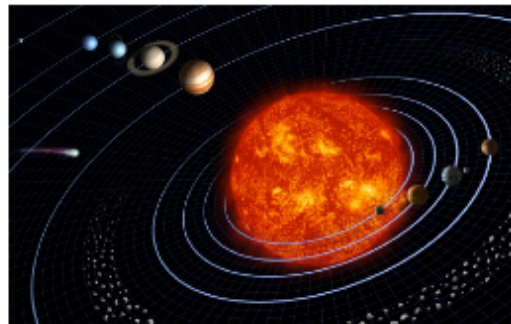


El Sistema Solar

El **sistema solar** està format per un conjunt d'astres en òrbita al voltant del Sol, lligats per la força de gravetat, que es va crear a partir del colapso del gran núvol molecular, fa uns 4.600 milions d'anys aproximadament. Els objectes al voltant el Sol l'encerclen en una espècie de disc prim anomenat pla de l'eclíptica, que l'ocupen els 8 planetes, 162 satèl·lits naturals, planetes nans com Plutó, Eris i Ceres, i un incommptable nombre d'asteroides, meteorits i cometes, envoltat pel medi interplanetari, format de gas i pols. Tot aquest conjunt està situat en un dels braços de la galàxia espiral Via Làctia, girant al voltant del seu centre des de 26.000 anys-llum de distància i a una velocitat de 220 km/s.



Visió artística del Sol, els planetes del sistema solar i les seves òrbites, el cinturó d'asteroides i un cometa. Les mides dels astres s'hi representen molt exagerades respecte a les seves distàncies. Visió artística del Sol, els planetes del sistema solar i les seves òrbites, el cinturó d'asteroides i un cometa. Les mides dels astres s'hi representen molt exagerades respecte a les seves distàncies.

Composició i estructura del sistema solar

Cossos

En termes generals, el sistema solar està estructurat de la forma següent: al centre es troba el Sol, una estrella. Al voltant del Sol giren els 8 cossos majors, anomenats planetes, que són (ordenats del més proper al més llunyà al Sol): Mercuri, Venus, la Terra, Mart, Júpiter, Saturn, Urà i Neptú; Plutó des del 24 d'agost de 2006 ja no és considerat un planeta, sinó un planeta nan. També al voltant del Sol giren centenars de milers de cossos més petits que, segons la seva mida, composició i òrbita es classifiquen en planetes menors o planetoides, meteoroides i cometes. Els planetes menors es divideixen en dos grups: els asteroides i els objectes transneptunians, encara que a vegades quan es parla d'asteroides es fa referència a tot el conjunt de planetes menors. Els podem trobar escampats per tot el sistema solar però principalment es concentren en dues regions: el cinturó d'asteroides o cinturó principal, situat entre les òrbites de Mart i Júpiter i el cinturó de Kuiper, que es troba més enllà de l'òrbita de Neptú. Els meteoroides són petites roques de menys de 50 metres de diàmetre que estan escampades per tot el sistema solar. Els cometes són enormes blocs de gel i roca amb òrbites molt excèntriques. Es creu que podria existir una regió molt allunyada del Sol anomenada núvol d'Oort que seria la font d'on provenen els cometes.

Al voltant dels planetes giren els satèl·lits naturals o llunes. Cada planeta té un nombre diferent de satèl·lits. En total, se n'han descobert 162 i estan distribuïts així: a la Terra, 1 satèl·lit; a Mart, 2 satèl·lits; a Júpiter, 63 satèl·lits; a Saturn, 56 satèl·lits; a Urà, 27 satèl·lits; a Neptú, 13 satèl·lits i a Plutó, 3 satèl·lits. Mercuri i Venus no en tenen cap. Aquestes xifres estan contínuament

subjectes a canvi degut al descobriment de nous satèl·lits. Alguns asteroides tenen els seus propis satèl·lits naturals que s'anomenen satèl·lits asteroidals.

