

# FSC1057: Introdução à Astrofísica

## Galáxias

Rogemar A. Riffel



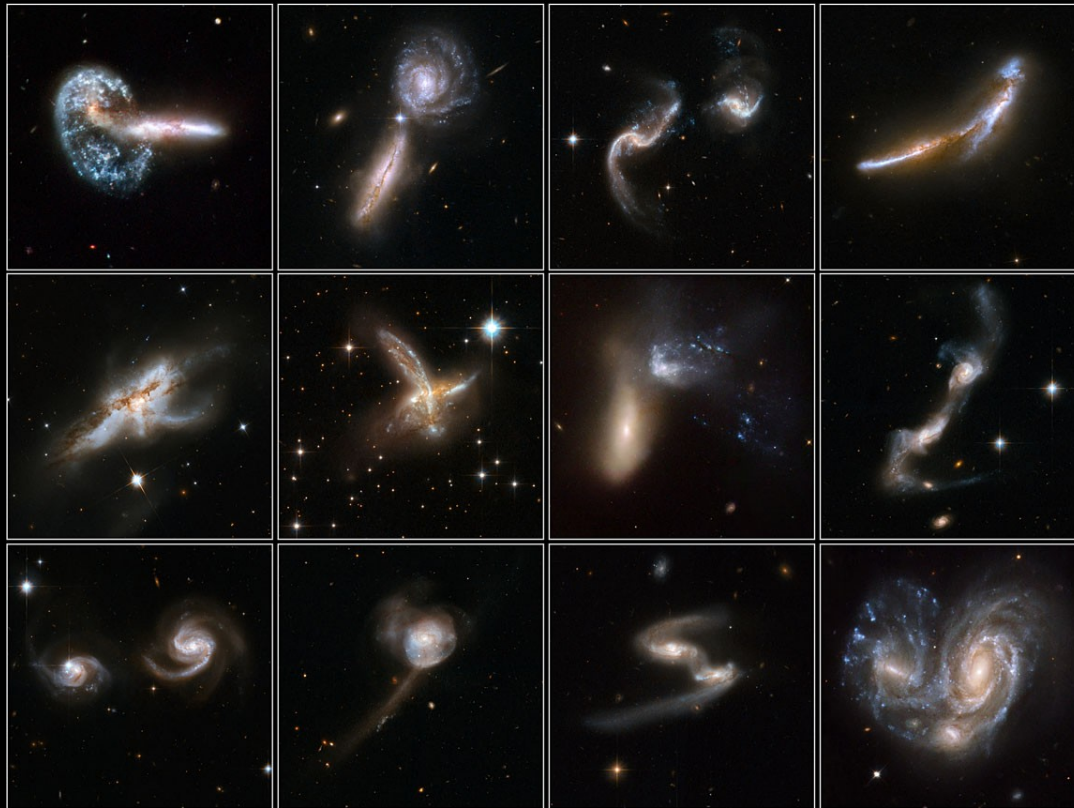
# Galáxias x Estrelas

- 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

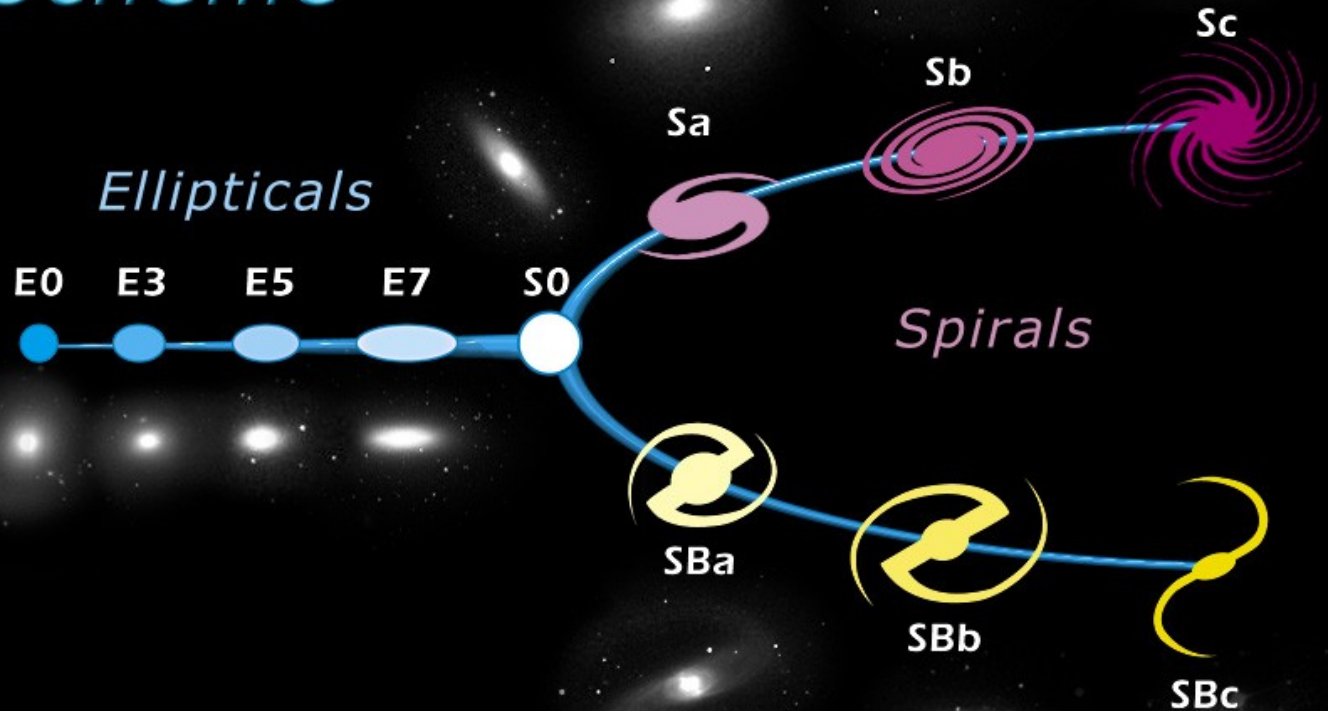
Hubble (1936)

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.



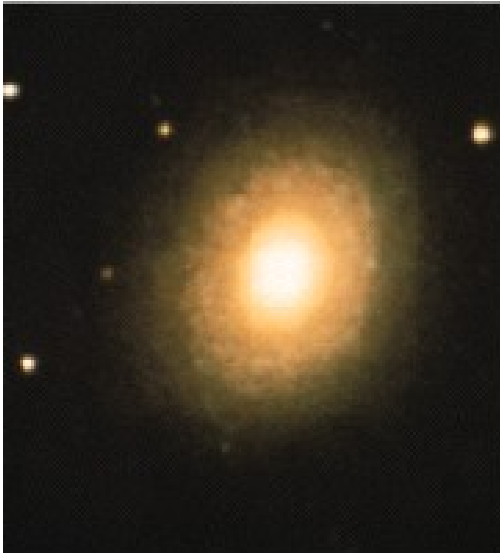
