



GEORGE SMOOT

Premi Nobel de Física 2006

«SOM RELÍQUIES, RESTES D'UN UNIVERS MOLT DIFERENT»

José M^a Martí i Diego Sáez

El professor George Smoot (Lawrence Berkeley National Laboratory, de la Universitat de Califòrnia, Berkeley) va ser guardonat, juntament amb el professor J. Mather, amb el premi Nobel de Física el 2006 «pel descobriment de l'anisotropia i de l'espectre de cos negre de la radiació de fons còsmic de microones».

Segons el model del *big bang*, l'Univers va sorgir d'una explosió inicial, i les galàxies i els cúmuls de galàxies actuals són el resultat de l'evolució al llarg de més de deu mil milions d'anys d'unes petites fluctuacions produïdes quan l'Univers que avui observem era molt menut. El 1992, el professor Smoot i el seu equip, després d'uns quants anys de mesures i d'anàlisi de les dades arreglades pels detectors de microones a bord del satèl·lit COBE de la NASA, van traçar mapes del cel que mostraven regions «calentes» i «fredes» amb

diferències de temperatura d'una cent mil·lèsima de grau. Aquestes inhomogeneïtats en la temperatura observades pel COBE es van formar en el passat remot i es consideren les petjades d'aquelles fluctuacions primordials i la confirmació del model del *big bang*.

El professor Smoot va visitar la Universitat de València per obrir les activitats programades amb motiu de l'Any Internacional de l'Astronomia, que s'està celebrant al llarg de tot el 2009. Aprofitem aquesta visita per parlar dels seus inicis com a investigador, de l'èxit de l'experiment que el va

portar a obtenir el premi Nobel i dels nous projectes que han dissenyat els cosmòlegs per comprendre millor l'Univers en què vivim.

Quins van ser els seus primers passos com a investigador?

A començament dels anys setanta vaig desenvolupar el meu treball de tesi doctoral en el camp de la física de partícules, però sempre pensant a aplicar les habilitats i tècniques que estava aprenent a l'estudi de l'Univers. El primer pas va ser buscar antimatèria d'origen còsmic. La física de partícules ens havia ensenyat l'existència d'antipartícules, que s'havien detectat primer indirectament i, després, en acceleradors. Ara es tractava de detectar-les a l'Univers. Quan vaig acabar la meua tesi doctoral i vaig començar com

a postdoctorat vaig tenir l'oportunitat de dedicar-me a aquesta tasca.

Quines tècniques utilitzava per intentar detectar antimatèria?

Per buscar antimatèria havíem de situar els detectors a les capes més altes de l'atmosfera, la qual cosa ens va obligar a fer servir globus. Els experiments eren molt difícils. Treballàvem a mercè dels vents, i la probabilitat d'accidents era alta. D'altra banda, l'experiment estava fora del teu abast. Sols podies comunicar-te amb l'instrumental del globus amb senyals de ràdio. Calia fer les coses molt bé. Al mateix temps era molt excitant anar-hi el primer dia, trobar

«ARRIBÀREM A LA
CONCLUSIÓ QUE DEGUÉ
HAVER-HI UN MECANISME
QUE, DESPRÉS DE
L'ANIQUILACIÓ DE LA
MATÈRIA I L'ANTIMATÈRIA EN
EL PASSAT REMOT, DEIXÀ
UN PETIT ROMANENT DE
MATÈRIA DEL QUAL HEM
EIXIT NOSALTRES»

QUÈ SABEM DE L'UNIVERS?

La radiació del fons còsmic de microones (CMB, de l'anglès *Cosmic Microwave Background*) és una de les principals fonts d'informació en cosmologia. La seua importància s'explica perquè, com que es va produir en el passat més remot, conté les petjades de tots els esdeveniments importants que han anat ocorrent a l'Univers. Per això, interpretant correctament aquestes petjades, podem reconstruir de manera detallada l'evolució de l'Univers.

