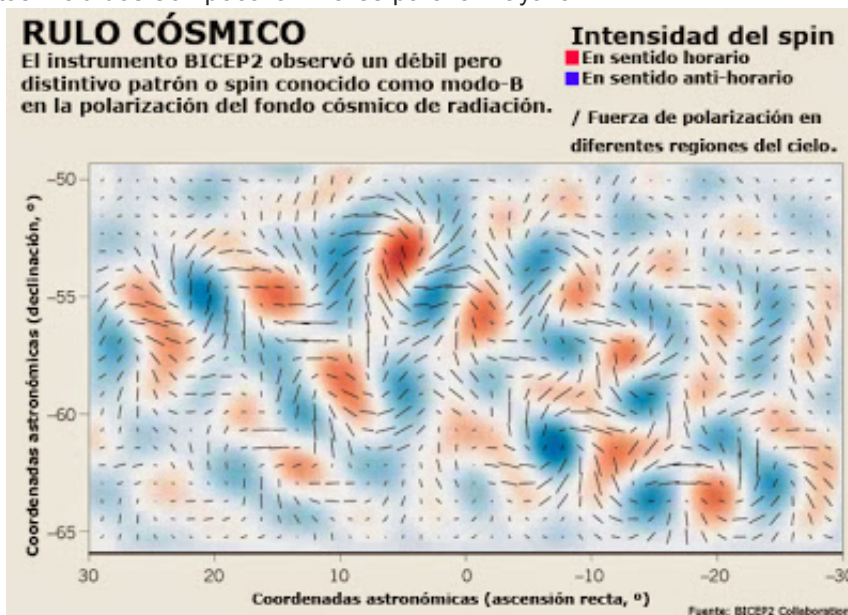


El Big Bang tiene onda

T.E.L: 5 min. 32 seg.

Los astrónomos anunciaron el 17 de marzo la detección de ondas gravitatorias primordiales que se originaron en el Big Bang. El anuncio ha sido aclamado como un hito en la ciencia, pero los conceptos incluidos son poco familiares para la mayoría.



El descubrimiento le da un espaldarazo a lo que hasta ahora era una piedra en el zapato del modelo estándar: la inflación.

Alan Guth, quien propuso la inflación cósmica en la década de 1980 (como también lo hicieron Andrei Linde, A. Albrecht y Paul Steinhardt), lo hizo porque tal proceso resolvería unos cuantos problemas en la teoría del Big Bang: por qué el universo observable parece tan uniforme. Uno o dos periodos de inflación implicarían una expansión exponencial del espacio muy poco después del Big Bang. (Ver La inflación es cosa 'e mandinga)

Sin embargo se trataba de una hipótesis y debía ser probada. Si realmente existió una inflación entonces podría ser detectada por dejar una huella distintiva: ese breve pero violento período inflacionario habría generado ondas gravitatorias que comprimen el espacio en una dirección mientras lo estiran hacia el otro (el efecto onda). Estas ondas habrían dejado una huella en el Fondo Cósmico de Radiación (CMB en inglés, FCR en español) al polarizar la radiación de una forma particular llamada Modo B. (El rulo cósmico).

El año pasado se había detectado la polarización modo-B en el FCR. La señal no se interpretó como ondas gravitatorias primordiales, sino que se atribuyó a cómo las galaxias curvan el espacio a través del cual viaja el FCR. Se interpretó de este modo y no como ondas primordiales porque tales ondas, de existir, deben encontrarse a cierta escala angular menor a un grado. La Luna llena tiene un tamaño aparente en el cielo de medio grado.

Eso fue lo que consiguió el equipo liderado por Jon Kovac usando BICEP2, a metros del telescopio que había detectado las ondas anteriores, en la Antártida, el SPT.

El hallazgo tiene otras implicaciones. No sólo sostiene a la hipótesis de inflación cósmica, sino que también lo hace con la gravedad cuántica.

Los datos indican que cuando ocurrió la inflación (unos 10^{-37} segundos después del Big Bang) y por la temperatura en ese momento (correspondiente a energías de 10^{16} gigaelectronvoltios), tres de las cuatro fuerzas fundamentales -la fuerza débil, la fuerte y la electromagnética- serían indistinguibles una de otra en un modelo conocido como Gran teoría unificada.

