

Astronomía Extragaláctica

Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

Profesores: Favio R. Faifer y Sergio A. Cellone

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata, Argentina

curso 2023

Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

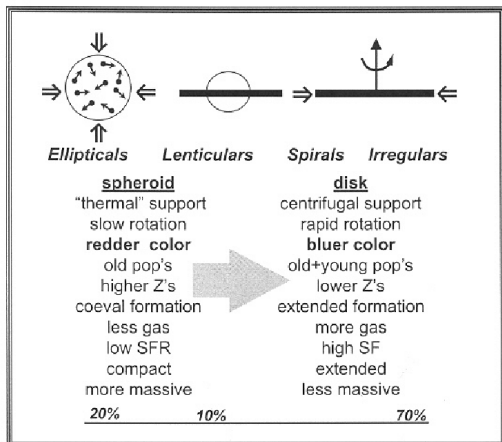
Característica distintiva de las S y S0



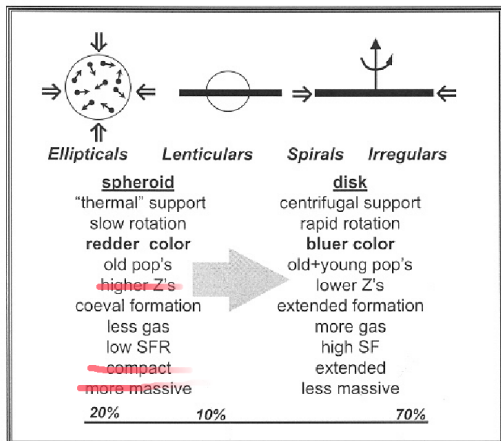
Disco estelar notable y extendido



galaxias de disco



$$M_B \lesssim -18$$



$$M_B \gtrsim -18$$

$$\cos^2(i) = \frac{(1 - \epsilon)^2 - q_0^2}{1 - q_0^2}$$

ϵ : elipticidad (medida)

$q_0 = 0,11 \rightarrow 0,20$: achatamiento intrínseco

(Courteau, S. 1997, AJ, 114, 2402)

Perfil de brillo superficial

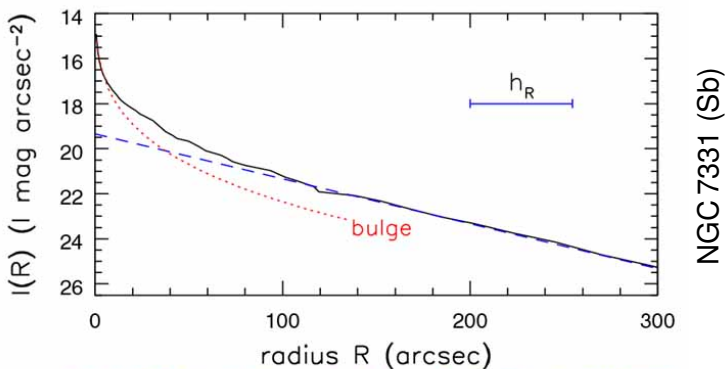


Fig 5.4 (R. Peletier) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Perfil de brillo superficial

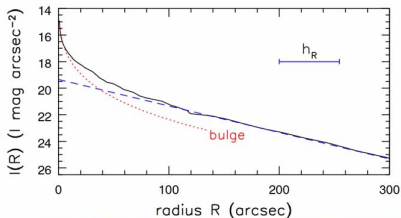


Fig 5.4 (R. Peletier) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



$$\text{banda } I \rightarrow \begin{aligned} \mu(r=0) &\simeq 15 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ \mu(r=300'') &\simeq 25 \text{ mag arcsec}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{cielo}} &\simeq 19,9 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ I(r=0) &\simeq 100 \times I_{\text{cielo}} \\ I(r=300'') &\simeq 0,01 \times I_{\text{cielo}} \end{aligned}$$

Perfil de brillo superficial

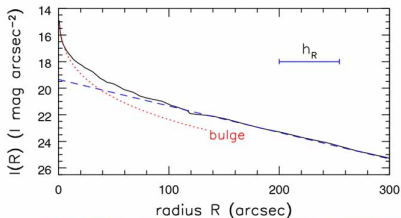


Fig 5.4 (R. Peletier) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

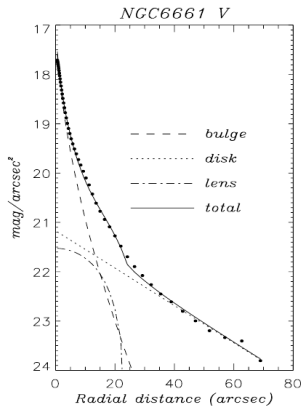
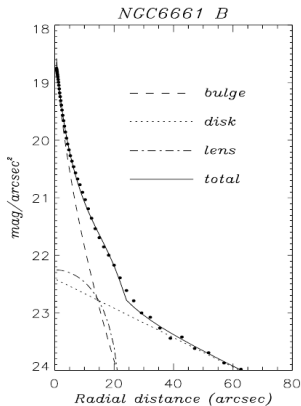


$$\text{banda } I \rightarrow \begin{aligned} \mu(r=0) &\simeq 15 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ \mu(r=300'') &\simeq 25 \text{ mag arcsec}^{-2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{cielo}} &\simeq 19,9 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ I(r=0) &\simeq 100 \times I_{\text{cielo}} \\ I(r=300'') &\simeq 0,01 \times I_{\text{cielo}} \end{aligned}$$

Componentes estructurales

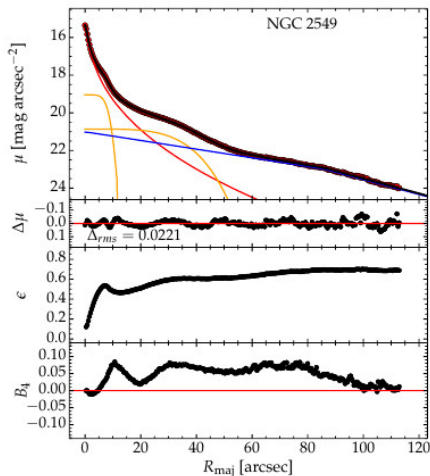
Bulbos, discos, lentes y barras



(Prieto et al. 2001, A&A 367, 405)

Componentes estructurales

Bulbos, discos, lentes y barras



(Ciambur B., 2016, PASA, 33, 62.)

Hasta fines s XX:

bulbo: Ley de *de Vaucouleurs* (LdV)

$$I_B(r) = I_e \exp \left\{ -7,67 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right] \right\}$$

disco: Ley exponencial

$$I_D(r) = I_0 e^{-\left(\frac{r}{r_0}\right)}$$

Actualmente:

bulbo: Ley de Sérsic

$$I(r) = I_e e^{-b_n \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]} \quad (n \leq 4),$$

disco: Ley exponencial

$$I_D(r) = I_0 e^{-\left(\frac{r}{r_0} \right)}$$

Componentes estructurales

Lentes, barras elíptica y planas, anillos

$$I_{\text{lens}}(r) = I_{0,\text{lens}} \left[1 - \left(\frac{r}{r_{0,\text{lens}}} \right)^2 \right] \quad (r \leq r_{0,\text{lens}}).$$

$$I_{\text{bar}}(x, y) = I_{0,\text{bar}} \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a_{\text{bar}}} \right)^2 - \left(\frac{y}{b_{\text{bar}}} \right)^2}, \quad (1)$$

$$I_{\text{bar}}(r) = \frac{I_{0,\text{bar}}}{1 + e^{\frac{r-\alpha}{\beta}}},$$

$$I_{\text{ring}}(r) = I_{0,\text{ring}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r-r_{0,\text{ring}}}{\sigma} \right)^2}.$$

