

# Sistema Solar y sistemas exoplanetaris

**Magda Stavinschi, Beatriz García, Andrea Sosa**

International Astronomical Union, Astronomical Institute of the Romanian Astronómico Academy (Romania), ITeDA and National Technological University, Argentina, Universidad de la República, Uruguay

## Resum

Sens dubte, en un Univers en el qual parlem sobre els sistemes estel·lars i solars, dels planetes i dels exoplanetes, el sistema més conegut és el Sistema Solar. Podríem pensar que tots saben el que és el Sol, quins són els planetes, que són els cometes i els asteroides. Però, ¿és això realment així? Si volem comprendre a el sistema solar des del punt de vista científic, hem de saber les regles que defineixen un sistema.

Els cossos que integren el Sistema Sola, d'acord amb resolució de la Unió Astronòmica Internacional, de 24 d'agost de 2006 són:

- planetes
- satèl·lits naturals dels planetes
- planetes nans
- altres cossos més petits: asteroides, meteorits, cometes, pols, els objectes de l'Cinturó de Kuiper, etc.

Per extensió, qualsevol altra estrella envoltada pels cossos celestes d'acord a les mateixes lleis que regeixen el nostre sistema, s'anomena sistema exoplanetario. Una de les preguntes a respondre sobre aquest tema és Quin és el lloc de l'Sistema Solar a l'Univers?, però no és l'única. En aquest capítol, intentarem presentar les característiques més importants del nostre sistema

## Objectius

- Saber quin lloc ocupa el Sol en l'Univers.
- Conèixer que objectes formen el sistema solar.
- Conèixer detalls dels diferents cossos del sistema solar, especialment dels més destacats.

## Sistema Solar

Un sistema és, per definició, un conjunt d'elements (principis, normes, forces, etc), que interactuen entre si d'acord amb una sèrie de principis o regles.

Per definir el sistema solar indicarem, en principi, els elements del conjunt, que està integrat per una estrella, el Sol, i tots els cossos que l'envolten i que estan units a ell per la força de gravetat



Fig. 1 Sistema Solar a escala de mides

El Sistema Solar està situat en un dels braços exteriors de la nostra galàxia, també anomenada Via Làctia. Aquest braç es diu el braç d'Orió. Està situat en una regió d'una densitat estel·lar relativament petita

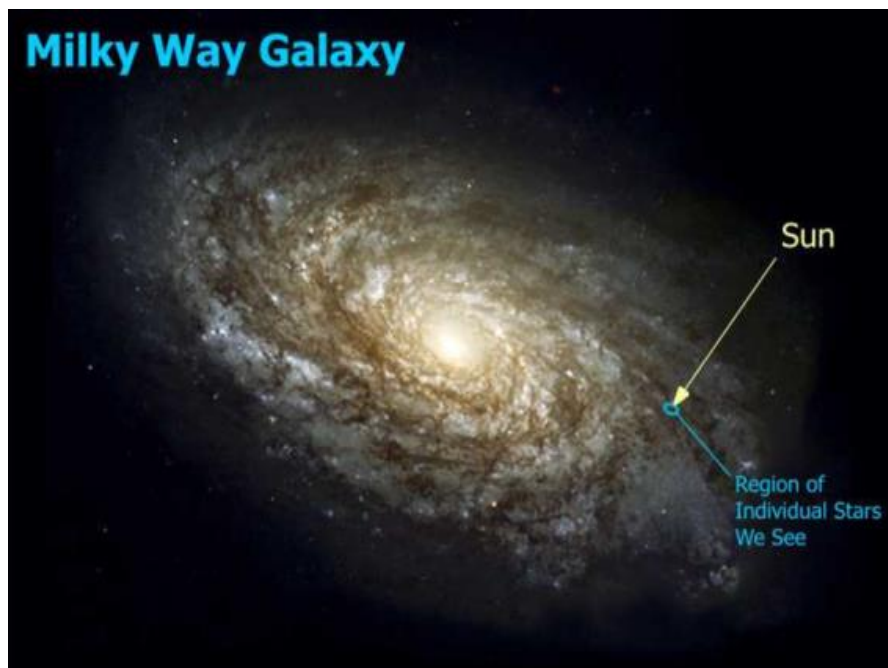


Fig. 2: Ubicació del Sol a la Galàxia (simulació).

El Sol, juntament amb tot el Sistema Solar, està en un moviment de revolució al voltant del centre de la nostra galàxia, situat a una distància d'entre 25.000 i 28.000 anys llum (aproximadament la meitat del radi de la galàxia), amb un període de revolució d'entre 225.250.000.000 d'anys (l'any galàctic del sistema solar). La velocitat a la qual es desplaça en aquesta òrbita gairebé circular és d'aproximadament 220 km / s, mentre que la direcció del moviment és cap a la posició actual de l'estrella Vega.

La nostra galàxia es compon d'aproximadament 200 milions d'estrelles, juntament amb els seus planetes, i de més de 1000 nebuloses. La massa de tot el conjunt és aproximadament 1000 mil milions de vegades més gran que la del Sol i el seu diàmetre és d'uns 100.000 anys llum.

Molt a prop del sistema solar hi ha el sistema d'Alfa Centauri (l'estrella més brillant de la constel·lació del Centaure), compost de tres estrelles, és a dir, un parell d'estrelles (Alfa Centauri A i B), similars al Sol, que giren a una distància de 0,2 anys llum al voltant d'una nana vermella, anomenada Alfa Centauri C, d'una lluminositat relativament petita. L'última és l'estrella més propera a el Sol, es troba a una distància de 4,24 anys llum; és per això que també es diu "Proxima Centauri".

La nostra galàxia és part d'un grup de galàxies anomenat Grup Local, compost de tres galàxies grans i una sèrie d'altres 30 més petites. La nostra galàxia té la forma d'espiral barrada. Els braços d'aquesta espiral que, surten dels extrems de la barra formada per una particular distribució d'estrelles, contenen, entre altres coses, matèria interestel·lar, nebuloses i estrelles joves que neixen de forma permanent d'aquesta matèria. El centre de la galàxia està compost per velles estrelles concentrades en grups de forma esfèrica. La nostra galàxia té aproximadament uns 200 grups d'aquests, dels quals només 150 són més coneguts. Aquests grups es concentren sobretot al centre galàctic. El Sistema Solar és a 20 anys llum per sobre de el pla de simetria equatorial i 28.000 anys llum de distància des del centre galàctic. El centre de la galàxia es troba en la direcció de la constel·lació de Sagitari, entre 25.000 i 28.000 anys llum de distància des del Sol.

## La formació i evolució del Sistema Solar

D'acord a la teoria estàndard, fa uns 4.600 milions d'anys el sistema solar es va formar a partir de la contracció gravitatòria d'un núvol de gas i pols interestel·lar. El col·lapse del núvol es va iniciar a partir d'una pertorbació forta (possiblement un esclat de supernova), que va fer que la força gravitatòria vencés a la pressió dels gasos. La conservació de moment angular va fer que la nebulosa girarà cada vegada més ràpid, s'anés aplanant, i donés lloc a un **protosol** en el seu centre, i a un **disc protoplanetari** de gas i pols al seu voltant. En el disc protoplanetari van anar condensant petits nuclis sòlids planetesimals), que després es van anar acumulant per un procés d'acreció fins a formar els planetes.

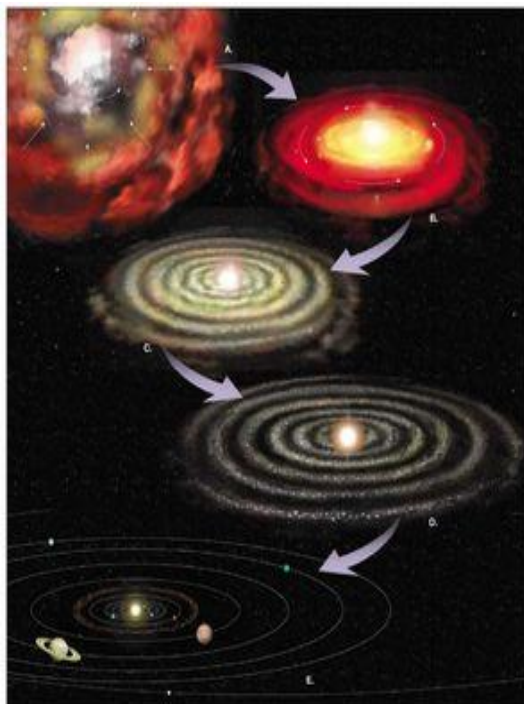


Fig. 3 Esquema de l'processos de formació del Sistema solar, segons la Teoria Standard, basada en la "hipòtesi nebular", proposada originalment per Kants i Laplace al segle XVII

La hipòtesi d'una nebulosa primitiva va ser proposada en 1755 per Emmanuel Kant i també per separat per Pierre-Simon Laplace.

La teoria estàndard (basada en la "Hipòtesi Nebular" proposta originalment per Kant i Laplace al segle XVII) explica la coplanaridad i quasi-circularitat de les òrbites i ha estat confirmada actualment per observacions de diversos sistemes planetaris al voltant d'altres estrelles.

