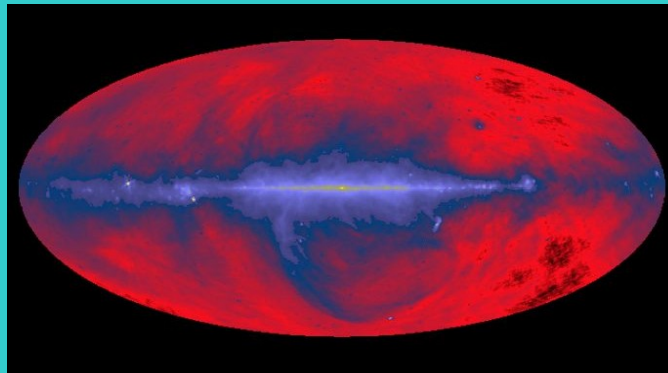


# El magnetismo del Universo



# Etimología

- Indoeuropeo: magh = tener poder
- Desmayar, mago, magia, meiga, magnetismo.
- Magnetizar (RAE)
  - Comunicar a un cuerpo la propiedad magnética
  - Hipnotizar
  - Fascinar a una o varias personas
- El Universo magnético



# Universo

- Unus + verso
- El conjunto de todas las cosas
- Wer- hacer girar
- Verter, vértigo
- Vértebra, vértice, vertical, verso, versar, advertir, divorcio, pervertir, animadversión, tergiversar, atravesar...
- Visión geocéntrica prehistórica ?
- Cosmos = Orden
- El sistema planetario con la “ochava” esfera ?



# Magnetismo terrestre

- “Cuando yo navegué de España a las Indias fallé luego, en pasando cien leguas a Poniente de los Azores, grandísimo mudamiento en el cielo e en las estrellas y en la temperatura del aire...
- Fallo que de Septentrión en Austro, pasando cien leguas de las dichas islas, que luego en **las agujas de marear**, que fasta entonces nordesteaban, noruestean una cuarta de viento todo entero...
- Cuando allí estoy, hallo que la estrella del norte escribe un círculo, el cual tiene en el diámetro cinco grados...
- ...me puse a tener esto del mundo y fallé que no era redondo en la forma que escriben; salvo que es de la forma de una pera que sea toda muy redonda, salvo allí donde tiene el pezón, que allí tiene más alto, o como quien tiene una pelota muy redonda y en un lugar de ella fuese como una teta de mujer allí puesta...



- Tercer viaje de Cristóbal Colón



# El imán

- El juguete por excelencia
- La brújula
- Indio, persa, árabe, japonés, chino?

A España llegó en el siglo XIII

(Partidas, de Alfonso X; Arbre de Sciencia, R. Llull)



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



# Gravedad y magnetismo

- Los investigadores del Sol pronto reconocieron la importancia del campo magnético en la dinámica de las capas externas.
- En los demás sistemas (medios interestelar, intergaláctico, pregaláctico...) se investigó cómo el movimiento afecta al campo magnético, pero no cómo el campo magnético afecta al movimiento.
- Sofue: “pangravitacionalismo”
- Vershup: Con la gravitación las cosas ya son tan complicadas...
- El campo magnético es responsable de la radiación sincrotrón, que nos permite la observación del medio interestelar en el continuo de radio.
- Es posible que la evolución del Universo haya estado afectada por el campo magnético desde tiempos muy próximos al Big-Bang.





# Las líneas de campo

- Son líneas que en cualquier punto nos dicen la dirección del campo. Cuanto más cerca están unas de otras el campo es más intenso.
- Evolucionan según las leyes de Maxwell.
- En el Cosmos las líneas de campo son duraderas. Difunden en un tiempo superior al de Hubble. No nacen ni mueren en el **tiempo**. Ni se crean ni se destruyen.
- No tienen principio ni fin en el **espacio**. O forman lazos o se pierden en el infinito.
- Si la conductividad es infinita están **congeladas**.
- Si el fluido se expande la intensidad disminuye
- Si el fluido se mueve, las líneas se mueven con él.



# Congelación

- Plasmas cósmicos: no se crean
- Sólo se amplifican y ordenan
- Las líneas de campo magnético se materializan como una partícula en un punto.
- O forman bucles o van del infinito al infinito
- Pero el Universo es isótropo.
- El movimiento del plasma modifica el campo, y el campo modifica el movimiento.
- 



# ¿Cómo se amplifica? Dinamo

- El magnetismo terrestre, como el solar, como el estelar, como el galáctico
- Se deben al efecto dinamo.
- La turbulencia, fenómeno caótico por excelencia, produce un campo magnético ordenado.
- Pero... Hay una difusión magnética turbulenta



# Tierra

- Parte del interior es fluido, turbulento y conductor. La rotación ha de ser rápida.
- Venus casi no gira.
- Marte tiene un manto muy extenso.
- Júpiter tiene un gran campo magnético (hidrógeno metálico)
- La magnetosfera terrestre y el viento solar crean las auroras.



# Sol

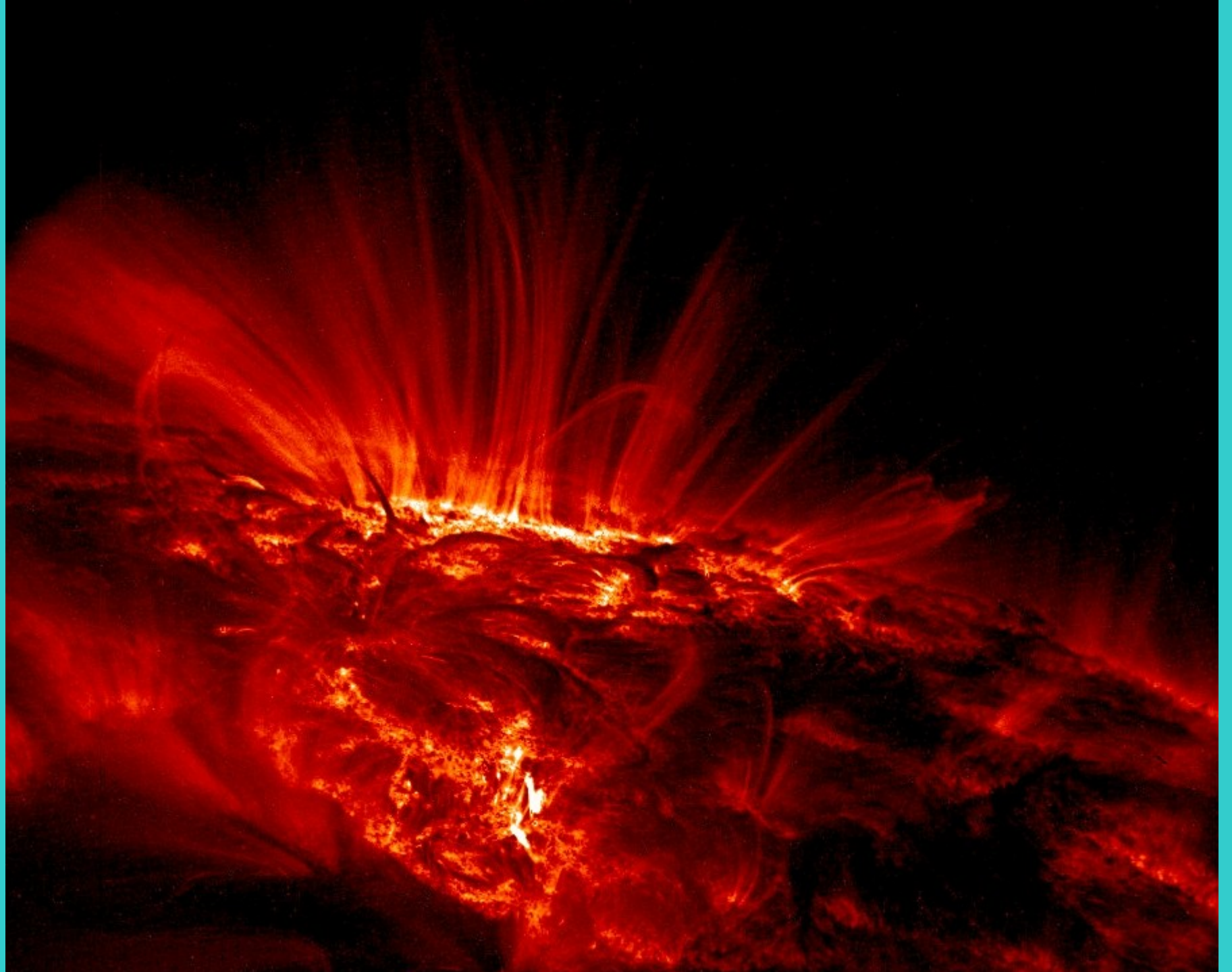
- Al efecto magnético se debe el ciclo solar de 11 años.
- El campo se va amplificando hasta que su presión es mayor que la presión de la fotosfera.
- La materia y el campo salen eyectados (manchas) intensificando el viento solar.
- El desdoblamiento Zeeman permite estudiar el magnetismo solar.
- Grandes arcos; levitación magnética



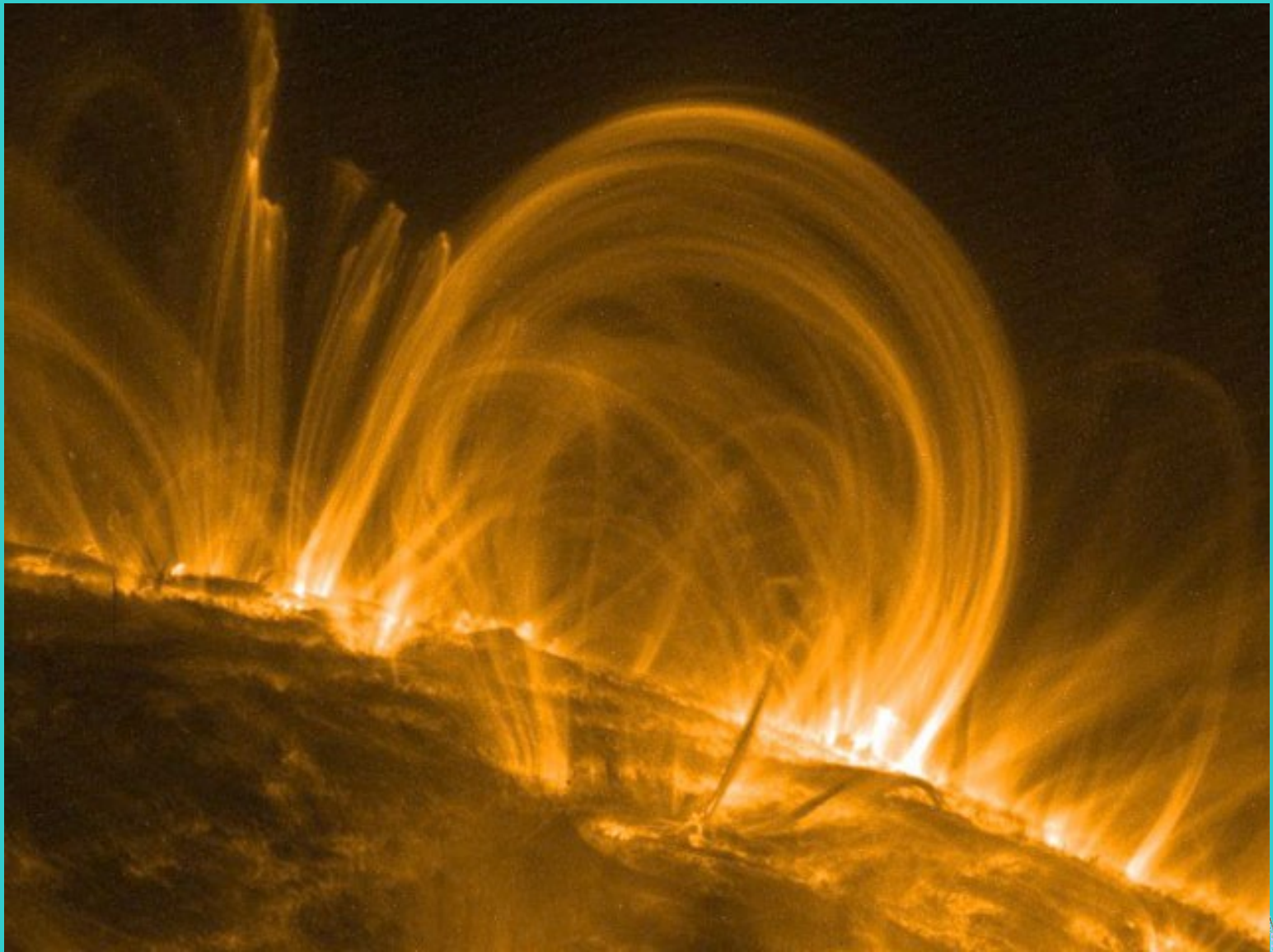
# Anisotropía

- Las líneas de campo son los raíles naturales para el movimiento de las cargas.
- La difusión tiene lugar en su dirección.
- Se forman estructuras filamentosas
- Los filamentos son indicio de campo magnético.