Componentes estructurales

Lentes, barras elíptica y planas, anillos

$$I_{\text{lens}}(r) = I_{0,\text{lens}} \left[1 - \left(\frac{r}{r_{0,\text{lens}}} \right)^2 \right] \quad (r \leq r_{0,\text{lens}}).$$

$$I_{\text{bar}}(x, y) = I_{0,\text{bar}} \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a_{\text{bar}}} \right)^2 - \left(\frac{y}{b_{\text{bar}}} \right)^2}, \quad (1)$$

$$I_{\text{bar}}(r) = \frac{I_{0,\text{bar}}}{1 + e^{\frac{r-\alpha}{\beta}}},$$

$$I_{\text{ring}}(r) = I_{0,\text{ring}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r-r_{0,\text{ring}}}{\sigma} \right)^2}.$$

Componentes estructurales

Lentes, barras elíptica y planas, anillos

$$l_{\text{lens}}(r) = l_{0,\text{lens}} \left[1 - \left(\frac{r}{r_{0,\text{lens}}} \right)^2 \right] \quad (r \leq r_{0,\text{lens}}).$$

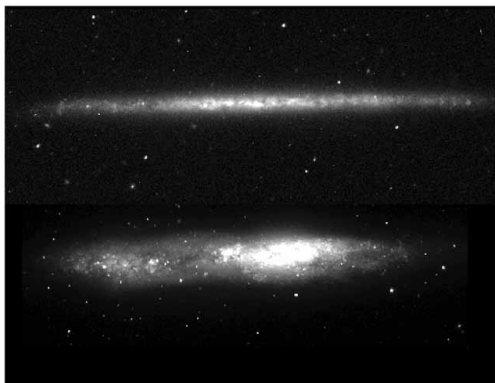
$$l_{\text{bar}}(x, y) = l_{0,\text{bar}} \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a_{\text{bar}}} \right)^2 - \left(\frac{y}{b_{\text{bar}}} \right)^2}, \quad (1)$$

$$l_{\text{bar}}(r) = \frac{l_{0,\text{bar}}}{1 + e^{\frac{r-\alpha}{\beta}}},$$

$$l_{\text{ring}}(r) = l_{0,\text{ring}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{r-r_{0,\text{ring}}}{\sigma} \right)^2}.$$

$$I(r, z) = I(r) e^{-\frac{|z|}{h_z}} \quad (h_z \approx 0,1 h_r)$$

Donde usualmente $I(r)$ es una ley exponencial.



UGC 7321 (Sd)
("superdelgada")

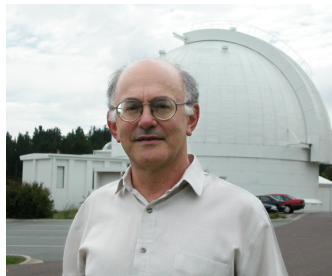
NGC 55 (SBm)

Fig 5.7 (Matthews, Ferguson)'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

(Freeman, 1970, ApJ, 160, 811)

$$\mu_0(B) \simeq 21,7 \text{ mag arcsec}^{-2}$$

para 28/36 galaxias S (RC)

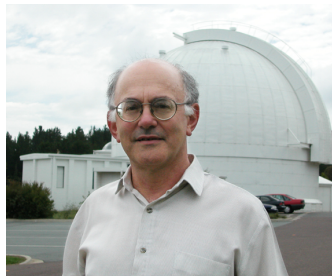


¿Astrofísica o efecto de selección?

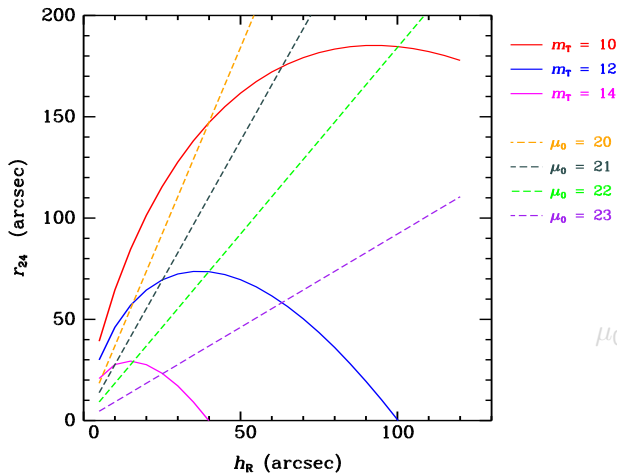
(Freeman, 1970, ApJ, 160, 811)

$$\mu_0(B) \simeq 21,7 \text{ mag arcsec}^{-2}$$

para 28/36 galaxias S (RC)



¿Astrofísica o efecto de selección?



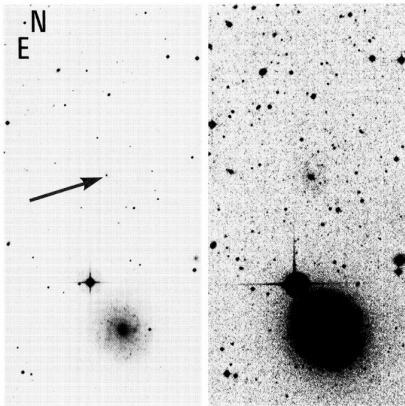
$$\mu_0 \lesssim 22 \text{ mag arcsec}^{-2}$$



r_{24} es máximo

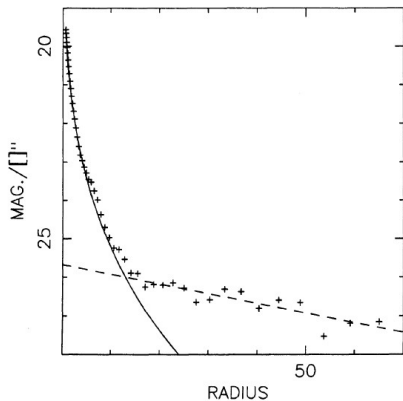
Espiraes LSB

Malin 1

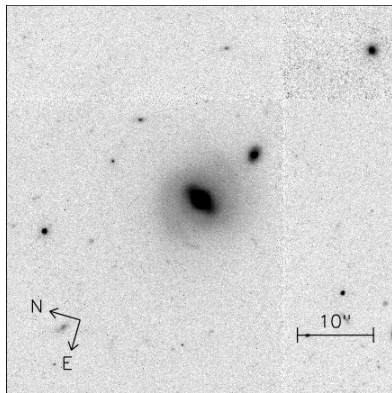


(Bothun, Impey, Malin, 1987, AJ, 94, 23)





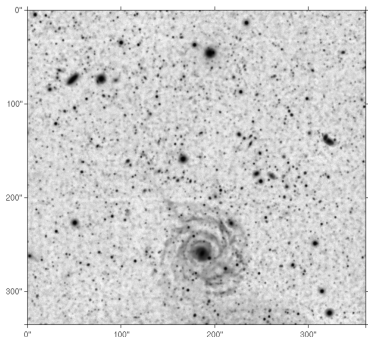
(Bothun, Impey, Malin, 1987, AJ, 94, 23)



(Barth, 2007, AJ, 133, 1085)

Espirales LSB

Malin 1 - Imágenes profundas de gran campo

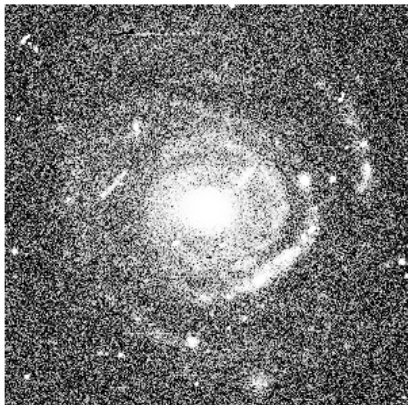


(Gaspar Galaz et al. 2015, ApJ, 815, L29)

Combinación de imágenes g y r (telescopio Magallanes 6.5m). Se distinguen el bulbo y una clara estructura espiral + *stream* (derrame), posible interacción pasada (estructuras de hasta $\sim 28 \text{ mag arcsec}^{-2}$). Diámetro de Malin 1: 160 kpc.

