COLIN STUART
A HISTÓRIA DO
UNIVERSO
PARA QUEM TEM PRESSA
DO BIG BANG ÀS MAIS RECENTES DESCOBERTAS DA ASTRONOMIA!
valentina

A HISTÓRIA DO UNIVERSO PARA QUEM TEM PRESSA

NASA

COLIN STUART

A HISTÓRIA DO UNIVERSO PARA QUEM TEM PRESSA

Tradução
MILTON CHAVES

valentina
Rio de Janeiro, 2018
1ª edição

À minha mãe e ao meu pai.
Obrigado por sempre me incentivarem a sonhar alto.

***

Copyright © 2018 *by* Michael O'Mara Books Limited

TÍTULO ORIGINAL
The Universe in Bite-sized Chunks

CAPA
Sérgio Campante

DIAGRAMAÇÃO
Kátia Regina Silva

Impresso no Brasil
Printed in Brazil
2018

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ
MERI GLEICE RODRIGUES DE SOUZA – BIBLIOTECÁRIA CRB-7/6439

S92h

Stuart, Colin
A história do universo para quem tem pressa / Colin Stuart; [tradução Milton Chaves]. – 1. ed. – Rio de Janeiro: Valentina, 2018.
216p. il. ; 21 cm.

ISBN 978-85-5889-076-2

1. Cosmologia. I. Chaves, Milton. II. Título.

CDD: 523.1
18-52575 CDU: 524.8

Todos os livros da Editora Valentina estão em conformidade com
o novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

Todos os direitos desta edição reservados à

EDITORA VALENTINA
Rua Santa Clara 50/1107 – Copacabana
Rio de Janeiro – 22041-012
Tel/Fax: (21) 3208-8777
www.editoravalentina.com.br

SUMÁRIO

Créditos das Fotografias 7

Introdução 9

CAPÍTULO UM ● A Astronomia em seus Primórdios 11
Registrando a Passagem do Tempo 11 Descobrindo o Formato da Terra 13 Eclipses Solares 16 Eclipses Lunares 18 As Constelações 20 O Zodíaco e a Eclíptica 22 Estrelas Errantes 24 Ptolomeu e o Modelo Geocêntrico 25 Copérnico e o Heliocentrismo 28 Tycho Brahe 30 A Invenção do Telescópio 32 Galileu e suas Observações Telescópicas 32 Johannes Kepler e suas Leis Planetárias 34 Isaac Newton e a Força da Gravidade 36 Isaac Newton e a Luz 37 Römer e a Velocidade da Luz 39 Halley e seu Cometa 40 Bradley e a Aberração da Luz 41 A Conjunção de Vênus 42 Pesando o Mundo 44 Herschel e Urano 45 Herschel e a Luz Infravermelha 46 A Descoberta de Netuno 47 Einstein e a Teoria da Relatividade Restrita 48 Einstein e a Teoria da Relatividade Geral 49

CAPÍTULO DOIS ● O Sol, a Terra e a Lua 52
O Sol 52 A Terra 65 A Lua 78

CAPÍTULO TRÊS ● O Sistema Solar 86
Mercúrio 86 Vênus 87 Marte 88 O Cinturão de Asteroides 91 O Cometa 67P, as Sondas Rosetta e Philae 94 Júpiter 96 Saturno 99 Urano 103 Netuno 105 Plutão 106 Os Planetas Anões 108 O Cinturão de Kuiper e a Região Transnetuniana 109 O Nono e o Décimo Planetas 111 As *Voyagers* e a Heliosfera 112 O Modelo de Nice 115

CAPÍTULO QUATRO ● As Estrelas 117
Qual a Intensidade de seu Brilho? 117 A que Distância Estão de Nós? 119 Qual a Temperatura Delas? 120 O Diagrama de Hertzsprung--Russell 121 Qual o Tamanho Delas? 122 Qual a Idade Delas? 124 O Ciclo Vital das Estrelas 125 Gigantes Vermelhas 127 Nebulosas Planetárias e Anãs Brancas 128 Supergigantes Vermelhas 128 Supernovas 129 Estrelas de Nêutrons e Pulsares 131 Buracos Negros 133 Ondas Gravitacionais 134 Dilatação do Tempo 136 Buracos Brancos e Buracos de Minhoca 137 Radiação Hawking 139 A Teoria de Tudo 139 A Teoria das (Super)Cordas e a Gravitação Quântica de Laços 140 Exoplanetas 142 O Método do Trânsito 144 O Método da Velocidade Radial 145 O que Descobrimos até Agora? 147 Classificação de Atmosferas Planetárias 149 Exoluas 150

CAPÍTULO CINCO ● As Galáxias 152
A Via Láctea 152 O Problema da Rotação 159 A Equação de Drake 166 A Busca de Civilizações Extraterrestres Inteligentes (SETI) 167 O Grupo Local 169 Galáxias Distantes 173 Classificação das Galáxias 175 Núcleos Galácticos Ativos (NGAs) 178 Deslocamento para o Vermelho 180 A Lei de Hubble 182 O Universo em Expansão 182

CAPÍTULO SEIS ● O Universo 184
O Big Bang 184 Problemas com a Teoria do Big Bang 192 A Inflação Cosmológica 197 As Fronteiras do Universo 205 Supernovas Tipo Ia 207 Energia Escura 208 O Big Rip 209

CONCLUSÃO 211

CRÉDITOS DAS FOTOGRAFIAS

1. Fotografia de um analema tirado da janela de um escritório da Bell Labs em 1998-9, em Murray Hill, Nova Jersey; J. Fisburn, da English Wikipedia 12

2. Pérolas de Baily; Luc Viatour / https://Lucnix.be 17

3. Ejeção de massa coronal em 2016; NASA 63

4. Astronauta americano Edwin "Buzz" Aldrin; NASA 83

5. Cometa 67P; ESA / Rosetta / NAVCAM 95

6. Imagens dos anéis de Saturno captadas pela câmera de lentes grande-angulares da Cassini; NASA / JPL / Space Science Institute 101

7. Esboço de previsões sobre órbitas planetárias criado pelo Worldwide Telescope; Caltech / R. Hurt (IPAC) 111

8. Nebulosa do Caranguejo; NASA / STScl / ESA 130

9. AMS-02; NASA 163

10. RCF; Equipe Científica da WMAP / NASA 190

11. Uma supernova Tipo IA explodindo; NASA / ESA / HUBBLE / EQUIPE DE PESQUISAS DA HIGH-Z SUPERNOVA 208

INTRODUÇÃO

"Há muito tempo que amo demais as estrelas
para temer a noite."

The Old Astronomer,
Sarah Williams (1868)

Desde criança, sou fascinado pelo céu noturno. Esse fascínio foi o meu primeiro caso de amor. Na infância, os adultos nos contam histórias maravilhosas sobre duendes, dragões e bruxas, mas o universo sempre foi mais mágico do que qualquer conto de fadas.

Gerações de astrônomos levantaram o véu que encobria os mistérios do cosmos e revelaram seus segredos mais profundos. A descoberta foi simplesmente incrível. Mostrou que um número incontável de planetas rodopia em torno de uma imensidão infinita de estrelas. Sabemos hoje que a gravidade provoca a curvatura do tecido do espaço-tempo até fazer cessar o escoar das horas. Agora podemos acompanhar a viagem de átomos ao longo de toda a sua trajetória, desde o coração das estrelas até o pouso final em nossa pele e ossos. Enviamos máquinas a todos os planetas do sistema solar e deixamos a marca de nossas pegadas no chão de poeira lunar.

O universo, mesmo se considerado apenas por sua imensidão, pode ser assombroso. Passei os últimos dez anos escrevendo e palestrando a respeito de astronomia, e, ainda assim, ela faz com que eu me sinta pequeno e insignificante. Muitas pessoas não se interessam pelo assunto porque acham que deve ser difícil de aprender. Mas não tem que ser difícil. O objetivo deste livro é decompor a vastidão do universo em porções conceituais de suave digestão intelectual ou de fácil assimilação mental. Nele, não existem complicações matemáticas ou jargões tecnocientíficos, mas apenas explicações simples das características mais fascinantes do universo.

Incluí não só o que não sabemos a seu respeito, mas também o que sabemos. A resposta que dou a uma pergunta responde a muitas outras.

Ainda não compreendemos do que é feita a maior parte do universo ou se compartilhamos o espaço universal com outras formas de vida. Astrônomos continuam tentando saber se o nosso universo é o único que existe e o momento exato em que o espaço e o tempo passaram a existir. Estas são algumas das perguntas mais elementares que podemos fazer.

As informações contidas no livro estão organizadas numa ordem de crescente distância descritiva e conceitual da Terra, começando com nossas primeiras descobertas astronômicas antes de seguirmos para a amplidão do sistema solar e depois para as galáxias e o(s) universo(s) além. Nossas viagens se estenderão por 93 bilhões de anos-luz pelo espaço sideral afora e durarão quase 14 bilhões de anos. Escolhi cuidadosamente nosso itinerário, de modo que você consiga abarcar o universo inteiro com as mãos e descobrir o que pode ser mais interessante para você.

Então, acompanhe-me numa viagem pelo cosmos. Espero que você também se apaixone pelo céu noturno.

CAPÍTULO UM

A Astronomia em seus Primórdios

Registrando a Passagem do Tempo

Muito antes de o céu ser um lugar cheio de planetas, galáxias e buracos negros, ele era o reino de deuses e maus agouros. O barulho de um trovão podia ser sinal de irritação do Todo-Poderoso; a passagem de um cometa era prenúncio de desgraça. Pelo menos, muitos de nossos ancestrais assim o viam.

Mas a função mais importante do céu era ser um relógio natural. Muito tempo antes do advento de relógios, computadores e telefones celulares, nossos antepassados perceberam que o céu tinha seu próprio ritmo natural. Notaram que o Sol aparecia e desaparecia ao longo de um período que passaram a chamar dia. Então, reuniram sete desses dias e formaram o que conhecemos como semana, cada um desses dias recebendo o nome dos sete corpos celestes que eles viam apresentar um comportamento diferente do que observavam nas estrelas (pág. 24).

Notaram também que a Lua mudava de aparência, aumentando e diminuindo de tamanho em sua travessia de fases, passando do estado de uma minguada meia-lua para o de uma esplêndida Lua cheia e depois repetindo o ciclo. Viram que essa mudança de formas levava quase 30 dias, período que eles chamaram "*moonth*".* O Sol perfaz também um ciclo, só que muito maior. Nascendo no Leste pela manhã e pondo-se no Oeste no fim da tarde, ele alcança o pico de sua diária escalada celeste ao meio-dia. No entanto, sua

* Termo inglês arcaico do qual deriva a palavra "*month*", que significa "mês", em inglês. A incessante transformação do idioma fez com que a palavra perdesse uma letra. (N. T.)

altitude acima do solo ao meio-dia nem sempre é a mesma. Observe seu movimento durante muitos meses, e você verá que o Sol desenha no céu um oito chamado "analema". No tempo em que leva para completar esse ciclo, o Sol nasce 365 vezes. Os antigos chamavam esse ciclo de ano. Esse período foi dividido em quatro estações, cada uma com suas características climáticas bem definidas. Afinal, viam que o inverno, a primavera, o verão e o outono se repetiam no mesmo período de tempo que o analema solar levava para ser traçado no céu.

O Sol parece desenhar a figura de um "oito" no céu ao longo de um ano. Os astrônomos a chamam de analema.

