

Órbita dos Planetas. Lei de Kepler e de Newton.

- **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 (não confundir com o movimento diurno, que é sempre de leste para oeste!), mas em certas épocas o movimento muda, passando a ser de leste para oeste.
- Esse movimento retrógrado pode durar vários meses (dependendo do planeta), até que fica mais lento e o planeta reverte novamente sua direcção, retomando o movimento normal.
- 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, e é simples de explicar quando sabemos que a Terra está em movimento, mas fica muito difícil de descrever num sistema em que a Terra esteja parada.

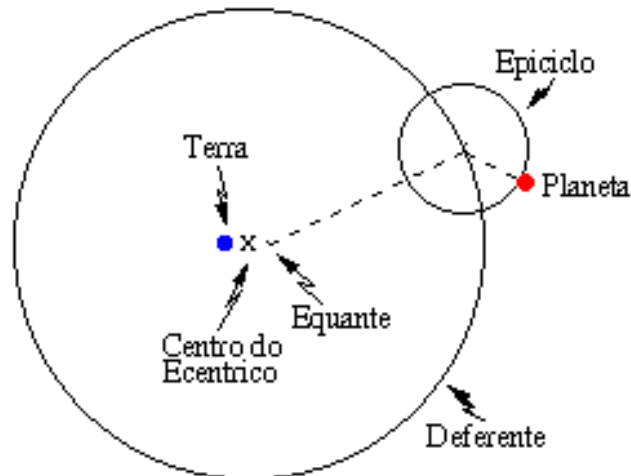


- O modelo geocêntrico

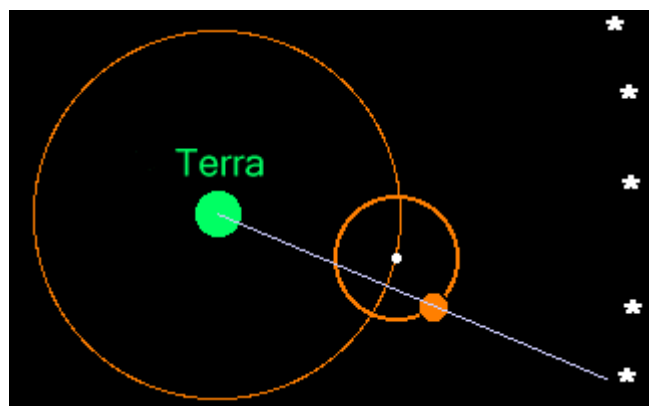


- Apesar da dificuldade de compreender e explicar o movimento observado dos planetas do ponto de vista geocêntrico (a Terra no centro do Universo), o geocentrismo foi uma ideia dominante na Astronomia durante toda a Antiguidade e Idade Média.
 - O sistema geocêntrico também é conhecido como sistema ptolomaico, pois foi **Cláudio Ptolomeu**, o último dos grandes astrónomos gregos (150 d.C.), quem construiu o modelo geocêntrico mais completo e eficiente.
 - Ptolomeu explicou o movimento dos planetas através de uma combinação de círculos: o planeta se move ao longo de um pequeno círculo chamado **epiciclo**, cujo centro se move em um círculo maior chamado **deferente**.
 - A Terra fica numa posição um pouco afastada do centro do deferente (portanto o deferente é um círculo excêntrico em relação à Terra).

- Para dar conta do movimento não uniforme dos planetas, Ptolomeu introduziu ainda o **equante**, que é um ponto ao lado do centro do deferente oposto à posição da Terra, em relação ao qual o centro do epiciclo se move a uma taxa uniforme.



- O objectivo de Ptolomeu era produzir um modelo que permitisse prever a posição dos planetas de forma correcta, e nesse ponto ele foi razoavelmente bem sucedido.
- Por essa razão esse modelo continuou sendo usado sem mudança substancial por 1300 anos.



Simulação do movimento retrógrado no sistema geocêntrico.