Espiraes LSB

Malin 2



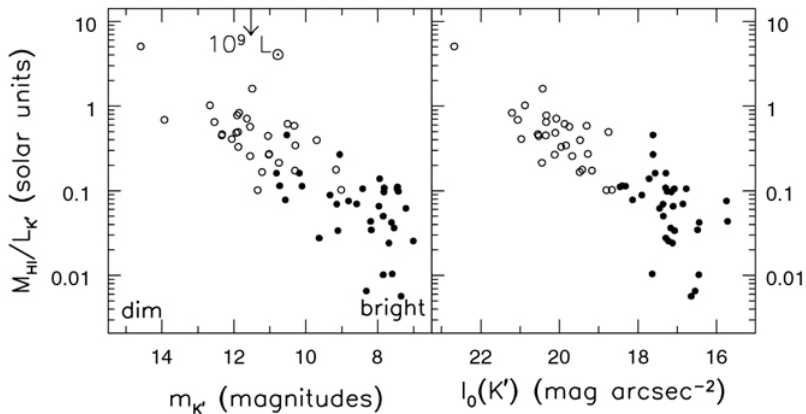
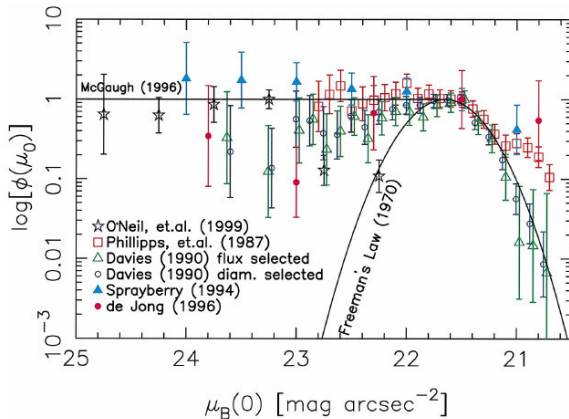


Fig 5.8 (M. Verheijen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



Distribución de brillo superficial central en distintas muestras observadas (O'Neil & Bothun, 2000, ApJ, 529, 811).

Elipsoide; contenido estelar:

- población estelar vieja
- y de alta metalicidad



NGC 3115
S0



M 104
Sa



M 33
Sc



SMC
Im

El bulbo

NGC 5054 (Sb) - NGC 1365 (SBbc)



ESO PR Photo 06a/99 (27 February 1999)

Barred Galaxy NGC 1365
(VLT UT1 + FORS1)

© European Southern Observatory



Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco**
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

a lo largo de la secuencia de Hubble:

- aumenta la s.f.r. (en el disco)
- decrece la fracción $\frac{B}{D}$

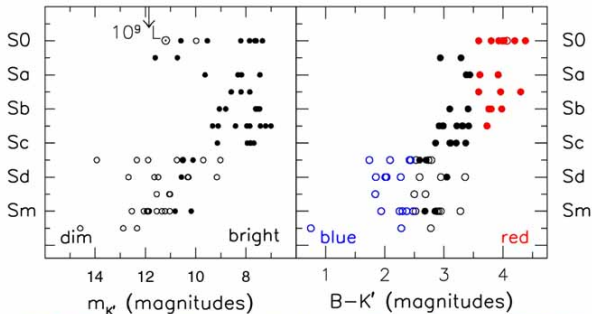
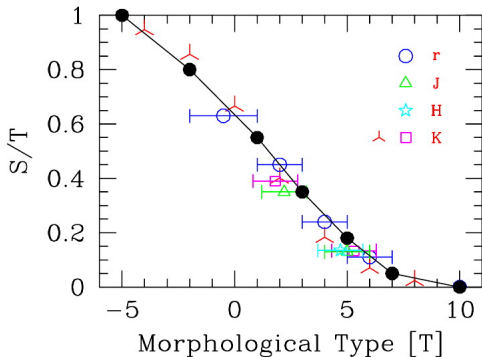


Fig 5.6 (M. Verheijen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

La relación bulbo - disco

a lo largo de la secuencia de Hubble:

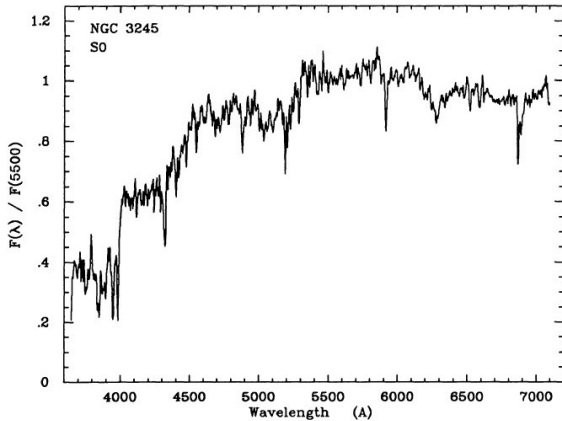
- aumenta la s.f.r. (en el disco)
- decrece la fracción $\frac{B}{D}$



La secuencia de galaxias de disco

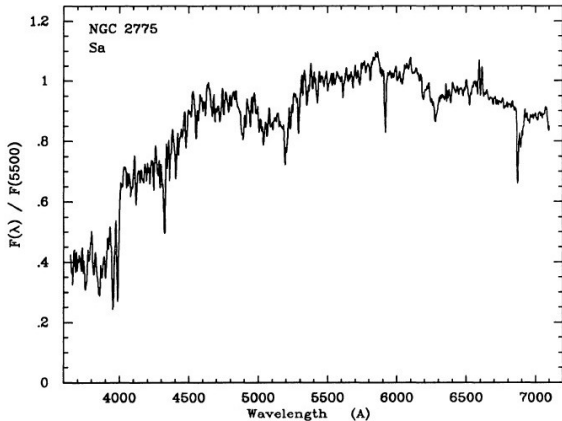
Característica	S0 – Sa	Sd – Sm
Brazos espirales	≠ o apretados	abiertos
Color – TE	rojo: ★ G tardía	azul: ★ F tardía
$B - V$	0,7 → 0,9	0,4 → 0,8
Estrellas jóvenes	pocas	relativ. muchas
Regiones HII	pocas, pequeñas	muchas, luminosas
Gas frío	poco	mucho
$\mathcal{M}(\text{HI})/\mathcal{L}_B$	$\lesssim 0,05 \rightarrow 0,1$	$\sim 0,25 \rightarrow > 1$
\mathcal{L}_B	$(1 \rightarrow 4)10^{10} \mathcal{L}_\odot$	$(< 0,1 \rightarrow 2)10^{10} \mathcal{L}_\odot$
l_0	alto	bajo
$\mathcal{M}(< R)$	$(0,5 \rightarrow 3)10^{11} \mathcal{M}_\odot$	$(< 0,2 \rightarrow 1)10^{11} \mathcal{M}_\odot$
Rotación	$\frac{dV(R)}{dR}$ alta	$\frac{dV(R)}{dR}$ baja
B/D	alta	baja

