

Galileo Galilei: 400 aniversari de les primeres observacions del cel amb telescopi

Eduard Masana

Departament d'Astronomia i Meteorologia
Universitat de Barcelona

Introducció

L'any 1609, fa exactament 400 anys, Galileo Galilei fa dirigir per primera vegada, amb esperit científic, un telescopi cap al cel. Aquell esdeveniment va suposar l'inici de l'astronomia moderna i va revolucionar completament el nostre concepte d'Univers i del nostre lloc dins d'ell. Però Galileo no és només famós pels seus descobriments científics, que com veurem no es van limitar a l'astronomia. Galileo és també, i potser principalment, conegut pel judici al que l'Església el va sotmetre per haver difós les idees copernicanes que situaven al Sol al centre de l'Univers, i en el qual va ser declarat culpable i condemnat a arrest domiciliari per la resta dels seus dies.



Figura 1: Retrat de Galileo Galilei per Ottavio Leoni.

Primera època: entre Pisa i Pàdua

Galileo va néixer a Pisa l'any 1564 al si d'una família de comerciants de la baixa noblesa, a aquella època vinguda a menys. El seu pare, Vizenio Galilei, músic, constructor d'instruments, afeccionat a les matemàtiques i de idees molt obertes per aquells temps, el va inculcar des de petit l'esperit crític que tan va marcar la personalitat de Galileo.

És precisament per desig del seu pare que amb 17 anys, al 1581, Galileo es trasllada a la Universitat de Pàdua per estudiar medicina. Però aviat s'adona de que el que realment li agrada són les matemàtiques i comença a assistir a classes d'aquesta disciplina, primer d'amagat del seu pare i després obertament, abandonant progressivament la medicina. Ja durant aquesta primera fase de la seva vida acadèmica, Galileo es guanya fama d'insolent per estar constantment posant en dubte els ensenyaments dels seus mestres, moltes vegades argumentats simplement pel principi d'autoritat i no per la lògica o el raonament, i molt menys per l'experiència.

Però Galileo no aconsegueix acabar els estudis, ja que degut a una malaltia del seu pare ha de tornar a Pisa a fer-se càrrec de la seva família. En aquesta època, com en molts d'altres de la seva vida, els diners són una de les seves principals preocupacions. En un primer moment per poder guanyar-se la vida dona classes particulars, fins que el 1589 gràcies a algunes amistats entra en contacte amb el Duc Ferdinand de Toscana, qui l'aconsegueix una plaça a la Universitat de Pisa, aleshores una universitat bastant mediocre.

En aquesta etapa a Pisa Galileo fa els seus primers experiments. Així per exemple demostra que la velocitat de caiguda d'un cos és independent del seu pes, contràriament a la doctrina d'Aristòtil vigent a l'època, que defensava que els cossos més pesats cauen més ràpid. Diu la llegenda que amb un senzill experiment -deixar caure cossos de diferents pesos des de dalt de la torre de Pisa- Galileo va demostrar el contrari. Cal dir però que en realitat Galileo va portar a terme els experiments sobre caiguda dels cossos amb plans inclinats, de forma que el moviment era més lent i podia mesurar millor els temps de caiguda. Sembla doncs que mai va deixar caure res des de la torre de Pisa, sinó que aquest episodi va ser inventat per un dels seus deixebles i biògrafs, Vincenzo Viviani. Com va passar amb molts altres dels seus descobriments, Galileo no va ser l'únic ni el primer en postular que la velocitat de caiguda d'un cos és independent del seu pes (ja ho havia fet per exemple Giambattista Benedetti al 1553), però sí el primer en demostrar-ho experimentalment.

Després de passar tres anys a la Universitat de Pisa, es trasllada a la Universitat de Pàdua per fer de professor de geometria, mecànica i astronomia, amb un millor salari. Galileo dedica el seu temps a treballar en problemes pràctics com el de les fortificacions militars i en diferents invents, com una màquina per pujar aigua. És en aquesta època que dona el primer suport públic a les idees de Copèrnic.

La teoria copernicana

Per poder situar en context la figura de Galileo cal conèixer quina era la concepció de l'Univers que es tenia a la seva època. Els coneixements astronòmics a finals del segle XVI estaven marcats per l'Almagest, l'obra de Ptolemeu publicada al segle II dc. i que havia arribat fins al segle XVI amb molt poques alteracions. Segons Ptolemeu l'Univers estava format per la Terra, immòbil al centre, i al seu voltant el Sol, la Lluna i els 5 planetes coneguts fins aleshores: Mercuri, Venus, Mart, Júpiter i Saturn (Figura 2, esquerra). En el model de Ptolemeu tots els moviments dels astres es poden descompondre en cercles, fent servir els epicles i els deferents. Aquest sistema ptolomeic tenia però un gran problema: no podia predir amb prou precisió les posicions dels planetes, malgrat tots els intents que es van fer.

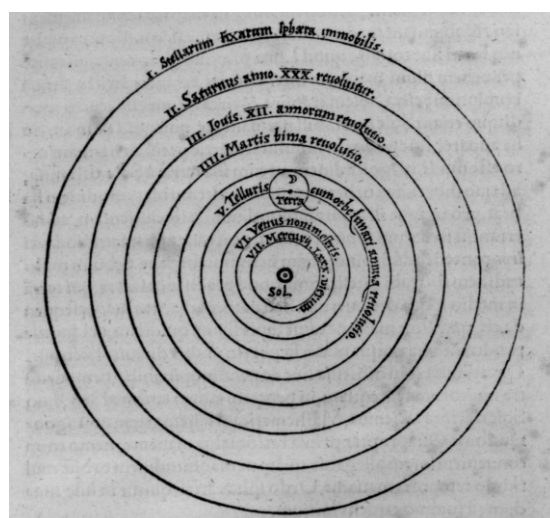


Figura 2: Esquerra: model geocèntric de Ptolemeu extret de la *Cosmographia* de Peter Apian, 1539. Dreta: model heliocèntric de representat a l'obra *De Revolutionibus* de Copèrnic, 1543.