<http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>

- **Modelo Heliocêntrico**

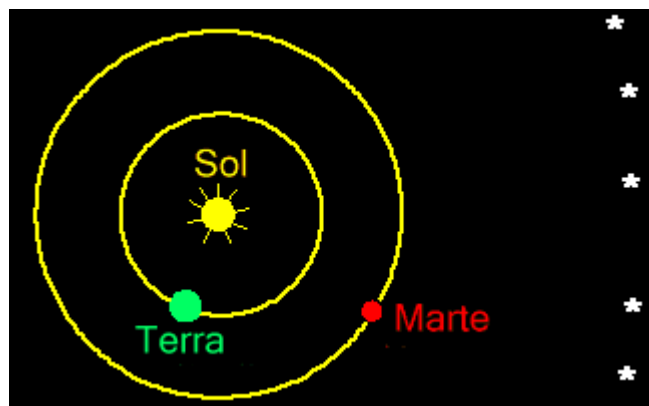


- Em 1492 termina a ocupação árabe (mourros) da península ibérica, que se iniciou em 711, e começa a Renascença.
- Inicia-se a tradução dos textos árabes e gregos, trazendo para a Europa os conhecimentos clássicos de Astronomia, Matemática, Biologia e Medicina.
- Nicolau Copérnico representou o Renascimento na Astronomia.
- Copérnico (1473-1543) foi um astrónomo Polonês com grande inclinação para a matemática.
- Estudando na Itália, ele leu sobre a hipótese heliocêntrica proposta (e não aceita) por Aristarco (≈ 300 a.C.), e achou que o Sol no centro do Universo era muito mais razoável do que a Terra.
- Copérnico registou suas ideias num livro - **De Revolutionibus** - publicado no ano de sua morte.

Os conceitos mais importantes colocados por Copérnico foram:

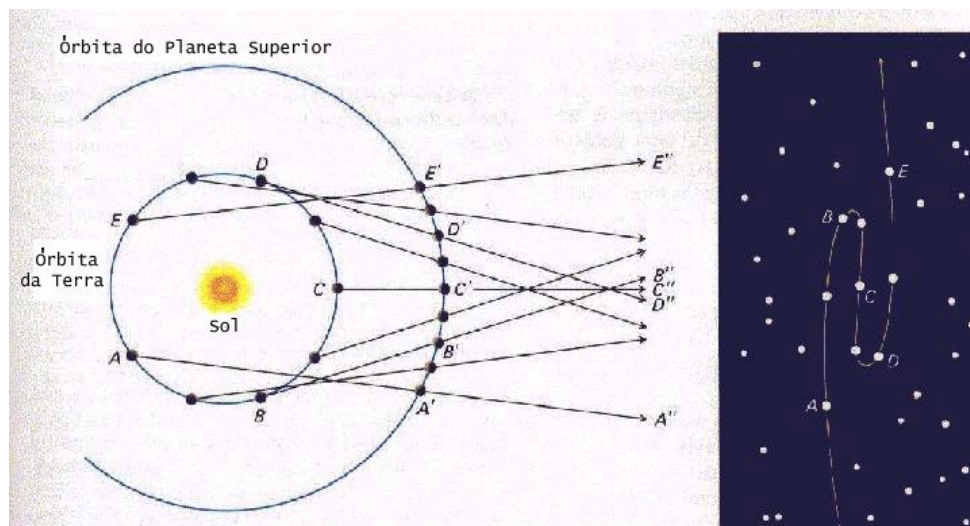
- Introduziu o conceito de que a Terra é apenas um dos seis planetas (então conhecidos) girando em torno do Sol.
- Colocou os planetas em ordem de distância ao Sol: Mercúrio, Vénus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno (Úrano, Neptuno).

