

L'ORIGEN I CREIXEMENT DE L'UNIVERS

Xavier Barcons

Conèixer l'origen de l'univers i quin és el nostre paper dins el cosmos són possiblement preguntes tan velles com la mateixa humanitat. Com en tantes altres preguntes de l'àmbit científic, durant el darrer segle s'ha avançat molt en el coneixement de l'univers, el seu origen i el seu funcionament. No cal dir que això ha estat degut en gran mesura a la tecnologia –que per altra banda ha crescut en paral·lel i sovint a remolc de les ciències més bàsiques–, que ha permès construir instruments d'observació i mesura del cosmos que ens han aportat un seguit de dades de gran importància. Però tampoc hem d'oblidar que les màquines no pensen i que sense el treball, la intel·ligència i a voltes la genialitat d'alguns investigadors, no hauríem progressat massa.

Hi ha, per tant, un munt de coses que sabem sobre l'univers. Per exemple que l'univers està en expansió; que va començar amb una «gran explosió» (en anglès *Big Bang*) ara fa uns 14.000 milions d'anys o que, a la seva més primitiva infantesa, passà per una curta però molt intensa fase de creixement espectacular. Però

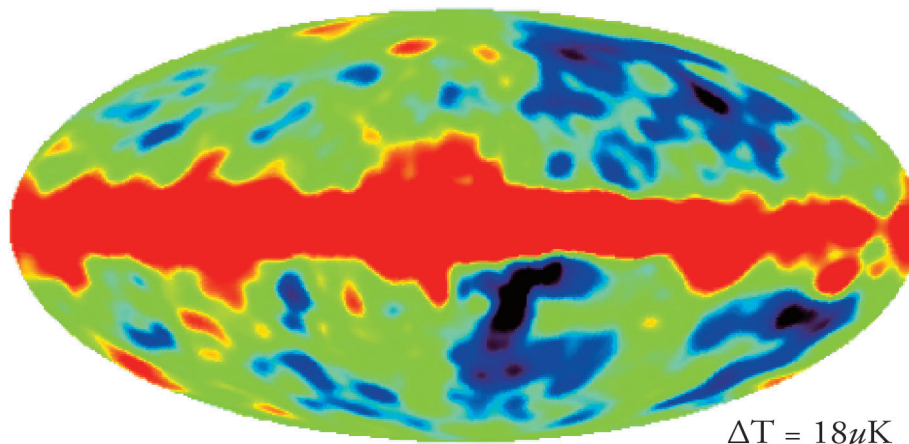
«LA SORPRESA SORGÍ FA POC MÉS D'UNA DÈCADA, QUAN ELS ASTRÒNOMS DESCOBRIREN QUE LA RESTA DE L'UNIVERS (MÉS DEL 70%) ÉS CONTINGUT EN QUELCOM QUE NI TAN SOLS FA MOURE ELS COSSOS, I QUE PER DESCOMPTAT NO ES VEU. ÉS L'ENERGIA FOSCA»

també sabem que la matèria ordinària (àtoms, molècules, etc.) no representa més enllà que un misèrrim 4,5% del contingut total de l'univers, i que la resta és matèria i energia fosca –en altres paraules, que no veiem ni sabem gaire res de la majoria del material de què és fet l'univers–. D'aquest minúscul 4,5%, només en veiem (i amb dificultats) poc més de la meitat. La resta roman undetectada possiblement al vast espai –aparentment buit– que hi ha entre les galàxies. L'astronomia d'avui, i particularment la

cosmologia, té el doble repte d'intentar conèixer els detalls de l'origen d'un univers majoritàriament obscur i al mateix temps de comprendre i explicar com la *matèria ordinària* acaba formant les galàxies, els estels, els planetes i tot allò que som capaços de veure amb la més avançada instrumentació.