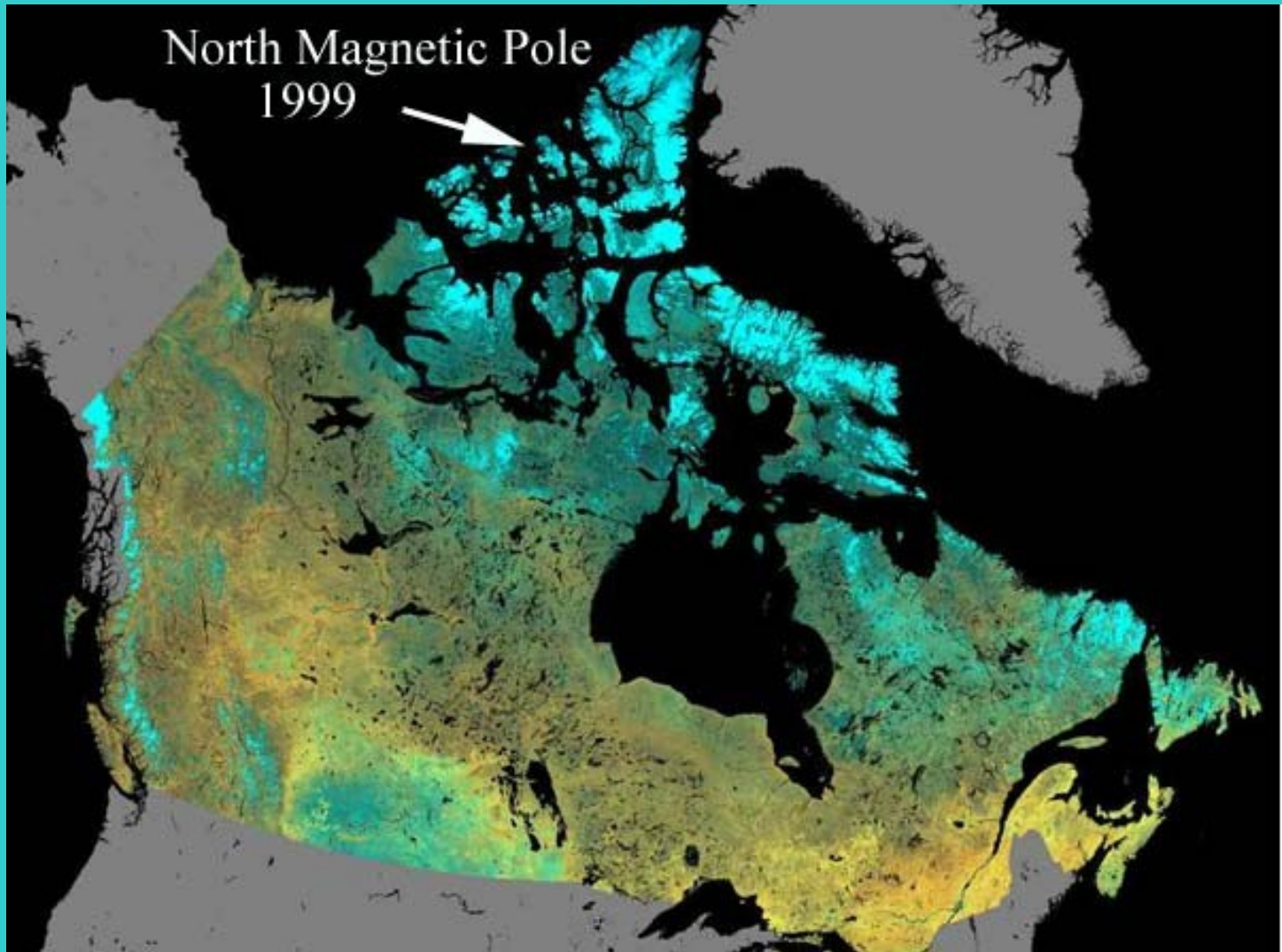




Santiago de Compostela 2009

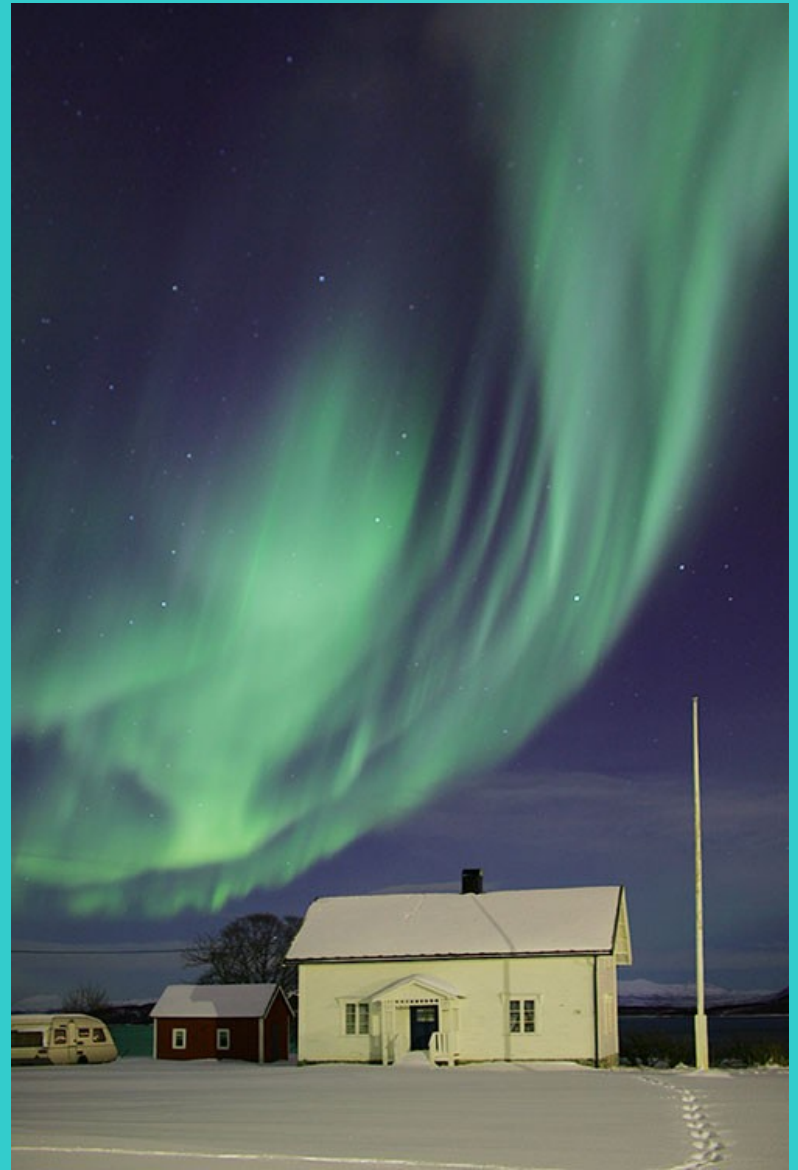






Santiago de Compostela 2009





e Compostela 2009





Santiago de Compostela 2009





© Sigurður H. Stefniðsson

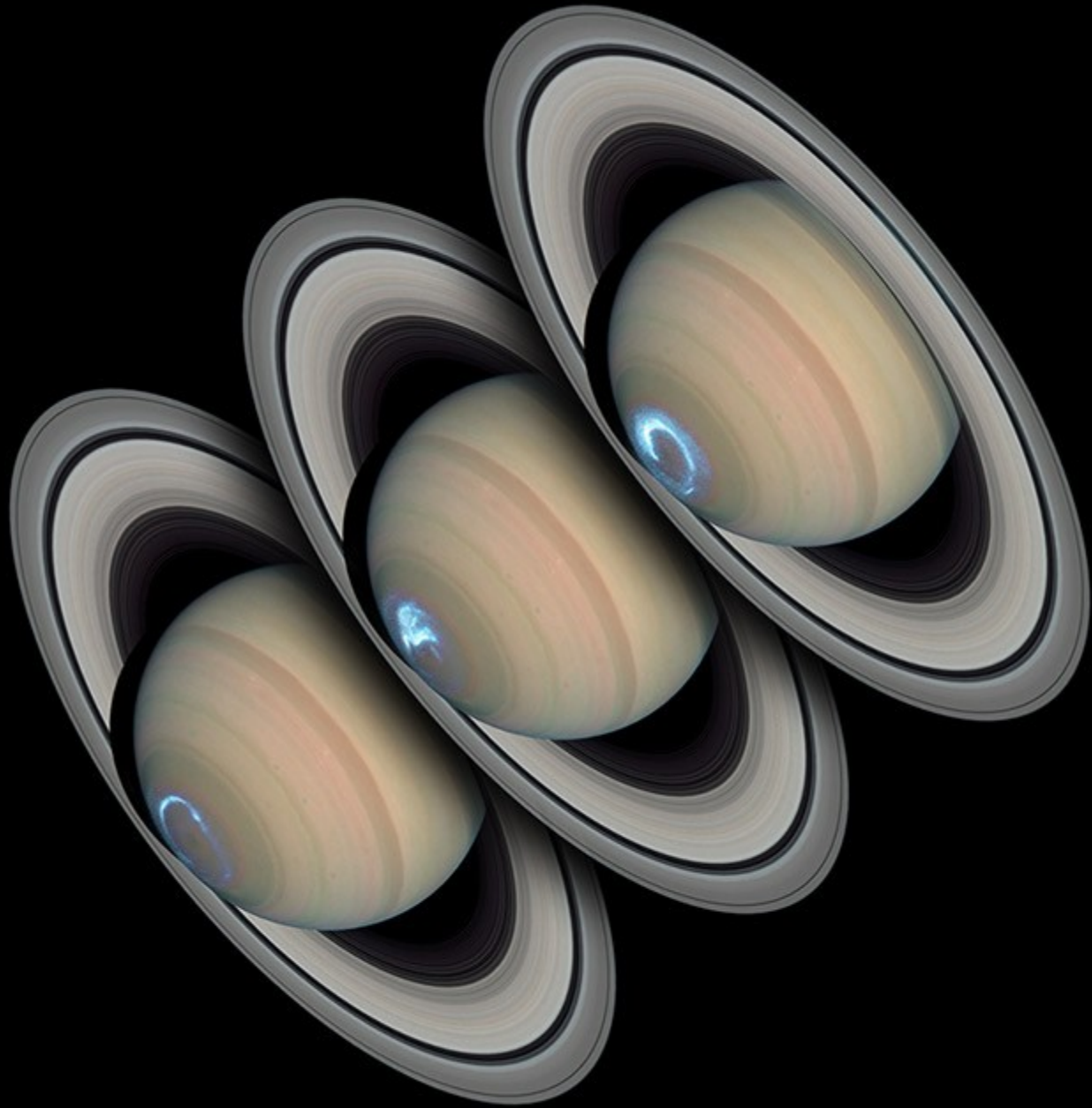
Santiago de Compostela 2009



# Aurora granadina

- Las auroras tienen lugar en altas latitudes
- La magnetopausa desvía el viento solar
- Con rachas enormes, en latitudes medias.
- El “airglow”
- En 1969 “yo vi” una aurora en Sierra Nevada. El 23 de marzo.







# Galaxias

- El campo es responsable de gran variedad de estructuras galácticas (alabeos, truncamientos, curva de rotación, emisión de chorros nucleares, formación estelar, etcétera).
- Las inestabilidades de Parker son un fenómeno similar a las manchas solares.
- El efecto dinamo ordena las de líneas de campo, que adoptan una estructura básicamente toroidal.





