

# Introducción a la astrofísica

SERGIO MENDOZA <sergio@astroscu.unam.mx>

<http://www.astroscu.unam.mx/~sergio>

INSTITUTO DE ASTRONOMÍA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO (UNAM)

Plática disponible en:

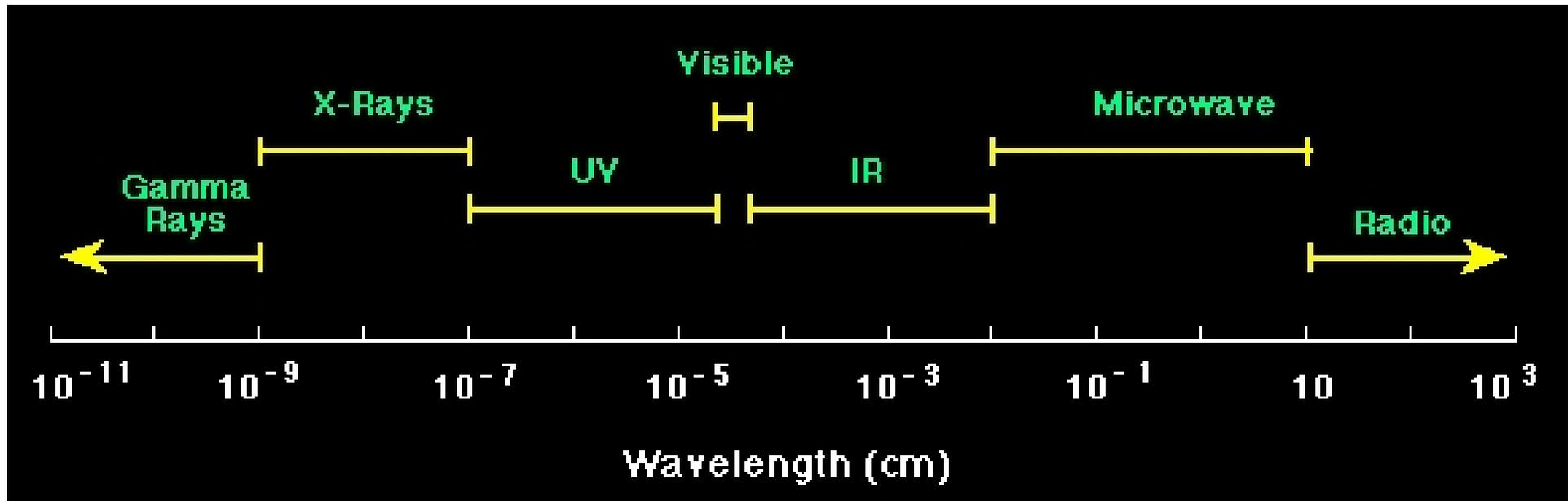
<http://www.astroscu.unam.mx/~sergio/gravitacion>

Clase introductoria para el curso  
Astrofísica Relativista  
Instituto de Astronomía,  
Ciudad Universitaria

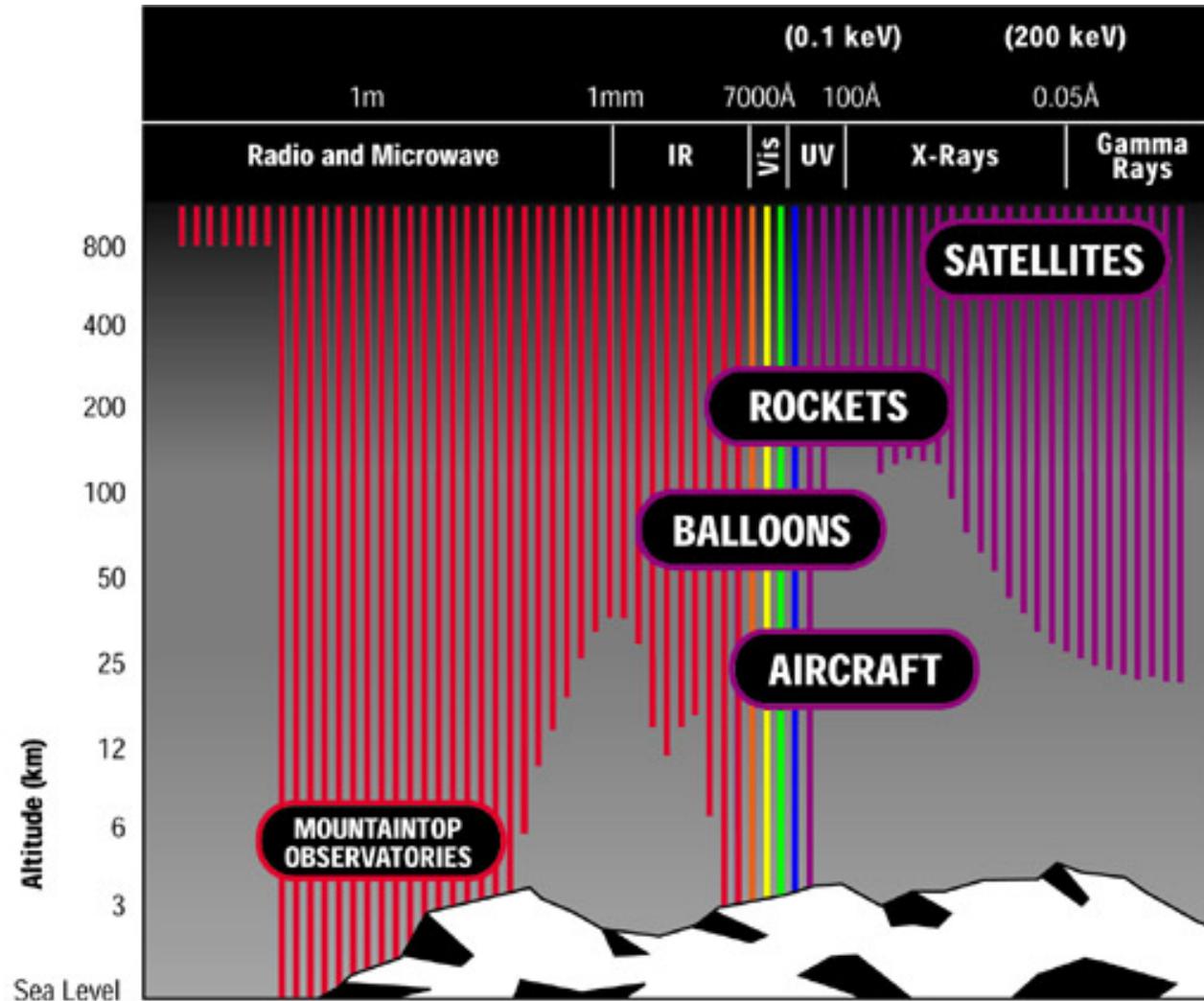
# 1. Espectro electromagnético

- ★ Un haz de luz pasa a través de un prisma y se descompone en los colores del arcoiris: espectro electromagnético.



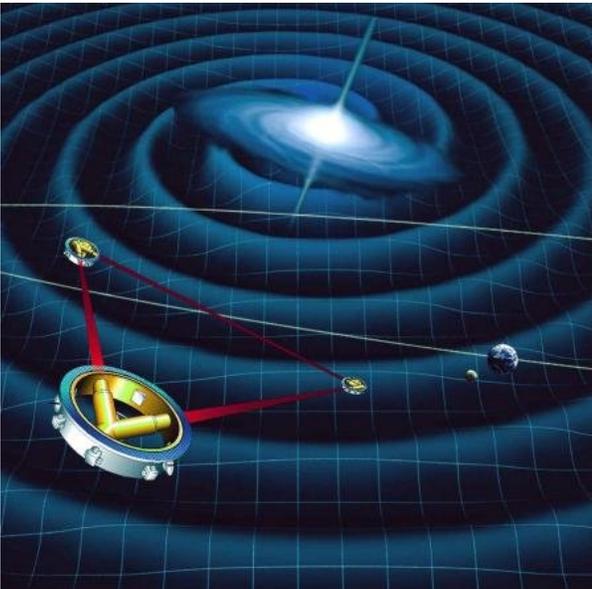


- ☆ Información del espacio exterior por medio de radiación electromagnética.
- ☆ Visibles desde la tierra: óptico, radio, IR (poco)
- ☆ Instrumentos: Telescopios (ópticos & IR), antenas, satélites.



