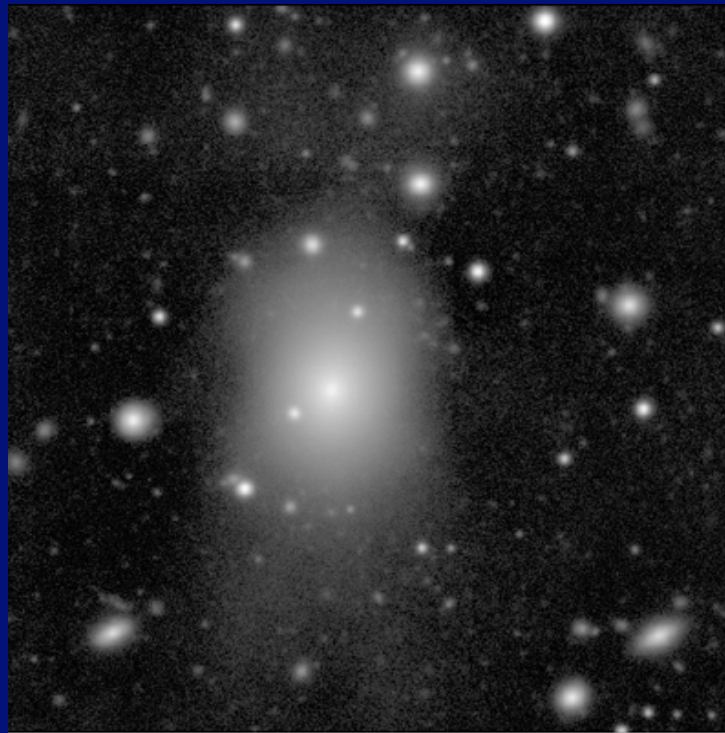


El primer paso para investigar la evolución de galaxias es comprender las propiedades actuales de esas galaxias.

Galaxias Elípticas



cD Galaxy in Abell496 Field (MPG/ESO 2.2-m + WFI)

ESO IR Photo 46h/59 (21 December 1999)

© European Southern Observatory



Familia que agrupa varias clases de galaxias

- cD: masivas y luminosas, pueden llegar a medir 1Mpc. Se encuentran en las regiones centrales de los cúmulos de galaxias.

- $-22 > M_B > -25$ y $10^{13} < M/M_{\text{sol}} < 10^{14}$

- $S_N \sim 15$

- Elípticas normales, con tamaños de hasta 200 kpc

- $-15 > M_B > -23$ y $10^8 < M/M_{\text{sol}} < 10^{13}$

- $S_N \sim 7$

Frecuencia específica →
$$S_N = N_t \frac{L_{15}}{L_V} = N_t 10^{0.4(M_V - 15)}$$

- **Enanas (dE): bajo brillo superficial, con tamaños de 1-10 kpc**

$$-13 > M_B > -19 \quad \text{y} \quad 10^7 < M/M_{\text{sol}} < 10^9$$

$$S_N \sim 5$$

- *Enanas esferoidales (dSph): brillo superficial extremadamente bajo, detectables sólo localmente*

$$-8 > M_B > -15 \quad \text{y} \quad 10^7 < M/M_{\text{sol}} < 10^8$$

- *Compactas azules (BCD): galaxias pequeñas con formación estelar activa*

$$-14 > M_B > -17 \quad \text{y} \quad M/M_{\text{sol}} \sim 10^9$$

Propiedades

1. Las elípticas proyectadas en el cielo tienen simetría bi-dimensional. Estas galaxias son en general triaxiales con $a \geq b \geq c$

- $a=b=c \rightarrow$ *galaxia esférica*
- $a=b \rightarrow$ *oblata*
- $b=c \rightarrow$ *prolata*

Algunas elípticas tiene estructura fina, e.g. Cáscaras, anillos, arrugas, isofótas tipo caja, etc. En general estas elípticas especiales son levemente más azules.

