

# Outras Galaxias

## Galáxias Regulares

- ASTRONOMIA GERAL
  - FIS004
  - Prof. Gustavo Guerrero
- 
- Agradecimento: Elisabete Dal Pino

Até magnitude 30

Área 1/100 da  
Lua cheia

*Hubble Deep Field*  
milhares de galáxias de  
diversas cores e formas.

A imagem indica a  
existência de 40 bilhões  
de galáxias no Universo  
observável.



# OUTRAS GALÁXIAS

## TIPOS DE GALÁXIAS

- Espirais
- Barradas
- Elípticas
- Lenticulares
- Irregulares

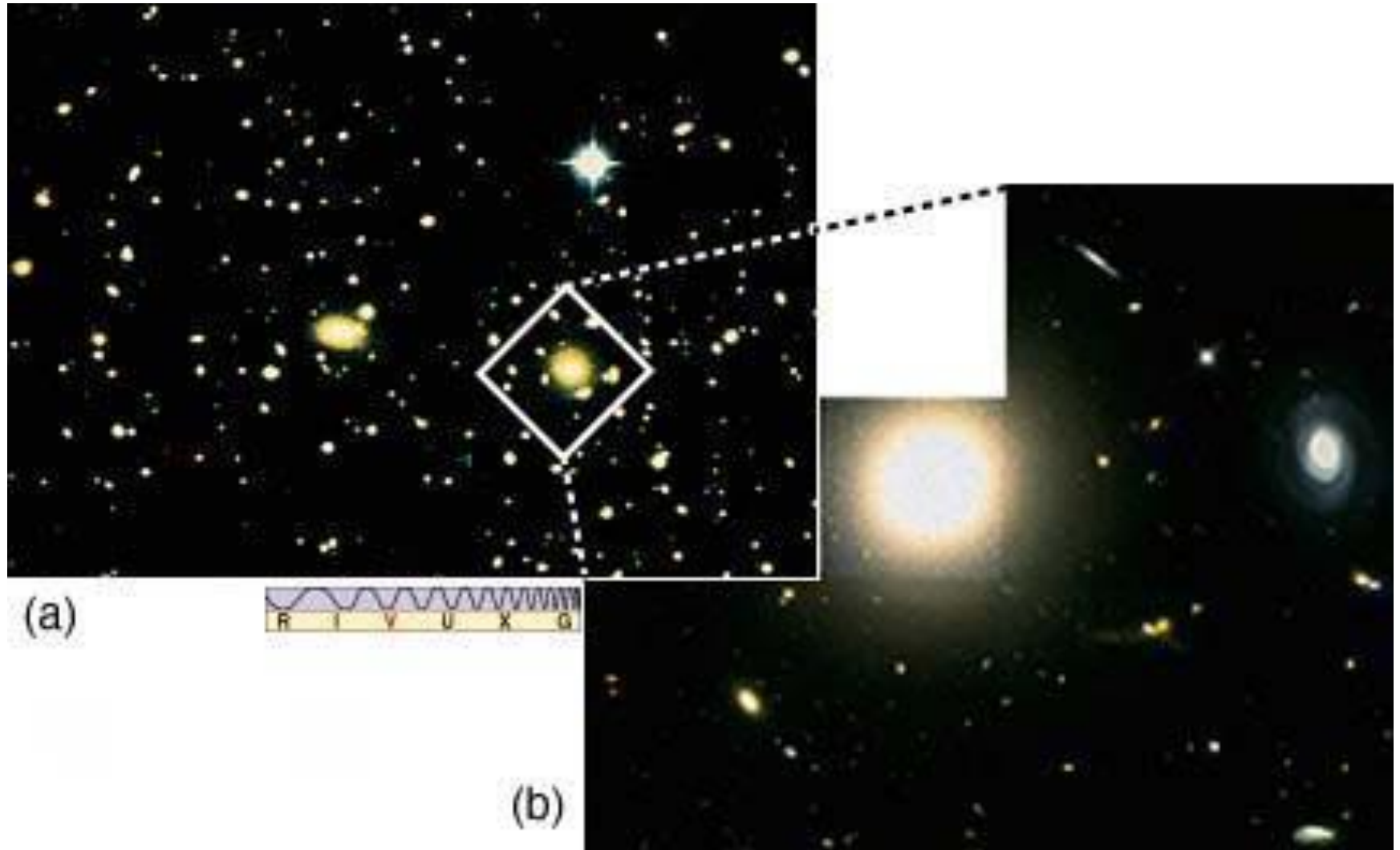
## PROPRIEDADES INTEGRADAS DAS GALÁXIAS

- Luminosidade e Forma
- As Cores
- Conteúdo Estelar

# OUTRAS GALÁXIAS

- Medidas de curvas de luz de Cefeidas mostraram que existem bilhões de Galáxias além da Via Láctea.
- Maioria não tem braços espirais: diferentes formas, estruturas e dimensões
- Galáxias: são os constituintes das maiores estruturas conhecidas no Universo: os aglomerados de galáxias

- (a) Aglomerado de Coma (d ~ 100 milhões de pc);  
(b) Parte do aglomerado visto pelo HST.



