

## Galáxias

Rogério Riffel

# 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

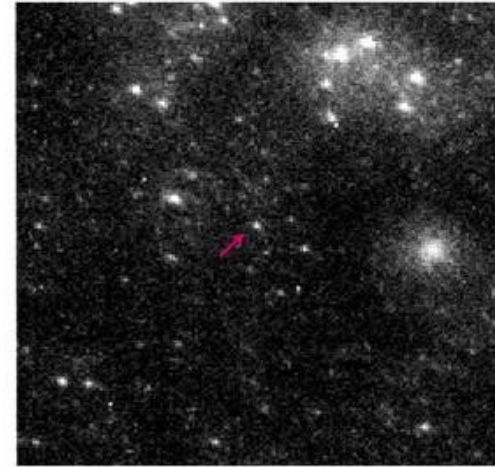
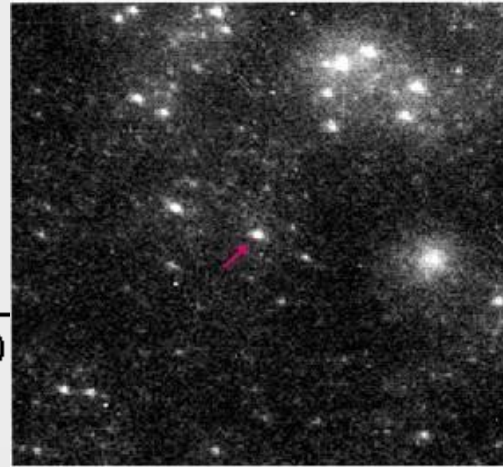
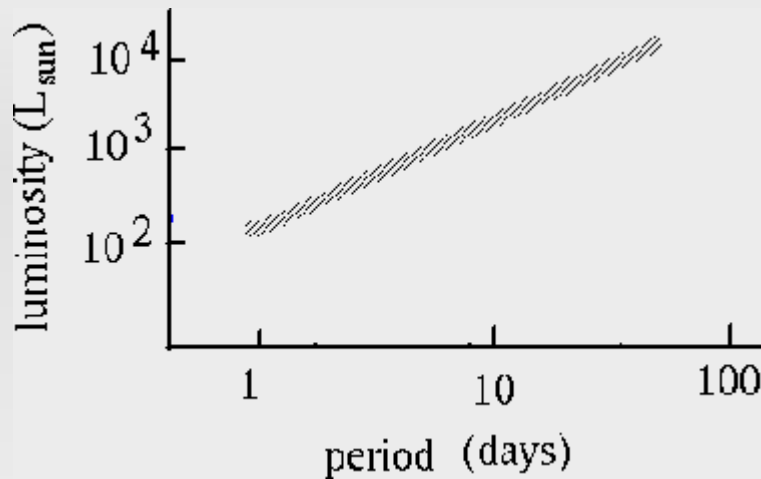
Encontra Cefeidas em Andrômeda

Determina suas distâncias através da relação período-luminosidade

Comprova que Andrômeda está fora dos limites da Via Láctea



# Como calcular a distância de uma galáxia, com a observação de uma estrela Cefeida - 4 passos



- 1) Observamos com o telescópio o período de variação da luz e a luminosidade ( $I$ ) de uma estrela Cefeída, em uma galáxia distante ( $d$ );
- 2) Determinamos a luminosidade intrínseca ( $L$ ) que tem a estrela, com a ajuda da relação período luminosidade das Cefeídas observadas na Via Láctea ( figura)
- 3) A luminosidade observada  $I \sim L/d^2$
- 4) A distância  $d \sim (L / I)^{1/2}$

# As galáxias são objetos exteriores à Via Láctea



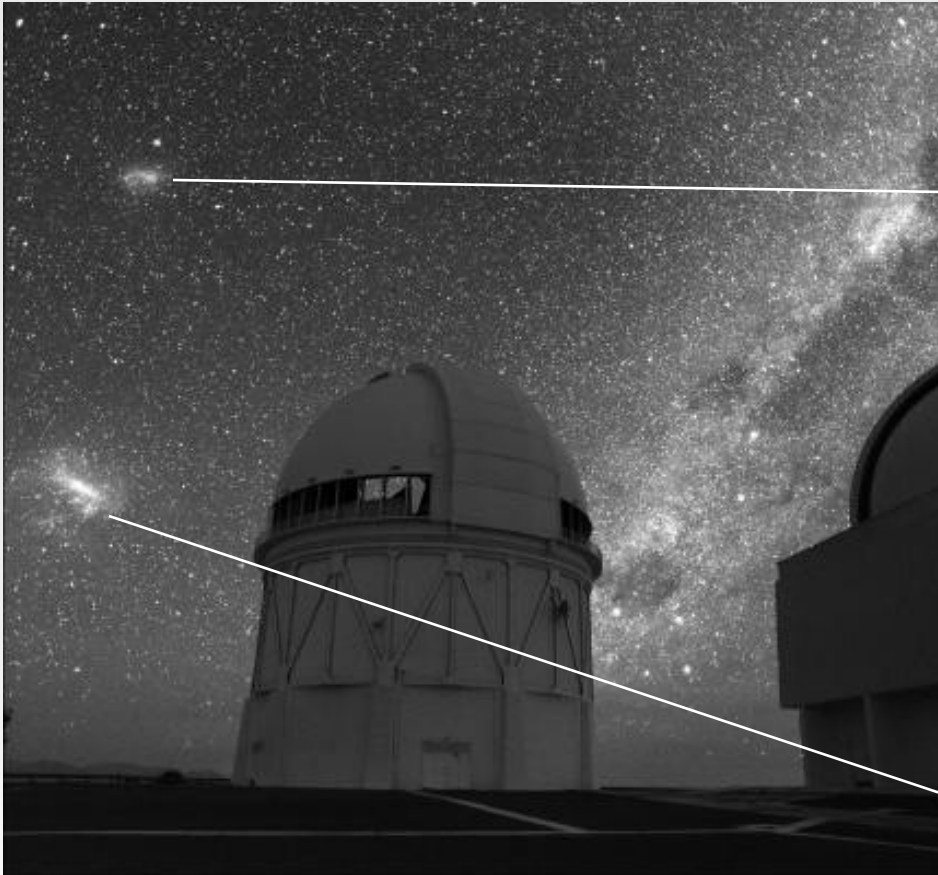
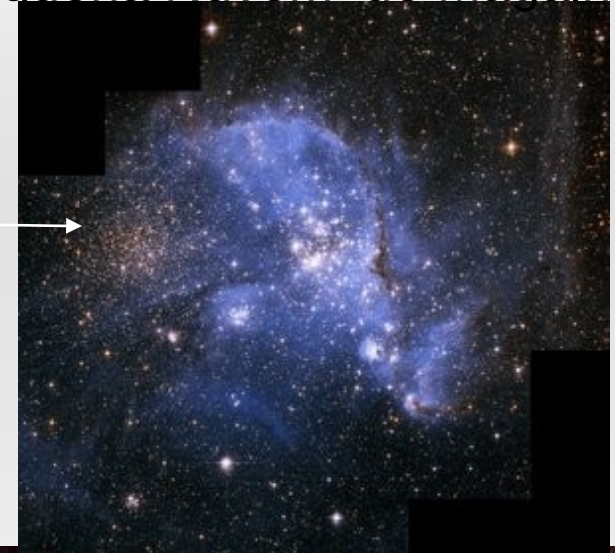
Andrômeda M31

