

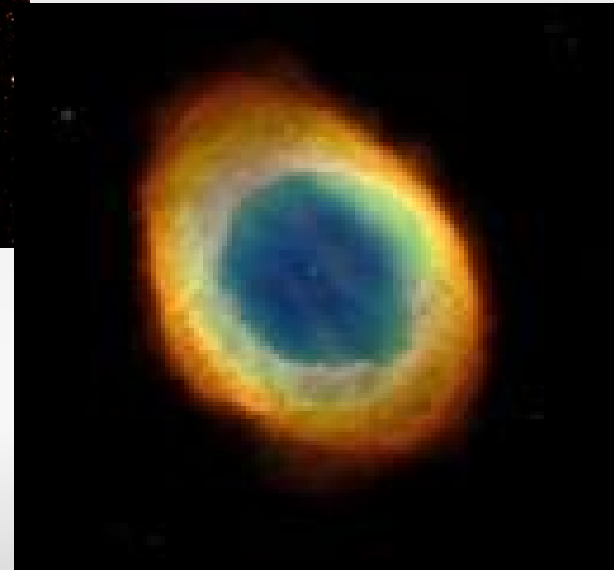
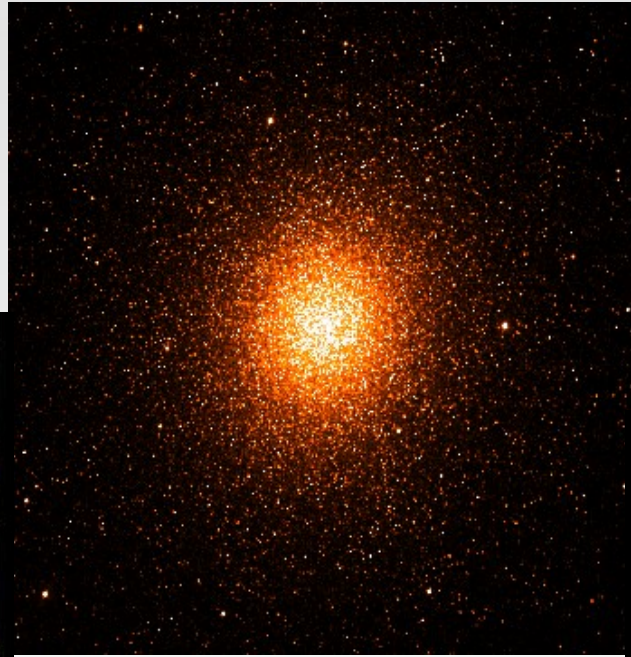
FSC1057: Introdução à Astrofísica

*Expansão do Universo e
Aglomerados de Galáxias*

Rogemar A. Riffel

Descoberta das galáxias

Até 1923 todos os objetos extensos (galáxias, aglomerados estelares, nebulosas planetárias, regiões HII) eram classificadas como nebulosas.

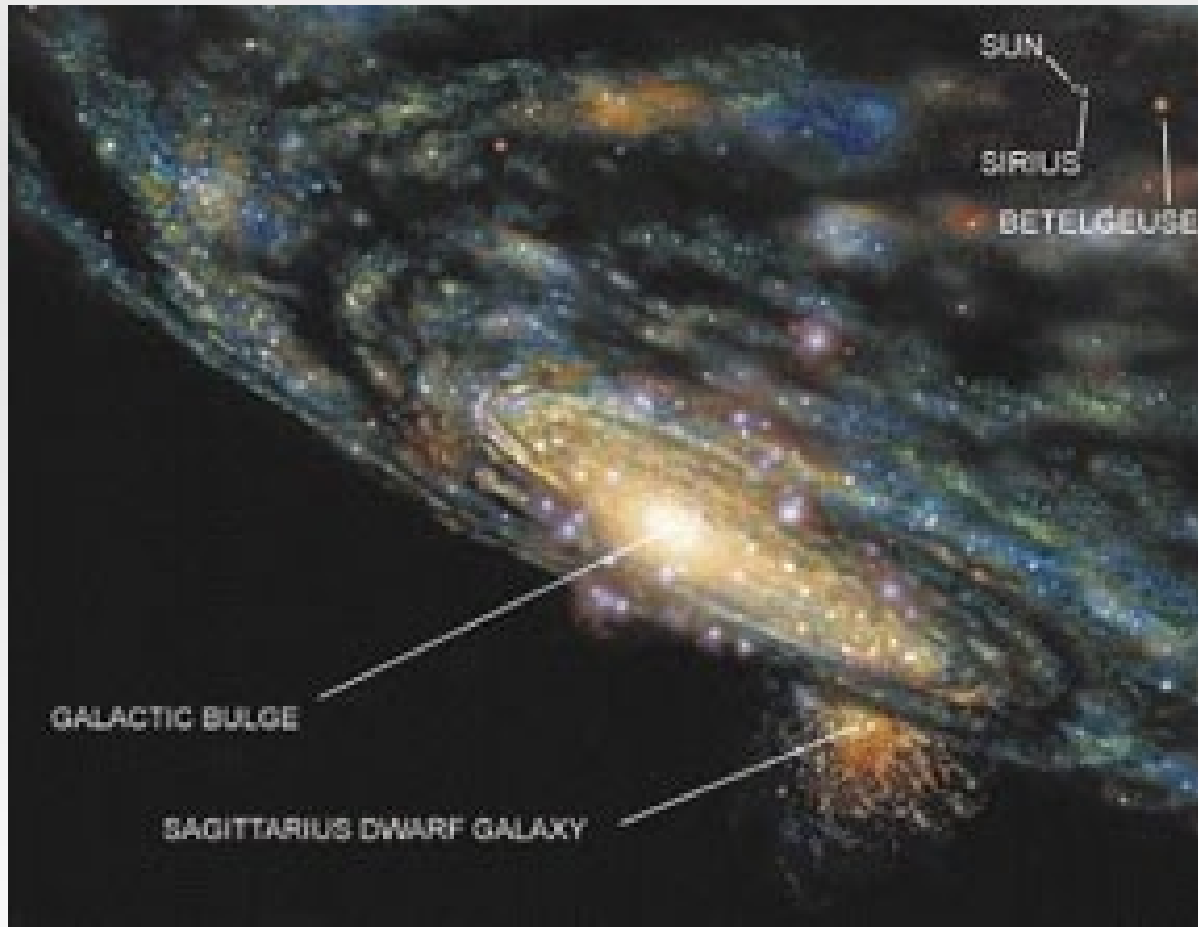


As galáxias são *objetos* externos à Via Láctea

Hubble (1923): Determinou a distância até a nebulosa Andrômeda usando *variáveis Cefeidas* (2,2 milhões de anos-luz)