Espectros ópticos



galaxia S0

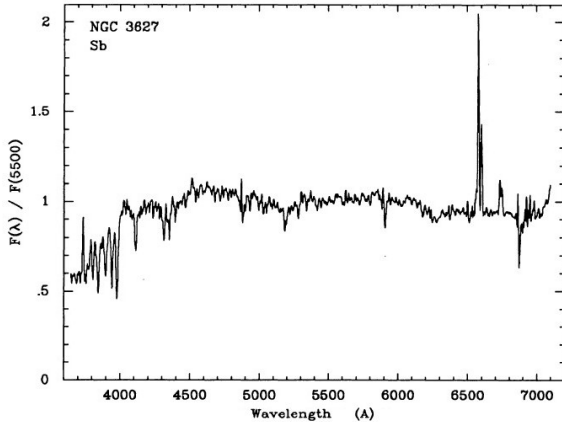
(Kennicutt 1992)



galaxia Sa

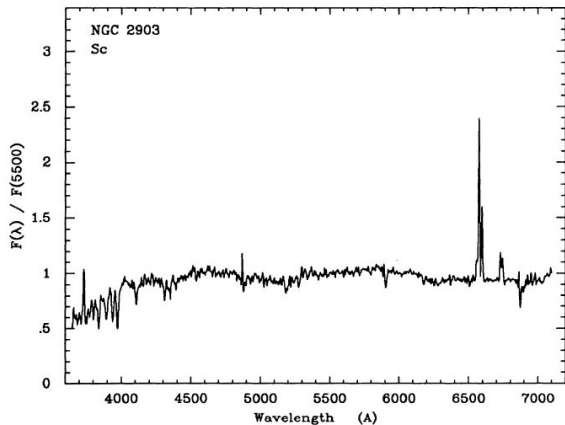
(Kennicutt 1992)

Espectros ópticos



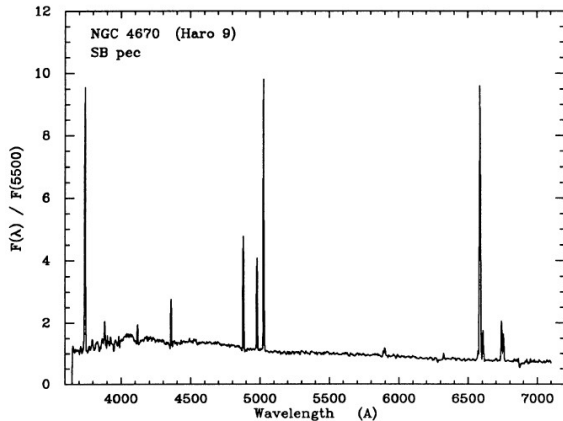
galaxia Sb

(Kennicutt 1992)



galaxia Sc

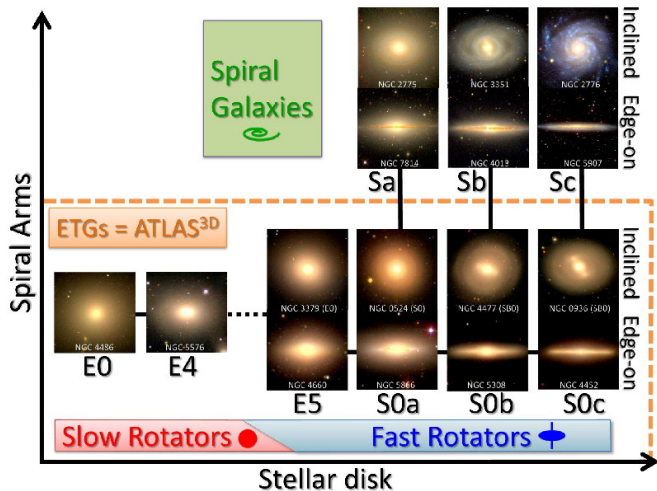
(Kennicutt 1992)



galaxia Sm

(Kennicutt 1992)

Clasificación cinemática

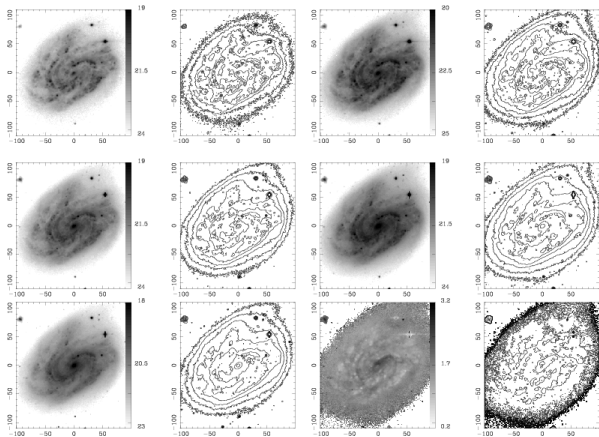


(Cappellari et al. 2011, MNRAS, 416, 1680)

Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares**
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

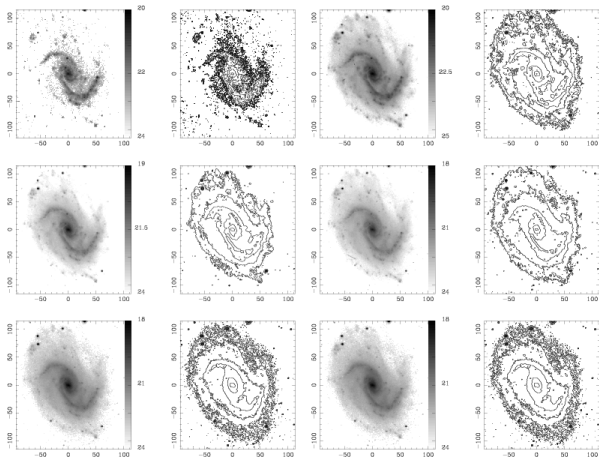
Distribución de poblaciones estelares



U	B
V	R
I	$B-I$

NGC 157
(SABbc)

Distribución de poblaciones estelares



U	B
V	R
I	$B - I$

NGC 895
(Scd)

Distribución de poblaciones estelares

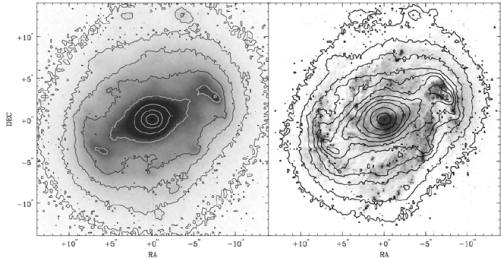
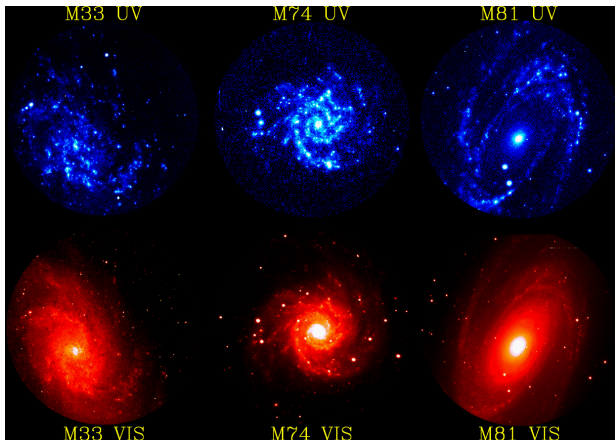


Fig 5.9 (J. Knapen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Región central de M 100 (NGC 4321) en óptico (HST, *izq.*) en banda K ($2,2 \mu\text{m}$) (*centro*) y en H_{α} (*der.*) + contornos K .

