

El origen del Universo: Del Big Bang hasta nuestros días

Ángel Serrano Sánchez de León
Universidad de Mayores URJC
<http://www.tallerdeastronomia.es/>

Introducción

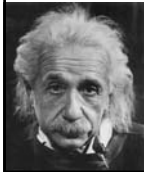
- Desde siempre el hombre ha sentido fascinación por el Universo.
- Para comprenderlo, ha construido innumerables modelos, de los que surgen preguntas:
 - ¿Es de extensión finita o infinita?
 - ¿Ha existido siempre o tiene un origen en el tiempo?
 - ¿Evoluciona o permanece inmutable?
- Hoy día aplicamos las leyes de la Física para intentar responder estos interrogantes.



Cosmología moderna



- En 1916 Einstein publica la Teoría de la Relatividad General, que unifica el Espacio y el Tiempo y permite el estudio del origen y evolución del Universo.
- Hipótesis iniciales:
 - Las leyes de la Física son universales (tanto en el tiempo como en el espacio).
 - El Universo es isótropo: todas las direcciones de observación son equivalentes.
 - El Universo es homogéneo: todas las posiciones de observación son equivalentes.



(Principio Cosmológico)



El Universo parece estático



- Las ecuaciones de Einstein predecían un Universo en movimiento.
- Para explicar la aparente inmovilidad del Universo, Einstein se inventó una “constante cosmológica” Λ correspondiente a una fuerza antigravitatoria: el Universo es estático.
- Denominada el “mayor error de su vida”, la constante cosmológica ha sido rescatada en los últimos años para tener en cuenta algunos hechos observacionales.





El Universo se expande

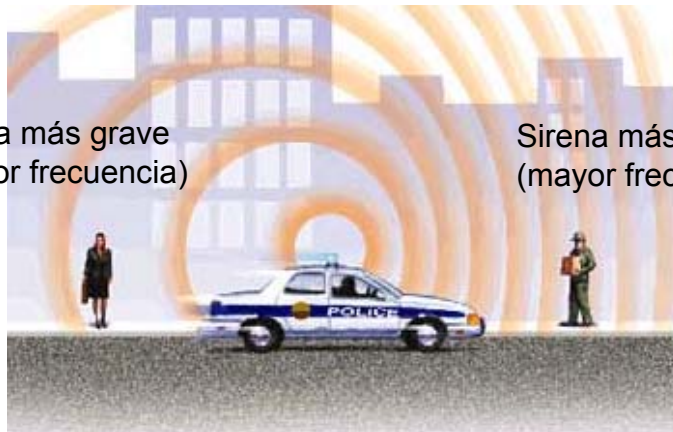
- En 1929 Hubble estudió los espectros de ciertas nebulosas y observó que las líneas espectrales aparecían desplazadas hacia la zona del color rojo (menores frecuencias).
- También logró medir las distancias a estos objetos y encontró que eran muy lejanos: había demostrado la existencia de otras galaxias.



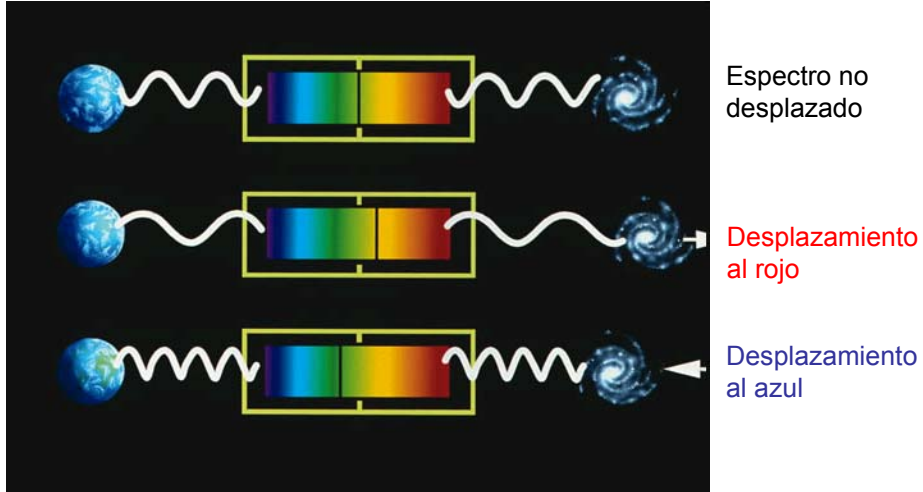
Efecto Doppler en el sonido

Sirena más grave
(menor frecuencia)

