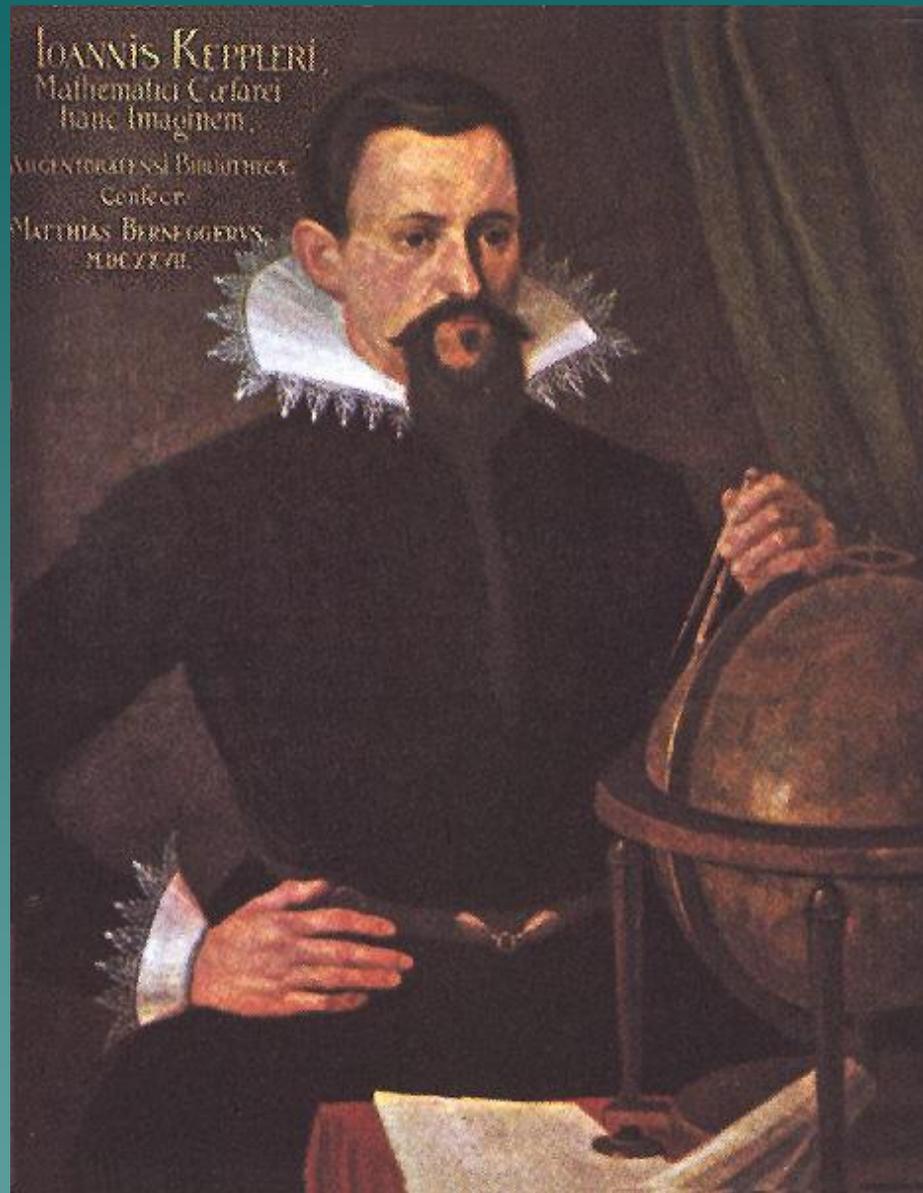


Johannes Kepler 1571-1630

Os principais aspectos da defesa de Kepler ao copernicanismo.

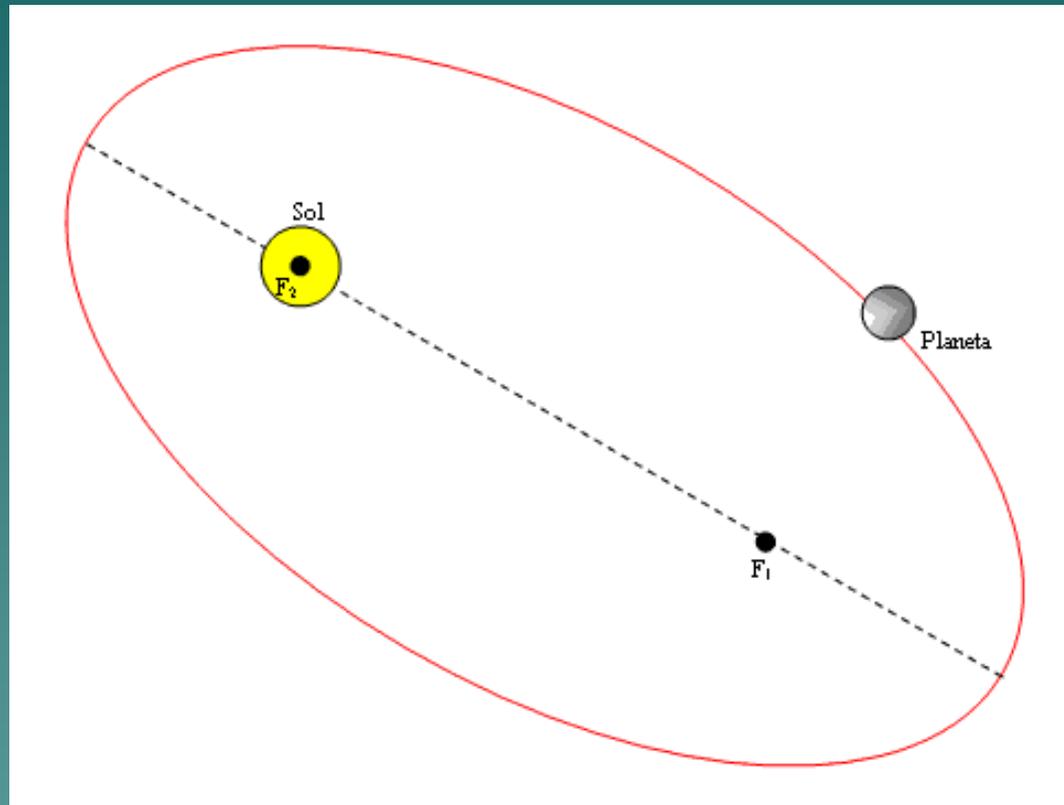




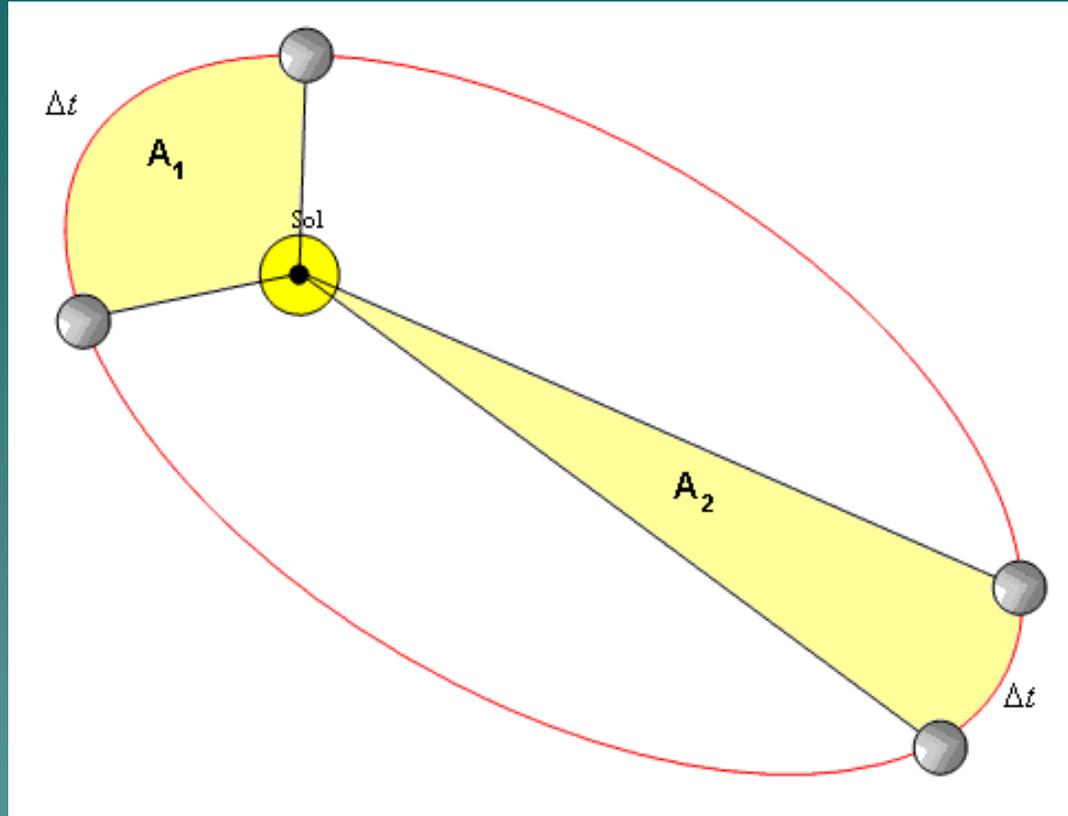


Kepler é conhecido principalmente por estipular as três leis dos movimentos planetários.

