

**Expansão do Universo;
Aglomerado e atividade de
galáxias**

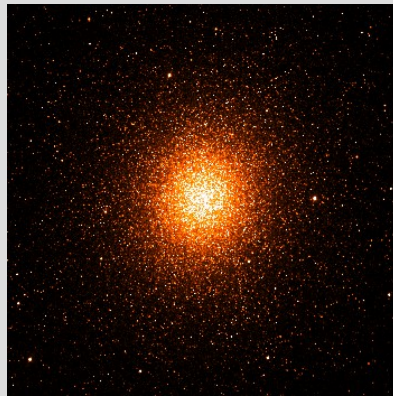
Tibério B. Vale

Descoberta das galáxias

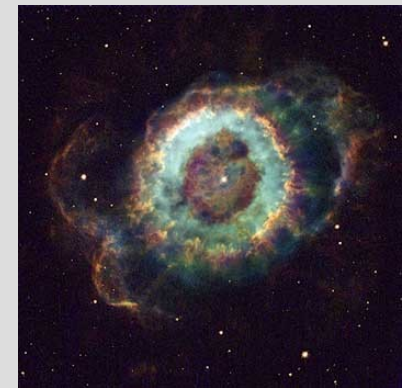
- Inicialmente classificava-se todos os objetos extensos (galáxias, aglomerados estelares, nebulosas planetárias) como nebulosas e pertencentes à nossa Galáxia.
- **A descoberta das galáxias como sistemas exteriores à Via Láctea aconteceu no ano 1923**, como consequência das pesquisas realizadas por Edwin Hubble com o telescópio de 2.5 metros de Mount Wilson, Califórnia, Estados Unidos.



Galáxia espiral



Aglomerado estelar



Nebulosa planetária

Nebulosas exteriores à Via Láctea



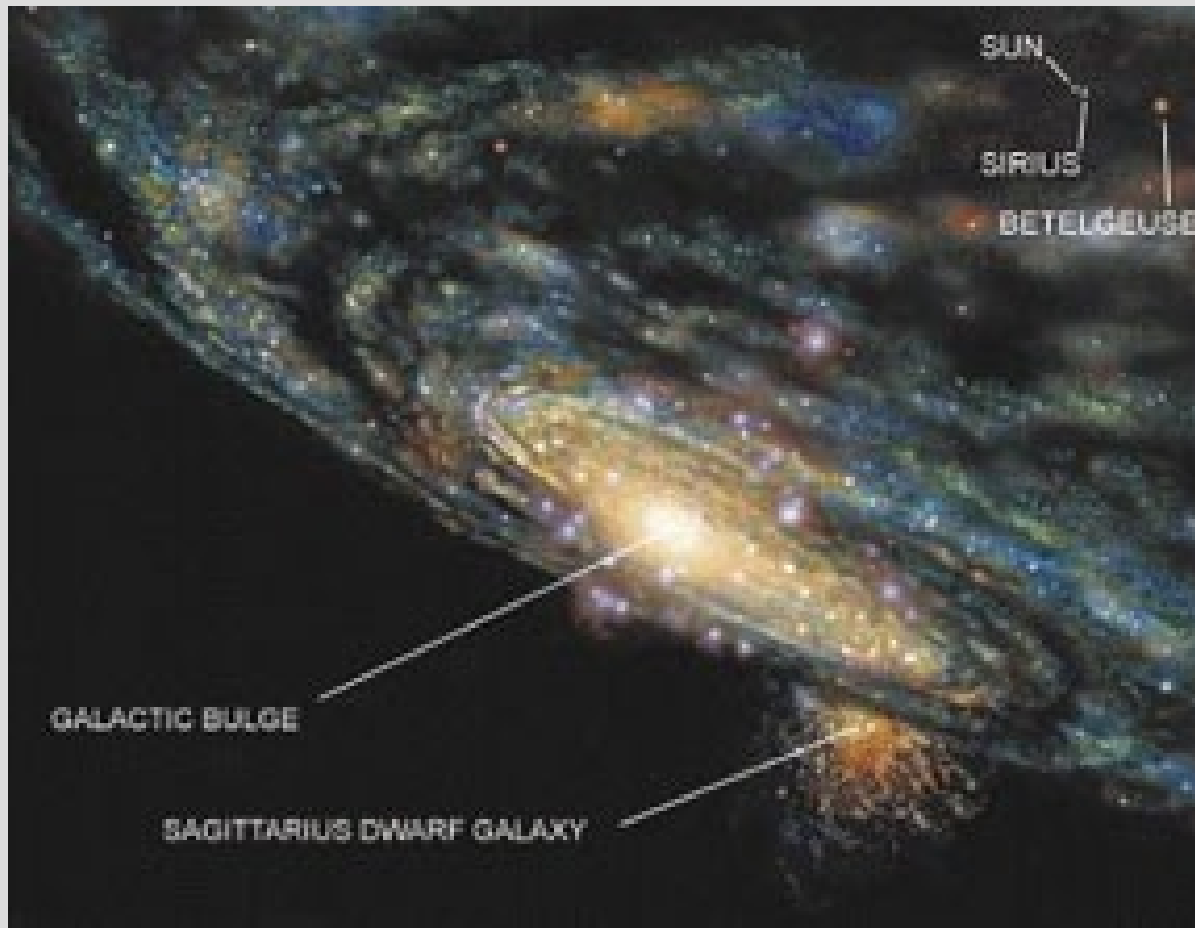
Edwin Hubble



Andrômeda (M31)

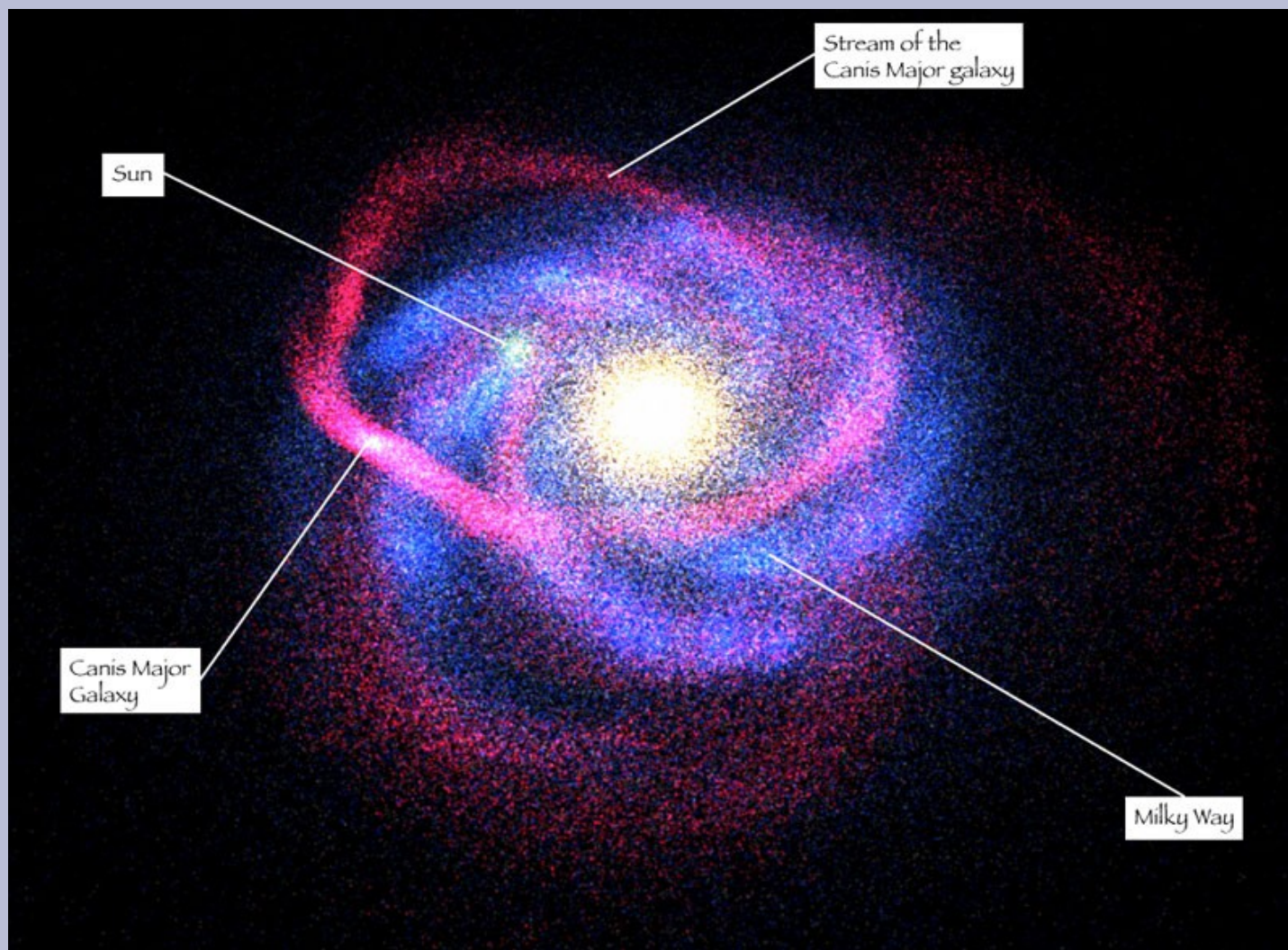
- Em 1923 **Edwin Powell Hubble** (1889-1953) proporcionou a evidência definitiva para considerar as "**nebulosas espirais**" como galáxias independentes;
- Ao identificar uma variável Cefeida na "**nebulosa**" de Andrômeda (M31). Hubble pode calcular a distância entre esta e a Via Láctea, obtendo um valor de **2,2 milhões de anos-luz**.

