

# RENASCIMENTO

- Renascimento (final séc. XIV – início séc. XVII): transformações nas artes, na filosofia, na ciência, nas maneiras de vida, na economia, no Estado e nas técnicas.
- Chamou-se "Renascimento" em virtude da redescoberta e revalorização das referências culturais da antiguidade clássica.
- Forte incremento no comércio entre cidades próximas e distantes provocou o ciclo das Grandes Navegações.

# GRANDES NAVEGAÇÕES

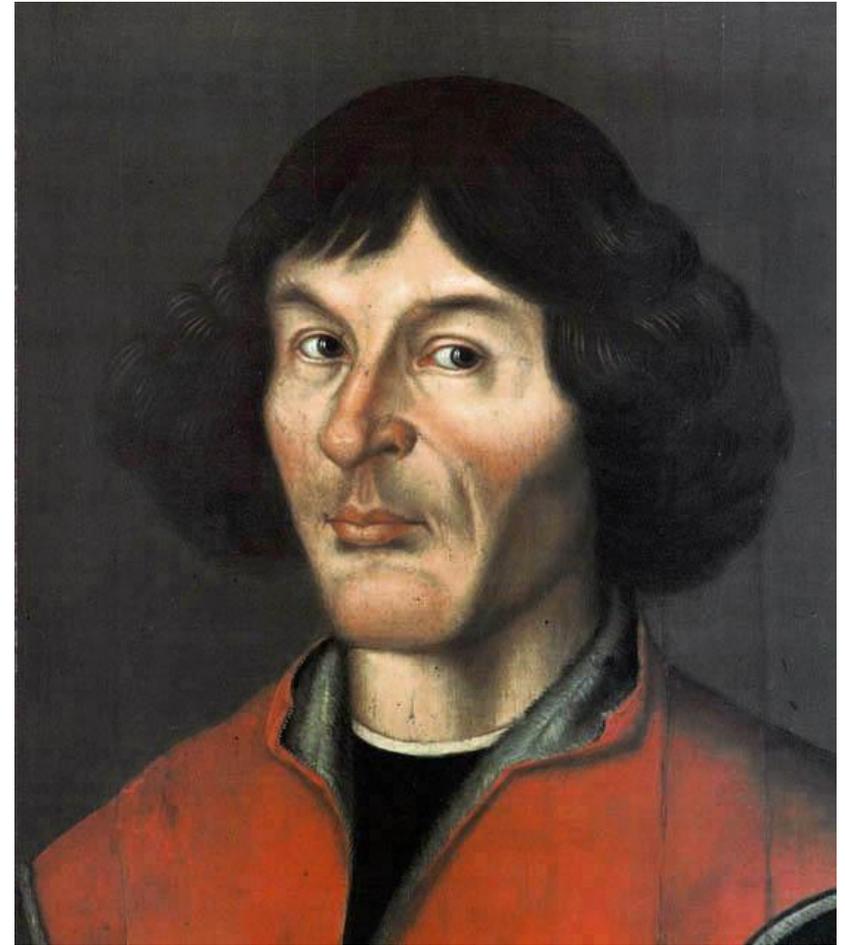
- Exigiam dados mais precisos (distâncias navegadas se tornavam cada vez maiores) e mostravam que havia erros na geografia de Ptolomeu – por que não no resto de sua obra?
- Erros acumulados durante séculos demandavam uma reforma do calendário, tornando necessários melhores conhecimentos de astronomia.
- A esfericidade teórica da Terra ganhou notoriedade prática.
- Navegadores perceberam que não existiam abismos nos extremos de uma Terra plana.

# DIFICULDADES GEOCENTRISMO

- Nessa época, o sistema aristotélico-ptolomaico enfrentava uma série de dificuldades:
  - 1-) Oferecer uma explicação convincente sobre o movimento retrógrado dos planetas;
  - 2-) Explicar porque Vênus e Mercúrio sempre são vistos nas proximidades do Sol;
  - 3-) Explicar porque Marte, Júpiter e Saturno podiam ser vistos em oposição ao Sol;
  - 4-) Explicar a ordem de afastamento dos planetas com relação ao Sol.

# NICOLAU COPÉRNICO (1473-1543)

- Elaborava mapas celestes para localização no mar.
- Escrevia trabalhos sobre a arte da navegação.
- Educado na leitura dos grandes filósofos gregos, chegou à conclusão de que o universo descrito por Ptolomeu era insatisfatório e confuso.

