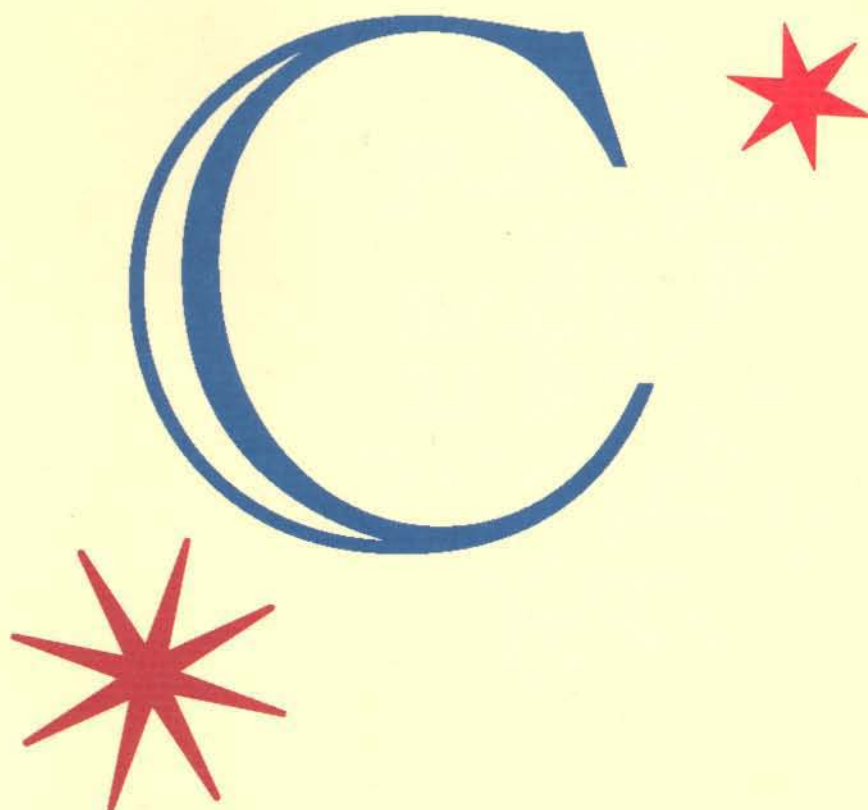


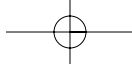
# COSMOLOGIA: NOU VOCABULARI

Lluís Mas Franch

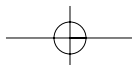
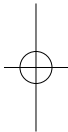
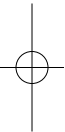


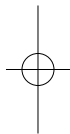
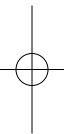
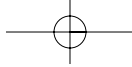
**Universitat de les Illes Balears**

Lliçó inaugural de l'any acadèmic 2007-2008

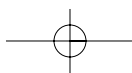


## COSMOLOGIA: NOU VOCABULARI





© del text: l'autor, 2007  
© de l'edició: Universitat de les Illes Balears, 2007  
Edició: Universitat de les Illes Balears. Edicions UIB.  
Cas Jai. Campus universitari. Cra. de Valldemossa, km 7.5. 07122 Palma (Illes Balears)  
Impressió: JORVICH, SL. C/ del Gremi de Forners, 13. Polígon Son Castelló. 07009 Palma  
DL: PM 2251-2007



## COSMOLOGIA: NOU VOCABULARI

Tota ciència, quan resol, encara que sigui parcialment, un problema, es troba amb altres problemes que requereixen nous mètodes i nous conceptes que necessiten un nou vocabulari.

En la cosmologia física estem en un moment en què això és ben palpable, i en uns quants minuts introduïrem alguns dels noms d'aquest nou vocabulari: matèria fosca, energia fosca, brana i ones gravitatòries...

La matèria fosca no és un nom nou. Ja l'any 1933 un astrofísic, F. Zwicky, va deduir, aplicant el teorema del virial de la mecànica clàssica a un cúmul de galàxies, que hi havia matèria que no es veia. La gran millora tècnica en telescopis ha permès veure nova matèria, però en continua faltant molta perquè les coses encaixin dins el model matemàtic que s'utilitza. El canvi de model passant de la mecànica clàssica a la relativitat general no serà suficient. Aquest canvi o substitució del teorema del virial és objecte d'estudi del grup de recerca al qual pertany.

