

Història de la Astronomia

Jay Pasachoff, Magda Stavinschi, Mary Kay Hemenway

International Astronomical Union, Williams College, Williamstown, Massachusetts (USA), Astronomical Institute of the Romanian Academy (Romania), University of Texas at Austin (USA)

Resum

Aquesta breu ressenya de la Història de l'Astronomia ofereix una descripció de la presència en tots els pobles de l'astronomia des dels seus orígens, seguit d'un resum dels esdeveniments clau en el desenvolupament de l'astronomia a Europa occidental fins a l'època d'Isaac Newton.

Objectius

- Dar una visió general de la història de la astronomia en diferents àrees del globus de una manera superficial, però amb l'objectiu de mostrar que la astronomia ha estat i és de interès per a tots els pobles.
- Mencionar les grans figures de la història de la astronomia que van donar un tomb a la forma d'enfocar aquesta matèria fins arribar a Newton: Tycho-Brahe, Copèrnic, Kepler i Galileu.
- La brevetat necessària en una conferència no permet desenvolupar la història de l'astronomia en els nostres dies, però aquests continguts estan presents en altres capítols d'aquest llibre.

Pre-Història

Amb el cel fosc, els pobles antics podien veure les estrelles: s'aixecaven a la part oriental del cel, es movien cap amunt, i es posaven a l'oest. En una direcció, les estrelles es movien en cercles diminuts. Avui dia, quan mirem cap al nord, veiem un estel en aquesta posició - l'Estrella del Nord, o Polar. No és una estrella molt brillant: 48 estrelles al cel són més brillants que ella, però aquesta en un lloc interessant. En temps antics, altres estrelles es van alinear amb el Pol Nord de la Terra, o, de vegades, no hi havia estrelles en el veïnatge del pol.

Des que la gent va començar a mirar el cel, es va adonar que alguns dels objectes més brillants no surten i es posen exactament amb les estrelles. Per descomptat, la Lluna és, de lluny, l'objecte més brillant del cel nocturn. S'eleva gairebé una hora més tard cada nit, i apareix en un context diferent de les estrelles. La seva forma també canvia, el que ara anomenem fases.

Però algunes d'aquestes llums en el cel es mouen de forma diferent de les altres. Aquestes van ser cridades errants o planetes pels grecs. Pràcticament totes les civilitzacions de la Terra es van adonar, i van nomenar, aquests objectes.

Alguns pobles antics van construir monuments com cercles, com Stonehenge a Anglaterra, o tombes com les de Menorca, a Espanya, que estaven alineades amb la Creu de Sud a 1000 a.C. Els babilonis van ser grans estudiosos dels fenòmens astronòmics, però van ser els grecs els que van construir la disciplina que tracta d'explicar el firmament.

Els grecs

La majoria dels grecs antics, com Aristòtil (384 a.C - 322 a.C), pensaven que la Terra era al centre de l'Univers, i que aquest estava fet de quatre elements: Terra, Aire, Foc i Aigua. Més enllà de la Terra estava un cinquè element, l'èter (o cinquena essència), que constituïa els punts de la llum en el cel.

Es van adonar que alguns dels objectes es movien de forma diferent a la resta de les estrelles. Aquests es van batejar com "errants" o planetes. En la seva majoria, es mouen en la mateixa direcció que les estrelles: surten per l'est i es dirigeixen cap a l'oest. Però de vegades, sembla que facin una pausa i vagin cap enrere pel que fa a les estrelles. Aquest moviment cap enrere es diu moviment "retrògrad", per diferenciar-ho del moviment cap endavant, anomenat "directe".

L'astrònom grec Claudi Ptolomeu (90-168) va treballar a Alexandria al nord d'Àfrica en el segle II d.C. Ptolomeu volia ser capaç de predir les posicions dels planetes i va arribar a una solució matemàtica. Seguint a Aristòtil, va posar a la Terra en el centre de l'Univers. La Lluna i els planetes estaven al seu voltant en cercles imbricats que es feien grans amb la distància a la Terra. Què passaria si els planetes es moguessin realment en petits cercles els centres estiguessin en els cercles grans? Llavors, en alguns dels moviments dels petits cercles, estarien movent més ràpidament cap enrere que els centres d'aquests cercles es mouen cap endavant. Per a nosaltres, des de la Terra, veuríem que els planetes es mouen cap enrere. Aquests petits cercles es diuen "epicles", i els grans cercles es diuen "deferents". La idea de Ptolomeu que els cercles es mouen en cercles va tenir influència en la ciència occidental per més d'un miler d'anys. Anant des de l'observació a la teoria de l'ús de les matemàtiques va ser un pas únic i important en el desenvolupament de la ciència occidental.

Tot i que no tenien els mateixos noms per als objectes que van observar, pràcticament totes les cultures a la Terra miraven el cel. Ells van usar la informació per establir calendaris i predir els cicles de les estacions per a la sembra, la collita, o la caça, així com les cerimònies religioses. Com els grecs, alguns d'ells van desenvolupar les matemàtiques molt sofisticades per predir els moviments dels planetes o eclipsis, però això no vol dir que es va tractar, del que podríem anomenar, una teoria científica. Aquests són alguns exemples:

Àfrica

Es van situar pedres de peu a Nabta, al Desert de Núbia, uns 1000 anys abans de Stonehenge. Els egipcis van utilitzar l'astronomia per alinear les seves piràmides, així com ampliar les seves creences religioses a l'incloure la ciència de les estrelles. Petroglifos en Namoratunga (Kenya) que comparteixen aspectes de marques de bestiar. La tradició de les estrelles ve de totes les àrees de l'Àfrica, de la regió de Dogon de Mali, de l'Àfrica occidental, d'Etiòpia i de Sud-àfrica.

Astronomia islàmica

Molts avenços astronòmics es van fer en el món islàmic, especialment durant l'Edat d'Or Islàmica (dels segles VIII a la XV), i majoritàriament escrits en la seva llengua àrab. Gran part es va desenvolupar a l'Orient Mitjà, Àsia Central, Al-Andalus, el nord d'Àfrica, i més tard a l'Extrem Orient i l'Índia. Un nombre significatiu d'estrelles en el cel, com Aldebarà i Altair, i termes astronòmics, com ara alidada, azimuth, almuncantar, encara s'esmenten pels seus noms àrabs. Els àrabs van inventar els números àrabs, incloent l'ús del zero. Ells estaven interessats en determinar la posició del Sol i l'hora del dia (ja que era útil per als seus serveis religiosos). També van fer molts descobriments en òptica. Gran nombre d'obres en grec s'han conservat per a la posteritat a través de les seves traduccions a l'àrab.