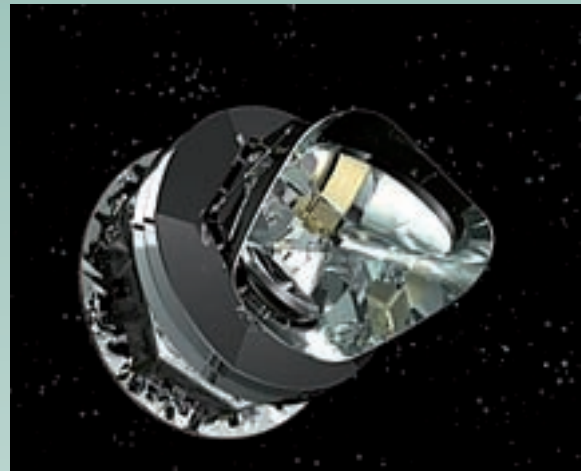
Els primers que van detectar la radiació del CMB foren A. A. Penzias i R. W. Wilson (1965) i, per aquesta troballa, reberen el premi Nobel de Física el 1978. Des d'aleshores, l'observació del CMB s'ha realitzat utilitzant avions, globus i satèl·lits. El 1992, G. F. Smoot i J. Mather feren públiques les seues observacions de l'espectre i de la distribució de temperatura del CMB. Les dades foren obtingudes des del satèl·lit *COBE* i, per aquest estudi, foren guardonats amb el premi

«LES OBSERVACIONS DE SMOOT I MATHER DONAREN SUPORT A LA TEORIA QUE PROPOSA L'EXISTÈNCIA, EN UN PASSAT MOLT REMOT, D'UNA FASE D'EXPANSIÓ VIOLENTA ANOMENADA INFLACIÓ»

Nobel de Física el 2006. Les seues observacions donaren suport a la teoria que proposa l'existència, en un passat molt remot, d'una fase d'expansió violenta anomenada inflació. Les llavors de les galàxies haurien aparegut en aquesta fase com a fluctuacions quàntiques. La inflació finalitzaria amb un reescalfament fins a temperatures molt altes, omplint l'Univers primordial de partícules i radiació d'altíssima energia. Aquesta radiació és la que avui observem com a fons còsmic de microones.

Podem dir que a la cosmologia hi ha un abans i un després de les observacions de *COBE*. L'èxit d'aquesta missió va animar molts grups a proposar nous experiments per tal d'observar el CMB. Ens limitarem a mencionar, atès el seu gran interès, dos projectes espacials: *WMAP*, les dades del qual ja s'han analitzat, i *Planck*, que s'ha llançat aquesta primavera i en el qual participa un equip de científics de la Universitat de València.

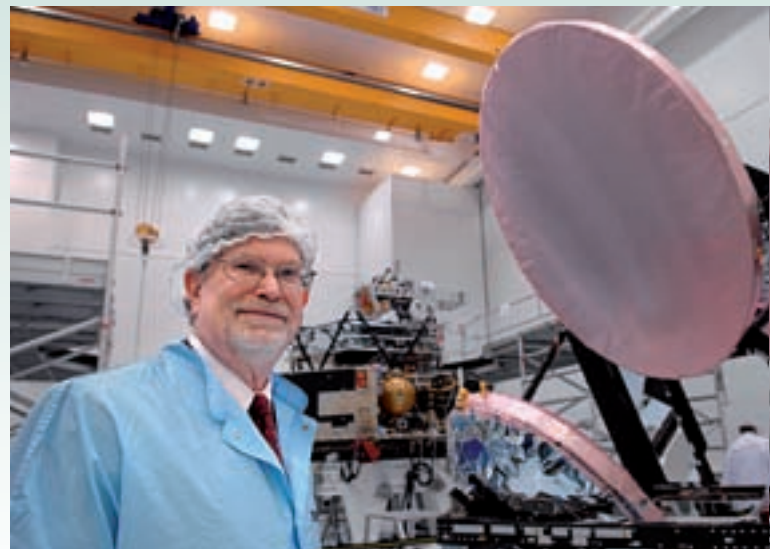
Les observacions de *WMAP*, les de les supernoves de tipus Ia, i l'anàlisi de grans catàlegs de galàxies han conduït a l'anomenat «model concordant», un model



Representació artística del satèl·lit *Planck* a l'espai.