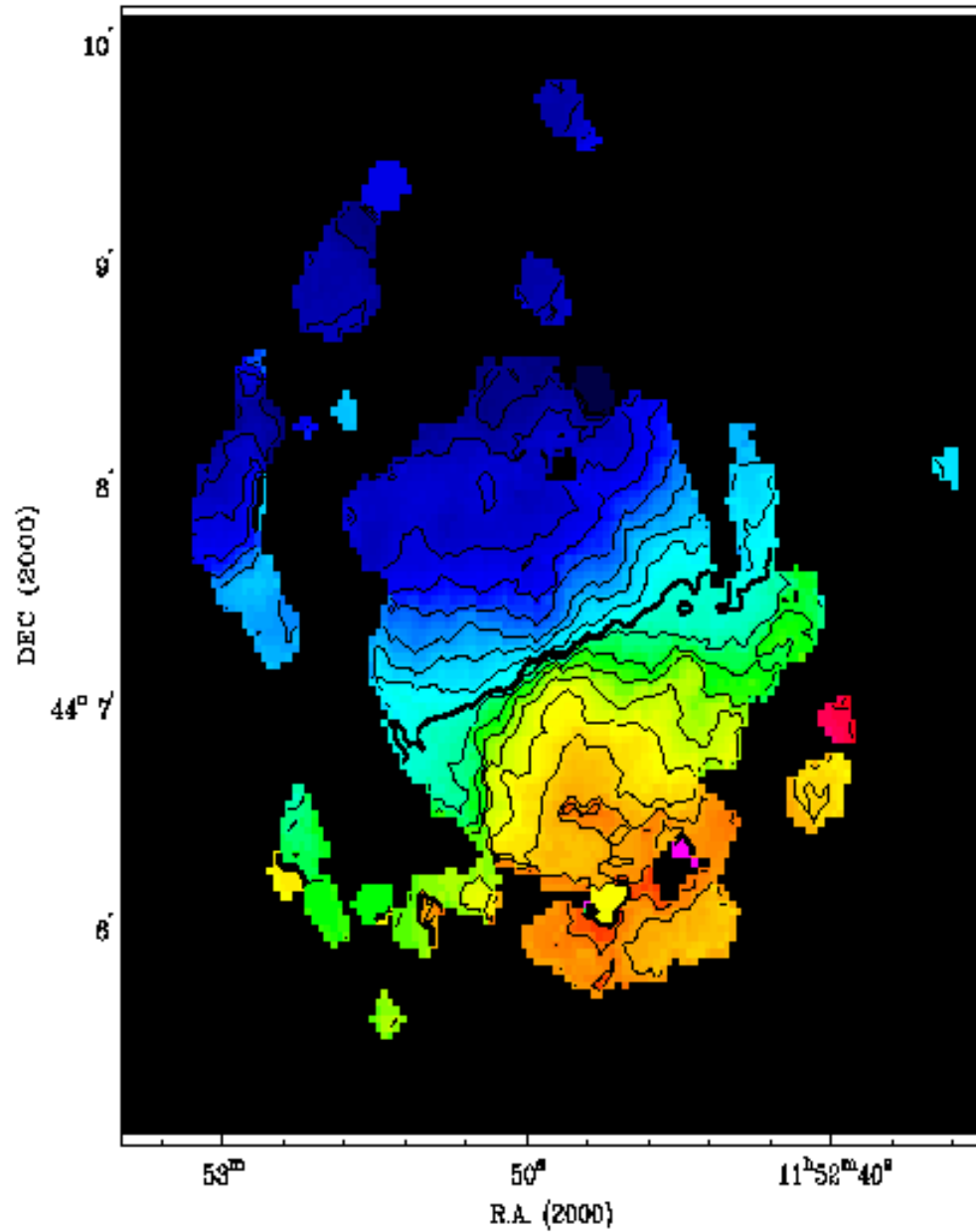
Santiago de Compostela 2009

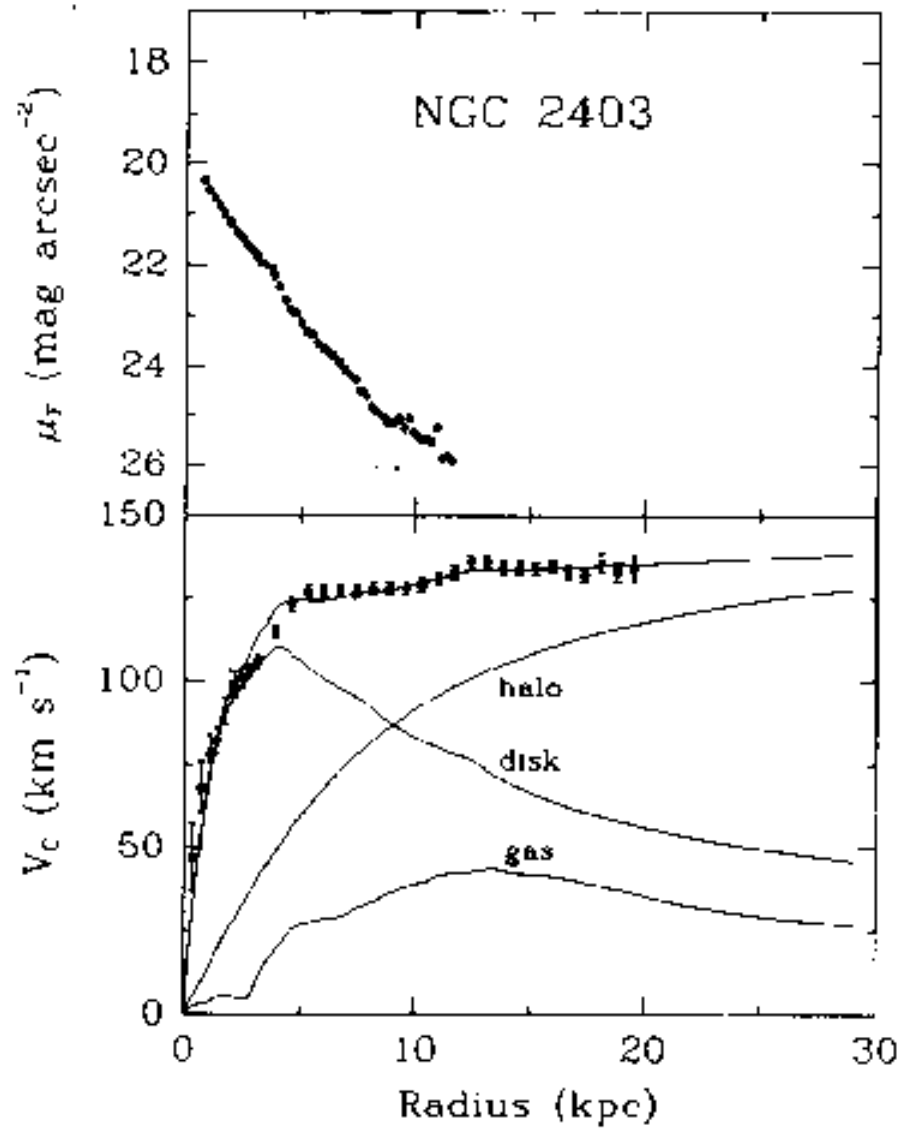




Santiago de Compostela 2009











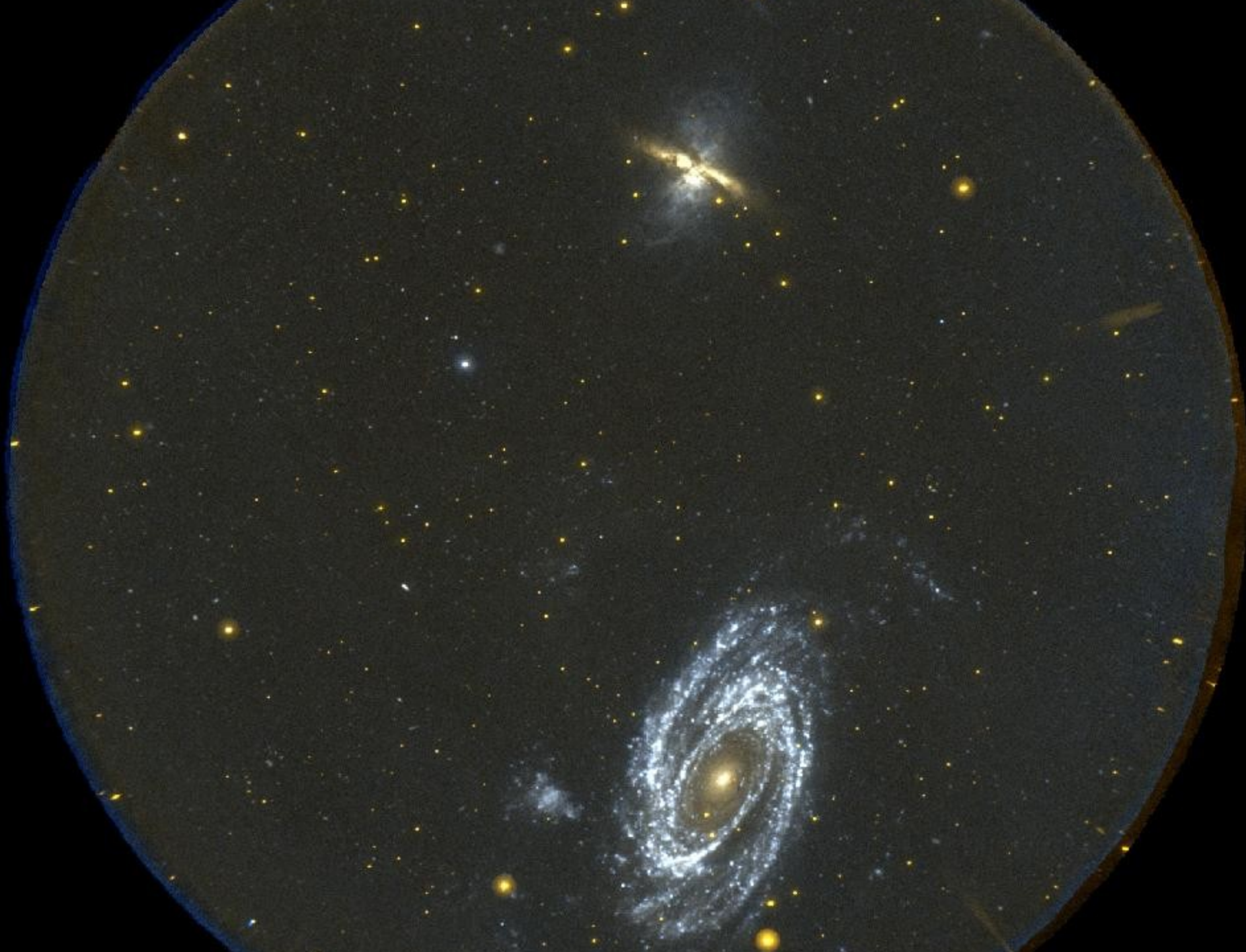










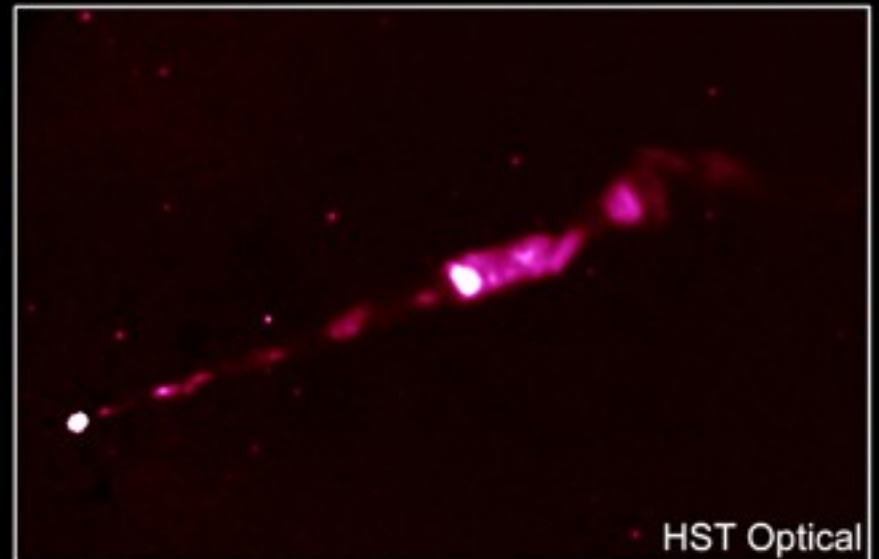
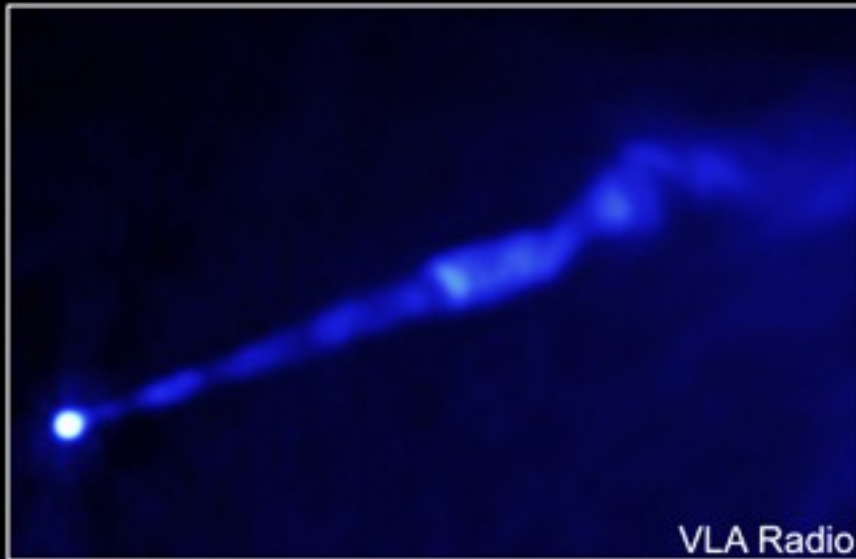
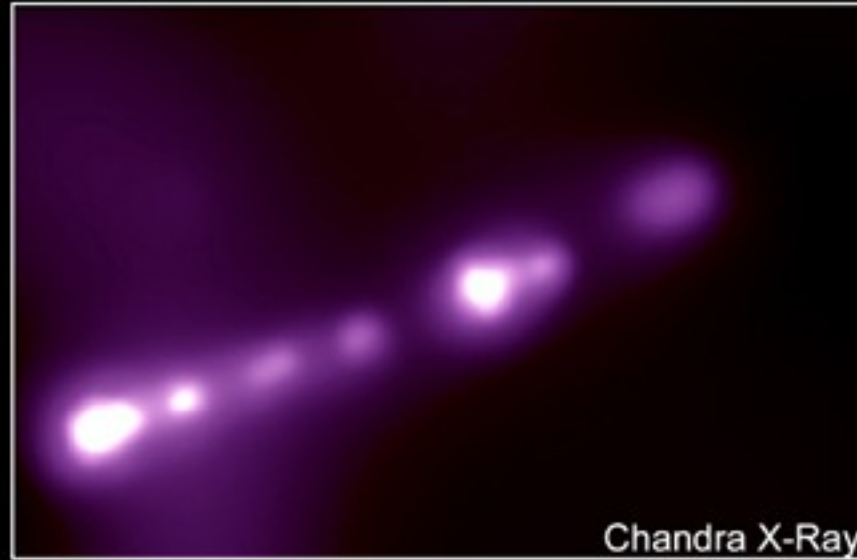






Santiago de Compostela 2009





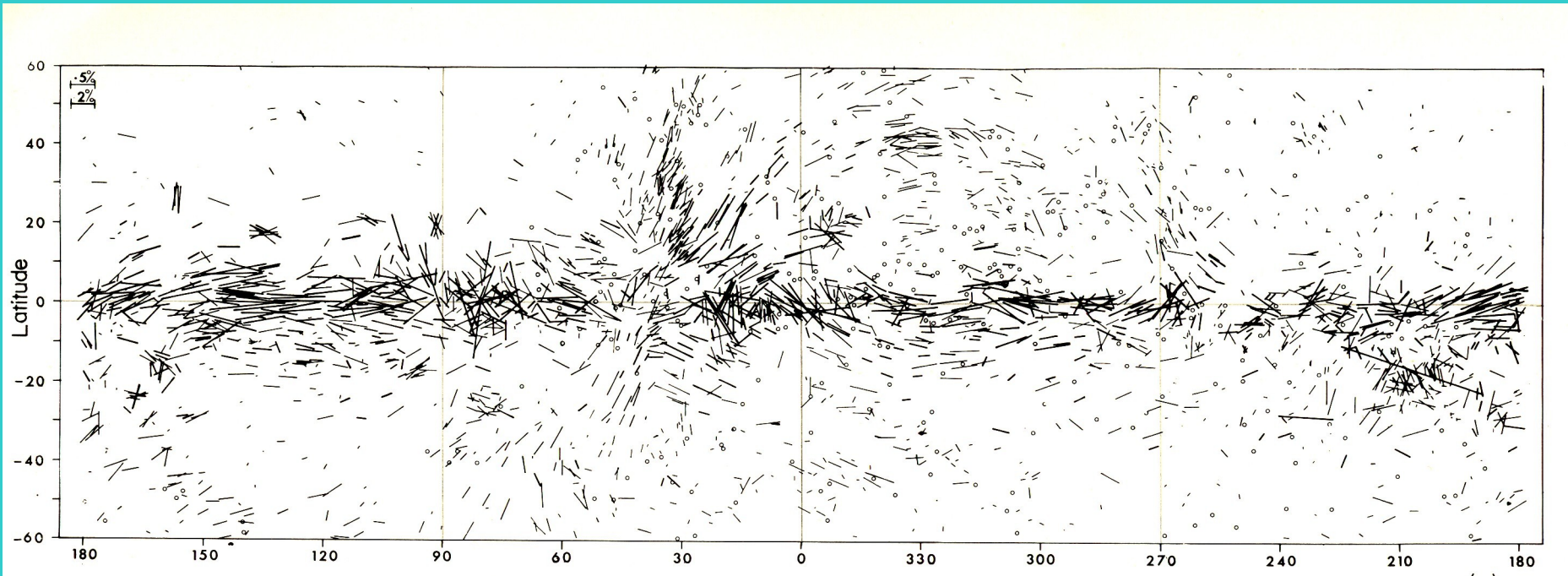


# ¿Cómo se mide?

- El efecto Zeeman
- “Scattering” por moléculas orientadas por el campo magnético
- Radiación sincrotrón
- Radiación sincrotrón polarizada
- Rotación de Faraday
- Depolarización Faraday

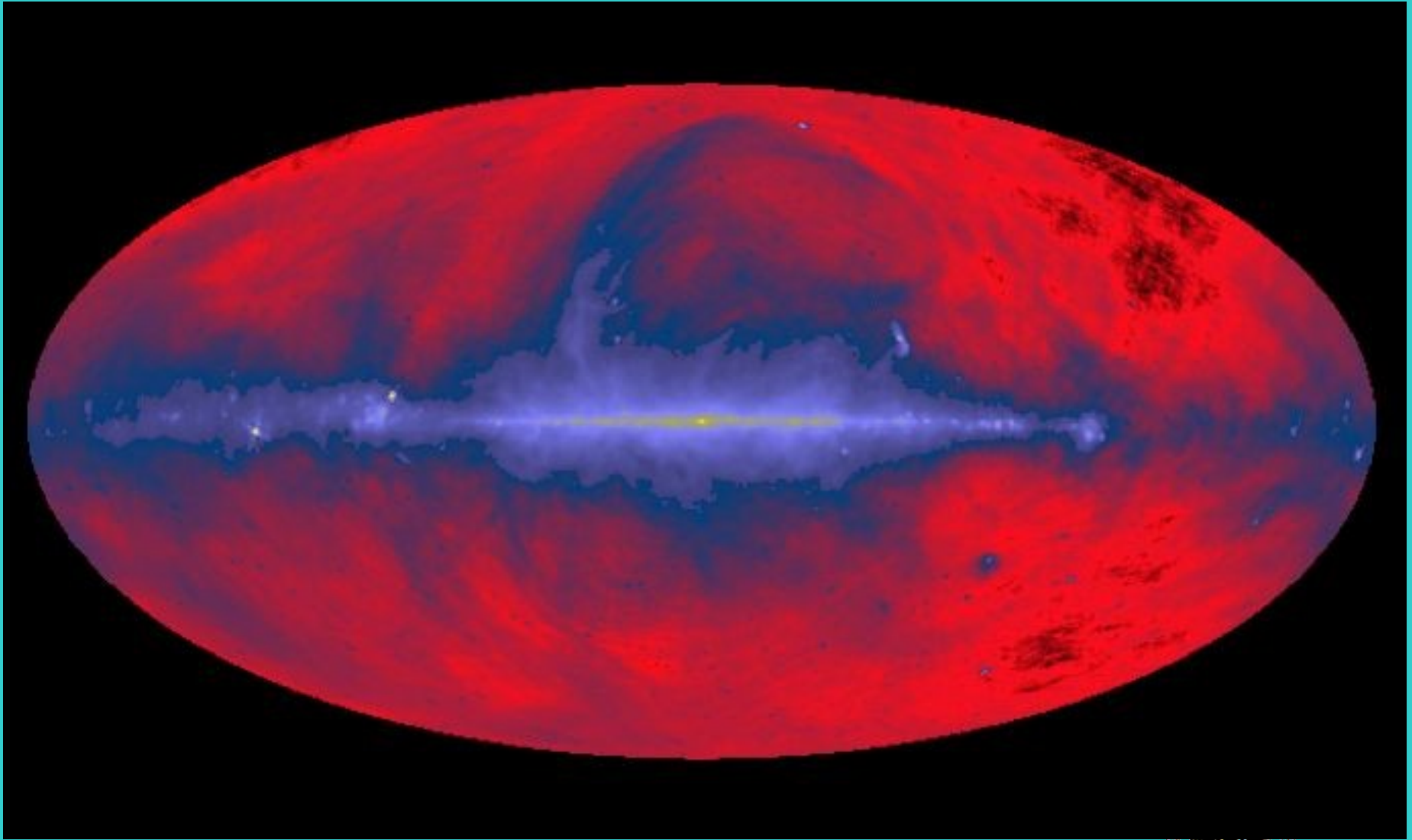






Santiago de Compostela 2009





Santiago de Compostela 2009



# Medio intergaláctico

- Interacción entre el campo de las galaxias y del cúmulo.
- Las protogalaxias y los protocúmulos ya estaban magnetizados (bosques de Lyman alpha)



# El Universo

- Es posible que exista un campo primordial, quizá creado en la inflación.
- Quizá haya contribuido a crear anisotropías en el CMB.
- Quizá haya contribuido a crear la estructura a gran escala del Universo (grandes filamentos)
- Quizá se pueda medir en el CMB.