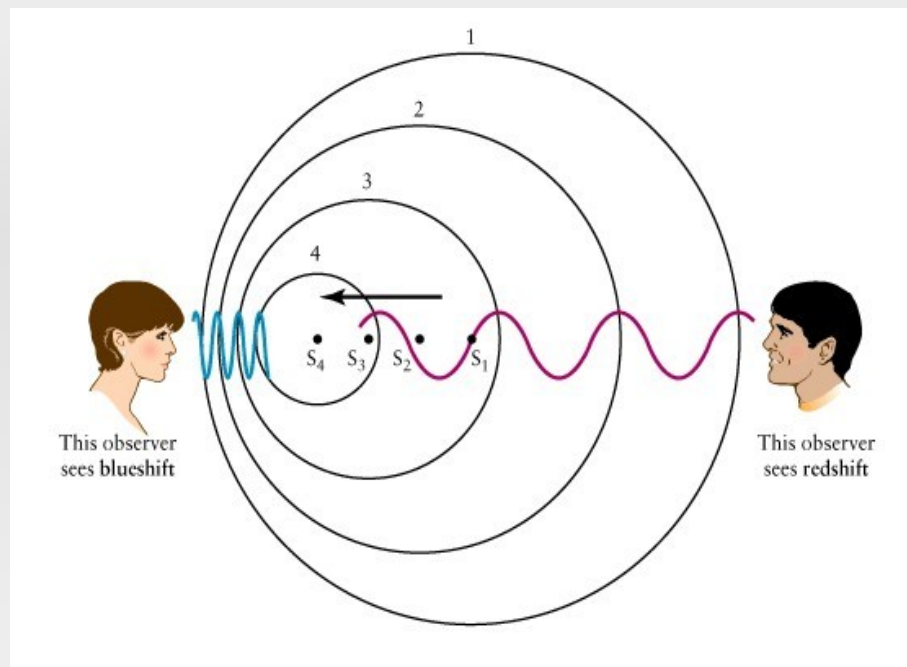


Galáxia anã de Sagitário



- *70.000 anos-luz de distância da Via Láctea.*
- *Foi descoberta há uma década*
- *Favorece o cenário hierárquico de formação de galáxias*

