

História da astronomia

Jay Pasachoff, Magda Stavinschi, Mary Kay Hemenway

União Astronômica Internacional, Williams College (Massachusetts, EUA), Instituto Astronômico da Academia Romena (Bucareste, Roménia), Universidade do Texas (Austin, EUA)

Resumo

Esta breve resenha da História da Astronomia oferece uma descrição acerca da natureza da astronomia e das suas origens, seguido de um resumo dos principais acontecimentos no desenvolvimento da astronomia na Europa ocidental até à época de Isaac Newton.

Objetivos

- Oferecer uma visão geral da história da astronomia em diferentes partes do mundo de modo superficial, mas com o objetivo de mostrar que a astronomia tem sido e é do interesse de todos os povos.
- Mencionar as grandes figuras da história da astronomia que contribuíram, antes de Newton, de forma relevante para o desenvolvimento desta disciplina: Tycho Brahe, Copérnico, Kepler e Galileu.
- O resumo necessário para uma conferência não permite desenvolver a história da astronomia contemporânea da atualidade, mas estes conteúdos estão presentes em outros capítulos deste livro.

Pré-História

Com o céu escuro, os povos antigos podiam ver as estrelas: levantavam-se na parte oriental do céu, moviam-se para cima, punham-se no oeste. Numa direção, as estrelas moviam-se em círculos diminutos. Hoje em dia, quando olhamos para o norte, vemos uma estrela nessa posição – a Estrela do Norte, ou Polar. Não é uma estrela muito brilhante: 48 estrelas no céu são mais brilhantes que ela, mas está num lugar interessante. Em tempos antigos, outras estrelas alinharam-se com o Polo Norte da Terra, ou, às vezes, não existiam estrelas na vizinhança do polo.

Desde que as pessoas começaram a olhar o céu, perceberam que alguns dos objetos mais brilhantes não nascem e se põem exatamente com as estrelas. Claramente, a Lua é, de longe, o objeto mais brilhante do céu noturno. Sobe quase uma hora mais tarde a cada noite, e aparece num contexto diferente das estrelas. A sua forma também muda, o que agora chamamos de fases.

Mas algumas destas luzes no céu movimentam-se de forma diferente das outras. Estas foram denominadas pelos gregos de errantes, ou planetas. Praticamente todas as civilizações da Terra perceberam e nomearam estes objetos.

Alguns povos antigos construíram monumentos: círculos como Stonehenge, em Inglaterra, ou tumbas como as de Menorca, em Espanha, que estavam alinhadas com o Cruzeiro do Sul, em 1000 a.C. Os babilónios foram grandes estudiosos dos fenómenos astronómicos, mas foram os gregos quem construíram a disciplina que trata de explicar o firmamento.

Os gregos

Tal como Aristóteles (384 a.C-322 a.C.), a maioria dos gregos antigos pensava que a Terra estava no centro do Universo e era composta de quatro elementos: Terra, Ar, Fogo e Água. Além da Terra existia um quinto elemento, o éter (ou quinta essência), que constituía os pontos da luz no céu.

Perceberam que alguns dos objetos se moviam de forma diferente do resto das estrelas. Estes foram batizados de “errantes”, ou planetas. Na sua maioria, movem-se na mesma direção que as estrelas: nascem a leste e movimentam-se para o oeste. Mas, às vezes, parece que fazem uma pausa e movimentam-se para trás em comparação ao deslocamento das estrelas. Este movimento para trás é denominado movimento “retrógrado”, para diferenciar do movimento para frente, chamado “direto”.

O astrónomo grego Cláudio Ptolomeu (90-168) trabalhou em Alexandria, norte da África, no século II d.C. Ptolomeu queria prever as posições dos planetas e chegou a uma solução matemática. Seguindo Aristóteles, pôs a Terra no centro do Universo. A Lua e os planetas estavam ao redor da Terra em círculos concêntricos que aumentavam com a distância. O que aconteceria caso os planetas se movessem realmente em pequenos círculos cujos centros estivessem nos círculos grandes? Nessa situação, alguns dos movimentos dos pequenos círculos mover-se-iam mais rapidamente para trás em relação aos centros destes círculos do que se movimentariam para adiante. Desde a Terra, veríamos que os planetas movimentar-se-iam para trás. Esses pequenos círculos chamam-se “epiciclos”, e os grandes círculos são conhecidos como “deferentes”. A ideia de Ptolomeu de que os círculos se movem em círculos teve influência na ciência ocidental por muito tempo. Partindo da observação para a teoria, o uso da matemática foi um passo único e importante no desenvolvimento da ciência ocidental.

Praticamente todas as culturas na Terra olhavam para o céu, apesar de não possuírem os mesmos nomes para os objetos que observaram. Eles usaram a informação para a elaboração de calendários, anunciar os ciclos das estações para semear, colher ou caçar, e também para as cerimônias religiosas. Como os gregos, alguns deles desenvolveram sofisticadamente a matemática para prever os movimentos dos planetas ou eclipses; contudo, não quer dizer que se tratou do que poderíamos chamar uma teoria científica. Aqui segue alguns exemplos:

África

Este povo posicionou pedras em posição vertical, em Nabta, no Deserto de Núbia, aproximadamente 1000 anos antes de Stonehenge. Os egípcios utilizaram a astronomia para alinhar

as suas pirâmides e ampliar suas crenças religiosas ao incluir a ciência das estrelas. Petróglifos em Namoratunga (Quênia) compartilham aspetos de marcas de gado. A tradição das estrelas vem de todas as áreas da África, da região de Dogon de Malí, da África Ocidental, da Etiópia e da África do Sul.

