

Astronomía Extragaláctica

Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

Profesor: Sergio A. Cellone

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas

Universidad Nacional de La Plata, Argentina



curso 2015

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

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

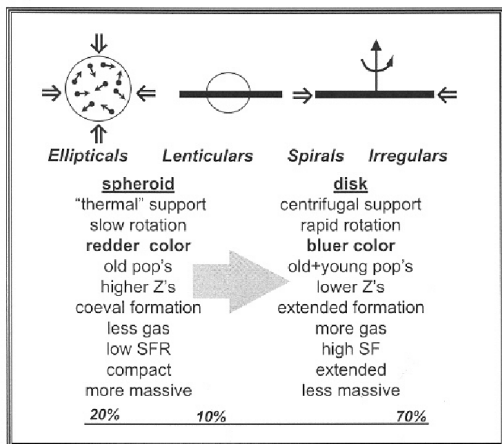
Característica distintiva de las S y S0



Disco estelar notable y extendido

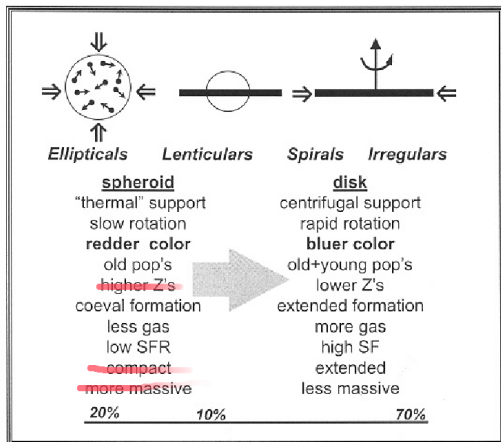


galaxias de disco



$$M_B \lesssim -18$$

(Avila-Reese 2006)



(Avila-Reese 2006)

$$M_B \gtrsim -18$$

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

ϵ : elipticidad (medida)

$q_0 = 0.11 \rightarrow 0.20$: achatamiento intrínseco

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

Perfil de brillo superficial

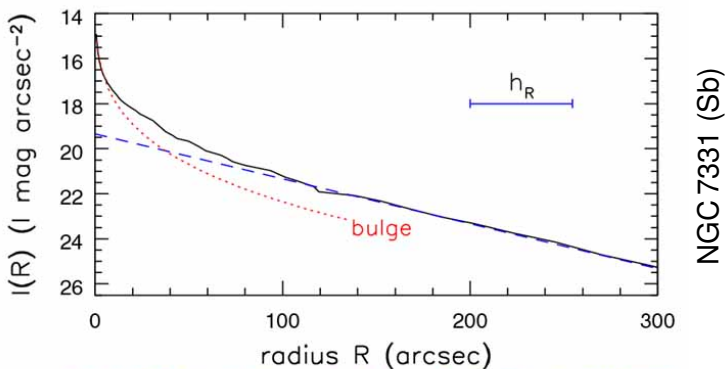


Fig 5.4 (R. Peletier) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Perfil de brillo superficial

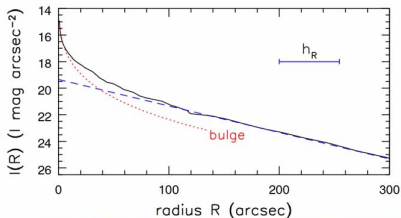


Fig 5.4 (R. Peletier) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



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

$$\begin{aligned} \mu_{\text{cielo}} &\simeq 19.9 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ I(r=0) &\simeq 100 \times I_{\text{cielo}} \\ I(r=300'') &\simeq 0.01 \times I_{\text{cielo}} \end{aligned}$$

Perfil de brillo superficial

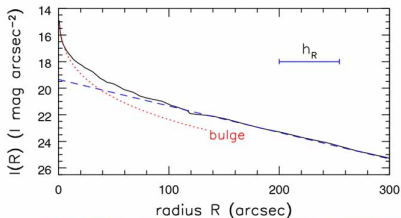
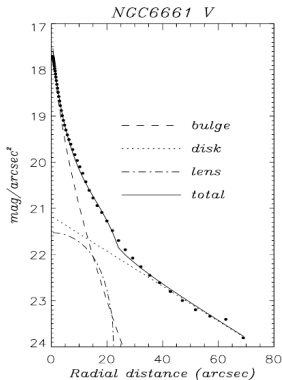
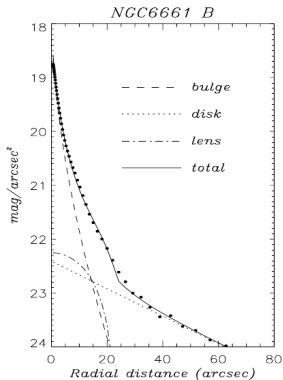


Fig 5.4 (R. Peletier) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



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

$$\begin{aligned} \mu_{\text{cielo}} &\simeq 19.9 \text{ mag arcsec}^{-2} \\ I(r=0) &\simeq 100 \times I_{\text{cielo}} \\ I(r=300'') &\simeq 0.01 \times I_{\text{cielo}} \end{aligned}$$



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

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

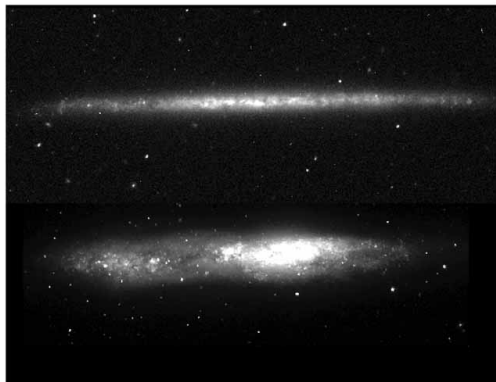
$$I_{\text{lens}}(r) = I_{0,\text{lens}} \left[1 - \left(\frac{r}{r_{0,\text{lens}}} \right)^2 \right] \quad (r \leq r_{0,\text{lens}}).$$

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

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

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

$$I(r, z) = I(r) e^{-\frac{|z|}{h_z}} \quad (h_z \approx 0.1 h_r)$$



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)

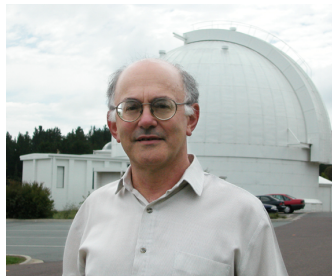


¿Astrofísica o efecto de selección?

