¿Qué son las ondas gravitacionales?

Lo que se propaga es las perturbaciones del tensor métrico

Inflación

Unos 10⁻³⁵ segundos tras el Big-Bang

El Universo se expandió exponencialmente.

La Inflación explica por qué el Universo es plano y por qué es homogéneo.

Variaciones de carácter cuántico dieron lugar a oscilaciones

perturbaciones

Estas oscilaciones se propagaron en forma de onda.

Hasta llegar a 380.000 años tras el Big-Bang.

Época de Recombinación.

Observable gracias a la Radiación Cósmica de Microondas (CMB).

Medido por PLANCK, BICEP2, ...Quijote...

Perturbaciones tensoriales

Hay tres tipos de perturbaciones:

escalares,

vectoriales (evanescentes)

tensoriales.

Las GW producen perturbaciones tensoriales.

Las diferentes perturbaciones producen diferentes tipos de anisotropías en la CMB.

Sachs-Wolfe

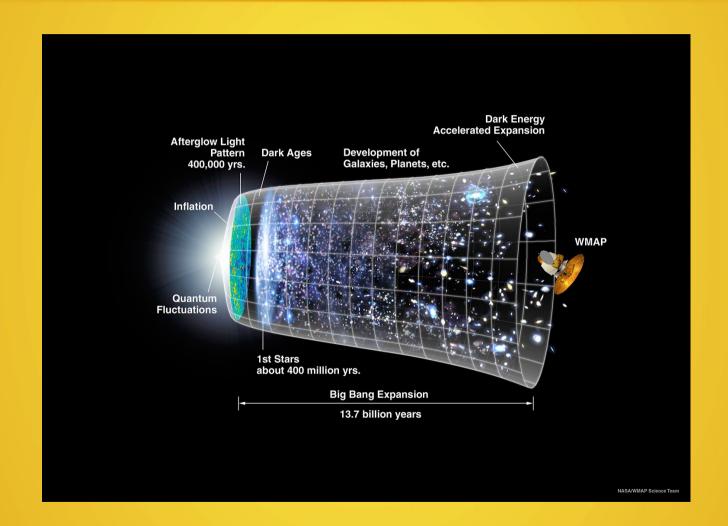
Para escalas mayores que 1º estamos observando condiciones iniciales

"vemos" GW

Las GW se produjeron en la inflación Hoy vemos sus efectos en la

Recombinación.

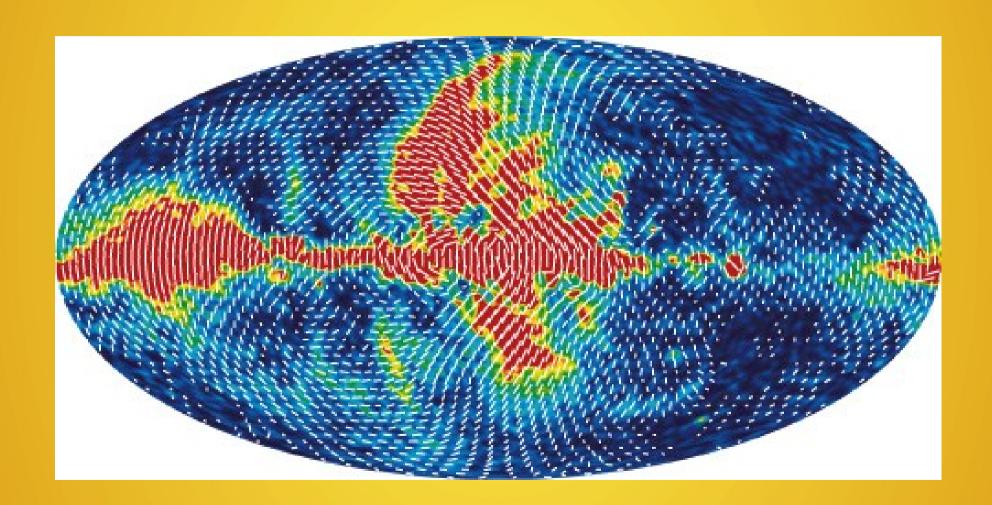
La medida es indirecta... pero es la primera medida



