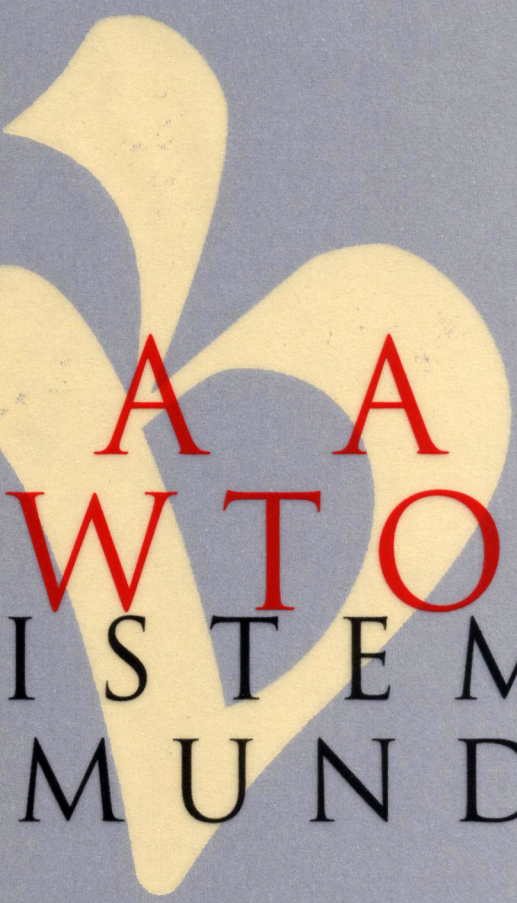


PRÓLOGO CARLOS PAJARES VALES  
TRADUCCIÓN JOSÉ MANUEL DÍAZ DE BUSTAMANTE



I S A A C  
N E W T O N  
O S I S T E M A  
D O M U N D O

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA  
F U N D A C I Ó N B B V A

O SISTEMA  
DO MUNDO

CLÁSICOS DO  
PENSAMENTO UNIVERSAL

NÚM. 5

**Colección dirixida por**

DARÍO VILLANUEVA

**Comité Científico**

---

CARLOS BALIÑAS FERNÁNDEZ

*Facultade de Filosofía*

LUIS CONCHEIRO CARRO

*Facultade de Medicina*

RAMÓN MÁIZ SUÁREZ

*Facultade de Ciencias Políticas*

ANTÓN SANTAMARINA FERNÁNDEZ

*Facultade de Filoloxía*

JOSÉ SORDO RODRÍGUEZ

*Facultade de Farmacia*

PRÓLOGO CARLOS PAJARES VALES  
TRADUCCIÓN JOSÉ MANUEL DÍAZ DE BUSTAMANTE

I S A A C  
N E W T O N  
O S I S T E M A  
D O M U N D O

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA  
FUNDACIÓN BBVA



Esta obra atópase baixo unha licenza internacional Creative Commons BY-NC-ND 4.0. Calquera forma de reprodución, distribución, comunicación pública ou transformación desta obra non incluída na licenza Creative Commons BY-NC-ND 4.0 só pode ser realizada coa autorización expresa dos titulares, salvo excepción prevista pola lei. Pode acceder Vde. ao texto completo da licenza nesta ligazón: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.gl>

Esta obra se encuentra bajo una licencia internacional Creative Commons BY-NC-ND 4.0. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra no incluida en la licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 solo puede ser realizada con la autorización expresa de los titulares, salvo excepción prevista por la ley. Puede Vd. acceder al texto completo de la licencia en este enlace: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

This work is licensed under a Creative Commons BY NC ND 4.0 international license. Any form of reproduction, distribution, public communication or transformation of this work not included under the Creative Commons BY-NC-ND 4.0 license can only be carried out with the express authorization of the proprietors, save where otherwise provided by the law. You can access the full text of the license at <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

© DA PRESENTE EDICIÓN  
Universidade de Santiago de Compostela, 2004  
Fundación BBVA, 2004

DISEÑO DA COLECCIÓN  
Barro, Salgado, Santana [Grupo Revisión Deseño]

MAQUETACIÓN  
Imprenta Universitaria

EDICIÓN TÉCNICA  
Servizo de Publicacións e Intercambio Científico  
Campus Vida  
15782 Santiago de Compostela  
[usc.es/publicacions](http://usc.es/publicacions)

DOI: <https://dx.doi.org/10.15304/pu.2022.30>

# ÍNDICE

- 9      PRÓLOGO  
por Carlos Pajares Vales
- 9      Introducción: Newton e os *Principios matemáticos da Filosofía natural*
- 13     Precursores de Newton
- 18     Revolución científica e revolución industrial
- 28     Influencia de Newton nas ciencias sociais
- 30     Newton, primeiro gran unificador. A beleza na ciencia
- 41     O SISTEMA DO MUNDO  
Traducción de José Manuel Díaz de Bustamante
- 43     Nota do traductor
- 133    Escolio Xeral
- 139    Notas á traducción
- 147    Glosario
- 151    Láminas

## **Introducción: Newton e os *Principios matemáticos da Filosofía natural***

Entre os autores e as obras máis importantes e influentes de toda a historia da humanidade encóntrase indubidablemente sir Isaac Newton e os seus *Philosophiae naturalis Principia mathematica* (Londres, 1687). Nesta magna obra, o libro III, *De mundi systemate*, aparece nunha versión modificada porque o seu autor considerou que a redacción orixinal do libro –rematada probablemente antes dos dous primeiros– non cadraba ben coa natureza do resto da obra. En 1728 –un ano despois da morte do sabio– *De mundi systemate* foi editado como libro independente e na súa redacción orixinal, obra que hoxe presentamos na súa tradución ó galego, baixo o título *O sistema do mundo*.

Hai pouco tempo, o escritor norteamericano Michael Hart preguntábase qué persoeiros tiveron maior impacto sobre a humanidade polas súas obras e accións. Para responder a esa pregunta non fixo enquisas, nin xuízos de valor, senón que intentou avaliar os efectos producidos por estes persoeiros e maila súa influencia sobre a vida dos homes e mulleres do planeta, medida pola intensidade e duración no tempo e pola extensión xeográfica dos cambios producidos pola súa obra. Na lista dos primeiros 25 aparecen sete dirixentes relixiosos: Xesús, Mahoma, Confucio, Buda, San Paulo, Moisés, e Lutero; acompañados por trece científicos e inventores encabezados por Newton, ó que lle seguen Tsai Lun (inventor do papel), Gutenberg, Einstein, Pasteur, Galileo, Euclides, Darwin, Copérnico, Lavoisier, Watt, Faraday e Maxwell. A lista complé-

tase con Aristóteles, o emperador chinés Shih Huang Ti, Constantino, Cristóbal Colón e o emperador Augusto. Como tódalas clasificacións, a lista é discutible, e algúns podemos lamentar a ausencia de persoas do gremio dos artistas, coma Cervantes, Shakespeare, Velázquez, Rembrandt, Bach, Mozart ou Beethoven, que sen lugar a dúbidas influíron na configuración da sociedade occidental e na súa civilización tal como a coñecemos. É necesario subliñar que non aparecen persoeiros coma Napoleón ou Marx que tiveron unha innegable influencia, aínda que, se cadra, menor en comparación cos 25 sinalados.

Tampouco sae mal parado Newton nunha enquisa realizada hai anos pola BBC na que se preguntaba polo británico máis importante do milenio. Os seus actuais paisanos colocárono en quinto posto, superado por Shakespeare, Winston Churchill, Darwin e Nelson.

Estes dous exemplos son unha mostra do recoñecemento popular da importancia da obra de Newton na historia da humanidade. Isto, sen embargo, está en aparente contradicción con outros dous feitos: que a principal obra de Newton se traducise tan pouco e de xeito tan tardío, e que se cuestione a relación entre a revolución científica xerada por Newton e a industrial, que comeza simultaneamente no Reino Unido.

Empezando polo máis próximo, a primeira tradución ó castelán é de 1982<sup>1</sup>. Noutras palabras, tiveron que pasar case tres séculos dende a primeira edición, de 1687, dos *Principios matemáticos da Filosofía natural*. Unha vez máis, na década dos oitenta do século XX facíanse en España cousas que se deberan ter feito décadas e mesmo séculos antes. Sen embargo, o feito de terse traducido tan tarde non é, polo menos única e exclusivamente, consecuencia do atraso científico nin do atra-

<sup>1</sup> Isaac Newton. *Principios matemáticos de la Filosofía natural*. Editora Nacional, Madrid, 1982. Edición, introducción e notas de Antonio Escohotado.





Isaac Newton

so da entrada da revolución industrial en España: este fenómeno deuse tamén nas traducións a moitas outras linguas.

A primeira edición foi realizada pola Royal Society, que lla encomendou ó famoso astrónomo Edmund Halley, quen dedicou a Newton unha oda coa que comeza a obra. A tiraxe foi de trescentos ou catrocentos exemplares. Nos anos seguintes creceu a fama de Newton en Europa, especialmente no seu país, e empezaron a escasear os exemplares da primeira edición. Isto, xuntamente coa necesidade de perfeccionar algúns aspectos, facía necesaria unha nova edición. Foron as peticións do *master* do Trinity College de Cambridge, o teólogo Richard Bentley, e do xove matemático Roger Coton as que convenceron a Newton de revisar en profundidade a súa obra. Así, en 1713 aparece a segunda edición, cunha tiraxe de setecentos exemplares, que se esgotaron en meses, e en 1714 e 1723, dúas reimpresións feitas en Amsterdam. Tódalas recensións que apareceron da segunda edición de Newton foron eloxiosas. Mesmo a revista *Journal de Savants*, que fora moi crítica trala aparición da primeira edición, xa non o foi despois da segunda. Non embargantes, algunha recensión aínda lle pon reparos. Malia a súa avanzada idade e decadencia física —Newton tiña xa 71 anos cando aparece a segunda edición— decide facer unha terceira, coa colaboración do médico Henry Penberton, que se dedicara ás matemáticas e, coma Newton, era crítico coa dinámica de Leibniz. A edición, de 1250 exemplares, apareceu en 1727, ano do pasamento de Newton. A primeira tradución ó inglés é realizada por Motte en 1729, seguida da francesa de Madame de Châtellet, con prólogo de Voltaire. Despois viñeron a alemana, de J. Ph Wolfers, en 1872, a rusa, de A. N. Krilov, en 1916 e xa ben metidos no século XX apareceron a sueca, a xaponesa, a romanese e a italiana.

Sen embargo, a falla de traducións non significa que os seus contidos e conceptos non fosen amplamente coñecidos e difundidos. Como di Eschotado no prólogo da súa tradución ó cas-

telán, *ningunha obra tan fundamental sufriu en grao semellante o destino dunha influencia tan abafante e unha completa falla de presenza física*. Hai que recoñecer que o texto non é un manual recomendable. Son moitas as proposicións e teoremas que nos obrigan a acudir a outros manuais de mecánica e de astronomía máis curtos, algúns deles asinados por grandes nomes, coma Lagrange<sup>2</sup> ou Laplace<sup>3</sup>.

## **Precusores de Newton**

O movemento é un fenómeno físico accesible á gran maioría dos homes e por iso o intento de comprendelo en maior ou menor medida, aparece en tódalas culturas. Este coñecemento foi evolucionando a través dos tempos ata chegar á gran síntese de Newton.

Aristóteles distinguía o mundo celeste, inalterable, e o mundo sublunar, no que se daban os movementos naturais e os movementos violentos. Os movementos naturais suceden de acordo coa natureza dos elementos que interveñen; así o fume ascende e as pedras caen porque tenden ó seu sitio natural de onde proceden. Pola contra, os movementos violentos requiren un motor, e a velocidade é proporcional ó motor e inversamente proporcional á resistencia. Rexeita por esta causa a existencia do baleiro pois se existise non tería resistencia e a velocidade sería infinita, o que é absurdo. Canto ó movemento de proxectís, Aristóteles sostiña que unha vez lanzados, o seu movemento debíase ó motor do aire que os empurraba por detrás. Estas ideas, con algunhas modificacións e achegas de Filopono de Alexandría no século VI, Avicena no XI, Averroes no XII e Buridán e Oresme no XIV, chegaron ó século XV xunto co pensamento escolástico.

<sup>2</sup> J. L. Lagrange. *Mecanique Analytique*, 1788.

<sup>3</sup> P. S. Laplace. *Oeuvres completes* (ed. P. Puiseaux e J. Hoüel), 14 vols., Paris 1878-1912.

No século XVI, un catedrático de Salamanca, o famoso dominico Domingo de Soto<sup>4</sup> (1474-1560), descobre que a velocidade de caída dos corpos aumenta linealmente co tempo transcorrido e non co espazo recorrido como se cría. Na notación dos nosos días  $v=gt$ . No mesmo século, Nicolás Copérnico (1473-1543), considerado por algúns o último astrónomo antigo e o primeiro moderno por outros, establece o sistema planetario heliocéntrico<sup>5</sup>, e o danés Tycho Brahe (1546-1601), establecido en Praga, realiza toda unha serie de observacións astronómicas exhaustivas e moi precisas para teren sido feitas sen telescopio. Estas observacións permitiron ó alemán Johannes Kepler (1571-1630) establecer as súas tres famosas leis. Coetáneo de Kepler, Galileo Galilei (1564-1642), coñecido pola súa defensa do sistema planetario copernicano, fixo contribucións decisivas ó desenvolvemento da mecánica, publicadas nos seus *Discorsi*<sup>6</sup>. Neles Galileo presenta os conceptos de velocidade e aceleración e as leis de caída dos graves. Tamén demostra que a traxectoria dos proxectís é parabólica descompoñendo o movemento nun horizontal de velocidade constante. A primeira lei de Newton, o principio de inercia, non aparece formulada especificamente en ningunha das partes dos *Discorsi* de Galileo, aínda que dito principio se deduce directamente do seu xeito de comprender o movemento. Sen embargo, non logra relacionar unha dinámica baseada en graves cunha dinámica da gravitación. Este é o gran salto dado por Newton.

Galileo rexeita ideas sobre a atracción entre corpos anteriores a Newton, como as expresadas por Gilbert e o mesmo Kepler. Este último intuía que algunha forza de carácter magnético e proveniente do sol, mantiña os planetas nas súas órbi-

<sup>4</sup> D. de Soto. *Super octo libros physicorum Aristotelis questiones*, 1545.

<sup>5</sup> N. Copérnico. *De revolutionibus orbium coelestium*, 1543.

<sup>6</sup> G. Galilei. *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali*, 1638.

tas e, probablemente, daría conta das súas tres leis. Para Galileo a gravidade é un misterio ou un dato de sentido común, pero non un concepto físico. O seu rexeitamento á obra de Kepler ten a súa orixe nesta concepción.

A lei de inercia foi formulada por Descartes (1596-1650) contra o ano 1630 –anos antes, por tanto, dos *Discorsi* de Galileo–, aínda que foi publicada despois da súa morte, se cadra por medo do seu autor á Inquisición que o levou a atrasar a súa publicación.

A lei fundamental da dinámica, e segunda lei de Newton, tampouco é estrictamente orixinal, e foi formulada implicitamente por Huygens (1625-1695), quen chegou a obter a expresión da forza centrífuga e intentou explicar as leis de Kepler igualando dita forza a unha certa atracción cara ó sol. Sen embargo non clarificou o carácter e comportamento desa atracción.

Quen si estivo moito máis preto de dilucidar dita atracción foi Robert Hooke (1635-1703), poñente e logo secretario da Royal Society. En 1674 publicou *Attempt to prove the Motion of the Earth by Observation*, no que describe un sistema do mundo baseado na atracción entre o sol e tódolos planetas, así coma entre eles, e afirma que *esas forzas de atracción son tanto máis poderosas canto que o corpo sobre o cal actúan estea máis próximo ós seus propios centros. Ata o momento non verifiquei de modo experimental o valor desta proposición...* As relacións de Hooke con Newton foron intempestivas. Comezan en 1672 cuns comentarios críticos daquel a unha memoria científica presentada por Newton á Royal Society. En 1674, a partir da publicación da obra, Hooke intercambia varias cartas. Nunha delas, datada o 6 de xaneiro de 1680, Hooke di: *Supoño que a atracción é sempre inversamente proporcional ó cadrado da distancia*. Once días despois, na súa última carta, Hooke pídelle a Newton colaboración para calcular a curva xerada por unha forza inversamente proporcional ó cadrado da distancia. Esta carta non tería resposta e, sete anos despois, cando se publican os *Principios*, non

PHILOSOPHIÆ  
NATURALIS  
PRINCIPIA  
MATHEMATICA.

Autore *J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos  
Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.*

IMPRIMATUR.  
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.  
*Julii 5. 1686.*

LONDINI,  
*Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostant Venales apud Sam. Smith ad insignia Principis Walliæ in Cœmiterio D. Pauli, aliosq; nonnullos Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.*

Cuberta e portada interior da primeira edição dos *Principios matemáticos da Filosofia natural* (1687).

ILLUSTRISSIMÆ  
SOCIETATI REGALI  
a Serenissimo  
REGE CAROLO II  
AD  
PHILOSOPHIAM PROMOVENDAM  
FUNDATÆ  
ET AUSPICIIS  
POTENTISSIMI MONARCHÆ  
JACOBI II.  
FLORENTI

Tractatum hunc humillime *D. D. D.*

*J. S. NEWTON.*

hai mención a Hooke nin ós seus descubrimentos. Hooke tentou reclamar o recoñecemento do seu éxito coma inspirador directo dos principios.

O orgullo e a vaidade, neste caso, de Newton non lle permitiron recoñecer os innegables méritos de Hooke, pero é certo que Hooke non tivo nin a potencia de cálculo de Newton –o cálculo infinitesimal que inventa este para poder calcular as órbitas– nin tampouco a capacidade para relacionar e unir cousas aparentemente diferentes. Nunha noite da primavera de 1726, o ancián Newton sítense con paz ó lado do arqueólogo e médico Stukeley, quen relata

contoume que estaba na mesma situación que cando se lle veu á mente o concepto de gravitación. A causa foi a caída dunha mazá, mentres estaba caviando co ánimo contemplativo. ¿Por qué había de caer sempre en perpendicular cara ó chan esa mazá?... Con certeza a razón é que a Terra atrae á mazá. Ten que haber unha forza atractiva na materia; e a suma do poder atractivo da materia terrestre debe estar no centro da Terra, non noutro lado. Por eso cae perpendicularmente, e cara ó centro esta mazá. Existe un poder, como o aquí chamado gravitación que se estende a través do universo<sup>7</sup>.

## **Revolución científica e revolución industrial**

A influencia de Newton como cabeza da revolución científica xamais se pon en dúbida; discútese, porén, que a revolución industrial estivese implícita nesta revolución científica. As influencias da termodinámica e as máquinas térmicas presén-

<sup>7</sup> Citado por A. Escohotado, *op. cit.*



tanse coma paradigma das relacións da ciencia coa tecnoloxía e a sociedade, concluíndose que ás veces se pode facer tecnoloxía e innovación sen respaldo dunha ciencia básica<sup>8</sup>.

Baseándose nunha observación moi superficial do desenvolvemento tecnolóxico das industrias téxtil e mineira, algúns historiadores negan calquera influencia do coñecemento científico sobre tal desenvolvemento. Esta é a actitude, por exemplo, de D. S. Landes<sup>9</sup> e de A.R. Hall e M. B. Hall<sup>10</sup>. O primeiro afirma que *a pesar dos múltiples esforzos para relacionar a revolución industrial coa revolución científica dos séculos XVII e XVIII esta relación parece ser moi difusa [...] seica foi o progreso do coñecemento científico o que debeu moito ós esforzos e logros da tecnoloxía; o fluxo das ideas e métodos noutra dirección foi moito menor e seguirá así ata ben entrado o século XIX*. Para A. R. e M. B. Hall, pola súa parte, *non é que os grandes descubrimentos dos físicos matemáticos estivesen simplemente nas cabezas dos enxeñeiros prácticos: é que carecían de calquera utilidade para eles [...] A concepción dos científicos de cómo perfeccionar a práctica artesanal rara vez era realista [...] O nacemento da tecnoloxía moderna coa chamada revolución industrial do século XVIII e comezos do XIX non debeu practicamente nada á ciencia e, pola contra, todo ós logros da tradición artesanal*. De acordo con todos estes historiadores, revolución científica e revolución industrial foron dous procesos independentes e a práctica artesanal resultaría máis fructífera cás grandes ideas dos científicos, empezando por Newton.

<sup>8</sup> A. Elena, J. Ordoñez y M. Colubi: *Después de Newton: Ciencia y Sociedad durante la Primera Revolución Industrial*. Edit Anthropos, Rubí (Barcelona), 1998.

<sup>9</sup> D. S. Landes. *The Unbound Prometheus*, Cambridge University Press, Cambridge 1969.

<sup>10</sup> A. R. Hall e M. B. Hall. *A Brief History of Science*, Londres 1964.

Pola contra, outros historiadores como A. E. Musson, E. Robinson<sup>11</sup>, A. Thackray<sup>12</sup>, e D. S. L. Cardwell<sup>13</sup> teñen unha opinión ben diferente. Citando textualmente ós dous primeiros *os desenvolvementos científicos e tecnolóxicos do século XVIII non foron en absoluto independentes e a revolución industrial foi tamén un movemento intelectual*. Na súa opinión, a fonte de moitos equívocos sobre o particular é a consideración da ciencia pura dende a perspectiva do século XX. Isto leva a negar o carácter científico dos intereses tecnolóxicos e industriais do século XVIII por seren empíricos e fragmentarios. Pero, en efecto, *para os filósofos naturais do século XVIII [...] a distinción entre ciencia “pura” e “aplicada” sinxelamente non existía*.

Como observa A. Thackray, *de feito, un dos máis obvios, característicos e descoñecidos aspectos da revolución industrial é a convicción xeral e inquebrantable dos seus líderes de que os seus éxitos se debían ó progreso e a adecuada aplicación da ciencia*, ou como di D. S. Carwell, *un enxeñeiro precisa dunha mentalidade eminentemente mecánica, así como das chamadas forzas mecánicas... Debe aprender, así mesmo, matemáticas e debuxo, sendo absolutamente necesario que domine todo isto perfectamente*.

Sen embargo, se os artífices desta primeira revolución non eran heroicos ferreiros dotados de habelencias mecánicas singulares, senón persoas que tiñan contacto directo e indirecto coa ciencia do seu tempo, ¿como puideron chegar a ter eses coñecementos e como se lles transmitiron esas ideas, se non había centros de formación técnica e tampouco había contactos universitarios? Dende logo, mediando o século XVIII podíase

<sup>11</sup> A. E. Musson, E. Robinson. *Science and Technology in the Industrial Revolution*, Manchester University Press, Manchester 1969

<sup>12</sup> A. Thackray. “Science and Technology in the Industrial Revolution”, *History of Science*, IX (1970), p. 77.

<sup>13</sup> D. S. L. Cardwell. *Science, Technology and Industry on The Ferment of Knowledge. Studies in the Historiography of Eighteenth-Century Science*, Cambridge University Press, Cambridge 1980.

constatar no Reino Unido que estaba en marcha a revolución industrial e que os ingleses eran os constructores de múltiples máquinas e invencións que axiña chegaban ó continente europeo. ¿Como era isto posible se os constructores non pisaron unha aula universitaria?

Fundamentalmente, a transmisión de coñecementos realizouse por medio de multitude de sociedades e asociacións que xorden no Reino Unido, conxuntamente co labor de popularización e divulgación científica que realizaron os discípulos de Newton, beneficiándose dos cambios económicos, industriais e sociais que se estaban a dar na sociedade británica. A gran institución do país, a Royal Society de Londres, tivo un papel activo, pero non foi un caso illado: a Luar Society de Birmingham, a Manchester Literary and Philosophical Society, a Derby Philosophical Society, Bristol, Leeds, Liverpool, Newcastle, etc. foron sedes de importantes sociedades «filosóficas».

Na actividades destas sociedades filosóficas as relacións entre ciencia e técnica eran determinantes. Nelas investigábase, por exemplo, sobre máquinas mecánicas, canais, metalurxia, química industrial, minería, etc. Estas institucións estaban totalmente inmersas na sociedade á que pertencían. Habíaas pequenas, situadas en vilas nas que practicamente cada familia tiña algún membro dentro. As sociedades eran moi activas e algunhas contaban cos persoeiros máis prestixiosos entre os seus membros. Por exemplo, James Watt, Joseph Priestley e Erasmus Darwin pertencían á Luar Society. Todas estas ensinanzas e movementos non acadarían tal éxito de non se desenvolveren nunha sociedade que experimentaba unha profunda transformación política e económica<sup>14</sup>. De novo, é coma un círculo pechado. Se non existiran Newton e os seus seguidores,

<sup>14</sup> A. Elena e J. Ordóñez. "De la revolución científica a la revolución industrial: la dimensión tecnológica del newtonianismo". Incluído en A. Elena, J. Ordóñez e M. Colubi, *op cit.*

---

I N  
VIRI PRÆSTANTISSIMI  
D. ISAACI NEWTONI  
OPUS HOCCE  
MATHEMATICO-PHYSICUM

*Seculi Gentisque nostræ Decus egregium.*

**E**N tibi norma Poli, & divæ libramina Molis,  
Computus atque Jovis; quas, dum primordia rerum  
Pangeret, omniparens Leges violare Creator  
Noluit, æternique operis fundamenta fixit.  
Intima panduntur victi penetralia cæli,  
Nec latet extremos quæ Vis circumrotat Orbem.  
Sol folio residens ad se jubet omnia pronò  
Tendere descensu, nec recto tramite currus  
Sidereos patitur vastum per inane moveri;  
Sed rapit immotis, se centro, singula Gyris.  
Jam patet horrificis quæ sit via flexa Cometis;  
Jam non miramur barbati Phænomena Astris.  
Discimus hinc tandem qua causa argentea Phœbe  
Passibus haud æquis graditur; cur subdita nulli  
Hactenus Astronomo numerorum frana recuset:  
Cur reneant Nodi, curque Auges progrediuntur.  
Discimus & quantis refluxum vaga Cynthia Pontum  
Viribus impellit, dum fractis fluctibus Ulvam

Deserit

Oda de Edmund Halley a Newton na primeira edição dos *Principios Matemáticos da Filosofia Natural*.

Deferit, ac Nauris suspectas nudat arenas;  
Alternis vicibus suprema ad littora pulsans.  
Quæ tories animos veterum torfere Sophorum,  
Quæque Scholas frustra rauco certamine vexant  
Obvia conspicimus nubem pellente Mathesi.  
Jam dubios nulla caligine prægravat error  
Quæis Superum penetrare domos atque ardua Cæli  
Scandere sublimis Cœnii concessit æcumen.

Surgite Mortales, terrenas mittite curas  
Atque hinc cœligenæ vires dignoscite Mentis  
A pecudum vita longe lateque remota.  
Qui scriptis iussit Tabulis compescere Cades  
Furta & Adulteria, & perjuræ crimina Fraudis;  
Qui ve vagis populis circumdare mœnibus Urbes  
Autor erat; Ceresisve beavit munere gentes;  
Vel qui curarum lenimen prestavit ab Uva;  
Vel qui Niliaca monstravit arundine pictos  
Confociare sonos, oculisque exponere Voces;  
Humanam sortem minus extulit; utpote pauca  
Respiciens miseræ solummodo commoda vitæ.  
Jam vero Superis convivere admittimur, alti  
Jura poli tractare licet, jamque abdita cœcæ  
Claustra patent Terræ, rerumque immobilis ordo,  
Et quæ præteriti latuerunt sæcula mundi.

Talia monstrantem mecum celebrate Camænis,  
Vos qui cœlesti gaudetis nectare vesci,  
NEWTONUM claustriferantem scrinia Veri,  
NEWTONUM Mulis charum, cui peccatore puro  
Phœbus adæst, totoque incessit Numine mentem:  
Nec fas est propius Mortali attingere Divos.

EDM. HALLEY.

PHILO-

probablemente non se tería producido unha transformación tan radical e rápida. Pero tamén é certo que de non se teren dado certas transformacións sociais e económicas sería difícil que xurdira un Newton. As relacións da ciencia, a tecnoloxía e a sociedade poucas veces son lineais, formando, pola contra, un tecido complexo, no que se poden establecer nodos claves. Newton foi clave para aglutinar moitas ideas que flotaban na atmosfera da sociedade británica, así como para asumir e sintetizar ideas de insignes predecesores como Kepler e Galileo e, de xeito maxistral, elaborar e crear os seus principios, que transformaron o mundo.

Hai un detalle na biografía de Newton que ilustra o espírito da época. Isaac Newton naceu en Woolsthorpe, no condado de Lincolnshire, en 1642, fillo dun propietario rural analfabeto que morreu antes do seu nacemento. A nai volveu casar cando o pequeno Isaac tiña dous anos, esta vez co reverendo Barnabar Smith, párroco dun pobo próximo. A nai marchou a vivir co seu novo esposo con quen tivo tres fillos máis, deixando o pequeno Isaac ó coidado da súa avoa durante dez anos. Ós doce ingresa na escola de Grantham, hospedándose na casa do farmacéutico do pobo, home interesado na ciencia, que lle empresta os primeiros libros de física e matemáticas. Aquí, Newton constrúe diversos xoguetes para entreterse, amosando un gran talento natural malia non ser, segundo algunhas testemuñas, un estudante de primeira fila. Discreto en latín e algo mellor en matemáticas, ten paixón pola mecánica, o que o levará a afondar en xeometría e aritmética. Un dos xoguetes fabricados por el mesmo con menos de quince anos é un carriño movido cuns brazos mediante un aparello mecánico, no que unha rata accionaba un muíño de gran, alimentándose esta da fariña que ela mesma producía. O xoguete era unha especie de motor perpetuo. Esta anécdota, ademais de ilustrar a capacidade e personalidade do adolescente, non resulta concibible senón dentro dunha sociedade obsesionada por tirar máis rendemento do tra-

ballo mediante poleas, pancas, muíños, rodas e toda clase de dispositivos mecánicos. Non se coñecía o fundamento teórico destes mecanismos, mais, aínda así, era popular o seu estudio e mellora para aumentar a produción. A adolescencia de Newton amósanos cómo chega a ser un gran físico; a saber, a través das súas dotes de observación e intelixencia e da súa preocupación polos aparellos mecánicos. Ó falecer o reverendo Smith, a nai herda unha granxa e diversas fincas, saca o mozo do colexio e pono a administrar a economía destas propiedades, tarefa que non o fai moi feliz. Afortunadamente, un tío seu viuno resolver un problema de xeometría, e súa nai enviouno de volta a Grantham. Ó cabo de dous anos, en 1661, ingresaría no Trinity College de Cambridge, onde obtén o título académico de *Bachelor of Arts* en 1665 .

Cambridge estaba dominado intelectualmente pola filosofía de Descartes e o empirismo de Bacon, sendo as súas principais figuras o químico Boyle e o matemático Borrow, que gañara a cátedra en 1663. No mesmo 1665 declárase a peste na cidade, a universidade pecha por dous anos, e Newton refírase á súa aldea de Woolsthorpe. Neste período xa comeza a manifestarse o seu enorme poder creativo. En 1666 pon as bases de tres das súas principais achegas á ciencia: o cálculo diferencial, a gravitación universal e a teoría da luz e as cores. Por esta razón algúns biógrafos refírense a este ano como *annus mirabilis* e o mesmo Newton diría 50 anos despois: *It was in my prime of invention, and minded to philosophy more than ever since* (“foi o mellor momento da miña inventiva e creación, dende entón nunca superada”). Esta observación pon de manifesto que, nos sete anos que van de 1659 a 1666, o adolescente interesado fundamentalmente por dispositivos mecánicos convértese nun admirable creador e unificador. A busca de mecanismos productivos para a sociedade británica fai posible que Newton chegue a ser un dos persoeiros claves na historia do pensamento.

Volvendo ó papel das sociedades, asociacións e seguidores de Newton na propagación e popularización dos principios matemáticos, citemos que se multiplicaron os cursos e conferencias non estrictamente científicos, que eran ademais moi populares:

Os primeiros conferenciantes, e logo tódolos seus sucesores, empregaban enxeños de crecente complexidade —especialmente bombas pneumáticas e hidráulicas, pancas, poleas e péndulos— para ilustraren as leis newtonianas do movemento e mostraren simultaneamente a súa aplicación ós negocios, ó comercio e á industria. Dende o primeiro momento era obvio que carecía de sentido ofrecer explicacións matemáticas a un público integrado por non expertos. O contido destas primeiras conferencias dependía dos intereses de homes preocupados por pesar e trasladar mercancías, perfeccionar os transportes marítimos, drenar pantanos ou eliminar a humidade das minas... Por medio destas conferencias científicas, a natureza deviña cognoscible, as súas leis podíanse controlar a pracer e, o que non era menos importante, podíanse aplicar<sup>15</sup>.

Os intereses comerciais non só aparecían nas conferencias, senón que eran clave para a súa existencia, xa que eran homes de negocios os que as financiaban. Era unha especie de padroado e investimento. Por primeira vez aparece dun xeito claro a investigación financiada por empresarios. Londres, Oxford e Cambridge foron sede de famosos cursos e conferencias, impartidas por prestixiosos persoeiros coma Thomas Watt e Jean Théophile Desaguliers. Este último —Newton foi padriño do terceiro dos seus fillos— publicou o seu coñecido *Course of Experimental*

<sup>15</sup> M. C. Jacob . *The Cultural Meaning of the Scientific Revolution*, Ed. Alfred Knopf. New York, 1988.



*Philosophy*<sup>16</sup>, no que recollía os seus cursos populares, que acadaron 121 edicións antes de publicar o primeiro volume do texto definitivo. Estes cursos empezounos a impartir en Oxford en 1710, coma continuación duns anteriores, e posteriormente pasou a impartilos en Londres, onde foi elixido *fellow* da Royal Society en 1714. As formulacións de Desaguliers, que serven de ilustración dos seguidores de Newton, poden resumirse nos seguintes parágrafos extraídos da súa obra:

Todo o noso coñecemento da natureza depende dos feitos, pois sen observacións e experimentos a nosa filosofía natural non sería outra cousa ca unha ciencia dos termos e unha xerga inintelixible. Non embargantes, de cotío temos que recorrer á axuda da xeometría e maila aritmética, se non queremos contentarnos cunha mera historia natural e unha filosofía de conxecturas [...] os seus descubrimentos físicos pódense ensinar sen necesidade de recoñecer a aquelas. Así, o gran Mr. Locke, foi o primeiro en converterse en newtoniano sen a axuda da xeometría, pois preguntando a Mr. Huygens se tódalas proposicións dos principios eran verdadeiras e contestándolle este que podía confiar na súa certeza, deunas por boas e procedeu a examinar atentamente os razoamentos e corolarios delas derivados. Converteuse así nun mestre en cuestións de física e quedou plenamente convencido dos grandes descubrimentos contidos no libro. Despois leu *Optiks* con pracer, familiarizándose con todo o non estrictamente matemático que hai nesta obra (todo isto contoumo o propio Newton en diversas ocasións). Agora ben, dende que se inventaron máquinas para explicar e demostrar experimentalmente o que Sir Isaac Newton probara matematicamente e dende que varios dos seus experimentos se reproduciron en

<sup>16</sup> J.T. Desaguliers. *A Course of Experimental Philosophy* (vol. I: Londres, M.Senex, W. Innys, R. Manby, J. Osborn & T Longman, 1734; vol II Londres W. Innys, M. Senex & T. Longman, 1744)

cursos públicos, son moitas as persoas que se instruíron en filosofía natural ó tempo que lles servía de entretemento; incluso hai a quen tanto lle gustou o que así aprendeu que decidiu estudar matemáticas, que son o que en definitiva fará del un filósofo eminente.

