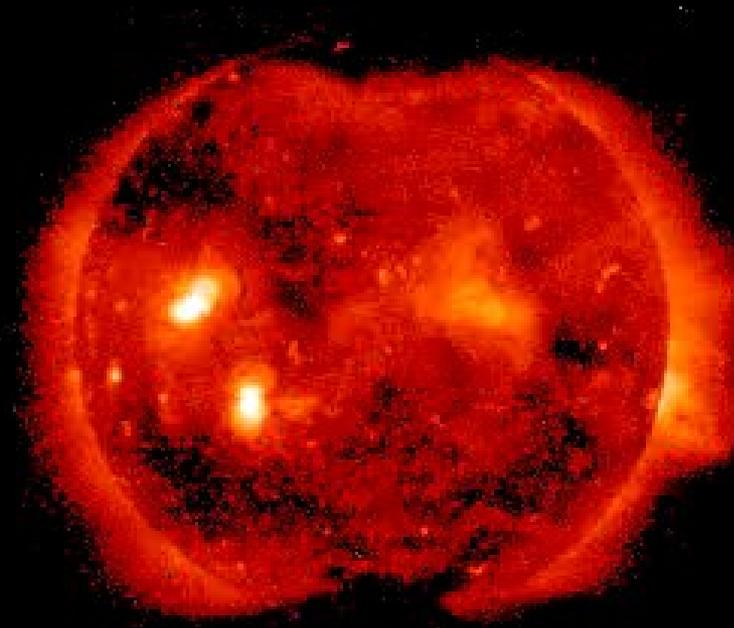
# Eclipse Solar

---

24 Out. 1995 - India



SXTecp01.mpg



Freds\_dundlod\_movie.mpg

# Planetas

- Planetas são corpos que orbitam estrelas e não tem nem nunca tiveram reações nucleares, além de terem forma determinada pela auto-gravidade (esféricos) e terem tamanhos significativamente maiores do que os outros objetos em sua vizinhança
- $M > 75 M_{\text{Jup}} \Rightarrow \text{H em He} \Rightarrow \text{estrelas}$
- $13 M_{\text{Jup}} < M < 75M_{\text{Jup}} = \text{deutério em trítio} \Rightarrow \text{anãs marrons}$
- $M < 13 M_{\text{Jup}} \Rightarrow \text{planetas}$

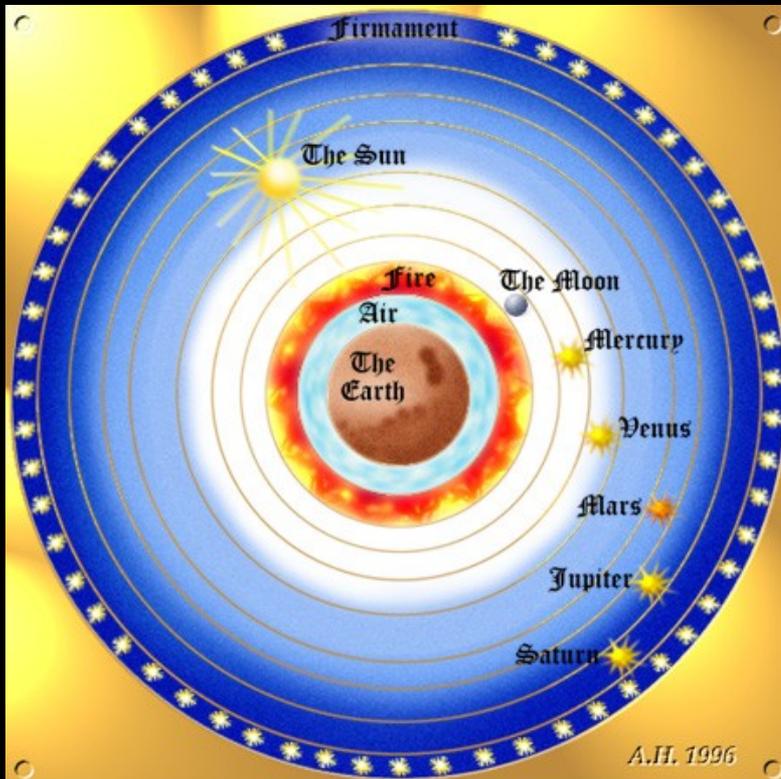
# Movimento dos Planetas

- Os planetas estão muito mais próximos de nós do que as estrelas, de forma que eles parecem se mover, ao longo do ano, entre as estrelas de fundo
- Esse movimento se faz, geralmente, de oeste para leste, mas em certas épocas o movimento muda, passando a ser de leste para oeste.
- O movimento observado de cada planeta é uma combinação do movimento do planeta em torno do Sol com o movimento da Terra em torno do Sol.



# Universo Aristotélico

- Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.);
- A Terra está imóvel no centro do Universo;
- Estrelas e planetas ocupam esferas cristalinas perfeitas que giram em torno da Terra;
- O universo é perfeito e imutável.



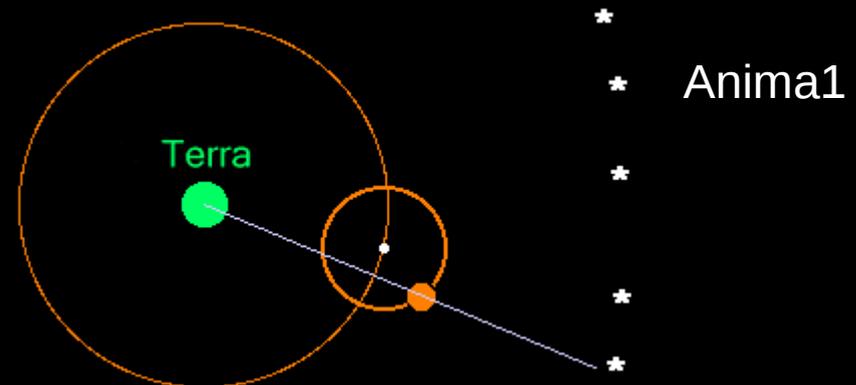
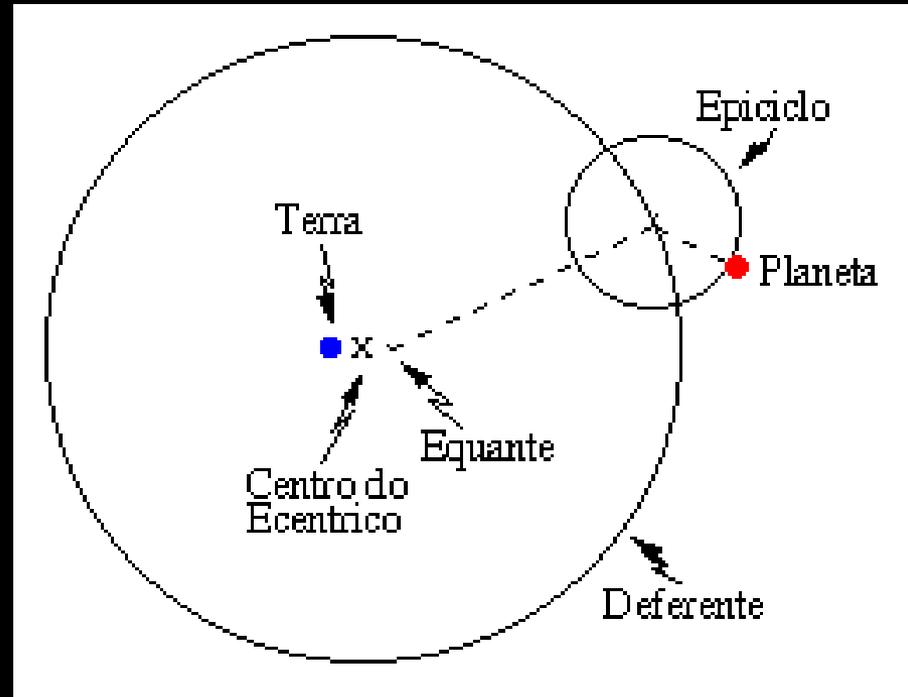
## Problemas:

- Movimento retrógrado dos planetas;
- Brilho variável dos planetas

# O modelo ptolomaico

- Claudio Ptolomeu (85 d.C. - 165 d.C.);
  - Combinação de círculos;
    - O planeta se move ao longo de um pequeno círculo chamado **epiciclo**;
    - O centro do epiciclo se move em um círculo maior, chamado **deferente**;
    - A Terra fica numa posição um pouco afastada do centro do deferente;
  - **Equante**: um ponto ao lado do centro do deferente em relação ao qual o centro do epiciclo se move a uma taxa uniforme.
- Objetivo**: dar conta do movimento não uniforme dos planetas.