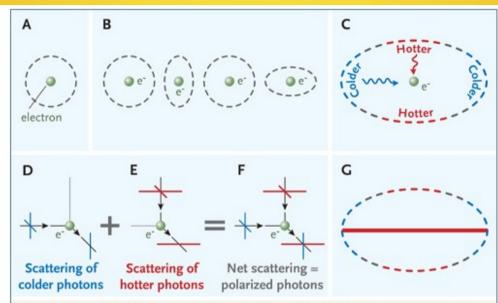
polarización

Las GW llegan a la Recombinación y allí producen estructuras particulares en la polarización.

Hay polarización en el CMB, producida por el "scattering" Thomson



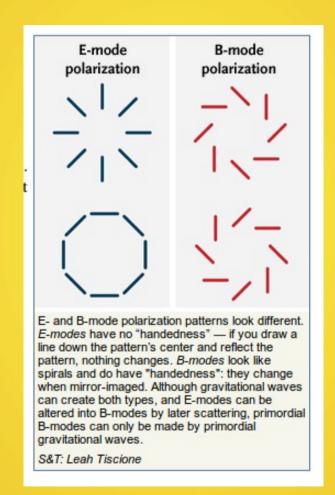
Polarización



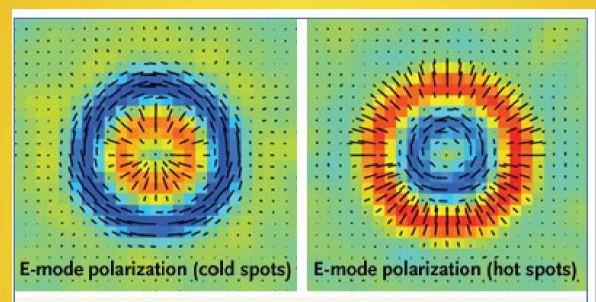
Gravitational waves created polarization patterns in the cosmic microwave background (CMB) by stretching and squeezing space — and therefore the plasma soup of primordial photons and electrons — as the waves passed through. (A) Before a wave hits it from behind, a cross-section of space with an electron in the middle looks normal. But when the wave hits, the cross-section stretches and squeezes one way, then another, in an oscillating pattern (B). Instead of a uniform soup, the electron "sees" around it a universe a bit warmer in the squeezed direction and a bit cooler in the stretched direction (C). Originally, a photon's wave wiggles in all planes perpendicular to the photon's motion (D and E, incoming crosses). When photons scatter off the electron, they become polarized, wiggling in only one plane (outgoing lines). The resulting pattern (F) is a sum of the cooler and warmer photons' polarizations. But because photons from warmer regions have more energy, their pattern "wins out," meaning the overall polarization is parallel to the warm regions (G).

S&T: Leah Tiscione

Modos E y B



Modos E



By stacking maps from the European Space Agency's Planck satellite of more than 11,000 cold (blue) and 10,000 hot (red) spots in the cosmic microwave background, researchers revealed the related E-mode polarization patterns to high precision. The total range in temperature shown is just 0.8 microkelvin. Knowing the E-mode patterns is necessary for judging how much of them have been scattered to become B-modes, and how to separate these B-modes from the different ones originating from gravitational waves at the time of inflation.

ESA / Planck Collaboration

Modos B primordiales

Las GW producen perturbaciones tensoriales primordiales.

Producen modos E y B

Sólo las GW producen modos B primordiales.