A galáxia mais próxima da Via Láctea: Galáxia Anã de Sagitário (?)



**70.000 AL de
distância da Via
Láctea. Foi
descoberta há
mais de uma
década (1994)**

A galáxia mais próxima da Via Láctea: Galáxia Anã de Cão Maior (!)



42.000 AL de distância do centro da Via Láctea (25.000AL do Sol). Foi descoberta mais recentemente (2003).

Luminosidade

- Sandra Faber e Robert Jackson (1976) mostraram a relação entre luminosidade e velocidade média das galáxias elípticas
- R. Brent Tully e J. Richard Fisher (1977) mostraram que a mesma relação é válida para galáxias espirais

$$L \propto V^4$$

- Como a velocidade de rotação pode ser obtida em galáxias próximas pela linha de 21cm do H, então podemos calcular distâncias de galáxias espirais remotas comparando luminosidade observada com a estimada pela relação de Tully-Fisher

Brilho superficial

- Brilho superficial: fluxo por unidade de área, que sai da galáxia
- Na terra medimos como fluxo por unidade de ângulo sólido que chega ao observador (representado pela letra I)
- Magnitude superficial (mag/arcsec²)

$$\mu = -2.5 \log I + \text{constante.}$$

- Mesma sentido de intensidade específica. Logo, não depende da distância (fluxo por unidade de área que sai da galáxia é igual a fluxo por ângulo sólido que chega ao observador)
- Medido em bandas fotométricas: B, V, R, etc...

Brilho superficial

- Galáxias Elípticas (Lei de de Vaucouleurs – 1948)

$$\log \left(\frac{I(r)}{I_e} \right) = -3,33 \left[\left(\frac{r}{r_e} \right)^{1/4} - 1 \right]$$

r_e – raio efetivo ,

I_e – Brilho superficial da isofóta efetiva (no raio r_e)

- Galáxias Espirais

bojo: segue a Lei de de Vaucouleurs

disco: perfil radial exponencial

$$I(r) = I_0 e^{-\frac{r}{r_s}}$$

r_s – escala de distância (distância na qual o brilho central cai a $1/e$) ,

I_0 – Brilho superficial central extrapolado

Aglomerados de Galáxias

Galáxias tendem a se agrupar em aglomerados. Aglomerados tendem a se juntar formando superaglomerados.

A Via Láctea é parte do Grupo Local

Hierarquia dos aglomerados

Grupos: 3 a 30 galáxias luminosas

Aglomerados: 30 a mais de 300 galáxias luminosas

Superaglomerados: aglomerados de aglomerados

Grupos e Aglomerados de galáxias

A maioria das galáxias são formadas em grupos ou aglomerados

Propriedades básicas:

- Grupos: 3 a 30 galáxias luminosas
- Aglomerados: 30 a > 300 galáxias luminosas
- Tamanhos: 1-10 Mpc diâmetro

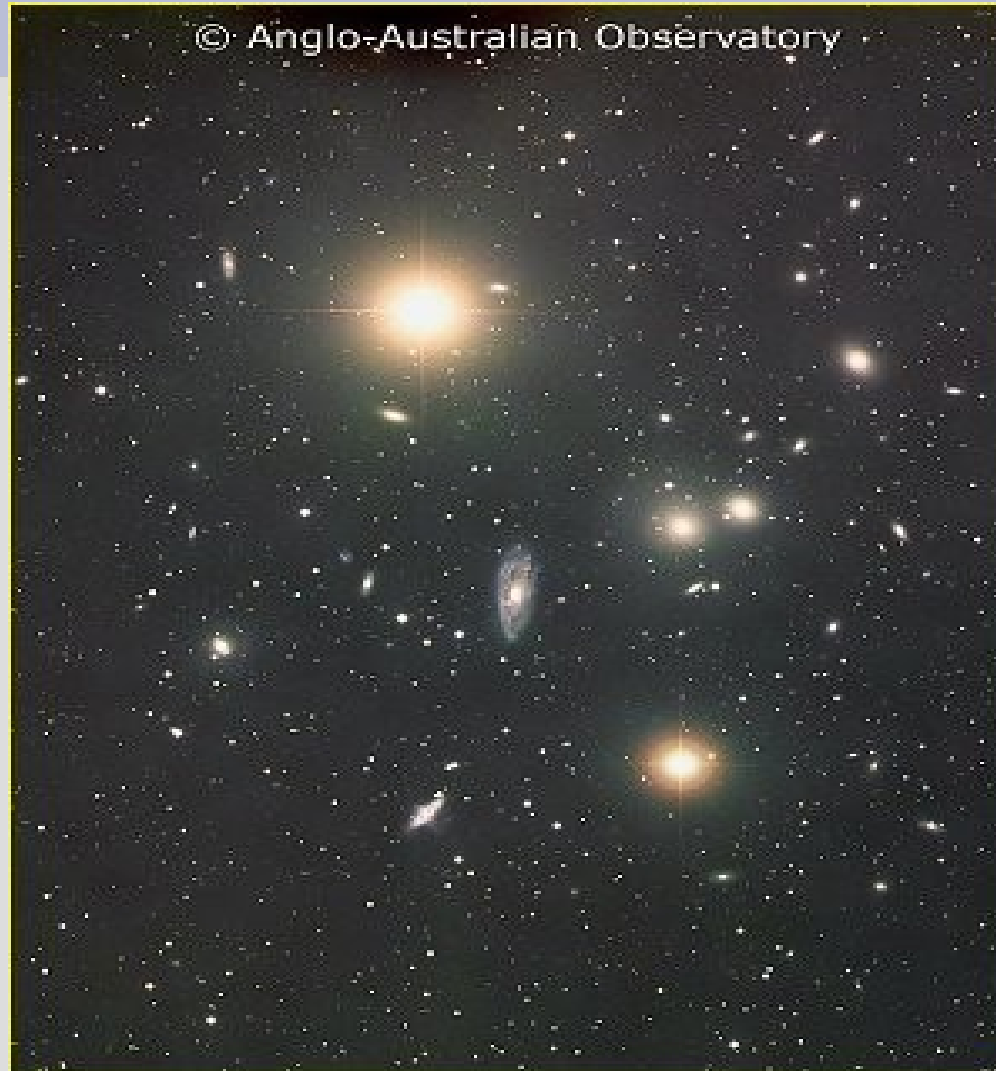
Geralmente contêm mais anãs de baixa luminosidade do que galáxias massivas

Massas totais de 10^{12} a $>10^{15}$ Msol

Separação entre as galáxias: 10 a 50 Mpc

Aproximadamente 3000 aglomerados catalogados até agora

Grupos e Aglomerados de galáxias



Aglomerado de Hydra

Grupo Local

Grupo com 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, GNM e IC10)

3 Espirais (VL, M31, & M33)

22 Elípticas (pequenas ou anãs)

14 Irregulares de vários tamanhos

Massa total $\sim 5 \times 10^{12}$ Msol

Grupo Local



Diagrama do Grupo Local

Grupo Local

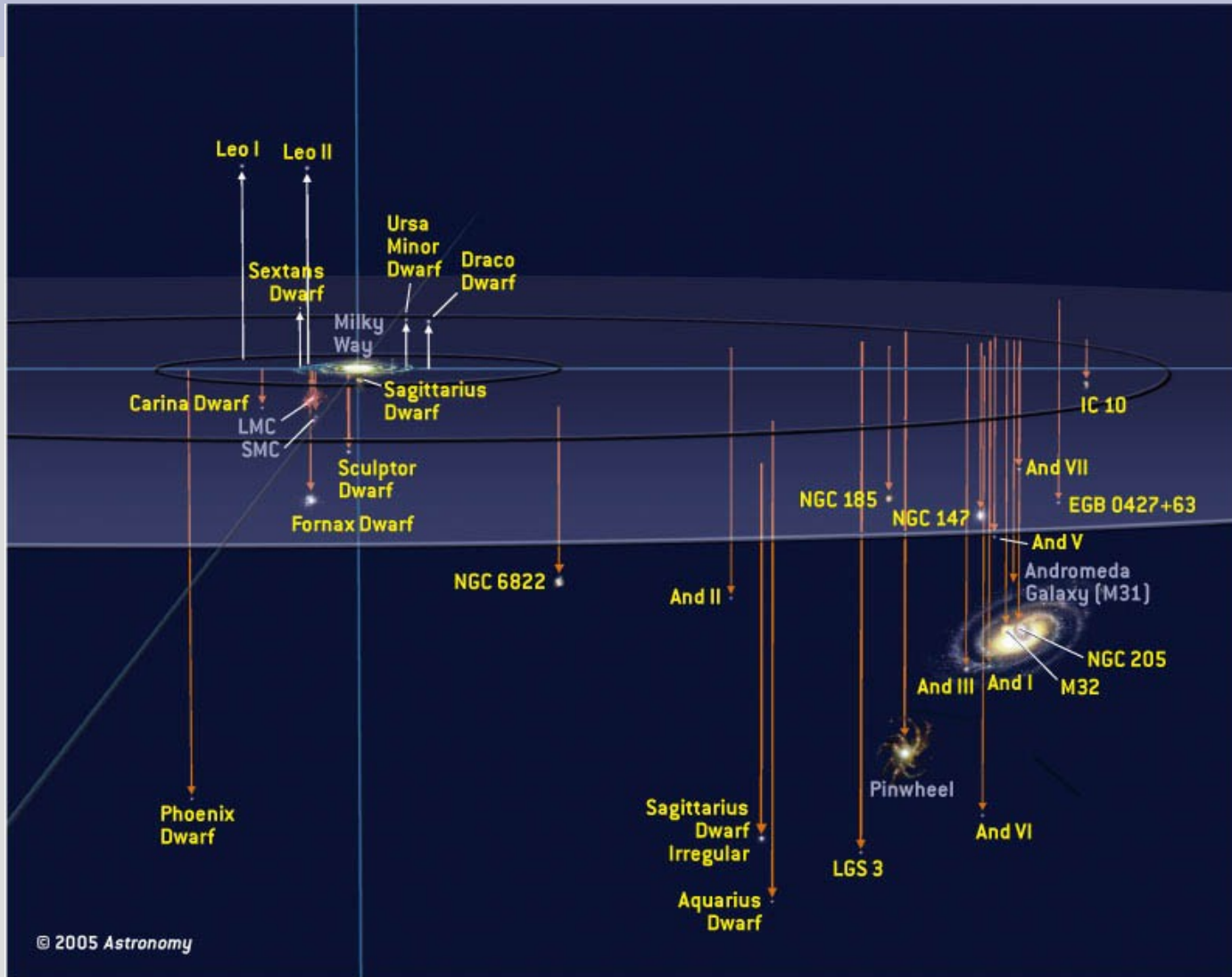


Diagrama do Grupo Local

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 2500 galáxias

(na maioria galáxias anãs)

