

Introdução aos principais aspectos dos tratamentos astronômico e cosmológico realizados por Tycho Brahe (1546-1601)

Tycho Brahe e alguns aspectos ligados ao copernicanismo.

Podemos dizer que Brahe pertence a um período de transição.

Período de transição

a) Copérnico, com a publicação das *Revoluções dos orbis celestes*, em 1543, ao estipular as teses centrais de movimentos da Terra e de centralidade do Sol;

b) Kepler com as suas leis dos movimentos planetários, expostas principalmente na *Astronomia nova* de 1609 e a *Harmonia do mundo* de 1618 (as quais mostram a possibilidade do programa copernicano elaborar conhecimentos que tratam o mundo celeste sem distinção com o mundo terrestre);

e Galileu com as suas descobertas feitas com o auxílio do telescópio (o terreno irregular da Lua, as fases de Vênus, os satélites de Júpiter, as manchas solares etc), fornecendo provas empíricas para a possibilidade do copernicanismo (publicadas no *Mensageiro das estrelas* de 1610, ou com os *Diálogos acerca dos dois máximos sistemas de mundo, o ptolomaico e o copernicano*, de 1632, no qual se argumenta em favor da plausibilidade dos movimentos terrestres, respondendo, principalmente, às objeções físicas contra tais movimentos).

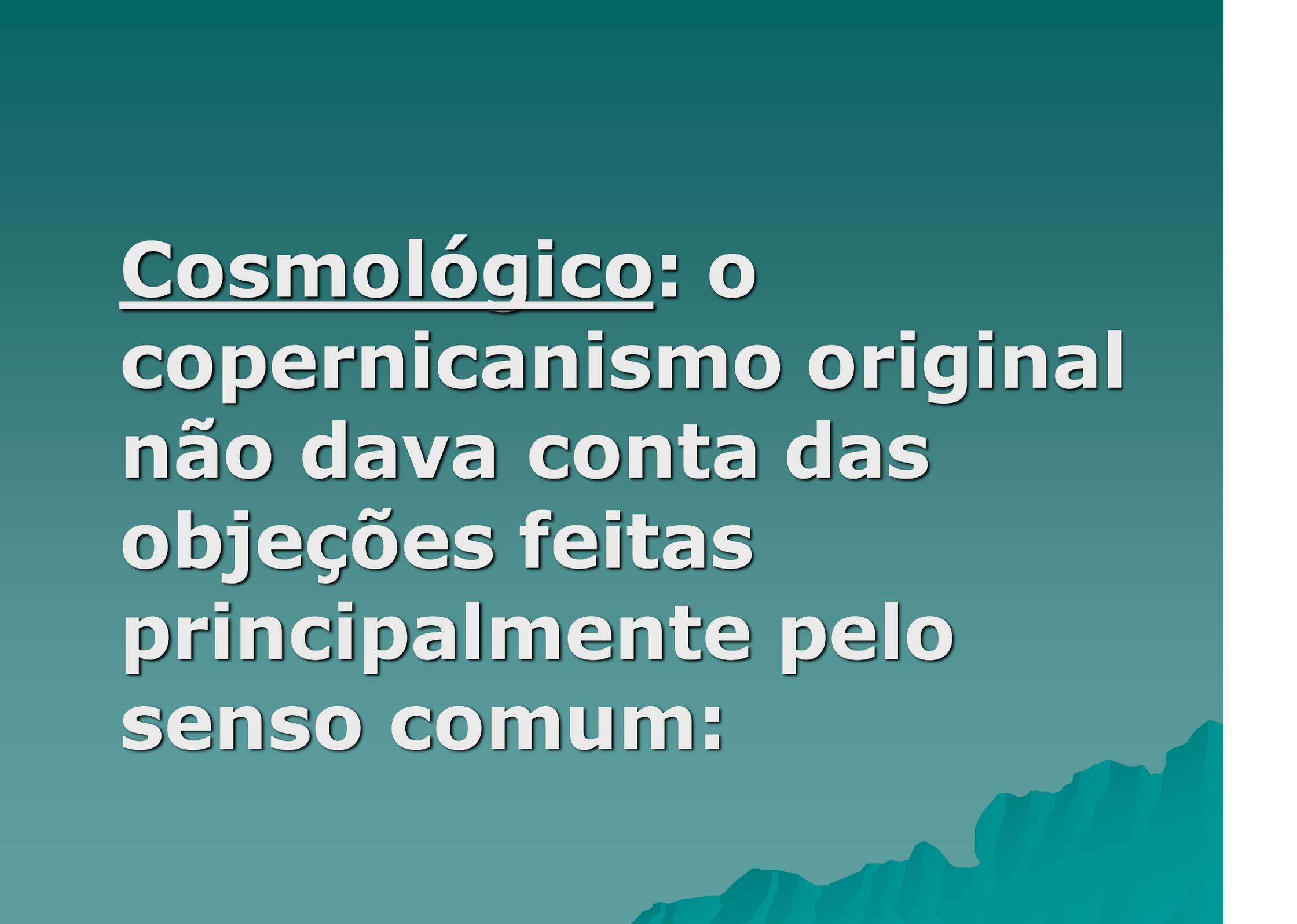
**Nesses quase 70 anos
entre Copérnico,
inicialmente, e Kepler e
Galileu, posteriormente, o
copernicanismo original
sofreu, um processo de
“amadurecimento”,**

no qual os seus problemas mais sensíveis (como os problemas referidos à necessidade de uma nova compreensão sobre a concepção de movimentos, desembocando numa física distinta da aristotélica) apresentaram-se de um modo insistente. Estratégias distintas foram criadas para tentar resolver problemas levantados pelo heliocentrismo. Em outras palavras, as discussões elaboradas sobre os fenômenos celestes ilustram o período de desenvolvimento do heliocentrismo.

Problemas do copernicanismo original

Astronômico: as tabelas elaboradas tendo como base as hipóteses copernicanas, chamadas de Tabelas Prutênicas, não apresentavam vantagens em relação às Tabelas Alfonsinas, que se alicerçam no geocentrismo de Ptolomeu. Ambas tinham uma margem de erro em torno de 10'.

**Cosmológico: o
copernicanismo original
não dava conta das
objeções feitas
principalmente pelo
senso comum:**



não explicava como não percebemos os movimentos da Terra e nem as consequências que tais movimentos acarretariam, como, por exemplo, o lançamento de uma pedra do alto de uma torre.

Recepção do copernicanismo

A maioria dos astrônomos entendeu o copernicanismo original como uma pequena vantagem para a elaboração de Tabelas (astronômico), mas poucos viram-no como uma representação da realidade do mundo celeste (cosmológico).

Adeptos do copernicanismo em relação à cosmologia

Poucos personagens importantes da época viram o copernicanismo com bons olhos. Na Inglaterra destacam-se, Thomas Digges (1546-1595) e William Gilbert (1540-1603), autor do *De magnete*, que aceitou apenas o movimento de rotação da Terra, pois via o nosso planeta como um grande magneto.

Na Alemanha, Christopher Rothmann (1550-1597) manteve uma grande correspondência com Tycho Brahe, argumentando sempre em favor do heliocentrismo; Michael Mästlin (1550-1631), além de introduzir Kepler no copernicanismo, defendeu, mesmo que nem sempre abertamente, as propostas de Copérnico. Na Itália, Giordano Bruno (1548-1600) defendeu o copernicanismo com tanta violência que pagou com a própria vida por sua excessiva veemência.

Tycho Brahe

“Discussão cosmológica, observacional e renovação metodológica na carta de 9 de dezembro de 1599 de Brahe a Kepler”

Scientiae Studia, 2, 4, p. 537-78, 2004.



Tycho Brahe foi o melhor astrônomo observacional antes do surgimento do telescópio. Filho de famílias nobres, Brahe nasceu em Knutstorp, atualmente região da Suécia;

aos dezesseis anos de idade o seu interesse para os estudos astronômicos é ressaltado, quando da observação de um eclipse total do Sol, dedicando-se, contra a vontade da família (que não via a astronomia como uma profissão digna de um nobre), inteiramente ao estudo do mundo celeste.

Decepcionado com a imprecisão dos dados astronômicos da época, que chegavam a erros grotescos, Brahe dedicou-se plenamente à melhoria das observações astronômicas.

Após a observação e estudos da nova de 1572, que o fez duvidar do mundo dividido aristotélico, torna-se um astrônomo famoso, sendo-lhe angariado em 1576 pelo rei Frederico II da Dinamarca, a pedido do Landgraf Guilherme IV de Cassel, a ilha de Hven, ao norte de Copenhague, para a construção de um observatório. Nasce, assim, Uraniburgo, o mais importante observatório astronômico sem o uso do telescópio.

Uraniburgo

Observatório construído por Brahe. Com grandes dimensões para a época, este observatório “inovou” tanto por fixar os instrumentos de observação quanto pelo tamanho dos instrumentos.

Brahe construiu os seus instrumentos. Uraniburgo era dotado de uma metalúrgica, carpintaria, impressora etc., com profissionais para a construção dos instrumentos astronômicos tal como Brahe desejasse.





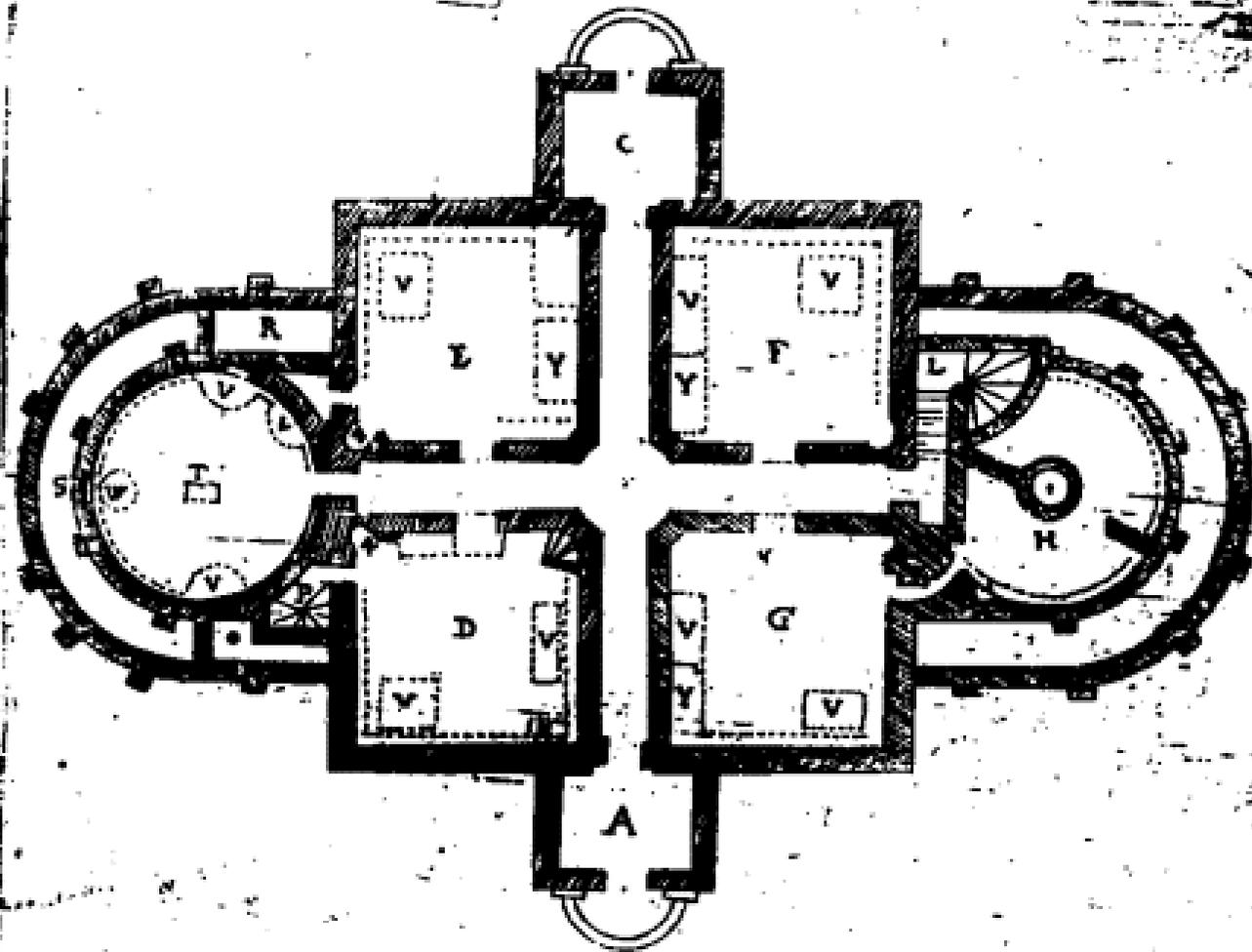
ARCIS VRANIBV RGI.
IN INSULA BELLESPONTI DANICI HVENNA CONSTRUCTA.