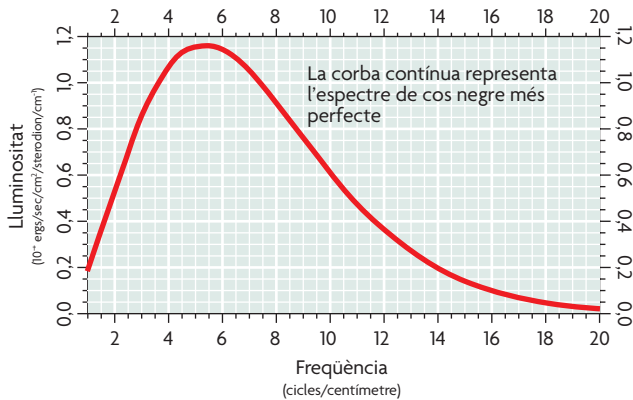
■ DE QUÈ ÉS FET L'UNIVERS?

Fa ja un munt d'anys que els científics saben que hi ha *matèria fosca*. Això vol dir que hi ha matèria –que



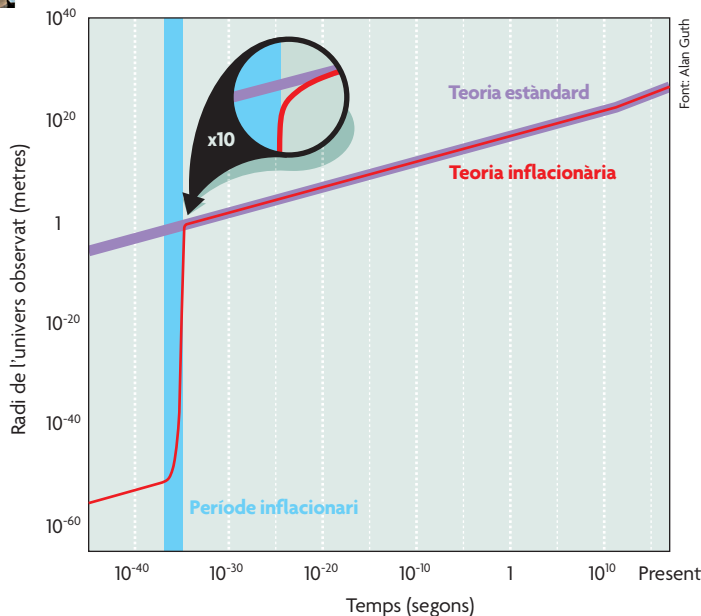
Mapa del cel en microones obtingut per l'instrument DMR (Investigador Principal: G.F. Smoot, premi Nobel de Física 2006) dins la missió COBE. Descomptades la contribució de la nostra galàxia i del nostre moviment, el mapa presenta unes minúscules irregularitats que són les precursors de les grans estructures presents avui a l'univers.



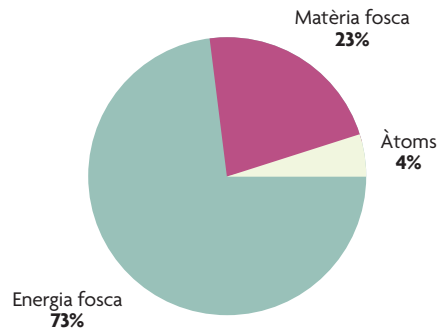


Espectre de la radiació de fons de microones, obtingut amb l'instrument FIRAS (Investigador Principal: J. C. Mather, premi Nobel de Física 2006) dins la missió COBE. La forma de l'espectre s'ajusta perfectament a una radiació tèrmica (anomenada «cos negre»), el que implica que quan l'univers tenia tan sols mig milió d'anys, la matèria i la radiació estaven en equilibri, i per tant la temperatura de l'univers era d'almenys 4.000 graus.

