

Apêndice A

Biografias

A.1 Nicolau Copérnico



A invenção da imprensa de tipos móveis (no ocidente) por Johann Gutenberg (c.1398-c.1468) em 1451, a motivação para a leitura dos autores gregos, devido em parte aos estudiosos que foram para o Ocidente após a captura de Constantinopla pelos turcos, em 1543, e a descoberta da América em 1492, foram fatores que impulsionaram a grande revolução nas diversas áreas do conhecimento, conhecida com Renascimento ou Renascença.

Na Astronomia, o Renascimento teve seu principal agente em Nicolau Co-

pérnico, ou Mikolaj Kopernik, polonês nascido em 19 de fevereiro de 1473, em Toruń, às margens do rio Vístula, na Pomerânia.

Depois da morte de seu pai, Niklas Koppernigk, em 1483, ficou sob tutela de seu tio, Lucas Watzelrode, mais tarde nomeado Bispo de Ermland, e foi destinado pelo tio para a carreira eclesiástica desde cedo. Em 1491, foi estudar no Collegium Maius, onde estudou Medicina, Matemática e Astronomia, por três anos. O Collegium Maius faz parte da Universidade Jagielonia (Uniwersytet Jagiellonski), em que foi transformada a Academia de Cracóvia, fundada em 1364 pelo rei Kasimir, o Grande, mas cujo maior patrono foi o Rei Wladyslaw Jagiello, cujo nome foi dado desde sua morte, em 1434. No Collegium Maius, utilizou instrumentos de medida astronômicos que antecederam o telescópio, que só seria inventado mais de cem anos depois. Em 1496, rumou para a Itália, onde permaneceu nove anos, com interrupção em 1501, quando retornou à Polônia, para assumir as funções de cônego em Frauenburgo. Nas universidades de Bolonha, Pádua e Ferrara, estudou Direito, Medicina, Astronomia e Matemática. Embora estivesse na Itália para estudar Medicina e Direito, seus maiores interesses eram Astronomia e Matemática, mas também dedicou-se ao estudo do grego. Em Bolonha, associou-se a Domenico Novarra (1454-1504), com quem fez a observação da ocultação de Aldebarã, em 9 de março de 1497.

Quando retornou a Frauenburgo, quase imediatamente obteve licença para se juntar ao seu tio em Heilsberg, oficialmente como seu conselheiro médico, mas realmente como acompanhante. Foi, provavelmente, nesses calmos dias em Heilsberg, que Copérnico elaborou suas idéias astronômicas e escreveu os primeiros rascunhos de seu livro. Desde 1512, após a morte de seu tio, viveu em Frauenburgo e suas observações eram feitas com instrumentos construídos por ele próprio.

Em 1529, circulava entre os astrônomos um manuscrito *Nic. Copernici de Hypothesibus Motuum Coelestium a se Constitutis Commentariolus* (Pequenos comentários de Nicolau Copérnico em torno de suas hipóteses sobre os movimentos celestes), no qual Copérnico apresentava o sistema heliocêntrico como uma hipótese. Em 1533, o Papa Clemente VII solicitou a exposição da teoria em Roma, e em 1536 o Cardeal Schönberg pediu sua publicação, mas Copérnico achava que deveria, primeiro, elaborar uma teoria completa, que fosse nitidamente superior ao sistema de Ptolomeu.

Em 1539, chegou em Frauenburgo um jovem astrônomo, Georg Joachim (1514-1574), mais conhecido como Rheticus, por ser originário de Rhaetia. Ele estudou Astronomia com Johannes Schöner (1477-1547) em Nürnberg, e foi nomeado professor de matemática na Universidade de Wittenberg. Tendo

ouvido de Copérnico e suas teses, decidiu visitá-lo, e sua visita se estendeu por dois anos, estudando o manuscrito de Copérnico. Escreveu com este uma Primeira Narrativa (*Prima Narratio*) expondo as idéias na forma de uma carta ao seu mestre Schöner. Essa carta, publicada em 1540, foi a primeira forma acessível das idéias de Copérnico. Em 1540, Rheticus enviou para publicação o livro completo de Copérnico, *De Revolutionibus* (As Revoluções), cujo primeiro exemplar chegou às mãos de Copérnico em leito de morte, em 1543. Provavelmente, não teve consciência de que o seu prefácio, dedicado ao Papa Paulo III, fora substituído por outro, anônimo, de Andreas Osiander (1498-1552), um pastor Luterano interessado em Astronomia, em que insistia sobre o carácter hipotético do novo sistema e também modificando o nome para *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (As Revoluções do Orbe Celeste). No livro, Copérnico declarava que a Terra cumpria “uma revolução em torno do Sol, como qualquer outro planeta”, como já haviam afirmado Pythagoras (~569-475 a.C.) e Aristarchus de Samus (310-230 a.C.), que Copérnico já tinha lido. Mas Copérnico desenvolveu a idéia matematicamente, usando deferentes e epiciclos, construindo um sistema capaz de prever as posições dos planetas, pelo menos tão precisamente como qualquer versão do sistema de Ptolomeu e, em muitos aspectos, mais simples. Esse sistema só pôde refutar o de Ptolomeu, com as observações telescópicas de Galileo das fases de Vênus e dos satélites de Júpiter.

O manuscrito original do livro, *De Revolutionibus*, permaneceu com o autor até sua morte, em 24 de maio de 1543, e atualmente está na biblioteca do Collegium Maius, reservada como um museu em honra a Copérnico, junto com os instrumentos por ele utilizados.

A.2 Tycho Brahe



Tycho Brahe nasceu em 14 de dezembro de 1546, primeiro filho de Otto Brahe e Beatte Bille, de uma família nobre da Dinamarca. Antes de seu nascimento, o pai havia prometido que o daria a um tio, Jorgen, que era vice-almirante. Porém não cumpriu sua promessa. Após o nascimento de um irmão mais novo, Jorgen seqüestrou o jovem Tycho, fato que o pai do rapaz acabou aceitando, devido à fortuna que o filho herdaria. Seu tio morreu depois, de pneumonia, após resgatar o rei Frederick II (1534-1588) de afogamento, quando este caiu de uma ponte ao retornar de uma batalha naval com os suecos.