# Espirais Ordinárias (S)

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

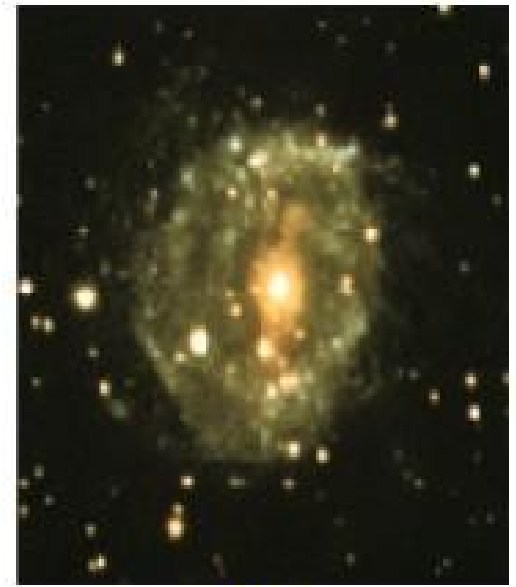
SBa, SBb e SBc



SBa



SBb



SBc

# Elípticas

Só tem a componente esferoidal, mostrando pouca estrutura interna.

- forma elíptica

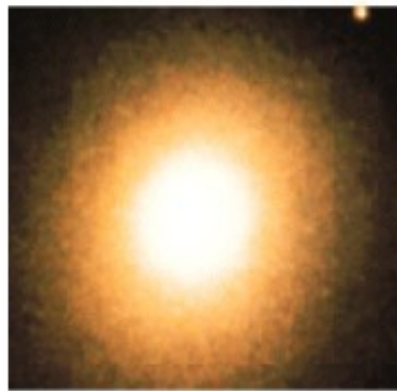
- não têm disco, braços espirais, nem gás nem poeira