Efeito Doppler

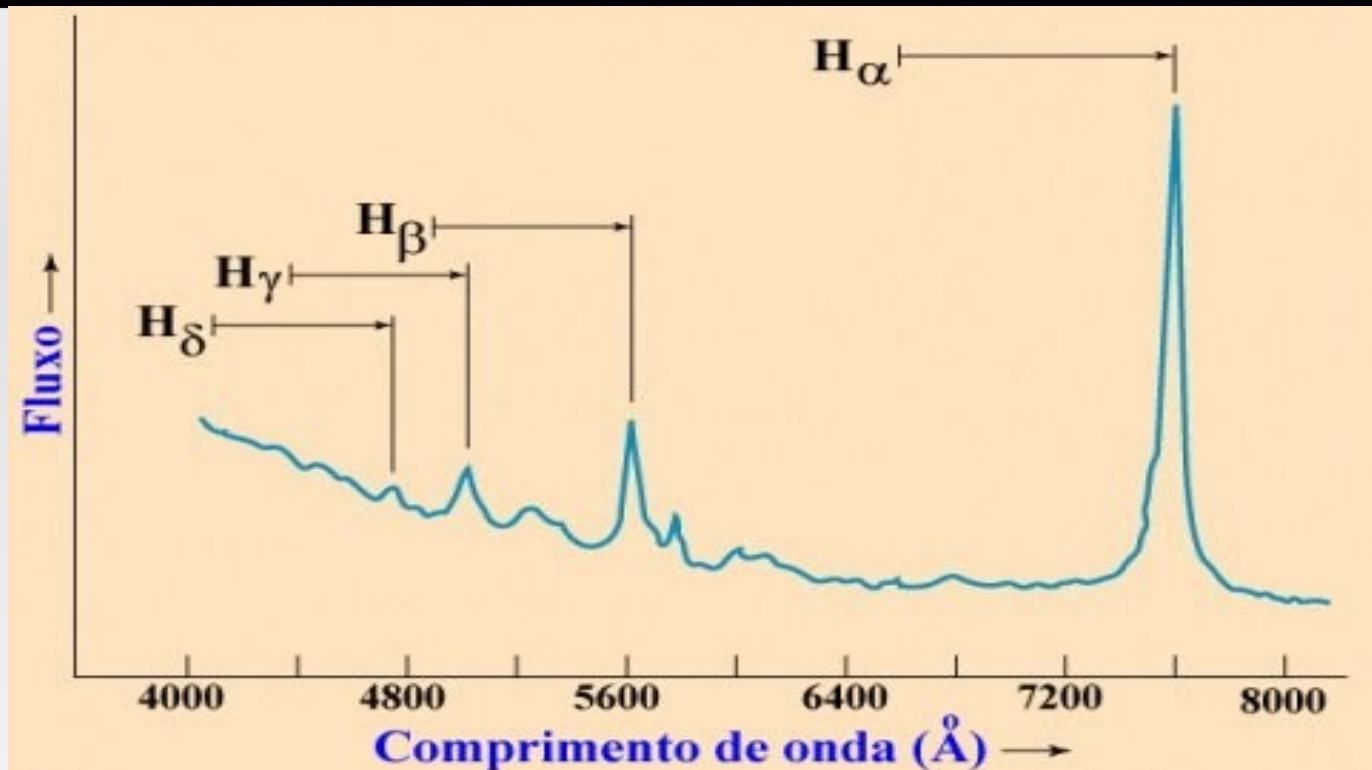


Quando a fonte se aproxima: a luz fica mais azul

Quando se afasta: a luz fica mais vermelha

$$V_r = (\lambda - \lambda_0 / \lambda_0) c$$

Efeito Doppler observado no espectro das galáxias

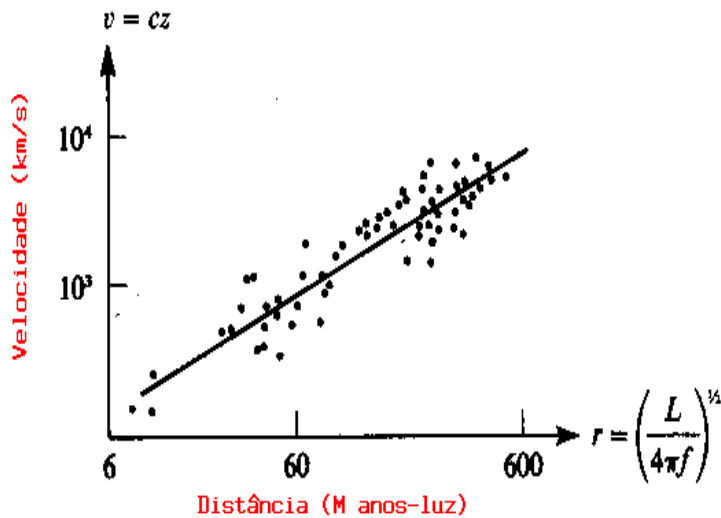


Linhas espectrais das galáxias deslocadas para o vermelho: As galáxias se afastam do observador

$$v_r = (\lambda - \lambda_0 / \lambda_0) c$$

LEI de HUBBLE: 1930

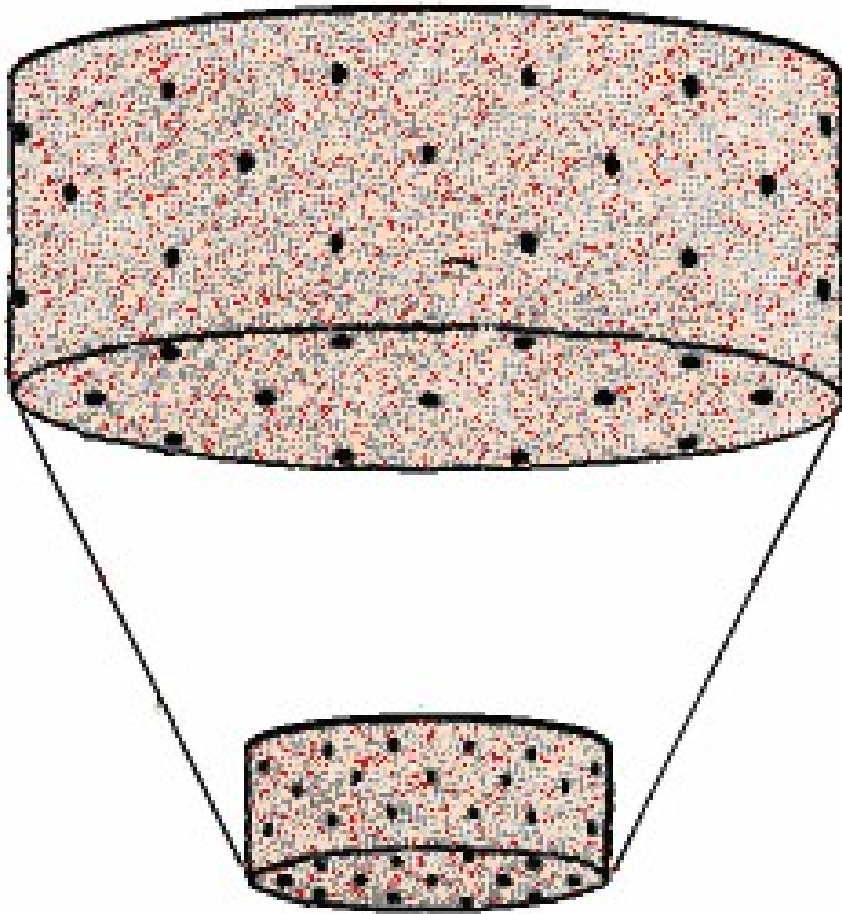
Lei de Hubble



$$V_r = H d \text{ (Mpc)}$$

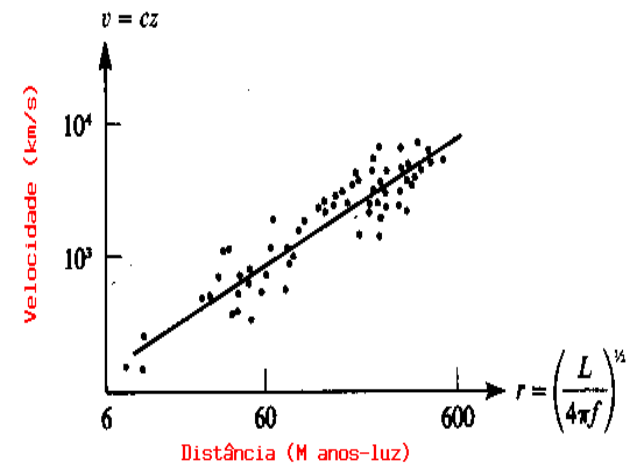
$$H = 50\text{-}100 \text{ km/s/Mpc}$$

A lei de Hubble: evidência do Universo em expansão



Bolo de Passas

Lei de Hubble



O Universo em expansão



Sistemas de Galáxias: NGC 6050



Sistemas de Galáxias

- As Galáxias não estão distribuídas uniformemente no espaço;

- As galáxias formam sistemas de todos os tamanhos;

** Pares de galáxias;*

** Grupos (3 a 30 galáxias luminosas);*

** Aglomerados (30 a mais de 300 galáxias luminosas);*

** Super aglomerados.*

Pares de Galáxias

- Pares físicos e pares visuais;
- Interações entre galáxias;
- LMC e SMC passaram pela VL à 500 Myr (d 10-15 kpc)
- Pontes de matéria;
- Canibalismo;
- Fusão;