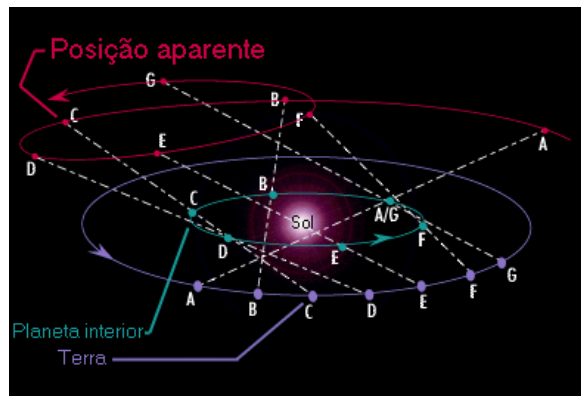
- Determinou as distâncias dos planetas ao Sol, em termos da distância Terra-Sol.
- Deduziu que quanto mais perto do Sol está o planeta, maior é sua velocidade orbital.
- Dessa forma, o movimento retrógrado dos planetas foi facilmente explicado sem necessidade de epiciclos.



Simulação do movimento retrógrado no sistema heliocêntrico.

<http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>





- Copérnico manteve a ideia de que as órbitas dos planetas eram circulares, e embora o movimento dos planetas ficasse simples de entender no seu sistema, as posições previstas para os planetas não eram em nada melhores do que as posições previstas no sistema de Ptolomeu.

Classificação dos planetas em ordem de distância ao Sol

Planetas inferiores:

Mercúrio e Vênus. Têm órbitas menores do que a órbita da Terra. Os dois planetas estão sempre muito próximos do Sol e são visíveis ao anoitecer, logo após o pôr do Sol (astro vespertino), ou ao amanhecer, logo antes do nascer do Sol (astro matutino).

Planetas superiores:

Marte, Júpiter, Saturno, Úrano, Neptuno e o planeta anão Plutão. 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

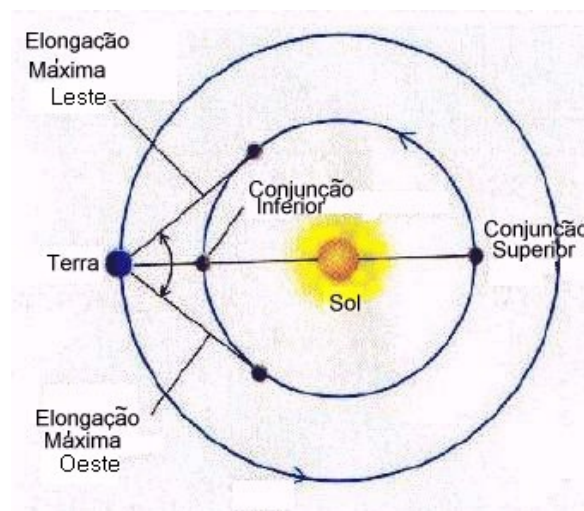
Para definir as configurações dos planetas, que são as posições características dos planetas em suas órbitas, vistas da Terra, vamos antes definir elongação:

Elongação (e):

- Distância angular do planeta ao Sol, vista da Terra.

Configurações de um planeta inferior

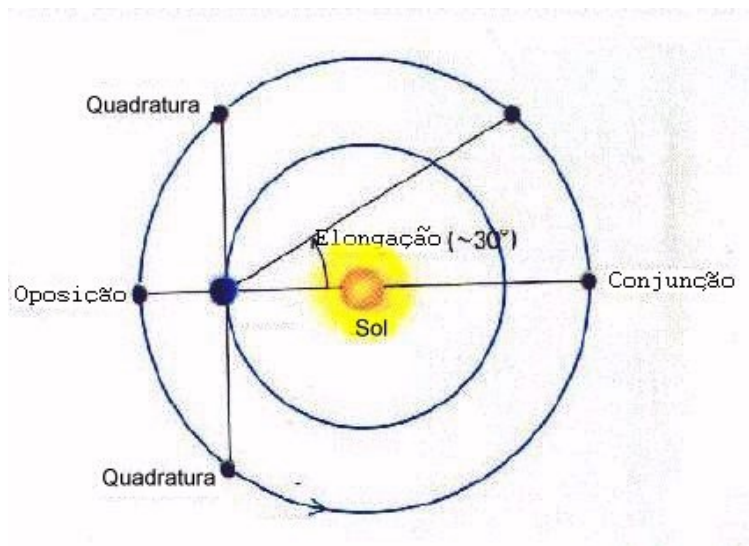
- Conjunção inferior: o planeta está na mesma direcção do Sol ($e = 0$), e mais próximo da Terra do que o Sol.
- Conjunção superior: o planeta está na mesma direcção do Sol ($e = 0$), e mais longe da Terra do que o Sol.
- Máxima elongação ocidental: o planeta está a oeste do Sol (nasce e se põe antes do Sol). É visível ao amanhecer, no lado leste.
- Máxima elongação oriental: planeta está a leste do Sol (nasce e se põe depois do Sol). É visível ao anoitecer, no lado oeste.



