

# El color del Universo

- E. Battaner
- Universidad de Granada



U<sup>4</sup> UNA UNIVERSIDAD  
UN UNIVERSO



La Fresnedilla. Junio 2009

La Fresnedilla. Junio 2009





La Fresnedilla. Junio 2009



# 1 mm?



La Fresnedilla. Junio 2009

# ¿Azul?

- Por la noche no es azul...
- En la luna no es azul...
- Azul es el color de la atmósfera



# El color de un objeto

- Un objeto iluminado:
  - Por reflexión
  - Por absorción
  - Por “dispersión” (¿Scattering?, ¿esparcimiento?)



# El cuerpo negro

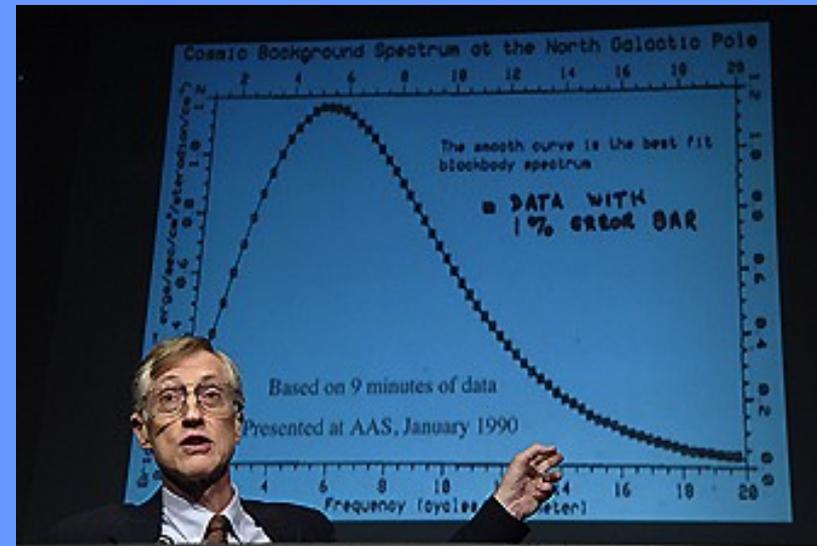
- Color por emisión
- Todo cuerpo por tener una temperatura, emite
- Algo se pone al rojo...
- Un cuerpo negro es un sistema de fotones en equilibrio termodinámico
  - ¿Es un cuerpo negro una caja con un agujero?
  - Un estrella es una caja con un agujero más grande que la caja.
  - Un cuerpo negro no emite. El agujero rompe el equilibrio
- Tendríamos que estar dentro de la caja



# Cuerpo negro

- En el Universo todos estamos dentro de la caja.
- Todo sistema aislado, tarde o temprano alcanza el equilibrio termodinámico.
- El equilibrio se caracteriza por la isotropía de todas las direcciones
- Y por una distribución en frecuencia:
- La curva del cuerpo negro





La Fresnedilla. Junio 2009



# Ley de Wien

- $\lambda_{\text{máximo}} \times \text{Temperatura} = 1 \text{ cm K}$
- Ejemplos:



$T=10\text{ K}$        $\lambda=1\text{ mm}$   
Radiotelescopio de ondas milimétricas

$T=10^3\text{K}$        $\lambda=10^{-3}\text{ cm}=10\text{ }\mu$   
Telescopio terrestre de infrarrojos

$T=10^5\text{K}$        $\lambda=10^{-5}\text{ cm}$   
Telescopio espacial de radiación ultravioleta

$T=10^7\text{K}$        $\lambda=10^{-7}\text{ cm}$   
Telescopio espacial de rayos X



# ¿Es el universo negro?

- ...sí...pero...no hay isotropía
- Hay estrellas
- El Universo no está en equilibrio
- ¿Ha tenido un principio?
- Si el Universo tiene una temperatura ha de tener un color.
- Si lo vemos (casi) negro es que emite en una frecuencia que no somos capaces de ver



# ¿Temperatura del Universo?

- Gran diversidad de subsistemas
- 10 K en el medio interestelar
- $10^8\text{K}$  en regiones intracumulares
- El fondo cósmico de microondas
- CMB
- $T_{\text{universo}} = 3\text{K} = -270^\circ\text{C}$
- luego



# T(CMB)

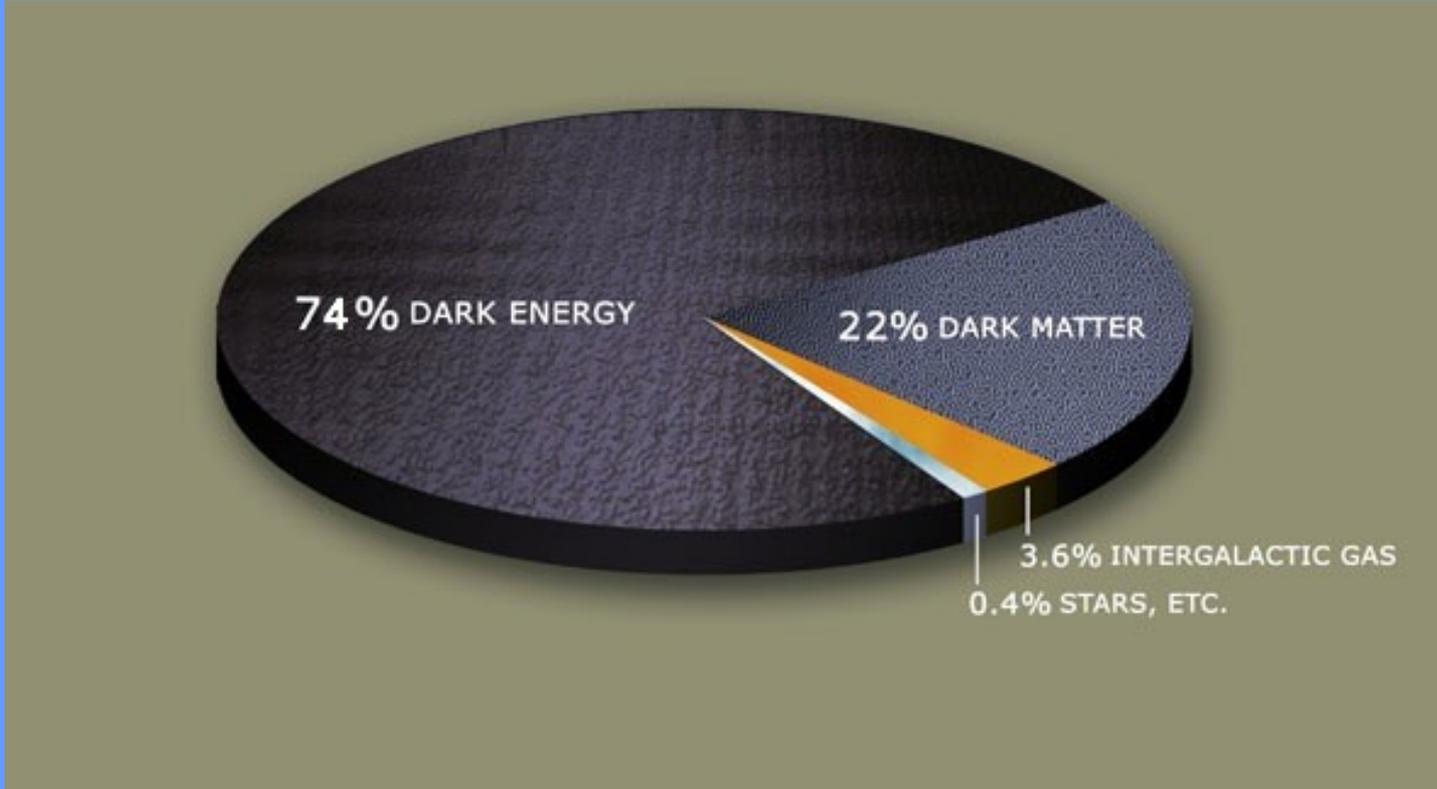
- $\lambda(\text{m\u00e1ximo del Universo}) = 0.3 \text{ cm} = 1\text{mm}$
- ¡El color del Universo es de 1 mm!



# Materia oscura

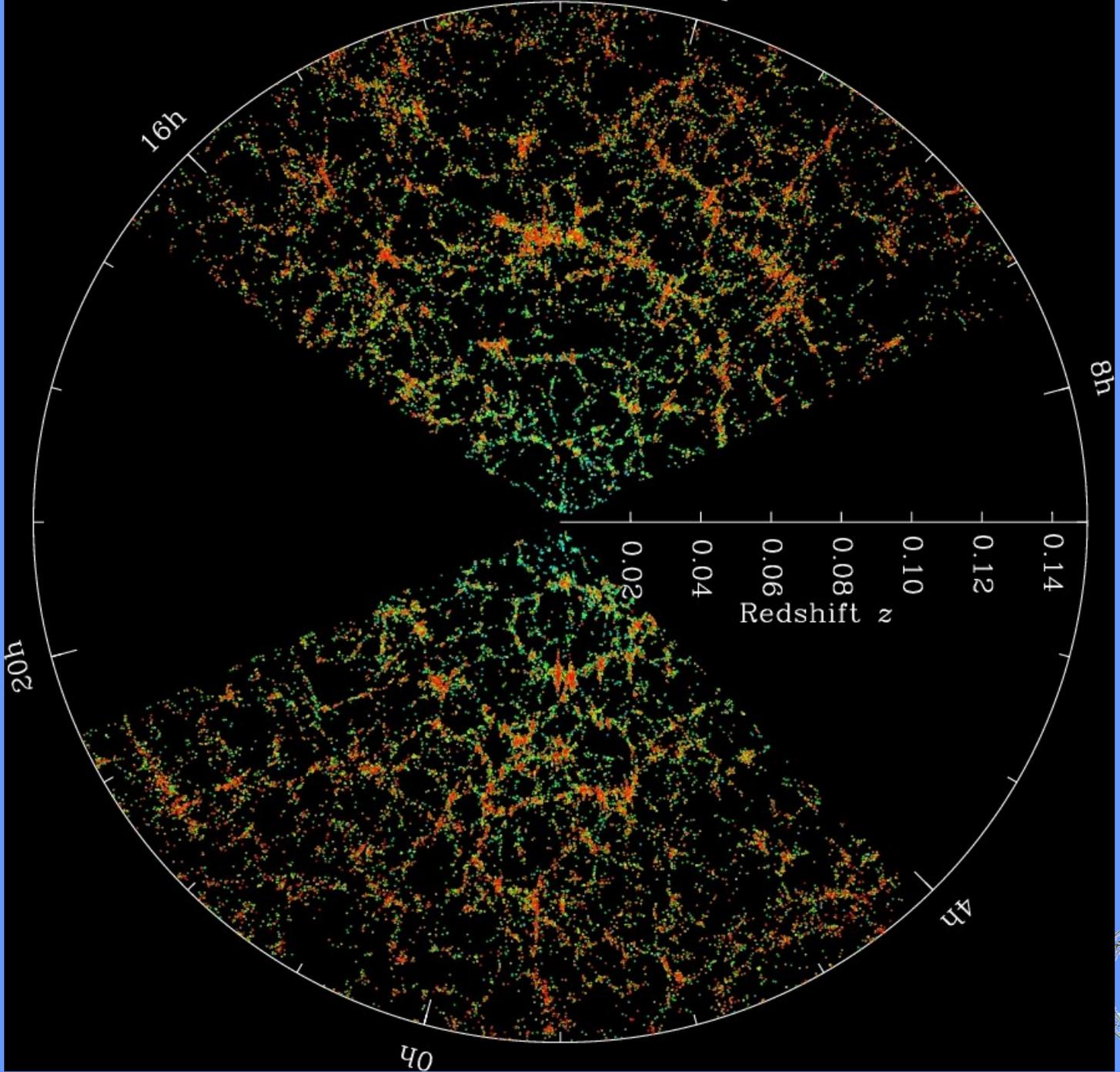
- Otros apostaron al negro
- Por la materia oscura
- La materia oscura ni se ve ni se puede ver
- No interacciona con la luz
- Ni refleja ni absorbe ni dispersa ni nada