A TYCHONE BRAHE, DÑO DE KNYDSTRVP.
QUO AD TOTAM CAPACITATEM, DESIGNATTO.

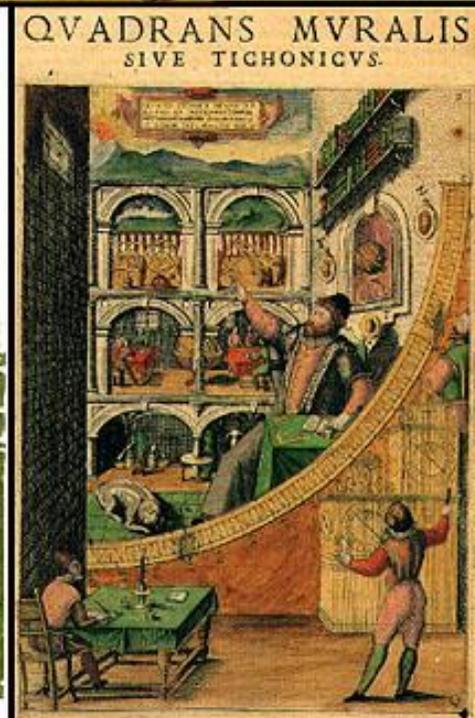
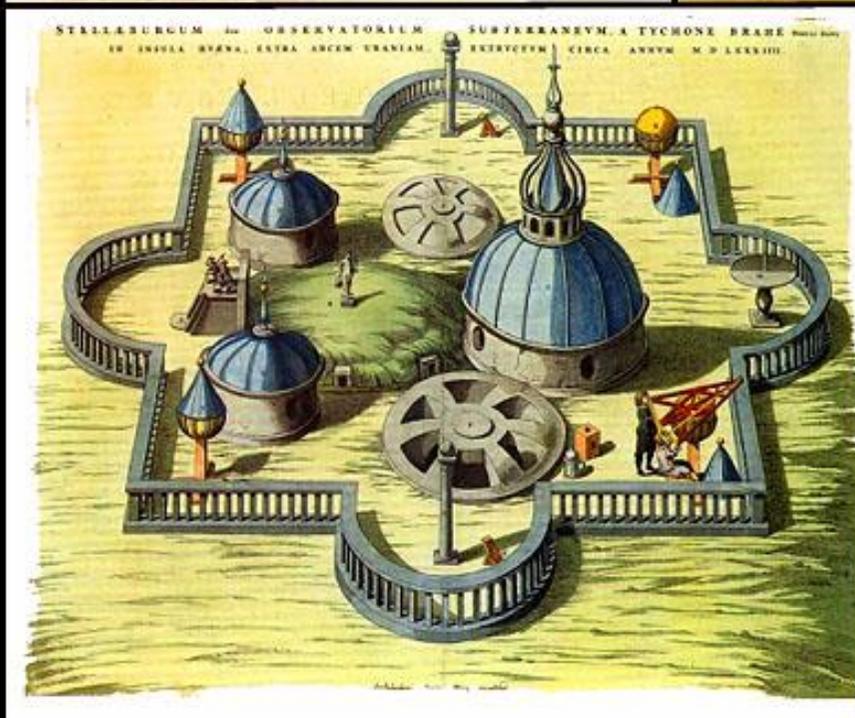
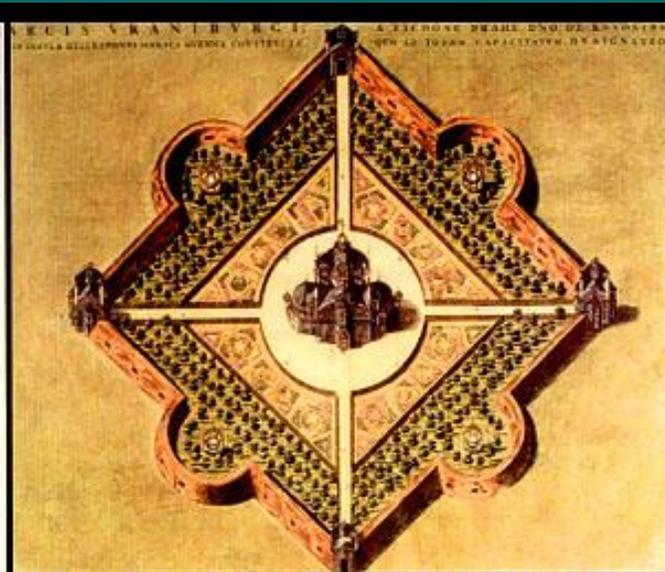
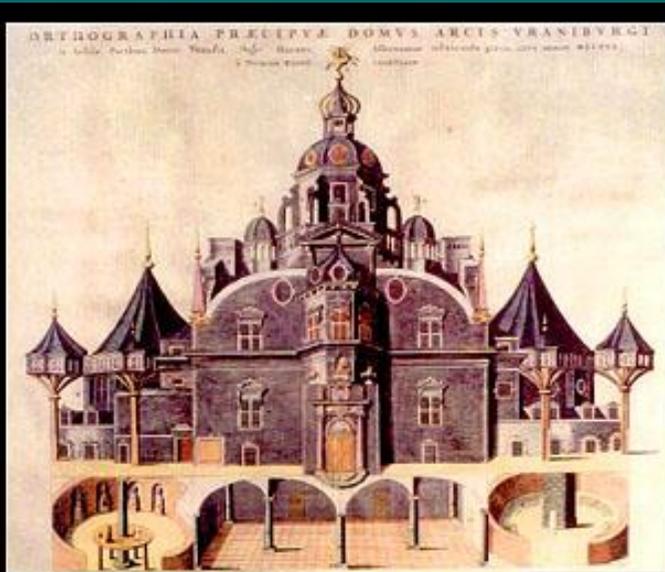


IGNOGRAPHIA

VRANIBVRGI



ORTVS



Le palais d'Uraniborg, ses jardins, son observatoire ... Brahe et ses énormes cadrans.

Em Hven, Brahe faz inúmeras observações e constrói instrumentos de observação que o levaram a chegar a casa de erros na ordem de $1,5'$ de arco, a melhor até então.

Instrumentos Astronômicos



Tycho Brahe foi um dos maiores observadores astronômicos. Isto é fruto não apenas da sua habilidade como observador, mas no uso e na construção de instrumentos de observação que tornaram a astronomia de posição mais confiável.

Em 1598, Brahe publica a obra *Astronomiae instaurate mechanica* (*Renovação da astronomia mecânica*). Nesse trabalho, Brahe apresenta com detalhes os seus instrumentos de observação e como ele os construiu.

Quadrante

Instrumento de visada já conhecido na antiguidade. Seu objetivo é determinar a altura de um astro celeste. Constitui-se de um quarto de círculo, dividido em graus. Colocando uma das bordas do quadrante na linha do horizonte, obtém-se o grau de altura do astro. Um fio de prumo indica o ângulo igual à altura do astro sobre o horizonte.





Quadrante



Quadrante utilizado por Brahe: quadrante de mural. Fixado em um plano maciço.

QVADRANS MEDIOCSIS
ORCHALCICUS AZIMUTHALIS.