Com 13 anos, Tycho foi estudar Direito e Filosofia na Universidade de Copenhague. Nessa época, ocorreu um eclipse parcial do Sol, que havia sido predito com exatidão. Tycho ficou muito impressionado que os homens soubessem o movimento dos astros com exatidão para poder prever suas posições. Aos 16 anos, seu tio o enviou a Leipzig, na Alemanha, para continuar seus estudos de Direito. Mas ele estava obcecado com a Astronomia, comprou livros e instrumentos e passava a noite observando as estrelas. Em 17 de agosto de 1563, Júpiter passou muito perto de Saturno; Tycho descobriu que as Tabelas Alfonsinas¹ erraram por um mês ao predizer o evento, e as tabelas de Copérnico erraram por vários dias. Ele decidiu que melhores

¹Em 1252, Afonso X, o Sábio, Rei de Castela (Espanha), que, em 1256, foi proclamado rei e, no ano seguinte, imperador do Sacro Império Romano, convocou 50 astrônomos para revisar as tabelas astronômicas calculadas por Ptolomeu, que incluíam as posições dos planetas no sistema geocêntrico, publicado por Cláudio Ptolomeu em 150 d.C., no *Almagesto*. Os resultados foram publicados como as *Tabelas Alfonsinas*.

tabelas poderiam ser calculadas após observações exatas e sistemáticas das posições dos planetas por um longo período de tempo, e que ele as realizaria.

Em 1572, outro evento importante aconteceu. Em 11 de novembro, Tycho notou uma nova estrela na constelação de Cassiopéia, mais brilhante que Vênus. A estrela era tão brilhante que podia ser vista à luz do dia, e durou 18 meses. Era o que hoje em dia se chama de uma supernova, um evento raro. A grande pergunta era se essa estrela estava na alta atmosfera da Terra, mais perto do que a Lua, onde mudanças podiam ocorrer, ou se estava no céu, contradizendo o dogma do grego Aristóteles (384-322 a.C.), incorporado pelos cristãos, de que a esfera celeste era imutável. Tycho tinha recém-terminado a construção de um sextante com braços de 1,6 metros, com uma escala calibrada em minutos de arco, muito mais preciso do que qualquer outro já construído até então, e demonstrou que a estrela se movia menos do que a Lua e os planetas em relação às outras estrelas e, portanto, estava na esfera das estrelas. Publicou suas observações no *De Nova et Nul-lius Aevi Memoria Prius Visa Stella* (Sobre a nova e previamente nunca vista estrela), em Copenhague, em 1573.

Em 1575, Tycho já era famoso em toda a Europa, e o Rei Frederick II, que seu tio havia salvo, ofereceu-lhe uma ilha inteira, chamada Hveen, perto do castelo de Hamlet em Elsinore. A Dinamarca pagaria a construção de um observatório, e os habitantes da ilha, cerca de 40 famílias, se tornariam seus súditos.

Tycho, então, construiu seu castelo dos céus, Uraniburg, e vários instrumentos. O castelo foi batizado em honra de Urânia, a musa da Astronomia. Vários relógios (clepsidras, baseadas no escoamento da água, ampulhetas de areia, velas graduadas ou semelhantes) eram usados, ao mesmo tempo, para medir as observações o mais precisamente possível, e um observador e um marcador de tempo trabalhavam juntos. Com seus assistentes, Tycho conseguiu reduzir a imprecisão das medidas, de 10 minutos de arco desde o tempo de Ptolomeu, para um minuto de arco. Foi o primeiro astrônomo a calibrar e conferir a precisão de seus instrumentos periodicamente e corrigir as observações por refração atmosférica. Também foi o primeiro a instituir observações diárias, e não somente quando os astros estavam em configurações especiais, descobrindo assim anomalias nas órbitas até então desconhecidas.

Em 1588, publicou *Mundi Aetherei Recentioribus Phaenomenis* (Sobre o novo fenômeno no mundo etéreo), em Uraniburg, sobre suas observações do cometa que apareceu em 1577, demonstrando que o cometa se movia entre as esferas dos planetas, e, portanto, que o “céu” não era imutável, e as “esferas cristalinas”, concebidas na tradição greco-cristã, não eram entes físicos.

Tycho propôs seu próprio modelo, em que todos os planetas giravam em torno do Sol, com exceção da Terra. O Sol e a Lua, em seu modelo, giravam em torno da Terra. Seu modelo foi aceito por longo tempo, pois não era refutado pelas fases de Vênus e mantinha a Terra parada, como propunha a Igreja.

Ainda em 1588, o rei faleceu e Tycho foi desatencioso com o novo rei, Christian IV, e com a alta corte de justiça. Seus rendimentos foram drasticamente reduzidos e, em 1597, Tycho deixou a Dinamarca com todos seus equipamentos. Em 1598, publicou *Astronomiae Instauratae Mechanica* (Instrumentos para a Astronomia restaurada), em Wandsbeck.

Em 1599, ele chegou em Praga, onde o Imperador Rudolph II o nomeou matemático imperial, e pôde continuar suas observações. Em 1600, contratou Johannes Kepler para ajudá-lo, e faleceu em 24 de outubro de 1601. Está enterrado na Igreja Tyn, em Praga.

A.3 Johannes Kepler



Johannes Kepler nasceu em 27 de dezembro de 1571, no sul da atual Alemanha, que naquela época pertencia ao Sacro Império Romano, em uma cidade chamada Weil der Stadt, região da Swabia. Era filho de Heinrich Kepler, um soldado, e de sua esposa Katharina, cujo sobrenome de solteira era Guldenmann. Seu avô paterno, Sebald Kepler, era prefeito da cidade, apesar de ser protestante (Luterano), numa cidade católica. Essa era a época da Renascença e da Reforma Protestante.

Por ter corpo frágil e pelas poucas condições financeiras da família, foi enviado ao seminário para seus estudos. Em setembro de 1588, Kepler passou o exame de admissão (bacharelado) da Universidade de Tübingen, mas só iniciou seus estudos lá em 17 de setembro de 1589, onde estudava teologia no seminário Stift. Em 10 de agosto de 1591, foi aprovado no mestrado, completando os dois anos de estudos em *Artes*, que incluía grego, hebreu, astronomia e física. Iniciou, então, os estudos de teologia, estudando grego com Martin Crusius (1526-1607), matemática e astronomia com Michael Maestlin (1550-1631), aprendendo com este sobre Copérnico, embora seu mestre defendesse o modelo geocêntrico do *Almagesto* de Ptolomeu. Antes

de completar seus estudos, Kepler foi convidado a ensinar matemática no seminário protestante (*Stiftsschule*) de Graz, na Áustria, onde chegou em 11 de abril de 1594. Seu trabalho, além de ensinar matemática, que se conectava com a astronomia, também incluía a posição de matemático e calendarista do distrito.