## 2. Próximos experimentos de no radiación EM

- ★ LIGO (*Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory*)
- ★ LISA (*Laser Interferometer Space Antenna*)
- ★ British German laser interferometric gravitational wave detector (*GEO-600*)



### 3. El cielo y la creación del universo.

- ★ Gracias a que los ojos nos permiten observar la radiación óptica proveniente del espacio exterior, es muy probable que diversas civilizaciones se hayan hecho preguntas como
  - ✓ ¿Cuál es el origen de la tierra?
  - ✓ ¿Cuál es el origen del hombre?
  - ✓ ¿Cuál es el origen del universo?
- ★ Esto dio origen a diversas creencias para religiones a lo largo del planeta tierra.



## 4. Breve historia

- ★ Hietas de Siracuse (siglo IV A.C.) explicó a sus estudiantes que el movimiento de las estrellas se debía a que la tierra giraba alrededor de su propio eje.
- ★ Aristarcus de Samus (siglo III A.C.)
  - ✓ Sol centro del universo. La tierra y otros objetos junto con la luna giran alrededor del sol. La luna gira alrededor de la tierra.
  - ✓ La luna muestra en ocasiones la mitad de su cara debido a que forma un triangulo rectangulo junto con el sol y la tierra.
  - ✓ Usando la hipotesis anterior, Aristarcus concluyó que el sol se encuentra 20 veces mas alejado de la tierra que la luna. El resultado correcto es 400 veces mas alejado. Esta fue muy probalblemente la *primera medición astronómica de la humanidad.*



- ★ Eratostenes (siglo II A.C.), bibliotecario de la biblioteca de Alejandría. Solsticio de verano en Siena hace que un pozo no tenga sombra justo a medio día (Siena es ahora Asuán en Egipto y está justo en el trópico de Cancer).
- ★ Eratostenes calculó el radio de la tierra utilizando el ángulo formado por la sombra de una vara en Alejandría y la distancia entre Alejandría y Siena. Falló únicamente por 5 % del valor aceptado hoy en día.

- ★ Hiparcus (siglo II A.C.)
  - ✓ Construyó un sistema geocéntrico para predecir la posición de estrellas en el cielo. Se utilizó en viajes marinos.
  - ✓ Descubrió precesión de los equinoccios debida a la precesión periodica (26,000 años) de la tierra sobre su propio eje de rotación.
- ★ El cristianismo oscureció muchas de las ideas propuestas por los griegos y la idea de la no-esfericidad de la tierra resurgió en la sociedad humana.
- ★ Nicolas Copérnico (siglo XVI)
  - ✓ Tenía acceso a algunos documentos de la antigua Grecia.
  - ✓ Cambió la idea epicéntrica de Hiparcus y propuso que la tierra y los planetas giraban alrededor del sol (*teoría heliocéntrica*)
- ★ Tycho Brahe (siglo XVI) fue quizás el último de los astrónomos en utilizar sus ojos solamente como instrumentos para observar el cielo. Contrató a Johannes Kepler como ayudante.
- ★ Kepler a diferencia de Brahe creyó en la teoría heliocéntrica del universo. Con esto y utilizando las observaciones de Tycho construyó tres leyes fundamentales del movimiento de los planetas en sus órbitas alrededor del sol.

- ★ Isaac Newton (siglo XVII). Uno de los científicos mas grandes que ha tenido la humanidad.
  - ✓ Formuló matemáticamente la teoría mecánica de la física suponiendo que las interacciones entre objetos ocurrían de manera instantánea.
  - ✓ Formuló una teoría de gravitación. Con esta pudo explicar correctamente las tres leyes de Kepler del movimiento planetario.
  - ✓ Realizó diversos trabajos en óptica.
- ★ Edmund Halley (siglo XVIII). Propuso correctamente que la trayectoria parabólica de los cometas era seguramente una elipse muy pronunciada y por lo tanto estos objetos deberían de aparecer de manera periódica. El cometa Halley que aparece cada  $\sim 76$  años fue la prueba de su acertado razonamiento.

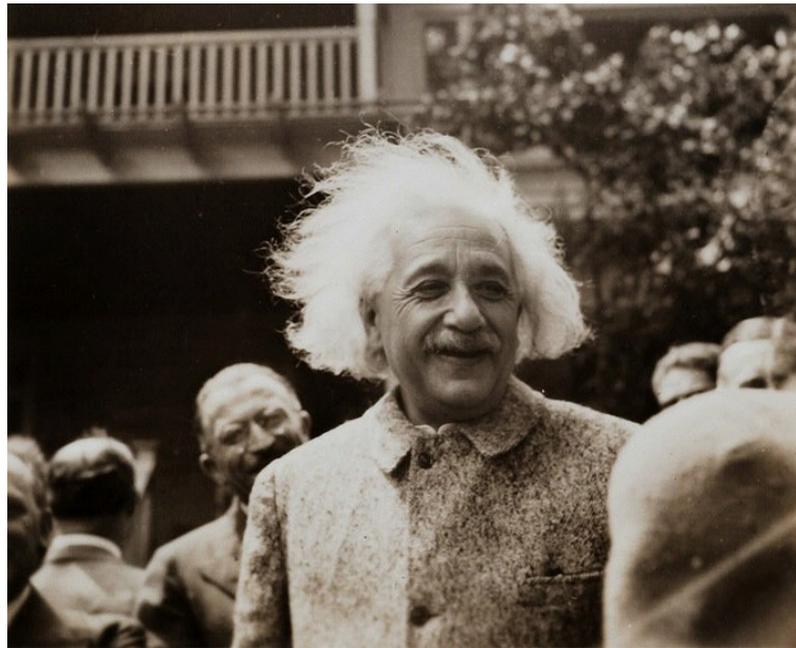
- ★ En el siglo XIX se realizaron tres trabajos que dieron origen a la astronomía moderna
  - ✓ Friedrich Bessel reportó paralaje trigonométrico de la estrella 61-Cygni. A finales del siglo XIX se conocían paralajes de alrededor de 100 estrellas. Esto mostró convincentemente que las estrellas eran objetos lejanos semejantes al sol.
  - ✓ Gustav Kirchhoff (~1850's) descubrió líneas de emisión electromagnética provenientes del sol.
  - ✓ William Herschel (1839) utilizó la fotografía para hacer observaciones astronómicas. Descubrió el planeta urano y los asteroides. Catalogó alrededor de 200 nebulosas. Descubrió varios satélites de urano y saturno.
- ★ La combinación de la fotografía y la espectroscopia en el siglo XIX dieron origen a la rama de la física conocida como astrofísica.



Hierofanía en la pirámida de Kukulcan en Chichén Itza

## 5. Astrofísica Relativista

- ★ Einstein construye la teoría de la Relatividad Especial (1905).
- ★ Einstein construye la teoría de la gravitación relativista –Teoría general de la relatividad (1916).
- ★ Einstein era modesto. Siempre dijo que si el no hubiera construido su teoría alguien mas lo haría.



(Video: einstein)

- ★ Las teorías de relatividad de Einstein han pasado todas las pruebas experimentales a las que han sido sometidas.
- ★ En 1916, unos meses después de la publicación de la teoría de la relatividad general, Karl Schwarzschild encontró una solución exacta a las ecuaciones de gravitación propuesta por Einstein.
- ★ En los 1920's, Alexander Friedman encontró soluciones a las ecuaciones de Einstein que describen la dinámica del Universo. Debido a que estas ecuaciones predicen que el universo es dinámico (no estático como lo creían los científicos de aquellos tiempos), Einstein se inventó una fuerza de antigravedad que introdujo en sus ecuaciones como una constante que actúa sobre la materia y la energía de tal manera que mantiene al universo estático.
- ★ Edwin Hubble (1920's) descubre que el universo en efecto es dinámico y se expande. Einstein concluye que la constante cosmológica es el error más grande cometido por él en toda su vida.

