

APÈNDIX 7: ASTRONOMIA

El cel està dividit en 88 àrees, anomenades *constel·lacions*, que serveixen per localitzar els diferents objectes astronòmics. Normalment, al llarg del llibre anomenarem els objectes del cel profund en grec, llatí o àrab, d'acord amb la terminologia comunament acceptada per la comunitat científica internacional. Únicament quan fem referència *directa* a personatges mitològics o a objectes del Sistema Solar els escriurem en llengua catalana.

En el que segueix suposarem que es coneix en termes generals el tema de què es parla, tindrem una informació inevitablement *provisional* i les dades seran sovint *aproximades*. A través d'aquest resum, però, hom podrà disposar d'un material de consulta ràpida sobre temes bàsics d'astronomia i *l'observació senzilla del cel*, amb prismàtics o telescopis d'aficionat. L'ús de càmeres amb CCD ("Charge Coupled Device", xips amb fotodíodes altament sensibles a la llum) permet guardar les imatges en un ordinador amb tots els avantatges de procés que això representa.

L'UNIVERS

Per expressar les distàncies astronòmiques fem normalment *l'any llum*, *la unitat astronòmica (UA)* o *el parsec*:

L'any llum és l'espai recorregut per la llum al llarg d'un any.

La UA és la distància mitjana de la Terra al Sol ($150 \cdot 10^6 \text{ km}$).

El parsec és el radi corresponent a un arc d'1 UA i un angle central de 1" i equival a 3,26 d'anys llum.

La distància a què es troba un objecte no gaire llunyà pot trobar-se per triangulació. En el cas que l'objecte estigui dins del cel profund, a través del càlcul de la seva lluminositat absoluta i de la mesura de la seva lluminositat aparent podem conèixer fàcilment aquella distància. Per trobar la lluminositat absoluta d'un objecte, aquest haurà de tenir unes característiques que ens

permetin conèixer-la: es tracta de les *candeles estàndard*. Entre les candeles estàndard de l'univers podem esmentar aquestes:

a) Als *estels cefeïdes* la seva lluminositat absoluta és una funció coneguda del seu període lumínic.

b) A les *supernoves tipus Ia* la seva lluminositat absoluta és pràcticament constant.

Per a les galàxies més llunyanes utilitzem el mètode de *Tully-Fisher* que relaciona la lluminositat total de la galàxia amb el seu ritme de rotació; o el de *Faber-Jackson* que relaciona la lluminositat total de la galàxia amb les velocitats aleatòries dels estels propers al seu nucli, detectades a partir dels seus espectres.

Els efectes de *lent gravitacional* provocats per una galàxia a la llum procedent d'objectes situats darrera d'ella amb la formació d'imatges múltiples, com la *creu d'Einstein*, són l'origen de complicacions en el càlcul de les distàncies d'objectes llunyans.

El nostre univers s'estén en totes direccions més enllà dels 10.000 milions d'anys llum i en ell hi ha uns 100.000 milions de galàxies amb una mitjana de 100.000 milions d'estels per galàxia. Les galàxies s'agrupen en conjunts anomenats *cúmul de galàxies* i aquests ho fan en conjunts més amplis anomenats *supercúmul de galàxies*. Les galàxies es classifiquen en *el·líptiques (E)*, *espirals (S)* (s'anomenen *espirals barrades (SB)*, si els seus braços surten d'una barra central), i *irregulars (Irr)*. És probable que els *quàsars*, les *galàxies Seyfert*, els *objectes BL Lacertae* i les *radiogalàxies* siguin galàxies amb forats negres en el seu si.

La nostra galàxia és una espiral *SB*, la *Via Làctia* (el seu nom prové de la llet que brollà del pit d'Hera que Hèrcules va prémer quan ella l'alletava), té un diàmetre d'uns 100.000 anys llum, conté uns 200.000 estels i el cúmul de galàxies al qual pertany és el *Grup Local* amb unes 30 galàxies. El Grup Local té un diàmetre d'uns 3 milions d'anys llum i la seva galàxia més gran és *Andromeda*, que és la galàxia espiral més propera a nosaltres. La nostra *Galàxia* es fusionarà amb Andromeda dintre d'uns 5.000 milions d'anys. Andromeda, la Via Làctia i la galàxia *M33* són les galàxies de major grandària del Grup Local i les úniques galàxies espirals que hi ha en ell. La *Galàxia Nana de Sagittarius* és la galàxia del Grup Local més propera a nosaltres i s'està fusionant lentament amb la Via Làctia (donada la gran diferència de grandària entre

elles, el terme apropiat en aquest cas no seria el de *fusió galàctica*, sinó el de *canibalisme galàctic*). Segueixen en proximitat a nosaltres *els Núvols Gran i Petit de Magallanes*, galàxies irregulars del Grup Local. *Herschell* (s.XVIII) estudià la Via Làctia i *Parsons* (s.XIX) les galàxies *E*.

El Grup Local pertany al *supercúmulo local* (anomenat també *supercúmulo de Virgo*), amb uns 200 milions d'anys llum de diàmetre i més de 10.000 galàxies, que és atret pel supercúmulo del *Gran Atractor* que té un diàmetre d'uns 200 milions d'anys llum, es troba a una distància d'uns 150 milions d'anys llum de nosaltres i té unes 100.000 galàxies. El *Cúmulo de Virgo*, pertany al supercúmulo local, es troba a una distància d'uns 50 milions d'anys llum, té un diàmetre de 9 milions d'anys llum i conté unes 2.000 galàxies. Entre aquestes galàxies es troba l'el·líptica *M87* que inclou probablement un forat negre en el seu si. El *Cúmulo de Virgo* ocupa les constel·lacions de *Virgo* i *Coma Berenices* i per això se l'anomena sovint *Cúmulo de Virgo-Coma*. Aquest cúmulo no s'ha de confondre amb el *Cúmulo de Coma* que es troba molt més lluny i a una distància superior a la del Gran Atractor.

La *Gran Muralla* és un altre dels molts supercúmuls que hi ha a l'univers amb una amplària d'uns 500 milions d'anys llum i a una distància d'uns 250 milions d'anys llum de nosaltres. Els supercúmuls de galàxies estan units per filaments molt tènues tot formant una xarxa "neural" i és molt probable que únicament a partir d'unitats més grans que els supercúmuls puguem parlar amb propietat de la distribució uniforme de la matèria a l'univers.

Les rotacions i translacions de les galàxies, que es poden detectar per l'efecte *Doppler* i que acabaran amb la fusió de moltes d'elles, originen errors en la mesura de les velocitats d'expansió galàctiques i dificulten l'aplicació de la llei de *Hubble* i el càlcul de distàncies de les galàxies: és el que passa amb les velocitats de 200 km/s de la Via Làctia cap al Grup Local i d'aquest cap al supercúmulo local. Segons que es creu, una *radiogalàxia* (com la *Centaurus A*, la més propera al Sol) pot ser una galàxia amb un important forat negre que en atreure altra galàxia dona lloc a una gran radiació electromagnètica

Per anomenar els objectes del cel profund, com les nebuloses, els cúmuls i les galàxies, s'utilitza *generalment* un número

precedit de les lletres *M*, *NGC* o *IC*, segons que figurin als catàlegs *Messier*, *New General* o *Index*. Hi ha, tanmateix objectes, com els *BL*, que reben denominacions diferents. El catàleg d'*Abell* conté una relació molt extensa de cúmuls de galàxies.

LA VIA LÀCTIA

La Via Làctia és una galàxia espiral *SB* i té un moviment de rotació entorn del seu centre d'uns 250 milions d'anys (*l'any galàctic*). El seu diàmetre és d'uns 100.000 anys llum. La majoria dels seus 200.000 milions d'estels es troben al *disc* format pels *braços*, pel *nucli* i pel voltant d'aquest (el *bulb*). Els estels joves de la *població I* s'han format a partir de les restes dels estels més vells de la *població II* i de la ja desapareguda *població III*. Els estels de la població I tenen, òbviament, un contingut en elements pesants més alt que el de la població II. Al bulb trobem estels de la població II i a la resta del disc estels de la població I. Als braços hi ha núvols de pols còsmic, d'on naixeran nous estels, i els *cúmuls oberts* (abans anomenats *cúmuls galàctics*, que no s'han de confondre amb els cúmuls de galàxies) formats per agrupacions disperses d'estels fonamentalment joves. Al voltant del disc hi ha l'*halo* format pels *cúmuls globulars*, agrupacions d'estels molt vells amb forma esfèrica compacta que pertanyen a la població II (tanmateix, el cúmul globular NGC2419 de *Lynx*, a l'hemisferi nord, sembla que està fora de la nostra galàxia). Quan observem la Galàxia durant la nit en la direcció del seu pla veiem una concentració d'estels molt més gran que en les altres direccions: es tracta de la Via Làctia, que dóna el nom a tota la Galàxia.

Les *nebuloses* són núvols de gas i pols situades a l'espai. Hi ha dos tipus essencials de nebuloses: *les nebuloses brillants* i *les fosques*. Les nebuloses brillants poden tenir llum pròpia (*brillants* pròpiament dites) o reflectir la llum dels estels del voltant (*de reflexió*). Les nebuloses fosques intercepten la llum que ens ve de més enllà d'elles. Les nebuloses brillants es classifiquen en nebuloses *difuses*, que es troben en indrets amb estels joves o en formació, com als cúmuls oberts; nebuloses *planetàries*, despreses d'estels gegants vermells; i *restes de supernova*.

El pla de la Galàxia conté els braços que indiquem a continuació, des del més proper al més allunyat del centre:

- >Braç de tres kiloparsecs.
- >Braços de Norma i Escutum.
- >Braç de Crux-Carina-Sagittarius.
- >Braç local o d'Orion.
- >Braç de Perseus.
- >Braç exterior.

El Sol es troba en el braç d'Orion a uns 30.000 anys llum del centre galàctic i en el seu moviment de translació aparent al voltant de la Terra descriu una trajectòria (*l'eclíptica*) que passa per una sèrie de constel·lacions que constitueixen el *zodiàc*. L'angle que formen els plans de l'equador i de l'eclíptica és d'uns 23.5°. Els plans galàctic i de l'eclíptica són molt diferents.

- Aquestes són algunes de les constel·lacions del pla galàctic:
- Scorpius->Sagittarius->Scutum->Aquila->Cygnus->
 - >Cepheus->Cassiopeia->Perseus->Auriga->Gemini->
 - >Monoceros->Puppis->Vela->Carina->Crux->
 - >Centaurus->Norma-Ara->Scorpius

El nucli galàctic sembla que conté un forat negre de 3×10^6 masses solars (Andromeda en té un molt més massiu) i es troba en la direcció de Sagittarius. L'eix perpendicular al *pla galàctic* (eix galàctic) uneix el pol nord galàctic (a Coma Berenices) i el pol sud galàctic (a Sculptor).

Identifiquem els estels pel seu nom propi, si és conegut. A un gran nombre d'estels se li assigna un nom format per una combinació de lletres o números seguida del genitiu (en llatí) del nom de la constel·lació. Els estels més brillants s'anomenen amb lletres gregues (les lletres α, β, \dots ens indiquen estels amb brillantor cada cop més petita, *generalment*). Així, α Cygni és l'estel més brillant de la constel·lació de Cygnus i 30 Cygni n'és un altre estel.