Sirena más aguda
(mayor frecuencia)

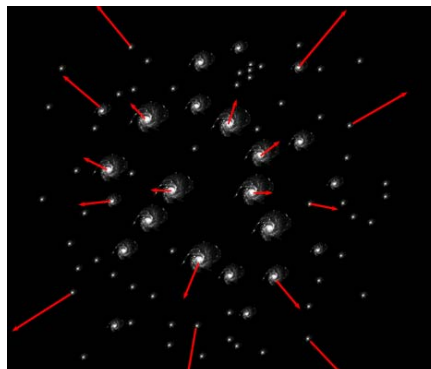
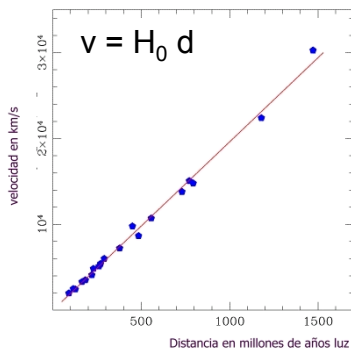


Efecto Doppler en la luz



Ley de Hubble

- La velocidad de alejamiento de las galaxias es proporcional a la distancia a las mismas.



Big Bang

- Si ponemos marcha atrás la película del Universo, las galaxias se acercan unas a otras.
- Llegará un momento en el que todas se encuentren en un punto muy denso y muy caliente: el Big Bang.
- Los últimos cálculos indican que esto ocurrió hace 13.7 mil millones de años.
- Constante de Hubble: $H_0 \approx 22 \text{ km/s/Mal}$
- El Big Bang supone el inicio del espacio y del tiempo.

Ley de Hubble

- ¡Cuidado! Esta ley no significa que estemos en el centro del Universo y por eso todas las galaxias se alejan de nosotros.
- Cualquier observador situado en cualquier galaxia vería el mismo alejamiento de los demás objetos: Universo homogéneo.



Las galaxias no se mueven, sino que aumenta el espacio entre ellas.

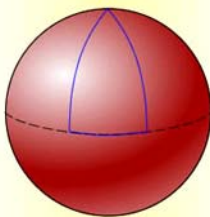
Geometría del Universo

- El ruso Friedmann encontró las soluciones completas de las ecuaciones de Einstein.
- En función de la densidad de materia (y energía) del Universo respecto de una densidad crítica, el Universo puede tener tres geometrías:
 - Universo cerrado.
 - Universo plano.
 - Universo abierto.

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$$

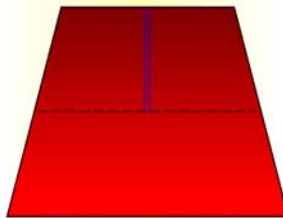
Geometrías del Universo

Universo cerrado



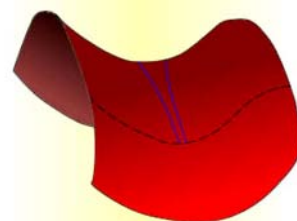
- $\Omega > 1$
- Finito en el espacio, pero sin límites.
- La gravedad frenará la expansión y provocará la gran contracción: Big Crunch.

Universo plano



- $\Omega = 1$
- Infinito en el espacio.
- La expansión será cada vez más lenta pero no se parará nunca.
- Muerte fría del Universo.

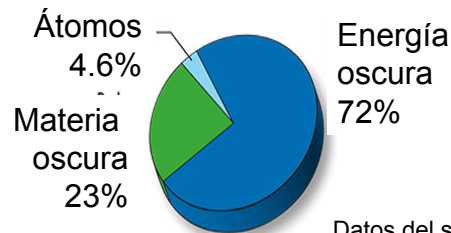
Universo abierto



- $\Omega < 1$
- Infinito en el espacio.
- La expansión será cada vez más rápida y no se parará nunca.
- Muerte fría del Universo.

El Universo es ¿plano?

- Hay indicios de que el Universo podría ser abierto, es decir, no hay materia suficiente para frenar la expansión.
- El Universo podría llegar a ser plano teniendo en cuenta:
 - “Materia oscura” (materia invisible pero detectable indirectamente por sus efectos gravitatorios sobre la materia visible).
 - “Energía oscura” (responsable de la expansión acelerada del Universo).