- ★ En los 1930's Subramayan Chandrasekhar (de 19 años) en un viaje en barco de India a Inglaterra mezcla sus conocimientos de Relatividad, Mecánica Cuántica y Astronomía y descubre que el universo debe tener estrellas soportadas por presión degenerativa. Estas estrellas se conocen hoy en día como enanas blancas y son pequeñas, como la tierra.
- ★ Poco tiempo mas tarde, después del descubrimiento del neutron, el joven soviético Lev Davidovich Landau utiliza argumentos semejantes a los de Chandrasekhar y predice la existencia de estrellas sumamente pequeñas (10km) soportadas por presión degenerativa que se denominan estrellas de neutrones.
- ★ La época de oro de la astrofísica relativista ocurrió en los años 1960's y 1970's. Tres grupos se formaron:
  - ✓ Unión Sovietica. Yakov Borisovich Zeldovich junto con Igor Novikov y Andrei Doroshkevich entre otros formaron el grupo mas impresionante que ha visto la historia de la astrofísica relativista.



El duo dinámico: Novikov y Zeldovich

- ✓ Gran Bretaña (Cambridge). Denis Sciama y sus estudiantes Stephen Hawking, Roger Penrose, Martin Rees, Joseph Silk entre otros.
- ✓ Estados Unidos de América (Princeton). John Wheeler (quien fuera estudiante de Einstein) y sus estudiantes Kip Thorne y Charles Misner entre otros.



## 6. Constituyentes del universo

- ★ Sistema solar: Sol, 9 planetas, lunas, cinturón de asteroides, cinturón de Kuiper.
- ★ Entre planetas existe gas, principalmente H y partículas relativistas (rayos cósmicos) generados en explosiones supernova y en el centro de galaxias altamente energéticas del universo.
- ★ Estrellas cercanas a nosotros son rojas y frías parecidas a nuestro sol que es una estrella típica. Masas  $m$  de estrellas cercanas  $2M_{\odot} \lesssim m < 10M_{\odot}$ .
- ★  $\alpha$ -centauri, la estrella más cercana se encuentra a una distancia de 4.3 años luz que es  $\approx 30000$  veces la distancia tierra-júpiter.
- ★ Densidad de estrellas alrededor del sol es de  $\sim 50$  estrellas por 17 años luz centrados en el sol.

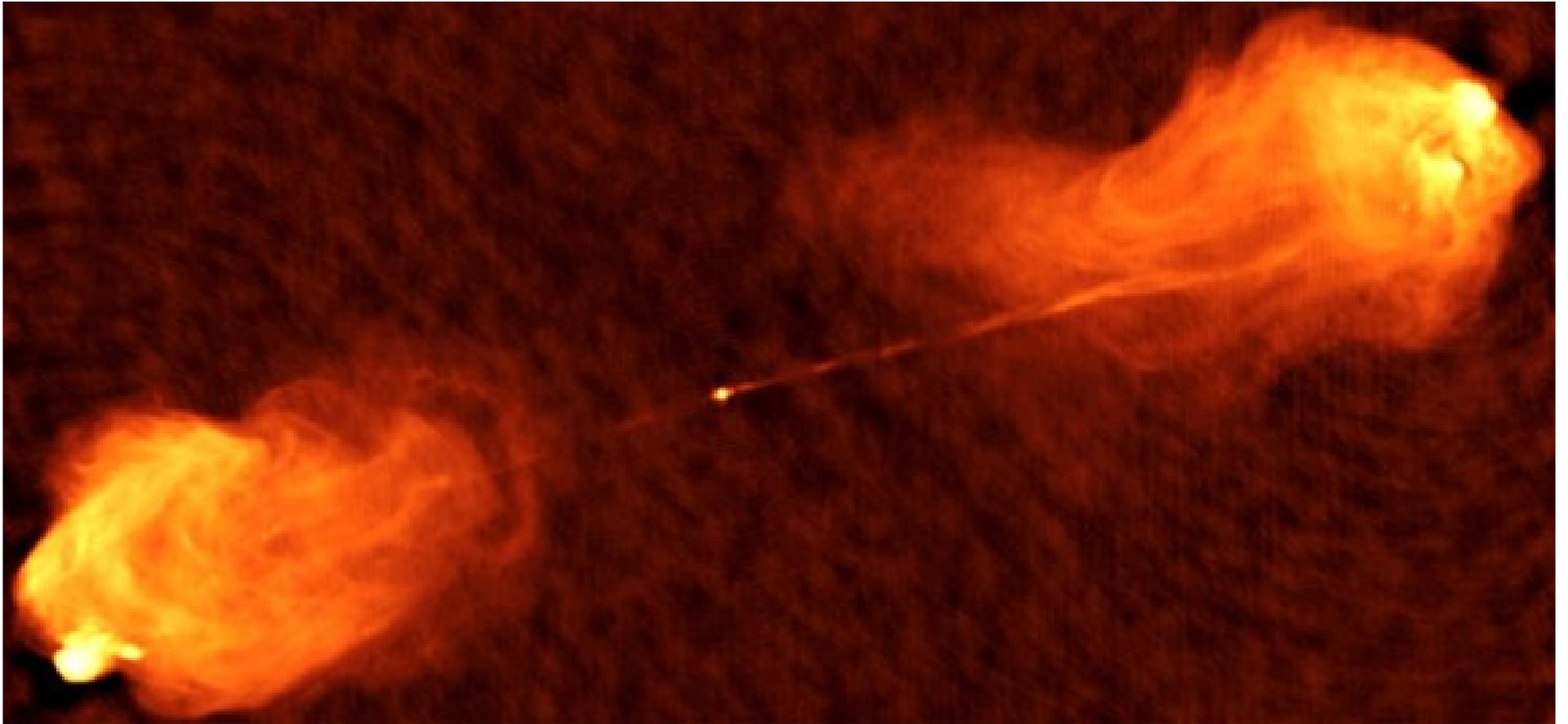
★ La galaxia o *via lactea* es un conglomerado de  $\sim 10^{11}$  estrellas. Tiene forma espiral como nuestra vecina *andromeda*.



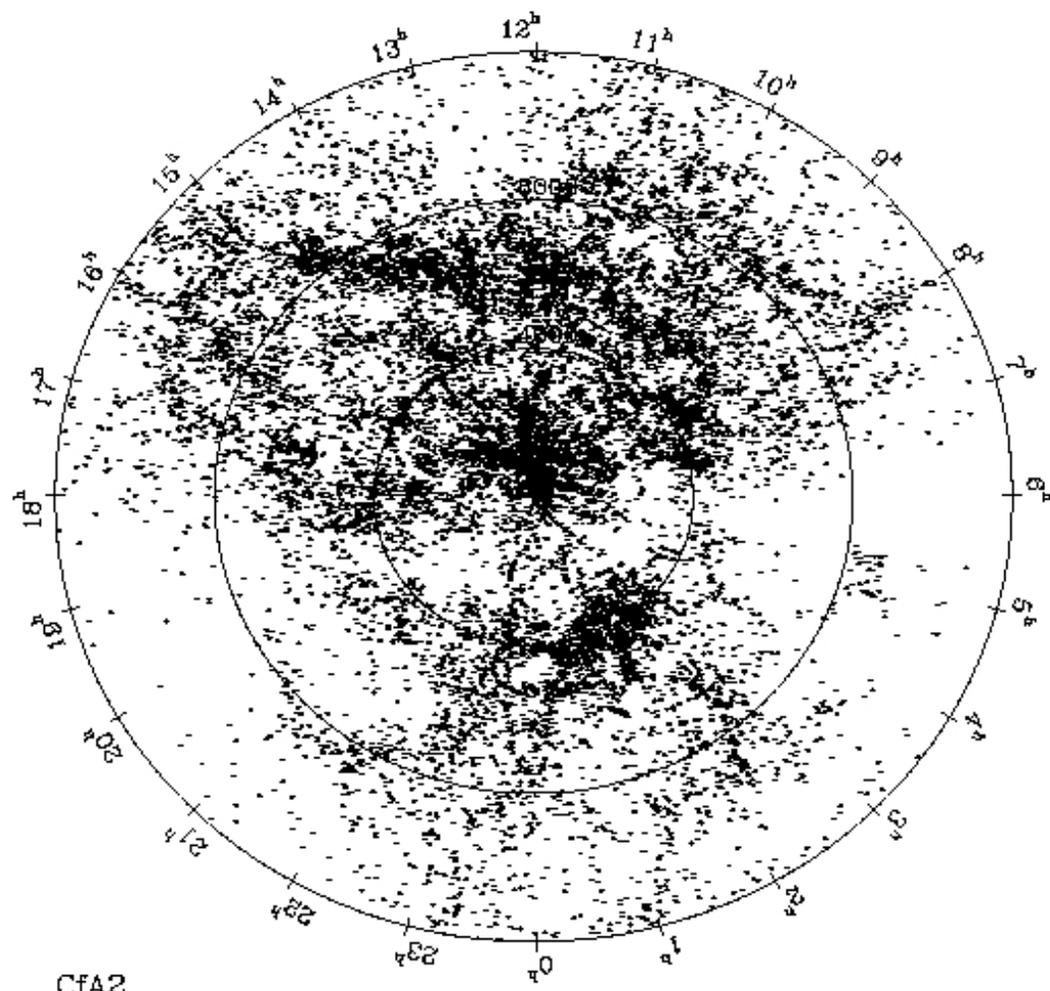
★ Galaxias elípticas son muy diferentes a las espirales.