# Algo de historia

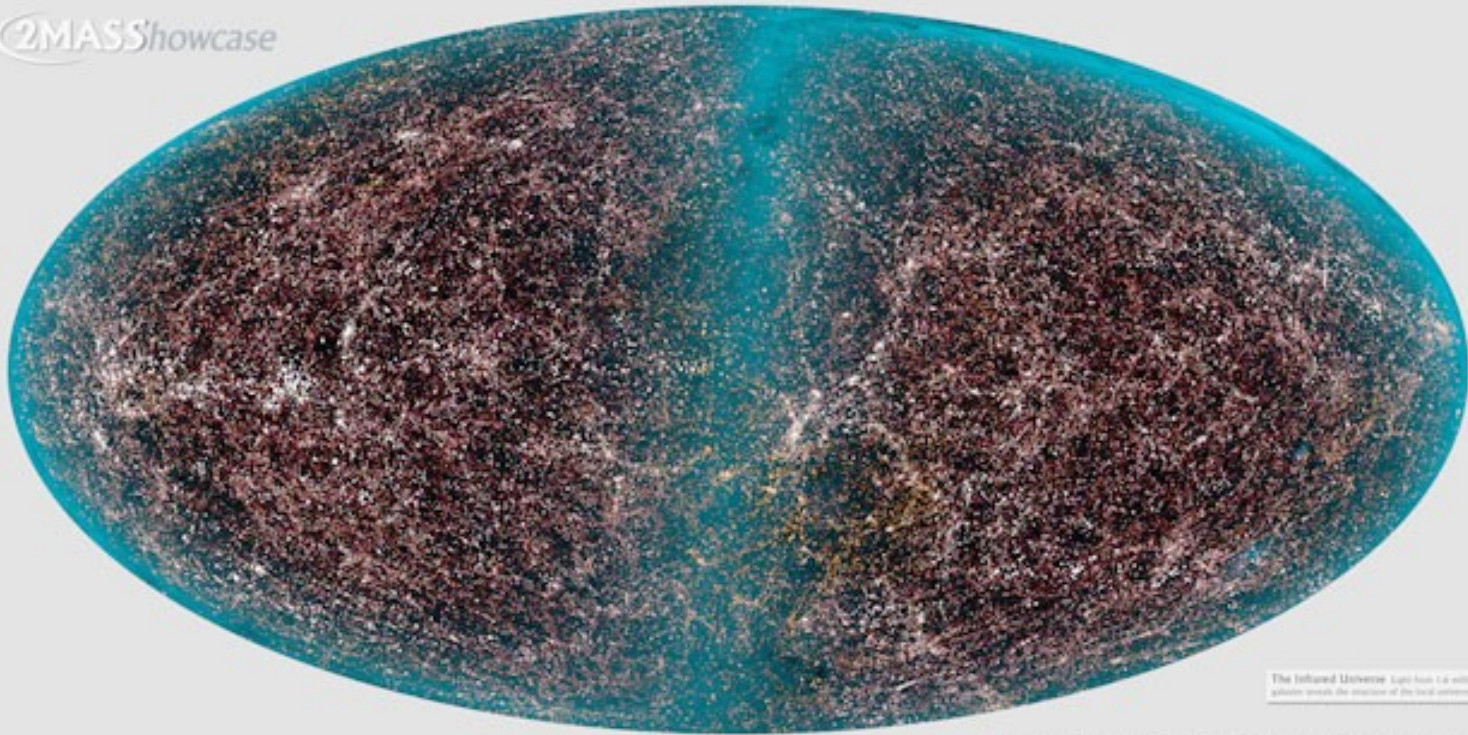
- Alfven (1943,1970) El campo es duradero
- Fermi (1943,1938) El campo es primordial. Microgauss
- Hoyle (1958) Antes de la galaxia
- **Chandrasekhar** y Fermi (1953,1983) Inestabilidades gravitacionales.
- **Khalatnikov** (?) campo uniforme
- Penzias y **Wilson** (1963,1978) descubrieron CMB
- **Wielebinski** (1962) Sincrotrón polarizada.
- Peebles (1980) Estructuras cósmicas
- Zeldovich y Novikov (1970) Anisotropías magnéticas.
- Lemaître (1933) Universo oscilante







2MASShowcase

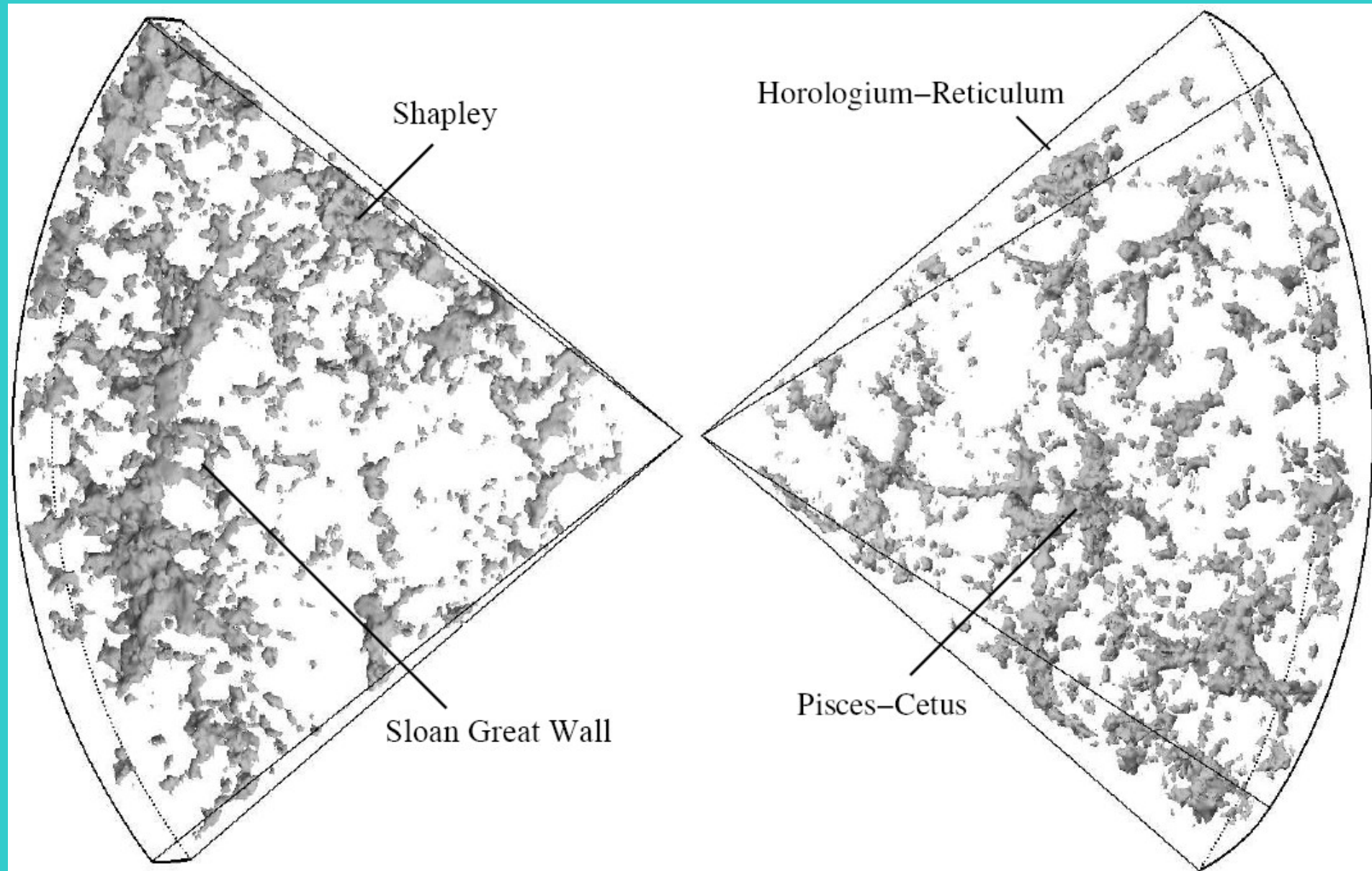


The Infrared Universe: Light from 1.2 million galaxies reveals the structure of the local universe.

The image and the survey image mosaic, infrared Processing and Analysis Center/CITRIS at University of Massachusetts

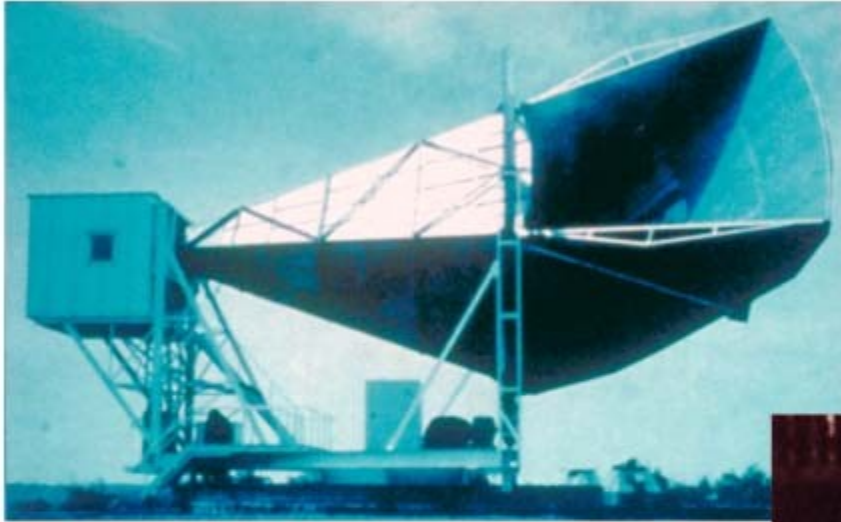
Santiago de Compostela 2009







# DISCOVERY OF COSMIC BACKGROUND

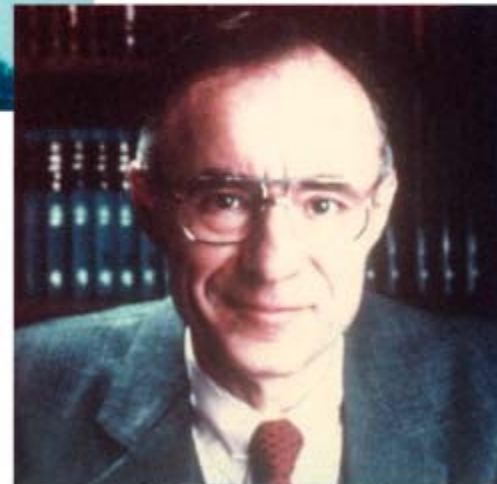


Microwave Receiver



MAP990045

Robert Wilson



Arno Penzias



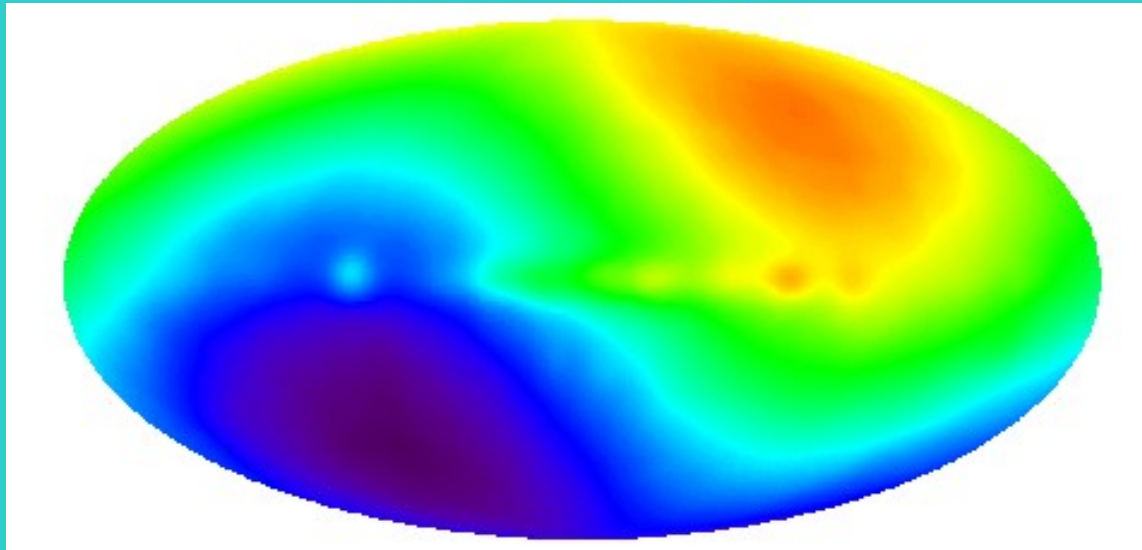
# ISOTROPY OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