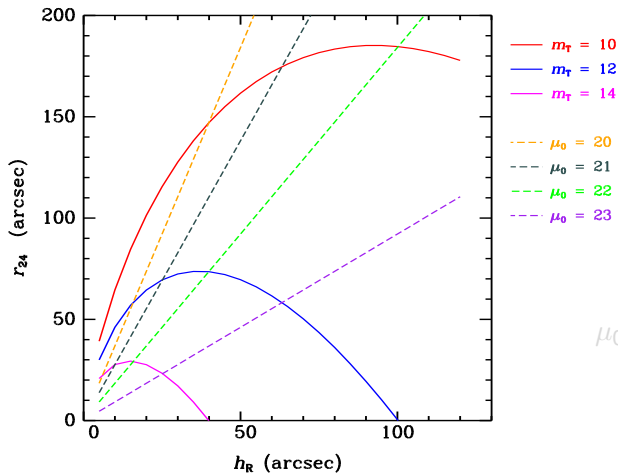
(Freeman, 1970, ApJ, 160, 811)

$$\mu_0(B) \simeq 21.7 \text{ mag arcsec}^{-2}$$

para 28/36 galaxias S (RC)



¿Astrofísica o efecto de selección?



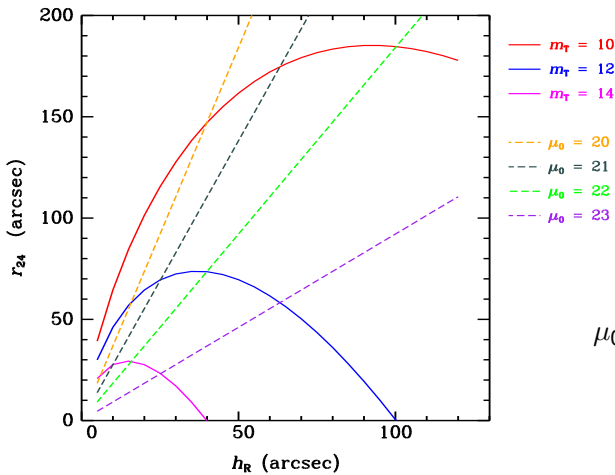
$$\mu_0 \lesssim 22 \text{ mag arcsec}^{-2}$$



r_{24} es máximo

El disco

La ley de Freeman



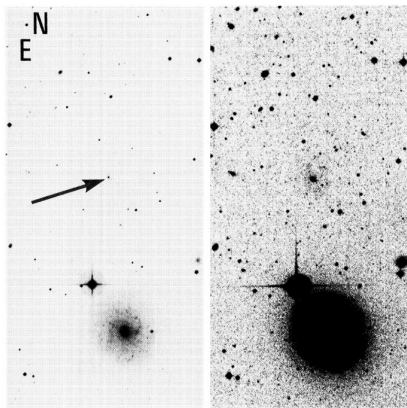
$$\mu_0 \lesssim 22 \text{ mag arcsec}^{-2}$$



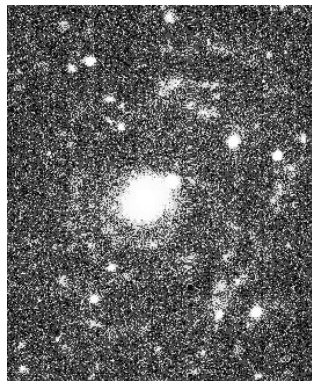
r_{24} es máximo

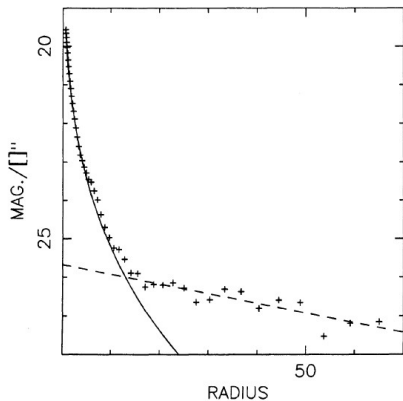
Espiraes LSB

Malin 1

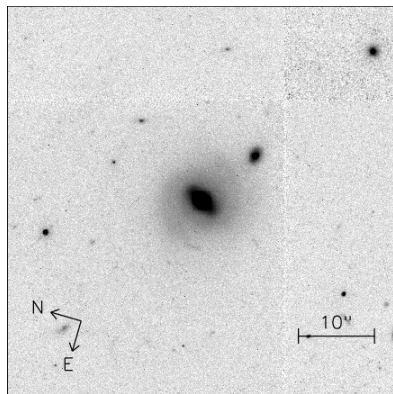


(Bothun, Impey, Malin, 1987, AJ, 94, 23)





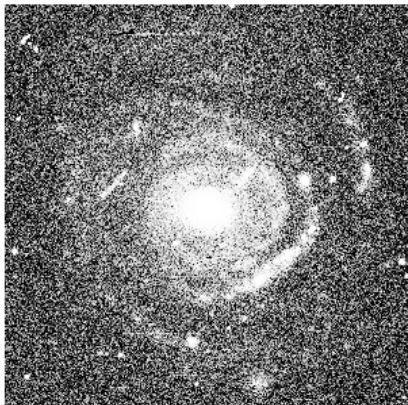
(Bothun, Impey, Malin, 1987, AJ, 94, 23)



(Barth, 2007, AJ, 133, 1085)

