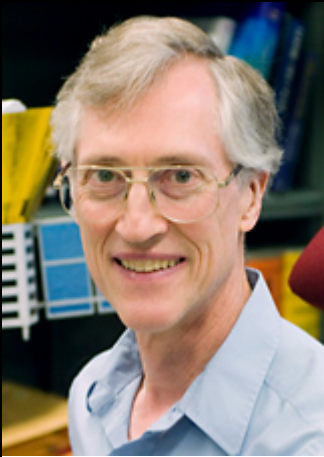
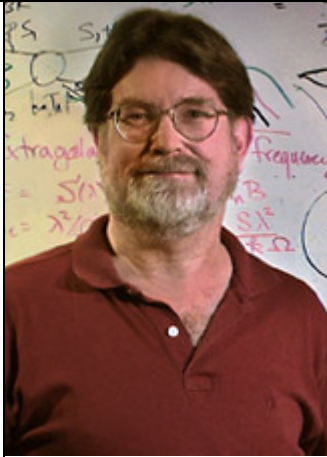


Premio Nobel de Física 2006

Concedido a **John C. Mather** y **George F. Smoot** por sus descubrimientos del espectro de cuerpo negro y de la anisotropía de las microondas de la radiación cósmica de fondo.

	
Photo: NASA	Photo: R. Kaltschmidt/LBNL
John C. Mather	George F. Smoot
🏆 1/2 of the prize	🏆 1/2 of the prize
USA	USA
NASA Goddard Space Flight Center Greenbelt, MD, USA	University of California Berkeley, CA, USA
b. 1946	b. 1945

Documento de la Fundación Nobel traducido del inglés.

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2006/info.pdf

El Premio Nobel de Física 2006 ha sido concedido a **John C. Mather** y **George F. Smoot** por su descubrimiento de la forma básica de las microondas de la radiación cósmica de fondo así como de las pequeñas variaciones que experimenta en diferentes direcciones. Las detalladas observaciones que los laureados han efectuado desde el satélite COBE han tenido un papel muy importante en el desarrollo de la moderna cosmología.

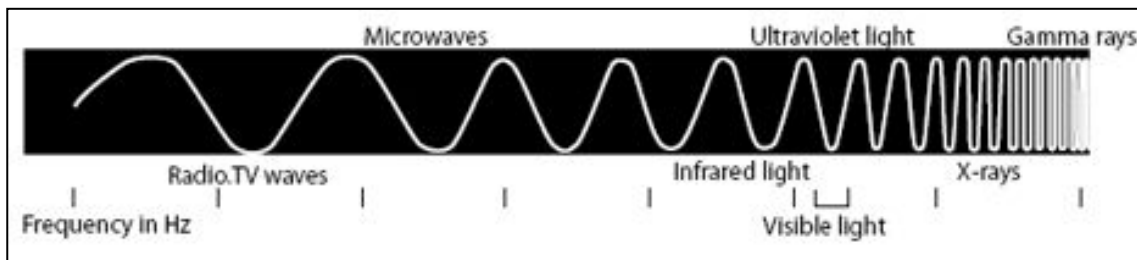
De ruido inesperado a ciencia de precisión

Las microondas que constituyen la radiación de fondo fueron observadas por primera vez en 1964 por Arno Penzias y Robert Wilson (que fueron galardonados con el Premio Nobel de Física por ese descubrimiento) al principio esta radiación fue confundida con un ruido sin importancia (efectivamente, la radiación cósmica de fondo es parte de esa especie de "nieve" que todos recibimos en nuestra televisión si la emisión se interrumpe). La teoría que preveía la existencia de una radiación de fondo había sido desarrollada en la década de los cuarenta por Alpher, Gamow y Herman y su descubrimiento fue una contribución muy importante a la discusión sobre el origen del Universo. Dos teorías cosmológicas competían entonces. Una de ellas suponía que el Universo había sido creado en una gran explosión inicial (el Big Bang) y continuaría expandiéndose; la otra, sin embargo, consideraba que el Universo había existido siempre en un estado inalterable. era la teoría del Universo Estacionario. La teoría del Big Bang predecía la existencia de una radiación de fondo o "eco" de aquella gran explosión. El descubrimiento de esa radiación de fondo por Penzias y Wilson dio una gran credibilidad la teoría.