## EL SOL

El Sol és un estel de massa intermèdia, La seva edat és d'aproximadament 4600000000 anys. En l'actualitat, el Sol ha completat prop de la meitat del seu cicle d'evolució, que està relacionada amb la transformació d'hidrogen en heli en el seu nucli, mitjançant el mecanisme de fusió nuclear. Cada segon, al nucli del Sol, més de quatre milions de tones de matèria es converteixen en matèria més pesada i energia, generant així no només heli, sinó també neutrins i radiació electromagnètica.

La major part del Sol (74%) és hidrogen, gairebé el 25% és heli, mentre que la resta són elements pesats.



Fig. 3: El Sol a infraroig

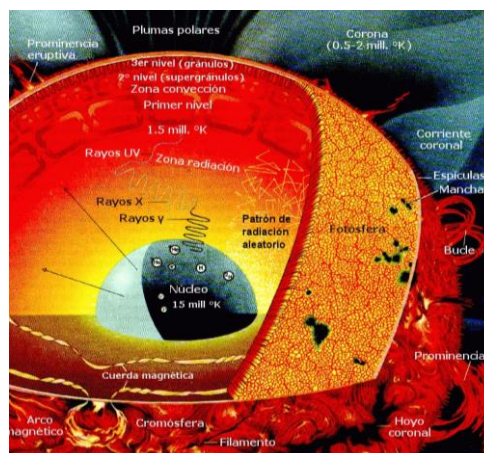


Fig. 4: Estructura interna del Sol

## El cicle de la vida del Sol

En uns 5 mil milions de anys, el Sol es convertirà en una gegant i després en una nana blanca, un període en el qual naixerà una nebulosa planetària. Es esgotarà l'hidrogen, i això donarà lloc a canvis radicals, inclosa la destrucció total de la Terra. L'activitat solar, més exactament la seva activitat magnètica, es detecta a la vista pel nombre i la dimensió de les taques en la seva superfície, així com per les erupcions solars i les variacions de vent solar, que dissipen la matèria de la composició del Sol en el Sistema Solar i fins i tot més enllà.

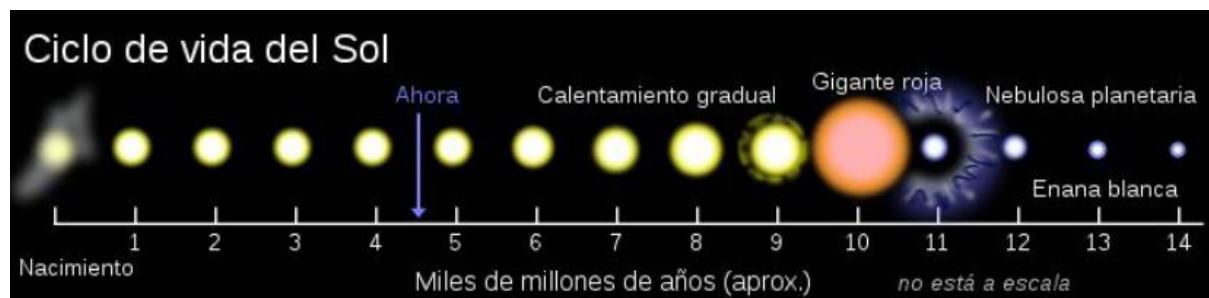


Fig. 5: Cicle de vida del Sol, des protoestrella fins nana blanca.

## Planetes

Per classificar els planetes, s'utilitza la definició que en fa la Unió Astronòmica Internacional (UAI), si 26a Assemblea General, que va tenir lloc a Praga, el 2006.

En el Sistema Solar un planeta és un cos celeste que:

1. està en òrbita al voltant del Sol,
2. té massa suficient per mantenir l'equilibri hidrostàtic (forma gairebé rodona), i ha "netejat el veïnatge" al voltant de la seva òrbita.

Un cos no-satèl·lit que compleixi només els dos primers d'aquests criteris es classifica com a "planeta nan".

Segons la UAI, els planetes i els planetes nans són dues classes diferents d'objectes. Un no-satèl·lit que compleixi només el primer criteri, es denomina un "petit cos del sistema solar" (SSSB), tal és el cas de, per exemple, els asteroides.

Els projectes inicials de re-classificació de cossos en el sistema solar van planejar incloure els planetes nans com una sub-categoria dels planetes, però com això podria haver portat a l'addició de diverses desenes de nous planetes en el Sistema, aquest projecte va ser abandonat. En 2006 se van afegir tres planetes nans (Ceres, Eris i Makemake) i la re-classificació d'un (Plutó). Així, el Sistema Solar-2006 tenia cinc planetes nans: Ceres, Plutó, Makemake, Haumea i Eris. Amb el córrer dels anys nous cossos que estaven en estudi van ser agregant-se a la llista de planetes nans.

La definició distingeix els planetes dels cossos més petits i no és útil fora del sistema solar, on els cossos més petits no es poden detectar amb la tecnologia actual. Els planetes extrasolars, o exoplanetes, es tracten per separat en virtut d'un projecte complementari de 2003 de directriu per a la definició dels planetes, que els distingeix de les estrelles nanes que són més Massives i de major grandària.

Els 8 planetes del Sistema Solar poden dividir-se en:

- 4 planetes terrestres, a la regió més interna (Mercuri, Venus, Terra i Mart). Rocosos, amb densitats aproximades entre 4 i 5 g/cm<sup>3</sup>.
- 4 planetes Gegants, a la regió més externa, que al seu torn es divideixen en:
  - Gegants gasosos: Júpiter i Saturn. Més rics en H i He, amb una composició química similar a la solar.
  - Gegants Gelats: Urà i Neptú. Predominen els gels pel que fa a els gasos. La seva composició química difereix bastant de la solar.

Els planetes gegants són més lleugers que els terrestres, amb densitats entre 0.7 g / cm<sup>3</sup> (Saturn) i 2 g/cm<sup>3</sup>.

Els planetes gegants s'havien format en escales de temps de l'ordre de 10 milions d'anys (els terrestres ho van fer en uns 100 milions d'anys). No es van formar "in situ", hi va haver una migració causada per l'intercanvi de moment angular entre els planetes gegants en formació i els planetesimals que eren escombrats cap a altres regions del sistema solar o ejectats d'ell.

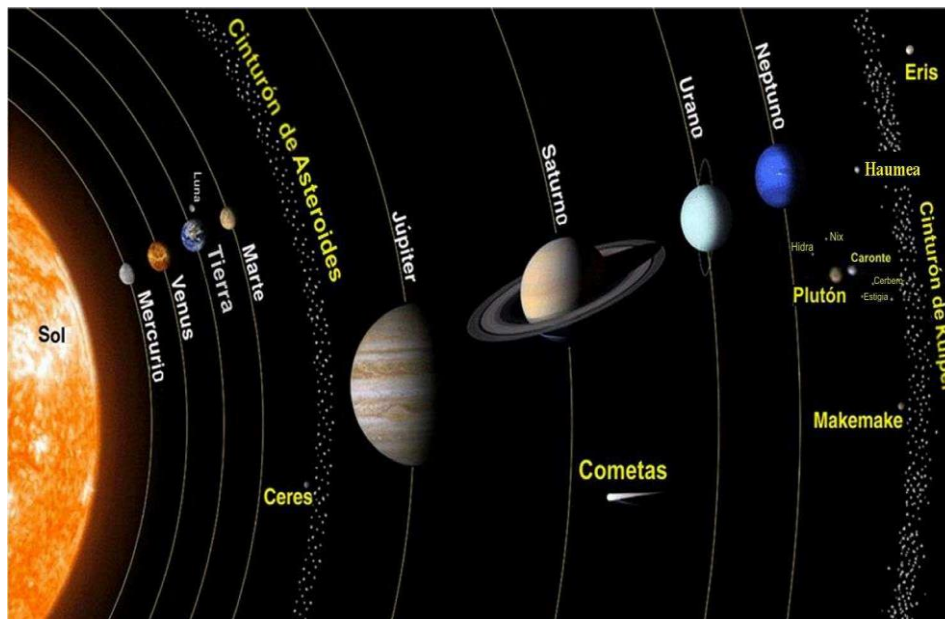


Fig 6. Cossos de el sistema solar (la imatge no està en escala)

Caracteritzar cada planeta implica determinar les seves propietats generals, com ara massa, ràdio, densitat, període de rotació al voltant del seu eix (el dia), període de translació, entorn de el Sol, (l'any), composició química de la seva estructura i de la seva atmosfera, entre d'altres magnituds.

En aquest text, no presentarem les taules de dades, ja que els mateixos estan disponible a Internet, a més dels llibres tradicionals. Aquí ens concentrarem únicament en la descripció de la naturalesa de cada cos, el seu origen, i aquelles dades d'interès o de color perquè el docent pugui treballar sobre el tema a l'aula. (Per dades específiques dels planetes i cossos de el sistema solar veure informació a Internet)

## MERCURIO

Mercuri és el planeta més proper a el Sol i el planeta més petit del sistema solar. És un planeta tel·lúric a l'interior del sistema solar. Rep el seu nom de déu romà de les arts i el comerç.

No té cap satèl·lit natural. És un dels cinc planetes que es poden veure des de la Terra a simple vista. S'ha observat amb el telescopi només des del segle XVII. Darrerament, es va estudiar per dues sondes espacials: Mariner 10 (tres vegades en 1974-1975) i Messenger (dues vegades en 2008).