Espiraes LSB

Malin 2



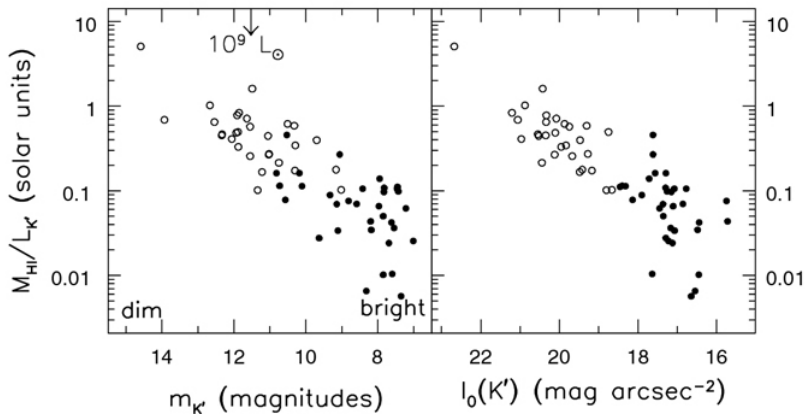


Fig 5.8 (M. Verheijen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

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

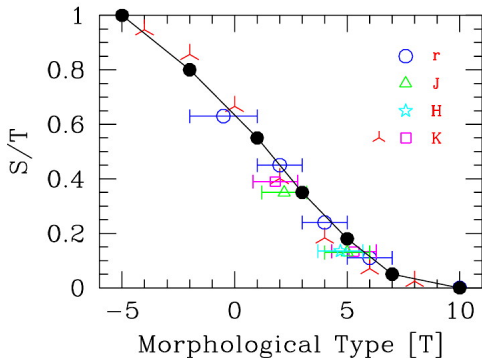


Cap. 4: Galaxias espirales y lenticulares

- 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

a lo largo de la secuencia de Hubble:

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



a lo largo de la secuencia de Hubble:

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

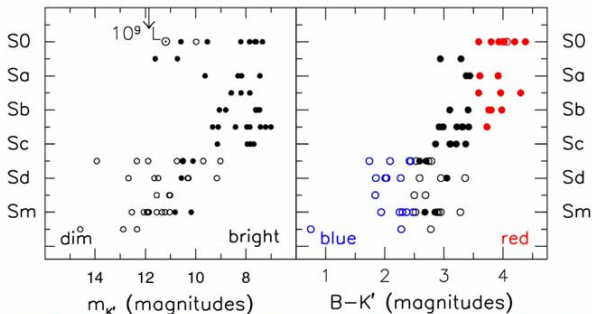
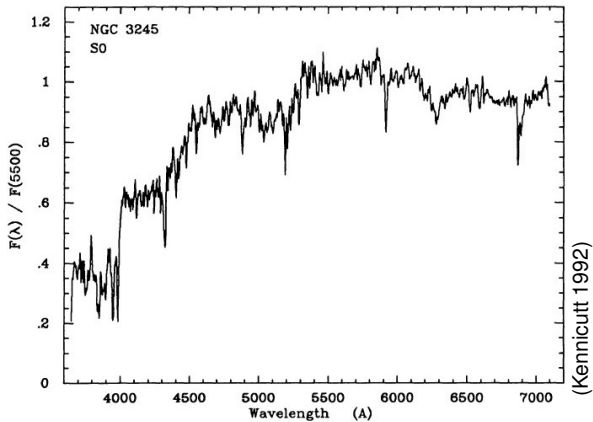


Fig 5.6 (M. Verheijen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

La secuencia de galaxias de disco

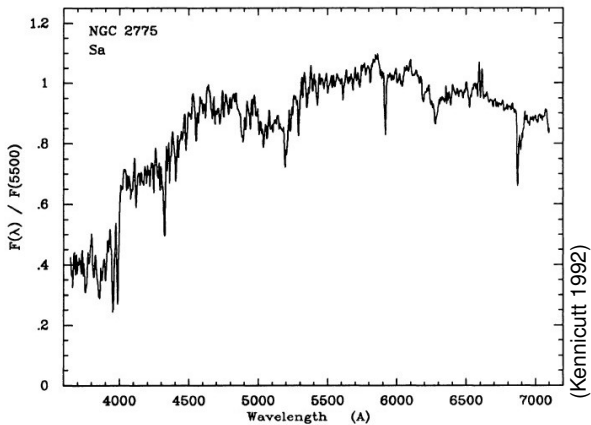
Característica	S0 – Sa	Sd – Sm
Brazos espirales	≠ o apretados	abiertos
Color – TE	rojo: ★ G tardía	azul: ★ F tardía
$B - V$	0.7 → 0.9	0.4 → 0.8
Estrellas jóvenes	pocas	relativ. muchas
Regiones HII	pocas, pequeñas	muchas, luminosas
Gas	poco	mucho
$\mathcal{M}(\text{HI})/\mathcal{L}_B$	$\lesssim 0.05 \rightarrow 0.1$	$\sim 0.25 \rightarrow > 1$
\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	$\frac{dV(R)}{R}$ alta	$\frac{dV(R)}{R}$ baja
B/D	alta	baja

