

Aglomerados de galáxias

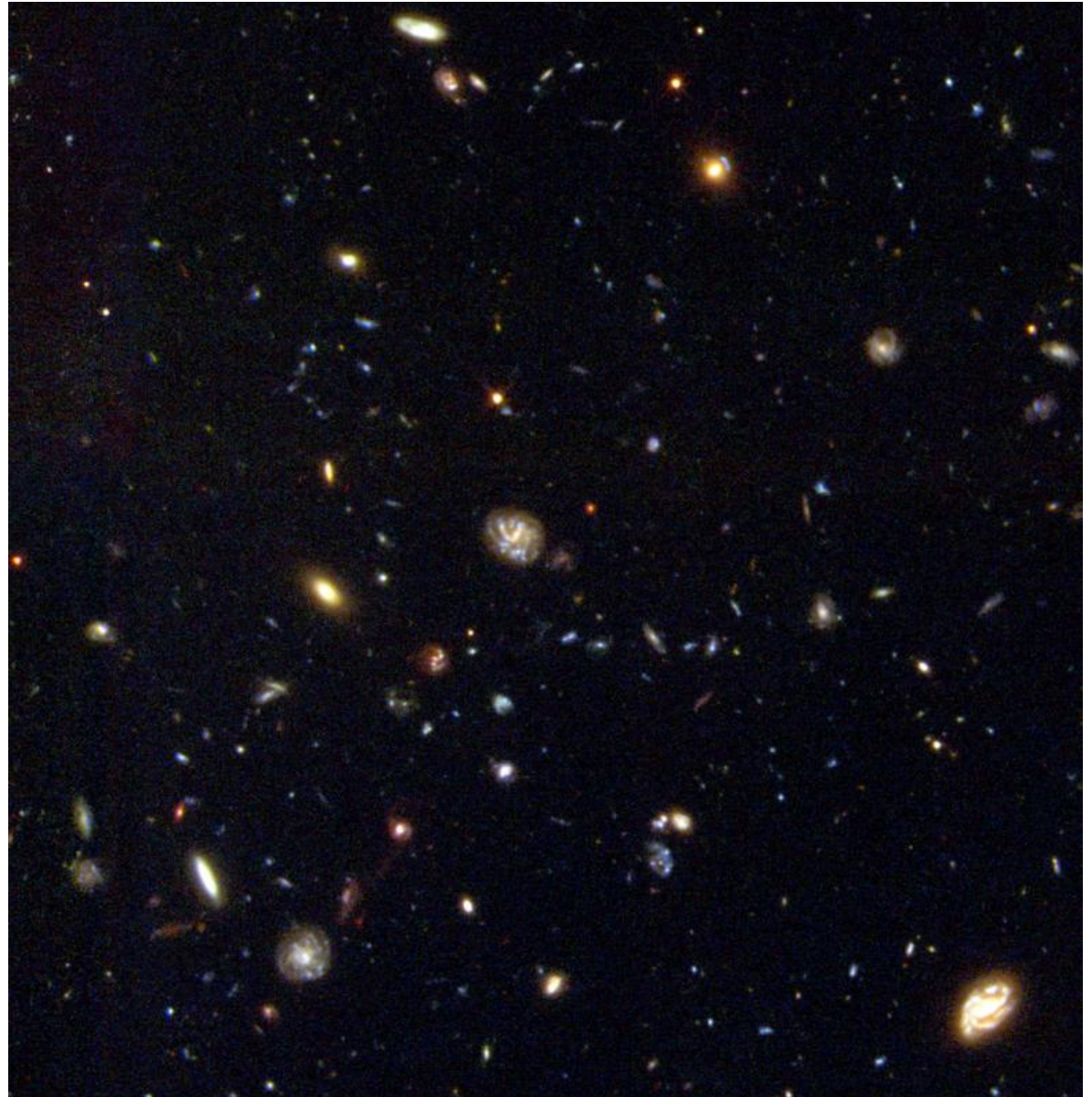


Estruturas em grande escala no Universo

- Universo em grande escala é delineado por galáxias (e pela radiação de fundo de micro-ondas!).
- Galáxias se distribuem de forma não-uniforme, ou seja, elas se aglomeram e formam grandes estruturas.
- Grupos, grupos compactos, aglomerados, super-aglomerados!

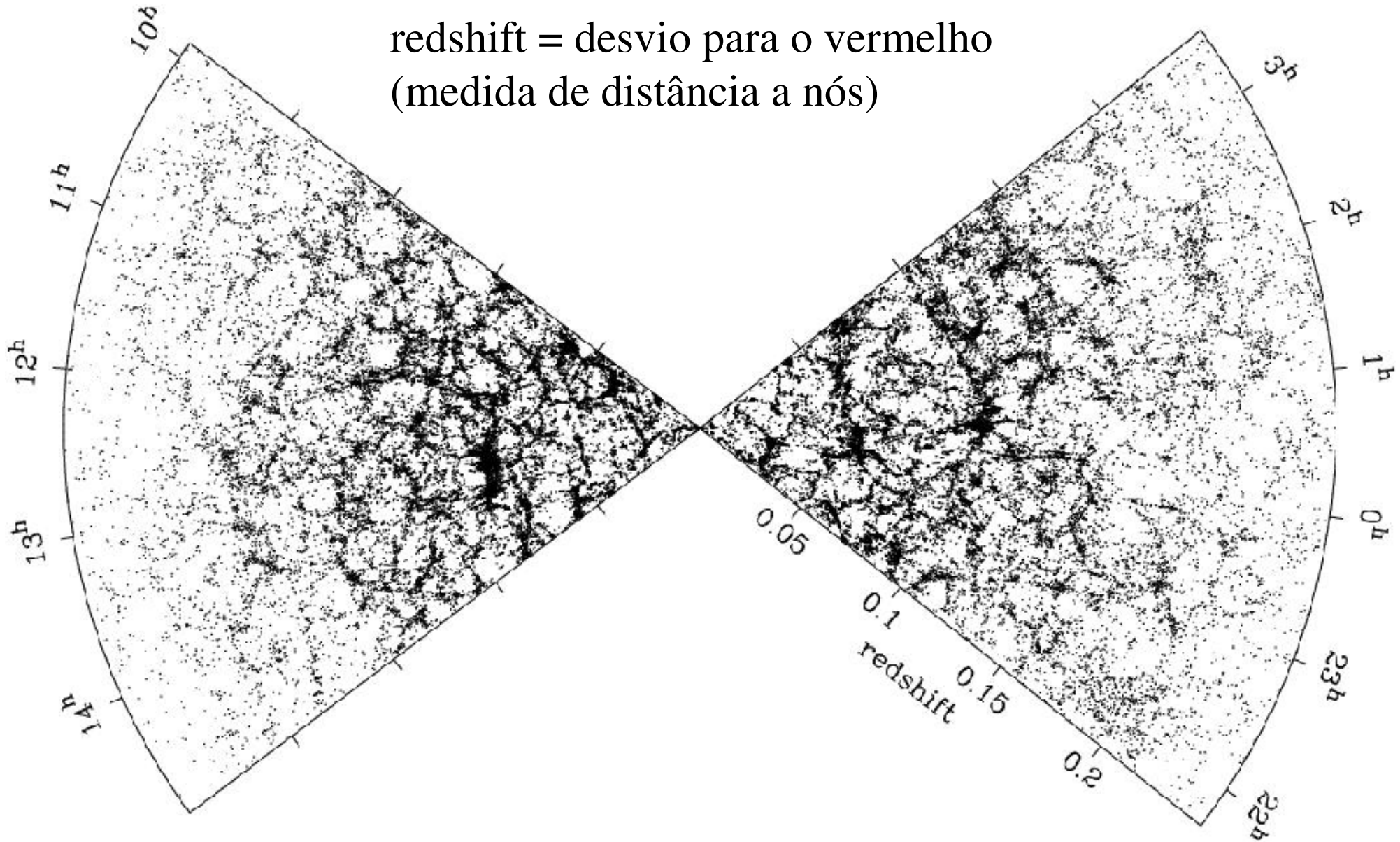
Universo em grande escala = galáxias

Campo profundo do
telescópio espacial



Paredes, filamentos, bolhas, vazios...

redshift = desvio para o vermelho
(medida de distância a nós)