Les primeres observacions sistemàtiques en l'Islam es van dur a terme sota el patrocini d'Al-Maamun (786-833). Aquí, i en molts altres observatoris privats de Damasc a Bagdad, es van mesurar els graus de meridià, es van establir els paràmetres solars i es van emprendre observacions detallades del Sol, la Lluna i els planetes. Alguns instruments usats per l'Astronomia Islàmica van ser: globus celestes i esferes armil·lars, astrolabis, rellotges de sol i quadrants.



Fig. 1: Astrolabi Àrab

Les Amèriques:

Nord Amèrica

Els pobles nadius d'Amèrica de Nord també van donar nom a les seves constel·lacions del cel i explicaven històries que es transmetien a través de la tradició oral. Alguns artefactes, com ara rodes de pedra o els alineaments en la construcció, romanen com a evidència del seu ús de l'astronomia en la vida quotidiana.

Astronomia maia

Els maies van ser una civilització meso americana, que destaca per ser l'única, que va tenir llengua escrita, totalment desenvolupada de l'Amèrica precolombina, art, arquitectura, matemàtiques i sistemes astronòmics. Des dels primers temps, durant el període Preclàssic (c. 2000 aC a 250 dC), les ciutats maies van aconseguir el seu més alt grau de desenvolupament durant el període Clàssic (c. 250 dC a 900 dC), i va continuar durant tot el període post-clàssic fins a l'arribada dels espanyols. Els pobles maies no van desaparèixer, ni en el moment de la disminució del període Clàssic, ni amb l'arribada dels conqueridors espanyols i la posterior colonització espanyola de les Amèriques.

L'astronomia maia és una de les astronomies conegudes més antigues en el món, sobretot a causa del seu famós calendari, mal interpretat ara com la predicció de la fi del món. La maia sembla ser l'única pre-telescòpica civilització que demostra el coneixement de la Nebulosa d'Orió com difusa, és a dir, no un puntet estel·lar.



Fig. 2: Chichén Itzá (Mèxic) són uns importants restes arqueològiques de l'astronomia maia.

Els maies estaven molt interessats en els passatges zenitals, el moment en què el Sol passa directament sobre el cap de l'observador. Les latituds de la majoria de les seves ciutats es troben per sota del Tròpic de Càncer, aquests passatges zenitals tindrien lloc dues vegades a l'any a igual distància del l'solstici. Per representar aquesta posició del Sol sobre els seus caps, els maies tenien un déu anomenat Déu Descendent.

Venus era l'objecte astronòmic més important per als maies, fins i tot més que el Sol. El calendari maia era un sistema de calendaris i almanacs utilitzats en la civilització maia de la Mesoamèrica precolombina, i en algunes comunitats maies modernes a l'altiplà de Guatemala i Oaxaca, Mèxic. Tot i que el calendari mesoamericà no es va originar amb els maies, els seus posteriors ampliacions i millores van ser les més sofisticades. Juntament amb els dels asteques, els calendaris maies són els més ben documentats i més entesos.

Astronomia asteca

Els asteques eren grups ètnics de centre de Mèxic, en particular els grups que parlaven la llengua náhuatl i que van dominar gran part de Mesoamèrica en els segles XIV, XV i XVI, en un període conegut com el post-clàssic tardà en la cronologia mesoamericana.

La cultura i la història asteca són conegudes, principalment, a través de les proves arqueològiques trobades en excavacions com la del famós Temple Major a Ciutat de Mèxic i en moltes altres, també és coneguda pels còdexs indígenes d'escorça de paper, des de relats de testimonis pels conqueridors espanyols o per descripcions dels segles XVI i XVII de la cultura asteca i la història escrita per clergues espanyols i lletrats asteques que sabien l'idioma espanyol o náhuatl.

El Calendari Asteca o Pedra del Sol, és el primer monòlit del que queda de la cultura pre hispànica a Amèrica Central i Sud-amèrica. Es creu que va ser tallat al voltant de l'any 1479. Aquest és un monòlit circular amb quatre cercles concèntrics. Al centre apareix el rostre de Tonatiuh (Déu Sol), adornat amb Jade i sostenint un ganivet a la boca. Els quatre sols o "mons" anteriors estan representats per figures de forma quadrada que flanquegen el Cinquè Sol, al centre. El cercle exterior consta de 20 àrees que representen els dies de cada un dels 18 mesos que van conformar el calendari asteca. Per completar l'any solar de 365 dies, els asteques van incorporar 5 dies de sacrifici, o nemontemi.

A l'igual que gairebé tots els pobles antics, els asteques agrupar-se en associacions les estrelles aparentment brillants (les constel·lacions): Mamalhuaztli (Cinturó d'Orió), Tianquiztli (les Plèiades), Citlaltlactli (Bessons), Citlalcolotl (Escorpió) i Xonecuilli (L'Óssa menor, o Creu de al Sud per altres, etc.). Els cometes van ser anomenats "els estels que fumen."

Els grans períodes de temps en la cosmologia asteca estan definits per les eres de sols diferents, cadascun dels finals va ser determinat per desastres cada vegada més importants, com la destrucció dels jaguars, huracans, incendis, inundacions o terratrèmols.

Astronomia Inca

La civilització Inca és una civilització pre-colombina del Grup Andi. Comença a principis de segle XIII a la conca del Cusco, en l'actual Perú, i després va créixer al llarg de l'Oceà Pacífic i els Andes, cobrint la part occidental d'Amèrica de Sud. En el seu apogeu, es va estendre des de Colòmbia fins a l'Argentina i Xile, a través del Equador, Perú i Bolívia.

Els inques consideraven que el seu Rei, Sapa Inca, el "fill del Sol". Els seus membres identificaven diverses àrees fosques o nebuloses fosques a la Via Làctia com a animals, i s'associava la seva aparició amb les pluges estacionals.