Espectros ópticos

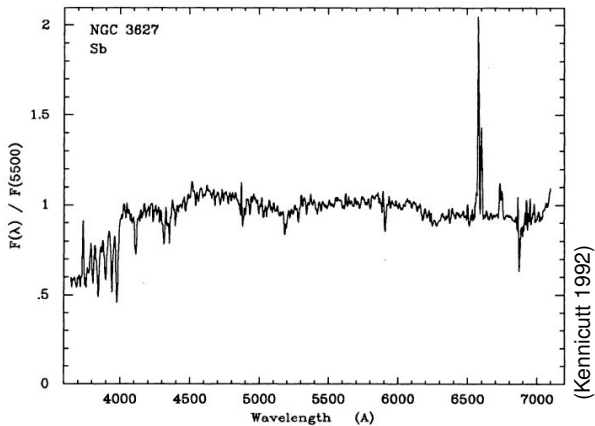


galaxia S0

Espectros ópticos

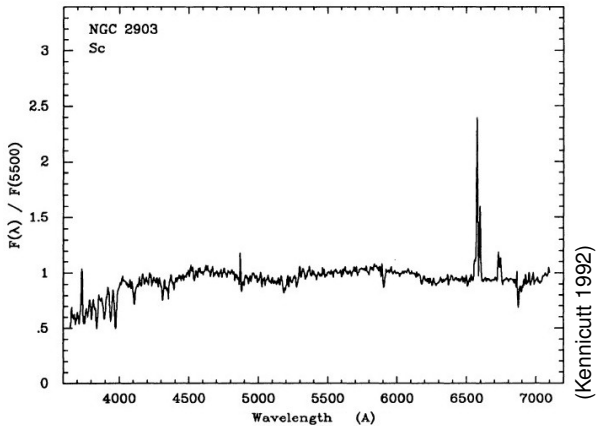


galaxia Sa

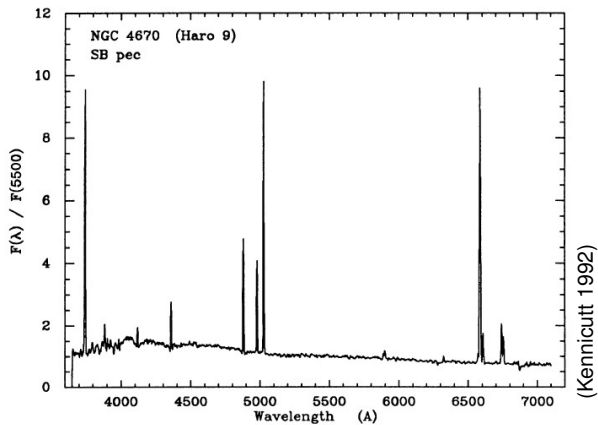


galaxia Sb

Espectros ópticos

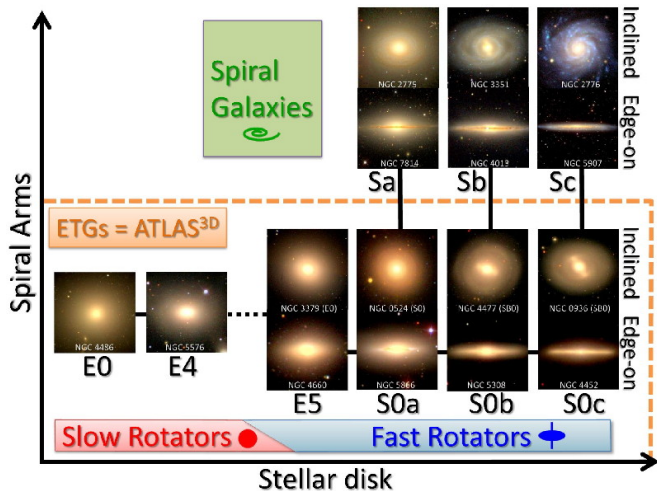


galaxia Sc



galaxia Sm

Clasificación cinemática

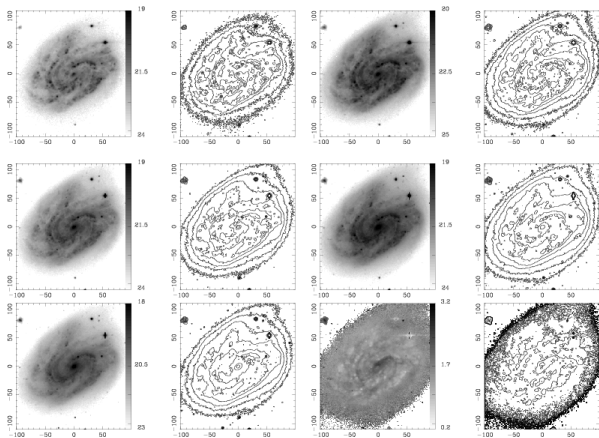


(Cappellari et al. 2011, MNRAS, 416, 1680)

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

Distribución de poblaciones estelares

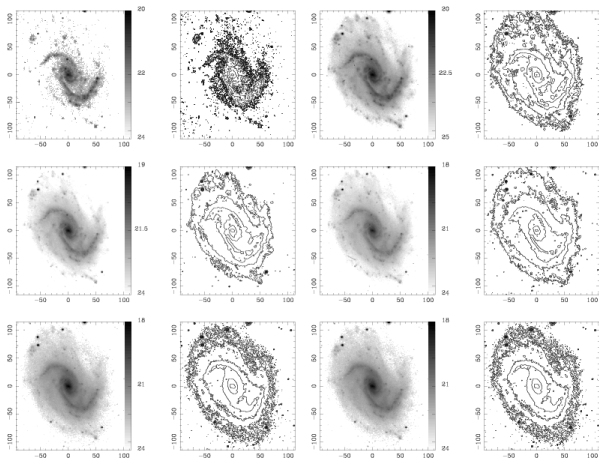


(del Río & Cepa, 2003, A&A, 400, 421)

U	B
V	R
I	$B-I$

NGC 157
(SABbc)

Distribución de poblaciones estelares



(del Río & Cepa, 2003, A&A, 400, 421)

U	B
V	R
I	$B-I$

NGC 895
(Scd)

Distribución de poblaciones estelares

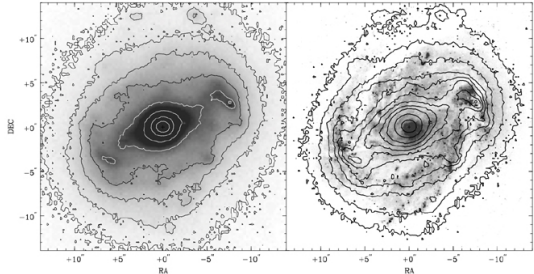
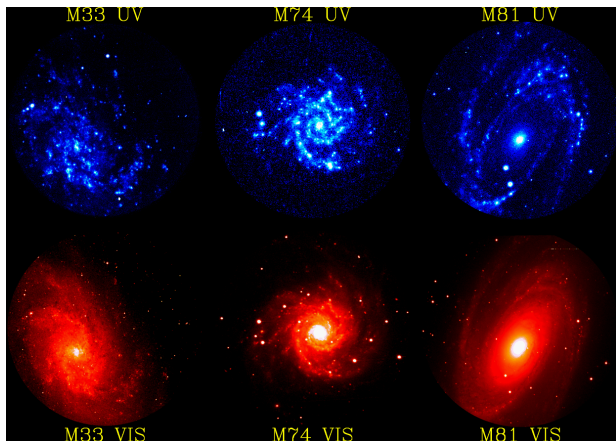