★ Los objetos mas energéticos del universo se denominan cuasares y blazares. Son galaxias con una actividad energética en su centro elevada. El ejemplo mas conocido se denomina *Cygnus-A*



- ★ Algunas galaxias viven en cúmulos (grupos) que se denominan *cúmulos de galaxias*.
- ★ Los cúmulos de galaxias llegan a tener hasta 1000 galaxias.
- ★ Tamaños típicos de cúmulos de galaxias son de 50 veces el tamaño de la galaxia.
- ★ Distribución de galaxias en el universo es importante para fijar parametros en modelos cosmológicos.
- ★ Distribución de galaxias es un tanto aleatoria (pero tiene una estructura mas o menos definida).
- ★ El mapeo mas famoso que se ha hecho para ver la estructura a gran escala del universo es el de las campanas.



CfA2

Max Radius 12000  
 $0 \leq h < 12000$  (km/s)  
 $m_B \leq 15.5$

Puck

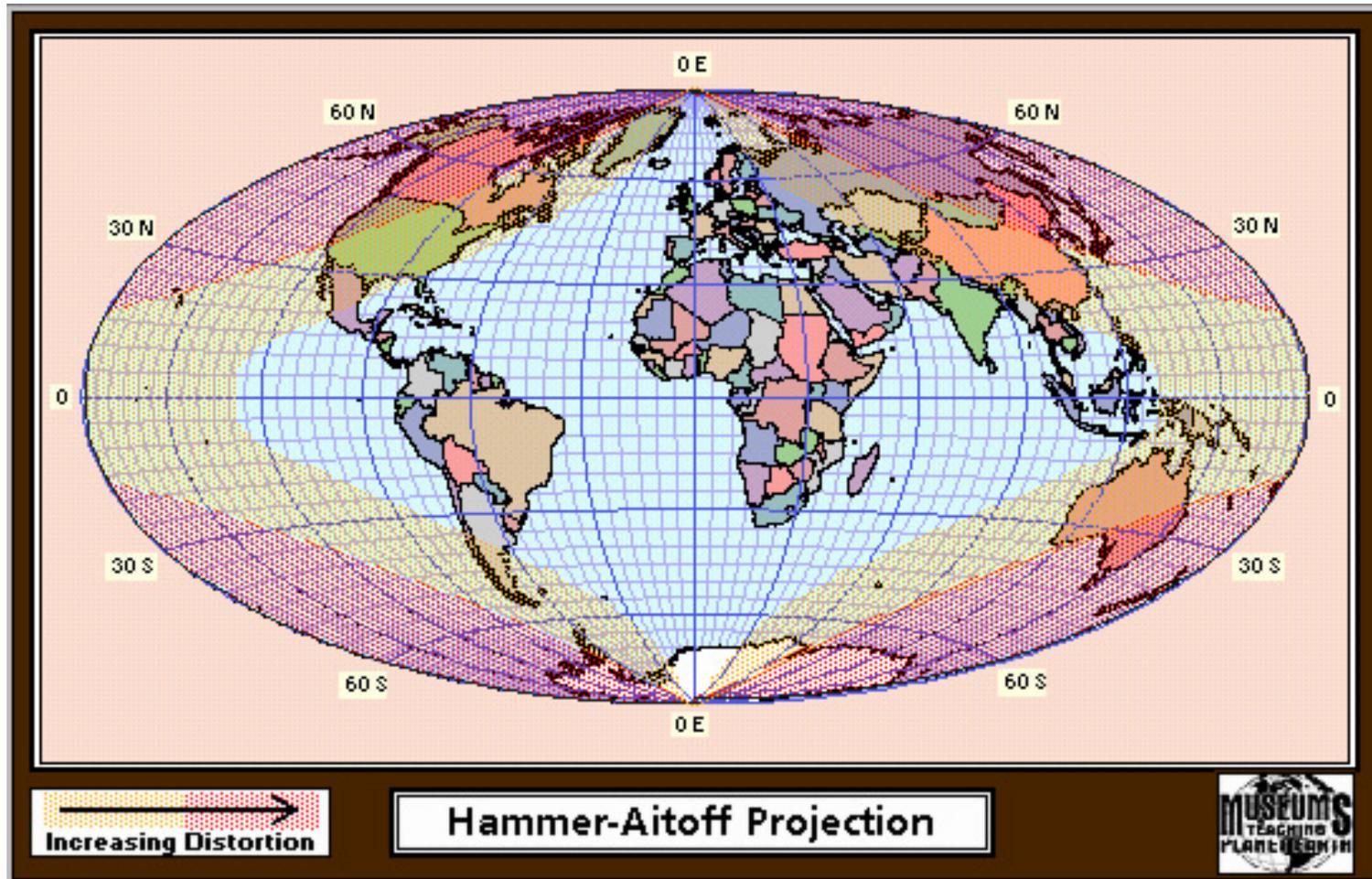
Copyright 2001 SAO

# Mapeo de las Campanas

(Video: 2df)

