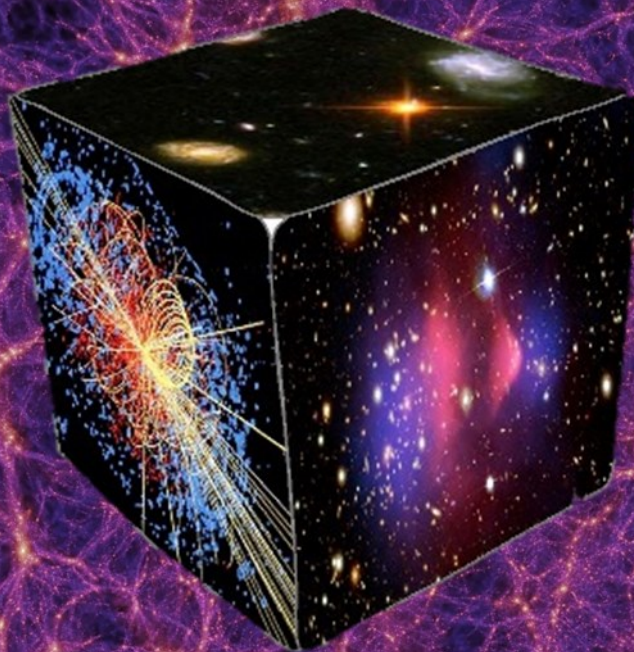


MATERIA OSCURA



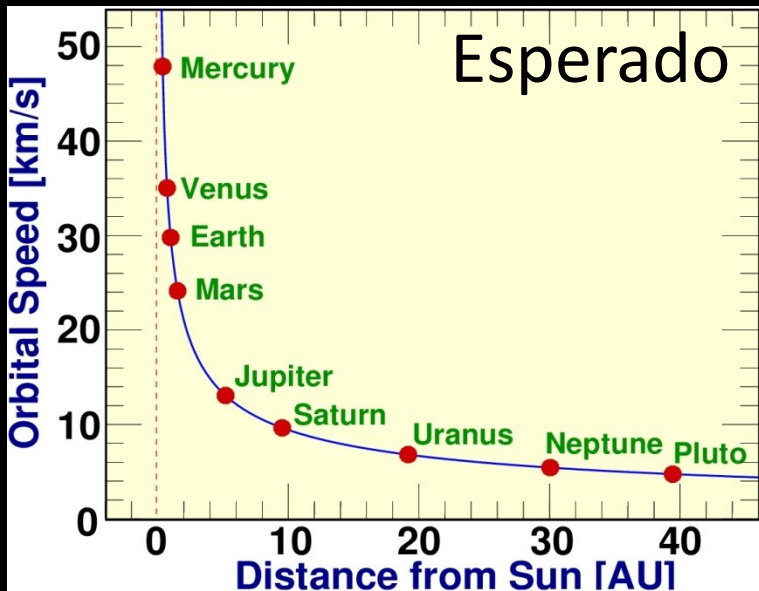
Evidencia Observational

La existencia de la materia oscura se deduce de muchas observaciones diferentes

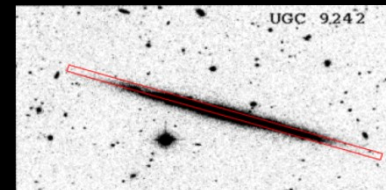
La primera evidencia se obtuvo en los años 30, y desde entonces no ha hecho más que crecer. Algunas de las principales medidas que muestran la existencia de la materia oscura son:

- **Las curvas de rotación de las galaxias espirales y la dispersión de velocidades en galaxias elípticas.**
- **La relación masa luminosidad en cúmulos de galaxias**
- **Las lentes gravitacionales**
- **La estructura a gran escala del universo**
- **Las abundancias primordiales: Materia oscura no bariónica**

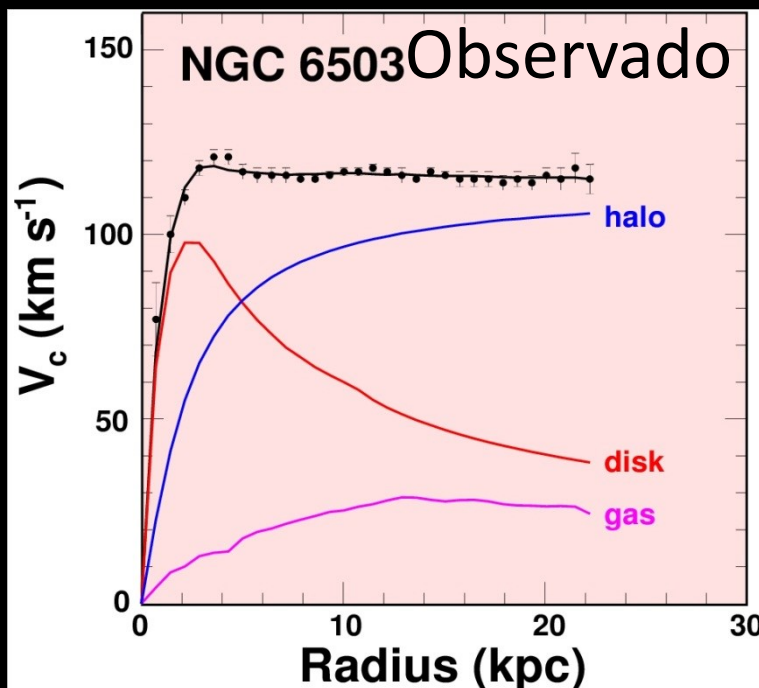
Curvas de Rotación



Medir el desplazamiento al rojo de diferentes zonas de la galaxia. Uno de los extremos se aleja y el otro se acerca, y se puede medir la velocidad de rotación.

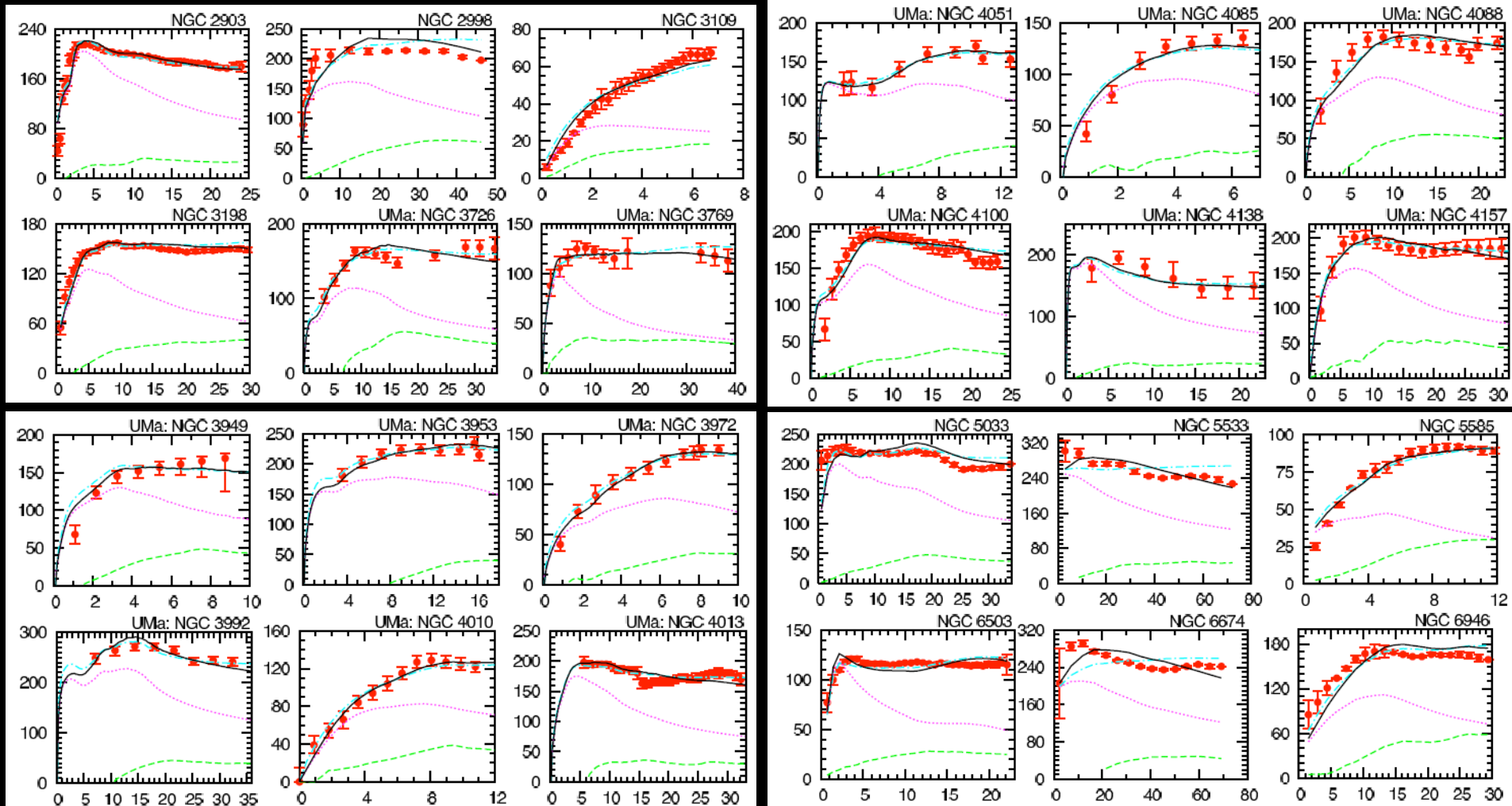


Las galaxias no obedecen la predicción de la gravedad de Newton (o Einstein) que se espera a partir solamente de sus estrellas. Se necesita más materia (invisible) para mantener esa velocidad de rotación



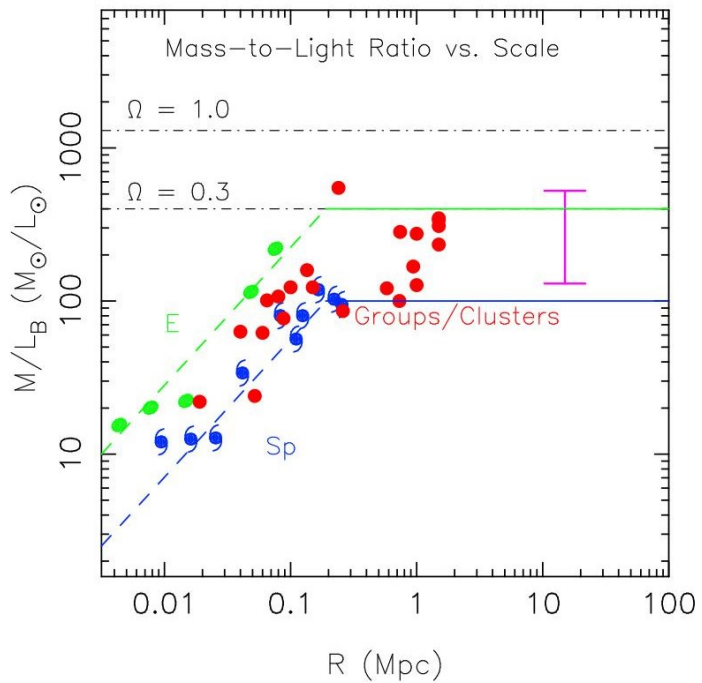
!!!MATERIA OSCURA!!!

Curvas de rotación



!!!MATERIA OSCURA!!!!

Relación Masa-luminosidad



Hay mucha más masa en los cúmulos de galaxias que la que se ve por la luz emitida por las estrellas de las galaxias que los forman

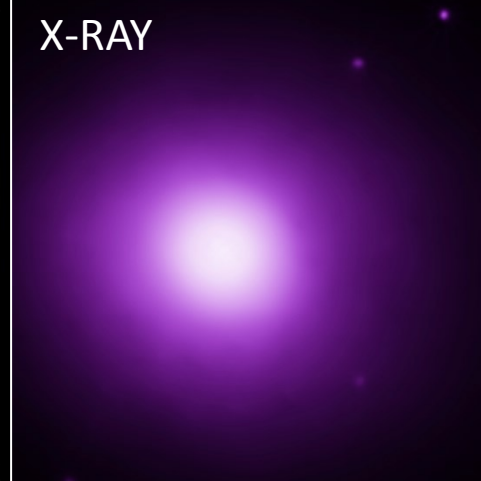
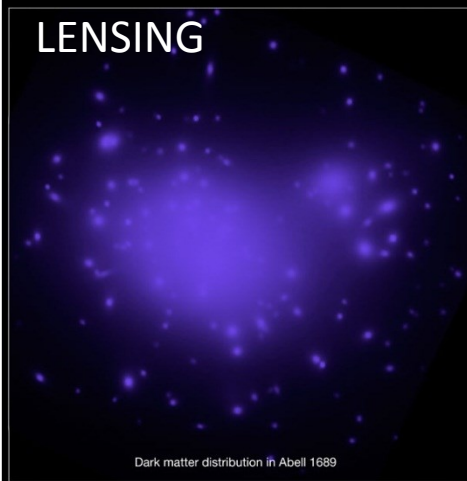
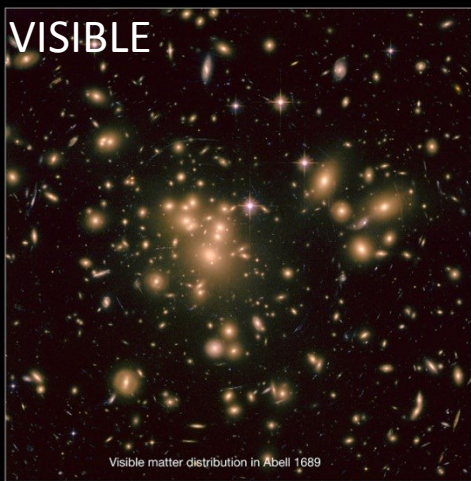
Masa total del cúmulo a través de:

El teorema del virial

La temperatura del gas intracumular (rayos X)

Lentes gravitacionales

Efecto SZ en la CMB



¡MATERIA OSCURA!

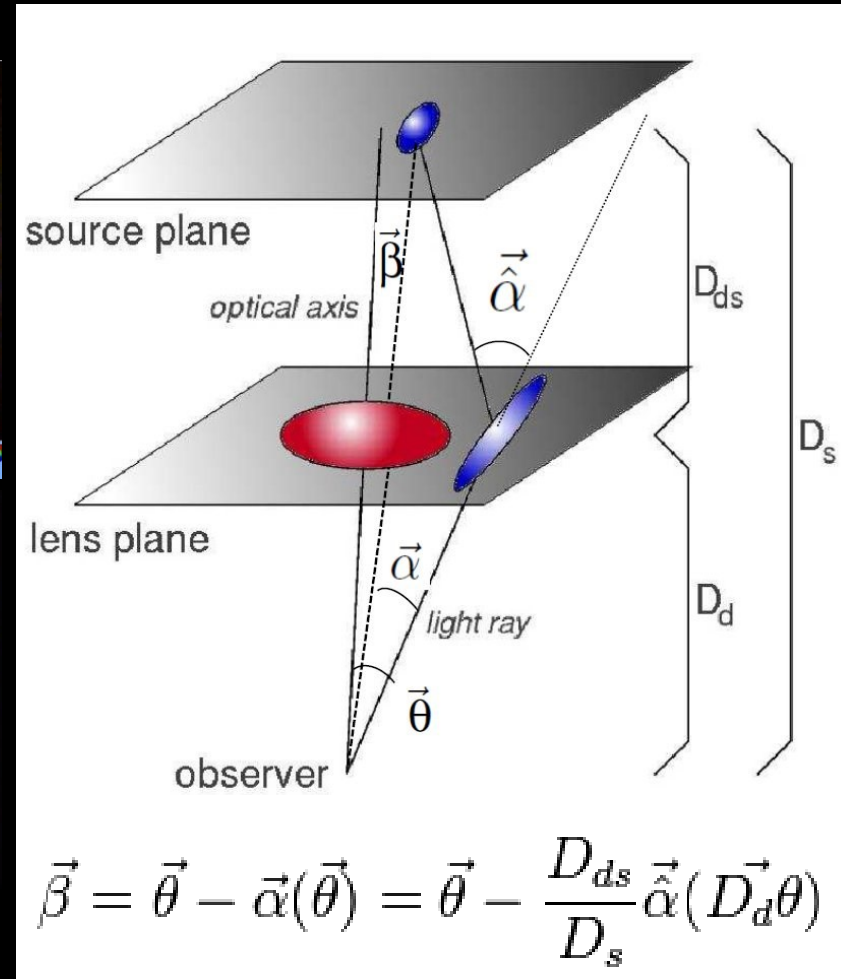
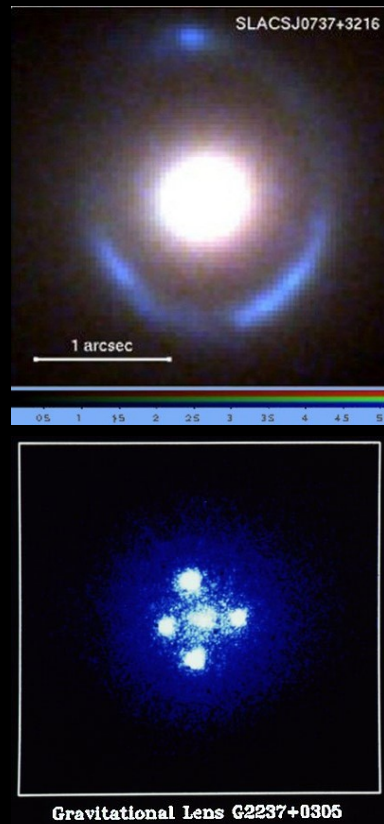
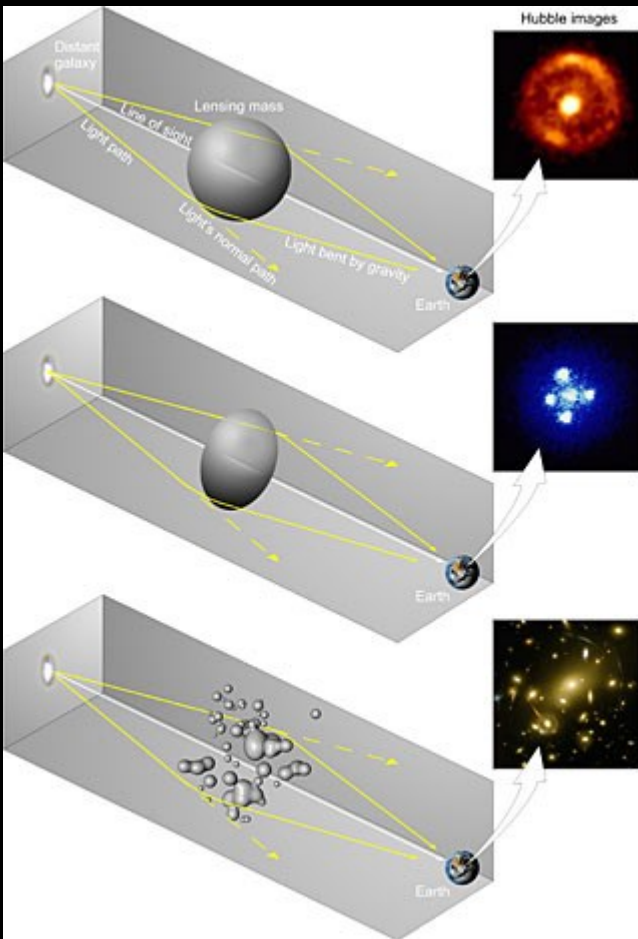
Masa total >> Masa visible



Galaxy Cluster MACS J0025.4-1222
Hubble Space Telescope ACS/WFC
Chandra X-ray Observatory

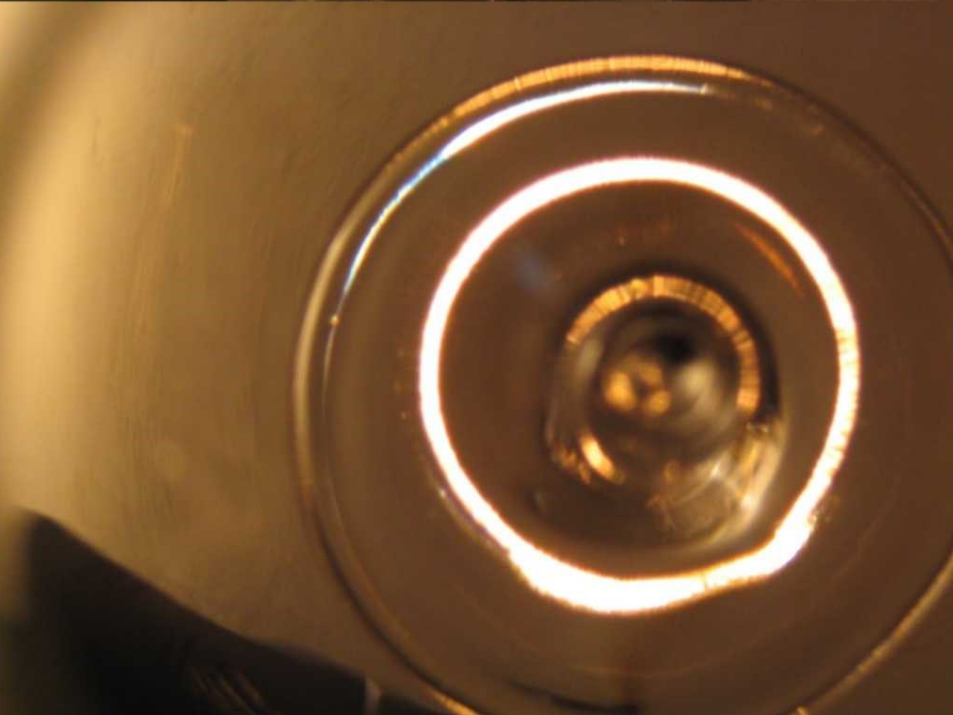


Lentes gravitacionales



Las propiedades de las imágenes permiten reconstruir la distribución de masa total de las lentes y compararla con la masa visible

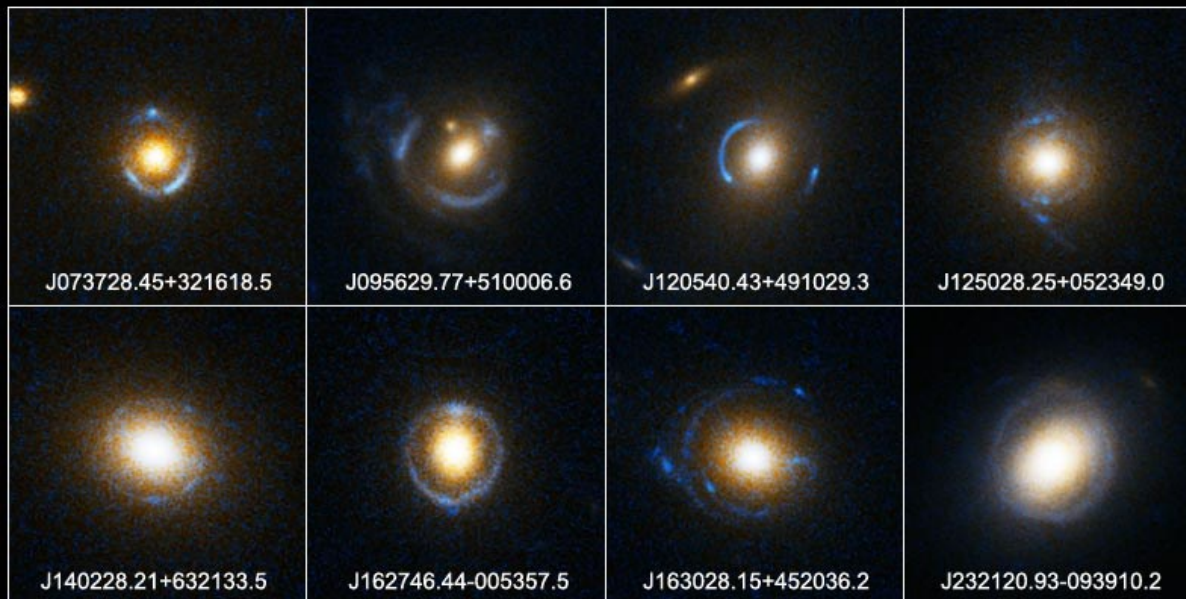
Lentes gravitacionales



Lentes gravitacionales

Einstein Ring Gravitational Lenses

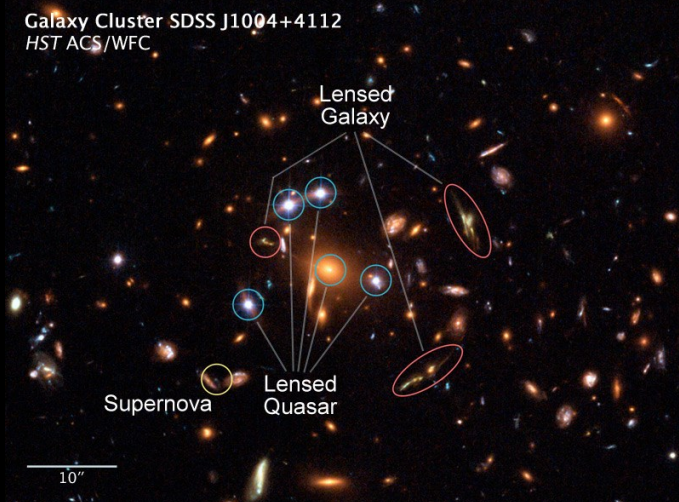
Hubble Space Telescope ■ ACS



NASA, ESA, A. Bolton (Harvard-Smithsonian CfA), and the SLACS Team

STScI-PRC05-32

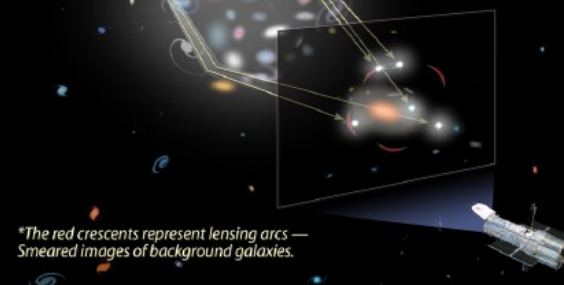
Galaxy Cluster SDSS J1004+4112
HST ACS/WFC



Gravitational Lensing Splits Quasar Light into Five Images

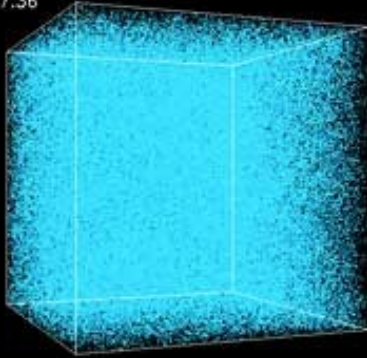
Distant quasar with host galaxy

Light emitted from quasar bends around intervening galaxy cluster, producing lensed images*

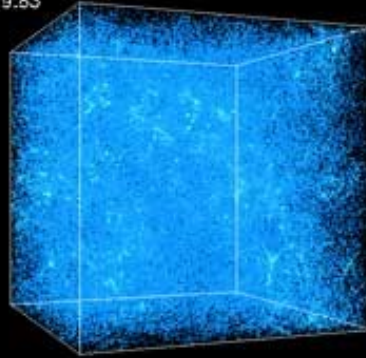


Estructura a gran escala (LSS)

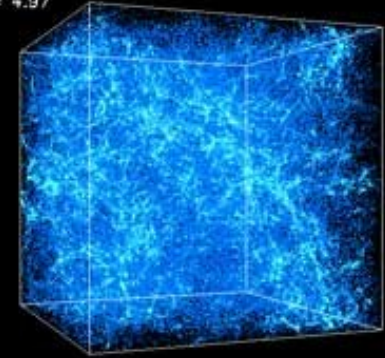
$Z=27.36$



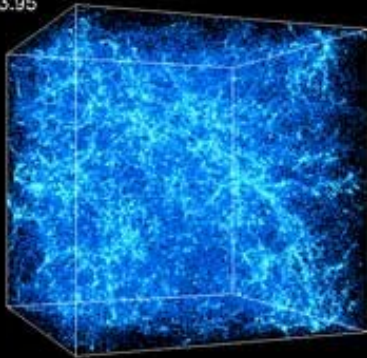
$Z=9.83$



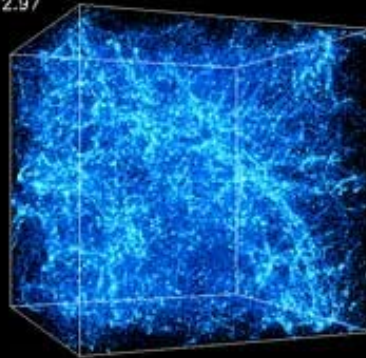
$Z=4.97$



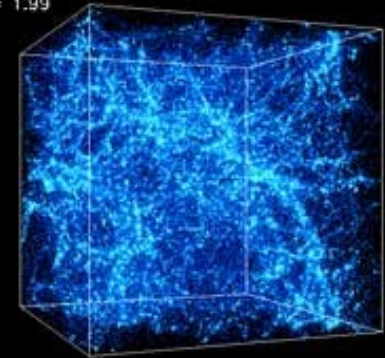
$Z=3.95$



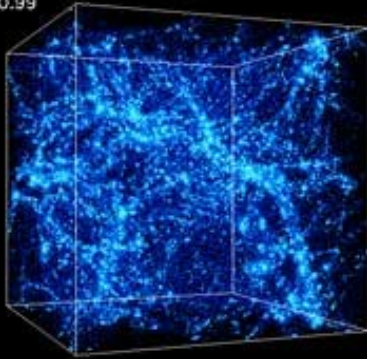
$Z=2.97$



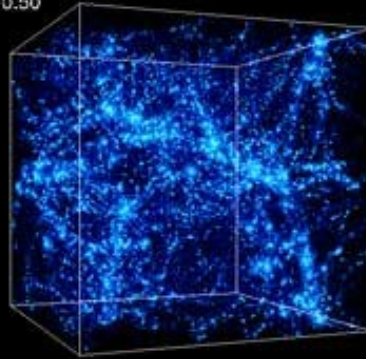
$Z=1.99$



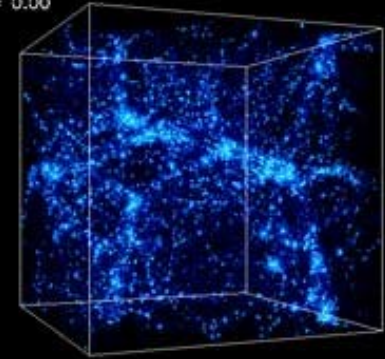
$Z=0.99$



$Z=0.50$



$Z=0.00$



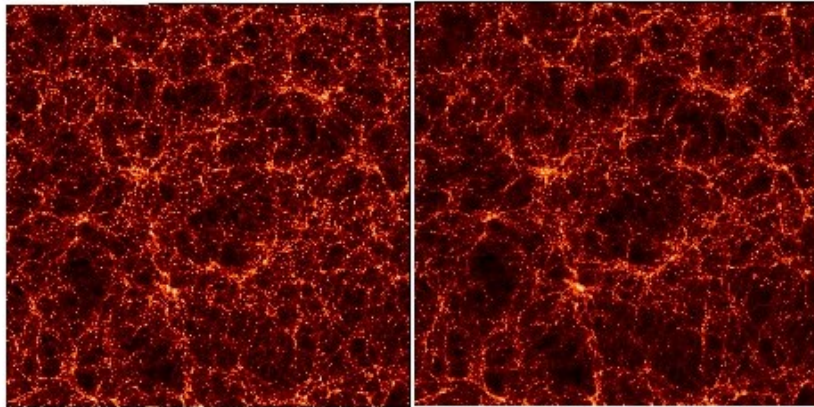
LSS

Diferentes contenidos de materia
producen diferentes niveles de
estructura

$z=0$

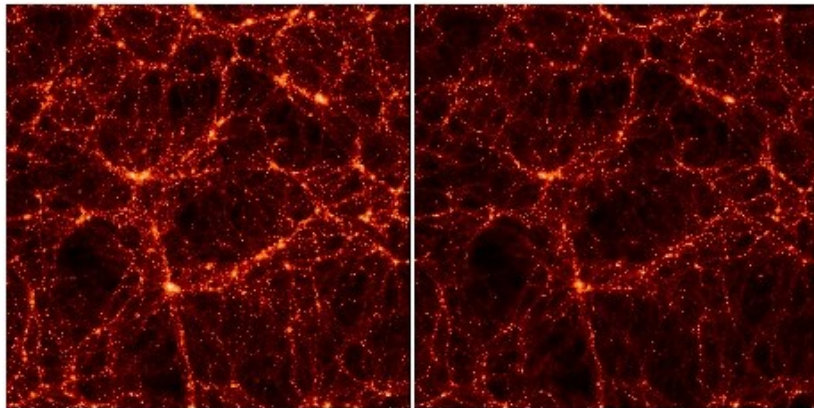
SCDM

τ CDM



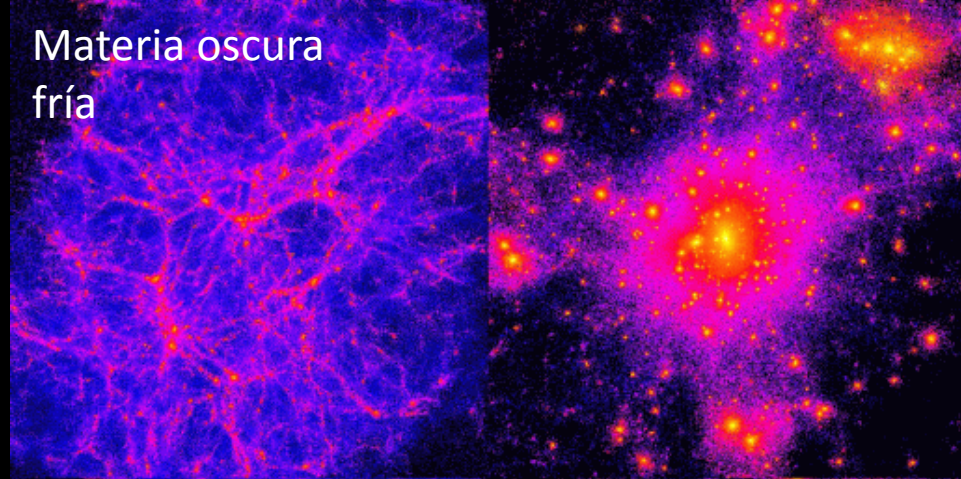
Λ CDM

OCDM

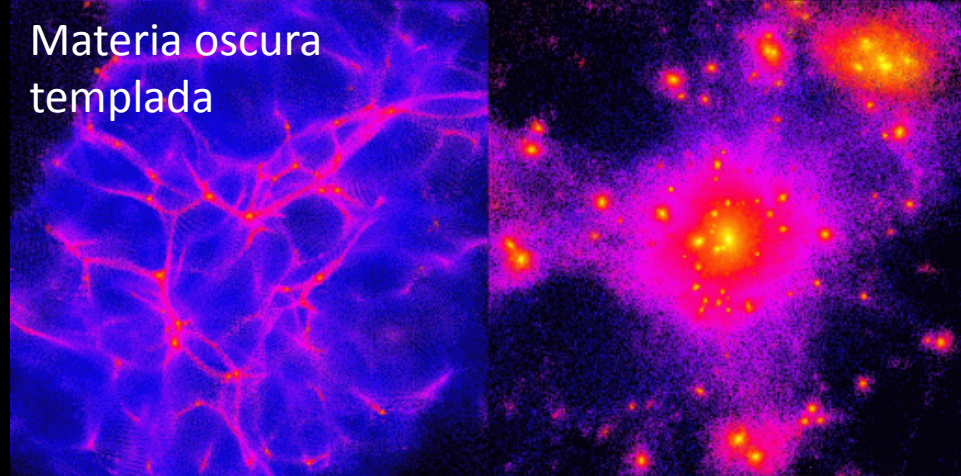


The VIRGO Collaboration 1996

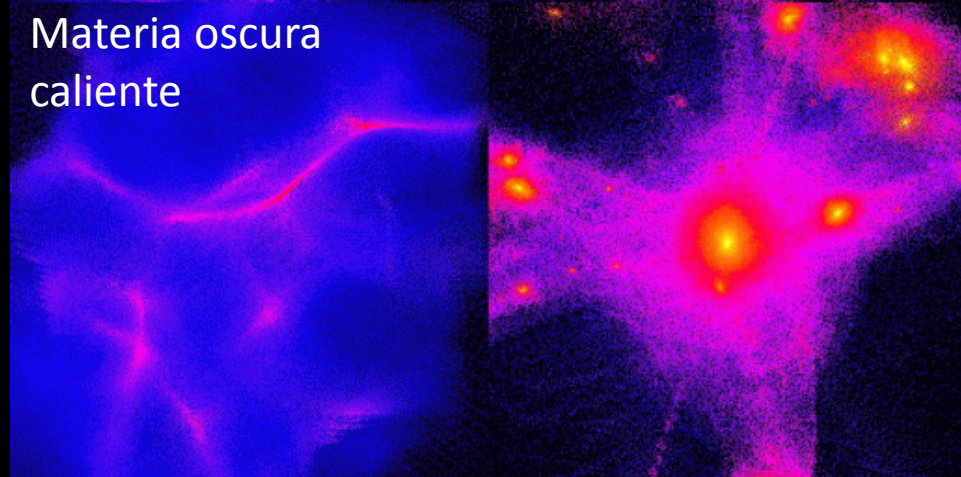
Materia oscura
fría



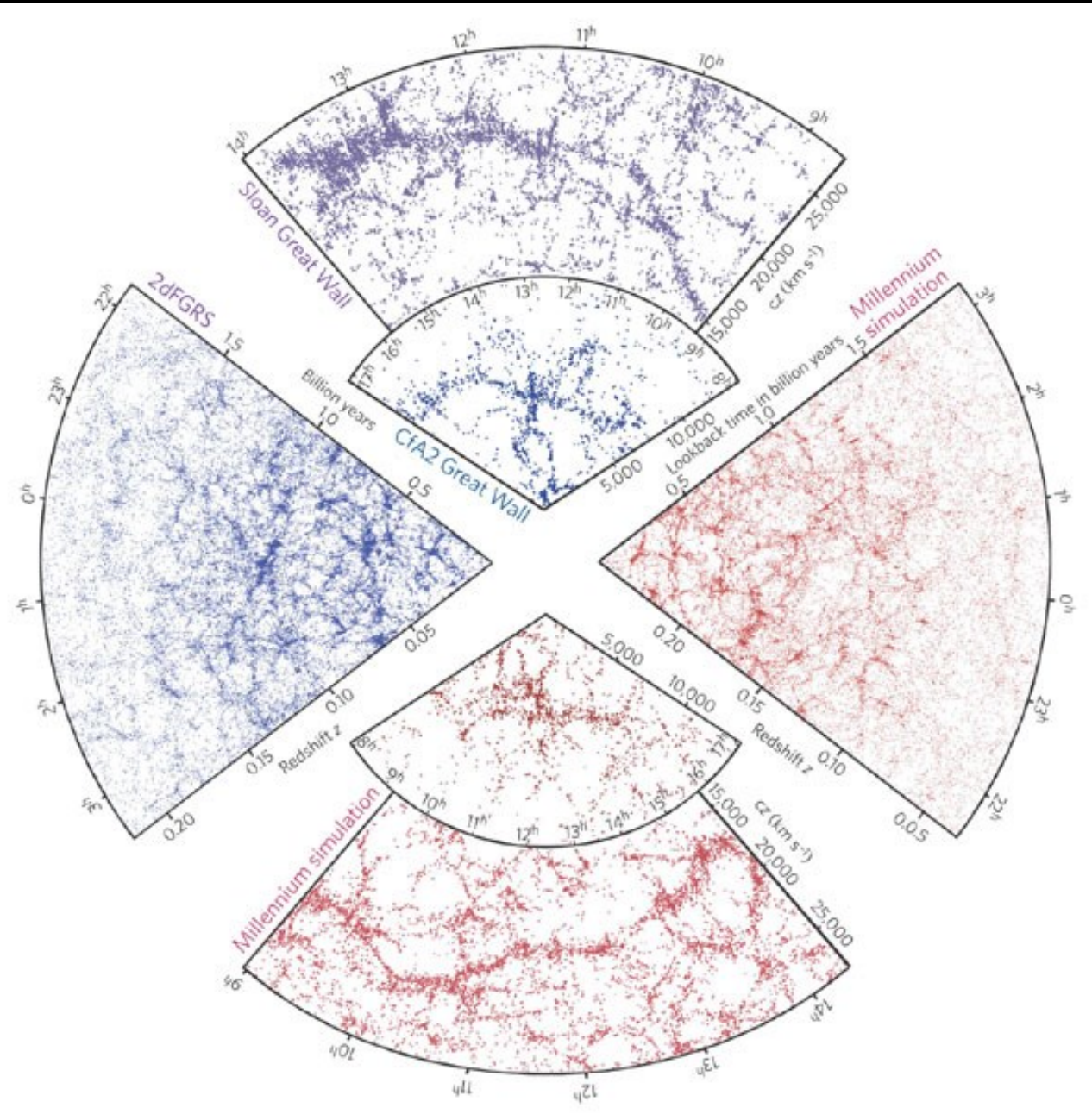
Materia oscura
templada



Materia oscura
caliente



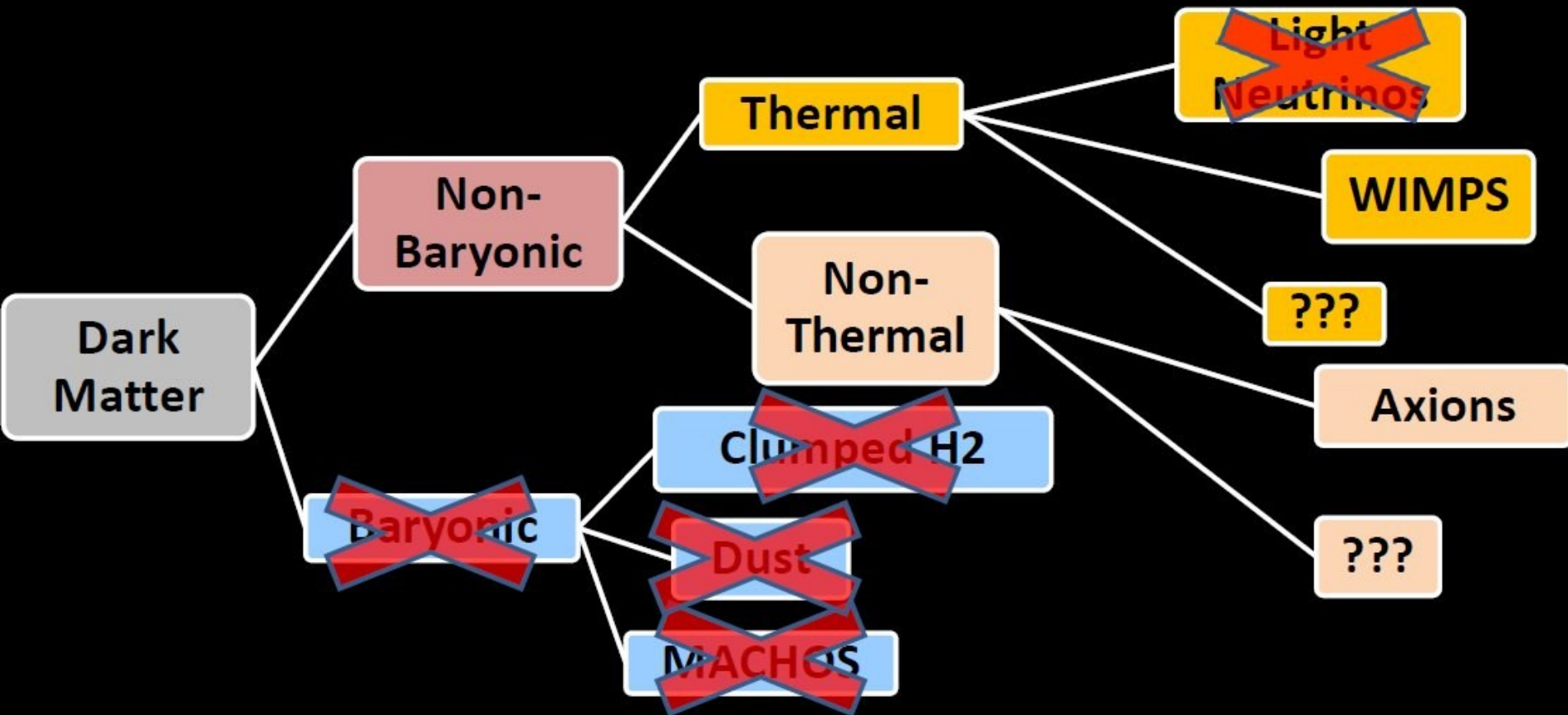
LSS



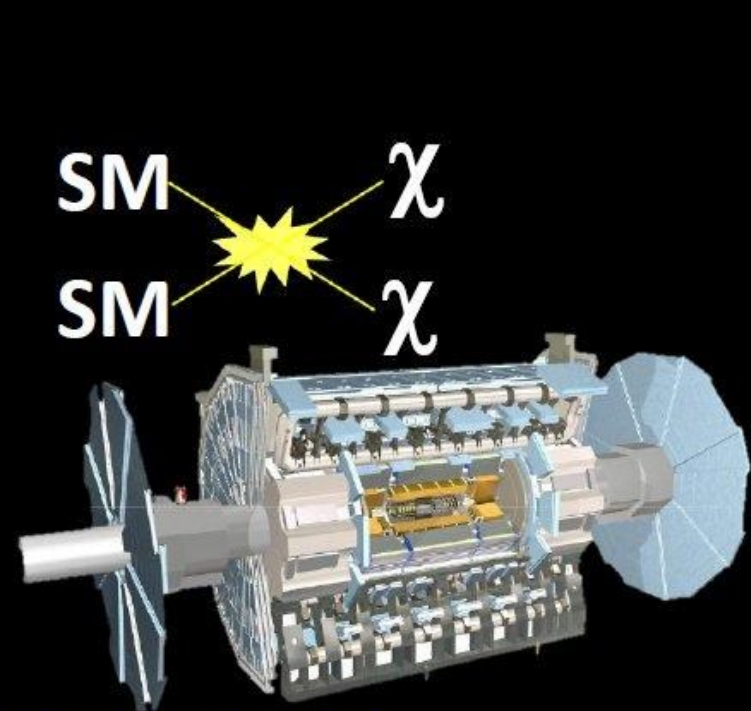
El Big Bang moderno,
 Λ CDM,
exige ~70%
de energía
oscura y
~30% de
materia
oscura fría to
para describir
la formación
de estructuras
del universo

¿Qué sabemos sobre la materia oscura?