**Este modelo foi usado por cerca de 1300 anos!**

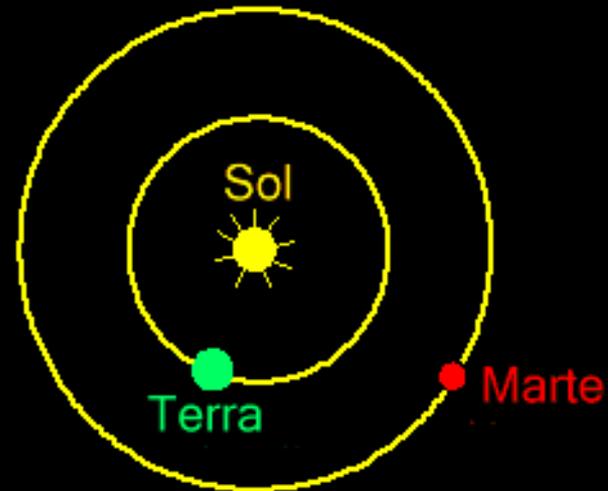


# O modelo heliocêntrico de Copérnico



- Movimento retrógrado e variação em brilho dos planetas explicado!
- Circularidade das órbitas mantida!

Anima2



# Classificação dos planetas pela distância ao Sol

---

- **Planetas Inferiores: Mercúrio e Vênus**

- Tem órbitas menores do que a da Terra;
- Muito próximos do Sol. Máximo afastamento angular de  $28^\circ$  para **Mercúrio** e  $47^\circ$  para **Vênus**.
- Só são visíveis ao anoitecer (astro vespertino) ou ao amanhecer (matutino).

- **Planetas Superiores: Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e Plutão (anão)**

- Têm órbitas maiores do que a da Terra;
- Podem estar a qualquer distância angular do Sol, podendo ser observados no meio da noite.

# Configurações Planetárias

**Configurações dos planetas:** Posições características dos planetas em suas órbitas, vistas da Terra.

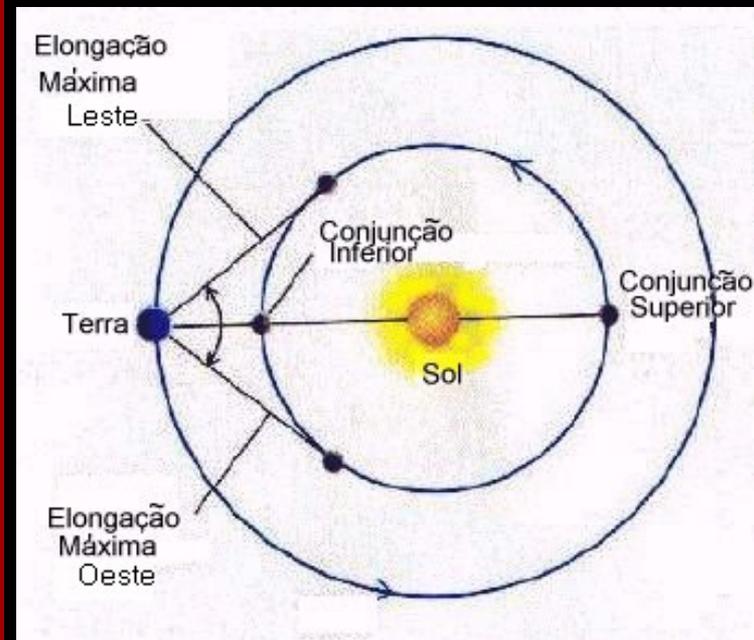
**Elongação (e):** distância angular do planeta ao Sol, vista da Terra.

## Configurações de um planeta inferior

**Conjunção inferior:** O planeta está na mesma direção do Sol ( $e = 0$ ) e mais próximo da Terra do que do Sol.

**Conjunção superior:** O planeta está na mesma direção do Sol ( $e = 0$ ) e mais longe da Terra do que do Sol.

**Máxima elongação:** A distância angular entre o planeta e o Sol é máxima. **Na máxima elongação ocidental** o planeta está a oeste do Sol (nasce e se põe antes do Sol – visível ao amanhecer). **Na máxima elongação oriental** o planeta está a leste do Sol (nasce e se põe depois do Sol – visível ao anoitecer).



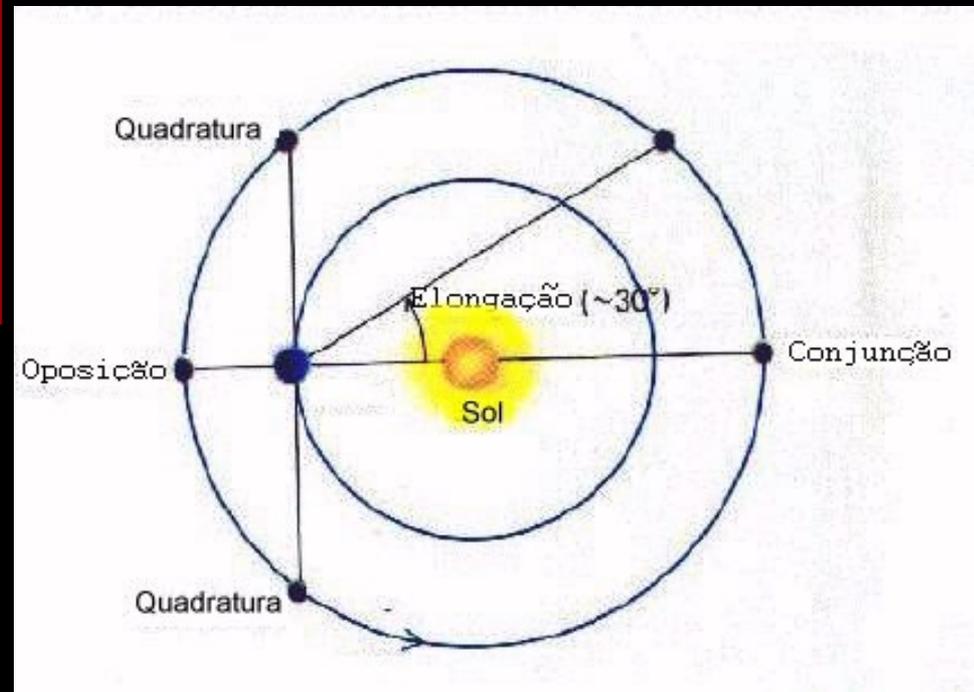
# Configurações Planetárias

## Configurações de um planeta superior

**Conjunção:** O planeta está na mesma direção do Sol ( $e=0$ ) e mais longe da Terra do que do Sol.

**Oposição:** O planeta está na direção oposta ao Sol ( $e=180^\circ$ ). Está no céu durante toda a noite.

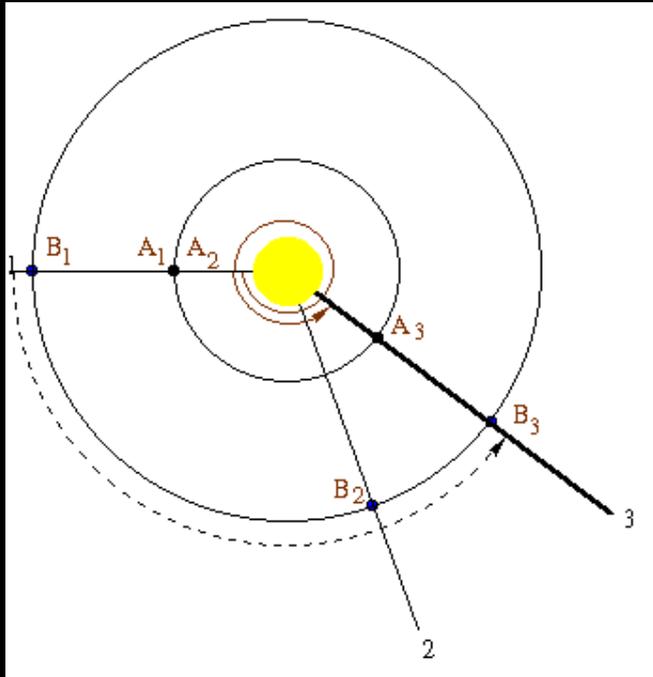
**Quadratura ( $e=90^\circ$ ):** O planeta está 6h a leste do Sol (quadratura oriental) ou a oeste do Sol (quadratura ocidental).



# Período Sinódico e Sideral

**Período sinódico (S):** é o intervalo de tempo decorrido entre duas configurações iguais consecutivas. É o período de revolução *aparente* do planeta, em relação à Terra.

