

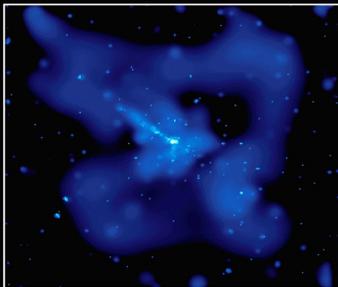
# **Galáxias Ativas**

**Rogemar A. Riffel**

# Núcleos Ativos de Galáxias (AGN)



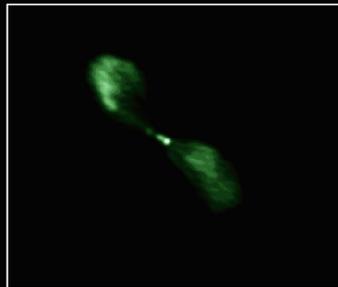
*Centaurus A*



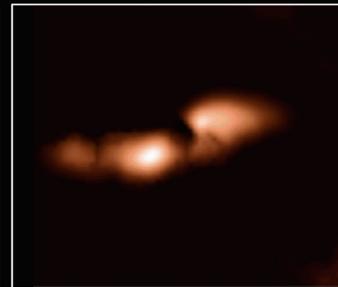
CHANDRA X-RAY



DSS OPTICAL



NRAO RADIO  
CONTINUUM



NRAO RADIO  
(21-CM)

# 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:

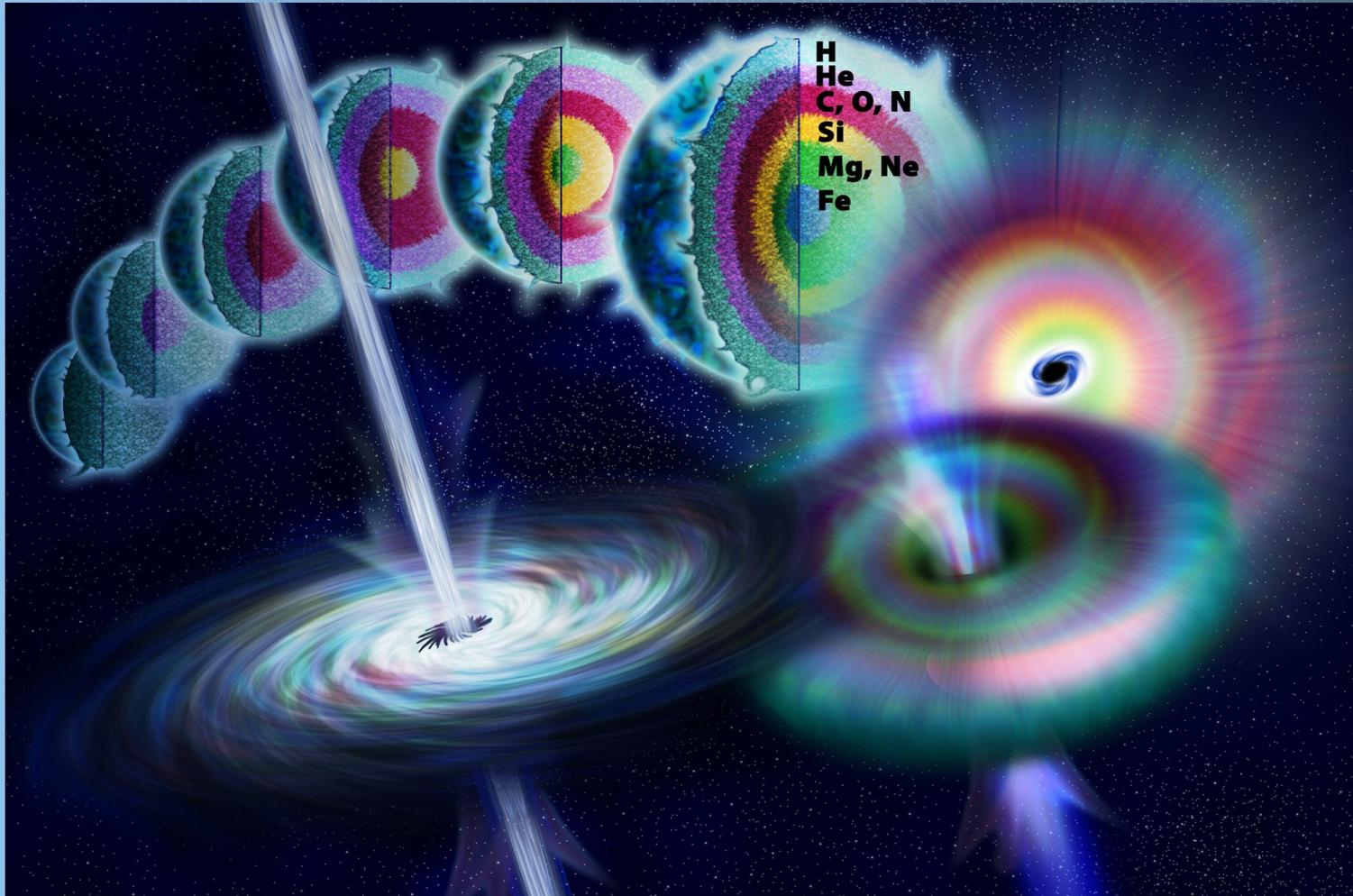
- Alta luminosidade (maior do que  $10^{11} L_{\text{Sol}}$ );
- Contínuo dominado por emissão não térmica – Radio-Raio-X;
- Variabilidade rápida (dias/horas);
- Alto contraste de brilho entre o núcleo ativo e a galáxia hospedeira;
- Linhas de emissão intensas, muito largas em alguns casos.