Configurações de um planeta superior

- Conjunção: o planeta está na mesma direcção do Sol ($e = 0$), e mais longe da Terra do que o Sol.
- Oposição: o planeta está na direcção oposta ao Sol ($e = 180^\circ$). O planeta está no céu durante toda a noite.

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



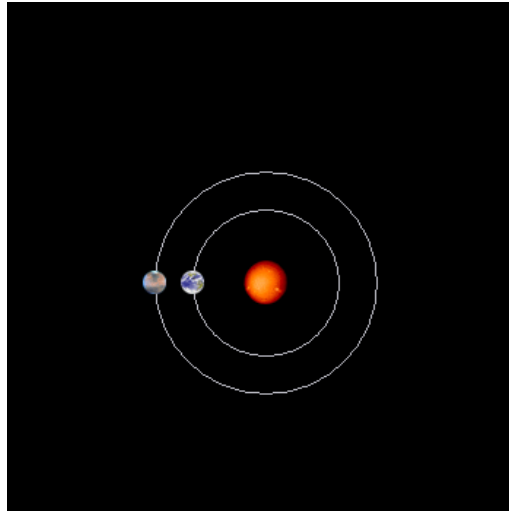
Período Sinódico e Sideral dos Planetas

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.



Órbitas da Terra e de Marte em torno do Sol, de oposição a oposição. Não está em escala.

<http://astro.if.ufrgs.br/p1/node3.htm#>

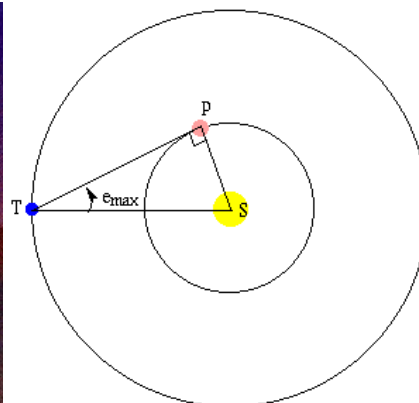
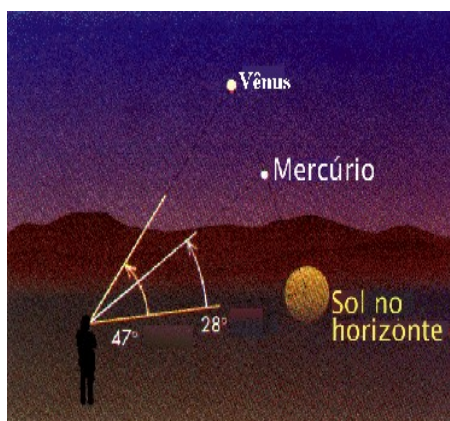
e

<http://astro.if.ufrgs.br/vlab/kepler/index.html>

Distâncias dentro do Sistema Solar

- Copérnico determinou as distâncias dentro do sistema solar em termos da distância Terra-Sol, ou seja, em unidades astronômicas (UA).