# Classificação

**Edwin Hubble (1920s)** ⇒ identificação das galáxias, baseada em suas formas.

feito com medidas de curvas de luz de Cefeidas (permitiu determinar distancias)

- A **classificação de Hubble**, em galáxias:

**espirais**

**espirais barradas**

**elípticas**

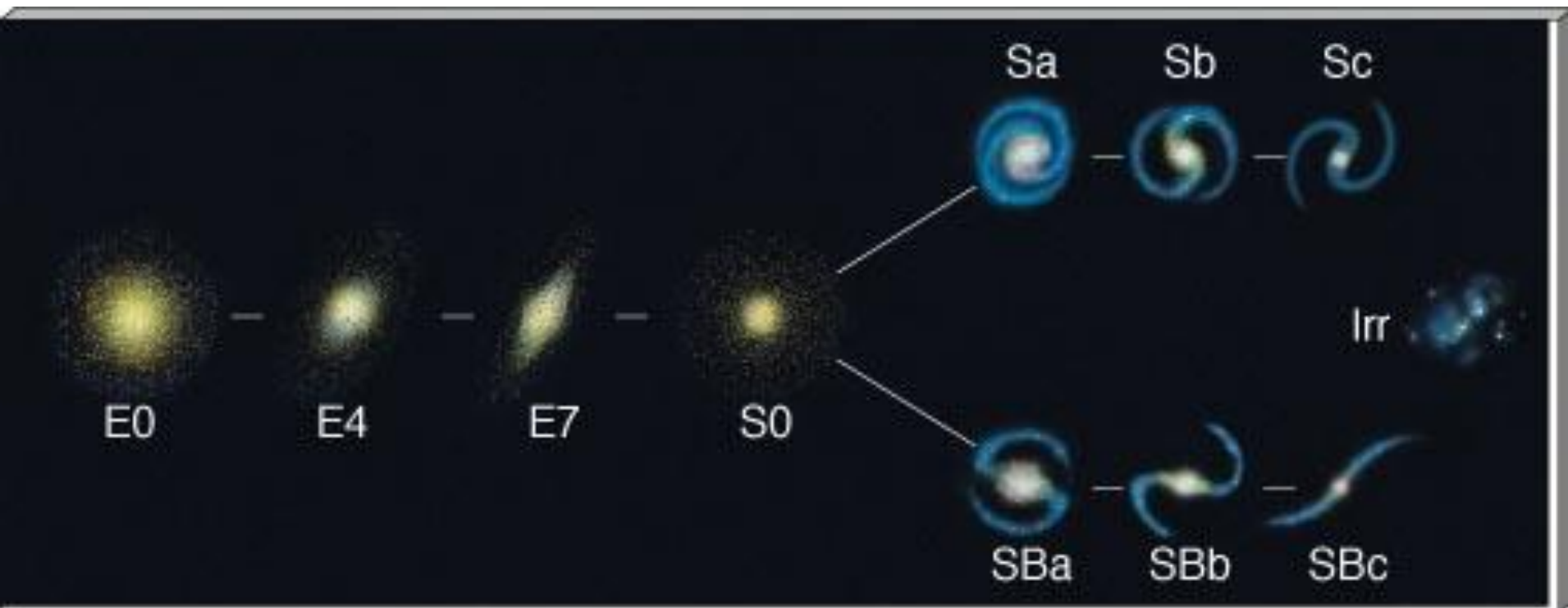
**irregulares e subclasses**

**lenticulares**



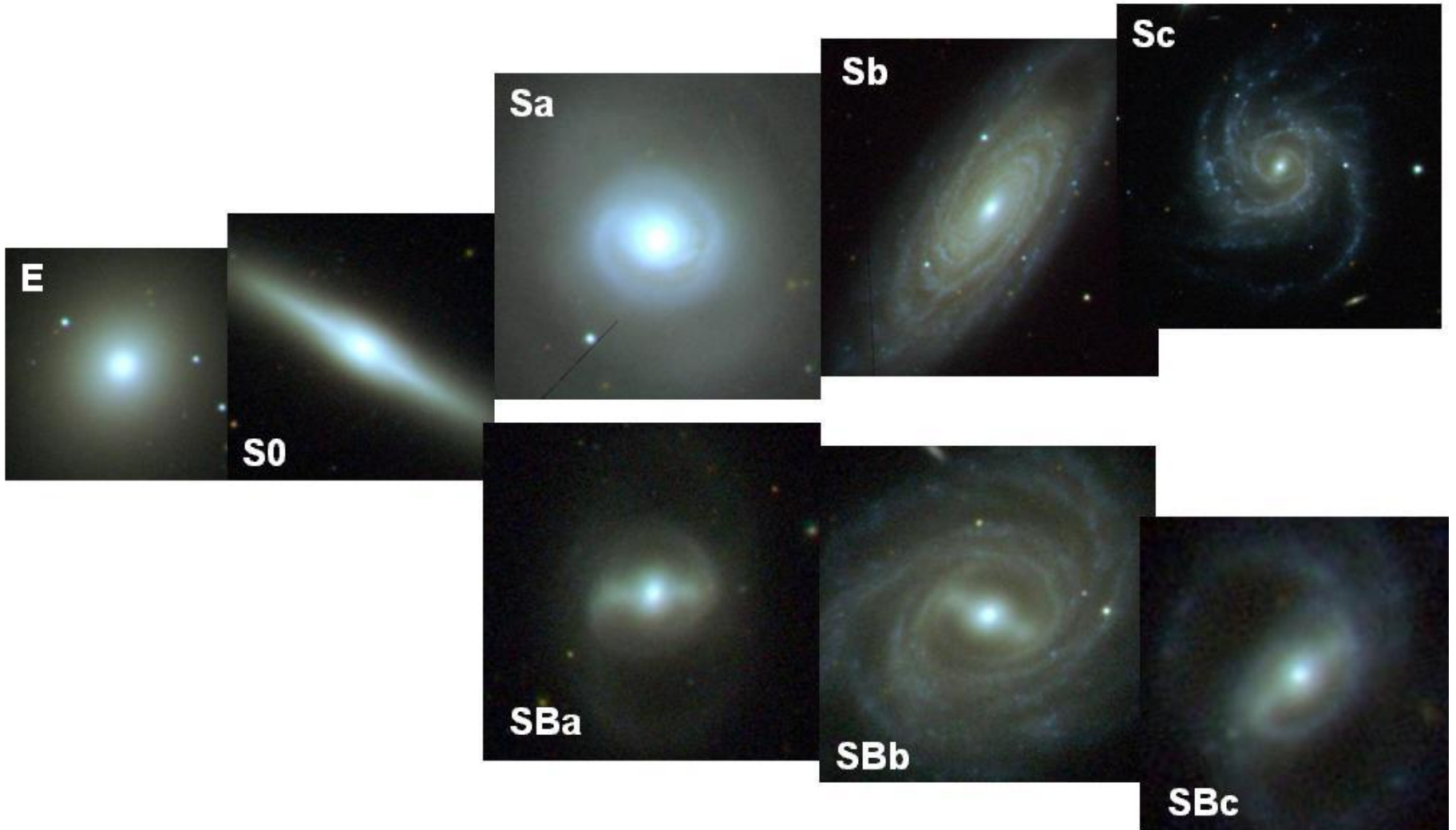
**é usada até hoje.**

# Classificação das galáxias segundo critério de Hubble





# Classificação Morfológica





# Galáxias espirais

São caracterizadas por um bojo nuclear e braços espirais.

Galáxia espiral mais próxima de nós:

**Andrômeda, ou M31:**

visível a olho nu no hemisfério norte.



# Galáxia espiral M51



# Galáxias Espirais

Hubble notou que quanto maior o bojo nuclear de uma galáxia espiral, mais próximos do bojo se encontram braços.

- Galáxias com grandes bojos e braços "colados" a este são chamadas "Sa"
- Galáxias com pequenos bojos e braços muito abertos são chamadas de "Sc"
- Galáxias com características intermediárias entre estes dois casos são chamadas de "Sb".

**Galáxias espirais:** de Sa até Sc o bojo torna-se menor e os braços menos “apertados”.



M81

Type Sa



M51

Type Sb



NGC 2997 Type Sc

## Galaxias Espirais:

casos onde os braços não podem ser vistos



galáxia ainda pode ser classificada  $\Rightarrow$  tamanho do bojo



**Sombrero (M104):**  
sistema visto *edge-on*

A faixa escura: gás e  
poeira do disco galáctico.

