

Descobrim

Tertúlies de Literatura Científica 2011-2012

I'Univers

Dirigit a professorat de 1r i 2n curs d'ESO

Andreu Balastegui Manso
Cristina España i Bonet

Juliol 2011

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ PER AL PROFESSOR.....I

L'INICI DE L'UNIVERS	I
OBJECTES ASTROFÍSICS.....	I
EXPANSIÓ I DIMENSIONS DE L'UNIVERS.....	II

RELACIÓ D'ACTIVITATS II

ACTIVITAT 1.1. DESCOBRIM L'UNIVERS.....	II
ACTIVITAT 1.2. CÒMIC / ACTIVITAT 1.3. QUI ÉS QUI.....	III
ACTIVITAT 2.1. L'UNIVERS CORDA, 1D.....	III
ACTIVITAT 2.2. L'UNIVERS GLOBUS, 2D	III
ACTIVITAT 2.3. UNIVERSOS DE MÉS DIMENSIONS, 3D I 4D.....	III
ACTIVITAT 3.1. QÜESTIONS CURTES / ACTIVITAT 3.2. QÜESTIONS LLARGUES.....	III
ACTIVITAT 4.1. MOTS ENCREUATS / ACTIVITAT 4.2. SOPA DE LLETRES	III

I. HISTÒRIA DE L'UNIVERS 1

ACTIVITAT 1.1. DESCOBRIM L'UNIVERS.....	1
ACTIVITAT 1.2. CÒMIC.....	1
ACTIVITAT 1.3. QUI ÉS QUI	1

II. EXPANSIÓ I DIMENSIONS DE L'UNIVERS..... 8

ACTIVITAT 2.1. L'UNIVERS CORDA, 1D.....	8
ACTIVITAT 2.2. L'UNIVERS GLOBUS, 2D	11
ACTIVITAT 2.3. UNIVERSOS DE MÉS DIMENSIONS, 3D I 4D.....	13

III. QÜESTIONARI 14

ACTIVITAT 3.1. QÜESTIONS CURTES.....	14
ACTIVITAT 3.2. QÜESTIONS EXTENSES.....	15
ACTIVITAT 3.3. REDACCIÓ.....	15

IV. ENTRETENIMENTS..... 16

ACTIVITAT 4.1. MOTS ENCREUATS	16
ACTIVITAT 4.2. SOPA DE LLETRES.....	17

APÈNDIXSI

TRANSCRIPCIÓ DEL VÍDEO	I
EXPLICACIÓ TEÒRICA DEL CONTINGUT DEL VÍDEO.....	IV

INTRODUCCIÓ PER AL PROFESSOR

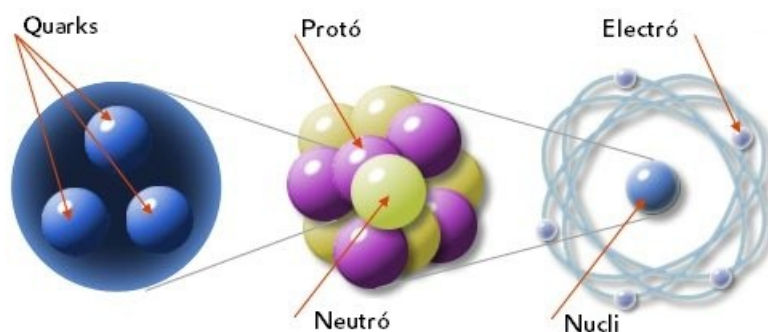
El taller que proposem als vostres alumnes l'hem anomenat 'Descobrim l'Univers'. Les activitats es basen en un vídeo de 15 minuts on es mostren les aventures d'un fotó des de que surt del Big Bang fins que arriba a un telescopi del COU. Es tracta l'origen de l'Univers, dels elements, la formació de les galàxies, i es mostra una sèrie d'objectes i fenòmens astrofísics (galàxies, quàsars, supernoves, forats negres...), tot mentre el fotó va de camí a la Terra.

El vídeo no amaga la complexitat de l'Univers, i es recomana no tractar-lo tot sencer a fons sinó aprofundir en un dels aspectes per als que s'han preparat jocs i experiments senzills: l'inici de l'Univers, els objectes astrofísics o l'expansió i dimensió de l'Univers.

L'inici de l'Univers

Objectius. Aquesta part explica els tres primers minuts de l'Univers. En aquest temps tan curt és on passen els canvis més significatius de l'Univers com a tot. Es veu com en aquest temps les partícules es van agrupant fins arribar a formar els elements més simples que coneixem i que formen la majoria de la matèria de l'Univers: l'hidrogen i l'heli.

Prerequisits. Dels tres temes aquest és el que necessita més treball previ sobre física per aprofitar el contingut. Cal entendre que la matèria està formada per conjunts d'àtoms i que aquests a la vegada es poden subdividir en les partícules elementals. Així, abans de veure el vídeo els alumnes han d'estar familiaritzats amb paraules com quark, protó, neutró, electró i fotó. No cal entendre les diferències entre les partícules però sí veure com unes són components de les altres:



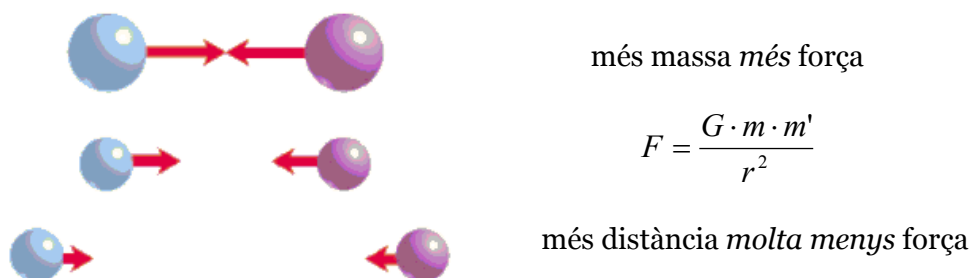
Activitats relacionades. Activitat 1.1 i 1.2.

Objectes astrofísics

Objectius. La gamma d'objectes a l'Univers és àmplia i diversa. A nivell purament descriptiu es mostren els diferents tipus de galàxies i s'explica una mica més tècnicament els objectes astrofísics més espectaculars: les explosions de nova i de supernova i els forats negres.

Prerequisits. La part descriptiva dels diferents tipus de galàxies i objectes no necessita coneixements previs. La resta d'objectes es pot seguir entenent com a simplement una

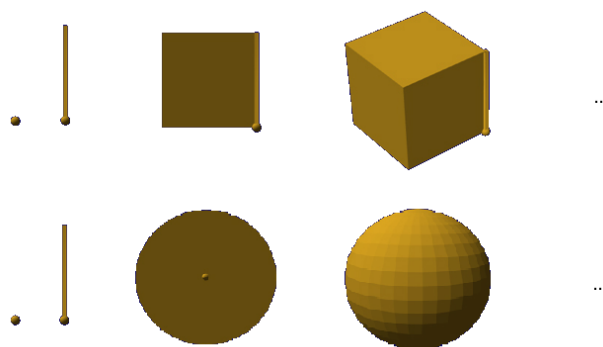
descripció però es recomana parlar qualitativament de massa i gravetat als alumnes per poder entendre una mica millor el seu funcionament.



Activitats relacionades. Activitat 1.1 i 1.3.

Expansió i dimensions de l'Univers

Objectius. S'explica l'expansió de l'Univers comparant resultats fàcilment obtinguts en una dimensió i relacionant-los amb un Univers tridimensional. Es treballarà també el concepte de bidimensionalitat i tridimensionalitat. L'objectiu principal és que l'alumne pensi i reflexioni sobre el significat de les dimensions un cop se li presenten explicacions senzilles però xocants a primera vista.



Prerequisits. Les activitats d'aquesta part es poden fer amb independència del vídeo i no necessiten coneixements previs especials. L'únic concepte necessari per a la primera part és el de proporcionalitat i es pot aprofitar per veure'n representacions gràfiques.

Activitats relacionades. Activitat 2.1, 2.2 i 2.3.

RELACIÓ D'ACTIVITATS

Activitat 1.1. Descobrim l'Univers

Després del vídeo animeu als alumnes a realitzar una ronda de preguntes per aclarir alguns punts. També podeu fer un petit resum que ajudi a la realització de les activitats posteriors, com ara repassar la seqüència de temps de l'activitat 1.2 o recordar alguns dels fenòmens que apareixen a l'activitat 1.3. En cas que sigui necessari,

aquestes explicacions poden anar acompanyades pels fragments del vídeo que es considerin oportuns.

Activitat 1.2. Còmic / Activitat 1.3. Qui és qui

Dividiu als alumnes en grups de 6 membres per a discutir ordenadament les respostes. Donat un temps prudencial doneu les solucions i aclariments davant les possibles errades.

Activitat 2.1. L'Univers corda, 1D

Dividiu els alumnes en grups de 6 estudiants, 1 per galàxia (sense comptar la Via Làctia) més 2 per estirar la corda. Un cop cada estudiant tingui la seva mesura dibuixeu la gràfica a una pissarra per ajudar als alumnes a situar els límits dels eixos. Feu que siguin l'alumne amb la galàxia més propera a la Via Làctia i el de la més llunyana els que posin els primers punts, per exemple. Un cop acabada recalqueu el concepte de proporcionalitat.

