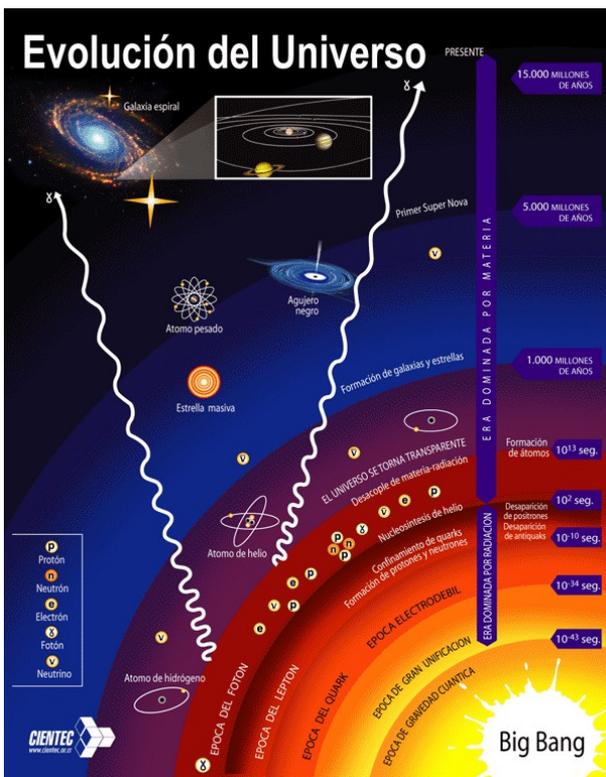


CAPÍTULO 4: Cosmología

“Por cada mil millones de partículas de anti-materia que existieron había mil millones y una partícula de materia. Y cuando la aniquilación mutua terminó sólo un mil millonésimo sobrevivió, y ése es nuestro universo actual”
Albert Einstein (1879 – 1955)

4.1 ORIGEN DEL UNIVERSO



Créditos: Fundación Cientec - ISSN: 1659-0740

La teoría más aceptada de formación y evolución del Universo es la del 'Big Bang' o 'la gran explosión'. Esta teoría ha sido corroborada por muchas evidencias observacionales a lo largo de los años.

De acuerdo con esta teoría, en sus primeros momentos de existencia, el universo pasó por una explosión enorme seguido por una etapa llamada inflación en donde el universo sufrió una expansión casi instantánea, creciendo más de billones de billones de veces en menos de una billonésima de segundo. Pequeñas fluctuaciones/aglomeraciones se generaron durante esa expansión y continuaron creciendo a un ritmo más moderado desde entonces para formar las galaxias que conocemos. Los fotones de las galaxias distantes que nos llegan hoy han viajado a través del espacio a la velocidad de la luz durante miles de millones de años, pero ninguno de ellos por más de 13.800 millones de años - la

mejor estimación de la edad del Universo. Esto nos dice que hay un límite en el universo que podemos observar. Si tenemos en cuenta que el universo se ha estado expandiendo mientras que los fotones estaban en camino, la distancia hasta el objeto más lejano visible (lo llamamos el horizonte de partículas) es ahora aproximadamente 46 mil millones de años luz.

Pero eso no quiere decir que no haya nada más allá del límite del Universo observable. Cuando estudiamos la expansión remontándonos a la época antes de la inflación, todo lo que podemos ver hoy en día habría encajado dentro de una esfera de 10^{-27} (27 ceros delante del 1) metros de ancho, más pequeña que cualquier partícula elemental conocida. Sin embargo, es concebible que hubiera algo afuera de esa burbuja pequeña y que la inflación expandió ese espacio también. Todo ese espacio habría terminado fuera del horizonte de partículas de nuestro universo observable. No podemos ver los fotones de esos objetos porque no han tenido tiempo para llegar hasta nosotros todavía. En función de lo rápido que el Universo se expanda, estas áreas puede, con el tiempo, que se encuentren en el interior del horizonte y lleguen a ser observables (no

pasará si el Universo estuviera dominado por la constante cosmológica - la energía oscura - lo cual se espera que suceda en un futuro lejano).