Amb la intenció de solucionar aquest problema Copèrnic proposà la idea de que és el Sol i no la Terra qui es troba al centre de l'Univers. El 1543 és pública el llibre de Copèrnic *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Sobre la revolució de les esferes celestes), llibre on s'exposa la idea de que la Terra no és el centre de l'Univers, si no que ho és el Sol, el qual resta immòbil, i al voltant del qual giren els planetes, incloent la Terra. La Lluna gira al voltant d'aquesta (Figura 2, dreta). Per a Copèrnic el seu treball havia estat plantejat com la cerca d'una solució el més senzilla possible a un problema científic -el del moviment dels planetes- amb una nova teoria -l'heliocentrisme- tot i que quan es va publicar no existia cap prova observacional en la seva defensa. Tot i no aconseguir resoldre totalment aquest problema, ja que falla en considerar les òrbites planetàries circulars en comptes d'el·líptiques com realment són, el sistema heliocèntric funcionava molt millor que el de Ptolomeu a l'hora de predir la posició dels planetes.

Però la teoria de Copèrnic presentava alguns problemes. Uns de caràcter físic, com per exemple explicar com la Terra podia arrossegar a la Lluna en el seu moviment al voltant del Sol (recordem que la gravitació Universal no va ser formulada per Newton fins més d'un segle després). Altres problemes no tenien res a veure amb la ciència, com el fet de que el model heliocèntric entrava en contradicció amb alguns passatges de la Bíblia, si interpretem aquesta de manera literal. En certs passatges de la Bíblia es cita textualment l'immobilitat de la Terra:

- Salm 93.1:
El Senyor és rei, va vestit de majestat.
El Senyor va vestit i cenyit de poder.
El món es manté ferm, incommovable.
[...]
- Salm 104:4:
[...]
Assentares la terra sobre uns fonaments,
incommovable per segles i segles.
[...]
- Eclesiastès 1.5
[...]
Surt el sol i es pon, i se'n torna al seu lloc d'on ha de tornar a sortir.
[...]

Aquest últim donant la idea de que la Terra es manté fixa i és el Sol qui es mou.

Per a l'Església de l'època, que feia una interpretació literal de la Bíblia, l'heliocentrisme era per tant contrari les Escriptures. Això obligà a presentar la teoria de Copèrnic com una simple hipòtesi i en cap cas com una descripció real del món.

Existien altres sistemes, com el de Tycho Brahe, que es podrien anomenar intermedis entre el de Ptolomeu i el de Copèrnic. Brahe proposava una Terra immòbil amb la Lluna i el Sol girant al seu voltant, i la resta de planetes girant al voltant del Sol. Aquest sistema va ser acceptat per l'Església, ja que mantenia la immobilitat de la Terra i podia, com veurem, explicar alguns fenòmens que el de Ptolomeu no podia.

L'aparició del telescopi

Aquesta era la situació al 1609, quan entra en escena el telescopi. Des de feia ja molt anys hi havia notícies per tota Europa d'una "ullera llargavista", instrument que servia per veure els objectes llunyans més a prop. Evidentment l'interès per aquest instrument era bàsicament militar, per exemple per poder detectar els vaixells enemics molt abans de que arribessin a la costa.

La invenció del telescopi és una història de gran controvèrsia. Se sap que des de mitjans del segle XV es fabricaven lents, tant còncaves com convexes, però cap òptic va tenir la idea (o va ser capaç) de combinar-les en un únic instrument, com a mínim fins a un segle després.

Hi ha referències, més o menys creïbles, de telescopis construïts a la segona meitat del segle XVI, com el de l'anglès Digges o el de l'italià della Porta al 1558. Fins i tot s'apunta a uns gironins (els germans Roget) com a constructors de telescopis a la darrera dècada del segle XVI. Malgrat tot, a la majoria de fonts, però, es considera com a inventor del telescopi a l'holandès Lippershey, qui al 1608 va fer una demostració del seu invent davant del Príncep Maurici de Nassau. Lippershey el va patentar el 2 d'octubre, no sense una gran controvèrsia posterior. A partir d'aquest moment el telescopi es difon per tota Europa.

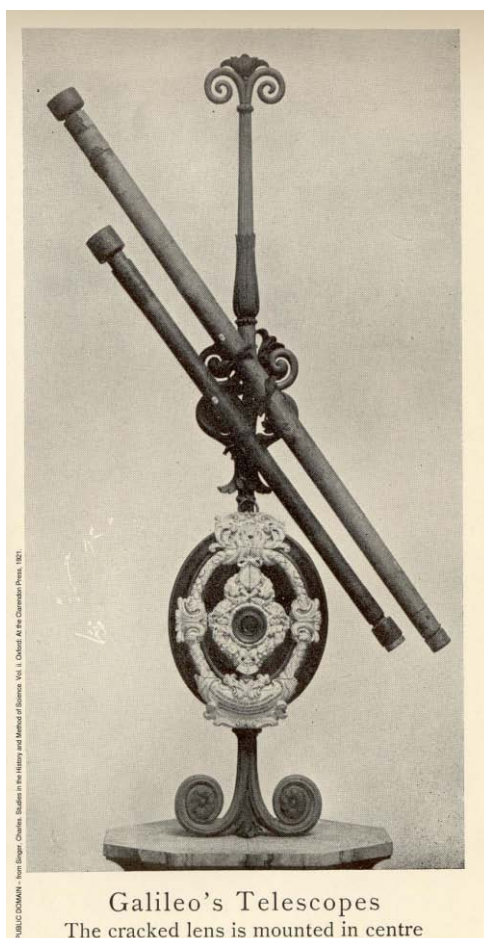


Figura 3: Telescopi construït per Galileo (Reproduït de *Studies in the History and Methods of Science*, C. Singer, 1921).

És doncs molt probable que els primers telescopis es construïssin cap allà el 1560, però per un motiu o altre l'invent no va tenir difusió. Alguns òptics, com els germans Roget, podrien haver construït telescopis a la darrera dècada del segle XVI, però no va ser fins la demostració de Lippershey (el qual molt possiblement va construir el seu telescopi inspirat en notícies que li havien arribat, o qui sap si copiant directament un model dels germans Roget) que el telescopi no es va convertir en un objecte popular.