Massa: $\sim 10^{14}$ Msol



Aglomerado de Coma

Um dos aglomerados mais ricos

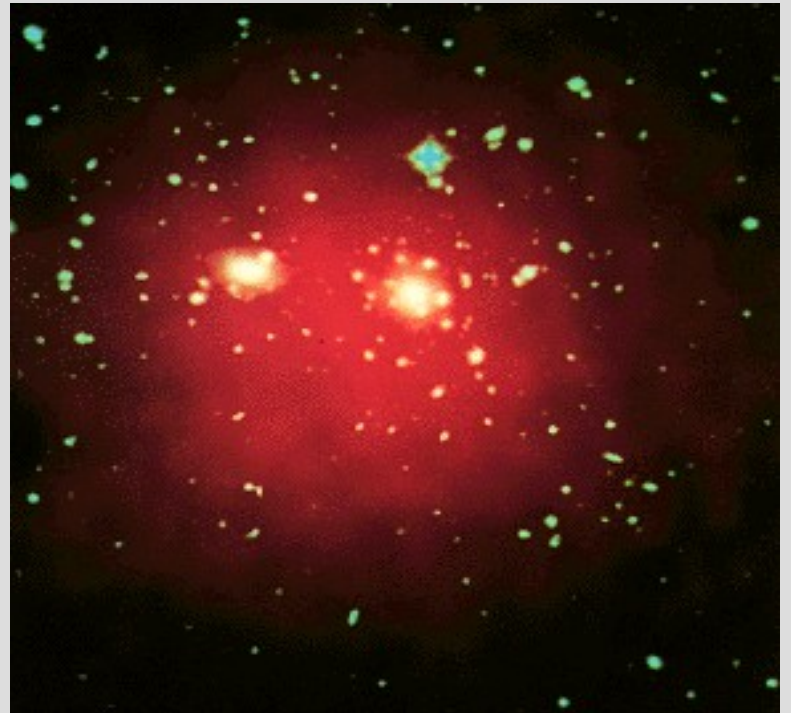
Suas galáxias mais luminosas são galáxias elípticas gigantes

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:

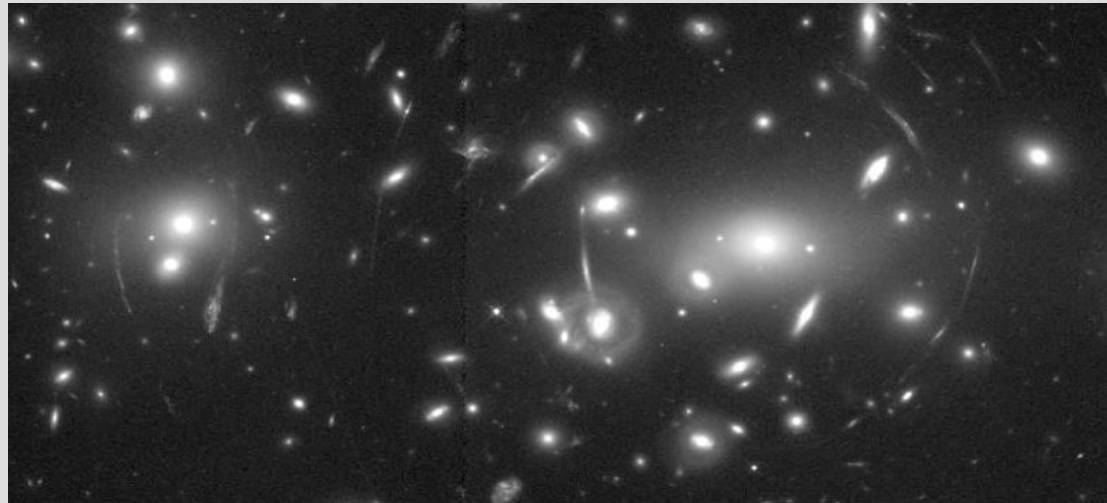
Tamanhos até 50 Mpc

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

Forma de filamentos

Contém os vazios

Aglomerado Abell 2218 ->



Superaglomerado Local

Centrado no aglomerado de Virgem

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

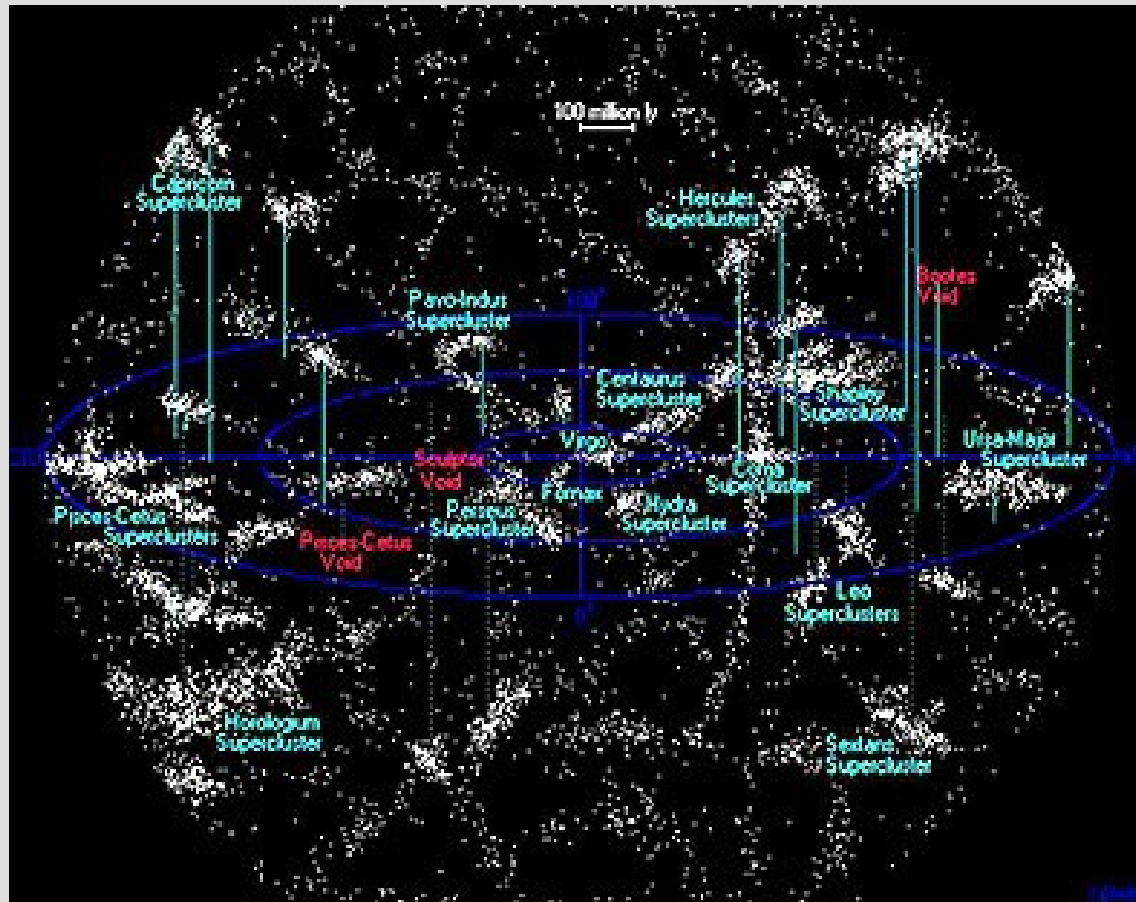
Propriedades:

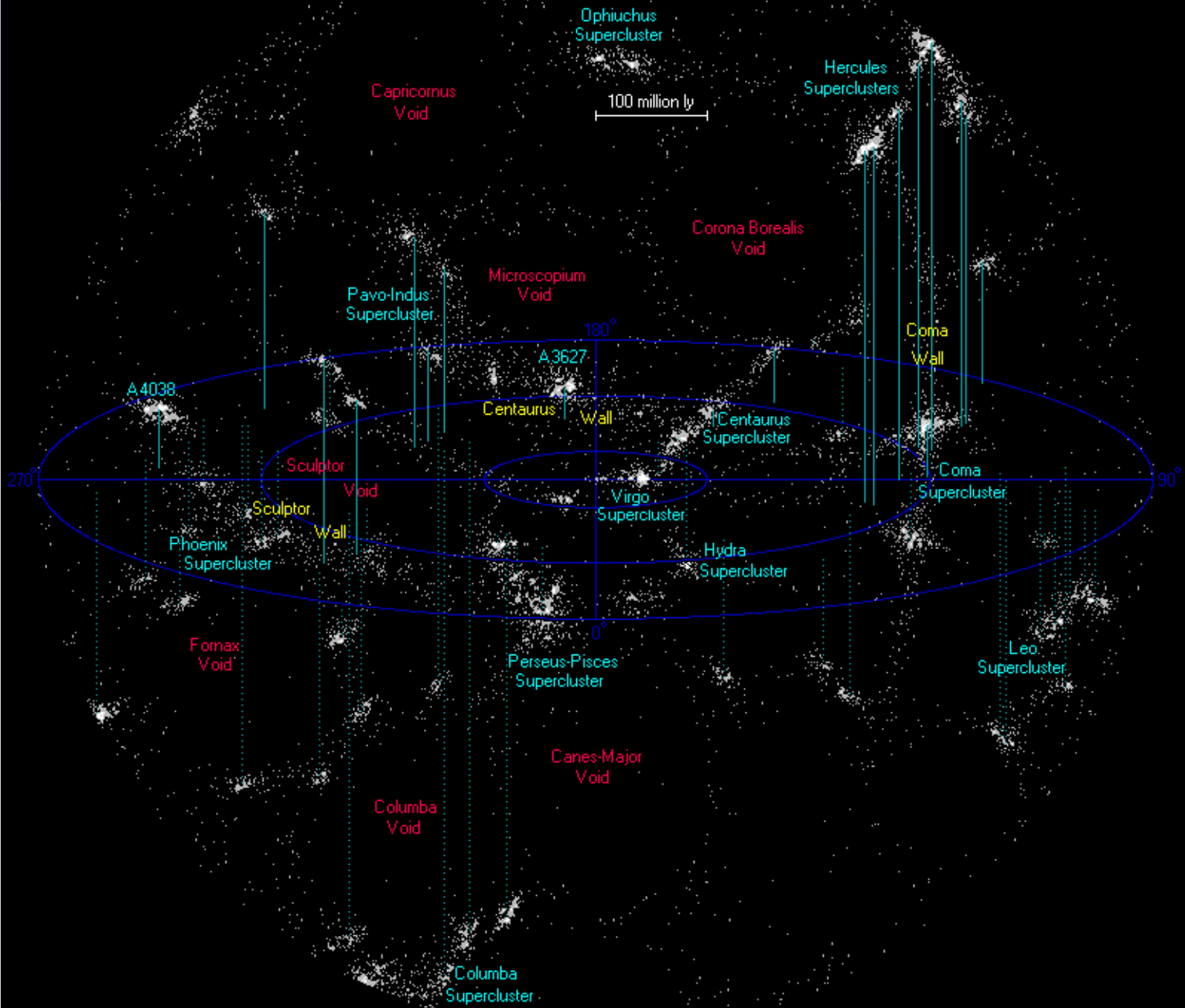
Tamanho: ~ 30 Mpc

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

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

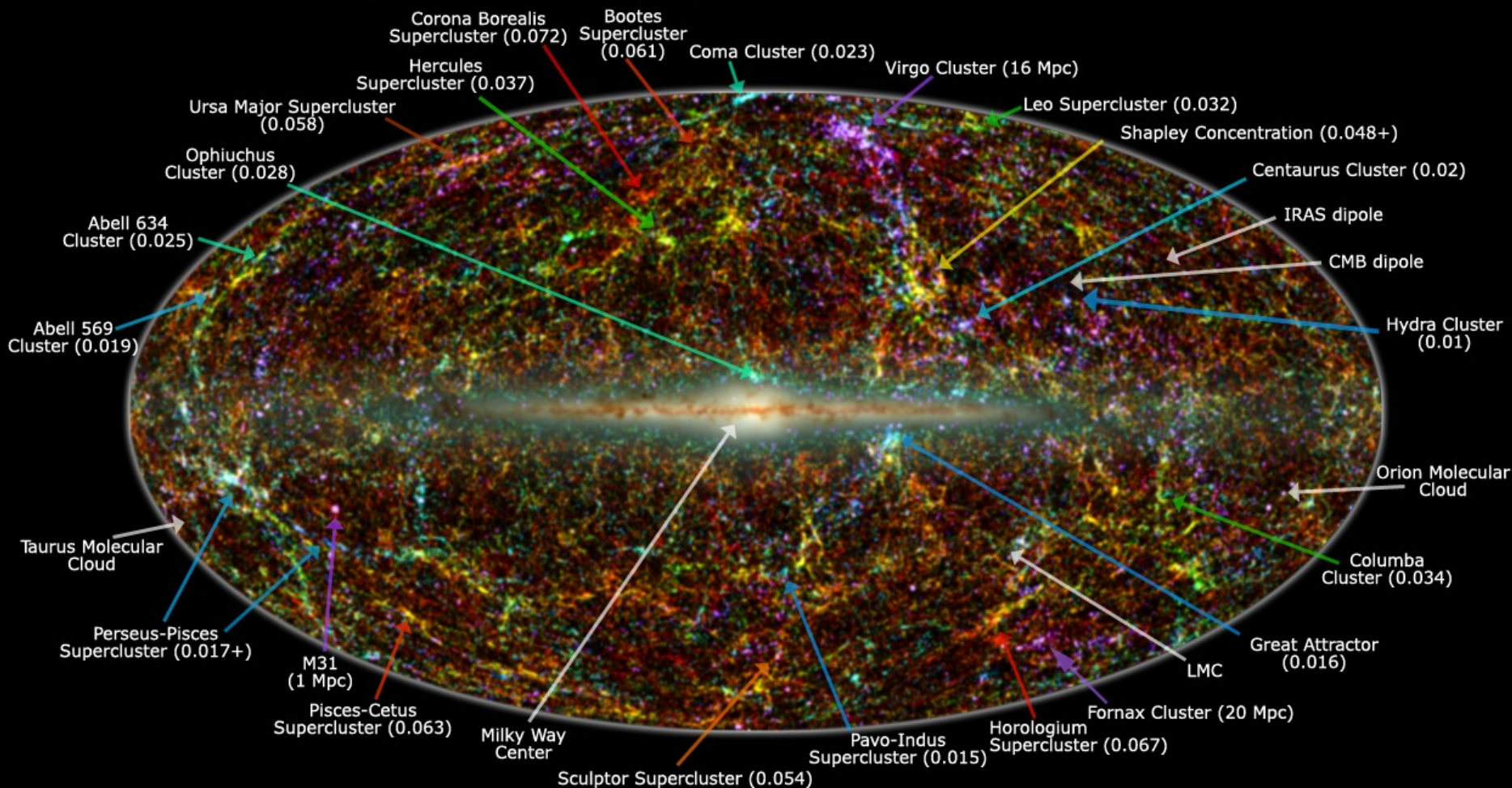
Superaglomerado Local





Superaglomerado Local

Large Scale Structure in the Local Universe



Legend: image shows 2MASS galaxies color coded by redshift (Jarrett 2004); familiar galaxy clusters/superclusters are labeled (numbers in parenthesis represent redshift).
Graphic created by T. Jarrett (IPAC/Caltech)

Estrutura do Universo em grande escala

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

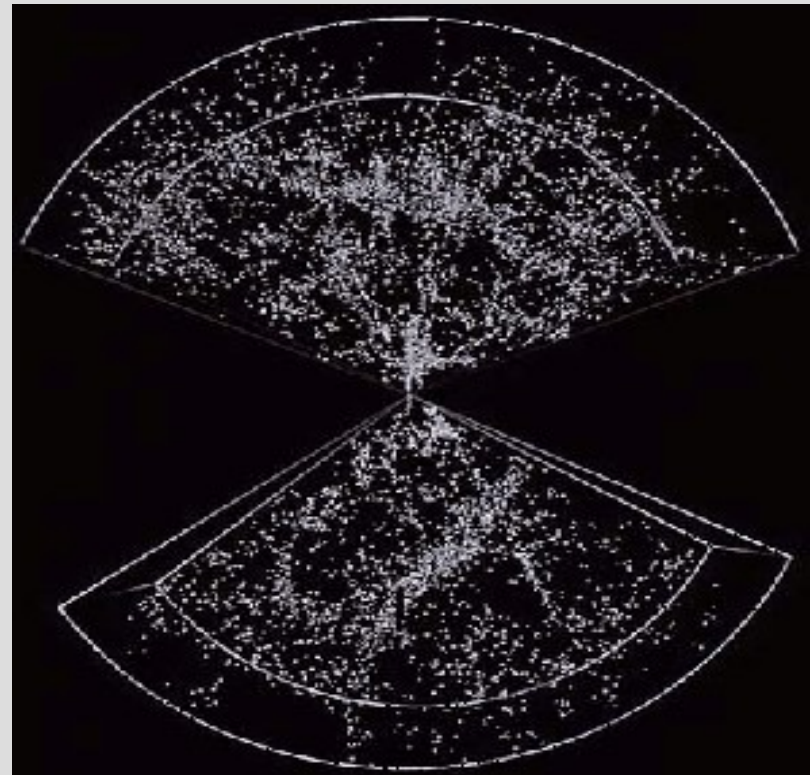
Filamentos:

- Grandes cadeias de superaglomerados
- Ocupam 10% do universo

•Vazios:

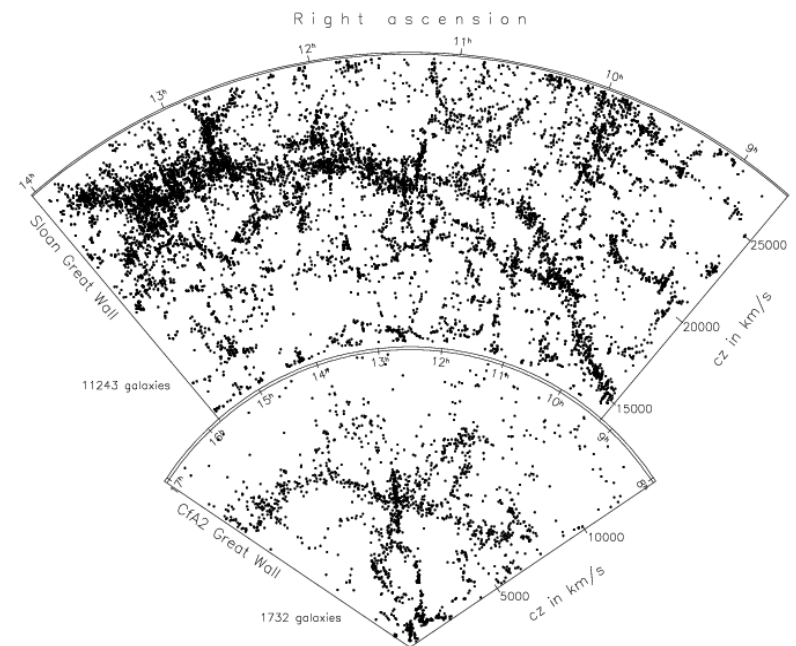
grandes "bolhas" de espaço,
25-50 Mpc em diâmetro, com
muito poucas galáxias

Mapa do Universo Local

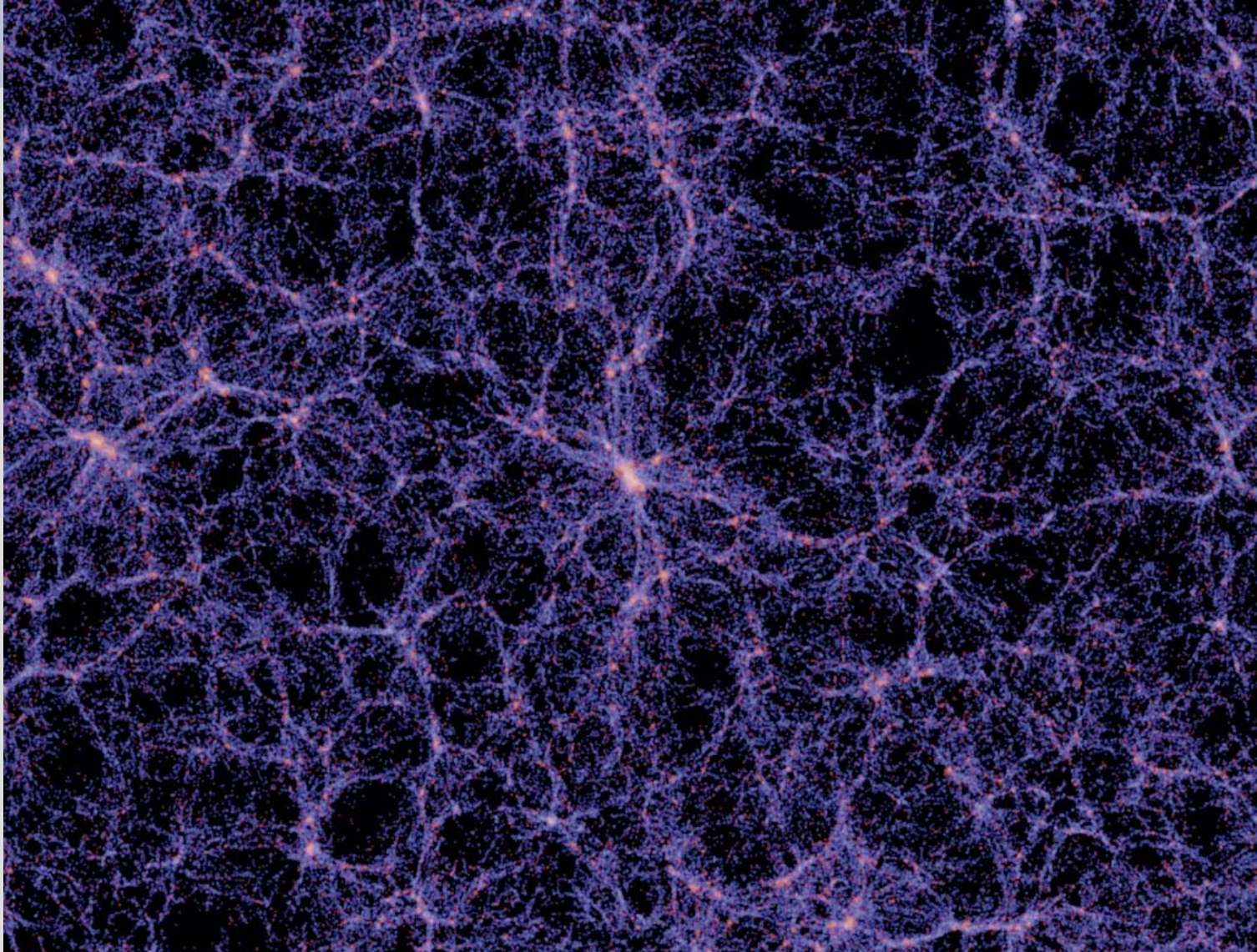


Estrutura do Universo em grande escala

A "Grande Parede": É uma das maiores estruturas conhecidas
150 Mpc de comprimento
60 Mpc de altura
5 Mpc de espessura
Massa $\sim 2 \times 10^{16}$ Msol



Estrutura do Universo em grande escala



Colisões entre galáxias

As separações entre as galáxias não são muito grandes comparadas com seu tamanho (ao contrário das estrelas!), o que propicia interações gravitacionais entre elas:



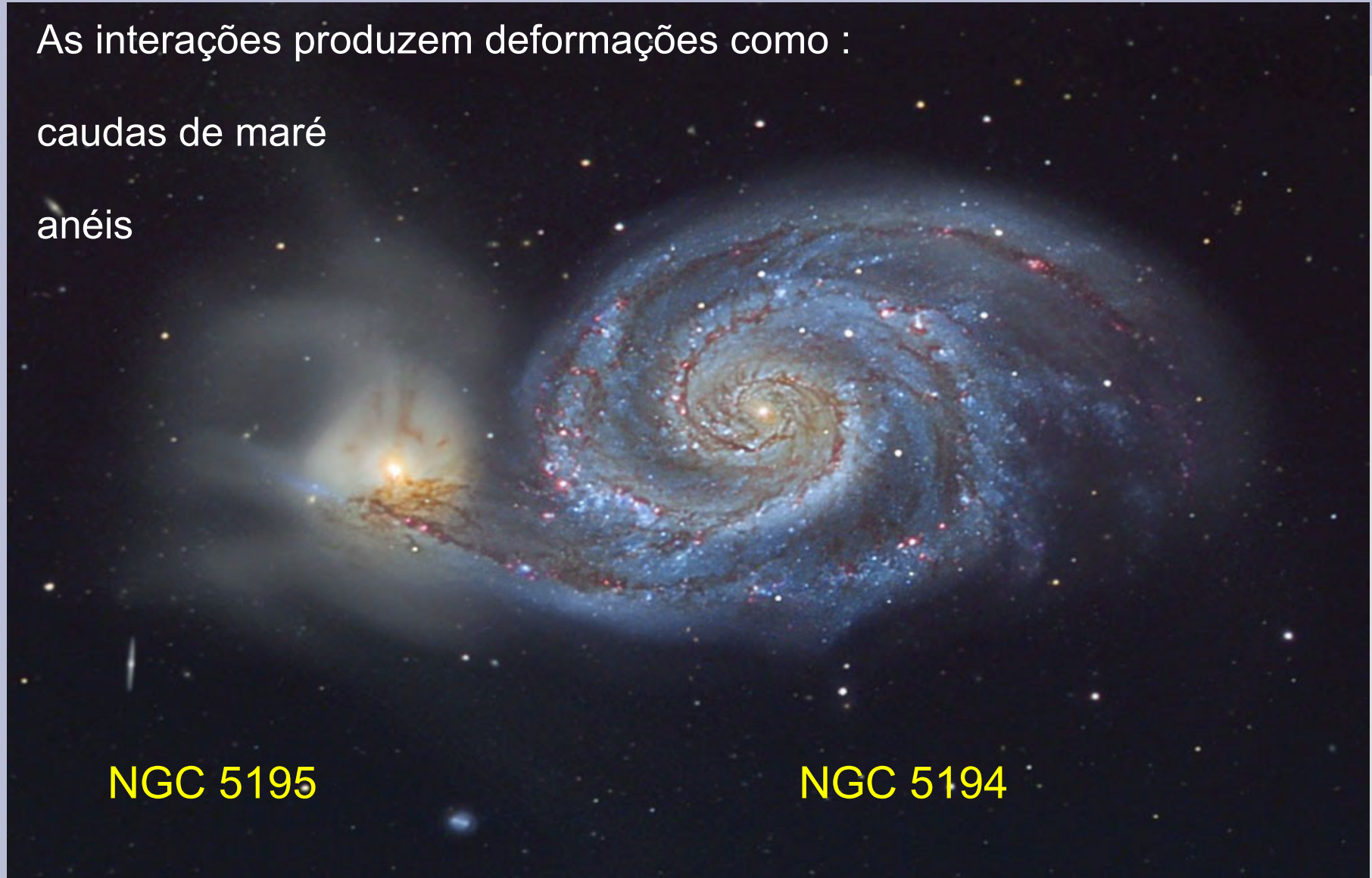
Duas galáxias espirais em interação. A menor (que é do tamanho da Via Láctea) está passando pela frente da maior (NGC 2207)