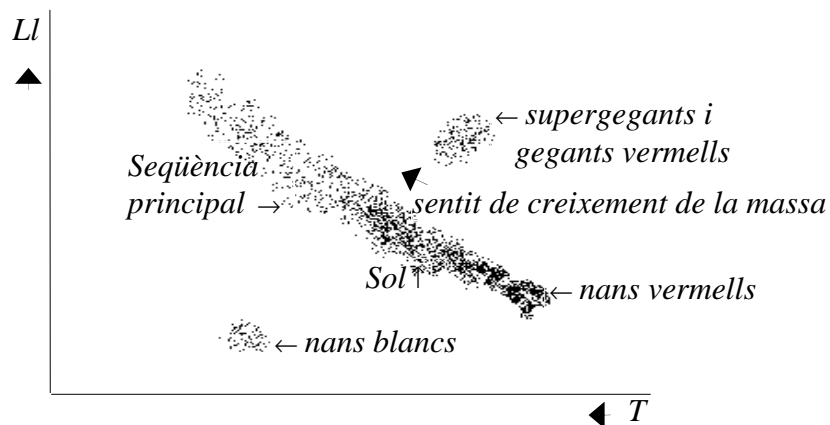
Dos objectes de lluminositats L_1 i L_2 , absolutes o aparents, tenen una diferència a l'escala de *magnituds*, absolutes o aparents també, de $m_1 - m_2 = -2.5 \cdot \log(L_1/L_2)$ (*llei de Pogson*). Aquí observem que amb l'augment de la lluminositat d'un estel disminueix la seva magnitud que assigna valors baixos o negatius als objectes més brillants, mentre que els objectes menys brillants reben valors més alts. La mesura *bolomètrica* de la lluminositat aparent o absoluta

d'un objecte té en compte tota l'amplitud de l'espectre mesurada amb un bolòmetre. Les magnituds seran *visuals*, *fotogràfiques*, *fotovisuals* o *bolomètriques*, segons els mitjans emprats per mesurar la lluminositat.

El fet que un estel més lluminós tingui una magnitud més petita a l'escala té unes raons històriques. *Hiparc de Nicea* (s.II a.C.) féu el primer catàleg seriós d'estels. Ell classificà els estels en sis tipus diferents, segons la seva brillantor. Més endavant *Ptolemeu d'Alexandria* (s.II d.C) a partir del catàleg anterior assignà als estels valors numèrics d'acord amb la seva lluminositat aparent. Els estels més brillants eren de magnitud 1 i els menys brillants de magnitud 6. Els nombres actuals assignats a les seves magnituds respecten *en certa mesura* els valors anteriors.

La lluminositat aparent d'un objecte celeste depèn de la lluminositat absoluta i de la seva distància a la Terra. Fins a una magnitud visual aparent de 6 l'objecte es pot veure a ull nu.

Al diagrama H-P (*Hertzprung-Russell*) podem seguir l'evolució dels estels i situar-los en funció de la seva temperatura exterior, que fixa el seu color i és molt inferior a la del nucli, i de la seva lluminositat absoluta, segons veiem a la figura que segueix, on els vectors indiquen el sentit creixent de la variable. Un conjunt d'estels serà jove, si la majoria d'ells pertanyen a la *seqüència principal*, i vell, en cas contrari.



La temperatura superficial equivalent d'un estel és aquella que donaria lloc a la lluminositat absoluta real segons la llei de radiació del cos negre. Mentre que els neutrins generats al nucli

surten espontàniament (en uns 2s, al Sol), els fotons poden trigar milions d'anys en fer-ho i interaccionen amb la matèria a través de la seva absorció i reemissió contínues. Això frena espectacularment el ritme de radiació des de la superfície i fa que la temperatura equivalent d'aquesta sigui molt inferior a la del nucli.³⁹ Degut al gran gradient tèrmic, el transport energètic interior des del nucli en els estels molt massius es realitza per convecció fonamentalment (*nucli convectiu*). En els estels poc massius, altrament, aquell es fa majoritàriament per radiació (*nucli radiatiu*).

Els estels es classifiquen en set grups, segons el seu color: *O* (molt blaus), *B* (blaus), *A* (blanc-blaus), *F* (blancs), *G* (grocs, com el Sol), *K* (taronges), *M* (vermells). A aquesta classificació, anomenada de *Draper* o de *Harvard*, hom afegí les classes d'estels vermells amb les lletres *R*, *N* i *S*. El color de l'estel depèn de la seva temperatura superficial. Un sufix numèric entre 0 i 9 acaba de fixar les característiques de l'espectre de l'estel.

Finalment, podem afegir-hi un número romà que des de *I* a *VII* ens va indicant la *lluminositat*, que pot variar àmpliament per a un tipus espectral determinat:

- Ia-0 Hipergegants
- Ia Supergiants lluminosos
- Iab Supergiants normals
- Ib Supergiants poc lluminosos
- II Gegants brillants
- III Gegants
- IV Subgegants (estels en camí d'esdevenir gegants)
- V Nans (estels de la seqüència principal)
- VI Subnans (estels de la població II per sota de la seqüència principal)
- VII Nans blancs

Així, el Sol és un estel tipus G2V i G2III representarà un de gegant amb la mateixa temperatura superficial que el Sol.

Si augmenta la massa d'un estel (des de 0.08 a 120 masses solars aproximadament) ho fan també la temperatura interior, per poder equilibrar l'atracció gravitatòria, i la velocitat de la fusió: el temps en què ell roman dins de la seqüència principal disminueix (des de 10^{11} fins a 10^6 anys), mentre la temperatura superficial creix (des d'uns 3.500K fins a uns 40.000K).

Si la massa d'un estel és superior a $0.08M_{\odot}$, podem assolir una temperatura de 10^7K que permetrà superar per *efecte túnel* la repulsió electrostàtica entre els nuclis i farà possibles les reaccions de fusió d'hidrogen amb formació d'heli. L'energia generada per la fusió nuclear equilibrarà l'atracció gravitatòria mentre la massa de l'estel no superi $120M_{\odot}$, que és *el límit d'Eddington* (pensem, però, que una massa superior a $50M_{\odot}$ no és gaire comuna). Per altra banda, cal recordar que l'energia nuclear no és imprescindible per tenir una radiació estable: sense la fusió nuclear un estel com el Sol podria tenir una radiació com la d'ara durant 10^8 anys gràcies a la pèrdua de l'energia gravitatòria, amb una vida, tanmateix, molt inferior a l'actual.

A causa de les altes temperatures la fusió nuclear es realitza en el si d'un plasma iònic i la interacció feble crea molts neutrins.

La fase de contracció prèvia a la de formació de l'estel (*protoestel*) es caracteritza per l'emissió d'energia a la zona infra-roja (*nan marró*). Si la massa d'un cos no és suficient per al pas a estel, com ocorre amb el planeta *Júpiter*, ell s'anirà apagant.

Hi ha dos canals per a la fusió d'hidrogen en heli: *la reacció protó-protó* i *el cicle de carboni-nitrogen-oxigen*. En el segon (*cicle CNO o cicle de Bethe*) es requereix una mica de carboni, nitrogen i oxigen, que actuen com a catalitzadors, i *la velocitat de la fusió s'accelera extraordinàriament*. En ambdós casos es fusionen quatre nuclis d'hidrogen per formar un nucli d'heli i es produeixen altres nuclis que podran servir com a combustible en fases posteriors. Amb una massa que sigui inferior a $2M_{\odot}$ no arribem a assolir els 2×10^7K necessaris perquè el cicle CNO tingui importància. Més enllà de $2M_{\odot}$ el cicle CNO pren tot el protagonisme i la fusió s'accelera. Mentre els estels cremen hidrogen es troben a la *seqüència principal* i el temps en què hi romanen (des d'uns 10^{11} a uns 10^6 anys) disminueix amb la massa. Així, els *cúmuls globulars*, amb pocs estels a la seqüència principal, estan formats per estels molt vells, altrament al que passa als *cúmuls oberts*.

Amb el temps es va formant un nucli d'He inactiu que, quan té massa suficient, es contrau lleugerament. Això origina un augment de la temperatura, degut a la pèrdua d'energia potencial gravitatòria, i de la pressió que contrarestarà la gravitació pròpia: l'hidrogen es continuarà cremant al voltant del nucli (*combustió en*

capa) mentre la massa del nucli d'heli augmenta. La producció d'energia a la capa és elevada i la forta pressió de radiació expandeix les zones externes amb disminució de la seva temperatura (*estel gegant vermell*).

Quan la relació entre la massa del nucli i la de l'estel superi el límit de *Chandrasekhar-Schönberg* el nucli d'heli no suportarà l'acció conjunta de la pressió de les capes superiors i de l'augment de la gravitació pròpia. A partir d'aquest moment la massa de l'estel condicionarà la seva evolució. Per a masses que siguin inferiors a $0.5M_{\odot}$ no s'arribarà a assolir la temperatura de $10^8 K$ que permet la fusió de l'heli amb formació de carboni i l'estel esdevindrà un nan blanc.

Si la massa de l'estel supera el valor anterior, podrem arribar a la fusió de l'heli. Tanmateix, si la massa de l'estel fos inferior a $3M_{\odot}$, abans d'assolir-se la temperatura de combustió de l'heli el seu nucli degeneraria i els electrons romandrien lliures. Un gas degenerat no s'expandeix en créixer la seva temperatura. Quan aquesta finalment ho permetés, l'heli cremaria sobtadament (*flaix d'heli*), deixaria de ser degenerat i a partir d'aquí l'heli es podria fusionar normalment.

La fusió de l'heli ocorre a través del procés *triple-alfa* ($T \cong 10^8 K$) mentre l'estel es transforma en un *gegant vermell* i s'expandeix amb una temperatura superficial més petita i una radiació gran: el Sol dins d'uns altres 5.000×10^6 anys fagocitarà Mercuri i Venus, impedirà la vida a la Terra i la permetrà, potser, més enllà. Les *possibles* oscil·lacions de la grandària de l'estel originaran diferències de temperatura i la lluminositat variarà amb un període gran (estrelles tipus *Mira*, fonamentalment). Les *nebuloses planetàries* apareixen en la fase final de la vida d'un estel vermell gegant quan la contracció del seu nucli ocasiona un augment de la temperatura i l'expulsió de matèria més enllà d'ell.

Al cap d'uns milions d'anys tenim uns processos semblants al de formació d'heli: si la massa de l'estel és superior a $8M_{\odot}$, podrem assolir els $5 \cdot 10^8 K$ per fer possible la fusió del carboni durant uns 500 anys, anant potser tot el procés precedit d'un *flaix de carboni* amb un nucli degenerat, i l'estel evolucionarà cap a un *supergegant vermell*.

A partir d'una massa de l'estel superior a $10M_{\odot}$ tindrem una temperatura de $2 \cdot 10^9 K$ que permetrà que l'oxigen es cremi en uns pocs mesos. Finalment, amb una massa més enllà de $11M_{\odot}$ podrem assolir la temperatura de $3 \cdot 10^9 K$ i cremar el silici en 1 dia aproximadament. Amb la combustió del silici es forma un nucli de ferro i les reaccions de fusió s'acaben. L'estel serà un *plasma* iònic amb simetria esfèrica on els elements més senzills es trobaran a l'exterior. *Pensem, tanmateix, que la part que resta a l'estel sense fusionar és considerable degut que les temperatures en zones allunyades del nucli no són suficientment elevades: així, en un estel com el Sol només es cremarà un 10% aproximadament del seu hidrogen.*³⁹ Més enllà del ferro les reaccions de fusió són endotèrmiques i després de la seva formació esdevindrà el col·lapse final. Els nuclis més complexos es podran formar gràcies a l'energia generada durant aquest col·lapse gravitatori deguda fonamentalment als neutrins que apareixen a partir de la conversió de protons en neutrons. L'ona de xoc originerà l'explosió d'una *supernova gravitacional* i donarà lloc més endavant a la formació de *noves estructures* a partir dels residus escampats (el Sol, en particular, és una *estrella de segona generació* sorgida de les cendres d'explosions estel·lars prèvies).

La massa *residual* condicionarà la formació d'un estel neutrònic o d'un forat negre. Els estels que no poden anar més enllà en la fusió i tenen una massa inferior a $1.4M_{\odot}$ (límit de *Chandrasekhar*) es convertiran a la fi en un *nan blanc* tot dispersant-se lentament les capes més externes de l'estel, que s'anirà refredant fins esdevenir un *nan negre*. La densitat d'un nan blanc és molt elevada gràcies a la degeneració electrònica que impedeix el col·lapse definitiu a causa de la repulsió originada pel principi d'exclusió de *Pauli*: un estel com el Sol tindria un radi semblant al de la Terra.