Astronomia Islâmica

Muitos dos avanços astronômicos foram realizados no mundo islâmico, especialmente durante a Idade de Ouro Islâmica (séculos VIII ao XV) e na sua maioria escritos em língua árabe. Grande parte dos progressos foi desenvolvido no Oriente Médio, Ásia Central, Al-Andalus, norte de África, e mais tarde no Longínquo Oriente e na Índia. Um número significativo de estrelas no céu, como Aldebarã e Altair, e termos astronômicos, tais como alidade, azimute e almicantarado, são derivados dos seus nomes árabes. Os árabes inventaram os números árabes, incluindo o uso do zero. Eles estavam interessados em determinar a posição do Sol e a hora do dia (já que eram úteis para os seus serviços religiosos). Também fizeram muitas descobertas em ótica. Um grande número de obras gregas foram conservados para a posteridade através das suas traduções para o árabe.

As primeiras observações regulares realizadas pelos islâmicos foram realizadas sob o patrocínio de Al-Maamun (786-833). Aqui, e em muitos outros observatórios particulares de Damasco a Bagdade, foram medidos os graus do meridiano, estabeleceram-se os parâmetros solares e empreenderam-se observações detalhadas do Sol, da Lua e dos planetas.

Alguns instrumentos usados pela Astronomia Islâmica foram: globos celestes e esferas armilares, astrolábios, relógios de sol e quadrantes.



Fig. 1: Astrolábio árabe.

As Américas

América do Norte

Os povos nativos da América do Norte também deram nome às suas constelações do céu e contavam histórias que foram transmitidas através da tradição oral. Alguns artefactos, tais como rodas de pedra ou os alinhamentos na construção, permanecem como evidência do uso da astronomia na vida quotidiana.

Astronomia Maia

Os maias foram uma civilização mesoamericana, destacada por ser a única que apresentou uma língua escrita totalmente desenvolvida da América pré-colombiana, arte, arquitetura, matemática e sistemas astronómicos. As cidades mais, estabelecidas durante o período Pré-clássico (2000 a.C. a 250 d.C.), atingiram o seu mais alto grau de desenvolvimento no período Clássico (c. 250 d.C. a 900 d.C.), continuando durante o período pós clássico, até à chegada dos espanhóis. O povo maia não desapareceu, nem no período de declínio que ocorreu no período clássico, nem com a chegada dos conquistadores espanhóis e a posterior colonização espanhola das Américas.

A astronomia maia é uma das mais antigas do mundo já conhecidas, sobretudo devido a seu famoso calendário, atualmente mal interpretado como uma previsão do fim do mundo. A civilização maia parece ser a única cultura pré-telescópica a demonstrar o conhecimento da Nebulosa de Oriente como difusa, ou seja, não como um ponto estelar.

Os maias estavam interessados nas passagens zenitais, momento em que o Sol passa diretamente sobre a cabeça do observador. As latitudes da maioria das suas cidades encontram-se abaixo do Trópico de Câncer, pelo que estas passagens zenitais aconteceriam duas vezes por ano, equidistantes do solstício. Para representar esta posição do Sol sobre as suas cabeças, os maias tinham um deus chamado Deus Descendente (*Diving God*).



Fig. 2: Chichén Itzá (México) são importantes restos arqueológicos da astronomia maia.

Vénus era o objeto astronómico mais importante para os maias, até mais do que o Sol. O calendário maia era um sistema de calendários e almanaques utilizados na civilização maia da Mesoamérica pré-colombiana, e em algumas comunidades maias modernas no altiplano de Guatemala e Oaxaca, México.

Mesmo que o calendário mesoamericano não tenha surgido com os maias, as suas posteriores ampliações e melhorias foram as mais sofisticadas. Juntamente com os dos astecas, os calendários maias são os melhores documentados e mais compreendidos.

Astronomia asteca

Os astecas eram grupos étnicos do centro do México, em particular os grupos que falavam a língua nauatle, e que dominaram grande parte da Mesoamérica nos séculos XIV, XV e XVI, num período conhecido como o pós-clássico tardio na cronologia mesoamericana.

A cultura e a história asteca são conhecidas, principalmente, através das provas arqueológicas encontradas em escavações, como a do famoso Templo Maior na Cidade de México e em muitas outras. Também é apreciada por causa dos códices indígenas de cascas de papel, pelas descrições dos séculos XVI e XVII da cultura asteca, incluindo até os relatos de conquistadores espanhóis e a história escrita por religiosos espanhóis e letrados astecas que conheciam o idioma espanhol ou nauatle.

O Calendário Asteca ou Pedra do Sol é o primeiro monólito que resta da cultura pré-hispânica na América Central e na América do Sul. Estima-se que foi talhado por volta do ano 1479. Este é um monólito circular com quatro círculos concêntricos. No centro aparece o rosto de Tonatiuh (Deus Sol), adornado com jade e sustentando uma faca na boca. Os quatro sóis ou “mundos” anteriores estão representados por figuras de forma quadrada que ladeiam o Quinto Sol, no centro. O círculo exterior consta de 20 áreas que representam os dias de cada um dos 18 meses que conformaram o calendário asteca. Para completar o ano solar de 365 dias, os astecas incorporaram 5 dias de sacrifício, ou Nemontemi.

Da mesma forma que quase todos os povos antigos, os astecas agruparam em associações as estrelas aparentemente brilhantes (as constelações): Mamalhuaztli (Cinturão de Oriente), Tianquiztli (as Plêiades), Citlalochtli (Gêmeos), Citlalcolotl (Escorpião) e Xonecuilli (Ursa Menor ou Cruz do Sul para outros, etc.). Os cometas foram chamados de “estrelas que fumam”.