Desaguliers foi o prototipo dos seguidores de Newton que tiveron un papel fundamental na difusión do newtonianismo, tanto no seu aspecto experimental coma no tecnolóxico. Se ben non se pode afirmar que o newtonianismo orixinase a revolución industrial, tampouco cabe dicir que sexan dous procesos absolutamente independentes.

### **Influencia de Newton nas ciencias sociais**

O influxo dos principios matemáticos foi importante tamén nas ciencias sociais, en especial en economía. Aínda que non moi coñecida, a influencia da física na economía nos últimos tres séculos foi moi grande. Modelos, leis, conceptos e maneiras de pensar pasaron case sen discontinuidade da física á economía, ás veces inadvertidamente. A formulación do equilibrio entre a oferta e a demanda provén do concepto de equilibrio mecánico. Para ilustrar o dito, sen irmos máis lonxe no tempo, podemos citar tres exemplos neste século. O primeiro está relacionado co *random walk* (camiño aleatorio), introducido por Albert Einstein en 1905<sup>17</sup> para explicar o movemento browniano, e que previamente introducira o matemático francés Bachelier na súa tese, dirixida por Poincaré en 1900<sup>18</sup> e titulada *Théorie de la speculation*, que precisamente trata sobre o

<sup>17</sup> A. Einstein "On the movement of small particles suspended in a stationary liquid demanded by the molecular-kinetic theory of heat", *Ann Physik*, 17, 549-560 (1905).

<sup>18</sup> L. Bachelier, "Théorie de la speculation" [tese de doutoramento en Matemáticas]. *Annales Scientifiques de L'Ecole Normale Supérieure* III -1721-86 (1900)

prezo das opcións nos mercados especulativos. O *random walk* está na base do modelo económico de Black e Scholes, pedra angular da Teoría do prezo das opcións. Un segundo exemplo refírese a J. Tinbergen, primeiro premio Nobel de economía en 1969 e pai da econometría. Tinbergen era físico de formación, da escola de Leyden, discípulo do gran Ehrenfest, e cando cambiou de campo de investigación trasladou os seus métodos, ferramentas e forma de pensar da física á economía. Un terceiro exemplo é a aplicación extensiva de métodos creados en mecánica estatística para estudar transicións de fase e fenómenos críticos ó estudio de comportamentos económicos, en particular dos comportamentos de mercados financeiros e de valores económicos en bolsa<sup>19</sup> <sup>20</sup>. O pioneiro traballo de Ettore Majorana en 1936<sup>21</sup> foi esquecido pero recuperado hoxe debido ó seu innegable interese. Hai moitos fenómenos físicos nos que un conxunto de elementos só interactúan cos seus veciños, é dicir, interaccións de curto alcance. Sen embargo, baixo determinadas circunstancias aparecen correlacións de longo alcance entre tódolos elementos, provocando fenómenos colectivos. O tratamento dado en física se traslada á economía onde, por exemplo, a información sobre determinados valores económicos dun mesmo corro bolsista (interacción de curto alcance) pode provocar reaccións en axentes moi alonxados dese sector. Percolación, efecto avalancha, leis de escala son termos da física que se están trasladado á economía.

Xustamente, o pioneiro da influencia da física en economía foi Newton, cos seus principios que exerceron un grande influo en Adam Smith e a súa obra fundamental *A Riqueza das Nacións*.

<sup>19</sup> B. B. Mandelbrot. "The variation of certain speculative prices", *J. Bussiness*, 36, 394-419 (1963).

<sup>20</sup> R. N. Mantegna e H. E. Stanley. *An introduction to Econophysics*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

<sup>21</sup> E. Majorana "Il valore delle loggi statistiche nella fisica e nelle scienze sociali", *Scientia*, 36, 58-6 (1942).

Os efectos da interacción entre Newton e Adam Smith xa aparecen claramente na metodoloxía empregada, na que se seguen esquemas análogos ó método newtoniano de análise e síntese. Así, *A Riqueza das Nacións* comeza co tratamento dun «fenómeno» de maneira similar a como estes son tratados no libro terceiro dos *Principios Matemáticos*. Estúdíase un fenómeno: a división do traballo. Da observación deste fenómeno dedúcese un principio, a saber: a tendencia ó comercio por medio do intercambio de bens. Unha vez establecido, o principio xa non se aplica agora só ó fenómeno particular de partida, senón a outros moitos, polo que se pode afirmar que hai unha xeneralización. O esquema é claramente newtoniano, así coma a utilización do termo *principio* no canto de *lei*. Doutra banda, o mecanismo de equilibrio do valor de cambio dos bens introducido na *Riqueza das Nacións* é tamén newtoniano. Para Smith, a sociedade pódese entender coma un universo de valores de cambio que se atraen mutuamente e que lle confiren ós bens materiais a capacidade de poderen ser mercados e vendidos. Dentro deste conxunto establécese un equilibrio no que os valores de cambio gravitan arredor dos valores ordinarios medios dos bens. Igualmente, Adam Smith establece analoxías explícitas coa gravitación física: o comportamento dos prezos dos bens obxecto de comercio é interpretado coma se estes fosen atraídos por un centro de gravitación que actuaría a modo de punto ideal.

### **Newton, primeiro gran unificador. A beleza na ciencia**

Nos séculos XIX e XX realizáronse grandes unificacións de fenómenos aparentemente moi diferentes, unificacións coas que se acadou unha mellor comprensión e coñecemento dos fenómenos estudados e permitiron observar e predicir novos fenómenos físicos, abrindo novas fiestras e camiños insospitados que deron lugar a grandes avances na ciencia. Hoxe en día, no comezo do século XXI hai perspectiva dabondo para afirmarmos

que Newton foi o pioneiro, o primeiro home na historia da humanidade que fixo unha grande unificación.

Foi no século XIX cando Maxwell, Faraday e Ampère unificaron os fenómenos eléctricos e magnéticos. O electromagnetismo, dado que a luz e unha onda electromagnética, engloba tamén a óptica. É tamén agora cando se comprende a equivalencia entre calor e traballo, así coma o sentido das súas transformacións. Nace, así, como resultado destas unificacións, a termodinámica. O fundamento microscópico da termodinámica mediante a mecánica estatística fai aínda máis perceptible a devandita visión unificadora.

Nos primeiros anos do século XX Einstein formula a teoría da relatividade e aparece a mecánica cuántica. Na primeira unifícanse espacio e tempo de tal xeito que ámbolos dous conceptos están implicados na transformación de calquera deles. Non existe un tempo absoluto, xa que este depende do lugar no que transcorre. Como consecuencia desta unificación se relaciona (unifica) masa e enerxía. A masa pode transformarse en enerxía e esta en aquela por medio da famosa ecuación de Einstein. Posteriormente, na relatividade xeral, o espacio-tempo está relacionado coa materia (enerxía) e, reciprocamente, esta está determinada pola estrutura xeométrica do espacio-tempo, de acordo coas ecuacións da gravidade de Einstein. Na década dos vinte, establécese a mecánica cuántica, que permite entendermos a estabilidade da materia (átomos e moléculas). Por medio do principio de exclusión de Pauli, tamén pode explicarse, entre outras moitas cousas, a clasificación feita dos elementos químicos no sistema periódico, así coma os enlaces moleculares. De novo, un principio xeral nos permite entender cada unha das partes (elementos químicos) dun todo xeral (sistema periódico). A partir da mecánica cuántica van xurdindo novas disciplinas: ó longo da primeira metade do século aparecen a física atómica e molecular, a física nuclear, a física do estado sólido, a electrónica, a física das partículas elementais...

No último tercio do século XX tamén houbo unha grande actividade unificadora. Dunha banda, tódalas transicións de fase, transicións entre diferentes estados dunha mesma substancia, puideron explicarse, dun xeito global e unitario, por K. Wilson, amosando que fenómenos aparentemente moi diferentes tiñan unha dinámica similar nas proximidades do punto crítico da transición. Doutra banda, a multitude de partículas elementais que se ía atopando era similar ó número de elementos químicos existentes, polo que se facía imprescindible algún principio ou simetría análogo ó de Pauli, que puxera orde e permitise clasificar e comprender as partículas elementais. Ó atoparse esta simetría, descubriuse que tódalas partículas que experimentaban a chamada interacción forte estaban compostas por unhas subpartículas que se chaman *quarks*. A partir destes quarks, combinándoos adecuadamente conforme certas regras matemáticas, obtíñanse tódalas devanditas partículas. De novo, unha comprensión máis profunda nos permite unificar e clarificar, recoñecendo as partículas non coma individuos independentes senón coma compoñentes dun todo. Das catro maneiras diferentes en que interactúan as partículas –forte, gravitatoria, electromagnética e débil– dúas delas se unifican en 1967, demostrándose que as enerxías máis altas ou as escalas de lonxitudes máis pequenas non son interaccións diferentes senón iguais. Para que isto fose así, era necesario a existencia de tres «partículas elementais», pero cunha masa superior a oitenta veces a do átomo de hidróxeno. Tal extraordinaria predicción foi comprobada anos despois coa súa detección experimental no Centro Europeo de Partículas Elementais (CERN) de Xenebra.

Ó mesmo tempo que se facían grandes avances no mundo do máis pequeno, as partículas elementais e as interaccións entre elas, tamén se fixeron grandes avances teóricos e experimentais no dominio do máis grande, a astrofísica. Detectáronse e estudiáronse novos obxectos cósmicos como os pulsars, quasars, estrelas de neutróns, buratos negros, etc., facéndose descubri-

mentos espectaculares como a existencia da radiación de fondo, reliquia dos fotóns primordiais. Todo isto foi desvelando que as estruturas materiais máis grandes tiñan que ver coas propiedades e interaccións do máis pequeno, as partículas elementais, permitindo configurar unha cosmoxía cada vez máis completa e cunha visión máis unificadora. A teoría do *big-bang* explica a evolución do universo como unha serie de sucesivas transicións nunha cadea que vai dende os quarks, ás partículas, ós núcleos, ós átomos e ás moléculas, ata as estruturas máis complexas. Evolúciónase dende unha gran simetría preto da orixe do tempo, a unha maior diferenciación a través de sucesivas transicións con rotura desa simetría. Preto da orixe, habería unha unificación total na que as catro interaccións que coñecemos, non serían distinguibles, igual que tódalas partículas. É a unificación total soñada e buscada por moitos físicos. Sería a Teoría do todo. En principio, todo se podería explicar a partir dela.

Independentemente de se esta teoría é ou non acadable, cuestión que está fóra das intencións desta introducción, o que si podemos afirmar despois de contemplar as unificacións dos séculos XIX e XX, e que a figura de Newton se axiganta porque é o primeiro que realiza unha grande unificación ó relacionar as súas leis do movemento coa súa gravitación universal. Este é o seu principal mérito e o que o fai tan singular.

Calquera unificación está intimamente ligada á beleza. Da antigüidade proveñen dúas definicións de beleza que en certa forma se antepoñen entre si: *a beleza e a adecuada conformidade das partes entre si e con relación ao todo [...] transparencia do esplendor eterno do “un” a través do fenómeno natural*. Os dous criterios aplícanse en sumo grao a unha estrutura coma os *Principios matemáticos da Filosofía natural*. As partes son os procesos mecánicos individuais, tanto aqueles que estudiamos por medio de aparatos e dispositivos nos nosos laboratorios e obradoiros, como os que se desenvolven inseparablemente unidos dentro dos fenómenos naturais diante dos nosos ollos. O

todo é o principio formal unitario ó que todos eses procesos se axustan e para o que Newton atopa unha formulación matemática en forma dun sistema simple de postulados. Unidade e simplicidade non son, en realidade, xustamente o mesmo. Pero seguindo textualmente a Heisenberg

o feito de que unha teoría semellante consiga concugar a multiplicidade coa unidade –que a multiplicidade apareza nela unificada– trae indubidablemente como consecuencia que podamos percibila como algo simple e fermoso, ó mesmo tempo. O papel que desenvolve a beleza no descubrimento da verdade foi recoñecido e subliñado en toda época. A expresión latina *Simplex sigillum veri* (a simplicidade é o selo do verdadeiro) aparece escrita no Auditorio de Física da Universidade de Göttingen, a modo de admiración para os que pretenden descubrir a verdade; outra expresión latina, *Pulchritudo splendor veritatis* (a beleza é o resplandor da verdade), pode interpretarse no sentido de que o investigador pode recoñecer a verdade en primeiro lugar polo seu resplandor, pola forma como resplandece o seu brillo<sup>22</sup>.

En Newton resúmense dous feitos fundamentais acadados pola humanidade, a saber: a capacidade de abstracción herdada da Grecia clásica e o interese polos fenómenos da natureza, que o home pode entender e experimentar, actitude que comeza no Renacemento e que cristaliza na Ilustración. É a síntese desa observación dos fenómenos conxuntamente coa capacidade de abstracción o que vai permitir deducir a partir de tales fenómenos uns principios xerais. Newton foi quen de demostrar, ademais o comportamento de moitos fenómenos partindo deses

<sup>22</sup> W. Heisenberg. *Physics and Beyond*, Ed. George Allen and Unwin, London [*La ciencia y lo bello en Cuestiones Cuánticas*, Ed. Kairos, Barcelona, 1987].



principios matemáticos, como fai no *Sistema do mundo*. Mesmo inventou o cálculo infinitesimal, imprescindible para realizar algúns cálculos necesarios en ditas demostracións. Richard Cotes, editor da segunda edición dos *Principios matemáticos*, refírese así ós métodos do seu autor:

Este, certamente, quere deducir de principios tan sinxelos como sexa posible as causas de tódalas cousas, pero toma como principio algo que aínda non se demostrou nos fenómenos. Procede, polo tanto, seguindo un dobre método analítico e sintético. A partir dalgúns fenómenos escollidos, usa a análise para deducir as forzas da natureza e as súas sinxelas leis, para logo mediante a síntese sinalar aqueles fenómenos coma fundamento das restantes propiedades naturais... Un bo exemplo dos seus resultados, é a feliz deducción do Sistema do mundo a partir da lei da gravidade. Que a forza da gravidade é inherente a todo corpo, algúns o barruntaban, outros o pensaban; pero el foi o primeiro e único que demostrou a súa existencia mediante fenómenos, dándolle un firme fundamento, gracias a notables especulacións<sup>23</sup>.

Newton observa os fenómenos, fai unha xeneralización e establece as leis do movemento e a lei da gravidade. Ó enunciarse os seus postulados define conceptos coma masa inerte, forza, espacio, tempo e movemento, eliminando así calidades ocultas non deducibles das observacións dos fenómenos. Como di Heisenberg<sup>24</sup>, Newton é o primeiro sistematizador da ciencia moderna. No prefacio da primeira edición, Newton ilústranos sobre o seu espírito científico:

<sup>23</sup> Citado por A. Escotado, *op. cit.*

<sup>24</sup> W. Heisenberg. *La imagen de la naturaleza en la Física actual*. Ed. Seix Barral, Barcelona, 1967.

Toda a dificultade da física parece naturalmente consistir en investigar as forzas da natureza a partir dos fenómenos de movemento, explicando logo os restantes fenómenos por aquelas forzas. A tal fin serven os teoremas xerais contidos nos libros I e II. No terceiro libro, como aplicación dos precedentes, explícase o sistema do mundo. Alí, mediante os teoremas demostrados matematicamente nos primeiros libros, dedúcese a partir dos fenómenos celestes a forza da gravidade, pola cal os corpos tenden a achegarse ó Sol e ós planetas. A partir da mesma forza, dedúcense despois, tamén mediante teoremas matemáticos, os movementos dos planetas, cometas, a lúa e o mar.

¡Oxalá puidésemos deducir deste xeito, por principios matemáticos, os restantes fenómenos naturais! Pero moitas razóns lévanme a sospeitar que aqueles fenómenos poden depender de certas forzas. Gracias a estas, as partículas dos corpos, por causas aínda ignoradas, ou ben son empurradas unhas cara a outras e compoñen corpos regulares, ou se afastan entre si e se repelen. Ata hoxe os físicos buscaron en van explicar a natureza por medio desas forzas descoñecidas. Espero, non obstante, que os principios aquí expostos dean lei útil para esta empresa ou para outra ben empregada.

Nestas palabras aparece un Newton plenamente consciente dos seus logros e tamén do moito que lle quedaba por coñecer, un Newton que expresaba o desexo de que tamén se puidese explicar nun futuro dunha maneira unitaria todo o ignorado.

A remates do século XIX, a unificación do electromagnetismo e da óptica fixo pensar a algúns que se estaba preto de explicar tódolos fenómenos físicos. Pensaban que xa se colmara o coñecemento. De seguida, o século XX faríalles ver o errados que estaban. Axiña descubríronse multitude de fenómenos físicos

novos que deron lugar a cambios radicais nas nosas concepcións. O grande avance acadado que deu lugar ás grandes unificacións, mencionadas anteriormente, provoca unha certa euforia entre algúns, entre eles prestixiosos e insignes científicos que expresan que estamos preto de acadar unha unificación total, unha Teoría do Todo capaz de explicar tódalas cousas, cando menos nun nivel fundamental. Sería a fin da Física, do mesmo xeito que Fukuyawa proclamou a fin da Historia. Hai outros que, pola contra, pensan que hai fenómenos fundamentais incomprendidos, e que cando se clarifique a súa comprensión, acontecerá o mesmo que a finais do século XIX, onde apareceron fenómenos físicos insospeitados e sorpresas inimaxinables. Despois da grande unificación realizada por Newton, ¿cal era a súa posición sobre os seus logros e qué esperaba no futuro próximo? A pesar do seu orgullo, Newton ten unha posición de total humildade: *Non sei qué impresión produciréi ante o mundo; teño para min semellar o neno que xoga na praia, que de cando en vez atopa unha pedra máis redonda ou unha cuncha máis fermosa do ordinario, mentres segue sen desvelar o grande océano da verdade que ten diante dos seus ollos.*

O espírito de Newton vese reflectido dun xeito preciso e conciso ó principio do libro terceiro, *Sistema do mundo (matematicamente tratado) dos Principios matemáticos*. Alí, na primeira das regras para filosofar, di: *Para explicar as cousas naturais non admitir máis causas cás que son verdadeiras e bastan para a explicación daqueles fenómenos. Din sobre isto os filósofos: a natureza non fai nada en van, e é van o que sucede por efecto de moito cando basta con menos. A Natureza é simple e non prodiga as causas das cousas.*

Máis adiante, a continuación da regra terceira Newton nos di *é evidente que non se pode nin fantasiar contra o curso dos experimentos, nin afastarse da analoxía da natureza, xa que esta é sempre simple e coherente.*

Esa simplicidade é a que soubo Newton captar e plasmar na gravitación universal e nas leis do movemento.

Sen embargo, o poderoso e intelixente Newton tamén tiña as súas limitacións. Newton formulou as leis do movemento, en particular a segunda desenvolvendo o cálculo infinitesimal. Dende unha perspectiva estrictamente lóxica, nada lle impedía deducir as consecuencias que implicaban que incluían as leis de conservación, e en particular o movemento lineal (cantidade de movemento no seu caso), e sobre todo o da enerxía. Dende unha perspectiva unitaria isto abriría grandes posibilidades como posteriormente mostraron Euler, Lagrange, Laplace e Hamilton entre outros. Ó contrario que moitos outros contemporáneos seus, Newton elaborou correctamente o concepto de cantidade de movemento, mais non o concepto de traballo nin o de potencia, traballo por unidade de tempo<sup>25</sup> e, xa que logo, non puido formular a conservación da enerxía. Aínda que fisicamente estaba moi preto de acadalo, o contexto social e productivo aínda non experimentara na práctica a necesidade de definir unha unidade de medida de traballo mecánico que permitise comparar traballos e rendementos mecánicos. A estrutura de produción era aínda un sistema de tipo doméstico no que pequenos propietarios agrarios traballaban a terra, e incrementaban os seus ingresos coa axuda dunha roca ou dun tear. Nas décadas seguintes, a situación evolucionou de contado gracias ó establecemento do sistema industrial, no que o beneficio está baseado na produtividade do traballo. Ademais de regular e normalizar a produtividade axustando a oferta á demanda, as máquinas tamén teñen como obxecto aumentar a produtividade, e polo tanto, a medición do traballo faise cada vez máis esencial. Esta necesidade aparece clara en círculos de técnicos e enxeñeiros próximos ós problemas dos industriais. Entre estes enxeñeiros está John Smeaton, membro da Royal Society e

<sup>25</sup> A. Baracca. "El nacimiento y desarrollo de los conceptos de trabajo y energía en el contexto de la mecánica práctica durante la Primera Revolución Industrial". Incluido en A. Elena, J. Ordóñez, M. Colubi, *op. cit.*

medalla de ouro da mesma, outorgada coma premio a un dos seus traballos<sup>26</sup>. Foi membro da primeira sociedade de enxeñeiros fundada en 1771, que trala súa morte pasou a chamarse Sociedade Smeatoniana. A súa investigación sobre rodas hidráulicas levouno a demostrar a superioridade das rodas que recibían o impulso da auga dende o alto sobre as que o facían dende abaixo. Estas investigacións levárono á necesidade de medicións que permitisen comparar rendementos de rodas cando sofren variacións no peso ou no fluxo da auga. Para iso, enrolou unha corda en torno ó eixe da roda e unha polea para levantar un peso pola propia acción da roda, chegando así ó concepto de potencia. «O levantamento dun peso, en relación á altura á que se levanta nun tempo dado, é a medida máis exacta da potencia». Na continuación deste texto, considerando os efectos da caída e do impulso da auga, chega a esbozar a idea da conservación da enerxía mecánica<sup>27</sup> aínda que dun xeito embrionario e sen facela explícita. É na obra do francés Lazare Carnot (pai de Sadi Carnot) *Essai sur les Machines Fundamentales de l'Équilibre et du Mouvement*, publicada en 1783, onde aparece explicitamente a conservación da enerxía mecánica baixo a formulación de que o traballo realizado entre dous puntos é igual á diferenza da enerxía cinética entre eses puntos. Dende a morte de Newton, o 20 de marzo de 1727, houbo de transcorrer máis de medio século para que a sociedade tivese a necesidade de comparar traballos diferentes. Sen embargo, a principal unificación xa a fixera Newton, culminando moitos esforzos da humanidade ó longo dos tempos, nos que nomes como Copérnico, Kepler, Galileo, Huygens e Hooke, por citar os próximos a Newton no tempo, fixeran contribucións relevantes.



<sup>26</sup> J. Smeaton "An Experimental Enquiry concerning the Natural Powers of Water an Wind to turn Mills and other Machines depending on Circular Motion". *Phil. Trans.* 51 (1759), p. 100.

<sup>27</sup> J. Smeaton "An Experimental Examination of the Quantity and Proportion of Mechanic Power necessary to be employed in giving different Degrees of Velocity to Heavy Bodies from a state of Rest". *Phil Trans.* 66 (1776).

Nesta colección de libros de grandes creadores non podía faltar un dos máis poderosos, cunha obra tan representativa como *O sistema do mundo*, á que se engaden, por razóns de completitude, as definicións e axiomas ou leis do movemento, que aparecen no comezo dos *Principios*. Tamén se engade o escolio xeral, que figuraba no manuscrito de Newton no remate do libro terceiro, *O sistema do mundo*, pero que non se incluíu nalgunhas edicións. Neste escolio xeral se pode afondar sobre a concepción que Newton tiña de Deus.

Representa para min un pracer ter redactado o prólogo da edición que aquí se presenta, satisfacción que é maior tendo en conta o agarimo e acerto que puxo o traductor, profesor José Manuel Díaz de Bustamante, na súa versión galega do texto latino orixinal. Para finalizar, quero agradecer á Universidade de Santiago –universidade que ten na súa biblioteca un exemplar dos *Principios* do ano 1739 editado en Xenebra<sup>28</sup>–, e en particular ó seu Servizo de Publicacións, os esforzos e agarimo que puxeron na edición deste libro.

<sup>28</sup> *Philosophiæ naturalis Principia Mathematica. Auctore Isaaco Newtono... Perpetuis commentariis illustrata, communi studio PP. Thomae Le Seur & Francisci Jacquier. Tomus primus. Genevae, Typ. Barrillot & Filii. 1739.*

O SISTEMA  
DO MUNDO

## NOTA DO TRADUCTOR

Non teño a intención, lector, de polemizar con ninguén, razón pola cal presento o meu labor como a traducción ó galego dun libro moi concreto nunha edición tamén moi concreta. Farteime de comproba-las incongruencias dalgúns tradutores do noso Newton ás principais linguas modernas, que eitan nas bibliografías unha edición (latina as máis das veces) e, non obstante, traducen a partir das versións inglesas antigas.

A miña traducción, así pois, segue pasiño a pasiño a edición latina de Londres de 1728, no exemplar concreto que, como *royal copy* da obra, se conserva na Biblioteca Británica (sinatura 1480.bb.10), e tenta reproducir-las peculiaridades do latín newtoniano, moi académico pero tamén moi persoal.

A edición de 1728 ten o interese particular de corresponder á redacción orixinal do libro III dos *Principia Mathematica*, que Newton compuxo, moi probablemente, antes de remata-lo resto da obra. Como xa indica o prologuista profesor Pajares, nun momento dado o autor debeu pensar que non cadraba co teor dos dous libros precedentes e deixou na casa o orixinal de imprenta xa rematado, refacéndoo dun xeito menos “filosófico” pero máis “matemático”. Un ano despois da morte de Newton en 1727, este orixinal de imprenta foi dado ó prelo e tivo unha vida longa e intensa de seu, e foi traducido ó inglés cáseque ó mesmo tempo: este é, pois, o libro que tes nas mans e que representa a visión de conxunto de Newton moito máis fielmente cá segunda versión do mesmo que hoxe aparece en tódalas edicións dos *Principia*.

Tiven conta das variacións estilísticas máis frecuentes e, na medida das miñas forzas, busquei tamén no meu galego as formas máis axeitadas á intención ou á vontade do autor no seu orixinal: e isto porque —é importante suliñalo— Newton escribiu orixinalmente o seu *De mundi systemate* en latín, e a maioría das



versións inglesas que coñecemos son traducións da súa época pero feitas por outras persoas.

Para non privar ó lector da sensación visual do libro orixinal reducín as notas á tradución ó mínimo indispensable e envieinas á fin do texto, sinalándoas cun rombo♦ no texto para que sexa doado achalas, por páxina, no seu lugar; do mesmo xeito as figuras que ilustran a obra aparecen, tamén na fin da nosa edición, coma reprodución das láminas da devandita edición de 1728.

Nalgún caso sentínme obrigado a tomar do latín ou do grego termos illados de índole astronómica ou física, para que non resultaran combinacións rechamantes ou contrarias ás peculiaridades do galego, pero mantendo sempre o respecto máis coidadoso verbo da tendencia xeral e común a tódalas linguas románicas.

Como a edición concreta que traduzo empeza cunha breve introducción baseada no comezo do libro terceiro dos *Philosophiae naturalis Principia mathematica*, pensei (e o prologuista profesor Carlos Pajares aceptouno de bo grao) que era importante engadi-lo *Scholium generale* que pecha, precisamente, o libro terceiro dos *Principia*, para ofrecer ó lector a posibilidade de ler directamente as reflexións últimas de Newton sobre a orixe do universo.

O meu labor de traducción foi complementado coa xenerosidade e os saberes de Xoán Blanco Valdés, Xosé Luis Couceiro Pérez, Santiago Díaz Lage, Marisa Melón Rodríguez e moitos amigos máis.

No limiar do profesor Pajares Vales dáse noticia e explicacións sobre os científicos de tódalas épocas citados ou evocados na obra de Newton; nas miñas notas, polo demais, ocúpome só dos persoeiros de máis difícil identificación ou alleos ó mundo das ciencias experimentais e exactas.

Co glosario, finalmente, pretendo orientar sobre algúns termos e conceptos que poden resultar escuros a moitos lectores ou que, malia coñecidos, teñen acepcións astronómicas específicas.

DE  
MUNDI  
SYSTEMATE  
LIBER  
*ISAACI NEWTONI.*

---

---



*LONDINI:*  
Impensis J. TONSON, J. OSBORN,  
& T. LONGMAN.

---

MDCCXXVIII.

*Newton, ó comezo do libro terceiro dos*

### ***Principia mathematica***

Nos libros precedentes ocupeime dos principios da filosofía, mais non dos principios propiamente filosóficos, senón só dos principios matemáticos dos que se puidera debater en asuntos filosóficos: son estes as leis e condicións dos movementos e das forzas, que están orientados de cheo á filosofía; nembargantes, para que non pareceran estériles, illustreinos con algúns escolios filosóficos dedicados ás xeralidades nas que, sobre todo, adoita fundarse a filosofía, coma a densidade e resistencia dos corpos, os espacios baleiros, o movemento da luz e dos sons.

Resta, a partir deses principios, ensinármo-la constitución do *Sistema do Mundo*. Sobre este tema xa compuxera eu o libro terceiro cun método accesible, para que puidera ser lido pola maioría.

### **Que os ceos son fluídos**

A opinión dos filósofos de que as estrelas fixas permanecen inmóbiles nas rexións máis altas do mundo; de que, máis abaixo, os planetas xiran ó redor do Sol; de que, dun modo semellante, a Terra se move cun percorrido anual mentres que, sobre o seu propio eixo, faino con xiro diúrno, e de que o Sol, foco do universo, repousa no centro de todos eles, é moi antiga: así opinaran noutro tempo Filolao, Aristarco de Samos, Platón na súa idade madura, multitude de pitagóricos, e Anaximandro, máis

antigo ca todos eles, o mesmo que Numa Pompilio o máis sabio dos reis dos Romanos<sup>1</sup>. Este erixiu, como símbolo do orbe esférico co fogo do Sol no centro, o templo de Vesta, de forma circular, e estableceu que, no seu medio, se mantivese sempre aceso un lume.

É verosímil, non obstante, que esta opinión a difundiran os exipcios, antiquísimos observadores dos astros; así pois, deles e dos seus veciños parece que pasou ós gregos (pobo máis filolóxico que filosófico) toda a filosofía máis antiga á vez que máis razoable: os misterios de Vesta teñen o regustíño do enxeño dos exipcios, que representaban mediante ritos sagrados e xeroglíficos os misterios que escapan á intelixencia do vulgo.

Pero despois Anaxágoras, Demócrito e algúns outros ensinaron que a Terra permanece inmóbil no centro do mundo, e que tódolos astros se moven cara ó ocaso, uns máis axiña, outros máis lentamente, e isto en espacios totalmente libres. Porque despois foron introducidas as órbitas sólidas por Eudoxo, Calipo e Aristóteles♦, ó ir decaendo pouco a pouco a filosofía inicialmente recibida e ó prevalecer, paseniñamente tamén, as novas formulacións dos gregos.

Difícilmente se compaxinan con estas esferas os fenómenos dos Cometas. Os caldeos, a xente máis experta en temas astronómicos, consideraron como estrelas errantes os ditos Cometas, contados dende antigo por moitos entre os corpos celestes: como se unha vez en cada revolución, descendendo ás partes inferiores de órbitas moi excéntricas, se ofrecesen por veces á nosa observación. Despois, a hipótese das órbitas sólidas foi reducíndoos necesariamente ás rexións sublunares; e debido a novas observacións dos astrónomos, restituídos ós ceos supralunares, aquelas esferas esnaquizáronse e foron botadas fóra do éter.

<sup>1</sup> Arquímedes no *Arenario*, Aristóteles no libro 2 do *De Caelo*; Plutarco no libro 3 dos «*Placita Philosophorum*» e tamén na *Vida de Numa*♦.

## O principio do movemento circular nos espazos libres

Non sabemos con qué vínculos os antigos retiñan os planetas nos espazos libres, nin cómo explicaban que, afastados continuamente da traxectoria rectilínea, xiraran regularmente nas súas órbitas. Penso que para explicar isto inventaron as órbitas sólidas. Os filósofos máis recentes ou ben pensan que hai vórtices, como Kepler ou Descartes, ou ben algunha cousa como un impulso ou un principio de atracción, como Borelli, Hooke e algúns dos nosos.

Pola Lei primeira do movemento é totalmente certo que se require algunha forza. O noso propósito é elucidala súa cantidade e propiedades, e investigar matematicamente os seus efectos no movemento dos corpos; polo tanto, para non determinala súa especie de maneira hipotética, témola denominado centrípeta en xeral cando tende ó centro, ou tamén, tomando o nome do centro, circunsolar a que tende ó Sol; circunterrestre a que tende á Terra; circunxovial a que tende a Xúpiter, e así nos demais,

## Efectos das forzas centrípetas

A partir do movemento dos proxectís compréndese que os planetas poidan ser retidos en órbitas concretas mediante forzas centrípetas. Unha pedra guindada desvíase da traxectoria rectilínea pola acción da súa gravidade e, describindo unha curva no aire, cae sempre no chan; se é lanzada con maior velocidade, chegará máis lonxe; ó aumenta-la velocidade, poderíase lograr que describira un arco de unha, dúas, cinco, cen, ou mil millas; e por fin, ó ir alén dos límites da Terra, que non caera xa no chan.

[Figura 1] Sexa AFB a superficie da Terra; sexa C o seu centro; e VD, VE, VF as liñas curvas que describe un proxectil lanzado sucesivamente dende o vértice V dun monte moi alto, segundo liñas paralelas ó horizonte, con incrementos graduais da velocidade. E para que non interveña nos cálculos a resis-

tencia do aire, que cáseque non retarda ós movementos celestes, supoñamos que se suprimira de todo ou que, alomenos, non ofrecera resistencia ningunha. E pola mesma razón pola que un corpo con menor velocidade describe un arco menor VD, e cunha velocidade maior describe o arco maior VE, e se se aumenta a velocidade chega máis lonxe ata F, e aínda máis lonxe ata G; do mesmo xeito finalmente, se se aumenta a velocidade continuamente, sobrepassará o ámbito todo da Terra e volverá ó monte dende o que se guindara.

