

# Dinámica Estelar & Estructura de Galaxias

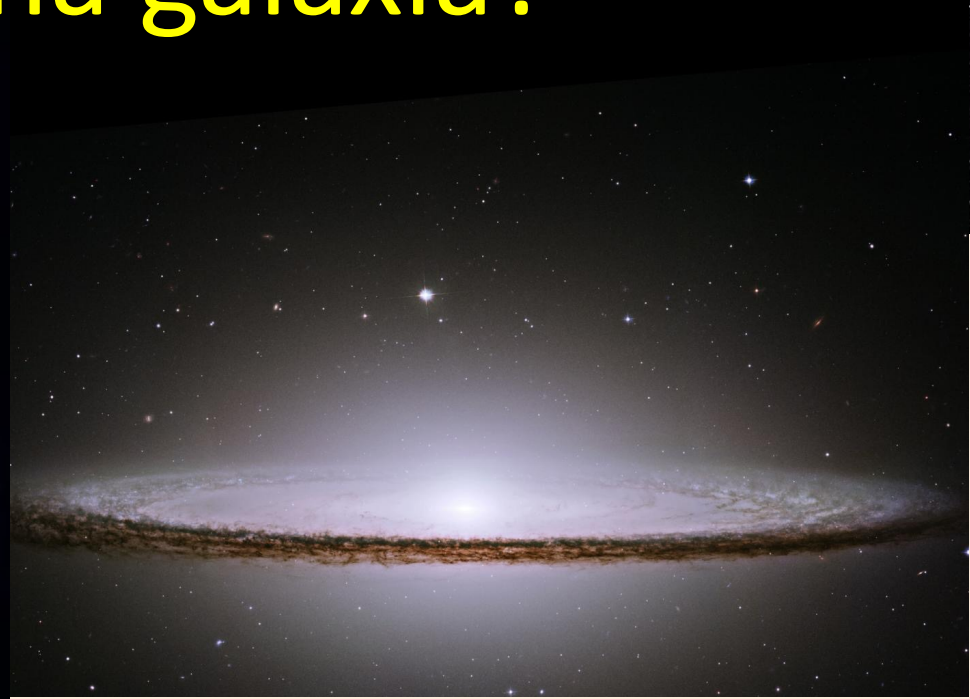


2022 – II

Michael Fellhauer



¿Qué es una galaxia?

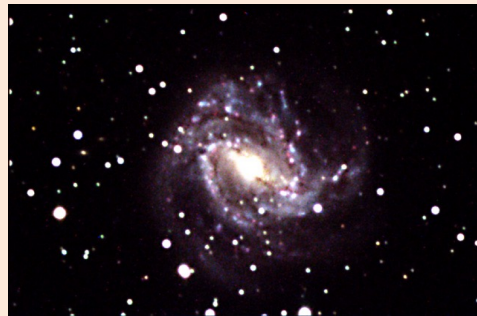
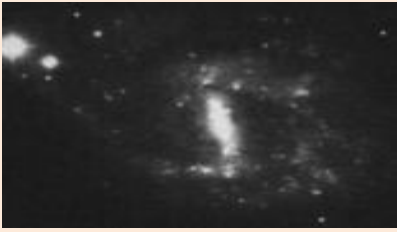


# “Definición”

Una galaxia es un sistema masivo ligado gravitacionalmente, que consiste en estrellas y los restos estelares, un medio interestelar de gas y polvo, y un importante pero poco entendido componente tentativamente llamado materia oscura.

El nombre proviene de la raíz griega Galaxias [γαλαξίας], que significa "leche", en referencia a la Vía Láctea.

Galaxias típicas incluyen desde las enanas, con tan sólo diez millones ( $10^7$ ) estrellas hasta las gigantes con cien billón ( $10^{14}$ ) estrellas, orbitando el centro de masa de la galaxia.

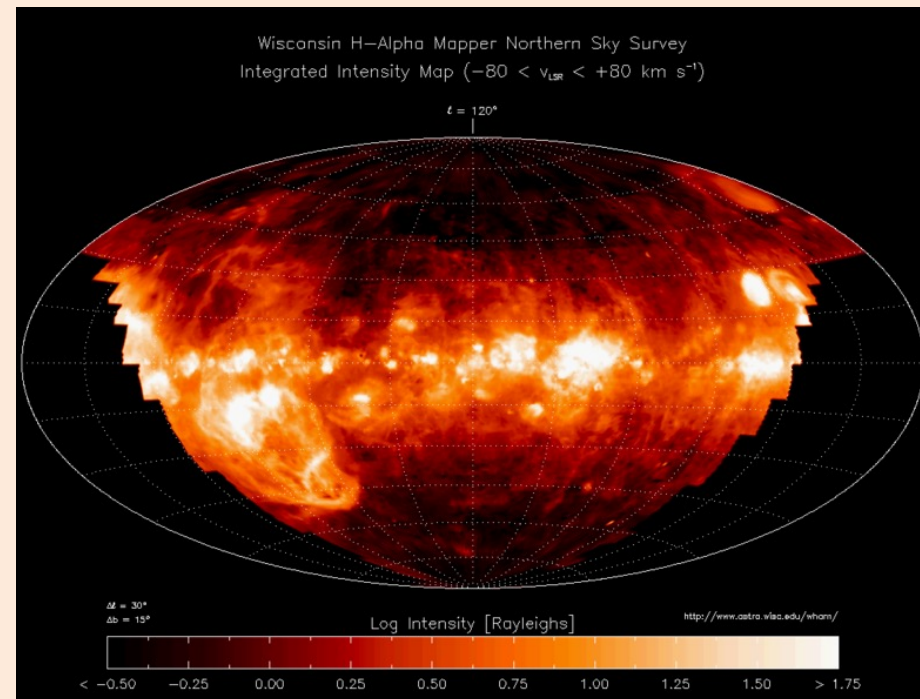


# Componentes de una galaxia

ISM (interstellar medium, medio interestelar):

- gas caliente y ionizada (hot, ionised gas)
- gas neutral (warm neutral gas)
- gas frío y molecular (cold molecular gas; giant molecular clouds = GMCs = cumulos moleculares gigantes)
- polvo (dust)

Hidrogeno ionizado en la Vía Láctea

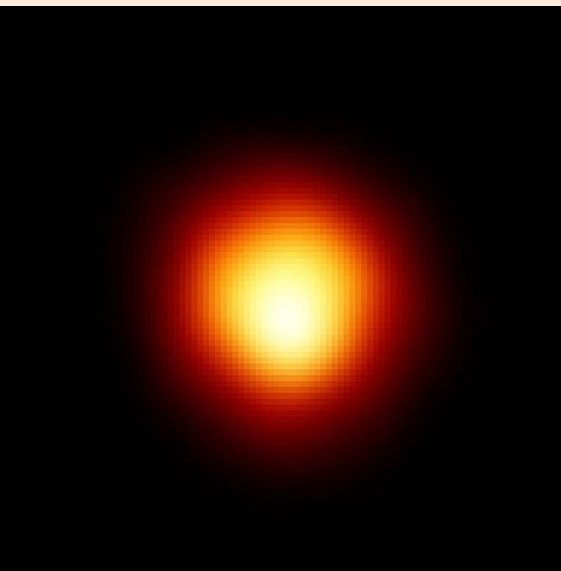


# Componentes de una galaxia

## Stars (estrellas):

- jóvenes (pre-main sequence stars)
- Estrellas de la Secuencia Principal (Main sequence stars)
- Gigantes y super-gigantes (Giants and super-giants)
- Enanas blancas, estrellas de neutrones agujeros negros, enanas marron (White dwarfs, neutron stars, black holes (BH), brown dwarfs)

