

HISTÓRIA DA ASTRONOMIA

Iran Carlos Stalliviere Corrêa – Museu de Topografia Prof. Laureano Ibrahim Chaffe

outubro/2022

A Astronomia através dos tempos

A Astronomia é a mais antiga das ciências. Descobertas arqueológicas têm fornecido evidências de observações astronômicas entre os povos pré-históricos. Desde a antiguidade, o céu vem sendo usado como mapa, calendário e relógio. Os registros astronômicos mais antigos datam de aproximadamente 3.000 a.C. e se devem aos chineses, babilônios, assírios e egípcios. Naquela época, os astros eram estudados com objetivos práticos, como medir a passagem do tempo (calendários), para prever a melhor época para o plantio e a colheita, ou com objetivos mais relacionados à astrologia, como fazer previsões do futuro, já que acreditavam que os deuses do céu tinham o poder da colheita, da chuva e mesmo da vida.

A Astronomia Pré-Histórica

Estudando os sítios megalíticos, tais como os de Callanish, na Escócia, o círculo de Stonehenge, na Inglaterra, que data de 2.500 a 1.700 a.C., e os alinhamentos de Carnac, na Bretanha, os astrônomos e arqueólogos, chegaram à conclusão de que os alinhamentos e círculos serviam como marcos indicadores de referências e importantes pontos do horizonte, como por exemplo as posições extremas do nascer e o caso do Sol e da Lua, no decorrer do ano. Esses monumentos megalíticos são autênticos observatórios destinados à previsão de eclipses na Idade da Pedra.



Sítio megalítico de Callanish – Escócia



Alinhamentos de Carnac - Bretanha

Em Stonehenge, cada pedra pesa em média 26 ton. e a avenida principal que parte do centro do monumento aponta para o local em que o Sol nasce no dia mais longo do verão. Nessa estrutura, algumas pedras estão alinhadas com o nascer e o pôr do Sol no início do verão e do inverno. Os maias, na América Central, também tinham conhecimentos de calendário e de fenômenos celestes, e os polinésios aprenderam a navegar por meio de observações celestes.



Stonehenge – Inglaterra

A Astronomia na Mesopotâmia

Os sumerianos foram os primeiros a desenvolver a astronomia. Parece justo reconhecê-los como fundadores da astronomia, apesar de terem sido também os criadores da astrologia. Realmente, a princípio, observavam os astros por motivos místicos, porém com o tempo, deixaram as suas pretensões místicas para se limitarem a observar pela simples observação. Assim fazendo, passaram de astrólogos a astrônomos.

Tal mudança na análise dos fenômenos celestes ocorreu no primeiro milênio antes de Cristo. Surgem assim, as primeiras aplicações

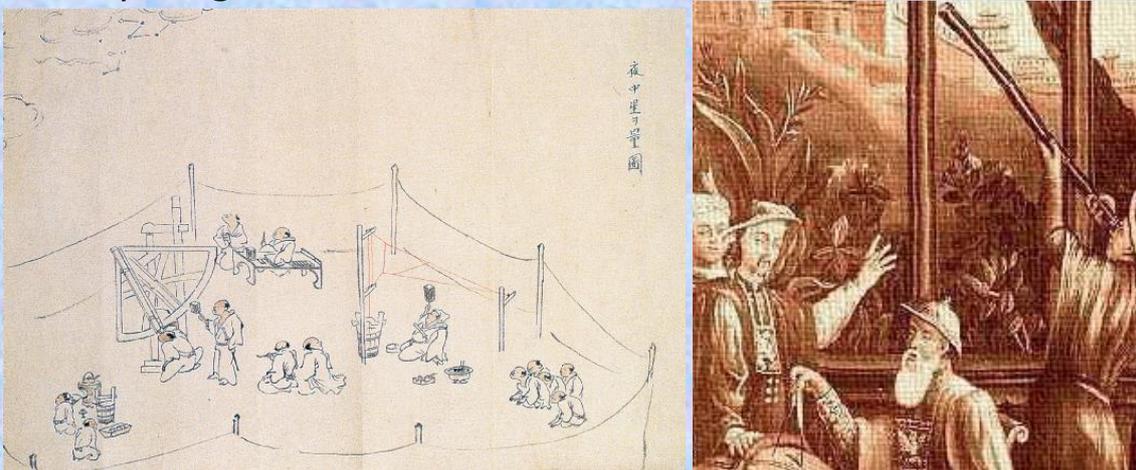
de métodos matemáticos para exprimir as variações observadas nos movimentos da Lua e dos planetas. A introdução da matemática na astronomia foi o avanço fundamental na história da ciência na Mesopotâmia.



Os sumérios e a astronomia

A Astronomia Chinesa

A astronomia na China, como na Mesopotâmia, foi essencialmente religiosa e astrológica. Há dificuldade de reconstituir todo o conhecimento astronômico chinês, pois no ano 213 a.C. todos os livros foram queimados por decreto imperial. O que existe de mais antigo em matéria de astronomia remonta ao século IX a.C. Os chineses previam os eclipses, pois conheciam sua periodicidade. Usavam um calendário de 365 dias. Deixaram registros de anotações precisas de cometas, meteoros e meteoritos desde 700 a.C. Mais tarde, também observaram as estrelas que agora chamamos de novas.



Astrônomos chineses

A Astronomia entre os Egípcios

É importante registrar o papel desempenhado pelo Egito na difusão das idéias e conhecimento mesopotâmicos. Foi por intermédio dos egípcios que os astrólogos e os astrônomos babilônicos chegaram ao Ocidente. A astronomia egípcia, contudo, era bastante rudimentar,

pois a economia egípcia era essencialmente agrícola e regida pelas enchentes do Nilo. Por esse motivo o ritmo de sua vida estava relacionado apenas com o Sol. As descrições do céu eram quase nulas e o zodíaco que conheciam era uma importação do criado pelos babilônicos.



A deusa egípcia Nut (o firmamento) suportada pelo deus Shu e separada do seu amante (a Terra).

A Astronomia Grega

O ápice da ciência antiga se deu na Grécia, de 600 a.C. a 400 d.C., a níveis só ultrapassados no século XVI. Do esforço dos gregos em conhecer a natureza do cosmos, e com o conhecimento herdado dos povos mais antigos, surgiram os primeiros conceitos de Esfera Celeste, uma esfera de material cristalino, incrustada de estrelas, tendo a Terra no centro. Desconhecedores da rotação da Terra, os gregos imaginaram que a esfera celeste girava em torno de um eixo passando pela Terra. Observaram que todas as estrelas giram em torno de um ponto fixo no céu e consideraram esse ponto como uma das extremidades do eixo de rotação da esfera celeste.

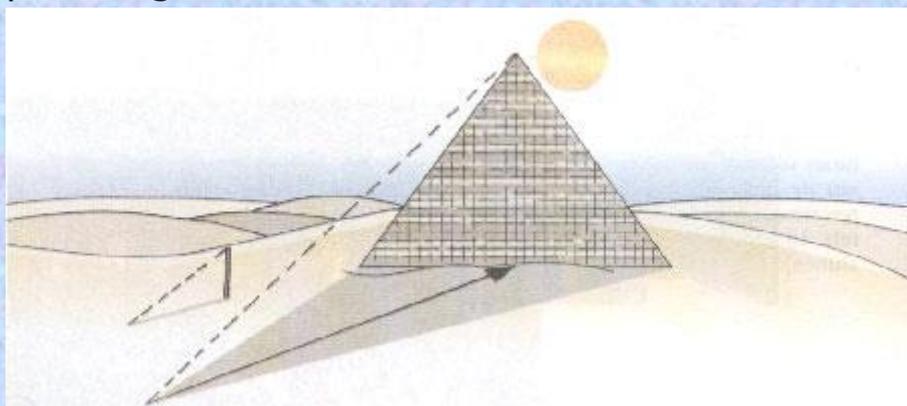


Modelo proposto por Tales com a Terra plana cercada por um oceano.