En qualsevol cas, quan la fusió finalitzi, si se supera el límit de *Chandrasekhar*, s'obtindrà al llarg d'un temps aproximat d'1 s un *estel de neutrons* (format per neutrons degenerats originats per la unió de protons i electrons gràcies a les elevades temperatures d'uns $10^{10} K$), mentre no s'ultrapassi el límit d'*Oppenheimer-Volkoff* (entre 1,6 i 2 masses solars, encara que actualment aquest límit s'eleva al voltant de 3) que originaria un *forat negre* en 0.001 s.

Els forts camps gravitatoris dels forats negres i dels estels de neutrons poden accelerar molt la matèria propera i causar grans radiacions -els "jets" que en ser observats per nosaltres s'anomenen "blazes"- (*radiofonts, quàsars*). Els quàsars tenen un elevat desplaçament cap al vermell, amb una alta velocitat de recessió i una posició molt llunyana; la llum que rebem prové, doncs, d'un temps passat en què el forat negre o l'estel de neutrons tenien una gran activitat inicial.

Els estels neutrònics en rotació poden crear un camp magnètic rotatori, gràcies a l'espín neutrònic, amb la direcció no coincident amb l'eix de rotació, i les radiacions anteriors ens arribaran quan el seu feix estigui dirigit cap a nosaltres, amb un període dependent de la velocitat de rotació: es tracta dels *púlsars* (els *LGM*->"Little Green Men", els senyals dels hipotètics extraterrestres en el passat). La freqüència elevada d'un púlsar i la seva gran velocitat de rotació són degudes al petit radi de l'estel altament comprimit: el radi d'un estel de neutrons (uns 20 km), és de l'ordre d'uns dos milers de vegades inferior a la d'un nan blanc de tipus solar.

Amb els estels que hom troba junts cal distingir entre els estels *dobles* o *binaris*, relacionats gravitacionalment, i els *dobles òptics*, que veiem units, però que no tenen cap relació entre ells. Un estel *binari espectroscòpic* és aquell en què no podem separar visualment els seus components, però podem deduir la seva existència per la duplicitat dels espectres rebuts. En un *binari eclipsant* un dels components periòdicament és ocultat parcialment o total.

En un estel binari un dels seus components pot capturar matèria de l'altre (*acreció*) amb conseqüències explosives: si l'acreció ocorre per la presència d'un estel de neutrons o un forat negre tenim un *binari de raigs X* i en els altres casos un *binari cataclísmatic*, com ocorre en les noves i en les supernoves. En un sistema binari un nan blanc pot atreure molt ràpidament matèria de l'estel acompanyant fins assolir una massa de $1.4M_{\odot}$ i permetre un increment fort de temperatura que faci factibles les reaccions següents de fusió: una explosió origina una *supernova termo-nuclear Ia* amb *la destrucció completa* de l'estel i una *massa crítica* i una *luminositat aproximadament constants* d'una supernova a una altra: es tracta de *candeles estàndard*. Si l'atracció de matèria

es fa lentament l'estel no es destruirà, s'encendrà abans d'arribar al límit de *Chandrasekhar* i tindrem una *nova*, *recurrent* o no. En una galàxia com la nostra poden aparèixer 50 noves en un any.

Si entre els productes escampats en una supernova no hi ha hidrogen tenim una supernova tipus *I*; altrament tindrem una supernova tipus *II*. Les supernoves *Ia* són supernoves termonuclears i les *Ib*, *Ic* i *II* supernoves gravitacionals. La radiació fotònica d'una supernova (molt inferior a les de matèria i dels neutrins) pot superar a la de la galàxia. S'espera que explotin de 2 a 3 supernoves per segle en una galàxia espiral com la nostra. A la *Via Làctia* han estat detectades cinc explosions de supernova: les observades a Xina els anys 1006, 1054 (la del *Cranc* a *Taurus*) i 1181 i les detectades per *Ticho Brahe* el 1572 i per *Kepler* el 1604. La supernova observada l'any 1987 ocorregué al *Gran Núvol de Magallanes*.

La lluminositat d'un estel sovint no roman constant. Segons la variació de la seva lluminositat, tenim la classificació següent:

- >*Variables eruptius*: apareixen canvis impredecibles de lluminositat per l'activitat de la cromosfera o de la corona.
- >*Variables cataclísmatics*: noves i supernoves *Ia*.
- >*Variables polsants*: tipus *Mira*, *cefeides*, *RR Lyrae* i *ZZ Ceti*.
- >*Variables eclipsants* (*Algol*,...).

Als estels polsants la variabilitat lluminosa és deguda a la variació de la grandària de l'estel que produeix canvis de densitat que modifiquen, segons *el mecanisme Kappa* (κ és el coeficient d'absorció), l'absorció energètica de les zones de l'estel i ve caracteritzada, entre altres coses, pel període de temps en què duren els canvis. Aquest període pot ser des d'uns segons a uns minuts en els *ZZ Ceti*, fins al voltant d'1 dia en els *RR Lyrae*, fins a uns 50 dies en els *cefeides* i fins a uns 400 dies en els *Mira*. Els *cefeides* i els *RR Lyrae* són gegants grocs, els *Mira* gegants vermells i els *ZZ Ceti* nans blancs.

En l'evolució dels estels apareix gairebé sempre una fase polsant. El pas a la fase de gegant vermell varia segons la massa:

- >Estels molt massius: ells esdevenen abans gegants blaus.
- >Estels de massa intermèdia, com el Sol: es passa en un temps relativament ràpid a la fase de gegant vermell.
- >Estels de petita massa: l'evolució és molt lenta i transcorre un llarg temps en la fase de subgegant.

A continuació donem una relació de les constel·lacions més importants i d'alguns dels objectes significatius per a l'observació senzilla (normalment amb prismàtics) que es troben en la seva direcció (en negreta els estels de 1^a magnitud). Els asteriscs indicaran la necessitat per a l'observació d'un telescopi d'aficionat (*) o molt potent (**). Prescindirem de la lluminositat absoluta dels objectes i tindrem en compte únicament la seva lluminositat aparent. N'indicarem la situació en el zodíac (Z) (l'ordre visual de les constel·lacions s'inverteix, segons l'hemisferi) i la nord/sud (N/S), la magnitud visual aparent (v = lluminositat variable), la classificació espectroscòpica (OBAFGKM) i la intensitat (de I a V). Només esmentarem els estels dobles més significatius. Des d'una latitud nord, per exemple, podrem veure *al llarg de l'any* tots els objectes de l'hemisferi nord i alguns de l'hemisferi sud, en general. La situació dels planetes i asteroides es trobarà consultant les *efemèrides*.

Constel·lacions del zodíac

ARIES (Z) (N): Representa el moltó mitològic del Velló d'Or que anaren a trobar els Argonautes. Es troba a la línia Cassiopeia-Andromeda-Triangulum-Aries-Cetus. Es visualitzen essencialment dos estels: el més brillant és Hamal.

TAURUS (Z) (N): Representa el brau mitològic en què es transformà Zeus per segrestar Europa. Les seves banyes van a Auriga i M1. La cama llarga de Perseus es dirigeix cap a les Pleiades. Conté l'estel doble θ Tauri i l'estel binari λ Tauri.

- **Aldebaran** (0.85v) (KIII), en la línia visual de les Hyades. És "el que segueix" les Pleiades a l'hivern.
- M1 (Nebulosa del Cranc): Restes d'una supernova vista l'any 1054 a Xina, amb un púlsar neutrònic.
- M45 (les 7 Pleiades, filles d'Atles): Cúmulo obert.
- Les Hyades (les nimfes, filles d'Atles, que criaren el déu Dionís): Cúmulo obert amb el doble θ Tauri.

GEMINI (Z) (N): Castor (estel sèxtuple) i Pollux representen els bessons, que navegaren amb els Argonautes.

- **Pollux** (1.2) (KIII).
 - M35: Cúmulo obert.
 - NGC2392 (*): Nebulosa planetària de la Cara de Pallasso.
- CANCER (Z) (N): Representa el cranc mitològic que Hèrcules esclafà en la seva batalla contra Hydra.
- M44: Cúmulo obert del Pessebre entre els dos ases.
 - M67: Cúmulo obert.
- LEO (Z) (N): Representa el lleó de Nemea que Hèrcules matà en un dels seus treballs. Amb Denebola marca la línia Alkaid (Ursa Major)-Canes Venatici-Denebola. Algieba és un estel binari (*) del qual surt "La Falç".
- **Regulus** (1.3) (BV). És un estel doble. Amb Arcturus i Spica forma el Triangle de Primavera.
 - M65 (*), M66 (*), M95 (*) i M96 (*): Galàxies espirals.
- VIRGO (Z) (N/S): Està identificada amb Dike, deessa de la justícia (Libra està a prop), o amb Demèter, deessa del blat. Porrima és un estel binari (*).
- **Spica** (1v) (BV): És un estel cefeida que desapareix del cel a començaments de setembre i està relacionat amb Demèter i les collites al camp.
 - Cúmulo de Virgo (o de Virgo-Coma): Es troba al vèrtex comú dels triangles amb bases Arcturus-Cor Caroli i Arcturus-Spica. No s'ha de confondre amb el Cúmulo de Coma, molt més llunyà. M87 (*) és una galàxia el·líptica del cúmulo i conté un forat negre en el seu si i la radiofont Virgo A.
 - M104 (*): És la galàxia del Barret.
- LIBRA (Z) (S): Personifica la justícia de Virgo. En un principi representava les pinces de Scorpius i per aquesta raó els noms d'alguns estels ens ho recorden.
- Es visualitzen essencialment dos estels paral·lels al cap de Scorpius, α i β Librae: el primer és un estel doble i el segon té una tonalitat verdosa.
- SCORPIUS (Z) (S): Representa l'escorpí que matà Orió (Orion es pon quan Scorpius surt). Antares està al cap i Shaula a la cua. Conté els estels dobles ζ i μ .

- **Antares** (0.96v) (MIab): El seu nom fa referència a Ares (Mart), pel seu color vermell.
- M4 i M80: Cúmuls globulars (a la zona del cap).
- M7 i M6: Parella de cúmuls oberts propers entre si.
- NGC6231: Cúmulo obert cap a la cua de l'escorpió.
- Scorpius X-1: És la font de raigs X més potent del cel i està creada per acreció de la massa d'un estel cap a un estel de neutrons.

SAGITTARIUS (Z) (S): Representa Croto, fill de Pan, disparant contra Scorpius. Conté el centre de la Galàxia, la radiofont Sagittarius A i la Galàxia Nana, la més propera a nosaltres. La "Tetera" permet identificar la constel·lació que es troba tocant Scutum i Serpens.

- M8, M17 i M20 (*): Nebuloses difuses de la Llacuna, Omega i Trífida.
- M18 i M21: Els cúmuls oberts companys de M17 i M20, respectivament.
- M22: És el tercer cúmulo globular més visible del cel.
- M23 i M25: Cúmuls oberts.
- M24: Camp estelat amb el cúmulo obert NGC6603.
- M28, M55,...: Cúmuls globulars abundosos.

CAPRICORNUS (Z) (S): És la cabra mitològica amb cua de peix que representa Pan. Es troba entre Sagittarius i Piscis Austrinus i sota Aquarius. Conté el doble òptic α Capricorni (Algedi) i l'estel doble β Capricorni.

- M30: Cúmulo globular a la vora de Deneb Algedi.

AQUARIUS (Z) (S): Representa el mite del Diluvi que Zeus envià per exterminar els homes malvats. Un jove vessa l'aigua des d'una gerra a la boca d'un peix (Piscis Austrinus). Es troba sota el cap de Pegasus.

- M2: Cúmulo globular.
- NGC7009 (*) i NGC7293: Nebuloses planetàries de Saturn i Helicoïdal, respectivament.

PISCES (Z) (N): Els dos peixos representen Afrodita i el seu fill Eros. Un dels peixos està al "petit cercle" d'estels. Es troba entre Pegasus i Piscis Austrinus.

- M74 (*): Galàxia espiral.

Constel·lacions del nord

ANDROMEDA (N): Representa la princesa, filla de Cassiopea i Cefeu, encadenada i salvada per Perseu. El camí d'Andromeda va des del seu estel Alpheratz o Sirrah, que tanca el quadrat de Pegasus, fins a α Persei (Mirfac). Té l'estel triple γ Andromedae (*)=Almaak.