Encara que pot ser vist a simple vista, no és fàcilment observable, precisament perquè és el planeta més proper a el Sol. El seu lloc en la volta celeste es troba molt a prop del Sol i es pot també observar només al voltant de les elongacions, una mica abans de l'alba i una mica després de la posta de sol. No obstant això, les missions espacials ens han donat la informació suficient, el que mostra sorprenentment que Mercuri és molt similar a la Lluna.

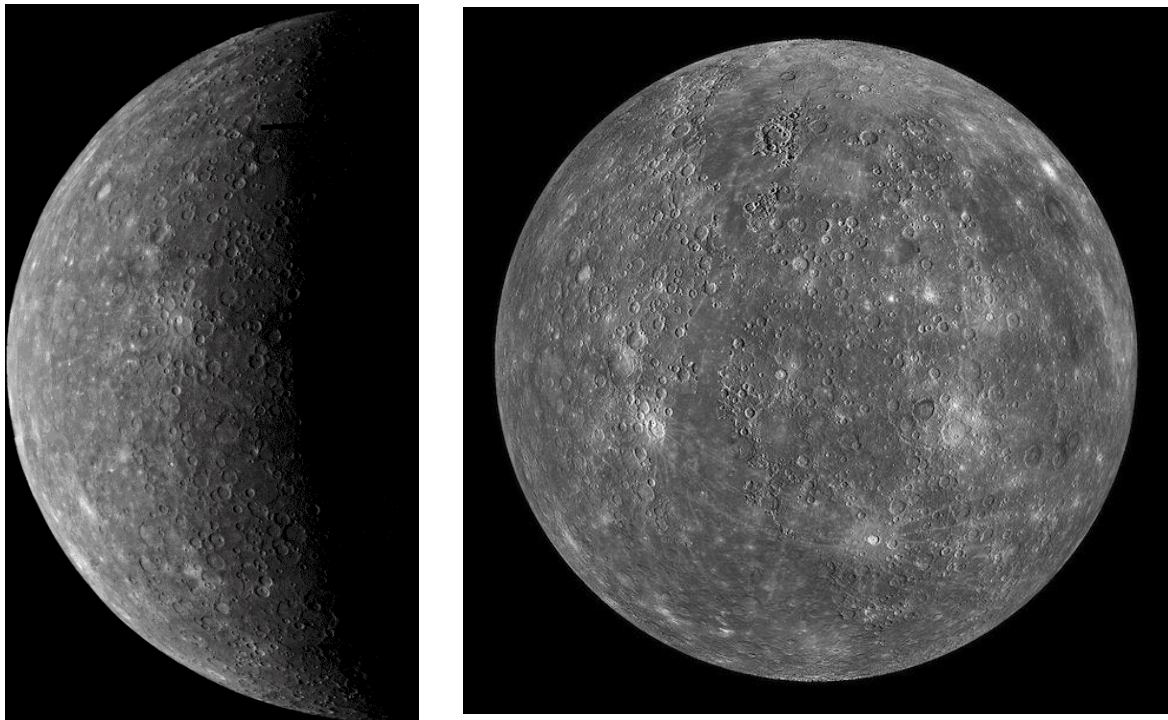


Fig. 7 : Planeta Mercuri

Val la pena esmentar algunes característiques de la planeta: és el més petit del Sistema Solar i el més proper a el Sol. Té l'òrbita més excèntrica ( $i = 0,2056$ ) i també la més inclinada en sentit contrari a l'eclíptica ( $i = 7^\circ 005$ ). El seu període sinòdic és de 115,88 dies, el que significa que tres vegades a l'any se situa en una posició de màxima elongació oest del Sol (també se l'anomena "l'estrella del matí", i en les tres posicions de màxima elongació a l'est del Sol es diu "l'estrella de la tarda"). En qualsevol d'aquests casos, l'elongació no excedeix els  $28^\circ$ .

El seu radi d'2440 quilòmetres fa que sigui el planeta més petit del sistema solar, més petit fins i tot que dos dels satèl·lits galileans de Júpiter: Ganimedes i Calixte. La densitat de  $5,427 \text{ g/cm}^3$  el converteix en el més densa després de la de la Terra ( $5,5 \text{ g/cm}^3$ ). El ferro podria ser el principal element pesat (70% contra el 30 i matèria rocosa), que contribueix a la gran densitat de Mercuri.

En general, s'assegura que Mercuri no té atmosfera, cosa que no és correcte, però la seva atmosfera és molt poc comú: i molt tènue, formada per oxigen molecular 42%, sodi 29,0%, hidrogen 22,0%, heli 6,0 %, potassi 0,5% i traces d'argó, nitrogen, diòxid de carboni, vapor d'aigua, xenó, criptó i neó.

Mercuri és l'únic planeta (a part de la Terra) amb un camp magnètic significatiu, que, encara que és de l'ordre de 1/100 de la del camp magnètic terrestre, és suficient per crear una magnetosfera, que s'estén fins a 1,5 ràdios planetaris, enfront de 11,5 ràdios en el cas de la Terra. Finalment, hi ha una altra analogia amb la Terra: el camp magnètic és bipolar, amb un eix magnètic inclinat  $11^\circ$ , enfront de l'eix de rotació.



En Mercuri les temperatures varien enormement. Quan el planeta passa pel periheli, la temperatura pot arribar a  $427\text{ }^{\circ}\text{C}$  a l'equador, al migdia, és a dir, suficient per provocar la fusió d'un metall com el zinc. No obstant això, immediatament després de la caiguda la nit, la temperatura pot baixar a  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ , el que fa que l'augment de la variació diürna sigui de  $610^{\circ}\text{C}$ !. Cap altre planeta pateix una diferència tan gran, que pot ser deguda a la intensa radiació solar durant el dia, l'absència d'una atmosfera densa i la durada del dia de Mercuri (l'interval entre l'alba i el capvespre és de gairebé tres mesos terrestres, és a dir, temps suficient per emmagatzemar calor o, anàlogament, fred durant una nit d'igual longitud).

us cràters de Mercuri són molt similars als de la Lluna en la morfologia, la forma i estructura. El més notable és el de la conca de Caloris, testimoni d'una gran catàstrofe.

Els impactes que generen conques són els esdeveniments més catastròfics que poden afectar la superfície d'un planeta. Poden causar el canvi de l'escorça planetària, i fins i tot desordres interns. Això és el que va succeir quan es va formar el cràter Caloris amb un diàmetre de 1.550 quilòmetres

### L'avanç de l'periheli de Mercuri

A l'igual que qualsevol altre planeta, el periheli de Mercuri no és fix, sinó que té un moviment regular al voltant de el Sol. Molt temps es va considerar que aquest moviment era de 43 segons d'arc per segle més ràpid comparat amb les previsions de la mecànica celeste clàssica "newtonianes". Aquest avanç del periheli va ser predit per la teoria general de la relativitat d'Einstein, sent la causa la curvatura de l'espai a causa de la massa solar. La coincidència entre l'avanç observat del periheli i el predit per la relativitat general va ser la prova en favor de la validesa de la hipòtesi d'aquesta última.

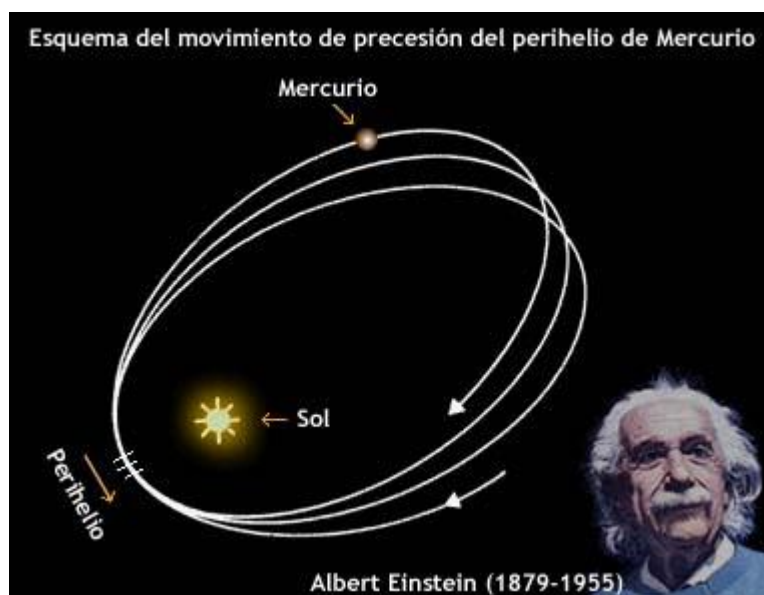


Fig. 8: Moviment de precessió del periheli de Mercuri

## VENUS

Un dels quatre planetes de sistema intern, de constitució semblant a la de la Terra i el segon en distància al Sol, ubicat a uns 1. Porta el nom de la deessa romana de l'amor i la bellesa.

La seva proximitat a el Sol, l'estructura i la densitat de l'atmosfera de Venus fa que sigui un dels cossos més calents en el Sistema Solar. Disposa d'un camp magnètic molt feble i no té satèl·lits naturals. És un dels planetes amb un moviment de revolució retrògrada i l'únic amb un període de rotació més gran que el període de la revolució. És el cos més brillant en la volta celeste després del Sol i la Lluna.