Òrbites

Tots els cossos del sistema solar estan lligats al Sol a través de la força de la gravetat segons la llei de la gravitació universal de Newton. El mateix passa entre els satèl·lits i els cossos als quals orbiten. La gravetat és una força atractiva la intensitat de la qual és més gran quanta més massa té un cos i s'afebleix a mesura que la distància entre els cossos augmenta. El Sol és, amb molta diferència, el cos amb més massa del sistema solar (un 99,86%), per això atrau a tots els altres cossos cap a ell. Al mateix temps, cada cos atrau al Sol cap a ell però aquest efecte és tan petit que el podem ignorar. Aquesta força d'atracció provoca que els cossos "caiguin" cap al Sol, però com que al mateix temps es mouen a gran velocitat en direcció perpendicular a la força d'atracció, per la 3ª llei de Newton apareix una força de reacció que s'equilibra amb la gravetat i permet als cossos mantenir-se en trajectòries més o menys estables anomenades òrbites.

Les òrbites dels cossos del sistema solar estan determinades per les lleis de Kepler, descobertes per l'astrònom alemany Johannes Kepler entre el 1609 i el 1618. Aquestes lleis són tres i diuen el següent:

- **1a Llei:** *Els planetes descriuen òrbites el·líptiques, amb el Sol situat en un dels focus.*
El grau d'allargament d'una el·lipse es mesura amb l'excentricitat, que val 0 si la corba és una circumferència i 1 si és una paràbola. Per a la majoria de planetes, l'excentricitat és menor que 0,1 i, per tant, les seves òrbites són pràcticament circulars. Dues excepcions són Mercuri amb 0,21 i Plutó amb 0,25.
- **2a Llei:** *La línia que uneix un planeta amb el Sol escombra àrees iguals en temps iguals.*
És a dir, el planeta es desplaça més ràpidament quan està a prop del Sol (al voltant del periheli) que quan n'està allunyat (al voltant de l'afeli). Això és així perquè la gravetat del Sol accelera el planeta quan s'acosta i el desaccelera quan s'allunya. Com que les òrbites dels planetes són quasi-circulars aquest efecte no es nota gaire. És molt més evident, però, en les òrbites dels cometes, que tenen òrbites molt excèntriques.
- **3a Llei:** *El quadrat del període orbital d'un planeta és directament proporcional al cub del semieix major de la seva òrbita.*
Quant menor és la distància mitjana Sol-planeta, menys tarda aquest en completar la seva òrbita: Mercuri es mou més ràpid que Venus, Venus més ràpid que la Terra,... i així successivament fins a Plutó que tarda 248 anys en donar una volta al Sol.

Kepler va enunciar aquestes lleis per a les òrbites dels planetes al voltant del Sol però, de forma més general, són vàlides per a qualsevol cos que n'orbiti a un altre sempre i quan la massa del cos orbitant sigui negligible respecte a la massa del cos central. Això es compleix per als planetes respecte al Sol i per a la majoria de satèl·lits respecte als seus corresponents planetes. Una altra limitació d'aquestes lleis és que no funcionen bé en un sistema de més de dos cossos. Per exemple, en el cas del sistema Sol-Terra-Lluna l'aproximació no és gaire bona. Per a calcular l'òrbita de la Lluna, el mètode empíric inventat per Ptolemeu fa més de dos mil anys és més exacte que les lleis de Kepler. Isaac Newton va generalitzar les lleis de Kepler per als cossos amb una velocitat major que la velocitat d'escapament i que, per tant, no tindran una òrbita el·líptica sinó parabòlica o hiperbòlica. En aquests casos, la segona llei continua sent vàlida però

la tercera llei no és aplicable ja que, al ser òrbites obertes, el moviment no serà periòdic.