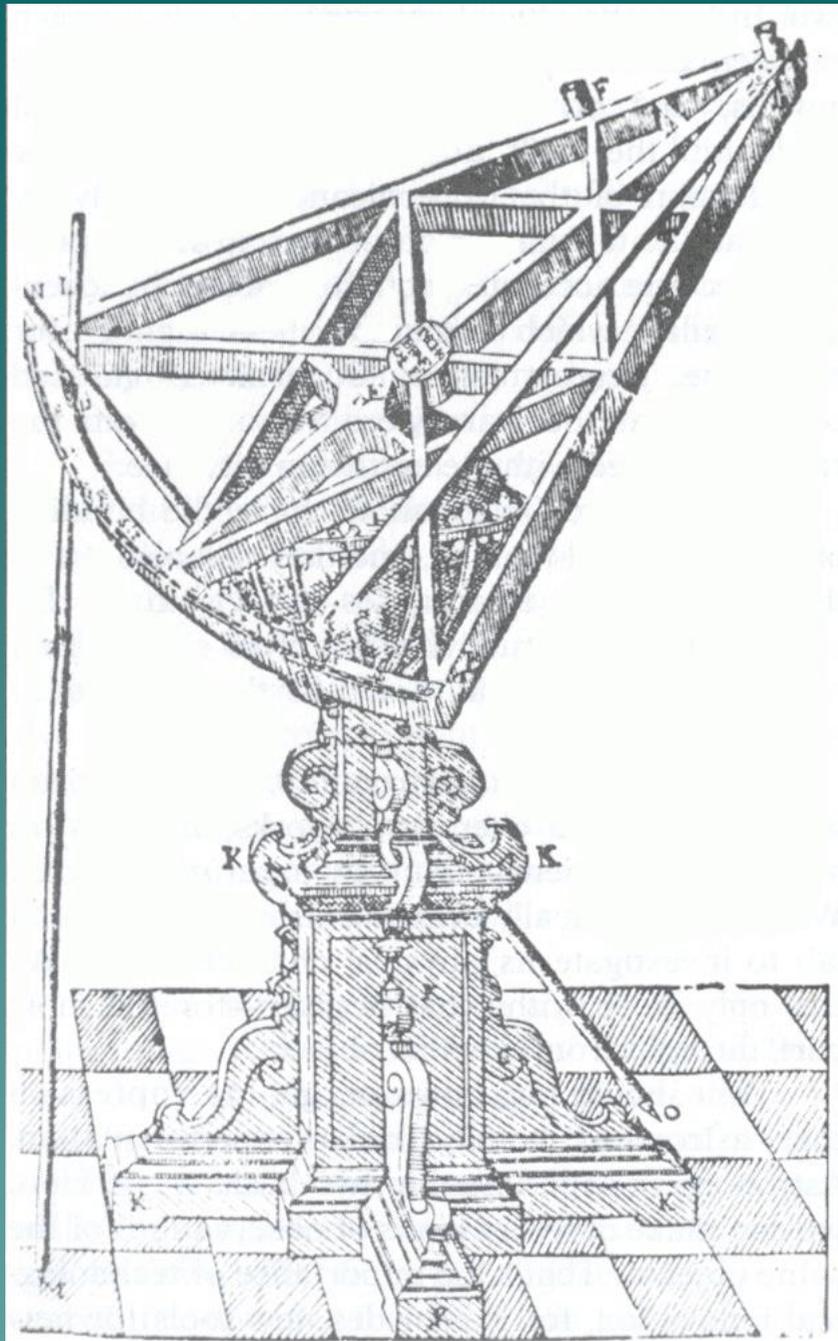


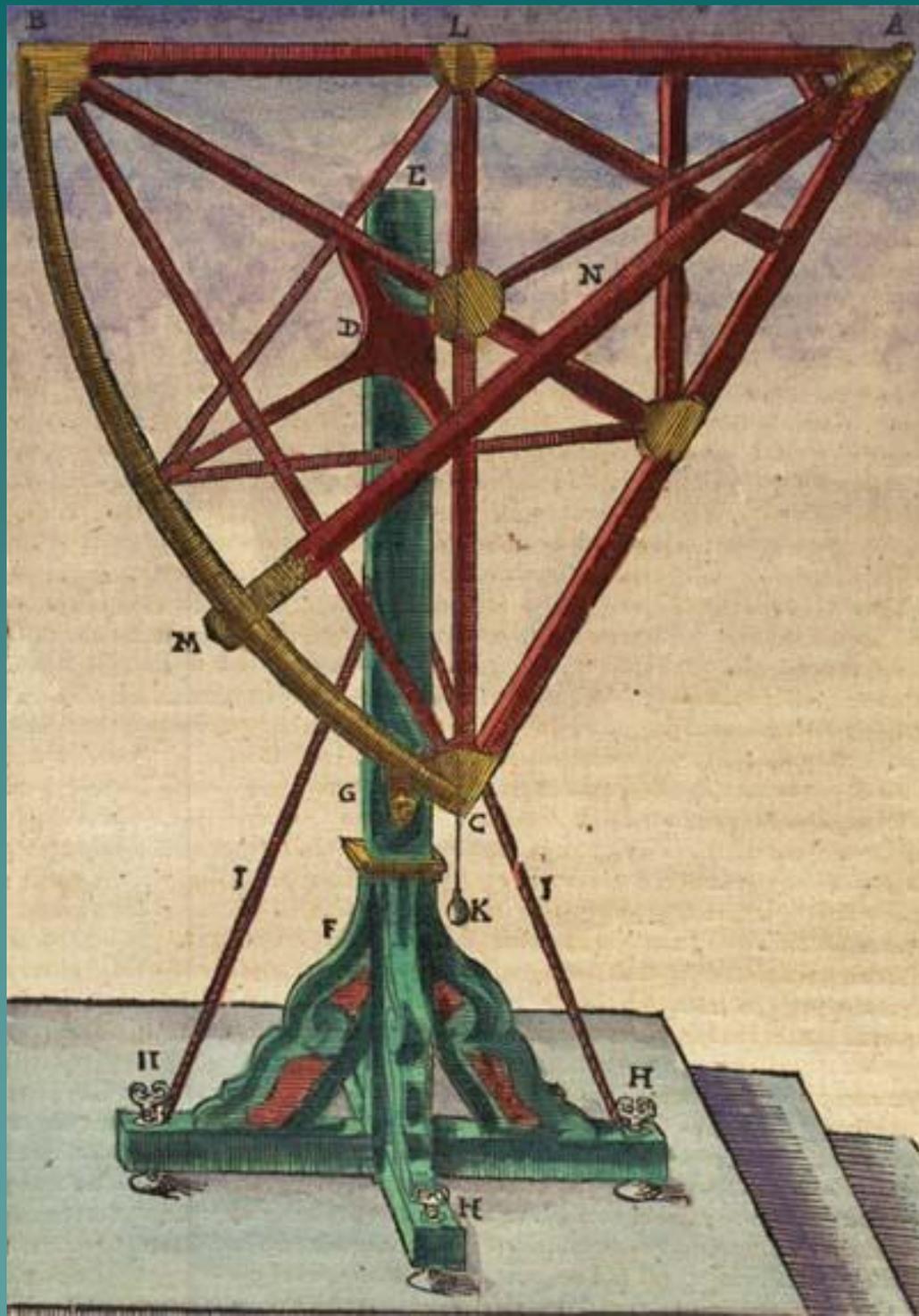
ad a EXPLA



Sextante

Determina as posições dos astros no céu. Contém um arco de 60° com uma alidade (dispositivo mecânico para obter ângulos – afastamentos angulares – através de alinhamentos ópticos), com duas pínulas que apontam o astro, montado sobre uma coluna. Foi utilizado por Brahe principalmente para obter as distâncias dos astros.

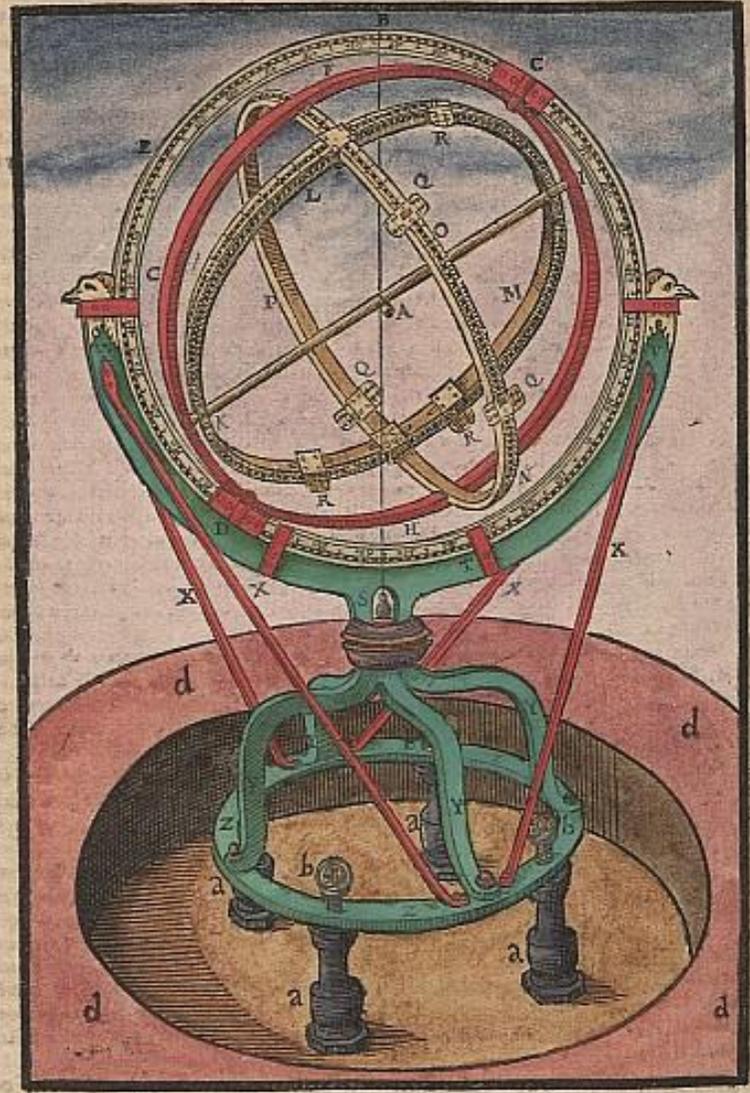




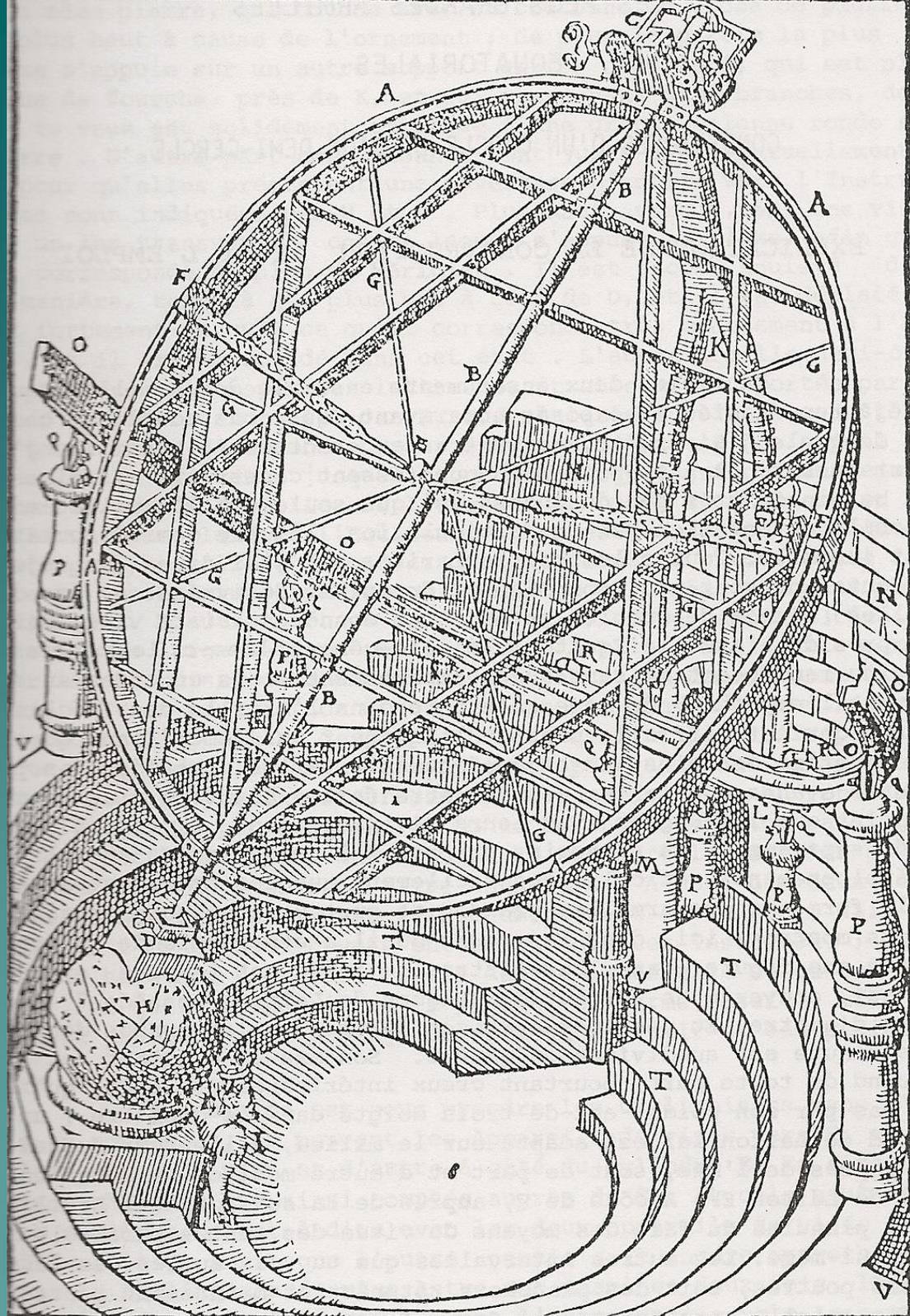
Esfera Armilar



ARMILLÆ ZODIACALES.



