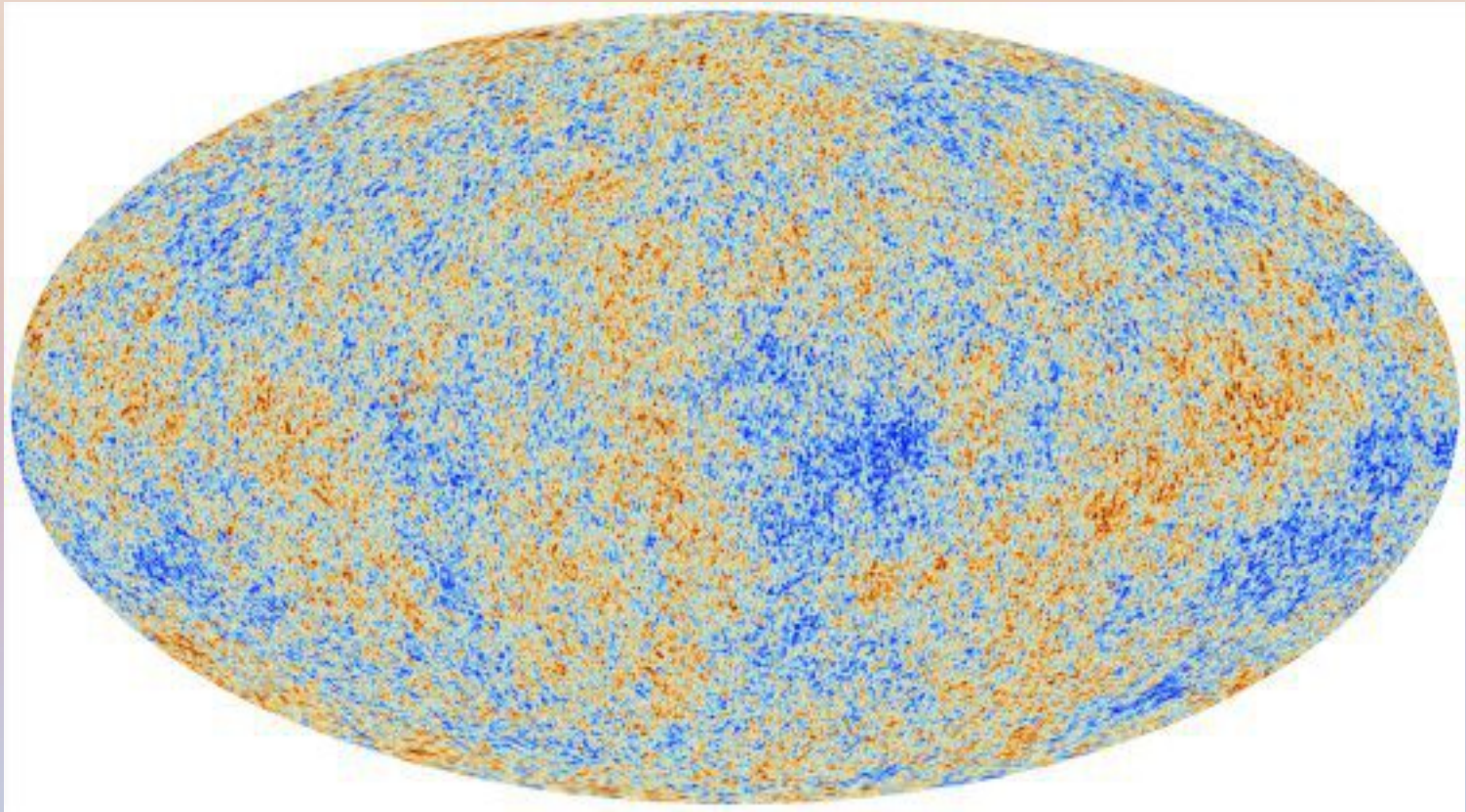
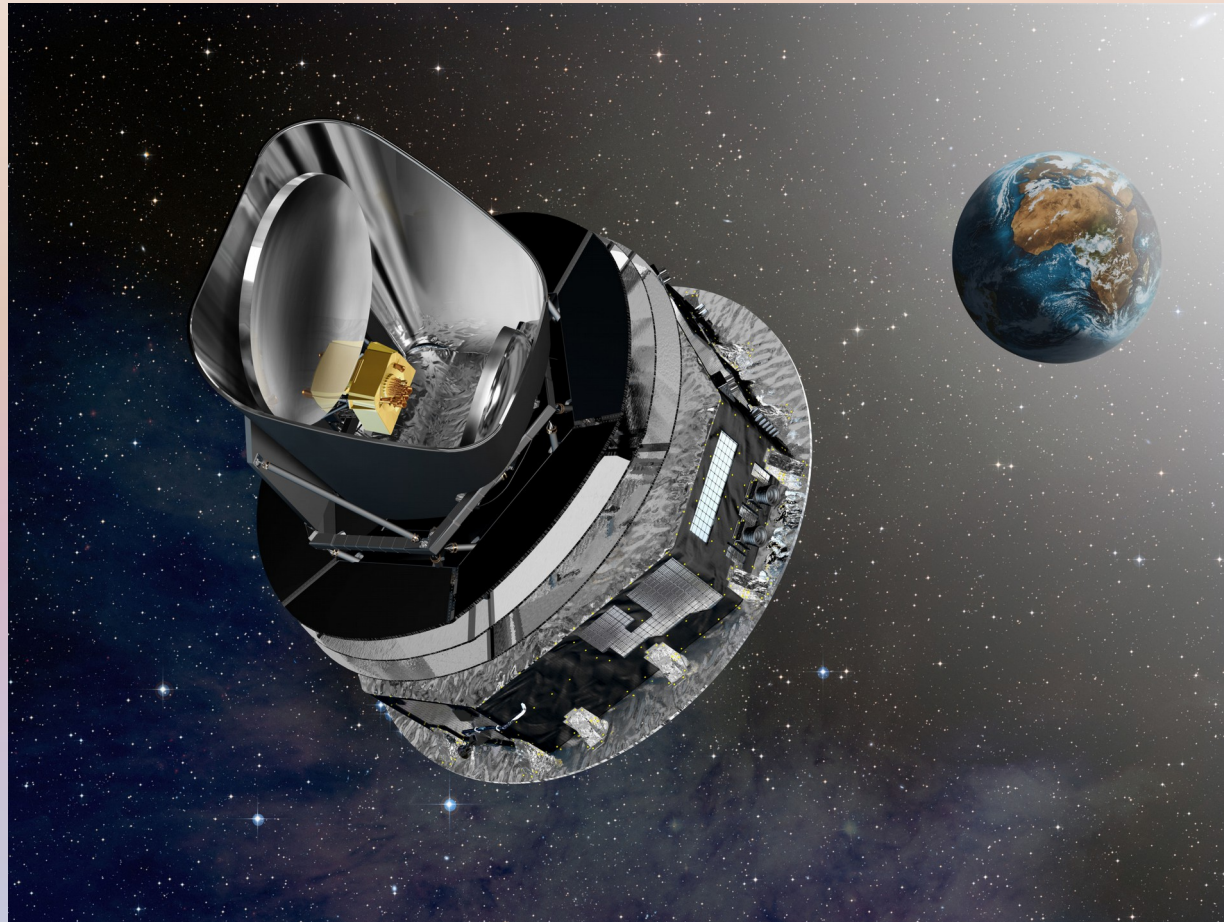


The new “oldest” map



IAA. 2013



IAA. 2013



IAA. 2013



CMB

Cosmic Microwave Background

Fondo cósmico de microondas

380 000 years after Big-Bang

$z=1100$

IAA. 2013

Also...

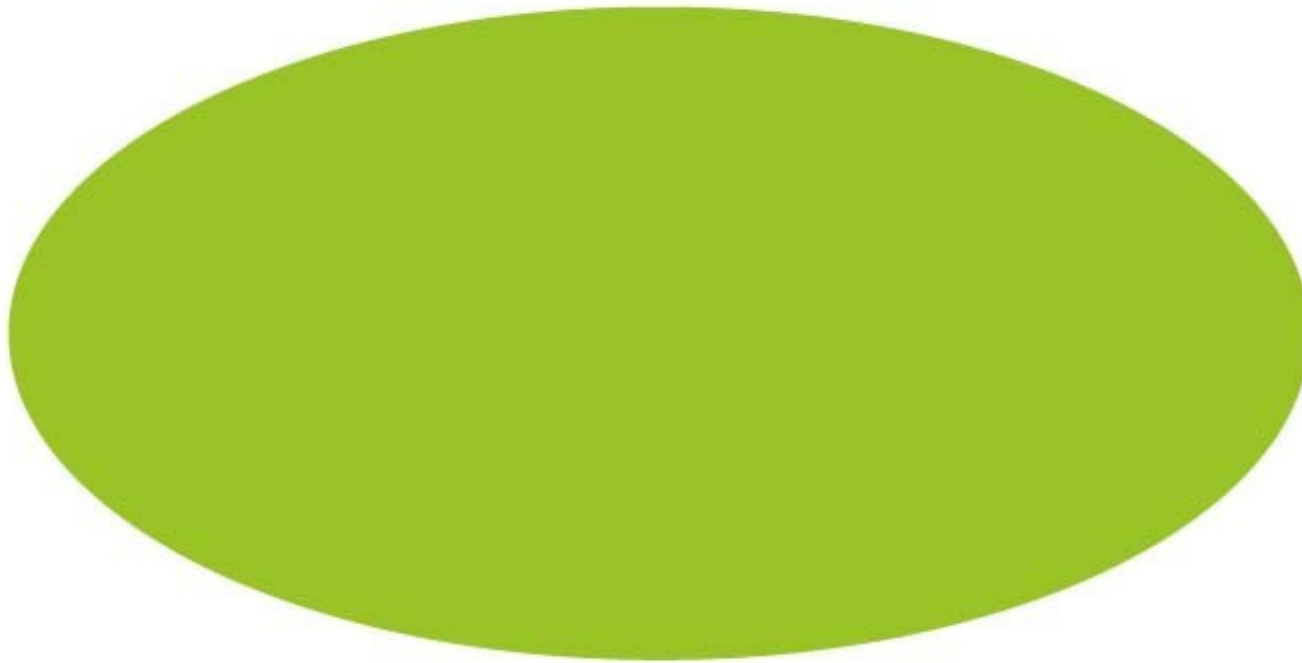
Milky Way

Reionisation

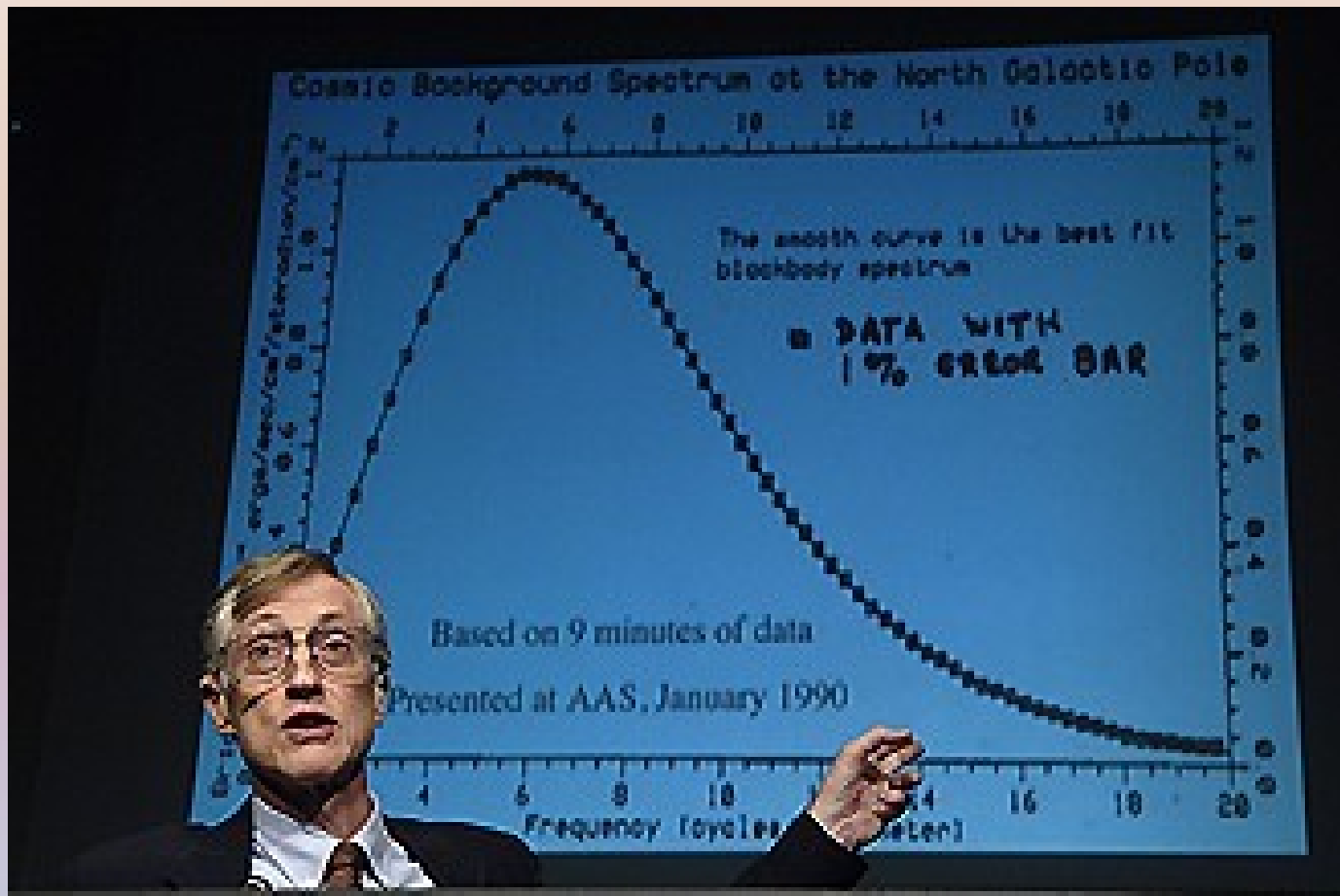
Galaxy clusters

...

ISOTROPY OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



MAP990004



Planck (ESA)

Launch: 2009

HFI died 2012

LFI died 2013

In 2013 many “cosmological” papers

In 2014 another series of papers

Polarization!

Basic characteristics

1 rpm

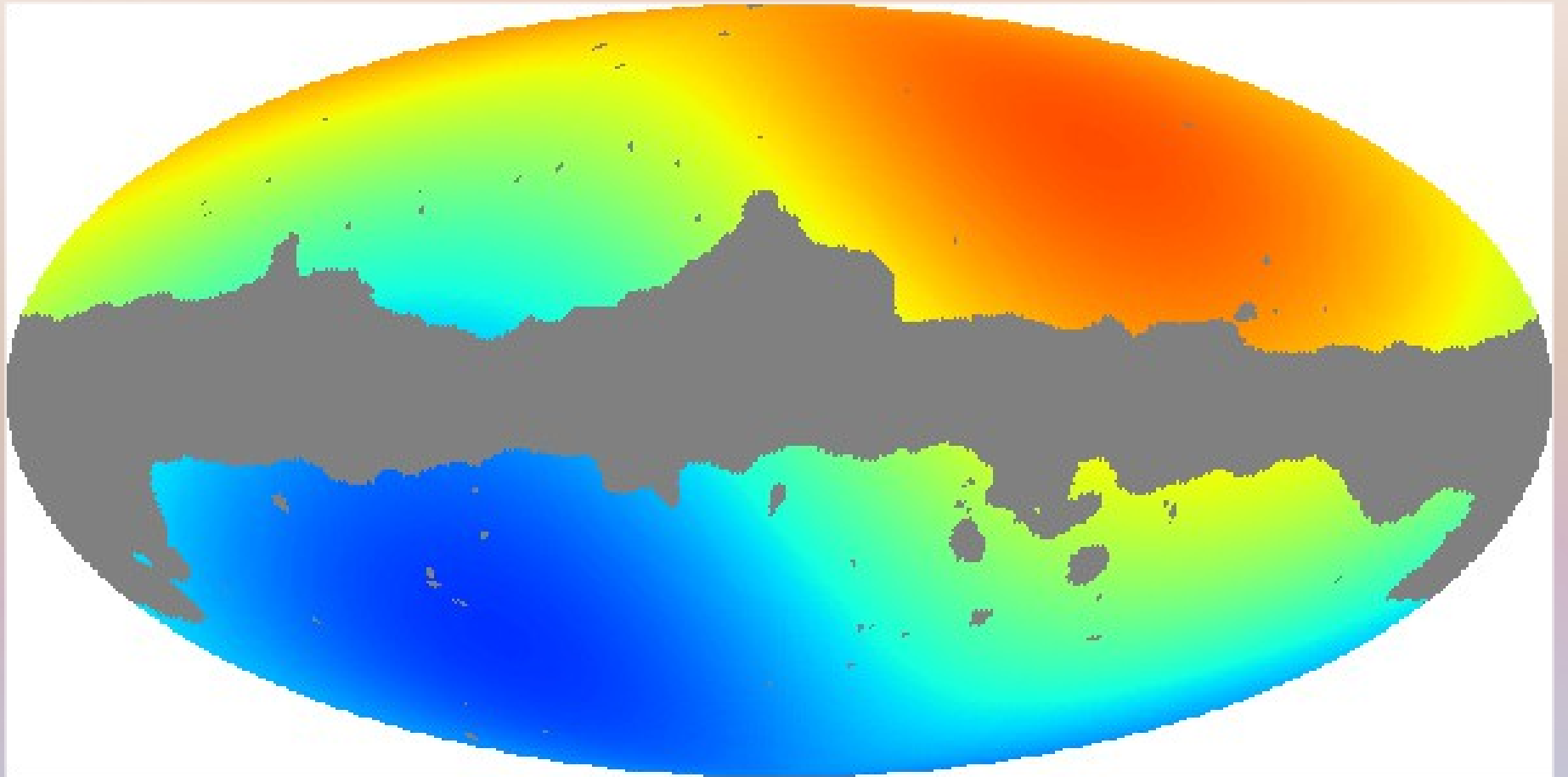
Telescope: 1.5 m

Lagrange Point L2.