Primeira: os planetas percorrem movimentos elípticos em torno do Sol.



**Segunda: os planetas
percorrem em seus
movimentos elípticos
áreas iguais em tempos
iguais.**



Terceira: Para quaisquer dois planetas, os cubos de suas distâncias ao Sol são proporcionais ao quadrado dos seus períodos (tempos).

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} = \dots$$

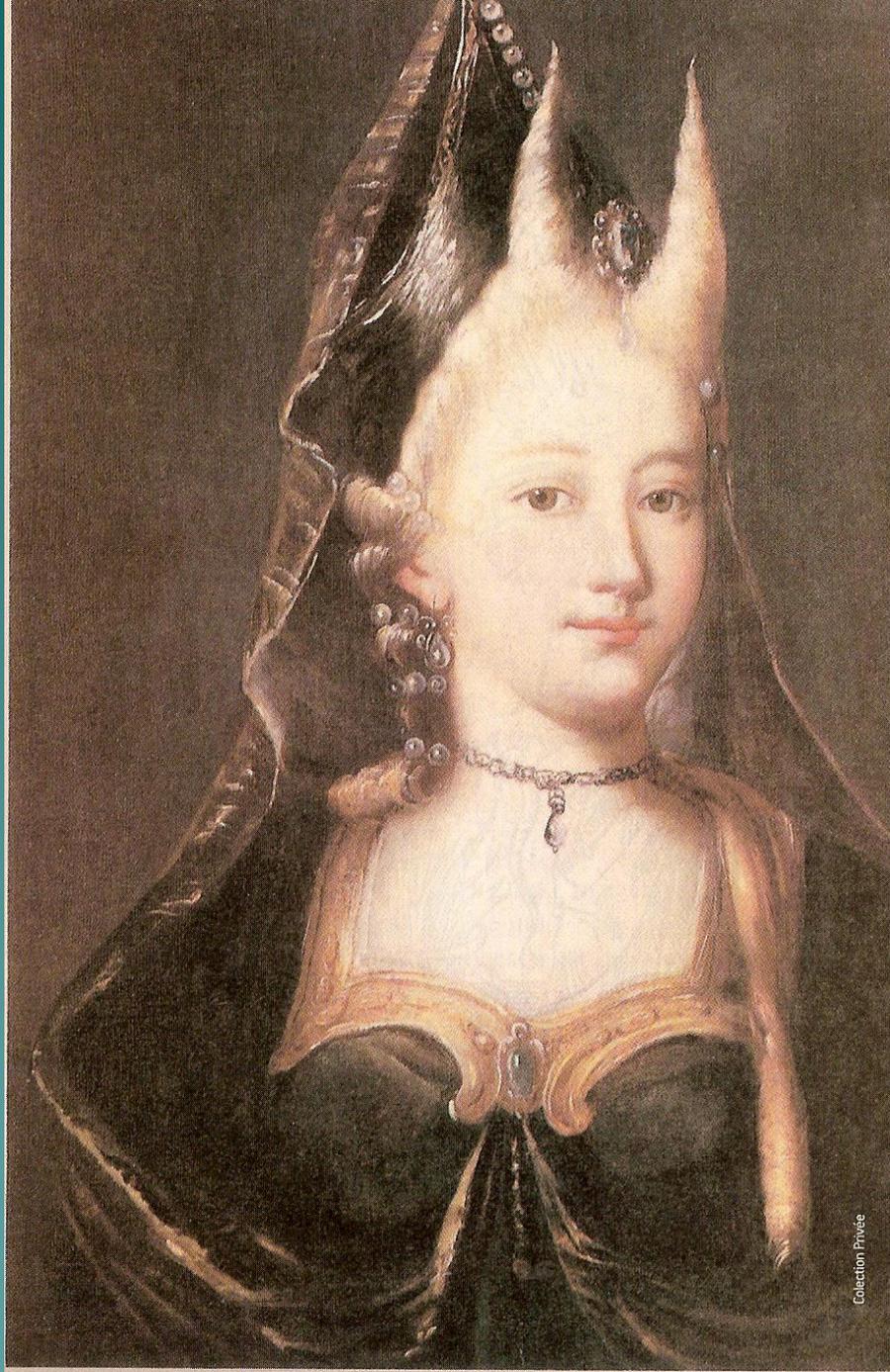
Porém, Kepler fez trabalhos importantes na área da óptica, quando estabelece que a imagem de um objeto visto é formada na retina.

Dados biográficos

1571: nascimento de Kepler na cidade protestante de Weil der Stadt, na Suábia, Alemanha.

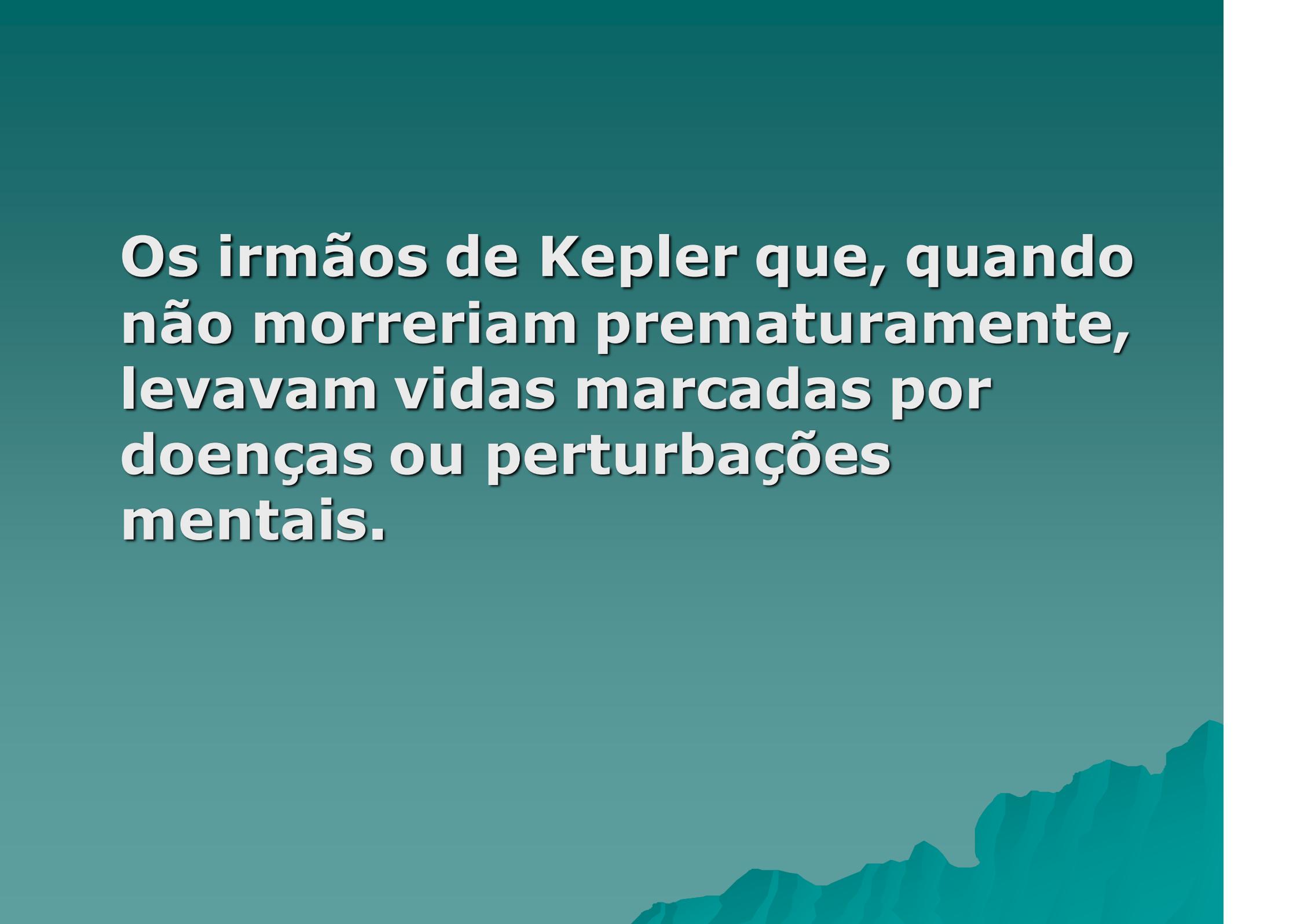
O seu pai, Heinrich Kepler (1547 – 1590), era um homem de temperamento difícil e que freqüentemente abandonava a casa para lutar como mercenário nas guerras que eram muito comuns nessa época e região.