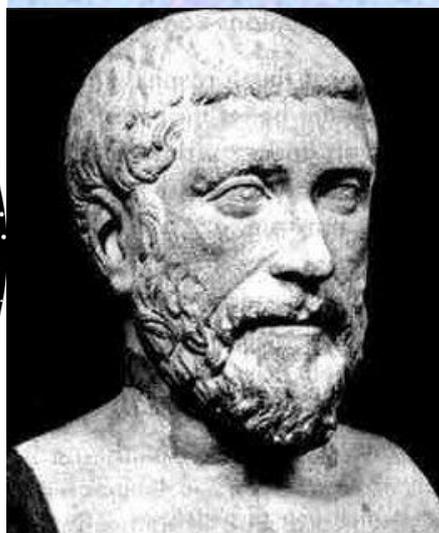
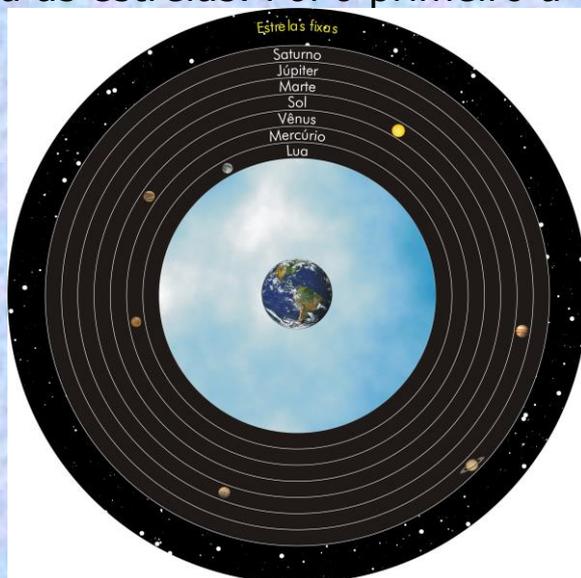
Os Astrônomos da Grécia Antiga

Tales de Mileto (624-546 a.C.) introduziu na Grécia os fundamentos da geometria e da astronomia, trazidos do Egito. Conta-se que em uma das viagens ao Egito, Tales impressionou o Faraó, medindo a altura das pirâmides pela observação do comprimento das sombras, no momento em que a sombra de um bastão vertical é igual

à sua altura. Foi o primeiro astrônomo a explicar o eclipse do sol, ao verificar que a Lua é iluminada por este astro. O que parece mostrar e provar que as suas idéias eram, não somente conhecidas, mas também largamente compartilhadas e discutidas. Tales aprendeu no Egito a teoria dos eclipses do Sol e da Lua, ou, pelo menos, que esses fenômenos se repetem dentro de um ciclo tal que sua previsão se torna possível. Previu assim em **585 a.C.** um eclipse solar que até hoje é discutido entre historiadores se foi um fato verídico ou algo inventado para engrandecer ainda mais os suas obras.

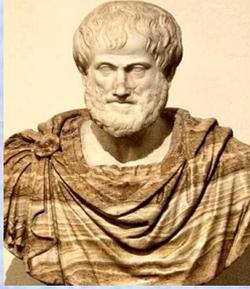


Pitágoras de Samos (572-497 a.C.) acreditava na esfericidade da Terra, da Lua e de outros corpos celestes. Achava que os planetas, o Sol, e a Lua eram transportados por esferas separadas da que carregava as estrelas. Foi o primeiro a chamar o céu de cosmos.

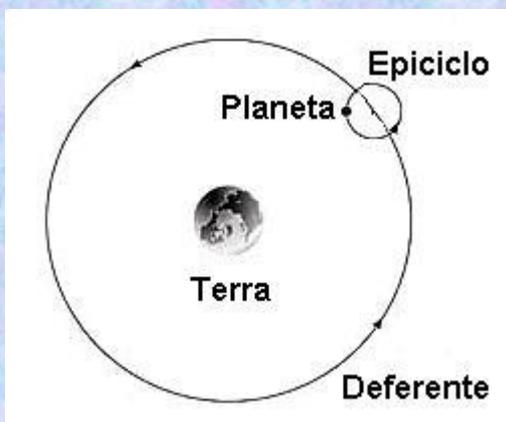


Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.) explicou que as fases da Lua dependem de quanto da parte da face da Lua iluminada pelo Sol está voltada para a Terra. Explicou, também, os eclipses; argumentou a favor da esfericidade da Terra, já que a sombra da Terra na Lua durante um eclipse lunar é sempre arredondada. Afirmava que o Universo é esférico e finito. Aperfeiçoou a teoria das esferas concêntricas de Eudoxus de Cnidos (408-355 a.C.), propondo em seu

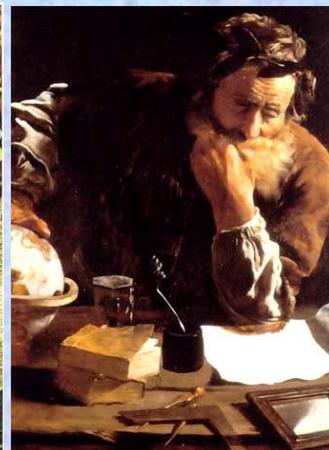
livro De Caelo, que "o Universo é finito e esférico, ou não terá centro e não pode se mover."



Heraclides de Pontus (388-315 a.C.) propôs que a Terra girava diariamente sobre seu próprio eixo, que Vênus e Mercúrio orbitavam o Sol, e a existência de epiciclos.

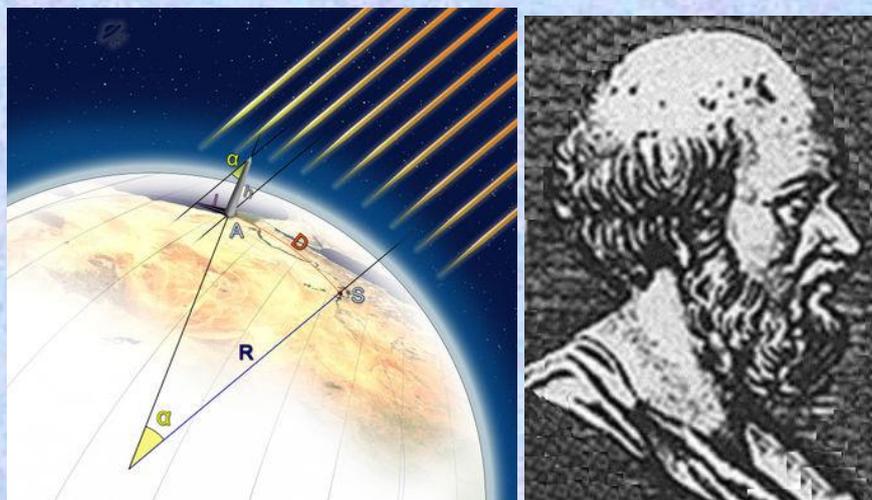


Aristarco de Samos (310-230 a.C.) foi o primeiro a propor que a Terra se movia em volta do Sol, antecipando Copérnico em quase 2.000 anos. Entre outras coisas, desenvolveu um método para determinar as distâncias relativas do Sol e da Lua à Terra e mediu os tamanhos relativos da Terra, do Sol e da Lua.