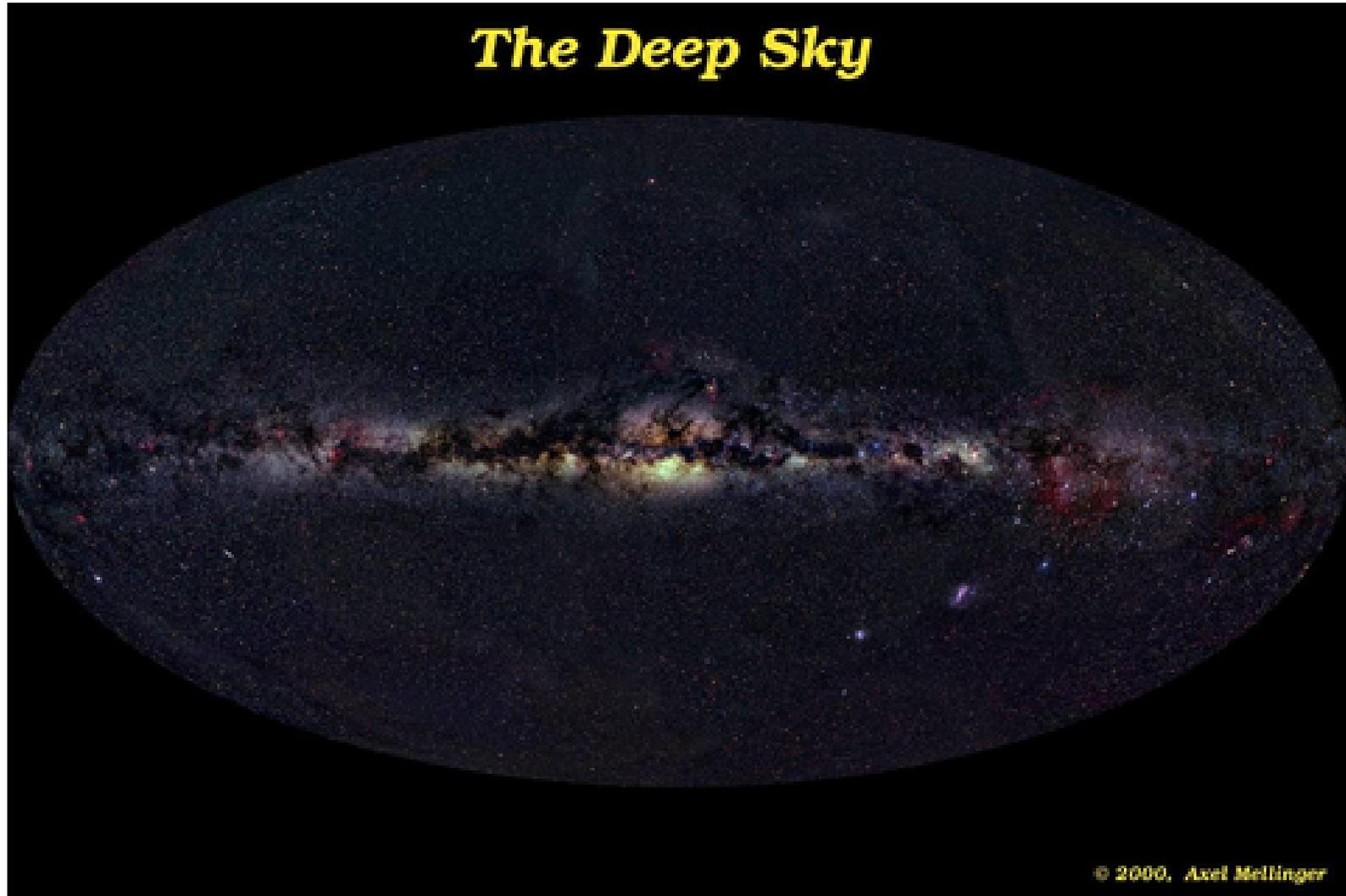
## 7. Radiación de fondo

- ★ Proyección de Hammer-Aitoff muy utilizada por los astrónomos.

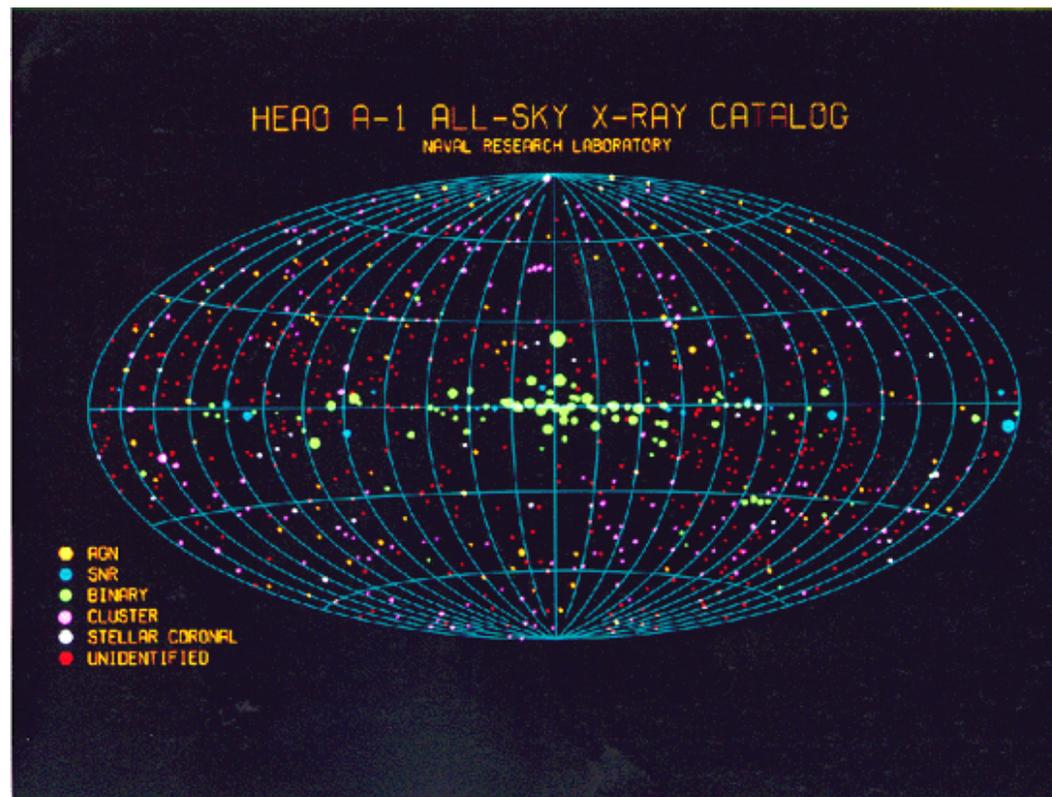


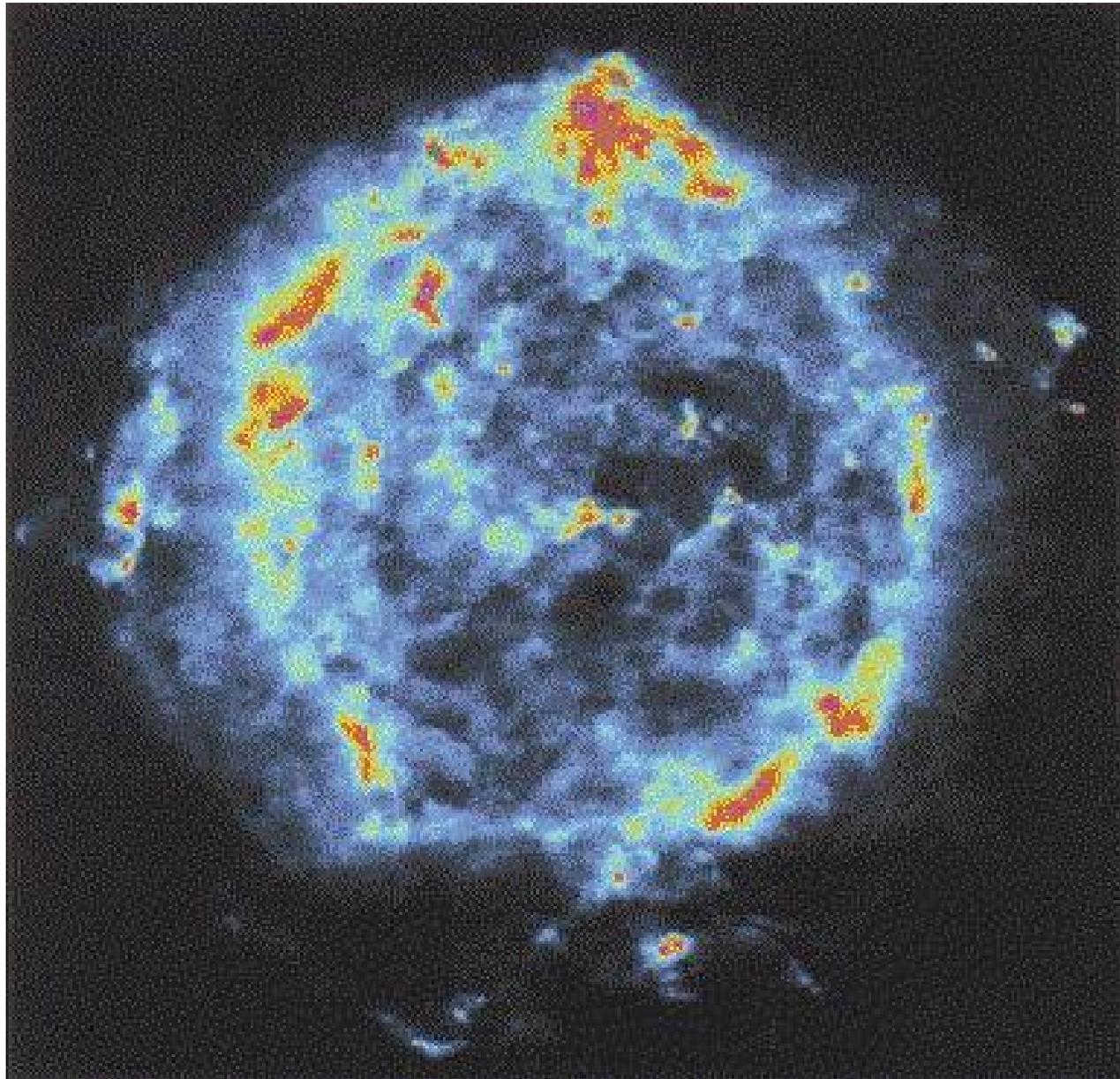
Mapeo de la superficie terrestre a una elipse. El mapeo conserva área.

