

Cosmovisions antigues

Cosmologia astronòmica: Grècia



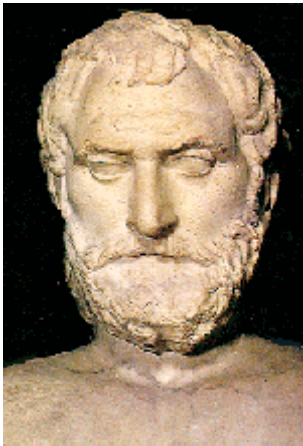
Panoràmica de Grècia

A Grècia es produeix el punt d'inflexió entre la cosmologia mitològica i la cosmologia astronòmica: basada en la observació i elaboració de lleis que permetessin explicar els fenòmens. Podem dir que la societat grega és el si de la raó. Diversos filòsofs es van preocupar d'intentar explicar tot allò que els envoltava; des de l'ètica o la política fins a les lleis de la natura i fenòmens naturals, entre ells, l'astronomia.

Dintre de l'hegemonia de l'imperi grec (entre el segle VI aC i el III dC) podem destacar diferents filòsofs o escoles filosòfiques que es van preocupar pel lloc que ocupa la Terra a l'Univers, entre d'altres qüestions:

1. *Escoles pre-aristotèliques*

Escola de Milet



Escola formada pels tres primers pensadors grecs que obre la tradició filosòfica occidental. El primer d'ells, considerat com el primer filòsof de la història, va ser **Tales**, un dels anomenats **set savis** de Grècia, i la tradició que va crear va ser prosseguida pel seu deixeble **Anaximandre** i pel deixeble d'aquest últim, **Anaxímenes**.

Aquests filòsofs **presocràtics** del segle VI a.C. van desenvolupar les seves investigacions filosòfiques i científiques a la ciutat de Milet, una colònia grega pròspera i important a la regió de Jònia, en les costes d'Àsia Menor, per això també són coneguts com els *milesis*. En conjunt, la seva obra és la que marca definitivament l'anomenat **pas del mite al logos** i inicia la tradició de la ciència i la filosofia occidentals. Els pensadors d'aquesta escola van desenvolupar les seves activitats durant poc menys d'un segle, fins a la destrucció de Milet pels perses l'any 494 a.C., però la seva influència va ser enorme.

Cadascun d'aquests tres pensadors van concebre el principi de les coses d'una manera distinta. Així, segons Tales era l'aigua, ja que es manifesta fàcilment en els tres estats d'agregació de la matèria: com a líquid, com a sòlid i com a vapor i, a més a més, a cadascun d'aquests tres estats li corresponen propietats qualitatives distintes (més lleuger el gas, més pesada l'aigua, més fred el glaç, més calent el vapor...etc.). D'altra banda, aquesta concepció de l'aigua com a principi l'unia a tradicions anteriors, encara que en el pensament de Tales ja es desvinculen dels aspectes mítics i antropomòrfics. Anaximandre, en canvi, pensava que el principi de

les coses era el **àpeiron**, és a dir, allò il·limitat, ja que segons ell cap substància actualment visible podia ser el **principi** d'allò existent, ja que tot quant existeix és ja fruit d'un previ procés de transformació. Anaxímenes, sintetitzant en part les tesis dels seus dos predecessors, va sustentar que l'*arkhé* és l'aire, perquè -segons ell- compleix amb la condició de ser il·limitat com l'àpeiron d'Anaximandre, però és una entitat de la qual en podem tenir constància, com l'aigua de Tales. El més destacable de la posició d'Anaxímenes va ser la seva tesi de la reducció dels aspectes qualitius a diferències quantitatives: tot quant existeix es pot explicar apel·lant a la llei de la condensació o rarefacció de l'aire.

Escola Pitagòrica

Al segle V aC, a la colònia grega del sud d'Itàlia (Magna Grècia), **Pitàgores** va fundar una associació que era alhora una escola filosòfica i una comunitat religiosa.

Les principals aportacions de l'escola pitagòrica són les següents:

- Afirmació de la forma esfèrica de la Terra.
- Descobriment del moviment dels planetes en la direcció oposada al curs normal cap a l'oest dels estels, és a dir, d'oest a est.
- Formulació d'una teoria geocèntrica¹.
- Localització dels estels fixos en l'última esfera de rotació.
- Ubicació de la lluna, el sol i els planetes entre l'espai que hi ha entre la Terra i els estels.

Els pitagòrics van ser els primers en desviar-se de la doctrina acceptada pel geocentrisme. Filolau de Crotona, deixeble de Pitàgoras, va ser el primer filòsof en atribuir moviment a la Terra, va trencar amb la tradició geocèntrica i amb el convenciment que la Terra ocupa el centre de l'Univers.

Filolau va introduir, per raons teòriques i no observacionals, que el centre de l'Univers és un foc central, al voltant del qual giren els planetes, la Terra, el sol i els estels. A més introdueix una "Antiterra" que ens protegeix dels raigs directes del foc central.

D'acord amb plantejament pitagòric, el moviment dels astres ha de ser simplificat quan la observació ens ofereix dades irregulars i desordenades. Aquest plantejament té el seu origen a la harmonia Universal, que primer es va aplicar a la música i més tard, al cosmos. Per tant, els moviments aparentment desordenats del sol o de la lluna, han de ser reduïts a moviments que adoptin la figura simètrica per excel·lència, el cercle.

Plató i el seu deixeble més avantatjat: Eudoxo de Cnido

Plató fóra uns dels filòsofs grecs més importants de la seva època (s.IV aC.). Durant els seus múltiples viatges va entrar en contacte amb les teories pitagòriques afegint-ne els pensaments propis.

Al *Timeo* (obra en la que *Plató* mostra la seva visió del cosmos), fa un breu anàlisi filosòfic comentant que "s'ha de comprendre aplicant al conjunt de coses que afecten als nostres sentits, i no només observar acumulant dades empíriques". Per tant, coneixement racional i ordre, són termes molt propers per a *Plató*. Per poder arribar a la conclusió que els astres estan ordenats, va dir que, si els moviments

¹ Poc després, una versió molt estesa de *Filolau* va establir com a centre de l'Univers un foc central que roman immòbil.

