

Los fondos cósmicos del Universo

Juan Francisco González Hernández*
Artículo presentado al concurso CPAN 2022

Resumen

Se presenta una visión divulgativa del fondo cósmico de microondas (fotones), neutrinos y de gravitones, así como una especulación sobre otros fondos cósmicos posibles. Se indica su relevancia en Física, Astrofísica y Cosmología desde un punto de vista físico y matemático intuitivo simplificado.

1 Introducción

La Astrofísica y la Cosmología de la teoría del Big Bang [1, 2, 3] predice la existencia de partículas fundamentales creadas en el Universo temprano que han llegado hasta nuestros días. Un ejemplo dramático es el fondo cósmico de microondas (FCM¹). La creación del FCM es debida, como es sabido, a la creación de los primeros átomos (fundamentalmente hidrógeno), cuando el Universo primigenio alcanzó unos 380000 años de edad al enfriarse desde la singularidad inicial en el tiempo de Planck. Mucho se ignora aún de lo que pasó antes de la formación del CMB, aunque sabemos ciertamente que el Universo era muy caliente, y tuvieron que formarse los núcleos de los átomos más ligeros, hadronizar los protones y neutrones a partir de los quarks, y también en algún punto producirse la ruptura de simetría electrodébil, la selección del vacío actual (desconocemos si es el verdadero vacío o simplemente es uno metaestable) del campo de Higgs que permea todo el Universo, y posiblemente sufrir el Universo un período de inflación cósmica después del tiempo de Planck, o de otro modo el Universo que observamos difícilmente podría haberse formado con la estructura y homogeneidad actuales.

2 El fondo cósmico de microondas

La existencia del FCM está firmemente establecida. Desde su descubrimiento por Penzias y Wilson, y su observación satelital original por el satélite COBE (COsmic Background Explorer), tanto WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, NASA) como Planck (ESA) han realizado no solamente mapas con una precisión sin precedente del CMB, y su temperatura de fotones [1] (actualmente $T_{FCM} = T_\gamma = 2.7255 K$), sino también de sus anisotropías [2]. La imagen más precisa del FCM actualmente es la que nos ha dado la misión y colaboración Planck [3]. El FCM corresponde esencialmente a la radiación electromagnética de un cuerpo negro, que debido al enorme lapso de tiempo desde su creación se mide hoy día en la región de microondas del espectro, por lo que resulta invisible a simple vista. Sin embargo, matemáticas elementales nos muestran que la densidad de energía y de número de fotones a una temperatura T_γ de un cuerpo negro son, respectivamente (se deja como ejercicio para el lector hallar sus valores para el FCM observado):

$$u_\gamma = \frac{U}{V} = \frac{\pi^2 k_B^4 T_\gamma^4}{15 \hbar^3 c^3} \quad n_\gamma = \frac{N}{V} = \frac{2\zeta(3) k_B^3 T^3}{\pi^2 \hbar^3 c^3} \quad (1)$$

*e-mail: jfgh.teorfizikisto@gmail.com; hypertwistor@gmail.com; juanfrancisco.gonzalez1@educa.madrid.org

¹También llamado CMB, por Cosmic Microwave Background, de sus siglas en inglés.

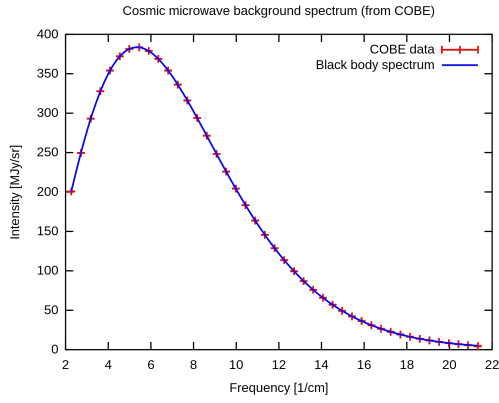


Figura 1: Espectro del FCM captado por el satélite COBE. Corresponde al espectro de un cuerpo negro caliente con una temperatura de unos 3 K.