Colisões entre galáxias

As interações produzem deformações como :

caudas de maré

anéis



NGC 5195

NGC 5194

Colisões entre galáxias

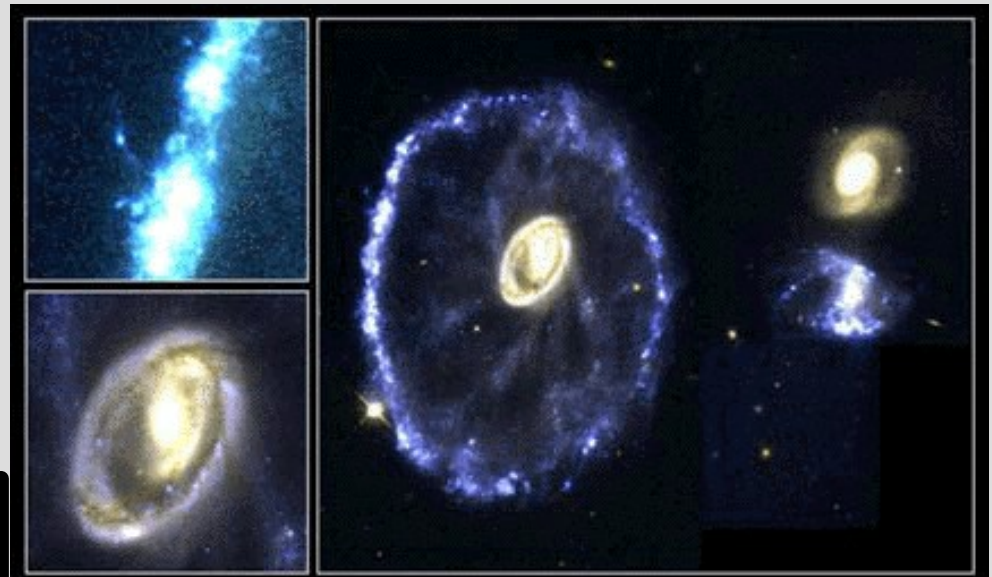
Galáxia Girino



Fusões: entre galáxias de tamanhos semelhantes

Canibalismo: entre galáxias de tamanhos muito diferentes

Galáxia Roda de Carroça



Cartwheel Galaxy

HST · WFPC2

Núcleo Ativo de Galáxia (AGN)

São galáxias que emitem uma enorme quantidade de energia com espectro não térmico. Ou seja, a radiação proveniente do um AGN não pode ser explicado apenas por processos térmicos gerados no interior das estrelas.

Principais características:

- Alta luminosidade (maior do que $10^{11} L_{\odot}$);
- Contínuo dominado por emissão não térmica – Radio-Raio-X;
- Variabilidade rápida (dias/horas);
- Alto contraste de brilho entre o núcleo ativo e a galáxia hospedeira;
- Linhas de emissão intensas, muito largas em alguns casos.

Tipos de AGNs

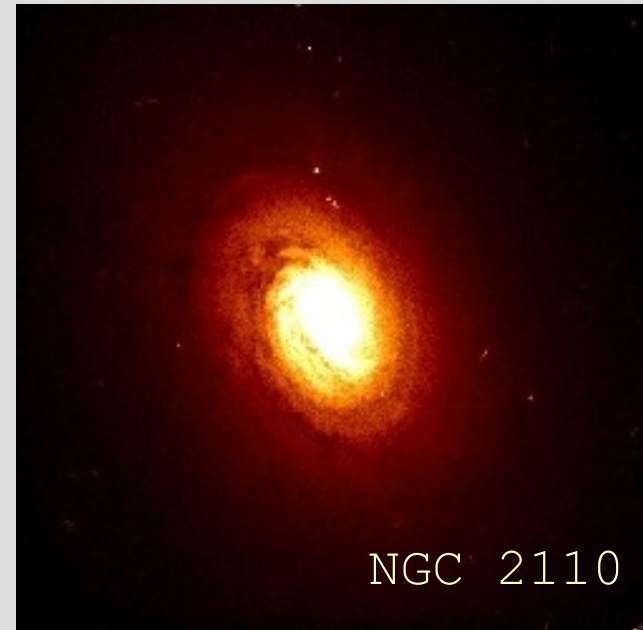
As galáxias ativas são classificadas de acordo com sua aparência e natureza da radiação emitida. As principais classes são.

Galáxias Seyfert: Apresentam um núcleo ativo muito brilhante . A energia emitida pelo núcleo é várias vezes maior que energia da galáxia hospedeira.

A velocidade de rotação do gás varia de:

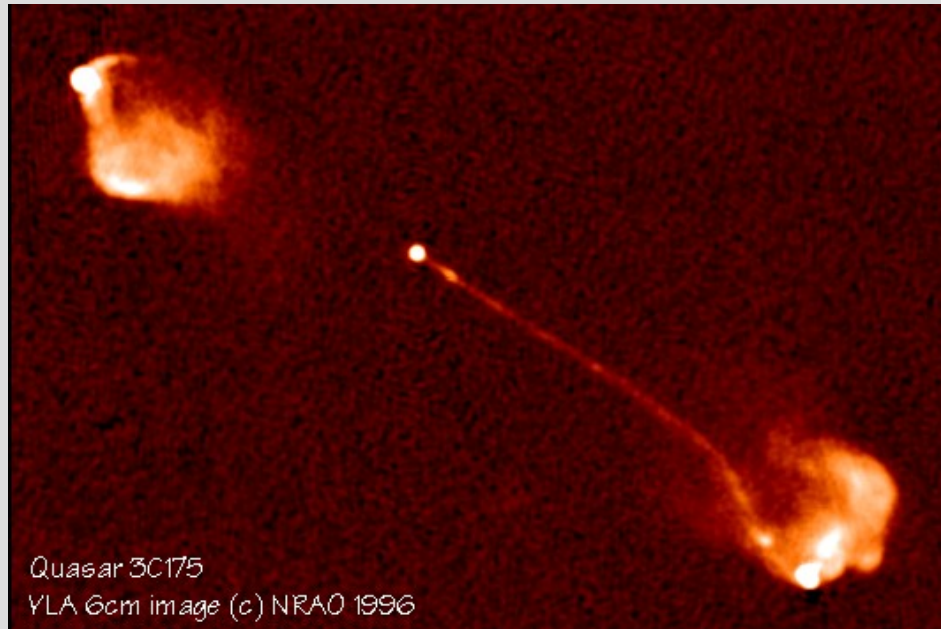
1000 e 10000 km/s Seyfert 1 – Linhas largas

200 e 1000 km/s Seyfert 2 – Linhas estreitas



Quasares (quasi-stellar objects)

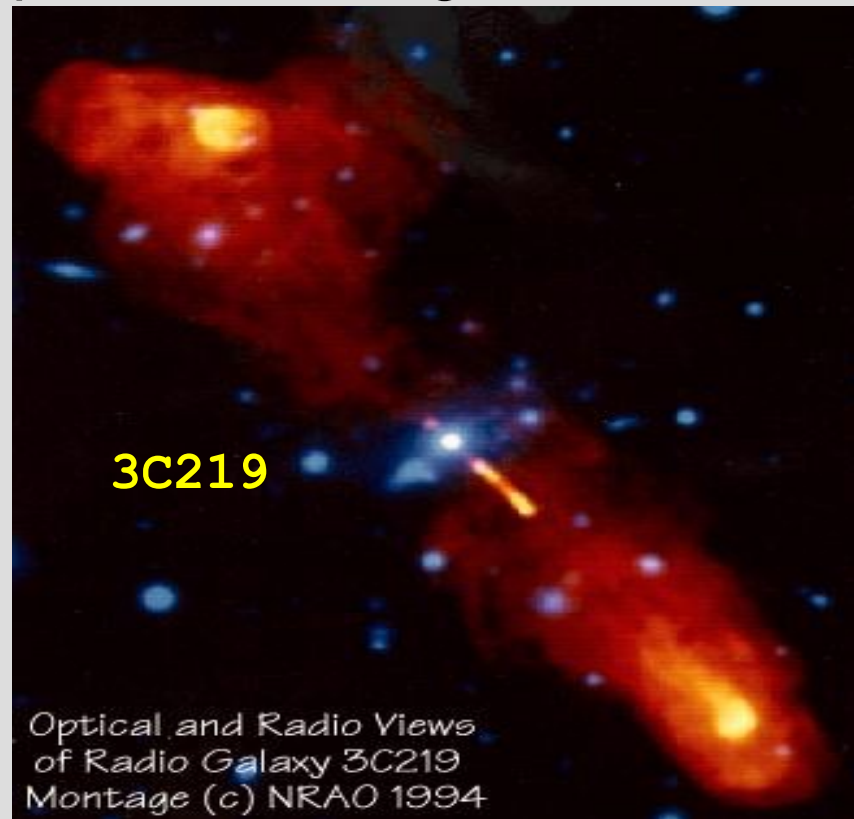
Quasares: Foram descobertos como sendo fontes de aparência estelar (na banda ótica) porém com emissão muito intensa na banda de ráiofreqüências e alto redshift (z até 6.5).



Objetos BL Lacs: Estes objetos apresentam alta polarização da radiação emitida nas banda ótica e rádio.

Radio galáxias

Radiogaláxias: São radiofontes muito intensas, nas quais o meio galáctico pode ser distinguido do núcleo.