- M31: Galàxia espiral d'Andromeda. Té les galàxies veïnes M32 (*) i M110 (*).
- NGC752: Cúmulo obert.
- NGC7662 (*): Nebulosa planetària.

AQUILA (N): Representa l'àliga que portà els raigs de Zeus.

- **Altair** (0.8) (AV): Amb Deneb i Vega forma el Triangle d'Estiu.

AURIGA (N): Representa l'auriga Erictoni, criat per Atenea.

- **Capella** (0.1) : Estel binari espectroscòpic format per G6III i G2III.
- M36, M37 i M38: Cúmulos oberts.

BOOTES (N): És el pastor d'una óssa (Ursa Major). Conté l'estel binari ϵ Bootis (*) anomenat Izar o Pulcherrima per la seva bellesa.

- **Arcturus** (-0.1) (KIII): És l'estel més brillant al nord de l'equador celeste. És el guardià de l'ós.

CANES VENATICI (N): Representa els dos gossos de Bootes. L'estel Cor Caroli està a la vora d'Alkaid (Ursa Major).

- M3: Cúmulo globular.
- M51: Galàxia espiral del Remolí (*) amb la galàxia propera NGC5195 (*).

CANIS MINOR (N): Representa el gos petit d'Orió.

- **Procyon** (0.4) (FIV-V): Estel binari Procyon A+B.

CASSIOPEIA (N): Representa la mare d'Andròmeda i esposa de Cefeu i es troba entre ambdós. La W amb els estels Schedir i Caph permet la seva identificació. Conté la potent radiofont Cassiopeia A.

- M52 i NGC457: Cúmulos oberts

CEPHEUS (N): Representa el rei d'Etiòpia, espòs de Cassiopea i pare d'Andròmeda. Es troba entre Cassiopeia i Cygnus tocant Lacerta. En formen part l'estel doble

- δ Cephei (el famós estel polsant) i Granat (estel polsant supergegant vermell).
- CETUS (N/S): Representa el monstre del qual Andròmeda fou alliberada per Perseu. Es troba sota Aries-Pisces. Conté l'estel gegant vermell polsant Mira i l'estel polsant ZZ Ceti.
- M77 (*): Galàxia Seyfert.
- COMA BERENICES (N): Representa la cabellera de la reina egípcia Berenices. Conté part del Cúmulo de Virgo i el pol nord galàctic. Es troba en la línia Alkaid (Ursa Major)-Cor Caroli-Coma Berenices.
- *Abell* 1656: Cúmulo de galàxies de Coma (**).
 - Cúmulo obert de Coma (*Melotte* 111).
 - M64 (*): Galàxia espiral de l'Ull negre.
 - NGC4565 (*): Galàxia espiral.
- CORONA BOREALIS (N): Representa la corona que portà Ariadna quan es casà amb Dionís. Es troba en el camí Arcturus-Corona Borealis-Hercules-Vega. Conté l'estel doble òptic v Corona Borealis.
- R Coronae Borealis: Estel fulgurant.
 - T Coronae Borealis: Nova recurrent. Brillà el 1946.
- CYGNUS (N): Representa el cigne en què Zeus es transformà per seduir Leda, mare de Càstor, Pòl·lux, Helena i Clitemestra, i constitueix la Creu del Nord amb un dels braços format per Deneb i l'estel doble Albireo. Conté la Gran Esquerda o Sac de Carbó del nord, nebulosa fosca que segueix la línia Cygnus-Aquila-Ophiucus.
- **Deneb** (1.3) (A1a): Conjuntament amb Vega i Altair forma el Triangle d'Estiu.
 - M29 i M39: Cúmuls oberts.
 - NGC6992 i NGC7000: Nebuloses difuses del Vel i d'Amèrica del Nord, respectivament.
 - NGC6826 (*): Nebulosa planetària Titil·lant.
 - Cygnus A (**) i Cygnus X-1 (**): Col·lisió de galàxies i un forat negre, respectivament. Ambdues són una font important de radiació.
 - Nova Cygni 92 (**).

- DELPHINUS (N): Representa el dofí, missatger de Posidó, que salvà el músic Arió. Es troba entre Pegasus i Aquila. Posseeix el grup d'estels del Taüt de Job.
- DRACO (N): Representa el drac ferit per Hèrcules en un dels seus treballs. Envoltat el pol Nord entre Ursa Major i Ursa Minor. En el seu cap a la vora d'Hercules i Vega destaquen dos estels i l'estel doble ν Draconis.
- NGC6543 (*): Nebulosa planetària de l'Ull de Gat.
- HERCULES (N): L'heroi divinitzat després de suïcidar-se és a la línia Arcturus-Corona-Borealis-Hercules-Vega. Rasalgethi és un supergegant vermell vora Ophiucus.
- M13 i M92: Cúmuls globulars a la zona de la "Pedra Angular". M13 és el cúmulo globular més brillant al nord de l'equador.
 - *Abell* 2151 (**): Cúmulo de galàxies d'Hercules a 500 milions d'anys llum de nosaltres.
- LYRA (N): És la lira que tocava Orfeu. Conté l'estel quàdruple ϵ Lyrae (el Doble Doble), el romboide d'estels dobles (amb la β Lyrae) i l'estel polsant RR Lyrae.
- **Vega** (0) (AV): Forma el Triangle d'Estiu amb Deneb i Altair.
 - M57 (*): La nebulosa planetària Anul·lar.
- MONOCEROS (N/S): Representa el mític unicorn. Es troba dins del triangle Procyon-Betelgeuse-Sirius.
- M50, NGC2232, NGC2244 i NGC2264: Cúmuls oberts. NGC2244 està dins de la nebulosa difusa Rosetta i NGC2264 dins de la nebulosa fosca del Con.
- OPHIUCUS (N/S): Representa Asclepius, el déu de la medicina sostenint la serp (Serpens), i es troba entre Hercules i Sagittarius. Conté l'estel Rasalhague a la vora de Rasalgethi i el nan vermell Barnard, l'estel més proper al Sol després de l'estel triple α Centauri.
- M10 i M12: Cúmuls globulars propers entre ells.
 - M9, M14, M19 i M62: Cúmuls globulars.
 - NGC6633 i IC4665: Cúmuls oberts.
- ORION (N/S): Representa el caçador Orió, amb els seus gossos (els Canis Major i Minor), que anava darrera de les nimfes (cúmulo obert de les Pleiades) i d'Àrtemis i

que morí per una picada de Scorpius (Scorpius surt quan Orion es pon). La llebre (Lepus) és el seu animal de cacera. El cinturó de tres estels està envoltat per Betelgeuse-Bellatrix al nord i per Saiph-Rigel al sud.

- **Betelgeuse** (0.5v) (MIab).
- **Rigel** (0.2) (BIa).
- M42 i M43 (*): Nebuloses difuses. M42 és la gran nebulosa i conté l'estel quàdruple del Trapezi (*).
- Nebulosa fosca del Cap de Cavall (**).
- NGC1981: Cúmulo obert.

PEGASUS (N): Representa el mitològic cavall alat en què es convertí la medusa morta per Perseu i que aquest cavalcava. El seu gran quadrat conté α Andromedae.

M15: Cúmulo globular.

PERSEUS (N): Representa l'heroi que decapità la Medusa i que alliberà Andròmeda d'un monstre marí (Cetus). Arribant des d'Andròmeda trobem l'estel Mirphak d'on surt el braç amb el cap de la Medusa on hi ha el famós estel binari eclipsant Algol. La cama més llarga de l'heroi s'acosta a les Pleiades.

- Cúmulo obert *Melotte* 20.
- M34: Cúmulo obert.
- NGC869 i NGC884: Els dos cúmuls oberts del Cúmulo Doble.
- M76 (*): La Petita Dumbbell, nebulosa planetària.
- *Abell* 426 (**): Cúmulo de galàxies amb la radiofont Perseus A, a 250 milions d'anys llum.

SERPENS (N/S): Representa la serp al voltant d'Ophiucus.

- M5: Cúmulo globular a Serpens Caput (el cap).
- M16: Cúmulo obert a Serpens Cauda (la cua).
- Nebulosa de l'Àliga (*) a M16.

TRIANGULUM (N): Es troba entre Andròmeda i Aries. Representa Δ , la primera lletra de $\Delta\iota\omicron'\zeta$ (Déu).

- M33: Galàxia espiral, la tercera galàxia en grandària del Grup Local.

URSA MAJOR (N): Representa la nimfa Cal·listo, l'amant de Zeus convertida en una óssa per l'esposa d'aquest, Hera. Els estels Dubhe i Merak apunten a la Polaris. El

seu braç està format per Alioth, Mizar (estel binari espectroscòpic + Alcor) i Alkaid.

- M81, M82, M101: Galàxies espirals.
- M97 (*): Nebulosa planetària del Mussol.

URSA MINOR (N): Representa la nimfa Amaltea que crià Zeus. L'extrem del braç és el pol Nord actual on es troba la Polaris. Els dos estels més brillants del cos de carro són el doble òptic Pherkad i Kochab .

VULPECULA (N): Representa una guineu i la constel·lació de Sagitta permet la seva identificació vora Altair.

- M27: Nebulosa planetària Dumbbell.
- Cúmulo de *Brocchi*: És el cúmulo obert del Penjador.

Constel·lacions del sud

ARA (S): Representa l'altar on els déus juraren lleialtat abans de lluitar contra els titans per controlar l'univers. Es troba seguint la línia Pavo-Ara-Scorpius.

- NGC6397: És el cúmulo globular més proper a nosaltres.
- NGC6193: Cúmulo obert.

CANIS MAJOR (S): Representa el gos gran d'Orió. Els estels més significatius són Sírius i el binari Adhara.

- **Sírius** (-1.44) (AV). L'òrbita Sírius B, "el Cadell", amb un període de 50 anys. A Malí el poble Dogon fa una festa ancestral sobre Sírius cada 50 anys! És l'estel que veiem més brillant al cel. Els antics el veien vermell: això és degut a l'evolució de Sírius B.
- M41: Cúmulo obert.

CARINA (S): Representa la quilla del vaixell Argos. Línia poligonal Sírius-Canopus-Achernar. Amb Vela forma la Falsa Creu. η Carinae és un estel supergegant.

- **Canopus** (-0.6) (AII): Pilotava, segons uns, la flota de Menelau a la tornada de Troia i, segons uns altres, el vaixell Argos. Donà el seu nom a la ciutat sagrada egípcia. És el segon estel que veiem més brillant al cel.

- NGC3372: Nebulosa difusa de η Carinae, que amb unes cent masses solars és proper a la seva mort.
- NGC3114, NGC3532 i IC 2602: Cúmuls oberts. IC2602 s'anomena les Pleiades del sud.
- NGC3766: Cúmul obert vora IC2602.
- NGC2516: Cúmul obert vora la Falsa Creu.
- NGC2808: Cúmul globular que es troba entre IC2602 i NGC2516.

CENTAURUS (S): Representa el malvat centaure Quiró, meitat cavall, meitat home.

- **Rigil Kentaurus** (-0.3) (GV+KV)= α Centauri=**Toliman**: És el tercer estel que veiem més brillant al cel (un sistema triple format pel binari A+B i Proxima Centauri). Proxima Centauri és l'estel més proper al Sol, a uns 4 anys-llum de nosaltres.
- **Hadar** (0.6) (BIII)= β Centauri, a prop de Rigil K.
- NGC 5139= ω Centauri: El cúmul globular més brillant del cel.
- NGC 3918 (*): És la nebulosa Planetària Blava.
- NGC 5128 (*): És la radiogalàxia Centaurus A.

CORONA AUSTRALIS (S): Entre Sagittarius i Scorpius.

- NGC6541: Cúmul globular.

CORVUS I CRATER (S): Representen el corb (Corvus) enviat per Apol·lo per portar aigua en una copa (Crater). En lloc d'això, el corb va menjar figues i culpà la serp (Hydra). Apol·lo no se'l cregué i el condemnà a una set eterna lluny de la copa dels cels. Es troben entre Virgo i Hydra.

- NGC4038 (*) i NGC4039 (*): Són dues galàxies de Corvus en col·lisió. Se les anomena les Antenes pels fils d'estels i gas fruit del xoc.

