

A Revolução Astronômica

Parte II

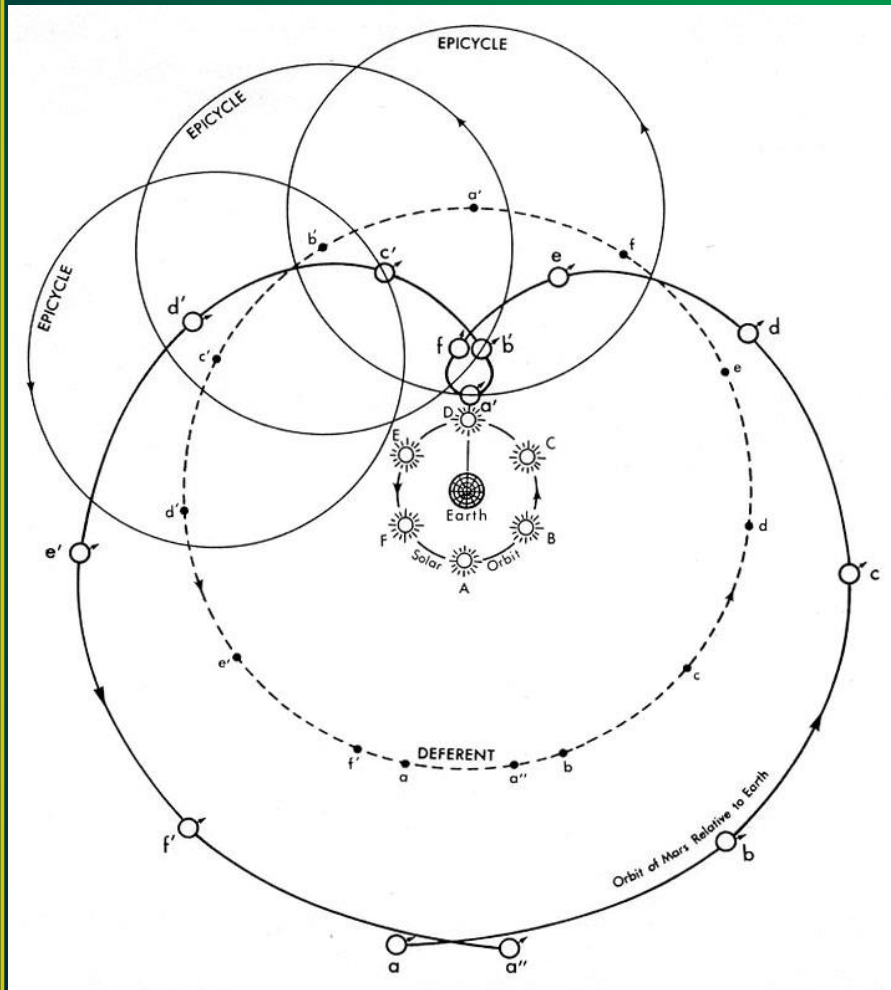
Copérnico, seus antecessores e
seus sucessores (séculos XV-XVI)

Versão revista

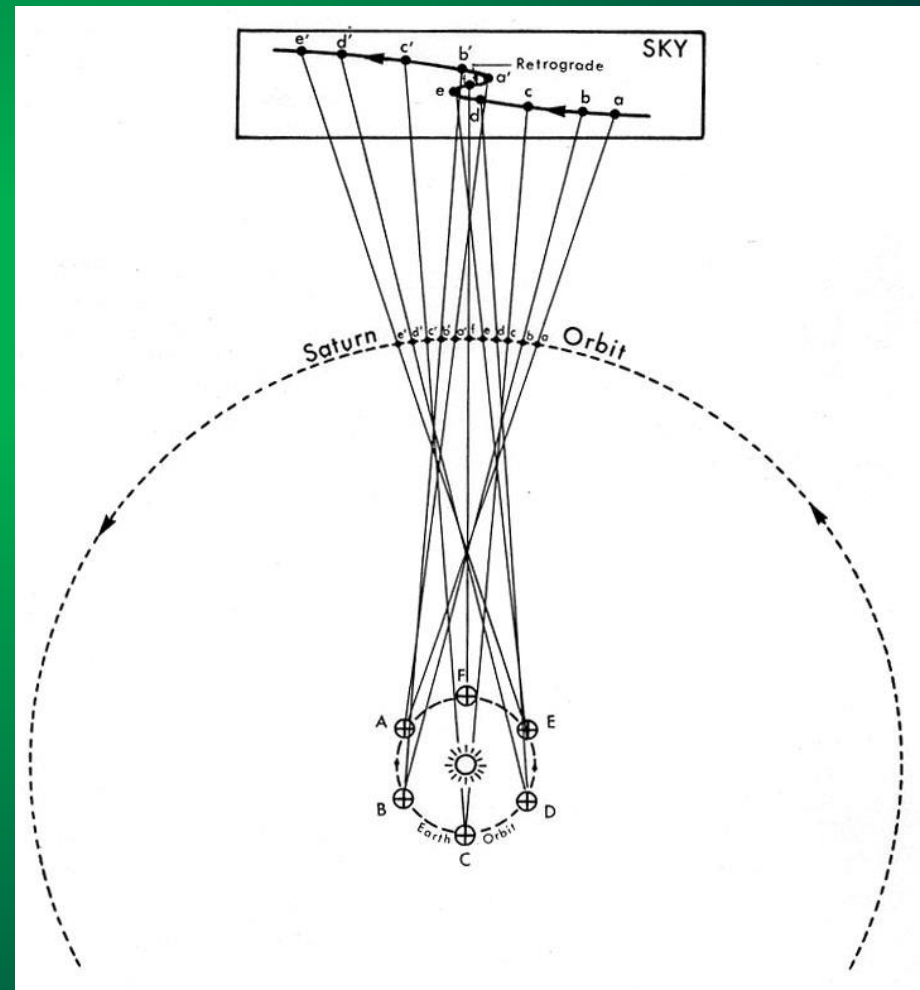
Valter Alnis Bezerra
Filosofia e História da Ciência Modern
Departamento de Filosofia
Universidade de São Paulo

Retrogradação planetária segundo um modelo geocêntrico e um modelo heliocêntrico

Geocêntrico



Heliocêntrico



net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reducitur. Sextum denique locum Mercurius tenet, octuaginta dierum spacio circū currens, in medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc



pulcherrimo templo lampadem hanc in alio uel meliori loco poneret, quàm unde totum simul possit illuminare: Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alij mentem, alij rectorem uocant. Trimegistus uisibilem Deum, Sophoclis Electra intuentē omnia. Ita profecto tanquam in folio re gali Sol residens circum agentem gubernat Astrorum familiam. Tellus quoque minime fraudatur lunari ministerio, sed ut Aristoteles de animalibus ait, maximā Luna cū terra cognationē habet. Concipit interea à Sole terra, & impregnatur annuo partu. Inuenimus igitur sub hac

hac ordinatione admirandam mundi symmetriam, ac certū harmoniæ nexum motus & magnitudinis orbium: qualis alio modo reperiri non potest. Hic enim licet animaduertere, nō segniter contemplanti, cur maior in Ioue progressus & regressus appareat, quàm in Saturno, & minor quàm in Marte: ac rursus maior in Venere quàm in Mercurio. Quodque frequentior appareat in Saturno talis reciprocatio, quàm in Ioue: rarior adhuc in Marte, & in Venere, quàm in Mercurio. Præterea quod Saturnus, Iupiter, & Mars acronycti propinquoires sint terræ, quàm circa eorū occultationem & apparitionem. Maxime uero Mars pernox factus magnitudine Iouem æquare uideretur, colore duntaxat rutilo discretus: illic autem uix inter secundæ magnitudinis stellas inuenitur, sedula obseruatione sectantibus cognitus. Quæ omnia ex eadem causa procedunt, quæ in telluris est motu. Quod autem nihil eorum apparet in fixis, immensam illorū arguit celsitudinem, quæ faciat etiam annui motus orbem siue eius imaginem ab oculis euanescere. Quoniã omne uisibile longitudinem distantie habet aliquam, ultra quam non amplius spectatur, ut demonstratur in Opticis. Quod enim à supremo errantium Saturno ad fixarum sphaeram adhuc plurimum interfit, scintillantia illorum lumina demonstrant. Quo indicio maxime discernuntur à planetis, quodque inter mota & non mota, maximam oportebat esse differentiam. Tanta nimirum est diuina hæc Opt. Max. fabrica.

De duplici motu telluris demonstratio. Cap. xi.



Um igitur mobilitati terre tot tantaque errantium syderum consentiant testimonia, iam ipsum motum in summa exponemus, quatenus apparentia per ipsum tanquam hypotesim demonstrantur, quæ triplicè omnino oportet admittere. Primum quem diximus *peripheticon* à Græcis uocari, diei noctisque circuitum proprium, circa axem telluris, ab occasu in ortum uergentem, prout in diuersum mundus ferri putatur, æquinoctialem circulum describendo, quem nonnulli æquidiale dicunt, imitantes significationem Græco

c ij rum,

O famoso diagrama de Copérnico no Capítulo X do Livro I do *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (1543), intitulado "A ordem das esferas celestes". Note que este diagrama *não* representa o sistema completo de Copérnico, mas apenas a ordem dos orbes.

Os axiomas de Copérnico no *Commentariolus* (c. 1514) (trad. Roberto de A. Martins)

«PRIMEIRA EXIGÊNCIA

Não existe um centro único de todos os orbes celestes ou esferas.

