
PARTE 3 do curso

Tycho Brahe, Kepler e Newton

O que será abordado neste curso:

O Caminho até a Teoria da Gravitação de Newton:

Parte 1 (4 aulas)

- Conceitos básicos de Astronomia: Movimento do Sol e dos Corpos Celestes, esfera celestes, “laçadas dos planetas”.
- Descobertas da Antiguidade: Aristarco, Eratóstenes, Hiparco

Parte 2 (4 aulas)

- Modelo de Ptolomeu (séc II): Epiciclos e deferentes.
- Copérnico e Tycho Brahe (séc XV) e Galileu (séc XVI-XVII).

Parte 3 (4-5 aulas)

- Leis de Kepler (séc XVI-XVII) do movimento dos planetas.
 - Teoria de Gravitação de Newton (séc XVII).
-

Tycho Brahe (1546-1601)



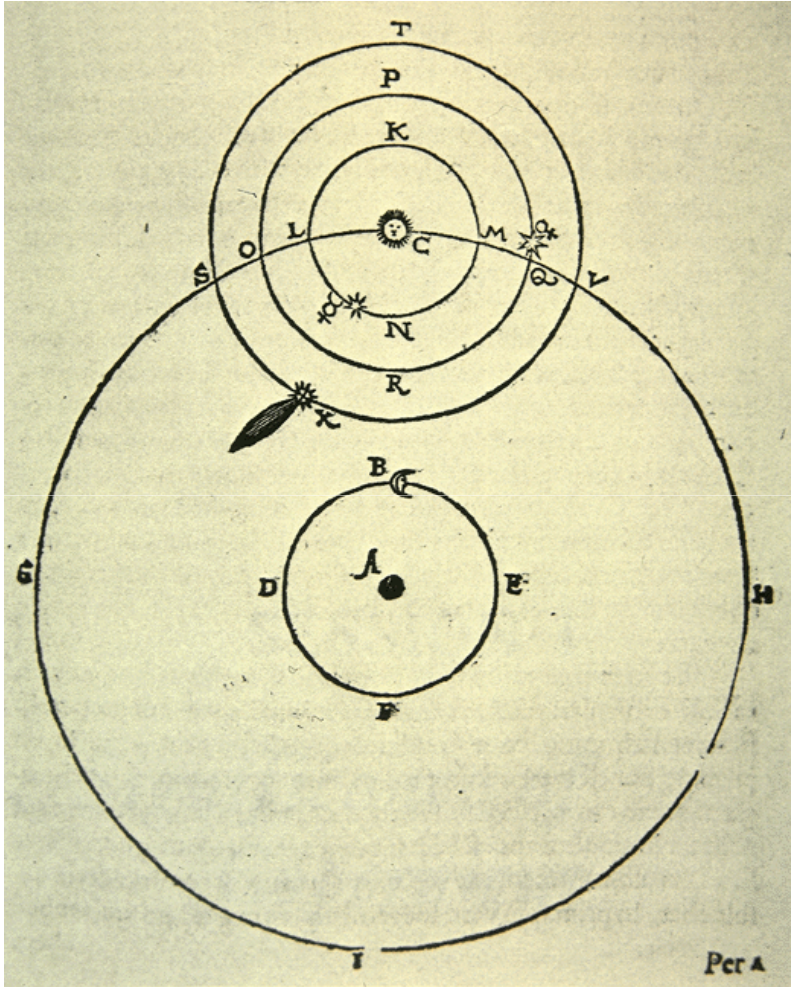
- “Um dos melhores astrônomos observacionais da história”.
- Medições com precisão de cerca de um *minuto de arco*⁽¹⁾. Extraordinário.

http://en.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe

Pergunta: Uma moeda de 1cm de diâmetro subtende um arco de 1' na visão de um observador. A que distância do observador está a moeda?