A Venècia, on es trobava Galileo en aquella època, les primeres notícies del telescopi van arribar a la tardor de 1608, a mans de Sarpi, assessor científic del Duc de Venècia, que no li va donar importància. Galileo, al juliol de 1609, s'assabenta de que Sarpi té notícies del telescopi i li fa una visita, a on descobreix que feia 8 mesos que Sarpi coneixia de la seva existència. Inmediatament Galileo comença a treballar en la construcció d'un telescopi. Els esdeveniments es precipiten, ja que sent dir que un holandès ha arribat a Pàdua hi ha fet una demostració d'un instrument que permet observar els objectes de lluny i que ara es dirigeix cap a Venècia.

Galileo veu en el telescopi l'oportunitat de guanyar reconeixement i diners, i treballa frenèticament per poder ser ell qui presenti al Duc de Venècia l'invent. Degut als seus escassos coneixements d'òptica treballa per assaig i error. Primer dedueix que l'instrument ha de tenir dos lents. I aleshores comença a fer combinacions de lents còncaues i convexes, fabricades a la propera illa de Murano. En menys de 24 hores dóna amb una combinació de lents que apropen les objectes tres vegades! El següent pas és impedir que l'holandès entri a Venècia, ho qual aconsegueix gràcies a les seves influents amistats. Així té dues setmanes per perfeccionar l'instrument. Finalment, el 25 d'agost empaqueta un telescopi de 5 cm de diàmetre i 10 augmentos, molt millor que qualsevol altre construït fins aleshores i se'n va a oferir-lo com obsequi al Gran Duc. No cal dir que la demostració va ser un total èxit. Malgrat tot, la construcció de telescopis no era fàcil: del centenar de telescopis que Galileo va fabricar al 1610, només una desena van resultar útils.

I és així com a la tardor del 1609 Galileo apunta per primera vegada el seu telescopi cap al cel veient coses que, evidentment, ningú no havia vist abans.

Els descobriments astronòmics

Entre els descobriments astronòmics fets per Galileo cal destacar els següents:

Muntanyes de la Lluna

Galileo descobreix que la Lluna té muntanyes. És a dir, la seva superfície no és un esfera perfecta com deia Aristòtil i com s'acceptava fins aleshores. Per a Aristòtil existien el *món sublunar*, imperfecte i canviant, que incloïa la Terra i tot el que hi ha entre ella i la Lluna; i el *món supralunar*, amb formes geomètriques perfectes i moviments regulars immutables. La presència de muntanyes a la Lluna trencava la seva perfecció i contradeïa per tant aquesta visió del món.

També observa que a la Lluna no hi ha núvols i interpreta les zones uniformes com mars d'aigua. Si la Lluna té muntanyes com la Terra, per què no pot tenir mars? Aquesta identificació entre la Lluna (món supralunar) i la Terra (món sublunar) també contradia la doctrina d'Aristòtil.

Galileo va aconseguir a més determinar l'alçada de les muntanyes de la Lluna, mesurant la llargada de la seva ombra i calculant l'alçada del Sol vist des d'aquella posició. Va obtenir mesures de fins a 7000 metres, més altes que les muntanyes més altes de la Terra conegudes en aquella època.

Júpiter

El segon gran descobriment de Galileo van ser les llunes de Júpiter. Al gener del 1610 va observar Júpiter i veu 3 estrelles a prop seu. Observacions en nits posteriors revelen que no són estrelles fixes i que no són tres sinó quatre (Figura 4). Galileo descobreix així els quatre satèl·lits més brillants de Júpiter, als que anomena "astres *medicens*" en honor al Gran Duc de Toscana, Cosme II de Medici. Posteriorment a aquests quatre satèl·lits se'ls va anomenar satèl·lits galileians (Io, Europa, Ganimedes i Caliste). Galileo va arribar a determinar els seus períodes orbitals (entre 17 i 42 dies) i durant els

següents anys continuà amb les observacions per tal de calcular les seves efemèrides, és a dir, predir-ne la seva posició.

La gran importància d'aquest descobriment rau en que posa en evidència que, contràriament a les idees de Aristòtil i Ptolemeu, no tots els cossos giren al voltant de la Terra. A més el problema que hem comentat abans de com la Lluna no es queda endarrerida quan gira al voltant de la Terra queda superat: si els satèl·lits de Júpiter segueixen a aquest en el seu camí, també la Lluna pot seguir a la Terra. Per últim, els satèl·lits estan ordenats pel seu període, com un sistema solar copernicà en miniatura. Veiem doncs que tal i com ho interpreta Galileo, el descobriment dels satèl·lits de Júpiter és una prova indirecta a favor de la teoria heliocèntrica de Copèrnic.

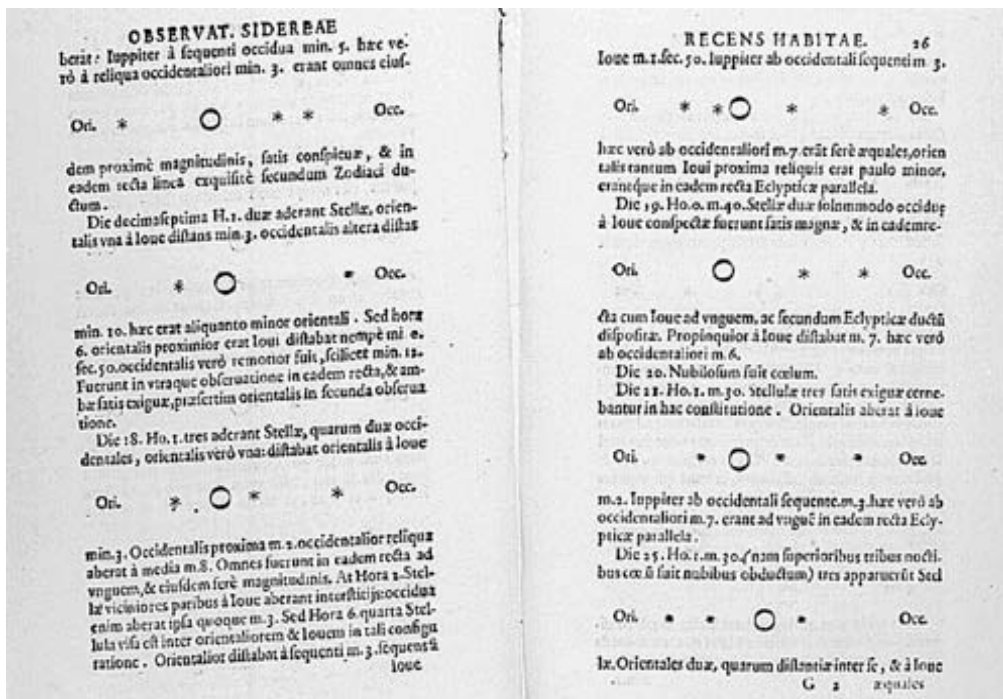


Figura 4: Dibuxos dels satèl·lits de Júpiter. *Siderus Nuncius*, Galileo Galilei, 1610.

