

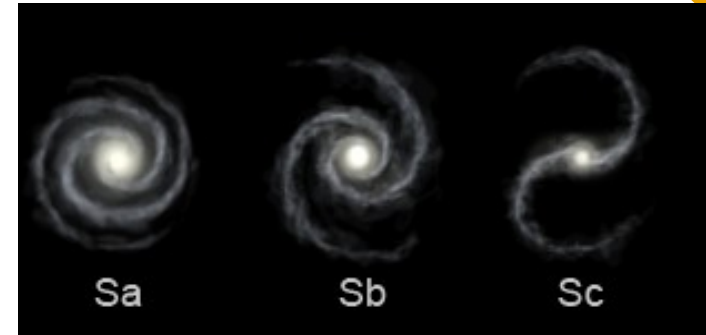
Propiedades de Galaxias Espirales



Propiedades de Galaxias Espirales

Si comparamos galaxias espirales de la misma luminosidad vemos que de $Sc \rightarrow Sb \rightarrow Sa$, las galaxias:

- son cada vez mas masivas, especialmente en estrellas
- tienen mayor velocidad máxima de rotación
- tienen menor fracción de gas/polvo
- tienen mayor cantidad de estrellas rojas.



Propiedades de Galaxias Espirales

TABLE 25.1 Characteristics of Early Spiral Galaxies.

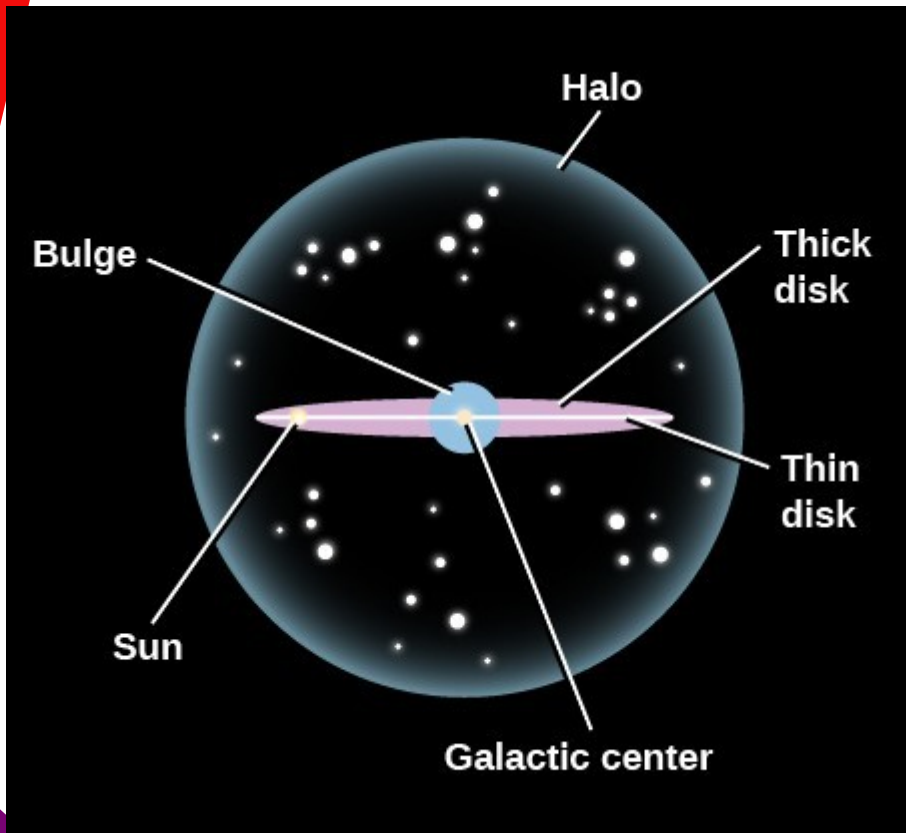
	Sa	Sb	Sc
M_B	-17 to -23	-17 to -23	-16 to -22
$M (M_\odot)$	10^9 - 10^{12}	10^9 - 10^{12}	10^9 - 10^{12}
$\langle L_{\text{bulge}}/L_{\text{total}} \rangle_B$	0.3	0.13	0.05
Diameter (D_{25} , kpc)	5-100	5-100	5-100
$\langle M/L_B \rangle (M_\odot/L_\odot)$	6.2 ± 0.6	4.5 ± 0.4	2.6 ± 0.2
$\langle V_{\text{max}} \rangle (\text{km s}^{-1})$	299	222	175
V_{max} range (km s^{-1})	163-367	144-330	99-304
pitch angle	$\sim 6^\circ$	$\sim 12^\circ$	$\sim 18^\circ$
$\langle B - V \rangle$	0.75	0.64	0.52
$\langle M_{\text{gas}}/M_{\text{total}} \rangle$	0.04	0.08	0.16
$\langle M_{\text{H}_2}/M_{\text{H I}} \rangle$	2.2 ± 0.6 (Sab)	1.8 ± 0.3	0.73 ± 0.13
$\langle S_N \rangle$	1.2 ± 0.2	1.2 ± 0.2	0.5 ± 0.2

TABLE 25.2 Characteristics of Late Spiral and Irregular Galaxies.

	Sd/Sm	Im/Ir
M_B	-15 to -20	-13 to -18
$M (M_\odot)$	10^8 - 10^{10}	10^8 - 10^{10}
Diameter (D_{25} , kpc)	0.5-50	0.5-50
$\langle M/L_B \rangle (M_\odot/L_\odot)$	~ 1	~ 1
V_{max} range (km s^{-1})	80-120	50-70
$\langle B - V \rangle$	0.47	0.37
$\langle M_{\text{gas}}/M_{\text{total}} \rangle$	0.25 (Scd)	0.5-0.9
$\langle M_{\text{H}_2}/M_{\text{H I}} \rangle$	0.03-0.3	~ 0
$\langle S_N \rangle$	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.2

(Ver tablas 25.1 y 25.2 del Carroll)

Componentes generales de las espirales

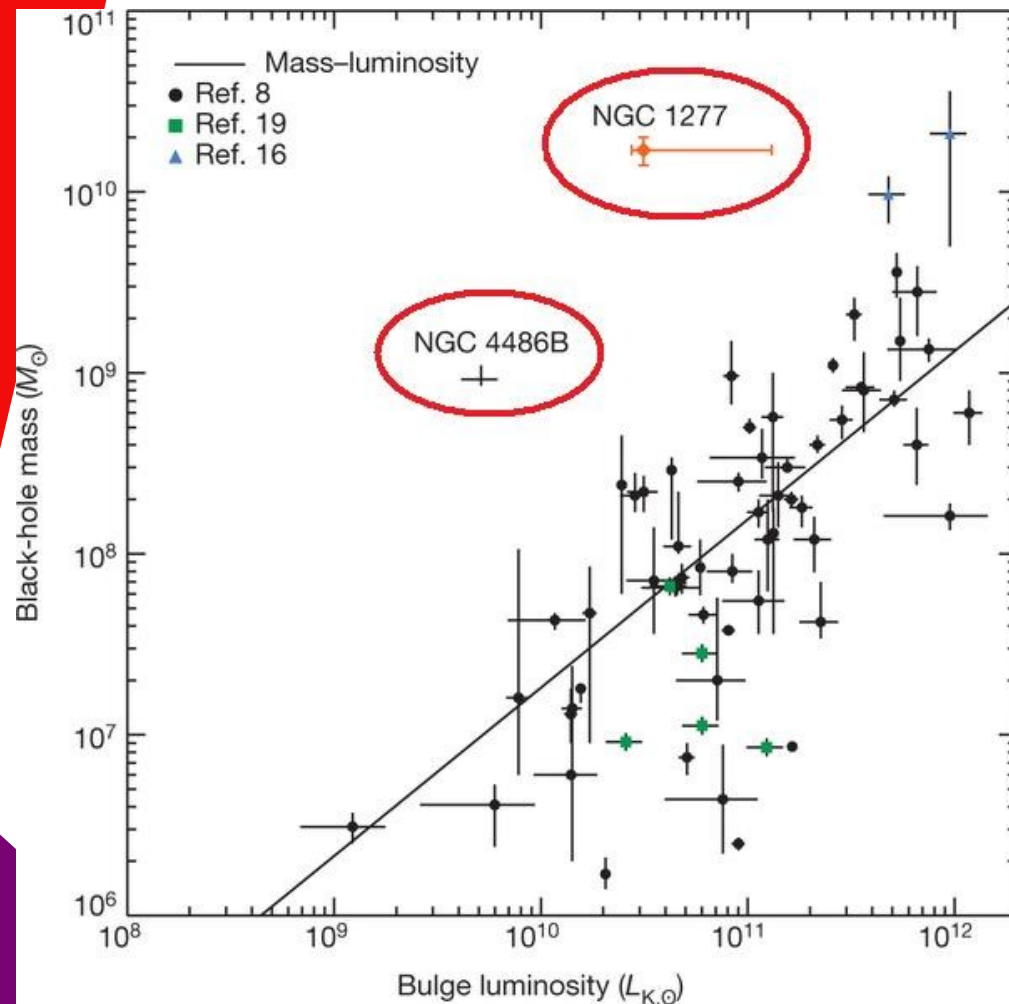


Caso Vía Láctea

Bulbo:

- Densidad central de estrellas (Pob. II: rojas, viejas y bajo contenido en metales), distribución esferoidal, dominado por dispersión de velocidad
- En las Sc o SBc los bulbos son más azules (Estrellas de Pob. I)
- Muchos bulbos contienen agujeros negros supermasivos