**Pelo tamanho maior do  
bojo é classificada como  
Sa.**







# Galaxias Espirais

## **Aparencia dos braços** ⇒

as vezes largos, caóticos e não definidos  
ou muito bem definidos, com regiões HII  
brilhantes e associações OB

**Numero dos braços:** varia de galaxia para galaxia

VL: 4?

**Movimento dos braços:** é sempre “atrasado” em  
relação à rotação

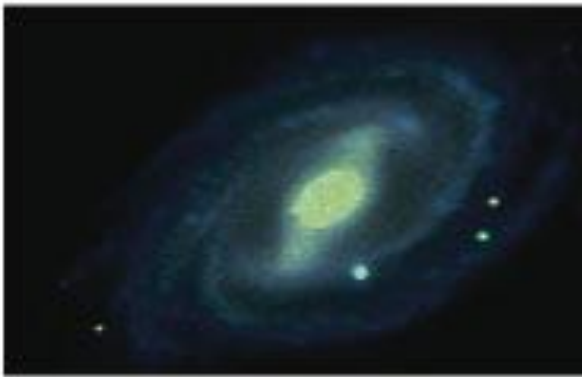


# Galáxias Barradas

VL: pode possuir **barra de estrelas** que atravessa o bojo nuclear: galáxia espiral (possivelmente) barrada

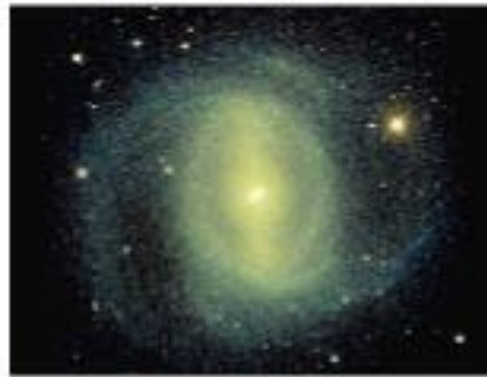


Galáxia espiral barrada M109



NGC 3992

Type SBa



NGC 1433

Type SBb



NGC 1300

Type SBc

- Os braços das espirais barradas estendem-se a partir das pontas da barra.
- Modelos sugerem: barras parecem formar-se em galaxias com menor quantidade de matéria escura (ME).
- **Há 2 galaxias espirais normais** para cada barrada:

$$N(S)/ N(Sb) = 2/1$$

# Galáxias Elípticas

Não têm braços espirais

Forma esferoidal

Hubble subdividiu-as de acordo com o achatamento, como projetado no céu:

- As mais circulares são chamadas E0
- Mais alongadas: E7



(a) M49

Type E1



(b) M84

Type E3



# Galáxias Elípticas

- **Es:** são mais regulares do que as espirais
- contém pouco gás e poeira
- Praticamente não formam estrelas
- Espectros dessas galáxias: maioria de estrelas de **POPULACAO II, baixa massa e longo período de vida**
- **Elípticas gigantes:** são mais raras que
- **Elípticas anãs:** poucos milhões de estrelas ⇒ difíceis de serem observadas quanto mais distantes

# Eliptica Gigante: M87

- M87: no centro do aglomerado de galaxias de COMA



# Galáxias Lenticulares

- Tipo de galaxia entre E e S: **S0 ou lenticular**
- Postuladas por Hubble (1936) depois confirmada por observações.



Galáxia lenticular NGC4866

# Galáxias Lenticulares

- **Lenticulares (S0):** são tão achatadas quanto as espirais
- Concentração central de estrelas importante
- **Não possuem braços** e têm um envoltório ao redor do núcleo (com estrelas, alguma poeira, e pouco ou nenhum gás)
- **Podem ter barras:** galáxias lenticulares barradas: **SB0**



(a) **Galáxias S0**: contém disco e bojo, mas pouco ou nenhum gás interestelar ou braços espirais. Propriedades intermediárias entre elípticas E7 e espirais Sa

(b) **Galáxias SB0**: similares a galáxias S0, exceto pela barra de material estelar