Puesto que el crecimiento de estructura en el universo es abajo-arriba (los cúmulos y supercúmulos todavía se están formando), **LA MATERIA OSCURA ES FRÍA**: *Partículas no relativistas, estables, neutras y que interaccionan muy débilmente*



Cómo detectar materia oscura



PRODUCTION:

Produce and measure DM from particle colliders



INDIRECT DETECTION:

Measure gamma rays, neutrinos, positrons, antiprotons, anti-deuterons, etc from DM annihilation



DIRECT DETECTION:

Measure DM scattering off targets in detectors on Earth



Producción de materia oscura

NO HAY INDICACIONES en el LHC.

Muy difícil hacer una búsqueda que sea independiente de modelos en el LHC. La búsqueda se centra en modelos SUSY. Pero los más sencillos ya han sido excluidos...

Sin embargo, el LHC puede ser muy importante para medir las propiedades con precisión si se detecta

Cualquier detección en el LHC debe ser compatible con las medidas astrofísicas y cosmológicas → Test de consistencia muy exigente, necesario para determinar completamente la identidad de la materia oscura

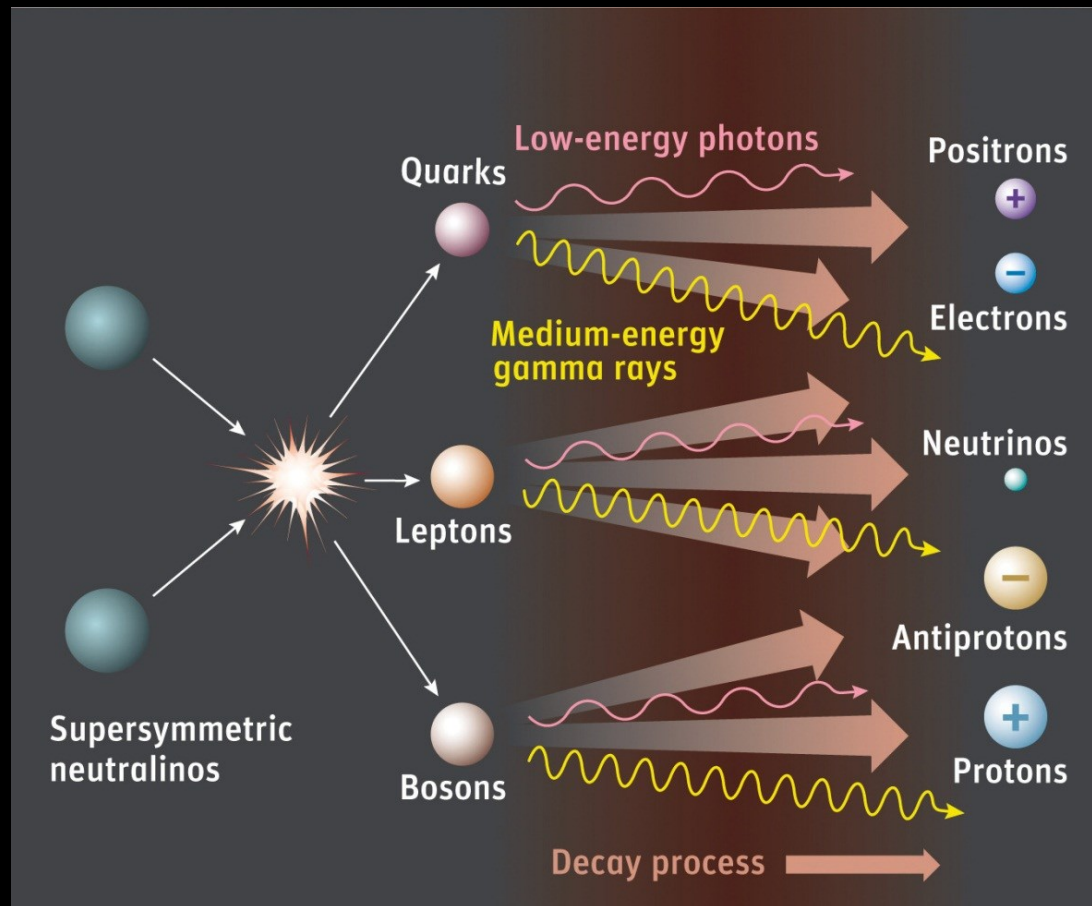
Detección indirecta

NO HAY NINGUNA DETECCIÓN CONFIRMADA. Límites

Rayos Gamma (**Nada**): Magic, Hess, Veritas, Fermi

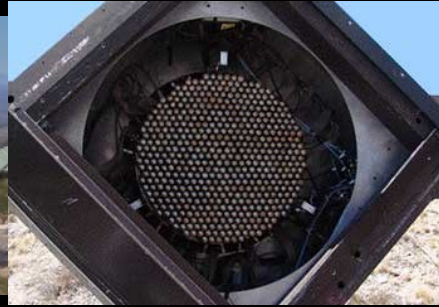
Neutrinos (**Nada**): IceCube, Antares...

Partículas cargadas: (**Señales no confirmadas.... Todavía?**): Pamela, AMS..



Detección indirecta: Rayos Gamma

VERITAS, Arizona



Los telescopios Cerenkov : detectan rayos Gamma por la luz Cerenkov de las cascadas atmosféricas

Cámaras con fotomultiplicadores

H.E.S.S. Namibia



- **E: 50-100 GeV - ~ 10 TeV**
- **Effective area: $\sim 10^5$ m²**
- **Angular resolution: $< 0.1^\circ$**
- **Duty cycle: 15%, FoV: 5°**
- **Pointed observations ($< 10\%$ of sky), ~ 120 sources**
- **Hadron background**

MAGIC II, La Palma



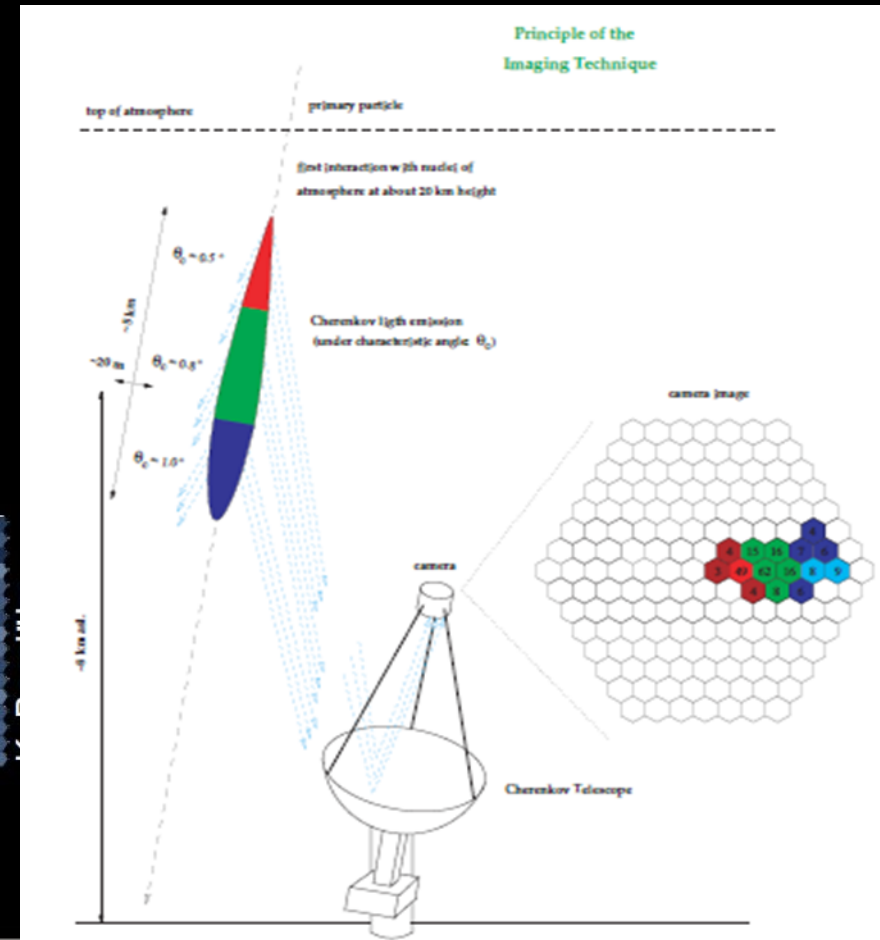
Se apunta a regiones del cielo que son candidatas a contener gran cantidad de materia oscura: El centro de la galaxia, galaxias enanas...

Detección indirecta: Rayos Gamma

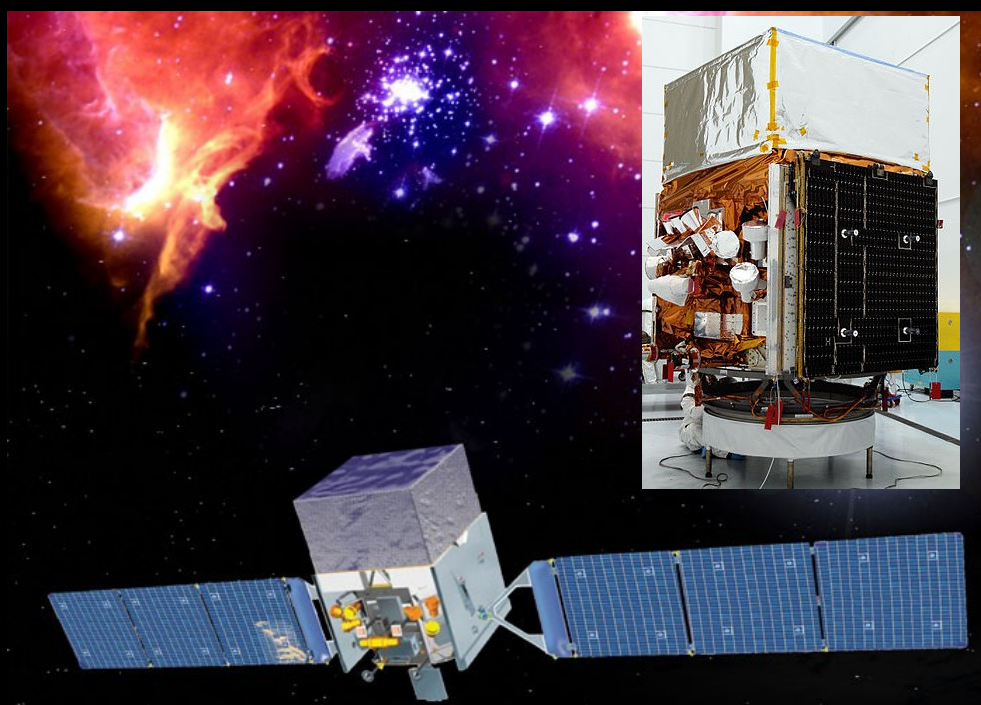
PRINCIPIO DE DETECCIÓN

gamma shower
1 TeV

proton shower
2.6 TeV



Detección indirecta: Rayos Gamma



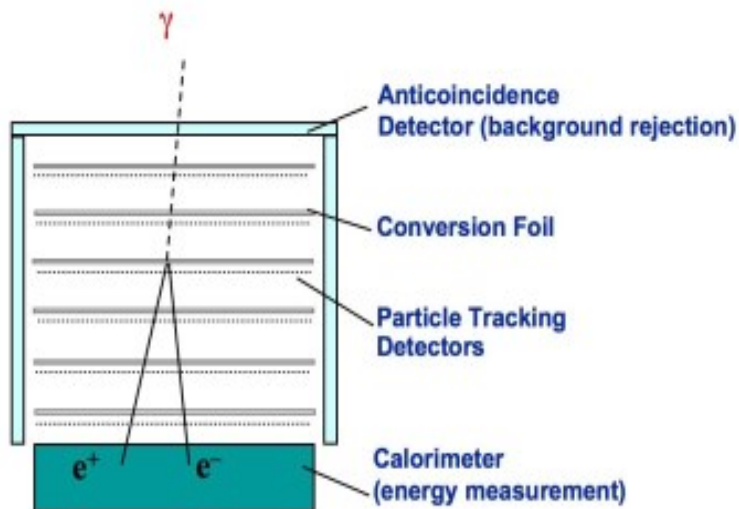
También se miden rayos gamma en el espacio, sin efectos de la atmósfera: EL TELESCOPIO FERMI

Se lanzó el 11 /06/2008, para una misión inicial de 5 años

Cubre un rango de energías desde 20 MeV a 300 GeV

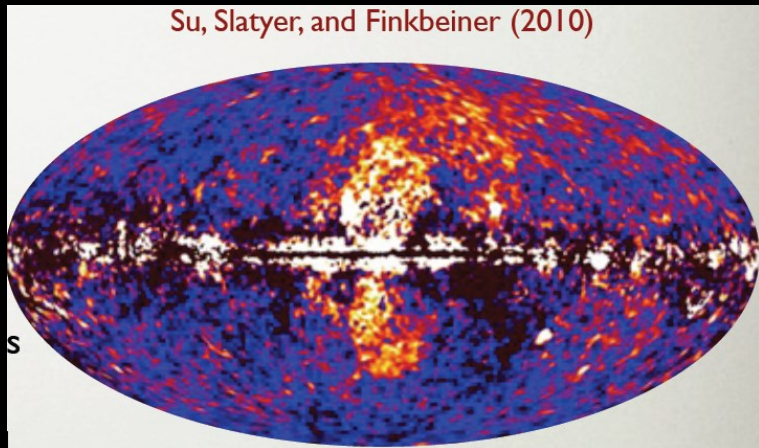
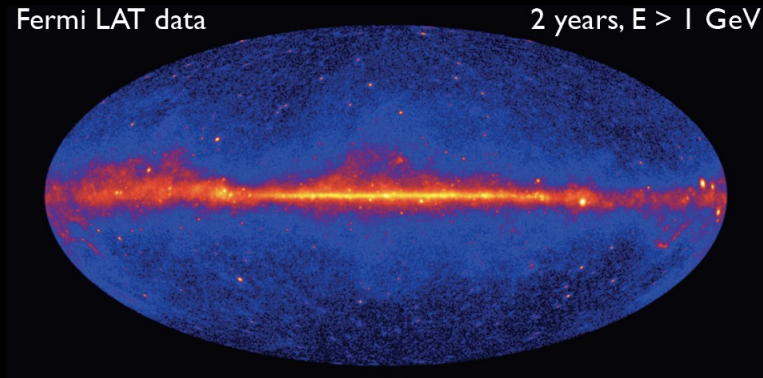
Campo de visión del 20% del cielo, y lo barre continuamente, cubriéndolo cada 3 horas

Detecta fotones por conversión en pares dentro del detector. Resolución angular: 3 grados a 100 MeV y 0.04 grados a 100 GeV

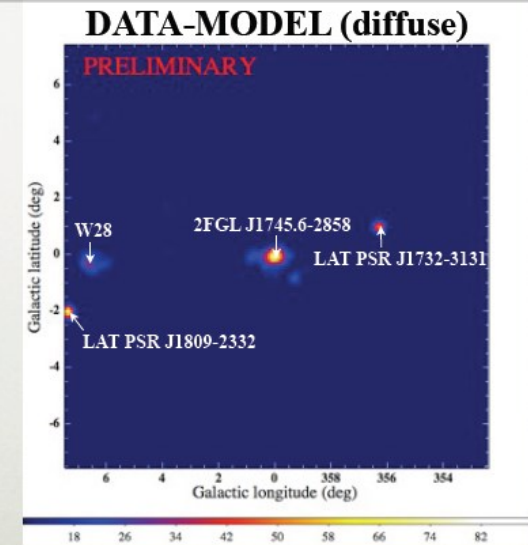
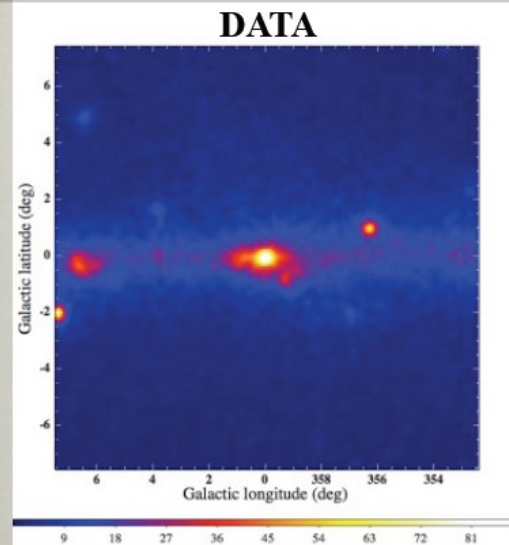


Detección indirecta: Rayos Gamma

Las observaciones son compatibles con la emisión de fuentes conocidas. No hay evidencia de materia oscura

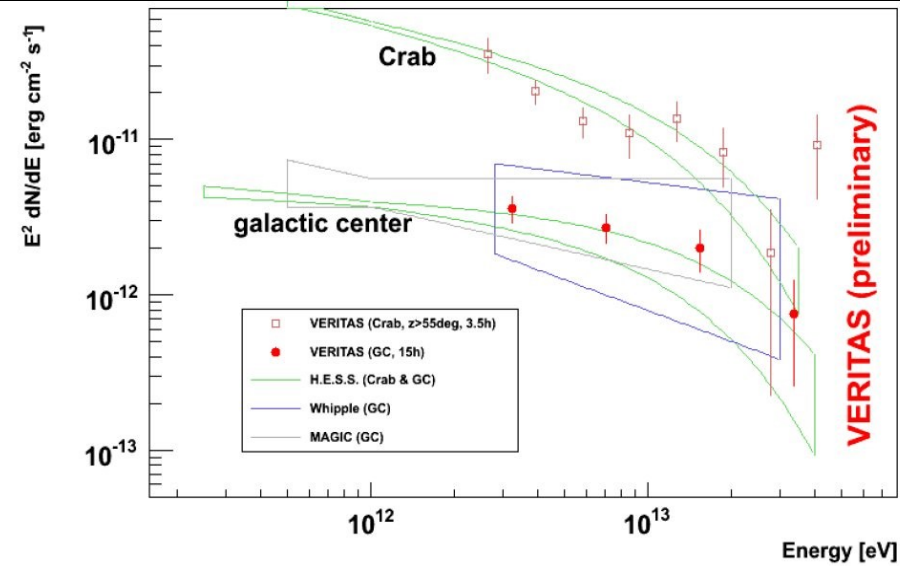
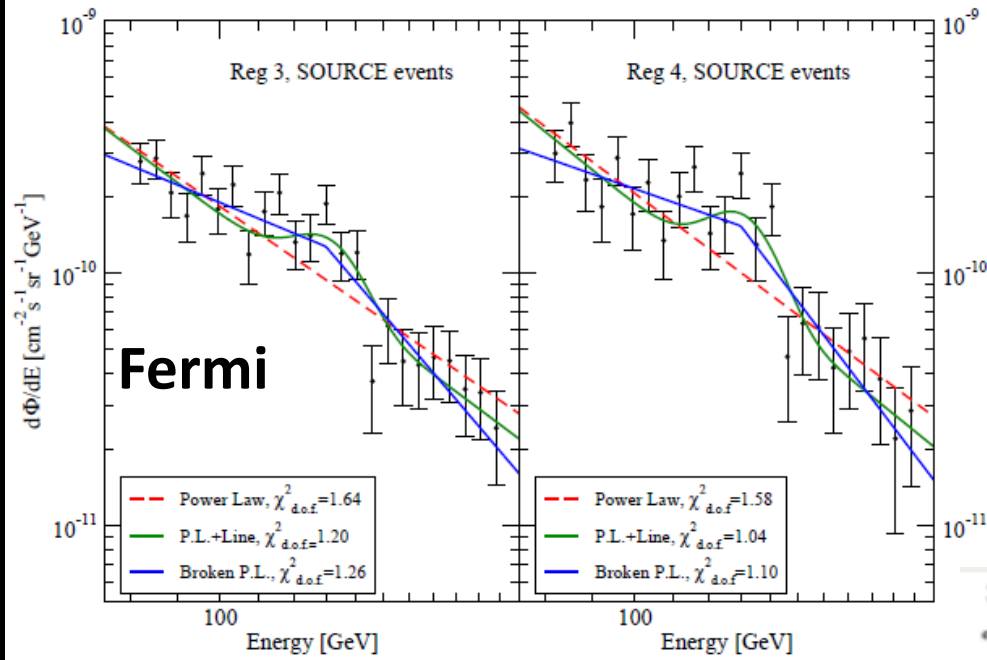


Gamma Ray lobes in our galaxy discovered by Fermi. Relics of an ancient active galaxy phase??

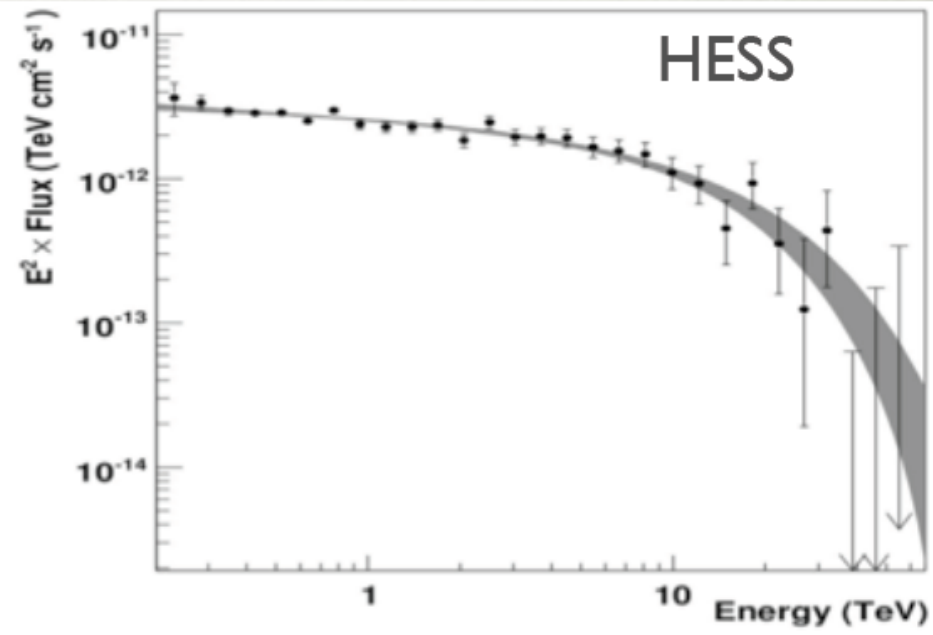


- Galactic diffuse emission model: all sky GALPROP model tuned to the inner galaxy
- Bright excesses after subtracting diffuse emission model are consistent with known sources.

Detección indirecta: Rayos Gamma



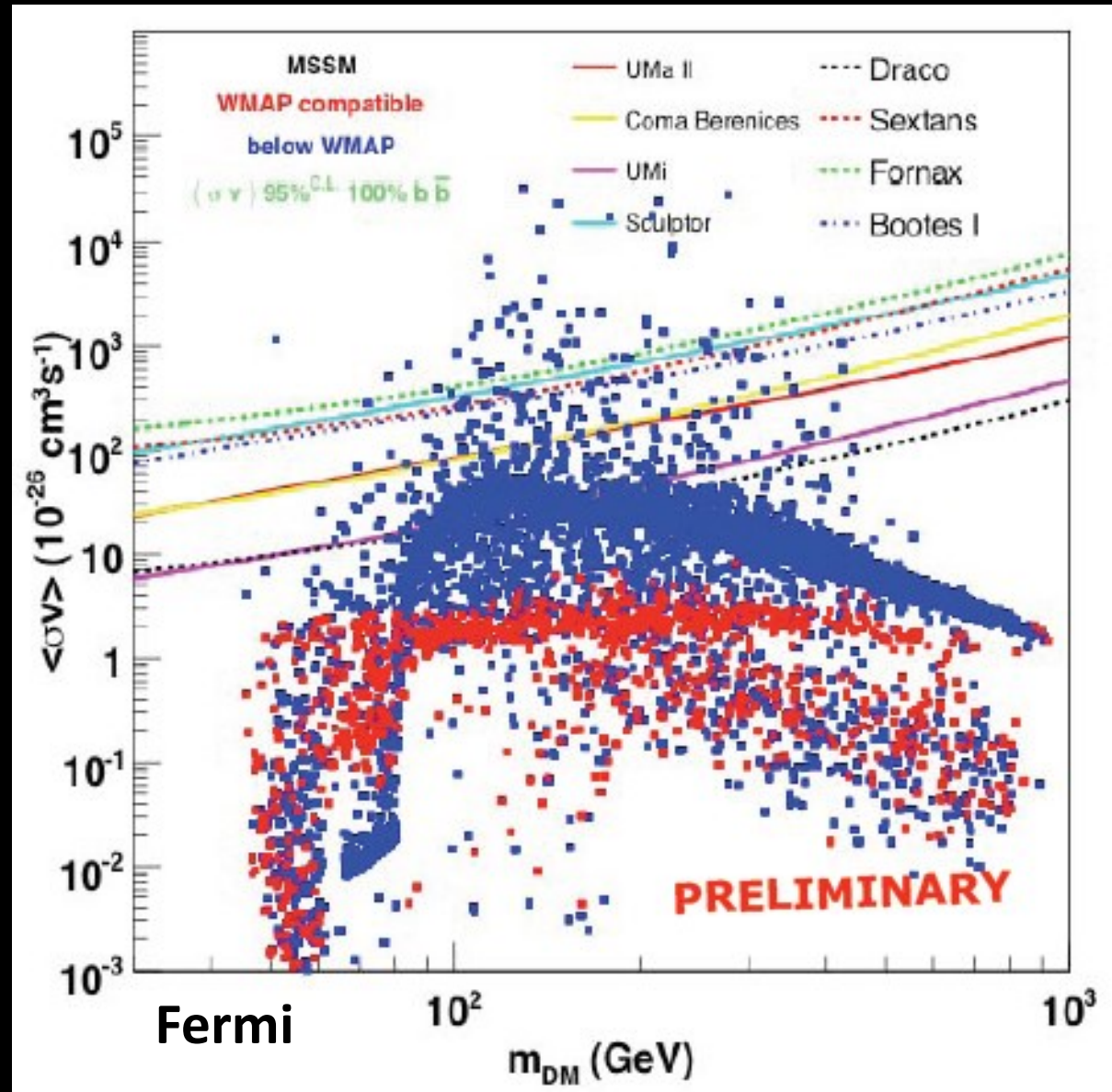
Resultados con una línea de emisión a 130 GeV en los datos de Fermi data. No confirmados por la colaboración Fermi. No hay evidencia de materia oscura.



Detección indirecta: Rayos Gamma

Resultados de
observar 10
galaxias enanas

**No hay exceso
en ninguna
observación. No
hay evidencia de
materia oscura.**



Detección indirecta: Neutrinos

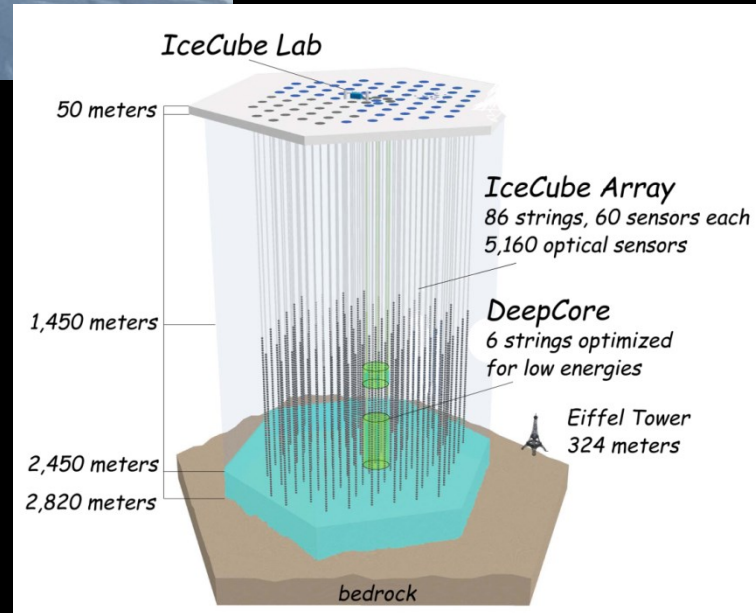
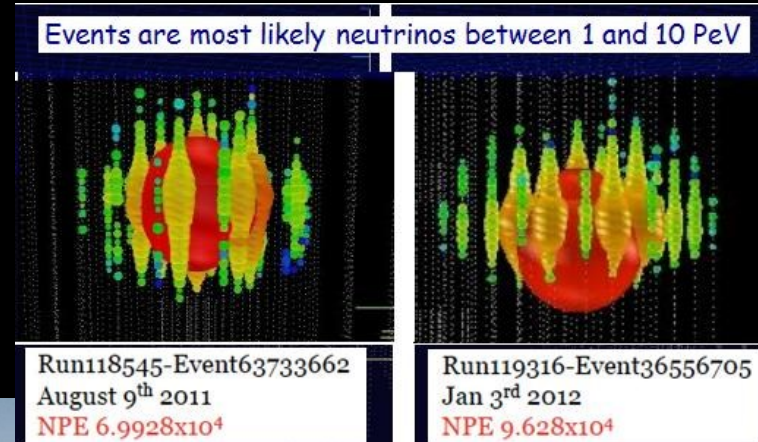
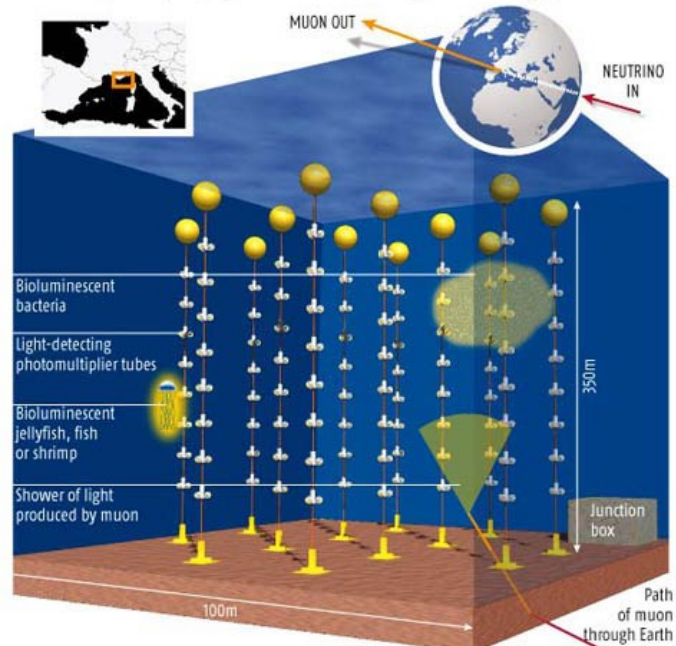
NO HAY SEÑAL DE MATERIA OSCURA

Detección de la luz Cerenkov de los neutrinos en hielo (IceCube) o agua (Antares). Unos 20 neutrinos extrasolares detectados



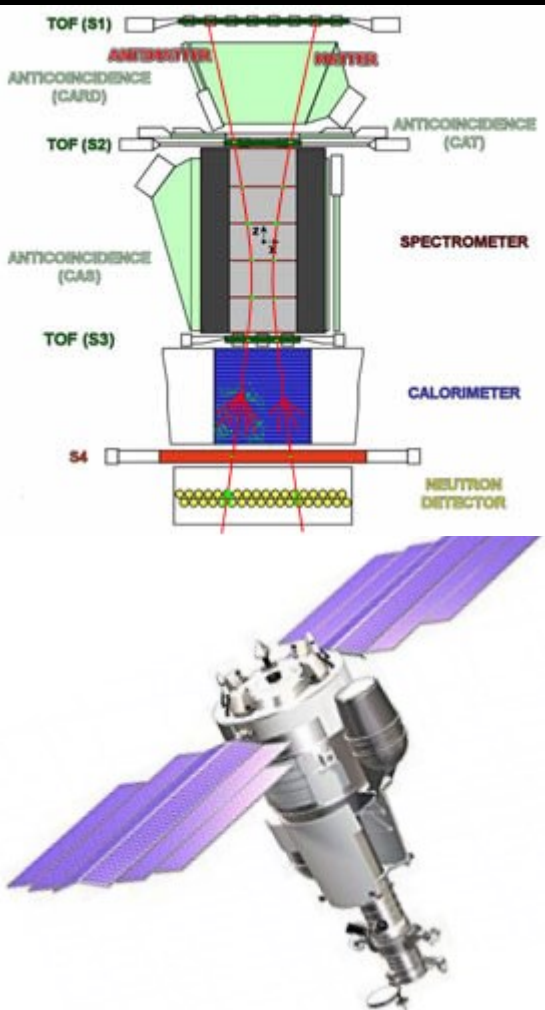
SEEING THE LIGHT

Antares's light sensors are designed to detect charged particles created when neutrinos decay, but can be adapted to pick up light from bioluminescent organisms such as jellyfish and bacteria

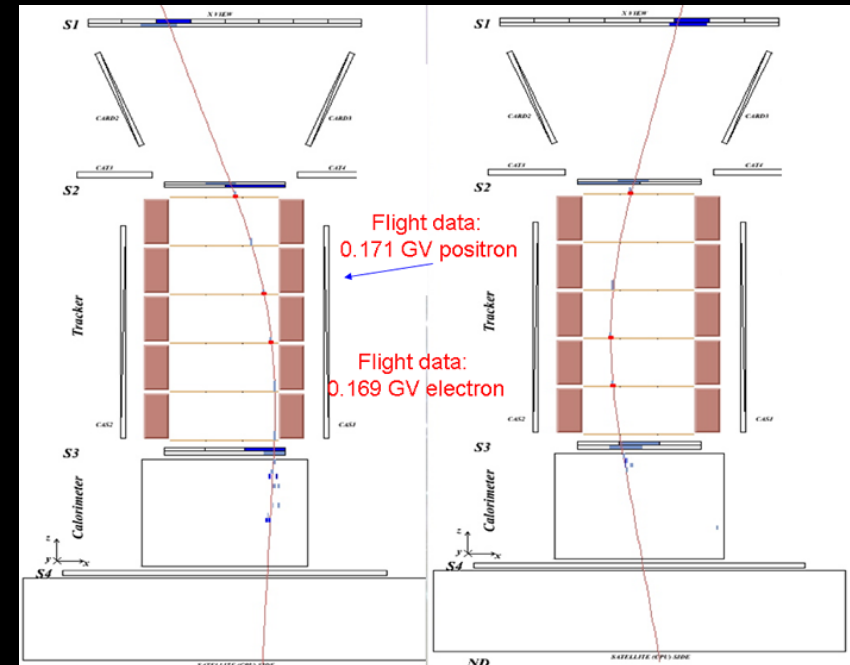
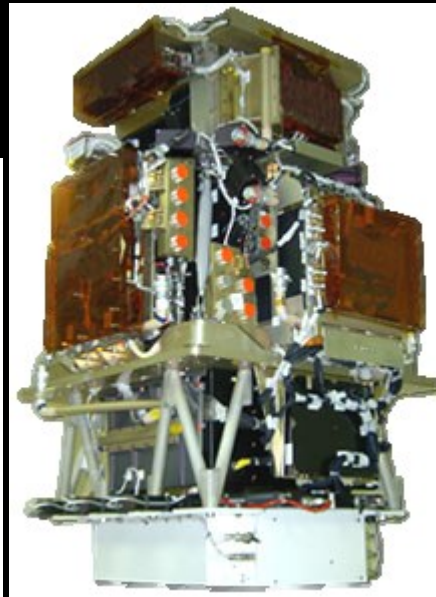


Detección indirecta: Partículas cargadas

PAMELA es un detector de partículas en el espacio
¿Materia oscura?

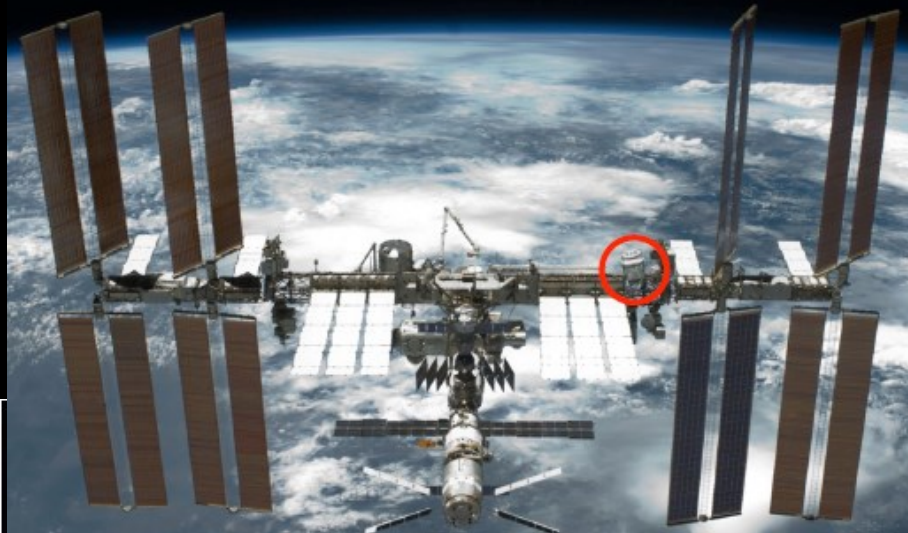


PAMELA se lanzó a una órbita elíptica a una altitud entre 350 y 610 km, en un satélite ruso Resurs-DK1 por un cohete Soyuz, el 15/06/2006.



Detección indirecta: Partículas cargadas

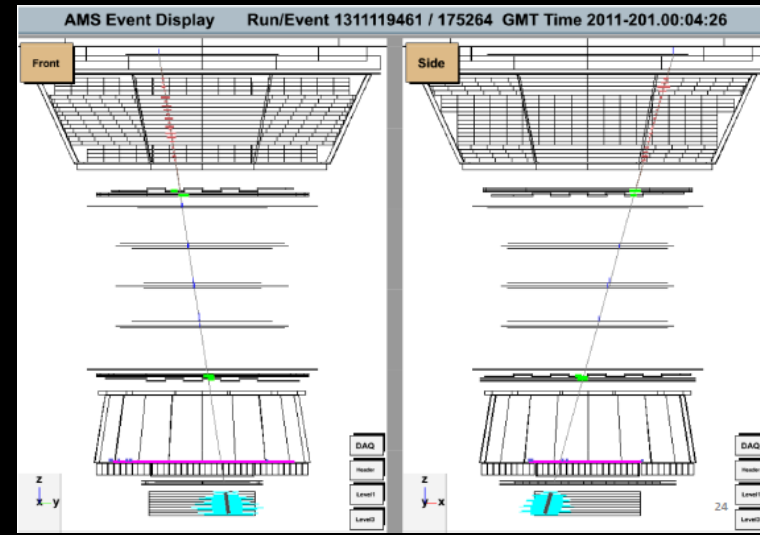
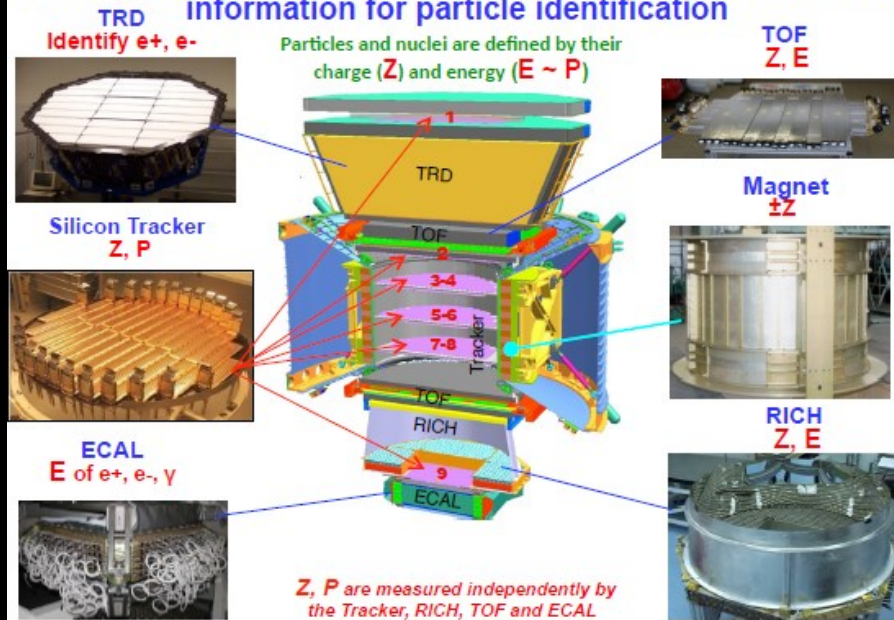
AMS toma datos en la ISS desde mayo de 2011



since May 19, 2011

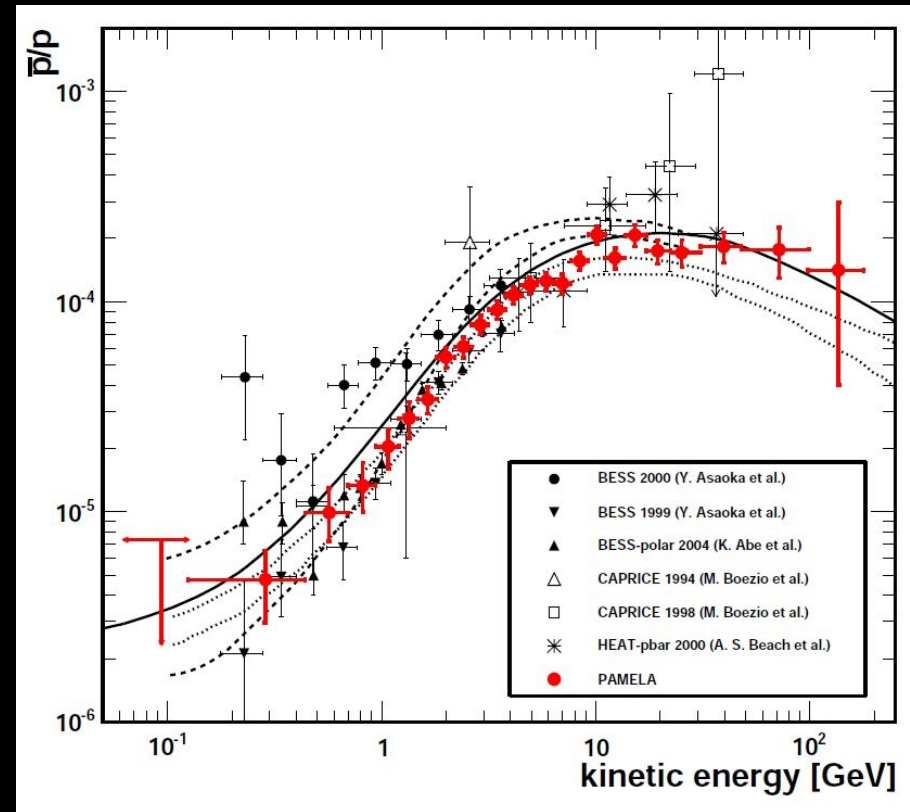
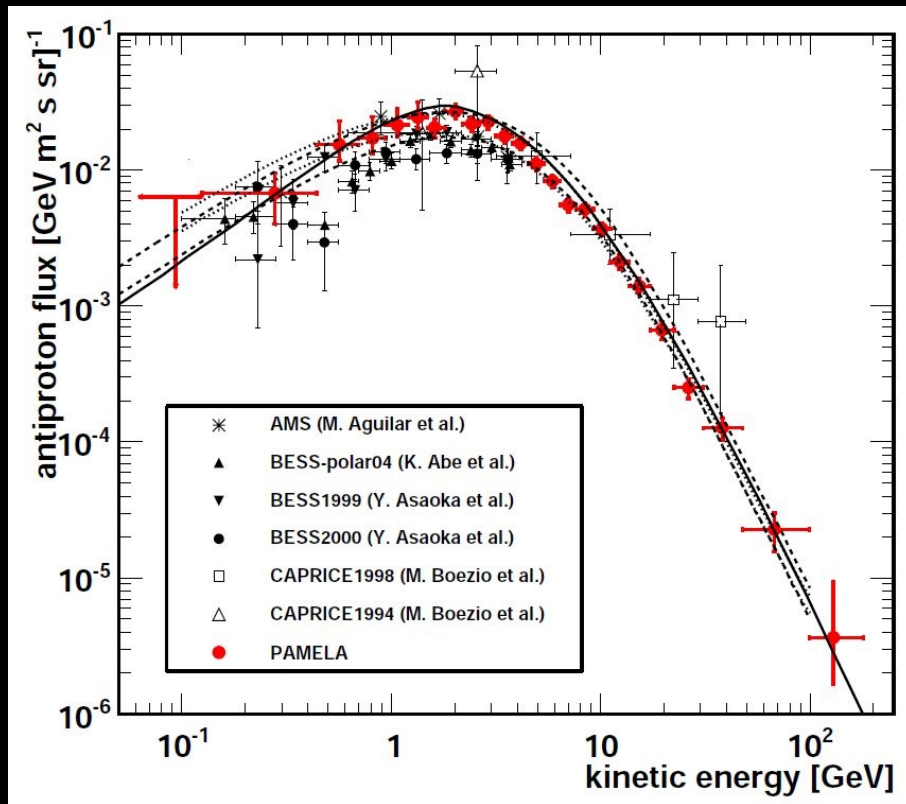


AMS consists of 5 sub-detectors which provide redundant information for particle identification



