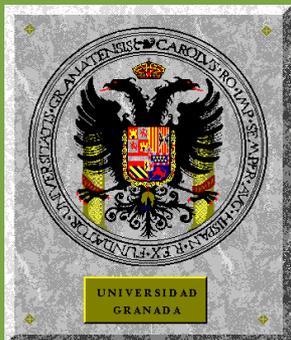


# El campo magnético en el Cosmos

Eduardo Battaner  
Universidad de Granada



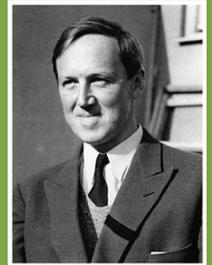
Salamanca 2013

# Etimología

- Indoeuropeo: “Magh” = tener fuerza  
En español da:  
desmayar, mago, magia, meiga...  
...y magnetismo
- RA: Magnetismo=hipnotizar, fascinar a una persona o a un grupo

# Magnetismo cósmico

- Alfvén: en un plasma cósmico, el campo magnético es muy duradero.
- Fermi: Rayos cósmicos confinados por el campo galáctico. Estimó: 1 micro-gauss.
  - 1 tesla = 10000 gauss
- Hoyle: Origen primordial.
- Antes: En La Tierra, ¡la brújula!
- En el Sol



# En La Tierra

El imán

La brújula

El invento que **no** es chino

A España llegó en el siglo XII o XIII

La calamita



Salamanca 2013

# 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

# Magnetismo planetario

- Es creado por turbulencia en el interior.
- Hace falta:
  - Un interior fluido conductor.
  - Un planeta que gire (genera turbulencia)
- Venus no tiene (giro lentísimo)
- En La Tierra hay un núcleo de hierro líquido
- Júpiter, con giro muy rápido, tiene el mayor campo magnético (hidrógeno metálico)

# Gravedad y magnetismo

Cada vez se ve más la necesidad de incluir el magnetismo

En planetas, estrellas, medios interestelar, intergaláctico, pregaláctico

- ¿Campo magnético primordial?

log	N(cm <sup>-3</sup> )	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

# 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.
- **Son infinitas en el espacio y en el tiempo (ligera exageración)**

Si a las partículas las  
imaginamos como  
puntos, al campo  
magnético le  
imaginamos como líneas

# Filamentos

- Cuando se observan filamentos en objetos astrofísicos, sospechamos campo magnético.

Porque no cuesta trabajo desplazar una partícula cargada en la dirección del campo.

La fuerza es proporcional al producto vectorial de la velocidad y el campo

las partículas difunden a lo largo de las líneas de campo.

Los filamentos nos indican la dirección del campo magnético

Los filamentos nos  
indican la dirección  
del campo

# Anisotropía

- Las líneas de campo son los raíles naturales para el movimiento de las cargas.
- La difusión tiene lugar en su dirección.
- Y la corriente eléctrica

Los plasmas  
cósmicos son muy  
anisótropos

# Congelación

- Conductividad infinita
- Las líneas de campo están como “pinchadas” en el plasma.
- Si el plasma se mueve se “lleva” las líneas.
- Si el plasma se expande, las líneas se separan

# Los plasmas cósmicos están “congelados”

# Turbulencia y magnetismo

- Plasmas cósmicos: no se crean
- Sólo se amplifican y ordenan
- La turbulencia retuerce las líneas de campo
- El movimiento del plasma modifica el campo, y el campo modifica el movimiento.