CRUX (S): És la Creu del Sud. El pol Sud a Octans es troba en la intersecció de la línia diagonal major de Crux i la mediatriu del segment que té per extrems α i β Centauri. La nebulosa fosca del Sac de Carbó bloqueja la llum de part de la Via Làctia.

- **Acrux** (0.8) (B1IV+B1V): Estel binari cefeida.
- **Bcrux=Mimosa** (1.3v) (BIII).

- NGC4755: Cúmulo abierto del Joier.
- DORADO (S): És un peix entre Canopus i Achernar.
- LMC: És la galàxia del Gran Núvol de *Magallanes* del Grup Local. Conté la nebulosa difusa NGC2070 de la Taràntula i la supernova 1987A (**).
- ERIDANUS (S): És el gran riu mitològic que va des d'Orion a Achernar. Està vinculat amb Faetont, Jàson i Hèrcules. Té el sistema triple Omicron 2 vora Orion.
- **Achernar** (0.5) (BV).
- HYDRA (S): Està relacionada amb Corvus i Crater. Fou morta per Hèrcules, que durant la baralla va ser atacat per un cranc (Cancer). El seu cap està sota M67 de Cancer i després del seu estel Alphard passa sota Crater i Corvus.
- M83 (*): Galàxia espiral.
 - M68: Cúmulo globular, vora Corvus.
 - M48: Cúmulo abierto, vora el cap d'Hydra.
 - NGC3242 (*): És la nebulosa planetària de l'Espectre de Júpiter.
- LEPUS (S): És la llebre que es troba sota Orion, el seu caçador. Conté l'estel doble γ Leporis.
- LUPUS (S): Representa el llop controlat per Centaurus que es troba vora d'ell. Línia Lupus-Norma-Ara.
- NGC5822: Cúmulo abierto.
- PISCIS AUSTRINUS (S): Representa el peix on vessa l'aigua Aquarius. Esta emparentat amb els Pisces.
- **Fomalhaut** (1.2) (AV): Està sota Pegasus tocant Sculptor en la línia Canopus-Achernar-Fomalhaut.
- PAVO (S): Representa un paó. Línia Pavo-Ara-Scorpius.
- NGC 6752: Cúmulo globular.
- PUPPIS (S): Representa la popa del vaixell Argos en què navegaren Jàson, Hèrcules, Orfeu, el pare d'Ulisses, Càstor i Pòl·lux, Canopus... per trobar el Velló d'Or.
- M46, M47, NGC2451 i NGC2477: Cúmulos oberts.
- SCULPTOR (S): Representa Pigmalión al pol sud galàctic.
- NGC288 (*): Cúmulo globular.
 - El Grup de Sculptor: és el grup de galàxies més proper al Grup Local (conté les galàxies espirals

- NGC 55 (*) i NGC253). Molt més allunyada, a uns 500 milions d'anys llum (**), es troba la galàxia de la Roda de Carro envoltada per un anell gasós.
- SCUTUM (S): És l'escut reial i es troba sota Serpens Cauda.
- M11 i M26: Cúmuls oberts a la vora del Ganxo d'Aquila. M11 és el cúmulo dels Ànecs Salvatges.
- TRIANGULUM AUSTRALE: Es troba vora Centaurus i el seu vèrtex més agut apunta cap a Pavo.
- NGC6025: Cúmulo obert.
- TUCANA (S): Representa un tucà. Es troba un xic més enllà d'Achernar. Conté l'estel doble β Tucanae.
- NGC 104 i NGC 362: Cúmuls globulars. NGC104 és el segon cúmulo globular més brillant del cel.
 - SMC: És la galàxia del Petit Núvol de *Magallanes*.
- VELA (S): Representa la vela del vaixell Argos i conté l'estel múltiple γ Velorum.
- NGC2547 i IC2391: Cúmuls oberts.
 - NGC3132 (*): Nebulosa planetària del Vuit.
 - Nebulosa *Gum* (**): Nebulosa formada per una explosió de supernova amb el seu púlsar.

L'EVOLUCIÓ DE LES ESTRUCTURES

Fins ara hem estat parlant de les diferents estructures que trobem a l'univers:

-> *Cúmuls globulars i oberts.*

-> *Galàxies nanes, irregulars, espirals i el·líptiques.*

Vegem ara qualitativament que aquesta variabilitat està relacionada amb la seva *evolució*, com ocorre amb els estels.

La unió de galàxies nanes podria estar a l'origen de les galàxies espirals que evolucionarien cap a les espirals amb nucli, les barrades i les el·líptiques. Les galàxies irregulars podrien crear-se en transicions degudes a l'atracció de les anteriors, mentre que les galàxies el·líptiques serien el producte final de la unió de dues o més galàxies espirals.

A la Galàxia els densos cúmuls globulars, amb fins a un milió d'estels, tenen un major nombre d'estels vells que els oberts, sovint amb molts més estels joves en formació. En les galàxies

espirals primitives de més edat, com la nostra, abunden els cúmuls globulars amb estels vells, mentre que en les galàxies el·líptiques aquells conviuen amb cúmuls globulars d'estels més joves formats gràcies a l'acumulació creixent de matèria en els braços de les galàxies espirals progenitores.

EL SISTEMA SOLAR

El Sol. El Sol és el centre del Sistema Solar, conté quasi el 100% de la seva massa total i posseeix una rotació pròpia, amb un període que augmenta en anar des del seu equador cap als seus pols i amb un valor mitjà aproximat d'uns 25 dies. El sistema solar té un moviment de 70.000 km/h cap al punt Àpex a Hercules. En unitats terrestres el Sol té aquestes magnituds:

Diàmetre=109. Massa=333.000. Gravetat=27,94.

Altres magnituds importants són les que segueixen:

Densitat=1,41.

T del nucli= $15 \cdot 10^6$ °C. T de la superfície=5.500°C.

Magnitud visual aparent=-26,7.

L'interior del Sol és un *plasma iònic*, origen del seu camp magnètic. Al *nucli* es realitzen les reaccions nuclears de fusió i la conducció energètica es fa fonamentalment per radiació. La part visible exterior del Sol és la *fotosfera*. Per damunt d'aquesta es troba una capa molt fina amb prominències exteriors, la *cromosfera*, i més enllà la *corona* (els camps elèctrics originats per les variacions del seu magnetisme acceleren fortament les partícules carregades i, com a conseqüència, la temperatura solar creix en allunyar-nos-en fins superar els $2 \cdot 10^6$ K a la corona).

Les *taques solars* varen ésser descobertes per *Galileu* i són zones *relativament* fredes de la fotosfera originades per l'acció de camps magnètics sobre les partícules emergents que interaccionen amb els fotons de la radiació. La seva extensió no és constant i el nombre de taques solars varia segons un cicle d'uns 11 anys.

Hi ha *fulguracions* energètiques, *erupcions* de matèria a prop de les taques solars i *ejeccions de matèria coronària (EMR)* causades per les variacions del seu camp magnètic: es tracta del *vent solar*. El vent solar s'estén al llarg de l'*heliosfera* fins a

l'heliopausa que es troba quatre vegades més lluny que Plutó i on la seva pressió compensa la pressió del gas interestel·lar. No confonguem el vent solar amb els *raigs còsmics* que arriben a l'atmosfera terrestre i que estan formats per partícules molt diverses (nuclis d'hidrogen i d'heli, fonamentalment, neutrins, electrons, positrons, antiprotons i raigs gamma) que viatgen a velocitats properes a la de la llum i que poden ser originades en explosions de supernova, galàxies Seyfert i quàsars. Quan els raigs còsmics *primaris* penetren a l'atmosfera es produeixen *cascades* de partícules *secundàries*: fotons i muons, essencialment.

Quan la Lluna s'interposa entre el Sol i la Terra tenim un eclipsi total (on podem visualitzar *l'anell de diamant* i la *corona*) o parcial de Sol i quan és la Terra la que s'interposa entre el Sol i la Lluna tenim un eclipsi de Lluna. L'òrbita aparent de translació del Sol entorn de la Terra s'anomena *eclíptica* i és la causa de les estacions. El seu nom fa referència al fet que els eclipsis de Sol o de Lluna sempre apareixen al cel en la direcció de l'eclíptica.

La reflexió de la llum solar en les partícules de *pols zodiacal*, que es troben a l'eclíptica i que tenen l'origen en cometes o asteroides, origina la *llum zodiacal*. La llum zodiacal és feble i difusa i es pot observar abans de la sortida o després de la posta del Sol.

La Terra. La Terra té aquestes magnituds:

Diàmetre= 12.756 km . Densitat= $5,52$. Massa= $6 \times 10^{24} \text{ kg}$.

Temperatura mitjana= 15°C . Distància mitjana al Sol= $150 \times 10^6 \text{ km}$

A la part més interior de la Terra hi ha el *nucli metàl·lic sòlid* rodejat pel *nucli metàl·lic líquid*, la rotació del qual origina el *camp magnètic* de la Terra que varia i canvia de polaritat al llarg del temps. Actualment, *vora* del pol N trobem el S magnètic. El camp magnètic de la Terra la protegeix del vent solar i el confina a la *magnetosfera* (en el període en què aquell canvia de polaritat la manca de la protecció anterior dóna lloc a fortes extincions d'algunes espècies). Els dos *cinturons de Van Allen*, situats damunt de l'equador terrestre i formats per partícules carregades, tenen el seu origen en el vent solar. El vent solar és la causa de les *aurors boreal* i *austral*, que ocorren simultàniament, de les *cues* dels cometes i del *trasbals* de les comunicacions per ràdio.

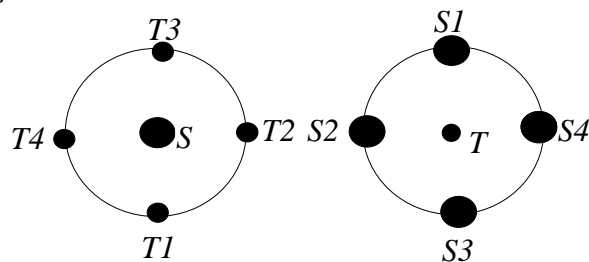
Des de temperatures interiors superiors a 5.000°C trobem anant cap a l'exterior de la Terra el *mantell*, que conté en gran part

roques foses, i l'escorça trencada en *plaques*. Les elevades temperatures, causades només en part per la radioactivitat, són una petja del seu passat convuls i donen lloc a la dinàmica interna entre el mantell i l'escorça anomenada *tectònica de plaques*, origen dels fenòmens volcànics, sísmics i de deriva continental. Més enllà trobem la *troposfera* amb la seva dinàmica meteorològica, la més tranquil·la *estratosfera*, la *ionosfera* que reflecteix les ones hertzianes i la *magnetosfera*.

L'aigua dels mars va aparèixer com a conseqüència dels trasbalsos primigenis deguts a les erupcions volcàniques i els xocs cometaris. La composició primigènia de l'atmosfera seria semblant a la de *Tità* abans de la presència d'oxigen d'origen metabòlic.

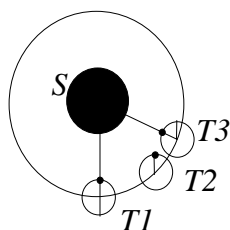
Els moviments de *translació* i de *rotació* de la Terra tenen sentit antihorari i el de *precessió* del seu eix polar, entorn de la direcció perpendicular a l'eclíptica, sentit horari, si els observem per damunt del Sol des del nord. El moviment de precessió és degut a les forces d'atracció del Sol i de la Lluna sobre la Terra. En no tenir la Terra una forma esfèrica exacta la força resultant sobre ella no passa pel seu centre de masses i es produeix l'esmentada precessió. La variabilitat de les forces gravitatòries anteriors i les influències planetàries fan que la precessió no sigui perfecta: s'hi superposa una *nutació* de l'eix polar que fa que la superfície generada per aquest no sigui exactament cònica.

Degut al moviment de translació de la Terra el Sol sembla traslladar-se en el mateix sentit antihorari ans esmentat. En efecte: a la figura següent comprovem que a les posicions successives *T1*, *T2*, *T3* i *T4* de la Terra entorn del Sol *S* els corresponen les *S1*, *S2*, *S3* i *S4* del Sol entorn de la Terra.