Eratóstenes de Cirere (276-194 a.C.), bibliotecário e diretor da Biblioteca Alexandrina de 240 a.C. a 194 a.C., foi o primeiro a medir a

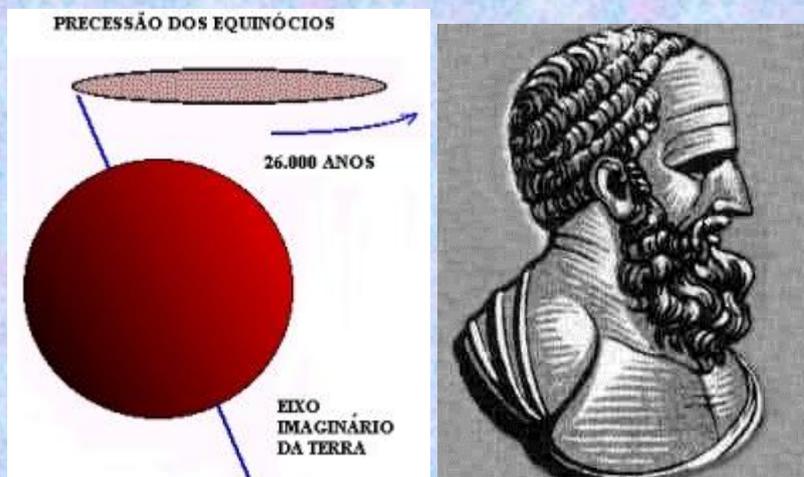
circunferência da Terra. Ele notou que, na cidade egípcia de Siena (atualmente chamada de Asuan), no primeiro dia do verão, ao meio-dia, a luz solar atingia o fundo de um grande poço, ou seja, o Sol estava incidindo perpendicularmente à Terra em Siena. Já em Alexandria, situada ao norte de Siena, isso não ocorria; medindo o tamanho da sombra de um bastão na vertical, Eratóstenes observou que em Alexandria, no mesmo dia e hora, o Sol estava aproximadamente sete graus mais ao sul. A distância entre Alexandria e Siena era conhecida como de 5.000 estádios. Um estádio era uma unidade de distância usada na Grécia antiga. Como 7 graus corresponde a $1/50$ de um círculo (360 graus), Alexandria deveria estar a $1/50$ da circunferência da Terra ao norte de Siena e a circunferência da Terra deveria ser 50×5.000 estádios. Infelizmente, não é possível se ter certeza do valor do estádio usado por Eratóstenes, já que os gregos usavam diferentes tipos de estádios. Se ele utilizou um estádio equivalente a $1/6$ km, o valor está a 1% do valor correto de 40.000 km.



Hiparco de Nicéia (160-125 a.C.), considerado o maior astrônomo da era pré-cristã, construiu um observatório na ilha de Rodes, onde fez observações durante o período de 160 a 127 a.C. Como resultado, ele compilou um catálogo com a posição no céu e a magnitude de 850 estrelas. A magnitude, que especificava o brilho da estrela, era dividida em seis categorias, de 1 a 6, sendo 1 a mais brilhante, e 6 a mais fraca visível a olho nu. Hiparco deduziu corretamente a direção dos pólos celestes, e até mesmo a precessão, que é a variação da direção do eixo de rotação da Terra devido à influência gravitacional da Lua e do Sol, que leva 26.000 anos para completar um ciclo.

Para deduzir a precessão, ele comparou as posições de várias estrelas com aquelas catalogadas por Timocharis e Aristyllus 150 anos antes (cerca de 300 a.C.). Estes eram membros da Escola Alexandrina do século III a.C. e foram os primeiros a medir as distâncias das estrelas de pontos fixos no céu (coordenadas eclípticas). Foram,

também, dos primeiros a trabalhar na Biblioteca de Alexandria, que se chamava Museu, fundada pelo rei do Egito, Ptolémée Sôter Ier, em 305 a.C. Hiparco também deduziu o valor correto de $8/3$ para a razão entre o tamanho da sombra da Terra e o tamanho da Lua e também que a Lua estava a 59 vezes o raio da Terra de distância; o valor correto é 60. Ele determinou a duração do ano com uma margem de erro de 6 minutos.



Ptolomeu (85-165 d.C.), Claudius Ptolemaeus foi o último astrônomo importante da antiguidade. Ele compilou uma série de treze volumes sobre astronomia, conhecida como o Almagesto, que é a maior fonte de conhecimento sobre a astronomia na Grécia. A contribuição mais importante de Ptolomeu foi uma representação geométrica do sistema solar, geocêntrica, com círculos e epiciclos, que permitia prever o movimento dos planetas com considerável precisão e que foi usado até o Renascimento, no século XVI.



A Astronomia na Idade Média

Em 1252, Afonso X, o Sábio, Rei de Castela (Espanha), que em 1256 foi proclamado rei e no ano seguinte imperador do Sacro Império

Romano, convocou 50 astrônomos para revisar as tabelas astronômicas calculadas por Ptolomeu, que incluíam as posições dos planetas no sistema geocêntrico, publicado por Claudio Ptolomeu em 150 d.C., no Almagesto. Os resultados foram publicados como as Tabelas Alfonsinas. Os dados e comentários que se foram anexando ao Almagesto formaram as fontes essenciais para o primeiro livro-texto de astronomia do Ocidente, o Tratado da esfera de Johannes de Sacrobosco.

John Holywood (1200-1256) Sua obra foi várias vezes reeditada, ampliada e comentada. Foi o principal texto de instrução acadêmica até o tempo de Galileu. John Holywood era um monge inglês que também atendia pelo nome latinizado de Joanes de Sacrobosco. Professor de Astronomia na Universidade de Paris, Sacrobosco foi o autor do livro astronômico com o maior número de edições até hoje, o "*Tractatus de Sphaera Mundi*", publicado pela primeira vez em 1473. O "*Sphaera*" era um manual de astronomia e geografia muito utilizado pelos portugueses durante a era das grandes explorações e não deixa dúvidas aos historiadores modernos, de que a esfericidade da Terra fosse um fato bem reconhecido na época.

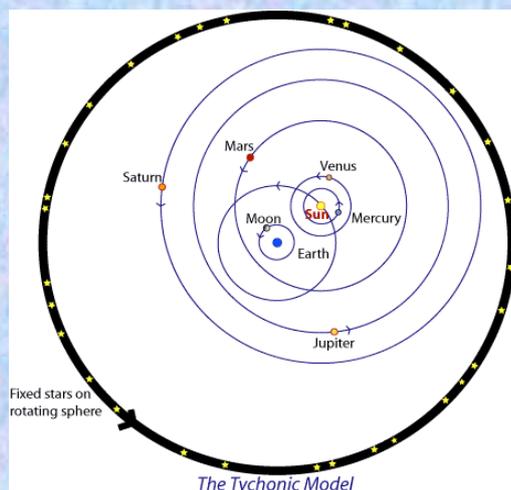


Nicolau Cusano (1401-1464), matemático e astrônomo. É interessante ressaltar que suas idéias sobre o universo infinito e sobre a investigação quantitativa da natureza brotaram de reflexões teológicas e religiosas.

Nicolau Copérnico (1473-1543) apresenta o sistema heliocêntrico. A base deste novo pensamento veio, em parte, das escolas bizantinas. Manteve durante toda a vida a idéia da perfeição do movimento circular, sem supor a existência de outra forma de movimento.

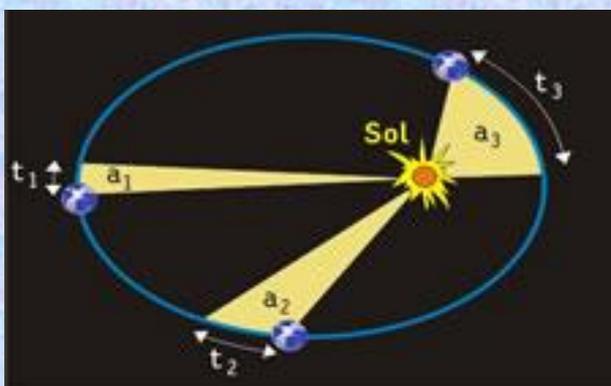


Tycho Brahe (1546-1601) descobriu erros nas Tabelas Alfonsinas. Em 11 de novembro de 1572, Tycho notou uma nova estrela na constelação de Cassiopéia. A estrela era tão brilhante que podia ser vista à luz do dia, e durou 18 meses. Era o que hoje chamamos de super nova. Publicou suas observações no *De Nova et Nullius Aevi Memoria Prius Visa Stella*, em Copenhague em 1573. Com seus assistentes, Tycho conseguiu reduzir a imprecisão das medidas, de 10 minutos de arco deste o tempo de Ptolomeu, para um minuto de arco. Foi o primeiro astrônomo a calibrar e checar a precisão de seus instrumentos periodicamente, e corrigir as observações por refração atmosférica. Também foi o primeiro a instituir observações diárias, e não somente quando os astros estavam em configurações especiais, descobrindo assim anomalias nas órbitas até então desconhecidas.