# El campo magnético y la turbulencia producen belleza en el Cosmos

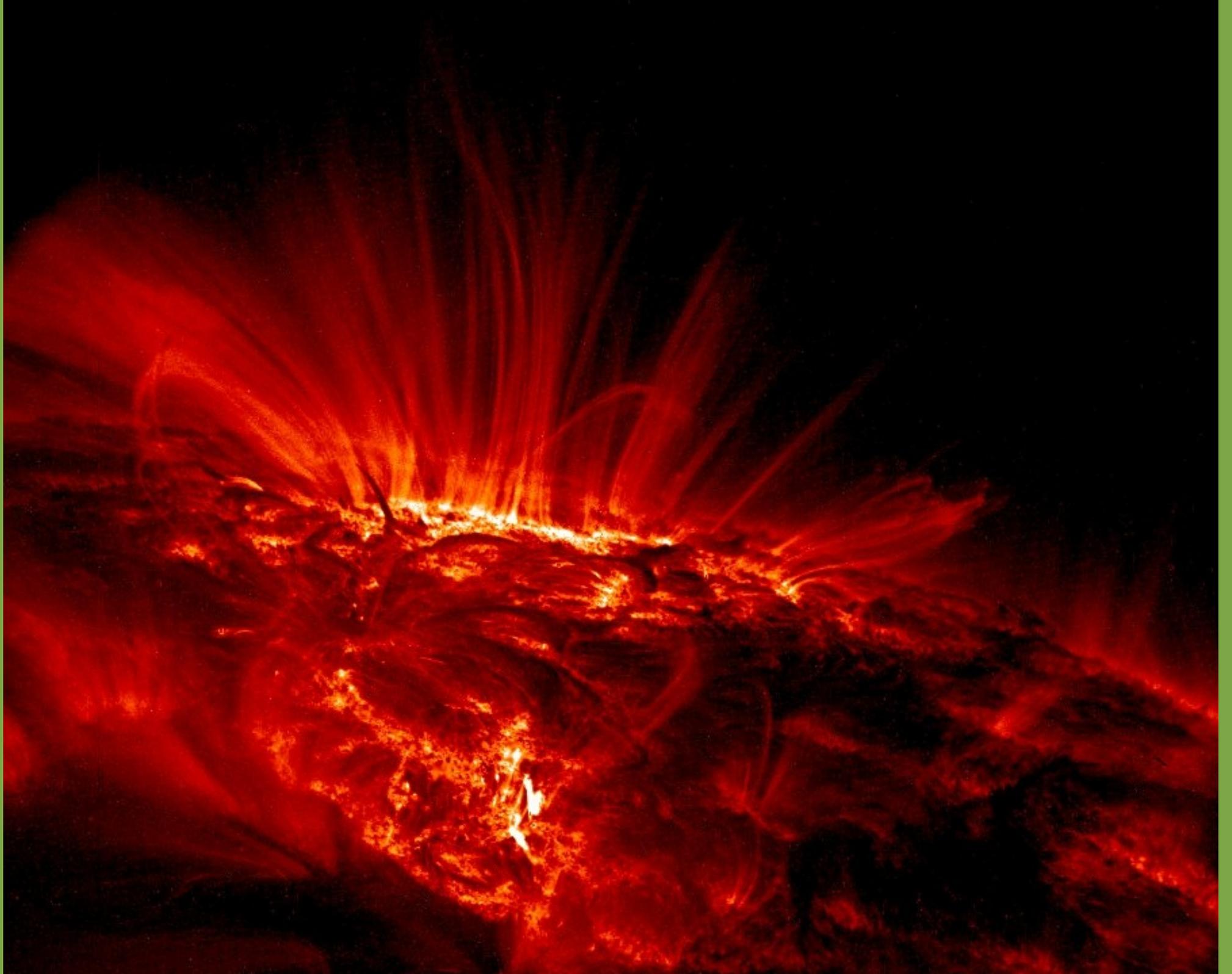


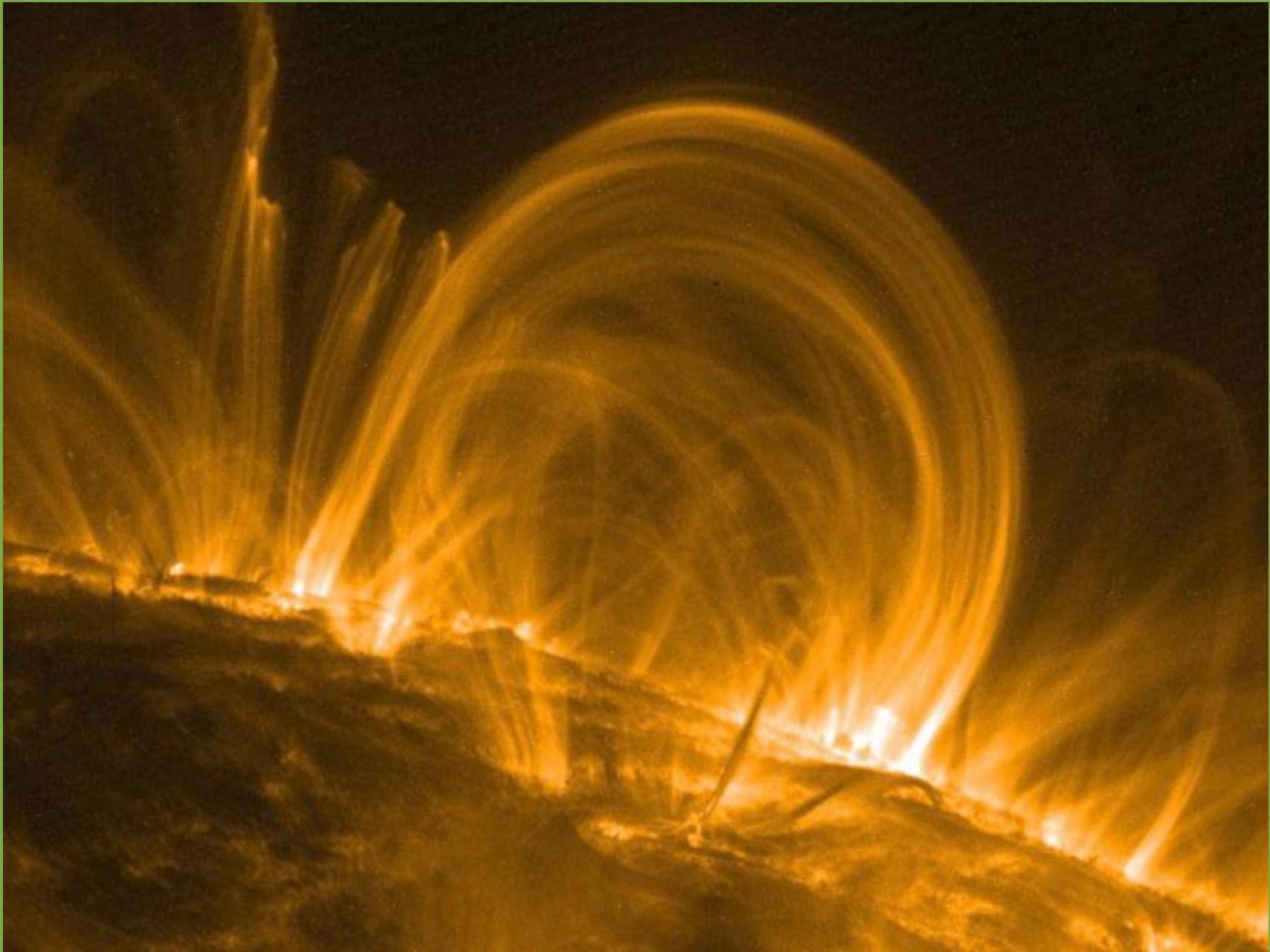
# ¿Cómo se amplifica? Dinamo

- La turbulencia, fenómeno caótico por excelencia, produce un campo magnético ordenado.

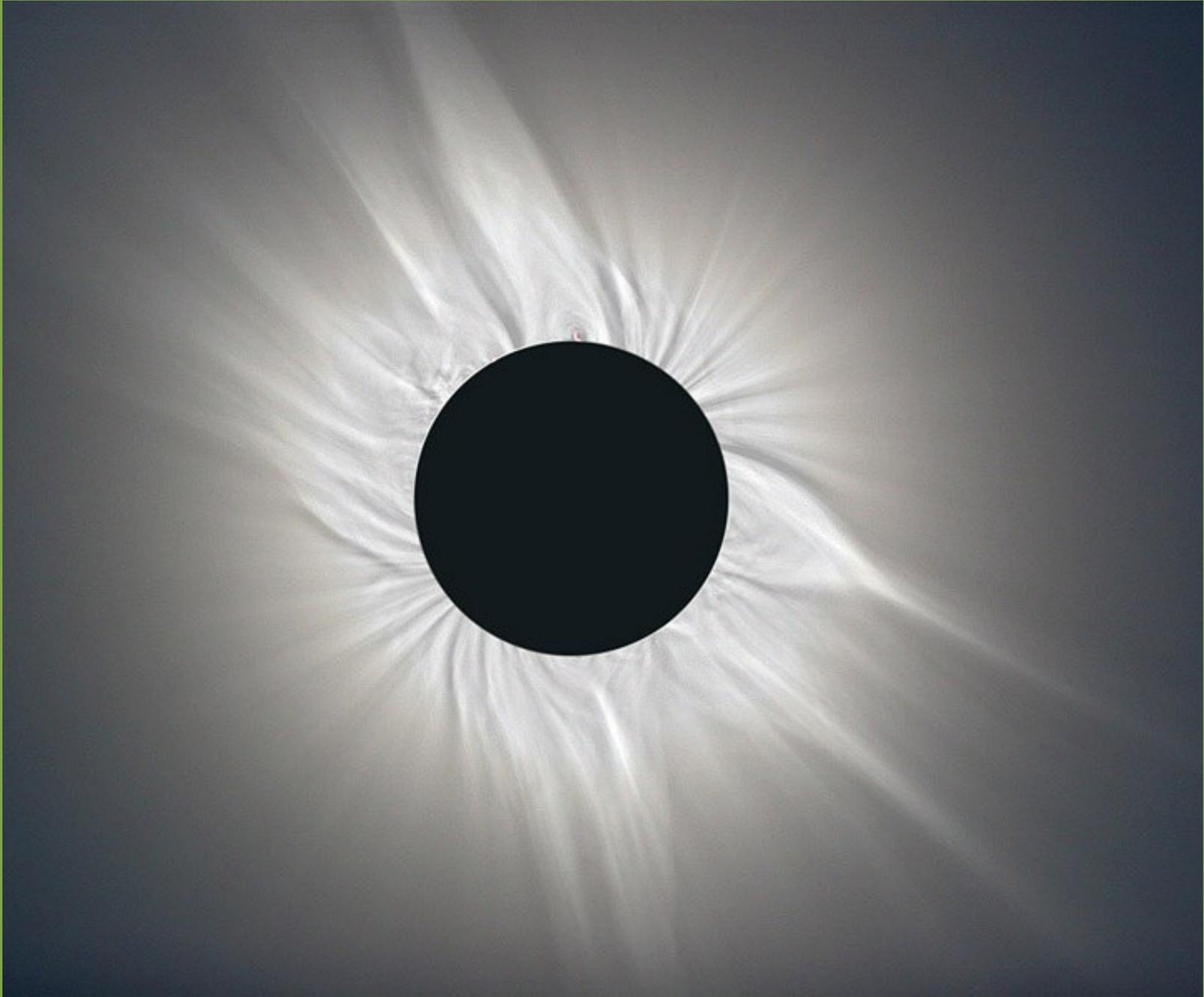
# Sol

- 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





Salamanca 2013