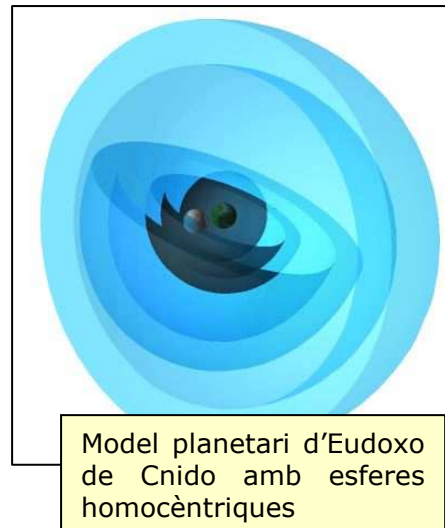
són susceptibles de ser reconeguts racionalment i l'astronomia és possible com a ciència, aleshores els moviments són ordenats.

Abans de mencionar la teoria platònica, incorpora una relació entre la geometria i l'astronomia. I la figura més capaç a no veure's alterada per certes transformacions és el cercle. Els postulats platònics són els següents:

- Tant els cossos celestes com la Terra tenen forma esfèrica.
- El cosmos té forma esfèrica i, per tant, és finit.
- L'esfera de la Terra es troba en el centre de l'esfera còsmica.
- Tots els moviments celestes són circulars.
- La velocitat angular (ω) dels cossos celestes és invariable.
- El sentit dels moviments circulars planetaris és sempre el mateix; no hi ha inversions de sentit.

A partir d'aquest moment, l'astronomia es regeix dintre d'aquests límits que marquen els postulats platònics. Es trencaran molt més tard (a finals de l'Edat Mitjana), amb les teories planetàries de Copèrnic, Kepler, Descartes i Newton.

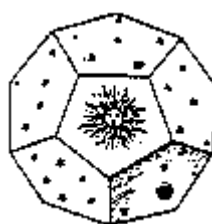
Cal esmentar Eudoxo de Cnido, el deixeble més avantatjat de l'escola platònica; va ser el primer en modificar l'Univers de les dues esferes per explicar el moviment dels planetes entre els estels fixos. Va introduir l'Univers d'esferes homocèntriques rotatòries que Calip, el seu deixeble, amplià més tard. Eudoxo va assignar a cada planeta dues esferes, totes amb un centre en comú: la Terra. Per tant, estem davant d'un model geocèntric, però que no es van preocupar perquè fos un model físicament possible, sinó que es van limitar a establir un model purament geomètric que es podia plasmar sobre paper.



TERRA



FOC



UNIVERS

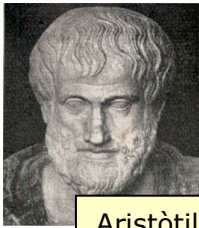


AIGUA



AIRE

Aristòtil (384-322 aC)



Aristòtil

Aristòtil va ser membre de l'acadèmia de Plató, i per tant, deixeble d'aquest durant vint anys. La idea cosmològica principal per Aristòtil era una Terra esfèrica, i aquesta hipòtesi va ser vàlida per a generacions posteriors i no només per als seus contemporanis, fins i tot en l'Edat Mitjana en què el fet de creure en una terra plana no era més que un mite.

Tot i això, Aristòtil va donar una sèrie d'arguments basats, principalment en l'observació; durant un eclipsi lunar, l'ombra projectada per la terra sobre la lluna és sempre amb forma corba. A més, comenta que quan ens desplaçem de nord a sud sobre la superfície terrestre, la posició dels estels varia.

La teoria d'Eudoxo i Calipo, tenia un total de 26 esferes que regien els moviments celestes. Però Aristòtil n'introduí 29 més, en concepte d'esferes neutralitzadores, amb la finalitat que el moviment individual d'un planeta no es transmetés als altres.

El model que crea Aristòtil per percebre l'Univers és el següent: la Terra, esfèrica, roman immòbil al centre de l'Univers. Al seu voltant hi ha vuit esferes (la Lluna, Mercuri, Venus, el Sol, Mart, Júpiter, Saturn i les estrelles fixes). Finalment, introdueix una novena última esfera, que és la morada del Déu etern.

L'Univers Aristotèlic es trobava dividit en dues parts per complet heterogènies; el món sublunar (terra), i el món suprallunar (cel). La línia divisòria es troba en l'esfera de la lluna, pertanyent la lluna al món suprallunar.

En el món sublunar, els elements es dirigeixen al seu lloc natural en línia recta, tendint a ordenant-se d'una certa manera en funció de la seva naturalesa pesada o lleugera. Per tant, l'element Terra, es situarà sempre per sota dels demés elements, i sobre aquest element, l'aigua, l'aire i el foc.

El moviment dels cossos celestes no és rectilini ascendent ni descendent, sinó circular, com ja havien establert els astrònoms anteriors. Però Aristòtil va esmentar que els planetes no estan formats per cap dels quatre elements, perquè si els cossos celestes tinguessin pes, s'aproparien a la Terra. Per salvar aquesta paradoxa, va introduir una cinquena substància: l'èter. És la substància que utilitza per referir-se a la matèria dels astres. La propietat fonamental de l'èter és que no té pes, és a dir, és imponderable. En conseqüència, el seu moviment natural no serà rectilini, ja que la causa del moviment rectilini és la gravetat.

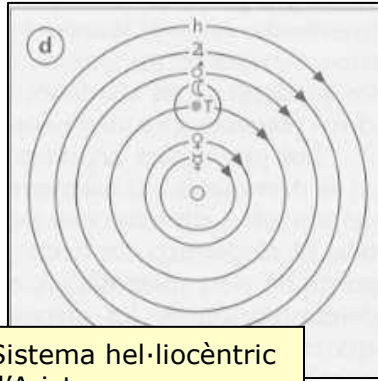


Model planetari d'Aristòtil amb la Terra al centre de l'Univers

2. Pensament hel·lenístic

Aristarc de Samos (310-230 a.C.)