La primera evidencia a favor de la teoría del Big Bang vino con la observación del corrimiento al rojo en los espectros de las galaxias. No sólo las galaxias se mueven a través del espacio, sino que el espacio entre ellas se expande, es decir que todos los objetos se alejan. A través de los espectros se puede medir la velocidad con la que se alejan las galaxias. De la observación de un Universo en expansión se deduce que, dando marcha atrás al tiempo, hubo un principio en el que se produjo la explosión, dando origen al espacio y al tiempo tal como lo conocemos. Pero la evidencia más fuerte a favor de la teoría del Big Bang es la detección de la llamada "radiación cósmica de fondo de microondas": es posible detectar hoy en día los primeros momentos en los que la luz empezó a viajar por el universo después de la gran explosión. Esta radiación, que ya había sido predicha dentro de la teoría del Big Bang, fue detectada por primera vez en 1964 por Penzias & Williams utilizando un radiotelescopio, lo que les valió un premio Nobel en 1978. La radiación de fondo proviene desde todas las direcciones y hoy es muy fría, sólo 2,7°K, ya que lleva viajando unos 13800 millones de años, partió cuando el universo sólo tenía unos 380 mil años y estaba a unos 3000°K.

Matemáticamente, esta teoría de Universo puede describirse a través de las ecuaciones de la teoría de la relatividad de Einstein. Una de las soluciones de estas ecuaciones fue dada por Friedman, en la cual se asume que el Universo en gran escala es homogéneo e isótropo.

4.2 PRINCIPIO COSMOLÓGICO: El Universo, ¿es igual en todas partes?

Si hubiéramos vivido en la Edad Media, hubiéramos estado convencidos de que la Tierra era el centro del Universo, de que todos los cuerpos celestes estaban puestos en esferas de cristal que rotaban lentamente a su alrededor, y de que los astros y constelaciones tenían alguna influencia sobre la vida en la Tierra. Obviamente, en ese pensamiento, la Tierra estaba claramente en una posición privilegiada, el Universo era relativamente pequeño y tenía un centro, por lo que la respuesta a la pregunta "¿es el Universo el mismo en todas partes?" sería "no".

Nicolás Copérnico, astrónomo polaco del siglo 16, fue el primero en ser tenido en cuenta al proponer un modelo del Sistema Solar con el Sol en el centro, y la Tierra sólo un planeta que gira alrededor de él (Aristarco de Samos ya lo había propuesto en el siglo 2 a.C, pero había sido ignorado). Este nuevo punto de vista despojó a la Tierra de su posición privilegiada y tuvo profundas implicaciones para nuestra comprensión del Universo. Hoy llamamos a este concepto el "principio copernicano".

El Sol no se quedó el centro del Universo por mucho tiempo. Otro filósofo del siglo 16, Giordano Bruno, fue el primero en proponer que el Sol sólo se trataba de otra estrella, como las miles visibles en el cielo nocturno. Él fue quemado vivo por hereje (los antiguos filósofos griegos también habían propuesto ese punto de vista, pero no tuvieron éxito).

Aunque la Vía Láctea se observó desde los tiempos antiguos, la comprensión de la misma como una de muchas galaxias en el Universo no se desarrolló hasta el siglo 18. Thomas Wright, en 1750, fue el primero en especular que la Vía Láctea era un disco plano de estrellas, y que las otras nebulosas visibles en el cielo podían ser otros discos ubicados a otras distancias. Este punto

de vista no se demostró de manera concluyente hasta 1920, cuando las distancias a la "nebulosa" de Andrómeda y otras galaxias se midieron.

Con la Tierra degradada al papel de un planeta que gira alrededor de una estrella entre los miles de millones de estrellas en una galaxia entre miles de millones de galaxias, los filósofos y los científicos empezaron a hacerse otra pregunta: ¿Existen lugares "especiales" en el universo, o es todo el mismo sin importar dónde te encuentres y en qué dirección mires? Los esfuerzos para responder a esta pregunta dieron lugar al principio cosmológico.