A sua mãe, Katherine Guldemann (1547 – 1622), que, quando não acompanhava o marido nas campanhas mercenárias, brigava incessantemente com sua mãe, ou a ajudava nos trabalhos de feitiçaria que ambas apreciavam e cultivavam – o que, alias, tanto uma quanto outra viram-se com o inconveniente de se defenderem de acusações de bruxaria.



Collection Privée

Os irmãos de Kepler que, quando não morreriam prematuramente, levavam vidas marcadas por doenças ou perturbações mentais.

The background is a solid teal color. At the bottom of the image, there is a dark teal silhouette of a mountain range with jagged peaks.

Aliado a tudo isso, Kepler sempre teve uma saúde frágil, sofrendo de diversos males durante toda a sua vida.

Também se torna marcante os dois casamentos de Kepler, o primeiro com Bárbara Müller (1575 – 1611), mulher melancólica e solitária que insistentemente incomodava o trabalho de Kepler com infundáveis reclamações, não compartilhando com ele o gosto pela pesquisa astronômica, em 1597, e o segundo com Susanna Reuttinger (1591 – 1638), uma mulher bem mais nova do que Kepler, mas que lhe deu uma certa paz de espírito nos últimos anos de sua existência. Desses dois casamentos, Kepler teve 13 filhos, mais a maioria, senão nasceu morto, morreria na primeira infância

1584-1589: os primeiros estudos de Kepler, feitos na escola de Gramática do convento de Aldelberg. Mas não foi um exemplo ideal de estudos. Freqüentes brigas com os companheiros de escola o levaram a se tornar um garoto quieto e introvertido.

1589- 1594: ingressa na Universidade de Tübingen, no ducado de Württemberg, dedicando-se ao estudo da teologia. Nesse período, o gosto pela astronomia começa a parecer, suscitado pelo convívio que trava com Michael Mästlin (1550 – 1631), o qual lhe ensinou tanto os modelos geocêntricos de Ptolomeu quanto as novas propostas de Nicolau Copérnico. Essa relação foi uma das mais marcantes da vida de Kepler, que viu em Mästlin não apenas um mestre, mas um amigo, mantendo um grande respeito por ele por toda a vida.



Em 1594, Kepler ocupa o cargo de professor de matemática na escola provincial de Graz, onde mora até 1600, quando muda-se para Praga a convite do maior astrônomo de observação antes do uso do telescópio, Tycho Brahe.

A relação entre Kepler e Brahe é uma das mais interessantes na história da ciência. Apesar das constantes brigas entre os dois, o contato com Brahe serviu de impulso para Kepler direcionar os novos rumos que daria para a astronomia.

Em 1601, Kepler ocupa o cargo de Matemático Imperial da corte de Rudolfo II (1552 – 1612), permanecendo nesse cargo até 1612.

Figura 2. Rudolfo II, Imperador do Sacro Império Romano que incentivou as ciências, as artes e o ocultismo. Seu ânimo inconstante o levava frequentemente a passar longos períodos de melancolia. Aqui retratado pelo pintor Arcimboldo.



Este é o período mais profícuo da vida de Kepler, época em que ele obtém as duas primeiras leis dos movimentos planetários: a lei da forma elíptica e a lei das áreas, e também elabora as bases dos seus estudos sobre óptica.

1612-1626: Kepler ocupa o cargo de Matemático Provincial em Lins, quando chega à terceira lei, a lei harmônica; mora após isso em Ulm, Sagan e outras localidades, e finalmente Ratisbona, onde falece em 1631.

***1596: *Mysterium
cosmographicum****

***1604: *Paralelipomena ad
Vitellionem****

1609: *A astronomia nova*

1612: *Dioptrice*

1618: *Harmonia do mundo*

***1618-1621: *Epitome astronomiae
copernicanae.****

A defesa do copernicanismo

Kepler sempre defendeu o copernicanismo. Na sua primeira obra astronômica, o *Mysterium cosmographicum*, de 1596, ele já se dizia um copernicano.

“Sobre esse assunto, então, não fiquei prevenido por qualquer escrúpulo religioso sobre a consistência do que Copérnico diz em sua teoria.

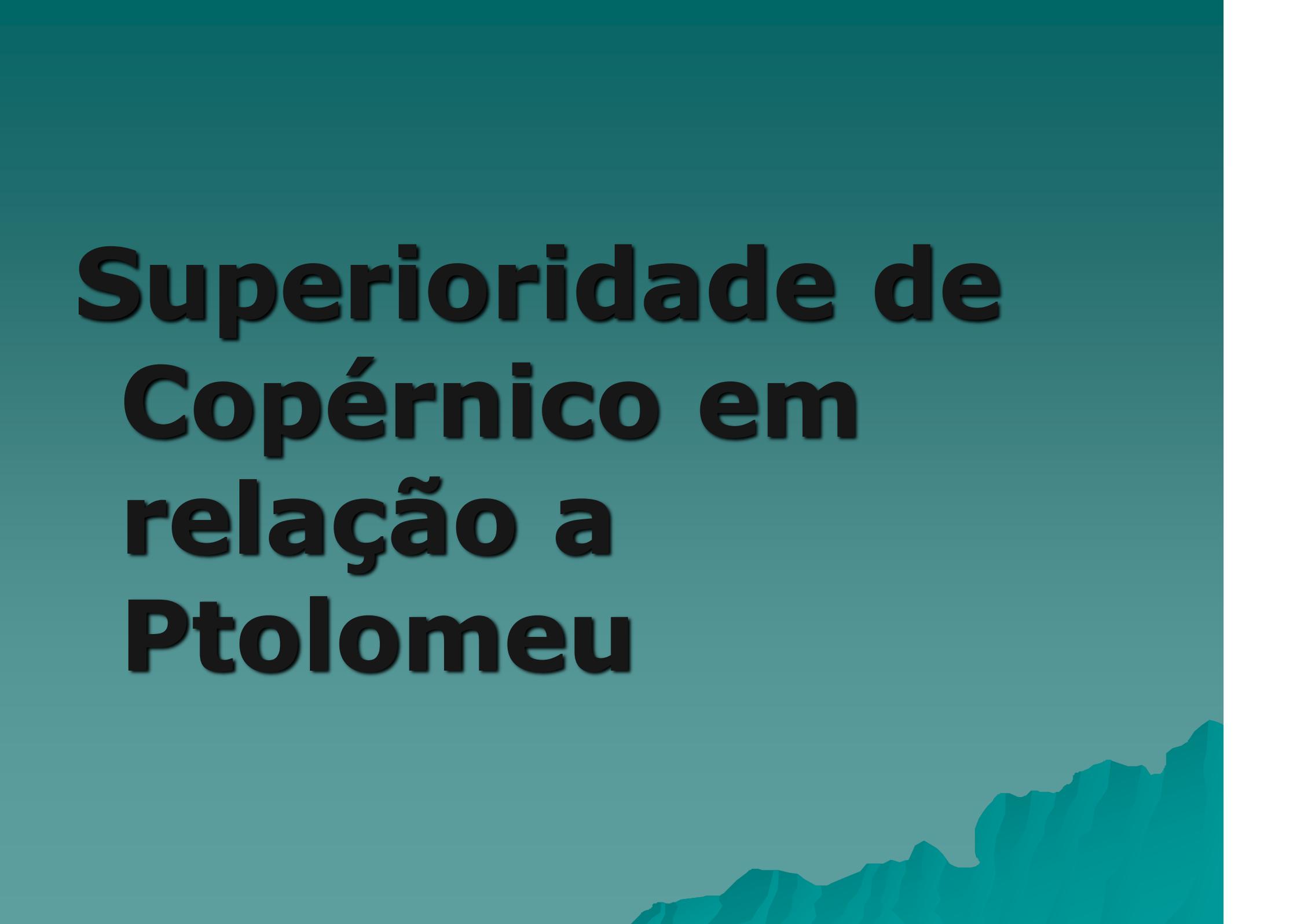
Minha confiabilidade em Copérnico foi estabelecida primeiramente pela magnífica concordância de tudo que é observado nos céus com a sua teoria, visto que ele não apenas derivou os movimentos passados os quais foram obtidos desde as mais remotas observações da antiguidade, mas também prediz movimentos futuros, não de fato com uma grande certeza, mas com mais certeza que Ptolomeu, Alfonso e o restante.

Entretanto, o que é mais importante do que tudo isso é que, para as coisas que os outros deram como milagres, apenas Copérnico magnificamente deu razões, e removeu as causas dos milagres, as quais não são causas conhecidas.” (*Mysterium cosmographicum*, cap. 1).

É com esse critério que Kepler alicerçará a sua defesa do copernicanismo. É pela possibilidade de chegar a fornecer explicações sobre os movimentos dos planetas que Kepler utilizará as hipóteses copernicanas.

Subsequentemente, na *Astronomia Nova*, as hipóteses de centralidade do Sol e de movimentos da Terra permitirão a Kepler postular a idéia de que uma espécie de força magnética faz os planetas movimentarem-se da maneira como os observamos. Em outras palavras, a aceitação do sistema copernicano possibilitou Kepler realizar uma dinâmica celeste.