No "vemos" las GW directamente. Vemos su huella en el CMB

Coeficiente r

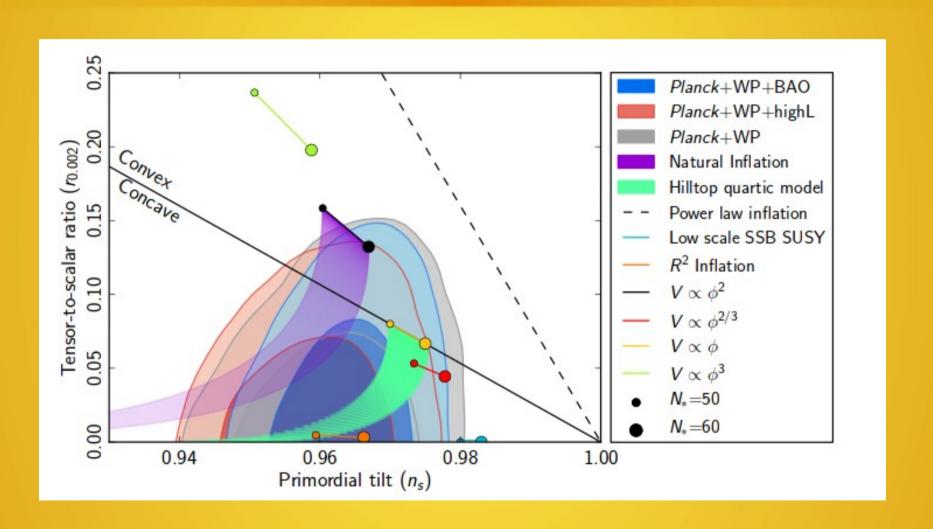
Relación entre la amplitud de los modos tensoriales y la amplitud de los modos escalares.

Planck: r<0,1

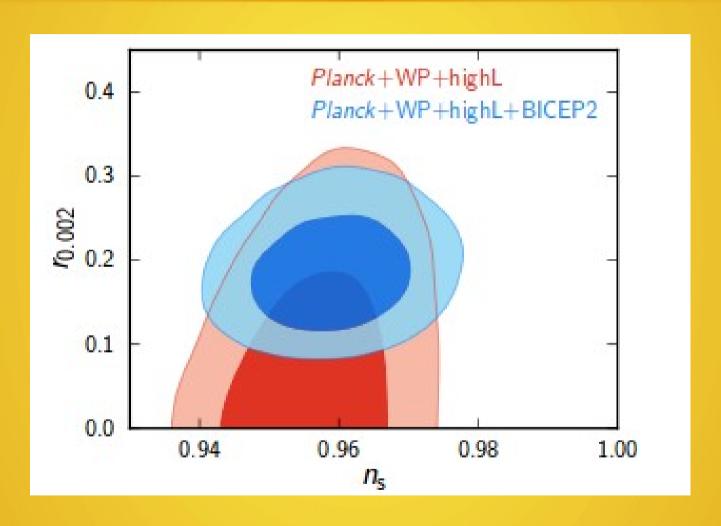
Con este valor BICEP2 no hubiera visto nada.

Pero BICEP2 asegura r = 0.2 aprox.

