

Unitat 1

L'UNIVERS

11

UNITAT 1 L'UNIVERS

Matemàtiques, Ciència i Tecnologia **10. UN MÓN FELIÇ?**

què treballaràs?

En acabar la unitat has de ser capaç de:

- Valorar quines han estat les principals aportacions en el coneixement de l'Univers.
- Indicar quins són els instruments astronòmics més importants.
- Reconèixer les principals unitats de mesura utilitzades en astronomia.
- Descriure les principals particularitats dels astres del sistema solar.
- Explicar les principals característiques de les estrelles i de les galàxies.
- Explicar el sistema de divisió del cel en constel·lacions.
- Valorar les actuals teories sobre l'origen i l'evolució de l'Univers.

1. El coneixement de l'Univers

Una nit qualsevol. Mires el cel i veus tot un munt d'estrelles. Va passant la nit i les estrelles van canviant de posició. De sobte apareix una estrella fugaç que emet un raig de llum força llarg, i demanes un desig. Podem quedar embadalits durant hores davant la contemplació d'un espai que se'ns mostra infinit: l'Univers.

L'ésser humà, d'antuvi, davant l'espectacle grandios de l'Univers, s'ha fet unes preguntes:

- Com s'ha originat tota aquesta immensitat?
- On som, enmig d'aquest Univers que ens sembla infinit?
- Quins mecanismes determinen els moviments de la Terra, dels planetes i de la resta d'astres (cossos celestes)?

Algunes d'aquestes preguntes ja han estat contestades per la ciència, gràcies a l'avenç de la tecnologia. D'altres, però, romanen sense contesta definitiva, malgrat que hi ha teories força engrescadores.

L'**astronomia** és la ciència que estudia els astres, tant la seva composició com els seus moviments.

L'astronomia estudia, per tant, el Sol, la Lluna, la Terra, els altres planetes, les estrelles, els cometes i, en definitiva, qualsevol cos celeste.

Un llarg camí

Al llarg de la història hi ha hagut persones que han anat aportant el seu gra de sorra per al coneixement dels moviments dels astres i l'estructura de l'Univers. Ha estat un camí molt lent fins a l'arribada de les noves tecnologies, cap a finals del segle XIX.

Ara veurem quines han estat les principals aportacions.

Aristòtil (segle IV a.C.)

T'has fixat mai en l'ombra que tapa la Terra en un eclipsi de Lluna? Quina forma té?

T'has fixat mai en l'arribada d'un vaixell a la costa, des que comença a veure's fins que hi arriba?

Aristòtil fou un filòsof, astrònom i matemàtic grec que, fent aquestes dues observacions, va concloure que la Terra era esfèrica. Per què?

- La forma de l'ombra en els eclipsis de Lluna, que es produeixen quan la Terra s'interposa entre el Sol i la Lluna, és sempre circular. Això li féu suposar que la Terra era esfèrica.
- Quan un vaixell s'atansa a la costa, la primera part que veiem és sempre la punta del velam. Després, a mesura que s'atansa, anem veient progressivament la resta del vaixell. Aristòtil deduí que això succeïa perquè la forma esfèrica de la Terra tapava la part inferior del vaixell.

D'altra banda, Aristòtil creia que la Terra estava immòbil, mentre que el Sol, la Lluna, els planetes i les estrelles es movien girant al seu voltant, seguint òrbites circulars. Cal dir que el cercle era considerat la figura perfecta, i que totes les creences religioses consideraven la Terra com a centre de l'Univers, com a lloc fonamental i primigeni.

Els models astronòmics que consideren la Terra com a centre de l'Univers s'anomenen **geocèntrics**.

Ptolomeu (segle II)

Ptolomeu fou un astrònom i matemàtic grec que ideà un complex model geocèntric per tal d'explicar els moviments de la Lluna, el Sol, els planetes i les estrelles. Considerà que la Terra era al centre, immòbil, envoltada de vuit esferes que transportaven els astres fins aleshores coneguts.

Ptolomeu considerà que cada esfera tenia un moviment específic, d'acord amb les observacions de les posicions dels diferents astres. El resultat final era un complicat sistema d'esferes concèntriques (cada una a l'interior de la immediatament superior) dotades de complexos moviments. Descriví vuit esferes que, per ordre de proximitat a la Terra, situada al centre, transportaven els diversos astres:

centre	Terra
1a esfera	Lluna
2a esfera	Mercuri
3a esfera	Venus
4a esfera	Sol
5a esfera	Mart
6a esfera	Júpiter
7a esfera	Saturn
8a esfera	Totes les estrelles del firmament

Tanmateix, aquest model no acabava de funcionar gaire bé, ja que les prediccions de futures posicions planetàries seguint el model, no s'ajustaven a les observacions posteriors.

Copèrnic (segle XVI)

Copèrnic fou un capellà polonès que proposà un nou model que simplificava molt el model de Ptolomeu. El Sol estava al centre i tant la Terra com la resta de planetes giraven al seu voltant descrivint òrbites circulars. Es conservava la idea d'un fons celeste on es trobaven les estrelles, però ara immòbils. El

seu moviment era aparent, causat en realitat per un moviment de la Terra sobre ella mateixa, com si fos una baldufa girant; el moviment de rotació.

El **moviment de rotació** és el gir que fa un cos sobre ell mateix, al voltant de l'anomenat eix de rotació.

Amb el model de Copèrnic, les prediccions sobre posicions planetàries s'ajustaven molt millor a les observacions posteriors, tot i que no de manera exacta.

Copèrnic féu circular la seva teoria de manera anònima, per por que se'l considerés un heretge. L'Església denuncià la teoria com a falsa i contrària als llibres sagrats. Tanmateix, el debat ja s'havia iniciat.

Aquest és el primer model **heliocèntric**: amb el Sol com a centre de l'Univers.

Galileu (segle XVII)

Aquest matemàtic nascut a Pisa, observà amb un telescopi construït per ell mateix (potser fou el primer telescopi), com Júpiter estava acompanyat de diversos satèl·lits que giraven al seu voltant.

Un **satèl·lit** és un astre que gira al voltant d'un planeta.

Aquest fet li féu veure que no tots els astres havien de girar per força al voltant de la Terra i, per tant, la teoria de Copèrnic estava ben fonamentada. A partir d'aleshores es pronuncià com a defensor del model de Copèrnic. Malgrat ser catòlic, topà fortament amb l'Església. L'any 1632, s'autoritza la publicació del llibre *Diàleg sobre els dos grans sistemes del món*, una obra on Galileu exposava les teories d'Aristòtil i de Copèrnic. Tanmateix, l'Església posà com a condició que Galileu no es decantés per cap de les dues teories i concloués que els éssers humans mai no podrien determinar el funcionament del món, atès que Déu podria causar uns mateixos efectes per camins diferents. Malgrat tot, la publicació del llibre féu que els intel·lectuals de l'època es pronunciessin a favor de la teoria de Copèrnic, la qual cosa provocà que Galileu fos jutjat per un tribunal de la Inquisició, que el condemnà a presó domiciliària fins a la mort (foren uns deu anys) i a renunciar públicament al model de Copèrnic. Malgrat tot, res no aturà la difusió i l'acceptació de la teoria heliocèntrica.

Kepler (segle XVII)

Kepler fou un astrònom alemany, contemporani de Galileu. Estudià a fons les taules de dades sobre posicions planetàries confeccionades per Brahe (astrònom danès que recollí aquestes dades durant gran part de la seva vida). Aquest estudi el portà a postular tres lleis:

1. Els planetes es mouen seguint òrbites lleugerament el·líptiques.
2. Seguint l'òrbita el·líptica, la velocitat del moviment d'un planeta va variant segons la distància al Sol. A més proximitat al Sol, més velocitat planetària. A menys proximitat al Sol, menys velocitat.
3. Com més allunyada del Sol està l'òrbita d'un planeta, menor és la velocitat

del planeta. Així doncs, Mercuri, el planeta més proper al Sol, es mou a més velocitat que la Terra, i el nostre planeta es mou a més velocitat que Plutó, el planeta més allunyat del Sol.

Kepler quantificà amb exactitud les relacions matemàtiques entre la distància al Sol i la velocitat. Amb els seus càlculs, les prediccions s'ajustaven ja a les observacions posteriors. S'havia arribat doncs a conèixer amb precisió els moviments planetaris.