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

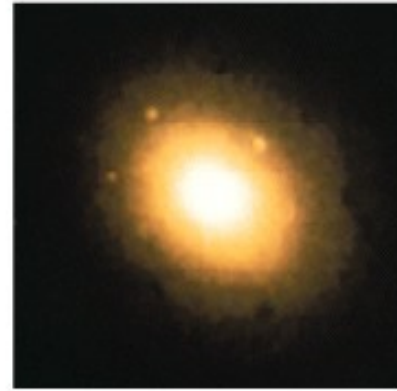
E0 é circular:  $b/a=1$

E7 é a mais achatada. ( $b/a=0,3$ )

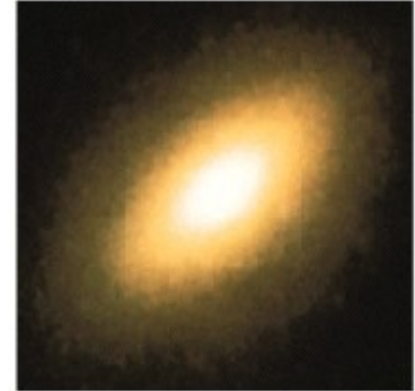
$n = 10 \times (1 - b/a)$



E0



E3



E6

# Irregulares (I)

Apresentam estrutura irregular, caótica.



Grande Nuvem de Magalhães e Pequena Nuvem de Magalhães (Anglo-Australian Observatory).

# Principais características de cada tipo

## Principais características dos diferentes tipos de galáxias

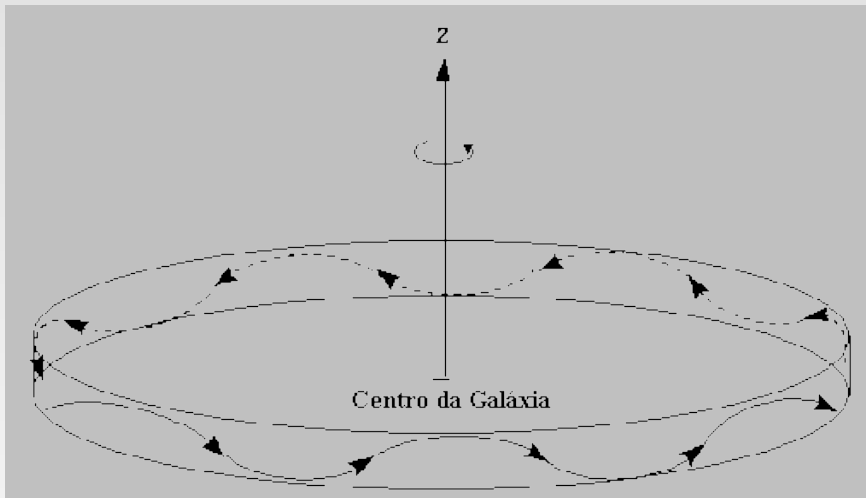
Propriedade	Espirais	Elípticas	Irregulares
Massa ( $M_{\odot}$ )	$10^9$ a $10^{12}$	$10^5$ a $10^{13}$	$10^8$ a $10^{11}$
Diâmetro ( $10^3$ parsecs)	5 - 30	1 - 1000	1 - 10
Luminosidade ( $L_{\odot}$ )	$10^8$ a $10^{11}$	$10^6$ a $10^{12}$	$10^7$ a $2 \times 10^9$
População estelar	velha e jovem	velha	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

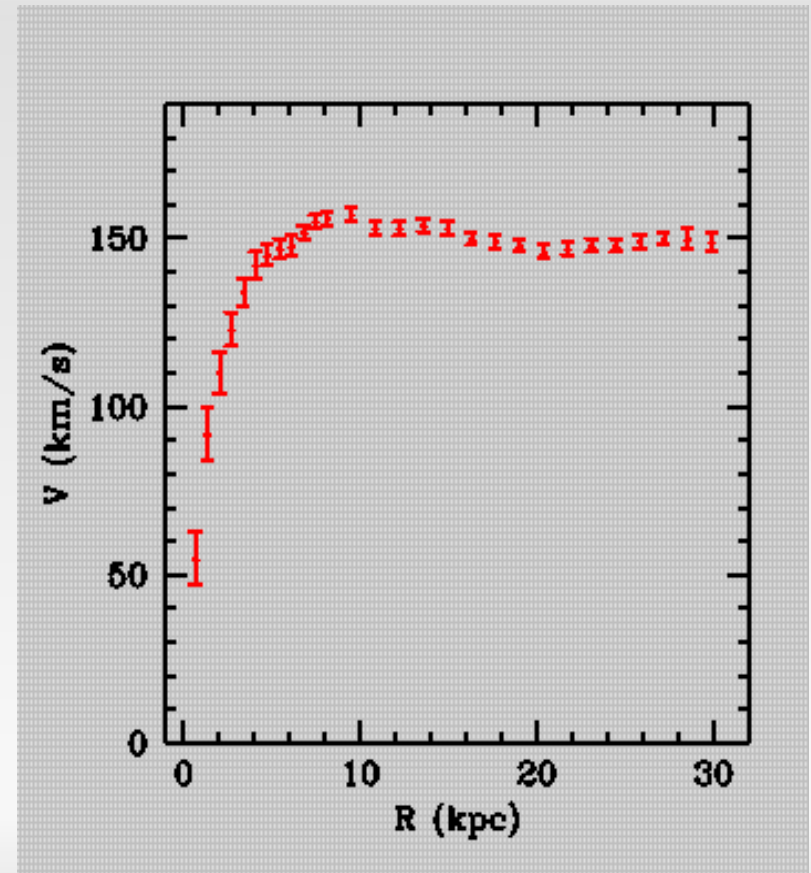
Assume-se que as estrelas e o gás são mantidos em sua órbita pela massa interna à órbita.