La trajectòria de Venus al voltant del Sol és gairebé un cercle: la seva òrbita té una excentricitat de 0,0068, és a dir, la més petita del sistema solar. Un any de Venus és una mica més curt que un dia sideral de Venus, en una proporció de 0,924.

La seva grandària i estructura geològica és similar a la de la Terra. L'atmosfera és molt densa. La barreja de CO<sub>2</sub> i densos núvols de diòxid de sofre creen el major efecte hivernacle del sistema solar, amb temperatures d'uns 460 ° C. Temperatura de la superfície de Venus és més gran que la de Mercuri, encara que Venus es troba gairebé dues vegades més allunyat del Sol que Mercuri, i només rep aproximadament el 25% de la radiació solar que Mercuri. La superfície del planeta a un relleu gairebé uniforme.

El seu camp magnètic és molt feble, però que arrossega una cua de plasma de 45 milions quilòmetres de llarg, observada per primera vegada pel SOHO en 1997.

Una característica notable de Venus és la seva rotació retrògrada (encara que Urà també la presenta): gira al voltant del seu eix molt lentament i en sentit contrari a les agulles de rellotge, mentre que els planetes del sistema solar ho fan en general en sentit horari .. el seu període de rotació s'ha conegut només de 1962. Aquesta rotació - lenta i retrògrada - produeix dies solars molt més curts que el dia sideral, sent aquests dies més llargs que en els planetes amb rotació en sentit horari. En conseqüència, hi ha menys de 2 dies complets en un any solar de Venus. Les causes de la rotació retrògrada de Venus no s'han aclarit encara. L'explicació més probable seria una col·lisió amb un altre cos de grans dimensions en la formació dels planetes del Sistema Solar.

També podria ser que l'atmosfera de Venus influís en la rotació del planeta a causa de la seva gran densitat.

**Venus presenta una atmosfera singular. Amb una pressió a la superfície 93 bar (9,3MPa) xx vegades més gran que la de la Terra i composta principalment per ~ 96,5% diòxid de carboni, ~ 3,5% nitrogen, 0,015% diòxid de sulfur, 0,007% de argó , 0,002% vapor d'aigua, 0,001 7% monòxid de carboni, 0,0012% heli, 0,0007% neó.**

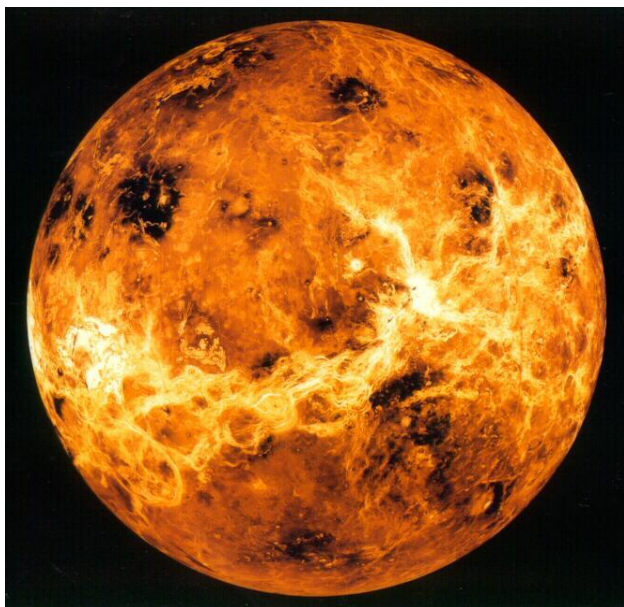


Fig. 9: Venus. Fotografia de la seva superfície (Missió Magallanes)

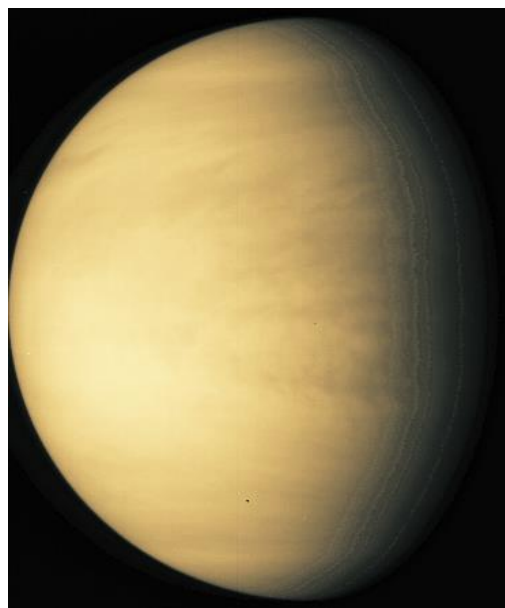


Fig. 10. Venus en llum visible (Telescopi Hubble)

### Venus la germana bessona de la Terra. Analogia.

- Van néixer a el mateix temps, des del mateix gas i núvols de pols, fa 4,6 milions d'anys.
- tots dos són planetes del sistema solar intern
- les seves superfícies tenen un terreny variat: muntanyes, camps, valls, altiplans, volcans, cràters d'impacte, etc.
- tots dos tenen un nombre relativament petit dels cràters, un signe d'una superfície relativament jove i d'una atmosfera densa
- tenen semblants composicions químiques.

### Trànsit de Venus

El trànsit de Venus es produeix quan el planeta passa entre la Terra i el Sol, i l'ombra de Venus creua el disc solar. A causa de la inclinació de l'òrbita de Venus, enfront de la terrestre, aquest fenomen és molt rar en la nostra escala de temps. Té lloc dues vegades cada 8 anys, a aquest doble trànsit el separa del següent més d'un segle (105,5 i 121,5 anys). Els últims trànsits van tenir lloc el 8 de juny de 2004 i el 6 de juny de 2012 i per al següent hi haurà d'esperar fins l'11 de desembre 2117.

## TERRA

La Terra és el tercer planeta més distant de el Sol en el Sistema Solar, i és el cinquè en dimensions. Pertany als planetes interiors. És el planeta més gran dels rocosos, i l'únic a l'Univers conegut on va aconseguir adaptar-se la vida. La Terra es va formar fa uns 4,57 mil milions. El seu únic satèl·lit natural, la Lluna, va començar la seva òrbita poc després de la de la Terra, fa uns 4533000000 anys i hi ha diverses teories sobre el seu origen. El 71% de la superfície de la Terra està coberta d'aigua, la resta de l'29,% és sòlid i "sec", però l'aigua en

total constitueix una quantitat ínfima de matèria en comparació amb l'estructura general del planeta.



Fig. 11: La Terra i la Luna (Missió Galileu, 1998)

Entre la Terra i la resta de l'Univers ha una interacció permanent. Així, la Lluna és la causa de les mareas. A més, ha influït de forma contínua en la velocitat de moviment de rotació de la Terra. Tots els cossos del globus terrestre, són atrets per la Terra, la força d'atracció es diu gravetat i l'acceleració amb la qual aquests cossos cauen en el camp gravitacional es diu acceleració gravitatòria (es denota amb una "g" =  $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Es creu que la raó de l'aparició dels oceans va ser una "pluja" dels estels en un període primerenc de la Terra. Més tard, els impactes d'asteroides van ajudar a modificar el medi ambient de manera decisiva. Els canvis en l'òrbita del planeta poden considerar-se com els responsables de les edats de gel que van tenir lloc en la història, que van cobrir la superfície terrestre amb una capa de gel.

La pressió de la seva atmosfera sobre la superfície és de  $101,3 \text{ kPa}$  i està composta per el 78% nitrogen ( $\text{N}_2$ ), el 21% oxigen ( $\text{O}_2$ ), 0,93% argó, 0,04% diòxid de carboni 1% de vapor d'aigua (varia amb el clima).

## MART

Mart és el quart planeta en distància a el Sol en el Sistema Solar i el segon en dimensions després de Mercuri. Pertany a el grup dels planetes tel·lúrics. Porta el nom de el déu romà de la guerra, a causa del seu color vermellós. Diverses missions espacials l'han estudiat des de 1960 per esbrinar el més possible sobre la seva geografia, clima, així com altres detalls i continuaran fent-ho en la recerca d'aigua i, potser, senyals de vida, sota de la seva superfície.

Mart pot ser observat a simple vista. És menys brillant que Venus i només rares vegades més brillant que Júpiter. Sobrepassa a l'últim durant les seves configuracions més favorables

(oposicions). D'entre tots els cossos del sistema solar el planeta vermell és el que més ha atret la majoria dels autors de ciència ficció. La raó principal d'això són els seus famosos canals, així cridats per primera vegada en 1858 per Giovanni Schiaparelli i considerats per aquest autor com el resultat de construccions, el que avui sabem era completament equivocat. El color vermell de Mart es deu a l'òxid de ferro (també anomenat hematites), que es troba en els minerals a la superfície. Mart té un relleu molt abrupte, amb la muntanya més alta del Sistema Solar (el volcà Mont Olimp), amb una altura d'uns 25 km, o el major canó conegut sobre un planeta (Valls Marineris), amb una profunditat mitjana de 6 km.