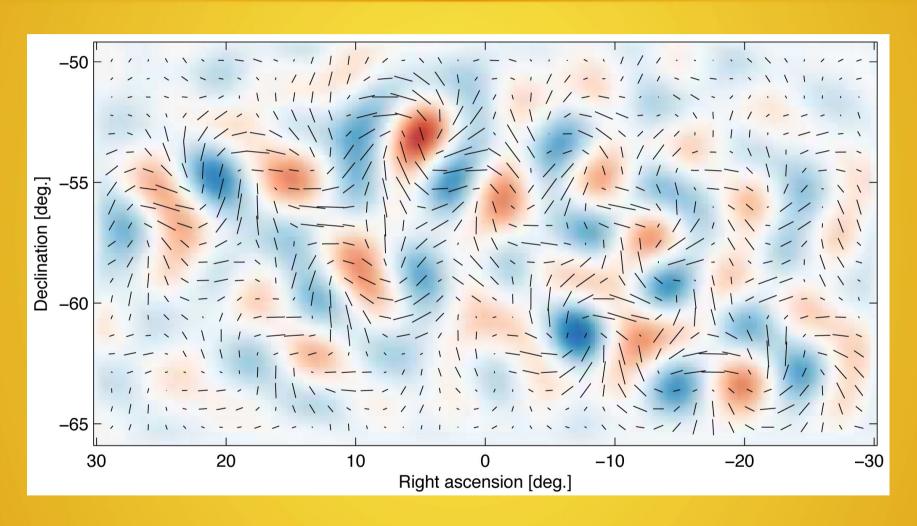
Coeficiente r



R Planck y bicep2



Ondas gravitacionales



Otras explicaciones?

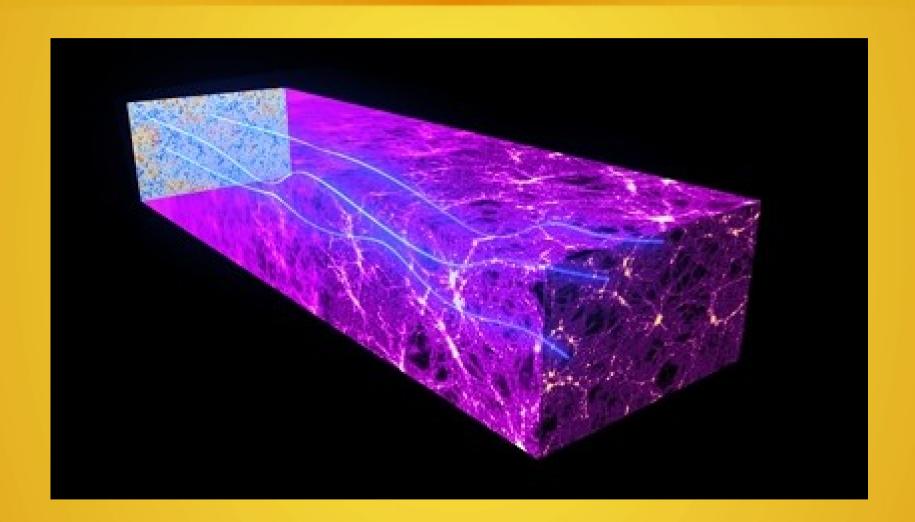
Los modos B pueden no ser primordiales.

Hay efectos que giran modos E en modos B en la época de la Recombinación o en la de Reionización:

Lentes gravitacionales

Campo Magnético (rotación de Faraday)

Con una sóla frecuencia no se elimina bien la emisión galáctica (ej. Emisión térmica del Polvo)



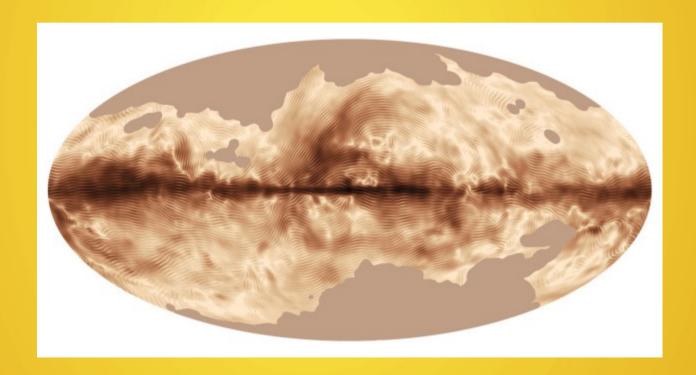
Planck

Planck puede reforzar/cuestionar el descubrimiento.