**Período sideral (P):** é o período real de translação do planeta em torno do Sol, em relação a uma estrela fixa.



$$\frac{1}{S} = \left( \frac{1}{P_i} - \frac{1}{P_e} \right)$$

**P<sub>i</sub>:** período sideral do planeta interior;  
**P<sub>e</sub>:** período sideral do planeta exterior.



Anima3

# Período Sinódico e Sideral

---

**Exemplo 1:** Sabendo-se que Marte leva 780 dias para nascer quando o Sol se põe (estar em oposição) duas vezes seguidas, qual é o período sideral (orbital) de Marte?

**Exemplo 2:** Sabendo-se que Vênus leva 583,93 dias para aparecer em elongação máxima a leste duas vezes seguidas (se põe 3 horas depois do Sol), qual seu período sideral (orbital)?

# Período Sinódico e Sideral

---

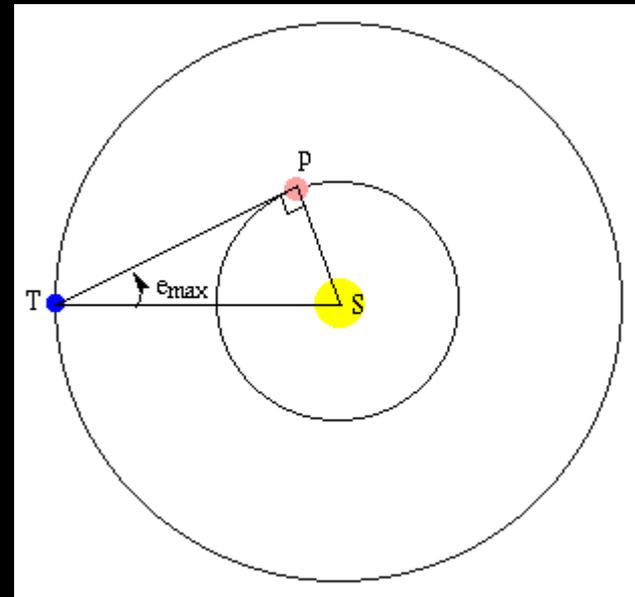
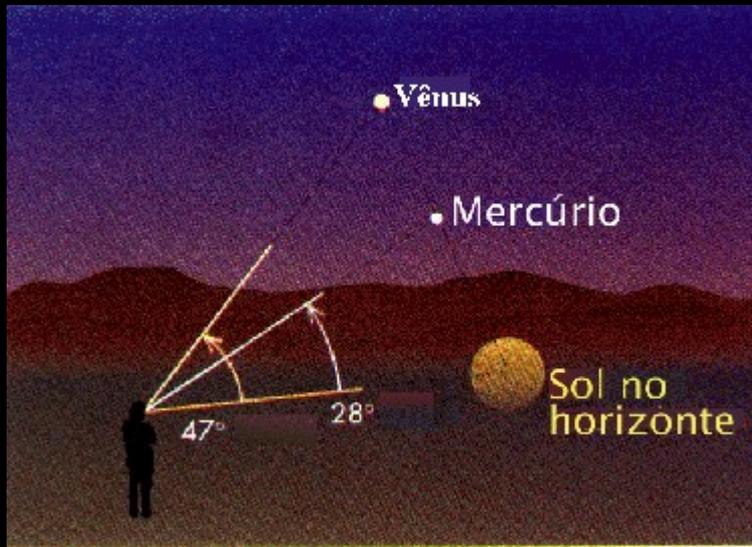
**Exemplo 1:** Sabendo-se que Marte leva 780 dias para nascer quando o Sol se põe (estar em oposição) duas vezes seguidas, qual é o período sideral (orbital) de Marte?

R:  $P_E = 687$  dias

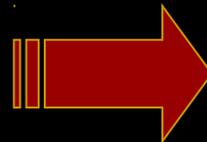
**Exemplo 2:** Sabendo-se que Vênus leva 583,93 dias para aparecer em elongação máxima a leste duas vezes seguidas (se põe 3 horas depois do Sol), qual seu período sideral (orbital)?

R:  $P_I = 224,7$  dias

# Distâncias dos planetas inferiores

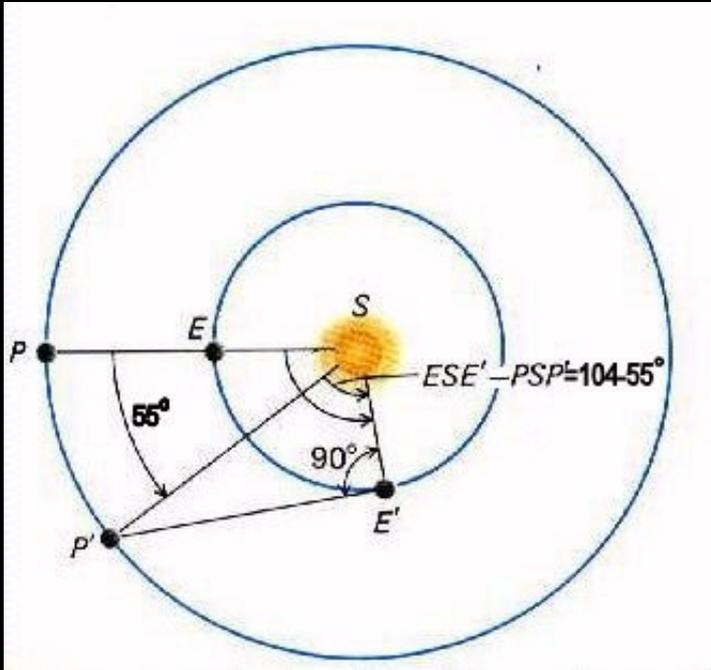


$$\text{sen } e_M = \frac{\text{distância}_{(\text{planeta-Sol})}}{\text{distância}_{(\text{Terra-Sol})}}$$



$$\text{Distância}_{(\text{planeta-Sol})} = 1 \text{ UA} \times \text{sen } e_M$$

# Distâncias dos planetas superiores



Observando Marte, Copérnico viu que o intervalo de tempo decorrido entre uma *oposição* e uma *quadratura* é de *106 dias*.

Nesse período de 106 dias, a Terra percorre uma distância angular de  $ESE'=104^\circ$

Como o período sideral de Marte é de 687 dias, então a distância angular percorrida por Marte nesse mesmo período de 106 dias será:  $PSP'=55^\circ$  ( $106/687 \times 360^\circ$ ).

Considerando o triângulo formado pelo Sol (S), Terra (E') e Marte (P') na quadratura (SE'P'), o ângulo entre o Sol e o planeta, visto da Terra, é  $90^\circ$ , e o ângulo entre Terra e Marte, visto do Sol, é  $ESE' - PSP' = 104^\circ - 55^\circ = 49^\circ$ .

$$\begin{aligned} \text{Distância}_{(\text{Sol-Marte})} &= 1 \text{ UA} / \cos 49^\circ \\ &= 1,52 \text{ UA} \end{aligned}$$

## Distâncias dos planetas superiores

---

Planeta	Copérnico	Moderno
Mercúrio	0,38	0,387
Vênus	0,72	0,723
Terra	1	1
Marte	1,52	1,523
Júpiter	5,22	5,202
Saturno	9,17	9,554

# Parte II – Aula 2

## Movimento dos planetas: Leis de Kepler

# Tycho Brahe



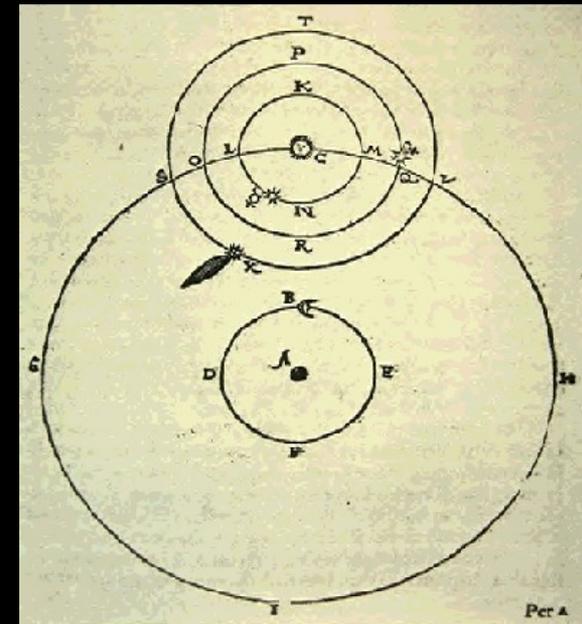
Tycho Brahe (1546 - 1601) foi um astrônomo dinamarquês. Tycho foi um astrônomo observacional da era que precedeu à da invenção do telescópio, e as suas observações da posição das estrelas e dos planetas alcançaram uma precisão sem paralelo para a época. Após a sua morte, os seus registos dos movimentos de Marte permitiram a Johannes Kepler descobrir as leis dos movimentos dos planetas, que deram suporte à teoria heliocêntrica de Copérnico. Tycho não defendia o sistema de Copérnico mas propôs um sistema em que os planetas giram em volta do Sol e o Sol orbitava em torno da Terra. Em 1599, por discordar com o novo rei do seu país, mudou-se para Praga, construiu um novo observatório onde trabalhou até morrer em 1601.