Componentes generales de las espirales

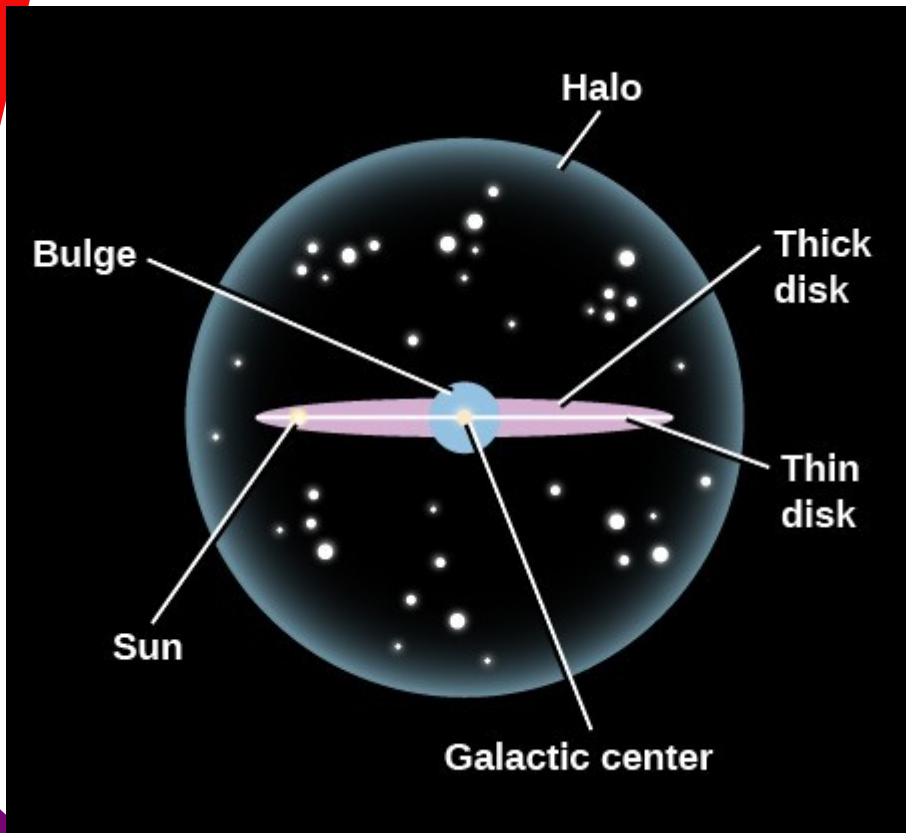


van den Bosch et al. (2012)

Bulbo:

- Densidad central de estrellas (Pob. II: rojas, viejas y bajo contenido en metales), distribución esferoidal, dominado por dispersión de velocidad
- En las Sc o SBc los bulbos son más azules (Estrellas de Pob. I)
- Muchos bulbos contienen agujeros negros supermasivos

Componentes generales de las espirales



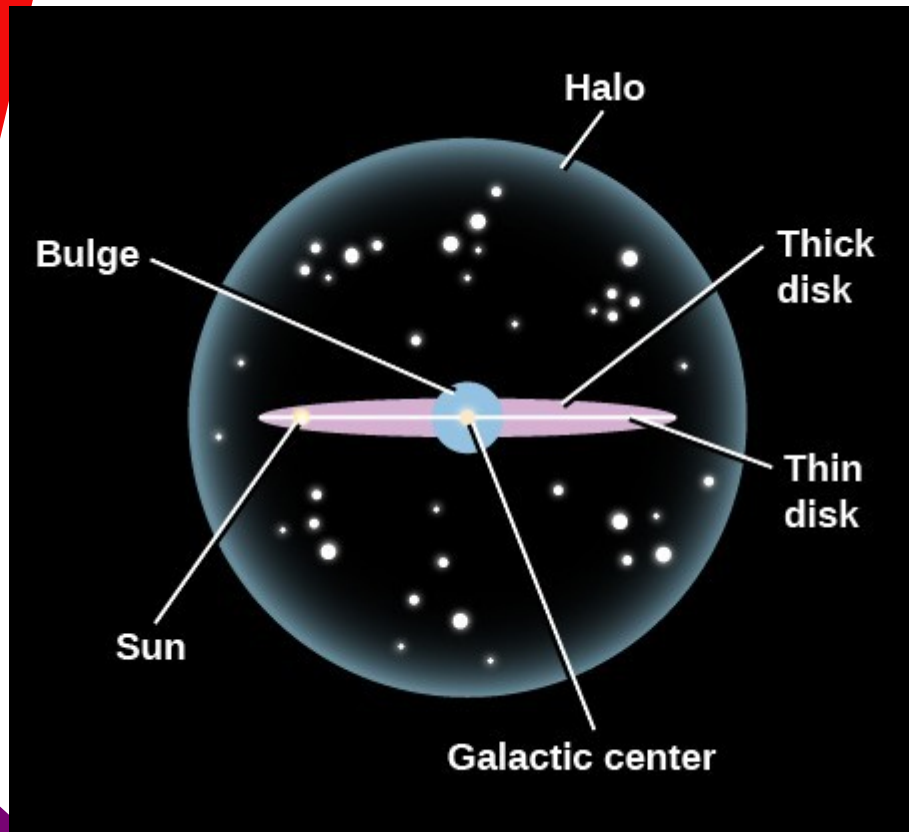
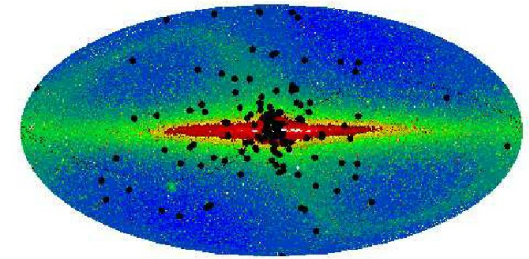
Caso Vía Láctea

Disco(s):

- Estructura plana dominada por rotación, compuesto por estrellas (Pob I, jóvenes y ricas en metales), gas y polvo.
- Contienen brazos espirales donde se forman nuevas estrellas, por lo que se ven azules
- Los discos con brazos espirales representan el componente más característica de este tipo de galaxias



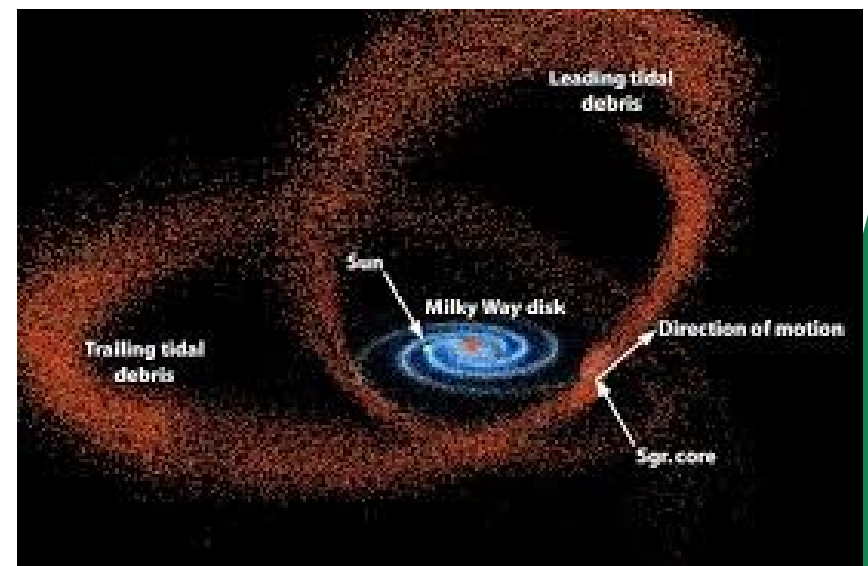
Componentes generales de las espirales



Caso Vía Láctea

Halo:

- Se cree que las estrellas en el halo extendido (Pob II: viejas y bajas en metales) que rodea el disco y bulbo de las galaxias espirales provienen de eventos de canibalismo galáctico
- Cúmulos globulares



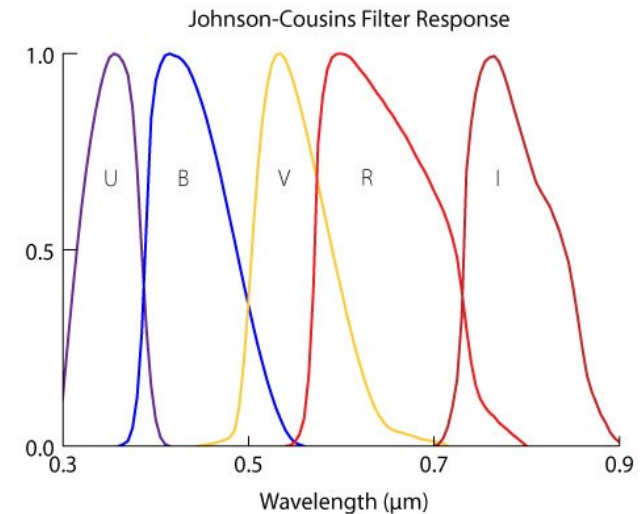
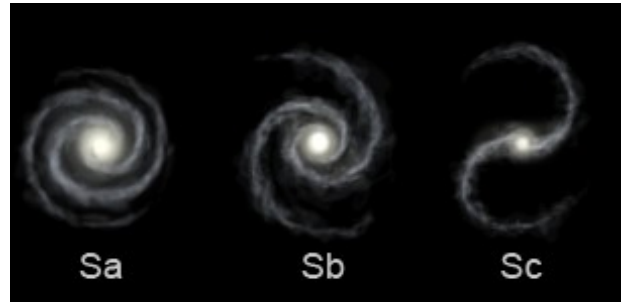
Razón Masa/Luminosidad

- Rango de masas: $10^9 - 10^{12}$ Msun
- Las Sa son solo un poquito mas masivas pero M/L si cambia significativamente con el tipo de Hubble:

$M/L_B = 6.2$ para Sa

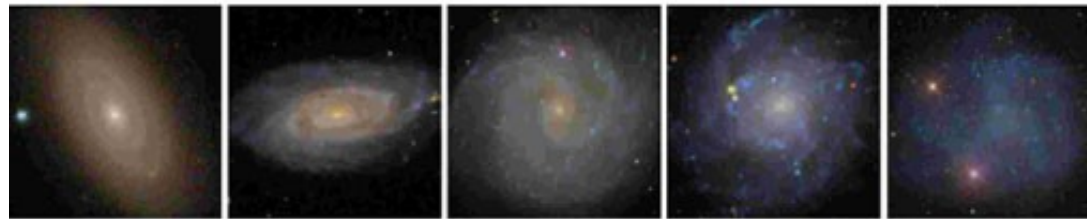
$M/L_B = 4.5$ para Sb

$M/L_B = 2.6$ para Sc



Esto se puede explicar si las Sc tienen mayor fracción de estrellas de secuencia principal (las estrellas de secuencia principal de arriba tienen M/L más bajos) → Si este es el caso se esperaría que las Sc fueran más azules

Color de las espirales



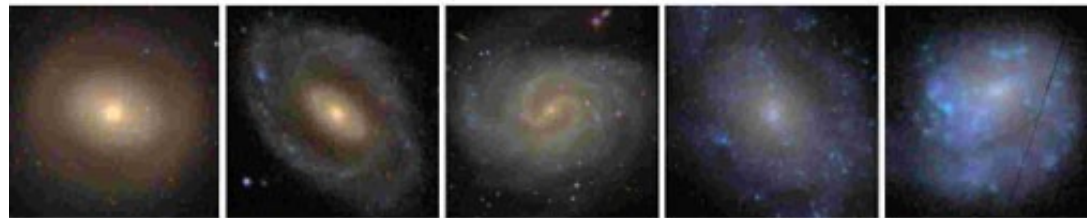
SAa

SAb

SAc

SAd

SAm



SABa

SABb

SABc

SABd

SABm



SBa

SBb

SBc

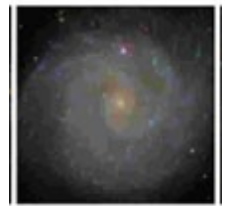
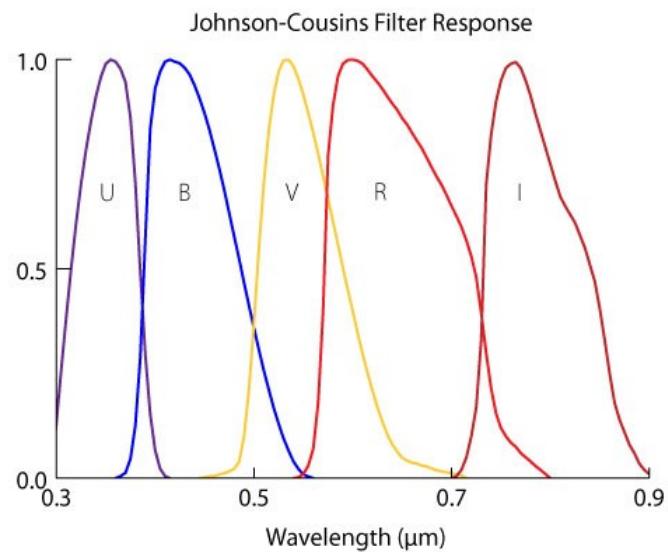
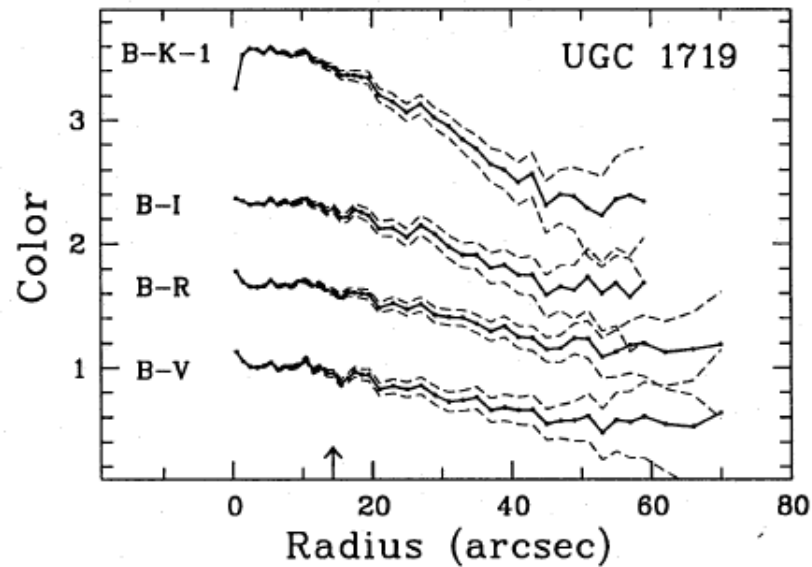
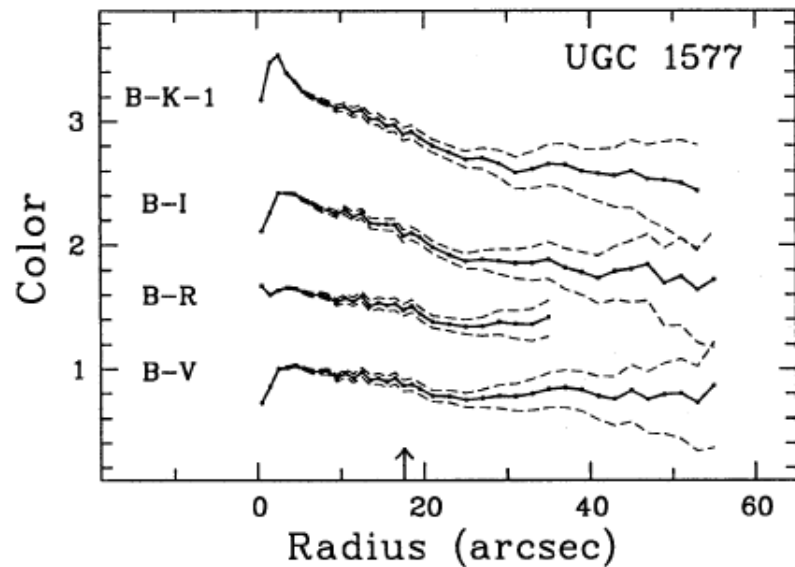
SBd

SBm



Más estrellas jóvenes masivas de secuencia principal

Gradientes de color



SAC



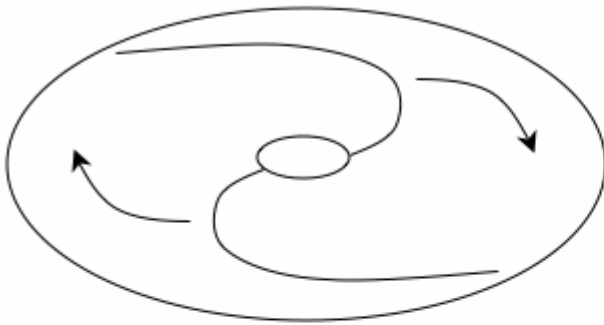
SABc



SBc

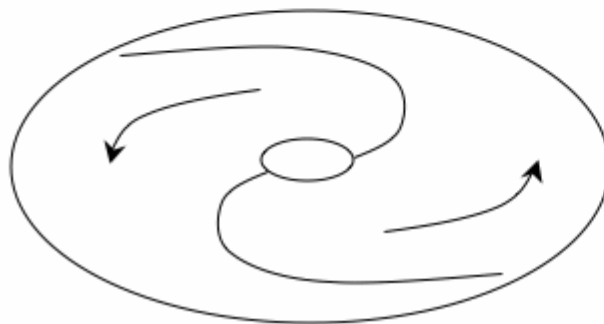
Los brazos espirales

Trailing Arms



Prácticamente todos los brazos espirales que se han observados son por “trailing” (enrollados) pero es difícil de medir.

Leading Arms



Hay algunos “leading” que podrían haberse formado de la interacción con otras galaxias. Teóricamente, se espera que los brazos enrollados sean más fuertes que los brazos delanteros.

Los brazos espirales

Los brazos espirales vienen en distintos “sabores”:

- ~10% “grand-design” (2 brazos bien definidos)
- ~60% multiples-brazos
- ~30% espirales flocculentas (brazos escuetamente definidos)

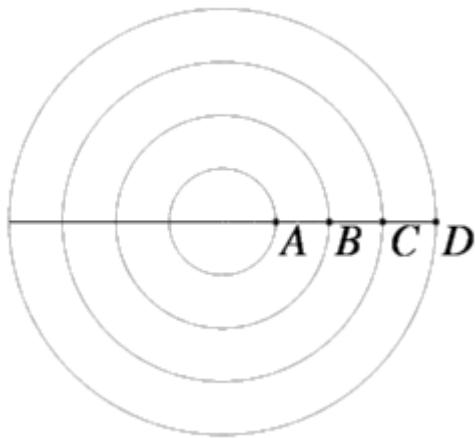
Los brazos espirales son lugares de mucha formación estelar: vemos polvo, regiones HII, estrellas azules, mucho gas.

De hecho los brazos ¡son mucho más visibles en el azul que en el rojo!



Los brazos espirales: ¿son objetos físicos?

Las curvas de rotación de las Espirales no son de cuerpos sólidos.
¿Cómo se vería la curva de rotación de un cuerpo sólido?