Activitat 2.2. L'Univers globus, 2D

Aquesta activitat es realitza conjuntament amb tots els alumnes. En la primera part d'aquesta activitat hauran d'arribar a la conclusió que tot el que han fet amb la corda ho podrien fer amb el globus, i si anessin a una dimensió superior reproduirien el comportament de l'Univers.

En la segona part feu servir les figures geomètriques per tal de reproduir visualment els fenòmens que es comenten en l'activitat. Intenteu fer partícips als alumnes en la mida del possible. Quan plantegeu les preguntes feu-los pensar una mica i que donin varies hipòtesis abans de donar la resposta definitiva.

Activitat 2.3. Universos de més dimensions, 3D i 4D

Aquesta activitat és una continuació de l'anterior. En aquest cas plantegeu les preguntes però no doneu respostes directes. Intenteu que ells donin el màxim nombre d'idees possibles. Aquestes més les que ells pensin en acabar el taller els pot servir per a fer una redacció.

Activitat 3.1. Qüestions curtes / Activitat 3.2. Qüestions llargues

La part del qüestionari és un resum de tot el taller, així que es pot fer sencera o bé només la part que s'hagi treballat. Està pensada per a què els alumnes la puguin fer sols amb la informació de les activitats prèvies.

Activitat 4.1. Mots encreuats / Activitat 4.2. Sopa de lletres

Al igual que el qüestionari, els entreteniments contenen vocabulari que apareix en tot el taller i serveix com a recopilatori per assentar coneixements.

I. HISTÒRIA DE L'UNIVERS

Activitat 1.1. Descobrim l'Univers

El vídeo *Descobrim l'Univers* resumeix breument quina és la història de l'Univers des del seu inici, el Big Bang, fins a l'actualitat. Un cop vist i després d'alguns aclariments per part del vostre monitor haureu de reproduir quina és aquesta història a les següents activitats.

Activitat 1.2. Còmic

Ordenació d'un còmic. Els fulls 2-5 estan destinats a què hi enganxeu de manera ordenada les vinyetes d'un còmic que trobareu al final d'aquest dossier. L'ordenació és temporal, i un cop finalitzat podreu llegir la història de l'Univers des del seu inici fins a la formació dels àtoms.

Activitat 1.3. Qui és qui

La tercera activitat està destinada a reproduir la part del vídeo corresponent al viatge entre les galàxies. En el *Qui és Qui* haureu d'utilitzar les paraules contingudes en la caixa de la part superior dreta de la pàgina 6 per a completar les frases que hi trobareu. Cada una d'elles està associada a la imatge del seu costat.

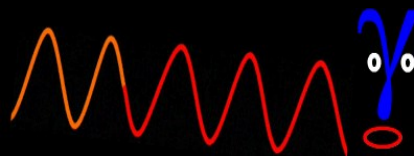
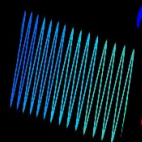
L'UNIVERS COMENÇA EN
UNA GRAN EXPLOSIÓ,
EL BIG BANG.

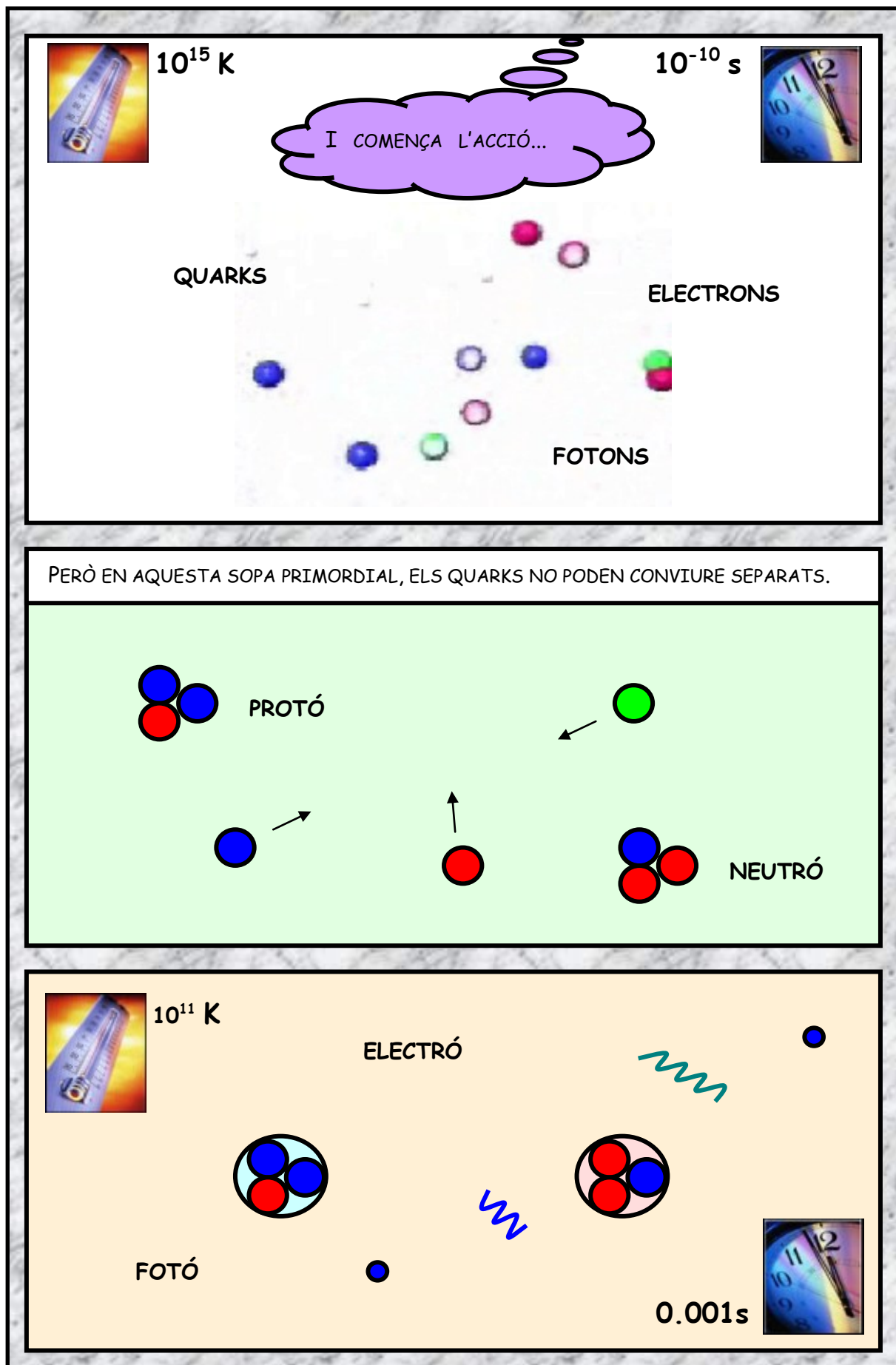
EN L'EXPLOSIÓ ES CREA
L'ESPAI I EL TEMPS.

