



COL·LEGI  
BEAT RAMON LLULL  
INCA

CURS 2008-09  
APUNTS DE CIÈNCIES DEL MÓN CONTEMPORANI  
1r BATXILLERAT

## Estrella

Una estrella, estrela o estel —encara que el català no fa diferència entre els cossos estel·lars emissors de llum o que la reflecteixen, per tant un *estel*, o *estrella*, pot ser qualsevol element de l'astronomia, aquí ens referim als astres emissors de llum pròpia— és plasma en un equilibri semblant al equilibri hidrostàtic, que genera energia mitjançant un procés de fusió nuclear. Les estrelles (excepte el Sol) apareixen com a punts brillants en el cel nocturn, i fan pampallugues per efecte de l'atmosfera terrestre.

Les estrelles emeten llum de tots els colors, la barreja dels quals fa que el veiem blanc. Tanmateix, en moltes estrelles es poden apreciar certes tonalitats cromàtiques, sobre tot les vermelles, com és el cas de Betelgeuse o bé d'Antares. El Sol és clarament groguenc. Això és perquè l'estrella emet més llum groga no pas d'altres colors.

### Estructura estel·lar

Una estrella típica es divideix en nucli, mantell i atmosfera. En el nucli és on es produïxen les reaccions nuclears que generen la seva energia. El mantell transporta aquesta energia cap a la superfície i segons com la transporta, per convecció o per radiació, es dividirà en dues zones: radiant i convectiva. Finalment, l'atmosfera és la part més superficial de les estrelles i l'única que és visible. Es divideix en cromosfera, fotosfera i corona solar. L'atmosfera estel·lar és la zona més freda de les estrelles i en ella es produeixen els fenòmens d'ejecció de matèria. Tanmateix, la corona suposa una excepció al que s'ha dit ja que la temperatura torna a augmentar fins a superar el milió de graus. Però és una temperatura enganyosa. En realitat aquesta capa és molt poc densa i està formada per partícules ionitzades altament accelerades pel camp magnètic de l'estrella. Llurs grans velocitats confereixen a aquestes partícules altes temperatures.

Al llarg del seu cicle les estrelles experimenten canvis en la grandària de les capes i fins i tot en l'ordre en què es disposen. En algunes la zona radiant se situa abans que la convectiva i en altres a l'inrevés, depenent tant de la massa com de la fase de fusió en què es trobi. De la mateixa manera, el nucli també pot modificar les seves característiques i la seva grandària al llarg de l'evolució de l'estrella.

### Temperatura d'un estel

Els astrònoms calculen la temperatura de les estrelles segons el color que tenen. Les *blaves* són més calentes que les *grogues*, i les *grogues* són més calentes que les *vermelles*. Després de molts estudis, entre els que cal destacar els de la nord-americana Annie J. Cannon de l'observatori de Harvard a Boston, s'ha establert la següent classificació de les estrelles segons el seu espectre:

- Color blau, com I Cephei



COL·LEGI  
BEAT RAMON LLULL  
INCA

CURS 2008-09  
APUNTS DE CIÈNCIES DEL MÓN CONTEMPORANI  
1r BATXILLERAT

- Color blanc-blau, com Spica
- Color blanc, com Vega
- Color blanc-groc, com Proció
- Color groc, com la nostra estrella, el Sol
- Color taronja, com Arcturus
- Color vermell, com Betelgeuse

La **temperatura de superfície d'una estrella**, és a dir, la de la superfície que emet la llum que nosaltres veiem, és molt menor (ex: 8.000 graus Kelvin en el Sol) que la del nucli del estel, on pot arribar a varies desenes de milions de graus.

Pel que fa a la mida, una estrella, pot arribar a ser tan petita com la Terra. Aleshores s'anomena nana blanca. Quan es fa encara més petita ja no s'anomena estrella, llavors és un púlsar, que és la resta d'una estrella. El Sol és una estrella mitjana.

### Vida d'un estel

Les estrelles, però, no són eternes, també tenen la seva *vida* i la seva extinció. L'evolució d'una estrella sol ser la següent:

1. Es forma l'estel a partir d'un núvol de gas i pols.
2. Es fa **gegant**. Es produeixen reaccions nuclears. Masses de gas i pols es condensen al seu entorn (protoplanetes).
3. En la seva seqüència principal tenim l'estel amb planetes. L'estel segueix estable mentre es consumeix la seva matèria.
4. Des de la terra seguim observant l'estel durant un temps, encara que aquest hagi desaparegut.
5. L'estel comença a dilatar-se i refredar-se.
6. Creix, engolint els planetes, fins convertir-se en un Gegant Roig.
7. Es torna inestable i comença a dilatar-se i encongir-se alternativament fins que explota.
8. Es transforma en una Nova. Llença materials cap a l'exterior.
9. El que resta, es contreu considerablement.
10. Esdevé una Nana. Es fa molt petita i densa i brilla amb llum blanca o blava, fins que s'apaga.