SEGUNDA EXIGÊNCIA

O centro da Terra não é o centro do mundo, mas apenas o da gravidade e do orbe lunar.

TERCEIRA EXIGÊNCIA

Todos os orbes giram em torno do Sol, como se ele estivesse no meio de todos; portanto, o centro do mundo está perto do Sol.

QUARTA EXIGÊNCIA

A razão entre a distância do Sol à Terra e a altura do firmamento é menor do que a razão entre o raio da Terra e a sua distância ao Sol; e com muito mais razão esta é insensível confrontada com a altura do firmamento.»

Os axiomas de Copérnico no *Commentariolus* (c. 1514) (trad. Roberto de A. Martins)

«QUINTA EXIGÊNCIA

Qualquer movimento aparente no firmamento não pertence a ele, mas à Terra. Assim a Terra, com os elementos adjacentes, gira em torno dos seus pólos invariáveis em um movimento diário, ficando permanentemente imóveis o firmamento e o último céu.

SEXTA EXIGÊNCIA

Qualquer movimento aparente do Sol não é causado por ele mas pela Terra e pelo nosso orbe, com o qual giramos em torno do Sol como qualquer outro planeta. Assim, a Terra é transportada por vários movimentos.

SÉTIMA EXIGÊNCIA

Os movimentos aparentes de retrogressão e progressão dos errantes não pertencem a eles mas à Terra. Apenas o movimento desta é suficiente para explicar muitas irregularidades aparentes no Céu.»

A relatividade dos movimentos celestes aparentes

«Se considerarmos a questão [do movimento ou imobilidade da Terra] mais atentamente, veremos que não está de modo nenhum resolvida e, por isso, incontestavelmente não deve ser posta de lado. É que, de uma maneira geral, toda mudança de posição que se vê ou é devida ao movimento da coisa observada, ou do observador, ou então seguramente de um e de outro.

Na verdade, entre objetos que se movem igualmente na mesma direção, não se nota qualquer movimento, isto é, entre a coisa observada e o observador. Ora, a Terra é o lugar donde aquela rotação celeste é observada e se apresenta à nossa vista. Portanto, se algum movimento for atribuído à Terra, o mesmo movimento aparecerá em tudo que é exterior à Terra, mas na direção oposta.»

– Nicolau Copérnico, *Sobre as revoluções do orbes celestes*, p. 29.
Trad. por A. Dias Gomes e Gabriel Domingues. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1984.]

- Sobre a redefinição que se opera no *lugar do observador*, cf. P. R. Mariconda, em artigo de mesmo título (*Jornal de Resenhas* [Discurso Editorial/Folha de SP], n. 46, 09-01-1999)

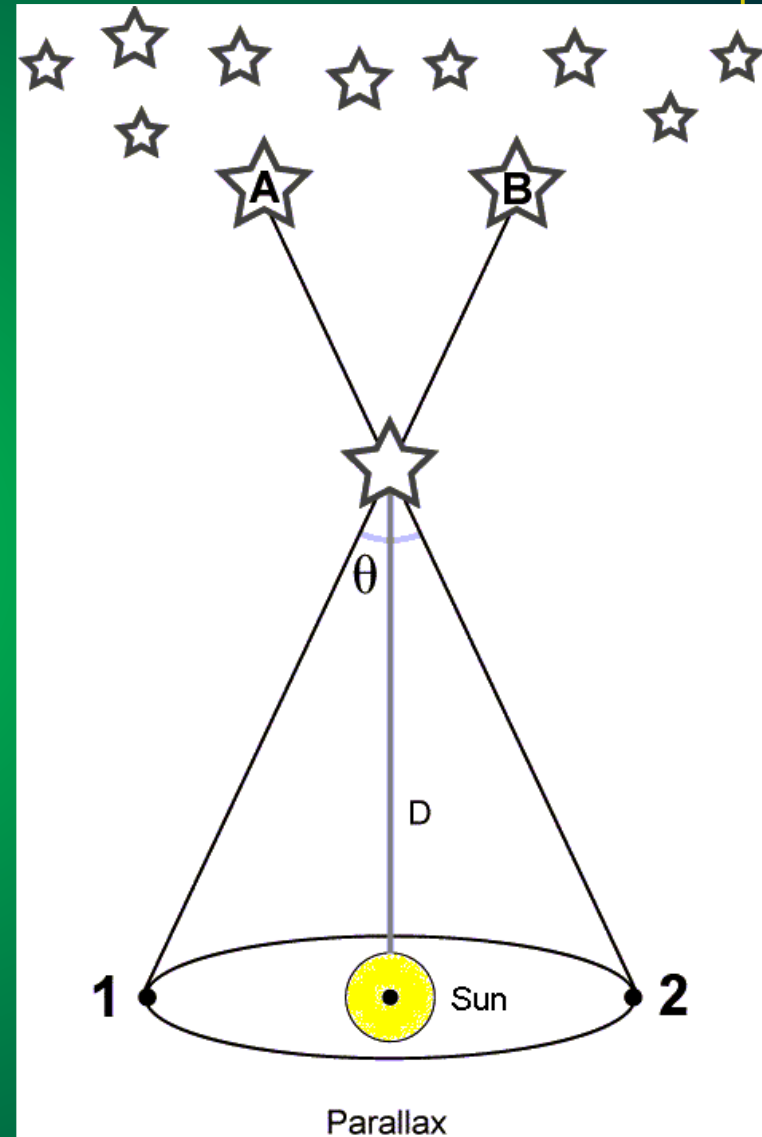
Alguns argumentos anti-copernicanos

1 - No sistema copernicano, as estrelas "fixas" distantes deveriam apresentar uma paralaxe observável, mas parece não haver uma tal paralaxe mensurável.

As paralaxes estelares são extremamente diminutas para serem observadas a olho nu. Exemplo: A paralaxe da estrela Próxima Centauri é de $0,77''$ (segundos de arco), sendo que 1 segundo de arco é igual a $1/3600$ de grau. E esta é a estrela mais próxima de nós, ou seja, a que tem a maior paralaxe.

Copérnico precisa supor que as estrelas fixas estão a uma distância imensa, de uma ordem de grandeza muito maior do que se suponha até então. Mas, então, haveria um imenso espaço vazio entre o orbe do último planeta e a esfera das estrelas, o que parecia contradizer o princípio de economia da natureza.

A primeira paralaxe estelar seria medida somente em 1838 por F. W. Bessel (estrela 61 Cygni).



Alguns argumentos anti-copernicanos

2 – Sente-se a falta de uma explicação de **por que os corpos graves caem em direção à Terra** – uma vez que esta encontra-se fora do centro do universo, e em movimento.

3 – De modo geral, um argumento centrado no problema da compatibilidade teórica externa tinha a ver com a existência, por um lado, de um grande sistema interdisciplinar, bem articulado, que era o sistema aristotélico...

...incluindo física, metafísica, lógica, metodologia científica, biologia, psicologia e outras ciências, além da astronomia e da cosmologia (uso de denominações, em alguns casos, anacrônicas)...

...em contraste com a ausência de uma sistema alternativo ao aristotélico, compatível com o copernicanismo, e de abrangência comparável.

Portanto, o *“custo epistêmico”* de se fazer modificações conceituais na astronomia e na cosmologia era bastante elevado.

Alguns argumentos anti-copernicanos

4 – À época, argumentos de *compatibilidade externa* com a interpretação literal das Escrituras também eram tidos como relevantes contra o copernicanismo.

Por exemplo, era sentida, na época, a necessidade de assegurar a compatibilidade com certas passagens bíblicas, como, por exemplo:

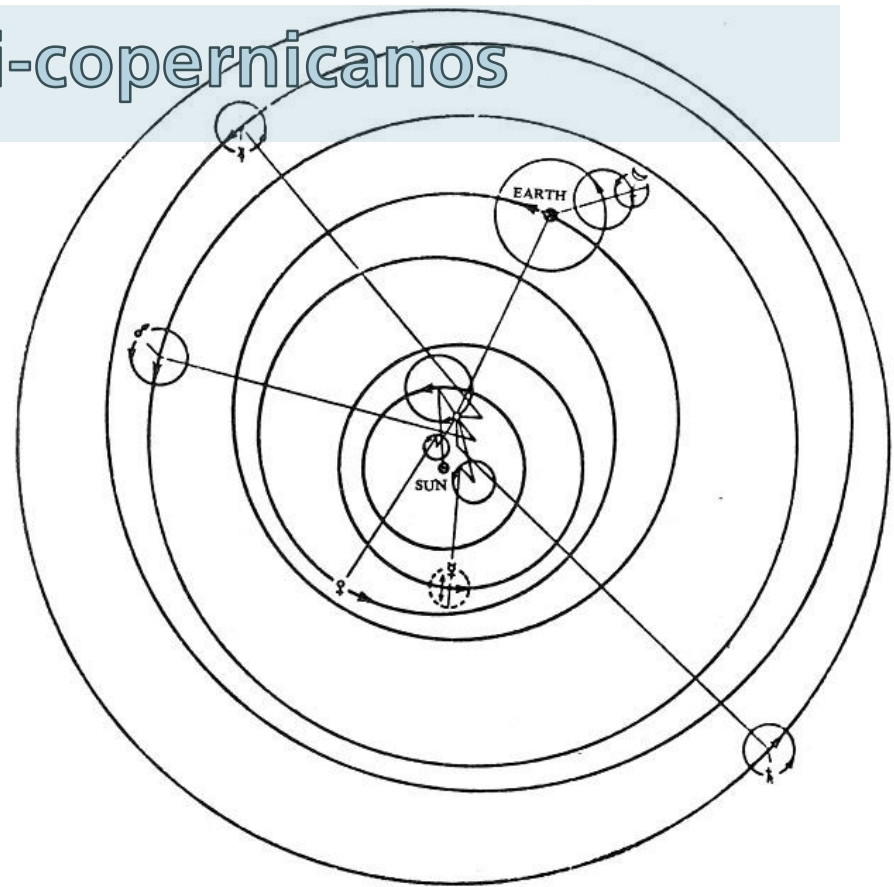
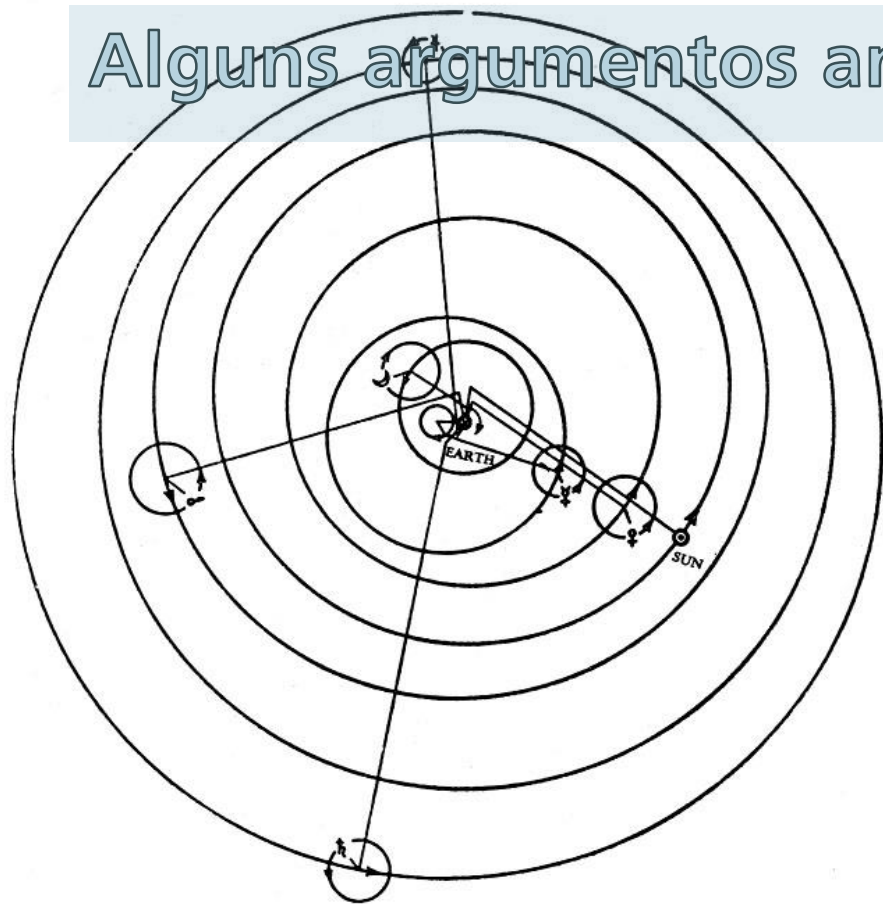
- Josué 10:12-14 (“O Sol de deteve, e a Lua parou, até que o povo [de Israel] se vingou de seus inimigos... O Sol, pois, se deteve no meio do céu, e não se apressou a pôr-se, quase um dia inteiro”);
- Eclesiastes 1:5 (“Nasce o Sol, e põe-se o Sol, e volta ao seu lugar donde nasceu”);
- Gênesis 1:1-19 – na narrativa da Criação, a Terra é formada primeiro, e o Sol, a Lua e as estrelas somente depois – “e Deus pôs [os dois grandes luminares e as estrelas] na expansão dos céus para alumiar a Terra”.

Alguns argumentos anti-copernicanos

5 – O Argumento da Extrusão – que Carlos Arthur Ribeiro do Nascimento chama de “temível argumento” (em seu livro *Para ler Galileu Galilei*). Segundo esse argumento, os corpos que jazem sobre a Terra, caso ela estivesse animada de um movimento diurno de rotação, deveriam ser projetados violentamente para fora dela, e mesmo edifícios e objetos grandes seriam expelidos para fora da Terra por uma ação de tipo centrífugo.

- No entanto, prossegue o argumento, não é isso o que se observa: os objetos conseguem permanecer fixos e em repouso na superfície da Terra, e mesmo um grão de pólen ou um grão de areia, quando suspenso no ar, cai placidamente de volta ao chão.
- (Note que utilizamos aqui um termo genérico como “ação de tipo centrífugo”, pois durante séculos não faziam parte do vocabulário conceitual da filosofia natural as noções de força, nem de aceleração, nem de inércia – que seria a noção empregada hoje para tentar reformular o argumento, para em seguida oferecer-se uma resposta nos termos da física clássica.)

Alguns argumentos anti-copernicanos



6 – Com relação ao valor cognitivo da “simplicidade”, não havia um ganho significativo ao se passar do sistema ptolomaico para o copernicano. Acima, uma comparação gráfica (conservadora) da complexidade dos dois sistemas – entendendo “complexidade”, aqui, como o número de movimentos circulares postulados. Copérnico ainda necessita de epiciclos, e não são poucos!

- Crédito das imagens: I. B. Cohen, *O nascimento de uma nova física* (1967), p. 51, apud Barbara Becker, *Exploring the Cosmos: An introduction to the History of Astronomy*, Lecture 6: <https://eee.uci.edu/clients/bjbecker/ExploringtheCosmos/index.html>

Estatuto dúbio do critério de “simplicidade” teórica na “revolução copernicana”

Em primeira aproximação, poderíamos entender “simplicidade” como associada ao *número de círculos empregados no sistema*.

Nesta acepção, o sistema de Copérnico *não é* significativamente mais simples do que o de Ptolomeu.

- Cf. a frase final do *Commentariolus*, p. 126, onde ele enuncia um total de 34 círculos para o sistema completo.
- Cf. Martins, introdução ao *Commentariolus*, p. 72, para uma comparação numérica.
- Cf. especialmente o panorama traçado por I. Bernard Cohen, *Revolution in Science*, p. 111-119. (Texto distribuído em separata e em PDF)
- Daí surge o que foi conhecido como “a síndrome do 80-34” – e seus questionamentos posteriores.

Estatuto dúbio do critério de “simplicidade” teórica na “revolução copernicana”

Alternativamente, podemos pensar “simplicidade” em termos do *grau de unificação teórica e homogeneidade dos mecanismos postulados* – como faz Heidelberger em “Some intertheoretical relations between Ptolemean and Copernican astronomy” (texto distribuído em separata e em PDF).

(Note que temos aqui um claro caso de *interpretação aberta [subdeterminada]* de um *valor cognitivo* do conhecimento científico.)

E, nesse caso, o sistema copernicano é, *sim*, mais simples do que o ptolomaico.

(Porém note que Heidelberger ainda adere a uma leitura *instrumentalista* de Ptolomeu. Veremos mais sobre isso adiante.)

Sobre a circularidade, a uniformidade e o equante

É importante salientar que Copérnico ainda adere ao *axioma platônico* dos movimentos circulares para descrever os movimentos celestes, e também acredita na existência física dos *orbes*. No *Commentariolus*, Copérnico critica o equante:

«As teorias de Ptolomeu e da maior parte dos outros astrônomos, embora consistentes com os dados numéricos, pareciam apresentar não pequenas dificuldades. Pois essas teorias não eram adequadas, a menos que se concebesse também certos equantes; parecia então que um planeta não se movia com velocidade uniforme, nem sobre o seu deferente, nem em torno do centro de seu epiciclo. Assim, um sistema desse tipo não parecia nem suficientemente absoluto, nem suficientemente satisfatório ao espírito.

Tendo me tornado consciente desses defeitos, com frequência considerei se seria possível encontrar, talvez, um arranjo mais razoável dos círculos, a partir do qual cada aparente desigualdade pudesse ser derivada, e no qual tudo se movesse uniformemente em torno do seu próprio centro, como requer a regra do movimento absoluto. Depois que me dediquei a esse problema – muito difícil e quase insolúvel – finalmente me ocorreu a sugestão de como ele poderia ser solucionado utilizando construções menos numerosas e muito mais simples do que se usava anteriormente, caso eu pudesse fazer algumas suposições (chamadas axiomas). Elas seguem a seguinte ordem:» [Seguem-se as sete exigências ou suposições já vistas.]

– Copérnico, *Commentariolus*, in Rosen (ed) – *Three Copernican Treatises*, p. 57-58, trad. VAB.

Sobre a circularidade, a uniformidade e o equante

No *De Revolutionibus*, Livro IV, Cap. 2, Copérnico critica a não uniformidade dos movimentos (similar àquela que caracteriza o equante):

«Os nossos predecessores afirmaram que um tal sistema de círculos está de acordo com os fenômenos da Lua. Mas, se ponderarmos o assunto com mais cuidado, veremos que esta hipótese não é suficientemente adequada nem conveniente. Podemos provar isto pela razão e pelos sentidos. Efetivamente, enquanto nossos predecessores admitem que o movimento do centro do epiciclo é uniforme em redor do centro da Terra, também têm de admitir que não é uniforme no seu próprio círculo excêntrico (que descreve). [Segue-se a construção.] Por conseguinte, o movimento do epiciclo é não uniforme no círculo excêntrico que descreve.