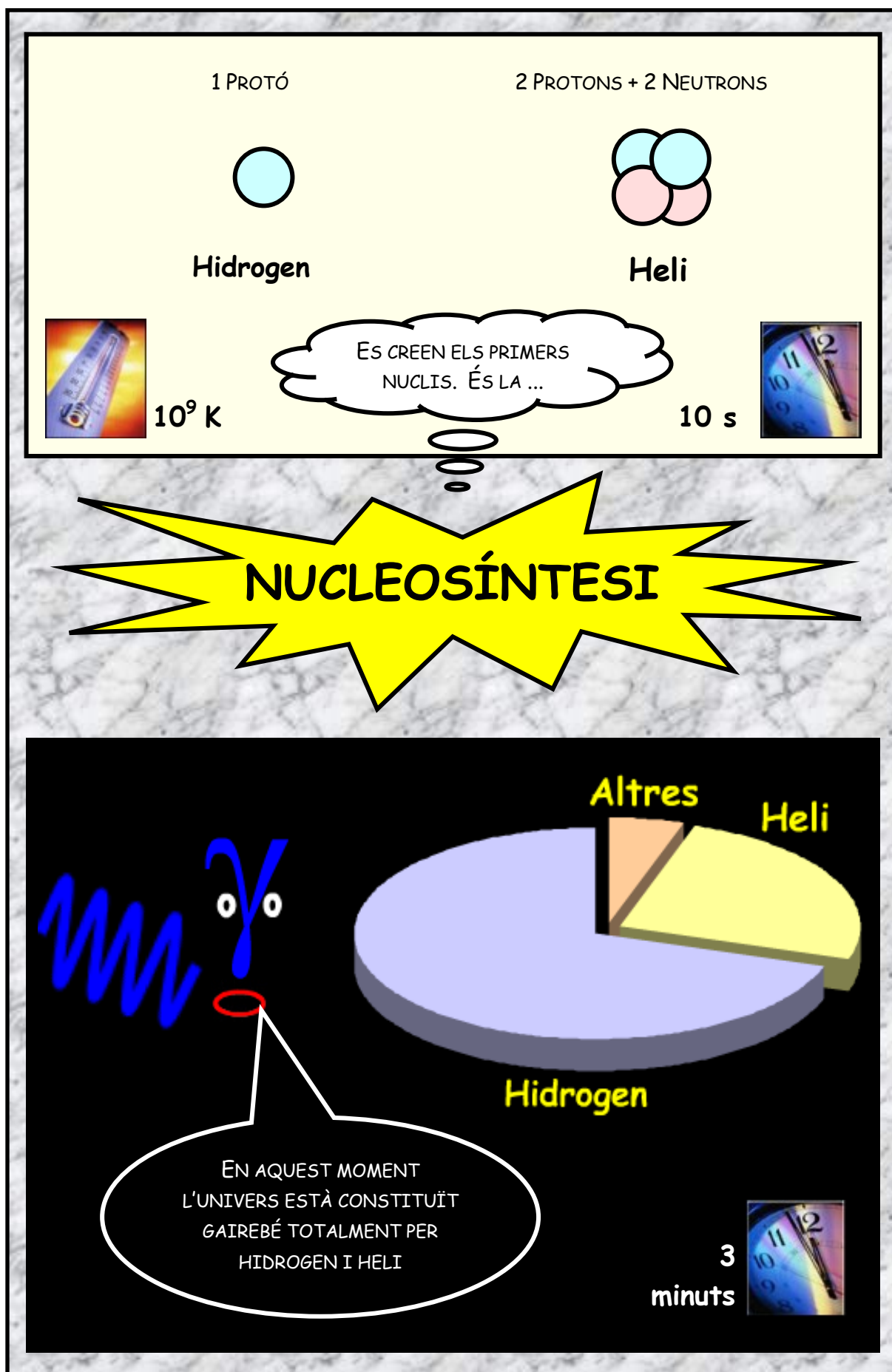
DES D'AQUEST
MOMENT L'UNIVERS
S'ESTIRA COM LA
GOMA D'UN GLOBUS...

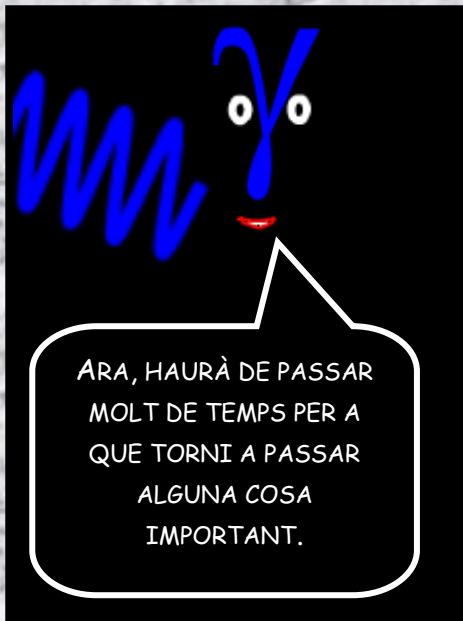


UFF!!
I JO TAMBÉ...





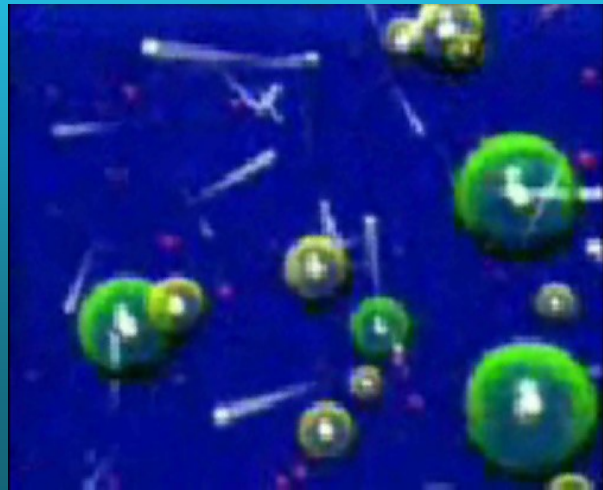




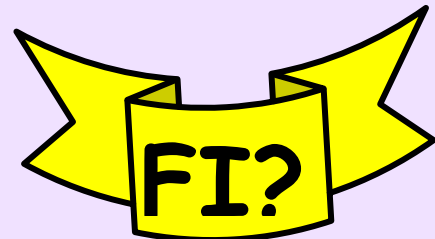
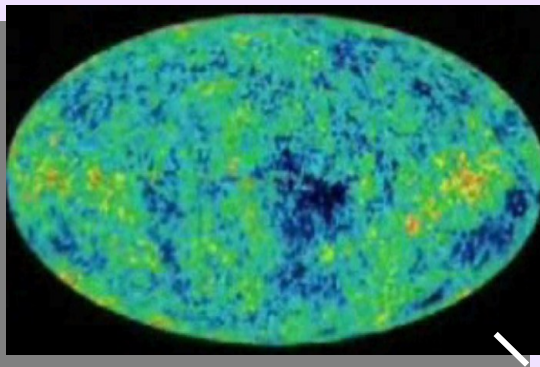
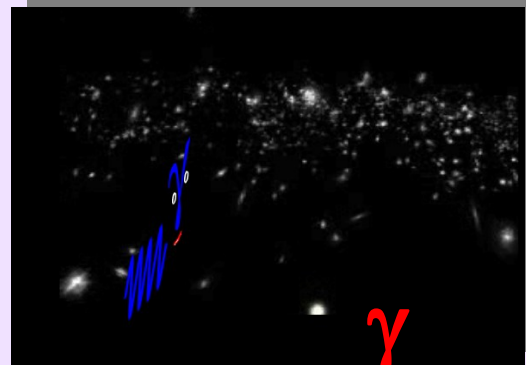
PERÒ EL TEMPS PASSA, I TÉ LLOC LA RECOMBINACIÓ.

NUCLIS + ELECTRONS
=
ÀTOMS

300000
anys

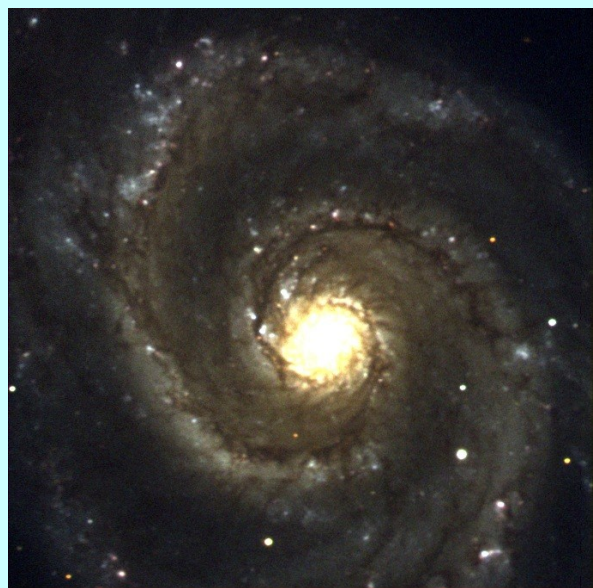


DE LA SOPA INICIAL DE QUARKS, ELECTRONS I FOTONS, NOMÉS QUEDEN LLIURES ELS ÚLTIMS, ELS ALTRES S'HAN LLIGAT FORMANT ÀTOMS. AIXÍ, ELS FOTONS SEGUEIXEN LLIUREMENT EL SEU CAMÍ DES DELS 300.000 ANYS FINS AVUI DIA.

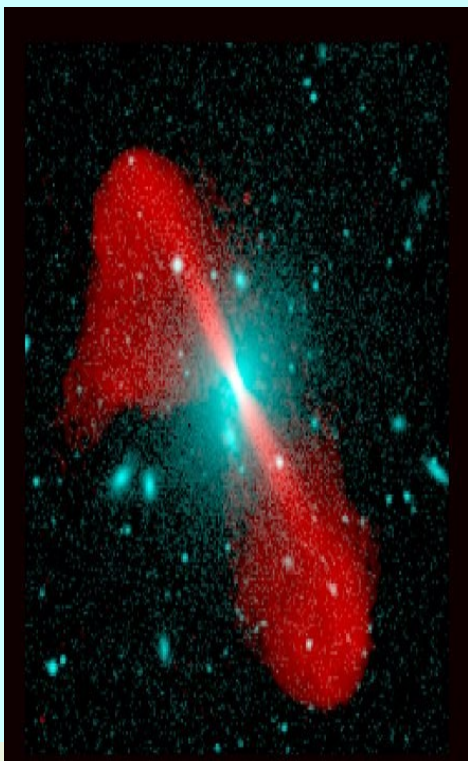


QUI ÉS QUI

QUÀSAR	DISC
ESPIRAL	BINARI
EL-LÍPTICA	HALO
IRREGULAR	NOVA
SUPERNOVA	BULB
FORAT NEGRE	



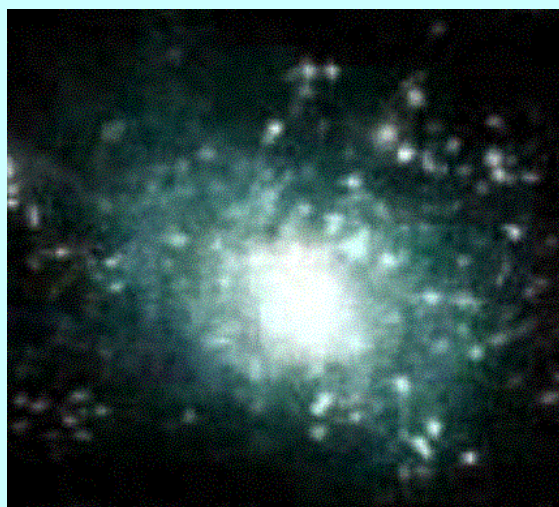
Les galàxies **ESPIRALS** contenen pols, gas i estrelles, acumulades en forma d'espiral aplanada en una mena de disc. Es componen pel **BULB**, el **DISC** i l'**HALO**.