(a) NGC 1201

Type S0



(b) NGC 2859

Type SB0



# Galáxias Irregulares

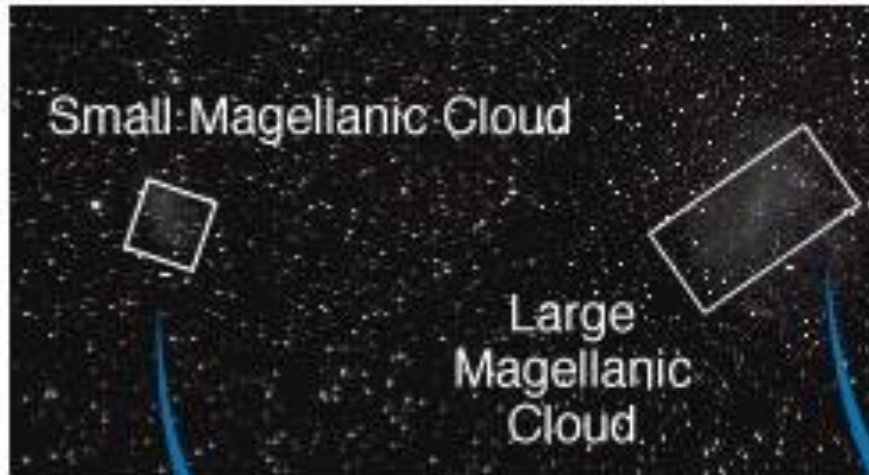
- Sem simetria ou estrutura bem definida

Dois grupos:

**Irr I ou tipo magelânico** → conteúdo semelhante às Nuvens de Magalhães

- Ricas em estrelas e regiões HII (nuvens de emissão em torno de estrelas quentes)
- Distribuição de brilho caótica

# Irregulares I



(a)



(b)



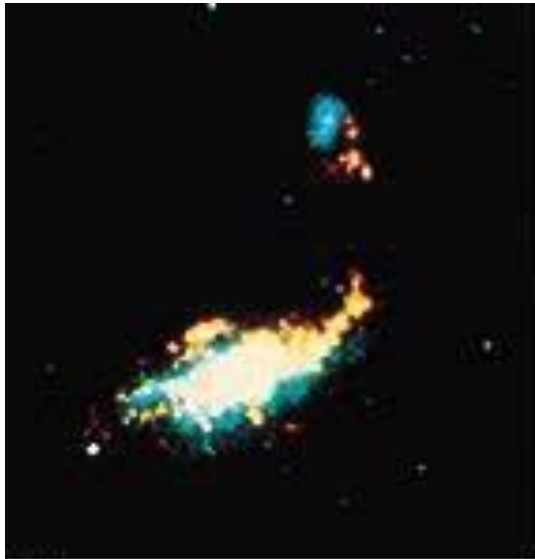
(c)

# Galáxias Irregulares

**Irr II:** são as mais raras

- Não classificadas originalmente por Hubble
- Mais raras: peculiares
- Estrelas não podem ser resolvidas em geral
- Possivelmente formadas por colisões entre galáxias

# Irregulares II



(a)



(b)



(c)



# PROPRIEDADES INTEGRADAS

## Luminosidade e Forma

- Difícil definir **luminosidade total**  $\Rightarrow$  galáxias não têm limite (contorno) bem definido
- Na ausência de contornos bem determinados:  
estima-se a magnitude dentro de uma **isofota**:  
esta determina o tamanho angular  $\Theta_G$  da galaxia

# Luminosidade e Forma

- Medidas de Magnitudes absolutas das galaxias:

$M_V = -9$  a  $-22$  mag. ( $10^6$  a  $\sim 10^{11} L_\odot$ )

↓ ↓

E anas E gigantes

E gigantes: mais brilhantes que S em geral

Galaxias com  $M_V > -18$  : anas

Nossa Galáxia (vista de fora) teria  $M_V \sim -21$

E super gigantes:  $M_V = -25$  ( $10^{12} L_{\text{sol}}$ )



# Tamanho

- **Galaxias E anãs e Irr pequenas:** menores galaxias:  
 **$D = 3000 \text{ pc}$**
- **Tipicamente:** D galaxias:  **$D = 15 \text{ kpc}$**
- **E gigantes:**  **$D \leq 60 \text{ kpc}$**
- **Galaxias cD** (super-gigantes E no centro de aglomerados de gals.):  **$D = 2 \text{ Mpc}$**   
( $>$  que distancia entre VL e Andromeda)

# Imageamento fotométrico

- Técnica usada para determinar luminosidade e **forma das galáxias**

**Elípticas:** brilho varia gradualmente do centro para fora não mostra descontinuidade.

- **Perfil de intensidade:**

$$I(R) = I_e e^{\left\{-7,67 \left[ \left( \frac{R}{R_e} \right)^{1/4} - 1 \right] \right\}}$$

$R_e$  (raio efetivo)  $\Rightarrow$  contém metade da luz da galáxia.