EXPLI-





A necessidade de melhores instrumentos e observações

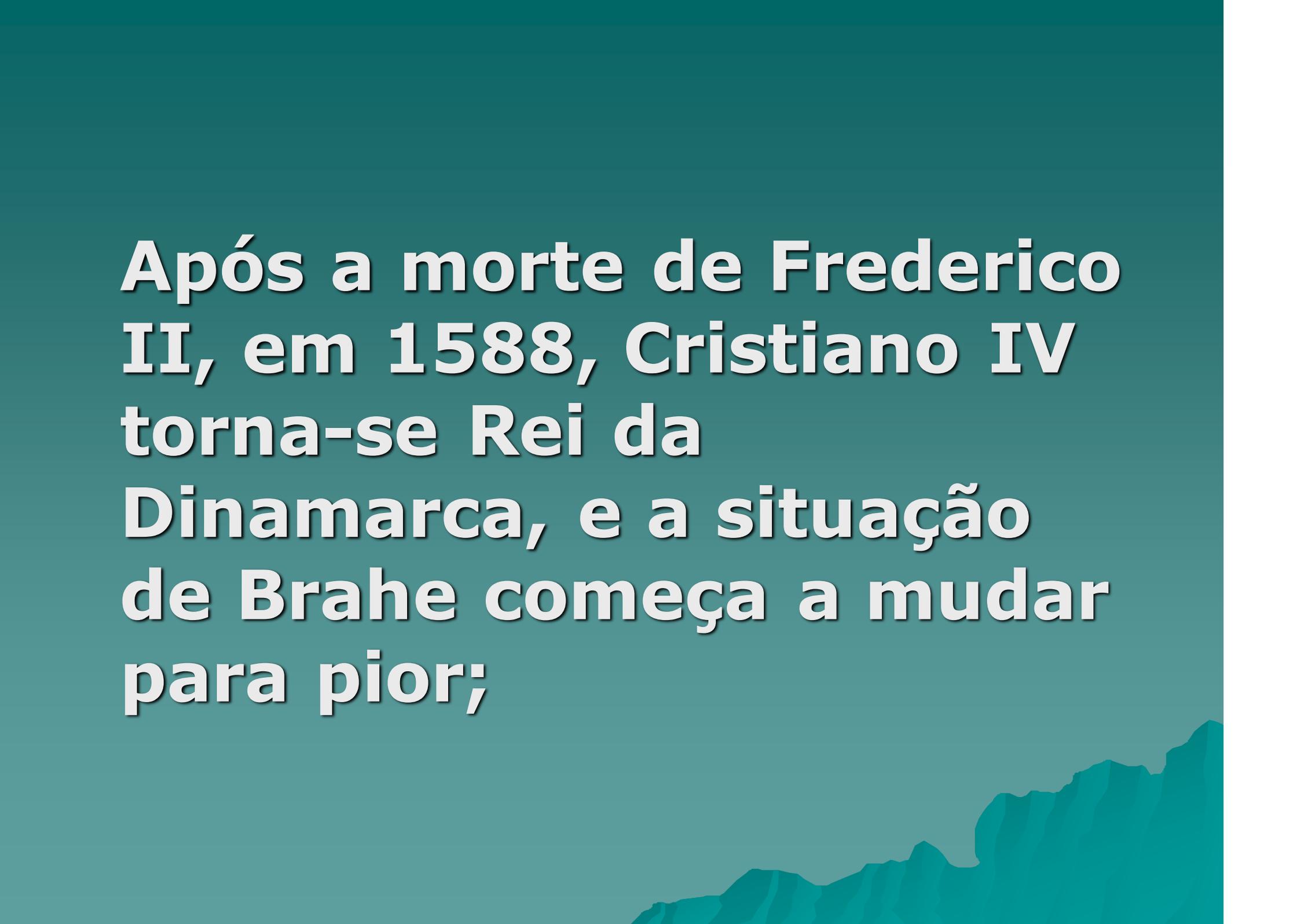
Exigia-se da astronomia no século XVI melhorias nos dados empíricos, isto é, nas observações astronômicas, para satisfazer as necessidades de uma sociedade que mudava os seus focos de produção e comércio;

isso pode ser visto no caso da navegação, em que melhores observações celestes foram necessárias para a obtenção de rotas mais seguras e confiáveis para alcançar as novas terras recém descobertas, as Américas, e o trajeto até as regiões mais ao oriente. Em linhas gerais, a sociedade precisava de dados mais precisos para poder resolver seus problemas práticos e isso influenciou o desenvolvimento das técnicas de observação.

Brahe alinha-se ao espírito da sua época; a sua preocupação voltada para uma “reforma na astronomia” deve ser entendida pelos seus aspectos técnicos, uma exigência da mentalidade social e econômica dos séculos XVI e XVII.

Déspota, Brahe trata os camponeses de Hven como um verdadeiro tirano e, também, negligencia a realização das funções que Frederico II lhe incumbiu, entre as quais a manutenção do farol em Hven, que Brahe frequentemente descuidava.

Após a morte de Frederico II, em 1588, Cristiano IV torna-se Rei da Dinamarca, e a situação de Brahe começa a mudar para pior;



em 1597, Brahe deixa Hven, levando todos os seus instrumentos, os seus dados de observação e a sua tipografia (levando também, sua mulher, treze filhos, vários assistentes e muitos funcionários).

Em 1599, o Imperador Rudolfo II convida-lhe a ocupar o cargo de matemático imperial em Praga, função essa que Brahe ocupou até o final de sua vida, fornecendo-lhe o castelo de Benatek, muito inferior às acomodações e estrutura para observações do que Uraniburgo. Brahe era um homem irascível, bebedor e glutton, gostando muito de arrumar polêmicas.

Brahe sempre se mostrou contrário ao copernicanismo. Em que sentido Brahe ajudou na construção, no desenvolvimento, das propostas originais de Copérnico?

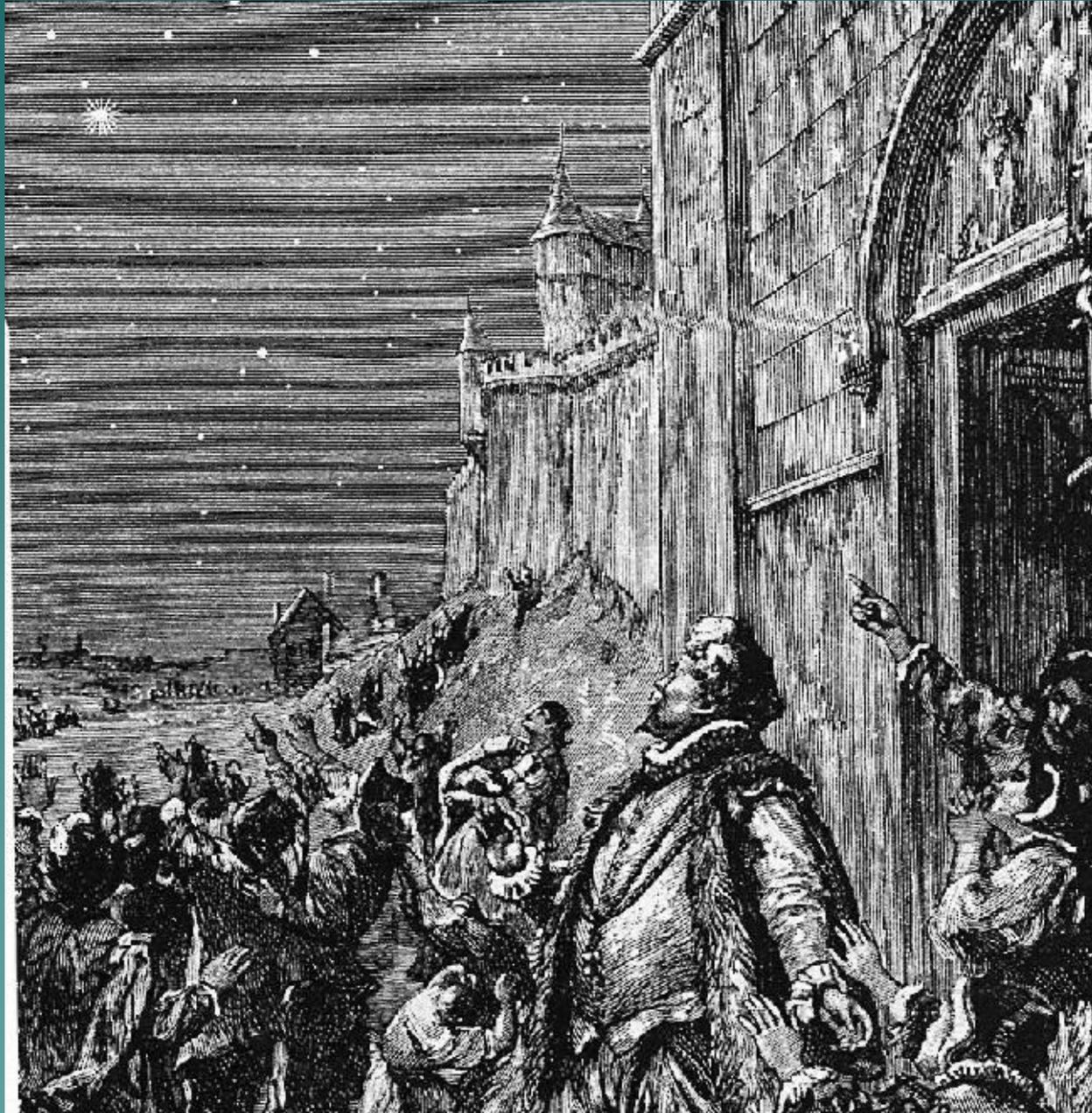
Na análise de fenômenos celestes, feita com mais precisão do que em qualquer período anterior. Principalmente a nova de 1572 e o cometa de 1577.

Na elaboração de uma nova concepção de método em astronomia.