Salamanca 2013



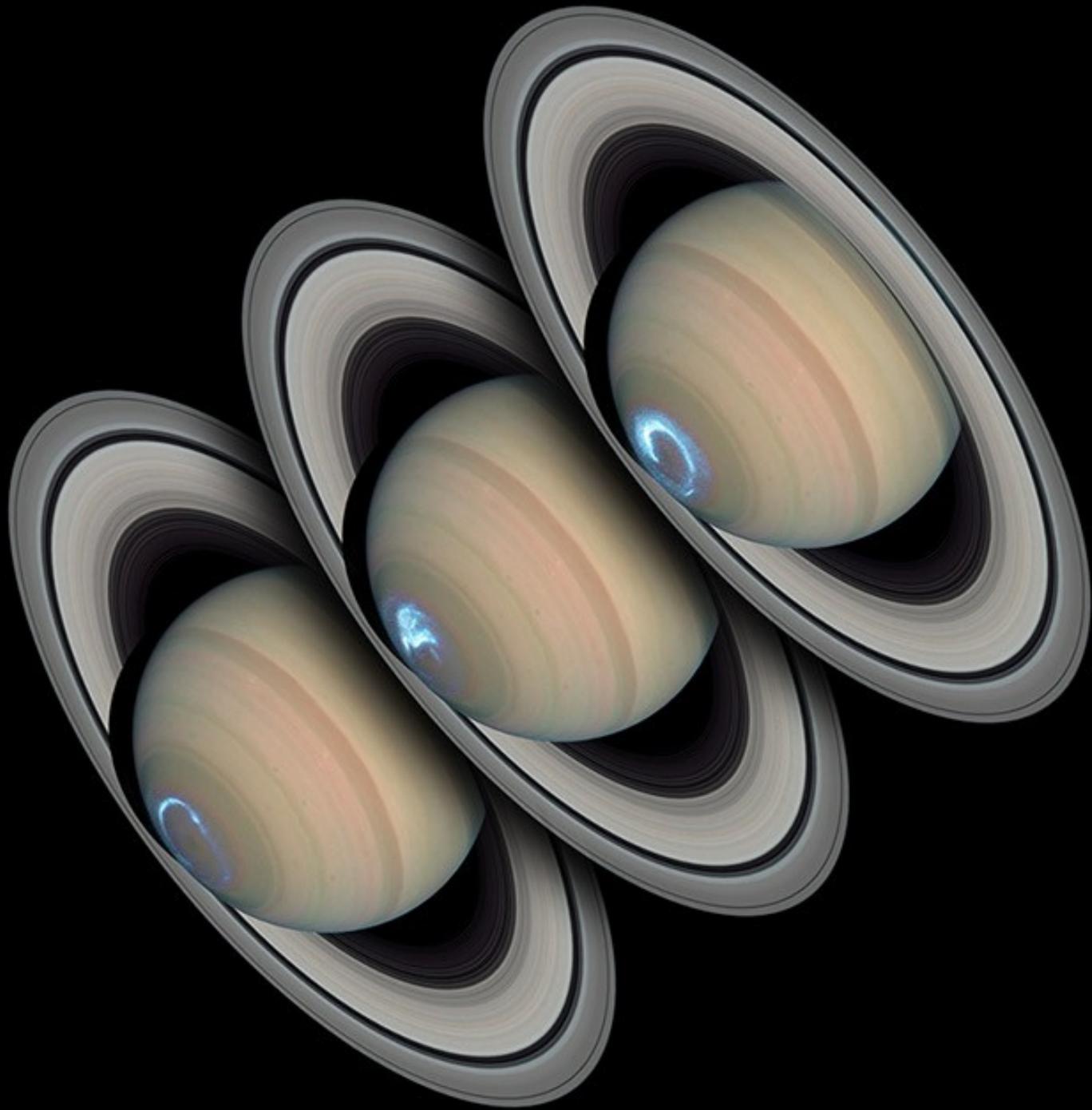
manca 2013



Salamanca 2013

# 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.



# ¿Cómo se mide?

- Radiación sincrotrón:  
los electrones giran en torno al campo  
El giro es una aceleración  
la aceleración de una carga produce emisión.
- Rotación de Faraday:  
El plano de polarización gira al atravesar un medio magnetizado.