El cuerpo negro inicial

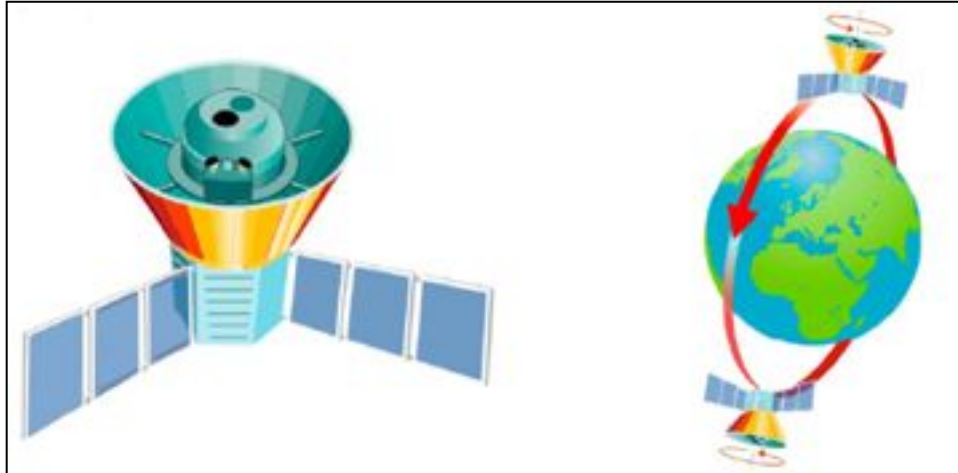
De acuerdo con el Big-Bang nuestro universo evolucionó desde un estado inicial altamente energético. Aunque no podemos decir exactamente en qué consistía este estado inicial parece que inmediatamente después del Big Bang todo estaba ocupado por una radiación increíblemente intensa. La radiación emitida se distribuyó entre las diferentes longitudes de onda de una forma determinada (espectro de la radiación). La forma de esa distribución depende de la temperatura. Si conocemos ese dato (la temperatura) es posible determinar la distribución de la energía según las diferentes longitudes de onda. El término usado para describir esta radiación (en la que existen todas las frecuencias) es *radiación del cuerpo negro*. Espectros de este tipo fueron obtenidos en el laboratorio (el alemán Max Planck recibió el Premio Nobel de Física en 1918 por sus estudios sobre la radiación emitida por el cuerpo negro). Nuestro Sol puede ser considerado como un cuerpo negro, aunque su espectro no es tan perfecto como el de la radiación de fondo.

De acuerdo con la teoría de Big Bang la radiación de fondo se fue enfriando a medida que el universo se expandía, aunque la forma original del espectro se conserva. Cuando la radiación fue emitida la materia original del Universo tenía una temperatura cercana a los 3.000 K. La radiación de fondo que hoy medimos está mucho más fría, actualmente se corresponde con la radiación emitida por un cuerpo a una temperatura de sólo 2,7 K. Esto significa que la longitud de onda de la radiación se ha incrementado (cuanto más baja sea la temperatura, mayor es la longitud de onda). Esta es la razón por la cual la radiación de fondo se encuentra actualmente en la región de microondas (la radiación visible tiene una longitud de onda mucho más corta).



Las primeras medidas de la radiación de fondo fueron realizadas desde las cumbres de las montañas, cohetes de prueba o globos aerostáticos. La atmósfera de la Tierra absorbe una gran cantidad de radiación, por tanto las medidas necesitan ser realizadas a elevadas altitudes. Pero aún a estas alturas sólo una pequeña parte del espectro procedente de la radiación de fondo puede ser medida. Una gran proporción de las longitudes de onda que contiene son tan eficientemente absorbidas por el aire que es necesario realizar las medidas fuera de la atmósfera terrestre. Por tanto, las primeras medidas realizadas desde la Tierra nunca lograron mostrar realmente el espectro de la radiación del cuerpo negro. Esto hacía difícil comprobar si la radiación de fondo era realmente del tipo que predecía la teoría del Big Bang. Además los instrumentos terrestres no podían investigar todas las direcciones del Universo, lo que hacía difícil probar que la radiación medida fuera realmente la radiación de fondo, similar en todas direcciones. Si las medidas se realizaran desde un satélite ambos inconvenientes serían superados, los instrumentos se situarían fuera de la atmósfera y podrían realizarse medidas fácilmente en todas direcciones.