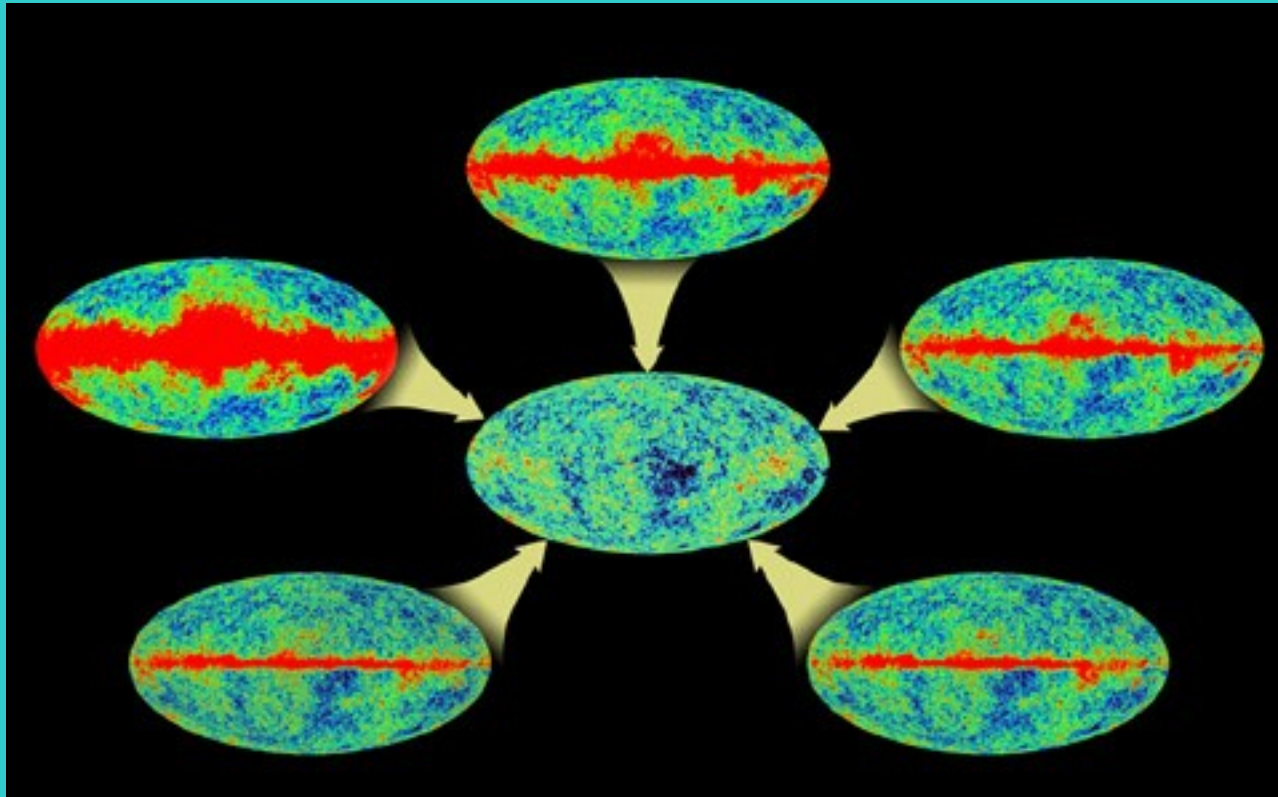
MAP990004

Santiago de Compostela 2009





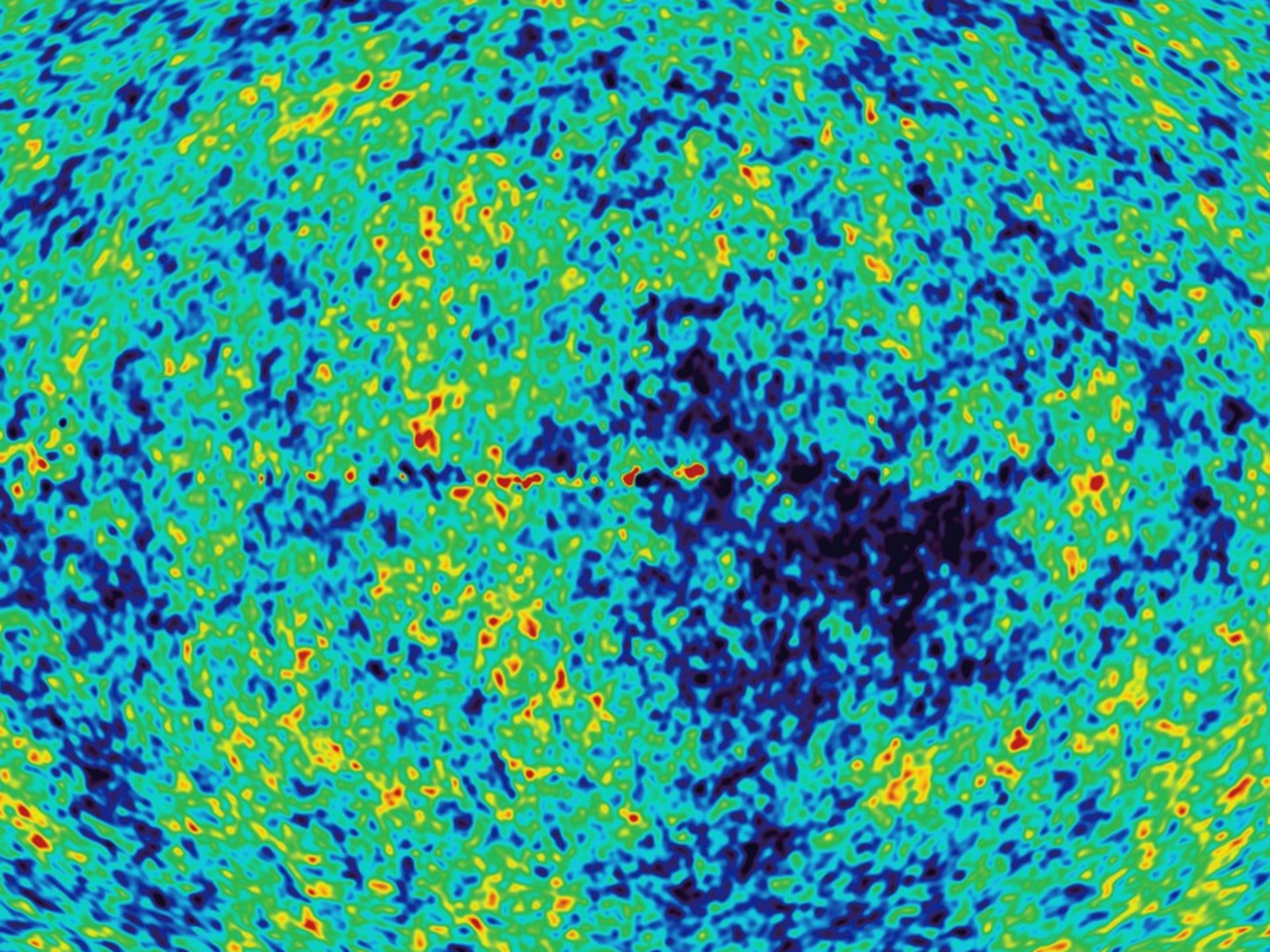
Santiago de Compostela 2009



Santiago de Compostela 2009

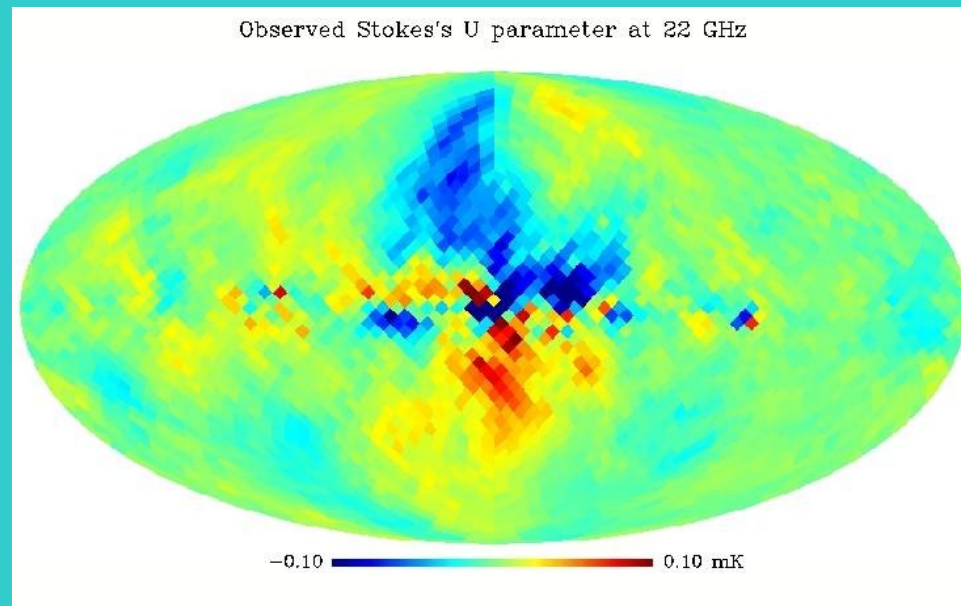




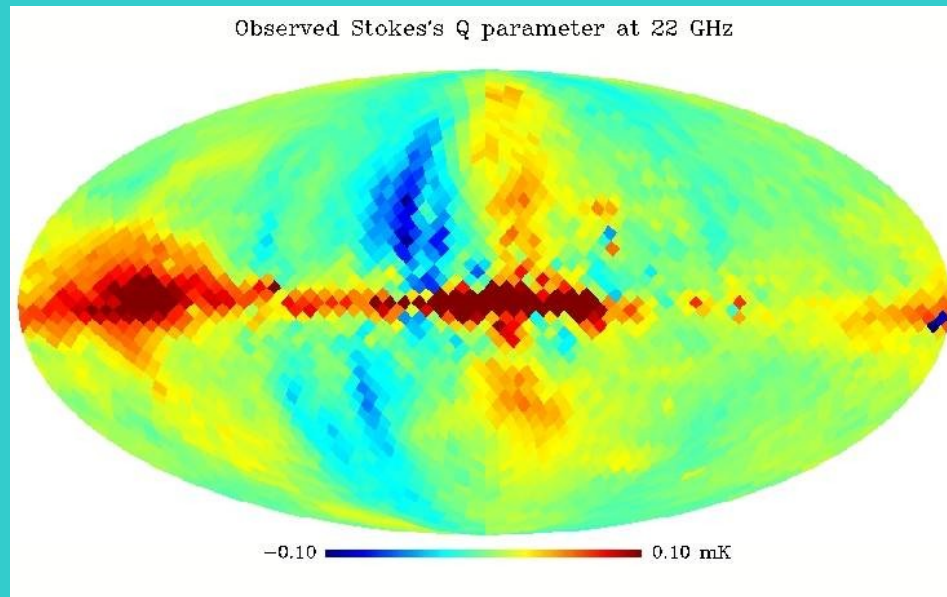




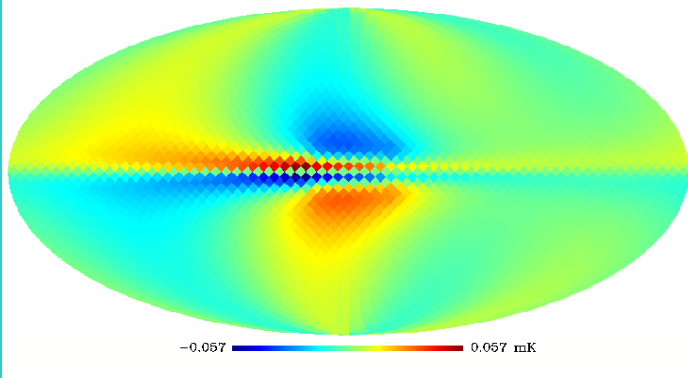
# WMAP U



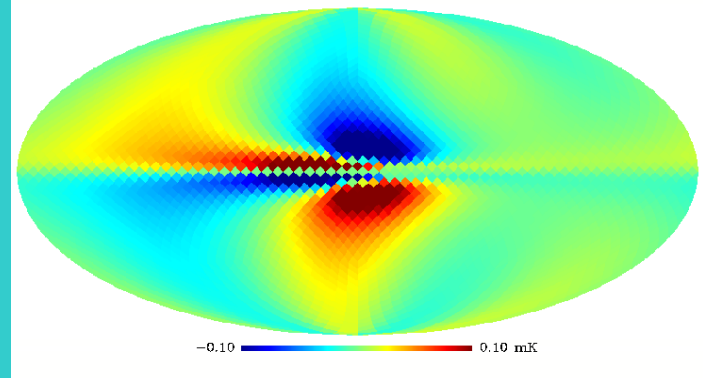
# WMAP Q



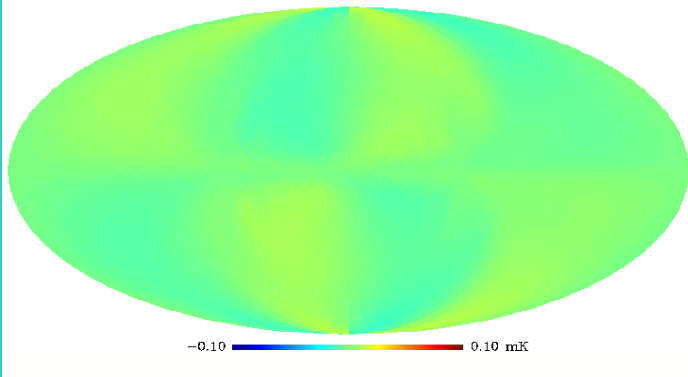
Simulated Stokes U parameter for the ASS(without radial dependence) model



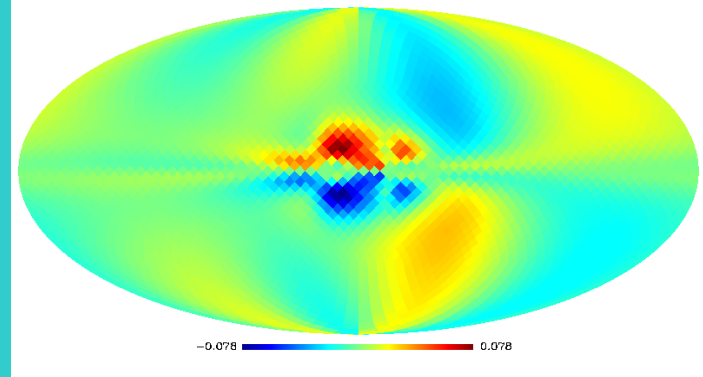
Simulated Stokes U parameter for the ASS(with radial dependence) model



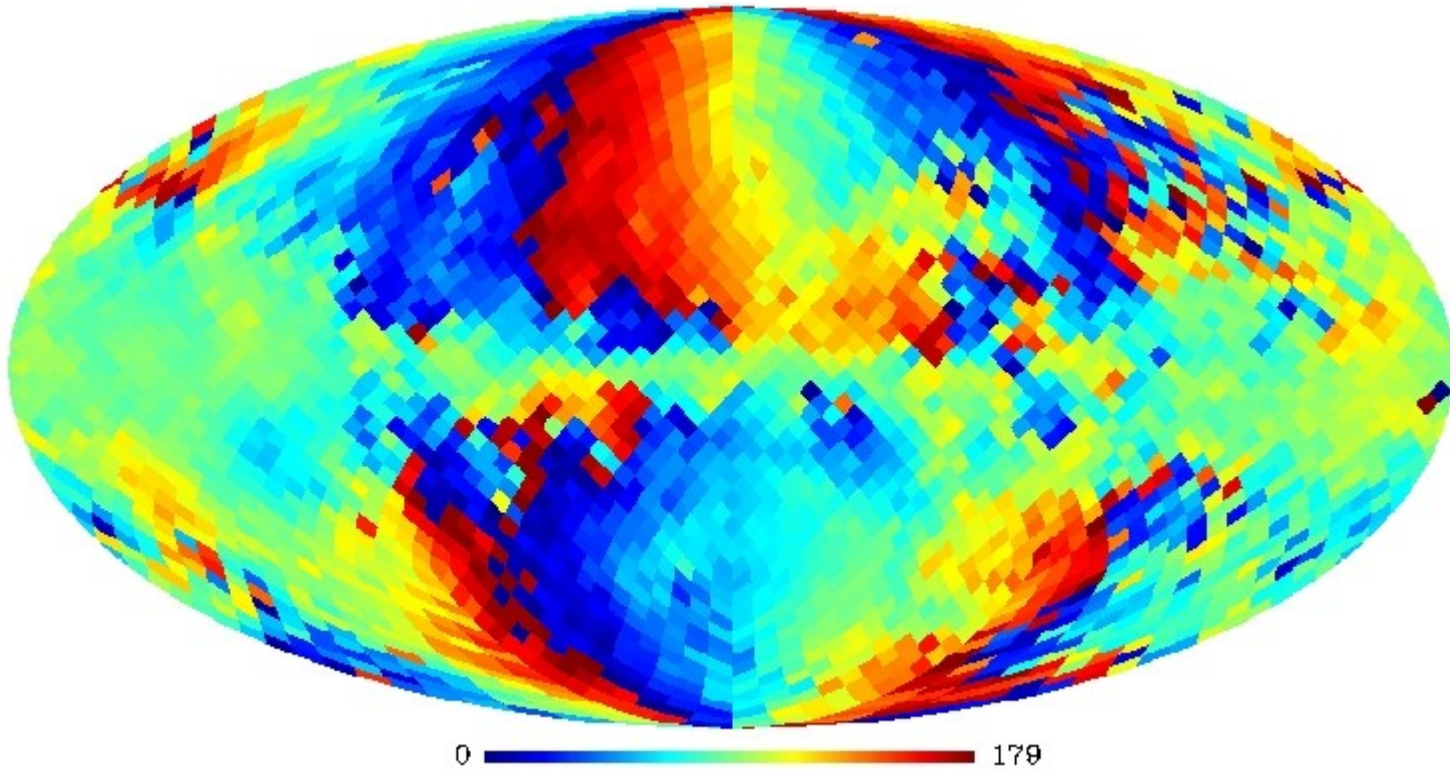
Simulated Stokes U parameter for the BSS(without radial dependence) model