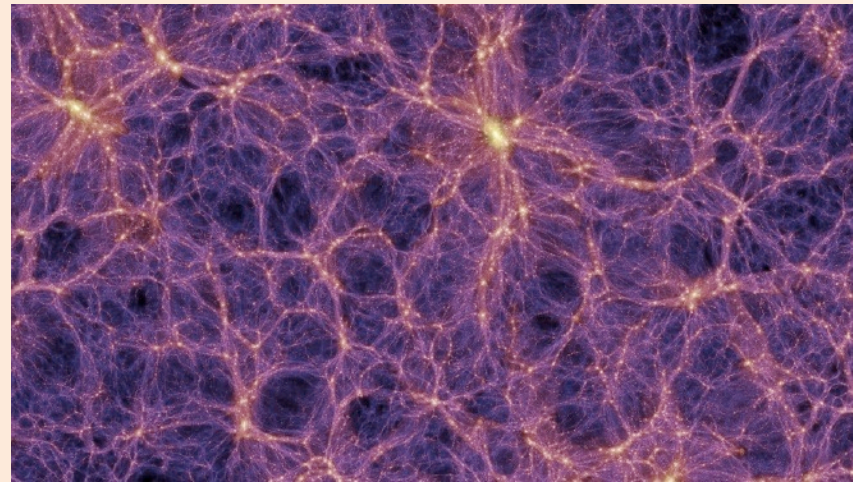
Betelgeuse



# Componentes de una galaxia

## Cosas exóticas:

- Super-massive black holes (SMBH)
- Partículas estables (e.g. neutrinos)
- Campos magnéticos y rayos cósmicos
- Dark matter (DM, materia oscura)



# Historia

Las galaxias se conocían desde hace mucho tiempo como nebulosas

Pero nadie sabía lo que eran

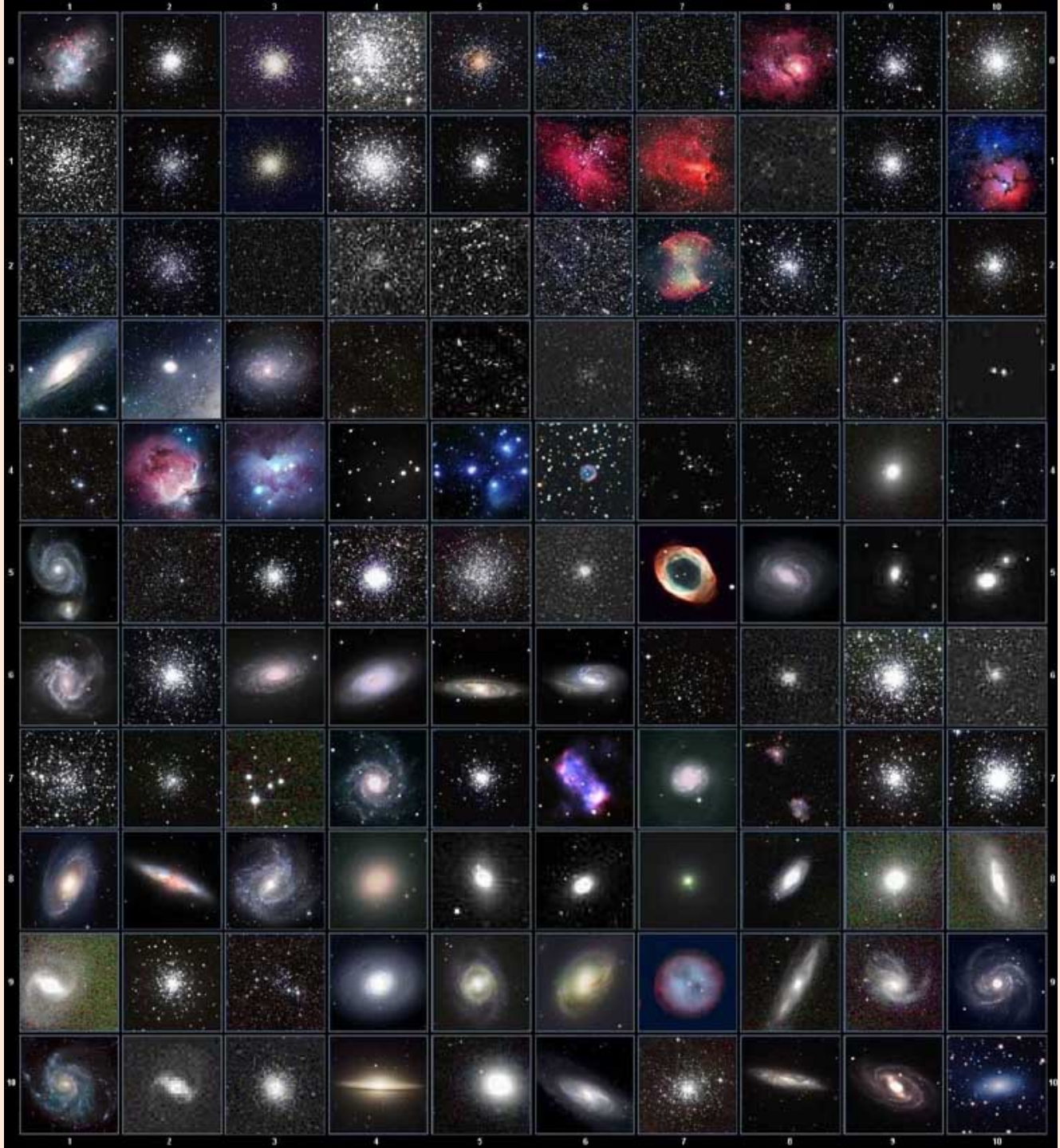
Nebulosas incluyó también cúmulos estelares y eyecciones de supernovas, nebulosas planetarias y las nubes de gas