Mas se assim é, que diremos acerca do axioma segundo o qual o movimento dos corpos celestes é uniforme e só aparentemente se apresenta como não uniforme, quando o movimento aparente uniforme do epiciclo é, de fato, não uniforme, coisa completamente contrária ao princípio estabelecido e à afirmação feita?

Mas se dissermos que o epiciclo se move uniformemente em redor do centro da Terra e que tal basta para salvaguardar a uniformidade, então, que espécie de uniformidade será aquela que existe num círculo estranho no qual o movimento do epiciclo não ocorre, ocorrendo sim no próprio círculo excêntrico deste epiciclo?»

– Copérnico, *Sobre as revoluções dos orbes celestes*, ed. Gulbenkian, 1984, p. 319

Quais teriam sido as motivações de Copérnico para propor seu sistema heliocêntrico?

- A crítica ao equante pode ter sido *uma* delas, porém não a motivação exclusiva – nem mesmo a principal.
- A margem de erro observacional não pode ter sido uma delas, pois, ao final das contas, não era significativamente menor no sistema copernicano do que no sistema ptolomaico.
- A 'simplicidade', se entendida em termos de número de círculos, também não, pois, como vimos, essa contagem é altamente controversa, e nem sempre favorável a Copérnico.
- Arrazoados propriamente físicos (compatibilidade com princípios físicos causais) não desempenham um papel heurístico ou fundacional importante ao longo da estrutura construída por Copérnico.

Quais teriam sido as motivações de Copérnico para propor seu sistema heliocêntrico?

- Arrazoados propriamente físicos (compatibilidade com princípios físicos causais) não desempenham um papel heurístico ou fundacional importante ao longo da estrutura construída por Copérnico.
- O sistema das 'sete suposições' do *Commentariolus* não constitui um sistema dedutivo mais simples, pois, se as teorias ptolomaica e copernicana fossem devidamente axiomatizadas, os sete suposições copernicanas não constituem um conjunto completo de axiomas – *são necessários outros mais*.
- No final do Cap. 10 do Livro I do *De Rev.*, Copérnico faz considerações acerca do Sol, "chamado por uns farol do mundo, por outros a sua mente" e sugere que não haveria "lugar melhor do que aquele de onde pode alumiar todas as coisas ao mesmo tempo", estando "colocado como em um trono, governando a família dos astros", e alude a Hermes Trismegisto.

Quais teriam sido as motivações de Copérnico para propor seu sistema heliocêntrico?

- Bernard Goldstein sugeriu, em um trabalho de 2002 (no *J. Hist. Astron.*), que a principal motivação de Copérnico foi consolidar o princípio de que os períodos de revolução dos planetas deveriam crescer conforme a distância de seus orbes ao centro de movimento.
- Se considerarmos um sistema heliocêntrico, pode-se especificar uma ordem (Sol-Mercúrio-Vênus-Terra-Marte-Júpiter-Saturno) na qual os períodos heliocêntricos calculados (que correspondem aos modernos **períodos siderais**) são sempre crescentes.
- Ptolomeu adotava a ordem (Terra-Lua-Mercúrio-Vênus-Sol-Marte-Júpiter-Saturno) – embora ele mesmo tenha observado, no *Almagesto* (IX.1) e nas *Hipóteses planetárias* (I.2), que para uma incerteza a respeito, com alguns autores colocando Mercúrio e Vênus acima do Sol.

Quais teriam sido as motivações de Copérnico para propor seu sistema heliocêntrico?

- Os períodos geocêntricos (que correspondem aos modernos períodos sinódicos) não são uniformemente crescentes no sistema ptolomaico. Se seguirmos a ordem postulada por Ptolomeu, ocorrem várias inversões.
- Copérnico sugere esta motivação em um trecho do *De Rev.* (I, 10), e ali também se refere a “certos filósofos antigos”, entre os quais, sugere Goldstein, estariam Aristóteles (*De Caelo* II, 10) e Vitrúvio (*De Architectura*), além de fazer uma referência explícita a Marciano Capella (séc. V).
- Goldstein sugere que foi a determinação desta proporcionalidade estrita que convenceu Copérnico de que seu sistema heliocêntrico possuía as características desejáveis de “simetria”, “harmonia” e “comensurabilidade”.

O escopo do *De Revolutionibus Orbium Coelestium*

A estrutura do *De Revolutionibus* (inclusive no teor dos livros e capítulos) é análoga à do *Almagesto* – na sua maior parte, um tratado de astronomia matemática, precedido por um primeiro livro contendo considerações cosmológicas.

A distinção de Geminus (“O escopo da Astronomia comparado com o da Física”, texto distribuído em separata e em PDF) entre dois âmbitos de investigação – por uma parte, os pressupostos físicos (que podemos pensar, em termos estruturalistas, como modelos potenciais) e a descrição matemática (em termos estruturalistas, seriam as subestruturas empíricas, modelos parciais) – aplica-se a *ambas* as obras.

Estes dois âmbitos não são entendidos como mutuamente independentes e incomunicáveis; ao contrário, o segundo deles, o da astronomia, busca fundamentação para suas hipóteses nos princípios do primeiro, o da física.

Na astronomia, pode haver subdeterminação das hipóteses pelas evidências (observações), o que não significa que uma escolha seja impossível ou irrelevante.

Já o prefácio de Andreas Osiander [1542-3] (inicialmente anônimo) ao *De Revolutionibus* de Copérnico tem caráter explicitamente instrumentalista (o que *não* acontece no texto de Geminus, a despeito da “interpretação recebida” sobre ele).

Copérnico e a “Revolução Copernicana”

«A importância do *De Revolutionibus* reside, então, menos naquilo que ele próprio diz do que no que levou os outros a dizer. O livro deu origem a uma revolução que apenas se enunciara. É mais um fazedor de revolução do que um texto revolucionário.»

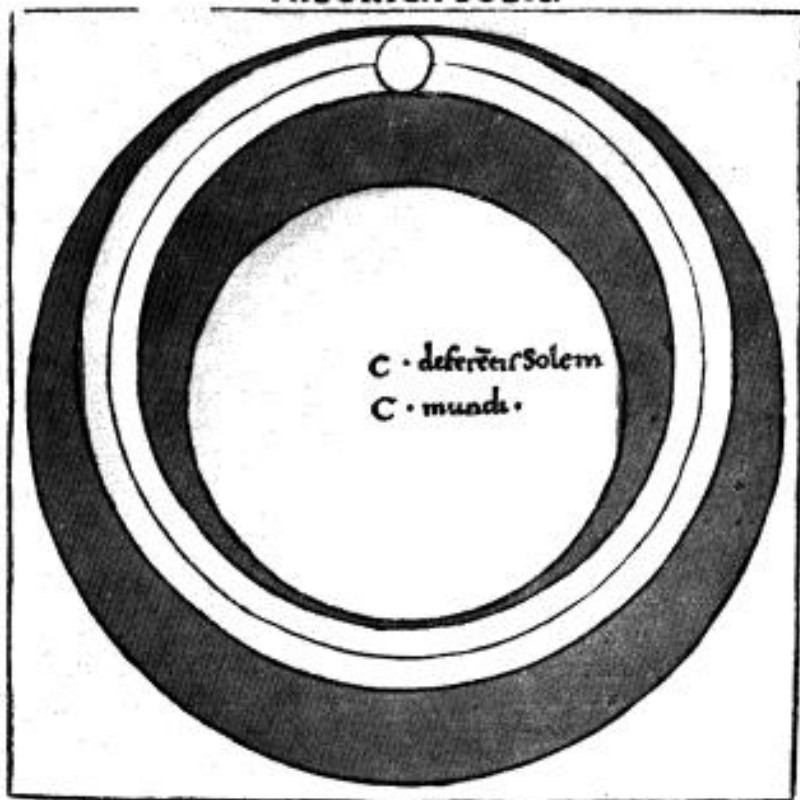
[T. S. Kuhn, *A revolução copernicana*, p. 152. Lisboa: Edições 70, 2002]

THEORICAE NOVAE PLANETARVM GEORGII
PVRBACHII ASTRONOMI CELEBRATISSIMI
DE SOLE



O habet tres orbes a se inuicem omniuaq; diuisos atq; sibi contiguos. quoy sup̄mus secundū sup̄ficiē conuexam est mundo concentricus: secundū cōcauam aut̄ eccentricus. Infim⁹ uero secundū cōcauā cōcentric⁹: sed secundū conuexā eccentricus. Tercius aut̄ i hōy medio lotatus tam secundū sup̄ficiē suā conuexā q̄ concauā est mūdo eccentricus. Dicit̄ aut̄ mundo concentricus orbis cui⁹ centrū est cētrum mūdi. Eccentricus uero cui⁹ centrū est aliud a centro mundi. Duo itaq; primi sunt eccentrici secundū qd: & uocant̄ orbes augem solis deferentes. Ad motum enim eorum aux solis uariatur. Tercid̄ uero est eccentricus simpliciter: & uocatur orbis solem deferens. ad motum enim eius corpus solare infixū sibi mouetur. Hi tres orbes duo cētra tenēt.

THEORICA SOLIS.



Peuerbach

Tem-se na *Theorica novae planetarum* (1472) de Georg von Peuerbach (1423-1461) a utilização de um sistema misto, que consegue conciliar a postulação de epiciclos com a necessidade física de orbes esféricos, sem criar o problema de orbes que se intersectam fisicamente.