# La radiación sincrotrón domina la emisión continua en ondas centimétricas

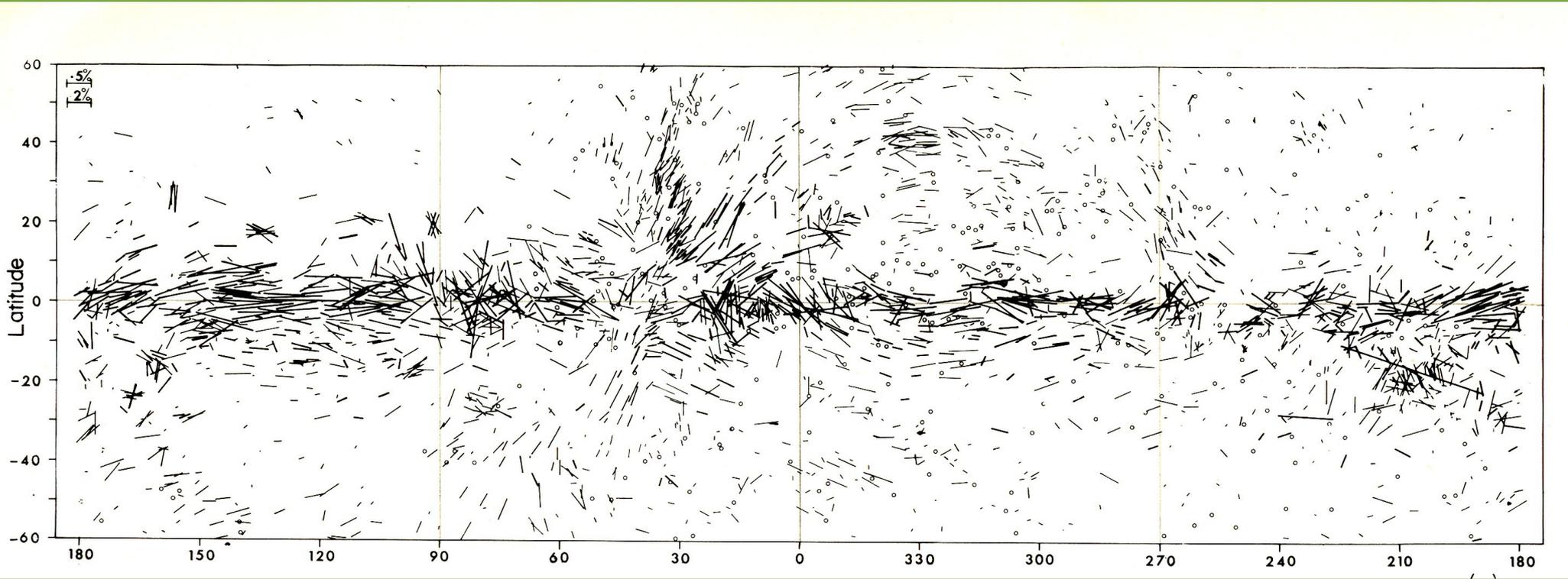
# Rotación de Farady

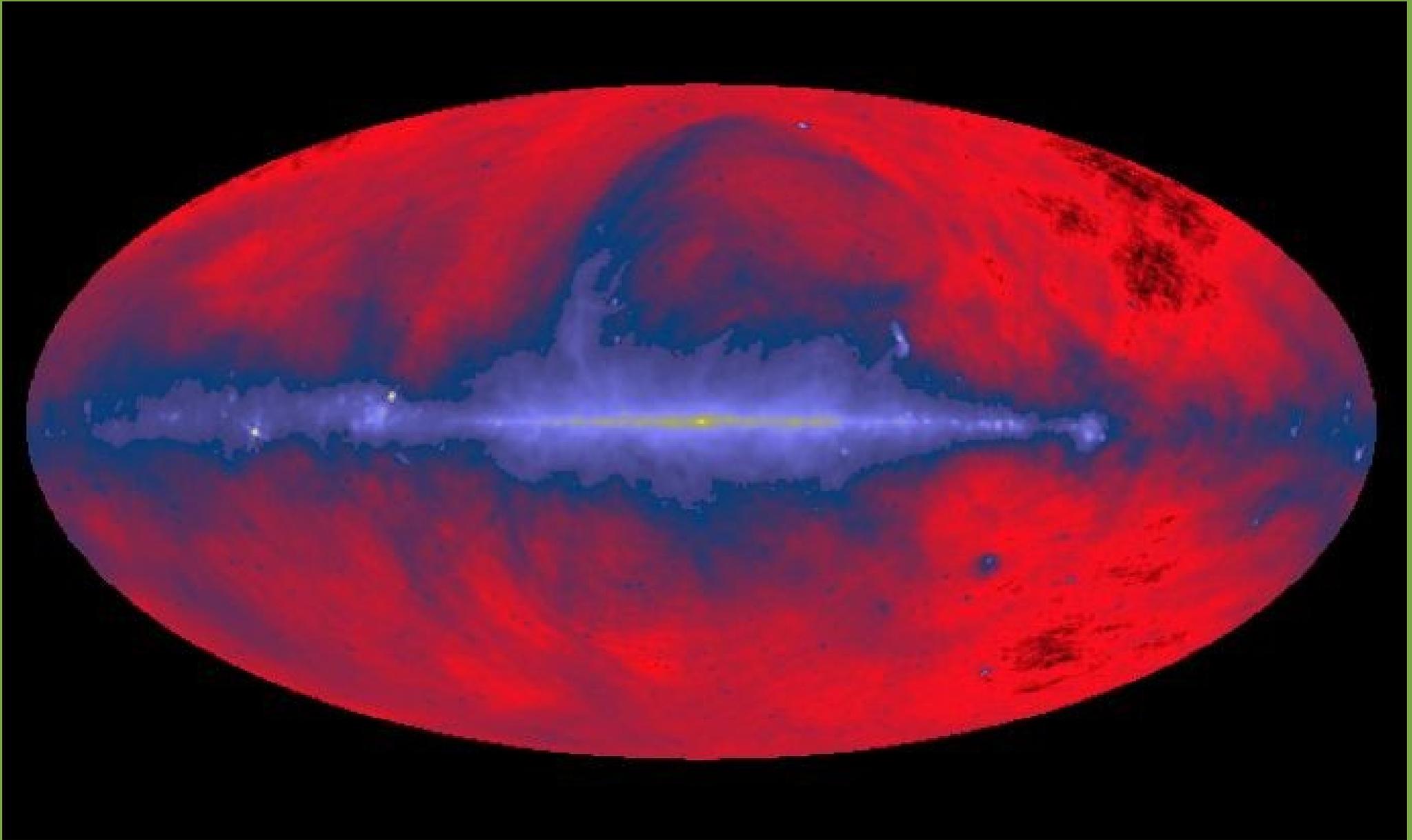
$$\delta \varphi = (RM) \lambda^2$$

$$(RM) = k \int_l B n_e dl$$

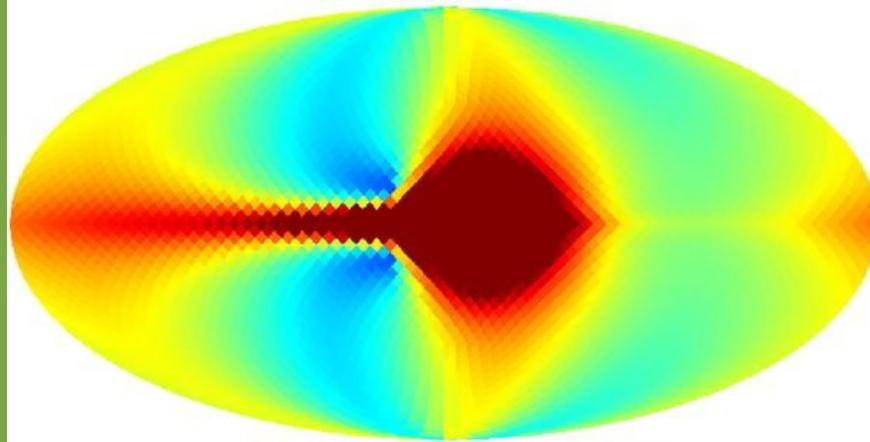




