

Introdução à Astrofísica

As Leis de Kepler

Rogemar A. Riffel

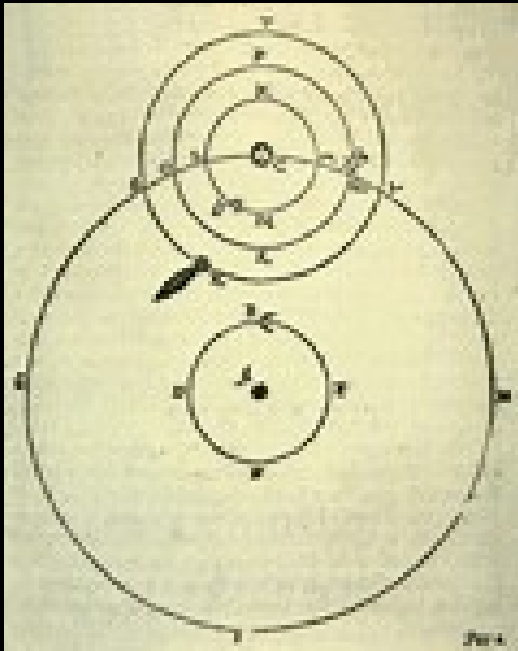
Teoria heliocêntrica

- A Teoria Heliocêntrica conseguiu dar explicações mais simples e naturais para os fenômenos observados
 - Movimento retrógrado dos planetas;
 - Variação em brilho dos planetas;
- Órbitas circulares;

Problemas:

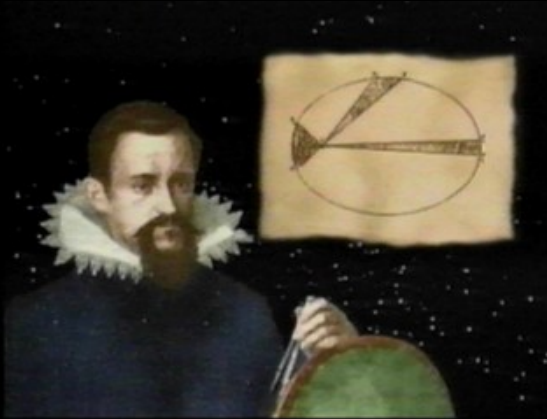
- Copérnico não conseguiu prever as posições dos planetas de forma precisa;
- Não provou que a Terra estava em movimento.

Tycho Brahe (1546-1601)



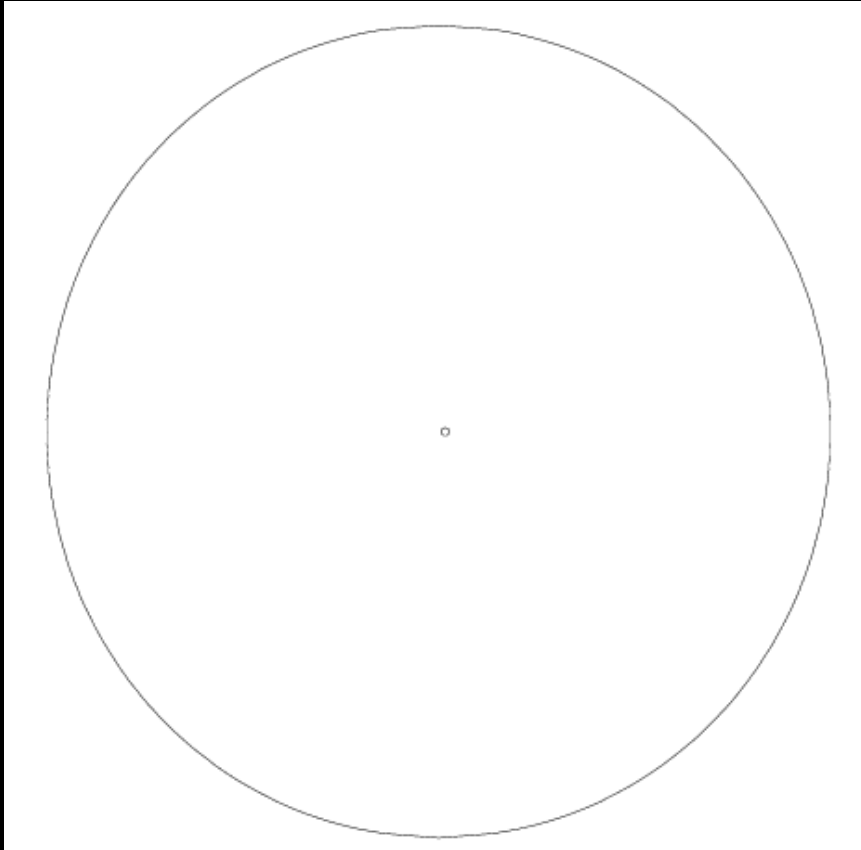
- Último grande astrônomo antes da invenção do telescópio;
- 20 anos de observações de planetas e estrelas com precisão, em muitos casos, melhor do que 1 minuto de arco ($1/30$ do diâmetro do Sol);
- Suas observações dos planetas levaram as leis de Kepler do movimento planetário;
- Em 1600, Tycho contratou para ajudá-lo na análise de dados sobre os planetas o matemático alemão Johannes Kepler;
- Tinha seu próprio sistema cosmológico - todos os planetas giravam em torno do Sol, com exceção da Terra. O Sol e a Lua giravam em torno da Terra.