Superioridade de Copérnico em relação a Ptolomeu



Superioridade: cosmologia



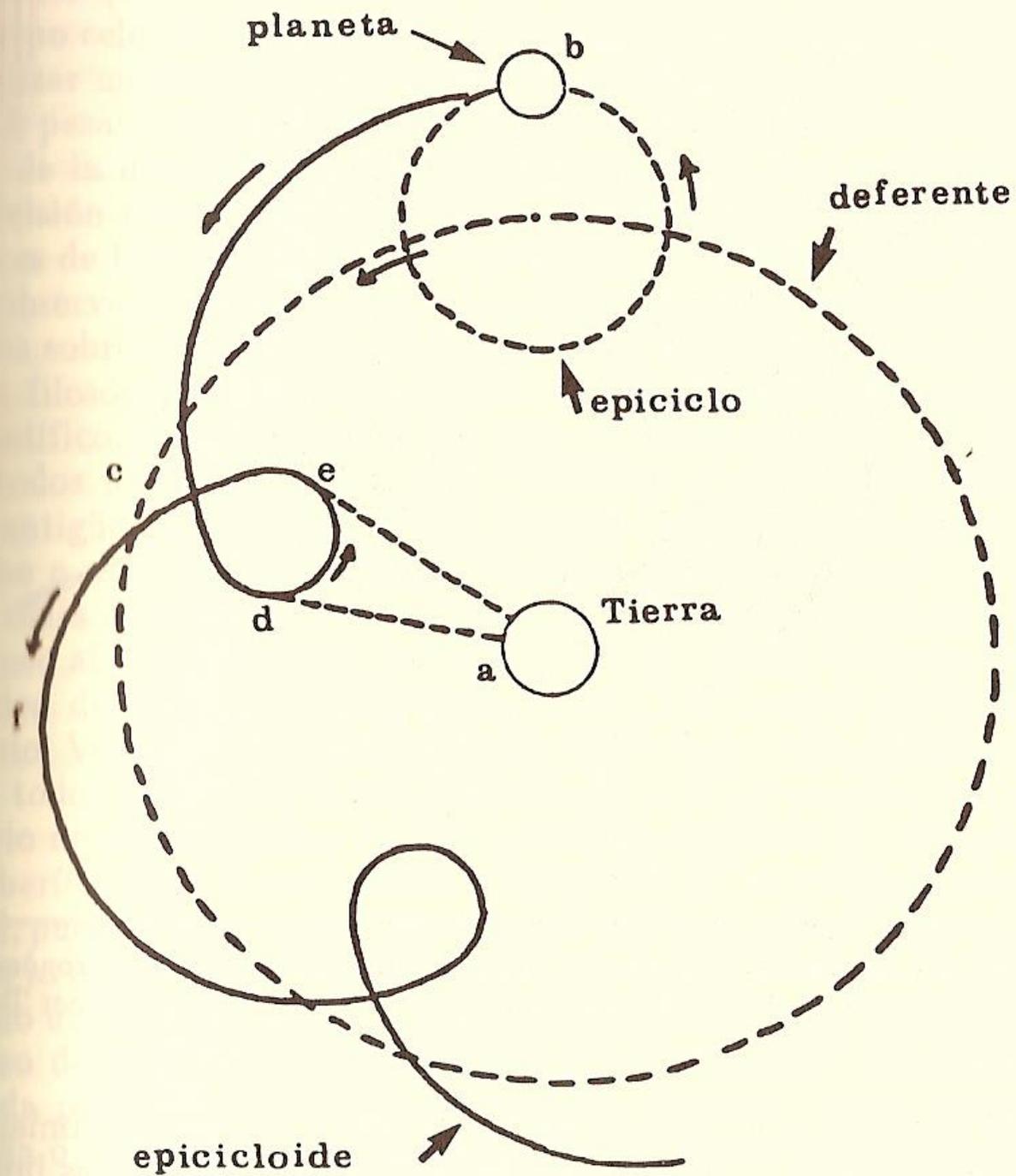
As hipóteses de Copérnico não são apenas melhores sob o ponto de vista de obtenção de bons posicionamentos - o que, aliás, as tabelas baseadas no copernicanismo na época de Kepler não obtinham - mas, no caráter de permitir relacionar cada elemento, sejam os planetas e o Sol, com todos os outros.

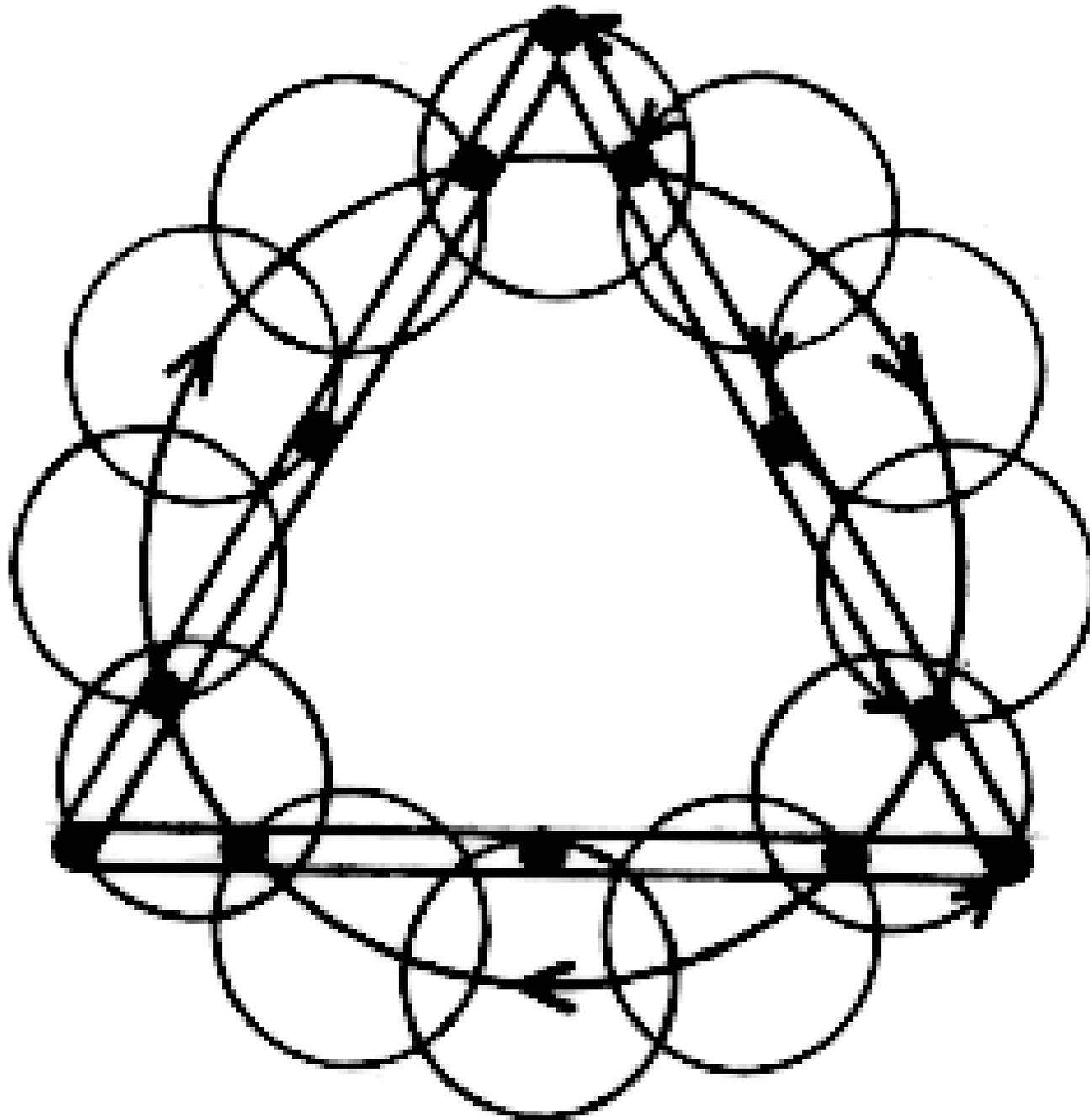
Deste modo, os fenômenos eram explicados de uma forma mais unitária colocando-se o Sol no centro e a Terra movendo-se ao seu redor, do que quando se admitia a Terra como o centro dos movimentos.