# Movimento dos Planetas- As leis de Kepler

Tycho Brahe (1546-1601)

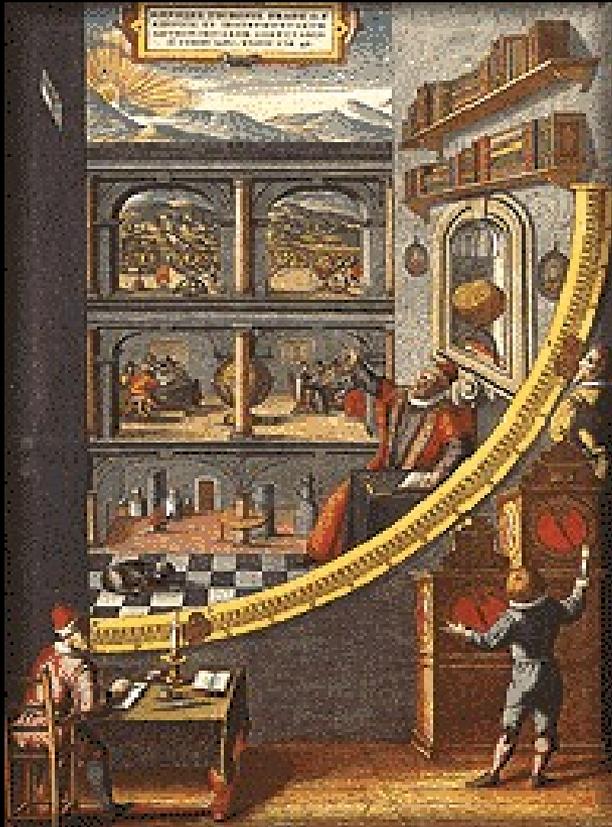
- ◆ Melhor astrônomo observacional antes da invenção do telescópio;
- ◆ Precisão de suas medidas: 1 minuto de arco.
- ◆ Proporcionou os dados que Kepler utilizou para estudar os movimentos dos planetas;
- ◆ Tinha o seu próprio sistema cosmológico.

sistema "tychonico"



## Uraniborg- Observatório de Tycho

Tycho Brahe (1546-1601)



## Johannes Kepler (1571-1630)

Kepler ensinava matemática na universidade de Graz (Áustria). Era um péssimo professor e no segundo ano nenhum aluno apareceu. Ele era protestante e não foi

**Johannes Kepler (1571-1630)** matemático fez Tycho oferecer-lhe trabalho em Praga.

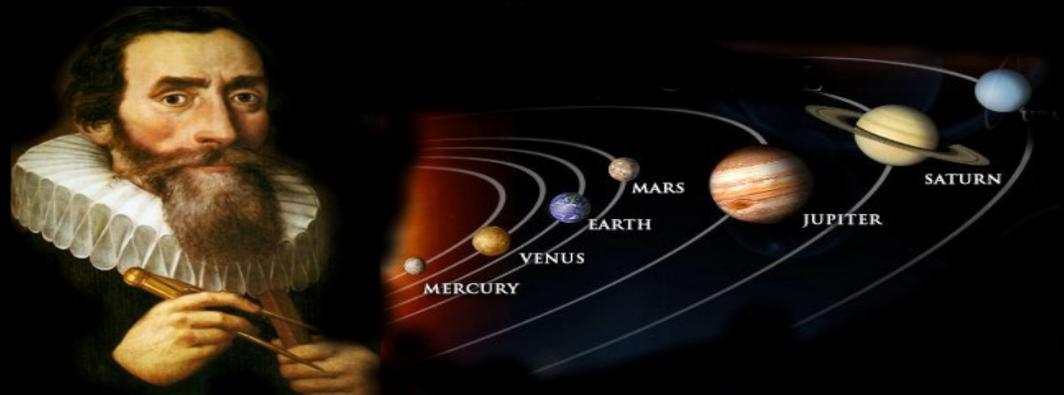
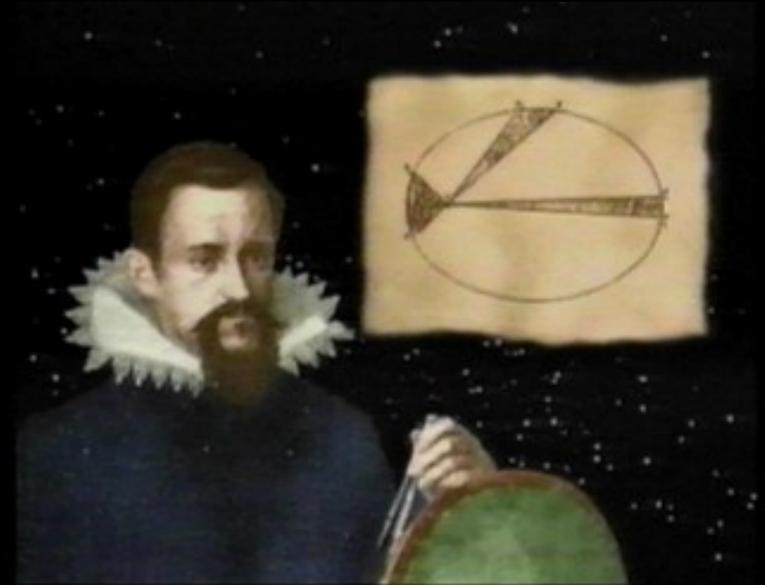
Tycho era um observador e Kepler um teórico e eles brigavam sempre. Ao morrer, Tycho deixou para Kepler o maior arquivo de observações da história. Kepler estava convicto que o universo é perfeito e o círculo uma figura geométrica perfeita, mas as observações de Tycho e os cálculos de Kepler não coincidiram. Ele constatou que sendo o universo perfeito e bonito, é harmonioso. Há harmonia do Universo, exatamente como na música e precisamos aprender a "ouvir esta harmonia".

Ele gostava de astronomia desde criança, quando andava com sua mãe à noite para ver o cometa, no ano 1577. Ele era o sucessor de Tycho em Praga, estudava suas anotações e as comparava com seus cálculos, sempre com pequeno erro. Kepler: Cada vez que você quiser alcançar algo, precisa fazer um sacrifício. O sacrifício dele era a perfeição do círculo. Ele testou 70 órbitas circulares contra as observações de Tycho e nenhuma deu resultado. Ele se imaginava em Marte, observando a órbita da Terra. Nada! Não deu certo. Ele a imaginava visto do Sol. Não deu certo também. Finalmente, escreveu para um amigo: **ACHEI ! As órbitas são elipses perfeitas. Agora tudo deu certo.**