Peuerbach introduz aquilo que denomina "orbes particulares" ou "parciais" por contraste com as "esferas" completas. Assim, ele insere um orbe excêntrico parcial (truncado) em um orbe concêntrico completo.

(Lembremo-nos dos *manshurat* ["peças recortadas", em árabe] de Ptolomeu nas *Hipóteses planetárias*.)

- Peuerbach fez observações astronômicas de precisão (incluindo o cometa que viria ser conhecido como cometa de Halley).
- Iniciou a preparação da monumental *Epítome do Almagesto*, por encomenda do cardeal Bessarion, que só seria completa e publicada, após a morte de Peuerbach, por seu discípulo Regiomontanus (em 1496).
- Esta obra seria uma referência para o estudo da astronomia no século seguinte (tendo sido inclusive estudada por Copérnico).

Regiomontanus

- A aceitação do sistema de Ptolomeu não ocorria, contudo, sem divergências. Um exemplo é o trabalho de Johannes Müller de Königsberg (1436-1476), conhecido como Regiomontanus.
- Produziu as *Efemérides* (um almanaque astronômico) e um tratado de trigonometria esférica, entre outras obras.
- A *Epítome do Almagesto* é uma obra iniciada em colaboração com Peurbach (de quem foi discípulo) e, após a morte deste, terminada por Regiomontanus.
- Regiomontanus defende em diversos textos o projeto de uma astronomia homocêntrica, que dispense os excêntricos e epiciclos:

in the first of [these treatises] I shall destroy by firm reasons and future observations the ancient hypothesis about eccentrics and epicycles. In the second, I shall openly present the hypothesis of concentric orbs, by which all the inequalities of the motions can be saved. In the third, I will confirm what is in the second with geometrical evidence. And the fourth will contain the manner in which these motions can be computed and tables established according to these new positions at epoch.⁴

- Regiomontanus, Carta a Janos Vitez (1460), in M. Shank, *J. Hist. Astron.* 29(1998),158.

Regiomontanus

I say that most questions of this type could be discovered [solved] with this table, if we were first to establish a wholly concentric astronomy. What about it? It will be splendid to save the inequalities of the planetary motions with concentrics. We have already given a way for the Sun and Moon; for the others, however, some of the preliminaries have already been laid down with which, once they are complete, it will be possible with this table to calculate the equations of all the planets.¹⁰

- Regiomontanus, Carta a Giovanni Bianchini (meados dos anos 1460), in M. Shank, *J. Hist. Astron.* 29(1998), 159-160.

Em outras obras, como a *Defesa de Theon contra George de Trebizond*, Regiomontanus defendia o uso de argumentos físicos para criticar teorias astronômicas.

E continuava sendo um crítico dos epiciclos e excêntricos:

“If time permits, I will demonstrate how we may save these inequalities in the motions of the Moon without an eccentric or an epicycle, not in the manner of al-Bitruji, which is completely unsatisfactory, but in some new and most suitable way.”

- Regiomontanus, *Defesa...*, in M. Shank, *J. Hist. Astron.* 29(1998), 163.

Tycho Brahe

Tycho Brahe, a despeito de nutrir uma grande admiração por Copérnico, via seu papel como sendo o de “restaurar” a Astronomia.

Ele considerava os dados observacionais nos quais haviam se baseado Ptolomeu e Copérnico como viciados (“pela incúria dos observadores e/ou dos copistas”), cometendo erros de 1 grau de arco ou mais.

Trabalhou explicitamente no sentido de “restaurar à condição correta” a base de dados observacionais da astronomia.

Considerava que somente o seu sistema híbrido constituía um “compromisso perfeito” entre o ptolomaico e o copernicano, e também que só ele poderia dar conta precisamente dos fenômenos.

Tycho também critica o equante – assim como a solução dada por Copérnico:

«Como eu tinha observado que aquela velha distribuição dos orbes celestes de Ptolomeu não está ajustada e é superabundante de epiciclos, distribuição com a qual são justificados, com uma certa parte de desigualdades aparentes, os modos de ser dos planetas quanto ao Sol e as suas retrogradações; ainda mais, que essas hipóteses pecam contra os próprios primeiros princípios da arte, tanto que elas admitem a uniformidade do movimento circular não vista do próprio centro [...] mas de um estranho, a saber, do centro de um outro excêntrico (que chamam comumente de *equante*) [...]

... e porque considero, ao mesmo tempo, a inovação desse grande Copérnico, que pretende reinstalar o pensamento de Aristarco de Samos [...]

... porque ele procurou resolver sabiamente todas as disposições inúteis e indiferentes que se encontram em Ptolomeu, não pecando em nada contra os princípios da matemática, mas que, entretanto, ele resolveu agitar os corpos grandes, pesados e difíceis de mover da Terra [...]

... por movimentos triplos igual aos astros luminosos etéreos, que se opõem não apenas aos princípios físicos mas ainda aos autores de textos Sacros que confirmam a fixidez da Terra [...]

... porque observei no interior dessas duas hipóteses admitidas grandes absurdidades...

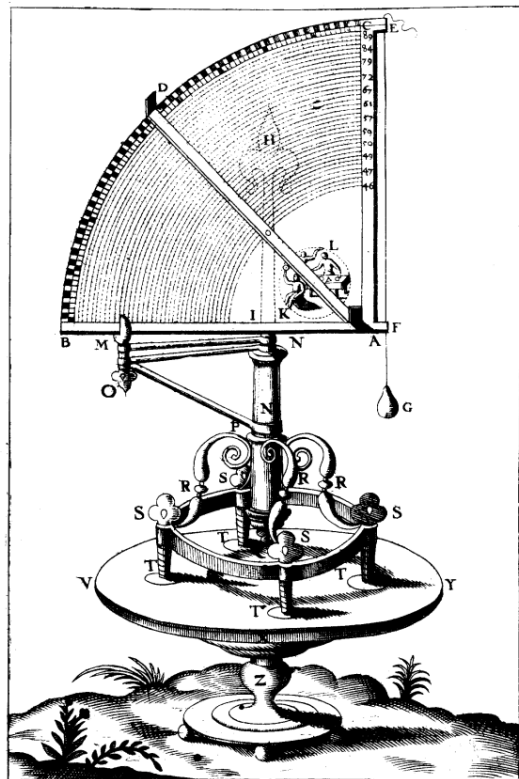
Tycho
Brahe

Sobre a circularidade e o equante

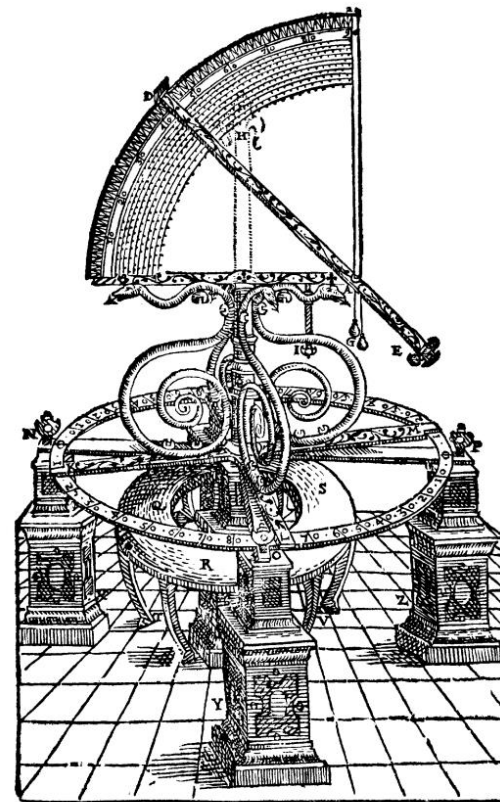
... procurei refletir de outra maneira, pois, se alguma razão para as hipóteses pudesse ser encontrada, de uma parte matematicamente, de outra parte fisicamente, todos os lados seriam estabelecidos corretamente, de tal forma que elas não estariam mais sujeitas às censuras teológicas e satisfariam totalmente as (coisas) celestes.»

– Tycho Brahe, *Sur des phénomènes plus récents du monde éthéré. Livre second [des progymnasmata]*. Paris, A. Blanchard, 1984, p. 174, trad. Claudemir Tossato.

QVADRANS MINOR
ORICHALCICVS INAURATUS.



QVADRANS MEDIOCRIS
ORICHALCICVS AZIMVTHALIS.



EXPLI.

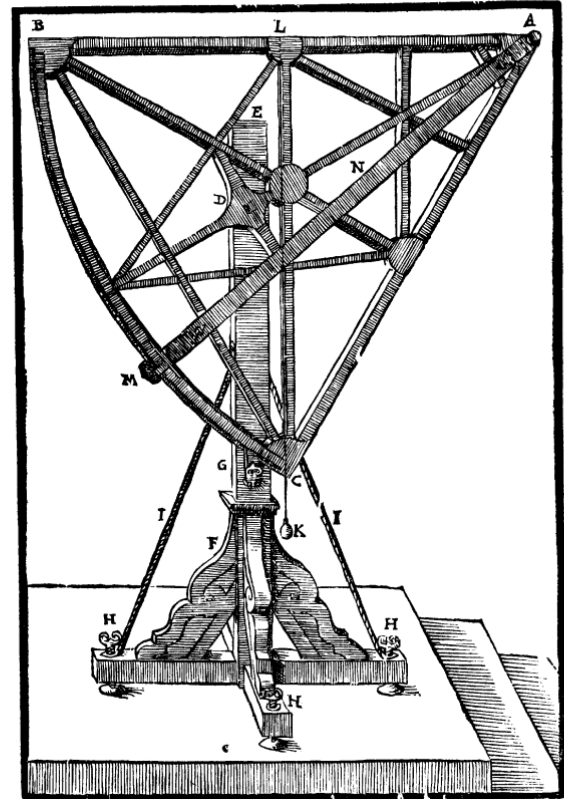
Tycho Brahe, pranchas da *Astronomiae Instauratae Mechanica*.