Johannes Kepler (1571-1630) descobriu as três leis que regem o movimento planetário. As duas primeiras foram resultados de árdua computação trigonométrica, na qual usou as observações de Marte, realizadas por Tycho Brahe. Em 1619 Kepler publicou *Harmonices Mundi*, em que as distâncias heliocêntricas dos planetas e seus períodos estão relacionados pela Terceira Lei, que diz que o quadrado do período

é proporcional ao cubo da distância média do planeta ao Sol. Esta lei foi descoberta por Kepler em 15 de maio de 1618. Em 17 de outubro de 1604 Kepler observou a nova estrela (supernova) na constelação de Ophiucus, junto a Saturno, Júpiter e Marte, que estavam próximos, em conjunção. Kepler também estudou as leis que governam a passagem da luz por lentes e sistemas de lentes, inclusive a magnificação e a redução da imagem, e como duas lentes convexas podem tornar objetos maiores e distintos, embora invertidos, que é o princípio do telescópio astronômico. Em relação a Kepler, devem ser mencionados também seu telescópio astronômico e suas Tábuas Rodolfinas.

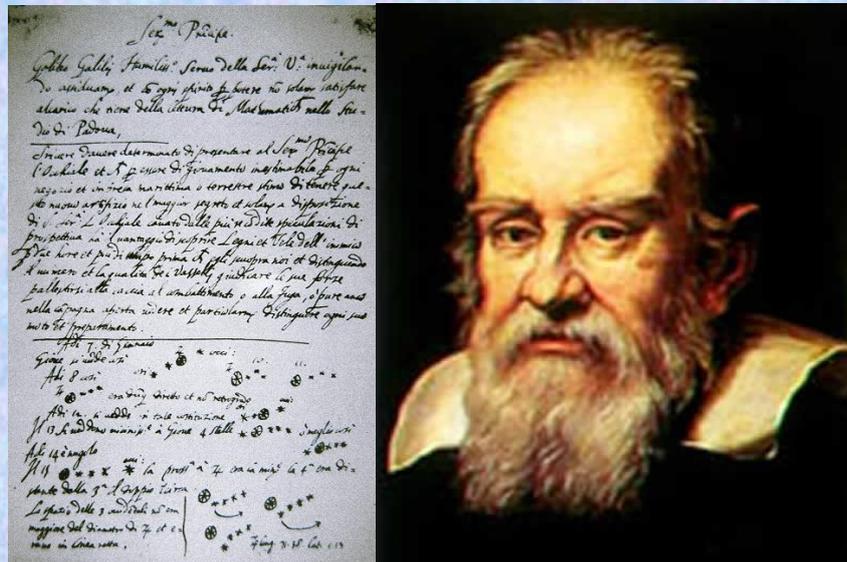


Galileu Galilei (1564-1642). Em maio de 1609 ouviu falar de um instrumento de olhar à distância que o holandês Hans Lipperhey havia construído, e mesmo sem nunca ter visto o aparelho, construiu sua primeira luneta em junho, com um aumento de 3 vezes. Galileu se deu conta da necessidade de fixar a luneta, ou telescópio como se chamaria mais tarde, para permitir que sua posição fosse registrada com exatidão. Até dezembro ele construiu vários outros, o mais potente com 30X, e faz uma série de observações da Lua, descobrindo que esta tem montanhas. De 7 a 15 de janeiro de 1610 descobre os quatro satélites maiores de Júpiter e sua revolução livre em torno do planeta. Descobriu também as principais estrelas dos aglomerados das Plêiades e das Híades e a primeira indicação dos anéis de Saturno e as manchas solares.

Por suas afirmações, Galileu foi julgado e condenado por heresia em 1633. Sentenciado ao cárcere, Galileu, aos setenta anos, renega suas conclusões de que a Terra não é o centro do Universo e imóvel. Apenas em 1822 foram retiradas do Índice de livros proibidos as obras de Copérnico, Kepler e Galileu, e em 1980, o Papa João Paulo II ordenou um reexame do processo contra Galileu, o que eliminou os

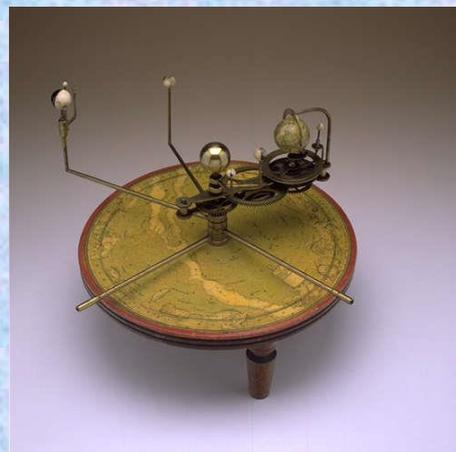
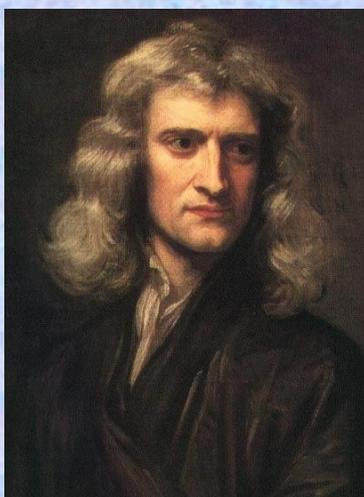
últimos vestígios de resistência, por parte da igreja Católica, à revolução Copernicana.

Não se deve esquecer que foram os grandes observadores e teóricos dessa época, como Hevelius, Huygens e Halley, que ajudaram a erguer a nova astronomia.



A Nova Astronomia

Sir Isaac Newton (1643-1727). Sua obra monumental fixa as bases da mecânica teórica. Da combinação de suas teorias com sua lei de gravitação, surge a confirmação das leis de Kepler e, num só golpe, o estabelecimento, em bases científicas, da mecânica terrestre e celeste. No domínio da óptica, Newton inventou o telescópio refletor, discutiu o fenômeno da interferência, desenvolvendo as idéias básicas dos principais ramos da física teórica, nos dois primeiros volumes do Principia, com suas leis gerais, mas também com aplicações a colisões, o pêndulo, projéteis, fricção do ar, hidrostática e propagação de ondas. Somente depois, no terceiro volume, Newton aplicou suas leis ao movimento dos corpos celestes.



O Principia é reconhecido como o livro científico mais importante escrito. Os trabalhos astronômicos de Newton são apenas comparáveis aos de Gauss, que contribuiu para a astronomia com a teoria da determinação de órbitas, com trabalhos importantes de mecânica celeste, de geodésica avançada e a criação do método dos mínimos quadrados. Nunca outro matemático abriu novos campos de investigação com tanta perícia, na resolução de certos problemas fundamentais, como Gauss.

São dessa época os notáveis trabalhos de mecânica celeste desenvolvidos por Euler, Lagrange e Laplace, e os dos grandes observadores como F.W. Herschel, J.F.W. Herschel, Bessel, F.G.W. Struve e O.W. Struve. Vale a pena lembrar uma data histórica para a astronomia - a da primeira medida de paralaxe trigonométrica de uma estrela e, conseqüentemente, da determinação de sua distância, por Bessel (61 Cygni) e F.G.W. Struve (Vega), em 1838. Este notável feito da técnica de medida astronômica é basicamente o ponto de partida para o progresso das pesquisas do espaço cósmico.