Les estrelles

En aquesta primera etapa d'observació del cel, Galileo també descobreix que hi ha moltes més estrelles de les que podem observar a simple vista. Veu que la Via Làctia, que es pensava que era un núvol, està formada en realitat per milers d'estrelles. També observa i dibuixa cúmuls com les Plèiades i el Pessebre, descobrint que estan formats per innumbrables estrelles.

Aquests descobriments van ser publicats en el llibre *Sidereus Nuncius*, el Missatger Sideral, la primera gran obra de Galileo, editat al 1610 (Figura 5). El llibre va esgotar ràpidament les 500 còpies que es van imprimir.

Saturn:

Després de la publicació del *Siderus Nuncius*, Galileo va seguir amb les seves observacions. Al 1610 observa Saturn per primera vegada. Degut a la qualitat del seu telescopi no va veure els anells, si no que l'identifica com un planeta triple. Temps després, al 1612, el torna a observar i no veu els dos cossos acompanyants, que semblen tornar a aparèixer al 1616. Ara sabem que aquest misteriós comportament és degut al moviment orbital de Saturn, que fa que de vegades els anells es vegin de costat des de la Terra, de forma que gairebé desapareixen a la vista. És per això que Galileo no els va veure al 1612.

Van haver de passar més de 40 anys fins que el 1655 els anells de Saturn no van ser identificats com a tals per Huygens.

Taques solars:

Un altre descobriment de Galileo van ser les taques solars. Les observà per primera vegada a l'agost del 1610, però no va fer públic aquest descobriment fins al maig de 1612, quan ja havien estat vistes per Harriot a Anglaterra, per Fabricius a Holanda i pel jesuïta Scheiner a Alemanya. De fet els xinesos ja les havien observat molt abans a ull nu, però havien pensat que es tractava del planeta Mercuri passant pel davant del Sol.

A arrel de les taques solars, Galileo i Scheiner van mantenir una agria disputa, no només per l'autoria del descobriment, si no també per la seva natura. Scheiner postulava que es tractava de petits planetes que passaven pel davant del Sol, mantenint així un Sol *pur*, com dictava la doctrina aristotèlica. Mentre, Galileo creia que estaven molt a prop de la seva superfície, com si fossin núvols. Galileo va demostrar que tenia raó amb el següent raonament: si les taques es troben a la superfície del Sol i aquest gira, quan més a prop del limbe del Sol es trobin, més poc a poc semblen anar. En canvi, si es tracta d'un planeta situat lluny del Sol, la velocitat aparent serà gairebé igual estiguin prop del limbe o en el centre del disc. Com observacionalment es veu el primer cas, Galileo va deduir correctament que les taques es trobaven a la superfície del Sol. I si el Sol gira, per què no la Terra?

Venus:

Però potser el descobriment més important que va fer Galileo va ser el de les fases de Venus, ja que és un dels principals punts a favor de la teoria copernicana. Es tracta del primer descobriment fet a Florència, a on es va traslladar des de Venècia al 1610 per acceptar el càrrec de Matemàtic i Filòsof del Gran Duc de Toscana, Cosimo II.

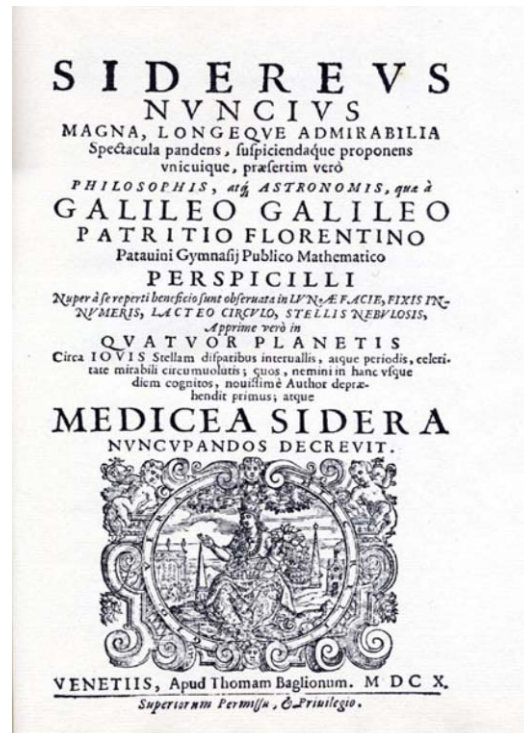


Figura 5: Portada del *Sidereus Nuncius*.