En 1974 la NASA cursó una invitación a los astrónomos y cosmólogos para enviar propuestas para nuevos experimentos espaciales. Fue el inicio del proyecto COBE para explorar la radiación cósmica de fondo. Se formó un gigantesco equipo de 1000 personas (científicos, ingenieros y otros) coordinados por J. Mather.

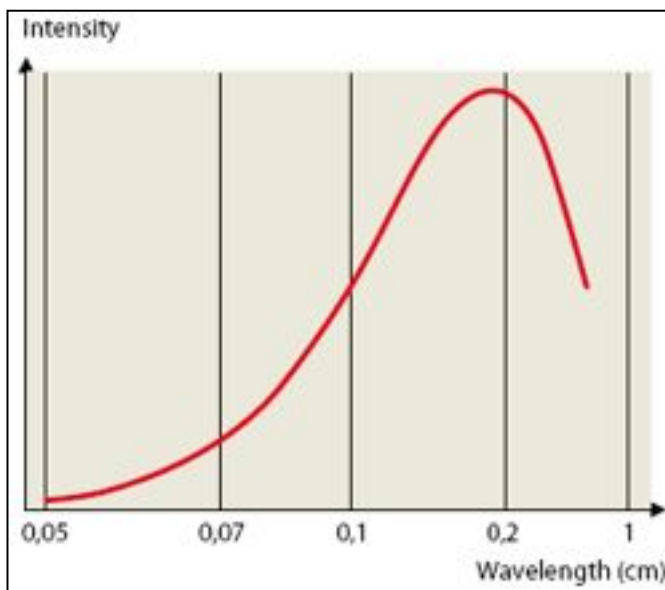


El satélite COBE permitió medir la radiación de fondo en todas direcciones

J. Mather estaba también a cargo de uno de los instrumentos de a bordo, utilizado para investigar el espectro de la radiación de fondo.. George Smoot estaba a cargo de otro instrumento cuya misión era buscar las pequeñas variaciones que la radiación de fondo pudiera presentar en diversas direcciones.

La idea inicial de la NASA era lanzar el COBE mediante una lanzadera, pero después del trágico accidente sufrido en 1986, las operaciones con lanzaderas fueron suspendidas durante varios años. El proyecto COBE estaba en peligro. Hábil negociaciones permitieron finalmente que J. Mather y su equipo dispusieran de un cohete para poner en órbita el COBE que fue lanzado, por fin el 18 de noviembre de 1989.

Los primeros resultados llegaron casi inmediatamente (después de sólo nueve minutos de observaciones) El COBE había logrado captar un perfecto espectro del cuerpo negro. Cuando los resultados fueron mostrados en una conferencia celebrada el 1 de enero de 1990, fueron recibidos con una cerrada ovación. El espectro captado por el COBE resultó ser uno de los espectros de cuerpo negro más perfectos que se pueden obtener.



La distribución de la longitud de onda en las microondas de la radiación de fondo medida por el COBE se corresponde con el espectro de un cuerpo negro. La forma del espectro depende sólo de la temperatura a la que emite el cuerpo. Las longitudes de onda de las microondas son del orden del milímetro y el espectro se corresponde con una temperatura de $2,7^{\circ}\text{K}$.

El nacimiento de las galaxias

Pero esto fue sólo una parte de los resultados del COBE. G. Smoot había sido designado responsable de un experimento con el que se pretendía detectar las pequeñas variaciones del fondo de microondas en diferentes direcciones. Minúsculas variaciones en la temperatura de las microondas en diferentes partes del universo podían suministrar nuevas pistas para saber cómo se formaron las estrellas y las galaxias; por qué la materia se concentró en determinadas regiones del universo en vez de expandirse de una manera uniforme. Las pequeñas variaciones de temperatura podrían mostrar donde la materia comenzó su agregación. Una vez que este proceso se haya iniciado la fuerza de gravedad haría el resto. Se iría agregando más materia conduciendo a la formación de galaxias. Si el proceso no se inicia, ni la Vía Láctea ni el Sol ni la Tierra existirían.