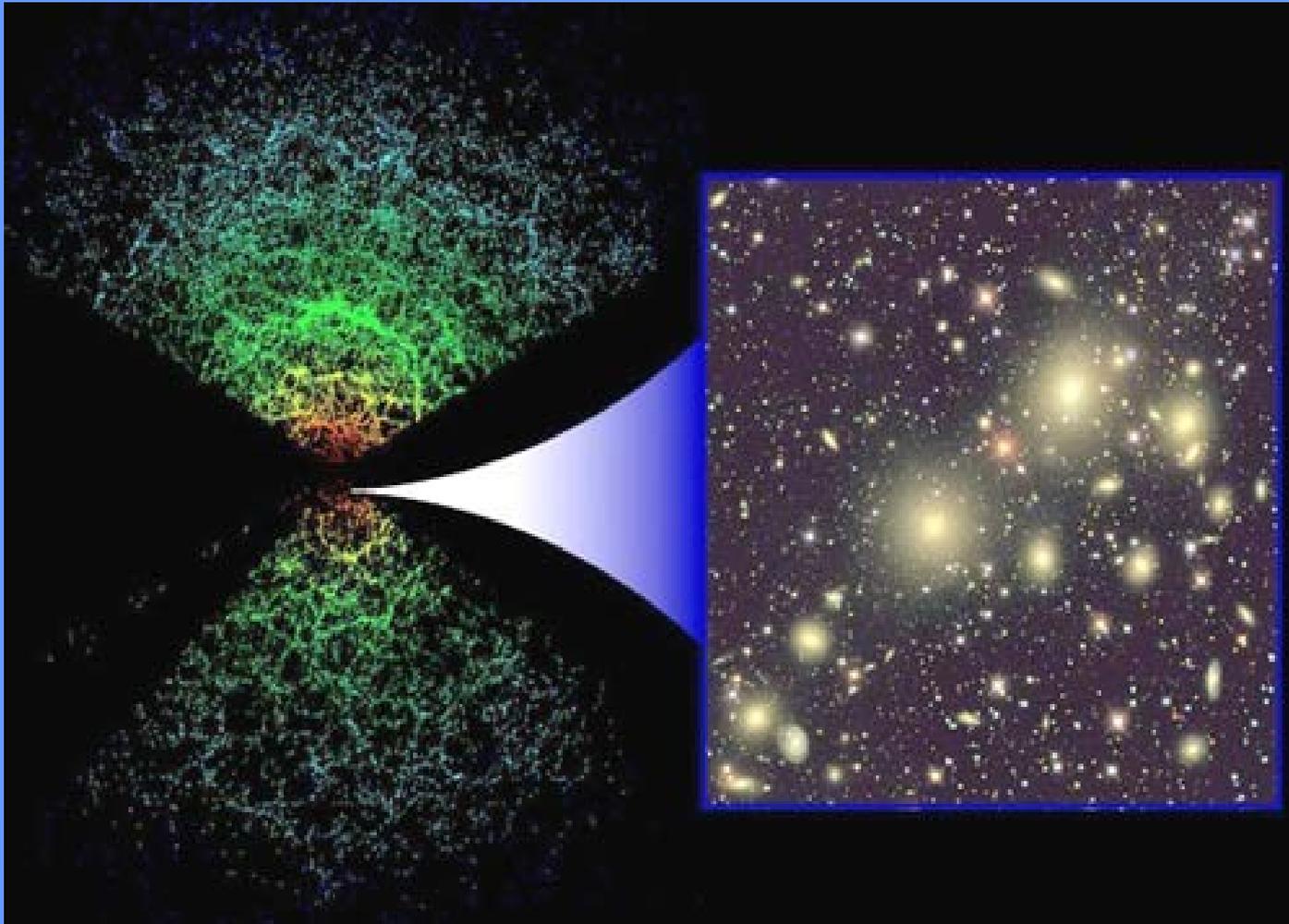




La Fresnedilla. Junio 2009

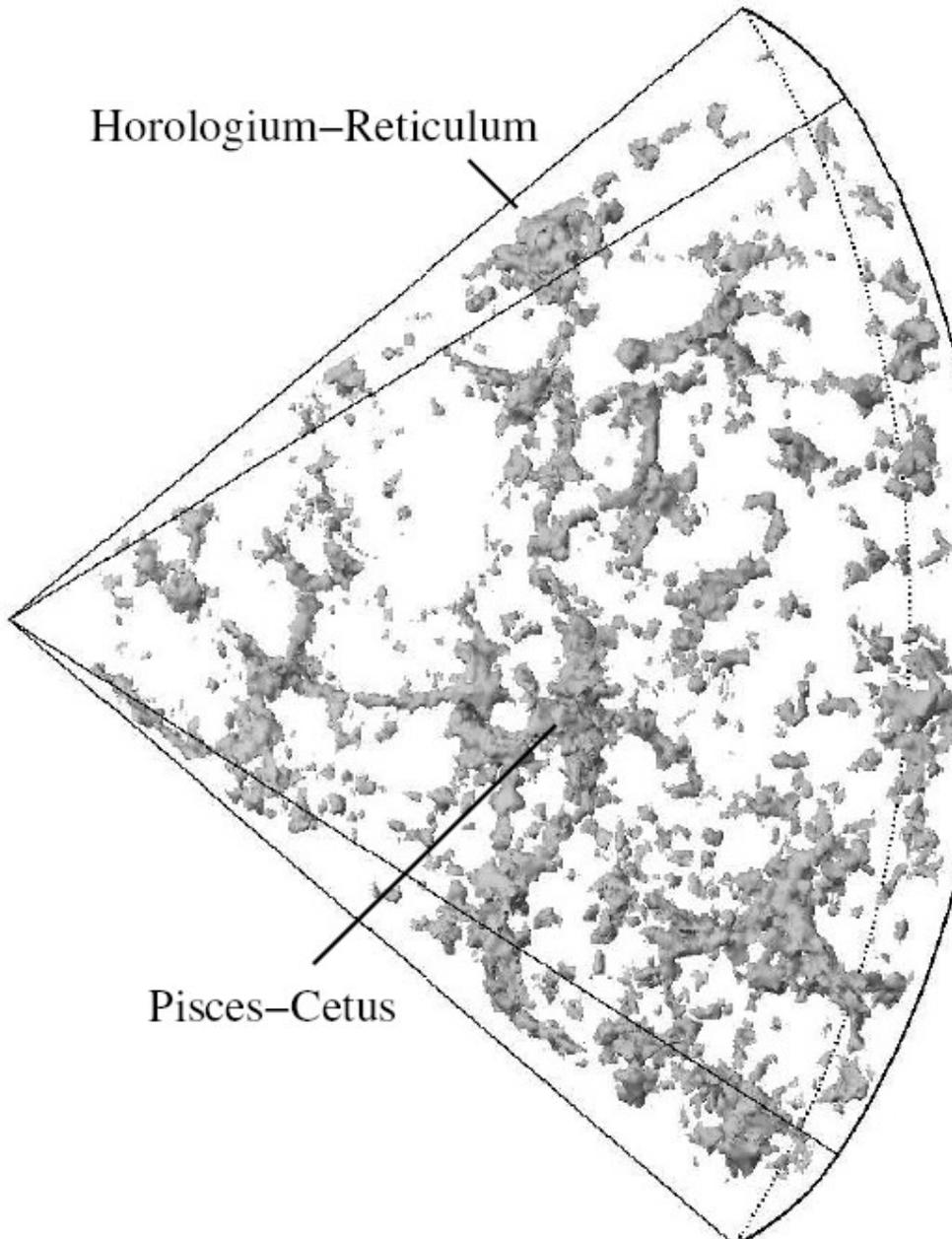
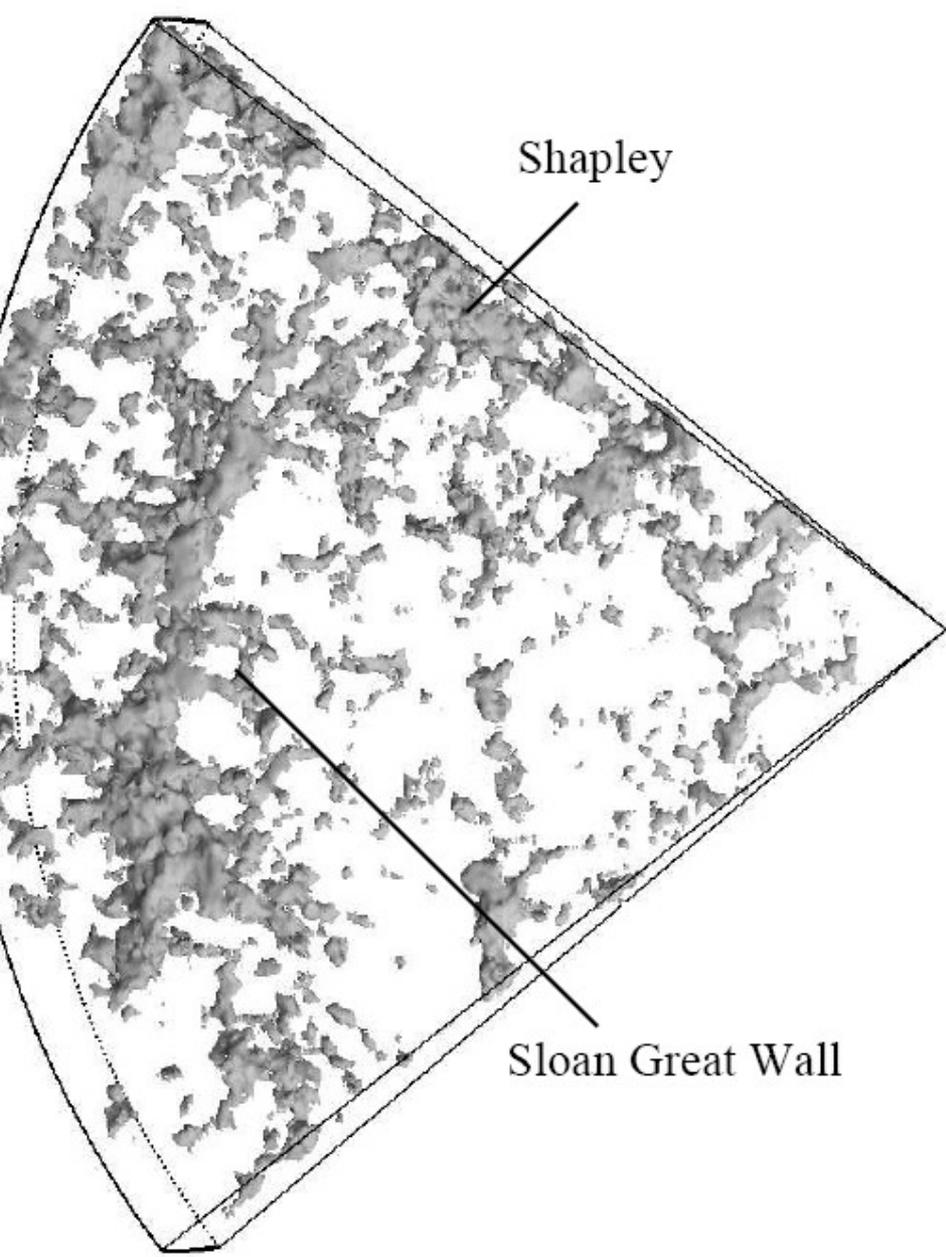


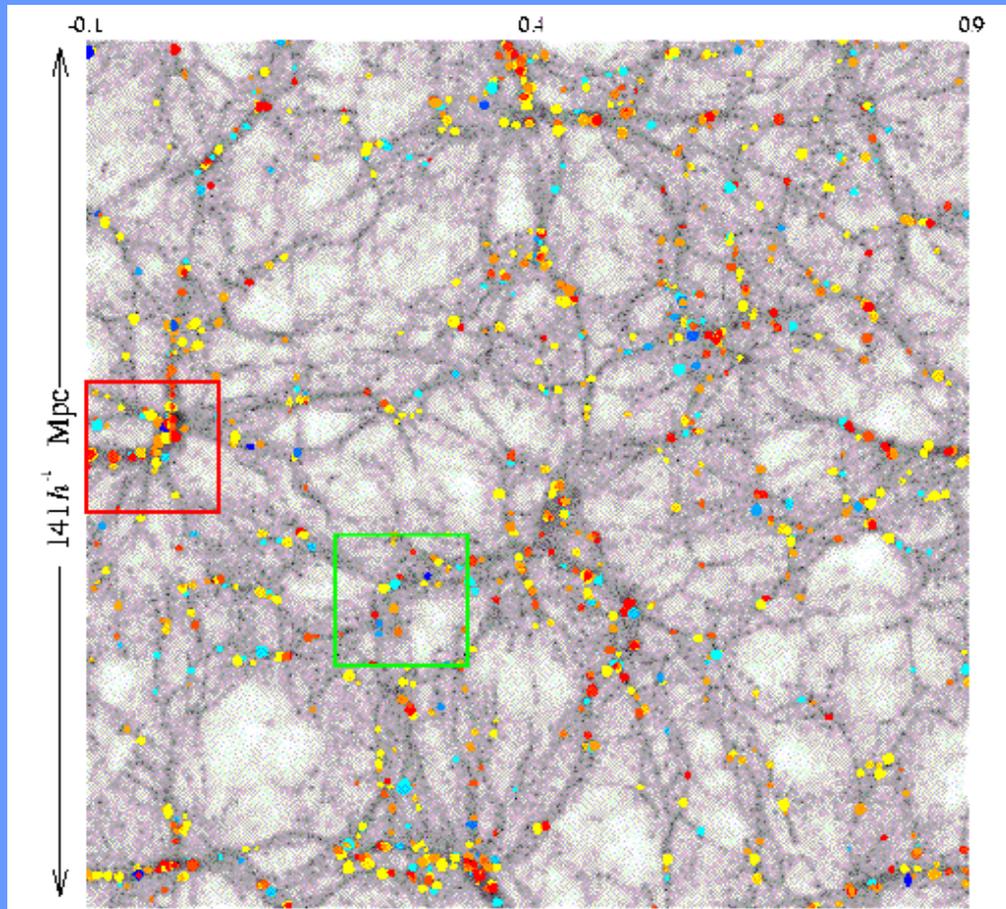




La Fresnedilla. Junio 2009



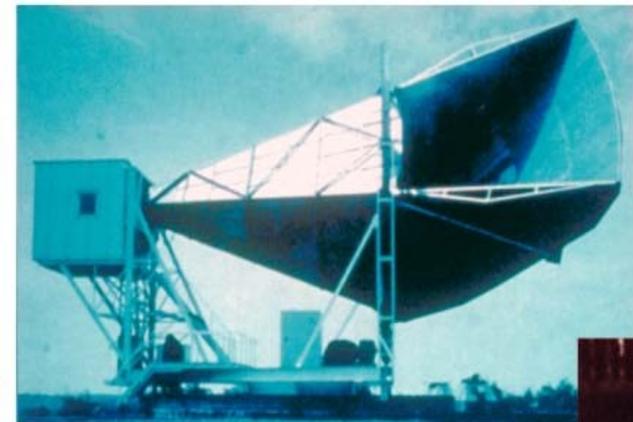




La Fresnedilla. Junio 2009



# DISCOVERY OF COSMIC BACKGROUND



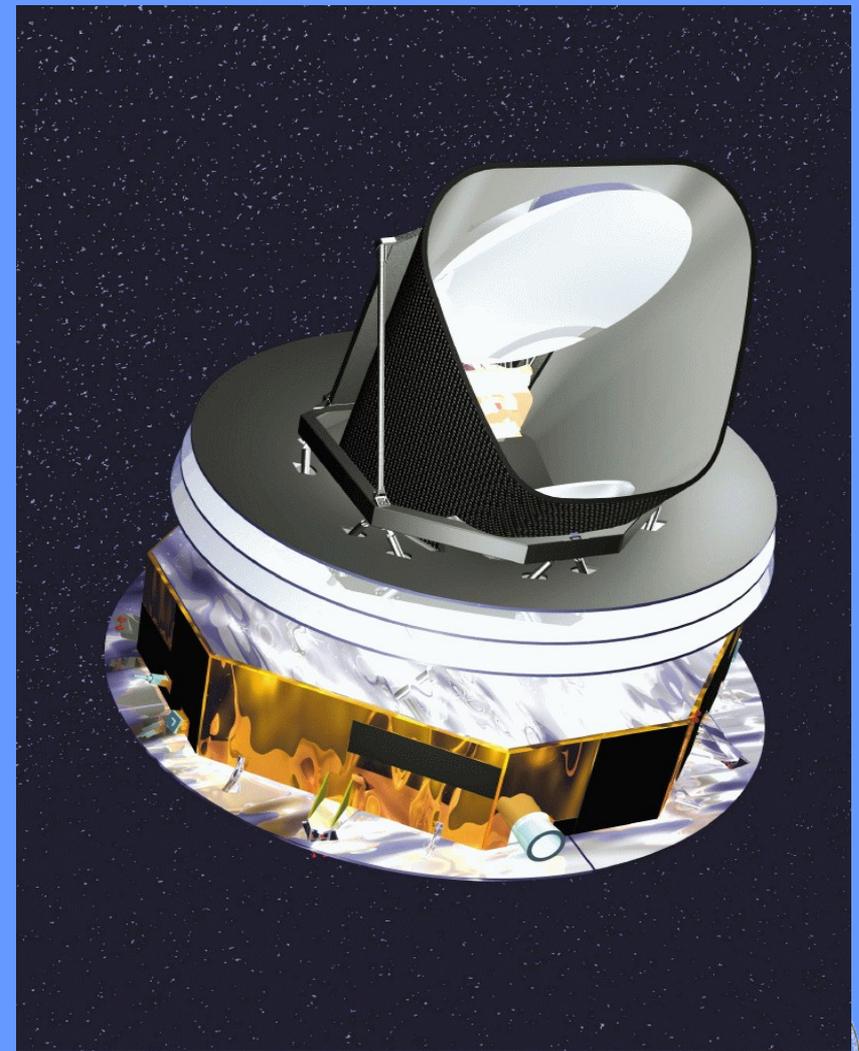
Microwave Receiver



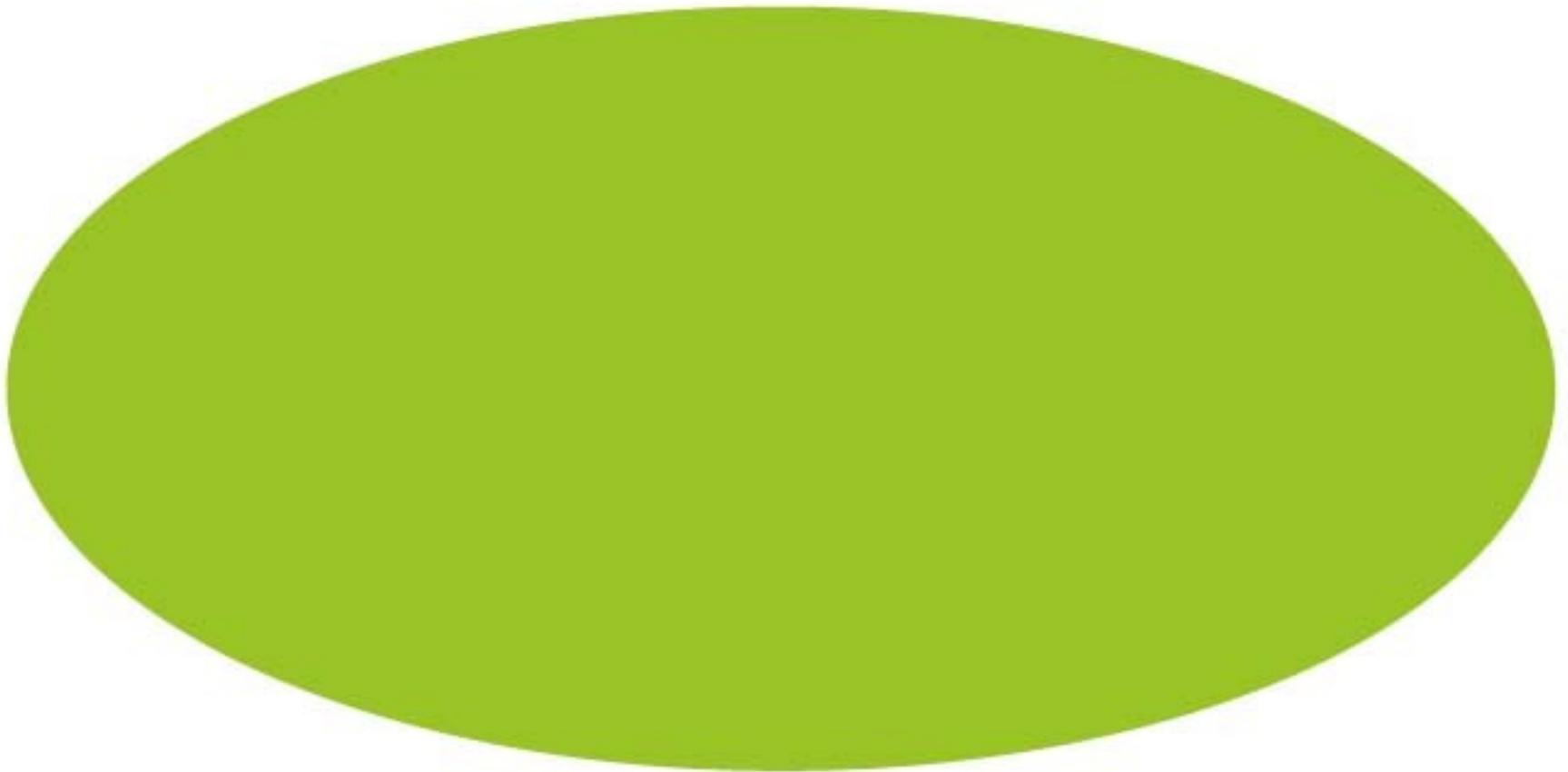
Robert Wilson



Arno Penzias



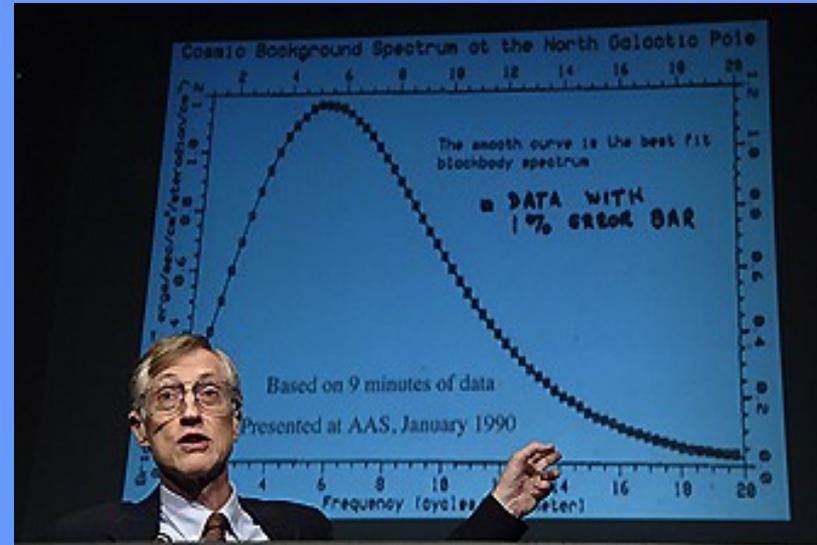
# ISOTROPY OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND

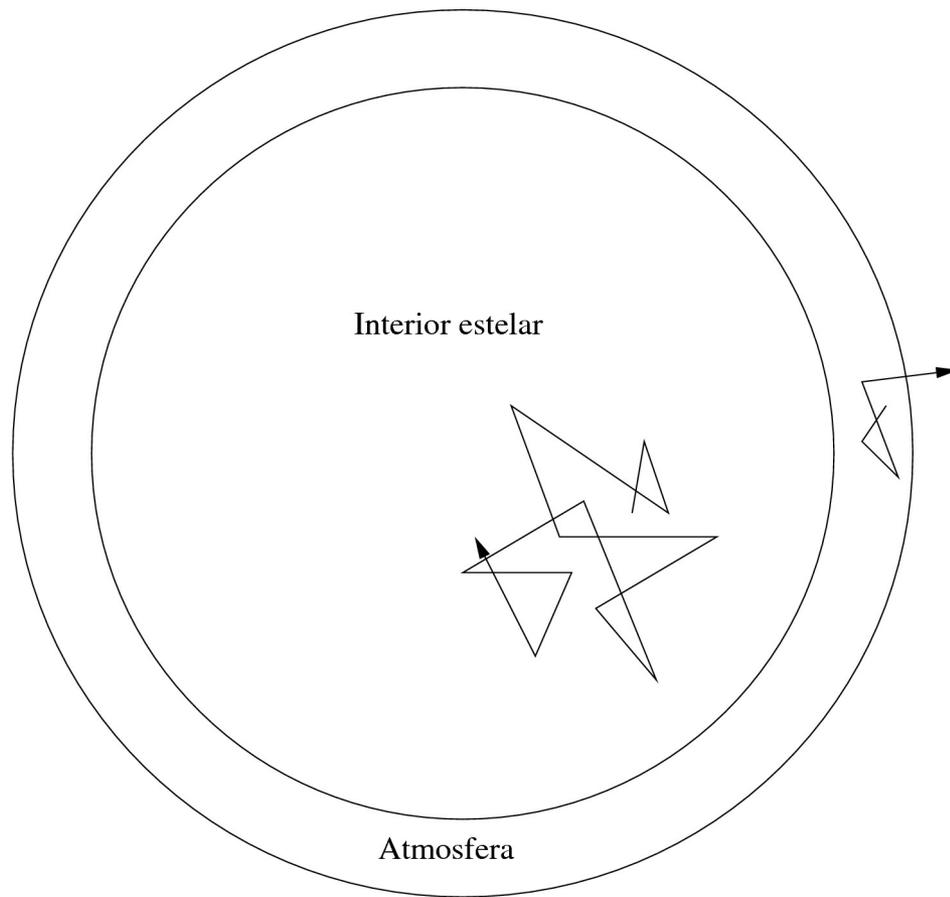


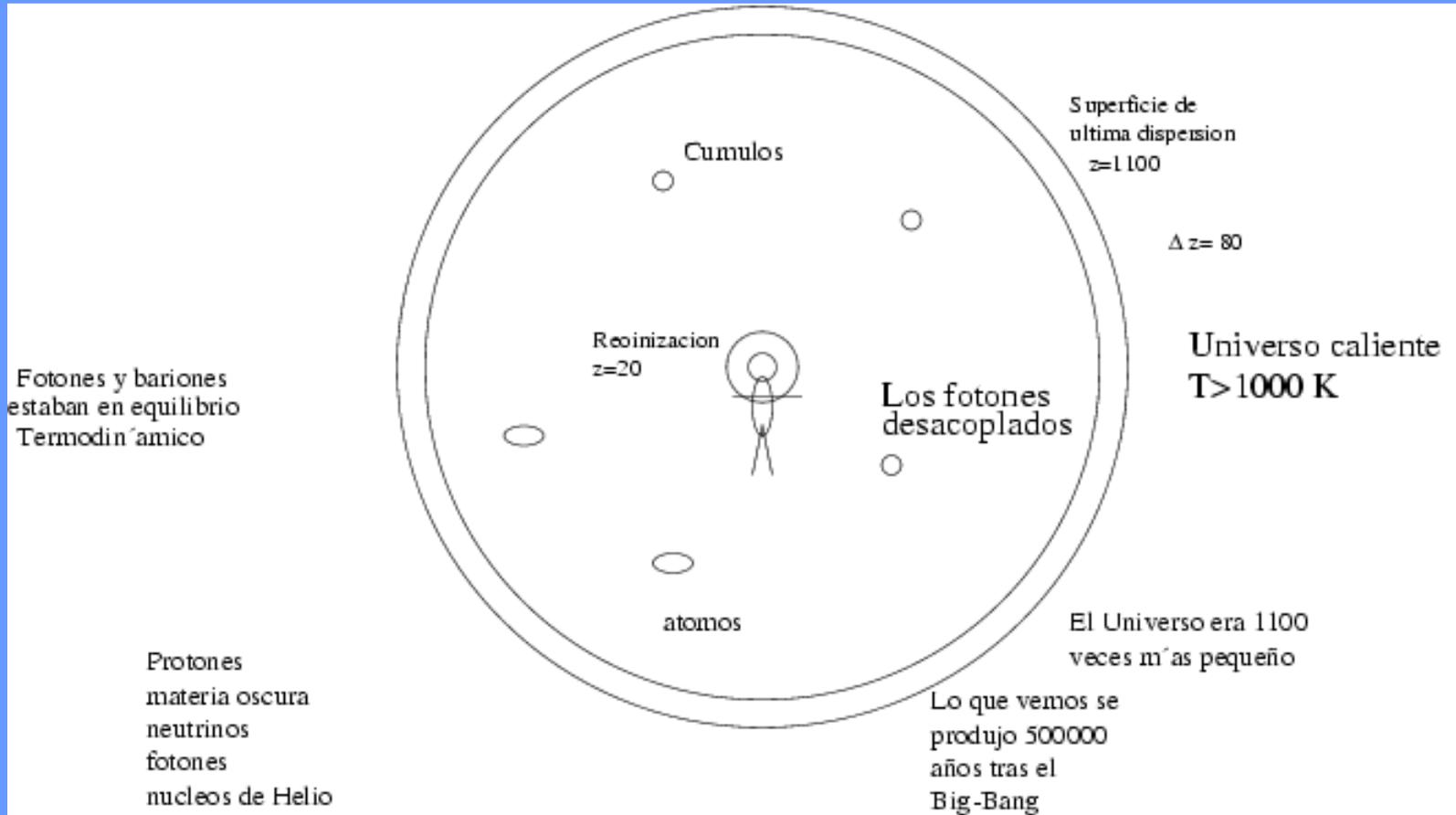
MAP990004

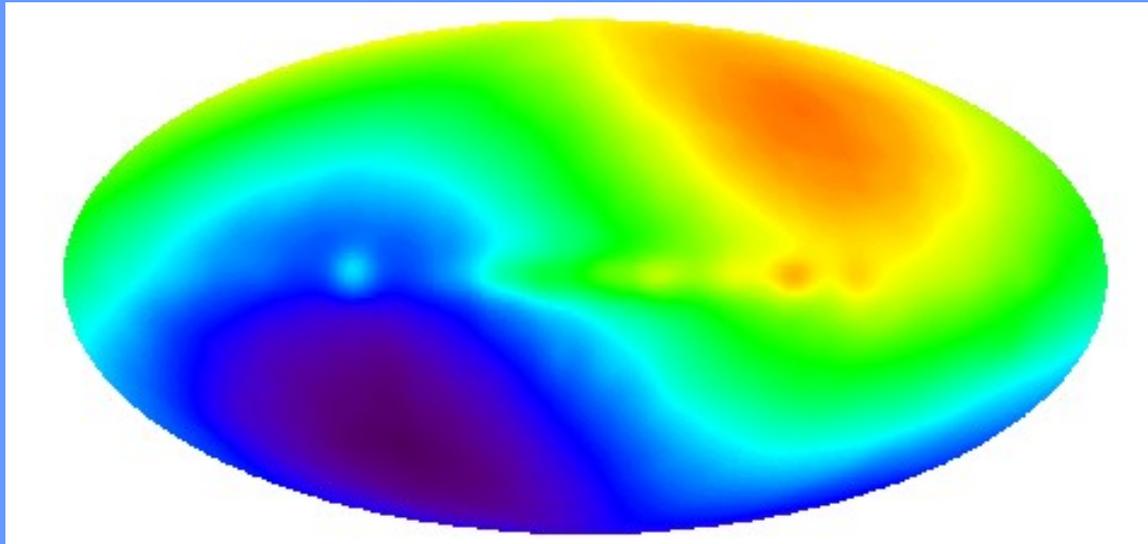
La Fresnedilla. Junio 2009







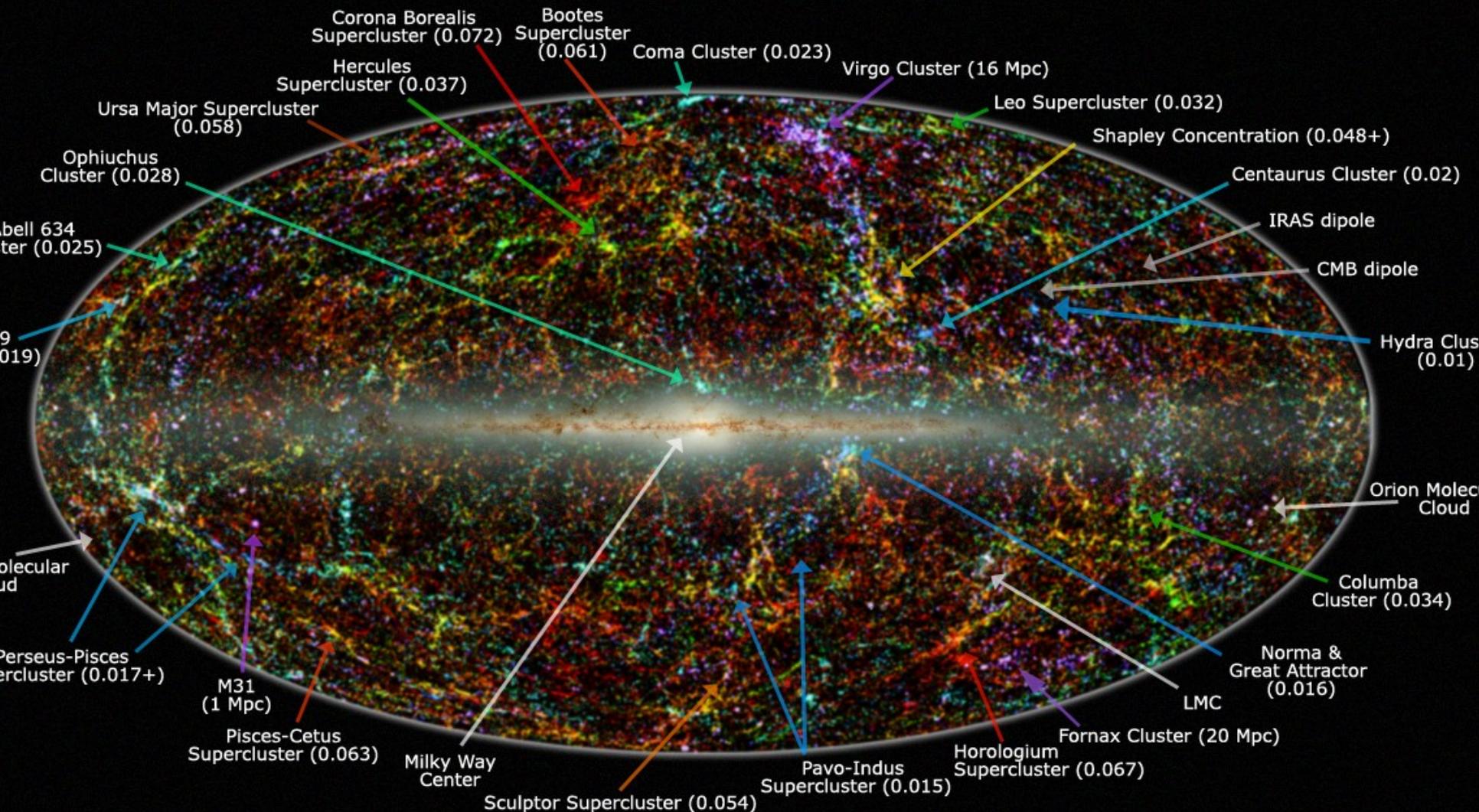




La Fresnedilla. Junio 2009



# Large Scale Structure in the Local Universe



**Legend:** image shows 2MASS galaxies color coded by redshift (Jarrett 2004); familiar galaxy clusters/superclusters are labeled (numbers in parenthesis represent redshift).  
Graphic created by T. Jarrett (IPAC/Caltech)



# Recombinación

- Recombinación
- Desacoplamiento de los fotones
- Se dispara la formación de estructuras
- Antes: DM, neutrinos, fotones, núcleos de H y He, electrones. Fotones y bariones en equilibrio.
- Después: DM, neutrinos, fotones, átomos de H y He
- Fotones y bariones desacoplados térmicamente.
- Acoplamiento



# Observamos

- Es pequeño pero no nulo.
- Anisotropía dipolar
- Anisotropías primarias.
  - Efecto Sachs-Wolfe
  - Efecto Doppler
- Anisotropías secundarias

