



Galaxias. De las flores del jardín cósmico a la estructura del Universo (I)

Carlos Román Zúñiga

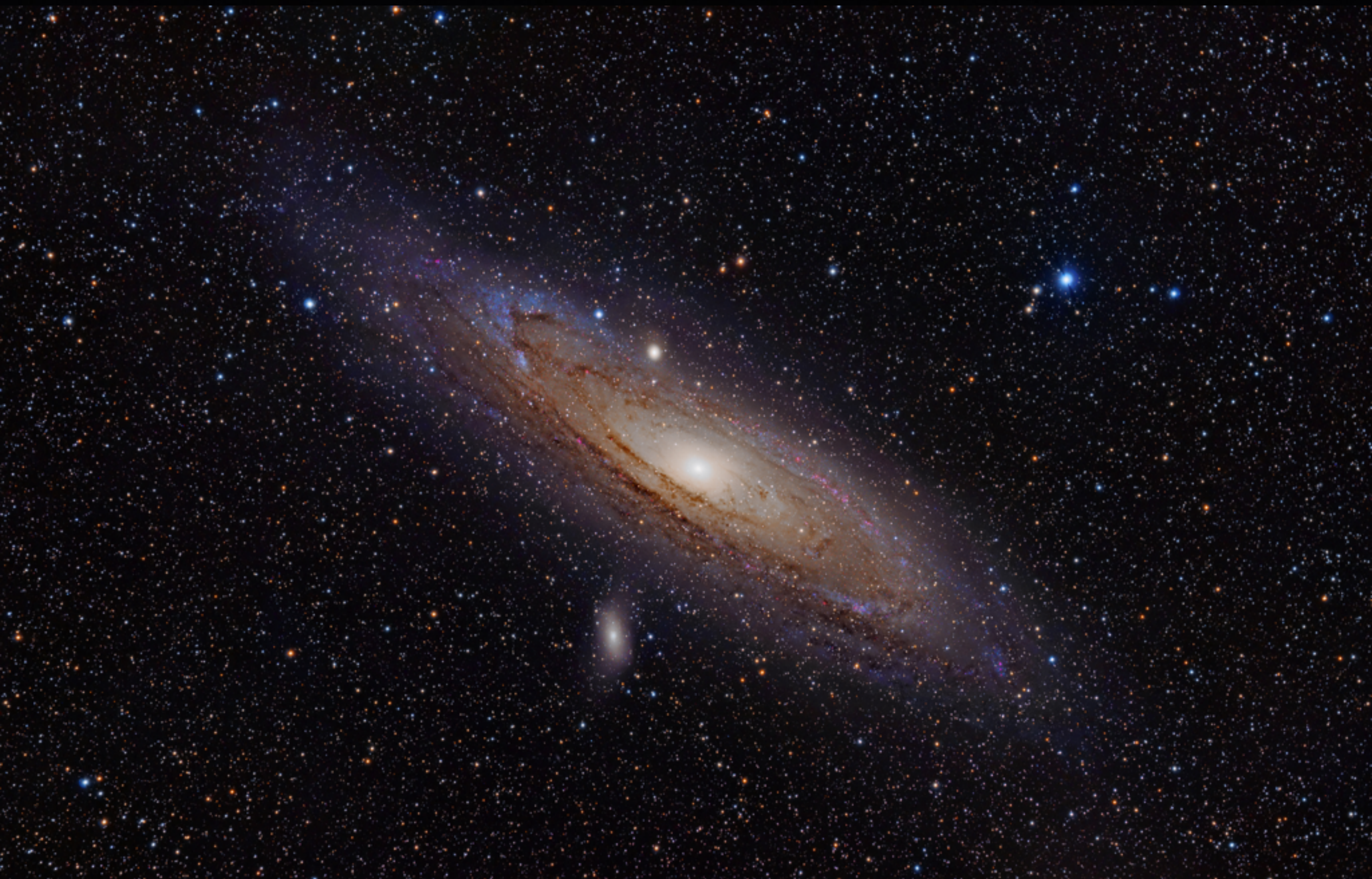
TCJCIMAT2016

conceptos básicos

- Las galaxias son enormes conglomerados de gas, polvo y estrellas.
- De acuerdo al modelo actual, representan el producto del enfriamiento de la materia bariónica en los centros de gravedad de la estructura filamentaria a gran escala, determinada a su vez por la distribución de la materia no bariónica
- La mayoría de las galaxias se forman en cúmulos, aunque un porcentaje significativo se encuentran relativamente aisladas.
- La Vía Láctea, donde habitamos es un caso típico de una galaxia barrada tipo Sbc.
- Las galaxias evolucionan: acretan halos a lo largo de la escala de Hubble y se combinan con la formación in-situ.



galaxias



galaxias



galaxias



galaxias



galaxias



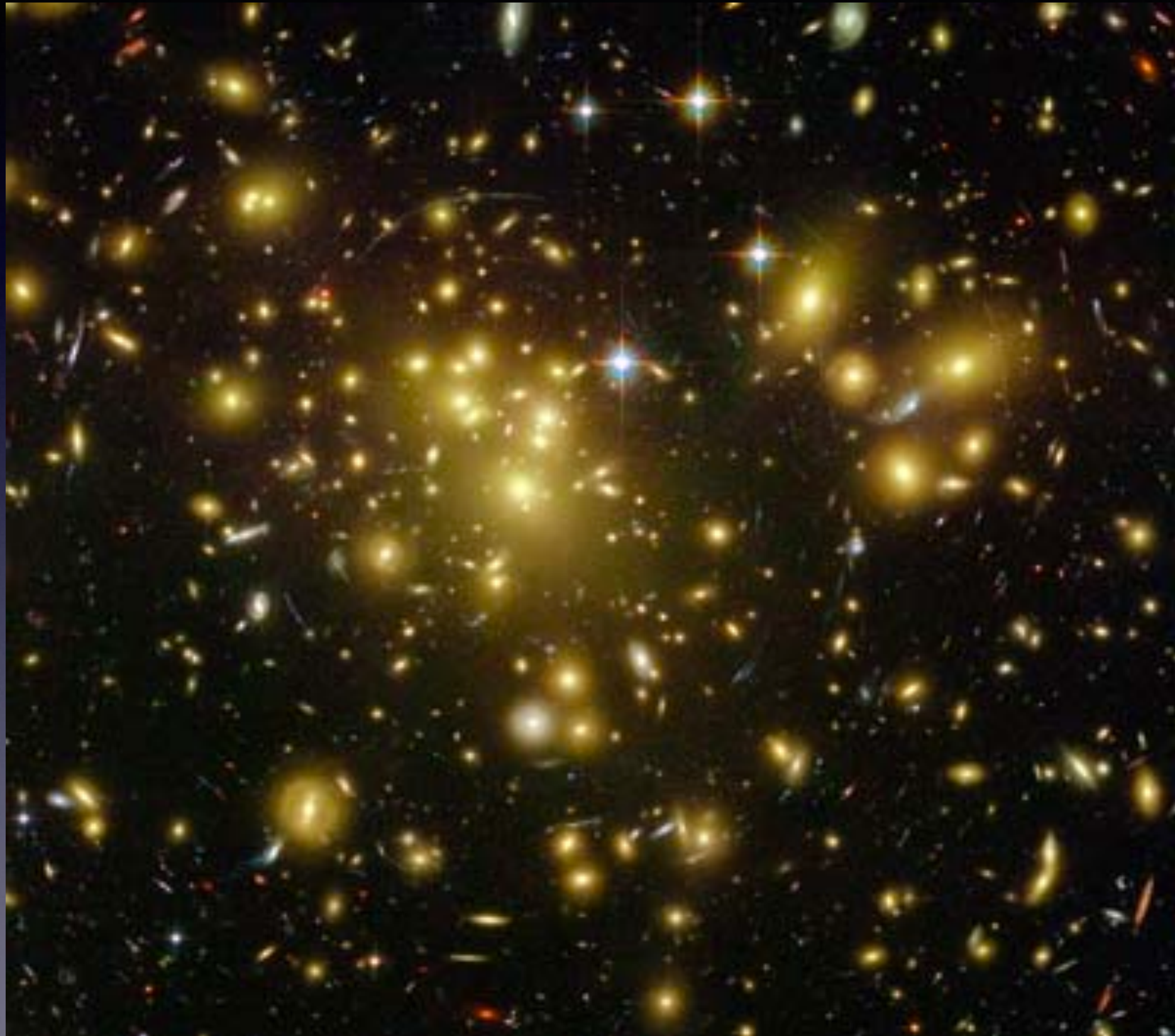
galaxias



galaxias

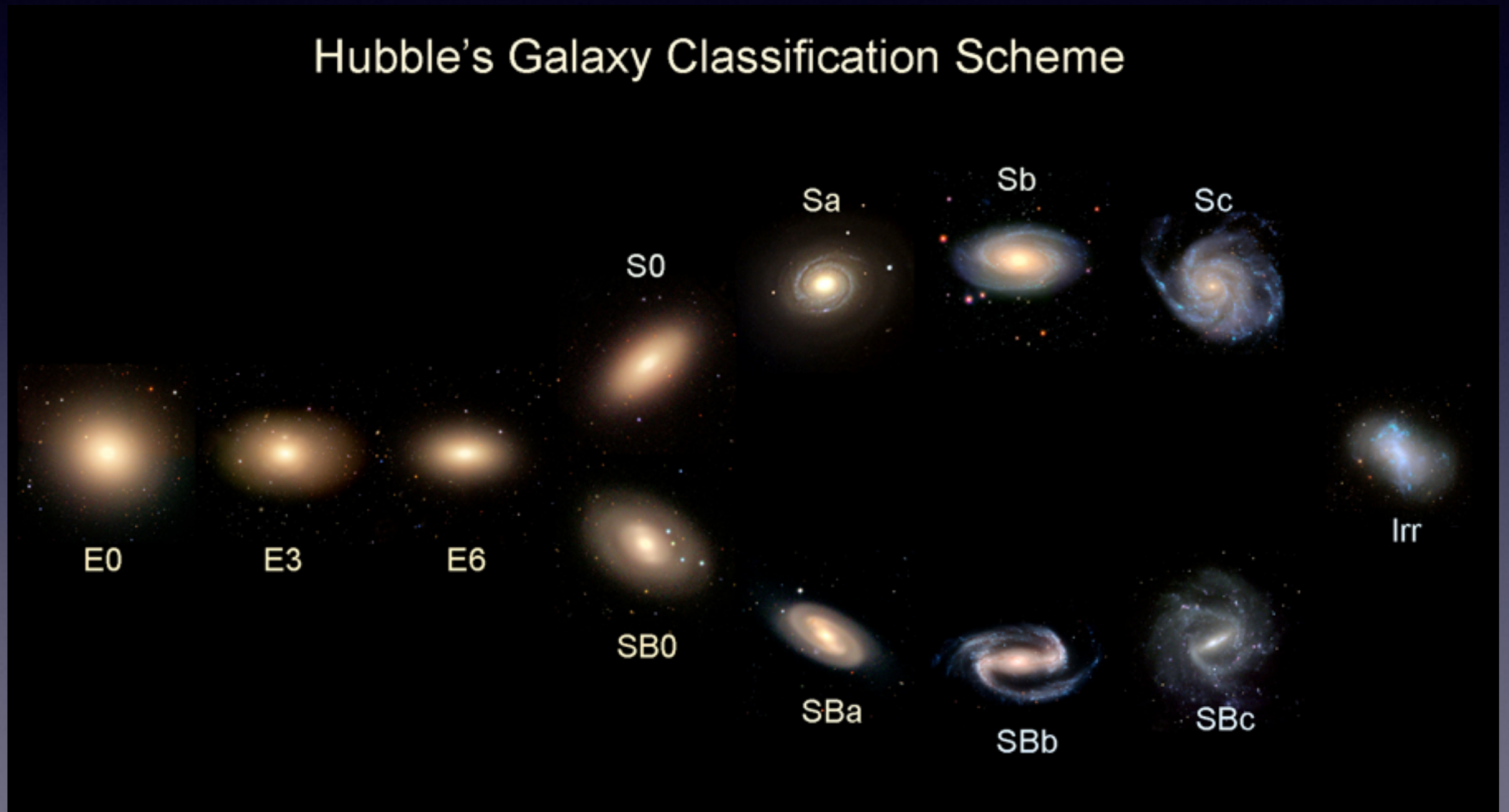


galaxias



La Horquilla. Clasificación Morfológica de Hubble

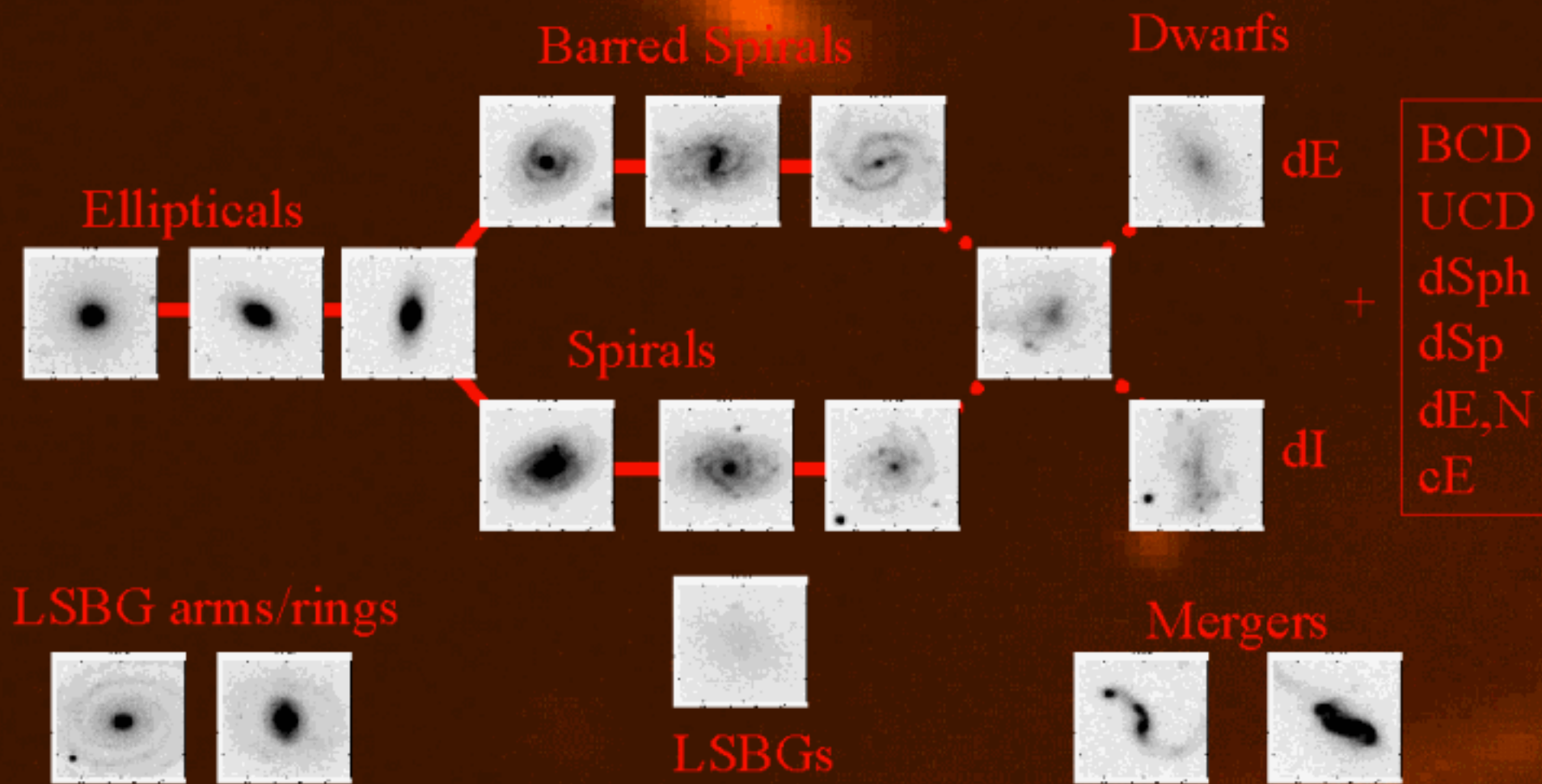
Hubble's Galaxy Classification Scheme



La Horquilla. Clasificación Morfológica de Hubble

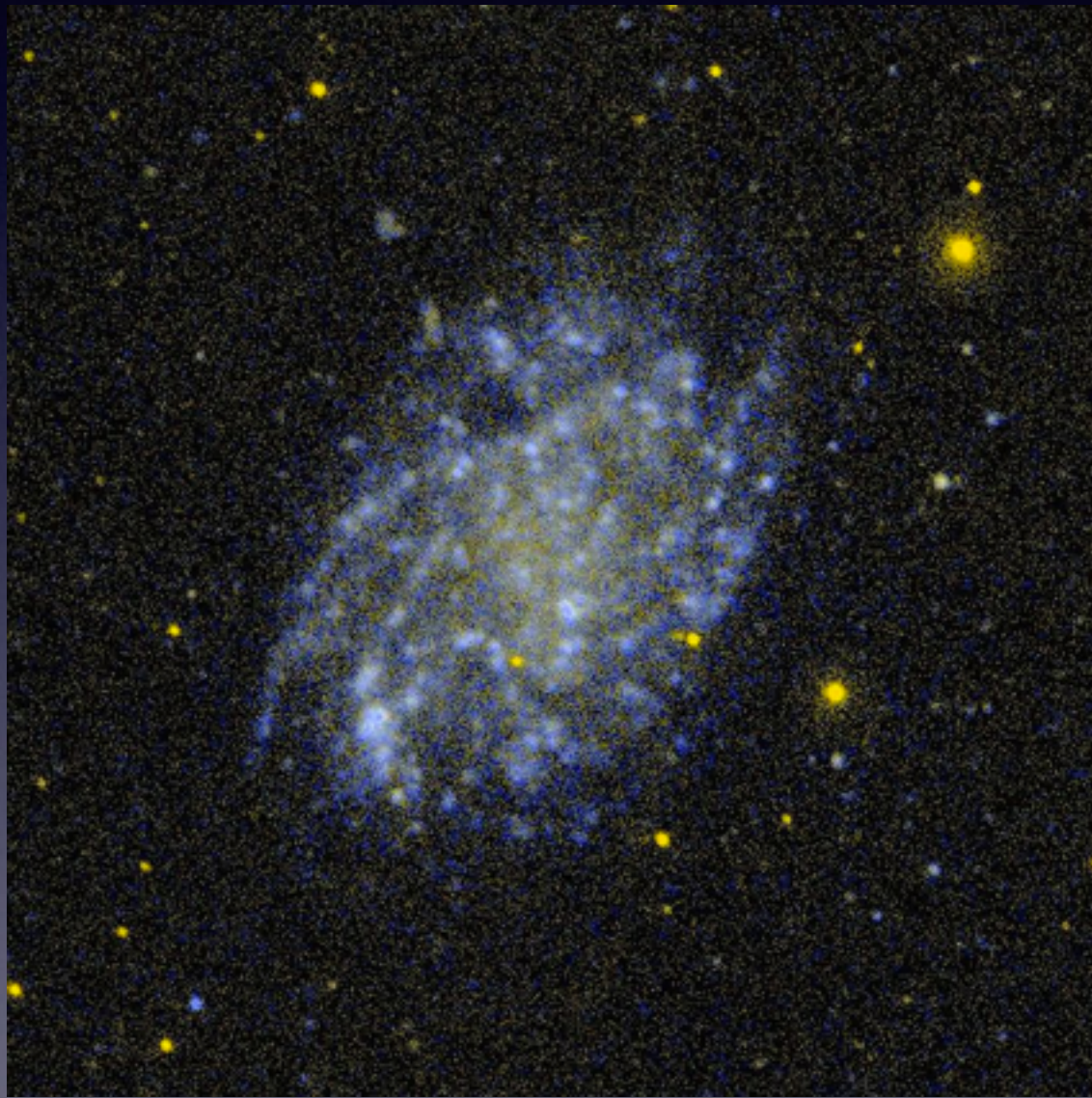
Galaxy Classification: The Hubble Tuning Fork

- The Hubble Tuning Fork is no-longer viable, with many types defying classification:



- Diversity implies multiple evolutionary paths (epochs)
- But how to incorporate this diversity into the modeling ?