«HI HA UN FÒSSIL QUE ENS DEIXÀ LA INFLACIÓ I QUE SI EL POGUÉSSIM ESTUDIAR ENS DIRIA COM FOU TOT ALLÒ. SÓN LES ONES GRAVITATÒRIES»



Al mateix principi de la història de l'univers, es produí una curta fase (franja blava) d'espectacular expansió anomenada inflació. La mida de l'univers observable (línia vermella) augmentà en seixanta ordres de magnitud. Això explica, entre altres coses, per què l'univers és tan exactament semblant quan el mireu en direccions ben allunyades.



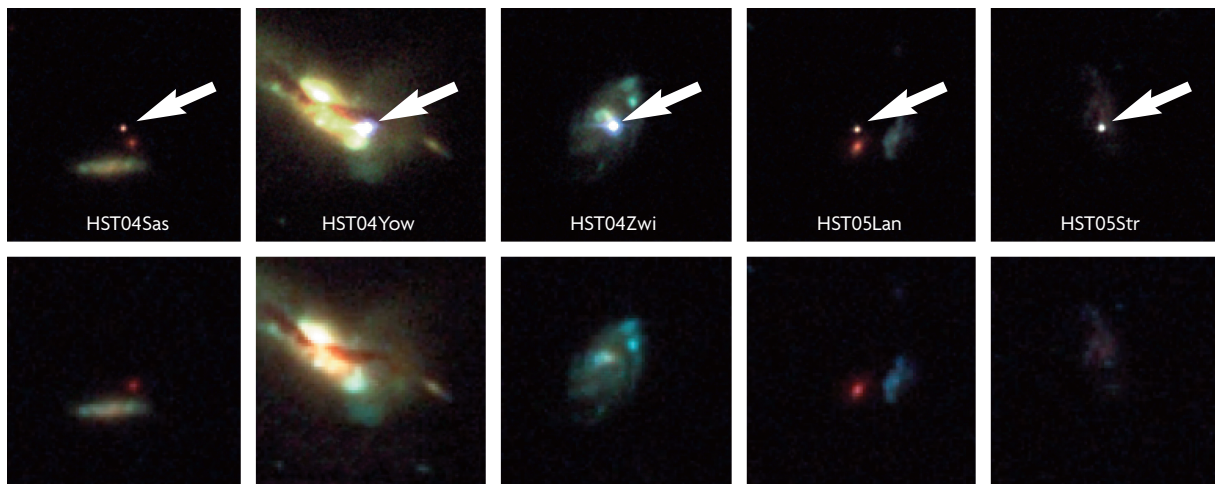
Els components de l'univers. Només el 4% és potencialment observable, malgrat que els efectes del 96% restant es deixen sentir.

no veiem—, però que fa moure els components de l'univers. Malgrat que no es veu, aquesta matèria fosca es deixa notar per l'atracció gravitatòria que exerceix sobre tots els cossos, i que fa girar els estels al voltant del centre de les galàxies, o manté les galàxies atrapades dins dels cúmuls. Els moviments de l'univers són dictats per una matèria invisible, de la qual ben poca cosa sabem, fora que atrau tot el que l'envolta, que no és matèria de l'anomenada «ordinària» i des de no fa tant també sabem que constitueix aproximadament el 23% del contingut de l'univers.

La sorpresa sorgí fa poc més d'una dècada, quan els astrònoms descobriren que la resta de l'univers (més del 70%) és contingut en quelcom que ni tan sols fa moure els cossos, i que per descomptat no es veu. És l'energia fosca, una misteriosa component, això sí, majoritària, de l'univers. El que té de peculiar aquesta energia fosca és que aconsegueix que les galàxies, en lloc d'allunyar-se entre elles cada vegada més a poc a poc (perquè l'atracció gravitatòria de la matèria frena l'expansió de l'univers), s'allunyin les unes de les altres més de pressa. L'univers s'expandeix acceleradament, sense que ningú no ho sospités fins fa poc més de deu anys.