Note que, naquela época, o calendarista deveria prever o clima, dizendo a melhor data para plantar e colher, prever guerras e epidemias e mesmo eventos políticos. Kepler fazia os calendários porque era sua obrigação, mas tinha sérias restrições à sua veracidade, dizendo, por exemplo: “Os céus não podem causar muitos danos ao mais forte de dois inimigos, nem ajudar o mais fraco... Aquele bem preparado supera qualquer situação celeste desfavorável.” E mais, Kepler usava os calendários para instigar cuidados, disfarçados como prognósticos, para prevenir doenças.

No início de 1597, Kepler publica seu primeiro livro, *Prodromus dissertationum cosmographicarum continens mysterium cosmographicum de admirabili proportione orbium celestium deque causis coelorum numeri, magnitudinis, motuumque periodicorum genuinis et propriis, demonstratum per quinque regularia corpora geometrica*, cujo título abreviado é *Mysterium Cosmographicum* (Mistérios do Universo). Nesse livro, defendia o heliocentrismo de Copérnico e propunha que o tamanho de cada órbita planetária é estabelecido por um sólido geométrico (poliedro) circunscrito à órbita anterior. Esse modelo matemático poderia prever os tamanhos relativos das órbitas. Kepler enviou um exemplar para Tycho Brahe, que respondeu que existiam diferenças entre as previsões do modelo e suas medidas. Um exemplar enviado a Galileu, oito anos mais velho que Kepler, fez este enviar uma pequena carta a Kepler agradecendo e dizendo que ainda não havia lido, mas que acreditava na teoria de Copérnico.

Em setembro de 1598, o arquiduque da Áustria, príncipe Ferdinando de Habsburgo, líder da Contra-Reforma Católica, fechou o colégio e a igreja protestante em Graz, e ordenou que todos os professores e padres deixassem a cidade imediatamente. Kepler foi autorizado a retornar a cidade como matemático do distrito, onde permaneceu até agosto de 1600, quando foi expulso definitivamente da cidade por recusar-se a se converter ao catolicismo.

Em junho de 1599, o imperador Rudolph II, da Boêmia, contratou Tycho Brahe como matemático da corte em Praga. Em janeiro de 1600, Kepler, então com 28 anos, visitou-o no castelo de Benatky, que o imperador tinha colocado à disposição de Tycho. Kepler sabia que somente com os dados de Tycho Brahe poderia resolver as diferenças entre os modelos e as observações. Tycho não acreditava no modelo de Copérnico por motivos teológicos, mas

também porque tentou, sem sucesso, medir a paralaxe das estrelas com o movimento da Terra. Copérnico assumia uma distância enorme para as estrelas, pois não se observava paralaxe. A paralaxe das estrelas só foi medida em 1838, pela primeira vez, por Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846).

Kepler já tinha observado eclipses e mesmo as estrelas, procurando medir a paralaxe, mas seus instrumentos eram muito rudes, e sua vista muito fraca.

Em 19 de outubro de 1600, Kepler, abandonado por seus antigos mestres por suas convicções na teoria heliocêntrica de Copérnico, e também por suas tendências Calvinistas, não aceitando os dogmas incondicionalmente, começou a trabalhar para Tycho Brahe em Praga. Em setembro de 1601, Kepler retornou a Praga depois de uma visita a Graz para acertar a herança de seu sogro, e Tycho já havia instalado seus instrumentos, que haviam sido trazidos de Hveen. Tycho o apresentou ao imperador, que o contratou como assistente de Brahe. Logo depois, em 24 de outubro de 1601, Brahe morreu. Dois dias depois, o imperador nomeou Kepler como matemático imperial, sucedendo Brahe na tarefa de calcular as Tabelas Rudolfinas, com a previsão das posições dos planetas.

Kepler começou imediatamente a trabalhar no cálculo da órbita de Marte e, em 1602, descobriu a Lei das Áreas, mas não conseguiu ajustar a forma da órbita. Se a órbita fosse circular, bastariam 3 observações, pois 3 pontos definem um círculo. Os pontos deveriam ser observados em oposição, já que em oposição é irrelevante se é a Terra ou o Sol que se movem, pois os três corpos estão alinhados. Tycho tinha observado 10 oposições de Marte entre 1580 e 1600, às quais Kepler depois adicionou as de 1602 e 1604. Naturalmente, qualquer conjunto de 3 observações deveria resultar na mesma órbita. Como Marte é o planeta externo com maior excentricidade, dos conhecidos naquela época, um círculo não se ajustava às observações. Mesmo introduzindo um equante, Kepler não conseguia ajustar as observações com erro menor que $8'$, enquanto a precisão das observações de Tycho eram da ordem de $1'$. Em 1605, Kepler descobriu que a órbita era elíptica, com o Sol em um dos focos. Estes resultados foram publicados no *Astronomia Nova*, em 1609.

Em 1604 Kepler completou o *Astronomiae pars Optica (Ad Vitellionem Paralipomena, quibus Astronomiae Pars Optica traditur)*, considerado o livro fundamental da óptica, no qual explicou a formação da imagem no olho humano, explicou como funciona uma câmara obscura, descobriu uma aproximação para a lei da refração, estudou o tamanho dos objetos celestes e os eclipses.

Em 17 de outubro de 1604, Kepler observou a nova estrela (supernova)

na constelação de Ophiucus, junto a Saturno, Júpiter e Marte, que estavam próximos, em conjunção. A estrela competia com Júpiter em brilho. Kepler imediatamente publicou um pequeno trabalho sobre ela, mas, dois anos depois, publicou um tratado, descrevendo o decaimento gradual de luminosidade, a cor, e considerações sobre a distância que a colocava junto com as outras estrelas.

Em 1610, Kepler leu o livro com as descobertas de Galileo usando o telescópio, e escreveu um longa carta em suporte, publicada como *Dissertatio cum Nuncio Sidereo* (Conversa com o mensageiro sideral). Em agosto de 1610, ele usou um telescópio dado por Galileo ao duque da Bavária, Ernst de Cologne, para observar os satélites de Júpiter, publicando *Narratio de Observatis Quatuor Jovis Satellitibus* (Narração das observações dos quatro satélites de Júpiter). Esses tratados deram grande suporte a Galileo, cujas descobertas eram negadas por muitos. Os dois trabalhos foram republicados em Florença.

Kepler também estudou as leis que governam a passagem da luz por lentes e sistemas de lentes, inclusive a magnificação e a redução da imagem, e como duas lentes convexas podem tornar objetos maiores e distintos, embora invertidos, que é o princípio do telescópio astronômico. Estudou, também, o telescópio de Galileo, com uma lente convergente como objectiva e uma lente divergente como ocular. Esses estudos foram publicados no *Dioptrice*, em 1611.