Mapa simulat de les temperatures del CMB que veurà el *Planck* sobre l'esfera celeste.



George Smoot visita el satèl·lit *Planck* durant la construcció en l'any 2007. Aquest satèl·lit es va llançar el passat 14 de maig de 2009.

d'Univers acceptat per la majoria dels cosmòlegs. Segons aquest model, desenvolupat en el marc de la relativitat general, la densitat de matèria ordinària que hi ha a les galàxies seria sols un 4,6% de la densitat total d'energia de l'Univers. El 95,4% restant és format per la matèria i l'energia fosques. La matèria fosca estaria constituïda per una o unes quantes espècies de partícules massives que interaccionarien molt dèbilment amb la matèria ordinària i amb la radiació electromagnètica. Per aquest fet, no ha estat possible observar-la directament, encara que es manifesta indirectament pels moviments que produeix en la matèria ordinària visible com a conseqüència de l'atracció gravitatòria que experimenta. La seua densitat seria el 23,3% de la densitat total. El 72,1% restant és encara més misteriós, ja que es pot tractar d'alguna forma d'energia capaç de produir una força repulsiva –a escala còsmica– que deu estar accelerant l'expansió de l'Univers. Aquesta energia fosca tampoc no s'ha pogut observar directament i molts científics busquen models alternatius que expliquen l'acceleració de l'Univers.

Tot el que hem dit ens pot ajudar a descriure els principals reptes de la cosmologia actual. Molts investigadors participen en el desenvolupament d'experiments per a la detecció directa de la matèria fosca. Altres grups estudien la possible naturalesa de l'energia fosca, com també el disseny d'observacions que permeteren distingir entre les diferents opcions. Alguns cosmòlegs estan analitzant amb més detall les dades de *WMAP*, i altres estan implicats en el projecte *Planck* o en el disseny de nous projectes per a l'observació indirecta del fons d'ones gravitatòries d'origen inflacionari.

Per altra part, se segueix amb l'estudi de les supernoves tipus Ia a distàncies cada vegada més grans, i es continua amb l'ampliació dels catàlegs de galàxies. Recentment nombrosos articles s'han dedicat a l'anàlisi estadística de dades, tant pel que fa a l'estudi de correlacions en els mapes de temperatura del CMB, com als catàlegs de galàxies. Finalment, les observacions de *WMAP*, i algunes altres, han posat de relleu una sèrie d'anomalies difícils d'explicar en el marc del model concordant.

Tota aquesta intensa activitat actual en el camp de la cosmologia té el seu origen, d'una forma o d'altra, en els esforços de G. F. Smoot, J. Mather i col·laboradors per conèixer millor la radiació del CMB, una tasca que va convertir la cosmologia en un estudi científic basat en observacions d'alta precisió.

D. S. i J. M. M.

el globus i començar a analitzar dades. En un dels vols, el paracaiguda del globus es va enganxar, l'equip va caure a terra des d'una gran altura i es va descompondre en un munt de peces. Fou un moment desagradable, sobretot si penses que el «teu lloc de faena» depenia de l'èxit d'aquests experiments. Vam tenir també problemes en altres vols, de manera que, quan acabarem els nostres estudis sobre l'antimatèria, estàvem convençuts que altres mitjans, per exemple l'avió, podrien ser més adients per a realitzar experiments de precisió.

Fou molt difícil obtenir resultats?

En un dels primers vols trobàrem un candidat a antipartícula. La seua traça en el detector es corbava, a causa del camp magnètic, al revés de com ho faria la d'una partícula. A més, en l'últim detector la traça acabava en una mena d'explosió. La partícula s'aniquilava amb la matèria usual! Hem trobat antimatèria! I no de qualsevol tipus, allò semblava un àtom d'antioxigen! Això ens podia estar dient que existien els estels d'antimatèria,

«SERIA MOLT BO ESTABLIR UNA COL·LABORACIÓ A ESCALA MUNDIAL, QUE CENTRE ELS ESFORÇOS EN LA GEGANTINA TASCA DE COMPRENDRE L'UNIVERS. COM MÉS CAPS HI PENSEN, MAJOR ÉS LA PROBABILITAT QUE ES RESOLGA»

una conclusió molt forta. Així doncs, estàvem molt excitats. Tanmateix, la precisió tan limitada dels nostres detectors féu difícil assegurar que la interpretació del succeís, com la detecció d'un àtom d'antioxigen, era l'única possible. Encara que el resultat fou finalment negatiu, resultà molt interessant aprendre a ser molt acurat amb el teu treball i assegurar-te d'estar fent bé les coses.