Ara bé, què és aquesta energia fosca? No estem parlant de partícules exòtiques com les que es descobriren de tant en tant als grans acceleradors de partícules i que de fet podrien ser un component important de la matèria fosca. Estem parlant d'una energia que va omplint l'univers mentre aquest es va fent més gran, el que provoca que cada vegada s'acceleri més. Hi ha qui creu que estem veient un efecte íntim de l'estructura de l'espai i el temps, on conviuen més dimensions que les que la nostra percepció ens diu (tres dimensions a l'espai i una dimensió del temps). Qui sap...

El primer que ens cal fer, però, és saber amb certesa quanta energia fosca hi ha a l'univers, quant val



La detecció de supernoves a galàxies llunyanes ha estat determinant per descobrir l'existència de l'energia fosca i mesurar-ne la densitat.

exactament la pressió que exerceix i que fa que l'univers s'acceleri, i finalment saber si aquestes quantitats han variat amb el temps. Com es pot saber això? No és fàcil, però hi ha diferents mètodes que consisteixen a mesurar el volum de l'univers en diferents èpoques de la seua història. Per exemple comptant els cúmuls de galàxies que hi havia al passat i comparar-los amb els que veiem ara. O bé comptant el nombre d'explosions d'un tipus particular de supernova (estels que exploten) abans i ara. Tot això és al nostre abast i sens dubte es farà amb suficient precisió en les pròximes dècades, gràcies a telescopis dissenyats i dedicats gairebé amb exclusivitat a aquestes observacions. Finalment obtindrem quantitats fiables que definiran l'energia fosca, i potser això ens dirà quelcom sobre la seva naturalesa íntima.

■ LA INFLACIÓ

Ja hem esmentat que al principi de l'univers, aquest s'expandí dramàticament durant una mínima fracció del primer segon. Sabem que això ocorregué entre altres motius perquè rebem la mateixa quantitat de radiació de microones des de qualsevulla direcció. La radiació de fons de microones és el fòssil que ens deixà un passat molt calent de la història de l'univers. No tindria sentit que parts molt distants de l'univers que no han estat mai en contacte (recordem que la llum només ha pogut viatjar uns 14.000 milions d'anys llum des de la gran explosió) s'hagin posat d'acord a emetre exactament la mateixa quantitat de radiació que avui recollim en forma de microones des de direccions diametralment oposades. L'existència d'una fase inflacionària ens assegura que aquestes zones de l'univers de les quals ara rebem la radiació

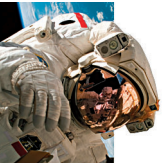
de fons de microones en realitat estigueren en contacte abans que l'univers s'inflés.

Ara bé, poc més sabem de la inflació. No sabem exactament ni quan ocorregué, ni quant temps va durar, ni quines forces la motivaren ni si allò ens deixà algun fòssil més. Les energies que tenien les partícules a l'univers primitiu (molt abans que tingués ni tan sols un segon de vida) són bilions de vegades més grans que les que s'assoleixen als acceleradors de partícules més potents a la terra, i per tant no podem esperar que la resposta directa vingui d'aquests experiments.

Hi ha, però, un fòssil que ens deixà la inflació i que si el poguéssim estudiar ens diria com fou tot allò. Són les ones gravitatòries. Aquestes perturbacions ondulatories tan peculiars són les que porten i transmeten els canvis en l'atracció gravitatòria que es produeixen a l'espai. Per exemple, si dos estels s'ajunten col·lapsant en un únic estel, els canvis en l'atracció gravitatòria que senten els altres cossos es propaguen en forma d'ones gravitatòries. Hi ha experiments (com LIGO) o missions a l'espai (com LISA) que permetran detectar ones gravitatòries quan aquest tipus de cataclismes es produeixin no gaire lluny de nosaltres. La inflació que ocorregué a l'univers al principi dels temps fou també un cataclisme que emeté grans quantitats d'ones gravitatòries. La dificultat afegida per a observar-les és que s'emeteren fa molt de temps i que formen un mar d'ones que omple l'univers i, per tant, és molt difícil de detectar directament (com una agulla en un paller).

