

## 2.16. El Big Bang: Lemaître y Gamow.

### 2.16.1 Introducción:

En 1929 el astrónomo norteamericano **Edwin Hubble** (1889-1953) publica sus resultados acerca de las velocidades radiales y las distancias de las galaxias encontrando una relación entre ambas: las velocidades radiales son mayores para las galaxias más distantes. Las galaxias se alejan de nosotros con velocidades mayores cuanto más distantes. Dichos resultados apuntan a una expansión global del Universo.

La relación encontrada por Hubble se puede resumir en la ecuación:

$$v = Hd$$

La expansión implica que el universo se está haciendo más grande y por ende en el pasado era más pequeño. Si se asume que el universo se ha expandido siempre a la velocidad actual es fácil mostrar que en un tiempo  $\tau$  definido por la siguiente ecuación, el universo debe haber sido muy denso.

$$\tau = \frac{1}{H}$$

El tiempo  $\tau$  se conoce como el **tiempo de Hubble** y la constante H como la **constante de Hubble**. Con un valor para la constante de Hubble cercano a 70 km/seg/Mpc resulta un tiempo de Hubble del orden de 14.000.000.000 años.

*Edwin Hubble, 1889–  
1953 (Courtesy of Mount  
Wilson and Las Campanas  
observatories.)*



### 2.16.02 Georges Lemaître (1894-1966):

El sacerdote jesuita belga **Georges Lemaître** (1894-1966) redescubrió las soluciones de Friedman a las ecuaciones de Einstein en 1927. Friedman las había publicado en parte en ruso en la Unión Soviética y en parte en alemán, en una revista alemana; Lemaître las publicó en francés en una revista belga de muy poca circulación [los Anales de la Academia de Ciencias de Bélgica]. El astrofísico inglés Arthur Eddington las hizo traducir y re-publicar en la revista inglesa Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS) en 1930. Las soluciones de Lemaître son más generales que las de Friedmann pues resultan en universos con expansión o contracción pero también utiliza la constante  $\Lambda$  de Einstein y por ende hay universos de Lemaître que presentan expansión acelerada. A partir de 1930 y gracias a Lemaître las soluciones de las ecuaciones de Einstein fueron conocidas en el mundo entero; además ya se sabía que el universo no es estático sino que se encuentra en expansión, gracias al trabajo de Hubble.

En 1931 Lemaître propuso que el universo observable actual había surgido a partir de un estado de muy alta densidad que él llamó: **“átomo primitivo”**. Ese átomo primitivo contenía en un pequeño volumen toda la materia del universo actual. Según él esa forma de altísima densidad del Universo habría sido inestable, algo así como un gran átomo radioactivo que explotó y dio origen al universo actual.



Figure 2.10 Alexander Friedmann (1888-1925)



Figure 2.11 Georges Lemaître (1894-1966) [Photographie Cramponi Brussels.]

La idea del átomo primitivo la desarrolló Lemaître durante los años treinta, más a nivel de una descripción cualitativa del origen del universo que como una teoría científica exacta, derivada desde primeros principios; ese rol le cupo en la década siguiente a George Gamow. La explicación que da el propio Lemaître en la introducción de su libro "The Primeval Atom" es que en 1931, al leer un artículo de Arthur Eddington acerca del origen y destino del cosmos, le vino la idea basada en lo siguiente:

"Sir Arthur Eddington asevera que, filosóficamente, la noción de un comienzo para el orden actual de la Naturaleza le parece repugnante. Yo me inclino más bien a pensar que el estado actual de la teoría cuántica sugiere un comienzo del mundo muy distinto del orden actual de la Naturaleza. Los principios de la termodinámica establecen desde el punto de vista de la teoría cuántica lo siguiente: 1) Una cantidad de energía total constante es distribuida en distinto quanta; 2) El número de quanta distintos es siempre creciente. Si vamos hacia atrás en el tiempo debemos encontrar la energía del universo empaquetada en cada vez menos quanta, hasta que encontremos toda la energía empaquetada en unos pocos o incluso un solo quantum. .... Si el desarrollo futuro de la teoría cuántica ocurriese en esa dirección, podríamos concebir el comienzo del universo en la forma de un único átomo, cuyo peso atómico fuese la masa total de universo. Esta átomo, altamente inestable se dividiría en átomos cada vez más pequeños por obra de un proceso de super-radioactividad. Algunos remanentes de este proceso podrían, de acuerdo con la idea de Sir James Jean, proporcionar el calor de las estrellas hasta que los átomos sean lo suficientemente pequeños para posibilitar la vida." En estos términos describe Lemaître su teoría o hipótesis del átomo primordial.