Els estels semblen girar entorn de la Terra amb un període de 23 hores i 56 minuts en sentit antihorari, si mirem cap al pol Nord, i en sentit horari, si mirem cap al sud. Aquell és el període del

moviment de rotació pròpia de la Terra i coincideix amb el temps que transcorre, perquè tornem a veure els estels a la mateixa posició (*dia sideri*). Tanmateix, degut a la translació de la Terra, amb un període d'un any per orbitar el Sol, caldrà un temps de 24 hores (*dia solar mitjà*) perquè vegem el Sol en les mateixes condicions d'un dia a un altre. Els 4 minuts addicionals apareixen a través d'un càlcul aproximat sobre la figura següent:



Després de $23 \times 60 + 56$ minuts la Terra s'haurà traslladat des de la posició $T1$ a la $T2$ i haurà fet una rotació completa. Al cap de m minuts més s'haurà traslladat a $T3$ i haurà fet una rotació addicional amb la condició

$$\frac{23 \times 60 + 56 + m}{365 \times 24 \times 60} = \frac{m}{23 \times 60 + 56} \Rightarrow m \cong 4 \text{ min.}$$

Com a conseqüència de l'anterior, un estel que surti per l'horitzó en un dia i una hora solar concrets sortirà al dia següent 4 minuts abans.

Els objectes celestes surten per l'est i es ponen per l'oest. La circumferència que passa pel pol Nord celeste i pel nostre zenit és el *meridià local* que indica la direcció nord-sud. Ell marca el punt de màxima altura d'un objecte quan el travessa. Els objectes *circumpolars* estan permanentment damunt de l'horitzó.

Els moviments dins de la Terra de les marees i de la seva matèria, en general, per efecte del pas periòdic de cada zona davant de la Lluna provoquen un fregament que va frenant la rotació de la Terra entorn del seu eix i fa que els dies terrestres s'allarguin aproximadament $1s$ cada 1000 anys, mentre la Lluna se n'allunya lentament. Degut a això, anirà augmentant la inestabilitat de l'eix de la Terra amb conseqüències climàtiques importants que afectaran la vida en el nostre planeta.

Els cercles projectats sobre l'esfera celeste de l'*equador*, de l'*eclíptica* o de l'*horitzó* ens permeten la localització dels objectes al

cel, com ja sabem. Els punts *aries* o *vernal* i *libra* interseccions de l'equador i de l'eclíptica varien al llarg del temps degut al període de precessió de l'eix terrestre de 26.000 anys. L'any sideri marcat pel pas successiu del Sol pel mateix punt del cel coincideix amb el període de translació de la Terra. L'any anomalístic (pensem que l'òrbita terrestre no és exactament el·líptica i que la Terra s'acosta lentament al Sol) és el temps transcorregut pel pas successiu del Planeta pel periheli de la seva òrbita. L'any tròpic, que ens indica el temps transcorregut pel pas successiu de Sol pel punt vernal, és més petit que l'any sideri en uns 20 minuts:

$$\frac{365 \times 24 \times 60}{26000} \cong 20$$

Els moments en què el Sol passa pel punt aries (*equinocci de primavera*) i pel punt libra (*equinocci de tardor*) tindran, doncs, un avenç al llarg del temps i les coordenades dels estels no seran exactament constants degut a la precessió que fa girar el pla de l'equador en relació al de l'eclíptica.

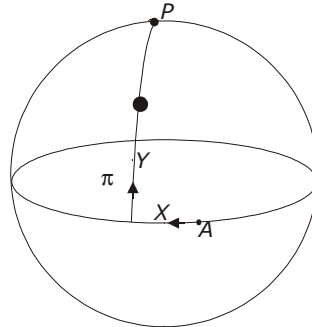
Actualment el punt aries no està en la constel·lació d'Aries sinó en la de Pisces. El punt libra, anàlogament, s'ha anat traslladant des de Libra a Virgo.

Els *egipcis* crearen l'any de 365 dies i amb l'aparició de Sirius sobre l'horitzó podien predir les crescudes del riu Nil i millorar les seves collites. No oblidem tampoc que a l'Antiguitat *Eratòstenes* féu el primer càlcul del radi de la Terra, que *Aristarc de Samos* enuncià el seu sistema heliocèntric molt abans que *Copèrnic* i *Galileu* i que els *xinesos* observaren el cometa *Halley* i estudiaren el primer eclipsi de Sol, les taques solars i les aurores.

El *calendari gregorià*, basat en el *calendari julià* que posseïa un any mitjà de 365,25 dies i que tenia en compte 365 dies/any, excepte els anys de traspàs en què s'hi afegia 1 dia, té un any de 365,2425 dies molt proper a l'any tròpic. L'anterior valor implica que hi ha un any de traspàs els anys divisibles per 4 amb l'excepció dels múltiples de 100 que no siguin divisibles per 400, com és fàcil de comprovar. El calendari gregorià té un error aproximat per excés d'1 dia cada 3000 anys en relació al temps mesurat sobre la base de l'any tròpic.

El fet que la Terra vagi caient lentament cap al Sol origina, a causa de la conservació del moment angular total, que la seva velocitat augmenti i els anys siguin cada vegada més curts.

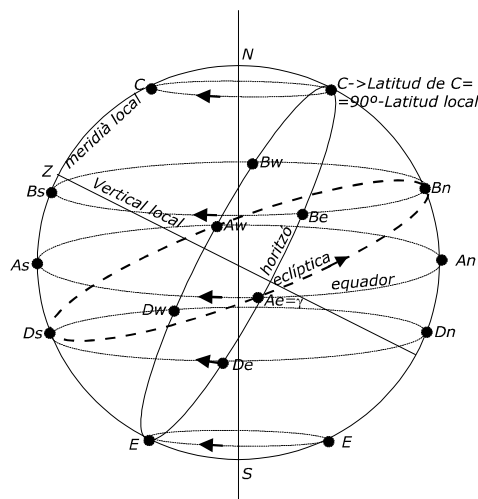
Els sistemes de coordenades celestes *més freqüents* són els que hom pot deduir de la figura que segueix:



a) *Coordenades horitzontals*: El pla π és el de l'horitzó, el punt P és el zenit i el punt A és el Nord o el Sud. Les coordenades X,Y són l'azimut i l'altura, respectivament.

b) *Coordenades equatorials*: El pla π és el de l'equador, el punt P és el pol Nord i el punt A és el punt vernal. Les coordenades X,Y són l'ascensió recta (que es mesura en graus o en hores) i la declinació, respectivament. Al llarg del temps la declinació dels estels roman constant i només va variant l'ascensió recta.

c) *Coordenades galàctiques*: El pla π és el de l'equador galàctic i el punt P és el pol nord galàctic.



Observant la figura anterior pot entendre's molt del que hem anat explicant fins ara. La majoria de comentaris que seguiran es refereixen a latituds boreals d'observació. En particular, podem comprovar aquestes afirmacions:

Des d'un punt d'observació de latitud L nord els objectes circumpolars són els que tenen latituds iguals o superiors a $90^\circ - L$. La seva visibilitat, però, dependrà de l'absència del Sol sobre l'horitzó. Els objectes amb latituds que siguin iguals o inferiors a $-(90^\circ - L)$ no es veuran mai. Al cercle polar àrtic, amb una latitud de $90^\circ - 23.5^\circ = 66.5^\circ$ (on 23.5° és l'angle que formen els plans de l'equador i de l'eclíptica), el Sol serà circumpolar el solstici d'estiu (trajectòria B), mentre que al pol Nord ho serà durant mig any. Per a latituds intermèdies tindrem *el sol de mitjanit* durant un temps variable. Des del pol Nord tots els estels de l'hemisferi nord seran circumpolars i es veuran permanentment durant la nit perpètua boreal de mig any de duració mentre que no es veuran mai els estels de l'hemisferi sud.

Des de l'equador no hi ha objectes circumpolars. Tanmateix, al llarg de l'any es visualitzen tots els estels del cel.

Amb una latitud L al nord al llarg de l'any es veuran tots els estels entre les latituds de 90° i $-(90^\circ - L)$, si el Sol ho permet.

El moviment del Sol sobre l'eclíptica origina les estacions. El punt γ és *el punt àries o vernal* i correspon a *l'equinocci de primavera* quan el Sol es troba a Ae . En el passat aquest punt es trobava a la constel·lació d'Aries. Actualment ell es troba entre les d'Aquarius i Pisces degut a la precessió (descoberta per *Hiparc de Nicea*) i va caminant cap a Aquarius. Aquesta mateixa precessió és la causa que el nord no apunti sempre a la Polar. Fa 4600 anys el pol Nord apuntava a α Draconis i dintre de 12.000 anys apuntarà a Vega. Quan el Sol segueix la trajectòria Bn , Aw , Ds va passant successivament pel *solstici d'estiu*, *equinocci de tardor* i *solstici d'hivern* (en els solsticis s'inverteix el moviment de l'orto solar o sortida del Sol). La translació aparent del Sol ens dóna la diferent durada de la llum diürna i l'altura variable màxima d'ell sobre l'horitzó (*culminació*) quan es troba al meridià local.

La Lluna. En unitats terrestres la Lluna té les magnituds: que segueixen:

Diàmetre= $0,27$. Massa= $0,01$. Gravetat= $0,17$.

Altres magnituds importants són aquestes:

Densitat= $3,34$.

Temperatura mitjana= -18°C .

Magnitud visual aparent màxima= $-12,7$.

Distància mitjana a la Terra= 384.000 km .

Període de rotació pròpia= $27,5\text{ dies}$.

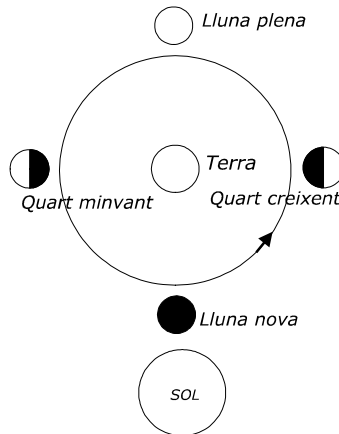
Període de translació entorn de la Terra= $27,5\text{ dies}$.

Els moviments lunars de translació entorn de la Terra i de rotació entorn del seu eix són oposats i amb el mateix període: això implica que ella ens mostri sempre la mateixa cara. La igualtat entre el dia lunar i el mes lunar pot explicar-se fàcilment, si la Lluna es va formar després de desprendre's de la Terra de la qual formava part originalment. Un impacte d'un cos enorme va poder originar el fenomen. Impactes posteriors sobre la seva superfície crearien els seus cràters, observats per *Galileu*, i per fusió de la matèria els mars. La seva rotació pròpia propera a les 24 h es va anant desaccelerant pel fregament causat per l'atracció gravitatòria variable de les seves diferents zones en passar periòdicament davant de la Terra. Quan la rotació pròpia adquirí el valor actual, les forces gravitatòries en les diferents zones fou constant, el fregament anterior desaparegué i s'arribà a la situació que coneixem. Degut a la desacceleració de la rotació pròpia de la Terra, la Lluna se n'allunya i el mes lunar creix lentament.

L'impacte d'aquell cos (*Orfeu*) sobre la Terra explica també la diferència de densitat entre la Terra i la Lluna. Orfeu, com l'heroi mitològic, s'endinsà en les profunditats "infernals" de la Terra. Els materials més densos (ferro-níquel) restaren en el centre del planeta mentre els materials més lleugers de la seva superfície foren expulsats i formaren la Lluna.

La superfície lunar està solcada de cràters creats fonamentalment per impactes de meteorits i alguns d'ells tenen fins a 200 km de diàmetre. La Lluna és molt muntanyosa: els *Apenins* lunars són gairebé tan alts com l'Everest.

Mirant des del nord la translació de la Lluna té sentit antihorari. La translació de la Lluna fa que cada dia es retardi el seu pas per una posició concreta en uns $24 \times 60 / 27.5 = 52$ minuts.



A partir de la figura anterior es poden comprovar fàcilment les fases del cicle lunar a mesura que la Lluna es va traslladant entorn de la Terra.