Els **QUÀSARS** són galàxies actives. Al seu centre generen grans quantitats d'energia, emetent radiació en forma de raigs còncs.



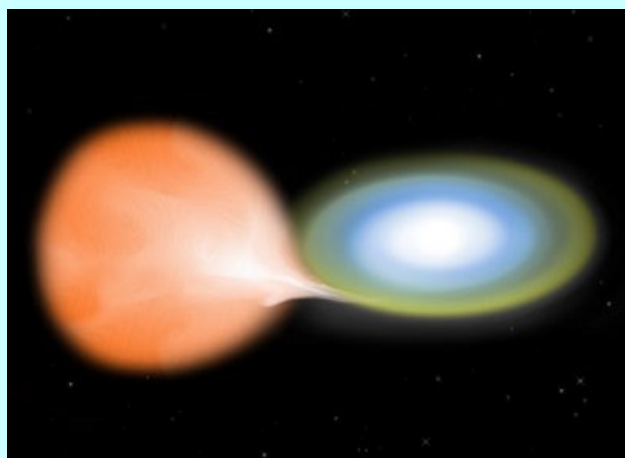
Les **IRREGULARS** són el resultat de xocs entre galàxies. No tenen formes definides.



Les galàxies **EL-LÍPTIQUES** tenen forma d'el·lipse en tres dimensions. Gairebé no contenen gas, i totes les estrelles són velles.



Els **FORATS NEGRES** són objectes molt densos. Tenen molta massa en radis molt petits. Ni tan sols la llum pot escapar de la seva atracció gravitatòria.



Les estrelles que tenen una companya s'anomenen sistemes **BINARIS**.

La transferència de matèria entre elles pot provocar una explosió anomenada **NOVA**.

En morir les estrelles de massa superior a 10 Sols provoquen una **SUPERNOVA**.

Aquesta explosió és més brillant que totes les estrelles d'una galàxia juntes.



II. EXPANSIÓ I DIMENSIONS DE L'UNIVERS

Activitat 2.1. L'Univers corda, 1D

Des del *Big Bang*, la Gran Explosió, l'Univers està en expansió. Aquesta expansió és del mateix espai, i els seus constituents, les galàxies, simplement segueix el seu moviment. Per tal d'entendre-ho començarem amb l'exemple més senzill, un univers d'una dimensió representat per una corda.

Material:

- Corda elàstica d'uns 3 metres
- Galàxies de cartolina (unes 5)
- Grapadora
- Cinta mètrica
- Calculadora

Procediment:

- I. Agafeu la corda elàstica i enganxeu-hi les galàxies separades entre elles per una distància de l'ordre del mig metre.
- II. Trieu la vostra Via Làctia, és a dir, la galàxia on viviu en aquest univers. Un cop l'heu triada col·loqueu-vos davant altres galàxies ocupant totes les que hagueu enganxat. Anoteu quina és la distància que separa la vostra galàxia de la Via Làctia.

Distància inicial a la Via Làctia:	$d_{\text{inicial}} = _ , _ _ \text{ m}$
------------------------------------	---

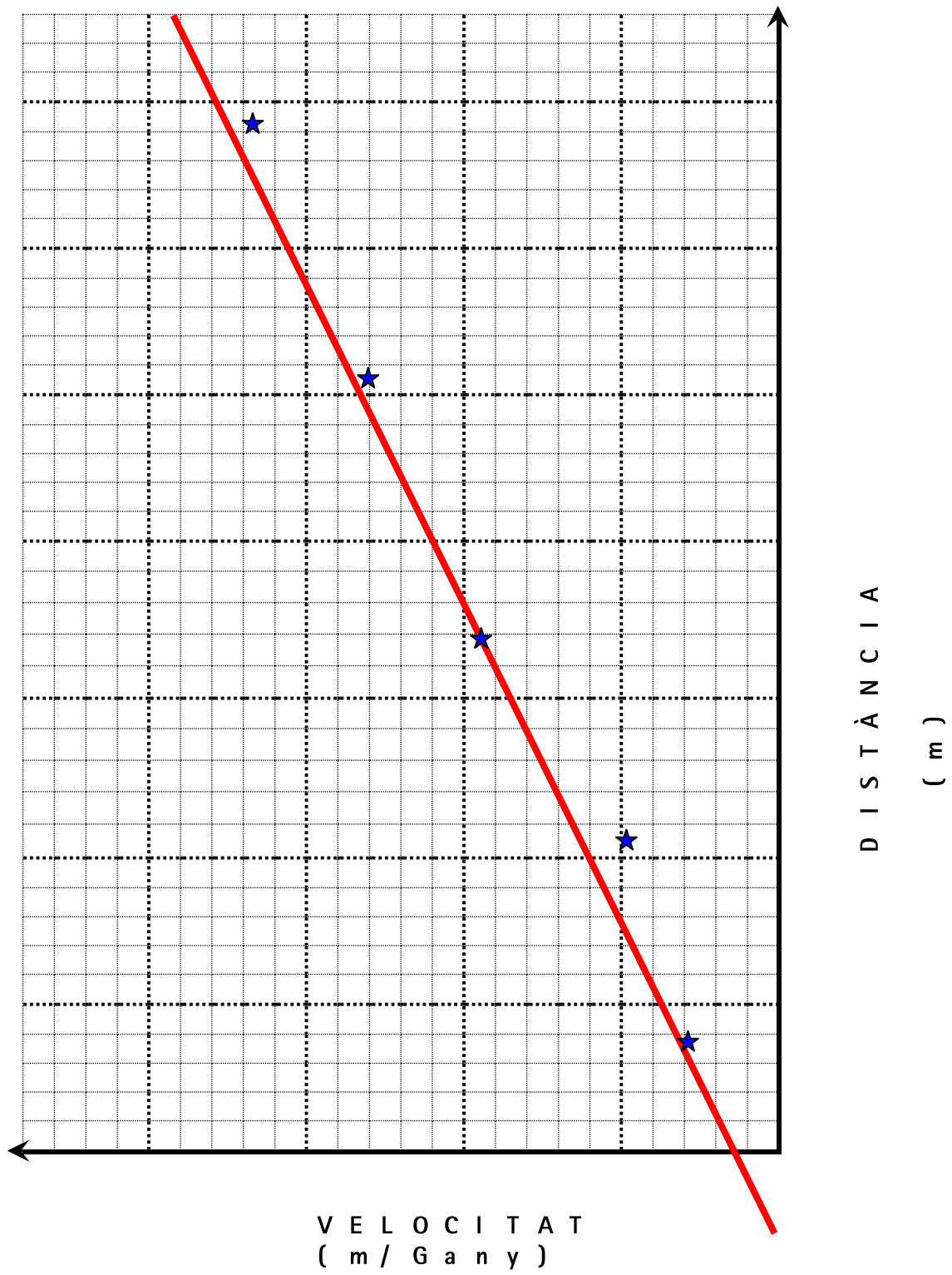
- III. Ara estireu moderadament la corda, i mentre dos de vosaltres la manteniu tensa i estirada, els altres aneu mesurant quina és la nova distància que us separa de la Via Làctia. Anoteu els resultats.

Distància final a la Via Làctia:	$d = _ , _ _ \text{ m}$
----------------------------------	----------------------------

- IV. Suposem que en estirar la corda heu trigat l'edat del nostre univers (t_{Univers}), així, heu estirat la corda l'equivalent al que ha crescut el nostre univers des del Big Bang. Amb aquesta dada calculeu a quina velocitat (v) es mou la vostra galàxia:

$$v = \frac{d - d_{\text{inicial}}}{t_{\text{Univers}}} = _ , _ _ _ \text{ m / milers de milions d'anys}$$

Dada: $t_{\text{Univers}} = 15 \text{ mil milions d'anys} = 15 \text{ Ganyes}$.



- V. Marqueu en el gràfic anterior el punt que correspon a la velocitat a la que es mou la vostra galàxia (v) en funció de la distància de la Via Làctia a la que es troba (d). Afegiu-hi també els punts obtinguts pels vostres companys.