Newton (finals del segle XVII)

Newton fou un físic anglès que determinà l'origen dels moviments planetaris i, per extensió, dels moviments de tots els cossos de l'Univers. Considerà que tots els moviments dels astres eren causats per les forces d'atracció entre ells, seguint l'anomenada llei de la gravitació universal.

Llei de la gravitació universal de Newton: qualsevol cos de l'Univers és atret per qualsevol altre cos, amb una força directament proporcional a les seves masses i inversament proporcional al quadrat de la distància que els separa.

Dit d'una altra manera, com més massa tenen dos cossos, més s'atrauen. Com més lluny estan dos cossos, menys s'atrauen. Això vol dir que si deixes caure una pedra des d'un setè pis, la pedra caurà ràpidament atreta per la Terra, però si un astronauta imaginari deixa anar aquesta mateixa pedra des de ben lluny de la Terra, la pedra no arribarà mai a la Terra. L'atracció entre la pedra i la Terra serà molt petita, i segurament serà atreta amb més força per un astre més proper.

Tornarem a parlar de la llei de la gravitació universal de Newton diverses vegades, més endavant, ja que aquesta llei ens ajudarà a explicar els diversos moviments dels astres.

Segles XVIII i XIX

Durant els segles XVIII i XIX l'astronomia progressà molt, en gran part gràcies als avenços tecnològics. Es va concloure que les estrelles eren astres amb llum pròpia, equivalents al nostre Sol, però més llunyans. S'observaren diversos cometes i es van descriure les seves òrbites. Es descobriren els planetes Urà i Neptú, que encara no s'havien visualitzat. Es començaren a elaborar teories sobre l'estructura de l'Univers, les seves dimensions i el seu origen.

Els instruments astronòmics

Durant molts segles, les observacions astronòmiques només eren possibles a ull nu. Actualment però, disposem de diversos instruments que faciliten enormement l'observació i la interpretació de tot allò que hi ha més enllà del nostre planeta Terra.

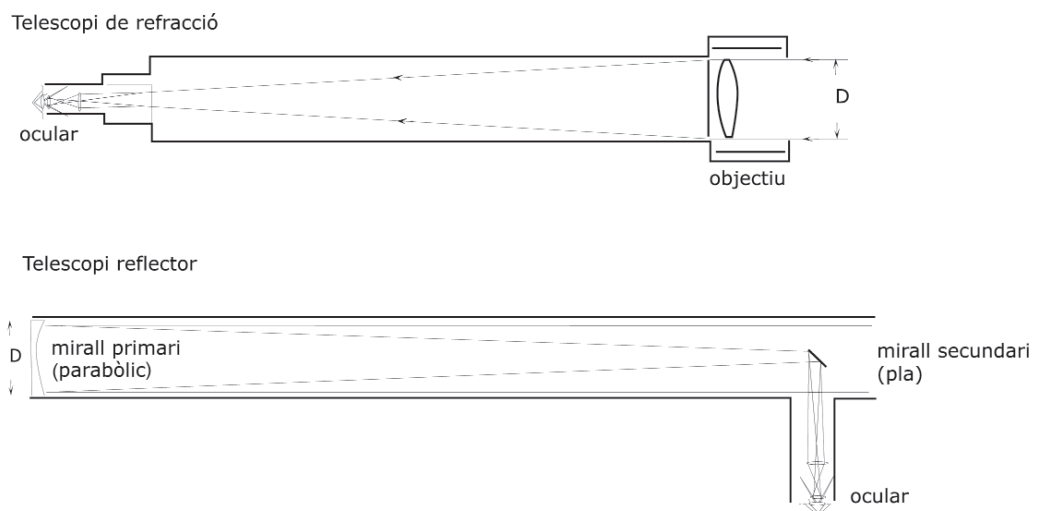
Telescopis

La llum que prové dels astres, exceptuant el Sol, és molt minsa a causa de la seva gran llunyania. Per tal de poder observar amb més precisió aquests as-

tres, des de començaments del segle XVII disposem dels telescopis, uns aparells amb capacitat per recollir i concentrar la llum, la qual cosa permet distingir millor els detalls menors de l'objecte observat. N'hi ha de dos tipus: de refracció i reflectors.

El **telescopi de refracció** té un objectiu amb lent que recull els raigs de llum i els concentra. És el telescopi més antic. Com més gran sigui la lent més bé podrem identificar els detalls. El diàmetre de la lent s'anomena **obertura**.

El **telescopi reflector** utilitza un mirall corb, situat al fons del tub, per tal de concentrar la llum recollida en un focus. Com que aquest focus es troba a l'interior del tub, cal un segon mirall per tal de desviar la llum cap a l'exterior del tub, a través de l'ocular.



A part de l'òptica, un telescopi ha de tenir **suport i muntura**. El suport més habitual és un trespeus estable. La muntura és el mecanisme que permet dirigir el telescopi cap allà on desitgem.

L'atmosfera dificulta l'observació, ja que reté radiacions lumíniques. Per aquest motiu, els millors telescopis es troben en llocs elevats, on la concentració de gasos, i especialment de vapor d'aigua, és menor. També és important fer les observacions lluny de qualsevol font terrestre de llum, per poder percebre amb nitidesa la llum dels objectes celestes.

Per tal d'optimitzar encara més les observacions, l'any 1990, els EUA van posar en òrbita, al voltant de la Terra, el **telescopi espacial Hubble**. Aquest telescopi, que orbita a uns 600 km d'altura i és comandat des de la Terra, ha permès obtenir informacions sobre zones desconegudes de l'Univers. S'han pogut observar galàxies molt llunyanes que no havien pogut ser observades fins aleshores.

Prismàtics

És l'equip òptic més a l'abast, econòmic i de fàcil transport. Són una variació del telescopi de refracció, de fet són com dos telescopis de refracció junts.

Permeten localitzar fàcilment objectes que després poden estudiar-se més acuradament amb el telescopi. Els prismàtics estan codificats per dos números separats pel signe X (per exemple 8X50). El primer número indica l'augment i el segon número l'obertura de les lents frontals en mil·límetres, que condiciona el camp de visió. Com més gran sigui l'obertura, més fàcil serà localitzar un determinat objecte, ja que el camp de visió serà més gran i, per tant, tindrem més punts de referència.

Sondes còsmiques

Són aparells no tripulats que s'envien a l'espai per tal d'explorar el sistema solar o l'Univers. Aporten dades que no es podrien recollir des de la Terra. La primera sonda còsmica, anomenada *Lunik II*, fou llançada a l'espai per l'antiga URSS, l'any 1959, per tal d'explorar la Lluna. A partir d'aleshores s'han enviat moltes sondes més, la gran majoria per part dels EUA. Entre les més famoses estan les sondes *Mariner*, enviades per explorar Mart, les sondes *Voyager*, enviades per explorar Júpiter, Saturn, Urà i Neptú i la sonda *Galileu*, enviada per explorar Júpiter i els seus satèl·lits.

Unitats de mesura

A causa de la gran massa dels astres i les enormes distàncies que els separen, els astrònoms utilitzen unitats de mesura específiques. N'esmentarem dues, una de massa i una de longitud.

Massa solar (M_{\odot})

La massa solar és de $2 \cdot 10^{30}$ kg, i s'utilitza com a unitat de mesura de massa.

Si una estrella fa el triple de massa que el Sol, diem que té $3 M_{\odot}$. Expressat en quilograms serien: $3 \cdot 2 \cdot 10^{30}$ kg = $6 \cdot 10^{30}$ kg.

Any llum

L'any llum és la distància que recorre la llum en un any.

Com que la llum viatja a una velocitat de 300.000 km/s, per saber la distància que recorre la llum en un any, haurem de saber quants segons té un any i multiplicar-los per 300.000. Ja et deus d'imaginar que el nombre que sortirà serà força gran.

$$1 \text{ any} = 365 \text{ dies} \times 24 = 8.760 \text{ hores} \times 60 = 525.600 \text{ minuts} \times 60 = 31.536.000 \text{ segons}$$

$$31.536.000 \text{ segons} \times 300.000 \text{ km/s} = 9.460.800.000.000 \text{ km}$$

Així doncs, un any llum són 9.460.800.000.000 km.

Tingues clar que l'any llum és una mesura de longitud, utilitzada, per tant, per mesurar distàncies. No la prenguis com a mesura de temps!