E como a área descrita cun raio levado a xunto do centro da terra sexa (pola Proposición I, do Libro I dos *Principia Mathematica*) proporcional ó tempo, a súa velocidade ó volver ó monte non será menor có principio; e pola mesma lei, ó mantela velocidade pode xirar así máis veces. Imaxinemos agora que uns corpos se guindan segundo as liñas do horizonte dende puntos máis altos aínda; poñamos que dende lugares a cinco, dez, cen, mil millas ou máis de altitude, ou ben doutros tantos semi-díametros da Terra; e en función da distinta velocidade dos corpos e da diferente forza da gravidade exercida en cada punto, describirán arcos ou ben concéntricos á Terra, ou ben de excentricidade diversa; e nestas traxectorías os corpos poden chegar a percorre-los ceos de modo semellante ó dos planetas.

### **Certeza do argumento**

E do mesmo xeito que da caída da pedra lanzada dedúcese con seguridade que gravita, non é indicio menos certo da gravidade a continua deflexión dos proxectís cara ó chan; e así, toda desviación do camiño recto, e deflexión cara a algures, do conxunto dos corpos en movemento por espacios libres, é indicio segurísimo da existencia dunha forza que arrastra os corpos de calquera parte ata ese lugar. E, unha vez admitida a gravidade, é necesario que, na Terra, tódolos corpos vaian cara ós lugares máis baixos; e tamén que ou caían en liña recta se están en

repouso cando se deixan caer, ou ben que se desvíen continuamente da traxectoria recta cara ó chan ó guindalos de lado.

Así, a partir da admisión dunha forza que tende a un centro calquera, non é menos necesario que tódolos corpos sobre os que dita forza actúa ou ben descendan dereitiños cara a ese centro, ou ben, se se poñen en movemento de lado, deixen o camiño recto e se dirixan continuamente cara ó centro. As razóns polas que é doado deduci-las forzas a partir dos movementos, e os movementos a partir das forzas, xa foron tratadas dabondo nos libros sobre o movemento.

### **Que as forzas centrípetas tenden ós centros de cada planeta**

Deduzo do modo seguinte que as forzas centrípetas tenden ós corpos do Sol, da Terra e dos Planetas: a Lúa xira ó redor da nosa Terra, e con raios trazados cara ó seu centro, describe coa maior exactitude áreas proporcionais ós tempos. Isto resulta máis que certo ó compara-la velocidade da Lúa cos seus diámetros aparentes: cun diámetro menor, o que manifesta unha distancia maior, o movemento é máis lento; cun diámetro maior, máis rápido. Os satélites de Xúpiter xiran ó seu redor con movemento moito máis regular, describindo círculos concéntricos a Xúpiter cun movemento uniforme ata onde se pode ver. Tamén o compañeiro de Saturno xira arredor deste planeta cun movemento bastante circular e uniforme, sen excentricidade apreciable. As súas fases lunares amosan que Venus e Mercurio xiran arredor do Sol: cando están alén do Sol mostran a súa cara chea; á altura do Sol, a metade; acá do Sol, como unha fouce, cruzando ás veces o seu disco. E Venus, certamente, describe unha órbita circular concéntrica ó Sol cun movemento moi uniforme. Mercurio, pola súa banda, ten un movemento máis excéntrico, achégase moito ó Sol e, dende alá, logo se vai arredando; pero sempre é máis veloz cando está máis preto do Sol,

o que fai que, ó trazar un raio cara ó Sol, describa áreas proporcionais ós tempos. En fin, ó comparármolo diámetro aparente do Sol co seu movemento aparente demóstrase que a Terra describe ó redor do Sol, ou o Sol describe arredor da Terra, co raio intercedente, unhas áreas exactamente proporcionais ós tempos.

Estes son os experimentos astronómicos, e a partir deles (polas tres primeiras Proposicións do libro I e os seus corolarios) é consecuente que se dean forzas centrípetas, tendentes, ou con exactitude ou sen erro apreciable, ós centros da Terra, de Xúpiter, de Saturno e do Sol. Nos casos de Mercurio, Venus, Marte, e os planetas menores, ó falta-los experimentos, valla a proba por analoxía.

### **Que as forzas centrípetas decrecen en razón cadrada das distancias ós centros dos planetas**

Do corolario sexto da cuarta proposición séguese que estas forzas decrecen en razón ó cadrado das distancias dende o centro dun planeta calquera, pois os tempos periódicos dos satélites de Xúpiter correspóndense entre eles en proporción sesquiáltera ás distancias dende o centro deste planeta. Xa hai tempo que se observou en eles esta proporción, e o noso Flamsteed, que mediu moitas veces esta distancia por medio do micrómetro e dos eclipses dos satélites, fíxome saber que se pode obter con tanta exactitude como os sentidos sexan capaces de percibir. Galileo, antes do descubrimento do micrómetro, partindo do satélite máis próximo ata o máis afastado, estableceu que eran respectivamente de 6, 10, 16, 28 dos semidiámetros de Xúpiter; Simón Mario, 6, 10, 16, 26; Casseni, 5, 8, 13, 23; Borelli, máis exactamente,  $5 \frac{2}{3}$ ,  $8 \frac{2}{3}$ , 14,  $24 \frac{2}{3}$ . E despois do descubrimento do micrómetro, Townley, 5,51; 8,78; 13,47; 24,72; pola súa banda, Flamsteed, 5, 31; 8, 78; 13,98; 24, 23, e con maior exactitude, por medio dos eclipses, 5,578;



8.876; 14.159; 24.903. Pero os tempos periódicos dos satélites segundo as observacións de Flamsteed son de 1 d. 18 h. 28' 36"; 3 d. 13 h. 17' 54"; 7 d. 3 h. 59' 36"; e 16 d. 18 h. 5' 13"; as distancias derivadas destes son, xa como números, 5.578; 8.878; 14.168; 24.968 que corresponden bastante ben ás distancias obtidas por observación.

No caso dos planetas circunsolares, Mercurio e Venus, a devandita proporción obtén, con maior seguridade do que ata agora, as dimensións das órbitas que os astrónomos determinaran coas máis coidadosas observacións.

### **Os planetas superiores arrodean ó Sol e, con raios trazados cara a el, describen áreas proporcionais ós tempos**

Que tamén Marte xira en torno ó Sol demóstrase a partir das súas fases e pola proporción dos seus diámetros aparentes, pois polas súas fases cheas a piques xa da súas fases chea perto da conxunción co Sol, e convexa nos cuadrantes, é certo que xira arredor do Sol; e como o seu diámetro parece que é cinco veces maior na oposición ca na conxunción co Sol, e como a súa distancia á Terra é reciprocamente como o seu diámetro aparente, a devandita distancia será máis ou menos cinco veces menor na oposición que na conxunción; pero a distancia de Marte ó Sol será aproximadamente a mesma, para ámbolos dous casos, que a súa distancia nos cuadrantes, que se colixe da fase convexa. Así como cingue ó Sol a unha distancia practicamente igual, e á Terra faino a distancia moi irregular, así, ó trazarmos un raio ó Sol, describe unha área con bastante regularidade, pero ó trazármolo raio á Terra, unhas veces é máis veloz, outras estacionario, e ás veces retrógrado.

Que Xúpiter é superior a Marte e que cingue tamén ó Sol cun movemento bastante regular en canto á distancia e á deserción da área dedúzo do modo seguinte: escribume o ilustre

Flamsteed nunhas cartas que me mandou, que tódolos eclipses do satélite interior que coñecera e ata agora tiña observado con precisión, concordan coa súa teoría sen erro de tempo dos dous primeiros escrípulos, o exterior non se desvía moito máis, o ante-exterior a penas se desvía o triplo, e o máis achegado ó interior faino moito máis pero, de tódolos xeitos, desvíase menos dos seus cálculos có que adoita face-la Lúa respecto ás táboas comúns.

El, non obstante, calculara os eclipses só polos movementos medios dos satélites e pola ecuación da luz descuberta por Romer; supoñamos, logo, que a teoría se desvía, respecto ó movemento observado ata agora do satélite exterior, cun erro menor que o dos dous primeiros escrípulos; e resultará entón coma un período completo de 6 días, 18 horas, 5', 13" será ó tempo de 2' e así será o círculo completo de 360 graos ó arco de  $1^{\circ} 48''$ .

Polo tanto o erro de cálculo de Flamsteed, reducido á órbita do satélite, será menor que  $1^{\circ} 48''$ ; isto é, a lonxitude do satélite observado dende o centro de Xúpiter determinarase sen erro coma de  $1^{\circ} 48''$ . Pero tal lonxitude, cando o satélite atravesa polo medio a zona de sombra, é a mesma que a lonxitude heliocéntrica de Xúpiter e, polo tanto, a hipótese que segue Flamsteed, isto é, a de Kepler-Copérnico, hai pouco corrixida por el (respecto ó movemento de Xúpiter), amosa correctamente a dita lonxitude, sen erro, de  $1^{\circ} 48''$ . Por medio desta lonxitude e da sempre ben coñecida lonxitude xeocéntrica, determínase a distancia de Xúpiter ó Sol que, polo demais, sempre é a que sinala esta hipótese, pois tal erro máximo é de  $1^{\circ} 48''$  na lonxitude heliocéntrica, cáseque inapreciable e totalmente dendeñable, pero que pode nacer tamén dunha excentricidade descoñecida do Satélite.

Unha vez correctamente definidas a lonxitude e a distancia, é preciso que Xúpiter, cun raio trazado ata o Sol, describa as áreas segundo as regras que a hipótese impón e, polo tanto, proporcionais ó tempo. O mesmo poderáse deducir de Saturno a partir do

seu veciño, polas observacións de Huygens e Halley, aínda que se bote de menos unha serie máis continuada de observacións, e un cálculo abondo preciso que confirmen a cousa.

### **Que a forza pola que se rexen os planetas superiores non se dirixe á Terra, senón ó Sol**

Xúpiter, pola súa banda, se alguén o contemplase dende o Sol, nunca parecería recuar nin estar parado, como se aprecia dende a Terra, senón avanzar continuamente cun movemento bastante uniforme. Da suma desigualdade do aparente movemento xeocéntrico dedúcese (polo corolario 4 da Proposición III) que a forza pola que Xúpiter ten que afastarse do movemento rectilíneo e xirar nunha órbita, non se dirixe ó centro da Terra: e o mesmo argumento vale tamén nos casos de Marte e Saturno.

Hai que buscar (polas Proposicións II e III, e os corolarios desta) outro centro destas forzas de xeito que, cos raios entrecruzados, arredor del se describan áreas iguais; e xa se probou que ese centro é o Sol no caso de Marte e tamén no de Saturno; no de Xúpiter, pola súa banda, con sobrada exactitude; pódese supoñer que outra forza calquera move ó Sol e ós planetas con regularidade e ó longo de liñas paralelas; pero unha forza tal non cambiará o lugar dos planetas entre si (polo corolario 6 das Leis), non producindo efecto apreciable ningún, e nós ocupámonos das causas dos fenómenos apreciables. Rexeitemos, daquela, toda forza deste tipo por precaria, e porque en nada afecta ós fenómenos celestes: toda outra forza que actúe sobre o astro Xúpiter ten que ver cos fenómenos celestes, e a toda forza restante que mova a estrela de Xúpiter tende (polo corolario 1 da Proposición III), ó centro do Sol.

## **Que a forza circunsolar decrece en todo o ámbito dos planetas proporcionalmente ó cadrado das distancias ó Sol**

As distancias dos planetas ó Sol amosan se-las mesmas xa que, como Tycho, coloquémola Terra no centro do sistema; xa que, como Copérnico, coloquémolo Sol; e xa temos probado que as ditas distancias son certas no caso de Xúpiter. Para as definir, Kepler e Bullial traballaron con moito coidado e, en consecuencia, as súas táboas concordan mellor cos ceos. Pois en tódolos planetas, é dicir, en Xúpiter e Marte, Saturno e a Terra, o mesmo que en Venus e Mercurio, os cubos destas distancias son como os cadrados dos tempos periódicos; e polo tanto (polo corolario 6 da Proposición IV) a forza centrípeta circunsolar decrece en tódolos ceos planetarios, en razón cadrada das distancias ó Sol.

Para estudar esta proporción é preciso tomármolas distancias medias ou os semieixes transversais das órbitas (pola proposición XV), e desprezármolas minucias que puideran orixinarse nos erros inapreciables das observacións ó determina-las órbitas, ou que comprirá atribuír despois a causas por determinar. Deste xeito sempre se chegará con exactitude á proporción predefinida, pois como as distancias obtidas a partir das observacións astronómicas entre Saturno, Xúpiter, Marte, a Terra, Venus e Mercurio e o Sol son entre eles, de acordo co cálculo de Kepler, coma valores numéricos, de 951.000, 519.650, 152.350, 100.000, 73.400, 38.806; e, segundo o cálculo de Bullial, coma valores numéricos, de 954.198, 522.520, 152.350, 100.000, 72.398, 38.585; e as obtidas a partir dos tempos periódicos son, coma valores numéricos, de 953.806, 520.116, 152.399, 100.000, 72.388, 38.710. As distancias de Kepler e Bullial, cáseque non difiren perceptiblemente; e onde difiren máis, abranguen as distancias obtidas dos tempos periódicos.

## **Que a forza circunterrestre decrece en razón do cadrado da distancia á Terra. Próbese a partir da hipótese de que a Terra está en repouso**

Que a forza circunterrestre decrece tamén en proporción ó cadrado das distancias, dedúzo así: a distancia media da Lúa ó centro da Terra é, segundo Ptolomeo, Kepler nas súas Efemérides, Bullial, Heweicke e Riccioli, de 59 semidiámetros terrestres; segundo Flamsteed de  $58 \frac{1}{3}$ ; segundo Vendelin de 60, segundo Copérnico de  $60 \frac{1}{3}$ ; segundo Kircher♦ de  $62 \frac{1}{2}$ ; segundo Tycho de  $56 \frac{2}{3}$ ; pero Tycho e tódolos que seguiron as súas táboas de refracción, ó consideraren as refraccións do Sol e da Lúa maiores cás das estrelas fixas, totalmente en contra da natureza da luz, e isto en case catro ou cinco segundos, aumentaron noutro tanto a paralaxe da Lúa: isto é, case na doceava ou quinceava parte de toda a paralaxe: corrixamos este erro e resultará unha distancia duns 61 semidiámetros terrestres, cáseque o sinalado polos demais. Supoñamos que a distancia media da Lúa é de 60 semidiámetros, e que o seu período (respecto ás estrelas fixas) complétase en 27 días, 7 horas e 43 minutos, como xa fora establecido polos astrónomos e que (polo corolario 6 da Proposición IV), un corpo que xirara na nosa atmosfera a carón da superficie dunha Terra en repouso, empuxado pola forza centrípeta que fose respecto á mesma forza á distancia da Lúa reciprocamente equivalente ó cadrado das distancias dende o Centro da Terra (isto é, como 3.600 a 1), ó suprimi-la resistencia do aire, completaría a revolución en 1 hora, 24 minutos, 27 segundos.

Supoñamos que o perímetro da Terra é de 123.249.600 pés parisienses, como hai pouco ten sido establecido polos franceses que fixeran esta medición: este mesmo corpo, unha vez suprimido o seu movemento circular, e baixo a acción da mesma forza centrípeta anterior, recorrería ó caer  $15 \frac{1}{12}$  pés parisienses no tempo dun segundo. Isto colíxese do cálculo

efectuado (pola Proposición XXXVI), e concorda coa experiencia, pois tras experimentar con péndulos e face-lo cálculo a partir deles, Huygens demostrou que os corpos que caen preto da superficie da Terra empuxados por esa forza centrípeta, sexa cal sexa a súa natureza, recorren  $15 \frac{1}{12}$  pés parisienses no tempo dun segundo.

### **Próbase baixo a hipótese de que a Terra se move**

Porque se aceptamos que a Terra ten movemento, xirará, e tamén a Lúa, arredor dun centro común de gravidade (polo corolario 4 das Leis e pola Proposición LVII), e a Lúa (pola Proposición LX) completará a súa órbita no mesmo tempo periódico de 27 días, 7 horas, 43 minutos, coa mesma forza circun-terrestre diminuída proporcionalmente ó cadrado da distancia, e o semidiámetro desta órbita é ó semidiámetro da anterior (isto é a 60 semidiámetros terrestres) como a suma dos corpos da Terra e da Lúa á primeira das medias proporcionais entre esta suma e o corpo da Terra; esto é: supoñamos que a Lúa vén ser (polo seu diámetro medio aparente de  $31 \frac{1}{2}$  minutos) a corenta e dousava parte da Terra, como 43 a  $\sqrt{42 + 43^2}$ , ou como 128 a 127 aproximadamente; e polo tanto o semidiámetro desta órbita (isto é a distancia entre os centros da Terra e da Lúa) virá ser de  $60 \frac{1}{2}$  semidiámetros terrestres, cáseque o sinalado por Copérnico, sen que discrepen as observacións de Tycho.

Nestas distancias ten validez, porén, a proporción do cadrado no decrecemento das forzas. Desprecei o incremento da órbita debido á acción do Sol porque é insignificante; pero ó descontarmos este, réstano-la verdadeira distancia duns  $60 \frac{4}{9}$  semidiámetros terrestres.

## **Próbase o decrecemento proporcional ó cadrado das distancias á Terra e ós planetas, a partir da excentricidade dos planetas e do lentísimo movemento dos ápsides**

Polo demais, confírmase esta proporción no decrecemento das forzas a partir da excentricidade dos planetas e da extrema lentitude dos movementos apsidais, pois (polos corolarios da Proposición XLV) é manifesto que en ningunha outra proporción poderían tódolos planetas circunsolares descender unha vez ata a mínima distancia ó Sol, en cada unha das súas revolucións, e ascender outra vez ata a máxima distancia ó Sol permanecendo inmóbiles os lugares destas distancias. Un pequeno erro na proporción do cadrado produciría un movemento notable dos ápsides en cada revolución, e enorme en moitas delas; pero tal movemento, despois de incontables revolucións, case non é observable nas órbitas dos planetas circunsolares: algúns dos astrónomos negan todo movemento; os demais non o consideran maior có que podería orixinarse facilmente de causas aínda por establecer, feito que non ten importancia ningunha na cuestión que nos ocupa; mais incluso se pode despreza-lo movemento moito maior do afelio lunar que é de tres graos para cada revolución. Con este movemento demóstrase que a forza circunterrestre decrece nunha proporción, polo menos, do cadrado da distancia, e moito menor có cubo, pois se a razón do cadrado vaise cambiando ós poucos cara ó cubo, o movemento do afelio aumenta ata o infinito, de xeito que, cunha variación moi pequena, superarase o movemento do afelio lunar. Este movemento tan sumamente lento orixínase pola acción da forza circunsolar, como máis adiante se dirá e, suprimindo esta causa, quedará en repouso o apoxeo da Lúa, e hase chegar á proporción do cadrado.

## **Cantidade das forzas dirixidas a cada un dos planeta. A inxente forza circunsolar**

Establecida esta proporción, é xa posible comparar entre si as forzas dos planetas. Na distancia media de Xúpiter á Terra, a elongación máxima do seu satélite exterior dende o centro de Xúpiter é, segundo as observacións de Flamsteed, de  $8^{\circ} 13''$  e, polo tanto, a distancia do satélite ó centro de Xúpiter é, á distancia media de Xúpiter ó centro do Sol, como 124 a 52012 e, á distancia media de Venus ó centro do Sol, como 124 a 7234.

Por outra banda, os seus tempos periódicos son de  $16 \frac{3}{4}$  e de  $224 \frac{2}{3}$  días; de aquí que (polo corolario 2 da Proposición IV) ó dividírmo-las distancias polos cadrados dos tempos, se conclúa que a forza que empuxa ó satélite cara a Xúpiter é, á forza que move a Venus cara ó Sol), como 442 a 143; e diminuíndo a forza que empuxa o satélite, segundo a razón do cadrado da distancia, como 124 a 7.234, resultará a forza circunxovial na distancia de Venus ó Sol, respecto á forza circunsolar que empuxa a Venus, como  $13/100$  a 143, ou tamén como 1 a 1100; polo tanto, a distancias iguais, a forza circunsolar é 1100 veces maior cá circunxovial.

Mediante un cálculo semellante, a partir do tempo periódico do satélite de Saturno que é de 15 días e  $22 \frac{2}{3}$  horas, cunha elongación máxima respecto ó propio Saturno cando está á súa distancia media de nós, de  $3^{\circ} 20''$ , deduzo que a distancia deste satélite respecto ó centro de Saturno é, á distancia de Venus ó Sol, como  $92 \frac{2}{5}$  a 7.234; e de aí resulta que a forza circunsolar absoluta é 2.360 veces maior cá forza absoluta circunsaturnal.

## **Pequena forza circunterrestre**

Do movemento heliocéntrico regular de Venus, Xúpiter e outros planetas, e do movemento xeocéntrico irregular dos mesmos, despréndese claramente (polo corolario 4 da



Proposición III) que a forza circunterrestre, comparada coa circunsolar, é moi pequena. Riccioli e Vendelin, cada un polo seu lado, tentaron determina-la paralaxe do Sol a partir da dicotomía da Lúa observada por medio dos telescopios, e cifrárona en non máis de medio minuto; Kepler achou inapreciable a paralaxe de Marte acrónico, que é moito maior, a partir das observacións de Tycho e das súas propias. Flamsteed abordouna cun micrómetro, no perixeo de Marte, e nunca a achou maior de vintecinco segundos do que concluíu que a paralaxe solar é, coma moito, de dez segundos. De onde se segue que a distancia da Lúa á Terra non está en razón maior respecto á distancia da Terra ó Sol ca 29 a 10.000; nin maior respecto á distancia de Venus ó Sol ca 29 a 7.233.

A partir de aquí e dos tempos periódicos, segundo o método exposto, deducírase que a forza circunsolar absoluta será, como mínimo, 229.400 veces maior cá forza absoluta circunterrestre. Se isto só se coñecese polas observacións de Riccioli e de Vendelin de que a paralaxe é menor de medio minuto seguiríase, en todo caso, que a forza circunsolar absoluta superaría á circunterrestre unhas 8500 veces.

## **Diámetros aparentes dos planetas**

Con cálculos semellantes caín na conta da analoxía entre as forzas e as masas dos planetas; pero antes de que expoña isto, hai que determina-los diámetros aparentes dos planetas ás súas distancias medias da Terra: Flamsteed mediu cun micrómetro o diámetro de Xúpiter resultando 40'' ou 40'', o do anel de Saturno 50'', e o do Sol case de 32', 13''. O diámetro do corpo de Saturno é, ó diámetro do anel, segundo Huygens e Halley, como 4 a 9; segundo Gallet como 4 a 10, e segundo Hooke (que empregou un telescopio de sesenta pés) como 5 a 12. Da razón media de 5 a 12 colíxese un diámetro de case 21'' para o corpo de Saturno.

## Corrección dos diámetros aparentes

Estas son magnitudes aparentes pois, pola desigual refranxibilidade da luz, tódolos puntos luminosos dilátanse nos telescopios, e ocupan no foco do lente do obxectivo unha área circular de case unha cincuentava parte da apertura do vidro, ata tal punto que, no círculo externo a luz é tan rara que ou non chega ou case non se percibe; no centro, en cambio, onde está máis concentrada e chega a feri-la vista dabondo, forma un circuliño luminoso dunha anchura que, segundo a luminosidade do punto de luz, pode variar na práctica totalidade dos casos entre unha terceira ou cuarta ou, como moito, quinta parte da anchura total.

[Figura 2] Sexa ABD o círculo da luz toda; PQ o circuliño menor iluminado por unha luz abondo perceptible; C o centro de ámbolos dous; CA, CB os semidiámetros do círculo maior que conteñen o ángulo recto C; ACBE o cadrado comprendido entre estes diámetros; AB a súa diagonal; EGH a hipérbola descrita cun centro C e asíntotas CA, CB; PG unha perpendicular á mesma CB, levantada dende un punto calquera P, e que corta á hipérbola en G e ás rectas AB, AE en K e F: e a densidade da luz será, nun punto calquera P, segundo o meu cálculo, como a lonxitude FG e, polo tanto, infinita no seu centro e mínima no círculo externo.

En cambio toda a luz dentro do circuliño menor PQ é, á luz total de fóra, como a área do cuadrilátero CAKP ó triángulo PKB. Imaxínade que o circuliño menor PQ remata alí onde a densidade da luz FG comeza ser menor da necesaria para impresionar-la vista. E de aquí que un fogo de tres pés de anchura á distancia de 191382 pés, a través dun telescopio de tres pés, pareceulle a Picard de case 8" de ancho, cando lle debiera ter parecido dun ancho de 3" 14". Esta é a causa de que as máis relucentes das estrelas fixas parezan ter, ó telescopio, unha anchura de 5" ou 6"; isto con luz abondo chea, pero cunha luz máis débil esténdense máis. Por isto Heweicke, ó diminuí-la

apertura do telescopio, suprimiu ben unha gran parte da luz da periferia, e conseguiu que o disco da estrela se recortase máis nidamente e parecese máis pequeno, anque agora tamén parecese ter unha amplitude de 5" ou 6". Huygens, afumando lixeiramente os cristais do ocular, suprimiu tanta luz difusa que as estrelas parecían non ter anchura aparente ningunha, como se foran puntos. Por isto é polo que Huygens, interpoñendo un obstáculo dunha anchura tal que captase toda a luz dos planetas, obtivo uns diámetros maiores cós obtidos polos demais por medio do micrómetro, pois a luz difusa pódese ver máis axeitadamente cando o planeta está oculto, ó non ser escurecida por uns raios máis fortes. E, finalmente, isto fai que os planetas, cara ó Sol, parezan tan feitiños ó seren atenuados pola luz estendida. Deste xeito, Mercurio non pasaba dos 12" ou 15" nin para Heweicke, nin para Gallet nin para Halley; e Venus só parecía ocupar 1' 3" segundo Crabtree e 1' 12" segundo Horrocks cando, non obstante, segundo as medidas de Heweicke e Huygens, tomadas fóra do disco solar, tiña que ocupar como mínimo 84". Do mesmo modo o diámetro aparente da Lúa, que foi medido no ano 1684 no observatorio de París poucos días antes e despois do eclipse de sol, como de 31' 30", durante o eclipse non pasaba de 30' ou 30' 5". Os diámetros dos planetas débense diminuír daquela uns segundos cando estean fora do disco solar e, cando estean dentro, débense aumentar tamén uns segundos; pero nas medidas feitas co micrómetro os erros parecen ser, polo xeral, máis pequenos. Flamsteed estableceu que o semidiámetro de Xúpiter, calculado polo diámetro da sombra nos eclipses dos satélites, respecto á elongación máxima do satélite exterior era como de 1 a 24903; e como a elongación en cuestión é duns 8' 13", o diámetro de Xúpiter será de 39 1/2. O diámetro de 40" ou 41" achado co micrómetro, ó rexeita-la luz difusa, redúcese porén a 39 ?, e cunha corrección semellante hai que diminuí-lo diámetro de Saturno de 21" e establece-lo en

20'' ou pouco menos; pero o diámetro do Sol, ó se-la luz máis forte, ten que ser máis pequeno, se non me engano, e establecerse nuns 32' ou 32' 6''.

### **Por qué os planetas son uns máis densos e outros menos, e as forzas son como a cantidade de materia en cada un deles**

Certo é que non deixa de ser un misterio que os corpos celestes, de tamaños tan diversos, cheguen a ter unha analoxía tan grande coas súas forzas: é posible que os planetas máis afastados, por falla de calor, carezan daquelas substancias metálicas e de minerais pesados dos que está chea a Terra, e que os corpos de Venus e Mercurio, cunha maior calor do Sol, estean máis secos e compactos. Sábese, polo experimento do espello ustorio, que a calor aumenta coa densidade da luz; e esta aumenta segundo unha razón cadrada da proximidade ó Sol; de aquí séguese que a calor do Sol é, en Mercurio, sete veces maior ca entre nós no verán. Pero con tanta calor a auga ferve, e os outros vapores pesados do vitriolo e do mercurio vanse evaporando ós poucos, como teño comprobado co termómetro: polo tanto en Mercurio non subsiste líquido ningún, a non se-los máis pesados, que soportan moita calor e dos que nacen as substancias máis densas.

E daquela, se Deus tivera colocado á distancia axeitada do Sol cada un dos corpos atendendo á calor que lles conviñese, os máis densos serían sempre os que estiveran máis perto do Sol: esta sería a mellor razón para que os pesos dos planetas fosen entre si como as forzas. Quixera, non obstante, defini-los diámetros dos planetas con maior exactitude: isto ocorrerá se unha luz loce a través dun burato circular a unha grande distancia calquera e se diminúen tanto a luz da lámpada como o burato, ata o punto que a imaxe vista ó telescopio apareza coma se fose

un planeta, e se definirá coas mesmas medicións: a anchura do burato será, respecto á súa propia distancia ó cristal do obxectivo, coma o é o verdadeiro diámetro do planeta á súa propia distancia de nós; a luz da lámpada pódese diminuír interpoñendo panos ou un cristal afumado.

### **Outra analoxía entre forzas e corpos. Próbese nos celestes**

Entre as forzas e os corpos atraídos hai outra analoxía afín á xa descrita, pois a acción da forza centrípeta sobre os planetas decrece en razón ó cadrado da distancia, e o tempo periódico crece en razón sesquiáltera; é evidente que, sobre planetas iguais a iguais distancias do Sol, as accións serán iguais e iguais tamén os tempos periódicos e que, a distancias iguais de planetas desiguais, as accións colecticias serán coma os corpos dos planetas, pois as accións que non fosen coma os corpos que teñen que mover, non poderían retraer con regularidade ós devanditos corpos das tanxentes das súas órbitas e facer que as súas revolucións, en tempos iguais, completen órbitas tamén iguais; e os movementos dos satélites de Xúpiter tampouco poderían ser tan regulares coma son, a non ser que a forza circunsolar se exercera por igual sobre Xúpiter e tódolos seus satélites, segundo os pesos de cada un deles. E a mesma razón vale tamén para Saturno e o seu satélite, como para as nosas Terra e Lúa, como é evidente (polos corolarios 2 e 3 da Proposición LXV). Logo a acción da forza centrípeta, a distancias iguais, é igual sobre tódolos planetas en razón dos seus corpos ou da cantidade de materia dos corpos, e tamén aínda sobre tódalas partículas da mesma cantidade que compoñen os planetas, pois se a acción fose maior sobre as partículas dun mesmo xénero e é menor sobre as doutro, que en razón da cantidade de materia, sería tamén menor ou maior a acción sobre os planetas, e non só

en razón da cantidade de materia, senón segundo o xénero da materia que se achase neles, nuns máis abundante, noutros menos.

### **Próbase nos corpos terrestres**

Certo é que experimentei coa maior seguridade que puiden a analoxía nos diversos corpos que hai na Terra: a acción da forza circunterrestre, proporcional ós corpos que se han mover, moverá os ditos corpos en tempos iguais a igual velocidade (pola Lei 2 do Movemento) e fará que os corpos todos que caían percorran espacios iguais en tempos iguais, do mesmo xeito que tódolos corpos que estean suspendidos por fíos iguais oscilen en tempos iguais: cunha acción maior os tempos serán menores, e maiores cunha menor. Xa outros teñen observado que a caída de tódolos corpos (alomenos unha vez descontada a insignificante resistencia do aire) realízase en tempos iguais, e pódese observar coa maior exactitude a igualdade dos tempos nos péndulos: fixen experimentos con ouro, prata, chumbo, vidro, area, sal común, madeira, auga, trigo. Puña xuntas dúas caixas de madeira de forma e tamaño semellantes; enchía unha de madeira e penduraba no centro de oscilación da outra un peso de ouro igual (coa maior exactitude que puiden) ó outro; as caixas penduraban de fíos iguais, de once pés de lonxitude, e formaban péndulos totalmente iguais en peso, forma e resistencia ó aire; e ían e viñan á vez, xuntas, durante longo tempo con oscilacións parellas. Polo tanto, a cantidade de materia no ouro era á cantidade de materia na madeira como a acción da forza motriz sobre todo o ouro á acción da mesma sobre toda a madeira; isto é, como de peso a peso, e o mesmo nos demais; en corpos do mesmo peso estes experimentos poderían determina-la diferenza de materia con claridade, incluso sendo menor cá milésima parte do total de materia.

## Consenso das analoxías

Como a acción da forza centrípeta sobre o corpo atraído, a distancias iguais, é proporcional á cantidade de materia neste corpo, é tamén conforme á razón que sexa proporcional á cantidade de materia do corpo que atrae: así, a acción é mutua e fai que os corpos se atraian mutuamente con esforzos tamén mutuos (pola lei 3 do movemento) e, polo tanto, ten que ser axeitada a si mesma en ámbolos dous corpos: pódese considerar un dos corpos como atraínte e o outro como atraído, pero esta distinción é máis matemática que natural; en realidade a atracción é de cada un corpo de seu sobre o outro corpo e, polo tanto, do mesmo xénero en ámbolos dous.

## E coincidencia

E esta é a causa de que a forza atractiva se atope no un e no outro. O Sol atrae a Xúpiter e ó resto dos planetas; Xúpiter atrae ós satélites e, por razón semellante, os satélites actúan os uns sobre os outros e tamén sobre Xúpiter, e tódolos planetas entre si; e aínda que as accións mutuas de dous planetas distinguiríanse entre si ó seren consideradas como dúas accións, coas que cada un atrae ó outro; non obstante, ó seren intermedias, non son dúas, senón unha soa operación entre dous termos: a contracción dun só fío interposto entre eles pode atraer dous corpos entre si. A causa da acción é dobre: sen dúbida a disposición dun e outro corpos; a acción tamén é dobre porque os corpos son dous pero, pola súa banda, entre cada un deses dous corpos é, á vez, sinxela e única. A operación pola que o Sol atrae, por exemplo, a Xúpiter non é unha soa e outra operación distinta a que fai que Xúpiter atraia ó Sol, senón unha operación pola que o Sol e Xúpiter tentan achegarse entre eles. A acción mesma pola que o Sol atrae a Xúpiter fai que Xúpiter e o Sol se acheguen un ó outro (pola Lei 3 do movemento) e a acción pola que

Xúpiter atrae ó Sol fai tamén que Xúpiter e o Sol se acheguen: ó Sol, pois, non o leva cara a Xúpiter unha acción dobre e tampouco Xúpiter cara ó Sol, senón que unha soa acción intermedia fai que ámbolos dous vaian un cara ó outro. O ferro atrae ó imán do mesmo xeito que o imán ó ferro, pois todo ferro preto dun imán atrae tamén outro ferro; mais a acción entre o imán e o ferro é simple, e como simple a consideran os filósofos: a operación do ferro sobre o imán é a mesma operación do imán entre el mesmo e o ferro, que fai que ámbolos dous tenten achegarse entre eles. Isto pódese comprobar ben porque ó suprimi-lo imán, esmorece de súpeto toda a forza do ferro.