Redshifts: as galáxias se afastam

$$H_{\alpha}: \lambda_0 = 6563\text{\AA}$$

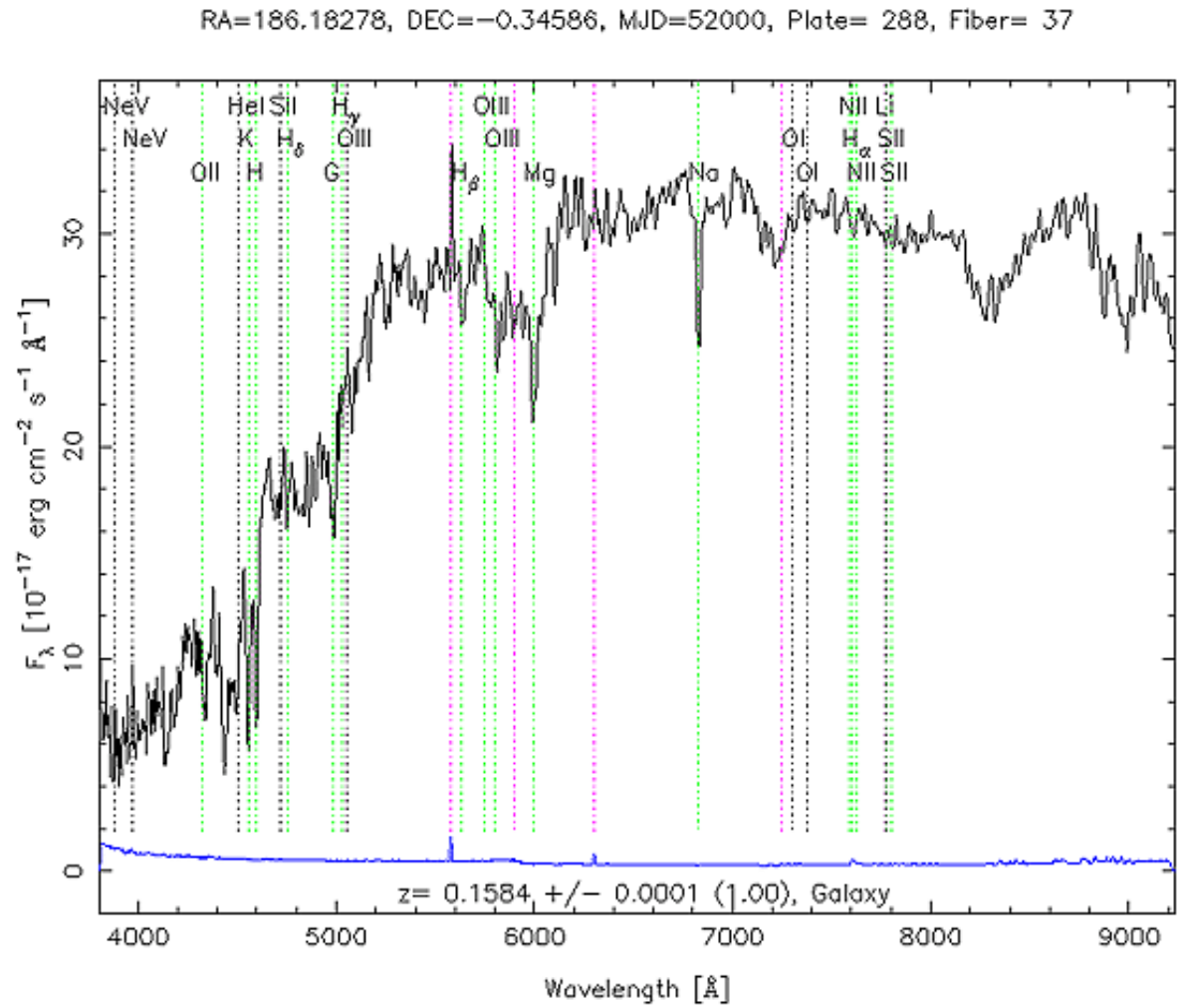
$$OIII: \lambda_0 = 5007\text{\AA}$$

$$Z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$$

$$z = (7600 - 6563) / 6563 = 0.16$$

$$V = c z = 48000\text{km/s}$$

$$V = H_0 D \rightarrow D = 640\text{Mpc}$$



Olhando longe, olhando para o passado

- Quanto maior o redshift, maior a distância, mais para o passado se olha.
- $Z = 0.2 \rightarrow 2$ bilhões de anos atrás.
- $Z = 1 \rightarrow 8$ bilhões de anos atrás.

Tempo passado = $\square - 4.5$ Ganos

8

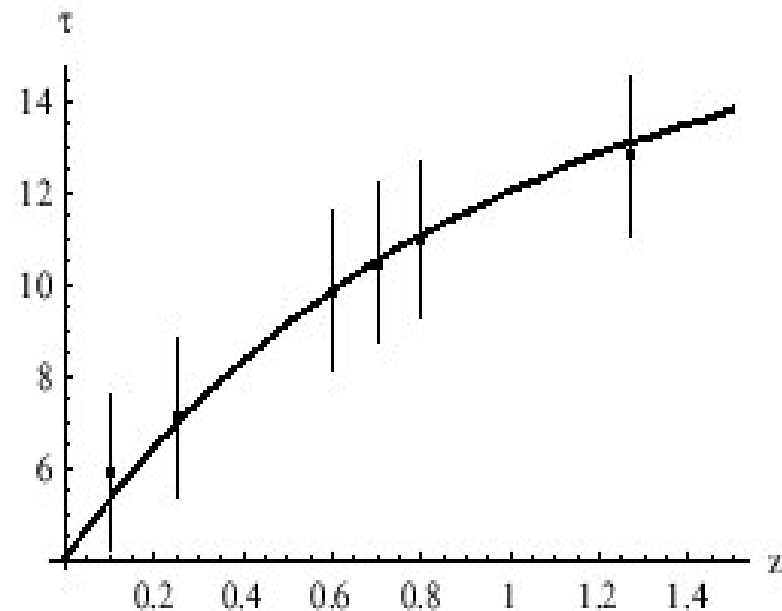
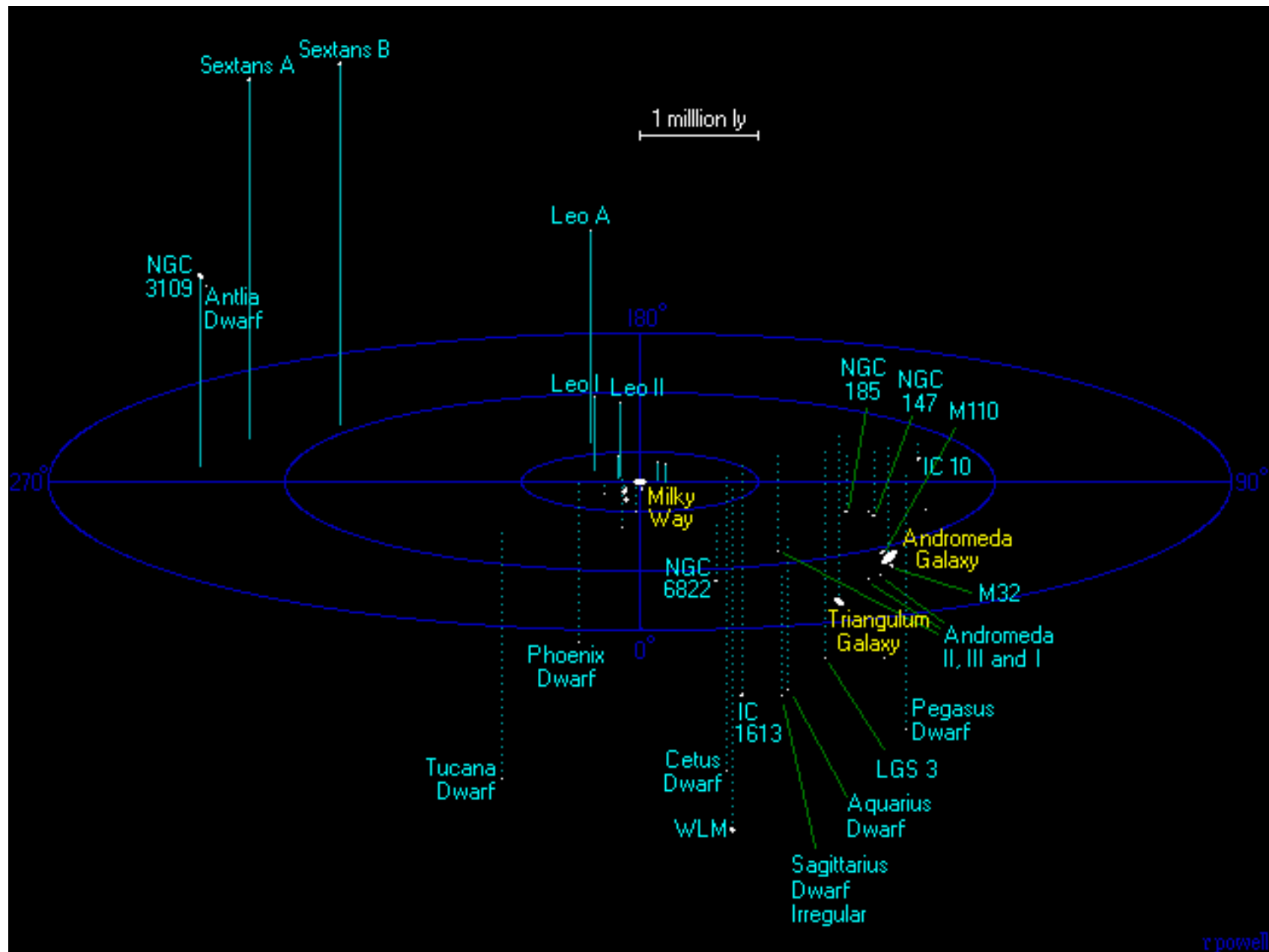
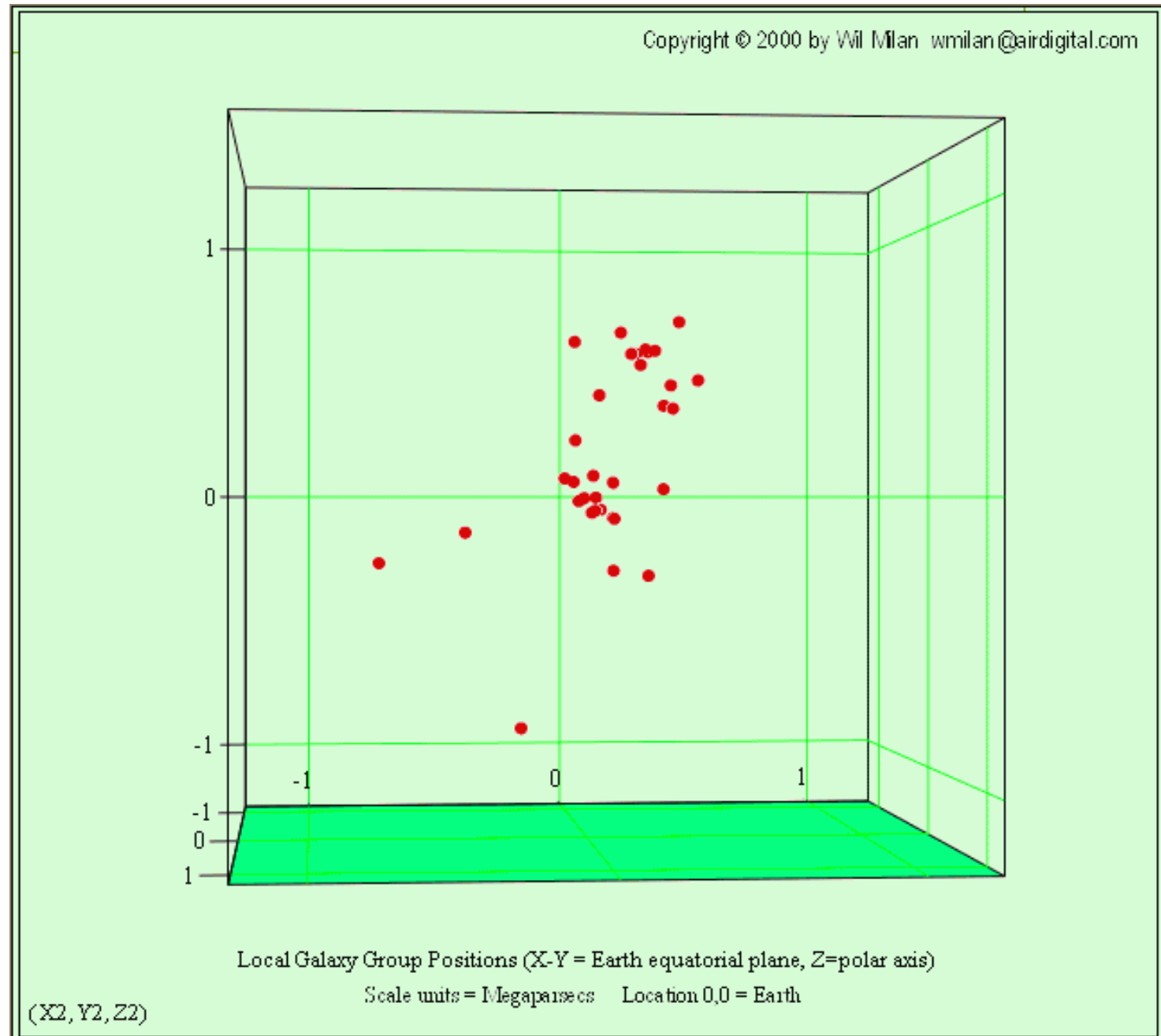


FIG. 3: Comparison among predicted and observed values of $\tau = t_L(z) + df$ for the best fit Λ CDM model.

