

Galáxias no Universo

Profa. Thais Idiart

Departamento de Astronomia

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Universidade de São Paulo



A espinha dorsal do céu

(povo Kung – Africa do Sul)



Um mosaico de fotos mostrando todo o disco da Via Láctea



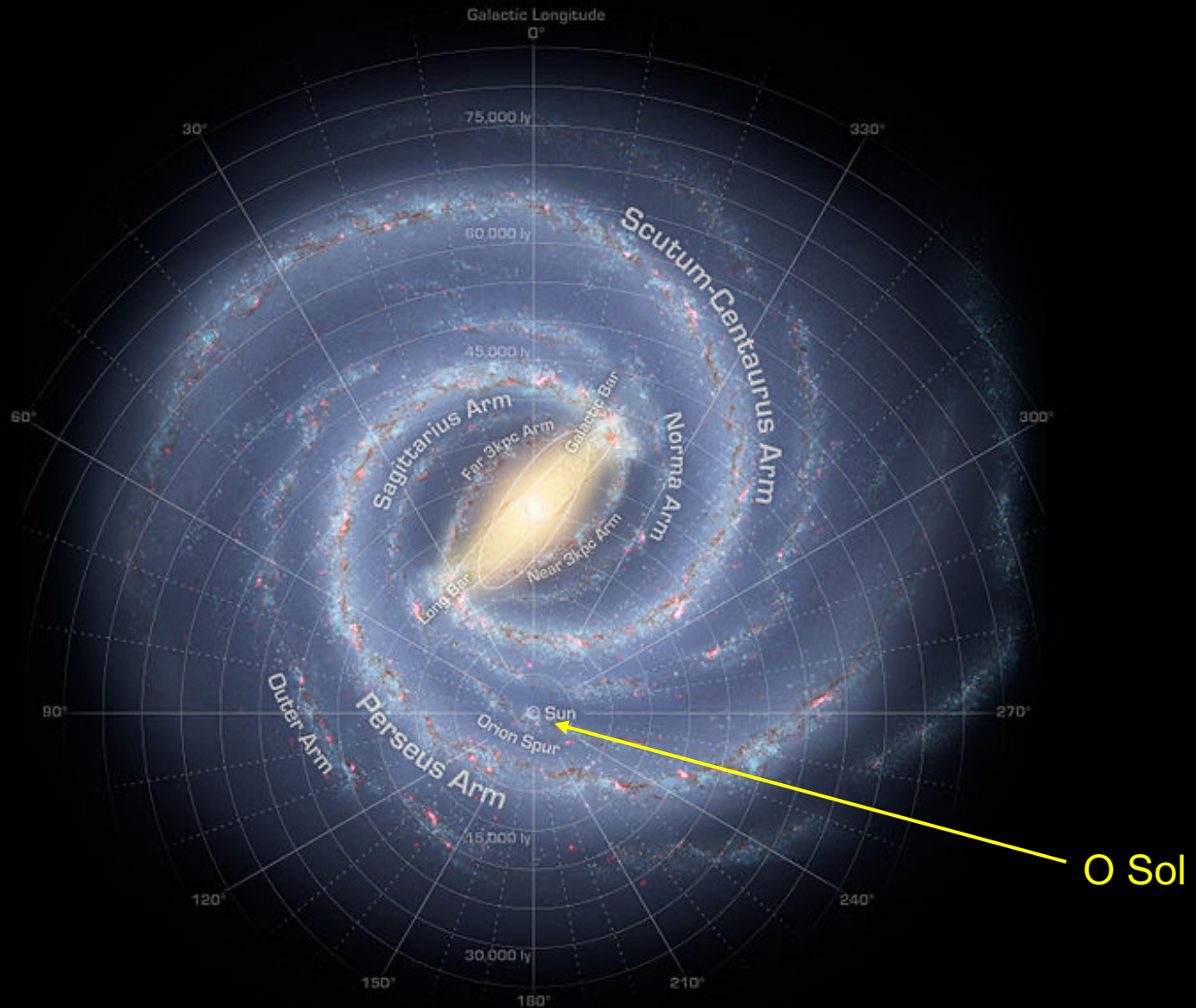
Definição:

Uma galáxia é um conjunto de matéria estelar e interestelar - estrelas, gás, poeira, estrelas de nêutrons, buracos negros – isolado no espaço e mantido junto pela sua própria gravidade.