Els inques van usar un calendari solar per a l'agricultura i un calendari lunar per a les festes religioses. Segons les cròniques dels conqueridors espanyols, als afores de Cusco, a l'actual Perú hi havia un gran calendari, que consistia en 12 columnes de 5 metres d'altura cadascuna que es podien veure des de lluny. Amb això, la gent podia saber la data. Celebraven dos grans festes, l'Inti Raymi i Cápac Raymi, el solstici d'hivern i estiu, respectivament.

Els inques tenien les seves pròpies constel·lacions: el Yutu (perdiu) era la zona fosca de la Via Làctia que anomenem el Sac de Carbó. Van cridar a les Plèiades cúmulo Qollqa. Amb les estrelles de la constel·lació de Lyra, van fer un dibuix d'un dels animals més coneguts per ells, i ho van cridar Petita Flama de Plata o Flama de color, l'estel més brillant (Vega) va ser Urkuchillay, encara que segons altres, aquest era el nom de tota la constel·lació. D'altra banda hi havia els Machacuay (serp), la Hamp'atu (gripau), la Atoq (Fox), el Kuntur, etc.

Les grans ciutats es van elaborar seguint les alineacions celestes i l'ús dels punts cardinals.

Als afores de Cusco, hi havia un important temple dedicat a el Sol (Inti), de què sortien algunes línies de forma radial que dividien la vall en 328 temples. Aquest nombre és encara un misteri, però una possible explicació el relaciona amb l'astronomia: coincideix amb els dies que contenen dotze mesos lunars. I els 37 dies que falten fins als 365 dies de l'any solar coincideix amb els dies en què el cúmulo de les Plèiades no és observable des del Cusco.

Índia

El primer esment textual que es dona en la literatura religiosa de l'Índia (segon mil·lenni a.C.) es va convertir en una tradició establerta pel primer mil·lenni a.C., quan les diferents branques auxiliars de l'educació van començar a prendre forma.

Durant els següents segles, una sèrie d'astrònoms indis van estudiar diversos aspectes de les ciències astronòmiques, i van seguir un discurs global amb altres cultures. Gnomons i esferes armil·lars eren instruments comuns.

El calendari hindú utilitzat en l'antiguitat ha patit molts canvis en el procés de regionalització, i avui dia existeixen diversos calendaris regionals de l'Índia, així com un calendari nacional. En el calendari hindú, el dia comença amb la sortida del Sol local. Se li adjudicaran cinc "propietats", anomenada angas.

L'eclíptica es divideix en 27 nakshatras, que es diuen indistintament cases lunars o asterismos. Aquestes reflecteixen el cicle de la lluna contra les estrelles fixes, de 27 dies i 72 hores, sent la part fraccionària compensada intercalant un nakshatra 28. Els càlculs dels nakshatra semblen haver estat ben coneguts en època de l'Rig Veda (segon i primer mil·lenni a C).

Xina

Els xinesos podrien ser considerats com els observadors més persistents i precisos dels fenòmens celestes arreu de món abans dels àrabs. Van fer registres detallats de les observacions astronòmiques que es van iniciar durant el període dels Regnes Combatents (segle IV a.C) i van prosperar a partir de el període Han.

Alguns elements de l'astronomia índia van arribar a la Xina amb l'expansió del budisme després de la Dinastia Han (25-220), però la incorporació més detallada de l'Astronomia Índia va ocórrer durant la dinastia Tang (618-907).

L'astronomia es va revitalitzar sota l'estímul de la cosmologia i la tecnologia occidental després que els jesuïtes van establir les seves missions. El telescopi es va introduir al segle XVII. L'equip i la innovació utilitzada per l'astronomia Xina: esfera armil·lar, globus celeste, l'esfera armil·lar d'accionament hidràulic i la torre del globus celeste.

L'astronomia xinesa es va centrar més en les observacions que en la teoria. Segons els escrits dels jesuïtes, que van visitar Pequín al segle XVII, els xinesos tenien dades des de l'any 4000 a.C., entre ells l'explosió de les supernoves, els eclipsis i l'aparició d'estels.

L'any 2300 a.C., van desenvolupar el primer calendari solar conegut, i l'any 2100 a.C. van registrar un eclipsi solar. L'any 1200 aC van descriure taques solars, que van cridar "punts foscos" en el Sol. L'any 532 a.C., van deixar evidència de l'aparició d'una estrella supernova a la constel·lació de l'Àguila, i en els 240 i 164 aC van deixar evidència del pas del 'cometa Halley. En el 100 a.C els xinesos van inventar la brúixola amb la que van marcar la direcció nord.

I en temps més recents, van determinar que la precessió dels equinoccis era d'1 grau cada 50 anys, van registrar més supernoves i van trobar que la cua dels cometes sempre apunta en la direcció oposada a la posició del Sol.

L'any 1006 es va observar l'aparició d'una supernova tan brillant que es podia veure durant el dia. Es tracta de la supernova més brillant que ha estat reportada. I en 1054, és va observar una supernova, les restes d'aquesta son l'anomenada Nebulosa del Cranc.

La seva esfera celeste difereix de l'occidental. L'equador celeste es va dividir en 28 parts, anomenades "cases", i hi va haver un total de 284 constel·lacions amb noms com Ossa, Tres Passos, Palau Suprem, trípode, llança o arpó. L'Any Nou Xinès comença el dia de la primera lluna nova després que el Sol entri en la constel·lació d'Aquari.

L'erudit científic xinès Shen Kuo (1031-1095) no només va ser la primera persona en la història que va descriure la brúixola d'agulla, sinó que també va fer un mesurament més precisa de la distància entre l'Estrella Polar i el nord de veritat que es podria utilitzar per a la navegació. Shen Kuo i Pu Wei també van establir un projecte d'observació astronòmica nocturna en un període de cinc anys consecutius, un intens treball que fins i tot pot competir amb el treball posterior de Tycho Brahe a Europa. Per a aquest projecte, també van traçar les coordenades exactes dels planetes en un mapa d'estrelles i van crear les teories del moviment planetari, incloent el moviment retrògrad.

Europa Occidental

Després de la caiguda de Roma, el coneixement recollit pels grecs va ser tot just transmès a través de la feina dels monjos que sovint copiaven manuscrits que no tenia cap sentit per a ells. Amb el temps, amb el sorgiment de les escoles de la catedral i les primeres universitats, els acadèmics van començar a fer front als enigmes que la ciència oferia. Mitjançant el comerç (i saqueig), manuscrits nous van venir de l'orient a través de les Croades, i el contacte amb els erudits Islàmics (sobretot a Espanya) van permetre realitzar les traduccions al Llatí. Alguns erudits van intentar extreure la informació en un ordre que s'ajustés a un punt de vista cristià.