Os grandes períodos de tempo estão definidos por eras de sóis diferentes na cosmologia asteca, cada um dos finais foi determinado por desastres cada vez mais significativos, como a destruição dos jaguares, furacões, incêndios, inundações ou terremotos.

Astronomia Inca

A civilização Inca é uma civilização pré-colombiana do Grupo Andino. Teve início no princípio do século XIII na bacia do Cuzco, no atual Peru, e depois cresceu ao longo do Oceano Pacífico e dos Andes, cobrindo a parte ocidental da América do Sul. No seu apogeu, estendeu-se desde a Colômbia até à Argentina e Chile, através do Equador, Peru e Bolívia.

Os incas consideravam o seu Rei, Sapa Inca, o “filho do Sol”. Os seus membros identificavam na Via Láctea várias áreas escuras ou nebulosas escuras como animais e associavam o seu aparecimento com as chuvas das estações.

Os incas usaram um calendário solar para a agricultura e um calendário lunar para as festas religiosas. Segundo as crônicas dos conquistadores espanhóis, nas proximidades de Cuzco, no atual Peru, existia um grande calendário que podia ser visto de longe e consistia em 12 colunas de 5 metros de altura cada uma através do qual as pessoas podiam saber a data. Celebravam duas grandes festas, o Inti Raymi e Capac Raymi, o solstício de inverno e verão, respetivamente.

Os incas tinham as suas próprias constelações: o Yutu (perdigão) era a zona escura da Via Láctea à qual chamamos o Saco de Carvão. As Plêiades eram conhecidas como cúmulo Qollqa. Com as estrelas da constelação de Lyra, fizeram um desenho de um dos animais mais conhecidos por eles e chamaram-no de Pequena Lhama de Prata ou Lhama de cor, cuja estrela mais brilhante (Vega) foi Urkuchillay, entretanto, considerado por outras fontes como o nome de toda a constelação. Para além delas estavam a Machacuay (serpente), a Hamp'atu (sapo), a Atoq (zorro), o Kuntur, etc.

As grandes cidades foram construídas seguindo os alinhamentos celestes e o uso dos pontos cardeais.

Nas proximidades de Cuzco, havia um importante templo dedicado ao Sol (Inti), do qual saíam algumas linhas de forma radial que dividiam o vale em 328 templos. Esse número é ainda um mistério, mas uma possível explicação relaciona-o com a astronomia: coincide com os dias que contém doze meses lunares. Os 37 dias que faltam até os 365 dias do ano solar coincidem com os dias em que o cúmulo das Plêiades não é observável a partir de Cuzco.

Índia

A primeira menção textual que aparece na literatura religiosa da Índia (segundo milénio a.C.) converteu-se numa tradição estabelecida no primeiro milénio a.C., quando as diferentes áreas auxiliares da educação começaram a desenvolver-se.

Durante os séculos seguintes, uma série de astrónomos indianos estudou vários aspetos das ciências astronómicas e seguiu um discurso global com outras culturas. Gnómones e esferas armilares eram instrumentos comuns.

O calendário indiano utilizado na antiguidade sofreu muitas mudanças no processo de regionalização, e hoje em dia existem vários calendários regionais da Índia, assim como um calendário nacional. No calendário indiano, o dia começa com o nascer do Sol local. São vinculados cinco “propriedades”, as denominadas *angas*.

A eclíptica divide-se em 27 *nakshatras*, que são denominadas indistintamente casas lunares ou asterismos. Estas refletem o ciclo da lua *versus* as estrelas fixas, de 27 dias e 72 horas, sendo a parte fracionária compensada intercalando um *nakshatra* 28. Os cálculos dos *nakshatra* parecem ter sido bem conhecidos na época do Rig Veda (segundo e primeiro milénio a.C.).

China

Os chineses poderiam ser considerados como os observadores mais persistentes e precisos dos fenómenos celestes em qualquer parte do mundo antes dos árabes. Fizeram registos detalhados das observações astronómicas que foram iniciadas durante o período dos Reinos Combatentes (século IV a.C.) e prosperaram a partir do período Han.

Alguns elementos da astronomia indiana chegaram à China com a expansão do budismo após a Dinastia Han (25-220), mas a incorporação mais detalhada da Astronomia Indiana ocorreu durante a dinastia Tang (618-907).

A astronomia revitalizou-se sob o estímulo da cosmologia e da tecnologia ocidental depois dos jesuítas terem estabelecido as suas missões. O telescópio foi introduzido no século XVII. O equipamento e a inovação utilizada pela astronomia Chinesa: esfera armilar, globo celeste, a esfera

armilar de acionamento hidráulico e a torre do globo celeste.

A astronomia chinesa centrou-se mais nas observações do que na teoria. Segundo os escritos dos jesuítas que visitaram Pequim no século XVII, os chineses tinham informações desde o ano 4000 a.C., entre eles a explosão de supernovas, os eclipses e o aparecimento de cometas.

No ano 2300 a.C. desenvolveram o primeiro calendário solar conhecido, e no ano 2100 a.C. registaram um eclipse solar. Em 1200 a.C. descreveram manchas solares, que foram denominadas de "pontos escuros" no Sol. No ano 532 a.C., deixaram evidência do aparecimento de uma estrela supernova na constelação de Águia, e em 240 e 164 a.C. confirmaram a passagem do cometa Halley. No ano 100 a.C. os chineses inventaram a bússola com a qual marcaram a direção norte.

Em tempos mais recentes, determinaram que a precessão dos equinócios era de 1 grau a cada 50 anos, registaram mais supernovas e descobriram que a cauda dos cometas aponta sempre na direção oposta à posição do Sol.