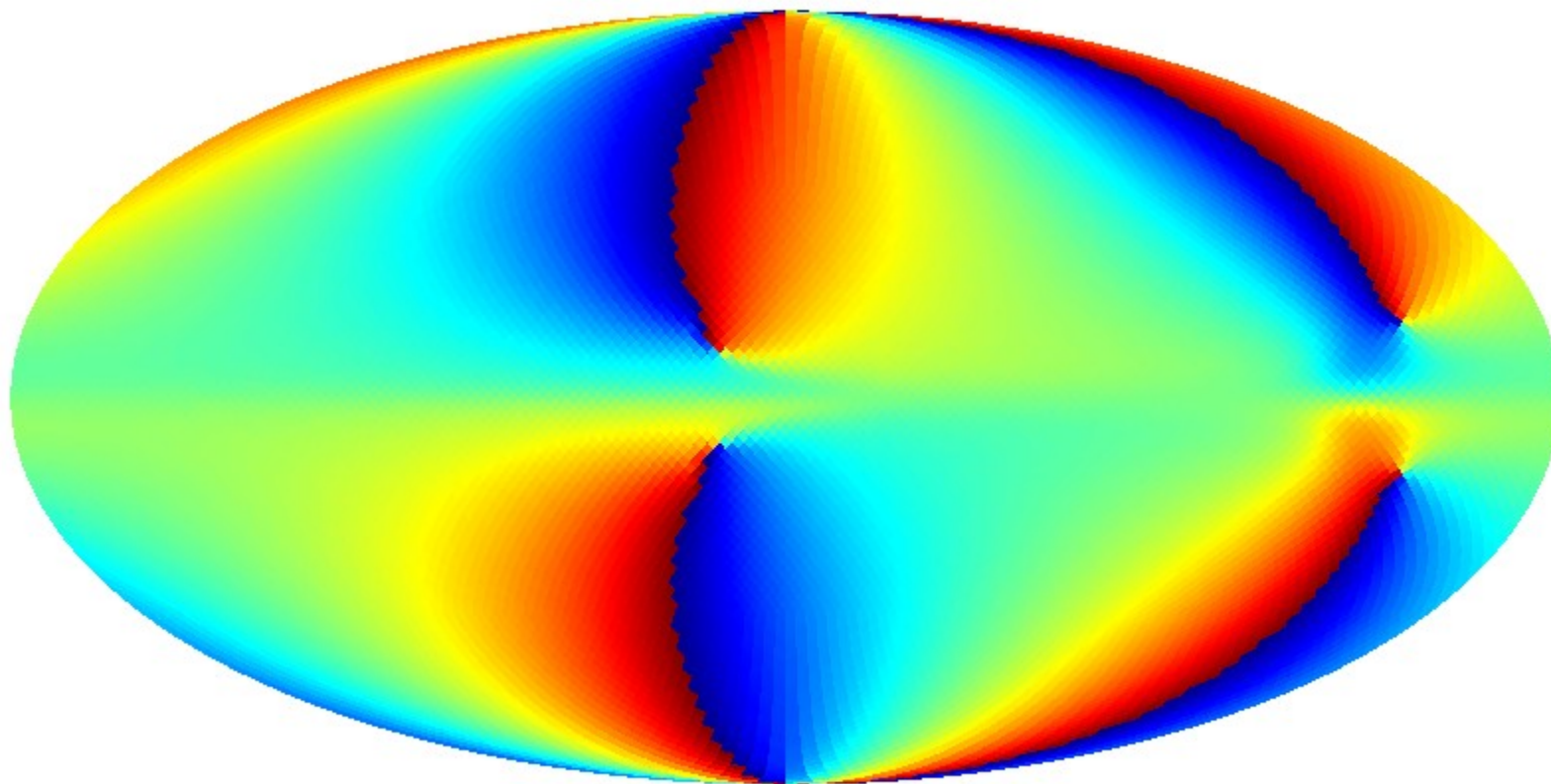
Simulated Stokes U parameter for the BSS(radial dependence) model



Direction of the observed polarization angle at 22 GHz



mapita.fits: UNKNOWN1



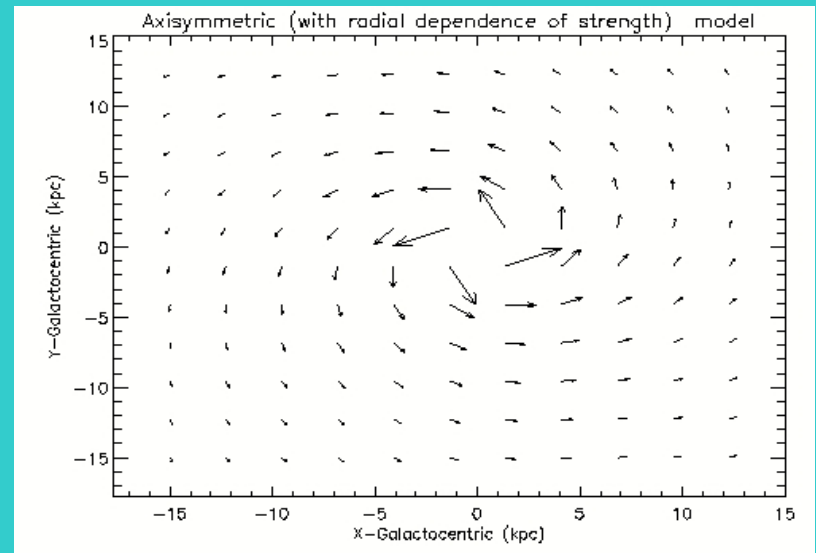
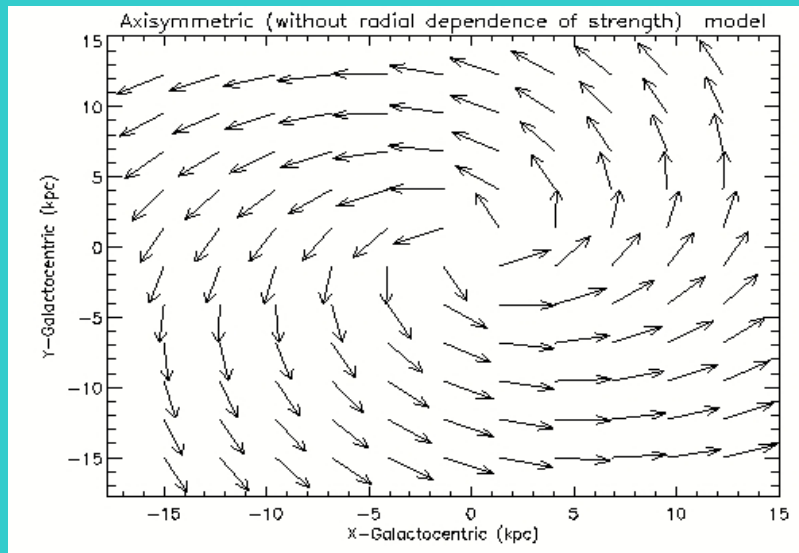
-1.6 1.6

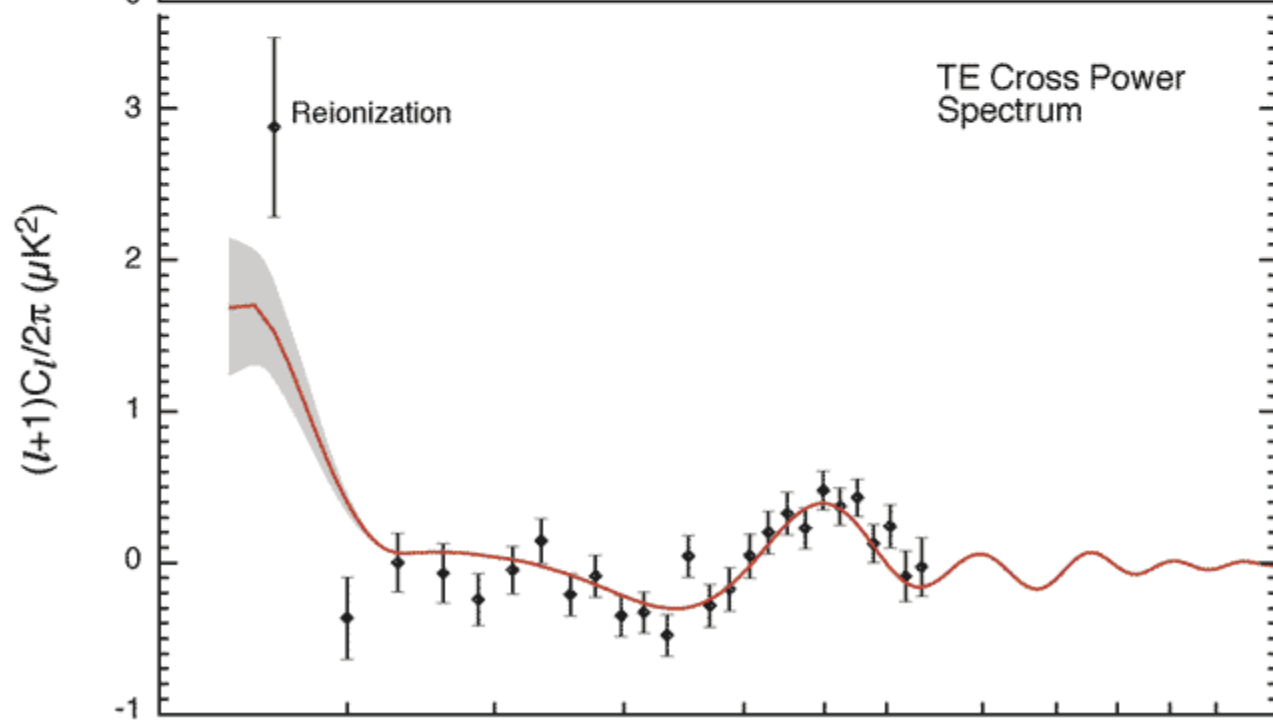
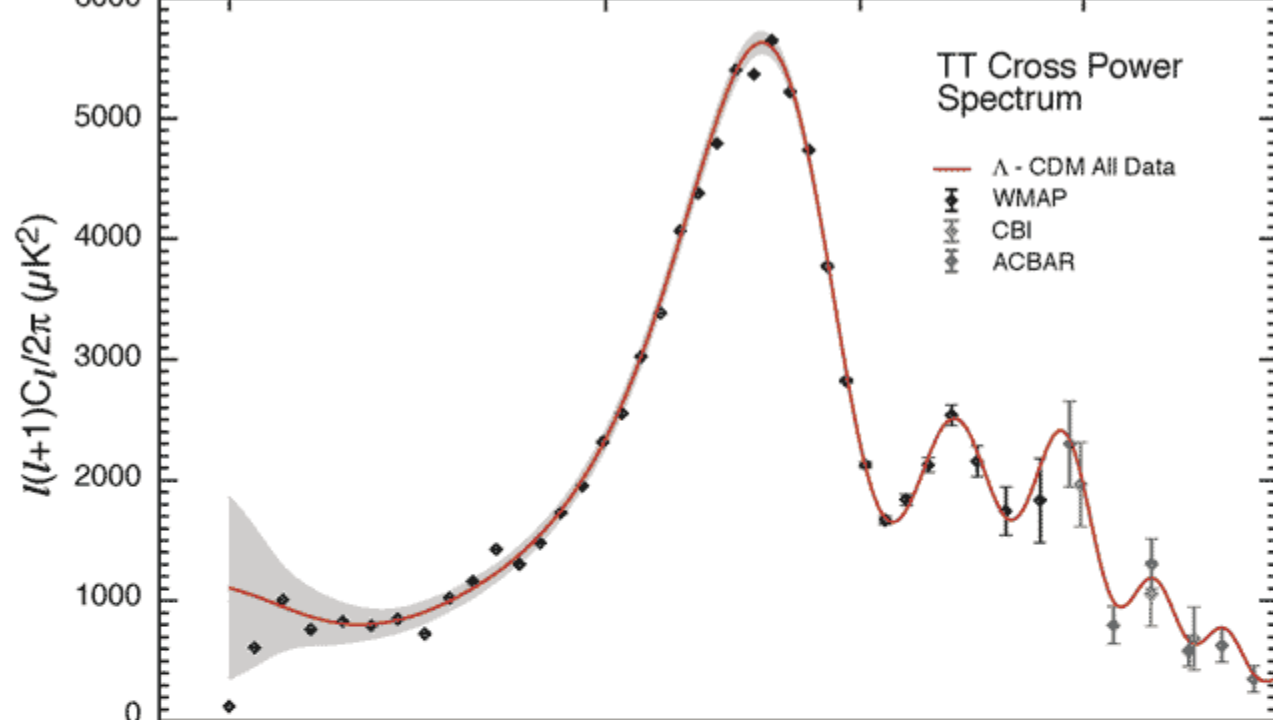
Santiago de Compostela 2009