La teoría que trata de explicar cómo se inicia la agregación de la materia está relacionada con fluctuaciones cuánticas en el Universo durante los primeros momentos de la expansión. Idénticas fluctuaciones cuánticas tienen lugar en la constante creación y aniquilación de partículas de materia y antimateria que suceden constantemente en el espacio. Sin embargo este es uno de esos aspectos de la física que no pueden ser entendidos sin recurrir a las matemáticas. Quedémonos, simplemente, con la idea de que las variaciones de temperatura medidas en el Universo actual pueden ser el resultado de tales fluctuaciones cuánticas y, de acuerdo con la teoría del Big Bang, gracias a ellas las estrellas, planetas y finalmente la vida, pudo desarrollarse. Sin ellas la materia seguramente se presentaría de una forma completamente diferente, esparcida uniformemente por todo el Universo.

Materia visible y materia oscura

Cuando los experimentos del COBE fueron ideados se suponía que las variaciones de temperatura de la radiación de fondo necesarias para explicar la aparición de las galaxias debería de ser de unas milésimas de grado. Esto era muy poco, pero aún no había llegado lo peor. Mientras el COBE estaba en construcción, otros investigadores señalaron que la influencia de la llamada *materia oscura* (una gran proporción de la materia del universo no puede ser vista) implicaba que las variaciones de temperatura que podían esperarse serían del orden de cienmilésimas de grado. La materia oscura, efectivamente, juega un papel muy importante en la agregación de la materia lo que significa que las variaciones de temperatura necesarias para explicar el inicio del proceso son todavía mucho más pequeñas de lo que se creía en un principio.

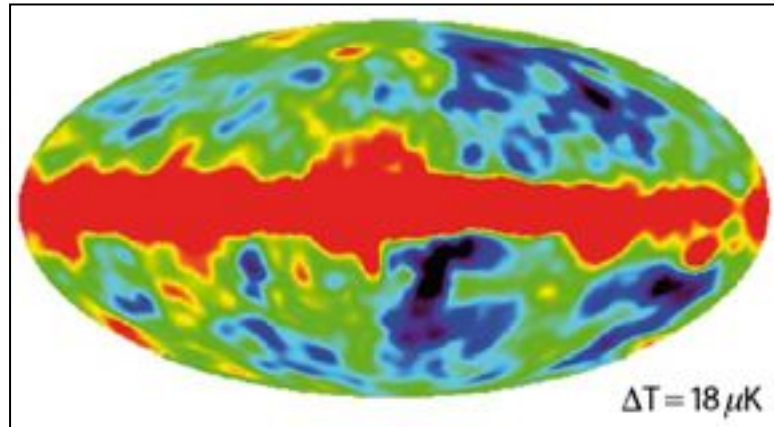
Detectar variaciones de temperatura tan extremadamente pequeñas era todo un desafío. Aunque los instrumentos fueron rediseñados los resultados del COBE resultaron ser mucho más inciertos y difíciles de interpretar que lo esperado. Las variaciones de temperatura fueron tan pequeñas que era muy difícil distinguirlas del *ruido* de fondo ¿cómo saber si eran reales? Cuando los resultados fueron finalmente publicados en 1992 se vio que podían ser correlacionados con los obtenidos desde la Tierra, aunque estos eran bastante más inciertos que los obtenidos por el COBE. Las direcciones del espacio en las cuales el COBE había registrado variaciones de temperatura resultaron ser exactamente las mismas que las que se había encontrado desde la Tierra usando globos aerostáticos.

El 29 de abril de 1992 Stephen Hawking afirmó en una entrevista concedida a The Times que los resultados del COBE eran “el mayor descubrimiento del siglo, sino de todos los tiempos”

La especulación se transforma en precisión.

El satélite COBE recogía la radiación de fondo en seis embudos o conos que barrían constantemente el espacio en todas direcciones. Usando varios conos a la vez, era posible medir en varias direcciones y longitudes de onda simultáneamente, de forma tal que algunas de las perturbaciones podían ser corregidas. Cada cono recogía radiación de una porción de cielo de siete grados de apertura. La temperatura de la radiación para esta sección era comparada con la temperatura del otro cono del par y con la media de la temperatura para todo el cielo. De esta manera fue creado un mapa de la variación de temperaturas del espacio.