La translació lunar origina un *cicle lunar* de quatre fases:

Lluna plena (tota la superfície està il·luminada).

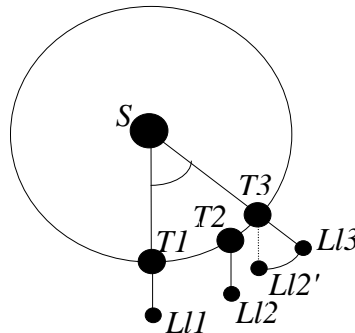
Quart minvant (la veiem amb forma de "C").

Lluna nova (tota ella està fosca).

Quart creixent (la veiem amb forma de "D").

A l'hemisferi sud la forma dels quarts creixent i minvant s'inverteix.

Al llarg del temps la superfície que veiem il·luminada variarà amb un període que no coincidirà amb l'anterior de 27,5 dies i que valdrà 29,5 dies. Els 2 dies addicionals els podem trobar a partir d'un raonament simplificat que realitzem sobre la figura que segueix:



En 27.5 dies la Terra s'ha desplaçat des de T1 a T2 i la Lluna ha donat una volta completa entorn de la Terra. Per arribar a T3 caldran d dies addicionals amb la condició

$$\frac{27.5 + d}{365} = \frac{d}{27.5} \Rightarrow d \cong 2 \text{ dies}$$

Les sondes *Surveyor* de la NASA arribaren a la superfície lunar i prepararen el camí, perquè l'home posés els seus peus sobre la Lluna amb el projecte *Apol·lo*. El 20 de juliol de 1969 *Armstrong*, primer, i *Aldrin*, després, posaren els seus peus sobre la superfície lunar, mentre *Collins*, el seu company a la missió *Apol·lo 11*, circumnavegava en solitari la Lluna. La darrera missió *Apol·lo* que permeté a l'home l'allunatge fou l'*Apol·lo 17* (només l'intent d'allunatge de la missió *Apol·lo 13* fou cancel·lada per problemes tècnics).

Els planetes

L'observació dels planetes es fa a partir de les *efemèrides* que ens van indicant la seva posició al llarg del temps per mitjà de la constel·lació on es troben (les grans distàncies a què estan els estels fan que la variació de les seves posicions sigui molt més lenta). Els planetes no tenen llum pròpia *significativa* i els veiem gràcies a la reflexió de la llum solar (*albedo*). Els planetes es diferencien dels estels per l'absència de *centelleig*. El centelleig es deu al fet que la llum que ens arriba a la Terra pateix molts de canvis a través de reflexions i refraccions en travessar l'atmosfera. Quan la llum procedeix d'un objecte que no és puntual degut a la seva proximitat (com ocorre amb els planetes) els efectes anteriors es compensen per a l'observació i el centelleig desapareix. S'han detectat indirectament més de cent planetes no solars, a partir de l'efecte *Doppler* de la radiació estel·lar o dels eclipsis parcials dels estels. Aquests són els planetes solars:

Els planetes interiors: Mercuri i Venus.

La Terra.

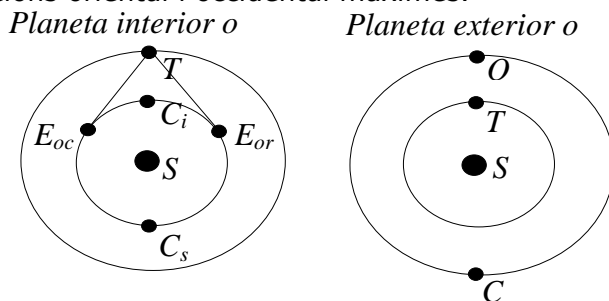
Els planetes exteriors: Mart, Júpiter, Saturn, Urà, Neptú i Plutó.

La llei empírica de *Bode* permetia trobar les distàncies en $UA \cdot 10^{-1}$ dels diferents planetes al Sol des de Mercuri a Saturn, inclòs el cinturó d'asteroides entre Mart i Júpiter, sumant 4 als nombres 0, 3, 6, 12, 24, 48 i 92 (potser, certes resonàncies orbitals permetrien estabilitzar les òrbites i donar lloc a oscil·lacions en períodes molt llargs de temps). Els planetes "moderns" se separen molt de la llei de *Bode*: Urà, descobert per *Herschel* en l'època de *Bode* durant el segle XVIII; Neptú, descobert el segle XIX per *J.G.Galle* a partir dels càlculs fets sobre les perturbacions de l'òrbita d'Urà per part d'*Adams* i *Le Verrier* (essencialment els d'aquest últim); i Plutó, descobert el segle XX per *Tombaugh*.

Mercuri, Venus, la Terra i Mart són petits i rocallosos i s'anomenen *tel·lúrics*. Júpiter, Saturn, Urà i Neptú, anomenats planetes *jovians* en honor a *Júpiter*, són els gegants gasosos, amb una atmosfera fonamentalment d'hidrogen i d'heli, un petit nucli rocallós i una part considerable del seu volum en estat líquid, els dos primers, o gelat, els dos segons. Plutó té un nucli rocallós i més enllà aigua i metà gelats.

Tots els planetes descriuen òrbites entorn del Sol en sentit antihorari quan s'observen per damunt del Sol des del pol Nord (amb un període creixent amb la distància al Sol, d'acord amb la tercera llei de *Kepler*) i tenen un gir propi voltant del seu eix. Totes les òrbites planetàries estan aproximadament al mateix pla (amb l'excepció de la de Plutó) i la seva situació al cel es troba a prop de l'*eclíptica* que descriu el Sol.

Les figures següents ens indiquen les posicions de *conjunció superior* (C_s) i *inferior* (C_i) d'un planeta *interior* que està en l'alineació entre la Terra (T) i el Sol (S); i de *conjunció* (C) i *oposició* (O) per als planetes *exteriors* o *superiors*. L'angle entre el Sol i un planeta des de la Terra és l'*elongació*. A E_{or} i E_{oc} trobem les elongacions oriental i occidental màximes.



Mercuri

Magnituds en unitats terrestres:

Diàmetre=0,38. Massa=0,06. Volum=0,06. Gravetat=0,38.

Altres magnituds:

Densitat=5,43.

Temperatura mitjana=167°C.

Magnitud visual aparent màxima=-1.5.

És un planeta rocallós i sense llunes. L'observació és difícil degut a la seva proximitat al Sol. És possible veure'l després de la posta del Sol o abans de la seva sortida i el millor moment és quan la seva elongació és màxima. Degut a la situació de l'eclíptica sobre l'horitzó, les millors elongacions són l'oriental i l'occidental del capvespre i de la matinada, respectivament. Mercuri mostra fases.

Té una atmosfera molt feble formada per captura del vent solar i, per tant, la cara que dóna al Sol abasta una temperatura de més de 400°C, mentre que a la cara oposada, on hi ha indicis de gel malgrat la seva proximitat al Sol, la temperatura baixa fins a -200°C, ja que el seu dia és superior a 50 dies terrestres.

El seu aspecte és semblant al de la Lluna, ple de lava i de cràters, a causa fonamentalment de l'anomenat *Darrer Gran Bombardeig* de cometes i d'asteroides que afectà també Venus, la Terra, la Lluna i Mart. Aquesta pot ser la raó de la seva elevada proporció de ferro en desaparèixer la matèria més superficial a causa dels impactes. L'absència pràcticament d'atmosfera fa que, com a la Lluna, no s'esborri l'evidència de la seva vida convulsa.

Venus

Magnituds en unitats terrestres:

Diàmetre=0,95. Massa=0,82. Volum=0,86. Gravetat=0,91.

Pressió atmosfèrica =90.

Altres magnituds:

Densitat=5,20.

Temperatura mitjana=464°C (*la més alta del Sistema*).

Magnitud visual aparent màxima=-4,7.

És un planeta rocallós amb una atmosfera densa amb quasi exclusivament CO₂. El CO₂ deixa passar part de les radiacions solars, que són fonamentalment d'alta freqüència a causa de l'elevada temperatura del Sol. Quan elles xoquen amb la superfície del planeta l'escalfen i aquesta emet radiacions infraroges que el CO₂

intercepta; com a conseqüència n'augmenta la temperatura vora de la superfície (*efecte hivernacle*). Venus té núvols d'àcid sulfúric que giren al seu voltant amb un període de sols 4 dies terrestres.

És l'objecte celeste més brillant del cel després del Sol i de la Lluna i no posseeix llunes. Les condicions d'observació són anàlogues a les de Mercuri. Venus mostra fases, descobertes per *Galileu*, i en les fases creixent i decreixent les punxes tenen forma de banya degut a la refracció de la llum solar en l'atmosfera. Posseeix l'òrbita planetària menys excèntrica del Sistema.

És l'únic planeta que té una rotació pròpia retrògrada (amb un període de 243 dies terrestres superior al de translació voltant el Sol) causada, potser, pels nombrosos impactes de meteorits, visualment menys nombrosos que a Mercuri degut a la seva ocultació actual per l'atmosfera i per la lava que els cobreix.

La seva superfície està coberta de planúries ondulades immenses (l'*Aphrodite Terra* té una àrea semblant a Àfrica) i està salpicada de muntanyes amb altures superiors a les de la Terra (les *muntanyes Maxwell* tenen més d'11 km d'alçada), cràters volcànics i lava (Venus és, amb *Ió*, l'indret amb més activitat volcànica del Sistema Solar i el *Baltis Vallis* amb 6000 km de longitud n'és el canal de lava més llarg).

Mart

Magnituds en unitats terrestres:

Diàmetre=0,53. Massa=0,11. Volum=0,15. Gravetat=0,38

Pressió atmosfèrica < 0,01.

Altres magnituds:

Densitat=3,93.

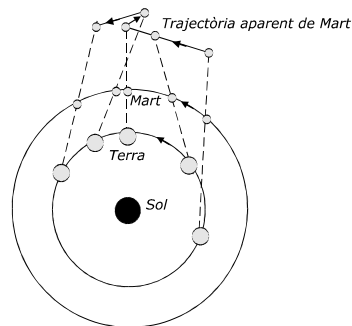
Temperatura mitjana=-63°C.

Magnitud visual aparent màxima=-2,8.

Mart és rocallós, amb fortes tempestes de sorra, ple de deserts vermellosos que li donen el seu color i salpicat d'enormes cràters i congostos, que no són els inexistents canals de *Schiaparelli* i *Lowell* i que en realitat eren un fenomen òptic aparent (l'*Olympus Mons* amb 600 km d'amplada i una altura de 27 km i la *vall Marineris* de més de 4.000 km de longitud són, respectivament, el volcà i la falla més grans del Sistema). La seva atmosfera és molt feble i principalment està composta de CO₂ que, amb l'aigua, es glaça als casquets polars.

La seva òrbita solar prou excèntrica fa que la seva brillantor sigui molt variable. La millor visió de Mart ocorre quan es troba en oposició respecte del Sol. Això ocorre més o menys cada 2 anys. Si a més ell es troba en el periheli (això ocorre cada 15-17 anys aproximadament) la visió és perfecta. El seu període de rotació pròpia d'unes 24 h fa que al llarg d'una observació es puguin veure canvis en la seva superfície.

Als planetes exteriors, com Mart, apareix un fenomen molt curiós, anomenat *moviment retrògrad*. A la figura següent es pot comprovar que quan la Terra avança Mart la trajectòria aparent d'aquest canvia de sentit.



Mart té dues petites llunes d'uns pocs quilòmetres de diàmetre mitjà: *Deimos* i *Fobos*, probablement asteroides capturats.

És possible que en el passat Venus, la Terra i Mart tinguessin molt en comú. Les seves atmosferes eren riques en CO_2 i podien haver tingut oceans d'aigua líquida. A Venus l'aigua s'evaporà degut a la gran temperatura. A Mart l'aigua desaparegué quan en el passat el clima era més càlid: per causa de la seva evaporació ella s'escapà, com la majoria de l'atmosfera, degut a la feble gravetat (és probable que avui s'hi trobin encara indicis d'aigua). Fixem-nos en el subtil equilibri de la Terra: per la seva temperatura pot tenir aigua líquida (això no ocorre a Venus) i per la seva gravetat pot retenir el vapor d'aigua, permetre que acabi el seu cicle als oceans i fer que no escapi definitivament (això no pogué ocórrer a Mart).