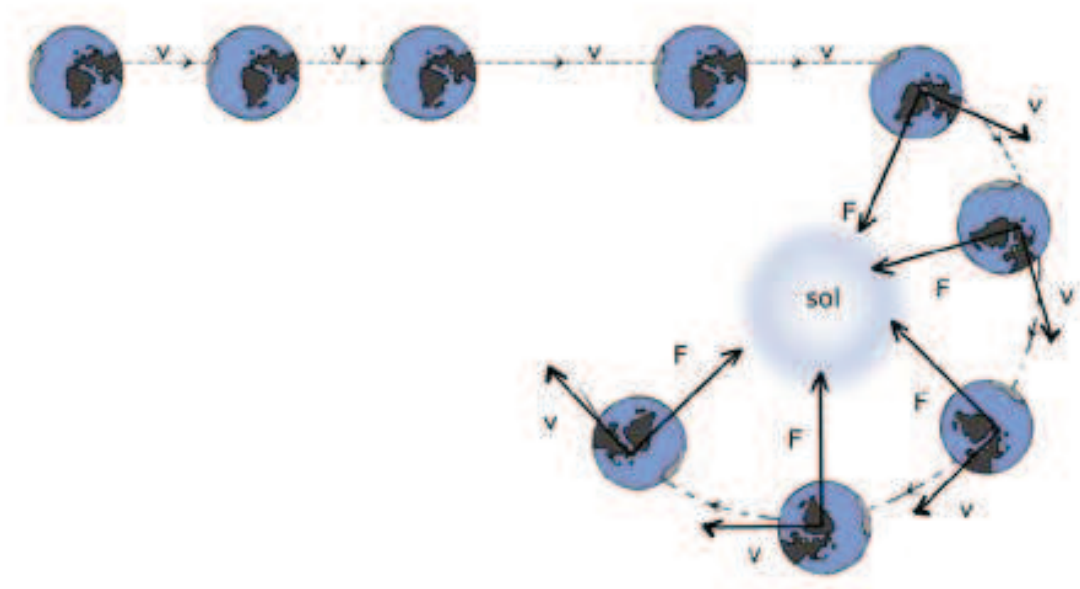
• **Activitats d'aprenentatge 1, 2, 3 i 4**

2. El sistema solar

El sistema solar està format pel Sol i tots els cossos que es troben sota la seva influència gravitatòria, o sia, els cossos atrets pel Sol.

La llei de la gravitació universal de Newton diu que tots els cossos de l'Univers s'atrauen. Això explica que si llancem una pedra cap amunt, torni a baixar atreta per la Terra. I la Lluna? Com és que no es dirigeix cap a la Terra i acaben xocant? I la Terra i els altres planetes, com és que no es dirigeixen cap al Sol en comptes d'anar girant al seu voltant?

Per explicar això hem de remuntar-nos a la formació del sistema solar, fa molts milions d'anys. Imagina't el Sol, ja constituït i brillant. Imagina't que la Terra circulava a gran velocitat per l'espai i, per atzar, el seu camí passà prop del Sol. D'una banda, tenim la Terra, a gran velocitat, dirigint-se espai enllà. D'altra banda, tenim l'atracció entre els dos astres. Com es resolgué això? Qui va guanyar? Doncs ningú, hi hagué una mena d'empat. La Terra no continuà amb la seva direcció, però tampoc no xocà amb el Sol. Es produí un equilibri entre la velocitat que duia la Terra i l'atracció entre els dos astres, del qual en resultà un canvi de trajectòria. Aquest equilibri és l'actual moviment orbital el·líptic de la Terra al voltant del Sol. La mateixa explicació és vàlida per explicar els moviments orbitals dels altres planetes al voltant del Sol i dels satèl·lits al voltant dels planetes.



Què creus que passaria si la Terra s'aturés un moment? Doncs que aleshores, desapareguda la velocitat del moviment orbital de la Terra, només actuaria la força d'atracció entre el Sol i la Terra, i els dos astres acabarien xocant.

El Sol

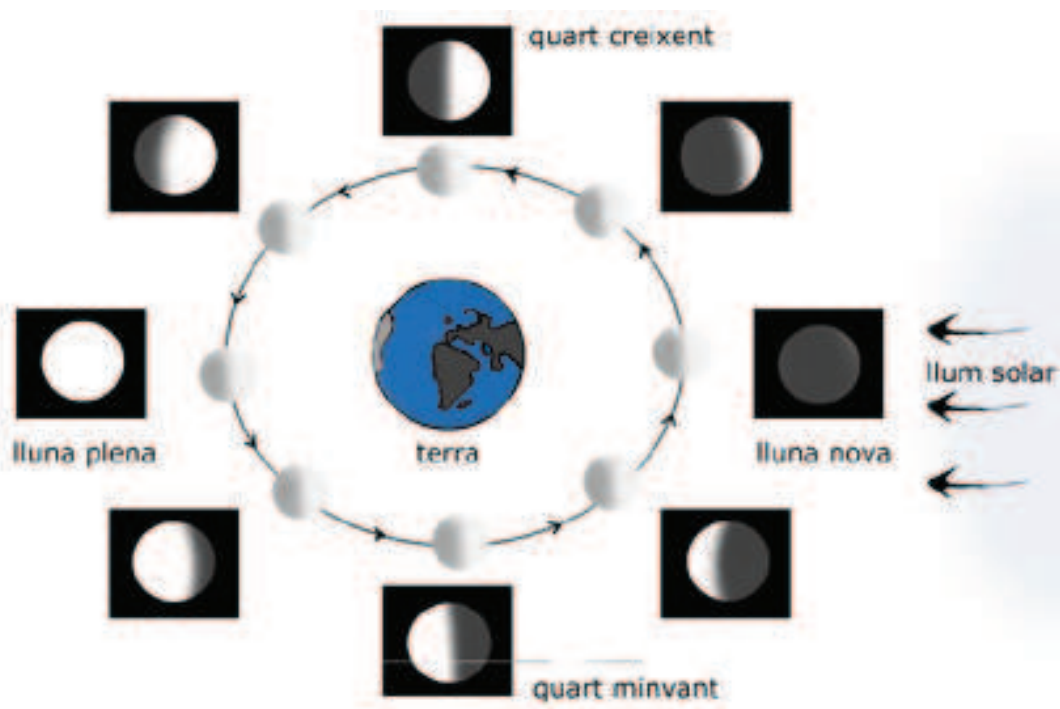
El Sol és un astre amb llum pròpia, és a dir, que genera llum. És el que anomenem una estrella. El Sol és en definitiva l'estrella més propera que tenim. Està format bàsicament per dos gasos: hidrogen (71%) i heli (27%). La seva massa és 745 vegades la de tots els planetes que giren al seu voltant junts. Té un moviment de rotació de 25 dies.

La superfície del Sol està a una temperatura d'uns 5.500°C, i el seu nucli, on es produeixen les reaccions nuclears generadores d'energia, està a uns 15 milions de graus centígrads. L'enorme quantitat d'energia que desprèn el Sol ens provocaria la ceguesa instantània si l'observéssim amb un instrument òptic, encara que fossin uns prismàtics. És per això que la seva observació requereix un potent filtre sobre l'ocular o observar l'ombra projectada a través de l'ocular.

La Lluna

La Lluna és el **satèl·lit** que dóna voltes a la Terra. No té aigua ni aire, el seu diàmetre és de només 3.500 km i la seva superfície és plena de cràters originats per impactes meteòrics. El seu moviment de rotació és de 27,3 dies, el mateix temps que triga a completar una òrbita al voltant de la Terra (**moviment de translació**). Aquesta coincidència fa que sempre vegem la mateixa cara de la Lluna. Mentre la Lluna gira al voltant de la Terra, va girant sobre ella mateixa de manera que sempre en veiem la mateixa cara.

