

História da Astronomia

Jay M. Pasachoff, Magda Stavinschi, Mary Kay Hemenway

União Astronómica Internacional

Colégio Williams, Williamstown, Massachusetts, EUA

Instituto Astronómico da Academia Romena, Roménia

Universidade do Texas, Austin, EUA



1) Introdução



- A História da astronomia é vasta e complexa, por isso, escolhemos um momento histórico estelar: a concepção heliocêntrica do Sistema Solar.
- Também referimos algumas noções de astronomia das grandes culturas do passado.

2) Astronomia geocêntrica da Grécia antiga

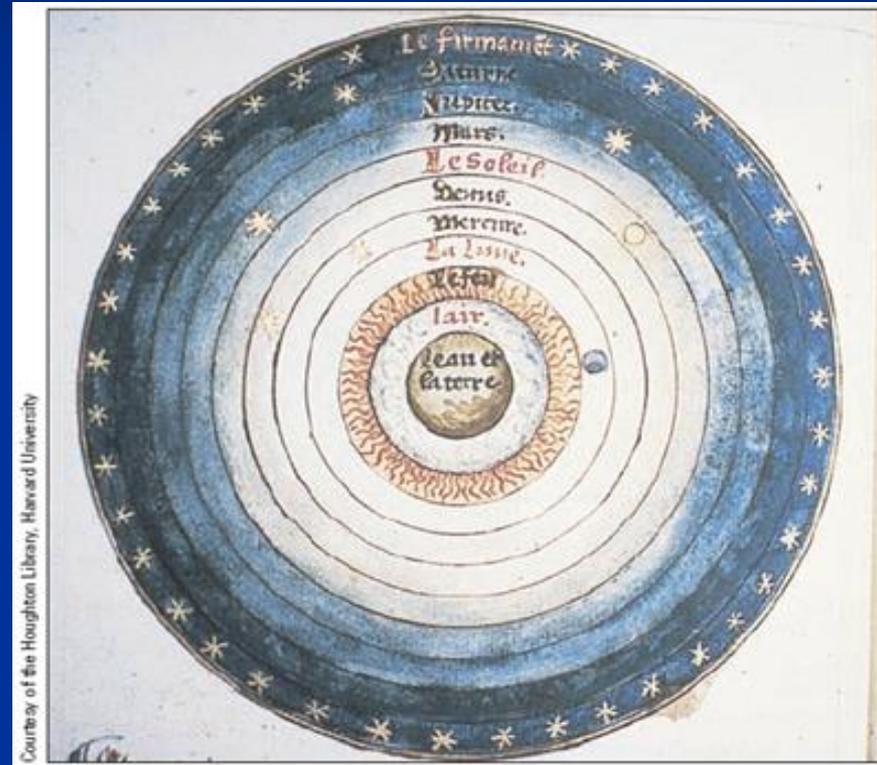
- Os planetas parecem mover-se no céu mais lentamente que as estrelas, é o chamado movimento direto.
- Por vezes, um planeta move-se na direção oposta do movimento aparente das estrelas, num movimento retrógrado.

Simulation with the Zeiss ZKP3/B planetarium projector of Williams College's Hopkins Observatory by Jay M. Pasachoff, Yairiv Pierce, and Megan Bruck.



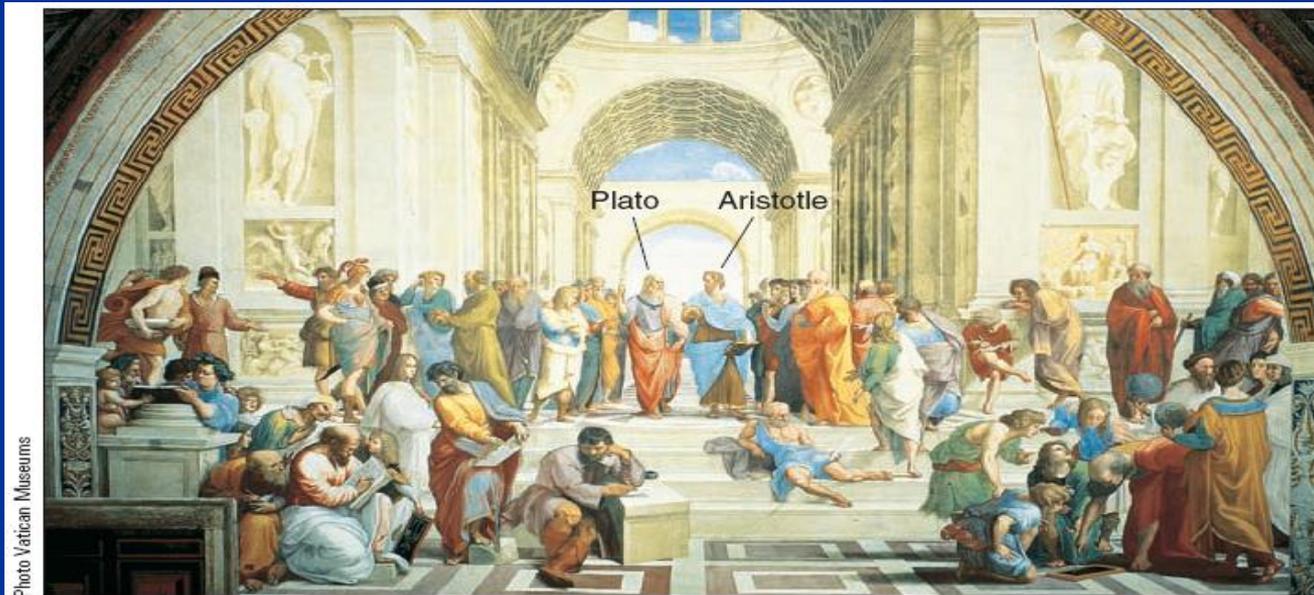
2) Astronomia geocêntrica da Grécia antiga

- Os gregos fizeram modelos teóricos do Sistema Solar para explicar o movimento dos planetas.
- Comparando os períodos de movimento retrógrado, foram capazes de ordenar os planetas pela distância.

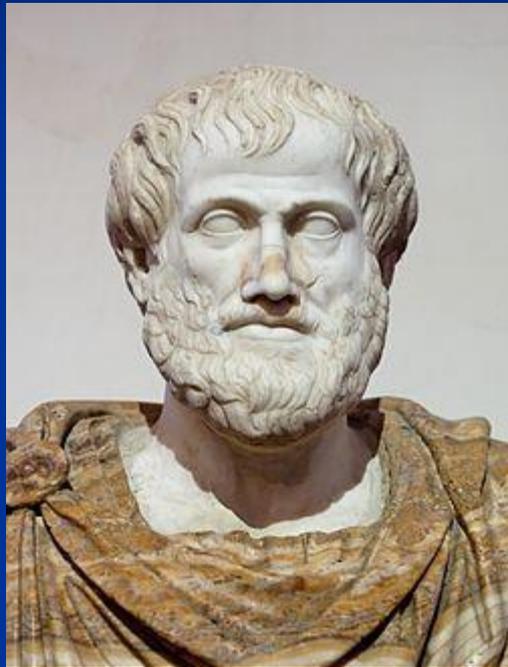


2) Astronomia geocêntrica da Grécia antiga

- Aristóteles (350 a.C.) pensava e acreditava que a Terra era o centro do Universo e que os planetas, o Sol e as estrelas giravam à sua volta.
- Segundo Aristóteles, o Universo era formado por um conjunto de 55 esferas celestes, umas à volta das outras.



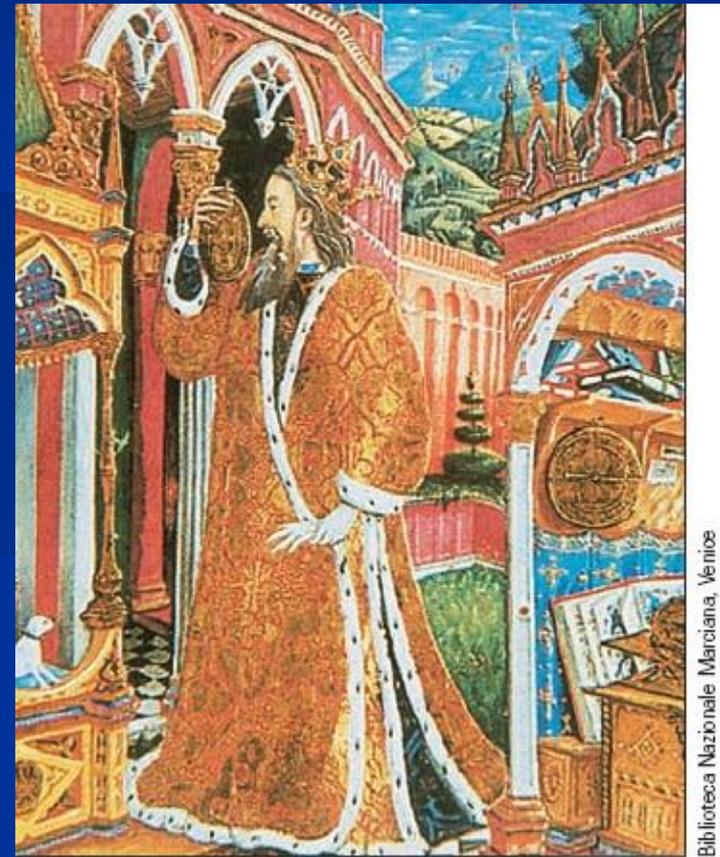
2) Astronomia geocêntrica da Grécia antiga



- Os planetas moviam-se em esferas cujo movimento de rotação afetava as outras e assim explicavam o movimento retrógrado.
- A esfera mais externa era a das estrelas fixas. Por fora estava “o mecanismo principal” que gerava a rotação das estrelas.
- A teoria de Aristóteles dominou o pensamento científico durante 1 800 anos, até ao Renascimento, o que impediu o aparecimento de novos modelos.