Aquest planeta té al centre un nucli de ferro amb un diàmetre d'aproximadament 1700 quilòmetres, cobert amb un mantell olivina i una escorça basàltica, amb una amplada mitjana de 50 km. Esta envoltat per una atmosfera composta principalment de diòxid de carboni. Solia tenir una hidrosfera activa, és a dir, hi va haver aigua a la superfície alguna vegada, però els canvis en les condicions de pressió de l'atmosfera, probablement a causa de la pèrdua del seu camp magnètic, i de la seva temperatura, van dur a que l'aigua s'evapori a temperatura ambient. En l'actualitat, l'atmosfera marciana es caracteritza per presentar una pressió en la superfície de 0.6-1.0 kPa i estar composta per 95.72% diòxid de carboni; 2.7% nitrogen; 1.6% argó; 0.2% oxigen; 0,07% monòxid de carboni, 0,03% vapor d'aigua; 0,01% òxid nítric; i traces de neó, criptó, formaldehid, xenó, ozó i metà.

Mart té dos satèl·lits naturals, Fobos i Deimos, probablement asteroides capturats pel planeta. El diàmetre de Mart és dues vegades menor que el de la Terra i la seva superfície és igual a la dels continents. La seva massa és la desena part de la terrestre. La seva gravetat és una mica menor que la de Mercuri, encara que la seva massa sigui dues vegades més gran. Els plans de l'equador marcian i el de la seva òrbita al voltant del Sol no coincideixen. La inclinació de l'eix de Mart és similar a la de la Terra, és per això que a Mart hi ha estacions com a la Terra. Les dimensions dels casquets polars varien durant les estacions a través del intercanvi de diòxid de carboni i aigua amb l'atmosfera. El dia marcian és només 39 minuts més llarg que el terrestre. I a causa de la seva relativa llunyania de el Sol, l'any té una mica més de 322 dies que l'any terrestre.

Mart és el planeta exterior més proper a la Terra; aquesta distància és menor quan està en oposició, amb la Terra entre ell i el Sol.

El 27 d'agost de 2003 Mart va estar a només 55.760.000 de km de distància de la Terra, és a dir, a 0,3727 UA, la distància més petita registrada a 59.618 anys. Tal esdeveniment, va donar pas a tot tipus de fantasies, per exemple, que Mart podria haver estat vist tan gran com la Lluna. No obstant això, amb un diàmetre aparent de 25,13 segons d'arc, Mart es pot veure a simple vista com un punt, mentre que la Lluna s'estén sobre un diàmetre aparent de 30 minuts d'arc (1800 segons d'arc). Una proximitat similar a la de 2003 tindrà lloc el 28 d'agost de 2287, quan la distància entre els dos planetes sigui de 55.690.000 de km.

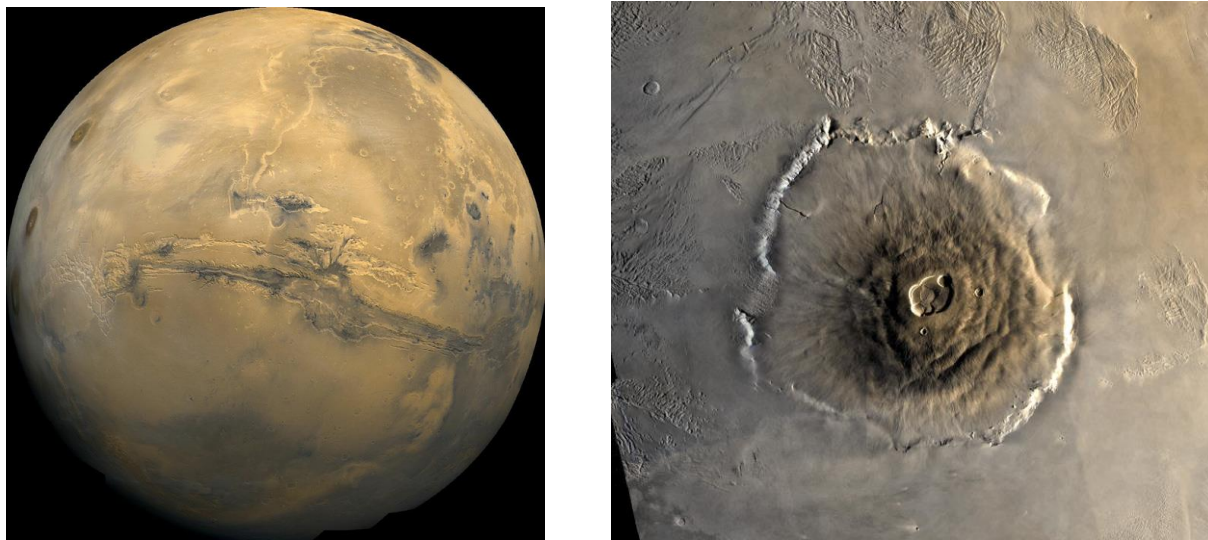


Fig. 12 Mart (esq); Mont Olimp (der.)

## JÚPITER

Júpiter és el cinquè planeta en distància a el Sol, amb un diàmetre 11 vegades més gran que el de la Terra, és el més gran de tots els planetes del sistema solar. Respecte del nostre planeta, la seva massa és 318 vegades més gran i el seu volum 1300 vegades més gran. Orbita al voltant del Sol a una distància de 778.547.200 quilòmetres.

Júpiter és el quart objecte més brillant del cel a simple vista (després del Sol, la Lluna, Venus i de vegades Mart). El descobriment de les seves quatre grans satèl·lits: Io, Europa, Ganimedes i Calixte (coneguts com els satèl·lits galileians) per Galileu Galilei i Simon Marius en 1610 va ser el primer descobriment d'un centre de moviment aparent que no es trobava a la Terra. Va ser un punt important a favor de la teoria heliocèntrica del moviment planetari de Nicolau Copèrnic. La comprovació per Galileu de la teoria copernicana li va portar problemes amb la Inquisició. Abans de les missions Voyager, es coneixien només 16 dels seus satèl·lits: avui sabem que tenen més de 60 i segurament alguns encara si descobrir.

És probable que el nucli de planeta sigui de material sòlid, entre 10 i 15 vegades la massa de la Terra. Per sobre d'aquest nucli hi ha la part principal de la planeta, composta d'hidrogen metàl·lic líquid: a causa de la temperatura i la pressió dins de Júpiter, l'hidrogen és un líquid i no un gas. En aquest estat, el material és un conductor elèctric i la font de camp magnètic de Júpiter. Aquesta capa conté una mica d'heli i algunes restes de gel.

La capa més superficial de la planeta està composta principalment d'hidrogen molecular i heli, líquid a la part més interna i gasós en l'externa. L'atmosfera que veiem és només la part superior d'aquesta profunda capa. L'aigua, el diòxid de carboni, el metà, així com altres molècules simples també són presents en petites quantitats.

L'atmosfera de Júpiter es compon d'aproximadament el 86% d'hidrogen i 14% de heli-4%, amb rastres de metà, aigua, amoníac i altres elements. Es creu que la seva composició és molt

semblant a l'estructura original del núvol de la qual es va formar el sistema solar (en aquest sentit, Urà i Neptú que també són gasosos, tenen menys hidrogen i heli).

Un tret distintiu de Júpiter és el seu Gran Taca Vermella que es va observar per primera vegada gràcies a telescopis terrestres, fa més de 300 anys. És un oval d'aproximadament 12.000 per 25.000 quilòmetres, prou gran com per abastar dues Terres. Es tracta d'una regió d'alta pressió, les núvols superiors són molt més altes i més fredes que les zones circumdants. Estructures similars s'han observat en Saturn i Neptú. No se sap encara per què aquest tipus d'estructures resisteixen tant de temps.

A Júpiter i altres planetes gasosos bufen vents a gran velocitat, en àmplies bandes de latitud. Els vents bufen en direccions oposades en dues bandes adjacents. La diferència de temperatura o de composició química són responsables de la diferent coloració de les bandes, un aspecte que domina la imatge de la planeta. L'atmosfera de Júpiter és molt turbulenta. Els vents són impulsats, en gran mesura, per la calor interna de la planeta, no provenen del Sol, com passa a la Terra. L'atmosfera joviana presenta una pressió en la superfície 20-200 kPa (capes de núvols) i la seva composició química és 90% hidrogen (H<sub>2</sub>), 10% heli, ~ 0,3% metà, ~ 0,036% amoníac, ~ un 0,003% deuteri (HD), 0,0006% età, 0,0004% aigua. I a més gels de: amoníac, aigua i hidrosulfur d'amoni (NH<sub>4</sub>SH).