Galáxias da Antena



*Berço de formação estelar;
Sistema em interação;*

Grupos de galáxias

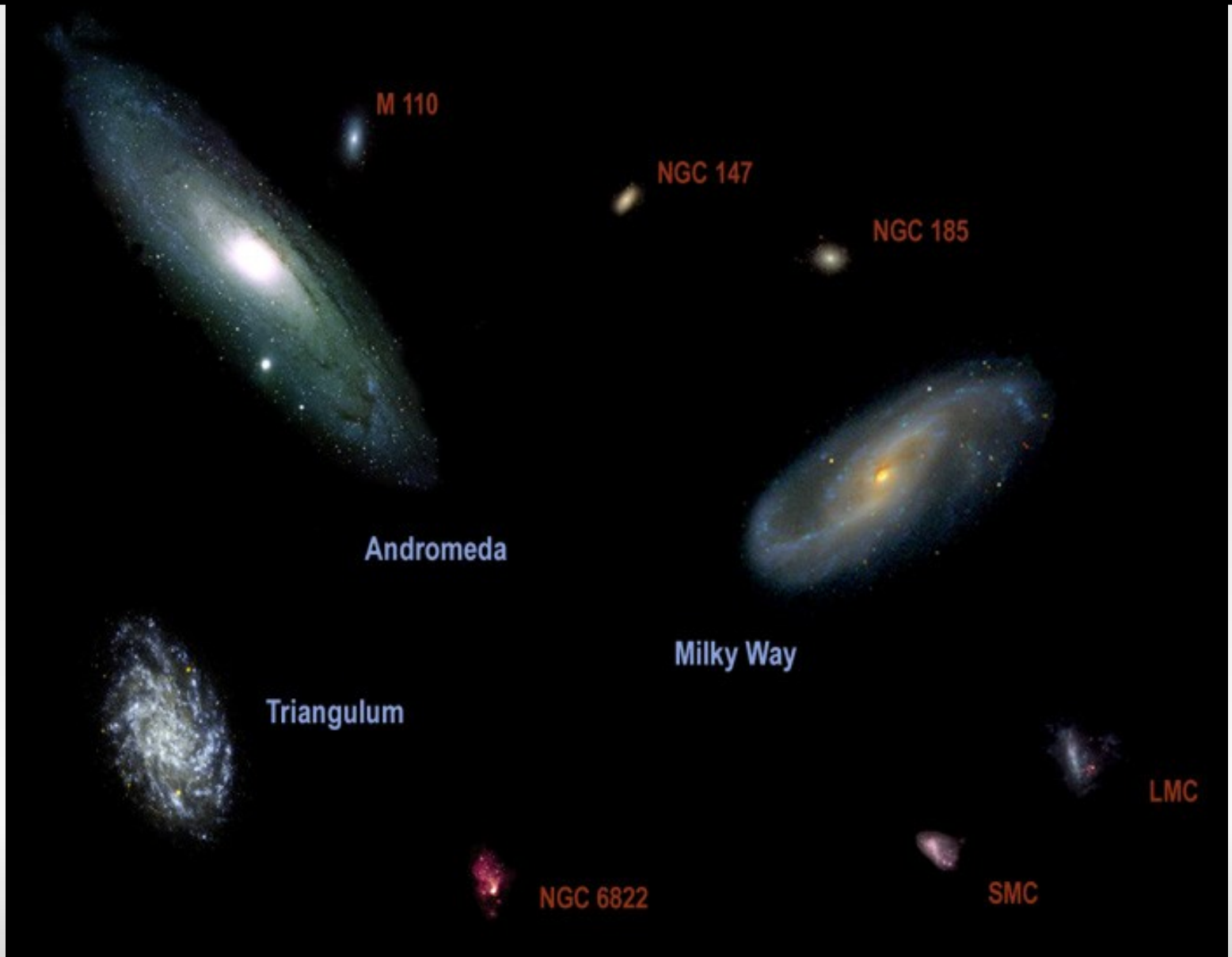
3 a 30 galáxias luminosas

1-10 Mpc diâmetro

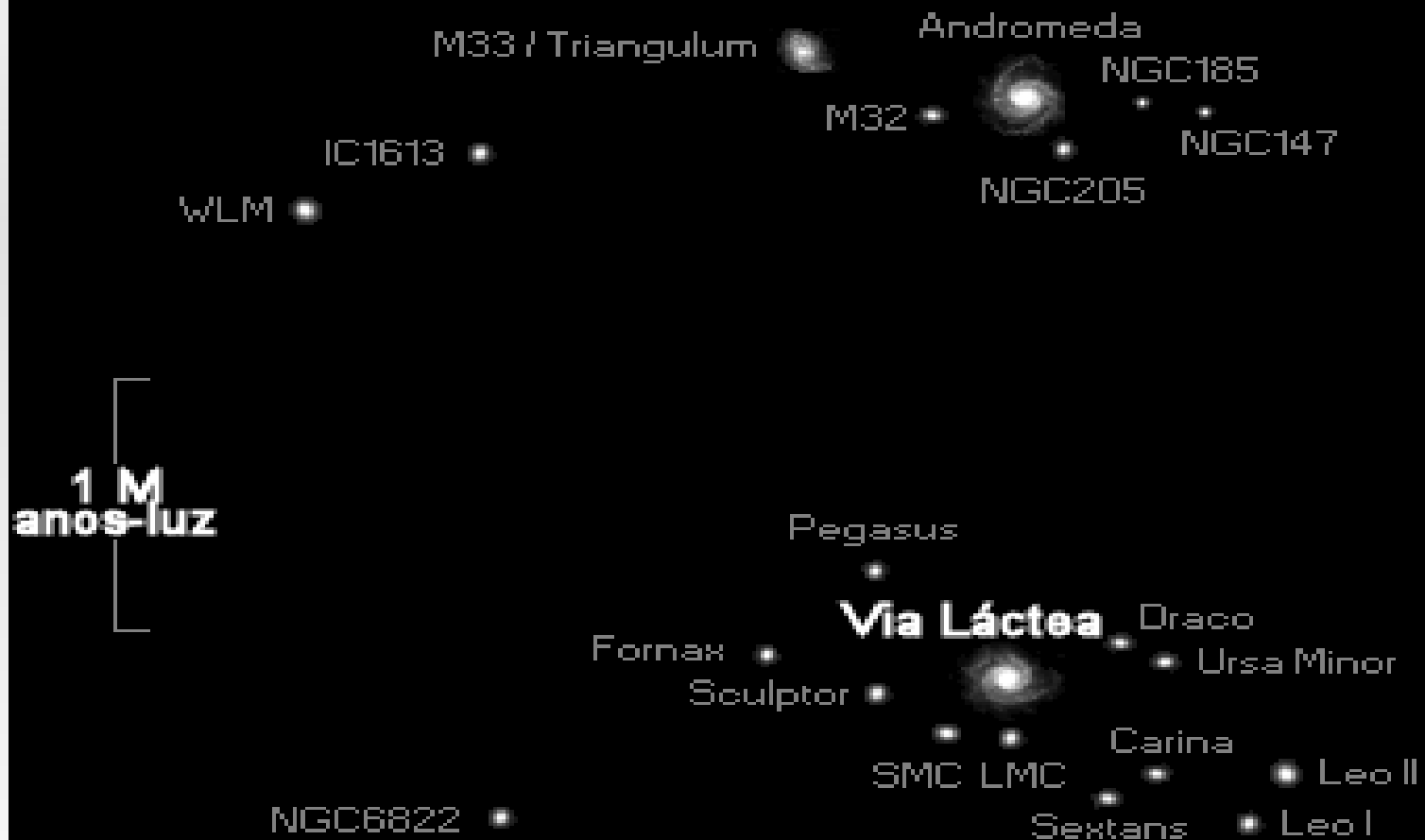
Grupo Local: cerca de 50 galáxias incluindo a Via Láctea e Andrômeda:

- Se move em direção ao aglomerado de Virgem a 250 km/s
- Tamanho: ~3 Mpc em diâmetro
- 5 galáxias luminosas (M31, VL, M33, LMC e IC10)
- 3 Espirais (VL, M31, e M33)
- 22 Elípticas (pequenas ou anãs)
- 14 Irregulares de vários tamanhos
- Massa total $\sim 5 \times 10^{12} M_{sol}$

Grupo Local



Grupo Local



Grupo Local

Outros Grupos

M 96 / Leo I



- Entre 8 e 24 galáxias;
- 3 Galáxias do Catalogo de Messier
- Faz parte do Superaglomerado de Virgo

M 81



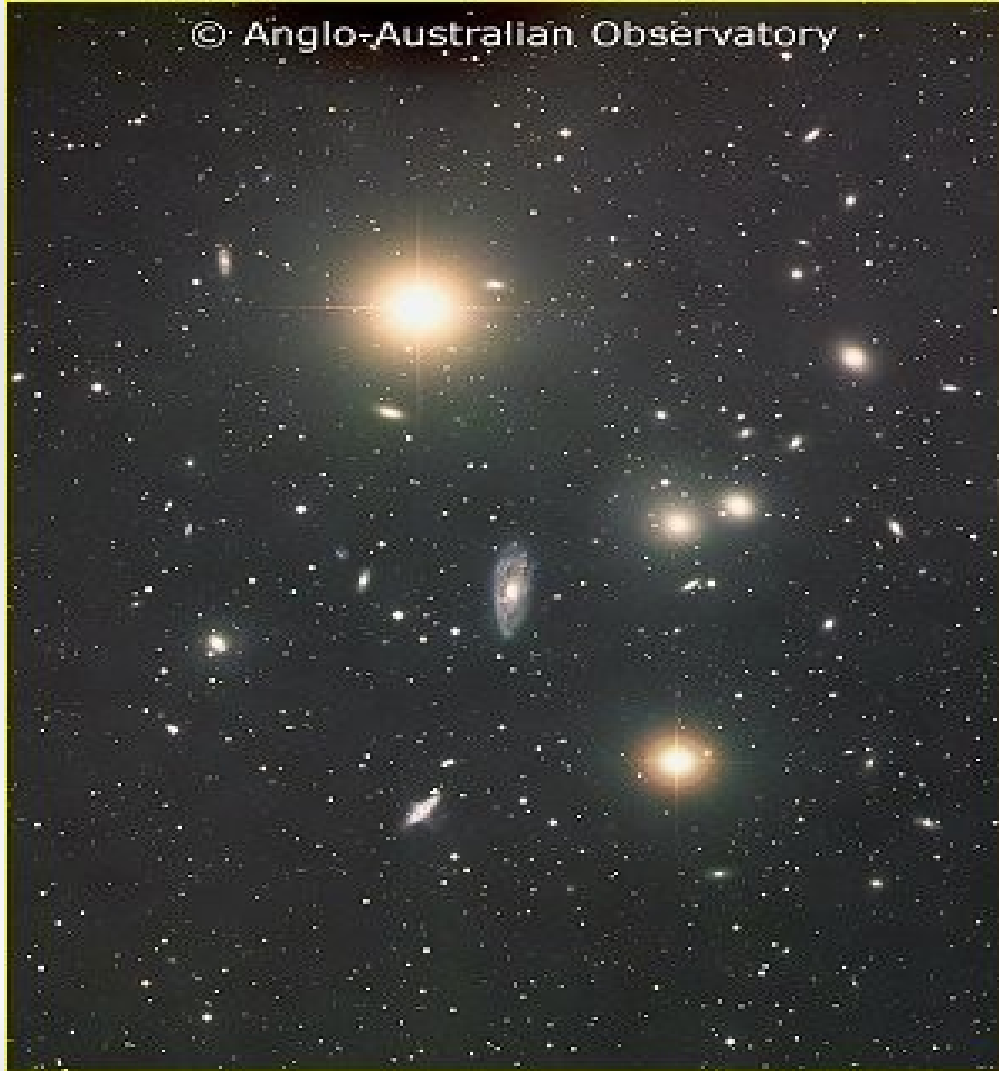
- M81 e M82 fazem parte desse grupo;
- Grupo + próximo da Via-Láctea (~3.6Mpc)
- Faz parte do Superaglomerado de Virgo

Aglomerados de galáxias

- *30 a > 300 galáxias luminosas*
- *1-10 Mpc diâmetro*
- *Geralmente contêm mais anãs de baixa luminosidade do que galáxias massivas*
- *Massas totais de 10^{12} a $>10^{15}$ Msol*
- *Separação entre as galáxias: 10 a 50 Mpc*
- *Aproximadamente 3000 aglomerados catalogados até agora*