Já por volta de 10.000 anos atrás, construíamos relógios enormes para acompanhar os ritmos naturais do céu. Em 2004, uma equipe de arqueólogos

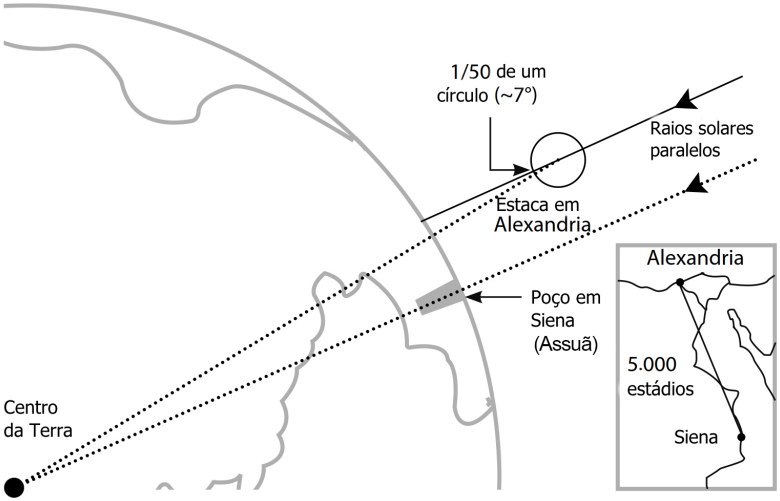
descobriu, na Escócia, um sítio arqueológico da Idade da Pedra, cujas origens remontam a essa época. Mais ou menos em 2013, eles tinham descoberto por que o artefato havia sido construído. Os arquitetos da obra cavaram 12 buracos ao longo de um arco com 50 metros de extensão — um para cada ciclo dos 12 ciclos lunares completos, que normalmente ocorrem em um ano (às vezes, pode haver 13 luas cheias em um ano se a primeira delas ocorrer no início de janeiro). Cinco mil anos depois, construtores iniciaram os trabalhos no imenso santuário de pedra circular de Stonehenge, em Salisbury Plain, Inglaterra. Em pé no interior do círculo, a pessoa consegue ver o Sol nascer logo acima de uma das pedras — a pedra do calcanhar —, no dia em que ele alcança a parte superior do analema (o solstício de verão).

Hoje, em plena era digital, costumamos cuidar dos assuntos da nossa vida moderna e agitada alheios aos ritmos do céu. Mas, para as civilizações antigas, era a única forma de medir o tempo, embora seus extensos estudos dos movimentos do Sol e das estrelas formem a base conceitual em que organizamos nosso cotidiano nos dias atuais.

Descobrindo o Formato da Terra

Não acredite em ninguém que lhe diga que as melhores mentes da Idade Média pensavam que a Terra era plana — fazia então quase 2.000 anos que sabíamos que ela não era assim. A pessoa a que temos de agradecer por esse conhecimento é o antigo matemático grego Eratóstenes, que fez tal descoberta sem sequer ter saído do Egito.

Ele notou, na cidade de Siena (atual Assuã), que o Sol pairava exatamente acima da cabeça das pessoas ao meio-dia no solstício de verão. Seu lance genial foi fazer uma medição da posição do Sol no mesmo instante do dia de um solstício de verão subsequente, em Alexandria, cidade situada a cerca de 800km de distância. Fincando uma estaca no solo e olhando para a sombra dela, ele pôde observar que ao meio-dia, ao contrário do que acontecia em Siena, a luz do Sol, na outra cidade, não incidia perpendicularmente sobre o topo da estaca, mas num ângulo de 7°. A razão desta diferença está no fato de que a superfície da Terra é curva, o que significa que a luz do Sol incide sobre cada cidade em ângulos diferentes.



Eratóstenes calculou o comprimento de circunferência da Terra, observando, a partir de diferentes localidades do Egito, os ângulos das sombras formadas pela incidência da luz solar.

Mas ele foi ainda mais longe. Raciocinou que, se uma distância de 800km de Alexandria fazia com que o ângulo formado pela sombra apresentasse uma diferença de 7°, ele poderia ampliar isso para saber a distância representada por 360° completos. Isso dá à Terra uma circunferência com pouco mais de 41.000km (aliás, como ele fez seus cálculos usando uma antiga unidade de medida de distância chamada "estádio",* sua resposta foi algo próximo a 250.000 estádios). Seus cálculos ficaram entre 10-15% abaixo das modernas medidas do tamanho da Terra. Portanto, os gregos antigos não apenas já sabiam que a Terra era redonda, como também tinham muito boa ideia de quanto ela era grande.

* Antiga medida de distância grega, equivalente a 125 pés geométricos, ou seja, 206,25m (Fonte: *Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa*). (N. T.)

ERATÓSTENES (256-194 a.C.)

Eratóstenes foi um dos primeiros polímatas [erudito, sábio muito instruído em várias áreas do conhecimento]. Além de seu trabalho sobre a circunferência da Terra, ele deu importantes contribuições à geografia, à música, à matemática e à poesia. Era tão respeitado que foi nomeado chefe da famosa Biblioteca de Alexandria, destruída depois por um incêndio proposital, mas que, no auge de seus dias de glória, foi um dos maiores repositórios de conhecimento do mundo na Antiguidade.

Com acesso a toda sorte de mapas e pergaminhos importantes, montou um mapa-múndi e o dividiu em zonas de acordo com o clima. Foi o primeiro a projetar uma grade cartográfica e a traçar meridianos, fornecendo as coordenadas geográficas de mais de 400 cidades. Graças a esse trabalho, é considerado por muitos o pai da geografia.

Talvez seu segundo feito mais expressivo tenha sido a invenção do crivo de Eratóstenes — uma tabela que identifica os números primos descartando os números cujo comportamento repetitivo significa que não podem ser primos (o número primo só pode ser dividido por dois outros — ele mesmo e 1).

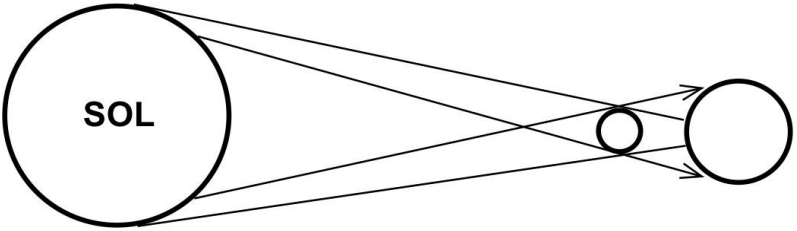
Como forma de homenageá-lo, pelo reconhecimento da importância de seu trabalho, uma cratera na Lua recebeu o seu nome.

É possível que certas pessoas conhecessem o formato da Terra, e talvez até o seu tamanho, antes mesmo dos contemporâneos de Eratóstenes. Afinal, durante um eclipse lunar parcial, a sombra da Terra é projetada sobre a superfície da Lua (pág. 18). Essa sombra apresenta uma curvatura muito óbvia. Aliás, chegou-se a aventar que um livro chinês, intitulado *Zhou-Shu*, continha o registro de um eclipse lunar ocorrido em 2000 a.C. Mas, com certeza, a peça teatral *As Nuvens*, do grego Aristófanes, menciona a ocorrência de um eclipse lunar no ano 421 a.C. Se pessoas de alguma dessas duas civilizações entenderam que aquilo que puderam observar foi causado pelo fato de que o nosso planeta impede que, nesse caso, a luz solar

chegue à Lua, então elas devem ter percebido que a Terra não era plana. E será justamente para o fenômeno dos eclipses que voltaremos nossa atenção a seguir.

Eclipses Solares

Eclipse é um fenômeno que ocorre no céu, no qual algo, que normalmente é visível, fica momentaneamente impedido de ser visto. Existem dois tipos principais de eclipse: o solar e o lunar. Durante o eclipse solar, ficamos impedidos de ver o Sol por causa da interposição da Lua entre ele e o nosso planeta; já no caso do eclipse lunar, o que ocorre é que a Terra se põe entre o Sol e a Lua, impedindo que a maior parte da luz solar incida sobre o nosso satélite natural.



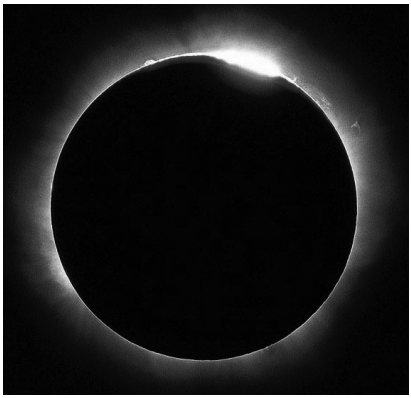
Vemos a ocorrência do eclipse solar quando a Lua bloqueia a visão que normalmente temos do Sol.

Há milhares de anos, os seres humanos observam, se encantam e se preocupam, principalmente, com eclipses solares. Dizem que, durante o reinado do rei chinês Zhong Kang, ele mandou decapitar dois astrônomos da corte por não terem conseguido prever a ocorrência de um eclipse solar. Isso foi há 4.000 anos. Antes do advento da nossa moderna compreensão do fenômeno, eclipses solares eram vistos quase sempre como prenúncio de acontecimentos ruins — eram os deuses manifestando seu desagrado para com os pecados da humanidade.

A forma mais espetacular de eclipse solar é o eclipse total — ocasião em que a Lua encobre totalmente o disco solar. No que diz respeito a qualquer localidade da Terra sob o ponto de vista do observador, são acontecimentos raros, mas um eclipse total ocorre em nosso planeta a cada 18 meses

mais ou menos. A rápida passagem da Lua pelo céu faz com que o espetáculo nunca consiga durar mais que 7 minutos e 32 segundos. Talvez a parte mais bela de um eclipse solar seja o que se conhece como pérolas (ou grãos) de Baily, fenômeno assim denominado em homenagem ao astrônomo inglês do século 19, Francis Baily. Pouco antes e logo depois do eclipse total, os últimos e os primeiros haustos de luz solar conseguem chegar até nós somente através de crateras situadas, por assim dizer, nas bordas do disco lunar. Esse acontecimento dá origem a um deslumbrante efeito de cintilações, como uma espécie de colar de diamantes.

Durante o eclipse total, o céu escurece visivelmente e a temperatura cai. De repente, pássaros que gorjeavam felizes da vida silenciam, confusos com o súbito desaparecimento do Sol em pleno dia. Mas eclipses não são apenas uma chance para que observadores da cúpula celeste se encantem com um dos maiores espetáculos da natureza — são também uma oportunidade de valor inestimável para que astrônomos aprendam mais sobre o cosmos. Tal como veremos, alguns de nossos avanços mais importantes na compreensão do universo se deram graças à observação de eclipses solares totais (págs. 50-1).



A borda do disco solar com cintilações diamantinas conhecidas como pérolas de Baily.

Porém, nem todos os eclipses solares são totais. Muitas vezes, a Lua encobre apenas parte do disco solar. Durante esses eclipses solares parciais, tem-se a impressão de que alguma coisa arrancou um pedaço do Sol com

uma grande mordida. A distância da Lua em relação à Terra varia ligeiramente e, por isso, a Lua fica bastante longe de nós às vezes, mostrando-se pequena demais para que possa bloquear totalmente a visão que temos do disco solar. Por isso, chamamos esses eclipses de anulares, termo oriundo da palavra latina *annulus*, que significa "pequeno anel".

Vale notar que estamos vivenciando uma época excepcional no que se refere à ocorrência de eclipses solares. Isso se deve ao fato de que, milhões de anos atrás, a Lua estava muito mais perto da Terra (págs. 81-2) e, com bastante frequência, devia encobrir totalmente o Sol, mas sem o grandioso espetáculo das pérolas de Baily. No futuro, à medida que a Lua for se afastando, acabará se mostrando pequena demais para nos presentear com eclipses solares totais. Nossos remotos descendentes terão de se contentar apenas com eclipses parciais e anulares.

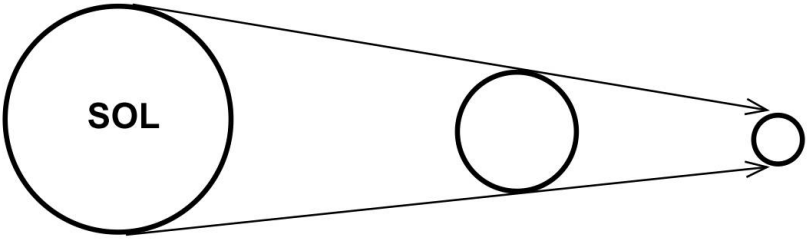
Eclipses Lunares

Conseguimos ver a Lua somente porque ela reflete a luz do Sol. Mas, durante um eclipse lunar total, toda a luz vinda diretamente do Sol é bloqueada pela Terra. A Lua se põe totalmente na sombra da Terra — ou em sua *umbra*. Quando a Lua se põe parcialmente na sombra da Terra, temos um eclipse lunar apenas parcial ou *penumbral*.