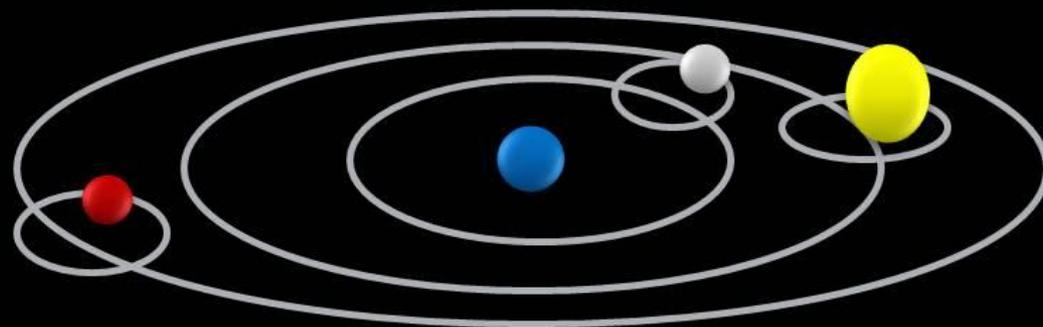


- Por volta de 1510, Copérnico redigiu o primeiro manuscrito a apresentar seu sistema heliocêntrico.
- Hipóteses sobre o movimento dos corpos celestes:
  - 1-) Não há um centro único para todas as esferas e círculos celestes.
  - 2-) O centro da Terra não é o centro do Universo mas apenas o da gravidade e da esfera lunar.
  - 3-) Todas as esferas giram em torno do Sol, como se ele estivesse em seu ponto médio: portanto, o centro do Universo está perto do Sol.
  - 4-) A razão entre a distância do Sol à Terra e à altura do firmamento (a esfera celeste mais afastada, que contém as estrelas fixas) é muito menor do que a razão entre o raio da Terra e a sua distância ao Sol, de modo que a distância da Terra ao Sol é imperceptível em comparação à altura do firmamento.

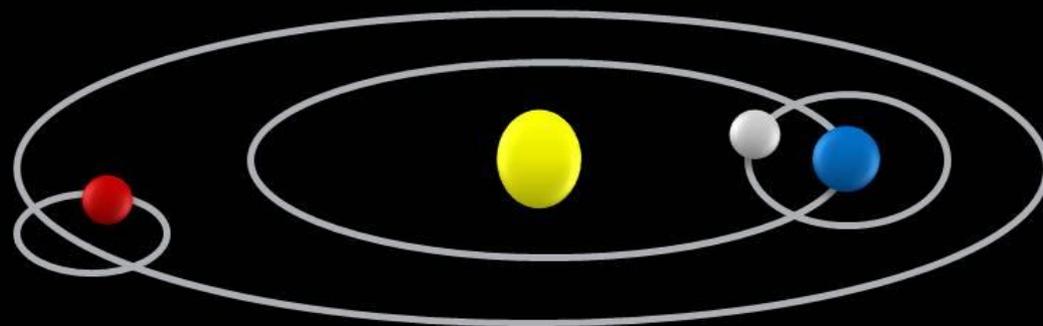
- 
- 5-) Qualquer movimento aparente no firmamento advém não do movimento do firmamento mas do movimento da Terra. A Terra, em conjunto com seus elementos circunjacentes faz uma rotação completa em torno de seus pólos fixos em um movimento diário, enquanto que o firmamento e os céus permanecem imutáveis.
  - 6-) O que aparentam ser movimentos do Sol provém não de seu movimento mas do movimento da Terra e de nossa esfera, a qual gira em torno do Sol como qualquer outro planeta. A Terra tem, assim, mais de um movimento.
  - 7-) O aparente movimento retrógrado e progressivo dos planetas provém não do seu movimento mas do movimento da Terra. O movimento da Terra apenas, portanto, é suficiente para explicar tantas irregularidades aparentes no céu.

- Todas essas hipóteses foram desenvolvidas constituindo o tratado **De revolutionibus orbium coelestium** (Das revoluções das esferas celestes), publicado em 1543.
- O grande tratado de Copérnico era conceitualmente ainda bastante próximo da astronomia grega.
- O que ele procurou demonstrar foi que a principal vantagem do ponto de vista heliocêntrico seria a de *simplificar* a descrição, explicando as mesmas observações anteriores através de movimentos ainda mais próximos do ideal platônico, sem utilizar, por exemplo, o artifício dos equantes de Ptolomeu. Entretanto, Copérnico teve que fazer uso dos deferentes, epiciclos e excêntricos utilizados por Ptolomeu no Almagesto.
- O que o diferenciou e valorizou face à obra de Ptolomeu foi a consideração do movimento da Terra e a posição central atribuída ao Sol no comando do movimento dos demais corpos celestes.