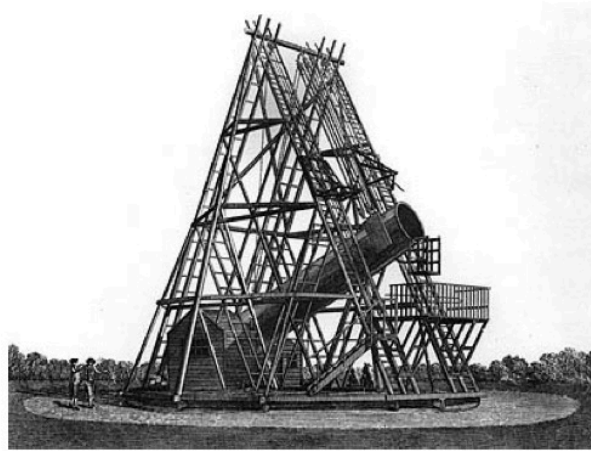


# Catálogo Messier (1764-1782)

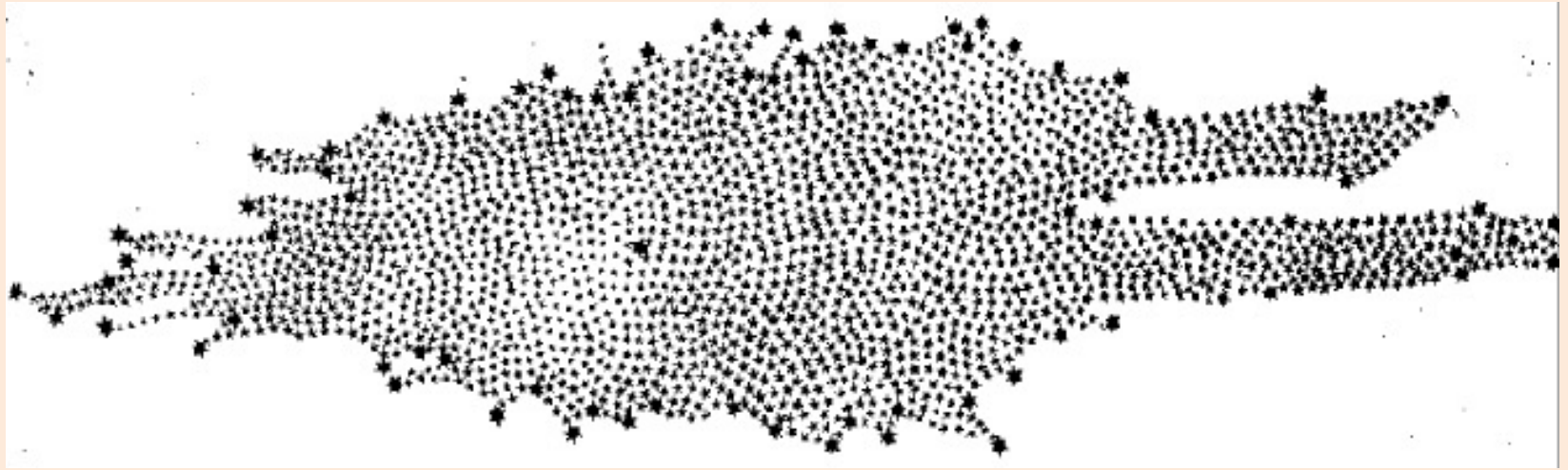
Charles Messier  
Catálogo de 103 objetos  
difusos  
p.ej. M31 = Andromeda







A finales del siglo 18, William y Caroline Herschel utilizó el telescopio más grande de la época para estudiar la forma de nuestra galaxia.



Nuestra galaxia Vía  
Láctea, como se ve por  
Herschel

# universo isla

Immanuel Kant fue un filósofo, pero él también estaba interesado en la astronomía.

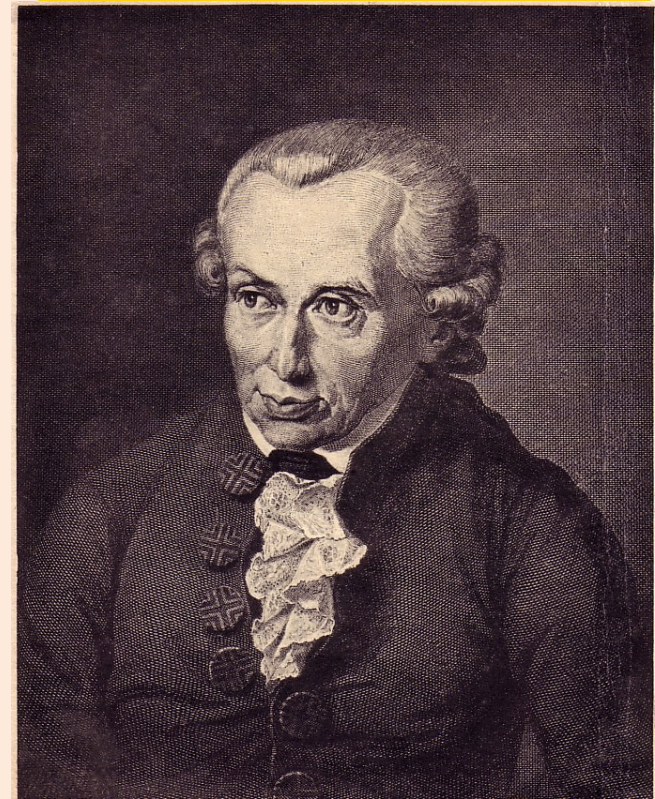
Oyó hablar de la "nebulosa" y postuló que están separados "mundos" similares a las nuestras es decir, la galaxia de la Vía Láctea.

Acuñó el concepto de un "universo isla". En ese momento ninguna prueba observacional existe para apoyar este modelo, pero, sorprendentemente, Kant estaba en lo cierto!

Immanuel Kant (1724-1804)

Immanuel Kant  
Kritik der  
reinen Vernunft

Reclam

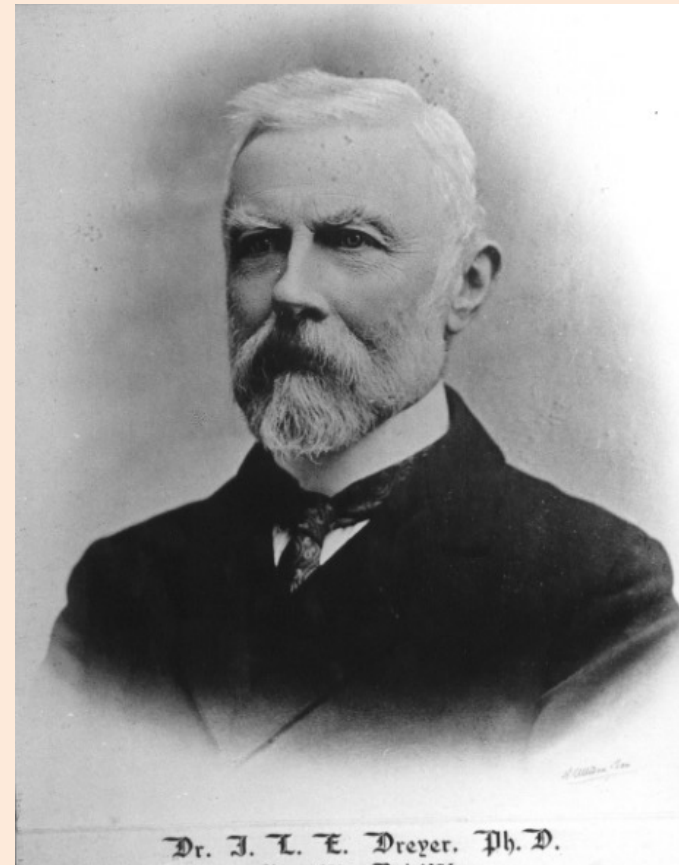


# New General Catalogue (1888)

John Dreyer (1852-1926)