Regiones de formación estelar

Observaciones en ultravioleta lejano



Ultravioleta
lejano
(UIT)
 $\lambda = 1521 \text{ \AA}$

óptico

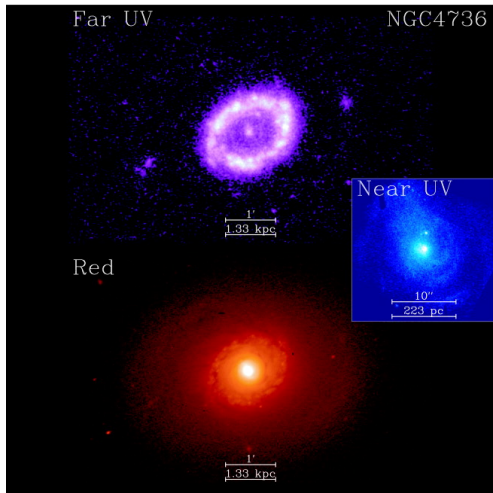
Scd

Sc

Sb

Regiones de formación estelar

Observaciones en ultravioleta lejano



M 94
(Sab)

FUV (UIT) $\lambda = 1521 \text{ \AA}$
NUV (HST) $\lambda = 2300 \text{ \AA}$

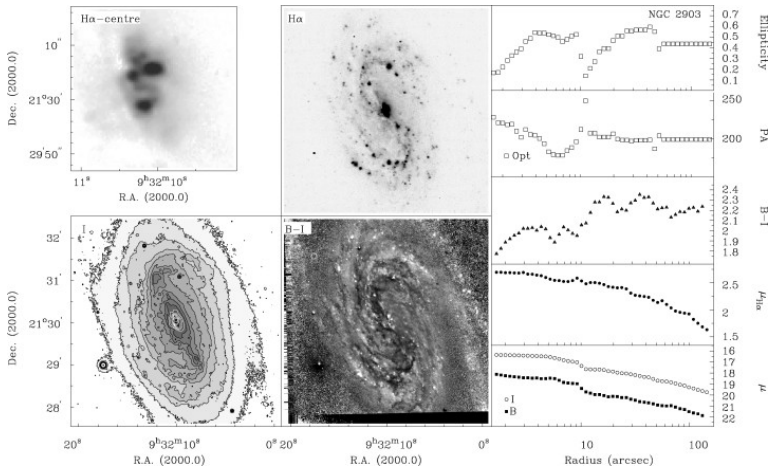
(Waller et al. 2001, AJ, 121,
1395)

Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas**
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

Regiones de formación estelar

Emisión $H\alpha$

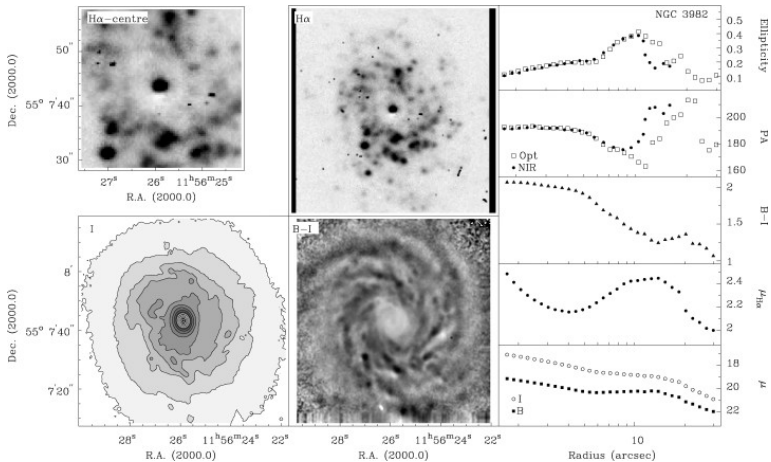


NGC 2903 (SBd)

(Knapen et al., 2002, MNRAS, 337, 808)

Regiones de formación estelar

Emisión $H\alpha$

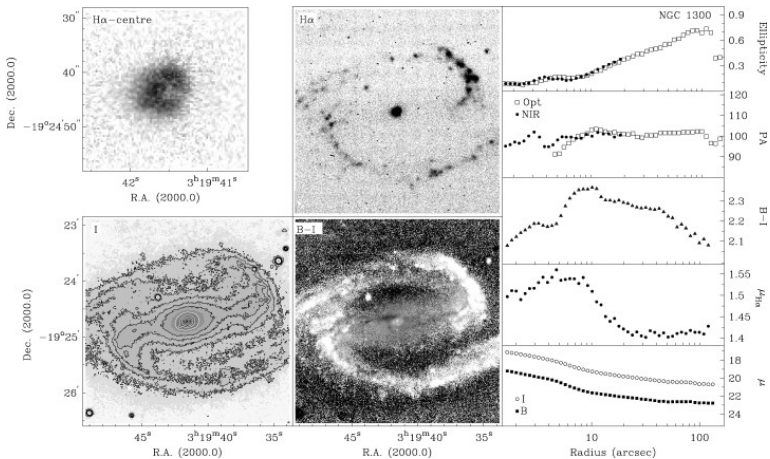


NGC 3982 (SABb)

(Knapen et al., 2002, MNRAS, 337, 808)

Regiones de formación estelar

Emisión $H\alpha$

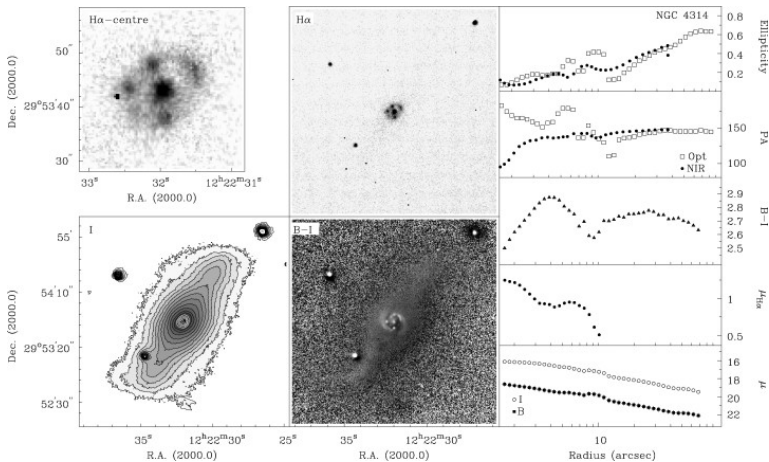


NGC 1300 (SBbc)

(Knapen et al., 2002, MNRAS, 337, 808)

Regiones de formación estelar

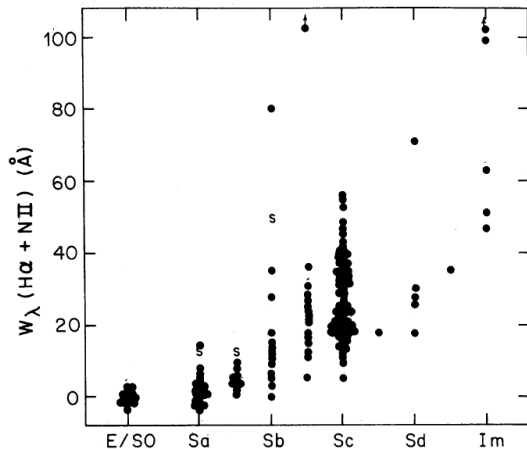
Emisión $H\alpha$



NGC 4314 (SBa)