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**.

# As Nuvens de Magalhães

Pequena Nuvem de Magalhães



As Nuvens de Magalhães distam  
160.000 anos Luz da Via Láctea



Grande Nuvem de Magalhães

# Classificação morfológica de galáxias

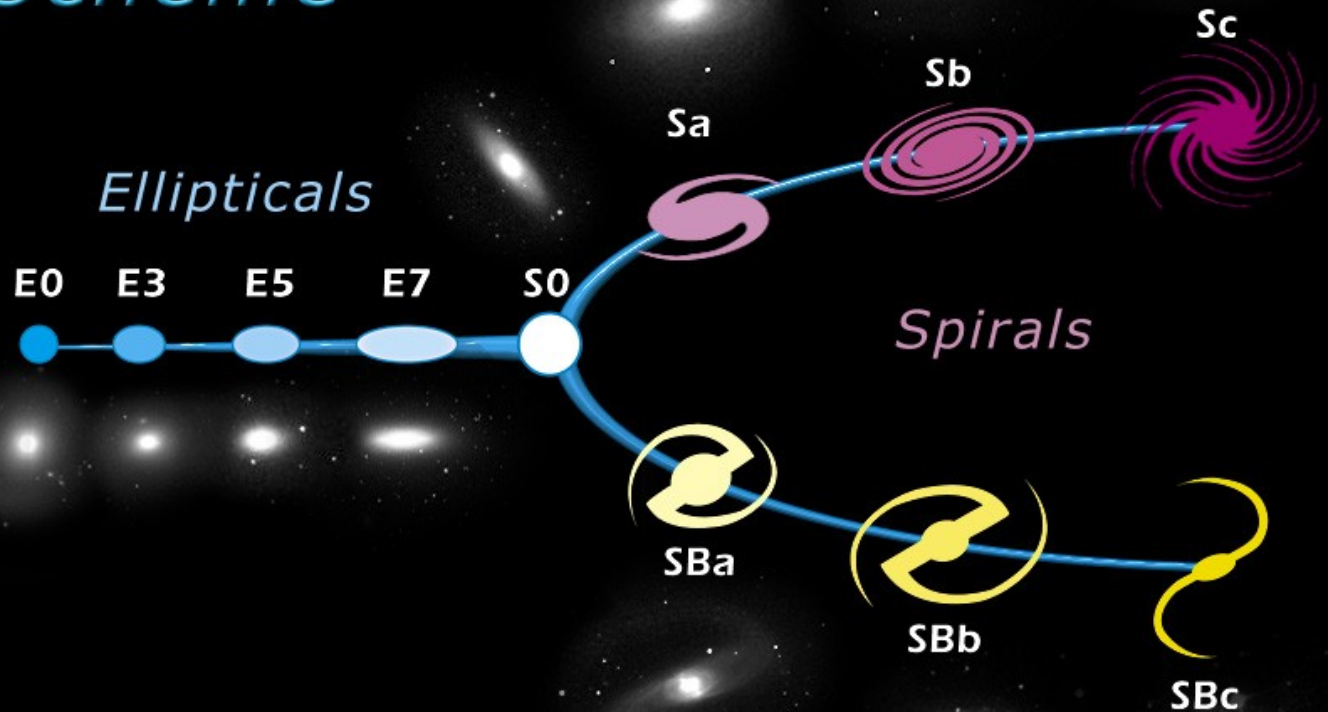
Hubble (1936)

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.

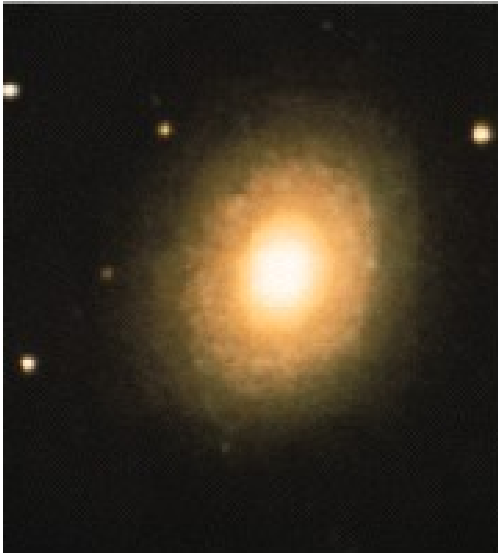
# Espirais Ordinárias (S)

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

# Espiraais Barradas (SB)

Espiraais barradas: os braços espirais partem de uma barra formada de estrelas

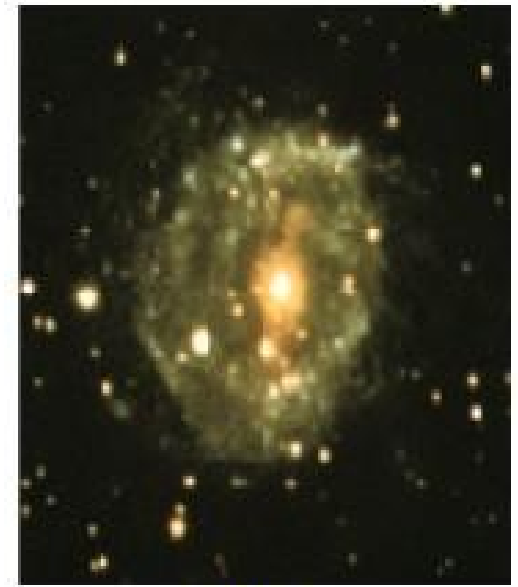
SBa, SBb e SBc



SBa



SBb



SBc

# Elípticas

Só tem a componente esferoidal, mostrando pouca estrutura interna.

