

Fundamentos de Astronomia e Astrofísica

Galáxias

Tibério B. Vale

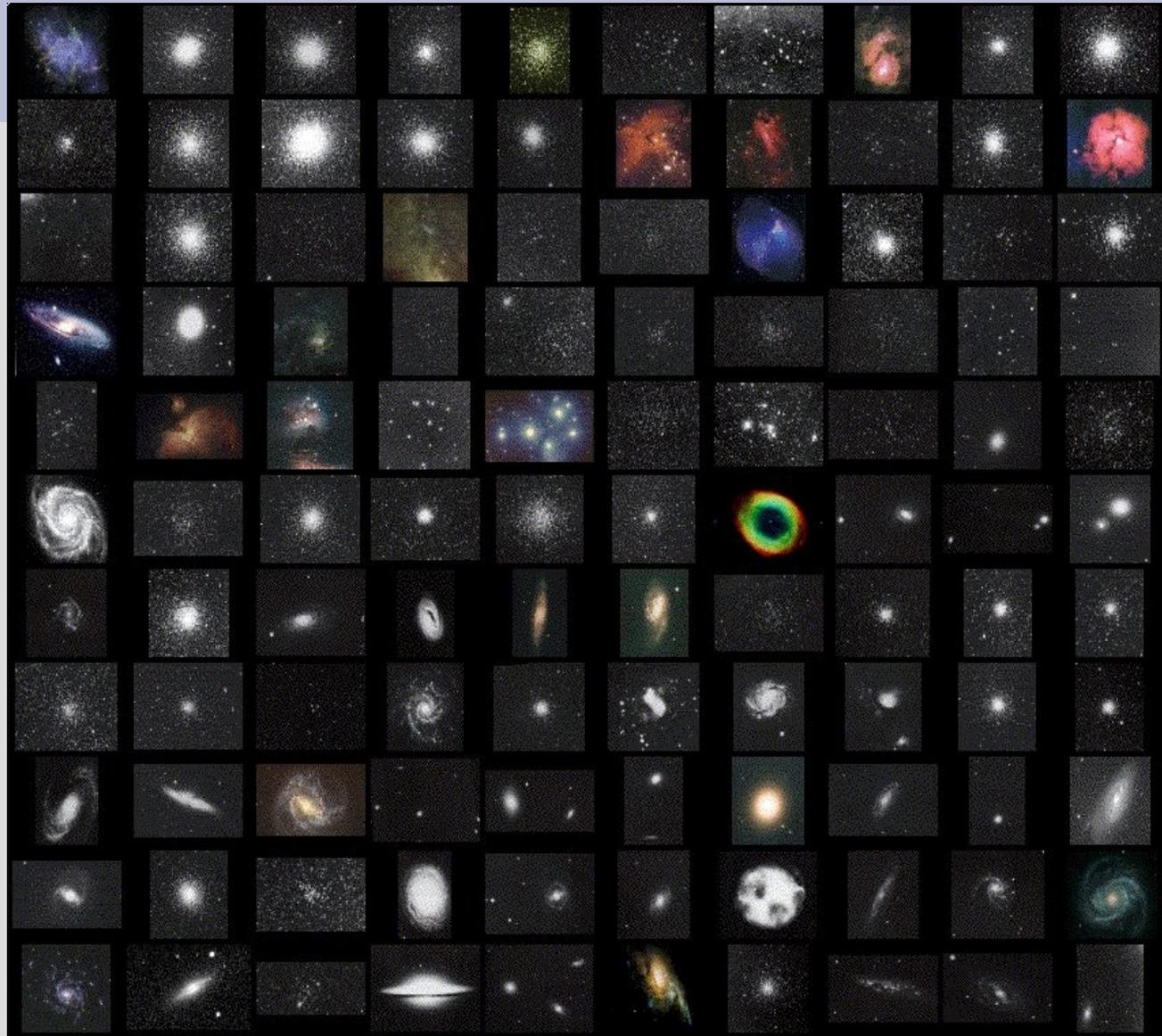
<http://astro.if.ufrgs.br/>

A descoberta das galáxias

Kant (1755):

hipótese dos "universos-ilha": a Via Láctea é apenas uma galáxia a mais em um vasto universo cheio de galáxias.

O catálogo de objetos difusos de Messier (1758-1782)



O grande debate

Até 1908, cerca de 15.000 nebulosas haviam sido catalogadas e descritas. Algumas haviam sido corretamente identificadas como aglomerados estelares, e outras como nebulosas gasosas. A maioria, porém, permanecia com natureza inexplicada.

Principal pergunta: qual a distância das nebulosas espirais?