Detección indirecta: Partículas cargadas

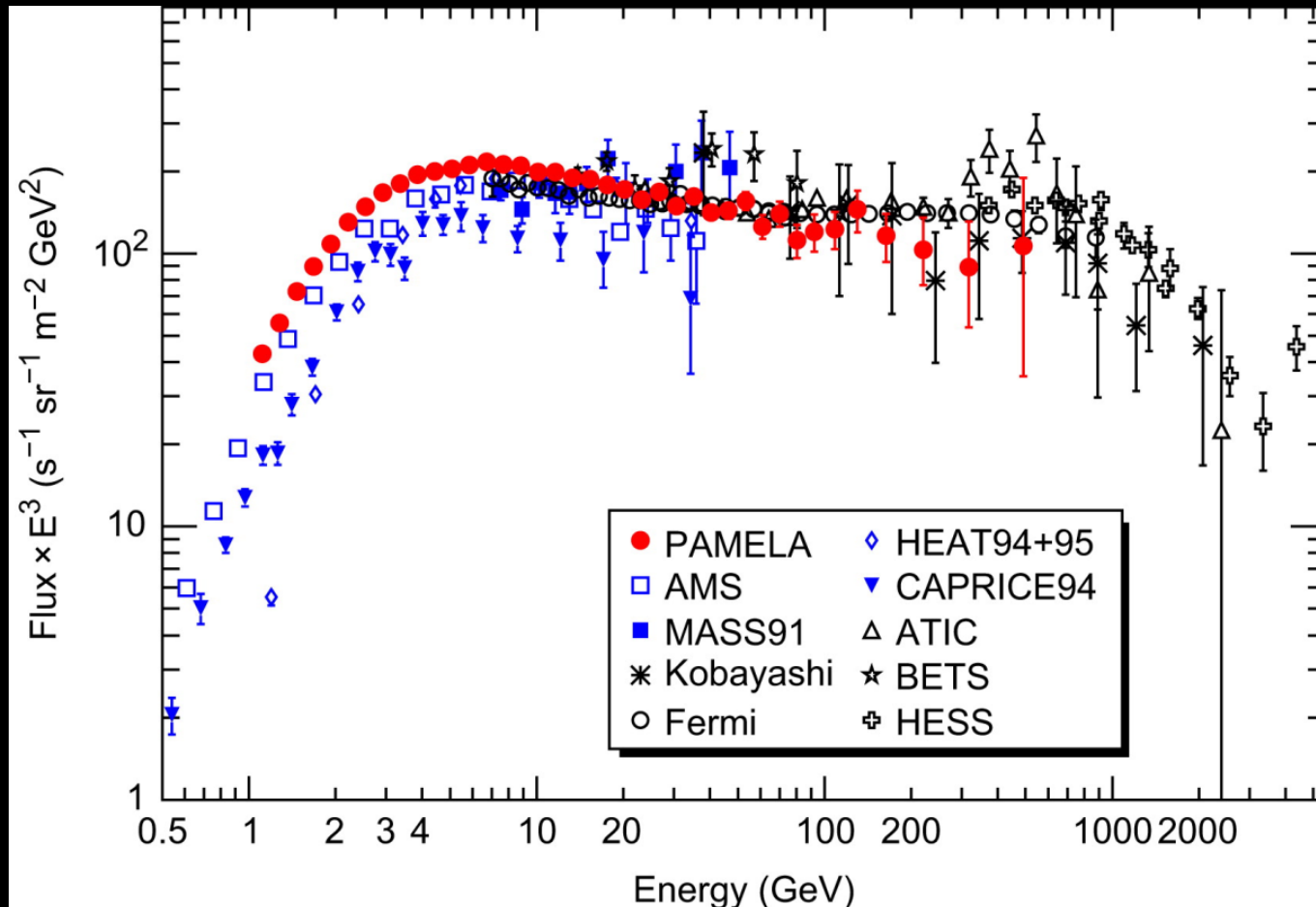
Antiprotones de Pamela: No hay excesos
NO HAY EVIDENCIA DE MATERIA OSCURA



Detección indirecta: Partículas cargadas

Electrones más positrones. Sin exceso

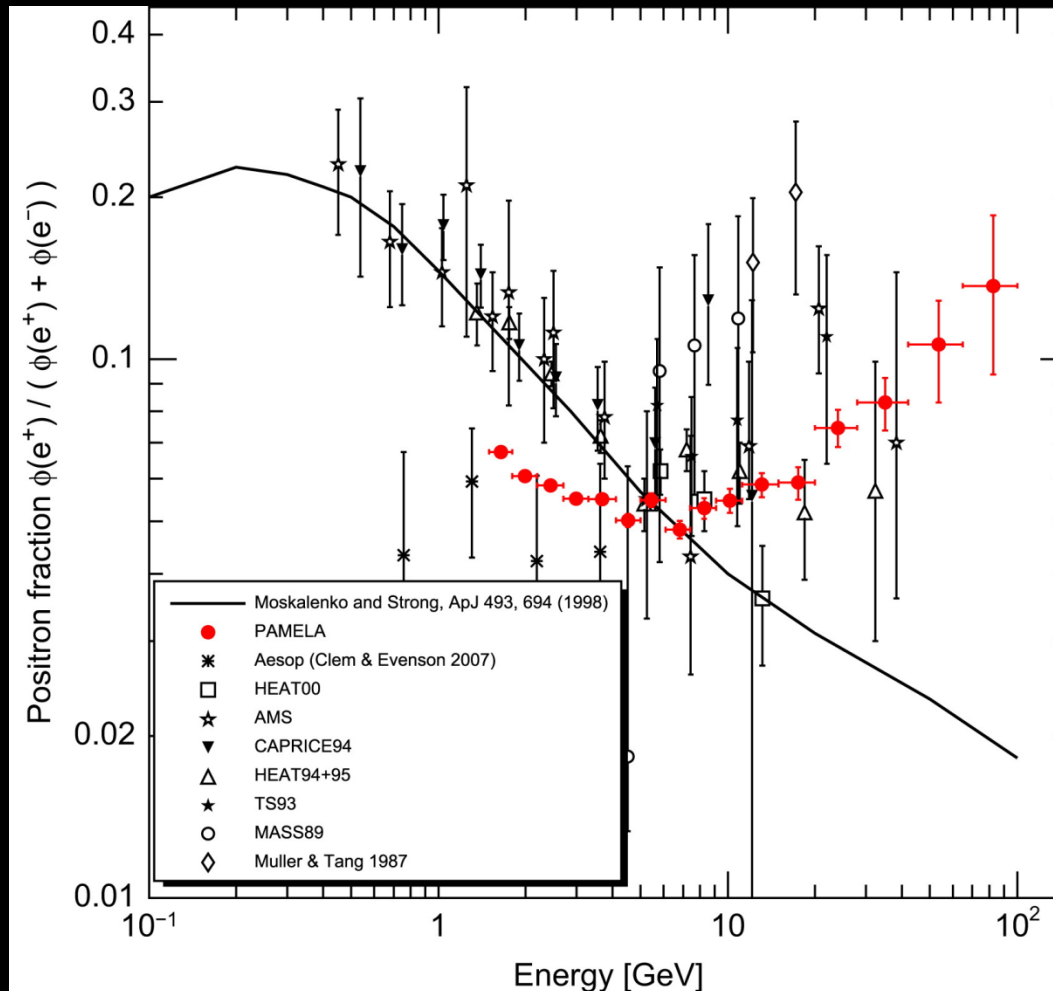
No hay evidencia de materia oscura



Detección indirecta: Partículas cargadas

Fracción de positrones en PAMELA

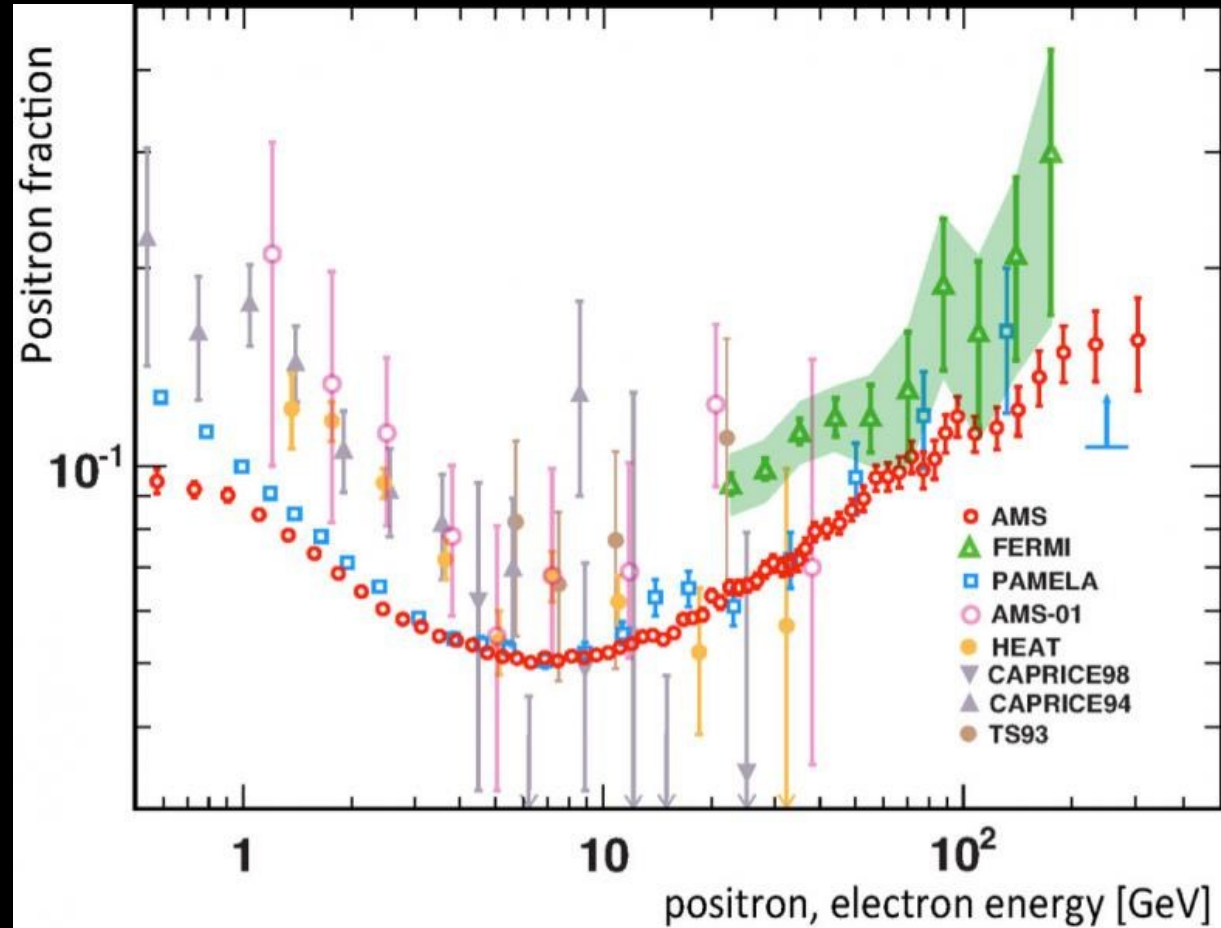
¿Señal de materia oscura??



Es posible,
Y...

Detección indirecta: Partículas cargadas

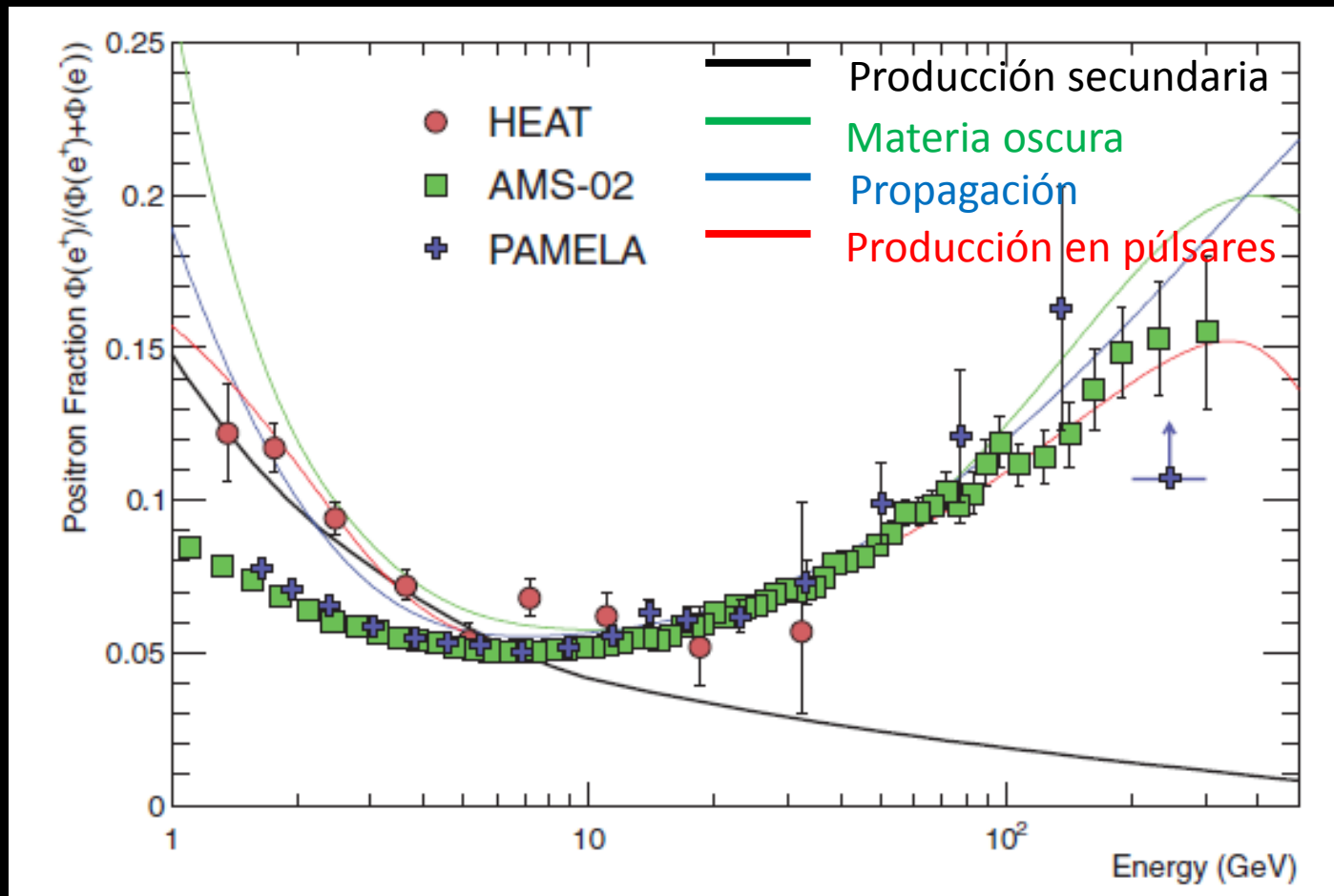
**¡AMS
confirma y
mejora
estos
resultados!**



PERO...

Detección indirecta: Partículas cargadas

La emisión de electrones y positrones por púlsares ofrece una buena descripción de los datos



Detección directa

Las colisiones elásticas con los núcleos depositan una cantidad de energía pequeña, pero detectable (retroceso nuclear)

Tasa de interacción:

$$R = \int_{E_T}^{\infty} dE_R \frac{\rho_0}{m_N m_\chi} \int_{v_{min}}^{\infty} v f(v) \frac{d\sigma_{WN}}{dE_R}(v, E_R) dv$$

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Material (sensibilidad a los acoplos según el espín)

Umbral de detección

PARÁMETROS ASTROFÍSICOS

Densidad local de DM

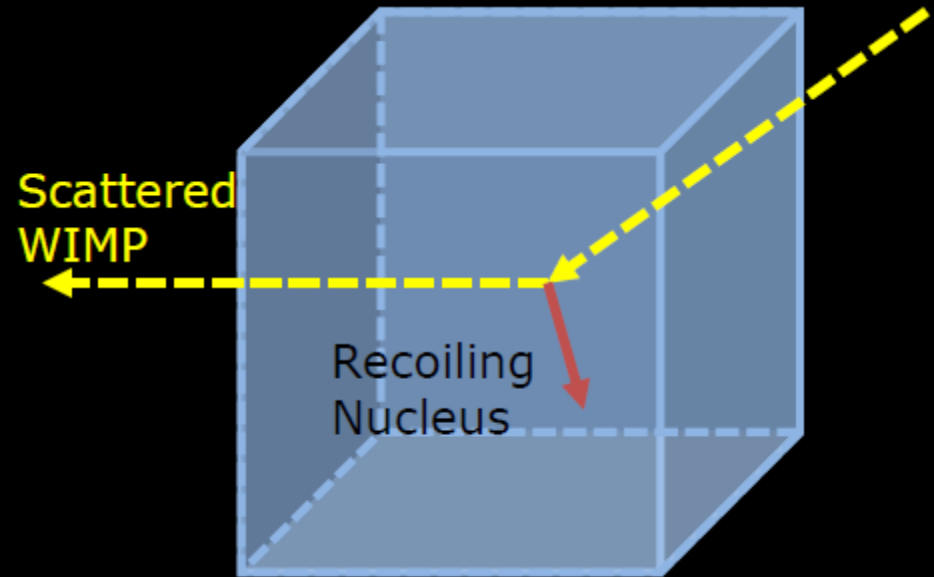
Distribución de velocidades

TEORÍA

Ección eficaz diferencial

(WIMP-quark)

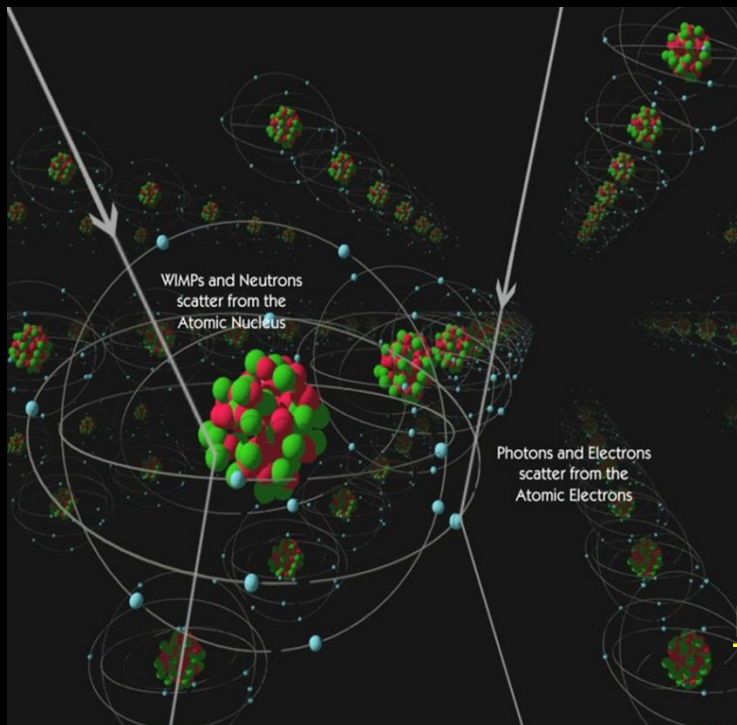
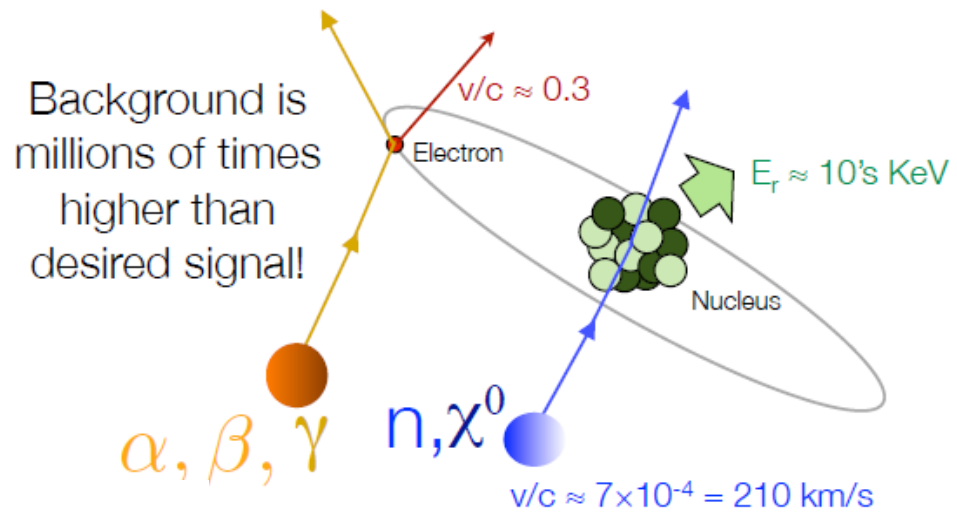
Ncertidumbres nucleares



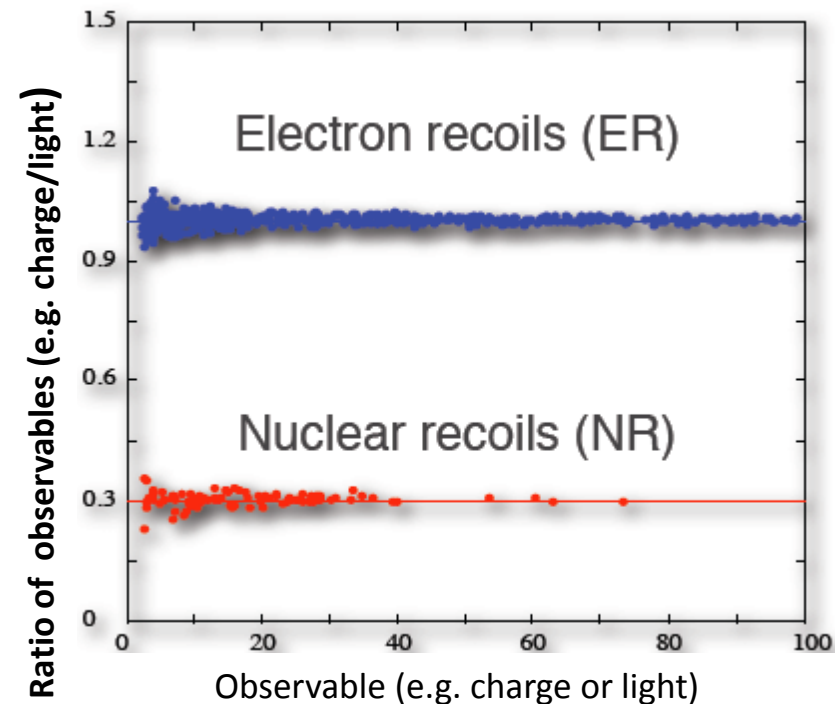
Detección directa

Los WIMPs (y los neutrones) interactúan con los núcleos y muchas fuentes de contaminación (gammas, electrones) interactúan con los electrones

Los detectores tienen diferentes respuestas a los retrocesos nucleares y a los retrocesos electrónicos



El detector se mueve con La Tierra alrededor del Sol, que a su vez se mueve alrededor del centro galáctico:
Modulación de la señal

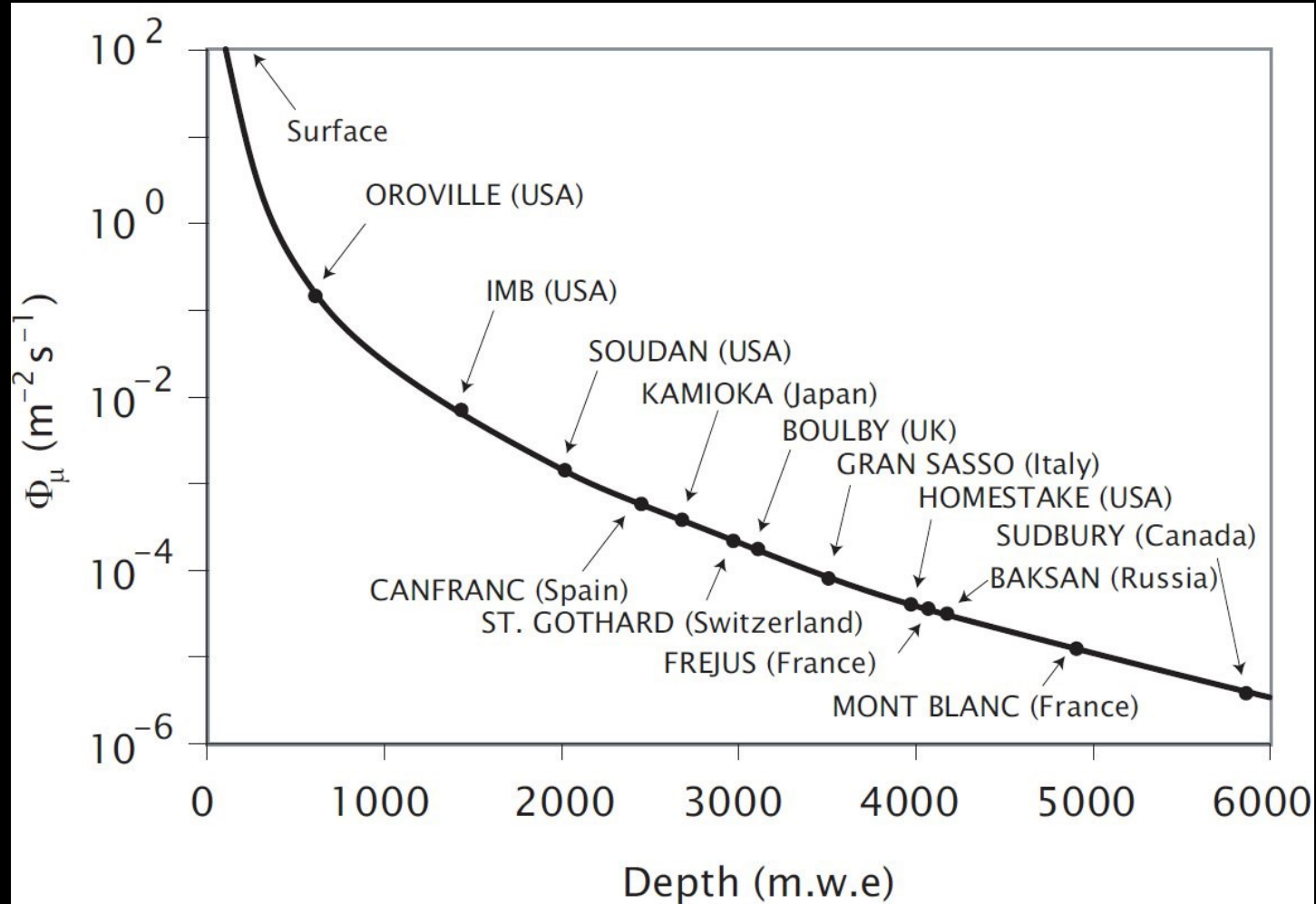


Minimizar la contaminación: Experimentos subterráneos

Los rayos cósmicos producen muones de alta energía en su interacción con la atmósfera.

Los muones pueden producir neutrones de alta energía cuando colisionan (por ejemplo, con las rocas) cerca de un experimento.

Hay que instalarlos muy profundos y hacer que los muones atraviesen tanta roca como sea posible.



2 tipos de interacción

$$\sigma_0 = \frac{4\mu^2}{\pi} [f_p N_p + f_n N_n]^2 + \frac{32G_F^2 \mu^2}{\pi} \frac{(J+1)}{J} [a_p \langle S_p \rangle + a_n \langle S_n \rangle]^2$$

Independiente del espín

f_p y f_n son los acoplos a protón y neutrón, pero $f_p \sim f_n$ en la mayoría de los modelos.

Se suman coherentemente, con un aumento como A^2

Domina para núcleos pesados debido al aumento con A^2

El factor de forma puede suprimir la transferencia de momento en núcleos muy grandes

Más estudiada y más accesible

Dependiente del espín

Escala con el espín del núcleo

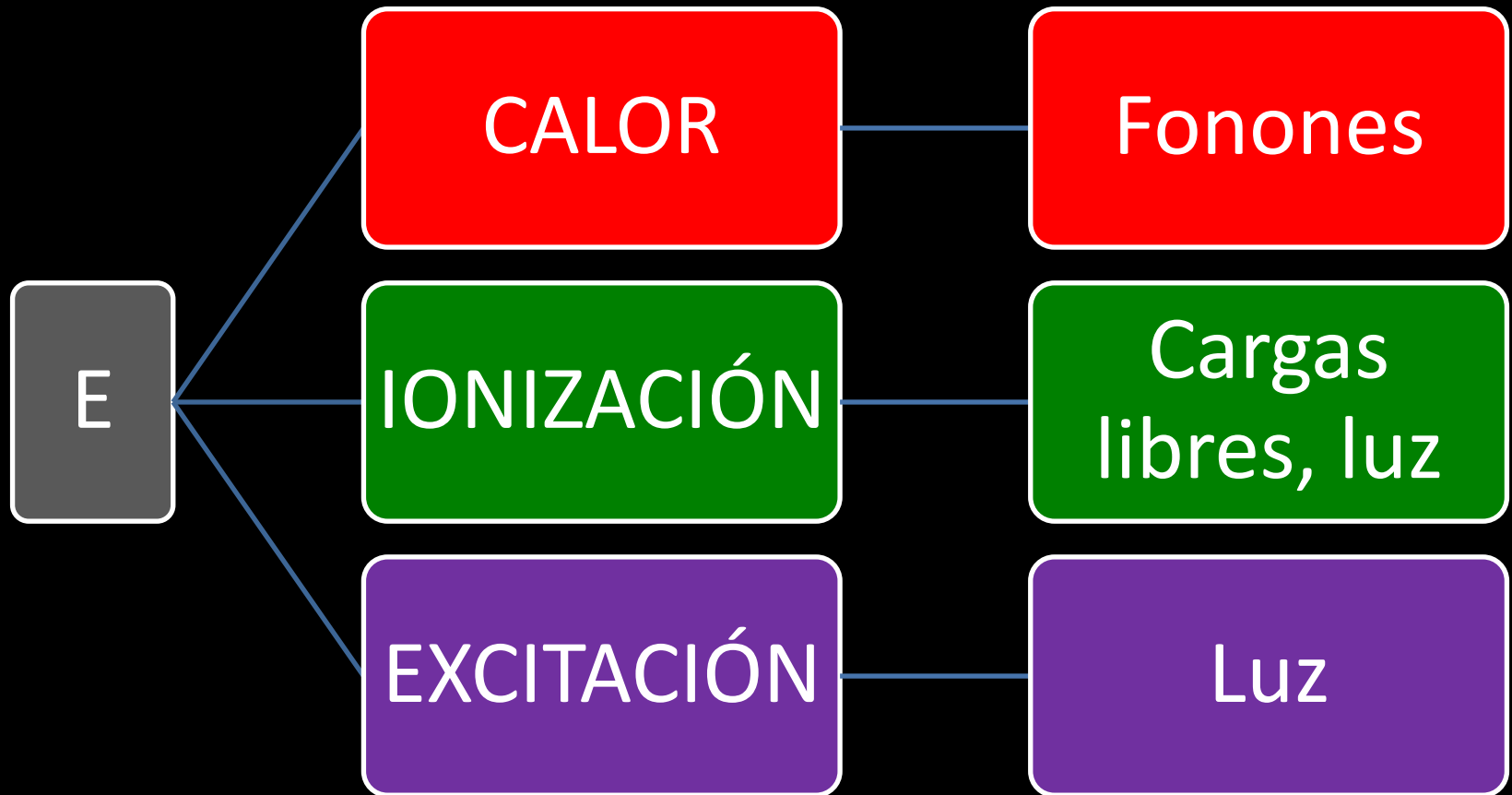
Interacción con los núcleos que tienen espín neto (i.e. cuyos espines permanecen desparejados)

Aumentan con A más lentamente que la sección eficaz independiente del espín

Importante para núcleos ligeros (ej. en las estrellas)

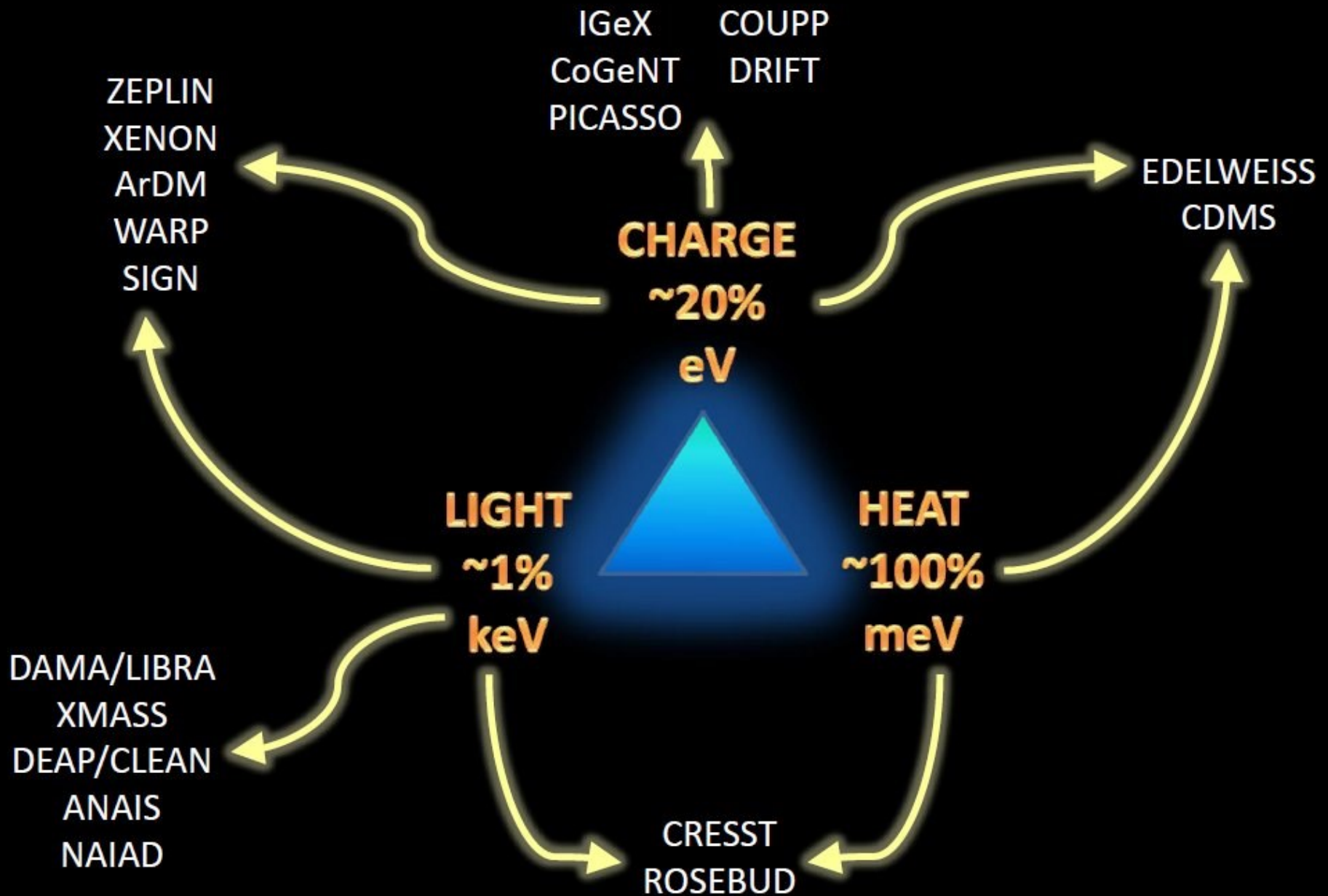
Menos estudiada.

La energía de retroceso va a...



La combinación de principios de detección permite una mejor identificación de las interacciones y ayuda a suprimir la contaminación.

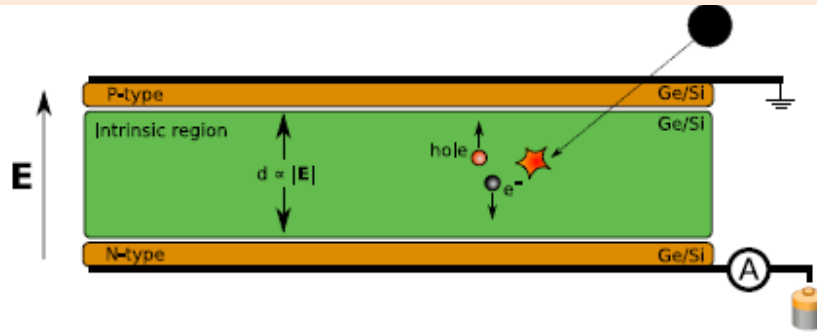
Técnicas de detección directa



Tipos de detector

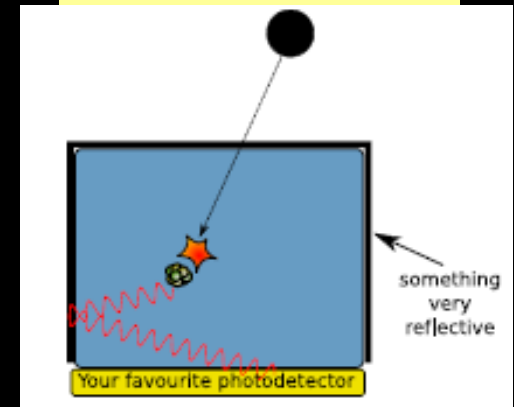
IONIZACIÓN

Ionización ●
Centelleo ●
Fonones ●



CENTELLEADORES SÓLIDOS

Ionización ●
Centelleo ●
Fonones ●

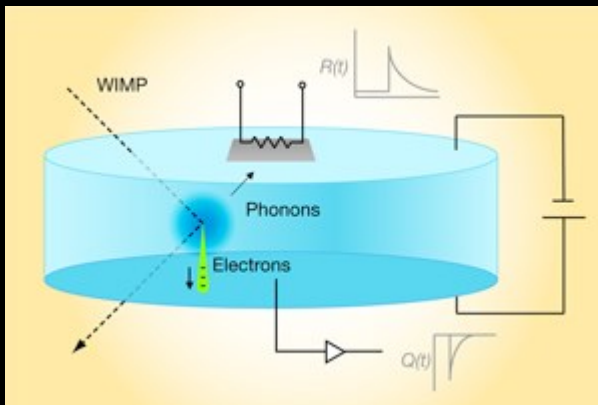


CRIOGÉNICOS

Ionización ●
Centelleo ●
Fonones ●

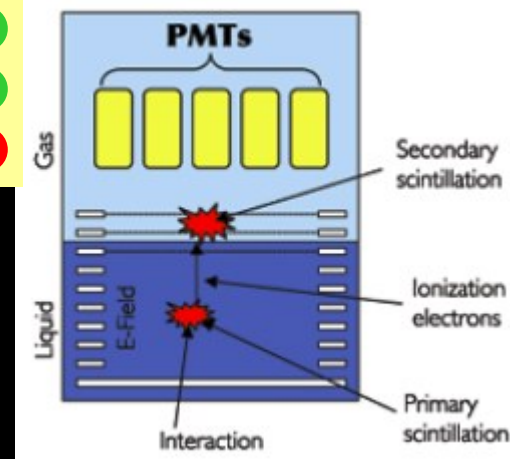
Ionización ●
Centelleo ●
Fonones ●

Operan a temperaturas muy bajas (10 mK)
para detectar fonones individuales



LÍQUIDOS NOBLES

Ionización ●
Centelleo ●
Fonones ●



Situación actual

La situación es muy interesante... ¡¡¡Pero muy confusa!!!

Indicios positivos en DAMA, CoGeNT and CRESST

DAMA: 13 ciclos anuales, observa modulación anual a 8.9σ C.L.

CoGeNT: 15 meses, confirma la modulación a 2.8σ C.L., más un exceso

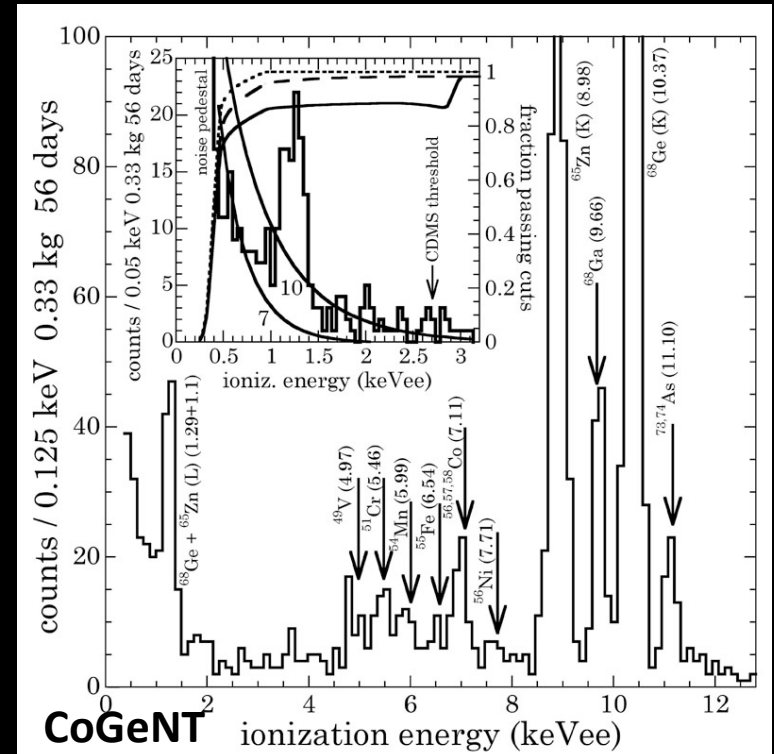
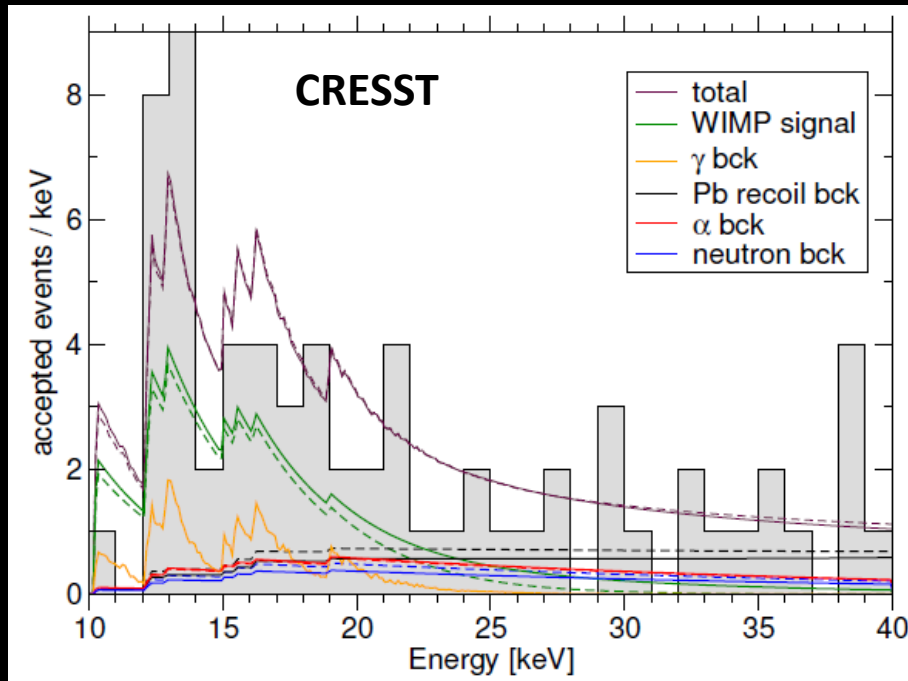
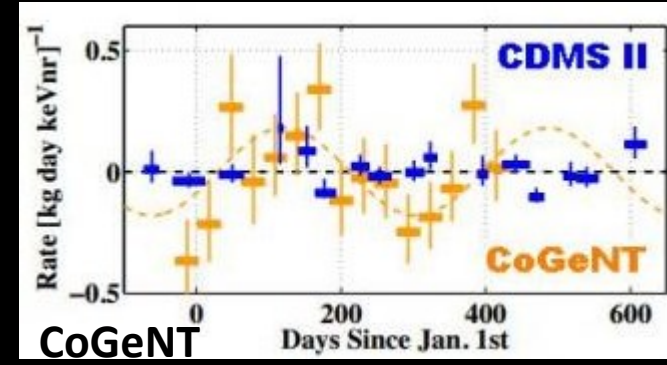
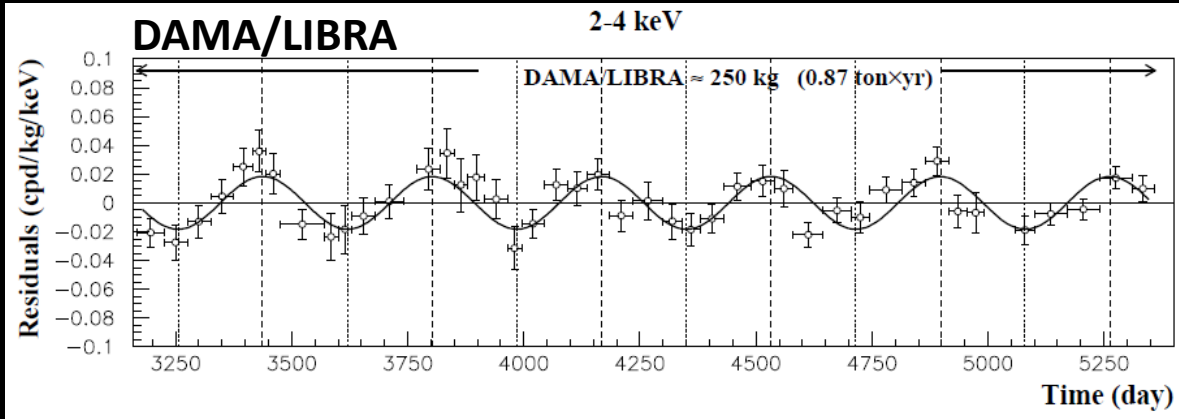
CRESST: Exceso de sucesos