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.

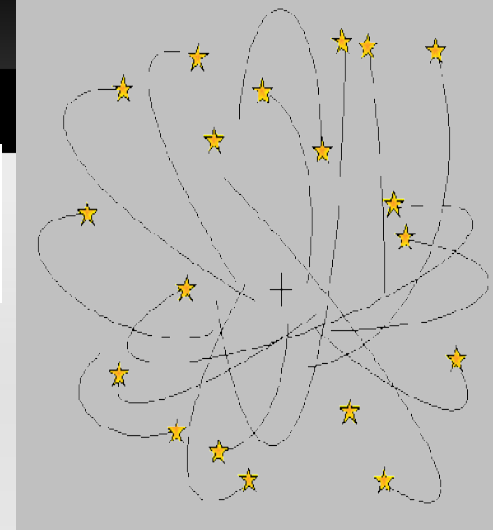
A energia potencial gravitacional é:

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

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

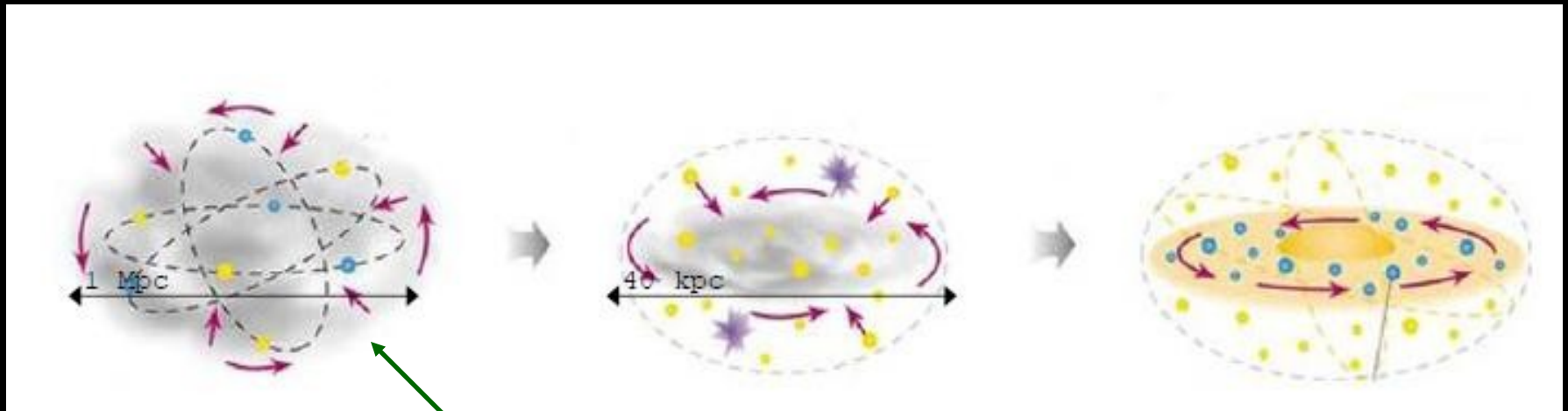
---

- 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  $z \sim 7$ .
- 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