No ano 1006 foi observado o aparecimento de uma supernova tão brilhante que era vista durante o dia. Trata-se da supernova mais brilhante que foi conhecida. Em 1054, observaram uma supernova, cujos restos foram mais tarde chamados de Nebulosa do Caranguejo.

A sua esfera celeste difere da ocidental. O equador celeste dividiu-se em 28 partes, chamadas "casas", e teve um total de 284 constelações com nomes como Ursa, Três Passos, Palácio Supremo, trípode, lança ou arpão. O Ano Novo Chinês começa no dia da primeira lua nova depois do Sol entrar na constelação de Aquário.

O erudito cientista chinês Shen Kuo (1031-1095) não só foi a primeira pessoa na história que descreveu a bússola com agulha, como também fez uma medição mais precisa da distância entre a Estrela Polar e o Norte verdadeiro que podia ser utilizado para a navegação. Shen Kuo e Pu Wei também estabeleceram um projeto de observação astronómica noturna num período de cinco anos consecutivos, um intenso trabalho que inclusive conseguiu competir com o trabalho posterior de Tycho Brahe na Europa. Para este projeto também delineararam as coordenadas exatas dos planetas num mapa de estrelas e criaram as teorias do movimento planetário, incluindo o movimento retrógrado.

Europa Ocidental

Após a queda de Roma, o conhecimento obtido pelos gregos foi mal transmitido através do trabalho de monges, que frequentemente copiavam manuscritos que não tinham nenhum sentido para eles. Com o surgimento das escolas ligadas às catedrais e das primeiras universidades, os académicos começaram a enfrentar os enigmas que a ciência oferecia. Através do comércio (e saque) novos manuscritos vieram do oriente através das Cruzadas, e o contacto com os eruditos Islâmicos (especialmente na Espanha) permitiram realizar as traduções para o latim. Alguns eruditos tentaram extrair a informação numa forma que se adaptasse ao ponto de vista cristão.

Gênio matemático: Nicolau Copérnico da Polónia

Em 1500, Nicolau Copérnico (1473-1543) chegou à conclusão de que o Universo seria mais simples se o Sol, em vez da Terra, fosse o seu centro. Então, o movimento retrógrado dos planetas poderia acontecer inclusive se todos os planetas simplesmente orbitassem em círculos ao redor do Sol. O movimento para trás seria uma ilusão ótica que se produziria quando passamos outro planeta. Do mesmo modo, se estamos num carro parado no semáforo, e há outro à direita, enquanto começamos primeiro a movimentar-nos, poderíamos pensar que o outro está a mover-se para trás.

Copérnico compartilhou as suas ideias com os matemáticos, mas não as publicou até que um jovem cientista, Georg Rheticus, o convenceu e o ajudou a publicar noutra cidade. Uma cópia impressa de *De revolutionibus orbium Coelestium* apareceu quando Copérnico estava a morrer, em 1543. Copérnico nunca viu o prefácio escrito pelo editor, e este, sem assinar, indicava que o livro era uma forma matemática para calcular a posição, não a verdade real. Seguindo Aristóteles, Copérnico usou círculos e acrescentou alguns epiciclos. O seu livro seguiu a estrutura do livro de Ptolomeu, mas a sua devoção à simplicidade matemática foi influenciada por Pitágoras.

O livro de Copérnico inclui (figura 3) o diagrama talvez mais famoso da história da ciência. O Sol é posto no centro de uma série de círculos. Copérnico calculou as velocidades com que os planetas giravam ao redor do Sol, pois sabia quais se descolavam mais rapidamente no céu. Deste modo obteve a ordem correta dos planetas: Mercúrio, Vénus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, e conseguiu as distâncias relativas dos planetas, também corretas. No entanto, os seus cálculos não prediziam melhor as posições dos planetas do que o método de Ptolomeu.

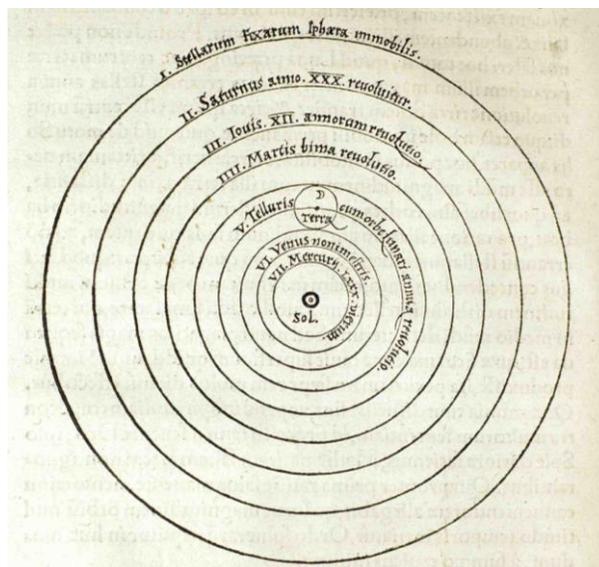


Fig. 3. Diagrama de Copérnico que mostra pela primeira vez o Sol no centro, no que é atualmente denominado Sistema Solar. Este diagrama está na primeira edição de *De revolutionibus orbium Coelestium* (Sobre as Revoluções das Órbitas Celestes), publicado em 1543.

Em Inglaterra, Leonard Digges escreveu um livro, em inglês, sobre a Terra e o Universo. Em 1576, o seu filho Thomas escreveu um apêndice no qual descrevia as novas ideias de Copérnico. No apêndice, apareceu pela primeira vez uma versão em inglês do diagrama de Copérnico. Digges também representou as estrelas a diferentes distâncias do Sistema Solar, não só numa esfera celeste.