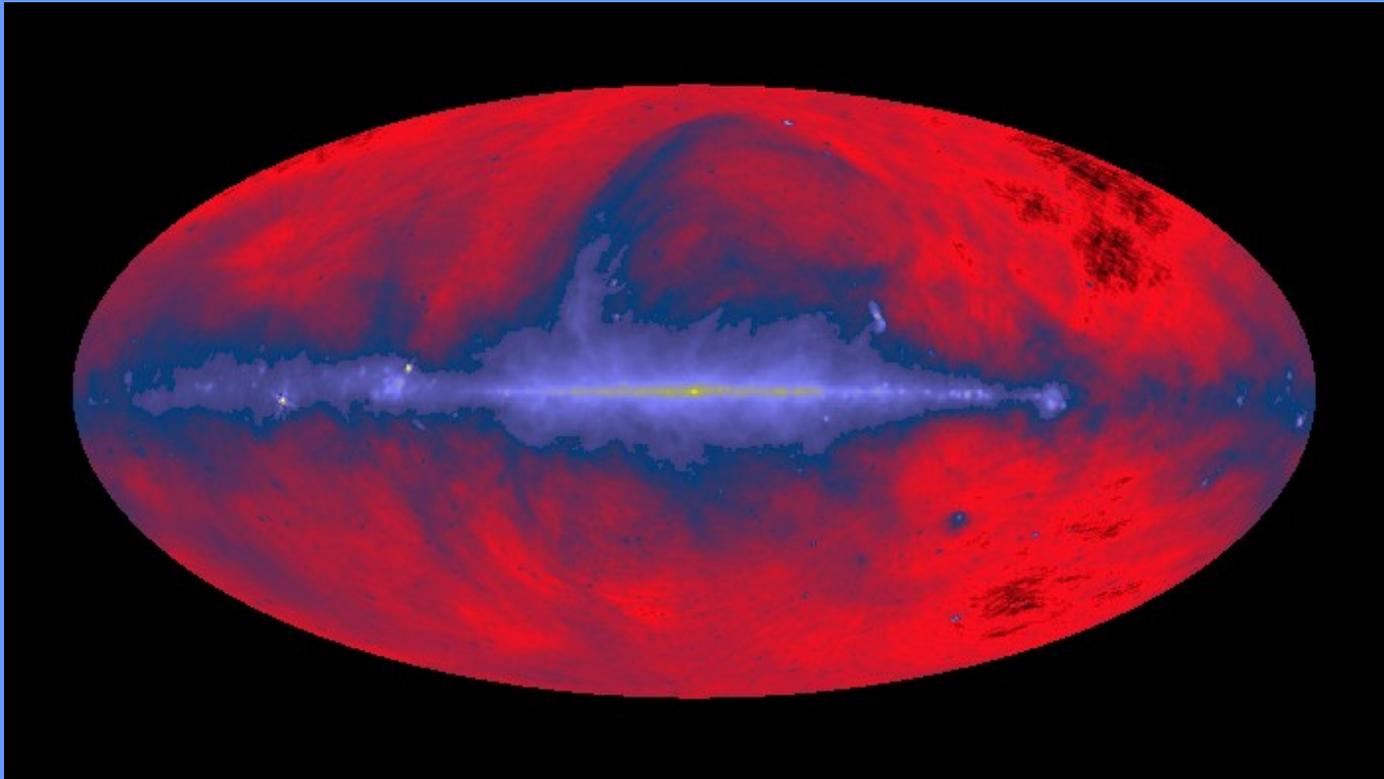
$$\frac{\Delta T}{T}(\hat{u})$$



# Anisotropías secundarias

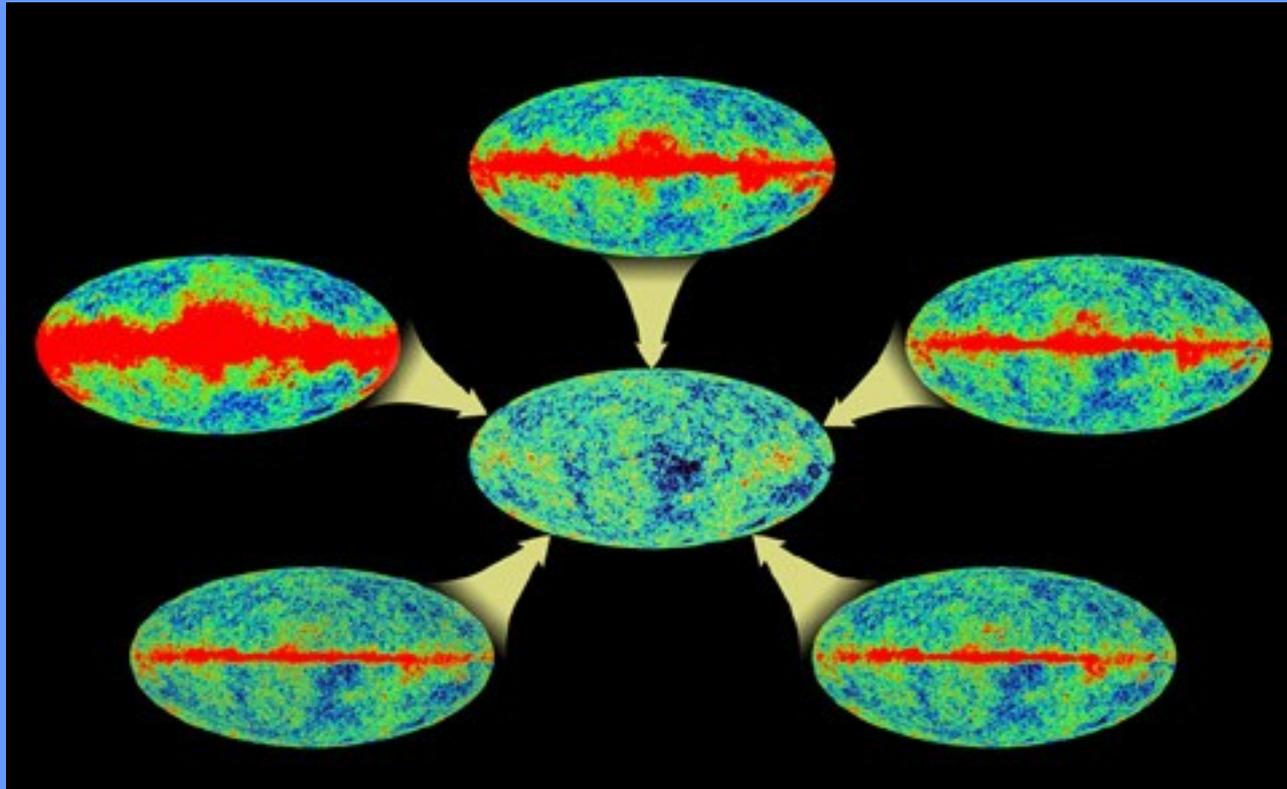
- Se producen durante el largo trayecto de los fotones hasta nosotros.
- La Vía Láctea (sincrotrón, libre-libre, térmico)
- Efecto Sunyaev-Zeldovich
- Efecto Sunyaev-Zeldovich cinético
- Fuentes puntuales
- ...