Deste xeito hai que concibi-la operación simple que actúa sobre dous planetas e que xorde da súa natureza concorde, e deste mesmo xeito actuará en cada un deles: tan proporcional será á materia nun deles, coma proporcional á materia será no outro.

### **As forzas dos corpos pequenos son inapreciables**

Pode que alguén diga que, segundo esta lei e contra toda experiencia nos corpos terrestres, tódolos corpos teñen que atraerse mutuamente; pero respóstolles que a experiencia nos corpos terrestres practicamente non existe, xa que as atraccións de esferas homoxéneas na veciñanza da súa superficie son (pola Proposición LXXII) coma os diámetros; de onde unha esfera, homoxénea á Terra e dun pé de diámetro, atrae un corpúsculo nas inmediacións da súa superficie cunha forza case 20.000.000 de veces menor ca Terra na súa, e unha forza tan pequerrechiña non produce efecto apreciable ningún. Dous globos semellantes, que disten entre eles só a cuarta parte dunha polgada non se xuntarían no espacio libre, en razón da forza de atracción mutua, en menos dun mes. O achegamento de globos máis pequenos sería aínda máis lento en razón dos diámetros, e nin sequera bastarían montes enteiros para facer apreciables os



seus efectos: un péndulo, ó pé dun monte semiesférico de tres millas de altura e seis de ancho, atraído pola forza do monte, non se desviará da perpendicular nin dous minutos. Semellantes forzas só é posible intuirmolas nas inxentes masas dos planetas; agás que discutamos sobre as partes máis pequenas do modo seguinte.

### **As forzas que moven os corpos terrestres son proporcionais á cantidade da súa materia**

Sexa ABCD o globo terráqueo cortado nun plano calquera AC en dúas partes, ACB e ACD; a parte ACB, ó se apoiar sobre a parte ACD cárgaa co seu peso todo, mais a parte ACD non pode soste-la presión e ficar inmóbil, a non ser que houberse un empuxe igual cara ó lado contrario; [*Figura 3*] as partes, daquela, empúxanse unhas ás outras de forma equilibrada cos seus pesos, é dicir, tráense entre elas con regularidade, como esixe a terceira Lei; e ademais, ó se separaren unhas das outras ou ó seren ceibas caerían unha cara á outra cunha velocidade recíproca ós corpos. É doado experimentar e comproba-las cousas estas todas cun imán: sexa agora ACB un corpo pequeno calquera na superficie da Terra; e coma as atraccións desta partícula e de todo o resto ACD da Terra entre si son iguais entre elas, a atracción da partícula cara á Terra (é dicir, o seu peso) é como a materia da partícula, segundo se probara co experimento do péndulo, e tamén será a atracción da Terra cara á partícula coma a materia da partícula mesma, de xeito que as forzas atractivas de tódolos corpos terrestres son coma a cantidade de materia en cada un deles.

## **Próbase que as mesmas forzas operan nos corpos celestes**

Logo as forzas, que son coma a materia en tódolos corpos terrestres de calquera forma e, polo tanto, non cambian ó cambia-las súas formas, deben acharse en tódolos corpos tanto celestes coma terrestres e, en todos eles, han ser proporcionais á materia, porque todos eles non se diferencian polo xénero da súa substancia, senón só polas formas e as modificacións; isto próbase así tamén nos corpos celestes: xa se veu que a acción da forza circunsolar sobre tódolos planetas (levados a iguais distancias) é coma a materia nos planetas; isto tamén consta así da acción circunxovial sobre os satélites de Xúpiter, e a razón da atracción de tódolos planetas sobre cada un deles é a mesma. Séguese (pola Proposición LXIX) que as súas forzas atractivas son coma a materia en cada un deles.

## **Que as forzas decrecen dende a superficie dos planetas cara a fóra en razón ó cadrado da distancia ó centro, e cara a dentro en razón directa da distancia**

Como as partes da Terra se atraen mutuamente, do mesmo modo o fan as partes dos planetas; se Xúpiter e os seus satélites se xuntaran e formaran un so globo, non hai dúbida que cada un deles se atraería como antes o fixera, e viceversa, se o corpo de Xúpiter rompera en moitos globos, é de crer que non se atraerían entre eles menos do que se atraeran os satélites. Estas atraccións fan que os corpos da Terra e de tódolos planetas collan unha forma esférica, e que as súas partes estean xuntas e non se espallen polo éter. Xa se mostrou que estas forzas todas teñen a súa orixe na natureza universal da materia e, polo tanto, a forza de todo o globo componse das forzas das partículas. E de aquí séguese (polo corolario 3 da Proposición LXXIV) que a forza de calquera partícula decrece en razón do cadrado da dis-

tancia desa partícula; e (polas Proposicións LXXIII e LXXV) que a forza do globo enteiro decrece dende a súa superficie cara a fóra segundo o cadrado, e cara a dentro en razón directa da distancia ó centro, se é que o globo está constituído de materia uniforme; e aínda que os globos no camiño dende o centro á superficie non sexan uniformes, seguirá a valer cara a fóra o decremento en razón do cadrado da distancia (pola Proposición LXXVI), sempre que a desigualdade sexa semellante no camiño ó redor; e dous globos destes (pola mesma proposición) atraeranse mutuamente cunha forza decrecente en razón do cadrado das distancias entre os centros.

### **Magnitudes das forzas e dos movementos nacidos delas en cada caso**

A forza absoluta de calquera globo é, pois, coma a cantidade de materia que teña; a forza motriz, pola súa banda, que fai que un globo calquera sexa atraído cara a outro, e á que nos corpos terrestres o vulgo chama co nome de *peso*, é coma o contido total da cantidade de materia contida en dous globos, dividido polo cadrado da distancia entre os seus centros (polo corolario 4 da Proposición LXXVI), e a cantidade do movemento é proporcional a esta forza, cantidade coa que cada globo se moverá cara ó outro nun tempo dado. Unha vez ben comprendidas estas cousas, será moi doado determina-los movementos respectivos dos corpos celestes.

### **Tódolos planetas xiran arredor do Sol**

Xa temos visto que, ó compara-las forzas dos planetas, a circunsolar é mil ou aínda máis veces maior cás outras; baixo a acción dunha forza tan grande é necesario que tódolos corpos dentro do espacio do sistema planetario, e moito máis lonxe,

caían en liña recta cara ó Sol, a non ser que se movan doutro modo, e nin sequera a Terra debe ser excluída do número de tales corpos; a Lúa, de certo, é do xénero dos planetas, e está suxeita ás mesmas atraccións que o resto dos planetas, pero a forza circunterrestre retena na súa órbita.

Xa temos probado máis arriba que a Terra e a Lúa son atraídas por igual cara ó Sol e, ademais, xa temos probado anteriormente que tódolos corpos están suxeitos a leis de atracción comúns. En cánto tempo un corpo calquera, privado do movemento circunsolar, baixaría e ó caer chegaría ata o Sol, dedúcese (pola Proposición XXXVI) da súa distancia ó Sol: isto é, na metade do tempo periódico no que o corpo pode xirar a unha distancia dúas veces menor, ou nun tempo que sexa, ó tempo periódico do planeta, coma 1 a  $4\div 2$ , como que Venus, caendo, chegaría ó Sol no espacio de corenta días; Xúpiter no espacio de dous anos e un mes; a Terra e a Lúa no espacio de sesenta e seis días e dezanove horas (e, como tal cousa non ocorre, é preciso que se movan noutra dirección); pero non basta calquera movemento: para impedi-la súa caída é necesaria unha velocidade abondo grande. Serve, pois, tamén este argumento para os planetas que perden velocidade; agás que a forza circunsolar decreza en razón do cadrado da desaceleración, o seu exceso faría que os corpos caeran cara ó Sol: por exemplo, se o movemento, ficando en equilibrio tódalas demais condicións, se fixese o dobre de lento, o planeta sería retido na súa órbita pola cuarta parte da forza circunsolar anterior e co exceso das outras tres cuartas partes caería cara ó Sol. Polo tanto os planetas, Saturno, Xúpiter, Marte, Venus e Mercurio non se retardan realmente nos perixeos, nin se fan realmente estacionarios nin recúan a modliño. Todo isto son só aparencias, e os movementos absolutos cos que os planetas se manteñen nas súas órbitas son sempre directos e cáseque constantes.

Temos probado que tales movementos se efectúan en torno ó Sol e, polo tanto, o Sol como centro de tales movementos abso-

lutos, está en repouso; así pois, ten que ser rexeitado absolutamente o repouso da Terra para que nos perixeos os planetas non se retarden realmente, nin se fagan estacionarios de verdade, nin recúen lentamente e, ó faltárllle-lo movemento veñan así caer no Sol. Como os planetas Venus, Marte, Xúpiter etc., con raios trazados ó Sol, describen órbitas regulares e áreas proporcionais ós tempos, como segundo as observacións xa se mostrou: séguese, en consecuencia (pola Proposición III e polo corolario 3 da Proposición LXV), que no Sol non inflúe ningunha forza notable, salvo a que move tódolos planetas por igual, conforme á cantidade de materia de cada corpo e segundo liñas paralelas; e polo tanto, todo o sistema móvese en liña recta: rexeitemos esta translación de todo o sistema, e o Sol repousará, máis ou menos, no centro do mesmo. Se o Sol xirase arredor da Terra e levara con el ó resto dos planetas, a Terra habería de atrae-lo Sol cunha grande forza e ós planetas circunsolares, en cambio, cunha forza de efecto inapreciable (contra todo o corolario 3 da Proposición LXV). Engade ademais que se a Terra, pola gravidade das súas partes, ten sido ata agora situada pola maioría na rexión máis baixa do mundo, agora o Sol con moita máis razón pola súa forza centrípeta, mil ou máis veces maior ca gravidade terrestre, deberá situarse no lugar máis baixo, e constituí-lo centro do sistema. Así pódese comprende-la verdadeira constitución do sistema máis fonda e exactamente.

### **O centro común de gravidade de tódolos planetas está en repouso, e o Sol móvese moi lentamente. Defínese o movemento do Sol**

Posto que as estrelas fixas, en relación unhas coas outras, están en repouso, imaxinemos que o Sol, a Terra e os planetas son coma un sistema de corpos que se moven de calquera maneira entre si e que o seu centro de gravidade común (polo corolario 4 das Leis) ou ben está en repouso ou ben se move

uniformemente en liña recta: neste segundo caso tamén o sistema enteiro se moverá en liña recta: esta hipótese é pouco doada e, unha vez descartada, ficará en repouso o centro común de gravidade; o Sol nunca se afasta moito dese centro: o centro común de gravidade do Sol e de Xúpiter cae na superficie do Sol. Se tódolos planetas á vez que Xúpiter, caesen cara ó mesmo lado do Sol, o centro común do Sol e de tódolos demais non se afastaría do centro do Sol máis do dobre que antes. Así pois o Sol, empuxado de tódolos xeitos polas diferentes situacións dos planetas, e errando sempre cun lento movemento libratorio, non chega xamais a se desviar máis do seu diámetro do centro en repouso de todo o sistema. A partir dos pesos do Sol e dos planetas determinados máis arriba, e da situación relativa de todos eles, pódese achar-lo centro común de gravidade e, unha vez determinado este, o lugar do Sol nun momento proposto.

### **Os planetas xiran en elipses con foco alomenos no Sol e, con raios trazados ó Sol, describen áreas proporcionais ós tempos**

Tódolos demais planetas xiran en torno ó Sol (este coa libración que xa se sinalou), en órbitas elípticas, e con raios trazados cara ó Sol describen áreas moi aproximadamente proporcionais ós tempos, como xa se mostrou (na Proposición LXV): se o Sol repousase e os demais planetas non influísen os uns sobre os outros, as órbitas serían elípticas e as áreas exactamente proporcionais ós tempos (pola Proposición XI, e o corolario I da Proposición XIII).

As interaccións dos planetas entre si, comparadas coas accións do Sol nos planetas non teñen importancia ningunha nin, polo tanto, levan a ningún erro apreciable: e eses erros veñen ser máis pequenos nas revolucións en torno ó Sol, posto en movemento do modo descrito, ca nas revolucións en torno ó Sol en repouso (pola Proposición LXVI e o corolario da Proposición

LXVIII). sobre todo se o foco de calquera órbita se coloca no centro de gravidade común de tódolos planetas interiores: a saber, o foco da órbita de Mercurio no centro do Sol, o foco da órbita de Venus no centro común de gravidade de Mercurio e do Sol, o foco da órbita da Terra no centro común de gravidade de Venus, Mercurio e do Sol, e así sucesivamente. Deste modo os focos das órbitas de tódolos planetas, coa excepción de Saturno, non se afastarán apreciablemente do centro do Sol, nin o foco da órbita de Saturno se afastará do centro común de gravidade de Xúpiter e do Sol de modo apreciable. Polo tanto, non andaron moi errados os astrónomos ó estableceren o foco común de tódalas órbitas no centro do Sol. No mesmo Saturno o erro que nace así non é maior de  $1^{\circ} 45''$ ; se esta órbita, ó localiza-lo seu foco no centro común de gravidade de Xúpiter e do Sol, cadrara mellor ós fenómenos, confirmaríanse tódalas cousas que temos dito.

### **Das dimensións das órbitas e do movemento dos afelios e dos nodos**

Se o Sol estivese en repouso e os planetas non influísen nada os uns nos outros, tamén estarían en repouso os seus afelios e os seus nodos (polas Proposicións I e XI, e o corolario da Proposición XIII), e os eixes maiores das órbitas elípticas serían coma as raíces cúbicas dos cadrados dos tempos periódicos (pola Proposición XV) e, polo tanto, obteríanse duns tempos periódicos dados; estes tempos téñense de medir a partir da primeira estrela de Aries, non dos puntos móbiles dos equinoccios. Pero o movemento do Sol aumenta calquera semieixe case a terceira parte da distancia dende o centro do Sol ó centro común de gravidade do Sol e do planeta (pola Proposición LX), e as accións dos planetas exteriores sobre os interiores aumentan algo os tempos periódicos dos interiores, aínda que inapreciablemente e, no que lles toca, os afelios se moven moi lentamente (polos corolarios 6 e 7 da Proposición LXVI). Así tamén, as accións

dos cometas, se é que algún chegase alén de Saturno, aumentarán os tempos periódicos de tódolos planetas e, sobre todo, os dos exteriores; e os afelios de todos eles se moverán no que lles toque. Ó progresaren os afelios, recúan os nodos (polos corolarios 11 e 13 da Proposición LXVI) e o seu retroceso, se o plano da eclíptica estivese en repouso, será (polo corolario 16 da Proposición LXVI) ó progreso dos afelios en cada órbita, coma o retroceso dos nodos da Lúa ó progreso do seu afelio, de modo moi aproximado: isto é, como 10 a 21 máis ou menos. As observacións astronómicas parecen confirmar que os afelios avanza moi lentamente, e que os nodos recúan de modo semellante con respecto ás estrelas fixas; daquela é verosímil que os cometas dean voltas por rexións alén dos planetas. Estes cometas, que xiran en órbitas moi excéntricas, atravesan a grande velocidade os seus perihelios, e cun movemento moi lento os seus afelios, e empregan case todo o tempo nas rexións supraplanetarias, como máis adiante se explicará amplamente.

### **Dos principios aducidos derívanse tódolos movementos da Lúa observados polos astrónomos ata o de agora**

Xa consta (pola proposición LXV), que os planetas que xiran deste modo poden arrastrar outros arredor de si coma satélites ou lúas; pero a acción do Sol fai que a nosa Lúa se mova con máis velocidade e que, cun raio trazado á Terra, describa unha área maior en relación co tempo e teña unha órbita menos curva e que, polo tanto, se achegue máis á Terra nas sicixias ca nas cuadraturas, salvo no que lle impide o movemento de excentricidade, pois a excentricidade é máxima cando o apoxeo da Lúa ocorre nas sicixias, e mínima cando ocorre nas cuadraturas e, polo tanto, a Lúa no perixeo é máis rápida e está máis preto de nós; pola súa banda, no apoxeo é máis lenta e máis afastada nas sicixias ca nas cuadraturas.



Ademais o apoxeo avanza e os nodos recúan, pero con movemento irregular; e por certo, o apoxeo avanza máis velozmente nas súas sicixias e recúa máis lentamente nas cuadraturas, e a diferenza entre o avance e o retroceso, ó longo dun ano, chega a facelo avanzar. Os nodos, en troques, repousan nas súas sicixias e recúan moi axiña nas cuadraturas; e ademais é maior a anchura máxima da Lúa nas súas cuadraturas que nas sicixias, e o movemento medio é máis lento no perihelio da Terra ca no seu afelio. Moitas das irregularidades no movemento da Lúa aínda non teñen sido observadas polos astrónomos; non obstante, todas elas derívanse dos nosos principios (polos corolarios 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13 da Proposición LXVI) e sábese que, efectivamente, ocorren nos ceos: na célebre hipótese de Horrocks, a máis enxeñosa (e, se non me equivoco, a máis precisa de todas) que Flamsteed adaptou ós ceos, pódese comprobar todo isto; pero hai que corrixi-las hipóteses astronómicas respecto ós movementos dos nodos, pois admiten unha ecuación máxima ou prostaférese nos seus octantes, pero esta desigualdade é do máis notable cando a Lúa pasa polos nodos e, en consecuencia, polos octantes. Daquela, Tycho, e despois outros, fixeron recaer esta desigualdade nos octantes da Lúa, e fixérona mensual, pero as razóns ata agora expostas amosan que debe ser referida ós octantes dos nodos, e facerse anual.

### **Tamén algúns outros movementos irregulares non estudados ata o de agora**

Ademais das desigualdades rexistradas polos astrónomos, hai algunhas outras que perturban ós movementos da Lúa ata o punto de que, polo de agora, non houbo lei que puidera reduci-las a certa regularidade, pois as velocidades, ou movementos horarios do apoxeo e os nodos da Lúa, e as súas ecuacións, así como tamén a diferenza entre a excentricidade máxima nas sicixias e mínima nas cuadraturas, e a desigualdade que cha-

mamos variación, aumentan e diminúen anualmente (polo corolario 14 da Proposición LXVI) en razón cúbica do diámetro solar aparente. A variación, por outra banda está, aproximadamente, en razón do cadrado do tempo entre as cuadraturas (polos corolarios 1 e 2 do Lema X e o corolario 16 da Proposición LXVI). E todas estas desigualdades son, na parte da órbita máis achegada ó Sol, un pouco maiores ca na parte oposta, pero a diferenza non é apenas (ou nin sequera apenas) apreciable.

### **A distancia da Lúa á Terra nun tempo dado**

A través dun cálculo, que non describo por aquilo da brevidade, acho tamén que a área que a Lúa describe cun raio trazado á Terra en cada un dos instantes de tempo iguais é, aproximadamente, como a suma do número  $237^{3/10}$  e o seno verso do dobre da distancia da Lúa á cuadratura máis próxima, nun círculo de raio a unidade e, polo tanto, que o cadrado da distancia da Lúa á Terra é coma a devandita suma dividida polo movemento horario da Lúa.

Así ocorre cando a variación nos octantes é dunha magnitude media pero, cando é maior ou menor, o dito seno verso débese aumentar ou diminuír na mesma razón: comprobén os astrónomos o ben que cadran as distancias así achadas cos diámetros aparentes da Lúa.

### **Dos movementos da Lúa derivanse os dos satélites de Xúpiter e Saturno**

Dos movementos da nosa Lúa pódense deriva-los movementos das lúas ou satélites de Xúpiter e Saturno, pois o movemento medio dos nodos do satélite exterior de Xúpiter é ó movemento medio dos nodos da nosa Lúa nunha razón composta polo cadrado do tempo periódico da Terra arredor do Sol, ó tempo periódico de Xúpiter arredor do Sol, e a razón simple do tempo

periódico do seu satélite arredor de Xúpiter ó tempo periódico da Lúa arredor da Terra (polo corolario 16 da Proposición LXVI) e, polo tanto, este nodo, nun século, se despraza  $8^{\circ} 24'$  cara adiante ou cara atrás segundo lle correspondera: os movementos medios dos nodos dos satélites interiores son ó movemento deste coma é ós seus tempos periódicos o tempo periódico do mesmo (polo mesmo corolario) e de aquí que estean dados; o movemento, pois, do apoxeo dun satélite calquera cara adiante é, ó movemento dos seus nodos cara atrás, coma o movemento do apoxeo da nosa Lúa ó movemento dos seus nodos (polo mesmo corolario) e de aquí que estea dado. As ecuacións máximas dos nodos e do apoxeo dun satélite calquera son ás ecuacións máximas dos nodos e do apoxeo da Lúa, respectivamente, coma os movementos dos nodos e do apoxeo dos satélites, no tempo dunha revolución das ecuacións anteriores, ós movementos dos nodos e do apoxeo da Lúa no tempo dunha revolución das ecuacións posteriores. A variación do satélite, visto dende Xúpiter, é á variación da Lúa, coma son os movementos todos, uns ós outros entre eles, dos nodos nos tempos periódicos do Satélite e da Lúa (polo mesmo corolario) e, polo tanto, no satélite exterior non supera os  $5'' 12'''$ . A pequenez destas desigualdades e a lentitude dos movementos fan que o movemento dos satélites pareza tan regular que os astrónomos modernos ou ben negan todo movemento dos nodos ou ben considéranlo levemente retrógrado.

### **Os planetas rotan sobre os seus eixes con movemento uniforme respecto ás estrelas fixas; este movemento é moi axeitado ó reparto do tempo**

Mentres que os planetas xiran deste xeito ó arredor de centros afastados, cada un rota arredor do seu propio eixe: o Sol en 26 días; Xúpiter en 9 horas e 56 minutos; Marte en 24 horas ?; Venus en 23 horas; e isto en planos non moi inclinados cara ó

plano da eclíptica, e segundo a orde dos signos, e como o determinan os astrónomos a partir das manchas dos seus corpos, que alternativamente van aparecendo e desaparecendo ós seus ollos; a revolución da nosa Terra é semellante, e faise en 24 horas. Consta que estes movementos nin se aceleran nin se retardan pola acción das forzas centrípetas (polo corolario 22 da Proposición LXVI). Son, ademais, regulares ben por riba de tódolos demais e, polo tanto, moi axeitados para medi-lo tempo. Pero as revolucións han ser computadas non a partir do retorno ó Sol, senón do retorno a unha estrela fixa, pois ó se-la situación dos planetas respecto ó Sol cambiante de modo pouco uniforme, as súas revolucións de Sol a Sol vólvense tamén irregulares.

### **A Lúa xira sobre o seu eixe con movemento diúrno, de modo semellante, e de aquí xorde a súa libración**

Así tamén a Lúa xira sobre o seu propio eixe con movemento moi regular respecto ás estrelas fixas, pois xira no tempo de 27 días, 7 horas e 43 minutos; isto é, nun mes sideral, de xeito que este movemento diúrno sexa igual ó movemento medio da Lúa na súa órbita, e por iso a mesma faciana da Lúa está sempre dirixida cara ó centro deste movemento medio; isto é, moi aproximadamente, cara ó foco externo da órbita luar: aquí ten a súa orixe a deflexión da cara da Lúa respecto á Terra, xa cara ó oriente, xa ó occidente, segundo a situación do foco ó que mire; e a desviación do caso é igual á prostaférese da órbita luar ou diferenza entre o movemento medio e o movemento real. Esta é a libración lonxitudinal da Lúa, e hai tamén unha libración latitudinal que nace da inclinación do eixe lunar cara ó plano da órbita na que xira a Lúa arredor da Terra; o devandito eixe mantén con moita aproximación a súa posición respecto ás estrelas fixas e así os polos pasan ante os nosos ollos alternativamente. É doado comprender isto a partir do movemento da Terra: o Sol ilumina alternativamente os seus polos debido á

inclinación do seu eixe sobre o plano da eclíptica. Determina-la posición do eixe respecto ás estrelas fixas, e a variación desta posición é problema digno dun astrónomo.

### **Acerca da precesión dos equinoccios e do movemento libratorio do eixe da Terra e dos planetas**

Debido ás revolucións diúrnas dos planetas, a materia tende a se afastar dos eixes deste movemento, e por iso as partes líquidas elévanse un pouco máis no Ecuador ca nos Polos, e alagarían ás partes sólidas de non se elevaren estas na mesma proporción. Esta é a causa de que os planetas sexan un pouco máis grosos polo seu ecuador ca polos seus polos, razón pola cal os seus puntos equinocciais recúan, e os eixes balancean cun movemento oscilante dúas veces por cada revolución, e dúas veces tamén voltan á inclinación inicial, como xa se ten exposto (no colorario 18 da Proposición LXVI). E de aquí que Xúpiter, contemplado a través de telescopios moi longos, non pareza completamente redondo, senón que o seu diámetro paralelo á eclíptica é algo máis oblongo có que vai do Setentrión ó Austro.

### **O mar ten que subir e baixar dúas veces ó día, e as mareas énchense na hora terceira da chegada dos astros ó meridiano do lugar**

O noso mar, a causa do movemento diúrno da Terra e polas atraccións do Sol e da Lúa, debe encherse e decrecer dúas veces cada día, tanto luar como solar. (polos corolarios 19 e 20 da Proposición LXVI), e a altura máxima da auga débese acadar antes da hora sexta de cada un deses días e a seguir da duodécima hora precedente. Pola lentitude do movemento diario, a preamar retárdase ata a hora duodécima e, pola forza do movemento de reciprocación, achégase canto pode á hora sexta. No

intre, mentres estamos a determina-lo tempo con maior exactitude mediante os fenómenos, ¿por que non quedámonos coa razón media e fixa-la preamar na hora terceira? Deste xeito a auga estará a subir todo o tempo no que a forza dos astros que a atrae é maior, e descende no tempo en que é menor, pois a devandita forza é maior dende a hora nona á hora terceira, e menor dende a hora terceira á nona: fago a conta das horas dende o paso de cada un dos astros polo meridiano do lugar, tanto por riba como por baixo do horizonte, e por horas do día lunar entendo as vixésimocuartavas partes do tempo no que a Lúa, no seu movemento diario aparente, retorna ó meridiano do lugar.

**As mareas máximas ocorren nas sicixias dos astros e da Terra, e as mínimas nas cuadraturas, á hora terceira do paso da Lúa polo meridiano do lugar; pero fóra das sicixias e das cuadraturas desvíase un pouco da devandita hora terceira á hora terceira da culminación solar**

Os dous movementos que produce o paso dos dous astros, non se ven coma movementos distintos, senón que constitúen unha especie de movemento mixto: na conxunción ou na oposición dos dous astros xúntanse os seus efectos e fórmanse os fluxos e os refluxos máis grandes de todos. Nas cuadraturas o Sol atrae a auga mentres a Lúa a rexeita, e rexeitaa cando a Lúa a atrae; e da diferenca de ámbolos dous efectos xorde a baixamar; e posto que, como testifica a experiencia, é maior o efecto da Lúa có do Sol, a auga acadará a maior altura na terceira hora lunar. Fóra das sicixias e cuadraturas, a marea máxima que se deba á soa forza lunar terá que coincidir sempre coa terceira hora lunar, e a que se deba á soa forza solar terá que coincidir coa terceira hora solar: coa composición de ámbalas dúas forzas coincidirá nun momento intermedio que estará máis preto da terceira lunar; e por iso no tránsito da Lúa das sicixias ás cuadraturas, que é cando a hora terceira do Sol precede á lunar, a

maior altura da auga adiantarase tamén á terceira lunar, e isto cun intervalo máximo pouco posterior ós octantes da Lúa e, con intervalos semellantes, a marea máxima seguirá á hora terceira lunar no tránsito da Lúa das cuadraturas ás sicixias.

### **As mareas son maiores cando os astros están nos seus perixeos**

Pois os efectos dos astros dependen da súa distancia á Terra: nas distancias menores os efectos son maiores e, nas maiores, menores; e isto en razón do cubo dos diámetros aparentes. Por esta razón, no inverno, ó estar o Sol no perixeio, produce maiores efectos, e fai que nas sicixias as mareas sexan maiores, e nas cuadraturas menores (en igualdade das restantes condicións) que no verán e a Lúa, ó estar no perixeio cada mes, causa mareas maiores ca quince días antes ou despois, cando discorre polo apoxeo: de onde se segue que, de modo ningún, se dean dúas mareas máximas seguidas en sicixias sucesivas.

### **As mareas son maiores perto dos equinoccios**

O efecto dos dous astros depende da súa declinación ou distancia ó Ecuador, pois se un astro se situase no Polo, atraería cara a alá, constantemente, todas e cada unha das partes de auga, sen aumento nin diminución da acción ata o punto que, polo tanto, non habería reciprocación ningunha do movemento. Así pois, ó afastárense os astros do Ecuador cara ó Polo, producen os seus efectos de forma gradual e, en consecuencia, as mareas serán menores nas sicixias dos solsticios ca nas dos equinoccios. En troques, nas cuadraturas solsticiais, as mareas serán maiores ca nas equinocciais; polo feito de que os efectos da Lúa unha vez situada no Ecuador superan de moito ós efectos do Sol. Ocorren, polo tanto, as mareas máximas nas sicixias

e as mínimas nas cuadraturas dos astros, cara ós equinoccios de ámbolos dous; e a marea máxima nas sicixias é sempre compañeira da mínima nas cuadraturas, coma xa se ten determinado experimentalmente. Ocorre, en cambio, porque a distancia da Terra ó Sol é menor no tempo do inverno ca no verán, que as mareas máximas e mínimas preceden máis frecuentemente que seguen ó equinoccio de primavera; e tamén máis frecuentemente seguen que preceden ó de outono.

### **As mareas, fóra do Ecuador son, alternativamente, maiores e menores**

Os efectos dos astros dependen tamén da latitude de cada lugar: [*Figura 4*] sexa ApEP a Terra cuberta totalmente de augas fondas; C o seu centro; P, p os polos; AE o Ecuador; F un lugar calquera fóra do Ecuador; Ff o paralelo do lugar; Dd o paralelo que lle corresponda ó outro lado do Ecuador; L o lugar que ocupaba a Lúa tres horas antes; H o lugar da Terra suxeito perpendicularmente a el; h o lugar oposto ó anterior; K, k uns lugares distantes 90 graos dos dous anteriores; CH, ch as alturas máximas do mar medidas dende o centro da Terra; e CK, ck as mínimas; se cos eixes Hh, Kk se describe unha elipse e despois, pola revolución desta elipse en torno ó eixe maior Hh se describe o esferoide HPK hpk, esta figura representará ó mar de forma moi aproximada, e serán entón CF, Cf, CD, Cd as alturas do mar nos puntos F, f, D, d. Pero se, ademais, na devandita revolución da elipse un punto calquera N describe un círculo MN secante ós paralelos Ff, Dd en calesquera lugares R, T, e ó Ecuador AE en S. CN será a altura do mar en tódolos lugares R, S, T, situados neste círculo.

De aquí que, na revolución diaria de calquera lugar F, o fluxo será máximo en F na hora terceira despois do paso da Lúa polo meridiano sobre o horizonte; despois, o refluxo será máximo en Q na hora terceira despois do ocaso da Lúa; e así o fluxo máxi-



mo en Q será na hora terceira despois da chegada da Lúa ó meridiano baixo o horizonte e, por último, o refluxo máximo en Q na hora terceira despois do orto lunar; e o fluxo seguinte en *f* será menor có fluxo anterior en F.

Divídese, pois, o mar enteiro en dous fluxos enormes e semiesféricos: un no hemisferio KHkC que está orientado ó Norte, e o outro no hemisferio oposto KhkC: podémolos chamar pois fluxo boreal e fluxo austral. Estes fluxos, sempre opostos entre eles, chegan alternativamente ós meridianos de cada lugar, cun intervalo de doce horas lunares. E como as rexións boreais participan máis do fluxo boreal e as austrais do austral, séguese que as mareas sexan alternativamente maiores e menores en cada lugar ó un e ó outro lado do Ecuador. A marea maior, pois, cando a Lúa declina cara ó vértice do lugar, coincidirá aproximadamente coa hora terceira despois do paso da Lúa polo meridiano sobre o horizonte do lugar e, ó ir cambiando a declinación da Lúa, inverterase cara á menor; e a máxima diferenza de fluxos caerá na época dos solsticios, sobre todo se o nodo ascendente da Lúa vén caer no comezo de Aries; así, en Plymouth, as mareas da mañá no inverno superan ás vespertinas –e as vespertinas, no verán, ás matutinas– cáseque nun pé de altura; e en Bristol en quince polgadas de altura, segundo as observacións de Colepress e Sturmy.

### **Pola conservación do movemento imprimido diminúe a diferenza das mareas, e pode ocorrer tamén que a marea máxima mensual sexa a terceira despois das sici-xias**

Pero os movementos do mar descritos ata o de agora varían un pouquiño pola devandita forza de reciprocación das augas, que fai que a marea do mar, incluso sen que se dea a influencia dos astros, poida manterse durante algún tempo. Esta conservación do movemento imprimido diminúe a diferenza das mareas

alternas; e fai maiores as mareas inmediatas ás sicixias, e menores as inmediatas ás cuadraturas. O que fai que as mareas alternas en Plymouth e Bristol non difiran entre si moito máis dun pé ou quince polgadas de altura, e que as maiores mareas nestes portos non sexan as primeiras, senón as terceiras despois das sicixias.