O Grupo Local



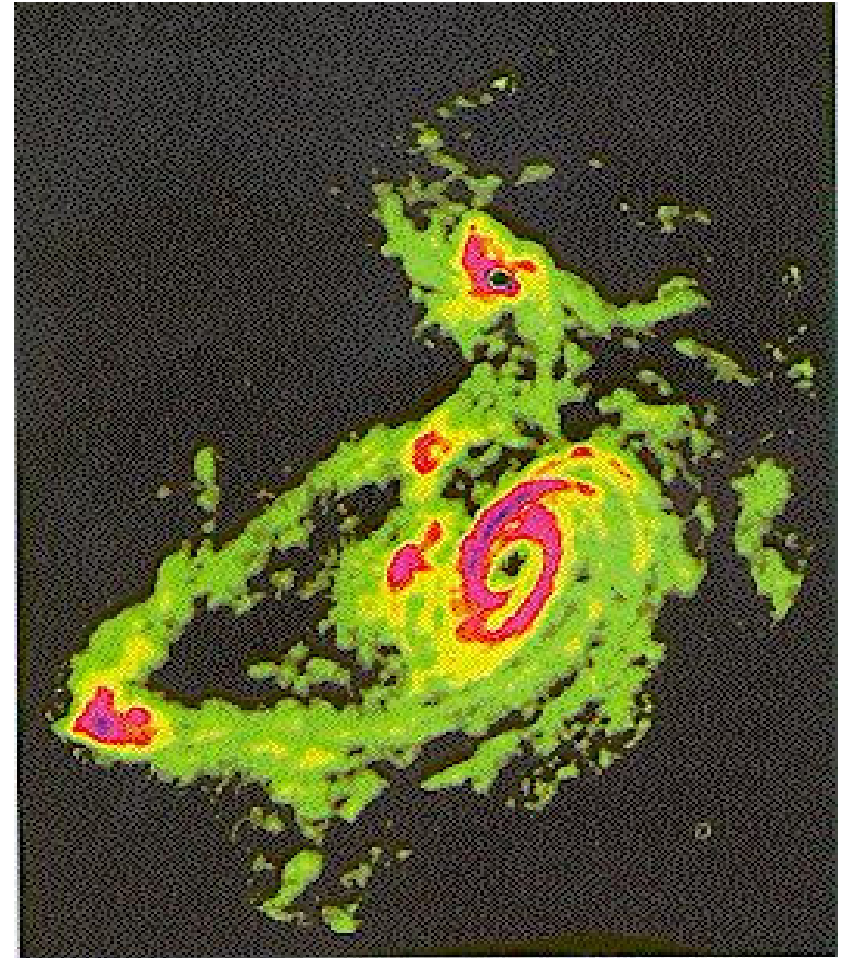
Grupo Local – animação



Outros grupos de galáxias



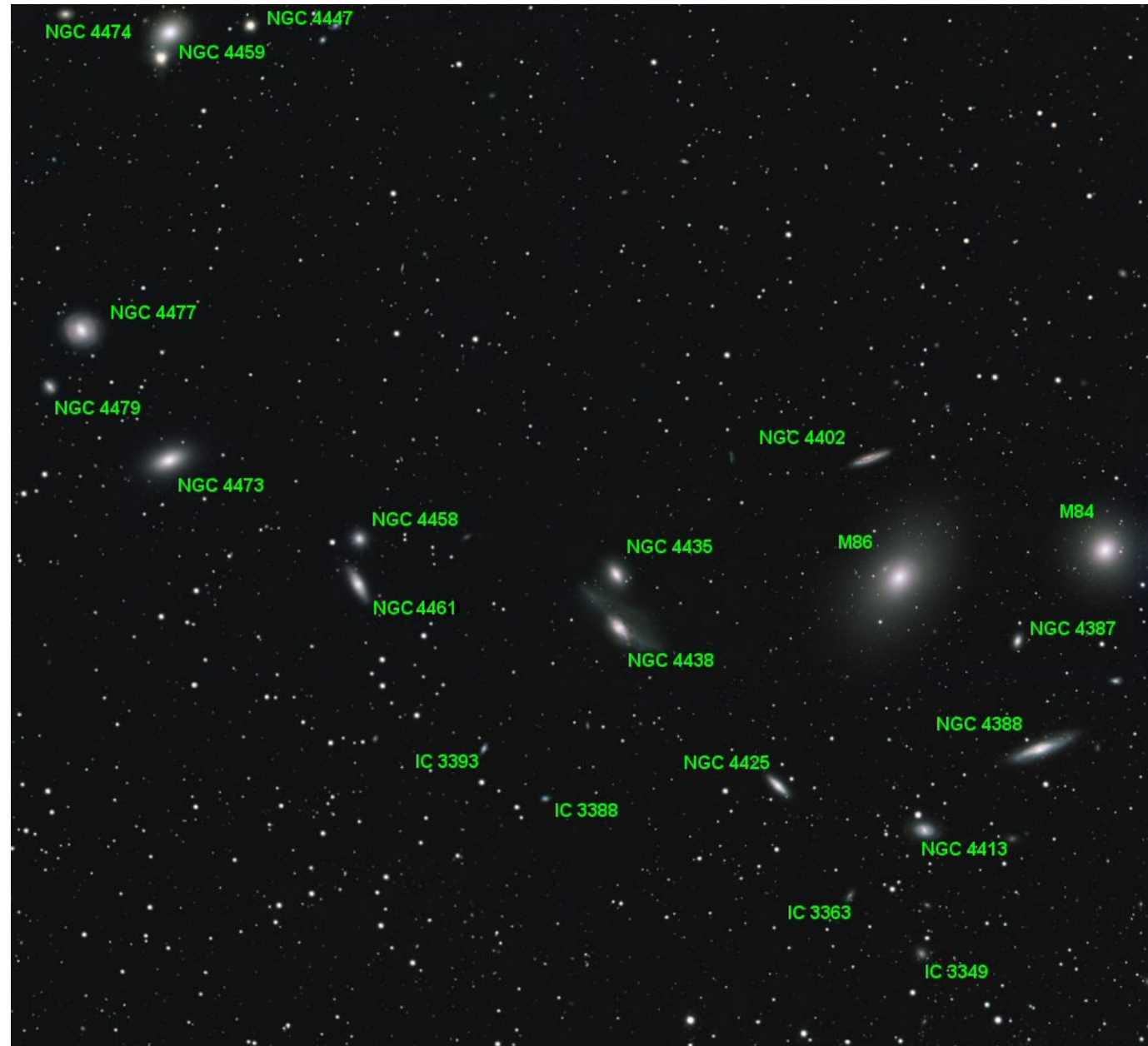
Grupo de M96



Grupo de M81 (rádio)
interações entre os
membros!

O aglomerado de Virgo

- O mais próximo aglomerado
- $D \simeq 18\text{Mpc}$
- São centenas de galáxias, a maioria anãs elípticas.



Por falar em anãs elípticas

- São as galáxias mais comuns no Universo
- 7 das 9 satélites da Via-Láctea são dEs
- Algumas são possivelmente os primeiros sistemas estelares a se formar