Datos del satélite WMAP (2003)

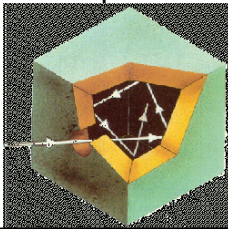
Reliquias del Big Bang

- Si el Universo tuvo un comienzo caliente, todavía deberíamos ver las reliquias del Big Bang (Gamow, Alpher, Hermann, 1948).
- En 1965 Penzias y Wilson detectaron una señal de radio procedente de todas las direcciones del cielo, sin variaciones diurnas o estacionales.



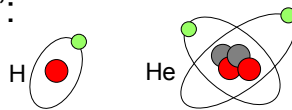
Cuerpo negro

- La radiación detectada correspondía con la de un cuerpo negro a 2.7 K (-270.4 °C).
- Un cuerpo negro es un objeto ideal que absorbe toda la radiación electromagnética que recibe (es negro) y emite radiación electromagnética en función de su temperatura (color).
- El Universo se ha ido enfriando hasta los 2.7 K debido a la expansión.

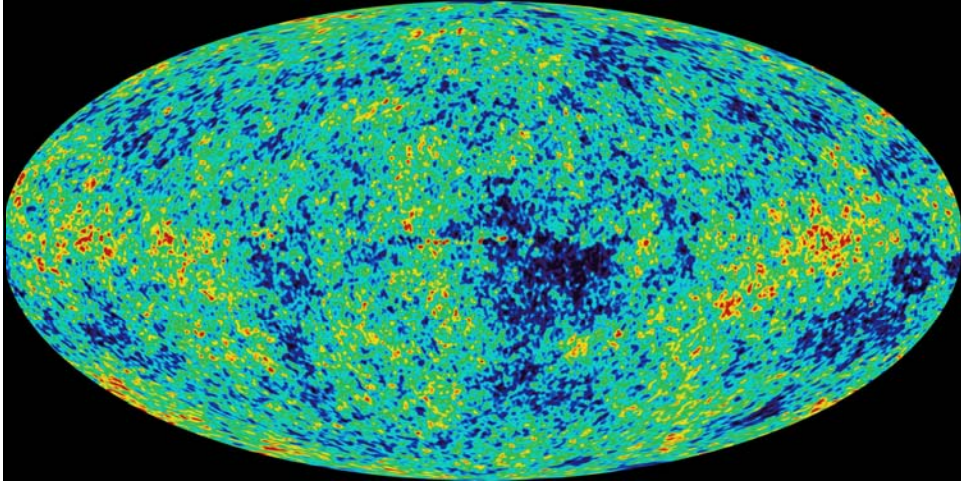


Época de la “Recombinación”

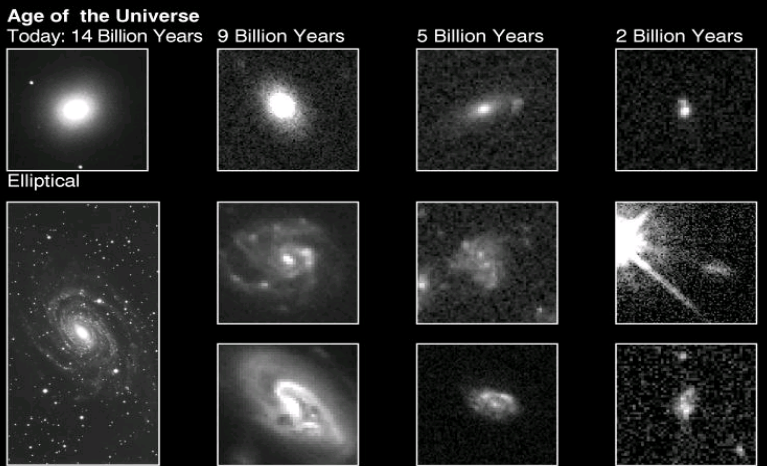
- La radiación cósmica de fondo procede de la Época de la “Recombinación”:
 - Temperatura: 3000 K.
 - Edad: 380000 años.
 - Época de formación de los átomos: los fotones dejan de interactuar con la materia y los núcleos logran por fin atrapar electrones libres y formar átomos.
 - La radiación, hasta ese momento en equilibrio con la materia, se propaga libremente por el Universo y participa en la expansión disminuyendo su temperatura (y su frecuencia).