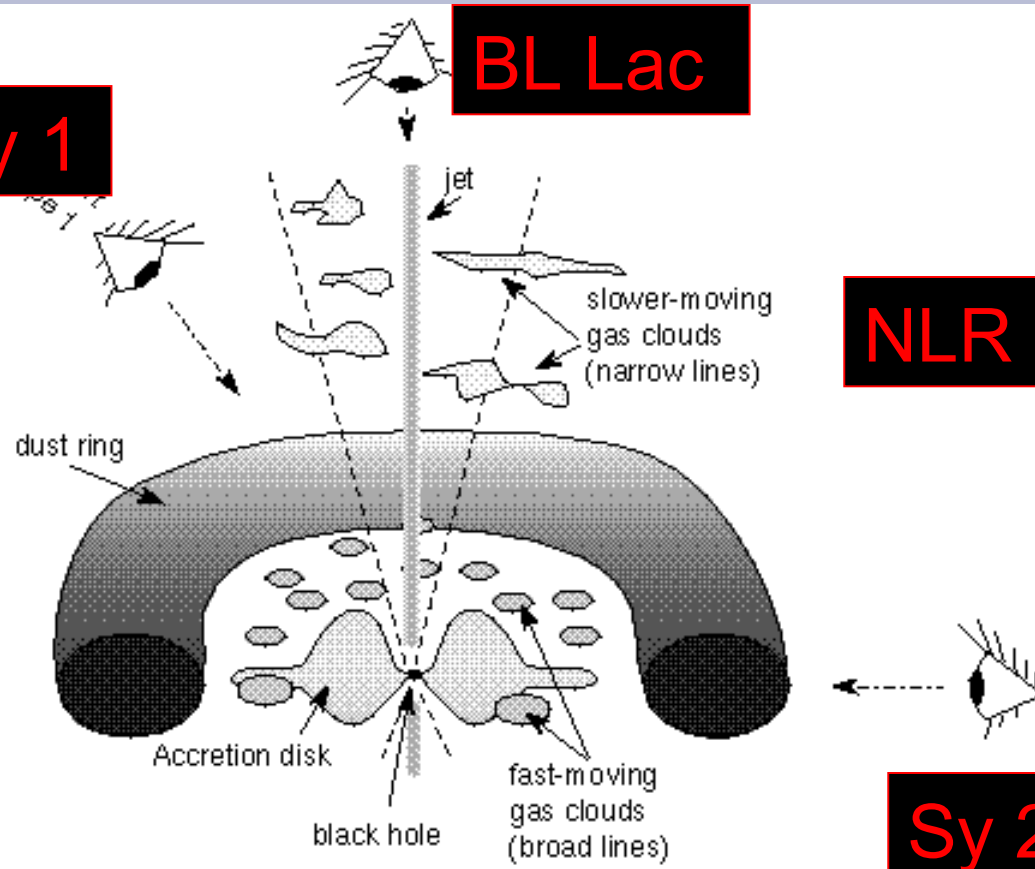


LINER: São galáxias com o núcleo ativo e de baixa ionização.

MODELO UNIFICADO

Sy 1

BL Lac



NLR

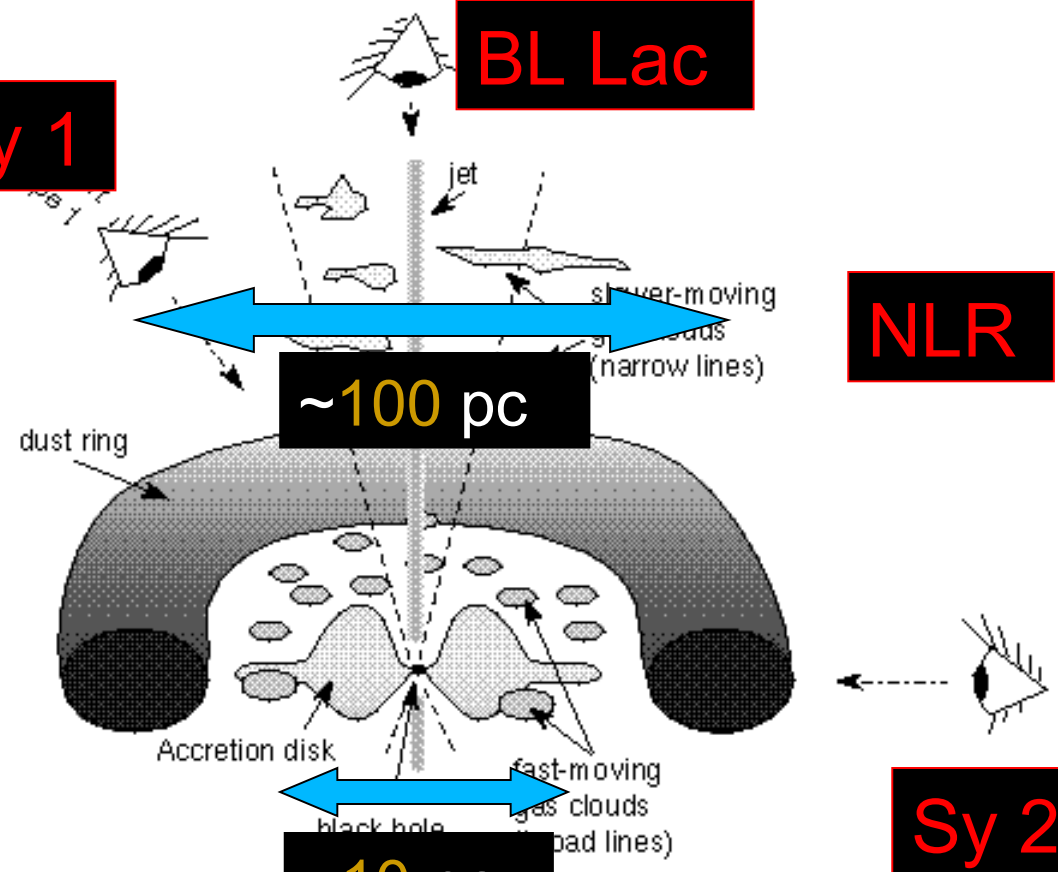
Sy 2

Viewing angle of the accretion disk and dust ring determines the type of active galaxy we will see. For example: 30–60° above the disk, we can see the broad-line region: a Type 1 Seyfert, but edge-on, we see just the narrow-line region from clouds further away from black hole and the warm glow of the dust ring in the infrared: a Type 2 Seyfert.

MODELO UNIFICADO

Sy 1

BL Lac



NLR

~10 pc

Sy 2

BLR

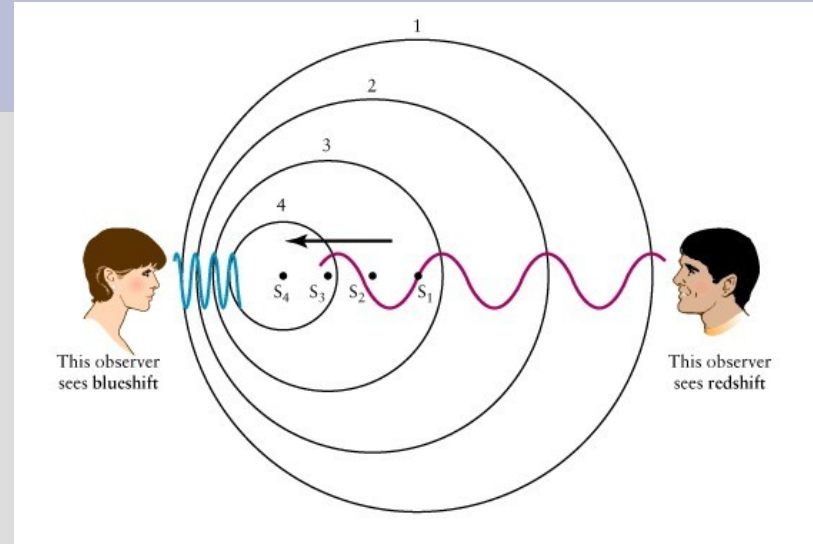
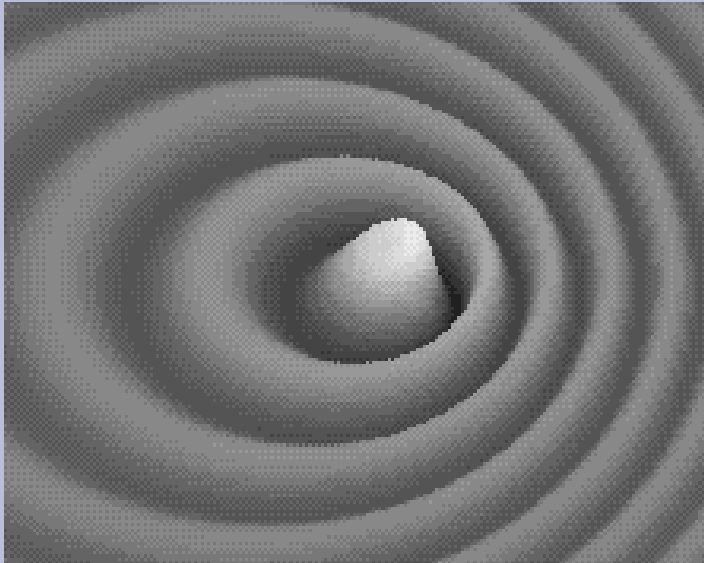
Viewing angle of the accretion disk determines the type of active galaxy we will see. If we view it at an angle: 30–60° above the disk, we can see the broad-line region: a Type 1 Seyfert, but if we view it edge-on, we see just the narrow-line region from clouds further away from black hole and the warm glow of the dust ring in the infrared: a Type 2 Seyfert.