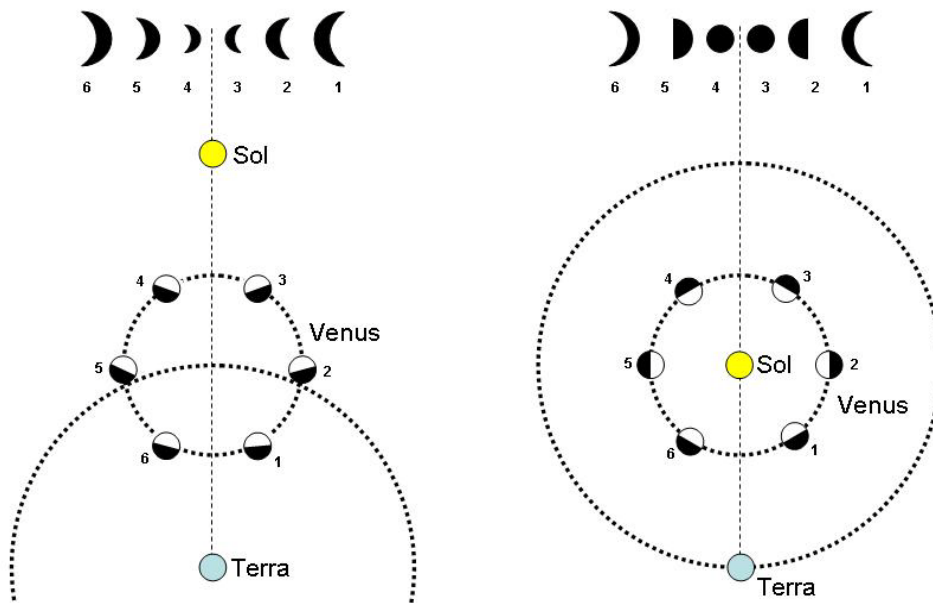


Figura 6: Fases de Venus en els models de Ptolomeu (esquerra) i Copèrnic (dreta). Contràriament a les observacions, en el primer mai es dona la fase plena.

El que va veure Galileo va ser que Venus presentava fases com la Lluna. Imaginem primer el sistema Ptolomeic (Figura 6, esquerra). En aquest sistema, Venus mai es pot trobar darrera del Sol vist des de la Terra. Per tant Venus només pot presentar les fases creixent/minvant o nova, però mai fase plena. En canvi, al sistema de Copèrnic (Figura 6, dreta) Venus pot presentar totes les fases, tal i com s'observa amb el telescopi. L'observació de les fases de Venus descarta doncs, des d'un punt de vista científic, el model ptolomeic.

Neptú:

Per acabar aquests repàs a les observacions astronòmiques de Galileo, parlem de Neptú. Neptú és un planeta no visible a simple vista que va ser descobert l'any 1846 per Le Verrier i Adams. L'any 1979 Steven C. Albers va publicar una llista de totes les ocultacions d'un planeta per un altre vist des de la Terra entre els anys 1557 i 2230. Només hi ha 21 fenòmens d'aquest tipus en aquest període. El tercer de la llista és una ocultació de Neptú per Júpiter el 4 de gener de 1613, precisament en l'època en que Galileo observava Júpiter i els seus satèl·lits. És possible doncs que Galileo hagués observat Neptú més de 230 anys abans del seu descobriment?

A la figura 7 reproduïx el dibuix que Galileo va fer de Júpiter i els seus satèl·lits el 27 de desembre de 1612. Veiem que per situar Júpiter fa servir una estrella "fixa". Doncs bé, si amb un modern programa d'ordinador representem Júpiter per aquella mateixa data, veiem que a la direcció d'aquesta estrella fixa es trobava Neptú. No exactament a la mateixa posició, ja que és possible que Galileo no tingués prou espai al paper i simplement va indicar la direcció en que es trobava l'estrella fixa.

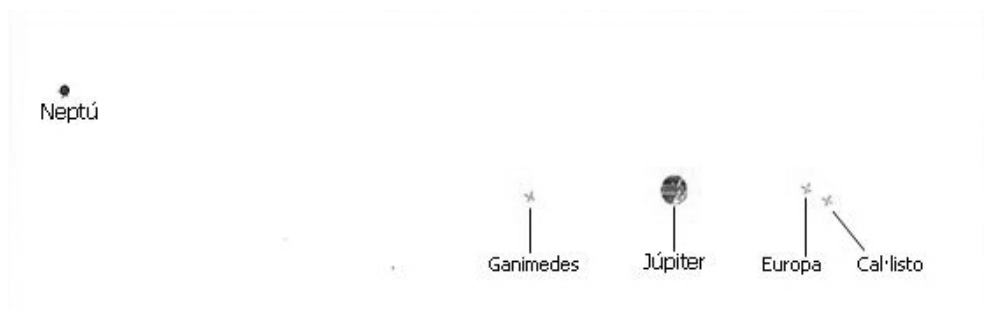
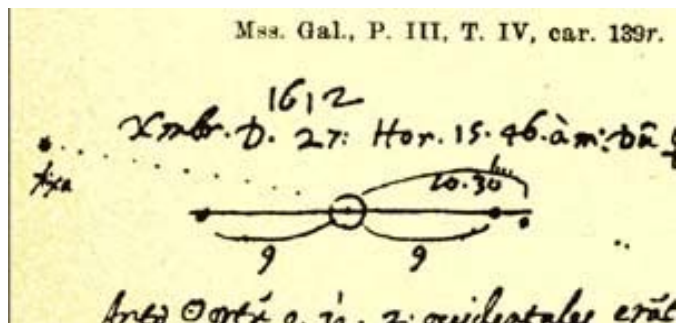


Figura 7: Simulació de la posició de Neptú respecte a Júpiter comparada amb l'observació feta per Galileo al seu llibre de notes al 1612 (Biblioteca Nacional de Florència).

De manera similar en els dibuixos fets la nit del 27 al 28 de gener 1613 es pot identificar Neptú com una de les estrelles fixes que Galileo utilitza com a referència per situar Júpiter i els seus satèl·lits. En aquest cas fins i tot hi ha una anotació on Galileo mostra la seva sospita de que Neptú s'havia mogut respecte a una altra estrella fixa. Sigui pel mal temps o per altra circumstància, Galileo no va tornar a observar Neptú.

No queda cap dubte doncs de que Galileo va observar i dibuixar Neptú, però el va confondre amb una estrella fixa. Si els seus descobriments ja van ser del tot revolucionaris, no podem imaginar que haguera passat si hagués descobert un nou planeta!

Oposició a Galileo

Tots aquests descobriments i la publicació del *Siderus Nuncius* van donar a Galileo fama i reconeixement arreu d'Europa. L'any 1611 Galileo marxa a Roma a presentar els seus descobriments davant del Col·legi Romà dels Jesuïtes i del mateix Papa Pau V, per obtenir així la benedicció de l'Església. En aquesta primera visita els descobriments de Galileo són acceptats. Cal remarcar però que es tracta d'una acceptació dels fets en si, no de les seves implicacions.