Satélite WMAP (2003)



Evolución galáctica



Galaxies: Snapshots in Time

HST · WFPC2



Nucleosíntesis primordial



- En los 3 primeros minutos tras el Big Bang, el Universo era un lugar muy caliente ($T \approx 10^9$ K), lleno de protones, neutrones, electrones, positrones (antielectrones), fotones (luz) y neutrinos.
- Los protones constituyen el núcleo del átomo de hidrógeno.
- De manera natural, se formaron los átomos de elementos ligeros, como deuterio ^2H , tritio ^3H , helio ^3He y ^4He , ^7Li y ^7Be .
- Porcentaje en masa predicho: H 75%, He 25%.
- Hoy en día la proporción de He en las estrellas es superior al 25% \rightarrow Datos compatibles con el Big Bang.

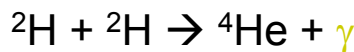
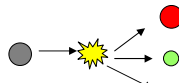
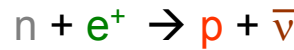
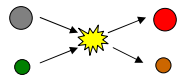
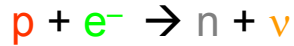
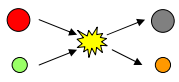


Nucleosíntesis primordial



- Protón, p (núcleo de Hidrógeno)
- Antiprotón, p^+
- Neutrón, n
- Antineutrón, \bar{n}
- ⚡ Fotón, γ (partícula con un cuanto de luz)
- Electrón, e^-
- Positrón, e^+ (antielectrón)
- Neutrino, ν
- Antineutrino, $\bar{\nu}$
- Deuterio, ^2H (núcleo de Hidrógeno con protón+neutrón)
- Helio-4, ^4He (núcleo de Helio con 2 protones+2 neutrones)

Nucleosíntesis primordial



Antes del primer segundo del Universo:
Equilibrio protón-neutrón

Después del primer segundo:
Desintegración del neutrón

100 s: Formación del deuterio (${}^2\text{H}$)

3 min: Formación del helio (${}^4\text{He}$)

Nucleosíntesis secundaria

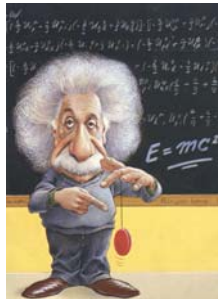
- 3 – 20 primeros minutos: H, He, Li, Be.
- Resto de elementos químicos hasta Fe: fusión (unión de varios núcleos) en el centro de las estrellas.
- Elementos más pesados que Fe: procesos extremadamente energéticos de captura de n o p de las explosiones de supernova.

Tabla Periódica de los Elementos

¡Somos polvo de estrellas!

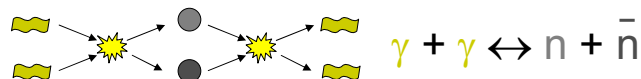
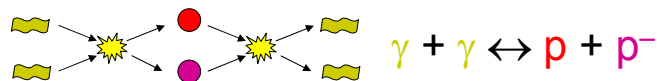
Materia / Energía

- La Relatividad de Einstein predice que Energía y Masa son dos conceptos equivalentes: $E = mc^2$, siendo “c” la velocidad de la luz (300000 km/s).
- En los choques energéticos entre partículas se pueden generar fotones y viceversa: Aceleradores de partículas.



Aniquilación Materia/Antimateria

- Entre 10^{-6} y 1 s: Época de los hadrones (p, n, etc.).
 - Energía de fotones elevada \rightarrow Partículas masivas.



- Entre 1 s y 3 s: Época de los leptones (e^{-} , e^{+} , etc.).
 - Energía de fotones no tan elevada \rightarrow Partículas ligeras.





Exceso de materia



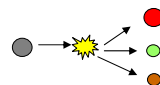
- A medida que disminuye la temperatura del Universo, los fotones sólo pueden crear partículas más ligeras.
 - Por eso se crean primero hadrones (más masivos) y leptones (más ligeros), y luego sólo leptones.
- Al finalizar la época de los hadrones y la de los leptones, toda la antimateria ha sido aniquilada (reconvertida en fotones) y resulta un exceso de materia.
- Ésta es la materia que forma los átomos y moléculas de los que están hechas las estrellas y galaxias y nosotros mismos.
- Uno de los problemas no resueltos de la Física.