### **O movemento do mar retárdase pola obstrucción nas cuncas mariñas**

Tamén pode ocorrer que a marea maior sexa a cuarta ou a quinta despois das sicixias, ou que chegue máis tarde aínda, polo feito de que os movementos do mar se retarden ó pasar por lugares de pouca profundidade camiño das costas; así ocorre que a marea chega á costa occidental de Irlanda á terceira hora lunar, e despois dunha ou dúas horas chegue ós portos do sur da dita illa; o mesmo que ás Casitérides, chamadas comunmente Sorlings; e despois, sucesivamente, a Falmouth, Plymouth, Portland, a illa de Wight, Winchester, Dover, a boca do Támesis e a Ponte de Londres, tardando doce horas neste percorrido; e ata no Océano mesmo a propagación da marea é impedida por cuncas non fondas dabondo: efectivamente, a marea chega ás Illas Afortunadas e ás costas occidentais do Océano Atlántico, de Irlanda, Francia, España e África toda, ata o cabo de Boa Esperanza, na terceira hora lunar, salvo nuns cantos lugares pouco fondos, onde a marea obstaculizada chega máis tarde; e no Estreito de Cádiz, onde ten lugar primeiro debido á propagación do movemento dende o mar Mediterráneo; pasando destas costas ás americanas a través do Océano, chega primeiro ás costas máis orientais de Brasil cara á hora cuarta ou quinta, despois ás bocas do Amazonas á hora sexta, pero ás illas adxacentes á hora cuarta; despois ás Illas Bermudas á sétima, e ó porto de San Agostiño na Florida á hora sétima e media. Por conseguinte, a marea pasa a través do Océano máis lentamente

ca en razón do paso da Lúa, e este retraso é moi necesario para que, ó mesmo tempo, a mar descenda entre o Brasil e a Nova Francia, e ascenda nas Illas Afortunadas e nas costas de Europa e África, e viceversa. Pois o mar non pode subir nun lugar sen baixar, ó mesmo tempo, noutro.

É verosímil que, no Pacífico, o mar se mova tamén segundo a lei xa exposta, pois din que nas costas de Chile e o Perú unha marea moi alta coincide coa terceira hora luar; pero aínda non puiden determina-la velocidade á que se propaga dende alí ata a costa oriental do Xapón e as Filipinas e demais illas adxacentes ó reino da China.

### **Obstáculos nas cuncas mariñas e as costas orixinan fenómenos diversos, como que o mar só suba unha vez ó día**

Podé ocorrer, en relación con isto, que a marea se propague dende o océano por distintos estreitos cara ó mesmo porto, e pase antes por uns deles ca polos outros: neste caso, a mesma marea dividida en dous ou máis chegadas sucesivas, podería compoñer movementos novos de diversa índole: supoñamos que unha marea se divide en dúas iguais, das que a primeira antecede á segunda en seis horas e coincide coa hora terceira ou a vixésimo sétima despois do paso da Lúa sobre o meridiano do porto: se a Lúa se atopase no Ecuador neste paso concreto polo meridiano, os fluxos chegarán con ondulacións iguais cada seis horas, que, ó coincidiren cos respectivos reflexos, se igualarán cos fluxos e así farán que, no espacio dun tal día, a auga estea tranquilamente estancada; pero se naquel momento a Lúa estivese declinada dende o Ecuador, as olas serán no océano maiores e menores alternativamente, como xa se ten dito e, polo tanto, se propagarán cara ó porto alternativamente dúas maiores e dúas menores. Os dous fluxos maiores compoñerán unha ola moi alta no punto medio entre ámbolos dous, e o fluxo maior e menor farán que a auga suba ata o punto medio entre ámbolos

dous; e entre os dous fluxos menores a auga alcanzará a altitude mínima. Así, no espacío de vinte e catro horas a auga alcanzará a máxima altura non dúas veces, como normalmente ocorre, senón unha soa; e unha soa tamén a mínima; e a altura máxima, se a Lúa declina cara ó Polo de arriba do horizonte do lugar, ocorrerá ou na hora sexta ou na trixésima dende o paso da Lúa polo Meridiano; e ó cambia-la declinación da Lúa, cambiará cara ó refluxo.

De todas estas cousas temos<sup>2</sup> un exemplo no porto de Batshaw no reino de Tonquin, con latitude boreal de  $20^{\circ} 50'$ : alí a auga estáncase ó día seguinte do paso da Lúa polo Ecuador; despois, ó declinar a Lúa cara ó Norte, comeza a fluír e refluír, e non dúas veces como noutros portos, senón unha vez cada día; e a preamar coincide co ocaso da Lúa e a baixamar co orto lunar: ó aumenta-la declinación da Lúa crece esta marea ata o día sétimo ou octavo; despois durante outros sete días decrece cos mesmos pasos cos que antes crecera e, ó cambiar a declinación da Lúa, cesa, e máis tarde convértese nun refluxo; pero dende ese momento, o refluxo coincide co ocaso da Lúa, e o fluxo co nacemento ata que a declinación cambie de novo.

A entrada dende o océano a este porto é dobre: unha máis dereita e máis curta entre a illa de Hainan e as costas de Quantung, provincia da China; a outra arredor da dita illa por fronte ás costas da Cochinchina; pola máis curta a marea propágase primeiro ata Batshaw.

## **Os tempos das mareas son máis irregulares nos leitos dos ríos ca no océano**

Das cuncas depende o fluxo e refluxo do curso dos ríos, pois o dito curso fará que a auga suba máis lentamente dende o mar ou que baixe máis rápida e velozmente cara ó mar, e tamén que

<sup>2</sup> Número 162 das *Philosophical Transactions*.

tarde máis en refluír ca en fluír, sobre todo se sobe moito río arriba, onde a forza do mar é menor; así, no río Avon, no terceiro miliario máis abaixo de Bristol, di Sturmy que a auga sobe durante cinco horas e baixa durante sete; máis arriba de Bristol, cara a Caresham ou Bath a diferenza é, sen dúbida, maior. Tamén depende esta diferenza da magnitude do fluxo e do refluxo, pois nas sicixias dos astros o movemento máis forte do mar, superando con máis facilidade a resistencia dos ríos, fará que a auga creza máis rapidamente e durante máis tempo e, polo tanto, fará diminuír tamén esta diferenza; pero ademais, mentres que a Lúa pasa polas sicixias, é preciso que os ríos, debido a que as súas correntes se achán obstaculizadas polo volume da marea, crezan máis e, polo tanto, impidan un pouco máis o refluxo do mar xusto despois das sicixias que xusto antes. Por esta causa as mareas máis lentas non coinciden coas sicixias, senón que as preceden un pouco. Xa dixen tamén que pola forza do Sol as mareas, antes das sicixias, fanse máis lentas: xúntense ámbalas dúas causas e o retraso das mareas será maior e precederá aínda máis ás sicixias. Todas estas cousas deduzo que son así a partir das táboas de mareas confeccionadas por Flamsteed tras moitísimas observacións.

**As mareas dos mares maiores e máis fondos resultan maiores; tamén son maiores nas costas dos continentes ca nas illas no medio do mar, e aínda maiores nas enseadas baixas e moi abertas ós océanos**

Os tempos das mareas se gobernan polas leis ata aquí descritas; a súa magnitude depende da magnitude do mar: [*Figura 5*] sexa C o centro da Terra; sexa EADB a figura oval do mar; CA o semieixe maior desta figura oval; CB o semieixe menor que forma ángulo recto co anterior; D o punto medio entre A e B; e ECF ou *eCf* o ángulo ó centro da Terra, trazado pola anchura do mar, delimitado polas costas E, F ou ben e, f.

Poñámo-lo punto *A* no medio entre *E* e *F*; e o punto *D* entre *e*, *f*; e se pola diferenxia de altitudes entre *CA*, *CB* representáramo-la magnitude da marea no máis fondo dos mares, que rodease a Terra toda, o exceso de altura de *CA* sobre *CE* ou *CF* representará a magnitude da marea no medio do mar *EF*, delimitado polas costas *E*, *F*; e o exceso de altura de *Ce* sobre a altura de *Cf*, representará moi aproximadamente a magnitude da marea nas costas de dito mar.

De onde se segue que as mareas, no medio do mar, son moito menores ca nas costas, e que as mareas nas costas son como a amplitude *EF* do mar, non maior ca un arco do cuadrante; e esta é a causa de que, nas inmediacións do Ecuador onde o mar é estreito entre África e América, as mareas sexan moito máis pequenas ca aquí nas zonas templadas, onde os mares se estenden abertamente, e que nas costas todas do Pacífico tanto americanas como chinas, tanto dentro como fora dos Trópicos; e que nas illas situadas no medio do mar cáseque non suban máis de dous ou tres pés, e pola súa parte nas costas dos grandes continentes sexan tres ou catro veces maiores ou aínda máis: sobre todo se os movementos chegan dun océano aberto e se van contraendo pouco a pouco nun espacio estreito, e a auga, con gran forza a través dos lugares pouco fondos, vese obrigada a encher e baleirar alternativamente as sinuosidades fluíndo e refluíndo, como en Plymouth e na ponte de Chepstow en Inglaterra, como no Mont-Saint-Michel e na cidade dos Abrincates (na lingua vulgar Avranches) en Normandía, e en Camboxa e Pegu nas Indias Orientais: nestes lugares o mar, ó subir e baixar moi axiña, ou alaga a beiramar ou deixa tras de si areas de moitas millas, e o empuxe do fluxo e do refluxo non se pode parar antes de que a auga suba ou baixe 40, 50 ou máis pés, e así os estreitos largos, pouco fondos e abertos ós océanos con bocas máis anchas e fondas ca o resto do estreito (do tipo do Británico e o de Magallanes na súa entrada oriental), flúen e reflúen máis, ou ben aumentan e diminúen o seu curso, e por esta razón soben e baixan máis.

Dise que nas costas da América do Sur algunhas veces o mar Pacífico, no seu refluxo, recúa ata dúas millas e parece fuxir da vista de quen está na beira e, en consecuencia, tamén as mareas alí son maiores. Nas augas máis fondas, en troques, sempre é menor a velocidade do fluxo e do refluxo e, polo tanto, tamén é menor a subida e a baixada; en semellantes lugares o océano, que se saiba, non sobe máis de seis, oito ou dez pés. A cantidade, pois, do ascenso cóntoa así.

### **Dos principios expostos compútase a forza do Sol para perturba-los movementos da Lúa**

[Figura 6] Sexa S o Sol; T a Terra; P a Lúa; PAGB a órbita da Lúa. Tómesese sobre SP SK igual a ST, e SL a SK en razón cadrada de SK a SP, e trácense LM paralelos a PT; e se a forza circunsolar media que actúa sobre a Terra se expon por medio de ST, ou por SK, SL será a forza circunsolar que actúa sobre a Lúa. Esta se compón das partes SM, LM, das que LM e parte da mesma SM perturba o movemento da Lúa (como xa se expuxo na Proposición LXVI e os seus corolarios).

En tanto que a Terra e a Lúa xiran arredor dun centro común de gravidade, a Terra estará empuxada por forzas equiparables; pero as sumas tanto das forzas coma dos movementos pódese referi-las á Lúa, e representa-las ditas sumas das forzas polas liñas TM e ML análogas a elas. A forza ML no seu valor medio é, á forza coa que a Lúa pode xirar na súa órbita arredor da Terra en repouso á distancia PT, en razón cadrada dos tempos periódicos da Lúa arredor da Terra e da Terra arredor do Sol (polo corolario 17 da Proposición LXVI) esto é, en razón cadrada de 27 días, 6 horas, 43 minutos a 365 días, 6 horas e 9 minutos; ou sexa, coma 1.000 a 178.725, ou tamén 1 a  $178^{29/10}$ . A forza coa que a Lúa pode xirar na súa órbita en torno á Terra en repouso, á distancia PT de  $60^{1/2}$  semidiámetros terrestres, é coma a forza coa que no mesmo tempo pode xirar á distancia de 60 semidiá-

metros, como 60? a 60; e esta forza é á forza da gravidade entre nós coma 1 a 60 x 60; e polo tanto, o valor medio da forza ML é á forza da gravidade na superficie da Terra coma 1 x 60? a 60 x 60 x 60 x 178<sup>29/40</sup>, ou sexa coma 1 a 638,092,6. De onde, da proporción das liñas TM, LM, se da tamén a forza TM. Estas son as forzas coas que o Sol perturba os movementos da Lúa.

### **Calcúlase a forza do sol para move-lo mar**

Se se descende do globo da Lúa á superficie da Terra, estas forzas diminuirán en razón das distancias de 60? a 1 e, polo tanto, a forza ML farase agora 38.604.600 veces menor cá forza da gravidade; esta forza, ó actuar por igual sobre tódalas partes da Terra, ou apenas ou nin sequera apenas cambiará o movemento do mar e, polo tanto, pódese prescindir del na explicación dos seus movementos; a outra forza, TM, é tres veces maior cá forza ML nos lugares nos que o Sol se sitúa no cénit ou no nadir e, polo tanto, 12.868.200 veces menor cá forza da gravidade.

### **Calcúlase a altura da marea no Ecuador resultante da forza do Sol**

Representen agora [Figura 7] ADBE a superficie esférica da Terra; aDbE á auga que a cobre; C ó centro de ámbalas dúas, A o lugar sobre o que o Sol cae perpendicularmente, B o lugar oposto; D, E uns lugares distantes noventa graos do anterior; ACE, *mlk* unha canle cilíndrica rectangular que atravesa o centro da Terra. A forza ML nun punto calquera é como a distancia dende el ata o plano DE, ó que é perpendicular a recta AC, de xeito que, na parte ECIm da canle, é nula; e na outra parte ACIk é coma a gravidade en cada unha das alturas, pois a gravidade, no descenso ó centro da Terra é en calquera sitio coma a altura (pola Proposición LXXIII). Por conseguinte, a forza ML, ó



empuxa-la auga cara arriba, diminúe a súa gravidade na proporción determinada ó longo do brazo *AClk* do canal; e por iso a auga deste brazo da canle ascenderá para compensar cunha maior altura a falla de gravidade; e non repousará en equilibrio ata que a gravidade total sexa igual á gravidade total no brazo *CI<sub>m</sub>E* da canle. Posto que a gravidade dunha partícula calquera é coma a súa distancia ó centro da Terra, o peso total da auga no brazo da canle crecerá en razón cadrada da altura *e*, polo tanto, a altura da auga no brazo *Aclk* será á altura da auga no brazo *CI<sub>m</sub>E* coma a raíz cadrada da razón dos números 12.868.201 a 12.868.200; ou en razón do número 25.623.053 ó número 25.623.052, e a altura no outro brazo *ECl<sub>m</sub>* á diferenza de alturas como 25.623.051 a 1. A altura do dito brazo *Ecl<sub>m</sub>* é, daquela, de 19.615.800 pés parisienses, como ten sido recentemente establecido polos franceses; e en consecuencia, pola analoxía xa dita, séguese unha diferenza de alturas de  $9^{1/5}$  polgadas do dito pé. Polo tanto a altura do mar por causa da forza do Sol será maior en *A* ca en *E* nunhas nove polgadas, e aínda que na canle *ACEmlk* a auga se conxele e quede ríxida, permanecerán, non obstante, as alturas das augas que sobrenadan á Terra en *A* e *E*, e en tódolos lugares intermedios.

### **Calcúlase a altura da marea nos paralelos debida á forza do Sol**

Represente *Aa* o exceso xa sinalado de nove polgadas de altura en *a*; e *hf* o exceso de altura noutro punto calquera *h*: fágase caer unha perpendicular *fG* sobre *DC*, que corte á esfera en *F*. Dada a gran distancia que hai ó Sol, que fai que tódalas liñas que se dirixen ó Sol se poidan considerar paralelas, a forza *TM* en calquera lugar *h* ou *f* é á dita forza no lugar *A* coma o seo *FG* é ó raio *AC*; e polo tanto, cando as tales forzas tenden ó Sol segundo liñas paralelas, xerarán á súa vez alturas paralelas *Ff*, *Aa* na mesma proporción. E, en consecuencia, a figura

da auga DfaEb será unha esferoide, construída pola revolución dunha elipse sobre o seu eixe maior  $ab$ ; ademais, a altura perpendicular  $fh$  é á altura oblicua  $fF$  coma  $fG$  a  $fC$  ou  $FG$  a  $AG$ ; e polo tanto, a altura  $fh$  é á altura  $Aa$  en razón cadrada de  $FG$  a  $AC$ ; isto é, na razón que gardan o seo verso do dobre do ángulo  $DCf$  ó dobre do raio  $e$ , polo tanto, está xa dada. E por isto, cando o Sol aparenta xirar arredor da Terra, obtemos en cada momento, nun lugar calquera do Ecuador, a taxa de subida e de baixada; obtense tamén o decremento da marea orixinado tanto pola latitude dos lugares coma da declinación do Sol: efectivamente, a causa da latitude dos lugares, o ascenso e descenso do mar en cada lugar diminúe en razón cadrada do seo do complemento da latitude; e tamén da declinación do Sol: tal ascenso e descenso no Ecuador diminúe en razón cadrada do seo do complemento da declinación; e fóra do Ecuador a semisuma dos ascensos matutino e vespertino –isto é, o ascenso medio– diminúe, moi aproximadamente, na mesma proporción.

### **A razón das mareas no Ecuador, nas sicixias e nas cuadraturas, debida á forza conxunta do Sol e da Lúa**

Sexan  $S$  e  $L$  as forzas do Sol e da Lúa, situados no Ecuador e á súa distancia media da Terra;  $R$  o raio;  $T$  e  $U$  os seos versos do dobre dos ángulos complemento da declinación do Sol e da Lúa nun momento dado;  $D$  e  $E$  os diámetros medios aparentes do Sol e da Lúa;  $F$  e  $G$  os seus diámetros aparentes no dito momento dado; e as forzas que han produci-las mareas no Ecuador, nas sicixias,  $\sqrt{G^3/2RE^3}L + \sqrt{F^3/2RD^3}S$ ; e nas cuadraturas  $\sqrt{G^3/2RE^3}L - \sqrt{F^3/2RD^3}S$ . Se a mesma razón das mareas fose observada nos paralelos, polas observacións realizadas con toda precisión na nosa rexión boreal, teríamo-la proporción entre as forzas  $L$  e  $S$ . E, ó fin, con esta regra sería doado predici-la magnitude das mareas en cada sicixia e en cada cuadratura.

## Cálculo da forza lunar causante das mareas, e da altura da auga resultante dela

Na desembocadura do río Avon no terceiro miliario por baixo de Bristol, na primavera e no outono, o ascenso total da auga na conxunción e na oposición dos astros é de 45 pés, segundo observacións de Samuel Sturmy, mentres que nas cuadraturas é só de 25 pés: supoñamos que os diámetros aparentes, que aquí non se establecen, son os seus diámetros medios, e tamén que a declinación da Lúa nas cuadraturas equinocciais é a súa declinación media, ou sexa de  $23\frac{1}{2}$  graos; entón o seo verso do dobre do ángulo complemento será de 1.682, suposto un raio de 1.000. Mais a declinación do Sol nos equinoccios e a da Lúa nas sicixias é nula; e o seo verso do dobre do ángulo complemento é 2.000: de aí que nas sicixias a forza sexa de  $L + S$  e nas cuadraturas de  $1.682/2000 L - S$ , proporcional ás alturas das mareas de 45 e 25 pés ou de 9 e 5 pasos.

E multiplicados entre si os medios e os extremos será  $5L+5S = 15133/2000L - 9S$ , ou tamén  $L = 23000/5133 S = 5^5/11$ .

Polo demais, recordo ter oído que, no verán, o ascenso do mar nas sicixias é ó ascenso nas cuadraturas cáseque coma 5 a 4; nos solsticios mesmos é verosímil que a proporción sexa un pouco menor, coma de 6 a 5: e séguese que  $L = 5^1/6S$  e, ata que nos conste algo máis certo por medio de observacións, asumamos que  $L = 5^1/6S$  e posto que as mareas son coma as forzas, a forza solar fará subi-la preamar nove polgadas de altura, e a da Lúa a elevará a catro pés. Supoñamos que a devandita altura, pola forza de reciprocación das augas que fai que o movemento unha vez imprimido se conserve un certo tempo, se duplique ou tal vez se triplique, e se orixinará a magnitude total das mareas que, de feito, se observa nos océanos.

## **Estas forzas do Sol e da Lúa só se poden percibir gracias ás mareas do mar**

Estas forzas bastan, pois, para move-lo mar; pero non producen, no que eu podoo advertir, ningún outro efecto sensible nesta Terra, pois dado que cunha balanza da maior precisión non é posible aprecia-lo peso dun grao nunha pesada de 4000 graos e, por outra banda, a forza solar que provoca as mareas é 12.868.200 veces menor cá da gravidade, e a suma das forzas do Sol e da Lúa, aínda sendo maior nunha razón de  $6\frac{1}{3}$  a 1, é 2.032.890 veces menor cá da gravidade, está claro que ditas forzas, xuntas, son cincocentas veces menores ca aquelas que puideran facer aumentar ou diminuí-lo peso dun corpo calquera, de modo apreciable, pesado nunha balanza. Esta é a causa de que nin sequera nos experimentos de péndulos, de barómetros, de corpos colocados sobre a auga en repouso, e procedementos estáticos semellantes, teñan dado como resultado efectos sensibles. É certo que estas forzas fan que a atmosfera flúa e reflúa á maneira do mar, pero cun movemento tan pequeno que non provoca vento apreciable ningún.

## **O corpo da Lúa é cáseque seis veces máis denso có do Sol**

Se se igualaran entre si tanto os efectos do Sol e da Lúa que producen as mareas coma os seus diámetros aparentes, as súas forzas absolutas serían tamén como as súas magnitudes (polo corolario 14 da Proposición LXVI); pero o efecto lunar é, ó efecto do Sol, como  $5\frac{1}{2}$  a 1 aproximadamente, e o diámetro é menor en razón de  $31\frac{1}{2}$  a  $32\frac{1}{5}$ , ou sexa, de 45 a 46: hai, pois, que aumenta-la forza da Lúa directamente en razón do efecto, e inversamente ó cubo da razón do diámetro e, deste xeito, a forza da Lúa comparada á súa propia magnitude será á forza do Sol (referida tamén á súa magnitude) coma  $5\frac{1}{3}$  a 1, e inversamen-

te á razón cúbica de 45 a 46, isto é case coma  $5^7/10$  a 1; a Lúa ten, pois, unha forza centrípeta absoluta en razón á magnitude do seu corpo de  $5^7/10$  a 1 maior có Sol mesmo respecto á súa e, polo tanto, é tamén máis densa na mesma proporción.

### **A Lúa é máis densa cá nosa Terra en razón cáeseque de 2 a 3**

No tempo de 27 d. 7 h. 43' no que a Lúa xira en torno á Terra, un planeta situado a unha distancia de 18.954 diámetros solares dende o centro mesmo do Sol, pode xirar todo arredor del, suposto que o diámetro medio aparente do Sol é de  $32^1/5$ ; nese tempo a Lúa pode xirar en torno á Terra en repouso á distancia de 30 diámetros terrestres: se o número de diámetros fose o mesmo nun e noutro casos, a forza absoluta circunterrestre sería á forza absoluta circunsolar coma a magnitude da Terra é á magnitude do Sol (polo corolario 2 da Proposición LXXII); posto que os diámetros terrestres son máis nunha razón de 30 a 18.954, o corpo terrestre será menor na dita razón ó cubo, isto é, en razón de  $3^{23}/29$  a 1. A forza da Terra é, daquela, en función do seu tamaño respecto á do Sol en función do seu coma  $3^{23}/29$  a 1 e, polo tanto, a densidade da Terra é á densidade do Sol na mesma proporción. Mais como a densidade da Lúa é, respecto á densidade do Sol, coma  $5^7/10$  a 1, a densidade da Lúa será á da Terra coma  $5^7/10$  a  $3^{23}/29$ , isto é, coma 23 a 16. E así, dado que a magnitude da Lúa é á magnitude da Terra coma 1 a  $41^{1/2}$  aproximadamente, a forza centrípeta absoluta da Lúa será, á forza centrípeta absoluta da Terra, coma 1 a 29 aproximadamente; e asimesmo, a cantidade de materia na Lúa e a cantidade de materia na Terra estarán na mesma proporción. De aquí se obtén o centro común de gravidade da Lúa e da Terra máis exactamente ca antes: unha vez coñecido este será posible calcular con maior exactitude a distancia da Lúa á Terra; pero pre-

firo esperar ata que sexa coñecida máis exactamente, a partir dos fenómenos das mareas, a proporción entre os corpos da Lúa e a Terra entre si; esperando tamén entrementes que aconteza que a circunferencia da Terra sexa medida dende maiores intervalos entre estacións do que ata agora se ten feito.

### **Sobre a distancia das estrelas fixas**

Ata aquí teño falado sobre o sistema dos planetas; pero da falla de paralaxe anual séguese que as estrelas fixas distan de tal sistema inmensos intervalos: é moi certo que a tal paralaxe é menor dun minuto e, polo tanto, as distancias das fixas superan á distancia de Saturno ó Sol máis de 360 veces; os que constan á Terra entre os planetas e ó Sol entre as estrelas fixas, as afastarán aínda máis cos argumentos que seguen.

Do movemento anual da Terra debe nacer unha translación das fixas entre si aproximadamente igual ó dobre da paralaxe; pero as estrelas maiores e máis achegadas, respecto ás lonxanas que só se chegan ver co telescopio, non parece que se movan para nada. Supoñamos que o seu movemento sexa menor de 20 segundos, e que a distancia das estrelas fixas máis achegadas superará unhas 2.000 veces á distancia media de Saturno; agora ben, Saturno co seu disco de 17" ou 18" de ancho recibe, aproximadamente, unha  $\frac{1}{2.100.000.000}$  parte da luz solar, pois tal disco é tanto máis pequeno cá superficie esférica completa de Saturno. Se se supón que Saturno reflexa coma unha cuarta parte desta luz, toda a luz que se reflexa dende o hemisferio iluminado virá ser unha  $\frac{1}{4.200.000.000}$  parte de toda a luz que mana do hemisferio Solar. Logo, tendo en conta que a luz se vai facendo rara en razón do cadrado da distancia do corpo que loce, de o Sol estar 10.000 x 42 veces máis lonxe ca Saturno, veríase dende aquí igual de reluciente que se pode ver Saturno sen o seu anel e, polo tanto, sería pouco máis brillante ca unha estrela fixa de primeira magnitude.

Poñamos, pois, que a distancia á que o Sol lucise coma unha estrela fixa fose 100.000 veces maior cá distancia de Saturno, e o seu diámetro aparente sería de  $7''$ ,  $16''$  e a paralaxe debida ó movemento anual da Terra sería de  $13''$ , e tal sería a distancia, o diámetro aparente e a paralaxe das estrelas fixas iguais ó noso Sol na magnitude e na luz. Pódese moi ben supoñer que unha gran parte da luz das estrelas fixas se detén e esmorece ó atravesar espacios tan grandes e, polo tanto, que se debería achegar máis a nós ás estrelas fixas, aínda que por esta razón apenas se poderían ve-las estrelas fixas máis afastadas: supoñamos, por un dicir, que as tres cuartas partes da luz se perden no tránsito dende as estrelas fixas próximas ata nós; e así se perderán dúas veces tres cuartas partes no tránsito por un espacio dobre, e tres veces no paso por un espacio triplo, e así sucesivamente; polo tanto, as estrelas fixas que estean o dobre máis lonxe serán dazaseis veces máis escuras: isto é, catro veces máis escuras pola diminución do diámetro aparente, e outras catro veces máis escuras pola perda de luz e, polo mesmo argumento, as estrelas fixas que estean o triplo de lonxanas serán  $9 \times 4 \times 4$ , isto é 144 veces máis escuras; e as que estean catro veces máis lonxe serán  $16 \times 4 \times 4 \times 4$ , isto é 1.024 veces máis escuras. Semellante diminución da luz non corresponde para nada nin cos fenómenos nin coa hipótese de que as fixas están a distancias distintas.

### **A partir da paralaxe lonxitudinal se proba que, cando os cometas se amosan á vista, están máis perto ca Xúpiter**

Os astros distan uns dos outros unhas distancias tan grandes que nin se atraen entre si perceptiblemente, nin tampouco os atrae o noso Sol; pero é necesario que os cometas estean suxeitos á forza circunsolar, pois do mesmo xeito que a falla de paralaxe diúrna os coloca fóra das rexións sublunares, a paralaxe anual apoia o seu descenso ás rexións dos planetas, porque

tódolos cometas que avanza segundo a orde dos signos son, á fin da súa aparición, ou ben máis lentos do normal ou ben retrógrados, se a Terra está entre eles e o Sol; pero tamén son ben máis rápidos se a Terra camiña cara á oposición. E ó contrario, os que corren contra a orde dos signos, se a Terra se move entre eles e o Sol, son ben máis rápidos á fin da súa aparición; e máis lentos ou retrógrados se a Terra está situada na parte oposta. Isto acontece dun xeito moi distinto segundo que o movemento da Terra se produza nun lugar diferente: se a Terra se dirixe cara ó mesmo sitio que o cometa, e vai máis axiña, o cometa será retrógrado; se vai máis de vagar será alomenos máis lento; e cando a Terra vai cara ás partes contrarias, será máis rápido. E calculando as diferencias entre os movementos máis rápidos e os máis lentos, e as sumas dos movementos máis rápidos e dos retrógrados, e comparándoas coa situación e o movemento da Terra dos que se derivan acho que, a partir desta paralaxe, a distancia dos cometas no momento no que se lles deixa de ver a simple vista é sempre menor cá distancia de Saturno e, as máis das veces, menor cá distancia de Xúpiter.

### **Próbase pola paralaxe en latitude**

O mesmo se deduce da curvatura da rota dos cometas: estes corpos móvense case en círculos máximos, entremetres se moven máis axiña; pero á fin da súa carreira, cando o movemento aparente que deriva da paralaxe ten maior proporción con respecto ó seu movemento total aparente, adoitan afastarse destes círculos, e sempre que a Terra se move nunha dirección, diríxense cara á parte contraria. Esta desviación procede, sobre todo, da paralaxe, porque vén corresponder ó movemento da Terra; e a súa gran magnitude, segundo os meus cálculos, sitúa bastante lonxe por baixo de Xúpiter ós cometas que van desaparecendo. Séguese que, nos perixeos e perihelios, cando están



máis perto, moitas veces descendan por baixo das órbitas de Marte e dos planetas inferiores.

### **Próbase doutro modo pola paralaxe**

Confírmase, por outra banda, tanta proximidade pola paralaxe da órbita anual no senso en que esta se colixe con moita aproximación por medio da hipótese de que os cometas se moven uniformemente en liña recta: é coñecido xa o método (ensaiado por Kepler e perfeccionado por Wallis e Wren) de calcula-la distancia dun cometa segundo esta hipótese a partir de catro observacións: e os cometas reducidos a esta regularidade adoitan atravesala rexión planetaria polo seu medio, coma os cometas dos anos 1607 e 1618 entre o Sol e a Terra, segundo Kepler o determinou; o do ano 1664, baixo a órbita de Marte; e este do ano 1680, baixo a órbita de Mercurio, segundo determinaron Wren e outros. En virtude da tal hipótese rectilínea, Heweicke situou tódolos cometas dos que nos restan observacións, baixo a órbita de Xúpiter. Engánanse, pois, e falan sen cálculo astronómico ningún os que, a partir do movemento regular dos cometas, ou ben os afastan ata a rexión das estrelas fixas, ou ben negan o movemento mesmo da Terra, posto que non se poden reduci-los seus movementos a unha regularidade omnímada, a non ser admitindo o seu paso por rexións veciñas á Terra en movemento. E estes son os argumentos que se basean na paralaxe, na medida alomenos en que esta se pode determinar sen un coñecemento exacto das órbitas e movementos dos cometas.

### **Pola luz das cabezas próbase que os cometas baixan ata a órbita de Saturno**

Se confirma tamén a proximidade dos cometas pola luz das súas cabezas, pois o brillo dun corpo celeste iluminado polo Sol

que se afasta cara a rexións lonxanas diminúe en razón da cuarta potencia da distancia: en razón cadrada ó aumenta-la distancia ó Sol, e noutra razón cadrada pola diminución do seu diámetro aparente. De aquí se segue que Saturno, polo dobre de distancia e cáseque a metade de diámetro aparente que Xúpiter, debe parecer dazaseis veces máis escuro ca este; e tamén que, se a distancia fose catro veces maior, a súa luz sería 256 veces menor e, polo tanto, apenas se podería ver a simple vista: pois os cometas moitas veces igualan coa súa luz á de Saturno, aínda que non o superan en diámetro aparente. O cometa de 1678, segundo as observacións de Hooke, igualaba coa súa luz ás fixas de primeira magnitude; e a súa cabeza, ou estrela do medio da cabeleira, vista a través dun telescopio de quince pés, parecía igual de reluciente que Saturno sobre o horizonte; pero o diámetro da cabeza era só de 25'', isto é o mesmo cáseque o diámetro dun círculo que igualara a Saturno xunto co seu anel. A cabeleira que arrodeaba á cabeza era unhas dez veces maior, a saber  $4\frac{1}{6}$  minutos.

E aínda máis: o diámetro mínimo da cabeleira do cometa do ano 1682, observado por Flamsteed cun tubo de dazaseis pés, e medido cun micrómetro, era igual a 2' 0''. O núcleo, en troques, ou estrela central, a penas ocupaba a décima parte desta anchura e, polo tanto, tiña só 11'' ou 12''; non obstante superaba en luz e claridade ó cometa do ano 1680, e emulaba ás estrelas de primeira e segunda magnitude. Engádase que o cometa do ano 1665, como refire Hewicke, no mes de abril superaba en claridade a cáseque tódalas estrelas fixas, e ata ó mesmo Saturno, pola súa cor moito máis vívida, pois este cometa era moito máis reluciente có outro que tiña aparecido a finais do ano anterior e era comparado coas estrelas de primeira magnitude. A anchura da cabeleira era duns 6', entremetres o seu núcleo, comparado cos planetas por medio dun telescopio, era ben máis pequeno ca Xúpiter e, ás veces, era menor có corpo central de Saturno, ás veces, igual ó mesmo: engádase o anel e a cara visi-

ble de Saturno aumenta ó dobre, pero a luz non será máis intensa cá do cometa; polo tanto, o cometa estaba máis perto do Sol ca Saturno.

Da proporción do núcleo e da cabeleira manifestada por estas observacións, e da súa anchura que raramente supera os 8' ou 12', faise evidente que as estrelas dos cometas, como moito, serán da magnitude dos planetas; a luz, pola súa parte, con moita frecuencia pódese comparar coa de Saturno e, ás veces, chega a superala. E, polo tanto, as súas distancias nos perihelios a penas serán maiores cás de Saturno: a unha distancia dobre, a luz habería ser catro veces menor e, polo seu brillo esvaído ía ser vencida pola luz de Saturno na medida na que a luz deste é vencida pola de Xúpiter: diferenxia que se podería observar doadamente. A unha distancia dez veces maior, os seus corpos superarían ó corpo do Sol, mentres que a súa luz sería vencida unhas cen veces pola luz de Saturno. E a distancias aínda maiores estes corpos superarían amplamente ó Sol, pero ó estaren situados nas tebras máis fondas xa non se poderían distinguir. Non é doado que, se incluímo-lo noso Sol entre as estrela fixas, os cometas sexan relegados ás rexións intermedias entre o Sol e as estrelas fixas nas que, certamente, non deberían ser iluminados polo Sol máis do que nós somos iluminados pola máis grande das estrelas fixas.