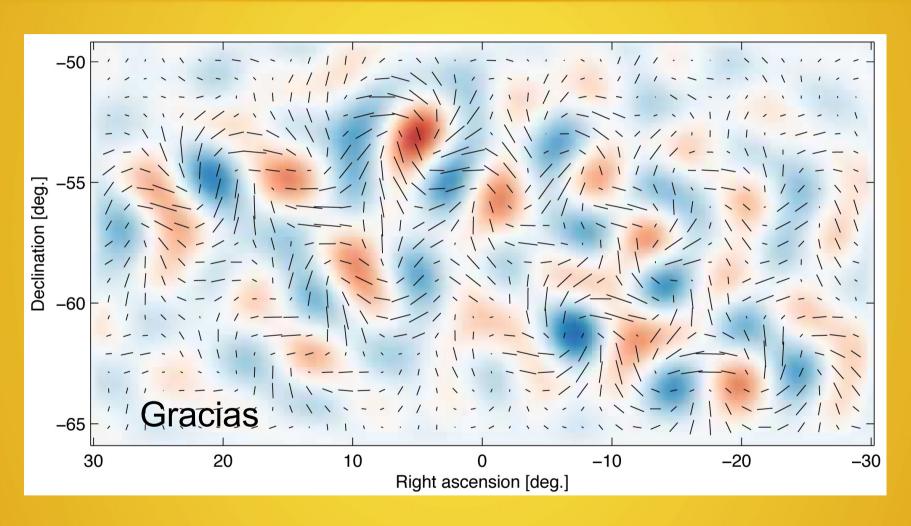
Los mejores datos de polarización en 9 rangos de frecuencias

Planck lo sabe... pero no lo dice...