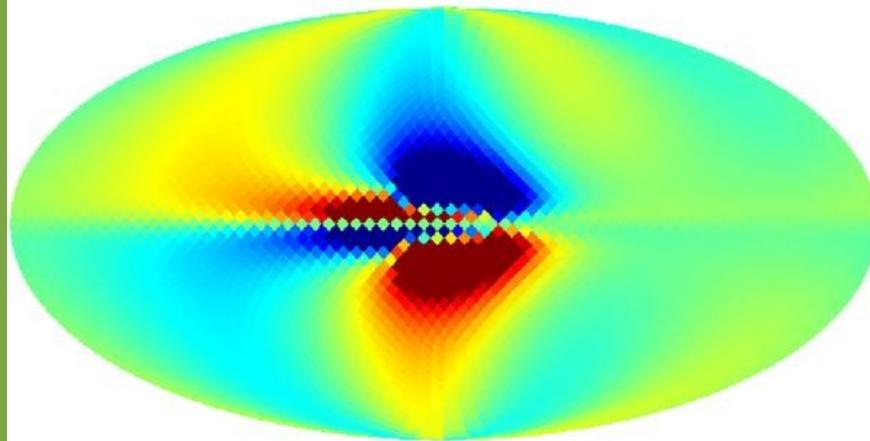




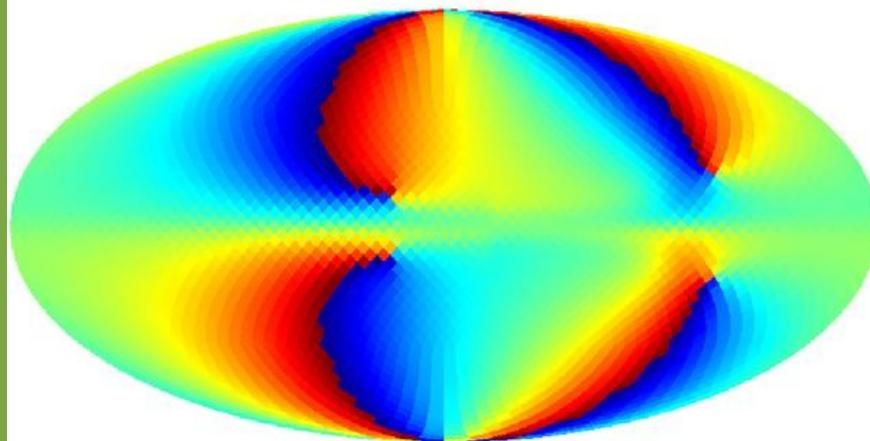
Salamanca 2013



-0.10 0.10 mK

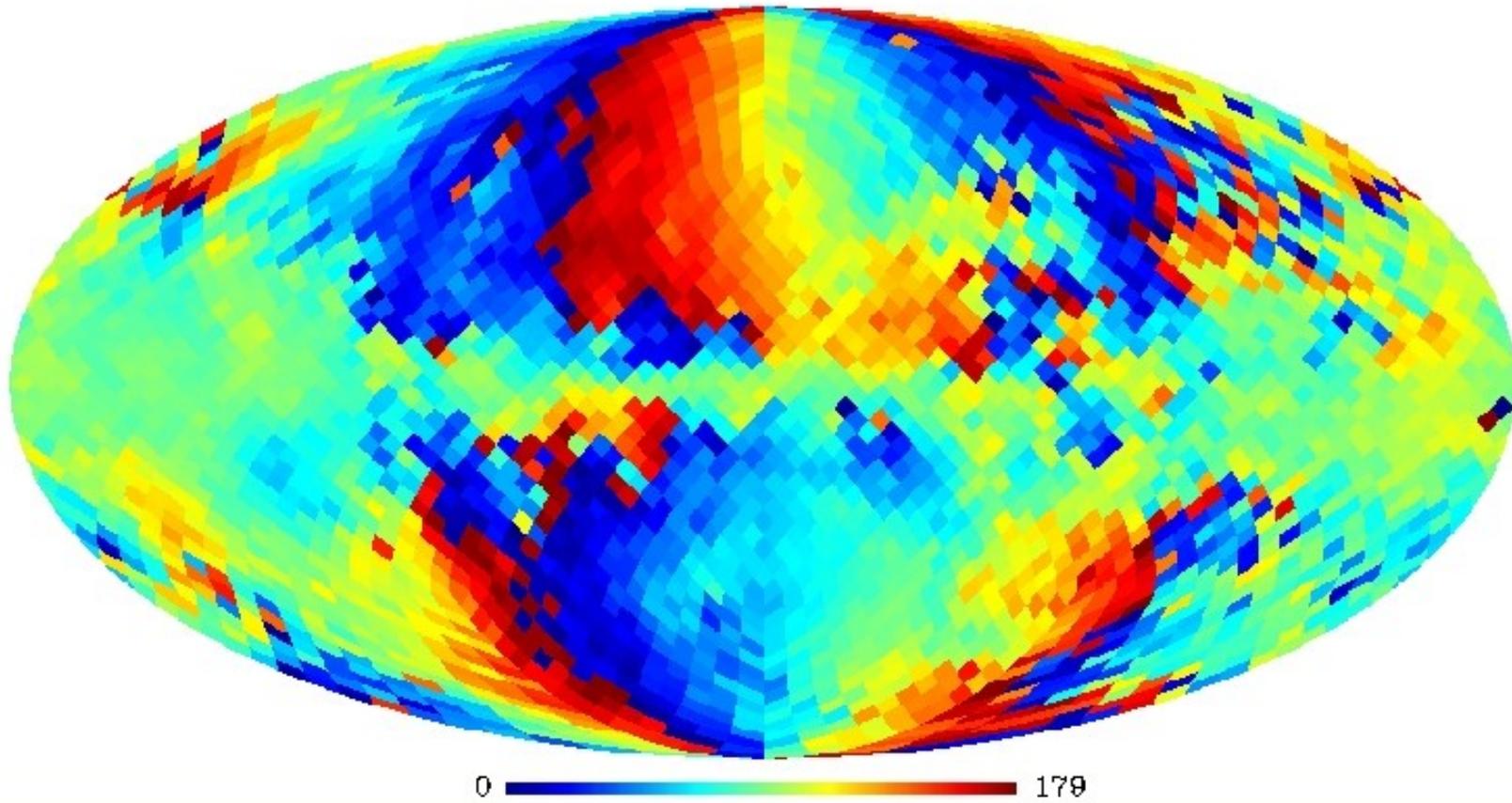


-0.10 0.10 mK

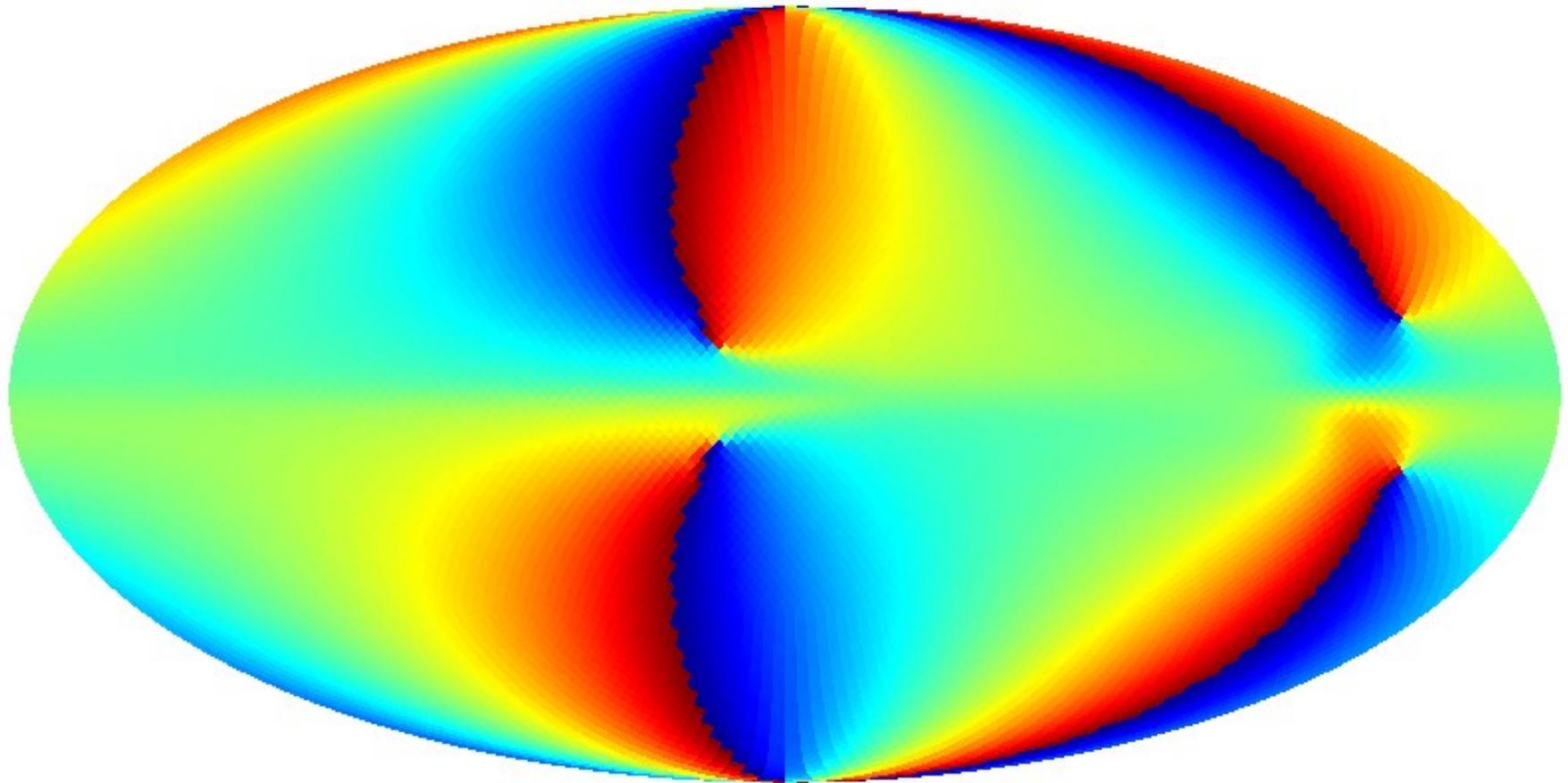


0 158 deg

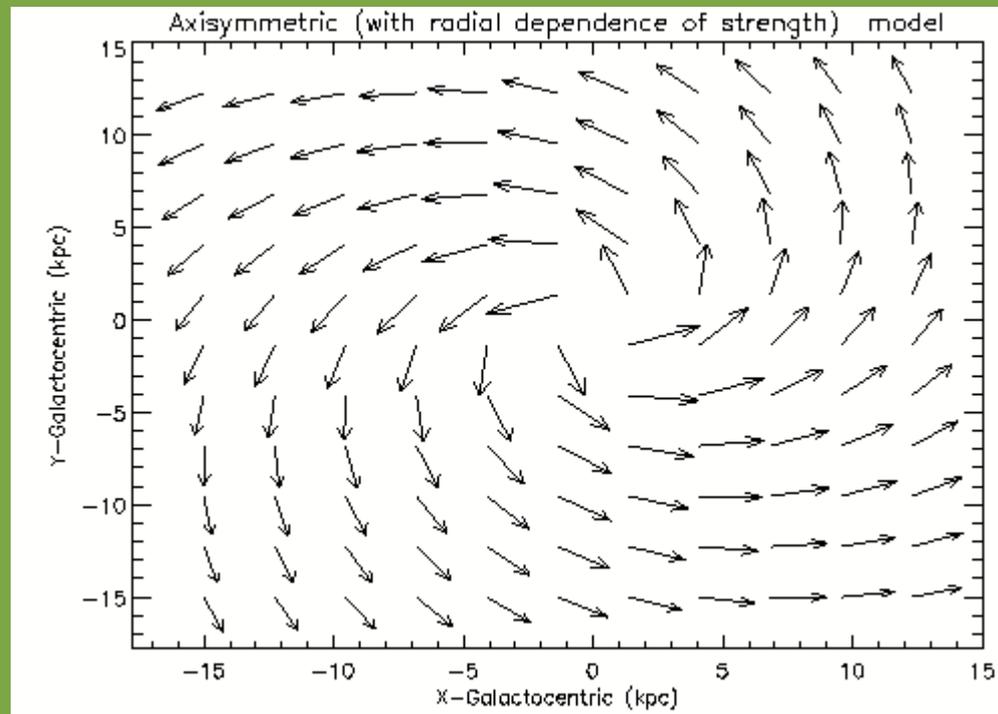
Direction of the observed polarization angle at 22 GHz