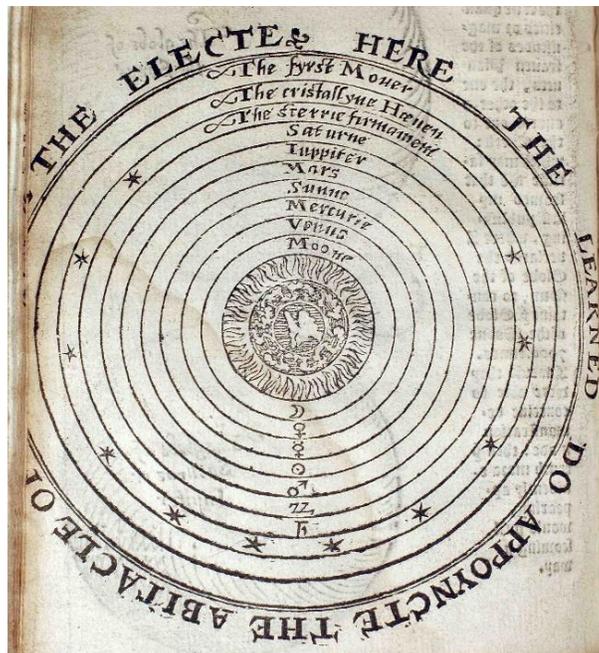


Fig. 4. Primeiro diagrama de Copérnico em inglês do apêndice de Thomas Digges, retirado do livro escrito por seu pai, *Por um prognóstico eterno*, publicado em 1556. Continha apenas um diagrama de Ptolomeu. O apêndice de Thomas Digges foi exposto pela primeira vez em 1576. Este diagrama é de 1596, data da impressão.

Génio observacional: Tycho Brahe da Dinamarca

O aristocrata dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601) responsabilizou-se por uma ilha em frente à costa de Copenhague e recebeu o aluguer dos residentes. Nesta ilha, Hven, utilizou a sua riqueza para construir um amplo observatório com grandes e aperfeiçoados instrumentos. Apesar de estes instrumentos serem pré-telescópicos, eram notáveis porque permitiam medidas mais precisas das posições das estrelas e dos planetas.

Tycho geria a sua casa como uma universidade atual, recebendo cientistas que vinham trabalhar com ele. Ele inventou melhores dispositivos de observação para medição das posições das estrelas e dos planetas, e mantinha registos precisos.

Entretanto, por causa do zelo científico, esqueceu-se de algumas responsabilidades para com o seu monarca, e quando um novo rei e rainha chegaram, foi expulso. Ele optou por mudar-se para Praga, no continente Europeu, levando as suas máquinas de impressão, as páginas que já tinham sido impressas, os seus registos e os instrumentos móveis.

Tycho conseguiu melhorar a exatidão das observações científicas. As suas observações precisas de um cometa, a diferentes distâncias, mostraram-lhe que as esferas não necessitavam ser concêntricas com a Terra no centro. Portanto, ele fez o seu próprio modelo do Universo - um híbrido entre o modelo de Ptolomeu e o de Copérnico: o Sol e a Lua giram ao redor da Terra, enquanto os outros planetas giram ao redor do Sol. O modelo de Tycho ainda possuía círculos, mas ao contrário de Aristóteles, ele permitiu que os círculos se cruzassem entre si.

Tycho é valorizado principalmente pela preciosa observação das posições do planeta Marte relativamente às estrelas. Tycho convidou um jovem matemático, Johannes Kepler, para trabalhar com ele em Praga. É através de Kepler que a fama de Tycho permanece.

Utilizando a Matemática: Johannes Kepler da Alemanha

Como professor em Graz, Áustria, o jovem Johannes Kepler (1571-1630) recordava a sua infância interessado na astronomia, devido ao cometa e ao eclipse lunar que tinha observado. Ele percebeu que há cinco formas sólidas constituídas por faces iguais, pelo que pensou que se estes sólidos fossem concêntricos e separados por esferas, poderiam corresponder aos seis planetas conhecidos. No seu livro, *Mysterium Cosmographicum* (Mistério do Cosmos), publicado em 1596, continha um dos esquemas mais belos da história da ciência (figura 5). Nele colocou um icosaedro, um octaedro, um dodecaedro, um tetraedro e um cubo, com vinte, oito, doze, quatro e seis lados, respetivamente, encaixados um dentro do outro, para representar a distância dos planetas então conhecidos. O diagrama, apesar de muito belo, está completamente errado.

apesar de Kepler a ter aplicado pela primeira vez para Marte e depois para outros planetas de nosso Sistema Solar, atualmente aplicamo-la para centenas de planetas que descobrimos ao redor de outras estrelas.

O livro de Kepler de 1609, *Astronomia Nova* (Nova astronomia), continha as duas primeiras (das suas três) leis do movimento:

Primeira lei de Kepler: A órbita dos planetas ao redor do Sol são elipses, com o Sol num dos seus focos.

Segunda lei de Kepler: Uma linha que une um planeta e o Sol varre áreas iguais em tempos iguais.

Uma elipse é uma curva fechada que possui dois pontos cravados nela, conhecidas como focos. Para desenhar a sua própria elipse, coloque dois pontos numa folha de papel, cada um é um foco. A seguir, pegue num pedaço de corda mais comprida que a distância entre os focos. Prenda-as nos focos. A seguir, coloque um lápis na corda, puxando (esticando-a), e suavemente mova o lápis de lado a lado. A curva gerada será um lado de uma elipse, logo, é simples mover o lápis para desenhar o outro lado. Esta experiência com a corda mostra um dos pontos-chaves que definem uma elipse: a soma das distâncias desde um ponto da elipse a cada foco mantém-se constante. Um círculo é um tipo especial de elipse onde os dois pontos estão um em cima do outro.