(1) Wesley, W.G., *J. for the History of Astronomy*, 9, 42 (1978)

Tycho Brahe (1546-1601)



<http://galileo.rice.edu/sci/brahe.html>

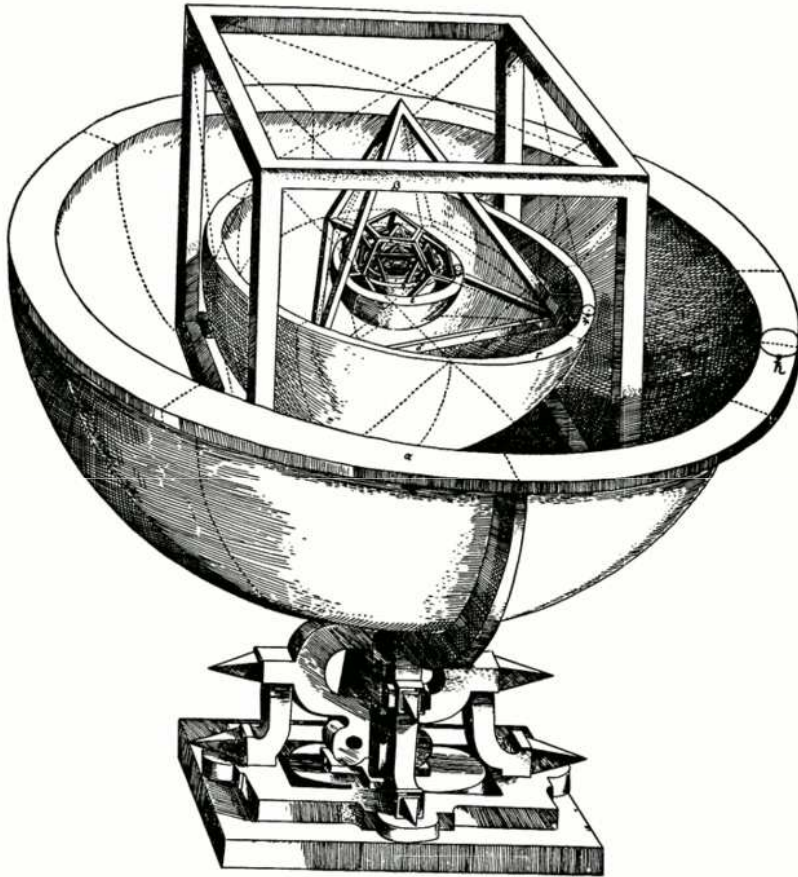


http://en.wikipedia.org/wiki/Tycho_Brahe

- Observações importantes: “nova” de 1572 e cometa de 1577: provas de que o firmamento não é imutável.
- Porém, acreditava que a Terra estava no centro do Universo (modelo “misto”).

Johannes Kepler (1571-1630)

http://en.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler



- Obras principais: *Mysterium Cosmographicum* (1536), *Astronomia Nova* (1609), *Harmonices Mundi* (1618)



- Discipulo de Tycho Brahe (1600).
- Procurava incansavelmente uma “ordem geométrica” no modelo de Copérnico.
- Primeiramente propôs que os 5 sólidos platônicos circunscritos em esferas que representariam as órbitas dos planetas.

As Leis de Kepler

Leis de Kepler do Movimento Orbital

1a Lei de Kepler: *A órbita descrita pelos planetas ao redor do Sol é uma elipse, com o Sol ocupando um dos focos.*

2a Lei de Kepler: *O raio vetor que liga um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais.*