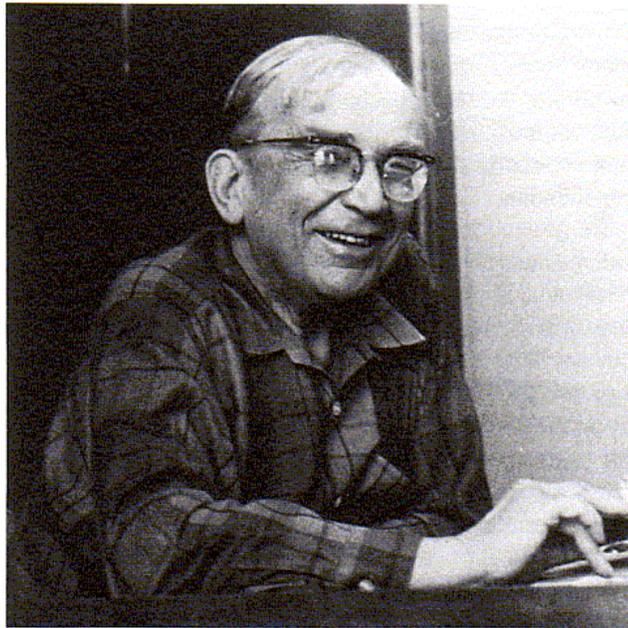
### 2.16.3 George Gamow: El Big Bang Caliente.

El físico ruso-norteamericano **George Gamow** (1904-1968) retomó la teoría del átomo primitivo de Lemaître y la profundizó. Gamow nació en Forben, Ucrania. Estudió en la Universidad de Odessa, Rusia y alcanzó a estudiar brevemente cosmología con Aleksandr Friedmann. Posteriormente estudió en la Universidad de Leningrado (San Petesburgo) entre 1923 y 1929. Su talento en física nuclear lo hizo ganar la atención de Niels Bohr en Copenhague, donde estuvo un tiempo entre 1928 y 1931, al igual que en Cambridge, Inglaterra trabajando con Ernest Rutherford en el *Cavendish Laboratory*, estuvo un tiempo en París, hasta que finalmente se estableció en los Estados Unidos, en 1934. Inicialmente trabajó en la *George Washington University*. Permaneció allí por veinte años, hasta 1954, cuando se mudó a la Universidad de California en Berkeley. Posteriormente aceptó una invitación de la Universidad de Colorado en Boulder, donde fue profesor desde 1956 hasta su muerte en 1968.

En 1946 Gamow plantea que la expansión del Universo debe irlo enfriando pues un gas al expandirse se enfría. En el pasado el Universo era no tan sólo más denso sino también más caliente. Gamow predijo entonces la existencia de una radiación que debe permear al Universo entero y ser observable como una radiación de fondo cósmico. Esta teoría recibió el sobrenombre de la teoría del **Big-Bang** (teoría de la gran explosión o más bien del "gran pum" sobrenombre que le puso a la teoría el astrofísico inglés Fred Hoyle en un programa de radio de la BBC). En la versión de Gamow se

trata de la teoría del **big-bang caliente**. Sus colaboradores R. Alpher y R. Herman calcularon una temperatura de 25 K para la radiación de fondo cósmico; posteriormente Gamow, en 1953, calculó 7 K para dicha radiación. Alpher y Herman merecen un reconocimiento junto a Gamow por el desarrollo de la teoría del big bang.