HFI temperature 0,1K

LFI temperature 20K

Dipole

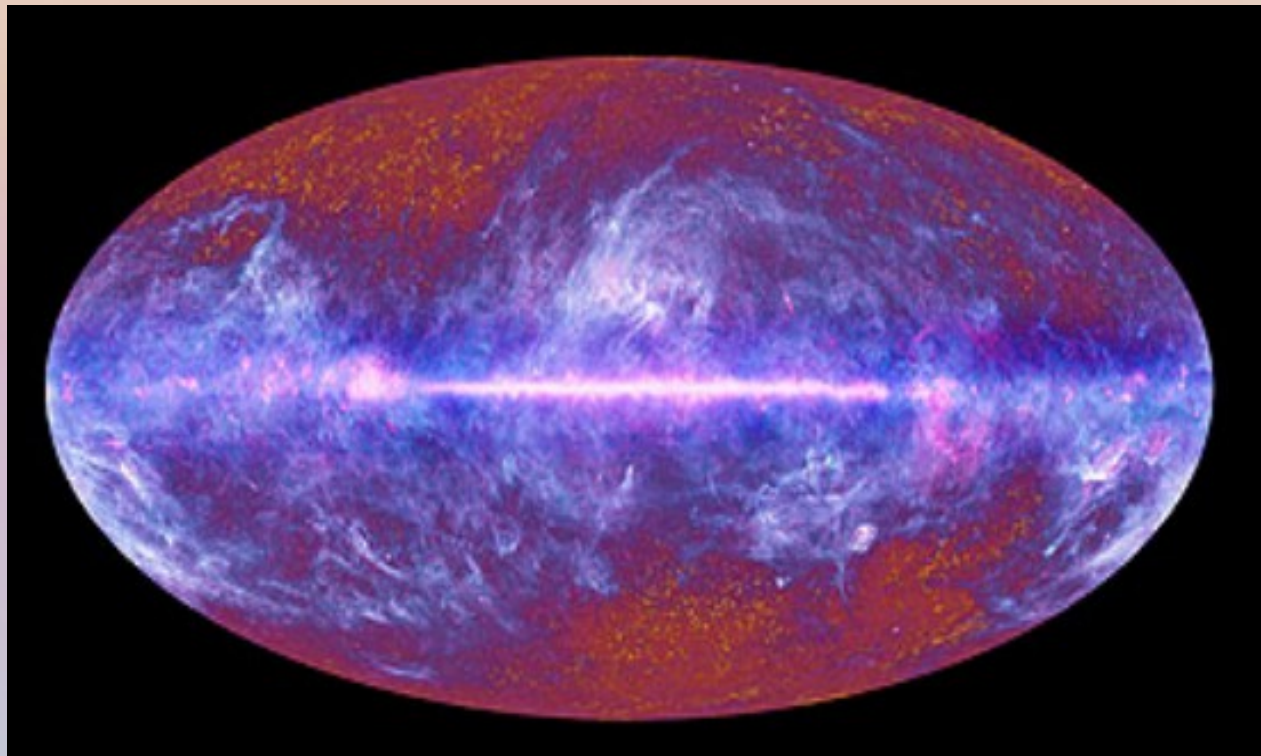


IAA. 2013

Dipolar anisotropy

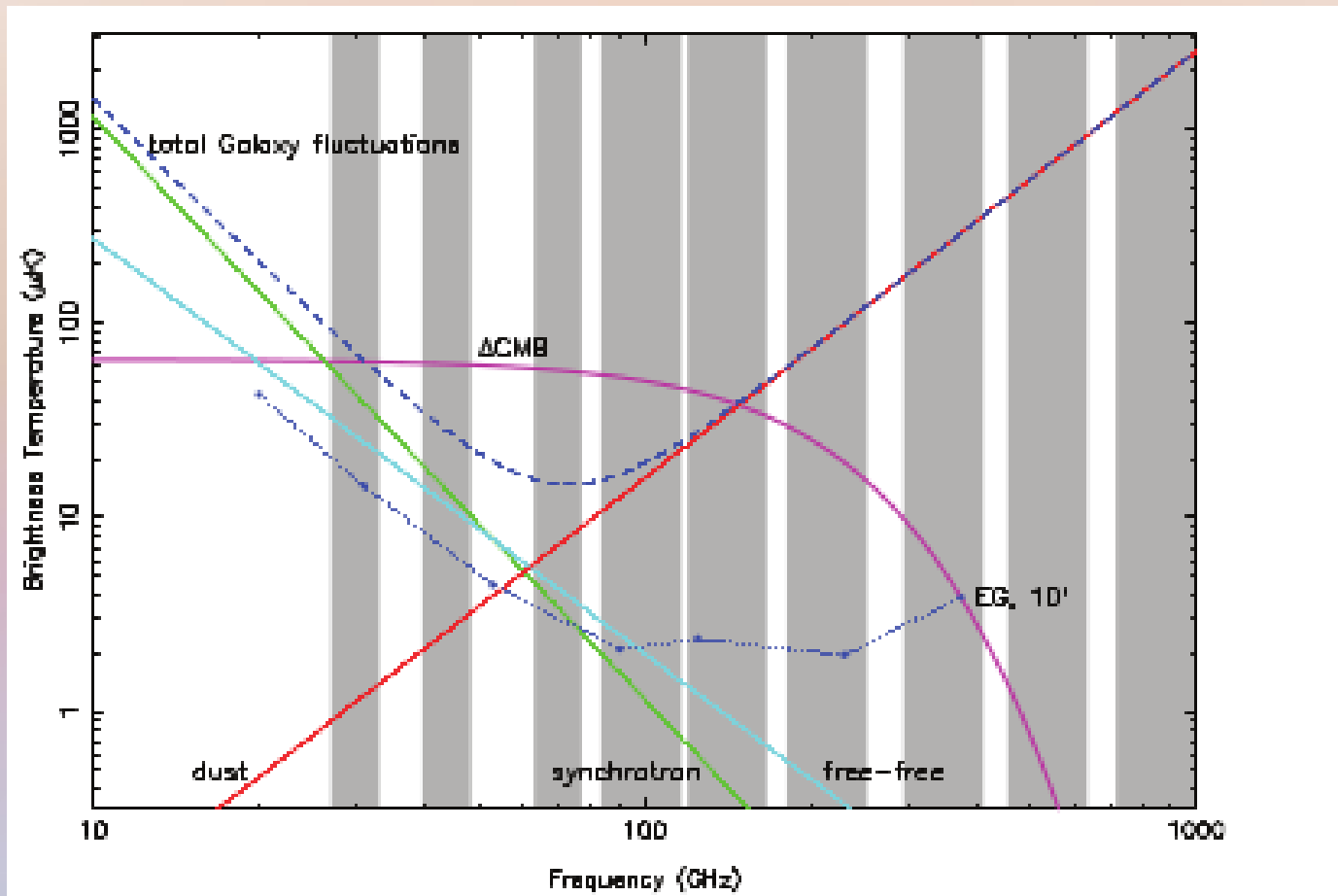
- Our velocity with respect CMB
- 369 km/s
- Towards $(l,b) = (263,99^\circ, 48,26^\circ)$
- (between Crater y Leo)

CMB + “contaminations”

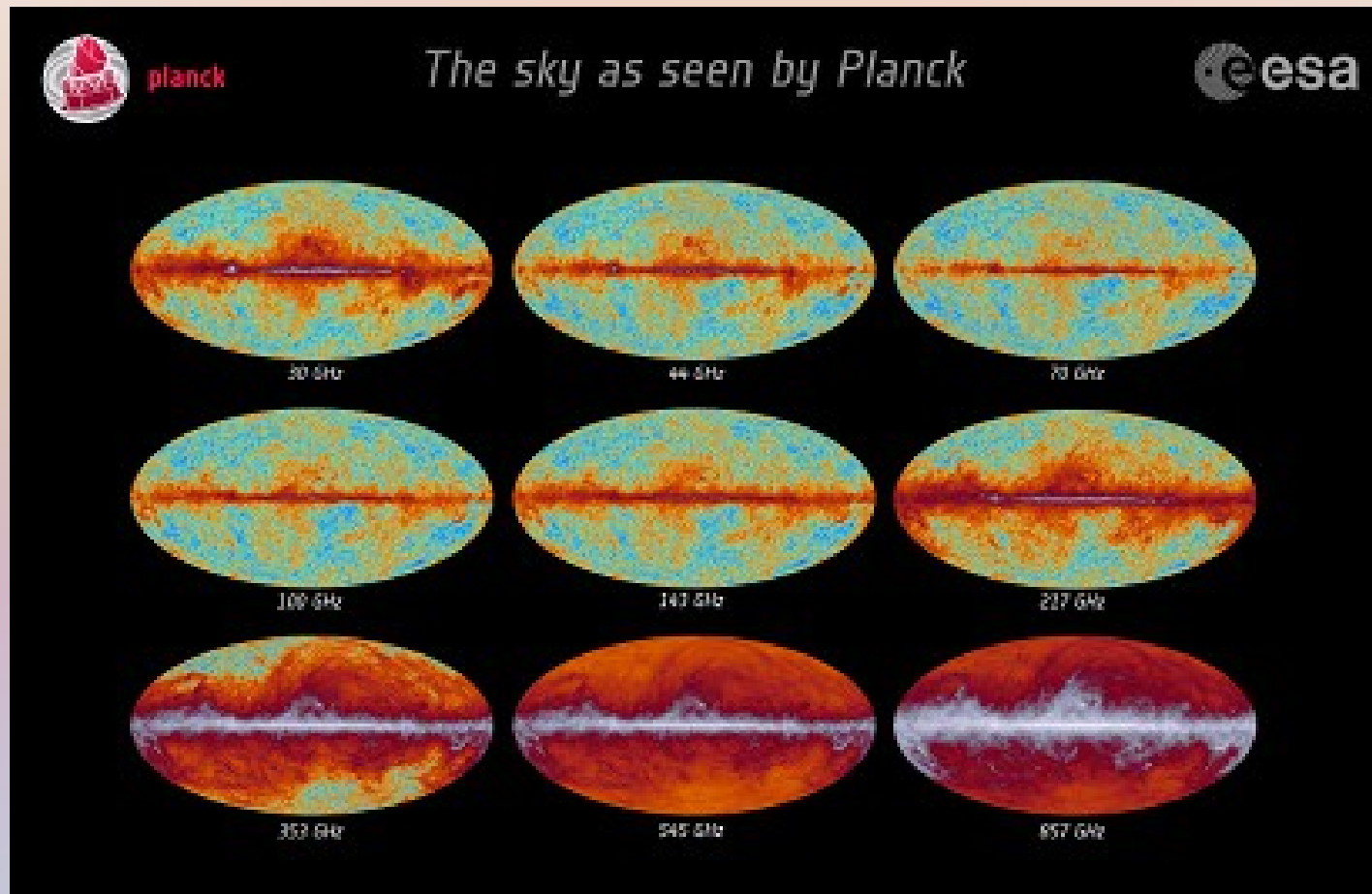


IAA. 2013

Galactic emissions

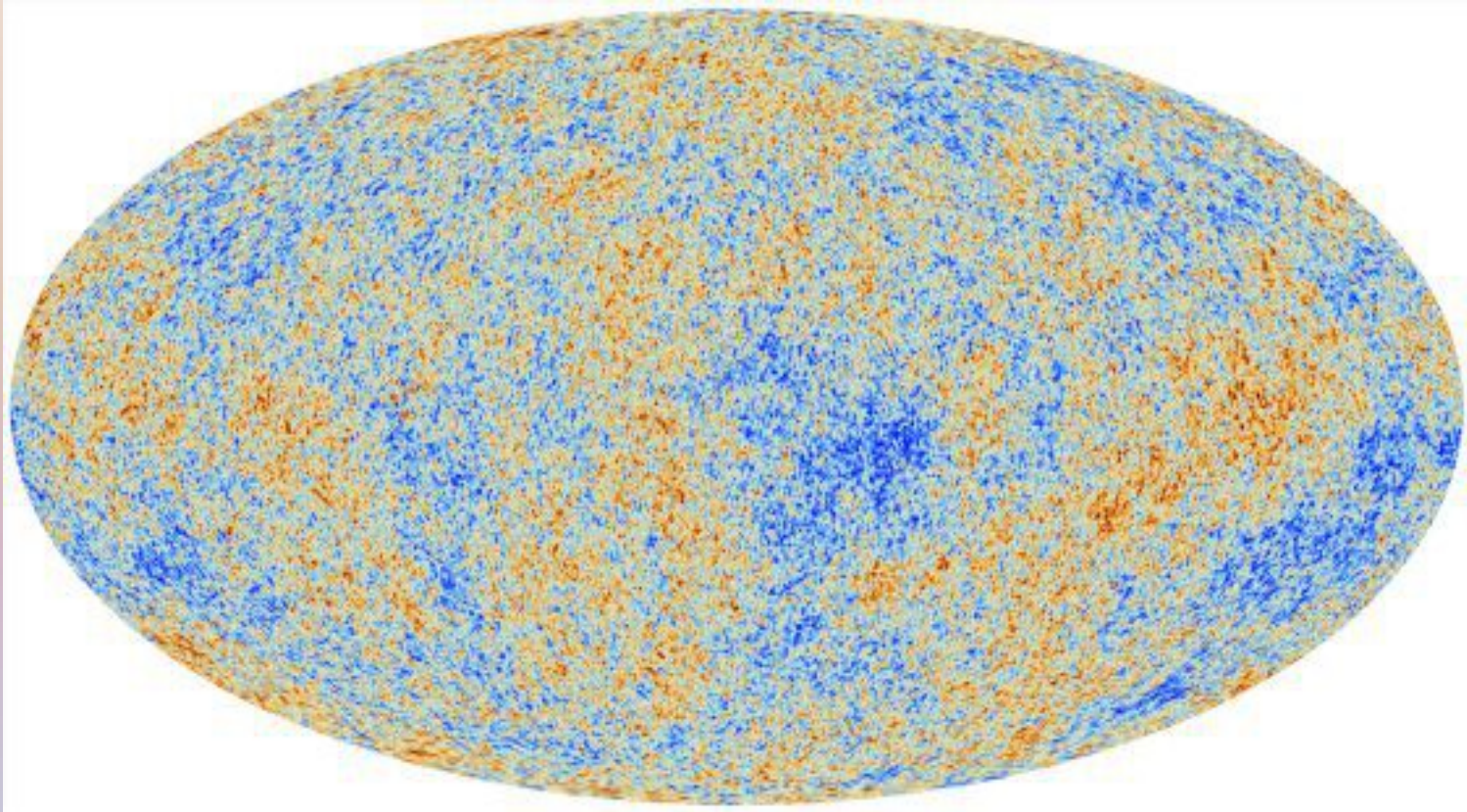


9 channels



Remove (?)

- Synchrotron
- Free-free
- AME
- CIB
- SZ
- Dust
- CO
- Compact sources



IAA. 2013

Spectrum of angular anisotropies

How frequent is a size of anisotropy

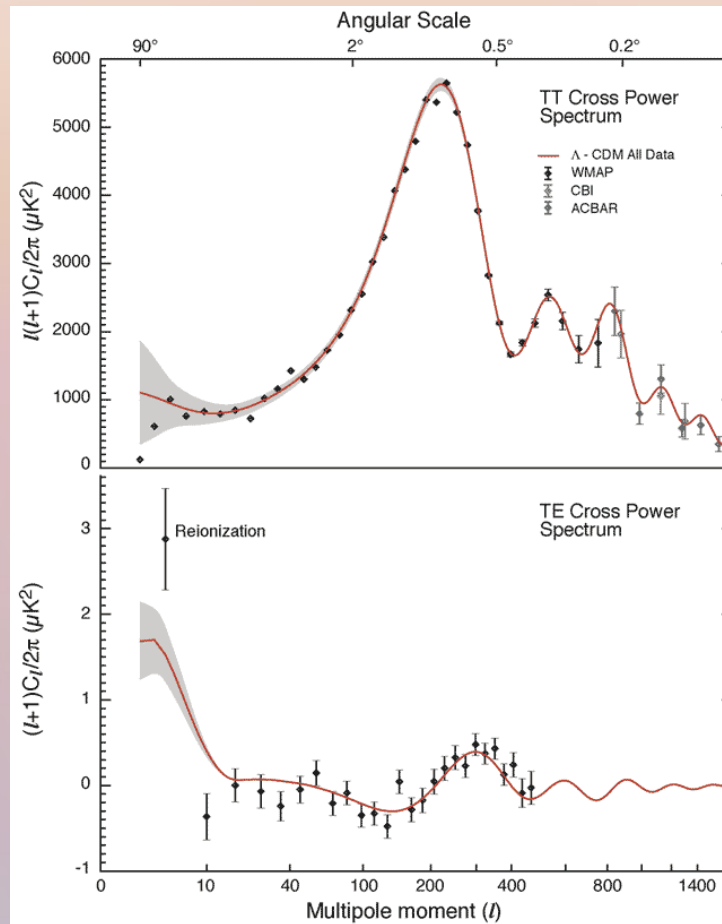
$>1^\circ$ sound , Doppler peaks, causal connection