2. E_n : E_0 circulares, E_7 alargadas, $n=10(1-b/a)$, donde b/a es la razón axial.

- 3. Rotación no es importante en la mayoría de la elípticas. Es decir, su grado de elipticidad no se debe a rotación.**
- 4. Hay poca (o nada) formación de estrellas en elípticas. Sin embargo, en algunas elípticas la distribución espectral aumenta en el UV.**
 - Ya que las elípticas son de estrellas viejas, uno esperaría que su espectro sea similar al de estrellas K, $T \sim 4000^{\circ}\text{K}$.**
 - Sin embargo algunas elípticas son más brillantes en 1500 Å, que en 2000 Å.**

5 Hay poco material en el medio interestelar en elípticas. Sin embargo, hay emisión de rayos X de gas a temperaturas $T \sim 10^6$ K.

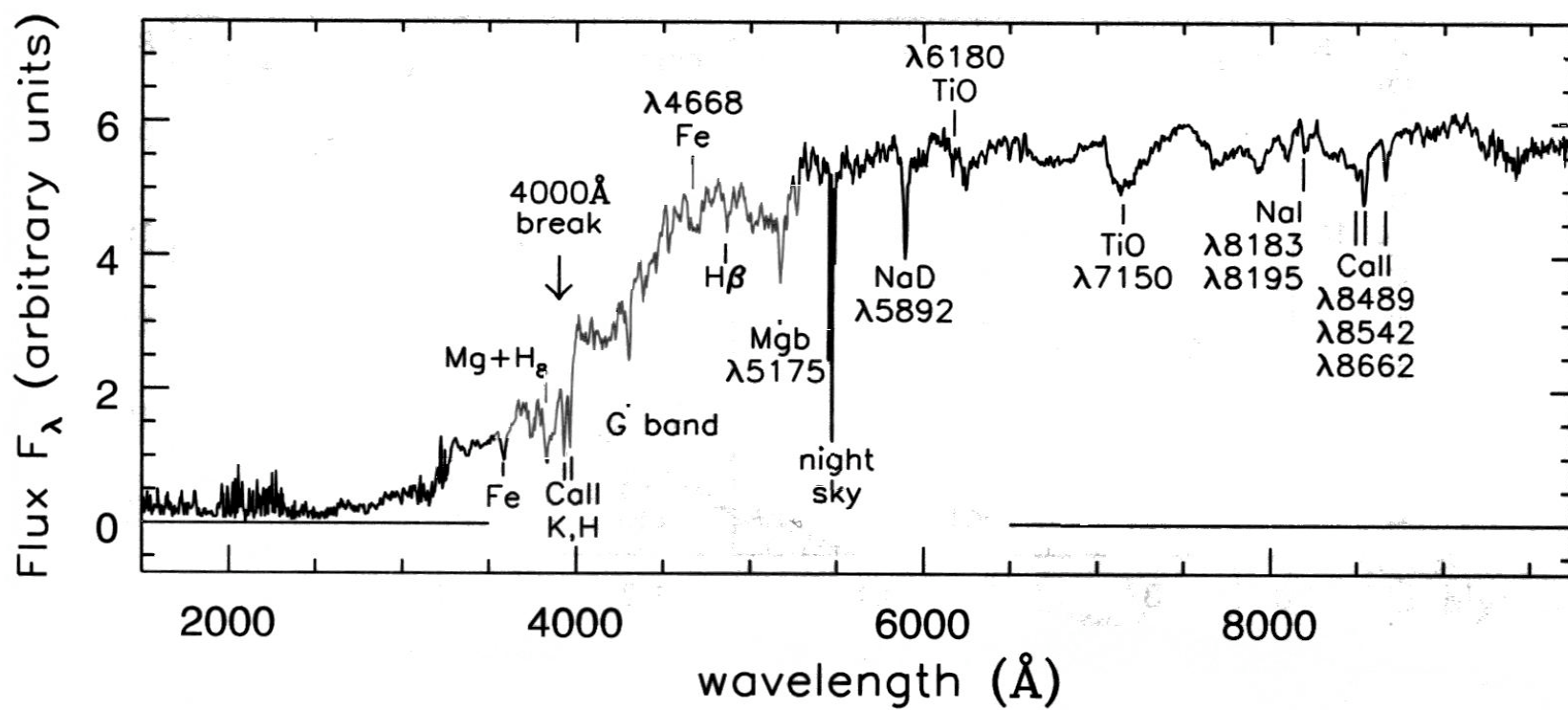
Veamos de donde viene:

- **Las estrellas en elípticas pierden masa durante su evolución.**
- **Las estrellas se mueven isotrópicamente con una dispersión de velocidad $\sigma \sim 200 \text{ km s}^{-1}$, los átomos del material perdido, en equilibrio térmico, tendrán una temperatura,**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (v_i - \bar{v})^2}{N}}$$

$$\frac{1}{2} m_H \sigma^2 \sim \frac{3}{2} kT \Rightarrow T \sim 10^6 \text{ } ^\circ K$$

- 6. Casi siempre las elípticas se encuentran en ambientes densos. Es posible que las pocas elípticas aisladas se hayan comido a sus vecinos.**
- 7. La mayoría de las elípticas tienen gradientes de color: son más rojas en su interior que en el exterior. Esto puede deberse a:**
 - efectos de edad; estrellas más viejas tienen quiebre más rojos de la secuencia principal.**
 - metalicidad; estrellas ricas en metales son intrínsecamente más rojas que sus contrapartidas pobres, debido a la opacidad de los metales.**



Plano Fundamental

Las galaxias elípticas pueblan un plano en luminosidad, brillo superficial y dispersión de velocidad. La física detrás de esto es,

Supongamos que las estrellas están en equilibrio virial, entonces

$$-2\langle K \rangle = \langle U \rangle \quad \Rightarrow \quad v^2 \propto \frac{M}{R}$$

Supongamos que las elípticas tienen la misma razón ($L \propto M$) y la el mismo brillo superficial ($I \propto L / R^2$). Entonces,

$$L \propto v^4$$

donde v es el movimiento de las estrellas en la galaxia.

En el caso de espirales, la relación anterior se llama relación **Tully-Fisher**, v es la velocidad del gas en el disco. En el caso de elípticas, la relación se llama **Faber-Jackson**, y v es en realidad σ , la dispersión de velocidades de las estrellas cercanas al núcleo.

Evidentemente, no todas las galaxias tienen el mismo brillo superficial, de tal manera que si tomamos $I=L/R^2$ lo sustituimos en el teorema del virial (manteniendo la suposición de M/L constante) , tenemos una relación