Modelo geocêntrico de Ptolomeu e seus epiciclos



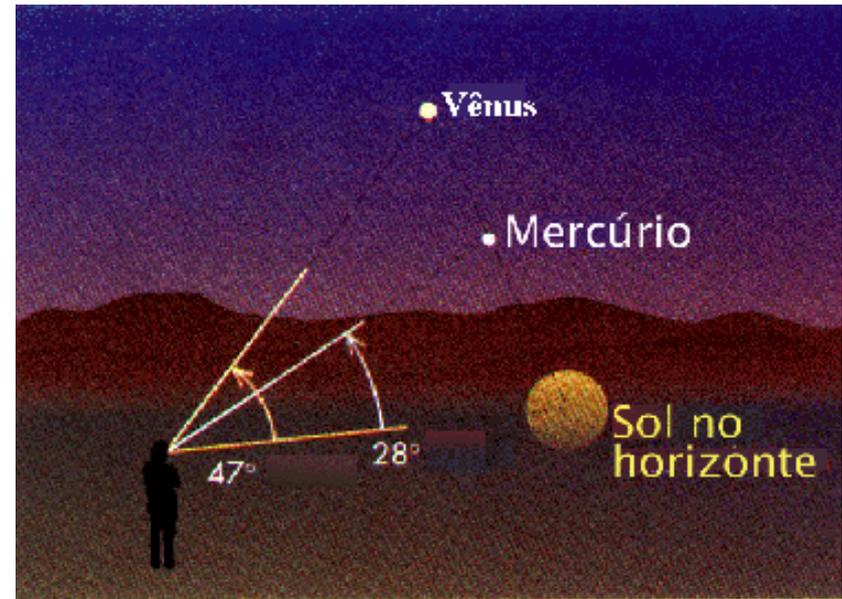
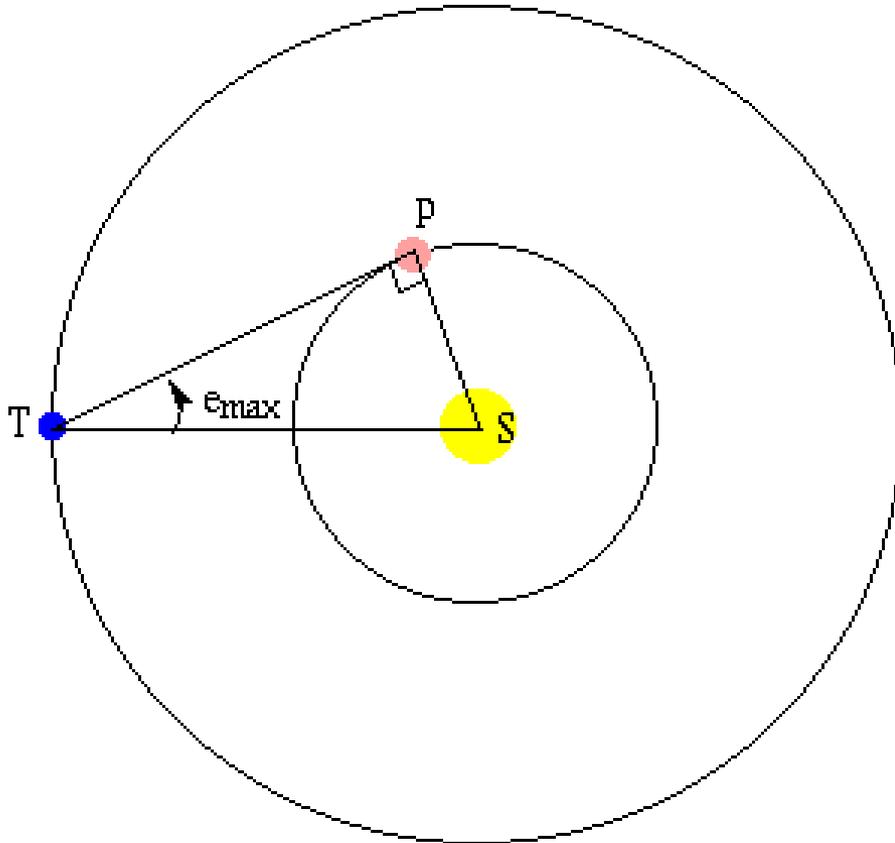
Modelo heliocêntrico de Copérnico ainda com epiciclos

# PROBLEMAS RESOLVIDOS

O heliocentrismo resolveu vários dos problemas que levaram o geocentrismo à crise. Dentre eles:

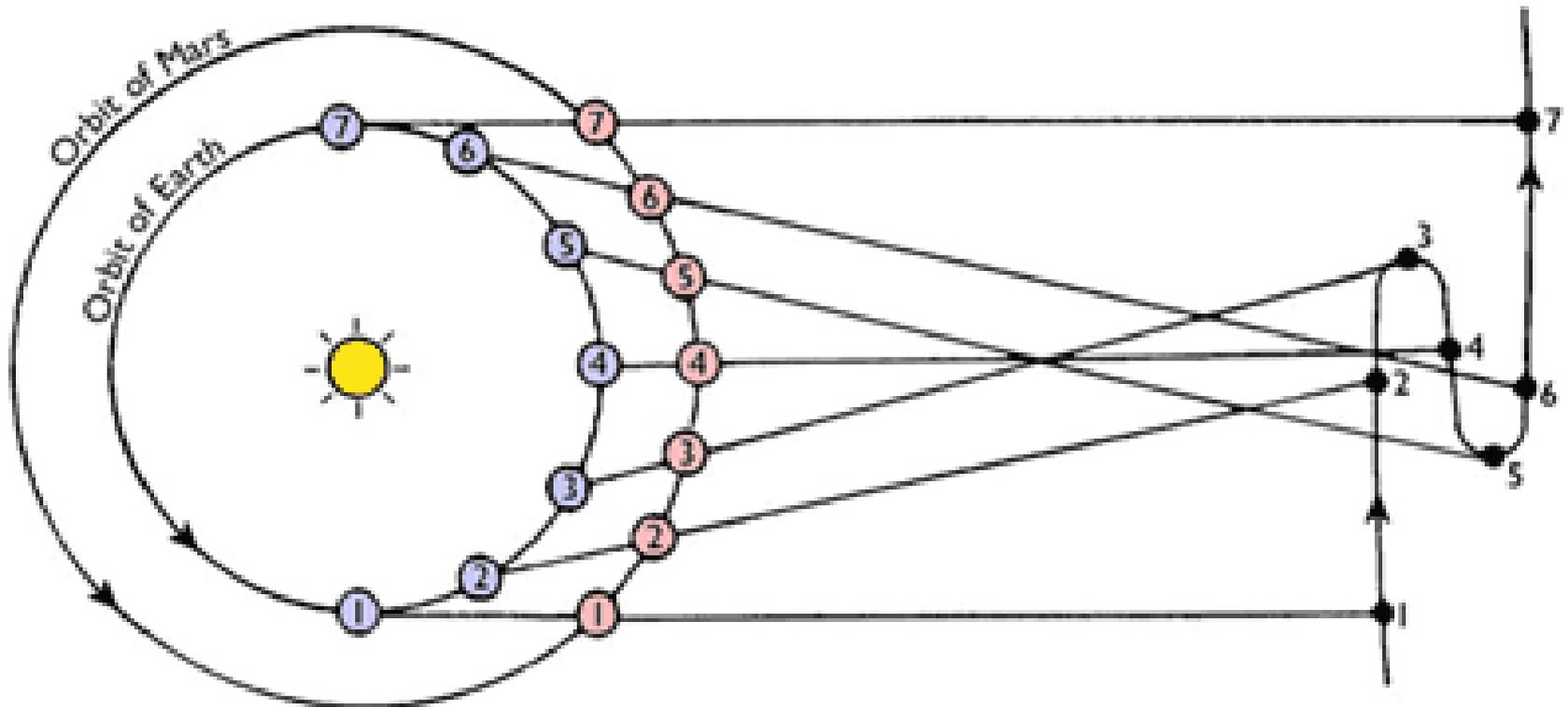
- 1-) Com a Terra girando em torno de seu eixo, o movimento diário de rotação dos corpos celestes torna-se apenas um movimento aparente.
- 2-) Como Mercúrio e Vênus estão sempre próximos ao Sol, confirma-se que estão entre a Terra e o Sol.
- 3-) Marte, Júpiter e Saturno estão às vezes em oposição ao Sol, pois suas órbitas em torno do Sol têm raios maiores que os da órbita da Terra.
- 4-) Permitiu que Copérnico deduzisse pela primeira vez a escala relativa das distâncias dentro do Sistema Solar. No sistema geocêntrico, a escala das distâncias era arbitrária.