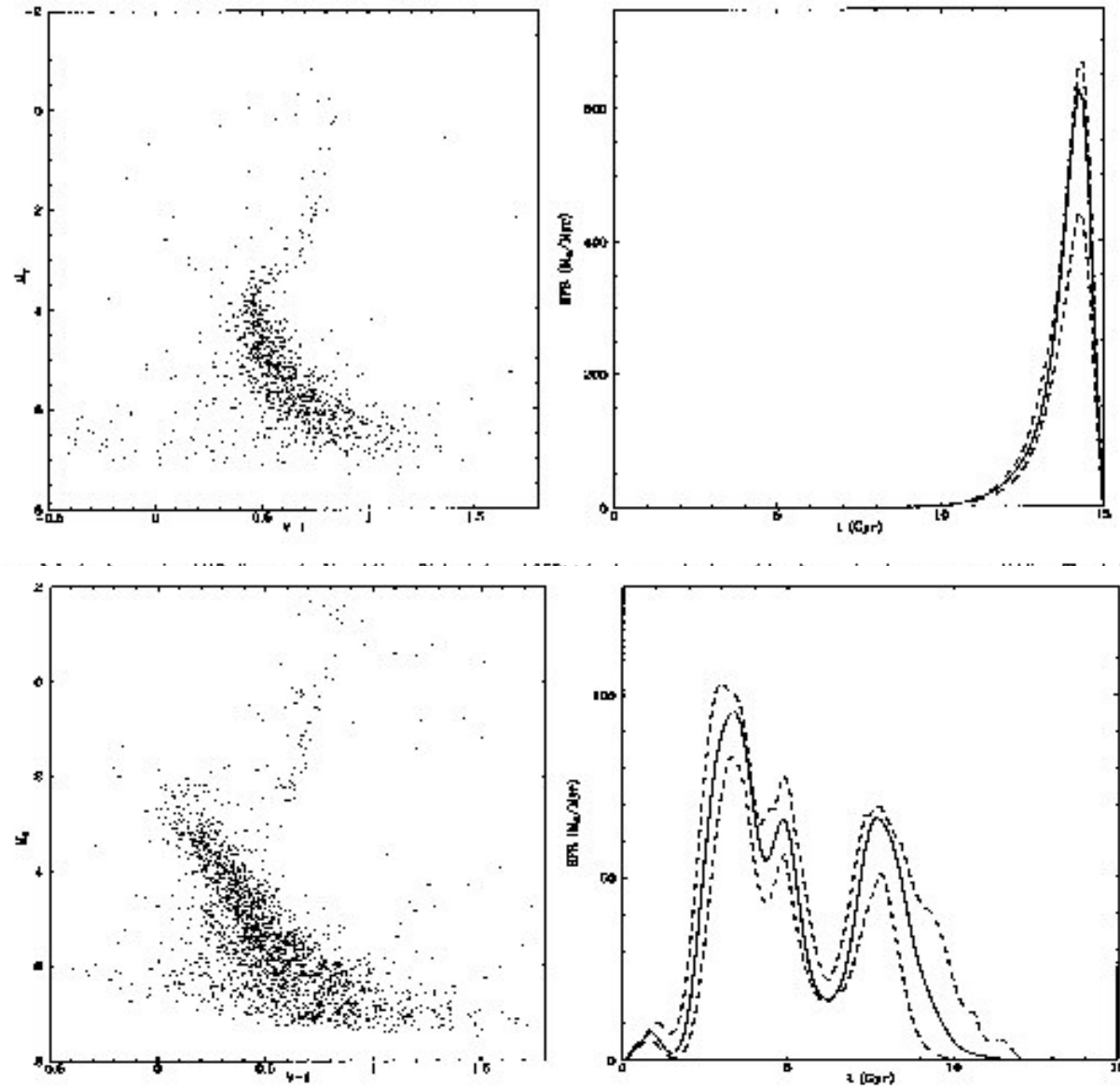


Figure 1. Left: observational HR diagram for Casina. Right: inferred $SFR(t)$ for the central values of the observational parameters, solid line. The dashed curves represent the error envelope as defined by the quoted uncertainties in the foreground extinction and distance modules.

Aglomerado de Coma



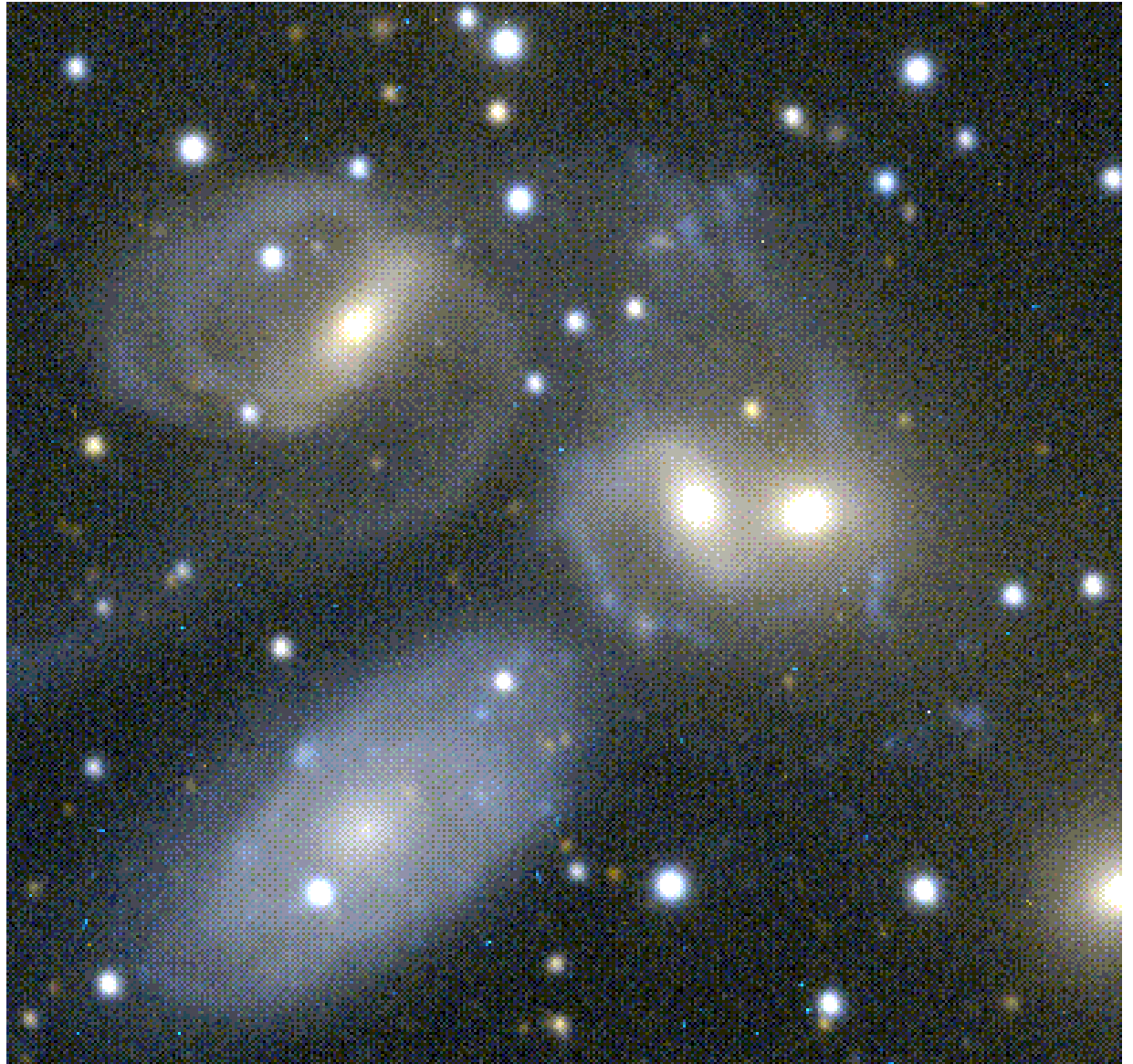
Qual a importância de grupos e aglomerados de galáxias?

- Ambientes de alta densidade: laboratório para interações entre galáxias
- Efeitos ambientais sobre formação de galáxias: relação morfologia-densidade, galáxias cD
- Gás quente e ionizado: fontes de raios-X e efeito Sunyaev-Zeldovich.
- Grande concentração de massa: lentes gravitacionais, matéria escura.

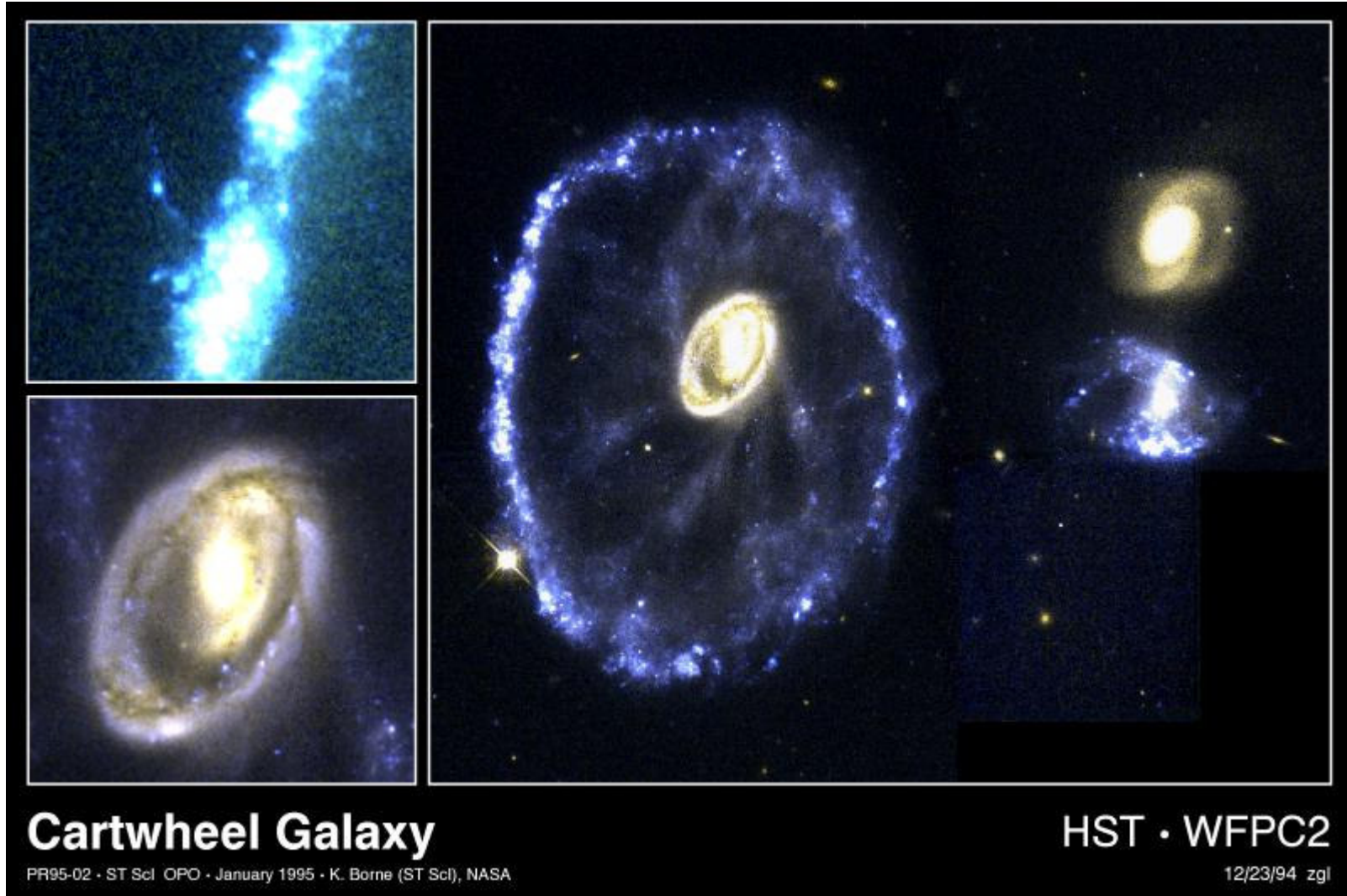
Grupo compacto: Quinteto de Stephan

Interações e fusões de galáxias.

