

# Estrutura do Universo em Grande Escala

FIS004

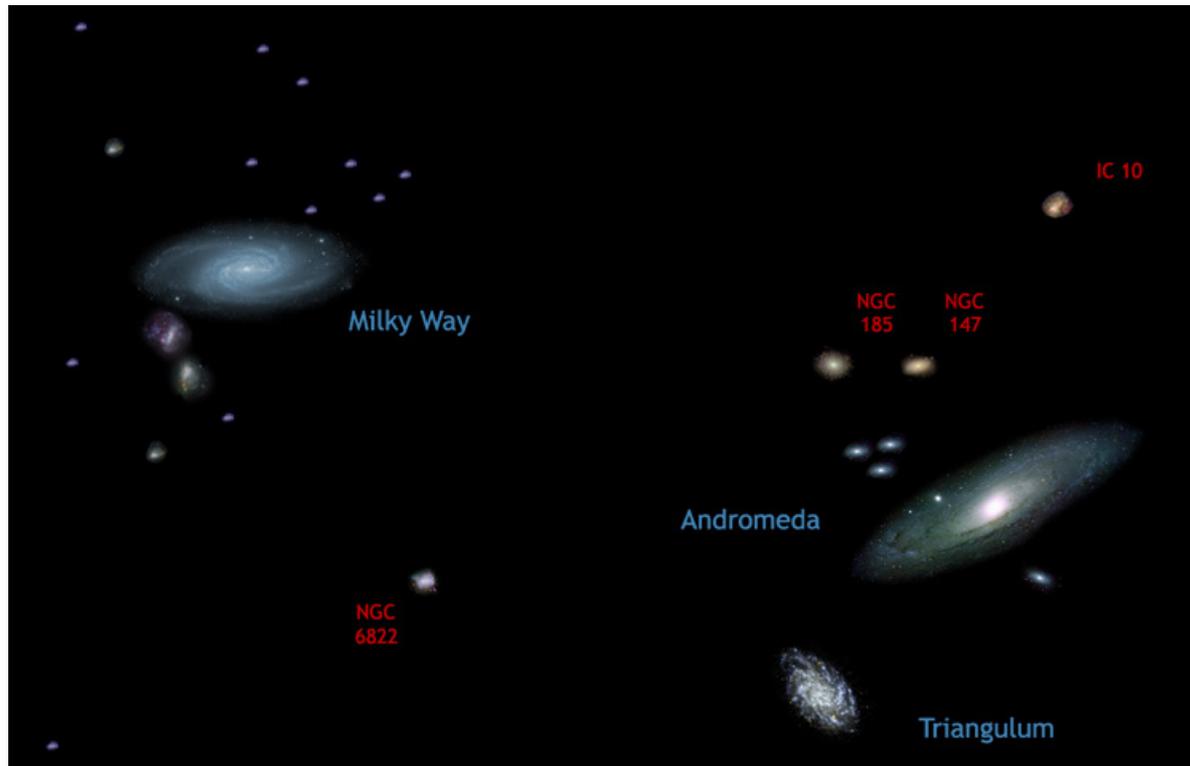
Gustavo Guerrero

- **Introductory Astronomy & Astrophysics, M. Zeilek, S. A. Gregory & E. v. P. Smith (Caps. 23)**
- **Apostila, J. Gregorio-Hetem, V. Jatenco-Pereira, C. Mendes de Oliveira ([www.iag.usp.br/~dalpino/aga215](http://www.iag.usp.br/~dalpino/aga215))**
- **Agradecimentos E. M. de Gouveia Dal Pino**

# ESTRUTURA DO UNIVERSO

- Aglomerados de Galáxias
- O Universo em Expansão
- Estrutura em Grande Escala
- Massa e Matéria Escura dos agls.
- Colisões de Galáxias
- Formação e Evolução de Galáxias

# AGLOMERADOS DE GALÁXIAS



**A Via Láctea pertence ao Grupo Local**

⇒ **D ~ 1 Mpc**: aglomerado de galáxias considerado “pobre”

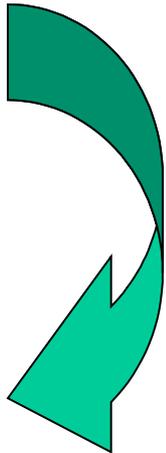
⇒ contém cerca de 30 objetos (poucas S, varias E anas e Irr)

# Nova galáxia satélite da Via Láctea

Descoberta em 1998:

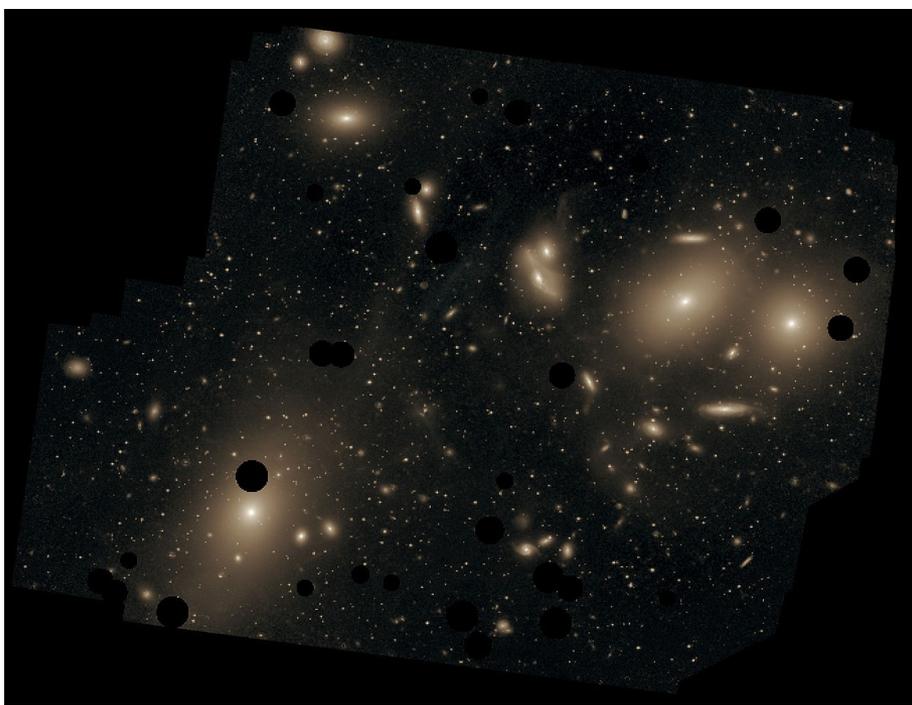
galáxia **Sagittarius** encontra-se a apenas 50 mil a.l. do **CG** (mais próxima que as Nuvens de Magalhães).

**VL: força gravitacional desintegrara e absorvera**  
Sagittarius em 100 milhões de anos



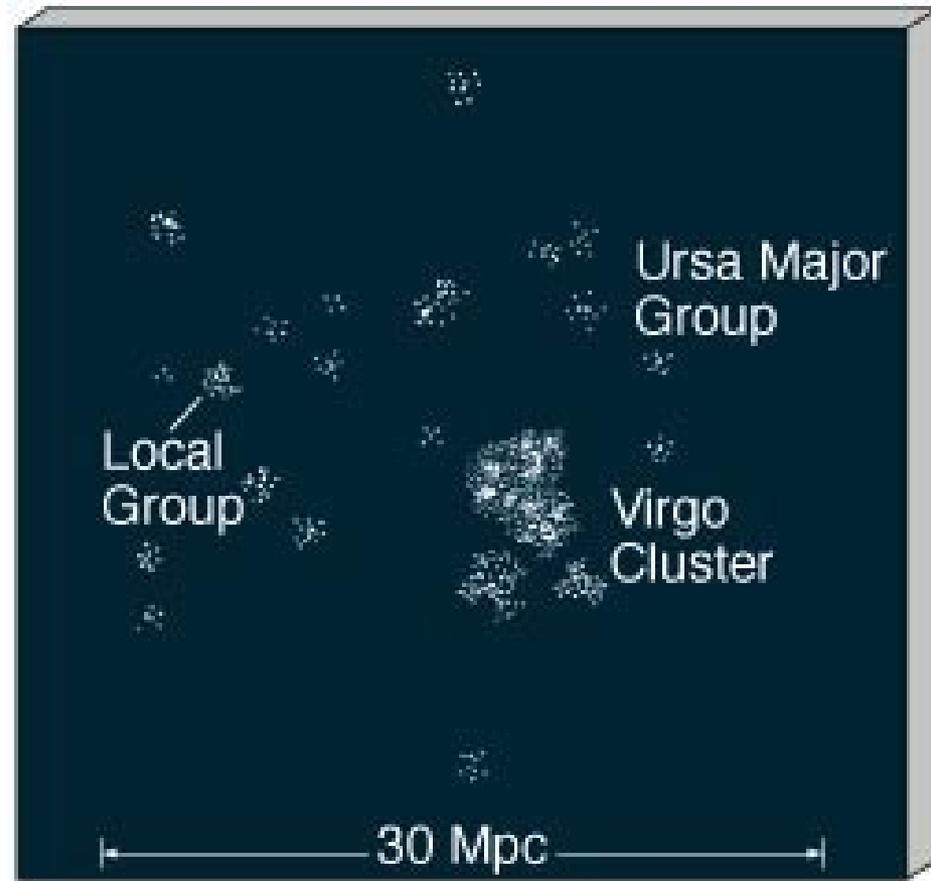
# Aglomerados Ricos

- **Virgo**  $\Rightarrow$  aglomerado rico mais próximo: contém mais de 1000 galáxias
- área  $10^\circ \times 12^\circ$  no céu
- **$D = 3 \text{ Mpc}$**
- Distância  **$d = 15 \text{ Mpc}$**  (estrelas Cefeidas na galáxia S M100).
- Três elípticas gigantes (20 vezes maiores que galáxias normais) dominam o centro.