Geni matemàtic: Nicolàs Copèrnic de Polònia

Al 1500, Nicolás Copèrnic (1473-1543) va arribar a la conclusió que l'Univers seria més senzill si el Sol, en lloc de la Terra, fos el seu centre. Llavors, el moviment retrògrad dels planetes podria passar fins i tot si tots els planetes simplement orbitaran al voltant del Sol en cercles. El moviment cap enrere seria una il·lusió òptica que es produiria quan avancem a un altre planeta. De la mateixa manera, si ens fixem en el cotxe que està a la dreta, mentre que els dos estem detinguts en un semàfor, quan vostè comença a moure en primer lloc, podria pensar que l'altre cotxe s'està movent cap enrere.

Copèrnic va compartir les seves idees amb els matemàtics, però no les va publicar fins que un jove científic, Georg Rheticus, el va convèncer i ho va arreglar per fer la publicació en una altra ciutat. Una còpia impresa de *De revolutionibus orbium coelestium* va arribar just quan Copèrnic estava morint en 1543. Ell podria no haver vist mai el prefaci sense signar escrit per l'editor que suggeria que el llibre era una manera matemàtica per calcular la posició, no la veritat real.

Seguint a Aristòtil, Copèrnic va usar cercles i va afegir alguns epicicles. El seu llibre va seguir l'estructura del llibre de Ptolomeu, però la seva devoció a la simplicitat matemàtica va ser influenciada per Pitàgores.

El llibre de Copèrnic conté (figura 3) potser el diagrama més famós de la història de la ciència. Es mostra el Sol al centre d'una sèrie de cercles. Copèrnic va calcular les velocitats a les que els planetes giraven al voltant del Sol, ja que sabia quans anaven més ràpid en el cel. D'aquesta manera va obtenir els planetes en l'ordre correcte: Mercuri, Venus, Terra, Mart, Júpiter, Saturn, i va aconseguir les distàncies relatives dels planetes també correctes. No obstant això, els seus càlculs realment no predeien les posicions dels planetes molt millor que el mètode que Ptolemeu.

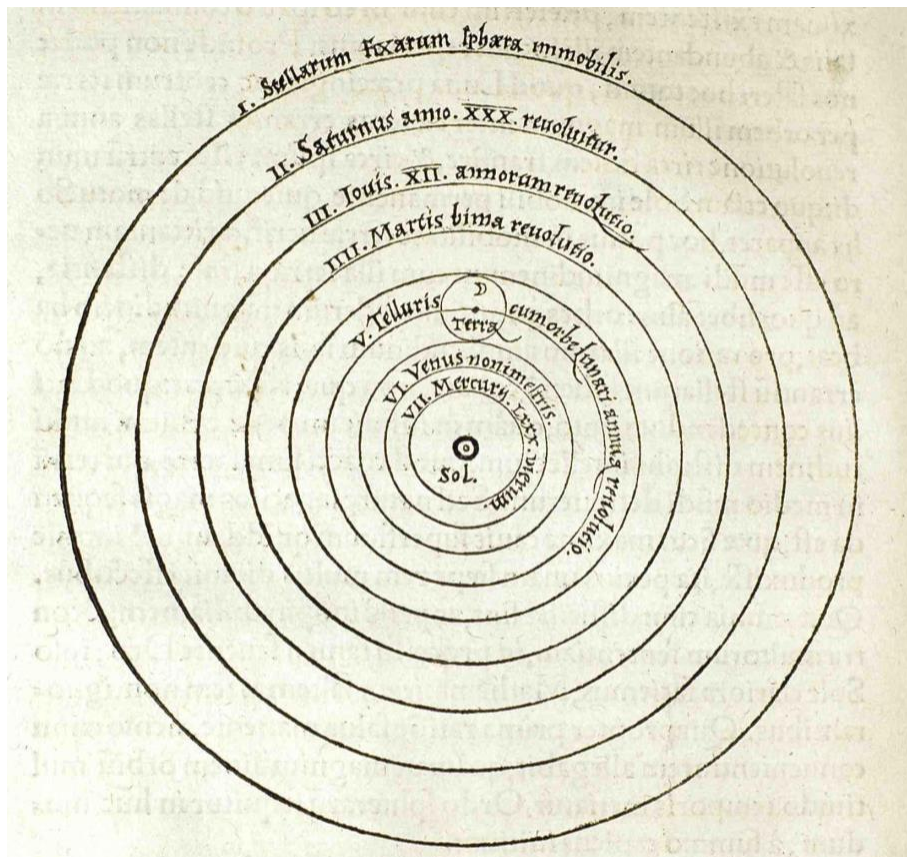


Fig. 3. El diagrama de Copèrnic primer que mostra per primera vegada el Sol al centre del que ara anomenem el sistema solar. Aquest diagrama està en la primera edició de *De revolutionibus orbium coelestium* (Sobre les revolucions dels orbes celestes), publicat el 1543.

A Anglaterra, Leonard Digges va escriure un llibre, en anglès, sobre la Terra i l'Univers. En 1576, el seu fill Thomas va escriure un apèndix en el qual es descriuen les noves idees de Copèrnic. A l'apèndix, una versió en anglès del diagrama de Copèrnic va aparèixer per primera vegada (figura 4). Digges també va mostrar les estrelles a diferents distàncies del Sistema Solar, no només en una esfera celeste.