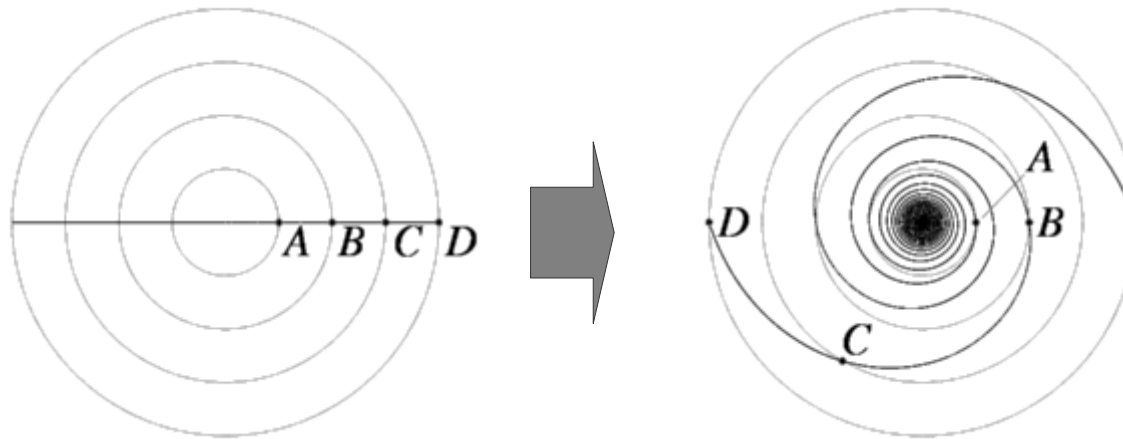


→ Mayor v con mayor r

Los brazos espirales: ¿son objetos físicos?

El problema del enrollamiento:

Considerando una curva de rotación plana, las estrellas en las afueras del disco toman más tiempo en completar una órbita en comparación con las cercanías al centro → Los brazos se enrollarían muy rápido (\sim medio millón de años) y no se podrían observar.



... Si los brazos espirales no pueden ser objetos físicos ¿qué son?

Los brazos espirales

Ondas de densidad: Bertil Lindblad propuso que los brazos representan regiones de mayor densidad (ondas de densidad)

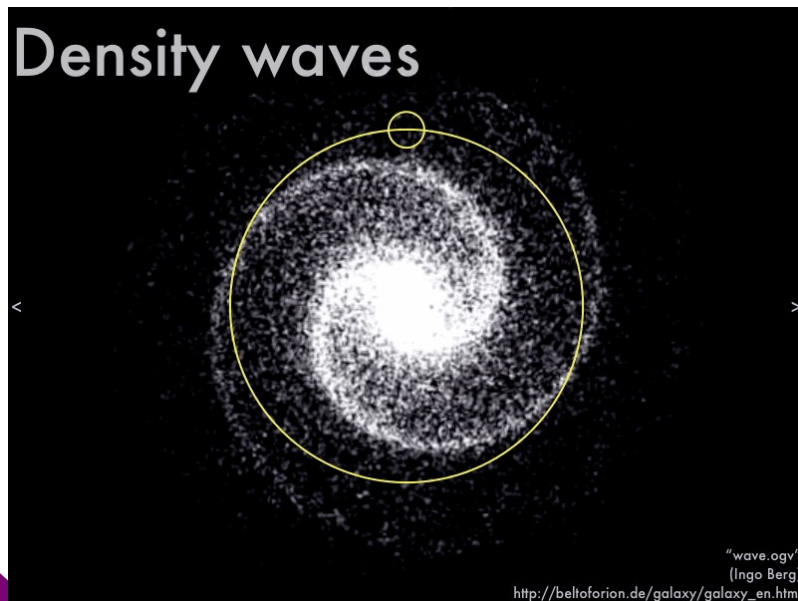
- Cerca del centro las estrellas se mueven más rápido que el patrón de velocidad y pasan la onda.
- En las afueras las estrellas se mueven más lento que el patrón de velocidad y los brazos espirales pasan a las estrellas.



Los brazos espirales

¿Qué pasa en el encuentro con la onda de densidad?

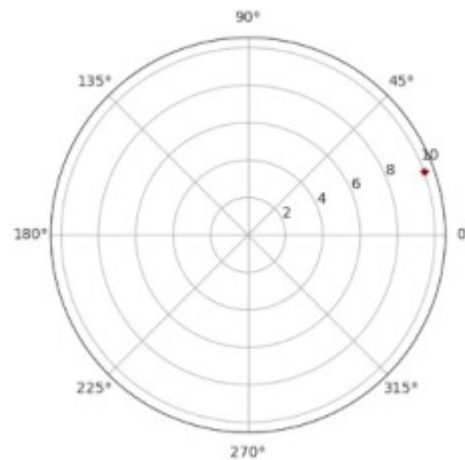
- Al acercarse a la onda la velocidad aumenta
- Al alejarse la velocidad disminuye
- En total la estrella pasa mas tiempo cerca de la onda que si no estuviera la onda allí
- Se propicia la formación de estrellas

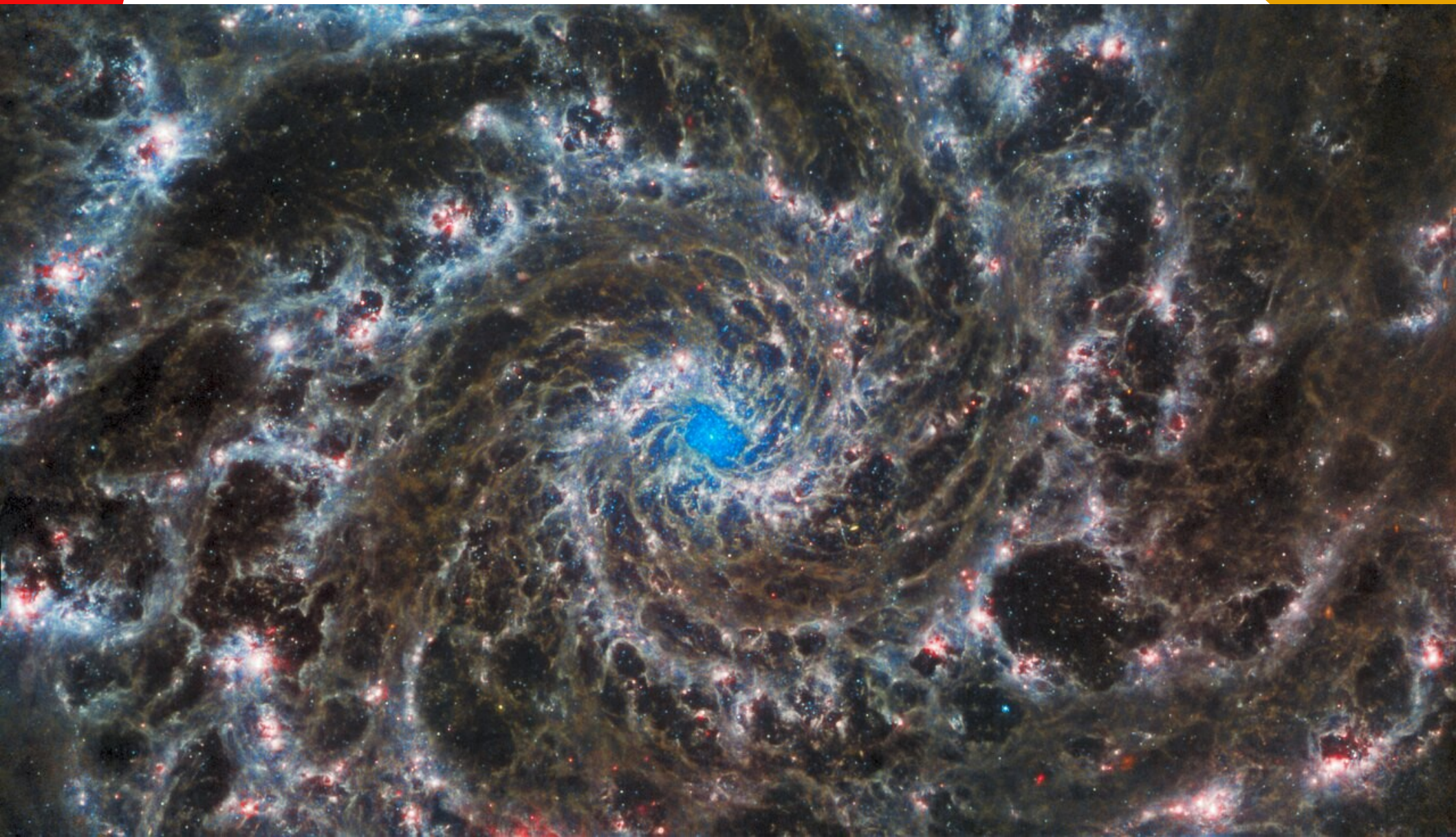


Los brazos espirales

The SSPSF (stochastic self-propagating star formation) model of star formation: Propuesto por Mueller & Arnett (1976) y generalizado por Gerola & Seiden (1978) y Gerola, Seiden, & Schulman (1980).

El model propone que la formación estelar se propaga vía la acción de ondas de choque producida por vientos estelares y supernovas que atraviezan el medio interestelar en el disco.