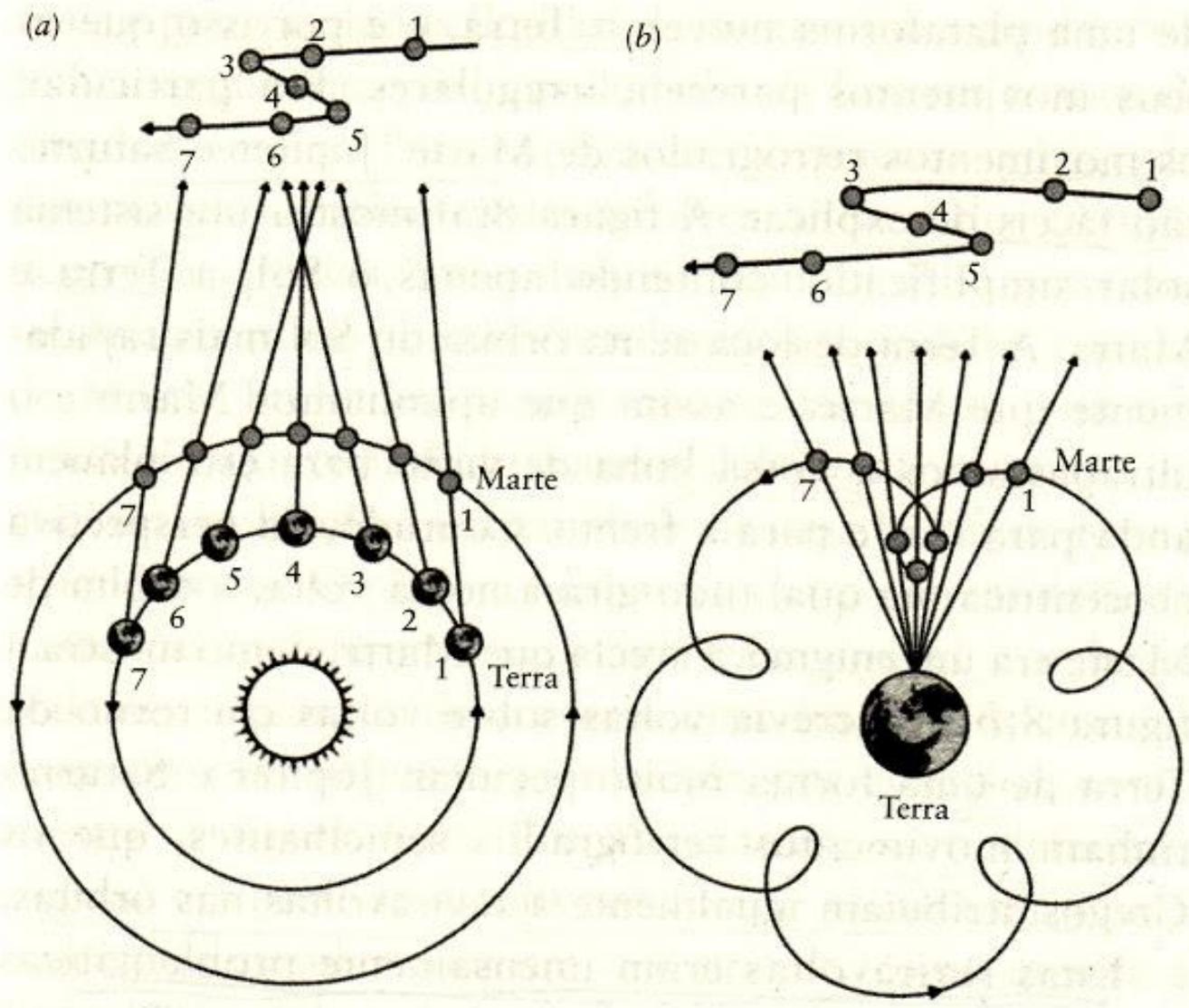
5-) As distâncias de Mercúrio e Vênus ao Sol são facilmente obtidas em função da distância Terra-Sol.