També deixeble de l'escola pitagòrica, va elaborar un tractat en el qual comentava que el Sol i no la Terra és el centre del nostre món, al voltant del qual giren tots els



Sistema hel·liocèntric d'Aristarc

planetes. Aquesta idea va ser recuperada per Copèrnic disset segles després. Tot i que el tractat no ens ha arribat a nosaltres ens queda el testimoni d'Arquímedes i Plutarc.

L'únic text escrit per Aristarc que ha arribat als nostres dies, rep el títol "*de les dimensions i distàncies de la Lluna i el Sol*". En aquest llibre formula les sis hipòtesis següents:

1. La Lluna rep la seva llum del Sol.
2. La Lluna en el seu moviment descriu una esfera que en el seu centre es troba la Terra.
3. En temps de mitja Lluna, el gran cercle que divideix l'ombra de la Lluna de la seva cara il·luminada es troba en la direcció del nostre ull.
4. En temps de mitja Lluna, l'angle que forma la Lluna amb el Sol i la Terra és de 87° .
5. La grandària de l'ombra de la Terra equival a la de dues Llunes.
6. La porció de cel coberta per la Lluna en tot moment equival a $1/15$ d'un signe del zodíac.

Els postulats 4 i 6 disten de ser exactes; concretament, l'angle que forma la Lluna amb la Terra i el Sol és de $89^\circ 54'$, molt pròxim a la dada donada per Aristarc. A més, la porció d'un signe del zodíac coberta per la Lluna no correspon a $1/15$ i no se sap d'on va treure aquestes dades ni per mitjà de quina observació.

L'idea d'una Terra mòbil era coneguda des de l'antiguitat, però eren idees que no foren acceptades. Aquest aferrament a un Univers geocèntric i geostàtic, no va ocórrer pel tancament de les idees d'alguns astrònoms influents. Els defensors d'una Terra immòbil en el centre de l'Univers no eren pensadors plens de prejudicis, sinó que els fets experimentals, estaven a favor d'una Terra immòbil fins i tot en l'època de Copèrnic, tot i que molts astrònoms ja intuïen que ens trobàvem en una Terra en moviment.

Els principals pensaments d'Aristarc de Samos, són els següents:

- Va ésser un dels primers en crear una teoria heliocèntrica.
- Va començar a mesurar les distàncies i comparar grandàries per mitjà de la trigonometria.
- Va explicar els moviments de rotació i translació de la Terra.
- Va deduir que l'òrbita de la Terra està inclinada.

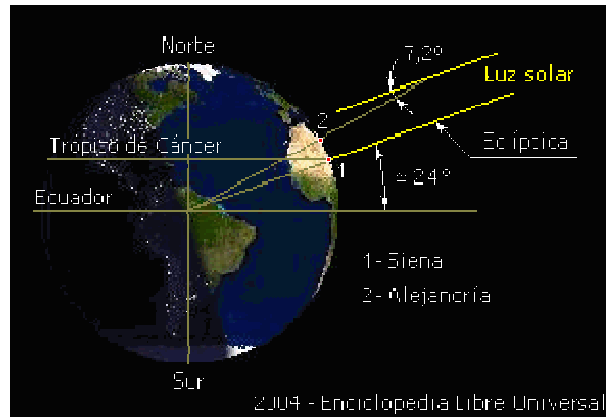
Va comprendre que el Sol era un estel més de les que podia observar en el cel.

Eratòstenes (276 – 194 a.C.)

Va néixer a Cyrene (Líbia) l'any 276 aC. Va ser astrònom, historiador, geògraf, filòsof, poeta, crític teatral i matemàtic. Estudià a Alexandria i Atenes.

Era fill d'Aglaos (segons Suides) o de Ambrosi (altres). Va tenir de mestres a Aristó de Quios, Lisànies de Cirene i Cal·límac (un filòsof, un escriptor i un poeta). Va sortir d'Atenes convidat a Egipte per Ptolemeu III Evergetes I que el va posar al front de la biblioteca d'Alexandria al voltant de l'any 255 aC (en va ser el tercer director) i on va romandre fins el regnat de Ptolemeu V Epífanes.

Eratòstenes va treballar amb problemes de matemàtiques, com la duplicació del cub i nombres primers. És famós el mètode per a llistar els nombres primers que porta el seu nom: el sedàs d'Eratòstenes. Va escriure molts llibres dels quals només es tenen notícies per referències bibliogràfiques d'altres autors.

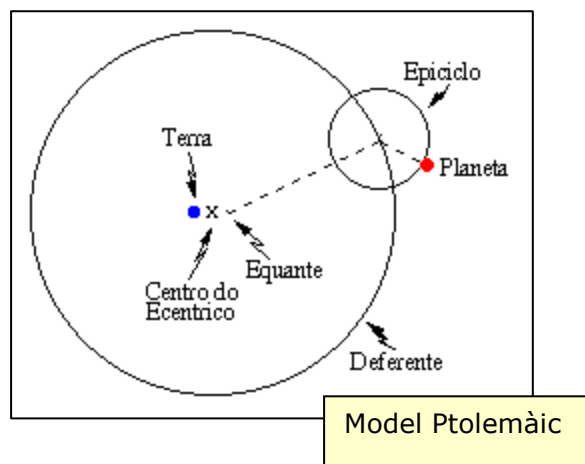


Una de les seves principals contribucions a la ciència i a l'astronomia va ser el seu treball sobre el mesurament de la terra que no va completar. Eratòstenes en els seus estudis dels papirs de la biblioteca d'Alexandria, va trobar un informe d'observacions a Siena, uns 800 Km. al sud-est d'Alexandria, on es deia que els rajos solars al caure sobre una vara al migdia del solstici d'estiu (l'actual 21 de juny) no produïa ombra.