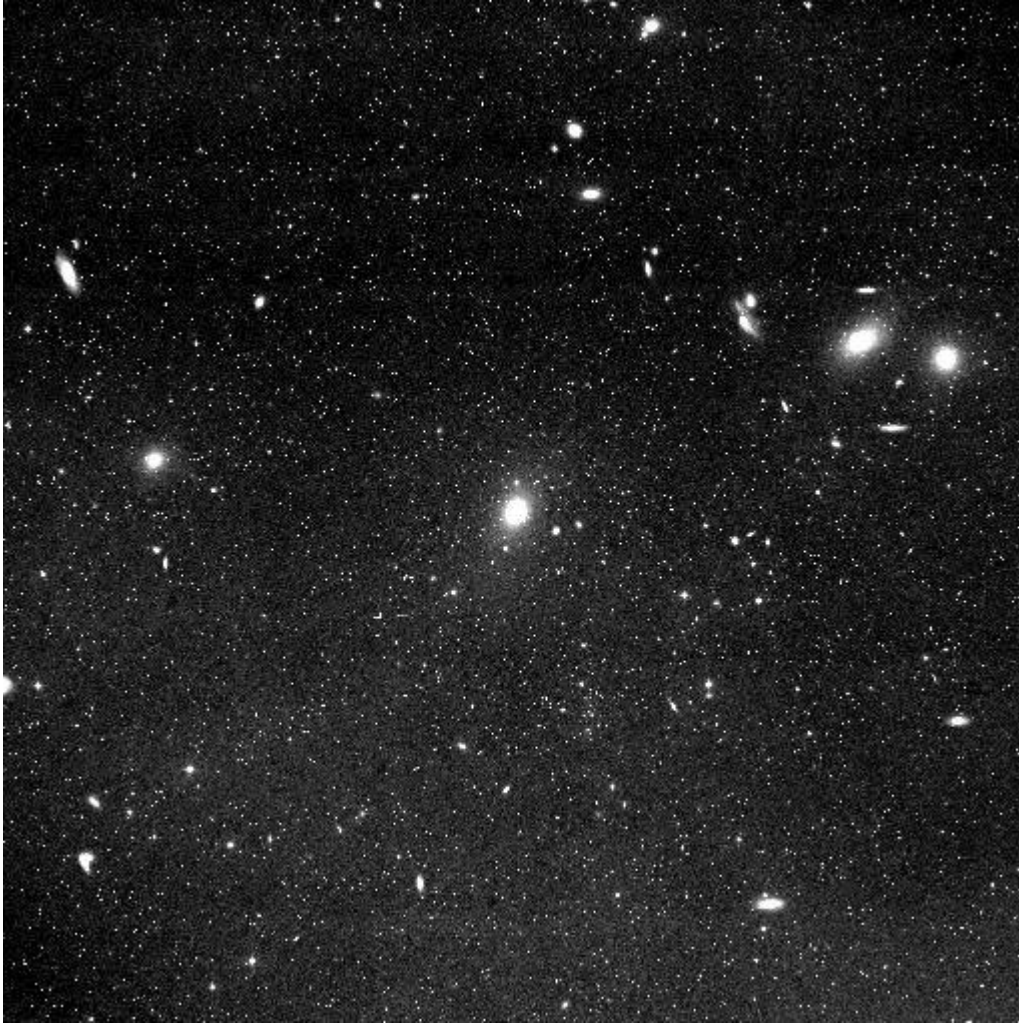
Podem ser descritas através de simulações em computador



Galáxia Roda de Carroça



Galáxias centrais dominantes (cDs)



M87:

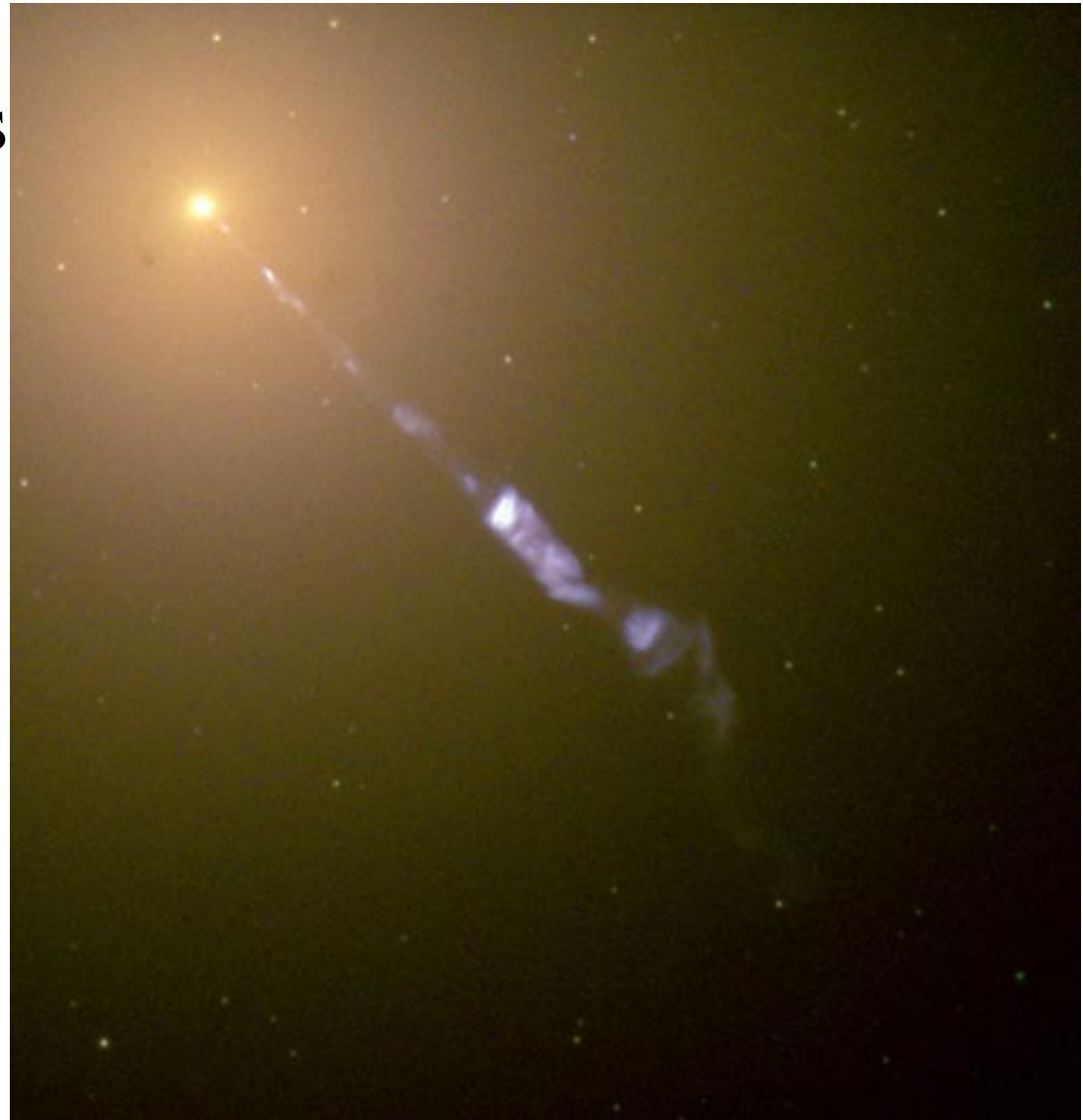
Massa $\simeq 2.7 \cdot 10^{12} M_{\text{sol}}$

globulares $\simeq 15000$



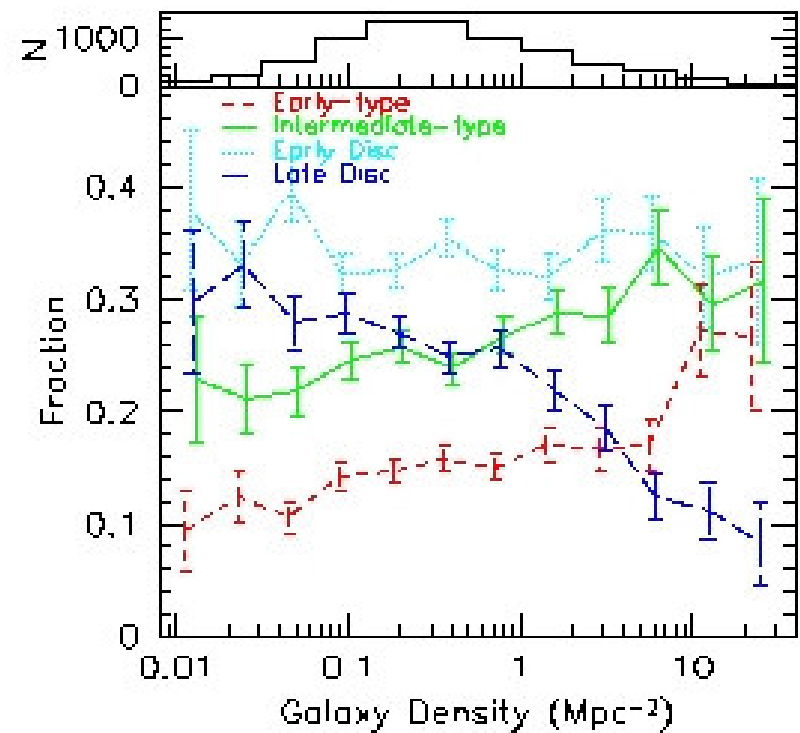
Galáxias centrais dominantes (cDs)

- Ocupam o centro dos aglomerados de galáxias
- São galáxias elípticas gigantes
- Têm grande quantidade de estrelas e aglomerados globulares
- Formaram-se pela aglutinação de galáxias menores



Relação morfologia-densidade

- Galáxias elípticas habitam preferencialmente regiões de alta densidade local de galáxias.
- Proporção de galáxias disco cai rapidamente com a densidade local.