Catálogo de 8000  
objetos nebulosos

NGC números siguen  
siendo muy utilizados y  
refinados



# The Great Debate (1920)



Harlow Shapley (1885-1972):

- Nebulosas son parte de nuestra propia galaxia la Vía Láctea



Heber Curtis (1872-1942):

- Nebulosas están muy lejos y fuera de nuestra galaxia

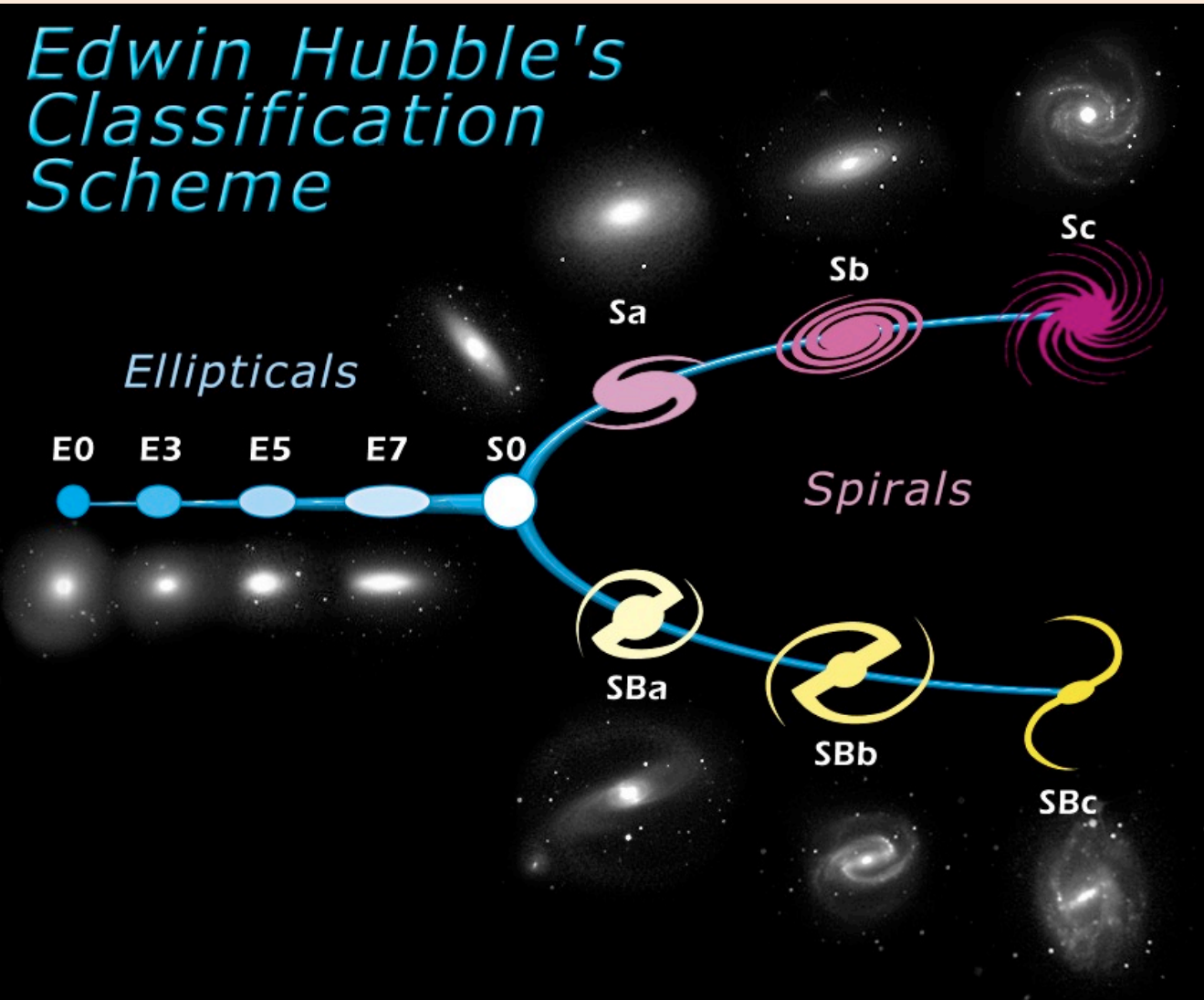
# Edwin Hubble (1889-1953)



En 1925 Hubble usó cefeidas y la relación período-luminosidad para mostrar que M31 (Andrómeda) está muy lejos de nuestra Vía Láctea y, de hecho, un objeto similar = una galaxia



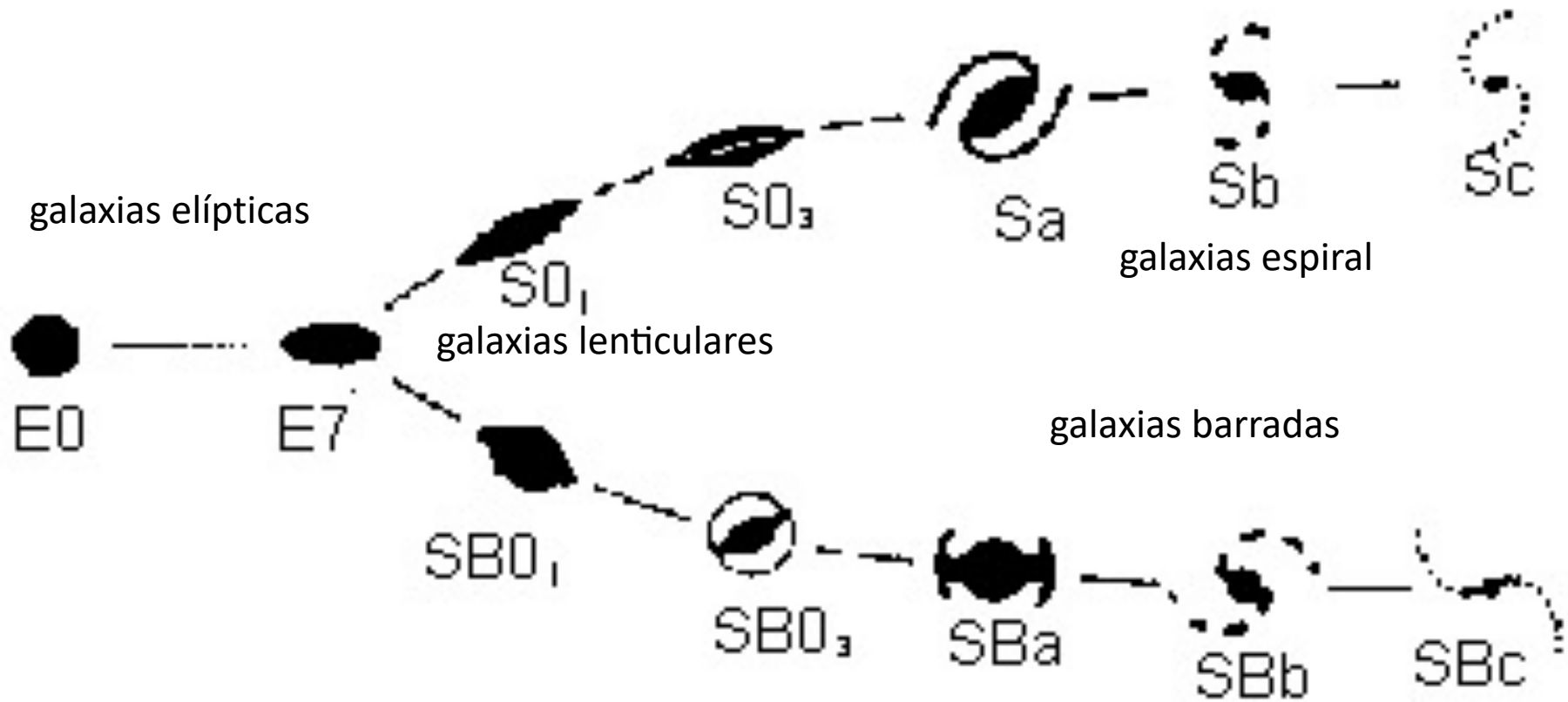
# sistema de clasificación de galaxias de Edwin Hubble