Eratòstenes llavors va realitzar les mateixes observacions a Alexandria el mateix dia a la mateixa hora, descobrint que la llum del Sol incidia verticalment en un pou d'aigua el mateix dia a la mateixa hora. Va assumir de manera correcta que si el Sol es trobava a gran distància, els seus rajos en arribar a la terra devien arribar en forma paral·lela si aquesta era plana com es creia en aquelles èpoques i no s'haurien de trobar diferències entre les ombres projectades pels objectes a la mateixa hora del mateix dia, independentment d'on es trobessin. Malgrat això, al demostrar-se que si ho feien, (l'ombra deixada per la torre de Siena formava 7 graus amb la vertical) va deduir que la terra no era plana i utilitzant la distància coneguda entre les dues ciutats i l'angle mesurat de les ombres va calcular la circumferència de la terra en aproximadament 250 estadis (40.000 quilòmetres, bastant exacte per a l'època i els seus recursos).

Ptolomeu d'Alexandria (85-165 aC)

Ptolomeu va néixer en el s. II dC. En el seu llibre "Al-magisti" (el més gran, tot i que el nom original de l'obra era: "Gran composició Matemàtica de l'Astronomia"), recopilà la part essencial dels èxits de l'astronomia antiga i donà una explicació completa, detallada i quantitativa de tots els moviments celestes. Aquesta obra va suposar la perfecció del sistema geocèntric i geostàtic, va treure's les obres antecessores de sobre i va ésser presa com a model en l'estudi de l'astronomia fins a Copèrnic.



Els inicis de la teoria astronòmica de Ptolomeu neix dels sistemes de cercles utilitzats per Apoloni i Hiparc de Nicea entre d'altres. La teoria del Sol que va descriure Ptolomeu és molt semblant a la que va donar Hiparc de Nicea, amb una variació: Hiparc prefereix una descripció concèntrica a la Terra per tal de no desplaçar aquesta del centre, tot i que Ptolomeu es decanta en favor de l'excèntrica.

L'esquema bàsic per descriure el moviment dels planetes és la combinació de dos moviments: un epicicle i un deferent. L'epicicle és un moviment circular que fa el planeta al voltant d'un cercle, en canvi, el deferent és un moviment (també de translació) però amb centre a la Terra. Ptolomeu va introduir excentricitat al moviment de deferent, però no explica perquè uns llaços són més grans que no pas altres. Per poder resoldre aquesta anomalia, va crear un nou procediment, l'equant.

Sembla que Ptolomeu i els seus deixebles van considerar ridícules (però satisfactòries des de el punt de vista astronòmic) les hipòtesis d'Aristarc de Samos, d'Heràclides i dels pitagòrics, degut a que una Terra en moviment alteraria les bases Universalment acceptades sobre les que descansava l'edifici de la física terrestre; les lleis aristotèliques del moviment. Com a conclusió del sistema de Ptolomeu podem treure cinc raons que donen recolzament a aquest sistema:

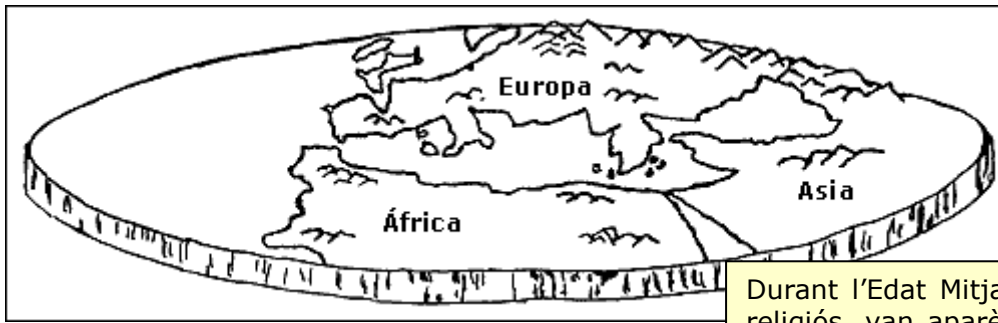
- Donava una descripció suficientment precisa d'allò que podia observar-se amb els instruments existents del seu temps.
- Predeia acceptablement les trajectòries futures dels planetes, tot i que s'haguessin de realitzar uns càlculs extremadament laboriosos; quan hi havia alguna ambigüitat es resolvia reajustant les "rodes" del seu sistema flexible.
- Proporcionava una explicació natural de perquè les estrelles fixes no mostren paral·laxi anual.
- Estava d'acord amb la filosofia i física dels grecs. Posteriorment, en ser introduït en Europa pels àrabs, el sistema va tenir un valor teològic.
- Aparentment, aquest model té un sentit comú; realment dóna la sensació que el sol i les estrelles girin al voltant del nostre planeta, la Terra.

3. Transició del Món Antic al Renaixement

Diversos factors i influències van fer que es produís un canvi de mentalitat a l'Edat Mitjana. Pràcticament, l'última aportació del món antic és la de Ptolomeu d'Alexandria (i els seus deixebles), model que va resultar bastant perfecte per l'època. Però el fet de declarar el cristianisme religió oficial de l'Imperi Romà no va millorar les coses; en l'any 395 d.C. , mor l'emperador romà Teodosi, i es produeix una fragmentació de l'imperi que queda dividit en l'imperi d'Orient (on es troba Grècia i Egipte entre altres ciutats) governat per Arcadi, i el d'Occident governat per Honori.

Entre els segles V i X la ciència va fer marxa enrere a Europa, arribant en aquest període al seu nivell més baix des que es va originar a Grècia. Els únics coneixements astronòmics que destacaven poden reduir-se als treballs de San Isidoro de Sevilla (560-636). Va afirmar que l'astronomia és la disciplina que "estudia les lleis dels astres". Les aportacions d'aquesta religió són les següents:

- Tracta de manera descriptiva i no tècnica la forma del món, l'esfera celest, els planetes i els seus moviments.
- Va distingir entre l'astronomia i l'astrologia; la primera era la ciència i la segona una superstició.
- Creu que el component principal del què està fet el sol és el foc, i també diu que n'és de dimensions majors que la Terra i la lluna.
- Diu que la lluna rep llum directa del sol, eclipsant-se quan entra en l'ombra projectada per el nostre planeta.