Segur que t'has adonat que la porció de Lluna que es veu va variant dia a dia, seguint les **fases lunars**: lluna nova, lluna creixent, lluna plena i lluna minvant. Què ho fa això? La Lluna no genera llum, només reflecteix la llum que li arriba del Sol i, malgrat que el Sol il·lumina sempre mitja Lluna, les posicions relatives del Sol, la Lluna i la Terra fan que la visió des de la Terra vagi canviant. Fixa't en l'esquema següent, en el qual dins dels requadres es veuen les diverses visions de la Lluna des de la Terra durant el moviment orbital lunar:

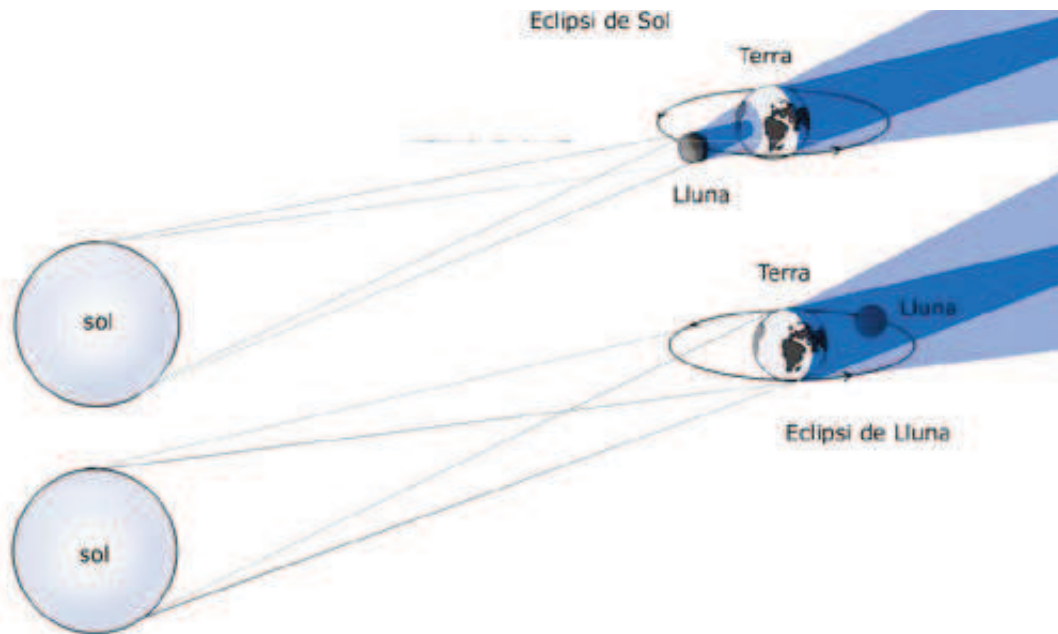


Quan el Sol, la Terra i la Lluna s'alineen amb exactitud, ocasionen un eclipsi.

Un **eclipsi** és l'ocultació total o parcial de la llum provinent del Sol, **eclipsi solar**, o de la Lluna, **eclipsi lunar**.

L'eclipsi solar es produeix quan la Lluna s'interposa entre el Sol i la Terra. Aleshores la Lluna no permet que els raigs de Sol arribin a la Terra. Aquest fenomen només es pot produir en fase de lluna nova, com es pot deduir de l'esquema de les fases lunars.

L'eclipsi lunar es produeix quan la Terra s'interposa entre el Sol i la Lluna. Aleshores el Sol no pot il·luminar la Lluna i, per tant, no podem veure'n el reflex. Aquest fenomen només es pot produir en fase de lluna plena, com es pot deduir de l'esquema de les fases lunars.



El nombre mínim d'eclipsis anuals és de quatre (dos de Lluna i dos de Sol) i el nombre màxim és de set.

Els planetes

Hi ha nou planetes donant voltes al Sol. Per ordre de proximitat al Sol són: Mercuri, Venus, Terra, Mart, Júpiter, Saturn, Urà, Neptú i Plutó. Els quatre primers són rocosos i petits. Els altres estan formats per gas congelat i, excepte Plutó, són força grans.



PLANETA	TEMPS D'ÒRBITA	CARACTERÍSTIQUES PRINCIPALS
Mercuri	88 dies	De dia la temperatura en superfície arriba als 400°C, però de nit baixa fins a -170°C, perquè no té una coberta gasosa que retengui calor. No té cap satèl·lit.
Venus	225 dies	Té una coberta de núvols que reflecteix el 76% de la llum que li arriba, per la qual cosa emet molta llum. No té cap satèl·lit.
Terra	365 dies = 1 any	És l'únic planeta on hi ha éssers vius. Té un satèl·lit: la Lluna.
Mart	1,9 anys	És d'un color ataronjat. Té dos satèl·lits: Phobos i Dimos.
Júpiter	11,9 anys	És el planeta més gran. Té 20 satèl·lits.
Saturn	29,5 anys	Està envoltat de quatre anells formats per una gran quantitat de partícules que giren al voltant del planeta. Té 20 satèl·lits.
Urà	84 anys	Té nou anells molt febles, difícils de veure. Té 15 satèl·lits.
Neptú	165 anys	Té 8 satèl·lits, dos de grans: Nereida i Tritó
Plutó	250 anys	És més petit que la nostra Lluna. La seva òrbita creua l'òrbita de Neptú, la qual cosa fa que, de vegades, Neptú sigui el planeta més allunyat del Sol. Té un satèl·lit: Caront.

Els moviments de rotació i translació generen grans velocitats. Si ens centrem en la Terra, la seva velocitat de translació és de 29,8 km/s. La velocitat de rotació varia segons la latitud. A l'equador és de 0,46 km/s (1.666 km/h). Per què creus que ni ens adonem d'aquestes grans velocitats a les que circula el nostre planeta? Doncs perquè nosaltres hi som dins, formem part de la Terra. És el mateix que passa quan anem dins d'un tren a 100 km/h, que no notem la velocitat.

Els asteroides

Te'n recordes del *Petit Príncep*, aquell personatge de ficció que vivia en un petit asteroide?

Els asteroides s'anomenen també **planetes menors**, ja que són petits astres que orbiten al voltant del Sol de forma similar a com ho fan els planetes. Se'n coneixen uns 5.000 i es creu que n'hi poden haver molts més. Tanmateix, la massa de tots junts és inferior a la massa de la Lluna. El 95% tenen la seva òrbita entre les òrbites de Mart i de Júpiter.

Els cometes

Els cometes són petits astres, d'uns 10 km de diàmetre, formats per roques i gas congelat que giren al voltant del Sol seguint òrbites molt el·líptiques, és a dir, molt allargades. Prop d'un extrem de l'òrbita hi ha el Sol, per la qual cosa, tot i que la major part del temps circulen força lluny del Sol, quan s'hi atansen ho fan molt. Quan estan lluny del Sol brillen únicament gràcies a la reflexió dels raigs del Sol, com qualsevol planeta. A causa de la seva petidesa, brillen molt poc. La situació canvia radicalment quan s'atansen al Sol, ja que es van escalfant i, aleshores, part del gas es descongela. El gas descongelat s'allibera de la superfície del cometa formant una cua, que brilla per influència de les radiacions solars. Aquesta cua, a causa del moviment orbital del cometa, se situa sempre en sentit contrari al Sol. Així doncs, cada cop que s'atansa al Sol, un cometa perd part de la seva massa a través de la cua.



Es coneixen les òrbites de més d'un miler de cometes, i contínuament se'n coneixen de noves. Els seus noms sovint fan referència als descobridors. Un dels més famosos és el cometa Halley, que segueix una òrbita que va des de més enllà de Plutó fins a una posició entre les òrbites de Mercuri i de Venus. El Halley reapareix cada 76 anys, però hi ha altres cometes que tenen períodes orbitals molt més llargs, de milers d'anys.

Meteors i meteorits

Els meteors són petits trossos de pedra i/o metall que circulen per l'espai a una velocitat d'uns 30 km/s. Si un meteor es dirigeix cap a la Terra, la gran velocitat que du fa que la fricció amb l'atmosfera l'escalfi molt, i es converteixi en gas. Aquest procés genera una brillantor que marca el recorregut del meteor a partir de l'impacte amb l'atmosfera. Aquest fenomen és més o menys visible des de la Terra (de nit, és clar) segons la grandària del meteor. La línia de llum que s'observa l'anomenem **estrella fugaç**, malgrat que no té res a veure amb les estrelles. Com més llarga és la línia de llum, més gran era el meteor que l'ha format.

Podem considerar que l'atmosfera de la Terra ens fa d'escut davant de possibles impactes meteòrics sobre la seva superfície. La Lluna no té una coberta atmosfèrica, per la qual cosa els meteors arriben amb facilitat a la seva superfície i es formen **cràters**, com a conseqüència dels impactes. Tanmateix, de vegades els meteors no es consumeixen totalment mentre travessen l'atmosfera, i acaben produint un cràter si cauen sobre un continent. El tros de meteor que arriba a la Terra rep el nom de **meteorit**. Els meteorits poden desintegrar-se totalment o parcialment en impactar amb la superfície de la Terra. Si després de l'impacte en queda algun tros, s'analitza per tenir més informació sobre la seva composició. Cada any en cauen alguns centenars, però només se'n detecta una dotzena, ja que la majoria cauen al mar o a zones deshabitades. En general les restes són molt petites.