Vía Láctea en polarización

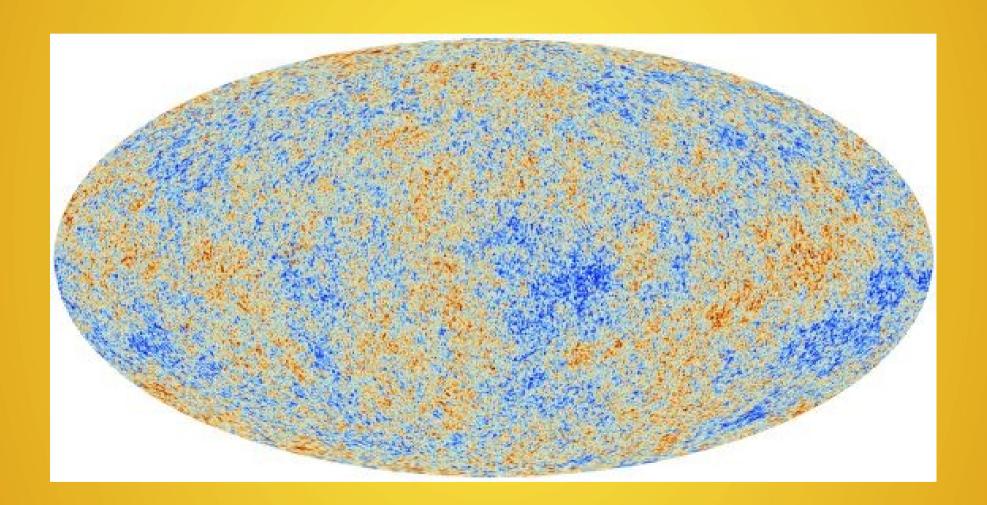


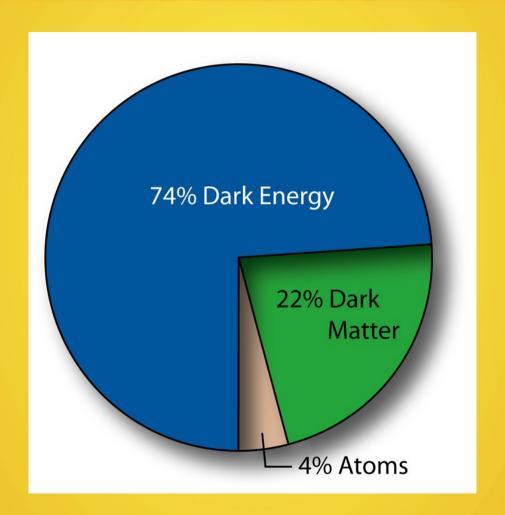
Ondas gravitacionales

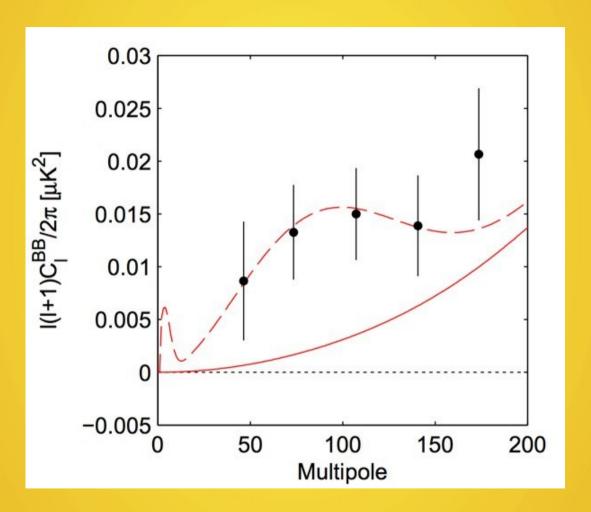


Bicep2











GW Battaner abril 2004

Dos tipos de gw

Primordiales, producidas en la inflación.

En el Universo actual, púlsares binarios, etc...

Aquí sólo hablamos de los primordiales

¿Qué son ondas gravitacionales?

En toda onda hay una magnitud física que oscila y la oscilación se propaga.

En el sonido, la presión.

En la luz, los campos eléctricos y magnéticos.

En las ondas gravitacionales...el tensor métrico

(las propiedades del espacio-tiempo)

(la curvatura del espacio-tiempo)

Einstein

Las GW fueron predichas por Einstein.

Pero no se han detectado hasta...

¿el mes pasado?

Hay GW creadas en el "Universo presente"

Y hay GW creadas en la Inflación.

10⁻³⁵ segundos tras Big-Bang.

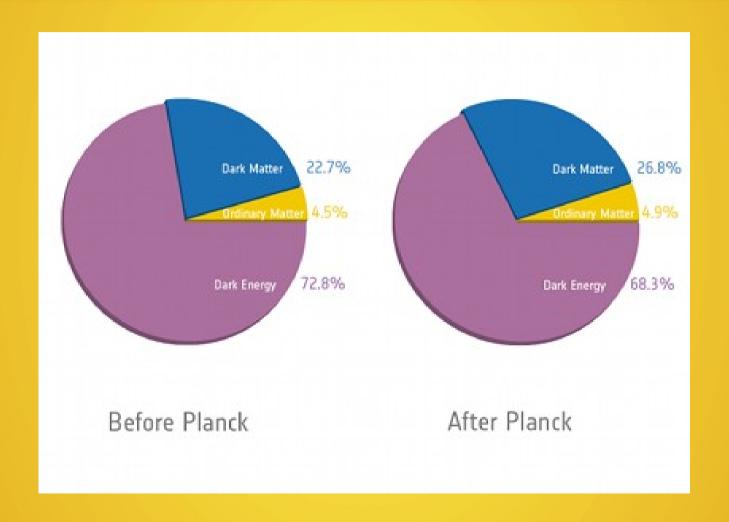
Inflación

En el Universo primitivo hubo un momento de expansión muy rápida (exponencial)

La Inflación explica por qué el Universo es plano y por qué es homogéneo.

Aunque hay muchas teorías inflacionarias.

Hubo oscilaciones cuánticas de densidad y de curvatura.