Durant l'Edat Mitjana, per interès religiós, van aparèixer models on hi ha una Terra plana.

4. El Renaixement i el pensament modern

Nicolau Copèrnic (1473-1543)

Nicolau Copèrnic, va néixer el 19 de febrer de 1473 a la ciutat polaca de Thorn (Toru en l'actualitat). Podem situar a Copèrnic en plena època de transició entre l'Edat Mitjana i el Renaixement. Als 10 anys d'edat va quedar orfe de pare i va ser acollit per la seva mare i un germà d'aquesta: Lucas Watzelrode. La idea del seu oncle era que Nicolau, seguís les seves passes i fos canonge; el seu oncle era conscient que si seguia la carrera eclesiàstica tindria el recolzament de l'església de Roma i tindria ingressos suficients assegurats al llarg de la seva vida. Les seves dues obres més importants són el *Comentariolus* i *De Revolutionibus*.



Retrat de Copèrnic

Nicolau Copèrnic va propiciar un canvi en la concepció de l'Univers:

- Va establir un sistema heliocèntric, on la Terra i la resta de planetes giren al voltant del Sol.
- Va descriure el triple moviment terrestre: rotació, translació i declinació.
- Va afirmar l'esfericitat de la Terra, així com la dels cossos celestes.
- Es defensa del paral·laxi estel·lar augmentant descomunalment les dimensions de l'Univers.
- Elimina l'equant (ja que trencava amb un principi universalment acceptat; el moviment circular uniforme instaurat per Platò.)

L'astronomia copernicana suposava un trencament amb la ptolemàica, la qual era la que s'ensenyava en les universitats de l'època. Però amb el trencament de les idees de Ptolomeu va recuperar el pensament d'Aristarc de Samos.

L'obra magna de Nicolau, *De revolutionibus*, va ser publicada un cop ell ja havia mort; no la va publicar per por a que les seves idees no fossin acceptades, ni tan sols per la gent del seu entorn. A partir d'aquest moment neix una nova vessant en l'astronomia de l'època, i amb l'impacte que va causar comença l'anomenada revolució copernicana. La visió copernicana ofería una manera més senzilla de concebre l'Univers (Copèrnic utilitza aproximadament 34 cercles concèntrics i Ptolomeu uns 80), però per diversos motius no es va acabar d'imposar:

- L'església va donar suport al model ptolemaic, ja que en diversos paratges bíblics s'afirma que la Terra és el centre de l'Univers.
- Per a la gent amb pocs coneixements d'astronomia, els és més fàcil afirmar que tot gira al voltant nostre.
- El model copernicà no millorava les prediccions que es feien amb el de Ptolomeu.

Històricament s'ha considerat que l'església (i els eclesiàstics) han estat en contra del coneixement científic per diversos motius (polítics, econòmics...), però en aquest cas Copèrnic, canonge de la catedral de Frombork, és qui comença la revolució del cosmològica

THYCO BRAHE (1546-1601)



Quadre de Tycho

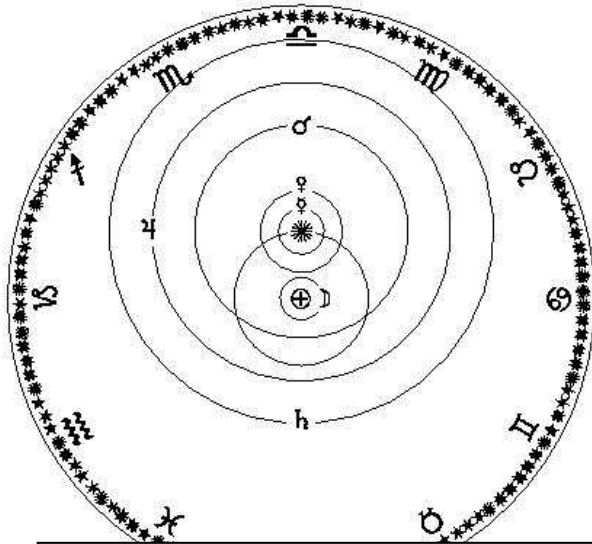
Va néixer el 14 de desembre del 1546, a la ciutat danesa de Skane (en l'actualitat pertany a Suïssa). Per conveni del seu pare, va ser criat per el seu oncle, Jorhen Brahe, tots pertanyents a l'alta noblesa danesa. Als tretze anys va ingressar a la Universitat de Copenhagen on va estudiar Dret i Filosofia, i posteriorment s'orienta a les Matemàtiques i l'Astronomia.

La principal aportació de Tycho Brahe la trobem en el camp de l'observació: va realitzar un catàleg estel·lar amb 777 observacions i amb errors entre 1' i 2' d'arc, unes dades immillorables si tenim en compte que les va fer a ull nu. Copèrnic en les seves observacions admetia un marge d'error de 10' d'arc.

No accepta ni les idees de Copèrnic ni les de Ptolomeu. El rebuig a Copèrnic es deu a què creu que augmenta les dimensions de l'Univers de manera exagerada només per poder garantir el paral·laxi estel·lar i el moviment terrestre. Pel que fa l'obra de Ptolomeu, la considera "confusa i poc elegant". En conseqüència va crear un model propi a partir de les seves observacions amb les següents característiques:

- És un sistema geocèntric on la Terra és el centre de l'Univers.
- Els planetes inferiors (Mercuri i Venus) giren al voltant del Sol. Aquest conjunt de planetes giren al voltant de la Terra juntament amb la Lluna. Mart, Júpiter i Saturn giren al voltant del Sol.

Aquest model d'Univers va ser acceptat pels astrònoms de l'època que encara creien que la Terra romanía immòbil al centre de l'Univers. Una de les aportacions més coneguda de Brahe és la visualització d'una supernova (tot i que ell la va anomenar *nova*).