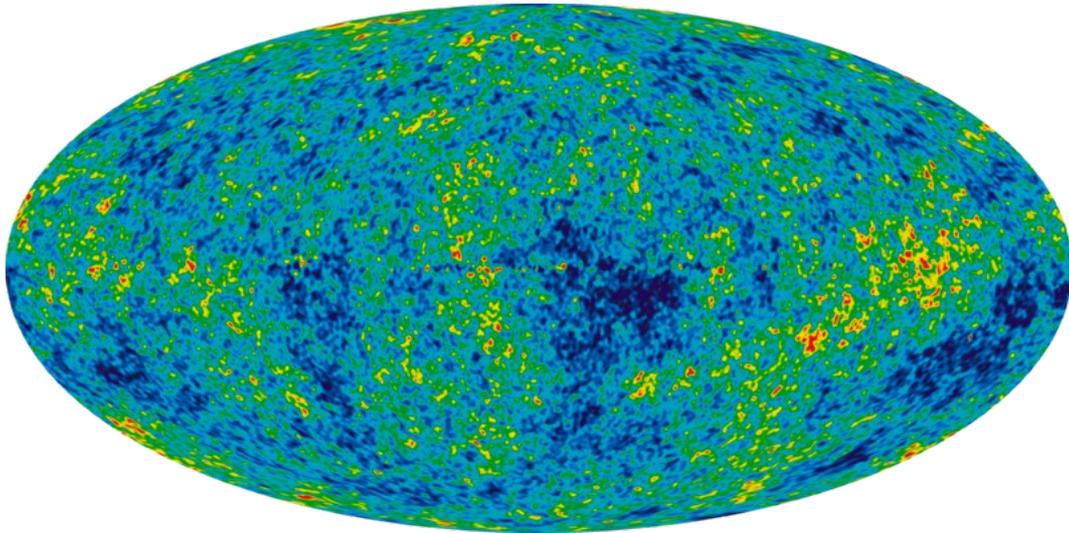
El principio cosmológico es una hipótesis de trabajo, que afirma que el Universo tiene las mismas propiedades físicas para todos los observadores, independientemente de su ubicación (es homogéneo) e independientemente de la dirección en la que está mirando (es isotrópico). No hay lugares o direcciones especiales en el Universo. En particular, no tiene "centro".

El principio cosmológico no se aplica a las diferentes estructuras del Universo. Es evidente que el centro del Sol es muy diferente de la superficie de la Luna o cualquier porción del espacio interestelar vacío. Lo que significa es que las leyes de la física son las mismas en todas partes. Los electrones tienen la misma carga, las fuerzas fundamentales tienen la misma intensidad, las fórmulas que usamos en la Tierra son igualmente válidas en una galaxia lejana, etc. El principio cosmológico hace que sea posible que podamos investigar y entender los confines del Universo al aplicar lo que conocemos acerca de nuestro vecindario inmediato.

4.3 FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS Y COMPOSICIÓN DEL UNIVERSO:

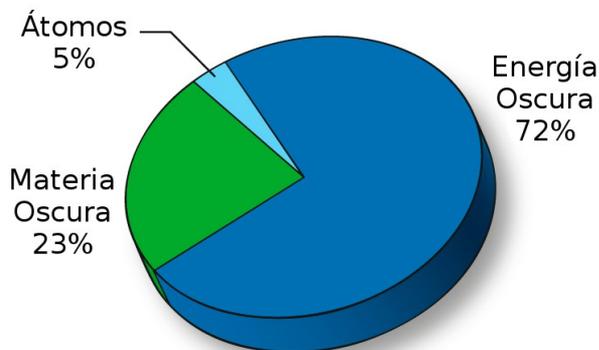
Todas las estructuras que conocemos en el Universo se forman debido a la fuerza de la gravedad: las partículas son atraídas hacia regiones con mayor cantidad de materia, y por lo tanto mayor atracción gravitatoria.

Pero si el Universo originalmente era homogéneo, ¿cómo pudieron haberse formado las estructuras? Esta pregunta fue respondida en la década de los 90 cuando se empezaron a medir las fluctuaciones en la temperatura de la radiación del fondo de microondas. Esta radiación es la primera luz que viajó libremente por el Universo empezando su viaje cuando la materia y la radiación se separaron. Debido a que originalmente en el universo, la materia y la radiación estaban acopladas, al momento de la separación las fluctuaciones en temperatura eran un reflejo de las fluctuaciones en densidad. La temperatura de esa radiación es realmente baja (unos 2,7°K), proviene de todas las direcciones del cielo, y en primera aproximación podemos decir que es homogénea. Sin embargo, cuando se analiza con instrumentos de altísima precisión se puede ver que existen fluctuaciones en la temperatura del fondo, con zonas con temperaturas un poco más altas que otras. En esas regiones con mayor temperatura (=mayor densidad) es en donde, debido a la atracción gravitatoria, se empiezan a formar las estructuras que hoy conocemos.