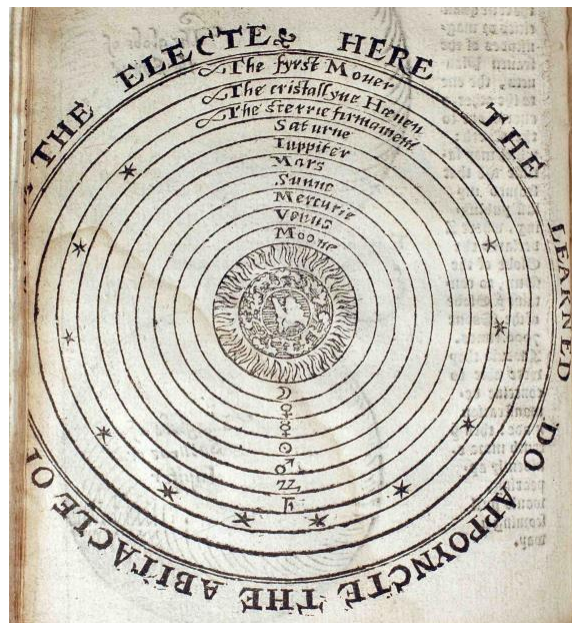


Fig. 4. El primer diagrama de Copèrnic en anglès de l'apèndix de Thomas Digges A un pronòstic etern, un llibre escrit pel seu pare, publicat per primera vegada en 1556. Contenia només un diagrama de Ptolomeu. L'Apèndix de Thomas Digges va aparèixer per primera vegada en 1576; aquest diagrama és 1596, data de la impressió.

Geni Observacional: Tycho Brahe de Dinamarca

L'aristòcrata danès Tycho Brahe (1546-1601) es va fer càrrec d'una illa davant de la costa de Copenhaguen, i va rebre el lloguer dels residents. En aquesta illa, Hven, va utilitzar la seva riquesa per construir un gran observatori amb els instruments més grans i millors. Encara que aquests van ser instruments pre-telescòpics, eren notables perquè permetien mesures més precises de les posicions de les estrelles i els planetes.

Tycho va ser precursor de la universitat d'avui, amb els científics visitants que anaven a treballar amb ell. Ell va fer cada vegada millors dispositius d'observació per mesurar les posicions de les estrelles i els planetes, i mantenia registres precisos.

Però en el seu zel científic, es va oblidar d'algunes de les seves responsabilitats cap al seu monarca, i quan els nous reis van arribar, va ser forçat a anar-se'n. Ell va optar per traslladar-se a Praga, al continent d'Europa, portant-se amb ell les seves màquines d'impressió i les pàgines que ja havien estat impreses, els seus registres i els seus instruments mòbils.

Tycho va aconseguir millorar l'exactitud de les observacions científiques. Les seves observacions precises d'un cometa, a diferents distàncies, li van mostrar que les esferes no han d'estar imbricades amb la Terra en el centre. Per tant, ell va fer el seu propi model de l'Univers -un híbrid entre el model

de Ptolemeu i Copèrnic: el Sol i la Lluna giren al voltant de la Terra, mentre que els altres planetes giren al voltant de Sol. Tycho encara tenia cercles, però a diferència d'Aristòtil, ell va permetre als cercles que es creuessin entre si.

Valorem a Tycho principalment pel tresor d'observacions d'alta qualitat de les posicions entre les estrelles de la planeta Mart. Tycho va convidar, a unir-se a ell, a un jove matemàtic, Johannes Kepler. És a través de Kepler que la fama de Tycho és llargament reconeguda.

Utilitzant Matemàtiques: Johannes Kepler d'Alemanya

Com a professor a Graz, Àustria, el jove Johannes Kepler (1571 - 1630) recordava la seva infància interessada en l'astronomia, a causa de l'estel i a l'eclipsi lunar que ell havia vist. Es va adonar que hi ha cinc formes sòlides formades pro cares iguals, i va pensar que si aquests sòlids es nien i separen per esferes, podrien correspondre als sis planetes coneguts. El seu llibre, *Mysterium Cosmographicum* (Misteri del Cosmos), publicat en 1596, contenia un dels esquemes més bells de la història de la ciència (figura 5). En ell, el va niar un icosaèdre, un octàedre, un dodecàedre, un tetraedre i una galleda, amb vint, vuit, dotze, quatre i sis costats, respectivament, per mostrar la distància dels planetes llavors coneguts. El diagrama, encara que molt bell, és completament erroni. No obstant això, l'habilitat matemàtica de Kepler li va valer una entrevista amb Tycho.

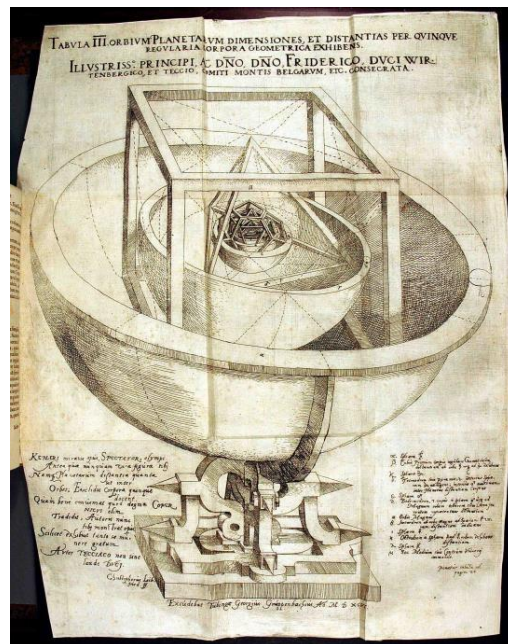


Fig. 5: Diagrama desplegable de Kepler del seu *Cosmographicum Mysterium* (Misteri del Cosmos), publicat en 1596. El seu pensament de la distribució geomètrica del Sistema Solar va ser substituït en la dècada següent pels seus arranjaments dels planetes d'acord amb les dues primeres de seus tres lleis del moviment planetari, un sistema que és vàlid fins avui

En 1600, es va convertir en un dels assistents de Tycho, i va fer càlculs amb les dades que Tycho havia acumulat. Després, Tycho va anar a un sopar formal i va beure abundantment. Segons la història, el protocol li va impedir aixecar-se de la taula, i va acabar amb un esclat de bufeta. La seva mort ràpida i dolorosa va ser seguida atentament en el seu diari, i està ben documentada.

Però Kepler no va obtenir les dades immediatament. D'una banda, les dades eren una de les poques coses valuoses que els fills de Tycho podien heretar, ja que Tycho s'havia casat amb una plebea i no se li va permetre llegar béns reals. Però Kepler va poder finalment tenir accés a les dades de Tycho de Mart, i va tractar de fer que encaixessin els seus càlculs. Per fer els seus càlculs precisos, fins i tot Kepler va elaborar la seva pròpia taula de logaritmes.