La Horquilla. Clasificación Morfológica de Hubble



Galaxia Enana

LSBG Bajo Brillo Superficial

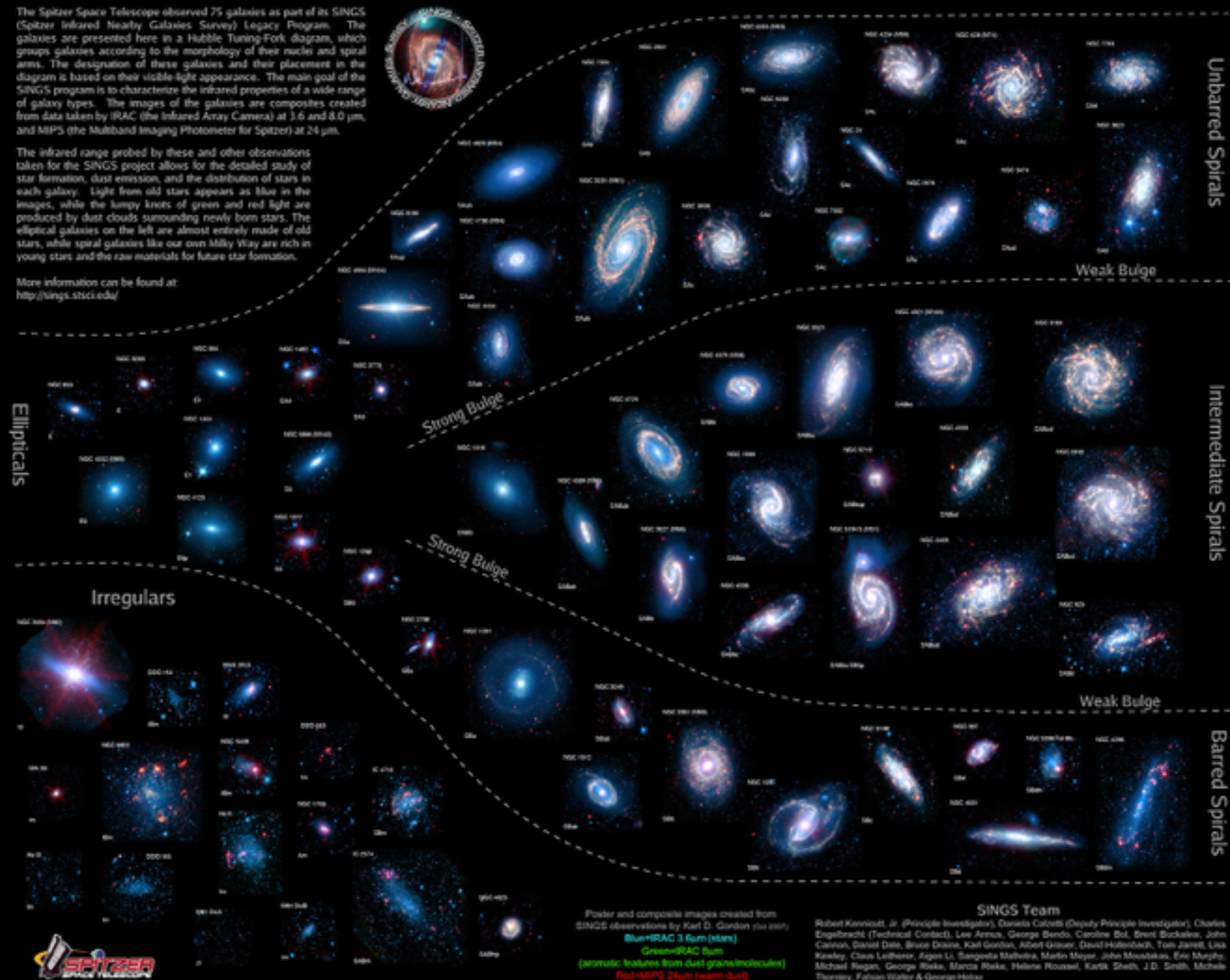
La Horquilla. Clasificación Morfológica de Hubble. IR

The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS) Hubble Tuning-Fork

The Spitzer Space Telescope observed 75 galaxies as part of its SINGS (Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey) Legacy Program. The galaxies are presented here in a Hubble Tuning-Fork diagram, which groups galaxies according to the morphology of their nuclei and spiral arms. The designation of these galaxies and their placement in the diagram is based on their visible-light appearance. The main goal of the SINGS program is to characterize the infrared properties of a wide range of galaxy types. The images of the galaxies are composites created from data taken by IRAC (the Infrared Array Camera) at 3.6 and 8.0 μm , and MIPS (the Multiband Imaging Photometer for Spitzer) at 24 μm .

The infrared range probed by these and other observations taken for the SINGS project allows for the detailed study of star formation, dust emission, and the distribution of stars in each galaxy. Light from old stars appears as blue in the images, while the lumpy knots of green and red light are produced by dust clouds surrounding newly born stars. The elliptical galaxies on the left are almost entirely made of old stars, while spiral galaxies like our own Milky Way are rich in young stars and the raw materials for future star formation.

More information can be found at: <http://sings.stsci.edu/>

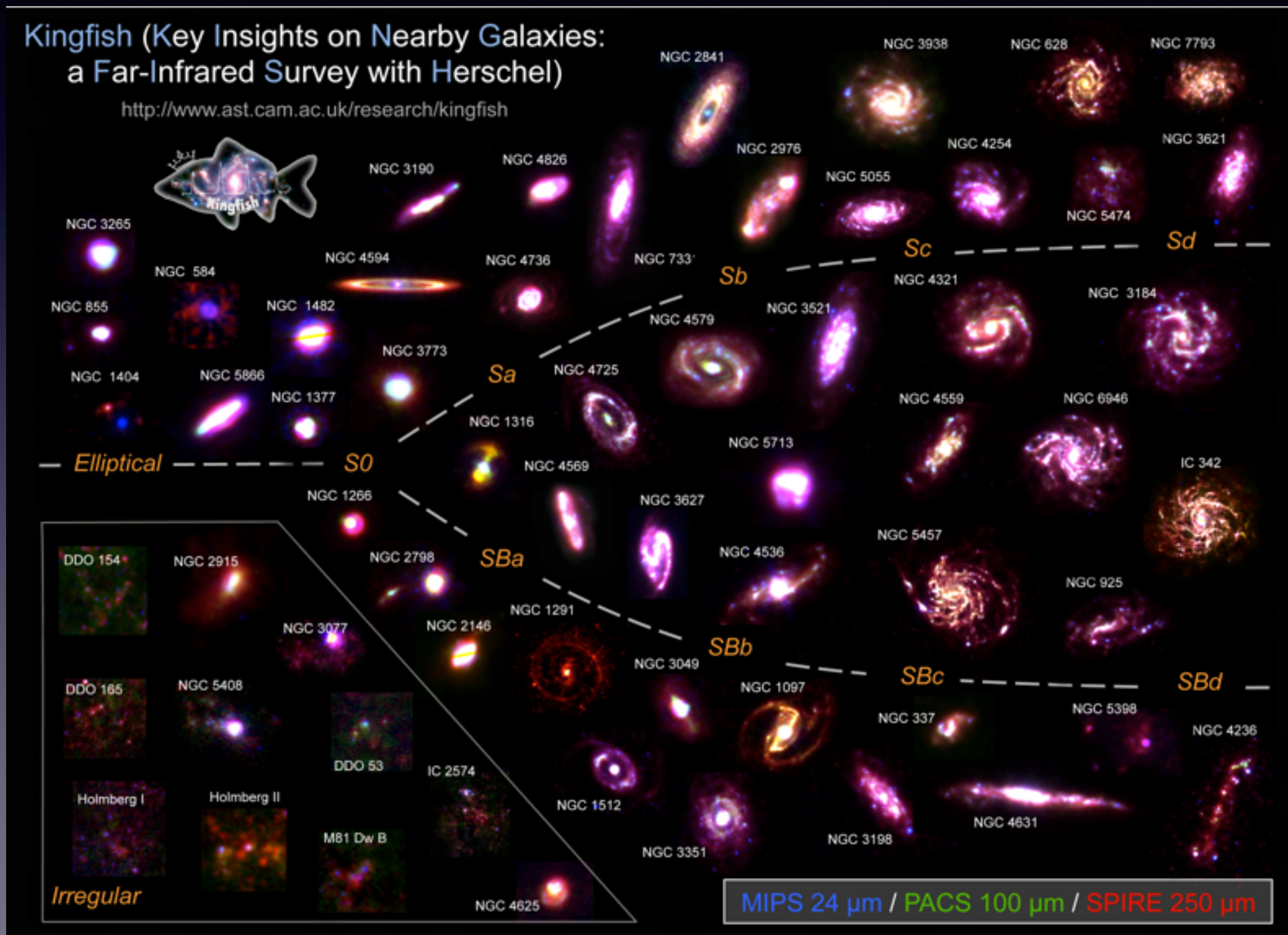


Poster and composite images created from SINGS observations by Karl D. Gordon (PI) with
 Blue=IRAC 3.6 μm (stars)
 Green=IRAC 8.0 μm
 (aromatic features from dust grains/molecules)
 Red=MIPS 24 μm (warm dust)

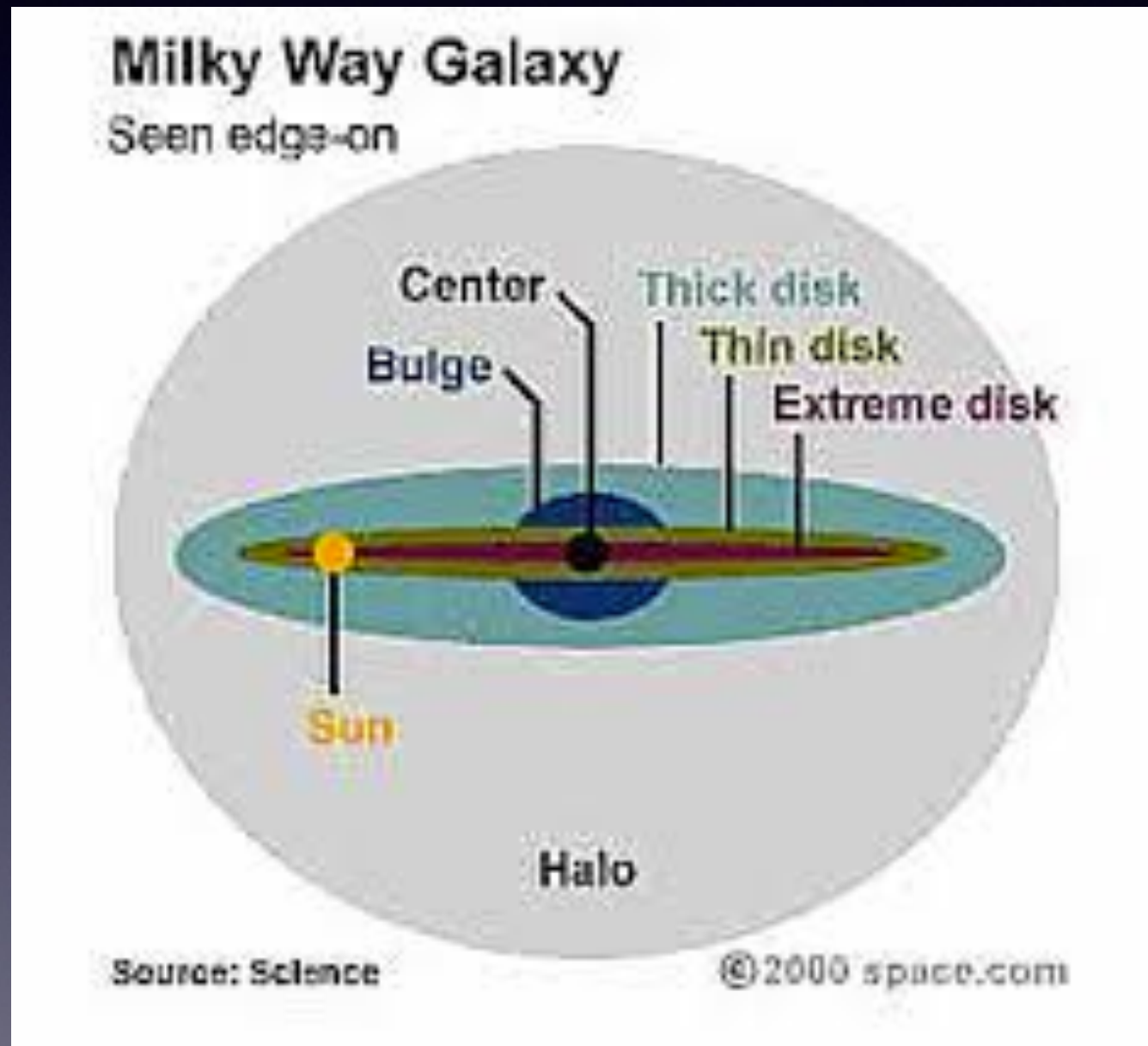
SINGS Team
 Robert Kennicutt, Jr. (Principal Investigator), Daniela Calzetti (Deputy Principal Investigator), Charles Engelbracht (Technical Contact), Lee Armus, George Bendo, Caroline Bot, Brent Buckalew, John Cannon, Daniel Dale, Bruce Draine, Karl Gordon, Albert Goussier, David Hollenbach, Tom Jarrett, Lisa Kewley, Claus Leitherer, Ajay Li, Sangmita Malhotra, Martin Meyer, John Moustakas, Eric Murphy, Michael Ragan, George Rieke, Marcia Rieke, Helene Roussel, Karik Sheth, J.D. Smith, Michele Thornley, Fabian Walter & George Helou



La Horquilla. Clasificación Morfológica de Hubble. IR



Componentes de la Vía Láctea



Componentes de la Vía Láctea

STELLAR HALO

The Galaxy's sparse, faint halo of stars is roughly spherical, some 200 kiloparsecs across and only about 10^9 solar masses. Stars in the outer halo are very old; those in the inner halo are slightly younger.

SEGUE 1

Dwarf galaxy.

URSA MAJOR II

Dwarf galaxy.

DARK-MATTER HALO

The Galaxy's largest component is roughly spherical, several hundred kiloparsecs across, about 10^{12} times the mass of the Sun — and completely invisible.

DISK

This most photogenic part of the Galaxy contains the spiral arms, is 30–40 kiloparsecs across and about 5×10^{10} solar masses.

DWARF GALAXIES

The Large and Small Magellanic Clouds are the biggest known dwarf galaxies, which probably formed in the denser clumps of the dark-matter halo. About two dozen are known, including Segue 1, Ursa Major II and the Sagittarius dwarf.

THE SUN

BUBBLES

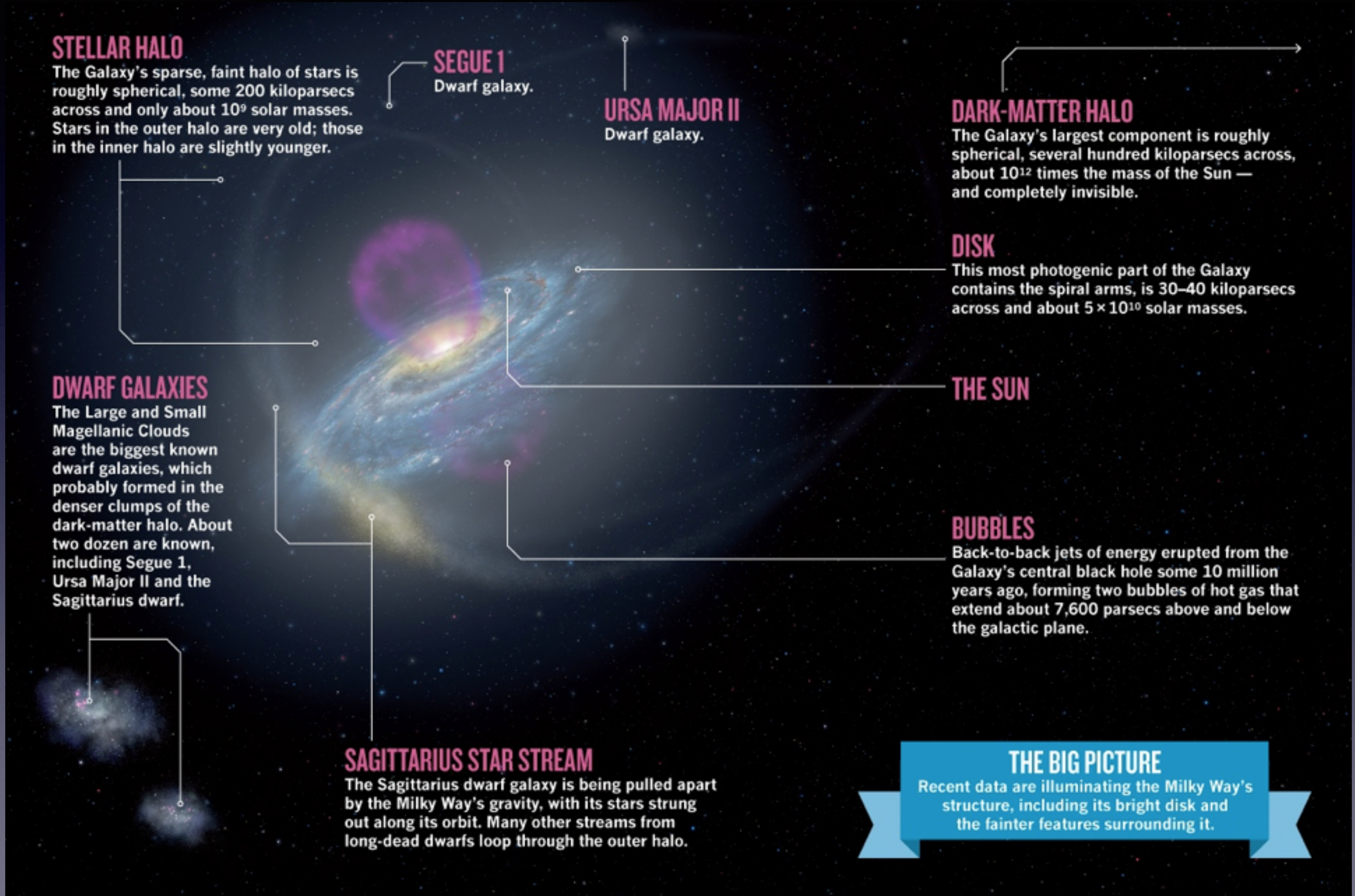
Back-to-back jets of energy erupted from the Galaxy's central black hole some 10 million years ago, forming two bubbles of hot gas that extend about 7,600 parsecs above and below the galactic plane.

SAGITTARIUS STAR STREAM

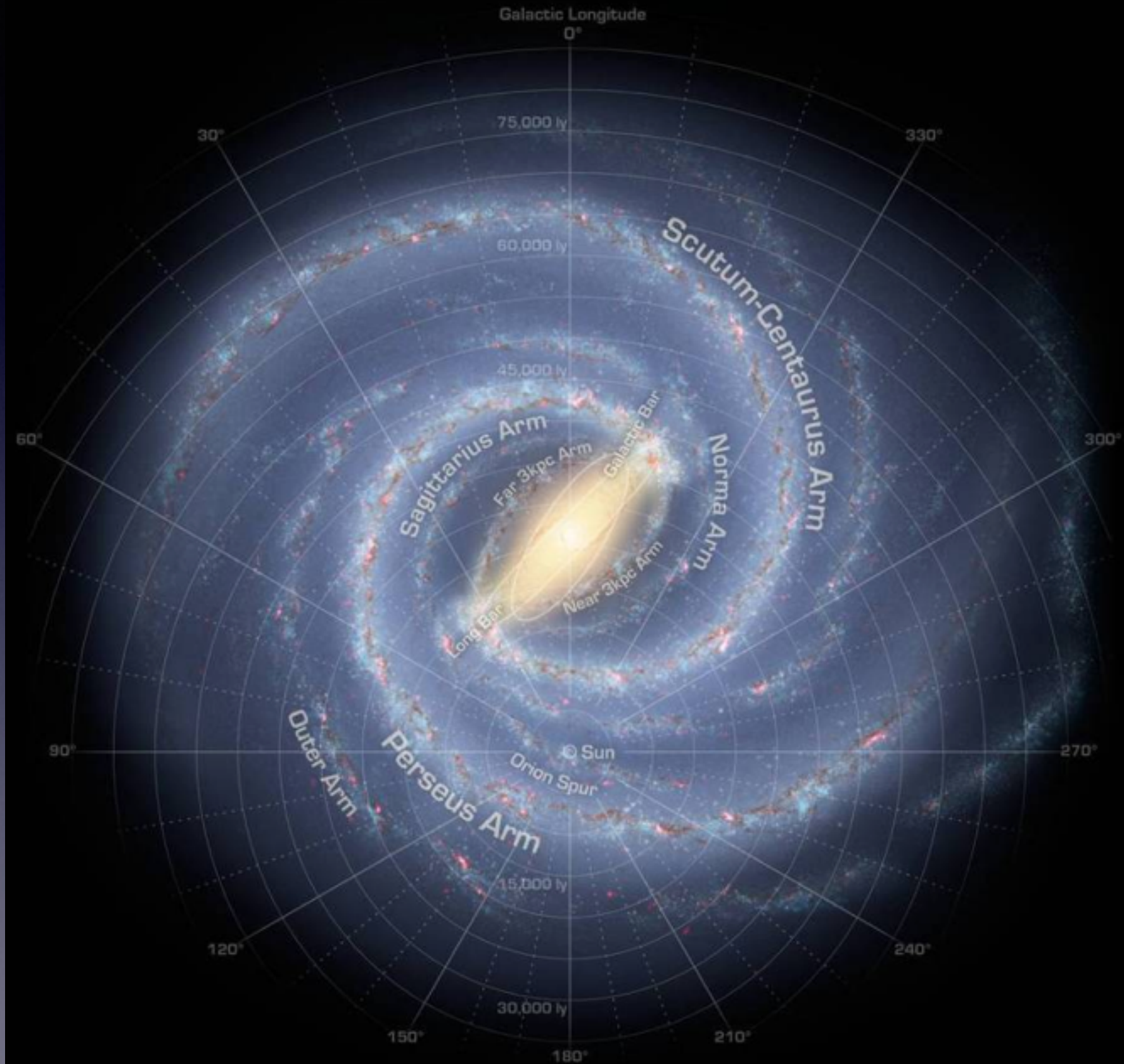
The Sagittarius dwarf galaxy is being pulled apart by the Milky Way's gravity, with its stars strung out along its orbit. Many other streams from long-dead dwarfs loop through the outer halo.