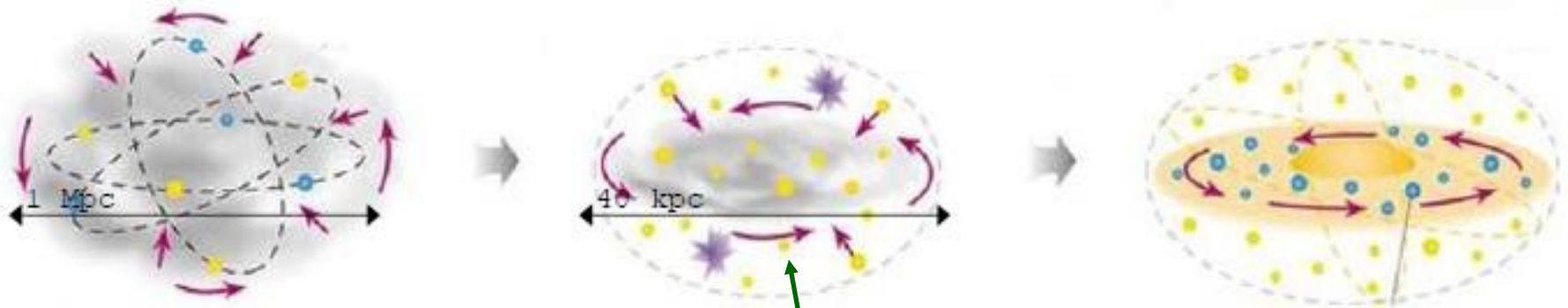
Nuvem proto-galáctica esférica em rotação, contendo toda a essência do material da Via-Láctea (H e He) começa a colapsar gravitacionalmente.



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

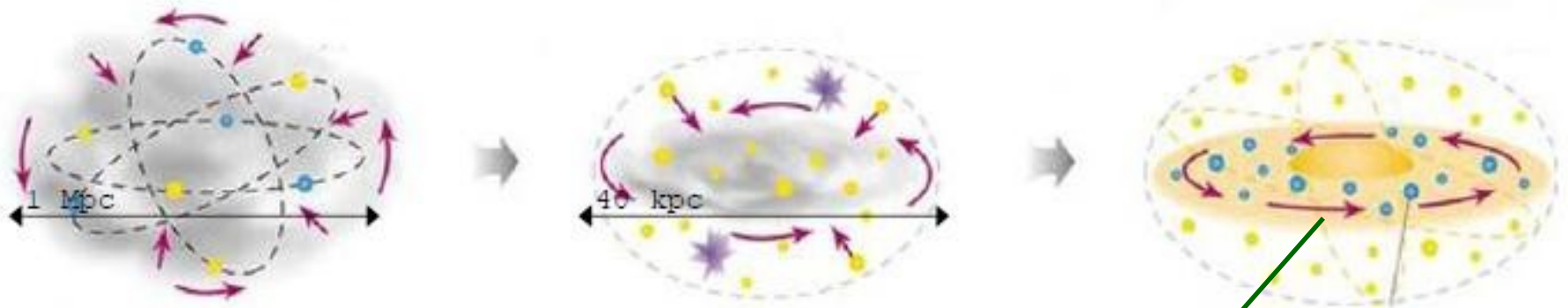
Explosões de supernovas enriquecem o gás com metais