Compatible con un WIMP de masa ~ 10 GeV

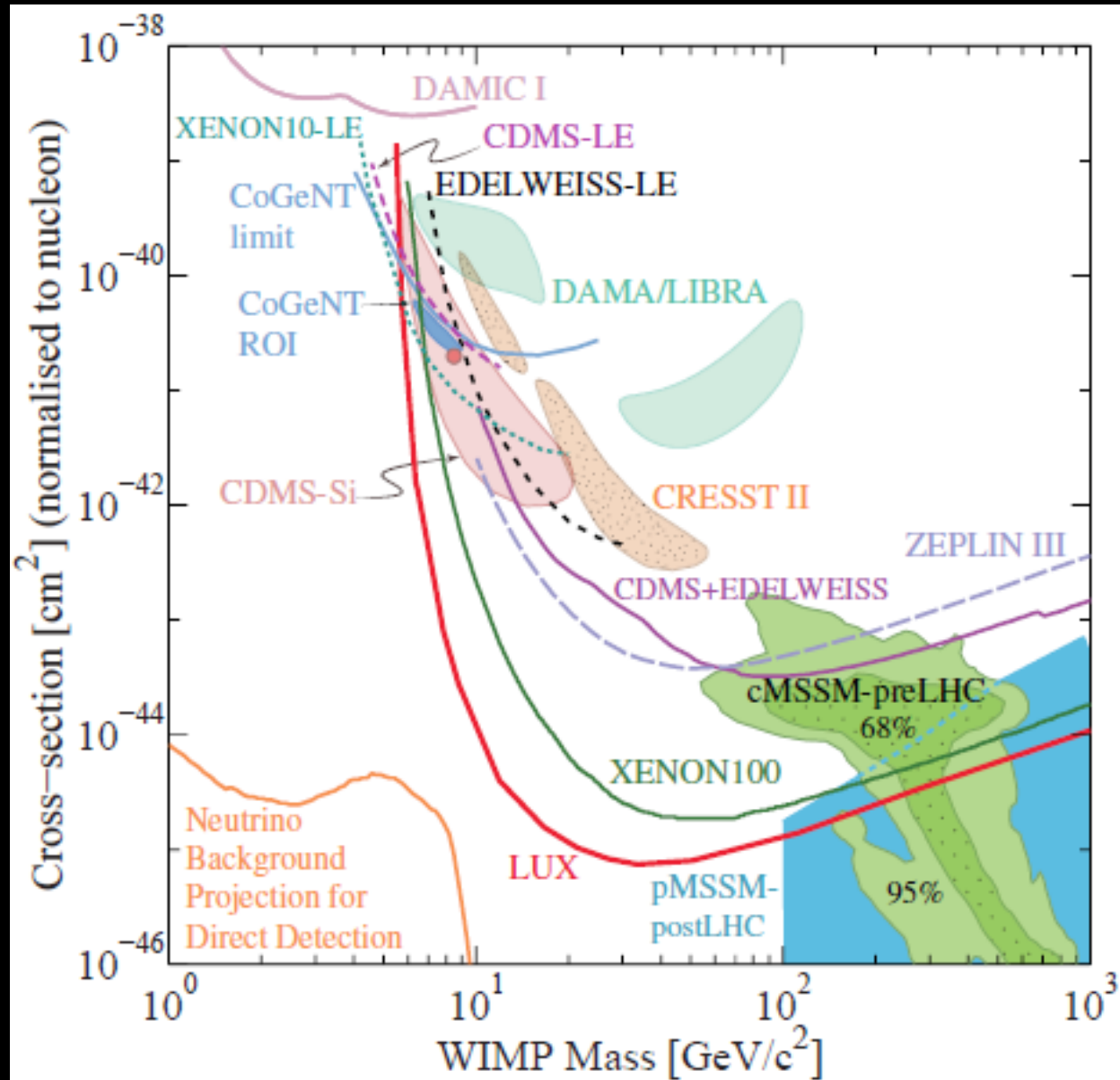
PERO... A la vez, estas señales están

EXCLUIDAS POR CDMSII, XENON100, XENON10

Situación actual: Indicios positivos

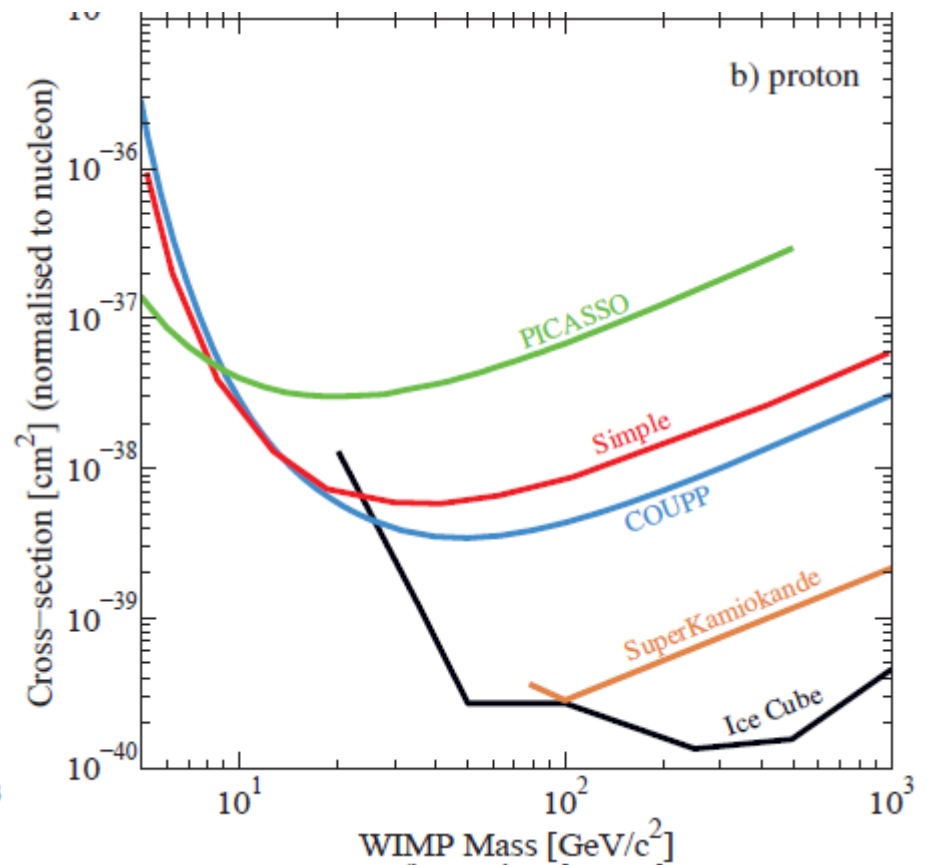
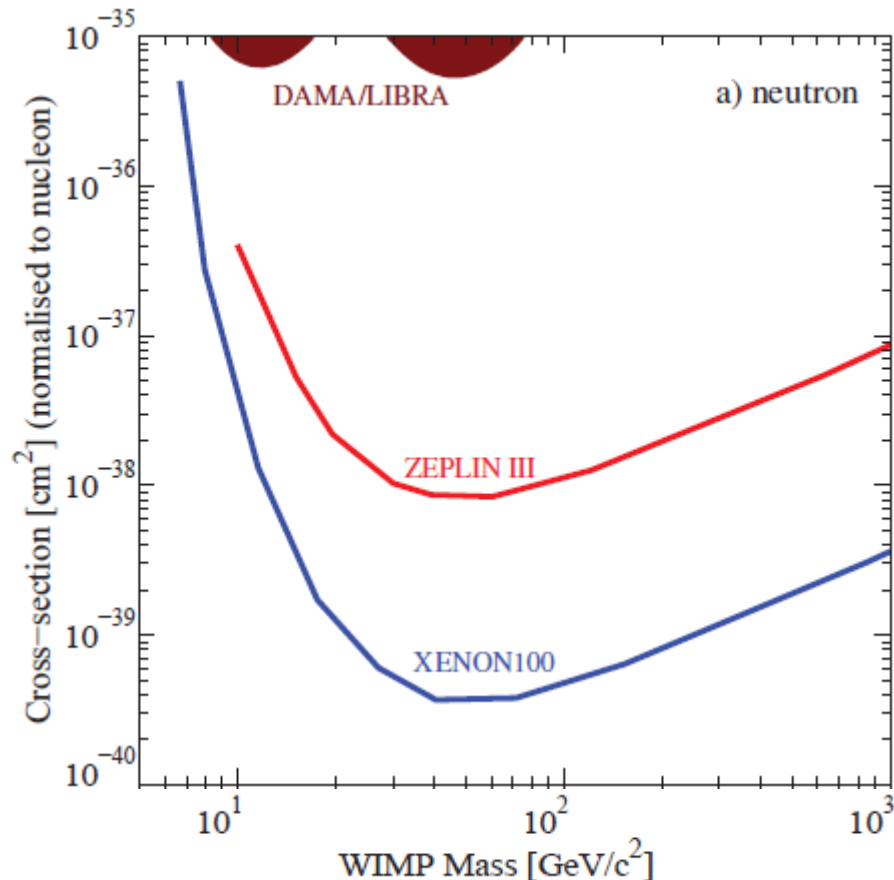


Situación actual: Independiente del espín



Se necesitan más datos para aclarar la situación

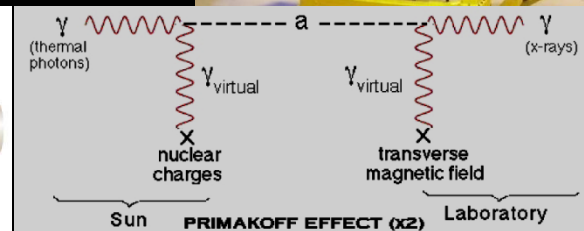
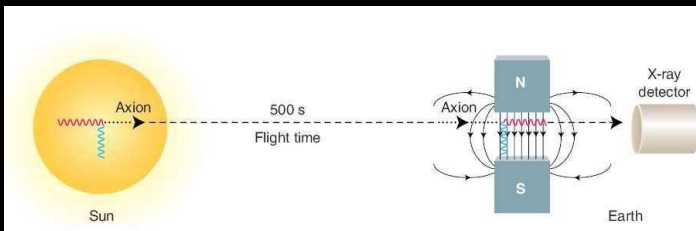
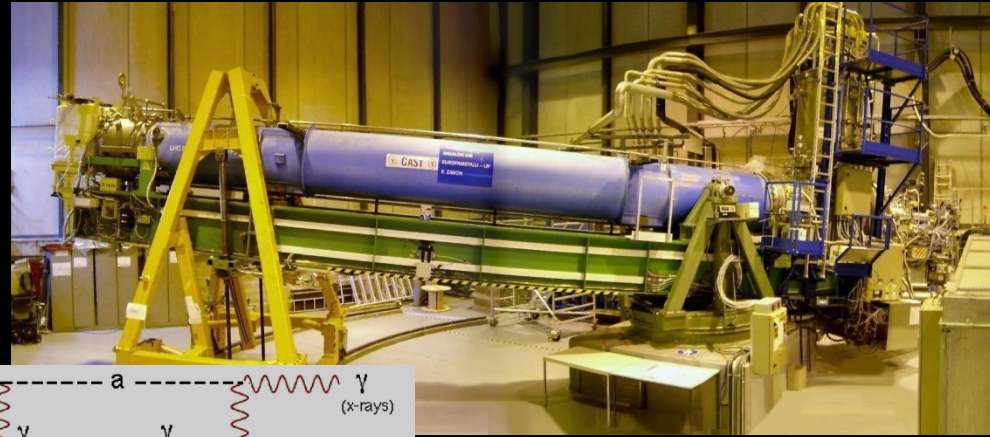
Situación actual: Dependiente del espín



Se necesitan más datos para aclarar la situación

Búsqueda de Axiones

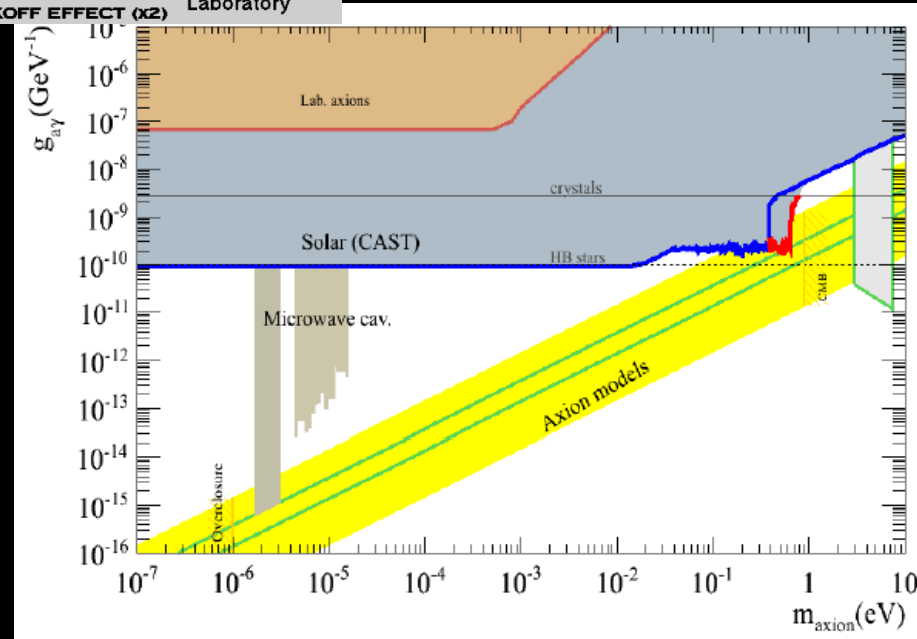
El CERN Axion Solar Telescope (CAST) busca axiones producidos en el Sol. Comenzó en 2013 y está todavía en funcionamiento.



Usa un campo magnético fuerte (un imán dipolar antiguo del LHC)
Se apunta el imán hacia el Sol, siguiéndolo tanto tiempo como sea posible.

1.5 h de observación a la salida y puesta del Sol (46 días/año)

Señal: Un exceso de rayos X mientras se apunta al Sol . **NO SE HA OBSERVADO NINGUNA SEÑAL**



Resumen de resultados

Evidencia de la existencia de MATERIA OSCURA FRÍA:

Estable, neutra y no relativista. Forma el $\sim 25\%$ de la densidad del universo

Si son WIMPs, la abundancia local es $\sim 0.4 \text{ GeV/cm}^3$

Si $m_{WIMP} \sim 100 \text{ GeV}$, unos 10 WIMPs interaccionan con un cuerpo humano al año

Si $m_{WIMP} \sim 10 \text{ GeV}$, unos 10^5 WIMPs interaccionan con un cuerpo humano al año

Materia oscura en el LHC:

No se ha observado ninguna señal

Búsqueda indirecta de materia oscura

Sin señal en rayos gamma

Sin señal en neutrinos

Algún indicio en positrones. Compatible con emisión de púlsares

Búsqueda directa de materia oscura

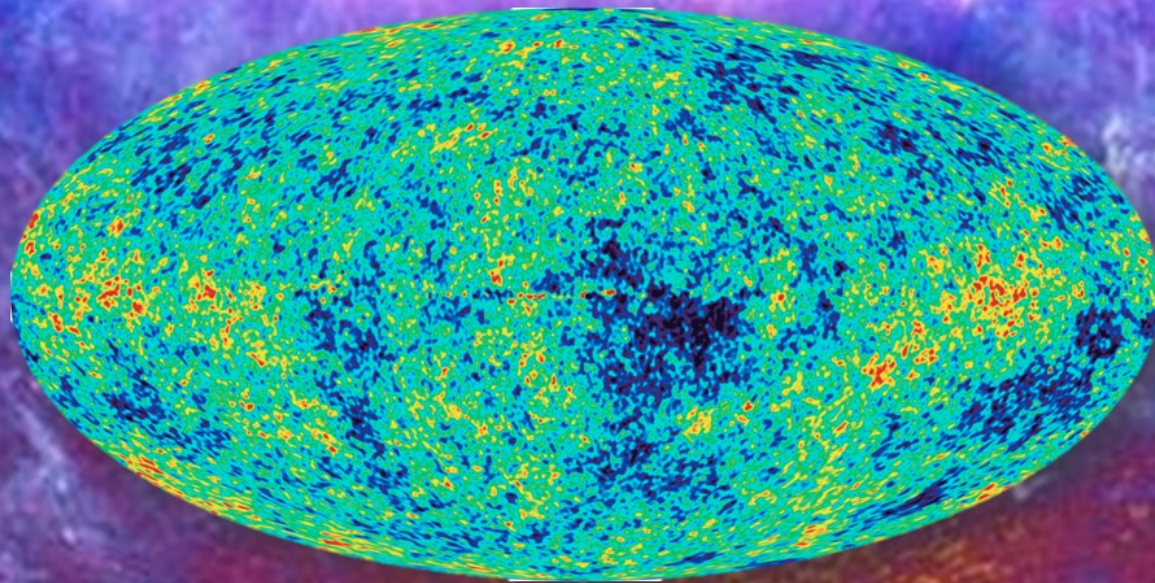
Algunos experimentos tienen señales (DAMA, CoGeNT, CRESST)

Que están excluidas por otros (CDMS, XENON10/100)

Búsqueda de axiones

No se ha observado ninguna señal

LA RADIACIÓN DE FONDO (CMB)



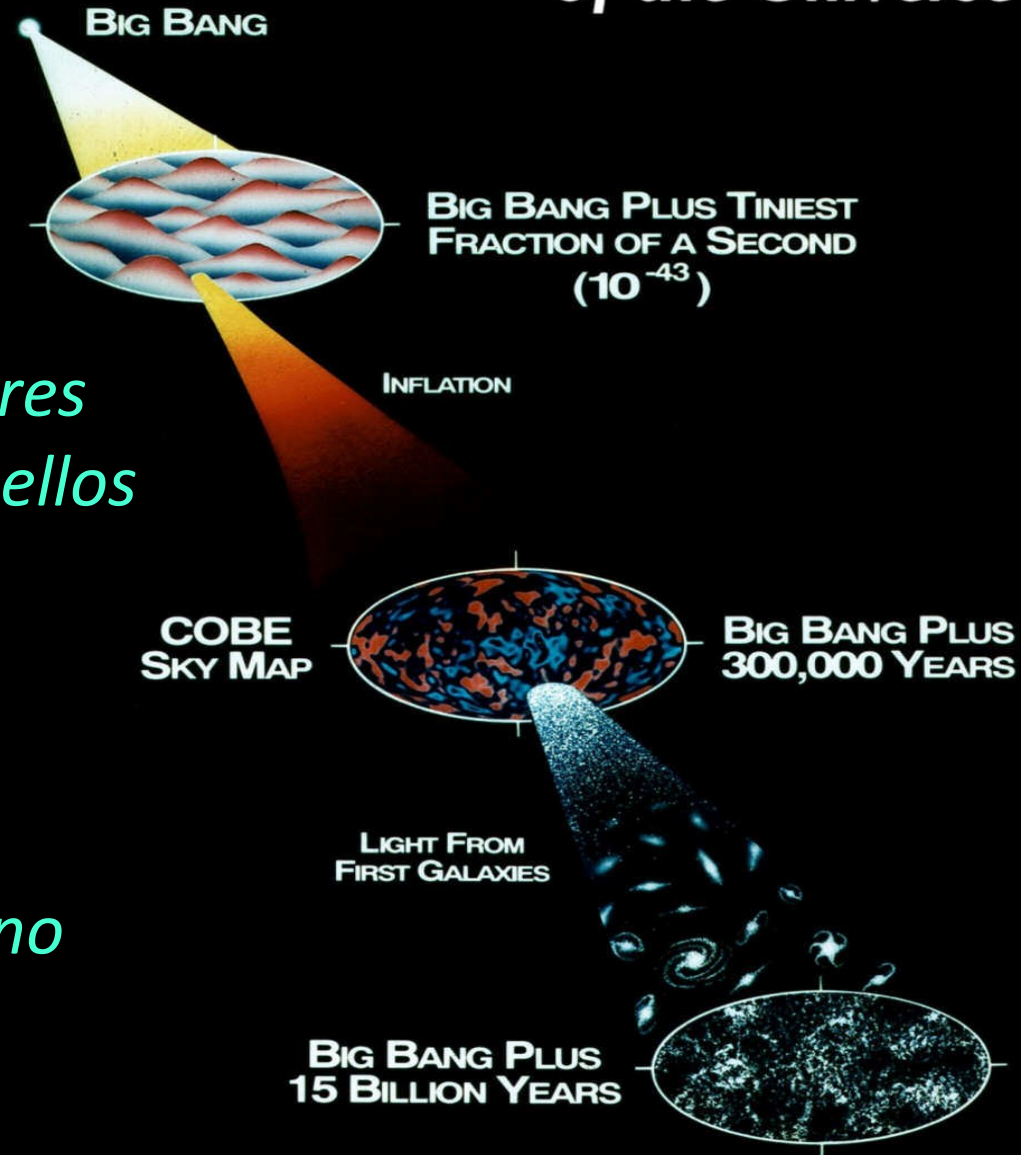
Early Development of the Universe

Antes de la recombinación

- Universo temprano
- Altas temperaturas
 - *Los electrones están libres*
 - *La luz interacciona con ellos*

Recombinación

- Universo tardío
- Temperaturas más bajas
 - *e- y p+ forman hidrógeno*
 - *La luz viaja libremente*



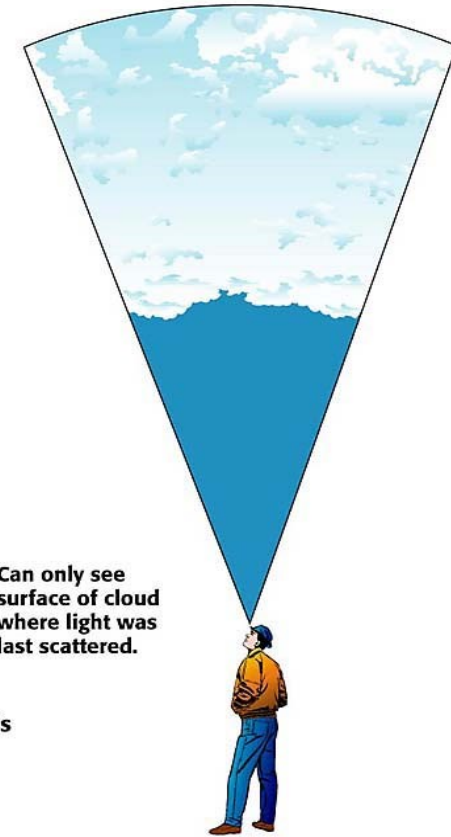
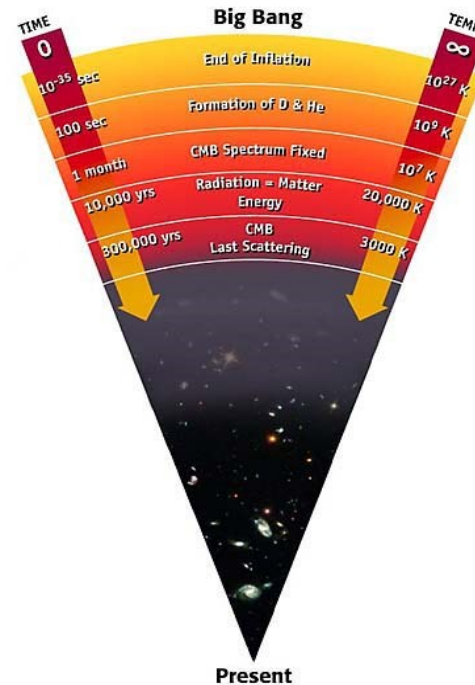
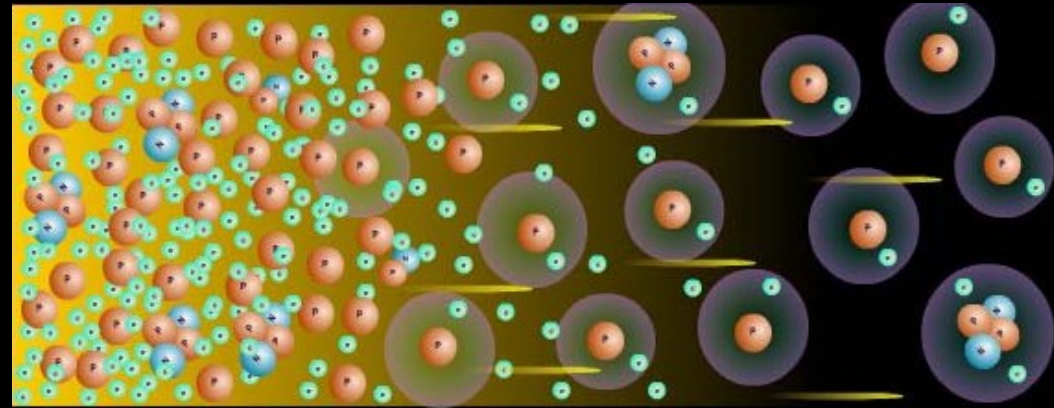
La radiación de fondo de microondas (CMB)

Radiación térmica que viene de la formación de los átomos ~ 380000 años tras el BB o.... ¡¡Hace 13800 Maños!!

Descubierta en 1965

En 1992 se descubrió que no es completamente uniforme. Sus pequeñas anisotropías son las semillas de toda la estructura del universo.

Las medidas más precisas de los parámetros cosmológicos vienen de la CMB.



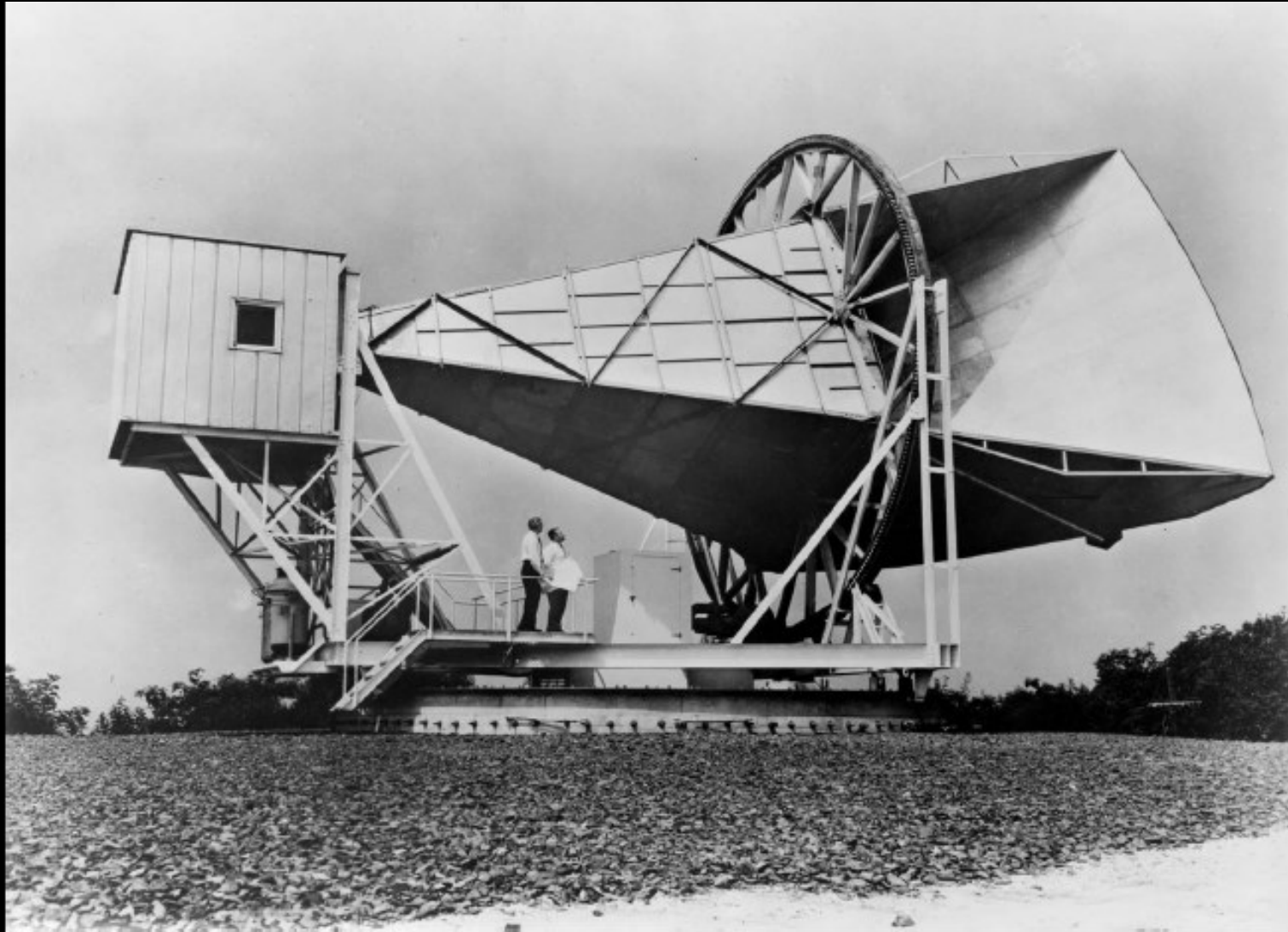
The Cosmic Microwave Background Radiation's "surface of last scattering" is analogous to the light coming through the clouds to our eye on a cloudy day.

Descubrimiento de la CMB: Antena de cuerno para detectar ondas de radio

Arno Penzias
y Robert
Wilson de los
Bell Labs
(1965)

Ruido bajo y
permanente
en el
receptor

Descubri-
miento
accidental



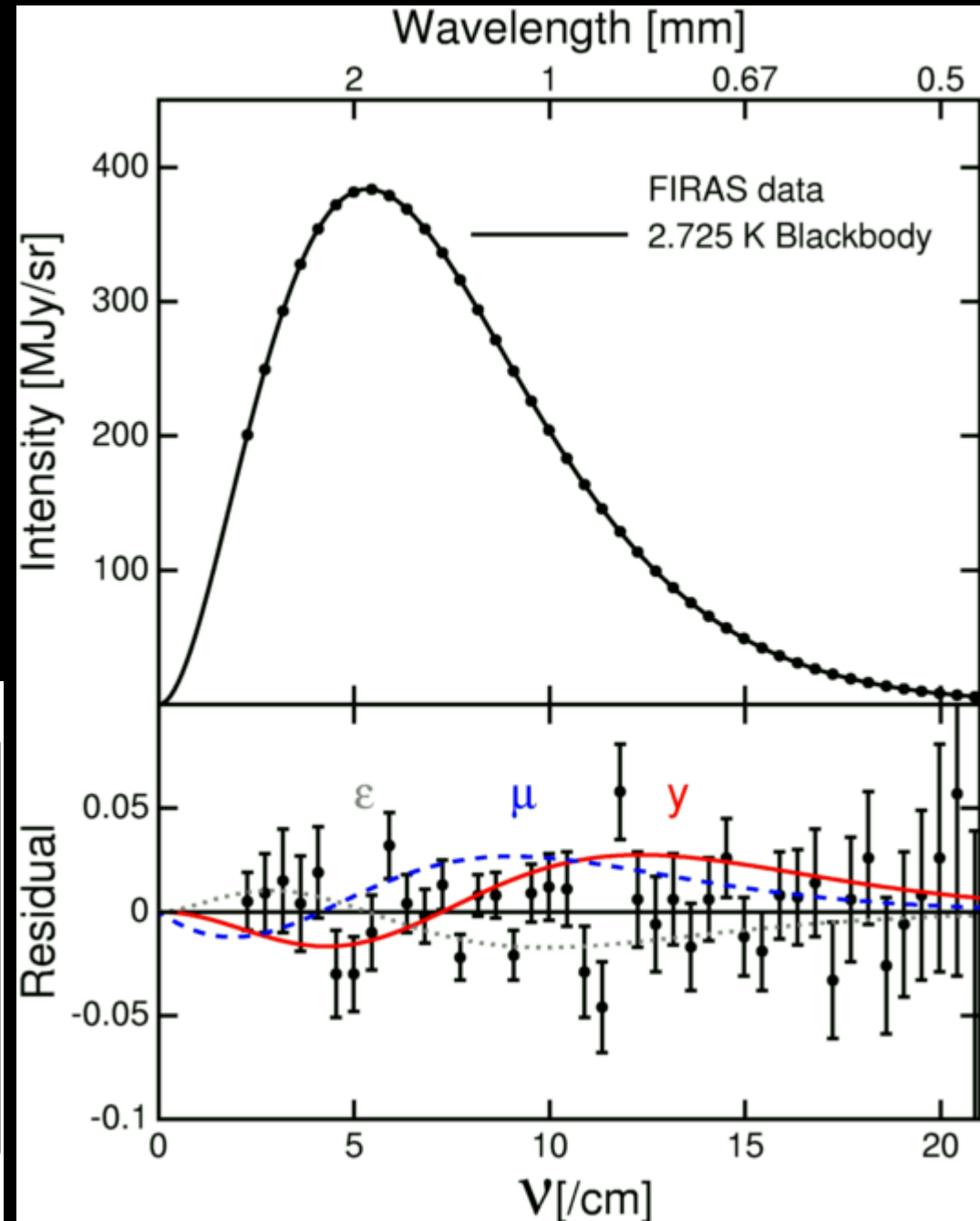
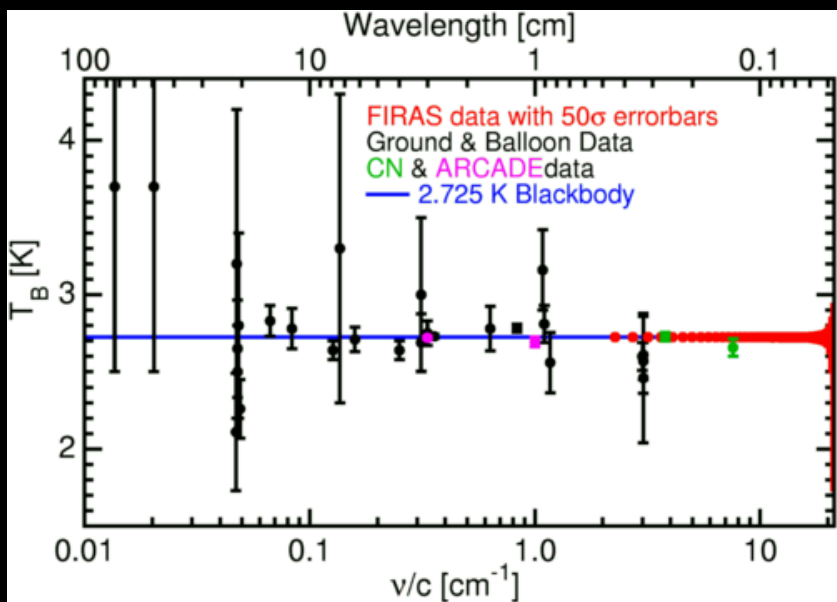
National Historic Landmark (1988)



El espectro de frecuencias Un cuerpo negro perfecto a 2.725K

El universo estaba en equilibrio termodinámico antes de la recombinación:

La tasa de colisiones era mucho mayor que la tasa de expansión



On the CN non-discovery

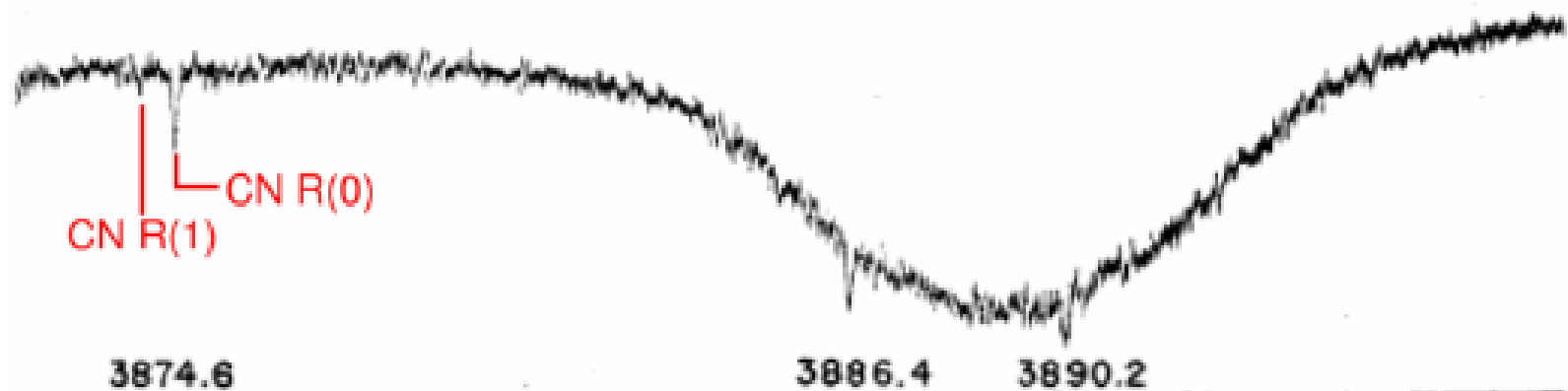


Plate 3 of Adams (1941, ApJ, 93, 11-23)

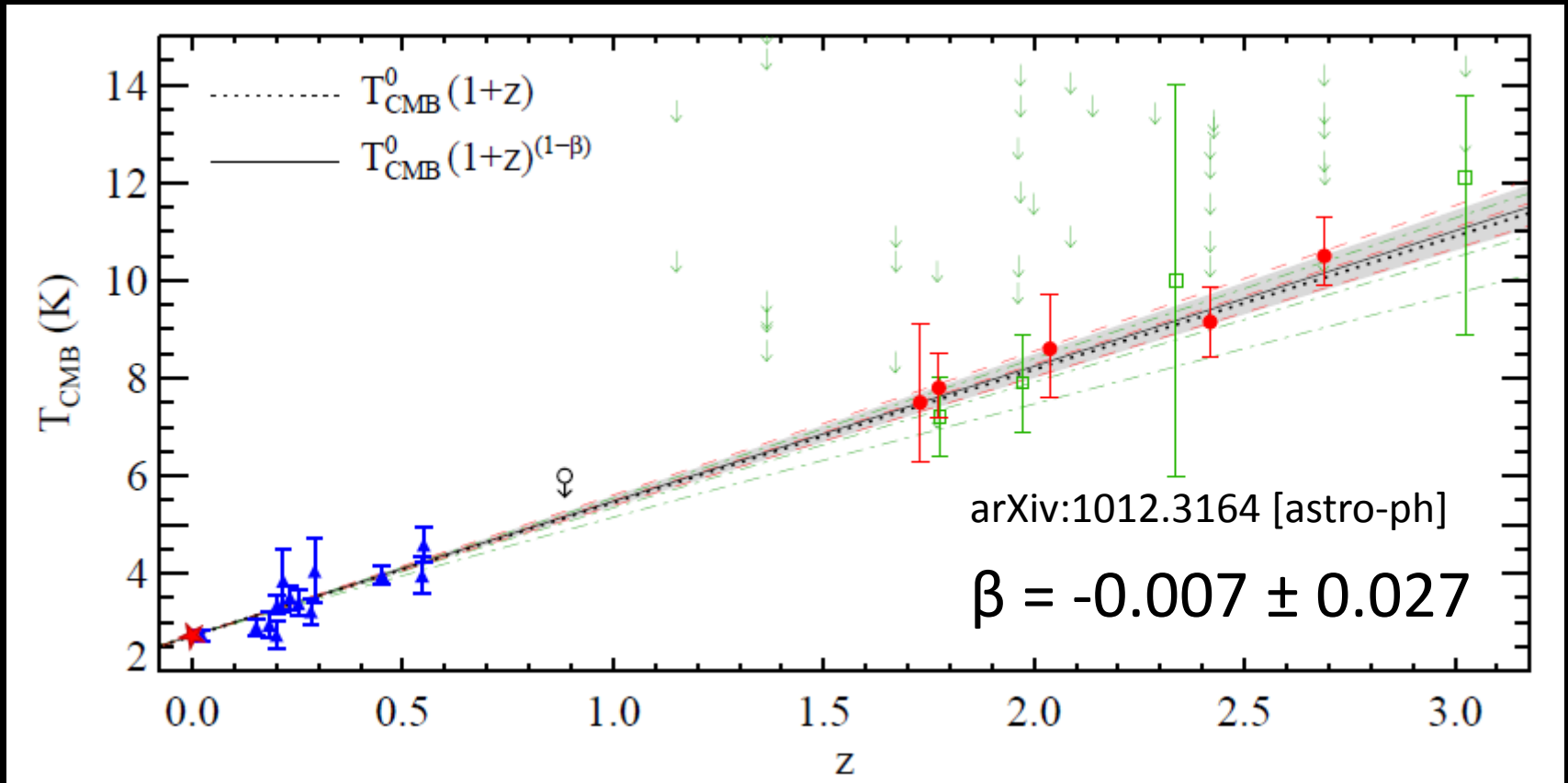
Herzberg (1950) in *Spectra of Diatomic Molecules*, p 496:

“From the intensity ratio of the lines with $K=0$ and $K=1$ a rotational temperature of 2.3° K follows, which has of course only a **very restricted meaning.**”

There went Herzberg's [second] Nobel Prize.



CMB Temperatura . vs . z



COBE



CO Molecule lines



SZ Effect



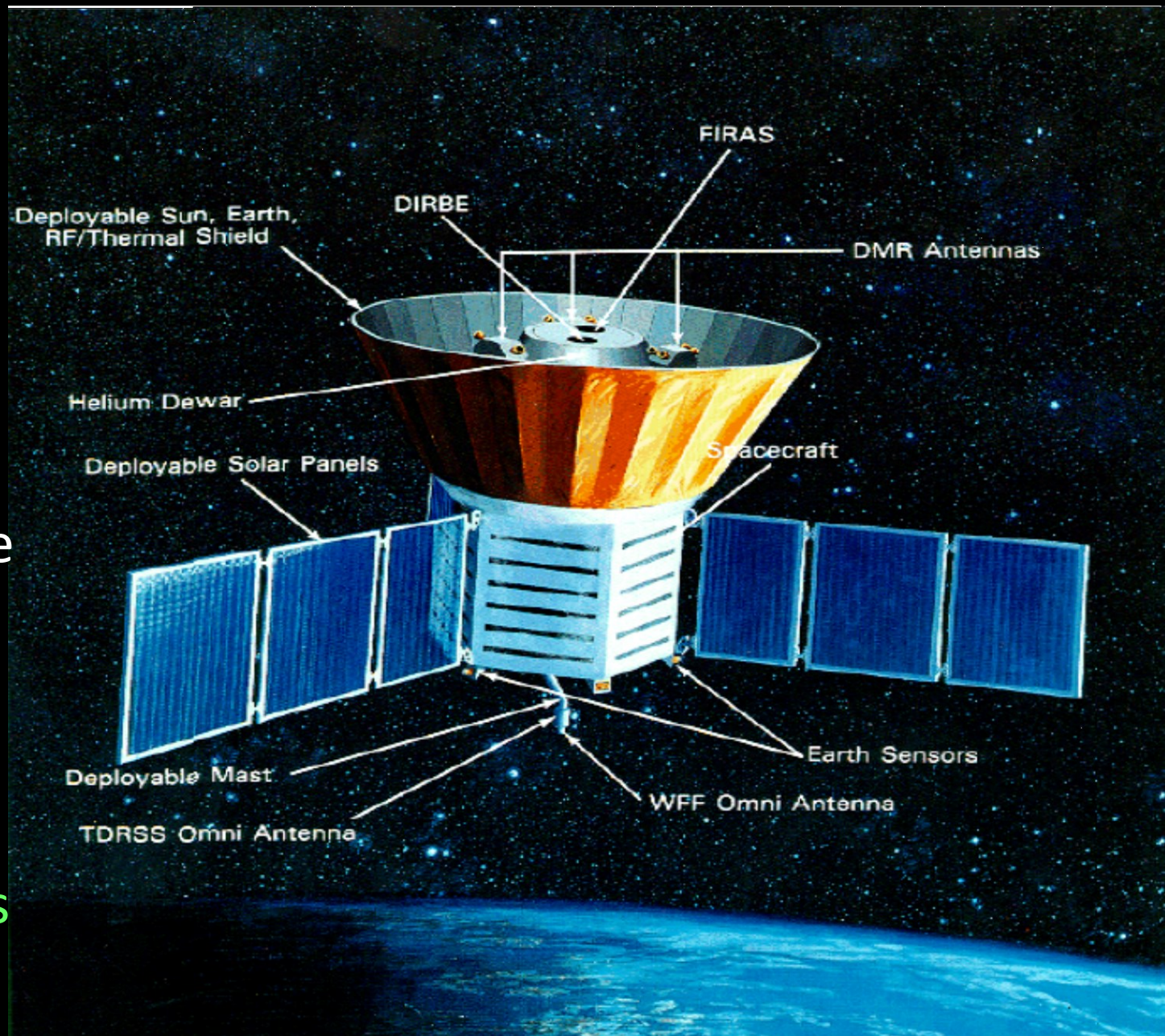
C atom lines

El satélite COBE

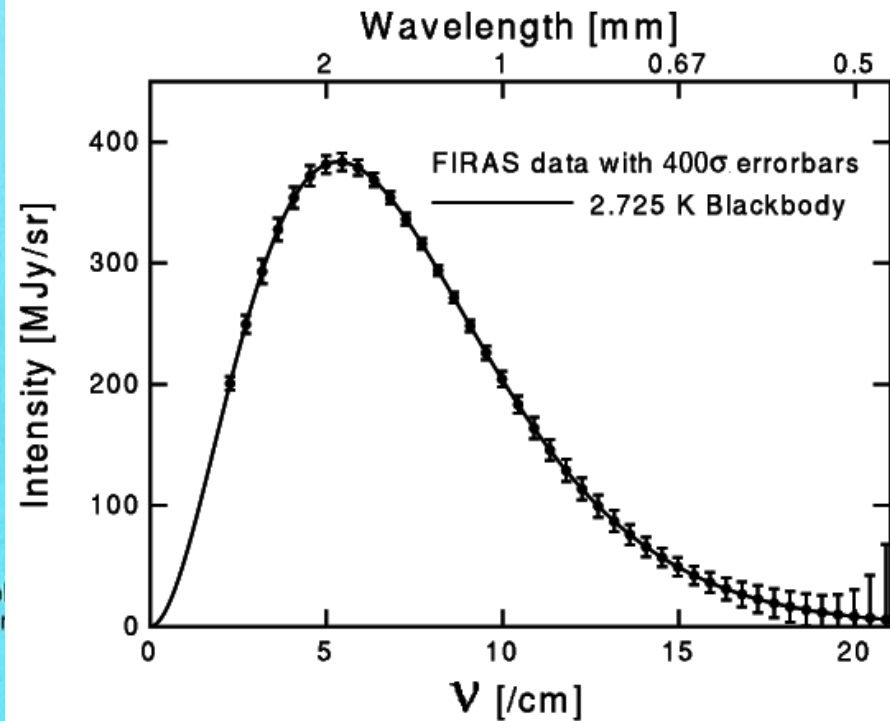
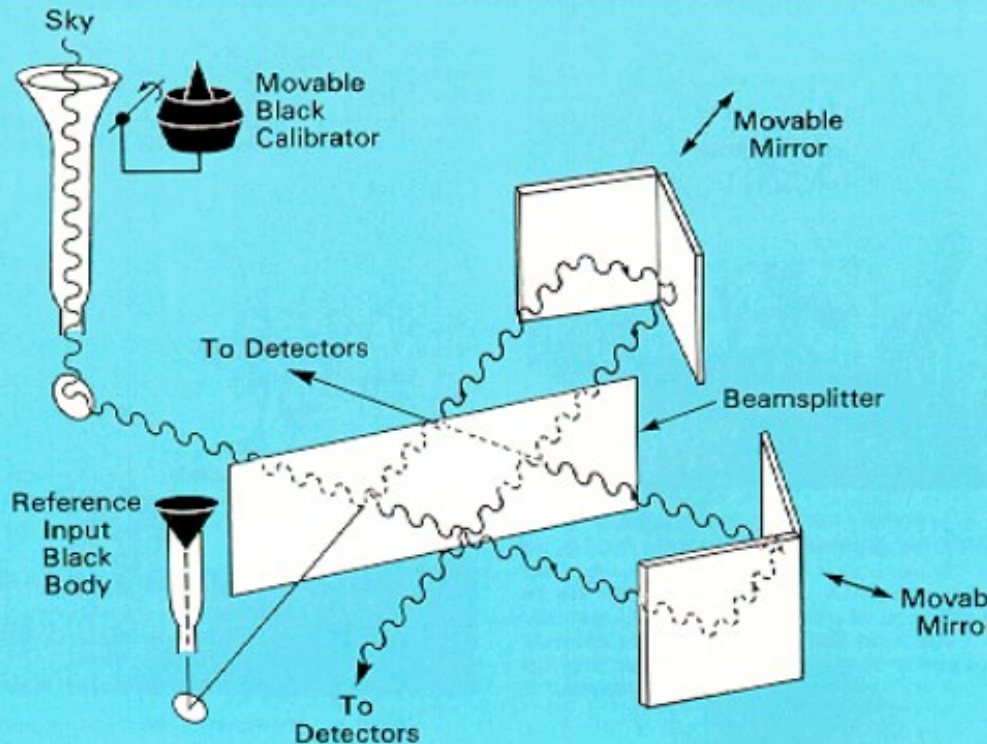
Lanzado en 1989, la misión duró 4 años

Medida de alta precisión de la temperatura de la CMB (1990)

Primera detección de las anisotropías (1992)



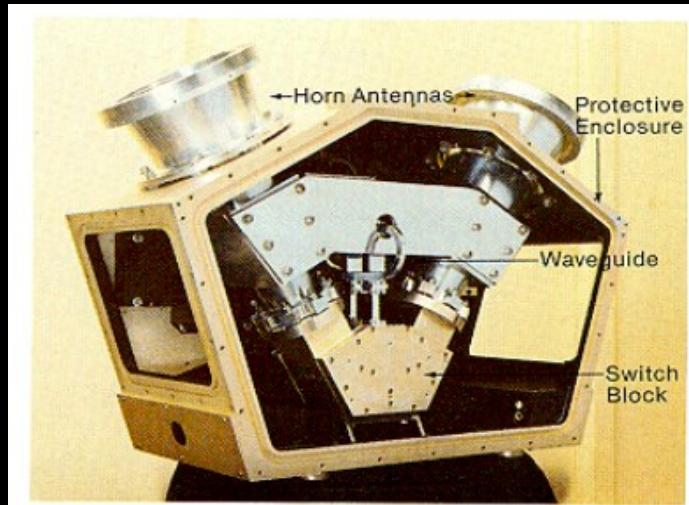
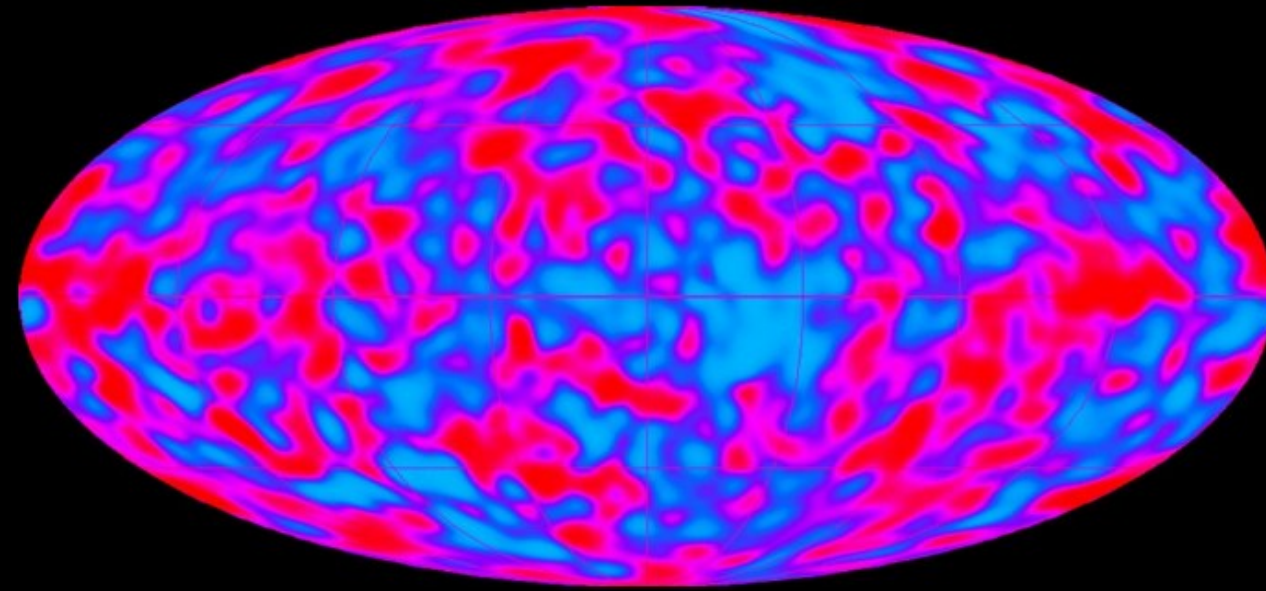
El detector FIRAS: Temperatura de la CMB



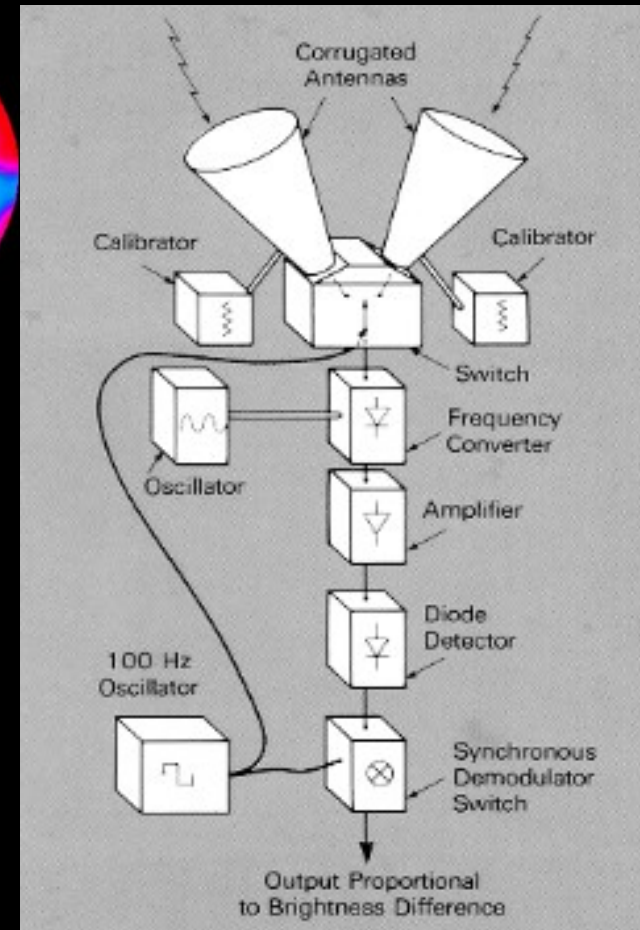
$$T_{\text{CMB}} = 2.72548 \pm 0.00057 \text{ K}$$

(ApJ 707 2009, 916-920)

El detector DMR: Fluctuaciones de la CMB



The 9.6 mm DMR receiver partially assembled. Corrugated cones are antennas.