$$L \propto \sigma^4 I^{-1}$$

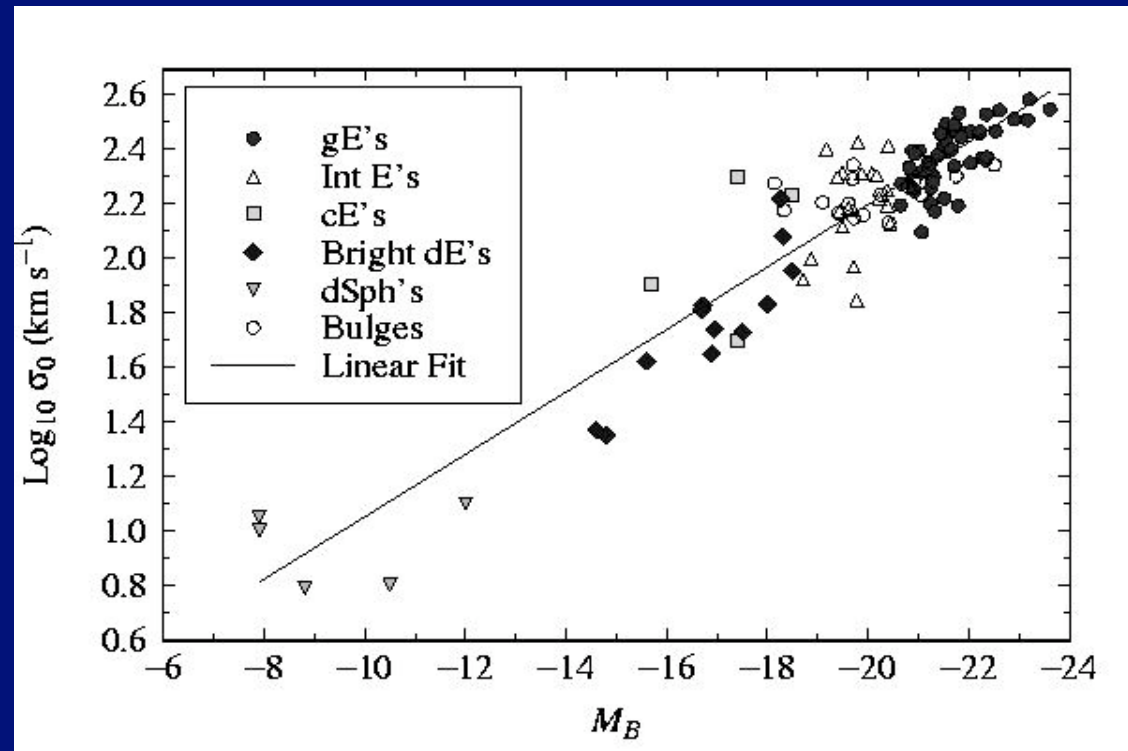
Observaciones muestran que si

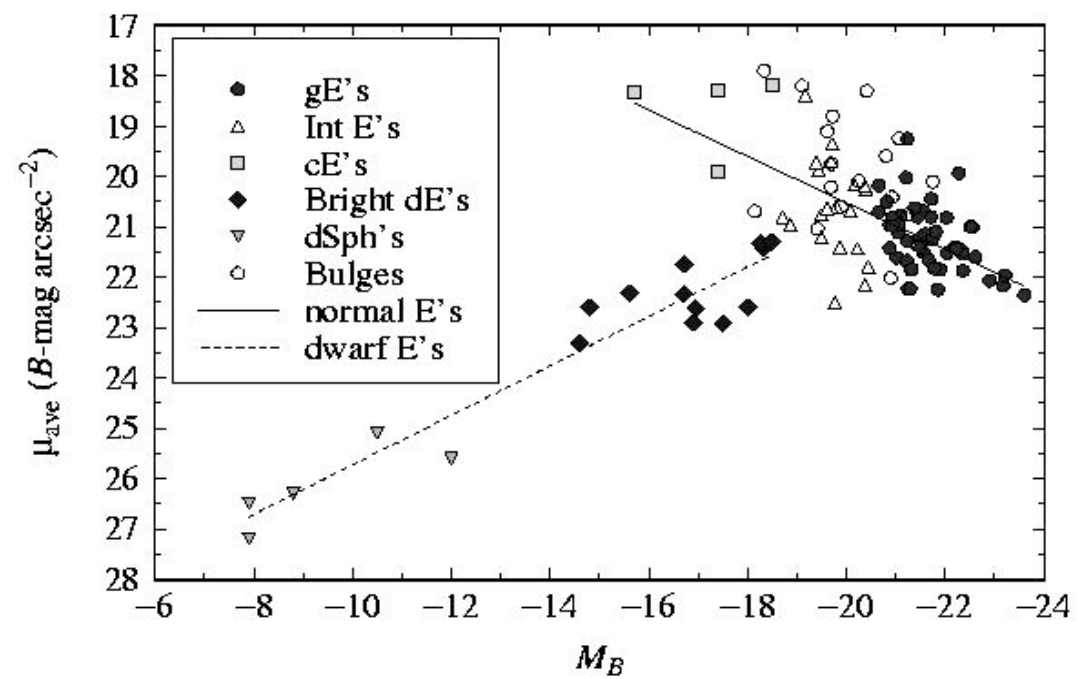
- **L : Luminosidad total en banda B**
- **σ : Dispersión de velocidad central**
- **I : Brillo superficial medido en el radio tal que contiene la mitad de la luz total de la galaxia**