COL·LEGI  
BEAT RAMON LLULL  
INCA

CURS 2008-09  
APUNTS DE CIÈNCIES DEL MÓN CONTEMPORANI  
1r BATXILLERAT

## L'estrella prototípica

El Sol és pres com l'estrella prototípica, no per què sigui especial en cap sentit, sinó perquè és la més propera a la Terra i per tant la més estudiada. La majoria de les característiques de les estrelles se solen amidar en unitats solars. Les magnituds solars són usades en astrofísica estel·lar com a patrons.

La massa del Sol és:

$$M_{\text{sol}} = 1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$$

i les masses de les altres estrelles s'amiden en *masses solars* abreujat com  $M_{\text{sol}}$ .

## Classificació

La primera classificació estel·lar va ser realitzada per Hiparc de Nicea i preservada en la Cultura Occidental a través de Ptolemeu, en una obra anomenada Almagest. Aquest sistema classificava les estrelles per la intensitat de la seva lluentor aparent vist des de la Terra. Hiparc va definir una escala decreixent de magnituds, on les estrelles més brillants són de primera magnitud i les menys brillants, gairebé invisibles amb l'ull nu, són de sisena magnitud. Encara que ja no s'empra, va constituir la base per a la classificació actual.

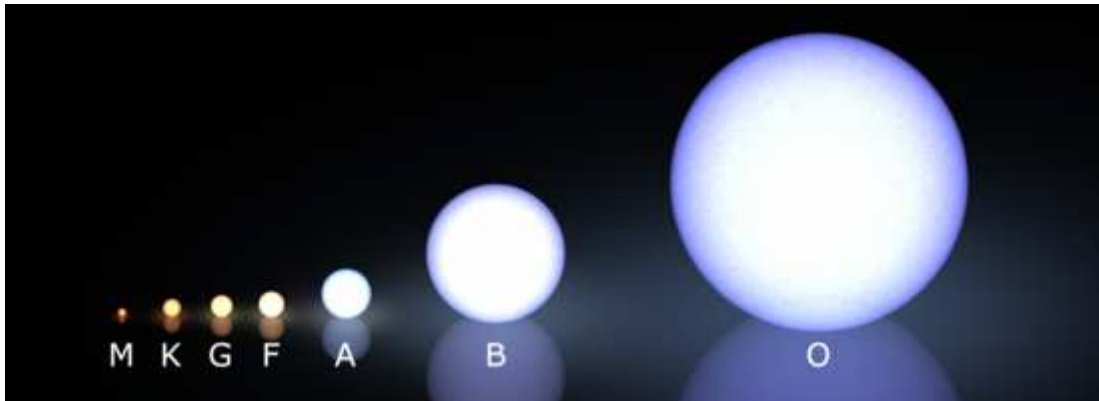
La classificació moderna es realitza a través del tipus espectral. Existeixen dos tipus de classificació, basats en dos catàlegs diferents: el Henry Draper Catalogue (HD) realitzat a Harvard a principis del segle XX, el qual determina el que es denomina *tipus espectral*, i el catàleg de l'Observatori de Yerkes, realitzat en 1943, el qual determina el que es denomina *classe de lluminositat*; aquesta és la classificació espectral de Yerkes, també anomenada sistema MKK.

Ambdós sistemes de classificació són complementaris.

Aproximadament un 10% de totes les estrelles són nanes blanques, un 70% són estrelles de tipus M, un 10% són estrelles de tipus K i un 4% són estrelles tipus G com el Sol. Tan sols un 1% de les estrelles són de major massa i tipus A i F. Les estrelles de Wolf-Rayet són extremadament infreqüents. Les nanes marrons, projectes d'estrelles que es van quedar a mig fer a causa de la seva petita massa, podrien ser molt abundants però la seva feble lluminositat impedeix realitzar un cens apropiat.

## Tipus espectrals segons la temperatura superficial

La següent il·lustració representa classes estel·lars amb colors molt propers als percebuts per l'ull humà. Les mides relacionades són per a les estrelles de la seqüència principal o estrelles *nanes*.



La classificació espectral de Morgan-Keenan

- O: 30.000 – 60.000 K Estels Blaus
- B: 10.000 – 30.000 K Estels Blaus-Blancs
- A: 7.500 – 10.000 K Estels Blancs
- F: 6.000 – 7.500 K Estels Grocs-blancs
- G: 5.000 – 6.000 K Estels Grocs (com el Sol)
- K: 3.500 – 5000K Estels Grocs-taronges
- M: < 3,500 K Estels vermells

Una regla mnemotècnica en anglès per a recordar l'ordre és: *Oh Be A Fine Girl /Guy, Kiss Me* ("sigues bona noia/noi, fes-me un petó").



