

# BRAHE I KEPLER

## Una trobada còsmica

Miguel Angel Sanchis Lozano.

Departament de Física Teòrica i Institut de Física Corpuscular CSIC-UV

Nicolás Sanchis Gual

Departament de Astronomia i Astrofísica · UV

**Tycho Brahe** (1546-1601) és reconegut com el màxim exponent en l'observació del cel abans de la invenció del telescopi. Nascut el 1546 a Dinamarca dins d'una família de la noblesa, va ser criat per un oncle seu que volia donar-li una educació humanística. No obstant això, estant estudiant dret a la Universitat de Copenhaguen, un eclipsi de Sol el 1560 li va despertar un enorme interès des d'aleshores per les matemàtiques i l'astronomia, en contra de l'opinió de la seua família. El 1562 deixà Dinamarca per ingressar a la Universitat de Leipzig, Alemanya, per estudiar lleis, però va dedicar la major part del temps a l'estudi de les matemàtiques i a l'observació del cel. Posteriorment, va exercir com a docent a la Universitat de Rostok, de volta a Dinamarca. Amb una mica de caràcter busca-raons, es va batre en dol amb un noble danés el 1566, per una qüestió matemàtica baladí, i hi va perdre la part superior del nas. D'ençà d'aquell incident, va portar una pròtesi d'un aliatge metàl·lic durant la resta de la seua vida.

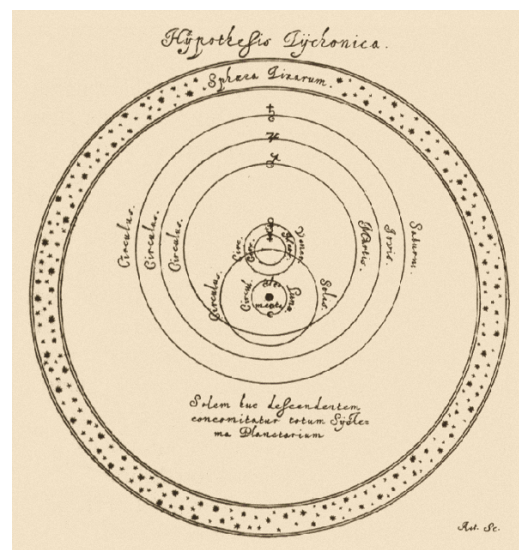
Després d'una sèrie de viatges i estades per diferents universitats europees i essent ja un astrònom reconegut, es va establir a l'illa de Hven, oferta pel rei **Frederic II de Dinamarca**, on va construir un centre d'observació astronòmica, anomenat Uraniborg, que comptava amb els millors instruments de l'època i fins i tot una impremta per a la publicació dels seus resultats i llibres. A Uraniborg, Tycho mesurà amb notable precisió (a ull nu) les posicions dels planetes respecte a las estrelles. Les dades de les seues observacions van ser publicades al llibre *Astronomiae instauratae progymnasmata*, on es proposava un model de l'univers híbrid amb parts preses de **Ptolomeu** i altres de **Copèrnic**: la Terra es considerava fixa i el Sol girava al seu voltant, però el Sol era el centre de les òrbites de la resta dels planetes. Era un model una mica artificial per tal de mantenir la Terra al suposat centre de l'univers i evitar problemes inercials, encara no ben entesos, causats pel seu moviment.

El 1588, Frederic II va morir, el que suposà la pèrdua dels seus drets sobre l'illa de Hven i la pensió reial. Tycho va abandonar Dinamarca i fou acollit el 1599 a Praga pel rei i emperador del Sacre Imperi Germànic **Rodolf II d'Habsburg**, que li oferí un castell com a observatori, un salari considerable i el càrrec de matemàtic i astrònom imperial (del Sacre Imperi Germànic). Cal dir que Rodolf II fou criat a la cort espanyola de **Felip II** que era el seu oncle i amb una no massa coneguda afició pels llibres, com ho demostra la impressionant biblioteca de l'Escorial. Brahe esdevingué molt aficionat a l'alquímia i a l'astrologia (aleshores era difícil separar-les de la química i l'astronomia actuals) i altres disciplines curioses i semicientífiques de l'època. De fet, va a ser un dels primers lectors del llibret *Siderius Nuncius* de **Galileu** (aleshores una autèntica revolució en la concepció astronòmica del cosmos i el principi de la fi de la física aristotèlica), i oferir ajuda econòmica a **Giordano Bruno** durant una curta estada a Praga dins de la seua vida errant per Europa.

