



# Origen, evolución y posible destino del Universo, II

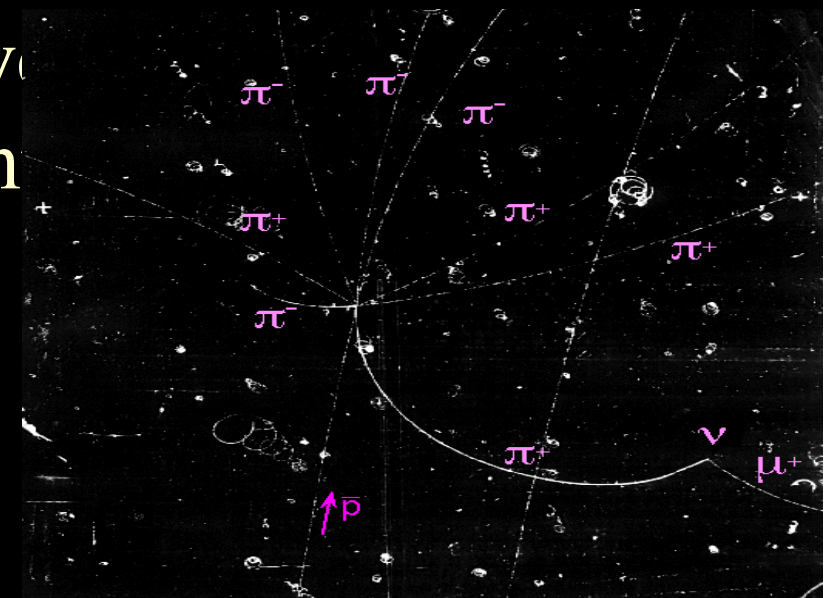
Prof. Alejandro García  
Universidad de los Andes  
20/02/2010



# Sopa de Quarks

# *Sopa de Quarks*

Después de la inflación, el Universo era una sopa de partículas fundamentales llamadas quarks, gluones, leptones y fotones, todas chocando entre sí a enormes velocidades decayendo y reaccionando continuamente con otras.



# *Sopa de Quarks*

A medida que descendía la temperatura los quarks se unieron entre sí para formar los primeros bariones y antibariones, que eran principalmente protones, neutrones y sus antipartículas.



PROTON



MESON  $\pi$

## *Sopa de Quarks*




Con el descenso de la temperatura, la antimateria iba desapareciendo pues se aniquilaba con su partícula correspondiente. Luego de esto quedó un pequeño excedente de materia . Todo lo que vemos en el Universo actualmente está hecho de ese excedente.

# *Sopa de Quarks*



Se calcula que por cada partícula de materia que sobrevivió hasta ahora se aniquilaron unas 100,000,000 de partículas y antipartículas. Todo esto sucedió antes de un segundo de existencia. Luego de esto los constituyentes principales del Universo fueron: protones, neutrones, electrones, neutrinos, antineutrinos y fotones.



Durante el BIG-BANG las reacciones nucleares convirtieron el 20% del hidrógeno en helio, y las primeras estrellas se formaron por mezcla de 80% de hidrógeno con 20% de helio. El resto de la materia del Universo incluyendo átomos más pesados, carbono y oxígeno, fue consecuencia de reacciones nucleares posteriores.

## *Formación de Helio*

Los protones y neutrones chocaban entre sí formando un núcleo de deuterio. Este a su vez chocaba con otros protones y neutrones formando después de varias reacciones, los núcleos de Helio.

## *Formación de Helio*

Esto ocurre a tres minutos de existencia del Universo cuando la temperatura alcanza los 100,000,000 grados Kelvin. Estos núcleos no volvieron a destruirse y fijaron la composición química posterior del Universo, a saber de aproximadamente un 75% de Hidrógeno, un 25% de Helio y apenas una traza de otros elementos.

Los otros elementos químicos se formaron en el interior de las estrellas y se diseminaron posteriormente por el espacio cósmico.

# EVIDENCIA EXPERIMENTAL DEL BIG BANG



¿ **Cómo sabemos que la teoría del Big Bang es correcta?**

Una buena teoría debe hacer predicciones. Cuando las predicciones se pueden comprobar experimentalmente la teoría gana peso. Veamos la evidencia:

## Tabla de consistencia del Big Bang.

Se enumeran las predicciones de la teoría y los hechos que se deberían cumplir para que la teoría sea auto-consistente. Al lado se anota la evidencia experimental correspondiente. Bajo la columna de probabilidad (prob) se le asigna a cada predicción un puntaje que básicamente designa la probabilidad de que la predicción haya quedado probada. Este puntaje no es riguroso, es propuesto por el autor y se basa solamente en su experiencia en el tema y por lo que se refleja en trabajos de otros investigadores del tema.