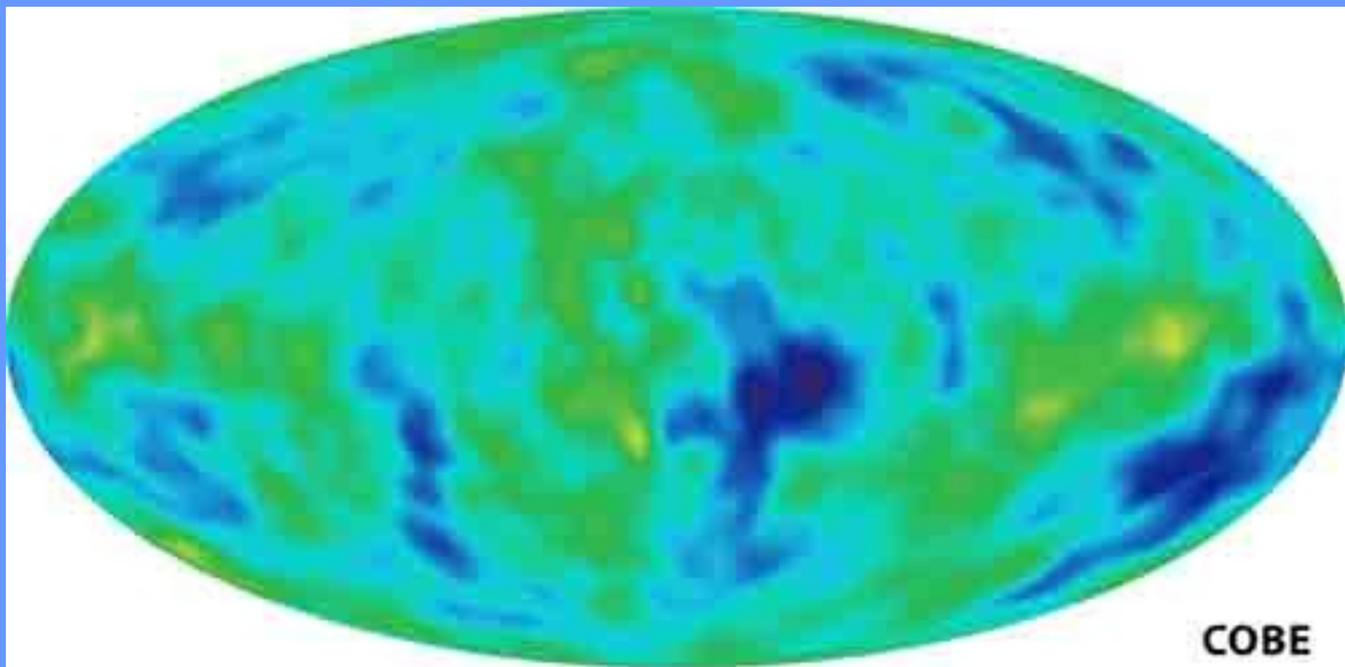
La Fresnedilla. Junio 2009



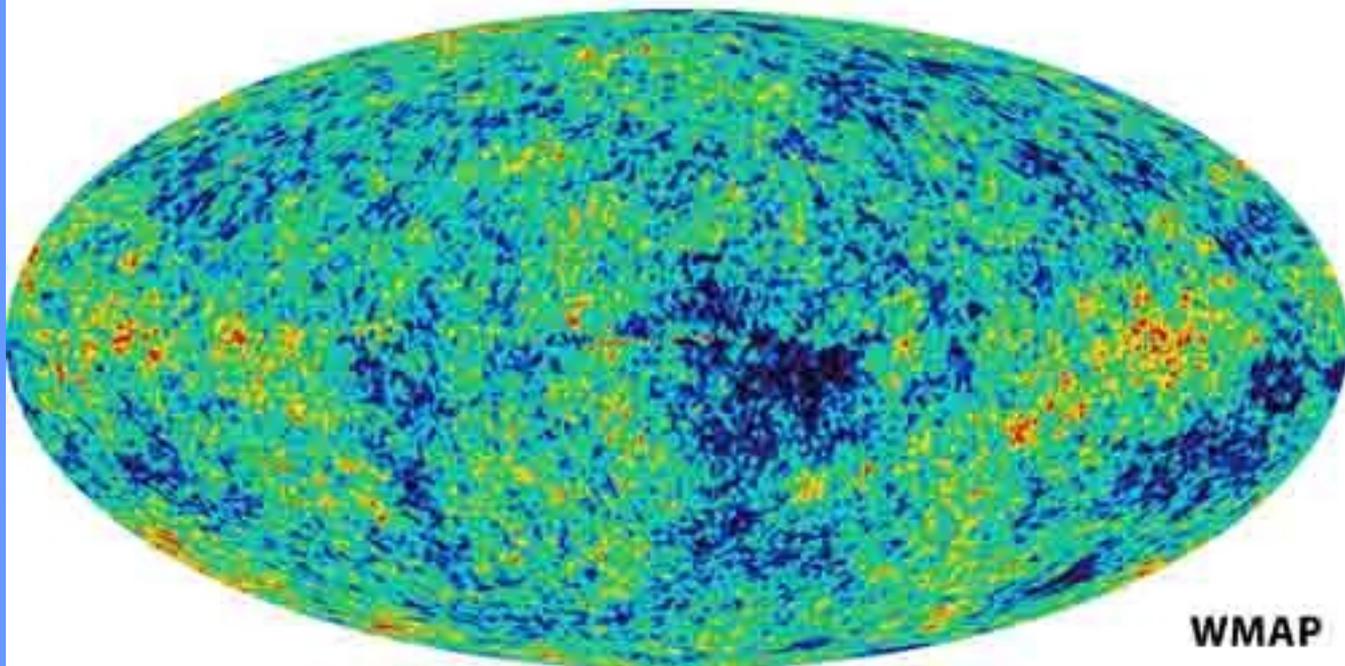


La Fresnedilla. Junio 2009



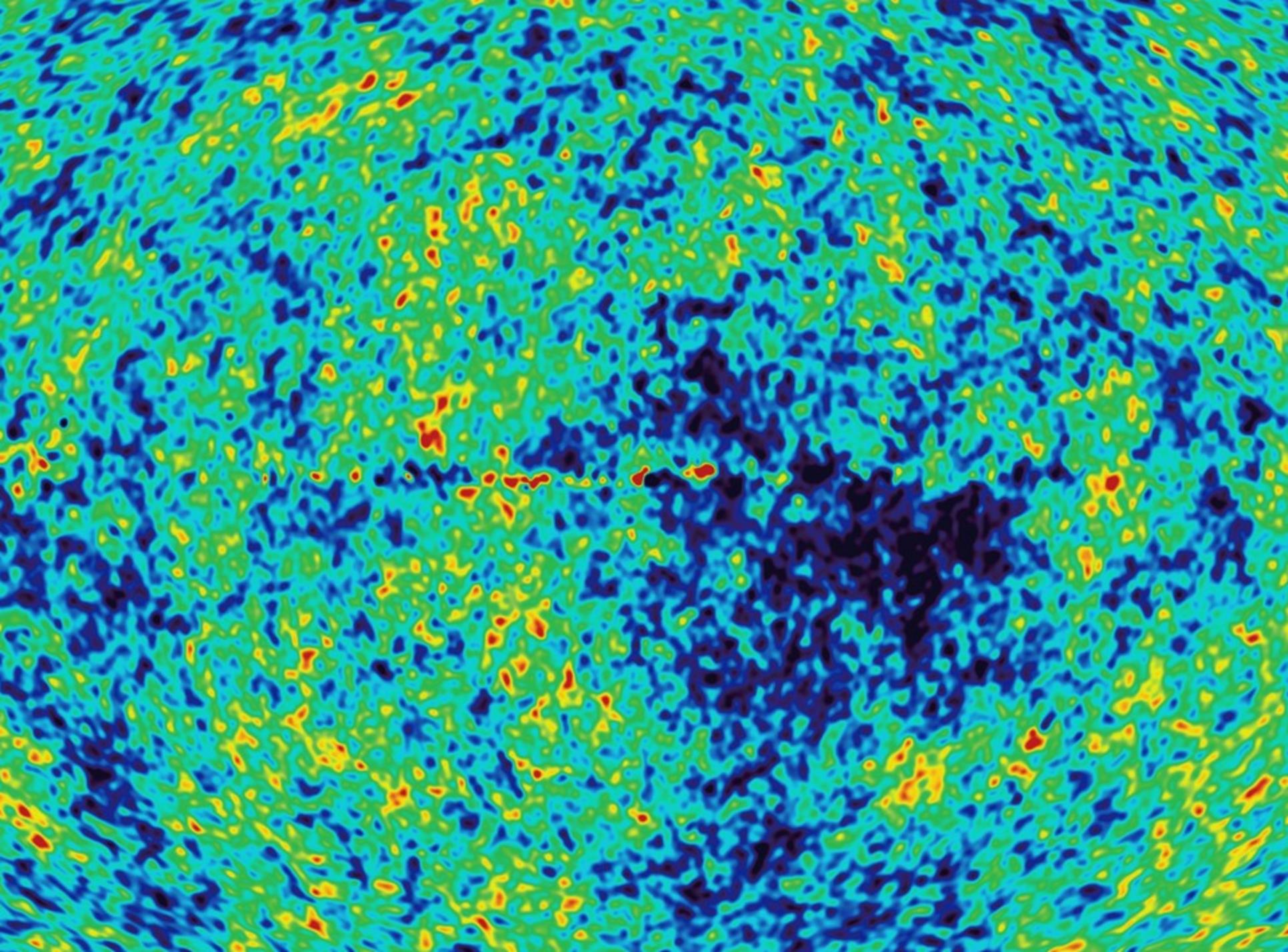


**COBE**



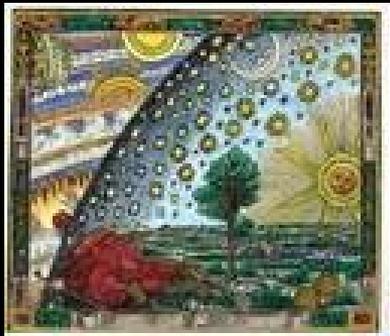
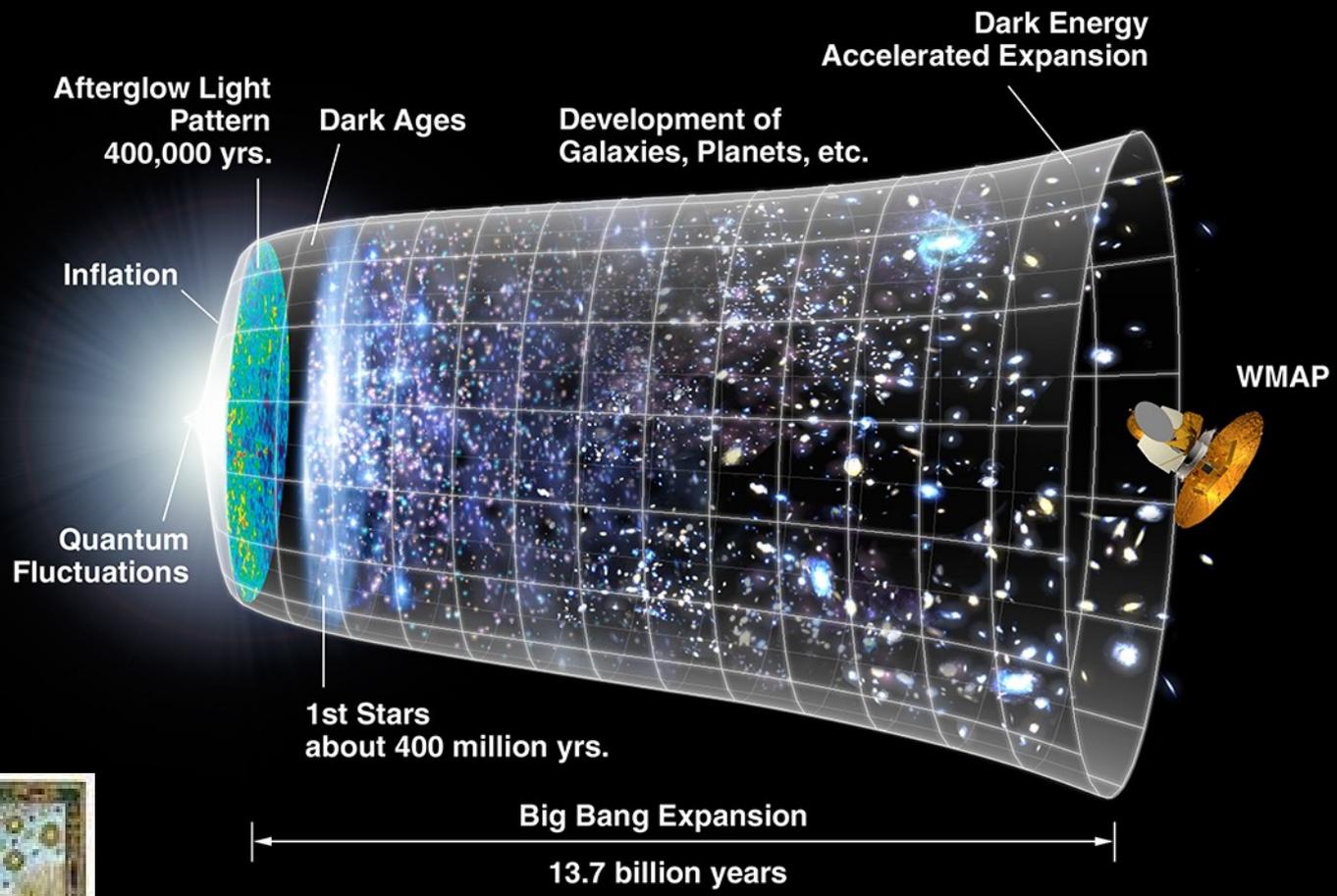
**WMAP**



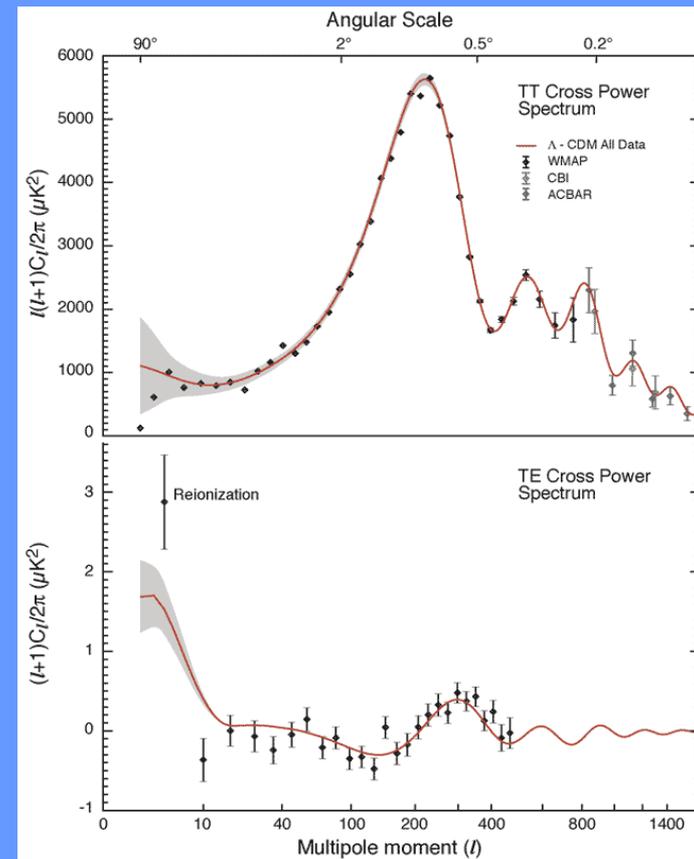


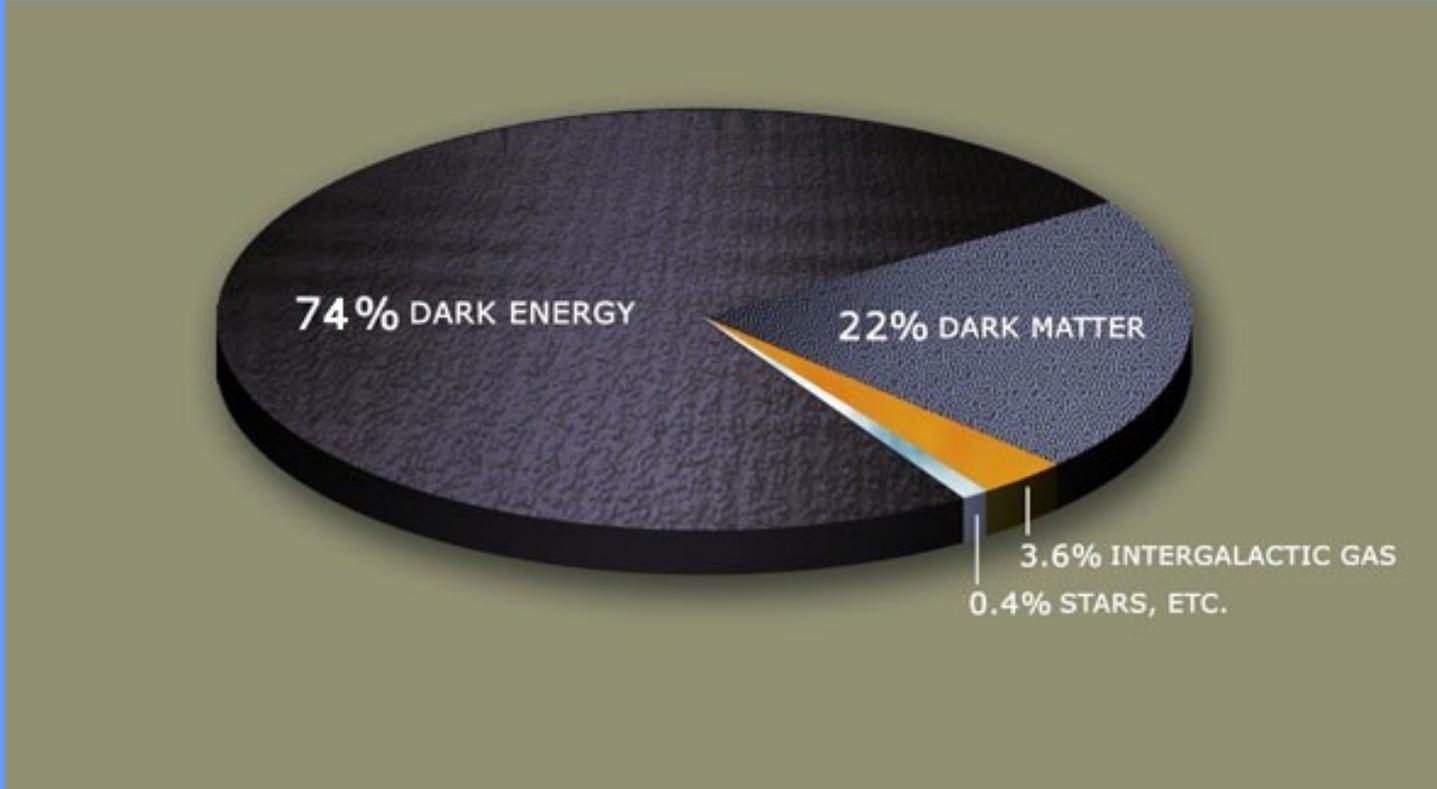
- Una galaxia tendría 10"
- (1' considerando halo oscuro frío)
- El horizonte correspondería a un “supercúmulo” de hoy)
- Hay anisotropías sub- y super-horizonte





- **Armónicos esféricos**
- Momento del dipolo “ $l$ ”: Cuanto mayor menor es el ángulo de la anisotropía.
- Obsérvese el “pico Doppler”.
- CMB no es predecesor de “nuestro Universo”, pero su espectro tiene que ser el predecesor de nuestro espectro de inhomogeneidades.
- A partir del espectro hay que determinar cómo es el Universo.
- CMBFAST es un código popular: Es una tienda de universos.





La Fresnedilla. Junio 2009



# Efecto Sachs-Wolfe

- Predomina a ángulos grandes, l pequeño
- Estructuras super-horizonte
- Si la densidad es mayor hay desplazamiento al rojo relativista



# Música primordial

- El espectro de anisotropías con sus picos Doppler, recuerda más la música con una nota y sus armónicos que el ruido.
- Las ondas de Jeans generadoras de estrellas y galaxias son ruido
- Porque las ondas del CMB se crearon al mismo tiempo
- Incluso, las anisotropías con un nivel de  $1/100000$  pudieran medirse en decibelios
- Sería una música muy suave. Un coro a 4 voces, la más aguda de las notas se iría amortiguando
- Pero: El concierto duraría 400 000 años, con una sola nota



densidad  
de entgía por  
frecuencia

El espectro del cuerpo negro se modifica  
por el efecto Sunyaev-Zeldovich

Rayleigh-  
Jeans

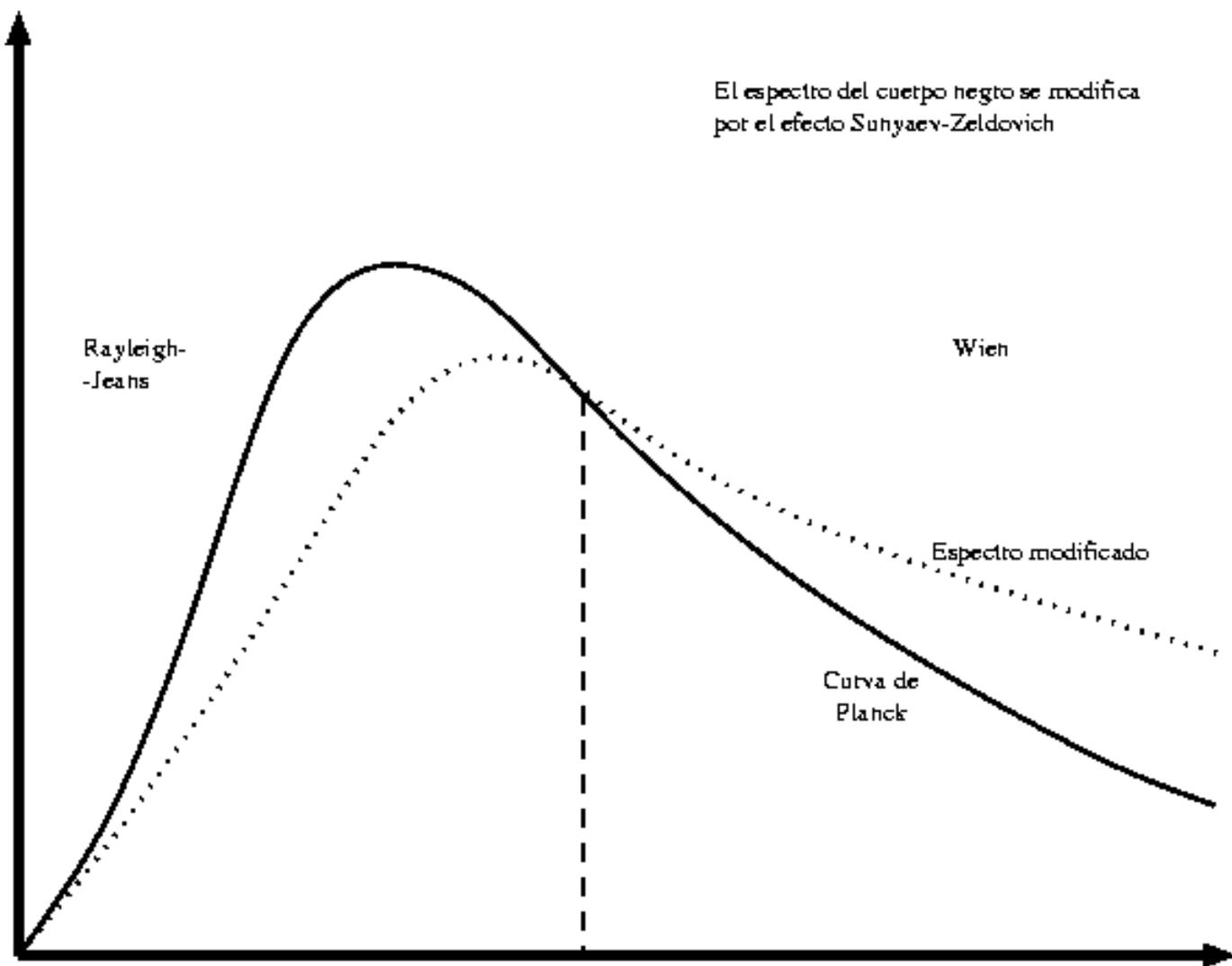
Wien

Espectro modificado

Curva de  
Planck

1.38 mm

Frecuencia



log	$N(\text{cm}^{-3})$	T (K)	B(gauss)
Ionosfera	3, 6	2, 3	-1, -3
Interplanet	1, 4	2, 3	-6, -5
Sol	8, 12	4, 7	-5, 1
Interior *	27	7	-
HII	2, 3	3, 4	-6
HI	-3	2	-6
Púlsares	12, 42	-	12
Interestelar	-3, 1	2	-6, -5
Intergaláctico	-4	5, 9	-6
CMB	4	3	-4, -2
Universo	-5	?	-8, -6

La Fresnedilla, Junio 2009



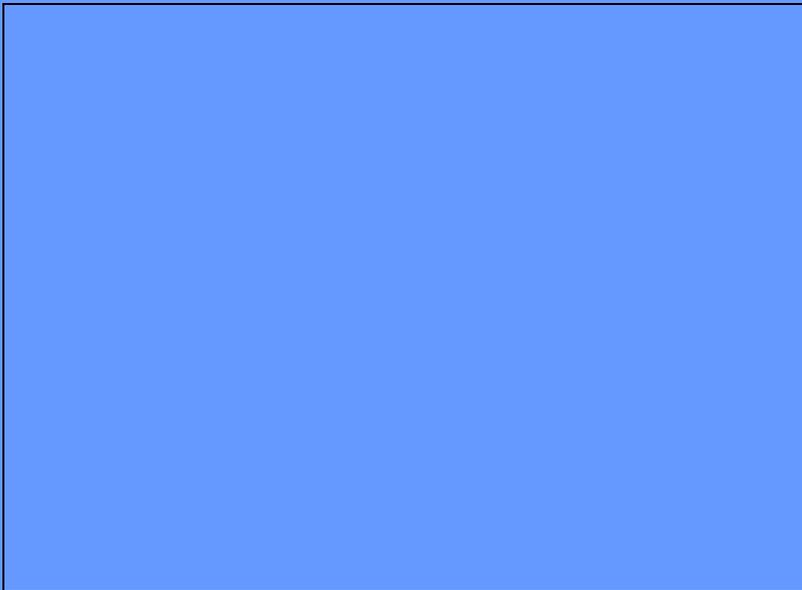
# Pero hay diferencias...

- Expansión de Hubble
- Condiciones iniciales en la era dominada por la luz
- Influencia de la materia oscura y la energía oscura
- Colapso de inhomogeneidades
- ...
- La experiencia en la ionosfera no nos sirve de mucha ayuda



# Constantes del Universo

Antes



Ahora

$\zeta = 1100$ , CDM, inflación  
(13.7  $\pm$  0.2)  $\times 10^9$  años  
380000 tras Big - Bang  
 $H_0 = 71 \pm 4$  km/(s Mpc)  
 $\Omega_B = 0.044 \pm 0.04$   
 $\Omega_{\text{baryonico}} = 0.23 \pm 0.04$   
 $\Omega_\Lambda = 0.73 \pm 0.04$   
Reioniza : 100 - 400  $\times 10^6$  años  
 $z_* = 30 - 11$



# Planck y Granada

- Pre-regulador
- Parte del sistema de enfriamiento
- El HFI funciona con 0.1 K
- Planck ,
  - éxito aeronáutico!
  - Éxito instrumental?
  - Éxito científico?