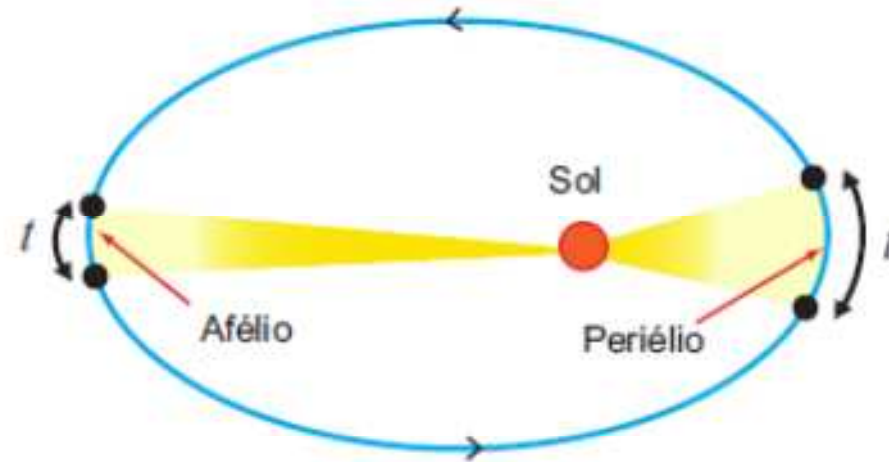
3a Lei de Kepler: *Os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer estão entre si como os cubos das suas distâncias médias ao Sol.*

<http://astro.unl.edu/naap/pos/animations/kepler.swf>

1a Lei de Kepler

- **Órbita de Marte:** melhor ajuste com epiciclos dava um erro de 8' de arco.

- Isso é muito maior que a precisão das observações de Tycho Brahe (<2-3').

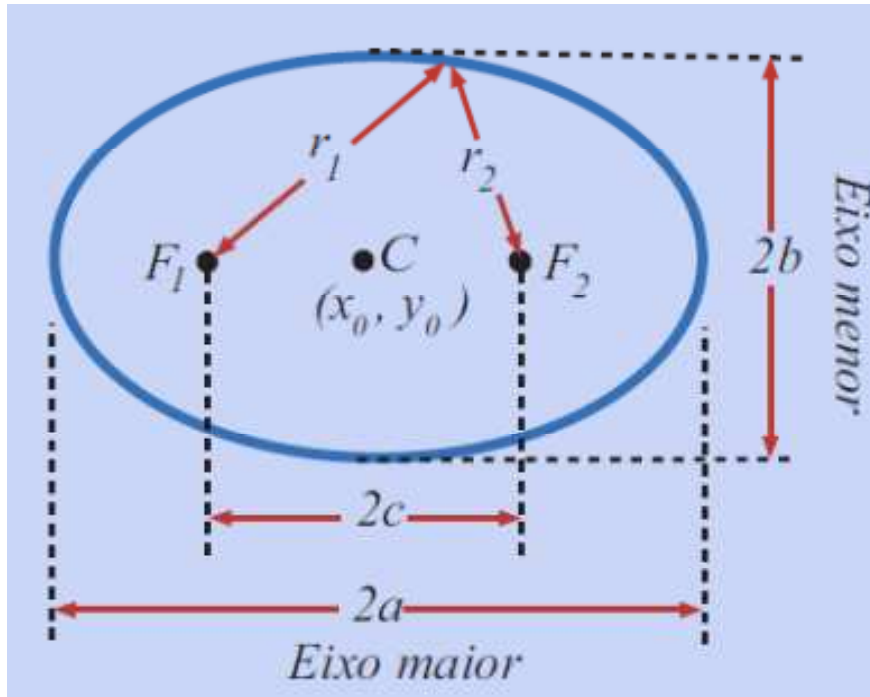


- *“Marte sozinho nos permite desvendar os segredos da astronomia.*

- Kepler foi levado à conclusão que as órbitas não poderiam ser circulares:

A órbita descrita pelos planetas ao redor do Sol é uma elipse, com o Sol ocupando um dos focos.