$<1^\circ$, gravitational redshift

(Sachs-Wolfe effect), outside the horizon

Initial conditions

$$l=180^\circ/\text{size}(^\circ)$$



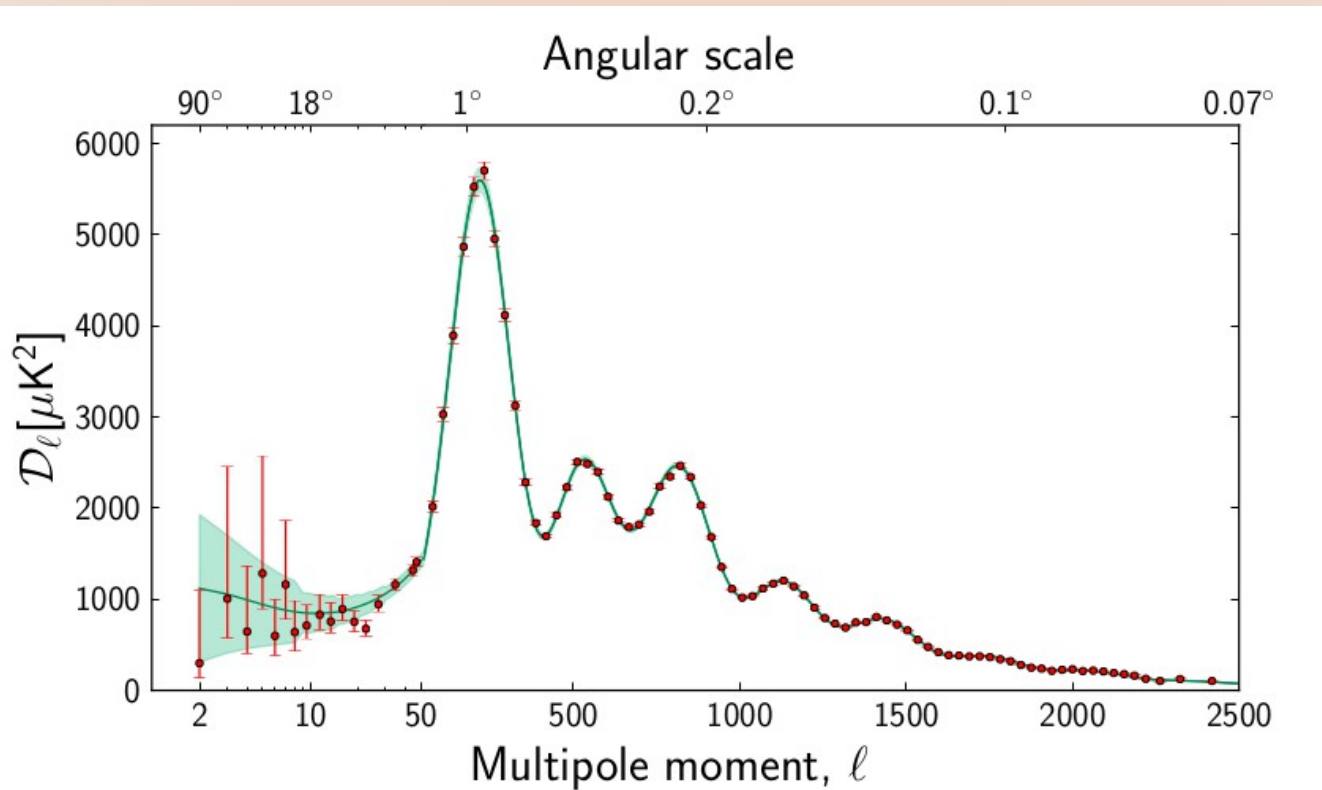
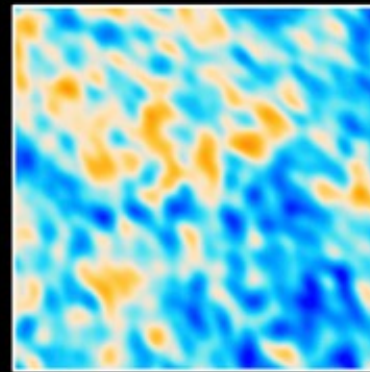
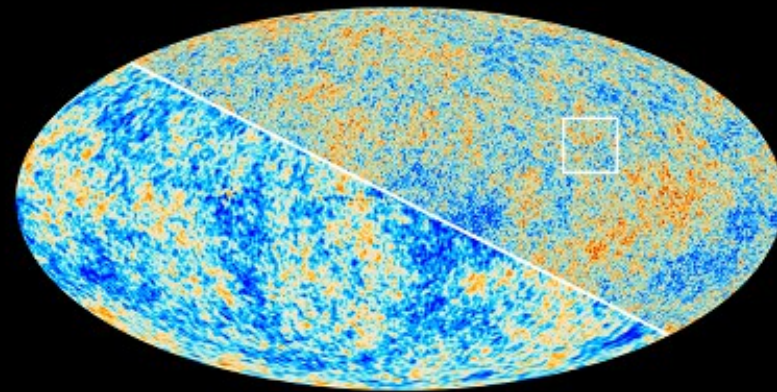
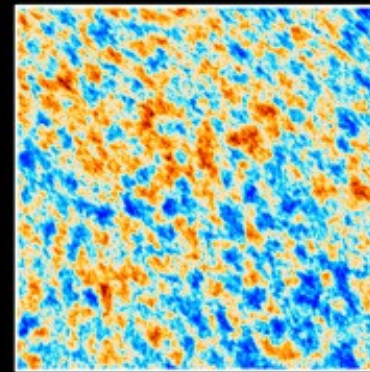


Figure 37. The 2013 *Planck* CMB temperature angular power spectrum. The error bars include cosmic variance, whose magnitude is indicated by the green shaded area around the best fit model. The low- ℓ values are plotted at 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.5, 11.5, 13.5, 16, 19, 22.5, 27, 34.5, and 44.5.

The Cosmic Microwave Background as seen by Planck and WMAP

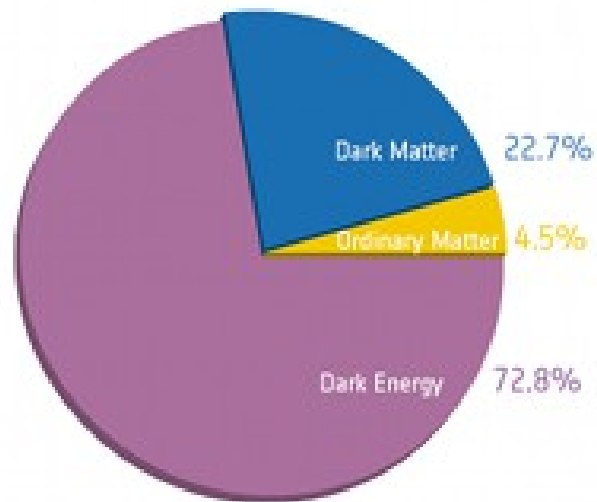


WMAP

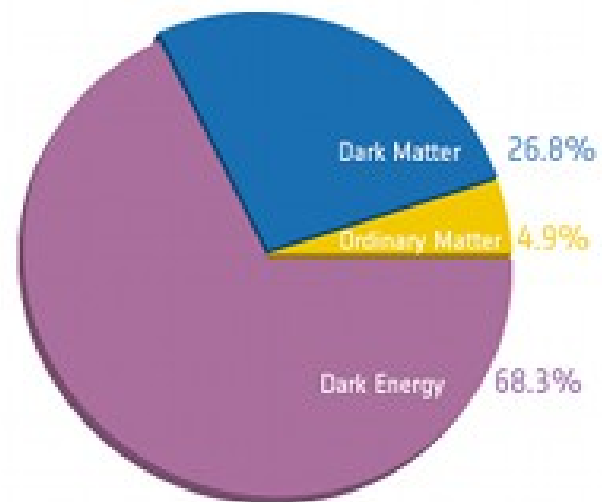


Planck

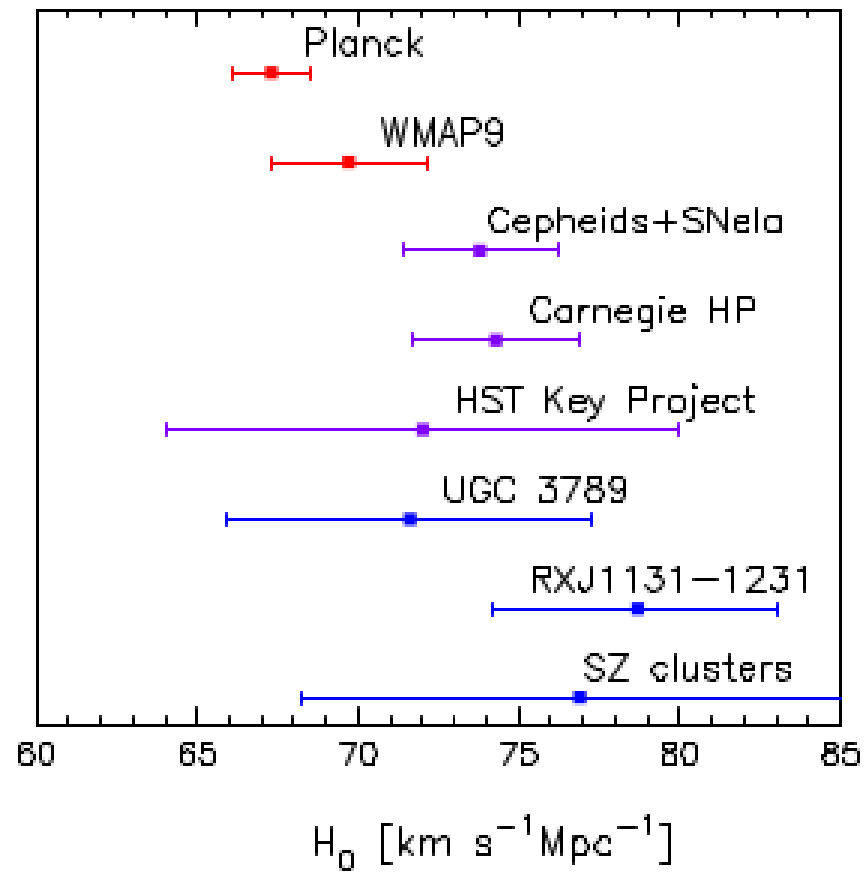
Parameter	<i>Planck</i>		<i>Planck+WP</i>	
	Best fit	68% limits	Best fit	68% limits
$\Omega_b h^2$	0.022068	0.02207 ± 0.00033	0.022032	0.02205 ± 0.00028
$\Omega_c h^2$	0.12029	0.1196 ± 0.0031	0.12038	0.1199 ± 0.0027
$100\theta_{MC}$	1.04122	1.04132 ± 0.00068	1.04119	1.04131 ± 0.00063
τ	0.0925	0.097 ± 0.038	0.0925	$0.089^{+0.012}_{-0.014}$
n_s	0.9624	0.9616 ± 0.0094	0.9619	0.9603 ± 0.0073
$\ln(10^{10} A_s)$	3.098	3.103 ± 0.072	3.0980	$3.089^{+0.024}_{-0.027}$
Ω_Λ	0.6825	0.686 ± 0.020	0.6817	$0.685^{+0.018}_{-0.016}$
Ω_m	0.3175	0.314 ± 0.020	0.3183	$0.315^{+0.016}_{-0.018}$
σ_8	0.8344	0.834 ± 0.027	0.8347	0.829 ± 0.012
z_{re}	11.35	$11.4^{+4.0}_{-2.8}$	11.37	11.1 ± 1.1
H_0	67.11	67.4 ± 1.4	67.04	67.3 ± 1.2
$10^9 A_s$	2.215	2.23 ± 0.16	2.215	$2.196^{+0.051}_{-0.060}$
$\Omega_m h^2$	0.14300	0.1423 ± 0.0029	0.14305	0.1426 ± 0.0025
Age/Gyr	13.819	13.813 ± 0.058	13.8242	13.817 ± 0.048
z_s	1090.43	1090.37 ± 0.65	1090.48	1090.43 ± 0.54
$100\theta_s$	1.04139	1.04148 ± 0.00066	1.04136	1.04147 ± 0.00062
z_{eq}	3402	3386 ± 69	3403	3391 ± 60

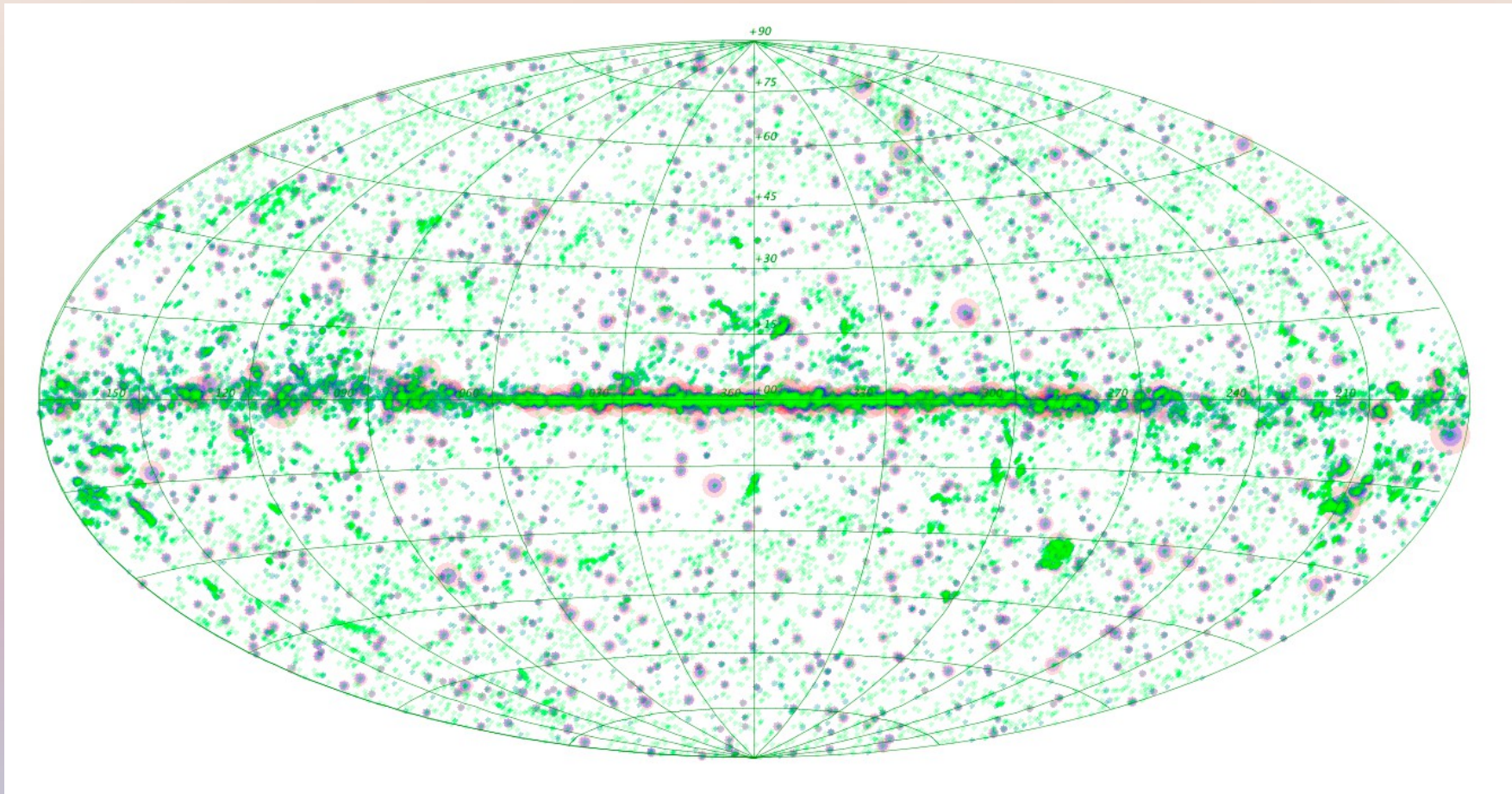


Before Planck



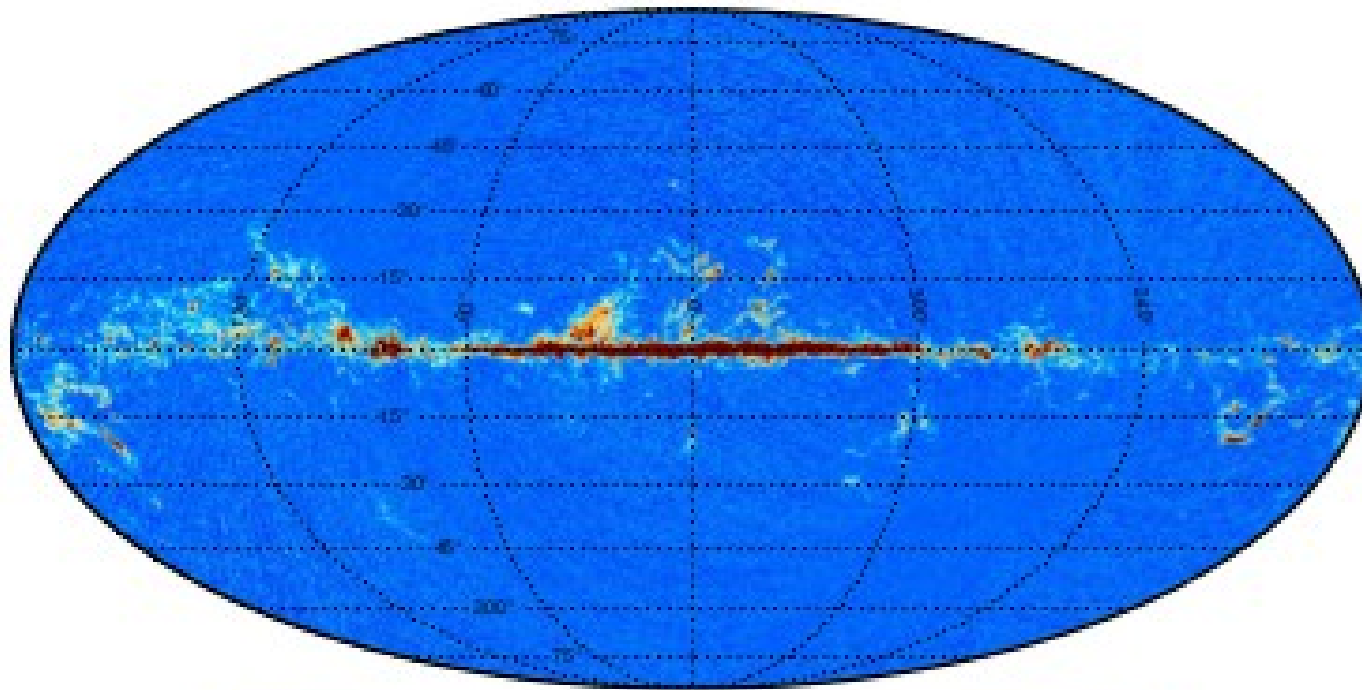
After Planck





IAA. 2013

Type 1 J=2-1 CO map



-2.5 15.0

K km/s
Type 2 J=2-1 CO map



IAA. 2013

- AME (anomalous microwave emission)