La matèria que falta es classifica en matèria bariònica i matèria no bariònica. La bariònica és la normal, que encara no veiem però se suposa que veurem a mesura que millorin els diferents telescopis en els diferents rangs de l'espectre electromagnètic.

També seria bariònica un nou tipus de matèria, agregats formats per elements pesants que en diuen **MACHO**, inicials al revés d'objectes situats a l'halo (de les galàxies) compactes i de molta massa.

Però també falta l'altra, la no bariònica. Aquesta matèria es classifica en calenta, tèbia i freda; la calenta es mou pràcticament a la velocitat de la llum, la tèbia es mouria a velocitats no tan grans però relativistes, i la freda es mouria a velocitats no relativistes.

A la calenta li corresponen els neutrinos, partícules amb molt poca massa en repòs i que quasi no interaccionen amb res però ja s'han descobert. Recordem que en aquest moments, procedents del Sol, ens estan travessant a tots els aquí presents milions de neutrinos cada segon. No serien encara prou per sumar tota la matèria fosca que falta, ja que no explicarien la formació de les galàxies a partir del model del Big Bang i les restes que es mesuren a partir dels resultats dels satèl·lits *Cobe* i *Wmap*.

Observem que aquí acaba d'entrar en el mètode teòric la física quàntica. Els neutrinos no s'agrupen prou per donar les primeres galàxies que es varen formar. Hi ha d'haver altres partícules, en la classe de tèbies, que tindrien més massa en repòs. Aquí entrarien, i encara no s'han trobat, els **gravitinos** i els **fotinos**. Podem eixamplar les possibilitats afegint els **WIMP**, inicials al revés de partícules massives que interaccionen feblement. Cap d'aquestes partícules no entraria en el quadre de la teoria estàndard de la física de partícules, però sí en les extensions dites supersimètriques.

S'està intentant buscar aquestes possibles partícules, però tots els experiments que diuen que n'han trobat per ara no són reproduïbles.

En la recerca experimental de matèria fosca afegirem els grans detectors instal·lats en grans túnels del Sudan i en el Gran Sasso italià.

També amb els nous radiotelescopis es podria detectar matèria fosca, fins i tot matèria no bariònica, pels seus efectes gravitatoris deduïts estudiant els efectes de lent gravitatòria sobre altra matèria que sí que veiem.

Passem a l'energia fosca, que és una hipotètica forma d'energia que impregnaria tot l'espai i explicaria la intensitat de l'expansió de l'Univers. Algunes observacions actuals indicarien que l'expansió no disminueix, sinó que està accelerant de manera que aquesta energia fosca hauria de suportar les tres quartes parts de l'energia-massa de l'Univers. Quines són les observacions que permeten aquesta deducció?

Les supernoves de tipus Ia són un dels referents per fixar distàncies, ja que la seva magnitud absoluta hauria de ser sempre la mateixa. Perquè es produeixi una supernova Ia necessitam una estrella doble amb un dels seus elements ja vell, i convertit en una nana blanca que va estirant massa del seu company fins a arribar a un valor de la massa que se'n diu massa de Chandrasekhar, cosa que desestabilitza la nana, i es produeix una explosió termonuclear que dóna lloc a una lluminositat ben específica. Així doncs, quan observem una explosió d'aquestes la reconeixem per l'espectre electromagnètic que produeix i, a més a més, es mesura un desplaçament cap al vermell que, comparant amb la magnitud absoluta, ens donarà la distància.

Des de l'any 1998 es van produir observacions sistemàtiques i freqüents, i en aquest cas totes coincidents, d'aquestes supernoves que condueixen a la conclusió que l'Univers no està desaccelerant sinó accelerant. Si tot fos matèria, seria impossible explicar aquesta circumstància, de manera que es dedueix que hi ha d'haver una energia no en forma de matèria i que per ara no detectem, **energia fosca**.