Predicción	Confirmación	Prob
1. <u>Expansión del espacio</u> por A. Friedmann en 1922 y G. Lemaître en 1930	<u>Observada</u> por E. Hubble en 1929 demostrando la relación entre velocidad y distancia de galaxias lejanas. La velocidad de expansión determinada por el Telescopio Espacial Hubble y consistente con el valor medido por WMAP es de 70.8 Km/seg Mpc	100

2. Edad finita del universo por A. Friedmann en 1922 y G. Lemaître en 1930

13.700 millones de años con un error del 1%, medida por WMAP y consistente con las edades de las estrellas más viejas y las mediciones de la edad del universo realizadas por el Telescopio Espacial Hubble

100

<p>3. El universo fue más caliente y denso en el pasado. G. Gamow, 1946.</p>	<p>La temperatura de la CMB se determinó en 2.725 K. Esta temperatura se asocia a una radiación de cuerpo negro con su máximo de emisión a una longitud de onda de 1.9 mm</p>	<p>100</p>
<p>4. <u>Composición de elementos primordiales</u> por G. Gamow en 1946</p>	<p>75% hidrógeno, 25% helio y una pequeña fracción de deuterio (ver siguiente punto) y litio medidos en espectros estelares</p>	<p>95</p>

5. Presencia de deuterio en el universo

Observando líneas de absorción de la luz de quasars lejanos por gas intergaláctico se ha determinado una abundancia universal de deuterio de  $2 \times 10^{-4}$  relativa al hidrógeno. El deuterio no puede originarse en las estrellas, el Big Bang es el único mecanismo existente para crear este deuterio.

90

6. Radiación Cósmica de Fondo (CMB) por G. Gamow, R. Alpher y R. Herman en 1948 y R. Dicke y J. Peebles en 1965.

Detectada por A. Penzias y R. Wilson en 1964. Firmemente establecido su origen cosmológico y estudiada en gran detalle por decenas de experimentos en tierra, globos y plataformas satelitales.

100

<p>7. <u>Espectro térmico del CMB</u> por G. Gamow, R. Alpher y R. Herman en 1948</p>	<p>Distribución espectral de cuerpo negro con desviaciones no mayores que 0.01% y con temperatura de <math>2,725 \pm 0,002</math> Kelvin medido por los proyectos <u>COBE</u> y WMAP en 2006</p>	<p>100</p>
<p>8. <u>Anisotropías</u> en el CMB a escalas mayores que 1 grado. Sachs y Wolfe 1967.</p>	<p>Detectadas por el <u>proyecto COBE</u> en 1992 con una amplitud característica <math>\Delta T/T = 10^{-5}</math>.</p>	<p>90</p>

<p>9. <u>Ondas acústicas</u> en el plasma primordial, por R. A. Sunyaev y Y. B. Zeldovich en 1970.</p>	<p>Detectadas por el <u>experimento Boomerang</u> en el 2000 y confirmada por <u>WMAP</u> y decenas más de experimentos observando desde la tierra y montados en globos.</p>	<p>90</p>
<p>10. <u>Polarización</u> del CMB</p>	<p>Detectada por el experimento <u>DASI</u> en el 2002</p>	<p>60</p>
<p>11. Anti-correlación de la temperatura y la polarización del CMB</p>	<p>Detectada por WMAP en el 2003</p>	<p>70</p>

<p>12. Coherencia de la polarización del CMB a escalas angulares <math>&gt; 1^\circ</math></p>	<p>Observada por WMAP en el 2003</p>	<p>60</p>
<p>13. Interacción del CMB con nubes de gas en cúmulos galácticos. R. A. Sunyaev y Y. B. Zeldovich en 1969.</p>	<p>Observado por Birkinshaw et. al. 1981 midiendo deformaciones del espectro del CMB en direcciones de cúmulos conocidos.</p>	<p>70</p>

14. Formación de estructura a gran escala a partir de inhomogeneidades en densidad del plasma primordial, estudiada por E. Lifshitz en 1946, y J. Silk en 1967.

La concentración de materia en galaxias y cúmulos de galaxias ha sido medida por medio de observaciones profundas del cielo. Estas mediciones son compatibles con la amplitud de las perturbaciones en el plasma a una edad de 380 mil años, según se infieren de las mediciones de anisotropías en el CMB

80

15. Número de familias de neutrinos por G. Steigman, D. Schram y J. Gunn en 1977

Solo 3 familias. Confirmado por experimentos en el acelerador de partículas del CERN midiendo la vida media del bosón intermedio  $Z^0$  y consistente con la nucleosíntesis en el Big Bang (ver puntos 4 y 5).

80

<p>16. El universo es finito (H. Olbers, 1823)</p>	<p>La noche es oscura. El universo no puede ser infinito en extensión, de lo contrario en cualquier dirección de observación del cielo nos encontraríamos con una estrella y la noche sería tan brillante como el día.</p>	<p>90</p>
<p>17. Debe existir materia oscura no bariónica.</p>	<p>Al momento no ha habido detección exitosa de materia oscura no bariónica que satisfaga los requerimientos de la teoría. Los neutrinos quedan descartados por ser relativistas y tener una masa muy pequeña. La única evidencia favorable viene de la dinámica de galaxias y cúmulos galácticos.</p>	<p>40</p>

18. Debe existir un fondo cosmológico de neutrinos

Aún no detectado debido a la insuficiente sensibilidad de los detectores disponibles y a los altos niveles de ruido producido por rayos cósmicos y radioactividad natural en el ambiente.

0

19. Debe existir un fondo cosmológico de ondas gravitacionales

Aún no detectado, y posiblemente no se podrá detectar directamente debido a su baja intensidad. Esta predicción es específica del modelo inflacionario.

0