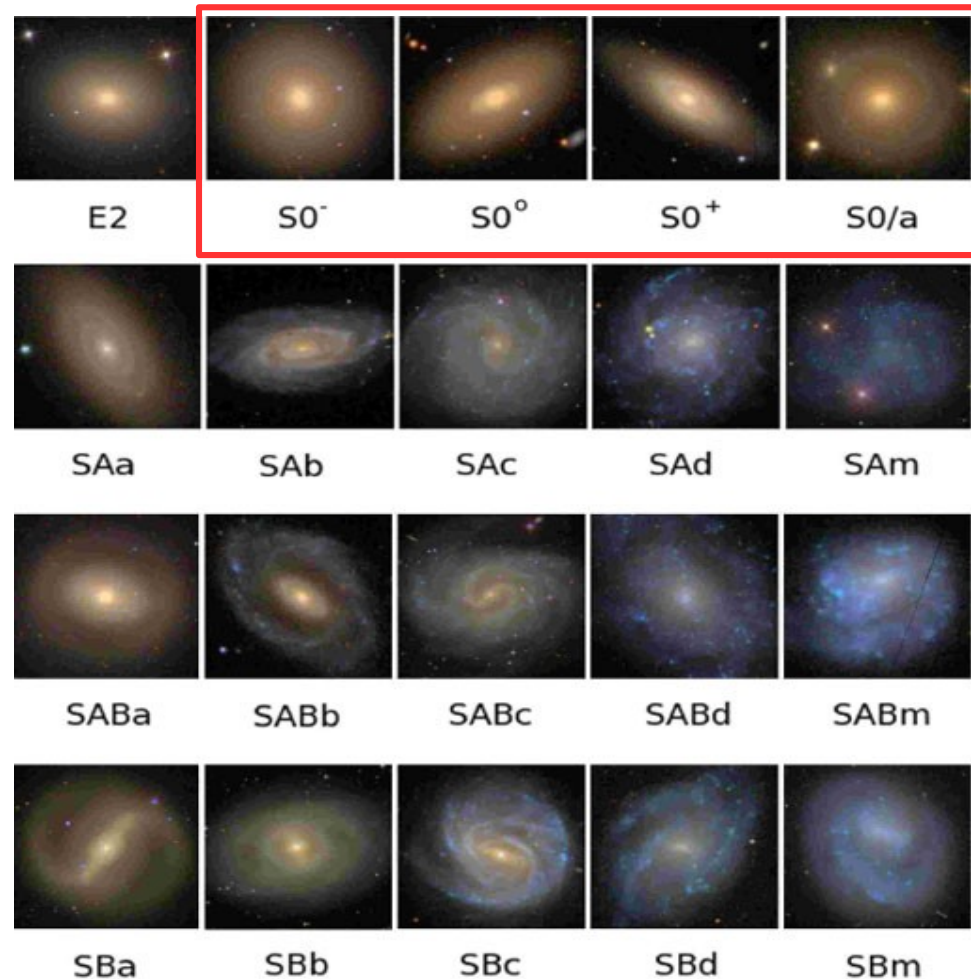




La imagen del telescopio espacial James Webb de la NASA/ESA/CSA muestra el corazón de M74

Galaxias lenticulares: sin brazos espirales

Las **galaxias lenticulares (S0)** que presentan formas de tipo disco se distinguen de las Espirales pues no muestran brazos espirales



Galaxias lenticulares: sin brazos espirales



La galaxia lenticular NGC 4886, fotografiada aquí por el telescopio espacial Hubble, contiene principalmente estrellas viejas pero no tiene brazos espirales.

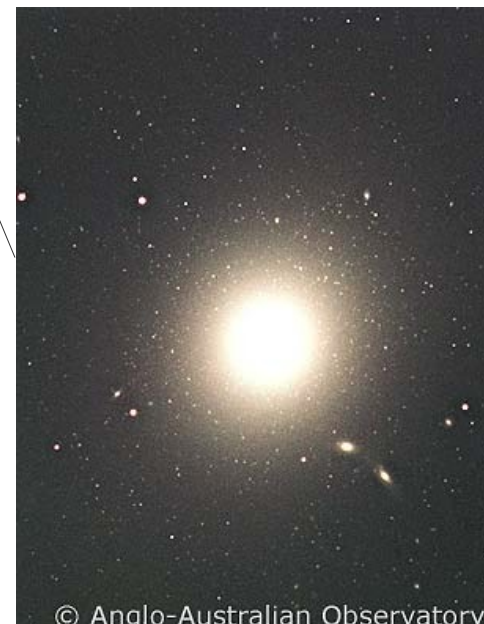
Imagen del Telescopio Espacial Hubble de la NASA observa una de las galaxias lenticulares masivas más cercanas a la Tierra, NGC 1023, a unos 36 millones de años luz de distancia.



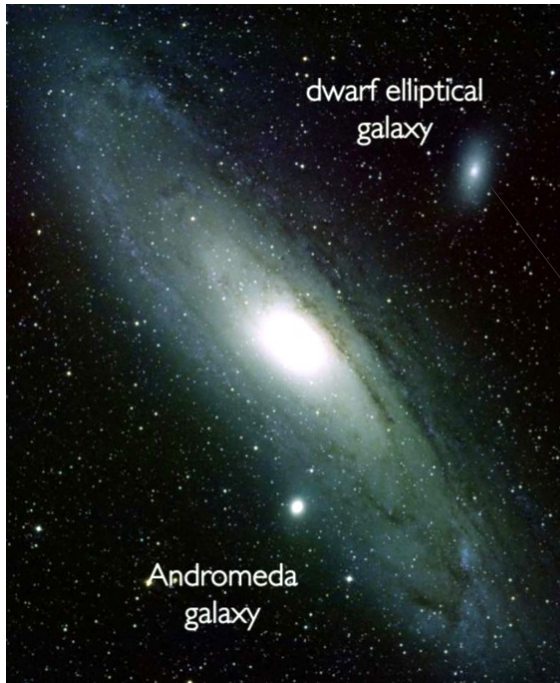
Galaxias elípticas



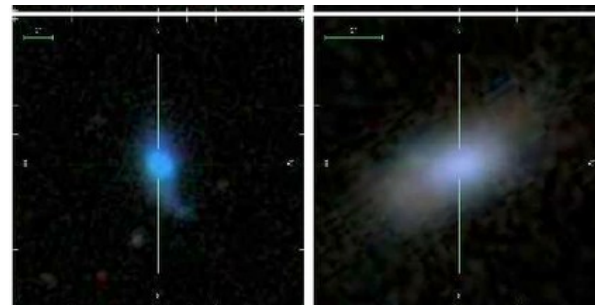
- **Galaxias cD:** Son inmensas pero raras. Usualmente se encuentran en los centros de los cúmulos. Concentradas en el centro y unos halos envoltorios muy extensos
- **Es normales (Es):** perfiles radiales pronunciados con gran concentración de estrellas en el centro



Galaxias elípticas



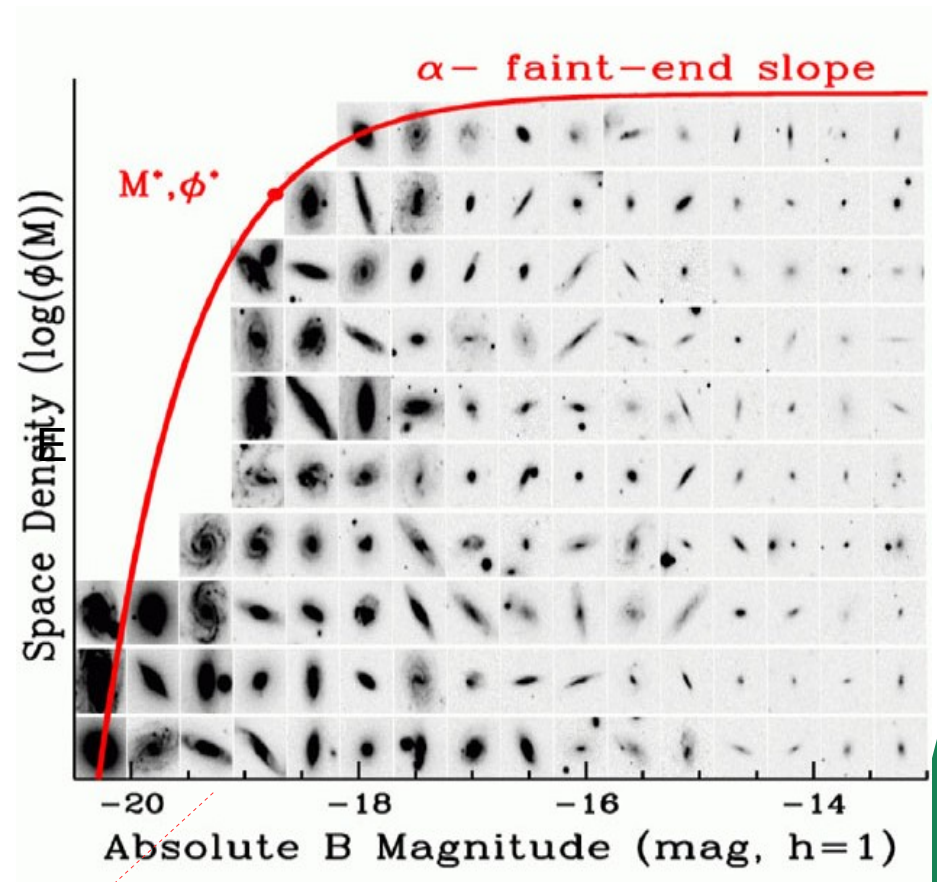
- **Galaxias cD:** Son inmensas pero raras. Usualmente se encuentran en los centros de los cúmulos. Concentradas en el centro y unos halos envoltorios muy extensos
- **Es normales (Es):** perfiles radiales pronunciados con gran concentración de estrellas en el centro
- **Elípticas enanas (dEs):** menos brillo superficial que las Es
- **Enanas esferoidales (dSph):** muy baja luminosidad, detectadas solo en las vecindades de la Vía Láctea
- **Enanas compactas azules (BCD):** pequeñas galaxias con color inusual azul



Galaxias elípticas

E gigantes

- Gigantes (E o cD)
 $L \gg L^*$ ($L \sim 2-10L^*$)
- Luminosas
 $L \sim L^*$ ($L \sim 0,5 \text{ --- } 2L^*$)
- Pequeñas
 $L < L^*$ ($L \sim 0,1 \text{ --- } 0,5L^*$)



$L^* = 2 \times 10^{10} L_{\text{sun}} \approx L_{\text{MW}} = \text{Rodilla ("knee") en la función de luminosidad de las galaxias}$