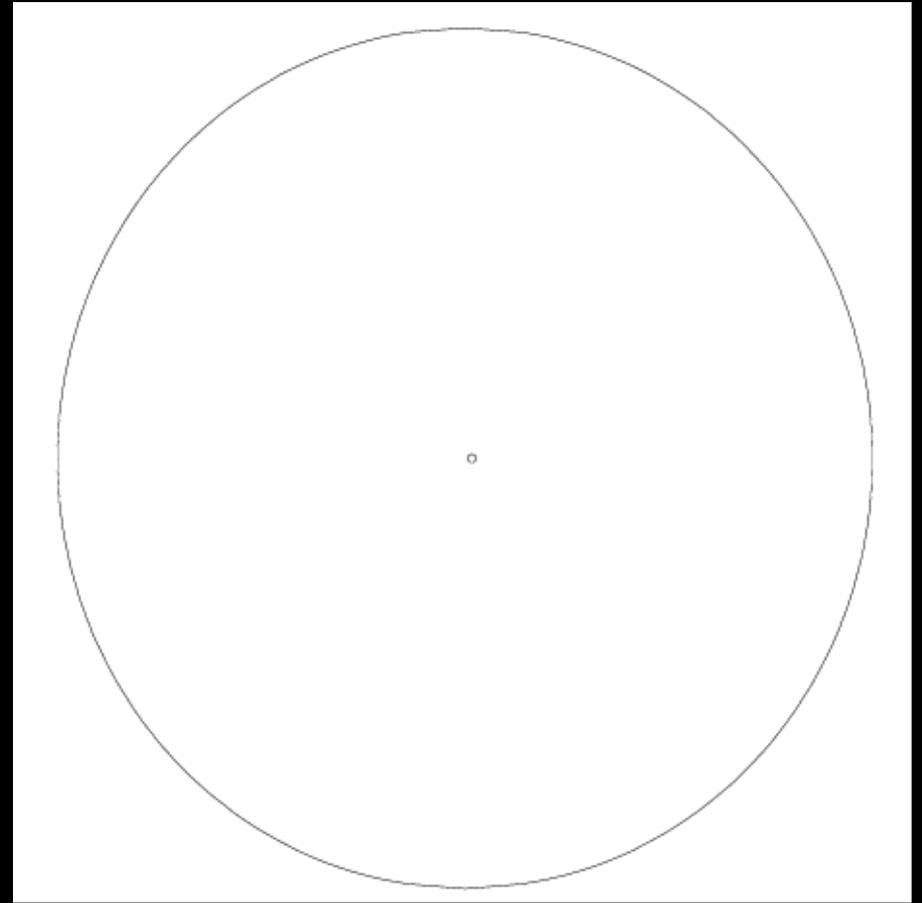
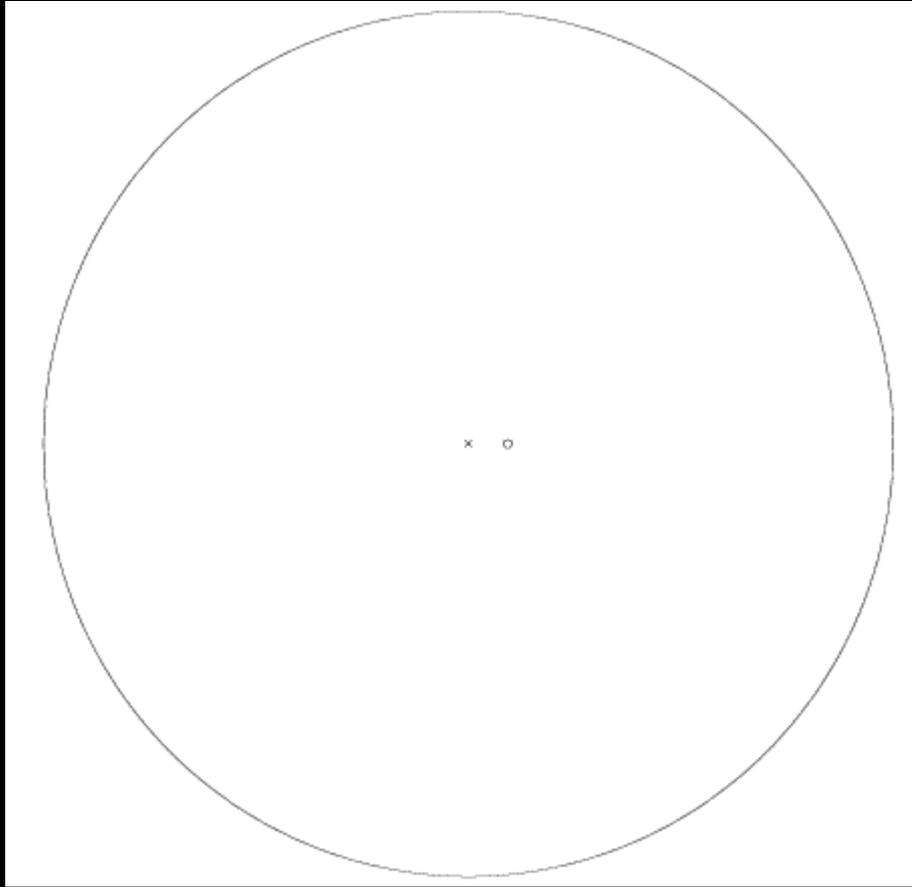
# Movimento dos Planetas- As leis de Kepler

## Johannes Kepler (1571-1630)

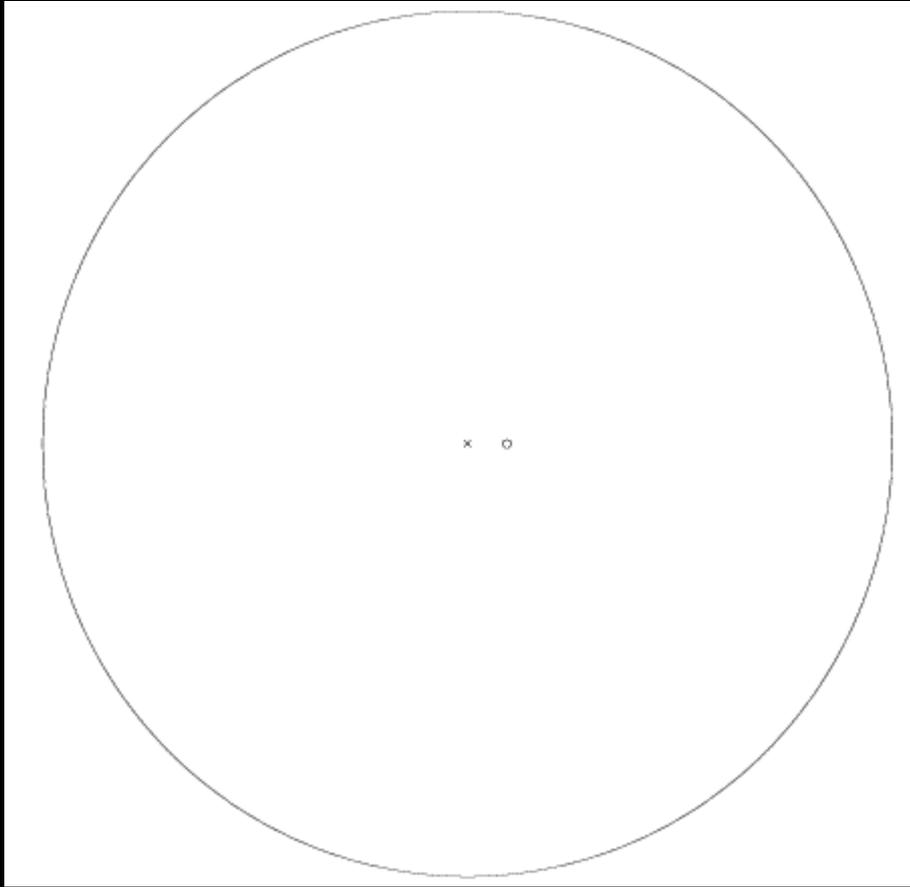
- ◆ Contratado por Tycho para analisar os dados coletados durante 20 anos;
- ◆ Astrônomo e matemático habilidoso, adepto do heliocentrismo;
- ◆ Analisou os dados de Tycho Brahe (principalmente Marte);
- ◆ Descobriu que as órbitas são elípticas, não circulares.



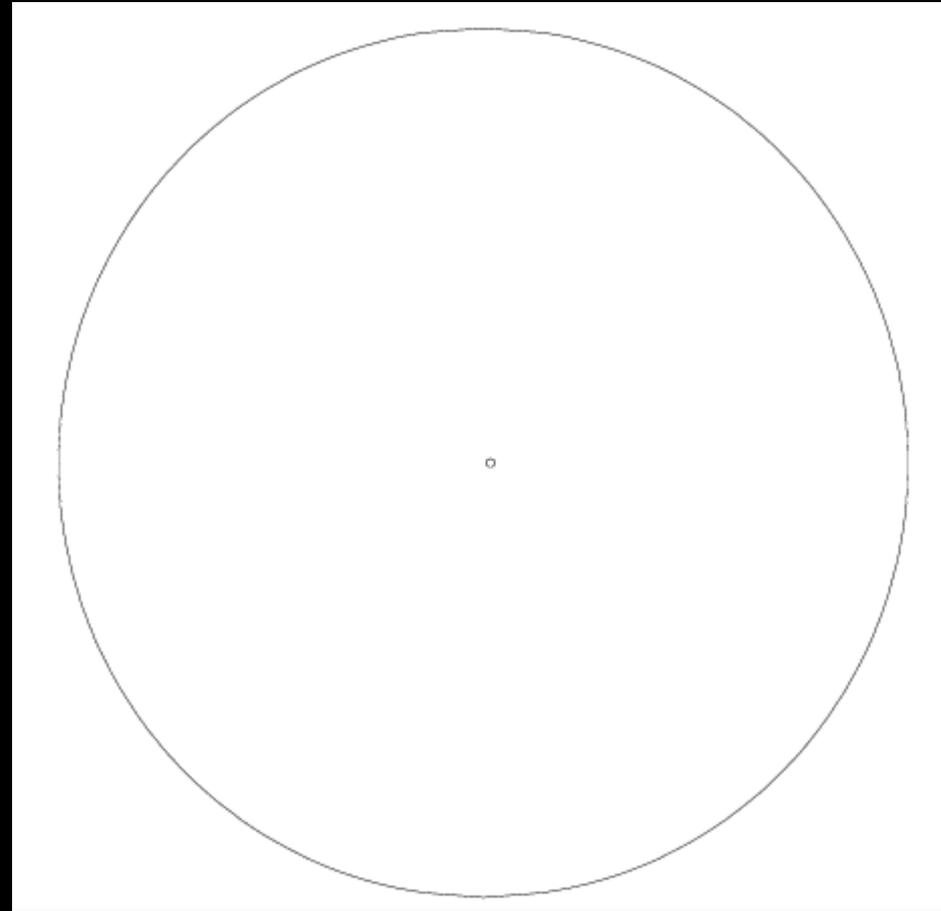
# Movimento dos Planetas- As leis de Kepler