A més de seguir les lleis de Kepler, les òrbites dels planetes del sistema solar es caracteritzen per trobar-se, aproximadament, en un mateix pla anomenat pla de l'eclíptica. El pla de l'eclíptica és el pla que conté l'òrbita de la Terra. El fet d'haver pres aquest pla com a pla de referència és per comoditat, en podríem haver escollit qualsevol altre. El fet important és que la inclinació dels plans orbitals dels planetes és gairebé la mateixa per a tots ells. La principal excepció és Plutó, l'òrbita del qual està inclinada 17° respecte a l'eclíptica. Els cometes i molts dels objectes transneptunians també tenen òrbites molt inclinades. Aquest és un dels motius pels quals es pensa que Plutó podria no ser un verdader planeta sinó un planetoide. Aquest aplatament dels plans de les òrbites és conseqüència del procés de formació del sistema solar: la rotació de la nebulosa solar va provocar el seu propi aplatament formant un disc perpendicular a l'eix de rotació del Sol. Els cossos amb òrbites molt inclinades s'haurien format molt aviat en el procés de formació, abans que la nebulosa s'aplatés massa.

Distàncies

Quan s'han de mesurar distàncies dins del sistema solar, les unitats de longitud que s'utilitzen habitualment a la Terra, com ara el quilòmetre, queden petites. Per qüestions pràctiques, s'ha definit una unitat anomenada unitat astronòmica o UA de forma que 1 UA és igual a la distància mitjana entre el Sol i la Terra, és a dir, uns 150 milions de km.

Tot i el fet que en molts diagrames (com en el de la imatge inferior), per qüestions pràctiques es representa el sistema solar com si hi hagués la mateixa distància entre l'òrbita de cada planeta, en realitat les òrbites planetàries segueixen, aproximadament, una progressió geomètrica, és a dir, que cada planeta es troba al doble de distància del Sol que el planeta precedent: Venus està el doble de lluny que Mercuri, la Terra el doble que Venus, Mart el doble que la Terra,... Aquesta relació s'expressa en la llei de Titius-Bode, una fórmula matemàtica per a predir el semieix major (a) de l'òrbita dels planetes en UA. S'escriu així:

$$a = 0.4 + 0.3 \times k$$

on $k = 0, 1, 2, 4, 16, 32, 64, 128$.

Segons aquesta fórmula, esperaríem que Mercuri ($k = 0$) es trobés a 0,4 UA i Mart ($k = 4$) a 1,6 UA. En realitat, aquesta llei només es compleix aproximadament (Mercuri està a 0,39 UA i Mart a 1,52 UA); a $k = 8$ no hi ha cap planeta sinó Ceres, l'asteroide més gran; Neptú està molt més a prop de l'esperat i Plutó es troba allà on hauria d'estar Neptú. Actualment no hi ha cap explicació científica de perquè aquesta llei "funciona" i molts diuen que és només coincidència.

Distància mitjana del Sol

Nom	Semieix major (UA)
Mercuri	0,39
Venus	0,72
Terra	1,00

Mart	1,52
Cinturó d'asteroids	2,06 - 3,27
Júpiter	5,20
Saturn	9,54
Urà	19,18
Neptú	30,06
Cinturó de Kuiper	30-50
Núvol d'Oort	~50.000? - ~100.000

Regions del sistema solar

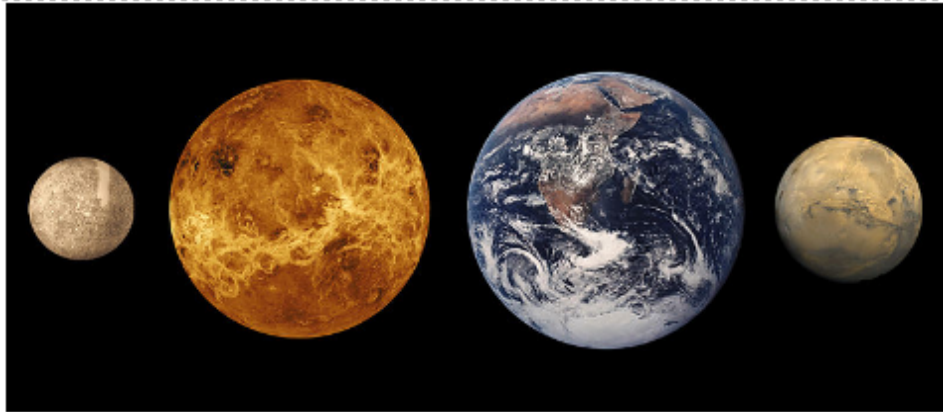
Generalment, els astrònoms divideixen el sistema solar en dues regions: el sistema solar interior (o tel·lúric) i el sistema solar exterior.