A Astronomia Moderna

A espectroscopia estelar, a construção dos grandes telescópios, a substituição do olho humano pelas fotografias, e os objetivos de sistematização e classificação, fizeram a astronomia evoluir mais nestes últimos cinquenta anos do que nos cinco milênios de toda sua história. A partir deste momento, a história da astronomia, em conseqüência do desenvolvimento tecnológico da segunda metade do século XX, sofre uma tal mudança nos seus métodos, que a astronomia deixa o seu aspecto de ciência de observação para se tornar, também, uma nova ciência experimental, onde aparecem inúmeros ramos. As principais divisões da astronomia são a astrometria, que trata da determinação da posição e do movimento dos corpos celestes; a mecânica celeste, que estuda o movimento dos corpos celestes e a determinação de suas órbitas; a astrofísica, que estuda as propriedades físicas dos corpos celestes; a astronomia estelar, que se ocupa da composição e dimensões dos sistemas estelares; a cosmogonia, que trata da origem do universo, e a cosmologia, que estuda a estrutura do universo como um todo. A pesquisa espacial deu não só à cartografia, mas a todos os estudos das ciências na Terra e, em especial, aos levantamentos dos recursos naturais do planeta, um novo dimensionamento.

MODELOS GEOMÉTRICOS DO SISTEMA SOLAR

O Modelo da Escola de Pitágoras

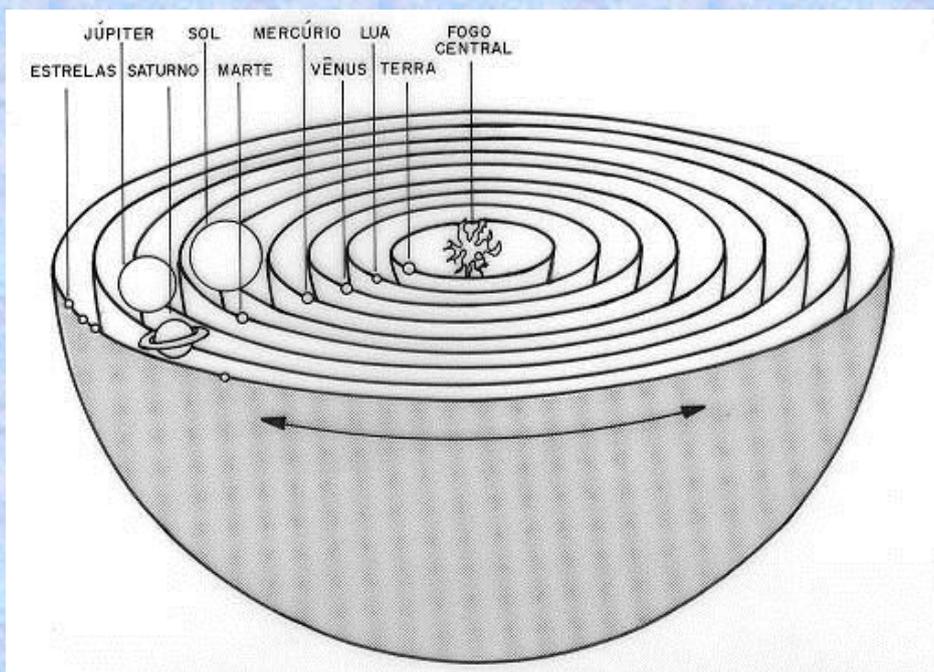
A filosofia astronômica da escola pitagórica foi estabelecida por três dos seus maiores membros: **Pitágoras**, **Filolau** e **Parmênides**.

Eles desenvolveram um conceito geométrico do Universo, que tinha dez esferas concêntricas. O centro do Universo era ocupado por um fogo central. O Sol, Lua, Terra, Esfera de Oposição e cinco planetas, cada um ocupando uma esfera e girando ao redor do fogo central. Todo esse conjunto era circundado pela esfera das estrelas fixas.

O fogo central era invisível da Terra devido a presença de um corpo que estava sempre entre a Terra e o fogo central: a Esfera de Oposição.

A Terra girava uma vez por dia ao redor do fogo central e exibia sempre a mesma face a ele. Com respeito ao Sol e às estrelas, a Terra girava sobre si mesma e produzia os intervalos de dia e noite.

Os conceitos de Universo Esférico dos Pitagóricos resultaram de observações. Os gregos observaram que na Grécia a constelação da Ursa Maior sempre permanecia acima do horizonte, enquanto no Egito ela aparecia e desaparecia abaixo do horizonte, em curtos períodos de tempo. Dessas observações eles teorizaram que a Terra era um corpo esférico flutuando no céu. Eles, então, concluíram que a forma fundamental dos corpos celestes e do céu era esférica.



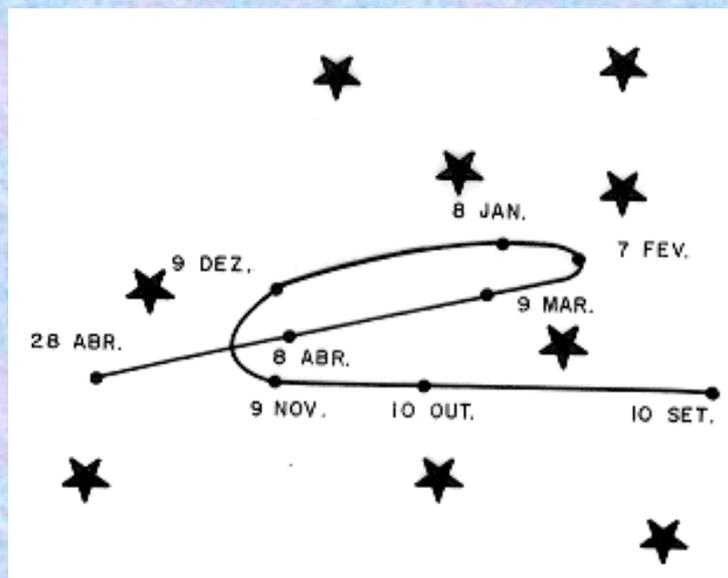
O Universo pitagórico. o Sol, a Lua, as estrelas e os planetas giram sobre esferas concêntricas, em torno de um fogo central. As estrelas "fixas" constituem a esfera maior.

O Modelo Geocêntrico de Eudócio

Eudócio, discípulo de Platão, tentou expressar matematicamente as idéias de Platão sobre as posições e movimento dos planetas.

Eudócio sabia que um sistema de poucas esferas, uma para cada corpo, era obviamente inadequado. Os planetas não se movem constantemente sobre um círculo. Eles se movem mais rápido ou mais devagar e até mesmo param e se movem para trás. Eudócio elaborou um esquema com uma vasta família de esferas concêntricas. Cada planeta tinha um conjunto de quatro esferas, o Sol e a Lua tinham três esferas cada. Com uma combinação sutil do eixo de rotação dessas esferas, ele podia reproduzir, razoavelmente, os fatos observados.

Aristóteles rejeitou o modelo pitagórico e tentou melhorar o modelo de Eudócio colocando mais esferas, que no total chegaram a 54 esferas, com eixos, diâmetros e velocidades diferentes. Aristóteles concluiu que a Terra era redonda observando que a sombra da Terra sobre a face da Lua, num eclipse lunar, era um arco.



Trajetória aparente de Marte em relação às estrelas fixas, mostrando um movimento de regressão entre 10 setembro e 28 de abril.

O Modelo Heliocêntrico de Aristarco

Aristarco construiu um modelo com duas hipóteses simplificadoras:

1. **A Terra gira sobre si** - o que explica o dia e a noite. (Outros fizeram essa sugestão, entre eles Heráclides).

2. **A Terra gira ao redor do Sol** e os outros planetas também. Isto explica o movimento aparente do Sol e planetas.

A idéia era simples mas o modelo falhava completamente:

a) A tradição era contra. Era só uma idéia.

b) Não havia nenhuma evidência da rotação da Terra.

c) Se a Terra gira ao redor do Sol, as estrelas deveriam apresentar paralaxe e nenhuma delas apresentava.