2) Astronomia geocêntrica da Grécia antiga

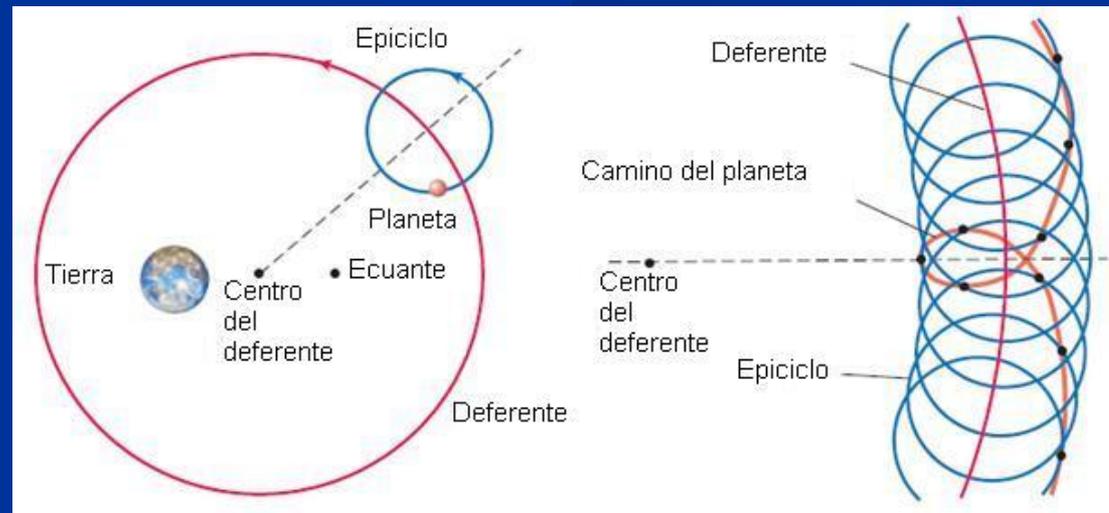
- Por volta de 140 d.C., Ptolomeu, que trabalhou em Alexandria, apresentou um modelo que explicava o movimento retrógrado.
- Como se acreditava que os círculos eram formas perfeitas, parecia lógico que os planetas deviam realizar os seus movimentos em círculos.



Biblioteca Nazionale Marciana, Veneza

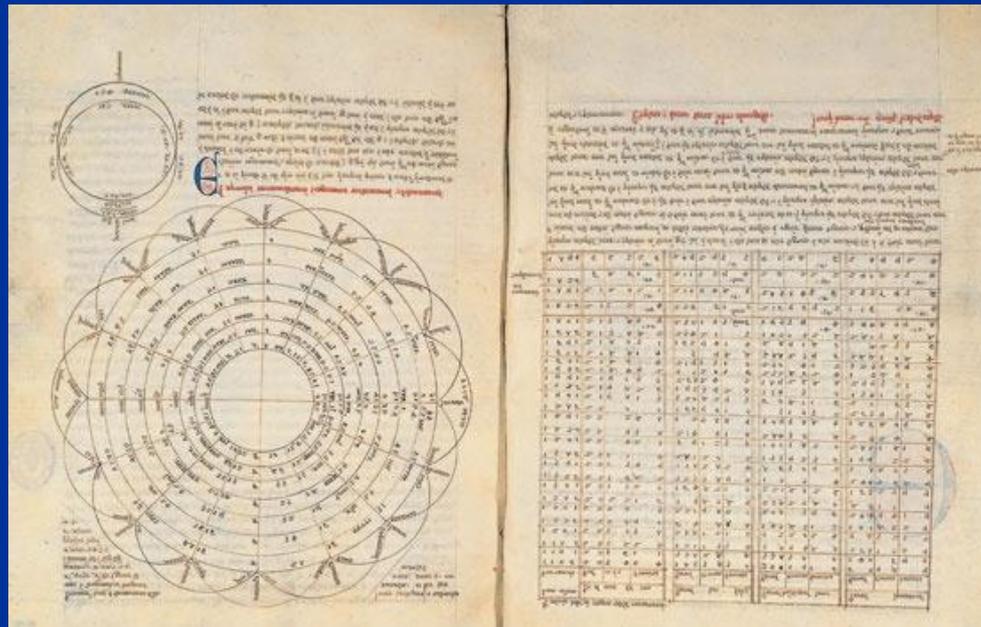
2) Astronomia geocêntrica da Grécia antiga

- Ptolomeu, para explicar o movimento retrógrado, concebeu que os planetas andavam ao longo de pequenos círculos (epiciclos) que por sua vez se moviam em círculos maiores (deferentes).
- O centro de um epiciclo move-se com uma velocidade angular constante, em relação ao ponto chamado equante.



2) Astronomia geocêntrica da Grécia antiga

- O *Almagesto (o Maior)*, o mais importante trabalho de Ptolomeu, foi aceite durante 15 séculos. Continha as suas ideias e um resumo das dos seus antecessores.
- As suas tabelas dos movimentos planetários eram razoavelmente precisas.



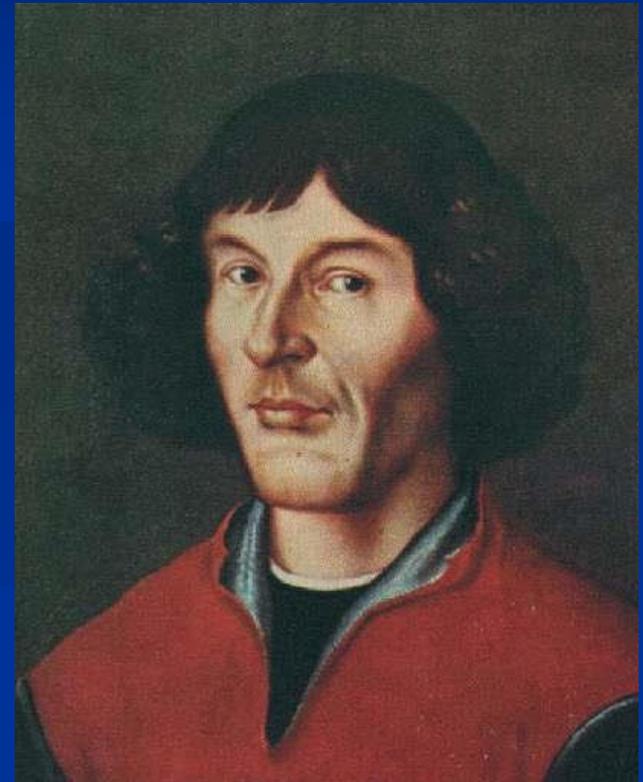
3) Uma heresia: o Sol centro do Universo

- No século XVI, Nicolau Copérnico, um astrónomo polaco, propôs a teoria heliocêntrica (com o Sol no centro).
- Aristarco de Samos, um cientista grego, propôs a teoria heliocêntrica, 18 séculos antes de Copérnico. No entanto, não conhecemos os detalhes dessa teoria.



3) Uma heresia: o Sol centro do Universo

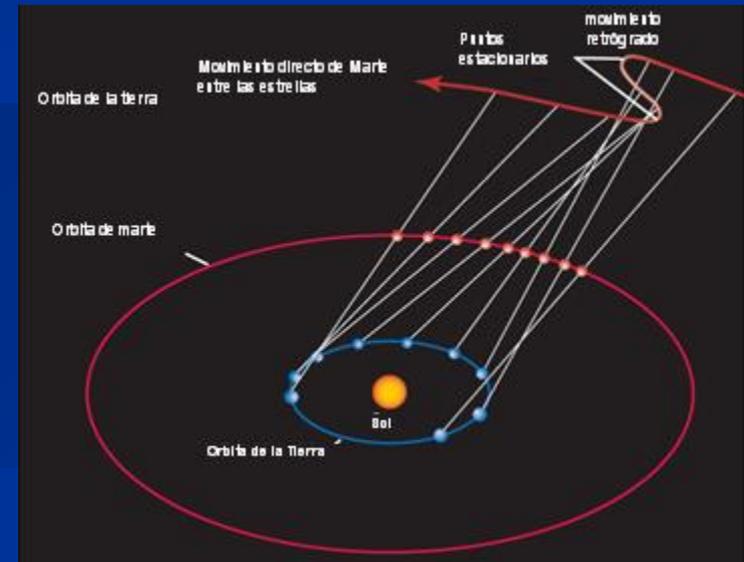
- Copérnico achava que os planetas se moviam em círculos, embora os círculos não estivessem muito centrados no Sol.
- Copérnico usou alguns epiciclos, a fim de melhor ajustar as suas previsões às observações (e conseguiu eliminar o equante).