# Imageamento fotométrico

**Lenticulares**  $\Rightarrow$  estrutura composta:

- **região mais interna (bojo):** semelhante à distribuição esferoidal das elípticas
- **Para raios maiores (disco)**  $\Rightarrow$  lei exponencial:

$$I(R) = I_d e^{\left\{ \frac{-R}{R_d} \right\}}$$

onde  $R_d$  é o raio de escala do disco.

# Imageamento fotometrico

## Espirais (S):

- Presença dos braços: galáxias espirais tem distribuição de luminosidade + complicada.
- Três componentes:

**Disco** (~lenticulares)

$$I(R) = I_d e^{\left\{-R/R_d\right\}}$$

• **Núcleo** (~elípticas)

$$I(R) = I_e e^{\left\{-7,67\left[\left(R/R_e\right)^{1/4} - 1\right]\right\}}$$

• Braços

# Cores das Galáxias

Correlação entre tipo morfológico e a cor observada:

- **Elípticas (E):** mais avermelhadas que espirais (S)
- **Espirais:** mais avermelhadas que **Irregulares**
- **Entre espirais:** quanto maior bojo e menores braços  
⇒ **mais avermelhadas**

- **Galaxias E e Sa:** cor ~ estrelas K (+ avermelhadas e  $T_{\text{eff}} <$ )
- **Sb:** cor ~ estrelas F, G, K
- **Sc e Irr:** cor ~ estrelas A a F

# Conteúdo Estelar

**Distribuição de cores:** indicação dos tipos estelares em várias partes de uma galáxia

**Irregulares** (mais azuis) → → **elípticas** (mais vermelhas).

- População II (velha) predomina nas **elípticas**
- **Irregulares** possuem uma **população I** bem mais jovem
- **Espiraís** ⇒
  - mistura de populações** ⇒ tamanho do núcleo (+ população II velha) em relação ao dos braços espirais (+ população I jovem)
  - partes mais externas do disco ⇒ + azuis ⇒ nas Sc os braços **externos** parecem conter populações estelares mais **jovens** que braços **internos** ⇒ menos **gás**

# Conteúdo Estelar

Distribuição dos tipos de estrelas em **espirais**:

- **estrelas mais velhas e vermelhas**: formadas mais próximas ao **núcleo**
- **população do disco**: estrelas parecidas com o Sol, idade intermediária
- **braços espirais**: estrelas de formação recente



Tabela 1 – Propriedades das galáxias elípticas, irregulares e espirais.

Propriedade	Galáxia Elíptica	Galáxia Espiral	Galáxia Irregular I
massa ( $M_{\odot}$ )	$10^5$ a $10^{13}$	$10^9$ a $4 \times 10^{11}$	$10^8$ a $3 \times 10^{10}$
magnitude absoluta	-9 a -23	-15 a -21	-13 a -18
luminosidade ( $L_{\odot}$ )	$3 \times 10^5$ a $10^{12}$	$10^8$ a $2 \times 10^{11}$	$10^7$ a $10^9$
M / L ( $M_{\odot} / L_{\odot} = 1$ )	100	2 a 20	1
diâmetro (kpc)	1 a 200	5 a 50	1 a 10
população estelar	II e I velha	I (braços), I – II (espalhada)	I, algumas II
poeira	quase nenhuma	sim	sim
$M_{\text{HI}} / M_{\text{T}}$ (%)	0	2 (Sa), 5 (Sb), 10 (Sc)	22
tipo espectral	K	K (Sa), F / K (Sb), A / F(Sc)	A / F

# Energetica das Galaxias

## Teorema do Virial:

- Relaciona energia cinetica (EC) de um sistema com sua en. potencial gravitacional (EP)
- Hipotese fundamental: sistema é estavel (nem colapsando, nem expandindo ou separando-se)
- Se componentes do sistema tem **EC >> EP**: **sistema expande**
- Se **EP >> EC**: **sistema contrai (colapsa)**
- Se estavel:  **$2\langle EC \rangle = -\langle EP \rangle$**  → **TEOREMA DO VIRIAL**

# Energetica das Galaxias

$$2\langle EC \rangle = -\langle EP \rangle \rightarrow \text{TEOREMA DO VIRIAL}$$