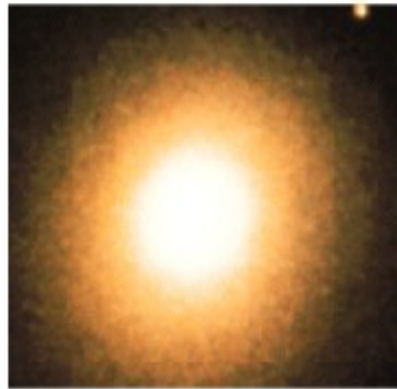
- forma elíptica
- não têm disco, braços espirais, nem gás nem poeira

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

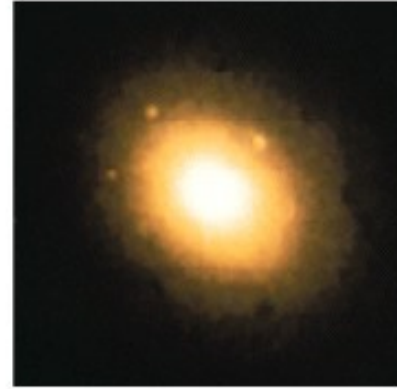
E0 é circular:  $b/a=1$

E7 é a mais achatada. ( $b/a=0,3$ )

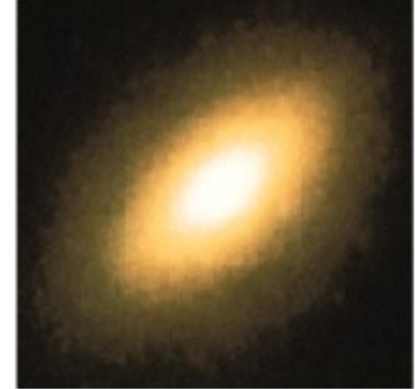
$n = 10 \times (1 - b/a)$



E0



E3



E6

# Irregulares (I)

Apresentam estrutura irregular, caótica.

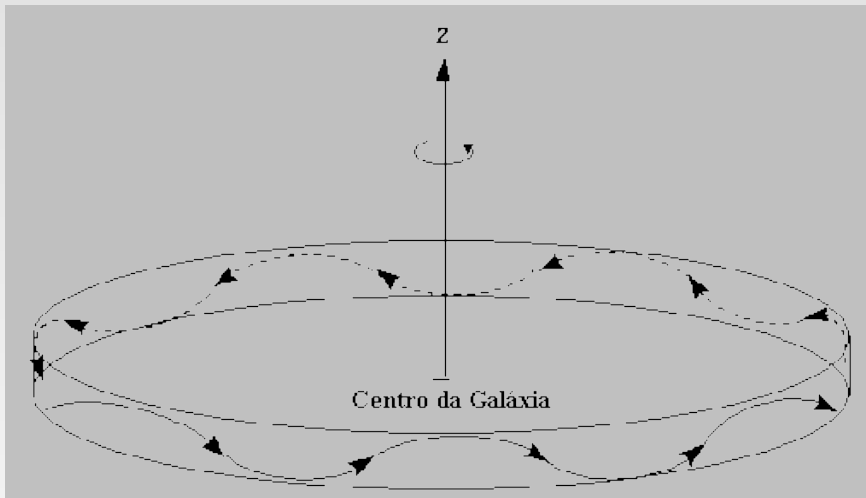


Foto das galáxias irregulares Grande Nuvem de Magalhães e Pequena Nuvem de Magalhães, obtidas no Anglo-Australian Observatory.

# Massa das galáxias Espirais

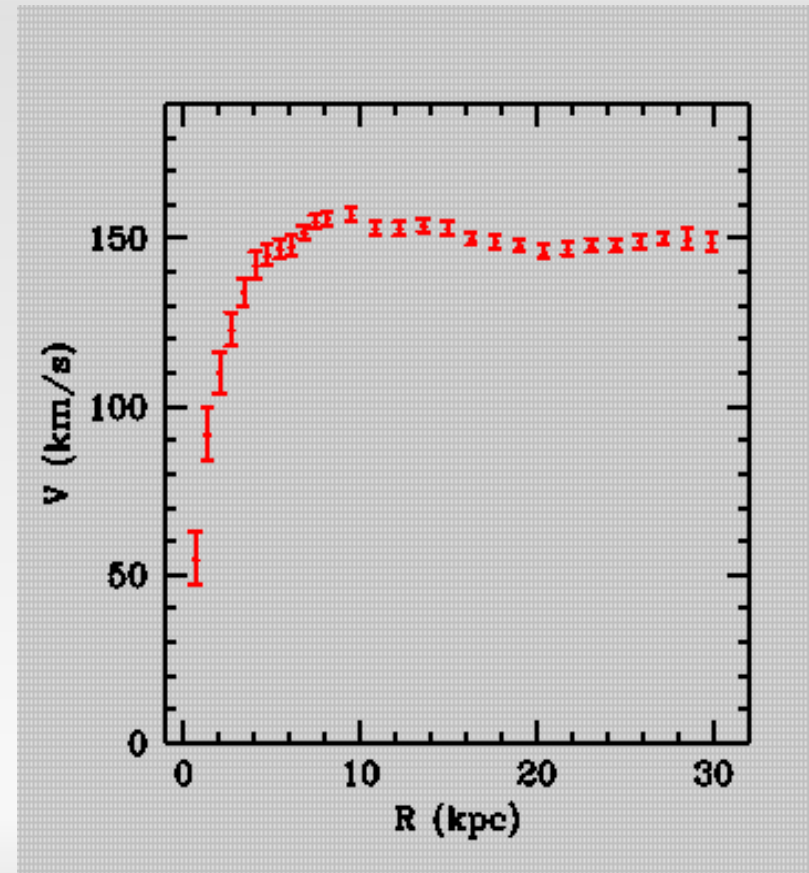
Assume-se que as estrelas e o gás são mantidos em sua órbita pela massa interna à órbita.