Em 1612, com a morte do Imperador Rudolph II, que havia abdicado em 23 de maio de 1611, Kepler aceitou a posição de matemático e professor do colégio distrital em Linz. Lá, publicou o primeiro trabalho sobre a cronologia e o ano do nascimento de Jesus, em alemão, em 1613 e, ampliado, em latim em 1614: *De vero Anno, quo aeternus Dei Filius humanam naturam in Utero benedictae Virginis Mariae assumpsit* (Sobre o verdadeiro ano em que o Filho de Deus assumiu a natureza humana no útero da Sagrada Virgem Maria). Nesse trabalho, Kepler demonstrou que o calendário Cristão estava em erro por cinco anos, pois Jesus tinha nascido em 4 a.C., uma conclusão atualmente aceita. O argumento é que, em 532 d.C., o abade Dionysius Exiguus assumiu que Cristo nascera no ano 754 da cidade de Roma, correspondente ao ano 46 do calendário Juliano, definindo-o como o ano um da era cristã. Entretanto, vários historiadores afirmavam que o rei Herodes, que faleceu depois do nascimento de Cristo, morreu no ano 42 do calendário juliano. Desse modo, o nascimento ocorrera em 41 do calendário juliano, 5 anos antes do que Dionysius assumira.

Entre 1617 e 1621, Kepler publicou os 7 volumes do *Epitome Astrono-*

miae Copernicanae (Compêndio da Astronomia copernicana), que se tornou a introdução mais importante à astronomia heliocêntrica e um livro-texto de grande uso. A primeira parte do Epitome, publicada em 1617, foi colocada no *index* de livros proibidos pela Igreja Católica em 10 de maio de 1619. A proibição por parte da Igreja Católica às obras sobre o modelo heliocêntrico começou pelo fato de Galileo ter escrito seu livro *Siderius Nuncius* (Mensagem celeste), em 1610, despertando o interesse do povo. A razão da proibição era que no Salmo 104:5 do Antigo Testamento da Bíblia, está escrito: “Deus colocou a Terra em suas fundações, para que nunca se mova”.

Em 1615-16, houve uma caça às bruxas em sua região nativa, e ele defendeu sua mãe num processo em que ela era acusada de bruxarias. O processo se estendeu até 1620, quando ela foi liberada.

O ano de 1618 marcou o início da Guerra dos Trinta Anos, entre os Reformistas Protestantes e a Contra-Reforma Católica, que devastou a região da Alemanha e Áustria. A posição de Kepler piorava, pois a Contra-Reforma Católica aumentava a pressão sobre os protestantes na Alta Áustria, da qual Linz era a capital. Como Kepler era oficial da corte, ele estava isento do decreto que baniu todos os protestantes da província. Nesse período, Kepler estava imprimindo as *Tabulae Rudolphinae* baseadas nas observações de Tycho Brahe e calculadas de acordo com suas órbitas elípticas. Essas tabelas incluíam a posição dos planetas e cálculos de eclipses. Quando uma rebelião ocorreu e Linz foi tomada, a oficina de impressão foi queimada e, com ela, muito da edição já impressa. Em 1619, Kepler publicou *Harmonices Mundi* (Harmonia do Mundo), em que derivava que as distâncias heliocêntricas dos planetas e seus períodos estão relacionados pela Terceira Lei, que diz que o quadrado do período é proporcional ao cubo da distância média do planeta ao Sol. Essa lei foi descoberta por Kepler em 15 de maio de 1618. Kepler e sua família deixaram Linz em 1626. Sua família ficou em Regensburg, enquanto ele mudou-se para Ulm, para imprimir as *Tabulae Rudolphinae*, finalmente publicadas em 1627. Essas tabelas provaram-se precisas por um longo tempo, trazendo a aceitação ao sistema heliocêntrico.

Apesar do nome de Kepler estar ligado à Astrologia, ele diz: “*Meus corpos celestes não eram o nascimento de Mercúrio na sétima casa em quadratura com Marte, mas Copérnico e Tycho Brahe; sem suas observações, tudo o que eu pude trazer à luz estaria enterrado na escuridão.*”

Kepler, então, juntou-se à sua família em Regensburg, mas mudou-se para Sagan em julho de 1628, como matemático do imperador e do duque de Friedland. Em uma viagem, foi acometido de uma doença aguda em Regensburg, Alemanha, onde faleceu em 15 de novembro de 1630.

A.4 Galileo Galilei



Galileo Galilei (em português **Galileu Galilei**) nasceu em 15 de fevereiro de 1564, em Pisa, filho de Vincenzo Galilei (1525 - 1591), um músico alaúdistas conhecido por seus estudos sobre teoria da música, e Giulia Ammannati de Pescia. De setembro de 1581 a 1585 estudou medicina na Universidade de Pisa, da qual depois foi professor de matemática entre 1589 e 1592.

Em 1586, inventou a balança hidrostática para a determinação do peso específico dos corpos, e escreveu um trabalho *La bilancetta*, que só foi publicado após sua morte.

Em 1592, Galileo tornou-se professor de matemática na Universidade de Pádua, onde permaneceu por 18 anos, inventando, em 1593, uma máquina para elevar água, uma bomba movimentada por cavalos, patenteada no ano seguinte. Em 1597, inventou um setor geométrico, o “compasso geométrico-militar”, instrumento matemático com várias escalas, usado especialmente para medir ângulos. Nessa época, explicou que o período de um pêndulo não depende de sua amplitude, e propôs teorias dinâmicas que só poderiam ser observadas em condições ideais. Escreveu o *Trattato di mechaniche*, que só foi impresso na tradução para o latim do padre Marino Mersenne, em 1634, em Paris.

Em 1604, observou a supernova de Kepler, apresentando em 1605 três palestras públicas sobre o evento, mostrando que a impossibilidade de medir-se a paralaxe indica que a estrela está além da Lua, e que, portanto, mudanças ocorrem no céu. Nessas palestras, Galileo considera esse evento uma prova

da teoria heliocêntrica de Copérnico. Em 1606, publica um pequeno trabalho, *Le operazioni del compasso geometrico militare*, e inventa o termoscópio, um termômetro primitivo.

Em maio de 1609, ele ouviu falar de um instrumento de olhar à distância que o holandês Hans Lippershey havia construído e, mesmo sem nunca ter visto o aparelho, construiu sua primeira luneta em junho, com um aumento de 3 vezes. Galileo se deu conta da necessidade de fixar a luneta, ou telescópio, como se chamaria mais tarde, para permitir que sua posição fosse registrada com exatidão. Até dezembro, construiu vários outros, o mais potente com 30X, e fez uma série de observações da Lua, descobrindo que esta tem montanhas. De 7 a 15 de janeiro de 1610, descobre os satélites de Júpiter, publicando, em latim, em 12 de março de 1610 o *Siderius Nuncius* (Mensagem celeste) com as descobertas do mesmo ano. Essa descoberta prova que, contrariamente à teoria de Aristóteles, existem corpos celestes que circundam outro corpo que não a Terra.