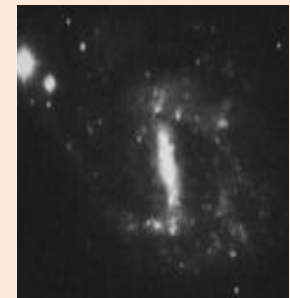
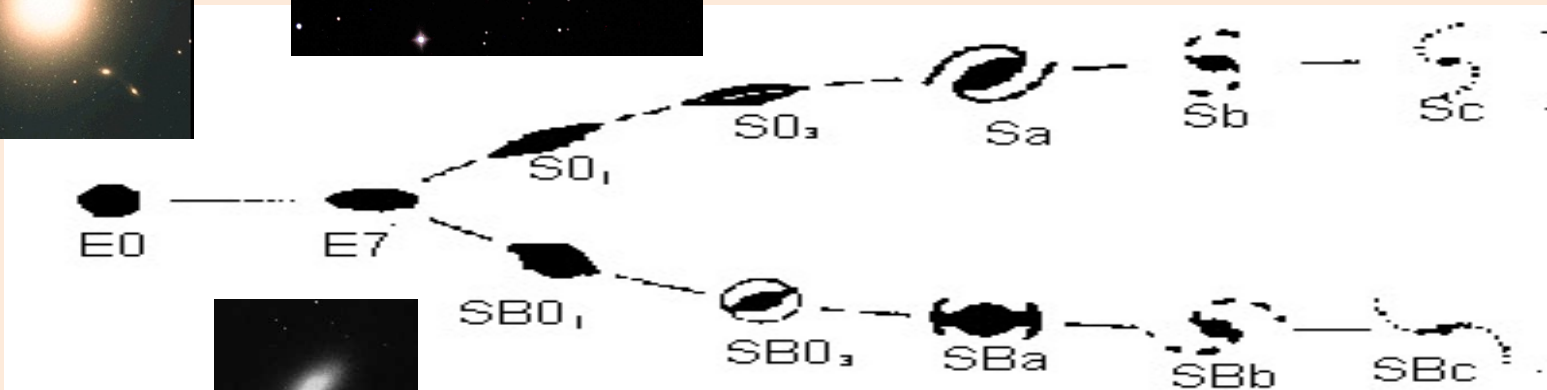
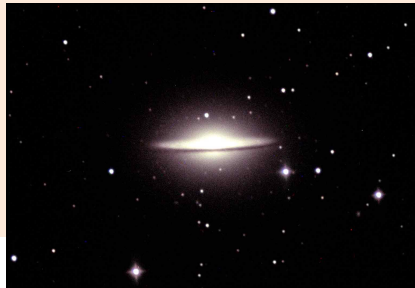
a la izquierda:  
galaxias elípticas  
(tipo temprano)

a la derecha:  
galaxias espirales  
(tipo tarde)

# Hubble 'tuning fork' diagram



No brazos espirales (lenticular) - brazos apretados - brazos sueltos

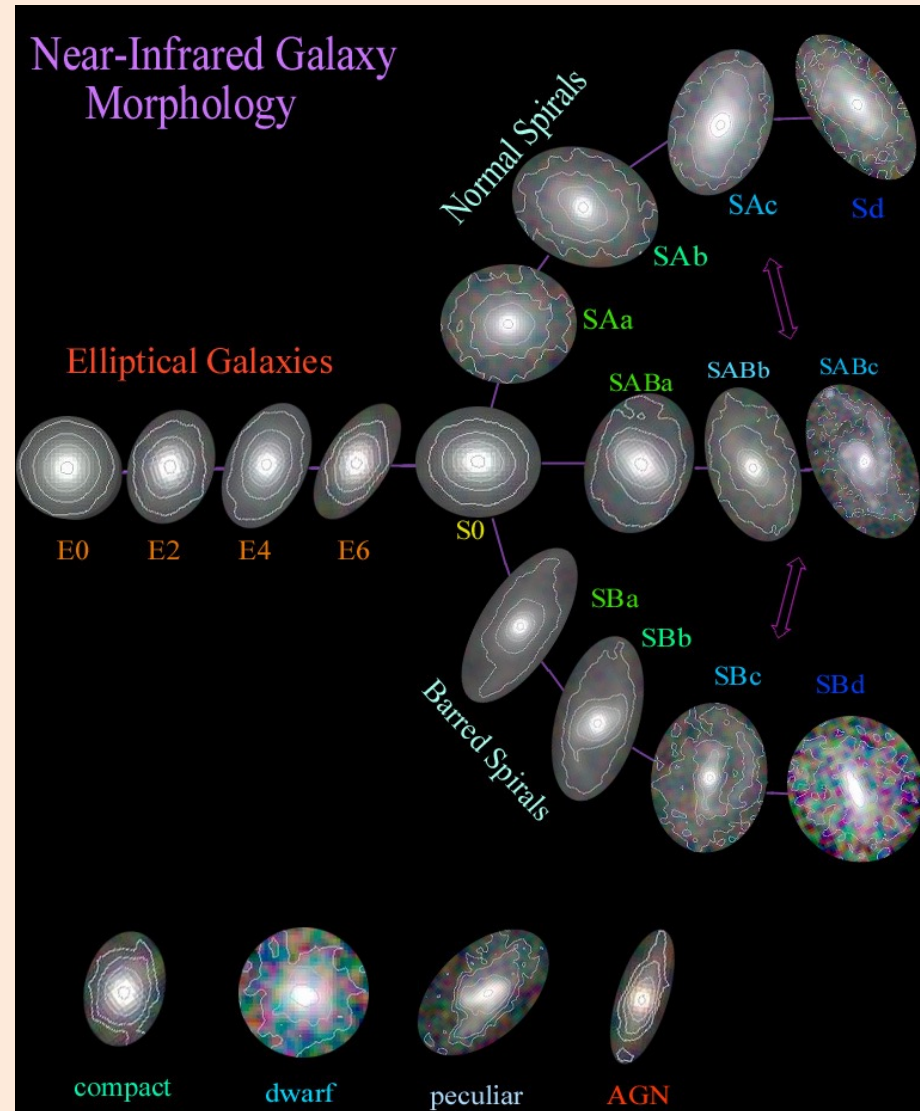


- a ---> c
  1. Importancia relativa del bulbo central disminuye.
  2. La resolución y el predominio de los brazos espirales aumenta.
  3. La presencia de gas, polvo y las regiones de estrellas jóvenes aumenta.
  4. Los brazos espirales están más abiertos.
  5. La luminosidad total disminuye.