# BURACOS NEGROS

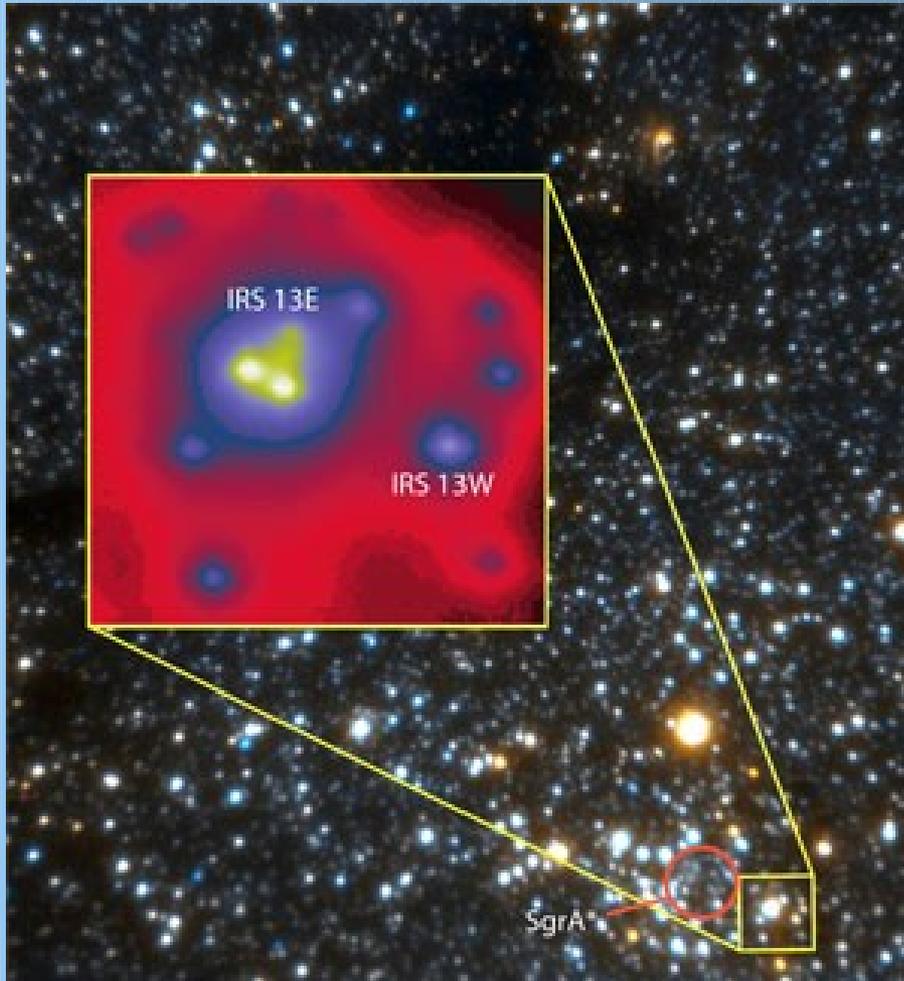
- *Força gravitacional:*  $F = \frac{GMm}{R^2}$
- *Velocidade de escape:*  $\frac{mv_{\text{esc}}^2}{2} = \frac{GMm}{R}$        $v_{\text{esc}}^2 = \frac{2GM}{R_{\text{Sch}}} = c^2$
- *Raio de Schwarzschild:*  $R_{\text{Sch}} = \frac{2GM}{c^2}$
- *Qualquer objeto que atinge um raio menor do que o raio 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:  $3 \text{ km!}$*
- *Para o BN no centro da Via Láctea:  $3 \times 10^6 \text{ km} = 4 R_{\text{Sol}}$*

*Como se formam? Depende do tipo:*

*1) Estelares: final da vida de estrelas massivas: explosão como supernova*



## 2) *Buracos negros de massa intermediária:* *associados a aglomerados de estrelas*



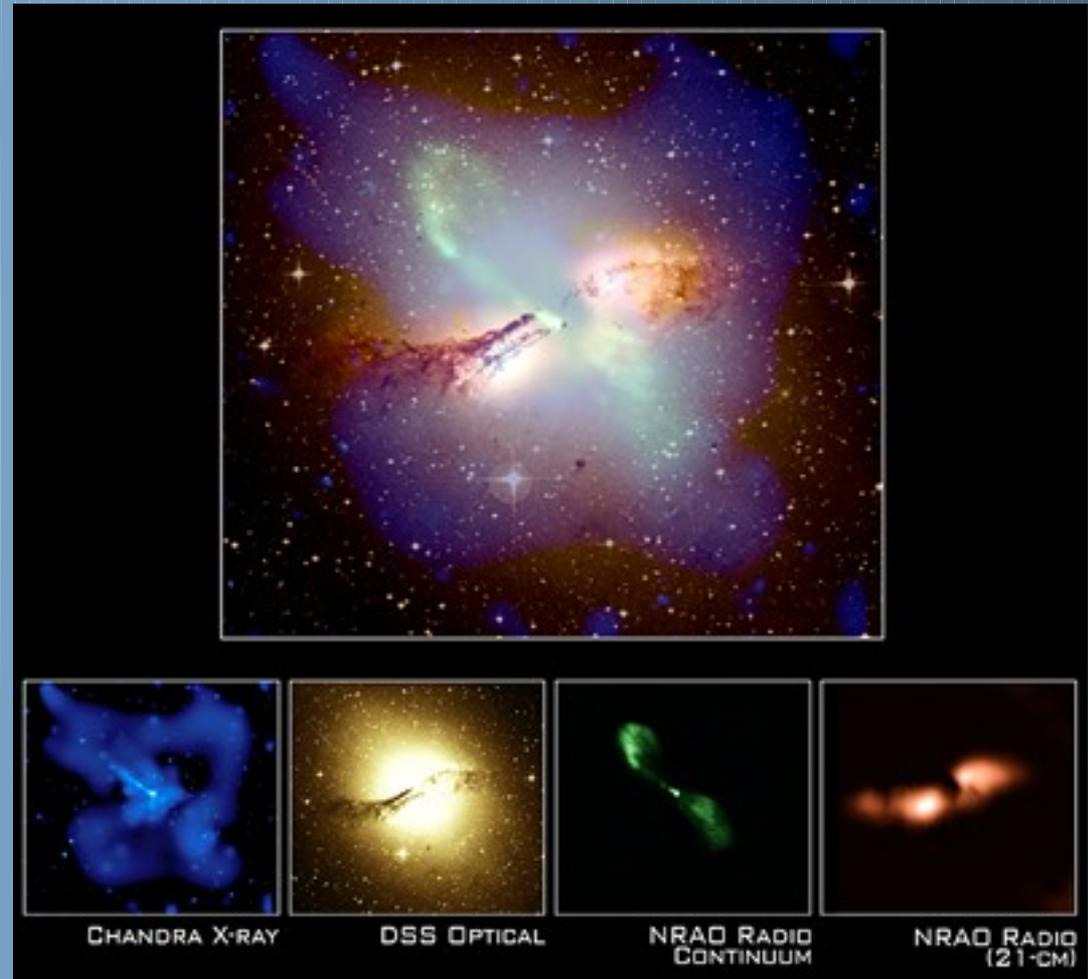
*Maillard (Nov. 2004),  
em imagens de ótica  
adaptativa com  
Telescópio Gemini: BN  
de massa  $1300 M_{\text{Sol}}$   
próximo ao centro da  
Via Láctea*

### *3) Buracos negros supermassivos:*

*No centro das galáxias,  
com massas de milhões a  
bilhões de vezes a massa  
do Sol.*

*Exemplo: galáxia ativa  
(rádio-galáxia)*

*Centaurus A: imagem  
composta*



## Porque BN's são necessários?

- *Quasares emitem  $3.3 \times 10^{46}$  ergs  $s^{-1}$*
- *Em  $10^8$  anos:  $10^{62}$  ergs =  $10^{11}$  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

## 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;

$$10^{62} \text{ergs} = 6.3 \times 10^{18} \text{ ergs/g} \times 0.1 \times 2 \times 10^{33} \text{g/estrela} \times 10^{11} \text{estrelas}$$