Embora a luz vinda *diretamente* do Sol seja impedida de alcançar a Lua durante um eclipse total, ainda assim parte dessa luz chega à superfície lunar por vias indiretas. Isso ocorre graças ao fato de que a atmosfera da Terra desvia — ou *refrata* — uma pequena parte da luz do Sol, fazendo-a contornar o nosso planeta. Aliás, vale considerar que a luz branca é, na verdade, a mistura das sete cores do arco-íris (págs. 37-8) e que a nossa atmosfera desvia a luz vermelha na direção da Lua — o restante é espalhado pelo espaço. É por isso que a Lua apresenta vários tons de cobre, laranja ou vermelho durante um eclipse lunar total. Cinzas vulcânicas presentes na atmosfera intensificam o efeito e fazem a Lua adquirir uma tonalidade rubra (fenômeno conhecido como Lua de Sangue). Sem a atmosfera da Terra, no entanto, teríamos a impressão de que a Lua inteira decidiu retirar-se temporariamente do céu.

Ao contrário de eclipses solares, que costumam ser raros e de curta duração, eclipses lunares são razoavelmente frequentes e duram mais tempo.

É muito mais fácil que um grande corpo, como a Terra, impeça de chegar luz a um pequeno astro celeste, como a Lua, do que este satélite encobrir a visão de um corpo enorme, como o Sol. Eclipses totais podem durar até 100 minutos e ser vistos pela maioria das pessoas na parte noturna da Terra.



Vemos um eclipse lunar quando a Lua desaparece na sombra da Terra.

Os seres humanos vêm observando eclipses lunares há milênios. Antigas tabuinhas de argila sumérias datando de 2094 a.C. apresentam o registro de um eclipse lunar acompanhado de predições de uma catástrofe iminente — naquela época, superstição e eclipses andavam quase sempre juntos. O mais famoso eclipse lunar ocorreu em 1504, pouco depois de Cristóvão Colombo ter descoberto o Novo Mundo. O explorador italiano e sua tripulação ficaram retidos na Jamaica, forçados a fazer reparos em navios de sua frota enquanto vermes carcomiam seus cascos de madeira.

No início, os nativos foram hospitaleiros, mas os visitantes começaram a abusar e os irritaram com a pilhagem de sua comida. Seis meses depois, o cacique da tribo cortou o fornecimento de suprimentos. Desesperado, Colombo tratou de pensar rápido. Naquela época, todos os navios tinham almanaques astronômicos — catálogos ou tábuas com as posições das estrelas e apontamentos sobre fenômenos astronômicos para ajudar na navegação. O navegador acabou se dando conta de que um eclipse lunar estava previsto para ocorrer em 29 de fevereiro. Com uma atitude da mais pura astúcia, Colombo disse ao cacique que ele tinha contato com Deus e que Sua santa irritação com o tratamento dispensado a ele seria demonstrada, fazendo com que a Lua ficasse rubra de sangue. Quando, tal como previsto, na noitinha seguinte, o eclipse ocorreu, os nativos mostraram-se dispostos a voltar a cooperar.

Aliás, segundo um relatório do filho de Colombo: "Com muita gritaria lamentosa, eles vieram correndo de todas as direções, carregados de mantimentos, implorando que o almirante intercedesse, por todos os meios possíveis, junto a Deus em favor deles." Tal é o extraordinário poder daquele que sabe como o universo realmente funciona e quanto as superstições são perigosas.

As Constelações

Juntamente com a Lua, o céu noturno é dominado pela presença das estrelas. Em noite de céu limpo, milhares delas podem ser vistas, e, ao longo dos milênios, muitas civilizações independentes brincaram, por assim dizer, com imensos jogos de ligar os pontos, associando-os em sua imaginação e, assim, formando grupos ou imaginárias conformações estelares conhecidas como constelações. Na maioria dos casos, são configurações totalmente infundadas, com as estrelas de cada figura tendo pouco a ver com as outras, a não ser por sua aparente proximidade em nosso céu. Muitas estão longe de qualquer verossimilhança com o que dizem representar. Consideremos, por exemplo, a constelação conhecida como Cão Menor — Canis Minor. Ela é formada apenas por duas estrelas ligadas entre si por uma única linha imaginária. Portanto, nada parecida com um cãozinho — e que nem sequer tem pernas.

Isso se deve ao fato de que os enredos de histórias preexistentes a essas associações de ideias foram psicologicamente projetados nesses conjuntos de estrelas. Narrativas de príncipes heroicos, donzelas em perigo, reis fúteis e dragões fantásticos eram contadas usando o céu noturno como um gigantesco livro infantil ilustrado. Antes da existência do livro impresso, nossas narrativas faziam parte de uma rica tradição do ato de contar histórias. E as estrelas eram uma forma de rememorá-las. Porém, mais do que isso, elas eram um meio de transmitir informações de vital importância às gerações seguintes.

Nossos antigos ancestrais perceberam que, assim como as condições climáticas, algumas constelações iam e vinham com as estações. A famosa Constelação de Órion se destaca no céu do hemisfério norte no inverno, mas sai de cena quando o tempo começa a melhorar. Pela observação desses sinais astronômicos, nossos antepassados sabiam qual era a melhor época para o plantio e para a colheita. Na prática, portanto, o conhecimento dos

fenômenos astronômicos era como ter um gigantesco manual de agricultura repassado de pai para filho, como forma de contar histórias sobre estrelas. As constelações facilitavam muito a recordação dessas informações.

Xilogravura de Albrecht Dürer das constelações do hemisfério norte, feita em 1515.

Hoje, astrônomos profissionais reconhecem oficialmente 88 constelações, que se estendem por ambos os hemisférios. Grande parte das constelações do hemisfério norte é um legado dos mitos e das lendas que herdamos dos antigos gregos e romanos. Alguns exemplos dessa herança são o famoso cavalo alado Pégaso e seu cavaleiro Perseu. Já a maioria das constelações do hemisfério sul foi imaginada pelos primeiros exploradores europeus, que fizeram o registro cartográfico de suas águas ainda inexploradas. Por isso, elas são um tanto mais práticas e um pouco menos

fantasiosas. Essas representações estão cheias de microscópios, telescópios, equipamentos náuticos, navios, peixes e aves marinhas.

Cada civilização teve suas próprias constelações, desde os aborígenes australianos e os chineses até os inuítes do Alasca e os incas. Mas a eclosão da revolução científica na Europa levou à adoção das constelações greco-romanas, usadas globalmente agora como padrão. Elas foram modificadas e simplificadas muitas vezes ao longo dos séculos, mas, em 1922, a União Astronômica Internacional (UAI) perpetuou-lhes oficialmente as características.

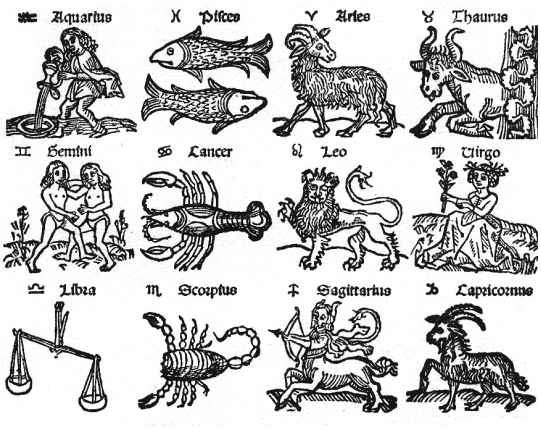
Elas continuam a ser um recurso útil para a demarcação do céu noturno, em vez de uma característica real do universo. Se você nascesse num planeta que girasse em torno de outra estrela no céu noturno, e não ao redor do Sol, ainda assim você veria grande parte das mesmas estrelas, mas de um ponto de vista totalmente diferente. Com elas aparecendo em diferentes posições em relação umas às outras, é quase certo que seus ancestrais teriam criado figuras representativas completamente diferentes das que se conhecem hoje.

O Zodíaco e a Eclíptica

As estrelas continuam no mesmo lugar durante o dia. Nós é que não conseguimos vê-las, pois o Sol ofusca, por assim dizer, a escassa luz que irradiam. É como tentar ver uma vela acesa em meio aos holofotes de um estádio esportivo com 80.000 lugares. Contudo, é possível falarmos do Sol como um integrante de uma constelação específica, ainda que não possamos ver individualmente as estrelas que compõem o conjunto no momento.

A cada dia, o Sol parece mover-se pouco menos de 1° pelo céu em comparação com as estrelas do plano de fundo. Em um ano, ele completa um circuito de 360°. O caminho aparentemente percorrido em sua passagem pelo céu é conhecido como *eclíptica*. Isso não passou despercebido pelos nossos ancestrais. Tanto que, já no longínquo primeiro milênio a.C., os babilônios dividiram a eclíptica em 12 constelações — uma para cada ciclo lunar de um ano normal. Mesmo que você não saiba muita coisa sobre astronomia, é provável que tenha ouvido falar na moderna versão destas constelações: Áries, Touro, Gêmeos, Câncer, Leão, Virgem, Libra, Escorpião, Sagitário, Capricórnio, Aquário e Peixes. Estas são as 12 constelações ou signos do "zodíaco", termo que significa "círculo de pequenos animais".

No passado, havia, na maneira de pensar das pessoas de então, uma íntima correlação entre misticismo e superstição. Acreditava-se que fenômenos celestes influenciavam comportamentos e acontecimentos na superfície terrestre. Esta é a origem da astrologia — a ideia de que os movimentos e as posições dos corpos celestes afetam os assuntos dos seres humanos. Principalmente, no caso, a de que a constelação sob cujo ascendente o Sol estiver no dia de seu nascimento terá alguma influência em sua vida até o fim de seus dias na Terra. Porém, nossa moderna compreensão de *astronomia* nos permite afirmar que não existe nenhuma prova de que isso de fato ocorra. As estrelas são apenas grandes esferas de gás superaquecido muito distantes de nós. Suas posições celestes no dia em que você nasceu têm tanta chance de influenciar sua vida ou sua personalidade quanto a posição de um vaso na prateleira da enfermaria da maternidade ou o fato de que o carro do seu pai foi deixado no estacionamento do hospital virado para o norte.



Xilogravura do século 16 exibindo os 12 signos do zodíaco, os quais, em conjunto, assinalam o caminho imaginário percorrido anualmente pelo Sol no céu.

Todavia, o zodíaco e a eclíptica tiveram um importante papel em nossa mudança: de um quadro supersticioso para um panorama bem mais lógico e científico da realidade. Tal como veremos adiante, a observação do movimento de corpos celestes próximo à eclíptica foi fundamental

para revolucionar a nossa compreensão acerca do lugar que ocupamos no universo e da necessidade de abandonar ideias antiquadas e infundadas.

Estrelas Errantes

Para os antigos, havia três tipos de estrelas. As que permaneciam impecavelmente posicionadas em suas constelações eram conhecidas como estrelas *fixas*. Todavia, de vez em quando, aparecia uma estrela *cadente*, cruzando velozmente o céu com um brilho de curtíssima duração (pág. 76). Depois, também descobriram que havia estrelas *errantes*. E apenas cinco formavam esse pequeno grupo de astros rebeldes, desafiando as regras normais da mecânica celeste. Elas eram vistas movendo-se próximo à eclíptica, entrando na constelação zodiacal antes de partirem para outra. Em grego, "estrela errante" significa *asteres planetai*, expressão da qual tiramos o nome moderno destes astros errantes: planetas.

Na Europa, esses desajustados celestiais foram chamados de Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, em homenagem aos deuses do panteão romano. Juntamente com a Lua e o Sol, eles compõem os sete corpos celestes que parecem fugir às regras e atravessar constelações. Nossos antigos ancestrais deram seus nomes aos sete dias da semana (ver abaixo). O fato de que civilizações distantes criaram, por si sós, uma semana de sete dias indica que isso se deu porque conseguiam ver os sete corpos celestes movendo-se próximo à eclíptica. Afinal de contas, a criação de outros períodos de tempo resultou também da observação do céu.