Mecanismos físicos importantes

- Fusão entre galáxias / canibalismo galáctico.
- Remoção do gás interno das galáxias pela pressão do gás do aglomerado.
- Consumo acelerado do gás das galáxias induzido por efeitos dinâmicos: efeitos de maré, interações gravitacionais, etc.

Remoção do gás – pressão do meio

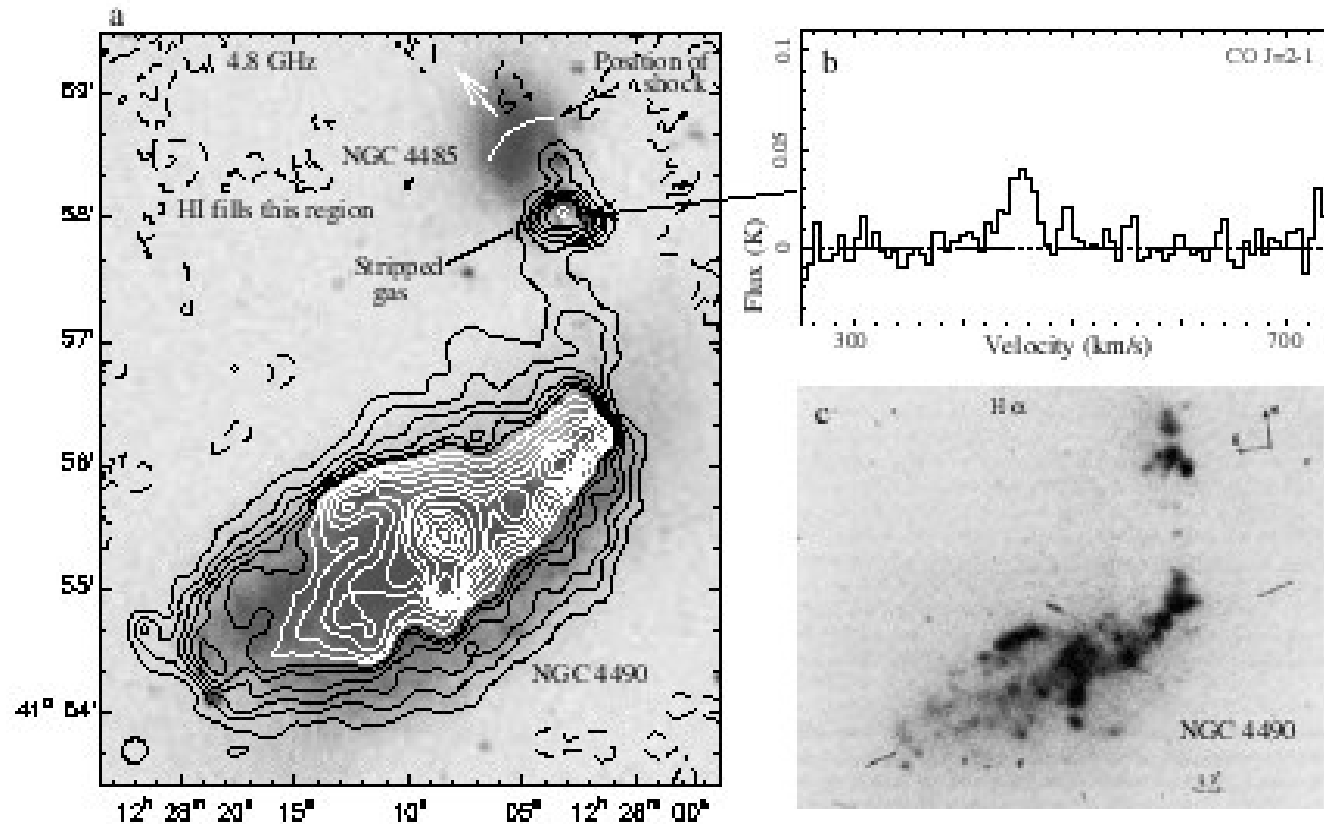
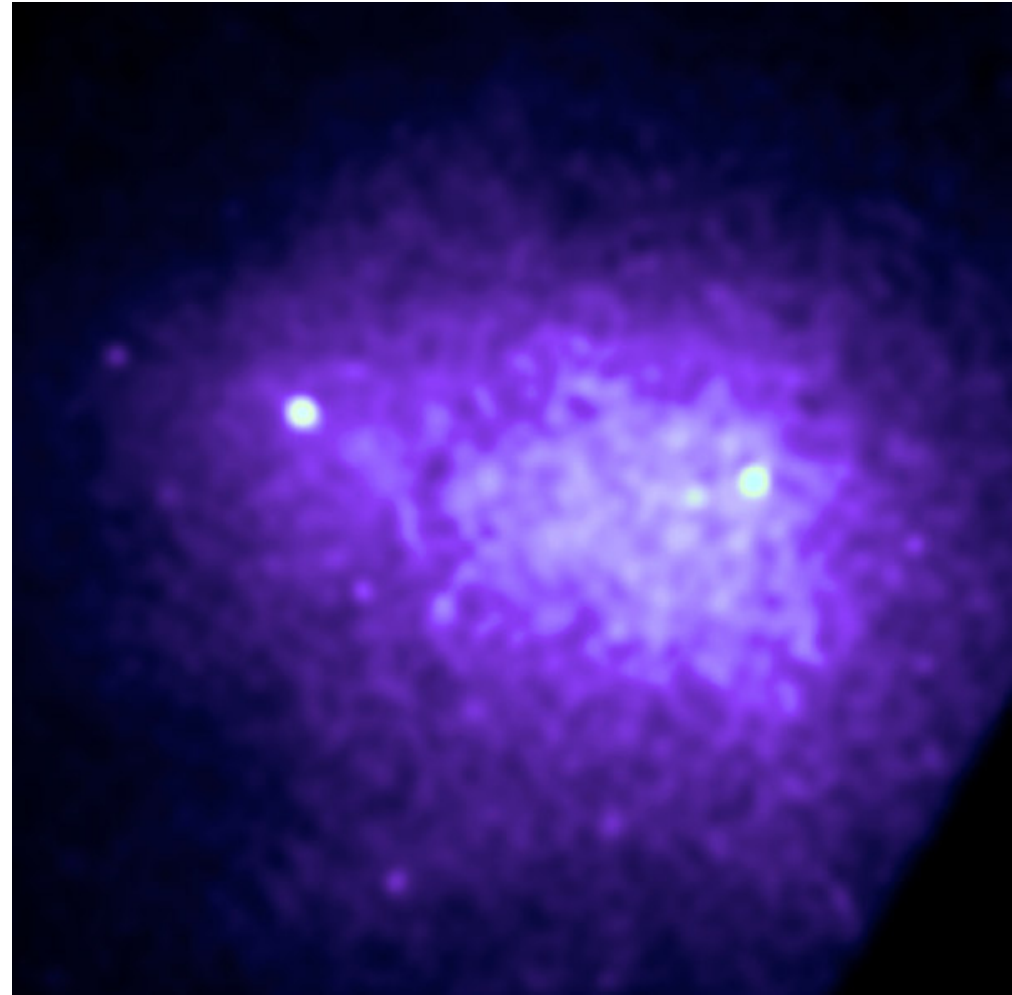


Figure 1. a) Overlay of the 4.8 GHz radio-continuum emission (contours) on an optical R -band image of the NGC 4490/85 system. Contour levels are at $(-0.15, 0.15, 0.3, \dots, 0.9, 1.2, 1.5, 2, 2.5, \dots, 4, 5, 6, \dots, 10)$ mJy beam^{-1} ; VLA data, see Paper 2. b) CO $J = 2 \rightarrow 1$ spectrum from the region of ISM displaced to the south-west of NGC 4485. c) $H\alpha$ image of the system (Duval, 1981); notice that NGC 4485 is undetected apart from the HII regions at its south-west extremity.

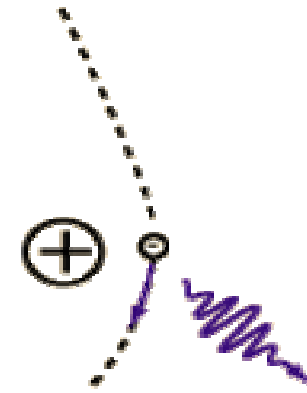
Poderosas fontes de raios-X



Aglomerado de Coma:
óptico (acima) e raio-X (ao
lado).

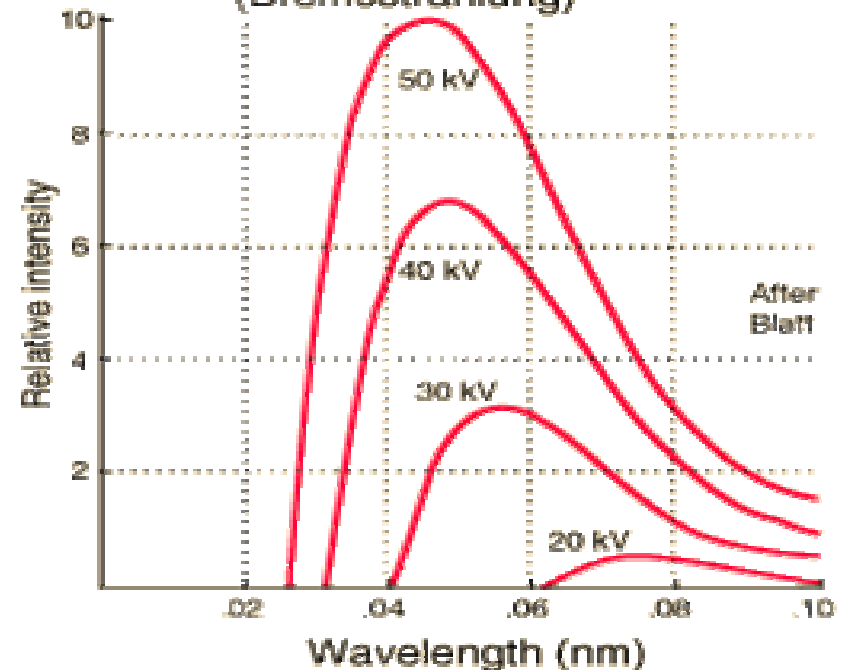
Emissão de raios-X: gás quente

- Radiação Bremsstrahlung: aceleração de partículas carregadas e de alta energia por colisões mútuas.
- Nos aglomerados: $T_K \simeq 10^8$ K.
- 20% da matéria dos aglomerados é gás quente.