3) Uma heresia: o Sol centro do Universo

- O modelo explicava o movimento retrógrado dos planetas exteriores, como Marte, por projeção:

* Como a Terra ultrapassa Marte, a projeção da linha que une a Terra e Marte, mostra um movimento aparente para trás em relação às estrelas, contrário ao sentido real do movimento.



* Como a Terra e Marte continuam a mover-se em sua órbita, a projeção da linha que une os dois planetas parece mover-se de novo, mas no sentido real do movimento.

3) Uma heresia: o Sol centro do Universo

- Com a ideia de que o Sol estava aproximadamente no centro do Sistema Solar, Copérnico:
 - Trabalhou com as distâncias relativas aos planetas.
 - A partir de observações, deduziu o tempo que os planetas demoravam a orbitar o Sol.



4) Os olhos apurados de Tycho Brahe



No final do século XVI, o nobre dinamarquês Tycho Brahe começou a observar Marte e outros planetas no seu observatório (Uraniborg).

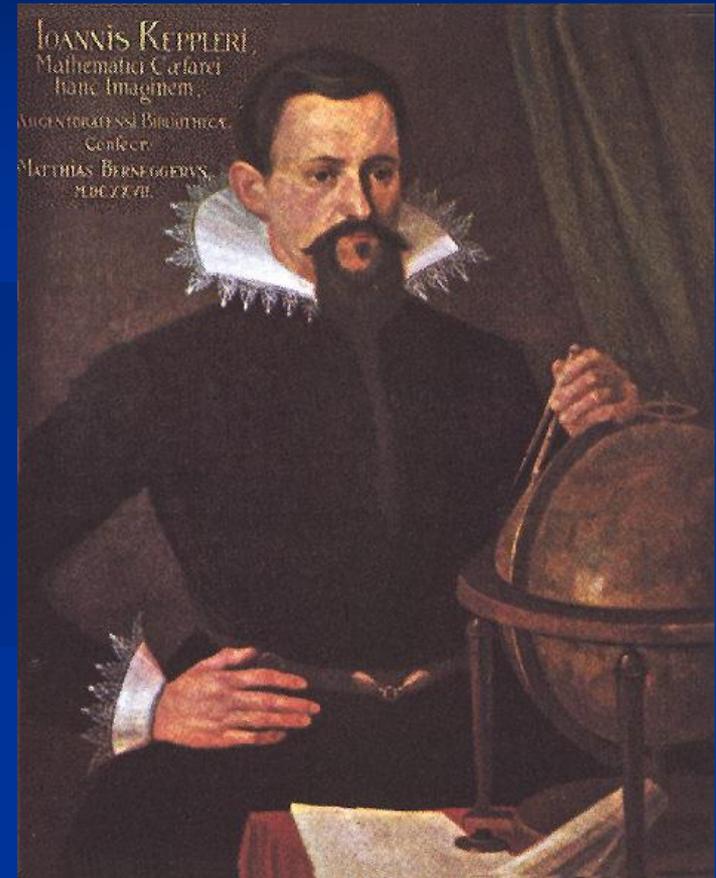
4) Os olhos apurados de Tycho Brahe

- Tycho usou instrumentos gigantes para fazer observações com precisão sem precedentes (ainda não se utilizava o telescópio).
- Com a morte de Tycho, em 1601, Kepler foi capaz de analisar todas as suas observações.



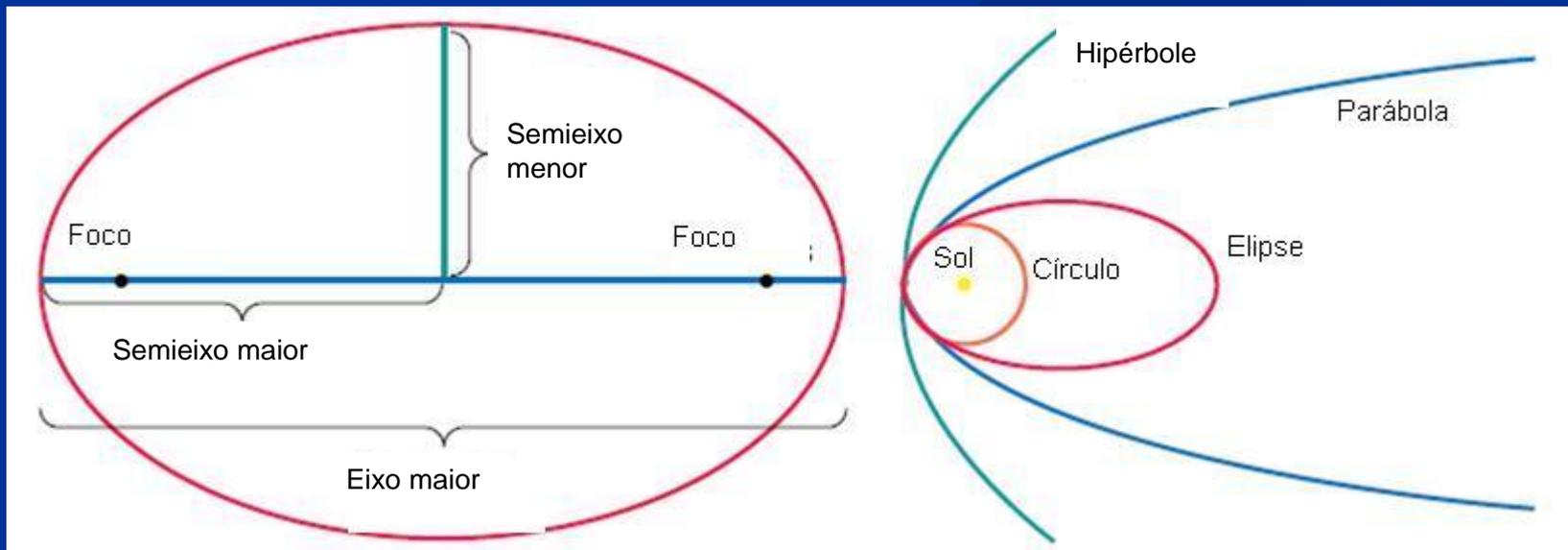
5) Johannes Kepler e as suas leis das órbitas

- As observações precisas de Tycho mostravam imprecisões nas tabelas de posições dos planetas, utilizadas nessa época.
- Kepler desenvolveu cálculos detalhados para explicar as posições planetárias.
- Primeiro tentou explicar a órbita de Marte sem desistir dos círculos, mas, por fim, estabelece as suas leis.



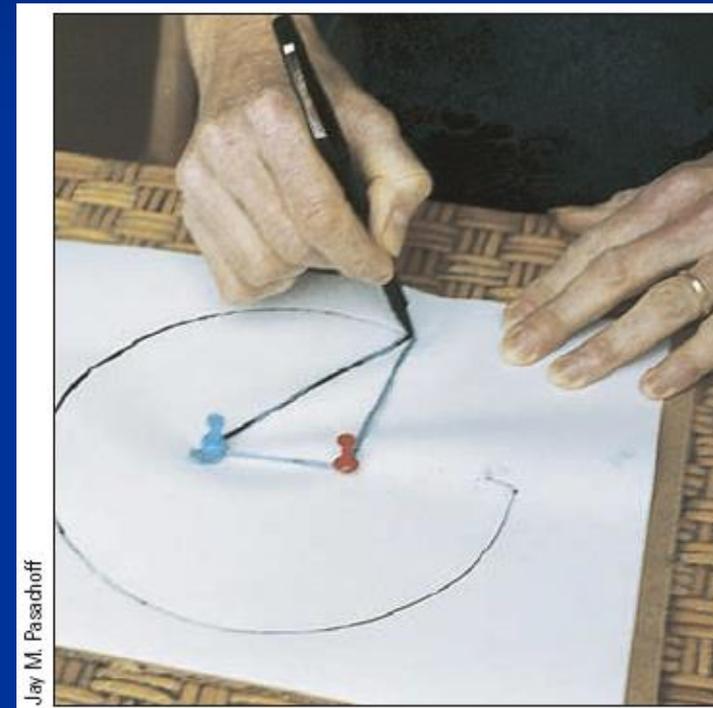
5) Primeira Lei de Kepler

- Os planetas orbitam em torno do Sol em elipses, com o Sol num dos focos.



5) Primeira Lei de Kepler

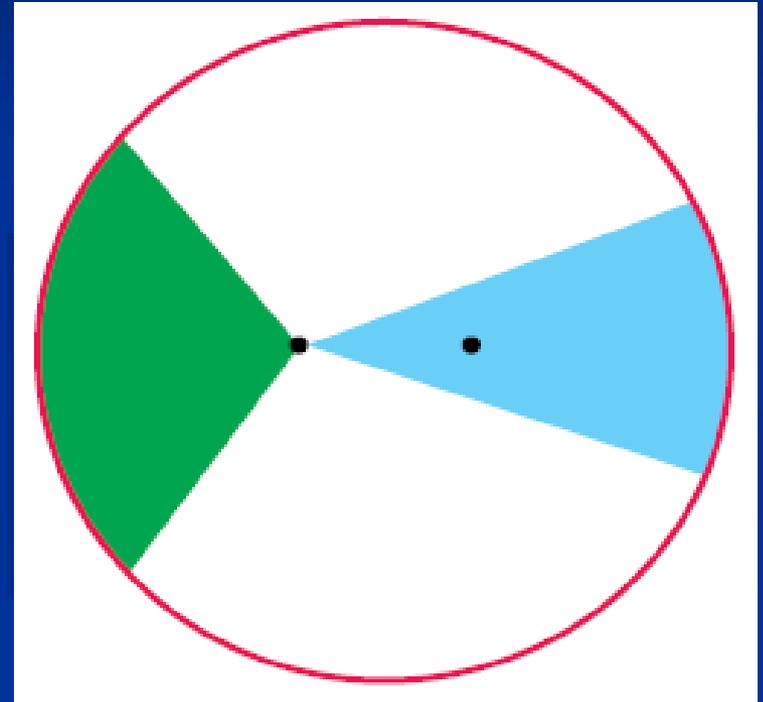
- A distância entre os focos e uma corda com um determinado comprimento definem cada elipse.
- A elipse altera-se quando se muda o comprimento da corda ou a distância entre os focos.