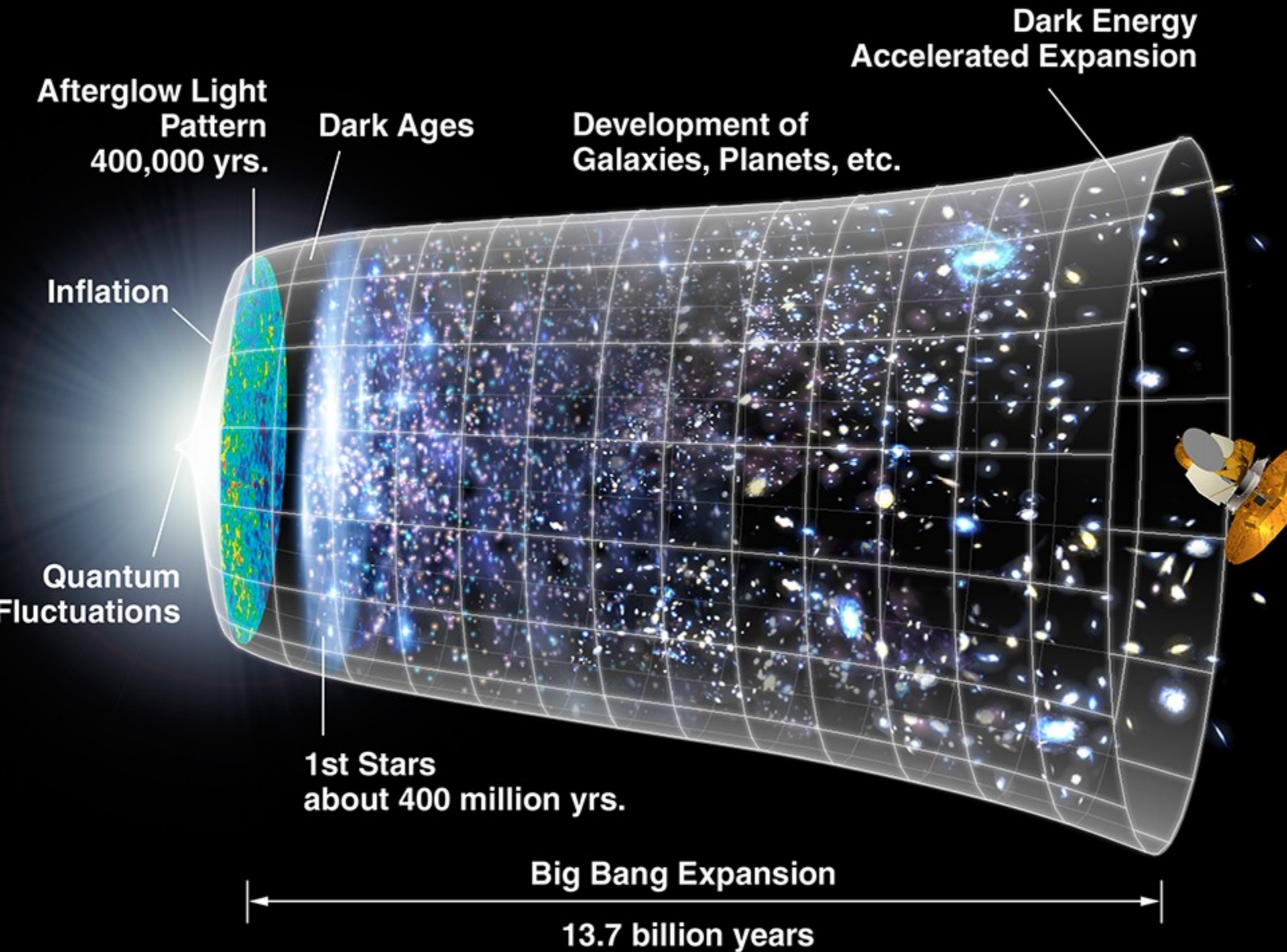




# Modelos axisimétricos



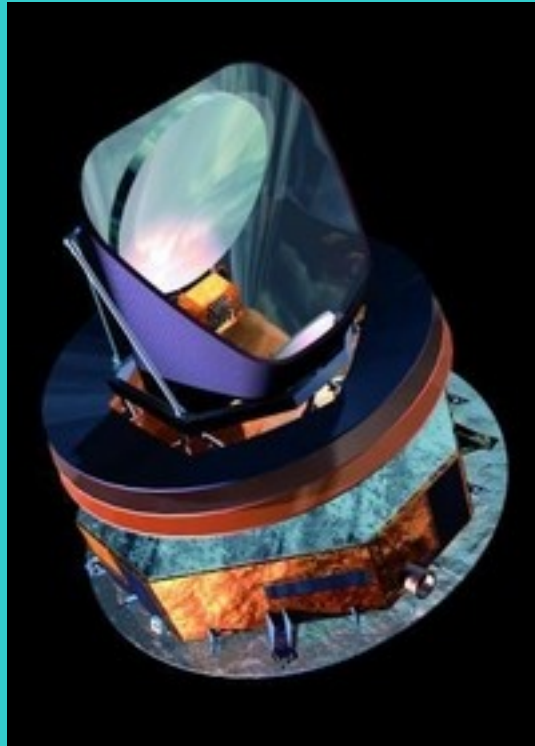






Santiago de Compostela 2009





Santiago de Compostela 2009

# ¿Están vds. ya Hipnotizados?

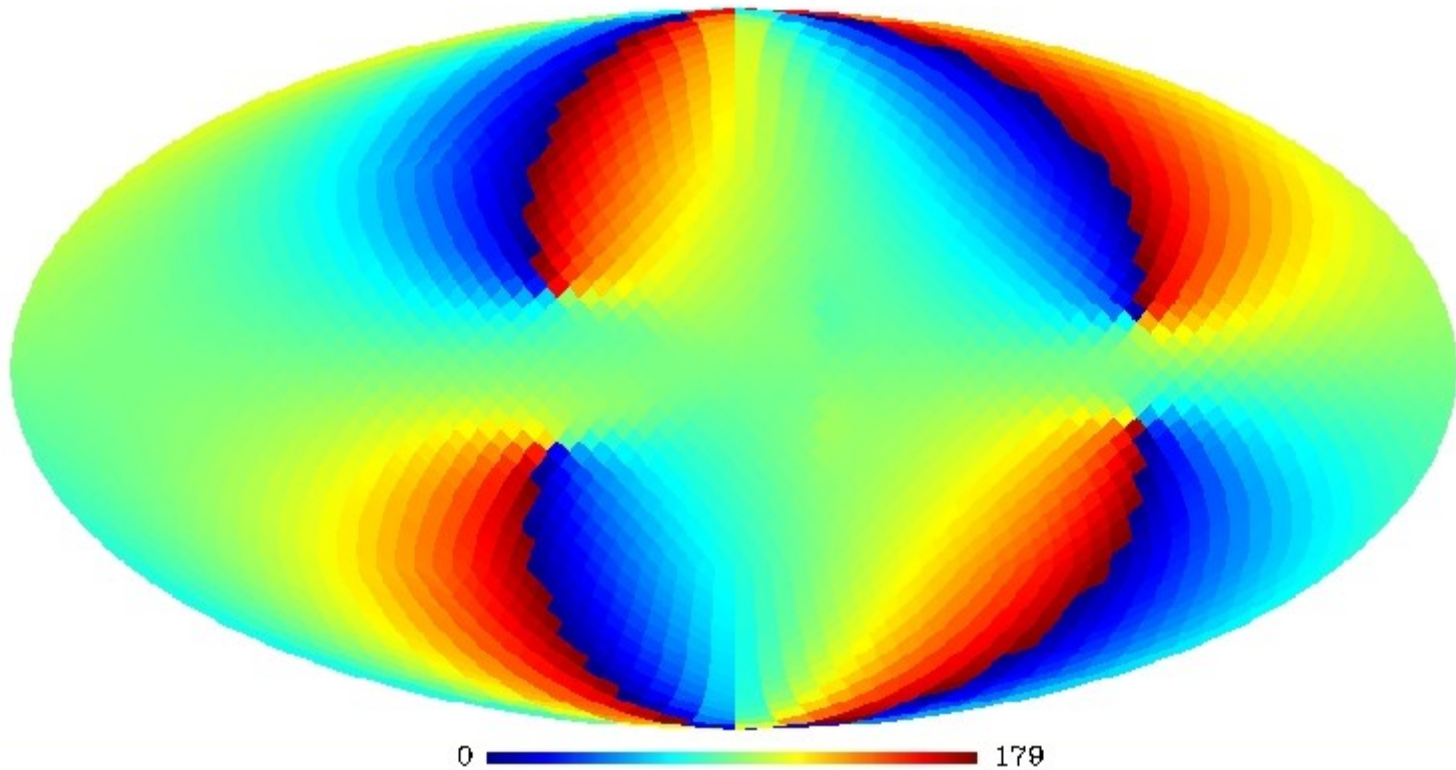


Santiago de Compostela 2009





Best fit for the direction of the PA using BSS model

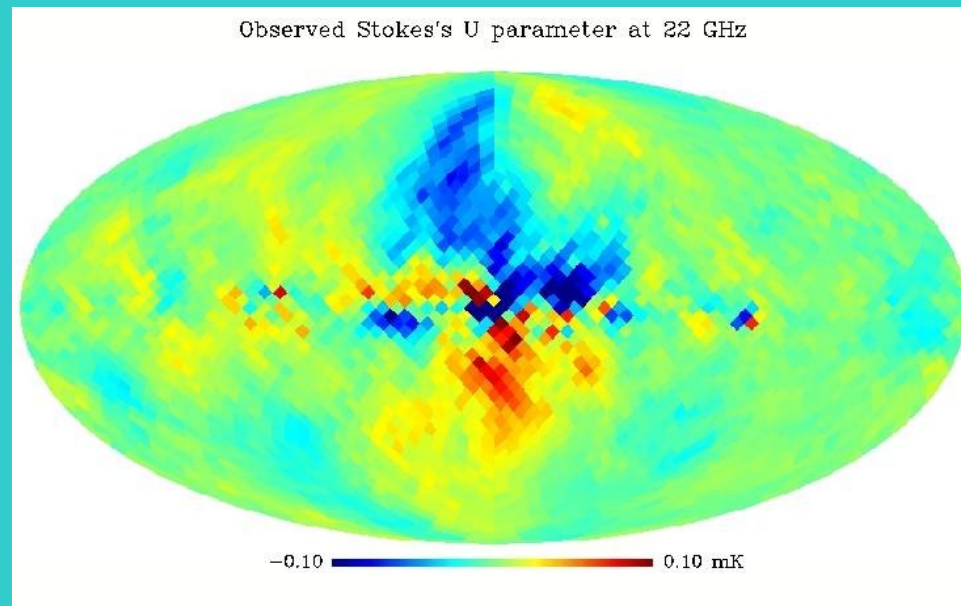


Santiago de Compostela 2009

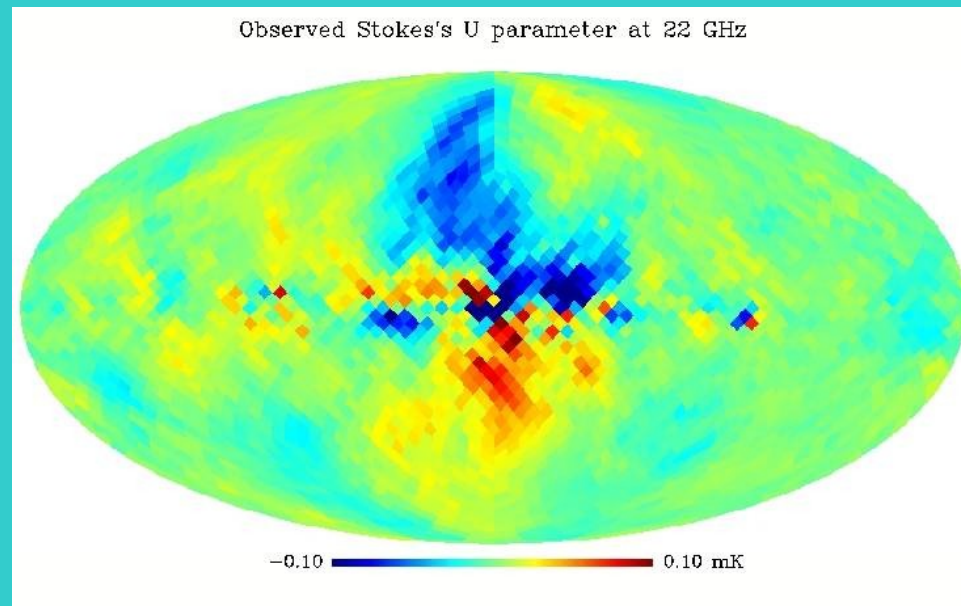




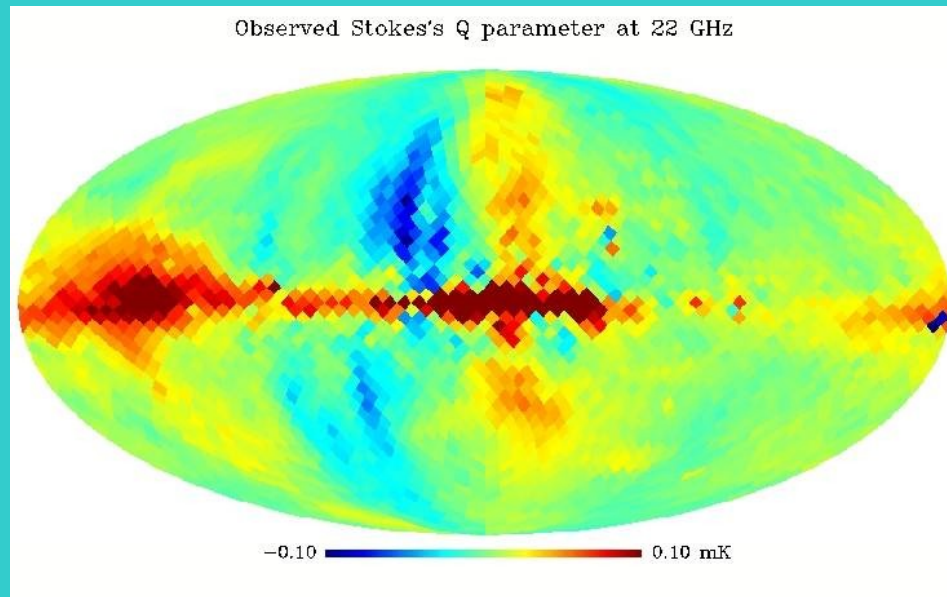
# WMAP U



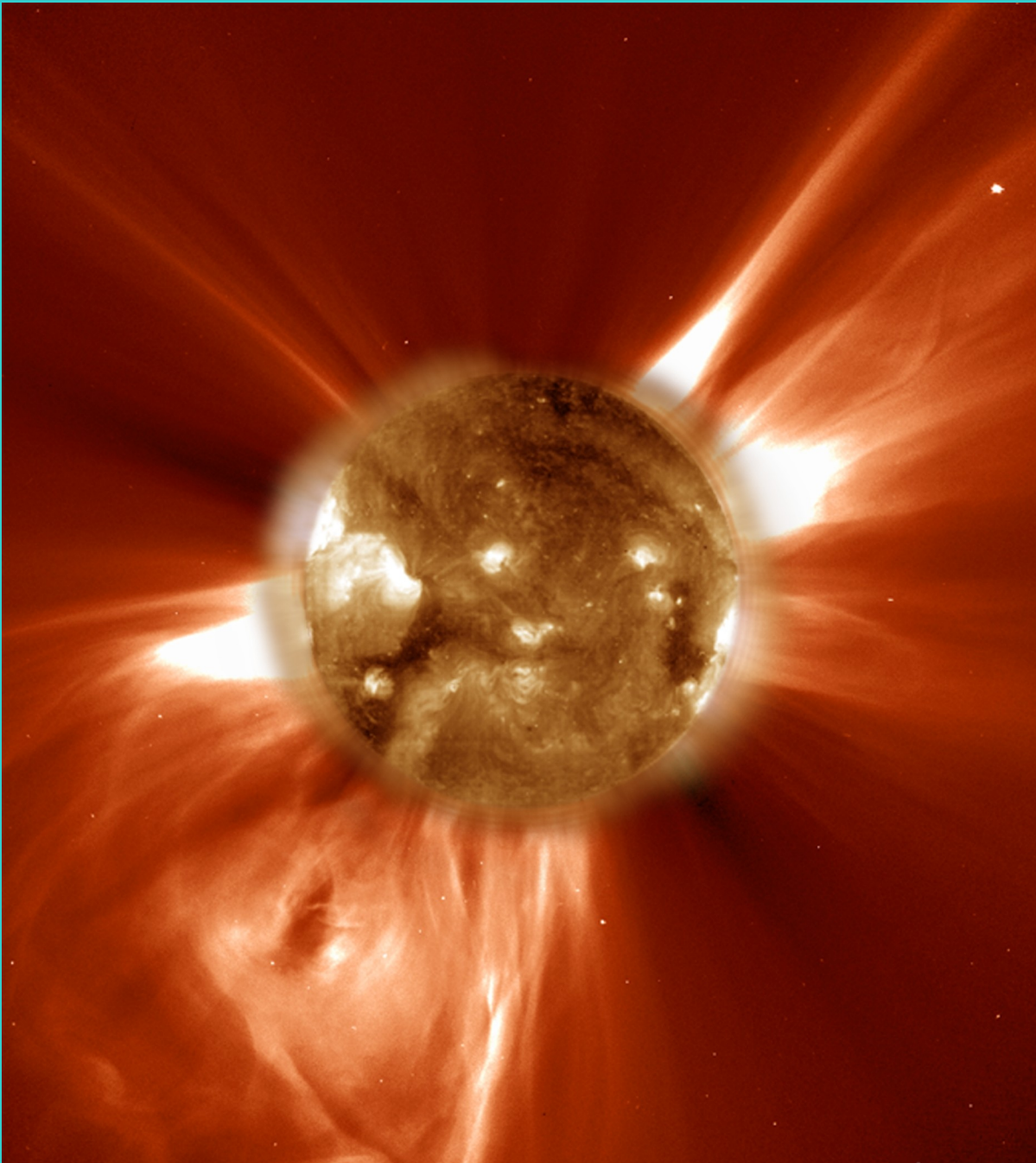
# WMAP U



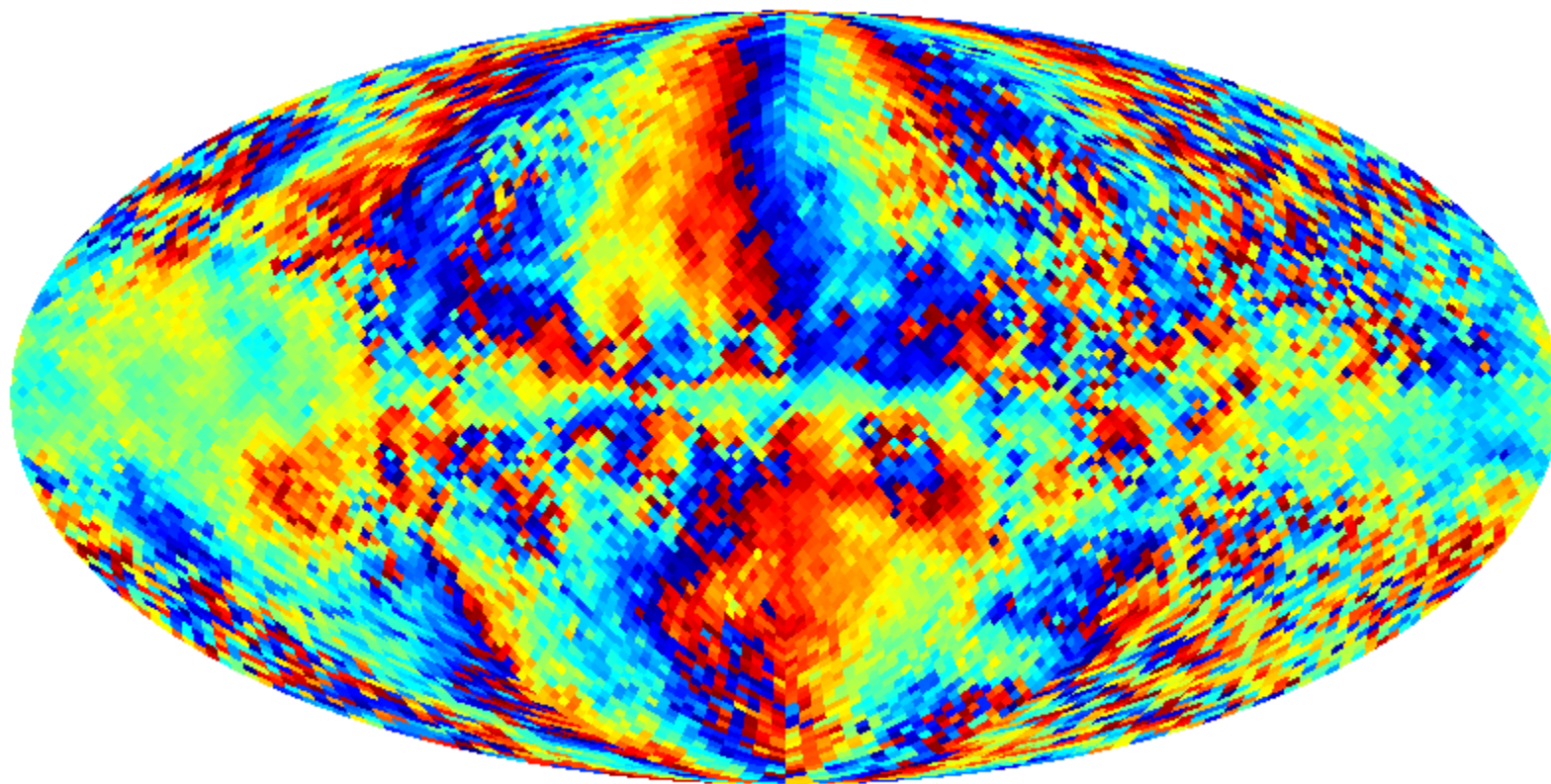
# WMAP Q







gammapol.fits: UNKNOWN1



-0.79 0.79





Santiago de Compostela 2009



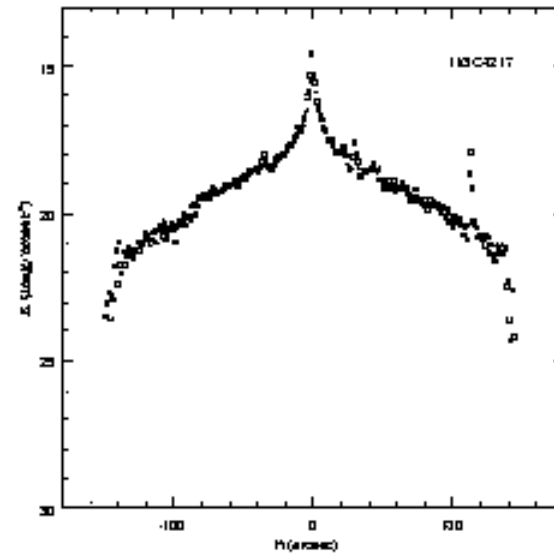