Em inglês	**Em francês**	**Em espanhol**	**Corpo celeste**
Monday	Lundi	Lunes	Lua
Tuesday*	Mardi	Martes	Marte
Wednesday*	Mercredi	Miércoles	Mercúrio
Thursday*	Jeudi	Jueves	Júpiter
Friday*	Vendredi	Viernes	Vênus
Saturday	Samedi	Sábado	Saturno
Sunday	Dimanche	Domingo	Sol

* As palavras inglesas designativas desses dias não têm correspondência com as formas romanas desses planetas porque provêm dos nomes de deuses nórdicos/anglo-saxões.

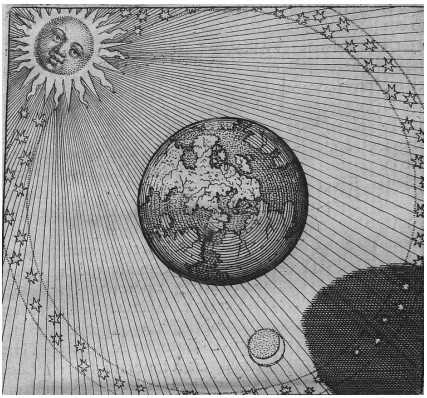
Os planetas Urano e Netuno deslocam-se também ao longo da eclíptica, mas eram desconhecidos pelos antigos, pois ficam muito longe do Sol e, portanto, indistintos demais para serem vistos sem telescópio. É interessante pensar que, se os seres humanos tivessem desenvolvido maior acuidade visual e, assim, a capacidade de ver Urano e Netuno a olho nu, talvez vivêssemos num mundo com uma semana de nove dias.

Se você observasse os planetas durante meses e anos, notaria que parecem fazer algo estranho. Primeiro, porque se movem numa direção ao longo da eclíptica, mas depois param, mudam de direção e retornam ao local de onde vieram. Isso é conhecido como *movimento retrógrado*. Qualquer pessoa que afirmasse entender como funcionam as coisas do céu tinha de ser capaz de explicar esse comportamento incomum.

Ptolomeu e o Modelo Geocêntrico

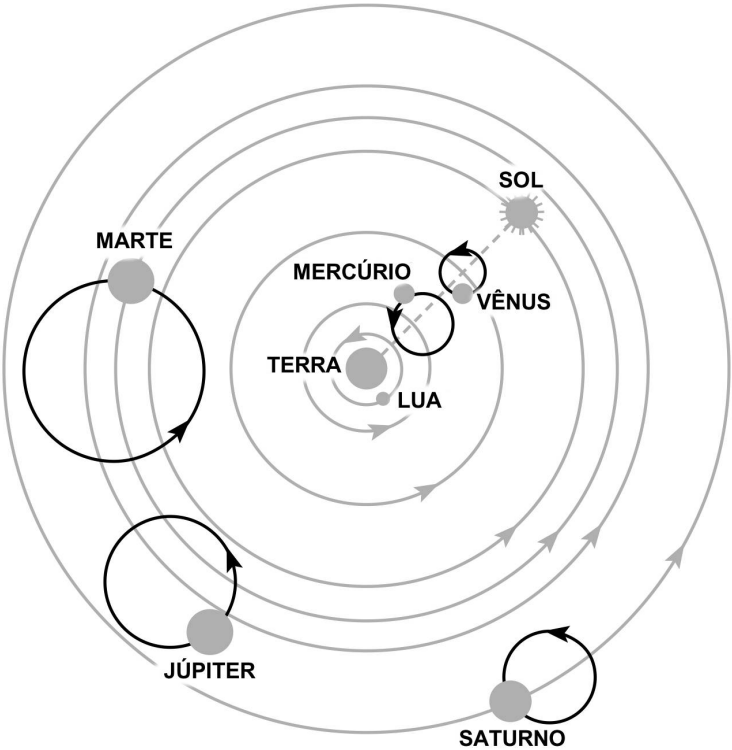
Civilizações do passado, principalmente os gregos antigos, juntaram tudo que conheciam a respeito do céu para criar um sistema cosmogônico. Elas sabiam que a Terra era esférica e que o Sol e as estrelas pareciam transitar pelo firmamento uma vez por dia. Sua experiência diária lhes dizia que a Terra não se movia — com certeza, não tinham a impressão de que isso acontecia. Portanto, é natural que tivessem concluído que vivíamos numa Terra estática, em torno da qual giravam o Sol, a Lua, os planetas e as estrelas. Essa ideia de uma Terra fixa e central é conhecida como modelo *geocêntrico*.

E fazia muito sentido. Porquanto, não apenas coincidia com o que observavam no céu, mas harmonizava-se com as ideias religiosas sobre a crença de que a Terra era o centro da criação. Na maioria dos modelos teóricos da época, a Terra aparecia no meio do universo cercada por uma série de rodas em que estavam posicionados o Sol, a Lua, os planetas e as estrelas. Na visão dessas civilizações, como a Lua era o astro que se movia mais rapidamente pelo céu, era natural que ficasse posicionada na primeira roda. Depois, vinham Mercúrio, Vênus, o Sol, Marte, Júpiter e Saturno. Para além de Saturno, ficava a roda pertencente às estrelas fixas em suas constelações.



Os astrônomos da Antiguidade acreditavam num universo geocêntrico, no qual o Sol girava em torno da Terra, como mostra uma ilustração de 1687.

No entanto, havia um grande problema com esse modelo — ele não podia explicar, não sem extrema dificuldade, o movimento retrógrado dos planetas. Afinal, por que algumas dessas rodas parariam de repente de girar e depois recomeçariam em sentido contrário? O matemático grego Cláudio Ptolomeu achou uma solução para o problema que ficou conhecida como Sistema de Ptolomeu. Ele disse que os planetas se moviam num pequeno círculo denominado epiciclo, e que esse círculo, por sua vez, se movia em torno da Terra num círculo ainda maior, ou numa órbita chamada deferente (ver ilustração, pág. 27). Quando o movimento do planeta ao longo do epiciclo tem a mesma direção do deferente, vemos o planeta deslocar-se num sentido ao longo da eclíptica. Mas o planeta parece mudar de direção quando orbita em torno do epiciclo em direção contrária à do deferente. Foi uma solução inteligente e tão precisa na explicação dos movimentos dos corpos celestes que permaneceu válida por mais de 1.000 anos.



Ptolomeu criou os conceitos de deferentes e epiciclos para explicar o movimento retrógrado dos planetas.

CLÁUDIO PTOLOMEU (*c.* 100 – *c.* 170)

Para um homem com tamanha influência, que perdurou por mais de 1.000 anos no pensamento astronômico, é surpreendente quanto se sabe tão pouco sobre Ptolomeu. Somente seu trabalho sobreviveu ao tempo. Ele viveu em Alexandria, então parte do Império Romano e agora pertencente ao Egito.

Em seu livro *Hipóteses planetárias*, expôs seu sistema de epiciclos e tentou também calcular o tamanho do universo. Ele achava que a

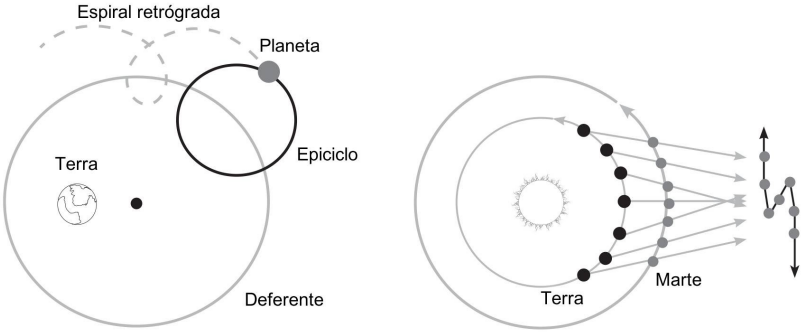
distância do Sol era 605 vezes superior ao diâmetro da Terra (na verdade, essa proporção corresponde a quase 12.000 vezes). Pensava também que a distância entre o nosso planeta e as estrelas equivalia a 10.000 vezes o diâmetro da Terra (ela é 3 bilhões de vezes superior). Em outro de seu famoso trabalho sobre astronomia, *Almagesto*, Ptolomeu relacionou 48 constelações (em contraste com as 88 registradas na atualidade) — muitas das quais ainda são usadas como referência.

Ele era um entusiasta da astrologia, embora muitas fontes lhe atribuam o mérito de haver percebido que as circunstâncias da vida de alguém também influenciam seu comportamento e sua personalidade. Escreveu livros sobre música, óptica e geografia. Assim como no caso de Eratóstenes, existe uma cratera na Lua com o seu nome.

Copérnico e o Heliocentrismo

Por volta do século 16, o sistema cosmogônico de Ptolomeu estava tão entranhado na cultura ocidental que questioná-lo poderia literalmente pôr a vida da pessoa em perigo. O cristianismo disseminou-se rapidamente pela Europa desde os tempos dos gregos antigos, e um de seus ensinamentos pétreos era que Deus criou o universo em sete dias. Portanto, parecia natural que a Terra fosse o centro do universo — por que não poupar esforços para evitar que sua obra acabasse parando no meio desse caldeirão de efervescências ideológicas? Porque argumentar que ela não ocupava o centro do universo era uma heresia. Todavia, no Oriente Médio, sábios do islamismo não eram tão aferrados a um dogma como esse e, já no ano 1050, estavam começando a encontrar falhas na ideia de geocentrismo de Ptolomeu.

Tanto é assim que, na Europa do século 16, um matemático polonês chamado Nicolau Copérnico percebeu que não precisava de epiciclos e deferentes para explicar o movimento retrógrado dos planetas. Bastava que a pessoa pusesse o Sol no centro do sistema e visse a Terra apenas como um dos planetas que giravam em torno dele. Esse é o sistema *heliocêntrico* da cosmogonia universal.



As formas de explicar o movimento retrógrado segundo os pontos de vista de Ptolomeu e Copérnico.

O movimento retrógrado de Marte seria simplesmente então uma consequência do fato de "ultrapassarmos"* esse planeta em nossa viagem em torno do Sol. Nosso movimento para as bandas de Marte nos dá a impressão de que ele se move em uma única direção, mas, assim que passamos pelo astro, parece que ele vai ficando para trás à medida que seguimos viagem. Nas primeiras décadas do século 16, Copérnico começou a escrever sobre suas ideias e deu cópias confidenciais a amigos confiáveis. Já em 1532, ele tinha certeza de que estava certo, mas relutou em divulgar o trabalho, temendo ser recriminado. Dizem — embora isto seja alvo de muita controvérsia — que Copérnico só foi ver o exemplar pronto no leito de morte. Segundo consta, convicto de que suas ideias seriam finalmente publicadas, morreu tranquilamente em 1543. Essa obra — *De revolutionibus orbium coelestium* (*Sobre a revolução dos mundos celestes*) — talvez seja um dos livros mais importantes escritos até hoje.

A obra provocou uma crise teológica. Em fins do século 16, o frade italiano Giordano Bruno tomou a dianteira da controvérsia ideológico-intelectual e não apenas argumentou que a Terra girava em torno do Sol, mas também que as estrelas eram símiles distantes do Sol, com planetas e tudo mais, e talvez até com seus próprios seres vivos. Em 1600, ele foi queimado vivo por heresia, fato que levou alguns historiadores a afirmar que suas opiniões sobre astronomia foram um de seus muitos "crimes intelecto-ideológicos".

---

* No original, *lapping*: ultrapassar no sentido de impor volta de vantagem, como numa corrida. (N. E.)

É que faltaram ao debate as provas necessárias para demonstrar de uma vez por todas se vivíamos mesmo num universo geocêntrico ou heliocêntrico. Só que um astrônomo estava dando o melhor de si para descobrir a verdade e, ao cabo desse esforço, acabou propondo uma combinação dos dois sistemas.