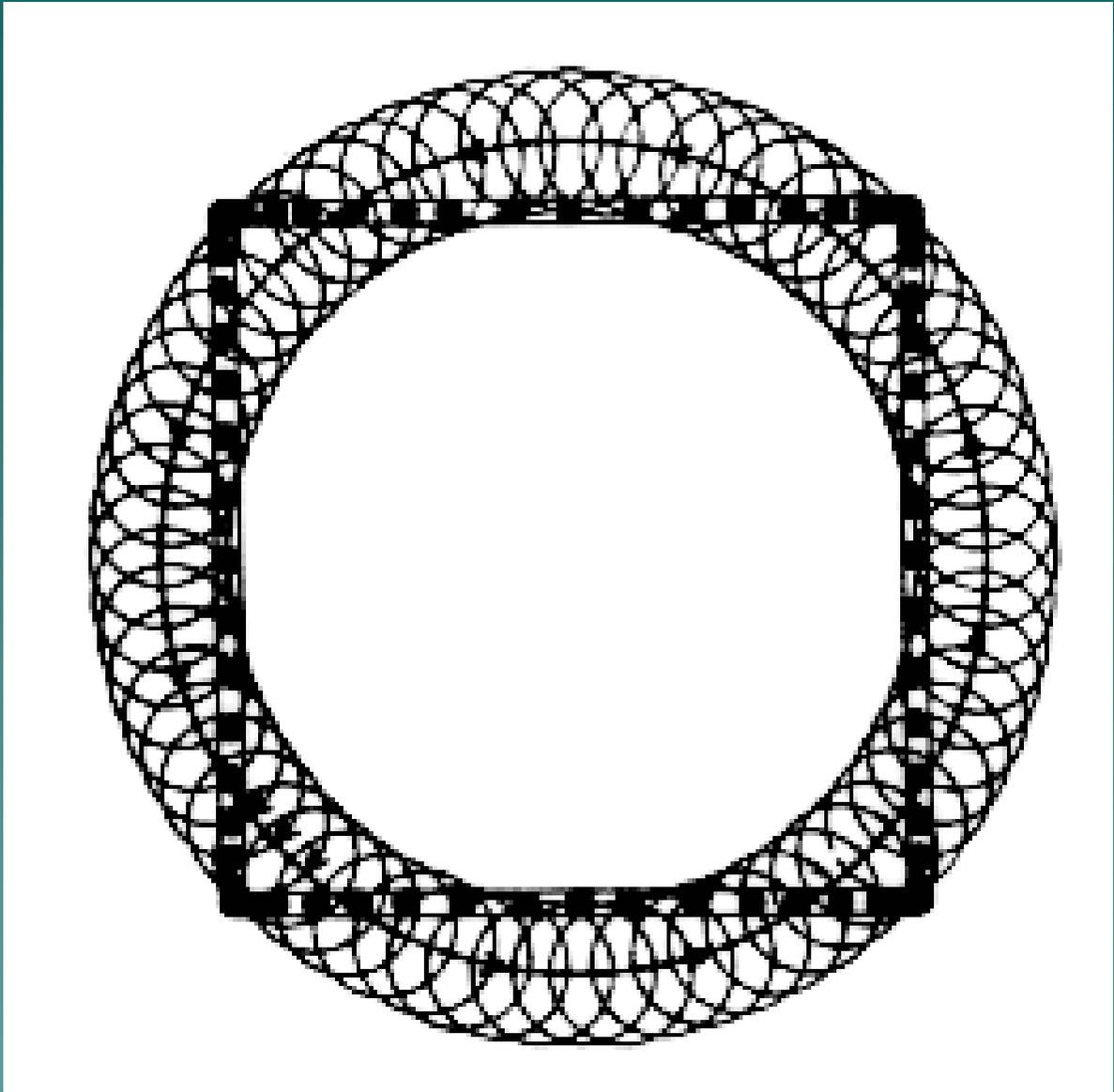
Com Copérnico, os movimentos eram salvos no que diz respeito às relações entre as partes e o todo. Por exemplo, a retrogradação aparente era explicada pela relatividade entre as distâncias e velocidades da Terra com os planetas, tendo-se o Sol no centro.

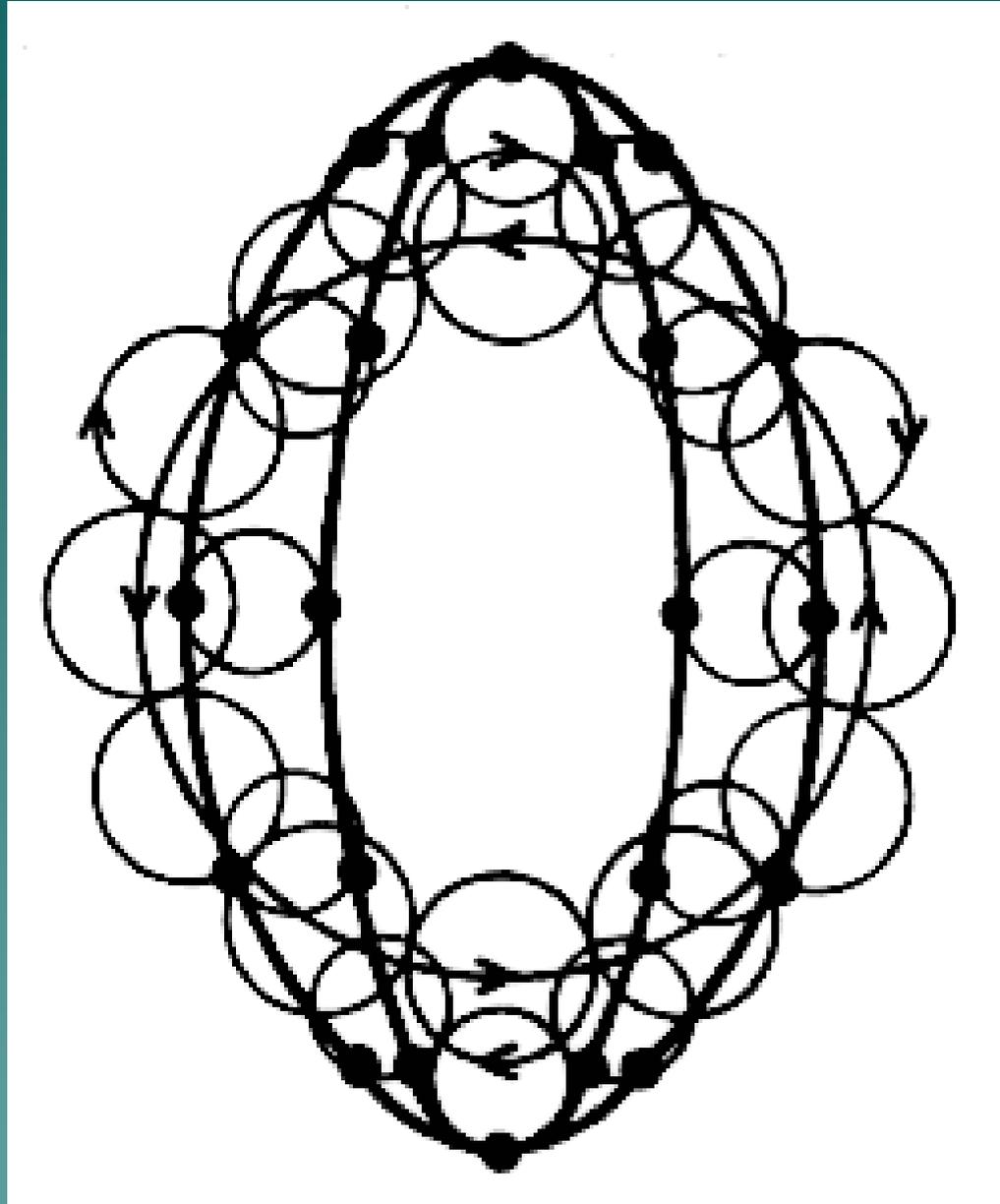
Nos modelos geocêntricos, em especial os de Ptolomeu, cada planeta tinha o seu próprio modelo de artifícios para a determinação de suas posições. Cada planeta tinha a sua própria tabela de movimentos, não havendo necessidade de conjugá-las em relação aos movimentos e posicionamentos dos outros planetas.

Neste sentido, os fenômenos observados eram de difícil explicação, pois eram tratados separadamente. Por exemplo, os movimentos de retrogradação eram salvos mediante a criação de um grande número de artifícios para representar, em forma de epiciclos, as curvas espirais que supostamente os planetas realizavam.









Para Ptolomeu, a descrição dos movimentos de um planeta qualquer era desvinculada da descrição de qualquer outro planeta. Neste sentido, as descrições são isoladas.