A Nova de 1572



A nova de 1572



Ao ir para casa na noite de 10 de novembro de 1572, Brahe viu no céu uma estrela mais brilhante do que Vênus num lugar onde nunca antes houvera uma estrela. Situava-se na constelação de Cassiopéia.

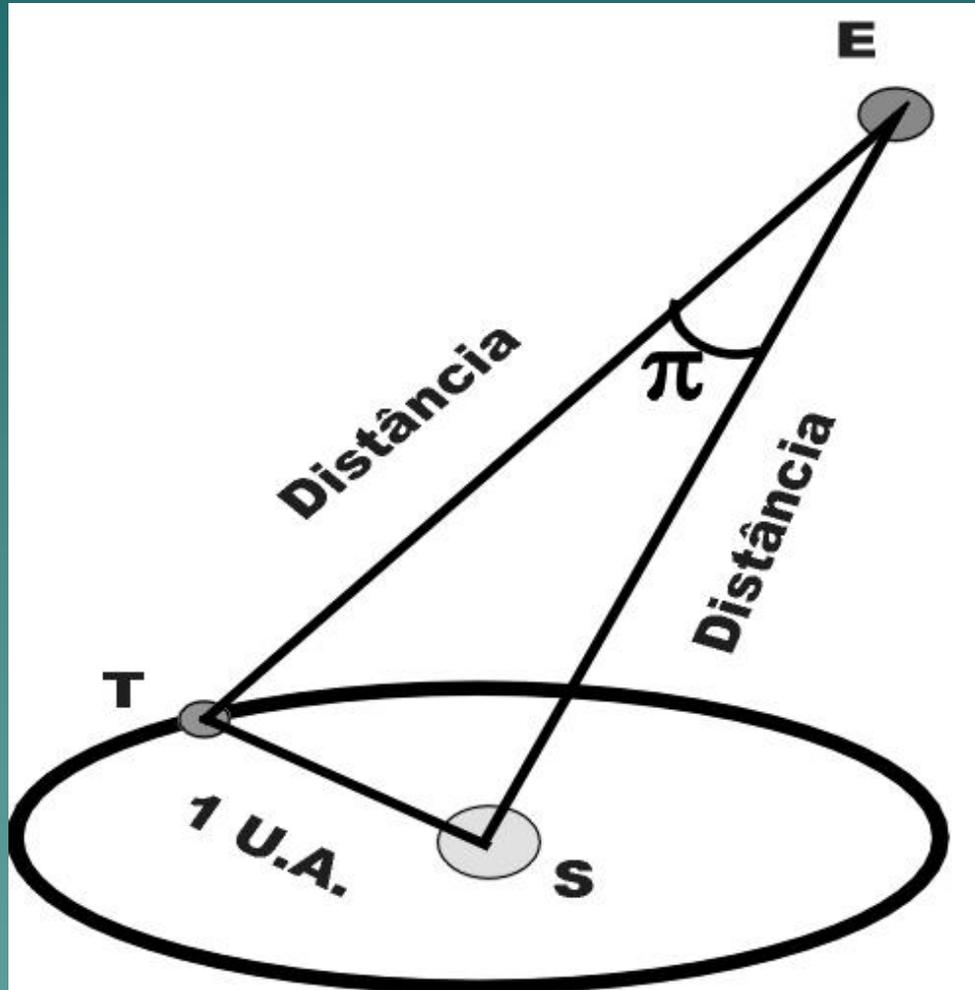
Brahe ficou maravilhado e o seu espírito de astrônomo observador o levou a acompanhar o comportamento desse novo habitante celeste. Brahe acompanhou a nova estrela até março de 1573, quando ela desapareceu do céu e nunca mais foi vista.

Esse novo fenômeno levou Brahe a seguinte interrogação: se fosse uma nova estrela fixa, ela não poderia ter qualquer paralaxe, pois uma estrela fixa (e a concepção de “fixa” é justamente a de não ter movimentos, entendida como “pregada à abobada celeste”) não apresenta tal característica;

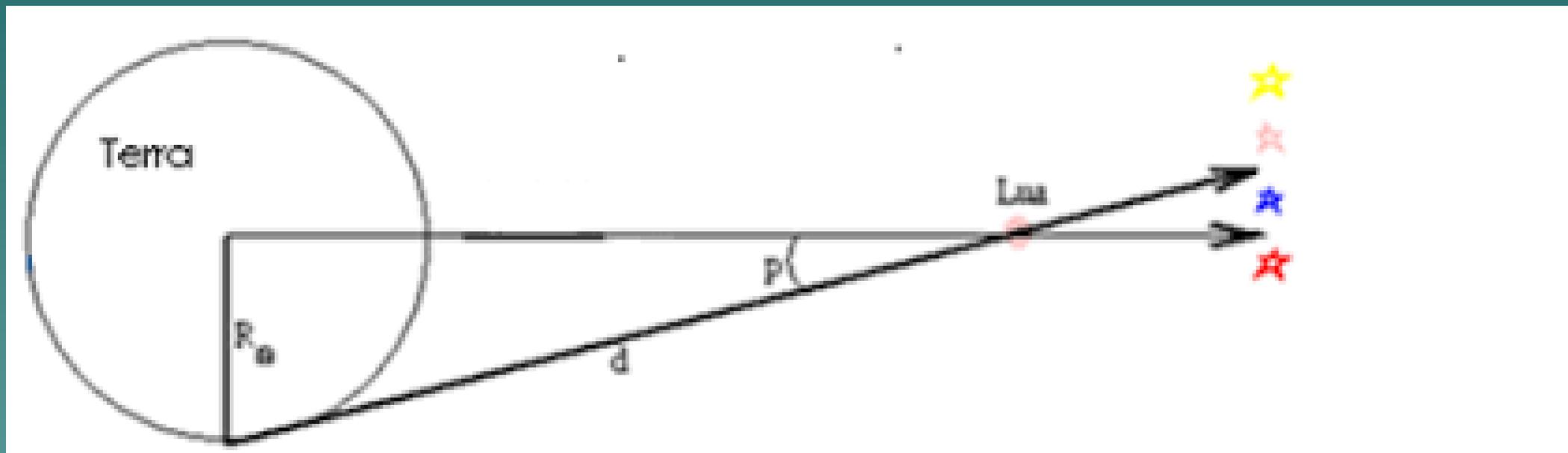
por outro lado, se fosse um fenômeno atmosférico, como um cometa, teria, dada a explicação aristotélica que entende qualquer alteração observada no céu (cometas, meteoros, meteoritos etc.) como fenômenos terrestres, uma paralaxe (ou, de outro modo, ela teria uma alteração de altitude, longitude ou latitude no céu);

em outros termos, o fenômeno testaria a teoria aristotélica de mundo supra-lunar, no qual nenhuma ocorrência, além das já existentes, poderia acontecer, pelo caráter imutável do mundo celeste preconizado por Aristóteles e seus seguidores.

Paralaxe anual



Paralaxe diurna



Em 1573 Brahe publica o *De nova stella (Sobre a nova estrela)*, e os resultados das suas observações foram categóricos: a nova estrela em Cassiopéia não apresentou nenhuma mudança de posição, nem em altitude, nem em latitude ou longitude, mostrando que ela não teve nenhuma paralaxe observável e que, portanto, ela estava muito além da esfera da Lua.

Resumindo: se o novo fenômeno apresenta uma paralaxe, poderia ser visto como um fenômeno terrestre, corroborando a cosmologia aristotélica; se não apresenta uma paralaxe, é mais correto entendê-lo como um fenômeno celeste, colocando em dúvida a cosmologia aristotélica

A nova de 1572 hoje SN Ia (2300 pc)



O cometa de 1577



O cometa de 1577



Em 1577 surge no céu da Europa um cometa. Como era comum nessa época, o cometa foi visto como um mal presságio. Brahe, utilizando-se de seus instrumentos de medição astronômica, rompe com a teoria aceita sobre os cometas.

Concepção aristotélica

Aristóteles entendeu os cometas como fenômenos atmosféricos, e os explicou dizendo que na Terra, quando ela é aquecida pelo Sol, surgem dois tipos de conseqüências: ou fumaças secas ou nuvens úmidas.

As fumaças procuram o seu lugar natural, e sobem mais acima das nuvens; as nuvens, por sua vez, condensam-se e caem, propelindo as fumaças, que estão subindo, para baixo;

A stylized silhouette of a mountain range in shades of teal, located at the bottom right of the page.

essas últimas se inflamam e originam fenômenos, tais como estrelas cadentes ou meteoros. Quando as fumaças sobem muito alto, quase até o limite da camada celeste, inflamam-se muito mais e, desse modo, surgem os cometas.

Crítica de Brahe

Após cuidadosas observações do tamanho do cometa, da distância, da posição, da altura etc., Brahe apresenta os resultados. O mais importante foi a distância do cometa.

Brahe raciocinou que o único modo de conhecer isso é pela paralaxe. Na quinta seção do seu *Tratado germânico*, de 1577, Brahe conclui que o cometa tem uma paralaxe menor do que a da Lua e, conseqüentemente, está mais além da esfera da Lua, perto da esfera de Vênus. A partir disso, pôde Brahe escrever:

[...] descobri por cuidadosas observações e demonstrações do presente cometa que ele está localizado e caminha acima da Lua, nos céus [...] Portanto, a opinião de Aristóteles é inteiramente falsa quando ele assevera que os cometas localizam-se acima da Terra, no ar, e que não podem ser gerados nos céus, pois ele estabeleceu isso sobre a base do seu próprio bom pensamento, e não por qualquer observação ou demonstração matemática (*Tratado germânico* 1979 [1577], p. 133).

Consequências das descobertas de Brahe

A principal consequência foi o rompimento, com o mundo incorruptível do céu. Se a nova de 1572, como foi visto, mostrou o surgimento de um corpo na região das fixas, ferindo o princípio aristotélico de que nada novo poderia surgir nesta região, o cometa de 1577 mostra que um corpo localizado além da esfera da Lua pode caminhar e, portanto, percorrer o céu.

Desse modo, surge de imediato o seguinte problema: como um corpo sólido transpassará as esferas sólidas de cristal? Não transpassará, pois, para Brahe, a presença do cometa é prova suficiente de que não existem esferas de cristal. Nesse sentido, ele não procurou salvar a teoria, mas a rejeitou em favor de evidências empíricas.