Title:temp-figure4.dvi
Creator:dvips(k) 5.96.1 Copyright 2
CreationDate:Mon Nov 28 11:24:5

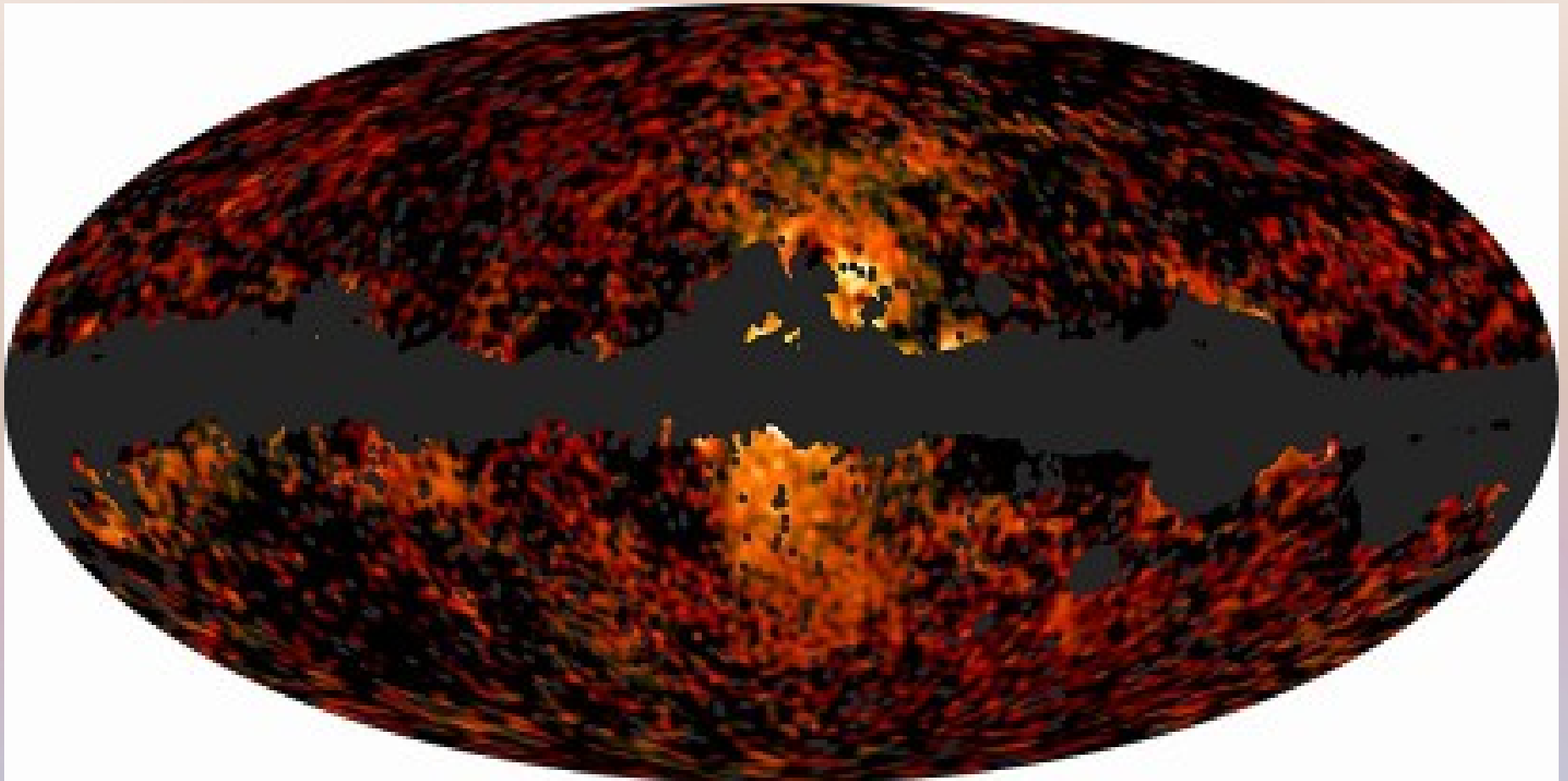
Mapas de AME

Title:temp-figure10.dvi

Creator:dvips(k) 5.96.1 Copyright 2007 R

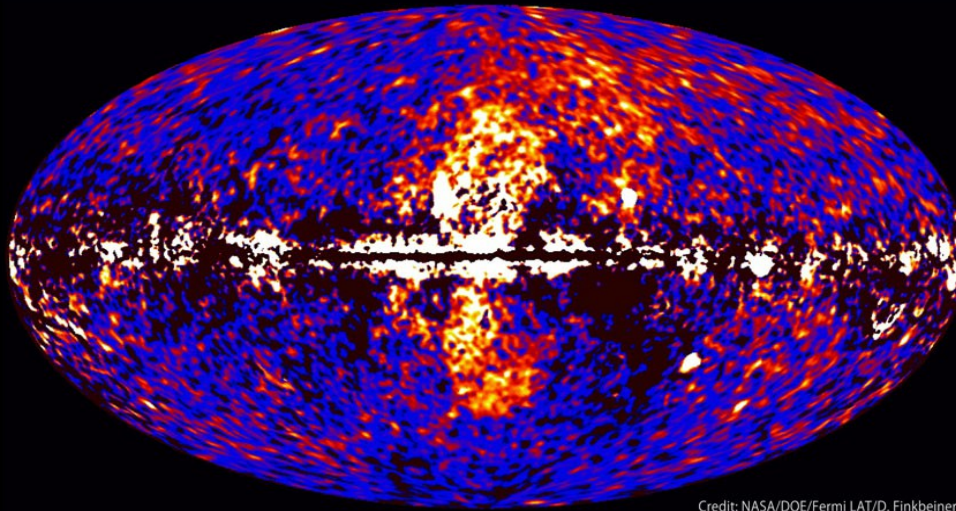
CreationDate:Mon Nov 28 11:25:09 2011

Haze

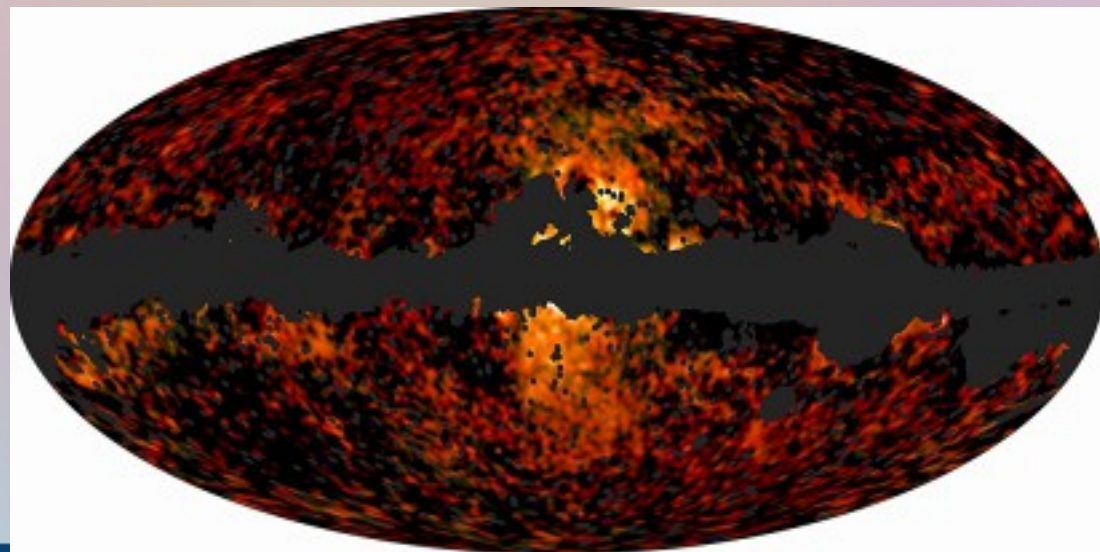


IAA. 2013

Fermi data reveal giant gamma-ray bubbles

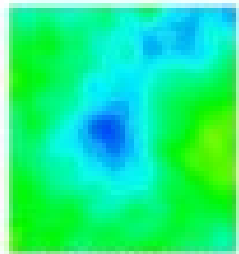


Credit: NASA/DOE/Fermi LAT/D. Finkbeiner et al.

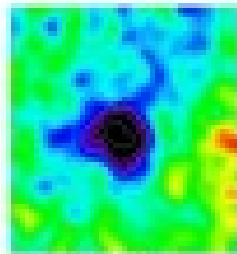


Sunyaev-Zeldovich effect

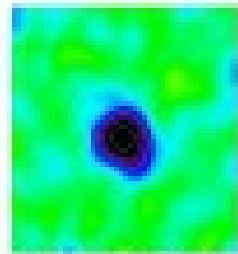
- CMB photons interact with electrons in a cluster
- Black body spectrum becomes modified
- Another tool to observe clusters
- Thermal SZ
- Dynamical SZ