THE BIG PICTURE

Recent data are illuminating the Milky Way's structure, including its bright disk and the fainter features surrounding it.



Componentes de la Vía Láctea

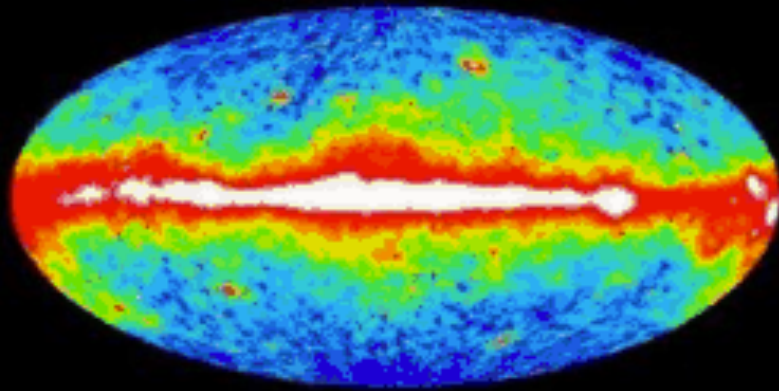


Componentes de la Vía Láctea

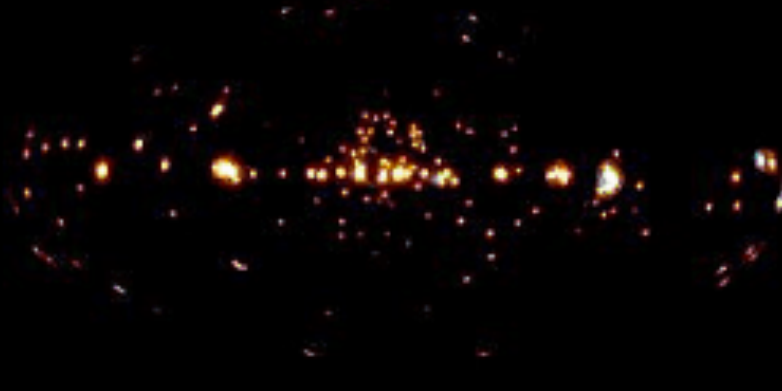


panorámica de la VL. ESO VISTA

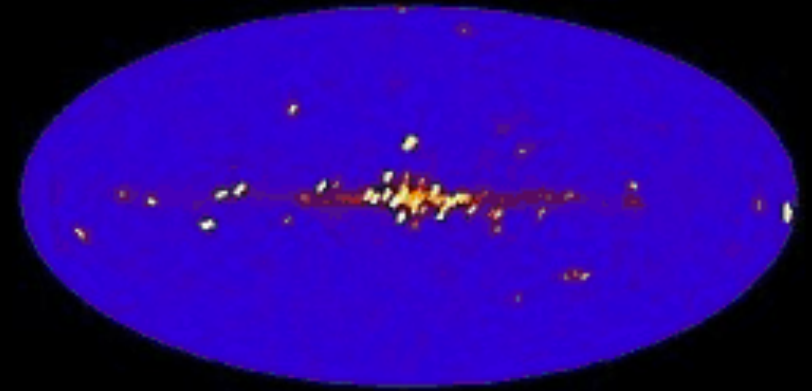
Componentes de la Vía Láctea



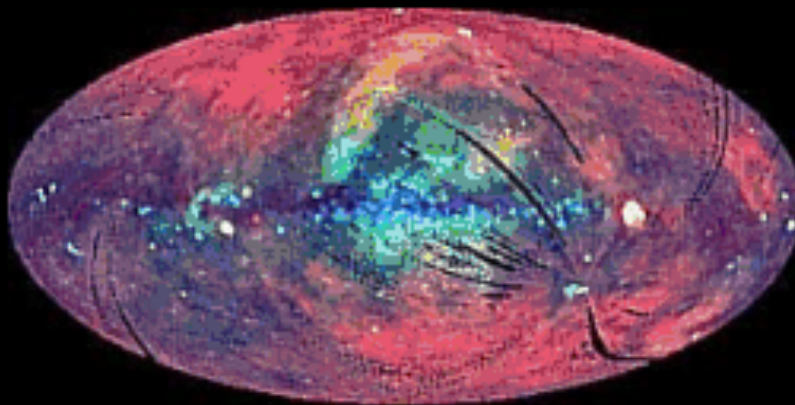
Gamma-Ray >100MeV (CGRO, NASA)



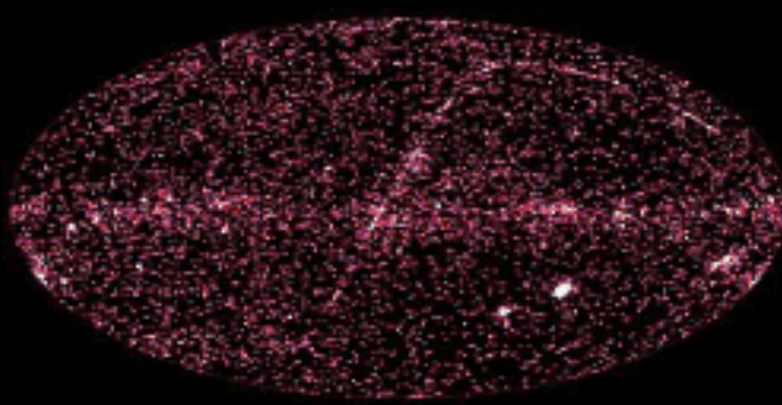
Gamma-Ray (N. Gehrels et.al. GSFC, EGRET, NASA)



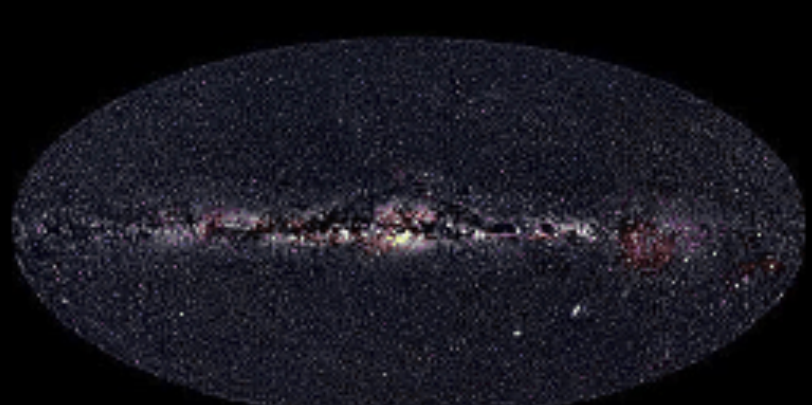
X-Ray 2-10keV (HEAO-1, NASA)



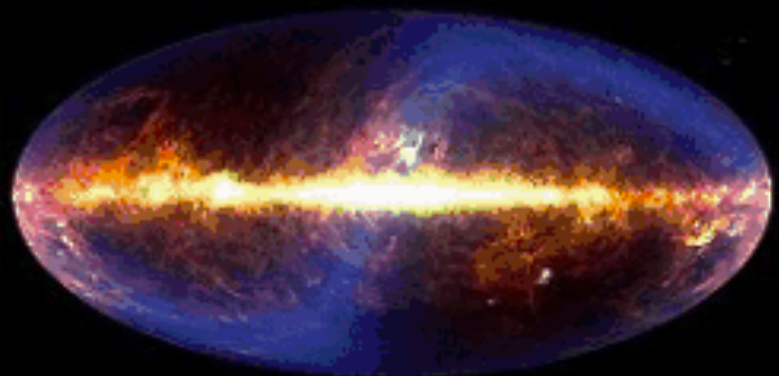
X-Ray 0.25, 0.75, 1.5 keV (S. Digel et. al. GSFC, ROSAT, NASA)



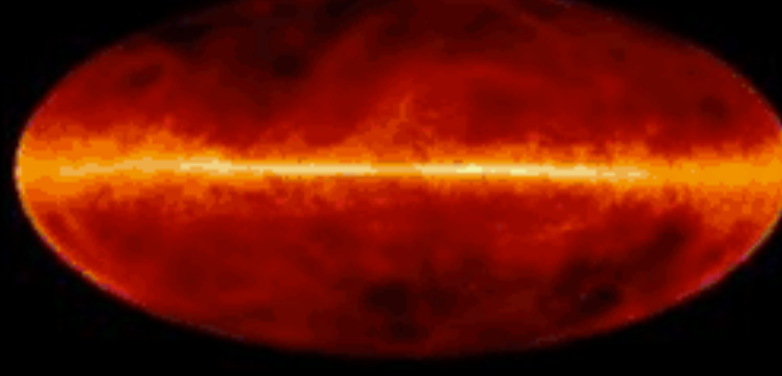
Ultraviolet (J. Bonnell et.al.(GSFC), NASA)



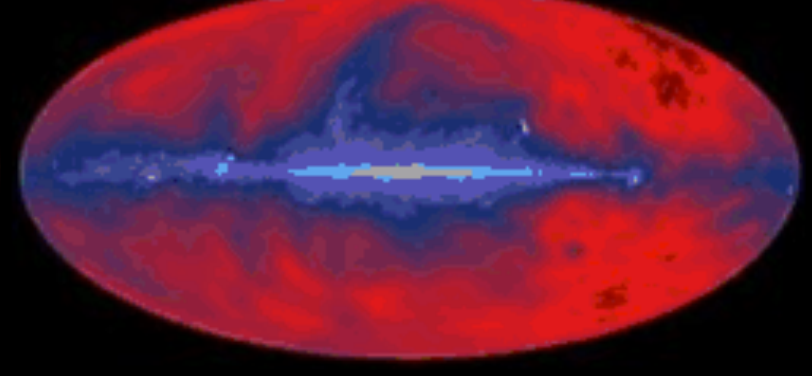
Visible (Axel Mellinger)



Infrared (DIRBE Team, COBE, NASA)

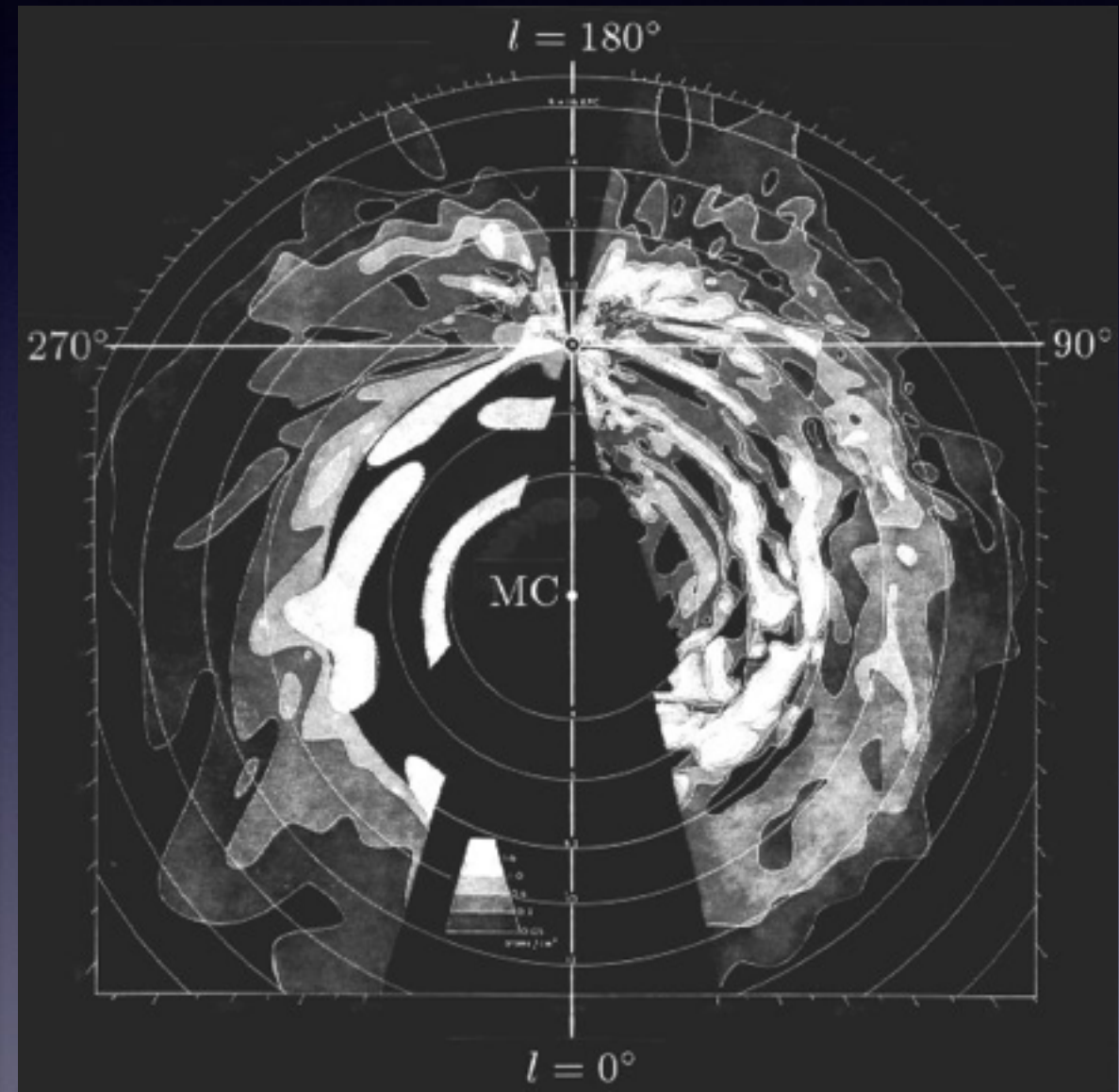
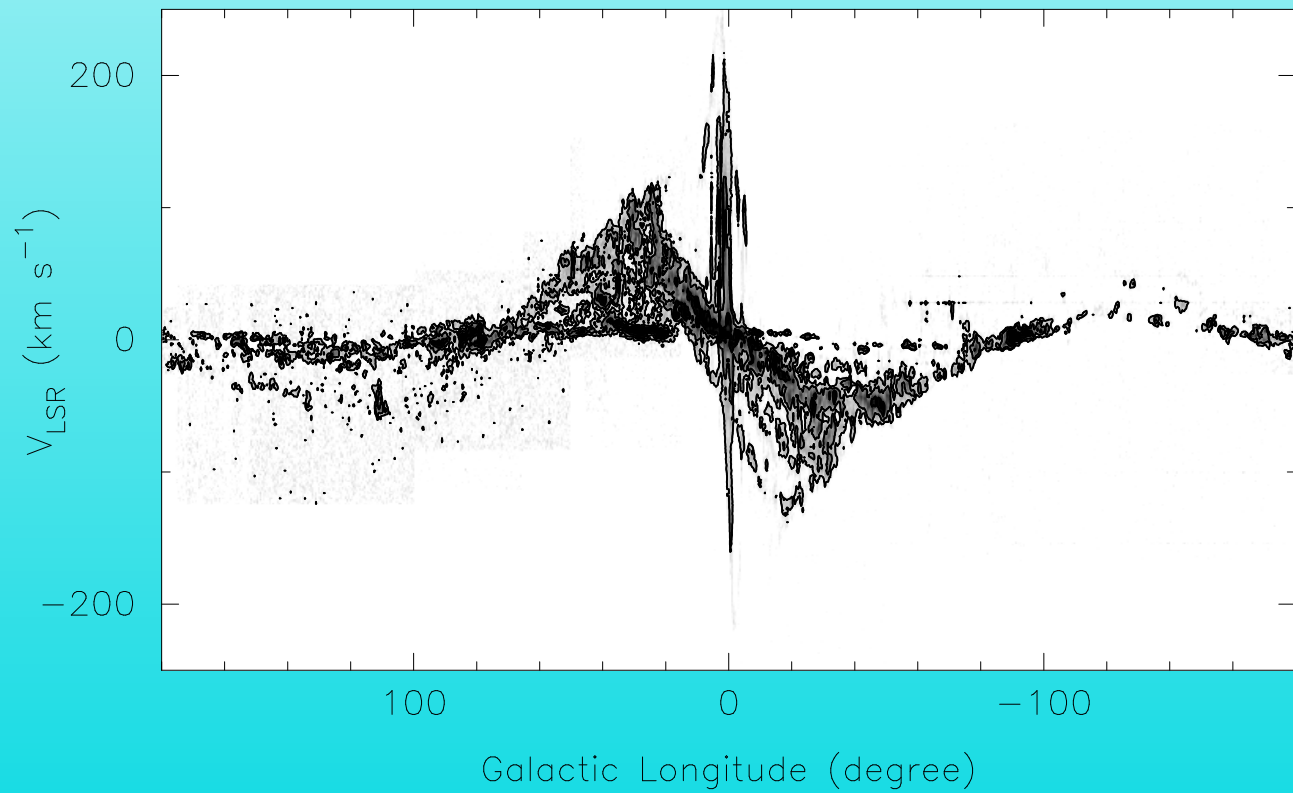
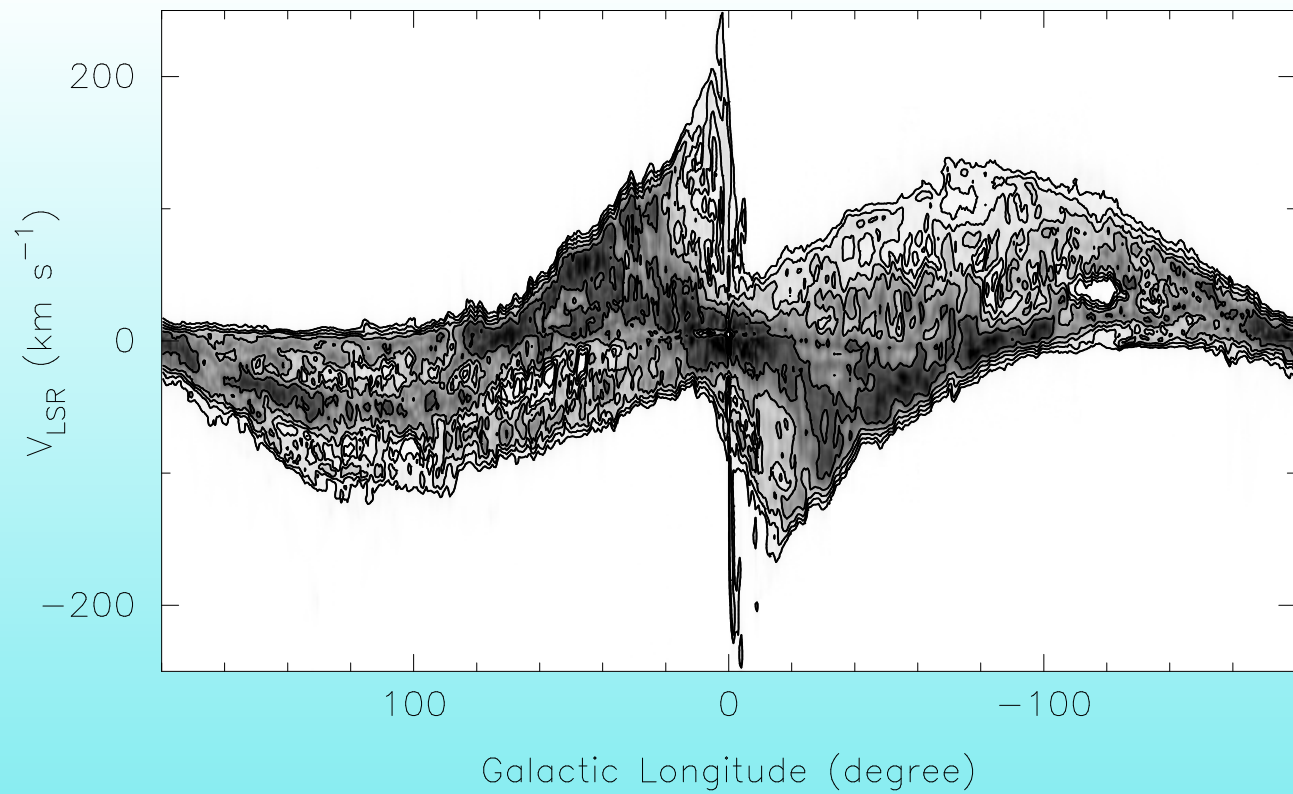