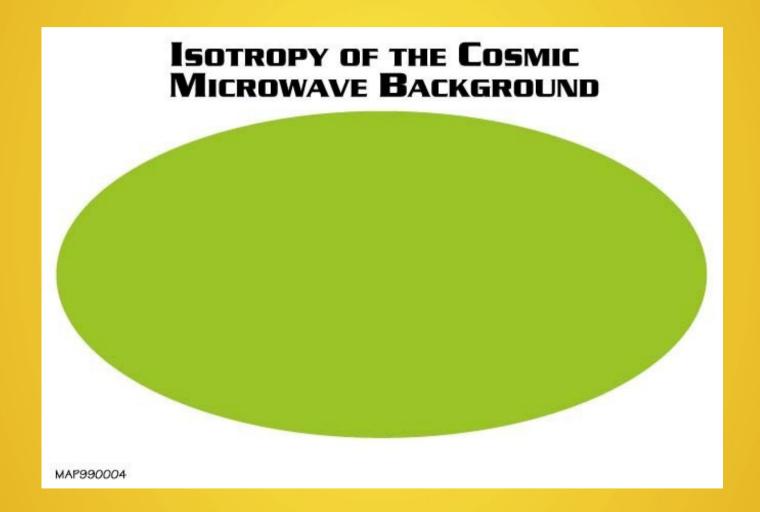
Planck (ESA)