Em 8 de abril de 1610, Johannes Kepler recebe uma cópia do livro, com um pedido de Galileo por sua opinião. Em 19 de abril, Kepler envia-lhe uma carta, em suporte às suas descobertas, publicada em Praga, em maio, como “Conversações com o Mensageiro Celeste” e, depois, em Florença. O suporte de Kepler foi importante porque publicações de Martin Horky, Lodovico delle Colombe, e Francesco Sizi duvidavam das observações de Galileo. Kepler e os matemáticos do Colégio Romano eram reconhecidos como as autoridades científicas da época.

Já em julho, Galileo foi nomeado Primeiro Matemático da Universidade de Pisa, e Filósofo e Matemático do grão-duque da Toscana. Ainda em dezembro, Galileo verificou que Vênus apresenta fases como a Lua, tornando falso o sistema geocêntrico de Ptolomeu e provando que Vênus orbita o Sol.

A confirmação oficial das descobertas galileanas foi dada pelos poderosos padres jesuítas do Colégio Romano, que observaram os satélites de Júpiter por dois meses, em uma conferência solene realizada no Colégio, em maio de 1611, na presença de Galileo. Essa conferência foi intitulada *Nuncius sidereus Collegii Romani*, e apresentada pelo padre Odo van Maelcote.

Retornando a Florença, Galileo participou de reuniões no palácio do grão-duque Cósimo II, de Medici (1590-1621), em que se discutia sobre o fenômeno da flutuação e suas possíveis explicações; Galileo expôs e defendeu a tese de Arquimedes (Archimedes de Siracusa, ca. 287-ca. 212 a.C.), de que um corpo flutua pela diferença do peso específico do corpo e da água, à qual se alinhou o Cardeal Maffeo Barberini (1568-1644) (o futuro Papa Urbano VIII). Outros, como o Cardeal Federico Gonzaga, defendiam a tese de Aristóteles, de que

um corpo flutua porque dentro dele há o elemento aéreo, que tende a subir. Cósimo II propôs que os debatentes registrassem seus argumentos, e Galileo escreveu *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua o che in quella si muovono*, publicado em 1612. Em sua introdução, havia referência aos satélites de Júpiter e às manchas solares. Em 1613 a Academia del Lincei publica *Istoria e dimonstrazione intorno alle macchie solari e loro accidenti, comprese in tre lettere scritte all'illustrissimo Signor Marco Velseri Linceo, Duumviro d'Augusta, Consigliero di Sua Maestà Cesarea, dal Signor Galileo Galilei, Nobil fiorentino, Filosofo e Matematico primario del Serenissimo D. Cosimo II Gran Duca di Toscana* (História sobre as manchas solares), de Galileo, argumentando que a existência das manchas demonstrava a rotação do Sol.

Galileo havia juntado assim grande quantidade de evidências em favor da teoria heliocêntrica e escrevia em italiano para difundir ao público a teoria de Copérnico. Isso chamou a atenção da Inquisição, que, após um longo processo e o exame do livro de Galileo sobre as manchas solares, lhe dá uma advertência, na qual o Cardeal Roberto Bellarmino (1542-1621) lê a sentença do Santo Ofício de 19 de fevereiro de 1616, proibindo-o de difundir as idéias heliocêntricas. Em 5 de março de 1616, a Congregação do Índice colocou o *Des Revolutionibus* de Copérnico no Índice de livros proibidos pela Igreja Católica, junto com todos livros que defendem a teoria heliocêntrica. A razão da proibição é porque no Salmo 104:5 da Bíblia, está escrito: “Deus colocou a Terra em suas fundações, para que não se mova por todo o sempre”, além de referências similares no livro de Joshua.

Galileo se dedicou, então, a medir os períodos dos satélites de Júpiter, com a intenção de difundir seu uso para medir-se longitudes no mar, mas o método nunca foi usado no mar, por ser pouco prático, e só raramente em terra.

Em agosto de 1623, o cardeal Maffeo Barberini, amigo e patrono de Galileo, foi eleito papa e assumiu com o nome de Urbano VIII. Em abril de 1624, Galileo teve seis audiências com o papa, que o liberou a escrever sobre a teoria de Copérnico, desde que fosse tratada como uma hipótese matemática. Galileo inventou o microscópio em 1624, chamado por ele de *occhialini*.

Em abril de 1630, Galileo terminou seu *Dialogo di Galileo Galilei Linceo, dove ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano* (Diálogo dos dois mundos), e o enviou ao Vaticano para liberação para publicação. Recebendo autorização para publicá-lo em Florença, o livro saiu da tipografia *Tre Pesci* (Três Peixes)

em 21 de fevereiro de 1632. Note que Galileo não incluiu o sistema de Tycho Brahe, em que os planetas giram em torno do Sol, mas este gira em torno da Terra, o sistema de compromisso aceito pelos jesuítas. No Diálogo, Galileo defende o movimento diário e anual da Terra, e mostra como o sistema de Copérnico explica os fenômenos celestes, principalmente as fases de Vênus, que refuta o sistema de Ptolomeu. O livro não desenvolve detalhes matemáticos do sistema, como epiciclos, e nunca se refere às leis de Kepler. É escrito não em latim, mas em italiano, não tem apenas o carácter estritamente científico, mas também o de uma obra pedagógico-filosófica. O papa, que enfrentava grande oposição política na época, enviou o caso para a Inquisição, que exigiu a presença de Galileo em Roma, para ser julgado por heresia. Apesar de ter sido publicado com as autorizações eclesiásticas prescritas, Galileo foi intimado a Roma, julgado e condenado por heresia em 1633. Em 22 de junho de 1633, em uma cerimônia formal no convento dos padres dominicanos de Santa Maria de Minerva, lida a sentença proibindo o Diálogo, e sentenciando seu autor ao cárcere, Galileo, aos setenta anos, renega suas conclusões de que a Terra não é o centro do Universo e imóvel. A sentença ao exílio foi depois convertida a aprisionamento em sua residência, em Arcetri, onde permaneceu até sua morte.