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

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

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

$$E_G (\text{BN}) = 10^{20} \text{ergs/g};$$

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

# 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

# Paradigma atual dos Núcleos Ativos de Galáxias

- *Luminosidade dos AGNs: transformação da taxa de energia potencial da matéria acretada em potência radiativa e jatos*

- *Agente da transformação: disco de acreção*

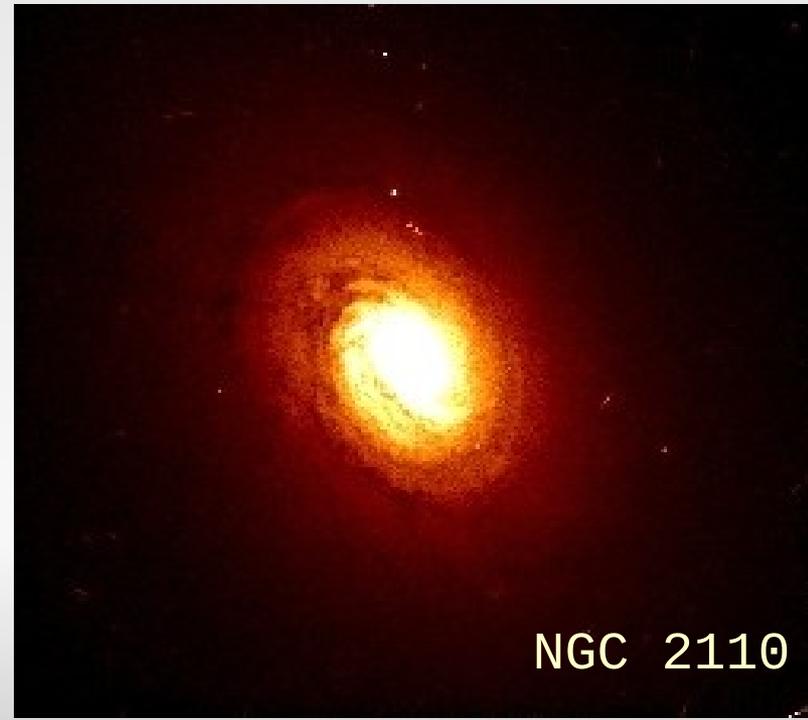
# TIPOS DE AGNs

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

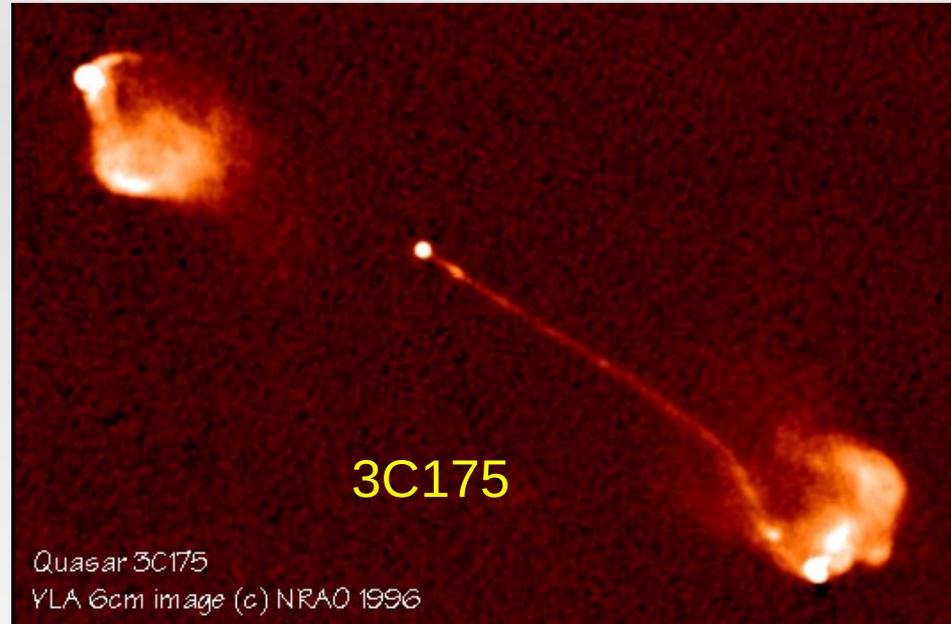
*Galáxias Seyfert: Apresentam um núcleo ativo muito brilhante. A energia emitida pelo núcleo é várias vezes maior que energia da galáxia hospedeira.*

*1000 e 10000 km/s Seyfert 1 – Linhas largas*

*200 e 1000 km/s Seyfert 2 – Linhas estreitas*

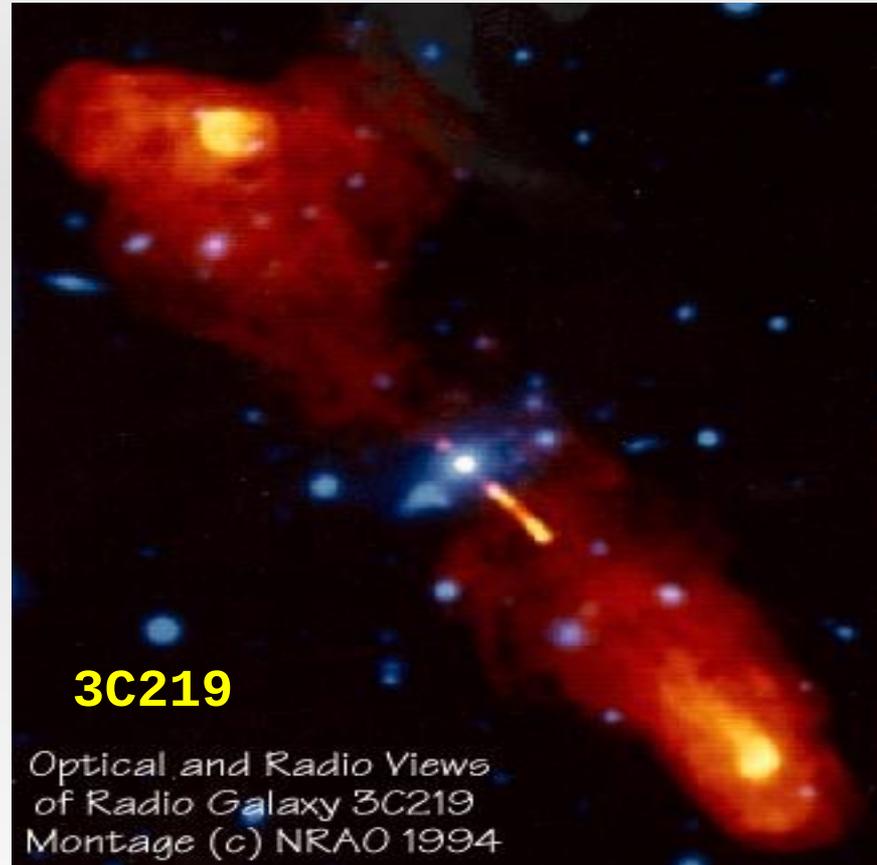


**Quasares:** Foram descobertos como sendo fontes de aparência estelar (na banda ótica) porém com emissão muito intensa na banda de rádiofreqüências ( $z$  até 6.5).