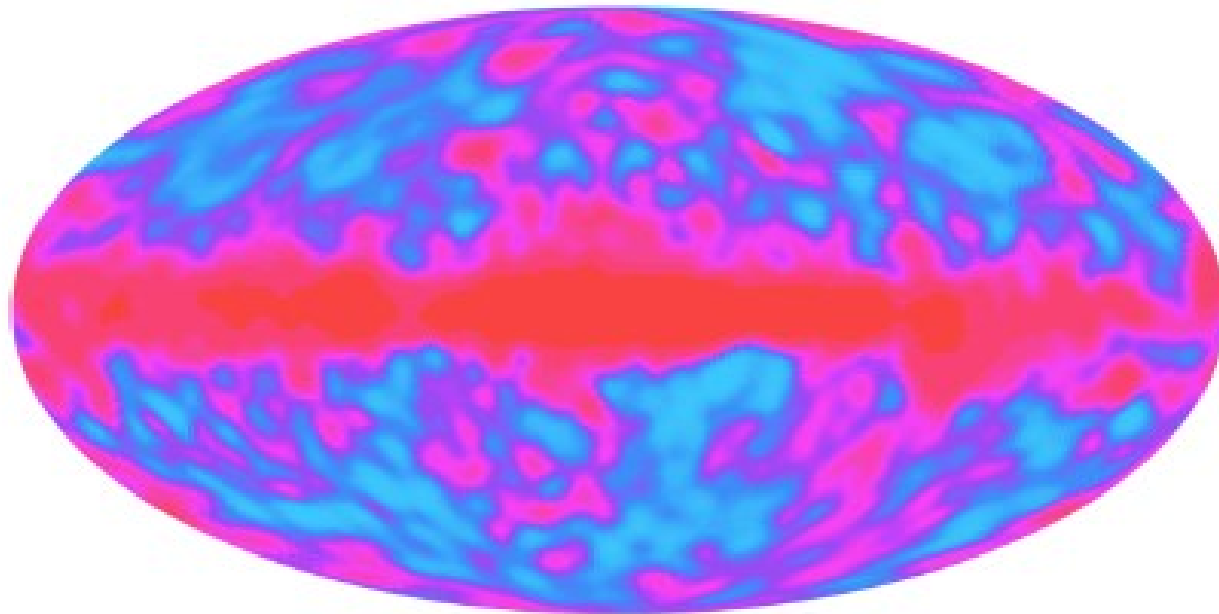


A Big Media Splash in 1992:

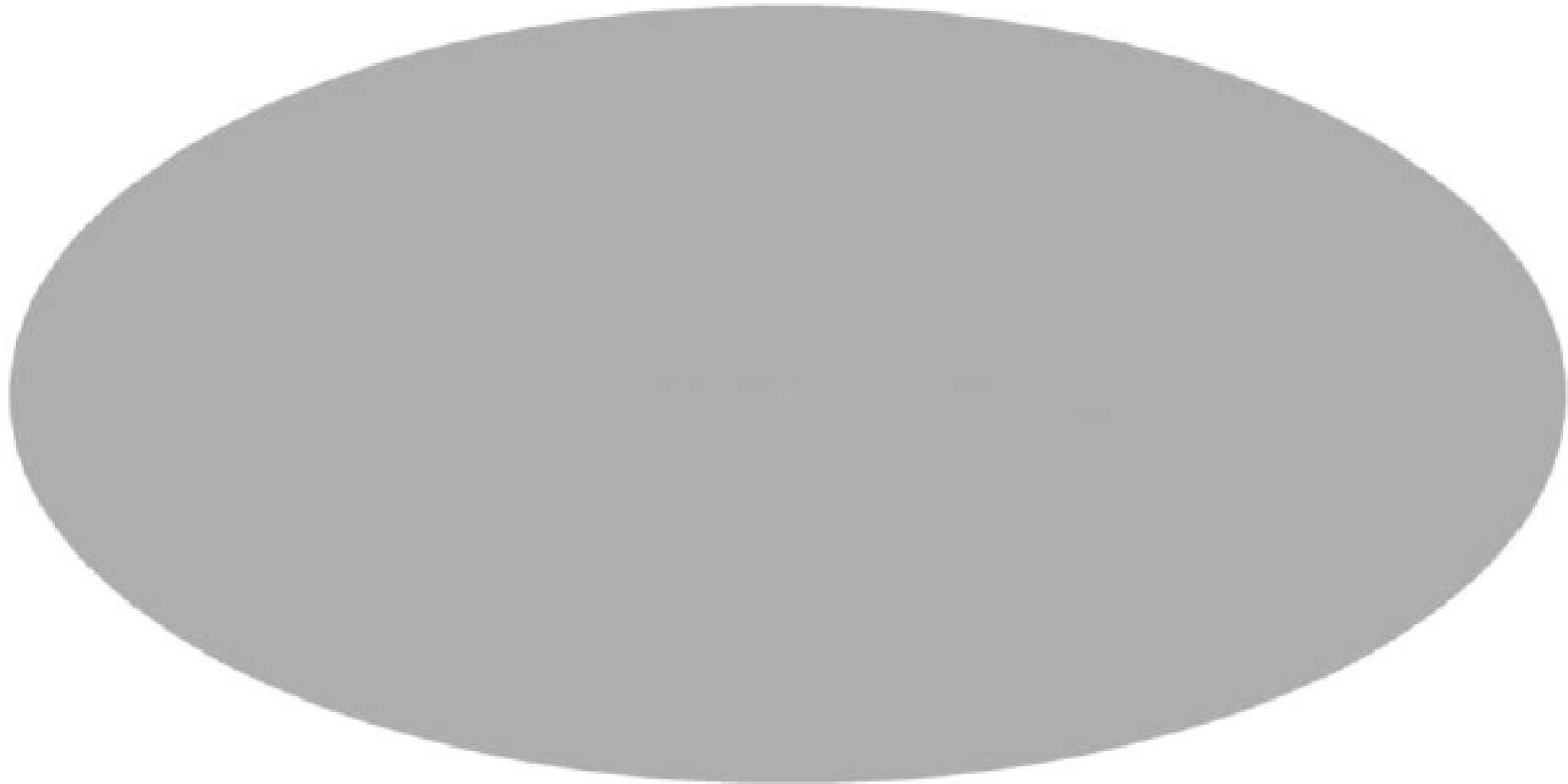
THE TIMES

25 April 1992

Prof. Stephen Hawking of Cambridge University, not usually noted for overstatement, said: “It is the discovery of the century, if not of all time.”



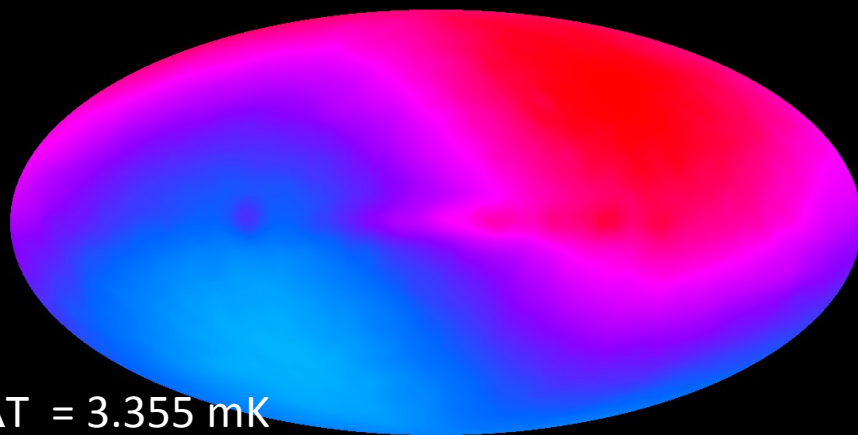
True Contrast CMB Sky



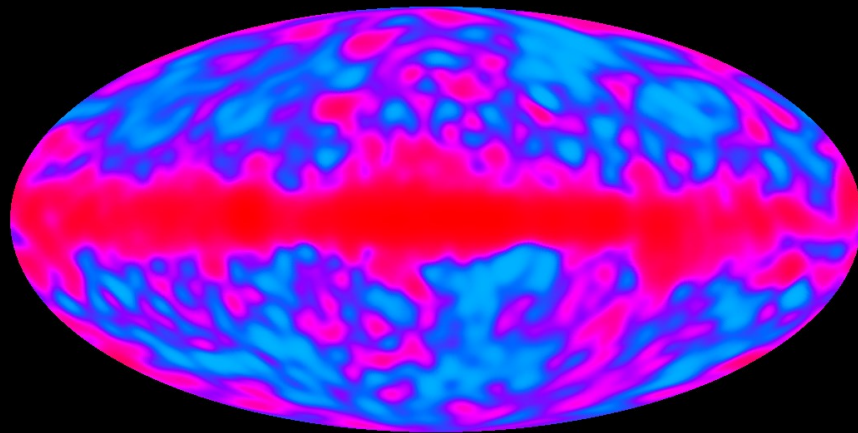
$$T = 2.72548 \pm 0.00057 \text{ K}$$

33, 41 & 94 GHz as RGB, 0-4 K scale

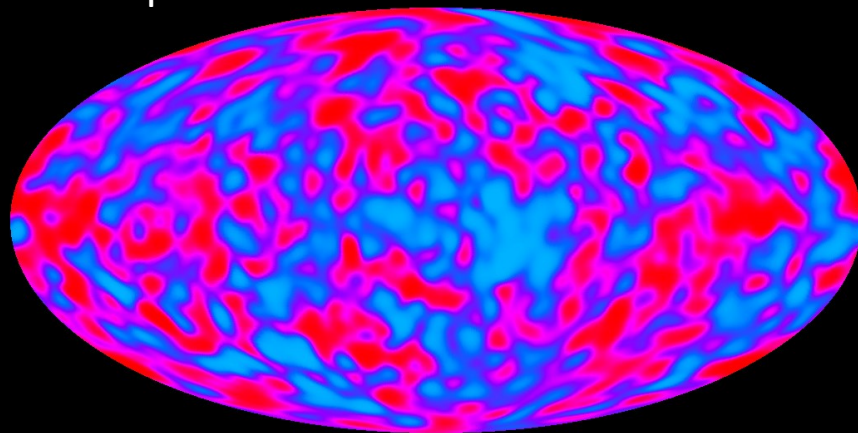
Anisotropía dipolar debida al movimiento de La Tierra



$\Delta T = 3.355 \text{ mK}$



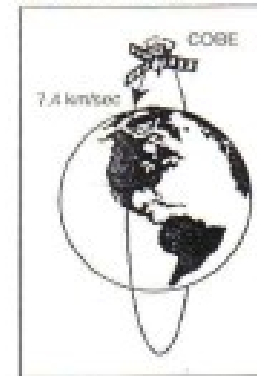
$\Delta T = 18 \mu\text{K}$



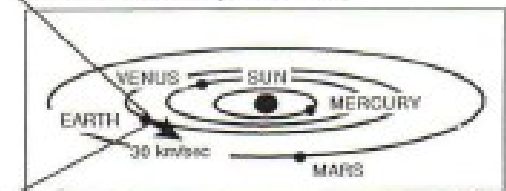
VELOCITY COMPONENTS OF THE OBSERVED CMB DIPOLE

Solar System: $v = 368 \pm 2 \text{ km/s}$
Towards the constellation of
Leo

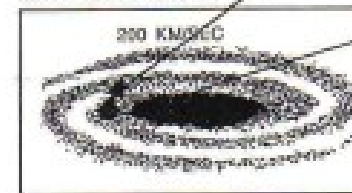
COBE AROUND EARTH



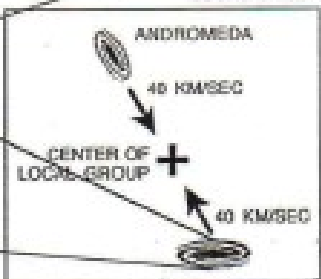
EARTH AROUND SUN (SOLAR CENTER)



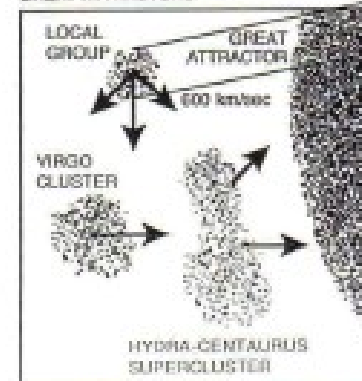
SUN AROUND GALAXY



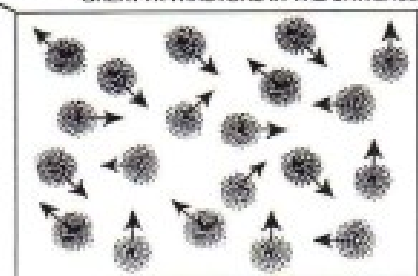
LOCAL GROUP



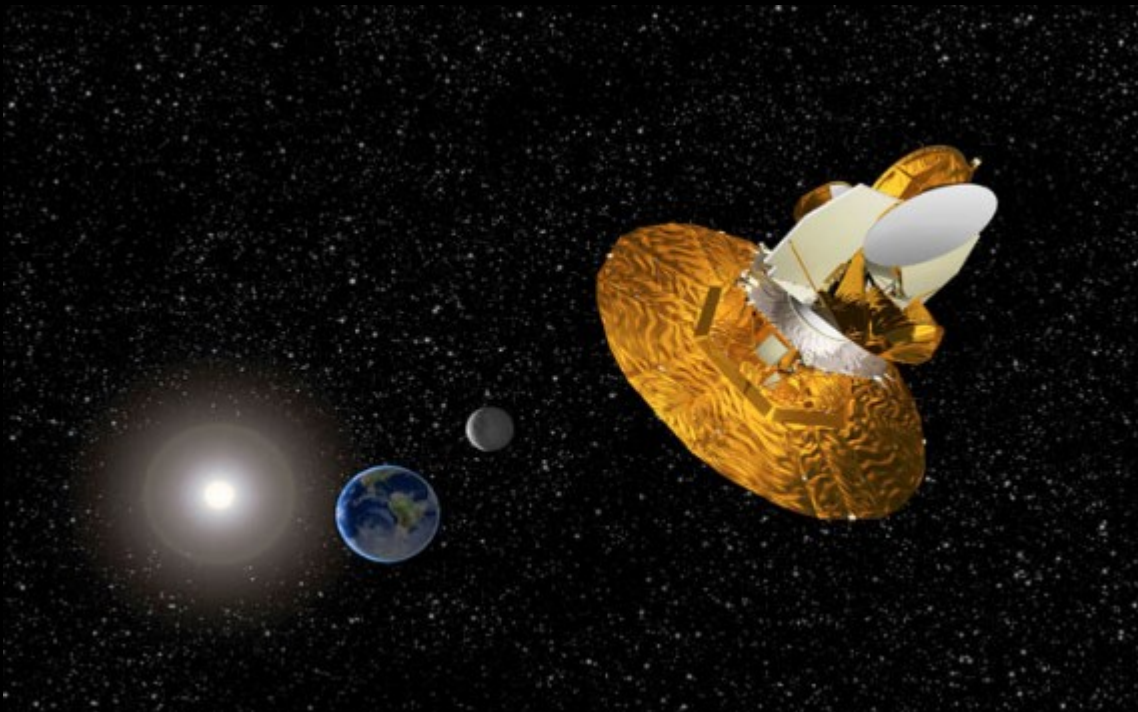
LOCAL GROUP TOWARD GREAT ATTRACTORS



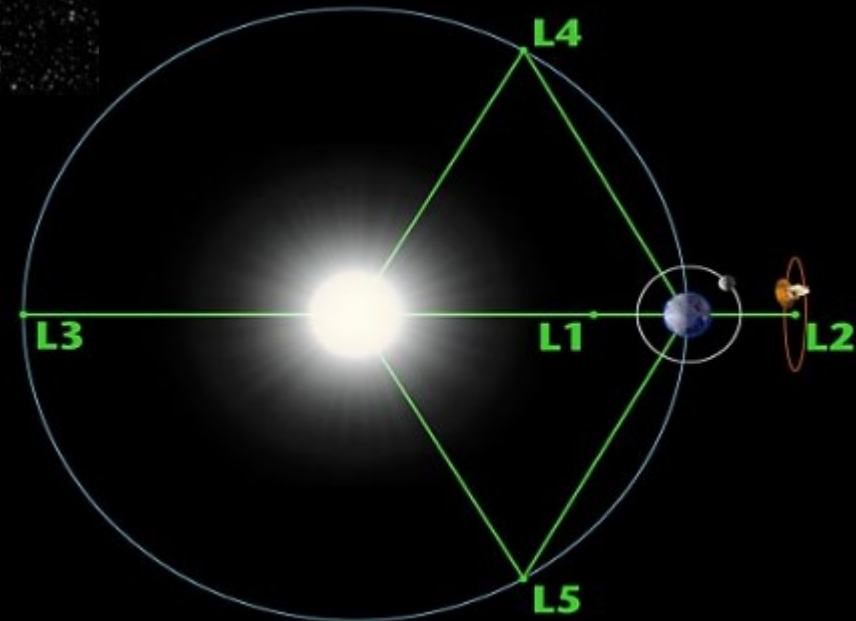
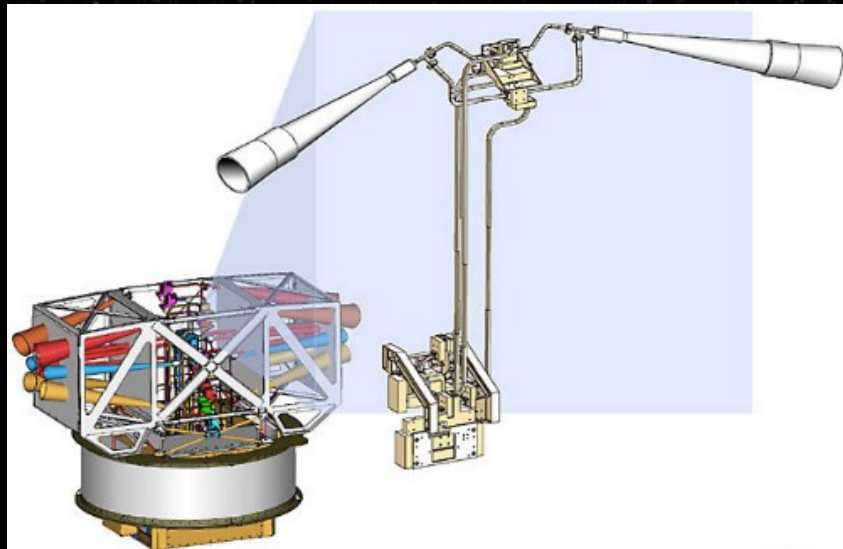
GREAT ATTRACTORS IN THE UNIVERSE



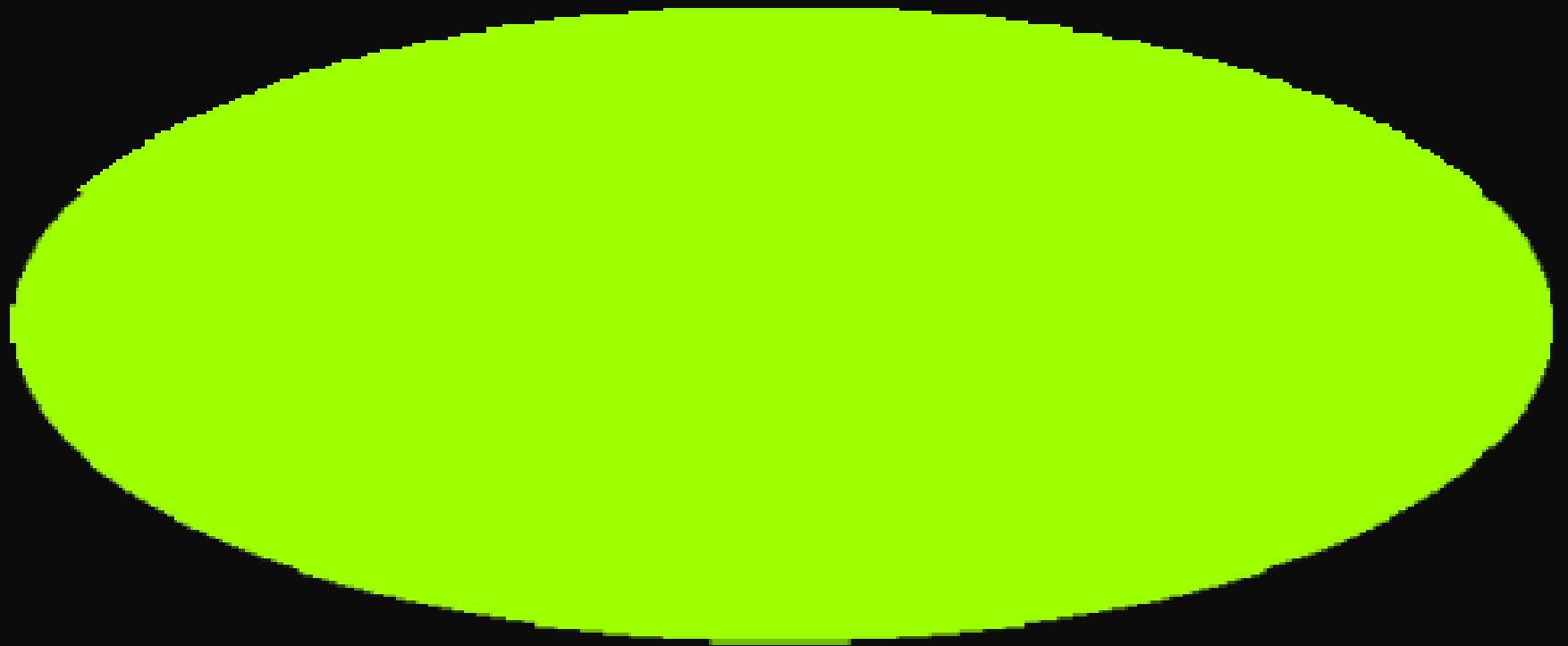
WMAP : Lanzado en 2001 (hasta agosto 2010)



Las medidas cosmológicas más precisas hasta el momento. Base firme de Λ CDM

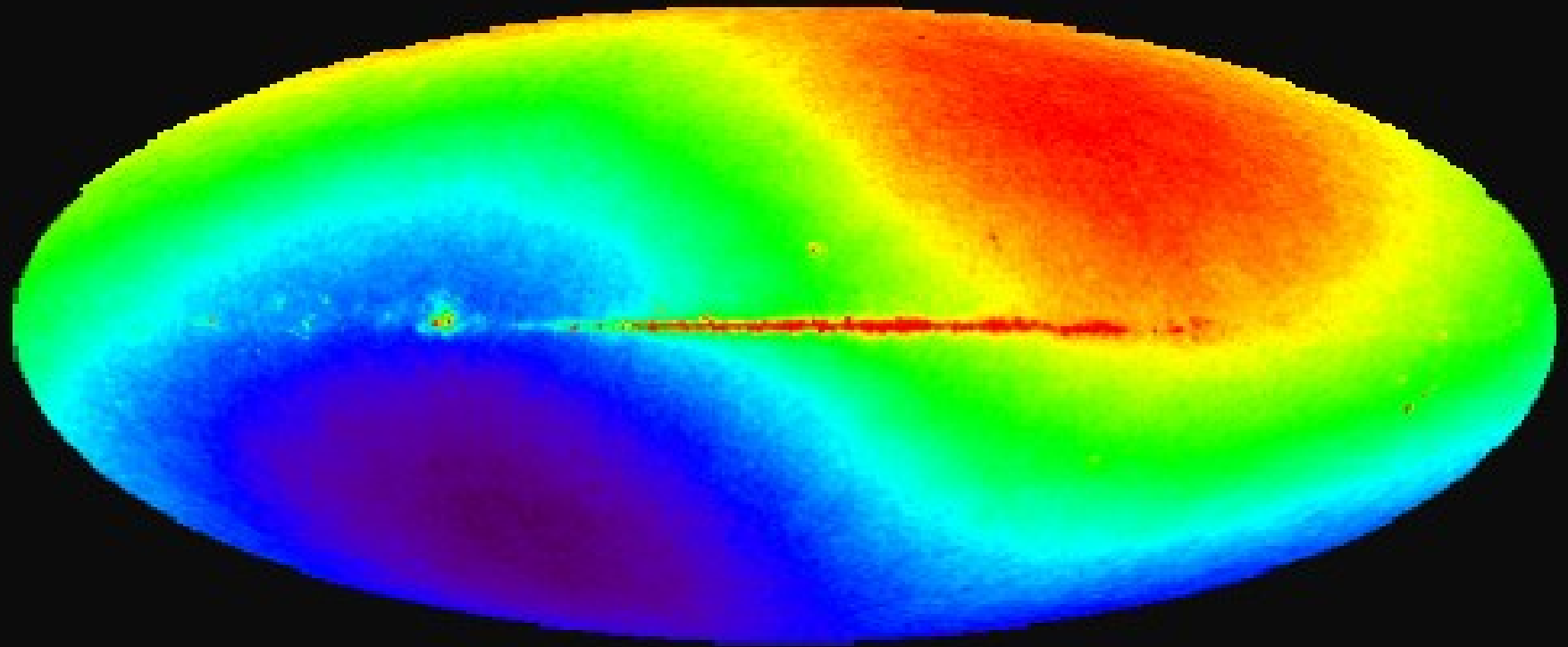


What WMAP saw



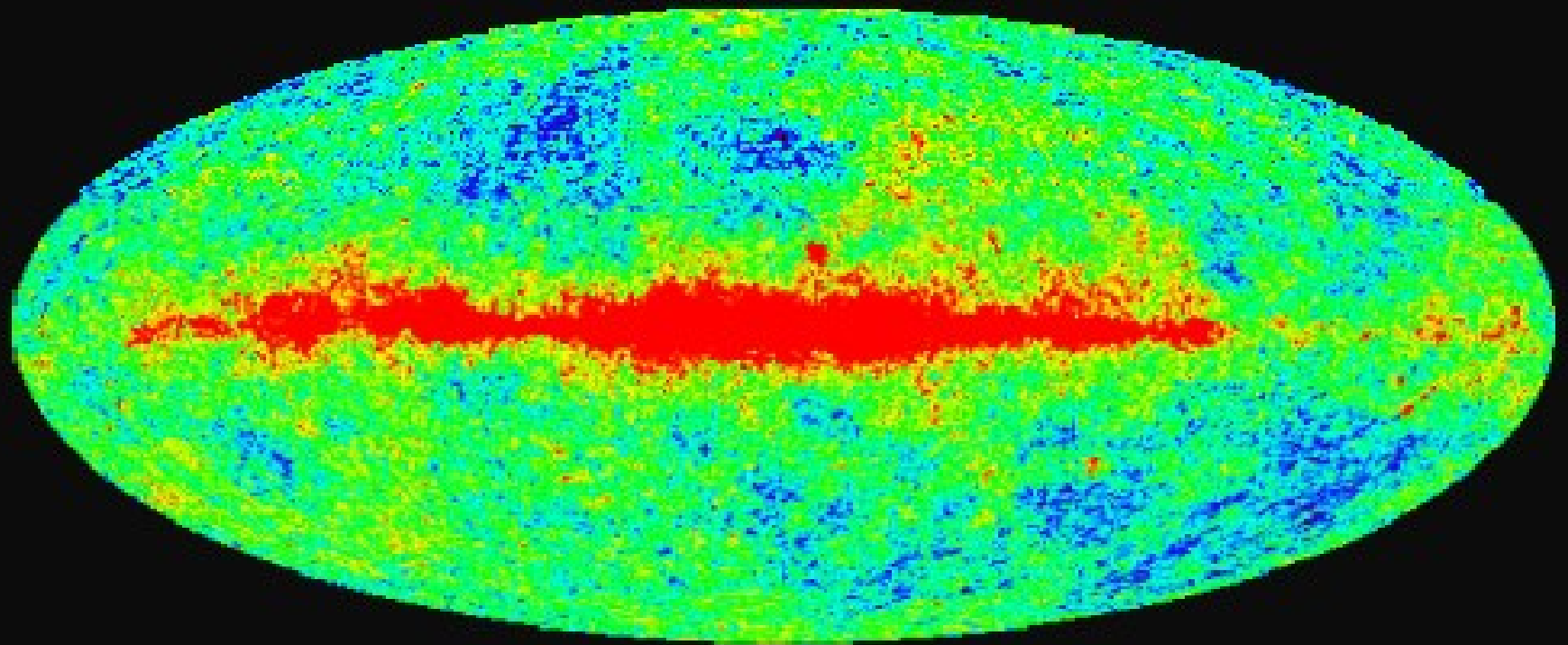
Graphic from WMAP website

Zooming the colour scale by
factor of 1000



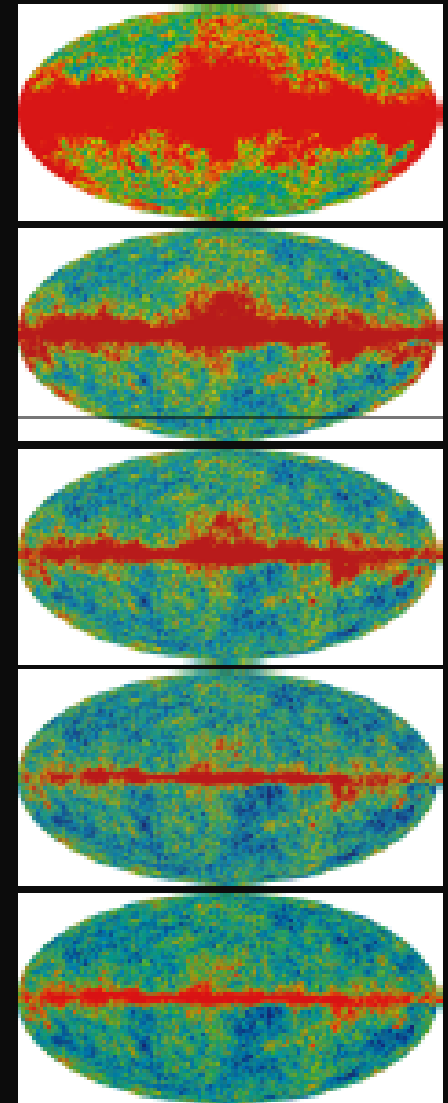
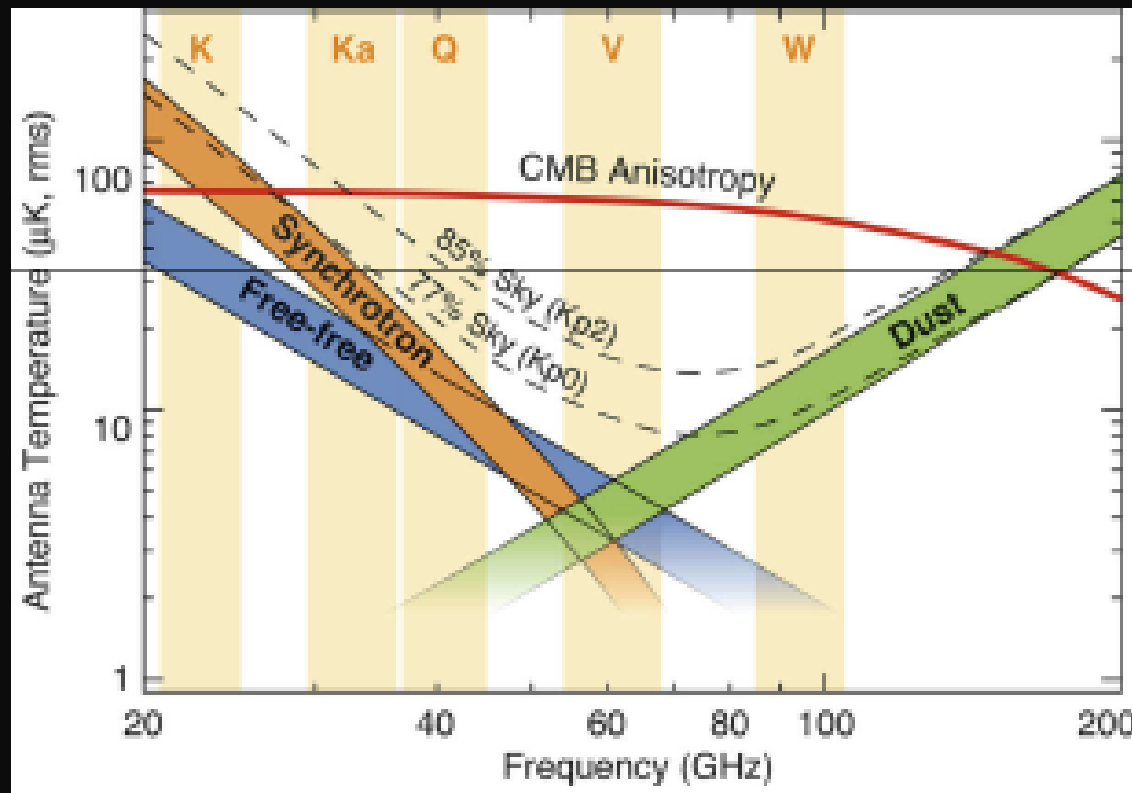
Graphic from WMAP website

Removing the effect of our motion through the galaxy

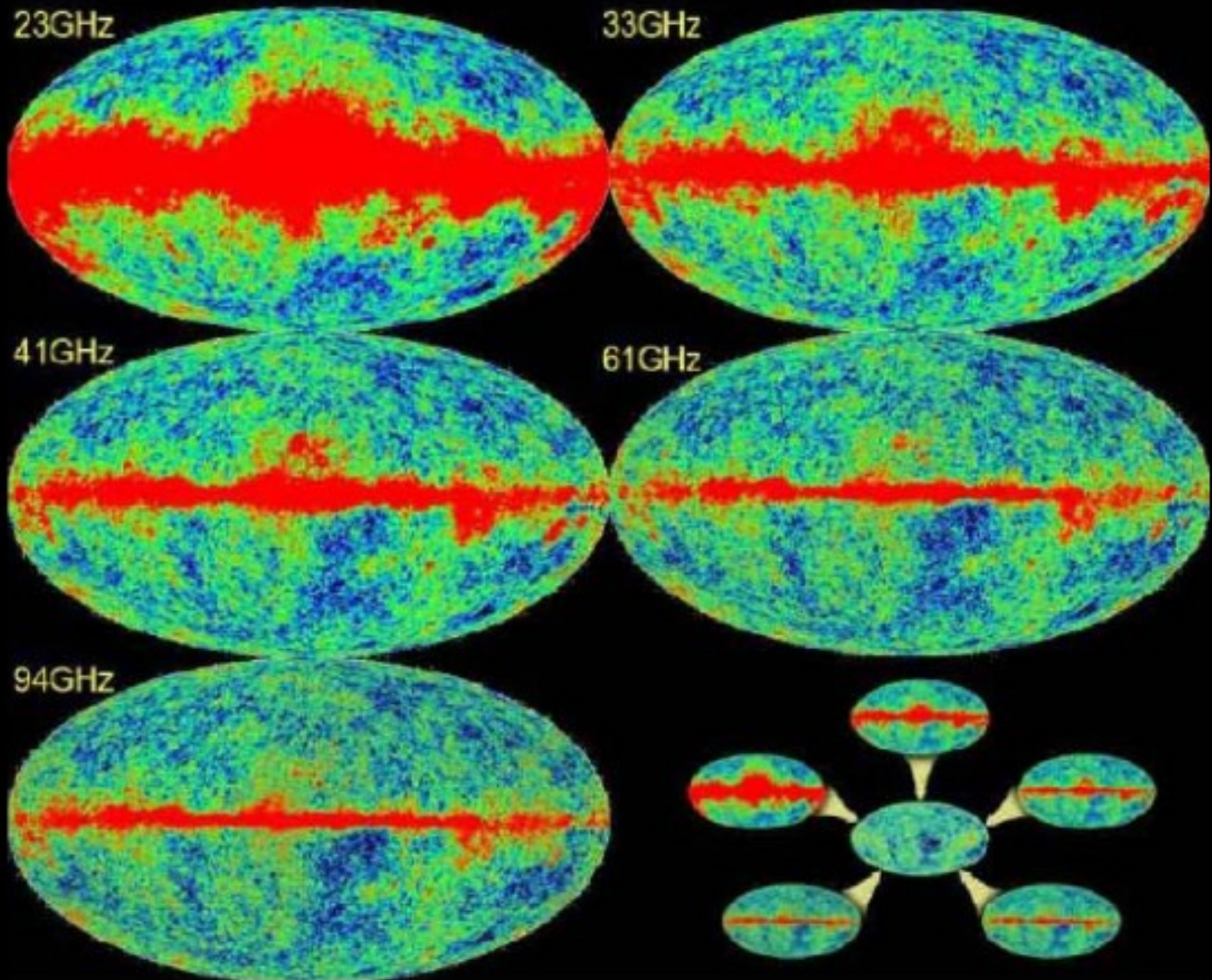


Graphic from WMAP website

Can remove the foregrounds (i.e. the galaxy) with frequency:

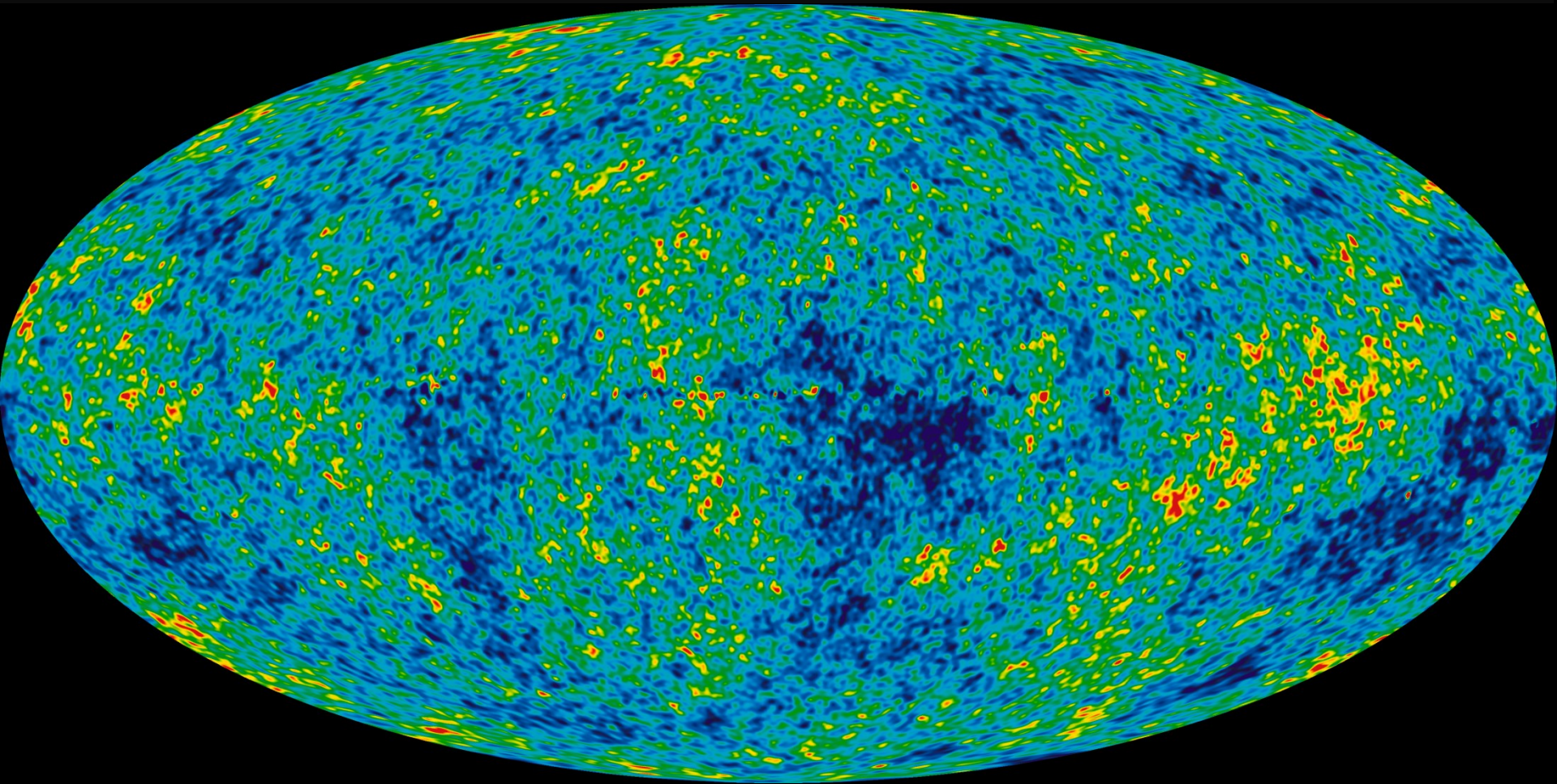


WMAP



After removing the contribution from dust in our galaxy

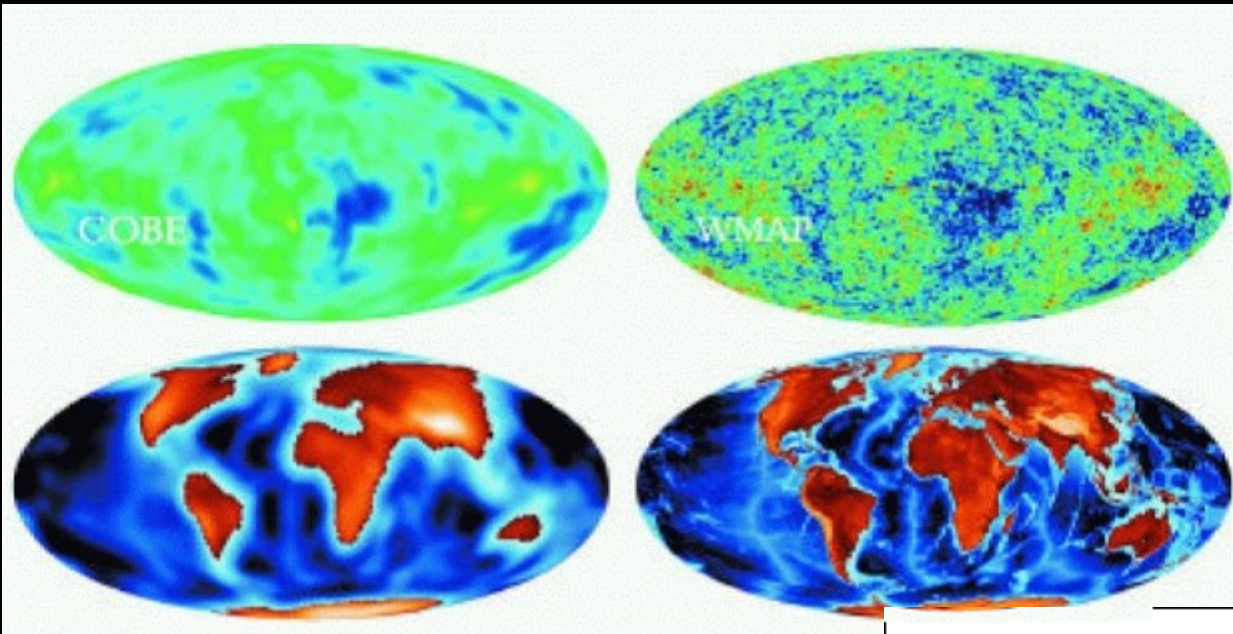
- Uniform to 1 in 100,000



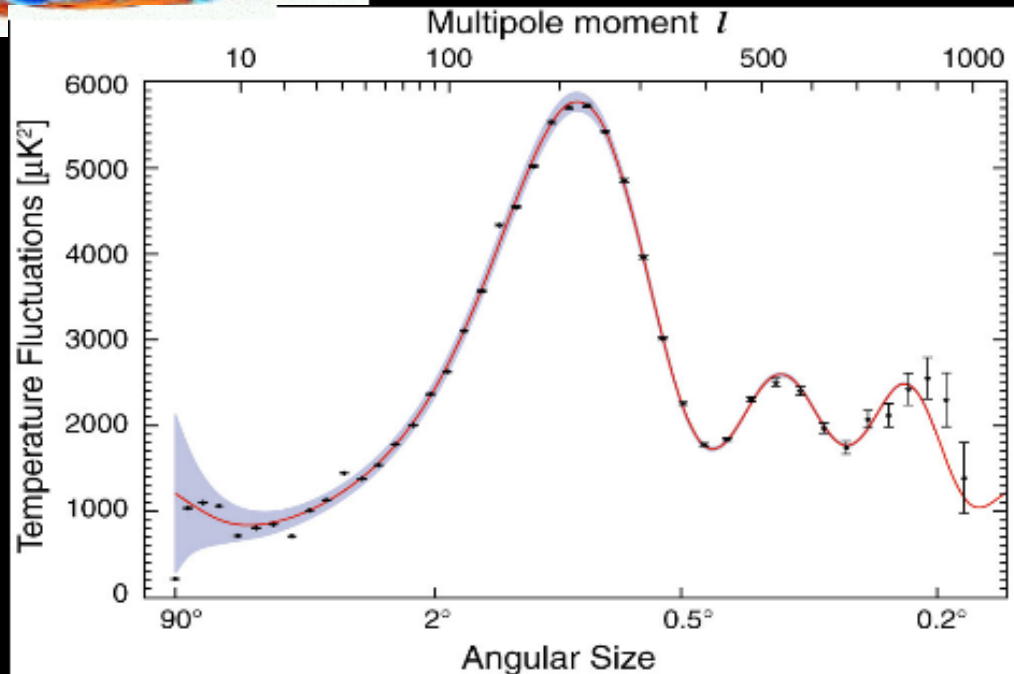
Graphic from WMAP website

WMAP

La resolución angular de WMAP era mucho mejor que la de COBE, y permite extraer más información de las fluctuaciones

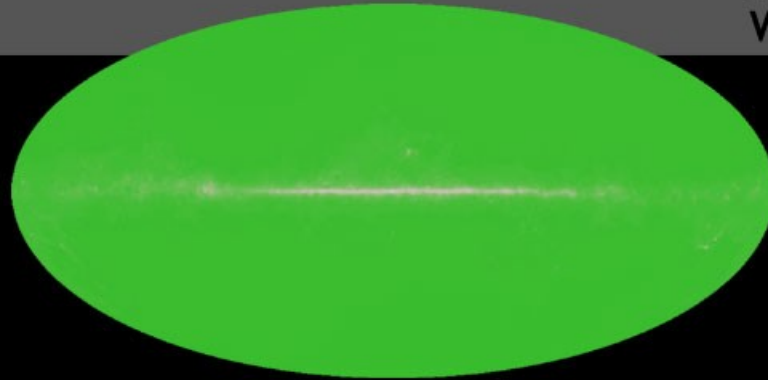
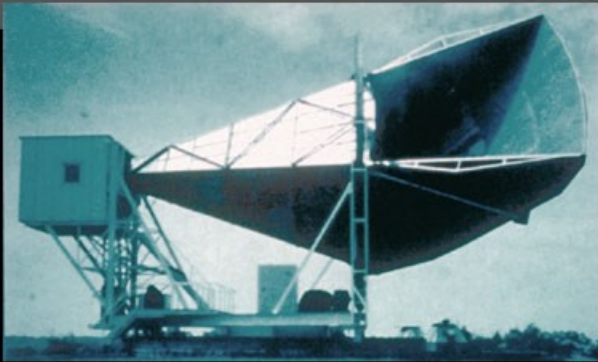


El espectro de potencias de la CMB medido por WMAP. La línea roja es Λ CDM y la banda gris el error en la medida



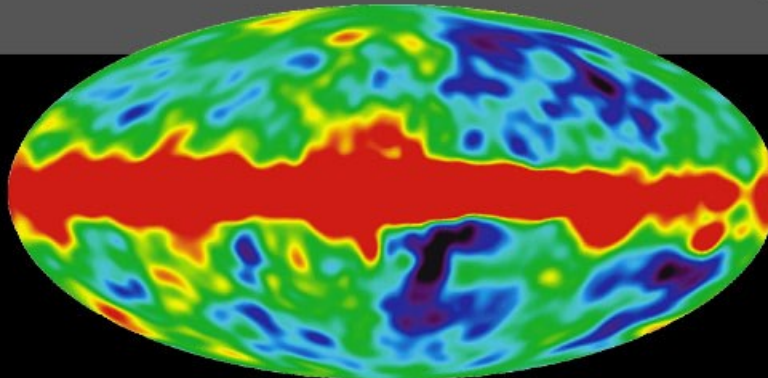
1965

Penzias and
Wilson



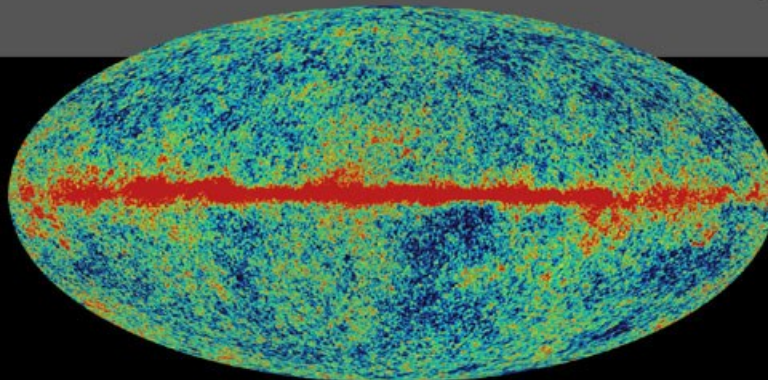
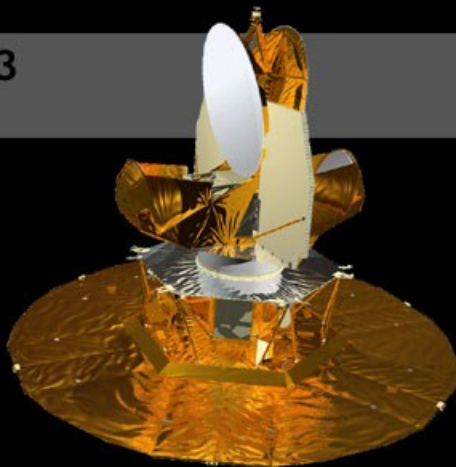
1992

COBE



2003

WMAP



Planck: El satélite más reciente

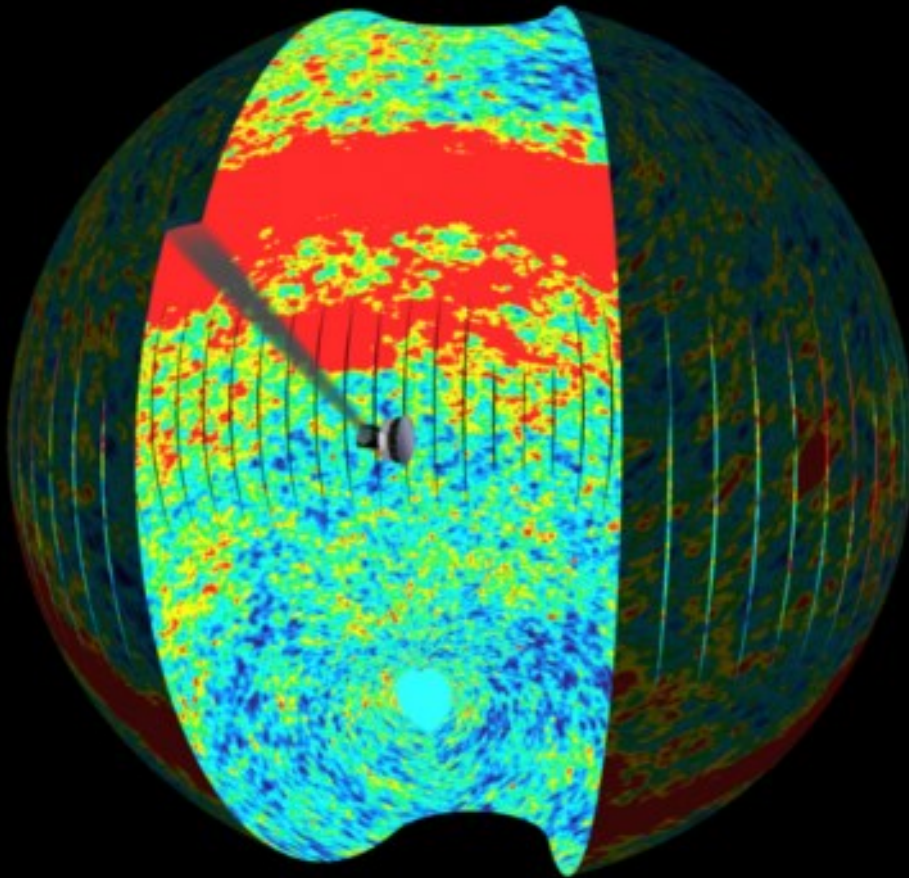
Mayo 2009 – octubre de 2013

Más preciso que WMAP

Capaz de medir la polarización

Llegó a L2 en julio de 2009.

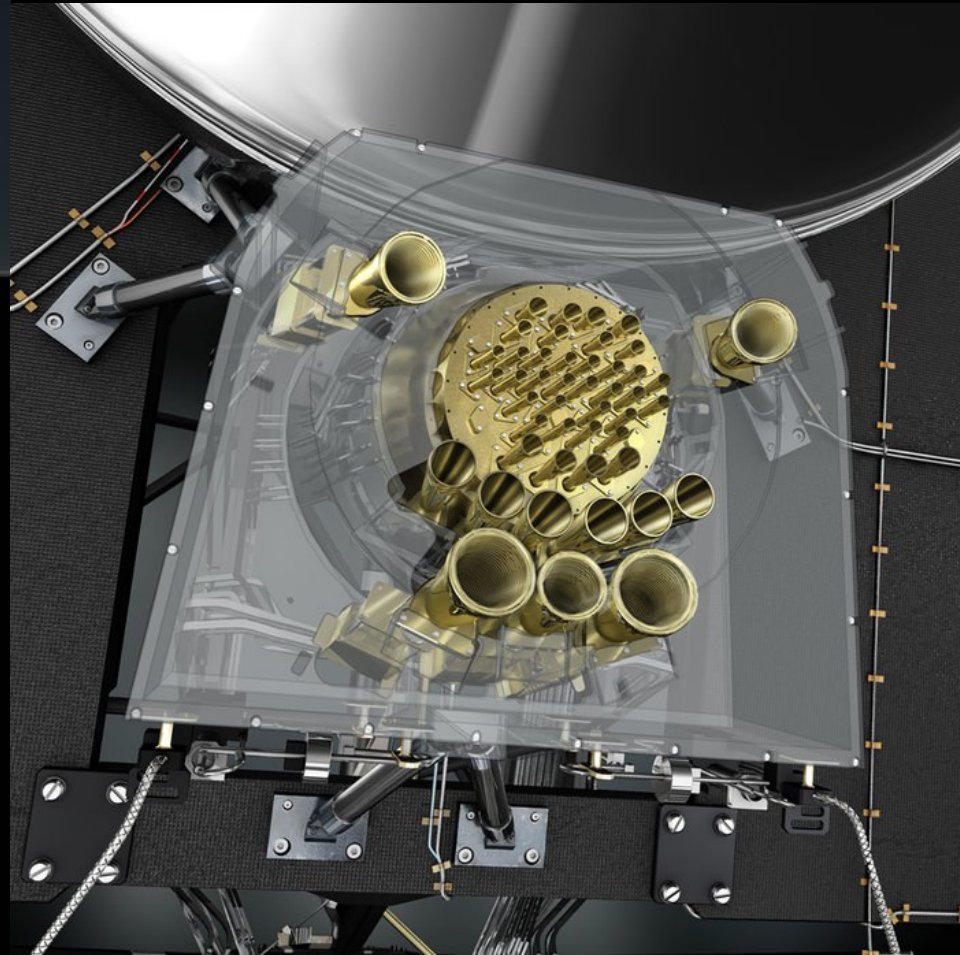
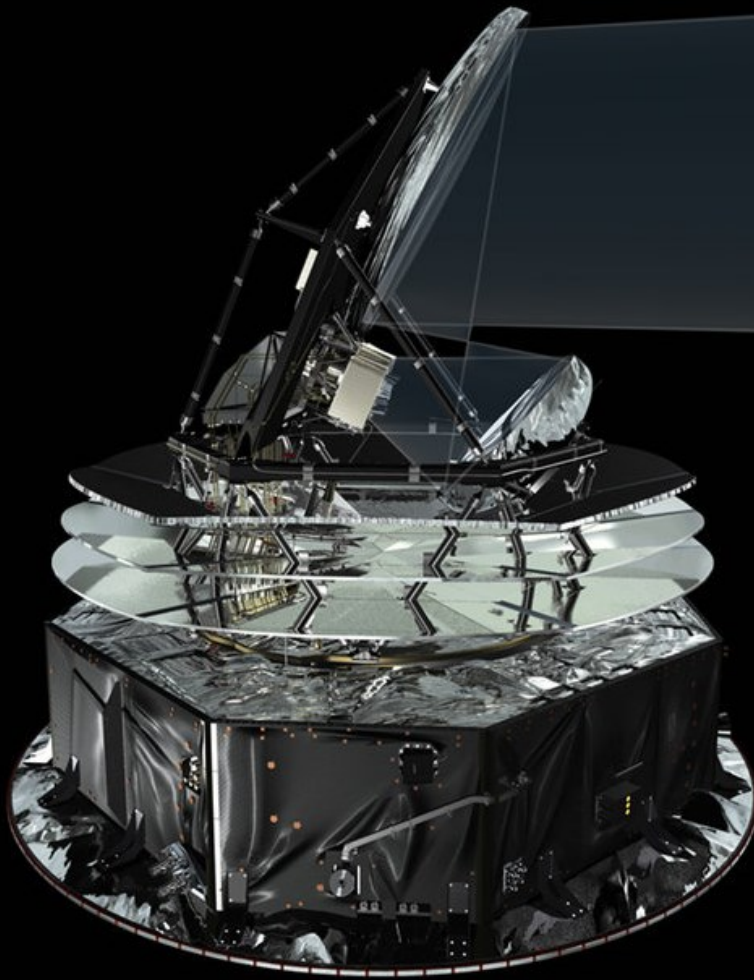
Todavía en fase de análisis de sus datos.

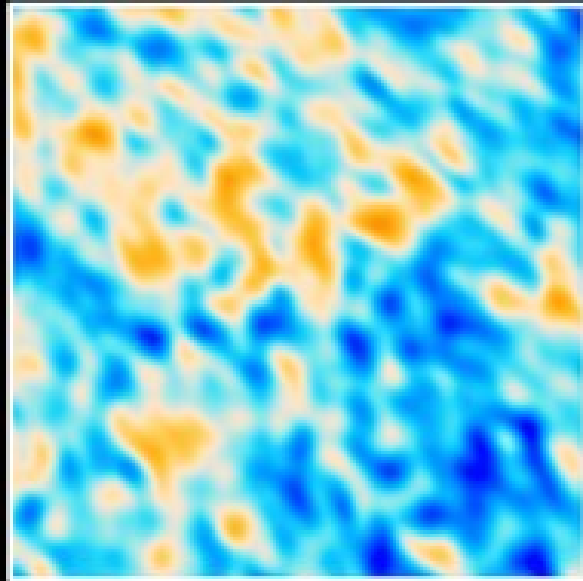
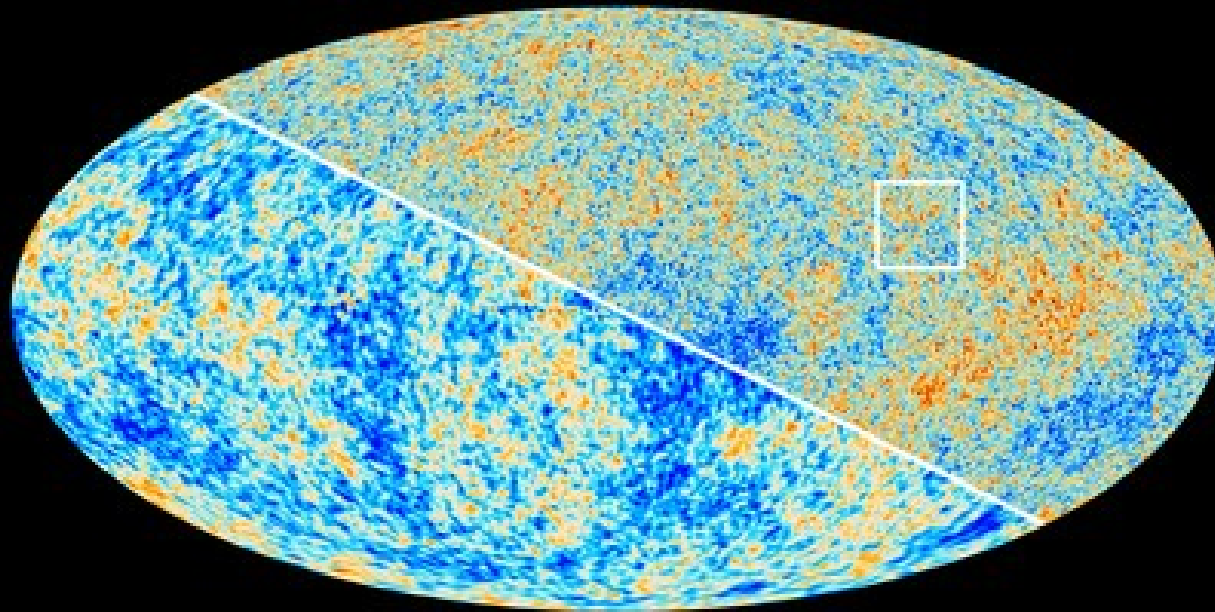


El telescopio Planck

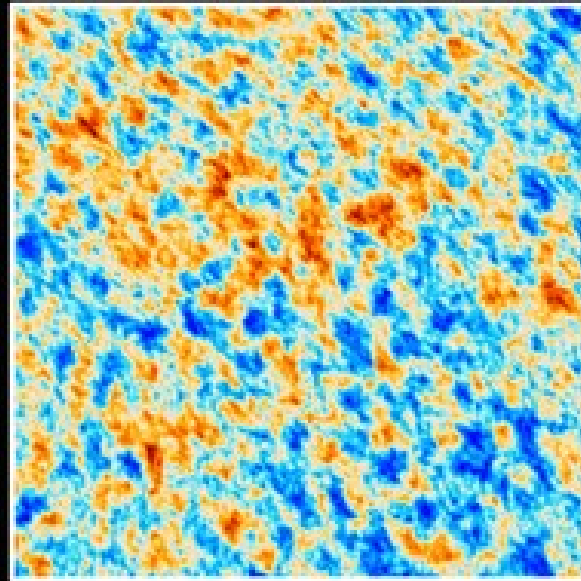
Espejo de 1.5 m de diámetro

2 instrumentos: Alta (> 100 GHz) y baja (< 100 GHz) frecuencia





WMAP



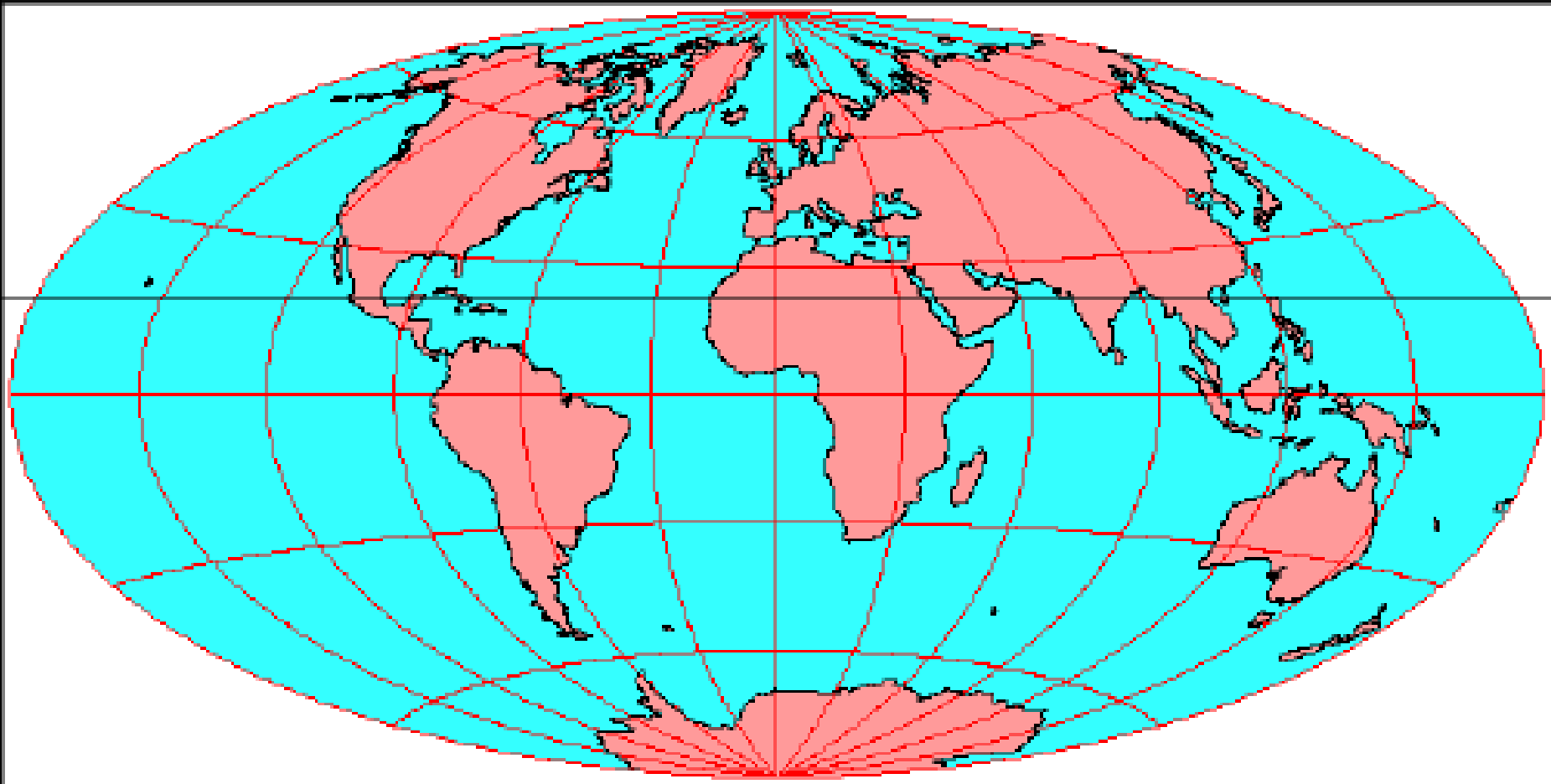
Planck

Primeros
resultados en
marzo de 2013
(los próximos
en diciembre
2014)

Confirmación
de alta
precisión de
 Λ CDM

¿Cómo se analizan los resultados?

Mapa del cielo completo en proyección Aitoff (elipse)



Propiedades estadísticas

Desarrollo en armónicos esféricos (transformada de Fourier en la esfera)

Cuantifica el agrupamiento en diferentes escalas

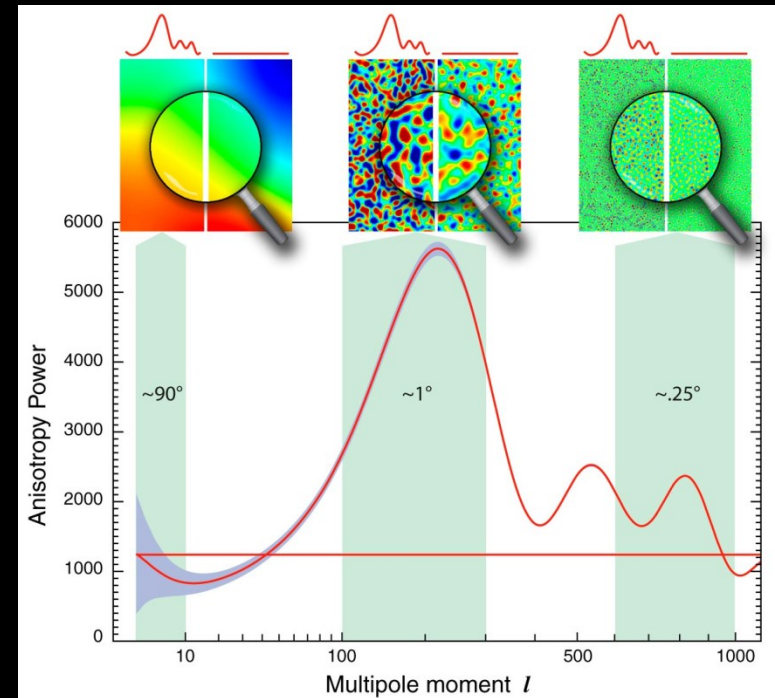
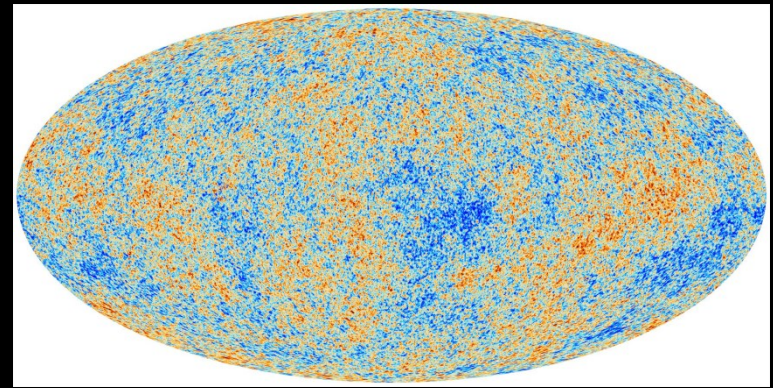
$$T_0 = 2.726\text{K}$$

$$\Delta T(\theta, \phi) = T(\theta, \phi) - T_0$$

$$\frac{\delta T}{T_0}(\theta, \phi) = \sum a_{\ell m} Y_{\ell m}(\theta, \phi)$$

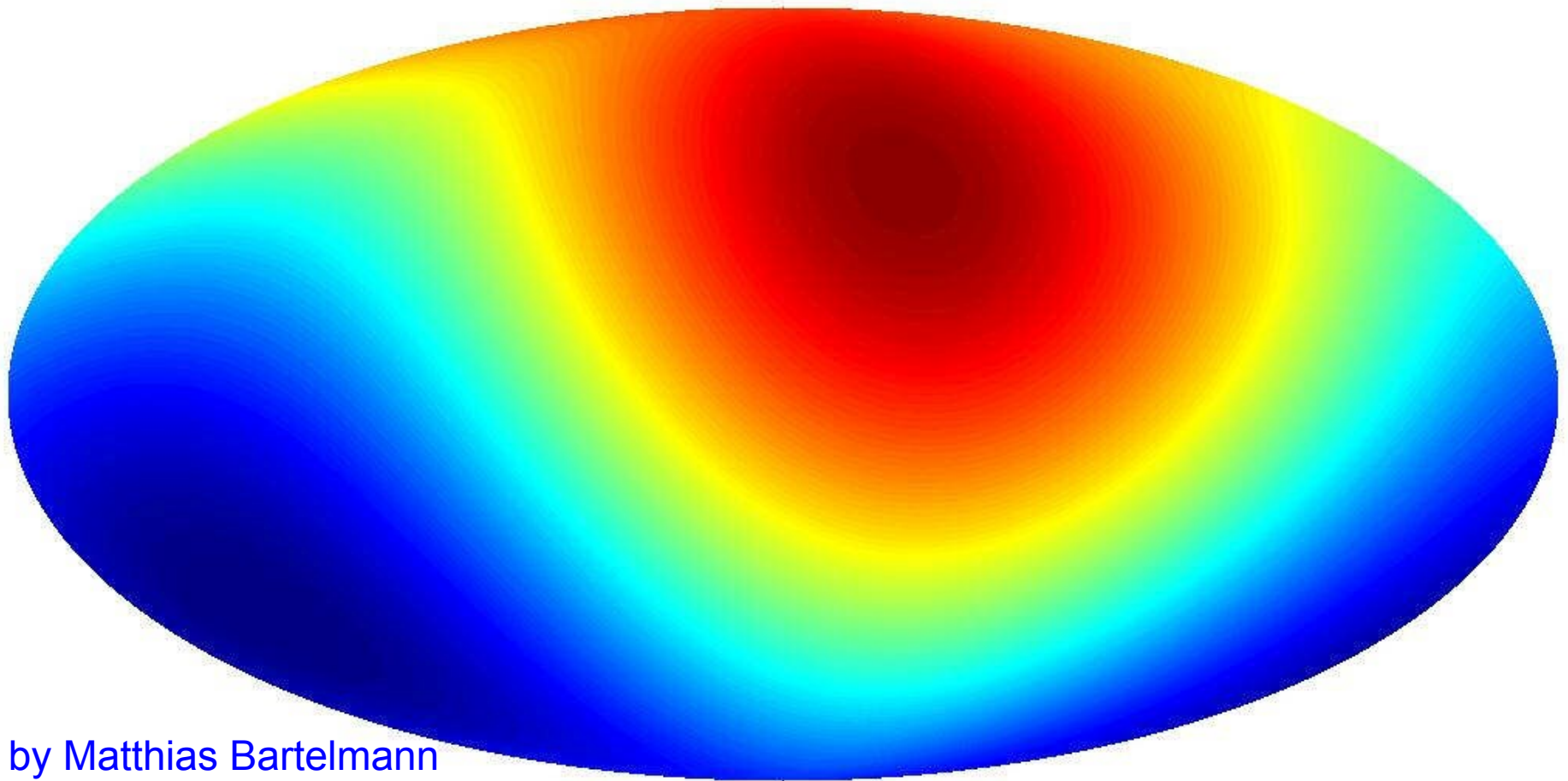
$$a_{\ell m} = \int Y_{\ell m}^*(\theta, \phi) \frac{\delta T}{T_0}(\theta, \phi) d\Omega$$

$$C_\ell \equiv \langle |a_{\ell m}|^2 \rangle = \frac{1}{2\ell + 1} \sum_m \langle |a_{\ell m}|^2 \rangle$$



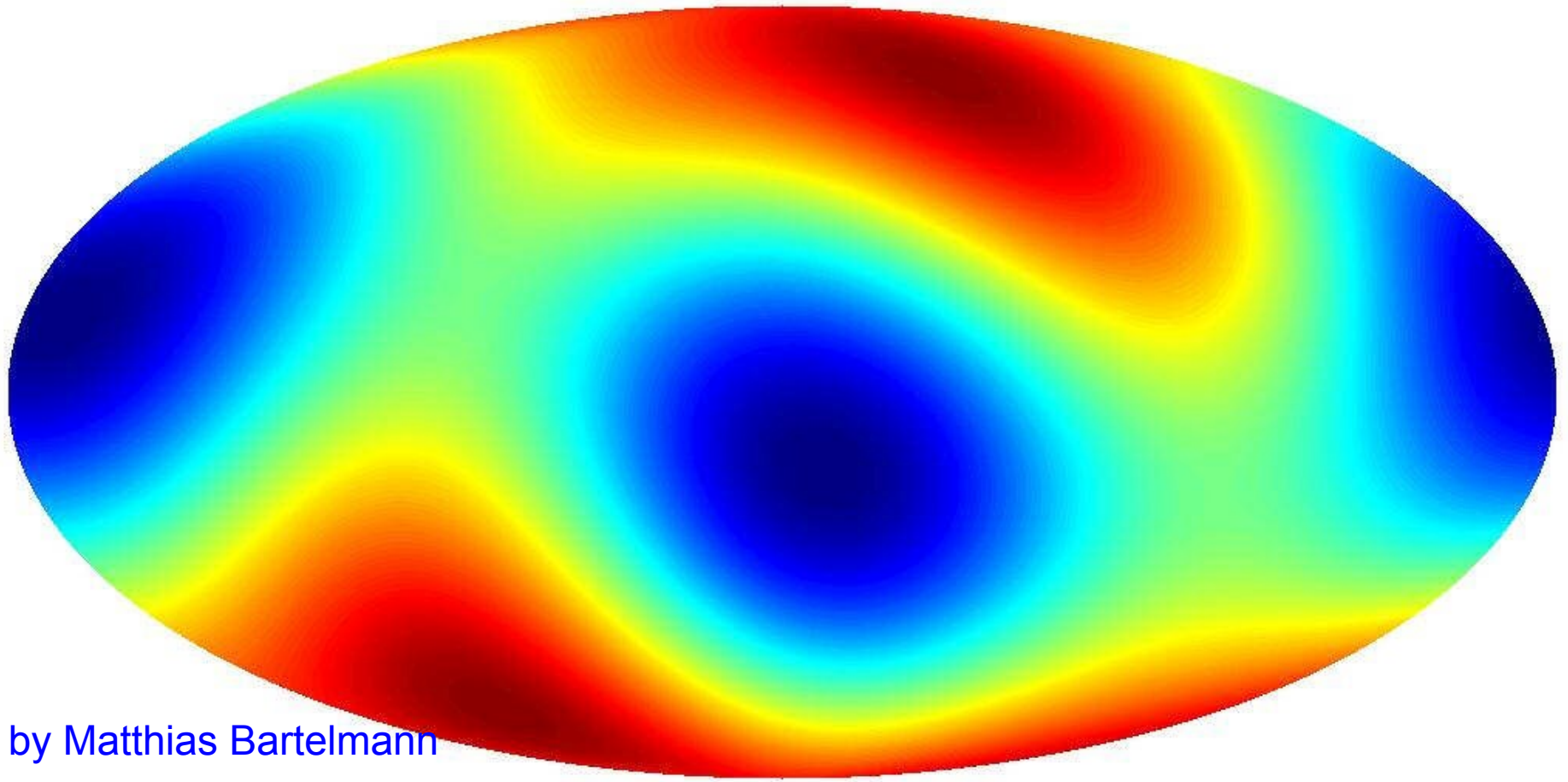
Armónicos esféricos:

Equivalente esférico de las ondas sinusoidales
 $l=1$



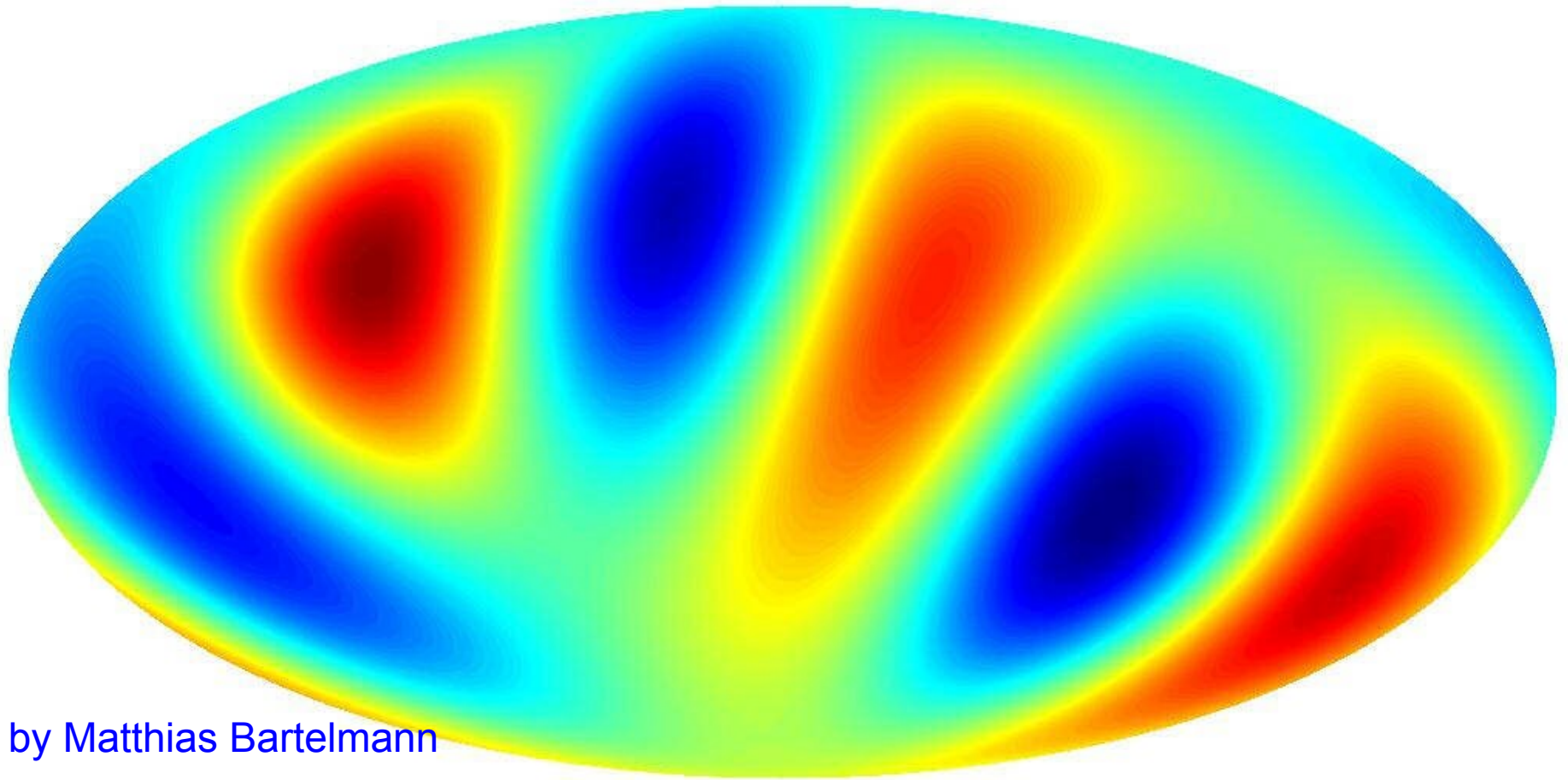
by Matthias Bartelmann

$$l=2$$



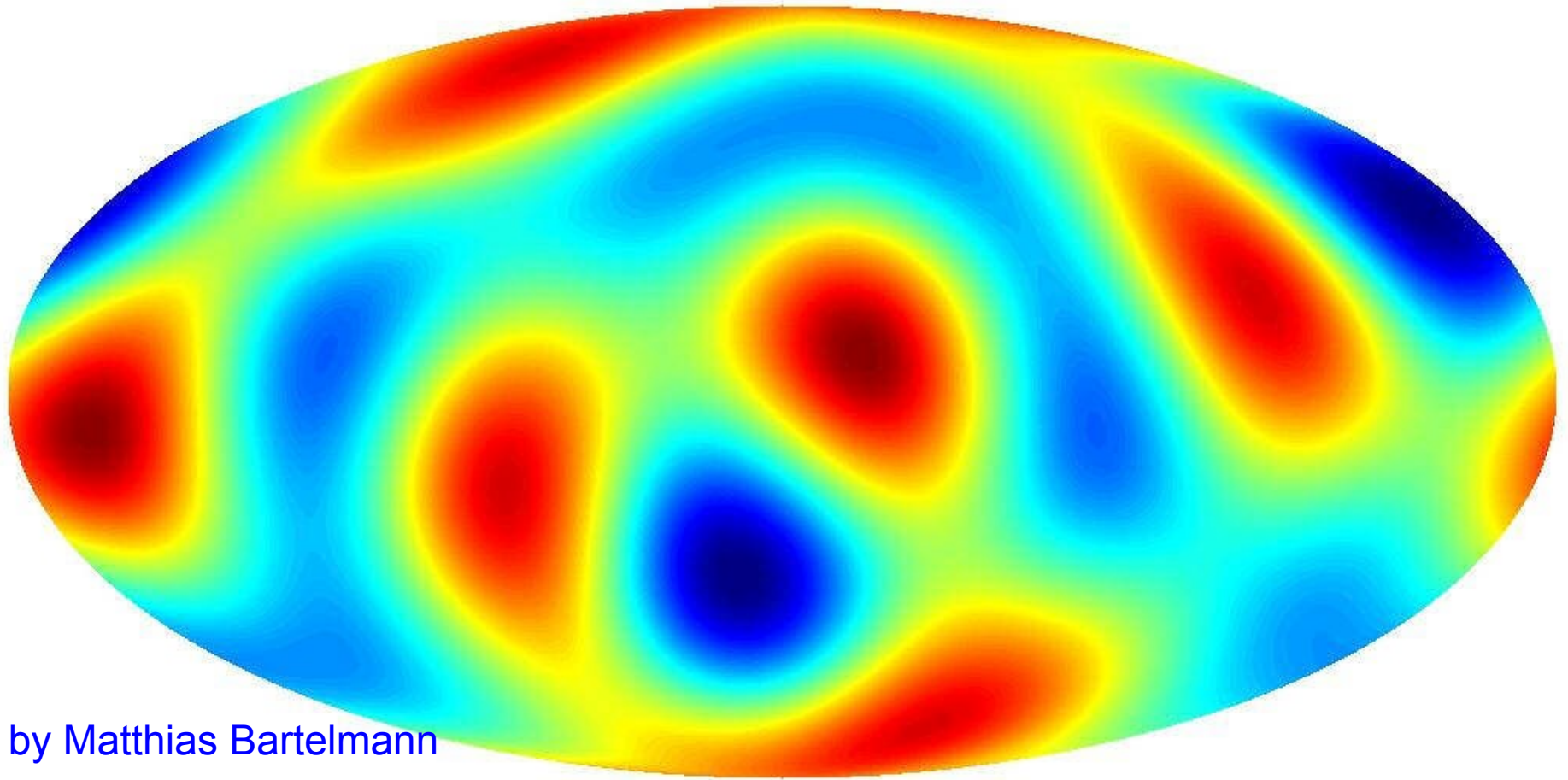
by Matthias Bartelmann

$l=3$



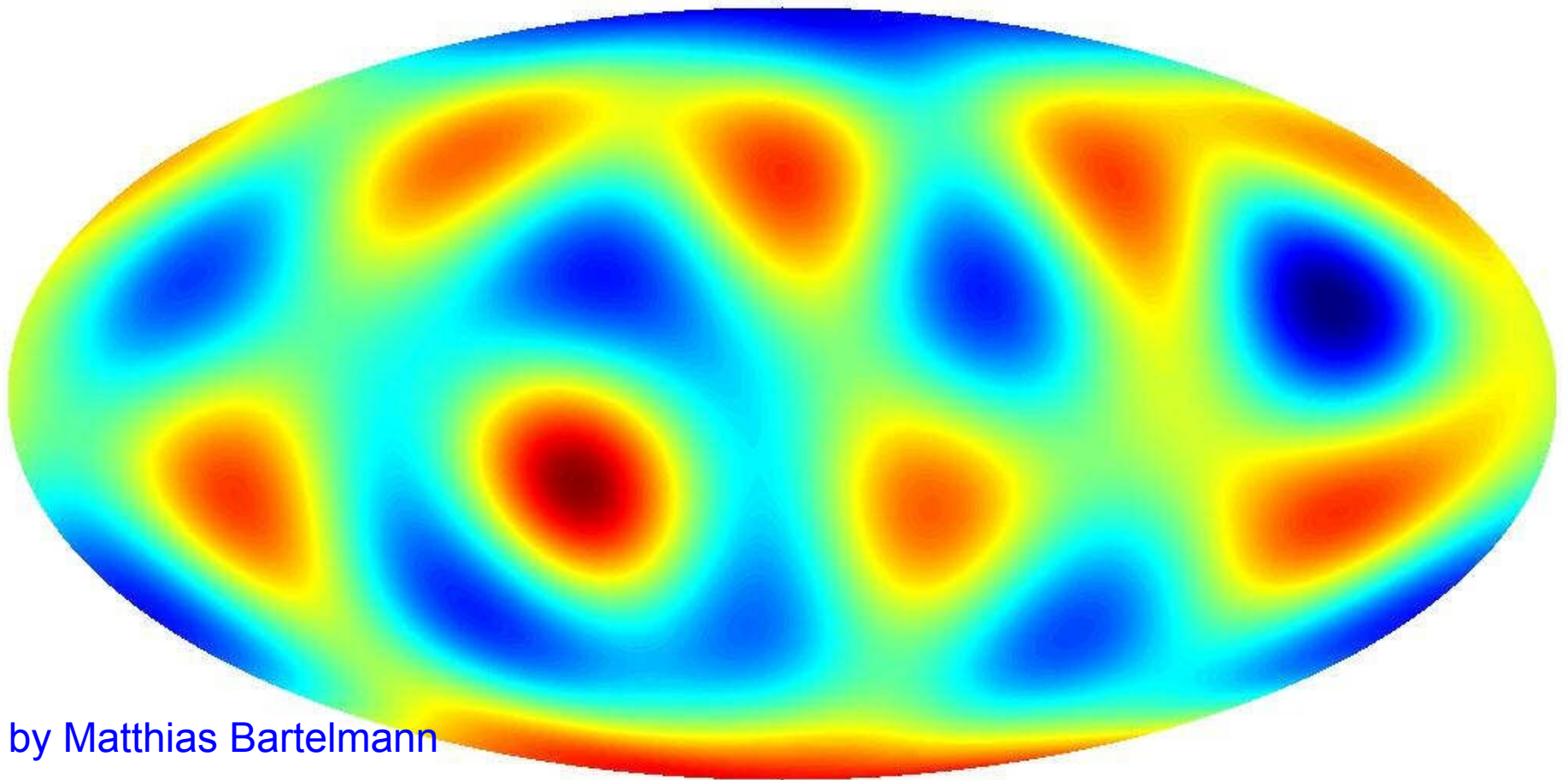
by Matthias Bartelmann

$l=4$



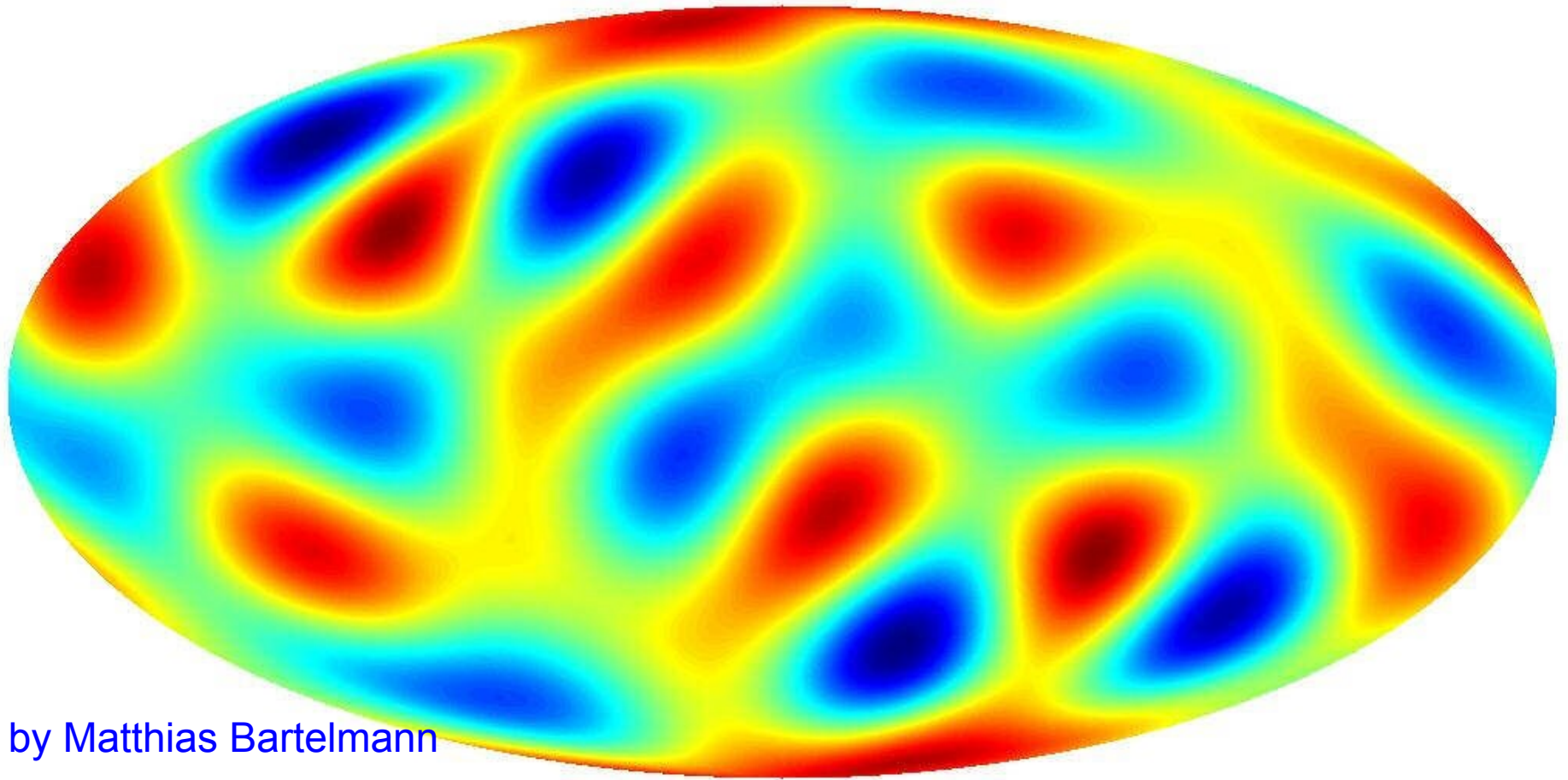
by Matthias Bartelmann

$l=5$



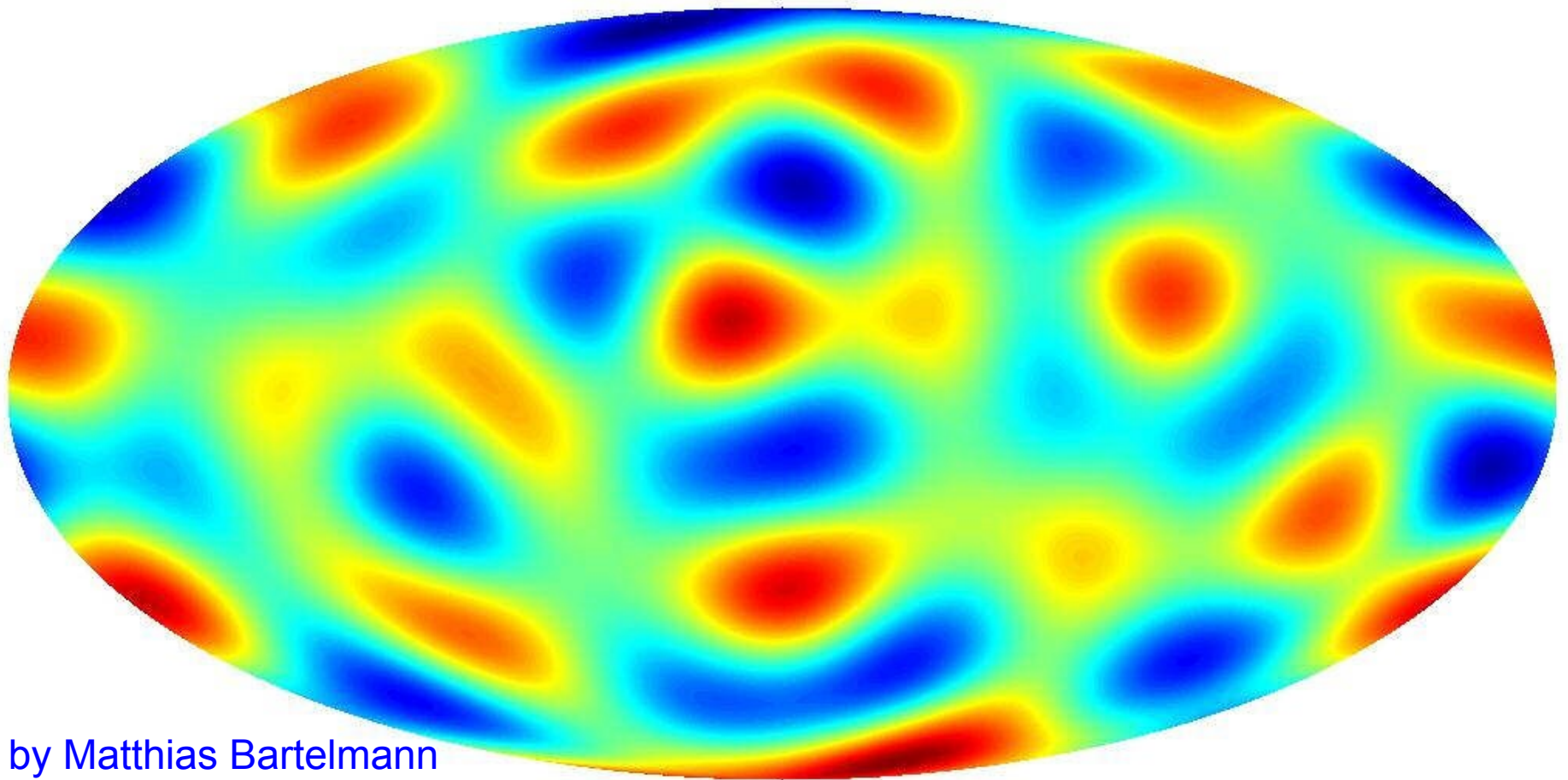
by Matthias Bartelmann

$l=6$



by Matthias Bartelmann

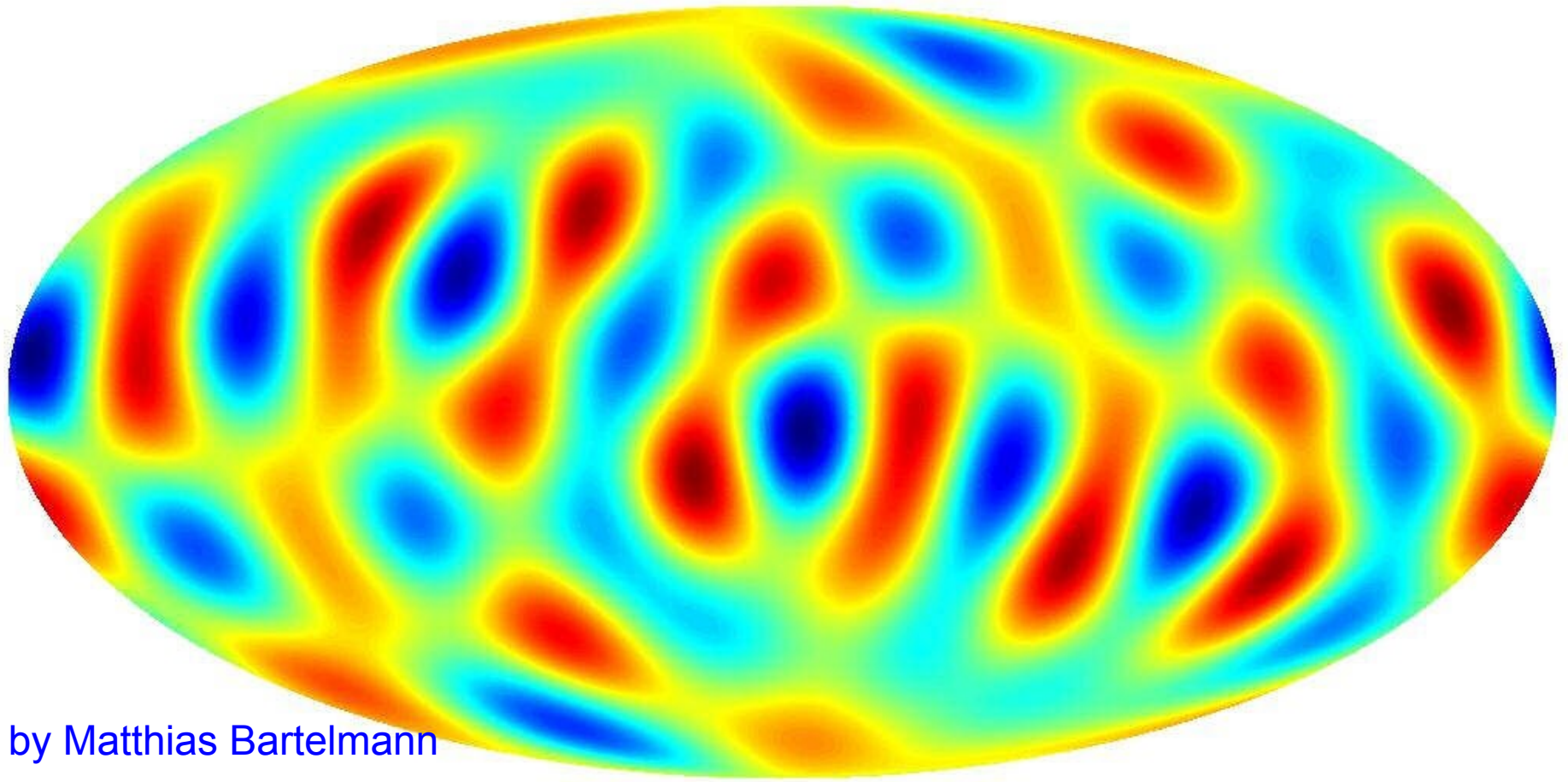
$$l=7$$



by Matthias Bartelmann

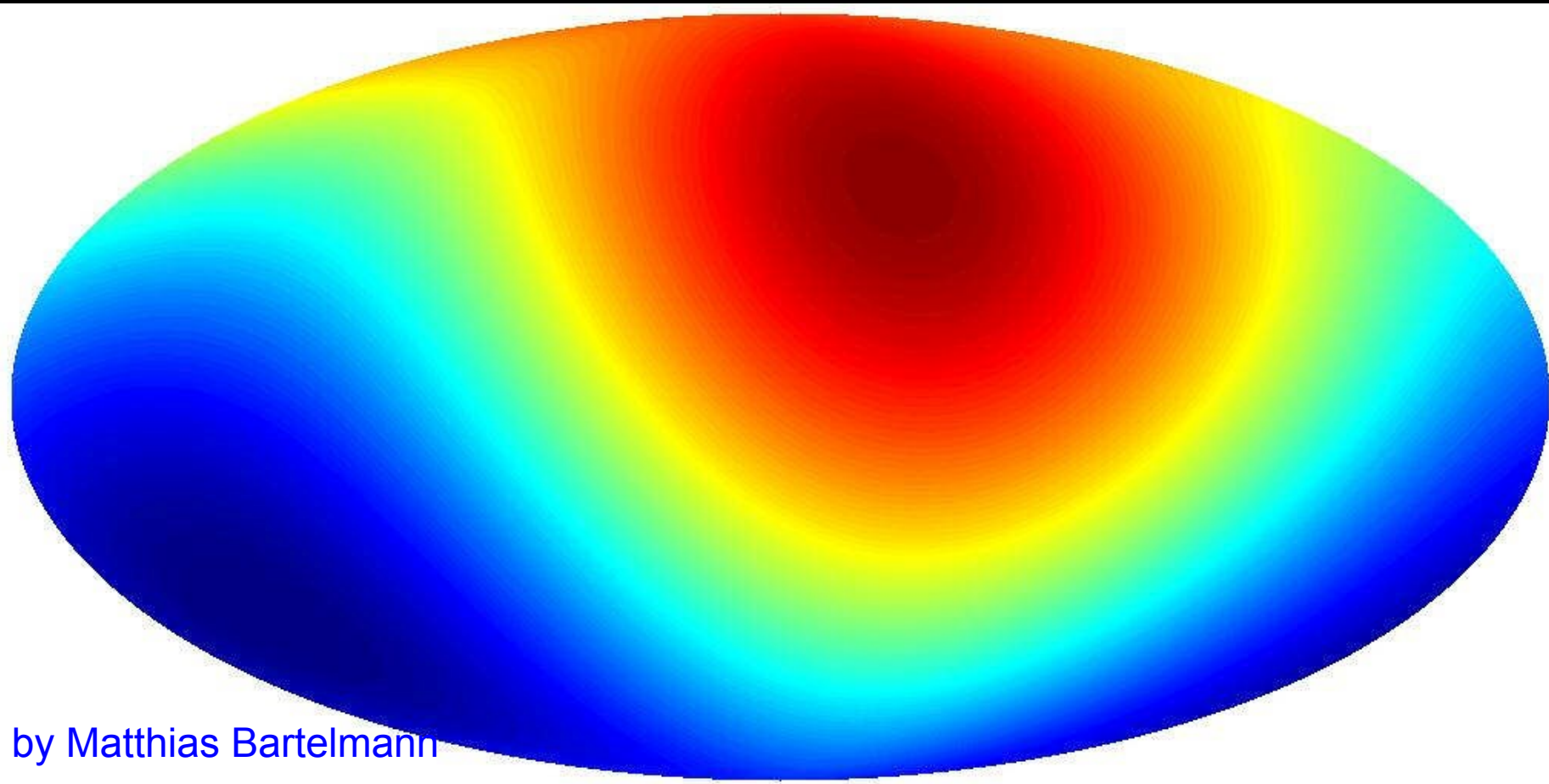
Mayor l significa escalas menores; $l \sim \pi/\theta$