## La gènesi dels elements

Imaginem que ens trobem a l'horitzó del nostre passat, fa gairabé 15000 milions d'anys. L'Univers és un puré homogeni de partícules elementals: fotons, quarks, neutrins, electrons. Aquestes partícules es van organitzant per formar estructures noves en un nivell superior amb propietats que els elements que les formen no tenien individualment.

Els diferents esquemes organitzatius queden determinats per les quatre interaccions fonamentals.

La força nuclear forta és la responsable de la cohesió i del lligams entre els quarks en els protons i els neutrons, i s'allibera en els processos de fusió i fissió; la força electromagnètica afecta les partícules amb càrrega elèctrica i assegura la cohesió dels àtoms; la força de la gravetat organitza les estructures a gran escala (estels i galàxies), i la força feble es manifesta en processos radiotatius.

A temperatures molt elevades, l'agitació tèrmica dissocia ràpidament totes les estructures que es poden formar, però a mesura que la temperatura disminueix, els efectes de les forces prevalen i comencen les primeres combinacions de matèria.

Quan la temperatura baixa de  $10^{12}$  K, la força nuclear forta fa que els quarks s'uneixin de tres en tres per formar els primers nucleons: protons, formats per dos quarks dalt i un quark baix, i els neutrons, formats per un quark dalt i dos baix. Posteriorment, la mateixa interacció farà que aquests nucleons es comencin a agrupar en conjunts de dos protons i dos neutrons per formar nuclis d'heli. Ara, la temperatura és inferior a  $10^{10}$  K, i ja hem superat el primer minut de l'Univers. En aquest moment la matèria de l'Univers es compon del 75% de nuclis d'hidrogen (protons) i el 25% de nuclis d'heli.

La següent interacció que entra en joc, la força electromagnètica, no ho fa fins que la temperatura no baixa de 3000 K. És llavors quan aquesta interacció fa que els electrons se situïn al voltant dels nuclis atòmics i es formen els primers àtoms d'hidrogen i heli.

La matèria, abans d'aquest moment, està ionitzada, en un estat que anomenem plasma, en equilibri tèrmic amb la radiació, de manera que els protons i els electrons xocaven contínuament amb uns fotons molt energètics. L'Univers és doncs, opac, els fotons estan confinats en aquesta sopa primordial i no podien desplaçar-se lliurement. Com a conseqüència de l'expansió de l'Univers, la seva densitat i temperatura han davallat prou perquè els protons puguin captar els electrons, formin àtoms estables i els fotons puguin viatjar lliurement: l'Univers, llavors esdevé transparent. I és aquesta radiació la que cosntitueix el fons de microones.



## La formació de les galàxies i els estels

Així, durant el primer milió d'anys, aproximadament, l'Univers continua expandint-se, alhora que el descens de la temperatura permet la combinació dels electrons i els nuclis lliures per formar àtoms. Però hi ha regions on la densitat és lleugerament superior a la mitjana i on l'expansió és retardada per l'atracció gravitatòria.

La matèria, que fins llavors era pràcticament homogènia, comença a formar "grumolls", que aturen l'expansió en algunes regions i provoquen col·lapses locals. A mesura que l'atracció arrossega progressivament cap a aquestes regions la matèria que les envolta, la seva massa es va amplificant i, algunes d'aquestes regions comencen a girar lentament.

La gravetat fa que, tot i que la massa de les regions augmenta, la mida disminueix, i d'aquesta manera s'incrementa la velocitat de rotació, fins que s'arriba a equilibrar l'atracció gravitatòria. Acaben de néixer les galàxies en forma de disc. Les galàxies el·lipítiques seran el resultat de la manca de rotació global.

A mesura que passa el temps, el gas d'hidrogen i l'heli de les galàxies es disgrega en núvols més petits, que es col·lapsen a causa de la gravetat. Els àtoms comencen a col·lidir uns amb els altres, i la temperatura del gas puja, fins que es prou calent per iniciar reaccions de fusió nuclear. Això converteix l'hidrogen amb més heli, i la calor després en les reaccions augmenta la pressió, de manera que els núvols deixen de contraure's i esdevenen estables per molt temps, cosa que origina els estels.

En canvi, els estels amb més massa augmenten el ritme de reaccions de fusió nuclears, ja que necessiten temperatures més elevades per compensar l'atracció gravitatòria. Consumeix l'hidrogen ràpidament i comencen a consumir heli, després passen a transformar l'heli en elements més pesats (carboni, oxigen ...) però no els aporten energia necessària.

Finalment, el centre de l'estel esdevé una zona de densitat molt elevada, com un estel de neutrons o un forat negre, i les regions externes poden esclatar volentament i esdevenir una supernova. Aquesta explosió allibera part dels elements més pesats cap a l'exterior, i proporciona part de la matèria primera per a la propera generació d'estels.