Les dades que Kepler tenia de Tycho eren de la posició de Mart en el cel, sobre un fons d'estrelles. Va tractar de calcular el moviment que hauria de ser real al voltant del Sol. Durant molt de temps, va tractar d'encaixar en un cercle o en una òrbita amb forma d'ou, però ell no va poder relacionar les observacions amb suficient precisió. Finalment, el va tractar amb una figura geomètrica anomenada el·lipse, una mena de cercle aixafat. ¡S'ajustava! El descobriment és un dels més grans en la història de l'astronomia, i encara que Kepler el va aplicar per primera vegada per Mart i per a altres planetes del nostre Sistema Solar, nosaltres ara ho apliquem fins i tot per als centenars de planetes que hem descobert al voltant d'altres estrelles.

El llibre de Kepler de 1609, *Astronomia Nova* (Nova astronomia), contenia les dues primeres de les seves tres lleis del moviment:

La primera llei de Kepler: L'òrbita dels planetes al voltant del Sol són el·lipses, amb el Sol en un dels seus focus.

La segona llei de Kepler: Una línia que uneix un planeta i el Sol escombra àrees iguals en temps iguals.

Una el·lipse és una corba tancada que té dos punts clau en ella, que es coneixen com a focus. Per dibuixar la seva pròpia el·lipse, es posen dos punts en un full de paper, cada un és un focus. A continuació, prengui un tros de corda més llarga que la distància entre els focus. Enganxi'ls en els focus. A continuació, poseu un llapis a la corda, estirant-la (tlicant-la), i suaument mogui el llapis de costat a costat. La corba que es generi serà un costat d'una el·lipse, és evident com moure el llapis per dibuixar l'altre costat. Aquest experiment amb la corda mostra un dels punts clau que defineixen una el·lipse: la suma de les distàncies des del punt de l'el·lipse a cada focus es manté constant. Un cercle és un tipus especial d'el·lipse on els dos punts estan en un sobre de l'altre.

Kepler va mantenir la recerca d'harmonies en els moviments dels planetes. Ell va associar les velocitats dels planetes amb notes musicals, les notes agudes que corresponen als planetes que es desplacen més ràpidament, concretament, Mercuri i Venus. El 1619, va publicar la seva obra més important *Harmonices Mundi* (L'harmonia dels mons). En ell (figura 6), ell incloïa no només pentagrames amb les notes, sinó també el que anomenem la seva tercera llei del moviment planetari

Tercera Llei de Kepler de el moviment planetari: El quadrat de el període de l'òrbita d'un planeta al voltant del Sol és proporcional a la galleda de la mida de la seva òrbita.

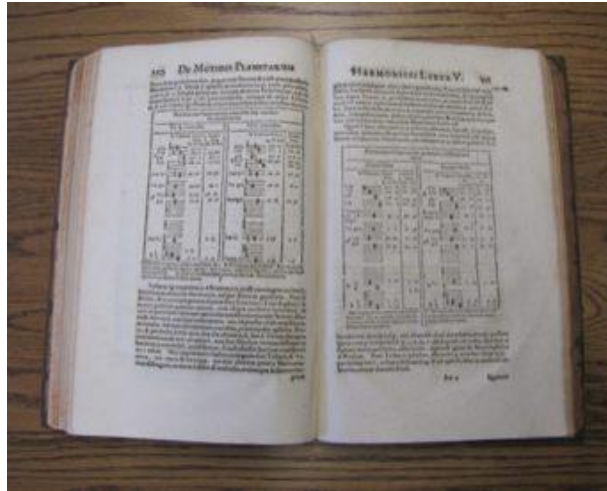


Fig. 6: De Harmonices Kepler Mundi (L'harmonia del món), publicat en 1619.

Els astrònoms solen mesurar les distàncies entre els planetes en termes de les Unitats Astronòmiques, que corresponen a la distància mitjana entre la Terra i el Sol, o 150 milions de quilòmetres.

Mercuri	0.387 AU	0.240 anys
Venus	0.723 AU	0.615 anys
Terra	1 AU	1 any
Mart	1.523 AU	1.881 anys
Júpiter	5.203 AU	11.857 anys
Saturn	9.537 AU	29.424 anys

Taula 1: Distàncies des del Sol i períodes dels planetes en l'època de Kepler.

Elevant a el quadrat la primera columna i a la galleda la segona columna, veurem que són bastant iguals. Les diferències provenen de l'aproximació, no del món real, encara que amb més decimals les influències dels altres planetes podrien ser detectades.

Descobriments amb el telescopi: Galileu Galilei d'Itàlia

L'any 2009 va ser l'Any Internacional de l'Astronomia, declarat per primera vegada per la Unió Astronòmica Internacional, i després per la UNESCO, i finalment per l'Assemblea General de les

Nacions Unides. Per què? Es va commemorar l'ús de telescopi al cel per Galileu 400 anys abans, el 1609.

Galileu (1564-1642) va ser professor a Pàdua, part de la República de Venècia. Va sentir parlar d'un invent holandès que podria fer que els objectes distants semblessin estar més a prop. Tot i que no havia vist cap, va descobrir el que les lents haurien de contenir i va construir un. Va mostrar el seu dispositiu als nobles de Venècia com un projecte militar i comercial, el que els permetria veure els vaixells al mar més lluny que mai. El seu invent va ser un gran èxit.

Llavors va tenir la idea d'apuntar un telescopi cap amunt. Tot i que el telescopi era difícil d'usar, tenia un camp de visió molt estret, i era difícil d'apuntar, ell va tenir èxit en veure part de la Lluna i adonant-se que hi havia moltes estructures en ella. A causa de la seva formació com a pintor a la Itàlia de la Renaixença, es va adonar que l'estructura representava la llum i l'ombra, i que ell estava veient muntanyes i cràters. De la longitud de les ombres i la forma, de com canviaven amb la il·luminació canviant de el Sol, fins i tot podia imaginar quan altes eren. Uns mesos abans, l'anglès Thomas Harriot havia assenyalat amb un telescopi similar a la Lluna, però només hi havia dibuixat alguns gargots i dibuixos borrosos. Harriot, però, no estava interessat en la publicació o en la glòria, i la seva obra no es va conèixer fins després de la seva mort.