- ★ Radiación de fondo en el óptico. La mayoría de la radiación observada proviene de estrellas y gas con temperaturas de 3000–10000K.

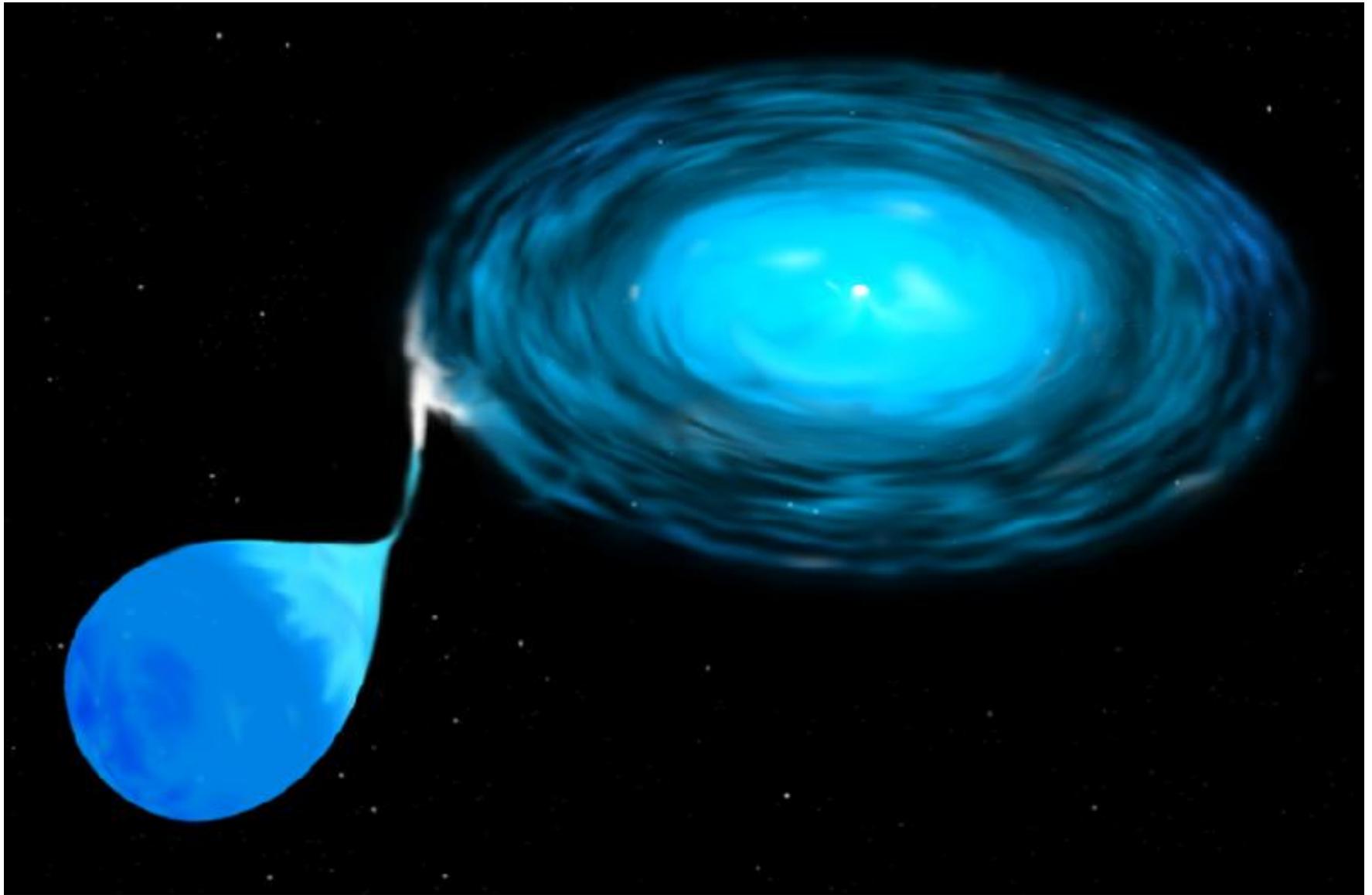


- ☆ Radiación de fondo en rayos-X. Un gas que emite en rayos-X tiene temperaturas  $\sim 10^7$  K. Por eso no hay casi nada en el plano galáctico.
- ☆ Fuentes galácticas que producen rayos-X:
  - ✓ Sistemas binarios compactos en órbita.
  - ✓ Remanentes de supernovas.
- ☆ Fuentes extragalácticas que producen rayos-X:
  - ✓ Galaxias activas y gas en cúmulos de galaxias.