Mapa de las variaciones de temperatura medidas por COBE. El color rojo corresponde a las temperaturas altas y el azul a las bajas. Las variaciones son minúsculas, en el rango de una cienmilésima de grado.



Los conos con ángulos más pequeños (que ofrecen mejores resoluciones) han sido utilizados en medidas más recientes como las del WMAP, (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), (llamado así en honor a David Wilkinson, quien fue un importante impulsor de las medidas de la radiación de fondo e inspirador del equipo del COBE)

Comparando la variación de temperatura medida desde diferentes ángulos, fue posible calcular la relación entre la densidad de la materia visible, materia oscura y (combinando otras medidas) la energía oscura del Universo. La palabra “oscuridad” significa que nosotros no podemos ver ni medir este tipo de materia o energía. Por eso la medida de las variaciones de temperatura resultan particularmente importantes ya que ofrecen una oportunidad para determinar indirectamente la densidad de este tipo de materia y energía. Por esto el proyecto COBE puede ser considerado como el punto de partida de la cosmología como una ciencia precisa. Los primeros cálculos cosmológicos (como los relativos a la relación entre materia oscura y la materia ordinaria o materia visible) podrán ser comparados con datos procedentes de medidas reales. Esto hará de la cosmología una verdadera ciencia (y no una especie de especulación filosófica como era en sus inicios).

En este sentido las medidas de COBE y WMAP han sentado las bases para los cálculos relativos a la forma del Universo. La conclusión es que nuestro Universo es euclidiano, esto es, la geometría cotidiana que afirma que dos líneas paralelas nunca se juntan parece que sigue vigente a escala cosmológica. Esto es un resultado interesante, ya que otras geometrías podían ser posibles, aunque desafíen nuestra experiencia cotidiana. La hipótesis de que el universo se expandió muy rápidamente al comienzo también podía ser comprobada (como otras muchas) usando las nuevas medidas. El experimento de COBE ha abierto nuevas áreas de investigación en cosmología y física de partículas.

Las nuevas medidas cosmológicas apuntan a un mejor conocimiento de lo que sucedió los momentos anteriores a que la radiación de fondo fuera emitida. El estudio de las microondas más detalladamente se espera que aporte nuevas respuestas. En física de partículas el objetivo es comprender qué es lo que constituye la materia oscura. Esta es una de las tareas del nuevo acelerador LHC (Large Hadron Collider) que pronto estará en funcionamiento en el CERN, el centro europeo de investigación nuclear.

Enlaces y lecturas

The Academy's website, www.kva.se, and <http://nobelprize.org> have more information on this year's Prizes, including a web-TV broadcast of the press conference and advanced information mainly intended for the research community.

Scientific articles:

J. Mather et al. 1990 *Astrophys. J (Letter)* 354, 37

G. Smoot et al. 1992 *Astrophys. J (Letter)* 396,1

R.W. Wilson, 1978 *The Cosmic Microwave Background Radiation*, Les Prix Nobel, p. 113

Books:

Mather, J.C. and Boslough, J. 1996: the very first light (BasicBooks 1996)
Smoot, G. and Davidson, K. 1993: Wrinkles in Time (Little, Brown and Company, London 1993)
Weinberg, S. 1993: The First Three Minutes, 2nd edition (BasicBooks 1988&1993)

Link:

Presentation of COBE project at the NASA web site:

<http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/>

John C. Mather

Astrophysics Science Division
NASA Goddard Space Flight
Center
Code 665, Observational Cosmology
Greenbelt, MD 20771,
USA

[http://universe.gsfc.nasa.gov/staff/
CVs/John.Mather/](http://universe.gsfc.nasa.gov/staff/CVs/John.Mather/)

US citizen. Born 1946 (60). PhD in
physics in 1974 from the University
of California at Berkeley,
CA, USA. Senior Astrophysicist
at NASA's Goddard Space Flight
Center, Greenbelt, MD, USA.

George F. Smoot

Lawrence Berkeley National Laboratory,
1 Cyclotron Road,
Berkeley, CA 94720
USA

<http://aether.lbl.gov/>

US citizen. Born 1945 (61) in
Yukon, FL, USA. PhD in Physics in
1970 from MIT, Cambridge, MA,
USA. Professor of Physics at the
University of California, Berkeley,
CA, USA.