Johannes Kepler (1571-1630)

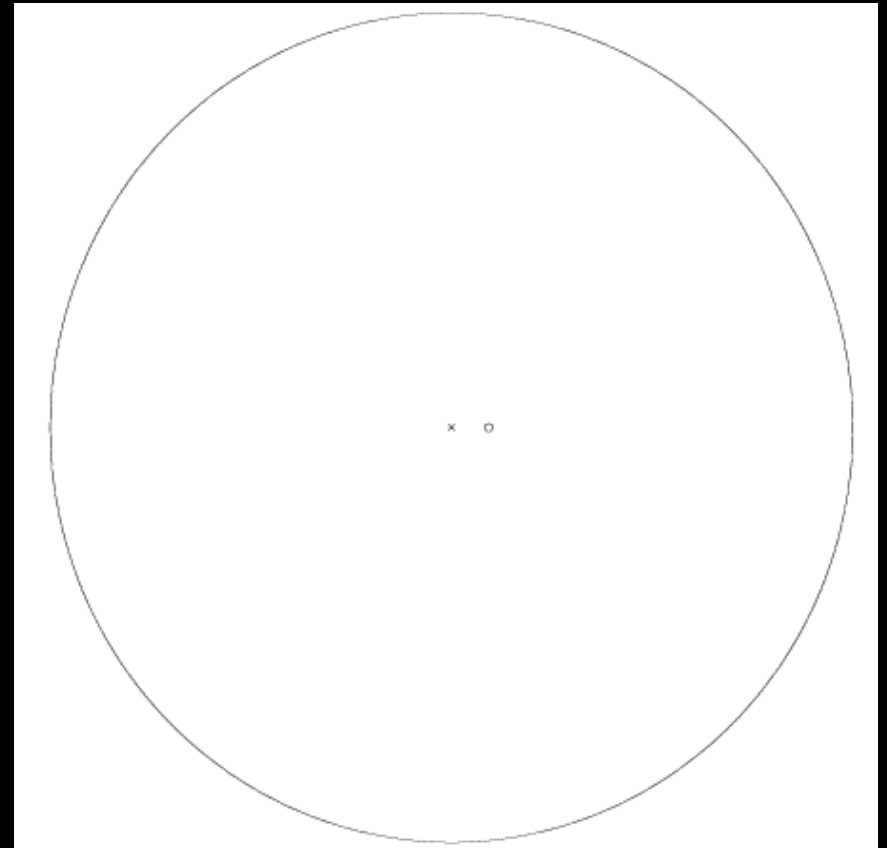


- Astrônomo e matemático habilidoso, adepto do heliocentrismo;
- Analisou os dados de Tycho Brahe;
- Kepler conseguiu determinar as diferentes posições da Terra após cada período sideral de Marte;
- Verificou que a órbita da Terra era bem ajustada por um círculo excêntrico;
- Não obteve sucesso ao ajustar a órbita de Marte com um círculo (erro de 8 minutos de arco = $\frac{1}{4}$ do tamanho do Sol);
- Descobriu que as órbitas são elípticas, não circulares! A posição do Sol coincide com um dos focos da elipse.