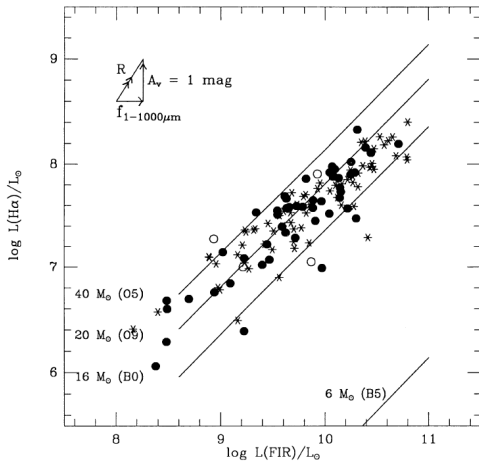
(Knapen et al., 2002, MNRAS, 337, 808)

Relación $H\alpha$ - tipo de Hubble



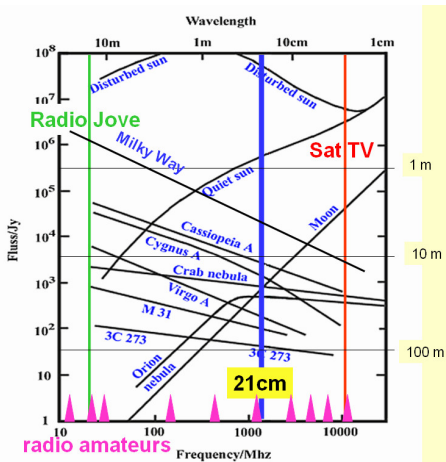
(Kennicutt & Kent 1983, AJ, 88, 1094)

Relación $H\alpha$ - FIR



(Devereux & Young 1990, ApJ, 350, L25)

Espectros de fuentes térmicas y no térmicas



Poder resolvente de un telescopio:

$$\theta \simeq \frac{\lambda}{D}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{radio}} &\sim 10^{-1} \text{ m} \\ \lambda_{\text{óptico}} &\sim 5 \times 10^{-7} \text{ m}\end{aligned}$$

para $\lambda = 21 \text{ cm}$:

Nombre	D (m)	θ (arcmin)
IAR	30	24
Efflesberg	100	7
FAST (China)	500	1.4

Para $\theta = 1''$ (típico en el óptico) $\rightarrow D \sim 40 \text{ km}$

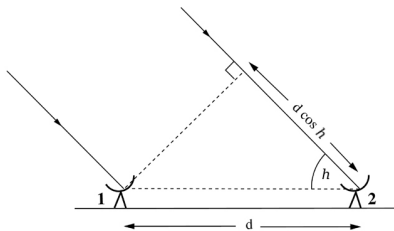


Fig 5.11 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



Hidrógeno neutro

Distribución espacial

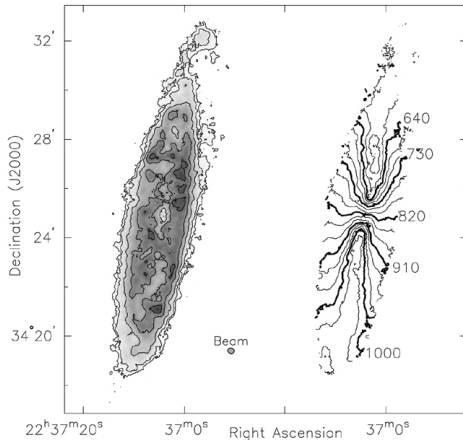


Fig 5.13 (Thorley & Bambi) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

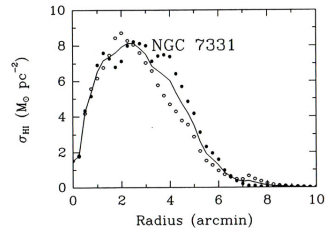


Fig 5.14 (K. Boggan) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Hidrógeno neutro

Distribución espacial

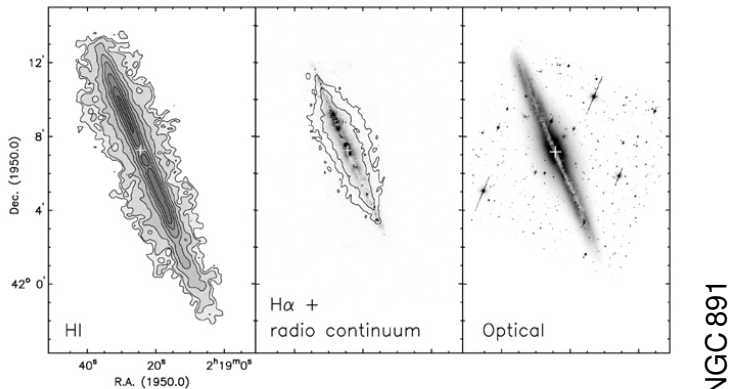


Fig 5.16 (Swaters & Rand) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Hidrógeno neutro

Anillos polares

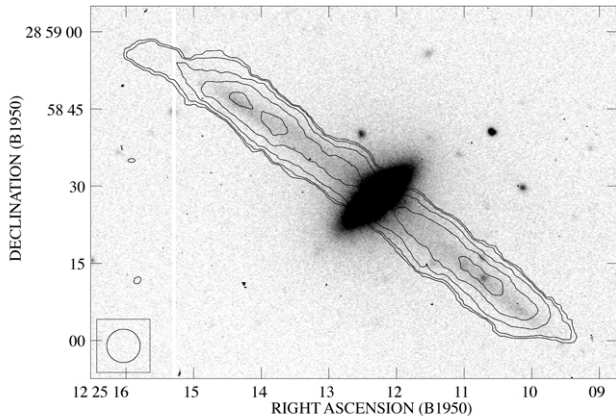


Fig 5.17 (A. Cox) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica**
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

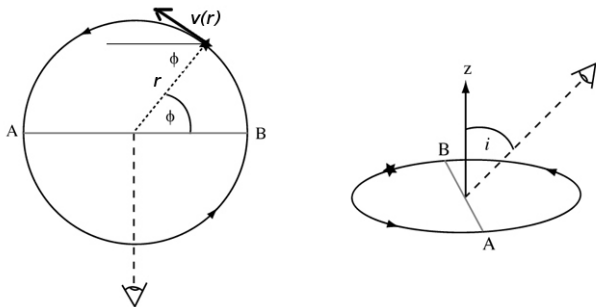


Fig 5.18 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

$$V_r(R, i) = V_{\text{sis}} + V(R) \sin(i) \cos(\psi)$$

La curva de rotación

Diagrama de araña

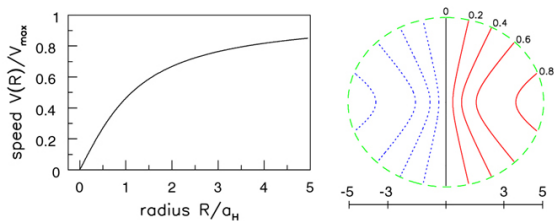


Fig 5.19 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

$$4\pi G \rho_H(r) = \frac{V_H^2}{r^2 + \sigma_H^2}$$

La curva de rotación

Diagrama de araña

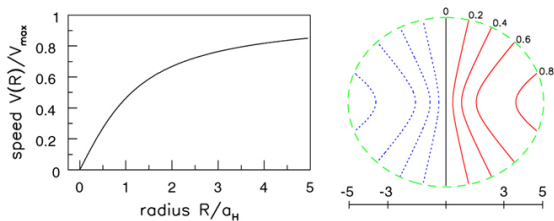
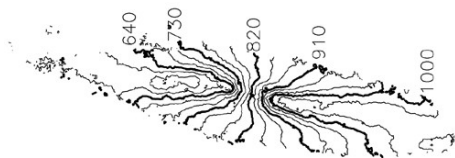