### **Que tamén baixan moito da órbita de Xúpiter e, ás veces, da órbita da Terra**

Temos discutido estas cousas todas sen considerármolo escurecemento dos cometas por causa do fume moi abundante e espeso que lles arrodea á cabeza, que brilla sempre apagadamente coma a través dunha nube, pois canto máis escuro se torna un corpo por mor deste fume, tanto máis ten que se chegar ó Sol para que a cantidade de luz que reflicta emule á dos planetas: polo tanto faise verosímil que os cometas descendan

moi por baixo da órbita de Saturno, como xa probáramos pola paralaxe. Isto mesmo se confirma moi doadamente polas colas: estas orixínanse ou ben na reflexión do fume espaxado polo éter, ou ben na luz da cabeza; no primeiro caso hai que diminuí-la distancia dos cometas, para que o fume, que sempre lles sae da cabeza, non se espaxe por uns espazos amplos de máis cunha velocidade de expansión increíble; no segundo, a luz toda, tanto da cabeleira coma da cola, ten que ser atribuída ó núcleo da cabeza, pois se imaxináramos que se xunta toda esa luz e se encerra no disco do núcleo, tal núcleo certamente, toda vez que bota fóra unha cola grandísima e moi reluciente, co seu resplandor superará en moito a Xúpiter. Así que, se cun diámetro aparente menor emite máis luz, estará logo moito máis iluminado polo Sol e, en consecuencia, estará moito máis perto do Sol: de xeito que o cometa do ano 1679, do 12 ó 15 de decembro do antigo cómputo, nese tempo emitiu unha cola moi luminosa e, malia estar espallada e espaxada por espazos tan grandes, non máis pequena cá de moitos Xúpiter, e a magnitude do seu núcleo (como observara Flamsteed) era menor cá de Xúpiter e, polo tanto, estaba moito máis perto do Sol.

Aínda máis: era menor ca Mercurio pois o 27 do dito mes, cando máis perto estaba da Terra, a Cassini, por medio dun telescopio de 35 pés, pareceulle un pouco máis pequeno có globo de Saturno; á mañanciña do día oito do mes, Halley veu unha cola moi curta e ancha, e como se saíse do corpo do Sol cando estaba a piques de nacer, parecida a unha nube que lucía cun brillo insólito, e non desapareceu ata que o Sol mesmo non apuntou no horizonte: pois este resplandor sobranceaba á luz das nubes ata o nacemento do Sol, e cedendo só ante o inminente brillo do Sol, vencía doadamente á luz de tódalas estrelas xuntas. Nin Mercurio, nin Venus nin a propia Lúa adoitan verse tan perto do Sol: supoñamos que toda esta luz espallada se xunta e se encerra no núcleo dun cometa máis pequeno ca Mercurio pero cun brillo moito máis forte: será máis visible,

superará de lonxe a Mercurio e, polo tanto, estará máis perto do Sol. Durante os días 12 e 15 do mesmo mes, esta cola, espaxiada por un espacio moito máis amplo, apareceu máis rara, pero cunha luz, nembargantes, tan forte que aínda se podía ver cando xa as estrelas fixas cáseque non se vían; e pouco despois amosou unha especie de tizoeiro que brillaba de modo asombroso. Pódese calcula-la cantidade da súa luz toda a partir dunha lonxitude de corenta ou cincuenta graos e dunha anchura de dous.

### **Próbase o mesmo a partir da luz resplandecente das colas na veciñanza do Sol**

Confírmase que o achegamento dos cometas ó Sol é tan grande polo lugar que ocupan cando reloce máis, pois ó pasaren a súa cabeza por diante do Sol, agachada aínda baixo os raios solares, tense dito que as colas son as máis brillantes de todas, como se saísen do horizonte en forma de tizóns ardentes e despois, ó chegar á nosa vista a cabeza e ó afastarse máis do Sol, o seu brillo diminúe sempre, asemellándose ó esvaemento da Vía Láctea, ó principio moito máis rechamante para despois acabar esmorecendo. Tal fora aquel cometa incandescente que Aristóteles describe no libro I, 6 dos *Meteoros*: o primeiro día non se lle vía a cabeza porque xa caera antes (ou, alomenos, baixo) dos raios solares, pero ó día seguinte foi visible por completo, «pois deixou ó Sol á menor das distancias posibles, e púxose inmediatamente despois»; por mor do brillo enorme da cola, non se vía aínda o fogo espallado da cabeza, pero «pasado o tempo (di Aristóteles) cando xa a cola brillaba menos tornóuselle ve-la faciana á cabeza do cometa, e estendeu o seu resplandor ata unha terceira parte do ceo, isto é, ata os 60°. Apareceu no inverno e ascendeu ata o cinto de Orión, e alí desapareceu». Xustino, no libro 37, describe dous cometas do mesmo xénero que, di, luciron de tal xeito «que parecía que todo o ceo ardera, e o seu tamaño enchía a cuarta parte do ceo e que, co seu fulgor, vence-

ran o resplandor do Sol». Estas últimas palabras insinúan a relación entre o brillo do cometa e o raia-lo Sol ou poñerse; engáda-se que o cometa do ano 1101 ou 1106 que tiña unha estrela pequena e escura, coma o outro do ano 1680, «pero o resplandor que saía dela era moi brillante e se dirixía cara ó Oriente e ó Aquilón coma un inmenso tizoeiro» como di Heweicke segundo o monxe Simeón de Durham: apareceu ó comeza-lo mes de febreiro á tardiña sobre o ocaso do Sol de inverno; dese feito e da situación da súa cola podemos colixir que tiña a cabeza perto do Sol: «distaba do Sol», di Mateu de París, «coma un cóbado, e dende a hora terceira» (ou mellor dito, a sexta) «ata a nona emitía un raio longo». O cometa do mes de xullo ou arredor do solsticio do ano 1264, precedía ó Sol nacente, emitindo raios de gran luminosidade ata a metade do ceo cara ó occidente; e ó principio subía un pouco sobre o horizonte pero, ó avanza-lo Sol, afastábase do horizonte día a día ata que, á fin, atravesou a metade mesma do ceo: dise que ó principio foi grande e luminoso, e que tiña unha cola longa que ía decrecendo ó pasa-los días. Descríbese así no *Apéndice* de Mateu de París á *Historia Anglorum*: «O ano de Cristo de 1265 apareceu un cometa tan notable que ninguén dos que entón vivían tiña visto tal cousa antes, pois saíu dende o oriente con gran resplandor, e estendeu a súa luz diáfana ata a metade do hemisferio cara ó occidente». O ano 1401 ou 1402, cando o Sol estaba xa baixo o horizonte, apareceu no occidente «un cometa luminoso e brillante, que botaba de si unha cabaleira moi dereita e como de fogo ardente, cáseque coma unha lanza que emitía os seus raios dende o ocaso cara ó oriente; dende o Sol, que xa se puxera baixo o horizonte, cos raios que botaba de si alumeaba tódalas rexións do globo da Terra, e non permitía ás demais estrelas emitiren a súa luz, nin ás noites escureceren o ceo coas súas sombras, porque a súa luz veneía ó resplandor dos outros e se estendía flamexando ata o vértice do ceo cando estaba sobre o horizonte», etc., di a *Historia Byzantina* de Miguel Ducas Nepote, no capítulo 16♦.

Da situación da cola e do tempo desta primeira aparición, séguese que a cabeza naquel momento estaba na veciñanza do Sol e, pouco a pouco, se foi afastando del, pois o tal cometa durou tres meses. O 11 de agosto do ano 1527, sobre a hora cuarta da mañá, viuse en cáseque toda Europa un cometa terrífico en Leo que estivo lucindo unha hora e cuarto cada día: saíu da parte do oriente, dirixiuse cara ó mediodía e ascendeu ata o occidente cunha lonxitude inmensa; pero cara ó setentrión é onde foi máis visible, e se lle describe coma unha nube (esto é a cola) de aspecto terrible que tiña, segundo a opinión do vulgo, a forma dun brazo curvado cunha espada de tamaño descomunal. Nos derradeiros días de Novembro do ano 1618, foise estendendo o rumor de que máis ou menos ó raia-lo Sol aparecía unha tizoeira cándida, que veu se-la cola dun cometa, coa cabeza relucente aínda entre o fulgor dos raios solares; o 24 de novembro e despois viuse o cometa, de luz diáfana, coa cabeza e a cola moi brillantes. A lonxitude da cola, que primeiro tiña 20 ou 30 graos, foi crescendo ata o día 9 de decembro no que pasou dos 75, pero a súa luz foi sempre máis esvaecida e máis rara ca ó principio. O 5 de marzal do ano 1668, do novo calendario, á hora sétima da tarde, o padre Valentín Estancel♦, que estaba no Brasil viu, perto do horizonte e cara ó ocaso do sol no inverno, un cometa de cabeza pequena e apenas visible, pero cunha cola tan resplandecente que os que estaban na beira do mar viron claramente a súa imaxe reflectida no mar: tan grande resplandor só durou tres días, e de contado decreceu moito; a cola, ó principio, ía dende o occidente cara ó mediodía e case paralela ó horizonte, e tiña a forma dun tizón incandescente de 23 graos de lonxitude. Despois, ó decrece-la luz, foi aumentando a súa magnitude ata que o cometa deixou de aparecer.

De aí que Cassini, en Bolonia, os días 10, 11 e 12 de marzo o viu saír do horizonte e tiña unha lonxitude de 32 graos; dise que en Portugal ocupaba case a cuarta parte do ceo, isto é 45 graos, do occidente ó oriente, coa cola alargada e moi brillante

aínda que non se amosaba completa, xa que nestes lugares a súa cabeza se agachaba sempre baixo o horizonte. O crecemento da súa cola fai manifesto que a cabeza se apartara xa do Sol, e que estivera achegada a el ó principio, cando a cola lle brillaba máis. Pódese engadir a todos estes o cometa de 1680: xa teño falado do enorme resplandor da súa conxunción co Sol; un resplandor tan grande proba que os cometas desta clase pasan, de verdade, diante da fonte da luz, sobre todo porque as colas endexamais brillan dese xeito cando se opoñen ó Sol, nin se sabe que en tal situación teñan aparecido tizóns ígneos.

### **Próbase pola luz das cabezas en tanto que, en igualdade de condicións, é maior nas veciñanzas do Sol**

Finalmente, esto mesmo se colixe do feito de que a luz das cabezas creza ó se afasta-los cometas da Terra cara ó Sol, e diminúa ó se afastaren do Sol cara á Terra: así o derradeiro cometa do ano 1665, segundo observou Heweicke, dende que comezou a verse ía sempre diminuíndo o seu movemento e, por conseguinte, tiña xa pasado o perixeo, pero o resplandor da súa cabeza crecía día a día ata o cometa, agachado tralos raios do Sol, desaparecer. O cometa de 1683, segundo observou Heweicke mesmo, cando a finais de xullo se viu por primeira vez, movíase moi de vagar e percorría cada día na súa órbita uns 40 ou 45 minutos; a partir destas datas o seu movemento diario foise acelerando constantemente ata o 4 de setembro, no que sobrepasou os cinco graos; así pois durante todo este tempo íase achegando á Terra, que é o que tamén se colixe da medida do diámetro da súa cabeza cun micrómetro, pois xa Heweicke achou que o 6 de agosto tiña só  $6' 5''$  incluída a cola, pero o 2 de setembro tiña  $9' 7''$ . A cabeza, polo tanto, parecía moito máis pequena ó principio ca ó final do movemento; non obstante, ó principio, na veciñanza do Sol era moito máis relucente ca cara ó final, como refire o propio Heweicke; polo tanto, durante todo



este tempo, debido ó seu recuar respecto do Sol, aínda que se estaba achegando á Terra, diminuíu a súa luz. O cometa de mediados de decembro do ano 1618, e este de 1680, cara á fin do mesmo mes, movíanse moi axiña e, polo tanto, neses intres estaban nos perixeos, pero o brillo maior das cabezas tiña ocorrido case dúas semanas antes, cando apenas saíran de entre os raios do Sol, e o brillo maior das colas un pouco antes, cando se deu o maior achegamento ó Sol. O día 12 de decembro Flamsteed viu e puido observa-la cabeza deste último cometa á distancia de nove graos do Sol, cousa que dificilmente se lle permitiría cunha estrela de terceira magnitude. Os días 15 e 17 de decembro apareceu coma se fose unha estrela de terceira magnitude, aínda que apagado polo brillo nebular ó carón do Sol no solpor; o 26 de decembro movíase moi lixeiro e cando estaba xa case no perixeo era máis pequeno cá «Cabeza de Pegaso» (*os Pegasi*), unha estrela de terceira magnitude; o 3 de xaneiro, parecía unha estrela de cuarta magnitude, o 9 de xaneiro como de quinta; e o 13 de xaneiro, a causa do brillo da Lúa crecente, desapareceu; o 25 de xaneiro a penas igualaba ás estrelas de sétima magnitude.

Segundo as observacións de Cysat, en troques, a cabeza do primeiro cometa o 1 de decembro parecía maior cás estrelas de primeira magnitude, e o 16 de decembro (estando xa no perixeo) xa de pequeno tamaño, tiña perdido moito do seu brillo ou claridade da luz. O 7 de xaneiro Kepler, sen certidume xa sobre a cabeza do cometa, púxolle fin á súa observación.

Se sumaramos tempos iguais antes e despois do perixeo, as cabezas que estiveran situadas nas rexións máis lonxanas brillarían igual antes e despois, a causa da igualdade das distancias á Terra; porque se nun caso brillaron moito e no outro esvaeceron, o primeiro témo-lo que atribuír á veciñanza do Sol, e á distancia ó mesmo no segundo; e da grande diferenza entre ámbalas dúas luces conclúese a gran proximidade no primeiro caso, pois a luz dos cometas adoita ser regular e se-la máxima

cando as cabezas se moven á maior velocidade e están, polo tanto, nos perixeos; a non ser polo feito de que é maior na veciñanza do Sol.

### **Confírmase isto tamén polo gran número de cometas que se teñen visto na rexión solar**

Gracias a estas cousas cheguei a comprender, por fin, por qué os cometas frecuentan tanto a rexión do Sol: se puidesen ser vistos nas rexións moito máis aló de Saturno, terían que aparecer máis frecuentemente nas partes opostas ó Sol; estarían, daquela, máis achegados á Terra os que se moveran nesas partes, e a interposición do Sol escurecería ós outros; pero repasando as historias dos cometas, achei que se tiñan detectado catro ou cinco veces máis no hemisferio que está cara ó Sol ca no oposto, ademais doutros, sen dúbida non poucos, que agachou a luz do Sol pois, ó baixar ata as nosas rexións, nin emiten colas, nin tampouco o Sol os aluma como para se deixaren ver a simple vista antes de estaren máis perto ca Xúpiter mesmo. A maior parte, pois, do espacio descrito arredor do Sol con este intervaliño, está situada do lado da Terra que mira ó Sol e, na dita maior parte, ó estaren máis achegados ó Sol, soen estar tamén máis iluminados. A notable excentricidade das órbitas fai que os ápsides inferiores estean moito máis perto do Sol ca se as revolucións tiveran lugar en círculos concéntricos ó Sol.

### **Confírmase tamén porque as colas son maiores e máis luminosas despois da conxunción das cabezas e do Sol ca antes**

Por isto comprendemos tamén por qué, ó se achegaren as cabezas dos cometas ó Sol, as súas colas parecen sempre raras e cortas, e se lea que apenas pasan dos 15 ou 20 graos de lon-

xitude; entremetres que no receso das cabezas dende o Sol, frecuentemente brillan como tizóns ígneos e se estenden ó longo de 40, 50, 60, 70 e máis graos de lonxitude: pois un brillo tan grande e unha lonxitude semellante das colas se debe ó calor do Sol que quenta ó cometa cando lle pasa ó lado, e teño para min que de aquí se pode colixir que tódolos cometas con colas tales teñen pasado polas veciñanzas do Sol.

### **As colas nacen da atmosfera dos cometas**

Tamén é posible colixir que as colas nazan da atmosfera das cabezas. Tres son as opinións sobre as colas: ou que é a luz viva do Sol que se propaga a través da cabeza translúcida do cometa; ou que nace da refracción da luz que se propaga dende a cabeza do cometa ata a Terra; ou ben, en fin, que se trata dunha nube ou vapor que brota continuamente da cabeza do cometa e flúe cara á parte oposta ó Sol: a primeira opinión é a dos que aínda non están afeitos á ciencia da óptica, pois a luz viva do Sol non se ve nun cuarto en tebras, salvo que as partículas de po e fume que sempre están a revoar polo aire reflectan a luz e, polo tanto, nun aire impregnado de fumes espesos a luz brilla máis e fire ós sentidos con máis forza; e nun aire máis claro é máis tenue e apenas perceptible: nos ceos, pois, sen materia reflectinte ningunha, non pode haber reflexo: a luz non se ve porque sexa viva, senón porque chega reflectida ós nosos ollos, pois a visión non ocorre máis que polos raios que inciden nos ollos.

Requírese, logo, algunha materia reflectinte na rexión da cola e por esa razón a cousa se torna á terceira opinión, porque tal materia reflectinte non se debe atopar en ningures máis que na rexión da cola, para que non se dea que, alumado pola luz do Sol, o Ceo todo lucira uniformemente.

A segunda opinión ten moitas dificultades: as colas xamais amosan a variedade de cores que, inseparablemente, adoita

acompaña-las refraccións. A luz das estrelas fixas e dos planetas, que chega ata nós con claridade, demostra que o medio celeste non ten forza refractiva ningunha, pois o que se di de que os exipcios viran ás veces estrelas fixas con cabeleira, precisamente porque isto acontece moi raramente, ten que se atribuír a unha refracción casual das nubes, como tamén as faíscas e o palpebrexo das estrelas fixas ten que se atribuír ás refraccións ben dos ollos, ben do aire trémulo, porque desaparecen ó aplica-lo telescopio ós ollos: os raios afástanse con facilidade, ás veces, do espacio estreito da pupila por mor do tremor do aire e dos vapores ascendentes; pero non o fan xamais na apertura máis ampla do obxectivo de vidro, e isto porque se xera o palpebrexo no primeiro caso, e cesa no segundo; e este cesamento no segundo caso demostra a transmisión regular da luz a través dos ceos, sen refracción sensible ningunha. E que ninguén pretenda que as colas dos cometas non se soen ver cando a súa luz non é forte dabondo, porque entón os raios secundarios non teñen forza bastante para excita-los ollos, e por iso non se poden distingui-las colas das estrelas fixas; hai que ter conta de que a luz das estrelas fixas pode aumentar máis de cen veces por medio dos telescopios e, non obstante, non se ven as colas: a luz dos planetas é, tamén, máis abundante, pero non teñen colas; os cometas, pola súa banda, con frecuencia teñen moita cola e mais a luz da cabeza é tenue e abondo esvaída. Así pois o cometa do ano 1680, no mes de decembro, cando a luz da súa cabeza apenas igualaba ás estrelas de segunda magnitude, emitía unha cola de senlleiro resplandor de ata 40, 50, 60 ou máis, graos de lonxitude; despois, o 27 e o 28 de xaneiro, a cabeza parecía só unha estrela de sétima magnitude, mentres que a cola, cunha luz moi tenue pero perceptible dabondo, tiña 6 ou 7 graos de lonxitude e, con luz tan escura que apenas era doado vela, estendíase ata os 12 graos ou pouco máis; pero o 9 e o 10 de febreiro, cando se lle deixou de ve-la cabeza a simple vista, observei polo telescopio unha cola de dous graos de lonxitude.

Aínda máis: se a cola nacesse da refracción da materia celeste e se desviasse da oposición do Sol segundo a figura do ceo, a tal desviación tiña que acontecer sempre nas mesmas rexións do ceo e sempre cara á mesma parte: agora ben, o cometa do ano 1680, o 28 de decembro, en Londres e ás 8 horas da tarde, estaba situado en Piscis a  $8^{\circ} 41'$ , e cunha latitude boreal de  $28^{\circ} 6'$  mentres que o Sol estaba en Capricornio a  $18^{\circ} 26'$ . E o cometa do ano 1577, o 29 de decembro estaba situado en Piscis a  $8^{\circ} 41'$ , cunha latitude boreal de  $28^{\circ} 40'$ , e o Sol estaba tamén en Capricornio a  $18^{\circ} 26'$  aproximadamente: en ámbolos dous casos a Terra estaba no mesmo sitio, e o cometa amosábase na mesma parte do ceo: nembargantes no primeiro caso, segundo observacións miñas e doutros, a cola do cometa declinaba da oposición ó Sol cun ángulo de 4? graos cara ó Aquilón mentres no último, segundo observacións de Tycho, a declinación era de 21 graos cara ó Austro; rexeitada pois a refracción dos ceos, resta só que os fenómenos das colas deriven dalgunha materia reflectinte, pero se comprenderá axeitadamente como uns vapores que sexan quen para encher espazos tan inmensos poden xurdir das atmosferas dos cometas, do modo seguinte.

### **O aire e os vapores son de extrema rareza nos espazos celestes, e unha cantidade moi pequena de vapores chega para produci-los fenómenos das colas**

Sábese que na superficie da Terra o aire ocupa un espacio cáseque 1.200 veces maior ca a auga da mesma gravidade e, polo tanto, que unha columna cilíndrica de aire de 1.200 pés de altura pesa o mesmo ca unha columna de auga dun pé e da mesma anchura: pero unha columna de aire que chegue ata o máis alto da atmosfera iguala co seu peso a unha columna de auga duns 33 pés de altura e, polo tanto, se se lle resta a parte inferior de 1.200 pés á columna total de aire se retira, a parte superior restante igualará en peso a unha columna de auga de 32

pés. Así pois, á altura de 1.200 pés, ou de dous estadios, o peso do aire incumbente é menor e, polo tanto, o enrarecemento do aire comprimido é maior ca na superficie da Terra nunha proporción de 33 a 32; e ó sabermos isto é posible xa calcula-la baixa densidade do aire en calquera parte (coa axuda do corolario da Proposición XXII do libro II dos *Principia*) a partir da hipótese de que a expansión do aire é inversamente proporcional á súa compresión: esta proporción está comprobada polos experimentos tanto de Hooke como doutros. Na táboa seguinte engadímo-los cálculos: a primeira columna sinala a altura da atmosfera en millas, das que 4.000 equivalen ó semidiámetro da Terra; a segunda a compresión do aire ou peso incumbente; e a terceira a rareza ou expansión do mesmo aire, suposto que a gravidade decreza en razón inversa ó cadrado das distancias ó centro da Terra. Aquí os caracteres numerais latinos empréganse en lugar dun determinado número de ceros como, por exemplo, ó escribir O,XVII 1224 en vez de 0.0000000000000000001224 e 26956 XV en vez de 26956000000000000000.

### TÁBOA DO AIRE

Altura	Compresión	Expansión
0	33	1
5	17.8515	1.8486
10	9.6717	3.4151
20	2.852	11.571
40	0.2525	136.83
400	O,XVII 1224	26956 XV
4000	O,CV 4465	73907 CII
40000	O,CXCII 1628	20263 CLXXXIX
400000	O,CCX 7895	41798 CCVII
4000000	O,CCXII 9878	33414 CCIX
Infinita	O,CCXII 6041	54622 CCIX

Desta táboa dedúcese que ó ascender o aire se fai máis raro, de xeito que o de máis perto da Terra, contido nunha esfera dunha polgada de diámetro e despois dilatada co enrarecemento correspondente á altura dun semidiámetro terrestre, enchería tódalas rexións planetarias ata a órbita de Saturno e aínda máis aló; e á altura de dez semidiámetros terrestres enchería máis espacio celeste (segundo o cálculo anterior) có universo todo máis acá das estrelas fixas. E aínda que, pola atmosfera moito máis densa dos cometas e a grande forza centrípeta circunsolar, podería ocorrer que o aire non se enrarecera ata tal punto nin nos espacios celestes nin nas colas dos cometas, non está claro nembargantes por este cálculo que unha pequena cantidade de aire e de vapores abonde para tódolos fenómenos das colas, posto que tamén a notable rarificación das colas se colixe do feito de que os astros se vexan a través delas.

A atmosfera terrestre, brilla á luz do Sol, e co grosor dunhas poucas millas, escurece ós astros todos e cáseque á propia Lúa, e fainos desaparecer: en cambio astros máis pequenos vese que brillan a través da inmensa densidade das colas, alumadas pola mesma luz do Sol, sen perda algunha da súa claridade.

### **Cómo se poden orixina-las colas na atmosfera das cabezas**

Kepler atribúe o ascenso das colas dende as atmosferas das cabezas e a súa tendencia ás partes opostas ó Sol á acción dos raios de luz que arrastran consigo á materia das colas; e non deixa de ter sentido que unha aura tan sumamente tenue ceda á acción dos raios en espacios completamente libres, aínda que nas nosas rexións, tan sobrecargadas, os raios non podan impelle-las sustancias densas de modo perceptible. Outro autor pensa que poderían existir tanto partículas leves como pesadas, e que a materia das colas levita e que, pola súa levidade, ascenden dende o Sol; pero como a gravidade dos corpos terrestres é

conforme á súa materia e como, polo tanto, se mantén a mesma cantidade de materia sen que poda nin aumentar nin diminuír, teño a sospeita de que o tal ascenso vén de que rarea a materia das colas. O fume sobe pola cheminea empuxado polo aire no que flota: e o aire rareado pola calor ascende debido á diminución da súa gravidade específica, e arrastra consigo o fume entremezclado. ¿Por qué non tiñan que ascender dende o Sol as colas dos cometas dun modo semellante? Os raios do Sol non axitan os medios que atravesan, máis que pola reflexión e a refracción: as partículas reflectintes quecen por esa acción e quentan a aura etérea na que están entremezcladas; esta rarea pola calor que se lle ten prestado e, ó diminuí-la súa gravidade específica (pola que antes tendía ó Sol) debido a ese enrarecemento ten unha subida coma se fose un río, e arrastra consigo as partículas reflectintes que compoñen a cola, e o impulso da luz solar, como xa se ten dito, fai avanza-lo ascenso.

### **A partir das súas diversas aparencias amósase que as colas nacen das ditas atmosferas**

As leis mesmas que observan confirman, ademais, que as colas se orixinan nas cabezas e ascenden cara ás rexións opostas ó Sol: como porque, ó xacer nos planos das órbitas dos cometas que pasan polo Sol, se desvían da oposición ó Sol sempre cara ás partes que a súa cabeza deixa atrás ó avanzar nas devanditas órbitas. Porque ó espectador situado neses planos aparécenselle nas partes directamente opostas ó Sol pero, ó afastarse o espectador, pouco a pouco, destes planos, a desviación vaise sentindo máis e cada vez parece maior, porque a desviación en igualdade de condicións é menor cando a cola é máis oblicua respecto á órbita do cometa, así como tamén cando a cabeza se achega máis ó Sol. Porque as colas que non se desvían parecen rectas, entremetres que as que se desvían fanse curvas. Porque a curvatura é maior cando a desviación é maior, e máis apre-



ciable cando a cola é máis longa, en igualdade de condicións, pois nas máis curtas a curvatura se aprecia con dificultade. Porque o ángulo de desviación é menor xunto á cabeza do cometa, e maior xunto ó outro cabo da cola; e ademais porque a cara convexa da cola mira cara á parte da que se desvía, que está nunha liña recta trazada dende o Sol, pola cabeza, e cara ó infinito. E porque as colas máis largas e máis anchas e que brillan con luz máis vivaz son algo máis brillantes e teñen os bordes máis marcados pola súa cara convexa ca pola cóncava. Os fenómenos das colas dependen, pois, do movemento da cabeza, e non da rexión do ceo na que se vexa a cabeza e, polo tanto, non teñen lugar pola refracción dos ceos, senón que nacen da materia que lles proporciona a cabeza.

Do mesmo xeito que na nosa atmosfera o fume de calquera corpo aceso vai cara arriba e o fai perpendicularmente se o corpo está en repouso, e oblicuamente se o corpo se move de lado así, nos ceos, onde os corpos gravitan cara ó Sol, os fumes e vapores deben subir dende o Sol, como xa se ten dito, e ir cara arriba en liña recta se o corpo fumegante está en repouso, ou oblicuamente se o corpo ó avanzar deixara atrás os lugares dende os que tiñan ascendido as partes máis altas do vapor. E esta oblicuidade será menor cando o ascenso do vapor sexa máis rápido, isto é, na veciñanza do Sol e xunto ó corpo fumegante, porque aquela forza solar que fai ascende-lo vapor alí é máis forte. Por outra banda, a columna de vapor se curvará conforme á diferente oblicuidade, e posto que o vapor do lado precedente da columna é un pouco máis recente, mesmo por eso será aquí un pouco máis denso e tamén, polo tanto, reflexará máis copiosamente a luz e terá uns bordes máis nidios; mais o vapor do outro lado esvairase ós poucos e desaparecerá imperceptiblemente da vista.

## **Próbase por medio das colas que os cometas, ás veces, descendem por baixo da órbita de Mercurio**

Non é este o momento, polo demais, de dar conta das causas das cousas da Natureza: sexan verdadeiras ou falsas tódalas cousas ditas ata o de agora, alomenos temos achado que os raios se propagan en liña recta polos ceos dende as colas dos cometas e, polo tanto, que veñen das partes do ceo nas que as colas se lles aparecen ós espectadores estean estes situados onde estiveran e que, ademais, estas se estenden dende a cabeza dos cometas cara ás rexións opostas ó Sol, e de novo sobre este alicerce establecémo-lo límite das distancias dos cometas do modo seguinte.

[Figura 8] Sexan S o Sol; T a Terra; STA a distancia do cometa ata o Sol; e ATB a lonxitude aparente da cola e como a luz se propaga dende o cabo da cola segundo a liña recta TB, se achará dito cabo en algures da recta TB.

Sexa D o dito punto, únase DS cortando a TA en C e, como a cola sempre se opón ó Sol canto pode, entón o Sol, a cabeza do cometa e o cabo da cola están en liña recta e a cabeza do cometa se achará en C; trácese SA, unha paralela a TB que lle saia ó encontro a TA en A, e a cabeza C do cometa necesariamente se atopará entre T e A, pois o cabo da cola está en algures da liña infinita TB, e tódalas liñas SD que se podan trazar dende S á liña TB cortan a liña TA nalgún punto entre T e A. Por esta razón o cometa non podería estar máis lonxe da Terra có intervalo TA, nin do Sol có intervalo SA máis alén del ou ST máis acá: por exemplo, o 12 de decembro de 1680 o cometa estaba a 9 graos do Sol, e a lonxitude da cola era de 35 graos como mínimo; constrúase pois o triángulo TSA, no que o ángulo T sexa igual á distancia de 9 graos, e o ángulo A ó ángulo ATB ou sexa á lonxitude da cola de 35 graos, e SA será a ST, isto é, o límite da distancia máxima posible do cometa ó Sol ó semidiámetro da Órbita Máxima, coma o seo do ángulo T ó seo do ángulo A: isto é, coma 3 a 11 aproximadamente. Por todo isto o cometa nese momento distaba do Sol  $\frac{3}{11}$  partes da distancia da Terra ó Sol

e, polo tanto, se movía ou ben dentro da órbita de Mercurio ou ben entre a dita órbita e a Terra. Pero, por outra banda, o 21 de decembro a distancia do cometa ó Sol era de  $32\frac{2}{5}$  graos e a lonxitude da cola de 70 graos así que, como o seo de  $32\frac{2}{5}$  graos é ó seo de 70 graos, esto é de 4 a 7, tal era o límite do intervalo entre o cometa e o Sol, á distancia da Terra ó Sol e, en consecuencia, o cometa aínda non tiña pasado a órbita de Venus.

O 28 de decembro a distancia do cometa ó Sol era de 55 graos, e a lonxitude da cola de 56 graos, logo o límite do intervalo entre o cometa e o Sol aínda non igualara a distancia da Terra ó Sol e, en consecuencia, o cometa aínda non pasara a órbita da Terra: da paralaxe colíxese que o seu paso caeu no 5 de xaneiro aproximadamente, e que o cometa descendía moito por baixo da órbita de Mercurio; poñamos que estivera no perihelio o 8 de decembro, momento da súa conxunción co Sol, e que no percorrido dende o perihelio ata a súa saída da órbita da Terra tiveran pasado 28 días, en consecuencia, nos 26 ou 27 días seguintes, nos que se deixou de ver a simple vista, a penas duplicara a súa distancia ó Sol. Con estes mesmos argumentos para delimitármolas distancias doutros cometas se chega, finalmente, á seguinte conclusión: que tódolos cometas, entretres son visibles para nós, dan voltas por un espacío esférico con centro no Sol e raio do dobre da distancia do Sol á Terra ou, como moito, do triple.

### **Os cometas móvense en seccións cónicas que teñen o foco no centro do Sol e, con raios trazados cara a este centro, describen áreas proporcionais ós tempos**

Os cometas, pois, durante o tempo todo da súa aparición, dan voltas dentro da esfera da actividade circunsolar e, polo tanto, móvense polo impulso da mesma e, en consecuencia (polo corolario I da Proposición XIII do libro I dos *Principia*) describen seccións cónicas que teñen os seus focos no centro do Sol e, con

raios trazados ó Sol, describen áreas proporcionais ós tempos, pois a dita forza, ó se propagar cara á inmensidade, rexerá os movementos dos corpos moito máis aló da órbita de Saturno.

### **As seccións cónicas están perto de seren parábolas: isto colíxese da velocidade dos cometas**

Polo demais, as hipóteses sobre os cometas son tres: ou ben que se xeran e morren cando aparecen e desaparecen; ou ben que proveñen das rexións das estrelas fixas e pasan de largo o noso sistema planetario ou ben, finalmente, que xiran perpetuamente arredor do Sol en órbitas moi excéntricas. No primeiro caso, os cometas se moverían en seccións cónicas de calquera clase en función da súa diferente velocidade; no segundo, se moverán en hipérbolas e, no un e no outro, frecuentarán indifrentemente tódalas rexións, tanto as dos Polos coma as da Eclíptica; no terceiro caso os movementos ocorrerían en elipses moi excéntricas e moi semellantes á forma de parábolas; pero as órbitas, no caso de que se obedeza a lei dos planetas, non se desviarán moito do plano da Eclíptica.