Como la inflación tuvo lugar en el reino de la física cuántica, detectar estas ondas en esa época provee "la primera evidencia experimental de la gravedad cuántica", según Max Tegmark, cosmólogo del MIT.

La importancia del anuncio

Albert Einstein predijo ondas gravitacionales hace un siglo, pero calculó que serían muy débiles, tanto que no serían detectables.

Estas ondas, si se confirma el hallazgo, serían un sostén importante de la cosmología moderna: la inflación.

Pero, ¿qué son estas ondas?

La gravedad, según Einstein, es cómo la masa deforma la forma del espacio: cerca de cualquier objeto masivo, el espacio se curva. Esta deformación se puede propagar a través del universo, como las ondas sísmicas en la corteza terrestre. Pero a diferencia de estas, las ondas gravitatorias pueden viajar en el espacio vacío a la velocidad de la luz.

¿Pueden estas ondas ser producidas por algo distinto de la inflación?

Esta es una gran pregunta porque en el universo las relaciones casuales pueden ser multívocas.

Las ondas gravitacionales pueden ser producidas por cualquier cuerpo masivo, pero en la práctica sólo podrían detectarse aquellas producidas en eventos cataclísmicos como la colisión de agujeros negros.

¿Este descubrimiento es una prueba directa?

En ciencia las pruebas directas son difíciles. No toda evidencia es una prueba directa. Podemos inferir la existencia de electrones y positrones en una cámara de niebla por las trazas que estas partículas dejan e inferir su carga eléctrica.

Las ondas gravitacionales originadas durante la inflación todavía resuenan en el universo, pero son muy débiles. En cambio, estas ondas dejan una huella en las partículas elementales que impregnaban el universo 380.000 años después del Big Bang, que podemos detectar en la Radiación de Fondo de Microondas.

¿Si este hallazgo se confirma qué otras consecuencias habría?

Hay otros modelos que no coincidirán con este hallazgo, como las teorías inflacionarias (cosmología de branas) de Steinhardt–Turok llamados modelo Cíclico y Espirótico (ver [arXiv:astro-ph/0401579](http://arxiv.org/abs/astro-ph/0401579)).

Muchos modelos inflacionarios quedarían descartados si se confirma este descubrimiento, tal como se ha señalado en forma pública desde el anuncio.

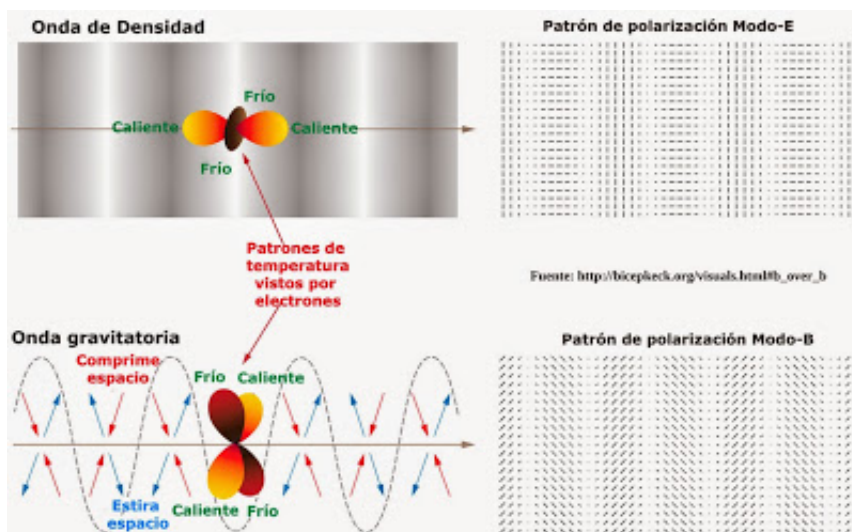
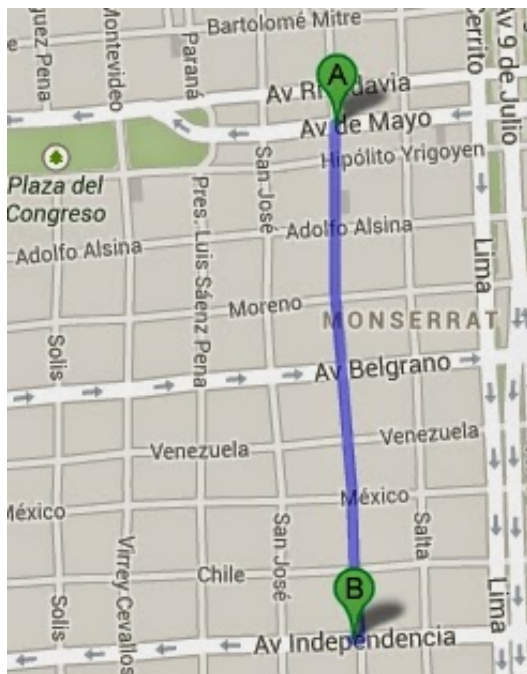