Quines foren les conclusions finals de la recerca d'antimatèria?

Hi va haver més experiments amb globus amb millors detectors, i el resultat negatiu de tots ens va permetre concloure que no hi havia antimatèria en la nostra galàxia, i era difícil pensar que n'hi haguera, de manera separada, a escales majors (en altres galàxies o cúmuls de galàxies). D'aquesta manera havíem arribat a la conclusió que a l'Univers no hi ha la mateixa quantitat de matèria que d'antimatèria, i que degué d'haver-hi un mecanisme que, després de l'aniquilació de la matèria i l'antimatèria en el passat remot, deixà un petit roma-



© ESA - S. Corvaja

nent de matèria del qual hem eixit nosaltres. Som relíquies, restes d'un Univers molt diferent. En resum, vam constatar la pràctica inexistència d'antimatèria a l'Univers, i vam motivar futures explicacions d'aquest fet.

Cap a mitjan anys setanta vostè va canviar de tema d'investigació i va començar a estudiar el fons còsmic de microones. Com i per què va triar aquest nou tema?

El professor Luis Álvarez m'animà a aturar-me temporalment i fer aquest exercici, ja que a mesura que passa el temps els avenços en la física bàsica, les noves idees i les noves tecnologies et permeten plantejar-te nous reptes, coses que uns anys abans no eren possibles. Pensàrem a mesurar la massa dels neutrins i un parell de membres de l'equip acabà dedicant-s'hi. Pel que fa a mi, vaig llegir en aquell temps el llibre de Jim Peebles, *Principles of Physical Cosmology*, molt ben escrit i fàcil de llegir. En aquest llibre s'estudiava el fons còsmic de microones i es deia que era possible mesurar el moviment de la Terra respecte d'aquest fons. Així doncs, hi havia un senyal que podíem tractar de mesurar. Aleshores es va decidir treballar en el disseny d'un nou experiment que també s'hauria de realitzar en capes altes de l'atmosfera. Descartats els globus, pensàrem de fer servir un avió. Era una cosa un poc diferent i interessant.

Sabem que el nou experiment va acabar amb èxit, però ens agradaria conèixer més detalls, i la seua opinió dels resultats obtinguts.

En efecte, vam detectar el senyal que estàvem esperant: una distribució angular dipolar (dipol) de la temperatura del fons de microones. Aquest dipol era degut al nostre moviment respecte d'aquest fons. Tanmateix els resultats foren sorprenents, atès que el moviment de la Terra que es deduïa del nostre experiment anava en una direcció en aparença equivocada. Coneixem quin és el nostre moviment al voltant del centre de la nostra galàxia, però el nostre resultat implicava una component dominant procedent del moviment propi de la galàxia. Aquest fet resultà una gran sorpresa. Els físics pensaven que el resultat tenia sentit. Per als astrònoms era impensable: «si la nostra galàxia es mogué tant», pensaven, «el diagrama de Hubble hauria de tenir una dispersió major.» Al final la controvèrsia es resolgué amb la versemblança del nostre resultat.

Als anys vuitanta, vostè va liderar l'equip científic de l'experiment DMR (de l'anglès *Differential Microwave Radiometry*) instal·lat a bord del satèl·lit *COBE* de la NASA (llançat el 18 de novembre del 1989). Pels resultats d'aquesta missió vostè fou guardonat amb el pre-



mi Nobel de Física 2006. Què ens pot contar sobre aquell experiment?