Fig 5.9 (J. Knapen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

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

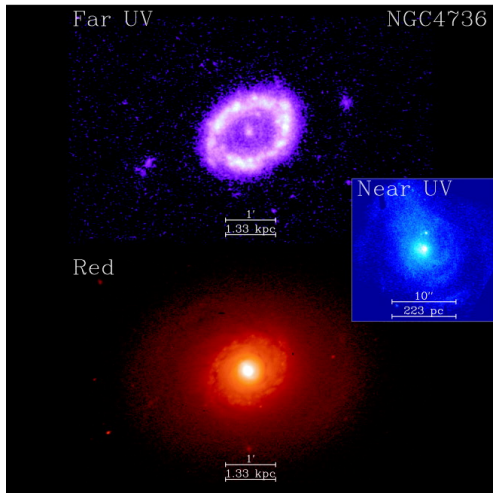
Scd

Sc

Sb

Regiones de formación estelar

Observaciones en ultravioleta lejano



M 94
(Sab)

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

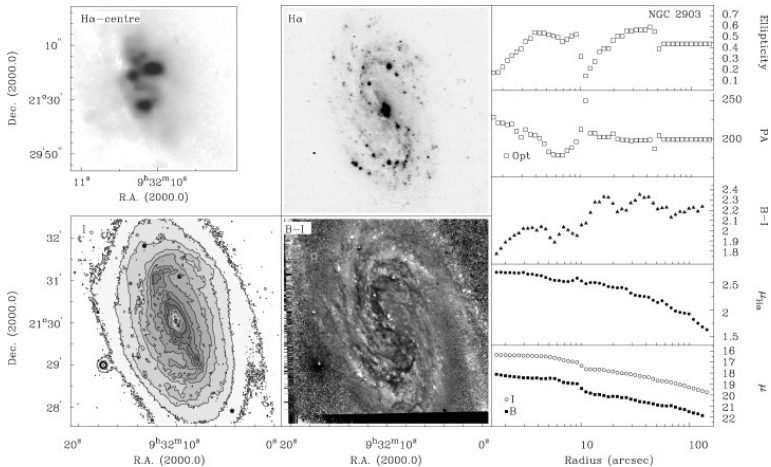
(Waller et al. 2001, AJ, 121,
1395)

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

Regiones de formación estelar

Emisión H α

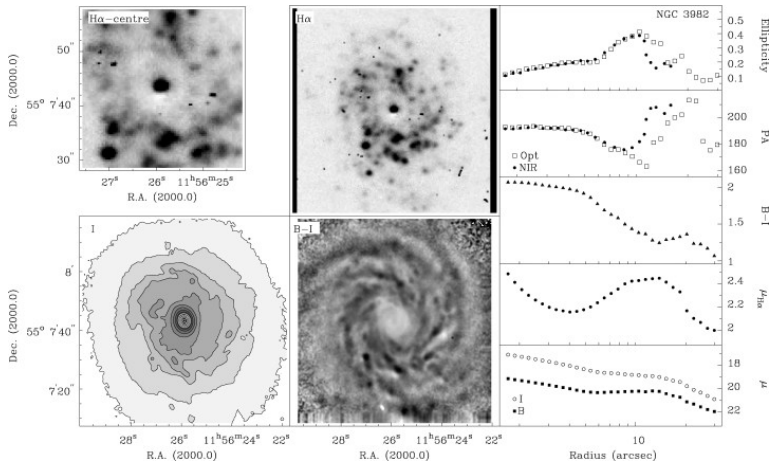


NGC 2903 (SBd)

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

Regiones de formación estelar

Emisión $H\alpha$

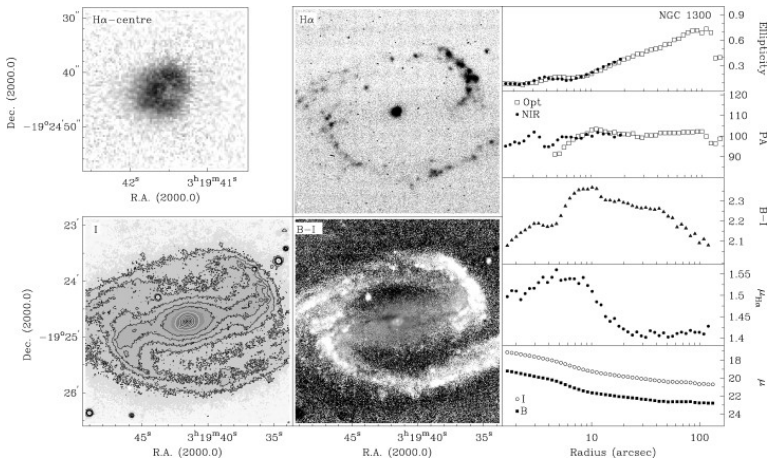


NGC 3982 (SABb)

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

Regiones de formación estelar

Emisión $H\alpha$

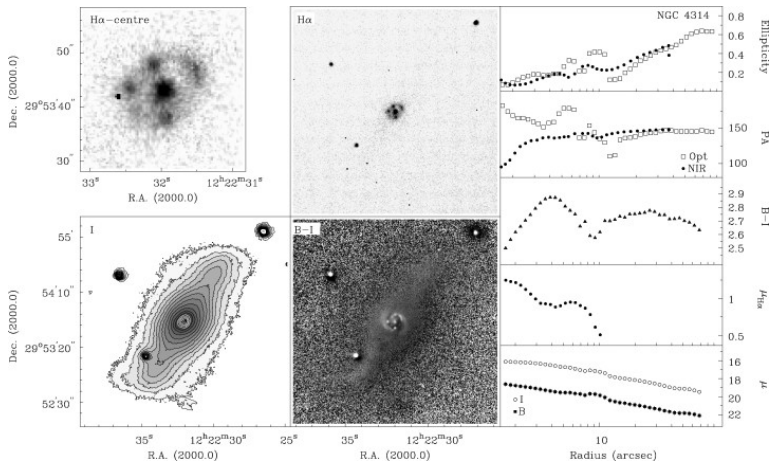


NGC 1300 (SBbc)