**BLAZARS:** Estes objetos apresentam alta polarização da radiação emitida nas banda ótica e rádio.

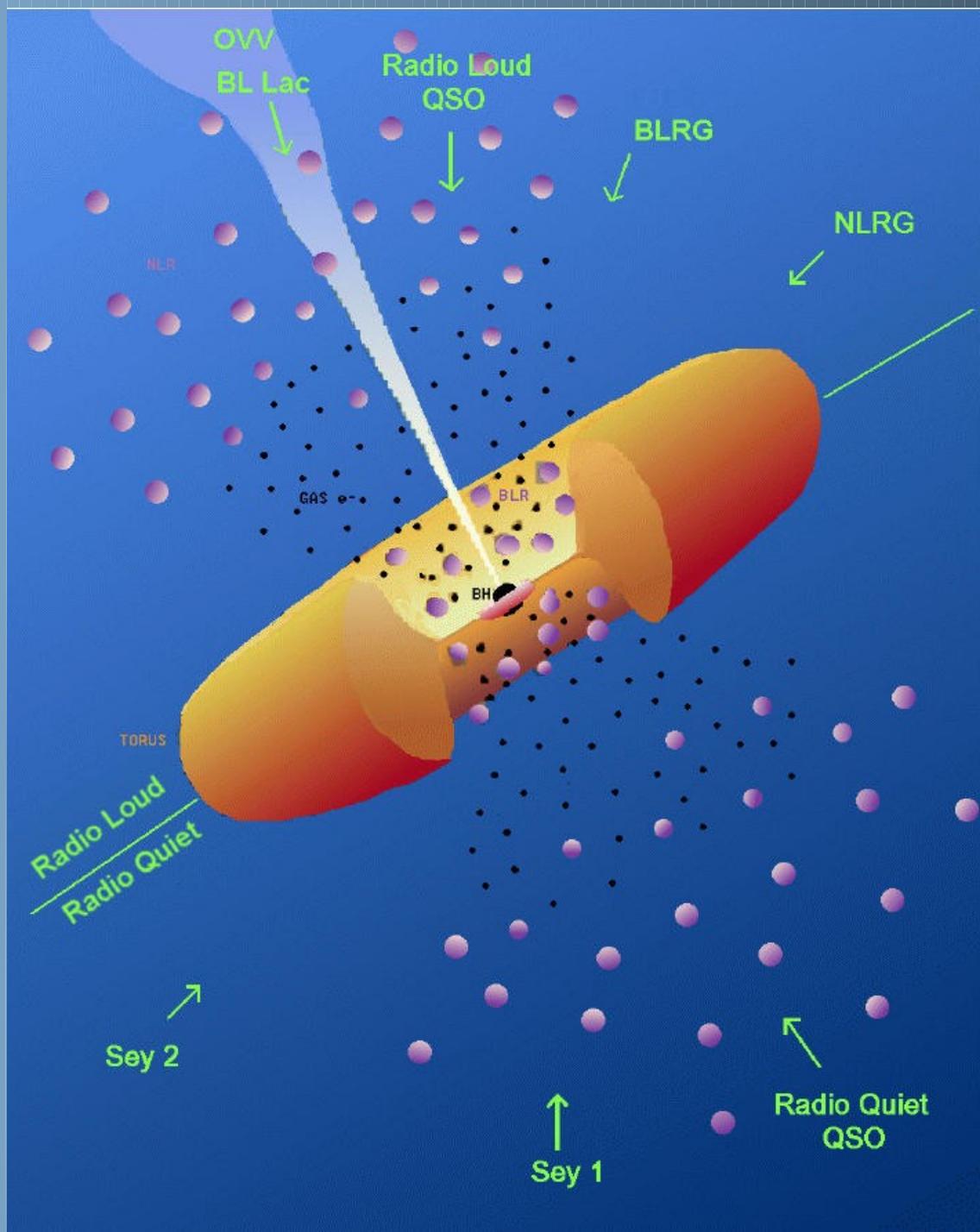
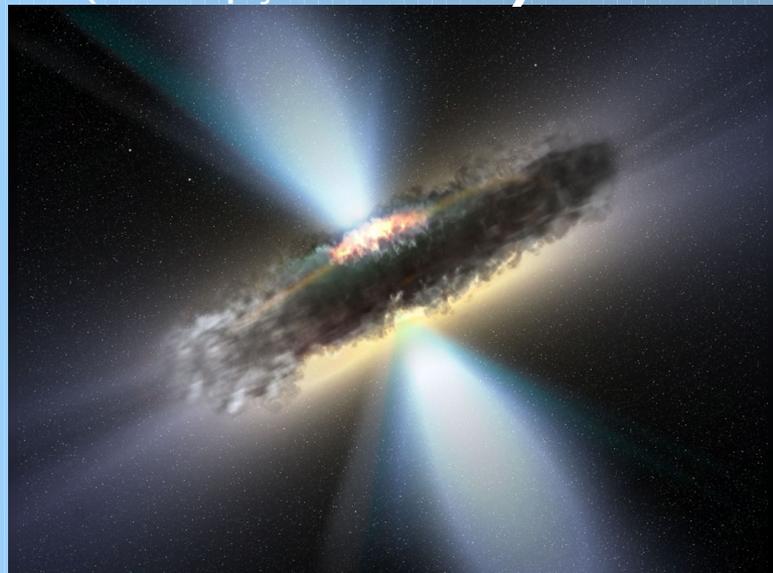
**Radiogaláxias:** São radiofontes muito intensas, nas quais o meio galáctico pode ser distinguido do núcleo.



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

# Modelo Unificado para os AGNs

O toro de poeira:  
(concepção artística)



# Calculando a Massa dos BN's supermassivos

- Se há um BN no centro de uma galáxia, uma massa  $m$  (estrelas ou gás) em equilíbrio virial no seu potencial gravitacional obedece a relação:

$$2T + U = 0 \Rightarrow mv^2 = \frac{GMm}{R} \Rightarrow M = \frac{Rv^2}{G}$$

onde  $M$ =massa do BN;  $v$ =velocidade da massa de prova  $m$ ;  
 $R$ =raio de sua órbita.