Exemplos de órbitas elípticas

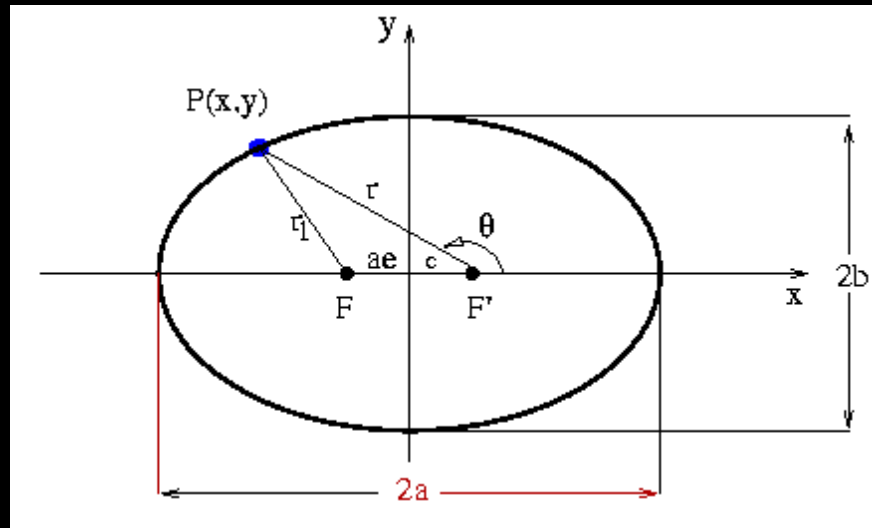


Terra



Marte

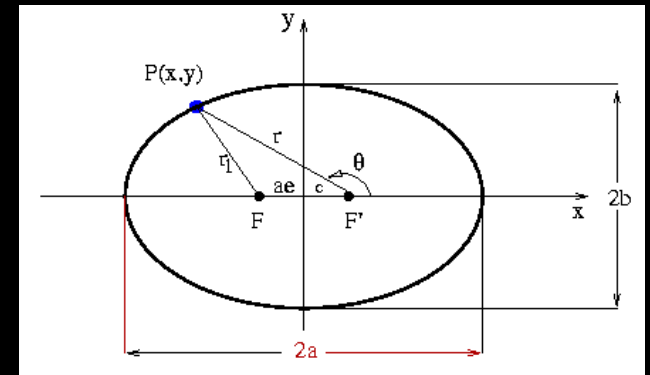
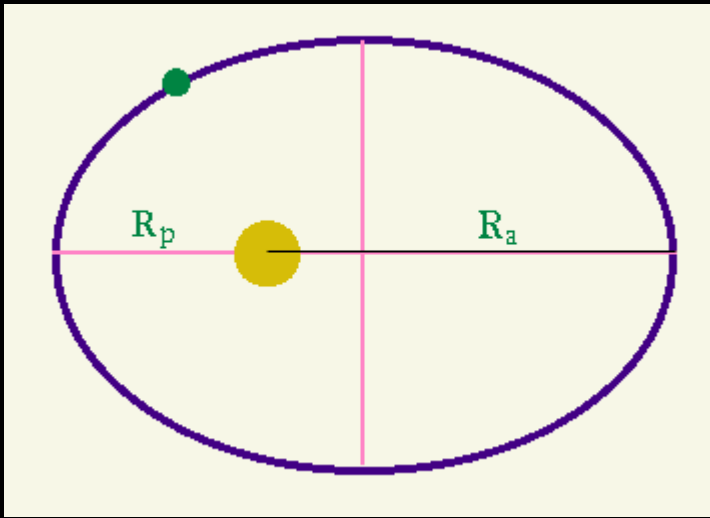
Propriedades das elipses



- $FP + F'P = \text{constante} = 2a$
- Quanto maior a distância entre os dois focos, maior é a excentricidade:

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

Propriedades das elipses



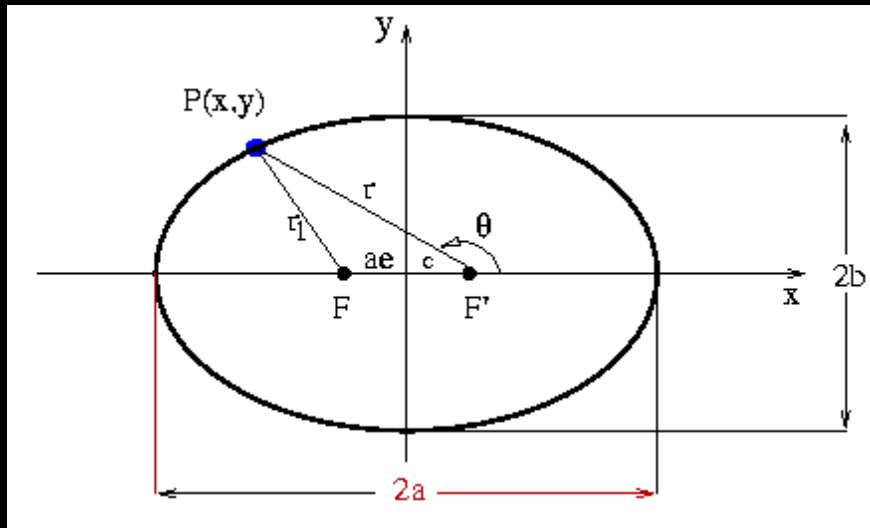
$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}$$

- 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**.

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

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

Propriedades das elipses



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

- *Equação da elipse em coordenadas polares:*

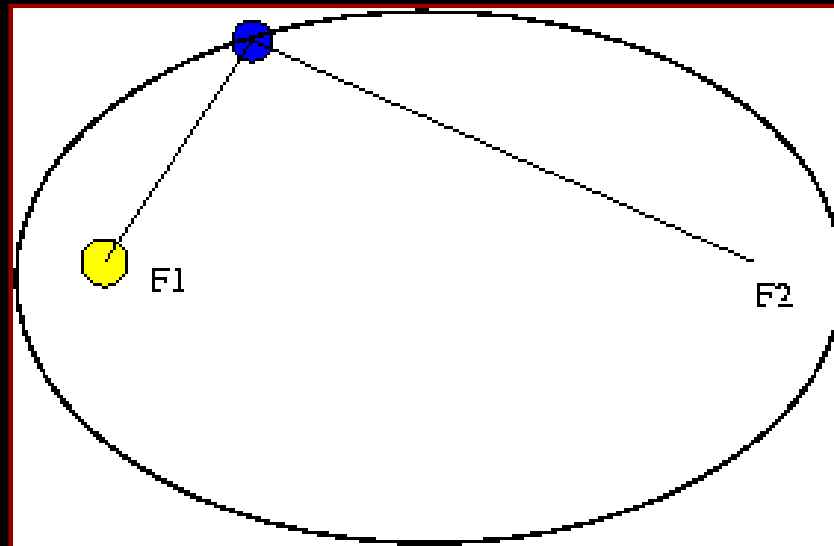
$$r = \frac{a(1 - e^2)}{(1 + e \cos \theta)}$$

- *Área da elipse:*

$$A = \pi ab.$$

As três leis

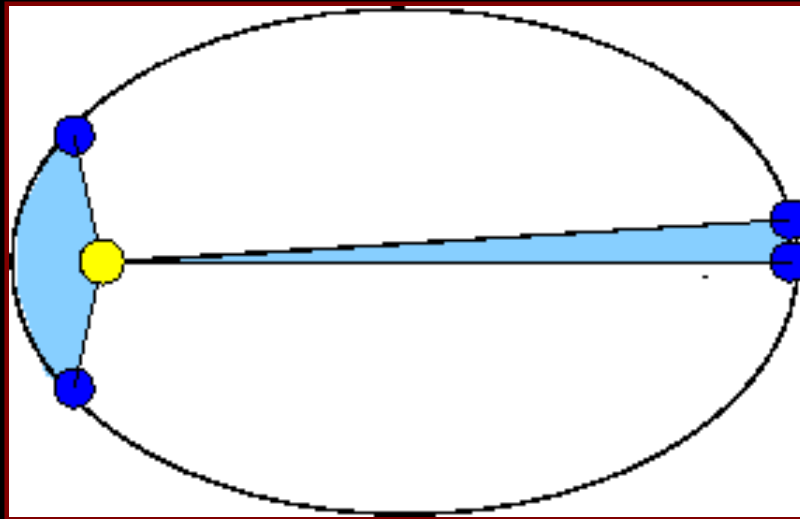
- **Lei das órbitas elípticas (1609):** A órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos.