QVADRANS MVRALIS
SIVE TICHONICVS.



EXPLI-

SEXTANS ASTRONOMICVS,
PROVT ALTIIVDINIBVS INSERVIT.



EXPLI-

Tycho Brahe, pranchas da *Astronomiae Instauratae Mechanica*.

Tycho Brahe

Por um lado, Tycho criticava o sistema ptolomaico e elogiava o sistema copernicano:

«[In examining the Ptolemaic hypotheses] I noticed ... that although they save to a great extent the heavenly appearances, because however they allow that the motion of a circle be regular not around its own center, but around some other point, they sin against the first principles of the art, which Copernicus himself seems to have criticized in these hypotheses; furthermore the great number and great size of the epicycles that are assumed take up much space in the sky and are superfluous. I considered whether everything could be resolved by fewer [of them], and it gave me great concern that no necessary cause or natural combination explained why the superior planets are bound to the sun in such a way that at conjunction they always occupy the top of their epicycles, at opposition the lowest point of the same, and that the two planets that are called inferior always have the same mean position with the sun and are close to it at the apogee and perigee of their epicycles.» (Tycho, Carta a Caspar Peucer, 1588, in *Opera Omnia*, vol. VII, p. 128, , trad. Ann Blair)

E considerava que o sistema de Copérnico, além de ser “muito mais elegante” (VII, p. 80) do que o de Ptolomeu, também

“resolves well all the other aspects of the Ptolemaic arrangement which are confused and superfluous, and in no way sins against the principles of mathematics.” (Tycho, *Opera Omnia*, VII, 128).

Tycho Brahe

No entanto, Tycho também critica o sistema de Copérnico por vários ângulos. Por exemplo, com relação ao movimento de rotação,

«whether this third motion, that accounts for the daily revolution, belongs to the earth and nearby elements, is hard to say. For with the same reason the appearance of so great a motion can be explained in the earth and in the primum mobile [the outermost sphere] and the sudden return from East to West of all the spheres in the second mover [beneath the fixed stars] can be saved with a much smaller revolution, and therefore a more convenient short-cut, as I see that the Pythagoreans and Platonists believed.» (Tycho, Carta a Henry Brucaeus, 1584, in *Opera Omnia*, VII, 80, trad. Ann Blair)

E, contudo,

“it is likely nonetheless that such a fast motion could not belong to the earth, a body very heavy and dense and opaque, but rather belongs to the sky itself whose form and subtle and constant matter are better suited to a perpetual motion, however fast” (*Opera Omnia*, VII, 80)

— movimento esse da Terra que, por sinal, Tycho considerava “inútil” e “absurdo”, pois a matéria desse corpo “preguiçoso e ignóbil” não se prestava ao movimento rápido, ao contrário da substância pura e etérea dos corpos celestes, para a qual o movimento rápido era natural.

Tycho Brahe

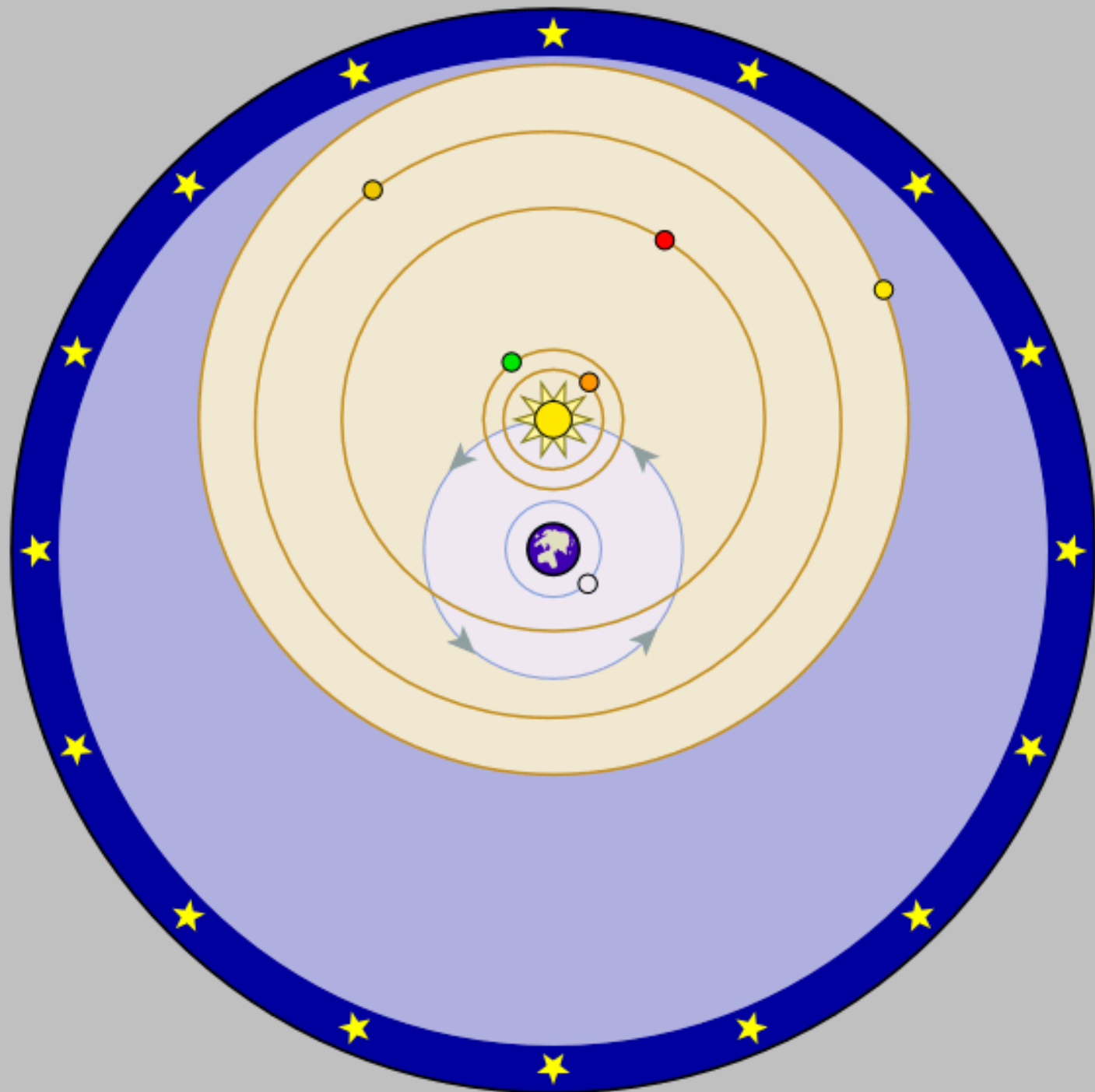
Tycho retomava, por exemplo, contra Copérnico, o argumento da ausência de paralaxe estelar observável, e conseqüentemente as distâncias cósmicas imensas que isso acarretava:

«Then the stars of the third magnitude which are one minute in diameter will necessarily be equal to the entire annual orb [of the earth], that is, they would comprise in their diameter 2284 semidiameters of the earth. They will be distant by about 7850000 of the same semidiameters. What will we say of the stars of first magnitude, of which some reach two, some almost three minutes of visible diameter? And what if, in addition, the eighth sphere were removed higher, so that the annual motion of the earth vanished entirely [and was no longer perceptible] from there? Deduce these things geometrically if you like, and you will see how many absurdities (not to mention others) accompany this assumption [of the motion of the earth] by inference.» (Tycho, *Opera Omnia*, VI, 197, trad. Blair)

E asseverava:

"It is necessary to preserve in these matters some decent proportion, lest things reach out to infinity and the just symmetry of creatures and visible things concerning size and distance be abandoned: it is necessary to preserve this symmetry because God, the author of the universe, loves appropriate order, not confusion and disorder." (Tycho, *Astronomiae Instauratae Progymnasmata*, 1602, in *Opera Omnia*, II, 435)

Tycho Brahe



• À direita: o sistema planetário híbrido (geo-heliocêntrico) de Tycho Brahe.

• Notar a presença de dois centros de movimentos, bem como a diferença em relação ao antigo sistema híbrido de Heráclides de Ponto.