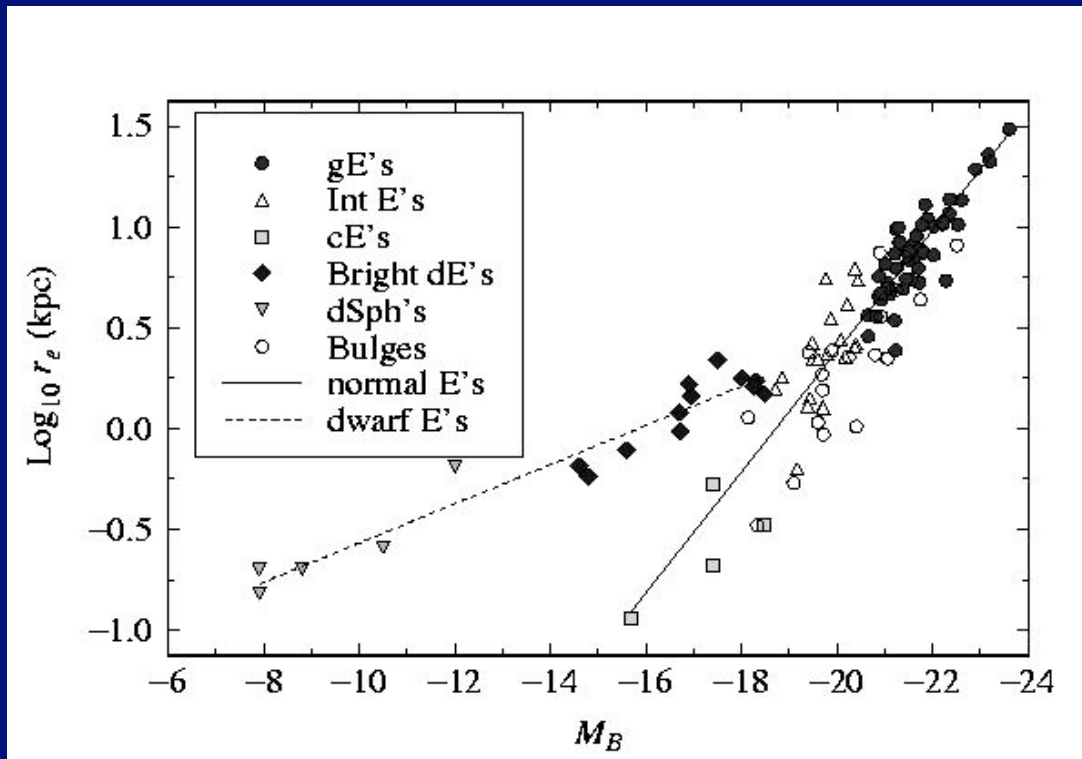
la relación resulta,

$$L \propto \sigma^{2.7} I^{-0.7}$$

Hay varias proyecciones de este plano fundamental:



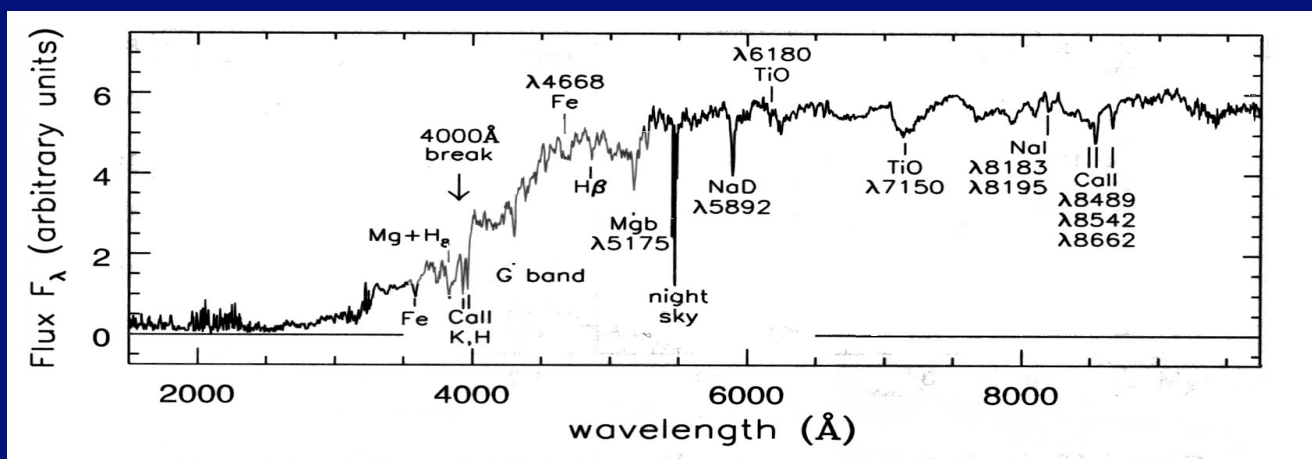




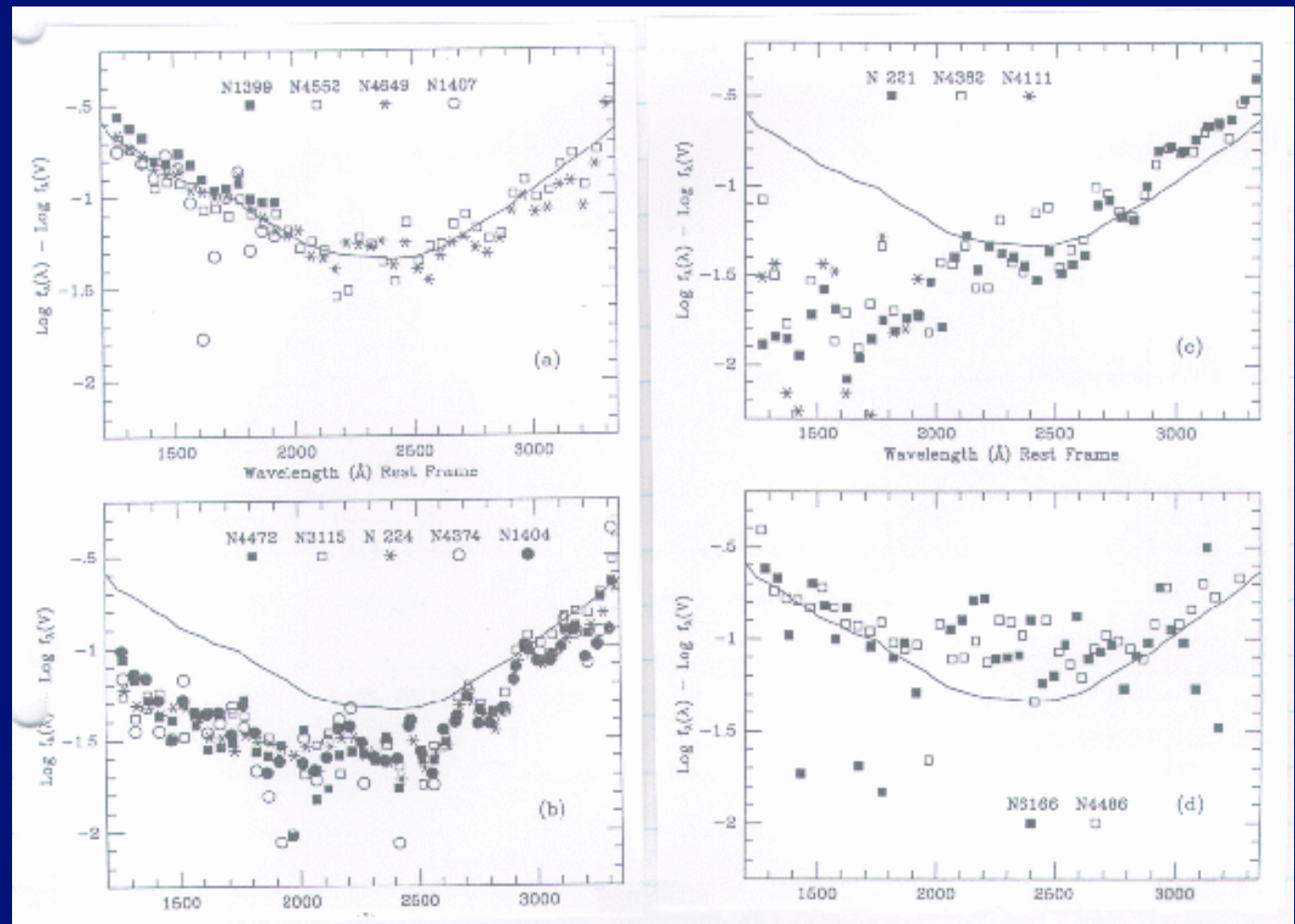
Proyección del plano fundamental (relación de Kormendy)