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.

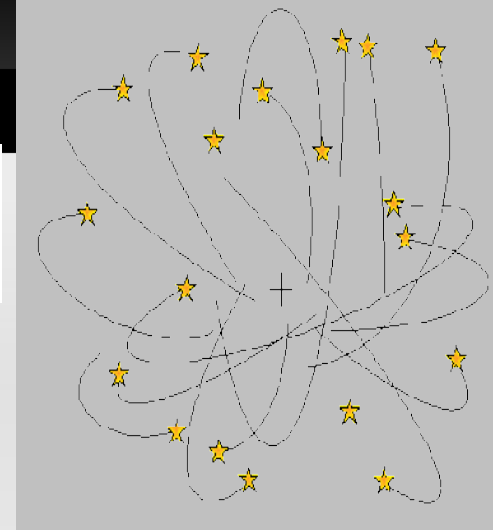
A energia potencial gravitacional é:

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

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

As estrelas mais velhas das galáxias espirais são tão velhas quanto as estrelas mais velhas das galáxias elípticas

Todas as galáxias começaram a se formar mais ou menos na mesma época do universo:

**Galáxias elípticas** se formaram a partir de nuvens densas, com pouca rotação, e alta taxa de formação estelar

**Galáxias espirais** se formaram a partir de nuvens menos densas, com maior rotação, e menor taxa de formação estelar.



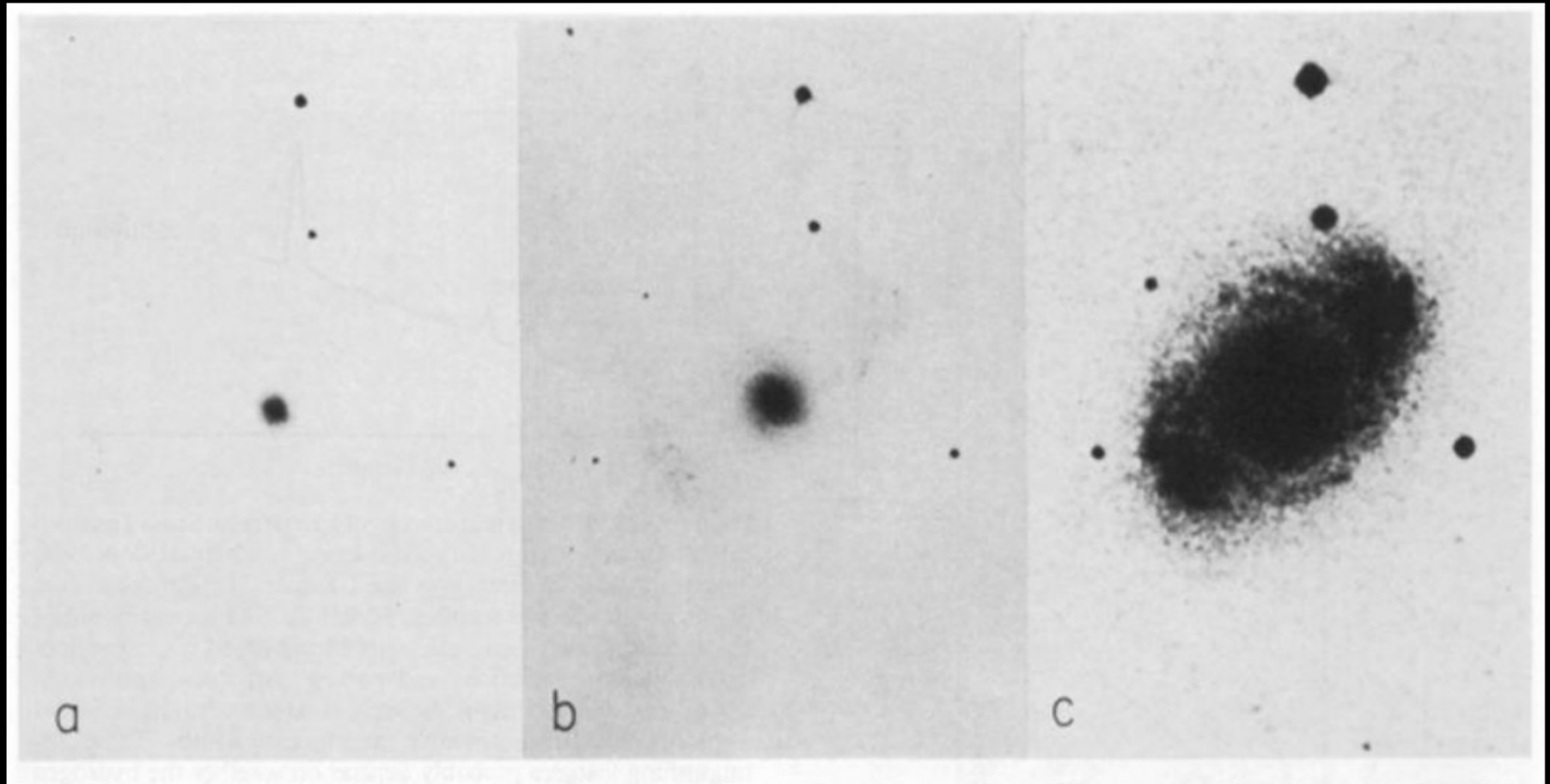
# Núcleos Ativos de Galáxias (AGN)

São galáxias, cujo o núcleo emite uma enorme quantidade de energia com espectro *não térmico* (não estelar). A emissão nuclear é comparável a emissão da galáxia hospedeira.

## Principais características:

- Alta luminosidade (maior do que  $10^{11} L_{\text{Sol}}$ );
- Contínuo dominado por emissão não térmica – Radio-Raios-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.