# Proyecto Planck

- Constraints on primordial magnetic fields
- Leader E. Battaner (Univ. Granada; Co-leader J. A. Rubiño (IAC)
- Miembros del proyecto:
- Aumont (INP, Grenoble), Crittenden (ICG, Hampshire), Finelli (INAF-IASF Bologna), Génova-Santos (IAC), Hernández-Monteagudo (MPA, Garching), Mclías-Pérez (INP, Grenoble), Martínez-González (IFC), Matarrese (Univ. Padova), Naselsky (NBI, Copenhagen), Natoli (Univ. Roma), Paci (INAF-IASF), Paoletti (INAF-IASF), Rebolo (IAC), Rocha (Univ. California), Stolyarov (SAORAS, Karachacvo), Wielebinski (MPR, Bonn)



# Constraints on primordial magnetic fields

- ¿Se puede detectar un campo magnético primordial con Planck?
- ¿Cuáles son los parámetros que definen el Universo cuando se tiene en cuenta el campo magnético?
- Hay que descontaminar la contribución de la Vía Láctea. Obtención del campo magnético galáctico



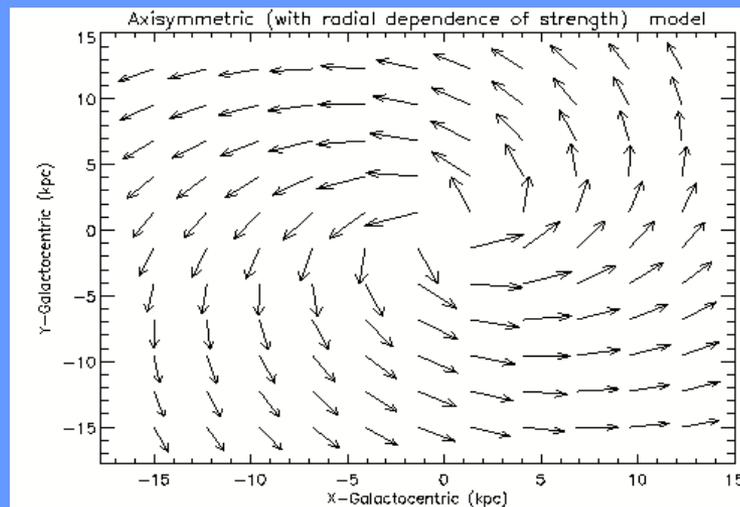
# Faraday

- Muchos años antes, M. Faraday, en su búsqueda de la unificación de la luz, la electricidad, el magnetismo y la gravedad, puso un potente electroimán en el camino de un rayo de luz polarizada, encontrando lo que hoy se llama Rotación de Faraday. Este efecto puede ser el que nos sirva para medir el campo magnético en una época muy próxima al Big-Bang.



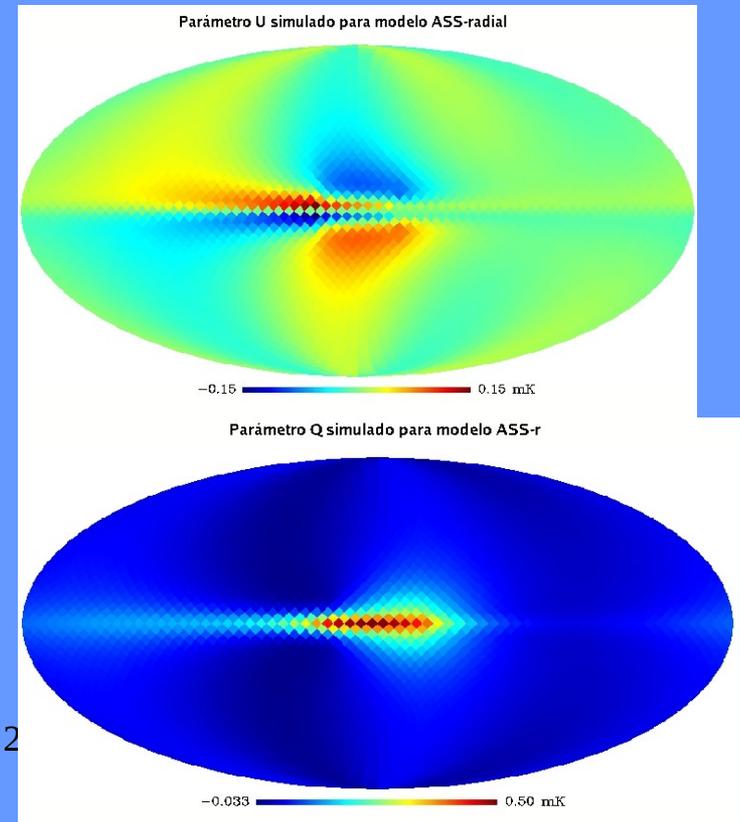
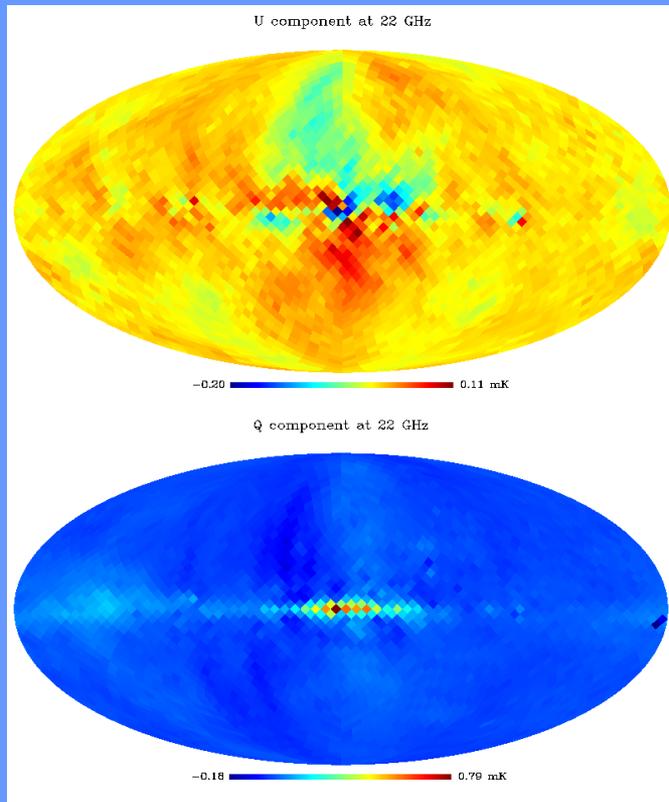
# Modelo del campo magnético de nuestra galaxia derivado de datos de WMAP.

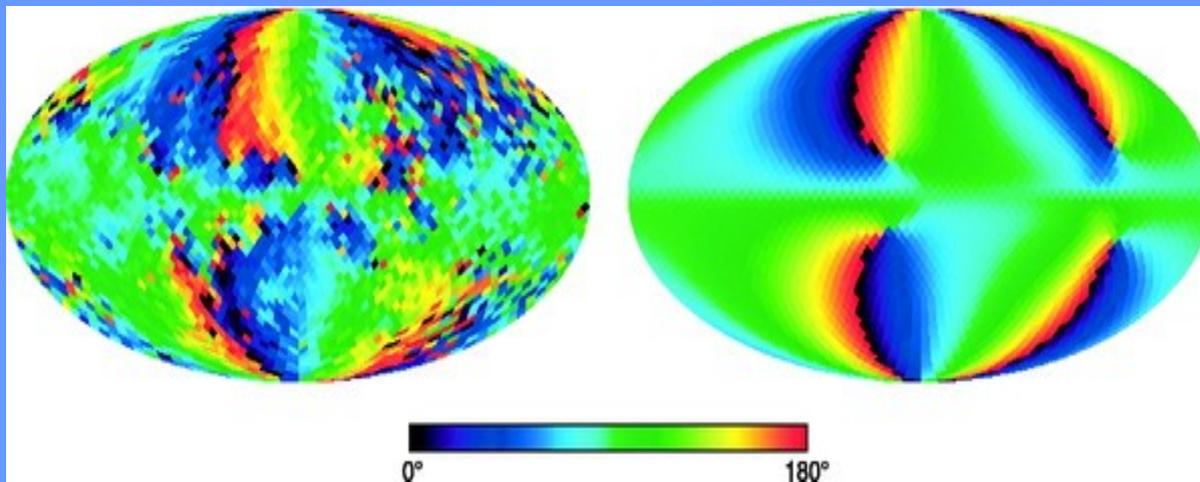
- El modelo de campo magnético galáctico que mejor reproduce los datos de polarización es un modelo axisimétrico con variación radial de la intensidad magnética cuyo aspecto en el disco es:



# Modelo del campo magnético de nuestra galaxia derivado de datos de WMAP.

- Datos de polarización a 22 GHz del satélite WMAP
- Mejor modelo de campo magnético galáctico que reproduce estos datos.





La Fresnedilla. Junio 2009



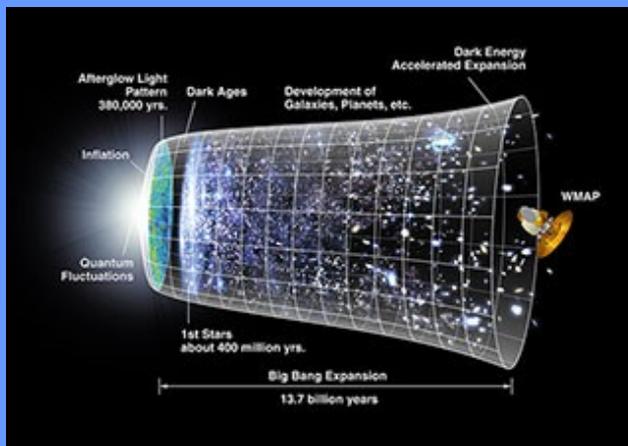
# Consideraciones finales

- La idea de un universo magnetizado no es nueva
- Fermi (1949), rayos cósmicos confinados en la galaxia. 1 microgauss. Origen primordial del campo magnético galáctico.
- Hoy puede medirse a grandes distancias (Wielebinski and Shakeshaft, 1962)
- Emisión sincrotrón
- Una cita aún anterior...



# Lemaître

- Lemaître (1933):
- En el Universo cíclico el flujo magnético podría conservarse en el rebote, siendo simiente de futuras galaxias, estableciéndose una conexión entre dos vueltas consecutivas.



[http://veucd.ugr.es/pages/conferencias\\_y\\_jornadas/divulgacioncientifica](http://veucd.ugr.es/pages/conferencias_y_jornadas/divulgacioncientifica)  
Divulgación científica de la Universidad de Granada

[http://u4.cesga.es/web\\_U4.htm](http://u4.cesga.es/web_U4.htm)  
Una Universidad Un Universo (U4)

<http://www.astronomia2009.es/>  
Año internacional de la Astronomía. Nodo español

<http://www.ugr.es/~battaner/>  
página personal



# FIN

La Fresnedilla. Junio 2009

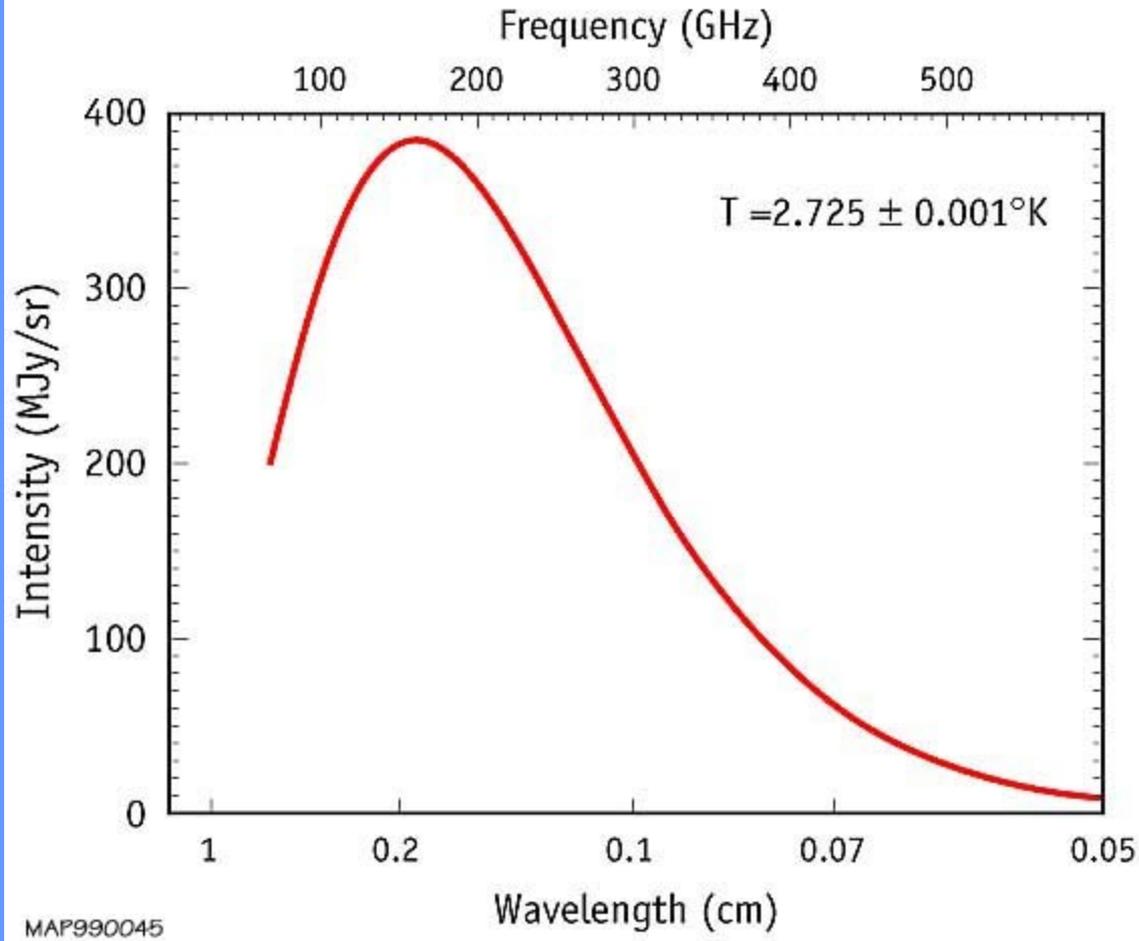


# Greguerías

- Podemos “ver” el pasado ( o más bien: sólo podemos ver el pasado).
- Podemos volver a ver lo que ya vimos y dejamos de ver y volveremos a dejar de ver.
- Podríamos “ver” algo aún más próximo al Big-Bang, pero hoy aún no lo vemos
- No vemos casi nada. Ni lo vemos ni lo podemos ver.