Elipses



- Conjunto dos pontos (x,y) que satisfazem a equação:

$$\frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y - y_0)^2}{b^2} = 1$$

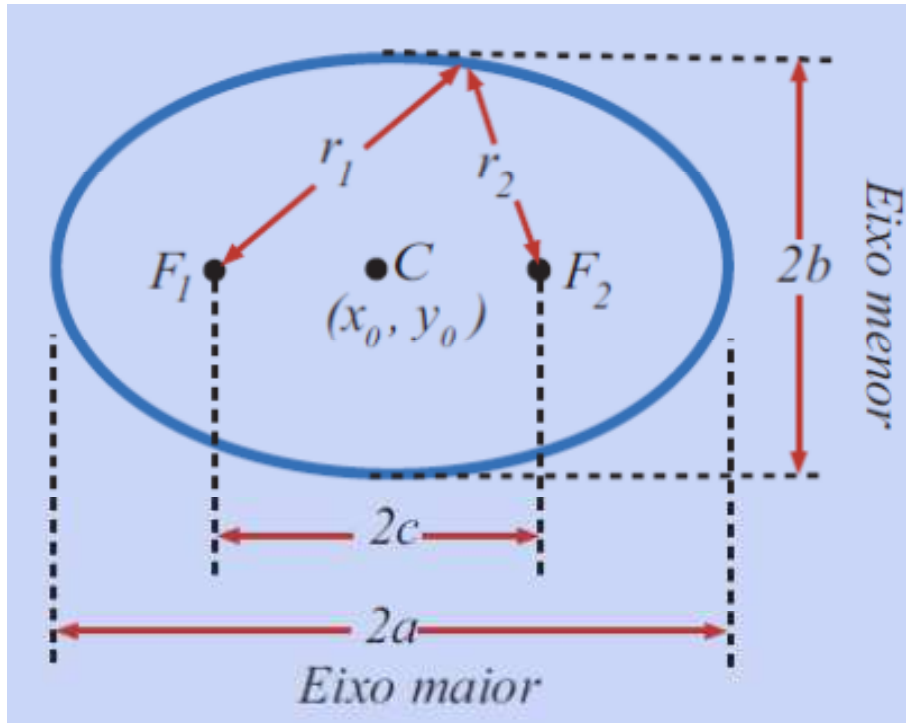
- **Eixo maior:** comprimento $2a$
- **Eixo menor:** comprimento $2b$
- **Focos:** localizados em: $(x_0 \pm c, y_0)$

onde c é dado por

$$c^2 = a^2 - b^2$$

- **Tarefas: 1)** Calcule as coordenadas dos pontos em que elipse centrada em $x_0=y_0=0$ intersecta os eixos. **2)** Mostre que a soma das distâncias desses pontos aos focos é igual a $2a$. OBS: É possível mostrar que isso vale para qualquer ponto (x,y) da elipse!

Ecentricidade das órbitas



- **Círculo:** $e=0$
- **Elipse:** $0 < e < 1$ "achatada" ($a > c$)

<i>Planeta</i>	<i>Semi-eixo maior a (UA)</i>	<i>Ecentricidade e</i>
<i>Mercúrio</i>	<i>0,387096</i>	<i>0.2056</i>
<i>Vênus</i>	<i>0,723342</i>	<i>0.0068</i>
<i>Terra</i>	<i>1</i>	<i>0.0167</i>
<i>Marte</i>	<i>1,523705</i>	<i>0.0934</i>
<i>Júpiter</i>	<i>5,204529</i>	<i>0.0483</i>
<i>Saturno</i>	<i>9,575133</i>	<i>0.0560</i>
<i>Urano</i>	<i>19,30375</i>	<i>0.0461</i>
<i>Netuno</i>	<i>30,20652</i>	<i>0.0097</i>