Fig.2: Diagrama de Polarización: modo-E y modo-B.

Al medir la polarización del FCR en diferentes puntos del cielo es posible determinar una dirección e intensidad polarizadas (la intensidad polarizada del FCR es menor a 1/1.000.000 del brillo total). Esto puede ser visualizado como un mapa de pequeños segmentos en cada punto del cielo, los patrones que se analizaron. La polarización modo-B es esa parte del patrón que está "enroscada". Para las fluctuaciones de densidad que generan la mayor parte de la polarización del FCR esta parte del patrón primordial es exactamente cero. Esto es así porque los flujos de densidad en el universo temprano pasaron o salieron de regiones más densas y las líneas de polarización con esos flujos no se "enroscaron", produciendo sólo patrones modo-E. Por eso, para tener patrones modo-B en el universo temprano se necesitan ondas gravitacionales. Crédito: Colaboración BICEP2.

La inflación es cosa 'e mandinga

Imaginemos que estamos en el barrio de Monserrat, en Capital Federal. Vamos caminando por la Avenida de Mayo hacia el Sur. Vemos unas tiendas de libros y nos



asombra la afrancesada arquitectura. Si seguimos caminando hacia el sur, cruzaremos la Av. Independencia y estaremos ya en el barrio de Constitución. El paisaje cambiará.

Ahora pensemos estamos en Av. de Mayo pero el espacio se estira. Entre Av. de Mayo y Santiago del Estero hasta Independencia y Santiago del Estero hay 1km. Supongamos que recién entonces cambia el paisaje. Imaginemos que esa distancia se estira y se convierte en 2000km. Esto supondría que ahora caminaríamos por esta zona estirada y no notaríamos cambio en el paisaje, ya que la Av. Independencia y el Barrio de Constitución quedarían muy lejos.

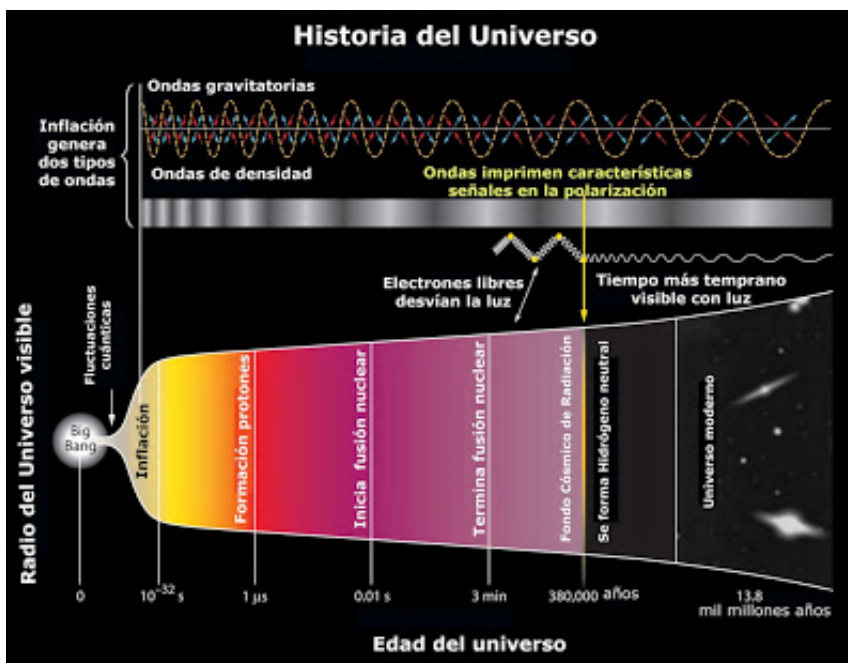
En el universo temprano se producían muchos cambios en poquitísimo tiempo. De no mediar proceso inflacionario tendríamos que notar esos