- Como consequência da órbita ser elíptica, a distância do Sol ao planeta varia ao longo de sua órbita.

As três leis

- **Lei da áreas (1609):** A reta unindo o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais.



- O significado físico desta lei é que a velocidade orbital não é uniforme, mas varia de forma regular: quanto mais distante o planeta está do Sol, mais devagar ele se move.

As três leis

- **Lei harmônica (1618):** O quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol.

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

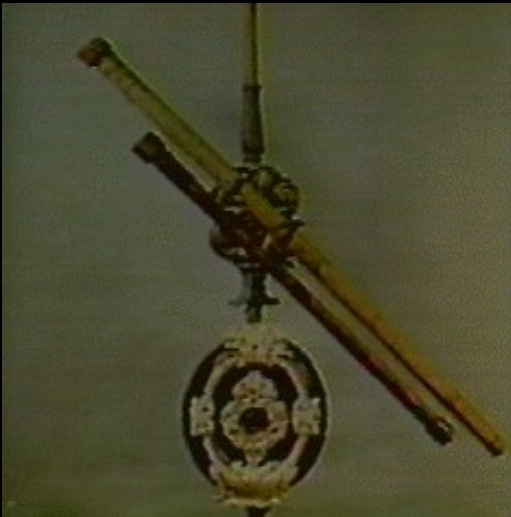
a é o semi-eixo maior, P o período orbital do planeta e K uma constante.

P (anos); a (UA) $\Rightarrow K=1$

$$P^2 = a^3$$

- Esta lei estabelece que planetas com órbitas maiores se movem mais lentamente em torno do Sol e, portanto, isso implica que a força entre o Sol e o planeta decresce com a distância ao Sol.

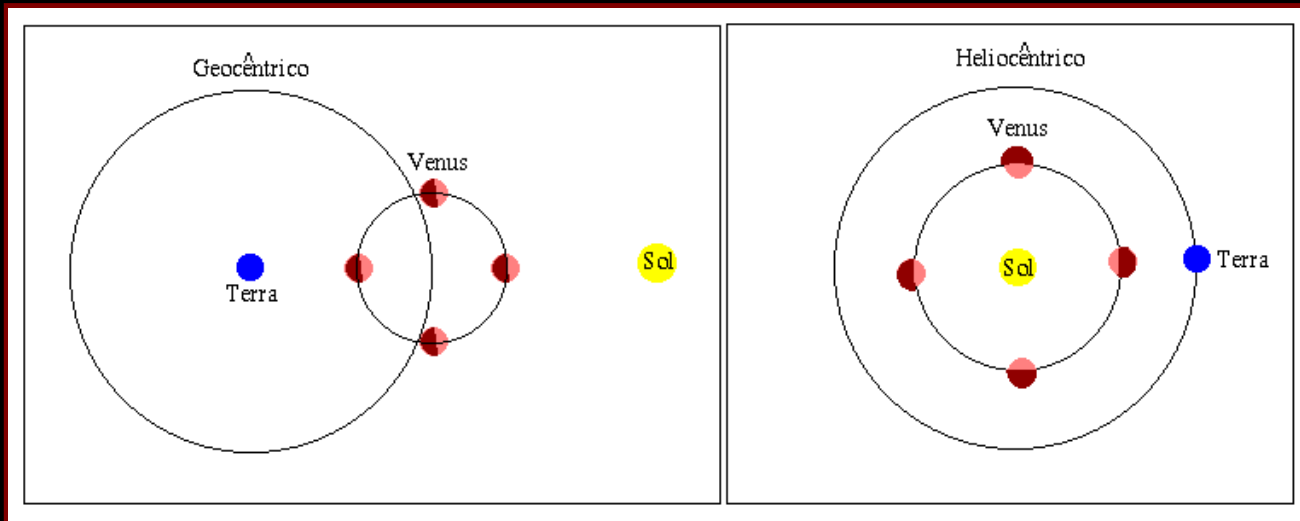
Galileo Galilei (1564 - 1642)