5) Segunda Lei de Kepler

Descreve a velocidade dos planetas nas suas órbitas.

- Diz que a linha que une um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais.
- O planeta move-se mais rapidamente quando está mais perto do Sol.
- Também é conhecida como a Lei das Áreas.



5) Segunda Lei de Kepler

- A segunda lei de Kepler é especialmente útil para os cometas, que têm órbitas elípticas muito excêntricas (isto é, achatadas).
- Por exemplo, demonstrou que o Cometa Halley se move muito mais lentamente quando está longe do Sol, uma vez que a linha que o une ao Sol é muito comprida.



5) Terceira Lei de Kepler

- Relaciona o período com a medida da distância do planeta ao Sol.
- Especificamente, diz que *o quadrado do período de translação é proporcional ao cubo do semieixo maior da elipse:*

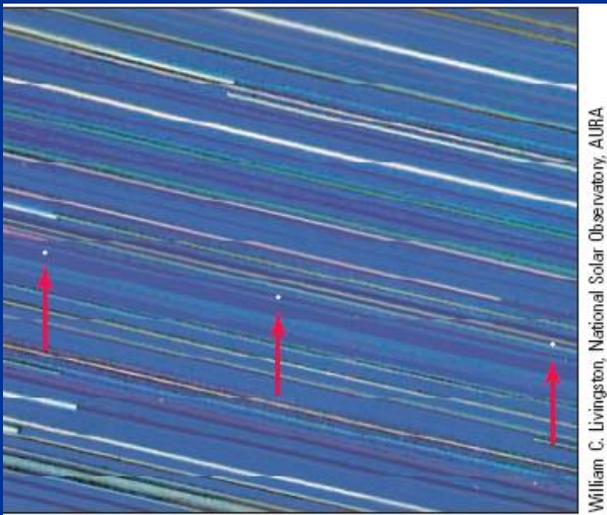
$$P^2 = k a^3, \text{ onde } k \text{ é uma constante}$$

- Isto é, se o cubo do semieixo maior da elipse aumenta, o quadrado do período aumenta com o mesmo fator.



5) Terceira Lei de Kepler

■ A aplicação à realidade da 3ª Lei de Kepler é feita nos “satélites geoestacionários”, que estão a grande altitude e orbitam à mesma velocidade que a da rotação da Terra.



William C. Livingston, National Solar Observatory, AURA

■ Parecem flutuar sobre o equador (*ver figura, à esquerda*), e são usados para transmitir sinais de TV e telefone.



6) Queda do modelo ptolomaico: Galileu

- No final de 1609, Galileu foi o primeiro a utilizar um telescópio para estudos astronómicos sistemáticos.



Jay M. Pasachoff

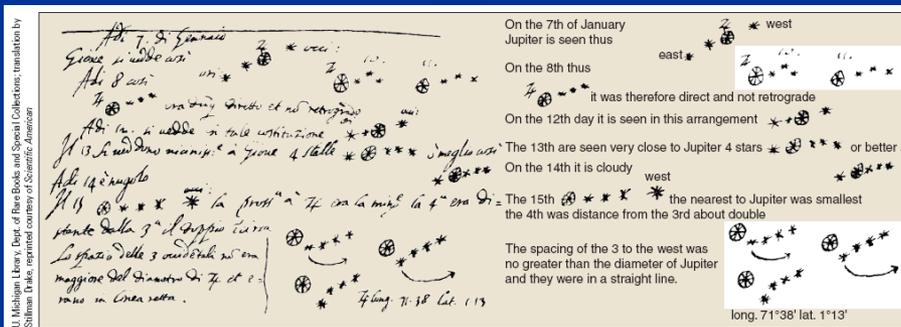


Jay M. Pasachoff

6) Queda do modelo ptolomaico: Galileu

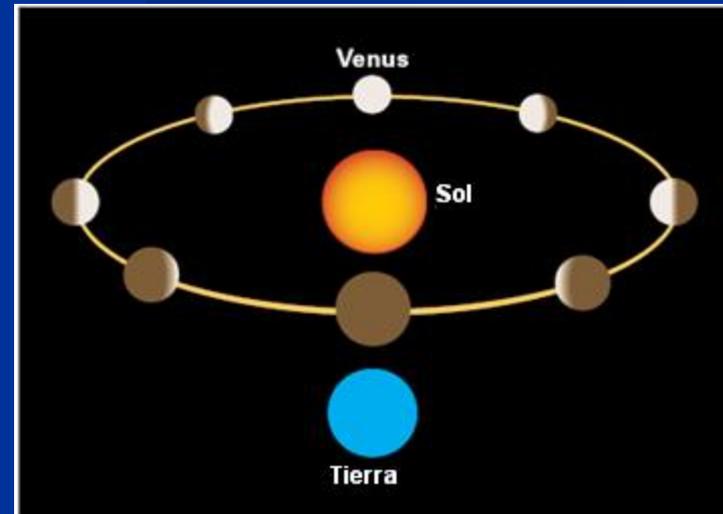
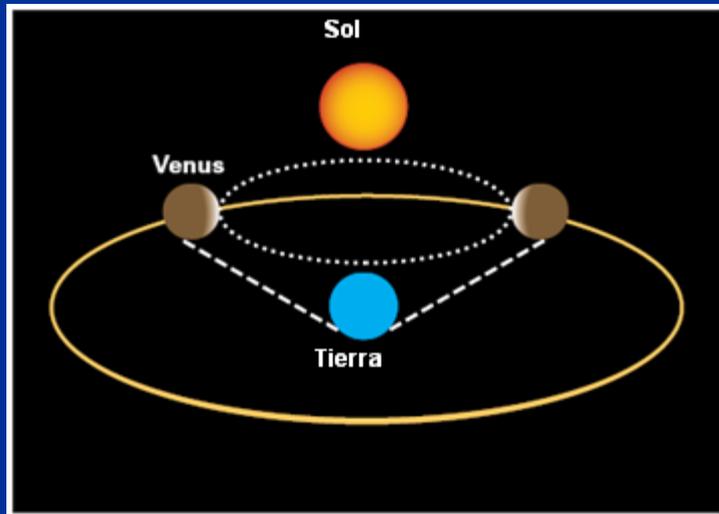
Em 1610 publicou que, com o seu telescópio, podia ver:

- Muito mais estrelas do que a olho nu.
- A Via Láctea tinha muitas estrelas individuais.
- Montanhas, crateras e escuros “mares” lunares.
- 4 pequenos corpos que orbitam em torno de Júpiter (assim nem todos os corpos giram em torno da Terra).
- As 4 luas não “ficavam para trás”, enquanto Júpiter se movia (sugerindo que a Terra se devia comportar da mesma forma, sem deixar objetos para trás).

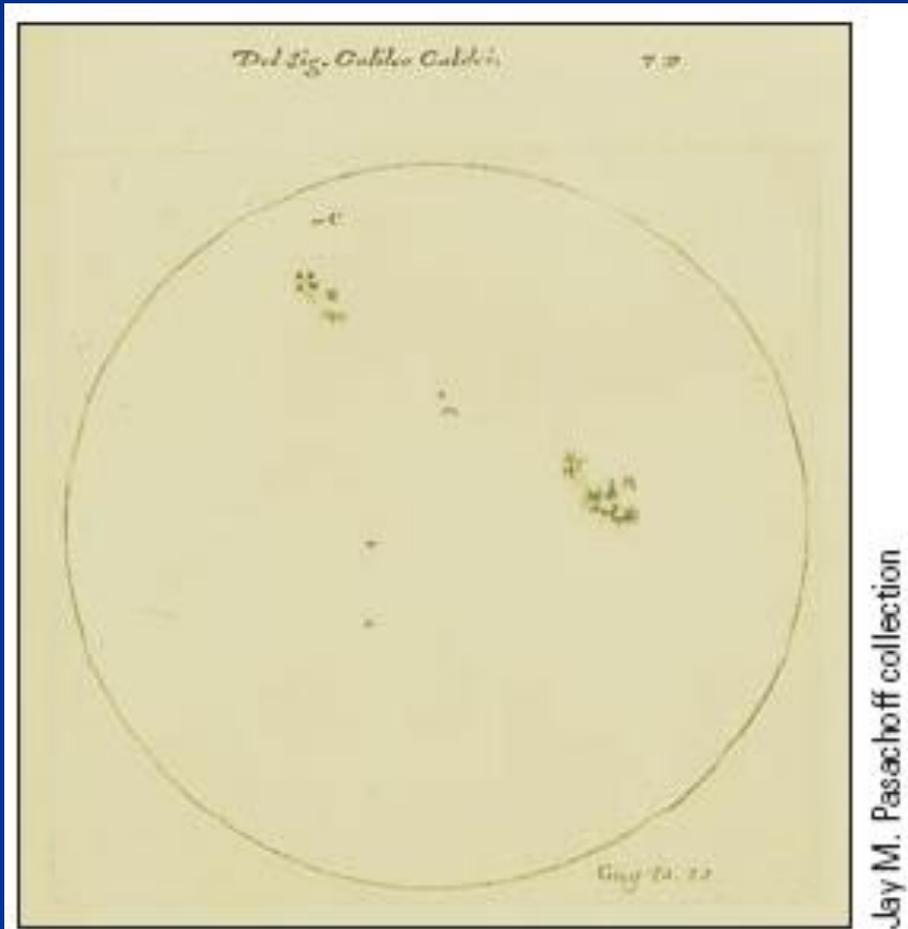


6) Queda do modelo ptolomaico: Galileu

- Para o modelo heliocêntrico foi fundamental Galileu ter descoberto que Vénus mostrava um conjunto completo de fases, o que não se explicava no sistema de Ptolomeu.