Hay varias reflexiones de este plano fundamental:

- Luminosidad esta correlacionada con color; elípticas grandes son más rojas que las pequeñas
- Color en elípticas se relaciona con intensidad de las líneas de absorción; las elípticas más rojas tienen líneas más intensas.
- Intensidad de las líneas de absorción correlacionan con exceso del flujo UV; galaxias con líneas de absorción más fuertes tienen un exceso UV mayor.
- Exceso UV se relaciona con el número de nebulosas planetarias. Galaxias con mayor UV tiene menos nebulosas planetarias.



Espectros UV de baja resolución de galaxias elípticas.



- **NGC 221, 4382 y 4111** energía decrece hacia longitudes de onda más cortas.
 - Debido a que las estrellas observadas tienen curvas de Planck cuyo máximo es en el rojo o IR
- **NGC 1399, 4552, 4649 y 1407** tienen UV exceso.
 - Muchas de las estrellas son muy calientes, las que pueden ser
 - Estrellas post asintóticas gigantes
 - Estrella azules de la rama horizontal

Perfiles de Luz

La ley que mejor reproduce el perfil de luz de una galaxia elíptica es la llamada ley $R^{-1/4}$ de de Vaucouleur (de Vaucouleurs 1959, *Handbuch der Physik*; Young 1976, *A.J.* 81, 807)

Si I es el brillo superficial [$\text{ergs cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{arcsec}^{-2}$] y R es la distancia proyectada desde el centro,

$$\log\left(\frac{I}{I_e}\right) = -3.33071 \left\{ \left(\frac{R}{R_e}\right)^{1/4} - 1 \right\}$$

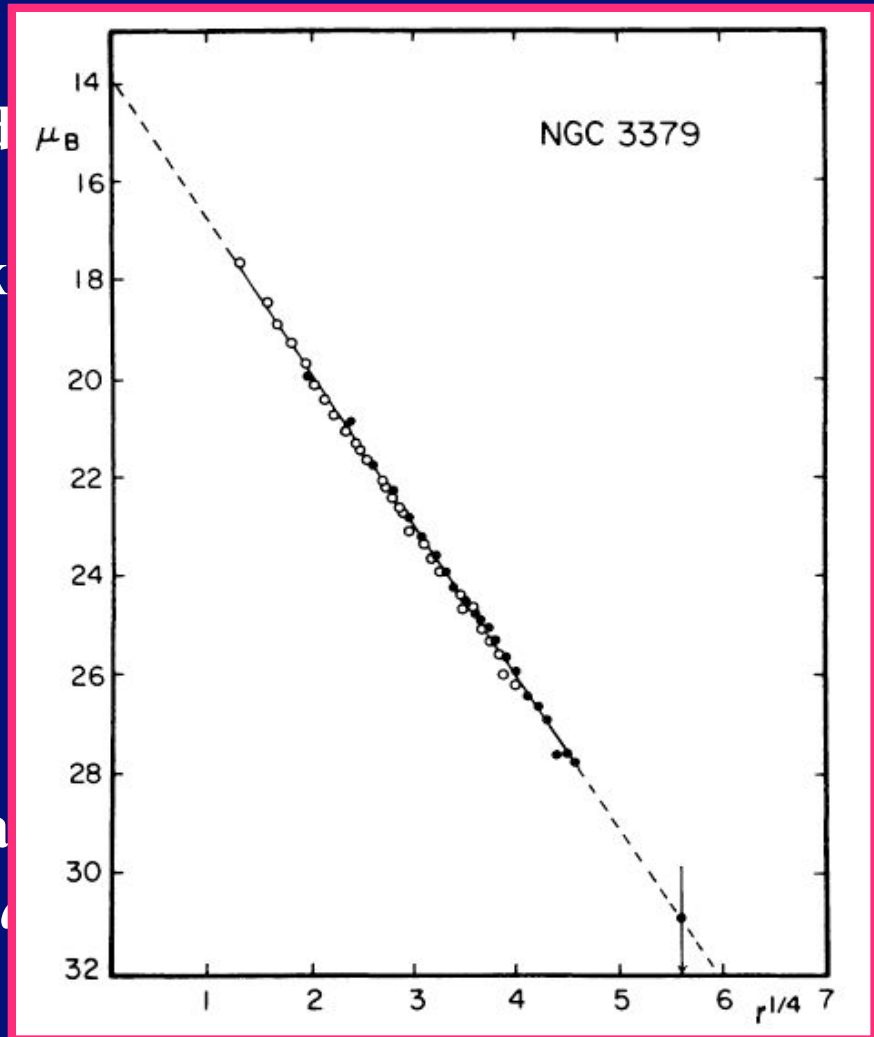
R_e : Radio efectivo; radio que encierra la mitad de la luz de la galaxia.