- **Shapley e Curtis (1920):** O grande debate: O que são as "nebulosas espirais" (Academia Nacional de Ciências - EUA)
- **Harlow Shapley:** defendeu a hipótese nebular convencional: são objetos da nossa Galáxia .
- **Heber Curtis:** defendeu a hipótese dos universos-ilha: são outras galáxias como a nossa.

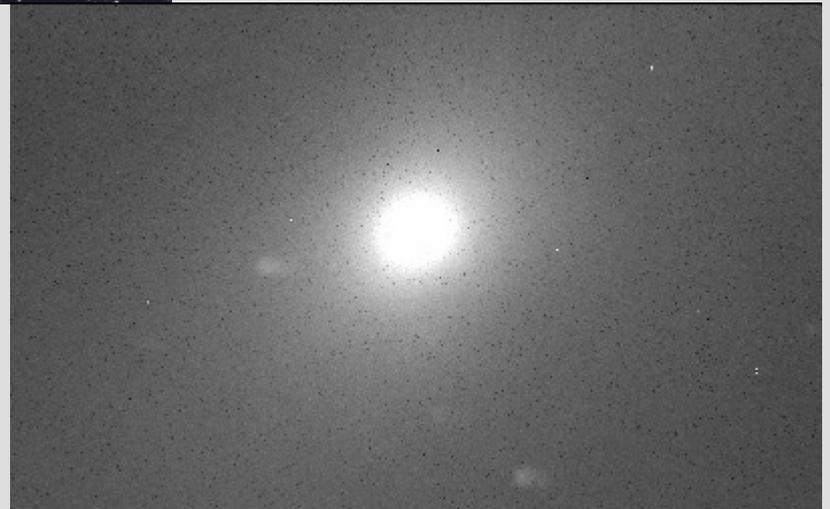
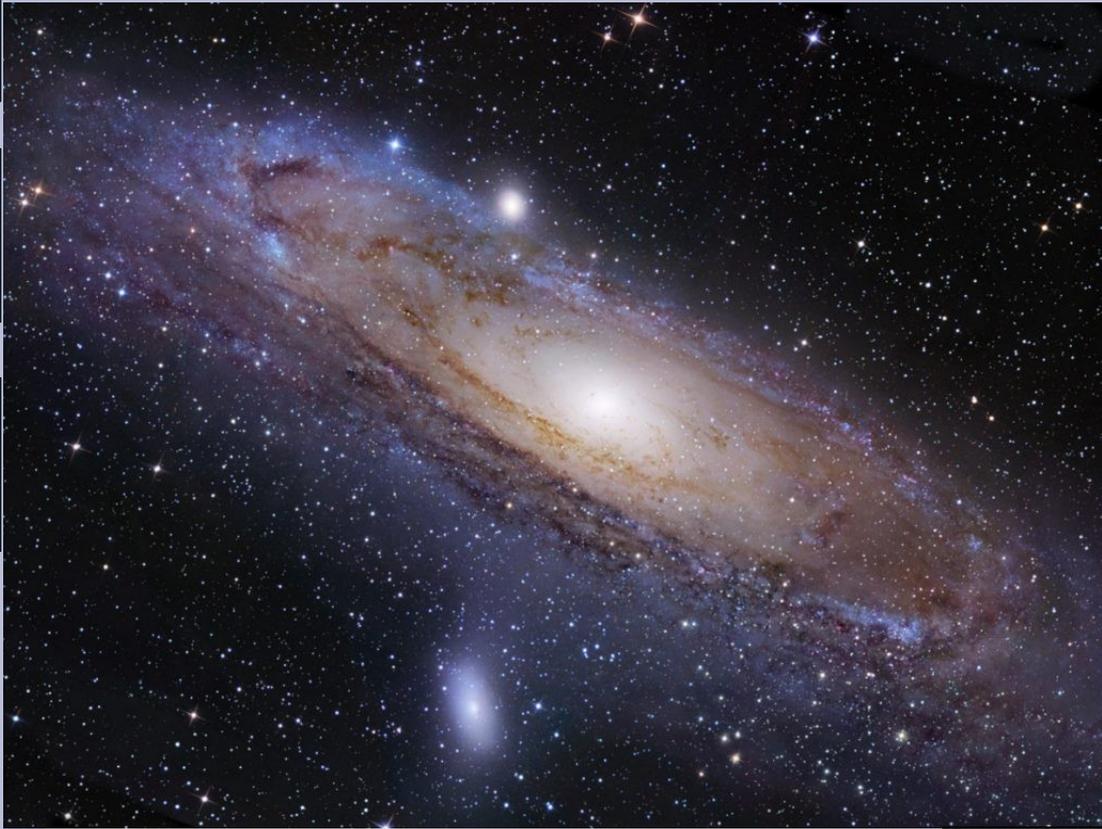
Debate inconclusivo!