Críticas de Brahe ao copernicanismo

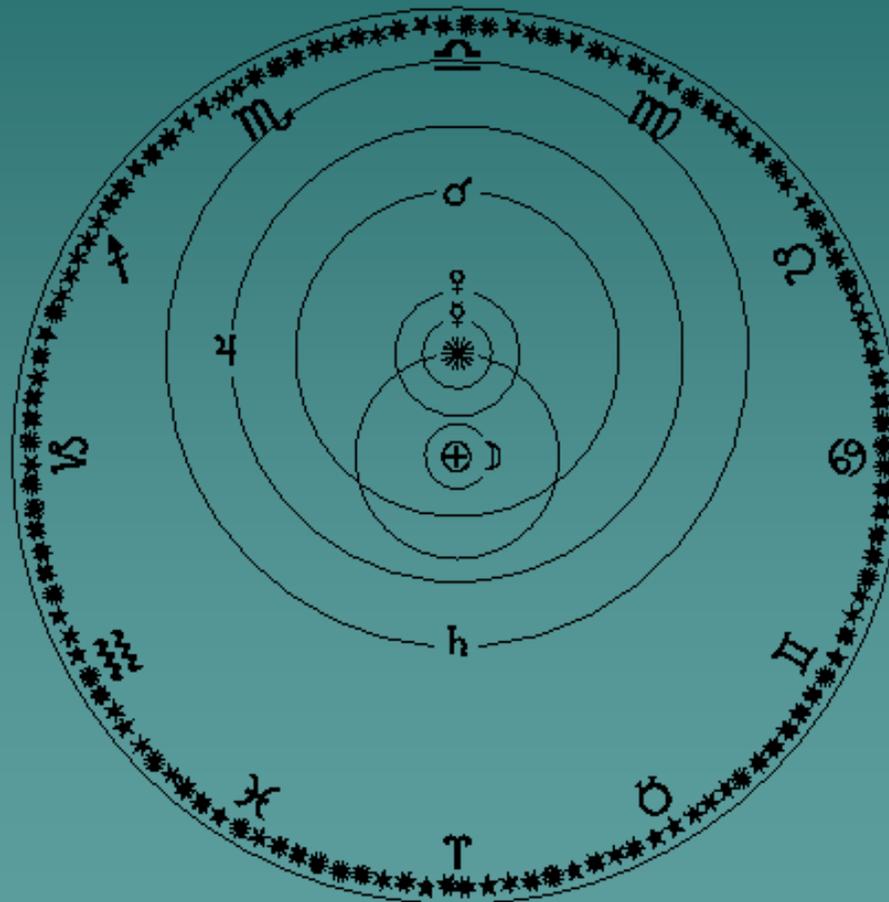


o copernicanismo cria os inconvenientes físicos, isto é, os tradicionais argumentos físicos contra os movimentos da Terra - tal como o argumento da torre. Assim, mesmo elogiando a destreza de Copérnico quando esse resolve geometricamente alguns problemas, Brahe o critica por criar algo pior, os problemas físicos e, além disso, os problemas teológicos, pois as *Sagradas escrituras* são mais condizentes com uma Terra estática do que com uma Terra com o movimento de translação.

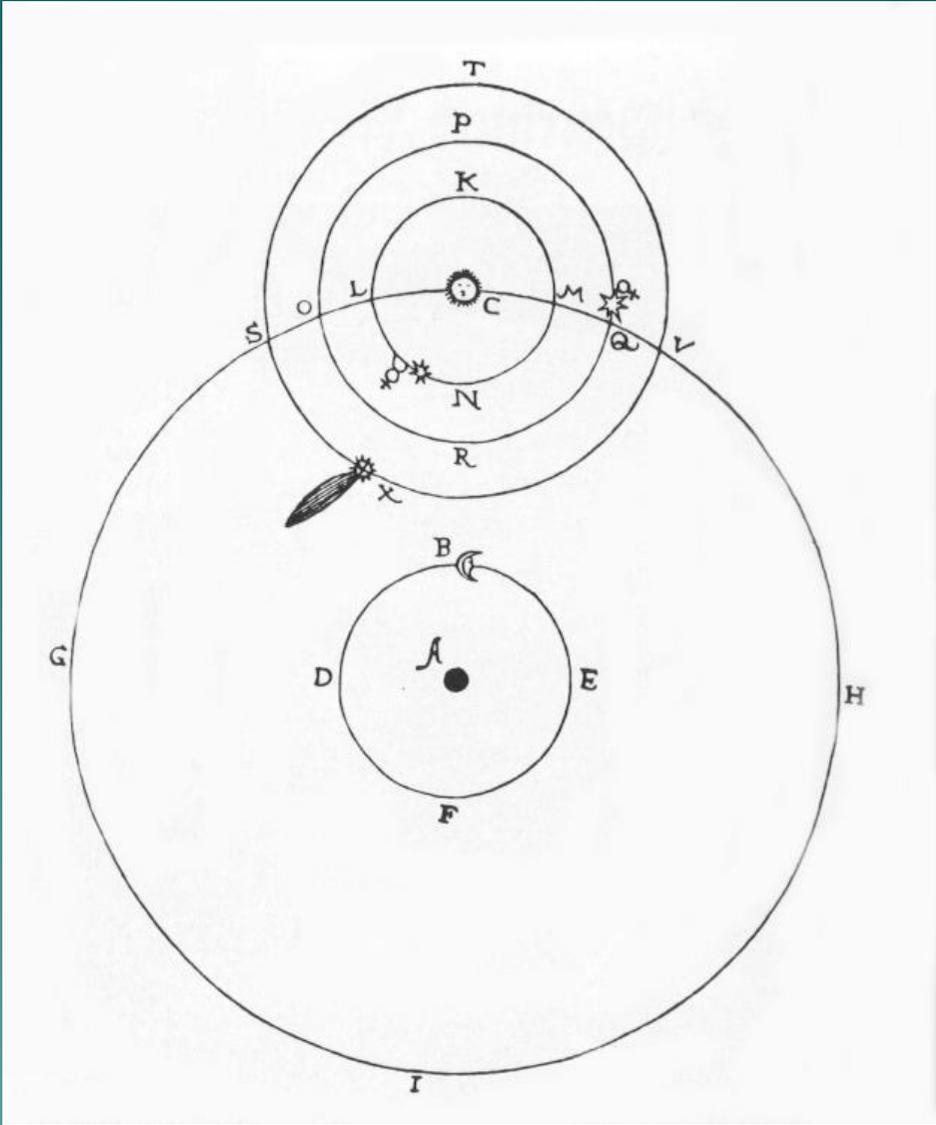
O sistema híbrido de Brahe

O sistema híbrido de Brahe é exposto na obra *De mundi, Sobre o mundo*, de 1588. Ele é híbrido porque posiciona a Terra como centro do mundo, e a Lua e o Sol as giram ao seu redor (neste sentido é ptolomaico) e, ao redor do Sol, faz Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, percorrerem seus movimentos (copernicano).

NOVA MVNDANI SYSTEMATIS HYPOTYPOSIS AB
AUTHORE NUPER ADINVENTA, QUA TUM VETUS ILLA
PTOLEMAICA REDUNDANTIA & INCONCINNITAS,
TUM ETIAM RECENS COPERNIANA IN MOTU
TERRÆ PHYSICA ABSURDITAS, EXCLU-
DUNTUR, OMNIAQUE APPAREN-
TIIS CÆLESTIBUS APTISSIME
CORRESPONDENT.



- ◆ **“Nova hipótese do sistema do mundo, descoberta recentemente pelo autor [Brahe], que exclui, de uma parte, as antigas redundâncias e inconveniências de Ptolomeu e de outra parte, ainda, as recentes absurdidades copernicanas sobre o movimento da Terra, onde tudo corresponde perfeitamente às aparências celestes.”**



Importância de Brahe

- 1) Rompe com a noção de esferas sólidas de cristal, de maneira que os astrônomos têm que responder a seguinte questão: o que move os planetas?
- 2) Uso de instrumentos astronômicos mais precisos e, conseqüentemente, dados astronômicos com maior precisão.
- 3) Método.

Systema Ptolemaicum

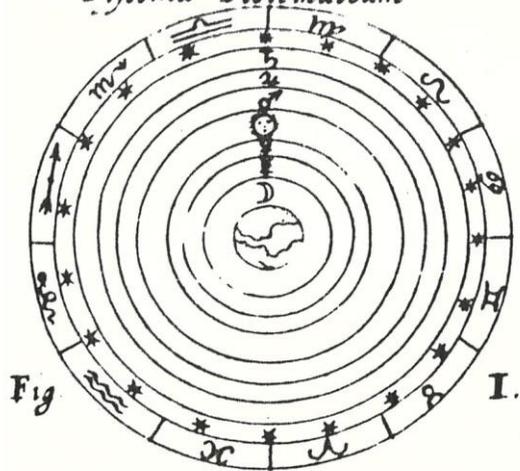


Fig. I.

Systema Platonium

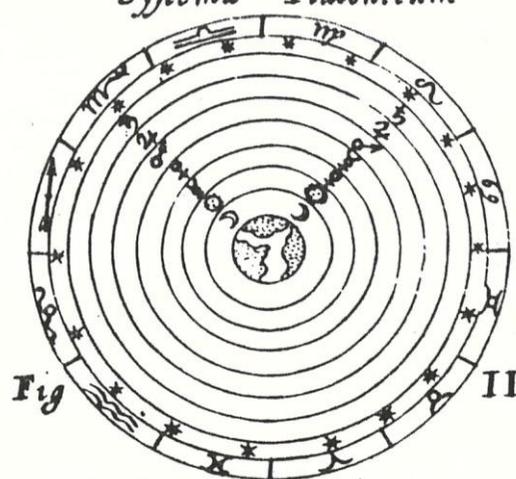


Fig. II.

Systema Ægyptiacum

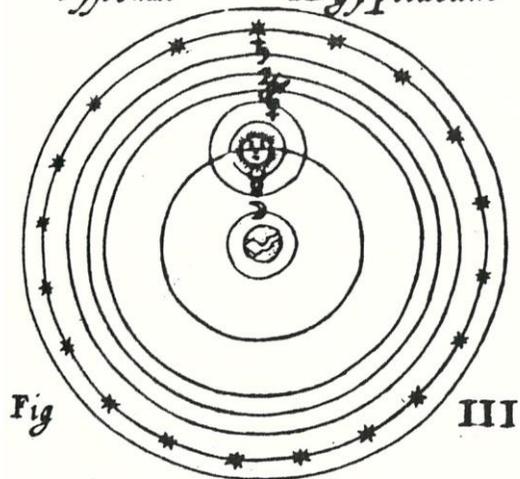


Fig. III.

Systema Tychoenicum

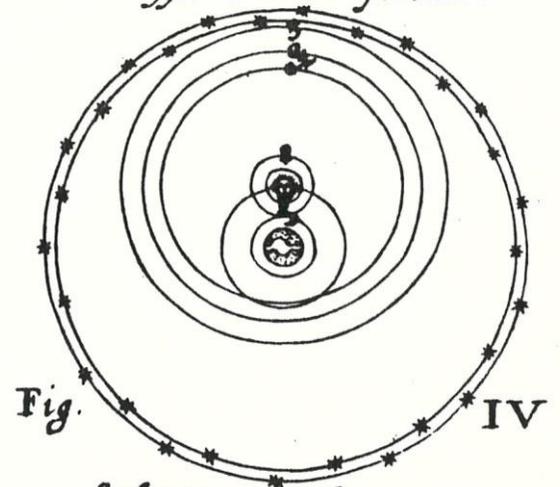


Fig. IV.