Radio 1420MHz (J. Dickey et.al. UMn. NRAO SkyView)

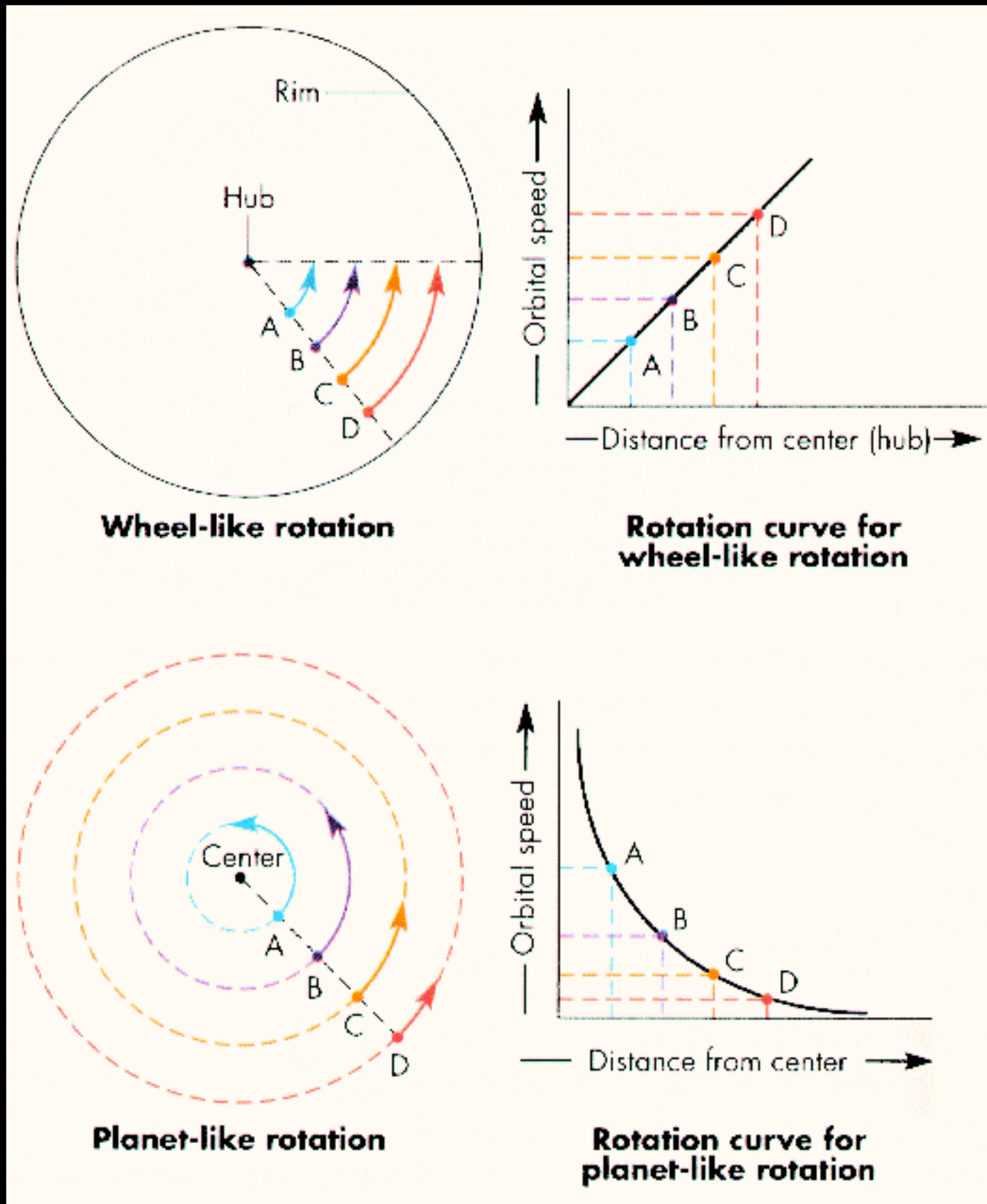


Radio 408MHz (C. Haslam et al., MPIfR, SkyView)