- 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

---

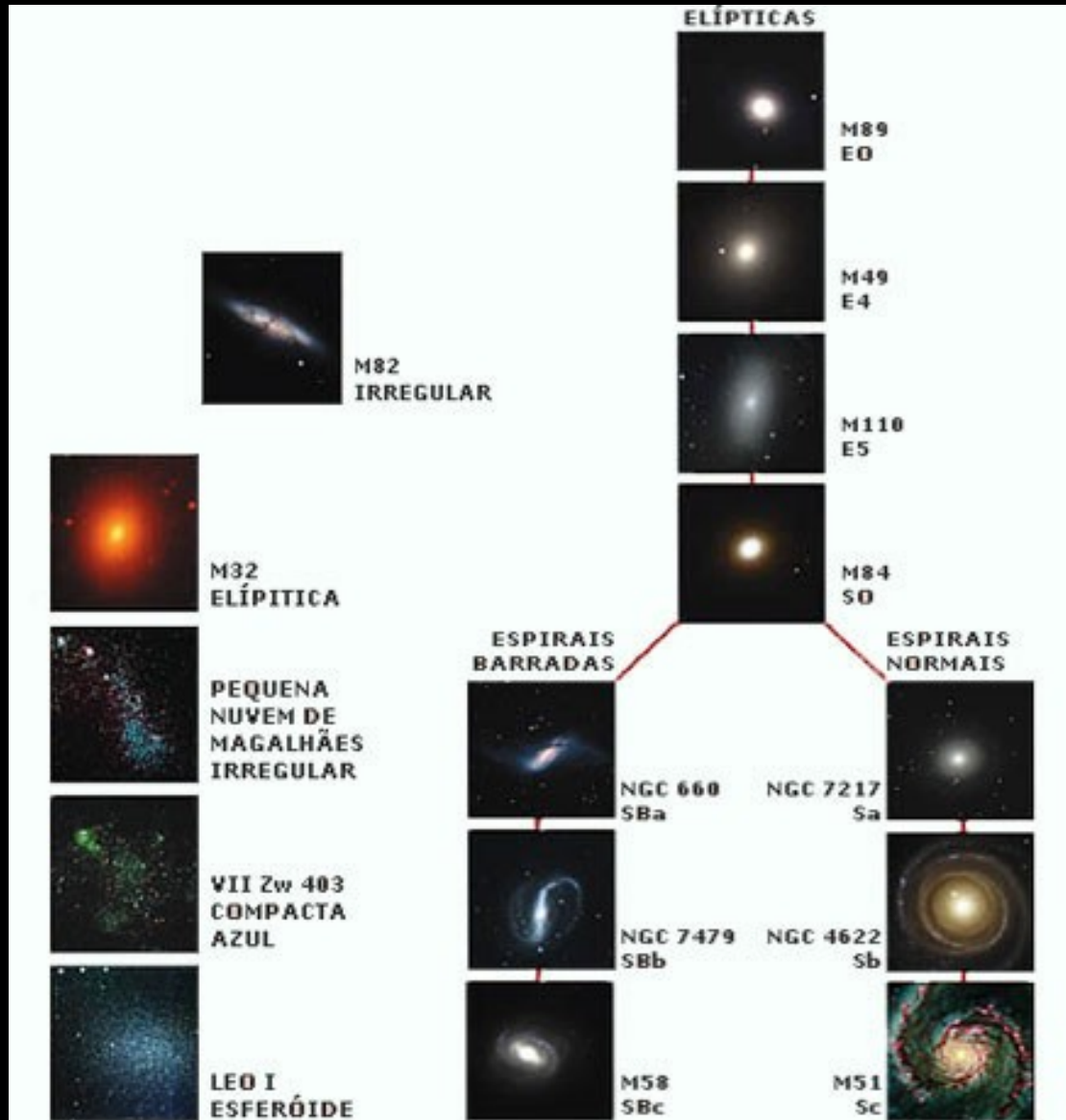
- Estruturas menores se fundem para formar estruturas maiores
- Origem nos trabalhos de Searle & Zinn (1978)
  - Metalicidade dos aglomerados do halo independe da distância galactocêntrica
- Estruturas de  $\sim 10^7 M_{\text{Sol}}$  se formam por colapso
- Fusão de pequenas galáxias para formar galáxias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