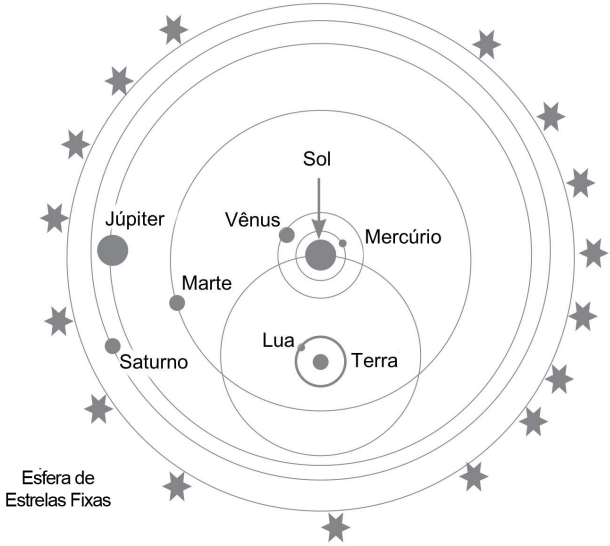
Tycho Brahe

O astrônomo dinamarquês Tycho Brahe era o exemplo perfeito de pessoa excêntrica. Durante a maior parte de sua vida adulta, teve de usar um nariz artificial de latão — aos 20 anos de idade, perdera a ponta do nariz num golpe de espada do adversário durante um duelo provocado por uma controvérsia sobre matemática. Alguns historiadores chegam a argumentar que William Shakespeare se inspirou em Brahe para criar seu personagem Hamlet — realmente, devemos levar em conta que os nomes dos personagens Rosencrantz e Guildenstern são os mesmos dos primos de Brahe. É até possível que toda a obra *Hamlet* seja uma complexa alegoria da batalha entre os defensores do sistema geocêntrico e do sistema heliocêntrico do universo, em que o personagem Cláudio é uma alusão a Cláudio Ptolomeu.

O que sabemos mesmo é que a verdadeira paixão de Brahe era a astronomia, algo em que ele era muito bom. Brahe fez medições mais precisas das coisas do céu do que qualquer astrônomo que o antecedeu. Tanto que o rei dinamarquês o presenteou com a pequena ilha de Ven (agora parte da Suécia), além de lhe ter concedido recursos financeiros para construir um gigantesco observatório astronômico no local, a que ele deu o nome de Uraniborg, termo que significa Castelo de Urânia — a filha de Zeus e musa da astronomia.

A agenda social do Uraniborg era quase tão digna de nota quanto as observações astronômicas feitas no lugar. Brahe contratou um bufão nanico chamado Jepp, que costumava se esconder debaixo de mesas e sair de lá de repente para surpreender os convidados. Mantinha também um alce domesticado na propriedade, que acabou tendo um triste fim quando resolveu matar a sede num barril de cerveja e, embriagado, rolou escada abaixo. Brahe teria igualmente um triste fim. Durante um lauto banquete em Praga, em 1601, ele se recusou a deixar a mesa para ir ao banheiro, apesar de ter consumido muita bebida alcoólica. Morreu onze dias depois, em consequência de uremia — estado clínico em que a pessoa apresenta uma quantidade excessiva de ureia no sangue. Sua bexiga simplesmente estourou.

Antes da morte precoce, aos 54 anos, Brahe registrou minuciosamente o movimento das estrelas e dos planetas no Uraniborg, usando sextantes e quadrantes — instrumentos optomecânicos para medir a altura relativa entre corpos celestes e suas distâncias angulares. Muitas de suas observações chegavam a ter um nível de precisão de 1/60 de grau. Isso o levou a adotar uma atitude de meio-termo, uma síntese intelectual eclética entre o geocentrismo e o heliocentrismo. Ele não conseguia acreditar que algo tão grande quanto a Terra se movesse e, assim, em seu sistema cosmogônico, o Sol e a Lua apareciam orbitando a Terra, com os planetas girando em torno do Sol. Assim como no caso dos epiciclos de Ptolomeu, isso explicava o movimento retrógrado dos planetas.



Brahe criou um sistema cosmogônico híbrido, em que a Terra continuava no centro, mas no qual alguns planetas orbitavam o Sol.

Pelo menos no papel. Contudo, ainda não havia provas suficientes para chegar a uma decisão definitiva a respeito de qual dos três sistemas — o ptolomaico, o copernicano ou o tychoniano — descrevia com exatidão o universo real em que vivíamos. Então, uma descoberta inesperada, feita por um fabricante de lentes holandês, mudou a astronomia para sempre.

A Invenção do Telescópio

Até então, todas as observações astronômicas eram feitas a olho nu, com sextantes e quadrantes. Eis que, em 1608, o holandês Hans Lippershey criou o primeiro telescópio, requerendo patente para um instrumento capaz de *ver coisas distantes, como se estivessem perto*. Não sabemos ao certo se ele foi mesmo a pessoa que criou esse tipo de instrumento, mas os historiadores sempre lhe atribuem o crédito pelo feito. Muitos avanços na história da ciência, tais como os marcados pelo "Eureka!" de Arquimedes ou pelo incidente envolvendo Newton e a queda da maçã, vêm acompanhados de histórias sobre o lampejo intelectual dos responsáveis por eles — provavelmente histórias inverídicas. No caso da invenção do telescópio, a coisa não foi diferente.

Dizem que o estalo de brilhantismo de Lippershey soou-lhe na mente quando viu duas crianças brincando com um caixa de lentes antigas em sua oficina. Ele constatou que, quando olhava para um distante cata-vento através de duas lentes de uma vez, elas faziam com que o objeto parecesse repentinamente muito maior. Lippershey baseou-se nesse efeito para construir um instrumento capaz de ampliar cerca de três vezes o tamanho de corpos celestes. Alguns anos depois, o cientista grego Giovanni Demisiani chamou essa nova invenção de *tele-scope*, termos gregos que significam "longe" e "olhar ou ver".

Mas foi um matemático italiano que soube explorar todo o potencial da nova invenção, segundo permitiam os limitados recursos tecnocientíficos da época. Com esse feito, a invalidade de uma ideia antiquíssima foi finalmente comprovada.

Galileu e suas Observações Telescópicas

Em 1608, o cientista italiano Galileu Galilei estava lecionando matemática na Universidade de Pádua. Durante uma viagem a Veneza, ele se deparou com o exemplar de um instrumento recém-inventado por um holandês cujo uso vinha se disseminando rapidamente pela Europa. Resolveu aperfeiçoá-lo e, em pouco tempo, produziu um telescópio capaz de ampliar oito vezes os corpos observados (bem superior ao de Lippershey, com sua capacidade originária de ampliá-los apenas três vezes). Não demorou muito, ele criou outro, desta vez capaz de ampliar até mais de trinta vezes os objetivos visados.

Para Galileu, ficou rapidamente claro que não vivíamos num universo totalmente geocêntrico. Ptolomeu estava errado. Em 7 de janeiro de 1609,

Galileu apontou as lentes de seu telescópio para Júpiter, vendo três pequenos corpos girando em torno do planeta. Uma semana depois, percebeu a existência de um quarto. As quatro maiores luas de Júpiter, satélites naturais que agora ostentam o nome de "luas de Galileu", em sua homenagem (pág. 97). Enfim, lá estavam quatro corpos celestes que não havia como duvidar de que não giravam nem em torno da Terra nem do Sol.

O argumento decisivo veio em setembro de 1610, quando Galileu notou que Vênus tinha fases, exatamente como a Lua. Viu que, às vezes, ele parecia "cheio", enquanto em outras tinha forma de meia-lua. Observou que Vênus parecia mudar de tamanho também, como se ficasse mais perto da Terra e depois se afastasse. Para nós, não seria possível observar Vênus tendo fases se tanto esse planeta quanto o Sol orbitassem a Terra, tal como Ptolomeu havia proposto. Pelo sistema ptolomaico, Vênus jamais poderia ficar entre a Terra e o Sol — um alinhamento que teria de acontecer para que pudéssemos ver as fases. Já nos sistemas tychoniano e copernicano, quando Vênus fica entre o nosso planeta e o Sol, quase não o vemos iluminado porque a maior parte da luz solar incide no outro lado do planeta. O lado que fica voltado para nós aparece totalmente iluminado quando ele se acha a uma distância máxima de nosso planeta.

Por fim, ali estava a prova para invalidar o antigo sistema geocêntrico de Ptolomeu. Porém, defender a validade do heliocentrismo ainda podia fazer a pessoa meter-se em maus lençóis. Quando Galileu apresentou argumentos em favor de Copérnico, atraiu sobre si a fúria do clero. Os clérigos defendiam a validade do sistema de Tycho porque se conciliava tanto com as fases de Vênus quanto com a necessidade da crença religiosa na condição da Terra como centro do universo. Em 1616, os responsáveis por um inquérito eclesiástico declararam que a ideia do heliocentrismo estava em contradição frontal com o que diziam as Sagradas Escrituras. Em 1633, Galileu foi levado a um tribunal e condenado por heresia. A sentença determinava que fosse posto sob prisão domiciliar para o resto da vida. Ele passou seus dias de condenado escrevendo importantes obras, ainda que a respeito de assuntos menos controversos, até morrer, em 1642, com 77 anos de idade. E a Igreja acabou perdoando Galileu — só que em 1992!

Galileu fez também desenhos das montanhas da Lua, baseando-se no comprimento das sombras para estimar a altura delas. Suas descobertas revelaram um mundo com picos mais altos do que aqueles que qualquer

pessoa pensara ser possível. Primeiro observador a ver os anéis de Saturno, ele disse em suas descrições que pareciam "orelhas" se projetando de ambos os lados do planeta. Chegou a perceber até manchas na superfície do Sol e revelou que a nossa Via Láctea não era uma simples nuvem de gás, mas um denso aglomerado de estrelas.

Johannes Kepler e suas Leis Planetárias

O matemático alemão Johannes Kepler foi um dos primeiros e mais veementes defensores do sistema cosmogônico copernicano, antes mesmo do advento das observações de Galileu. Tornado assistente de Tycho Brahe em 1600, Kepler ardia de vontade para descobrir as fórmulas matemáticas que demonstrassem o giro dos planetas ao redor do Sol. Ele teve permissão para usar o resultado das observações de Brahe, mas os dinamarqueses protegiam suas informações com muito cuidado. O fato de Brahe haver morrido apenas um ano depois de tê-lo contratado e de Kepler haver tido a "sorte" de herdar sua obra inteira tem levado alguns historiadores a classificar o episódio como jogo sujo. Quando, em 1901, o corpo de Brahe foi exumado, acharam vestígios de mercúrio em seus restos mortais. Ele realmente morreu de problema na bexiga? Ou Kepler o envenenou para acessar seu catálogo astronômico incomparável? Afinal de contas, o diário de Kepler é a única fonte de informações disponível sobre a morte de Brahe. Todavia, seu corpo foi exumado de novo em 2010, com testes tendo revelado que os níveis de mercúrio eram insuficientes para terem provocado a sua morte.

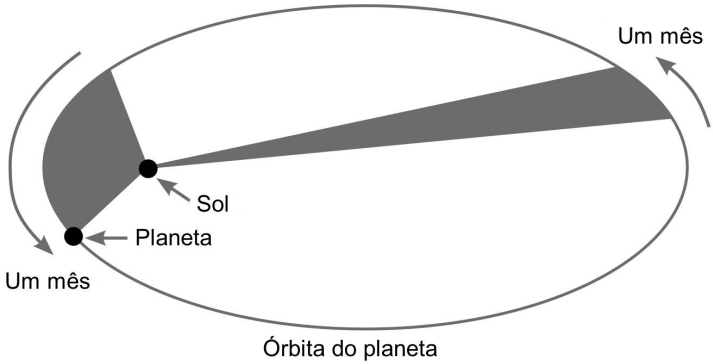
Na década posterior ao falecimento de Brahe, Kepler usou as observações do colega para formular suas famosas três leis dos movimentos planetários:

A Primeira Lei de Kepler: *Os planetas giram em torno do Sol em órbitas elípticas, com o Sol sendo um dos focos.*

Ele pôde observar que os planetas não giram ao redor do Sol em órbitas circulares perfeitas, tal como os antigos e até Copérnico haviam imaginado. Ao contrário, descrevem uma trajetória oval denominada elipse. A elipse tem dois focos — pontos matematicamente importantes na trajetória curva. O Sol fica num desses pontos.