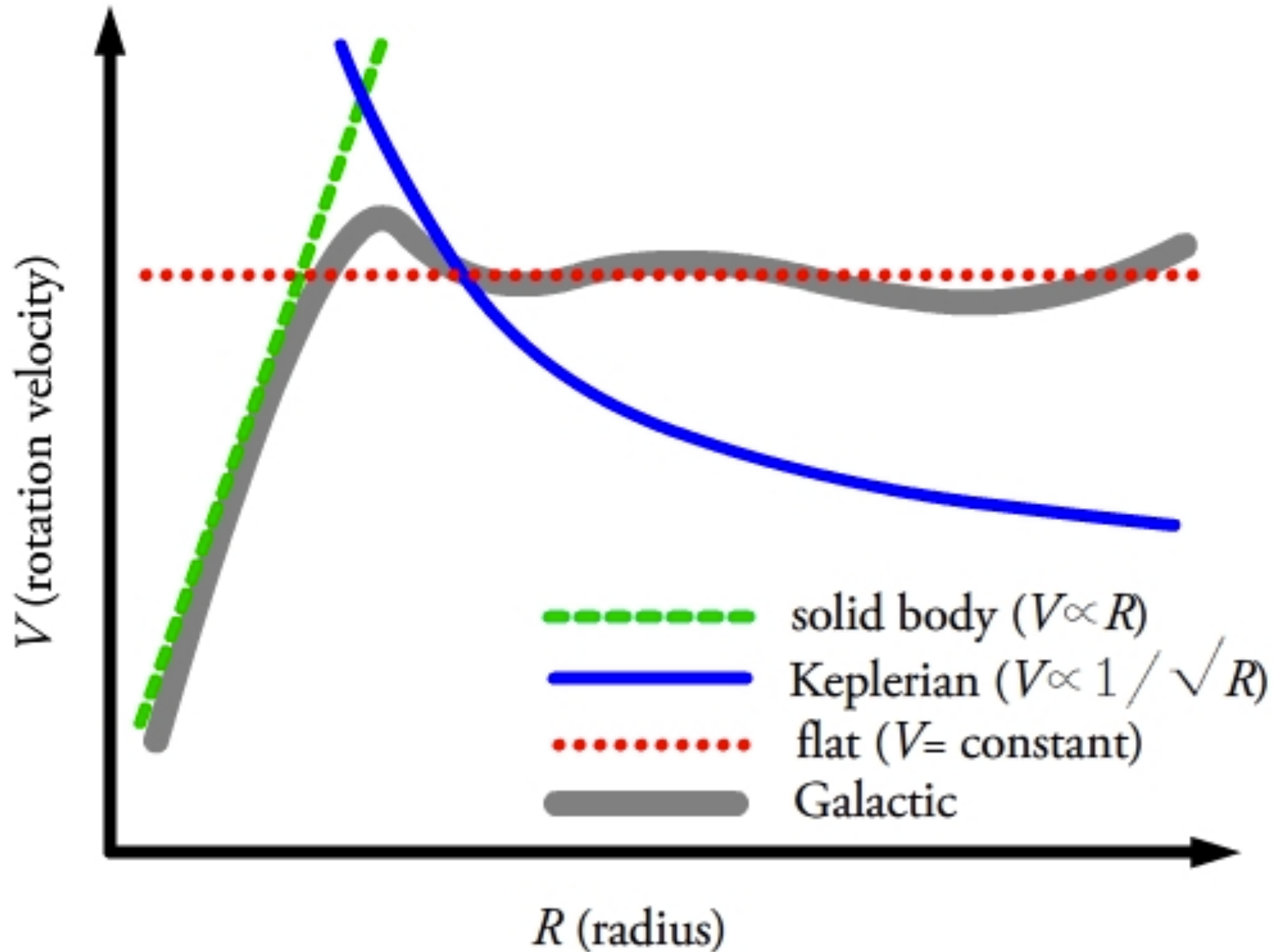
rotacion galactica. Gas



curva de rotación

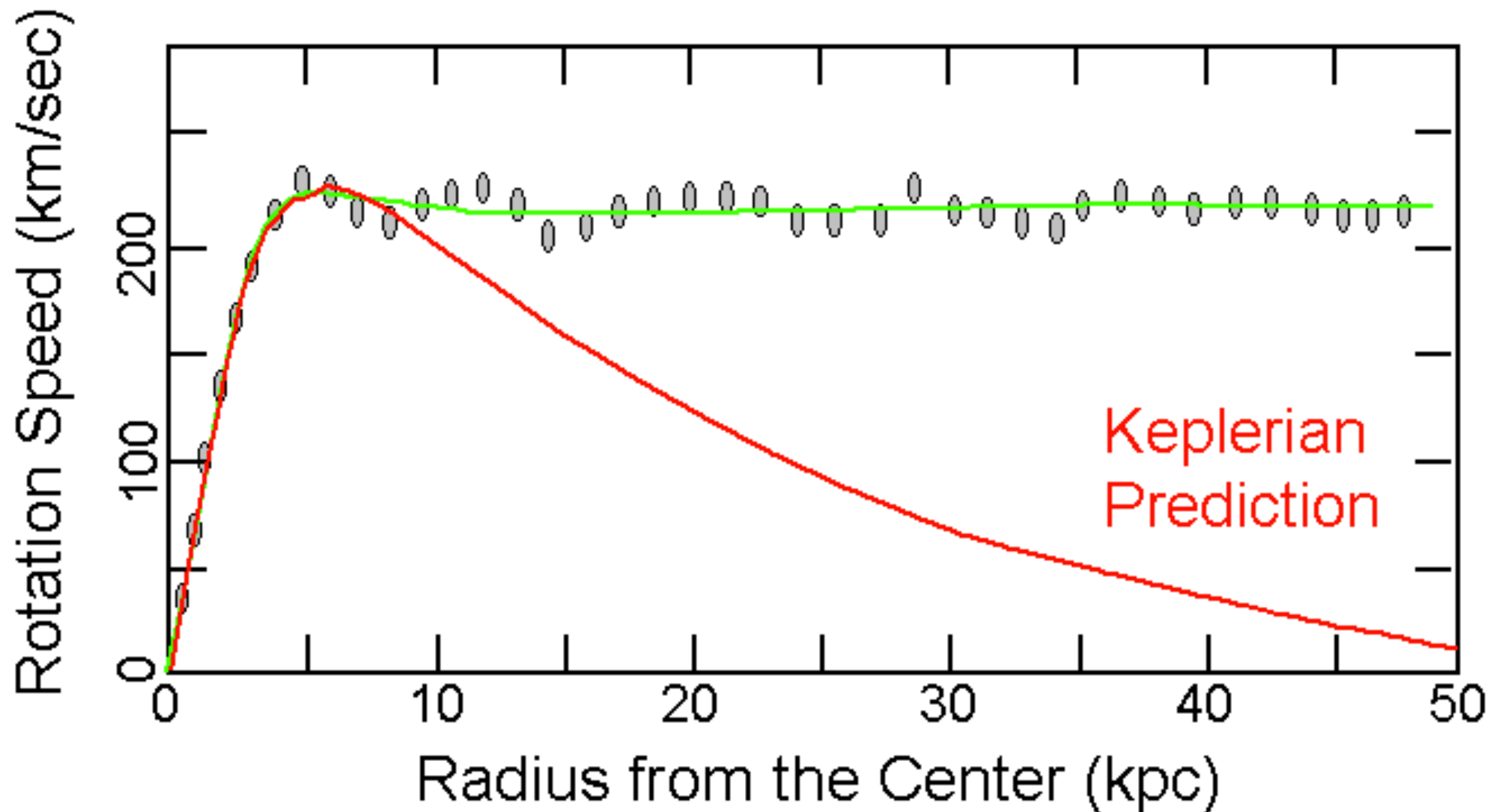


curva de rotación

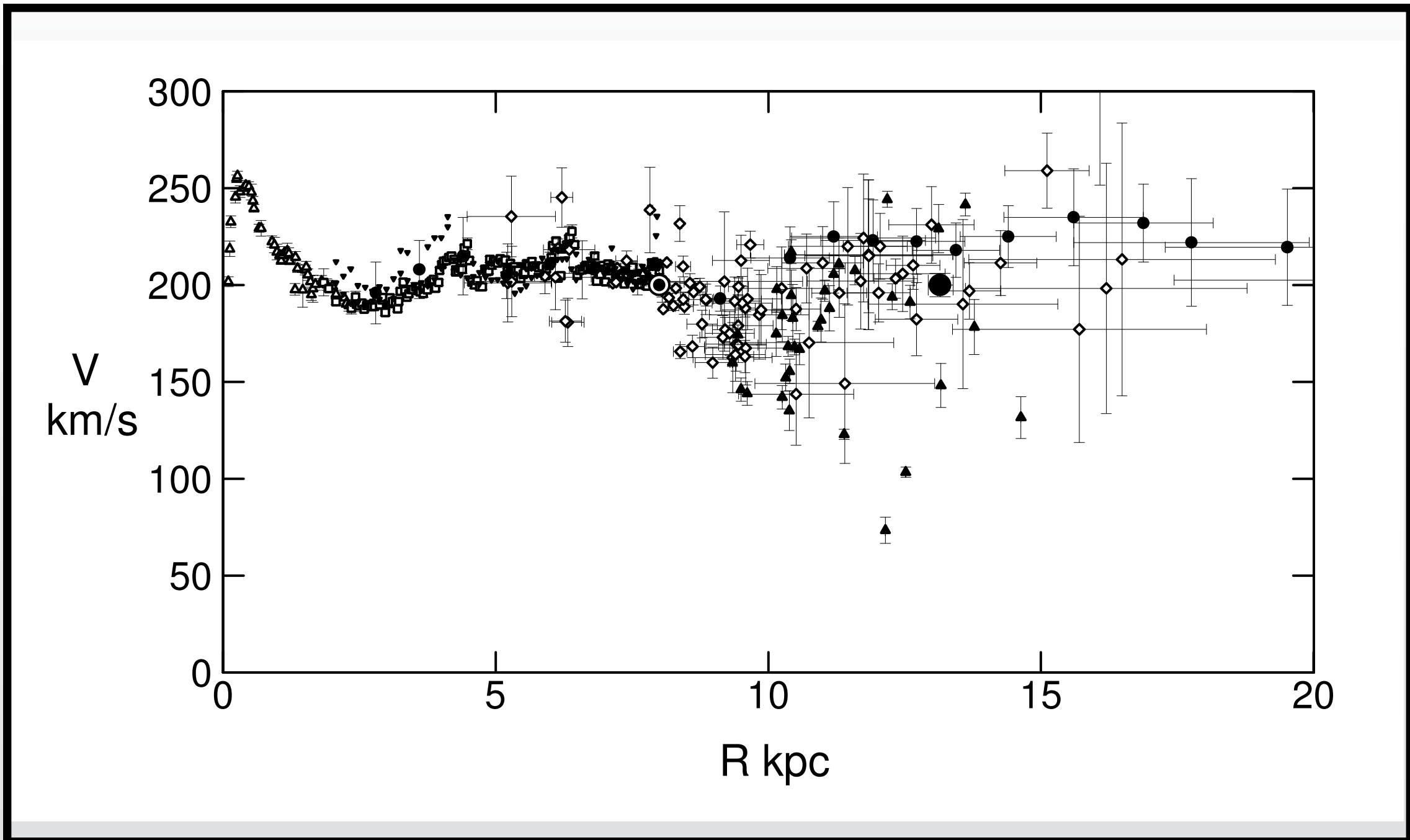


curva de rotación

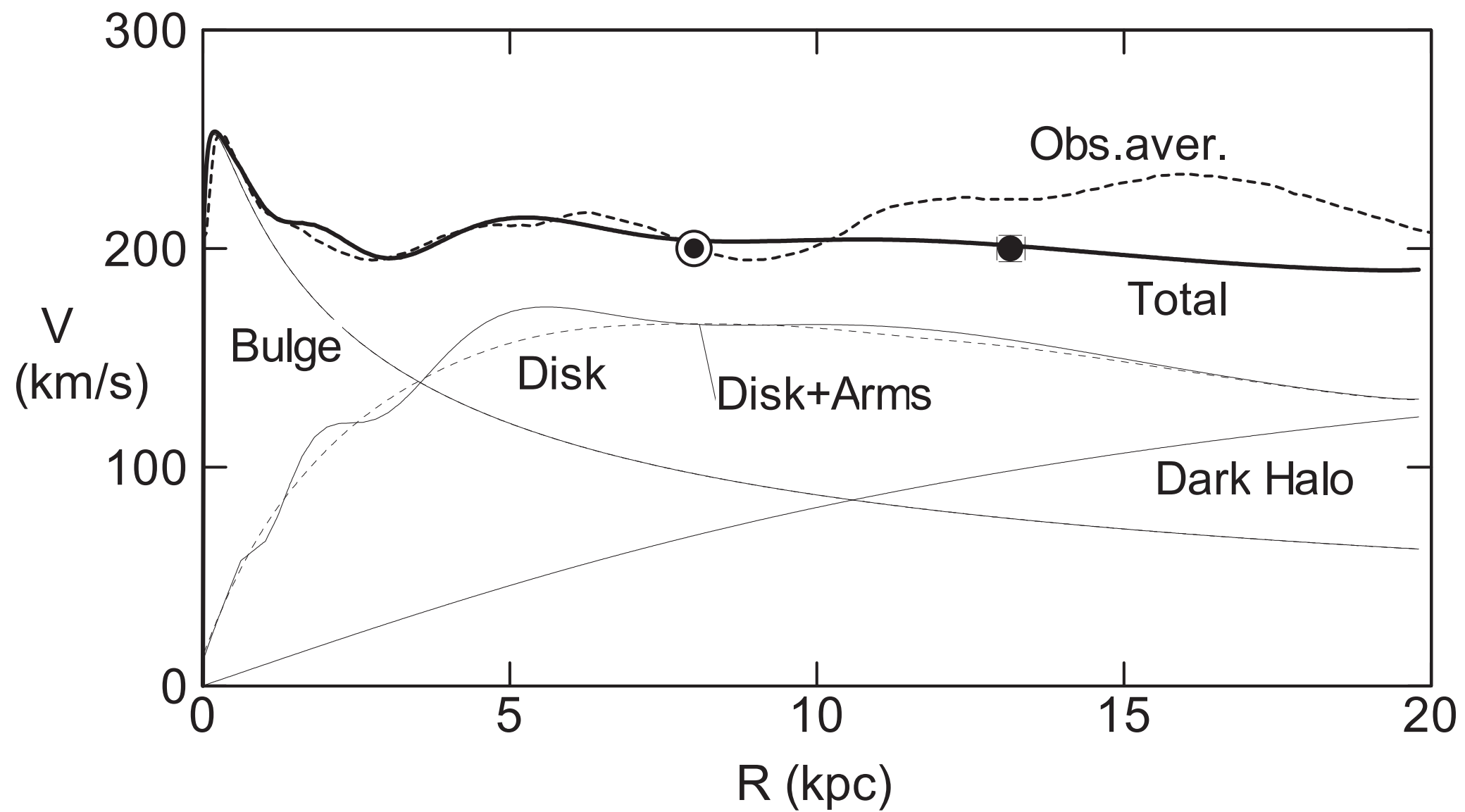
Observed vs. Predicted Keplerian



curva de rotación



curva de rotación



curva de rotación

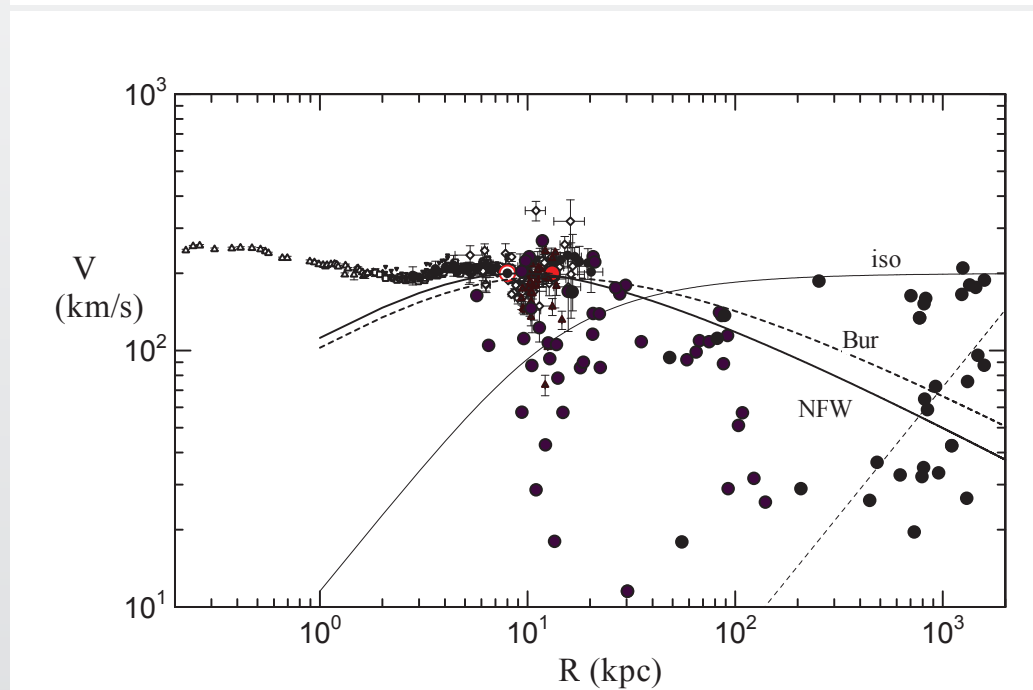
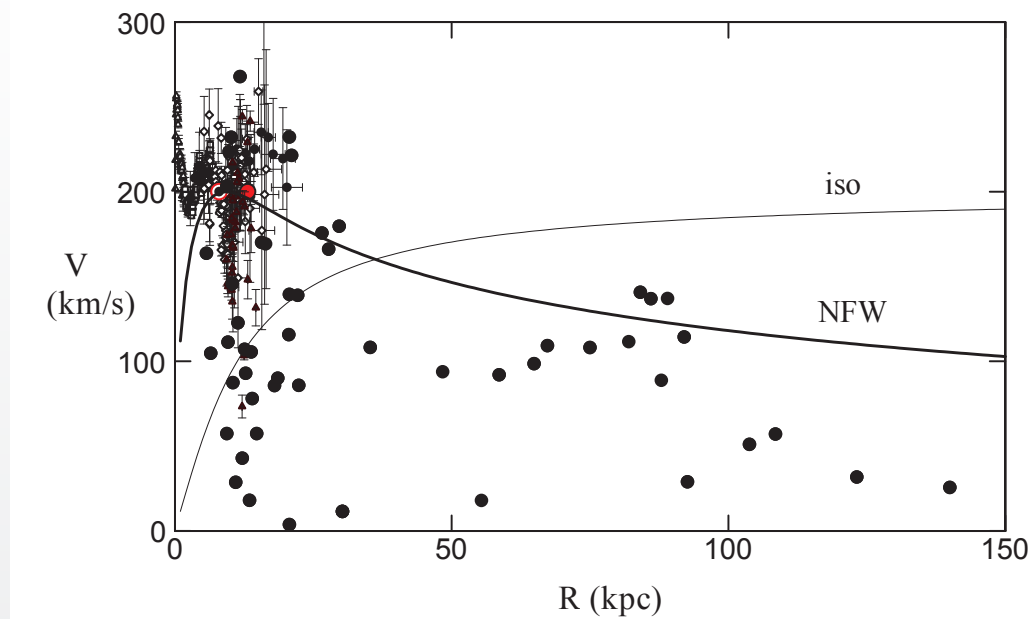


Fig 3. Oscurantismo hasta un radio galactocéntrico de 1.5 Mpc

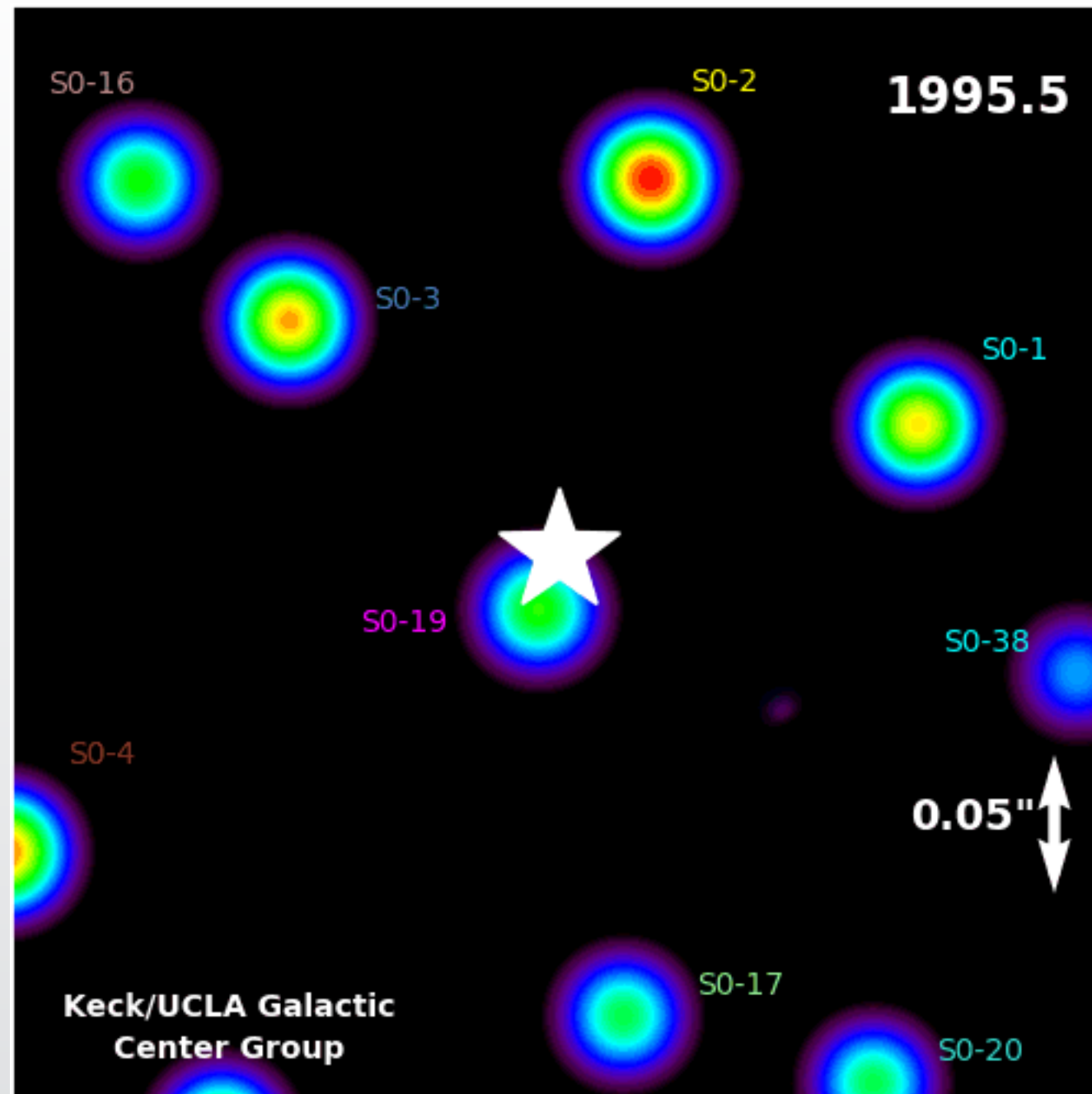
agujero negro central



Sagitario A

$M_{\text{BH}}=4.3 \times 10^6 \text{ Msun}$, $D_{\text{BH}}=0.3 \text{ AU}$

agujero negro central



$M_{\text{BH}} = 4.3 \times 10^6 M_{\text{sun}}$, $D_{\text{BH}} = 0.3 \text{ AU}$

galaxias activas



- Los cuásares (quasar) son objetos usualmente muy lejanos. Lo sabemos por sus altos corrimientos al rojo en la mayoría de los casos. Se les llama quasar porque son objetos que parecen estrellas en ciertas longitudes de onda, pero no lo son.
- Son un tipo de galaxia con núcleo activo, en la cual, un agujero negro supergigante se alimenta de gas y polvo en el centro de la galaxia. Este disco de acreción se calienta fuertemente y emite en el IR. El proceso genera, de forma parecida a una estrella joven, dos jets de alta energía. Los chorros son tan energéticos que viajan a velocidades relativistas y emiten fuertemente en rayos X y e incluso a energías más altas.
- Lo que explica sus tremendos brillos, visibles a distancias espacio temporales tan grandes, es la cantidad de materia que pueden engullir y convertir, que en muchos casos fue del orden de miles de masas solares por año.



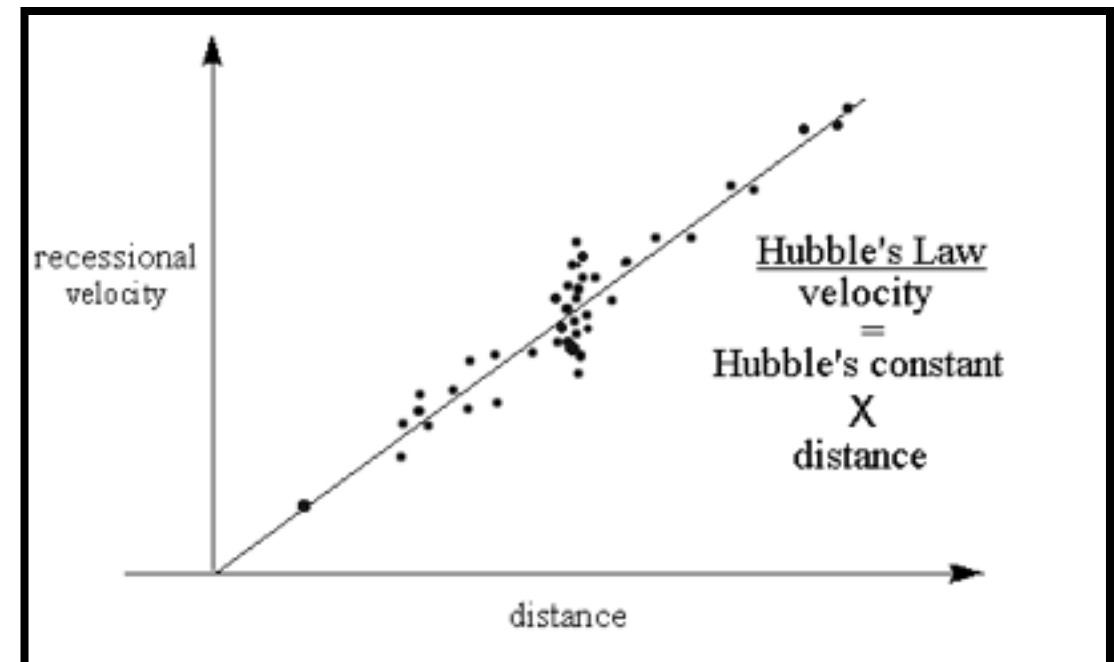
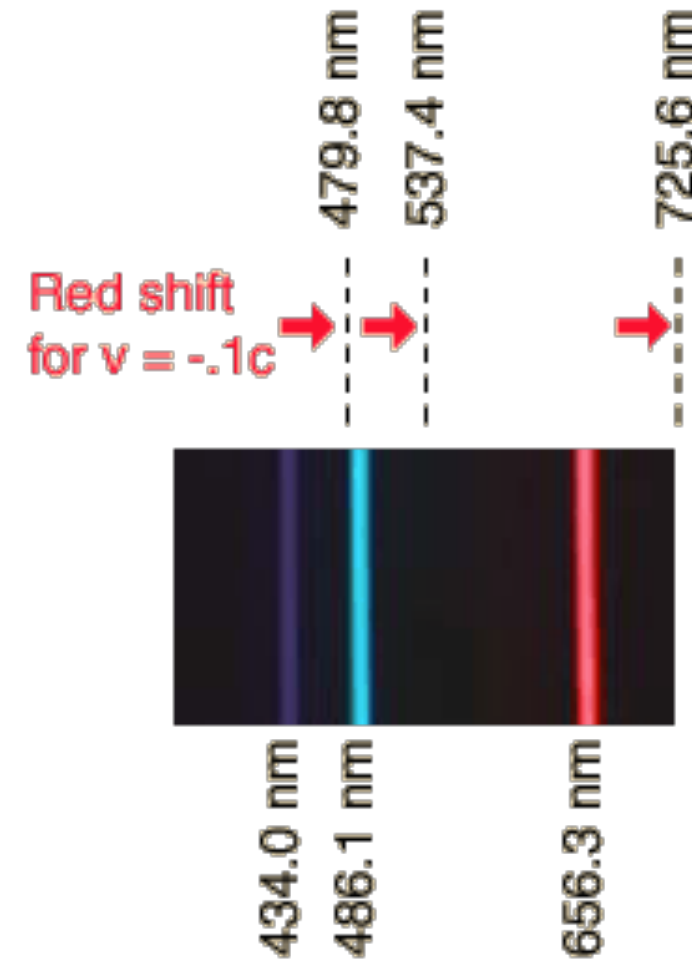
Galaxias. De las flores del jardín cósmico a la estructura del Universo (II)

Carlos Román Zúñiga

TCJCIMAT2016

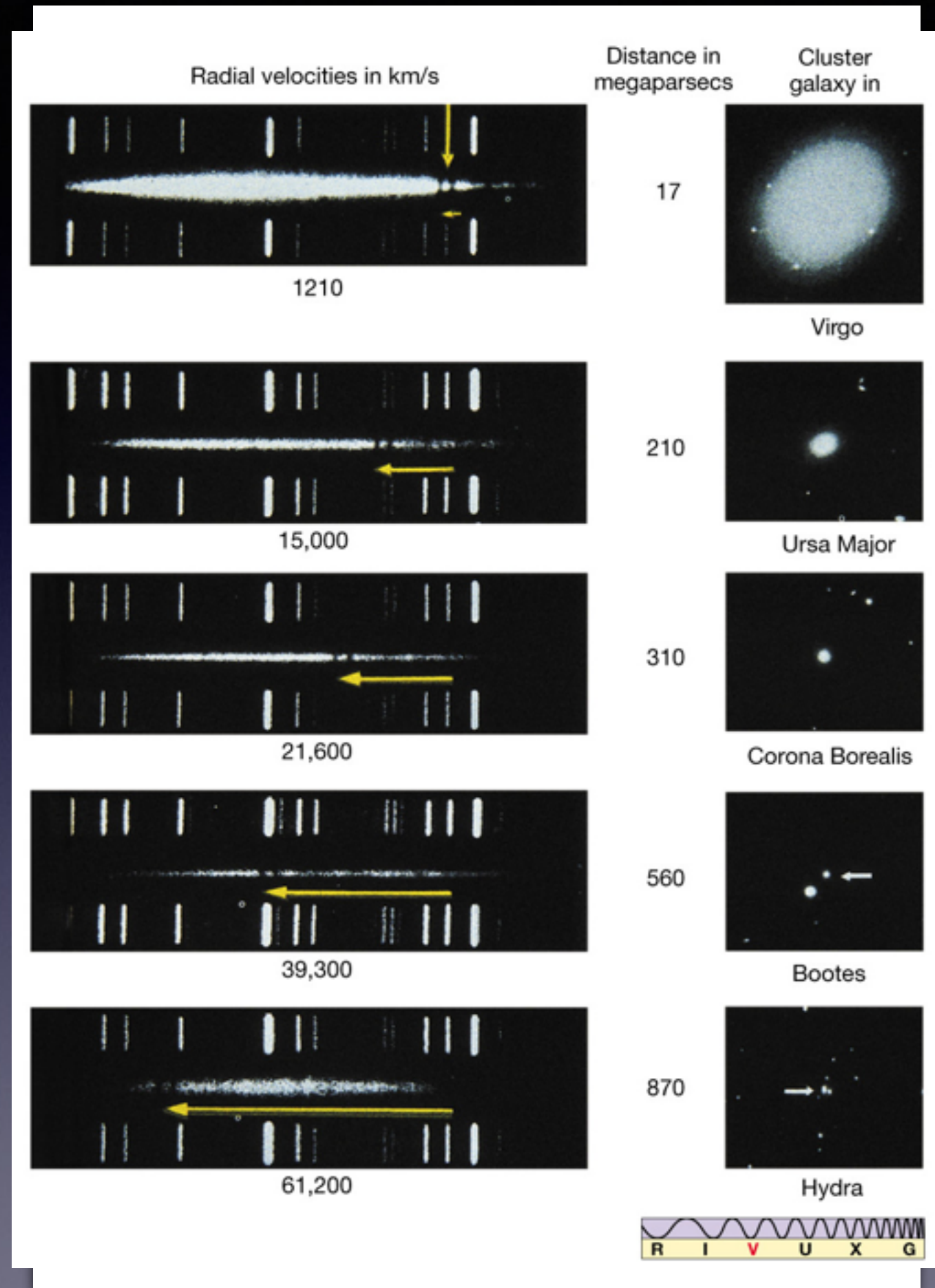
Corrimiento al rojo

- como sabemos hay una gran cantidad de líneas de emisión presentes en las fotosferas estelares y por tanto en las galaxias. En muchas galaxias (en la mayoría), es notorio el corrimiento de estas líneas hacia longitudes de onda mayores. Este corrimiento corresponde al efecto Doppler asociado al hecho de que todas las galaxias se están alejando unas de las otras como resultado de la expansión del Universo. Las galaxias más lejanas se alejan con mayores velocidades.
- Lemâitre (1927) y mas tarde Hubble, confirmaron en sus estudios de espectros de galaxias, que habia una relación entre la velocidad radial y la distancia. Las distancias pueden medirse usando distintos métodos, principalmente estrellas tipo cefeidas, estrellas supergigantes, supernovas, nebulosas planetarias gigantes, regiones HII y otros métodos.



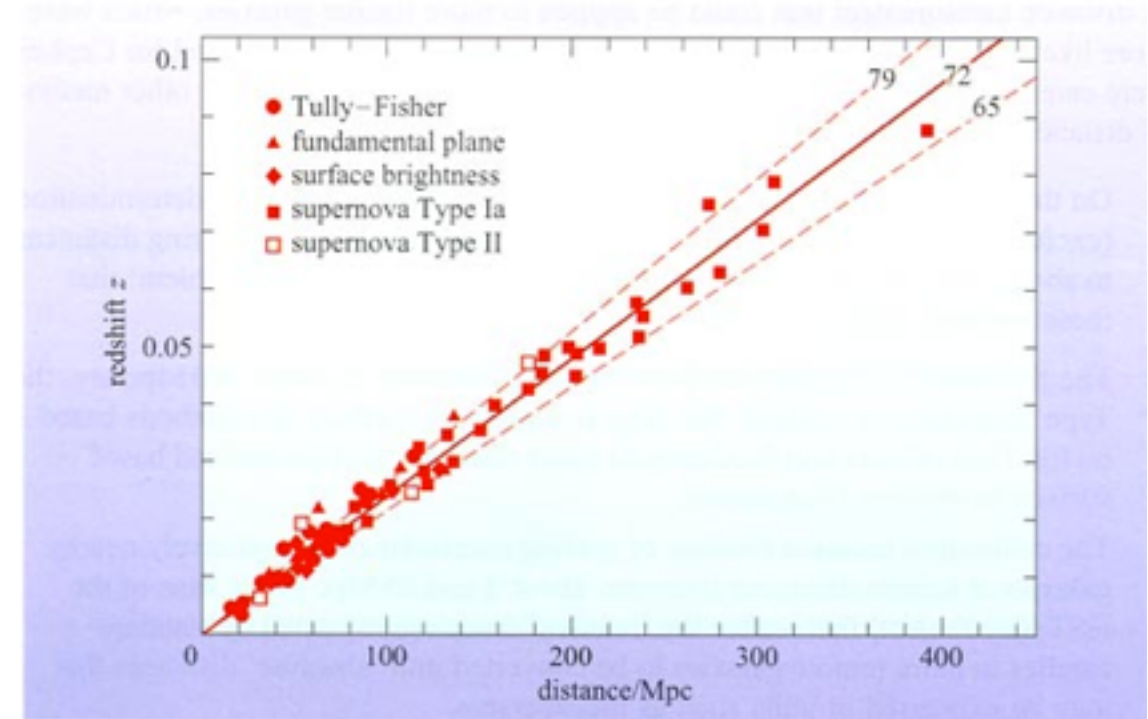
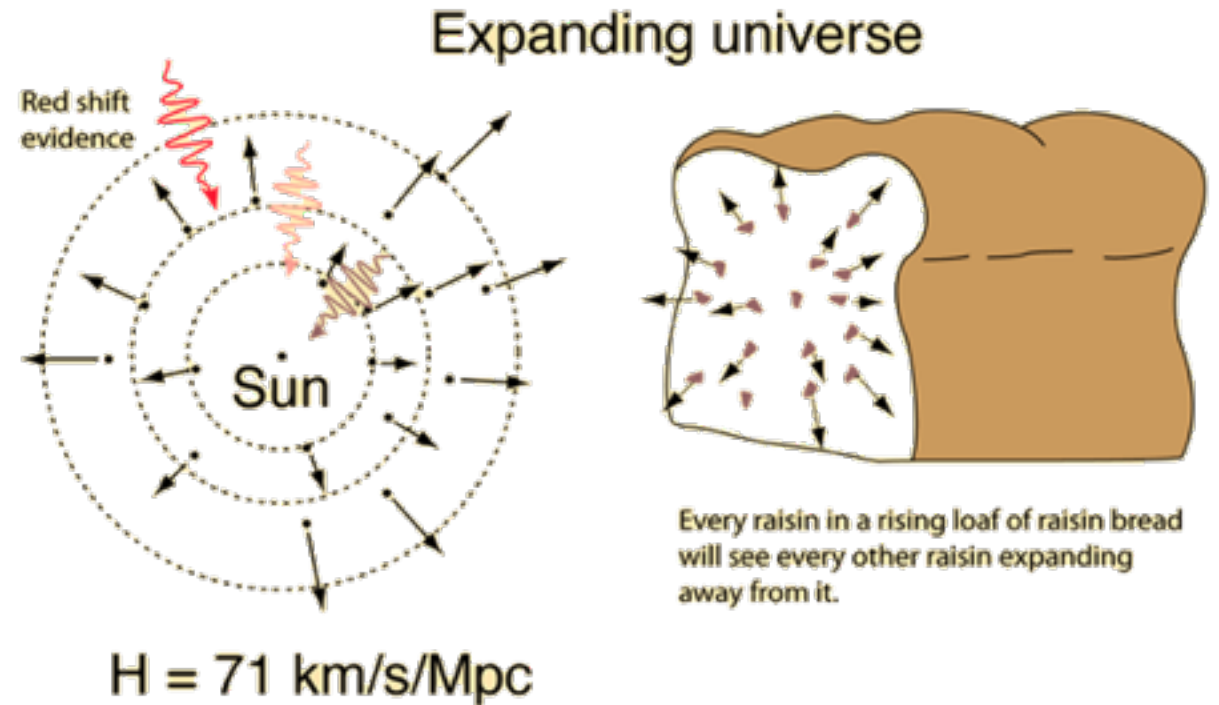
Corrimiento al rojo

- como sabemos hay una gran cantidad de líneas de emisión presentes en las fotosferas estelares y por tanto en las galaxias. En muchas galaxias (en la mayoría), es notorio el corrimiento de estas líneas hacia longitudes de onda mayores. Este corrimiento corresponde al efecto Doppler asociado al hecho de que todas las galaxias se están alejando unas de las otras como resultado de la expansión del Universo. Las galaxias más lejanas se alejan con mayores velocidades.
- Lemâitre (1927) y mas tarde Hubble, confirmaron en sus estudios de espectros de galaxias, que habia una relación entre la velocidad radial y la distancia. La relación históricamente se conoce como Ley de Hubble. Las distancias pueden medirse usando distintos métodos, principalmente estrellas tipo cefeidas, estrellas supergigantes, supernovas, nebulosas planetarias gigantes, regiones HII y otros métodos.