Os Movimentos com retrogradação dos planetas inferiores (Mercúrio e Vênus), tanto pela óptica do geocentrismo quanto do heliocentrismo. Notar que o que é visto no céu (quadro central) é resolvido pelo heliocentrismo sem o uso de qualquer expediente, apenas as diferenças entre a órbita e a velocidade dos planetas são suficientes para explicar a retrogradação aparente. Figura extraída de Hanson, N. R. *Constelaciones e conjeturas*, p.230

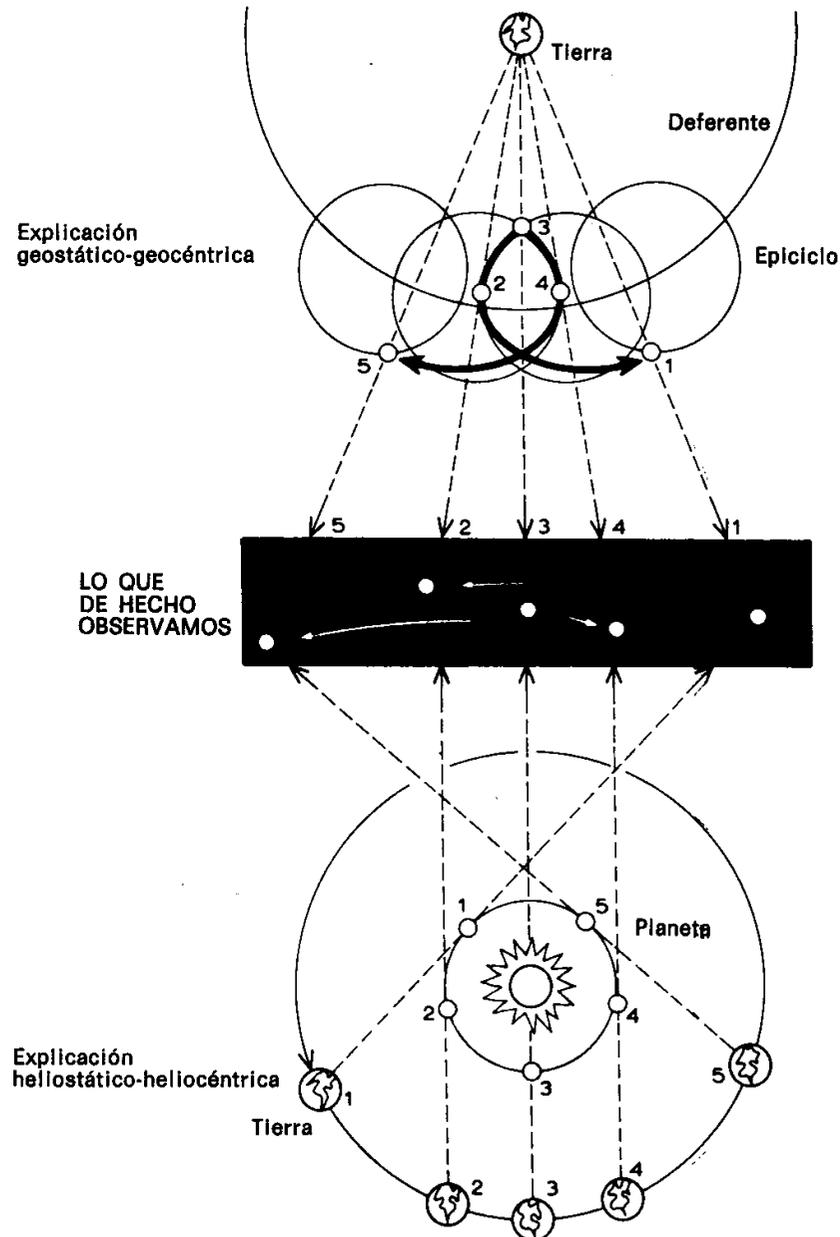
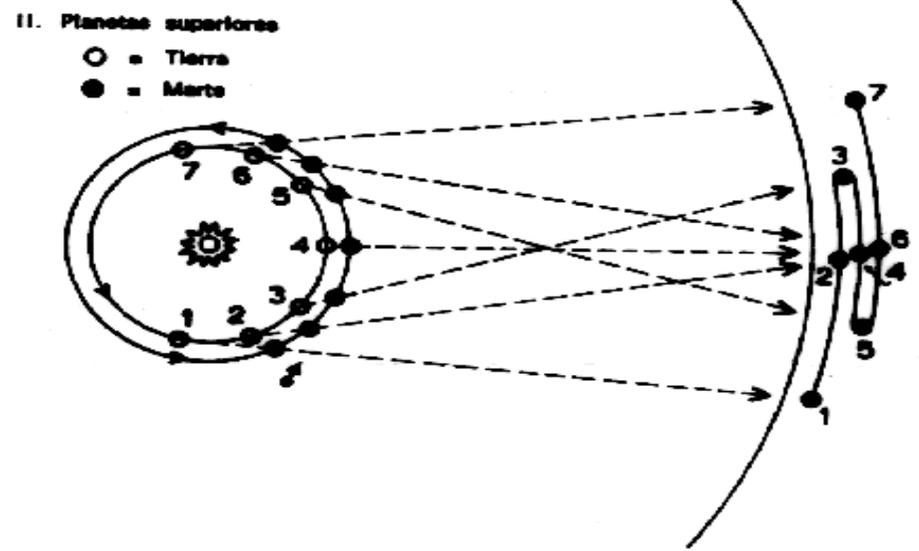
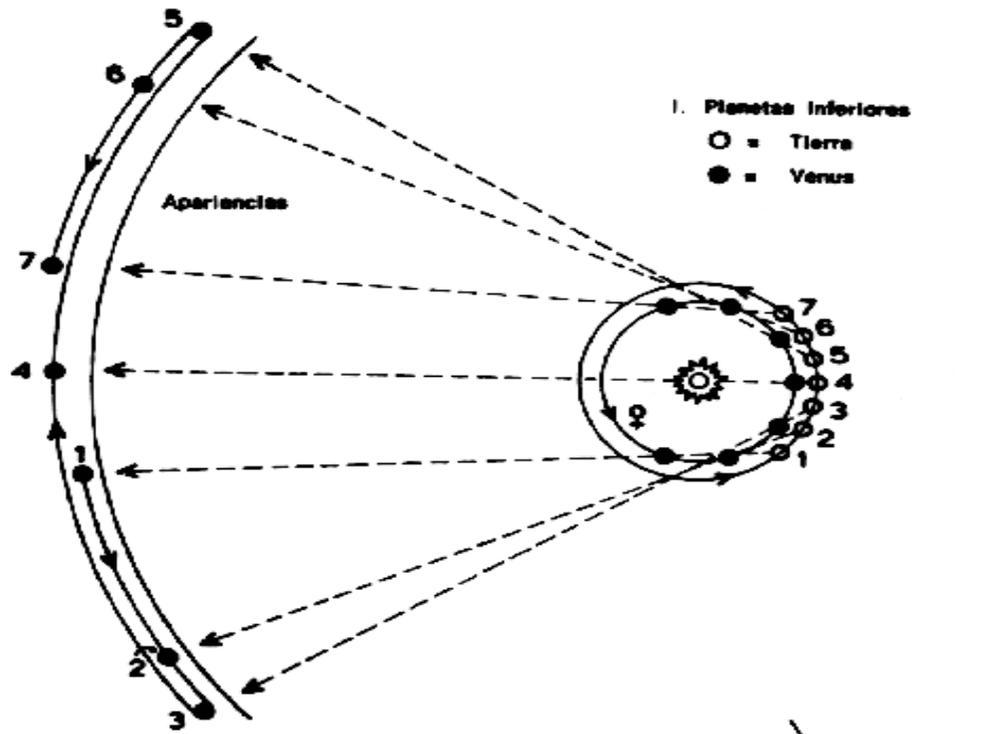


FIGURA 61.—Retrogradaciones de los planetas inferiores.



A figura mostra os movimentos aparentes de retrogradação para os planetas inferiores (Mercúrio e Vênus) na parte superior, e para os planetas superiores (Marte, Júpiter e Saturno), na parte inferior da figura.

Pela ótica geocêntrica, ocorre retrogradação (quando os planetas inferiores, Vênus, como no exemplo, perfaz um movimento para a frente, pára no ponto 3, volta, pára novamente no ponto 5, e retorna ao seu movimento inicial até o ponto 7. Para Marte, o planeta superior analisado pela figura, as retrogradações são menores) porque isso é fruto da suposição de que a Terra está no centro, o que gera a aparência de que esses movimentos são retrógrados.

Com a colocação do Sol no centro e a suposição dos movimentos da Terra, não temos mais retrogradações, mas a relatividade entre os movimentos da Terra com os planetas e com as alterações nas distâncias entre esses planetas.