Un habitant d'aquest univers en una dimensió se n'adona que les galàxies més distants s'allunyen més ràpidament de la seva que les properes. D'això se'n va adonar en el nostre univers tridimensional l'astrònom Edwin Hubble a partir d'un gràfic similar al que acabeu de construir. Va proposar que la velocitat a què s'allunyen els objectes de nosaltres seria de l'estil:

$$v = H \cdot d \quad (\text{Llei de Hubble})$$

on v és la velocitat, d la separació entre galàxies, i H és ara coneguda com la constant de Hubble i el seu valor descriu el comportament de l'Univers.

Substituint el vostre valor de la velocitat en la *Llei de Hubble* obtindreu fàcilment el valor actual de la constant de Hubble pel vostre univers corda.

Resultat: $H =$ _____ 1/milers de milions d'anys

En el nostre univers, la constant de Hubble és $H_0 = 0.066$ 1/milers de milions d'anys. L'expansió en el vostre univers és més ràpida o més lenta comparativament? Perquè?

L'expansió és més ràpida quan la constant de Hubble és superior a la del nostre univers i més lenta en cas contrari.

- VI. Feu ara un nus que uneixi els dos extrems de la corda. El resultat és un univers unidimensional corbat en una segona dimensió, la del pla de la corda. Observeu que en estirar la corda el moviment continua estant restringit a una única dimensió. A més, totes les galàxies es separen entre elles de la mateixa manera, no hi ha cap centre privilegiat. Un univers d'aquest tipus no té espacialment ni principi ni final.

Habitants:

Aquest tipus d'expansió, sense origen ni centre, és comú per tots els universos de diferents dimensions que puguem imaginar. Resulta curiós, però, imaginar la vida dels habitants en cada un d'ells. Heu pensat com viuria un habitant en el vostre univers corda?



Per a ell només tindrien sentit les paraules davant i darrere, però no entendria dreta i esquerra o amunt i avall. Si una persona de dues dimensions fes uns talls a la corda, la nostra formigueta unidimensional no podria mai sortir d'allí.



Activitat 2.2. L'Univers globus, 2D

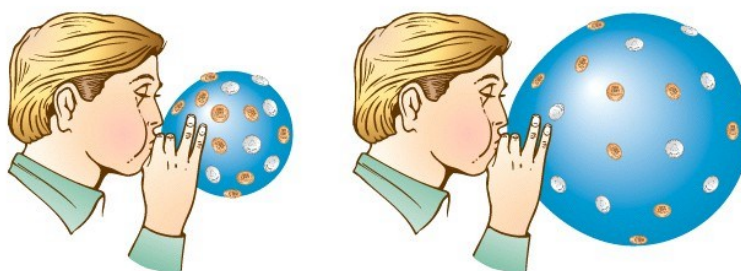
Per veure el comportament en dues dimensions podem utilitzar la superfície d'un globus. Igual com passava amb la corda, ara la goma elàstica del globus està corbada en la tercera dimensió, però l'univers és bidimensional.

Material:

- Globus
- Retolador
- Formes geomètriques i ninots de cartolina

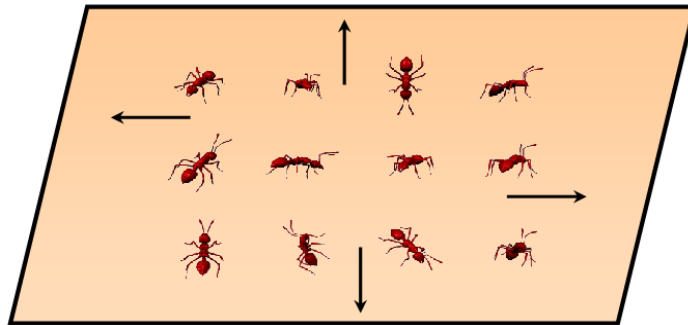
Procediment:

- I. Agafeu ara el globus sense inflar i pinte-hi galàxies.
- II. Comenceu a inflar el globus poc a poc observant què passa amb els punts que hi heu dibuixat.
Si la part interna no pertany al globus, simplement és aire, els punts es separen entre sí sobre la superfície (univers de 2 dimensions), però no n'hi ha cap que en sigui el centre.



Habitants:

En comparació amb l'univers corda, els habitants d'un univers de dues dimensions tenen una mica més llibertats de moviments, però un habitant del nostre univers tridimensional s'ho podria passar molt bé amb ells... Ara a banda de conèixer davant i darrere també entenen dreta i esquerra, però encara no poden imaginar els conceptes de pujar i baixar simplement perquè no poden 'veure' la tercera dimensió.



Per exemple, en l'univers 2D un cercle és suficient per engarjolar un home, perquè no té cap manera d'escapar per dalt o per baix. Però un altre habitant d'aquest univers coneixedor del nostre univers tridimensional només hauria de demanar a un de vosaltres que l'agafés i el treïés per la tercera dimensió. Ell ni tan sols entendria com ha passat perquè l'únic que veuria seria seccions bidimensionals de la mà quan intercepten el seu univers.

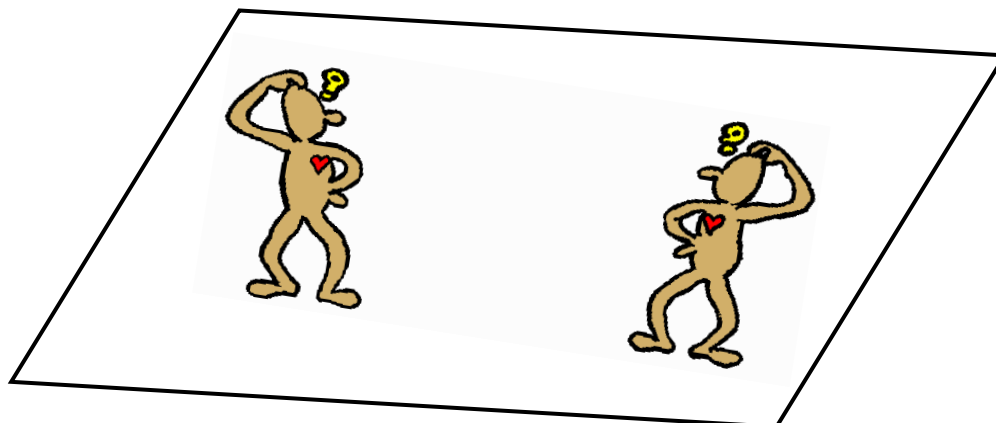


Un cop el nostre home bidimensional ha estat alliberat torna al seu univers. Però en el seu viatge per la tercera dimensió el seu 'alliberador' l'hi ha donat la volta. Ara tot el seu organisme està a l'inrevés, com si el miressin a través d'un mirall. Però, dintre de l'univers de 2D només podria haver-se girat cap per vall, mai bocaterrosa!

Així, a la tornada tot sembla un truc de màgia: com ha sortit de la presó sense obrir cap porta? Com és que tots els òrgans del seu cos estan invertits? Ningú sap la resposta, només el nostre amic que coneixia el secret de la tercera dimensió.

Per la mateixa raó per la qual l'home bidimensional ha pogut desaparèixer de la presó i reaparèixer fora, un cirurgià tridimensional no necessita 'obrir' l'home bidimensional per tornar el seu cor al costat habitual. Tots els seus òrgans són visibles per a ell. Fixeu-vos en la figura superior. Els dos homes viuen en el pla d'aquest full. Vosaltres esteu mirant el full perpendicularment (a través de la tercera dimensió) i veieu la forma sencera i l'interior del seu cos. En canvi, cada un d'ells veu a l'altre com una línia de llargada la seva alçada. Així, si un volgués arribar al cor de l'altre per

tornar-lo al seu lloc, hauria de fer un tall a aquesta línia, en canvi vosaltres podeu tocar el seu cor sense practicar-li cap incisió.



De totes maneres no cal que ens preocupem gaire per la posició dels seus òrgans interns. De ben segur que l'organisme d'un ésser bidimensional no té res a veure amb el que podríem imaginar per analogia amb nosaltres. Penseu sinó, per exemple, si és possible que aquest home mengi i digereixi el menjar tal i com ho fem nosaltres amb el nostre aparell digestiu.

Activitat 2.3. Universos de més dimensions, 3D i 4D

La realitat aparent és que el nostre univers té tres dimensions espacials. És difícil posar un exemple pràctic perquè necessitaríem entendre l'existència d'una quarta dimensió per veure contra què ens estem expansionant. És per això que el millor exemple és la superfície del globus sempre que estigui clar que només és un exemple bidimensional.

De totes maneres és interessant veure com nosaltres podríem ser habitants dintre d'un univers quadridimensional. Com ens en podríem adonar? Podríem explorar la quarta dimensió espacial? Quins efectes podríem patir per la malícia d'éssers de més dimensions? Anoteu algunes idees que després us serviran per a la redacció del qüestionari.