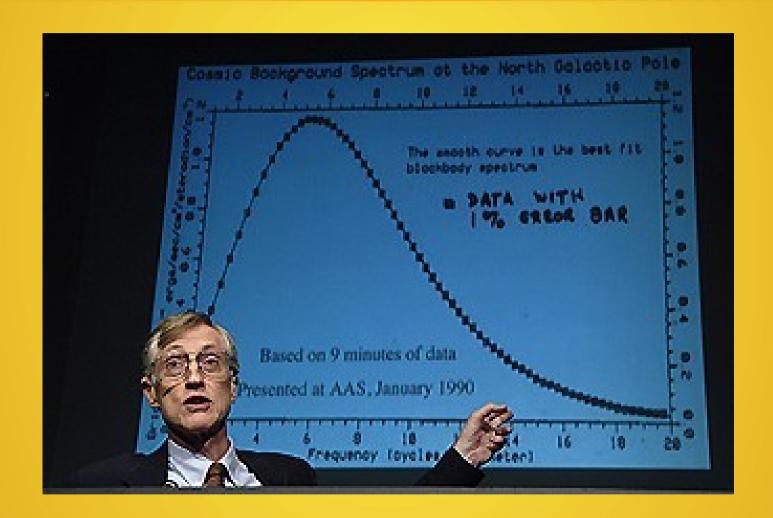
Lanzamiento: 2009

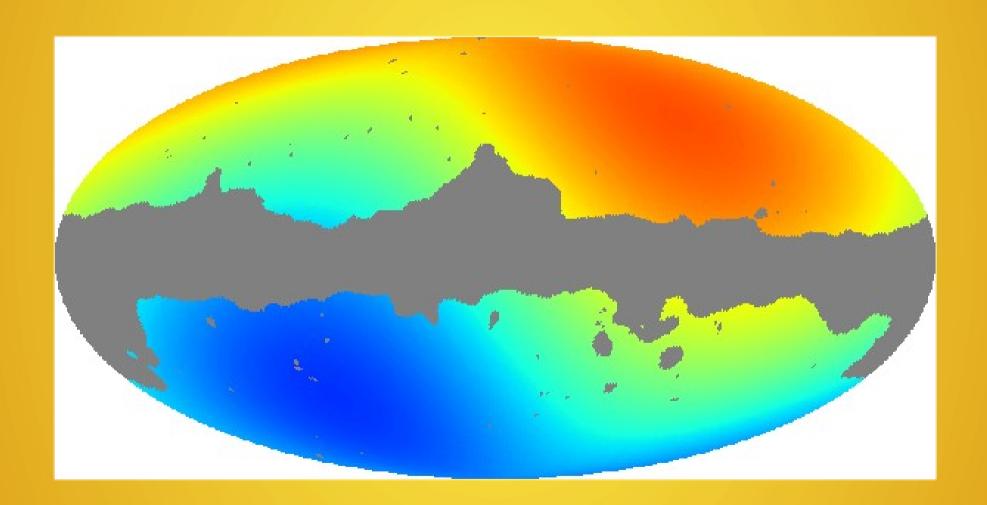
HFI murió en enero de 2012

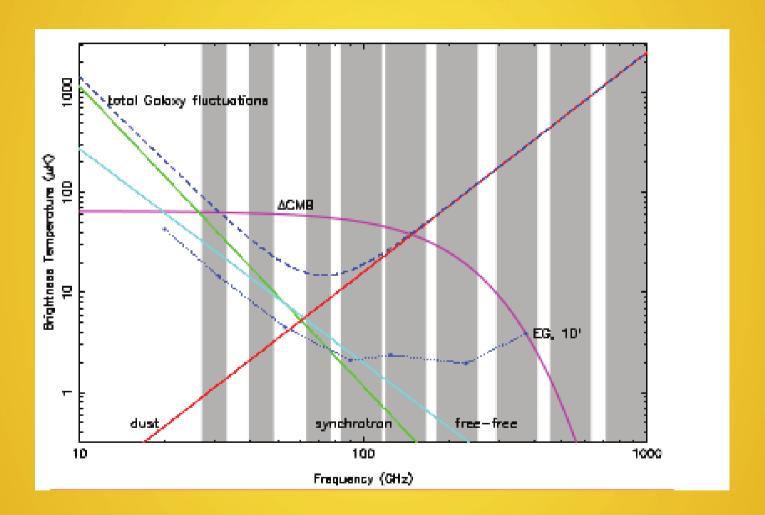
LFI murió en enero de 2013

En marzo se publicaron "casi" todos los resultados cosmológicos

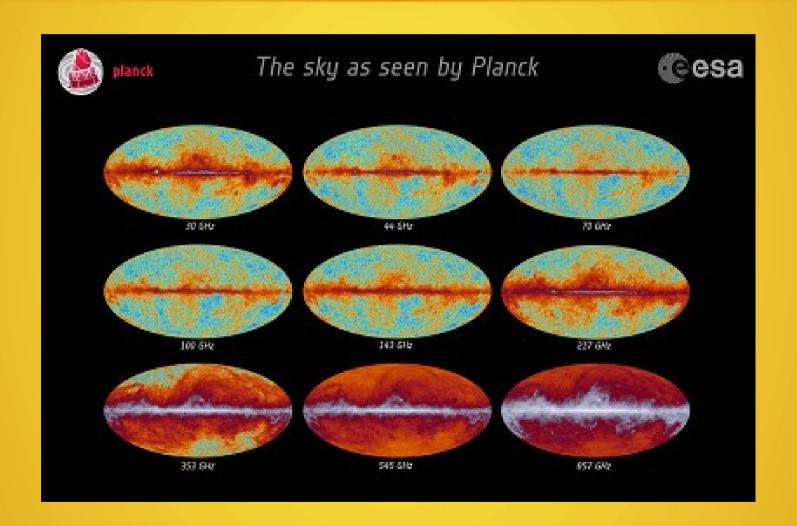








Planck. Parque Ciencias. 2013



Conclusión básica

El Universo está dominado por la energía oscura

El Universo tiene grandes cantidades de materia oscura

La componente bariónica es muy pequeña

El Universo tiene curvatura cero

Vemos el sonido

El sonido de la luz

El sonido

Observamos el sonido 380.000 años tras el Big-Bang

¿Quién dijo...

Que las ondas de gravedad podrían observarse en la polarización del Fondo Cósmico de Microondas?

¿Quién dijo...

Que las ondas de gravedad podrían observarse en la polarización del Fondo Cósmico de Microondas?

M.V. Sazhin y N. Benítez

Astro. Lett. And Communications, 32, 105 (1995)

Dos tipos de gw

Primordiales, producidas en la inflación.

En el Universo actual, púlsares binarios, etc...

Aquí sólo hablamos de los primordiales

Dos tipos de gw

Primordiales, producidas en la inflación.

En el Universo actual, púlsares binarios, etc...

Aquí sólo hablamos de los primordiales