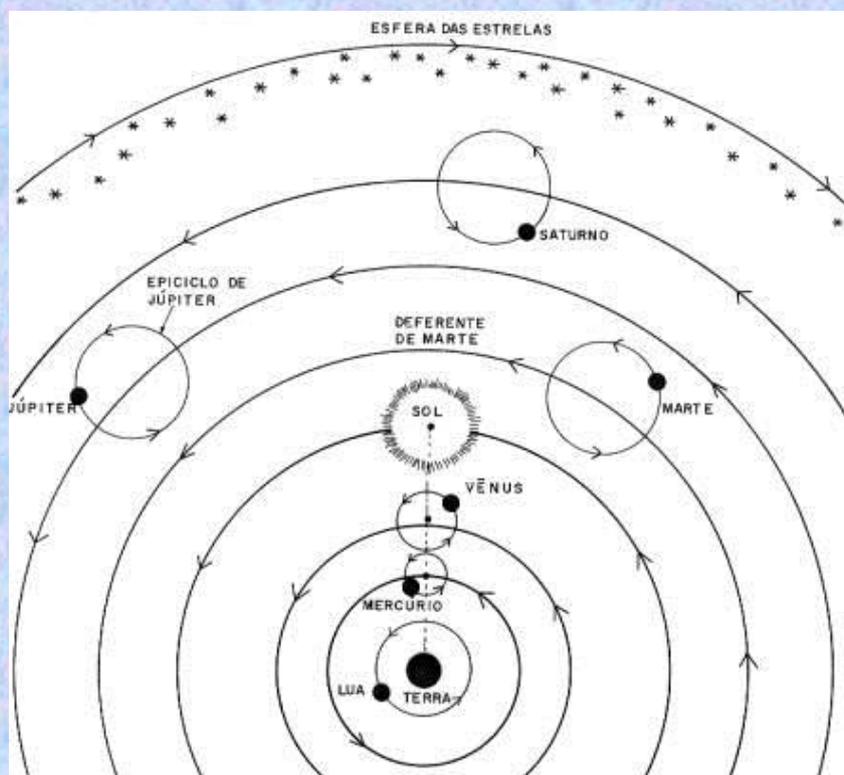
d) Principalmente porque esse modelo apresentava, aos olhos dos filósofos de então, a falha imperdoável de se afastar do dogma platônico da imobilidade da Terra. Por essa razão, o Universo heliocêntrico de Aristarco ficou esquecido.

O Modelo Ptolomaico – Geocêntrico

O último dos grandes astrônomos gregos foi Cláudio Ptolomeu (150 d.C.). Escreveu o famoso livro *ALMAGESTO*, obra na qual seu modelo foi exposto e constituiu a *Bíblia astronômica dos 1400 anos que se seguiram*.

Os conceitos de círculos e epicírculos não são originais de Ptolomeu, pois foram propostos por outros antes dele, entre eles Hiparco. De acordo com o sistema ptolomaico, cada planeta se move num círculo pequeno (epiciclo), cujo centro se move ao redor da Terra, a qual é estacionária e está no centro do Universo.

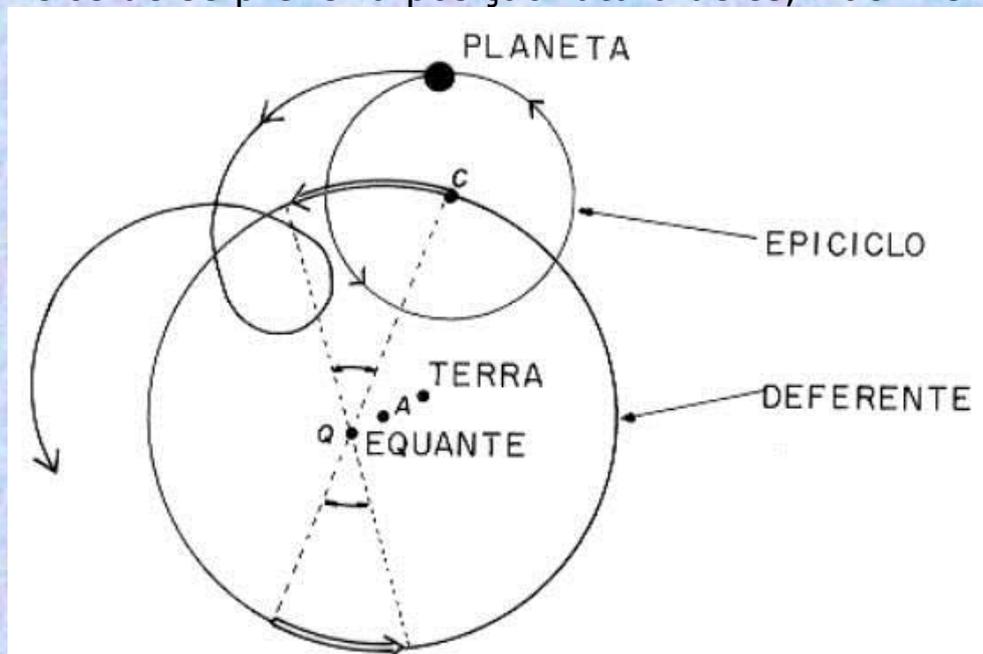
Como Mercúrio e Vênus são vistos sempre perto do Sol, Ptolomeu colocou o centro de seus epiciclos sobre uma linha entre a Terra e o Sol, com o centro dos epiciclos movendo-se ao redor da Terra, num círculo condutor (deferente).



O Sistema Ptolomaico

Desenvolvendo o modelo, Ptolomeu percebeu que se os corpos se movem em órbitas circulares ao redor da Terra, um observador sempre veria os planetas se movendo na mesma direção e isto não concorda com as observações, porque os planetas, em certas épocas, parecem parar e se mover na direção oposta (laçada). Para explicar esta laçada, Ptolomeu colocou cada planeta movendo-se num pequeno círculo (epiciclo), cujo centro C move-se ao longo de uma circunferência maior (círculo condutor ou deferente) com seu centro em A. O centro do epiciclo move-se com velocidade constante ao redor do ponto Q, o qual é colocado sobre o lado oposto ao centro do círculo condutor (deferente) em relação à Terra. O movimento retrógrado é produzido quando o planeta está dentro da deferente.

Ptolomeu reproduziu o movimento observado dos planetas e forneceu meios de se prever a posição futura deles, "facilmente".



O sistema de epiciclos de Ptolomeu.

Astronomia Medieval

Antes de continuarmos falando dos modelos do Sistema Solar que surgiram, vamos comentar porque nenhum modelo surgiu depois do Almagesto, pelos próximos mil anos.

Quando os hunos começaram a se deslocar em direção oeste durante o terceiro século (d.C.) devido à grande pressão que sofreram do leste por parte dos Chineses e Mongóis, eles conquistaram e destruíram tudo na sua passagem. Saquearam Roma em 455, marcando o início do declínio Romano e nascimento do Império Bizantino. Em 1453 o Império Bizantino colapsa quando Constantinopla, sua capital, é tomada pelos turcos.

Durante o período de 400 d.C. até 1453 (Idade Média) a aquisição de conhecimentos declinou por causa das hostilidades que

existiam entre os pagãos e os cristãos. Como as grandes escolas gregas e o Museu Alexandrino eram pagãos, os conhecimentos acumulados por esses estabelecimentos foram ignorados pelos Cristãos (ocidente). Os cristãos destruíram muitas das instituições pagãs, como por exemplo, a grande Biblioteca de Serapis e queimaram muitos livros que continham conhecimentos e cultura grega, por serem heréticos.

Com o período medieval na Europa, a astronomia entrou em dormência. Durante esses séculos os Árabes tornaram-se os donos dos conhecimentos Gregos; muitos tratados gregos, sendo o mais importante o Almagesto de Ptolomeu, foram traduzidos para o Árabe. A ciência Árabe floresceu e entrou na Europa pela Espanha no século X.

O Modelo Heliocêntrico de Copérnico

No fim da Idade Média estava surgindo na Europa um clima de livre pensamento (sem muitas interferências políticas e religiosas). Textos Árabes e Gregos estavam sendo traduzidos para o Latim e universidades estavam sendo fundadas. Escolas de pensamento estavam se formando.

