

# El naixement de l'astronomia moderna

La millora dels telescopis i l'aparició de la fotografia i l'espectroscòpia durant el segle XIX va permetre per primera vegada l'estudi dels processos físics que es donen a l'Univers. D'aquesta manera, ja al segle XX, es va poder establir l'origen de l'energia emesa per les estrelles o elaborar una teoria que intentava explicar l'Univers en la seva totalitat. Era el naixement de l'astronomia tal i com la coneixem avui en dia.

*Les trobem més petites i més febles, cada vegada en un nombre major, i sabem que estem furgant a l'espai, més i més lluny, fins que, amb la nebulosa més feble que pugui ser detectada amb el més gran dels telescopis, haurem arribat a la frontera de l'univers conegut.*

E.P. Hubble, 1934



Telescopi Hooker de 2,56 m. Mt. Wilson (EE.UU.)

## Noves tècniques instrumentals

**Telescopis:** la invenció del doblet acromàtic (1733) va permetre la construcció de grans telescopis refractors. Per la seva banda, els telescopis reflectors van millorar gràcies al recobriments de plata dels miralls (1857), que augmentava la reflectància.



Telescopi de 120 cm de W. Herschel, 1789.

**Fotografia:** al 1840 J.W. Draper fotografà la Lluna. Quatre dècades després el seu fill H. Draper fotografà la Nebulosa d'Orió, la primera fotografia de cel profund.

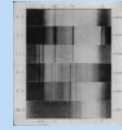


Fotografia de la Lluna. J.W. Draper, 1840.



Nebulosa d'Orió. H. Draper, 1880.

**Espectroscòpia:** amb aquesta tècnica és possible determinar la composició química dels estels. Fraunhofer i Secchi van ser els primers en estudiar amb detall l'espectre del Sol.



Espectres estel·lars. Harvard College Observatory.

**Fotometria:** la introducció de la fotografia va permetre també una mesura més precisa de la brillantor dels astres.



Atlas zu Die Photographie der Gaestirne. J. Scheiner, 1897. Mapa on es mostren les magnituds dels estels.



## El catàleg d'Ulugh Beg

Els catàlegs i atlas estel·lars s'havien confeccionat des de l'antiguitat. El Zij-i-Sultani conté diverses taules astronòmiques i un catàleg estel·lar amb 992 estrelles publicat el 1437 per Ulugh Beg. Es considera el catàleg més complet entre el de Ptolomeu i el de Tycho Brahe.

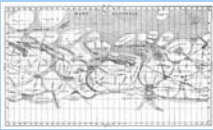
## La Carte du Ciel

L'any 1887 s'engega un projecte internacional per realitzar un atlas fotogràfic del cel, en el qual participen prop de vint observatoris de tot el món, entre ells l'Observatorio de la Armada a San Fernando, Cádiz.

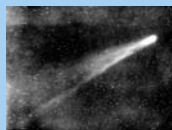


## El sistema solar

Amb la millora dels telescopis, l'observació dels planetes i d'altres cossos del sistema solar es converteix en un dels gran atractius de l'astronomia. P. Lowell creu descobrir canals a la superfície de Mart i la comunitat científica inicia un debat sobre les condicions de la seva habitabilitat.



Mapa de Mart. P. Lowell, 1906



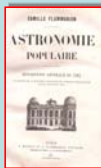
El cometa Halley. Yerkes Observatory, 1910



La utilització de les noves tècniques de la mecànica celest permet també establir una acurada teoria del moviment de la Lluna i els planetes.

## L'Astronomie Populaire de Camille Flammarion

Es tracta del llibre de divulgació de l'astronomia més important de l'època, on es fa un recull de tot el coneixement astronòmic. Editat per primera vegada al 1880, se'n van vendre més de 100.000 exemplars.



## L'expansió de l'Univers

Les observacions efectuades per Hubble l'any 1929 sobre la velocitat a la que es mouen les galàxies respecte a nosaltres van posar de manifest que l'Univers es trobava en expansió. La teoria de la relativitat general d'Einstein, publicada el 1915, contemplava la possibilitat d'un Univers en expansió.

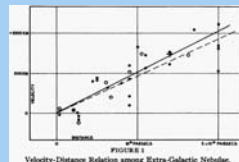


Figura original on es mostra la *Llei de Hubble*. E. P. Hubble, 1929.