Tycho Brahe

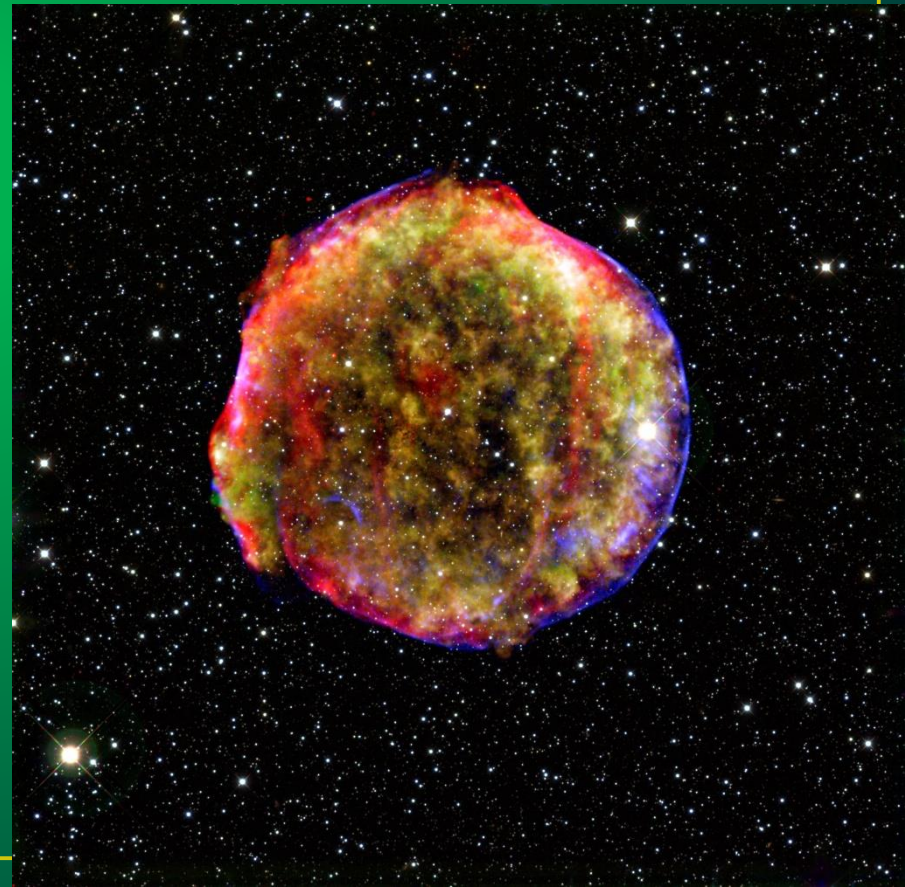
A nova de 1572

Tycho chegou ao sistema híbrido em parte por uma crítica interna (teórica) aos sistemas ptolomaico e copernicano, mas também, em grande medida, devido às observações da nova de 1572 e do cometa de 1577.

Tycho, em virtude das suas observações da **estrela nova de 1572** (na realidade uma supernova na região da constelação de Cassiopéia), e da ausência de uma paralaxe observável associada a ela, foi levado a concluir que o fenômeno ocorrera na região muito além da lua.

Portanto, a região celeste não seria imutável, como se acreditava até então (acompanhando Aristóteles).

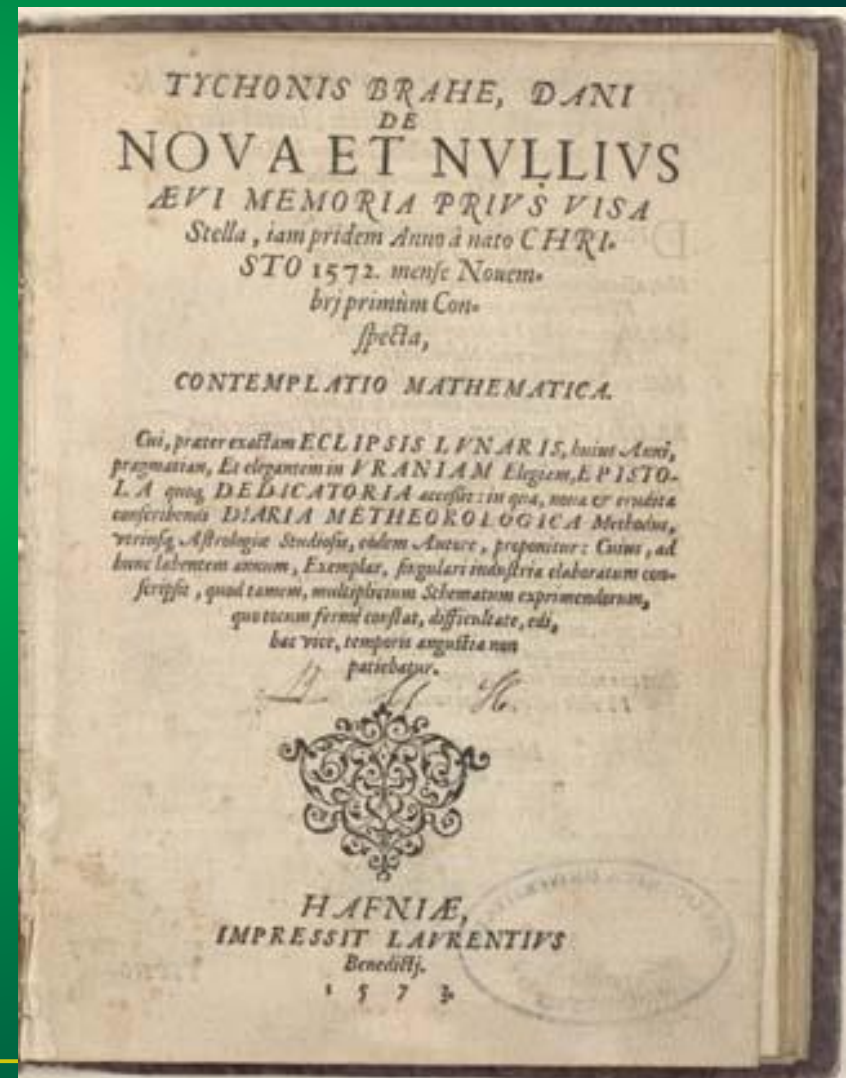
À direita: remanescentes da supernova de Tycho, hoje conhecida como SN₁₅₇₂, na constelação de Cassiopéia. Fonte: NASA/MPIA/Calar Alto Observatory, Oliver Krause et al.



Tycho Brahe

Tycho Brahe, *De nova et nullius aevi memoria prius visa stella* (1573) ("Sobre a estrela nova, de cuja visão não se tem memória anterior")

A nova de 1572



Tycho Brahe

O cometa de 1577

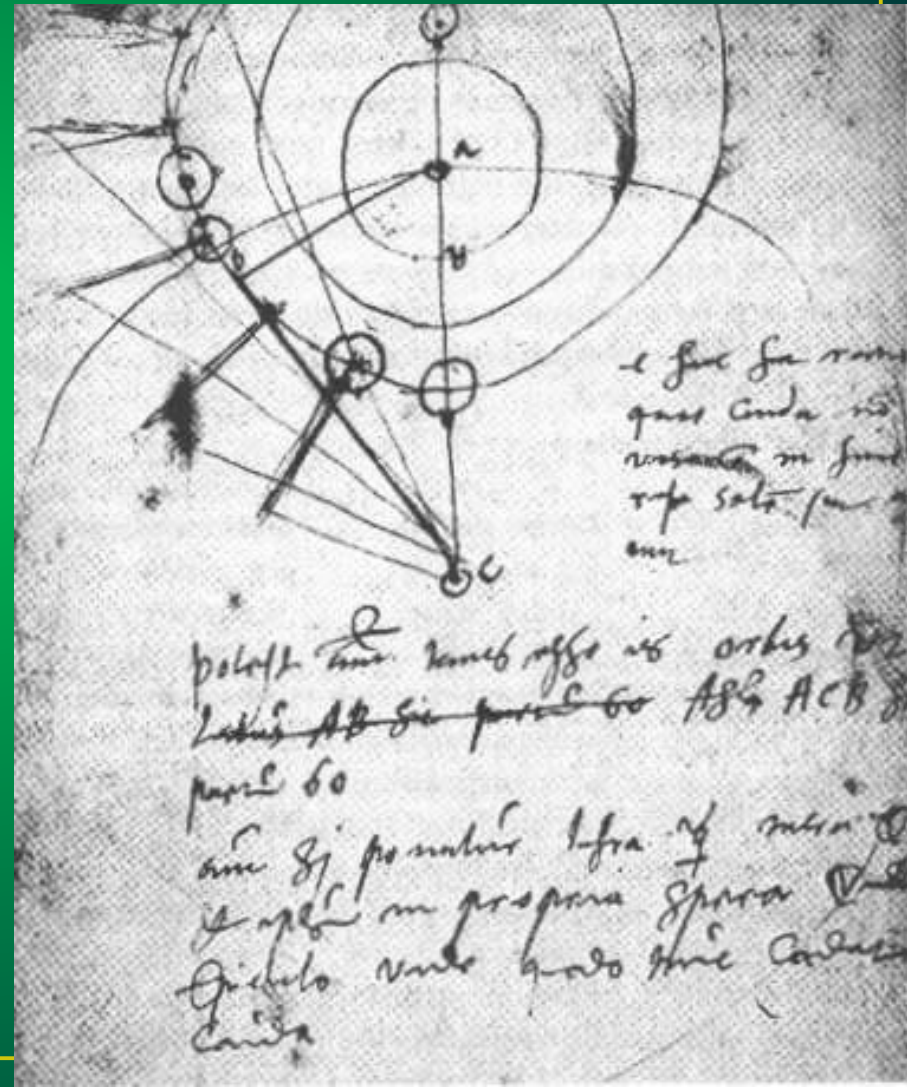
Já em virtude das suas observações do **cometa de 1577**, Brahe é levado a concluir que o cometa tem uma paralaxe menor que a da Lua, encontrando-se portanto além da esfera da Lua, sendo os cometas portanto fenômenos supralunares (e não atmosféricos, como se acreditava até então, acompanhando Aristóteles).