# E em outras galáxias?



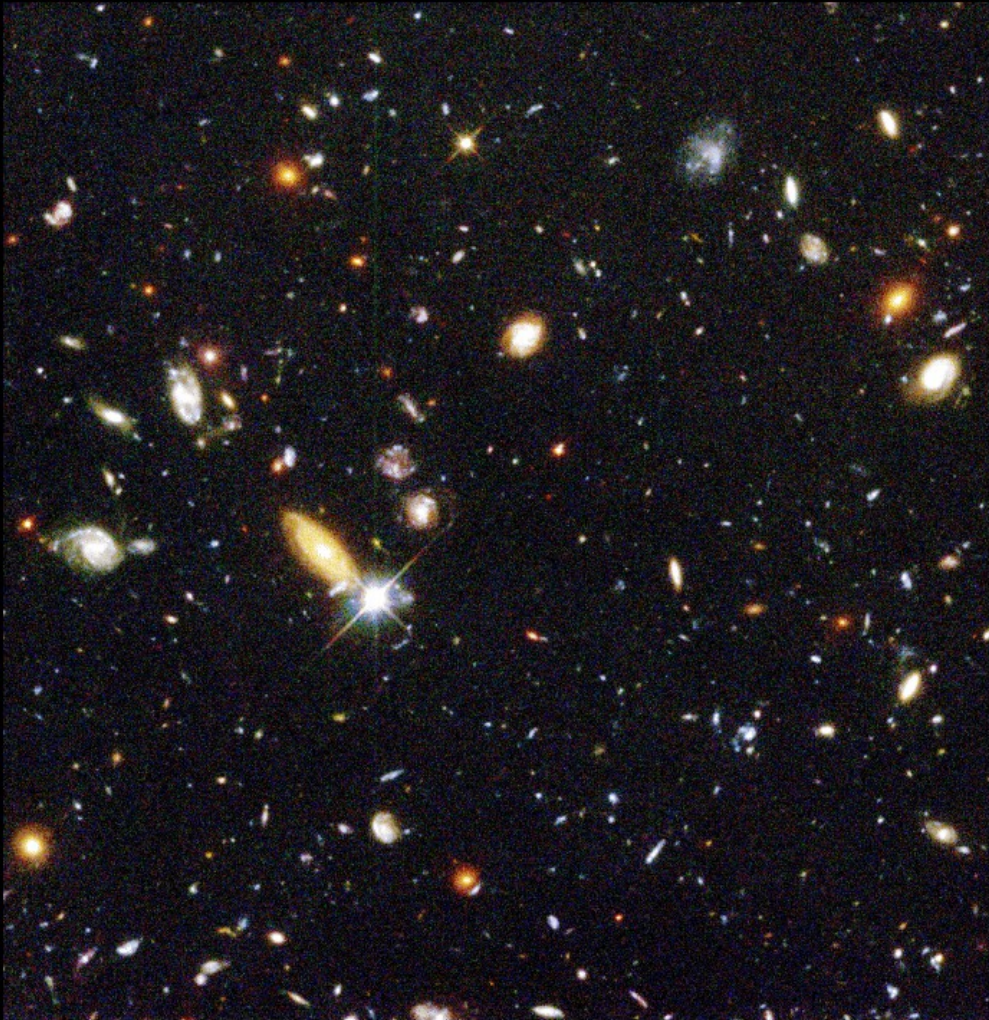
# Observações

---

- 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

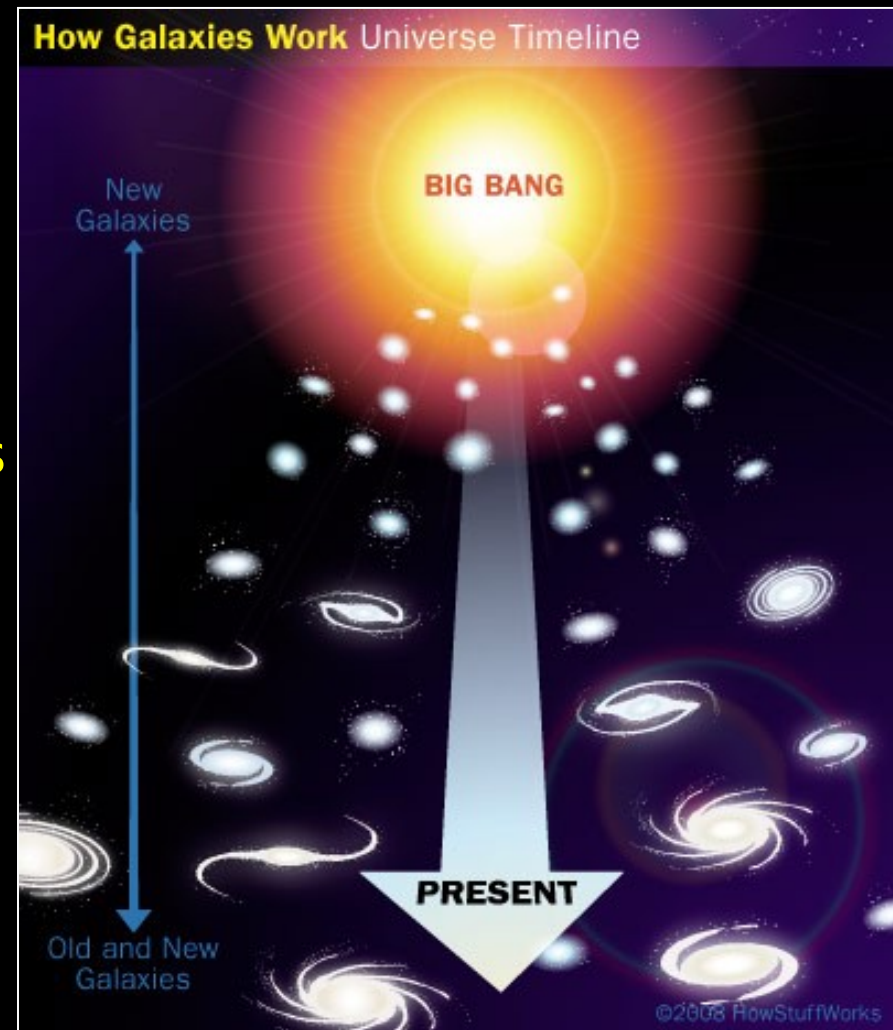
Galáxias mais próximas são mais regulares e maiores