• **Activitats d'aprenentatge 5, 6, 7 i 8**

3. Les estrelles

Les estrelles són astres amb llum pròpia, és a dir, generadors de llum. Com es genera aquesta enorme quantitat de llum? Quant de temps dura l'emissió de llum?

Cicle d'una estrella

Naixement

Una estrella es forma quan s'ajunta una gran quantitat de gas, principalment hidrogen, a causa de les forces d'atracció gravitatòria descrites per Newton. Les atraccions entre els àtoms d'hidrogen fan que comencin a col·lidir, amb més intensitat com més gran sigui la quantitat d'hidrogen (la massa de l'estrella). Col·lideixen i reboten per tornar a col·lidir amb altres àtoms. Els xocs entre els àtoms provoquen l'escalfament del gas. Quan el gas té una temperatura molt elevada, els àtoms d'hidrogen ja no surten rebotats de les col·lisions, sinó que es produeix una reacció nuclear de fusió: dos àtoms d'hidrogen (H) es fusionen i se'n formarà un d'heli (He).

L'energia que es desprèn en aquesta reacció fa que l'estrella brilli.

Si el núvol de gas té una massa inferior al 6% de la massa del Sol ($0,06 M_{\odot}$), no pot convertir-se en estrella, ja que el gas no assoleix les condicions necessàries perquè es produeixi la reacció de fusió que hem descrit. Podem dir que les forces d'atracció gravitatòria no seran suficients. Recorda que com més gran és la massa, més gran és la força d'atracció gravitatòria. Així doncs, $0,06 M_{\odot}$ és el límit que determina que l'astre en formació esdevingui una estrella o no.

Hi ha estrelles de diferents mides. Les més grans tenen una massa de $100 M_{\odot}$. La massa és el factor bàsic que determina totes les característi-

ques d'una estrella. Condiciona la seva temperatura, el seu color i el seu temps de vida.

Com més gran és la massa d'una estrella, més gran és la intensitat de les reaccions nuclears i, per tant, més gran és la seva temperatura i brillantor. D'altra banda, aquesta elevada intensitat de les reaccions nuclears fa que el seu període d'existència sigui més curt, ja que el combustible (l'hidrogen) se li exhausta abans. Una estrella de massa petita, tot i brillar menys i tenir menys combustible, té una vida molt més llarga, ja que la intensitat de reaccions nuclears és molt menor.

El color de les estrelles també depèn de la massa. Per ordre de major a menor massa, les estrelles poden ser dels colors següents:

blau • blanc-blavós • blanc • groguenc-blanc • taronja • vermell

El Sol és una estrella groguenca-blanca.

Mort

Els àtoms d'heli poden experimentar noves reaccions de fusió, de les quals en resulten nous i variats elements (carboni, nitrogen, ferro, etc). Les reaccions però són menys freqüents, i la temperatura i la brillantor de l'estrella disminueixen. Què passa quan disminueix la temperatura d'un cos? Doncs que es contrau. Això passa a l'estrella quan es queda sense hidrogen, es va contraient més i més. De fet, conté la mateixa massa, però molt més concentrada. A partir d'aquest moment, hem de distingir el que passa a una estrella de massa petita del que passa a una estrella de massa gran.

Estrelles de massa petita (menys de $3 M_{\odot}$)

L'estrella es contrau fins que arriba a l'anomenat **equilibri gravitacional** i s'estabilitza. El resultat d'aquest equilibri gravitacional és un astre amb una densitat de desenes de tones per cm^3 . Això vol dir que un dau d'1 cm d'aresta d'aquest astre conté una massa de desenes de tones. T'ho pots imaginar? Un petit dau que conté més massa que un tràiler carregat!

Estrelles de massa gran (més de $3 M_{\odot}$)

L'estrella es contrau, però l'elevada massa que conté provoca que la contracció sigui molt més gran que en el cas anterior. Recorda que, segons la llei de la gravitació universal, a més massa més força d'atracció. El resultat és una densitat molt superior a la descrita per a la mort d'estrelles de massa petita, la qual cosa provoca una gran inestabilitat. Fruit d'aquesta inestabilitat, en el centre de l'estrella es produeixen reaccions nuclears que provoquen una gran explosió, la qual permet l'expulsió de les capes més externes de l'estrella cap a l'espai interestel·lar, a una velocitat d'uns 5.000 km/s. Aquest fenomen genera una gran brillantor, apreciable des de la Terra. És el que anomenem **supernova**, i pot durar dues o tres setmanes. Només n'hi ha tres de ben documentades a la nostra galàxia, visibles a ull nu els anys 1054, 1572 i 1604 (descoberta per Kepler).

L'explosió que genera una supernova permet a l'estrella agonitzant desprendre's de la massa suficient per poder arribar a l'equilibri gravitacional, de manera similar a com ho fan les estrelles de massa petita, però arribant a densitats superiors, de milers de tones per cm^3 . Aquest astre tan dens, nucli de l'antiga estrella, s'anomena **púlsar**.

La matèria que surt expulsada a gran velocitat forma una **nebulosa**, composta per una heterogènia barreja d'elements en forma de gas i pols. A partir d'aquesta nebulosa es formaran noves estrelles i planetes. El nostre sistema solar va néixer a partir d'una d'aquestes nebuloses. Així doncs, el seu origen rau en la mort d'una estrella.

Anomenem **nebulosa** qualsevol formació de gas i pols escampada pel cosmos. Poden brillar si contenen estrelles al seu interior o són il·luminades per estrelles properes.

TIPUS DE NEBULOSA	CARACTERÍSTIQUES PRINCIPALS
nebulosa d'emissió	Són les més brillants. Contenen estrelles al seu interior.
nebulosa de reflexió	Brillen menys, gràcies a la il·luminació d'estrelles properes.
nebulosa obscura	No brillen, ja que estan allunyades de les estrelles.

Un **forat negre** és un astre similar a un púlsar, però de densitat encara molt més gran, la qual cosa fa que es generi una enorme força d'atracció gravitatòria (a més massa més força d'atracció gravitatòria). El seu origen rau en la mort de les estrelles de massa encara més gran que les que generen l'aparició dels púlsars. Qualsevol cosa que passi prop seu és atreta i engolida pel seu gran poder d'atracció, fins i tot la llum. Això fa que la llum que li arriba d'altres estrelles no es reflecteixi i que la que en ell encara es genera, no pugui sortir. Res no pot escapar-se'n. Es diu que apareix una regió de l'espai-temps d'on res no pot escapar-se i, per tant, res no pot ser observat; un forat negre.

Estrelles dobles

Malgrat que no es pot apreciar a ull nu, més del 75% de les estrelles són en realitat estrelles dobles o, fins i tot, múltiples. En general, l'estrella petita gira al voltant de l'estrella gran, de manera que es poden produir eclipsis. Això es reflecteix en una brillantor variable segons que hi hagi eclipsi o no. Quan hi ha un eclipsi, la llum que es pot veure des de la Terra es redueix i quan no n'hi ha, la llum emesa per totes dues estrelles arriba a la Terra amb tota la seva intensitat, per la qual cosa la brillantor és màxima.

L'estrella més propera al sistema solar es una estrella doble, **α centauri**, situada a 4,3 anys llum.

Cúmul d'estrelles

Tot i que hi ha estrelles aïllades, com el nostre Sol, n'hi ha moltes que estan agrupades formant **cúmul d'estrelles**, agregacions de moltes estrelles (de vegades més d'un milió) separades per distàncies inferiors a un any llum.

Les galàxies

Les galàxies són congregacions de milers de milions d'estrelles i astres interestel·lars. La seva gran mida fa que la seva forma només es pugui veure si s'observa a molta distància (un milió d'anys llum, almenys) i amb l'ajut d'un telescopi. Cal fer l'observació en una nit clara i lluny de les grans ciutats, per evitar la contaminació lumínica. A causa de la llunyania, apareixen com a objectes pàl·lids i borrosos, amb un aspecte nebulós.

Les mides de les galàxies varien força, però generalment tenen un diàmetre comprès entre els 100.000 i els 200.000 anys llum. El gruix és molt més petit, de pocs milers d'anys llum.