# Tamanho do núcleo frente a galáxia



NGC 4151  $\rightarrow$   $T_{exp.}$

# Massa da fonte Central – Primeira estimativa

Os núcleos das galáxias Seyfert não podem ser maiores que 100 pc pois eles parecem como fontes pontuais no óptico (1959 – Woltjer);

$$F_g = F_c$$



$$\frac{GmM}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$\frac{GM}{r} = v^2$$



$$M = \frac{v^2 r}{G}$$



$$M \sim v^2 r$$

# Massa da fonte Central

✓ Considerando  $r \leq 100$  pc e  $v = 1000$  km/s (FWHM);

$$M \geq \frac{(1000)^2}{G} \left( \frac{r}{100 \text{pc}} \right) M_{sol}$$



$$M \geq 10^{10} \left( \frac{r}{100 \text{pc}} \right) M_{sol}$$

## Implicações

✓ Enorme concentração de massa na região central ( $10^{10} M_{sol}$ );

✓ ou  $r$  é muito menor, o que implica em uma enorme densidade de energia dentro do AGN!

# BURACOS NEGROS

- *Força gravitacional:*  $F = \frac{GMm}{R^2}$
- *Velocidade de escape:*  $\frac{mv_{\text{esc}}^2}{2} = \frac{GMm}{R}$        $v_{\text{esc}}^2 = \frac{2GM}{R_{\text{Sch}}} = c^2$
- *Raio de Schwarzschild:*  $R_{\text{Sch}} = \frac{2GM}{c^2}$
- 
- *Qualquer objeto que atinge um raio menor do que o raio de Schwarzschild se transforma em um buraco negro, uma vez que nenhuma força da natureza pode resistir ao seu colapso gravitacional, pois velocidade de escape = c!*
- *Para a Terra:  $R_{\text{Sch}} = 9 \text{ mm!}$     Para o Sol: 3 km.*

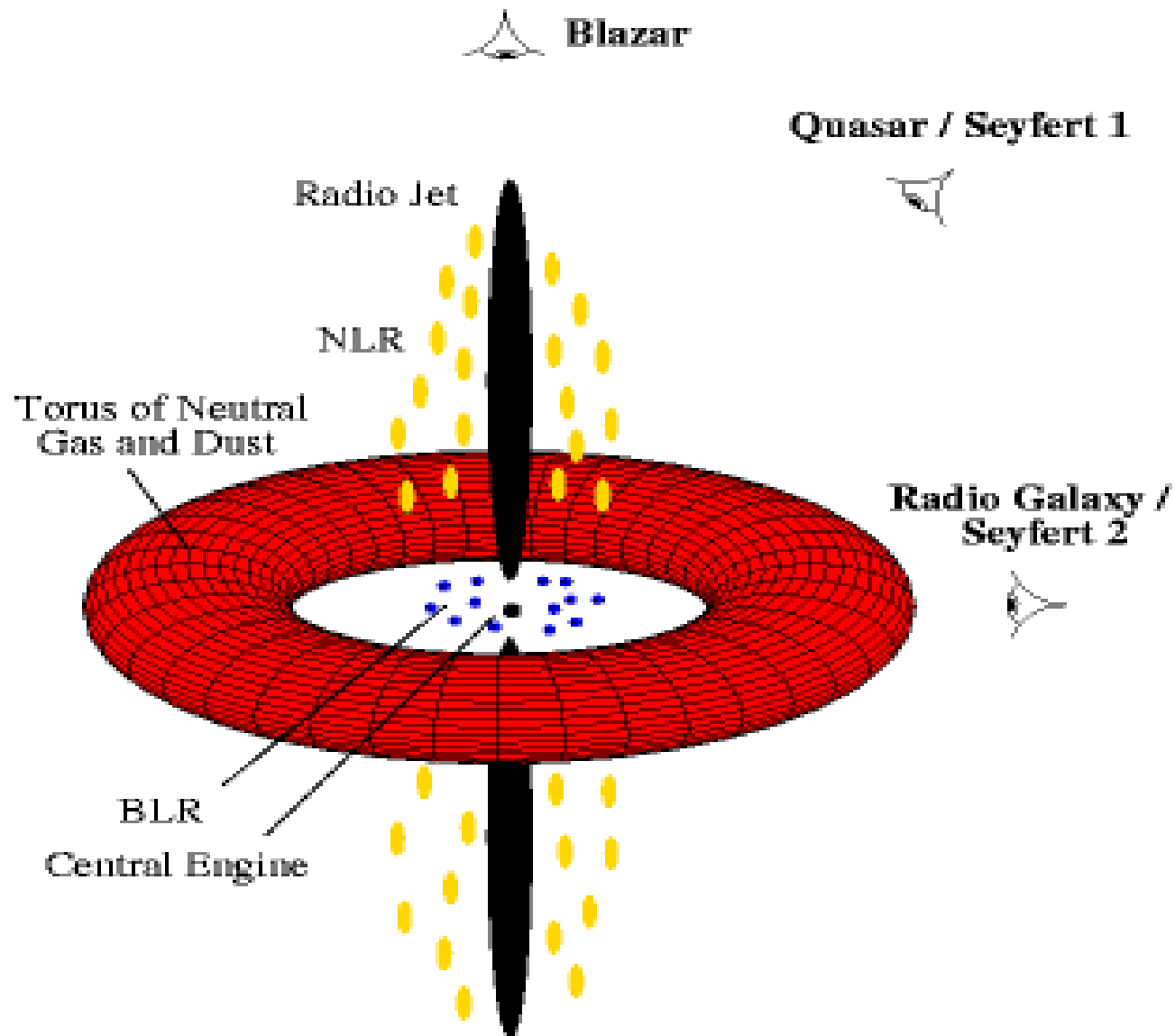
**Quasares:** Foram descobertos como sendo fontes de aparência estelar (na banda ótica) porém com emissão muito intensa na banda de rádio frequências (z até 6.5).