$l=8$



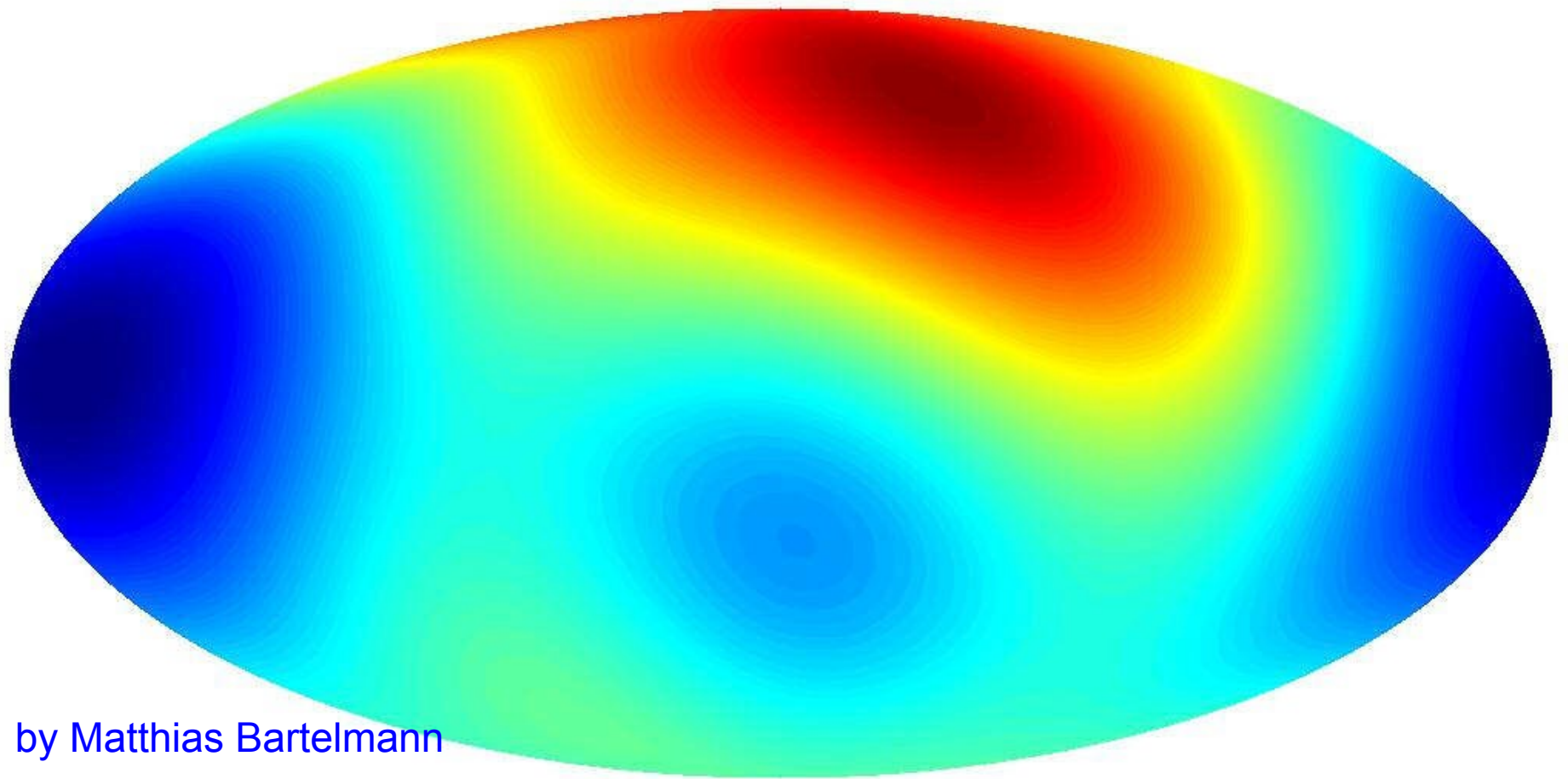
by Matthias Bartelmann

Reconstrucción del mapa $l=1$



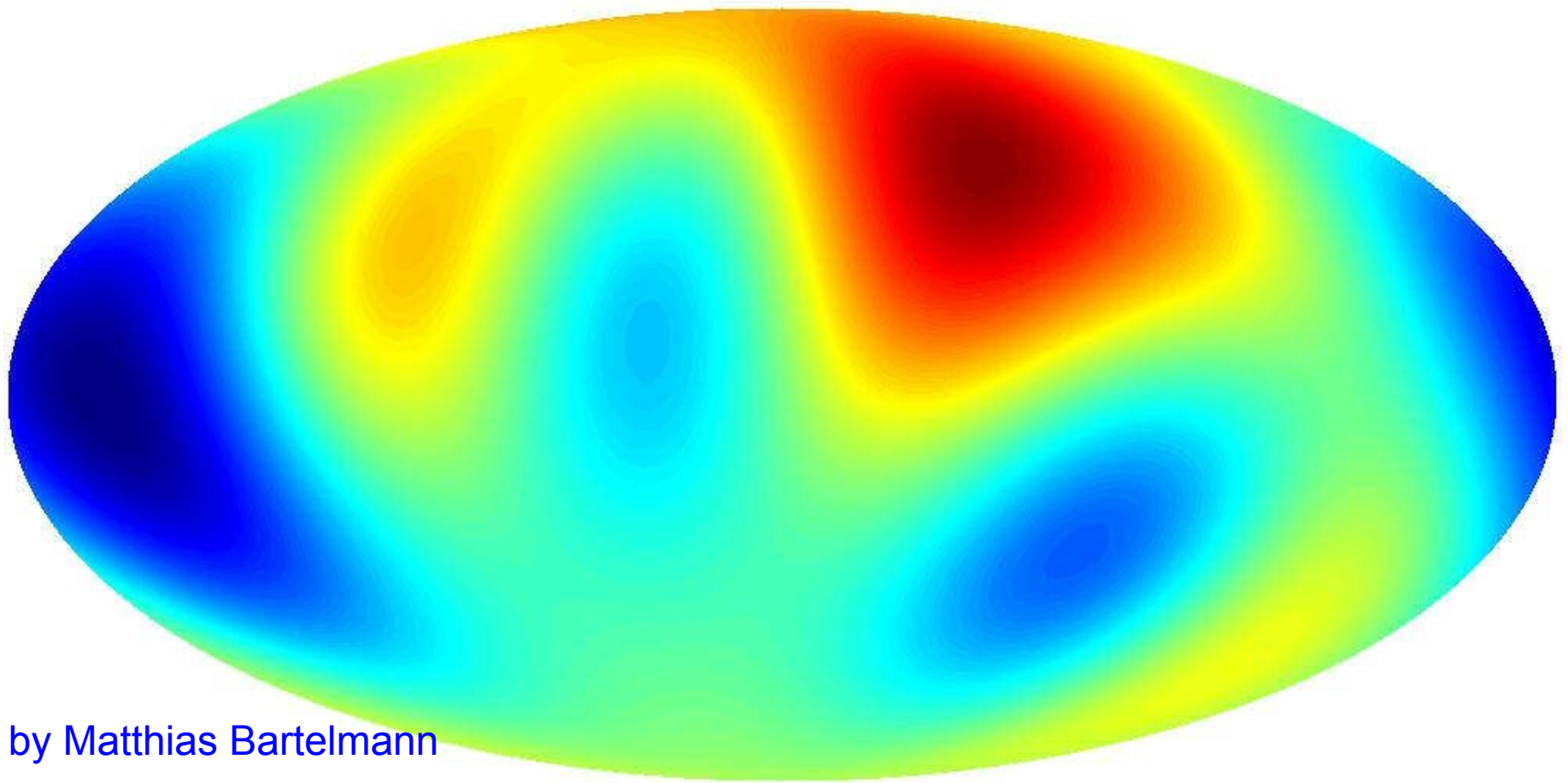
by Matthias Bartelmann

$$l=1 + l=2$$



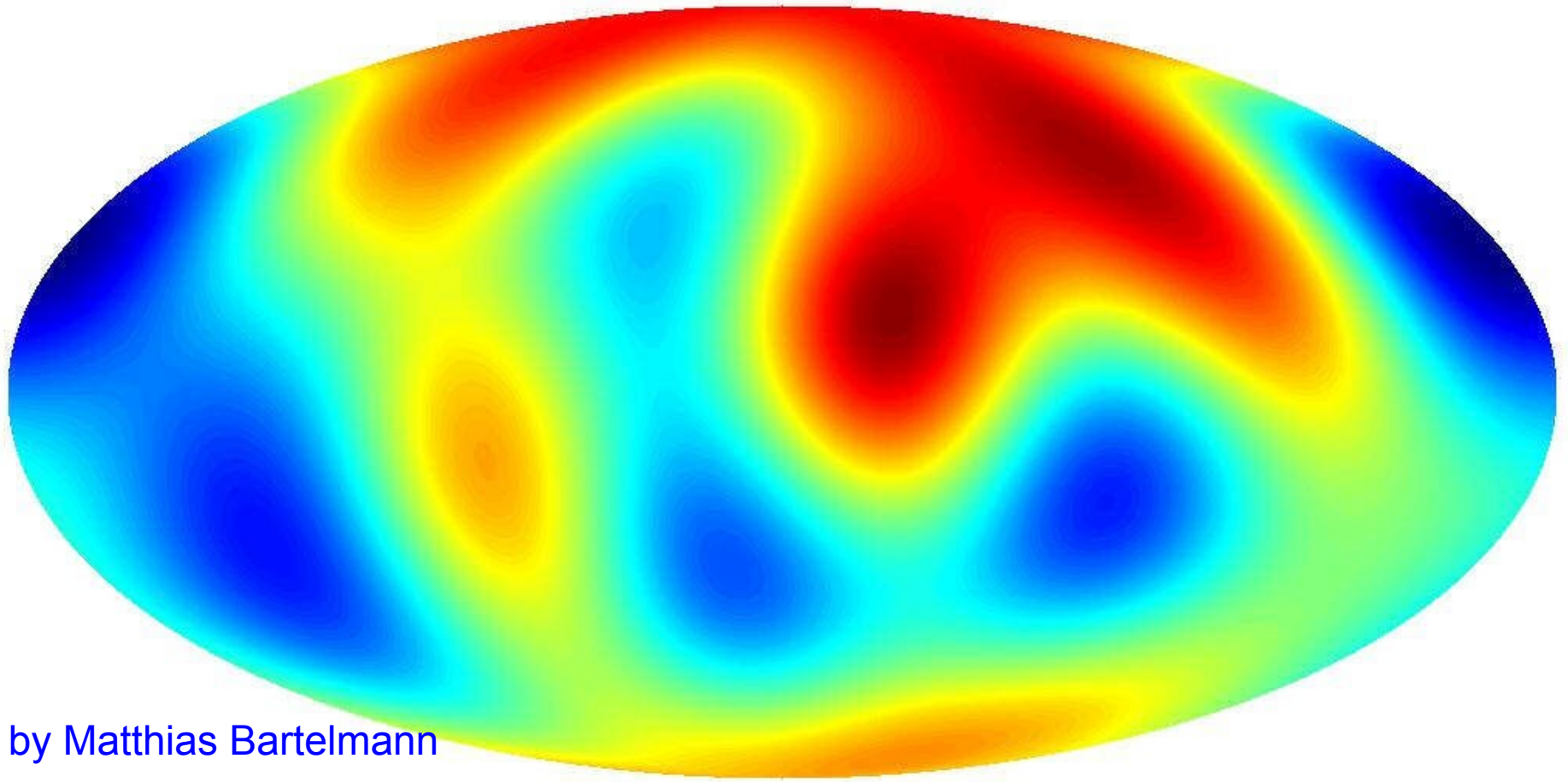
by Matthias Bartelmann

$$l = 1 - 3$$



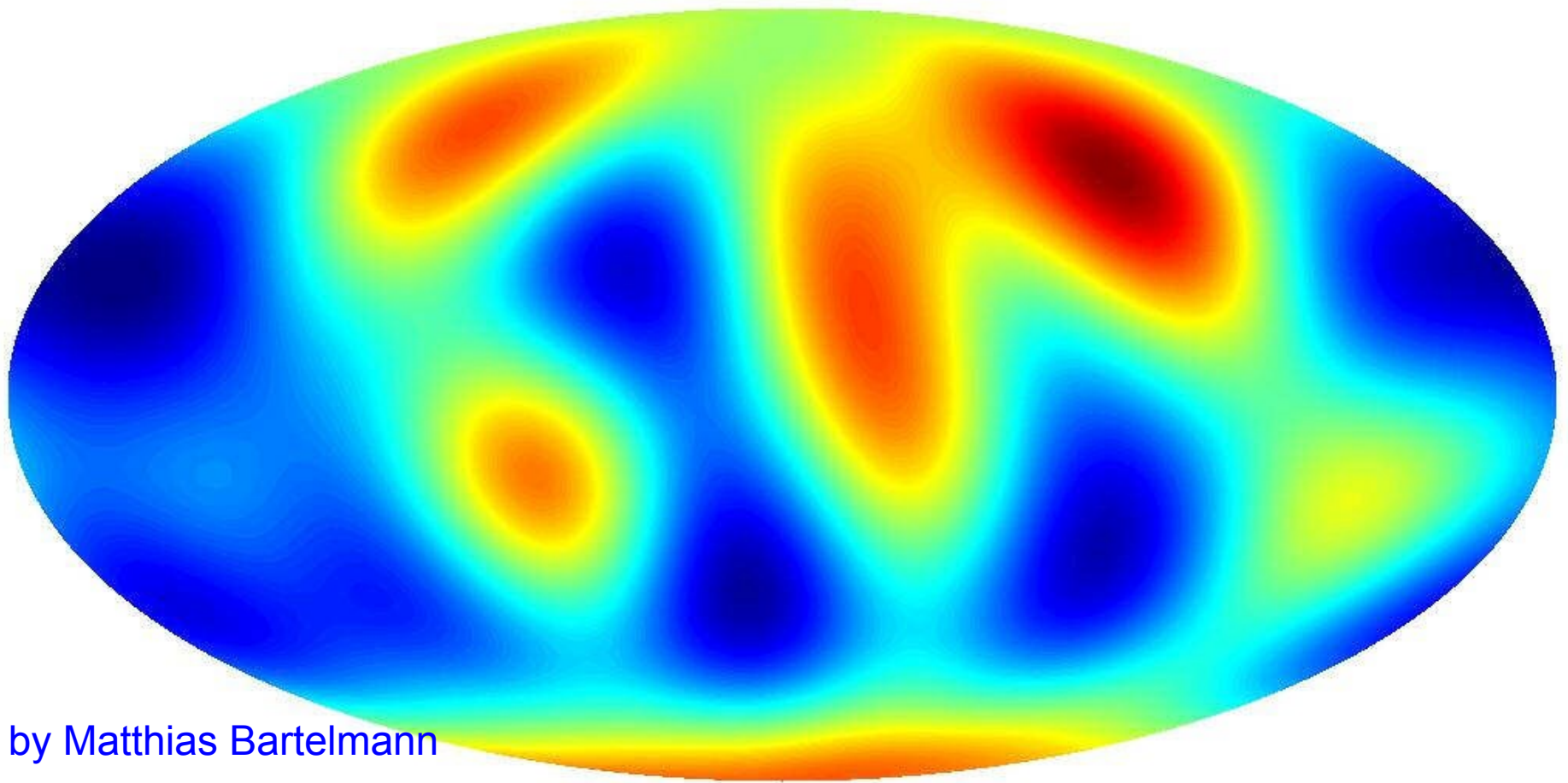
by Matthias Bartelmann

$$l = 1 - 4$$



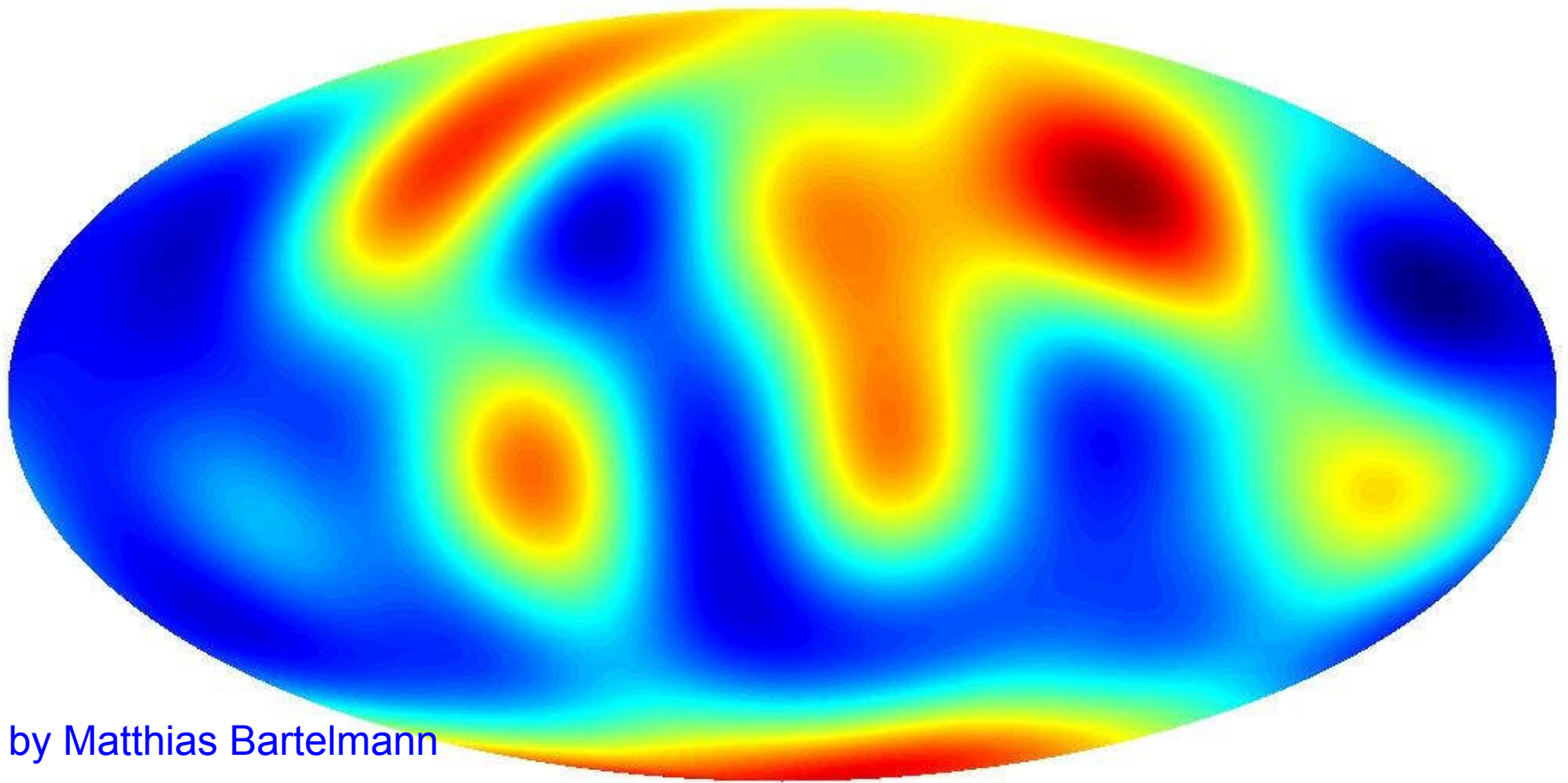
by Matthias Bartelmann

$l = 1 - 5$



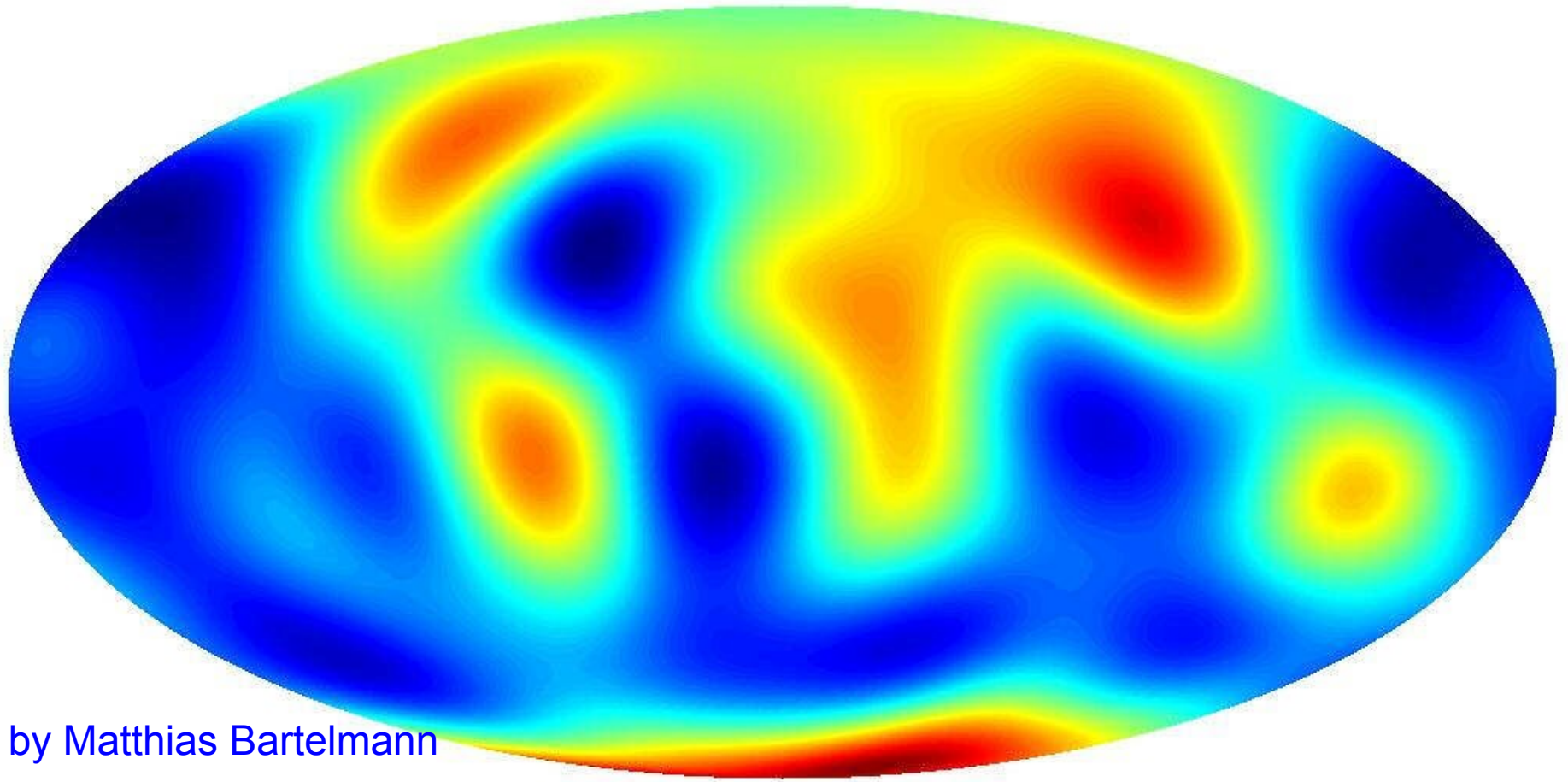
by Matthias Bartelmann

$l = 1 - 6$



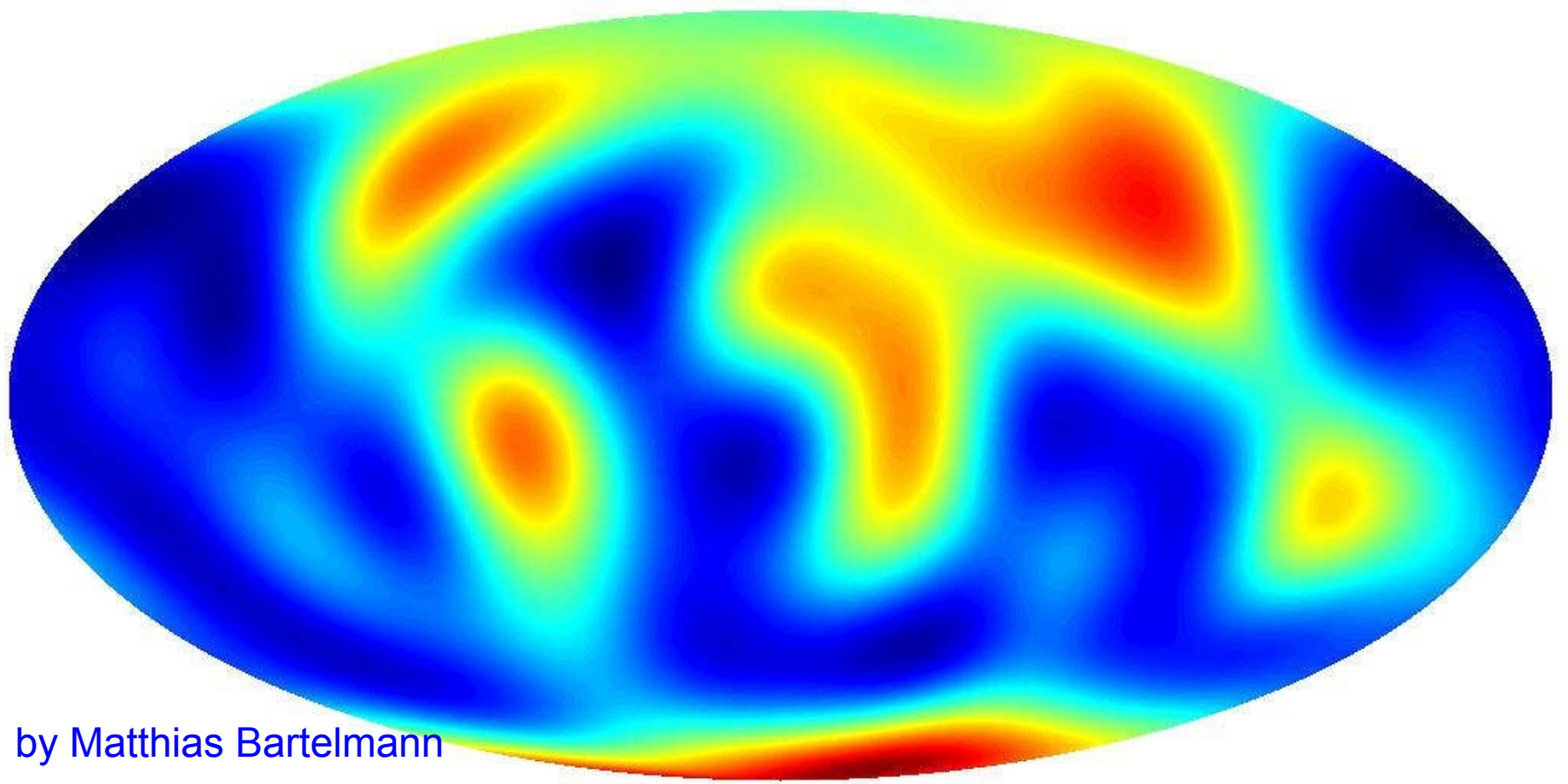
by Matthias Bartelmann

$$l = 1 - 7$$



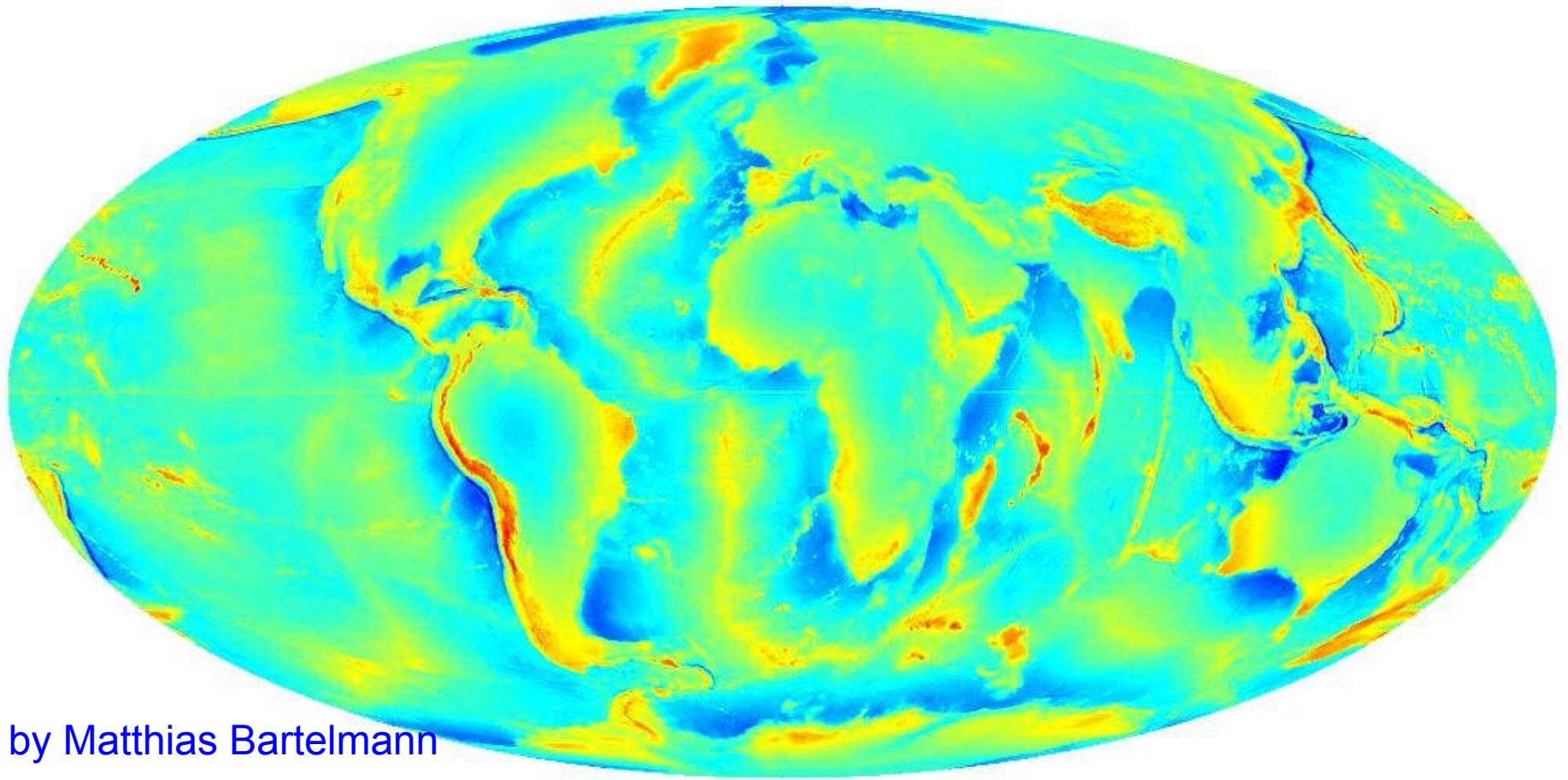
by Matthias Bartelmann

$l = 1 - 8$



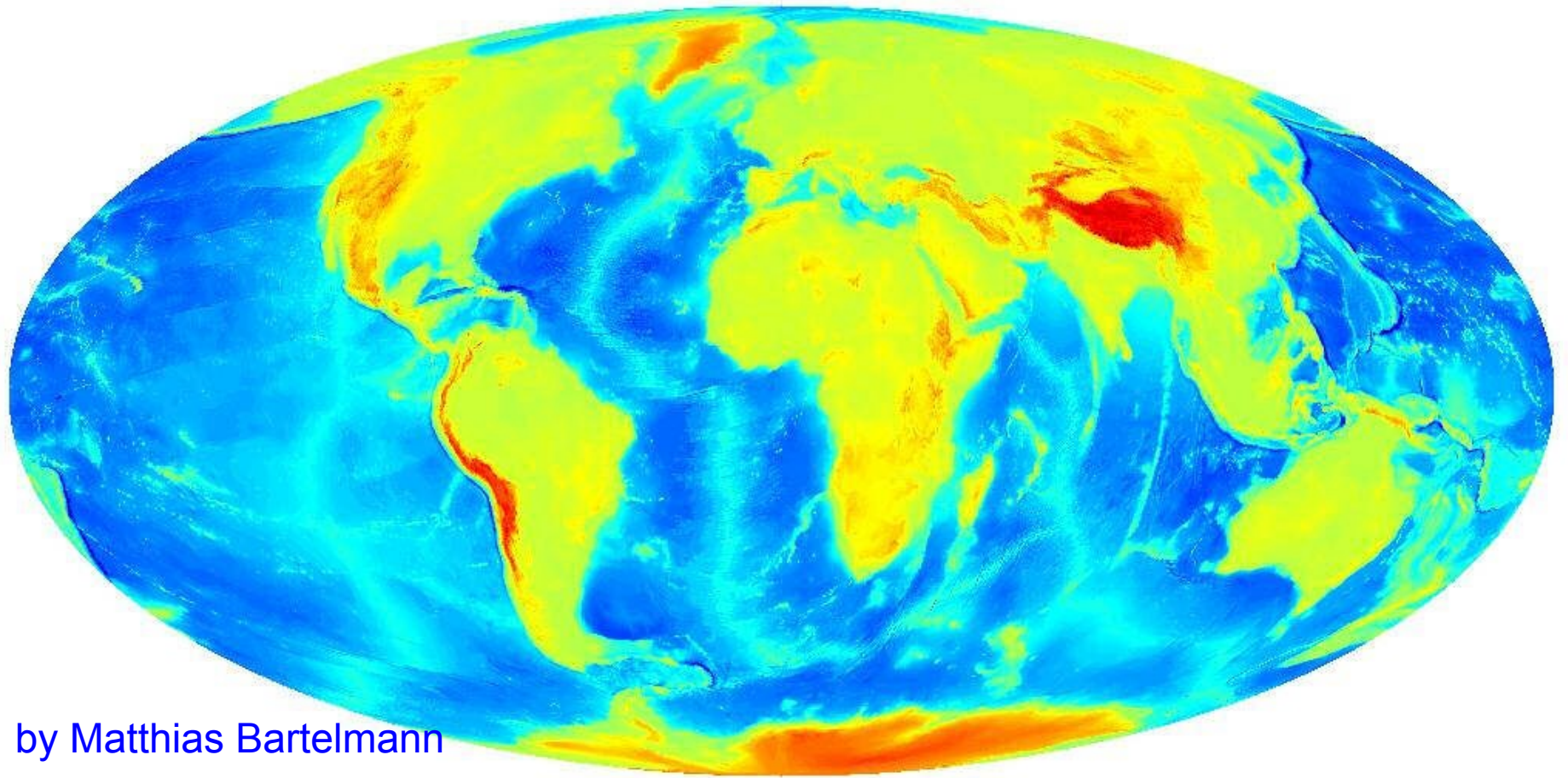
by Matthias Bartelmann

Hasta l muy alto



by Matthias Bartelmann

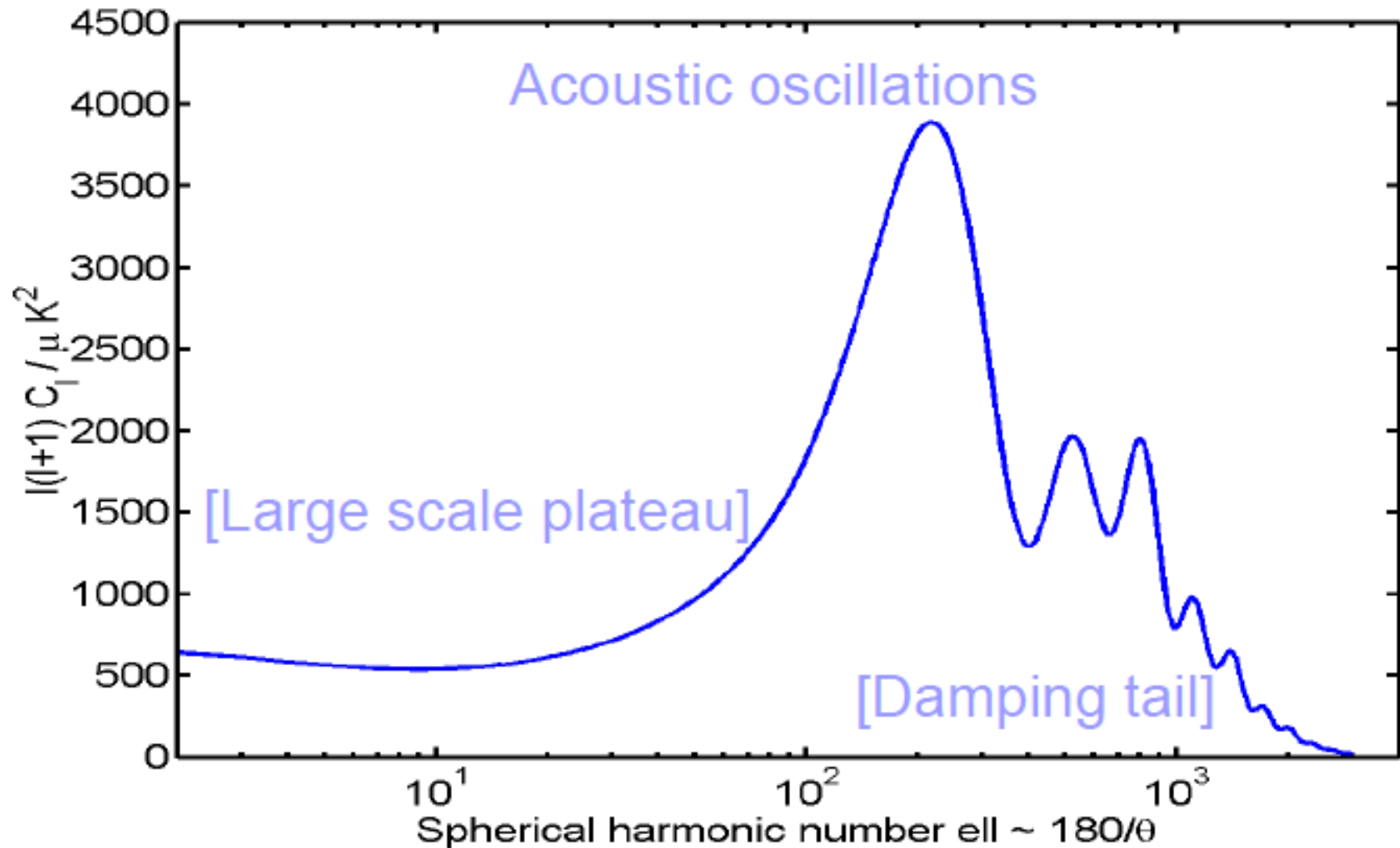
Mapa original



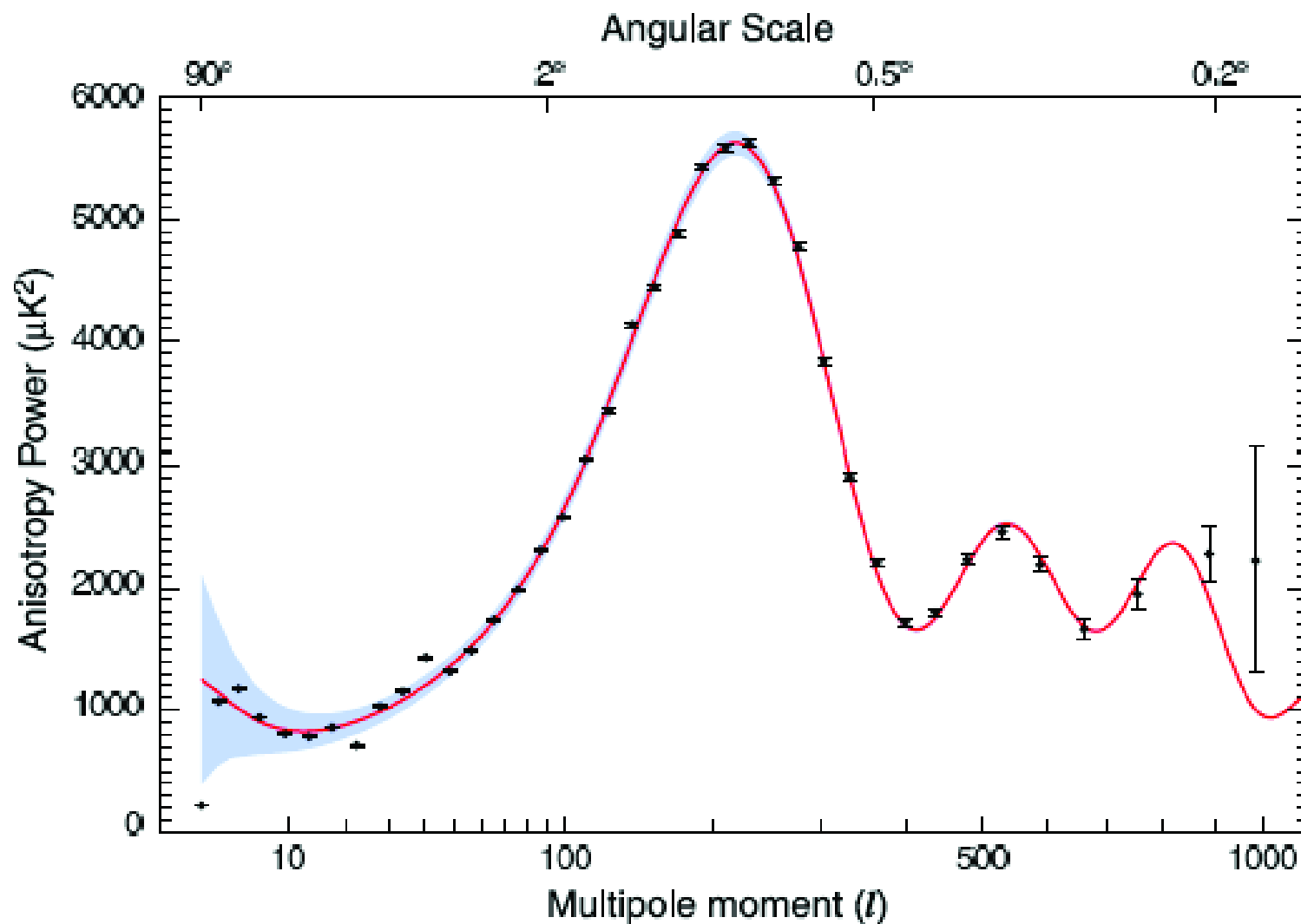
by Matthias Bartelmann

3 zonas en el espectro de potencias

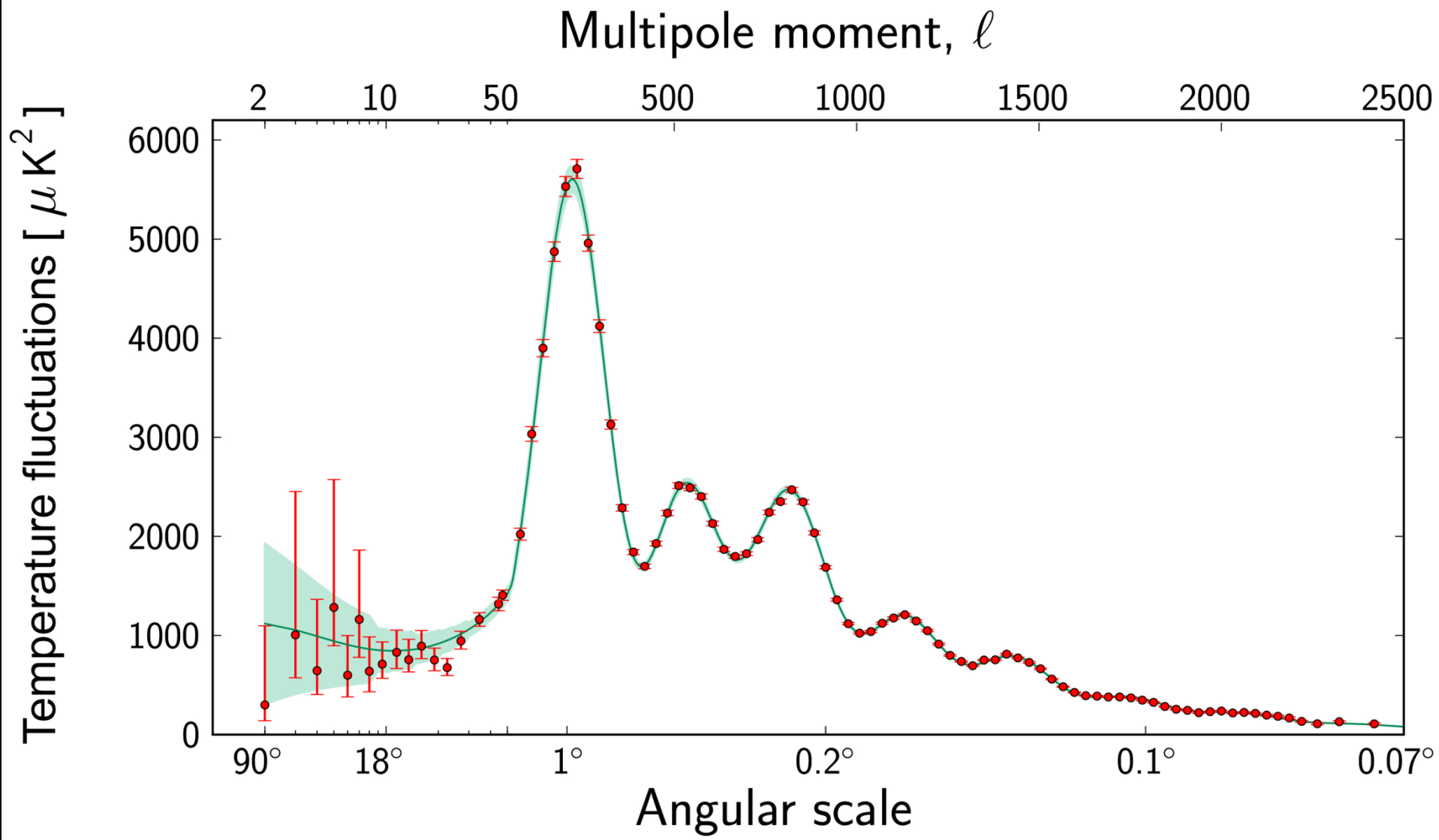
Hay una escala característica, $\theta \sim 1^\circ$



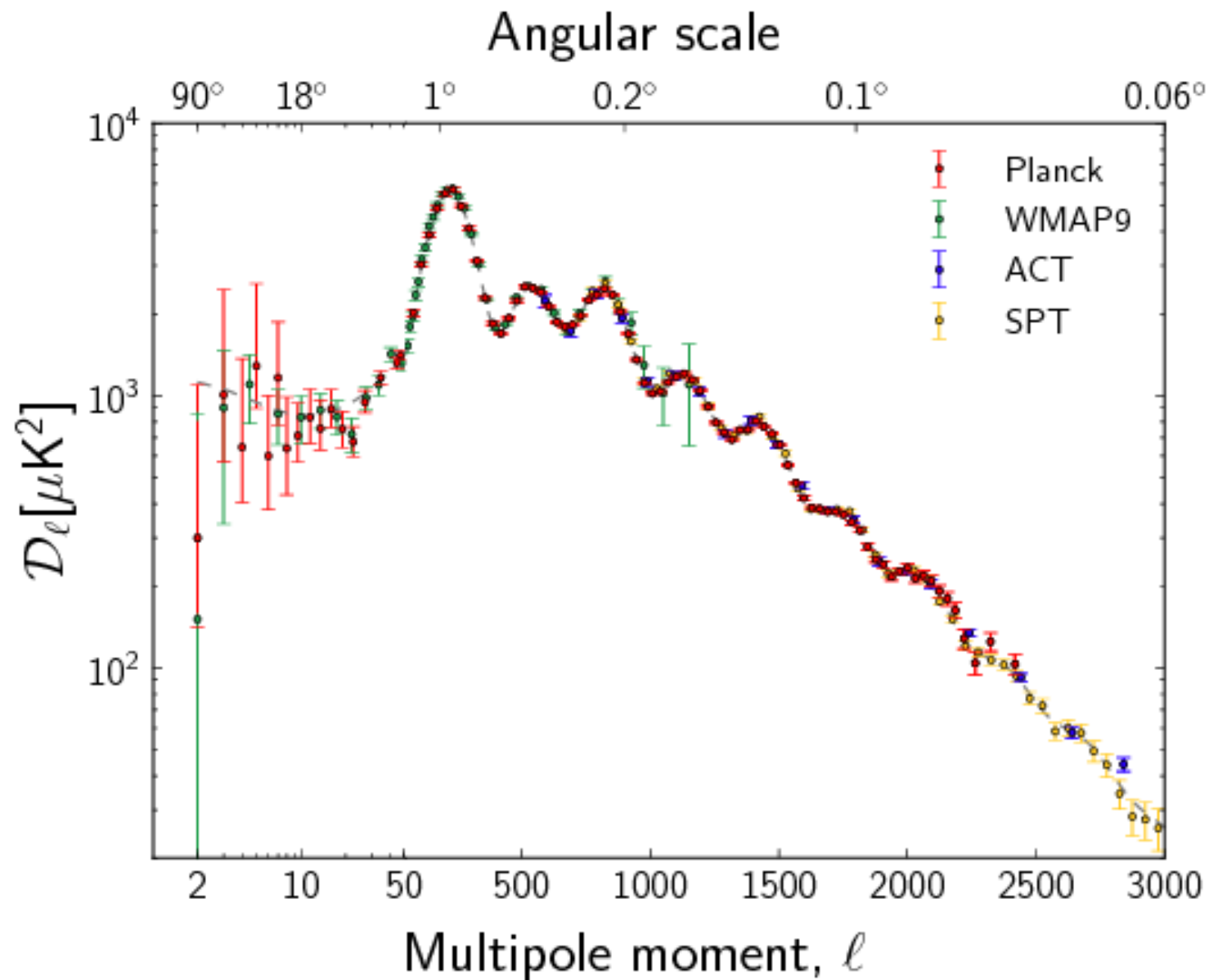
WMAP9 .vs. Λ CDM



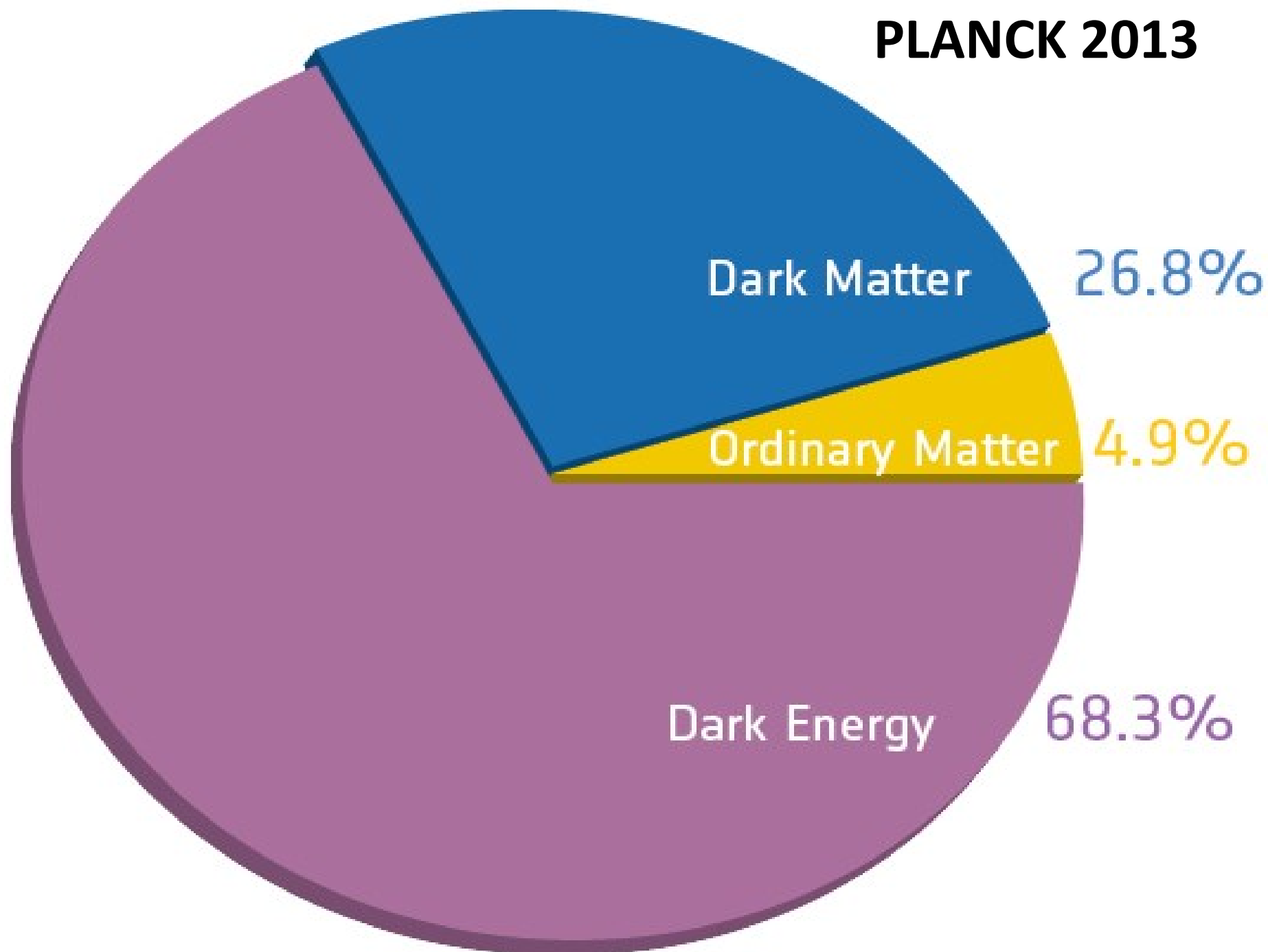
Planck .vs. Λ CDM



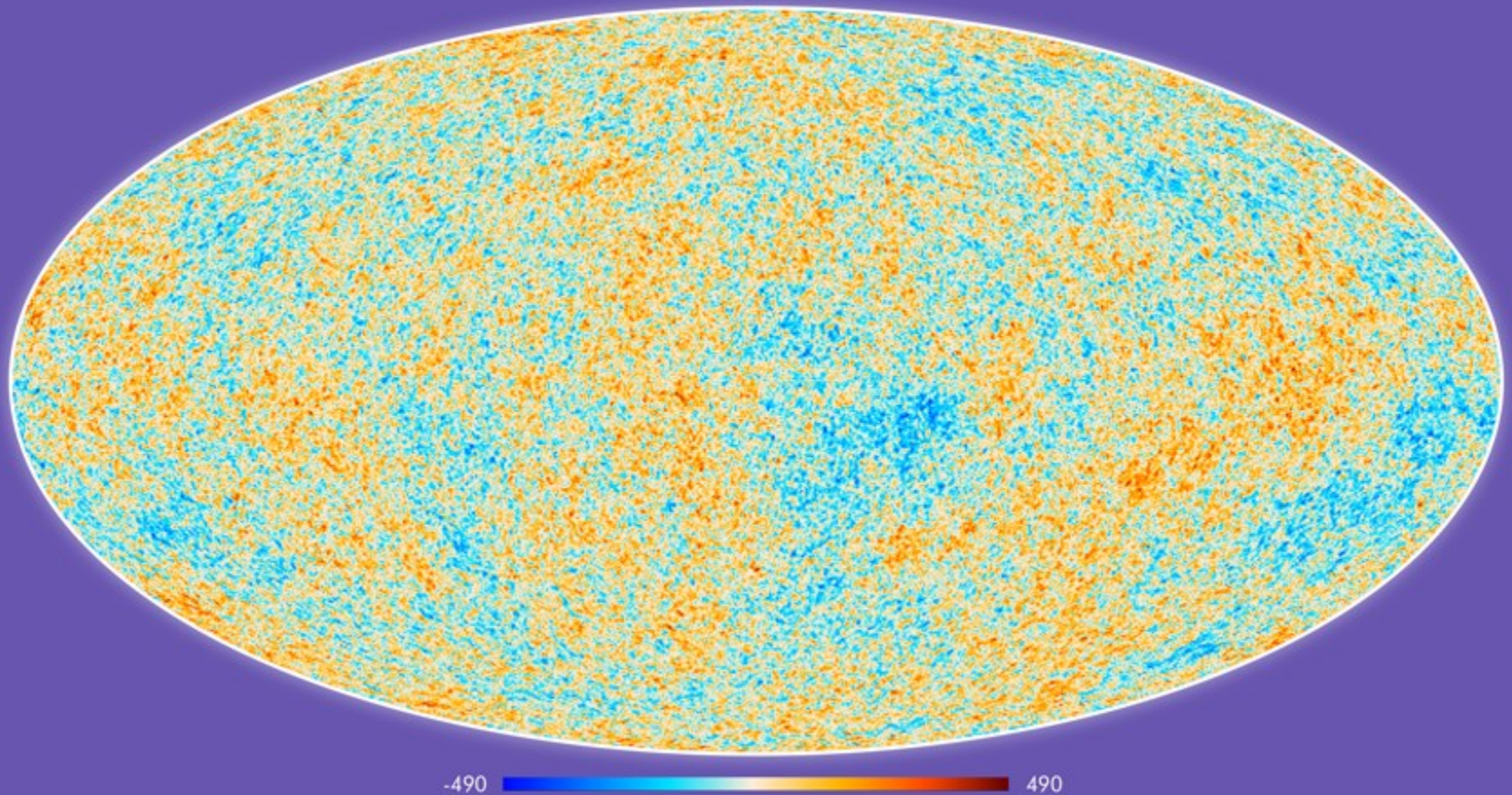
Todos los experimentos .vs. Λ CDM



PLANCK 2013

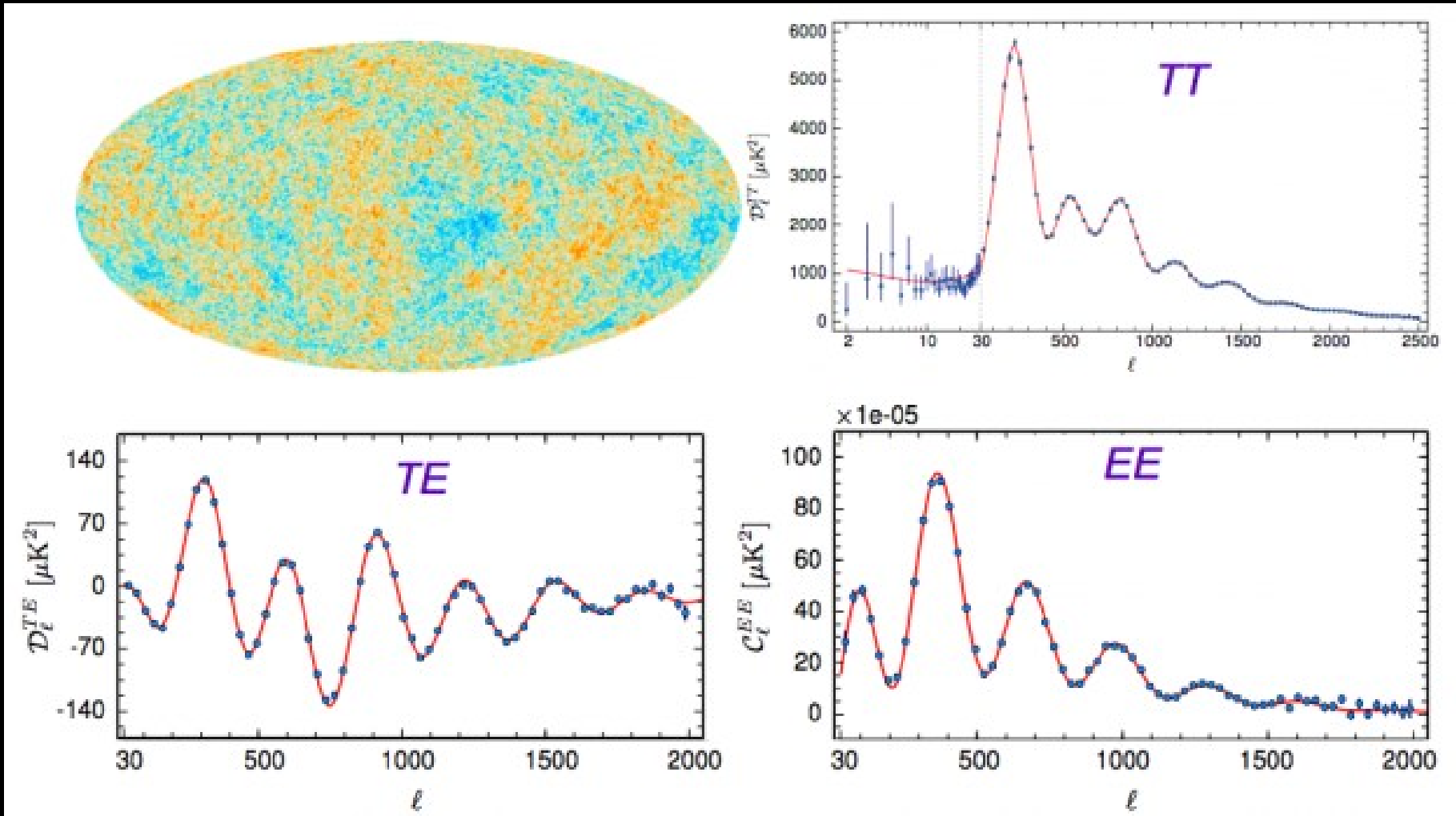


Resultados de Planck presentados el 01/12/2014



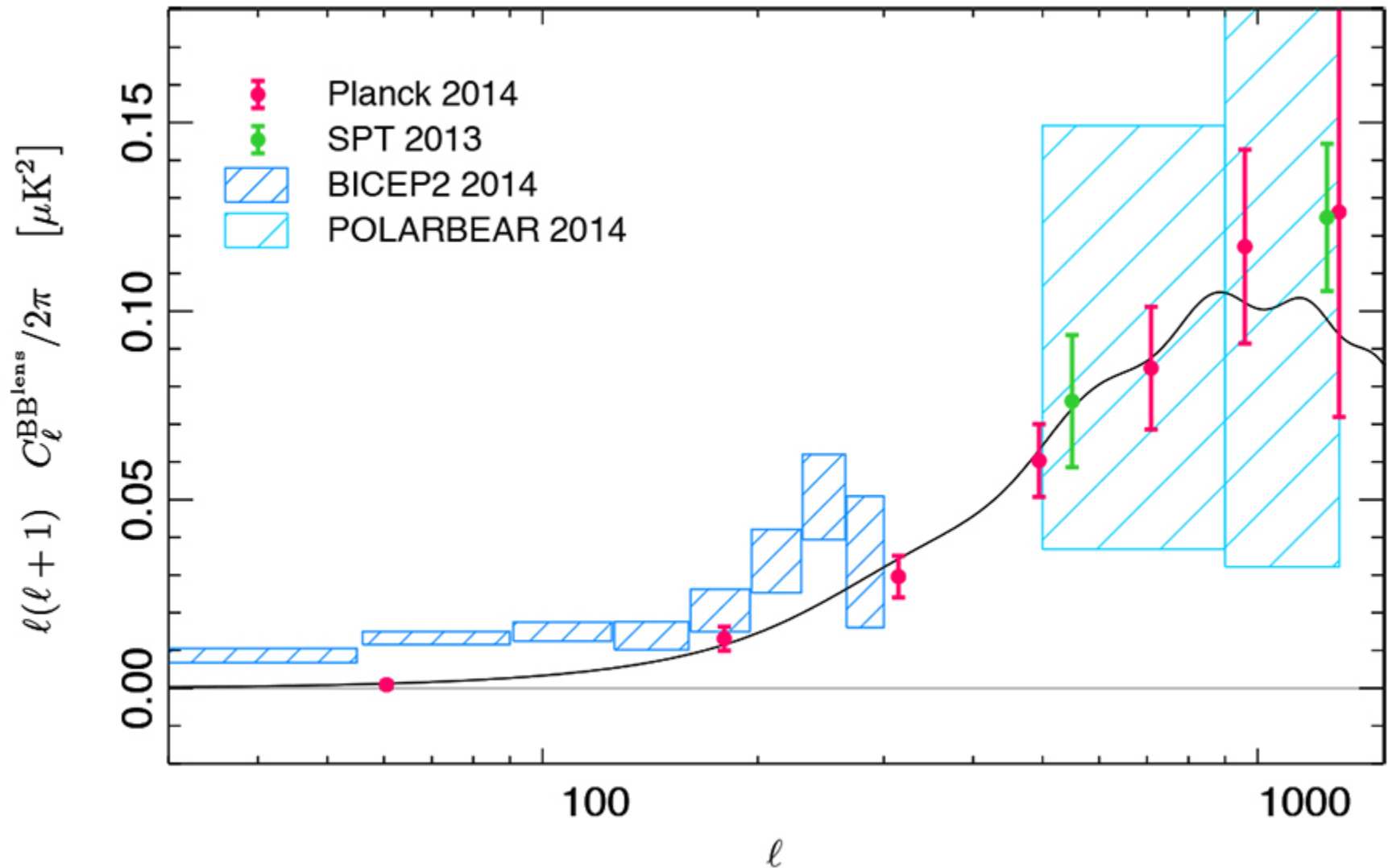
Resultados de Planck presentados el 01/12/2014

Espectro de potencias y polarización



Resultados de Planck presentados el 01/12/2014

Modos B debidos al efecto lente gravitacional



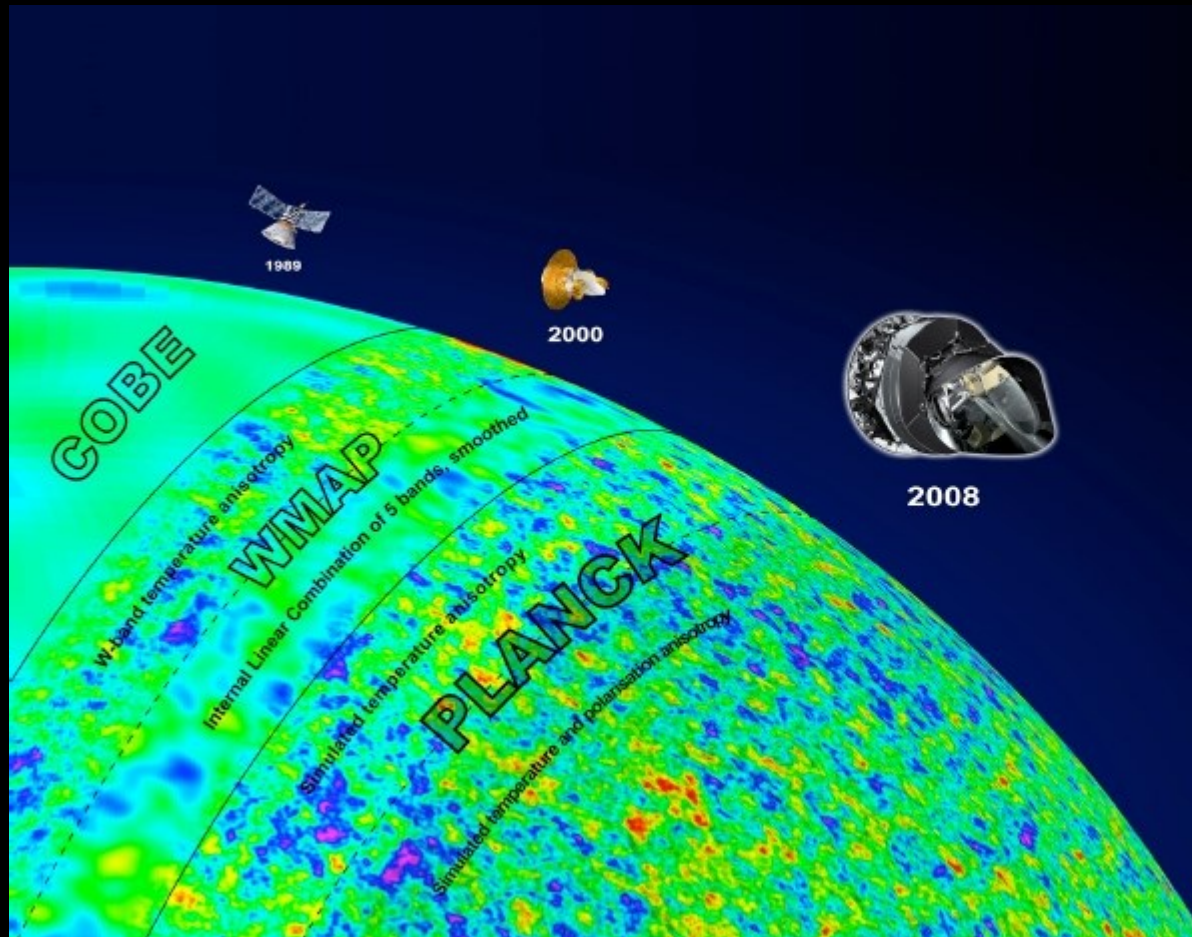
Cosmology from CMB

Measure temperature distribution (fluctuations)

Build a map of the anisotropies

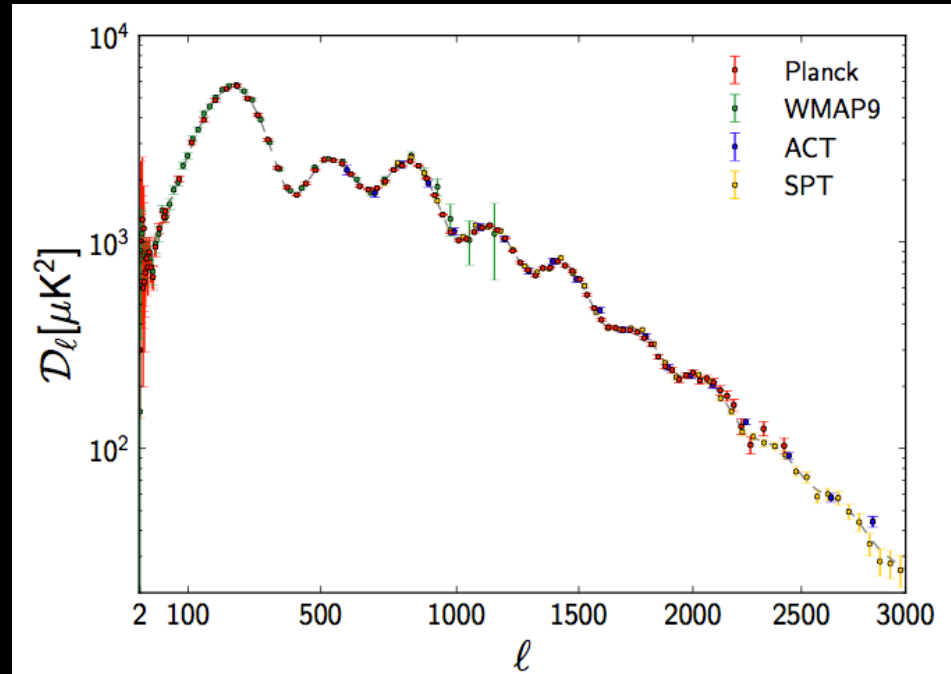
Obtain power spectrum from the map

Fit cosmological parameters to the measured power spectrum

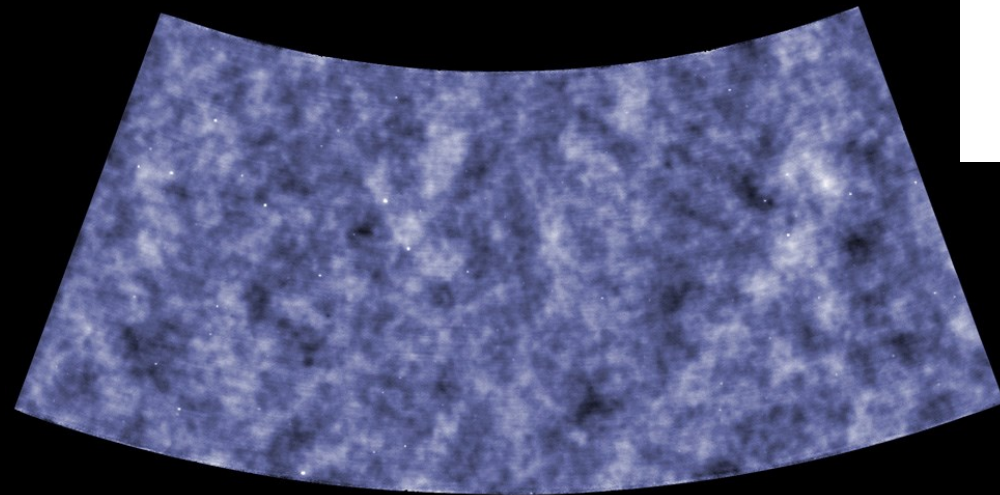


Observatorios de la CMB en tierra: SPT

SPT tiene la mejor resolución angular y acceso directo a los instrumentos. Se puede actualizar.

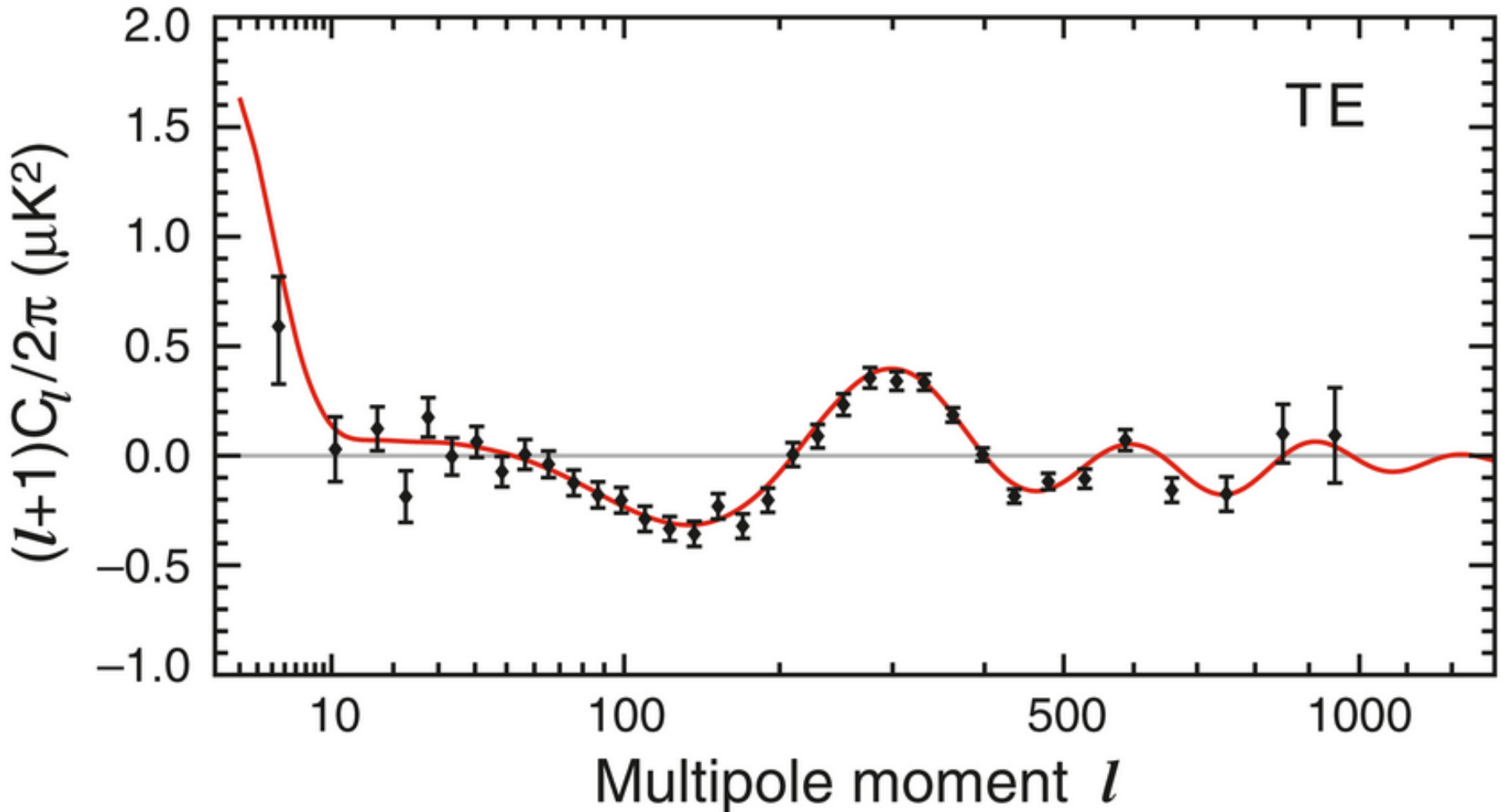


A cambio, no cubre el cielo completo y se debe corregir el efecto de la atmósfera



Lo que queda por medir de la CMB: Polarización

El modo E lo ha medido WMAP y está en perfecto acuerdo con Λ CDM



Polarización en modos B: BICEP

¿Inflación?

¿Ondas gravitacionales primordiales?

¿Polvo galáctico?