Para uma galaxia:

$$\langle EC \rangle = \langle Mv^2 \rangle / 2$$

$$-\langle EP \rangle = GM^2/R$$

$$\rightarrow \langle v^2 \rangle = \langle GM/R \rangle \propto M/R$$

Um calculo mais preciso:

$$\langle v^2 \rangle = 0,4 GM/r_h$$

$r_h$ : raio envolvendo  $M/2$  da galaxia

$\langle v^2 \rangle$  : valor medio do quadrado das velocidades peculiares das estrelas

$M$ : massa total da Galaxia

# Energetica das Galaxias

Consideremos a formação de 1 galaxia a partir de nuvem de gas dispersa:

$$E_T = E_C = E_P = 0 \quad (\text{nuvem em repouso})$$

Quando nuvem começa a contrair:  $E_C \uparrow$  e  $E_P \downarrow$  (fica negativa):

→ Estado final de equilíbrio:

$$E_T = -E_C = E_P/2$$

$E_T < 0$ : sistema está ligado (virializado)

$E_P/2$ : liberada no colapso: converteu-se em  $E_C$

$E_P/2$ : outra metade: irradiada durante o colapso

# Massa

## 1. Metodo de determinacao por Luminosidade:

- Se cada estrela contribui com tanta  $L$  para sua massa total como o Sol:  
→ em media:  $1 M_{\text{sol}}$  contribui com  $1 L_{\text{sol}}$  ( $M/L=1$ )

$$M_G = \Sigma m_* \sim 10^{11} M_{\text{sol}} \rightarrow \text{Massa Luminosa}$$

→ Sem levar em conta gas (ate 30%), poeira (ate 5%) e ME

Esse metodo baseado na massa luminosa resulta:

$$M_G = 10^5 \text{ a } 10^{13} M_{\text{sol}}$$

# Determinação da Massa por Metodos Dinamicos

## 2. Equação obtida do Teorema do Virial (E):

$$\langle v^2 \rangle = 0,4 GM/r_h$$

$r_h$ : raio envolvendo M/2 da galaxia

$\langle v^2 \rangle$  : valor medio do quadrado das velocidades peculiares das estrelas

M: massa total da Galaxia

**Util para determinar M da galaxia se conhecemos  $\langle v^2 \rangle$ :**

**→ Metodo dinamico de determinar M**

Teorema do Virial: indica quais objetos realmente pertencem a uma galaxia. Se  $\langle v \rangle$  de uma estrela  $\gg$  que  $\langle v \rangle$  para estrelas da galaxia: entao essa estrela não pertence à galaxia

Tipicamente:  $\langle v \rangle \sim 300 \text{ km/s}$

# Determinação da Massa por Metodos Dinamicos

O metodo de determinação de M através de L:

resulta  $M/L=1$

Porem Tabela mostra que  $M/L > 1$ :