Accelerated electron emits radiation

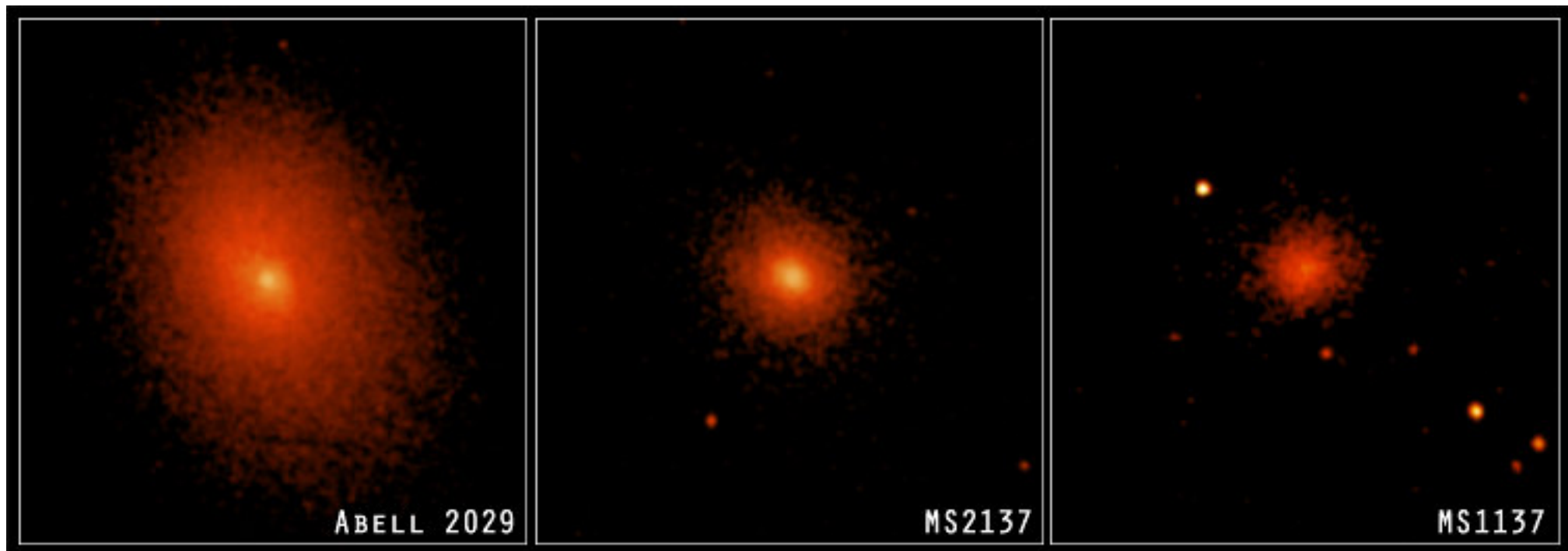
X-ray Continuum Radiation (Bremsstrahlung)



“Fluxos de resfriamento”

Resfriamento do gás: mais eficiente onde a densidade é maior
(centro do aglomerado)

Perda de pressão, diminuição de suporte gravitacional:
colapso do gás

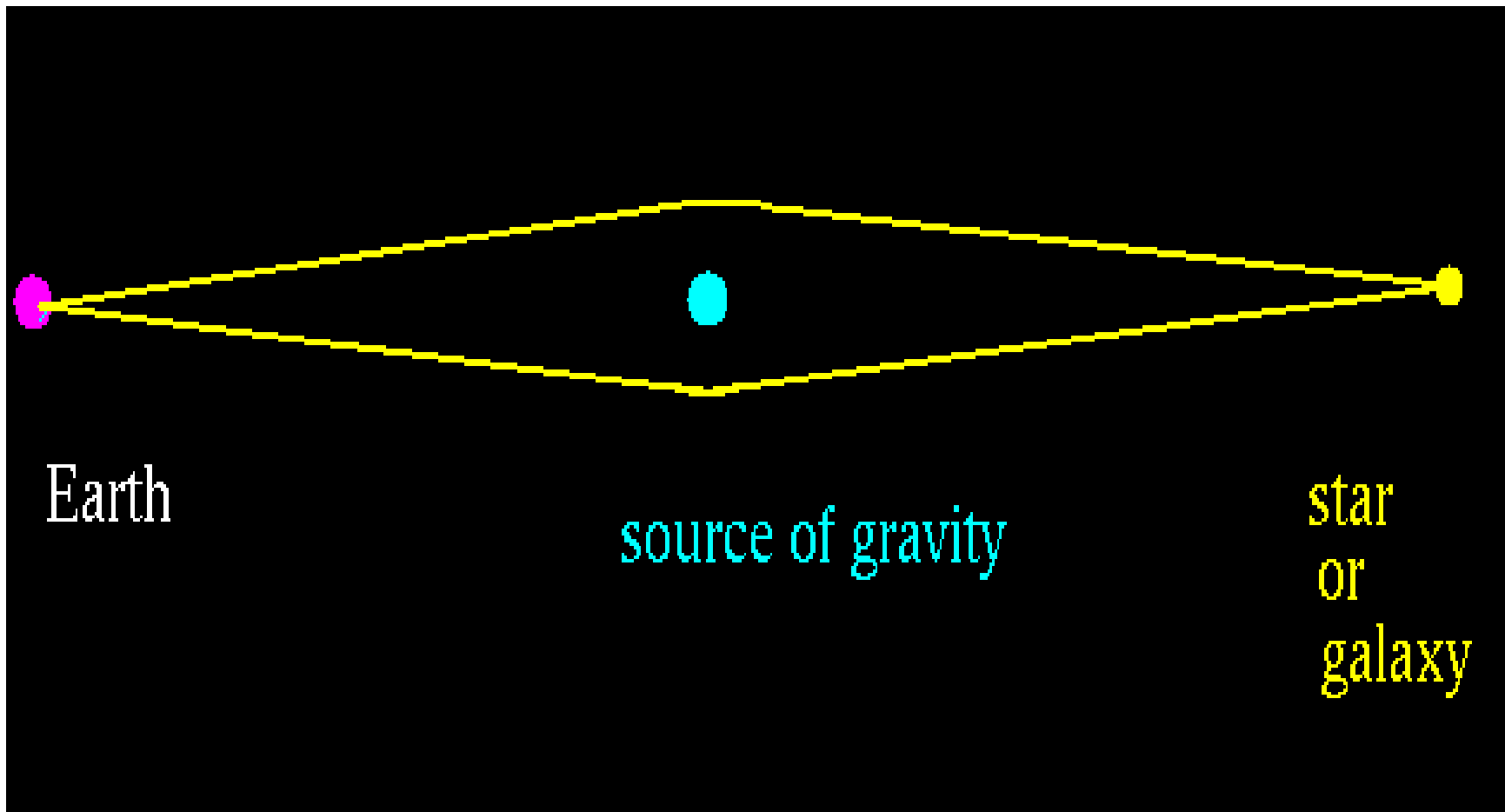


Observações em raios-X

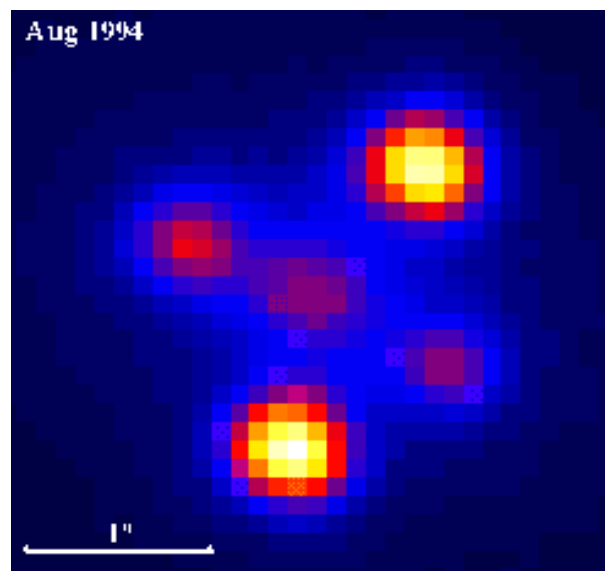
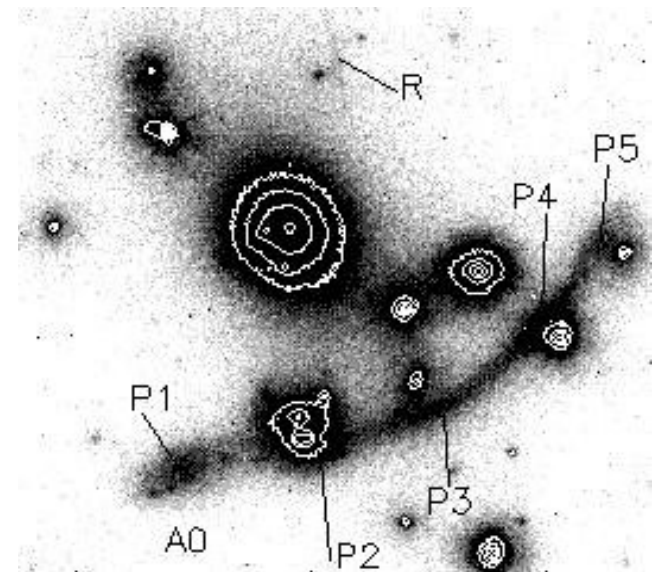
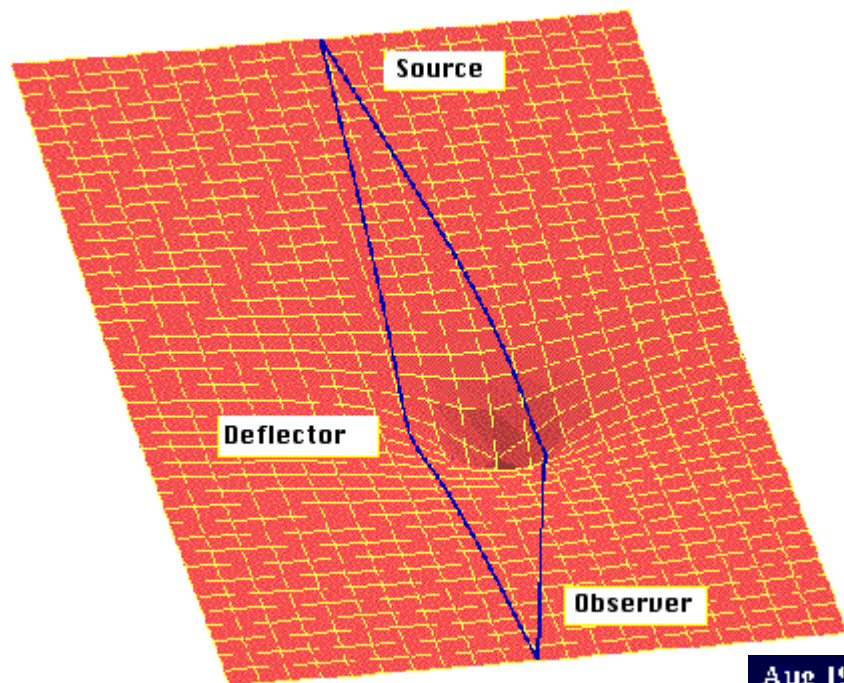
- Permitem determinar a temperatura e densidade do gás emissor
- Permitem determinar a massa total do aglomerado: equilíbrio hidrostático entre gás e o material restante
- Novamente, há evidência para mais massa do que se pode ver: matéria escura