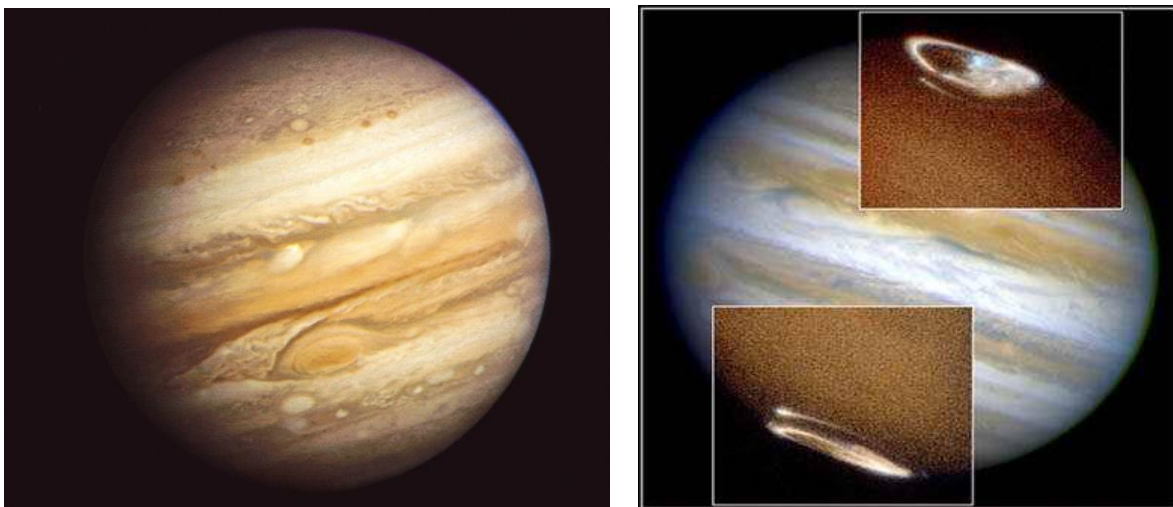


Fig. 13 Júpiter (esq.); Aurores a Júpiter (der., Foto del Telescopi Hubble)

La Magnetosfera de Júpiter és molt intensa, 14 vegades més fort que el de la Terra i s'estén uns 650 milions de km (més enllà de l'òrbita de Saturn). Els satèl·lits de Júpiter s'inclouen en la seva atmosfera, el que explica parcialment l'activitat a Io. Un gran inconvenient per als viatges espacials de el futur, així com un problema per als dissenyadors de les sondes Voyager i Galileu, és que en el medi circumdant de Júpiter hi ha grans quantitats de partícules capturades pel camp magnètic de Júpiter. Aquesta "radiació" és similar, però molt més intensa, que l'observada en els cinturons de Van Allen de la Terra, seria letal per a qualsevol ésser humà sense protecció. La sonda Galileu va descobrir una radiació nova i intensa entre els anells de Júpiter i els estrats superiors de l'atmosfera. Aquest nou cinturó de radiació té

una intensitat 10 vegades més gran que la dels cinturons de Van Allen a la Terra. Sorprenentment, aquest nou cinturó conté ions d'heli d'alta energia, d'origen desconegut.

Júpiter té anells com Saturn, però molt més primers i opacs: a diferència dels de Saturn, els anells de Júpiter són foscos. És probable que es componguin de petits grans de material rocós i no semblen contenir gel. Probablement, les partícules dels anells de Júpiter no romanen allà per molt temps (a causa de l'atmosfera i el camp magnètic).

La sonda Galileu va trobar proves clares que indiquen que els anells són contínuament alimentats per la pols format pels impactes dels micro meteorits amb l'interior, que són molt energètics, a causa camp gravitacional de Júpiter.

## SATURN

El sisè planeta més distant de el Sol en el Sistema Solar, Saturn és un planeta gegant gasós, segon en massa i volum després de Júpiter. (3,3 vegades més petit que Júpiter, però 5,5 més gran que Neptú i 6,5 vegades més gran que Urà. És 95 vegades més massiu que la Terra. El seu diàmetre és de gairebé 9 vegades més gran que el de la Terra.

Saturn és l'únic planeta de el sistema solar, la mitjana massa-volum és menor que la de l'aigua: 0,69 g / cm. Això significa que la seva atmosfera, composta sobretot d'hidrogen, és menys densa que l'aigua, però el seu nucli és molt més dens.) Té un diàmetre aproximat nou vegades més gran que el de la Terra i està compost sobretot d'hidrogen.

Saturn té la forma d'esferoide aplanat, és aplatat en els pols i voluminós a l'equador. El seu diàmetre equatorial i polar difereixen aproximadament en un 10%, com a conseqüència de la seva ràpida rotació al voltant del seu eix i d'una composició interna molt fluïda. Els altres planetes gasosos gegants de el sistema solar (Júpiter, Urà, Neptú) també són aplanats, però en menor grau.

A l'igual que Júpiter, l'atmosfera de Saturn s'organitza en bandes paral·leles, encara que aquestes són menys visibles i més grans en l'equador. Els sistemes de núvols de Saturn (així com les tempestes de llarga durada) van ser observades per primera vegada per les missions Voyager. El núvol observada el 1990 és un exemple d'una taca blanca gran, un fenomen efímer de Saturn que té lloc cada 30 anys. Si la periodicitat segueix sent la mateixa, la propera tempesta tindrà lloc probablement el 2020.

El 2006 la NASA va observar una tempesta de les dimensions d'un huracà, estacionat al pol Sud, que tenia un ull ben definit. És l'únic ull observat en un altre planeta excepte a la Terra.

Els anells de Saturn són part d'un dels espectacles més bonics de el Sistema Solar i constitueixen la seva principal característica. A diferència dels altres dos planetes gasosos gegants, que són molt brillants (albedo d'entre 0,2 i 0,6) i impedeixen detectar els anells que són foscos, els anells de Saturn es poden veure a través d'un parell de binoculars. Posseeixen una activitat permanent: col·lisions, acumulacions de matèria, etc.



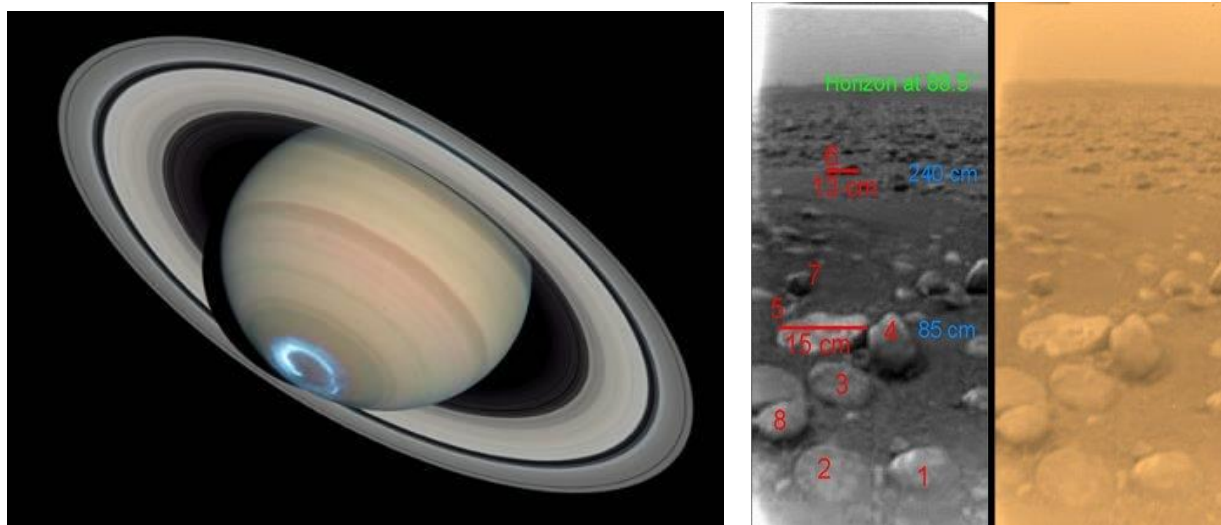


Fig. 14: Saturn, es veu l'aurora (esq.); Última imatge de la superfície de Tità, missió Cassini- Huygens (der.)

Saturn té un gran nombre de satèl·lits. És difícil dir quants n'hi ha, qualsevol tros de gel dels anells es pot considerar un satèl·lit. El 2009 es van identificar 62 satèl·lits. 53 van ser confirmats i se'ls va donar noms. La majoria d'ells són petits: 31 tenen un diàmetre de menys de 10 km, mentre que 13 són de menys de 50 km. Només set són prou grans per assumir una forma esfèrica sota la influència de la seva pròpia gravetat. Tità és el major d'ells, més gran que Mercuri i Plutó i l'únic satèl·lit de el sistema solar amb una atmosfera densa a la superfície la missió Cassini va assegurar el descens d'una sonda, la Huygens, a l'any 2004. La missió va estudiar aquest món on es produeix un cicle similar a el de l'aigua a la Terra, però de metà, element que es troba en els tres estats en la superfície de l'satèl·lit.

## URÀ

Urà és també un planeta gegant gasós i com a tal posseeix anells: a l'almenys 13 principals. És el setè més allunyat de el Sol en el Sistema Solar, el tercer en dimensions i el quart en massa. És el primer planeta descobert en l'època telescòpica. Encara que pot ser vist a simple vista com els altres 5 planetes clàssics, per la seva dèbil lluminositat no era fàcilment identificable com a planeta. William Herschel va anunciar el seu descobriment el 13 de març de 1781, ampliant així les fronteres del Sistema Solar per primera vegada en l'època moderna. Urà és el primer planeta descobert per mitjà del telescopi.

Urà i Neptú tenen composicions internes i atmosfèriques diferents de la dels altres grans planetes gasosos, Júpiter i Saturn. Per això, els astrònoms de vegades els col·loquen en una categoria diferent, la dels gegants gelats o subgegants.