Galaxias elípticas

E enanas

- Enanas (dE)
 $L < 0,1 L^*$
- Enanas Esferoidales (dSph)
 $L < 0,001 L^*$

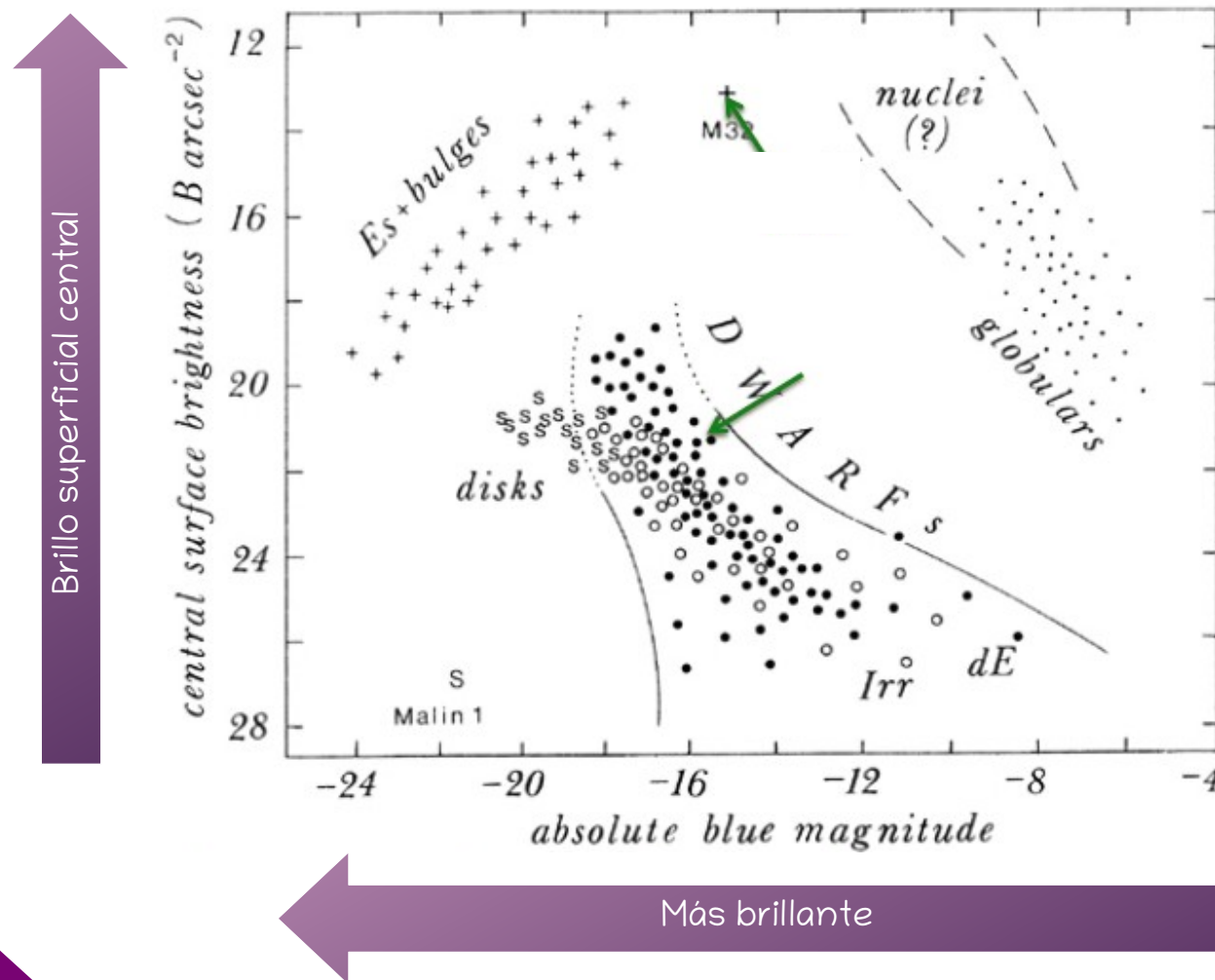
Claramente distintas de las gigantes E.

Sus distribuciones estelares se asemejan a las galaxias con disco, y no son verdaderas elípticas. Mejor nombre: enana tipo temprano



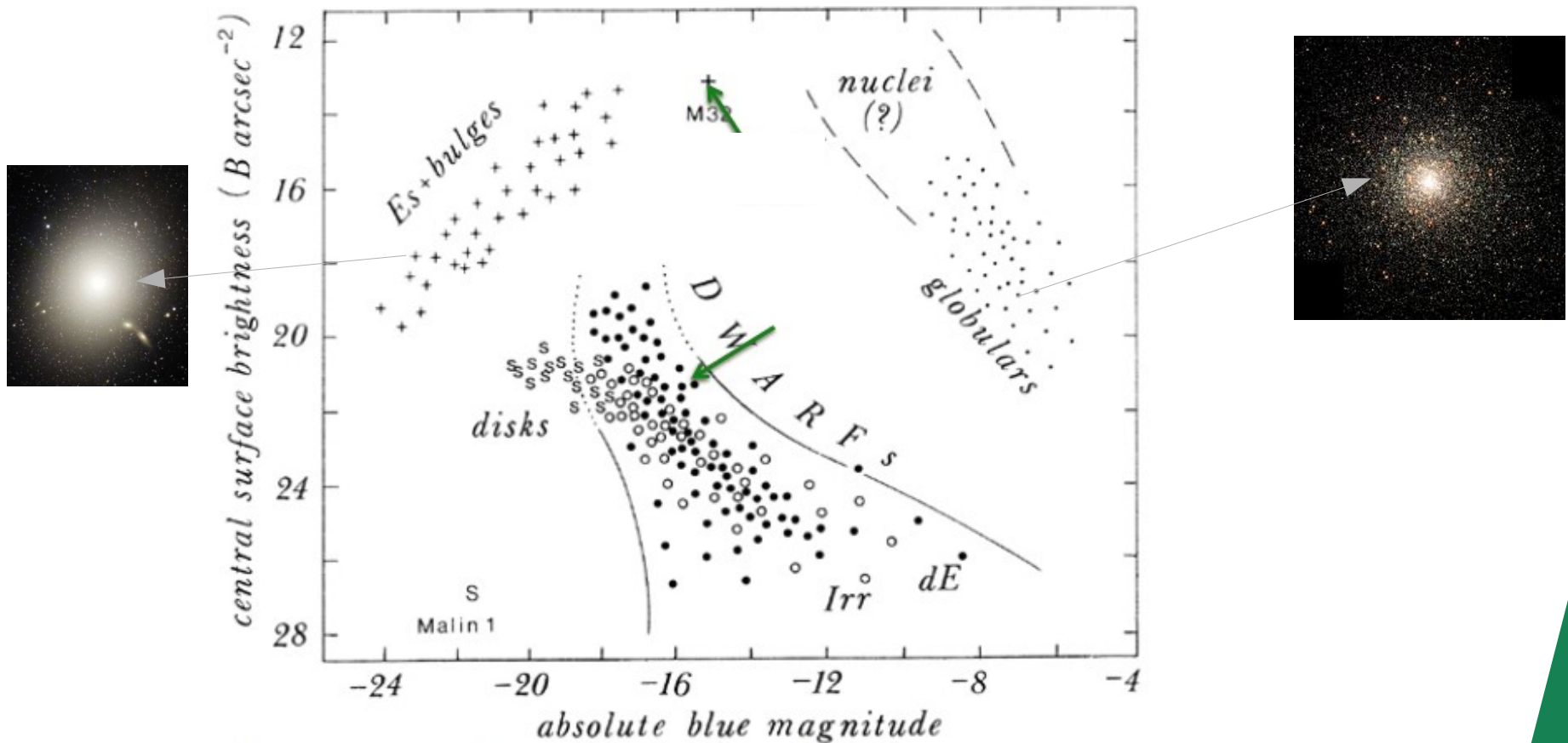
Galaxias elípticas, bulbos y cúmulos globulares