Distâncias dos planetas inferiores



- Quando o planeta inferior está em máxima elongação, o ângulo entre Terra e Sol, na posição do planeta, 90° . Então nessa situação Sol, Terra e planeta formam um triângulo retângulo, e a distância do planeta ao Sol será:

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

Distâncias dos planetas superiores

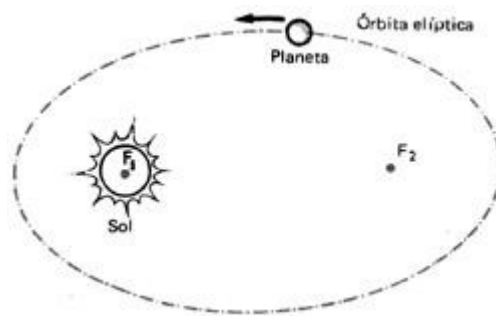
- Fazer um Estudo Individual: Entre em <http://astro.if.ufrgs.br/p1/node4.htm>

• As Leis de Kepler

- O astrónomo Tycho Brahe (1546-1601) realizou medições de notável precisão.
- Johannes Kepler (1571-1630), discípulo de Tycho Brahe, utilizando os dados colhidos por seu mestre, descreveu, de modo singelo e preciso, os movimentos planetários.

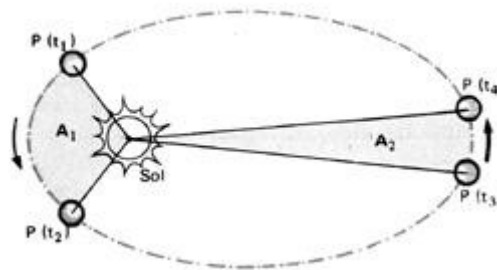
Primeira Lei (Lei das órbitas):

- Tomando o Sol como referencial, todos os planetas movem-se em órbitas elípticas, localizando-se o Sol em dos focos da elipse descrita.



Segunda Lei (Lei das Áreas):

- O segmento de recta traçado do centro de massa do Sol ao centro de massa de um planeta do Sistema Solar varre áreas iguais em tempos iguais.



Importante!

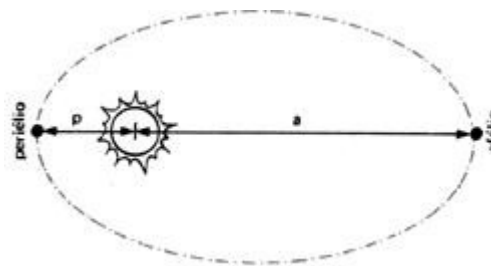
- Consideremos a figura acima, que representa um planeta em quatro posições de sua órbita elíptica em torno do Sol. O ponto mais próximo do Sol chama-se periélio e o mais afastado, afélio.
 - No periélio, a velocidade escalar de um planeta tem módulo máximo, enquanto, no afélio, tem módulo mínimo.
 - Do periélio para o afélio, um planeta descreve movimento retardado, enquanto, do afélio para o periélio, movimento acelerado.

Terceira Lei (Lei dos Períodos):

- Para qualquer planeta do sistema solar, o quociente entre o cubo do raio médio (r) da órbita e o quadrado do período de revolução (T) em torno do Sol é constante.

$$\frac{r^3}{T^2} = k_p$$

- Na figura, as distâncias do afélio e do periélio ao centro de massa do Sol são a e p .



- Raio médio da órbita (r) – A média aritmética entre a e p :

$$r = \frac{a + p}{2}$$

- T é o período de revolução do planeta em torno do Sol (intervalo de tempo também chamado de ano do planeta).

- **Isaac Newton e a Astronomia:**

- Fazer um Estudo Individual: Entre em <http://astro.if.ufrgs.br/newton/index.htm>

Exercícios por Resolver

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?

 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)?

 3. Um planeta hipotético, visto da Terra, tem máxima elongação é 30° .
 - a. Qual sua distância ao Sol, em unidades astronômicas?
 - b. Qual o seu período sideral?
 - c. De quanto em quanto tempo se repete a máxima elongação desse planeta?

 4. Um astrônomo determinou que o intervalo de tempo decorrido entre uma oposição e a próxima quadratura de um asteróide hipotético, em órbita circular em torno do Sol com período sideral de duração de 1000 dias, são 94 dias.
 - a. Qual é a distância ao Sol desse asteróide, determinado pelo método de Copérnico?
 - b. Compare com o resultado determinado pela terceira lei de Kepler.
-