Nesse cenário de florescimento de idéias é que Copérnico apresentou seu modelo heliocêntrico do Universo. Sua obra foi publicada no livro "Sobre a Revolução dos Corpos Celestes" em 1543, ano de sua morte.

O modelo de Copérnico é mais simples e próximo da realidade; ele é baseado no fato de que a Terra gira sobre si diariamente; que o centro da Terra não é o centro do Universo, mas simplesmente o centro dela e da órbita da Lua; que todos os corpos celestes giram ao redor do Sol, o qual é ou está próximo do centro do Universo; e que um corpo mais próximo do Sol viaja com velocidade orbital maior do que quando está distante.

Ptolomeu colocou a Terra no centro e sem girar porque ela se quebraria se girasse. Copérnico argumentou que sendo a esfera celeste muito maior teria se quebrado primeiro se tivesse que girar ao redor da Terra.

Os sistemas de Copérnico e Ptolomeu apresentam duas grandes diferenças básicas:

1. Copérnico trocou a posição do Sol e da Terra e eliminou o ponto Q (equant).

2. Para explicar as variações nas órbitas celestes ele supôs que os planetas se moviam em 34 epiciclos, 7 para Mercúrio, 5 para Vênus, 3 para a Terra, 5 para Marte, 5 para Júpiter, 5 para Saturno e 4 para a Lua.

Através do modelo de Copérnico foi possível a primeira determinação de distância de um planeta ao Sol, em termos de distância Terra-Sol.

A partir do gráfico abaixo se torna evidente que quando visto da Terra, Mercúrio irá apresentar um oscilação em torno do Sol.

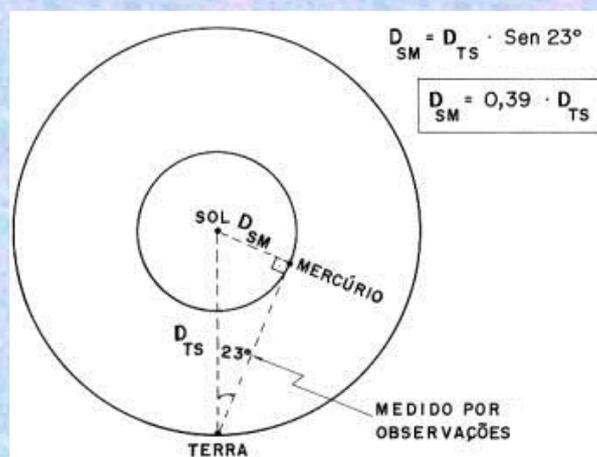
Isto é, se num certo instante a Terra está em T_1 e Mercúrio está numa posição de máximo afastamento angular (M_1), à "direita" do Sol, digamos, então, depois de 116 dias Mercúrio estará, novamente, numa posição (M_2) de máximo afastamento angular, à direita do Sol e a Terra estará na posição T_2 . O ângulo de máximo afastamento angular para Mercúrio é de 23° e é determinado observacionalmente. O ângulo de 67° é facilmente calculado, pois o triângulo T_1 . Sol. M_1 é retângulo em M_1 . O ângulo entre T_1 e T_2 é determinado pela seguinte regra de três:

$$\left\{ \begin{array}{l} 360^\circ - 365,25 (= 1 \text{ ano}) \\ T_1 T_2 - 116 \text{ dias} \end{array} \right. \quad \therefore T_1 T_2 = 114^\circ$$

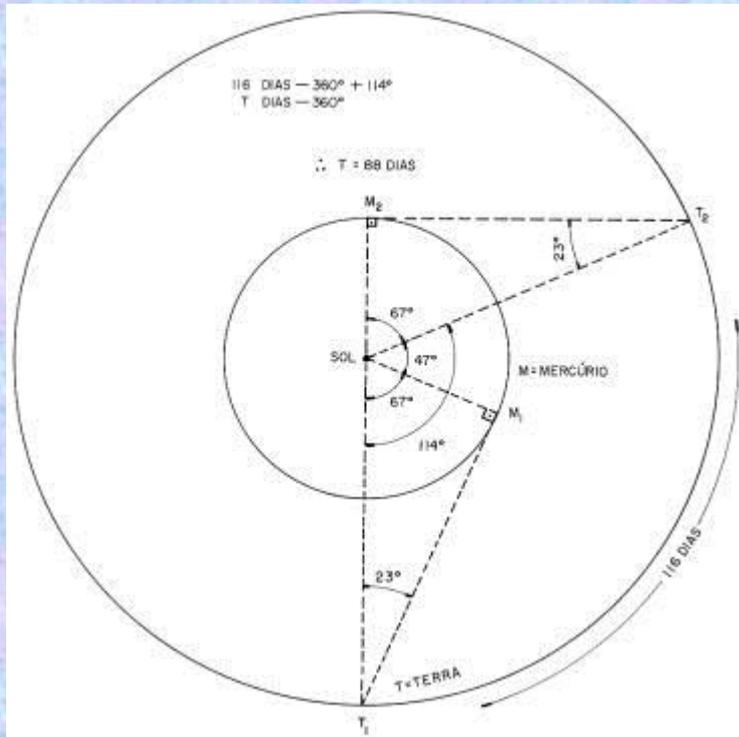
O ângulo de 47° é obtido pela diferença $114^\circ - 67^\circ$, portanto, em 116 dias Mercúrio deu uma volta (360°) mais $114^\circ (= 47^\circ + 67^\circ)$, ou seja, percorreu 474° ; assim podemos determinar o período (T) de Mercúrio pela seguinte regra de três:

$$\left\{ \begin{array}{l} T - 360^\circ \\ 116 \text{ dias} - 474^\circ \end{array} \right. \quad \backslash \quad T = 116 \text{ dias} \times \frac{360^\circ}{474^\circ} \quad \backslash \quad T = 88 \text{ dias}$$

Para Vênus o procedimento é idêntico e para os planetas exteriores (que estão além da Terra) o procedimento é um pouco diferente.



Cálculo da distância Sol-Mercúrio (D_{SM}) em termos da distância Sol-Terra (D_{ST})

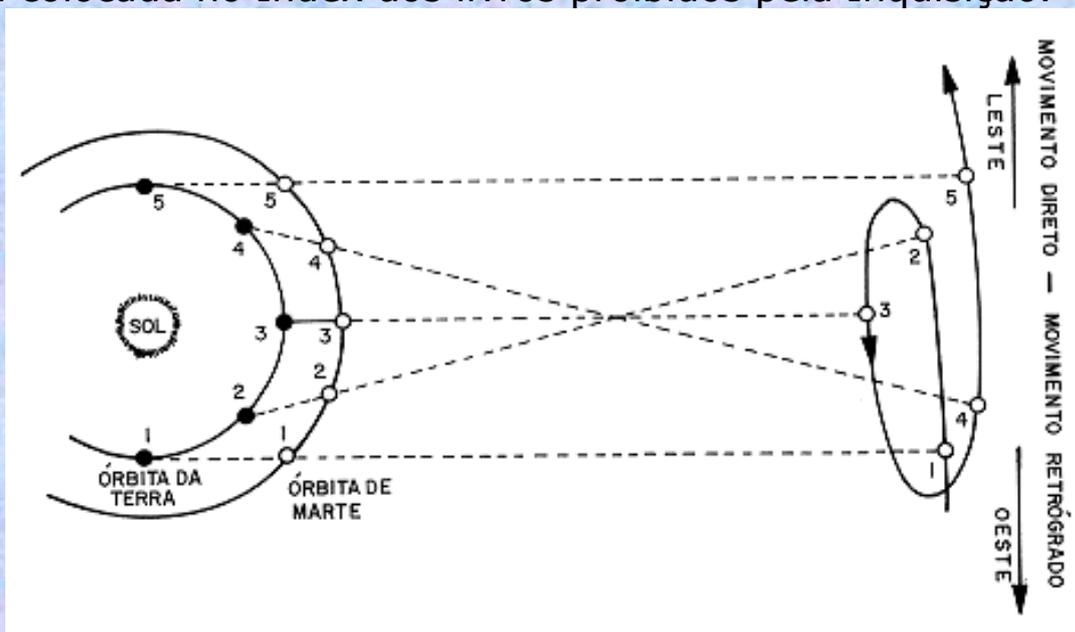


Esquema para o cálculo do período orbital de Mercúrio.