2. Teorema do Virial + medida de  $\langle v \rangle$ :  $\langle v^2 \rangle = 0,4 GM/r_h$

resulta:  $M_G > M_{Luminosa}$

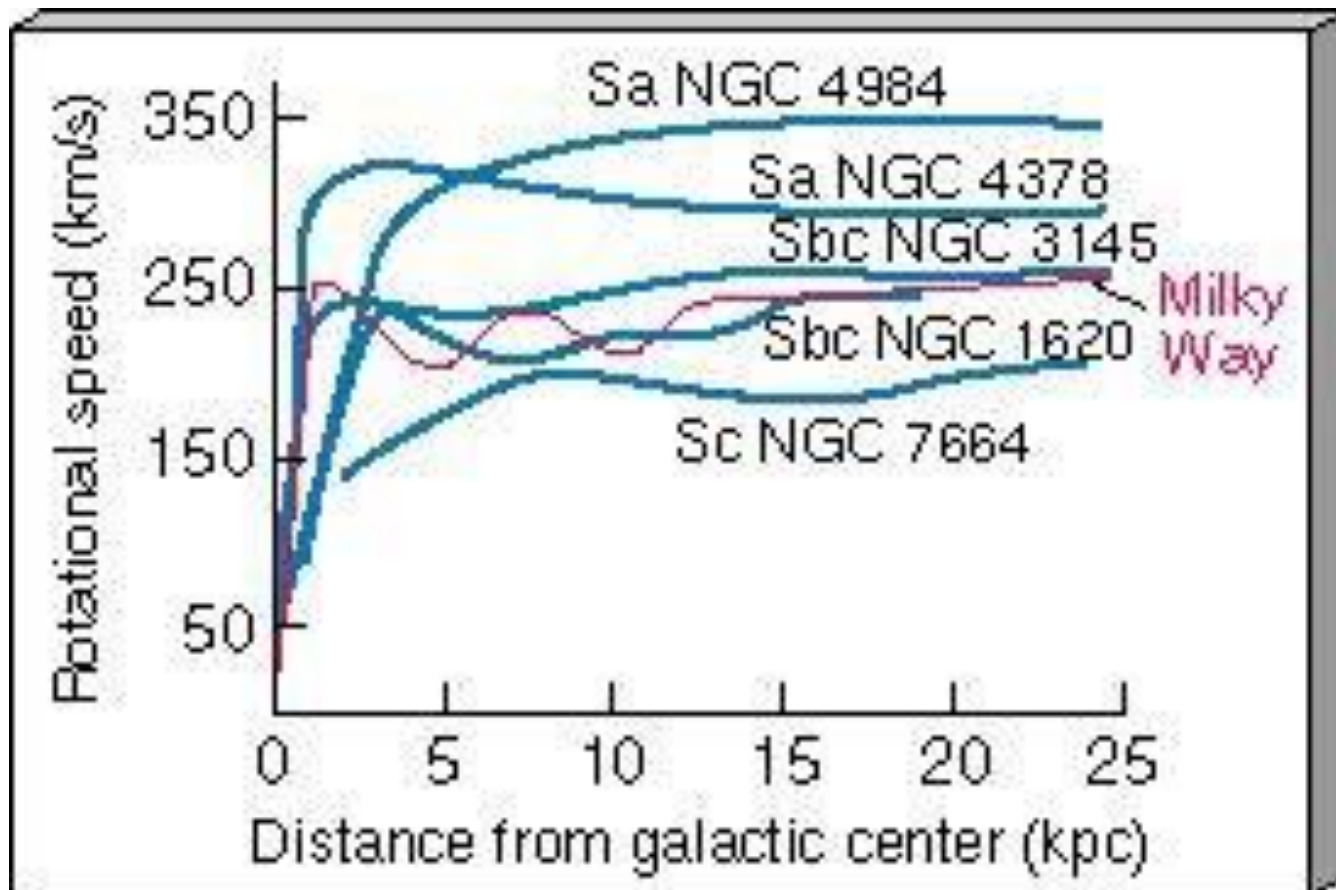


Tabela 1 – Propriedades das galáxias elípticas, irregulares e espirais.

Propriedade	Galáxia Elíptica	Galáxia Espiral	Galáxia Irregular I
massa ( $M_{\odot}$ )	$10^5$ a $10^{13}$	$10^9$ a $4 \times 10^{11}$	$10^8$ a $3 \times 10^{10}$
magnitude absoluta	-9 a -23	-15 a -21	-13 a -18
luminosidade ( $L_{\odot}$ )	$3 \times 10^5$ a $10^{10}$	$10^8$ a $2 \times 10^{10}$	$10^7$ a $10^9$
M / L ( $M_{\odot} / L_{\odot} = 1$ )	100	2 a 20	1
diâmetro (kpc)	1 a 200	5 a 50	1 a 10
população estelar	II e I velha	I (braços), I – II (espalhada)	I, algumas II
poeira	quase nenhuma	sim	sim
$M_{\text{HI}} / M_{\text{T}}$ (%)	0	2 (Sa), 5 (Sb), 10 (Sc)	22
tipo espectral	K	K (Sa), F / K (Sb), A / F(Sc)	A / F

# Determinação da Massa por Metodos Dinamicos

## 3. Outro metodo dinamico: Curva de Rotacao das galaxias espirais (S)



# Determinação da Massa por Metodos Dinamicos

## 3. Metodo dinamico usando Curva de Rotacao das galaxias espirais (S) (similar à nossa galaxia):

- Se curvas obedecessem lei de Kepler:  $v_{\text{rot}} = (MG/r)^{1/2}$
- Porem curvas mostram:
  - à medida que nos afastamos da regio central:  $v_{\text{rot}} \sim \text{cte}$
  - Grande fração de  $M(r)$  não cai no interior mas em HALO ESCURO
  - Se  $v_{\text{rot}}$  Kepleriano:  $M(r) \rightarrow \text{cte}$
  - Mas curvas mostram:  $M(r) \propto r$  (similar a VL)
- Investigação de 279 sistemas (maioria S):  
 $M_G = 10^{12} M_{\text{sol}}$  (espirais)

Metodos Dinamicos:  $M(M_{\text{sol}})/L(L_{\text{sol}}) > 1$  (2 ate 30)

→ Maior parte da massa NÃO-LUMINOSA → ME !