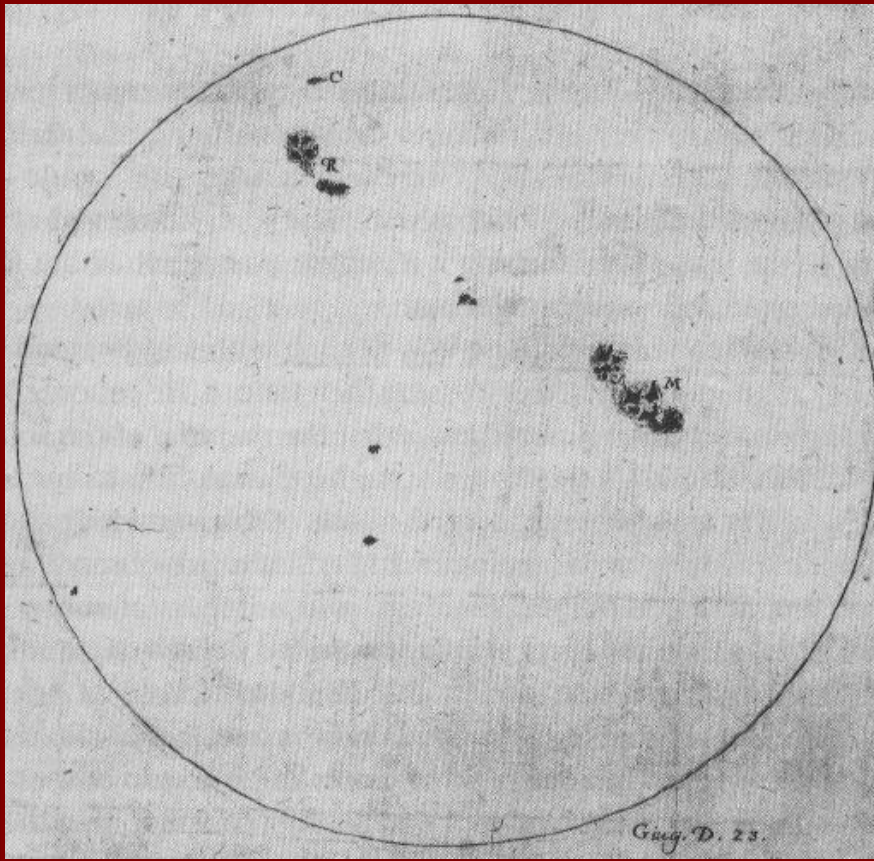
- Experimentos em mecânica:
 - conceito de inércia;
 - aceleração de corpos em queda livre não dependem de seu peso.
- Construiu seu próprio telescópio e observou o céu com ele (aumentos de 3 a 30 vezes).
- Descobriu que a Via Láctea era constituída por uma infinidade de estrelas;
- Descobriu que Júpiter tinha 4 luas orbitando em torno dele, com períodos entre 2 e 17 dias (Io, Europa, Ganimedes e Calisto).
 - Desde então mais 12 satélites foram descobertos.

Galileo Galilei (1564 - 1642)

- Descobriu que Vênus passa por um ciclo de fases, assim como a Lua.
 - No sistema ptolomaico, Vênus está sempre mais próximo da Terra do que do Sol, e como Vênus está sempre próximo do Sol, ele **nunca poderia ter toda sua face iluminada voltada para nós** (fase cheia);
 - Galileu concluiu que Vênus deve viajar ao redor do Sol (heliocêntrico).
- 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.



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.

Questões: Leis de Kepler

1- O asteróide Ícaro tem uma órbita cujo o afélio está a 1,969 UA e o periélio a 0,187 UA do Sol. Encontre o semi-eixo maior, a excentricidade e seu período sideral.

2- Sabendo que a excentricidade da órbita de Júpiter é $e=0,048$ e seu período de translação em torno do Sol é $P=11,86$ anos. Calcule:

O semi-eixo maior da órbita de Júpiter,

Sua distância no periélio,

Sua distância no afélio

3- O cometa Lulin teve no dia 10 de janeiro de 2009 esteve na distância mínima do Sol, $R_p=1,212269$ UA. Sabendo sua excentricidade é $e=0.999991$. Calcule:

Seu semi-eixo maior

Sua distância no afélio

Seu período de translação