I_e : Brillo superficial en el radio

Con un poco de álgebra, la ex

$$\mu = a + bR^{1/4}$$

Donde μ es el brillo superficial en segundo de arco cuadrado, y a es el brillo central.



Otras leyes que reproducen los perfiles de elípticas

Ley de Hubble (1930, ApJ, 71, 231)

Ley de Jaffe (1983, MNRAS, 202, 995)

Ley de Hernquist (1990, ApJ, 356, 359)

$$I(R) = \frac{I_0}{(R/a + 1)^2}$$
$$j(r) = \frac{La}{4\pi r^2 (r + a)^2}$$
$$j(r) = \frac{La}{2\pi r (r + a)^3}$$

R: radio proyectado.

r: radio real (3D) desde el centro.

I: brillo superficial (energía por

j: densidad luminosa (energía p

a: parámetro libre.

TAREA: Calcular R_e en función de a para los modelos de Jaffe y Hernquist

Relación densidad-morfología

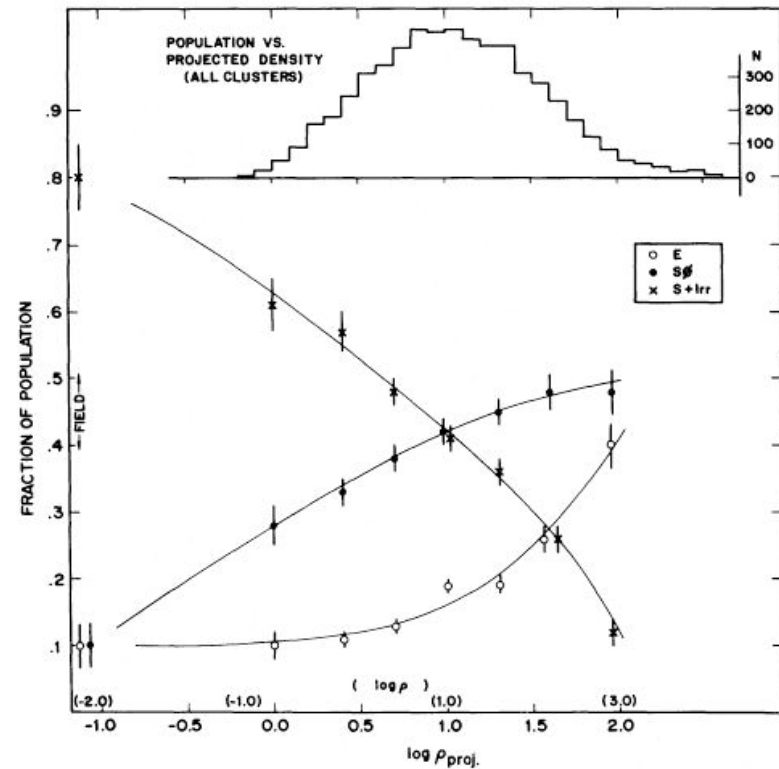


FIG. 4.—The fraction of E, S0, and S+I galaxies as a function of the log of the projected density, in galaxies Mpc^{-2} . The data shown are for all cluster galaxies in the sample and for the field. Also shown is an estimated scale of true space density in galaxies Mpc^{-3} . The upper histogram shows the number distribution of the galaxies over the bins of projected density.

Dressler 1980