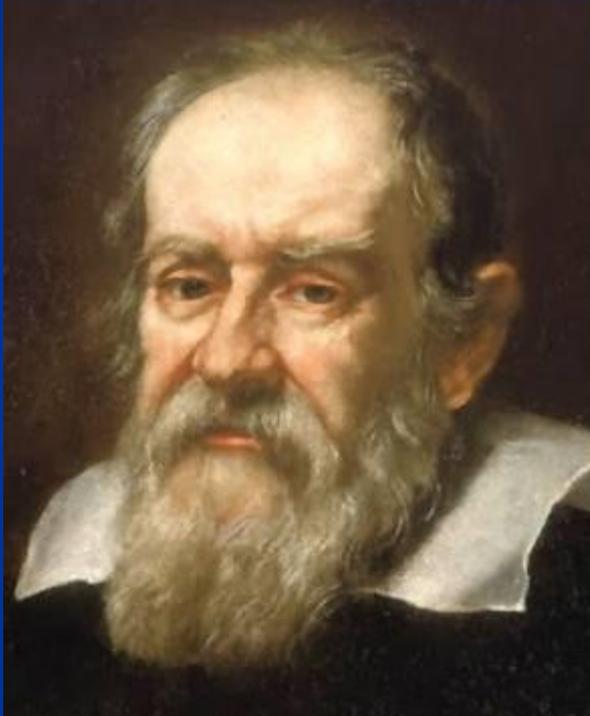
6) Queda do modelo ptolomaico: Galileu



Jay M. Pasachoff collection

- Em 1612, Galileu descreveu manchas solares (evidência de que os objetos celestes não eram perfeitos) mostrando que rodavam juntamente com a superfície do Sol.

6) Queda do modelo ptolomaico: Galileu



- Agora, quatrocentos anos depois de Galileu ter feito as suas descobertas, e do seu contemporâneo Giordano Bruno ter sido queimado na fogueira, pelo menos em parte, pela sua visão de mundos para além do Sistema Solar, há paz entre a Igreja e os cientistas. O Vaticano mantém um observatório moderno e vários astrónomos respeitados.



7) Sobre os ombros de Gigantes: Isaac Newton

- Temos de esperar por Isaac Newton, 60 anos depois, para saber o “porquê” das leis empíricas de Kepler.
- Newton nasceu na Inglaterra em 1642, no ano em que Galileu morreu.
- Foi o maior cientista da sua época:
 - *Trabalhou em ótica.*
 - *Inventou o telescópio refletor.*
 - *Descobriu a decomposição da luz visível num espectro de cores.*
 - *Mais importante, foi o seu trabalho em movimento e gravitação (teve que inventar o cálculo).*



7) Sobre os ombros de Gigantes: Isaac Newton

Principia (1687) contêm as Três Leis do Movimento:

- Primeira lei (inércia): corpos em movimento tendem a permanecer em movimento em linha reta e com velocidade constante, a não ser que sobre eles atue uma força exterior (descoberta por Galileu).
- Segunda lei: relaciona a força com o seu efeito sobre a aceleração de uma massa. ($F = m a$, onde F é a força, m a massa e a a aceleração).



7) Sobre os ombros de Gigantes: Isaac Newton

- Terceira Lei: para cada ação há uma reação igual e de sentido contrário.

O movimento de um foguete é apenas um dos muitos fenômenos explicados por esta lei.

- O *Principia* inclui também a lei da gravidade.
Uma das aplicações da lei da gravidade de Newton é o conceito de peso.

7) Sobre os ombros de Gigantes: Isaac Newton

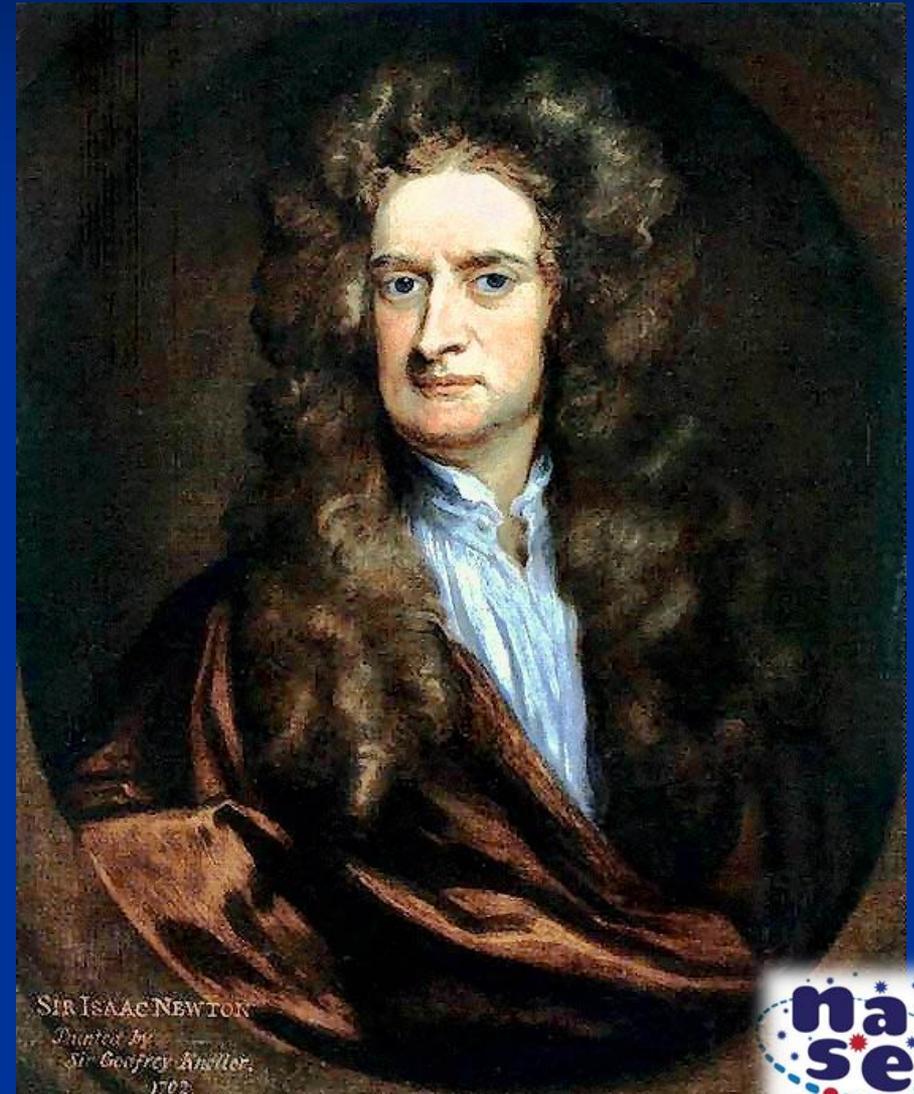
Uma das histórias mais famosas da ciência é a da maçã que caiu na cabeça de Newton.

O próprio Newton contou, anos depois, que ele viu uma maçã cair e percebeu que, tal como a maçã cai para a Terra, a Lua está a cair em direção à Terra, e continua a mover-se afastada de nós. (A distância que a Lua viaja em direção à Terra é compensada pela distância para a Lua percorre para a frente, o resultado ao longo do tempo é uma órbita estável, em vez de colidir com a Terra).



7) Sobre os ombros de Gigantes: Isaac Newton

- A mais famosa frase de Newton é "Se eu vi mais longe, foi por estar sobre o ombros de gigantes."



Diapositivos opcionais



8) As raízes da astronomia: BABILÓNIA

Na Caldeia estão os primórdios da astronomia ocidental, a matemática utilizava um sistema de numeração sexagesimal, que por ser um sistema de notação posicional (muito parecido com o atual sistema decimal, mas na base 60), facilitou o desenvolvimento de uma álgebra e aritmética precoces, daí aparecer por exemplo, a divisão do círculo em 360 graus, ou a de uma hora em 60 minutos e estes em 60 segundos.