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

Regiones de formación estelar

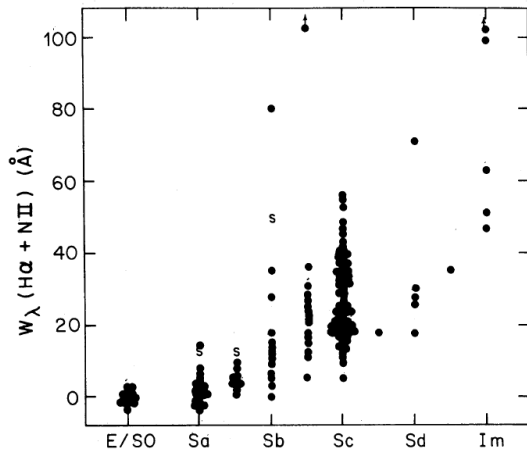
Emisión $H\alpha$



NGC 4314 (SBa)

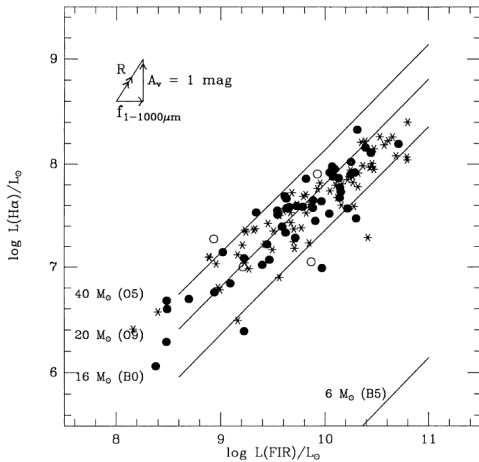
(Knapen et al., 2002, MNRAS, 337, 808)

Relación $H\alpha$ - tipo de Hubble



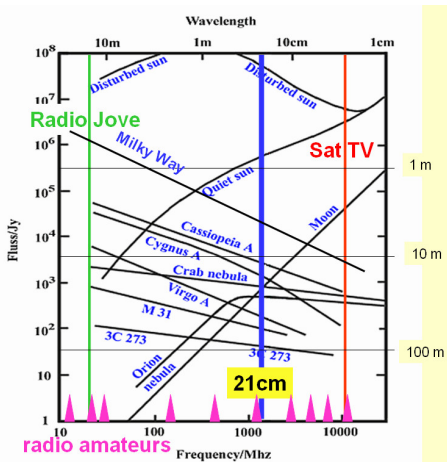
(Kennicutt & Kent 1983, AJ, 88, 1094)

Relación $H\alpha$ - FIR



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

Espectros de fuentes térmicas y no térmicas



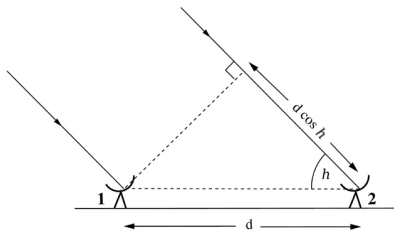


Fig 5.11 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007



Hidrógeno neutro

Distribución espacial

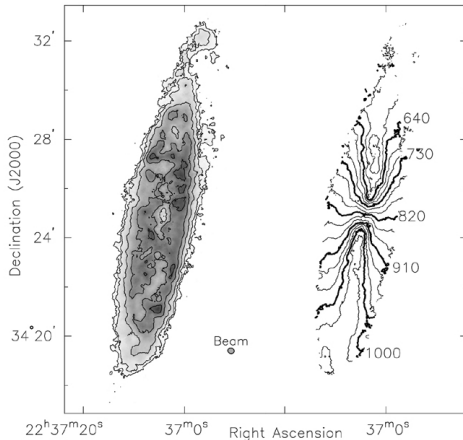


Fig 5.13 (Thorley & Bambi) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

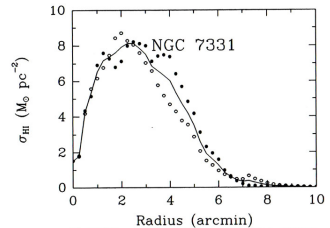


Fig 5.14 (K. Boggan) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Hidrógeno neutro

Distribución espacial

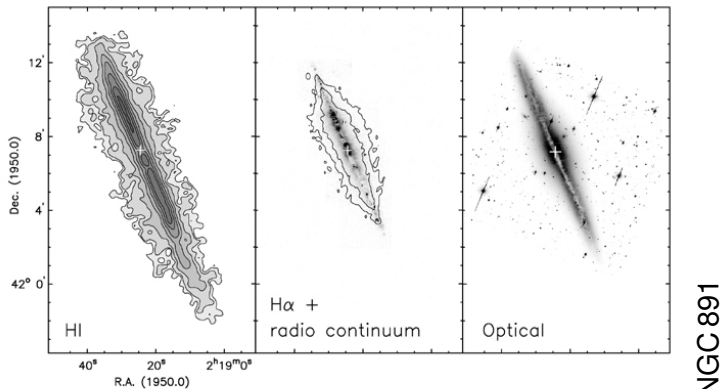


Fig 5.16 (Swaters & Rand) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Hidrógeno neutro