En aquest època, Brahe va conèixer personalment Kepler a Praga, on van ser col·laboradors durant un any, just abans de morir de manera misteriosa i controvertida. Sembla que, durant un banquet, Tycho va beure alcohol copiosament, però, tal com marcaven les normes protocolàries, no podia alçar-se de taula



Tycho Brahe, finals s. XVI. Retrat de J. De Gheyn II (Museum of Fine Arts, Houston)



Il·lustració del s. XVIII del model solar de Tycho Brahe. El Sol, la Lluna i les estrelles orbiten la Terra, mentre que els cinc planetes coneguts llavors (Mercuri, Venus, Mart, Júpiter i Saturn) orbiten el Sol.

abans que el seu benefactor (el baró Rosenberg), de manera que aquella retenció d'orina, després d'uns dies, va resultar fatal. Altres fonts diuen que en realitat va ser enverinat amb mercuri (hi hagué qui insinuà que fou el mateix Kepler), i d'altres que ell mateix es va tractar amb mercuri (com a alquimista que era). Després de l'exhumació del seu cadàver, l'any 2010, i l'estudi dels seus despulles, s'arribà a la conclusió que morí per causes naturals.

Siga com siga, després de la mort de Brahe, el gran matemàtic Kepler heretà el càrrec de matemàtic i astrònom imperial sota Rodolf II, i finalment va tindre accés a totes les dades observacionals de Brahe. D'aquesta manera, Kepler va poder completar les anomenades *Taules Rudolfines* començades per Brahe, ara ja basades en la teoria heliocèntrica, com abans ho estaven les *Taules Alfonsines* en el sistema ptolomaic, una referència en astronomia durant més de cent anys.

**Johannes Kepler** (1571-1630) va nèixer prematurament en una família luterana protestant, i durant tota la seua vida va arrossegar una salut precària. A més a més, quan era menut va agafar la pigota, cosa que li va afectar la vista. Es curiós que un dels grans astrònoms de la història tingueren un problema de la visió. D'altra banda, Kepler va desenvolupar una gran capacitat matemàtica ja des de xiquet, cosa que va ser determinant a l'hora d'interpretar les dades de Brahe molt precises per a l'època: una qüestió de complementarietat, malgrat que mai no arribaren a ser amics i que la col·laboració entre ells no amagava certa desconfiança. Només a la mort de Brahe, Kepler pogué tindre accés a les dades astronòmiques i aleshores formular les cèlebres tres lleis. Afortunadament, es va centrar en l'òrbita de Mart, una de les més excèntriques del Sistema Solar, de manera que es va adonar, tot i el prejudici inicial i els errors observacionals, que la seua trajectòria al cel no era un cercle, sinó més aïna una el·lipse. Examinem aquesta qüestió amb detall.

Després de rebre lliçons a la Universitat de Tubinga per l'astrònom **Michael Maestlin** sobre la teoria heliocèntrica del Sistema Solar, lliçons reservades als alumnes més brillants (als altres se'ls explicava el sistema ptolomaic), Kepler esdevingué un ferm partidari del sistema copernicà. Ara bé, a banda de la seua capacitat matemàtica, Johannes tenia també unes creences religioses molt fermes (de fet anava camí de ser pastor luterà). Llavors, una pura descripció dels fenòmens físics, i en particular de la dinàmica còsmica, no li resultava totalment satisfactòria: li calia una causa última arrelada en un déu creador de l'univers.