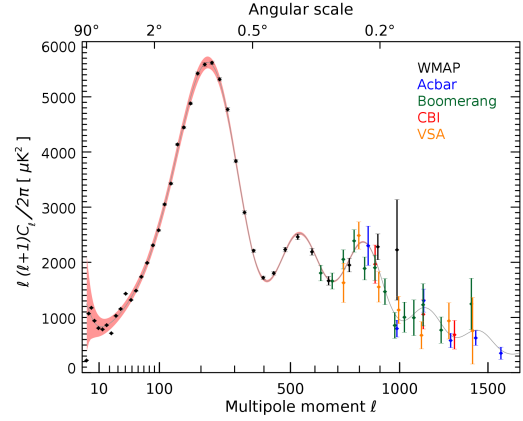


Figura 2: Anisotropías del espectro de potencias del FCM.

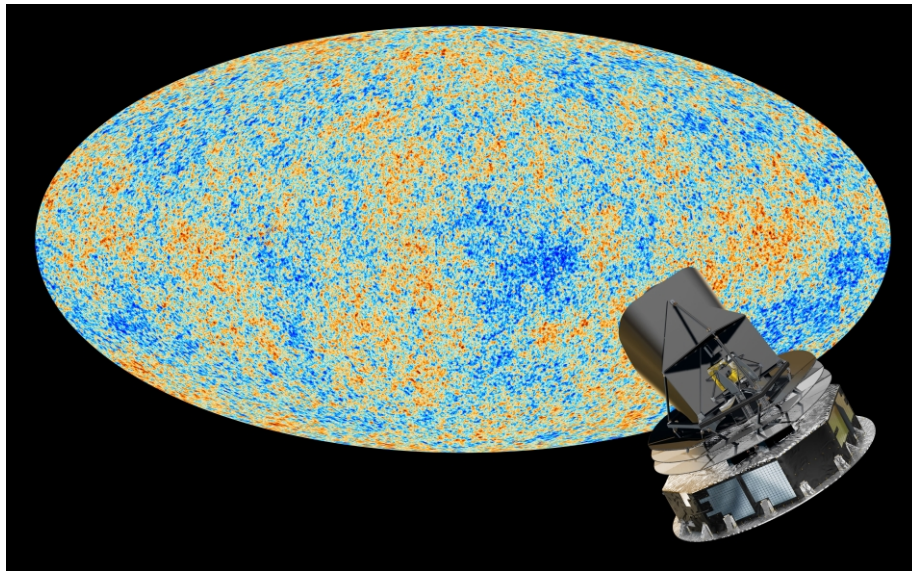


Figura 3: El mapa del FCM ó CMB más preciso es de la misión Planck (ESA).

3 El fondo cósmico de neutrinos

Un resultado menos conocido por el ciudadano es la existencia de los neutrinos como partículas subatómicas, y también el hecho de que el Big Bang predice que los neutrinos se “desacoplaron” del plasma primordial mucho antes que los fotones del FCM. Los neutrinos surcan libremente el Universo desde aproximadamente el primer segundo de la creación del mismo (¡!). Uno esperaría que los neutrinos procedentes del primer segundo del Universo también estuvieran espectralmente separados y distribuidos en todas las frecuencias (aunque con una distribución de Fermi-Dirac, en vez de Bose-Einstein), produciéndose un fondo cósmico de neutrinos según la temperatura. El modelo del Big Bang predice que la temperatura de estos neutrinos cósmicos está relacionada con la del FCM de una forma simple, mediante la siguiente ecuación:

$$T_{0,\nu} = \left(\frac{4}{11}\right)^{1/3} T_{0,\gamma} \approx 1.95 K \quad (2)$$

La deducción de esta ecuación implica (véase e.g., [1, 2]), que el fondo cósmico de neutrinos es de menor temperatura que el de fotones y asume solamente que los neutrinos son partículas del Modelo Estándar, y dado que los neutrinos interactúan mucho más débilmente que los fotones, el Fondo

Cósmico de Neutrinos (FCN ó CNB²). Es de destacar que si los neutrinos tuvieran grados de libertad adicionales, la temperatura del FCN sería inferior al valor anterior.