Anillos polares

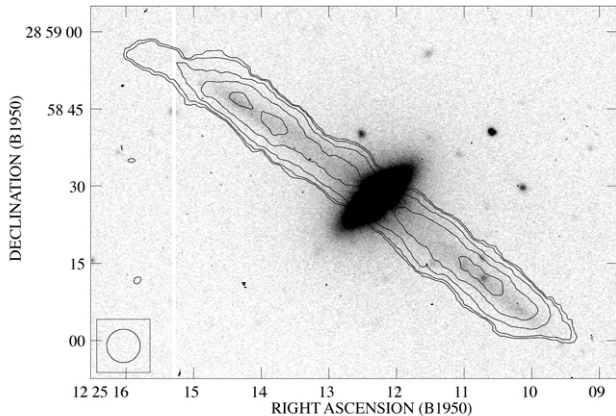


Fig 5.17 (A. Cox) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

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

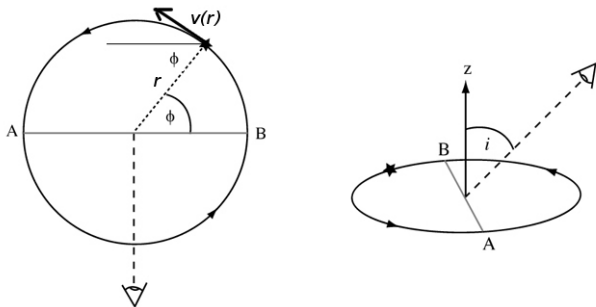


Fig 5.18 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

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

La curva de rotación

Diagrama de araña

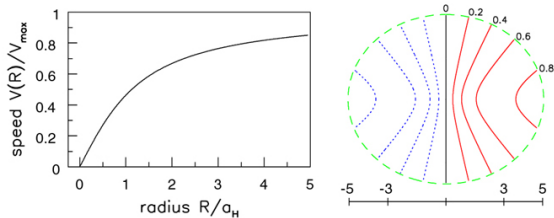


Fig 5.19 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

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

La curva de rotación

Diagrama de araña

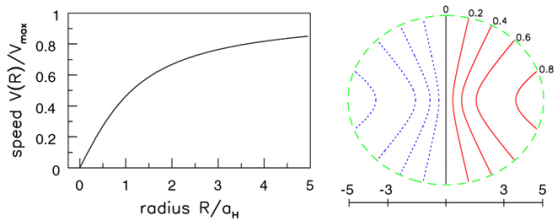
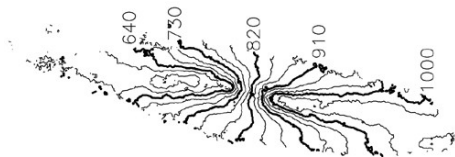


Fig 5.19 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

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



NGC 7331

Diagrama de
araña

La curva de rotación

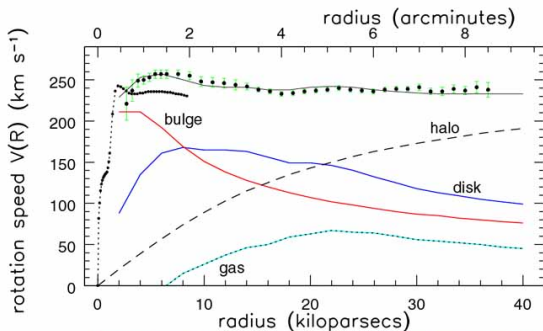


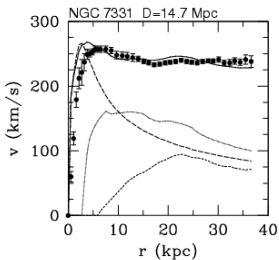
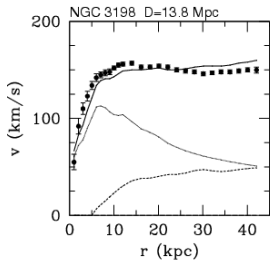
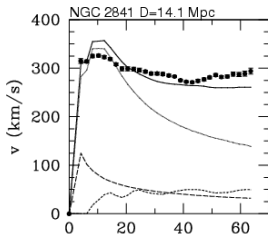
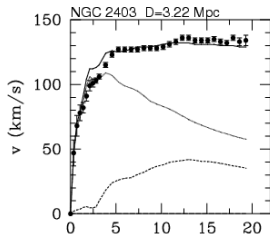
Fig 5.20 (Begeman, Sofue) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

NGC 7331

$$V(R) \approx \text{cte} \Rightarrow \frac{V(R)}{R} \text{ es decreciente}$$

\Rightarrow rotación diferencial

La curva de rotación



MOdified Newton
Dynamics
(MOND)

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

La relación Tully-Fisher

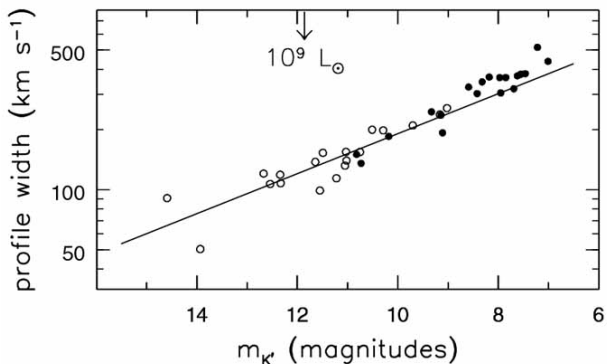


Fig 5.23 (M. Verheijen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

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

Tipos de espirales



NGC 2903 (Sc)

grand design

Brazos bien definidos



NGC 7793 (Sbc)

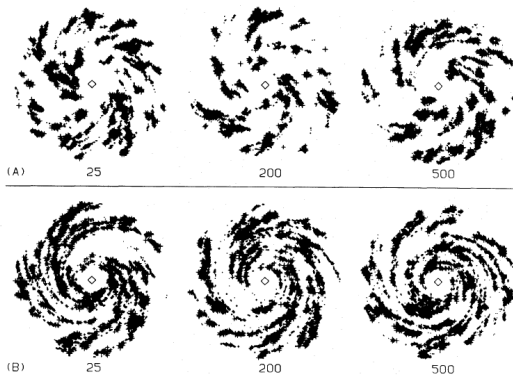
flocculent

Varios fragmentos de brazos

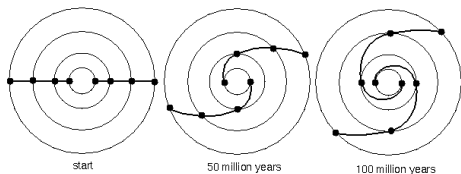
Espirales tipo “grumoso” (*flocculent*)

Formación estelar estocástica autopropagada (SSPSF)

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



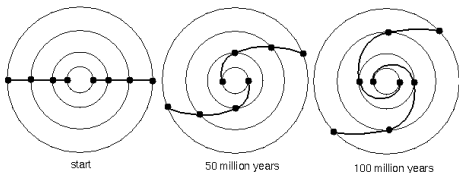
Espirales tipo “gran diseño” (*grand design*)



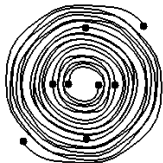
Differential rotation: stars near the center take less time to orbit the center than those farther from the center. Differential rotation can create a spiral pattern in the disk in a short time.