# Otros esquemas:

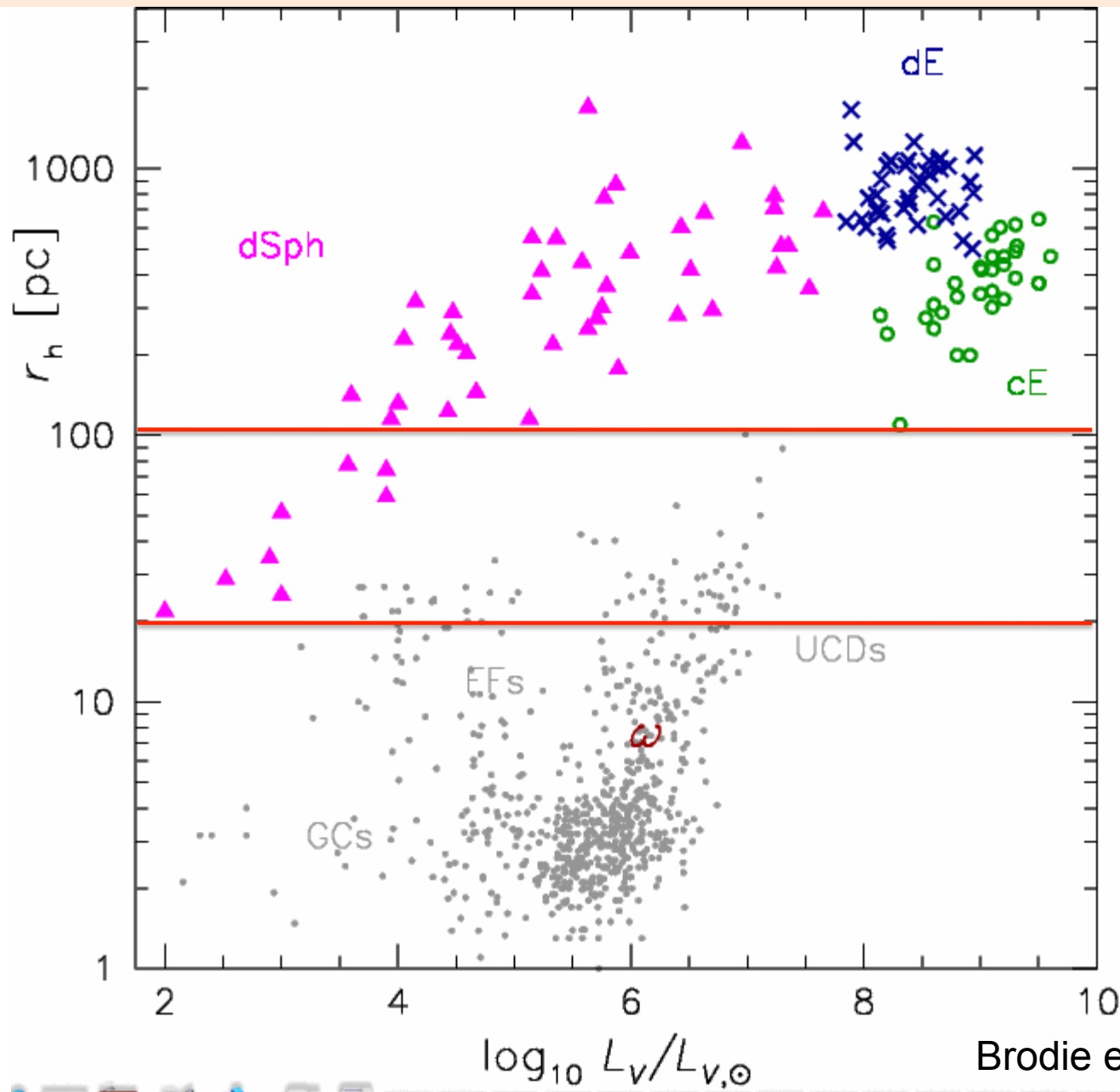
de **Vaucouleur** añadido una tercera rama en el diapasón de Hubble: **SAB**

La Vía Láctea tiene un bulbo, así como un bar



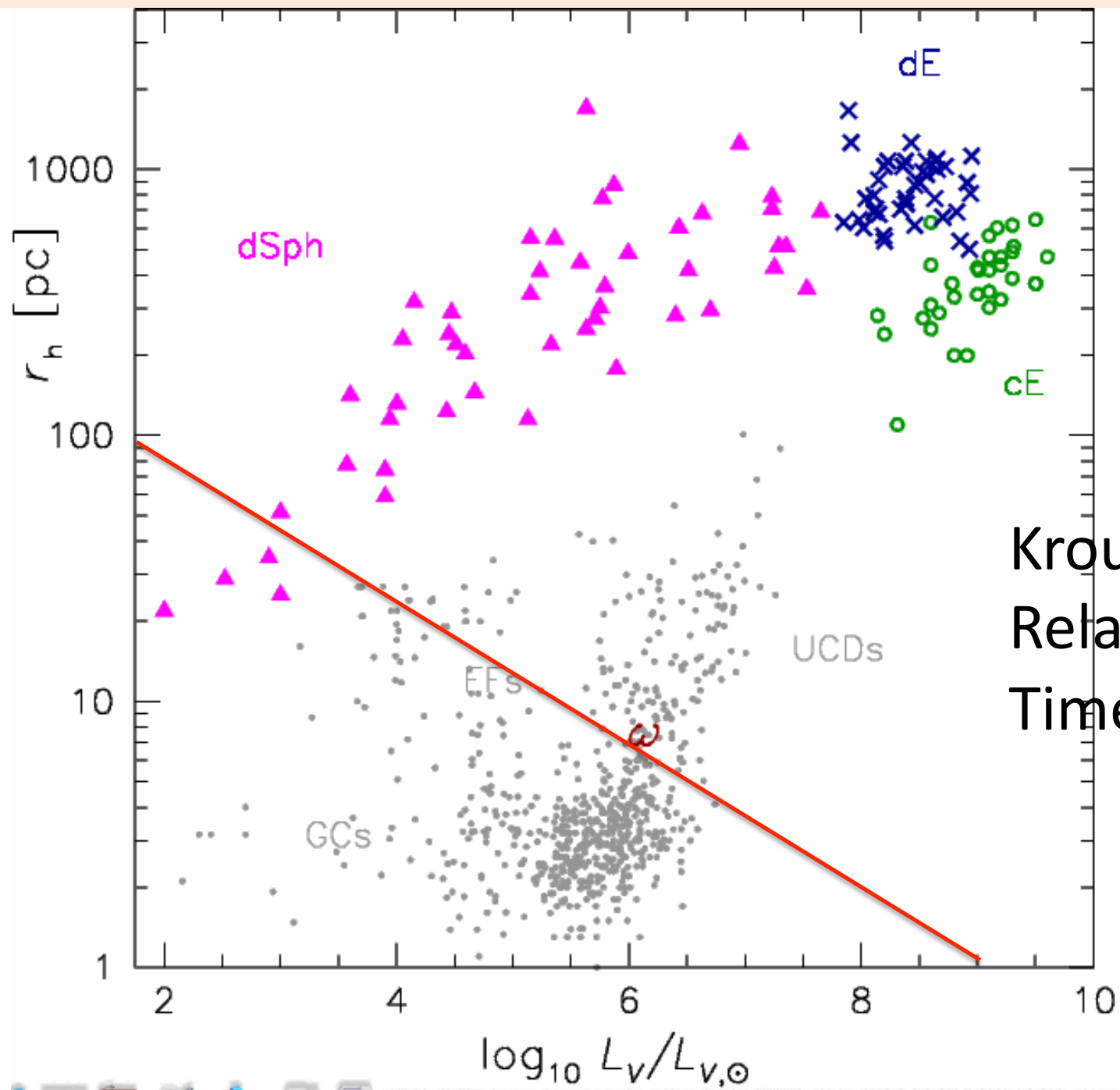
# What is a Galaxy ?