cambios en forma notable. Como si al observar el cielo viésemos procesos físicos muy distintos en diferentes "barrios" o regiones del espacio. Pero lo que se observa es muy homogéneo. La inflación intentó solucionar eso, "aplanando" las diferencias.

El FCR

En el sitio de UBA exactas, la especialista Susana Landau, licenciada en física de Exactas UBA y doctora en Astronomía de la Universidad Nacional de La Plata e investigadora del CONICET, explica el FCR:

"Antes de formarse el hidrógeno neutro, los electrones y los fotones interactuaban mediante choques formando parte de algo que se puede pensar como un fluido. En este fluido, los electrones proporcionaban la masa o la inercia que tiraba para el centro mientras que los fotones ejercían una presión de radiación que empujaba hacia afuera. De esta manera, la radiación electromagnética estaba atrapada en ese fluido. A medida que se expandía el fluido del universo también se enfriaba y, entonces, cuando la energía de los electrones bajó a niveles favorables para la unión con los protones, se formaron los átomos de hidrógeno. En ese momento, los fotones se quedan sin compañeros de juego, lo que es equivalente a decir que la radiación electromagnética ya no estaba atrapada y que ellos podían viajar libremente por el universo. Aún ahora esos fotones viajan por el cosmos sin interactuar con nada y constituyen el FCR: un fósil cósmico que guarda muchísima información acerca de la cantidad de materia y de energía totales, de cómo se forma el elemento más abundante –el hidrógeno neutro–, de la geometría temprana por donde ellos mismos viajaron y, lo fundamentalmente novedoso, de la primera milésima de segundo posterior al Big Bang. Repito, no es una foto de ese instante sino un mapa de la polarización de la radiación electromagnética que nos llega y que, a su vez, es una representación de las ondas gravitatorias primordiales."



Historia del Universo. Se marca como una "frontera" lo que se conoce como Era de Recombinación, a 380.000 años del Big Bang. Sólo después de ese momento podemos observar luz, ya que antes existía una "bruma" ya que por la temperatura no se podían formar átomos neutros.

La polarización

La especialista explica: *"Distintos tipos de causas tiene la polarización de esta radiación. Lo asombroso es que la escala angular e intensidad de la polarización comunicada recientemente es exactamente la que predicen las llamadas teorías de inflación, o sea, las de una expansión acelerada sólo en el comienzo del universo. Por esto, este descubrimiento es la primera evidencia directa de estos modelos inflacionarios que parecían muy locos. La idea de la inflación nos permitía a los cosmólogos explicar, de una manera elegante, un montón de problemas como, entre varios otros, la formación de galaxias y de cúmulos de galaxias, pero ahora además nos dice esa teoría que ustedes hicieron, que además toma elementos tanto de la mecánica cuántica como de la relatividad general, está prediciendo estas ondas gravitatorias que hoy estamos viendo",* explica Landau y agrega: *"Si bien ya se habían medido la temperatura del FCR y su granularidad o anisotropía con gran detalle, eso no era suficiente para validar la teoría de la inflación."*

Fuentes y links relacionados

CfA: [First Direct Evidence of Cosmic Inflation](#)

Nature: [Telescope captures view of gravitational waves](#) , por Ron Cowen.

UBA Exactas: [Murmullos del Universo](#), por Guillermo Matei.

[BICEP2 Resultados 2014](#)

Nature: [Especial Waves from the Big Bang](#)