**Região central do aglomerado de Virgo**  
( $d=15\text{Mpc}$ )

No centro: gigante elíptica M86.



**Esquema: algumas das galáxias do aglomerado de Virgo**

Nossa Galáxia: apenas um ponto entre vários e nosso Grupo Local (GL) é apenas mais um entre estes vários aglomerados.

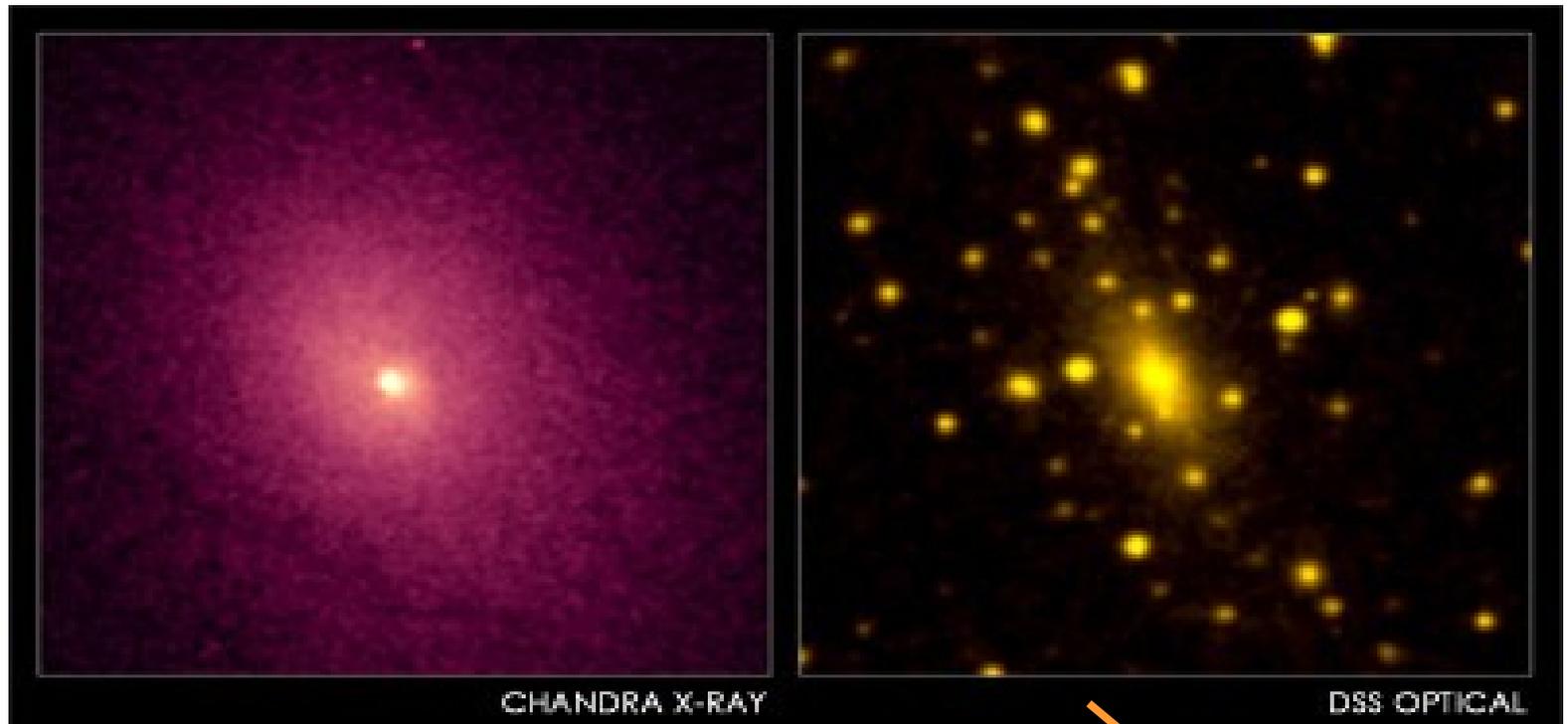
# Classificação dos Aglomerados

- **Regulares (ex. Coma):**
  - esféricos:** concentração de galáxias no centro
  - inúmeras interações entre galáxias** teriam causado distribuição simétrica
  - Maioria das galáxias: elípticas** (~15% espirais ou irregulares)
- **Irregulares (ex. Virgo):**
  - galáxias **distribuídas aleatoriamente**
  - Quantidade de galáxias **espirais e irregulares é maior**

# Aglomerados Regulares

A2029

COMA (A1656)



# AGLOMERADO DE COMA

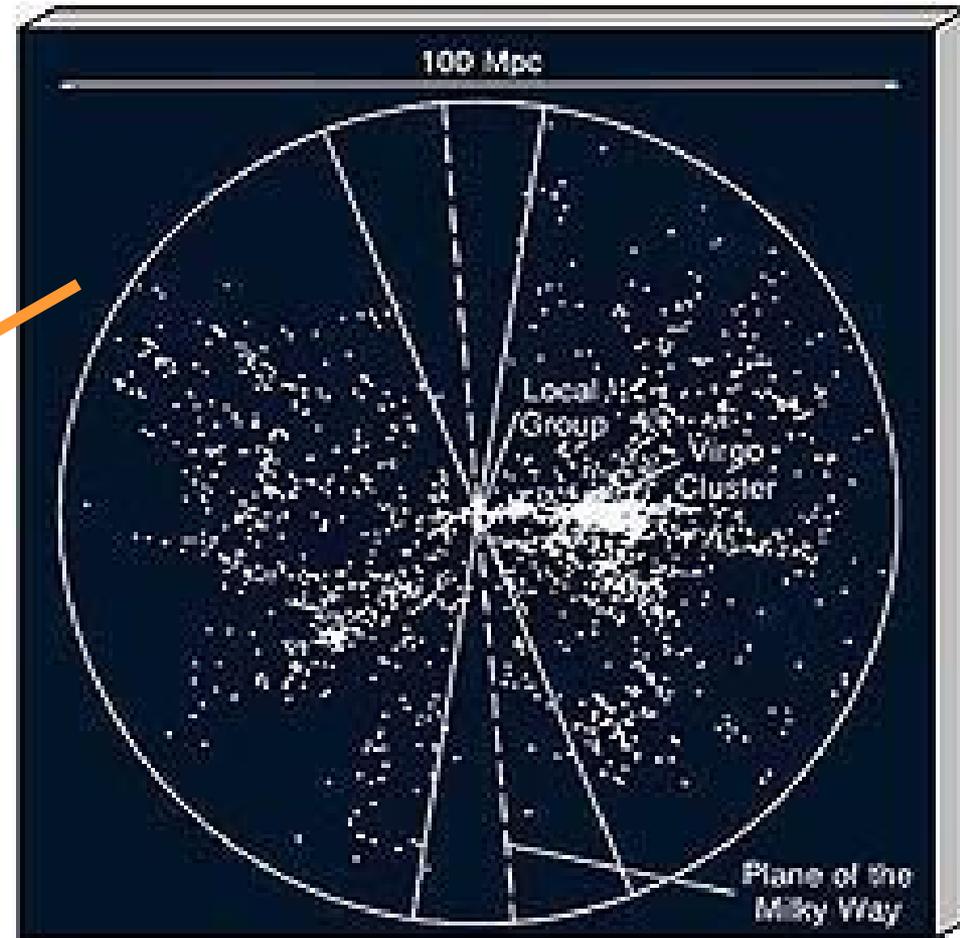
- Mais próximo aglomerado regular
- + de 1000 gals.
- **d=100 Mpc**  
(dist.)
- Maioria: **E e SOs** (15% S)



# SUPER-AGLOMERADOS

Aglomerados de galaxias:  
agrupam-se em **super-  
aglomerados**

- Diagrama centrado na VL: do Super-agl. Local
- ~~Centro real: no agl. de Virgo~~
- $M = 10^{15} M_{\text{sol}}$
- GL: a 15 Mpc do centro
- Extensao: **100 Mpc**
- N galaxias: **varias 10.000**