L'atmosfera d'Urà, tot i que es compon principalment d'hidrogen i heli, també contenen grans quantitats de gel d'aigua, amoníac i metà, així com petjades d'hidrocarburs. Urà presenta l'atmosfera més freda del Sistema Solar, que arriba a un mínim de  $-224$  C. Té una estructura complexa de núvols, les dels estrats més baixos podrien estar formats d'aigua i en els estrats superiors de metà. Com els altres planetes gegants gasosos, Urà té un sistema d'anells, un magnetosfera i nombrosos satèl·lits naturals. El sistema d'Urà és únic en el Sistema Solar,

perquè el seu eix de rotació està pràcticament en l'òrbita del seu pla de revolució al voltant de Sol. Els seus pols nord i sud estan on els altres planetes tenen l'equador. El 1986, la Voyager 2 va adquirir imatges d'Urà, que mostren un planeta sense característiques especials a la llum visible, sense capes de núvols o sistemes de núvols com en els altres planetes gasosos. No obstant això, observacions recents han mostrat signes de canvi d'estació i un augment de l'activitat meteorològica, quan Urà s'acostava al seu equinocci de desembre de 2007. El vent pot arribar a la velocitat de 250 m / s en la seva superfície.

A diferència de qualsevol altre planeta de el sistema solar, Urà presenta un eix de rotació molt inclinat, gairebé paral·lel a la seva pla orbital. Podríem dir que roda en la seva òrbita i exposa a el Sol el seu pol Nord i el seu pol Sud successivament. Una conseqüència d'aquesta orientació és que les regions polars reben més energia de Sol que les equatorials. No obstant això, Urà roman més càlid a l'equador que als pols, un mecanisme encara no explicat. Cap teoria sobre la seva inclinació pot passar per alt la idea d'una col·lisió catastròfica amb un altre cos abans de la seva formació actual.

El període de revolució d'Urà al voltant de el Sol és de 84 anys terrestres. La seva distància mitjana a el Sol és d'uns 3 mil milions de quilòmetres. La intensitat del flux solar a Urà és d'aprox. 1/400 de la que rep la Terra.

El període de rotació de les capes interiors d'Urà és de 17 hores i 14 minuts. No obstant això, en l'atmosfera superior tenen lloc vents violents en el sentit de rotació, com passa amb tots els planetes gegants gasosos. En conseqüència, al voltant dels 60° de latitud, les parts visibles de l'atmosfera viatgen més ràpid i fan una rotació completa en menys de 14 hores. La pressió atmosfèrica és menor que 1,3 bar) i la seva composició química és el 83% hidrogen (H<sub>2</sub>), 15% heli, 2,3% metà, 0,009%, traces de deuteri i gels de: amoníac, aigua, hidrosulfuro d'amoní (NH<sub>4</sub>SH) i metà (CH<sub>4</sub>).

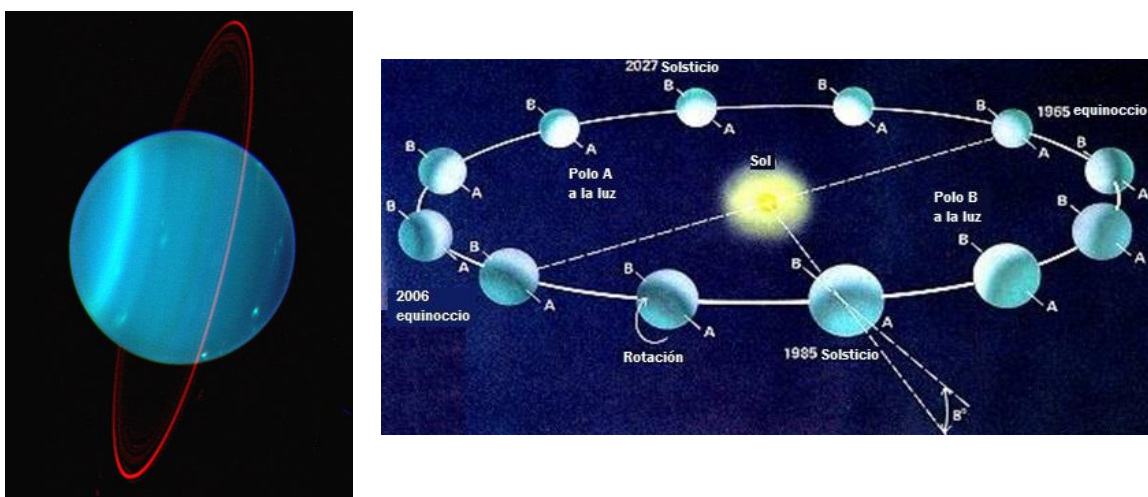


Fig. 15 Urà (esq); Urà a la seva òrbita (der).

Tot i que sabem molt poques coses sobre la seva composició interna, sabem amb certesa que és diferent de la de Júpiter o Saturn. En teoria, hauria de tenir un nucli sòlid de silicats de

ferro, amb un diàmetre de unos 7.500 km, envoltat per un escut format per gel d'aigua barrejat amb heli, metà i amoníac, de 10.000 km d'ample, seguit d'un estrat superficial d'hidrogen i heli líquid, d'aproximadament 7.600 quilòmetres, que es fon lentament en l'atmosfera. A diferència de Júpiter i Saturn, Urà no és tan massiva com per conservar l'hidrogen en estat metàl·lic al voltant del seu nucli. El color verd blavós es deu a la presència de metà a l'atmosfera, que absorbeix el vermell i l'infraroig de la llum solar.

Urà té al menys 27 satèl·lits naturals. Els dos primers van ser descoberts per William Herschel el 13 de març de 1787 i van ser cridats Titània i Oberon.

## NEPTÚ

Neptú és el vuitè i el planeta més allunyat de el Sol en el Sistema Solar. És també l'últim planeta gegant gasós. Va ser descobert per l'astrònom alemany Johann Gottfried Galle, el 23 de setembre de 1847, seguint les indicacions d'Urbà Li Verrier, que, com l'astrònom anglès John Couch Adams, havia previst a través del càlcul, que en aquesta regió de cel, podia ser trobat

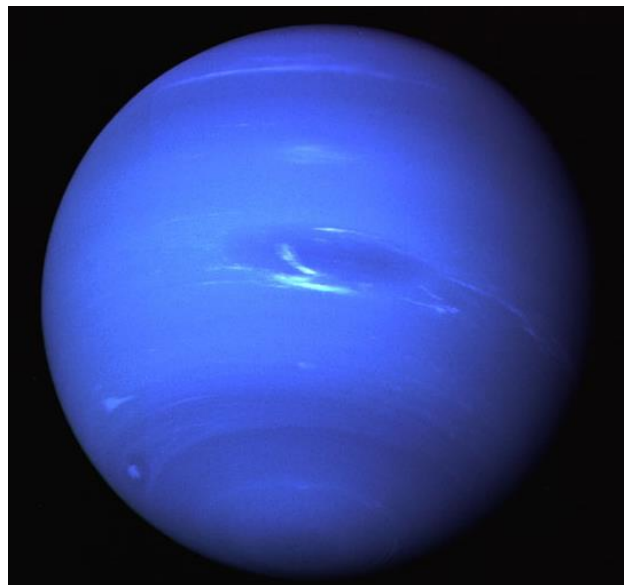


Fig. 16: Neptú

Neptú no és visible a simple vista i apareix com un disc de color verd blavós a través del telescopi. Ha estat visitat només una vegada per la sonda espacial Voyager 2, que va passar a prop seu el 25 d'agost de 1989. La seva satèl·lit més gran és Tritó. La seva composició interna és similar a la d'Urà. Es creu que té un nucli sòlid format de silicats i ferro, gairebé tan gran com la massa de la Terra. El seu nucli, a l'igual que Urà, està suposadament cobert amb una composició bastant uniforme (roques en fusió, gel, el 15% d'hidrogen i una mica d'heli), no té cap tipus d'estructura en "capes" com Júpiter i Saturn.

El seu color blavós prové principalment del metà, que absorbeix la llum en les longituds d'ona del vermell. La seva atmosfera està composta d'un 80% hidrogen (H<sub>2</sub>), 19% heli, 1,5% metà, ~ 0,019% deuteri, ~ 0,00015 età i gels de: amoníac, aigua, hidrosulfur d'amoní i metà.

Com els altres planetes gegants gasosos, té un sistema eòlic format de vents molt ràpids en bandes paral·leles a l'equador, de fortes tempestes i vòrtex. Els vents més ràpids en Neptú bufen a més de 2.000 km / h. Durant la visita de la Voyager 2, la formació més interessant observada va ser la "Gran Taca Fosca", que podria ser de la mida de la "Gran Taca Vermella" de Júpiter. . Aquesta taca podria ser un huracà gegant fosc que suposadament viatja a uns 1.000 km / h. Els anells planetaris de Neptú són poc visibles, foscos, i d'origen és encara desconegut. Neptú té al menys 14 satèl·lits naturals, entre els quals el més important és Tritó, descobert per William Lassell només 17 dies després de la descoberta de Neptú.

## PLANETES NANS

### PLUTÓ, CARONT I ERIS

Si bé hi ha una desena de planetes nans confirmats, Plutó (39 UA de distància mitja), el seu satèl·lit Caront i Eris, planeta Enan de major dimensió que Plutó i que va definir la reclassificació d'aquests objectes en el Sistema Solar, resulten particularment interessants.