A Segunda Lei de Kepler: *A linha imaginária que une o centro do Sol ao centro de um planeta percorre áreas iguais em tempos iguais.*

Uma das consequências do fato de planetas terem órbitas elípticas é que eles ficam mais perto do Sol em certos pontos de sua trajetória orbital ao redor da estrela do que em outros. Contudo, Kepler notou que uma linha imaginária entre o Sol e um planeta leva o mesmo tempo para se deslocar pela mesma área como um todo (ver abaixo). Em suma, a velocidade orbital do planeta aumenta quando ele está mais próximo do Sol e diminui quando se acha mais distante dele.



De acordo com Kepler, os planetas giram em torno do Sol em órbitas elípticas e se movem mais rapidamente quando mais perto do astro rei.

A Terceira Lei de Kepler: *O quadrado do período orbital de um planeta é proporcional ao cubo de sua distância do Sol.*

Basicamente falando, quanto mais longe um planeta estiver do Sol, mais tempo levará para completar uma volta em torno dele. De fato, é uma questão de bom senso — Mercúrio é o que demora menos a orbitar o Sol porque a sua é a menor das elipses a perfazer. Já Saturno demora muito mais para orbitá-lo, pois tem de percorrer uma trajetória muito maior. A grande descoberta de Kepler foi a das relações matemáticas exatas entre essas duas coisas. Usando as precisas observações de Brahe, ele notou que o "quadrado" (número multiplicado por si mesmo) do tempo de duração da órbita de um planeta (período) é proporcional ao "cubo" de sua distância do Sol (número multiplicado por si mesmo duas vezes).

Essas leis tinham bases *empíricas* — fundamentadas em observações diretas, e não em alguma explicação teórica lastreando a razão pela qual os planetas orbitam o Sol. A compreensão mais profunda do fenômeno viria em 1666, ano em que, segundo consta, um matemático inglês, depois de ter sido forçado a deixar Cambridge em razão de uma epidemia, estava sentado no jardim da casa de sua mãe quando uma maçã caiu em sua cabeça.

Isaac Newton e a Força da Gravidade

Parece que a história de Newton e a maçã tem algo de verdadeiro, mas a fruta não caiu em cima da sua cabeça. Pelo menos não de acordo com uma influente biografia intitulada *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life* (1752). O biógrafo — William Stukeley — estava tomando chá com Newton num jardim após o jantar quando o famoso cientista lhe disse que pensara na ideia da gravitação depois que vira uma maçã cair no chão.

A principal constatação de Newton foi que todos os corpos estão sujeitos a uma força que os atrai para outros corpos do universo. A maçã é atraída pela Terra e, por isso, ela cai. E ela só para de cair porque atinge o solo. Newton percebeu que, se alguém conseguisse lançar uma maçã a uma altitude suficientemente grande e com bastante velocidade, ela daria a volta na Terra em sua queda, já que ficaria um bom tempo sem ter contato com a superfície terrestre durante a rotação do planeta. Ou seja, orbitaria o planeta. Seu grande salto no desenvolvimento do próprio raciocínio foi constatar que a Lua gira em torno da Terra pela mesma razão que a maçã cai em direção ao solo — é um movimento de queda livre, sem nada no caminho para atrapalhar. Tudo isso por causa da atração gravitacional entre dois corpos.

Newton publicou suas ideias sobre gravitação universal num livro intitulado *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (mais conhecido como *Principia*) em 1687. A obra continha também descobertas de enorme importância, incluindo suas famosas três leis do movimento. Newton afirma no livro que a atração gravitacional entre dois corpos é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Isto significa que, se dobrarmos a distância entre os dois corpos, a força gravitacional entre ambos sofre uma redução de um quarto. Triplique essa distância, e ela fica nove vezes menor. O que tornou as ideias dele tão impressionantes foi que ele usou a Lei da Gravitação Universal e suas leis de movimento para provar a validade das Leis dos Movimentos Planetários de

Kepler (pág. 34). Por fim, o que ele queria mesmo dizer era o seguinte: "Sei por que os planetas giram em torno do Sol e posso provar, pois minhas ideias dão os mesmos resultados que as de Kepler."

Consideremos, por exemplo, a Segunda Lei de Kepler: uma linha imaginária que une o centro do Sol ao centro de um planeta percorre áreas iguais em tempos iguais. Em outras palavras, os planetas se movimentam mais rapidamente quando mais perto do Sol e percorrem a própria órbita mais lentamente quando se acham mais distantes dele. Newton apresentou uma explicação para esse comportamento. Ele explicou que a atração gravitacional entre dois corpos fica mais forte quanto mais próximos eles estiverem entre si e diminui quando distantes um do outro. Quando um planeta se acha perto do Sol, ele experimenta uma força de atração maior e a aceleração de seu movimento orbital; à medida que se afasta do astro rei, a intensidade dessa força diminui e o planeta se desloca mais lentamente pela órbita.

Todavia, por pouco a obra magna de Newton não foi publicada. É que a Royal Society tinha gastado a verba destinada a publicações editoriais num fiasco chamado *A história dos peixes*. Mas o astrônomo Edmund Halley interveio e pagou a publicação do próprio bolso. Com isso, evitou que um dos mais importantes livros de todos os tempos, tanto entre os científicos quanto entre os de outros gêneros, deixasse de chegar ao conhecimento do público.

Isaac Newton e a Luz

Mais ou menos na mesma época em que a queda da maçã acendeu a imaginação de Newton, ele estava muito empenhado também em experiências com prismas e luz. Não era nenhuma novidade fazer experiências com esses sólidos de vidro, e fazia tempo que se sabia que eles eram capazes de produzir uma série de cores diferentes a partir da luz branca. Mas, segundo a visão predominante então, eram os próprios prismas que coloriam a luz quando ela os atravessava. Para as pessoas da época, a luz era de um branco puro.

Newton provou a inverdade da ideia com uma experiência inteligente e simples. Num dia ensolarado de 1666, ele escureceu seu quarto e fez um furo na janela, de modo que um único feixe de luz solar entrasse no recinto. Em seguida, pôs um prisma no caminho da incidência da luz para produzir um pequeno arco-íris, tal como esperado. Agora vem a parte engenhosa

do experimento. Ele pôs um segundo prisma, desta vez invertido, bem no meio da faixa de irradiação dessas luzes coloridas. Tal como previsto, o segundo prisma recombinou as luzes coloridas, voltando a transformá-las em luz branca. No fim das contas, verificou, portanto, que os prismas não acrescentavam cores às luzes. Enfim, a luz branca devia ser mesmo uma mistura de diferentes luzes coloridas que os prismas conseguiam separar (ou recombinar). Newton publicou os resultados de sua experiência em 1672.

O TELESCÓPIO DE REFLEXÃO

Newton criou um novo tipo de telescópio em 1668. Os primeiros telescópios eram *refratores* — usavam lentes para desviar ou *refratar* a luz. Mas o telescópio de reflexão (ou de espelhamento) de Newton evitava um dos maiores problemas que ocorriam com os refratores: *aberração cromática*. Lentes desviam cada tipo de luz colorida de maneira ligeiramente diferente, tal como acontece num prisma, o que faz com que nem todas as lentes consigam a mesma focalização.

No telescópio newtoniano, a luz entra no instrumento pela parte superior do tubo e incide num espelho côncavo na parte inferior. A luz é refletida de volta pelo tubo acima, chega a um espelho secundário plano e é desviada para o lado, onde uma lente ocular revela a imagem focalizada.

Hoje em dia, os maiores telescópios são de reflexão, pois existe um limite no tamanho do refrator. É que a luz precisa atravessar a lente, o que faz com que a peça tenha de ser fixada em ambos os lados. Crie uma lente grande demais, e é bem provável que ela desça pelo tubo, movida pelo próprio peso, e não mais focalize a luz adequadamente. Já o espelho pode ser fixado por trás. O maior refrator do mundo tem uma lente de um metro — ao passo que o maior refletor tem um tubo cujo diâmetro mede nada menos que mais de 10 metros.

Esta noção básica das propriedades da luz é fundamental para a compreensão de muitas áreas da moderna astronomia. Como veremos em seções posteriores, os astrônomos se apoiam nela com frequência em seus estudos.

Römer e a Velocidade da Luz

Os últimos anos do século 17 foram um período extremamente revolucionário em nossa compreensão das propriedades da luz. Porquanto, além das valiosas descobertas que Isaac Newton vinha fazendo sobre a origem das cores, o astrônomo dinamarquês Ole Römer estava tentando determinar a velocidade da luz.

Na década de 1670, o Real Observatório de Paris enviou uma equipe de astrônomos ao Uraniborg, o antigo observatório de Tycho Brahe na ilha de Ven, para fazerem cuidadosas medições das quatro luas de Júpiter. Mais precisamente, para registrar com exatidão a ocasião em que sumiam de vista quando eram encobertas pelo planeta eclipsante. Römer era o assistente local do astrônomo francês Jean Picard, ao qual ofereceram emprego em Paris como resultado de seu trabalho no Uraniborg.

Essas observações das luas suscitaram um mistério intrigante: é que, muitas vezes, os eclipses ocorriam antes ou depois do previsto pelos cálculos baseados na Lei da Gravitação de Newton. Contudo, já em 1676, Römer havia solucionado o fenômeno, baseando-se no trabalho do diretor do observatório, Giovanni Cassini. Eles acertaram em cheio quando argumentaram que a luz levava certo tempo para viajar pelo espaço. Antes, pensava-se que a velocidade da luz era infinita — que ela ia de um ponto A a um ponto B instantaneamente. Mas os eclipses das luas de Júpiter pareciam acontecer antes do esperado se a Terra e Júpiter estivessem próximos um do outro e, aparentemente, demoravam mais quando os dois planetas estavam distantes entre si. Römer calculou que a luz levava 11 minutos para percorrer uma distância igual à que separa a Terra do Sol. Isso envolveria uma velocidade de deslocamento de 220.000.000m/s.

Como hoje sabemos que a velocidade da luz é de 299.792.458m/s, Römer e Cassini não ficaram, portanto, muito longe do valor correto. O importante não é o número a que chegaram, mas o fato de que conseguiram demonstrar convincentemente que a velocidade da luz era finita — que leva mais ou menos tempo para chegar aqui ou acolá. Em nossas vidas

diárias, nunca a vemos chegar ao destino porque é absurdamente rápida. Somente na travessia de distâncias astronômicas, sua propagação se torna perceptível. Voltaremos a tratar disso muitas vezes neste livro.

Uma forma comum de falar de distâncias cósmicas é usando a unidade de distância astronômica conhecida como ano-luz: a *distância* que a luz percorre no espaço sideral durante um ano. Propagando-se pelo espaço à velocidade de 299.792.458m/s, a luz percorre 9,46 trilhões de quilômetros em um ano. A estrela mais próxima da Terra depois do Sol fica a cerca de 40 trilhões de quilômetros de distância, ou 4,2 anos-luz. Nas medições envolvendo corpos celestes mais próximos, podemos usar horas-luz, minutos--luz ou até segundos-luz. Plutão, por exemplo, fica a 5,3 horas-luz da Terra. O Sol se encontra a 8,3 minutos-luz do nosso planeta, enquanto a Lua dista apenas 1,3 segundo-luz daqui.

Halley e seu Cometa

Na década de 1670, tanto os reis franceses quanto os ingleses mandaram construir observatórios com o objetivo de usar as estrelas como elementos de auxílio à navegação marítima. Na Inglaterra, o diretor do Real Observatório de Greenwich foi agraciado com o título de Astrônomo da Corte. Quando morreu, em 1719, John Flamsteed, o primeiro Astrônomo da Corte, o cargo foi passado a seu assistente Edmund Halley — o homem que tinha financiado com recursos próprios a publicação da obra *Principia*, de Newton (pág. 36).