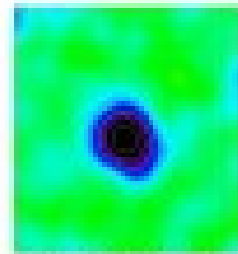
44 GHz



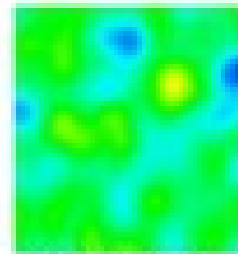
70 GHz



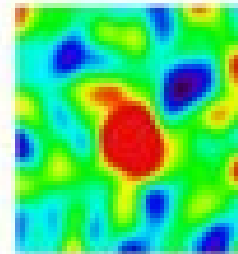
100 GHz



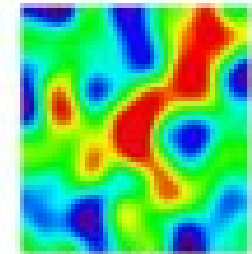
143 GHz



217 GHz

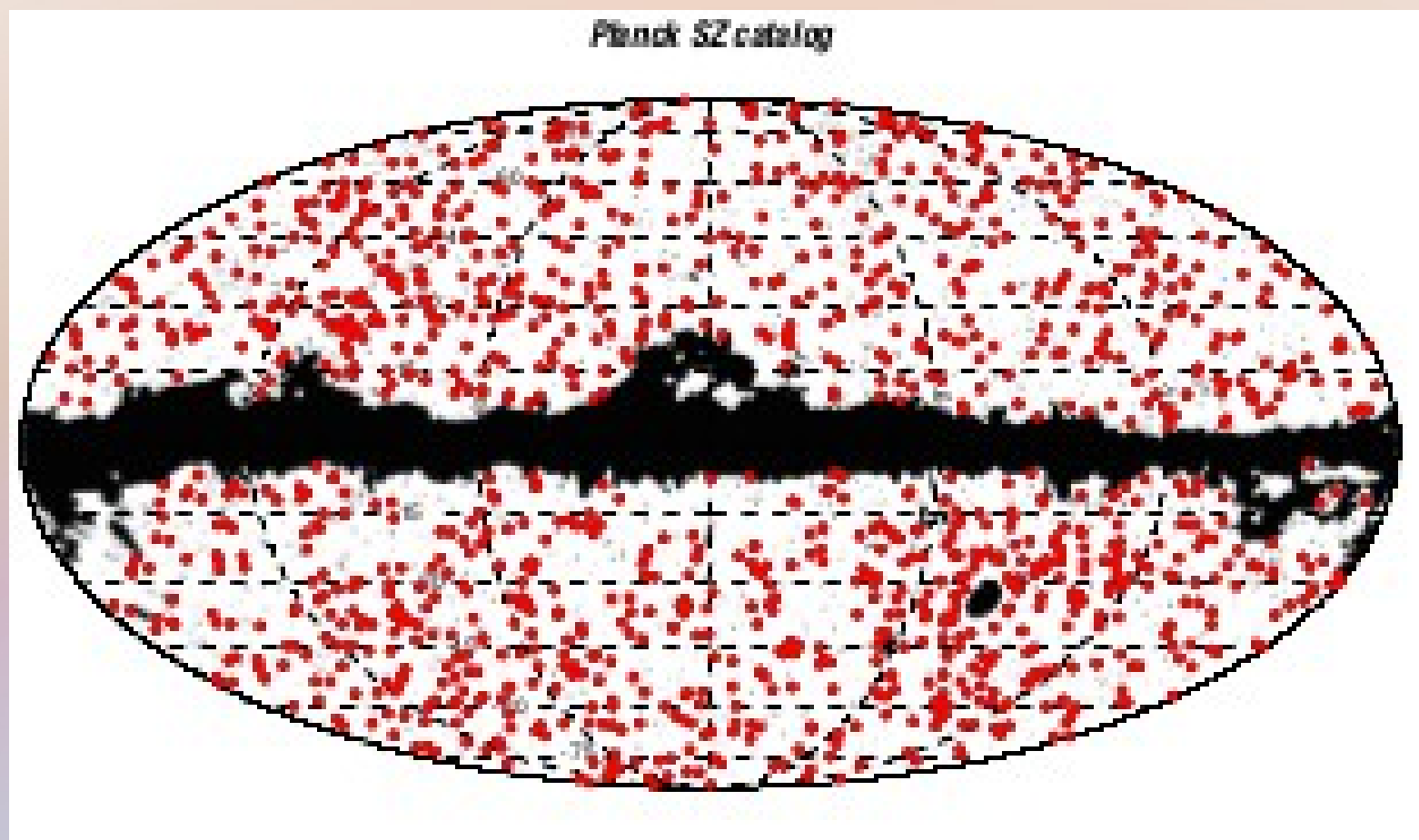


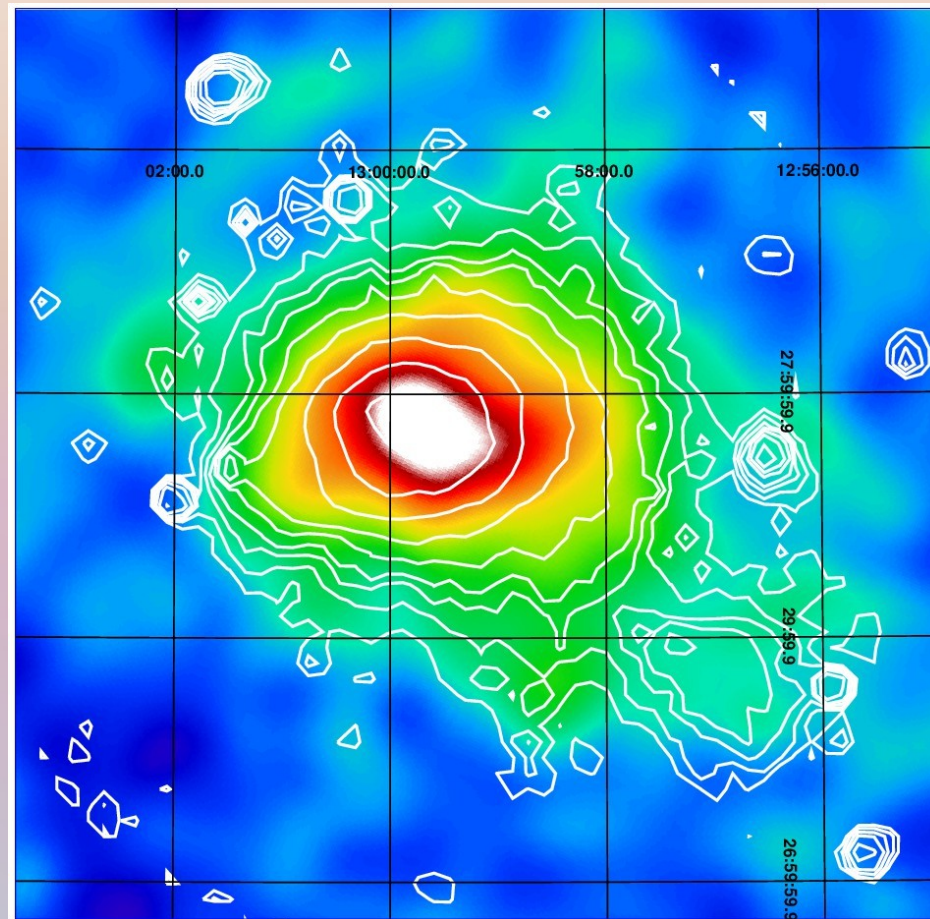
353 GHz



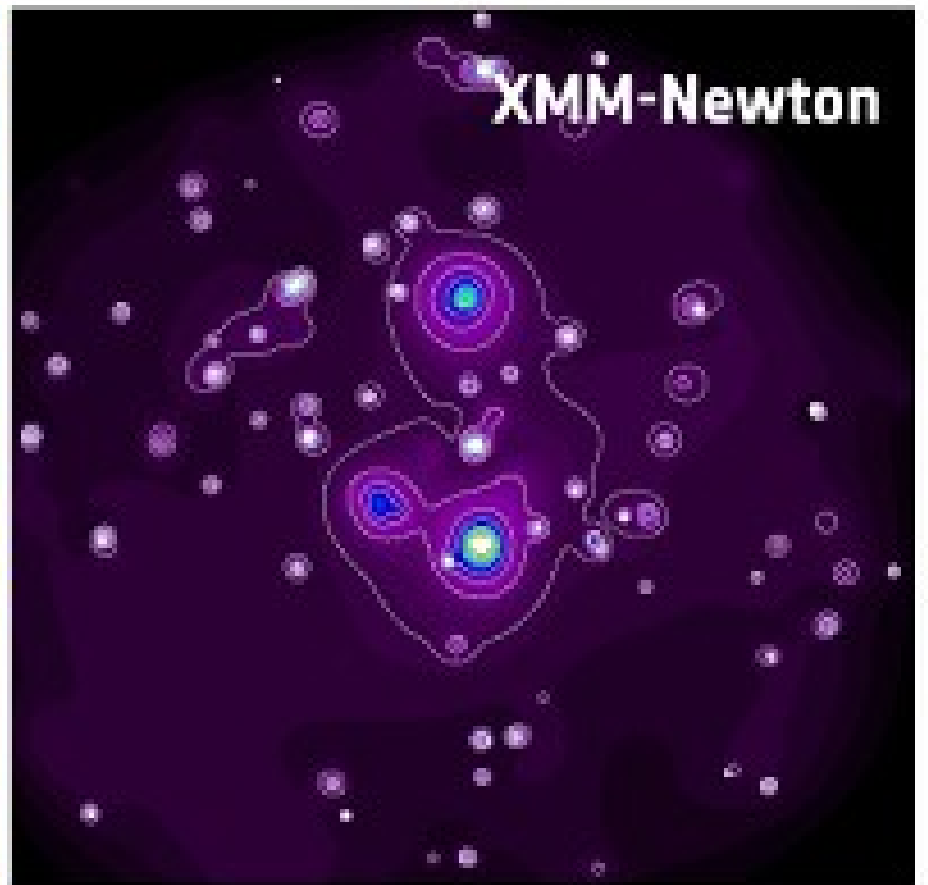
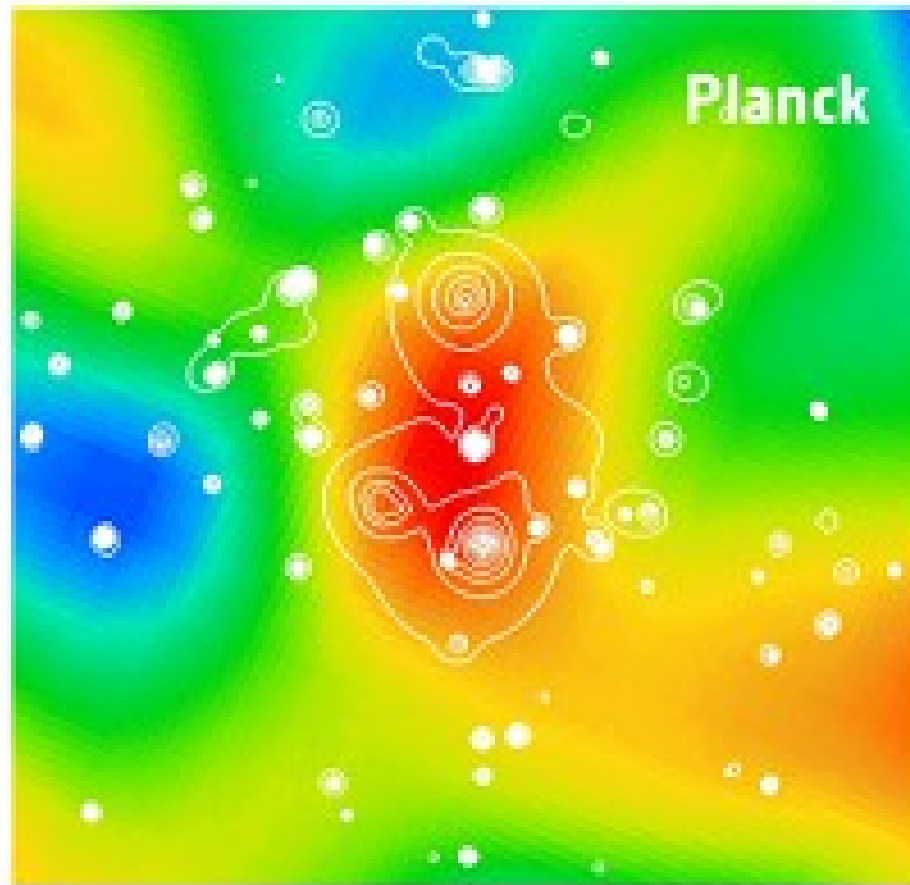
545 GHz

Planck SZ catalog





IAA. 2013



Intercluster SZ

Baryonic DM

- About half the baryonic matter has not been detected.
- Filaments of hot low density regions.
- Planck has looked for bDM between pairs of galactic clusters.
- First detection through the t effect

- Click to add text

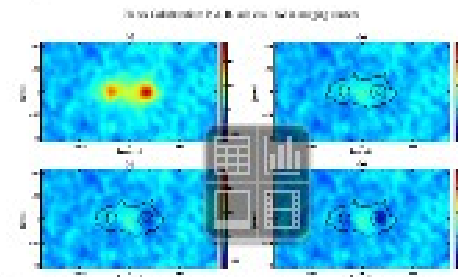
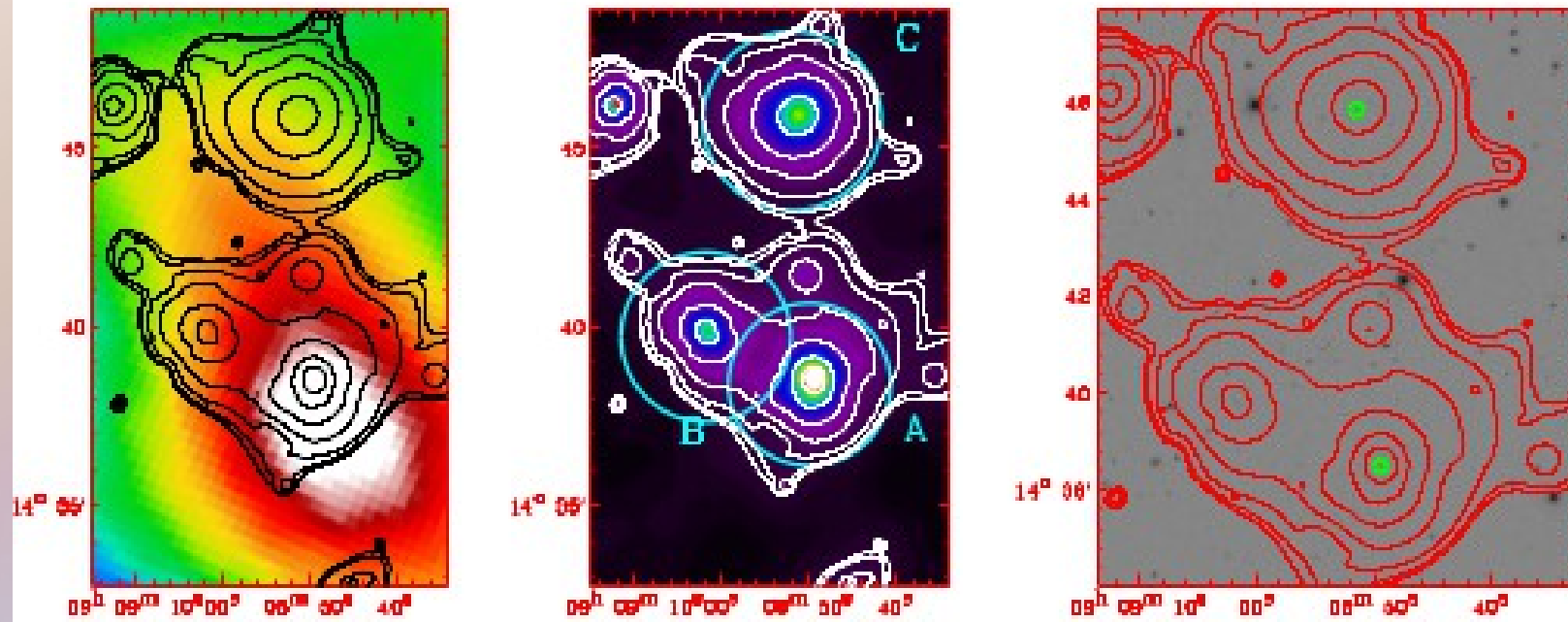


Fig. 4. Planck SZ Compton parameter maps (y-axis) and radio emission maps (x-axis) for the SZ effect. The central inset shows a zoomed-in view of the SZ effect.

Planck Collaboration: The dynamical structure of PLCKG214.6+37.0, a *Planck* discovered triple system of galaxy clusters



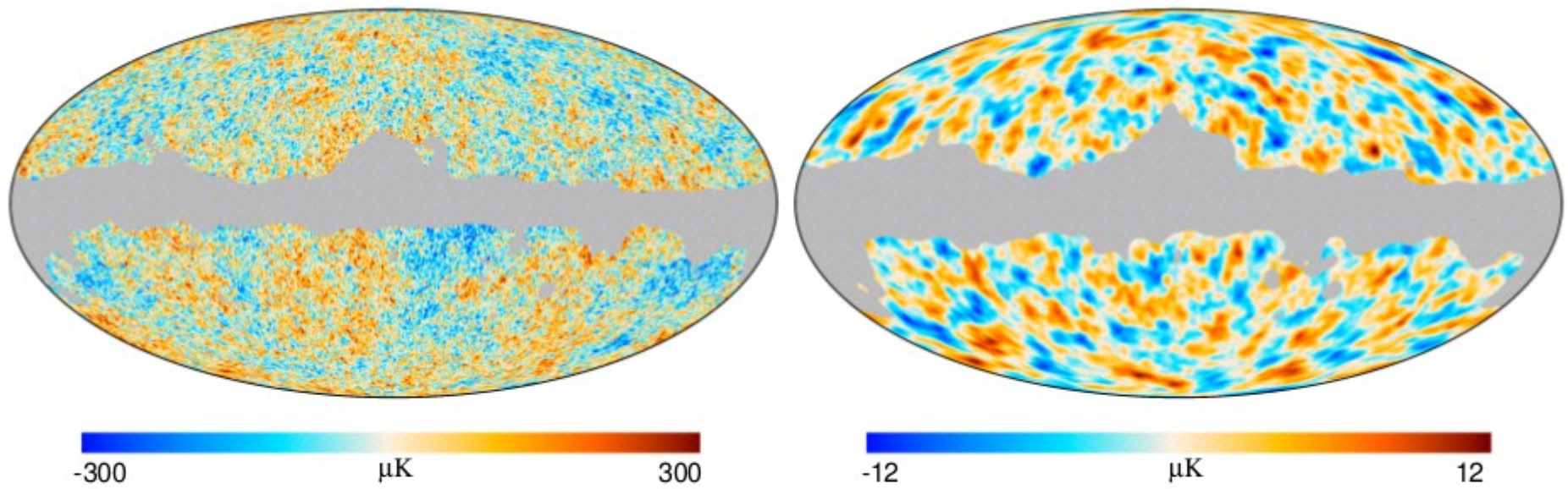
Integrated Sachs-Wolfe

Photons fall in cluster potential wells
(blueshifted)