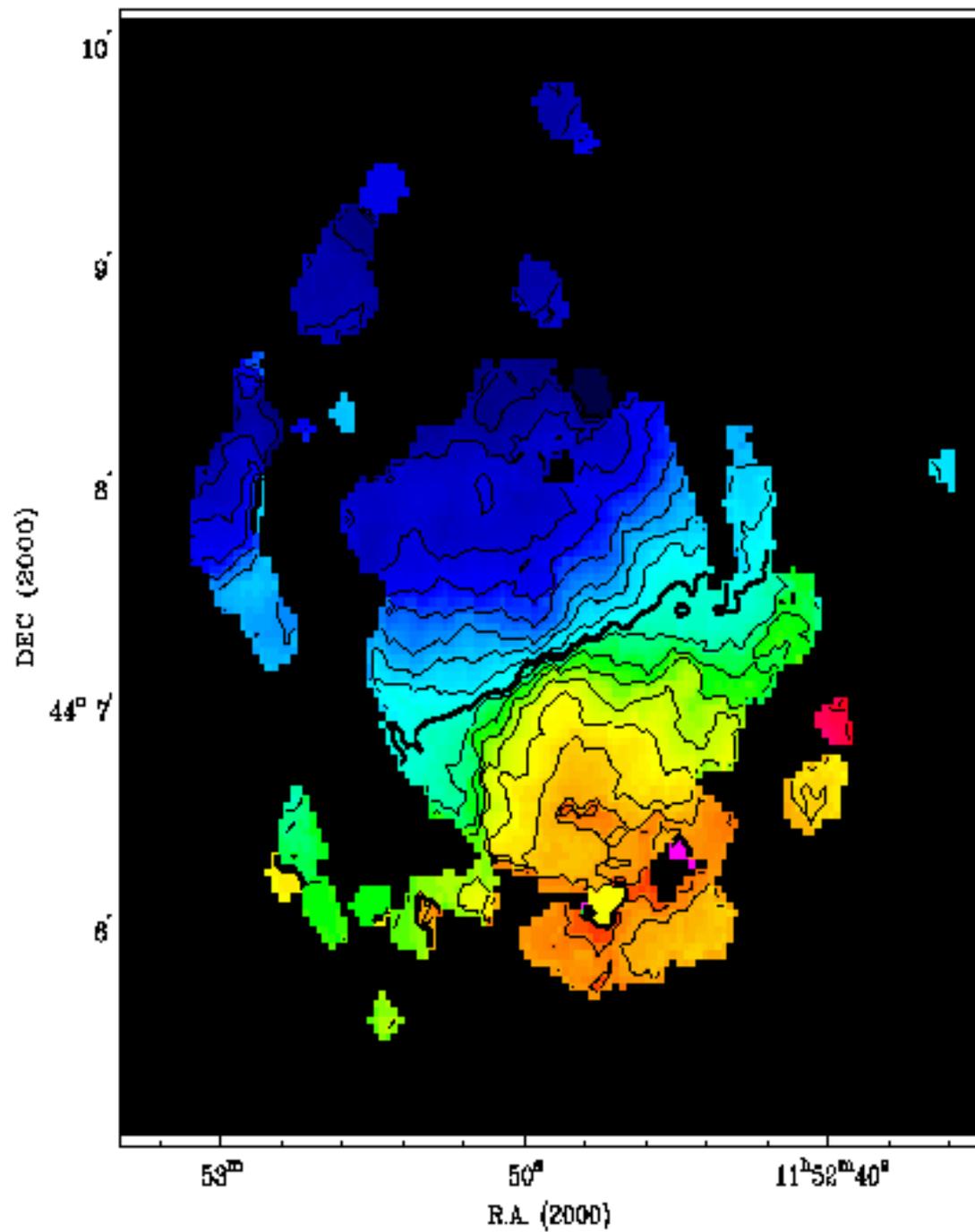
mapita.fits: UNKNOWN1



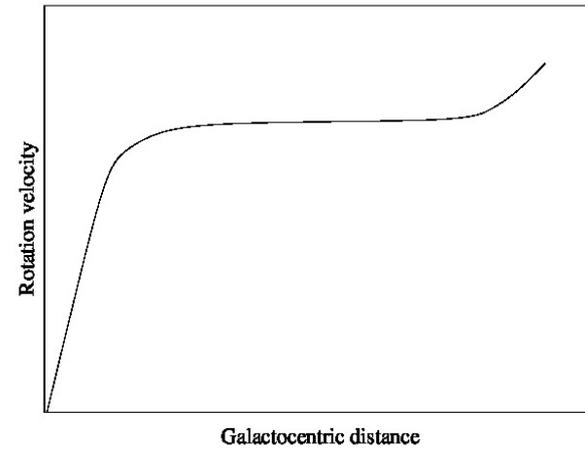
-1.6 1.6







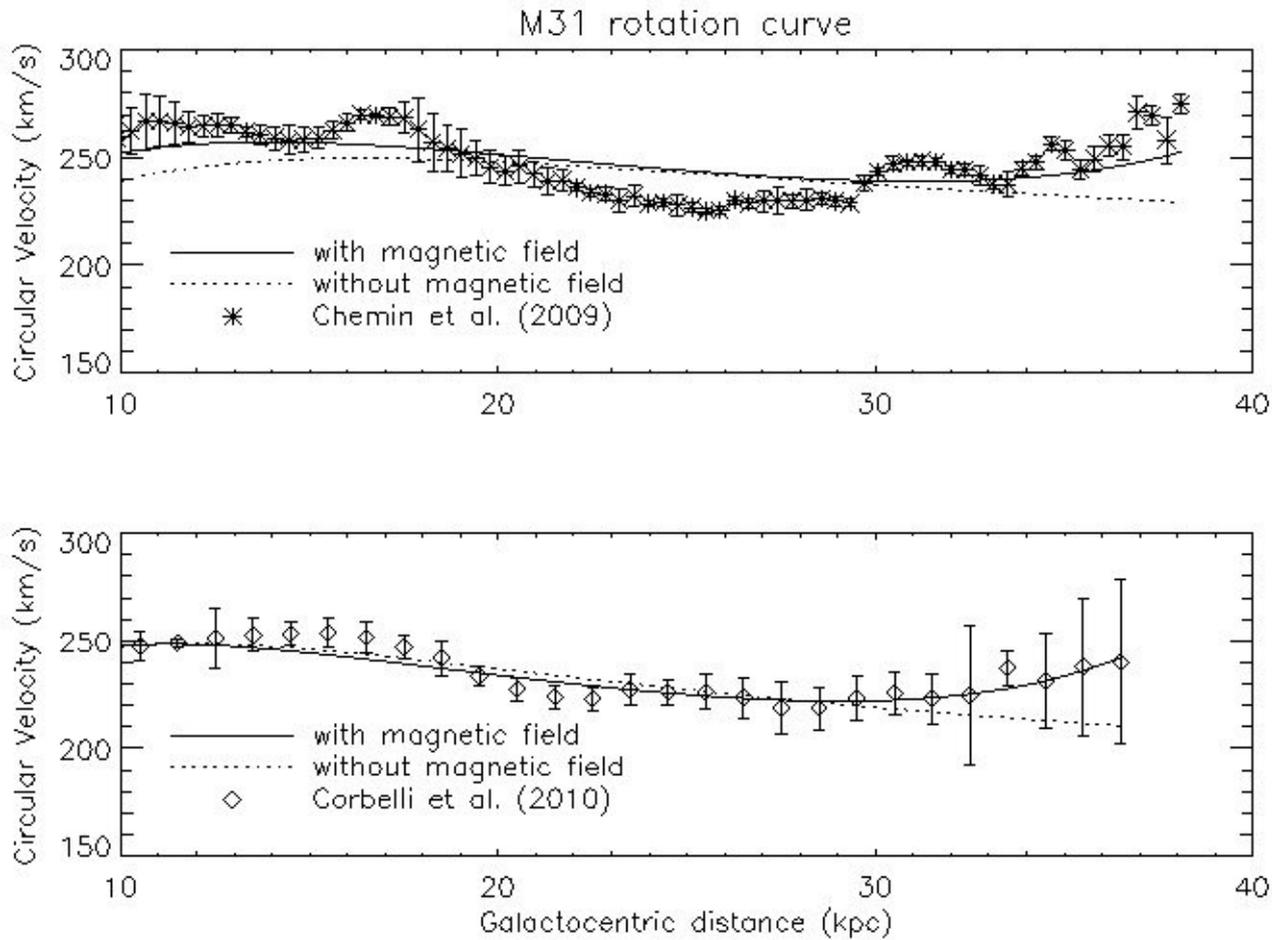
# Los bigotes de Dalí



# Naturaleza muerta en rápida rotación

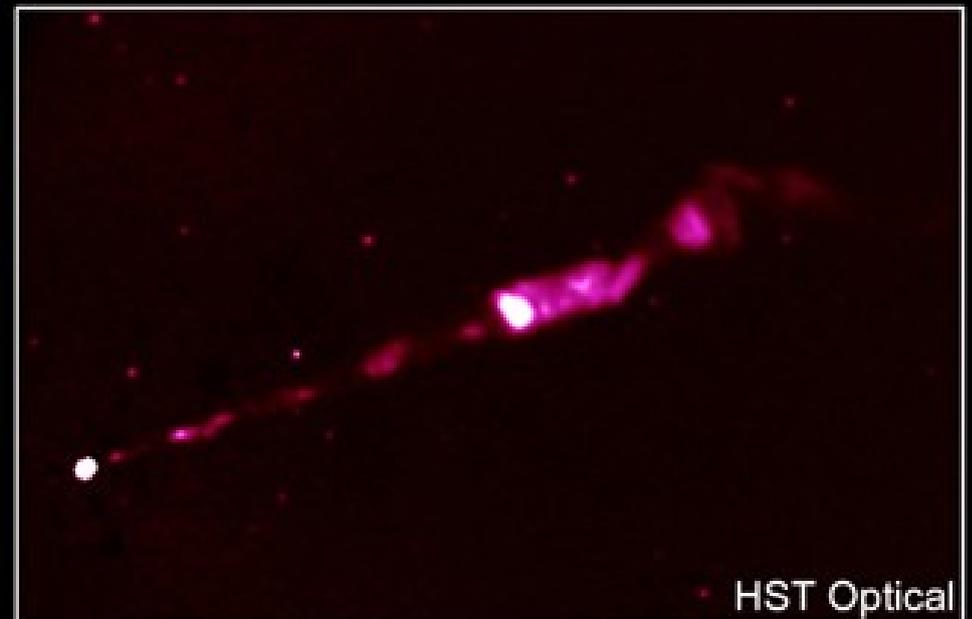
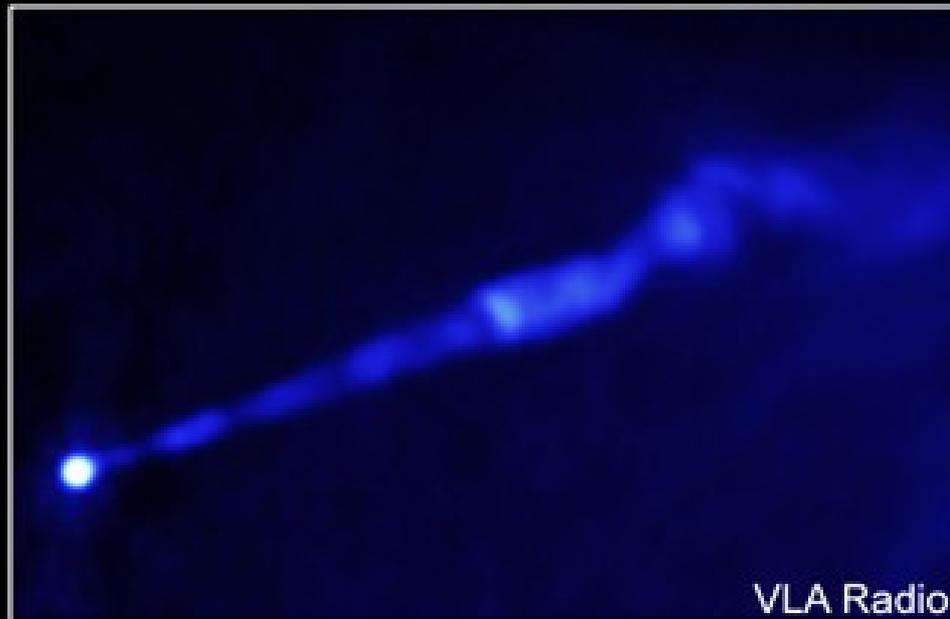
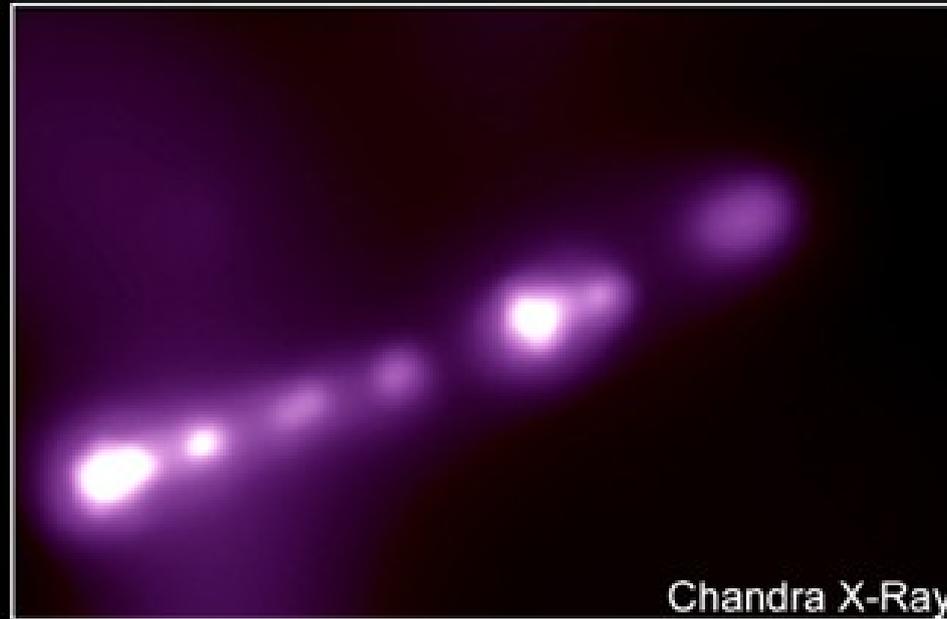