𐎶 1	𐎵 11	𐎴𐎶 21	𐎳𐎶 31	𐎲𐎶 41	𐎱𐎶 51
𐎷 2	𐎶𐎵 12	𐎵𐎶 22	𐎴𐎷 32	𐎳𐎷 42	𐎲𐎷 52
𐎸 3	𐎶𐎷 13	𐎵𐎷 23	𐎴𐎸 33	𐎳𐎸 43	𐎲𐎸 53
𐎹 4	𐎶𐎸 14	𐎵𐎸 24	𐎴𐎹 34	𐎳𐎹 44	𐎲𐎹 54
𐎺 5	𐎶𐎹 15	𐎵𐎹 25	𐎴𐎺 35	𐎳𐎺 45	𐎲𐎺 55
𐎻 6	𐎶𐎺 16	𐎵𐎺 26	𐎴𐎻 36	𐎳𐎻 46	𐎲𐎻 56
𐎼 7	𐎶𐎻 17	𐎵𐎻 27	𐎴𐎼 37	𐎳𐎼 47	𐎲𐎼 57
𐎽 8	𐎶𐎼 18	𐎵𐎼 28	𐎴𐎽 38	𐎳𐎽 48	𐎲𐎽 58
𐎾 9	𐎶𐎽 19	𐎵𐎾 29	𐎴𐎾 39	𐎳𐎾 49	𐎲𐎾 59
𐎿 10	𐎶 20	𐎵 30	𐎴 40	𐎳 50	

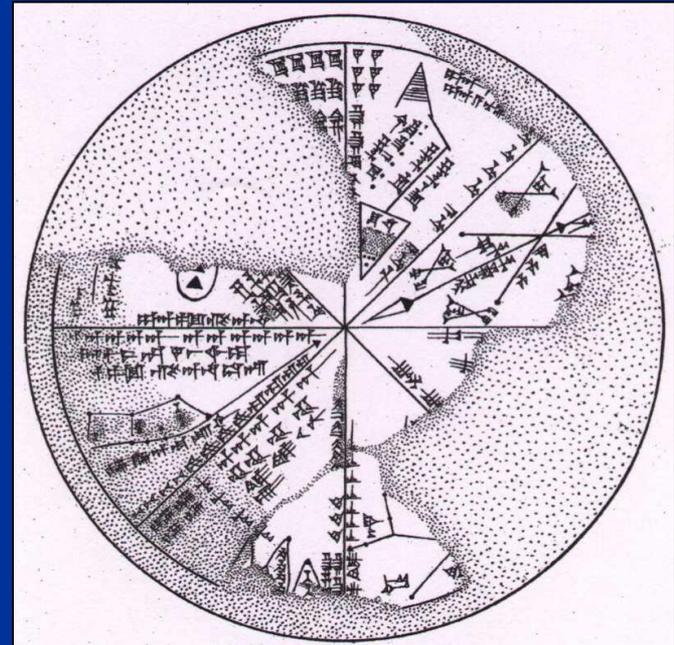


8) As raízes da astronomia: BABILÓNIA

Os caldeus observaram eclipses lunares e propuseram a série de *Saros* para prever sua ocorrência. Embora só tivessem sido utilizadas para os eclipses lunares, são também aplicáveis aos eclipses solares.



Carta ao Rei Assurbanipal onde é descrito um eclipse lunar.



Planisfério, da biblioteca do rei Assurbanipal em Nínive (800 a.C.).

8) As raízes da astronomia: BABILÓNIA

Os cinco planetas conhecidos para os caldeus

Códice de Amurabi



Nome	Significado	Planeta
Neberu	Articulação	Júpiter
Delebat	A proclamada	Vénus
Sithu, Ishtar	O saltador	Mercúrio
Kayamanu	O constante	Saturno
Salbatanu	O corou	Marte

8) As raízes da astronomia: EGITO



Nut, a deusa do céu, envolve Geb, a divindade terrena.

Nut divide a Terra do Céu, mundo dos mortos.

Os egípcios notaram que quando Sírio (que chamaram de Sotis) nascia um pouco antes do Sol (nascer heliacal), isso coincidia com o início da inundação do Nilo. O deserto ficava fértil, por isso Sírio foi associada com a deusa da fertilidade, Isis.

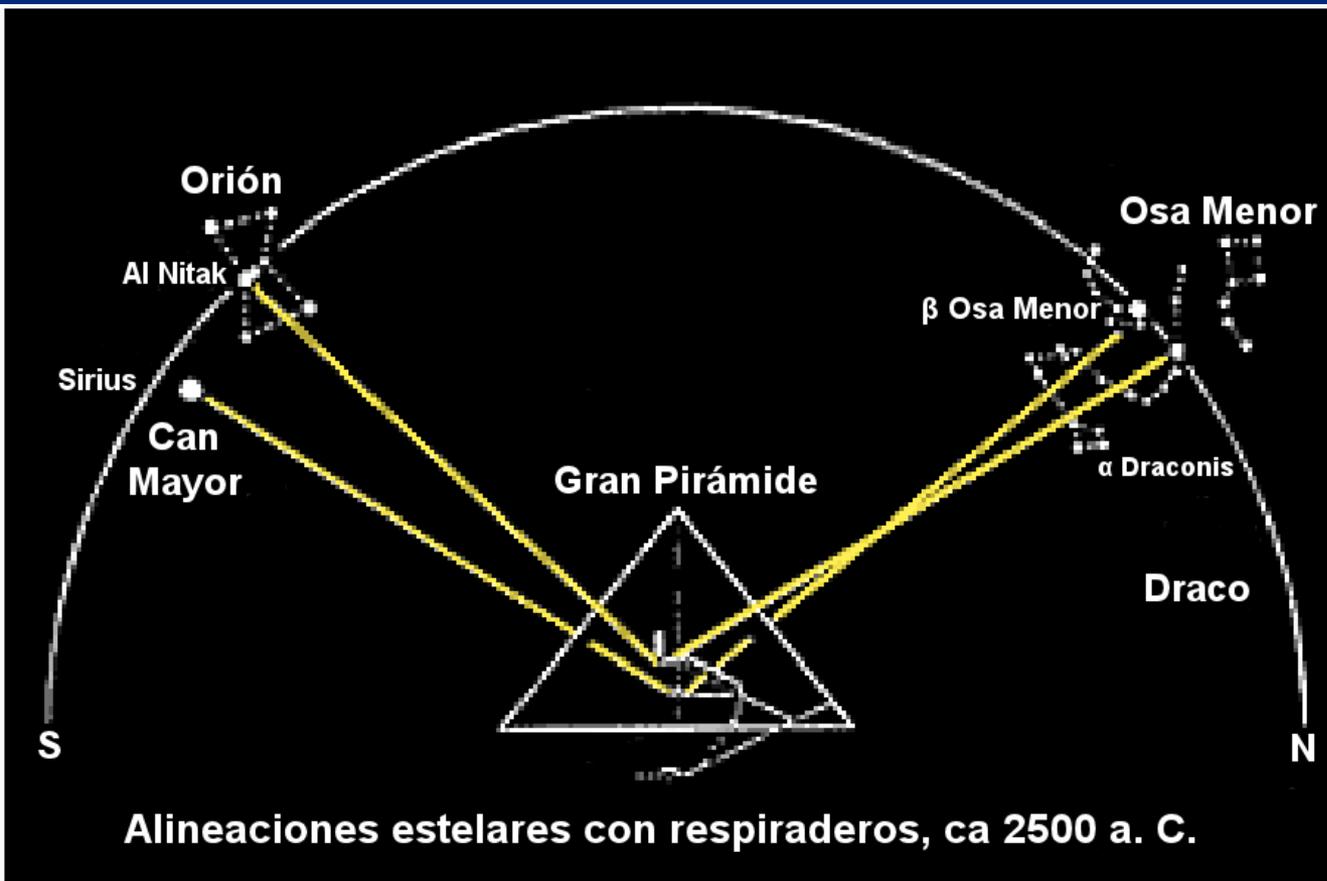


8) As raízes da astronomia: EGITO



No telhado do templo de Hathor, em Dendera, Egito, estão as constelações egípcias no período helenístico. Muitas delas já desapareceram, como o crocodilo ou o hipopótamo.

8) As raízes da astronomia: EGITO



Os egípcios orientavam os seus edifícios com as posições do Sol e certas estrelas que tinham significados rituais.



8) As raízes da astronomia: ÍNDIA

O primeiro texto de conteúdo astronómico aparece na literatura religiosa da Índia (segundo milénio a.C.).