Lentes gravitacionais

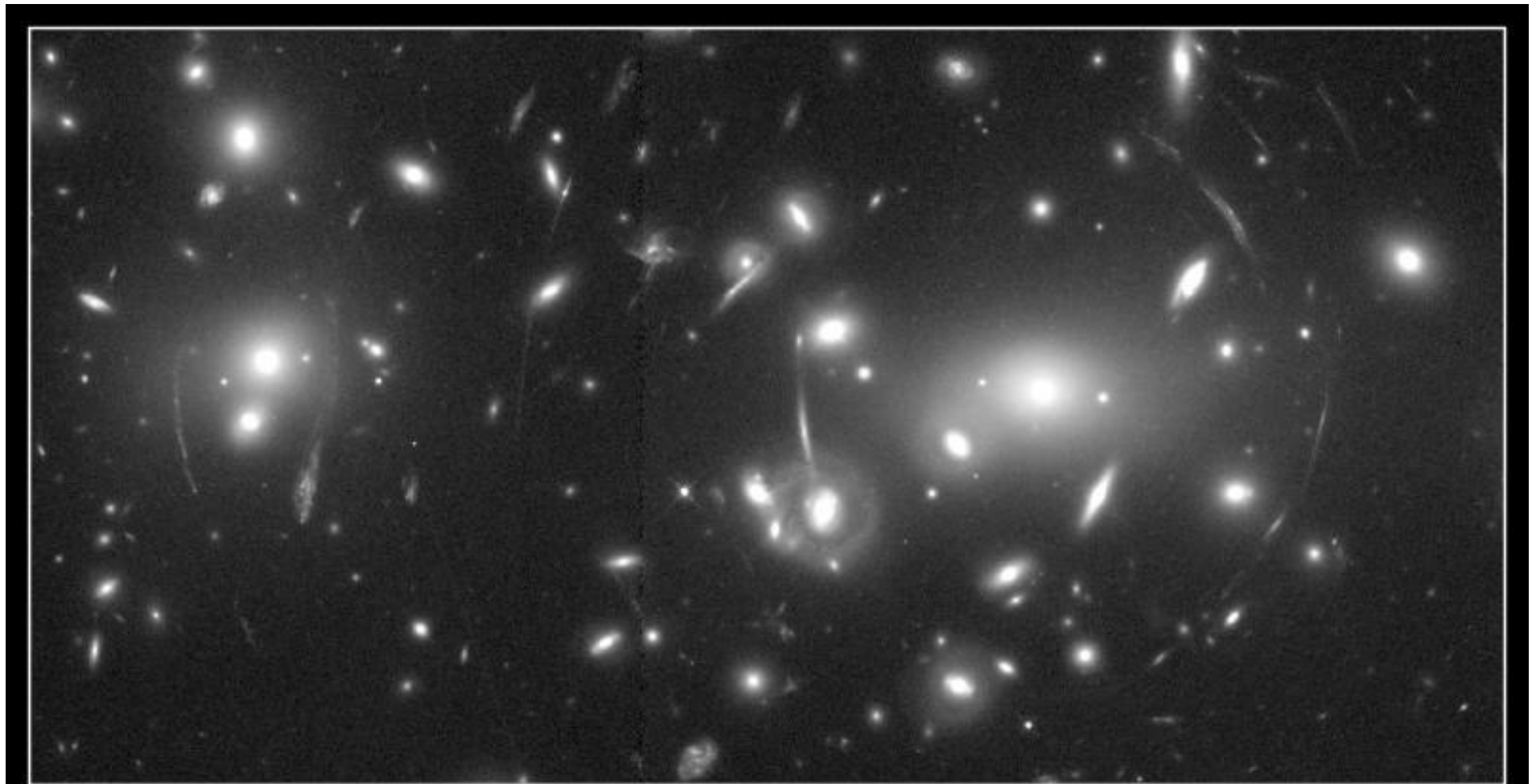
Relatividade Geral: uma grande concentração de massa altera a geometria do espaço, “curva o espaço”.



Presença da lente: imagens duplas, múltiplas ou distorcidas



Aglomerados como lentes gravitacionais



Gravitational Lens in Abell 2218

HST · WFPC2

PF95-14 · ST ScI OPO · April 5, 1995 · W. Couch (UNSW), NASA

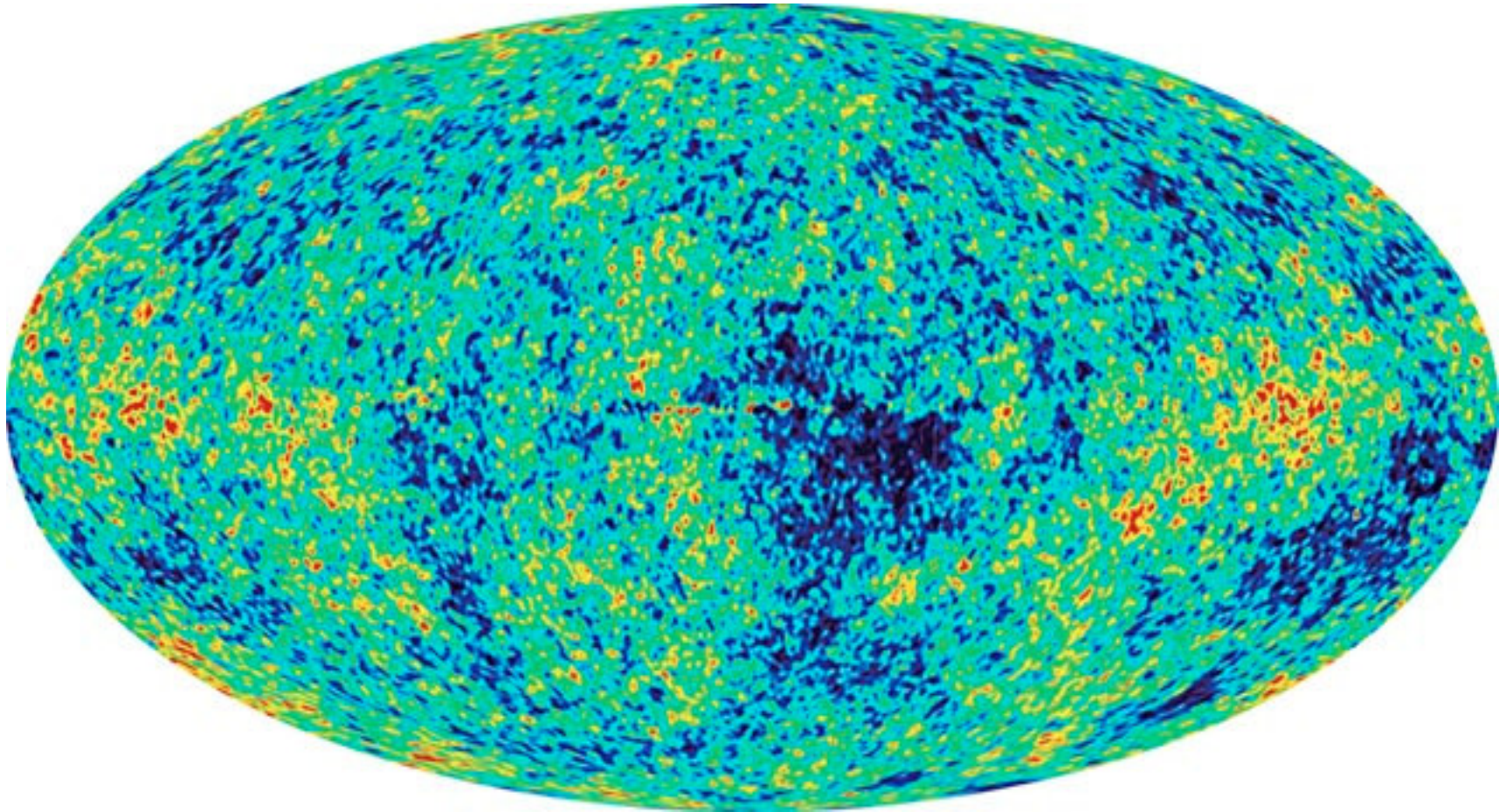
Lentes gravitacionais

- Permitem que se determine a massa da lente (aglomerado) pela distorção causada nos objetos de fundo.
- Novamente, há mais massa do que se pode ver na forma de estrelas, gás ou poeira: matéria escura

Efeito Sunyaev-Zeldovich

- Radiação de micro-ondas proveniente do universo primordial interage com o gás quente dos aglomerados de galáxias
- Os fótons da radiação de fundo ganham energia (temperatura associada à radiação aumenta)
- Escalas e amplitudes do efeito trazem informação sobre formação e evolução do universo

Radiação de fundo de micro-ondas



Flutuações em temperatura da radiação de fundo:

□ $T/T \simeq 10^{-5}$ em escalas de 1° ou menos -->

refletem estruturas primordiais do universo e perturbações causadas à radiação ao longo do tempo.

Efeito Sunyaev-Zeldovich

Linha sólida: radiação a 2.7K

Linha tracejada: radiação na direção de um aglomerado de galáxias.

Aquecimento devido ao gás do aglomerado.