É polo que eu puíden ter observado ata aquí, é o terceiro caso o que se sostén, porque os cometas frecuentan moito o zodíaco e cáseque nunca chegan a unha latitude heliocéntrica de corenta graos, pois se moven tamén en órbitas moi próximas a parábolas, segundo deduzo das súas velocidades, pois a velocidade coa que se describirá unha parábola é sempre como a raíz cadrada de 2 a 1 (polo corolario 7 da Proposición XVI) á velocidade coa que un cometa ou un planeta poden xirar en círculo ó redor do Sol á mesma distancia; e segundo o meu cálculo, a velocidade dos cometas ten que ser moi semellante. Teño estudiado o asunto deducindo, as unhas en función das outras, as velocidades a partir das distancias, e as distancias a partir das paralaxes e dos fenómenos das colas conxuntamente: os erros nas velocidades, por exceso ou por defecto, non resultaron

maiores côs que se tiveran producido dende os erros nas distancias obtidas segundo aquela razón; pero eu utilicei tamén un argumento do estilo seguinte.

### En cánto tempo percorren os cometas a Órbita Máxima en traxectoria parabólica

Unha vez dividido o raio da Órbita Máxima en 1.000 partes, representen os números da primeira columna da seguinte táboa a distancia do vértice da parábola ó centro do Sol, expresada nas ditas partes; e un cometa se moverá dende o perihelio ata a superficie da esfera que se describe con centro no Sol e o raio da Órbita Máxima, nos tempos expresados na segunda columna; e nos tempos expostos nas columnas 3, 4 e 5 duplicará, triplicará ou cuadriplicará esa mesma distancia súa ó Sol.

**TÁBOA I**

Distancia entre o centro do Sol e o perihelio do cometa	Tempo do paso do cometa dende o perihelio á distancia do Sol co raio da Órbita Máxima.											
	Igual			Dobre			Triplificado			Cuadriplicado		
	d.	h.	m.	d.	h.	m.	d.	h.	m.	d.	h.	m.
0	27	11	12	77	16	28	142	17	14	219	17	30
5	27	16	07	77	23	14						
10	27	21	00	78	06	24						
20	28	06	40	78	20	13	144	03	19	221	08	54
40	29	01	32	79	23	34						
80	30	13	25	82	04	56						
160	33	05	29	86	10	26	153	16	08	232	12	20
320	37	13	46	93	23	28						
640	37	09	49	105	01	28						
1280	...	...	...	106	06	35	200	06	43	297	03	46
2560	...	...	...	...	...	...	147	22	31	300	06	03

## Tempo no que os cometas entran na Órbita Máxima e saen dela

O momento no que os cometas entran na esfera da Órbita Máxima ou ben saen dela se deixa ver sobre todo na paralaxe; pero dun modo aínda máis rápido por medio desta táboa.

**TÁBOA II**

Distancia aparente do cometa ó Sol	Movemento diario aparente do cometa na súa órbita				Distancia do cometa á Terra en milésimas do raio da Órbita Máxima
	Directo		Retrógrado		
	gr.	mín.	gr.	mín.	
60	2	18	0	20	1000
65	2	33	0	35	845
70	2	55	0	57	684
72	3	07	1	09	618
74	3	23	1	25	551
76	3	43	1	45	484
78	4	10	2	12	416
80	4	47	2	49	347
82	5	45	3	47	278
84	7	18	5	20	209
86	10	27	8	19	140
88	18	37	16	39	70
90					00

## A qué velocidade atravesaran a Órbita Máxima os cometas de 1680

O entrada ou a saída ten lugar no tempo das distancias do cometa ó Sol expresadas na columna primeira da cela dos movementos diúrnos, así o 4 de xaneiro de 1681 (do cómputo antigo) o movemento aparente diúrno do cometa na súa órbita era cáseque de 3 graos 5 minutos; a distancia que lle corres-

ponde é de  $71\frac{2}{3}$  graos e o cometa alcanzou esta distancia do Sol o día 4 cara ás 6 da tarde. Por outra banda, o 11 de novembro de 1680 o movemento diúrno do cometa que apareceu entón era de cáseque  $4\frac{2}{3}$  graos, e a distancia que lle correspondía de  $79\frac{2}{3}$  graos alcanzouse o 10 de novembro un pouco antes da media noite: pois ben, nestes períodos de tempo os cometas alcanzaran a distancia ó Sol que tiña a Terra, entrementes que a Terra estaba entón practicamente no seu perihelio. A táboa primeira computouse sobre a distancia media da Terra ó Sol distribuída en 1.000 partes, e esta distancia é maior có intervalo que pode percorre-la Terra en case un día do seu movemento anual, ou o cometa co seu movemento en 16 horas.

Para reduci-lo cometa a esta distancia media de 1.000 partes, engádanse ó tempo anterior, e réstense do posterior, 16 horas, e o tempo primeiro chegará se-lo 4 de xaneiro ás dez da tarde, e o segundo o 10 de novembro cara ás 6 da mañá. Do teor e progreso dos movementos diúrnos colíxese que ámbolos dous cometas se xuntaran co Sol entre o 7 e o 9 de decembro e, polo tanto, ata o 4 de xaneiro ás 10 da tardiña por unha banda e ata o 10 de novembro ás 6 da mañá pola outra, hai cáseque 28 días; e todos estes días (pola Táboa I) tiñan de terse consumido nas traxectorias parabólicas.

### **Estes cometas non foron dous, senón só un e o mesmo cometa: se explica máis por miúdo con que órbita e con que velocidade cruzou o ceo**

Neste senso, da coincidencia dos perihelios e a avinza das velocidades resulta verosímil que estes dous cometas, que consideramos antes coma dous, non fosen dous senón un e o mesmo cometa: por esta razón a órbita deste cometa sería ou ben unha parábola ou ben unha sección cónica non moi distinta dunha parábola, e case tanxente á superficie do Sol no seu vértice pois, pola Táboa II, a distancia do cometa á Terra era, o

10 de novembro de 360 partes, máis ou menos, e tamén dunhas 630 o 4 de xaneiro; así pois, das lonxitudes e latitudes do cometa colíxese que a distancia entre os lugares nos que por entón se achaba o cometa era dunhas 280; a metade desta, ou sexa 140, é a ordenada da órbita do cometa, que corta unha parte do seu eixe case igual ó raio da Órbita Máxima, isto é, 1.000 partes. E de aquí que dividindo o cadrado da ordenada, isto é, 140 pola parte abscisa do eixe, 1.000, se obterá o lado recto de 19.6 en números redondos 20, e a súa cuarta parte, 5, é a distancia entre o vértice da órbita e o centro do Sol: á distancia de 5 partes da Táboa primeira correspondenlle 27 días, 16 horas, 7 minutos. En todo ese tempo o cometa completará o seu camiño na órbita parabólica entre o perihelio e a superficie esférica da Órbita Máxima, descrito cun raio de 1.000 partes e, polo tanto, consumirá en todo o seu movemento dentro da Órbita Maior o dobre do dito tempo, ou sexa 55 días e  $8\frac{1}{4}$  horas.

E a cousa é así: dende o 10 de novembro ás 6 da mañá, cando o cometa entrara nesta órbita, ata o 4 de xaneiro ás 10 da tarde, cando saíu dela, hai 55 días e 16 horas, e a diferenza, de  $7\frac{3}{4}$  horas, tense que depreciar neste cálculo rudimentario, e quizais puidera proceder dun movemento un pouco máis lento realizado na órbita elíptica: entre a entrada e a saída, o tempo medio cae no 8 de decembro ás 2 da mañá e, polo tanto, neste momento o cometa debeuse de achar no perihelio. E de aquí que Halley, este mesmo día, un pouco antes de raia-lo Sol, vira unha cola curta, ancha e moi brillante, como xa temos dito, que xurdía perpendicularmente do horizonte; da situación da cola colíxese que o cometa xa tiña pasado alén da eclíptica, e tiña unha latitude boreal e, polo tanto, o perihelio que estaba na outra parte da eclíptica, xa fora superado entón, aínda que non tivese alcanzado o meridiano do Sol. E así, ó esta-lo cometa entre o perihelio e a conxunción solar, unhas poucas horas antes estaba no perihelio, pois tan perto do Sol tiña que moverse a moitísima velocidade e percorrer aparentemente case medio grao por hora.



## **Se amosa con moitos exemplos a qué velocidade se moven os cometas**

Mediante cálculos semellantes deduzo que o cometa de 1618 entrou no límite esférico da Órbita Máxima ó solpor do 7 de decembro: a súa conxunción co Sol acaeceu arredor do 9 ou 10 de novembro: transcorren cáseque 28 días, como no cometa anterior, pois tamén do tamaño da cola, que foi semellante á do cometa anterior, resulta moi verosímil que este, do mesmo modo, chegase case a roza-lo corpo do Sol. Este ano brillaron catro cometas, e este foi o último deles; e sospeito que o segundo, que foi visto por primeira vez o 31 de outubro na veciñanza do Sol nacente e despois se desvaneceu axiña baixo os raios do Sol, foi o mesmo que o cuarto, que saíu de entre os raios do Sol cara ó 9 de novembro. Engádase a isto que o cometa de 1607 entrou na esfera da Órbita Máxima o 14 de Setembro do calendario antigo e acadou a súa distancia mínima ó Sol cara ó 19 de outubro: median 35 días; esa distancia do perihelio ó Sol subtendía un ángulo aparente á Terra duns 23 graos e, polo tanto, era de 390 partes e, na Táboa I, ás tais partes lle cadran 34 días. Ademais, o cometa de 1665 entraba na esfera da órbita anual cara ó 17 de marzal e se achegaba ó perihelio cara ó 16 de abril, mediando 30 días: a distancia entre o perihelio e o Sol subtendía un ángulo de case 7 graos á Terra e, polo tanto, era de case 122 partes e a estas partes, na Táboa I, lle cadran 30 días. Por outra parte, o cometa do ano 1682 entraba na esfera da Órbita Máxima cara ó 11 de agosto e chegaba ó perihelio cara ó 16 de setembro, e distaba entón do Sol un intervalo dunhas 350 partes ás que lle cadran, na Táboa I, 33½ días.

Á fin, aquel célebre cometa de Regiomontano♦ que en 1472 atravesou á rexión do Polo boreal e completou nun só día unha traxectoria de corenta graos, e entrou no límite da Órbita Máxima o 21 de xaneiro, momento no que sobrepasaba ó polo: e dende alí dirixiuse cara ó Sol e agachouse baixo os raios solares nos últimos días de febreiro. De aí resulta verosímil que se

consumisen trinta días ou pouco máis entre o dito ingreso e o perihelio do cometa, posto que en realidade este cometa non sería máis rápido cós demais cometas, nin tampouco tería aca-  
dado tanta velocidade aparente por outra razón máis ca polo seu paso pola veciñanza da Terra.

### **Se propón determina-la órbita dos cometas**

A velocidade dos cometas é, logo, na medida na que pode ser determinada mediante estes cálculos un pouco groseiros, a mesma ca aquela coas que se poden describi-las parábolas, ou as elipses afíns a elas e, polo mesmo, dunha distancia dada entre o cometa e o Sol, obtense de forma moi aproximada, e de aquí xorde o problema seguinte:

#### **PROBLEMA**

*Dáse a relación entre a velocidade do cometa e a súa distancia ó centro do Sol: áchese a traxectoria.*

Unha vez resolto este problema se terá por fin un método para determinármolas traxectorias dos cometas coa maior exactitude, pois se tal relación se supón dúas veces e se calcula a traxectoria a partir de aquí outras dúas, e despois mediante observacións se establece o erro dunha e outra traxectorias, pódese corrixi-la suposición mediante a regra da falsa posición, e achármonos así unha terceira traxectoria que cadre de cheo coas observacións; e determinando con este método as traxectorias dos cometas pódese saber, á fin, con máis exactitude qué rexións percorren estes corpos, cal é a súa velocidade, de qué tipo son as súas traxectorias, cales son as magnitudes reais das colas, o mesmo que as formas segundo as distintas distancias das cabezas respecto ó Sol.

Incluso é doado esperar que por este método se poida saber, por fin, se os cometas completan a órbita nuns tempos dados e

en qué períodos de tempo completa cada un deles a súa revolución: o problema, pois, resólvese establecendo primeiro mediante tres ou máis observacións o movemento horario dos cometas nun tempo dado e, despois, derivando a traxectoria a partir deste movemento; deste modo a traxectoria depende dunha soa observación e do movemento horario no tempo da dita observación e, polo tanto, ou ben se confirmará a si mesma ou ben se refutará, pois unha conclusión que se deduza do movemento dunha soa hora ou dúas e dunha hipótese falsa, xamais cadrará cos movementos dos cometas de principio a fin. O método do cálculo todo é tal que así:

## Á solución dos problemas antepóñense uns lemas

### LEMA I

*Dadas en posición dúas rectas OR, TP, corta-las cunha terceira RP de xeito que TRP sexa un ángulo recto, coa condición de que ó trazarmos ata un punto calquera S unha recta SP, veña dado o sólido contido pola dita recta SP e o cadrado da recta OR rematada nun punto dado O.*

Graficamente faise así: sexa o dito contido dado  $M^2 \times N$ . [Figura 9] Sobre un punto calquera  $r$  da recta OR leva unha perpendicular  $rp$  que se encontre con TP en  $p$ . E polos puntos S,  $p$  traza  $Sq$  igual a  $(M^2 \times N)/OR^2$ . Co mesmo método traza tres ou máis rectas  $S2q, S3q$ , etc. e trazada unha liña regular  $q, 2q, 3q$  por tódolos puntos  $q, 2q, 3q$  cortará á recta TP no punto P dende o que hai que traza-la perpendicular PR. *Q.E.F.*

Trigonometricamente é así: tómese a liña últimamente achada TP, e daquela nos triángulos TPR, TPS hanse te-las perpendiculares TR, SB, e no triángulo SBP o lado SP e o erro  $(M^2 \times N)/OR^2 - SP$ . Fai que este erro, chamémolo D, sexa a un erro novo, chamémolo E, coma o erro  $2p2q \pm 3p 3q$  ó erro  $2p3p$ , ou coma o erro  $2p2q \pm D$  ó erro  $2pP$ ; e o novo erro suma-

do ou restado á lonxitude TP dará a lonxitude correcta  $TP \pm E$ . A elección da suma ou da resta axúdase coa revisión da figura: se algunha vez fose necesaria unha corrección ulterior, repítase a operación.

Aritmeticamente é así: supoñámo-la figura feita, e sexa a lonxitude correcta  $TP + e$  da liña TP achada graficamente; e as lonxitudes correctas das liñas OR, BP e SP serán:  $OR - (TR/TP)e$ ,  $BP + e$  e  $\sqrt{SP^2 + 2BP^2e + ee} = (M^2 \times N)/(OR^2 + ((2OR \times TR)/TP)e + (TR^2/TP^2)ee)$ ; de onde, polo método das series converxentes será  $SP + (BP/SP)e + (SB^2/2SP^3)ee$  etc.  $= (M^2N/OR^2) - SP$ ,  $(2TR/TP) \times (M^2N/OR^3) - (BP/SP)$ ,  $(3TR^2/TP^2) \times (M^2N/OR^4)ee$  etc.

En lugar dos termos dados  $(M^2N/OR^2) - SP$ ,  $(2TR/TP) \times (M^2N/OR^3) - (BP/SP)$ ,  $(3TR^2/TP^2) \times (M^2N/OR^4) - (SB^2/2SP^3)$  escribíbase:  $F \cdot F/G$ ;  $F/GH$ , e tendo boa conta dos signos teremos  $F + (F/G)e + (F/GH)ee = 0$ , e  $e + (e/H) = -G$ .

De aquí, depreciando o termo pequeníssimo  $(e/H)$ , resulta  $e = -G$ . Se o erro  $(e/H)$  non é depreciabile, tómesese  $-G - (G/H)e = e$ .

E advértase que, deste xeito, se presenta un método xeral para resolve-los problemas máis difíciles, tanto trigonométrica como aritmeticamente, sen os embarullados cálculos e resolucións de artificiosas ecuacións que ata o de agora se estilaran.

## LEMA II

*Dadas tres rectas en posición, corta-las cunha cuarta as partes da cal teñan entre cortes unha proporción mutua dada, e que pase por un punto que se dea nunha delas.*

[Figura 10] Sexan as rectas en posición dada AB, AC, BC e, sobre AC, déase o punto D; trácese a recta DG, paralela a AB, que encontra a BC en G; lévese GF a BG segundo aquela razón dada, e trácese FDE; e FD será a DE coma FG a BG, Q.E.F.

Trigonometricamente é así: no triángulo CGD danse os ángulos e o lado CD, e despois os demais lados e, das razóns dadas, veñen dadas tamén as liñas GF e BE.

### LEMA III

*Achar e representar graficamente o movemento horario dun cometa nun tempo dado.*

Déanse tres lonxitudes do cometa segundo observacións de boa credibilidade; sexan as súas diferencias  $ATR$ ,  $RTB$  [*Figura II*] e pescúdeuse o movemento horario no tempo da observación intermedia da lonxitude  $TR$ . Trácese (polo Lema II) a recta  $ARB$  de xeito que as súas partes cortadas  $AR$ ,  $RB$ , equivallan ós tempos entre observacións; e se o corpo en todo o tempo percorre a liña toda  $AB$  uniformemente e, no intre, é observado dende  $T$ , este será o seu movemento aparente no punto  $R$ , que foi o do cometa mesmo no momento da observación  $TR$  coa maior aproximación posible.

*O mesmo, máis exactamente.*

Déanse as distancias máis longas a ámbolos dous lados  $Ta$ ,  $Tb$ , e (polo Lema II) trácese  $aRb$ , e sexan as súas partes  $aR$ ,  $Rb$  coma os tempos entre as observacións  $aTR$ ,  $RTb$ ; corte ésta ás liñas  $TA$ ,  $TB$  en  $D$  e en  $E$ ; e posto que o erro da inclinación  $TRa$  crece cáseque en razón do cadrado do tempo entre observacións, trácese  $FRC$  de xeito tal que, ou ben o ángulo  $DRF$  respecto ó ángulo  $ARF$ , ou ben a liña  $DF$  respecto á liña  $AF$ , sexan coma o cadrado da razón entre o tempo total entre as observacións  $aTb$ , e o tempo total entre as observacións  $ATB$  e, no lugar da liña achada máis arriba  $AB$ , pónase agora a liña xa achada  $FG$ .

Convén que os ángulos  $ATR$ ,  $RTB$ ,  $aTA$ ,  $BTb$  non sexan menores de dez ou quince graos, e os tempos que lles correspondan non sexan maiores de oito ou doce días, e toma-las lonxitudes cando o cometa se move a maior velocidade: deste modo os erros de observación terán unha razón menor respecto ás diferencias das lonxitudes.

## LEMA IV

*Acha-las lonxitudes dun cometa en tempos dados.*

Faise tomando na liña FG as distancias Rr Rg, proporcionais ós tempos, e trazando as liñas Tr, Tg. A operación trigonométrica é evidente.

## LEMA V

*Acha-las latitudes.*

Ós raios TF, TR e TG, elévense as normais Ff, RP e Gg, tanxentes das latitudes observadas, e trácese PH, paralela á recta fg; as súas perpendiculares, rp, e  $\zeta\pi$ , serán as tanxentes das latitudes buscadas ós raios Tr, T $\zeta$ .

## PROBLEMA I

*Determina-la traxectoria dun cometa a partir dunha razón suposta da velocidade.*

Sexa S o Sol; t, T,  $\lambda$ , tres lugares equidistantes da Terra na súa órbita; p, P,  $\pi$ , os respectivos lugares correspondentes dun cometa na súa traxectoria, interpostos entre cada un deles intervalos dunha hora; sexan pr, PR,  $\pi\zeta$  perpendiculares trazadas ó plano da eclíptica, e rR $\zeta$  a proxección da traxectoria no dito plano. Xúntense Sp, SP, S $\pi$ , SR, ST, tr, TR,  $\lambda\zeta$ , TP e xúntense tr e  $\lambda\zeta$  en O; tamén TR converxerá no mesmo O coa maior exactitude, e o erro será alomenos desprezable.

Polos Lemas precedentes danse os ángulos rOR, RO $\zeta$  e tamén as razóns pr a tr, PR a TR,  $\pi\zeta$  a  $\lambda\zeta$ ; tamén se dá, en magnitude e en posición, a figura tT $\lambda$ O, á vez que a distancia TS xunto cos ángulos STR, PTR, STP. Supoñamos que a velocidade do cometa no punto P é, á velocidade do planeta que xire en círculo á mesma distancia SP do Sol, como  $v$  a I; e teremos que determina-la liña pP $\pi$  coa condición de que o espacio p $\pi$ , descrito polo cometa en dúas horas, sexa ó espacio  $v$  x  $t\lambda$ , isto é ó espacio que a Terra describe no mesmo tempo multiplicado polo

número  $r$ , coma a raíz cadrada da razón da distancia da Terra ó Sol ST, á distancia SP do cometa ó Sol; de xeito que o espacío  $pP$ , descrito polo cometa na primeira hora, cadre co espacío  $P\pi$ , descrito polo cometa na segunda, como a velocidade en  $p$  e á velocidade en  $P$ ; isto é, coma a raíz cadrada da razón da distancia SP á distancia Sp, ou sexa en razón  $2SP$  a  $SP + Sp$ .

En todo este proceso estou a despreza-las minucias que non son quen de producir un erro perceptible.

En primeiro lugar, pois, igual que fan os matemáticos na resolución de ecuacións embarulladas cando como primeiro paso colixen unha raíz por vía de conxectura, do mesmo modo neste traballo de análise, ó facer unha conxectura establezo, no que eu podo, a distancia buscada TR, e (polo Lema II) trazo  $r\zeta$ , primeiro de xeito tal que  $rR$  e  $R\zeta$  sexan iguais; e despois (cando a proporción entre SP e Sp saia de aquí) de modo que  $rR$  sexa a  $R\zeta$  coma  $2SP$  a  $Sp + SP$ ; e acho as razóns das liñas  $p\pi$ ,  $r\zeta$ , e OR entre elas. Supúñase que M é a  $r \times t\lambda$  coma OR a  $p\pi$  e, polas proporcionais  $p\pi^2 : (r \times t\lambda)^2 :: ST : SP$ , teremos en pé de igualdade que  $(OR)^2 : AP :: ST : SP$  e, polo tanto, o sólido contido en  $(OR)^2 \times SP$  é igual ó dado en  $M^2 \times ST$ . De onde, de colocárense os triángulos STP, PTR agora no mesmo plano, virán dadas TR, TP, SP, PR (polo Lema I); todo isto remátoos primeiro graficamente, de xeito rápido e groseiro; despois graficamente, pero con maior coidado; finalmente, por cálculo numérico; entón, de novo, determino o lugar das liñas  $r\zeta$  e  $p\pi$  do modo máis exacto, xunto cos nodos e a inclinación do plano  $Sp\pi$  respecto ó plano da eclíptica e, no tal plano  $Sp\pi$  (pola Proposición XVI do libro I dos *Principia Mathematica*), describo a traxectoria na que se moverá un corpo guindado dende un punto dado P segundo a recta dada  $p\pi$ , cunha velocidade tal que sexa á velocidade da Terra coma  $p\pi$  a  $r \times t\lambda$ . *Q.E.F.*♦

## PROBLEMA II

*Corrixi-la razón suposta da velocidade e a traxectoria achada.*

Cóllase unha observación do cometa cara á fin do seu movemento, ou algunha outra que estea o máis lonxe posible das observacións aportadas anteriormente, e búsquese a intersección do raio trazado ó cometa naquela observación, co plano  $Sp\pi$ , e tamén o lugar do cometa nesta traxectoria no momento da dita observación: se a tal intersección coincide neste lugar, é proba de que a traxectoria foi correctamente achada; se non coincide, haberá que tomar un novo número  $v$  e achar unha traxectoria nova e, despois, haberá que establece-lo lugar do cometa nesta traxectoria respecto no momento da dita observación probatoria, e determina-la intersección do raio co plano da traxectoria, como antes. E da comparación da variación do erro coa variación doutras cantidades, colixírase, mediante a *regra áurea*, cuántas terán que se-las variacións ou correccións daquelas cantidades para o erro se-lo máis pequeno posible.

Feitas estas correccións obterase a traxectoria con bastante exactitude, suposto que o cálculo se baseara nunhas observacións exactas e que non se errara moito ó supoñe-la cantidade  $v$ , pois se o erro fora moito, terase que repeti-la operación ata acharse a traxectoria con suficiente exactitude. *Q.E.F.*



## Escolio Xeral

*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, auctore Isaaco Newtono, editio tertia aucta & emendata. Londini, G. & J. Innys, 1726. [liber tertius, pp. 526-530].

A hipótese dos vórtices♦ está abafada por moitos atrancos: para que calquera planeta poida describir áreas proporcionais ós tempos mediante un raio trazado ata o Sol, os tempos periódicos das diversas partes dos vórtices terían que observa-la razón do cadrado das súas distancias respecto ó Sol; e para que os tempos periódicos dos planetas estean á  $3/2$  potencia das súas distancias ó Sol, cómpre que os tempos periódicos das partes dos vórtices estean á  $9/2$  potencia das súas distancias. Para os vórtices menores, nadando con tranquilidade no vórtice do Sol, poderen mante-las súas revolucións arredor de Saturno, Xúpiter e os outros planetas, os tempos periódicos das partes do vórtice solar deben ser equivalentes; mais a rotación do Sol e dos planetas en torno ós seus eixes, que tería que corresponder ós movementos dos seus vórtices, discrepa lonxe de todas estas proporcións. Os movementos dos cometas son sumamente regulares, e están suxeitos ás mesmas leis que os movementos dos planetas e non se poden explicar, de ningunha maneira, por medio dos vórtices, pois os cometas son levados por todas partes do ceo cun movemento moi excéntrico, o que non é posible se non se prescinde dos vórtices.

Os proxectís só sofren a resistencia do aire no noso aire: ó suprimi-lo aire, coma sucede no baleiro de Boyle, cesa tamén a resistencia, pois neste baleiro ata unha pluma lixeira ou o ouro macizo caen coa mesma velocidade; e esta mesma razón ten que valer para os espazos do ceo situados por riba da atmosfera terrestre: neses espazos, tódolos corpos se han mover coa maior liberdade, e os planetas e os cometas xirarán por sempre xamais nunhas órbitas dadas por especie e posición, segundo as leis xa

expostas; e se manterán nas súas órbitas polas leis da gravidade, pero a posición regular das órbitas mesmas non pode ter sido acadada de ningunha maneira só a partir desas leis.

Os seis planetas principais xiran arredor do Sol en círculos concéntricos, con movemento cara ás mesmas partes, e cáseque sempre no mesmo plano; dez lúas xiran arredor da Terra, de Xúpiter e Saturno, en círculos concéntricos, movéndose na mesma dirección e cáseque nos planos das órbitas deses planetas; pero todos estes movementos regulares non poden ter a súa orixe nunhas causas mecánicas, pois os cometas percorren os ceos todos con total liberdade en órbitas moi excéntricas e, por este tipo de movemento, os cometas atravesan a toda velocidade coa maior facilidade ás órbitas dos planetas e, nos seus afélios, onde eles se moven moi de vagar e se deteñen máis, afástanse os uns dos outros ó máis lonxe que poden para se atraeren mutuamente o menos posible.

Este elegantísimo sistema do Sol, dos planetas e dos cometas só se pode orixinar no designio e poder dun ente intelixente e poderoso; e se as estrelas fixas foran o centro doutros sistemas semellantes, todos eles, creados por análogo designio, terán que estar suxeitos ó poder do Uno, especialmente porque a luz das estrelas fixas é da mesma natureza cá luz do Sol e, dende cada un deses sistemas pasa ós outros. E para que os sistemas das estrelas fixas non caesen os uns enriba dos outros por efecto da súa gravidade, situounos a distancias inmensas os uns dos outros.

Este rexe tódalas cousas, non coma alma do mundo, senón coma dono dos universos todos e, debido ó seu dominio soe ser chamado «Señor Deus», παντοκράτωρ<sup>3</sup> ou «todopoderoso», pois Deus é unha palabra relativa e, coma tal, refírese ós servos, e deidade é o dominio de Deus, non sobre o seu propio corpo —como pensan aqueles para os que Deus é a alma do mundo,

<sup>3</sup> Esto é, “amo do universo”.

senón sobre os seus servos. O Deus supremo é un ente eterno e infinito, absolutamente perfecto, mais un ente tan perfecto pero sen dominio non é o «Señor Deus», pois dicimos «Deus meu», «Deus voso», «Deus de Israel», «Deus de deuses» e «Señor de señores», pero non dicimos «eterno meu», «eterno voso», «Eterno de Israel», «eterno de deuses», nin dimos «infinito meu» nin «perfecto meu»: estes títulos non gardan relación cos servos. A palabra «deus» adoita significar “dono”<sup>4</sup>, aínda que non todo dono é deus. O dominio dun ente espiritual constitúe a Deus coma verdadeiro se é verdadeiro, supremo se é supremo, ficticio se é ficticio; e do seu dominio verdadeiro séguese que o verdadeiro deus é un ente vivo, intelixente, e poderoso, e das restantes perfeccións que é supremo ou sumamente perfecto. É eterno e infinito, omnipotente e omnisciente, isto é: dura dende a eternidade ata a eternidade, e está presente dende o infinito ata o infinito, rexe todo e coñece todo canto é ou todo canto pode ser feito; non é eternidade e infinitude, senón eterno e infinito; non é duración ou espacio, senón que dura e está presente: dura sempre e está sempre presente en todas partes, e ó existiren sempre e en todas partes constitúe a duración e o espacio. E tal como cada partícula de espacio é sempre, e como cada momento indivisible de duración é ubicuo, o Creador e Señor de todas as cousas endexamais poderá ser «nunca» nin «ningunha parte»: toda alma percebe en diferentes tempos, con diferentes sentidos e órganos de movemento, pero segue a se-la mesma persoa indivisible: na duración danse partes sucesivas, no espacio partes coexistentes, pero nin o un nin o outro se poden achar na persoa do home ou no seu principio pensante e, moito menos, na substancia pensante de Deus. Coma cousa dotada de per-

<sup>4</sup> O noso Pocock deriva á voz do árabe *du* (e no caso oblicuo *dī*), que significa “señor”, e neste senso se chaman deuses os príncipes, coma no Salmo lxxxii, versículo 6, e Xoán X, versículo 35; e Moisés é chamado Deus polo seu irmán Aaron e polo Faraón [Éxodo IV, versículo 16, e VII, versículo 1]. No mesmo senso os pagáns chamaban deuses ás almas dos príncipes mortos, aínda que falsamente, debido á súa falta de dominio\*.

cepción, todo home é un e idéntico a si mesmo durante toda a súa vida, en todos e cada un dos seus órganos sensoriais. Deus é un e o mesmo deus sempre e en todas partes: é omnipresente non só pola súa soa virtude, senón tamén pola substancia; pois a virtude non pode subsistir sen substancia: tódalas cousas están contidas e movidas en El<sup>5</sup>, pero o un e as outras non se afectan mutuamente: Deus non padece nada polo movemento dos corpos, e os corpos non atopan resistencia na ubicuidade de Deus; recoñécese que un Deus supremo existe necesariamente, e pola necesidade mesma existe sempre e en todas partes e, polo mesmo, é todo semellante a si, todo ollo, todo oído, todo cerebro, todo brazo, todo poder para percibir, entender e obrar, pero dun xeito non humano, non corpóreo, radicalmente descoñecido para nós: así coma un cego non ten nin idea das cores, así tampouco temos nós idea sobre o modo no que o Deus sapientísimo percibe e entende tódalas cousas. Está radicalmente desprovisto de todo corpo e figura corporal, de xeito que non pode ser visto, nin escoitado nin tocado, e tampouco debe ser adorado baixo representación corporal ningunha. Temos ideas dos seus atributos, pero non coñecemos-la substancia de cousa ningunha; nos corpos só vémo-las figuras e cores, só escoitámo-los sons, só tocámo-las superficies externas, só ulímo-los olores, e gastámo-los sabores: con ningún sentido ou acto reflexo podemos coñece-las substancias íntimas, e moito menos teremos idea ningunha sobre a substancia de Deus: só o coñecemos polas súas propiedades e atributos, polas sapientísimas e óptimas estruturas das cousas e as causas finais, e admi-

<sup>5</sup> Esta era a opinión dos antigos. Así Pitágoras, en Cicerón, *De Natura Deorum*, libro I; Tales, Anaxágoras, Virxilio, *Xeórgicas*, libro IV, verso 220, e Eneida, libro VI, verso 721; Filón nas *Allegoriae*, ó comezo do libro I; Arato nos seus *Fenómenos*, ó comezo. Así tamén os escritores sagrados, como San Paulo, *Actos* XVII, versículo 27, 28. O Evanxeo de San Xoán, capítulo XIV, versículo 2; Moisés, no *Deuteronomio* IV, versículo 39, e X versículo 14; David, no Salmo CXXXIX, versículos 7, 8 e 9; Salomón, I, Reis VIII, versículo 27; Xob, XXII, versículo 12, 13; Xeremías, XXIII, versículo 23, 24. Os idolatras supuxeron que o Sol, a Lúa, as estrelas, as almas dos homes e outras partes do mundo eran partes do deus supremo e, en consecuencia, tiñan de ser veneradas, pero erróneamente.

rámolo polas súas perfeccións, mais venerámolo e adorámolo debido ó seu dominio, pois adorámolo coma servos; e un Deus sen dominio, sen providencia e sen causas finais, non é nada máis ca fado e natureza.

Unha cega necesidade metafísica, idéntica sempre e en todas partes, é incapaz de produci-la variedade das cousas: toda esa diversidade de cousas creadas que achamos axeitada ós tempos e lugares diferentes, só pode xurdir das ideas e da vontade dun ente que existe por necesidade. Alegoricamente dise que Deus ve, fala, ri, ama, odia, desexa, alédase, írase, loita, fabrica, crea e constrúe, pois tódalas nosas nocións de Deus obtémolas mediante unha certa analoxía coas cousas humanas: analoxía que aínda que non sexa perfecta, conserva unha certa semellanza: e isto polo que ten que ver con Deus, pois corresponde á filosofía natural falar del a partir dos fenómenos.