Kepler manteve a busca de harmonias nos movimentos dos planetas. Ele associou as velocidades dos planetas com notas musicais: as notas agudas correspondem aos planetas que se deslocam mais rapidamente, especificamente, Mercúrio e Vénus. Em 1619, publicou a sua obra mais importante, *Harmonices Mundi* (A harmonia dos mundos). Nela (figura 6), incluía além dos pentagramas com as notas, a denominada terceira lei do movimento planetário:

Terceira Lei de Kepler do movimento planetário: O quadrado do período da órbita de um planeta ao redor do Sol é proporcional ao cubo do tamanho de sua órbita.



Fig. 6: *Harmonices Mundi* de Kepler (A harmonia do mundo), publicado em 1619.

Os astrónomos costumam medir as distâncias entre os planetas em termos de Unidades Astronómicas, que correspondem à distância média entre a Terra e o Sol, ou 150 milhões de quilómetros.

Mercúrio	0,387 ua	0,240 anos
Vénus	0,723 ua	0,615 anos
Terra	1 ua	1 ano
Marte	1,523 ua	1,881 anos
Júpiter	5,203 ua	11,857anos
Saturno	9,537 ua	29,424 anos

Tabela 1: Distâncias desde o Sol e períodos dos planetas na época de Kepler.

Elevando ao quadrado a primeira coluna e ao cubo a segunda coluna, veremos que são bastante semelhantes. As diferenças provêm da aproximação, não do mundo real; mesmo que tivessem mais decimais, as influências dos outros planetas poderiam ser detetadas.

Descobertas com o telescópio: Galileu Galilei da Itália

O ano 2009 foi o Ano Internacional da Astronomia, declarado inicialmente pela União Astronómica Internacional, depois pela UNESCO e finalmente pela Assembleia Geral das Nações Unidas. Por quê? Foi comemorado o uso do telescópio nos céus, por Galileu, 400 anos antes, em 1609.

Galileu (1564-1642) foi professor em Pádua, parte da República de Veneza. Galileu soube da existência de um invento holandês que possibilitaria ver mais de perto objetos distantes. Apesar de nunca ter visto nenhum, descobriu o que as lentes deveriam conter e construiu um. Mostrou o seu dispositivo aos nobres de Veneza como um projeto militar e comercial, o que permitiria ver os barcos no mar mais distantes que nunca. A sua invenção foi um grande sucesso.



Fig. 7a: Um dos dois telescópios restantes de Galileu chegou ao Instituto Franklin na Filadélfia em 2009, na sua primeira visita aos Estados Unidos. É de notar que a parte externa da lente está coberta com um anel de papelão. Ao ocultar a parte exterior da lente, que é a parte menos precisa, Galileu melhorou a qualidade das suas imagens (Foto: Jay M. Pasachoff).

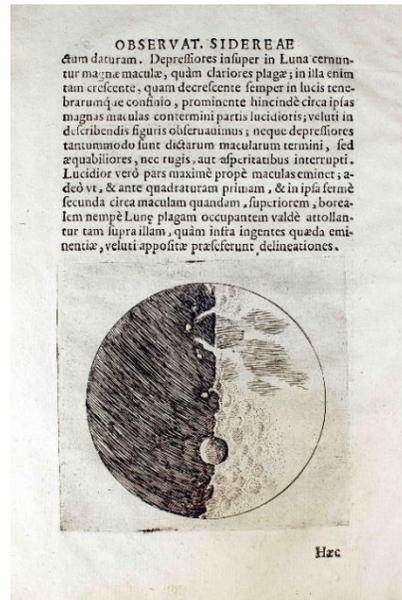


Fig. 7b: Uma página do *Sidereus Nuncius* de Galileu (O mensageiro dos astros), publicado em 1610, mostrando uma gravura da Lua. O livro foi escrito em latim, a língua dos eruditos europeus. O livro inclui uma ampla cobertura do movimento relativo das quatro luas principais de Júpiter.

Teve então a ideia de direcionar um telescópio para cima. Apesar de o telescópio ser difícil de manusear, não possuir muita mobilidade e ter uma área de visão muito estreita, Galileu teve êxito ao ver parte da Lua e percebeu que esta continha muitas estruturas. Por causa da sua formação como pintor na Itália do Renascimento, compreendeu que as estruturas representavam luz e sombra, portanto estava vendo montanhas e crateras. Pela longitude das sombras e a forma de como se modicavam com a iluminação do Sol, podia até imaginar o quão altas eram. Alguns meses antes, o inglês Thomas Harriot apontou à Lua com um telescópio similar, mas só tinha desenhado alguns garranchos e rabiscos. Harriot não estava interessado na publicação ou na glória, e a sua obra não foi conhecida até depois de sua morte.

Uma lente que Galileu utilizou para as suas descobertas conserva-se, rachada, no Museu de História da Ciência em Florença, Itália, e dois telescópios completos, que sobraram, também estão no Museu (figura 7a).

Galileu começou a escrever as suas descobertas no final de 1609. Não só observou montanhas e crateras na Lua, mas também que a Via Láctea estava constituída por muitas estrelas, da mesma forma que certos asterismos. Logo, em janeiro de 1610, deparou-se com quatro ‘estrelas’ próximas de Júpiter que se moviam com o planeta e mudavam de posição a cada noite. O acontecimento marcou a descoberta das principais luas de Júpiter, atualmente denominados satélites galileanos. Galileu registou as suas descobertas no pequeno livro intitulado *Sidereus Nuncius* (O mensageiro

dos astros), que foi publicado em 1610 (figura 7b). Desde Aristóteles e Ptolomeu que se acreditava que a Terra era o único centro de revolução. Aristóteles foi considerado infalível. Porém, a descoberta dos satélites de Júpiter foi um golpe tremendo para a ideia geocêntrica, pois mostrou que Aristóteles teria estar equivocado e, portanto, um ponto forte a favor da teoria heliocêntrica de Copérnico.