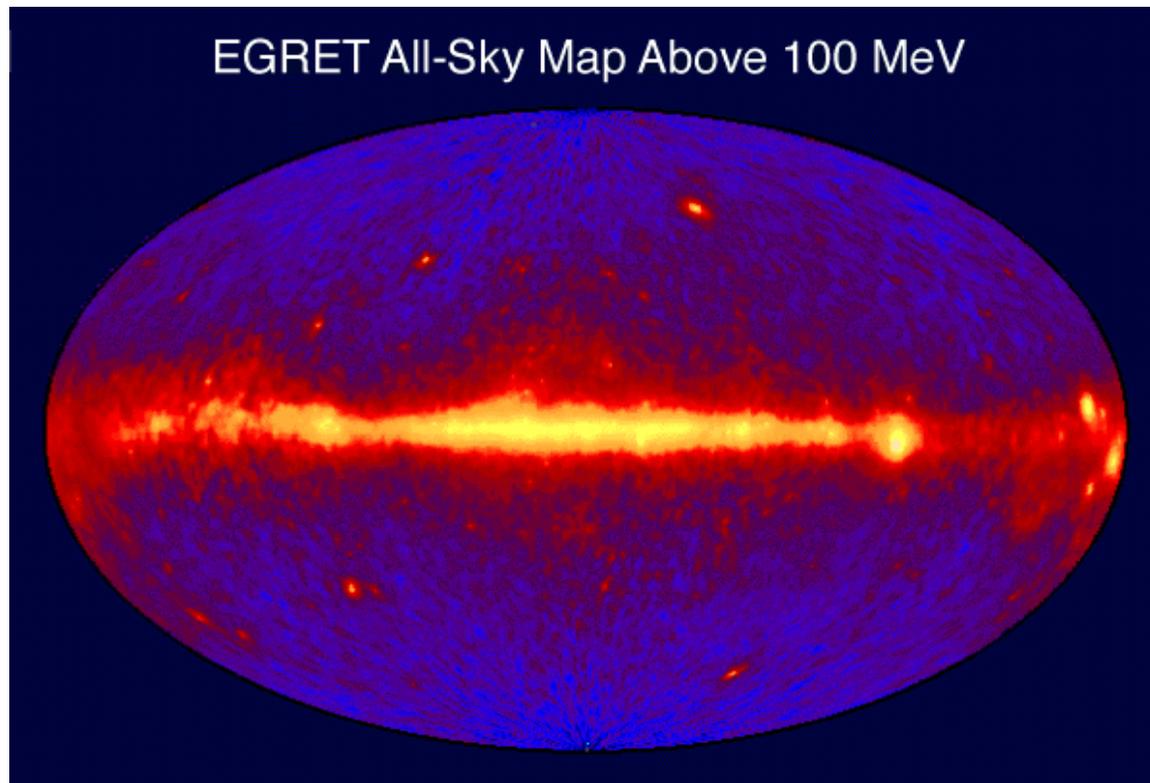


Remanente de supernova Cass-A observado en radio

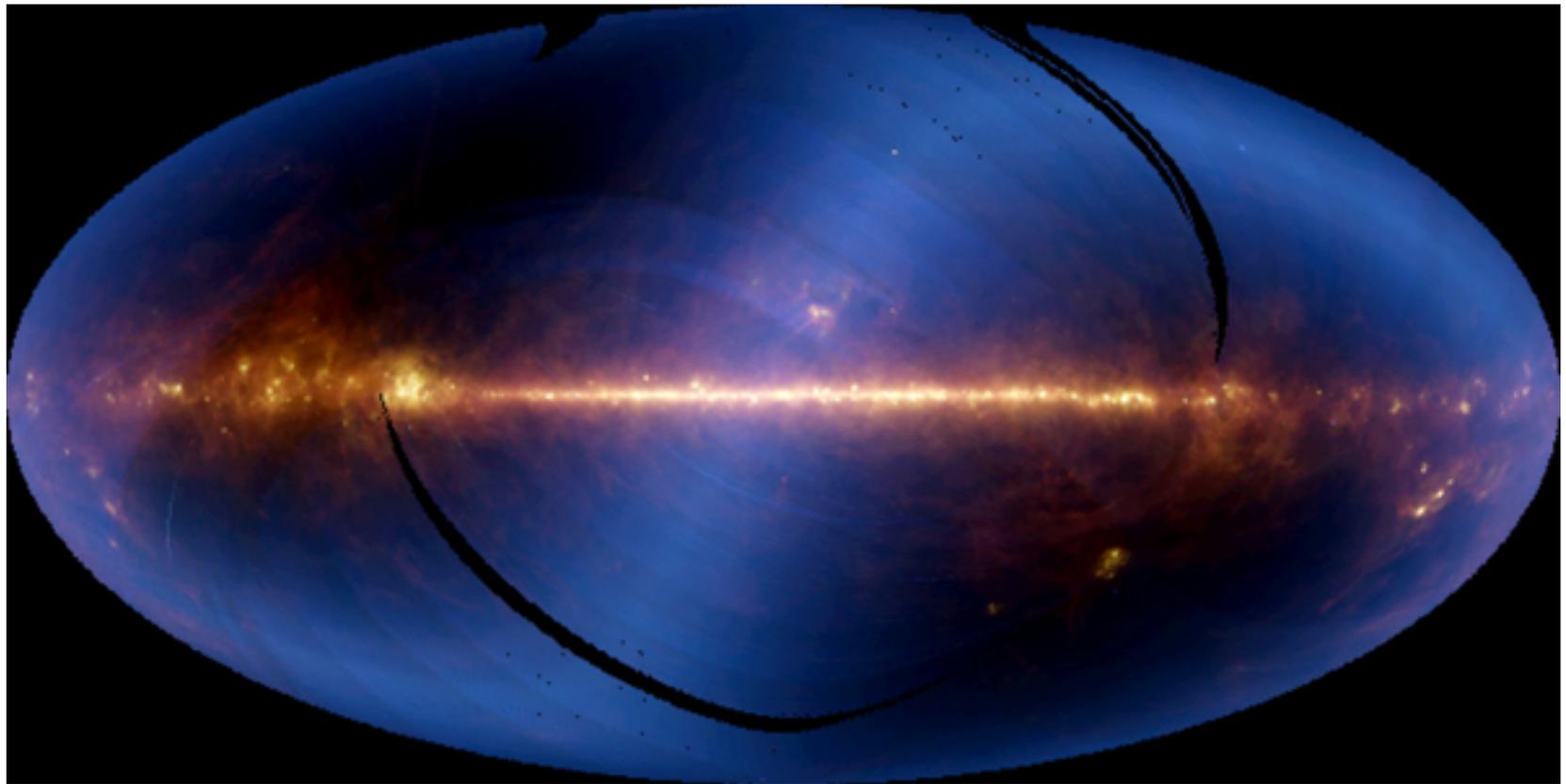


Acreción de gas estelar sobre un objeto compacto.

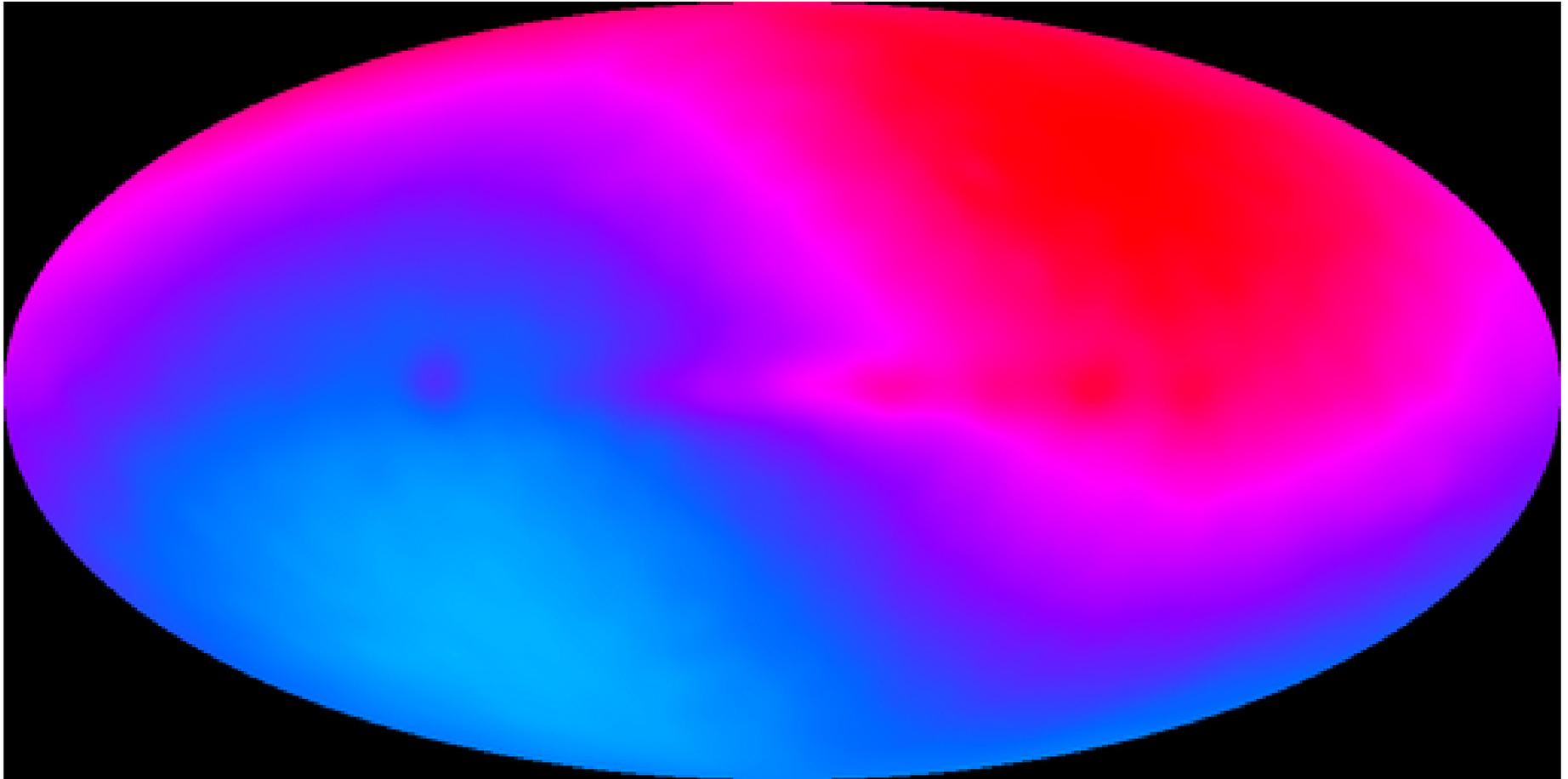
- ★ Radiación de fondo en rayos- $\gamma$ . Casi toda se observa en el plano galáctico. Es producida por partículas de altas energías similares a los *rayos cósmicos* que se impactan en la atmosfera terrestre. La interacción entre estas partículas y el frío ( $\sim 100\text{K}$ ) gas del medio interestelar produce rayos- $\gamma$ .
- ★ Los rayos- $\gamma$  extragalacticos tienen duraciones de unos cuantos ms hasta unos  $10^3$  s.