A estranha laçada (loop) que os planetas externos apresentam foi muito bem explicada por Copérnico. O fato do observador estar em referencial móvel, causa as inversões do movimento.

A teoria heliocêntrica conseguiu dar explicações mais naturais e simples para os fenômenos observados, porém, Copérnico não conseguiu prever as posições dos planetas com suficiente precisão e, infelizmente, ele não alcançou uma prova categórica de que a Terra estava em movimento.

Sua teoria foi violentamente atacada pela Igreja Cristã e a sua obra foi colocada no Índice dos livros proibidos pela Inquisição.



Movimento aparente do planeta.

O Modelo Tychnônico do Universo

Em 1546, três anos depois da morte de Copérnico, nasceu Ticho Brahe. De família nobre, estudou na Universidade de Copenhague Línguas e Direito. Nesta época ocorreu um eclipse previsto e isto mudou o curso de sua vida. A partir daí começou a estudar matemática e astronomia.

Ele construiu seu próprio observatório em Augsburg, Alemanha, e nele colocou os instrumentos mais sofisticados que existiam na época (ainda não havia lunetas ou telescópios). Fez observações sistemáticas do céu. Em 11/11/1572 viu uma estrela que brilhava até durante o dia - uma supernova.

O rei Frederico II, da Dinamarca, ficou tão impressionado com Brahe, que o convidou para ser matemático da corte e professor de matemática e astronomia na Universidade de Copenhagen. O rei deu para ele uma ilha, construiu um observatório - melhor do mundo - e muito dinheiro. Com todas essas facilidades, Brahe fez registros muito precisos das posições dos planetas durante anos seguidos.

Ticho Brahe observou um grande cometa e mostrou que ele estava muito além da Lua e, portanto, não era fenômeno meteorológico como pensavam.

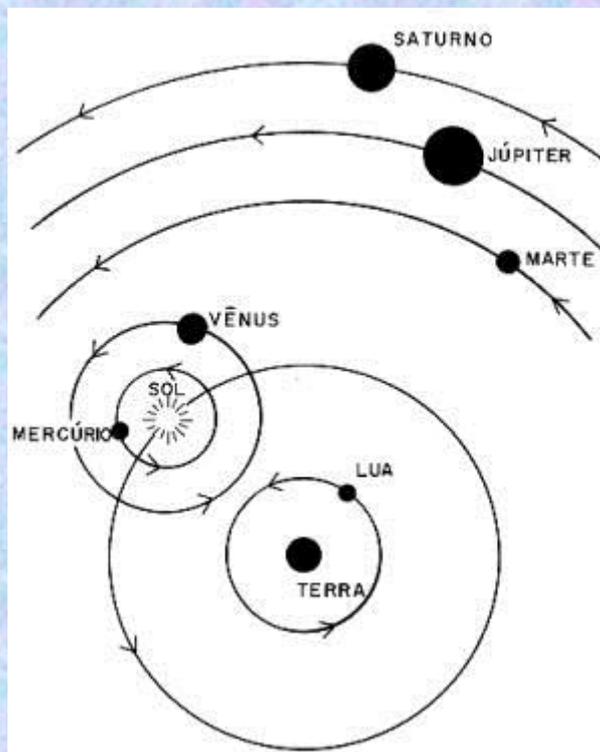
Ticho era um tremendo mau-caráter; administrou seu observatório com mão de ferro e fez tantos inimigos que quando o rei Frederico II morreu, ele foi forçado a abandonar seu observatório-castelo.

Em 1599 ele chegou a Praga convidado pelo imperador Rodolfo II para servir como matemático da corte. Dois anos depois, Brahe morreu.

O Modelo de Ticho Brahe

Para Brahe, a Terra era o centro do Universo, pois ele nunca observou o paralaxe de uma estrela! Assim, não aceitou o modelo de Copérnico, mas mudou o modelo de Copérnico para deixá-lo mais compatível com suas convicções.

O modelo Tychnônico era uma combinação do modelo de Ptolomeu e do de Copérnico. No centro do Universo estava a Terra, imóvel; o Sol girava ao redor da Terra e os planetas, esta é a diferença, giravam ao redor do Sol.



O sistema Tichônico, uma combinação dos sistemas Ptolomaico e Copernicano. A Lua e o Sol giram ao redor da Terra; Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno giram ao redor do Sol.

Abaixo um breve histórico da evolução dos conhecimentos sobre astronomia.

- 750 a.C. - Os egípcios começam a utilizar o movimento do sol para contar o tempo. Surgem os primeiros relógios de Sol.
- 600 a.C. - O pesquisador grego Tales de Mileto calcula e consegue prever a chegada de um eclipse.
- 350 a.C. - O matemático grego Eudoxo de Cnidos elabora o primeiro mapa astronômico.
- 240 a.C. - O grego Eratóstenes faz o primeiro cálculo da circunferência do planeta Terra e chega a conclusão que esta distância é de 39.690 km.
- 140 - Claudius Ptolomeu, pesquisador grego, elabora o primeiro modelo do universo: a Terra ficaria no centro e os planetas e estrelas girariam em torno dela.
- 1054 - Na China, observadores de estrelas relatam, pela primeira vez, a morte de uma estrela na constelação de Touro.
- 1304 - O pintor renascentista italiano Giotto faz uma pintura retratando um cometa.
- 1472 - O astrônomo alemão Johann Müller elabora, com detalhes, estudos sobre a órbita de um cometa.
- 1543 - Nicolau Copérnico, astrônomo polonês, desenvolve estudos provando a teoria do heliocentrismo. De acordo com ela, todos os

planetas do sistema solar giram ao redor do Sol. Esta tese é apresentada no livro Sobre a Revolução dos Corpos Celestes. Embora não aceita pela Igreja Católica, a teoria passou a ser um referencial nas pesquisas astronômicas, pois derruba a visão de Ptolomeu sobre o Universo.

- 1610 - O italiano Galileu Galilei desenvolve um instrumento parecido com um telescópio para observar os astros.
- 1845 - O irlandês William Parsons elabora o maior telescópio de sua época e descobre as primeiras galáxias espirais.
- 1851 - O físico francês Jean-Bernard-Leon Foucault comprova o movimento de rotação do planeta Terra.
- 1862 - O físico sueco Anders Jonas Ångström descobre que o Sol contém hidrogênio em sua composição.
- 1929 - O astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble descobre que as galáxias afastam-se uma das outras. É a semente para a Teoria do Big Bang, a explosão inicial que deu origem ao Universo.
- 1963 - O norte-americano Maarten Schmidt faz descobertas sobre os quasares, os astros mais distantes e mais poderosos que existem no universo.
- 1964 - Os astrônomos Arno Allan Penzias e Robert Woodrow Wilson detectam a luz originária da explosão do Big Bang há 13 bilhões de anos.
- 1967 - O astrônomo inglês Anthony Hewish consegue captar sinais de rádio do primeiro pulsar, uma espécie de estrela que emite radiação no formato de pulsos regulares.
- 1971 - O pesquisador canadense C.T. Bolt detecta a existência dos buracos negros que concentram a maior quantidade de matéria do Universo.
- 1975 - O físico inglês Stephen Hawking conclui que um buraco negro pode evaporar, perdendo nesse processo uma pequena quantidade de massa.
- 1987 - O astrônomo canadense Ian Shelton consegue a primeira supernova próxima da Terra. As supernovas são explosões de grandes estrelas próximas a morte.
- 1992 - O telescópio orbital Cobe consegue fotografar, com grande precisão, o brilho do Big Bang.
- 1999 - Os astrônomos, após observações e imagens do telescópio Hubble, comprovam que o Universo está se expandindo há 13 bilhões de anos, ou seja, desde o momento do Big Bang.