Corrimiento al rojo

- como sabemos hay una gran cantidad de líneas de emisión presentes en las fotosferas estelares y por tanto en las galaxias. En muchas galaxias (en la mayoría), es notorio el corrimiento de estas líneas hacia longitudes de onda mayores. Este corrimiento corresponde al efecto Doppler asociado al hecho de que todas las galaxias se están alejando unas de las otras como resultado de la expansión del Universo. Las galaxias más lejanas se alejan con mayores velocidades.
- Lemâitre (1927) y mas tarde Hubble, confirmaron en sus estudios de espectros de galaxias, que habia una relación entre la velocidad radial y la distancia. La relación históricamente se conoce como Ley de Hubble. Las distancias pueden medirse usando distintos métodos, principalmente estrellas tipo cefeidas, estrellas supergigantes, supernovas, nebulosas planetarias gigantes, regiones HII y otros métodos.
- Hay que tomar en cuenta que la relación se hace menos clara conforme mayor la distancia. Esto es una combinación de errores de medición y efectos que se consideran reales, como la curvatura general del Universo.



Expansión de Hubble

- La Ley de Hubble es extremadamente útil para cuantificar la expansión del Universo. Podemos definir lo que se llama el factor de expansión $R(t)$ como función del corrimiento al rojo, z .
- Podemos, por ejemplo usar esto para ver como al expandirse el Universo, se hace menos denso.
- Al tener un valor de H definido para muchas galaxias en las que pudimos determinar distancias, podemos definir nuevas distancias a partir del enrojecimiento. A esto le llamamos distancia de Hubble.
- Con esto, podemos observar galaxias, medir su corrimiento al rojo, y de ahí, determinar su distancia. Actualmente, hay catastros que toman espectros de miles de galaxias. De ellas, determinamos distancias y podemos hacer un mapa.

Ley de Hubble

$$v = H_0 r$$

v = recessional velocity
 H_0 = Hubble constant
 r = distance

constante de de Hubble

$$H_0 = \frac{70 \text{ km / s}}{\text{Mpc}} \approx \frac{20 \text{ km / s}}{\text{Mly}}$$

$\text{Mpc} = \text{million parsecs}$
 $\text{Mly} = \text{million light years}$

factor de expansión

$$1 + z = \frac{\lambda_{\text{observed}}}{\lambda_{\text{emitted}}} = \frac{R(t_0)}{R(t)} = \frac{1}{R(t)}$$

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}} - 1$$

densidad de masa

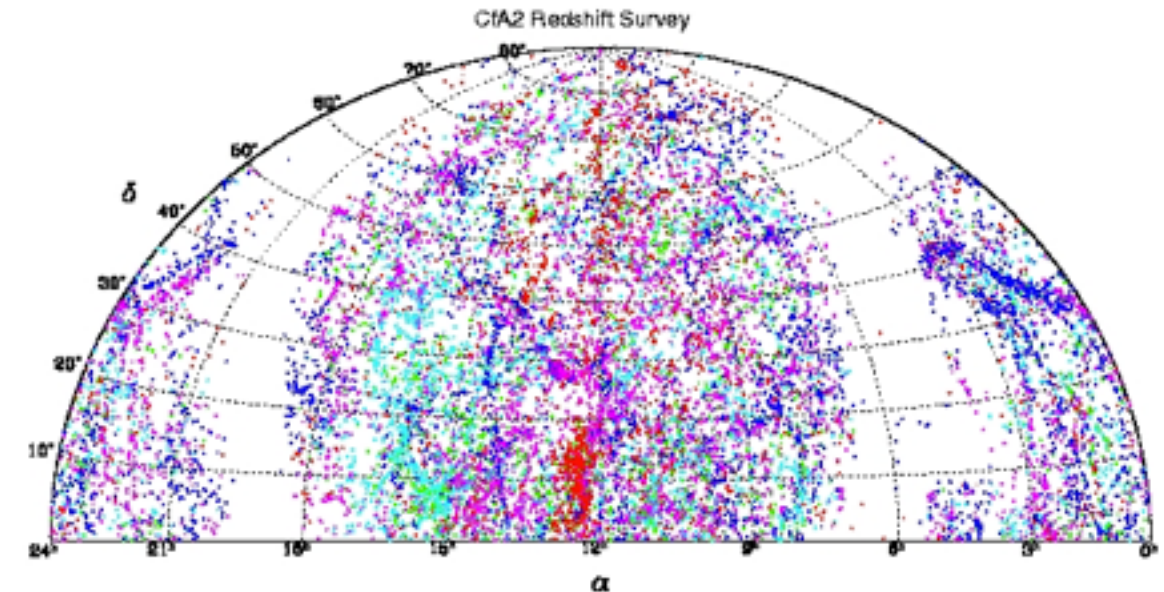
$$\rho_m = \frac{\rho_{m,0}}{R^3} = \rho_{m,0} (1+z)^3$$

distancia de Hubble

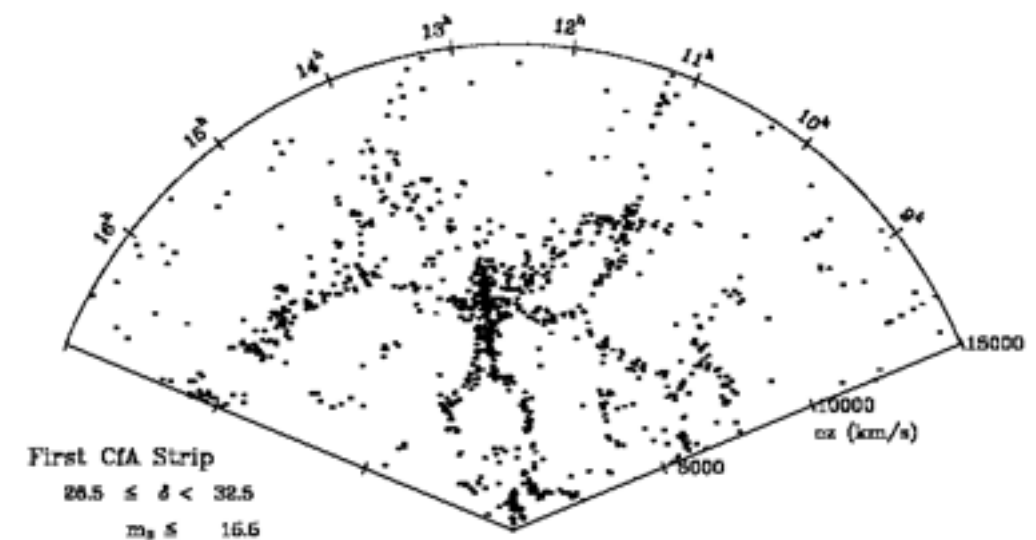
$$r = \frac{v}{H_0} = \frac{\beta c}{H_0} = \left[\frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1} \right] \frac{c}{H_0}$$

Expansión de Hubble

- La Ley de Hubble es extremadamente útil para cuantificar la expansión del Universo. Podemos definir lo que se llama el factor de expansión $R(t)$ como función del corrimiento al rojo, z .
- Podemos, por ejemplo usar esto para ver como al expandirse el Universo, se hace menos denso.
- Al tener un valor de H definido para muchas galaxias en las que pudimos determinar distancias, podemos definir nuevas distancias a partir del enrojecimiento. A esto le llamamos distancia de Hubble.
- Con esto, podemos observar galaxias, medir su corrimiento al rojo, y de ahí, determinar su distancia. Actualmente, hay catastros que toman espectros de miles de galaxias. De ellas, determinamos distancias y podemos hacer un mapa.
- El primer mapa de este tipo fue realizado por astrónomos del CfA Harvard (Huchra, Lapparent, Geller) en 1985.
- Es importante notar que la mayoría del espacio es vacío. Las galaxias se acomodan en filamentos y paredes.
- Aunque era relativamente de baja profundidad fotométrica ($M < 16.6$ mag), fue suficientemente bueno para mostrar el cúmulo de Virgo, el gran atractor y la gran pared (Big Wall), estructuras que dominan la estructura en el Universo Local.



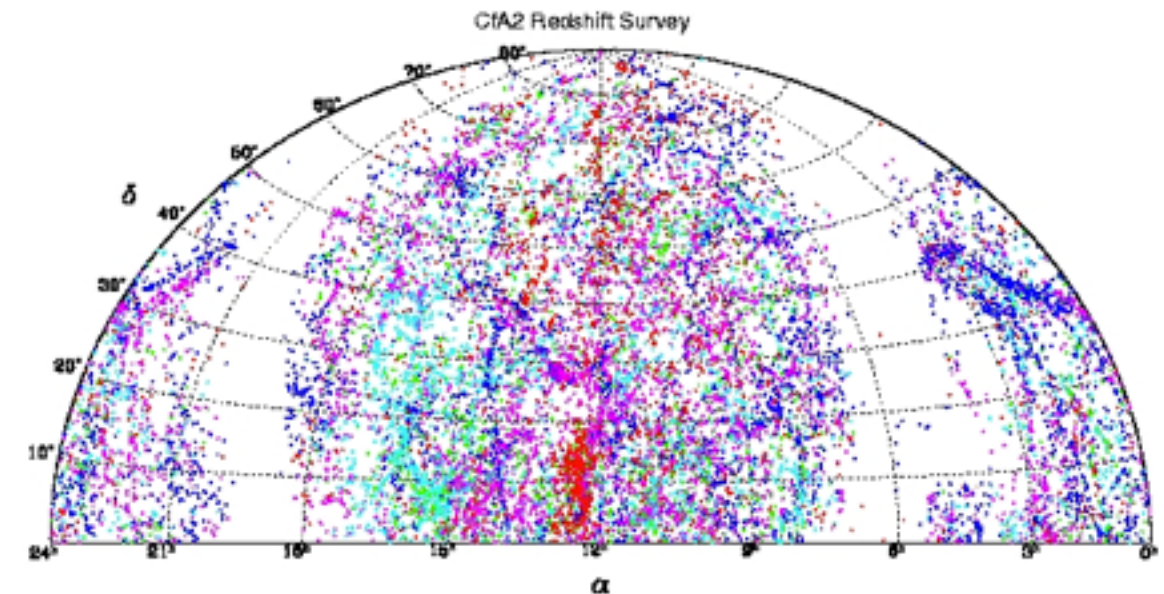
Copyright SAO 2001



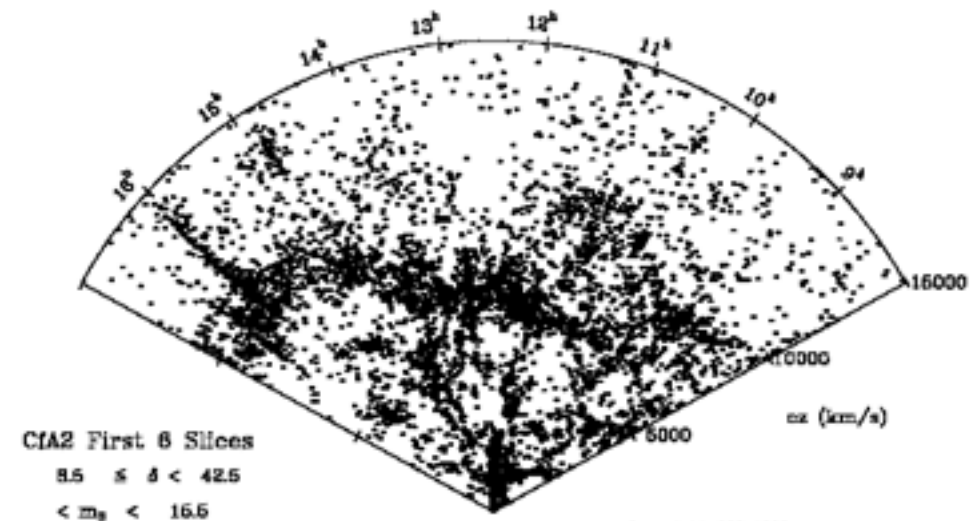
Copyright SAO 1990

Expansión de Hubble

- La Ley de Hubble es extremadamente útil para cuantificar la expansión del Universo. Podemos definir lo que se llama el factor de expansión $R(t)$ como función del corrimiento al rojo, z .
- Podemos, por ejemplo usar esto para ver como al expandirse el Universo, se hace menos denso.
- Al tener un valor de H definido para muchas galaxias en las que pudimos determinar distancias, podemos definir nuevas distancias a partir del enrojecimiento. A esto le llamamos distancia de Hubble.
- Con esto, podemos observar galaxias, medir su corrimiento al rojo, y de ahí, determinar su distancia. Actualmente, hay catastros que toman espectros de miles de galaxias. De ellas, determinamos distancias y podemos hacer un mapa.
- El primer mapa de este tipo fue realizado por astrónomos del CfA Harvard (Huchra, Lapparent, Geller) en 1985.
- Es importante notar que la mayoría del espacio es vacío. Las galaxias se acomodan en filamentos y paredes.
- Aunque era relativamente de baja profundidad fotométrica ($M < 16.6$ mag), fue suficientemente bueno para mostrar el cúmulo de Virgo, el gran atractor y la gran pared (Big Wall), estructuras que dominan la estructura en el Universo Local.