- **Gilmore et al. 2007**: Galaxies have dark matter and effective radii  $> 100$  pc. GCs and UCDs are dark matter free star clusters.
- **Kroupa 2007**: Galaxies have Relaxation times  $>$  Hubble time. UCDs are galaxies, GCs are star clusters. Both GCs and UCDs are dark matter free.



Gilmore  
gap

Brodie et al. 2011



Kroupa  
Relaxation  
Time



# ¿ Qué es una galaxia ?

"Una galaxia es un sistema auto-gravitando, compuesto por material interestelar, las estrellas y (probablemente) la materia oscura (y tiene un tiempo de relajación más de un tiempo de Hubble)."

No hay duda, es una galaxia para sistemas grandes.

En escalas pequeñas (galaxias enanas) no es tan seguro que existe una definición correcta.

¿Hay galaxias sin materia oscura, por ejemplo, las galaxias enanas de marea?

¿Existen grupos de estrellas que tienen largos tiempos de relajación?

¿Pueden cúmulos estelares contener materia oscura?

¿Qué es Dinámica Estelar y por qué?

# ¿Por Qué?

- entendimiento y interpretación de los datos de observaciones
- Modelos auto-consistente en 3 dimensiones de sistemas gravitacionales
- Entendimiento de los procesos físicos
- Formación, dinámica y evolución de sistemas gravitacionales

# Observaciones

- Coordinates
- Magnitudes
- Lineas espectrales
- Radial velocity (velocidad radial)
- Proper motion (movimiento propio)
- Luminosidades o densidades en numeros (number density)

+  
Teoria de  
Dinámica Estelar  
=

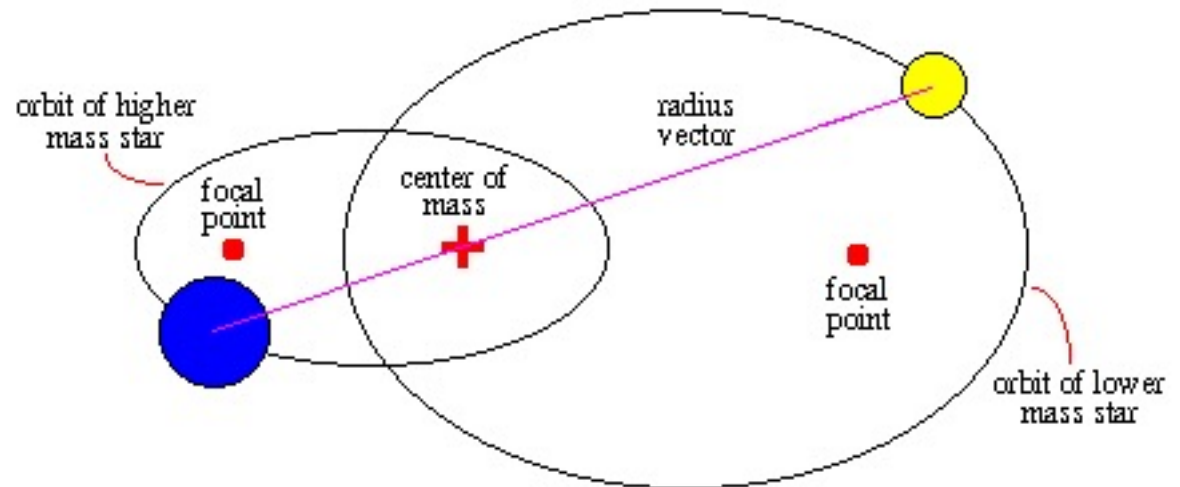
- Conocer la distribución en 3D de la masa
- Entender los procesos físicos
- Dinámica conecta la cinemática con la distribución de densidad estelar y distribución de la masa subyacente
- Sin la comprensión de la dinámica, no puede distinguir entre los modelos de la estructura galáctica plausible

# Aplicaciones

- sistemas de dos cuerpos – p.ej. estrellas binarias (permitir de medir masas estelares)



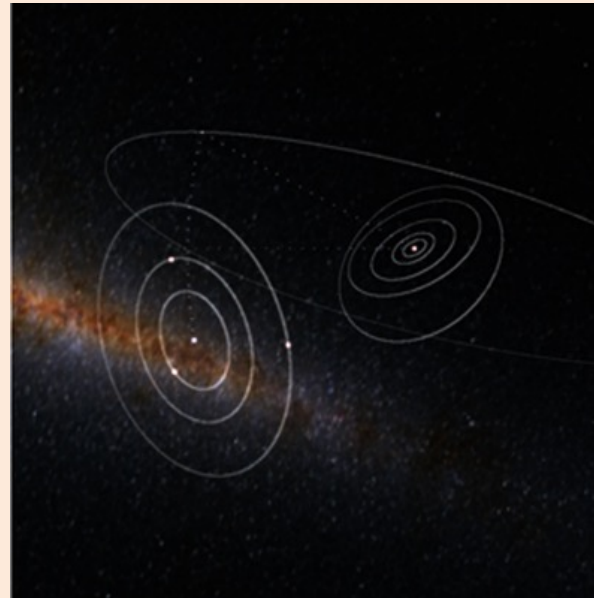
Binary Star Orbit





# Aplicaciones

- Sistemas planetarios (p.ej. sistema solar – formación, evolución)