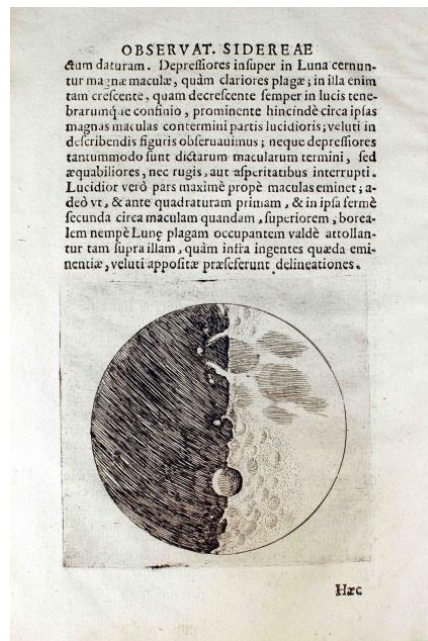


Fig. 7a: Un dels dos telescopis supervivents de Galileu van arribar a l'Institut Franklin a Filadèlfia el 2009, en la seva primera visita als Estats Units. Cal notar que la part externa de la lent està coberta amb un anell de cartró. A l'ocular la part exterior de la lent, que va ser la part menys precisa, Galileu va millorar la qualitat de les seves imatges (Foto: Jay M. Pasachoff). Fig. 7b: Una pàgina del 'Sidereus Nuncius' de Galileu (El missatger dels astres), publicat en 1610,

mostrant un gravat de la Lluna. El llibre va ser escrit en llatí, la llengua dels erudits europeus. El llibre inclou una àmplia cobertura de el moviment relatiu de les quatre llunes principals de Júpiter.

Una lent que Galileu va utilitzar per als seus descobriments es conserva, esquerdada, al Museu d'Història de la Ciència a Florència, Itàlia, i dos telescopis complets, que han sobreviscut, també hi són (figura 7a).

Galileu va començar a escriure els seus descobriments a la fi de 1609. Va trobar no només muntanyes i cràters a la Lluna, sinó també que la Via Làctia estava feta de moltes estrelles, a l'igual que certs asterismes. Després, al gener de 1610, es va trobar amb quatre 'estrelles' prop de Júpiter que es movien amb Júpiter i que canviaven de posició de nit a nit. Això va marcar el descobriment de les llunes principals de Júpiter, que ara es diuen els satèl·lits galileans. Ell va escriure els seus descobriments en un llibre prim anomenat *Sidereus Nuncius* (El missatger dels astres), que va publicar en 1610 (figura 7b). Des Aristòtil i Ptolemeu, es pensava que la Terra era l'únic centre de revolució. Aristòtil havia estat considerat com infal·lible. Així que el descobriment dels satèl·lits de Júpiter, mostrant que Aristòtil va poder haver-se equivocat va ser un cop molt fort a la idea geocèntrica, i per tant un punt fort a favor de la teoria heliocèntrica de Copèrnic.

Galileu va intentar donar a les llunes el nom de Cosme de Medici, el seu patró, per guanyar-se el seu favor. Però aquests noms no es van conservar. Després d'uns anys, Simon Marius va proposar els noms que s'utilitzen actualment. (Marius, fins i tot va poder haver vist les llunes una mica abans que Galileu, però ho va publicar molt més tard.) D'esquerra a dreta, són Io, Europa, Ganimedes i Calixte (figura 9). Fins i tot en un petit telescopi d'afecionat, es poden veure en una nit clara, i observar que durant hores es canvien de posició. Elles orbiten Júpiter en períodes d'uns pocs dies.

Fins i tot amb els millors i més grans telescopis terrestres, els astrònoms no poden obtenir una visió clara de l'estructura de la superfície dels satèl·lits galileians. Només quan la NASA amb els satèl·lits Pioneer 10 i 11, i tot seguit, Voyager 1 i 2, va volar a prop de el sistema de Júpiter vam veure amb suficient detall els satèl·lits com per poder caracteritzar-los juntament amb les seves superfícies. A partir d'observacions terrestres i espacials, els astrònoms encara estan descobrint les llunes de Júpiter, tot i que els recentment descoberts són molt més petits i més febles que els satèl·lits galileans.

Galileu va utilitzar els seus descobriments per aconseguir un millor treball amb un salari més alt, a Florència. Per desgràcia, Florència estava més a prop de l'autoritat papal a Roma, servint com banquers de el Papa, i era menys liberal que la República de Venècia. Ell va continuar escrivint sobre una varietat de temes científics, com ara les taques solars, cometes, cossos flotants. Cada un semblava assenyalar un argument en contra d'algun aspecte dels estudis d'Aristòtil. Ell va descobrir que Venus tenia fases - el que va mostrar que Venus orbita el Sol. Això no va provar que la Terra orbitava el Sol, ja que la cosmologia híbrida de Tycho podria explicar aquestes fases. No obstant això, Galileu ho va veure com una prova de Copèrnic.

En 1616, va ser informat per funcionaris de l'Església de Roma perquè no ensenyés Copernicanisme, que el Sol i no la Terra era el centre de l'Univers. Ho va fer per guardar silenci durant molt de temps, però en 1632 va publicar el seu Diàleg (Diàleg sobre els dos màxims sistemes de el món), on hi havia tres homes que discutien els sistemes geocèntric i heliocèntric. Ell tenia permís oficial per publicar el llibre, però el llibre va fer evident la seva preferència pel sistema heliocèntric de Copèrnic. Va ser jutjat per la seva desobediència i va ser condemnat a arrest domiciliari, on va romandre per la resta de la seva vida.



Fig. 8. L'any 2009, per commemorar el 400 aniversari del primer ús per Galileu de telescopi al cel, una placa va ser posada en una columna a la part superior de l'campanar, una torre de segle XV (re-erigida al segle XX després de el seu col·lapse en 1902) a Venècia. La commemoració aquí és de Galileu, demostrant la seva telescopi als nobles de Venècia mitjançant l'observació de vaixells relativament lluny al mar, això era abans que ell apuntés amb el seu telescopi cap amunt. L'escriptura a la placa pot ser traduïda aproximadament com "Galileu Galilei, amb el seu ullera de llarga vista, el 21 d'agost, de 2009, va ampliar els horitzons de l'home, fa 400 anys." (Foto: Jay M. Pasachoff).