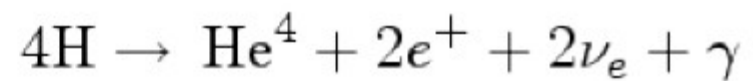
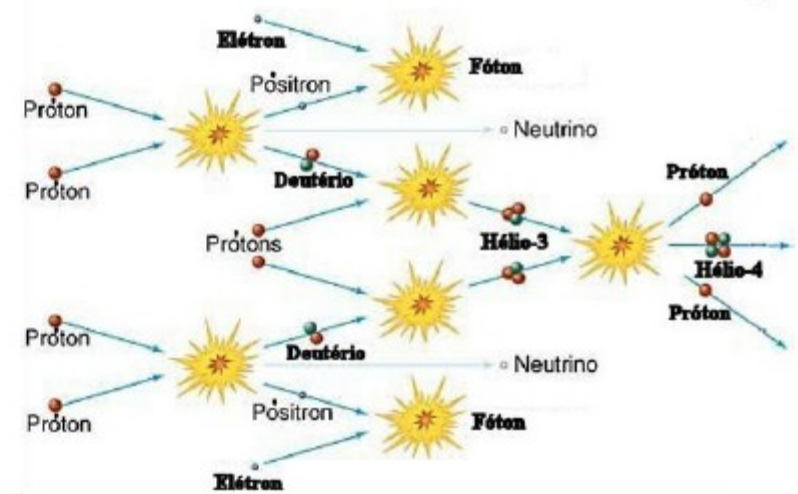
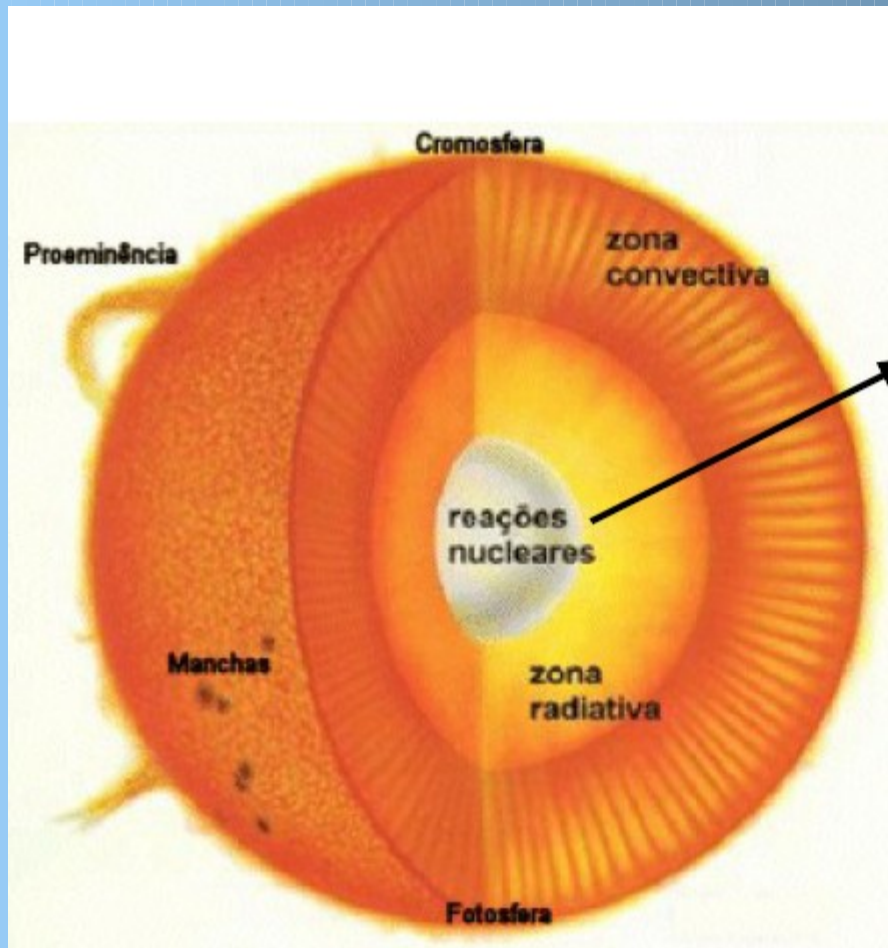
3C2173 é um dos objetos mais brilhantes já observados (está a 2 bilhões de anos-luz.)

Os jatos relativísticos ionizam o meio a grandes distâncias da fonte central.

# Modelo Unificado de AGNs



# Fonte de Energia das estrelas





## Porque BN's são necessários?

- *Quasares emitem  $3.3 \times 10^{46}$  erg/s*
- *Em  $10^8$  anos:  $10^{62}$  erg*
- *Será a energia nuclear, como nas estrelas?*

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

## *A Energia dos AGNs*

**Energia nuclear**  $E_N = 0.007mc^2 = 6.3 \times 10^{18}$  ergs para  $m=1g$ ;

- numa estrela, fusão nuclear ocorre com 10% da massa;

$10^{62}$  ergs =  $6.3 \times 10^{18}$  erg/g  $\times 0.1 \times 2 \times 10^{33}$  g/estrela  $\times 10^{11}$  estrelas ( $\sim M$  da Via Láctea)

# Porque BN's são necessários?

- *Quasares emitem  $3.3 \times 10^{46}$  erg/s*
- *Em  $10^8$  anos:  $10^{62}$  erg =  
**Muitas 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

## A Energia dos AGNs

**Energia nuclear**  $E_N = 0.007mc^2 = 6.3 \times 10^{18}$  ergs para  $m=1g$ ;

- numa estrela, fusão nuclear ocorre com 10% da massa;

$10^{62}$  ergs =  $6.3 \times 10^{18}$  erg/g  $\times 0.1 \times 2 \times 10^{33}$  g/estrela  $\times 10^{11}$  estrelas ( $\sim M$  da Via Láctea)

**Energia gravitacional**  $E_G = GMm/R$ ; para  $m=1g$ :

$E_G$  (Sol) =  $2 \times 10^{15}$  erg;  $E_G$  (Anã branca) =  $10^{17}$  erg;

Mas para objetos compactos (Estrela de nêutrons ou BN):

$E_G$  (BN) =  $10^{20}$  erg/g;

$10^{62}$  ergs =  $10^{20}$  erg/g  $\times 2 \times 10^{33}$  g/estrela  $\times 5 \times 10^8$  estrelas

# A Energia dos AGNs

A energia dos AGNs vem da acrecção de matéria ao Buraco Negro central: transformação de energia potencial gravitacional em energia radiativa + cinética dos jatos