## El Gran Debat

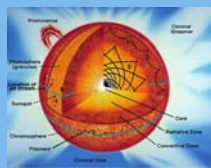
A començaments del segle XX es va desenvolupar l'anomenat "Gran Debat" sobre l'escala de l'Univers i la natura de les nebuloses espirals, descobertes més d'un segle abans per W. Parsons. Els dos contendents van ser Shapley, qui creia que la Via Làctica constituïa tot l'Univers i les nebuloses espirals com Andròmeda es trobaven dins seu; i Curtis, qui argumentava que Andròmeda i les altres nebuloses espirals eren de la mateixa natura.



Dibuix de la galàxia M51. W. Parsons, 1845.

## L'estructura de les estrelles

Durant la primera meitat del segle XX es van establir els models que expliquen la formació i evolució de les estrelles. Cal destacar els treballs d'Eddington i Chandrasekhar sobre estructura estel·lar.



Esquema de l'estructura del Sol.

## El diagrama Hertzsprung-Russell

Construït per primera vegada a començaments del segle XX, ha esdevingut una de les eines més poderoses de l'astrofísica, ja que permet mostrar i comprovar les idees sobre evolució i estructura estel·lar. Cada punt del diagrama representa una massa, composició química i edat determinats.

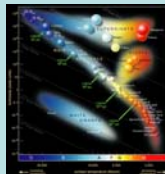


Diagrama H-R

## El descobriment de nous objectes

Durant el segle XX es van descobrir nous tipus d'objectes a l'Univers. Mentre que alguns d'ells s'havien predit prèviament de forma teòrica, com els estels de neutrons o els forats negres, d'altres descobriments van ser del tot inesperats, com el dels quàsars.

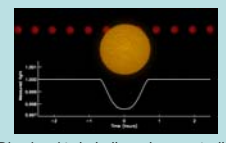


Model de pulsar, un tipus d'objecte descobert el 1967.




## Exoplanetes

El 1995 es va detectar el primer planeta fora del Sistema Solar. Des d'aleshores s'han trobat quasi 400 exoplanetes. Per detectar-los es fan servir tècniques indirectes, com la de mesurar l'enfosquiment en la llum de l'estrella en passar el planeta pel seu davant (trànsit planetari).



Disminució de la llum d'una estrella provocat per un trànsit planetari.

# 1609 - 2009: una nova manera de mirar el cel



L'any 1609, fa exactament 400 anys, Galileu Galilei va dirigir per primera vegada el seu telescopi cap al cel, revolucionant completament el nostre concepte d'Univers i del lloc que hi ocupem. Amb motiu d'aquest aniversari la UNESCO ha declarat l'any 2009 Any Internacional de l'Astronomia.

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



Galileu Galilei, Il Saggiatore, 1623

## Aristòtil



Tot i ser un dels més importants filòsofs de l'antiguitat, gran part de les idees d'Aristòtil (384-322 ac) sobre física i astronomia ja no són vigents. A més d'instituir el sistema geocèntric, adoptat posteriorment per Ptolemeu, considerava que els cossos celestes (*món supralunar*) eren esferes perfectes, immutables i que els seus moviments eren circulars. El seu pensament va perdurar fins la revolució copernicana.

## De Revolutionibus: la teoria heliocèntrica de Copèrnic



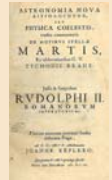
El model geocèntric de Ptolemeu no era capaç de descriure les observacions de les posicions dels planetes amb prou precisió. Amb la intenció de solucionar aquest problema Nicolau Copèrnic proposa la idea que és el Sol i no la Terra qui es troba immòbil al centre de l'Univers. L'any 1543, el mateix de la seva mort, es publica el seu llibre *De Revolutionibus Orbium Coelestium* (Sobre la revolució de les esferes celestes), on exposa aquesta teoria heliocèntrica.

## L'Almagest de Ptolemeu: l'astronomia fins al segle XVI



Els coneixements astronòmics fins a mitjan segle XVI eren bàsicament els recollits a *L'Almagest*, obra de Ptolemeu del segle II dc basada en les idees d'Aristòtil. Segons Ptolemeu, l'Univers estava format per la Terra, immòbil al centre, i orbitant al seu voltant el Sol, la Lluna i els 5 planetes coneguts a l'època: Mercuri, Venus, Mart, Júpiter i Saturn.

## L'Astronomia Nova de Kepler: les lleis del moviment planetari



Publicat el 1609, el mateix any que Galileu dirigia el seu telescopi cap el cel, conté les dues primeres lleis sobre el moviment dels planetes:

- 1) Els planetes descriuen òrbites el·líptiques amb el Sol en un dels focus.
- 2) La velocitat d'un planeta a la seva òrbita és tal que en temps iguals la línia que l'uneix amb el Sol escombra àrees iguals.