**Super-aglomerado local:**  
GL+ Agl. Virgo + varias galaxias

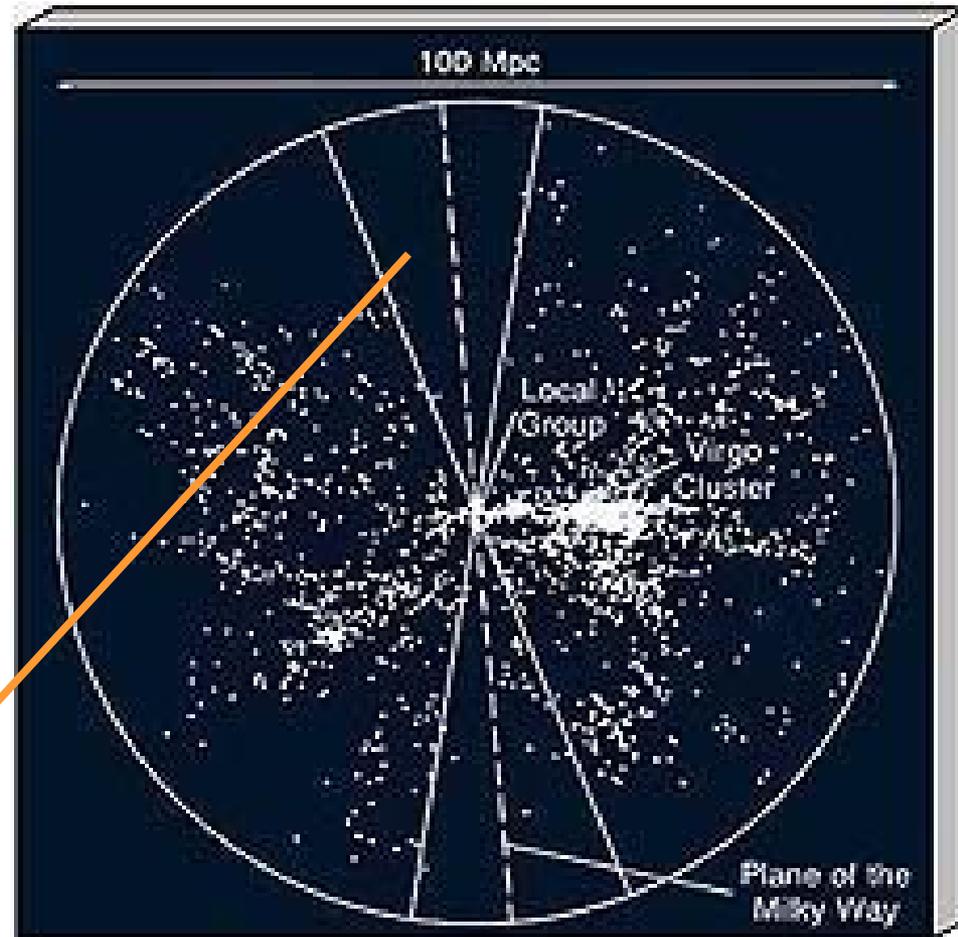
# SUPER-AGLOMERADOS

Quanto + profundo observamos:

mais e mais aglomerados e super-aglomerados:

**ha estruturas em escalas cada vez maiores**

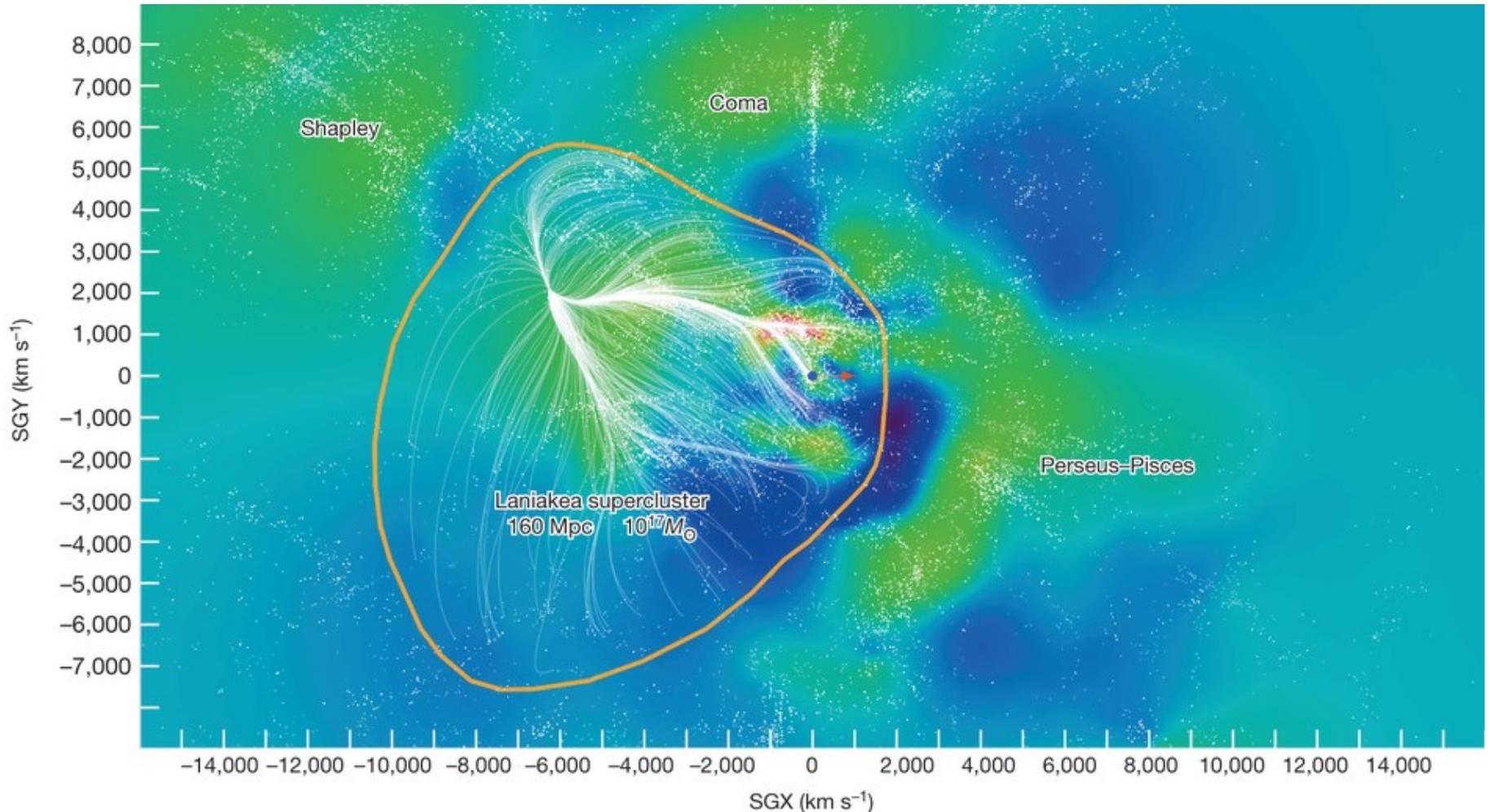
regiões “vazias” em V  $\Rightarrow$  poeira interestelar do plano galactico (VL) dificulta observações nessa direção



**Super-aglomerado local:**

GL+ Agl. Virgo + varias galaxias

# Laniakea: céu incomensurável



# Lei de Hubble e Escala de Distancias

- Começo do Sec. 20:

Slipher e Lowell (1912); **Hubble (e N. Humason, 1920's)**: espectro de muitas galaxias:

**Deslocamento Doppler :  $z = \Delta\lambda/\lambda_0 \cong v/c$**

obtiveram **v**: maioria das galaxias distanciando-se de nos:

**$\Delta\lambda > 0 \rightarrow \lambda$  para o vermelho (REDSHIFT)  $\rightarrow v > 0$**

**$\rightarrow$  GALAXIAS SE AFASTANDO**

# Lei de Hubble

Usando, por ex., relação  $P \times L$  de Cefeidas: obtém-se  $d$  (distância) das galáxias

Colocando num gráfico:

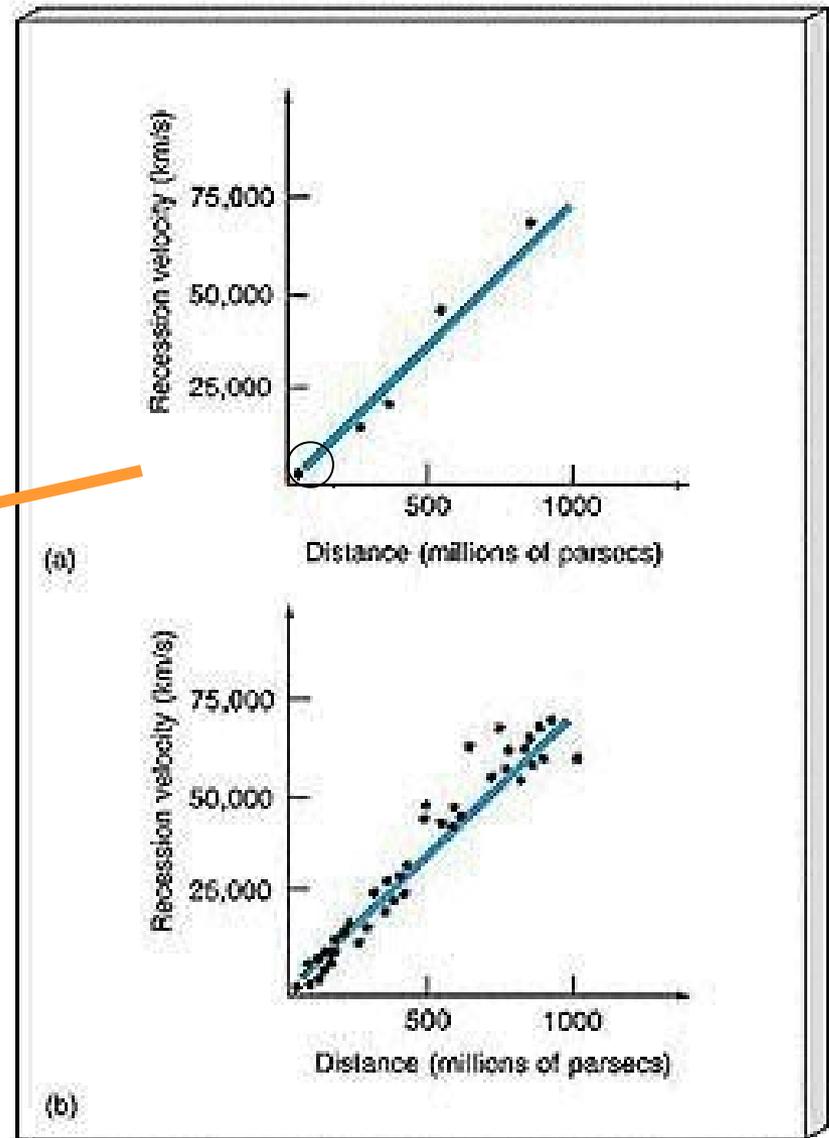
**d vs v**



**Diagrama de Hubble:**

**velocidade de recessão** das galáxias:

galáxias afastam-se entre si



- (a) galáxias de vários aglomerados entre 16 e 820 Mpc;  
(b) outras galáxias até 1000 Mpc.

# Lei de Hubble

Uma das mais importantes descobertas do sec. 20

Sabemos:



$$v \cong c \Delta\lambda/\lambda_0 = cz:$$

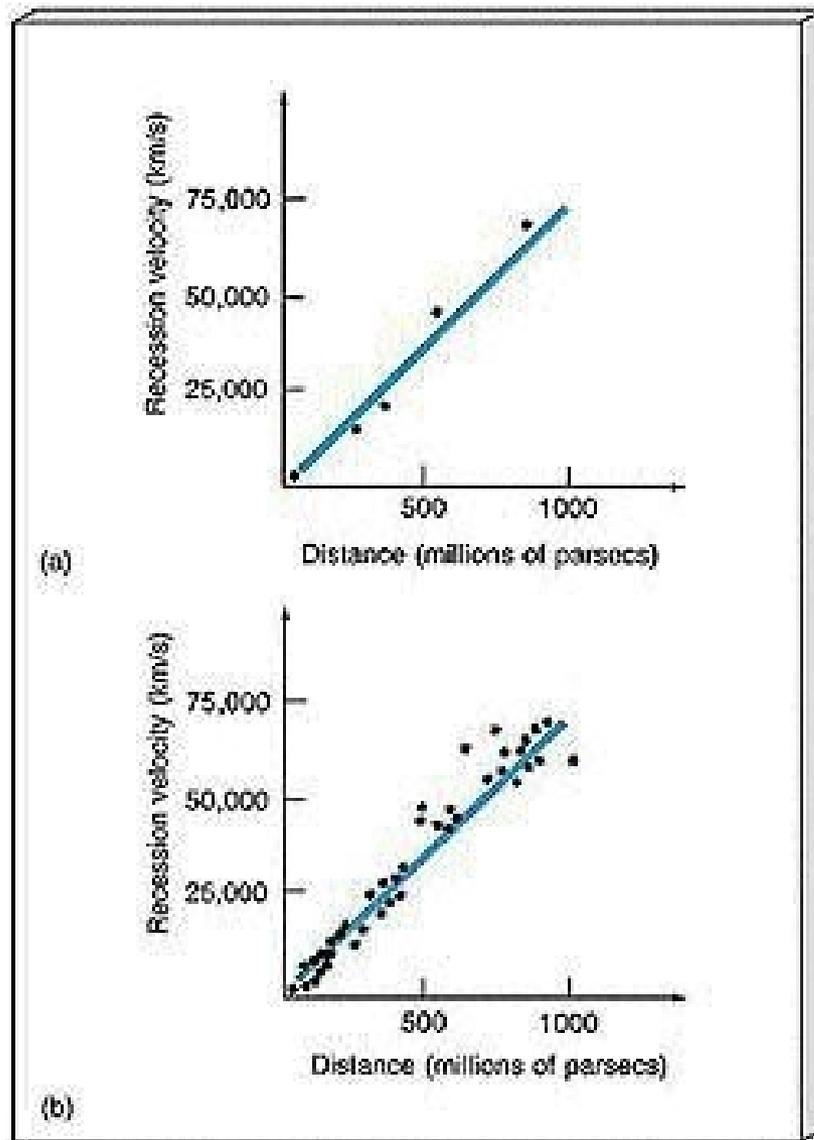
v: velocidade de recessão

Lei de Hubble:

$$cz = v = H_0 d$$

$H_0$ : valor impreciso

$$H_0 = 50-90 \text{ km/s/Mpc}$$



(a) galáxias de vários aglomerados entre 16 e 820 Mpc;

(b) outras galáxias até 1000 Mpc.

# O UNIVERSO EM EXPANSÃO

- Galáxias que estão próximas a nós se distanciam mais lentamente do que galáxias distantes

$$v = H_0 d$$

- Este movimento é comum a todo o Universo
- Em geral, galáxias estão sempre se afastando umas das outras
- **Não válido para Grupo Local e outras galáxias em nossa vizinhança**  $\Rightarrow$  movimentos peculiares  $\Rightarrow$  objetos gravitacionalmente ligados ao sistema local.

# Lei de Hubble e determinação de Distâncias

Adotando-se  $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1}/\text{Mpc}$  , vemos:

- Galáxias a 1 Mpc têm  $v = H_0 d = 75 \text{ km s}^{-1}$
- Galáxias a 2 Mpc têm  $v = 150 \text{ km s}^{-1}$
- Galáxias a 100 Mpc têm  $v = 7500 \text{ km s}^{-1}$

**Relação  $v$  vs  $d$ :** pode ser usada para determinar:

**DISTANCIAS**

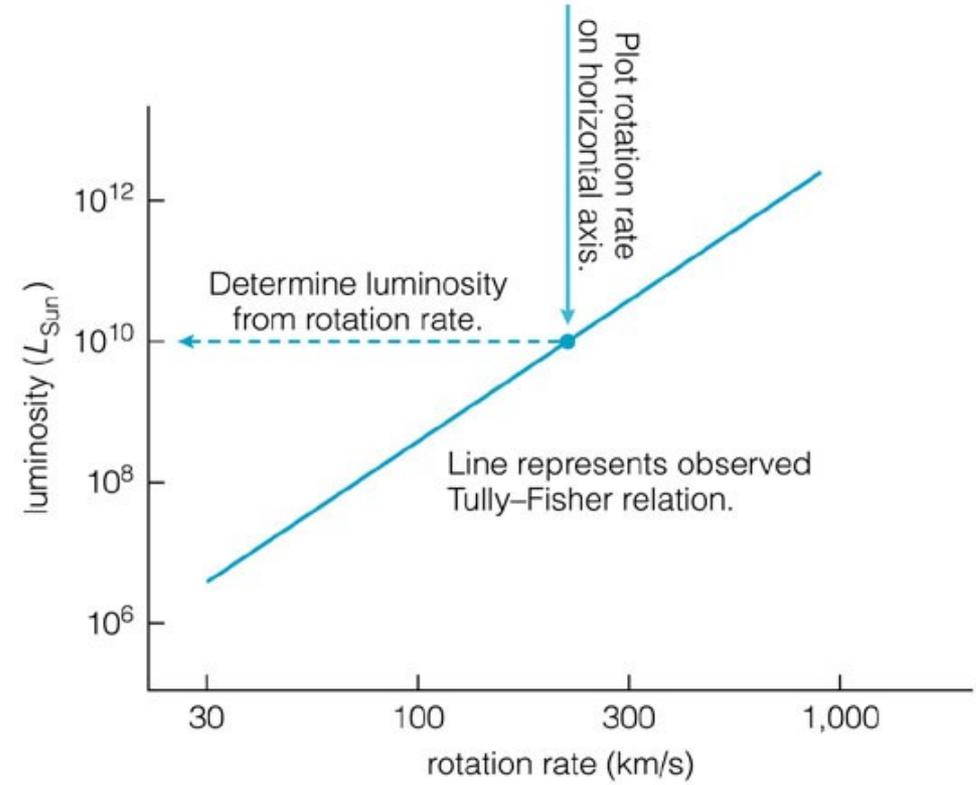
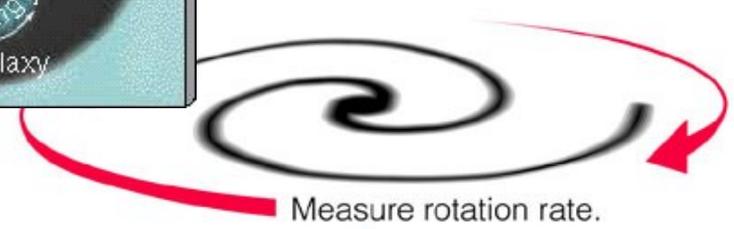
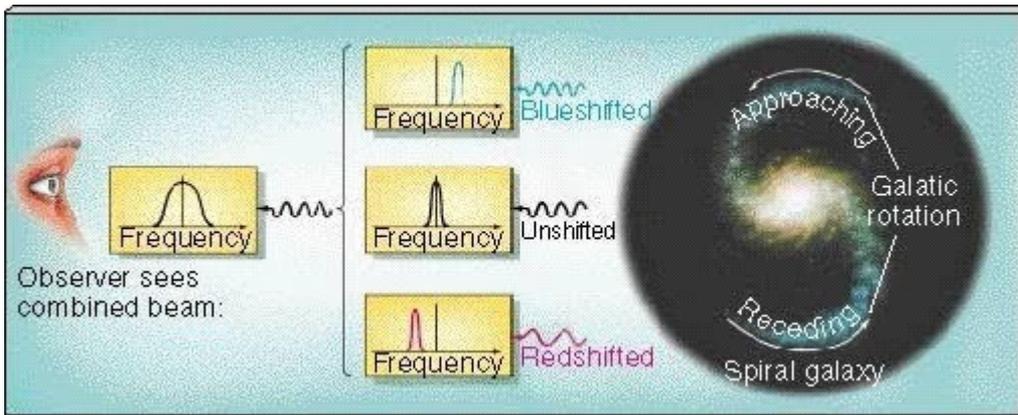
Problema: Incerteza em  $H_0$ : **grande (fator 2)**