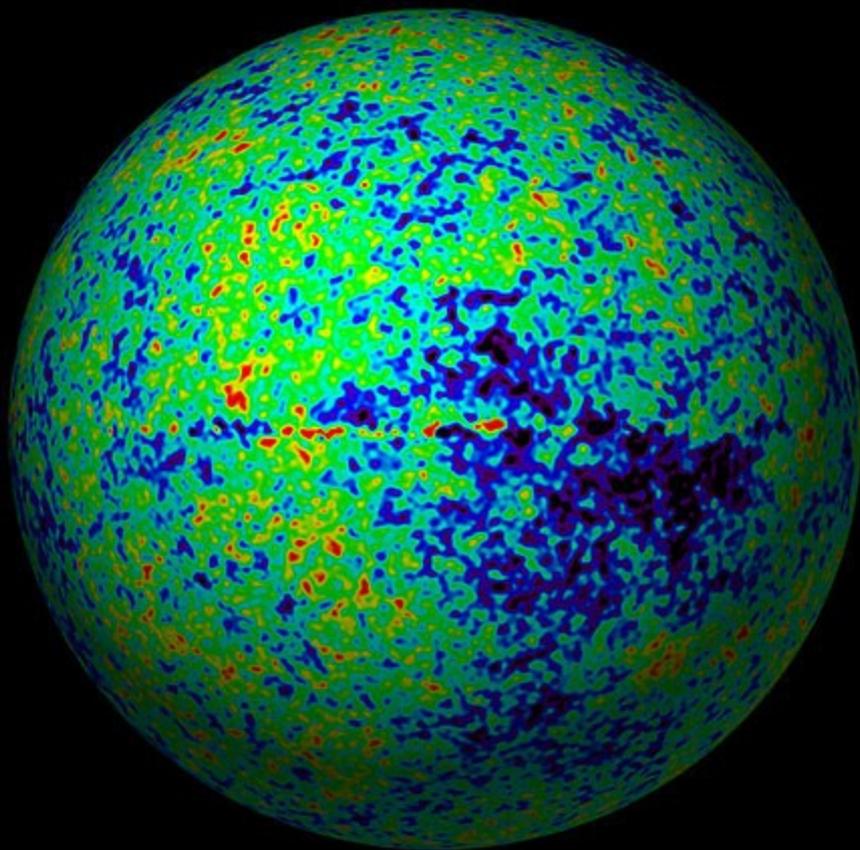
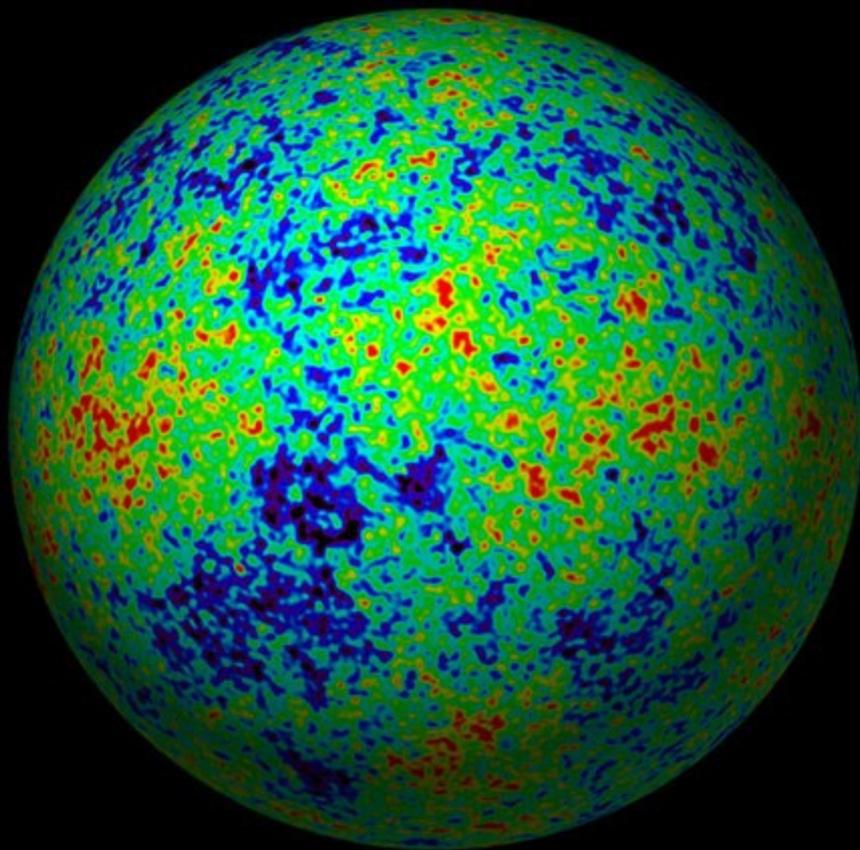