Além disso, como o cometa se move, ele teria que atravessar fisicamente (furar) as esferas cristalinas.

Finalmente, caso existissem as esferas cristalinas, deveriam ocorrer fenômenos de refração da luz nas interfaces entre elas, o que não se observa.

Tudo isso leva Tycho a abandonar o modelo das esferas cristalinas.

À direita: Anotações de Tycho Brahe em seu caderno, registrando a observação do cometa de 1577.



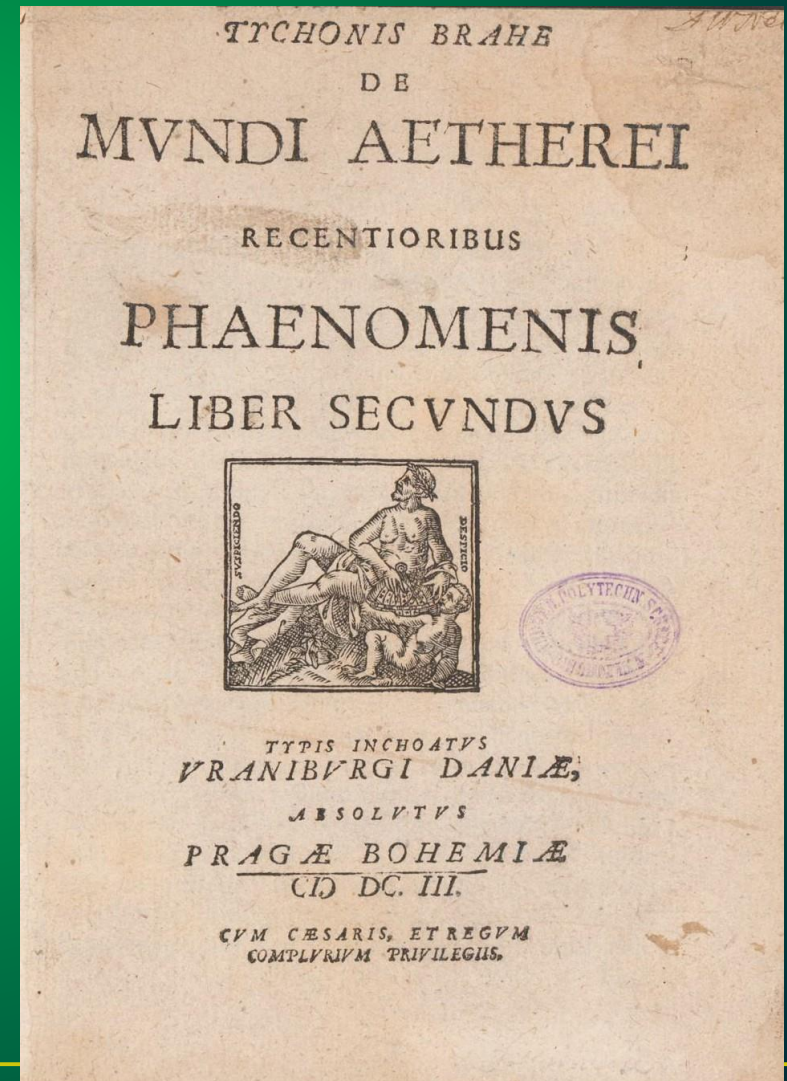
O Grande Cometa de 1577, gravura em madeira de Jiri Daschitzsky.



Tycho Brahe

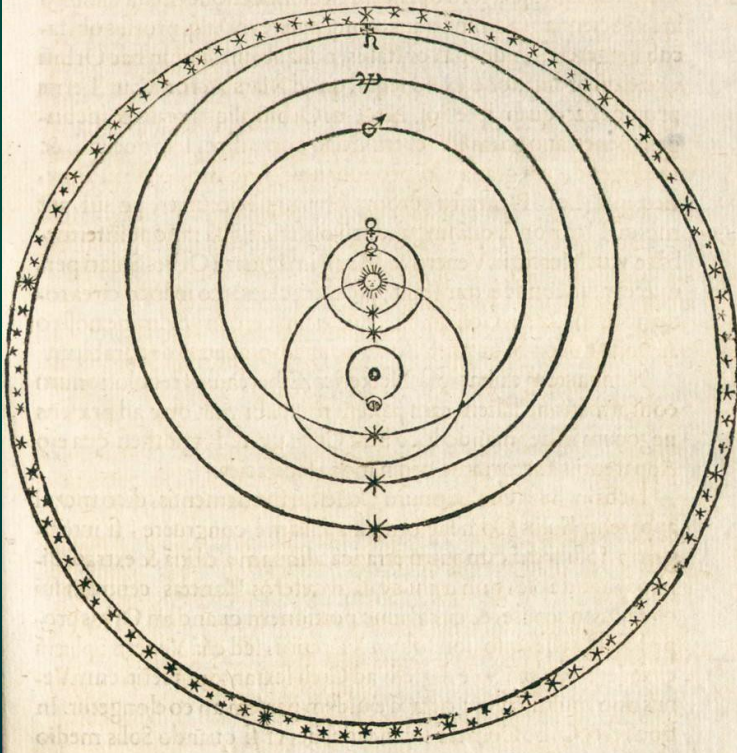
☾ cometa de 1577

Tycho registra suas observações do cometa em um pequeno texto conhecido como *Tratado germânico*, de 1578. Dez anos mais tarde, em 1588, ele publica *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis* (Sobre os fenômenos recentes do mundo etéreo), onde, no volume 2, elabora o modelo geo-heliocêntrico de universo.



Tycho Brahe

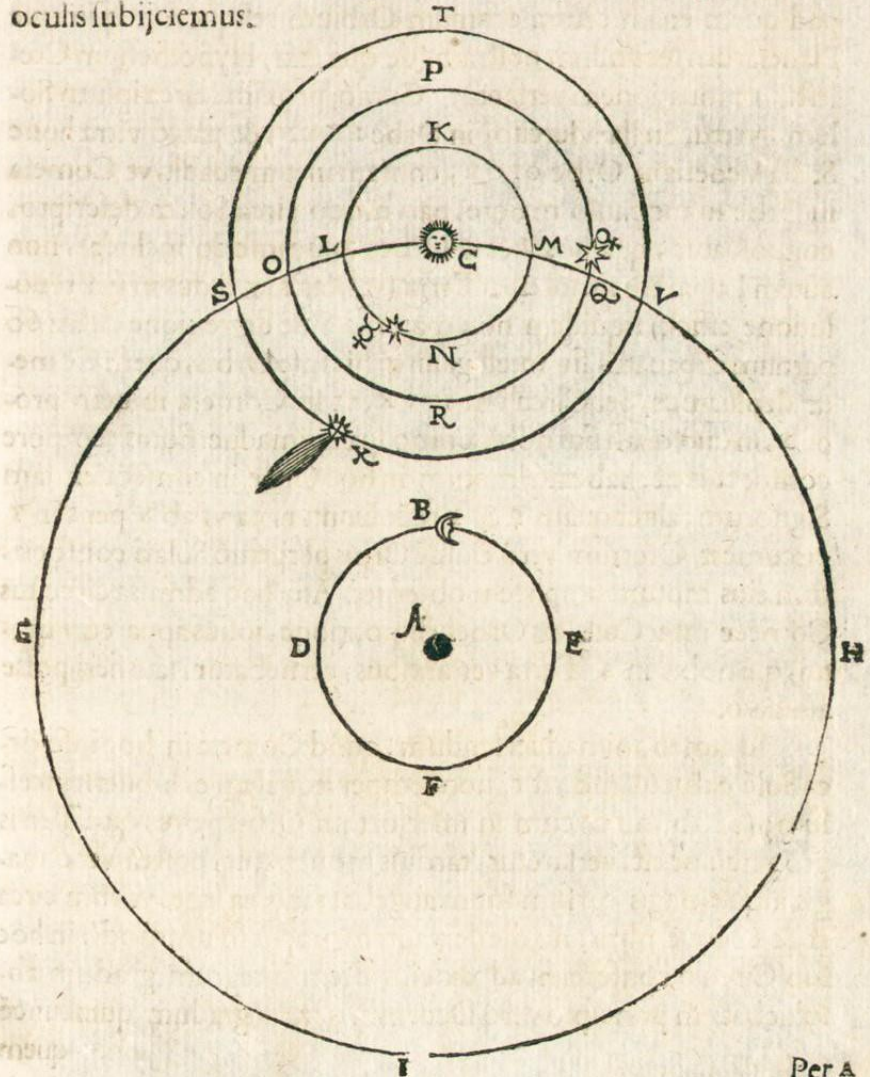
*NOVA MUNDANI SYSTEMATIS HYPOTYPOSIS
ab Authore nuper adinuenta, quatum vetus illa Ptolemaica
redundantia & inconcinntas, tum etiam recens Coperniana
in motu Terra Physica absurditas, excluduntur, omniaq;
Apparentiis Caelestibus aptissime correspondent.*



AA

Pleniorem

motui coniunctus fuisset, in infima Orbis sui parte & Terris proxima constitutus assumatur, atq; hinc per consequentiã Signorum, aliter quam in Venere & Mercurio vluent, versus eiusdẽ Orbis Apogæum perrexisset, centro huius reuolutionis Solis simplici motui perpetuò concurrente, admittatur. Quæ omnia vt rectius percipiantur, nunc orbũ huc aliquid facientiũ oportuna dispositionem oculis subiiciemus.



T

Per A