III. QÜESTIONARI

Activitat 3.1. Qüestions curtes

- Què és un fotó?
El paquet mínim o partícula de llum.
- Com s'anomena la teoria de l'inici de l'Univers?
Big Bang (la Gran Explosió).
- Fes una llista de les partícules elementals que recordis.
Electrons, neutrins, quarks i fotons.
- De què estan formats els protons i neutrons?
De quarks.
- Quins són els principals constituents dels nuclis dels àtoms?
Els protons i els neutrons.
- Què és la nucleosíntesi?
El procés pel qual es formen els nuclis lleugers. Acaba quan l'Univers té 3 minuts d'edat.
- Fes una llista dels tipus de galàxies que coneixes.
Espirals, el·líptiques, irregulars i actives.
- Què és un forat negre?
Una agrupació tan densa de matèria que ni la llum pot escapar de la seva atracció gravitatòria.
- Com es diuen les estrelles que estan lligades gravitatòriament a una altra?
Sistemes binaris.
- Què és una supernova?
La mort de forma explosiva d'una estrella de massa superior a 10 Sols.
- Com es diu la nostra galàxia?
Via Làctia.

Activitat 3.2. Qüestions extenses

- Explica què és una galàxia espiral. De què està composta? Quines parts té? Neixen estrelles actualment en una galàxia espiral? I en una el·líptica?

Una galàxia és un conjunt d'unes cent mil milions d'estrelles lligades gravitatòriament. Les galàxies espirals tenen gas i pols a més d'estrelles. La matèria està distribuïda en forma d'espiral aplanada en una espècie de disc. En el centre del disc tenen una estructura en forma d'esfera anomenada bulb. Existeix a més una estructura en forma d'esfera anomenada halo que cobreix tota la galàxia i s'estén més enllà del límit del disc.

Actualment neixen estrelles a les acumulacions de gas dels braços espirals. En canvi, les galàxies el·líptiques no tenen formació estel·lar ja que no contenen gas.

- Què és una estrella? De què estan compostes? Com generen l'energia?

Una estrella és una bola de gas extremadament densa i calenta. En el seu interior es produeixen reaccions nuclears. Aquestes generen la llum que emeten els estels i l'energia necessària per mantenir la temperatura. Les altes temperatures fan que la pressió del gas pugui suportar el seu pes. Això evita que l'estrella caigui sobre ella mateixa per efecte de la gravetat.

- Quin és el significat de la llei de Hubble? Quina relació té la constant de Hubble amb la rapidesa de l'expansió de l'Univers?

La llei de Hubble descriu la velocitat a què s'allunyen els objectes en funció de la distància que els separa. Aquells objectes que estan més separats entre si s'allunyen a velocitat més elevada que els més propers. La constant de proporcionalitat entre la velocitat i la separació és la constant de Hubble. Valors elevats d'aquesta constant indiquen expansions més ràpides.

- Dibuixeu un aparell digestiu pel nostre home bidimensional. Quins problemes hi trobeu? Quines solucions proposeu?



Acabem de dividir en dos a l'home.

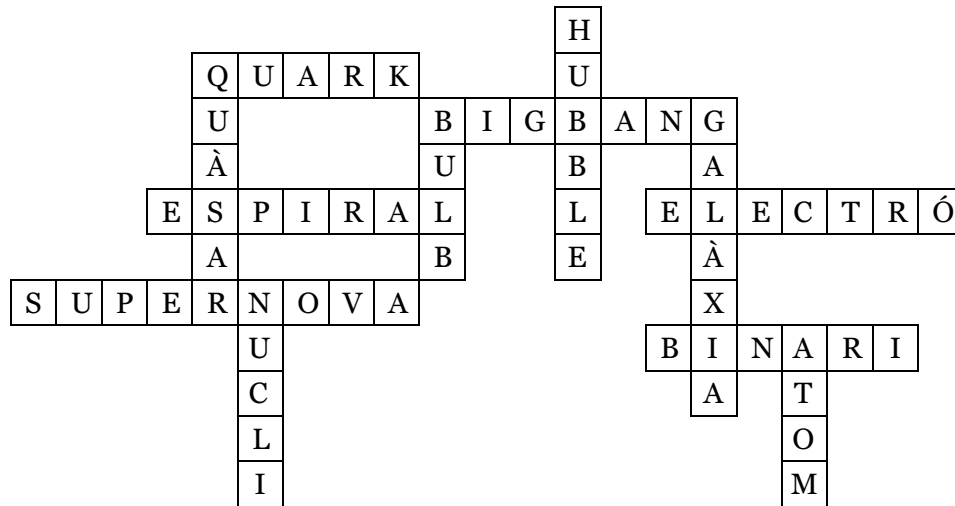
Qualsevol aparell digestiu que imaginem similar al nostre dividirà en dos a una persona bidimensional. Aquests éssers hauran de tenir un sistema digestiu similar a les cèl·lules. Absorbirien el menjar a través de la pell, i n'expulsarien els residus de la mateixa manera.

Activitat 3.3. Redacció

Fes una redacció desenvolupant en detall un dels aspectes de l'activitat que més t'hagi agradat. Temes proposats: nucleosíntesi, galàxies, estrelles, universos 4D...

IV. ENTRETENIMENTS

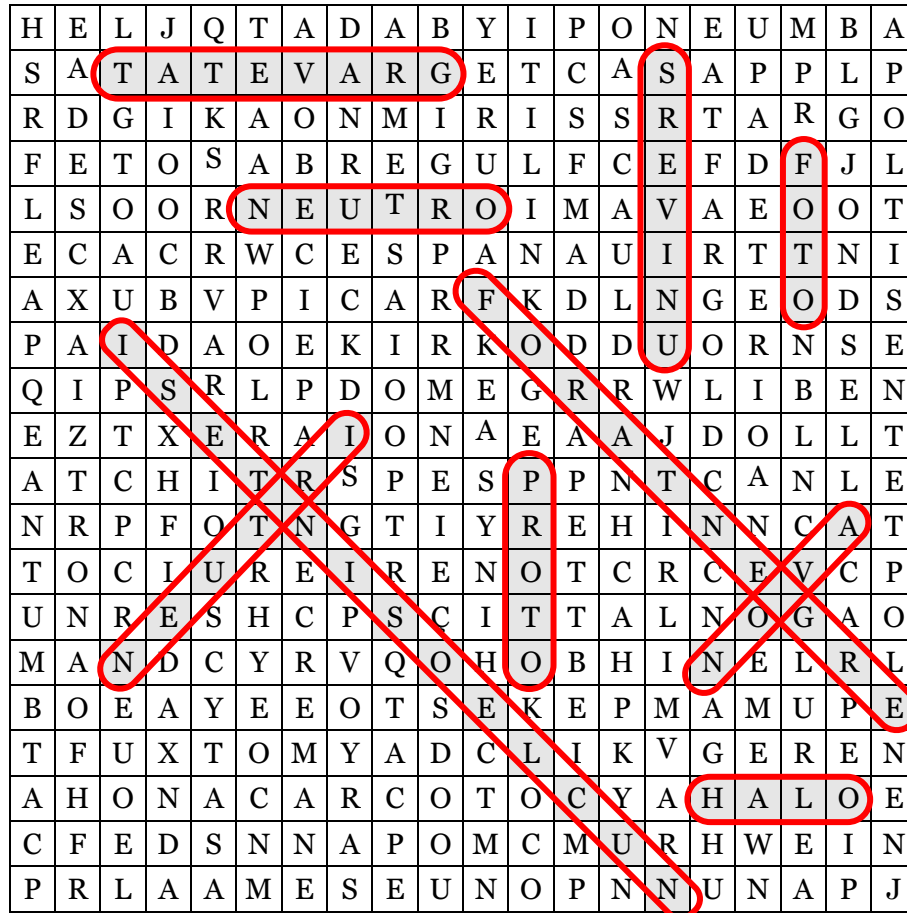
Activitat 4.1. Mots encreuats



- Tipus de galàxia
- Partícules elementals de les que estan composts els neutrons i protons
- Descobridor de l'expansió de l'Univers
- Teoria de l'inici de l'Univers
- Tipus de galàxia activa
- Sistema de dos estrelles
- Partícula elemental de càrrega negativa
- Part més interna dels àtoms
- Acumulació d'estrelles, pols i gas lligades gravitatòriament
- Nucli central d'una galàxia espiral
- Un nucli més el núvol d'electrons
- Gran explosió estel·lar

Activitat 4.2. Sopa de lletres

Busca 10 paraules relacionades amb l'activitat.



APÈNDIXS

Transcripció del vídeo

Hola! Sóc en Fotonet, un dels bilions de partícules de llum que es van crear a l'inici de l'Univers. Acabem d'assistir a la Gran Explosió, el Big Bang, on van començar l'espai i el temps. Des d'aquell moment l'Univers creix contínuament, de manera que l'espai es va estirant com la superfície d'un globus que s'infla. De la mateixa manera, jo m'estiro i perdo energia, i el meu color varia des del blau fins al vermell.

Però ara seguim amb la història de l'Univers.

Una milionèsima de segon després del Big Bang l'Univers estava ple de les partícules més elementals com els neutrins, els fotons, els quarks o els electrons.