Fig 5.19 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

$$4\pi G \rho_H(r) = \frac{V_H^2}{r^2 + \sigma_H^2}$$



NGC 7331

Diagrama de
araña

La curva de rotación

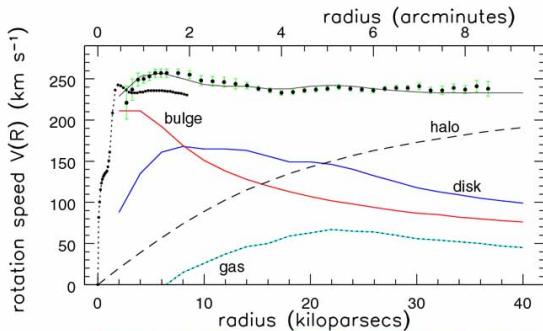
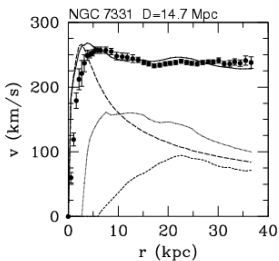
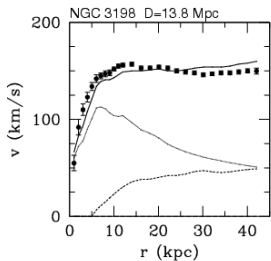
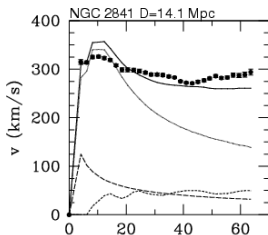
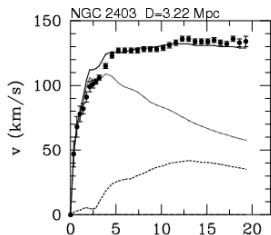


Fig 5.20 (Begeman, Sofue) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

NGC 7331

$$V(R) \approx \text{cte} \quad \Rightarrow \quad \omega(R) = \frac{V(R)}{R} \text{ es decreciente}$$
$$\Rightarrow \text{rotación diferencial}$$

La curva de rotación



Modified Newton
Dynamics
(MOND)

NGC 2403 (Scd),
NGC 2841 (Sb),
NGC 3198 (Sc) y
NGC 7331 (Sb)

(Bottema et al. 2002, A&A
393, 453)

La relación Tully-Fisher

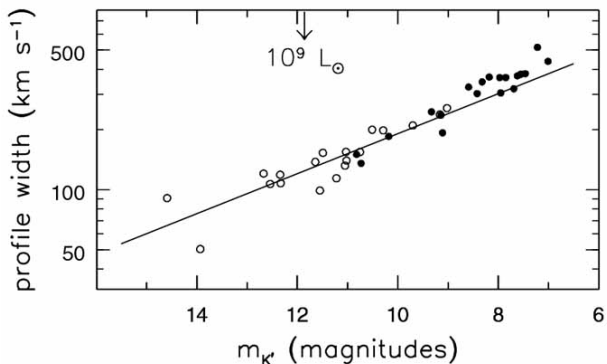


Fig 5.23 (M. Verheijen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral**
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

Tipos de espirales



NGC 2903 (Sc)

grand design

Brazos bien definidos



NGC 7793 (Sbc)

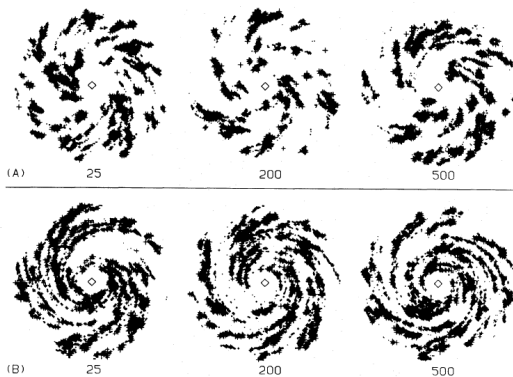
flocculent

Varios fragmentos de brazos

Espirales tipo “grumoso” (*flocculent*)

Formación estelar estocástica autopropagada (SSPSF)

(Gerola & Seiden 1978, ApJ, 223, 129)



Espirales tipo *grand design*

$$\cos \{m[\phi + f(R, t)]\} = 1$$

$$\frac{1}{\tan i} = \left| R \frac{\partial \phi}{\partial R} \right| = \left| R \frac{\partial f}{\partial R} \right|$$

i (pitch angle) Sa: $\langle i \rangle \simeq 5^\circ$ \rightarrow Sc: $10 < i < 30^\circ$

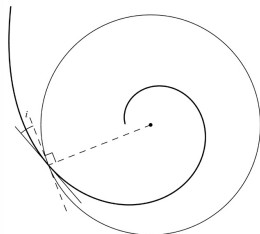
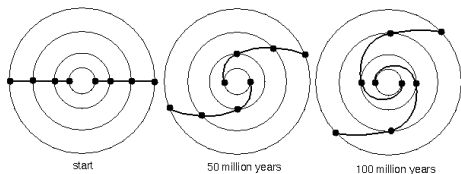


Fig 5.28 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

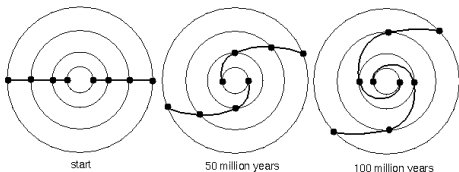
Espirales tipo “gran diseño” (*grand design*)



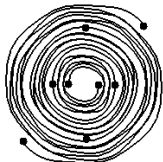
Differential rotation: stars near the center take less time to orbit the center than those farther from the center. Differential rotation can create a spiral pattern in the disk in a short time.

(Copyrighted, 1998 – 2006 by Nick Strobel)

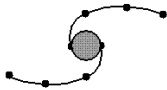
Espirales tipo “gran diseño” (*grand design*)



Differential rotation: stars near the center take less time to orbit the center than those farther from the center. Differential rotation can create a spiral pattern in the disk in a short time.



Prediction: 500 million years



Observation: 15,000 million years

The “winding problem”: because of differential rotation, the spiral arms should be so wound up after a short time that the spiral structure has disappeared. Observation contradicts the prediction. What keeps the spiral’s loose?