# Movimento dos Planetas- As leis de Kepler

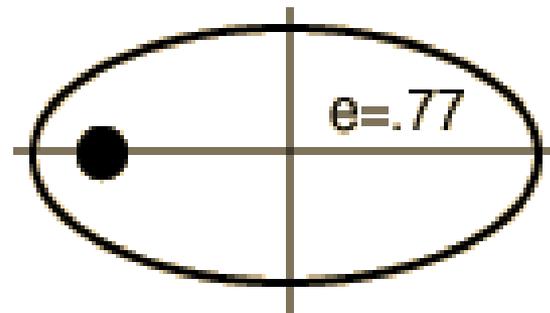
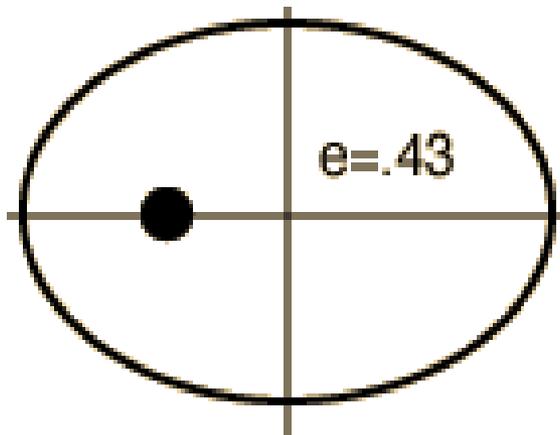
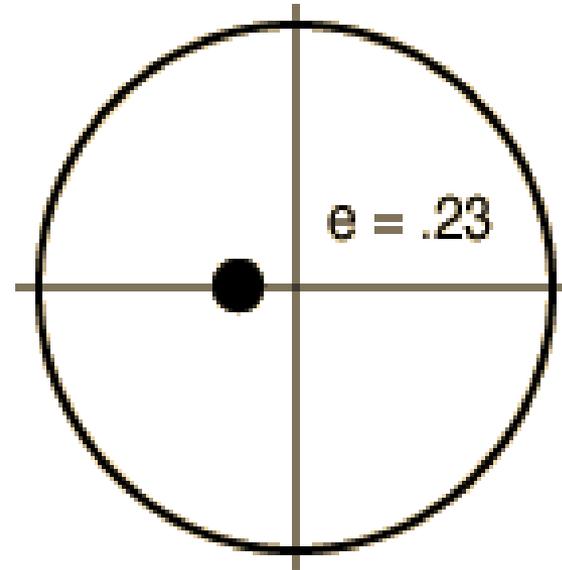
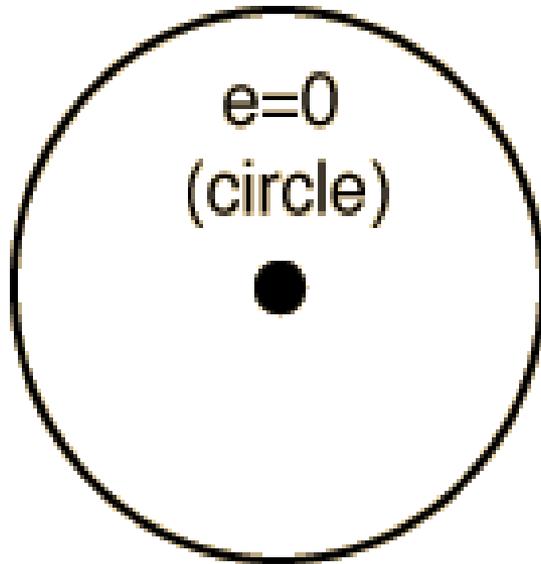


Órbita de Marte: o x marca o centro da órbita; o círculo marca a posição de um dos focos.

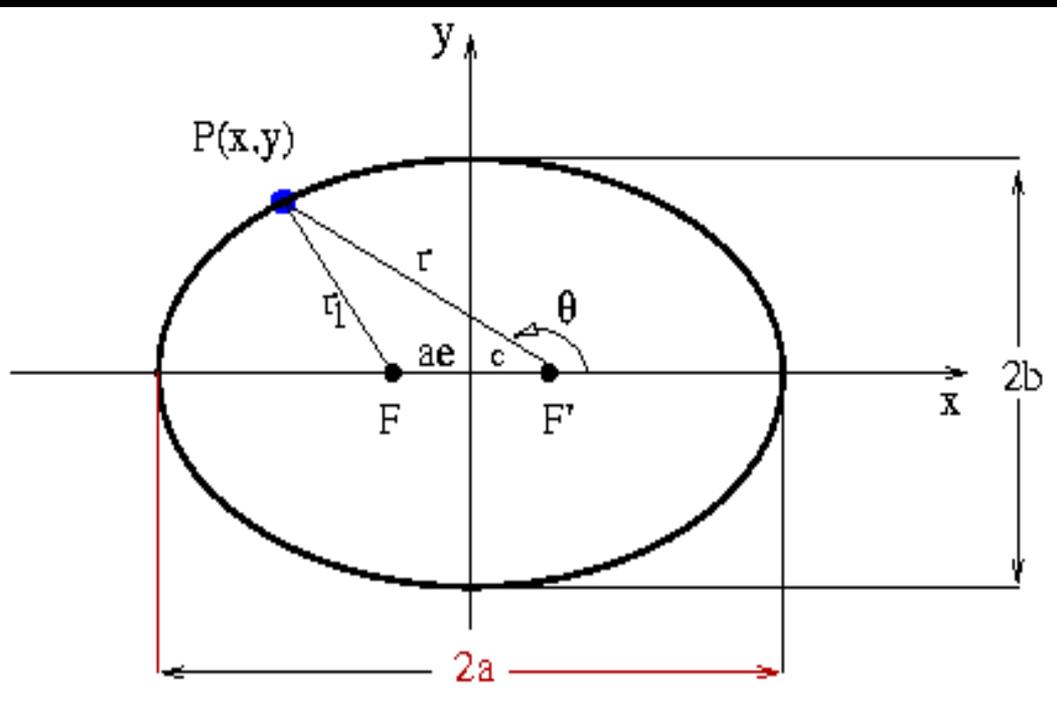


Órbita da Terra com o sol em um dos focos.

# Exemplos de Elipses



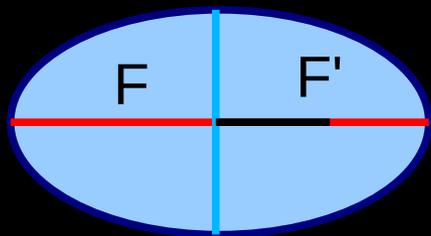
# Propriedades das Elipses



Em qualquer ponto da curva, a soma das distâncias desse ponto aos dois focos é constante.

$$F P + F' P = \text{cont.} = 2a$$

Quanto maior a distância entre os dois focos, maior é a excentricidade ( $e$ ) da elipse.