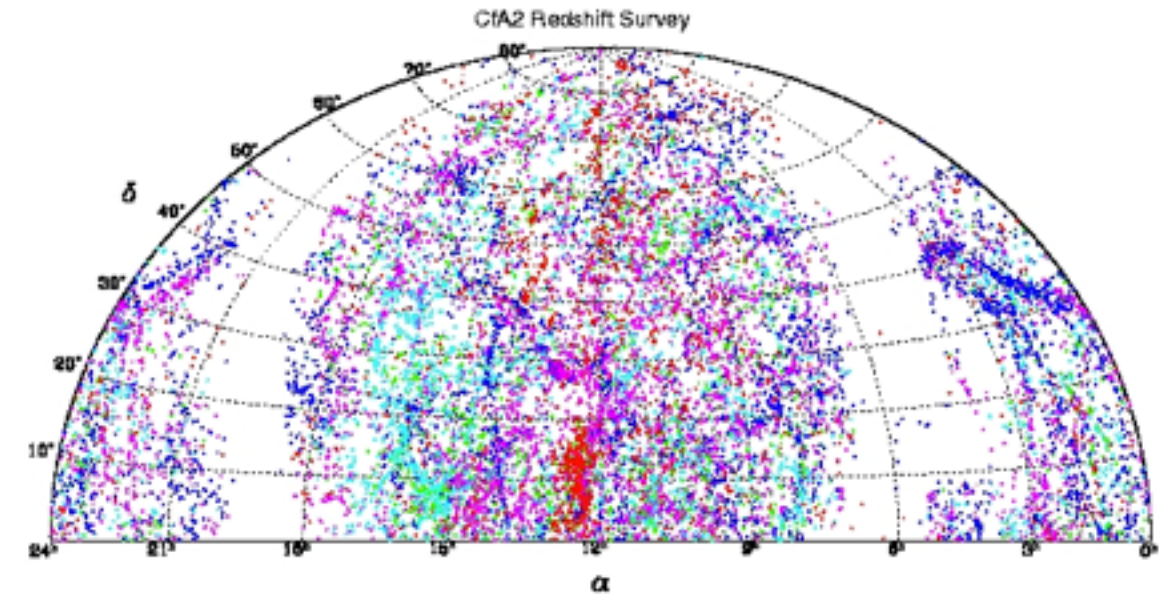
Copyright SAO 2001



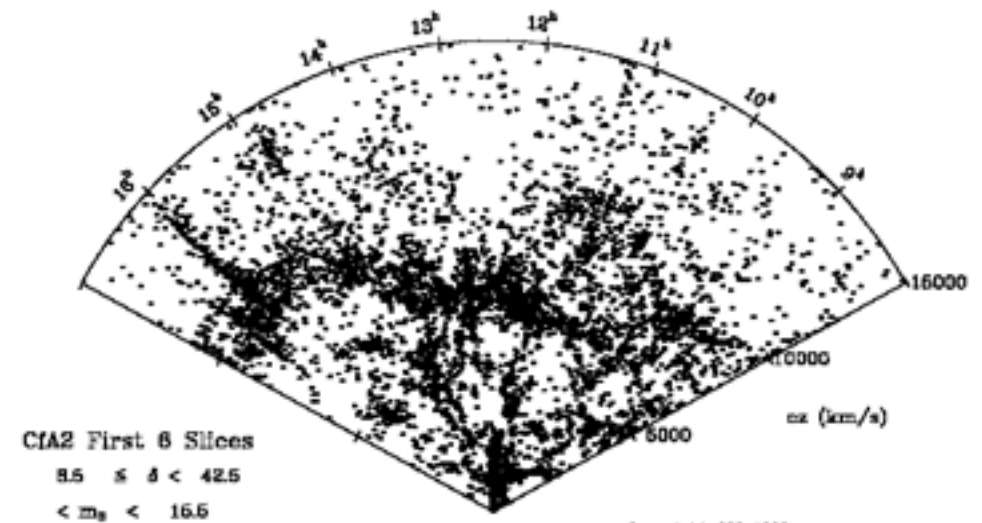
Copyright SAO 1998

Expansión de Hubble

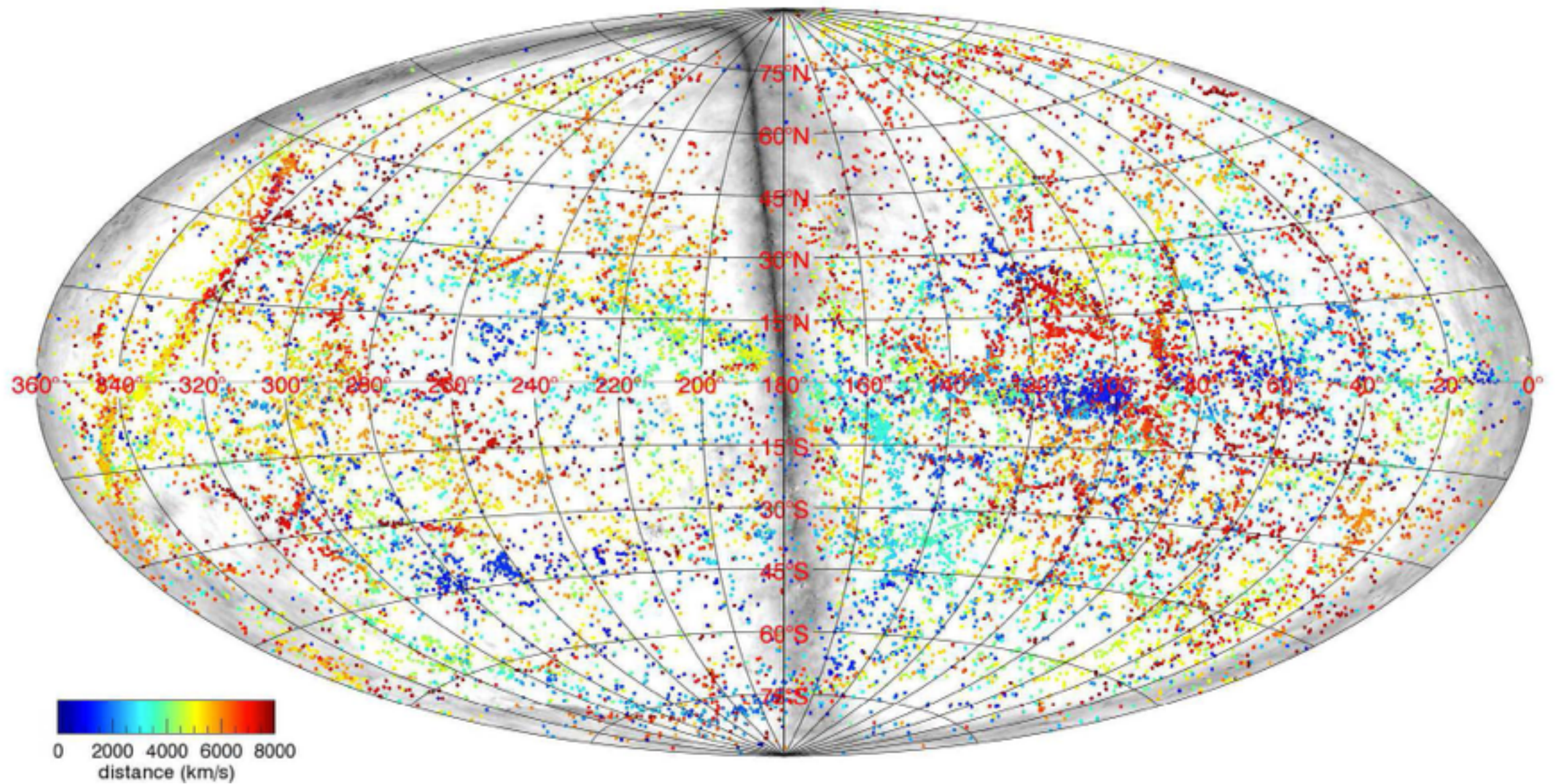
- La Ley de Hubble es extremadamente útil para cuantificar la expansión del Universo. Podemos definir lo que se llama el factor de expansión $R(t)$ como función del corrimiento al rojo, z .
- Podemos, por ejemplo usar esto para ver como al expandirse el Universo, se hace menos denso.
- Al tener un valor de H definido para muchas galaxias en las que pudimos determinar distancias, podemos definir nuevas distancias a partir del enrojecimiento. A esto le llamamos distancia de Hubble.
- Con esto, podemos observar galaxias, medir su corrimiento al rojo, y de ahí, determinar su distancia. Actualmente, hay catastros que toman espectros de miles de galaxias. De ellas, determinamos distancias y podemos hacer un mapa.
- El primer mapa de este tipo fue realizado por astrónomos del CfA Harvard (Huchra, Lapparent, Geller) en 1985.
- Es importante notar que la mayoría del espacio es vacío. Las galaxias se acomodan en filamentos y paredes.
- Aunque era relativamente de baja profundidad fotométrica ($M < 16.6$ mag), fue suficientemente bueno para mostrar el cúmulo de Virgo, el gran atractor y la gran pared (Big Wall), estructuras que dominan la estructura en el Universo Local.



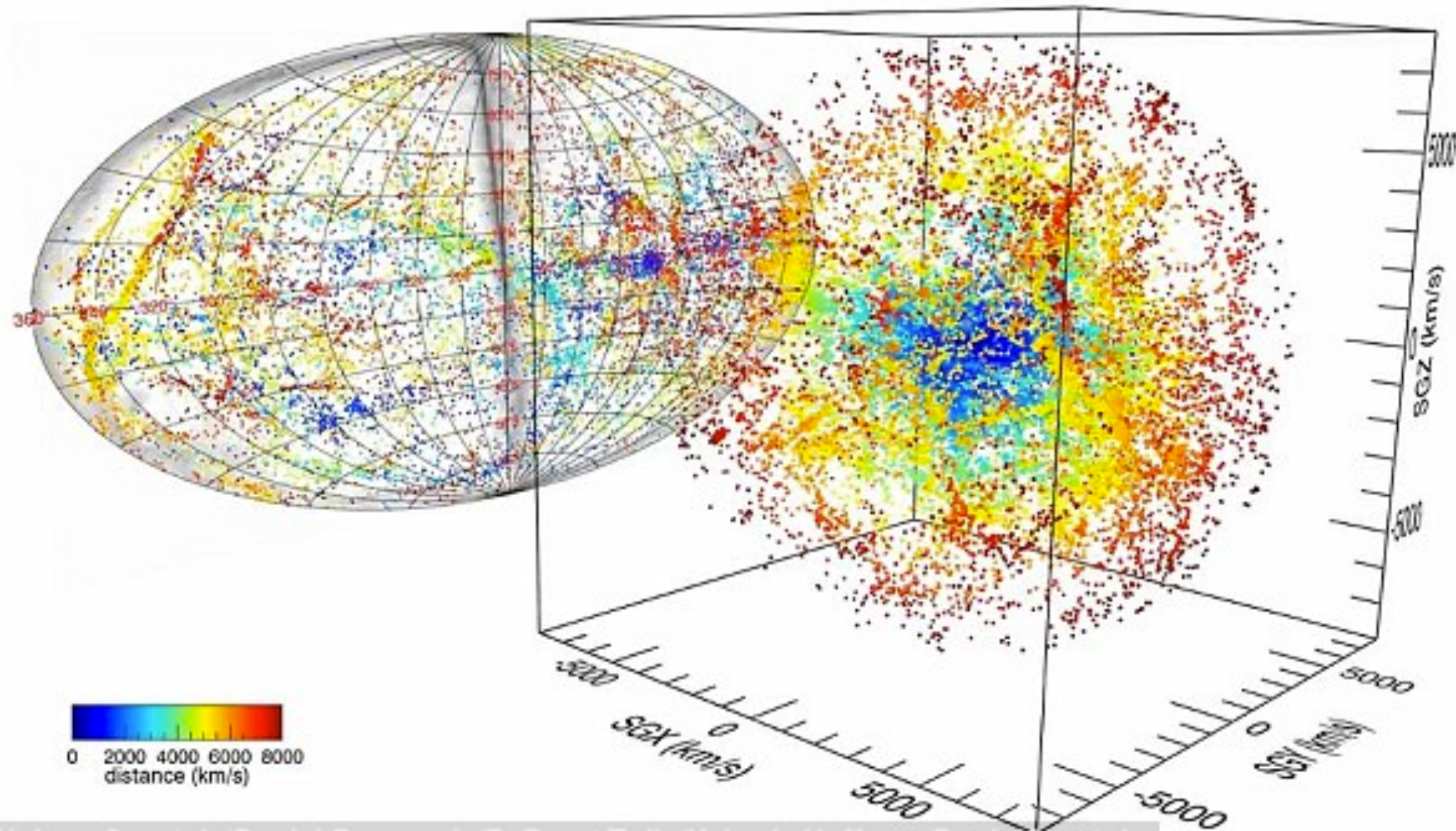
Copyright SAO 2001



Copyright SAO 1998

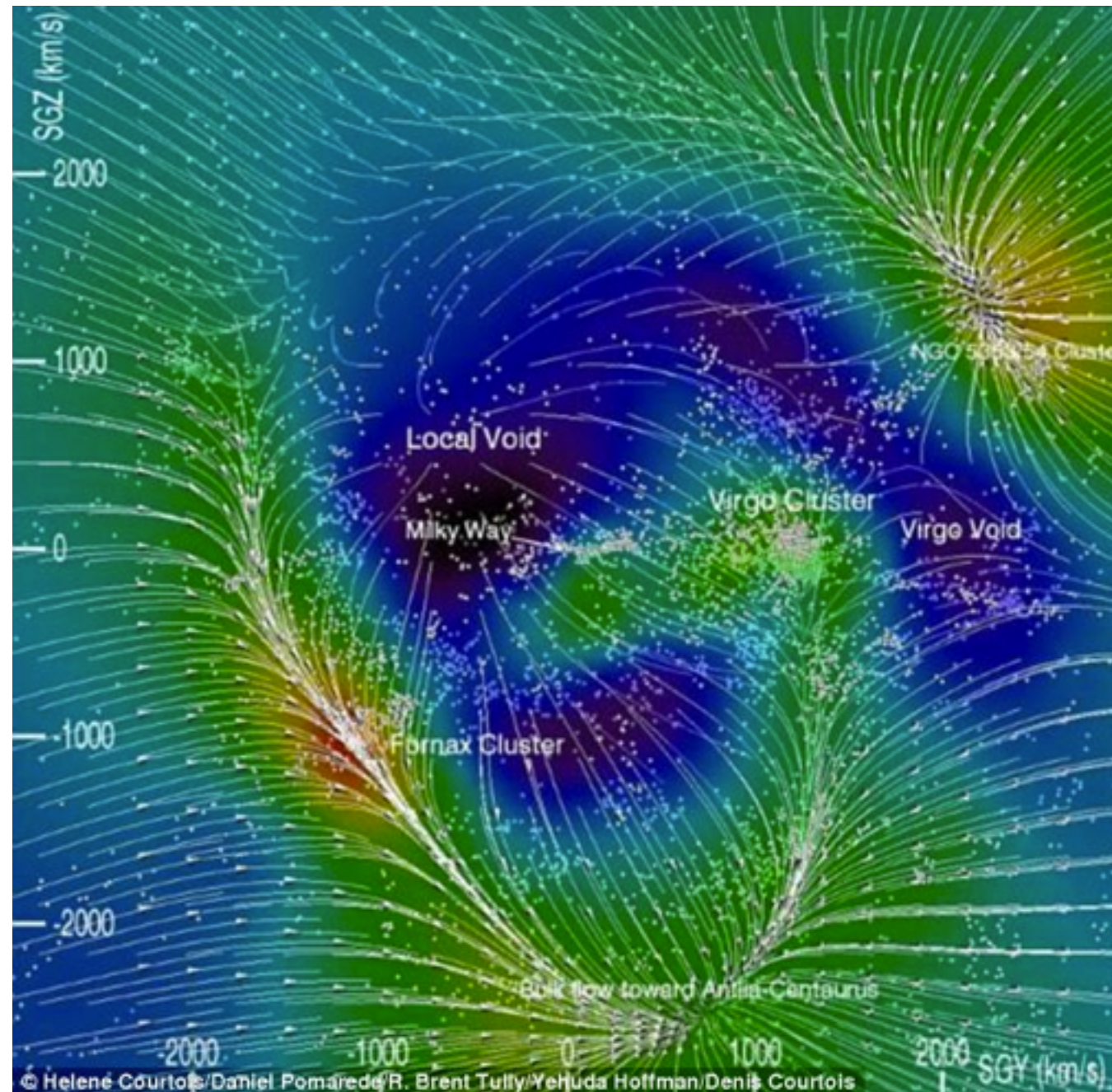


- Estos mapas han mejorado muchísimo, con la mejora de telescopios, instrumentos, la completez de observar en ambos hemisferios y la adición de observaciones de cuásares y otros objetos muy tenues.
- El mapa de la derecha contiene observaciones hasta 300 Mpc de distancia y resulta de un proyecto dirigido por el famoso astrónomo Hawaiiano Joseph Tully.
- Recientemente, astrónomos de la Universidad de Paris dirigidos por Helene Curtois usaron los datos de Tully et al. para hacer un bello trabajo llamado Cosmografía del Universo Local.



© Helene Courtois/Daniel Pomarede/R. Brent Tully/Yehuda Hoffman/Denis Courtois

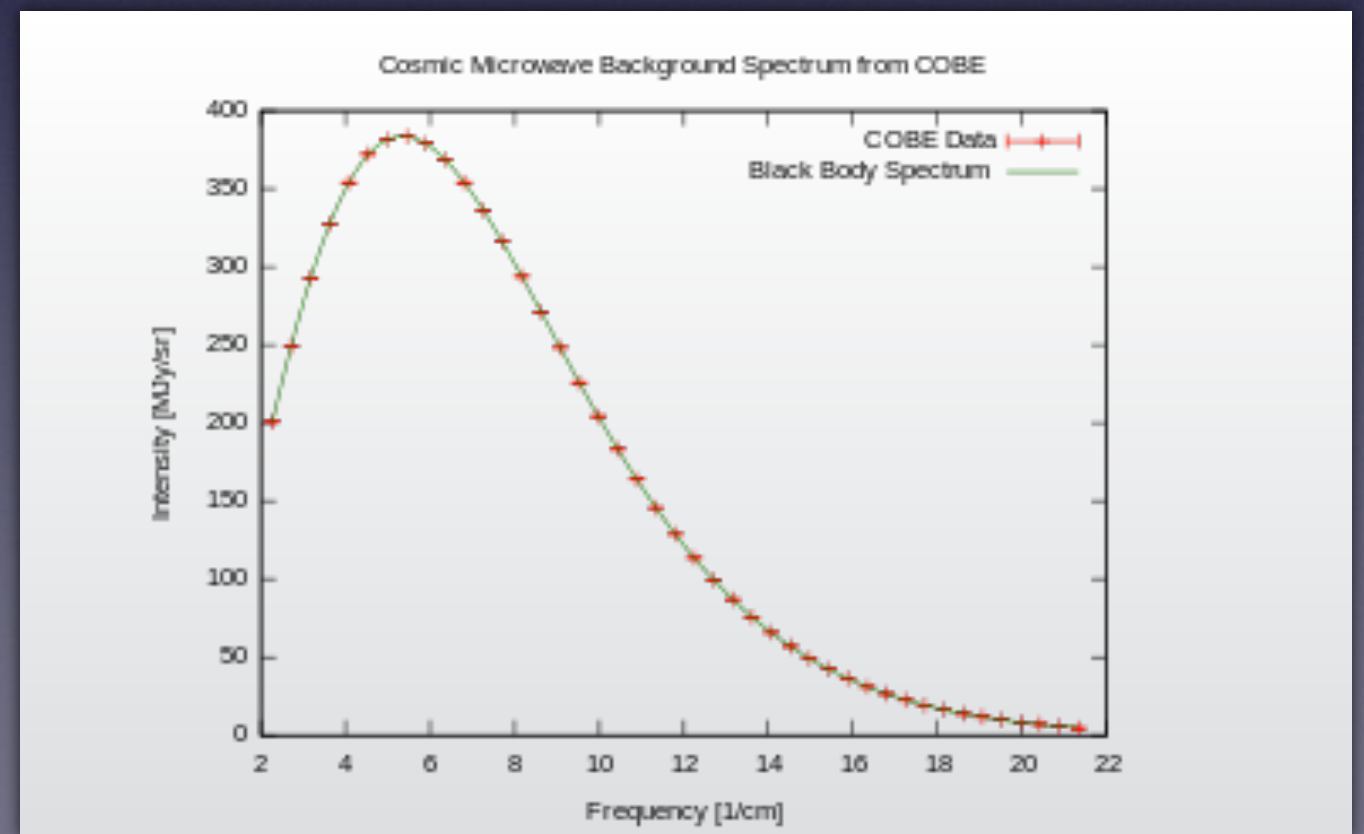
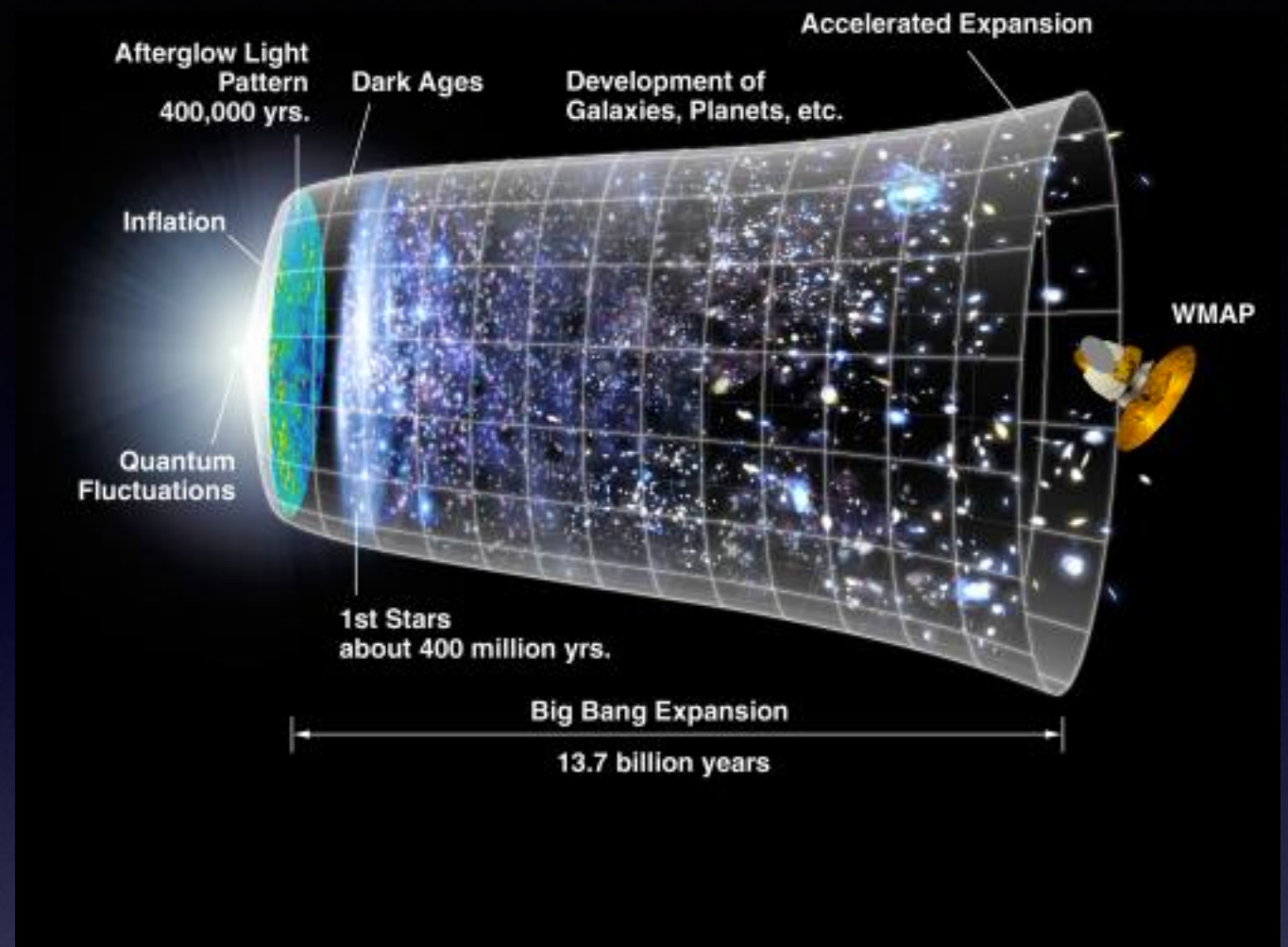
- Estos mapas han mejorado muchísimo, con la mejora de telescopios, instrumentos, la completez de observar en ambos hemisferios y la adición de observaciones de cuásares y otros objetos muy tenues.
- El mapa de la derecha contiene observaciones hasta 300 Mpc de distancia y resulta de un proyecto dirigido por el famoso astrónomo Hawaiiano Joseph Tully.
- Recientemente, astrónomos de la Universidad de Paris dirigidos por Helene Courtois usaron los datos de Tully et al. para hacer un bello trabajo llamado Cosmografía del Universo Local.