4 El fondo cósmico de gravitones y más allá

Conocer mejor el FCM (por ejemplo midiendo la polarización de los fotones del mismo), y medir el FCN (sigue sin detectarse) os ayudaría a entender el origen, formación y futuro de nuestro Universo. Pero se puede ir más allá, y preguntarse por el fondo cósmico de otros campos y partículas. ¿Y los rayos cósmicos? ¿Los rayos gamma? ¿Quizás en el futuro el fondo cósmico de las partículas de materia oscura o los axiones? Sin embargo, pese a la inexistencia de una teoría cuántica de la gravitación, la propia teoría del Big Bang es tan poderosa que permite deducir, asumiendo que los grados de libertad y partículas sean solamente del Modelo Estándar de la Física de partículas elementales, la temperatura de un fondo cósmico de gravitones (FCG) cósmicos o reliquia procedentes del tiempo de Planck mismo, cuando la gravedad se desacopló del resto de interacciones fundamentales. La temperatura de este fondo cósmico seguiría también una distribución de Bose-Einstein, y se relacionaría con la temperatura del FCM como sigue (véase [2] y [4] para más detalles):

$$T_{0,g} = \left(\frac{g_S(T_0)}{g_S(T_P) - 2} \right)^{1/3} T_{0,\gamma} \approx 0.9 K \quad (3)$$

y donde $g_S(T_0) = 3.91$ es el número efectivo de grados de libertad en la época actual excluyendo gravitones, y $g_S(T_P)$ es el número efectivo de grados de libertad previo al desacoplo de los gravitones a la temperatura de Planck. De nuevo, asumiendo solamente el Modelo Estándar, podemos suponer que $g_S(T_P) = 106.76$. Esta derivación depende fundamentalmente del Modelo Estándar, otros modelos producirían temperaturas inferiores a la estimada arriba. E incluso, uno podría o debería esperar un fondo cósmico de estas partículas, fuera más o menos difícil su detección.

5 Conclusión y futuro

La Teoría del Big Bang y la Cosmología predicen la existencia de una serie de fondos cósmicos de partículas (FCM, FCN, FCG) de temperaturas $3 K, 2 K, 1 K$, en una suerte de regla de la cuenta atrás 3,2,1...¡Kaboom! Es de esperar que si la Naturaleza posee campos y partículas adicionales a aquellas del Modelo Estándar, existan otros fondos cósmicos (de axiones y otras partículas de materia oscura, por ejemplo). También, se podría y debería estudiar el fondo cósmico de ondas gravitacionales según las frecuencias, y ese mapa de ondas gravitacionales (no confundir con el fondo cósmico de neutrinos) proporcionaría aún información valiosa sobre ciertas etapas del Universo para las cuales la visión con ondas electromagnéticas (microondas o no) sería imposible. En síntesis, tenemos mucho que aprender todavía de la radiación de fondo cósmica de una multitud de partículas. Los neutrinos o gravitones son 2 de las que esperamos observar fondos cósmicos, pero sin duda será mucho más emocionante encontrar y medir fondos cósmicos de nuevos campos y partículas que hallemos en el futuro.

Referencias

- [1] *Astrophysics for Physicists*. Arnab Rai Choudhuri. Cambridge University Press.
- [2] *Cosmology*, Steven Weinberg. Oxford University Press.
- [3] *Lectures on Astrophysics*. Steven Weinberg. Cambridge University Press.
- [4] *The challenge of ruling out inflation via the primordial graviton background*, Sunny Vagnozzi and Abraham Loeb. ArXiv: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.14088>

²De Cosmic Neutrino Background, en inglés, aunque también se usan las siglas $C\nu B$.