# Lei de Hubble e determinação de Distâncias

Varios metodos para determinar  $H_0$ :

Obtendo distancia (**d**) independente da relacao **v vs d**:

- período-luminosidade das **Cefeidas (PxL): ate 15 Mpc**
- função de **luminosidade de aglomerados globulares**
- **luminosidade de nebulosas planetárias**
- **luminosidade de supernovas, etc**
- **Relação Tully-Fisher**: largura da linha de 21 cm está relacionada com a magnitude absoluta das galáxias



# Lei de Hubble e determinação de Distâncias

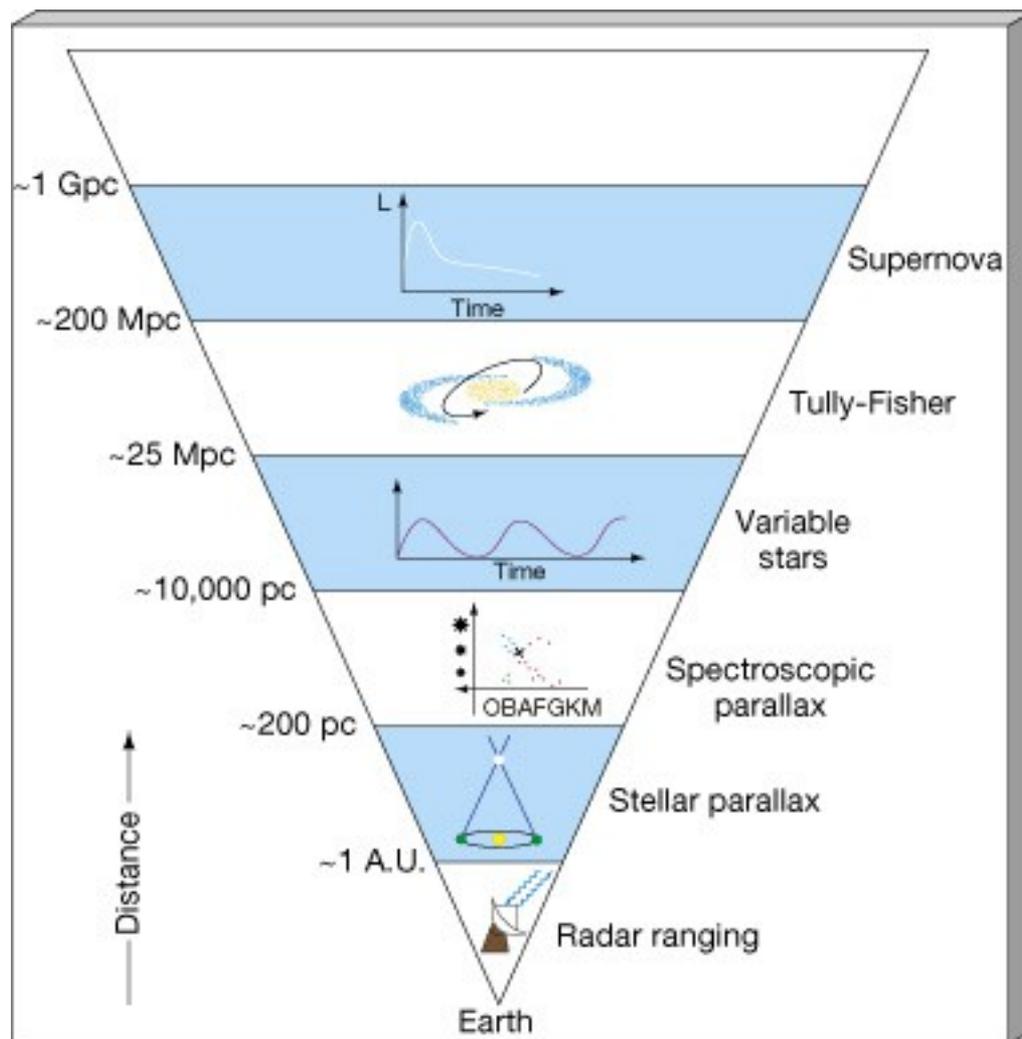
Obtendo distancia **(d)** independente da relação **vxd**



Obtem-se magnitude Absoluta **(M)** desses objetos conhecidos (calibrados em nossa galaxia) e compara-se com magnitude aparente medida **(m)** da galaxia distante:

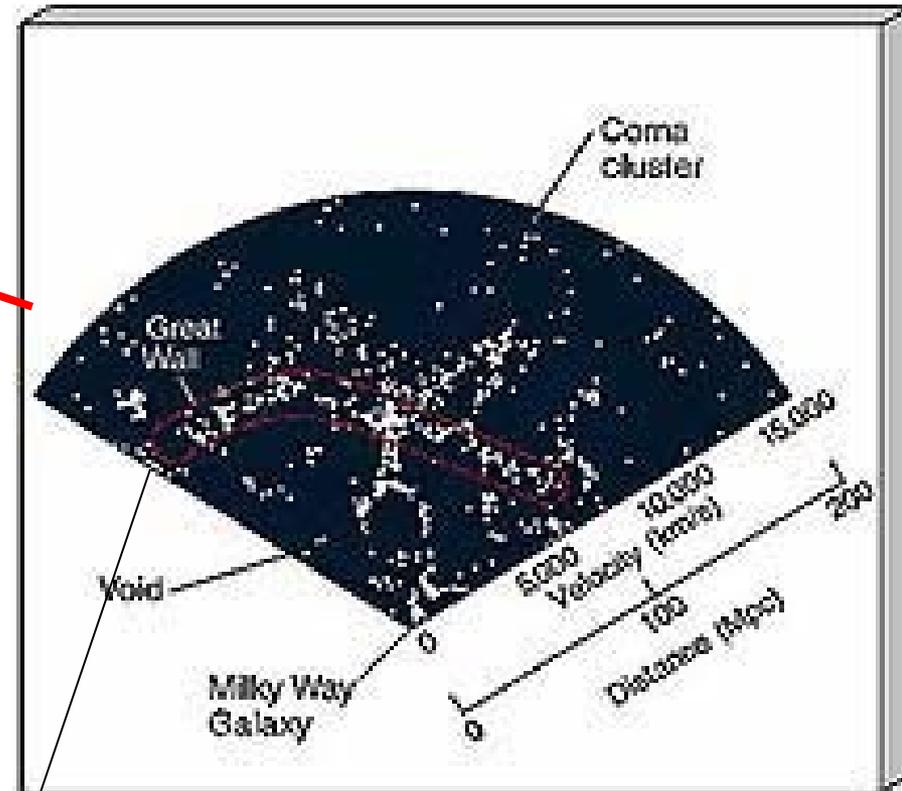
$$m - M = 5 \log d - 5$$

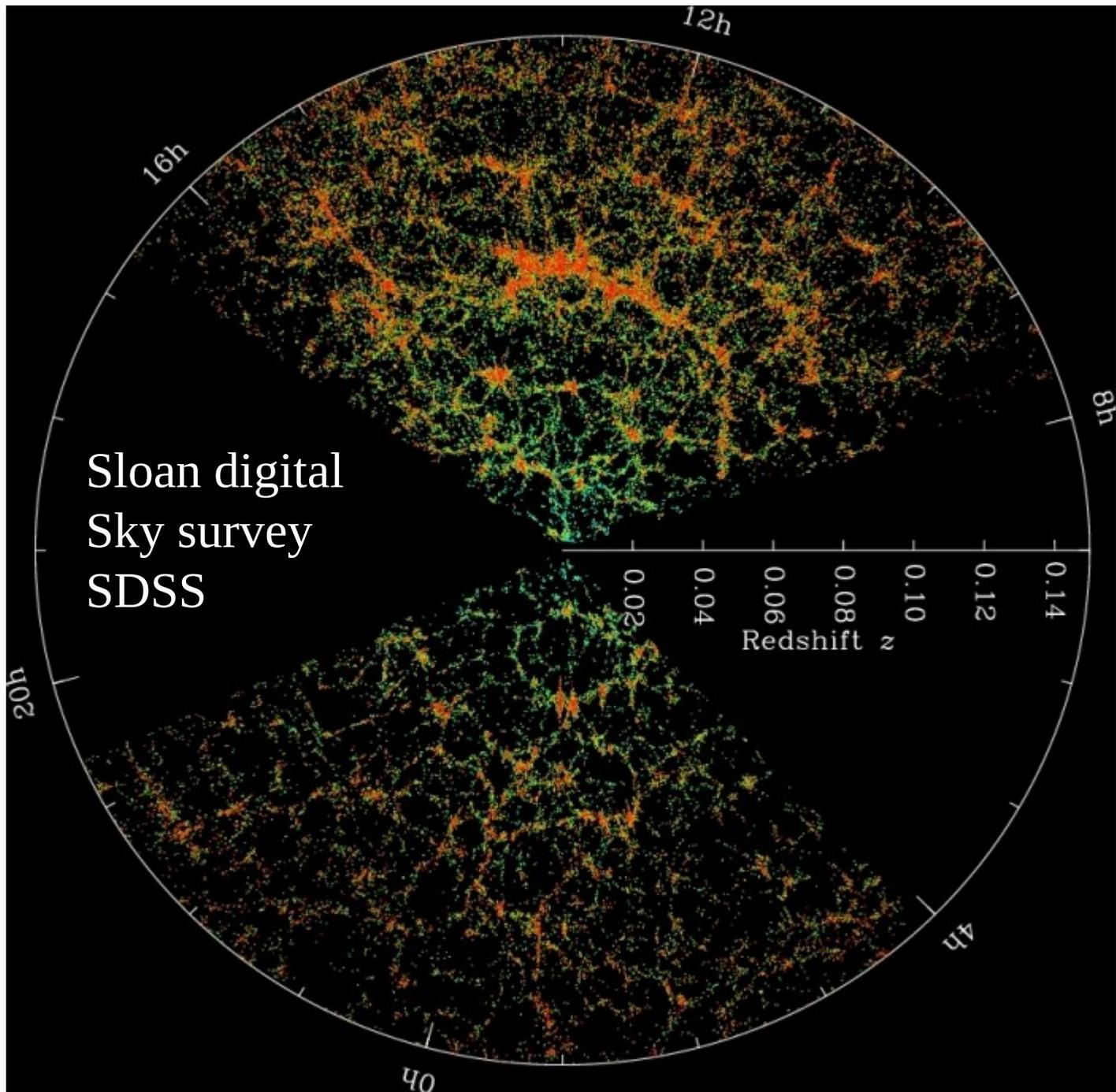
Todos esses metodos independentes de  **$v=H_0d$**  permitem estimar  **$H_0$**



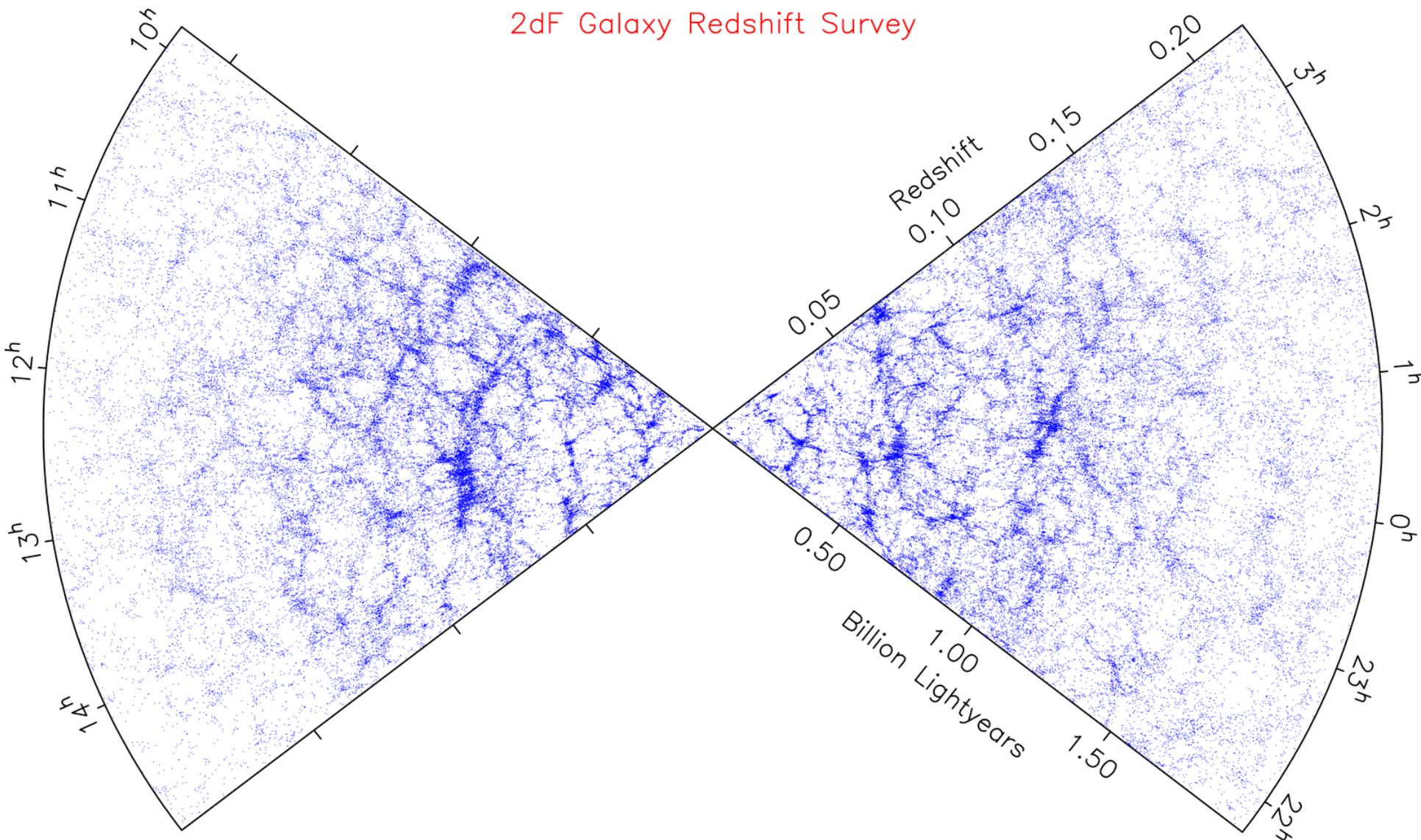
# ESTRUTURA EM GRANDE ESCALA

- Com lei de Hubble: mapear o Universo: distribuição espacial das galaxias
- Primeiro mapeamento: dentro de 200 Mpc ao redor do aglomerado de Coma (1057 galaxias)
- Distribuição em grandes escalas: não-aleatória: em filamentos ou cadeias circundando **vazios** imensos (100 Mpc)
- Universo formado de “**bolhas**”: com galaxias distribuindo-se nas superfícies dessas bolhas
- Aglomerados e super-aglomerados ⇒ formados nas zonas de contato entre 2 ou + bolhas
- Estrutura vermelha: a “**Grande Muralha**” de agls. de galaxias ⇒ 70 Mpc x 200 Mpc.