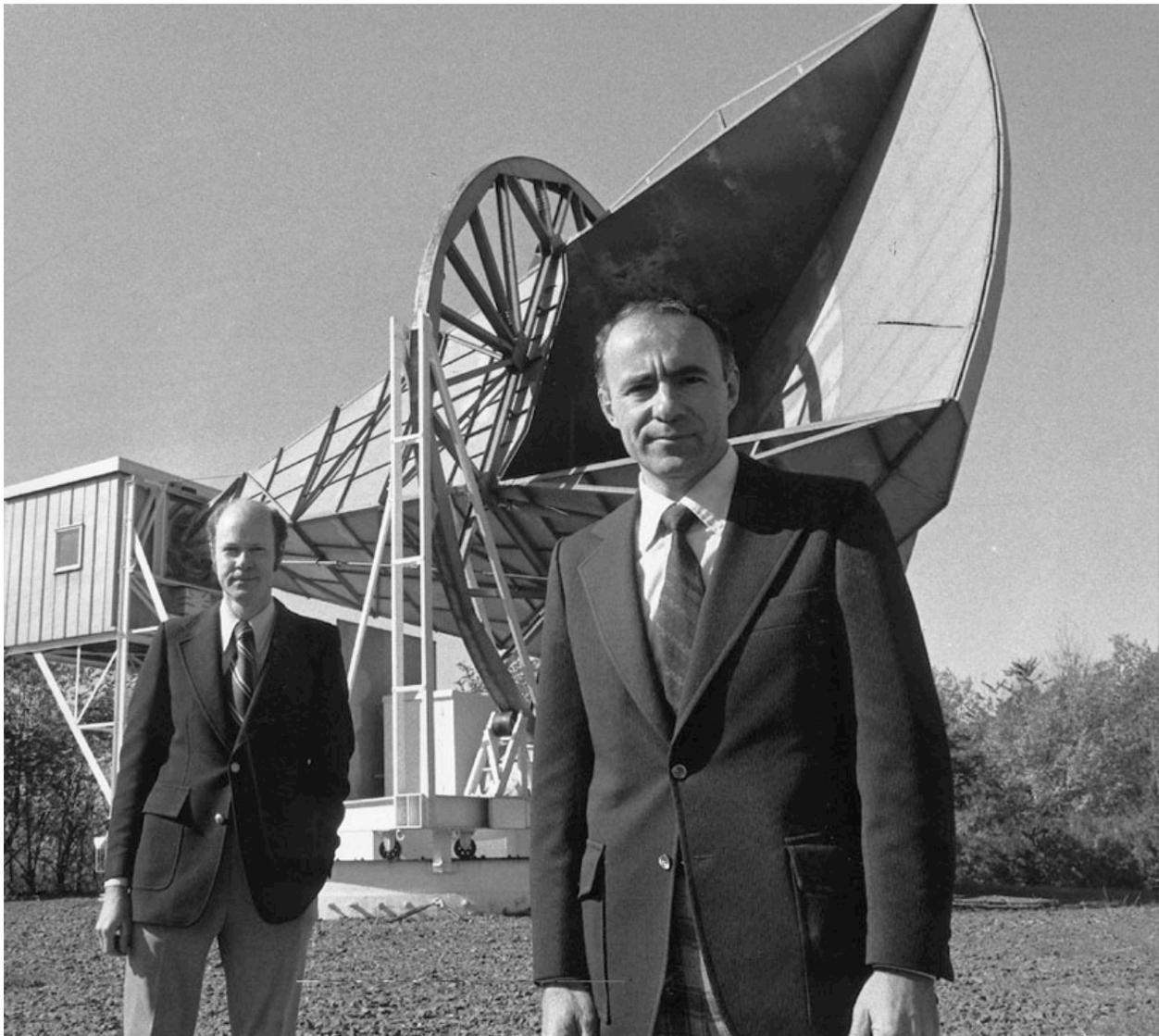
Con densidades mayores que  $100 \text{ gr/cm}^3$  y temperaturas superiores a  $10^{10} \text{ K}$  se puede producir nucleosíntesis y Gamow, físico nuclear, se preocupó de calcular la posible nucleosíntesis ocurrida en el big-bang, pensando que la composición química del universo actual tendría su origen en el big-bang. Sólo calculó el Helio producido a partir del Hidrógeno. Sin embargo con el trabajo monumental de Burbidge, Burbidge, Hoyle y Fowler acerca de la nucleosíntesis en interiores estelares, que publicaron en 1957 y donde se explica en muy buena forma la mayor parte de las abundancias de los elementos pesados como producto de la nucleosíntesis en interiores estelares, y particularmente en supernovas, se perdió interés en la teoría del big-bang y su explicación de la síntesis de los elementos.