Parte da razão pela qual Halley resolveu pagar as despesas de publicação de *Principia* estava no fato de que tinha visto pessoalmente a força do trabalho de Newton. Em 1684, três anos antes da publicação do livro, Halley fez uma visita a Newton, ocasião em que conversaram sobre gravitação universal e qual correlação ela podia ter com os cometas — gélidos aglomerados de rocha, poeira e gases dando cambalhotas ao redor do Sol (se bem que, na época, quase ninguém sabia disso). Em 1680, um cometa espetacular chamado Kirch havia cruzado o céu de forma esplendorosa. Newton utilizou as observações que Flamsteed fizera da passagem do cometa para demonstrar que ele também obedecia às Leis de Kepler — sua órbita era elíptica e ele se deslocava mais velozmente quando se aproximava do Sol. Portanto, assim como os planetas, ele devia ser afetado pela força gravitacional do Sol.

Por volta de 1705, beneficiando-se do trabalho de Newton, Halley tinha feito avanços e escreveu o próprio livro sobre cometas, que intitulou *A Synopsis of the Astronomy of Comets* (*Um resumo das características astronômicas dos cometas*). Sabedor agora de que cometas orbitavam o Sol, argumentou que três cometas, cujo aparecimento se dera em 1682, 1607 e 1531, eram, na verdade, os mesmos corpos celestes que faziam retornos periódicos às bandas da Terra em órbitas sucessivas. Ele previu que o retorno ocorreria em 1758. Halley morreu em 1742, portanto não pôde ver a reaparição do cometa, que aconteceu justamente no ano previsto. Desde então, esse corpo celeste é chamado de Cometa Halley, perpetuando-se assim uma forma de homenageá-lo.

Munidos desses conhecimentos, astrônomos e historiadores debruçaram-se sobre fontes históricas e descobriram registros da passagem do mesmo cometa estendendo-se sobre gerações e continentes. Verificaram que cometas observados na Grécia do século 5 a.C. e na China do século 3 a.C. apresentavam as mesmas características do Halley. O astro é tão conhecido que chegou a ser retratado na Tapeçaria de Bayeux. A última vez que o cometa voltou ao sistema solar foi em 1986 e, segundo previsões, seu retorno ocorrerá em 2061.

Bradley e a Aberração da Luz

Apesar dos sucessos de Galileu, Kepler, Newton e Halley, a polêmica em torno dos sistemas cosmogônicos tychoniano e copernicano prosseguia. Pois ainda não havia provas inquestionáveis de que a Terra girava de fato ao redor do Sol.

Tanto Picard, em Paris, quanto Flamsteed, em Greenwich, perceberam que, na verdade, a Estrela Polar — a estrela que parece ficar no mesmo lugar, independentemente da época do ano — move-se um pouco para frente e para trás ao longo de um ano. Seria necessário que James Bradley, o sucessor de Halley no cargo de Astrônomo da Corte, apresentasse uma explicação concreta e, com ela, enterrasse de vez todos os sistemas cosmogônicos inválidos.

Imagine luzes estelares caindo na Terra como chuva. Quando você andasse em meio a uma chuva dessa caindo na vertical, teria a impressão de que os pingos estariam atingindo seu guarda-chuva obliquamente. Na verdade, não seria a chuva que estaria caindo inclinadamente — seria o seu movimento em meio aos pingos que criaria o efeito. De modo semelhante, a Terra se desloca numa direção, através da "chuva" de luz estelar, durante

o percurso de metade de sua órbita, e torna a entrar nessa chuva na direção contrária durante seu movimento pela outra metade. É esse efeito — conhecido como *aberração* — que faz as estrelas parecerem mover-se ligeiramente no céu noturno no decurso de um ano. Num sistema cosmológico tychoniano, com a Terra estacionária, esse efeito não existiria. Mas, finalmente, em 1729, Bradley nos deu provas concretas de que vivemos num sistema solar heliocêntrico, logo copernicano. Todavia, a Igreja Católica continuou a proibir a publicação de qualquer livro sobre heliocentrismo até 1758.

Quando você caminha debaixo de chuva, tem a impressão de que ela atinge o guarda-chuva inclinadamente.

A Conjunção de Vênus

Uma vez estabelecido que a Terra era um simples planeta, os astrônomos voltaram sua atenção para a questão de qual seria exatamente a distância a que estamos do Sol. A única forma de medir essa distância no século 18 era observando um raro fenômeno astronômico chamado Conjunção de Vênus, que ocorre quando esse planeta passa, sob nosso ponto de vista, bem na frente do Sol, gerando uma espécie de minieclipse solar.

Se pudesse observar tal conjunção de dois locais diferentes na Terra — quanto mais longe um do outro, melhor —, você veria o fenômeno

começar e findar em horários um pouco diferentes, pois ficaria observando o Sol de ângulos ligeiramente diversos. Halley percebeu que era possível usar essa diferença de tempo para descobrir a distância entre a Terra e Vênus. Depois, com base na Terceira Lei de Kepler, é possível usar os dados para saber a distância entre a Terra e o Sol.

No entanto, com o planeta parecendo pequeno, em razão de sua grande distância de nós, esses fenômenos não são fáceis de observar sem o uso de telescópios. Essas conjunções ocorrem aos pares, com um período de oito anos separando uma da outra, mas depois temos de esperar mais de um século para observarmos o próximo par.

Johannes Kepler usou suas leis dos movimentos planetários para prever uma conjunção que ocorreria em 1631 — a primeira previsão desse tipo feita então. Ele acertou; porém, como era noite na Europa quando o fenômeno aconteceu, ninguém conseguiu vê-lo. Já o astrônomo inglês Jeremiah Horrocks previu corretamente outra conjunção em 1639 e, ao observá-la de sua casa perto de Preston, tornou-se a primeira pessoa a ver um fenômeno como esse. Em 1691, Edmund Halley concebeu o método para usar tais fenômenos com vistas a calcular a distância de nosso planeta em relação ao Sol, mas os astrônomos tiveram de esperar as duas conjunções seguintes, em 1761 e 1769, para realizar um esforço conjunto visando empregar o método de Halley.

Tão grande era a importância dessa medição — e a escassez de oportunidades para fazê-la — que astrônomos do século 18 não mediram esforços para evitar que a oportunidade escapasse. Observatórios europeus enviaram equipes de astrônomos a todas as regiões do globo para fazer observações das conjunções de 1761 e 1769, além de para muitos outros locais dentro dessas regiões, como forma de se garantirem contra a possibilidade de as condições meteorológicas atrapalharem o trabalho. Desse modo, se uma equipe ficasse impedida de observar o fenômeno por causa de um céu nublado, talvez outra pudesse contar com um céu limpo.

A The Royal Society (A Real Sociedade de Londres para o Melhoramento do Conhecimento Natural) incumbiu o HMS *Endeavour*, sob o comando do capitão James Cook, de zarpar para o Taiti com a missão de observar o eclipse de 1769. Cook levou consigo também ordens secretas do governo britânico determinando o que fazer após a conjunção — as autoridades mandaram que ele fizesse buscas no Pacífico para tentar encontrar

um continente que, segundo se comentava na época, não havia sido descoberto ainda. É famoso o dia 29 de abril de 1770, data em que desembarcou em Botany Bay (na atual Sydney), local que se tornou o primeiro assentamento de colonos na Austrália continental.

As medições da Conjunção de Vênus observada a partir do Taiti levaram os astrônomos a concluir que a distância entre a Terra e o Sol era de 150.838.824km. Como o número atual é de 149.600.000km, os astrônomos do século 18 chegaram admiravelmente perto, levando em conta seus limitados recursos tecnocientíficos.

Pesando o Mundo

Os astrônomos queriam saber também quanto os planetas pesavam. No século 18, até mesmo a massa da Terra era um mistério. Edmund Halley, apesar de todo o sucesso com os cometas, achava que a Terra era oca. Em 1774, um de seus sucessores como Astrônomo da Corte — Nevil Maskelyne — demonstrou que ele estava equivocado.

Desde a época de *Principia*, de Newton, sabemos que todo corpo celeste está sujeito a sofrer a atração gravitacional de todos os outros corpos do universo. Quanto mais próximos entre si, mais forte é essa força de atração. O próprio Newton havia pensado na possibilidade de usar essa característica dos corpos para calcular o peso da Terra. Ele imaginou um pêndulo mantido suspenso perto de uma grande montanha. O disco na parte inferior do pêndulo fica sujeito à influência de três forças: a da atração gravitacional exercida sobre ele pela montanha, a da exercida pela Terra e a da tensão do fio que o mantém pendurado. O resultado é que o disco permanece sob ligeira inclinação em relação ao plano vertical, na direção da montanha. Aqui, a atração conjunta exercida pela montanha e pela Terra se iguala à força de tensão do fio. Se calcularmos a massa da montanha e o ângulo em que o disco é inclinado, podemos usar as equações de Newton para calcular a massa da Terra.

Por questões práticas, Newton descartou a ideia de realizar a experiência, achando que seria difícil demais medir a inclinação do disco. Maskelyne, porém, abraçou o desafio. Ele escolheu o pico de 1.083m de Schiehallion, na Escócia, em razão de sua forma cônica e simétrica. É relativamente fácil calcular o volume de um cone, e, se a pessoa conhece a densidade da rocha

de que a montanha é composta, consegue calcular sua massa. Maskelyne estabeleceu pontos de observação em ambos os lados da montanha e, apesar de alguns reveses por causa das péssimas condições meteorológicas, acabou conseguindo medir o ângulo de inclinação do pêndulo baseando-se nas estrelas como pontos de referência. O agrimensor Charles Hutton começou então a calcular o volume da montanha. Para facilitar seus esforços, ele a dividiu em seções e, com isso, inventou as curvas de nível.

A equipe de Maskelyne chegou a uma estimativa da densidade média da Terra de 4,5g/cm^3 (o valor moderno é de 5,5g/cm^3). Visto que a densidade média da montanha Schiehallion era de apenas 2,5g/cm^3, devia haver um material consideravelmente mais pesado do que a montanha sob a superfície da Terra — portanto, nosso planeta não podia ser oco. Até então, as densidades do Sol, da Lua e dos planetas tinham sido conhecidas apenas como múltiplos da densidade da Terra. Uma vez que a densidade média da massa da Terra fosse conhecida, astrônomos poderiam dizer algo também a respeito das densidades e massas de todos os outros grandes corpos celestes do sistema solar. Assim, uma montanha da Escócia serviu bem para a aferição do peso de todos os membros da família de planetas e satélites naturais.

Corpo celeste	**Massa**	**Densidade**
Terra	5,97 x 10^{24}kg	5,5g/cm^3
	Em comparação com a Terra	
Sol	333.000	
Lua	0,01	0,61
Mercúrio	0,06	0,98
Vênus	0,82	0,95
Marte	0,11	0,71
Júpiter	317,8	0,24
Saturno	95,2	0,13
Urano	14,5	0,23
Netuno	17,1	0,30

Herschel e Urano

Em 13 de março de 1781, William Herschel dobrou da noite para o dia o tamanho do sistema solar conhecido até então. De sua casa em Bath,

Inglaterra, ele havia descoberto um novo planeta, cuja distância era duas vezes superior à de Saturno em relação ao Sol. Como os demais planetas eram conhecidos desde os tempos antigos, foi a primeira vez que algum tinha sido realmente "descoberto". Verificou-se depois que muitos astrônomos — incluindo vários Astrônomos da Corte que trabalhavam em Greenwich — tinham-no visto antes, mas, como ele se move lentamente ao longo da eclíptica, sempre fora confundido com uma estrela. No começo, Herschel achou que era um cometa, mas aos poucos percebeu sua verdadeira natureza.