Aglomerados de galáxias

© Anglo-Australian Observatory



Aglomerado de Hydra

*- Contém 157 galáxias
brilhantes;*

*- 158 Milhões de Anos-Luz da
Terra;*

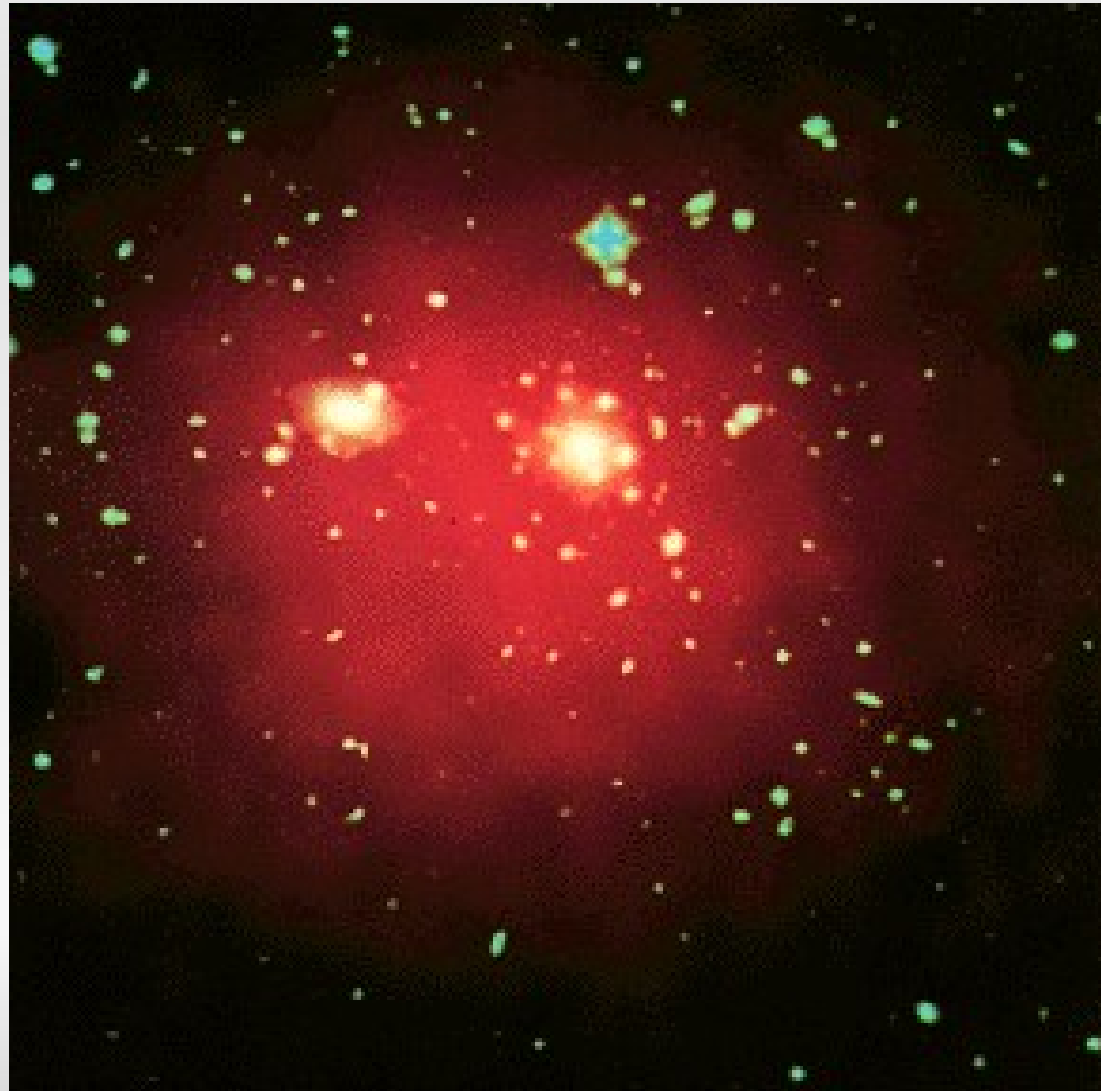
Aglomerado de Virgem

- Aglomerado mais próximo ao Grupo Local
- *Contém 3 galáxias elípticas gigantes: M87, M86 e M84*
- *Influencia gravitacionalmente o Grupo Local, que se move em sua direção*
- *Tamanho angular: mais do que 5 graus no céu*
- *Distância: ~18 Mpc*
- *Tamanho real: ~ 3 Mpc*
- *Contém cerca de 2.500 galáxias*
(na maioria galáxias anãs)
- *Massa: ~10¹⁴ Msol*



Aglomerado de Coma

- *Suas galáxias mais luminosas são galáxias elípticas gigantes*
- *Meio intergaláctico contém grande quantidade de gás quente que emite raios-X*
- *Tamanho: 6 Mpc, cobrindo 2 graus no céu*
- *Distância: > 100 Mpc*
- *Contém milhares de galáxias*



Superaglomerados

- Aglomerados de galáxias tendem a se aglomerar em superaglomerados

- São as maiores estruturas do universo

Propriedades:

- Tamanhos até 50 Mpc

- Massas de 10^{15} a 10^{16} Msol

- Forma de filamentos

- Contém os vazios

Superaglomerado Local

Centrado no aglomerado de Virgem

Contém, além de outros, o grupo Local e o aglomerado de Virgem

Propriedades:

Tamanho: ~ 30 Mpc

Massa: $\sim 10^{15}$ Msol

somente $\sim 5\%$ do volume é ocupado por galáxias, o resto é ocupado por vazios

Estrutura do Universo em grande escala

- Em grande escala, o universo tem a estrutura de uma esponja, feita de filamentos e vazios

Filamentos:

Grandes cadeias de superaglomerados

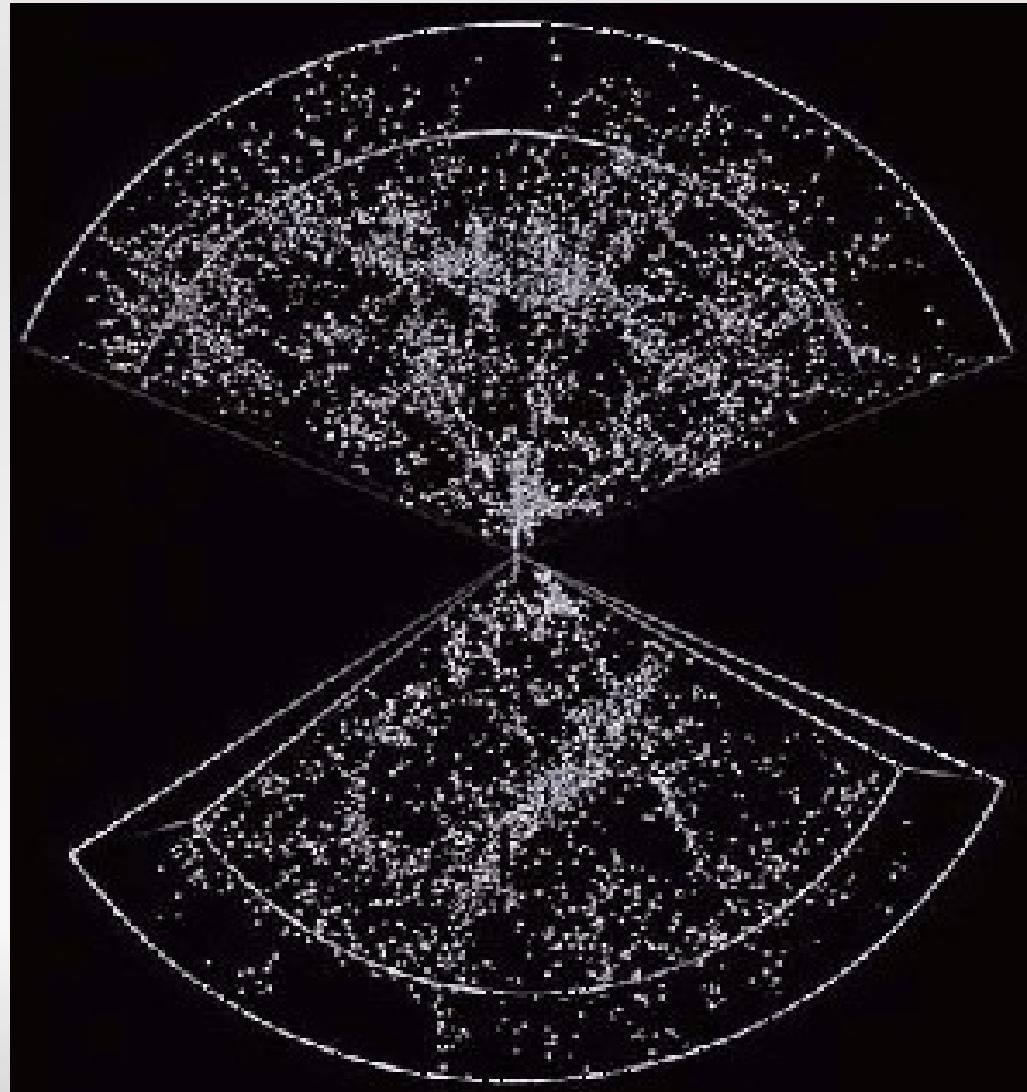
Ocupam 10% do universo

Vazios:

grandes "bolhas" de espaço,

25-50 Mpc em diâmetro, com

muito poucas galáxias



Colisões entre galáxias

As separações entre as galáxias não são muito grandes comparadas com seu tamanho (ao contrário das estrelas!)



Duas galáxias espirais em interação. A menor (que é do tamanho da Via Láctea) está passando pela frente da maior (NGC 2207)

Colisões entre galáxias

Duas galáxias espirais em interação. A menor (que é do tamanho da Via Láctea) está passando pela frente da maior (NGC 2207)

As interações produzem:

deformações como :

caudas de maré

anéis

NGC 5195

NGC 5194



Colisões entre galáxias

Galáxia Girino

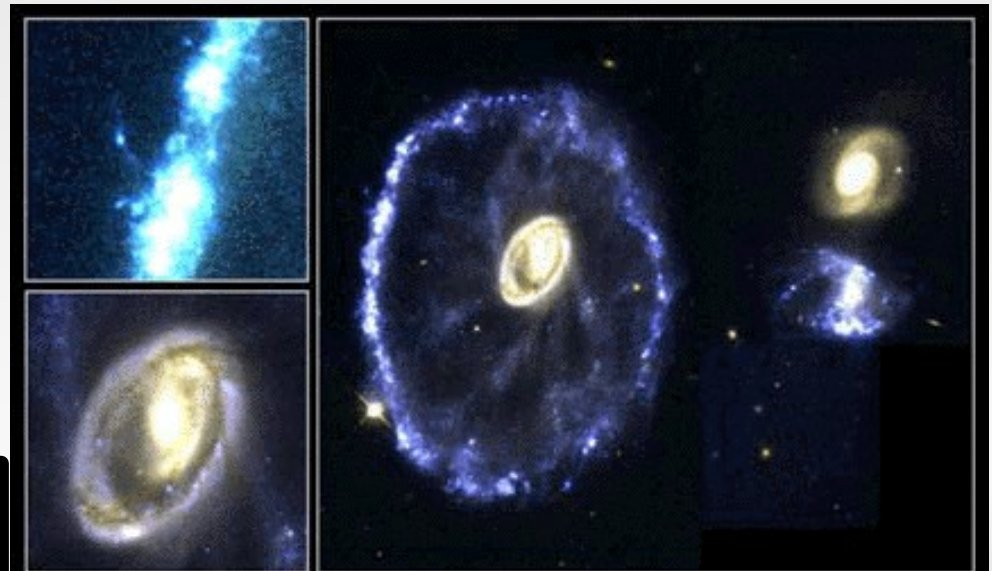


*galáxia Roda
de Carroça*

fusões e canibalismo :