$a$  = semi-eixo maior

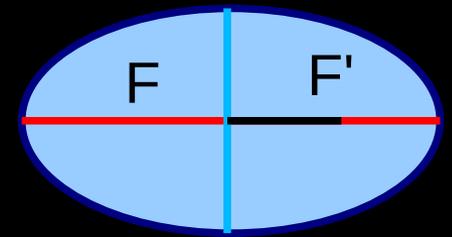
$b$  = semi-eixo menor

$c$  = dist. Foco ao centro

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

Se imaginamos que um dos focos da órbita do planeta é ocupado pelo Sol, o ponto da órbita mais próximo do Sol é chamado periélio, e o ponto mais distante é chamado afélio.

$$R_p = a - c = a - a \cdot e = a(1 - e)$$

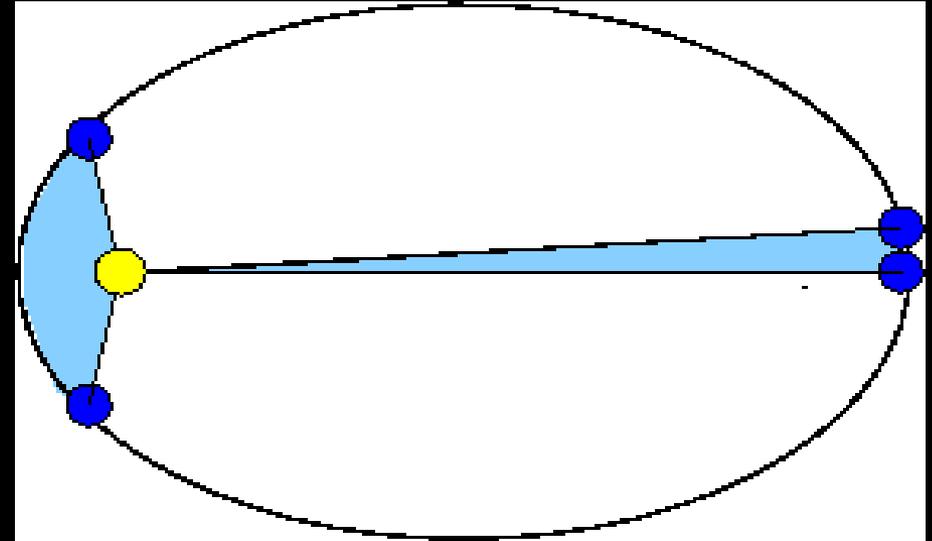
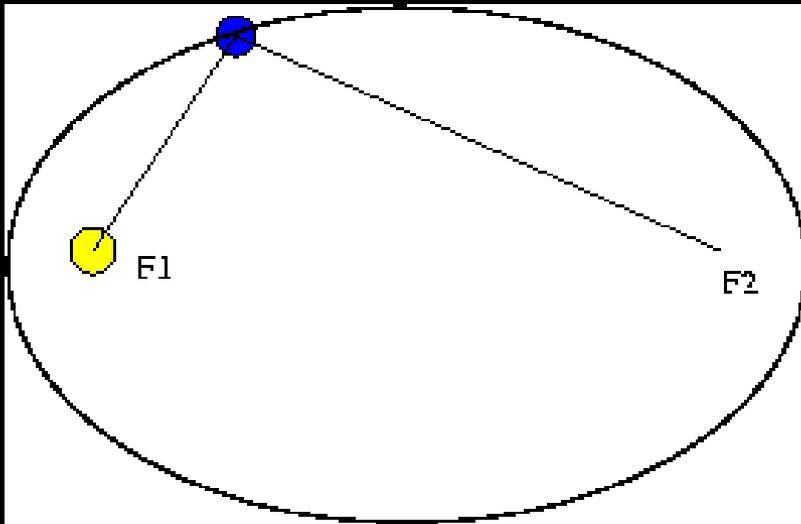


No Quadro

$$R_a = a + c = a + a \cdot e = a(1 + e)$$

# Leis de Kepler

**Primeira Lei (1609) - lei das órbitas elípticas:** as órbitas dos planetas são elipse tendo o Sol em um dos focos.



**Segunda Lei (1609) – lei das áreas:** a linha reta unindo o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.

**Terceira Lei (1618) – lei harmônica:** O quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de

$$P^2 = K a^3$$

Se P em anos e a em UA

$$P^2 = a^3$$

## Terceira Lei de Kepler para os planetas visíveis a olho nú

Planeta	Semi-eixo Maior (UA)	Período (anos)	$a^3$	$P^2$
Mercúrio	0,387	0,241	0,058	0,058
Vênus	0,723	0,615	0,378	0,378
Terra	1,000	1,000	1,000	1,000
Marte	1,524	1,881	3,537	3,537
Júpiter	5,203	11,862	140,8	140,7
Saturno	9,534	29,456	867,9	867,7

**Simulação:** <http://astro.if.ufrgs.br/Orbit/orbits.htm>

# Galileu Galilei (1564 - 1642)

Grande Físico, Matemático e Astrônomo, Galileu Galilei nasceu na Itália no ano de 1564. Durante sua juventude ele escreveu obras sobre Dante e Tasso. Ainda nesta fase, fez a descoberta da lei dos corpos e enunciou o princípio da Inércia. Foi um dos principais representantes do Renascimento Científico dos séculos XVI e XVII. Galileu foi o primeiro a contestar as afirmações de Aristóteles, que, até aquele momento, havia sido o único a fazer descobertas sobre a física. Neste período ele fez a balança hidrostática, que, posteriormente, deu origem ao relógio de pêndulo. A partir da informação da construção do primeiro telescópio, na Holanda, ele construiu a primeira luneta astronômica e, com ela, pôde observar a composição estelar da Via Látea, os satélites de Júpiter, as manchas do Sol e as fases de Vênus. Esses achados astronômicos foram relatados ao mundo através do livro Sidereus Nuntius (Mensageiro das Estrelas), em 1610. Foi através da observação das fases de Vênus, que Galileu passou a enxergar embasamento na visão de Copérnico (Heliocêntrico – O Sol como centro do Universo) e não na de Ptolomeu, onde a Terra era vista como o centro do Universo.

Por sua visão heliocêntrica, o astrônomo italiano teve que ir a Roma em 1611, pois estava sendo acusado de herege. Condenado, foi obrigado a assinar um decreto do Tribunal da Inquisição, onde declarava que o sistema heliocêntrico era apenas uma hipótese. Contudo, em 1632, ele voltou a defender o sistema heliocêntrico e deu continuidade aos seus estudos. Muitas ideias fundamentadas por Aristóteles foram colocadas em discussão por indagações de Galilei. Entre elas, a dos corpos leves e pesados caírem com velocidades diferentes. Segundo ele, os corpos leves e pesados caem com a mesma velocidade.

Em 1642, ele morreu cego e condenado pela Igreja Católica por suas convicções científicas. Teve suas obras censuradas e proibidas. Contudo, uma de suas obras (sobre mecânica) foi publicada mesmo com a proibição da Igreja, pois seu local de publicação foi em zona protestante, onde a interferência católica não tinha influência significativa. A mesma instituição que o condenou o absolveu muito tempo após a sua morte.

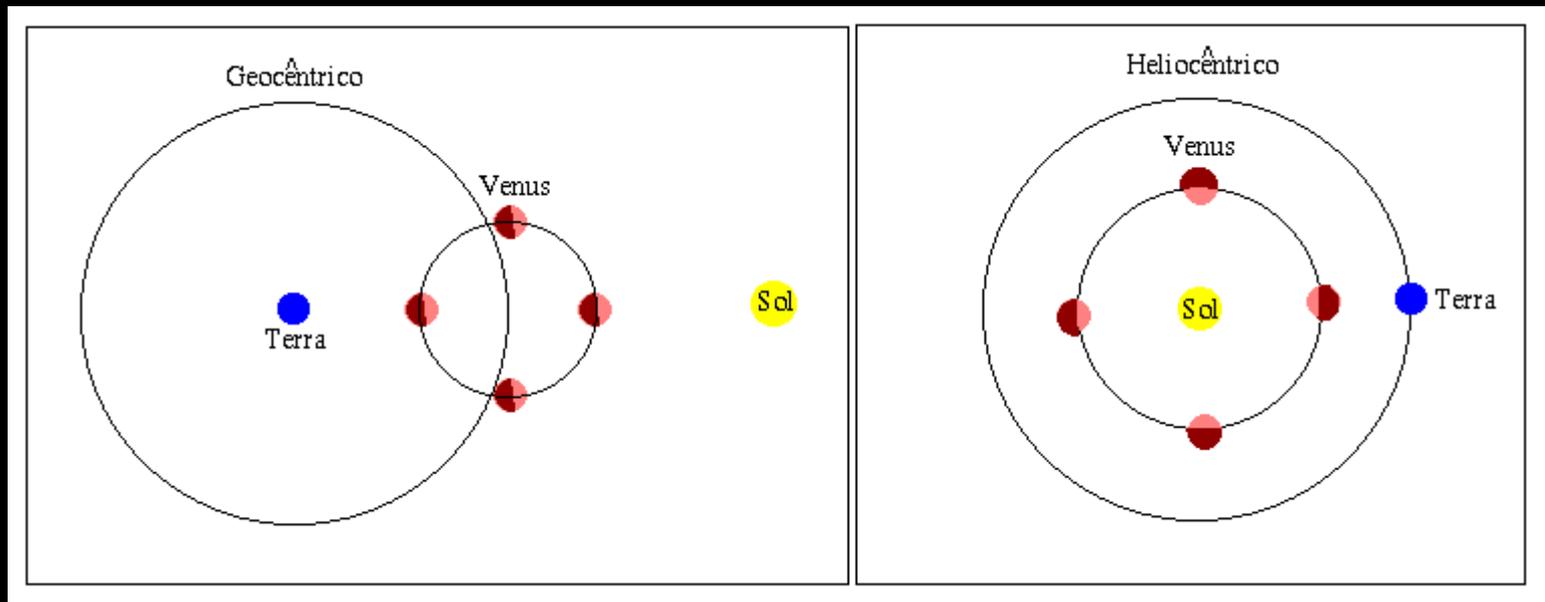
# Galileu Galilei (1564 - 1642)

- ◆ Construiu seu próprio telescópio e observou o céu com ele;
- ◆ Descobriu que a Via Láctea era constituída por uma infinidade de estrelas.
- ◆ Descobriu que Júpiter tinha quatro satélites, ou luas, orbitando em torno dele, com períodos entre 2 e 17 dias. Esses satélites são chamados "galileanos", e são: Io, Europa, Ganimedes e Calisto.
- ◆ Prova que podem haver centros de movimento que também estão em movimento.