Plutó va ser descobert en 1930, considerat un planeta i re-classificat a l'agost de 2006, com a planeta nan. Presenta una òrbita excèntrica, inclinada 17° en contra del seu pla eclíptic. El seu periheli s'estén fins a les 29,7 UA i l'afeli fins a les 49,5 UA. El satèl·lit més gran de Plutó, Caront, és prou gran perquè el conjunt gravita entorn a un centre de gravetat situat per sobre de la superfície de cada un dels cossos. Quatre petits satèl·lits, Nix, Hydra, Cerberus, Estigia, orbiten entorn a la parella Plutó-Caront. Plutó està en ressonància orbital de 3: 2 amb Neptú (planeta orbita dues vegades el Sol, mentre Neptú ho fa tres).

Eris va ser descobert al gener de 2005 per un equip de l'observatori Palomar dirigit per M. E. Brown. De dimensions lleument més grans que la de Plutó, va ser considerat el desè planeta fins a la re classificació de la UAI en 2006. Posseeix una petita lluna batejada amb el nom de Disnomia. A l'igual que Plutó, forma part de l'cinturó de Kuiper o d'objectes transneptunians.

## Altres Cossos en el Sistema Solar

### El medi interplanetari

A més de la llum, el Sol irradia un flux continu de partícules carregades (plasma) anomenat vent solar. Aquest flux es dissipa a una velocitat de 1,5 milions de km / h, creant així l'heliòsfera, una fina atmosfera que banya el sistema solar fins a aprox. 100 UA (marcat la heliopausa). La matèria que constitueix l'heliòsfera es diu mitjà interplanetari. El cicle solar de 11 anys, així com les freqüents erupcions solars i ejeccions de massa coronal, pertorben l'heliòsfera i crear un clima espacial. La rotació de camp magnètic solar actua sobre el medi interplanetari, creant la capa heliosfèrica actual, que és la major estructura de el sistema solar.

El camp magnètic terrestre protegeix a l'atmosfera de vent solar. La interacció entre el vent solar i el camp magnètic terrestre provoca les aurores boreals. La heliòsfera assegura una

protecció parcial de el Sistema Solar dels raigs còsmics, que és major en els planetes amb un camp magnètic.

El medi interplanetari té al menys dues regions de pols còsmica sota la forma de disc. La primera, el núvol de pols zodiacal, està en el Sistema Solar interior i produeix la llum zodiacal. Probablement es va formar a través d'una col·lisió a l'interior del cinturó d'asteroides causat per les interaccions amb els planetes. La segona s'estén entre 10 i 40 UA i probablement es va formar durant col·lisions similars en el Cinturó de Kuiper. Són els romanents de l'acreció planetària. Comprenen diverses poblacions d'asteroides, cometes i objectes transneptunians.

## COMETES

Els cometes són petits cossos del Sistema Solar, amb diàmetres de l'ordre de quilòmetres, generalment compostos de gels volàtils. Tenen òrbites molt excèntriques, amb el periheli de vegades en el Sistema Solar interior, mentre que l'afeli està més enllà de Plutó. Quan un cometa entra en el Sistema Solar interior, la seva proximitat al Sol porta a la sublimació i ionització de la seva superfície, creant una cua: una llarga cua formada de gas i pols.

Estels de període curt (per exemple, el cometa Halley) completen la seva òrbita en menys de 200 anys i sembla que s'originen en el Cinturó de Kuiper. Estels de període llarg (per exemple, el cometa Hale-Bopp) tenen una periodicitat de diversos milers d'anys i semblen originar-se en el núvol d'Oort. Finalment, hi ha alguns estels que tenen una trajectòria hiperbòlica i semblen provenir de fora de el sistema solar. Estels vells que han perdut la major part dels seus components volàtils es consideren avui asteroides.

Els Centauris, situats entre les 9 i 30 UA, són cossos de gel similar als estels, que orbiten entre Júpiter i Neptú. El major centaure conegut, Chariklo, té un diàmetre d'entre 200 i 250 km. El primer centaure descobert, Quiró, va ser considerat en un principi un cometa, ja que va desenvolupar una cua com aquests. Alguns astrònoms classifiquen els centaures com cossos de el cinturó de Kuiper.



Fig. 17: Cometa

## ELS RESERVOIRIS DE COSSOS MENORS EN EL SISTEMA SOLAR

Els reservoris són regions relativament estables de el sistema solar, on els objectes poden romandre durant temps comparables a l'edat de el Sistema, fins que alguna força pertorbativa canviï la seva òrbita.

Hi ha tres grans reservoris al Sistema Solar:

**1. El Cinturó Principal d'Asteroides.** D'aquesta regió provindrien altres poblacions, com la dels asteroides que s'acosten a la Terra (coneguts com NEAS per les seves sigles anglès).

Els asteroides són principalment petits cossos de el sistema solar formats per roques i, minerals metàl·lics no volàtils. El cinturó d'asteroides ocupa una òrbita situada entre Mart i Júpiter, a una distància de 2,3 i fins a 3,3 UA de el Sol. Podrien ser restes de el sistema solar en formació, que no han aconseguit fer un cos celeste més gran, a causa de les interferències gravitatòria de Júpiter.

La mida dels asteroides varia entre diversos centenars de quilòmetres fins microscòpiques motes de pols. Tots, excepte el més gran, Ceres, es consideren petits cossos, encara que alguns d'ells com Vesta i Hygeia podrien ser classificats com a planetes nans, si es demostra que arriben equilibri hidrostàtic. El cinturó d'asteroides conté milers, fins i tot milions de cossos amb un diàmetre de més d'un quilòmetre. No obstant això, la massa total del cinturó no és més gran que la mil·lèsima part de la de la Terra.

Ceres (2,77 UA) és el major cos al cinturó d'asteroides i l'únic planeta nan (classificat així el 2006). Amb un diàmetre de gairebé 1.000 km, és suficient per a la seva gravetat li confereixi la seva forma esfèrica.

**2. El Cinturó transneptunià.** És la regió d'on provenen els cometes de curt període. El cinturó de Kuiper és un gran anell format per les deixalles provinents de la runa d'un gran anell, similar a la del cinturó d'asteroides, però es compon principalment de gel. La primera part del cinturó de Kuiper s'estén entre 30 i els 50 UA de el Sol i es deté en "el penya-segat Kuiper", on comença la seva segona part fins a 100 UA. Aquesta regió es creu que és la font de cometes de curt període. Es componen principalment dels petits cossos, així com d'alguns més grans, com Quaoar, Varuna o Orcus, que poden ser classificats com a planetes nans. El cinturó de Kuiper podria dividir majorment en els objectes "clàssics" i els objectes en ressonància amb Neptú. Un exemple en aquest efecte serien els plutònics que completen dues òrbites mentre que Neptú ha completat tres.

**3. El Núvol d'Oort.** Té una distribució esfèrica i està formada pels planetesimals gelats escombrats cap a fora per planetes gegants durant la formació de l'SS. Gràcies a pertorbacions degudes a el passatge proper d'estrelles o de núvols moleculars gegants, o a les mareas galàctiques, les òrbites d'alguns d'aquests objectes poden canviar desviant cap a l'interior del Sistema Solar, transformant-se en estels de llarg període.

## ALTRES SISTEMES EXOPLANETARIS

El 1995 els astrònoms suïssos Michael Mayor i Didier Queloz van anunciar la detecció d'un exoplaneta orbitant 51 Pegasi. Aquesta estrella i el seu planeta van ser batejats com helvètics i Dimidio el 2015, després d'una votació pública, impulsada per la IAU.

El 10 de maig de 2016 la col·laboració de científics que treballen en el projecte que va posar en òrbita al telescopi Kepler, destinat a la detecció d'exoplanetes de tipus terrestre, va anunciar la col·lecció d'exoplanetes més gran de la que es tingui notícies D'un total de uns 5.000 candidats, més de 3.200 han estat verificats, i 2.325 d'aquests van ser descoberts pel telescopi Kepler.

El satèl·lit de la NASA "Transiting Exoplanet Survey", posat en òrbita el 2018, fa servir el mateix mètode que el telescopi Kepler per monitoritzar 200.000 estrelles brillants properes i buscar planetes, especialment de la mida de la Terra o majors (les super Terres).

Els astrònoms es plantegen preguntes com ara quantes estrelles tenen planetes? Quants d'aquests sistemes exoplanetaris tenen planetes a la zona d'habitabilitat, allà on l'aigua pot estar en estat líquid, i d'aquests planetes situats a una distància adequada de la seva estrella, en quants es desenvolupament la vida, aquests interrogants encara no tenen resposta.

## Bibliografia

- Collin, S, Stavinschi, M., *Leçons d'astronomie*, Ed. Ars Docendi, 2003.
- Kovalevsky, J, *Modern Astrometry*, Springer Verlag, 2002.
- Nato A., *Advances in Solar Research at eclipses, from ground and from space*, eds. J.P. Zahn, M. Stavinschi, Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 558, Kluwer Publishing House, 2000.
- Nato A, *Theoretical and Observational Problems Related to Solar Eclipses*, eds. Z. Mouradian, M. Stavinschi, Kluwer, 1997.