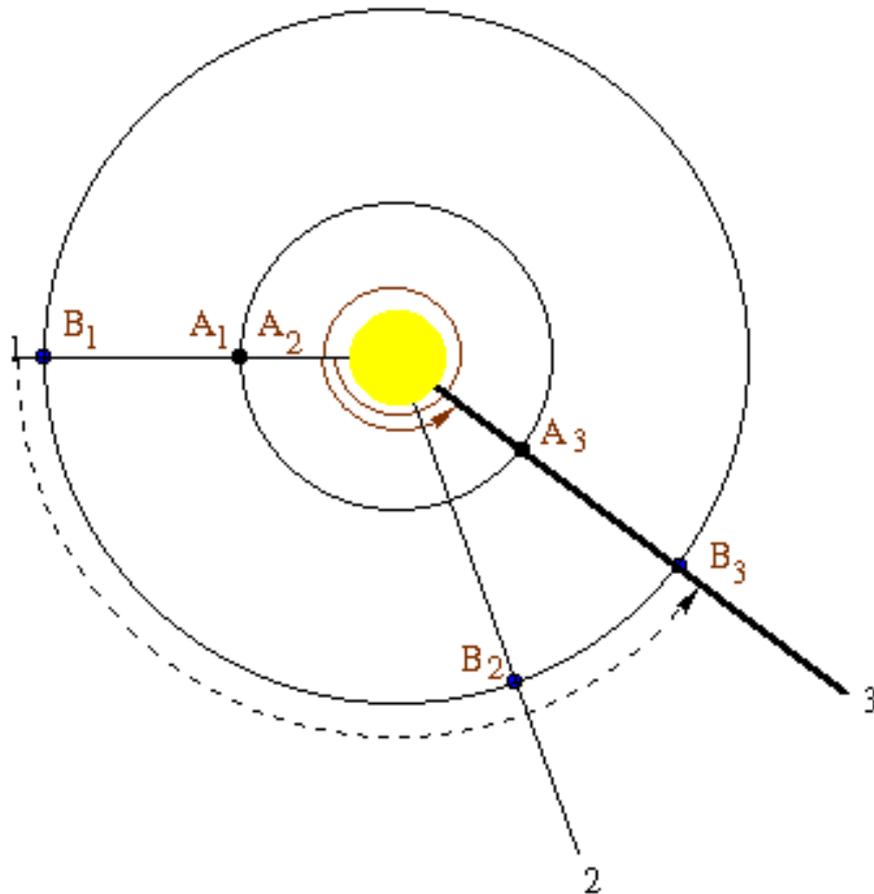
Devido à alta excentricidade da órbita de Mercúrio, a elongação máxima varia de  $23^\circ$  a  $28^\circ$

6-) É possível explicar os movimentos retrógrados dos planetas.





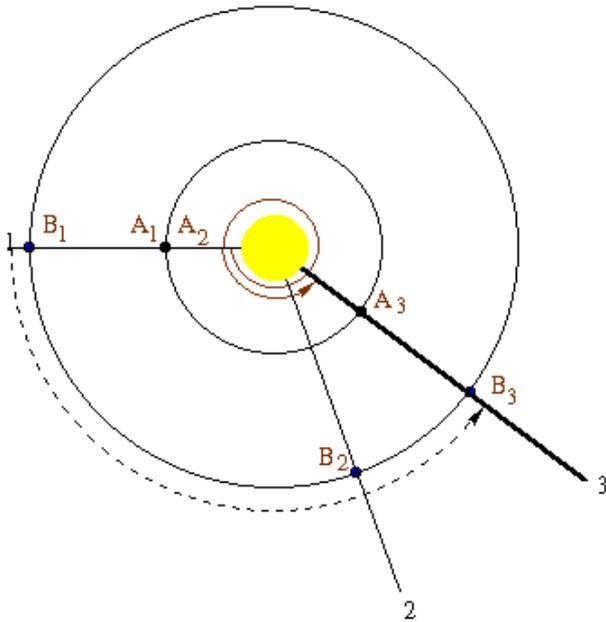
7-) Sistema copernicano permite o cálculo dos períodos dos planetas pela observação dos tempos decorridos entre dois máximos consecutivos dos movimentos retrógrados.