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 intergalático criando o gás quente observado (em raios X)
    - Fusão de galáxias espirais podem formar elípticas

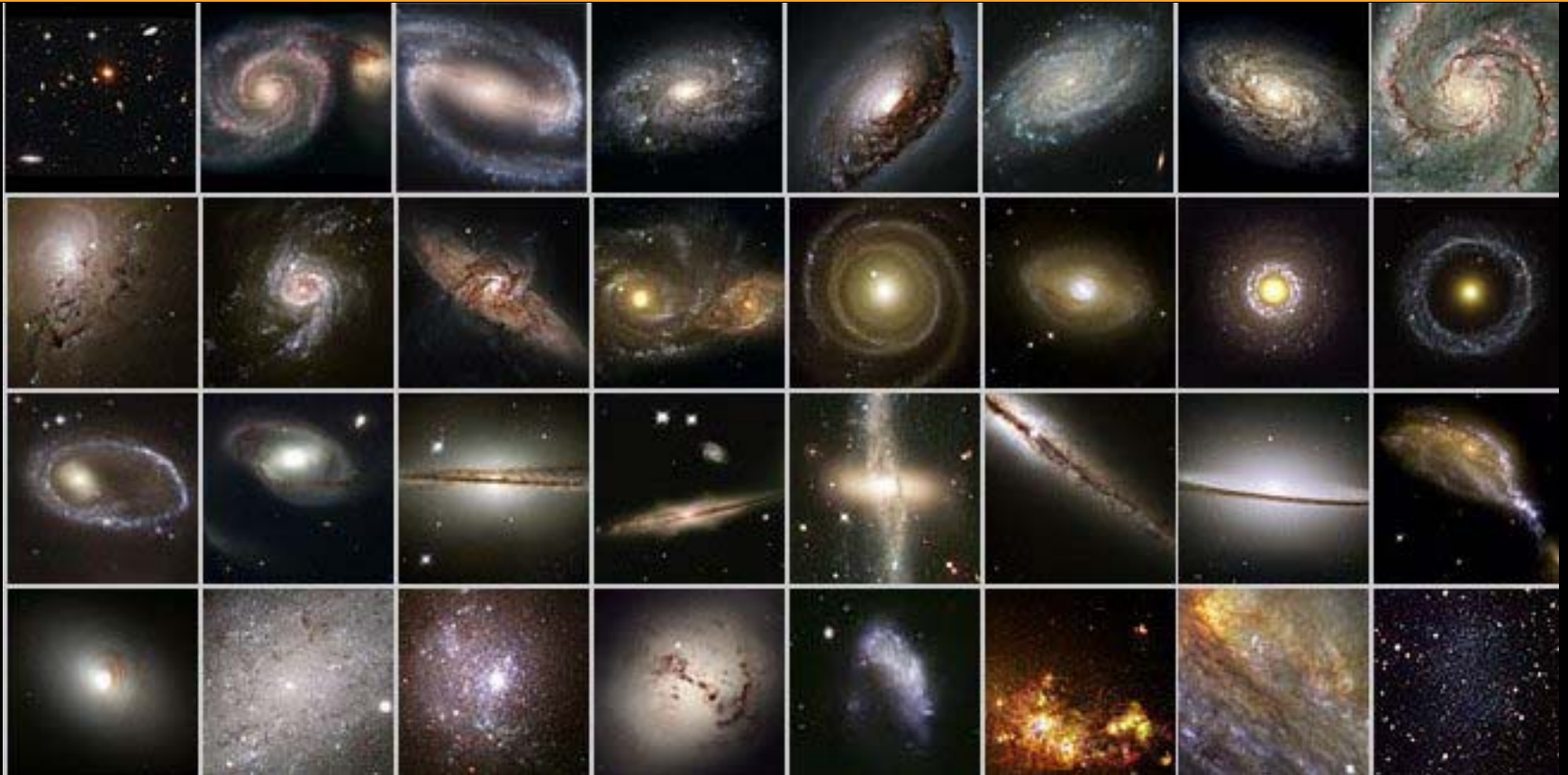


- Aglomerados distantes (mais jovens) têm maior quantidade de galáxias Espirais
- Aglomerados mais próximos têm um tempo maior para ocorrer mais fusões e formar mais Elípticas

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



# Formação e evolução de galáxias



Sabemos muitas coisas sobre as galáxias, mas ainda temos muito a aprender!

Novas observações, simulações .....