(Copyrighted, 1998 – 2006 by Nick Strobel)

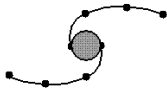
Espirales tipo “gran diseño” (*grand design*)



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?

(Copyrighted, 1998 – 2006 by Nick Strobel)

Espirales tipo *grand design*

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

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

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

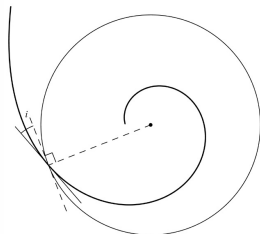


Fig 5.28 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

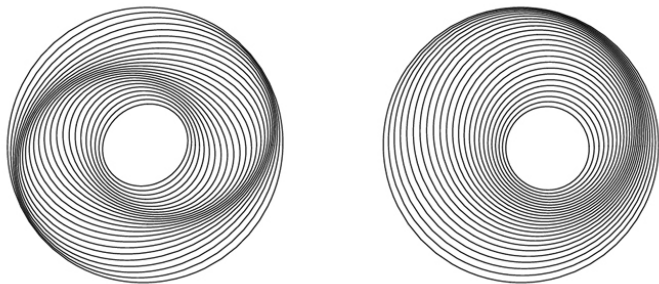


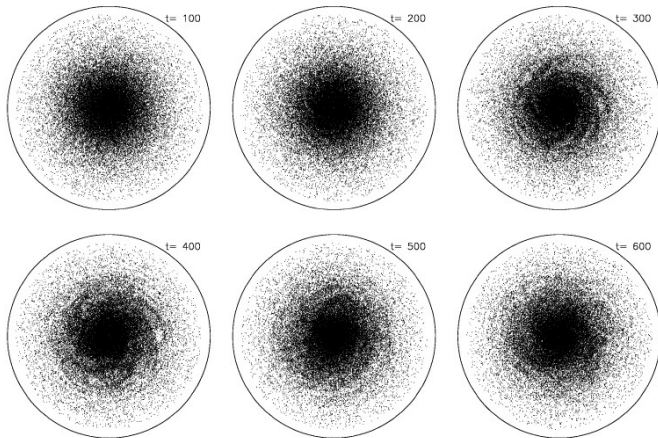
Fig 5.29 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

¿Qué es lo que mantiene la onda?

- fuerza interna debida a barra en rotación
- galaxia compañera

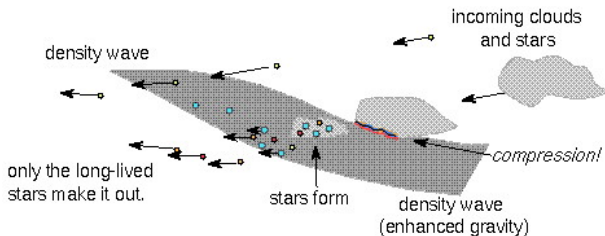
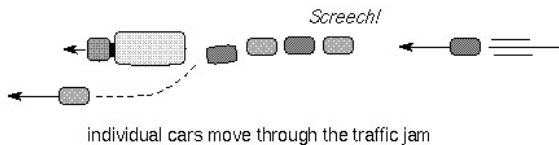


La onda espiral



(Sellwood, J. A. 2011, MNRAS, 410, 1637)

Ondas de densidad



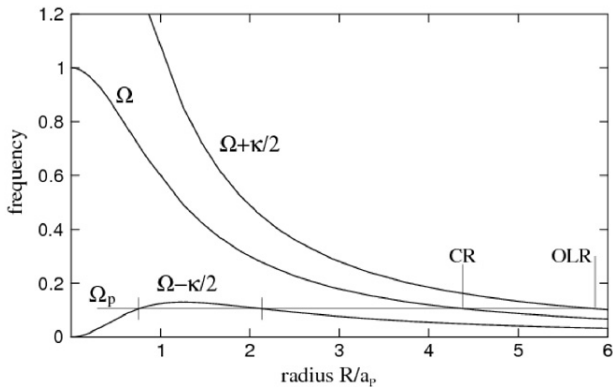


Fig 5.30 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Ondas de densidad

Gas - polvo

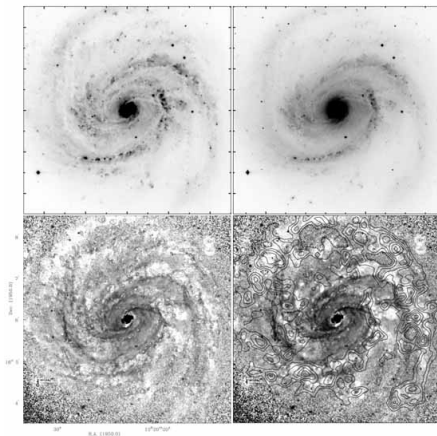


Fig 5.26 (J. Knapen) 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

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**



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

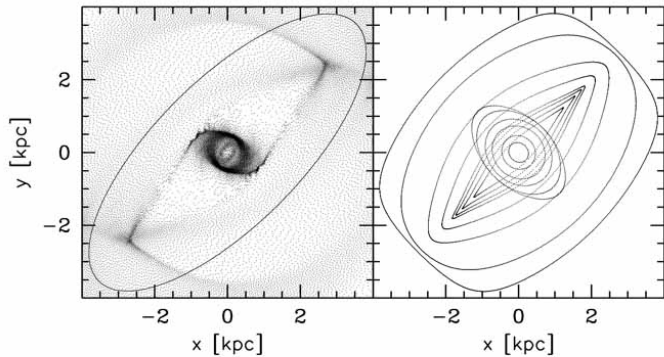


Fig 5.33 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

- *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).