Radiación cósmica del fondo de microondas - Créditos: NASA/WMAP 9

En la imagen de arriba se muestra el mapa de temperaturas de la radiación cósmica de fondo obtenida por el satélite WMAP. Las zonas rojas son regiones más calientes, y las azules las más frías. La diferencia en temperaturas entre esas dos regiones es de sólo 0.0002°K , pero esa pequeña diferencia es suficiente como para dar lugar a la formación de todo el Universo conocido. Las primeras estructuras en el Universo eran pequeñas. Las estructuras más grandes se fueron formando después a partir de la fusión de esos objetos primitivos pequeños. Se conoce como “aglomeración jerárquica” al proceso por el cual las estructuras más grandes se forman a partir de la continua fusión de las estructuras más pequeñas. Las estructuras que observamos hoy en el universo (galaxias, grupos de galaxias, filamentos, vacíos) se han formado de esta manera de acuerdo con la cosmología de materia oscura fría.



Datos de WMAP 9

Todo lo que observamos en el Universo es llamado “materia bariónica”. Lo que vemos de las galaxias, las estrellas, los planetas, los átomos, todo lo que conocemos en nuestra vida diaria, forman parte del material bariónico. Este material representa menos del 5% del contenido material total del universo. Un 23% del total está formado por lo que se conoce como “materia oscura”. Esta materia no emite luz, pero es detectada de manera indirecta a partir de los efectos gravitacionales que ejerce sobre la materia

visible. Las primeras evidencias de la existencia de esta materia salieron de los estudios de las curvas de rotación de las galaxias espirales (hace falta más materia de la que se ve para mantener la velocidad de rotación que se observa en las estrellas de las regiones exteriores de ese tipo de galaxias); otra evidencia irrefutable son las conocidas como lentes gravitacionales, principalmente alrededor de cúmulos de galaxias (ver imagen del cúmulo Abel 2744 en el capítulo 3 – sección 3: las imágenes azuladas, un poco distorsionadas, son galaxias que se ubican justo detrás del cúmulo, son visibles desde nuestra posición sólo porque la cantidad de materia contenida en el cúmulo hace que el espacio se curve, por lo que la luz que viene desde esas galaxias de fondo en lugar de seguir una línea recta sigue la forma del espacio curvo rodeando al cúmulo- como una comba. La cantidad de materia visible en ese cúmulo no sería suficiente para

producir ese efecto en el espacio, por lo que de allí se infiere la presencia de materia oscura). De qué está compuesta la materia oscura es todavía un tema de investigación actual. Los modelos más aceptados predicen que está formada por partículas muy masivas, frías (es decir que se mueven a velocidades muy por debajo de la velocidad de la luz). Uno de los principales candidatos son los conocidos como WIMPs (weakly interacting massive particles: partículas masivas que interactúan débilmente). Los grandes aceleradores de partículas intentan producir este tipo de partículas y detectarlas con instrumentos muy sensibles.

El restante 72% del contenido material del universo está formado por la “energía oscura”. Es ésta la responsable de la expansión acelerada del Universo, se la puede pensar de alguna manera como una “anti-gravedad”. El descubrimiento de que el universo no sólo se expande sino que lo hace de forma acelerada (y que por lo tanto es necesaria la existencia de la energía oscura para que ello suceda) fue realizado entre 1994 y 1998 por 3 astrónomos, Perlmutter-Schmidt-Riess, lo que les valió el premio nobel de Física en 2011. Al igual que la materia oscura, no puede ser detectada directamente sino de manera indirecta, por ejemplo a través del estudio de supernovas.

Referencias:

http://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb_cosmo_fluct.html

<http://map.gsfc.nasa.gov/news/>

<http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/>

<http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/C/Cosmic+Microwave+Background>

Tamaño y centro del universo: www.youtube.com/watch?v=5NU2t5zlxQQ

Actividades:

<http://sac.csic.es/astrosecundaria/libro/talleres/T8%20Expansion%20del%20Universo%20final%20bis.pdf>