Em que Kepler diferencia-se de Copérnico

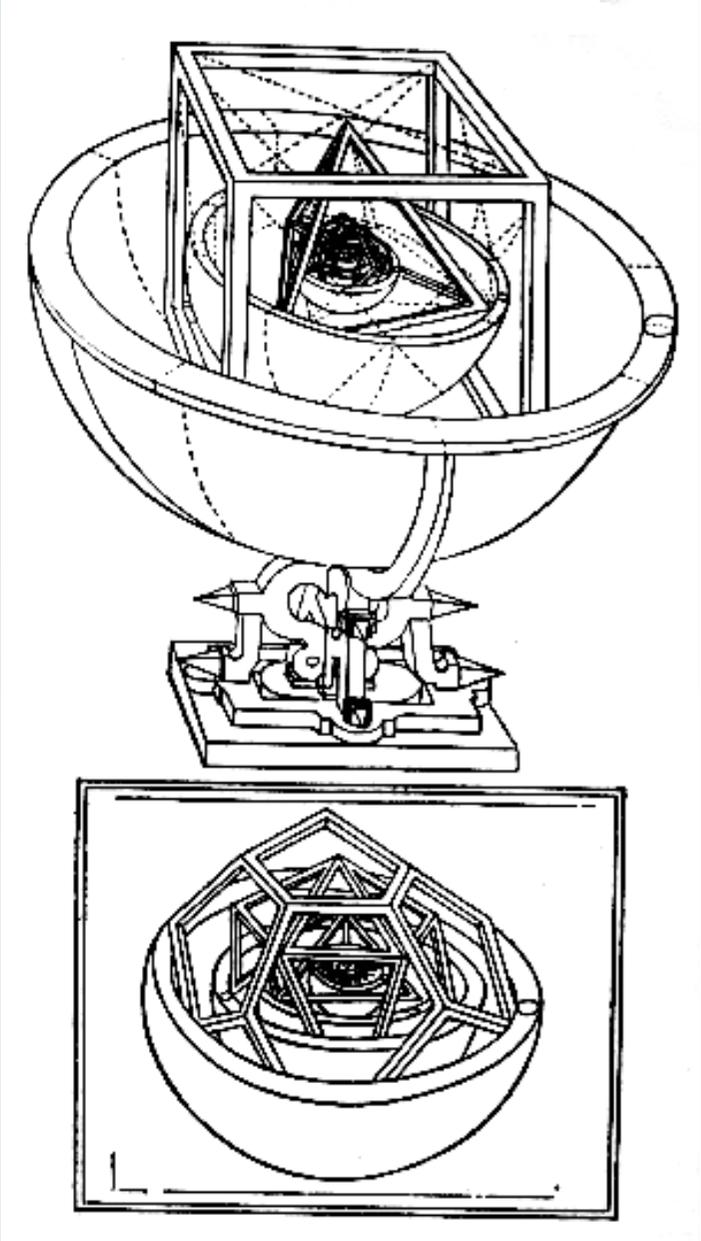
Copérnico: movimentos circulares e uniformes; o fez deslocar o centro de movimentos para as proximidades do Sol.

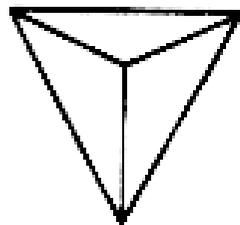
Kepler: não se apegou ao axioma de movimentos circulares e uniformes, mas estudou os movimentos e procurou descrevê-los de um modo que concordem o mais próximo possível com as observações astronômicas de Brahe

O copernicanismo fornece para Kepler um sistema que permite ordenar de um modo regular e harmônico os astros celestes.

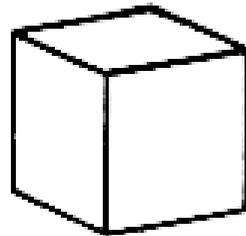
***Mysterium
cosmographicum***



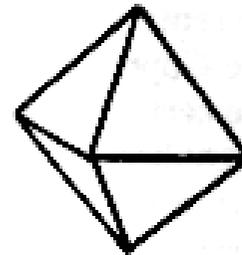




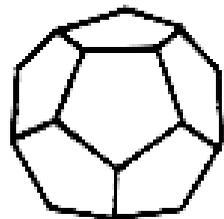
Tetraedro



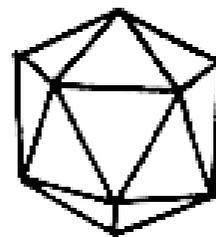
Cubo



Octoedro



Dodecaedro



Icosaedro

Esfera de Saturno

Cubo

Esfera de Júpiter

Tetraedro

Esfera de Marte

Dodecaedro

Esfera da terra

Icosaedro

Esfera de Vênus

Octaedro

Esfera de Mercúrio

Sol

Kepler e Brahe

Tycho Brahe tomou conhecimento do *Mysterium Cosmographicum* de Kepler. De uma certa forma Brahe apreciou-os, no que concerne ao tratamento engenhoso de Kepler para encaixar os sólidos perfeitos nas esferas celestes, mas levantou uma série de críticas que, pode-se afirmar, conduziram às elaborações do *Astronomia Nova*.

As críticas estão dirigidas basicamente contra a metafísica kepleriana - a crença kepleriana de elaborar uma defesa *a priori* do copernicanismo, obtendo, desse modo, mais uma cosmologia do que uma astronomia física-; na hipótese dos sólidos perfeitos (pois, Brahe descobriu que os cometas não são fenômenos atmosféricos, mas corpos celestes que se movem em torno a um centro, o que,

consequentemente, refuta a idéia de esferas sólidas de cristais); e, principalmente, contra os dados observacionais utilizados por Kepler em sua obra de 1596, dados esses que apresentavam uma margem apreciável de erros.

Além dessas críticas, que Kepler absorveu, Brahe criticou a defesa kepleriana do copernicanismo, sendo que por essa Kepler não se deixou influenciar. Essas objeções de Brahe aparecem na correspondência entre os dois; por exemplo, numa carta de Brahe a Kepler de 1598 é escrito:

“eu não posso aprovar inteiramente os vossos escritos engenhosos, pelos erros que cometeis (.....), a saber, que atribuis uma certa realidade às órbitas celestes, a fim de facilitar as imaginações copernicanas, e de podê-las representar mais facilmente.

Que os movimentos celestes observam uma certa simetria, e que eles assim o fazem porque eles acompanham seus circuitos ao redor de um centro, ou de um outro, a distâncias diferentes da Terra ou do Sol, eu não nego. Mas a harmonia e a proporção desses arranjos devem ser [pesquisadas] *a posteriori*, onde os movimentos e as ocasiões dos movimentos são estabelecidos exatamente, e não determinados *a priori*, como vós e Maestlin fazem.”

Ou seja, Brahe não aceita uma astronomia construída *a priori*, como a feita por Kepler pela hipótese dos sólidos perfeitos, que é fruto mais da intencionalidade de se obter uma representação harmônica sobre os movimentos celestes, do que uma investigação dos dados observacionais, construindo, via esses dados, uma teoria celeste.

Para Brahe, encontrar uma representação do mundo celeste como a dada pela hipótese dos sólidos perfeitos é ferir os princípios de uma ciência empírica, justamente pelo caráter apriorístico de Kepler dado no *Mysterium*. Para o astrônomo dinamarquês, a astronomia deve ser alicerçada sobre bases empíricas.

Kepler levará em conta essas críticas de Brahe na *Astronomia Nova*. Nessa obra de 1609, os dados observacionais obterão um peso significativo, pois eles não serão, em nenhum momento dessa obra, colocados em dúvida, e servirão como elementos de elaboração e testes das hipóteses sobre a forma das órbitas planetárias.

Método



As críticas de Brahe referem-se ao âmbito da metodologia, em uma carta a Mästlin, Brahe diz sobre as engenhosidades de Kepler com a hipótese dos sólidos perfeitos que:

“Se a melhora da astronomia deve ser feita muito mais *a priori*, por meio desses corpos regulares do que *a posteriori*, tendo como base o conhecimento dos fatos obtidos pelas observações, tal como tu sugeres, teremos que esperar seguramente um longo tempo, se não eternamente, e em vão, até que alguém o faça.

Estando dado que a utilização das medidas dos corpos regulares deve se apoiar em observações prévias e ser confirmada por elas, segue-se que, fora das relações gerais, que sejam tais ou tais, não se pode deduzir os particulares com a precisão requerida; isso que, sem dúvida, não se pode escapar”

Brahe é enfático: a astronomia feita *a priori* traz o problema de se saber qual é a estrutura real do cosmo, qual é a causa; mas para se conhecer isso, ter-se-ia que testar todas as hipóteses possíveis, o que é humanamente impossível; nunca chegar-se-ia a saber, por esse caminho, qual é tal estrutura.

A crítica é dura porque elimina a possibilidade de admissão da estrutura celeste pelas causas. O trabalho, se é que existe de fato uma estrutura harmônica no céu, deve ser conduzido pelos efeitos, isto é, pelos dados observacionais. São os posicionamentos planetários, as observações dos fenômenos celestes (tal como o cometa de 1577, eclipses etc) as conjunções, oposições etc que determinam a estrutura que se construirá para descrever as harmonias celestes.