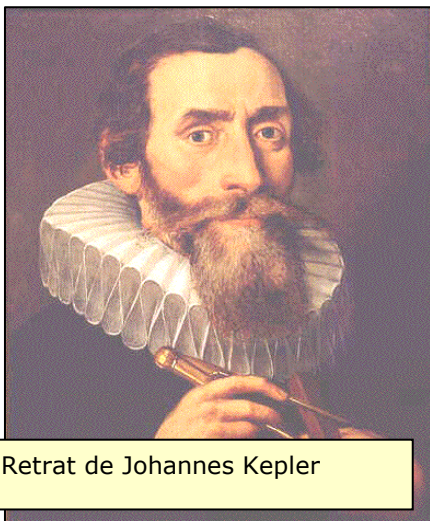


Esquema on Thyco mostra el resultat del seu model de l'Univers amb el Sol girant al voltant de la Terra

La idea de posar la Terra immòbil en el centre de l'Univers ve donada a que Brahe té en ment la descripció d'un cosmos finit, esfèric i tancat. Com la Terra no fa el moviment de rotació descrit anteriorment per Copèrnic, és l'esfera de les estrelles la qual es desplaça diàriament cap a l'oest. El Sol i la Lluna fan un moviment anual i mensual al voltant de la Terra; en canvi els planetes ho fan al voltant del Sol.

Els moviments explicats anteriorment, permeten contrastar de manera satisfactòria les aparences celestes, postulant un número menor d'epicles que el sistema de Ptolomeu.

JOHANNES KEPLER (1571-1630)



Retrat de Johannes Kepler

Johannes Kepler va néixer el 28 de desembre de 1571 a la localitat Alemanya de Wei-der-Stadt, una petita ciutat pertanyent al ducat de Wüttemberg, en el si d'una família d'escassos recursos econòmics. Van ser sis germans, dels quals només tres van arribar a adults i un quart patia epilèpsia. Descriu a la seva mare, com petita i prima, sempre de mal humor i incapaç de suportar la poca humanitat del seu pare; d'aquest arriba a dir que té certes inclinacions criminals.

L'aportació de Kepler a l'astronomia va ser molt important; si Copèrnic va causar una revolució, no va ser menys l'impacte de l'astronomia kepleriana. La seva astronomia la va basar en el model copernicà i en les observacions de Thyco Brahe.

En la seva primera obra, el *Secret de l'Univers*, va idear un model planetari pensant en els cinc políedres regulars. El Sol era al centre de les revolucions planetàries. Aquest primer model el va abandonar ràpidament, ja que no quadrava amb les observacions.

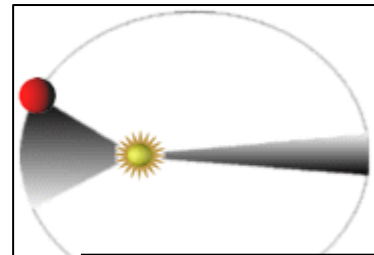
Més tard va publicar les tres lleis del moviment planetari, que va culminar amb el seu model d'Univers. Aquestes lleis (acceptades fins el dia d'avui) suposen el punt culminant de l'astronomia kepleriana. Les lleis del moviment són les següents:

1. Els planetes descriuen una òrbita el·líptica durant el seu moviment, i el Sol és un dels focus de l'el·lipse.

2. La línia que uneix el Sol amb el planeta descriu àrees iguals en temps iguals (trencament amb el principi platònic del moviment circular uniforme).
3. El quadrat del període de l'òrbita recorreguda al voltant del Sol, és proporcional al cub del radi que separa el planeta del Sol.

Amb la formulació de les lleis dels moviments planetaris, es podien predir sense gaires complicacions les òrbites planetàries.

La principal influència de Kepler va ser Copèrnic. Des que va estudiar el seu model va quedar meravellat, i la seva astronomia parteix pràcticament des d'on la va deixar Copèrnic.

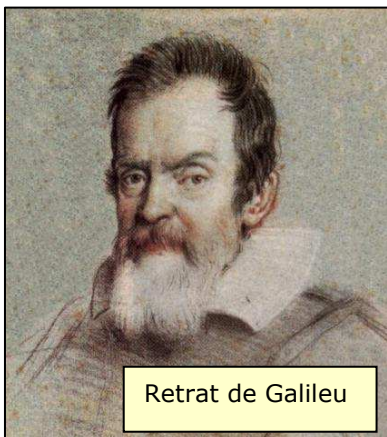


Gràfic de la segona llei de Kepler

Quan va escriure el seu primer llibre, va contactar amb Brahe i amb Galileu. Primer li va contestar Galileu, però poc després li va contestar Brahe, i aquest contacte si que va ser important per a Kepler, fins el punt que va ser el seu ajudant. Del seu mestre va heretar un fabulós catàleg estel·lar (a part de la titulació de matemàtic Imperial), tot i que va haver de prometre a Brahe que només empraria les observacions per prosseguir amb el model tychònic, però Kepler es va adonar aviat que no tenia sentit.

Pel que fa al contacte amb Galileu es va quedar en una petita anècdota, ja que un cop Galileu li contestà el primer cop, va trigar molt de temps en donar-li la seva opinió sobre el llibre. Però a arrel de què Kepler va trencar amb el moviment circular uniforme, es va crear mútuament un sentiment de rebuig.

Galileu Galilei (1564-1642)



Retrat de Galileu

Galileu va néixer només set anys abans que Kepler, l'any 1564, a la ciutat de Pisa (en aquell temps pertanyent a la república italiana de Florència). Va ser fill primogènit, tot i que va tenir sis germans petits. A l'edat dels disset anys va ingressar a la Universitat de Pisa per estudiar medicina, complint així, els desitjos paterns. Però mai va acabar la seva titulació en aquesta matèria a causa de l'escàs interès que li provocava; la seva autèntica vocació eren les matemàtiques, disciplina que practicava en privat i sota el desconeixement del seu pare.

