



## LA CARA FOSCA DE L'UNIVERS

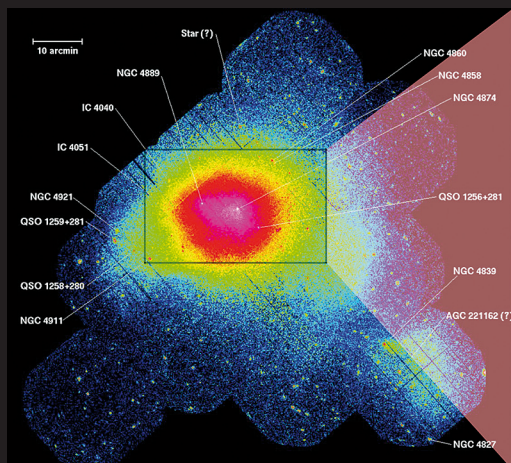
**Q**uan Fritz Zwicky, el 1930, va observar les velocitats de les galàxies al cúmul de Coma (la Cabellera de Berenice) no podia entendre com aquella rica concentració de galàxies romanien unides. La mitjana de velocitats peculiars de les galàxies respecte al centre de masses del cúmul superava els 1000 km/s. La massa necessària per mantenir estable el cúmul hauria de ser, segons els seus càlculs, molt superior a la massa corresponent a les galàxies que el formen. Dit d'una altra manera, el camp gravitatori generat únicament per les galàxies no era, en absolut, suficient per a evitar que les galàxies, a aquelles velocitats, es disgregaren per l'espai. El fet que el cúmul romanguera gravitacionalment lligat implicava la necessitat de postular l'existència d'una gran quantitat de matèria oculta, l'atracció gravitatòria de la qual permetia equilibrar la situació. Aquesta matèria que romanien invisible al telescopi de 48 polzades de Mount Palomar amb el qual Zwicky observava el cúmul, podria, no obstant això, existir en forma d'estels freds o pols i detectar-la només seria possible amb l'ulterior desenvolupament de telescopis en l'infraroig. Potser la matèria amagada podria estar en forma de gas molt calent que emetria en raigs X i que podria ser detectada mitjançant telescopis espacials que observaren

**«LA MATÈRIA FOSCA ES  
COMPON D'ALGUN TIPUS  
DE PARTÍCULA QUE NO  
INTERACTUA AMB CAP ALTRA,  
ÉS A DIR, ÉS COMPLETAMENT  
INDETECTABLE MÉS  
ENLLÀ DEL SEU EFECTE  
GRAVITATORI»**

el cúmul en aquelles longituds d'ona des de fora de l'atmosfera.

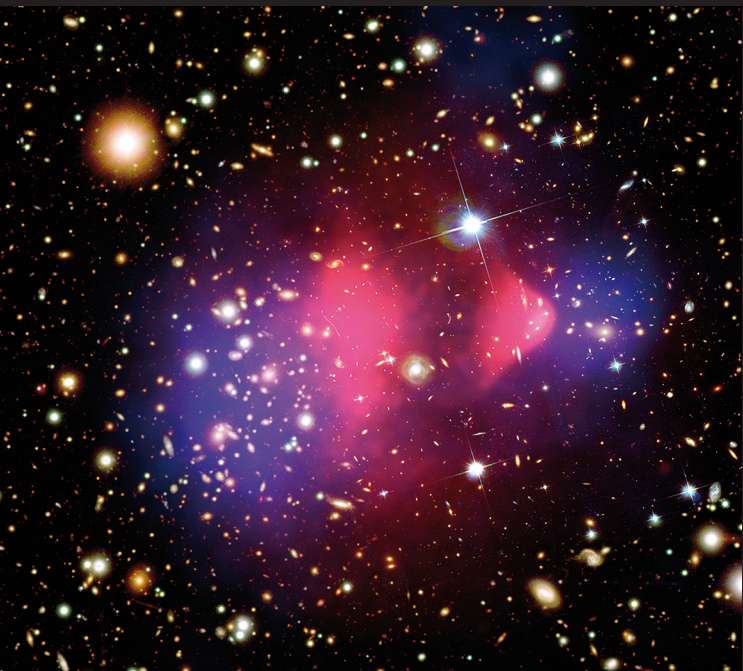
Ambdues observacions es van dur a terme molt de temps després dels treballs pioners de Zwicky. En la dècada de 1980 es va poder comprovar que la major part de la matèria ordinària d'un cúmul de galàxies està en forma de gas calent amb temperatures de desenes de milions de graus. A aquestes temperatures els àtoms que componen el gas han perdut els electrons, diem que estan ionitzats. Els electrons circulen a gran velocitat en un mitjà que anomenem plasma, quan ensopeguen amb els ions pateixen una frenada que se salda amb l'emissió d'un fotó molt energètic i es produeix radiació en la banda X de l'espectre electromagnètic.