Temos exposto ata aquí os fenómenos dos ceos e do noso mar pola forza da gravidade, pero aínda non temos asignado causa ningunha a esa forza, e é seguro que procede dunha causa que chega ós centros mesmos do Sol e dos planetas sen experimenta-la máis pequena diminución da súa forza, que non opera consonte a cantidade das superficies das partículas sobre as que actúa (coma soe acontecer coas causas mecánicas), senón consonte a cantidade de materia sólida contida nelas, propagándose en tódalas direccións e ata distancias inmensas, e decrecendo sempre coma o cadrado inverso das distancias. A gravitación cara ó Sol componse da gravitación cara ás diversas partículas que constitúen o corpo do Sol e, ó afastarse do Sol, diminúe exactamente coma o cadrado inverso das distancias ata a órbita de Saturno, como o demostra a quietude do afelio dos planetas e incluso os afelios máis lonxanos dos cometas, se os tales afelios están tamén quedos; pero ata o de agora non fun quen de averigua-la causa desas propiedades da gravidade a partir dos fenómenos, e non vou finxir hipóteses agora, pois todo o que non se puido deducir dos fenómenos ten que ser

chamado unha hipótese, e as hipóteses ben metafísicas ou ben físicas, xa teñan que ver con calidades ocultas ou ben mecánicas, non teñen lugar na filosofía experimental: nesta filosofía as proposicións particulares dedúcense dos fenómenos, e logo vanse facendo xerais por medio da inducción. Así se descubriron a impenetrabilidade, a mobilidade, o ímpeto dos corpos, as leis do movemento e da gravitación, e xa é dabondo que realmente exista a gravidade e actúe de acordo coas leis que temos exposto, e sirvan para explica-los movementos dos corpos celestes e do noso mar.

Poderíamos engadir algo sobre un certo espírito moi sutil que penetra tódolos corpos densos e xace agachado neles que, pola súa forza e acción, fai que as partículas todas dos corpos se atraian unhas ás outras cando se atopan a distancias curtas e se ligan no caso de estaren contiguas; e os corpos eléctricos operan a distancias aínda maiores, e rexeitan ou atraen os corpúsculos veciños; a luz é emitida, reflectida, refractada, curvada, e quenta ós corpos: toda sensación é excitada, e os membros todos dos corpos animais móvense á orde da vontade, propagada polas vibracións dese espírito seguindo os fíos sólidos dos nervios, dende os órganos externos ata o cerebro, e dende o cerebro ata os músculos.

Pero estas son cousas que non se poden explicar en poucas palabras e, por outra parte, tampouco temos unha cantidade axeitada de experimentos para determinarmos con precisión e demostrar mediante qué leis opera este espírito.

FIN

## NOTAS Á TRADUCCIÓN

- p. 48:** Eudoxo, discípulo de Platón, é o máis importante dos filósofos citados por Newton neste punto; o seu sistema, chamado das esferas homocéntricas ou órbitas sólidas (cun centro común), poñía ó noso planeta no centro do Universo, e fixaba os sete corpos celestes coñecidos a sete capas de esferas de dimensións crecentes: á primeira pertencía a Lúa, formada por tres esferas; á segunda o Sol; pola súa banda, os outros planetas daquela coñecidos (Mercurio, Venus, Marte, Xúpiter e Saturno), ocupaban cada un un grupo de catro esferas. Cada corpo celeste estaba fixado á esfera máis fonda do grupo, e uns eixes polares conectaban entre si as esferas de cada grupo.
- p. 48, n.:** Arquímedes decatouse das limitacións da numeración e do cómputo tradicionais e, na súa obra *Psammítes* (isto é, en latín *Arenarius*), amosa unha visión nova baseada nunha análise revolucionaria da noción de número que lle permitía escribir (é dicir, representar) un número calquera, aínda maior có número de graos de area que poidera enche-la superficie da Terra toda, ou mesmo o Universo. Resolvo o título da obra en galego por vía de cultismo, porque non me gusta a solución *Areeiro*. Véxase a excelente edición e estudo de E. J. Dijksterhuis *Archimedes. The Arenarius. The Greek Text with a Glossary*, Leiden: E. J. Brill, 1956. Os *Placita philosophorum* é unha ampla colección de sentencias de homes ilustres e sabios que foi atribuída por erro a Plutarco (autor tamén das *Vidas paralelas*, das que se cita a do rei romano Numa), erro que Newton descoñecía, malia a súa notable erudición; na liña do pseudo Plutarco está tamén a chamada *Historia philosophica* do pseudo Galeno.

- p. 57:** O padre Atanasio Kircher (1602-1680), xesuíta alemán, foi físico, matemático, exiptólogo e orientalista, filólogo e anticuario. Foi profesor de Filosofía e de linguas orientais en Würzburg, pero fuxiu a Francia cando a Guerra dos Trinta Anos, e se refuxiou no Colexio da Compañía de Aviñón. En 1636 foi chamado a Roma, para adicarse á docencia das matemáticas no Colexio Romano, pero os seus protectores e admiradores movérono a deixa-lo ensino para se adicar de cheo ás ciencias: en física ocupouse exclusivamente na óptica e o magnetismo, no que vía aplicacións prácticas para o tratamento das enfermidades. Dise que inventou a lanterna máxica, e reuniu un gabinete de obxectos raros de historia natural, de antigüidades, de instrumentos de física e de matemática que aínda se conserva no Museo do Colexio Romano. Temos unha boa autobiografía do padre Kircher: «*Vita a semetipso conscripta, cum additamentis ex ejus Mundo subterraneo*», no libro de Hieronimus Langenmantel, *Fasciculus epistolarum Adm. R. P. Athanasii Kircheri Soc. Jesu, viri in Mathematicis et variorum Idiomatum Scientiis Celebratissimi, Complectentium Materias Philosophico-Mathematico-Medicas: Exaratae sunt ad nobiles, eruditos atque Excellentissimos viros D. D. Lucas Schrökios, Seniore et Juniore, D. Hieronymum Velschium, Trigam Illustrem Medicorum, D. Ankelium, Theophilum Spizelium, et ad Autorem ipsum. Nunc primo in publicam lucem prodire accurante R. P. Hieronimo Ambrosio Langenmantelio*, Augustae Vindelicorum, Typis Utzschneiderianis, 1684. É imprescindible a obra de Joscelyn Godwin, *Athanasius Kircher: A Renaissance Man and the Quest for Lost Knowledge*, London: Thames & Hudson, 1979.
- p. 106:** Simeón de Durham, historiador inglés do século XII; a súa obra máis importante é unha *Historia de Inglaterra, dende 616 ata 1130*. Durante os séculos XII e XIII, a abadía de Saint Albans, preto de Londres, converteuse nunha das escolas de historia e debuxo máis importantes do occidente europeo, e



tiña un dos mellores *scriptoria* monásticos, gracias ó labor dun dos seus abades, o noso Mateu de París (ca. 1200- ca. 1259). Este sabio monxe foi un historiador moi fiable, porque realizou un notable traballo de documentación nos arquivos ingleses: a súa obra máis importante son os *Chronica maiora*; teño a impresión de que Newton alude á súa *Historia Anglorum*. Miguel Ducas Nepote foi un historiador bizantino do século xv que foi testemuña da conquista de Constantinopla e máis adiante diplomático ó servicio da república de Venecia. Newton alude á historia que escribiu sobre a decadencia do imperio de Oriente ata a victoria dos musulmáns.

- p. 107:** A referencia ó padre Valentin Estancel, xesuíta alemán residente no Brasil, remítenos á figura do seu correligionario o padre António Vieira (Lisboa 1608-Baía 1697) un dos mellores coñecedores das teorías astronómicas do seu tempo, erudito universal e visionario. Nos seus sermóns é posible comproba-lo feito de que as súas referencias son, ás veces, as primeiras que se coñecen, como é o caso do cometa Jacob de 1695, segundo o seu sermón *Voz de Deos ao mundo, a Portugal e à Bahía: Juízo do cometa que nela foi visto em 27 de outubro de 1695 e continua até hoje, 9 de novembro do mesmo ano*. O interese de Vieira polos cometas tiña relación ca idea de seren mensaxes de Deus pero, malia a interpretación teolóxica que fai dos cometas e outros fenómenos celestes, sempre condenou a astroloxía, que vía allea á observación científica; por iso non se limitou ó rexistro dos sucesos e, en diversas ocasións, pronunciouse sobre as novas teorías cosmolóxicas da súa época, coma as defendidas por Galileo e Copérnico. De acordo ca clasificación de Alexandre Guy Pingré (1711-1796), na súa obra *Cometographie ou Traité Historique et Théorique des Comètes* (París 1784), Vieira está a medio camiño entre os teólogos e os físicos pois aínda crenndo na idea dun sinal do ceo, procuraba unha explicación física dos fenómenos, gracias ás súas lecturas e ó contacto cós astrónomos xesuítas.

A importancia das noticias de Vieira sobre os cometas non está relacionada cunha teoloxía dos fenómenos celestes e os meteoros, senón coa información de natureza astronómica, da época, do momento e do punto de observación, sinalando a rexión do ceo onde fora visible; isto é tanto máis importante cando hai poucos rexistros referentes ó Hemisferio Sur. No citado sermón *Voz de Deos ao mundo*, Vieira refírese ó cometa de 1618 que tería observado de neno na Baía. Tal noticia é importante de seu, pois parece ter sido descoñecida ós observadores europeos: o cometa 1618 II, foi descuberto o 16 de novembro de 1618 na constelación de Libra por Kepler, por Cysat (1580-1657), por Harriot (1560-1621), Longomontanus (1562-1647) e Snelius (1591-1626), e parece ter atinxido unha magnitude de 1 a 3 cunha cola de cáscabe 70°. Vieira fala do cometa da súa xuventude ó aparecelo cometa Jacob en 1695. Hai unha serie de referencias epistolares sobre o cometa Hevelius de 1664, que Vieira observou en Coimbra en decembro do mesmo ano, procurando comparalo ó cometa de 1616 que tanto o impresionou na súa xuventude; noutra carta, Vieira escribiu sobre “un religioso noso, alemão, bom matemático”, o padre Valentin Estancel (1621-1705) que describiu o cometa na súa obra *Legatus Uranicus* (Pragae 1683). Outro cometa que Vieira afirmou ter observado durante a súa estadía en Coimbra é outro cometa Hevelius, o de 1665, que foi visible de marzo a abril; este cometa foi observado tamén no Brasil por Estancel no Colexio da Baía, e a súa descrición pódese ler no seu *Uranophilus* (Antuerpiae 1685). Vieira baseouse sempre nos mellores autores: Kepler (a estrela nova de 1604), Copérnico (o sistema heliocéntrico e a rotación da Terra), Descartes (as análises da cola do arco da vella). Ausente do Brasil de 1641 a 1681, Vieira voltou á Baía e rexistra o cometa Kirch, descuberto o 14 de novembro de 1680, que era visible no ceo austral durante a súa viaxe de volta ó Brasil, e tiña “figura de palma, que se estendia desde o horizonte até o zênite, e leva-

va o curso para a parte austral tão arrebatado, qual nunca se viu em outro”.

Vieira observou tamén o cometa Bianchini, descuberto en Roma o 30 de xuño de 1684; de feito, o descubrimento dese cometa tivo lugar no Brasil o 6 de maio do mesmo ano, onde o observou o matemático xesuíta Estancel, ata o día 16 de maio. Curiosamente non atopamos referencia ningunha ó cometa Halley de 1682 nin ó cometa de 1686. O cometa Richaud, observado o 1 de decembro de 1689, foi tamén visto por Vieira o 6 de decembro, que o describe no “Discurso Astronómico” da Biblioteca Nacional de Lisboa (Coleção Pombalina, códice nº 484, ff. 170-177). Véxase a obra de Serafim Leite, *História da Companhia de Jesus no Brasil*, 10 vols., Lisboa: Livraria Portugália, 1938-1950.

*O novo calendario* é o calendario que chamamos gregoriano, instituído para substituí-lo calendario xuliano, chamado así pola reforma de Xulio César do calendario romano arcaico. César estableceu un ano dividido en 12 meses de 31 días e de 30 nos anos bisiestos, e un mes de febreiro que tiña 29 días nos anos normais; pero cando o antigo mes *Sextilis* (en realidade o octavo e non o sexto) foi dedicado a Augusto, o mes pasou a ter 31 días para que non fose menos que o sétimo mes (xullo), adicado a Xulio César, a costa de restar un día ó mes de febreiro, que quedou en 28 días (agás nos anos bisiestos).

Por moito que se corrixiu e axustou, o calendario xuliano, que tiña un ano de 365,25 días, non cadrou nunca coa duración de 365,242199 días do ano trópico: a diferenza de 11’ 14” ó ano chegou provocar un desaxuste de 10 días no ano 1545, e o Concilio de Trento pediulle ó papa Paulo III que procurara unha solución: deste modo, e tras moitas voltas, Gregorio XIII encargoulle o asunto ó xesuíta Cristobo Clavio (1537-1612) e, en 1582, foi abolido o calendario xuliano, corrixíndose o desaxuste de dez días, e establecéndose unha nova duración do ano equivalente a 365,2422 días. Deste

xeito a diferenza respecto ó ano trópico quedou reducida a 3 días cada 10.000 anos. Ó aplicar as novas normas, o xoves 4 de outubro de 1582 foi seguido polo venres 15 de outubro. Con todo, algunhas nacións non católicas non adoptaron o novo calendario ata o século XVIII: o Reino Unido non o fixo ata 1752.

- p. **125**: Regiomontano (natural de Königsberg) é o alcume do célebre astrónomo e helenista alemán chamado, en realidade, Johann Müller, naceu en 1436 e morreu o 6 de xuño de 1476. En 1463 foi profesor de astronomía en Padua, e residiu algún tempo na cidade de Buda (Hungría), na corte do rei Matías Corvino; máis adiante foi chamado a Roma polo papa Sixto IV. Observou un cometa moi interesante (o que logo sería chamado cometa Halley) e deixou establecida a frecuencia das súas aparicións, pero foi Edmund Halley quen, dous séculos máis adiante, daría o seu nome ó dito corpo celeste. Deixounos, entre outras, as seguintes obras:

–*Joannis Regiomontani opera collectanea. / Faksimiledrucke von neun Schriften Regiomontans und einer von ihm gedruckten Schrift seines Lehrers Purbach. Zusammengestellt und mit einer Einleitung* herausgegeben von Felix Schmeidler (Milliaria. X, 2). Osnabrück: Zeller, 1972.

–*Doctissimi viri... Joannis de Regiomonte de triangulis omnimodis libri quinque... accesserunt... N. Cusani de quadratura circuli, de recti ac curvi commensuratione: item, J. de Montereio eadem de re et hactenus a nemine publicata.* Norimbergae: cura et studio J. Schoener, 1533.

–*Joannis Regiomontani de triangulis planis et sphaericis libri quinque, una cum tabulis sinuum... Quam multiplicem usum haec triangulorum doctrina omnibus... adferat... qui sana rerum intelligentia sunt instructi, in sequenti opere, quod complectitur... Astronomicorum & Geometricorum problematum descriptionem, (auctore D. Santbech.)... deprehendere poterunt. (Tractatus G. Peurbachii super propositiones Ptolemæi de sinibus & chordis.) Omnia... edita... per D. Santbech. Basileæ, 1561.*

**pp. 131 e 132:** *Q.E.F.* Abreviatura da expresión *Quod est faciendum*, isto é “o que hai que facer de contado”.

**p. 133:** A hipótese dos vórtices de Descartes, como oposta á teoría da gravitación universal de Newton, supoñía unhas correntes de materia moi sutil (correntes na *aethra*) que arrastrarían, ó xeito de remuíños, os astros e demáis corpos celestes nas súas órbitas.

**p. 135:** Estou persuadido de que Newton está a pensar en Eduardo Pocock pai (1604-1691), orientalista e teólogo anglicano especializado na esexese dos libros proféticos da Biblia, e autor de dúas obras de certa sona:

–*Commentarii super Micheam, Malachiam, Oseam, Ioelem* e tamén dun *Specimen historiae Arabum: Specimen Historiae Arabum sive Gregorii Abul Faragii de Origine et Moribus Arabum succincta narratio, in linguam Latinam conversa, notisque illustrata: opera et studio E. Pocockii*. Arab. and Lat. Oxonii: The Clarendon Press, 1650.

–*Biblia Sacra Polyglotta, complectentia Textus originales, Hebraicum, cum Pentateucho Samaritano, Chaldaicum, Graecum: Versionumque antiquarum, Samaritanæ, Græcæ LXXII Interp., Chaldaicæ, Syriacæ, Arabicæ, Æthipicæ, Persicæ, Vulg. Lat., quicquid comparari poterat. Cum textuum, & versionum Orientalium translationibus Latinis... Cum apparatu, appendicibus, tabulis, variis lectionibus, annotationibus, indicibus, &c.* Edidit Brianus Waltonus.

A etimoloxía de *deus* que Newton recolle é inaceptable: *deus* (no latín arcaico *deivos*) ten relación ca noción de luz e, polo tanto, co latín *dies*; si é certo, con todo, que o uso do termo abranguea sentidos e áreas semánticas moito máis amplas do que hoxe (por exemplo a noción de felicidade e beatitude nos mortais), como demostran as citas aducidas por Newton na nota.

## GLOSARIO

**Afelio:** do grego *aphelion*, é o punto ou momento na órbita dun corpo celeste no que está máis afastado do Sol, e no que os planetas se moven máis a modiño.

**Apoxeo:** o punto ou momento na órbita da Lúa, do Sol ou doutro astro calquera que está máis lonxe da Terra.

**Ápside:** do grego *apsís* (o nó dunha rede), díse de cada un dos extremos do eixe maior da órbita dun astro, é dicir, os puntos extremos da órbita dun corpo celeste no seu movemento ó redor doutro: no caso das órbitas dos planetas que rotan ó redor do Sol, os ápsides chámanse perihelio e afelio, e no caso da órbita da Terra, perixeo e apoxeo.

**Aquilón:** na nomenclatura antiga é o Norte.

**Cándida/ -o:** escollín iste termo, procedente do latín *candidus*, para designa-la cor branca esplendente, dada a súa orixe etimolóxica no latín *candeo*, viciño de *candente*.

**Circunsolar:** é a órbita ou traxectoria que arrodea ó Sol.

**Circunterrestre:** é a órbita ou traxectoria que arrodea á Terra.

**Circunxovial:** é a órbita ou traxectoria que arrodea ó planeta Xúpiter. Newton mesmo di que denomina centrípeta á forza que tende ó centro, pero ó sinala-lo nome dese centro, temos que *circunxovial* é a forza que tende a Xúpiter, etc.

**Colecticio:** dise do que é resultado dunha agregación ou reunión fortuíta.

**Cuadratura:** Posición relativa de dous corpos celestes, que en lonxitude ou en ascensión recta distan entre si, respectivamente, un ou tres cuartos de círculo.

**Deflexión:** é unha desviación de partículas debida á acción dun campo magnético, gravitacional ou eléctrico; quixen sinala-la diferenza seguinte, presente no latín de Newton: a

acción *desvía* as partículas e elas, pola súa banda, fan unha *deflexión*.

**Elongación:** termo que se refire á diferenza de lonxitude entre un astro e o Sol.

**Escrúpulo:** cada unha das sesenta partes nas que se divide un grao de círculo; quixen mante-lo uso newtoniano que é o orixinal: os *primeiros escrúpulos* son o que nos chamamos hoxe “minutos”; ós *segundos escrúpulos* aínda os chamamos “segundos”.

**Intercedente:** forma sintética para expresa-la acción de pasar polo medio.

**Libración:** é o movemento de oscilación que fai un corpo ó perde-lo seu centro de equilibrio, ata recuperalo de novo e ficar “equi-librado”; pode ser latitudinal e lonxitudinal.

**Nodo:** cando un corpo que gravita ó redor doutro corta a súa órbita, os dous puntos opostos do plano do corte chámanse nodos; é dicir, os puntos opostos nos que se corta a eclíptica.

**Oblongo:** dise do corpo que é máis longo que ancho.

**Octantes:** os octantes son os ángulos feitos por dúas liñas ou traxectorias dirixidas cara ó mesmo punto dende outros puntos diferentes e non aliñados co de destino (é o principio de funcionamento do octante, instrumento astronómico cuxo sector só comprende 45 graos ( $45 \cdot 8 = 360$ )).

**Órbita máxima:** é, propiamente, o punto dunha órbita no que a distancia entre o corpo que a describe e o seu centro de atracción é a máxima: por exemplo, o apoxeo da Terra respecto ó Sol, no inverno.

**Paralaxe:** do grego *paralláxis* (“alternancia”). É a diferenza entre as posicións aparentes dos astros na bóveda celeste segundo o punto de observación; esta diferenza ou alternancia era un dos atrancos que tiña a teoría xeocéntrica tradicional. Hai dous tipos básicos de paralaxe: a paralaxe xeocéntrica e a paralaxe anual ou estelar: a primeira obsérvase ó compara-las observacións da Lúa ou dos planetas feitas

dende dous puntos diferentes da superficie da Terra: a segunda obsérvase cando se comparan as posicións dunha estrela feitas en dous puntos opostos da órbita da Terra. Tycho Brahe (a finais do século XVI) foi o primeiro en observar este fenómeno da paralaxe, e o aproveitou para calcular a distancia a que se atopaban os cometas, e para deducilo principio de que os cometas eran obxectos celestes moi afastados da Terra.

**Perihelio:** é o punto da órbita dun corpo no que se acha máis preto do Sol e onde os planetas se moven máis axiña.

**Perixeo:** é o punto da órbita da Lúa máis achegado á Terra.

**Prostaférese:** é a diferenza que se pode dar entre o ángulo formado pola dirección (nun plano) dun planeta ó redor da súa órbita e a dirección do perihelio. Foi Kepler quen estableceu os tipos de anomalías. A prostaférese é, pois, a diferenza entre as anomalías media e real no movemento dun astro.

**Refraxibilidade:** é a calidade do que, coma a luz, é refractario ou refraxible.

**Seno verso:** é unha función trigonométrica orixinada ó xirar  $90^\circ$  un seno: isto é, a parte do raio comprendida entre o pé do seno dun arco e o arco mesmo.

**Sesquiáltero:** termo que vén da teoría musical antiga e que significa que algo contén unha unidade e máis a metade desa unidade.

**Sicixia:** conxunción ou oposición da Lúa có Sol; é un termo de orixe grega (*sydsyguía*) “unha gaia”, é dicir, a unión de dúas ou máis partes nun punto.

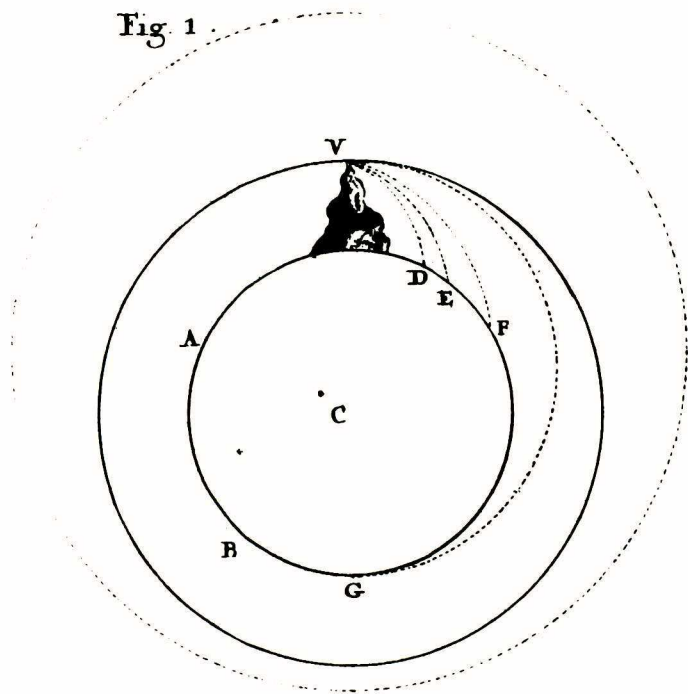
**Sublunar/ supralunar:** o que está debaixo ou enriba da Lúa respecto dun punto de observación.

**Tizoeiro/ -a:** Newton emprega o termo técnico latino *trabs* no senso de “meteoro ígneo” e dicir, tizón ardente, e pareceume axeitado traduci-lo como *tizoeira*.



LÁMINAS  
REPRODUCCIÓN  
FACSIMILAR

Fig. 1 .



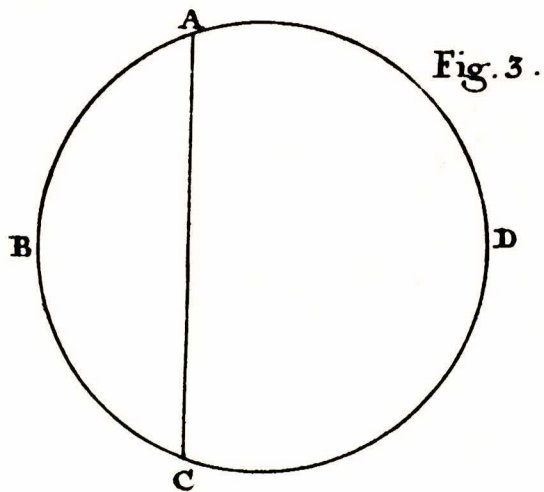
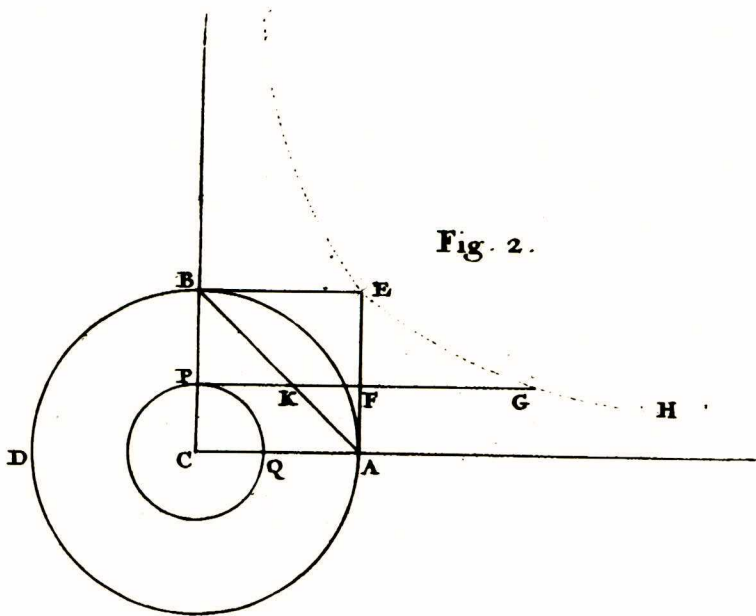


Fig. 4

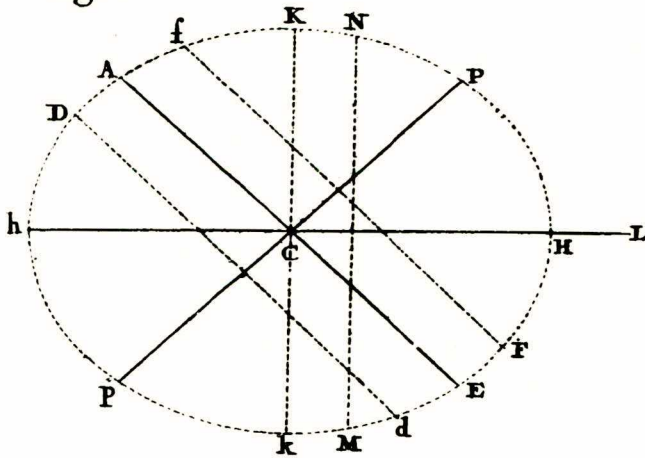
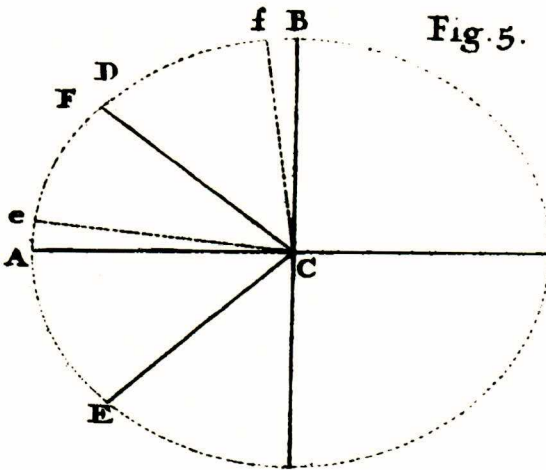
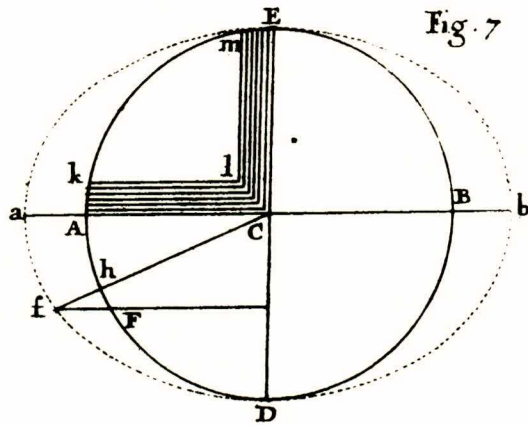
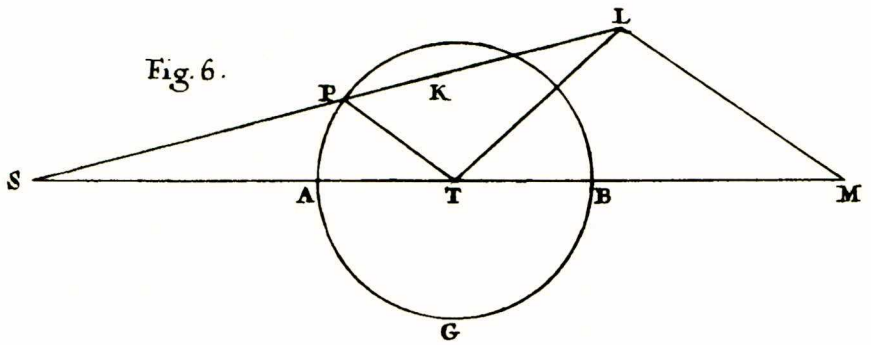


Fig. 5.





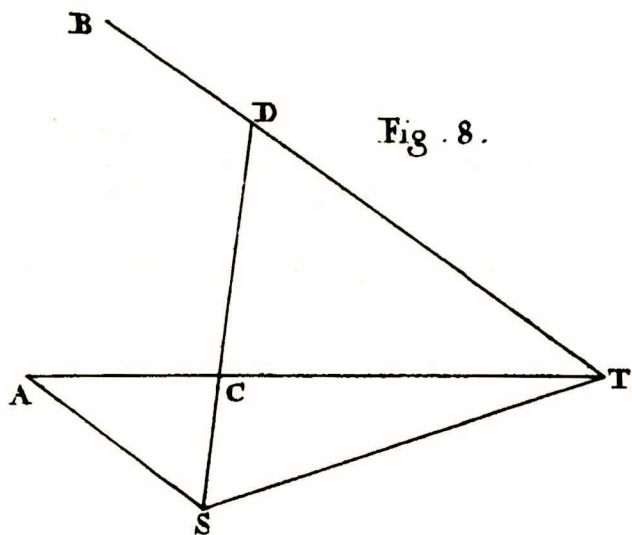


Fig . 8 .

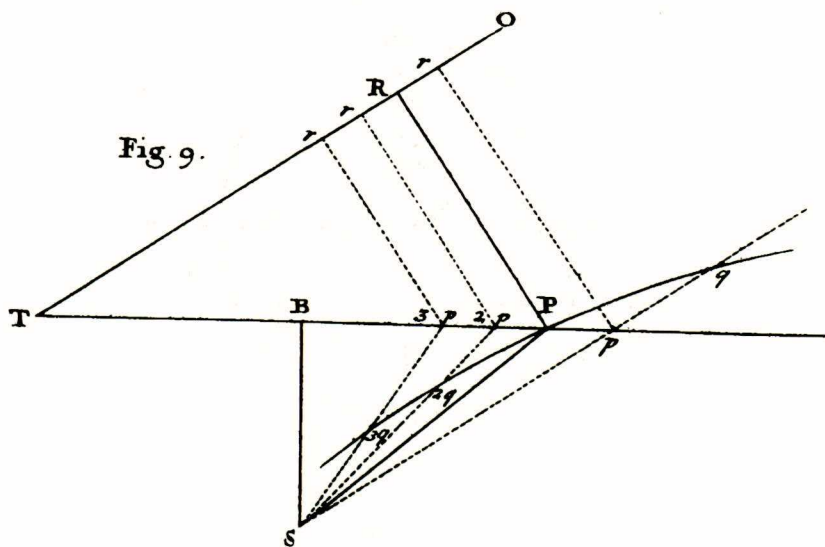


Fig. 9.



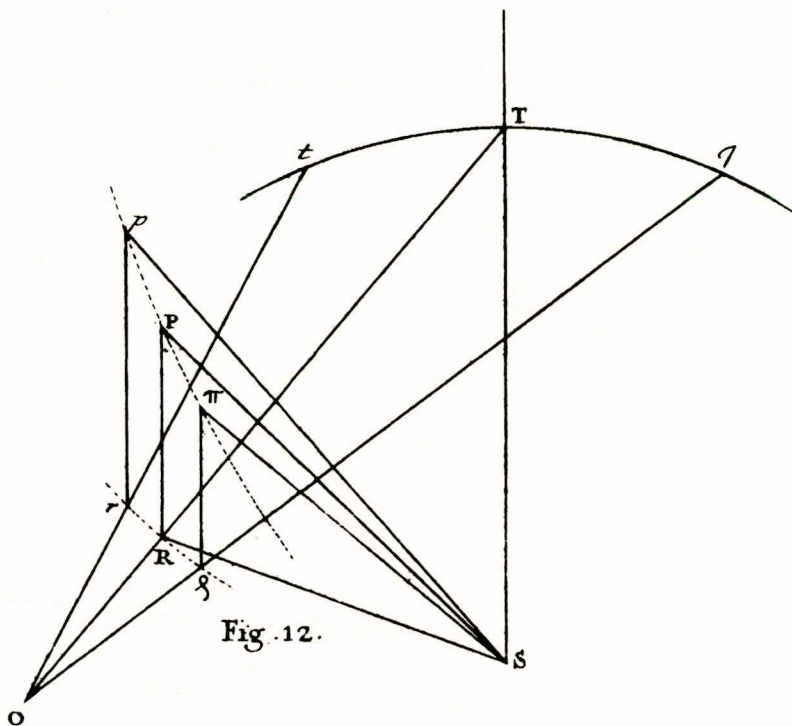


Fig. 12.

*Errat. p. 100. l. 21*

*Pro: FP in p. Et per punctum Sp*  
*Lege: TP in p. Et per puncta S, p.*

*page. 308*





ta opera ti  
na. v De  
ionita inf

A marca tipográfica desta colección procede da viñeta utilizada por Gonzalo Rodríguez de la Pasera no deseño do *Missale Auriense*, un dos primeiros libros impresos en Galicia, realizado en Monterrei en 1493.