A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>: Posições da Terra e de Marte em um máximo do movimento retrógrado

A<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>: Posições da Terra e de Marte após um ano terrestre (365 dias)

A<sub>3</sub>, B<sub>3</sub>: Posições da Terra e de Marte no máximo do movimento retrógrado imediatamente consecutivo ao anterior A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>



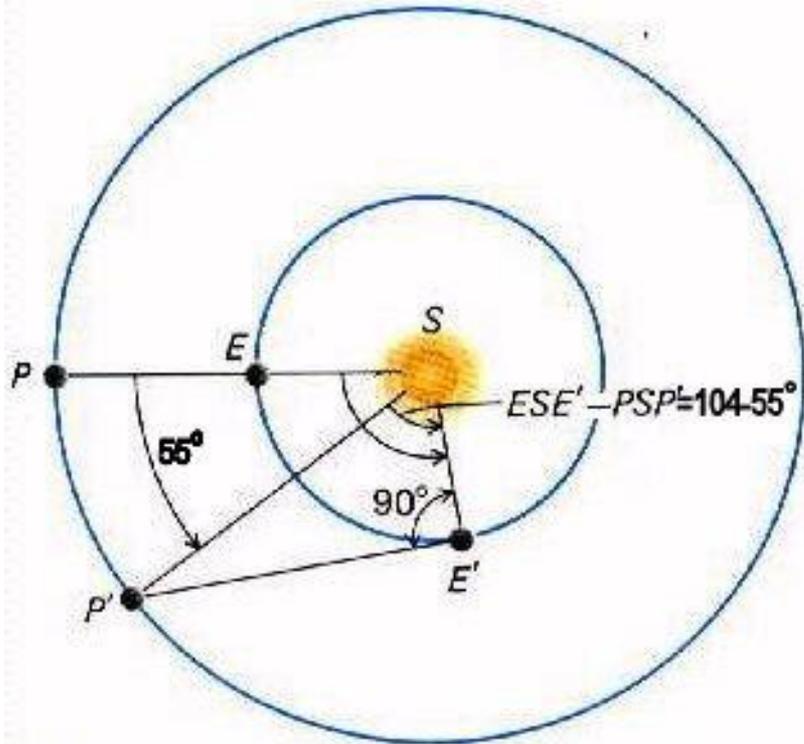
$T_{2R}$ : Intervalo de tempo entre dois máximos consecutivos (780 dias no caso de Marte). Esse é o período de revolução do planeta em torno da Terra, chamado **período sinódico**.

$T_T$ ,  $T_M$ : Períodos de translação da Terra e de Marte em torno do Sol ( $T_T = 365,25$  dias e  $T_M$  a determinar). Chamado **período sideral**.

NV: Diferença entre os números de voltas dadas pela Terra e por Marte em torno do Sol (NV = 1, isto é, entre dois máximos consecutivos, a Terra dá uma volta a mais que Marte em torno do Sol)

$$T_{2R}/T_T - T_{2R}/T_M = NV \quad \Rightarrow \quad T_M = 687 \text{ dias aproximadamente}$$

## 8-) Determinação das distâncias dos planetas externos (Marte, Júpiter, Saturno) ao Sol, em função da distância Terra-Sol.



$t = 0$ : Terra e Marte em oposição (posições E e P)

$t = 106$  dias: Terra e Marte em quadratura (posições E' e P', ângulo  $SE'P' = 90^\circ$ )

Em 106 dias a Terra percorre a distância angular  $ESE' = 104^\circ$  (em 365,25 dias ela percorre  $360^\circ$ ).

Período sideral de Marte é de 687 dias. Distância angular percorrida por Marte em 106 dias é igual a  $PSP' = 55^\circ$ .

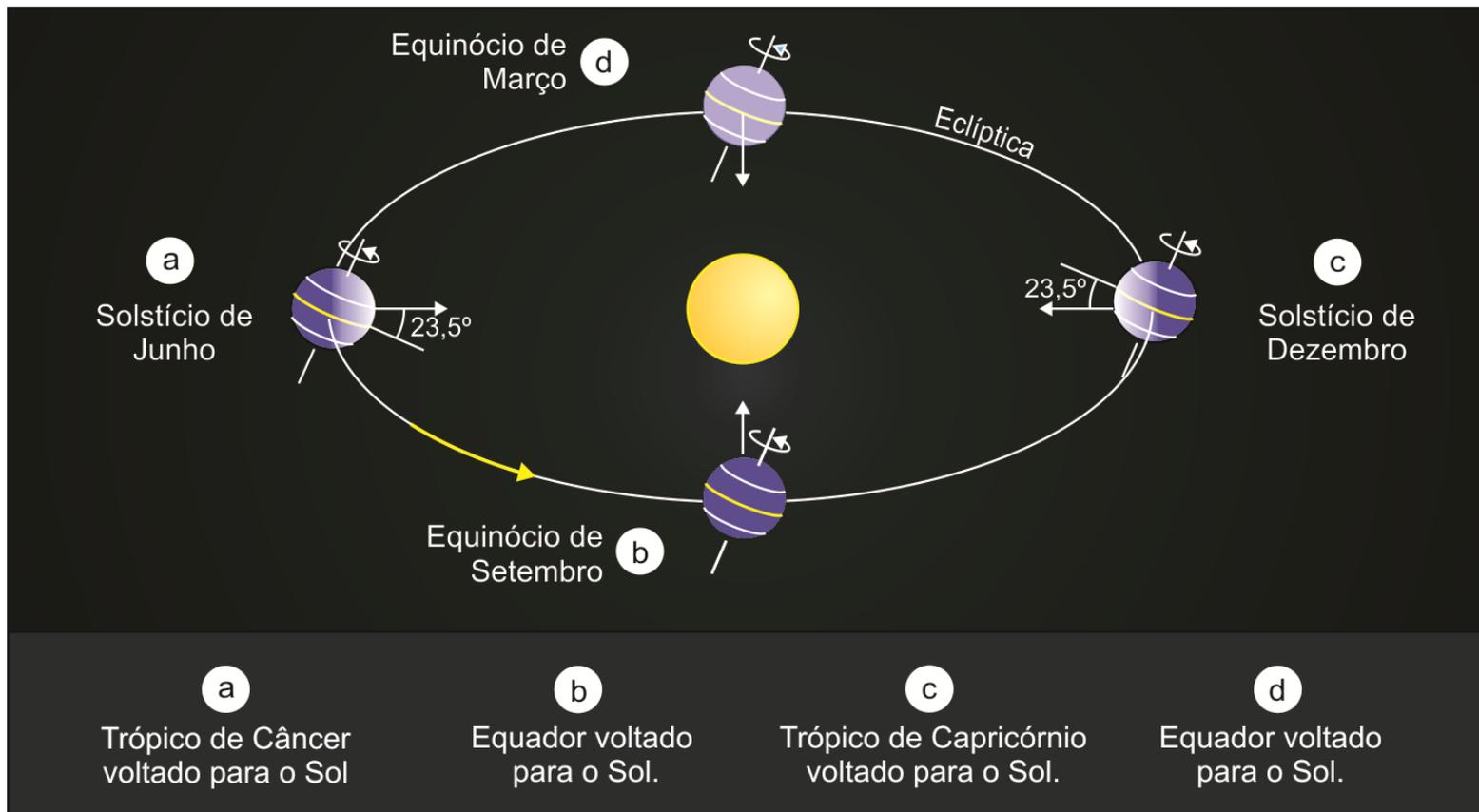
- No prefácio do **De revolutionibus**, Copérnico escreveu:

*“Assumindo os movimentos que atribuo à Terra neste trabalho, descobri após estudo longo e intensivo que, se os movimentos das estrelas errantes são referidos ao movimento circular da Terra e calculados de acordo com a revolução de cada estrela, então, não apenas os fenômenos concordam com os resultados, mas também tornam-se ligados entre si a ordem e a magnitude de todas as estrelas e esferas, e o próprio céu, de tal forma que nada pode ser movido em nenhuma parte sem colocar em risco outras partes e o universo como um todo.”*

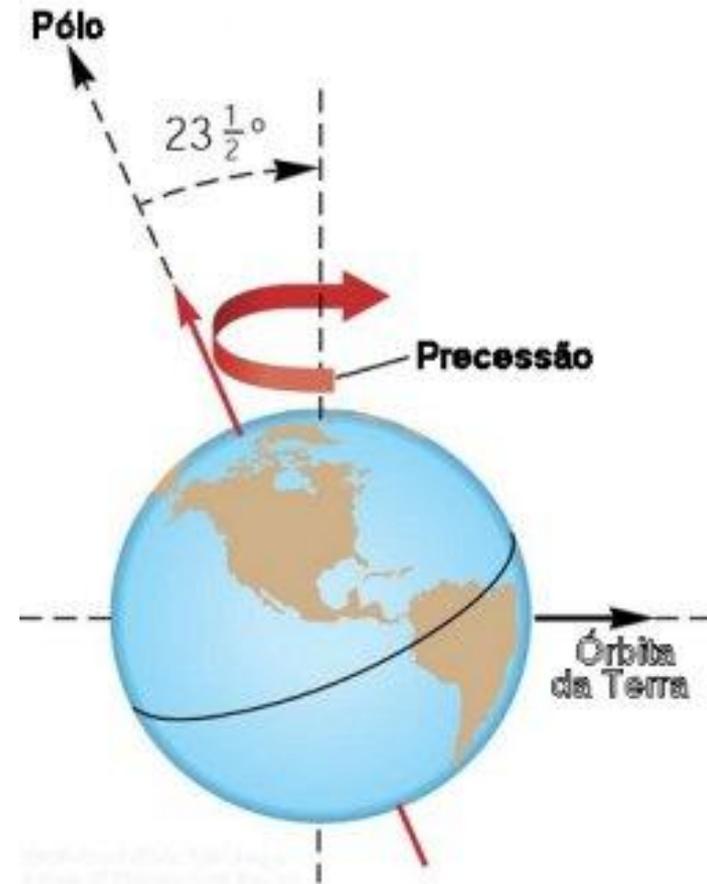
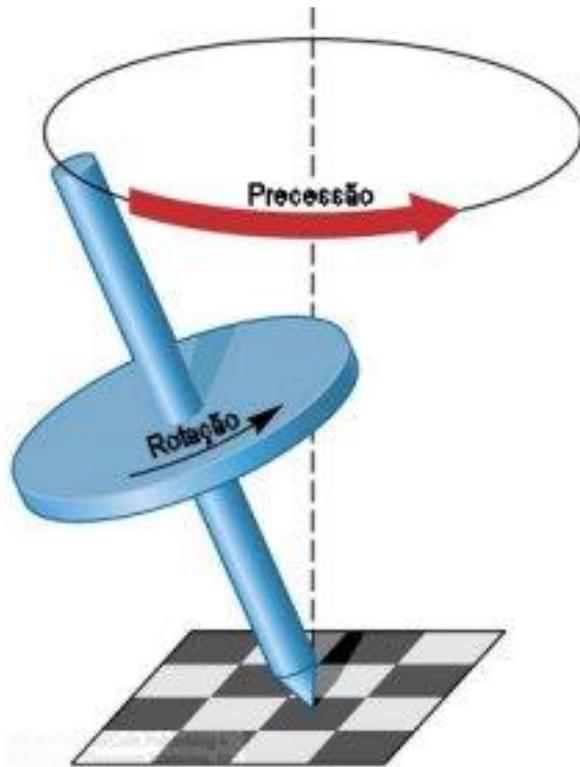
- Copérnico acreditava ter construído um sistema perfeitamente coerente, envolvendo todos os corpos celestes, coerência que ele não encontrava no sistema ptolomaico.