Galileu tentou dar às luas o nome de Cosme de Medici, seu patrão, para ganhar sua boa vontade. Esses nomes não perduraram. Alguns anos depois, Simon Marius propôs os nomes que são utilizados atualmente (Marius, pode ter visto as luas um pouco antes que Galileu, mas publicou bem mais tarde). Da esquerda à direita, são Io, Europa, Ganmedes e Calisto (figura 9). Com um pequeno telescópio amador é possível ver e observar, numa noite clara, que no intervalo de algumas horas estas mudam de posição. As luas orbitam Júpiter em períodos de poucos dias.

Até mesmo com os melhores e maiores telescópios terrestres, os astrónomos não puderam obter uma visão clara da estrutura da superfície dos satélites galileanos. Somente quando a NASA, com os satélites Pioneer 10 e 11, e depois Voyager 1 e 2, voou próximo do sistema de Júpiter, observamos com suficiente detalhe os satélites e suas superfícies para poder caracterizá-los. A partir de observações terrestres e espaciais, os astrónomos ainda estão descobrindo luas de Júpiter, apesar de que as recém-descobertas são bem menores e menos brilhantes que os satélites galileanos.

Galileu utilizou as suas descobertas para conseguir um trabalho melhor, em Florença, com um salário mais alto. Infelizmente, Florença, que servia como intermediária bancária do Papa, estava mais perto da autoridade papal em Roma, e era menos liberal que a República da Veneza. Galileu continuou a escrever sobre uma variedade de temas científicos, tais como as manchas solares, cometas e corpos flutuantes. Cada descoberta parecia contradizer algum argumento dos estudos de Aristóteles. Descobriu que Vénus possuía fases – e assim sendo comprovou que Vénus orbita o Sol. O fato não provou que a Terra orbitava o Sol, pois a cosmologia híbrida de Tycho poderia explicar estas fases. Entretanto, Galileu compreendeu esta descoberta como uma prova de suporte a Copérnico.

Em 1616, foi informado por funcionários da Igreja de Roma para que não ensinasse o copernicanismo, que era o Sol, e não a Terra, o centro do Universo. Guardou silêncio durante muito tempo, mas em 1632 publicou o *Diálogo* (Diálogo sobre dois máximos sistemas do mundo), no qual três homens discutiam os sistemas geocêntrico e heliocêntrico. Ele tinha permissão oficial para publicar o livro, mas a obra tornou evidente a sua preferência pelo sistema heliocêntrico de Copérnico. Foi julgado por sua desobediência e condenado à detenção domiciliária, onde permaneceu até ao resto da sua vida.

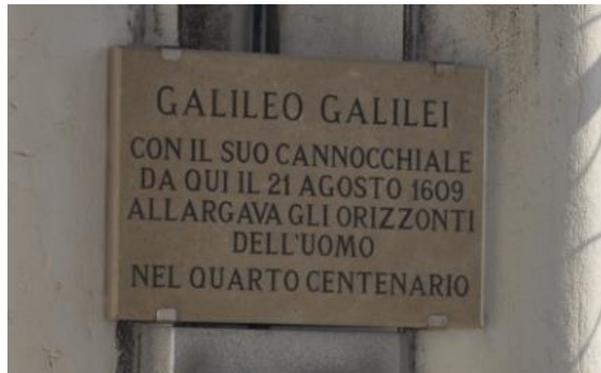


Fig. 8. No ano de 2009, para comemorar o 400º aniversário do primeiro uso do telescópio no céu por Galileu, uma placa foi posta numa coluna na parte superior do campanário, uma torre do século XV (reerguida no século XX após seu colapso em 1902), em Veneza. Esta comemoração é referente à demonstração do telescópio de Galileu aos nobres de Veneza, mediante a observação de barcos relativamente distantes no mar, antes que ele apontasse com seu telescópio para o alto. A inscrição na placa pode ser traduzida mais ou menos como “Galileu Galilei, com a sua luneta, no dia 21 de agosto de 2009, ampliou os horizontes do homem, há 400 anos atrás” (Foto: Jay M. Pasachoff).