De les mesures de la radiació de fons de l'Univers es dedueix que l'espai és molt a prop de ser pla, i això fixa una densitat total molt precisa amb uns marges molt estrets per la relació de massa i energia, que quedaria en 30 per cent per a la matèria, incloent la fosca, i 70 per cent per a una energia fosca que per ara no hem observat directament. Els models de creació de les grans estructures de l'Univers actualment vigents corroboren aquesta relació.

Les últimes observacions dels satèl·lits *Wmap* encara rebaixarien la proporció de massa respecte de l'energia fosca: matèria visible: 4 per cent, matèria fosca: 22 per cent, i energia fosca: 74 per cent.

Com seria l'energia fosca? Ha de ser molt homogènia, repartida per tot l'espai, inclòs tot aquell espai desproveït de matèria visible i sense cap més interacció que la gravitatòria. Un valor proposat per a la seva densitat és d'un gram en 100 bilions de quilòmetres cúbics, xifra que la fa molt difícil de trobar en un laboratori.

El model matemàtic més acceptat per introduir aquesta energia és afegir la constant cosmològica als models habituals. Seria com una energia del buit, motiu pel qual abans no era acceptada perquè no se'n

podien observar les conseqüències. Ara, que s'ha observat l'acceleració positiva de l'Univers, s'ha introduït de nou. L'equació d'estat d'aquesta energia seria la que controlaria l'acceleració esmentada. De totes maneres, les dificultats perquè tot encaixi, teòricament, són moltes, i queda molta feina que, a més a més, ha d'estar sempre supeditada a les contínues millores en les observacions.

Una nova paraula surt quan passam als estudis que consideren l'Univers com una **brana**, és a dir, semblant a una membrana. La brana seria de tres dimensions i estaria dins un *bulk*, paraula anglesa que encara no es tradueix, de dimensió superior. Això d'augmentar el nombre de dimensions jo ho va fer el mateix Einstein quan, al final de la seva vida, volia unir el camp electromagnètic i el gravitatori en un espai-temps de cinc dimensions. No se'n va sortir, i fins i tot estudis posteriors no varen aconseguir més que ajuntar-los sense cap nova aportació experimental. La idea d'ajuntar teories va passar després cap al camp de la física de partícules elementals, i allà sí que es produïren bons resultats ajuntant les forces nuclears i l'electromagnètica predient resultats experimentals que a poc a poc anaven verificant la teoria.

Però la teoria de la gran unificació, afegint-hi la gravetat, s'està resistint. En aquest problema és habitual agafar models de dimensions elevades que sols serien efectives en els instants inicials, el Big Bang i poc més, i després es compactarien fins a arribar a dimensions inferiors que les d'un nucli i, per tant, amb noves prediccions difícils d'observar si no és dins els grans acceleradors de partícules com el que molt aviat funcionarà al CERN, en el qual es produiran xocs frontals de protons a gran velocitat. Les circumstàncies s'apropen al que succeeix dins una estrella, però de cap manera s'acostaran a l'ambient del Big Bang.

Unes teories més ambiciosos, en aquest objectiu, serien les teories de **cordes**. Aquestes teories prenen les partícules que abans eren sense estructura, de dimensió zero, com a cordes unidimensionals finites. Complicant la dimensió tenim les teories de **supercordes**. Amb això s'aconseguiria una teoria de partícules unificada de la qual sortiria la gravetat. Amb el mateix quadre i des d'unes equacions sortiria tota la física: **la teoria de tot** (*theory of everything*).

Per a qualsevol científic l'única manera de validar una teoria és experimentalment, i s'han suggerit alguns, pocs, fets nous que haurien

de ser observats, sobretot amb el nou accelerador del CERN, si bé la creença més general és que l'energia encara hauria de ser molt més gran. El gran cost de la nova màquina del CERN crec que fa impossible la construcció d'una altra de molt més potent. A més a més, si de la màquina del CERN sortís alguna observació de fets nous, les teories de cordes tenen tal varietat que pràcticament n'hi hauria sempre algunes que explicarien els fets. És el que se'n diu teories no falsificables amb cap poder de predicció. Això no vol dir que les teories de l'Univers com a **brana** (corda de tres dimensions) amb el seu «*bulk*», que és d'on sortiria la gravetat i vés a saber si quelcom de més, no alegrin, o espantin, la imaginació de moltes ments.