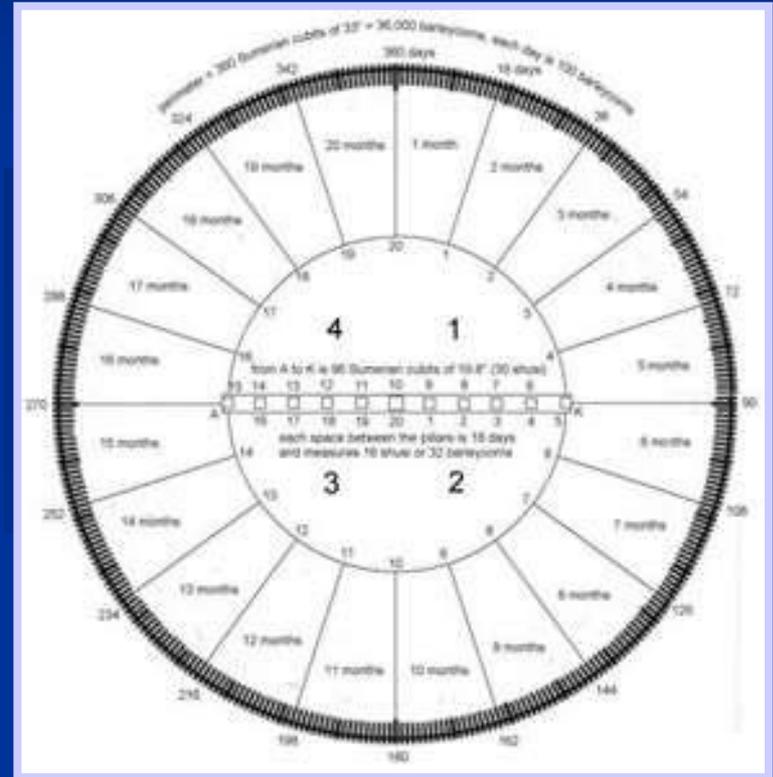
Durante os séculos seguintes uma série de astrónomos indianos estudaram vários aspetos relacionados com a astronomia.



8) As raízes da astronomia: ÍNDIA

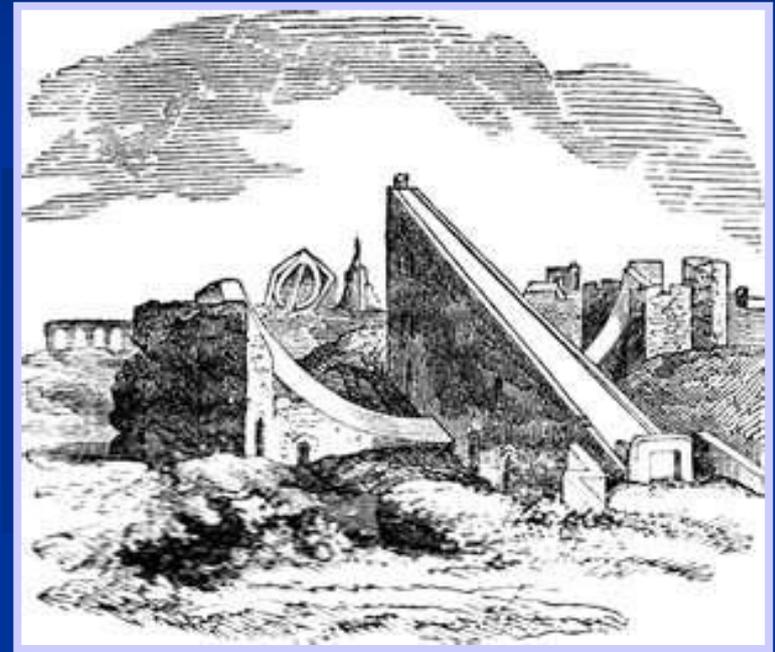
O calendário Hindu da antiguidade tem sofrido muitas alterações com o processo de regionalização. Hoje em dia há vários calendários indianos regionais, bem como um calendário nacional indiano.

No calendário hindu, o dia começa com o nascer do Sol. São-lhe atribuídas cinco “propriedades” chamadas angas.



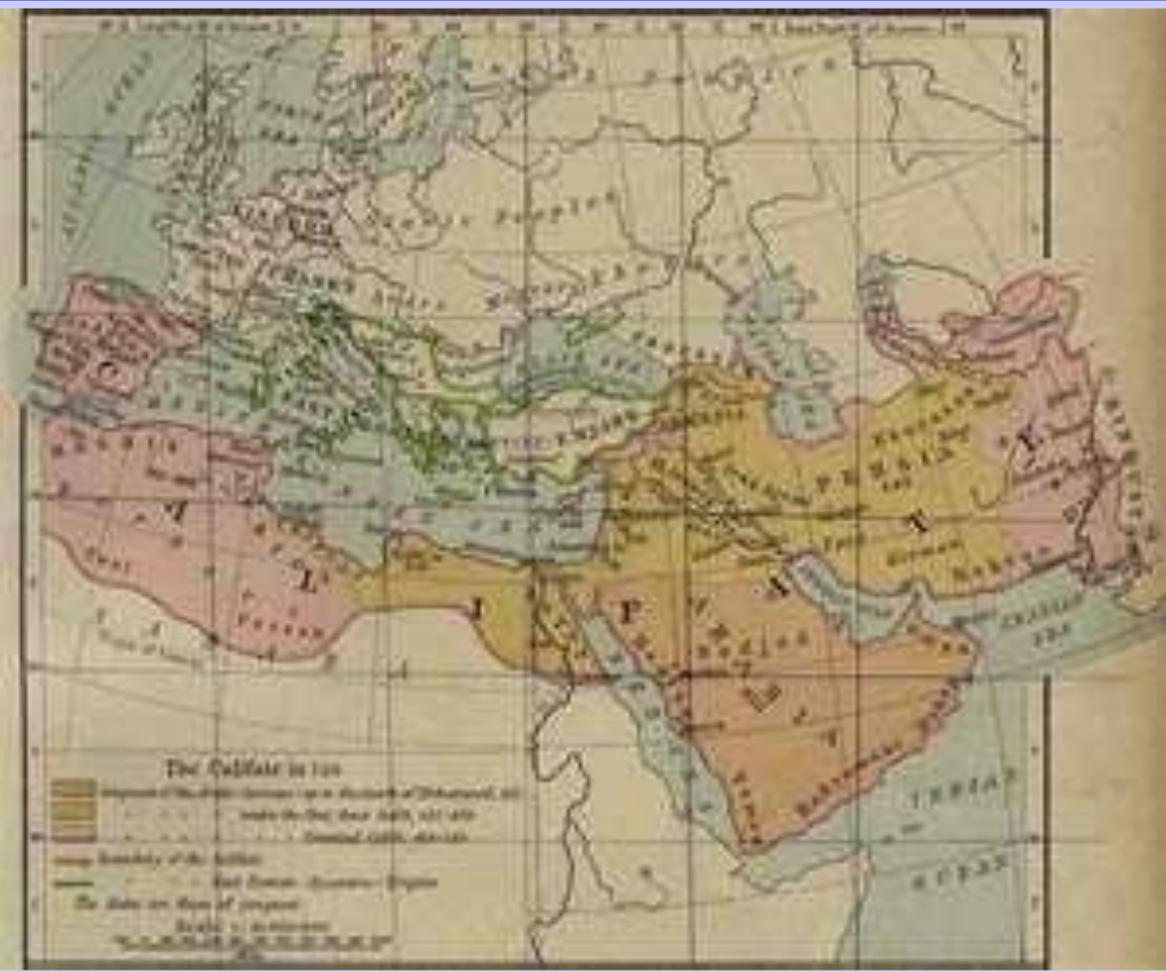
8) As raízes da astronomia: ÍNDIA

A eclíptica é dividida em 27 *nakshatras*, que são chamadas indiferentemente de casas lunares ou asterismos. Estas refletem o ciclo da Lua contra as estrelas fixas, 27 dias e 7 horas $\frac{3}{4}$, onde a parte fracionada será compensada por um 28º *nakshatra* intercalar. O cálculo *nakshatra* parece ter sido bem conhecido no segundo-primeiro milénio a.C.



8) As raízes da astronomia: ÁRABES

Na maior parte do desenvolvimento astronómico por árabes tem lugar nos séculos VIII-XV, no Médio Oriente, na Ásia Central, na Andaluzia, no Norte da África, e, mais tarde, no Extremo Oriente e na Índia.



8) As raízes da astronomia: ÁRABES



As primeiras observações sistemáticas ocorreram sob o patrocínio de Al-Mamun (786-833) em muitos observatórios de Damasco a Bagdade:

- mediram os graus de meridiano;
- estabeleceram parâmetros solares;
- fizeram observações detalhadas do Sol, da Lua e dos planetas.

8) As raízes da astronomia: ÁRABES



Um grande número de estrelas no céu, como Aldebarã e Altair, e termos como *alidade*, *azimute*, *almicantarat*, ainda são referidos pelo seu nome árabe.

INSTRUMENTOS

- Globos celestes.
- Esferas armilares.
- Astrolábios.
- Relógios de sol.
- Quadrantes.

8) As raízes da astronomia: MAIAS

Os maias estavam muito interessados nas passagens zenitais, quando o Sol passa diretamente por cima da cabeça. Os maias tinham um deus para esta posição: “Deus Descendente”.



A latitude da maioria de suas cidades faz com que essas passagens aconteçam duas vezes por ano, equidistantes dos solstícios.



8) As raízes da astronomia: MAIAS

Vénus era o objeto astronómico mais importante para os maias, ainda mais do que o Sol.



Demonstraram conhecimentos sobre a nebulosa de Oriente como sendo um objeto difuso (não como estrela pontual).

8) As raízes da astronomia: MAIAS

Embora o calendário mesoamericano não se tenha originado com os maias, os desenvolvimentos e melhorias introduzidos posteriormente pelos maias, foram muito sofisticados.

Juntamente com o dos astecas, os calendários maias são os melhores documentados e os mais compreensíveis.



8) As raízes da astronomia: ASTECAS

A partir do século XIII o Vale do México era o coração da civilização asteca. Eram grupos étnicos da região central do México. Os grupos que falavam a língua Nahuatl e dominaram a maior parte da Mesoamérica nos séculos XIV, XV e XVI, um período conhecido como o último período pós-clássico mesoamericano.