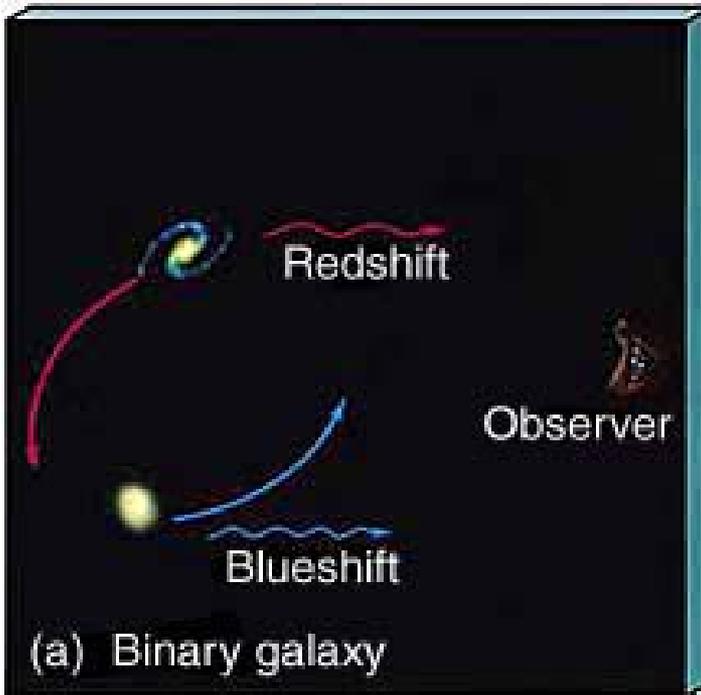


## 2dF Galaxy Redshift Survey

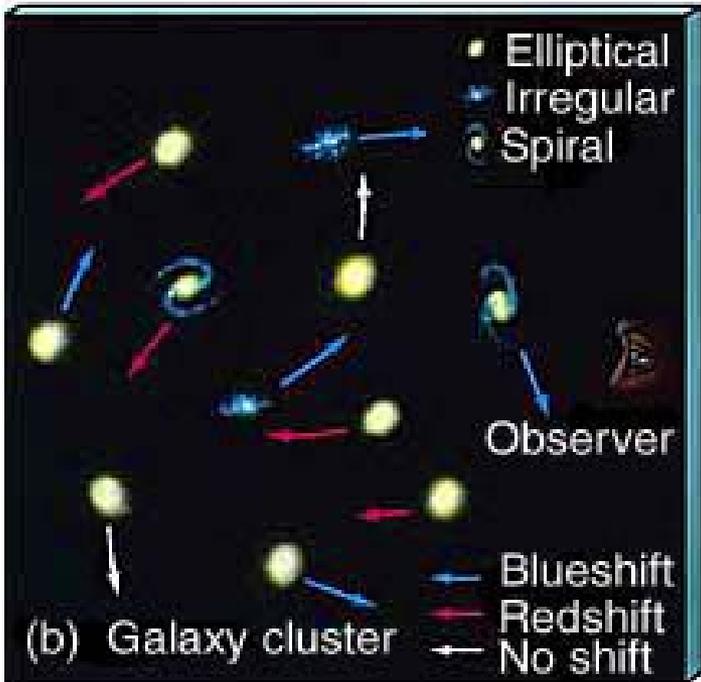


Mostra a distribuição de mais de 200.000 galaxias. Mede o redshift das galaxias para estimar distancias. Note a existência de “ondas de galaxias”. Para criar tais ondas 15% da matéria deve ser bariónica, enquanto 30% do universo deve ser matéria (O outro 70% é energia escura?)

# Medindo Massas



(a) Em sistema binario de galaxias:  $M$  de cada galaxia pode ser estimada observando-se orbitas (**lei de Kepler**)



(a) Em aglomerado de galaxias:  $M$  medido observando-se movimento das galaxias no aglomerado e estimando a quantidade de massa necessaria para impedir que aglomerado se disperse (**T. do Virial**)

# Massa dos aglomerados e a materia escura

- Tal como na determinação de massa de galaxias E: usamos

## **v dispersao das gals. + Teorema do Virial**

$$2 EC = -EP \rightarrow$$

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

→ Supoe-se sistema em **equilibrio** (nem expandindo nem contraindo)

→ Medem-se velocidades de dispersao (**v**)

→ Obtem-se:

$$M_{agl} \sim 10^{13} - 10^{14} M_{sol}$$

(dentro de uma galaxia:  $M_G = 10^{11} - 10^{12} M_{sol}$ )

# Massa dos aglomerados e a matéria escura

- O que faz com que **aglomerados e super-aglomerados de galáxias** não se dispersem?
- Não há aglomerado com **massa visível suficiente para mantê-lo ligado.**
- Os aglomerados de galáxias tem grande quantidade de **material não luminoso**



semelhante ao problema de **matéria escura** em nossa Galáxia.

# Massa dos aglomerados e a materia escura

- Em aglomerados: massas super grandes:

$$M(M_{\text{sol}})/L(L_{\text{sol}}) \sim 10 \text{ a } 100!$$

- Para galaxias:

$$M(M_{\text{sol}})/L(L_{\text{sol}}) \sim 10$$

(e maior para gals. duplas)



**Massa nao-luminosa** relativa à massa luminosa e  
**tanto maior quanto maior o sistema!**

# Matéria escura no Universo

- Poderia a ME adicional nos agls. ser devido ao gas intra-aglomerado?

- Aglomerados ricos  $\Rightarrow$  forte emissão em raios-X



**gás quente  $T = (10 \text{ a } 100) 10^6 \text{ K}$ .**

**$M_{\text{gás}} \sim M_{\text{visível}}$  de todas as galáxias no aglomerado**

**Mas:**

**$M_{\text{agls.}} = (10 - 100) M_{\text{luminosa}}$**

**$\rightarrow M_{\text{gas}}$  não explica ME**

- Apenas **<1%** da matéria no Universo: visível (estrelas+gas)
- **Grandes vazios no Universo: contem ME**

# Matéria escura no Universo

- **Natureza?**

vimos dentro das galaxias: desde remanescentes de estrelas mortas, planetas, anãs marrons, BNs até partículas exóticas

- **Mas não se sabe de fato:**

pior: ME nos aglomerados não pode ser explicada **considerando só ME dentro das galaxias** e seus halos

quanto **maior o sistema: +ME**

grande fração do Universo: ME

Sabemos atualmente: **Universo em expansão acelerada:**

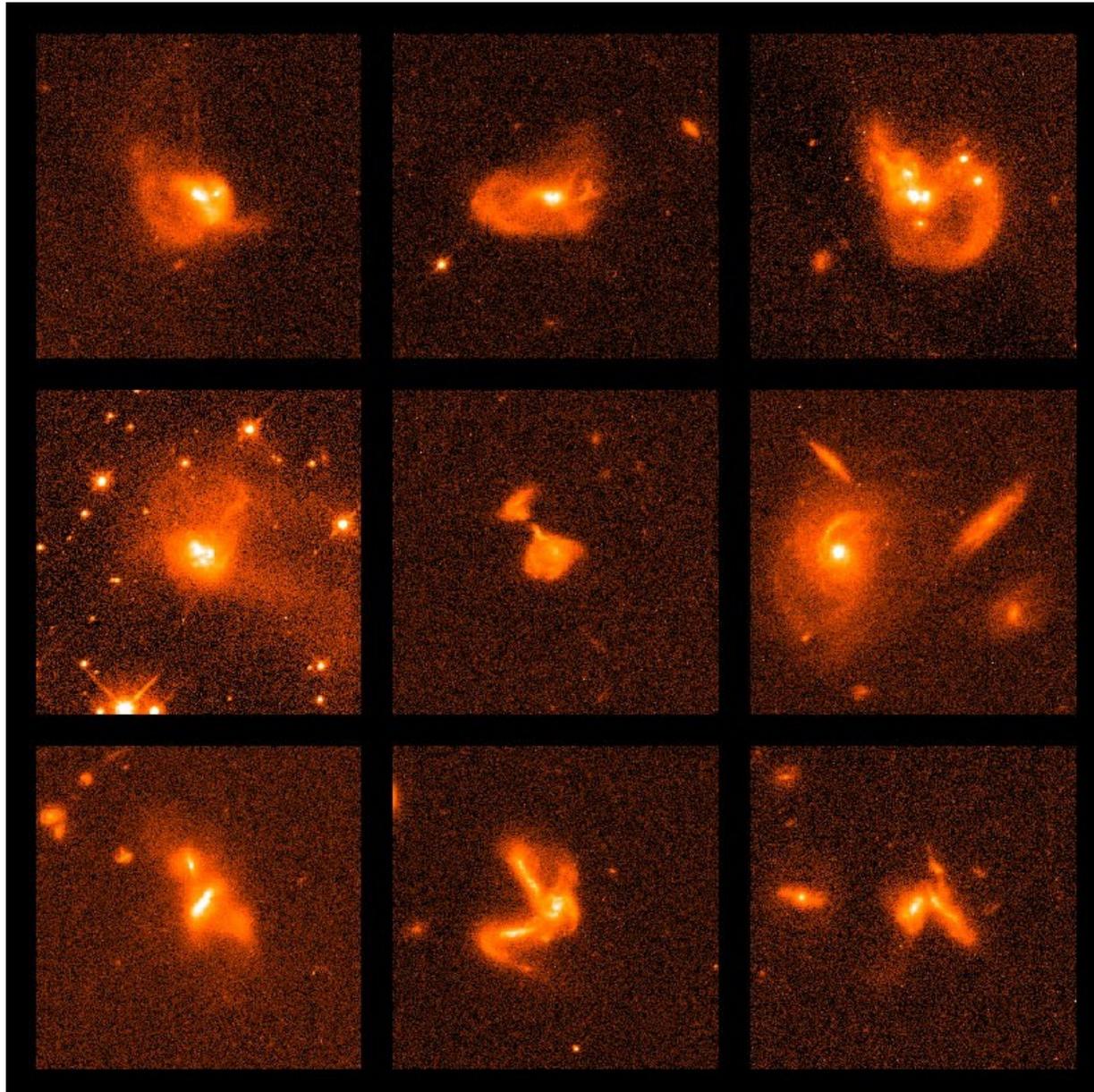
→ **ENERGIA ESCURA** (contrapõe a gravitacional)

**Composição do Universo: <1% ML, 30%ME, 70% EE**

# COLISÕES DE GALÁXIAS

- As galáxias que compõem um aglomerado orbitam um centro de massa comum
- **Em passagem próxima de duas galáxias:** suas estrelas interagem  
⇒ baixa probabilidade de colisão, muito espaço entre as estrelas
- **Forças de maré entre Halos:** pedaços de halo arrancados que ficam em envelope comum ou se perdem do sistema binário
- **Interação muda orbita das 2 gals.:** tendem a espiralar uma para outra: podendo **fundir-se**
  - Se 1 gal. tem  $M \ll$  que outra: **canibalismo** pela maior
  - Esse processo: explicaria porque **centro de agls. contem gals. gigantes super-massivas** (engoliram companheiras)