Fuerzas de la Naturaleza

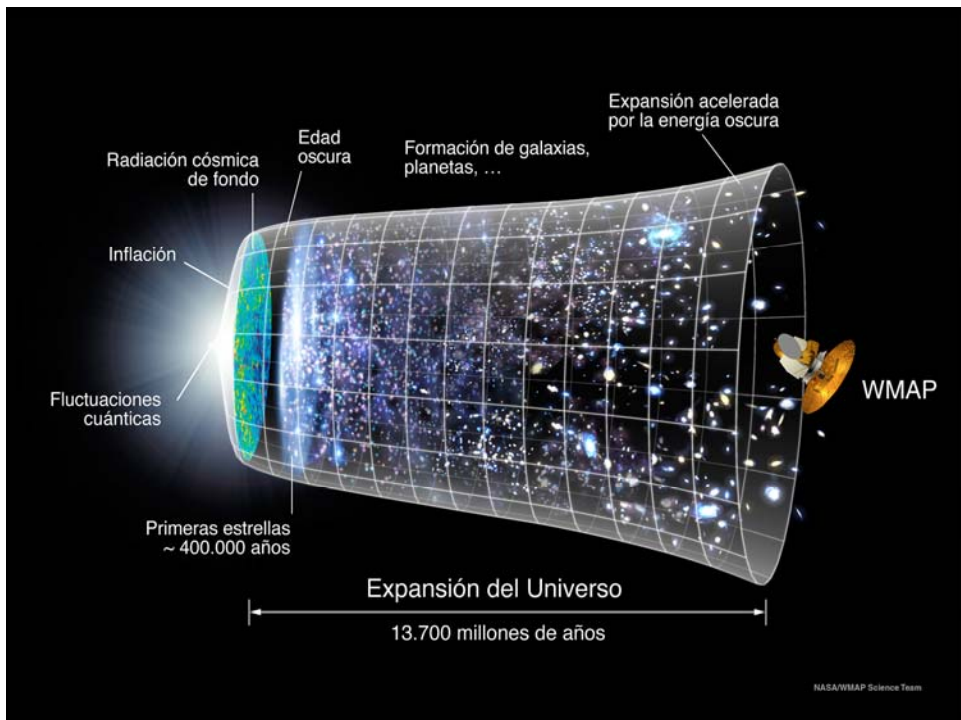


- Fuerte: mantiene unidos protones y neutrones en los núcleos.
 - Muy intensa (1), de corto alcance.
- Electromagnética: cargas eléctricas, corrientes eléctricas, imanes, etc.
 - Intensa (10^{-2}), de largo alcance, los cuerpos celestes tienen de media carga eléctrica nula.
- Débil: desintegración del n, desintegración β .
 - Poco intensa (10^{-13}), de muy corto alcance.
- Gravitatoria: los cuerpos con masa se atraen.
 - Muy débil (10^{-38}), domina el Universo por ser de largo alcance y acumulativa.



Unificación de fuerzas

- En los primeros 10^{-43} s (tiempo de Planck) tras el inicio de la expansión, las 4 fuerzas estaban unificadas, pero las leyes de la Física no son aplicables.
- Después, a medida que la temperatura disminuía, las fuerzas se fueron separando.
 - 10^{-43} s: Se separa la gravedad.
 - 10^{-36} s: Se separa la fuerza fuerte. Esto genera tal cantidad de energía que el Universo se expande de manera exponencial ("inflacionaria"): Tamaño $\times 10^{50}$.
 - 10^{-12} s: La fuerza débil se separa de la electromagnética. Las cuatro fuerzas se han separado.





Conclusiones



- La teoría del Big Bang es el modelo cosmológico más aceptado actualmente que permite estudiar los primeros instantes y la evolución del Universo.
- Toma como hipótesis iniciales:
 - Universalidad de las leyes de la Física.
 - Principio Cosmológico (Universo homogéneo e isótropo).
- Evidencias experimentales que la apoyan:
 - Expansión del Universo y ley de Hubble.
 - Radiación cósmica de fondo de microondas.
 - Abundancia de elementos primordiales.
 - Evolución de las galaxias.



Conclusiones



- Siguen existiendo puntos débiles en el modelo (algunos ya resueltos):
 - Problema del exceso de materia frente a la antimateria.
 - Problemas de la planitud y el horizonte de sucesos (resuelto por la teoría de la inflación).
 - Naturaleza de la materia y la energía oscuras y su proporción.
 - Algunos cúmulos globulares parecen ser más antiguos que el propio Universo (se rehicieron los cálculos y ahora los datos sí concuerdan).
 - ¿Qué ocurre antes del tiempo de Planck (10^{-43} s)?
 - Han surgido teorías “exóticas”: Multiversos, universos cíclicos, etc.