# M31





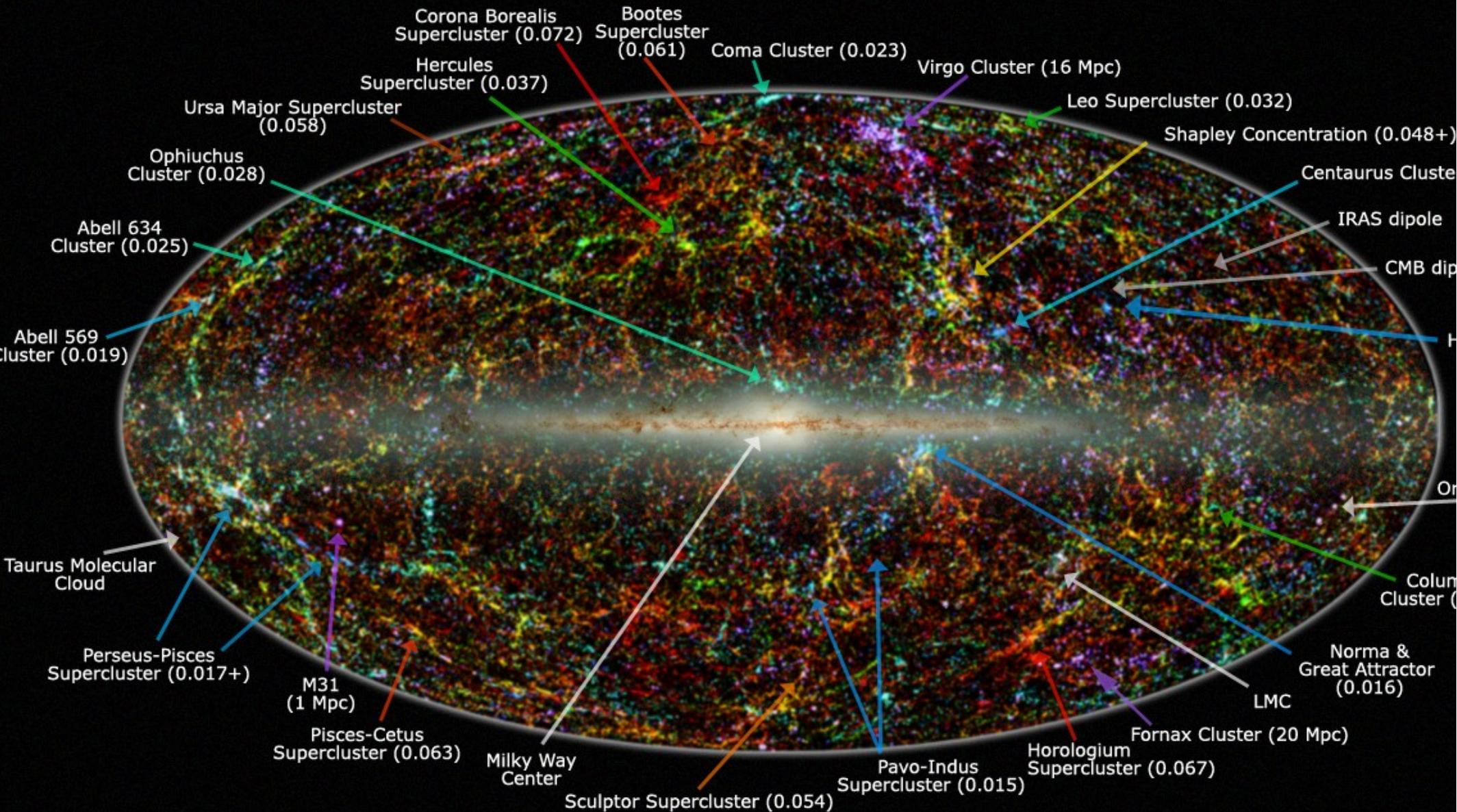
Salamanca 2013



# Medio intergaláctico

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

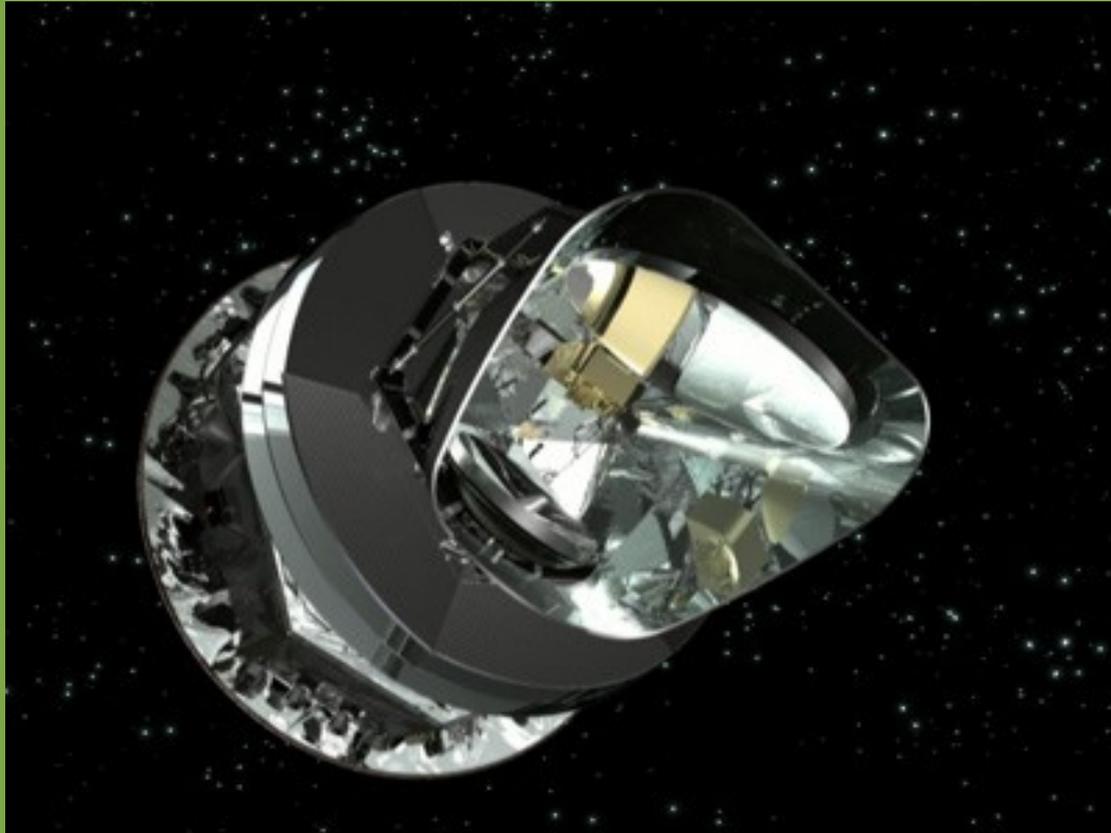
# Large Scale Structure in the Local Universe



**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)

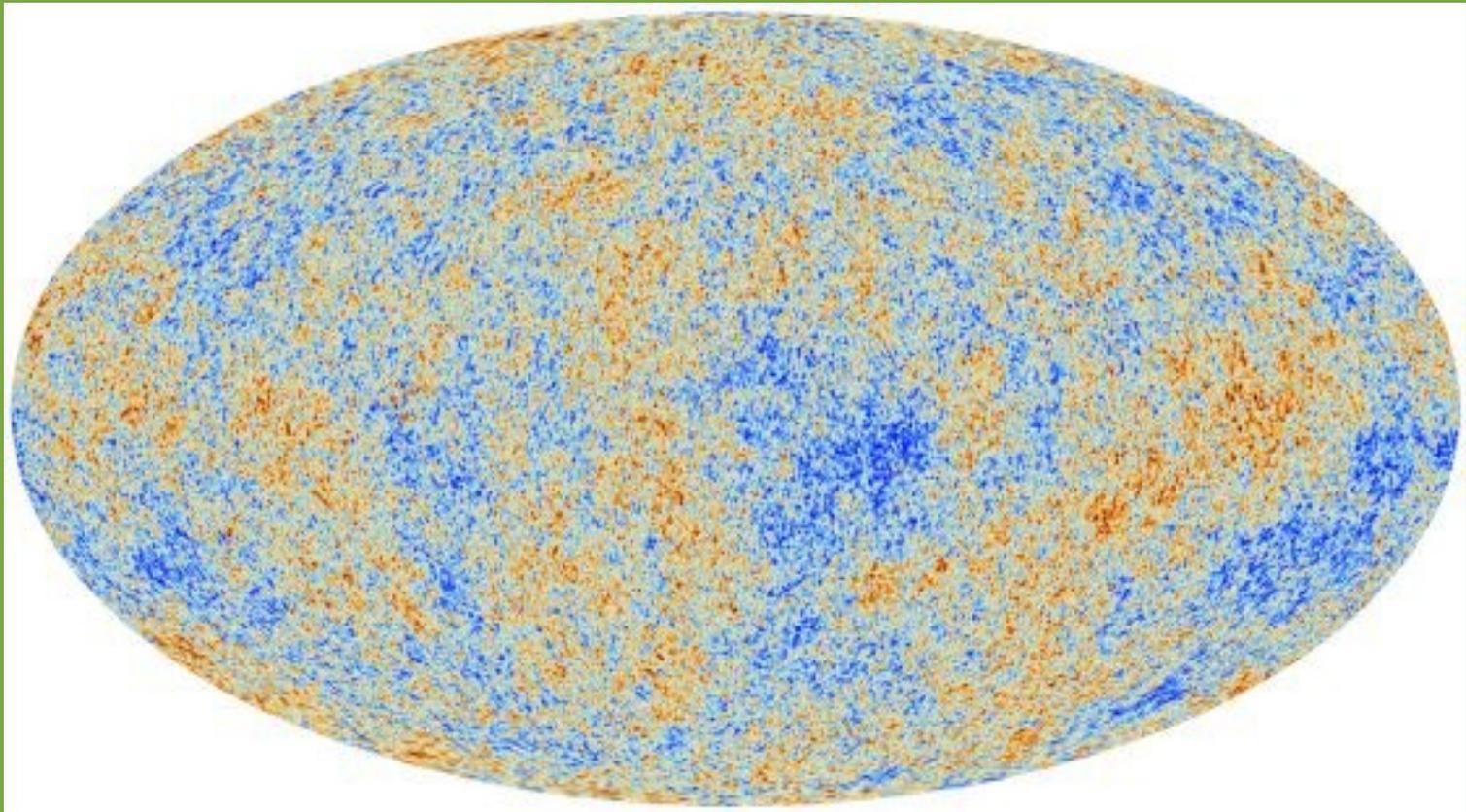
# El Universo

- 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.