# SPECTRUM OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



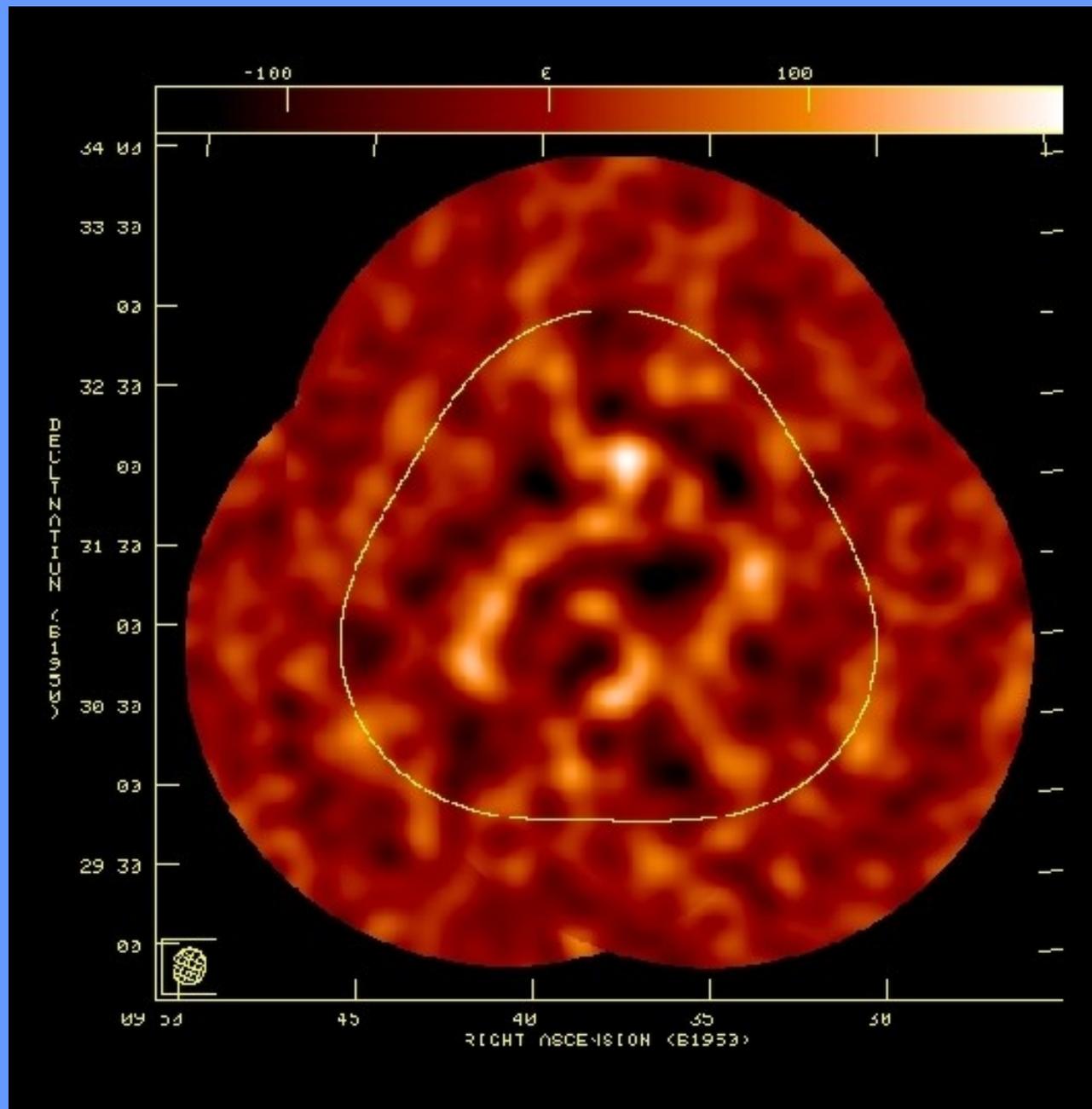
La Fresnedilla. Junio 2009



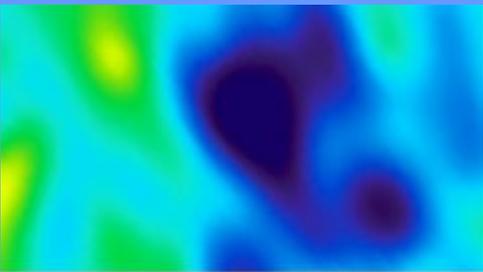


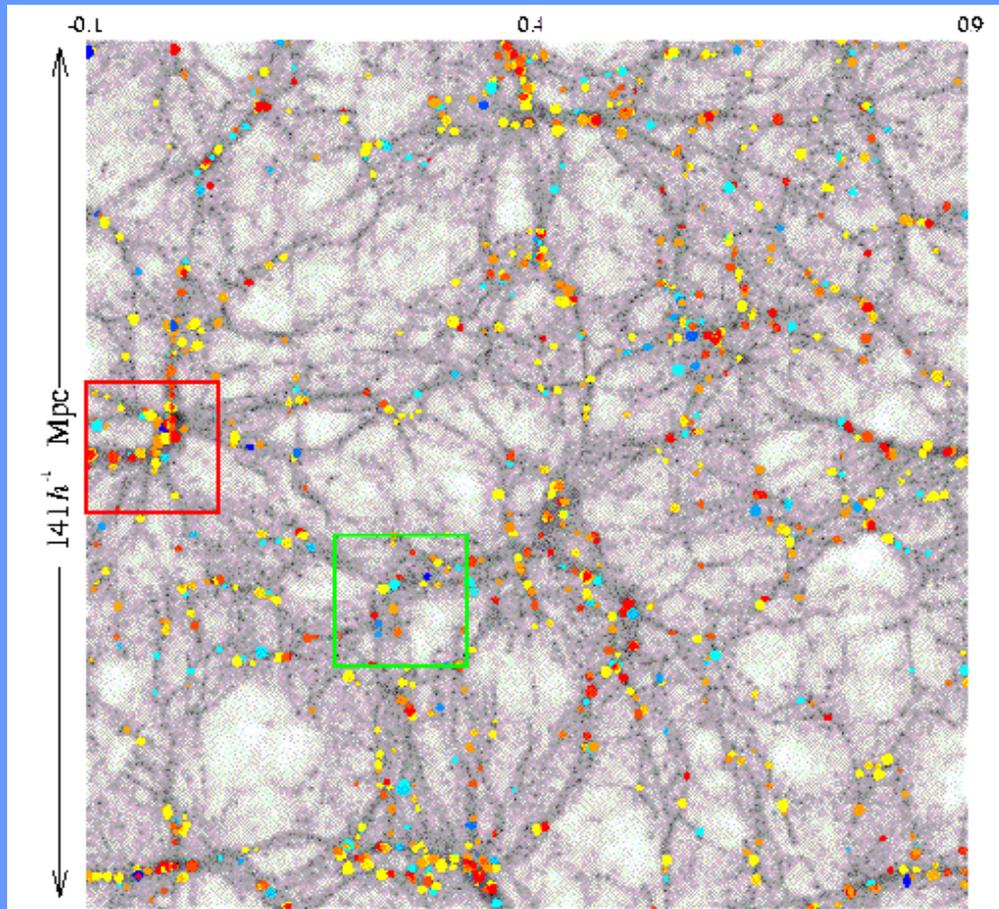
La Fresnedilla. Junio 2009





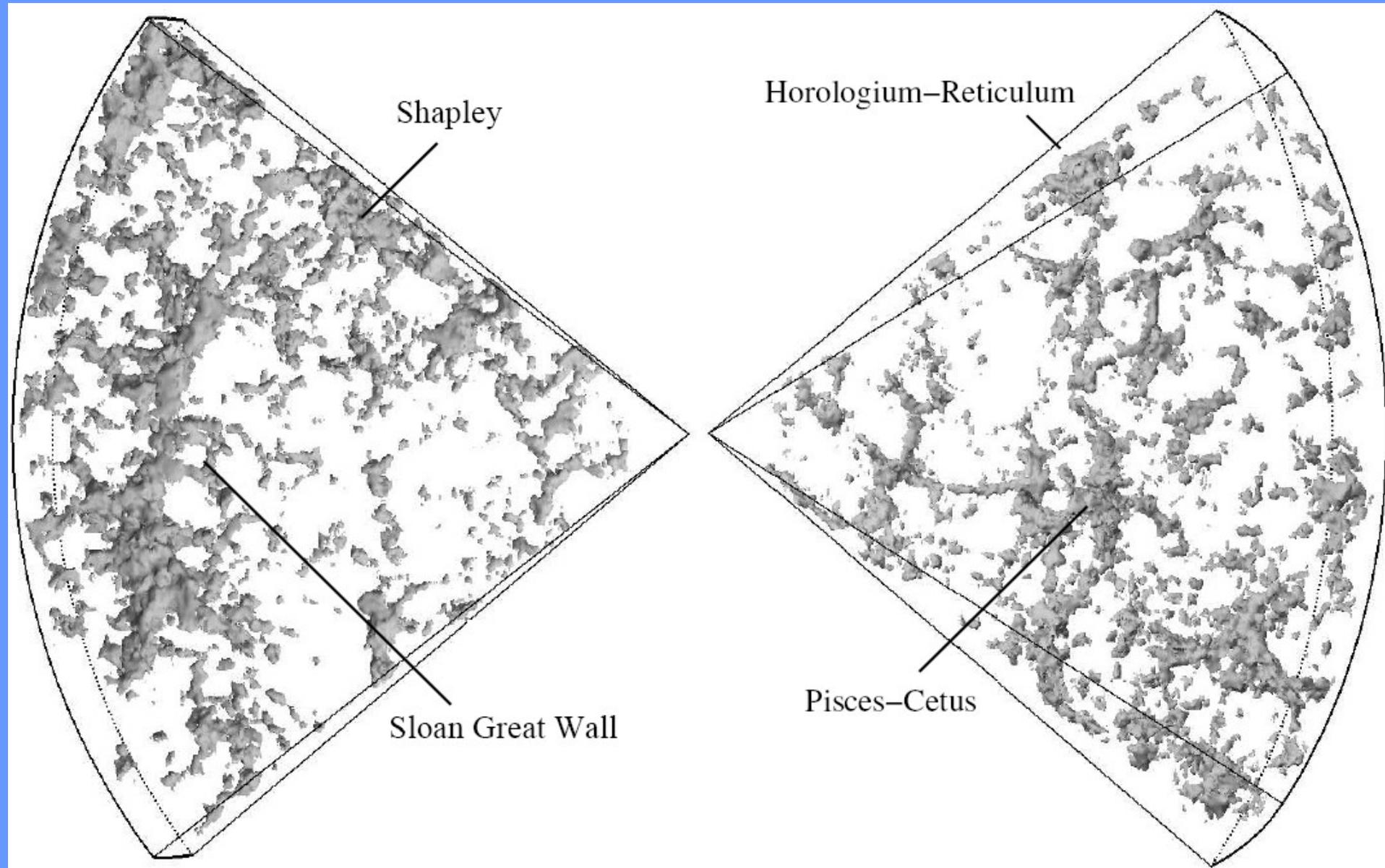


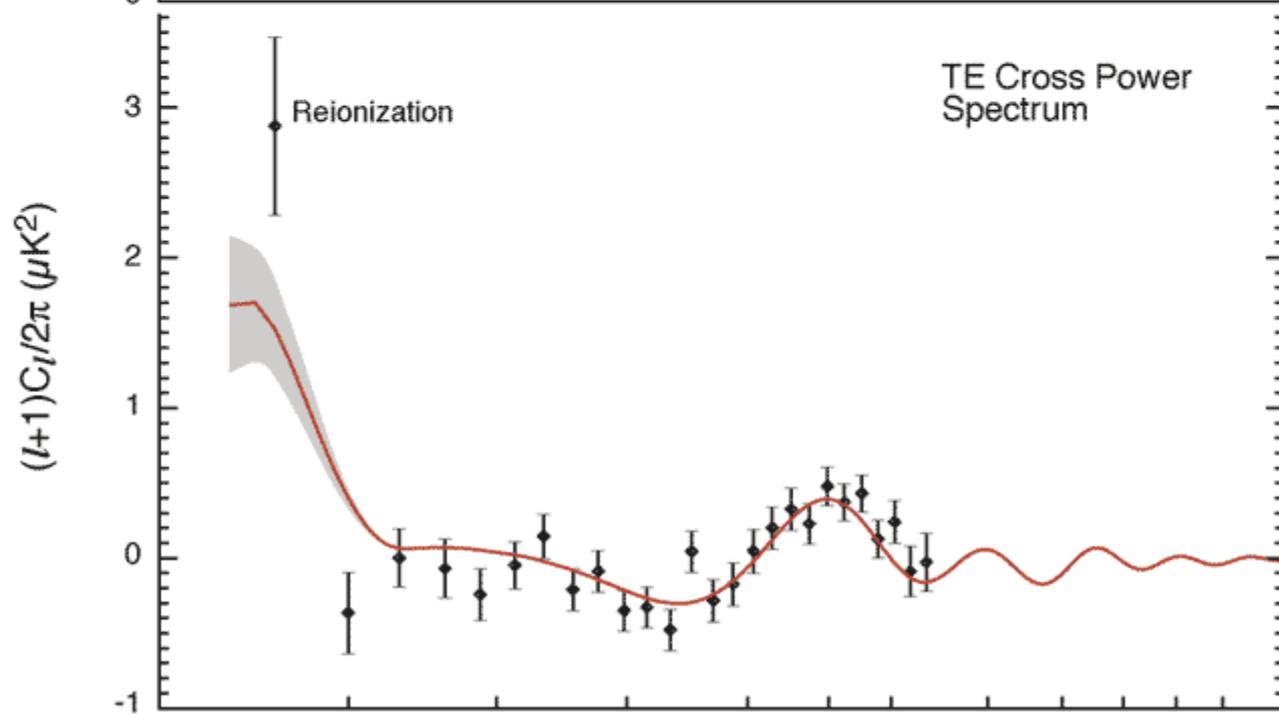
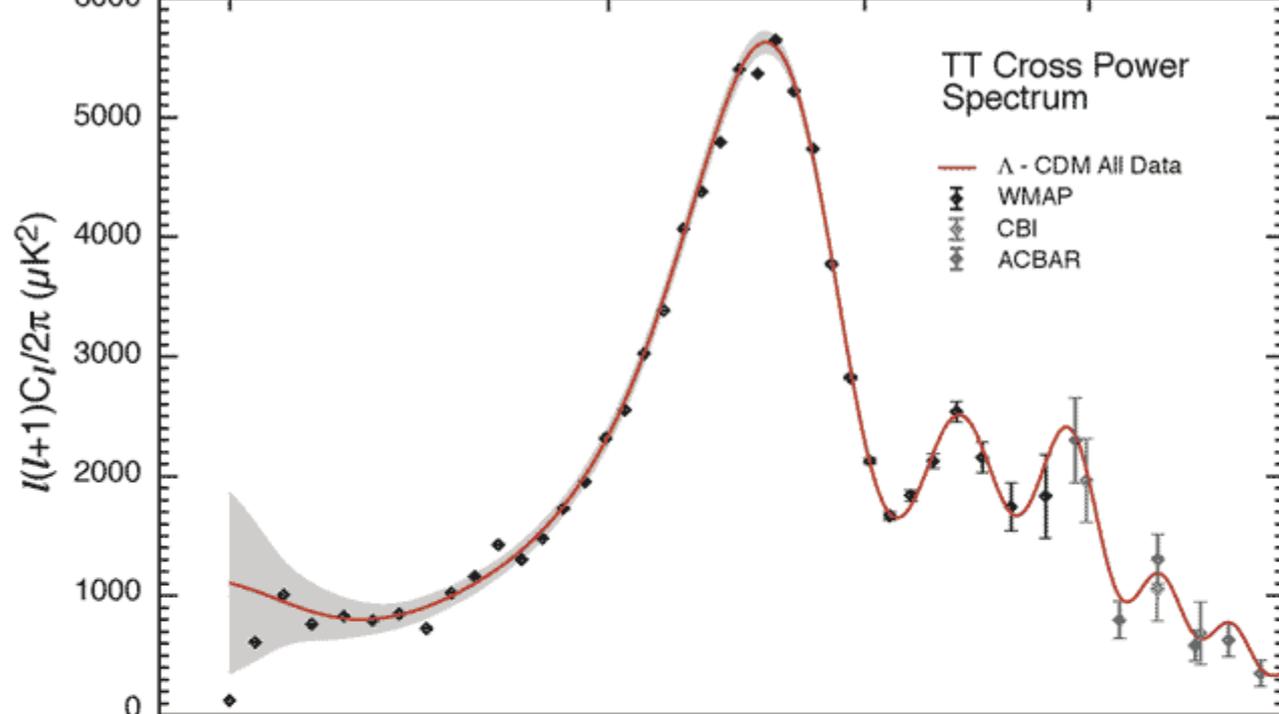




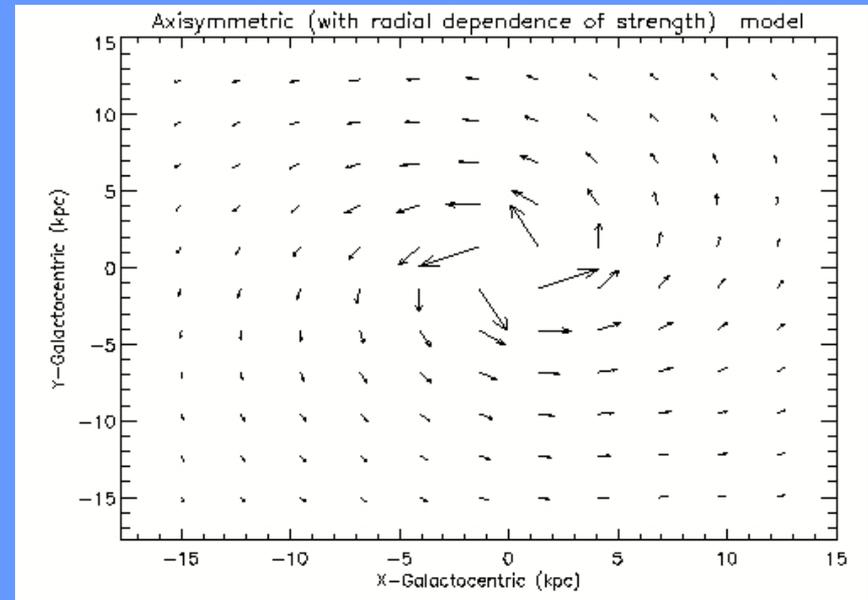
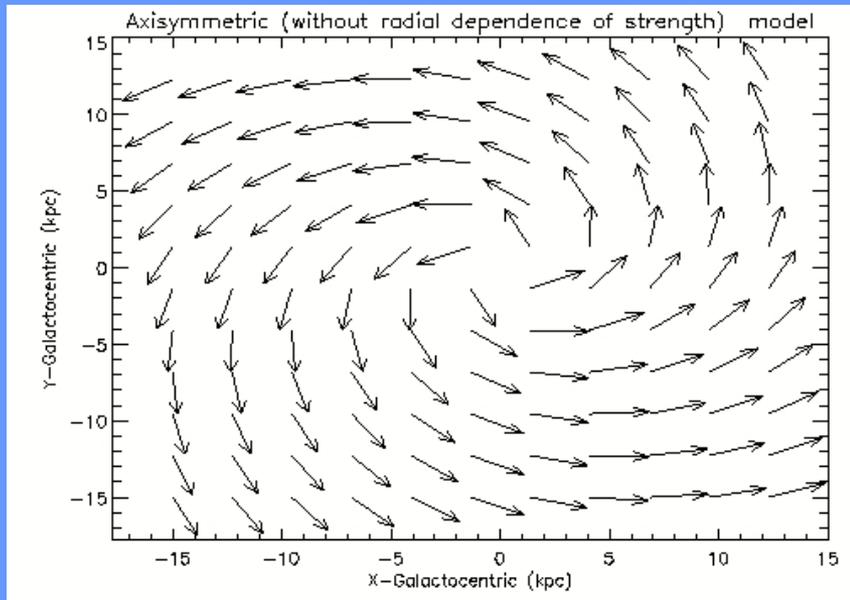
La Fresnedilla. Junio 2009





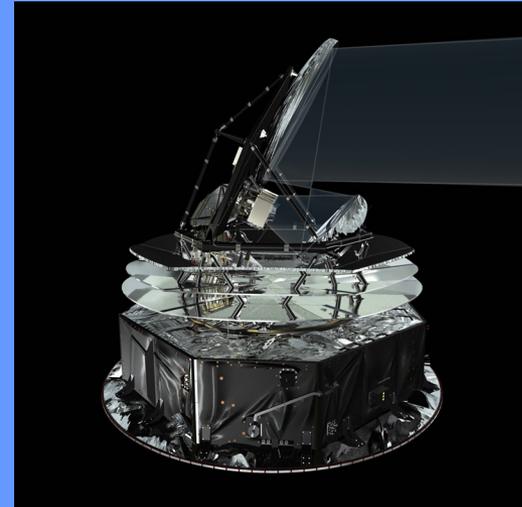


# Modelos axisimétricos



# Planck

- La misión espacial Planck se lanzará en abril.
- Project Planck:
- “Constraints on Primordial Magnetic Fields”
- Other projects:  
SKA (Beck)  
QUIJOTE

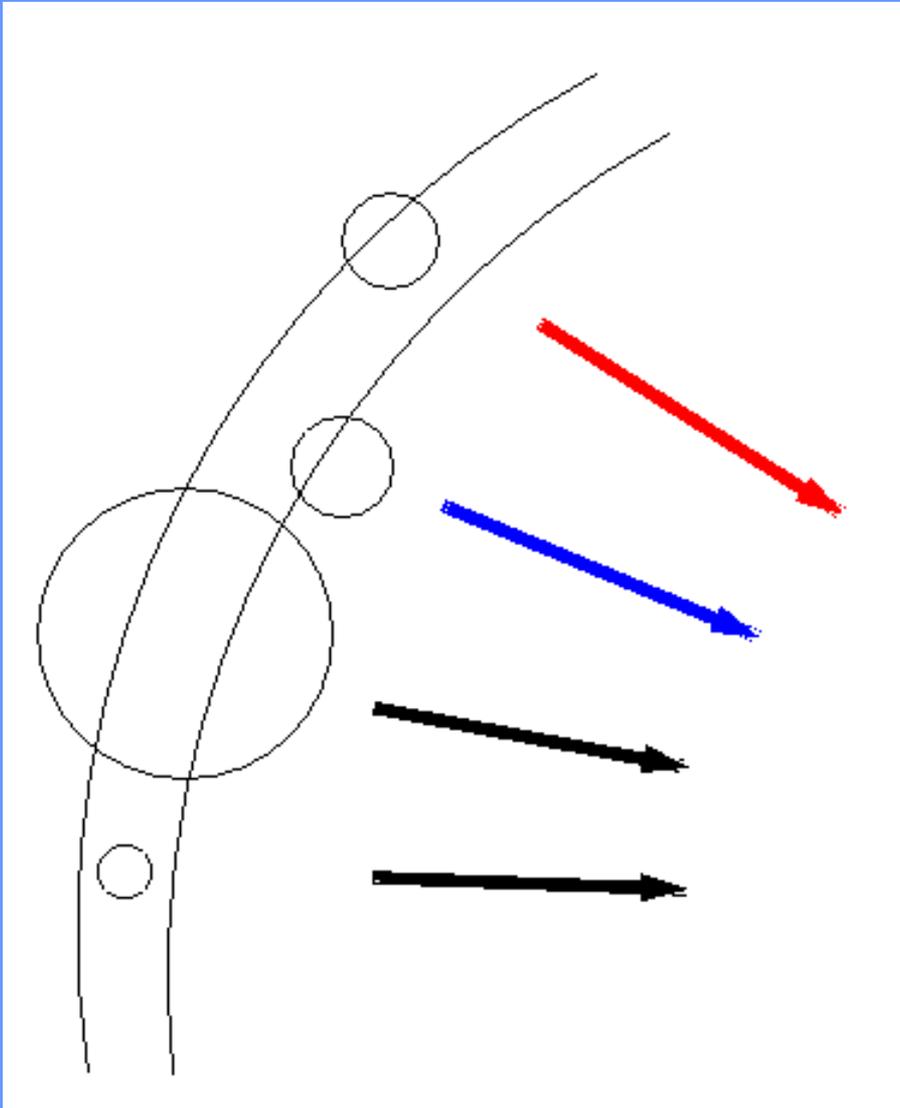


# Planck

- Planck puede medir el campo magnético primordial ?
- Mapas ---> Espectros ---> Física ---> Parámetros que definen el Universo
- Al cambiar la física pueden variar los parámetros



# pppler



tamaño del espesor =

$$\frac{2t\Delta z}{H_0\Omega} \cup t\Delta z H_0\Omega$$

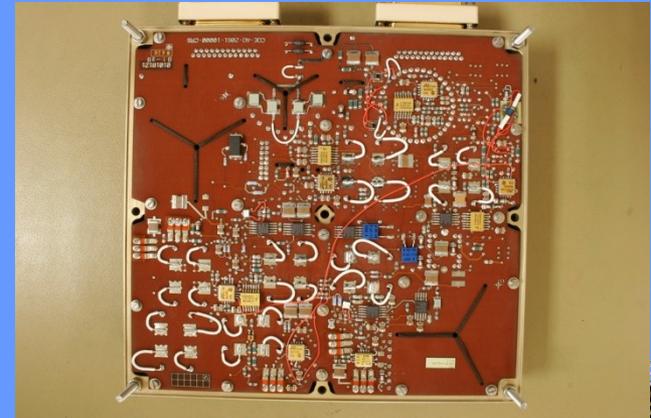
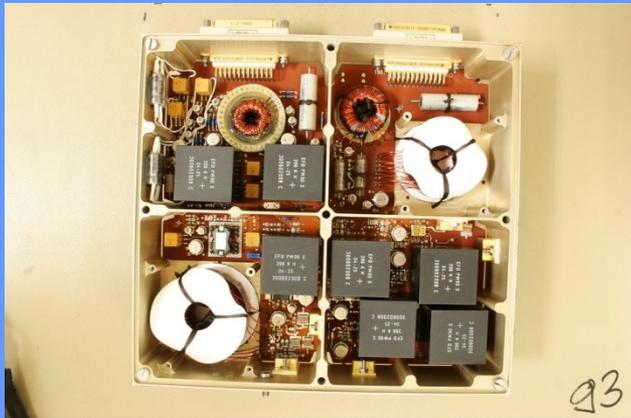




La Fresnedilla. Junio 2009

# La contribución de la UGR a la misión Planck: el Pre-Regulador de corriente

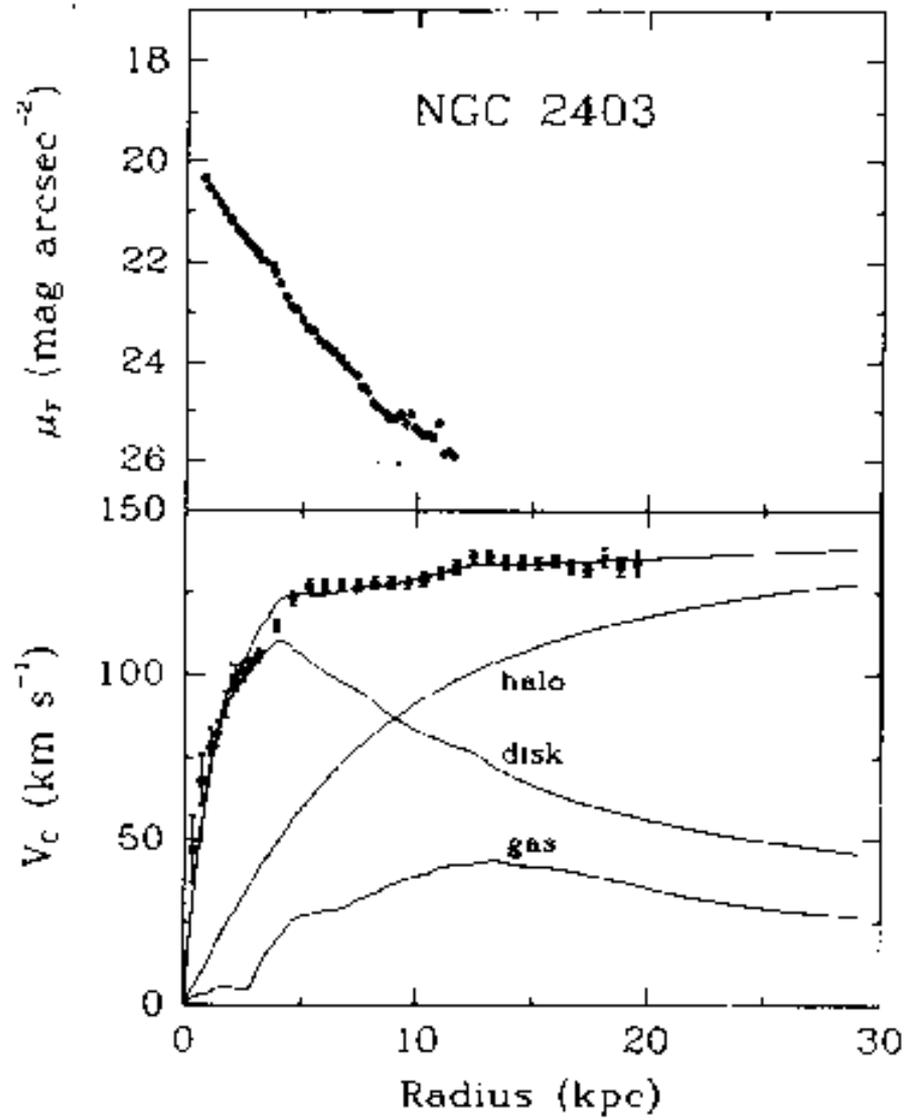
El proyecto abarcó los años desde Abril 2004 hasta Febrero de 2006, cuando fue entregado el último modelo, el de repuesto.



La Fresnedilla. Junio 2009

*Pre-Regulador, vistas del interior*







La Fresnedilla. Junio 2009



La Fresnedilla. Junio 2009



La Fresnedilla. Junio 2009