Els quarks no poden conviure separats, perquè una de les forces de la natura, la interacció forta, els va obligar a combinar-se de tres en tres formant protons i neutrons, que són els principals constituents dels nuclis dels àtoms.

Mirem de prop aquest procés.

Quan la temperatura de l'Univers va baixar prou, els protons i els neutrons es van unir per formar nuclis, és el que anomenem nucleosíntesi. Per exemple, la combinació de dos protons i dos neutrons és un nucli d'heli.

En aquell moment, l'Univers era tan gran que molt difícilment els protons xocaven amb els neutrons, i per això no es formaven nous nuclis. Llavors l'Univers estava format en un 75% per hidrogen, i en un 25% per heli, els altres elements representaven menys d'una mil·lèsima part.

El següent canvi important a l'Univers va succeir quan tenia 300.000 anys. La temperatura havia baixat per sota dels 3.000 Kelvin i els nuclis van atrapar els electrons. Així es van formar els primers àtoms. Els fotons com jo vàrem poder avançar per l'univers sense cap obstacle.

Si tinguéssim un mapa de l'Univers d'aquell moment i pintéssim de color blau les zones que tenen poca matèria i de color vermell les que en tenen molta, trobaríem que no totes les regions eren exactament iguals. N'hi havia que tenien més matèria que d'altres. Veurem ara com, en aquestes grans concentracions de massa, es van formar les galàxies per efecte de la gravetat.

El físic Isaac Newton va descobrir com la massa, és a dir, la quantitat de matèria, atrau a la massa. Objectes amb molta massa, com la Terra, fan que altres objectes menys massius, com la poma, caiguin sobre ella. És així com la Terra ens atrau cap al seu centre. De fet, totes les persones, tant si viuen a Europa com al pol sud, cauen cap al centre de la Terra i no cap al cel.

De la mateixa manera, la gravetat va fer que les zones de l'Univers amb més concentració de massa atraguessin més i més matèria.

Observem ara una regió gran de l'Univers:

Amb el temps, aquestes acumulacions de matèria van crear l'estructura de l'Univers. Tot va començar amb les petites diferències de densitat per acabar-se convertint en grans buits envoltats per una estructura filamentosa de matèria.

Són aquests filaments els que contenen les estrelles, les galàxies i els cúmuls de galàxies.

Les galàxies són agrupacions d'unes cent mil milions d'estrelles formades per acumulació de gas i fusions amb altres galàxies en formació.

Un cop formades les galàxies prosseguim el nostre viatge per l'Univers navegant entre elles i observant els fenòmens astrofísics que s'hi produeixen. A un parell d'anys llum d'aquí es troba una galàxia espiral.

Les galàxies espirals contenen pols, gas i estrelles. Tota aquesta matèria s'acumula en forma espiral aplanada en una espècie de disc. En el centre d'aquest disc, hi ha una estructura esfèrica que s'anomena bulb. A més del bulb hi ha una estructura més gran, en forma d'esfera, anomenada halo. Nosaltres només veiem alguna estrella aïllada dibuixant aquesta esfera, però a mesura que ens hi apropem, sentim la gravetat que crea. En resum, una galàxia espiral es compon per l'halo, el bulb, i el disc, on hi ha els braços espirals. En les acumulacions de gas dels braços espirals neixen contínuament estrelles. Són les regions de formació estel·lar. Allà els núvols de gas es contrauen per efecte de la gravetat fins que formen una estructura esfèrica molt densa i calenta, una estrella. En néixer l'estrella, la radiació expulsa la matèria que l'envolta. En ocasions aquest material pot formar petites condensacions i es crea un sistema planetari. Els núvols gegants de gas es poden fragmentar formant centenars d'estrelles.

Però no totes les galàxies són iguals. Mireu, just al davant en tenim una d'el·líptica. La forma, com haureu endevinat, és la d'una el·lipse en tres dimensions, com una pilota de futbol americà. En travessar-la només es veuen estrelles, ni rastre del gas. És per això que a les galàxies el·líptiques no es formen estrelles. Es van formar totes de cop i es va esgotar el gas. Per això les estrelles que hi ha són molt velles.

En el meu camí també trobo galàxies irregulars, que són el resultat dels xocs entre galàxies. Aquesta galàxia recorda unes antenes, i encara podem veure els dos bulbs de les que van xocar.

Existeix també un altre tipus de galàxies molt especial, les galàxies actives, de les quals els quàsars són un cas particular. Els quàsars són galàxies que emeten grans quantitats de radiació. Part d'aquesta radiació s'emet en forma de rajos cònics anomenats jets. Al seu centre es formen forats negres, amb una massa superior a la que tindrien un milió d'estrelles com el Sol. La gravetat atrau la matèria del seu voltant, i forma el que s'anomena disc d'acreció. Els forats negres són objectes que generen un camp gravitatori tan intens que ni tan sols la llum pot escapar d'ells. Veiem perquè.

La gravetat lliga entre sí objectes que tenen massa. La Terra, degut a la massa que agrupa dintre del seu radi, fa que no ens podem deslligar d'ella si no assolim una velocitat major als 11 Km/s. Aquesta és la velocitat d'escapament de la Terra. Com que la Lluna és més lleugera, és més fàcil escapar del seu camp gravitatori, la velocitat d'escapament aquí és de 2 Km/s. Però els forats negres amaguen una gran quantitat de massa en radis relativament petits. Aquí la velocitat d'escapament és superior a la més gran que es pot assolir, la velocitat de la llum. Per això res que caigui en un forat negre podrà tornar a sortir, ni tan sols la llum.

Aproximadament la meitat de les estrelles no estan aïllades, sinó que tenen una companya a què estan lligades gravitatòriament com la Terra i el Sol. Se'n diuen sistemes binaris. L'evolució d'aquestes estrelles és diferent que en solitari, ja que entre elles pot haver-hi intercanvi de matèria. Si una de les estrelles acumula prou matèria sobre la superfície pot ser que s'encengui de manera explosiva, provocant el que s'anomena una nova. Aquesta explosió és tan lluminosa com mil milions d'estrelles com el Sol, i es pot repetir diverses vegades durant la vida del sistema binari.

Acabo de veure una explosió de supernova a la galàxia d'Andròmeda. La llum que emet una estrella es produeix per reaccions nuclears en el seu interior. Aquestes reaccions escalfen l'estrella evitant que la gravetat faci caure tota la matèria cap al centre. Quan el seu combustible s'esgota, l'estrella es refreda i s'encongeix. Així tota la matèria cau cap al nucli, fins que en xocar amb ell rebotant produint una explosió de supernova. En morir, les estrelles de massa superior a 10 Sols exploten alliberant una intensitat de llum més gran que la que produeixen totes les estrelles d'una galàxia alhora. La matèria expulsada forma nebuloses.

Ja estic arribant al meu destí, la Via Làctia. La Via Làctia és una galàxia espiral d'uns 100.000 anys llum de diàmetre. El Sistema Solar, la llar dels humans, es troba a una distància d'uns 27.000 anys llum del centre de la galàxia, en l'anomenat braç espiral d'Orió. El Sistema Solar el formen 9 planetes, dels quals la Terra és el tercer més proper al Sol. Els planetes exteriors -Neptú, Urà, Saturn i Júpiter són gegants boles de gas, excepte Plutó que és sòlid com els planetes interiors -Mart, Venus, Mercuri i la Terra-.

Ara mateix, en alguna part de la serralada del Montsec, hi ha un grup de joves iniciant-se en l'astronomia, i a través del seu telescopi capten la meua llum.

Fins a la propera, amics!

Explicació teòrica del contingut del vídeo

La teoria científica actual sobre la creació de l'Univers és el 'Big Bang', que es pot traduir com la 'Gran Explosió'. El Big Bang representa el principi del temps i de l'espai. S'anomena Gran Explosió perquè tots els punts de l'espai es van començar a distanciar ràpidament de tots els altres, malgrat que no va tenir res a veure amb una explosió. Des d'aquest moment l'Univers està en expansió continua, i encara no sabem si aquesta expansió s'aturarà algun dia.

Al principi de l'Univers la temperatura era molt elevada i les partícules elementals que l'habitaven eren fotons, neutrins, electrons i quarks. Les partícules elementals són les que avui dia es creu que no es poden dividir més. És a dir, si agafem un objecte, el trencuem en trossos, aquests trossos els tornem a trencar i així contínuament, arribarà un moment que no el podem tornar a trencar perquè hem arribat al seu constituent més petit. Els fotons són les partícules de llum, és el paquet de llum més petit que pot existir. Els neutrins són les partícules amb massa més lleugeres que es coneixen, són tan petits que cada dia milions de neutrins travessen la Terra sense xocar amb cap altra partícula. Els electrons són partícules amb càrrega negativa. Els quarks són els components dels protons i neutrons que alhora són els components dels nuclis dels àtoms. Àtom vol dir 'indivisible' en grec. Quan es van descobrir es pensava que eren els elements indivisibles dels que està formada la matèria. Actualment sabem que els àtoms són en realitat un nucli (format de protons i neutrons, que alhora estan formats per quarks) amb un núvol d'electrons al voltant. Per fer-vos una idea de l'estructura d'un àtom, penseu que si el nucli fos de la mida d'un centímetre i el situéssim al centre d'un camp de futbol, el núvol d'electrons s'estendria més enllà de les porteries, essent l'espai entre el nucli i els electrons bàsicament buit. Les propietats de la matèria depenen dels àtoms que la constitueixen, i les diferències entre els àtoms són bàsicament el nombre de protons que conté el nucli. Per exemple, un nucli d'hidrogen té un protó, un d'heli en té dos, un de ferro en té 26, i un d'or 79.