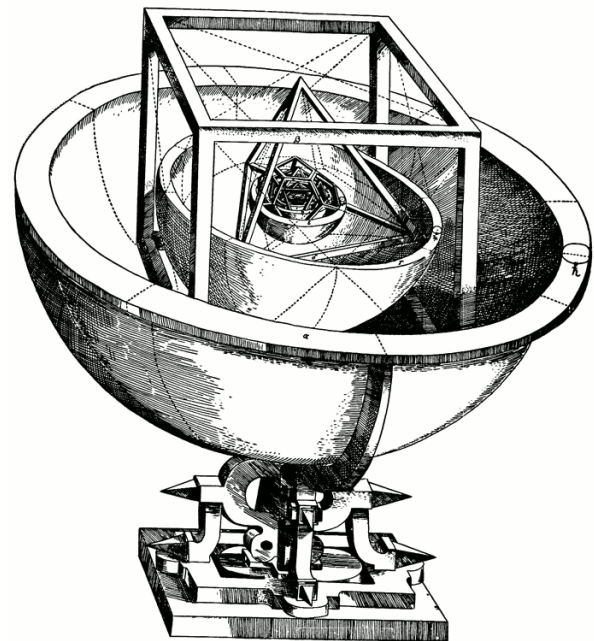
Si ens aturem un moment a pensar, resulta una mica sorprenent que la recerca d'explicacions simples per als fenòmens naturals, en aquest tipus de creences, troba una base en un presumpte déu totpoderós però que s'autoimposa regles (lleis físiques i químiques) simples en els seus dissenys divins. D'altra banda, és cert que la navalla d'**Okham** ha sigut, i continua essent, d'una gran utilitat en la ciència moderna, però no sempre ha d'esser l'únic criteri per a triar el bon camí científicament parlant; fins i tot, pot arribar a convertir-se en un prejudici.

Tornant a Kepler, el nombre de planetes coneguts a la seua època era un més que el nombre de poliedres regulars (convexos) o sòlids platònics. Aquests poliedres ja van jugar un paper important en la (falsa) teoria grega dels elements oposada a la teoria atomista de **Demòcrit**, més propera a la visió actual de la matèria. D'una manera "intuïtiva" (sense cap prova experimental ni teòrica seriosa), la terra era posada en relació amb el cub, l'aigua amb l'icosaedre, l'aire amb l'octaedre i el foc amb el tetraedre. El cinquè sòlid, el dodecaedre, fou associat amb l'univers en la seua totalitat d'una manera encara més arbitrària.

En 1596 Kepler, convençut d'haver entrevist "els secrets del creador", va publicar a Tubinga, en el seu llibre *Mysterium Cosmographicum*, un model que utilitzava els sòlids platònics per "encaixar" les òrbites



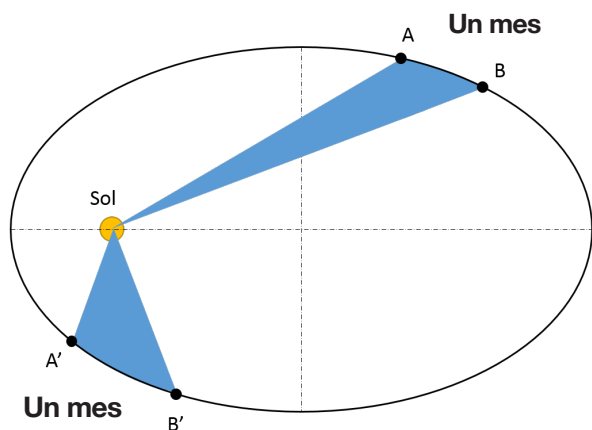
Johannes Kepler, 1620 (Museum in Well der Stadt)



Model inicial de Kepler. Les òrbites suposadament circulars dels sis planetes aleshores coneguts en esferes concèntriques circumscrites dins dels cinc sòlids platònics (relacionats presumptament amb els quatre elements més el dodecaedre que seria l'univers global). Després de la mort de Kepler més planetes foren descoberts: Urà, Neptú i ... Plutó (si es que l'últim es considera un planeta o no).