Apesar de praticamente cego, completa o *Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, attinenti alla meccanica e I movimenti locali* (Discurso das duas novas ciências, Mecânica e Dinâmica), contrabandeado para a Holanda, pois Galileo havia sido também proibido de contato público e de publicar novos livros. O livro foi publicado em Leiden, em 1638, e trata das oscilações pendulares e suas leis, da coesão dos sólidos, do movimento uniforme, acelerado e uniformemente acelerado, e da forma parabólica das trajetórias percorridas pelos projéteis.

Faleceu em 8 de janeiro de 1642 em Arcetri, perto de Florença, e foi enterrado na Igreja da Santa Cruz, em Florença. Apenas em 1822 foram retiradas do Índice de livros proibidos as obras de Copérnico, Kepler e Galileo. Em 1979, o Papa João Paulo II ordenou um reexame do processo contra Galileo, e em 1992 a comissão papal reconheceu o erro do Vaticano o que eliminou os últimos vestígios de resistência, por parte da igreja Católica, à revolução copernicana.

Notas: O Sacro Império Romano, erigido como uma tentativa de reconstruir o Império Romano do Ocidente que decaiu entre o século V e VII, iniciou em 962 d.C., com a coroação do saxão Oto I pelo Papa João XII, em Roma. Frederico V de Habsburgo, eleito Imperador do Sacro Império Romano como Frederico III, reinou de 1440 a 1493. O império durou até

1806.

Em 1559, aparece o primeiro Índice dos Livros Proibidos e, depois de 1565, sob o Papa Pio V, funciona regularmente a Congregação do Índice.

O Papa Gregório XIII, inspirador do calendário Gregoriano, mandou construir, em 1567, um grande prédio especificamente para os Colégios Romanos, fundado por Santo Ignácio de Loiola em 1551, da Sociedade de Jesus.

Em 31 de outubro de 1517, o padre agostinho Martinho Lutero (1483-1546) afixa na porta do castelo eleitoral de Wittenberg as 95 proposições que condena o mercantilismo das indulgências, voltadas para o lucro material da Igreja.

A bula *Exsurge Domine*, de 15 de junho de 1520, condena 41 das proposições, e a bula *Decet Romanum Pontificem*, de 3 de janeiro de 1521, do Papa Leão X, excomunga Lutero, que, logo após, traduz o Novo Testamento para o alemão.

Por proposta de Ferdinando I, a Dieta de Spira (1529) dá aos príncipes católicos o direito de não permitir os luteranos em seus domínios, ao passo que os luteranos devem tolerar o catolicismo em seus Estados. Os luteranos protestam com veemência, datando daí o nome de “protestantes” como serão conhecidas.

A.5 Christiaan Huygens



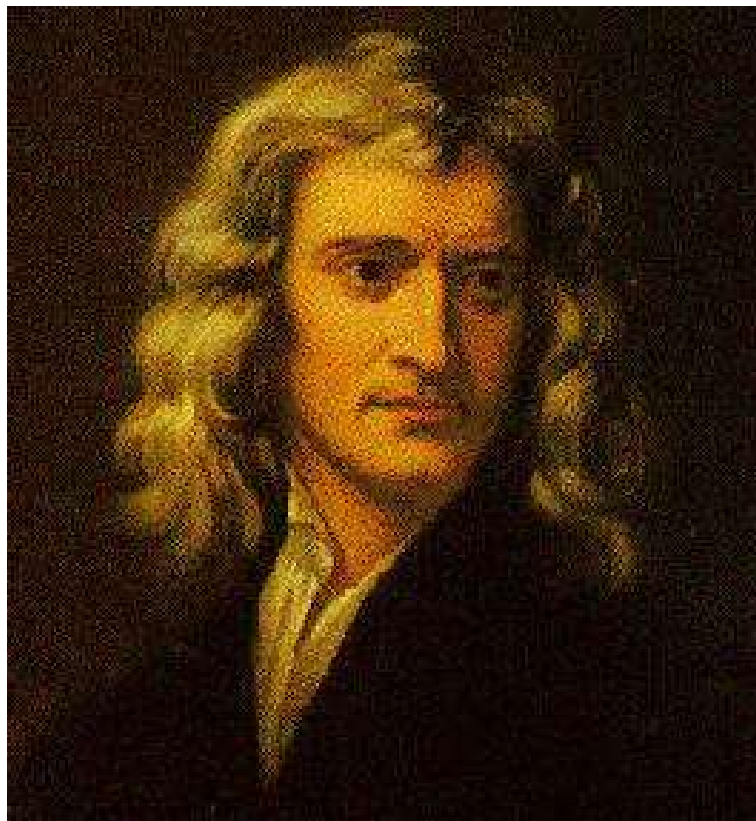
Christiaan Huygens, nasceu em 14 de abril de 1629 em The Hague, Holanda, e faleceu em 8 de julho de 1695, na mesma cidade. Estudou Direito e Matemática na Universidade de Leiden de 1645 a 1647, e de 1647 a 1649 no Colégio Orange, em Breda. Em 1654, descobriu uma nova maneira de polir lentes, tendo feito alguns dos melhores telescópios da época. Com eles, descobriu a forma dos anéis de Saturno, e seu satélite Titan. Em seu *Systema Saturnium* (1659), Huygens explica as fases e as mudanças de forma do anel. Foi o primeiro a usar relógios de pêndulos, patenteados por ele, em 1656, estimulado pela descoberta de Galileo de que para pequenas oscilações, o período T de um pêndulo não depende da amplitude. Descobriu que, nesse caso, $T = 2\pi\sqrt{\ell/g}$, onde ℓ é o comprimento do pêndulo, e g a aceleração da gravidade.

Investigou as leis da colisão, estabelecendo, nesse caso, a conservação do momentum linear. Formulou uma teoria ondulatória da luz, mas supondo ondas longitudinais. Viveu por longos períodos em Paris, colaborando na Academia Real de Ciências, com auxílio real.

No final de sua vida, compôs um dos primeiros trabalhos propondo a possibilidade de vida extraterrestre, publicado após sua morte como o *Cosmotheoros* (1698). Nesse livro, Huygens dizia ter a mesma opinião dos grandes filósofos de sua época, que consideravam o Sol da mesma natureza das

estrelas fixas. Tendo falhado ao tentar medir a paralaxe, procurou medir a distância relativa entre o Sol e Sírius, a estrela mais brilhante do céu e que, por isso, ele supôs a mais próxima, usando a diferença entre a luz de ambas que chega à Terra. Bloqueou a luz do Sol, deixando-a passar sucessivamente através de dois pequenos orifícios, até que parecesse com Sírius, e concluiu que Sírius estaria 27 664 vezes mais distante que o Sol (valor 26 vezes menor que o real, de 2,7 pc). A maior fonte de erro na medida de Huygens foi assumir que Sírius tem o mesmo brilho que o Sol.