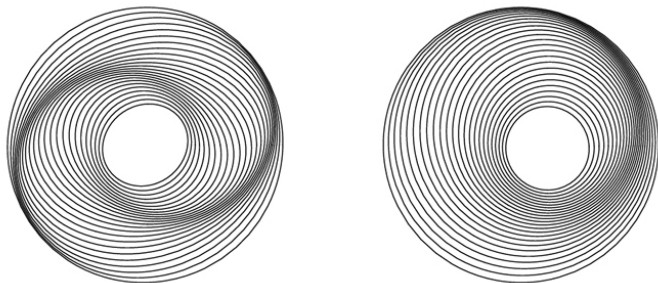
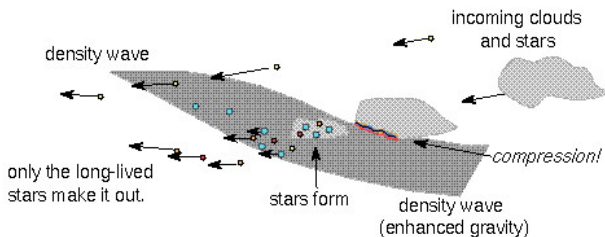
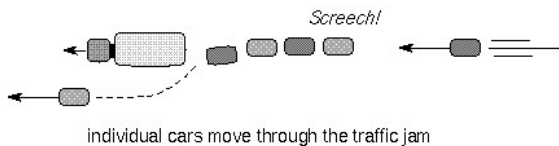


Fig 5.29 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Para una espiral de m brazos: $\psi = m\phi_g(0) \Rightarrow \Omega_p = \Omega - \frac{\kappa}{m}$

Ondas de densidad



Ondas de densidad

Resonancias de Lindblad

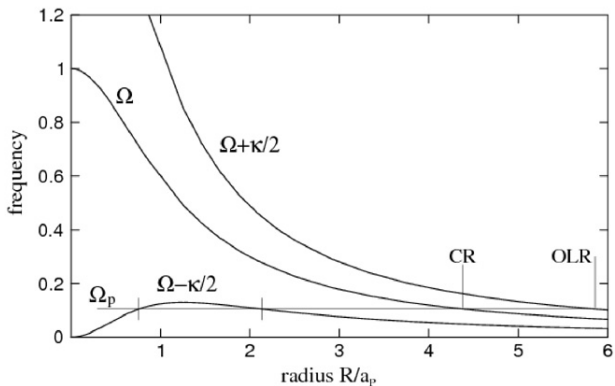


Fig 5.30 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Ondas de densidad

Gas - polvo

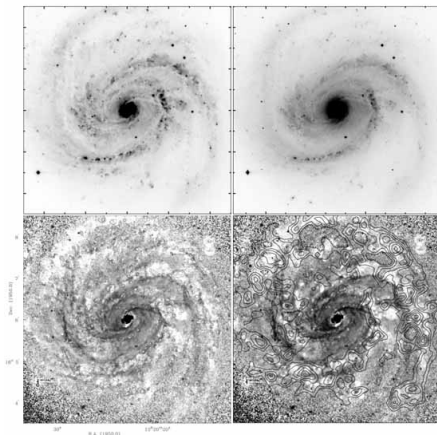


Fig 5.26 (J. Knapen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

¿Qué es lo que mantiene la onda?

- fuerza interna debida a barra en rotación
- galaxia compañera



Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras**
- 8 El origen de las S0



Fig 5.32 (WIYN) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

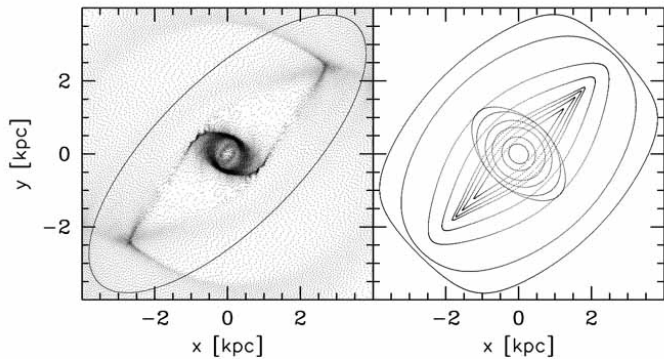


Fig 5.33 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 1 Distribución de brillo superficial
- 2 La secuencia de las galaxias de disco
- 3 Distribución de poblaciones estelares
- 4 El gas
- 5 Cinemática - dinámica
- 6 La estructura espiral
- 7 Barras
- 8 El origen de las S0

Similitudes entre S y S0:

- componentes estructurales: bulbos, pseudo-bulbos, discos, barras, anillos, etc.

Similitudes entre E y S0:

- poblaciones estelares viejas, sin gas frío ni polvo.
- sin estructura espiral.

Observaciones:

- en los ambientes de alta densidad, aumenta el número de S0 y disminuye el de S (Dressler et al., 1980).
- la frecuencia de las S disminuye desde $z = 1$, mientras que el de las S0 aumenta (Dressler et al., 1997).

Similitudes entre S y S0:

- componentes estructurales: bulbos, pseudo-bulbos, discos, barras, anillos, etc.

Similitudes entre E y S0:

- poblaciones estelares viejas, sin gas frío ni polvo.
- sin estructura espiral.

Observaciones:

- en los ambientes de alta densidad, aumenta el número de S0 y disminuye el de S (Dressler et al., 1980).
- la frecuencia de las S disminuye desde $z = 1$, mientras que el de las S0 aumenta (Dressler et al., 1997).

Similitudes entre S y S0:

- componentes estructurales: bulbos, pseudo-bulbos, discos, barras, anillos, etc.

Similitudes entre E y S0:

- poblaciones estelares viejas, sin gas frío ni polvo.
- sin estructura espiral.

Observaciones:

- en los ambientes de alta densidad, aumenta el número de S0 y disminuye el de S (Dressler et al., 1980).
- la frecuencia de las S disminuye desde $z = 1$, mientras que el de las S0 aumenta (Dressler et al., 1997).

Escenarios:

- 1- las galaxias S0 son S que han sido suavemente despojadas de su gas, o bien, han consumido todo el gas frío:
 - Hostigamiento galáctico (*galactic harassment*): efectos de marea
 - Robo del gas por la presión del medio (*ram pressure stripping*): efecto del gas caliente intracúmulo

Problema (Sidney van den Bergh, 2009): ¿existen S0 en el campo, y muchas **en grupos poco densos!**

Escenarios:

- 1- las galaxias S0 son S que han sido suavemente despojadas de su gas, o bien, han consumido todo el gas frío:
 - Hostigamiento galáctico (*galactic harassment*): efectos de marea
 - Robo del gas por la presión del medio (*ram pressure stripping*): efecto del gas caliente intracúmulo

Problema (Sidney van den Bergh, 2009): ¿existen S0 en el campo, y muchas **en grupos poco densos!**

Escenarios posibles:

- 2- encuentros, fusiones menores ($<1:7$) y acreciones sobre los discos de la S pueden transformarlas en S0 (Bekki et al., 1998; Bournaud et al. 2005; Diaz et al. 2018) → esto actúa también en ambientes de baja densidad
- 3- las galaxias S0 surgen como tales (Sil'chenko 2013; Saha et al., 2018) → puede darse la transformación de S0 a S por acreción de gas fresco

Escenarios posibles:

- 2- encuentros, fusiones menores ($<1:7$) y acreciones sobre los discos de la S pueden transformarlas en S0 (Bekki et al., 1998; Bournaud et al. 2005; Diaz et al. 2018) → esto actúa también en ambientes de baja densidad
- 3- las galaxias S0 surgen como tales (Sil'chenko 2013; Saha et al., 2018) → puede darse la transformación de S0 a S por acreción de gas fresco

Escenarios posibles:

- 2- encuentros, fusiones menores ($<1:7$) y acreciones sobre los discos de la S pueden transformarlas en S0 (Bekki et al., 1998; Bournaud et al. 2005; Diaz et al. 2018) → esto actúa también en ambientes de baja densidad
- 3- las galaxias S0 surgen como tales (Sil'chenko 2013; Saha et al., 2018) → puede darse la transformación de S0 a S por acreción de gas fresco

- *Galaxies in the Universe: An Introduction*,
Linda S. Sparke & John S. Gallagher III (Cambridge
University Press, 2nd. Edition, 2000).
- *Galactic Astronomy*,
J. Binney & M. Merrifield (Princeton University Press,
1998).