del sis planetes llavors coneguts. Partint d'una esfera exterior, que representa l'òrbita de Saturn, s'inscriuen successivament: un cub amb l'esfera de Júpiter; un tetraedre l'esfera de Mart, un dodecaedre amb l'esfera de la Terra; un icosaedre amb l'esfera de Venus, i finalment un octaedre amb l'esfera de Mercuri. Aparentment, tot encaixava bé.

Ara bé, quan examinant l'òrbita s'adonà que, dins de les incerteses de les dades observacionals, el cercle no s'adaptava bé a las trajectòries, hagué d'acceptar les "imperfectes" òrbites el·líptiques, que encaixaven bastant bé amb totes les altres, i que tenien totes el Sol com a focus comú. De ben segur que no li degué ser gens fàcil assumir aquesta conclusió.



En una missiva va comentar: «si els planetes són llocs imperfectes, per què no haurien de ser-ho les seues òrbites?».

Essent els cercles casos particulars (amb excentricitat zero) de la família de les el·lipses, es curiós el desig d'identificar (en mentalitats esotèriques) aquells amb una suposada perfecció divina o natural quan, recordem-ho, la recta és un cas d'una el·lipse d'excentricitat igual a 1.

Una vegada acceptat aquest fet, les dues primeres lleis que porten el nom de Kepler varen aparèixer en *Astronomia Nova* en 1609. La tercera llei va haver d'esperar fins la publicació del seu *Harmonices Mundi* deu anys més tard, a la ciutat de Linz. No obstant això, en aquesta obra Kepler encara exposa a la manera pitagòrica, que cada planeta produeix un to musical durant el seu moviment de revolució al voltant del Sol i que la seua freqüència depèn de la velocitat angular. Com costa alliberar-se totalment dels prejudicis, fins i tot, als genis.

Brahe i Kepler foren persones de tarannà i capacitats molt diferents, però complementàries com hem vist. Tots dos escoltaren la crida de l'amor per l'astronomia per esdeveniments ocorreguts quan eren joves (un eclipsi de Sol i de Lluna, respectivament) i a l'edat adulta foren testimonis de la sobtada aparició de dues estrelles molt brillants al cel, que ara saben foren supernoves (SN 1572 i SN 1604, respectivament). Tots dos foren capaços de superar, fins a cert punt, prejudicis i idees molt arrelades a l'època amb una actitud científica comparable a l'actual. Sens dubte, representen dos gegants sobre les espatlles dels quals Newton es va enfilars per veure mes enllà que la resta dels homes i dones.

## LES TRES LLEIS DE KEPLER DEL SISTEMA SOLAR

Kepler va descobrir 3 lleis empíriques que descriuen amb molt bona exactitud els moviments dels planetes al voltant del Sol:

1. Cada planeta es mou en una òrbita el·líptica, amb el Sol en un dels focus de l'el·lipse. El cercle només és un cas d'una el·lipse d'excentricitat nul·la. Les òrbites de Mercuri i Mars són prou excèntriques.
2. Una línia des del Sol a un planeta donat escombra àrees iguals en temps iguals. Aleshores la velocitat de desplaçament no és uniforme: a més gran distància del Sol, menor velocitat. Per exemple, Neptú es desplaça amb una velocitat de l'ordre de 5.4 km/s, mentre que Mercuri ho fa a 47 km/s. La Terra a uns 30 km/s.
3. El període d'un planeta és proporcional a la longitud de l'eix més gran de la seua òrbita elevat a la potència  $2/3$ . Saturn tarda uns 30 anys terrestres en completar una revolució completa al voltant del Sol. Mercuri 88 dies.



ASSOCIACIÓ PER A LA DIVULGACIÓ  
DE LA CIÈNCIA I LA TECNOLOGIA