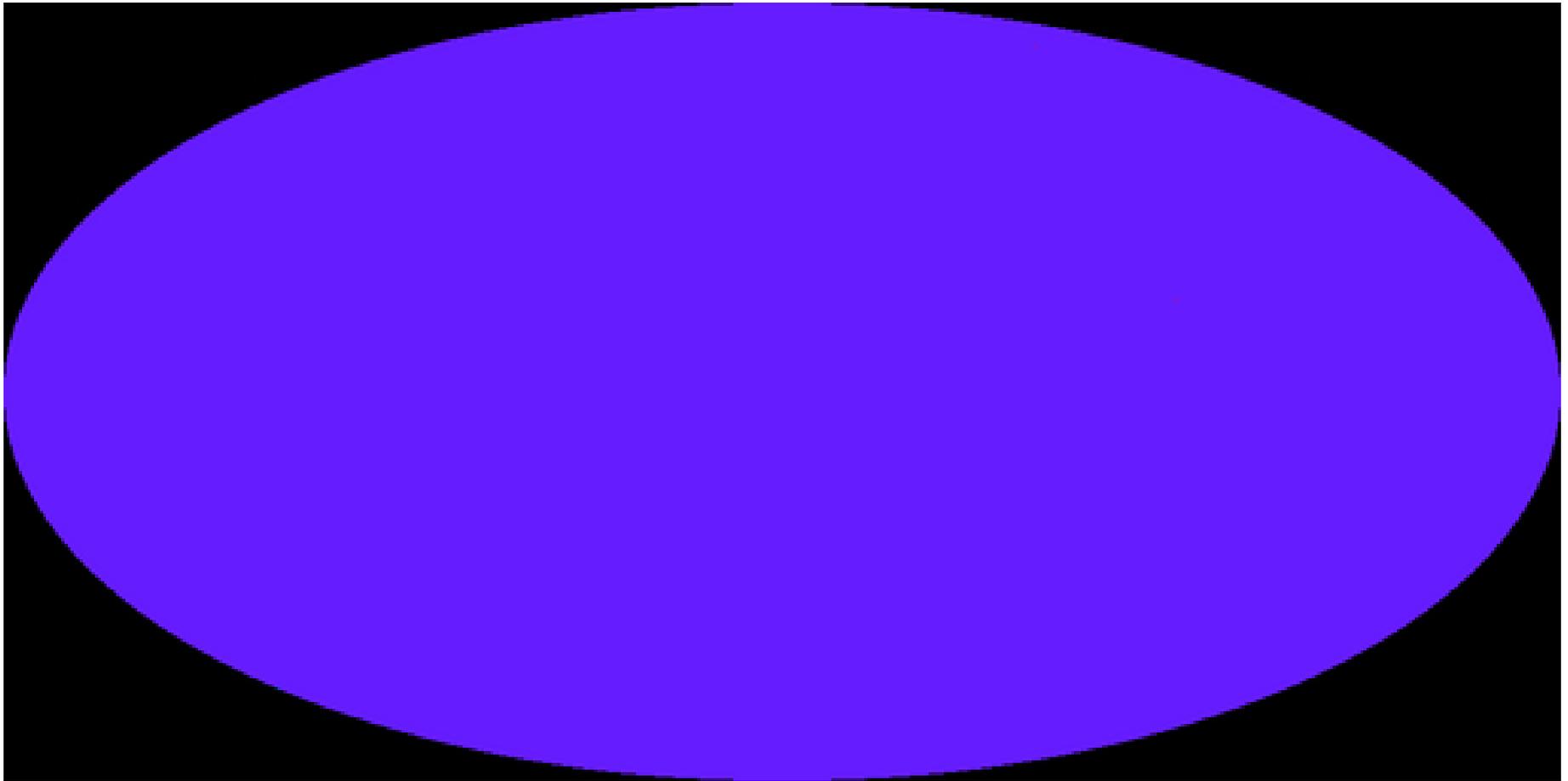


- ★ Radiación de fondo en infrarrojo. Dominada por el plano galáctico. Esta radiación es casi toda producida por el polvo interestelar. Polvo absorbe radiación óptica y ultravioleta proveniente de supernovas y sobre todo de estrellas recién formadas y reemite en infrarrojo.

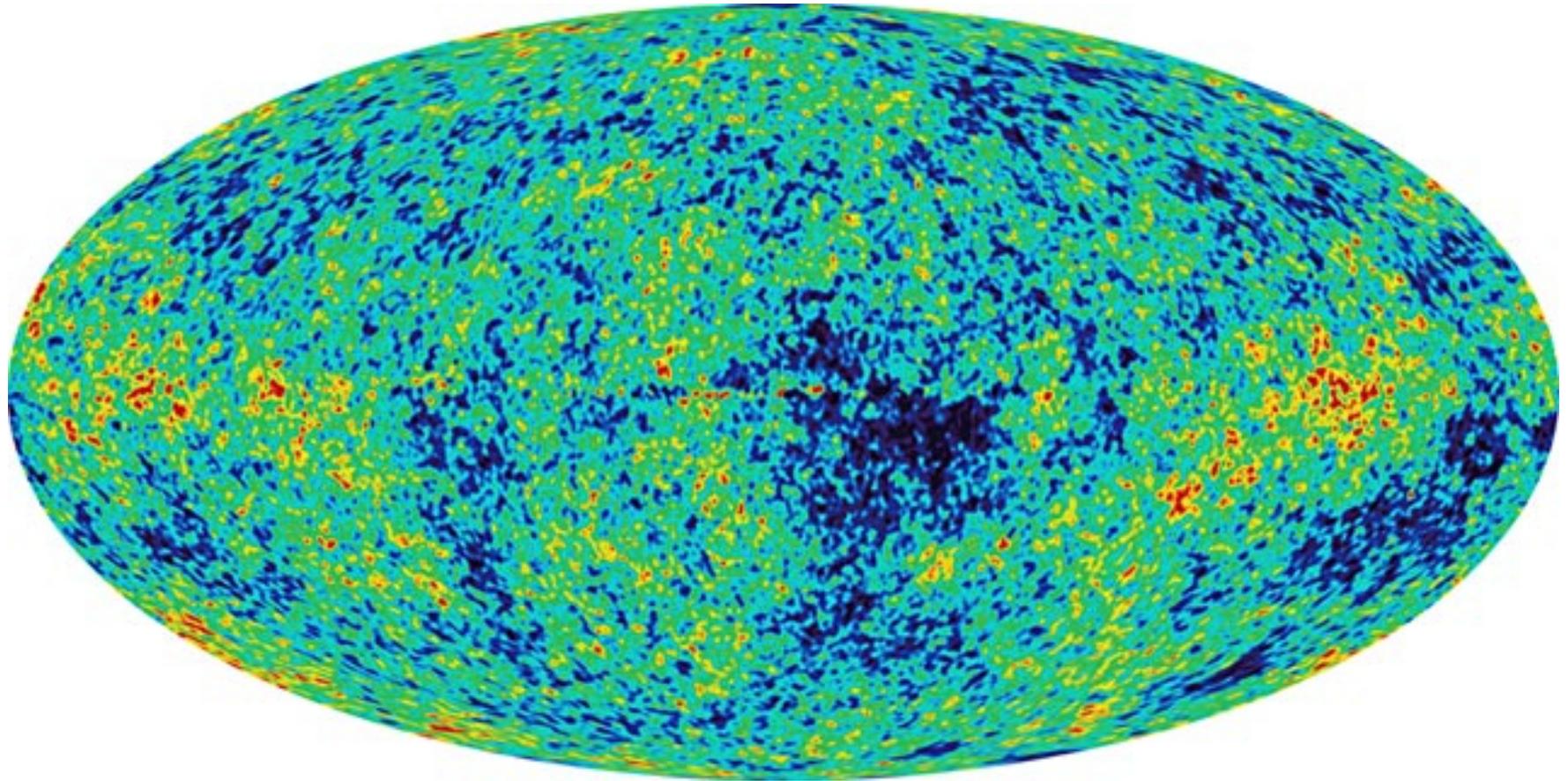


- ★ Radiación de fondo en microondas. Dominada por la radiación emitida por el universo en la última superficie de dispersión cuando el universo era  $\approx 30000$  veces mas pequeño de lo que lo es ahora.





Radiación de fondo en microondas sin considerar movimiento de la tierra sobre esta radiación



Radiación de fondo en microondas cuando se compara a ángulos mayores a  $10^\circ$ . Las fluctuaciones en la intensidad son del orden de una parte en  $10^5$ .

- ★ Radiación de fondo en ondas de radio. Domina el plano de la galaxia. Esta radiación es producida por radiación sincrotrónica: electrones relativistas que giran alrededor del campo magnético asociado a la galaxia.