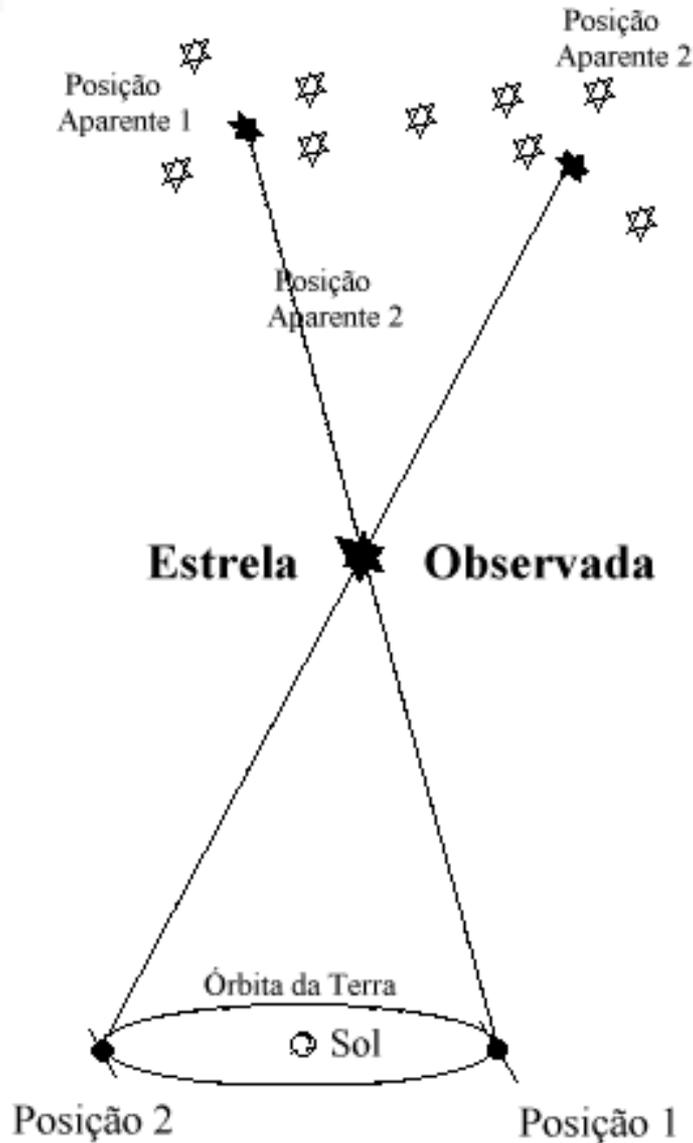
# DESAFIOS AO SISTEMA COPERNICANO

- Copérnico atribuía três movimentos à Terra: rotação (alternância entre dia e noite), translação (estações do ano, figura abaixo) e precessão do eixo terrestre (próxima figura).



- Obs: A precessão dos equinócios foi descoberta por Hiparco no séc. II A.C. Entretanto, Hiparco não atribuiu o fenômeno a um movimento da Terra, pois ele imaginava a Terra parada.





- **Ausência de paralaxe:** Se a Terra gira anualmente em torno do Sol, observações realizadas em diferentes épocas do ano deveriam mostrar um certo deslocamento na determinação da posição de estrelas. Mas isso não acontecia!
- Copérnico sugeriu que o raio do universo deveria ser muito maior do que pensavam os antigos gregos. Desta forma as estrelas estariam numa distância muito grande da Terra, o que impossibilitaria a observação da paralaxe.
- Apenas em 1838, com telescópios potentes, o fenômeno da paralaxe foi finalmente observado.

- 
- O sistema ptolomaico havia passado por séculos de aprimoramento e tinha desenvolvido um grande potencial para descrever as aparências celestes.
  - Já o modelo heliocêntrico de Copérnico tinha acabado de ser desenvolvido e precisava de melhorias para adquirir a mesma capacidade de previsão que o modelo geocêntrico de Ptolomeu.

# REVOLUÇÃO COPERNICANA

- Copérnico continuava preso a muitas ideias e muitos argumentos aristotélicos. Apesar disso, ele rompeu com diversos conceitos de universo estabelecidos por Aristóteles.
- Copérnico continuava a derrubada de um velho sistema e apresentava uma visão de mundo radicalmente diferente em muitos aspectos e, ao mesmo tempo, com muitos pontos de contato com o sistema que procurava substituir.
- Vale lembrar que um modelo heliocêntrico do cosmos já havia sido proposto por Aristarco de Samos no séc. III A.C (quase vinte séculos antes!). Entretanto, a articulação de Copérnico era melhor.

- Se a proposta de Copérnico não era inédita, por que seu modelo de universo provocou uma revolução?
- A chamada **Revolução Copernicana foi uma revolução intelectual**. Uma revolução que transcendeu de muito sua importância astronômica.
- Alterações radicais sobre o conhecimento da natureza seguiram-se à publicação do “De revolutionibus” de Copérnico em 1543.
- Muitas das inovações que culminaram, um século e meio depois, na concepção newtoniana de universo foram subprodutos inesperados da teoria astronômica de Copérnico.