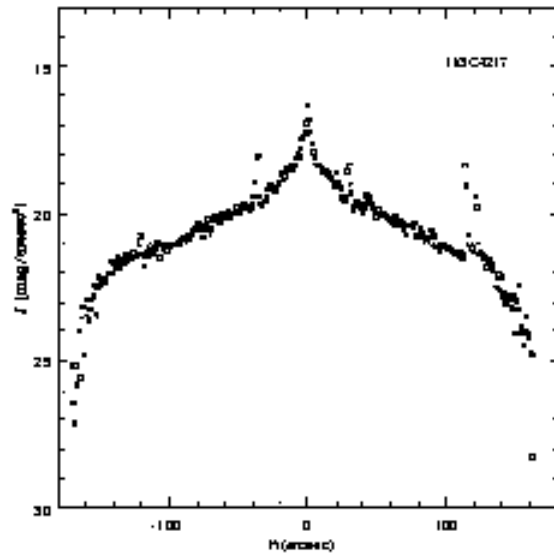
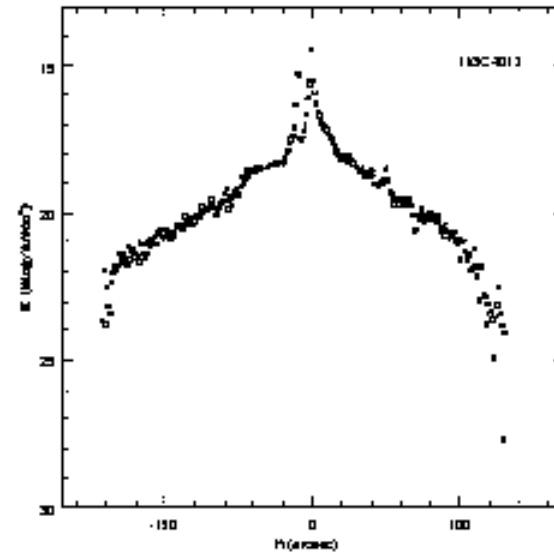
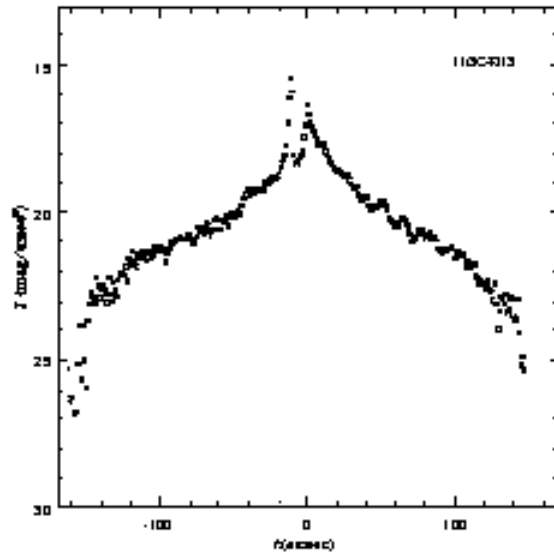
# ¿Qué efectos tiene?

- ¿Qué hace el campo sobre el fluido?
- Toda propiedad de transporte se hace muy anisótropa: difusión (ambipolar), corriente eléctrica, conductividad térmica, “etcetera”
- La presión magnética actúa como una presión,  $B^2/8\pi$ .
- Aparece la tensión magnética,

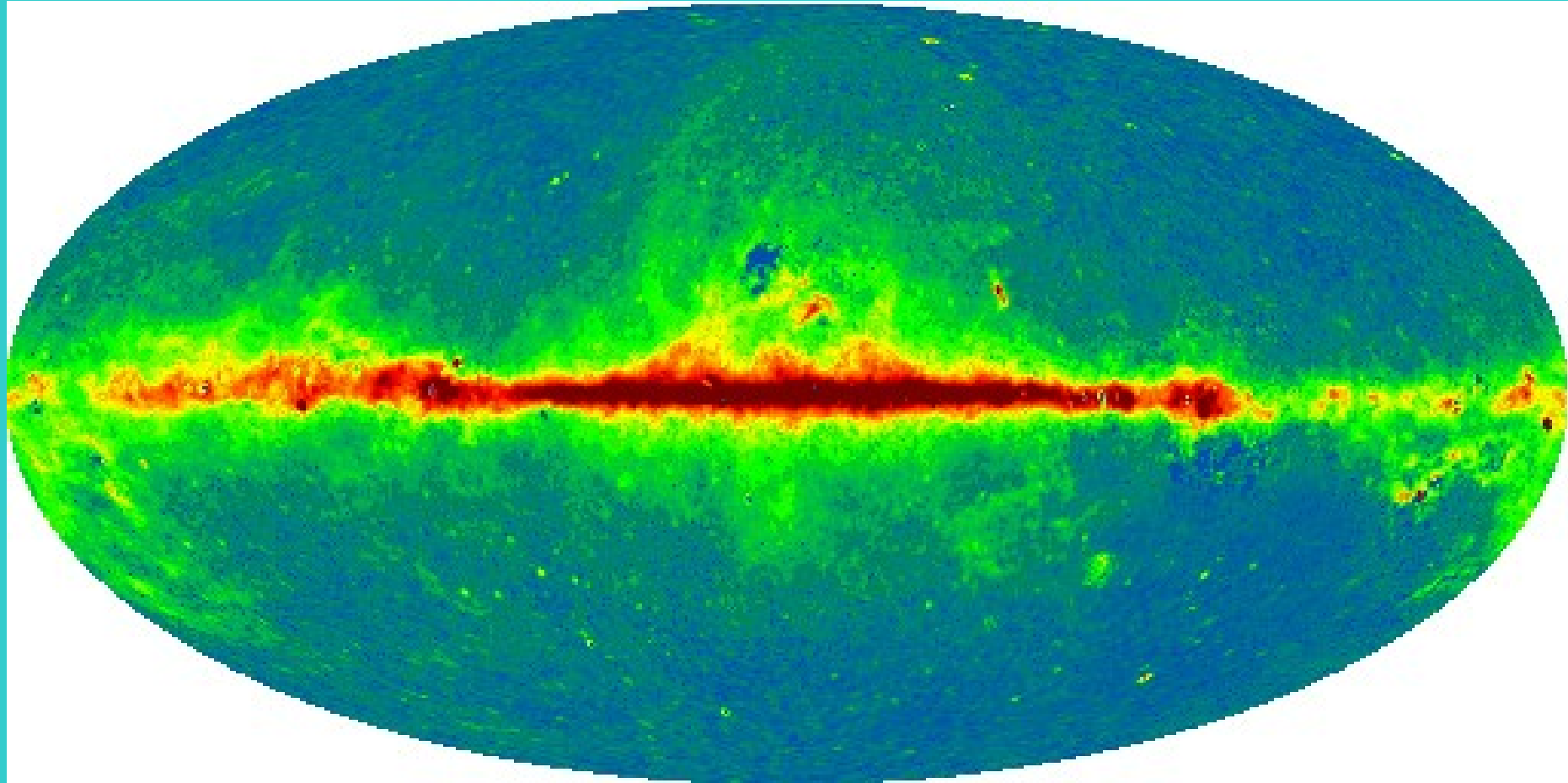
$$\frac{1}{8\pi} \nabla B^2 - \frac{1}{4\pi} \vec{B} \cdot \nabla \vec{B}$$







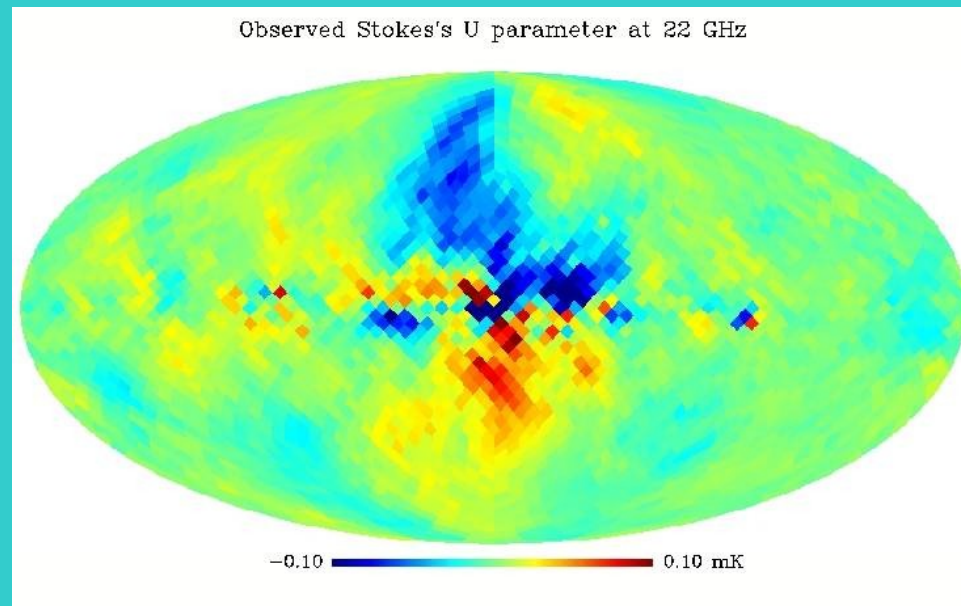




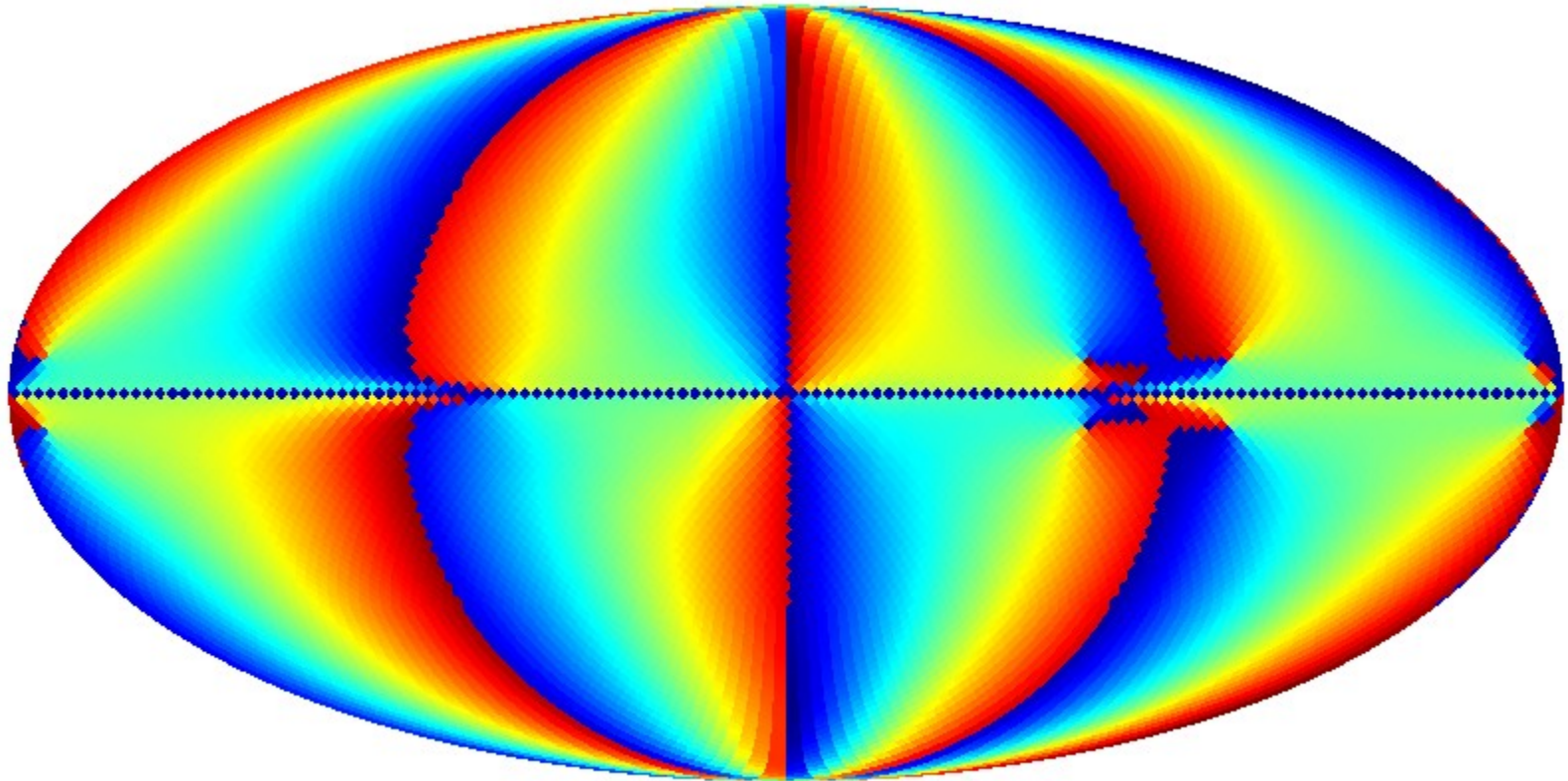
Santiago de Compostela 2009



# WMAP U



suma.fits: UNKNOWN1



79  280

Santiago de Compostela 2009



Observed Stokes's U parameter at 22 GHz