Systema Semi-Tychoenicum

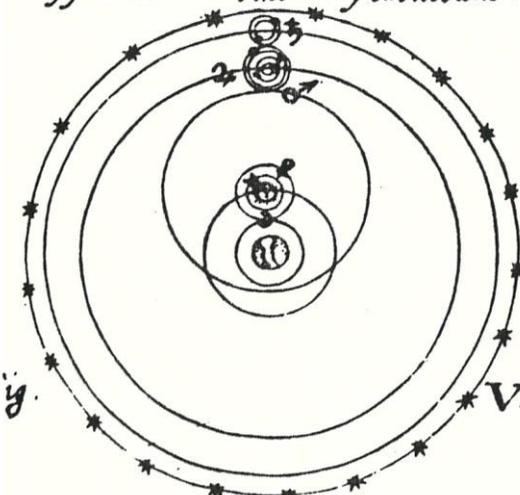


Fig. V.

Systema Copernicanum

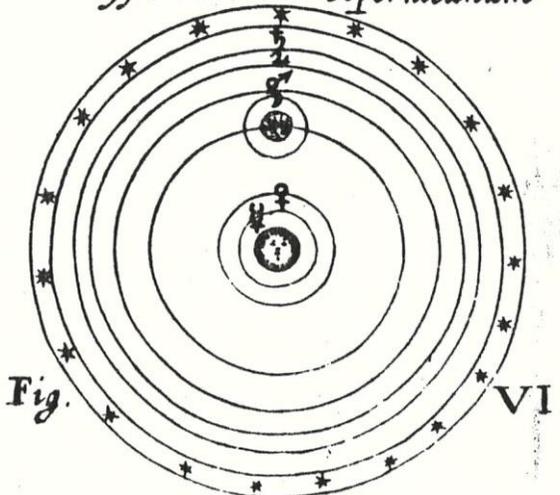
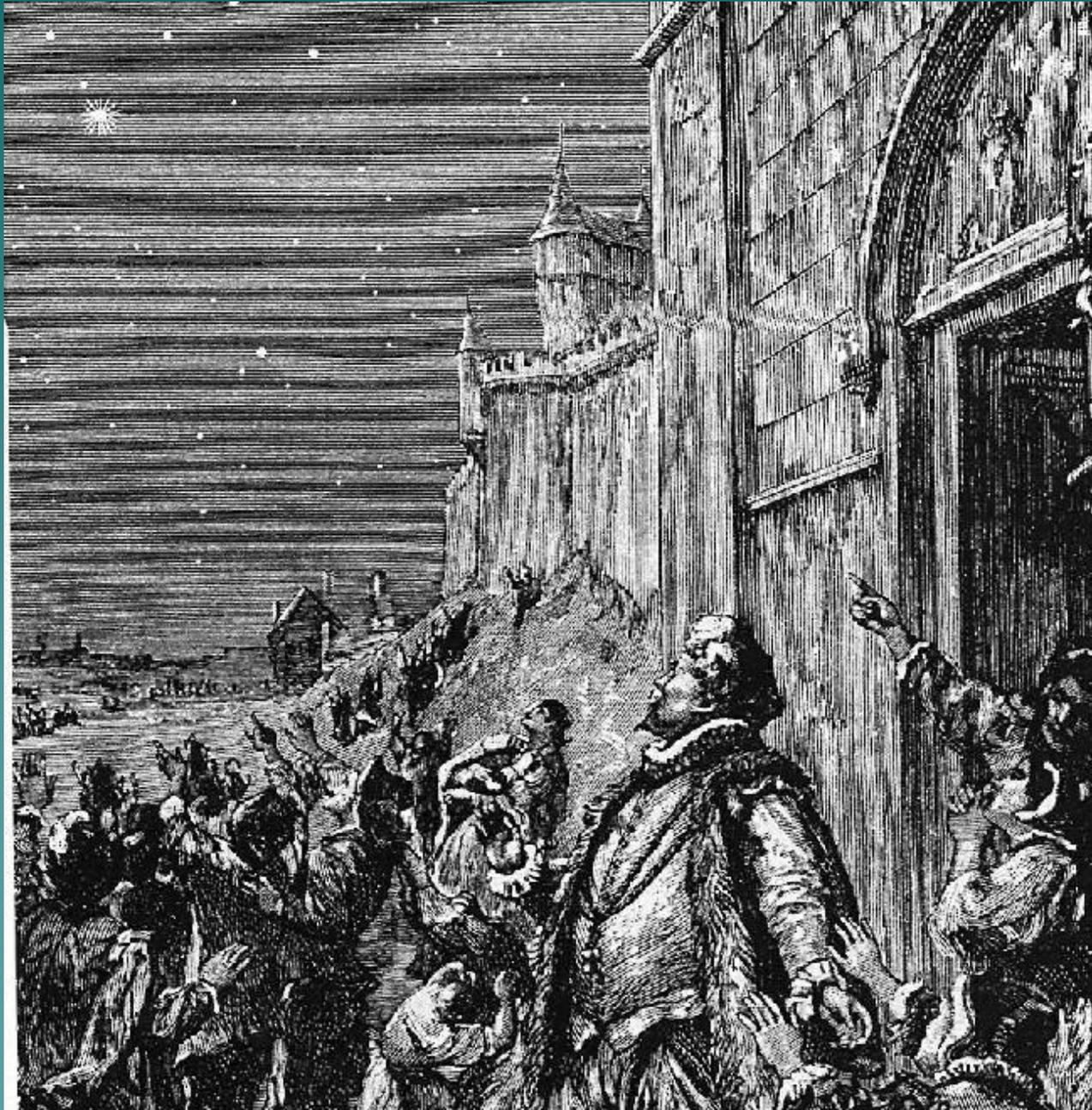
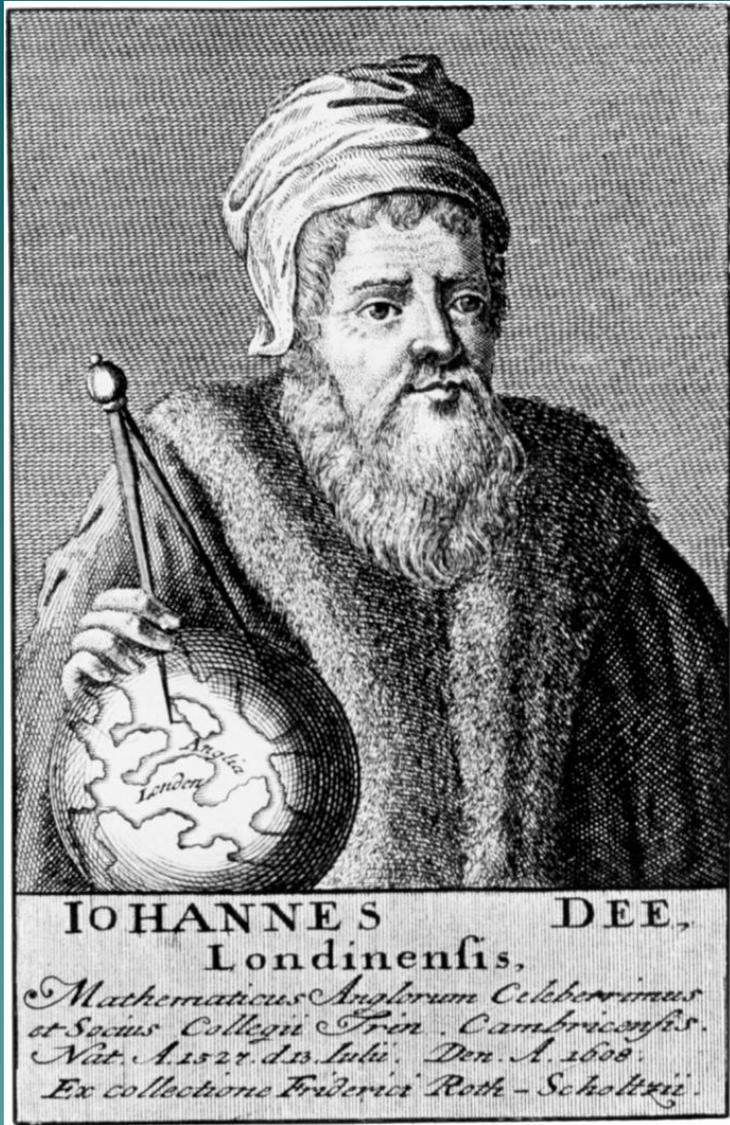


Fig. VI.

Phaenomenon

(John Dee, Thomas Digges, Christoph Rothmann)



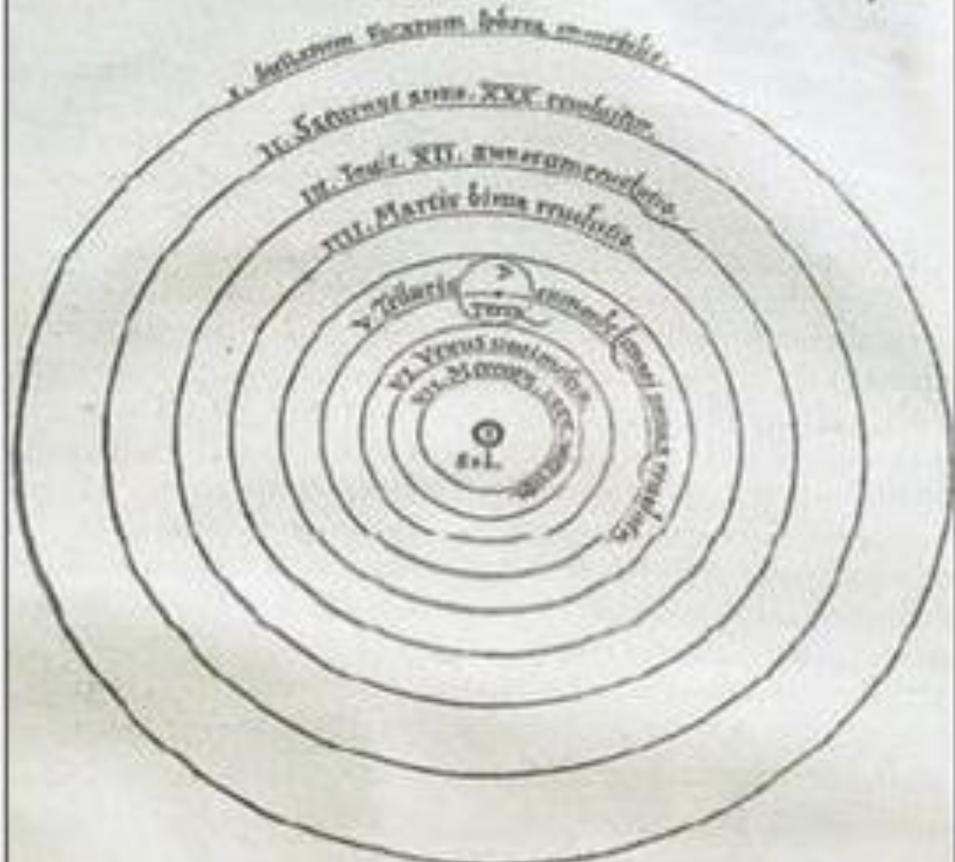


John Dee (1527-1609)