but they are redshifted when coming out

Not equal amount if the cluster evolves

Planck Collaboration: The ISW effect with *Planck*

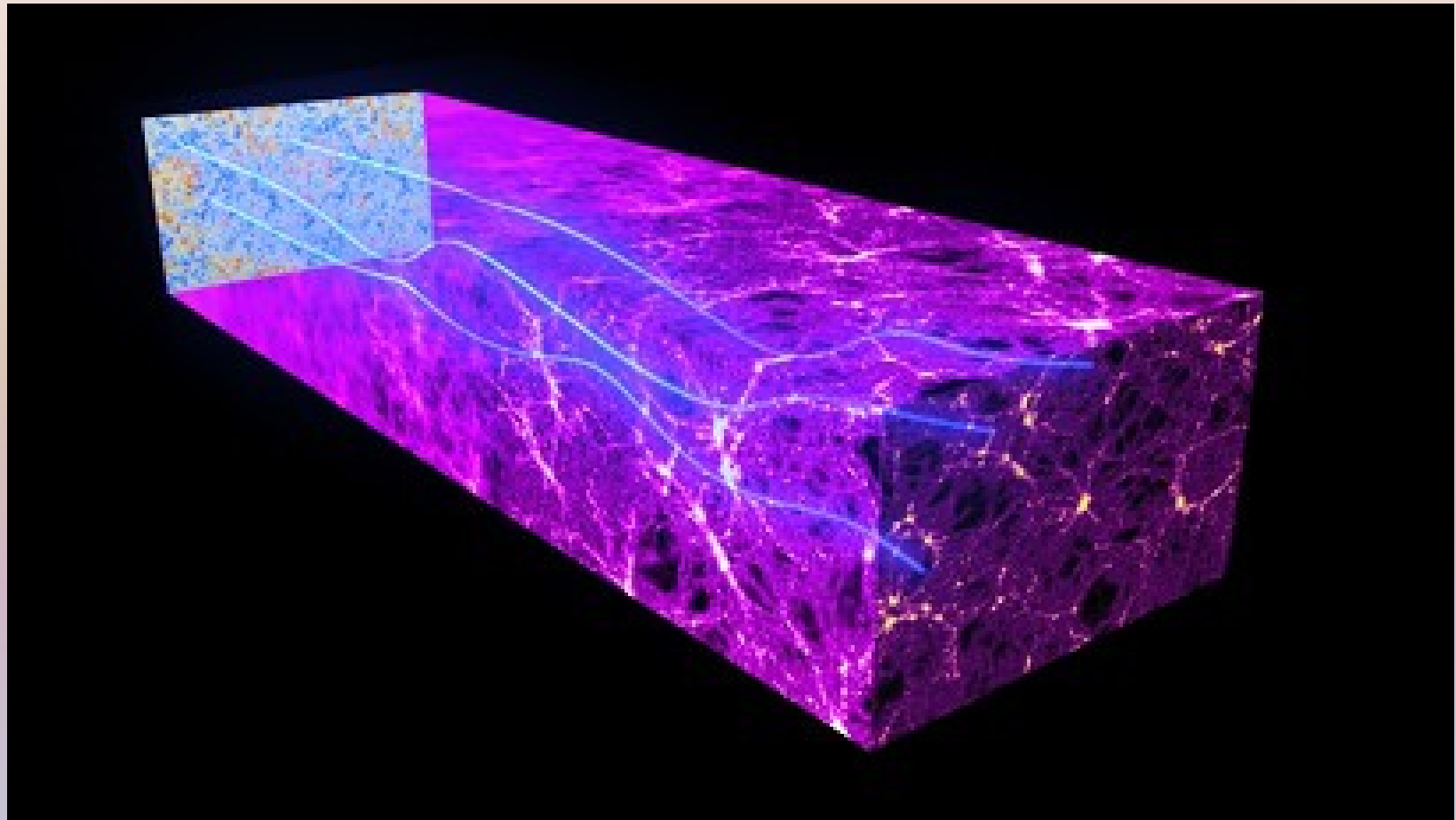


Gravitational lensing

CMB photons are lensed by intervening clusters

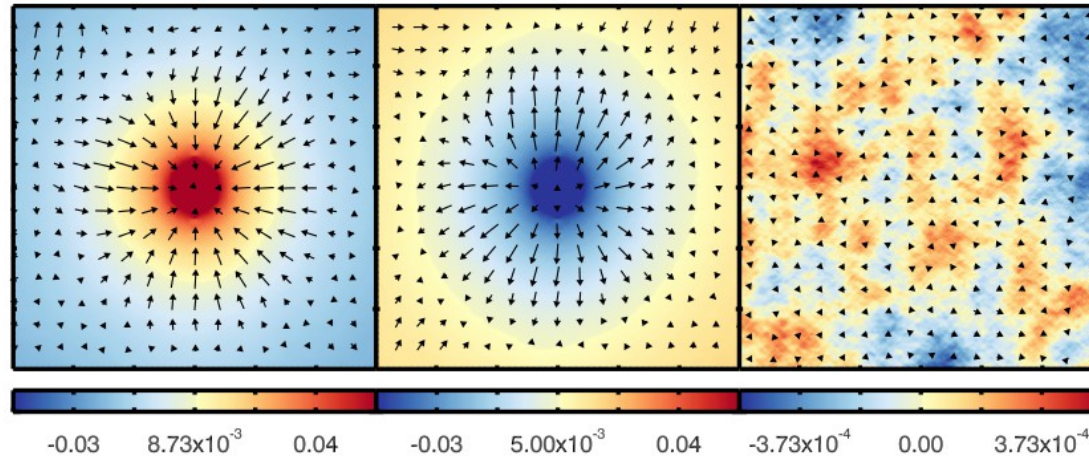
expected few arcmin

Distribution of (dark) matter

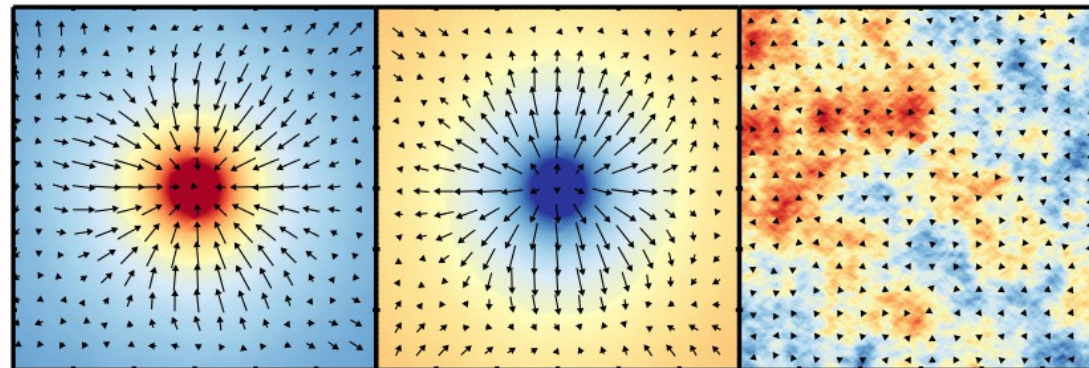


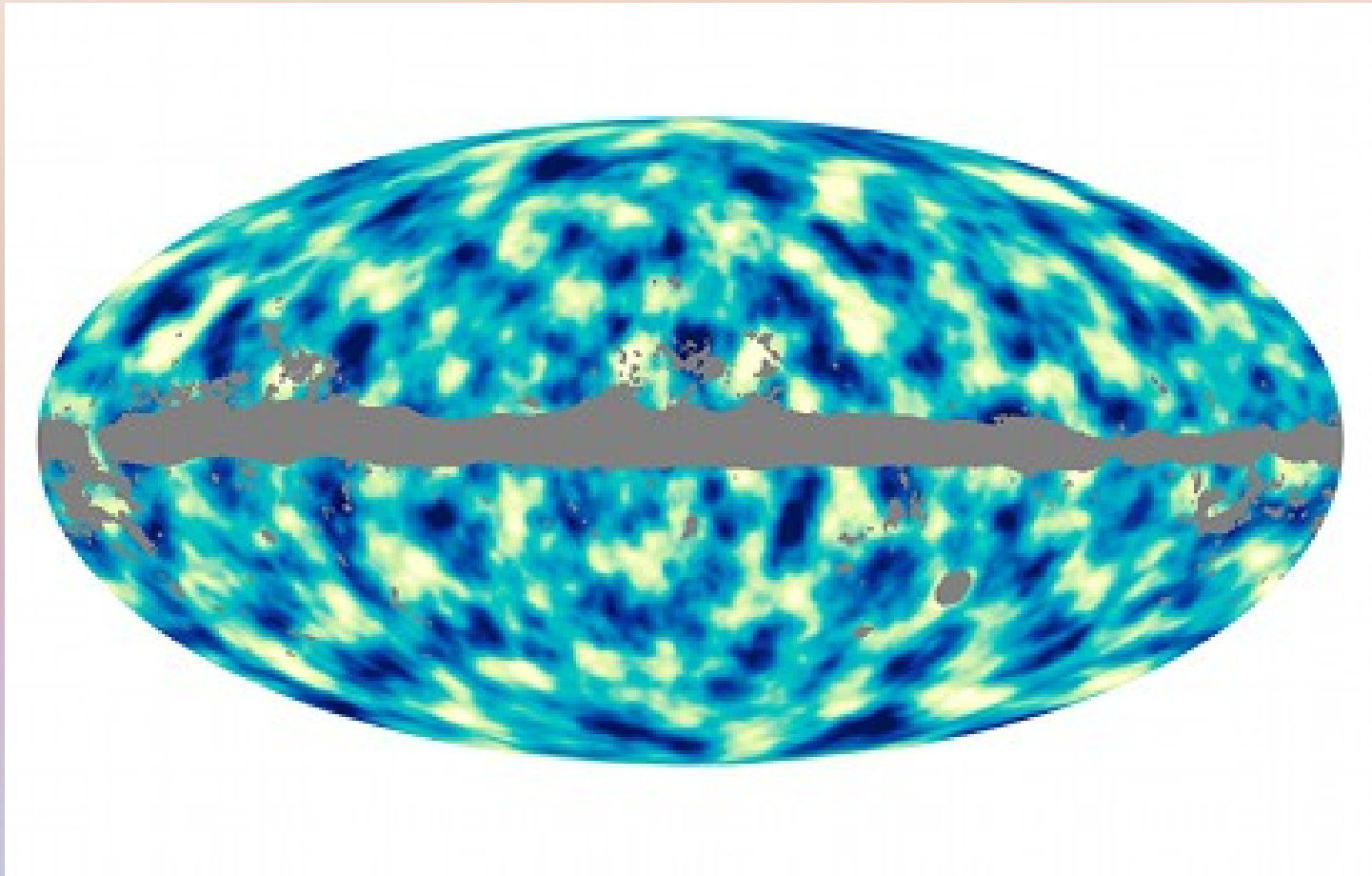
IAA. 2013

857 GHz



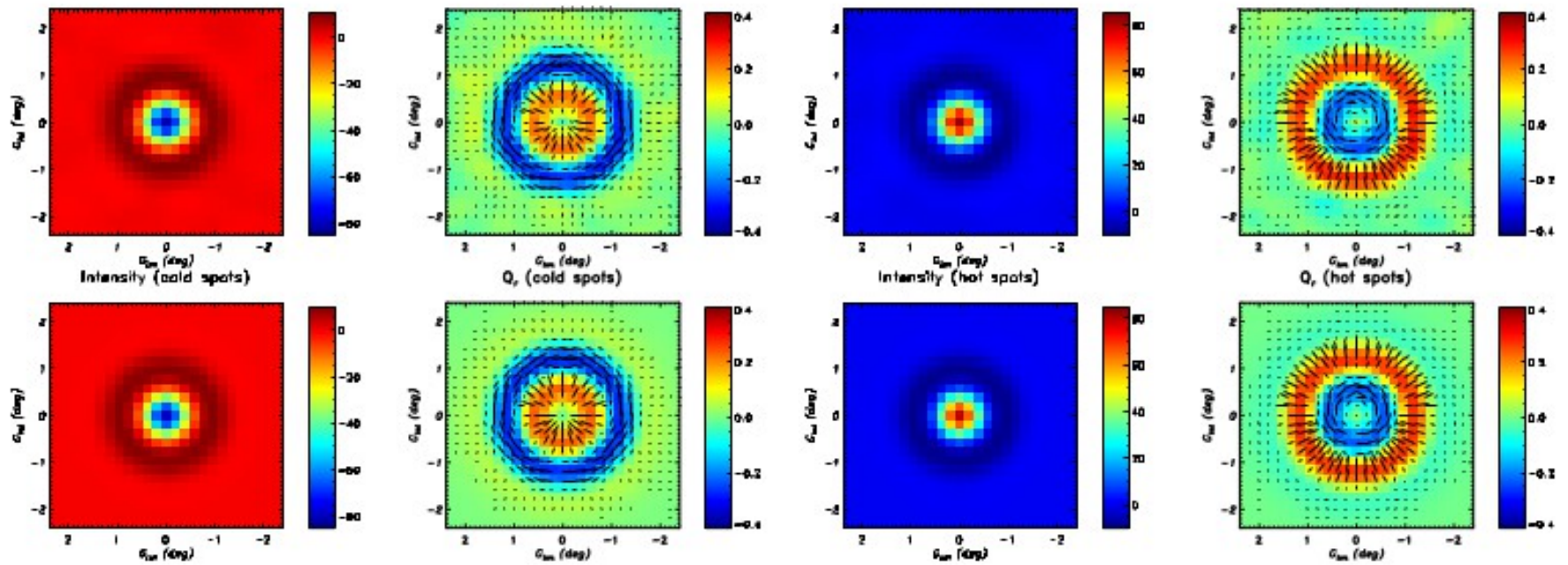
545 GHz





IAA. 2013

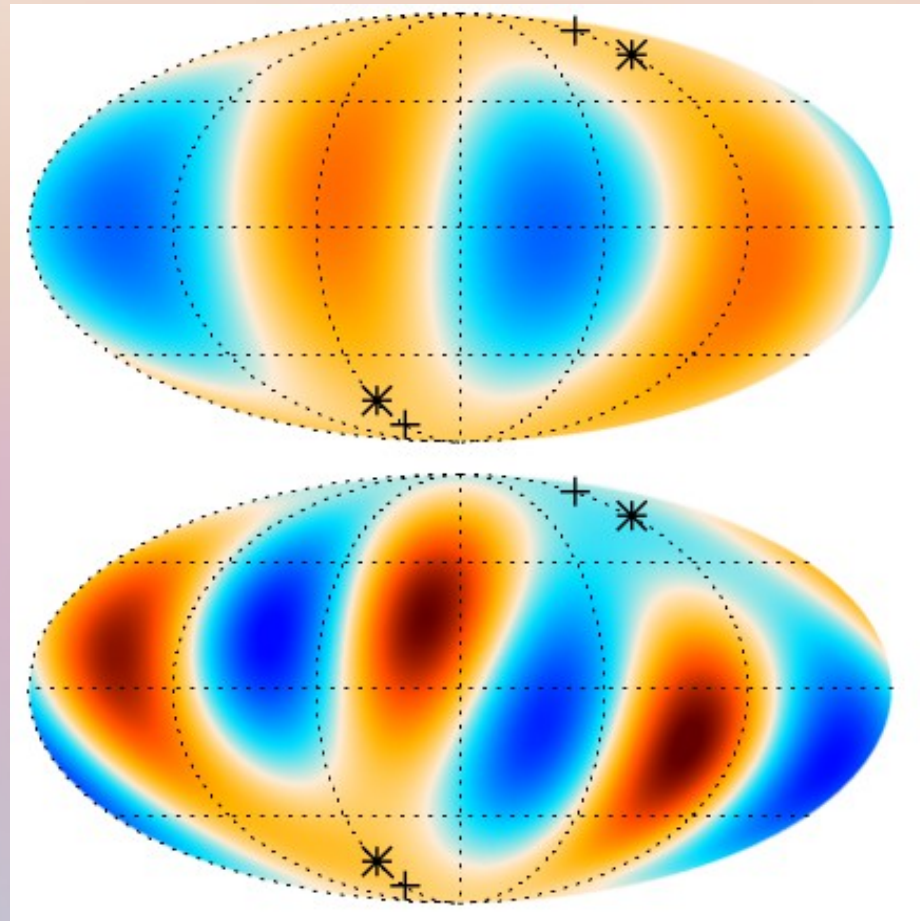
Planck Collaboration: The *Planck* mission



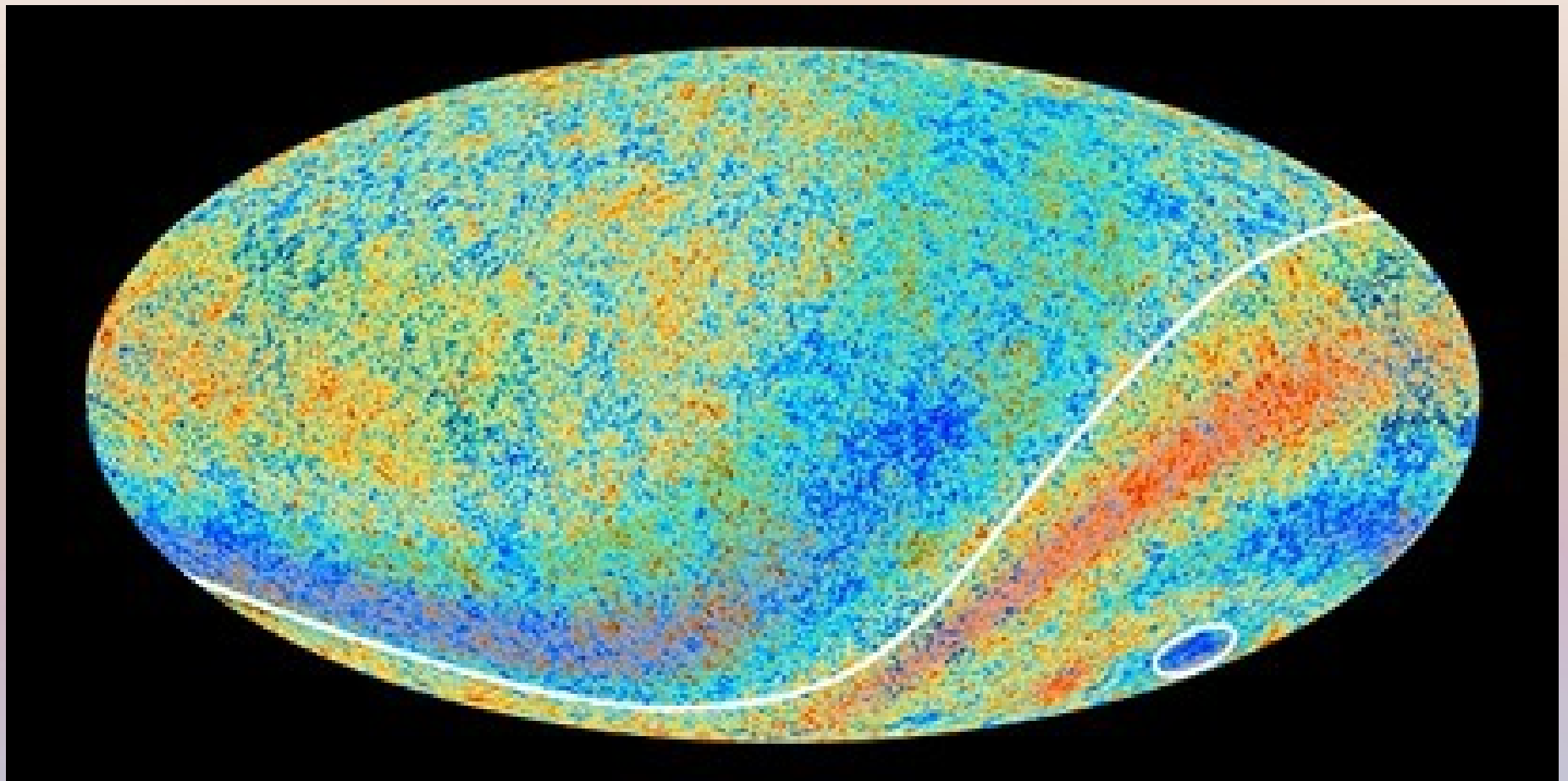
Unexplained problems

- Quadrupole-Octopole alignment
- Hemispherical asymmetry
- Low power at small multipoles
- Cold spot
- Nature of DE

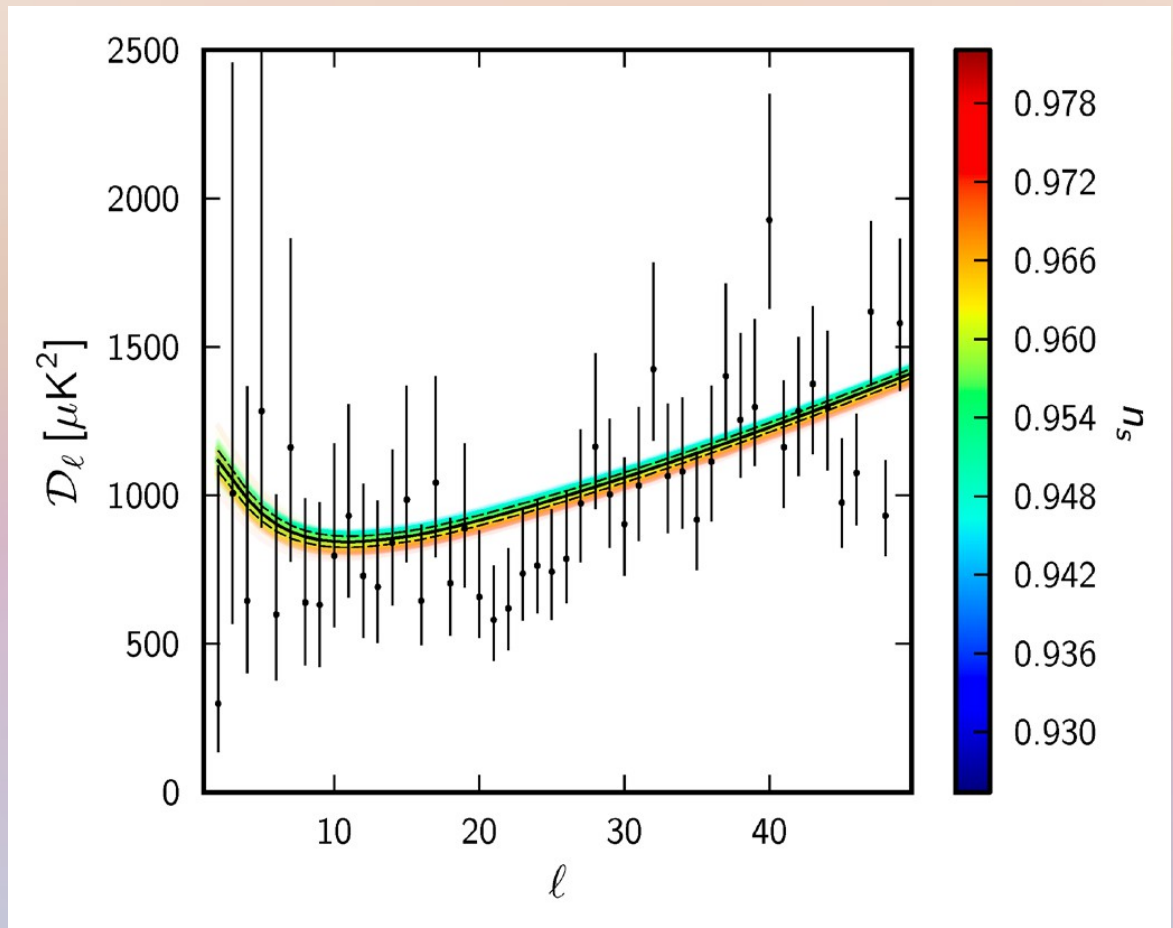
- ...



IAA. 2013



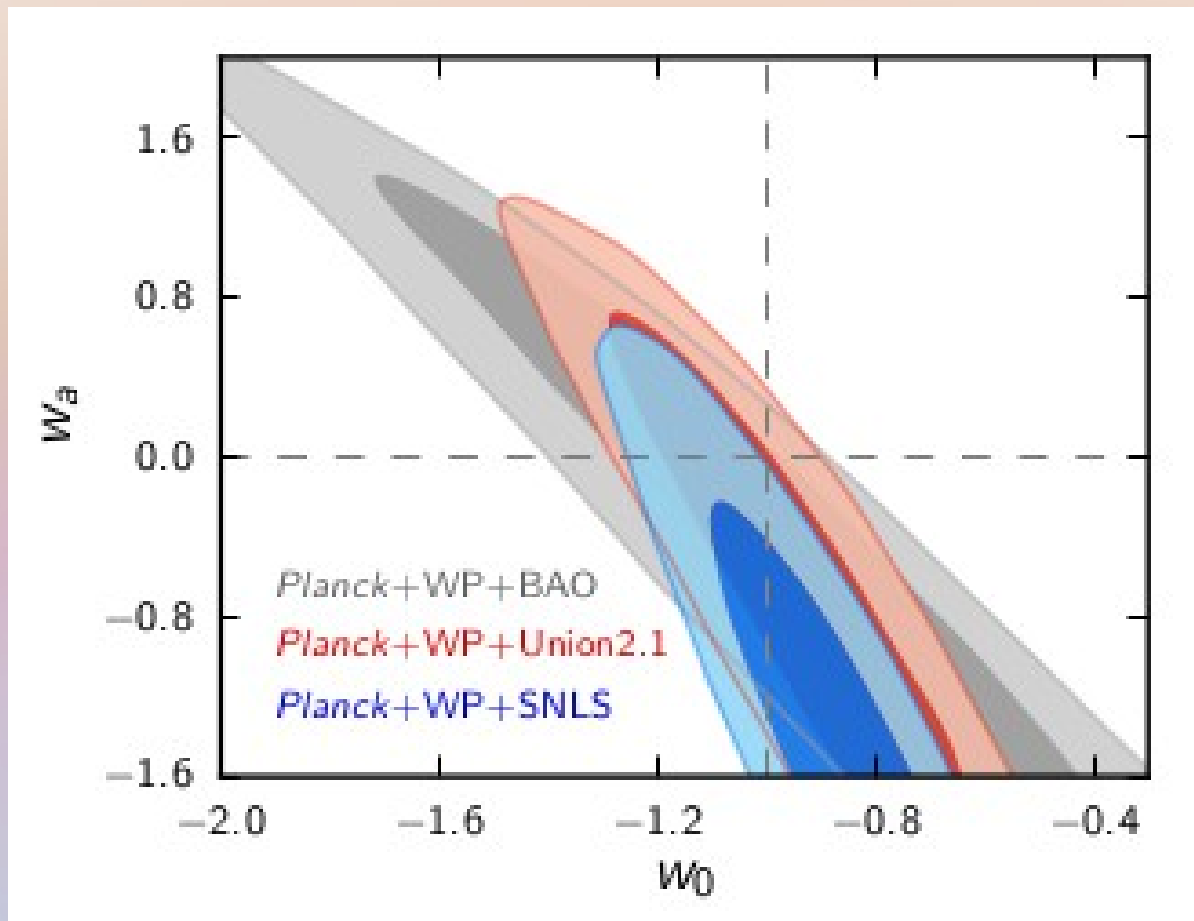
IAA. 2013



Dark energy

Equation of barotropy
w barotropic index

$$P = w\varepsilon$$



W = -1?