Galileo era una persona molt optimista i pensava que el pes de les observacions seria suficient per convèncer als peripatètics (seguidors d'Aristòtil) de que estaven equivocats. Però en aquest aspecte va errar totalment. Els atacs contra ell cada vegada es van fer més furibunds.

Podríem dir que l'oposició a Galileo va ser de dos tipus: per un costat hi havia qui simplement es negava a mirar pel telescopi o dubtaven del que veien. Fins a cert punt és normal, ja que era un instrument nou i no del tot ben comprès. L'altra tipus d'oposició consistia en creure el que veien, però no la interpretació que feia Galileo. És a dir, intentaven acomodar les observacions al model Aristotèlic, sense massa èxit, és clar.

En ambdós cassos podríem qualificar a aquesta oposició, fins a cert punt, d'oposició científica. Però existeix a més una oposició teològica, ja que com hem vist bona part del que defensa Galileo és contrari a la Bíblia. Per exemple l'anunci de les taques solars havia causat una gran convulsió a Roma. Pels teòlegs i els seguidors d'Aristòtil el cel era incorruptible i immutable, mentre que les taques apareixien i desapareixien quasi a l'atzar.

Preocupat, al 1612 Galileo decideix escriure al prefecte de l'Inquisició Carlo Cardinal Conti per preguntar fins a quin punt l'immutabilitat del cel i l'immobilitat de la Terra estan reflectides a la Bíblia o es tracta només de les idees d'Aristòtil. La resposta va ser ambigua, de manera que Galileo es va sentir encoratjat a defensar d'una forma més oberta les idees copernicanes. Fins i tot en una carta al seu amic el pare Castelli s'atreveix a defensar que la Bíblia no s'ha d'interpretar literalment –tal com ja havia defensat Sant Agustí- i que per tant les idees de Copèrnic no estan en contra de les Sagrades Escripures.

Les coses queden així i als anys següents Galileo es dedica al treball científic, millorant les taules d'efemèrides dels satèl·lits de Júpiter i fent diversos invents. Però l'oposició a l'heliocentrisme va creixent. Galileo, investigat de manera discreta pel Sant Ofici des de feia 5 anys, rep diverses denúncies i al 1616 es crida a Roma, a on se li comunica la postura oficial de l'Església: el copernicanisme és erroni i Galileo és ordenat a “no mantenir-ho, ensenyar-ho o defensar-ho de cap manera, ni oralment ni per escrit”. En cas contrari el Sant Ofici prendrà mesures formals contra ell. En l'edicte posterior del Vaticà l'obra de Copèrnic és prohibida fins que no s'introdueixi un afegit a on quedi clar que són simples hipòtesis.

Però contràriament als rumors que van creixent, Galileo no és obligat a abjurar del copernicanisme. Per tenir un document que així ho digui, demana una carta al Cardenal Bellarmino, jesuïta que havia dirigit el procés contra Giordano Bruno i també aquest primer contra Galileo. En aquesta carta, que seria de vital importància durant el judici a que va ser sotmès 17 anys després, podem llegir

“ Nos, Roberto cardenal Bellarmino, havent escoltat que es propalava la calúnnia de que el senyor Galileo ha abjurat en la nostra presència i que s'ha imposat una sentència saludable i ha estat castigat ... declarem que el senyor Galileo no ha abjurat de cap opinió o doctrina per ell sostinguda; ni se l'ha imposat tampoc cap penitència saludable; si no que tan sols se l'ha notificat la declaració feta pel Sant Pare i promulgada per la Sagrada Congregació de l'Índex, en la que es dóna a conèixer que la doctrina atribuïda a Copèrnic... és contrària a les Sagrades Escripures i, per tant, no pot ser sostinguda o defensada.”

Durant els següents 7 anys Galileo modera les seves opinions en públic. Escriu *Il Saggiatore* a on evitant qualsevol referència al sistema copernicà tracta per exemple el tema dels cometes, que equivocadament considera cossos que es movien a l'atmosfera

de la Terra. A *Il Saggiatore* podem trobar a més la declaració de la seva visió de la ciència i la defensa de que la Natura es pot descriure a través de les matemàtiques:

“La filosofia està escrita en aquest grandios llibre, que està sempre obert davant dels nostres ulls (jo l’anomeno Univers). Però no es pot desxifrar si abans no es compren els caràcters en que està escrit. Està escrit en el llenguatge matemàtic: essent els seus caràcters triangles, cercles i altres figures geomètriques... sense les quals caminem a les palpentes en un fosc laberint”.

Diàleg sobre els dos mons

Al 1623 Galileo torna de nou a Roma, a on ara el Papa és Urbà VIII, fins aleshores admirador de la seva obra. Després de diverses converses amb el Papa a on discuteixen sobre el geocentrisme i l’heliocentrisme, aquest li encarrega un llibre on s’exposin aquests dos sistemes del món, amb la condició de que l’exposició sigui totalment neutral, ja que segons argumenta el Papa, no hi ha cap prova física del sistema copernicà. A més les opinions del pontífex han de quedar reflectides a l’obra.

Així neix el *Diàleg sobre els dos grans sistemes del Món*, obra a la que Galileo va dedicar més de 6 anys (Figura 8). Com indica el títol el llibre està escrit en forma d’un diàleg entre tres personatges:

- Filippo Salviati: copernicà, noble florentí que va conèixer Galileo al 1611.
- Gianfrancesco Sagredo: neutral, però en realitat es deixa convèncer per Salviati. Es tracta de l’amic de l’ànima de Galileo, conegut de la seva època a Venècia.
- Simplicius: aristotèlic. Inspirat possiblement en Urbà VIII.



Figura 8: Portada del *Diàleg* de Galileo, 1632.

El diàleg es desenvolupa a Venècia durant 4 jornades, a on tots tres interlocutors discuteixen sobre els sistemes ptolemaic i el copernicà. Evidentment el llibre no és neutral, sinó que defensa clarament l’heliocentrisme, amb arguments com les fases de Venus, l’ordenació dels planetes segons els seus períodes, com en el cas dels satèl·lits de Júpiter, i les mareas. Discutirem més endavant fins a quin punt aquests arguments són realment proves de l’heliocentrisme.

La publicació del *Diàleg* ofèn els enemics de Galileo que ràpidament persuadeixen al Papa de que el llibre és descaradament favorable al sistema de Copèrnic i que fins i tot el personatge de Simplicius, no gaire espavilat, està inspirat en ell. Finalment, Urbà VIII cedeix davant d’aquestes opinions i dona via lliure a la Inquisició.

Hi havia però dos obstacles: per un costat la

doctrina de Copèrnic mai havia estat catalogada d'herètica. Fins i tot s'havia utilitzat per la mateixa Església per a la reforma del calendari al 1582. Per altra banda el llibre tenia els permisos dels censors.

L'única manera d'atacar a Galileo era doncs acusar-lo de desobediència del que se li havia ordenat a la reunió de 1616.

El procés

Al 1633 Galileo, amb quasi 70 anys d'edat i un delicat estat de salut es cridat a Roma. L'acusació, com diem, va ser de desobediència, basada en la reunió del 1616. Els inquisidors disposen d'un document de la reunió on s'ordenava a Galileo que no tornés a defensar ni ensenyar la teoria heliocèntrica. Però el document no estava signat ni certificat per cap notari. La defensa de Galileo era la carta de Bellarmino que hem vist abans. La situació per la Inquisició era una mica complicada ja que Galileo estava ben relacionat, així que decideixen intentar arribar a un acord fora del judici.

Amb subtils amenaces, aconsegueixen fer dubtar Galileo del que s'havia acordat a la reunió del 1616. Potser sí que li havien dit que no podia defensar de cap manera el copernicanisme i en el *Diàleg* s'havia excedit... A canvi la Inquisició, sobretot per l'amistat que Galileo tenia amb el Duc de Toscana, s'ofereix a ser condescendent amb ell i no aplicar-li, per exemple, cap càstig físic.

Així Galileo acaba reconeixent ser culpable d'haver defensat la teoria de Copèrnic en contra del que li havia estat ordenat. La sentència final de la Inquisició va ser aquesta:

- Galileo va ser trobat “vehementment sospitós d'heretgia” per haver mantingut l'opinió que el Sol resta immòbil al centre de l'Univers, que la Terra no és al centre i es mou, i que aquestes opinions es poden mantenir i defensar com a probables tot i haver estat declarades contraries a les Sagrades.
- Va ser obligat a abjurar, maleir i avorrir aquestes opinions.
- Va ser condemnat a presó però se li va commutar la pena per arrest domiciliari.
- El *Diàleg* va ser proscrit i les seves obres prohibides, incloent qualsevol que pogués escriure en el futur.

Les proves de Galileo a favor del heliocentrisme

El procés contra Galileo no va ser un judici a on s'estava decidint si Copèrnic tenia raó o no, és a dir, no es va tractar, evidentment, d'un judici amb arguments científics. Però si hagués estat així, hagués pogut Galileo defensar-se i sortir guanyador? Dit d'una altre manera, tenia Galileo alguna prova irrefutable de que la Terra es movia?

Hi havia al menys tres arguments que Galileo exposava a favor de la teoria heliocèntrica, però tots tres presentaven objeccions.

Galileo és pensava que la prova irrefutable de que la Terra es movia se la podia donar el fenomen de les marees, per aquella època encara sense explicar. Considerem la Terra

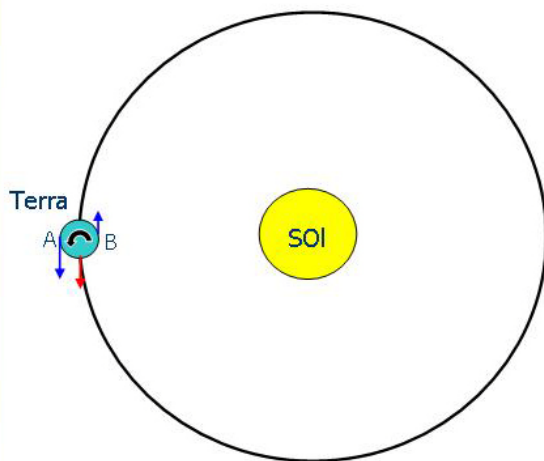


Figura 9: Teoria de les mareas proposta per Galileo.

traslladant-se al voltant del Sol i a la vegada girant sobre si mateixa (Figura 9). En el punt A, totes dues velocitats, la de translació i la de rotació es sumen, mentre que en el punt B es resten. Galileo pensava que aquesta diferència de velocitats, que es produïa cada dia, provocava una mena de xipolleig en el mar que causava les mareas.

Com sabem aquesta explicació és errònia. Les mareas són degudes a la influència de la Lluna i, en menor mesura, del Sol, com defensava Kepler a la mateixa època de Galileo. A més, si la teoria de Galileo fos certa només

hi hauria una marea alta i una baixa al dia, i no dues. Galileo era conscient d'això, però creia que efectes de segon ordre, com la forma de la costa o la profunditat del mar, podien explicar aquesta discrepància. Sembla ser que Galileo estava tan obsessionat per trobar la prova definitiva del moviment de la Terra que es fa agafar a la teoria de les mareas com a un ferro roent.

El segon argument a favor de l'heliocentrisme són les fases de Venus, que com hem vist no es poden explicar en el sistema de Ptolomeu, però si d'una manera molt senzilla en el de Copèrnic. Per veure si això suposa la prova irrefutable de que la Terra gira en torn del Sol hem d'entendre com funciona el mètode científic.

Com exposa Gingerich en el seu article sobre el cas Galileo, una manera d'arribar al coneixement és a través d'un procés deductiu: donades unes premisses veritables, la conclusió a la que arribem a través d'un procés de deducció vàlid, ha de ser forçosament veritable. Veiem un exemple:

Deducció: A implica B; tenim A, aleshores B

A: Si plou, els carrers estan mullats.

B: Plou.

C: Els carrers estan mullats.

Però hem d'anar en compte de no caure en una fal·làcia:

A: Si plou, els carrers estan mullats.

B: Els carrers estan mullats.

C: Plou. (?)