Surface brightness vs. luminosity for various stellar systems



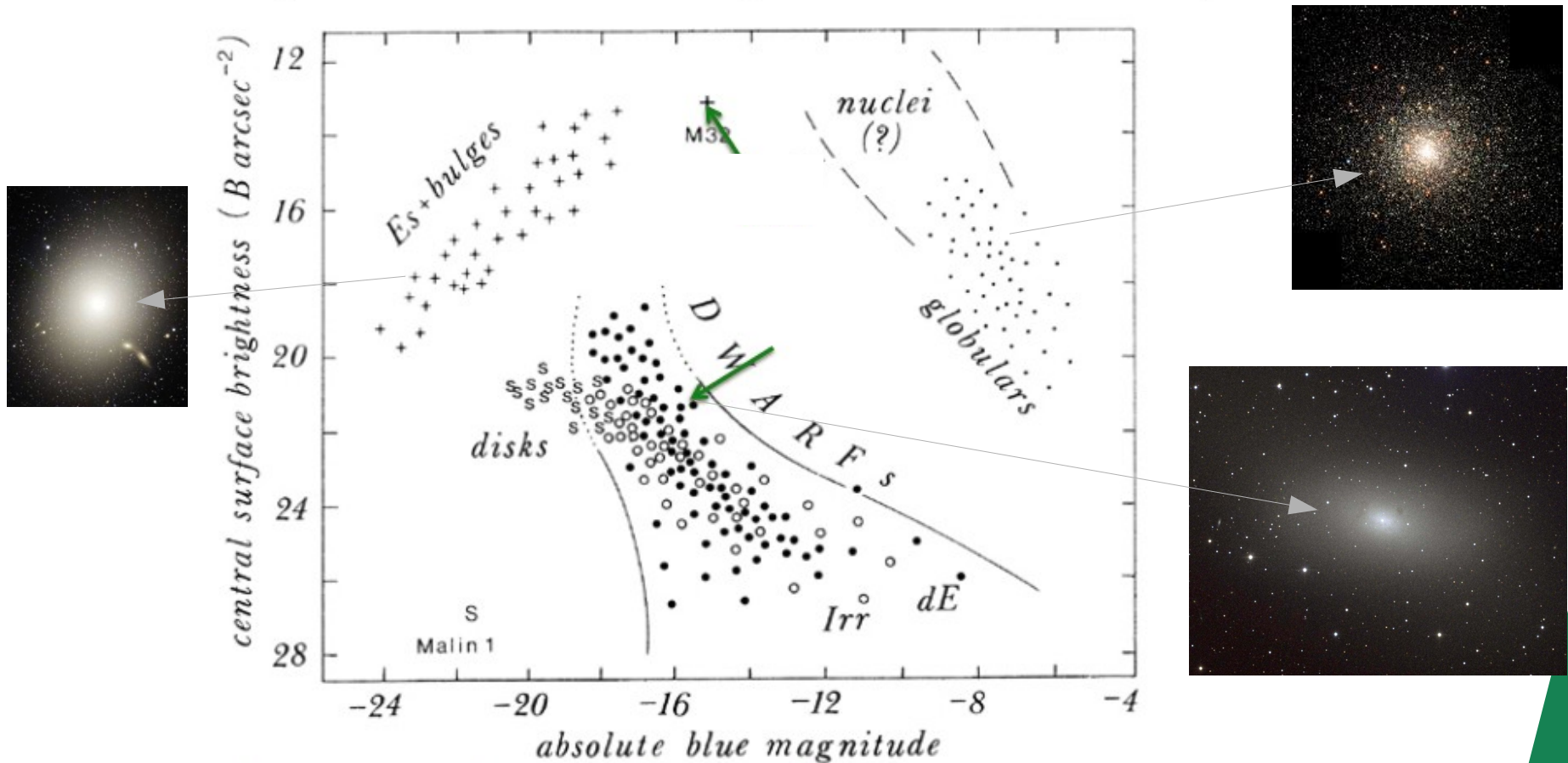
Galaxias elípticas, bulbos y cúmulos globulares

Surface brightness vs. luminosity for various stellar systems



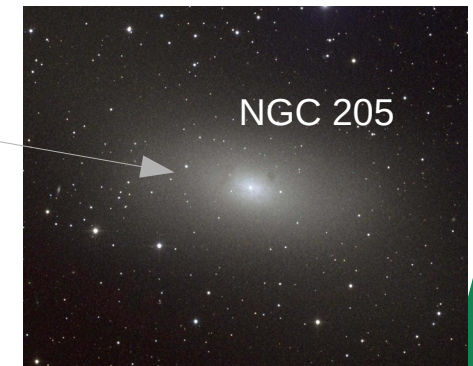
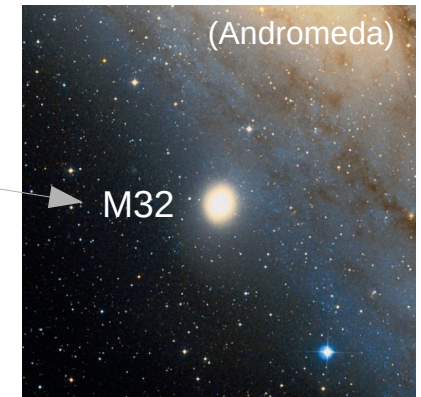
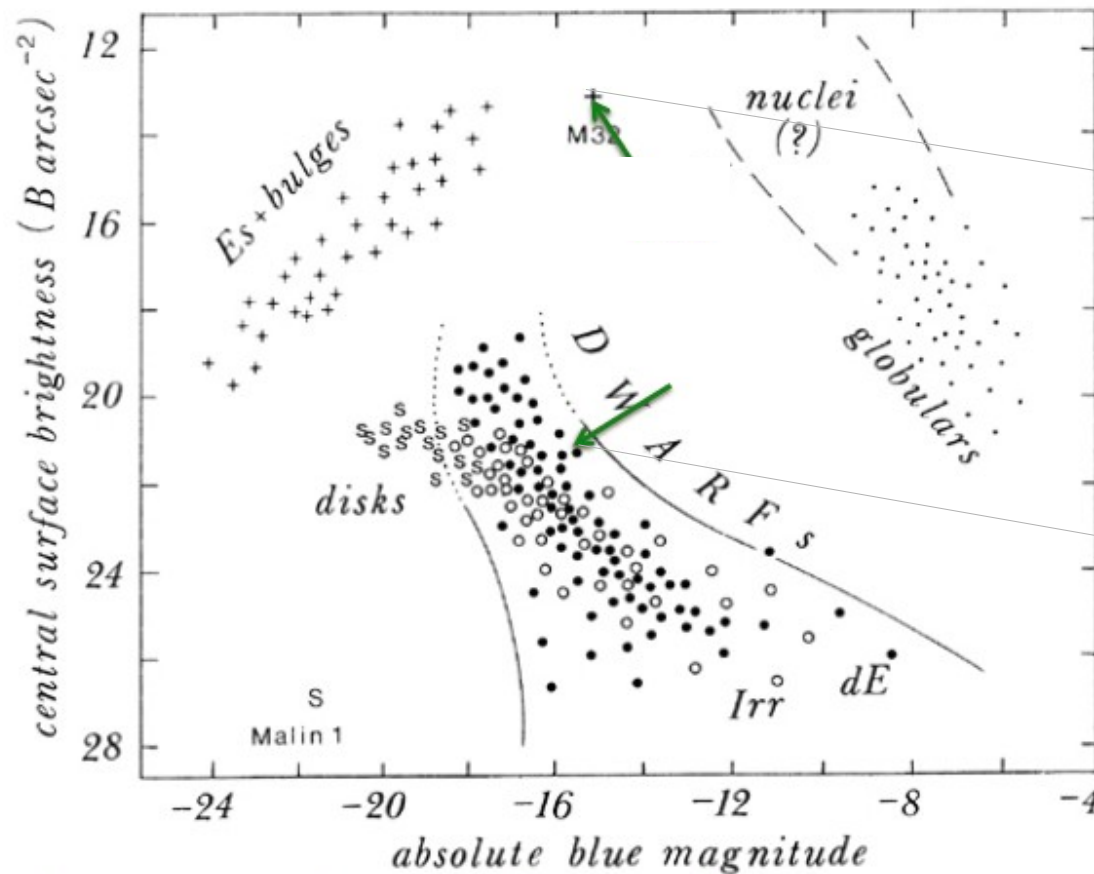
Galaxias elípticas, bulbos y cúmulos globulares

Surface brightness vs. luminosity for various stellar systems



Galaxias elípticas, bulbos y cúmulos globulares

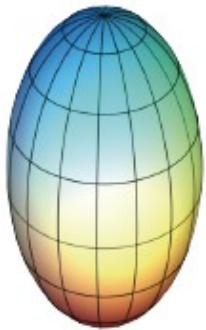
Surface brightness vs. luminosity for various stellar systems



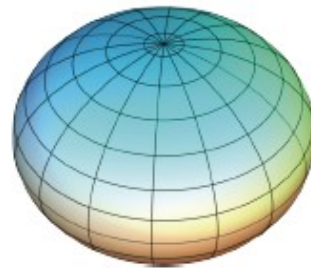
NGC 205 (dwarf elliptical) and M32 (elliptical) are different types of galaxies, even though they have similar mass & no ongoing star formation. E's are much more compact than dE's

La forma real (3D) de las Elípticas

Possible 3D shapes (isodensity surfaces) of
ellipticals



Prolate spheroid $a=b<c$
Hard to make these
Probably no E's like this



Oblate spheroid $a=b>c$
Can be flattened by rotation
Some E's like this



Triaxial ellipsoid $a<b<c$
No rotational symmetry
Some E's like this

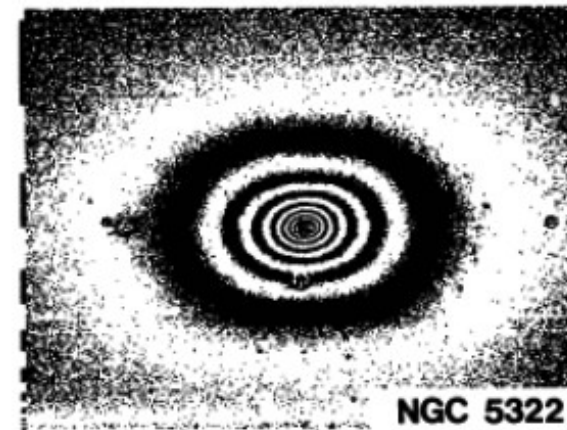
La forma de las Elípticas

80% de la elípticas muestran desviaciones de la forma elíptica de las isofotas:

- **Galaxias “Disky”**: las isophotas indican la presencia de discos estelares débiles y altamente inclinados que se encuentran dentro de un componente más grande como "bulbo" (principalmente esferoides oblatos)
- **Galaxias “Boxy”**: las galaxias triaxiales tienen muchas estrellas en "órbitas de tipo caja" que no tienen un sentido fijo de rotación alrededor del centro y que llenan una región en forma de caja (en su mayoría galaxias triaxiales)



FIGURE 6. — R-image of NGC 4660, an elliptical galaxy with a disk-component in the isophotes ($a(4)/a \sim +0.03$).



h FIGURE 7. — R-image of NGC 5322, an elliptical galaxy with box-shaped isophotes ($a(4)/a \sim -0.01$).

¿Cómo se forman las Elípticas?