Anem a l'últim apartat, el de les ones gravitatòries, que és on es fan el gruix de les recerques en el meu grup. En relativitat general la gravetat es manifesta amb la curvatura de l'espai-temps en cada punt. Quan es produeixen esdeveniments violents i periòdics com ara la rotació de dos púlsars un al voltant de l'altre s'observen al seu voltant variacions periòdiques de la curvatura que es propaguen a la velocitat de la llum. Això ho varen deduir ja l'any 1974 Hulse i Taylor, encara que indirectament, mesurant la pèrdua d'energia del sistema. El problema encara existent és el de l'observació directa de les **ones gravitatòries**. Recentment ja s'han construït observatoris gravitatoris que esperen ben aviat detectar les ones.

Per calcular quines són les ones que ens poden arribar s'ha de resoldre les corresponents equacions d'Einstein, equacions tensorials molt boniques vàlides en qualsevol sistema de coordenades. Aquestes equacions s'han de plantejar adaptades a cada cas concret, i per resoldre-les s'ha de escollir un sistema de coordenades oportú a fi que les operacions siguin al més senzilles possibles. Tot i això, queden tractables sols per mètodes numèrics que impliquen la utilització de la computació en paral·lel. En el desenvolupament d'un software per fer això, **CACTUS**, ha contribuït el meu grup de recerca. Els resultats, que encara són millorables, servirien per indicar com seria la forma i intensitat de les ones gravitatòries que s'emeten.

Amb aquestes dades s'han construït i s'estan construint observatoris que pretenen detectar les ones. Per fer això cal escollir un sistema de referència adaptat a l'observatori i relacionar-lo amb l'utilitzat a la font de producció d'ones. Aquestes ones aporten energia i tenen moment i moment angular, que hauríem de mesurar. El càlcul de la manera com



s'ha fer i com s'han d'interpretar els resultats és objecte de molts treballs teòrics, en els quals també persones del meu grup de recerca col·laboren.

Les ones gravitatòries produïdes pel sistema Sol-Terra són d'intensitat molt feble i per ara completament no detectables. Els sistemes que produeixen una gran emissió d'ones són les estrelles dobles un element de les quals és una estrella de neutrons (púlsar) o un forat negre o bé una supernova força irregular. Aquests sistemes són lluny de la Terra, de manera que quan n'arriben les ones la seva intensitat és molt feble, és a dir, que els observatoris han de tenir detectors molt especialitzats. Quins són els observatoris ja construïts? Els seus noms són **LIGO** (al revés Observatori d'Ones Gravitatòries mitjançant Interferometria Làser), que en realitat són dos, i estan als Estats Units, **VIRGO** de l'**EGO** (Observatori Gravitacional Europeu), que és francoitalià, **GEO 600**, que és alemany i hi està especialment implicada la doctora Alícia Sintès, del nostre grup de recerca, i **TAMA**, que és l'observatori japonès. Es basen (agafant el LIGO) en dos tubs de 2 a 4 kilòmetres en els quals es fa el buit i que es col·loquen perpendicularment. Una ona gravitatòria hauria d'escurçar un braç i allargar l'altre. Haurien de detectar variacions de l'ordre d'una fracció del diàmetre d'un protó. La millora contínua d'aquests observatoris fa que sigui imminent l'observació d'una ona, observació que hauria de fer-se en més d'un laboratori simultàniament. Hi ha un projecte de posar en òrbita terrestre tres masses (dins satèl·lits) separades per cinc milions de kilòmetres formant un triangle equilàter a fi d'evitar sorolls que confonguessin les mesures; aquest projecte té el nom de **LISA** (al revés, Antena eSpacial d'Interferometria Làser).

He escrit amb negreta tot el que fa referència a nou vocabulari.

Tot el que hem exposat aquí, qualsevol persona interessada ho pot ampliar llegint l'enciclopèdia Wikipedia en anglès i, si en vol més informació, consultant les referències allà citades.



**Universitat de les Illes Balears**