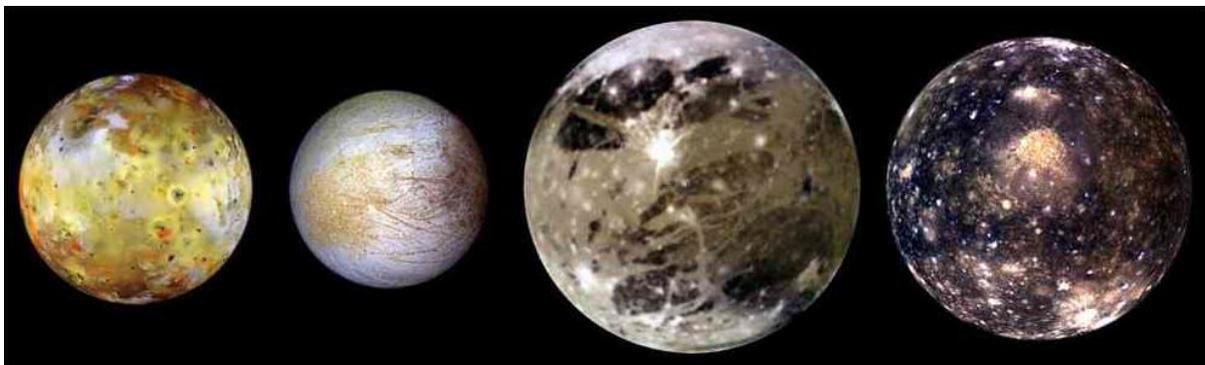


Fig. 9. O próprio Galileu ficaria surpreso ao ver o que a sua nave homônima e suas predecessoras mostraram dos “Medician satellites” (que ele descobriu em 1609). Aqui é mostrada, em imagens, a verdadeira escala relativa. Da esquerda para a direita, vemos Io, recentemente ressurgiu com duas dúzias de vulcões em erupção contínua. Em segundo lugar está Europa, principal suspeito para a busca de vida extraterrestre por causa do mar encontrado abaixo da capa de gelo suave. Em terceiro lugar, Ganimedes, a maior lua do Sistema Solar, mostrando, principalmente, uma parte fascinante de sua superfície acanalada. E à direita, Calisto, mais longe que os outros e coberto de gelo duro que conserva as cicatrizes da superposição de impactos de meteoritos que foram produzidos durante bilhões de anos. (NASA: Missão de Galileu, PIA01400).

A Nova Física: Isaac Newton da Inglaterra

Muitos acreditam que os três melhores físicos de todos os tempos são: Isaac Newton, James Clerk Maxwell e Albert Einstein. Um resumo: Newton descobriu a lei da gravidade, Clerk Maxwell unificou a eletricidade e o magnetismo, e Einstein descobriu a relatividade especial e geral.

Sabemos da história que o jovem Isaac Newton (1642-1727) foi enviado para sua casa, desde a Universidade de Cambridge para Woolsthorpe, próximo de Lincoln, na Inglaterra, quando as universidades inglesas fecharam devido à praga. Enquanto em casa, viu uma maçã cair da árvore e percebeu que a mesma força que controlava a queda da maçã era, sem dúvida, a mesma força que

controlava o movimento da Lua.

Entretanto, Newton voltou ao Trinity College, Cambridge. Enquanto um grupo de cientistas, em Londres, se reúne num café para formar uma sociedade (atualmente a Royal Society), o jovem Edmond Halley viajou até Cambridge para conseguir os serviços de um brilhante matemático, Isaac Newton, que poderia colaborar com uma questão científica importante. A viagem de carruagem, desde Londres até Cambridge, era muito mais longa e difícil do que a atualmente correspondente hora de comboio.

Halley perguntou a Newton que se existisse uma força que atraísse conforme o quadrado da distância, que forma teria essa órbita? Newton respondeu que seria uma elipse. Excitado, Halley perguntou se ela tinha comprovado esse raciocínio, e Newton disse que estava registrado nuns papéis que não podia encontrar (talvez fosse uma forma para ganhar tempo e avaliar se realmente queria entregar as suas análises). De qualquer modo, Newton foi convidado a escrever algumas das suas conclusões matemáticas. Em poucos anos, os seus estudos conduziram ao seu livro mais famoso, o *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Princípios Matemáticos de Filosofia Natural), no qual o que é denominado como Filosofia é o que hoje chamamos ciência.

O *Principia* de Newton foi publicado em latim, em 1687. Newton era ainda um professor universitário, e passou muito tempo até que fosse nomeado cavaleiro pelo seu trabalho posterior. Halley teve que pagar a impressão do livro de Newton, e defendeu-o, tendo inclusive escrito o prólogo. O famoso *Principia* inclui a lei de Newton que mostrava como a gravidade diminui com o quadrado da distância, e prova das leis de Kepler sobre as órbitas planetárias. O livro também inclui as leis do movimento de Newton, conhecidas como “leis”, em latim; enquanto as leis de Kepler estão ocultas no seu texto.

As Leis do movimento de Newton são:

Primeira lei do movimento de Newton: Um corpo em movimento tende a permanecer em movimento, e um corpo em repouso tende a permanecer em repouso.

Segunda lei do movimento de Newton (versão moderna): Força = massa vezes aceleração.

Terceira lei do movimento de Newton: Para cada ação há uma reação igual e oposta.

Newton alicerçou as bases através da física matemática o que conduziu a ciência ao tempo moderno.

Continua a investigação em astronomia

Assim como os povos antigos tinham curiosidade sobre o céu, e quiseram encontrar o seu lugar no Universo, os astrónomos de hoje basearam-se nas descobertas do passado com a mesma motivação. Descobertas teóricas e observações transformaram o entendimento sobre o nosso lugar no

Universo, da visão geocêntrica de Ptolomeu à hipótese heliocêntrica de Copérnico, da descoberta de que o Sistema Solar não estava no centro de nossa galáxia ao nosso entendimento das galáxias distribuídas por todo o Universo.

A astronomia moderna depara-se com a investigação sobre a natureza da matéria escura e da energia escura. A teoria da relatividade de Einstein indica não só que a nossa galáxia não é o centro do Universo como também que a ideia de “centro” é algo sem sentido. Descobertas mais recentes de centenas de exoplanetas que orbitam outras estrelas evidenciaram o quão extraordinário é o nosso Sistema Solar. Novas teorias de formação planetária surgem em paralelo com a observação de inesperados e diferentes sistemas planetários. O caminho da descoberta mostra que os astrónomos da época moderna fazem o mesmo que fizeram os astrónomos há milhares ou centenas de anos atrás.

Bibliografia

- Hoskin, M. (editor), *Cambridge Illustrated History of Astronomy*, Cambridge University Press, 1997.
- Pasachoff, J and Filippenko A, *The Cosmos: Astronomy in the New Mellennium, 4th ed.*, Cambridge University Press 2012.

Fontes da Internet

- www.solarcorona.com
- <http://www.astrosociety.org/education/resources/multiprint.html>
- <http://www2.astronomicalheritage.net>