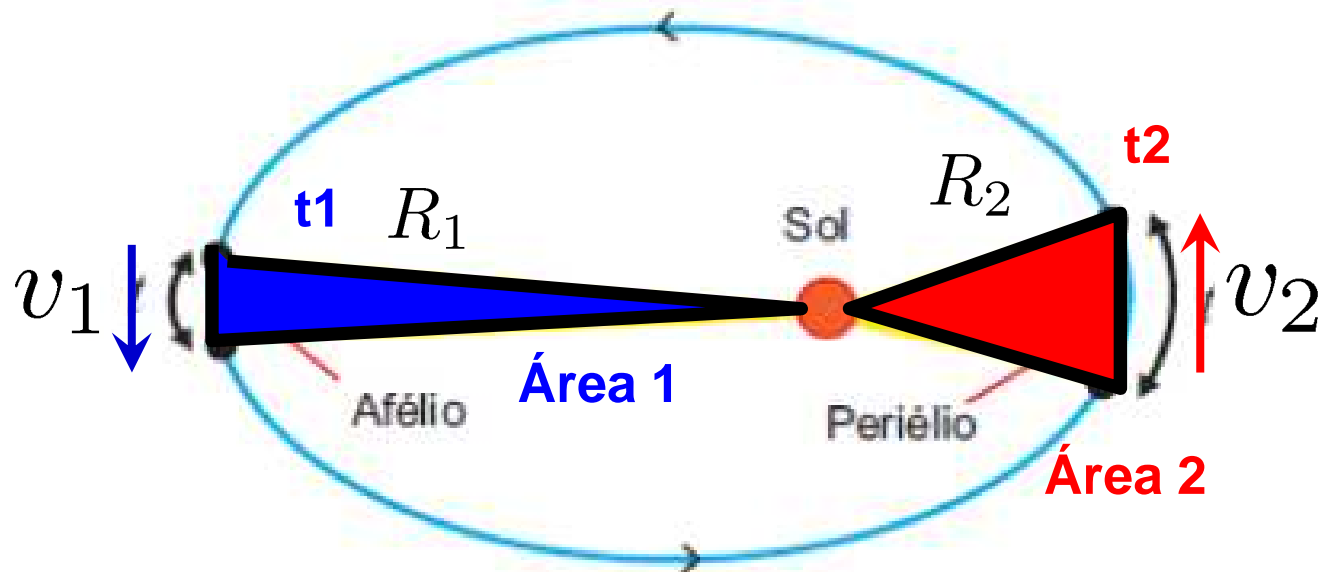
- **Ecentricidade da elipse:**

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

2a Lei de Kepler

O raio vetor que liga um planeta ao Sol descreve **áreas iguais** em **tempos iguais**.

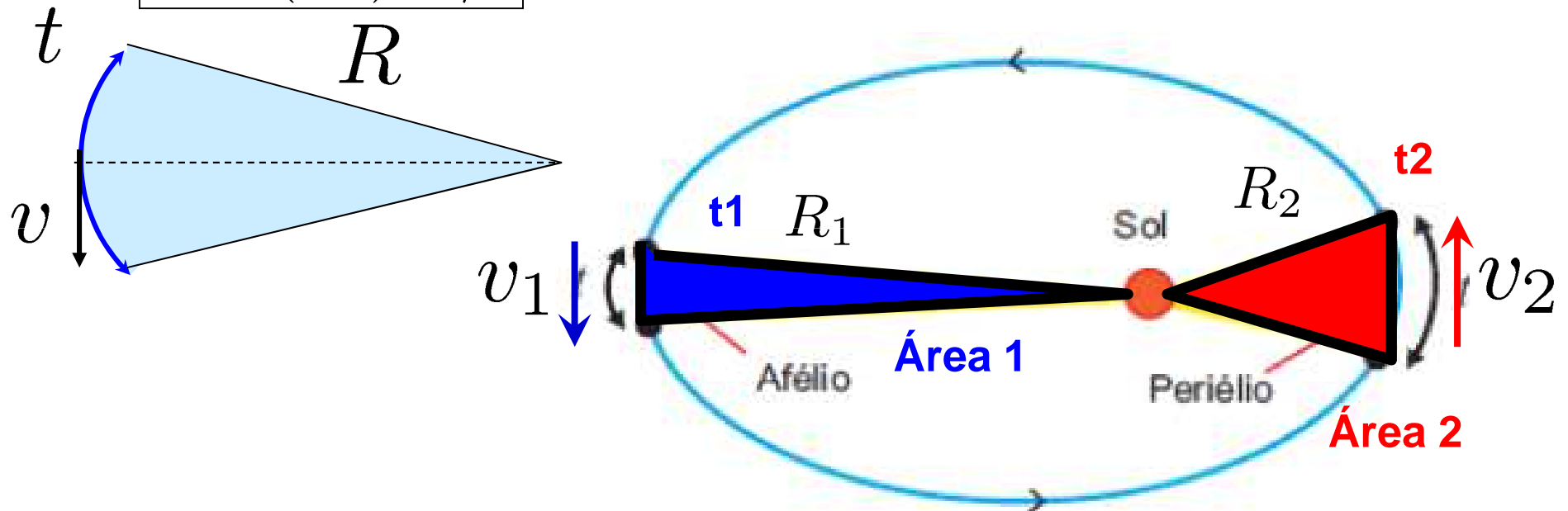
- Ou seja, se $t_1 = t_2$
então $\text{Área 1} = \text{Área 2}$