*Observações com o Telescópio Espacial Hubble mostraram que todas galáxias vizinhas que possuem bojo, possuem BNS, mesmo sendo não-ativas*

# Buracos negros no núcleo de todas as galáxias?

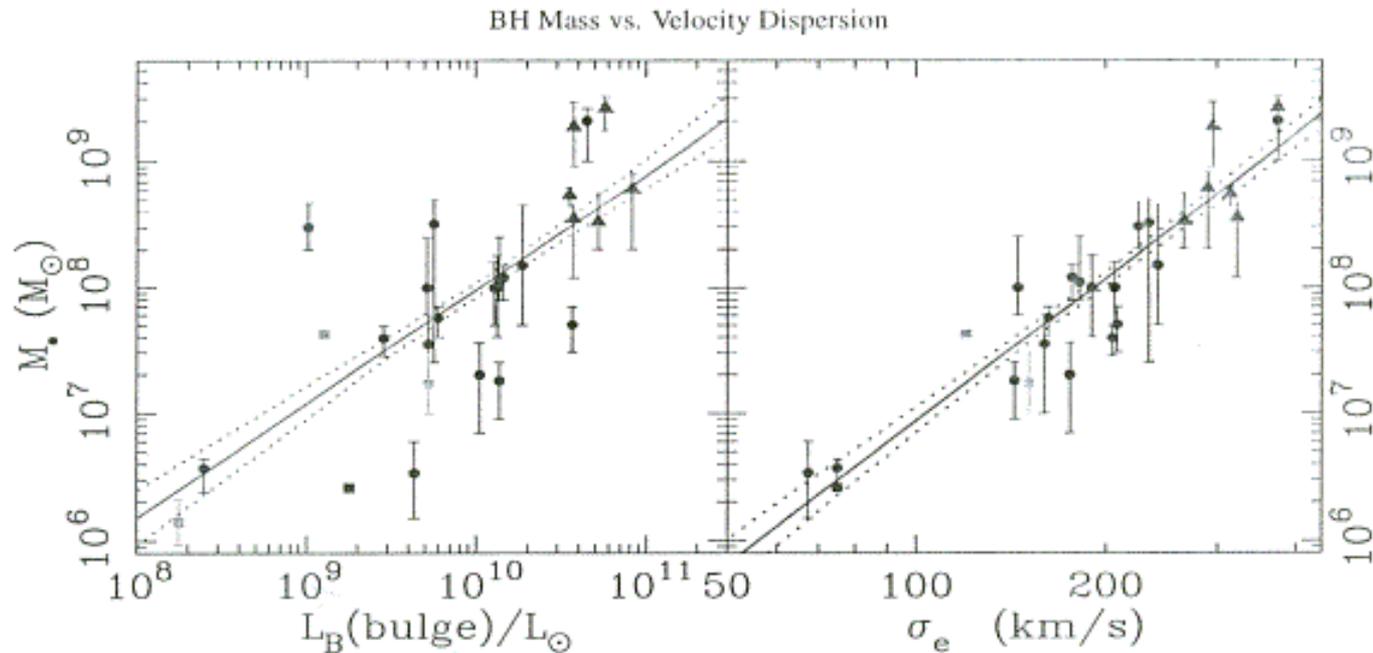


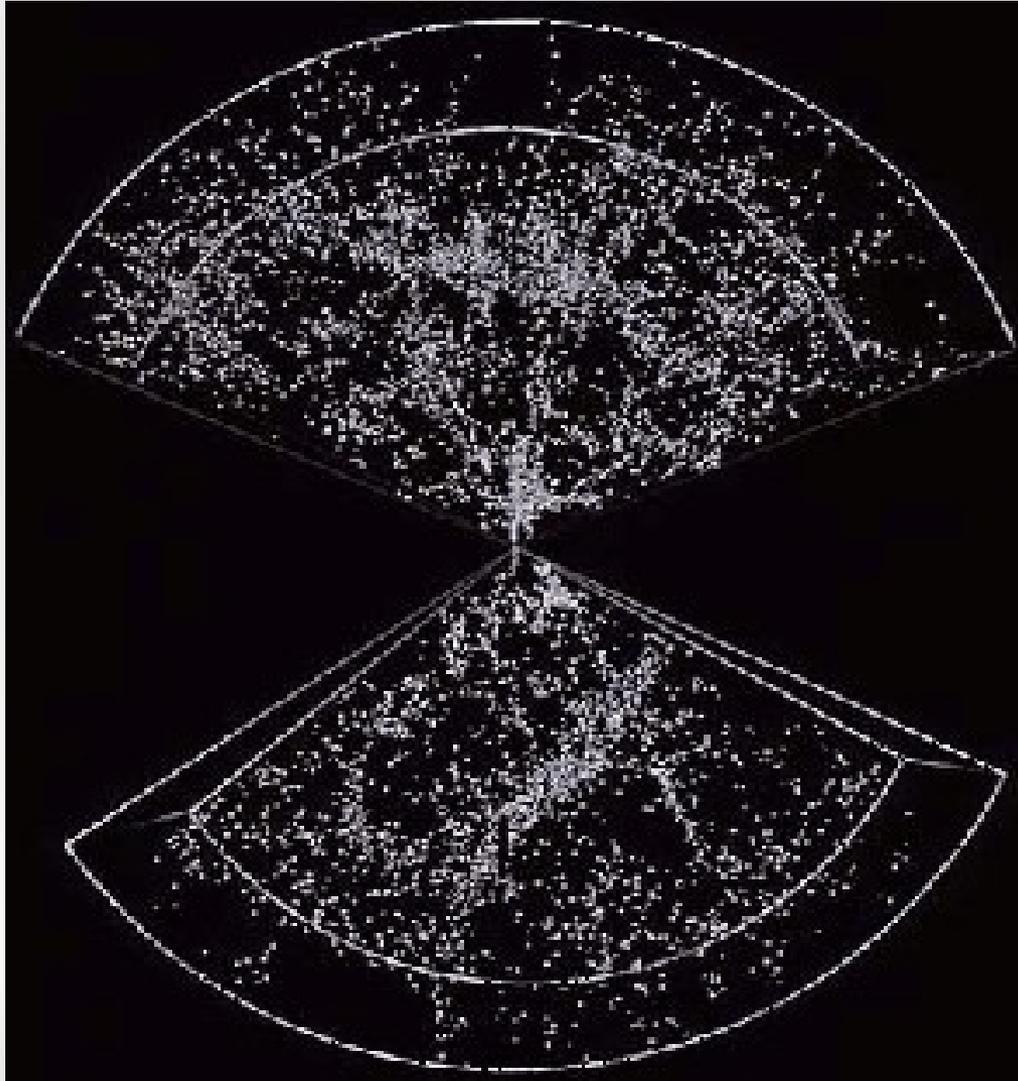
FIG. 2.— Black hole mass versus bulge luminosity (left panel) and the luminosity-weighted aperture dispersion within the effective radius (right panel). There are 26 points in the dispersion plot; 13 are new detections from stellar kinematics (Gebhardt *et al.* 2000b, Bower *et al.* 2000). Green squares denote galaxies with maser detections, red triangles come from gas kinematics, and blue circles are from stellar kinematics. Solid and dotted lines are the best-fit correlations and their 68% confidence bands.

Ferrarese and Merrit (2000) e Gebhardt et al. (2000) encontraram que massa do BN é proporcional à massa do bojo  $\Rightarrow$  sempre que há bojo há BNS!