Júpiter

Magnituds en unitats terrestres:

Diàmetre=11,21. Massa=318. Volum=1400.

Altres magnituds:

Densitat= $1,33$.

Magnitud visual aparent màxima= $-2,9$.

Temperatura mitjana= -144°C .

Júpiter és el planeta més gran del Sistema i pesa més del doble de tots els altres planetes junts. Es tracta d'un estel fracassat degut que la seva massa no és suficient per començar la fusió nuclear. Malgrat això, la seva radiació pròpia, originada pel seu col·lapse gravitatori intens, és molt superior a la que rep del Sol. De fet, ell és la segona radiofont en importància del Sistema Solar després del Sol. Posseeix una atmosfera gasosa molt profunda, formada essencialment per hidrogen i heli, amb una superfície amb núvols disposats en franges de diferents colors i una gran taca vermella amb una amplària superior a la Terra, que és causada per un fort cicló (a Júpiter hi ha vents molt intensos). Sota l'atmosfera hi ha hidrogen i heli líquids sotmesos a una gran pressió, deguda a la forta gravitació, amb el seu conjunt d'electrons lliures, com als metalls, origen del seu fort camp magnètic. Al centre sembla que hi ha un nucli rocallós. Júpiter té un petit anell. El seu període de rotació pròpia d'unes 10 h fa que es puguin contemplar canvis en la seva superfície durant una observació.

Júpiter té més de 60 llunes conegudes. Les quatre llunes galileanes són *Europa*, *Ió*, *Ganimedes* i *Cal·listo*. Ganimedes, amb més de 5.000 km de diàmetre, és la lluna més gran del Sistema amb una grandària superior a Mercuri. Ell i Cal·listo estan plens de cràters d'impacte. Ió té l'activitat volcànica més gran del Sistema, junt amb *Venus*, amb expulsions de matèria fins a 300 km d'altura acompanyades d'aurores causades per la forta radiació de Júpiter. És probable que Europa, sota la seva esquerdada capa de gel, contingui un immens oceà d'aigua amb existència de vida.

Saturn

Magnituds en unitats terrestres:

Diàmetre= $9,14$. Massa= 95 . Volum= 764 .

Altres magnituds:

Densitat= $0,69$.

Temperatura mitjana= -176°C .

Magnitud visual aparent màxima= $-0,3$.

Saturn és el més llunyà dels planetes coneguts des de l'Antiguitat, posseeix unes propietats semblants a les de Júpiter i

els seus vents, junt amb els de Neptú, tenen les velocitats més grans del Sistema Solar. Saturn està voltat pels seus anells gelats (de l'A al G, descoberts el segle XVII per *Galileu* i estudiats per *Huygens* i *Cassini*) formats a partir de milions de les restes d'alguns satèl·lits originades per l'intens bombardeig que patiren també molts dels seus satèl·lits actuals, com *Mimas*.

Saturn té més de 30 satèl·lits coneguts. *Tità*, descobert per *Huygens*, ultrapassa els 5.000 km de diàmetre, és la segona lluna en grandària del Sistema i l'única que té una atmosfera apreciable, formada sobretot per nitrogen i metà, que *podria* condensar-se en un oceà molt fred i permetre la vida en elevar-se la temperatura a causa de l'expansió solar en la fase de gegant vermell. *Encelade* té guèisers d'aigua i és visualment semblant a la Lluna.

Urà

Magnituds en unitats terrestres:

Diàmetre=4. Massa=14,5. Volum=63.

Altres magnituds:

Densitat=1,32.

Temperatura mitjana=-215°C.

Magnitud visual aparent màxima=5,5.

Urà pot ser observat a ull nu i va ésser descobert per *Herschel* el segle XVIII. La seva atmosfera té hidrogen, heli i metà (el metà absorbeix la llum vermella i això li dóna una tonalitat verdosa) i el seu interior és glaçat amb un nucli rocallós.

Urà té anells exteriors i més de 20 llunes conegudes: la més gran és *Titània*. *Miranda* n'és la cinquena en grandària i la seva extraordinària fractura, amb penya-segats de gel de més de 20 km d'alçada, fou causada probablement després de reunir-se les seves parts disperses a causa de forts impactes. Aquests podrien ser la causa que l'eix de rotació d'Urà estigui pràcticament al pla de la seva òrbita solar i que dels 84 anys que ell triga en recórrer l'òrbita voltant del Sol, durant 42 anys hi hagi llum a cada pol i durant 42 anys fosc.

Neptú

Magnituds en unitats terrestres:

Diàmetre=3,9. Massa=17,1. Volum=58.

Altres magnituds:

Densitat=1,64.

Temperatura mitjana=-215°C.

Magnitud visual aparent màxima=7,6.

Neptú es pot veure amb prismàtics, va ser descobert el segle XIX per *J.G.Galle* a partir de les conclusions teòriques d'*Adams* i *Le Verrier*, és el més dens dels planetes gasosos i té una estructura similar a la d'Urà. Neptú, però, té més metà i la seva tonalitat, per tant, és blavosa, com la de la Terra. Malgrat la seva llunyania, Neptú no és més fred que Urà, degut que el seu nucli és una font important de calor, absent a l'exterior d'Urà, que origina violentes tempestes, com la de la seva *Gran Taca*.

Neptú posseeix anells i més de 10 llunes conegudes. *Tritó*, amb una òrbita retrògrada, n'és la més gran, amb un diàmetre de 2.700 km. Amb la seva superfície gelada de nitrogen i de metà, té guèisers de nitrogen de més de 10 km d'alçada i una forta activitat volcànica. Els seus -233°C fan d'ell, amb l'excepció de les petites boles de gel molt més allunyades del Sol amb temperatures properes al zero absolut, l'indret més fred del Sistema.

Plutó

Magnituds en unitats terrestres:

Diàmetre=0,18. Massa=0,002. Volum=0,006. Gravetat=.07.

Altres magnituds:

Densitat=2.

Temperatura mitjana=-223°C.

Magnitud visual aparent màxima=14.

Plutó fou descobert per *Tombaugh* el segle XX, es tracta d'un cos de roca amb aigua i metà gelats i les seves dimensions són inferiors a les de la Lluna. La seva òrbita és la més inclinada i el·líptica de tot el Sistema: això el porta més a prop del Sol que Neptú durant certs períodes de temps i fa que quan ell passa a prop del Sol tingui una atmosfera molt fina degut a l'evaporació del seu material. La inclinació del seu eix de rotació pròpia és de més de 120°. Plutó té una única lluna, *Caront*, amb unes dimensions no gaire més petites que les d'ell. Aquest fet i les característiques tan estranyes de la seva òrbita fan que actualment Plutó no sigui considerat com a un planeta ja que possiblement no sigui fill del Sol gestat en la nebulosa solar primigènia. De fet, Plutó i Caront formen un sistema doble i sembla que procedeixen del cinturó de *Kuiper*, com Tritó i el planeta 2003UB313, més gran i llunyà que

Plutó i amb una òrbita excèntrica encara més inclinada. Plutó és l'únic "planeta" que no ha estat visitat a hores d'ara¹⁴.

Els asteroides

Se n'han descobert uns *10.000* i són cossos de ferro i roca. La majoria d'ells descriuen una òrbita en un *cinturó* entre Mart i Júpiter. El més gran dels asteroides, *Ceres*, té un diàmetre proper a *1000* km de longitud i *Gaspra* és un asteroide ple de cràters. El grup d'asteroides *Troians*, com *Hèctor*, es desplacen al llarg de l'òrbita de Júpiter. Els asteroides d'*Apol·lo* s'encreuen amb l'òrbita de la Terra i poden xocar amb ella (*meteorits*) i els d'*Amor*, com *Eros*, ho fan amb la de Mart; sovint, ambdós tipus d'asteroides es transformen temporalment en membres de l'altre grup. Els satèl·lits jovians són el blanc de molts asteroides atrets per Júpiter.

El núvol cometari d'Oort

Es troba a una distància d'uns 2 anys llum a mig camí de l'estel més proper (*Proxima Centauri*): es tracta d'un "magatzem" de futurs cometes, restes gelades de la formació de cossos exteriors amb un diàmetre d'uns pocs quilòmetres. A la seva composició hi ha preferentment *gel* format per una mescla de H₂O (80%), CO, CO₂, NH₃, CH₄, fonamentalment, i pols. Actualment es coneixen uns *mil* cometes, però es creu que al núvol d'Oort i a la seva zona interior del *cinturó de Kuiper* poden haver-hi *bilions* d'aquests objectes. *Quaoar*, al cinturó de *Kuiper*, i la gèlida *Sedna*, que es troba a les llunyanies del núvol d'Oort, són fins ara els objectes inferiors a Plutó més grans del Sistema Solar i, com aquest, no són veritables planetes. Per raons fortuïtes, que varien l'òrbita original, un cometa s'allunya d'aquella àrea situada més enllà de Plutó als límits del Sistema Solar i cau cap a l'interior d'aquest. Segons alguns astrònoms, el Sol formaria un sistema binari amb l'hipotètic estel *Nèmese* (la Mort) i aquest seria l'inductor de la inestabilitat cometària. A mesura que el cometa s'apropa al Sol s'escalfa i allibera gas i pols tot formant la *coma* o *cabellera* brillant que pot arribar a tenir un diàmetre de més de 10^5 km. La radiació i el vent solars creen la *cua* que s'escampa en sentit contrari al Sol al llarg, a voltes, de més de 10^8 km.

Potser la desaparició de molts dels éssers vius fa 65 milions d'anys i la destrucció dels boscos siberians el 1908 foren causades per xocs de cometes amb la Terra a Chicxulub i Tunguska, respec-

tivament. El grup de cometes *Shoemaker-Levy 9* xocà espectacularment amb Júpiter el 1994.

Entre els 140 cràters de meteorit identificats, els més grans són el de Vredefort a Àfrica del Sud, el de Sudbury a Canadà i el de Chicxulub a Mèxic. És possible que la *Kaaba* de *La Meca* sigui la resta d'un meteorit.

Quan un cometa se n'allunya del Sol s'endinsa en la foscor, serà inobservable des de la Terra i tornarà a ser visible més o menys tard segons el seu període. És així com *Halley* mostrà que les successives aparicions cometàries observades els anys 1531, 1607 i 1682 corresponien en realitat a un sol objecte que hauria de tornar a aparèixer l'any 1758 (el cometa *Halley* ja fou observat el s.II a.C. a *Xina* i a les èpoques de *Juli Cèsar* i del pintor *Giotto*). El període cometari no és constant a causa de les perturbacions planetàries i el seu valor mitjà és molt variable: el del *Halley* és de 76 anys i els dels *Hyakutake* i *Hale-Boop*, descoberts els anys 1995 i 1997 quan es varen apropar al Sol, són de 20.000 i 2.400 anys, respectivament. L'Àngelus té el seu origen en les pregàries per foragitar els perills dels cometes. Contindrien els cometes les llavors que varen caure a la Terra i donaren origen a la vida?

La pols alliberada forma núvols dins del sistema solar. Quan la Terra entra en un d'aquests núvols el seu contacte amb l'atmosfera terrestre origina *la pluja d'estels*: es tracta dels *estels fugaços*. Aquestes pluges reben el nom de la constel·lació on s'observen. La més coneguda és la pluja dels *Perseids* del 12 d'agost observada a prop de la constel·lació de Perseu i deguda al pas anterior del cometa *Swift-Tuttle*. La pluja dels *Lleònids* del 17 de novembre és deguda al pas del cometa *Tempel-Tuttle*. Les pluges més importants d'estels són aquestes:

- >Quadràntids (Bootes, antiga Quadrans Muralis, 3-4 de gener).
- >Lírids (21 d'abril).
- >Aquàrids (29 de juliol i 6 d'agost).
- >Perseids (12 d'agost).
- >Oriònids (20-22 d'octubre).
- >Tàurids (5 de novembre).
- >Lleònids (17 de novembre).
- >Gemínids (13 de desembre).
- >Úrsids (23 de desembre).