HR8799

# Aplicaciones

- Cúmulos de estrellas (abiertos y globulares)

M 5



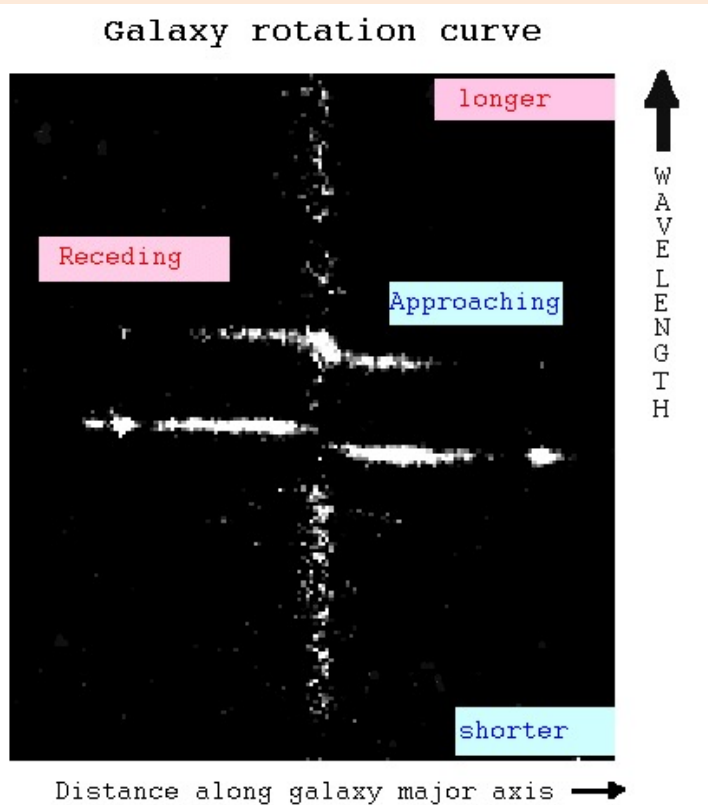
$\omega$  Cen





# Aplicaciones

- Estructura de galaxias: orbitas de estrellas, curvas de rotación, brazos espirales, dispersión de velocidad



M51

# Aplicaciones

- Cúmulos de galaxias

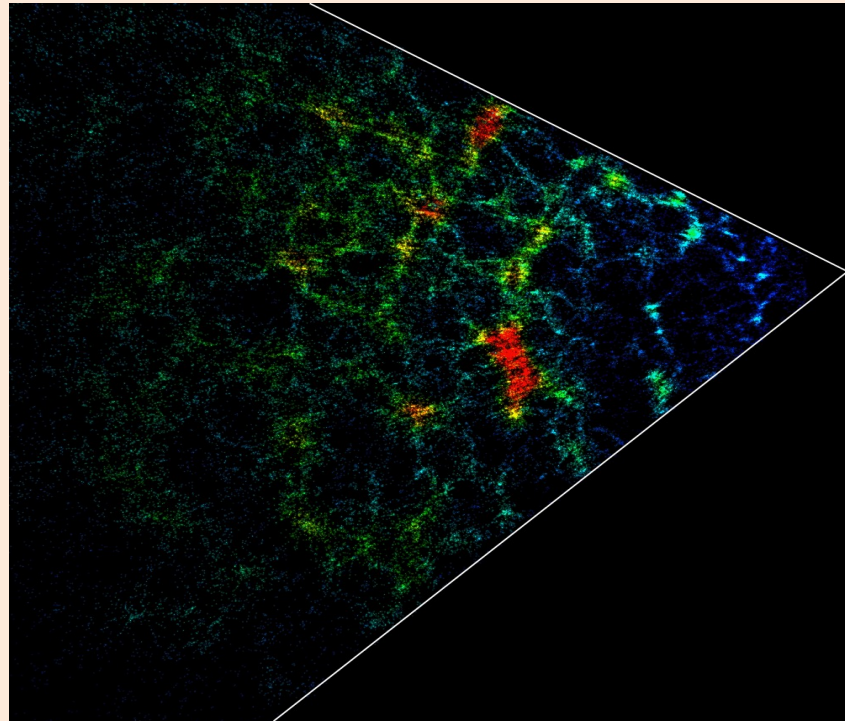
Coma cluster



# Aplicaciones

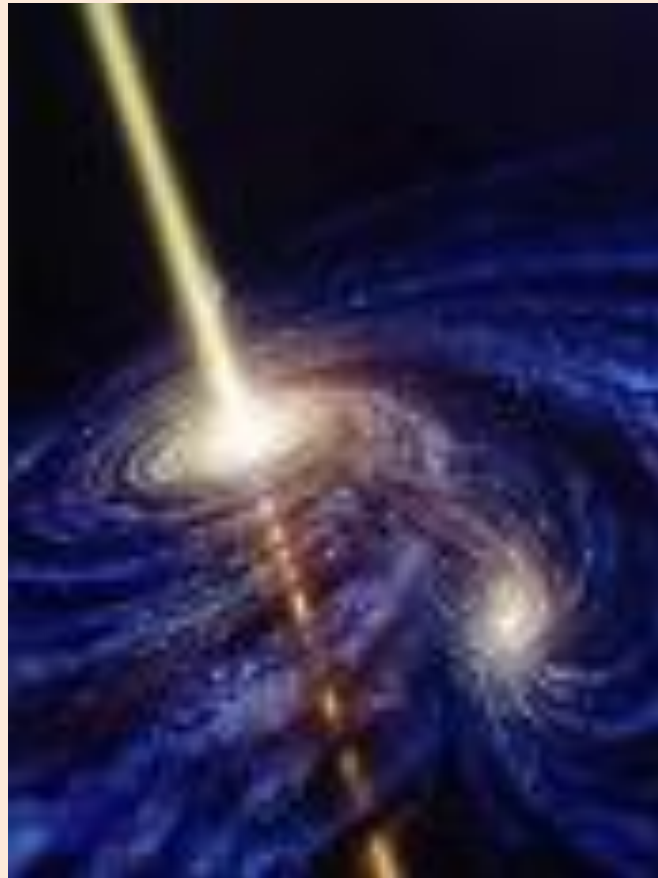
- estructura a gran escala del universo

AAT 2dF galaxy  
survey



# Aplicaciones

- alimentación de un agujero negro



# modelo autoconsistente de un sistema gravitatorio

1 Ecuación de Poisson

distribución de masa  
 $\rho(\underline{r})$   
densidad de estrellas

fuerzas gravitatorias  
 $\Phi(\underline{r})$   
potencial gravitacional



3 Ecuación de Jeans  
Teorema de Jeans



4 conceptos dinámicos

2 teoría orbital

velocidades de las estrellas  
 $\underline{v}(\underline{r}), f(\underline{r}, \underline{v})$   
órbitas de estrellas

# Bibliografía

- James Binney, Scott Tremaine:  
Galactic Dynamics  
Princeton University Press  
la biblia de la dinámica estelar !
- James Binney, Michael Merrifield:  
Galactic Astronomy  
Princeton University Press