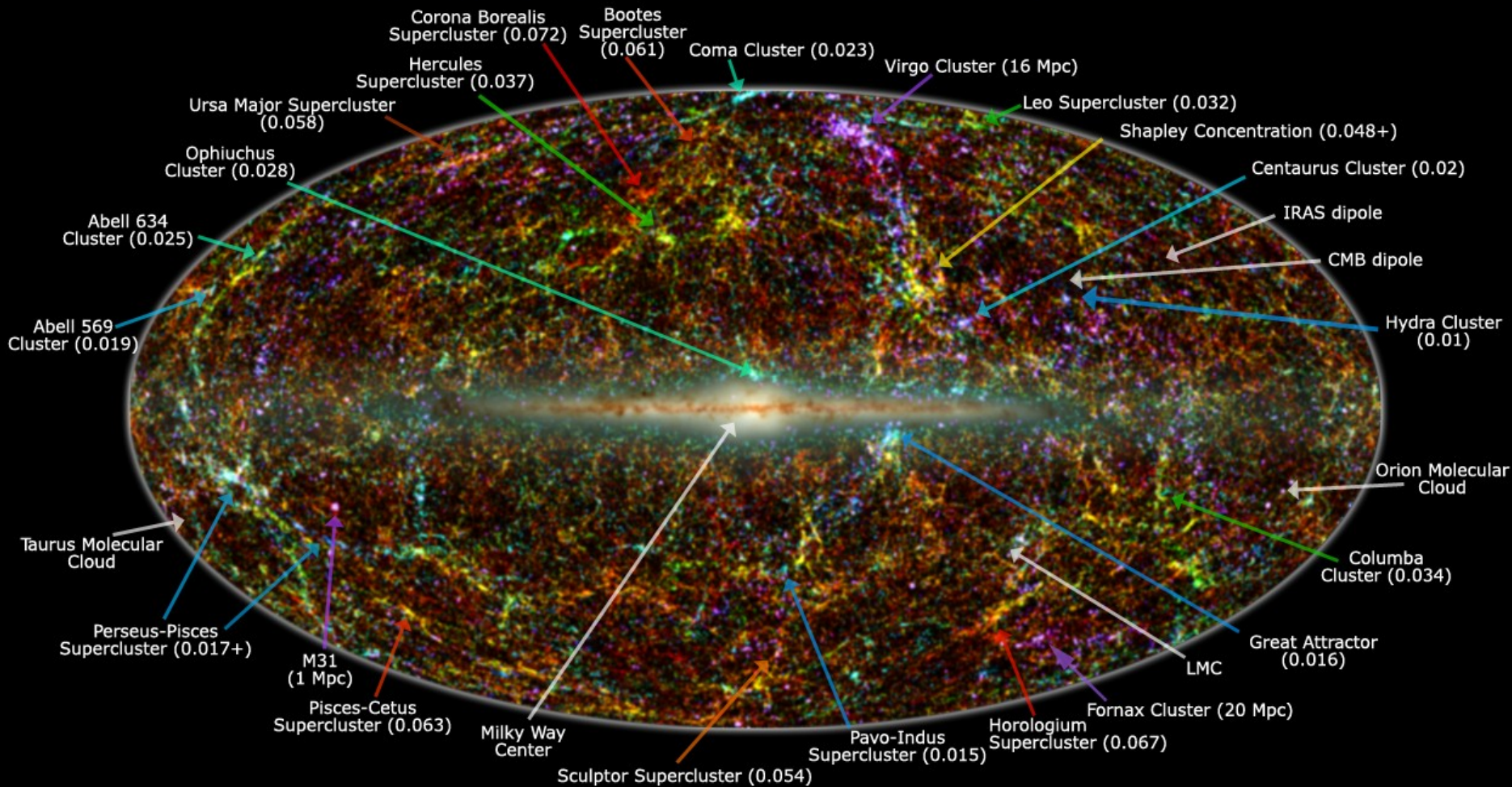
A acreção se dá através de um "disco de acreção", que se forma para conservação do momentum angular

# Aglomerados de Galáxias



# Estrutura em Grande Escala

## 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)

# O Universo em Grande Escala

Não vivemos no centro do Universo!

No começo de 1900 descobrimos que vivemos num:

planeta nada excepcional, próximos a uma estrela comum localizada na periferia de uma galáxia normal, em um grupo de galáxias (grupo local), localizado na periferia de um grande cúmulo de aglomerados (superaglomerado local – centrado no aglomerado de Virgem).

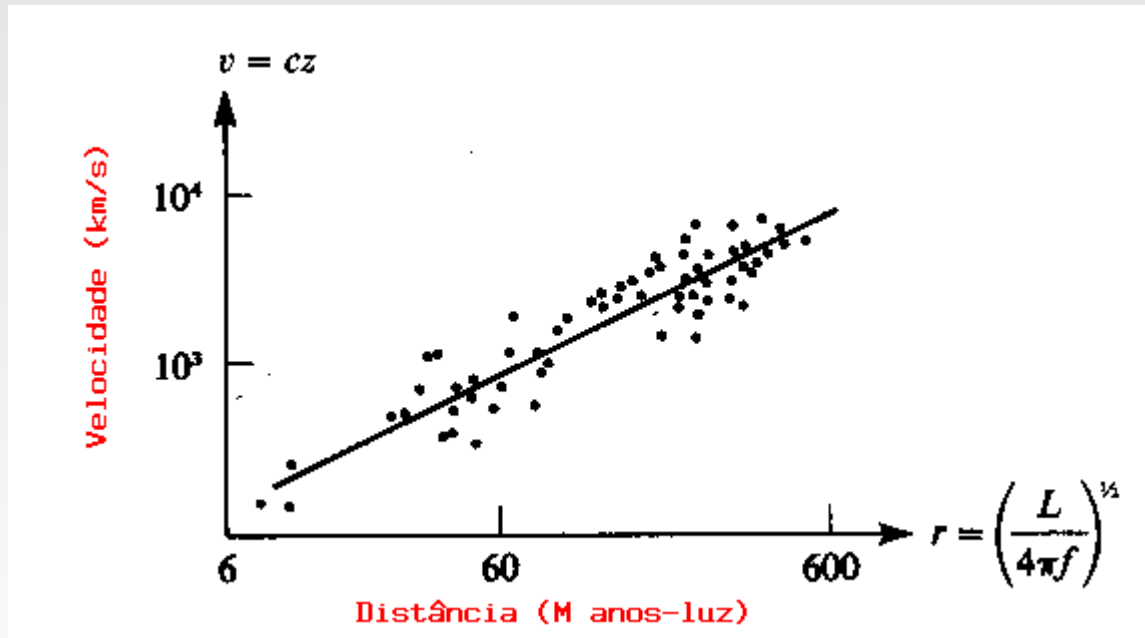
Somos insignificantes frente ao universo!!!