A Astronomia nova e as duas primeiras leis de Kepler

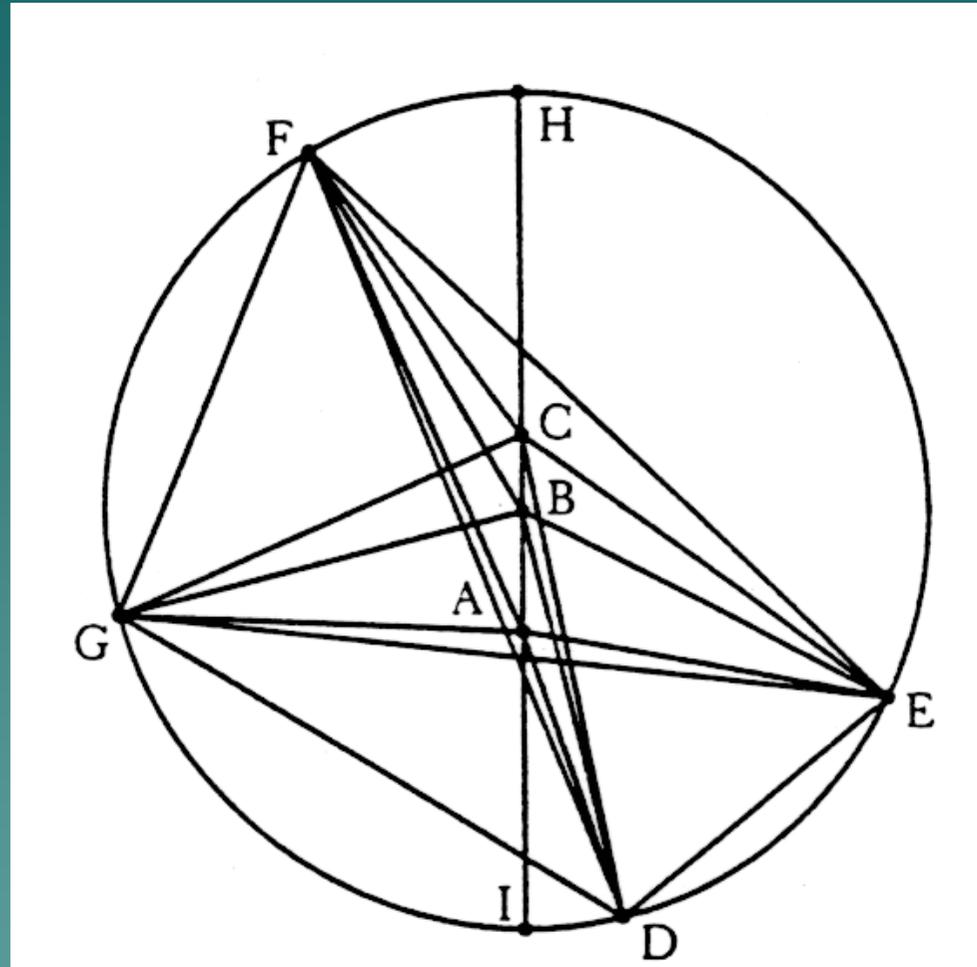
As críticas de Brahe surtiram efeito sobre a concepção de método para Kepler. Logo na introdução à obra de 1609, ele escreve;

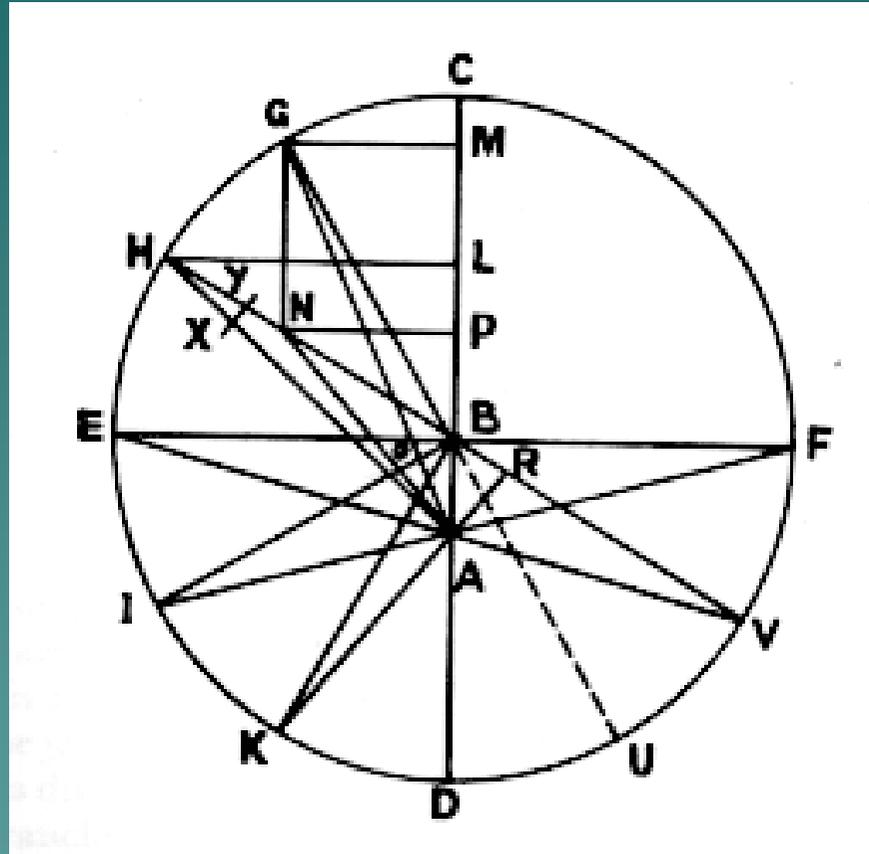
“Meu objetivo no presente trabalho é o de reformular a teoria astronômica (especialmente para o movimento de Marte) em todas as suas três formas de hipóteses [ptolomaica, copernicana e brahiana], de modo que se possa construir tabelas que correspondam aos fenômenos celestes [...]

Inquiro sobre as causas físicas e naturais dos movimentos (dos planetas). O resultado eventual dessas considerações é a formulação de argumentos claros que mostram que a opinião de Copérnico sobre o mundo (sofrendo pequenas alterações) é a verdadeira e que as outras duas são falsas.”

Na *astronomia nova*, Kepler muda o procedimento do *Mysterium cosmographicum*. Mantém que existe uma harmonia no mundo celeste. Mas essa harmonia não é dada pelos sólidos perfeitos, mas pelas relações entre os “componentes” dos movimentos: isto é, as variações entre tempos e velocidades em função do aumento ou diminuição das distâncias de um planeta ao centro.

Kepler obteve a segunda lei antes da primeira. A segunda lei surgiu em meio a cálculos que visavam encontrar a órbita (a forma orbital) do planeta Marte. Mas a segunda lei só foi reconhecida como lei, após a descoberta da primeira.





***Procedimento de
Kepler para obter
a primeira lei***

Inicialmente, Kepler admite o axioma de circularidade e uniformidade, chegando a uma margem de erro em torno de 8'. Mas isto não lhe satisfaz e escreve:

“Mas quanto a nós que pela bondade divina podemos dispor de um observador tão exato como Brahe, convém que reconhecemos essa dádiva divina e a usemos [...]).

Logo irei para o alvo segundo as minhas próprias idéias, pois se tivesse acreditado poderemos ignorar os oito minutos, teria aceitado, de acordo, a minha hipótese; visto, porém, não ser possível ignorá-los, esses oito minutos apontam o caminho para uma completa reforma da astronomia; torna-se o material de construção de grande parte desta obra”

Na *Astronomia nova*, Kepler elabora três fases que podemos chamar de “elaboração e testes de hipóteses acerca da verdadeira forma da órbita do planeta Marte”, o que o levou a obter a sua primeira lei dos movimentos planetários, a de os planetas percorrem órbitas elípticas. Não há, durante a execução de cada fase, o recurso ao modelo cósmico delineado na obra de 1596.

Um ponto extremamente importante é que Kepler passa a adotar o centro de movimentos como o corpo físico do Sol e não o centro matemático

Na primeira fase, Kepler testa o axioma platônico de movimentos circulares e uniformes, não obtendo, quando se computa os movimentos a partir do centro físico (Sol), justamente com os dados de Brahe e sem o recurso a qualquer expediente geométrico (epiciclo, deferentes, excêntricos, equantes etc), forma de sustentar tal suposição (caps. 41 a 44).

Na segunda fase, Kepler testa a forma ovalada que a órbita poderia ter, seguindo os mesmos critérios que foram utilizados no teste da forma circular e uniforme, não encontrando meios para satisfazer essa segunda hipótese (caps. 45 a 55).

Na terceira fase, Kepler investiga a possibilidade da órbita, estando no meio termo entre uma circular e uma ovalada, ser expressa pela forma elíptica, obtendo resultados satisfatórios, isto é, computada a partir do centro físico de movimentos, a forma elíptica satisfaz, aproxima-se com pouca margem de erros, aos dados de Brahe.

Assim, a forma elíptica apresenta-se como a hipótese que satisfaz os critérios propostos por Kepler em astronomia (caps. 56 a 58).

Kepler admite que os planetas movem-se elipticamente em torno do Sol e descrevem as relações dadas pela segunda lei graças a uma espécie de ação magnética exercida pelo Sol nos planetas, e os planetas, por sua vez, procuram resistir a essa ação, dada pela sua inércia natural a permanecerem em seus estados.

**Desto modo, Kepler aponta,
mas não desenvolve, o
conceito de gravitação
universal de Newton.**