Vistes des de dalt poden presentar quatre formes: irregular, el·líptica, espiral o espiral barrada.

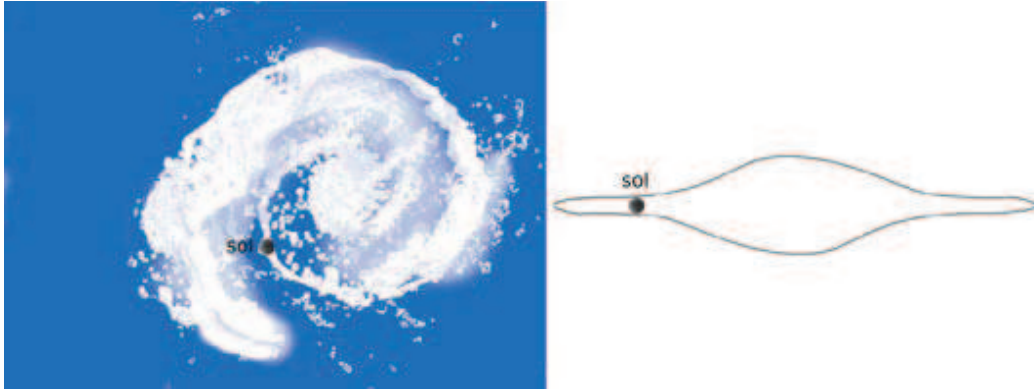
TIPUS DE GALÀXIA	DIBUIX
irregular	
el·líptica	
espiral	
espiral barrada	

Vistes de perfil les galàxies tendeixen a adoptar forma de plat volador.

Al centre d'una galàxia s'acumula un elevat nombre d'estrelles, la qual cosa fa que augmenti la seva gruixària.

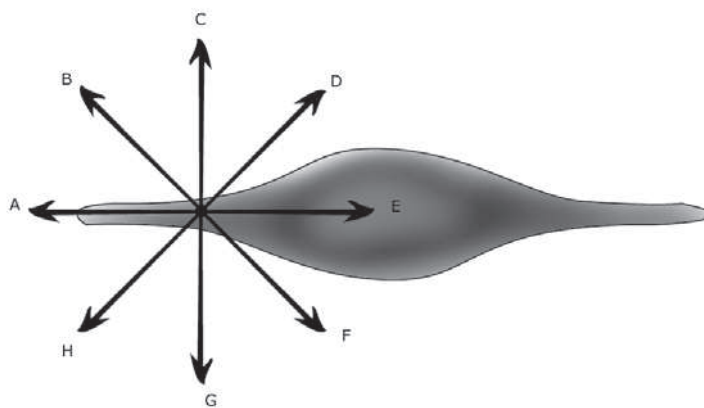


El nostre Sol pertany a una galàxia espiral anomenada **Via Làctia** que conté, com a mínim, 100.000 milions d'estrelles. El diàmetre és d'uns 100.000 anys llum i la gruixària d'uns 2.000 anys llum, excepte en el centre que arriba als 10.000 anys llum. Imagina't! Trigaríem 100.000 anys a travessar la nostra galàxia, si poguéssim viatjar a 300.000 km/s! El Sol es troba a uns 30.000 anys llum del centre, en un dels braços.



Totes les estrelles que veiem des de la Terra pertanyen a la nostra galàxia. Les estrelles d'altres galàxies no les podem veure individualment a causa de la seva gran llunyania. Únicament podem veure la forma de la galàxia de la que formen part.

Si mires amb atenció el cel nocturn lluny de les ciutats, observaràs fàcilment una franja de llum difosa que travessa el cel de banda a banda. És una zona d'una gran concentració d'estrelles, la qual cosa es pot observar fàcilment amb uns binocles o amb un telescopi. El perquè d'aquesta gran concentració d'estrelles en una franja estreta s'explica per la forma aplanada de la galàxia. Fixa't en el dibuix:



Si, des de la Terra, mirem en direcció a **A** o **E**, la nostra mirada travessarà gran part de la galàxia i, per tant, veurem moltes estrelles, que arriben a formar una franja de llum difosa. Si mirem en direcció a **B, C, D, F, G** o **H**, la part de galàxia observada serà molt menor, per la qual cosa veurem menys estrelles i, per tant, aïllades i sense formar cap zona de llum difosa.

Cúmuls galàctics

La disposició de les galàxies a l'Univers no és regular, sinó que s'agrupen formant els **cúmuls galàctics**, grups d'unes quantes galàxies. La Via Làctia pertany al **Grup Local**, que conté unes 30 galàxies. La nostra galàxia és la segona més gran d'aquest grup. Les més properes a la nostra es troben a uns 200.000 anys llum i les més llunyanes a més de 2.000.000 d'anys llum. Quin mareig de nombres, oi?

Ara com ara, amb la tecnologia que tenim a l'abast, viatjar d'una galàxia a una altra és totalment inimaginable. De fet, també és inimaginable viatjar a l'estrella més propera, α centauri. Podem dir que a l'Univers hi ha ben segur molts planetes amb característiques similars al nostre planeta Terra, i potser també amb vida, però les enormes distàncies ens fan impossible contactar-hi.

Les constel·lacions

Vas passejant de nit pels afores d'un poblet del Pirineu amb una amiga. Mires cap al cel i veus un grup de quatre estrelles que et criden l'atenció perquè dibuixen una mena de romb. Aleshores li dius a la teva amiga:

- Mira aquelles estrelles, allà a l'esquerra.
- On? -respon ella.
- Allà! -repeteixes tot allargant el braç en direcció al grup de quatre estrelles.
- Vols dir les estrelles que hi ha a sota d'aquella mena de triangle?
- No, més a l'esquerra...

Al final, li faràs veure les estrelles que vols ensenyar-li, però el mètode utilitzat haurà estat poc científic. Els astrònoms, per poder-se entendre més fàcilment quan volen referir-se a un lloc concret del cel, l'han dividit en 88 zones, anomenades **constel·lacions**. És com si dividíssim el cel en estats. És, per tant, una divisió arbitrària.

Hi ha constel·lacions força grans i d'altres de ben petites, amb formes molt diverses. Per què aquesta varietat, si han estat creades artificialment? És una història que ve de lluny. Les primeres constel·lacions van ser descrites en temps antics, pels habitants de l'orient mitjà, que van imaginar similituds entre les disposicions de les estrelles i criatures de fauna (com la constel·lació del Dragó) o herois mitològics (com les constel·lacions d'Hèrcules o d'Orió). D'aquesta manera es van descriure les primeres constel·lacions, utilitzades pels navegants per orientar-se de nit. Recollint tota aquesta tradició popular, Ptolemeu descriví 48 constel·lacions. Els astrònoms moderns han dotat de fronteres precises les constel·lacions clàssiques i han introduït noves constel·lacions per tal d'abastar tot el cel.

Científicament, el nom de les constel·lacions es diu en llatí. D'aquesta forma, Dragó s'anomena *Draco*, Hèrcules s'anomena *Hercules* i Orió s'anomena *Orion*.