Els carrers poden estar mullats per qualsevol altra circumstància: els han regat, s'ha trencat una canonada,...

Veiem ara el cas de les fases de Venus i l'heliocentrisme:

A: Si el sistema és heliocèntric, Venus mostra totes les fases.

B: Venus mostra totes les fases.

C: El sistema és heliocèntric. (?)

Veiem que aquest raonament és una fal·làcia. Per exemple, en el model de Tycho Brahe Venus també mostra totes les fases.

La tercera prova eren els satèl·lits de Júpiter, ja que es comportaven com un sistema solar en miniatura. Però això més que una prova, era un indicatiu.

Per altra banda, el model copernicà ajuda a explicar de forma simple moltes altres coses: el moviment retrògrad, ordena els planetes segons els seus períodes. Per tant, és molt possible que sigui la descripció encertada de la realitat.

Amb la seva manera de raonar Galileo estava fent servir, sense ser massa conscient, el mètode hipotètic-deductiu, que és la base del mètode científic, el qual constitueix la manera de funcionar de la ciència des d'aleshores. Inicialment es formula un model hipotètic (més o menys basat en les observacions), en aquest cas l'heliocentrisme, i es va contrastant amb les observacions: cada vegada que el model és capaç d'explicar unes noves observacions es va fent més versemblant. Si no tenim cap observació que contradigui el model, l'assumim com a veritable... fins que una nova observació no pugui ser explicada i ens obligui a formular un nou model. Això és el que s'anomena mètode científic, que Galileo va fer servir per primera vegada. Amb les observacions de Galileo i aplicant aquest mètode científic, el model heliocèntric de Copèrnic havia de ser considerat com el més versemblant. Però en aquella època la ciència moderna tot just estava naixent.

A més hi havia efectes que implicava el model heliocèntric i que no havien estat observats (i que podien haver constituït una prova més al seu favor). El més clar, apuntat per Thomas Digges al 1573, és el de la paral·laxi de les estrelles. Si la Terra gira al voltant del Sol, la posició en que veiem les estrelles més properes contra el fons de les més llunyanes ha de canviar al llarg de l'any (Figura 10). Aquest efecte va ser buscat durant molts anys, però degut a que és molt petit (menys de 1 segon d'arc), no va ser trobat fins el 1838 per Bessel.

No va ser fins al 1851, quan Foucault va dissenyar el seu pèndol, que no s'obtingué una prova experimental irrefutable de la rotació de la Terra.

Si Galileo hagués disposat de qualsevol d'aquestes proves, hagués estat quasi impossible rebatre el model heliocèntric, ja que cap altre model (el de Ptolomeu, el de Tycho, etc...) haguessin pogut explicar-les. Però no les tenia.

Darrers anys

Després del procés Galileo va restar confinat a la seva casa de Florència. Durant aquests anys va rebre moltes visites dels seus deixebles i alguns dels seus llibres van poder ser publicats a l'estranger, com el *Discurs sobre dues noves ciències*. En aquesta obra

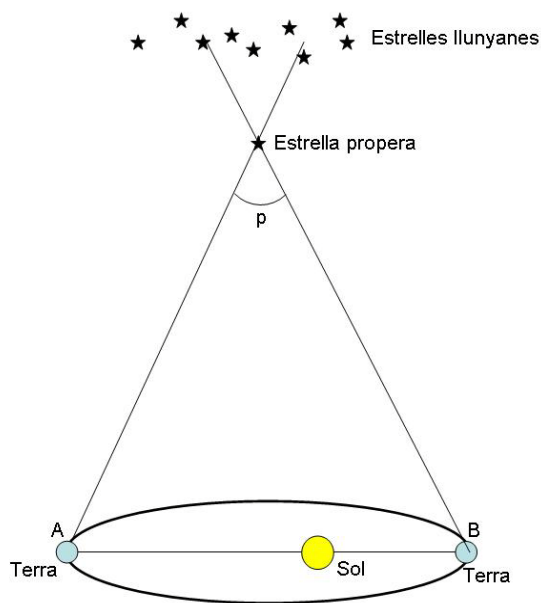


Figura 10: Paral·laxi estel·lar.

apuntar el telescopi cap al cel. Thomas Harriot havia realitzat des de Londres un mapa de la Lluna uns mesos abans (juliol 1609) i Simon Marius, des d'Alemanya va observar Júpiter i els seus satèl·lits quasi simultàniament a Galileo, tot i que sembla que Galileo es va avançar per uns dies.

A més Galileo ens va ensenyar a no creure en el principi d'autoritat. Les afirmacions s'han de demostrar, per la via de la raó o de l'experimentació, i l'autoritat de la persona que les enuncia no asseguren la seva validesa.

Com va indicar Stephen Hawking, Galileo probablement és el màxim responsable del naixement de la ciència. Albert Einstein el va anomenar "Pare de la ciència moderna".

Bibliografia

- Drake S., Kowal, C.T., 1980. "Galileo's Sighting of Neptune.", Scientific American, 243, 74
- Gingerich, O., 1982, "The Galileo's affaire.", Scientific American, 247, 132
- Kuhn T.S. "La revolución copernicana", Ed. Ariel.
- Myles Standish E., Nobili, A.M., 1997. "Galileo's Observations of Neptune.", Baltic Astronomy, 6, 97
- Pelling N., 2008, "Who invented the Telescope?", History Today, 58, 26
- Reston J. "Galileo, a life" Ed. BeardBooks
- Sobel D., "La hija de Galileo". Ed. Debate

estableix les bases de la mecànica, acabant definitivament amb la física aristotèlica. També intenta establir les bases de les resistències dels materials, però sense èxit.

El seu estat de salut va anar empitjorant paulatinament. A inicis del 1638 es quedà completament cec. Finalment morí a Arcetri el 8 de gener de 1642. Va ser enterrat a Florència.

Epíleg

La importància de Galileo no està en els seus descobriments amb el telescopi, que al cap i a la fi algú, tard o d'hora, hagués realitzat, si no en la interpretació que ell fa d'aquests descobriments i com els fa servir per recolzar la teoria de Copèrnic, utilitzant per primera vegada el mètode científic.

De fet ni tan sols va ser el primer en