Va ser molt conegut pels tradicionals enfrontaments amb l'església. Defensa un model heliocèntric, concretament copernicà. Però no crea cap model d'Univers, ja que accepta totalment l'astronomia copernicana.

L'astronomia de Galileu es centra més en intentar demostrar el moviment de la Terra i el trencament de les idees de la física Aristotèlica, ja que s'havien recuperat amb el renaixement a Itàlia. Podem destacar les següents aportacions:

- Va descobrir que la Lluna no es un cos immutable i perfecte mitjançant observacions telescòpiques.
- Va observar quatre satèl·lits de Júpiter entre altres observacions planetàries, i també va poder veure estrelles mai vistes, ja que va ser el primer en utilitzar el telescopi per a observacions telescòpiques.

- Va intentar donar una explicació al moviment de La Terra al voltant del Sol mitjançant les mareas (tot i que no tenen res a veure).
- Va instaurar les noves lleis de la mecànica, dient que la força amb la que la Terra atrau els cossos roman constant. Aquesta concepció trencava amb els principis aristotèlics.

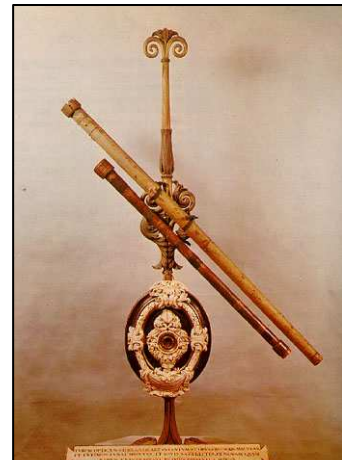
Galileu mai va acceptar les idees de Kepler, ni sembla que contactés amb Brahe durant la seva vida. Però amb la renovació de les noves lleis de la física, va deixar a Newton en una posició immillorable.

També va patir una greu persecució per part de l'església. Aquest fet va arribar fins al punt que va quedar pràcticament empresonat a casa seva.

En aquella època el telescopi era considerat, no més que una simple curiositat. Galileu va indicar als venecians el mode d'emprar-lo per localitzar flotes i observar els moviments de tropes enemigues amb tota seguretat des d'un turó distant. Però aviat va comprendre que enfocant la seva joia cap el cel, era molt el que quedava per descobrir del Univers.

La cosmologia d'Aristòtil consistia en una sèrie de esferes llises sobreposades perfectament: el Sol, la Lluna i els planetes. Ansiós per conèixer la veritat, Galileu va posar en judici aquest concepte. El primer cos sotmès a examen va ser la Lluna.

Va observar aquest cos nit rere nit, seguint-la en les seves fases. Una de les primeres conclusions que va poder treure del seu estudi, va ser referent al contorn a la lluna. En estudiar aquest astre poc després de la Lluna nova, va adonar-se'n que la línia que separava la regió obscura amb la regió brillant no era una corba perfecta i uniforme, sinó una línia irregular. Això indicava que la Lluna té valls i muntanyes.



Telescopi des del què Galileu va observar

Els descobriments de Galileu no es limiten pas a l'observació de la Lluna. En investigar el cel nocturn, es va adonar d'una gran quantitat d'estrelles que mai ningú havia pogut veure. Tot seguit va enfocar el seu telescopi cap a Júpiter (el 7 de gener de 1610). Primer de tot va poder veure tres petites i brillants estrelles properes al planeta. També va poder observar que es trobaven en línia recta, com si l'eix passara per Júpiter.

Als quatre satèl·lits li va donar els noms de quatre membres de la família dels Medicis: els germans Cosme II, Francesc, Carles i Llorenç.

Galileu va continuar explorant el cel, i a l'estiu de 1610 va observar Saturn. Aquest planeta li va guardar una sorpresa: els anells. Tot i que no va fer una interpretació correcta d'aquest fenomen, no cal restar mèrits al nou descobriment.

Galileu va destruir una altra creença tradicional, que els planetes es consideraven amb llum pròpia com el Sol.

Galileu es va plantejar el problema de la manera de demostrar el moviment de la Terra. Volia intentar d'afirmar la seva veritat o falsedat amb la independència de tot

discurs religiós, i si fos falta, revisar les interpretacions d'alguns paratges bíblics (on s'afirma que la Terra és el centre de l'Univers).

Però si Galileu no trobava cap prova concloent en favor del moviment terrestre, aleshores el compromís que havia adoptat Galileu era afirmar i acceptar la prioritat de la religió per sobre de la ciència.

Les noves dades astronòmiques obtingudes per Galileu amb el seu telescopi no proporcionaven la classe de prova que necessitava. Segons va presentar, eren proves que recolzaven el sistema copernicà, però no el moviment de la Terra en concret. Tampoc la constatació empírica de les fases de Venus va permetre demostrar el moviment terrestre, ja que les fases no permeten decidir entre el sistema copernicà o el tychònic. A més, la nova de 1604 no constituïa una prova evident del sistema copernicà, tot i que debilitava el ptolemaic i l'aristotèlic.

Però es dona la paradoxa de què la gran contribució de Galileu consisteix precisament en haver posat de manifest *que cap tipus d'experiment sobre la superfície terrestre permet decidir al seus habitants el seu estat de moviment i de repós*.

Issac Newton (1642-1727)



Isaac Newton va néixer de manera prematura el dia de Nadal (24 de desembre) de 1642, en una casa familiar de Woolsthorpe, a Lincolnshire. Curiosament, aquest mateix dia a Europa, era el 4 de gener, ja que a Anglaterra no s'havia adaptat al calendari gregorià.

El pare de Newton provenia d'una família pagesa, que poc a poc van anar comprant terres. Va morir tres mesos abans del naixement d'Isaac. La seva mare Hannah es va convertir en la seva principal referència tot i que el jove Isaac va rebre un dur cop quan es va casar amb Barnabas, un pàrroc anglicà de seixanta-quatre anys.