Una via alternativa per a «veure» aquest bany d'ones gravitatòries primordials és a partir de petites variacions en la polarització de la radiació de fons de microones. La polarització és una propietat que té la





La detecció de les primeres galàxies i dels estels que formaren és un dels principals reptes de la cosmologia observacional del futur. Aquí es mostra una part del «Hubble Ultra Deep Field», que és la imatge amb les galàxies més allunyades que es coneixen.

llum i totes les altres formes de radiació. Podem visualitzar-ne el significat, si pensem que la llum són unes petites boles que han d'estar girant contínuament, bé cargolant cap a on es mouen o bé descargolant. La llum del Sol no és polaritzada, és a dir, és una barreja a parts iguals de boles que es cargolen i es descargolen. Ara bé, a la inflació, les ones gravitatòries deixaren l'empremta de la polarització sobre la radiació, i això ho podrem també observar en el futur. Per a fer-ho, que tampoc és fàcil, ens caldran missions a l'espai d'una gran sofisticació.

■ DE L'UNIVERS FOSC A L'UNIVERS OBSERVABLE

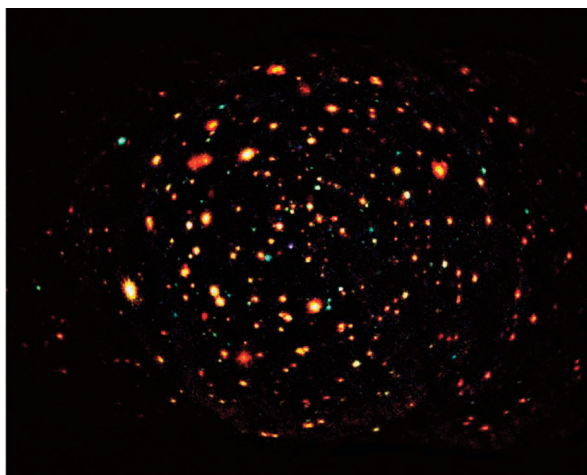
Hom podria pensar, amb una certa lleugeresa, que si tenim les rajoles i el ciment, construir una ciutat és

fàcil. Coneixent la història de l'univers, la inflació i els paràmetres que descriuen l'univers fosc (23% de matèria fosca 73% d'energia fosca) hauria de ser fàcil saber com la matèria ordinària s'ha anat arrançant formant estels, galàxies i tots els objectes còsmics que –ara sí– observem. El principi bàsic és que l'atracció gravitatòria de la matèria fosca ha anat forjant aquestes estructures, lluitant contra l'expansió (ara accelerada) de l'univers que tendia a dispersar-la. Ara bé, igual com al símil, la realitat és molt més complexa que tot això.

Observem la matèria ordinària en tres fases principalment. La primera i més evident és formant estels. Els estels emeten radiació, principalment perquè al seu interior tenen lloc reaccions nuclears de fusió. Aquesta radiació, que en el cas dels estels similars al



© NASA, ESA, S. Beckwith and the HUDF Team (STScI), and B. Mobasher (STScI)