Main conclusion

Λ CDM

No curvature

A 6-parameter model

Primordial Magnetic Fields

Observe (or put better upper limits) because:

Modify the APS

Alfvén waves

Produce Faraday Rotation

4.1 Constraints on PMF

- UGR (Granada) **E. Battaner**, B. Ruiz, E. Florido
- INAF (Bologna) F. Finelli, **D. Paoletti**
- IAS (París) J. Aumont
- CEFCA (Teruel) C. Hernández
- LPSC (Grenoble) J. Macías
- IFCA (Santander) E. Martínez
- INFN (Padua) S. Matarrese
- NBI (Copenague) P. Naselsky, J. Kim
- SISSA(Trieste) F. Paci
- IAC (La Laguna) R. Rebolo, J.A. Rubiño
- AST (Cambridge) V. Stolarov

Cosmological conclusions

Standard models of inflation (favored)

Adiabatic perturbations (favored)

No non-Gaussianity (favored)

Statistical isotropy (favored, but...)

No scale invariance

No PMF (favored)

...

BB changes

$$\frac{\delta T}{T} \simeq y \left(x \frac{e^x + 1}{e^x - 1} - 4 \right)$$

Rayleigh-Jeans $x \ll 1$ $\left(\frac{\delta T}{T} \right)_{RJ} \simeq y \left(x \frac{2+x}{x} - 4 \right) \simeq -2y$

Wien $x \gg 1$ $\left(\frac{\delta T}{T} \right)_W \simeq yx$

Energy density increment: $\frac{\delta \epsilon}{\epsilon} = e^{4y}$

When is $\delta = 0$? $x \simeq 3.83$ (1.38 mm for $T=2.7\text{K}$)

Constraints on PMF

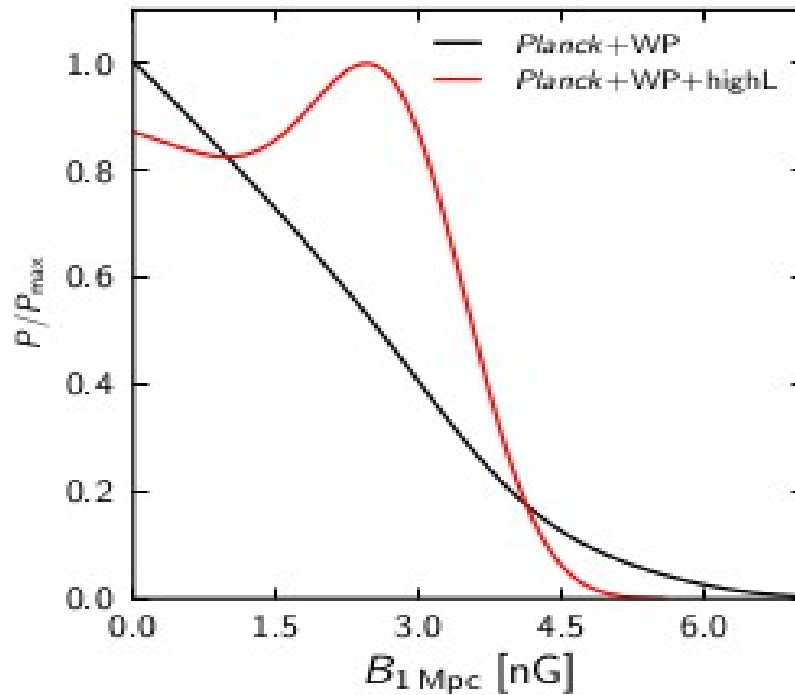


Fig.37. Constraints on the PMF amplitude obtained with *Planck*+WP (red line) and *Planck*+WP+highL (black line).

Published upper limits

- Planck + WP: 4.1 nG
- Planck + WP + high l: 3.4 nG

- Constraints with large scale non gaussianity: 4.6 nG
- WMAP9: FR : $B < 200 \text{ nG}$ $n(B) < -1$

2014 PMF

- Faraday Rotation $E \rightarrow B$
Spectrum and map level
- Modifies polarized spectrum
- Other mechanisms with similar effects:
Birefringence, gravity waves...

¿Qué son las ondas gravitacionales?

Lo que se propaga es las perturbaciones del tensor métrico

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.

Dos tipos de gw

Primordiales, producidas en la inflación.

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

Aquí sólo hablamos de los primordiales

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.

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

¿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)

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

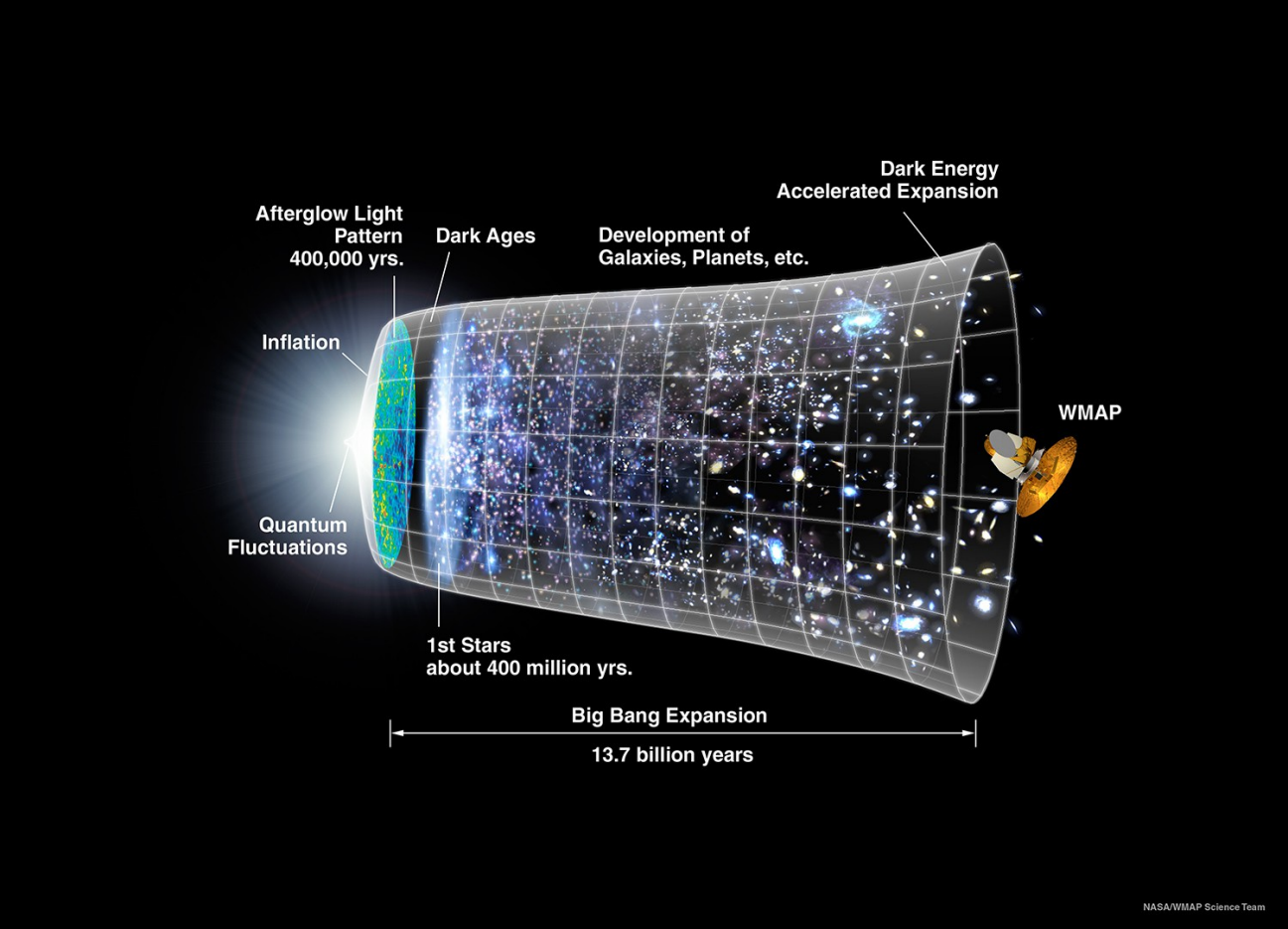
Para escalas
mayores que 1°
estamos observando
condiciones iniciales

“vemos” GW

Las GW se produjeron en la inflación

Hoy vemos sus efectos en la
Recombinación.

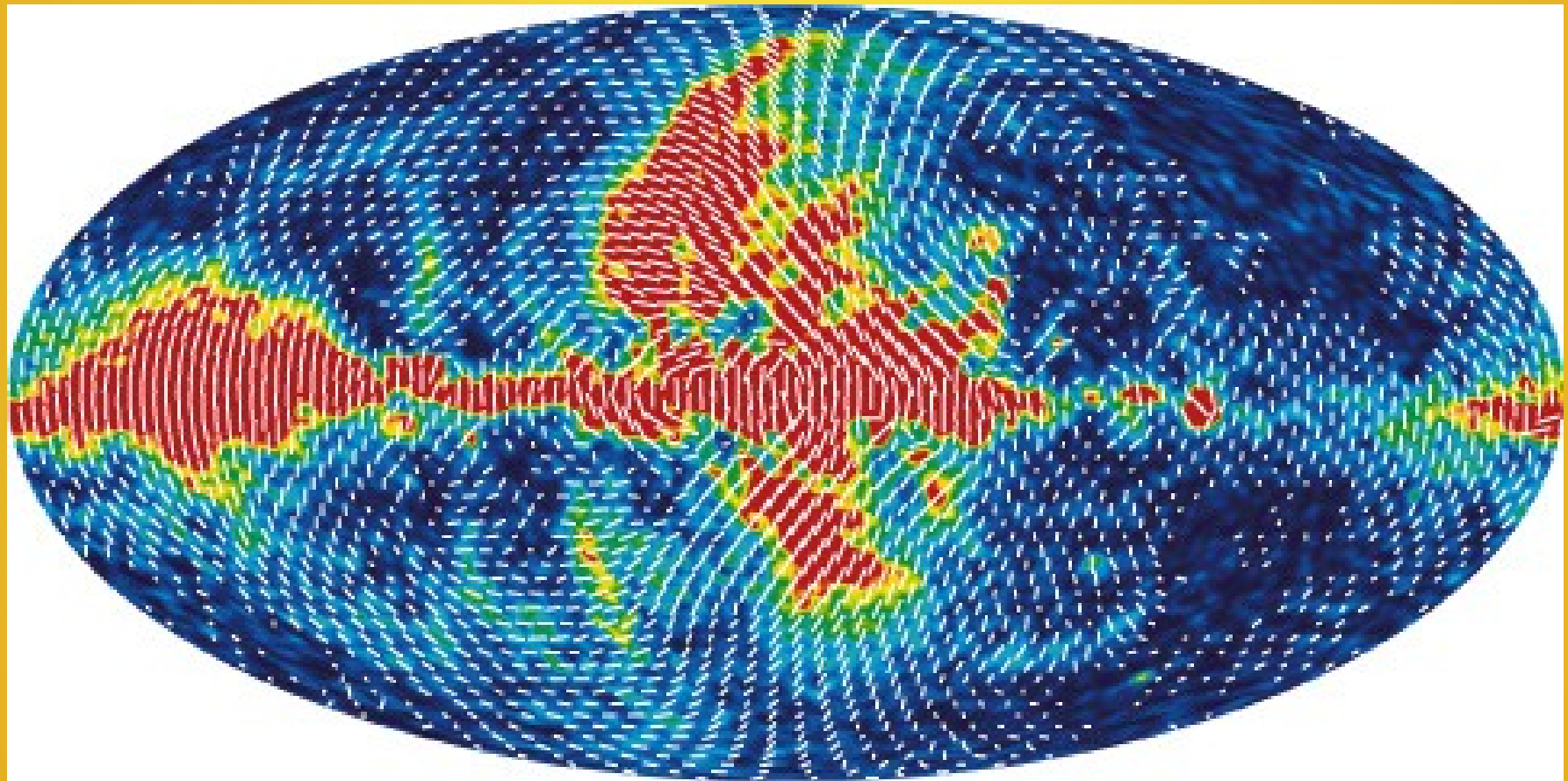
La medida es indirecta... pero es la
primera medida



polarización

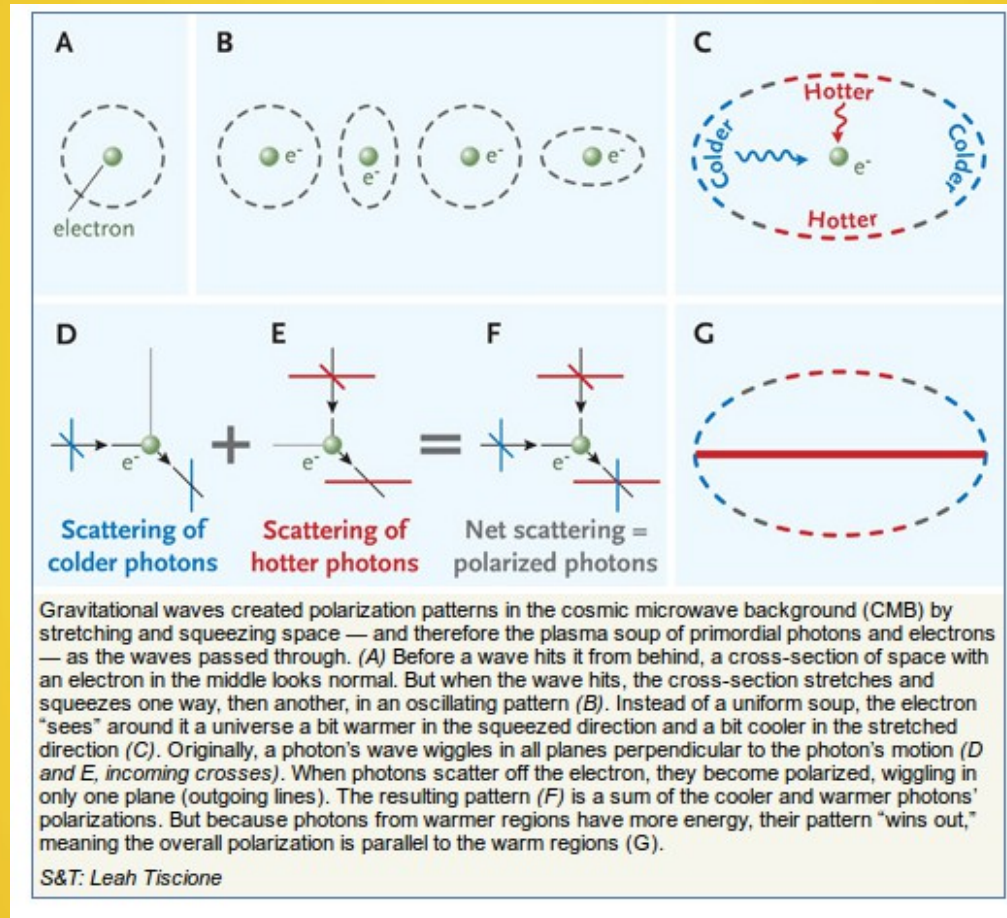
Las GW llegan a la Recombinación y allí producen estructuras particulares en la polarización.