Newton va obrir les portes del

Les aportacions que Newton va realitzar en molts camps (de la física o les matemàtiques fins a la filosofia), van ser reconegudes per els seus contemporanis com una autèntica revolució. L'extraordinari paper de Newton, va quedar gravat en diferents camps, dels quals els principals són els següents:

- Matemàtica pura i aplicada (va introduir el càlcul infinitesimal), honor que comparteix amb Leibniz.
- Òptica, teoria del color i la llum.
- Disseny d'instruments científics.

- Dinàmica i formulació dels conceptes bàsics d'aquesta.
- Llei de la Gravitació Universal i la elaboració d'un nou sistema sobre aquesta base.
- Formulació de la teoria gravitacional de les mareas.
- Formulació de la nova metodologia de la ciència, el què es coneix com el mètode hipoteticodeductiu.
- Estudis sobre el calor, la química i teoria de la matèria.
- Interpretacions de les Sagrades Escripures.

Isaac Newton, va posar fi a la revolució copernicana. Però la fi d'aquest procés només suposava l'inici d'una nova era per a la ciència i per a l'astronomia.

L'obra de Newton, pot ser considerada genial. Però no podem entendre Newton si no és a partir del treball fet per Copèrnic, Brahe, Galileu, Kepler i fins i tot Robert Hooke.

Newton està dins d'una tradició que prové ja de l'Antiguitat clàssica que considera l'Univers com un tot ordenat: l'Univers és un Cosmos. Com a tot ordenat, l'univers es regeix per unes lleis que poden formular-se en equacions matemàtiques que permeten obtenir quantificacions exactes.

Partint d'aquesta concepció, entre 1685 i 1687, Newton redacta *De Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, tractat físico-matemàtic on s'exposava un model de l'univers -fruit d'una síntesi d'aportacions com les de Copèrnic, Gal·lileu, Descartes, Kepler, Gilbert, Borelli, Boyle, Huygens o Hooke (5)- demostrat a partir d'un nou sistema matemàtic.

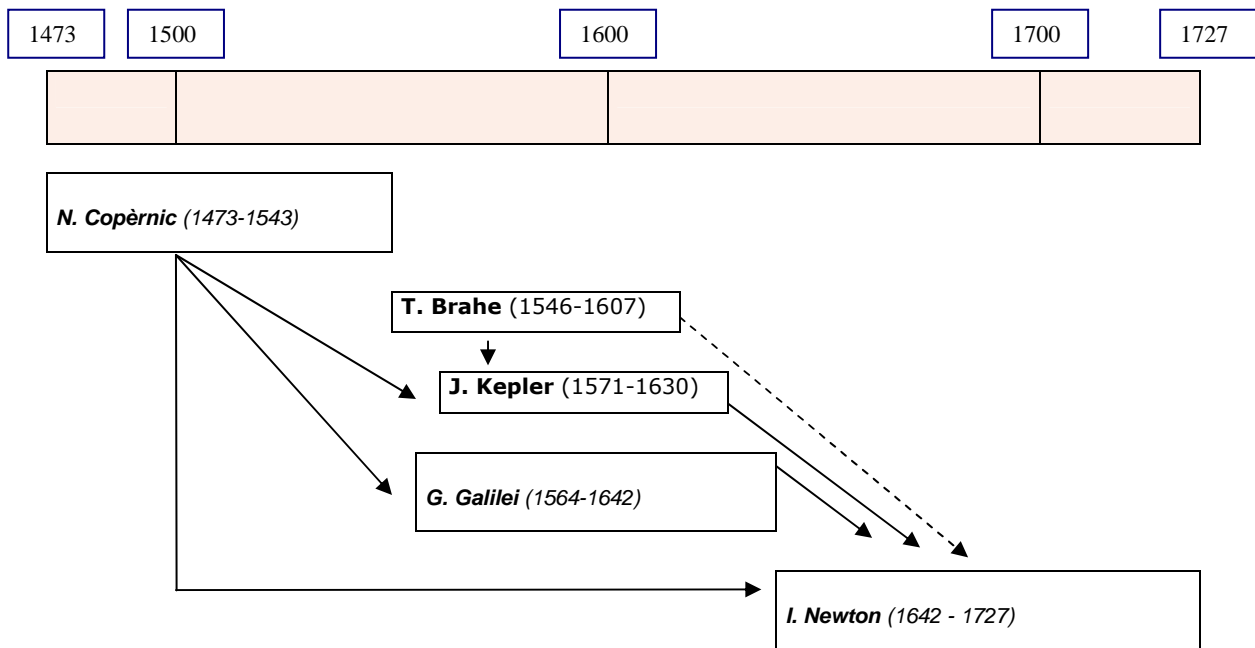
Va establir un sistema heliocèntric amb un cosmos mecanicista. A més va donar sentit ple a l'Univers amb la Llei de Gravitació Universal (la força és inversament proporcional al quadrat de la distància entre dues masses i proporcional a les masses).

Newton és considerat un dels científics més grans de la història, i va aconseguir arribar a la Gravitació Universal gràcies al càlcul infinitesimal (descobert per ell mateix).

Era cristià practicant, i va fer estudis i diverses interpretacions de la Bíblia (coneixia l'hebreu). És curiós que als nostres dies, ens ha arribat el geocentrisme com una de les majors defenses i preocupacions de l'església en aquella època. Però la revolució copernicana, va ser començada i finada, per dos cristians practicants, molt compromesos: Copèrnic i Newton.

Eix cronològic

Una revolució es un procés, i en aquest cas, la revolució del cosmos del s. XVI – XVII va ser un procés començat per Nicolau Copèrnic i finalitzat per l'il·lustre científic anglès Isaac Newton. En el següent eix cronològic podem observar el període de vida dels principals artífexs del canvi de la concepció de l'Univers.



No podem nomenar altres astrònoms destacables en els inicis de la revolució (el llibre de Copèrnic es va publicar quan ell havia mort) ni en el final (a excepció de Robert Hooke, qui va servir de gran ajut per Newton). Però Brahe, Kepler i Galileu van viure en la mateixa època, i van ser els encarregats de deixar a Newton una visió immillorable per deduir la Llei de la gravitació Universal.