A mesura que l'Univers s'expandeix, la seva temperatura disminueix, i permet que els quarks s'agrupin de tres en tres per formar protons i neutrons. Quan la temperatura baixa encara més, aquests protons i neutrons s'ajunten per formar nuclis. Dos protons i dos neutrons són un nucli d'heli. 300.000 anys després del Big Bang, la temperatura ha baixat fins als 3000 K i els electrons (que tenen càrrega negativa) són atrapats pels nuclis (que tenen càrrega positiva) formant àtoms. Fins aquest moment hi havia una quantitat de partícules tan gran que els fotons xocaven contínuament amb elles, però a partir de llavors avancen lliurement. En l'Univers primitiu es van formar bàsicament nuclis d'hidrogen (gairebé un 75%) i d'heli (gairebé un 25%), i en molt poca quantitat liti (3 protons), beril·li (4 protons) i bor (5 protons). Tot aquest procés s'anomena nucleosíntesi primordial. La resta d'elements no va tenir temps de formar-se perquè l'expansió de l'Univers ràpidament va fer difícil els xocs entre nuclis per fusionar-se i formar elements més pesants. Quan ens referim a que un element és més pesant que un altre volem dir que té més protons. Elements com el carboni, nitrogen, oxigen, fluor, calci i altres més lleugers que el ferro, es van formar més tard per fusions nuclears dintre dels estels. Tots aquests elements i d'altres més pesants com l'or o el plom, que es formen a les explosions d'estels, són alliberats dels estels precisament en aquestes explosions. De manera que estem realment formats per pols d'estrelles.

A partir d'aquest moment l'evolució a gran escala de l'Univers es deu únicament a la gravetat. A la natura hi ha quatre forces fonamentals, la interacció forta, la dèbil, l'electromagnètica i la gravitatòria. Les dues primeres són de molt curt abast, només

tenen efectes a distàncies de l'ordre de la mida d'un nucli. La força electromagnètica i la gravitatòria tenen abast infinit, però la primera queda apantallada pel fet d'existir càrregues negatives i positives que s'anul·len les unes a les altres. La força gravitatòria, malgrat ser la més dèbil de totes, és acumulativa perquè només hi ha massa positiva, i per això és la que governa l'evolució de l'Univers.

La força de la gravetat és la que fa que dos cossos amb massa s'atreguin l'un a l'altre. Fixeu-vos en la seva debilitat. Si agafeu un bolígraf, el fregueu amb la roba i us l'apropieu als cabells, veureu que aquest puja cap amunt. Això vol dir que la força electromagnètica que prové d'un simple bolígraf és més gran que la força gravitatòria que genera tota la massa de la Terra i que ens empeny cap el seu centre. Newton va descobrir que la força de la gravetat és directament proporcional a la massa i inversament proporcional al quadrat de la distància, és a dir:

$$F = \frac{G \cdot m \cdot m'}{r^2}$$

Que sigui directament proporcional a la massa vol dir que si tenim una massa el doble que una altra, la força gravitatòria que exerceix és també el doble. Mentre que inversament proporcional al quadrat de la distància vol dir que si separem una massa de l'altra al doble de distància, la força que s'exerceixen serà quatre vegades menor que abans de separar-les. La 'G' s'anomena constant universal de la gravitació, és la constant de proporcionalitat entre la massa d'un objecte i la força que genera, i és extremadament petita. Per això si deixem dues pilotes de tennis a prop, no veiem com una cau sobre l'altre. Es necessiten masses de molts milions de milions de milions de quilograms (masses com la Terra o el Sol) per notar l'efecte de la força gravitatòria. A més necessitem també proximitat espacial, ja que per exemple a la Terra no notem la força gravitatòria de Mart perquè està molt lluny.

De la mateixa manera que la Terra ens atrau cap el seu centre, a l'Univers primitiu les petites concentracions de matèria van anar creixent a base d'atraure més matèria i fusionant-se les unes amb les altres, fins a formar les galàxies. Les galàxies són acumulacions de gas pols i estrelles que es mantenen unides per la pròpia atracció gravitatòria. Hi ha diferents tipus de galàxia, i es classifiquen segons la seva forma. Així trobem galàxies espirals, el·líptiques i irregulars. També existeix un tipus particular de galàxies anomenades de nucli actiu perquè el seu nucli emet grans quantitats de radiació.

Dintre de les galàxies es formen els estels. Els núvols de gas es contrauen per efecte de la gravetat, escalfant-se i formant una bola de gas extremadament densa on es comencen a produir fusions nuclears. És una estrella. La fusió nuclear (unió de nuclis) només es dona en condicions d'altres densitats i temperatures, com al centre dels estels. De la fusió de dos nuclis per produir un nucli més lleuger que el ferro s'extreu energia. És aquesta energia la que s'emet en forma de llum, i s'utilitza per escalfar l'estrella produint una pressió cap a fora que equilibra la força de la gravetat que empeny tot el gas cap al centre de l'estrella. Quan al centre de l'estrella només queden elements pesants com el ferro, l'estrella no pot obtenir més energia de les fusions nuclears. Això fa que la gravetat venci a la pressió, i tot el gas de l'estrella caigui cap el seu centre. És la mort d'una estrella. Segons la massa d'una estrella la seva mort pot produir diferents fenòmens i deixar diferents romanents (els cadàvers de les estrelles). Aquests romanents poden ser nanes blanques, estrelles de neutrons o forats negres. Si una estrella té una massa superior a 10 cops la massa del Sol, la seva mort estarà acompanyada d'una gran explosió anomenada supernova. Aquesta explosió és tant

brillant com les altres cent mil milions d'estrelles d'una galàxia alhora. Una estrella com el Sol, té combustible per aguantar la gravetat durant uns deu mil milions d'anys, i ja n'han passat uns cinc mil milions des del seu naixement. En la seva mort el Sol s'inflarà tant que la Terra quedarà dintre d'ell. En el seu centre es formarà un nan blanc.

Hem dit que la mort d'un estel esdevé quan deixen de produir-se reaccions nuclears en el seu centre. En aquest moment tot el gas cau cap al centre. Si l'estrella tenia una massa baixa, el gas podrà aguantar el seu propi pes i aturar la caiguda de material cap al centre formant un nan blanc. Un nan blanc és doncs un romanent d'un estel, que no genera energia, i es va refredant permanentment. Si l'estrella tenia una massa intermèdia el gas no pot suportar el seu pes i va desfent tots els seus nuclis fins quedar constituïda només per neutrons, és el que s'anomena una estrella de neutrons. Si l'estrella tenia una massa molt gran, ni tan sols els neutrons podran aguantar el seu propi pes, la gravetat vencerà a les altres forces de la natura i es formarà un forat negre. Un forat negre és un objecte que genera una força gravitatòria tan gran que ni tan sols la llum pot escapar d'ell. Per entendre-ho millor es necessitarà conèixer el concepte de velocitat d'escapament. Com hem dit la força gravitatòria s'estén fins a distància infinita de la massa que la genera, però recordeu que ràpidament es fa molt dèbil degut a que es debilita amb el quadrat de la distància. És possible quedar deslligat de la gravetat d'un objecte si ens donem un impuls amb una velocitat que s'anomena velocitat d'escapament. Per exemple a la Terra si fem un salt a 11 quilòmetres per segon no tornariem a caure mai. És així com els coets es posen en òrbita. La Lluna és més lleugera que la Terra, per tant la força gravitatòria que genera és menor. A la Lluna la velocitat d'escapament és de 2 quilòmetres per segon. La velocitat d'escapament d'un forat negre és superior a la velocitat de la llum, i com que segons la teoria de la relativitat d'Einstein res no pot superar aquesta velocitat, res pot escapar de la gravetat que genera un forat negre. Si caus en un forat negre no podràs sortir mai, de fet ni tan sols et podran veure, ja que la llum que emetis es corbarà i tornarà a caure cap al forat negre.

Aquests temes es tracten per exemple a:

- 'Arrugas en el tiempo', George Smoot i Keay Davidson. Editorial Plaza & Janés, 1994. Col·lecció *Saber Más*.
- 'Cosmos', Carl Sagan. Editorial Planeta, 1998. Col·lecció *La línea del horizonte*.

Per altra banda, la novel·la 'Planilàndia' relata la vida en universos de dos dimensions i facilita l'enteniment de la segona part del taller:

- 'Planilàndia', Edwin A. Abbott. Editorial Laertes, 1993. Col·lecció L'Arcà.