# Universo em Grande Escala

## Paradoxo de Olbers

# O Universo em grande escala



# O Universo em Grande Escala

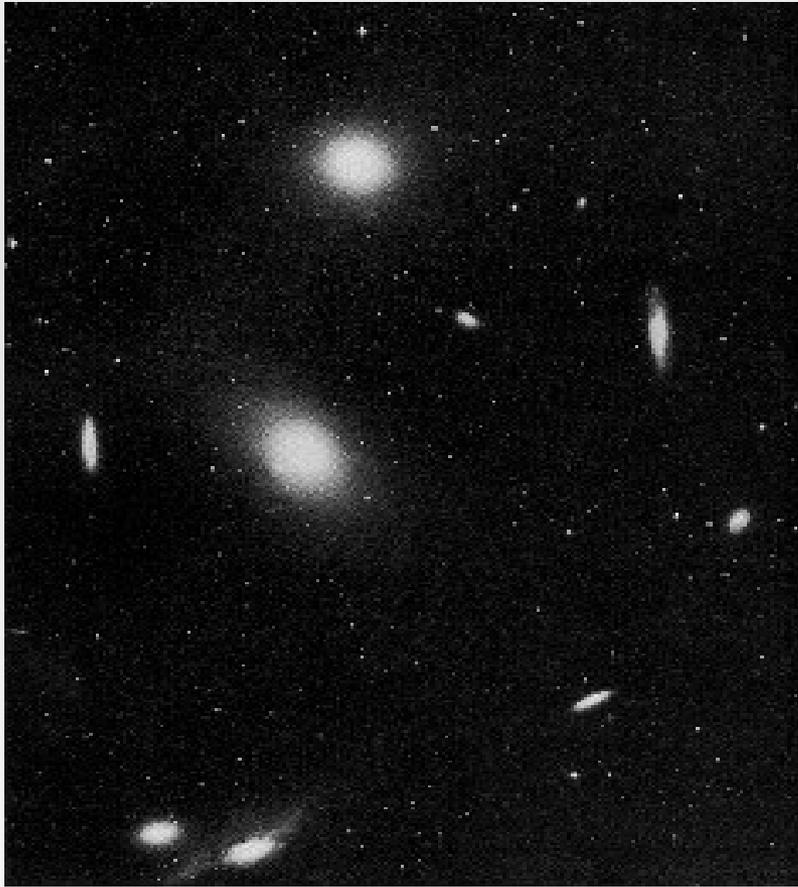
Não vivemos no centro do Universo!

No começo de 1900 descobrimos que vivemos num:

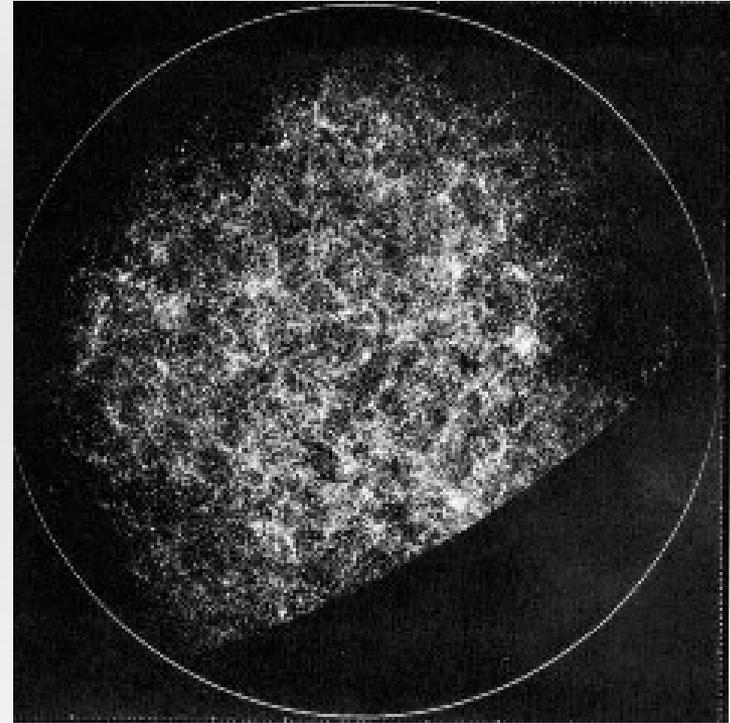
planeta nada excepcional, próximos a uma estrela comum localizada na periferia de uma galáxia normal, em um grupo de galáxias (grupo local), localizado na periferia de um grande cúmulo de aglomerados (superaglomerado local – centrado no aglomerado de Virgem).

Somos insignificantes frente ao universo!!!

# O Universo em Grande Escala



Aglomerado de Virgem



Universo em Grande Escala

# O Universo em Grande Escala

**Slipher** - Em 1912 estudou o espectro de M31 e concluiu que ela está se aproximando de nós com  $v=300\text{km/s}$  (blueshift);

- Estudou + 41 galáxias (2 décadas) e concluiu que quanto mais fraca era a fonte (+ distante) maior era o redshift.

**Hubble** - em 1929, medindo o redshift nas linhas espectrais das galáxias e medindo suas distâncias.

- descobre que as galáxias estavam se afastando com velocidades proporcionais à sua distância, isto é, quanto mais distante a galáxia, maior sua velocidade de afastamento.

# O Universo em Grande Escala



1929 primeira evidência para a expansão do Universo.

já predita:

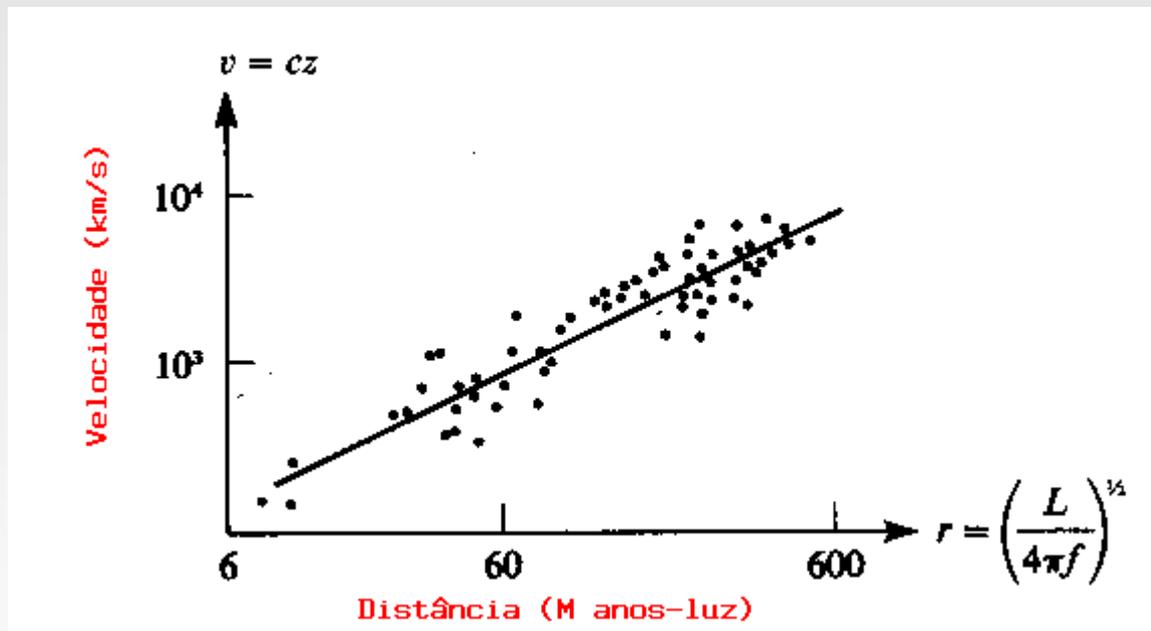
Pelo russo Alexander Friedmann (1888-1925) em dois artigos publicados em 1922 e 1924,

Pelo belga Georges-Henri Édouard Lemaître (1894-1966) em 1927.