En una constel·lació, les estrelles principals, les més brillants, es designen

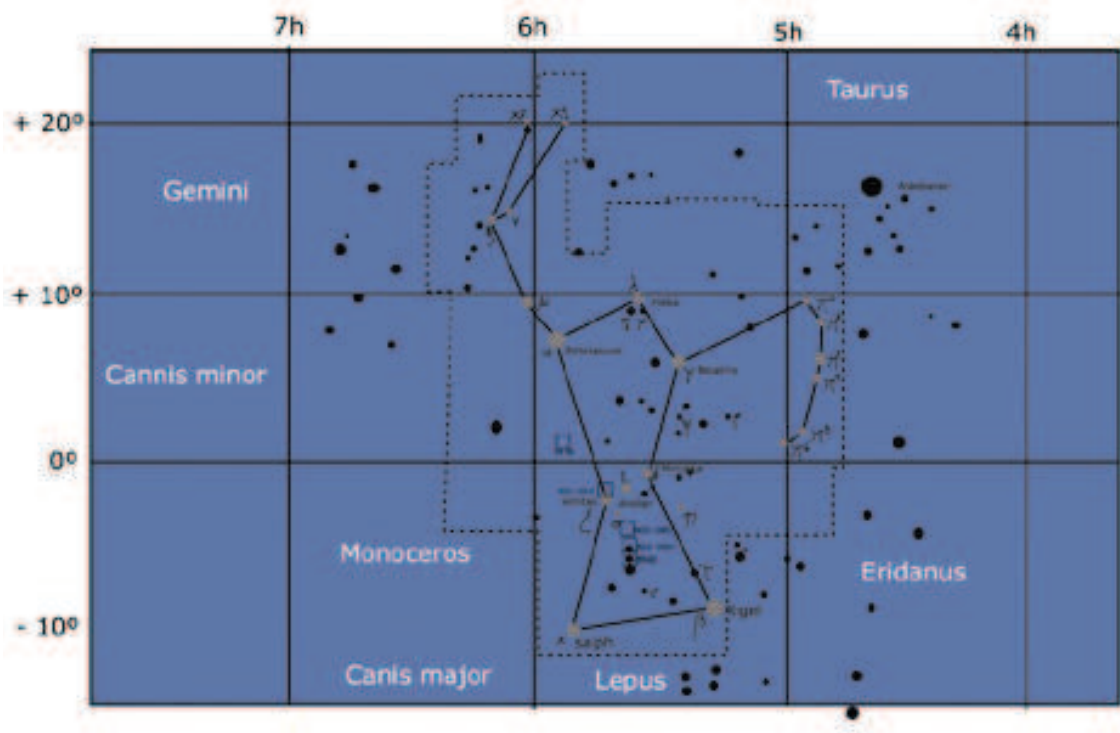
amb lletres de l'alfabet grec; α , β , γ , δ , ϵ , ζ , η , θ , etc. Generalment es reserva la lletra α per designar l'estrella més brillant, però hi ha excepcions, com la constel·lació d'Orió, en què l'estrella més brillant és la β . A més d'aquesta designació, les estrelles més prominents tenen noms propis. Aquest és el cas de *Sirius* (α *Canis Majoris*), l'estrella més brillant del firmament. Normalment, la resta d'estrelles menys brillants, es designen per un nombre. Per designar nebuloses, galàxies o cúmuls d'estrelles, es posa un codi que fa referència a un catàleg astronòmic, on hi ha descrit amb precisió l'objecte. Hi ha tres catàlegs:

CATÀLEG	ABREVIACIÓ
Messier	M
New General Catalogue	NGC
Index Catalogues	IC

Els Index Catalogues són, en realitat, dos suplementes del New General Catalogue.

Per entendre millor tota aquesta terminologia, veurem com a exemple la constel·lació d'Orió:

La constel·lació d'**Orió**, *Orion* en llatí, és la més brillant de totes. La mitologia parla d'Orió el caçador, representat per un home brandint un garrot i protegint-se amb un escut. S'està enfrontant a Taurus, el brau. Del cinturó li penja una espasa. Va acompanyat de dos gossos, *Canis Major* i *Canis Minor*. Just a sota hi ha *Lepus*, la llebre, que intenta amagar-se.



ALGUNS OBJECTES DESTACABLES

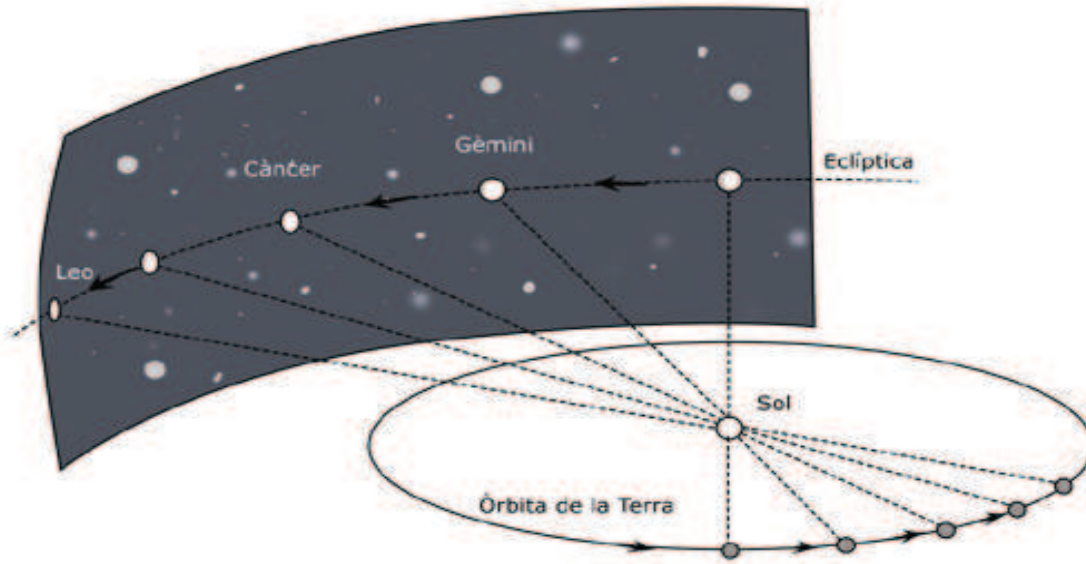
- α orionis:** S'anomena també Betelgeuse. És una estrella situada a 310 anys llum.
- β orionis:** S'anomena també Rigel. Està situada a 910 anys llum. És l'estrella més brillant d'Orió.
- M 42:** Nebulosa d'Orió, formada per gas i pols i situada a 1.300 anys llum.
- M 78:** Petita nebulosa allargada centrada en una estrella doble.
- NGC 1977:** Nebulosa allargada situada sobre la nebulosa d'Orió i centrada en l'estrella 42 orionis.
- NGC 1981:** Cúmulo d'estrelles situat al nord de la nebulosa NGC 1977. Inclou l'estrella doble Struve 750.
- NGC 2024:** Nebulosa situada a la part superior de ζ orionis.

És important tenir en compte que algunes estrelles, que vistes des de la Terra, a ull nu, semblen molt a prop, poden estar a grans distàncies. D'altra banda, estrelles que ens poden semblar llunyanes, poden estar relativament força properes. Això és provocat pel fet de no poder veure en profunditat.

Per poder localitzar fàcilment una constel·lació, cal utilitzar un **planisferi celest**, una representació del cel visible sobre un pla. Els planisferis celestes són diferents, segons la latitud de la Terra que es pren com a referència, de manera que, a l'hora de comprar-ne un, cal tenir en compte la latitud per a la qual ha estat dissenyat.

Com ja saps, la Terra es desplaça al voltant del Sol seguint la seva òrbita. Això fa que, vist des de la Terra, el Sol canviï de posició contra el fons d'estrelles. Bé, això no ho podem veure perquè la llum del Sol no ens permet veure cap estrella al seu voltant, excepte quan hi ha un eclipsi total de Sol. Ens hem d'imaginar però, que al voltant del Sol hi ha les estrelles d'una determinada part

del cel, és a dir, d'una determinada constel·lació, malgrat que la llum solar no ens permeti observar-ho. Les constel·lacions per les quals passa el Sol en el seu recorregut aparent (és la Terra la que es mou) es coneixen com a **constel·lacions zodiacals**: Àries, Taure, Bessons, Cranc, Lleó, Verge, Balança, Escorpió, Sagitari, Capricorn, Aquari i Peixos. La trajectòria exacta que descriu el Sol en el seu moviment aparent a través de totes aquestes constel·lacions s'anomena **eclíptica**.



En el cel nocturn podem veure amb facilitat les constel·lacions zodiacals oposades a on es troba el Sol.

• **Activitats d'aprenentatge 9, 10, 11 i 12**

4. L'evolució de l'Univers: origen i futur

Quan de nit mires el cel i veus tota aquesta eternitat, no t'has preguntat mai d'on sorgeix tot això? Com s'ha format? Qui ho ha originat? Per què? Hi ha molts filòsofs i científics que intenten trobar respostes a aquestes difícils preguntes. Els avenços tecnològics del segle xx han introduït una mica de llum, malgrat les grans incerteses que encara hi ha.

L'any 1929, l'astrònom nord-americà Edwin Hubble descobrí que els cúmuls galàctics s'estaven allunyant els uns dels altres. A partir d'aquest fet, alguns astrònoms, entre els que cal destacar George Garrow, elaboraren l'anomenada **teoria del Big Bang** (la gran explosió). Aquesta teoria es basa en el fet que, si els cúmuls galàctics s'estan allunyant els uns dels altres, en temps anteriors les distàncies entre ells havien de ser més petites. Si anem tirant enrere i enrere en el temps, arribarem a un moment, fa uns 15.000 milions d'anys, en què tots els cúmuls galàctics i, per tant, tot l'Univers, estava concentrat en un mateix lloc.