*Figure 19.14.* The Russian-American physicist George Gamow (1904–1968). While attempting to account for the production of all the chemical elements in the early universe, he realized that one of the consequences of the Big Bang would be what we now know as cosmic background radiation. Gamow was also a talented popularizer of science, writing many books for laypeople.

#### 2.16.04 La Radiación de Fondo Cósmico:

El gran giro en la teoría del big-bang vino en 1964 cuando los físicos **Arno Penzias** (1933- ) y **Robert Wilson** (1936- ), trabajando para la *Bell Telephone* en New Jersey detectaron una radiación en la banda de las micro-ondas que venía de todas partes del cielo. Arno Allan Penzias nació en Munich, Alemania, el 26 de Abril de 1933. A los seis años Arno escapó a Inglaterra como parte de los niños judíos evacuados a Inglaterra en una operación de rescate; al año siguiente fue a reunirse con sus padres en los Estados Unidos. En 1946 se nacionalizó norteamericano. Estudió en el Liceo Técnico de Brooklyn y se graduó en el City College of New York en 1954. Obtuvo un grado de M.Sc. y de Ph.D. de la Universidad de Columbia en 1958 y 1962, respectivamente. Obtuvo un trabajo en Holmdel, Nueva Jersey, en los Laboratorios Bell.