# 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) ~ 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

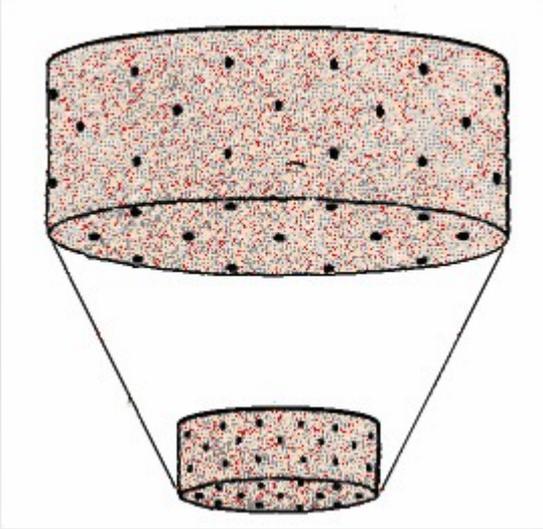
galáxias a 11 Mpc têm velocidade de recessão de 780 km/s

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

etc... Conclusão

**O universo está em expansão!**

# O Universo em Grande Escala



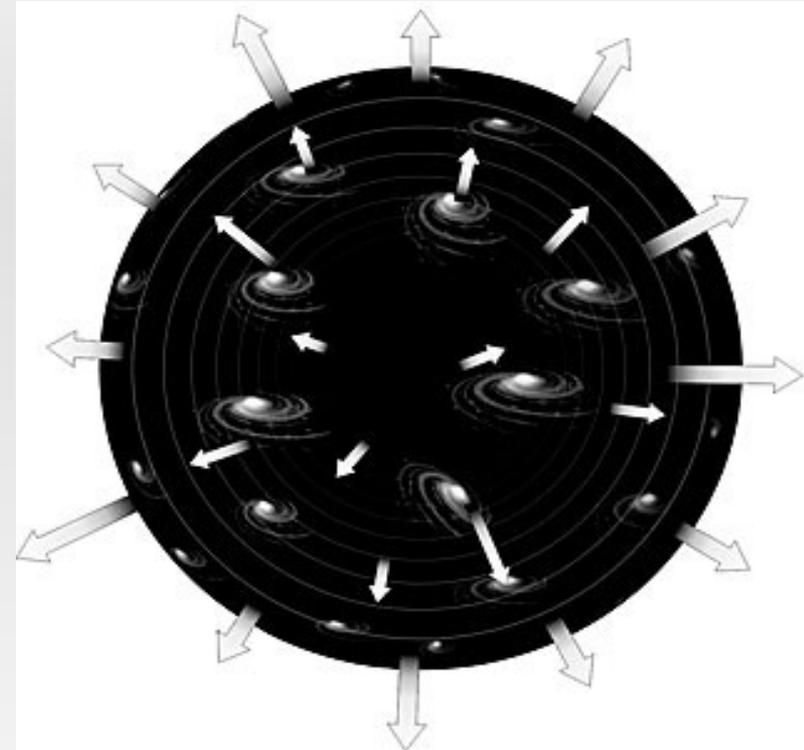
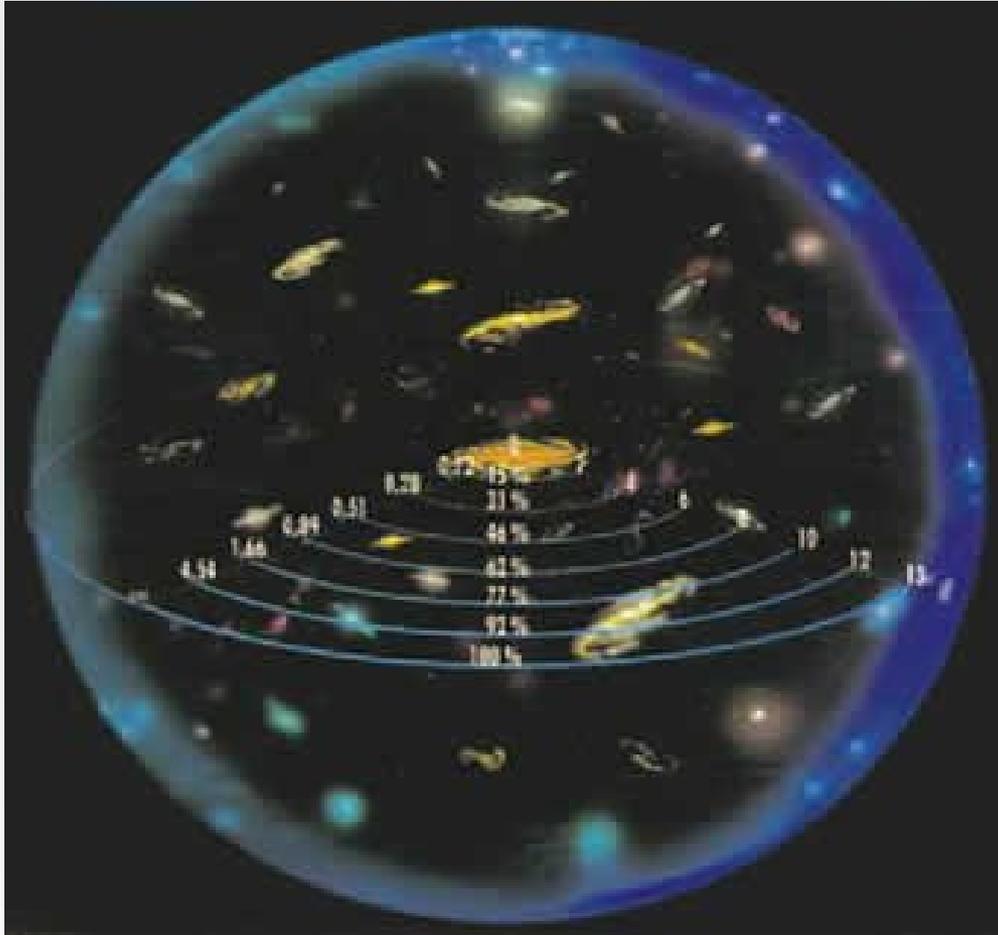
**Em um bolo de passas em crescimento, todas as passas se afastam umas das outras... As passas não se movem dentro do bolo, os espaços entre elas que aumentam.**

Ou seja,

**A expansão do universo não é uma expansão das galáxias no espaço, mas uma expansão do próprio espaço.**

**A expansão do universo não tem centro, qualquer observador, em qualquer lugar, vê a mesma expansão.**

# O Universo em Grande Escala



Recessão das galáxias.