Sistema solar interior

El sistema solar interior és la regió que va des del centre del sistema solar, on es troba el Sol, fins al cinturó d'asteroides (entre 2,06 i 3,27 UA del Sol) i inclou els quatre planetes interiors.

El Sol és una estrella de la seqüència principal de classe espectral G2. Això significa que és una mica més gran i calenta que una estrella mitjana. Té un diàmetre de 1,4 milions de km i una massa de 2·10³⁰ kg. Està format per un 71% d'hidrogen, un 21% d'heli (en massa) i algunes traces d'elements més pesants. En el seu interior, la temperatura pot arribar als 13,6 milions de graus. Aquestes temperatures permeten que en el nucli hi tinguin lloc reaccions nuclears de fusió (principalment, hidrogen que es converteix en heli). L'energia produïda en aquestes reaccions es transmet cap a l'exterior i és radiada a l'espai en forma de llum i calor. La temperatura a la superfície és de 5.780 K que equival a una longitud d'ona de la llum en el rang del color groc. Es va formar fa uns 5.000 milions d'anys, al mateix temps que el sistema solar, i arribarà al final de la seva vida d'aquí a uns 5.000 milions d'anys més. Arribat aquell moment, es convertirà en una gegant vermella i després en una nana blanca.

Els planetes interiors són Mercuri, Venus, la Terra i Mart. També s'anomenen planetes terrestres o tel·lúrics perquè, a diferència dels exteriors, tenen unes característiques físiques semblants a les de la Terra. Es caracteritzen per tenir una escorça de roca sòlida, un diàmetre relativament petit i una densitat relativament alta (~5 gr/cm³) (comparats amb els exteriors). Al seu interior, tots tenen un nucli de ferro i un mantell semi-líquid. Excepte Mercuri, tots tenen una atmosfera gasosa més o menys densa. Tots tenen cràters d'impacte i molts tenen o han tingut activitat tectònica que ha format muntanyes, valls, volcans,... Cap d'ells té anells i només la Terra (la Lluna) i Mart (Fobos i Deimos) tenen satèl·lits naturals.



Els quatre planetes terrestres del sistema solar.
D'esquerra a dreta: Mercuri, Venus, la Terra i Mart.

El cinturó d'asteroides és la regió del sistema solar on es concentren la gran majoria dels asteroides (fins a un 98%). Es troba entre les òrbites de Mart i Júpiter i per tant en el límit entre el sistema solar interior i l'exterior. Els asteroides es diferencien dels planetes per la seva mida més reduïda i dels objectes transneptunians per estar formats per roca sòlida i metalls en lloc de gel. L'asteroide més gran és Ceres amb 950 km de diàmetre. Altres asteroides de gran mida són: Pal·les i Vesta. Alguns asteroides tenen satèl·lits asteroidals com, per exemple, (243) Ida i el seu asteroide Dàctil. La Terra en lloc de tenir aquest nom més habiat hauria de tenir el nom de aigua ja que el 70% del planeta es aigua, per això diuen que és el planeta blau.

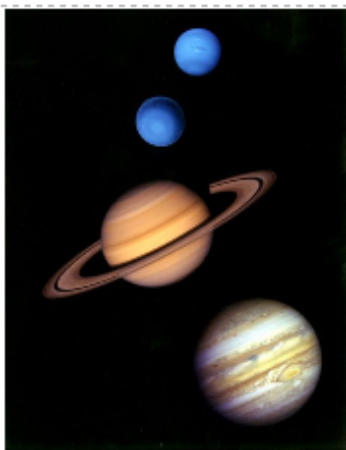
Sistema solar exterior

El sistema solar exterior és la regió que va des del cinturó d'asteroides fins als límits del sistema solar. Inclou els planetes exteriors, els centaures, el cinturó de Kuiper, el disc dispers i el núvol d'Oort. En els últims anys, el descobriment de gran nombre d'objectes en la regió més enllà de l'òrbita de Neptú ha fet que, anàlogament al que passa amb el cinturó d'asteroides, a vegades es consideri el cinturó de Kuiper com el límit del sistema solar exterior.