8) As raízes da astronomia: ASTECAS

O calendário asteca (aprox. 1479) é circular, com quatro círculos concêntricos. No centro está o rosto de Tonatiuh (Deus Sol) segurando uma faca na boca.



As quatro eras anteriores, estão representadas por figuras quadrados ao lado do Sol no centro. O círculo exterior tem 20 áreas que representam os dias de cada um dos 18 meses, que compunham o calendário asteca. Para completar os 365 dias do ano solar, incorporavam 5 dias fatídicos, ou *nemontemi*.

8) As raízes da astronomia: ASTECAS



Os astecas agruparam as estrelas mais brilhantes em constelações: Mamalhuaztli (Cinturão de Oriente); Tianquiztli (Plêiades); Citlaltlachtli (Gêmeos); Citlalcolotl (Escorpião); Xonecuilli (Ursa Menor ou Cruzeiro do Sul para outros, etc.).

Cometas eram chamados de “as estrelas que fumam”.



8) As raízes da astronomia: INCAS



Os Incas são uma civilização pré-colombiana do Grupo Andino. Começa no início do séc. XIII, na Bacia de Cuzco no Peru e, depois, estende-se ao longo do Oceano Pacífico e dos Andes, cobrindo a parte ocidental da América do Sul.

No seu auge, espalhava-se desde a Colômbia até à Argentina e Chile, pelo Equador, Peru e Bolívia.



8) As raízes da astronomia: INCAS

Os incas usavam um calendário solar para a agricultura e outro lunar para as festividades religiosas.



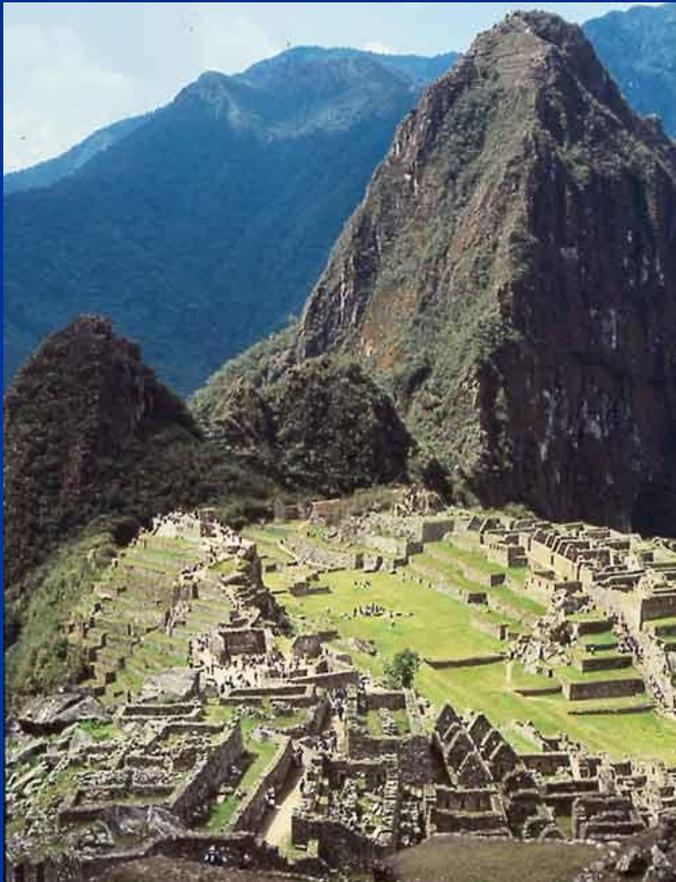
De acordo com as crônicas dos espanhóis, na periferia de Cuzco havia um grande calendário público composto por 12 pilares de 5 metros de altura, que se podia ver a grande distância para se determinar a data em que estavam.

Celebravam duas festividades principais, o Inti Raymi e o Capac Raymi, os solstícios de verão e de inverno, respectivamente.



8) As raízes da astronomia: INCAS

Os incas consideravam o seu Rei, Sapa Inca, o “filho do Sol”.



As cidades mais importantes foram traçadas seguindo alinhamentos celestes e usando os pontos cardeais.

Identificaram diversas áreas escuras ou nebulosas escuras da Via Láctea com animais, e associaram o seu aspeto com as chuvas sazonais.



8) As raízes da astronomia: INCAS

As constelações como Yutu, o sapo celestial, e o Lama do Céu, foram usadas para acompanhar a passagem das estações e para marcar os eventos sagrados.



Por exemplo: No antigo Peru, os sacrifícios de lamas negras e multicoloridas, eram previstos para abril e outubro, quando os “olhos do lama”, “alfa e beta Centauro”, se opunham ao Sol.

8) As raízes da astronomia: CHINA



Os chineses são considerados como sendo os observadores mais persistentes e precisos de fenómenos celestes antes dos árabes. Registos detalhados de observações astronómicas começaram no séc. IV a.C.

Elementos da astronomia indiana chegaram à China com a expansão do budismo no final da dinastia *Han* (25-220 d.C.), mas a introdução mais detalhada do pensamento astronómico indiano ocorreu durante a dinastia *Tang* (618-907 d.C.).



8) As raízes da astronomia: CHINA

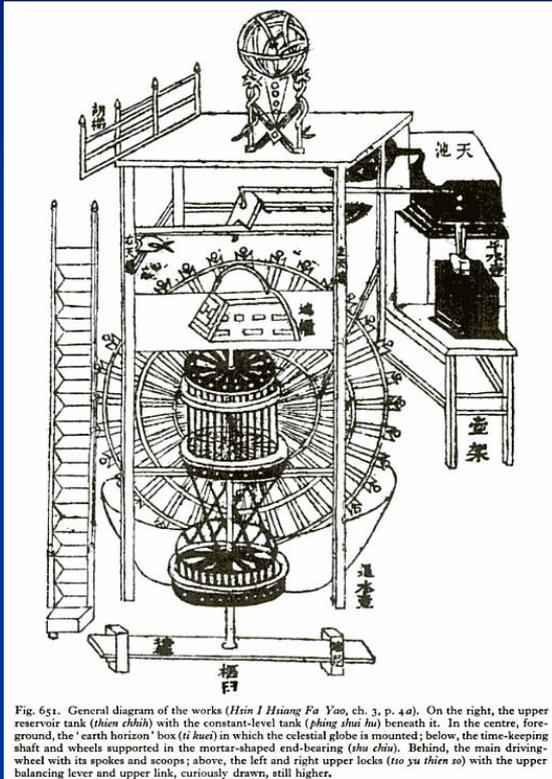


Fig. 651. General diagram of the works (*Hsin I Hsiang Fa Yao*, ch. 3, p. 40). On the right, the upper reservoir tank (*thien shihui*) with the constant-level tank (*phing shui hu*) beneath it. In the centre, foreground, the 'earth horizon' box (*ti kuei*) in which the celestial globe is mounted; below, the time-keeping shaft and wheels supported in the mortar-shaped end-bearing (*shu chiu*). Behind, the main driving wheel with its spokes and scoops; above, the left and right upper locks (*tsu yu thien so*) with the upper balancing lever and upper link, curiously drawn, still higher.

A astronomia revitalizou-se com o aparecimento da cosmologia e da tecnologia ocidentais quando os Jesuítas fundaram as suas missões, no séc. XVI.

Instrumentos

Esfera Armilar.

Globo Celeste.

Torre com uma Esfera Armilar .

Globo Celeste movido hidraulicamente.

O telescópio foi introduzido no séc. XVII.



8) As raízes da astronomia: CHINA

O cientista chinês *Shen Kuo* (1031-1095) foi o primeiro a:

- Descrever a bússola de agulha magnética;
- Fazer uma medição precisa da distância entre a estrela Polar e o norte verdadeiro para ser utilizada na navegação.



8) As raízes da astronomia: CHINA



Shen Kuo e Pu Wei fizeram um projeto de observação astronômica noturna, por um período de cinco anos consecutivos, um trabalho que poderia rivalizar com as observações de Tycho Brahe.



Para este projeto também marcaram as coordenadas exatas dos planetas num mapa de estrelas e formularam teorias do movimento planetário, incluindo o movimento retrógrado.

8) As raízes da astronomia: CHINA

A astronomia chinesa centrou-se na observação. Tinham dados desde o ano 4000 a.C. (explosão de supernovas, eclipses e aparição de cometas).

- Em 2100 a.C. registaram um eclipse do Sol.
- Em 1200 a.C. descreveram “pintas escuras” no Sol.
- Em 532 a.C. registaram o aparecimento de uma supernova na constelação da Águia.
- Em 240 e 164 a.C. registaram a passagem do cometa *Halley*.



8) As raízes da astronomia: CHINA

Na nossa era:

- Determinaram a *precessão dos equinócios* em 1° a cada 50 anos.
- Observaram que as caudas dos cometas apontavam sempre na direção oposta à posição do Sol.
 - No ano 1006, anotaram o aparecimento de uma supernova tão brilhante que podia ser observada durante o dia (a mais brilhante de que se tem notícia).
 - No ano 1054, observaram a explosão de uma supernova que, mais tarde, daria origem à *nebulosa do Caranguejo*.



Muito obrigado
pela sua atenção!