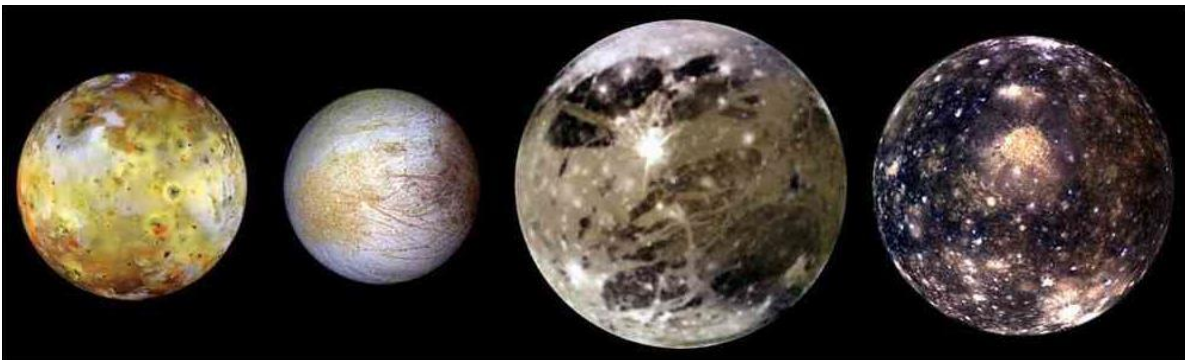


Fig. 9. El mateix Galileu hauria quedat sorprès el veure el que la seva nau homònima i els seus predecessors mostressin des dels "Medician satellites" que ell va descobrir en 1609. Aquí mostren en imatges el seu veritable escala relativa. D'esquerra a dreta, veiem Io, recentment va ressorgir amb dues dotzenes de volcans en erupció contínua. En segon lloc hi Europa, el principal sospitós per a la recerca de vida extraterrestre a causa del mar que es troba sota la capa de gel suau que veiem. En tercer lloc és Ganímedes, la lluna més gran de el sistema solar, mostrant sobretot una part fascinant de la seva superfície acanalada. I a la dreta és Calixte, més lluny que els altres i cobert de gel dur que conserva les cicatrius de la superposició d'impactes de meteorits que s'han produït durant milers de milions d'anys. (NASA: Missió de Galileu, PIA01400)

La Nova Física: Isaac Newton d'Anglaterra

Molts creuen que els tres millors físics de tots els temps són: Isaac Newton, James Clerk Maxwell, i Albert Einstein. Un resum: Newton va descobrir la llei de la gravetat, Clerk Maxwell va unificar l'electricitat i el magnetisme, i Einstein va descobrir la relativitat especial i general.

Segons la història, el jove Isaac Newton (1642-1727) va ser enviat a casa des de la Universitat de Cambridge a Woolsthorpe, prop de Lincoln, a Anglaterra, quan les universitats angleses estaven tancades a causa d'una plaga. Un cop allà, va veure una poma caure de l'arbre, i es va adonar que la mateixa força que controlava la caiguda de la poma era, sens dubte, la mateixa força que controlava el moviment de la Lluna.

Finalment, Newton va tornar a Trinity College de Cambridge. Mentrestant, un grup de científics a Londres es van reunir en un cafè per formar una societat (en l'actualitat la Royal Society), i el jove Edmond Halley va ser enviat a Cambridge per aconseguir els serveis d'un brillant matemàtic, Isaac Newton, podria ajudar-los amb una qüestió científica important. El viatge de Londres a Cambridge en diligència era molt més llarg i difícil que l'hora en tren que triga avui dia.

Halley li va preguntar a Newton que si hi hagués una força que atragués segons el quadrat de la distància, quina forma tindria una òrbita? I Newton va contestar que seria una el·lipse. Emocionat, Halley li va preguntar si ho havia provat, i Newton va dir que estava en uns papers que tenia. Ell va dir que no podia trobar-los, encara que potser no feia més que guanyar temps d'espera per a jutjar si realment volia lliurar la seva anàlisi. De totes maneres, Newton va ser convidat a escriure algunes de les seves conclusions matemàtiques. En pocs anys, tot això el va conduir al seu llibre més famós, el *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (Principis matemàtics de filosofia natural), on el que llavors es deia Filosofia s'inclou el que avui anomenem ciència.

El Principia de Newton va aparèixer en 1687, a Amèrica. Newton era encara un professor de la universitat llavors, va passar molt temps abans que ell fos nomenat cavaller pel seu treball posterior a la menció anglesa. Halley va haver de pagar per la impressió de el llibre de Newton, i ell el va defensar, fins i tot va escriure un pròleg. El famós Principia inclou la llei de Newton que mostrava com la gravetat disminueix amb el quadrat de la distància, i la seva prova de lleis de Kepler sobre les òrbites planetàries. El llibre també inclou les lleis de Newton de el moviment, clarament es mostren com "lleis", en llatí, mentre que les lleis de Kepler estan enterrades en el seu text

Lleis de Newton del moviment són:

La primera llei de moviment de Newton: Un cos en moviment tendeix a romandre en moviment, i un cos en repòs tendeix a romandre en repòs.

La segona llei de Newton de el moviment (versió moderna): força = massa per acceleració

La tercera llei de Newton de el moviment: Per cada acció hi ha una reacció igual i oposada.

Newton va establir les bases a través de la física matemàtica que van portar a la ciència al nostre temps modern

Continua la recerca en astronomia

Així com els pobles antics tenien curiositat sobre el cel i van voler trobar el seu lloc a l'Univers, els astrònoms de l'època actual s'han basat en els descobriments del passat amb la mateixa motivació. Descobriments teòrics i observacions van traslladar la comprensió del nostre lloc en l'Univers de la visió geocèntrica de Ptolomeu, a la hipòtesi heliocèntrica de Copèrnic, a la descoberta que el sistema solar no era al centre de la nostra galàxia, a la nostra comprensió de les galàxies distribuïdes per tot l'Univers.

L'astronomia moderna s'enfronta a la recerca de la naturalesa de la matèria fosca i l'energia fosca. La teoria de la relativitat d'Einstein indica que no només no és la nostra galàxia centre de l'Univers, sinó que el "centre" és una cosa sense sentit. Descobriments més recents de centenars d'exoplanetes que orbiten altres estrelles han posat de manifest l'inusual del nostre Sistema Solar. El camí de la descoberta mostra que els astrònoms de l'època moderna fan el mateix que van fer els astrònoms de milers o centenars d'anys enrere.

Bibliografia

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

Fonts d'Internet

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