Els planetes exteriors són Júpiter, Saturn, Urà, Neptú. Es caracteritzen per estar formats majoritàriament per gas (per això s'anomenen també gegants gasosos), pel seu enorme diàmetre i per tenir una baixa densitat ($\sim 1 \text{ gr/cm}^3$) (en relació amb els interiors). La majoria tenen anells i tots tenen un gran nombre de satèl·lits. Els més importants són els satèl·lits galileians a Júpiter, Tità a Saturn, Tritó a Neptú i Caront a Plutó.

Plutó és un cas especial. No tan sols és el més petit dels planetes sinó que també és més petit que el planeta menor 2003 UB313. La seva composició sembla ser de roca i gel com els objectes transneptunians. La seva òrbita és bastant excèntrica i força inclinada respecte a l'eclíptica. Per tot això, en els últims anys s'ha suggerit que Plutó sigui classificat com a planeta menor i no com a planeta.

Els centaures són un tipus de planetes menors amb òrbites entre la de Júpiter i la de Neptú. Principalment, estan compostos de gel. Es pensa que poden ser un estadi intermedi entre els objectes del cinturó de Kuiper i els cometes. El més conegut és Quiró.



Els quatre gegants gasosos del sistema solar.
De dalt a baix: Neptú, Urà, Saturn i Júpiter.

Els objectes transneptunians són cossos gelats amb òrbites més llunyanes que la de Neptú. Es concentren majoritàriament en la regió del cinturó de Kuiper (30-50 UA) (on també es troba Plutó) però també se n'han descobert uns quants amb òrbites més llunyanes i més inclinades anomenats objectes del disc dispers. Precisament en aquesta regió és on es troba el més gran de tots ells: 2003 UB313, que té un diàmetre de 2.400 km aproximadament. 2003 UB313 és també l'objecte conegut que en aquests moments es troba a més distància del Sol (a 97 UA). Altres objectes importants són: Orcus i Quaoar.

El núvol d'Oort és una regió que es creu que podria existir a una distància de 100.000 UA del Sol, molt més enllà de tots els objectes descoberts. És on, suposadament, es trobarien els cometes, fins que alguna cosa els pertorba i desvia la seva òrbita cap a l'interior del sistema solar. L'any 2003 es va descobrir un objecte anomenat Sedna, que és l'objecte descobert que s'allunya més del Sol. Actualment es troba a 90 UA però el seu afeli s'ha estimat en 902 UA. Es creu que podria formar part d'un núvol d'Oort intern.

Els cometes estan compostos bàsicament per gel i tenen òrbites molt excèntriques. Generalment, el seu periheli es troba en el sistema solar interior mentre que l'afeli es troba més enllà de l'òrbita de Plutó. N'hi ha de tres tipus: els de període curt ($P < 200$ anys), els de període llarg ($P > 200$ anys) i els d'aparició única (òrbites parabòliques o hiperbòliques). D'aquests últims no se n'ha descobert cap que provingui de fora del sistema solar sinó que tots tenen l'òrbita pertorbada per Júpiter. El més famós dels cometes és el cometa Halley.

Medi interplanetari

L'espai entre els diferents cossos del sistema solar no està buit. Està tot impregnat d'una "sopa de partícules" anomenada medi interplanetari que conté: radiació electromagnètica (fotons), plasma (electrons, protons i diferents ions), raigs còsmics, partícules microscòpiques de pols i camps magnètics (principalment el del Sol). La seva densitat és molt baixa (5 partícules/cm³ a l'entorn de la Terra) i decreix a mesura que ens allunyem del Sol. S'estén en totes direccions fins a una distància d'unes 150 UA. El Sol, els planetes i tots els altres cossos del sistema solar es mouen a través d'aquest medi.

Enllaços d'interès

1. <http://www.solarviews.com>
2. <http://www.solarsystemscope.com>