*fusões: entre galáxias de tamanhos
semelhantes*

*canibalismo: entre galáxias de tamanhos
muito diferentes*



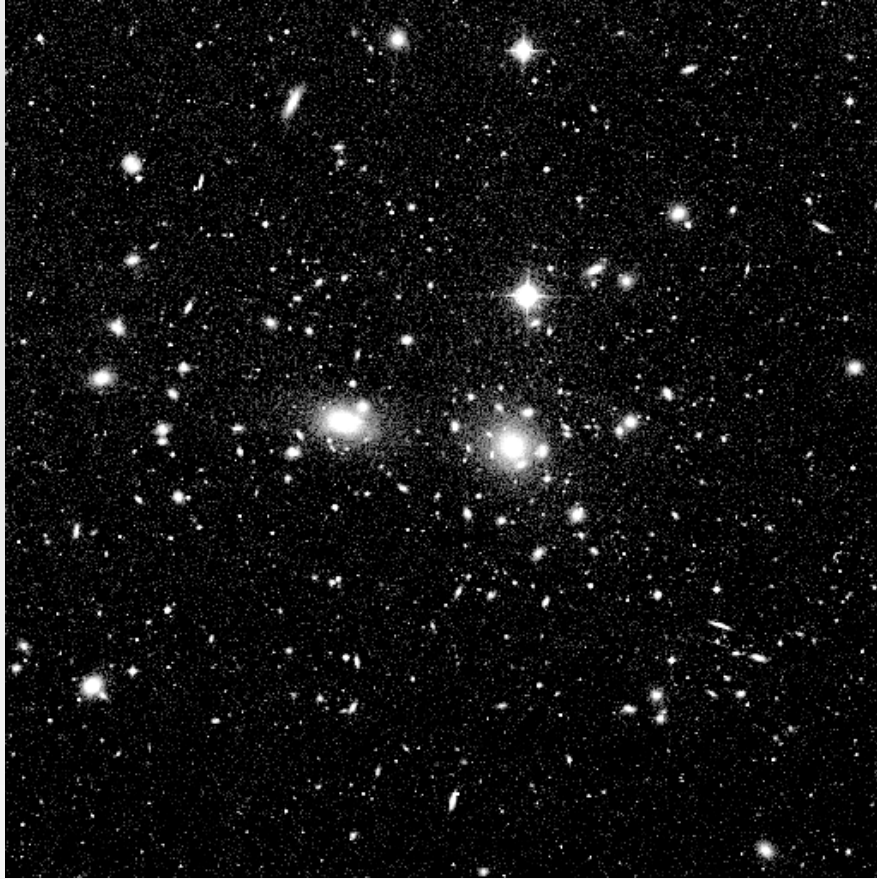
Cartwheel Galaxy

HST · WFPC2

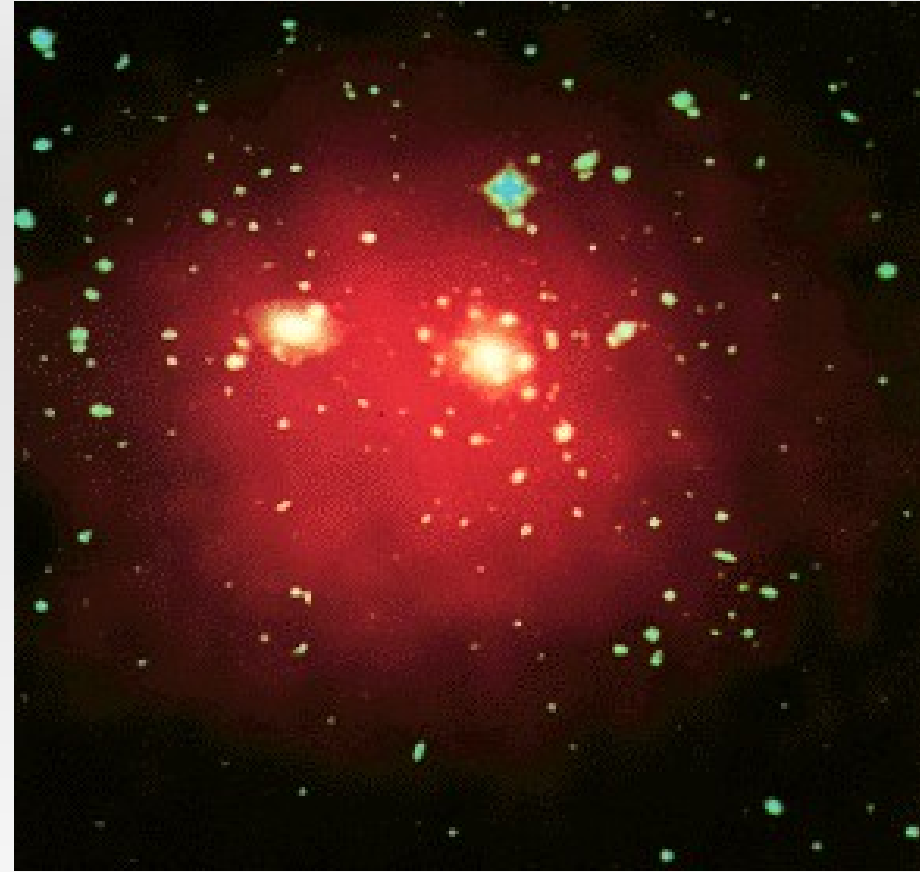
1995-02 - ST ScI OPO - January 1995 - K. Boone (ST ScI), NASA

12/23/94 zgl

Emissão de Raio-X



Óptico



Raios-X

Aglomerado de Coma

Emissão de Raio-X: Gás Quente

- *Radiação Brehmstrahlung*: Aceleração de partículas carregadas e de Alta energia por colisões mútuas;

- Nos aglomerados: $T(k) \sim 10^8 \text{ K}$

- 20 % da matéria (visível) dos aglomerados é de gás quente.

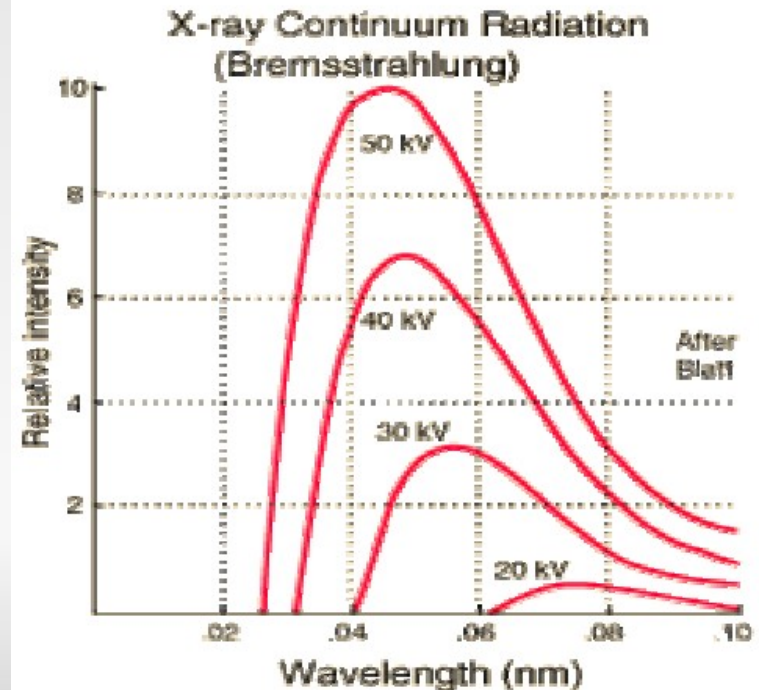
- Observações:

➤ Temperatura e Densidade;

➤ Massa do aglomerado (matéria escura)



Accelerated electron emits radiation



Lentes Gravitacionais

A lente gravitacional é formada devido a uma distorção no espaço-tempo causada pela presença um corpo de grande massa entre um objeto e um observador.

As lentes gravitacionais foram previstas na teoria da relatividade geral antes de serem observadas pelos modernos telescópios.



Lentes Gravitacionais



Lentes Gravitacionais



- *Permitem que se determine a massa da Lente (galáxia/Aglomerado) pela distorção causada nos objetos de fundo;*
- *Novamente há mais massa do que se observa como matéria "visível"*