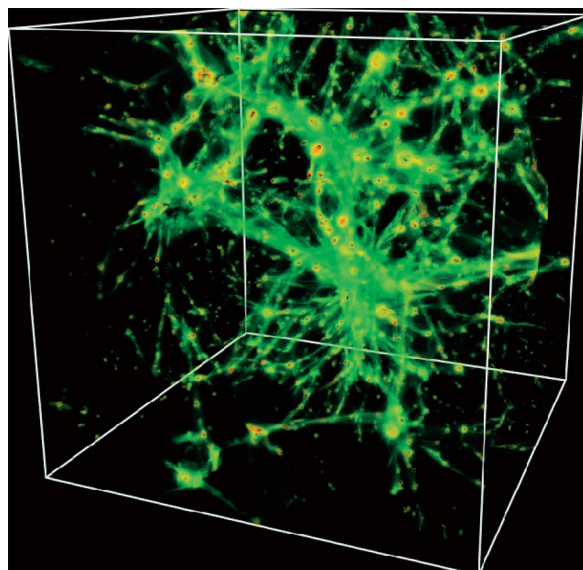
© ESA/XMM-Newton

La història còsmica del creixement dels forats negres gegants que hi ha als centres de les galàxies es pot veure en imatges de raigs X, ja que quan la matèria cau dins d'aquests monstres còsmics emet grans quantitats de radiació X. Imatge en raigs X de la zona coneguda com a «Lockman Hole» obtinguda per la missió XMM-Newton.

Sol és a la banda espectral de la llum visible, la podem rebre i estudiar amb els nostres telescopis convencionals. Tanmateix, el procés de formació dels estels és extremadament complicat. La presència de molècules i de grans de pols (agregacions de silicats i altres complexos químics) que actuen com a refrigerant, és fonamental. Quan es formaren els primers estels i com eren? Sense silicats, que no n'hi havia perquè no s'havien format encara a l'interior dels estels, l'únic refrigerant possible era la molècula d'hidrogen. Però aquesta molècula no es veu amb llum visible, sinó amb llum infraroja. Per tant, explorar la formació dels primers estels en la història de l'univers i comprovar si les teories que tenim i les detallades simulacions numèriques que els científics preparen a les computadores més potents són correctes implica tenir a l'abast observatoris que recullin i analitzin llum infraroja. Afortunadament hi ha projectes molt ambiciosos en aquest sentit que ens permetran d'avançar en aquesta direcció.

La segona fase és el gas d'àtoms i molècules. Novament, les molècules les veiem a l'infraroig i els àtoms a raigs X. Fins un 2% del contingut total de l'univers és en forma d'àtoms que passen sense ser vistos entre les galàxies, o almenys això és el que pensem. Aquest gas presenta temperatures de milions de graus i només el podem veure amb potents observatoris de radiació ultraviolada o raigs X a l'espai.

Finalment, la tercera fase d'observació de la matèria ordinària és en la forma de forats negres. Malgrat el seu nom («negres» significa que no emeten cap radiació), la matèria que cau dins d'aquests monstres



Simulació de R. Davé i col·laboradors de l'any 2002. Gran part dels àtoms presents a l'univers resideixen al medi intergalàctic i estan fortament ionitzats. Segons les teories cosmològiques, la seva distribució és de tipus filamentós, i per a detectar-los cal observar les empremtes que deixen a l'espectre de quàsars o altres emissors llunyans.

allibera part de la seva energia que s'emet en forma de radiació (principalment raigs X), i això ens permet veure el que passa al voltant del forat negre. Avui dia sabem que al centre de totes les galàxies (i de la nostra Via Làctia també) hi ha un forat negre gegant, constituït per l'equivalent a milions de sols. Aquests forats negres gegants han crescut a partir de petites llavors a base d'empassar-se material (gas i estels) del seu voltant.

Però aquestes tres fases observables de la matèria ordinària estan entreligades. El gas que hi ha entre les galàxies ha eixit de les explosions dels estels. Aquest gas és el que alimenta els forats negres i els fa créixer. Els forats negres en creixement emeten tal quantitat de radiació que esterilitzen els seus voltants on no es poden formar més estels. Realment, un procés molt complex.

Així doncs, sabem el que necessitem per a donar resposta a les qüestions més importants de la cosmologia moderna: observatoris a terra i a l'espai operant a diferents bandes espectrals (visible, infraroig, raigs X, ones de ràdio), computadores potents per a entendre i modelar aquestes dades i finalment moltes ganes de treballar en aquest món tan complex però tan apassionant per a les properes generacions de joves investigadors. ☺

Xavier Barcons. Instituto de Física de Cantabria (CSIC-Universitat de Cantàbria), Santander. Ponent de l'IAC 2006.