- Estos mapas han mejorado muchísimo, con la mejora de telescopios, instrumentos, la completez de observar en ambos hemisferios y la adición de observaciones de cuásares y otros objetos muy tenues.
- El mapa de la derecha contiene observaciones hasta 300 Mpc de distancia y resulta de un proyecto dirigido por el famoso astrónomo Hawaiano Joseph Tully.
- Recientemente, astrónomos de la Universidad de Paris dirigidos por Helene Courtois usaron los datos de Tully et al. para hacer un bello trabajo llamado Cosmografía del Universo Local
- Notese que las zonas mapeadas por Tully et al podrian representar apenas un 0.3% del universo, que podria expanderse hasta 93 mil millones de años luz

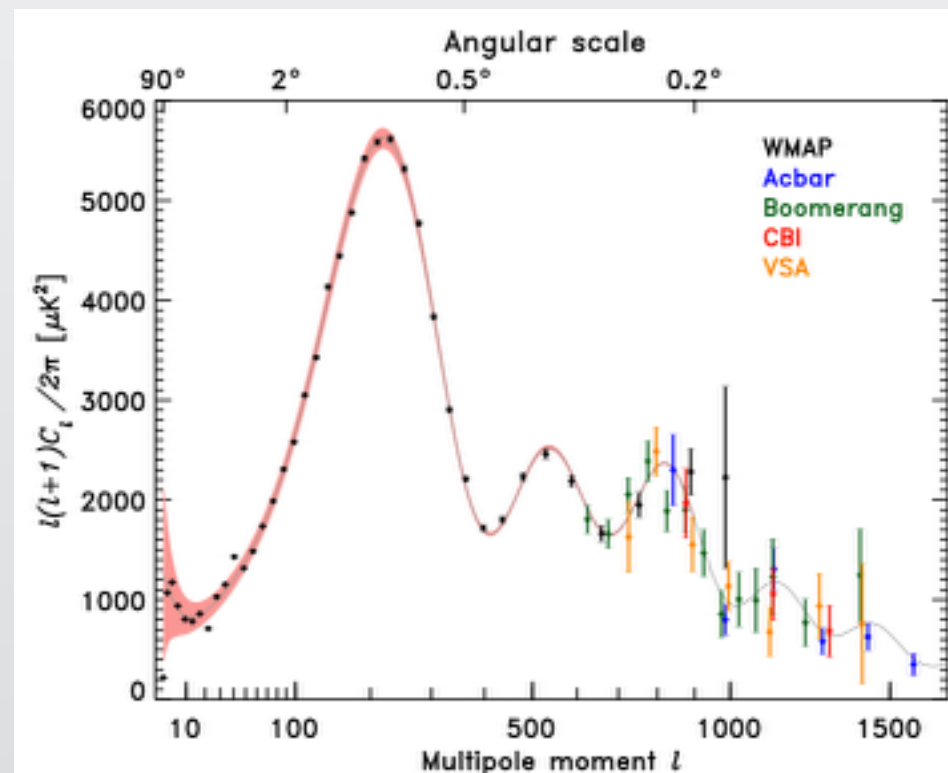
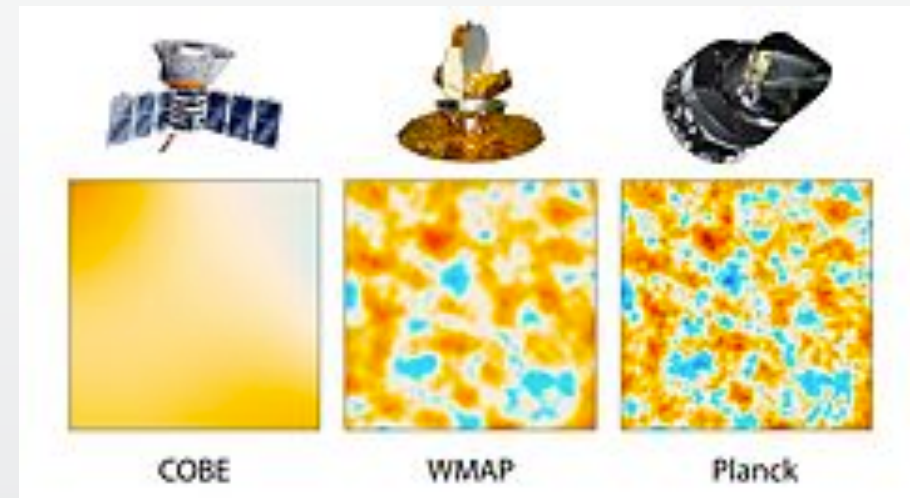
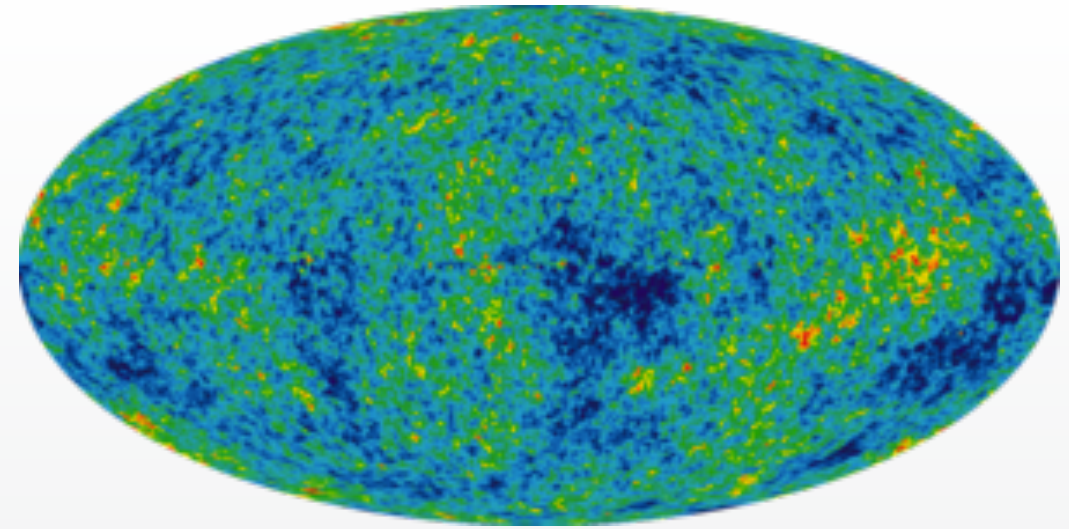
Big Bang

- La teoría que mejor explica la expansión del Universo actualmente, hipotetiza que el Universo se formó a partir de una singularidad, en un estallido global que al enfriarse dio lugar a la estructura y expansión que observamos hoy día.
- Las mejores pruebas del Big Bang son la expansión de Hubble y la llamada Radiación de Fondo de Microondas, a 2.725 K
- La radiación de fondo fue predicha por Alpher y Herman en 1948. La medición de la radiación fue hecha por Penzias y Willson en 1964 y se les otorgó el premio Nobel.
- La radiación es isotrópica dentro de una parte en 100,000. Satélites infrarrojos como el COBE permitieron hacer mediciones a distintas frecuencias y trazar el cuerpo negro correspondiente. Se cree que no solo son buenos los datos sino que el efecto es tan claro que es el cuerpo negro mejor medido que se conoce.



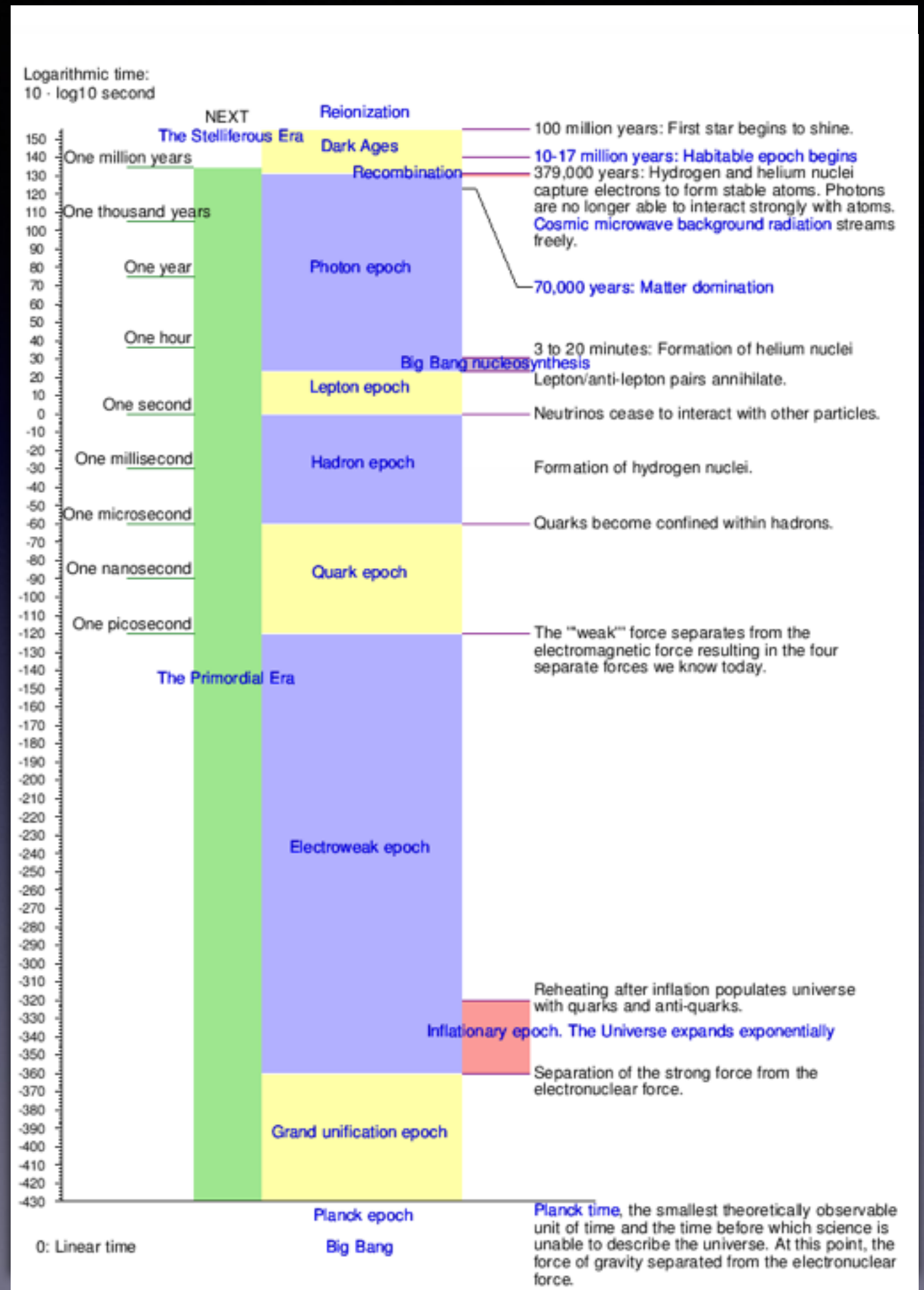
Big Bang

- El desarrollo de mejores satélites permitió determinar con mucha mejor precisión la anisotropía de la radiación de fondo, que a pesar de ser muy pequeña, es real y refiere al efecto de la propagación de oscilaciones acústicas en el plasma primordial como resultado de inestabilidades gravitacionales.
- La primera anisotropía fue medida por el telescopio COBE y mereció otro premio Nobel en 2006. Las demás anisotropías han sido mediadas o corregidas con precisión creciente gracias a nuevas mediciones de telescopios como el WMAP y el Planck.



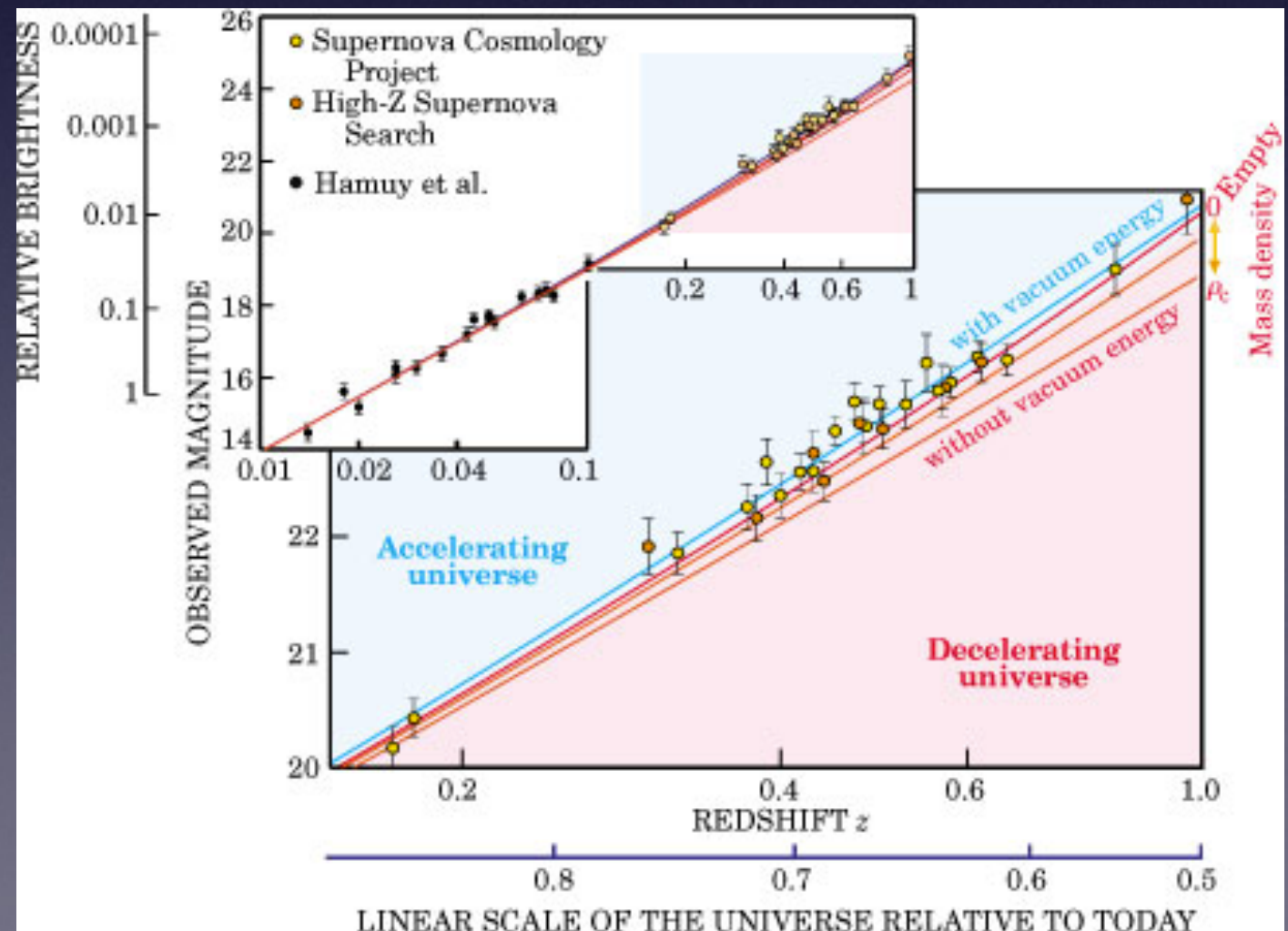
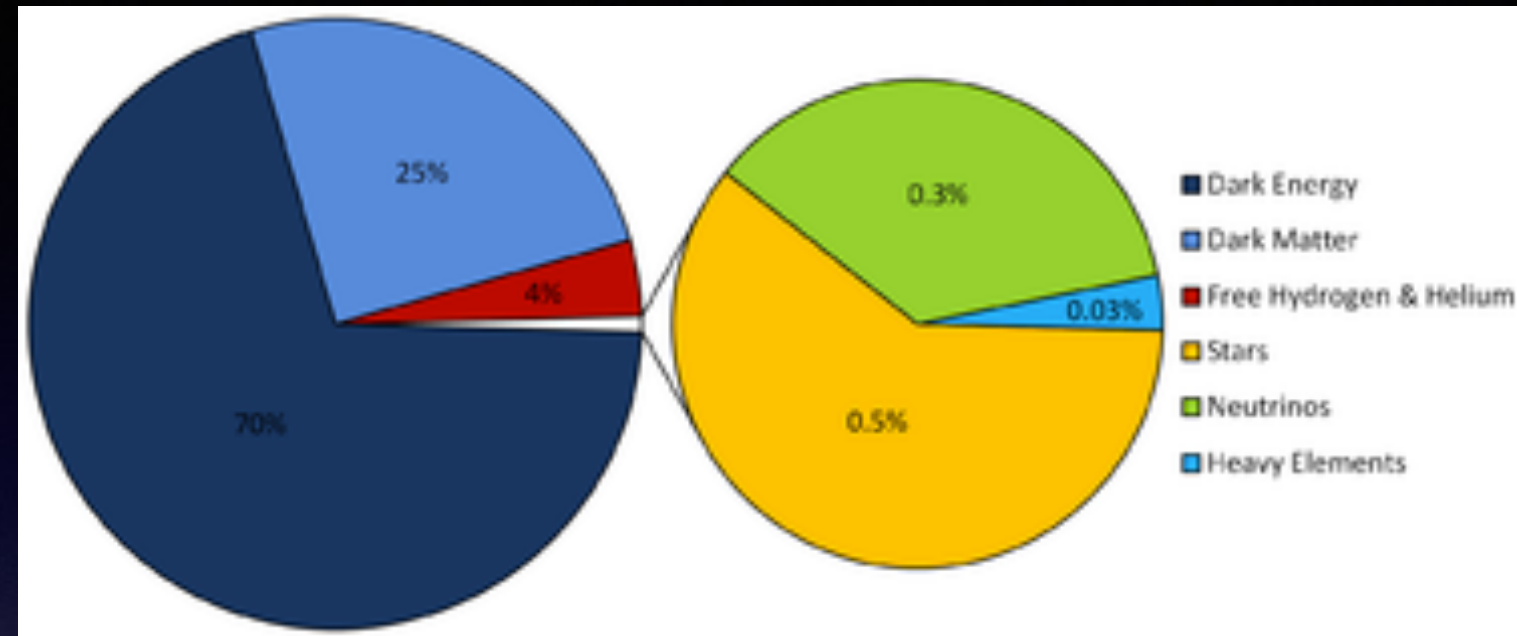
Big Bang

- Historia Minima del Universo
- La singularidad tenia densidad infinita hace aproximadamente 13mil 800 millones de años.
- Tras de un enfriamiento rápido, llega la época de la inflación 10^{-37} s. El Universo se expande de forma exponencial.
- Al culminar la expansión, el Universo ya es un plasma de quarks y gluones. En algun momento, se viola la paridad de bariones-antibariones, de manera que la materia domina sobre la antimateria.
- Antes de 10^{-11} s, se violan simetrias presentes para dejar a las fuerzas fundamentales en el estado actual. Para 10^{-6} s, los quarks y gluones ya forman bariones. Las leyes de la física actuales ya pueden ser aplicadas. Aparece el hidrógeno.
- 9 minutos despues del BB, la temperatura del Universo es de 1×10^9 grados y la densidad es 10^{33} cm⁻³. Se logran formar atomos de deuterio y helio en la llamada Nucleosíntesis del BB.
- Les recomiendo el libro The First Three Minutes, de Steven Weinberg, 1993.



Cosmología Lambda CDM

- La parametrización más exitosa del BB y que mejor concuerda con los datos de mediciones de distancias cosmológicas basados en SN, GRBs y cuásares, es el llamado modelo Λ CDM o modelo cosmológico de la materia oscura fría.
- Las escalas a la que el modelo CDM se puede probar son mucho más grandes que aquellas a las que se da la formación de las galaxias. Por eso, no es que el CDM haya vencido a otros modelos.
- El escenario que surge de estas constricciones es el siguiente: la densidad de energía del Universo se reparte en Energía Oscura ($\Omega_\Lambda = 0.728$), Materia Oscura ($\Omega_c = 0.227$) y Materia Bariónica ($\Omega_B = 0.0456$) con una constante de Hubble de 70.4 km/s/Mpc. En este modelo, la edad estimada del universo es 13.8 Gyr con inicio de formación de galaxias a $z=20-50$.
- La formación de estructura en el Universo comenzó a partir de perturbaciones de baja escala en la densidad de materia, tras de la inflación del Universo y su expansión a escalas cosmológicas. Estas perturbaciones pudieron crecer tras el colapso gravitacional de la componente de materia oscura (que no tiene presión).
- La materia oscura formó una red cósmica con paredes y filamentos, a lo largo y ancho de los cuales se formaron halos de materia oscura. Esto es consistente con la existencia de cúmulos de galaxias y cuasares a diversas escalas.



Cosmología Lambda CDM

- Al final de la evolución no lineal de una perturbación de materia oscura, se forma entonces un halo, que es una estructura triaxial aproximadamente estable y cercana a un equilibrio.
- En un modelo jerárquico de formación, los primeros halos se forman de las fluctuaciones más pequeñas en escala y luego halos más grandes pueden formarse de la unión (merging) de estos halos primordiales.
- En lo que respecta a la formación de las galaxias, lo que más importa es a) la distribución de las masas de los halos como función del corrimiento al rojo y b) la distribución de sus historias de formación, es decir las propiedades estadísticas de los halos primordiales de los que se formaron.