Hay polarización en el CMB,
producida por el “scattering” Thomson

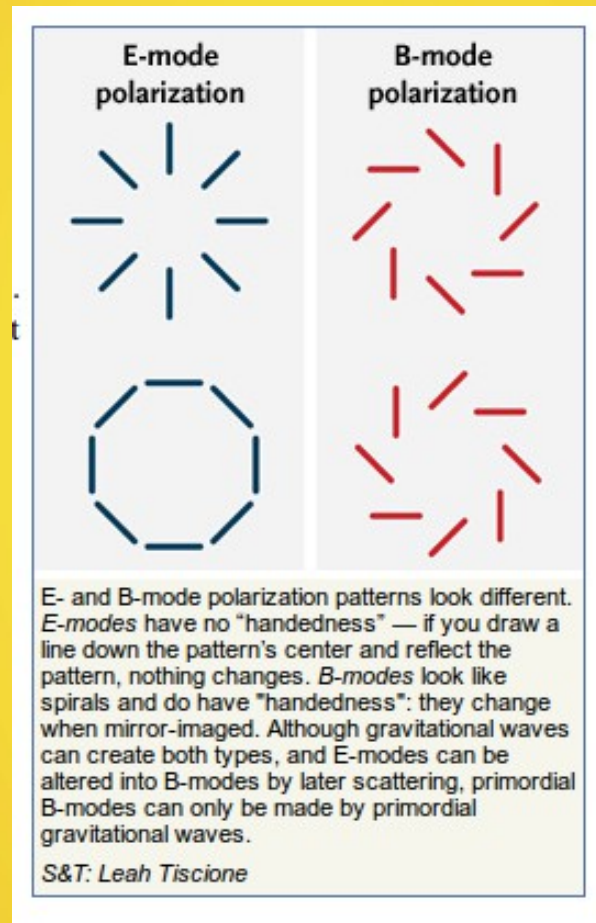


GW Battaner abril 2004

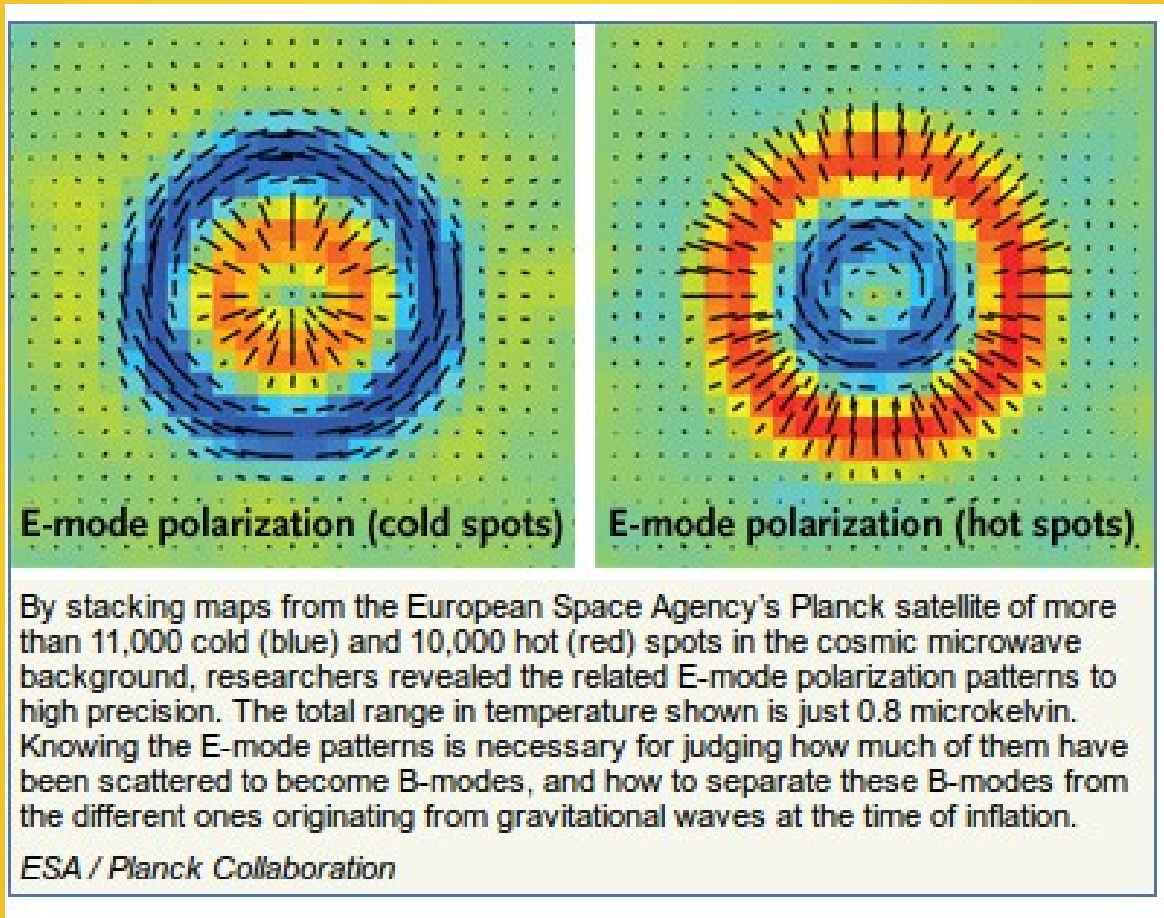
Polarización



Modos E y B



Modos E



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

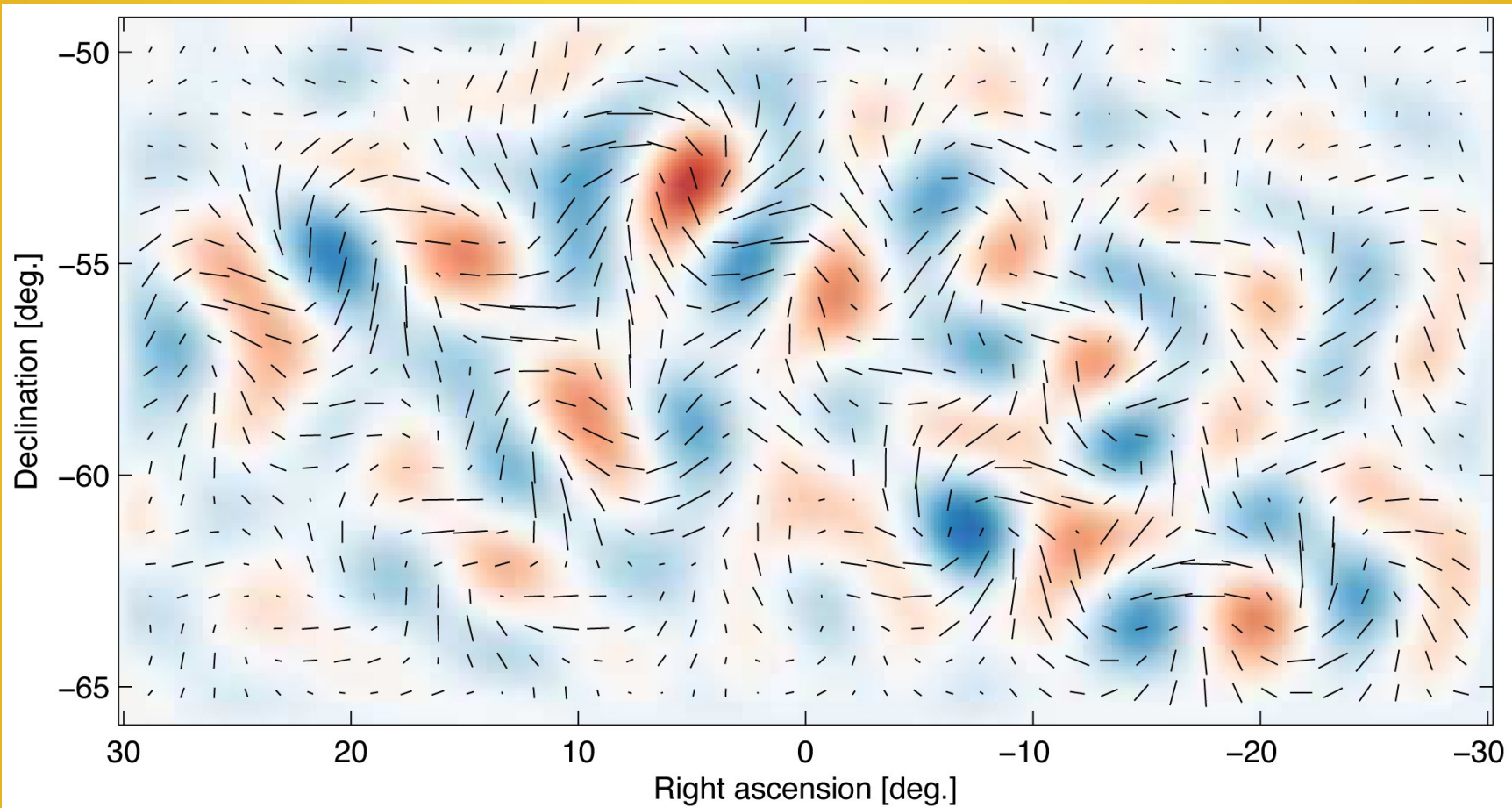
Relación entre la amplitud de los modos tensoriales y la amplitud de los modos escalares.

Planck: $r < 0,1$

Con este valor BICEP2 no hubiera visto nada.

Pero BICEP2 asegura $r = 0,2$ aprox.

Ondas gravitacionales



Otras explicaciones?

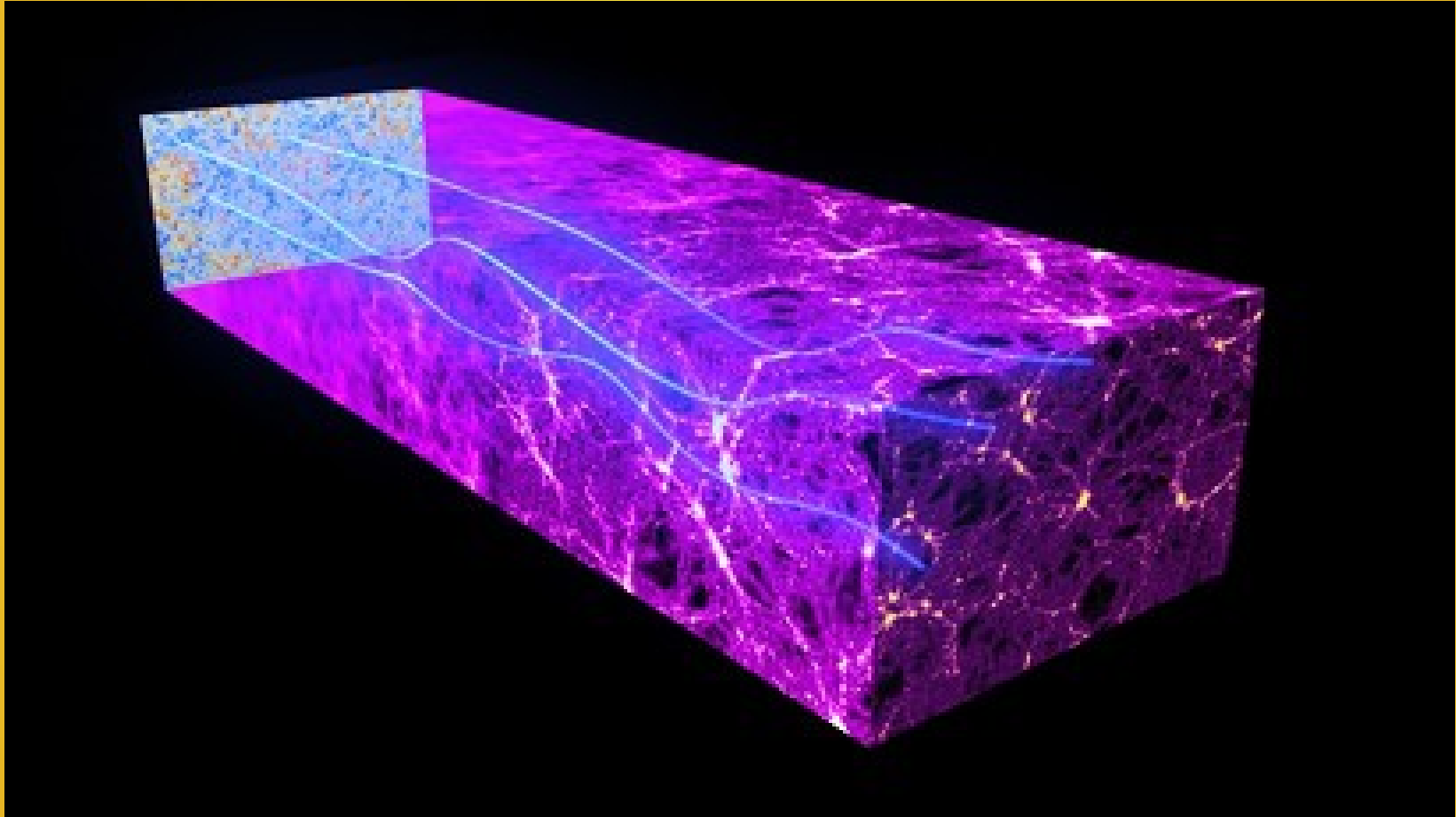
Los modos B pueden no ser primordiales.

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



GW Battaner abril 2004

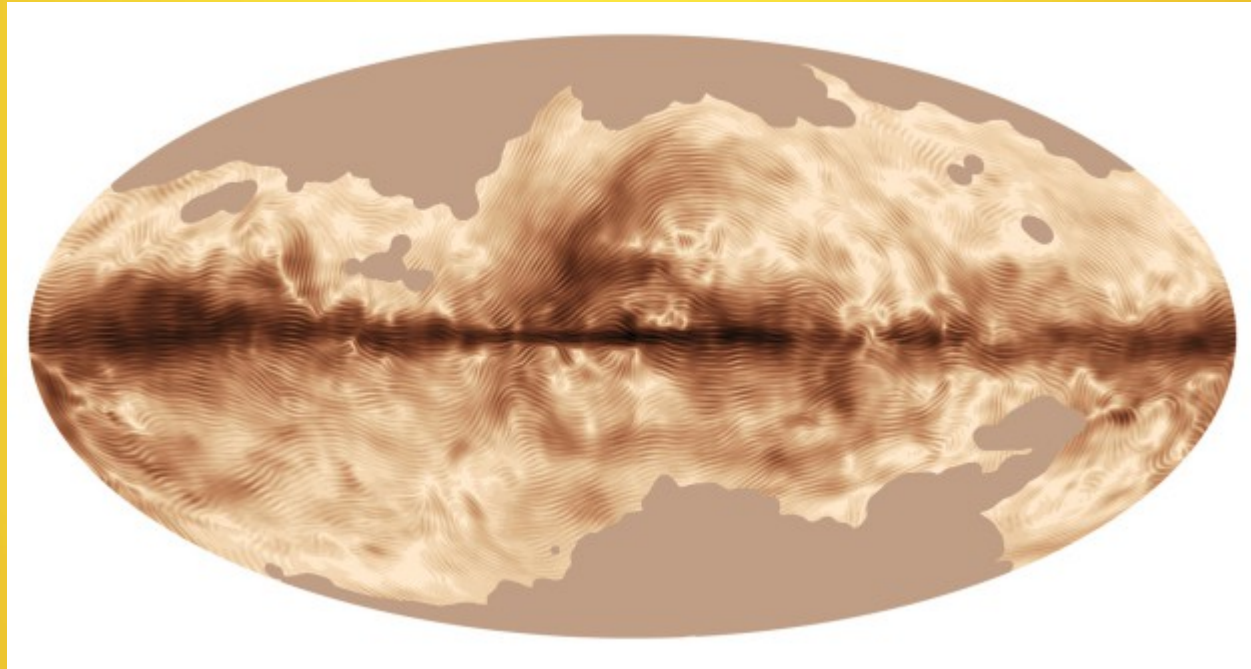
Planck

Planck puede reforzar/cuestionar el descubrimiento.

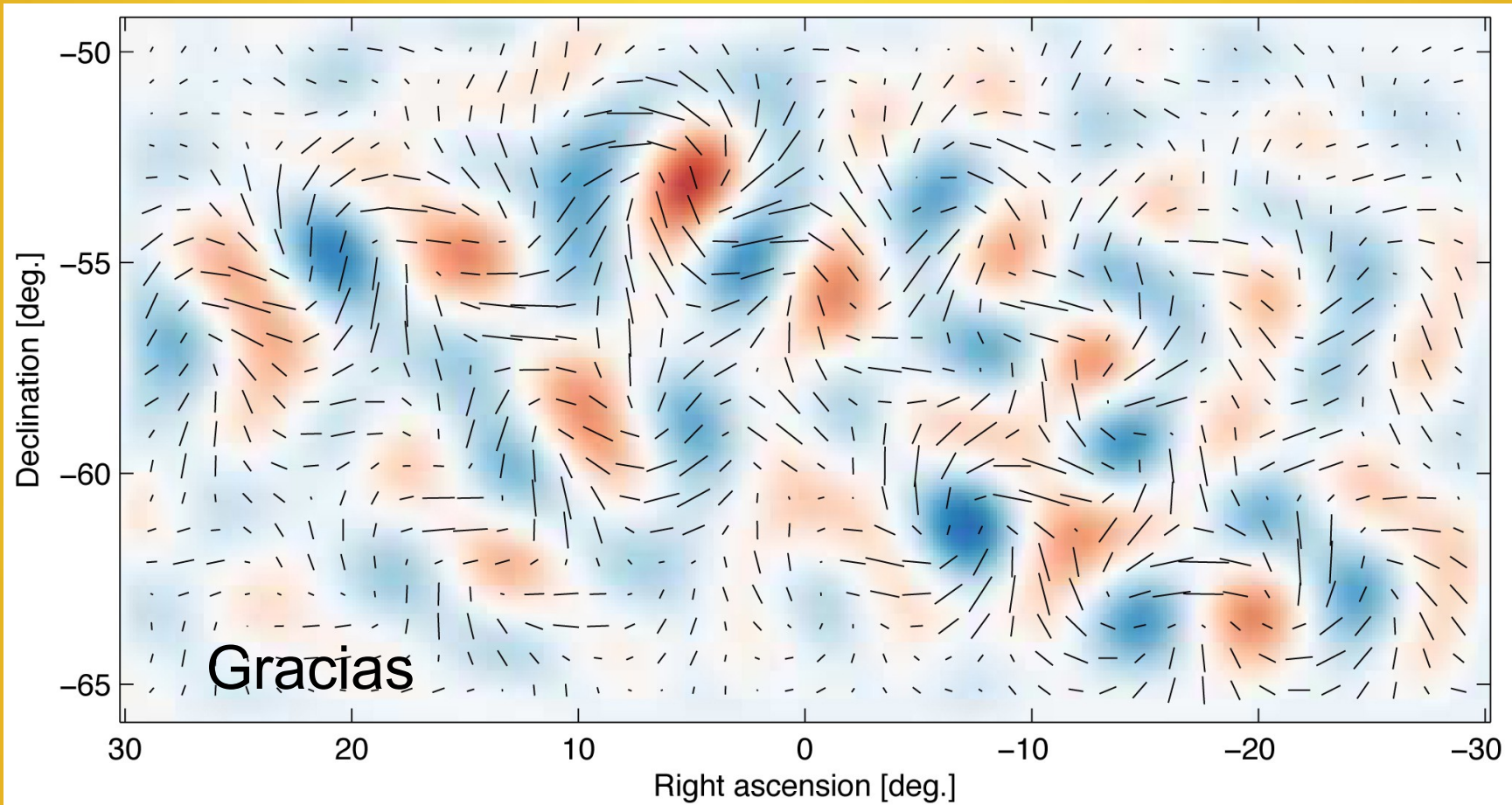
Los mejores datos de polarización en 9 rangos de frecuencias

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

Vía Láctea en polarización



Ondas gravitacionales



Bicep2



GW Battaner abril 2004



GW Battaner abril 2004

¿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)

Zacabau