El treball realitzat per tal de detectar el dipol del fons de microones ens féu comprendre que érem capaços d'adaptar els nostres experiments a nous suports. D'aquí va sorgir el satèl·lit *COBE*, que reunia diversos experiments, entre ells el nostre DMR. La necessitat d'aplegar aquests experiments ens va alentir. A més, *COBE* s'havia de posar en òrbita amb la llançadora espacial, però el tràgic accident de gener del 1986 va paraitzar el programa de llançaments. Haguérem de tornar a definir tot el projecte perquè el posara en òrbita un coet. Així, encara que la proposta original és de final dels setanta, el satèl·lit no es va llançar fins el 1989. Més de deu anys! Malgrat el retard, el resultat final fou un èxit. Teníem una primera imatge de l'Univers primitiu. Havíem mesurat diferències relatives de temperatura d'una part en 100.000 aproximadament, i



**«SI A PARTIR DE L'ESTUDI DE LA
POLARITZACIÓ OBTENIM INFORMACIÓ DEL
FONS COSMOLÒGIC PRIMORDIAL D'ONES
GRAVITATÒRIES, CONEIXEREM MÉS
COSES SOBRE L'UNIVERS PRIMITIU I, EN
PARTICULAR, SOBRE LA INFLACIÓ»**

havíem trobat correlacions entre les temperatures corresponents a direccions que formaven angles majors que uns 10 graus. Tot això donava un fort suport a la teoria de la inflació.

L'any 2000, la NASA va llançar el satèl·lit *WMAP* per millorar les observacions del *COBE*, que ens pot dir d'aquesta missió?

El satèl·lit *WMAP* ha aconseguit una estimació més precisa que totes les observacions anteriors, de tots els paràmetres involucrats en el model cosmològic estàndard, la constant de Hubble i la densitat de barions, entre d'altres. A més, ha fet mesures de la polarització de la radiació de fons de microones que sols s'expliquen si, fa milions d'anys, els primers estels van trencar els àtoms d'hidrogen neutre omplint el medi interestel·lar de protons i electrons lliures. És el que s'anomena la reionització de l'Univers, que començà com una simple hipòtesi sense base observacional, però que ara és confirmada per les dades del *WMAP*.

L'Agència Espacial Europea ha llançat el satèl·lit *Planck* per mesurar les temperatures del fons de microones. Com ha anat desenvolupant-se la missió?

De nou ha succeït el mateix. L'Agència Espacial Europea va unificar dues missions inicials, *COBRAS* i *SAMBA*. Això ens va retardar uns quants anys. La col·laboració entre la NASA i l'ESA va complicar també les coses. Tanmateix, aquesta relació pot ser molt positiva perquè implica la col·laboració de les comunitats científiques nord-americana i europea. En realitat, seria molt bo establir una col·laboració a escala mundial, que centre els esforços en la gegantina tasca de comprendre l'Univers. Quan un problema és molt difícil, com més caps hi pensen, major és la probabilitat que es resolga. D'altra banda, *Planck* marcarà un nivell molt alt. No pot ser d'altra manera, ja que té darrere *COBE* i *WMAP*, i està, per tant, obligat a fer un pas més. Aquesta competitivitat en ciència és molt positiva i obliga a la col·laboració, i aquesta col·laboració fa que augmente l'atenció que donen els governs i la població en general.

Per tancar aquesta entrevista, ens agradaria que ens parlara sobre les perspectives de la investigació del fons de microones amb satèl·lits.

El satèl·lit *Planck* s'ha llançat aquesta primavera. L'experiment té una major precisió, tant en termes de sensibilitat com de resolució espacial, la qual cosa el potencia per a obtenir nous resultats. Per exemple, si mesurem la polarització del fons de microones, podrem conèixer moltes coses sobre com va ser l'Univers en el passat i, en particular, sobre la inflació. Coneixerem millor les característiques del camp que la va produir, l'instant en què es va iniciar i l'energia que es va posar en joc en tot aquest procés. Si el fons d'ones gravitatòries és massa dèbil, no es podrà detectar amb el satèl·lit *Planck* i, aleshores, seran necessàries noves missions específicament dissenyades per a aquesta detecció. ☺

José M^a Martí i Diego Sáez. Departament d'Astronomia i Astrofísica, Universitat de València.