Salamanca 2013

# La foto más antigua



Salamanca 2013

# Vemos música

Salamanca 2013

# Es música de la luz

Salamanca 2013

# Región de Sachs-Wolfe

0.0000.....32 ceros.....1 segundo tras el Big-Bang

Condiciones iniciales

Período de “Inflación”

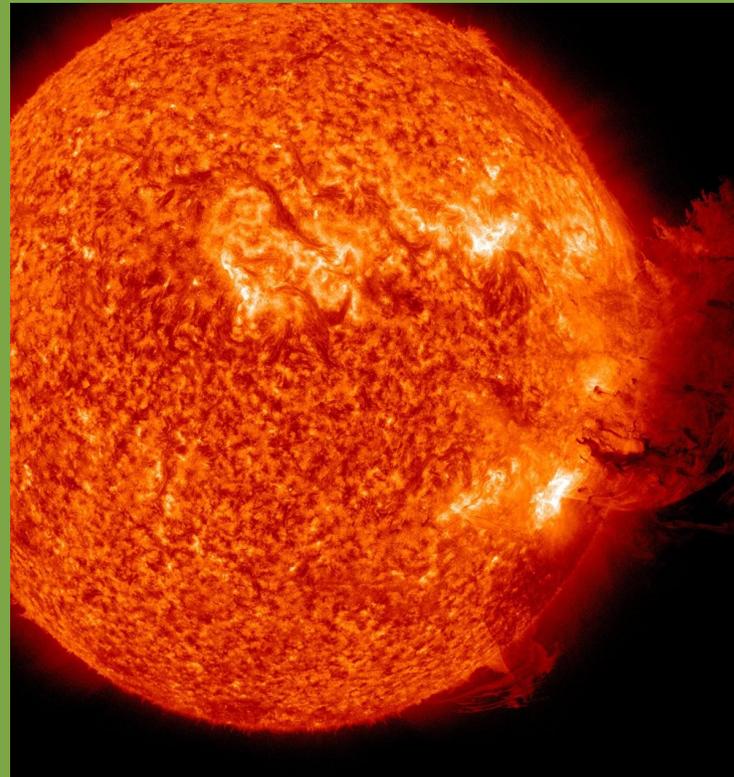
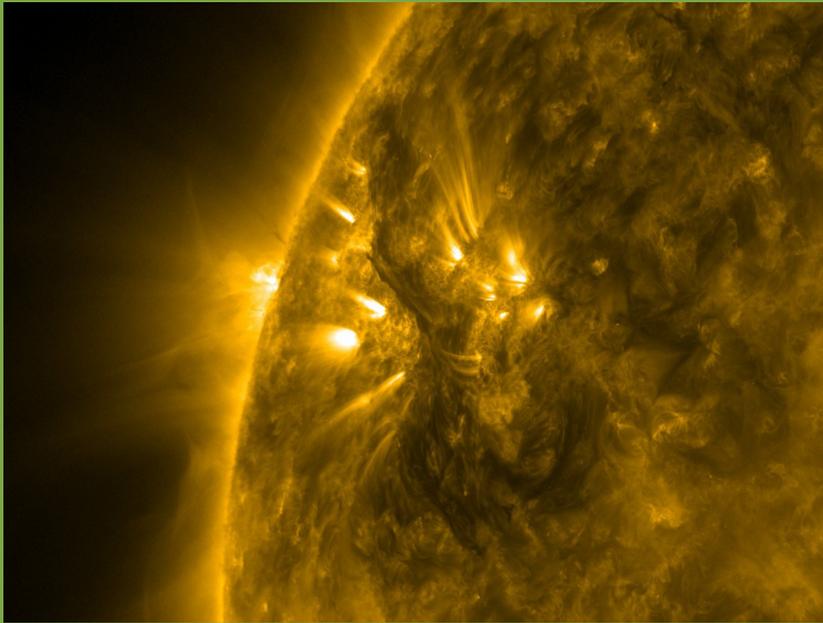
# Sonido magnetizado

- Es posible que aquel sonido que “vemos” esté afectado por el magnetismo...
- Es posible que el magnetismo haya intervenido desde las primera fracciones de segundo tras el Big.Bang, en la evolución del Universo...

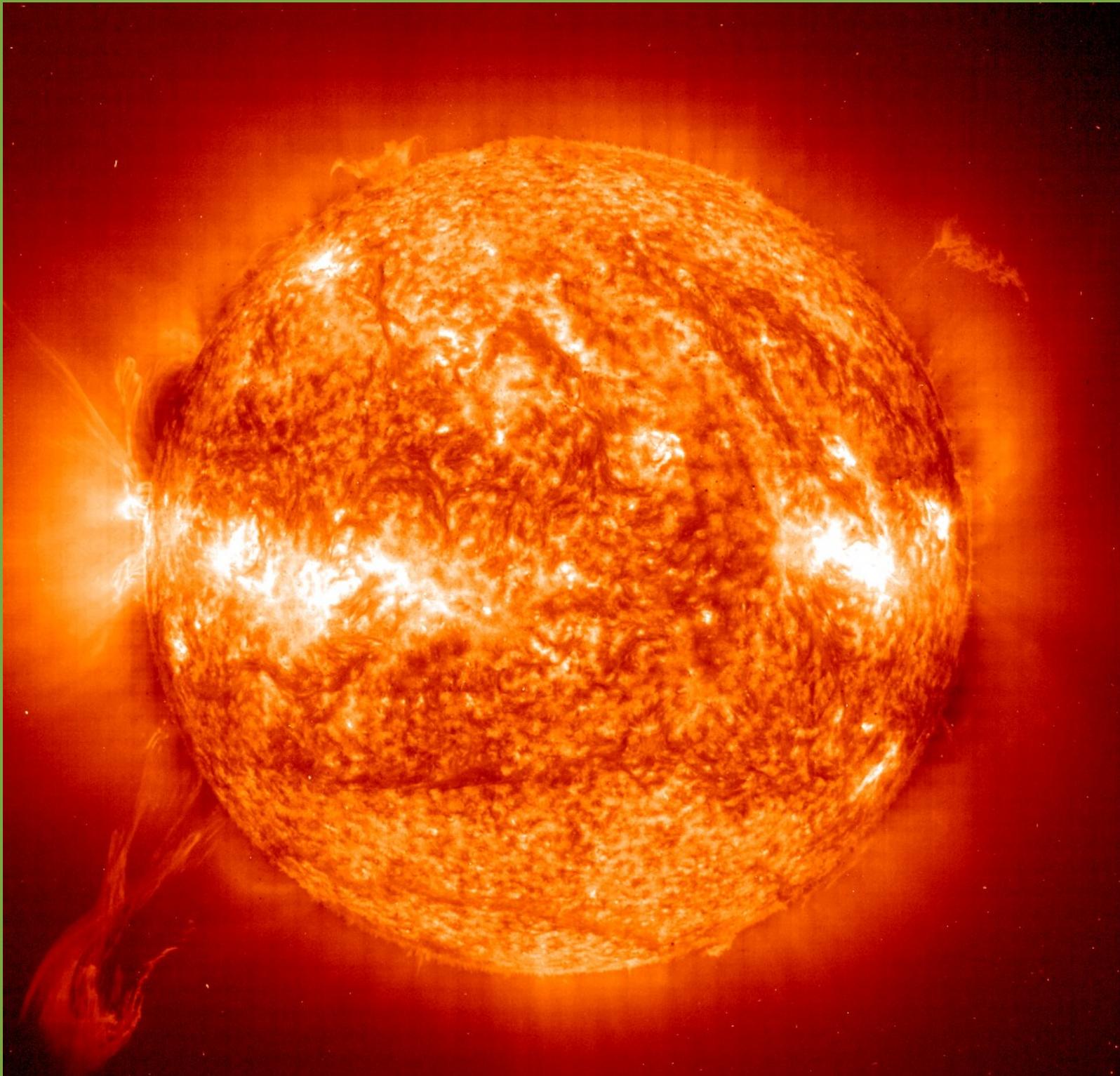
- Fernando y Kerstin os lo contarán...

- ¿Estáis ya magnetizados?

Muchas gracias



Salamanca 2013



# Milky Way