Merger remnant NGC 7252



Merger remnant NGC 7252
(Schweizer 1981) &
Merger simulation -- 2 equal mass
disks (Hernquist 1992)

Radial light profile resembles $r^{1/4}$ law in both merger
remnant and simulations

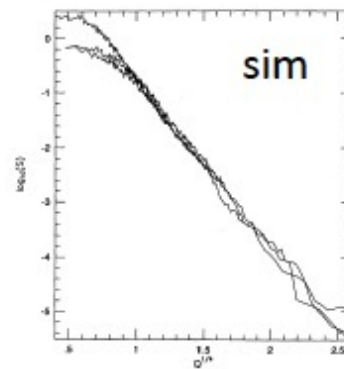
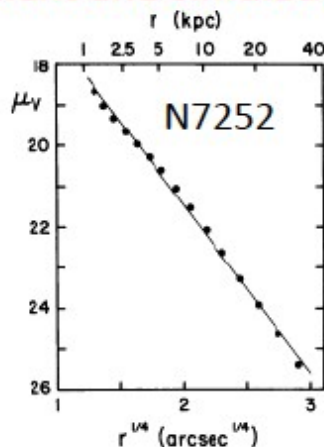


FIG. 3.—Projected surface brightness S as a function of the fourth root of the elliptical coordinate Q , for the luminous remnant of model 3. Results are shown for viewing angles along the three principal axes of the remnant. The top curve at $Q^{1/4} = 0.5$ is the view down the long axis of the remnant. The other two views give results essentially identical to each other.

464

HERNQUIST

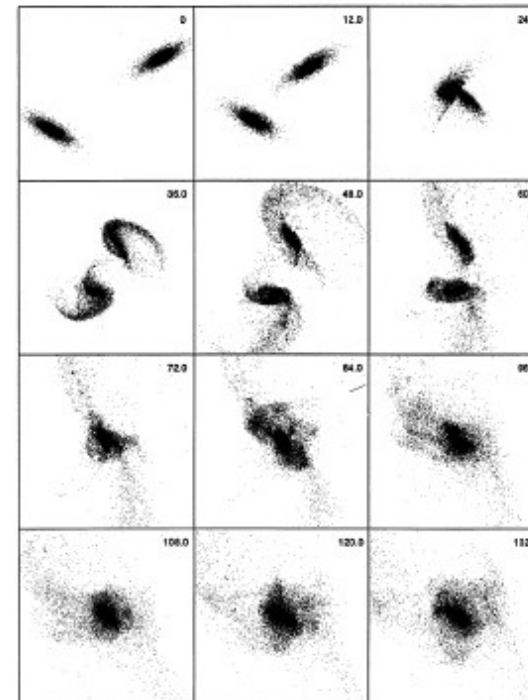
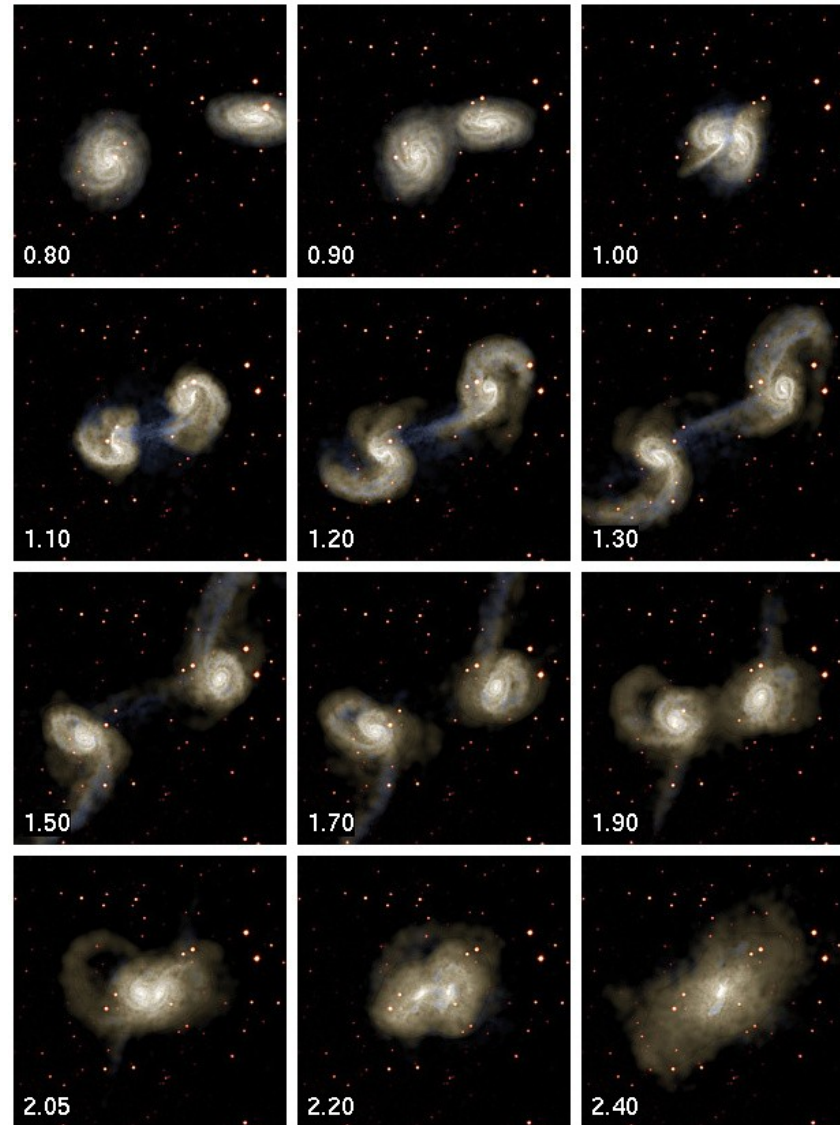


FIG. 2.—Time history of model 4, projected onto the orbit plane. Each panel measures 20 length units per edge and displays time in the upper right. The $N = 16,384$ particles in each disk are shown, but, for clarity, halo particles are suppressed.

Hernquist 1992

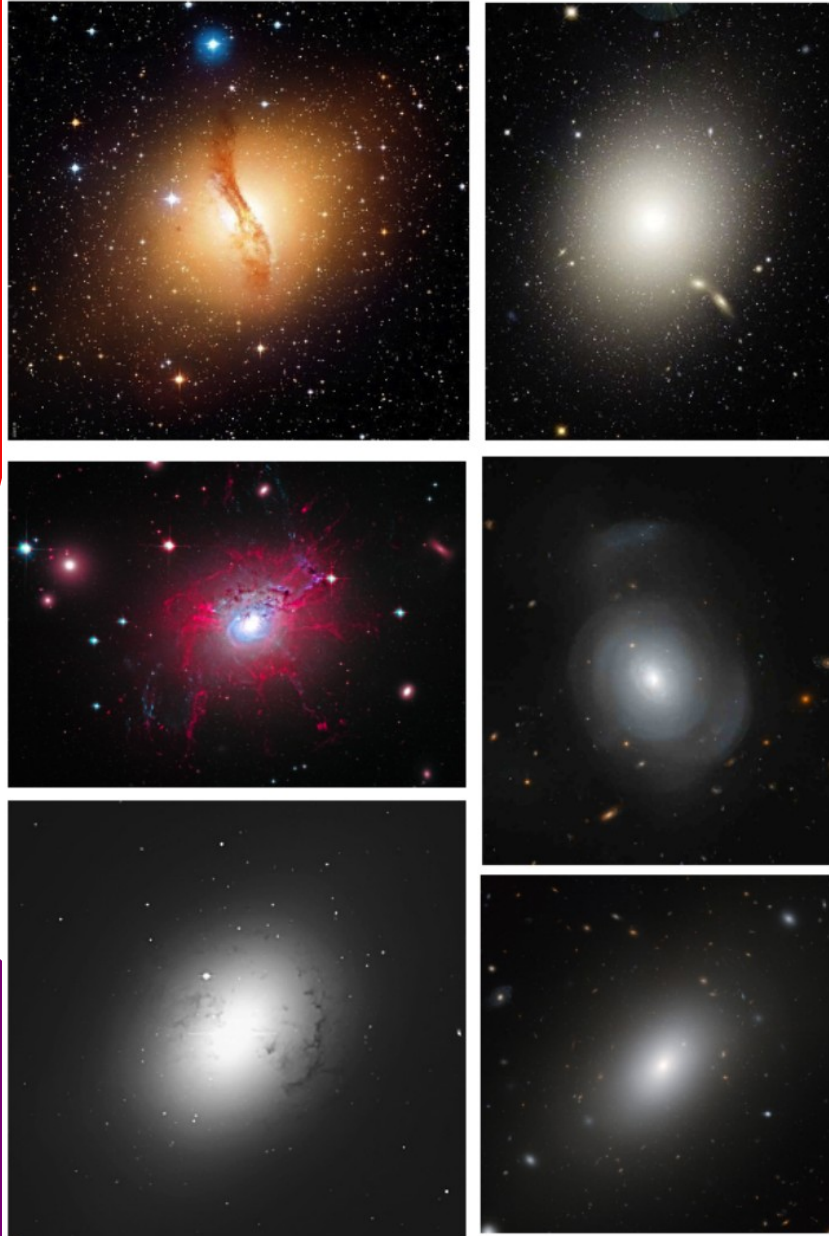
¿Cómo se forman las Elípticas?



Millenium simulation

<https://www.youtube.com/watch?v=YCbljZEtmcY>

Galaxias elípticas



- Las galaxias más grandes del universo
- Entre las galaxias más antiguas. La mayoría de sus estrellas se formaron en las épocas tempranas en el universo
- Pocas o ninguna formación estelar
- Poco o nada de polvo o gas frío
- Poca o ninguna sub-estructura estelar dentro de la galaxia
- Las formas de las isofotas casi elípticas
- Cinemática dominada por la dispersión

¡PERO! Gran diversidad y complejidad en E's!