# Sistemas de galáxias em colisão

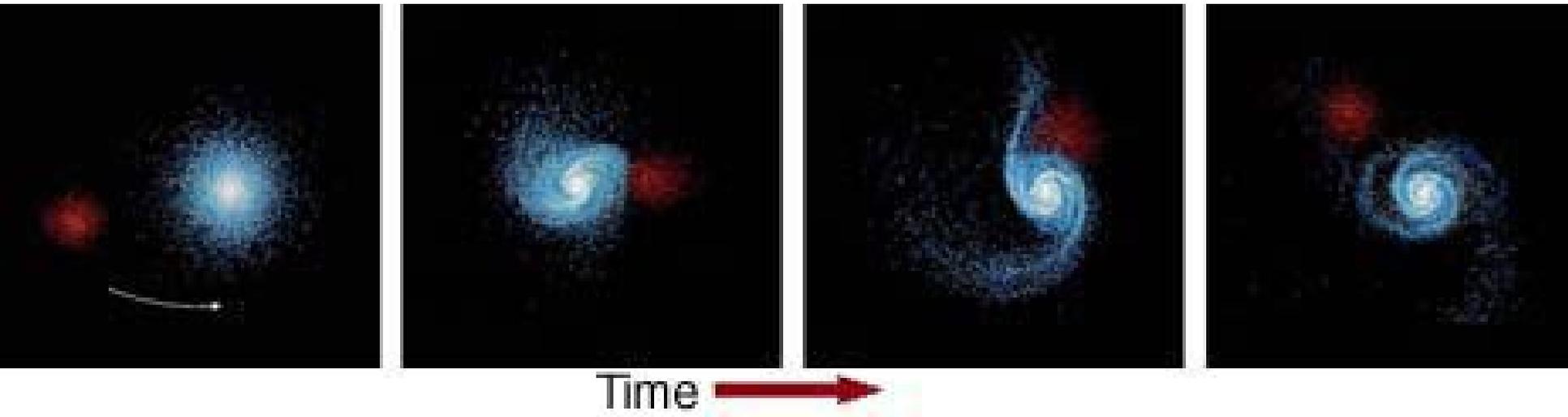


# COLISÕES DE GALÁXIAS

- **Colisões violentas:** podem retirar todo gás e poeira interestelar ⇒ **transferem para o meio intra-aglomerado**
- **Colisões aquecem gás retirado** ⇒ explicando **gás quente observado** em aglomerados
- **Colisões/interações menos violentas** ⇒ induzem formação de **caudas e braços de estrelas** que também podem ser empurrados para MIG

# Simulação de 2 galaxias em colisão

interação faz com que a E azul se transforme em S



**Duas galáxias na constelação de Corvus,  
NGC4038/4039: em processo de canibalismo**

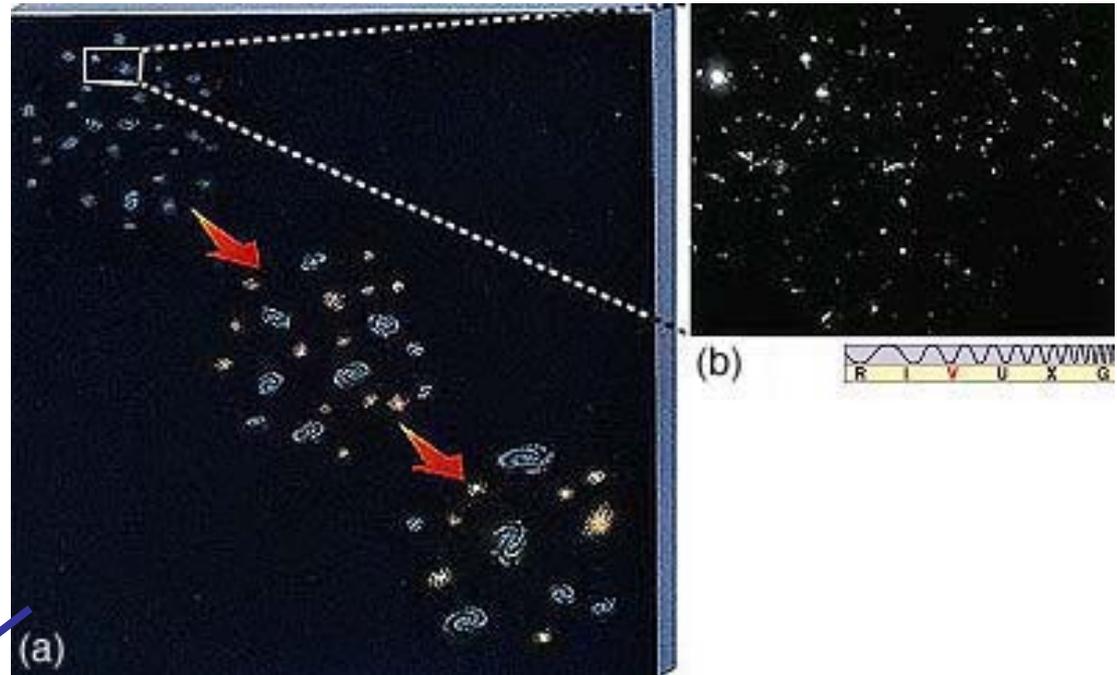


# FORMAÇÃO E EVOLUÇÃO DAS GALÁXIAS

- Processos não tão bem conhecidos (ao contrario da formação de estrelas)
- Dificuldades relacionadas com complexidade dos sistemas, observações e interpretação dos dados
- Interações entre galáxias (colisao e fusao): dificultam entender as primeiras fases de formação.

# Formacao e Evolucao de Galaxias

- No início do Universo: flutuações de densidade na matéria primordial  $\Rightarrow$  **fragmentos pré-galácticos**  $\Rightarrow$  massas comparáveis às galáxias anãs ( $10^6 M_{\text{sol}}$ )



- **Galáxias gigantes:** teriam se formado da **fusão de objetos menores**  $\Rightarrow$  as mais antigas seriam menores

(a) Esquema de formação por fusões

(b) Imagem profunda: evidencia fossil de centenas de fragmentos de galáxias até  $d = 3000 \text{ Mpc}$



***Hubble Deep Field:*** galaxias tao fracas quanto 30 mags.  
d >1000 Mpc: inumeras galaxias pequenas e Irr suportam  
teoria de que gals. no passado eram menores e menos  
**regulares** e poderiam estar crescendo por fusoes

# Formacao e Evolucao de Galaxias

- Suporte teorico para cenario de fusoes ⇒ **simulacoes numericas do principio do Universo: mostram colisoes frequentes nessa epoca**
- **Outra evidencia: observacoes de gals. a grandes distancias (Universo ainda jovem): galaxias eram menores e + irregulares**

# Formacao e Evolucao de Galaxias

- Se galaxias formaram-se por fusao de menores: **Como explicar existencia de diferentes tipos morfologicos?**
- Diferenças morfológicas: dependem de **onde** e **quando** se formaram as **primeiras estrelas** e de quanto **gás** estaria **disponível** para formar galáxias S ou não
  - Possivelmente: **se muitas estrelas formaram-se logo no inicio sobrando pouco gas – galaxia E** (com estrelas velhas em orbitas randomicas e sem gas para formar disco)
  - Por outro lado: **se havia muito gas**: mesmo depois da formacao inicial de estrelas – **gas depositou-se no plano central em disco – galaxia S** (como vimos para VL)

# Formacao e Evolucao de Galaxias

- Hoje: **gals. S + raras** em regioes de altas densidades de gals. (centro de aglomerados ricos)
- **Simulacoes indicam:**
  - **Colisões entre S:** podem destruir discos e ejetar gás quente para o meio intra-aglomerado: **criando gas quente observado**
  - **Gals. S em fusão podem formar E:** aglomerados a altos *redshifts* (*Universo distante + jovem*) têm **>** quantidade de S que agls. proximos
  - **Agls. + proximos**  $\Rightarrow$  maior tempo para ocorrer mais fusões e formar mais E

**→ Hipóteses a confirmar**

Nuvens de gás conectam as galáxias, que parecem estar em interação (dir.: imagem melhorada por computador).

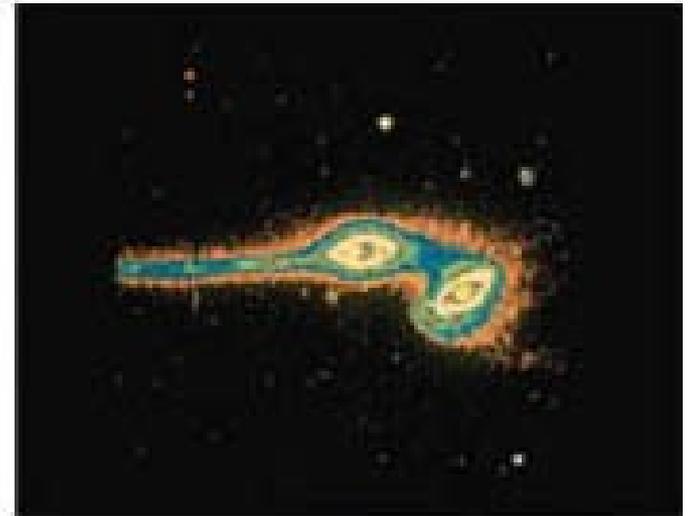


Imagem simulada (esq.) reproduz as observações (dir.)