# Galileu Galilei (1564 - 1642)

- ◆ Descobriu que Vênus passa por um ciclo de fases como a lua;
- ◆ Essa descoberta também foi fundamental porque, no sistema ptolomaico, Vênus está sempre mais próximo da Terra do que o Sol, e como Vênus está sempre próximo do Sol, ele nunca poderia ter toda sua face iluminada voltada para nós (fase cheia) e, portanto, deveria sempre aparecer como nova ou no máximo crescente.
- ◆ Descobriu a superfície em relevo da Lua, e as manchas do Sol;



# Galileu Galilei (1564 - 1642)

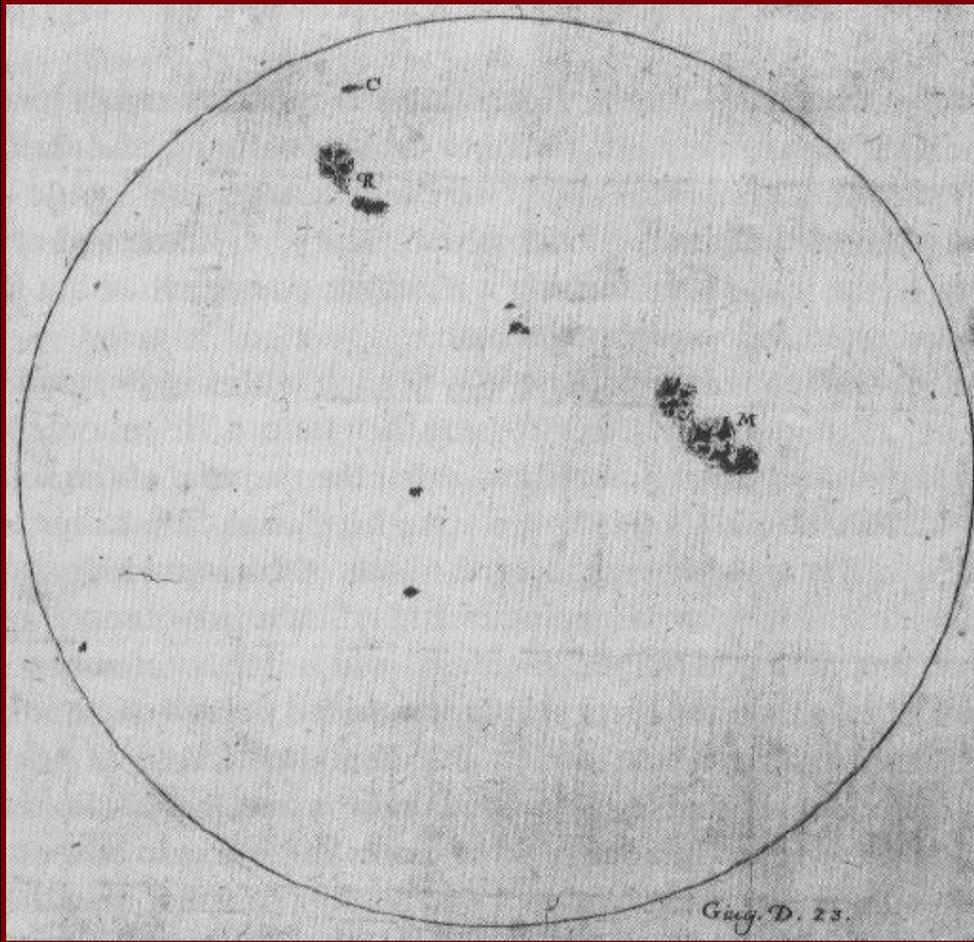
As descobertas de Galileo proporcionaram grande quantidade de evidências em suporte ao sistema heliocêntrico.

Por causa disso, ele foi chamado a depor ante a Inquisição Romana, sob acusação de heresia, e obrigado a se retratar.

A igreja retirou a acusação em 1992 (Papa João Paulo II).



# Galileo Galilei (1564 - 1642)



Reprodução de um desenho de Galileu mostrando as manchas solares, em 23 de junho de 1612.

Descobriu a superfície em relevo da Lua e as manchas do Sol

Provou que os corpos celestes não são esferas perfeitas e, portanto a Terra não é diferente dos outros corpos.

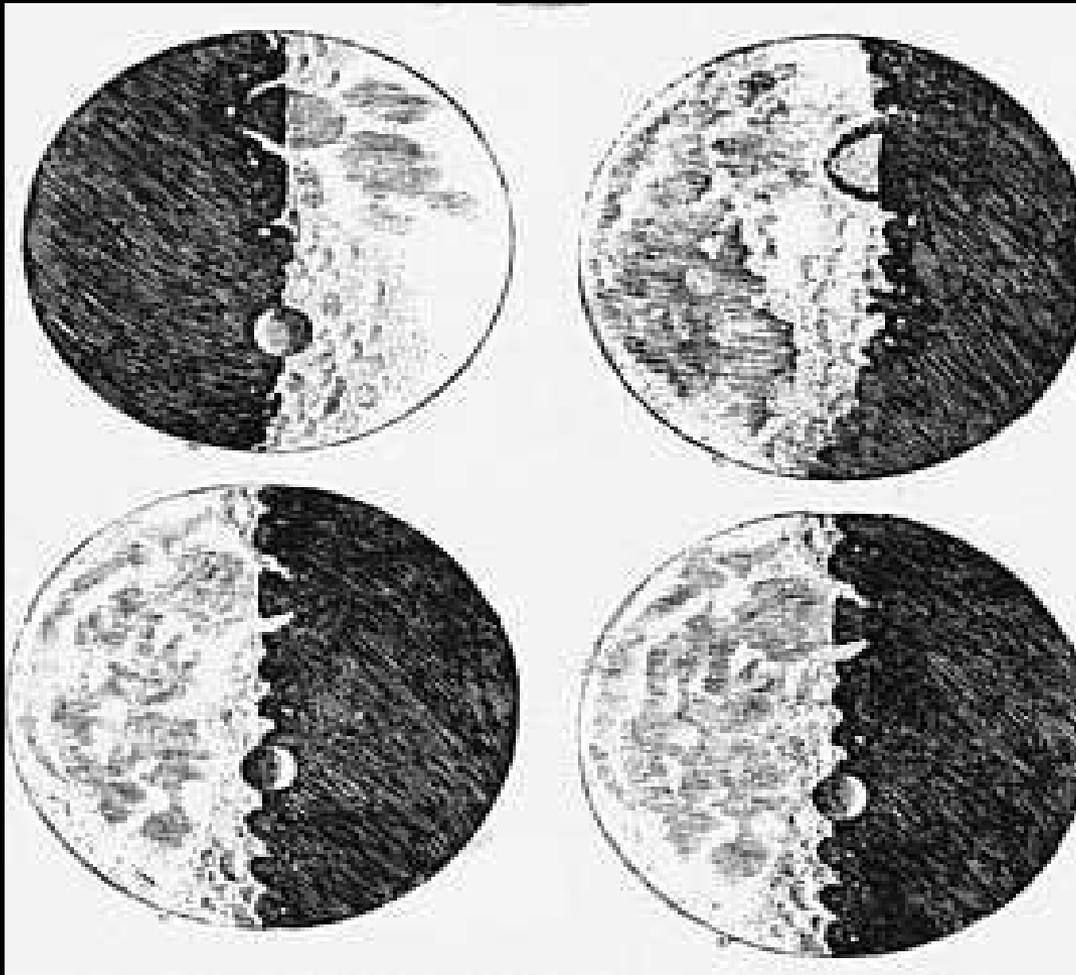
## Suporte ao sistema heliocêntrico

Foi chamado a depor ante a Inquisição Romana, sob acusação de heresia, e obrigado a se retratar.

Apenas em 1992 o Vaticano reconheceu o erro.

Galileo Galilei (1564 - 1642)  
O mensageiro das estrelas

Lua



# Galileo Galilei (1564 - 1642)

## O mensageiro das estrelas

### Vênus