Contudo, foi necessário quase um século para que se chegasse a um acordo universal quanto ao nome que se deveria dar à descoberta. Como descobridor, Herschel tinha direitos sobre a escolha e decidiu por *Georgium Sidus* (ou Estrela de Jorge), em homenagem ao rei Jorge III, que o contratara como astrônomo. É fácil imaginar que esse nome não deve ter se popularizado em outros países. Em 1782, Urano — o deus grego do céu —, nome considerado uma alternativa perfeita, foi sugerido, já que Urano era o pai de Zeus (Júpiter). Mas somente em 1850 esse nome foi adotado oficialmente. E é um nome que faz o planeta se destacar. Afinal, todos os outros (inclusive Terra) receberam o nome de deuses romanos — Urano é o único com um nome grego.

Herschel e a Luz Infravermelha

Em 1800, Herschel fez uma descoberta talvez ainda mais importante que a de um novo planeta: a existência de um tipo de luz completamente diferente.

Assim como Newton mais de um século antes, Herschel estava fazendo experiências com prismas. E acabou desconfiando da existência de uma correlação entre cor e temperatura. Com isso, decidiu realizar uma experiência em que, fazendo a luz do Sol atravessar um prisma e pondo termômetros em diferentes posições da faixa de luz irisada (com as cores do arco-íris) que ela produziu, descobriu que as temperaturas mais altas estavam na extremidade vermelha da faixa. Depois, ele fez algo impressionante: moveu o termômetro para além da faixa vermelha do espectro, pondo-o num ponto em que parecia não haver luz nenhuma. O termômetro registrou uma temperatura ainda mais alta nessa região do que em qualquer outra parte da faixa de luz.

Herschel concluiu que devia haver certos "raios caloríficos" numa parte além da faixa vermelha do espectro solar. Suas experiências subsequentes com esses raios demonstraram que se comportavam exatamente da mesma forma que os raios de luz comuns. Hoje, esses raios caloríficos são conhecidos como radiação infravermelha. É a irradiação de luz invisível emitida por corpos quentes — e é por isso que as modernas câmeras com sensores infravermelhos são usadas para detectar assinaturas térmicas em perseguições policiais, campos de batalha e zonas de desastres.

A descoberta de Herschel foi o primeiro indício da existência de luz com características além da capacidade de percepção de nossos olhos. Assim como há sons com frequências muito baixas ou muito altas para o ouvido humano, existem frequências de luz muito baixas ou muito altas para nossos olhos captarem. Físicos modernos referem-se a toda a gama de frequências de luz como *espectro eletromagnético*. Ela vai das ondas de rádio e micro-ondas na extremidade da baixa frequência, passa pela luz visível e infravermelha, até a luz ultravioleta, os raios X e gama. Um astrônomo chamava tudo isso de luz.

Os primeiros telescópios eram todos sensíveis à mesma luz que nossos olhos podem ver — a luz visível. Mas astrônomos modernos contam com um arsenal de telescópios para devassar o invisível, aparelhos capazes de enxergar todas as frequências da radiação eletromagnética, desde ondas de rádio aos raios gama. Se por algum motivo ficássemos restritos ao estudo somente da luz visível, deixaríamos de tomar conhecimento de muitas informações que chegam à Terra provenientes do espaço.

Quando, em 2009, a Agência Espacial Europeia lançou o maior telescópio espacial infravermelho de todos os tempos, deu-lhe o nome de *Herschel*, como forma de reconhecimento da grande descoberta feita pelo astrônomo.

A Descoberta de Netuno

Se podemos dizer que Urano foi acidentalmente descoberto, no caso de Netuno devemos afirmar que foi intencional. Astrônomos observaram cuidadosamente a órbita de Urano nas décadas posteriores à sua descoberta e perceberam algumas irregularidades. O planeta nem sempre parecia estar no local previsto pelas equações de Kepler e Newton.

Todavia, logo se percebeu que não eram essas leis que estavam erradas. Aquilo que os astrônomos vinham observando era outro planeta, mais

distante, e que estava afetando a órbita de Urano. Quando Urano se aproxima desse planeta inobservável por instrumentos de pouco alcance óptico, ele o atrai, acelerando-lhe o movimento. Uma vez que, ao passar pelo planeta que o atrai, este continua exercendo atração sobre ele como se tentasse fazê-lo voltar, a velocidade de movimento orbital de Urano diminui um pouco.

O matemático francês Urbain Le Verrier usou as equações de Kepler e Newton para calcular em que parte do espaço o planeta intruso ficava. Le Verrier enviou o resultado de seus cálculos ao astrônomo alemão Johann Galle, em Berlim, que apontou seu telescópio para essas coordenadas. E lá estava Netuno, esperando que ele o localizasse (Netuno se achava a 1° do ponto em que Le Verrier disse que ele estaria). Aliás, assim como Urano, ele tinha sido avistado várias vezes antes (inclusive por Galileu), mas sua baixa velocidade orbital tornava difícil distingui-lo de uma estrela.

Einstein e a Teoria da Relatividade Restrita

É a mais famosa equação em toda a esfera da ciência. Em 1905, a fórmula $E=mc^2$ chegou ao conhecimento do público quando Einstein publicou sua Teoria da Relatividade Restrita. De acordo com ela, energia (E) é equivalente a massa (m). Para se calcular quanta energia armazenada está contida em um corpo material qualquer, deve-se multiplicar o valor de sua massa pela velocidade da luz ao quadrado (c).

Foi um ano de fecunda produção intelectual de Einstein — ele publicou outros dois estudos históricos. Um deles lhe daria o Prêmio Nobel de Física em 1921, por haver descoberto que a luz é formada por partículas chamadas fótons. Suas descobertas foram simplesmente espetaculares, considerando o fato de que ele era um intelectual desconhecido nos círculos acadêmicos e científicos da época e trabalhava como um simples técnico examinador de patentes em Berna, na Suíça.

Com sua Teoria da Relatividade Restrita, Albert Einstein vai além do trabalho de Ole Römer na explicação das propriedades e do comportamento da luz (pág. 39). Einstein não apenas disse que existe um limite na velocidade de propagação da luz, mas também que há um limite de velocidade de propagação cósmica. Nada pode se deslocar no espaço

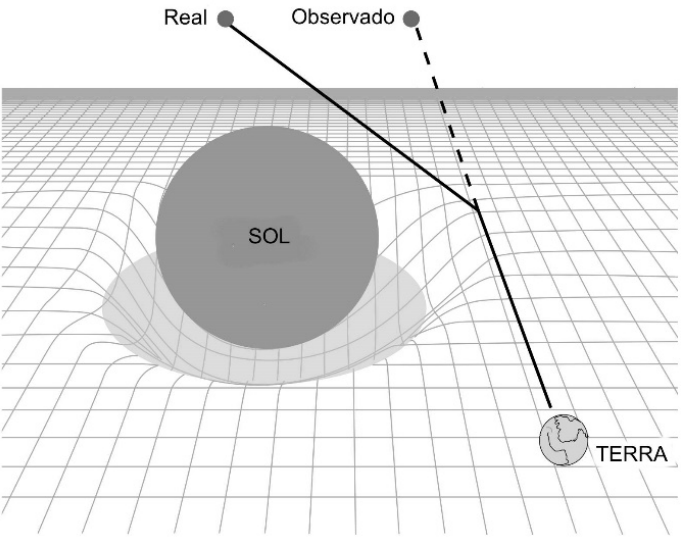
sideral mais rapidamente do que a luz. Essa ideia é um resultado natural da equação $E=mc^2$. Quanto mais velozmente um corpo se move, significa que mais energia ele tem. Mas, como a equação nos diz que ganhos de energia significam também ganhos de massa, quanto mais rapidamente um corpo se move, mais pesado ele fica. Corpos mais pesados são mais difíceis de mover, portanto requerem mais energia para aumentar sua velocidade. Porém, quando se movem mais rapidamente, voltam a ficar mais pesados. Com o tempo, um corpo que se move com grande velocidade fica tão pesado que seria necessária uma quantidade infinita de energia para fazê-lo mover-se mais rapidamente. O limite desse aumento é a velocidade da luz.

Einstein e a Teoria da Relatividade Geral

Em 1915, não satisfeito em ter presenteado o mundo com sua Teoria da Relatividade Restrita, Einstein publicou seus escritos sobre a Teoria da Relatividade Geral. Com isso, revolucionou nossas ideias sobre gravitação universal.

Newton imaginava que a gravidade era uma força de atração exercida num espaço vazio por corpos celestes gigantescos. Para ele, é por isso que a Terra orbita o Sol. Já Einstein propôs que a Terra gira em torno do Sol porque este está sempre mudando a forma do espaço sideral ao seu redor. Juntando as peças das três dimensões espaciais e a dimensão do tempo, Einstein produziu um tecido conceitual quadridimensional que chamou de *espaço-tempo* e afirmou que corpos celestes gigantescos o encurvam.

A maneira clássica de visualizar isso é imaginar o espaço-tempo como um lençol bem esticado pelas pontas. Ponha uma bola de boliche no centro dele, como se fosse o Sol, e o lençol afundará ou encurvará, criando um desnível — ou uma concavidade — bem no meio. Agora, pegue uma bola de tênis para representar a Terra e faça-a rolar na beirada da concavidade. Assim você terá a ideia ou a impressão de que ela orbita a bola de boliche.



Einstein disse que corpos celestes gigantescos criam uma espécie de tecido quadridimensional curvo chamado espaço-tempo e que isso pode desviar a luz de estrelas distantes.

Faz muito tempo que astrônomos sabem que a teoria da gravitação universal de Newton não pode explicar certas esquisitices na órbita de Mercúrio. Quando Einstein aplicou os dados de seu conceito de espaço-tempo nos estudos do comportamento orbital de Mercúrio, tudo se encaixou perfeitamente. Todavia, para termos certeza de nossas conclusões, precisávamos de outra forma de teste. O segredo estava em aproveitar, para observações e estudos, as condições únicas presentes num eclipse solar.

Tanto Einstein quanto Newton concordavam que a força gravitacional do Sol desvia a luz de estrelas distantes, mas discordavam a respeito de quanto era esse desvio. Assim, em 1919, o astrônomo britânico Arthur Eddington foi enviado à minúscula ilha africana de Príncipe para descobrir por quê. Normalmente, não podemos ver estrelas perto do Sol durante o dia. No entanto, durante um eclipse solar, a Lua nos dá uma mãozinha, bloqueando a ofuscante luz do Sol. Eddington aproveitou a oportunidade para tirar fotos das estrelas que apareciam perto do Sol.

Tal como previsto, as estrelas se achavam rigorosamente onde Einstein disse que estariam, deslocadas de sua posição normal, exatamente no local em que deveriam estar se a sua luz tivesse seguido uma trajetória curva, provocada pelo encurvamento do espaço-tempo causado pelo Sol em torno de si (pág. 49). A relatividade geral continua a ser a melhor de nossas teorias sobre gravitação universal e, até agora, passou com êxito total neste e em todos os outros testes a que foi submetida.

ALBERT EINSTEIN (1879–1955)

Nenhum cientista que o antecedeu ou que o sucedeu é tão famoso quanto Albert Einstein. Seu rosto aparece estampado em roupas, pôsteres e canecas no mundo inteiro. Hoje, seu trabalho é tão importante quanto sempre foi e, mesmo depois de mais de 100 anos da publicação de suas Teorias da Relatividade Restrita e Geral, físicos continuam achando provas de que ele estava certo. Em todo caso, certo ou errado, seus cabelos grisalhos e seu jeitão de professor amalucado se tornaram a imagem estereotipada do cientista genial.

E certamente ele teve uma vida exuberante. Em 1903, casou-se com sua colega estudante de física Mileva Marić, mas, algum tempo depois, iniciou um relacionamento com sua prima de primeiro grau Elsa. Albert e Elsa se casaram em 1919, e ficaram juntos até a morte dela, em 1936. Dizem que Einstein ficou inconsolável.

Nascido numa família de judeus alemães, radicou-se nos Estados Unidos assim que Adolf Hitler subiu ao poder. Tornou-se cidadão americano em 1940. Em 1952, seus compatriotas lhe ofereceram o cargo de presidente de Israel, mas ele recusou. Morreu em 1955, em consequência de um aneurisma, e seu cérebro foi extraído sem permissão durante a autópsia, visando a maiores estudos relacionados com a inteligência.