A.6 Isaac Newton



A vida de Newton pode ser dividida em três períodos. O primeiro, sua juventude, de 1643 até sua graduação em 1669. O segundo, de 1669 a 1687, foi o período altamente produtivo em que ele era professor Lucasiano em Cambridge. O terceiro período viu Newton como um funcionário do governo bem pago em Londres, com pouco interesse pela matemática, mas atuante como presidente da Sociedade Real.

Isaac Newton nasceu em 4 de janeiro de 1643 (quase um ano depois da morte de Galileo) em Woolsthorpe, Lincolnshire, Inglaterra. Embora tenha nascido no dia de Natal de 1642, a data dada aqui é no calendário gregoriano, que adotamos hoje, mas que só foi adotada na Inglaterra em 1752. Newton veio de uma família de agricultores, mas seu pai, também chamado Isaac Newton (1606-1642), morreu antes de seu nascimento. Ele foi criado por sua avó, e não por sua mãe Hannah Ayscough (1623-1679). Um tio o enviou para o Trinity College, Cambridge, em Junho de 1661.

O objectivo inicial de Newton em Cambridge era o direito. Em Cambridge, estudou a filosofia de Aristóteles (384 a.C.-322 a.C.), Descartes (René Descartes, 1596-1650), Gassendi (Pierre Gassendi, 1592-1655), e Boyle (Robert Boyle, 1627-1691), a nova álgebra e geometria analítica de Viète (François Viète, 1540-1603), Descartes e Wallis (John Wallis, 1616-1703); a mecânica da astronomia de Copérnico e Galileo, e a óptica de Kepler o atraíram. O talento de Newton emergiu com a chegada de Isaac Barrow (1630-1677), para a cadeira Lucasiana de matemática em Cambridge.

Seu gênio científico despertou quando uma epidemia de peste fechou a Universidade no verão de 1665, e ele retornou a Lincolnshire. Só em Londres, a peste vitimou mais 70 000 pessoas. Lá, em um período de menos de dois anos, Newton, que ainda não tinha completado 25 anos, iniciou a revolução da matemática, óptica, física e astronomia.

Durante sua estada em casa, ele lançou a base do cálculo diferencial e integral, muitos anos antes de sua descoberta independente por Leibniz (Gottfried Wilhelm von Leibniz, 1646-1716). O “método dos *fluxions*”, como ele o chamava, estava baseado na descoberta crucial de que a integração de uma função é meramente o procedimento inverso da diferenciação. Seu livro *De Methodis Serierum et Fluxionum* foi escrito em 1671, mas só foi publicado quando John Colson o traduziu para o inglês, em 1736.

Com a saída de Barrow da cadeira Lucasiana em 1669, Newton, com apenas 27 anos, foi nomeado para sua posição, por indicação do anterior, por seus trabalhos em cálculo integral, em que Newton havia feito progresso em um método geral de calcular a área delimitada por uma curva.

O primeiro trabalho de Newton como professor Lucasiano foi em óptica. Ele havia concluído durante os dois anos de peste que a luz branca não é um entidade simples, como acreditavam todos desde Aristóteles. Embora o fato de que a luz solar produz várias cores ao passar por um prisma fosse conhecido, vigorava a concepção de Aristóteles de que as cores apareciam por modificação da luz, conforme *De Refractione*, publicado em Nápoles, em 1558, por Giambattista della Porta.

A aberração cromática (anéis coloridos em volta da imagem) de uma lente de telescópio convenceu Newton do contrário. Quando ele passava um feixe de luz solar por um prisma de vidro, um espectro de cores se formava, mas, ao passar a luz azul por um segundo prisma, sua cor não mudava.

Newton argumentou que a luz branca era, na verdade, uma mistura de diferentes tipos de raios que eram refractados em ângulos ligeiramente diferentes, e que cada tipo de raio diferente produz uma cor espectral diferente. Newton concluiu, erroneamente, que telescópios usando lentes refratoras so-

freriam sempre de aberração cromática. Ele, então, propôs e construiu um telescópio refletor, com 15 cm de comprimento.

Newton colocou um espelho plano no tubo, a 45° , refletindo a imagem para uma ocular colocada no lado. O telescópio de Newton gerava imagens nove vezes maior do que um refractor quatro vezes mais longo. Os espelhos esféricos construídos naquela época produziam imagens imperfeitas, com aberração esférica.

Newton foi eleito membro da Sociedade Real em 1672, após doar um telescópio refletor. Ainda em 1672, Newton publicou seu primeiro trabalho científico sobre luz e cor, no *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

Seu livro *Opticks* só foi publicado em 1704, tratando da teoria da luz e cor e com (i) investigações da cor em películas finas (ii) anéis de interferência de Newton e (iii) difração da luz.

Seu trabalho mais importante foi em mecânica celeste, que culminou com a Teoria da Gravitação Universal. Em 1666, Newton tinha versões preliminares de suas três leis do movimento. Ele descobriu a lei da força centrípeta sobre um corpo em órbita circular.

A idéia genial de Newton, em 1666, foi imaginar que a força centrípeta na Lua era proporcionada pela atração gravitacional da Terra.

Com sua lei para a força centrípeta e a terceira Lei de Kepler, Newton deduziu a lei da atração gravitacional.

Em 1679, Newton provou que a Lei das Áreas de Kepler é uma consequência da força centrípeta, e também que a órbita é uma elipse, para um corpo sob uma força central em que a dependência radial varia com o inverso do quadrado da distância ao centro.

Em agosto de 1684, Edmond Halley (1656-1742) visitou Newton para perguntar-lhe sobre as órbitas planetárias, e Newton afirmou que já havia resolvido o problema muitos anos antes, mas não encontrou a demonstração no momento. Após recebê-la, Halley decidiu persuadir Newton a escrever um trabalho completo sobre sua nova física e sua aplicação à Astronomia. Em menos de 2 anos, Newton tinha escrito os dois primeiros volumes do *Principia*, com suas leis gerais, mas também com aplicações a colisões, o pêndulo, projéteis, fricção do ar, hidrostática e propagação de ondas. Somente depois, no terceiro volume, Newton aplicou suas leis ao movimento dos corpos celestes. Em 1687, é publicado o *Philosophiae naturalis principia mathematica* ou *Principia*, como é conhecido.

O *Principia* é reconhecido como o mais importante livro científico já escrito. Newton analisou o movimento dos corpos em meios resistentes e não-resistentes sob a ação de forças centrípetas. Os resultados eram aplicados

a corpos em órbita, e queda livre perto da Terra. Ele também demonstrou que os planetas são atraídos pelo Sol pela Lei da Gravitação Universal e generalizou que todos os corpos celestes atraem-se mutuamente.