# O Universo em Grande Escala

Interpretação (Hubble, baseado no efeito Doppler)

A maioria das galáxias estão se afastando de nós, com velocidades proporcionais à sua distância.



$$v = H_0 d$$

# O Universo em Grande Escala

$v$  = velocidade de recessão em km/s

$d$  = distancia em Mpc

$$v = H_0 d$$

$H_0$  = taxa de expansão atual (constante de Hubble)  $\sim 71$  km/s/Mpc ( a velocidade de recessão das galáxias aumenta 71 km/s a cada Mpc de distância)

galáxias a 1 Mpc têm velocidade de recessão de 71 km/s

galáxias a 10 Mpc têm velocidade de recessão de 710 km/s

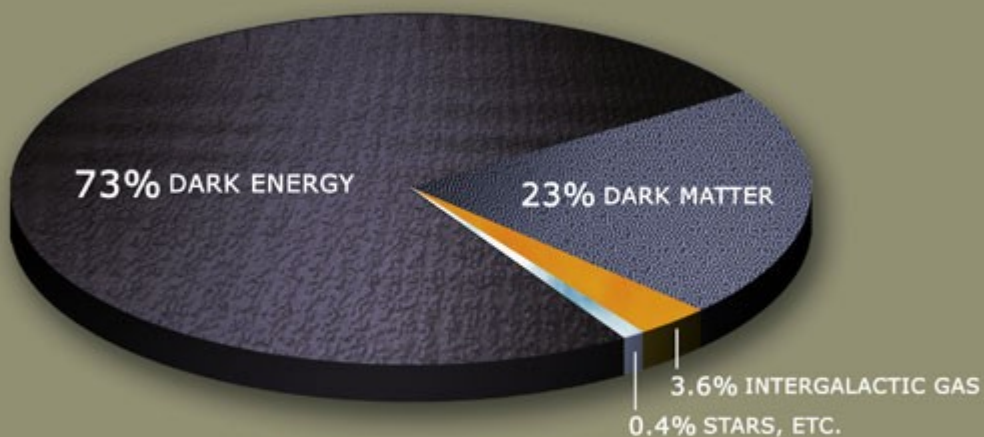
galáxias a 11 Mpc têm velocidade de recessão de 780 km/s

galáxias a 100 Mpc têm velocidade de recessão de 7100 km/s

etc... Conclusão

**O universo está em expansão!**

# Universo em expansão acelerada!



Em **cosmologia**, a energia escura é uma forma hipotética de **energia** que estaria distribuída por todo **espaço** e tende a acelerar a expansão do Universo. A principal característica da energia escura é ter uma forte **pressão negativa**. De acordo com a **teoria da relatividade**, o efeito de tal pressão negativa seria semelhante, qualitativamente, a uma força que age em larga escala em oposição à **gravidade**. Tal efeito hipotético é frequentemente utilizado, por diversas teorias atuais que tentam explicar as observações que apontam para um **universo** em expansão acelerada.

A natureza da energia escura é um dos maiores desafios atuais da física e da cosmologia. Existem hoje muitos modelos fenomenológicos diferentes, contudo os dados observacionais ainda estão longe de selecionar um em detrimento dos demais.

# O Big Bang

- O universo iniciou a partir de um estado extremamente quente e extremamente denso, em que toda a matéria e toda a radiação estavam contidas num espaço infinitamente pequeno.
- Big Bang = flutuação quântica do vácuo (proposto por E. Tryon em 1973).
- Nos primeiros momentos do universo ele era tão quente que a colisão de fótons podia produzir partículas materiais.
- À medida que o universo se expande, ele esfria.
- Quanto menor a temperatura, menor a energia de radiação, e menor a massa das partículas que podem ser produzidas nas colisões de fótons.

## Evolução do Universo

Idade cósmica	Temperatura	Eventos marcantes
$< 10^{-44}$ segundos	$> 10^{32}$ K	Big Bang. Unificação das 4 forças. <b>Era de Planck.</b>
$10^{-44}$ segundos	$10^{32}$ K	Gravidade se separa das outras forças. Era das <b>GUT's</b> (teorias da grande unificação das forças nucleares forte e fraca e da força eletromagnética).
$10^{-35}$ segundos	$10^{28}$ K	Força nuclear forte se separa da força eletro-fraca
$10^{-32}$ segundos	$10^{27}$ K	Fim da era da Inflação. Universo se expande rapidamente.
$10^{-10}$ segundos	$10^{15}$ K	<b>Era da radiação.</b> Forças eletromagnéticas e fracas se separam.
$10^{-7}$ segundos	$10^{14}$ K	Era das partículas pesadas ( <b>era hadrônica</b> ). A colisão de fótons dá origem a prótons, antiprótons, quarks, e antiquarks.

# Evolução do Universo

10 <sup>-7</sup> segundos	10 <sup>14</sup> K	Era das partículas pesadas ( <b>era hadrônica</b> ). A colisão de fótons dá origem a prótons, antiprótons, quarks, e antiquarks.
10 <sup>-1</sup> segundos	10 <sup>12</sup> K	Era das partículas leves ( <b>era leptônica</b> ). Fótons retém energia suficiente apenas para construir partículas leves como elétrons e pósitrons.
3 minutos	10 <sup>10</sup> K	<b>Era da nucleossíntese.</b> Prótons e elétrons interagem para formar nêutrons. Prótons e nêutrons formam núcleos de deutério, hélio, e pequena quantidade de lítio e berílio. Todos os átomos encontram-se ionizados.
380 000 anos	10 <sup>3</sup> K	<b>Era da recombinação.</b> Os elétrons se unem aos núcleos para formarem os átomos. A radiação pode fluir livremente pelo espaço. (O universo fica transparente.)
1 × 10 <sup>9</sup> anos	20 K	Formação das <b>galáxias</b> .
10 × 10 <sup>9</sup> anos	3 K	<b>Era presente.</b> Formação do sistema solar. Desenvolvimento da vida.