Thomas Digges (1546-1595)

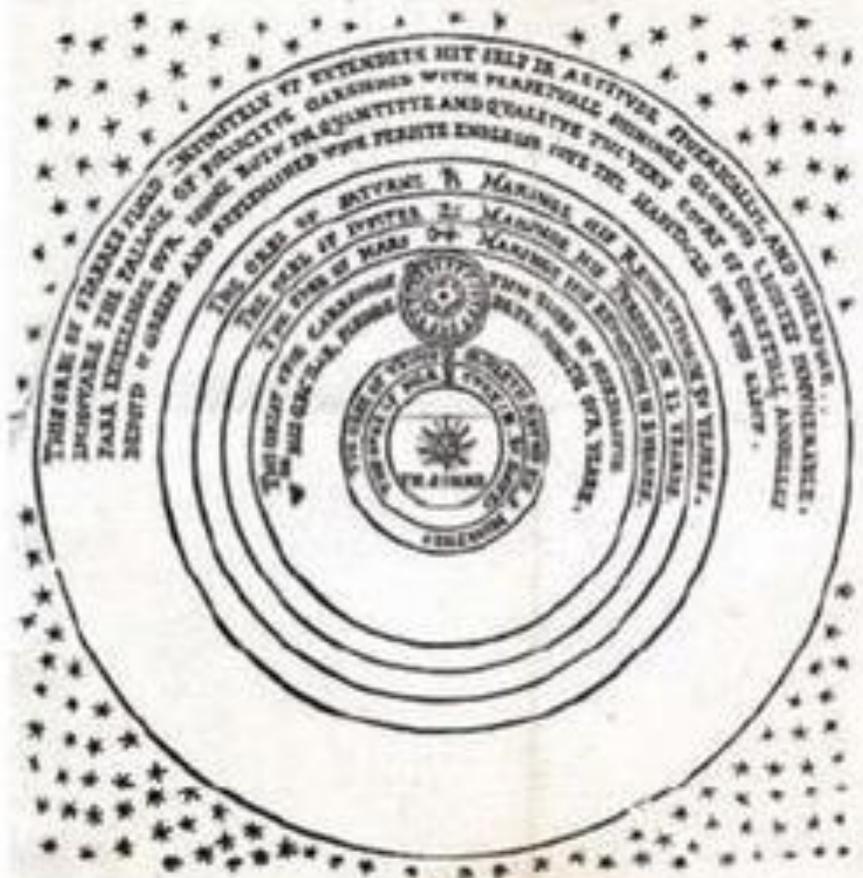
A Perfit Description of the Caelestiall Orbes (1576)

net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo comineti diximus. Quinto loco Venus nono mense redacitur. Sextum deniq; locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circū currens, in medio uero omnium residei Sol. Quis enim hoc



Icherimo templo lampadem hanc in alio uel meliori loco ret, quam unde rotum simul possit illuminare. Siquidem r nec quidam lucernam mundi alio mentem alio rectorem.

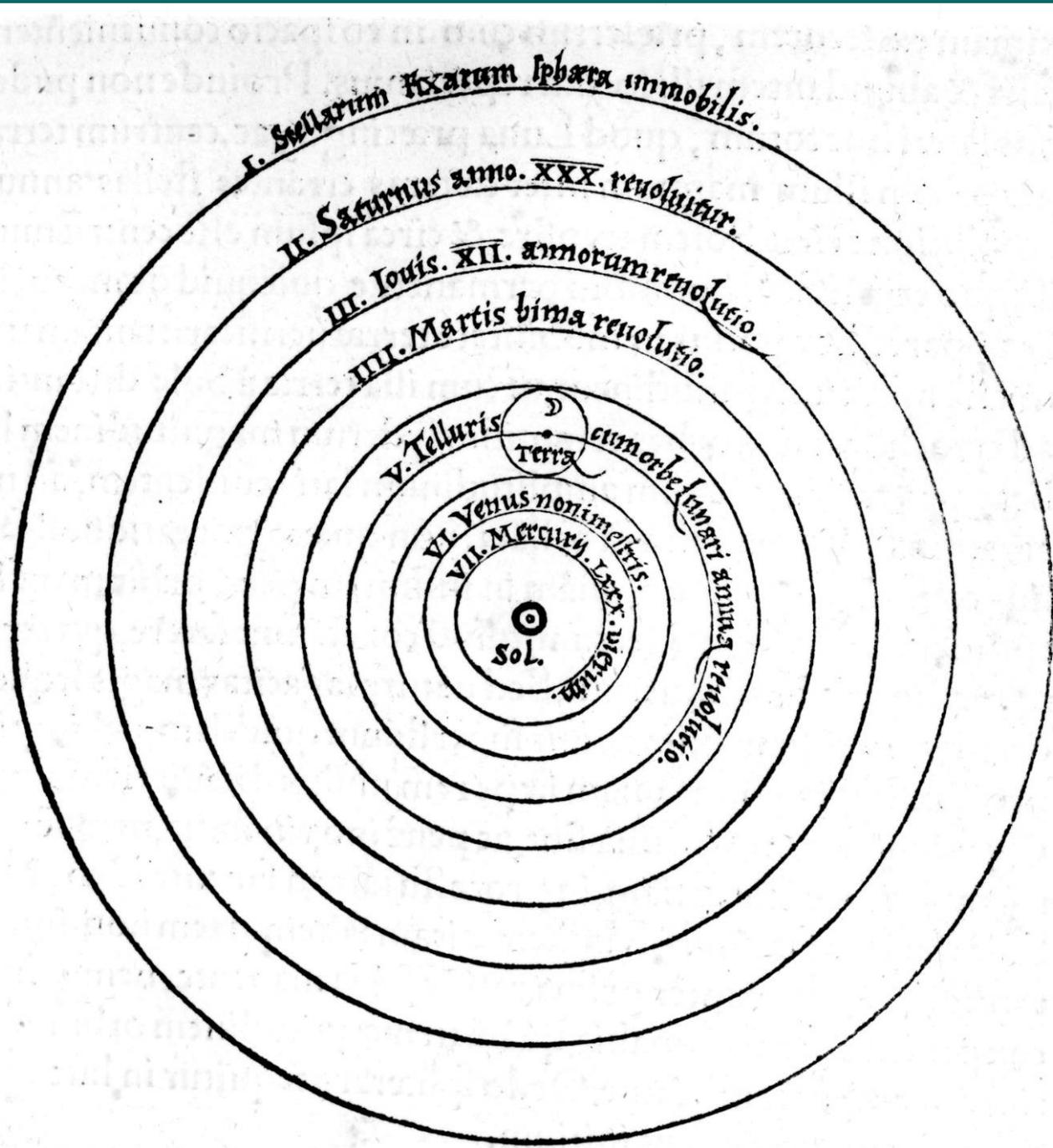
43
A perfit description of the Caelestiall Orbes,
according to the most ancient notions of the
Pythagoreans, &c.



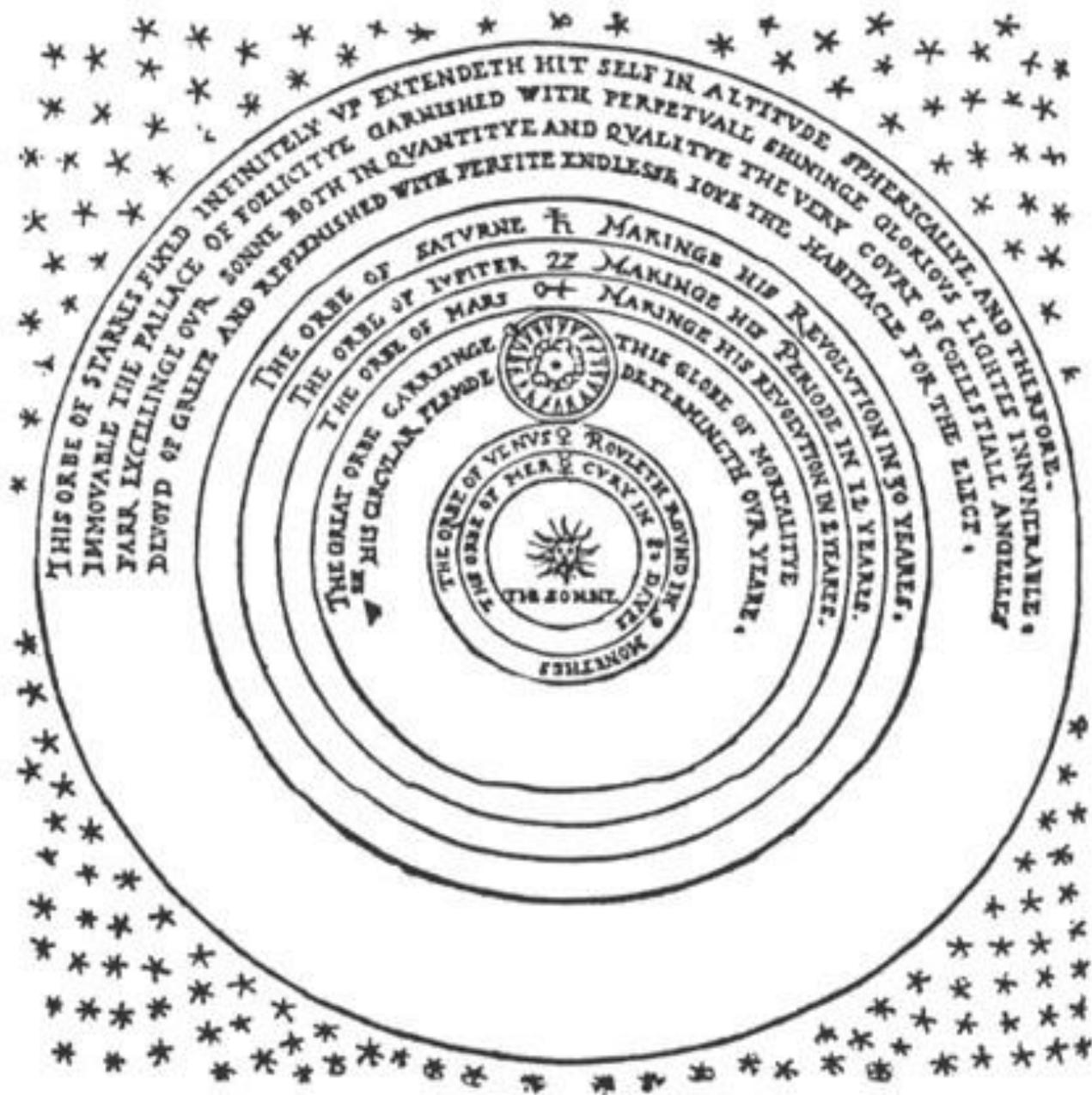
M

A PER.

Jay M. Pasachoff collection




A perfit description of the Cælestiall Orbes,
according to the most auncient doctrine of the
Pythagoreans. &c.



**“I could be bounded in a
nutshell, and count myself a
king of infinite space, were it
not that I have bad dreams.”
(Shakespeare, *Hamlet*, *II.ii*)**