Porque BN's são necessários?

- Quasares emitem 3.3×10^{46} ergs s^{-1}
- Em 10^8 anos: 10^{62} ergs $\equiv 10^{11}$ SN's (energia nuclear)
- Precisaríamos a energia da explosão de todas as estrelas de uma galáxia como supernovas: isto não se observa!

Optical and Radio Views
of Radio Galaxy 3C219
Montage (c) NRAO 1994

Efeito Doppler



O comprimento de onda da luz emitida por uma fonte que está em movimento em relação ao observador sofre alterações.

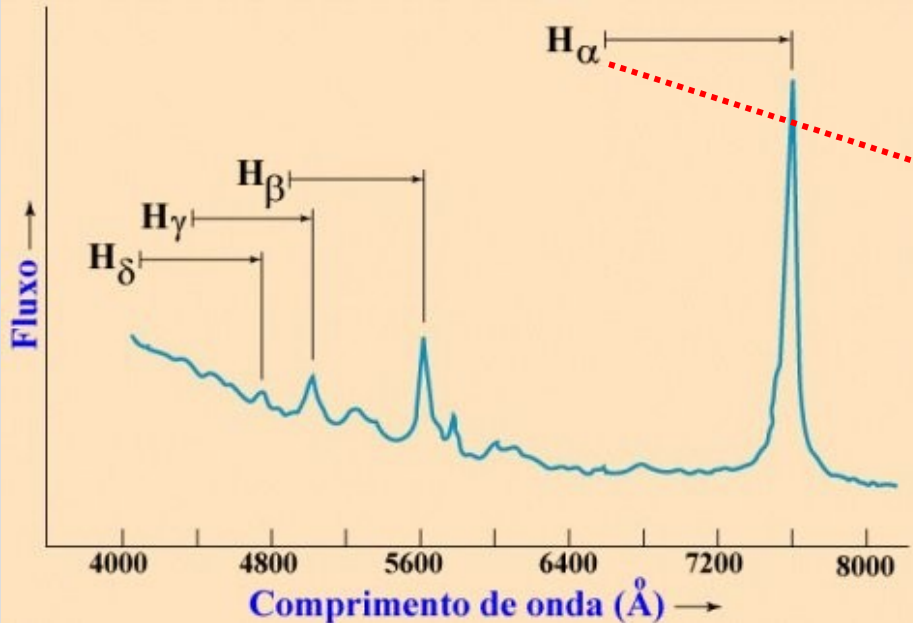
- Quando a fonte se aproxima, a luz fica mais azul, e
- Quando a fonte se afasta, a luz fica mais vermelha

A velocidade da fonte na direção do observador será

$$V_r = \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \right) \times c$$

λ = comprimento de onda observado da luz,
 λ_0 = comprimento de onda de laboratório,
 c = velocidade da luz

Efeito Doppler



As linhas espectrais da galáxia estão deslocadas para os comprimentos de onda mais vermelhos, infere-se que as galáxias afastam-se do observador

A velocidade da fonte na direção do observador será

$$V_r = \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \right) \times c$$

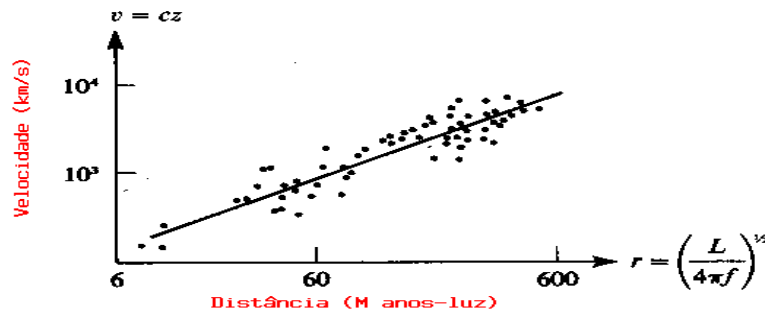
λ = comprimento de onda observado da luz,
 λ_0 = comprimento de onda de laboratório,
 c = velocidade da luz

LEI de HUBBLE:

1930 Edwin Hubble demonstrou que a velocidade de recessão das galáxias medida pelo deslocamento Doppler das linhas espectrais está correlacionada com a distância da galáxia:



Lei de Hubble



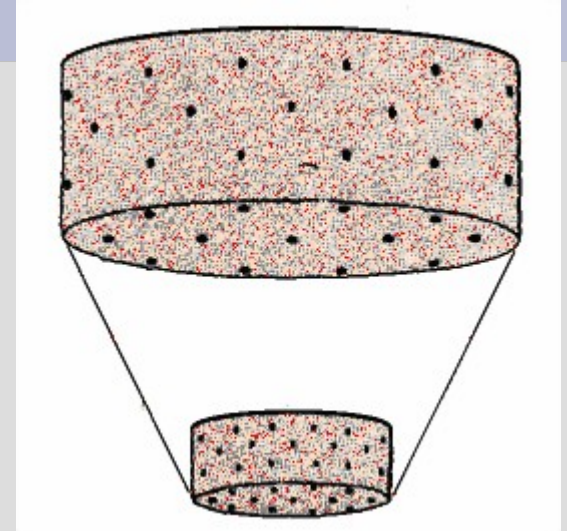
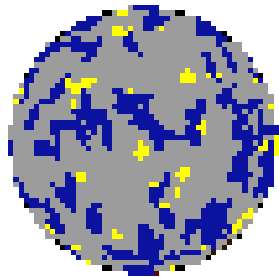
Lei de Hubble)

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

A lei de Hubble permite determinar a distância de galáxias a partir da velocidade radial $d = V_r/H$,

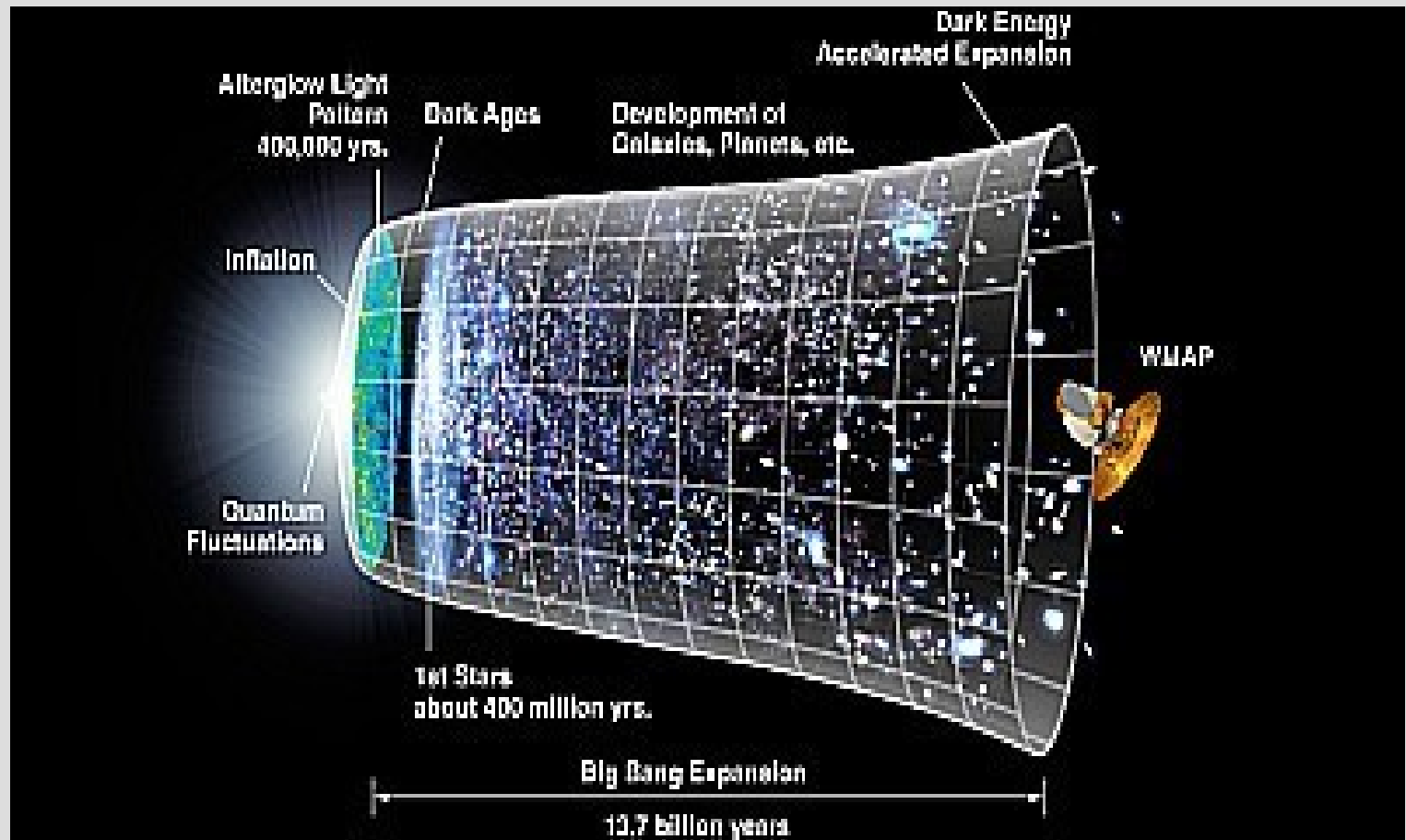
(A constante de Hubble foi estimada em : $H = 71 \text{ km/seg/Mpac}$)

A lei de Hubble interpreta-se como evidência do Universo em expansão



Bolo de Passas

O Universo em expansão



O Universo em expansão