Um universo de galáxias

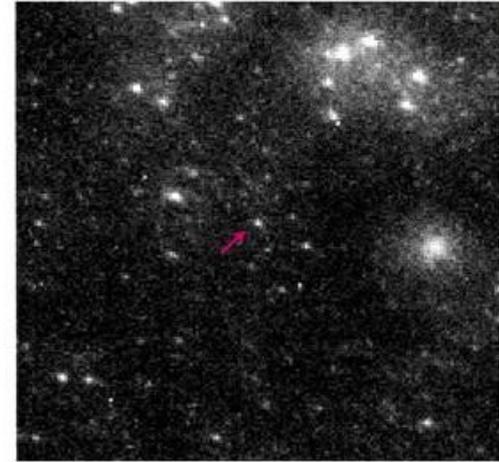
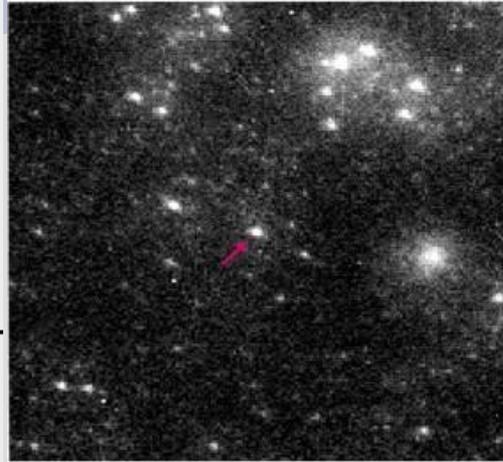
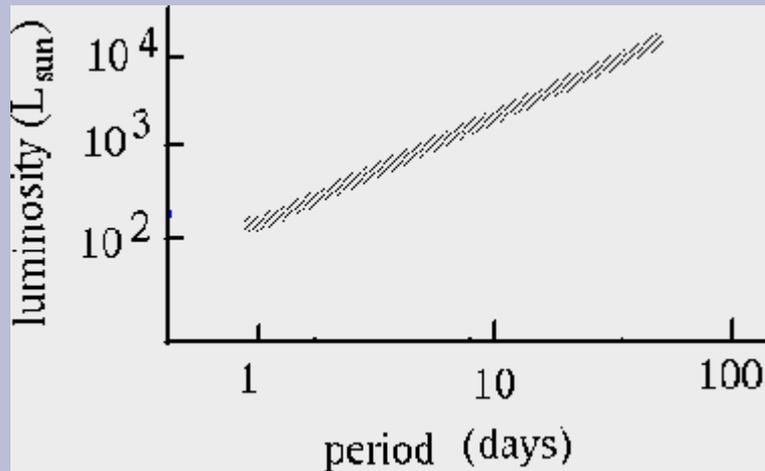
Edwin Hubble (1923): um universo de galáxias

- Usa o novo Telescópio Hooker de 2,5 m de Monte Wilson
- Encontra Cefeidas em Andrômeda
- Determina suas distâncias através da relação período-luminosidade
- Comprova que Andrômeda está fora dos limites da Via Láctea
- Detectou a expansão do Universo pela análise de redshifts nos espectros de galáxias distantes (com Milton Humason)





Calculando distâncias com Cefeidas - 4 passos



- 1) Observamos com o telescópio o período de variação da luz e a luminosidade (I) de uma estrela Cefeida, em uma galáxia distante (d);
- 2) Determinamos a luminosidade intrínseca (L) que tem a estrela, com a ajuda da relação período luminosidade das Cefeidas observadas na Via Láctea (figura)
- 3) A luminosidade observada $I \sim L/d^2$
- 4) A distância $d \sim (L / I)^{1/2}$

Nebulosas exteriores à Via Láctea

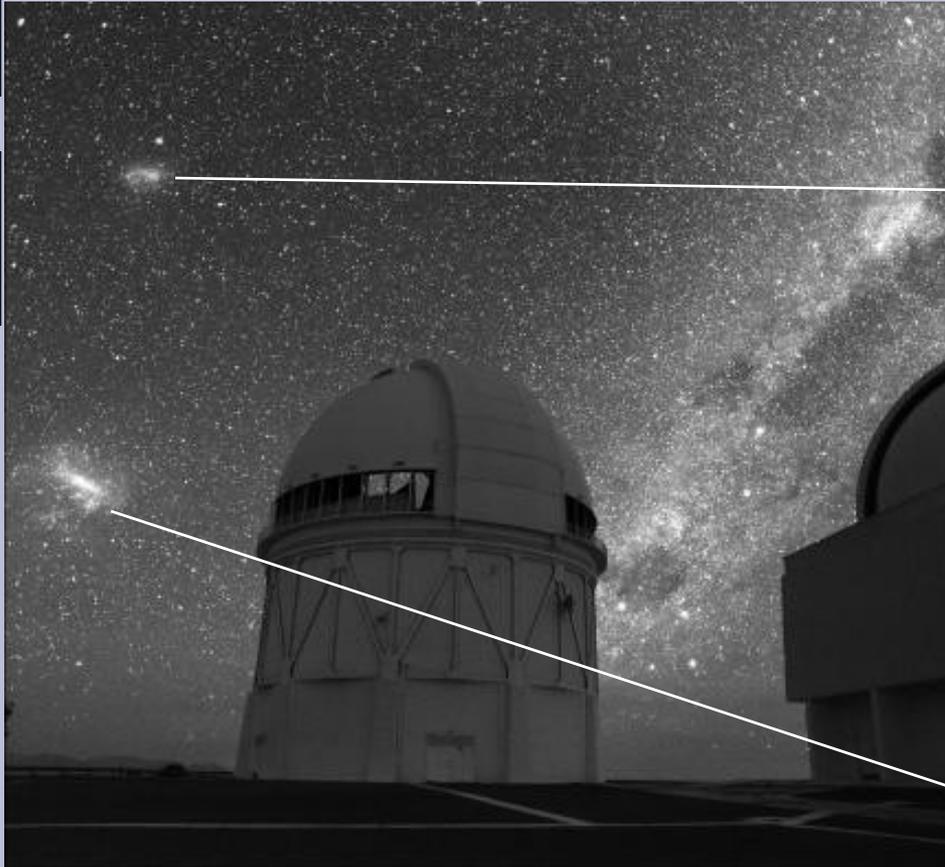
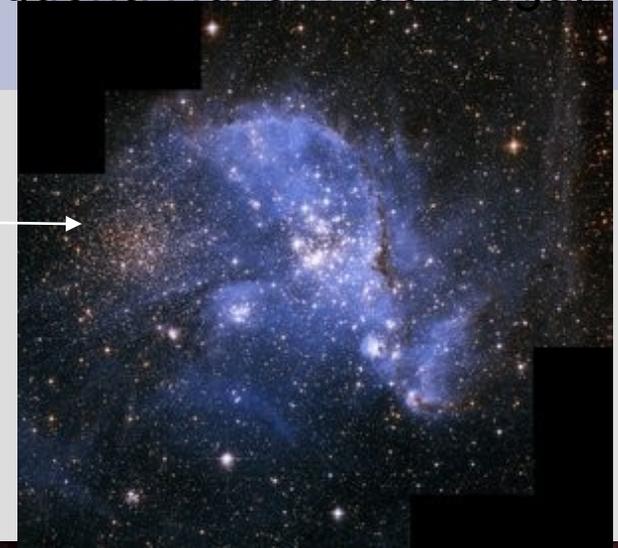


Andrômeda M31

- Em 1923 **Edwin Powell Hubble** (1889-1953) proporcionou a evidência definitiva para considerar as "**nebulosas espirais**" como galáxias independentes;
- Ao identificar uma variável Cefeida na "**nebulosa**" de Andrômeda (M31). Hubble pode calcular a distância entre esta e a Via Láctea, obtendo um valor de **2,2 milhões de anos-luz**.

As Nuvens de Magalhães

Pequena Nuvem de Magalhães



As Nuvens de Magalhães distam
160.000 anos Luz da Via Láctea

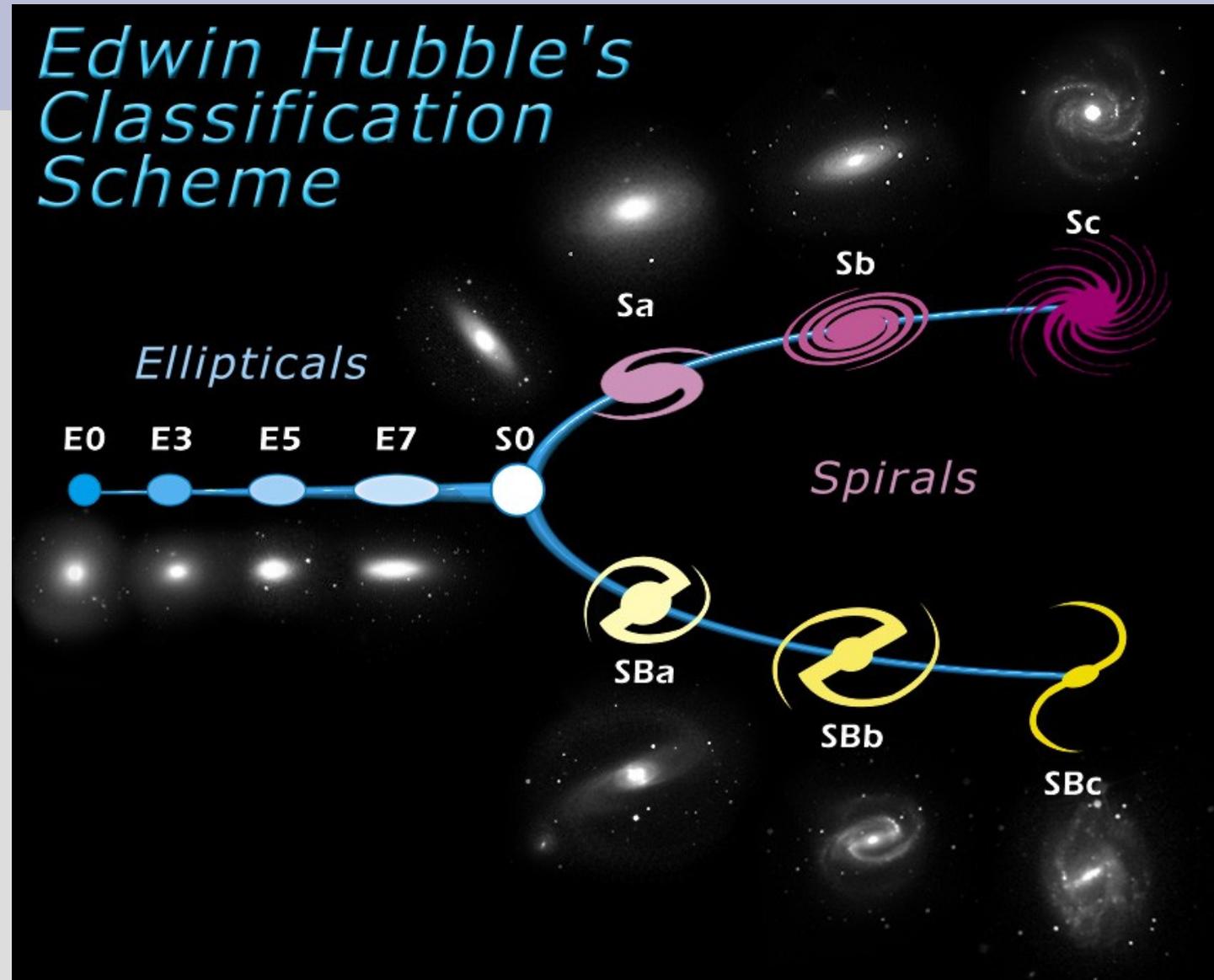


Grande Nuvem de Magalhães

Classificação morfológica de galáxias

Hubble (1936)

- Elípticas
- Espirais
- Irregulares



Galáxias Espirais

As galáxias espirais, quando vistas de frente, apresentam uma clara estrutura espiral. Andrômeda (M31) e a nossa própria Galáxia são espirais típicas. Elas possuem um núcleo, um disco, um halo, e braços espirais.

Todas as espirais têm duas componentes morfológicas

- 1) **disco** composto de estrelas, gás e poeira. No disco encontra-se a estrutura espiral
- 2) **esferóide** de estrelas, com pouco gás e pouca poeira: núcleo, bojo e halo.

São classificadas de acordo com o tamanho do bojo e grau de enrolamento dos braços espirais.

Galáxias Espirais Ordinárias (S)

Os braços espirais partem do núcleo

Sa: núcleo maior, braços pequenos e bem enrolados

Sb: núcleo e braços intermediários

Sc: núcleo menor, braços grandes e mais abertos



Sa



Sb



Sc

Galáxias Espirais Barradas (SB)

Espirais barradas: os braços espirais partem de uma barra formada de estrelas

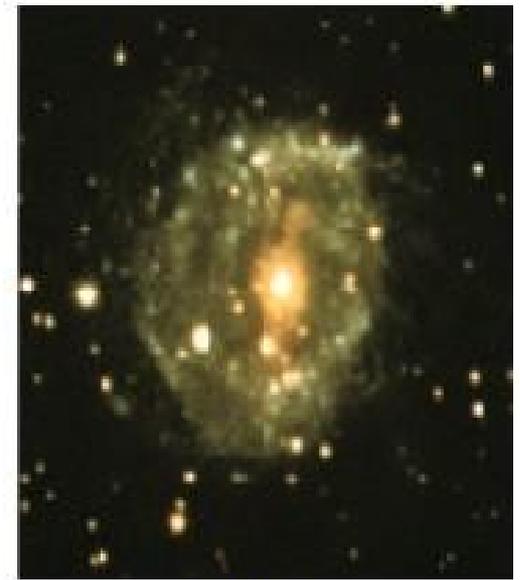
SBa, SBb e SBc



SBa



SBb



SBc

Galáxias Elípticas

Só tem a componente esferoidal, mostrando pouca estrutura interna.

- forma elíptica
- não têm disco, braços espirais, nem gás nem poeira

Classificam-se de acordo com o achatamento aparente (n)

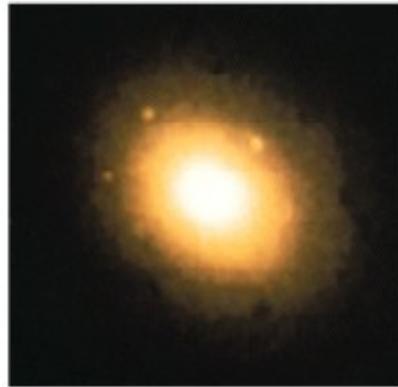
E0 é circular ($b/a=1$)

E7 é mais achatada ($b/a=0,3$)

$$n = 10 \times (1 - b/a)$$



E0



E3



E6

Galáxias Irregulares (I)

Apresentam estrutura irregular, caótica.



Fotos das galáxias irregulares Grande Nuvem de Magalhães e Pequena Nuvem de Magalhães, obtidas no Anglo-Australian Observatory.

Principais características

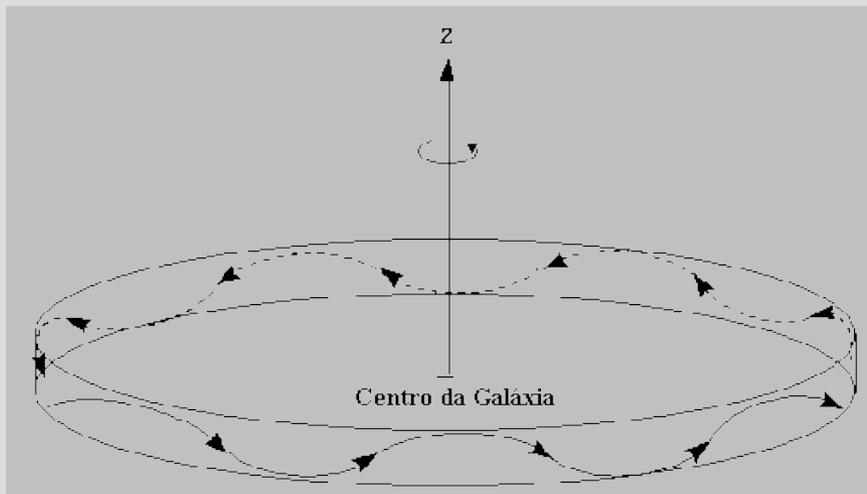
Principais características dos diferentes tipos de galáxias

| Propriedade | Espirais | Elípticas | Irregulares |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Massa (M_{\odot}) | 10^9 a 10^{12} | 10^5 a 10^{13} | 10^8 a 10^{11} |
| Diâmetro (10^3 parsecs) | 5 - 30 | 1 - 1000 | 1 - 10 |
| Luminosidade (L_{\odot}) | 10^8 a 10^{11} | 10^6 a 10^{12} | 10^7 a 2×10^9 |
| População estelar | velha e jovem | velha | velha e jovem |
| Tipo espectral | A a K | G a K | A a F |
| Gás | bastante | muito pouco | bastante |
| Poeira | bastante | muito pouca | varia |
| Cor | azulada no disco amarelada no bojo | amarelada | azulada |
| Estrelas mais velhas | 10^{10} anos | 10^{10} anos | 10^{10} anos |
| Estrelas mais jovens | recentes | 10^{10} anos | recentes |

Massa das Galáxias Espirais

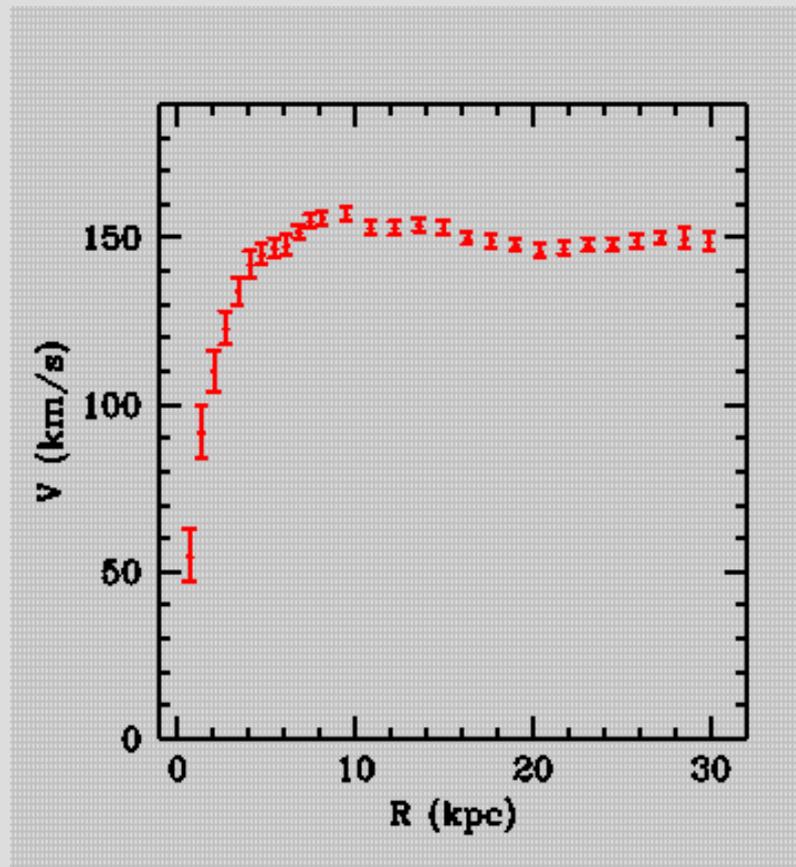
Assume-se que as estrelas e o gás são mantidos em sua órbita pela massa interna à órbita.

Rotação em um disco



$$F_c = F_G \Rightarrow$$

$$M(R)^{\text{espirais}} = \frac{R [v(R)]^2}{G}$$



Massa das Galáxias Elípticas

A partir do Teorema do Virial:

$$E_G + 2E_C = 0,$$

A energia cinética das estrelas é:

$$E_C = \frac{M v^2}{2}$$

onde M é a massa total da galáxia e V é a velocidade média das estrelas, medida pelo alargamento das linhas espectrais.

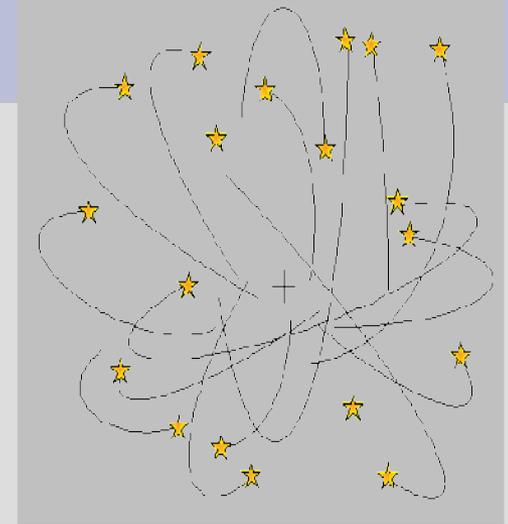
A energia potencial gravitacional é:

$$E_G = -\frac{G M^2}{2R}$$

onde R é o raio médio da galáxia que pode ser estimado a partir da distribuição de luz.

A massa da galáxia será:

$$M^{\text{elípticas}} = \frac{2V^2 R}{G}$$



Formação de galáxias

As estrelas mais velhas das galáxias espirais são tão velhas quanto as estrelas mais velhas das galáxias elípticas

Todas as galáxias começaram a se formar mais ou menos na mesma época do universo:

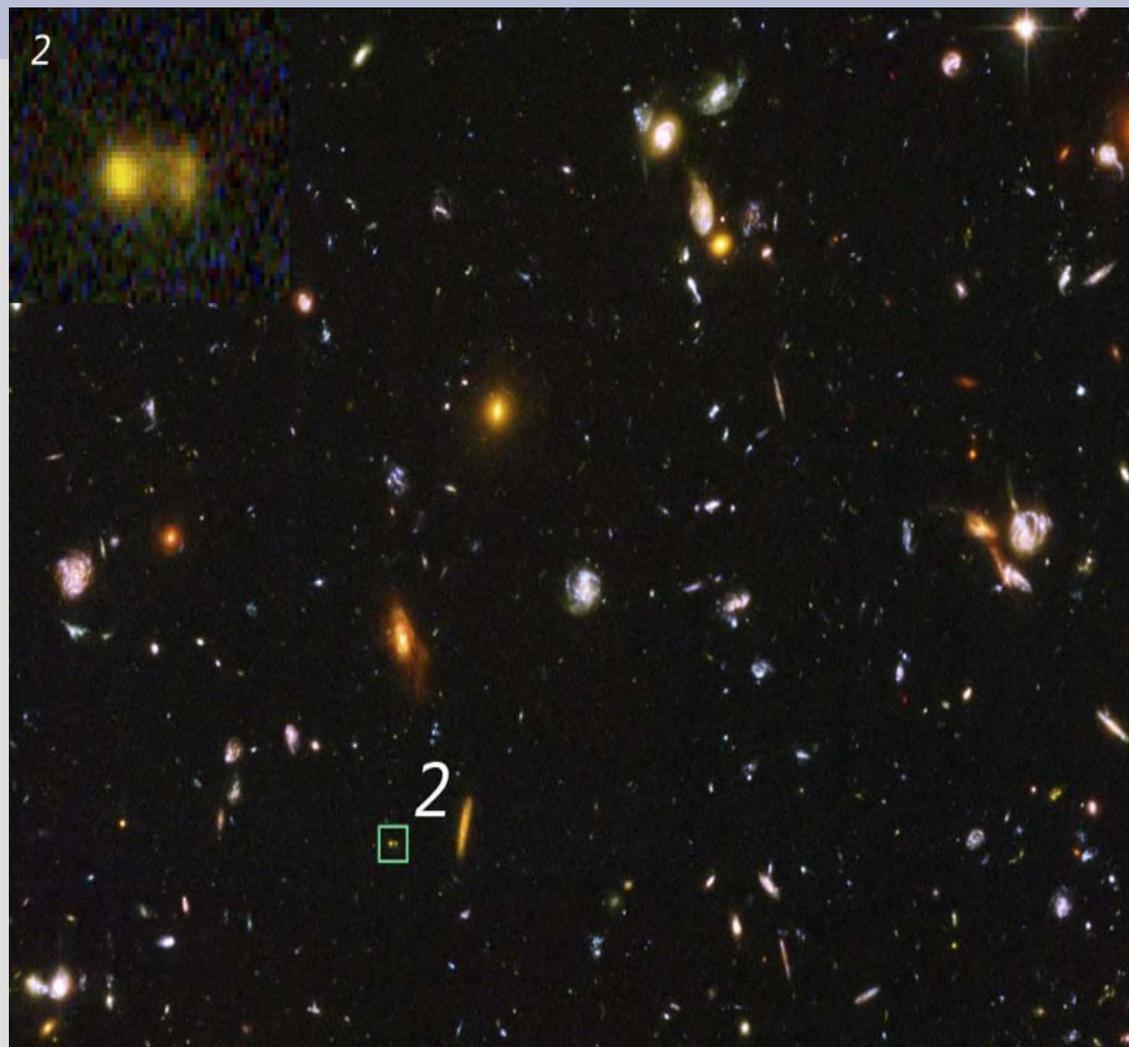
Galáxias elípticas se formaram a partir de nuvens densas, com pouca rotação, e alta taxa de formação estelar

Galáxias espirais se formaram a partir de nuvens menos densas, com maior rotação, e menor taxa de formação estelar.

Formação de galáxias

Galáxias em formação no universo jovem. O objeto marcado com o número 2 está ampliado no canto superior esquerdo da figura, mostrando tratar-se de duas pequenas galáxias se juntando para formar uma galáxia maior. O redshift desse objeto é $z=4,88$, indicando que sua idade é menos da metade da idade atual do universo.

[Crédito: NASA, ESA, e N. Pirzkal STScI/ESA) et al.]



Formação de sistemas esferoidais

- As primeiras estrelas a se formarem (pop II) eram pobres em metais, formaram componentes esferoidais e aglomerados globulares
- Estrelas massivas de pop II explodiram como supernovas e enriqueceram o gás com metais
- Estrelas de pop II que ainda existem atualmente são todas de baixa massa
- Como a formação estelar parou cedo nos sistemas esferoidais (elípticas, bojos e halos), nenhuma estrela foi gerada nesses sistemas a partir do gás enriquecido

Formação de discos

Um disco de gás já enriquecido pela explosão das SN no halo é formado pela rotação rápida

- Forma-se a 1.a geração de estrelas de pop I no disco em rotação
- As estrelas mais massivas formadas tornam-se supernovas, enriquecendo ainda mais o meio interestelar
- As gerações subseqüentes de estrelas têm cada vez mais metais
- A formação estelar continua no disco até hoje