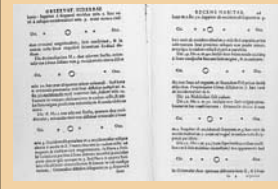
Amb aquestes dues lleis Kepler aconsegueix explicar de manera precisa les observacions de les posicions de Mart fetes per Tycho. Per primera vegada s'abandona el moviment circular i uniforme dels planetes.

## Les primeres observacions de Galileu amb el telescopi

### Muntanyes de la Lluna



La superfície de la Lluna no és una esfera perfecta com deia Aristòtil i com s'acceptava fins aleshores, sinó que és plena de muntanyes i cràters.



### Satèl·lits de Júpiter

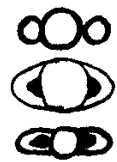
Al gener del 1610 Galileu observa Júpiter i veu 3 "estrelles" a prop seu. Les observacions en nits posteriors revelen que no són estrelles fixes i que no són tres sinó quatre. Galileu descobreix així els quatre satèl·lits més brillants de Júpiter: Io, Europa, Ganimedes i Calisto. Contràriament a les idees d'Aristòtil i Ptolemeu, Galileu demostra que no tots els cossos giren al voltant de la Terra.



### Les estrelles

Galileu 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, és formada en realitat per milers d'estrelles.

### Saturn



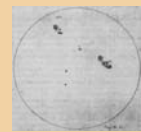
Degut a la pobra qualitat del seu telescopi no va veure els anells, sinó que identificà Saturn com un planeta triple.

### Fases de Venus



Galileu va veure que Venus presentava fases com la Lluna. Aquestes fases no es podien explicar amb el model geocèntric de Ptolemeu, però sí amb el sistema heliocèntric de Copèrnic. L'observació de les fases de Venus descarta doncs, des d'un punt de vista científic, el model ptolomaic.

### Taques solars



Galileu les observa per primera vegada l'agost del 1610, però no va fer públic el seu descobriment fins el maig de 1612, quan ja havien estat vistes per d'altres observadors. Galileu va deduir, correctament, que les taques es trobaven a la superfície del Sol.

## Els llibres de Galileu

Galileu va publicar una desena de llibres i diversos opuscles, a més de mantenir una abundant correspondència que ha arribat en part fins a nosaltres.

## El telescopi

Galileu no va inventar el telescopi, simplement va ser el primer que va dirigir-lo al cel amb esperit científic.

Hi ha referències, més o menys creïbles, de telescopis construïts a la segona meitat del segle XVI, com l'anglès Digges o l'italià della Porta el 1558. Fins i tot s'apunta a uns gironins (els germans Roget) com a constructors de telescopis a la darrera dècada del segle. A moltes fonts, però, es considera com a inventor del telescopi a l'holandès Lippershey, qui l'any 1608 fa fer una demostració pública. A partir d'aquest moment el telescopi es difon per tota Europa.

Galileu construeix el seu primer telescopi l'any 1609, a partir de les notícies que li arriben sobre aquest invent.



*Sidereus Nuncius* (El missatger sideral): publicat en llatí el 1610. En ell Galileu recopila les observacions fetes amb el telescopi durant els primers mesos d'observació.



*Dialogo dei due Massimi Sistemi del Mondo* (Diàleg sobre els dos principals sistemes del món): publicat en italià el 1632. Encarregat pel Papa Urbà VIII l'any 1623. En el Diàleg tres personatges - Sagredo, Salviati i Simplicius - discuteixen sobre les teories geocèntrica i heliocèntrica del món. Clarament favorable a la teoria de Copèrnic, va ser la causa del procés de l'Església contra Galileu. Va estar inclòs dins de l'índex de llibres prohibits per l'Església fins l'any 1757.



*Il Saggiatore* (l'Assajador): publicat en italià el 1623. En aquest llibre, a més de descriure la seva teoria sobre els cometes, Galileu exposa el seu convenciment que la Natura pot ser descrita a través de les matemàtiques.



*Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, intorno a due nuove scienze* (Discurs sobre dues noves ciències): publicat en italià el 1638. Els mateixos tres personatges del *Dialogo* discuteixen sobre les nocions d'espai i temps, les lleis del moviment i estableixen els fonaments de la Física moderna. Va ser publicat per primera vegada a Leiden (Holanda) degut a la prohibició de l'Església de Roma.