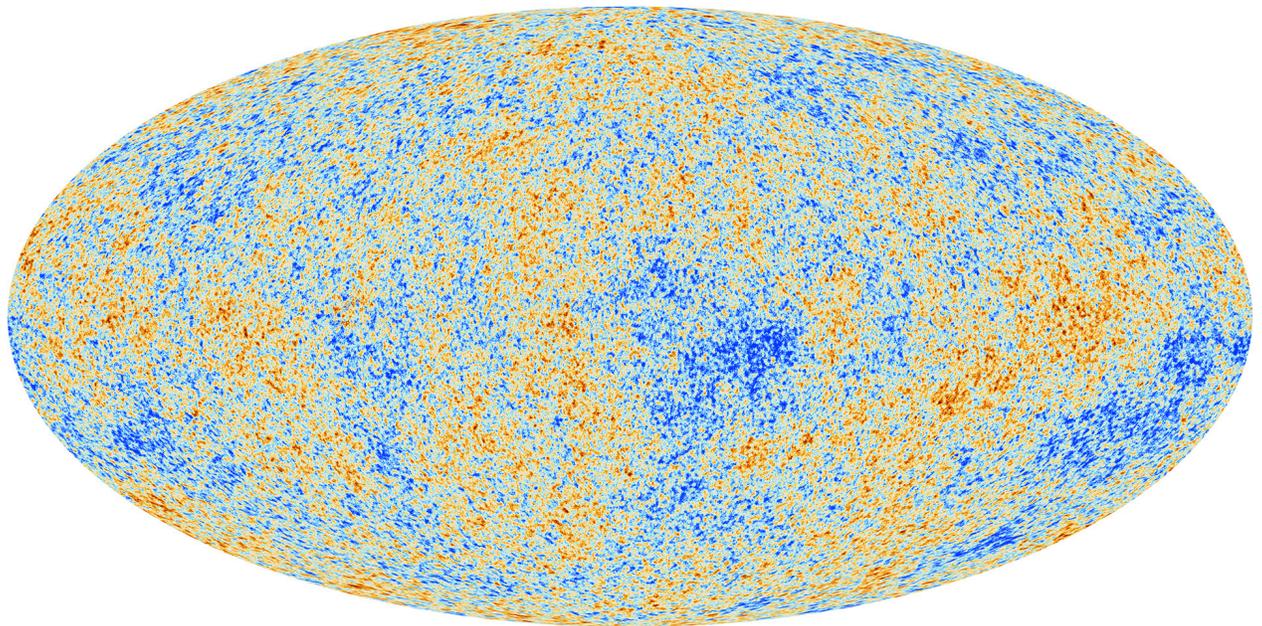


© 2004 Thomson - Brooks/Cole

**Arno Penzias, a la derecha, y Robert Wilson frente a la antena del descubrimiento.**

Robert Woodrow Wilson, astrónomo norteamericano, nació en Houston, Texas, el 10 de Enero de 1936. Estudió en la Universidad de Rice donde obtuvo un B.A. (Bachillerato) en física en 1957 para luego completar sus estudios en el “*California Institute of Technology*” (CalTech), donde obtuvo su Ph.D. en astronomía en 1962. Obtuvo un trabajo en los laboratorios de la Bell en Holmdel, New Jersey.

La Bell Telephone le había encargado a Penzias y Wilson desarrollar un receptor de microondas criogénico ultra sensible, con el propósito de utilizarlo en investigaciones de radio-astronomía. Penzias y Wilson, utilizando una antena y un receptor muy sensibles en microondas, lograron detectar una “interferencia” que venía de todas partes del cielo y que no podía ser atribuida a fuentes de contaminación terrestres. La llamaron **radiación de fondo cósmico (en inglés *cosmic microwave background radiation*)**, y tiene un espectro plankiano con una temperatura de 2,7 K. Lo que Penzias y Wilson habían encontrado era la temperatura actual del universo.



**Mapa del cielo que muestra la temperatura del fondo cósmico de microondas, de temperatura promedio 2,7K, donde las zonas rojas son más calientes y las azules más frías que la media. Datos obtenidos con el satélite europeo Planck; mapa del 2013.**

La teoría alternativa al big-bang llamada teoría del estado estacionario (steady-state), propuesta a fines de los años cuarenta por los ingleses Bondi, Bonnor, Hoyle y el austríaco-británico Thomas Gold, planteaba que el universo es homogéneo en el espacio y en el tiempo y por ende el universo no tiene ni comienzo ni fin. La expansión hace que se genere materia, en la cantidad justa para mantener la densidad constante. La nueva materia genera nuevas galaxias, donde nacen nuevas estrellas. El universo sería una mezcla de galaxias viejas y nuevas, con estrellas a punto de agotarse y estrellas recién nacidas.

La radiación de fondo cósmico de Penzias y Wilson encaja en forma natural con la teoría del Big Bang de Gamow y es muy difícil de explicar para la teoría del estado estacionario. La inmensa mayoría de los astrónomos la aceptan como la versión globalmente correcta de los eventos ocurridos en nuestro universo. A partir de los años ochenta la teoría del big-bang ha sido enriquecida con la teoría de la *inflación* que resuelve algunos de los problemas más difíciles de la teoría inicial. Con ello la teoría del big bang es el actual paradigma cosmológico. Penzias y Wilson no sabían exactamente lo que habían observado. Sin embargo en la cercana Universidad de Princeton un grupo de astrofísicos estaban tratando de medir la temperatura del cosmos cuando se enteraron que Penzias y Wilson ya lo habían logrado. La academia sueca reconoció el trabajo de Penzias y Wilson otorgándoles el premio Nobel de Física, en 1978.

#### **REFERENCIAS:**

Peter Coles "Cosmology. A very short introduction" Oxford University Press, 2001.

Craig J. Hogan "The Little Book of the Big Bang" Springer-Verlag New York, 1998

Georges Lemaître "*The Primeval Atom*", van Nostrand Co., Inc., New York, 1950.

J. Silk "*The Big-Bang*", Third Edition, W.H. Freeman & Co., New York, 2001