En observar un cúmul de galàxies amb un telescopi de raigs X des de l'espai, la imatge és molt diferent de la que s'obté amb un telescopi òptic. S'hi detecten àrees extenses i difuses d'emissió de raigs X produïdes per núvols de gas calent atrapades en l'interior del cúmul. L'estudi de la temperatura i la intensitat d'aquesta radiació permet determinar la massa del cúmul: una massa total unes quatre vegades superior a la massa lluminosa del cúmul. Posant-hi nombres, podem dir que el gas calent que emet en raigs X representa el 20% de la massa del



A l'esquerra veiem una imatge del cúmul de Coma obtinguda pel telescopi espacial XMM-Newton. Amb fals color s'ha representat la intensitat de radiació en raigs X. A la dreta mostrem una imatge òptica del centre del cúmul.

© Jim Misti (òptic) / U. Briel / MPE Garching, ESA (raigs X)



© Magellan Telescope, Hubble Space Telescope, European Southern Observatory, Chandra X-Ray Observatory

Imatge del cúmul de la Bala presa pel Telescopi Espacial Hubble. Superposat a la imatge visible s'inclou el mapa d'emissió del gas calent (rosa) i el mapa de densitat de matèria obtingut usant l'efecte lent gravitatòria (blau). Es pot observar com el gas calent ha patit els efectes de la col·lisió, mentre que la fantasmagòrica matèria fosca ha seguit el seu camí sense immutar-se.

cúmul i les galàxies que observem en l'òptic i l'infraroig constitueixen un 5% més. El 75% restant ha de ser matèria fosca de naturalesa desconeguda.

Hi ha una tercera via per a mesurar la quantitat de matèria en un cúmul de galàxies. Des que Einstein ho va proposar i Eddington ho va comprovar experimentalment, sabem que la presència de matèria no sols corba la trajectòria dels cossos en moviment (per acció de la gravetat) sinó que també fa corbar-se la trajectòria dels raigs de llum. Així es produeixen una sèrie d'efectes peculiars: hi ha objectes que aparentment canvien de posició a causa de la curvatura de la llum emesa per ells, canvien de lluminositat aparent, i fins i tot pateixen deformacions en la seua forma. Aquests canvis i deformacions són més notoris com major és la quantitat de matèria que la llum ha de travessar. En un cas extrem, com és el d'un cúmul de galàxies, les deformacions són molt fortes, i perceptibles fins i tot a ull nu.

Si el cúmul fóra una distribució extremadament suau de matèria, sense grups, actuaria com una lent perfecta i produiria augments o distorsions simples –com si miràrem a través d'una lent de rellotger. Com que en realitat el cúmul és extremadament inhomogeni, l'efecte s'assembla al que es produeix quan observem a través del cul d'un got de vidre: apareixen arcs i deformacions. Quantificant aquest efecte, per exemple a través

del nombre d'arcs, les posicions d'aquests, o el nombre d'imatges múltiples del mateix objecte, podem mesurar la quantitat de matèria que conté el cúmul-lent.

Recentment ha estat possible combinar tots aquests tipus de mesures amb un cúmul molt interessant: el cúmul de la Bala. Aquest cúmul es compon en realitat de dues estructures de galàxies, que aparentment han xoCAT recentment (en termes còsmics, per descomptat). Els dos grups de galàxies s'han travessat, perquè cal tenir en compte que els cúmuls, encara que són molt densos en termes de nombre de galàxies, són en gran mesura espai buit: dos cúmuls poden perfectament travessar-se sense que cap de les galàxies individuals xoque. Així veiem que les dues agrupacions de galàxies pareixen ignorar-se mútuament, de fet només podem suposar que s'han travessat perquè ara les respectives velocitats indiquen que s'allunyen l'un de l'altre.

La component gasosa dels cúmuls, en canvi, no es pot travessar alegrement. Cada un arrossega el seu propi gas, i el xoc entre aquestes dues boles de fluid reproduceix precisament el que esperem. Ambdós es travessen, però noten fortament els efectes de la col·lisió: perden velocitat (a causa del fregament entre ells) i a més en un d'ells apareixen estructures degudes a l'ona de xoc.

On va, doncs, la major part de la massa del cúmul? Es comporta com el gas, percep el xoc, i es queda arrere respecte a les galàxies que es travessen com a fantasmes? El mapa de densitat de matèria obtingut gràcies a aquest efecte de lent gravitatòria ens indica que, al contrari, la matèria fosca que no veiem ha seguit perfectament la trajectòria de les galàxies. És a dir, cada un dels agregats de matèria fosca (que, recordem, contenen el 70% de la massa total de cada cúmul) no ha sentit en absolut la presència de l'altre.

Aquesta és, de fet, una de les propietats bàsiques de la matèria fosca, una de les poques ben establertes, i una de les més misterioses. La matèria fosca es compon d'algun tipus de partícula que no interactua amb cap altra, és a dir, és completament indetectable més enllà del seu efecte gravitatori. No hi ha avui dia dins del model estàndard de la matèria que compon l'univers partícules que complen aquesta propietat. Hi ha esperances que ampliacions d'aquest model puguen portar al descobriment d'aquesta mena de partícules (els axions o les partícules supersimètriques són alguns dels candidats), però haurem d'esperar a nous desenvolupaments en física de partícules. Potser l'arrancada imminent del Gran Col·lisionador d'Hadrons (LHC) en Ginebra ens acoste un pas en la solució d'aquest dilema.

VICENT MARTÍNEZ

Observatori Astronòmic de la Universitat de València

ALBERTO FERNÁNDEZ-SOTO

Instituto de Física de Cantabria