Conservação de momento angular

Tarefa 1: Considere o caso em que os arcos percorridos são pequenos e que as áreas são aproximadamente triangulares (figura) Mostre que:

$$A \approx (v \cdot t) \cdot R / 2$$



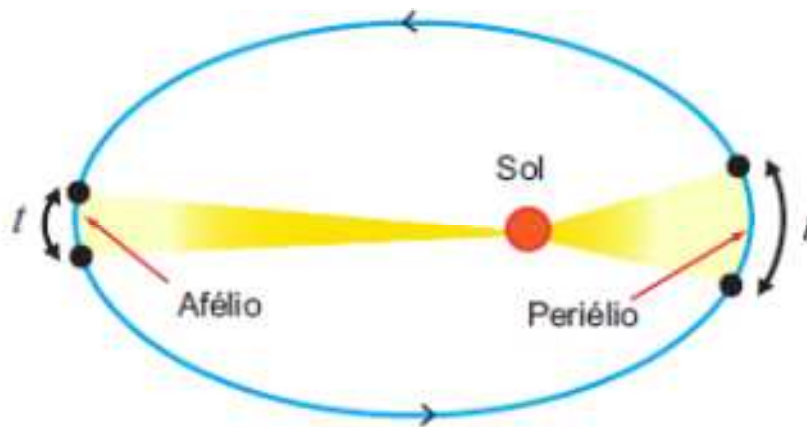
Lista: Se m é a massa do planeta e $L = mvR$ é o seu *momento angular*, aplique a 2ª Lei de Kepler e mostre que:

$$mv_1 R_1 = mv_2 R_2 \Rightarrow L_1 = L_2$$

3a Lei de Kepler

Os quadrados dos períodos de revolução de dois planetas quaisquer estão entre si como os cubos das suas distâncias médias ao Sol.

$$\frac{T_A^2}{a_A^3} = \frac{T_B^2}{a_B^3} = \text{const.}$$



Planeta	Semi-eixo maior a (UA)	Período ($T_{Terra}=1$)	T^2 / a^3
<i>Mercúrio</i>	0,387096	0,24085	1,00009
<i>Vênus</i>	0,723342	0,61521	1,00004
<i>Terra</i>	1	1	1
<i>Marte</i>	1,523705	1,88089	1,00006
<i>Júpiter</i>	5,204529	11,8622	0,998128
<i>Saturno</i>	9,575133	29,4577	0,988469
<i>Urano</i>	19,30375	84,0139	0,981245
<i>Netuno</i>	30,20652	164,793	0,985316
<i>Plutão</i>	39,91136	247,686	0,964969