Tota la massa de l'Univers en un mateix lloc! Imagina't! Tots els cúmuls galàctics, milers de galàxies amb milers de milions d'estrelles cada una! I els planetes, els cometes, les nebuloses... Tot junt. En aquest cas, les forces d'atracció gravitatòria haviem de ser enormes, ja que són forces que són més grans com més petites són les distàncies. Aquestes forces eren de tal magnitud que van comprimir tot l'Univers en un punt infinitament petit i, per tant, infinitament dens. Tota la massa de l'Univers en un punt!

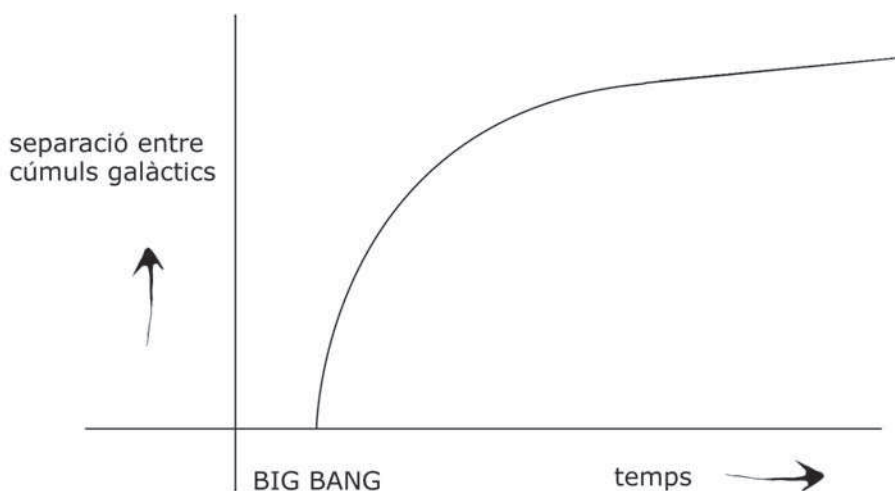
Aquesta situació era totalment inestable i es va produir una gran explosió, el Big Bang. Fruit d'aquesta explosió van sortir partícules atòmiques (protons, neutrons, electrons, neutrins, etc.) escampades pertot arreu. Aquestes partícules atòmiques es van anar unint per formar àtoms senzills, principalment àtoms d'hidrogen i d'heli. Aleshores, els àtoms més propers es començaren a agrupar formant estrelles, tal i com ja vam veure en l'estudi del naixement d'una estrella. Les estrelles més properes s'agruparen formant galàxies i les galàxies més properes romangueren unides en cúmuls galàctics. Tots aquests processos d'agrupament foren ocasionats per les forces de la gravitació universal. Tanmateix, mentre això succeïa, l'Univers s'anava expandint a causa de la velocitat generada per la força de la gran explosió.

Aquesta teoria considera que els esdeveniments anteriors al Big Bang no tenen cap conseqüència en els esdeveniments posteriors al Big Bang. Es considera, per tant, que el temps s'origina en el Big Bang. L'any 1951, l'església catòlica proclamà que la teoria del Big Bang estava d'acord amb la Bíblia, essent la intervenció divina la que originà l'inici del temps amb la gran explosió.

Un cop tenim els cúmuls galàctics expandint-se, hi ha dos possibles camins en l'evolució de l'Univers. Un camí ens du cap a un **Univers obert** i l'altre cap a un **Univers tancat**.

Univers obert

L'Univers es va expandint, però les forces d'atracció gravitatòria van frenant aquest procés, el van alentint. D'aquesta manera, els cúmuls galàctics cada cop se separen a menys velocitat. Tanmateix, les forces gravitatòries no són suficients per aturar l'expansió, de manera que l'Univers continuarà expandint-se per sempre més i, per tant, cada cop serà més gran.

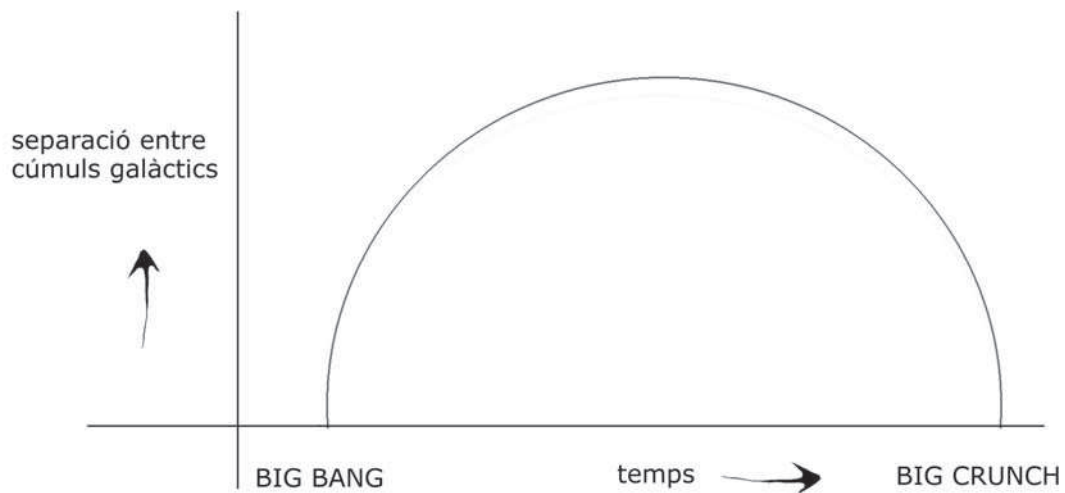


L'Univers es va expandint, però les forces d'atracció gravitatòria van frenant aquest procés fins a aconseguir aturar-lo. A partir d'aleshores, un cop contrastada la velocitat d'expansió, només actuen les forces d'atracció gravitatòria. Això fa que els cúmuls galàctics comencin a atansar-se els uns als altres fins que arriben a trobar-se un altre cop en el mateix punt on es va produir el Big Bang. Aquest possible retrobament de tot l'Univers en el mateix lloc s'anomena **Big Crunch** (el gran cruixit).

Alguns astrònoms han calculat que el temps entre el Big Bang i el Big Crunch pot ser d'uns 120.000 milions d'anys.

I després del Big Crunch, què? Potser tornar a començar...

Aquest model s'anomena d'Univers tancat, perquè l'Univers només s'expandeix fins a uns límits determinats. Arribat en aquests límits, comença a contraure's.



Hi ha astrònoms que defensen el model d'Univers obert i n'hi ha que defensen el model d'Univers tancat. El que sabem del cert és que ara l'Univers està en expansió. El fet que es pugui arribar o no a aturar aquesta expansió, dependrà de la massa de l'Univers. Si hi ha molta massa, les forces d'atracció gravitatòria seran més grans i, per tant, el procés es podrà aturar. Si hi ha poca massa, les forces d'atracció gravitatòria no seran suficients per aturar l'expansió i l'Univers s'expandirà per sempre més. Actualment, un cop sumada tota la matèria que coneixem de l'Univers, sembla que ens trobem en un Univers obert. Tanmateix, pot ser que hi hagi una gran quantitat de matèria obscura, que encara no s'hagi detectat i que faria que ens trobéssim en un Univers tancat.

• **Activitats d'aprenentatge 13 i 14**

Activitat 1

Quines observacions van fer pensar a Aristòtil que la Terra era esfèrica?

Activitat 2

Explica què induí Galileu a defensar el model planetari de Copèrnic.

Activitat 3

Exposa breument les tres lleis de Kepler.

Activitat 4

Què cal tenir en compte a l'hora de fer una observació del cel nocturn amb telescopi?

Activitat 5

En quina fase de la Lluna es produeixen els eclipsis de Sol?

Activitat 6

Digues quins planetes tenen un temps d'òrbita menor que la Terra.

Activitat 7

De què està formada la cua dels cometes?

Activitat 8

Quin fenomen provoca l'aparició d'un cràter? Per què hi ha més cràters a la Lluna que a la Terra?

Activitat 9

Explica com es forma una estrella.

Activitat 10

Què és una supernova?

Activitat 11

Digues el nom i la forma de la nostra galàxia. On es troba el Sol dins de la galàxia?

Activitat 12

Què són les constel·lacions?

Activitat 13

Per què es considera que el temps s'origina en el Big Bang?

Activitat 14

Explica aquest gràfic:

