

FSC1057: Introdução à Astrofísica

Galáxias

Rogemar A. Riffel



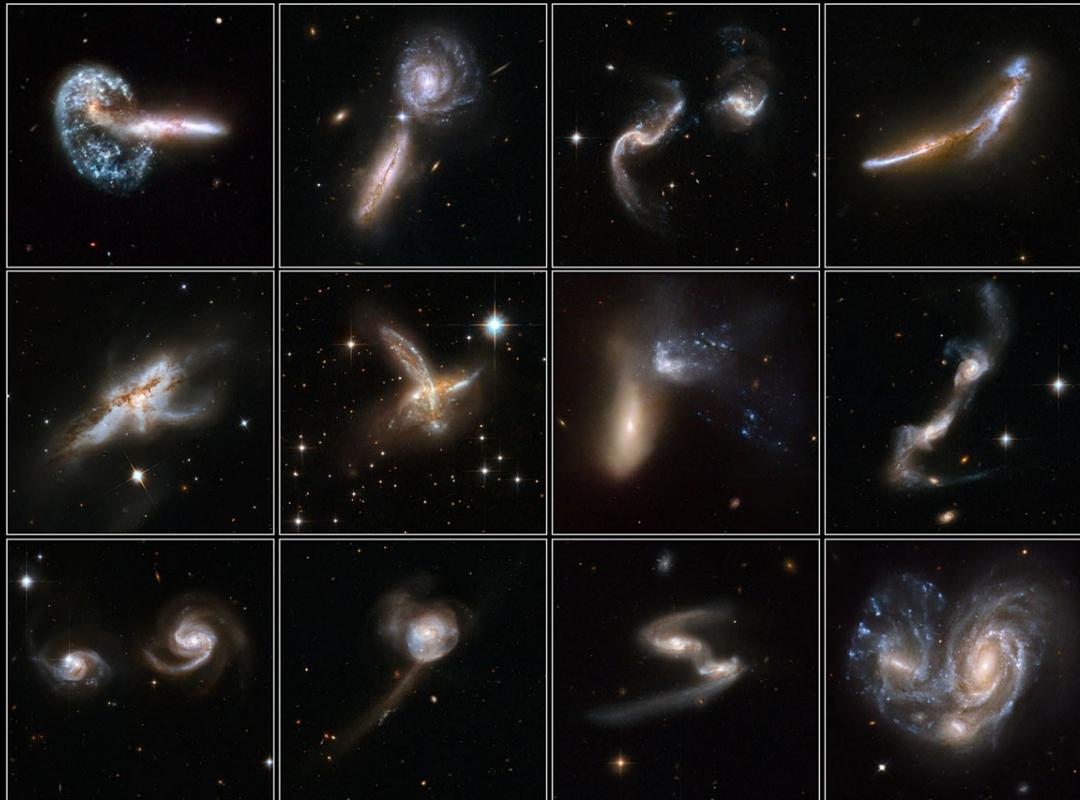
Galáxias x Estrelas

- Processos de formação e evolução das galáxias não tão bem conhecidos como das estrelas
- Por que?
 - Complexidade dos sistemas
 - Observações e interpretação
 - Não temos informações das condições do universo antes da formação das galáxias (diferentes das estrelas)



Galáxias x Estrelas

- Estrelas quase nunca colidem
 - Estrelas ou binárias evoluem quase em isolamento



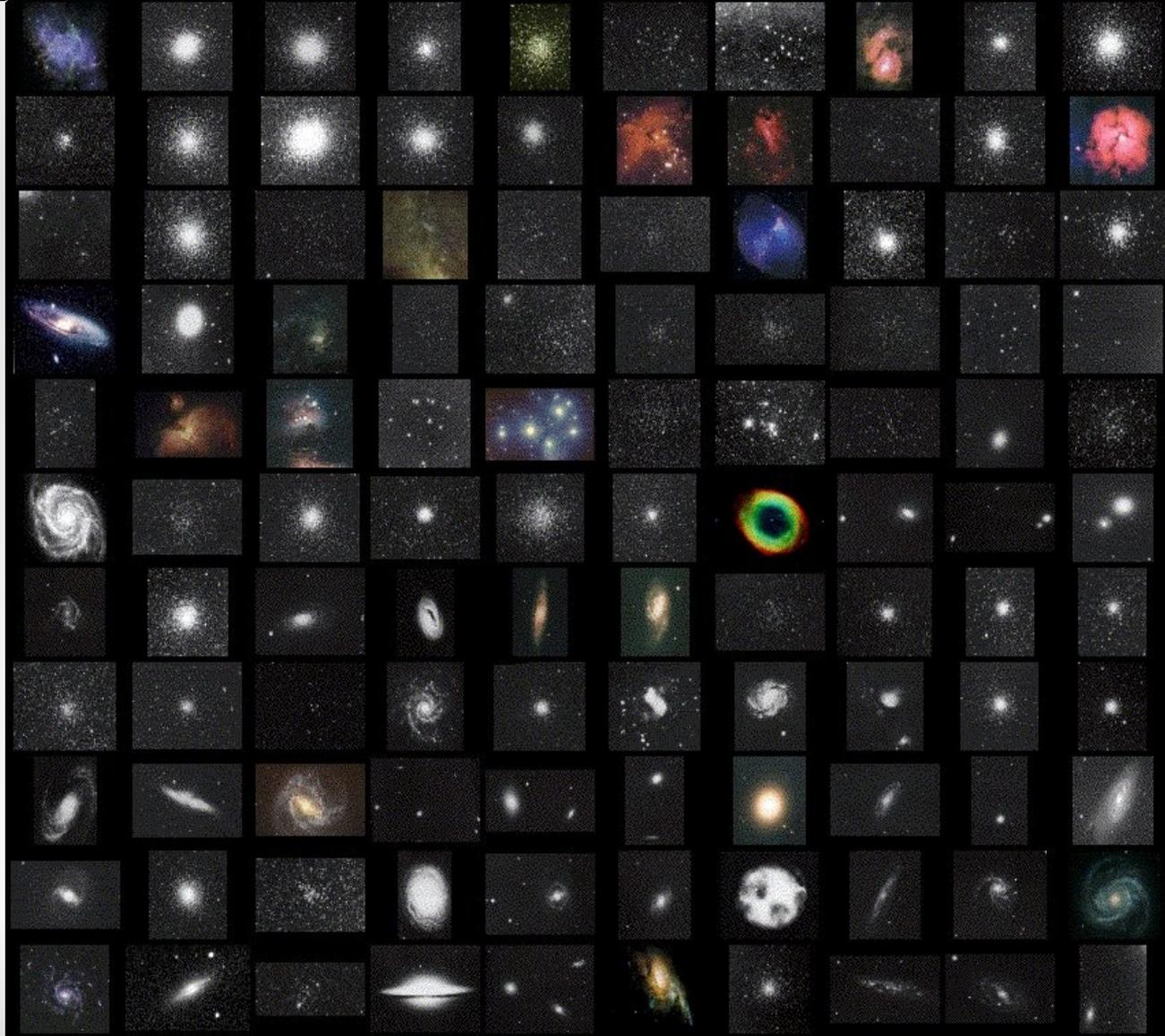
Imagens do Hubble

Galáxias: Interações entre galáxias dificultam o entendimento as primeiras fases da evolução

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 de 2,5 m de Mt Wilson

Encontra Cefeidas em Andrômeda

Determina suas distâncias através da relação período-luminosidade

Comprova que Andrômeda está fora dos limites da Via Láctea



Classificação morfológica de galáxias

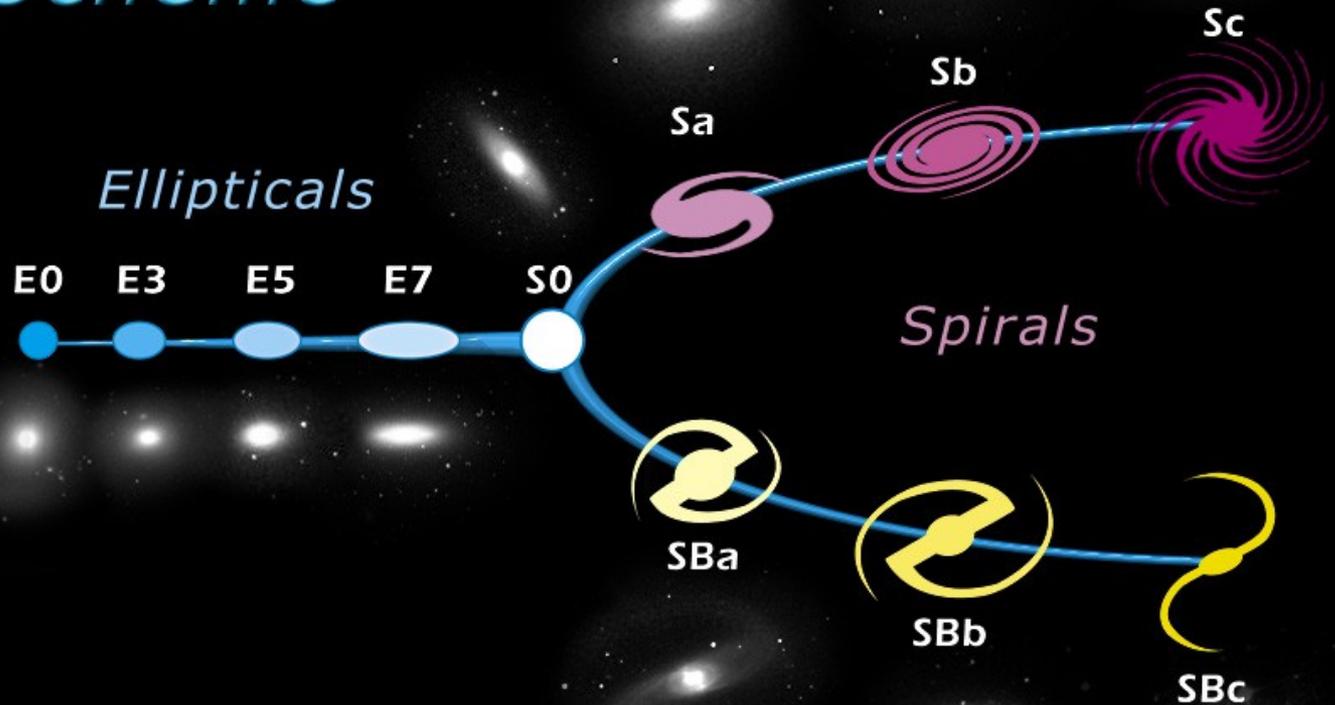
Hubble (1936)

Elípticas

Espirais

Irregulares

*Edwin Hubble's
Classification
Scheme*



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.

- classificam-se de acordo com o tamanho do bojo e grau de enrolamento dos braços espirais.

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

Espirais Barradas (SB)

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

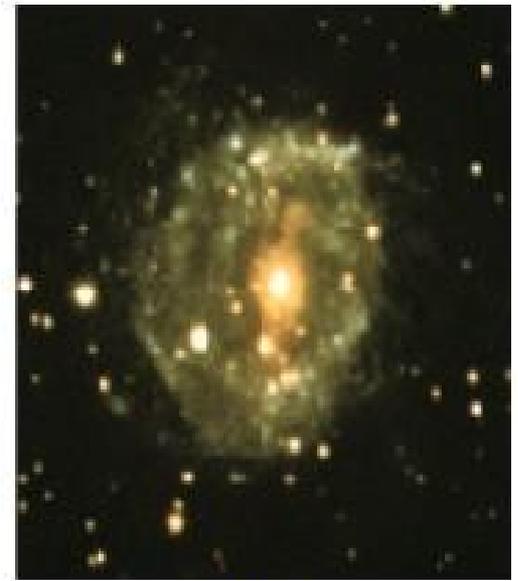
SBa, SBb e SBc



SBa



SBb



SBc

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)

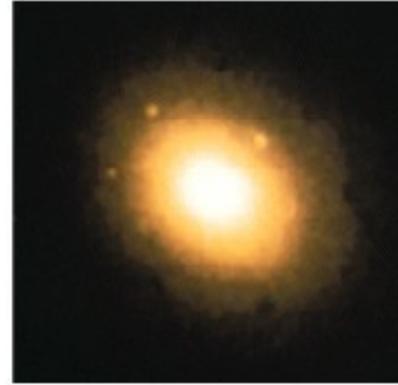
E0 é circular: $b/a=1$

E7 é a mais achatada. ($b/a=0,3$)

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



E0



E3



E6

Irregulares (I)

Apresentam estrutura irregular, caótica.



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

Principais características de cada tipo

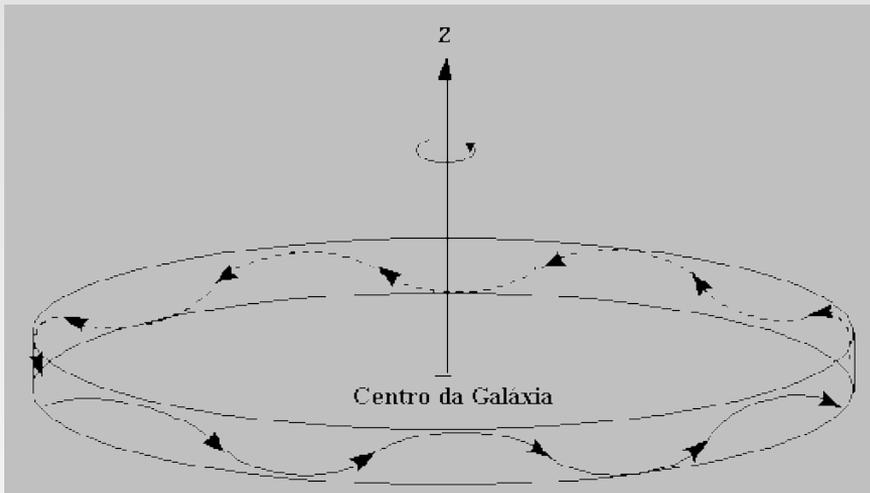
Principais características dos diferentes tipos de galáxias

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

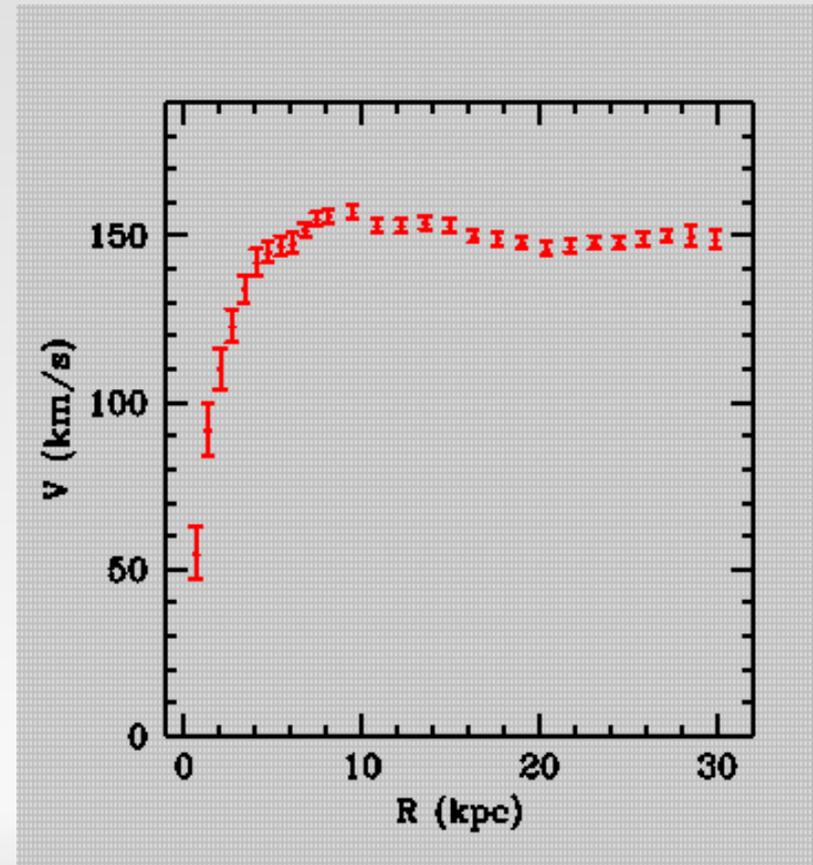
Assume-se que as estrelas e o gás são mantidos em sua órbita pela massa interna à órbita.

Rotação em um disco



$$F_c = F_g$$

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



Massa das galáxias Elípticas

É estimada 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.

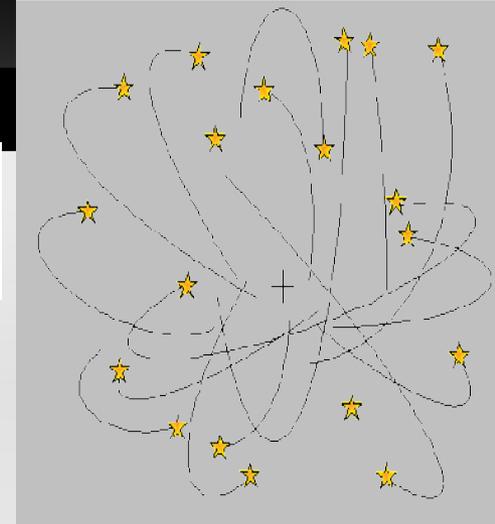
A energia potencial gravitacional é:

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

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

A massa da galáxia será:

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



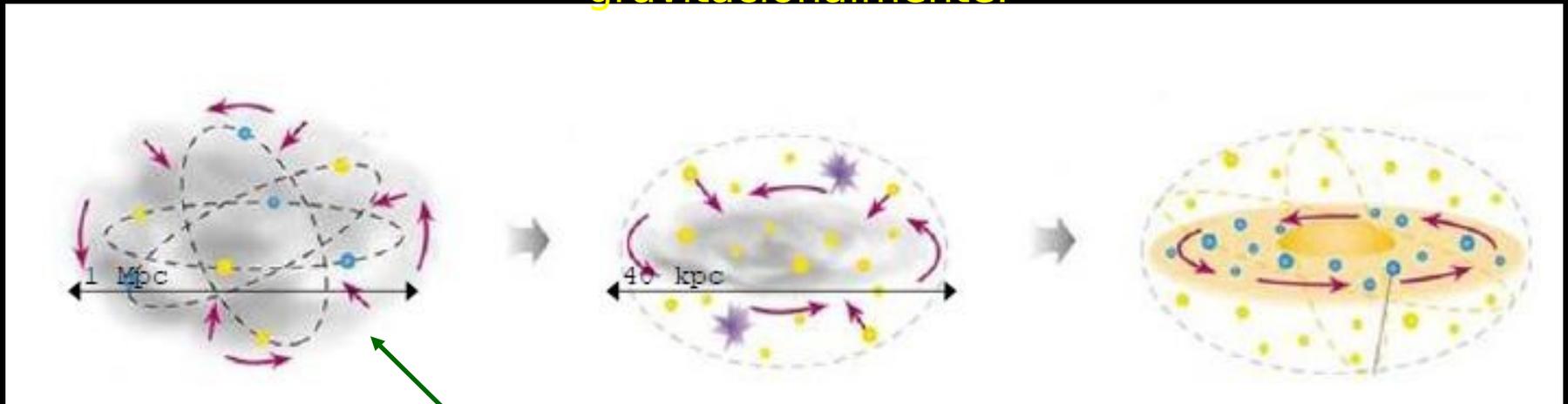
Formação de Galáxias

- Como a velocidade da luz é finita, observamos galáxias distantes como objetos mais jovens.
- Modelos do Universo implicam que as primeiras estrelas se formaram em $z = 10$ a 20 .
- A radiação ultravioleta destas estrelas reionizou o gás e o deixou transparente fazendo com que as galáxias distantes se tornassem visíveis.
- Objetos mais distantes observados possuem $z \sim 6.5$.
- As estrelas mais velhas nas elípticas e espirais tem aproximadamente a mesma idade.

Colapso monolítico

- Proposto por Eggen et al. (1962) estudando a cinemática de estrelas da vizinhança solar

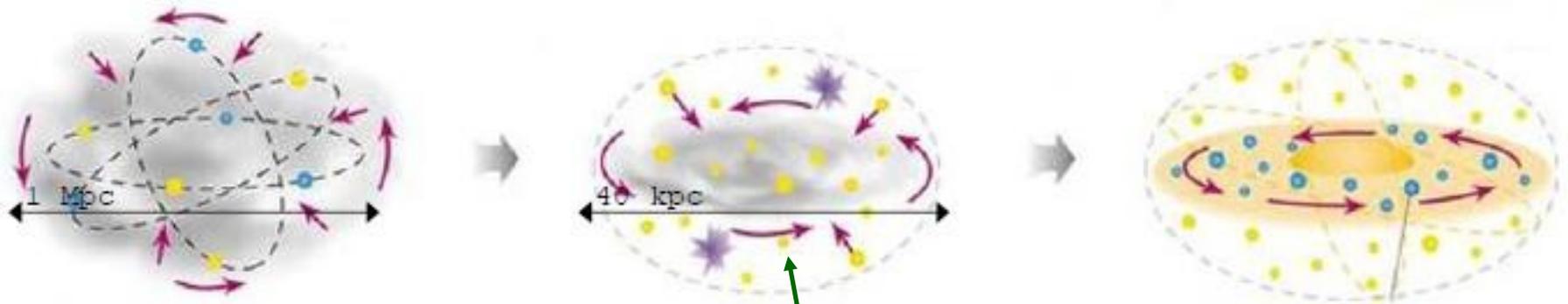
Nuvem proto-galáctica esférica em rotação, contendo toda a essência do material da Via-Láctea (H e He) começa a colapsar gravitacionalmente.



A medida que a nuvem colapsa aumenta a velocidade de rotação e sua densidade → formam-se as primeiras estrelas pobres em metais → aglomerados globulares do halo

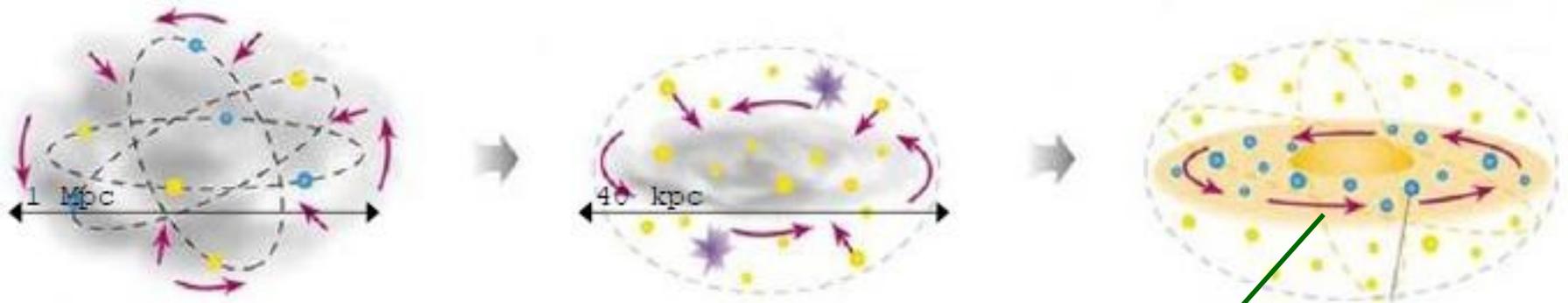
Colapso monolítico

Explosões de supernovas enriquecem o gás com metais



- Algumas estrelas se formam no halo
- O gás se acumula em um disco em rotação rápida: formação de estrelas

Colapso monolítico



- Não há mais formação de estrelas no halo
- No disco ainda existe gás e as estrelas se formam até hoje

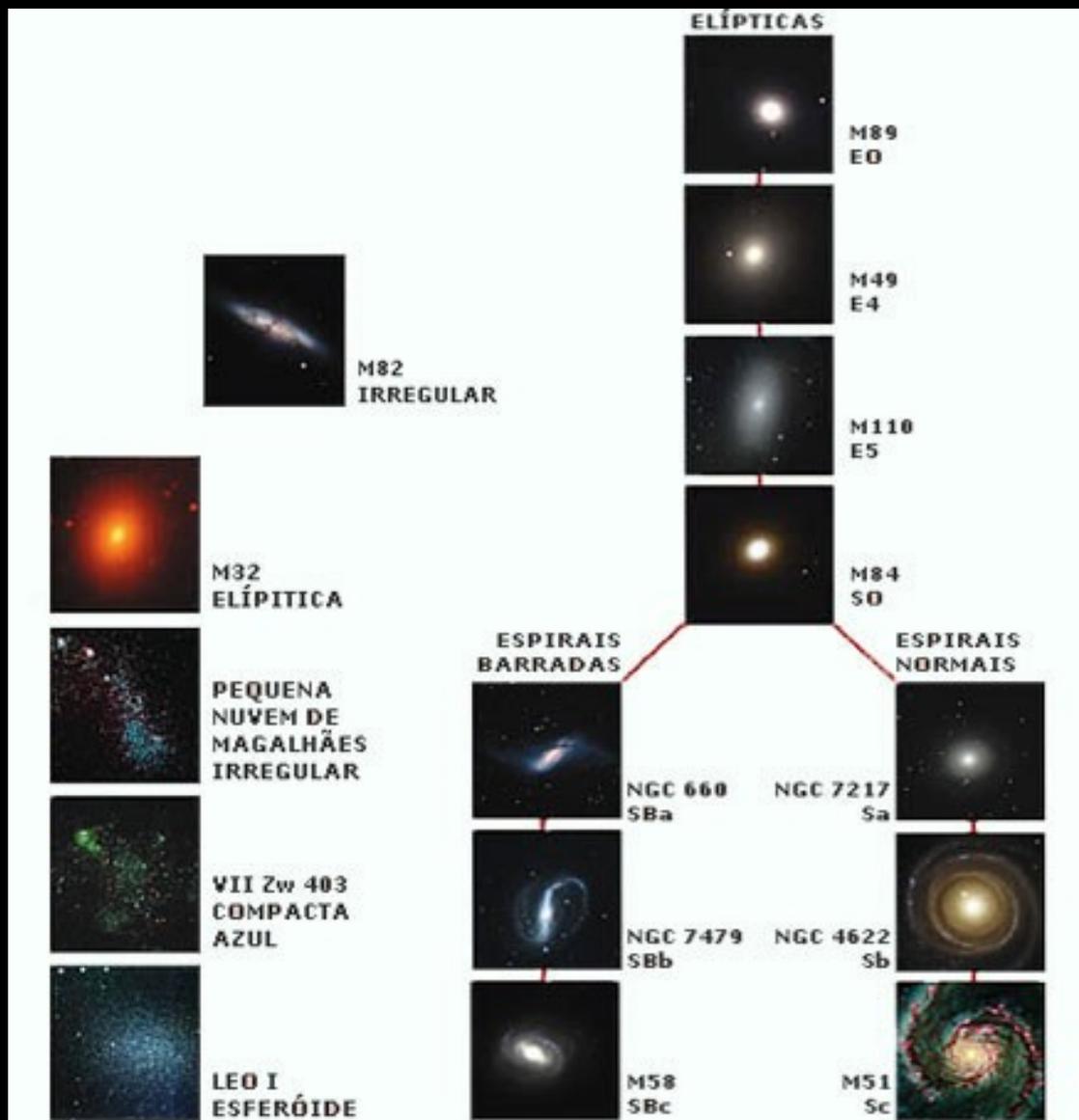
Cenário Hierárquico

- Estruturas menores se fundem para formar estruturas maiores
- Origem nos trabalhos de Searle & Zinn (1978)
 - _ Metalicidade dos aglomerados do halo independe da distância galactocêntrica
- Estruturas de $\sim 10^7 M_{\text{Sol}}$ se formam por colapso
- Fusão de pequenas galáxias para formar galáxias gigantes

Monolítico x Hierárquico

- **Colapso monolítico**
 - Colapso rápido do halo seguido por uma formação mais lenta do disco
 - O padrão de abundâncias químicas homogêneo → formação estelar ocorre de forma uniforme durante a história da galáxia
- **Cenário hierárquico**
 - Abundâncias estelares do disco espesso da Via-Láctea são diferentes das observadas para o disco fino
 - O disco espesso é formado por acreção de galáxias satélites com diferentes históricos de formação estelar
 - Sistemas como a galáxia Sargitarius A que está em curso de ruptura pela Via Láctea

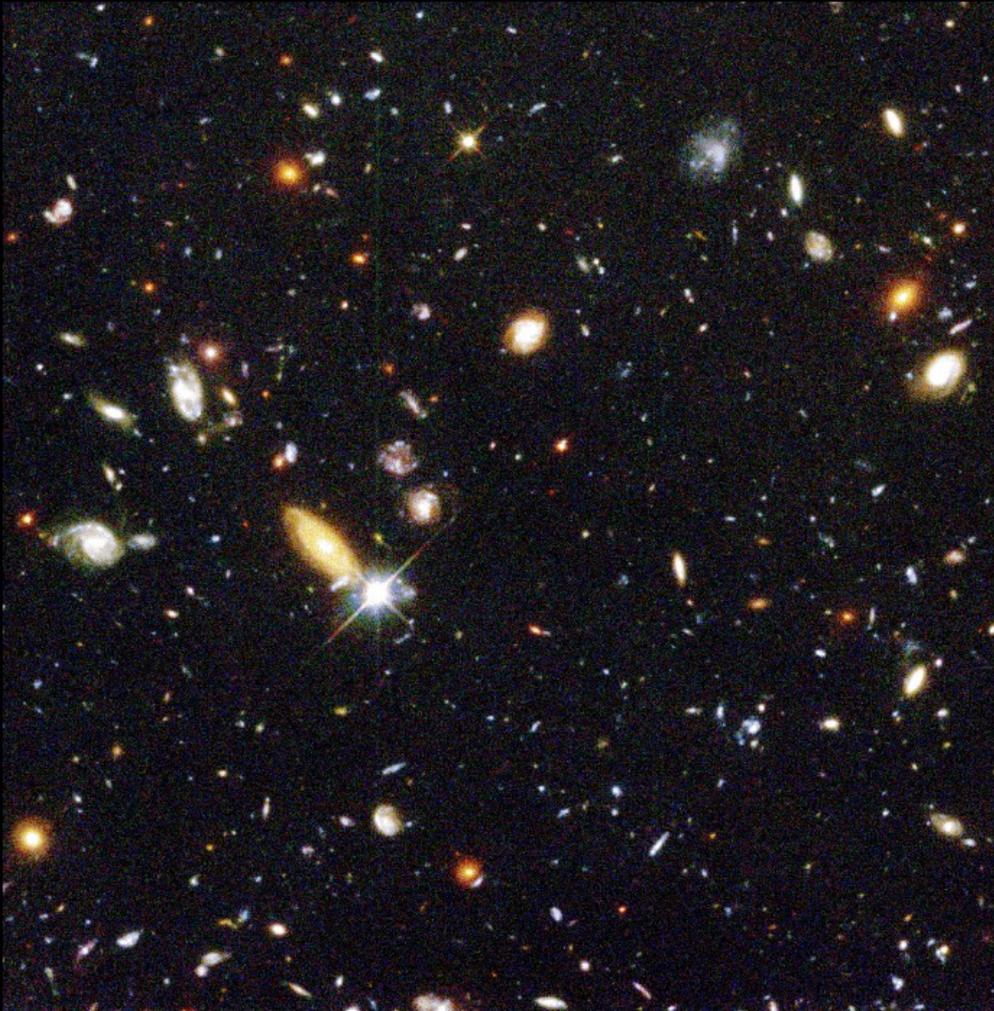
E em outras galáxias?



Observações

- O disco de galáxias espirais é fino, denso e gira rapidamente
- A maioria da massa das galáxias é devido a matéria escura
- As estrelas do halo são mais velhas e têm metalicidades menores do que as estrelas do disco
- Aglomerados globulares são tipicamente velhos e pobres em metais – algumas estrelas possuem idades comparáveis a do Universo
- As galáxias apresentam as mais variadas formas e tamanhos
- A maioria das galáxias contém buracos negros supermassivos em seu centro. A massa desses BNS estão relacionadas com propriedades do bojo da galáxia hospedeira

Observações



Hubble Deep Field

HST · WFPC2

PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA

Hubble Deep Field: Mostra galáxias tão fracas quanto 30 mag em $d > 1000$ Mpc

Muitas galáxias pequenas e irregulares

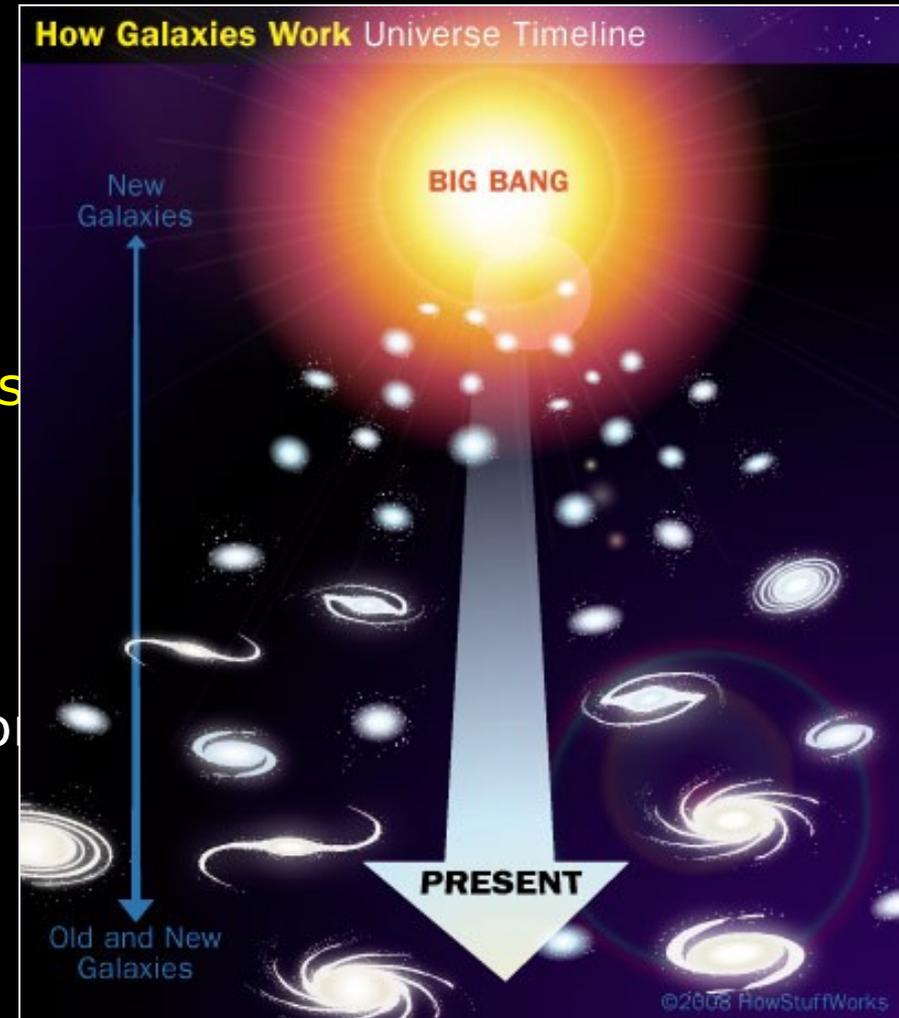
Galáxias mais próximas são mais regulares e maiores



Galáxias podem estar crescendo por fusões

Como se formam as galáxias?

- Flutuações de densidade da matéria primordial → Instabilidades gravitacionais → fragmentos pré-galáticos → H e He se condensam e formam as primeiras estrelas → se formam as primeiras galáxias → massas comparáveis as galáxias anãs
- As galáxias maiores se formam por fusões destes objetos



Diferentes tipos morfológicos

- **Diferenças morfológicas:** dependem de onde e quando se formaram as primeiras estrelas e de quanto gás estaria disponível para formar galáxias Espirais ou Elípticas



- **Se muitas estrelas se formaram logo no início** → sobra pouco gás → **galáxia Elíptica** → Estrelas velhas em órbitas randomicas e sem gás para formar o disco
- **Se tinha muito gás** → sobrou gás mesmo depois de se formar as primeiras estrelas → **este gás se depositou no disco** → galáxias espirais → **formação de estrelas até hoje**

Simulações Numéricas

- Hoje, galáxias espirais são raras em regiões de altas densidades de galáxias (centro aglomerados de galáxias)
 - Colisões entre espirais podem destruir discos e ejetar gás quente para o meio intergaláctico criando o gás quente observado (em raios X)
 - Fusão de galáxias espirais podem formar elípticas



- Aglomerados distantes (mais jovens) têm maior quantidade de galáxias Espirais
- Aglomerados mais próximos têm um tempo maior para ocorrer mais fusões e formar mais Elípticas

Hipóteses que necessitam de mais estudo!
E as galáxias elípticas isoladas?