Newton explicou uma ampla gama de fenômenos até então não-correlatos: a órbita excêntrica dos cometas; as marés e suas variações; a precessão do eixo da Terra e o movimento da Lua perturbado pela gravidade do Sol.

Newton já explicava que o movimento de três corpos sob uma força central só pode ser resolvido por aproximação, que a Lei da Gravitação Universal trata os corpos como pontos, e que os planetas não são pontos, nem ao menos esféricos, que o movimento das marés introduz perturbações no cálculo das órbitas, as quais precisam ser calculadas por aproximações.

Depois de sofrer um colapso nervoso, em 1693, Newton abandonou a pesquisa para uma posição no governo em Londres, tornando-se guardião da Casa da Moeda Real (1696) e mestre (1699).

Em 1703, foi eleito presidente da Sociedade Real, e foi reeleito a cada ano até sua morte. Foi agraciado com o título de cavaleiro (*Sir*), em 1708, pela Rainha Anne, o primeiro cientista a receber essa honra.

Morreu em 31 de março de 1727, em Londres, Inglaterra.

A.7 Gian Domenico Cassini



Gian (Giovanni) Domenico Cassini nasceu em 8 de junho de 1625, em Perinaldo, República de Gênova, atual Itália, e faleceu em 14 de setembro de 1712, em Paris, França. Estudou no colégio jesuíta em Gênova, e no seminário de San Fructuoso. De 1648 a 1669, Cassini observou o céu no Observatório Panzano e, em 1650, tornou-se professor de astronomia na Universidade de Bologna. Foi convidado por Luis XIV para ir para Paris em 1669, onde tornou-se o diretor do Observatoire de Paris, e cidadão francês, nunca retornando à Itália.

Descobriu quatro satélites de Saturno, Iapetus (1671), Rhea (1672), Tethys e Dione (1684), a divisão dos anéis de Saturno, conhecida como a separação Cassini, produziu um grande mapa da Lua e refinou as tabelas dos satélites de Júpiter.

Seus descendentes, também astrônomos, mantiveram-se na França.

A.8 Edmond Halley



Edmond Halley² nasceu em (29 out 1656 no calendário juliano) 8 de novembro de 1656, em Haggerston, Shoreditch, Inglaterra e faleceu em 14 de janeiro de 1742, em Greenwich, Inglaterra. Interrompeu seus estudos em Oxford, em 1676, para catalogar 350 estrelas no Hemisfério Sul e observar o trânsito de Mercúrio pelo disco solar, passando 2 anos na ilha de Santa Helena, no Atlântico, 1200 milhas a oeste da África (lat=-16 graus), financiado por seu pai, também chamado Edmond Halley, um rico mercador de sabão e sal. Nesta estada ele observou as “duas nebulosas” próximas da Via Láctea, as Nuvens de Magalhães. Retornando à Inglaterra em 1678, publicou seu catálogo de 341 estrelas austrais (*Catalogus Stellarum Australium*, 1679), conectando suas observações com as estrelas do hemisfério norte catalogadas por Giovanni Domenico Cassini (1646-1719) em Paris, Johannes Hevelius (Höfelcke) (1611-1687) em Danzig e John Flamsteed (166-1719), o primeiro astrônomo real inglês. Realizou seus exames em Oxford e, em 29 de julho de 1680, foi eleito para a *Royal Society*.

O cometa brilhante que apareceu em 1664 foi observado por Adrien Auzout (1622-1691) no Observatoire de Paris, Huygens na Holanda, Hevelius em Danzig, e Robert Hooke (1635-1703) na Inglaterra. Qual seria sua órbita?

²No prefácio do *Principia* de Newton, consta Edmund Halley, bem como em muitas enciclopédias, mas as referências atuais são para Edmond Halley, como o livro *Edmond Halley*, de Alan Cook, chefe do Departamento de Física da Universidade de Cambridge, 1998.

Tycho Brahe tinha suposto circular, Kepler dizia que era em linha reta, com curvatura devida à órbita da Terra. Hevelius propôs que fosse elíptica. Em 1665, o francês Pierre Petit, em seu *Dissertação sobre a natureza dos cometas* propôs pela primeira vez que suas órbitas fossem fechadas, e que os cometas de 1618 e 1664 poderiam ser o mesmo cometa.

Halley observou um cometa brilhante em novembro de 1681 em Londres e especulou sobre o problema da gravitação em relação aos cometas. Sem conseguir resolver o problema, em agosto de 1684 ele o propôs a Newton. Newton disse que já o havia resolvido o problema muitos anos antes, e que todos os movimentos no sistema solar poderiam ser explicados pela lei da gravitação. Um cometa na constelação de Virgem, em 1680, tinha uma órbita claramente curva. Em menos de 2 anos, Newton tinha escrito os dois primeiros volumes do *Principia*. No terceiro volume, Newton aplicou suas leis ao movimento dos corpos celestes, inclusive de cometas. Foi graças ao esforço de Halley que o *Principia* foi publicado. Halley chegou a custear a impressão do mesmo, apesar de problemas judiciais com a herança de seu pai e de que Newton era rico. Halley também cuidou da discussão com o impressor, da correção das provas, da verificação dos diagramas e dos cálculos.

Em 1695 Halley computa a órbita dos cometas usando a teoria de Newton, incluindo o efeito dos grandes planetas Júpiter e Saturno nas órbitas elípticas e encontrou que o cometa de 1682, que mais tarde levaria o nome de Halley, tinha um período de 67 anos e tinha sido observado em 1531 e 1607. Em 1705 ele publicou o *Synopsis of the Astronomy of Comets*, prevendo que o cometa deveria reaparecer em 1758, como de fato foi observado.

Halley foi nomeado professor Savilian de geometria em Oxford em 1704. Em 1720, foi o sucessor de John Flamsteed (1646-1719) como astrônomo real. No Greenwich Observatory, usou o primeiro instrumento de trânsito e estabeleceu um método para determinar a longitude no mar usando observações lunares. Halley foi quem descobriu o cúmulo globular em Hércules e, em 1718, detectou o movimento próprio das estrelas (movimento intrínseco das estrelas no plano do céu). Produziu um estudo intensivo do magnetismo terrestre, das marés e correntes e fez avanços na compreensão de fenômenos meteorológicos. A primeira descrição do ciclo de evaporação, formação de nuvens, precipitação, e evaporação é sua. Iniciou um programa sistemático para a determinação precisa da distância da Terra ao Sol usando o trânsito de Mercúrio pelo disco solar.