# O Universo em Grande Escala

O Universo em expansão:

Implicações

O universo não tem bordas

O universo não tem centro

O Princípio Cosmológico:

O Universo é HOMOGÊNEO e ISOTRÓPICO.

**homogeneidade:** não existe lugar especial no universo (em larga escala, a distribuição de galáxias é uniforme)

**isotropia:** não existe direção especial no universo. A aparência do universo é a mesma, em qualquer direção, para qualquer observador.

# A constante de Hubble ( $H_0$ ) e a idade do universo ( $t_0$ )

Como podemos estimar a idade do universo?

Seja:  $t_0$  = tempo que as galáxias distantes, movendo-se à mesma velocidade de hoje, teriam levado para chegar aonde estão.

$$v = H \times d$$

Mas

$$v = d/t_0$$

$$t_0 = H^{-1}$$

# A constante de Hubble ( $H_0$ ) e a idade do universo ( $t_0$ )

$H_0$  está medido entre:

57 km/s/Mpc e 78 km/s/Mpc

$t_0 \leq 12$  a 17 bilhões de anos

$$t_0 = H^{-1}$$

Consistente com o valor derivado para anãs brancas de aglomerados globulares: 12 e 14 bilhões de anos

# O Paradoxo de Olbers

## Por que o céu é escuro à noite?

Num universo uniformemente populado com galáxias cheias de estrelas, que seja:

homogêneo, isotrópico;

infinito e invariável no espaço e no tempo.



# O Paradoxo de Olbers

Número de estrelas aumenta com a distância ( $\propto R^2$ )

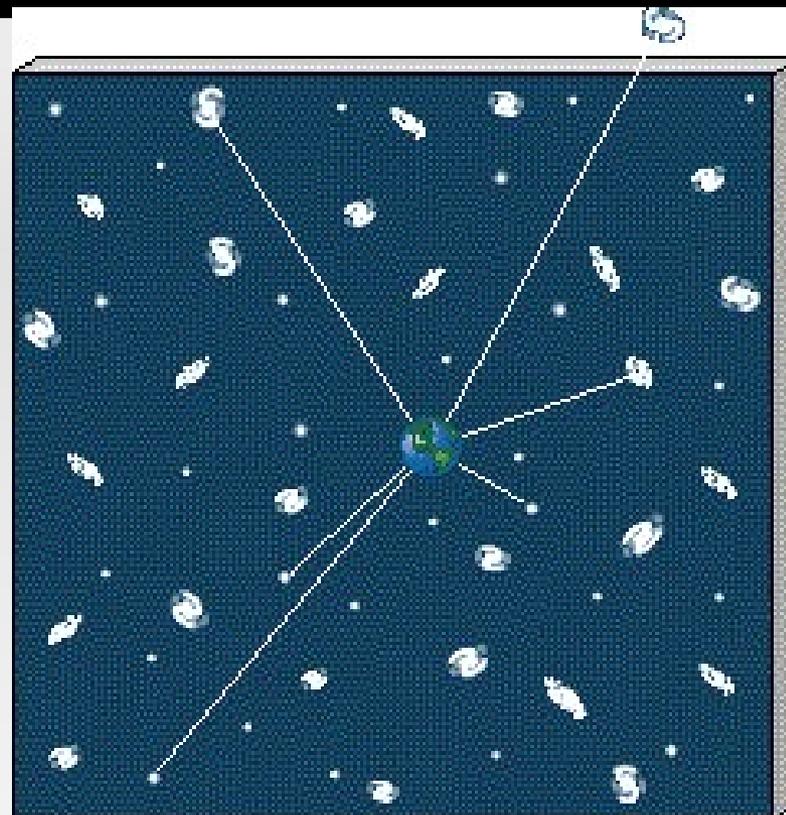
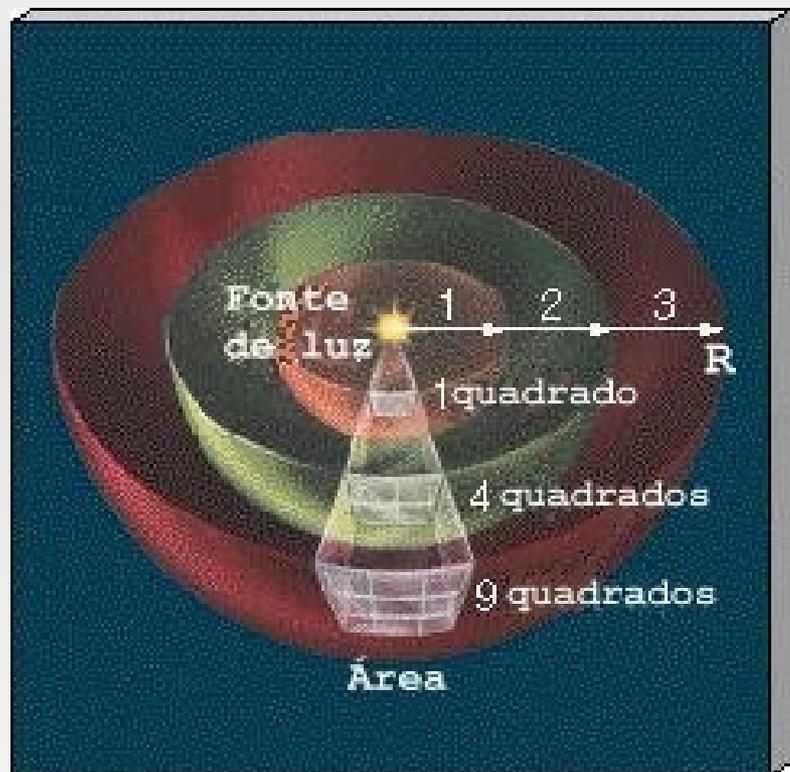
O tamanho angular de uma estrela cai com a distância ( $\propto R^{-2}$ ),

O céu deveria ser totalmente coberto de estrelas, sem espaços entre elas.

À medida que um observador olha mais longe, vê um número de estrelas que cresce com o quadrado da distância

A linha de visada interceptaria uma estrela em qualquer direção que se olhasse!

# O Paradoxo de Olbers



Analogia com a floresta:

De dentro da floresta, as árvores próximas estão espaçadas entre elas; as distantes não.

# O Paradoxo de Olbers

Conclusão:



Mantendo o princípio cosmológico, então o universo:  
não é infinito no espaço,  
ou não é infinito no tempo  
ou nenhum dos dois!

# O Paradoxo de Olbers

Solução do paradoxo:

O universo não é infinito no tempo.

Mesmo se o universo fosse infinito no espaço, como a luz tem uma velocidade finita, a luz das estrelas mais distantes do que (idade do universo  $\times$  a velocidade da luz) não teria tempo de chegar até nós.