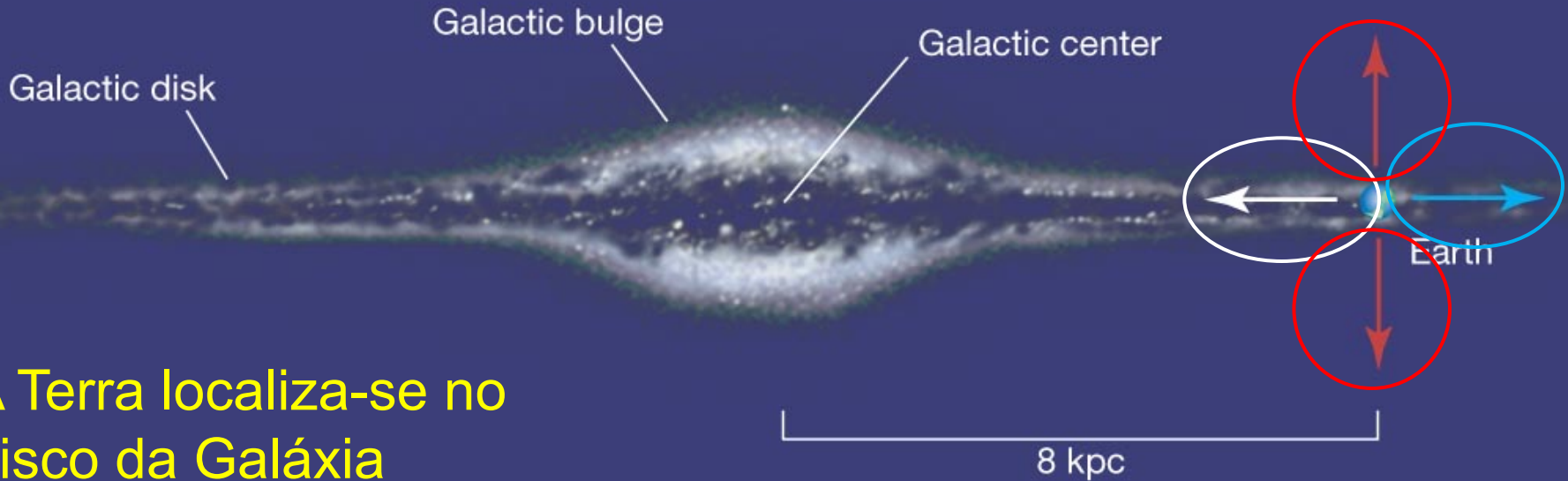
As últimas estimativas indicam que o número total de galáxias no **universo observável** é estimado em cerca de **1-2 trilhões**

A nossa galáxia é denominada **Via Láctea** ou simplesmente **Galáxia** com G maiúsculo.

Visão artística da Via Láctea como seria vista de fora, baseada nas posições medidas dos braços espirais e das nuvens de poeira e gás do disco.



Como a Galáxia é observada a olho nu da Terra



Seta branca → grande número de estrelas contidas numa faixa de luz (VIA LÁCTEA)

Seta azul → faixa de luz mais tênue (direção oposta ao centro da Galáxia)

Setas vermelhas → poucas estrelas são vistas

Relembrando:

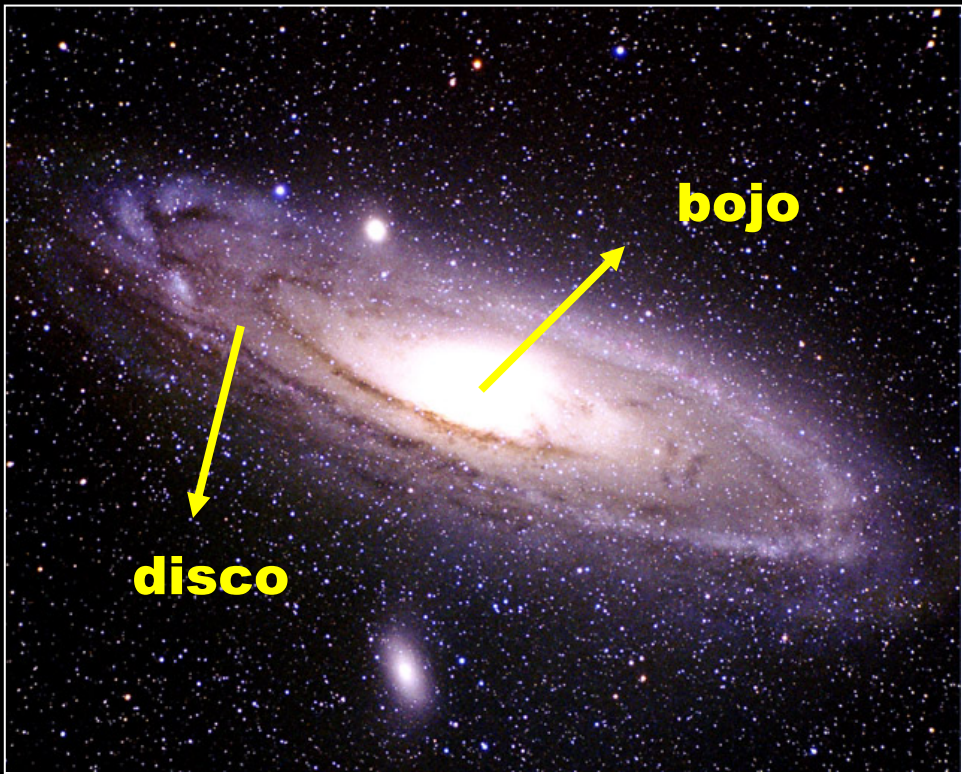
1 ano-luz = $9,5 \times 10^{12}$ (trilhões) de km

1 pc = 3,26 anos-luz

Decifrando a forma da Galáxia

Comparação com outras galáxias distantes

**A
N
D
R
Ô
M
E
D
A**



NGC 2997



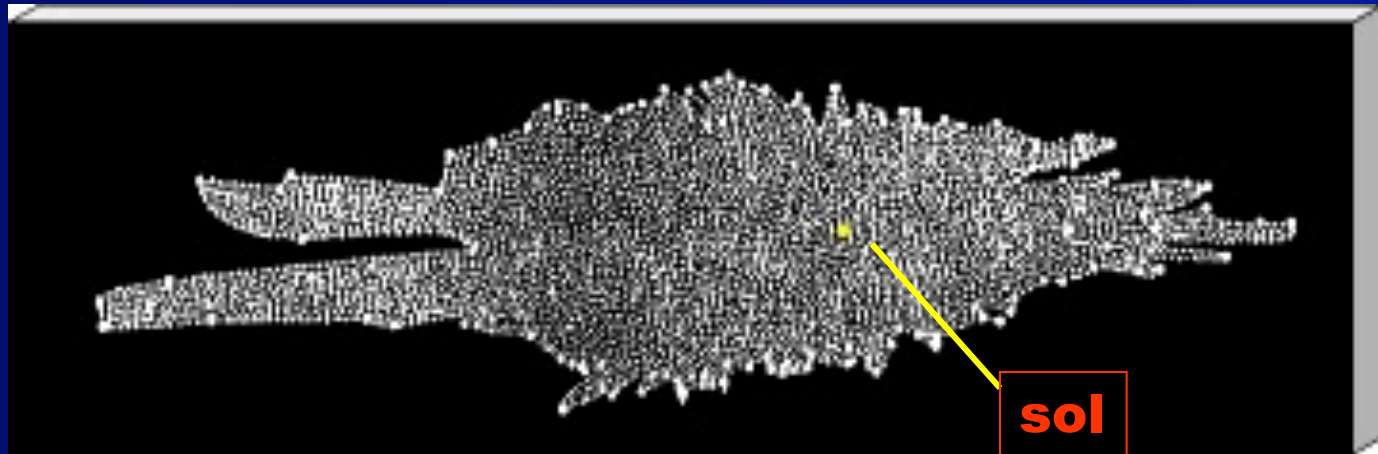
NGC 4565

maior galáxia mais próxima à nossa
a 770 kpc (~2,5 milhões de anos-luz)

Descrivendo e compreendendo a Galáxia

William Herschel (final do século XVIII):

- **Fez uma estimativa do tamanho e forma através da contagem de estrelas em diferentes direções no céu**
- **Assumiu que as estrelas têm brilhos aproximadamente iguais**



Concluiu que o Sol estava perto do centro e a Galáxia tinha formato achatado
Início do século XX: Galáxia com 10 kpc de diâmetro e 2 kpc de espessura

Hoje : Sol longe do centro e Galáxia com algumas dezenas de kpc de diâmetro

A forma e o tamanho da Galáxia

Harlow Shapley (começo do século XX), usando estrelas variáveis para medir distâncias, fez duas importantes descobertas:

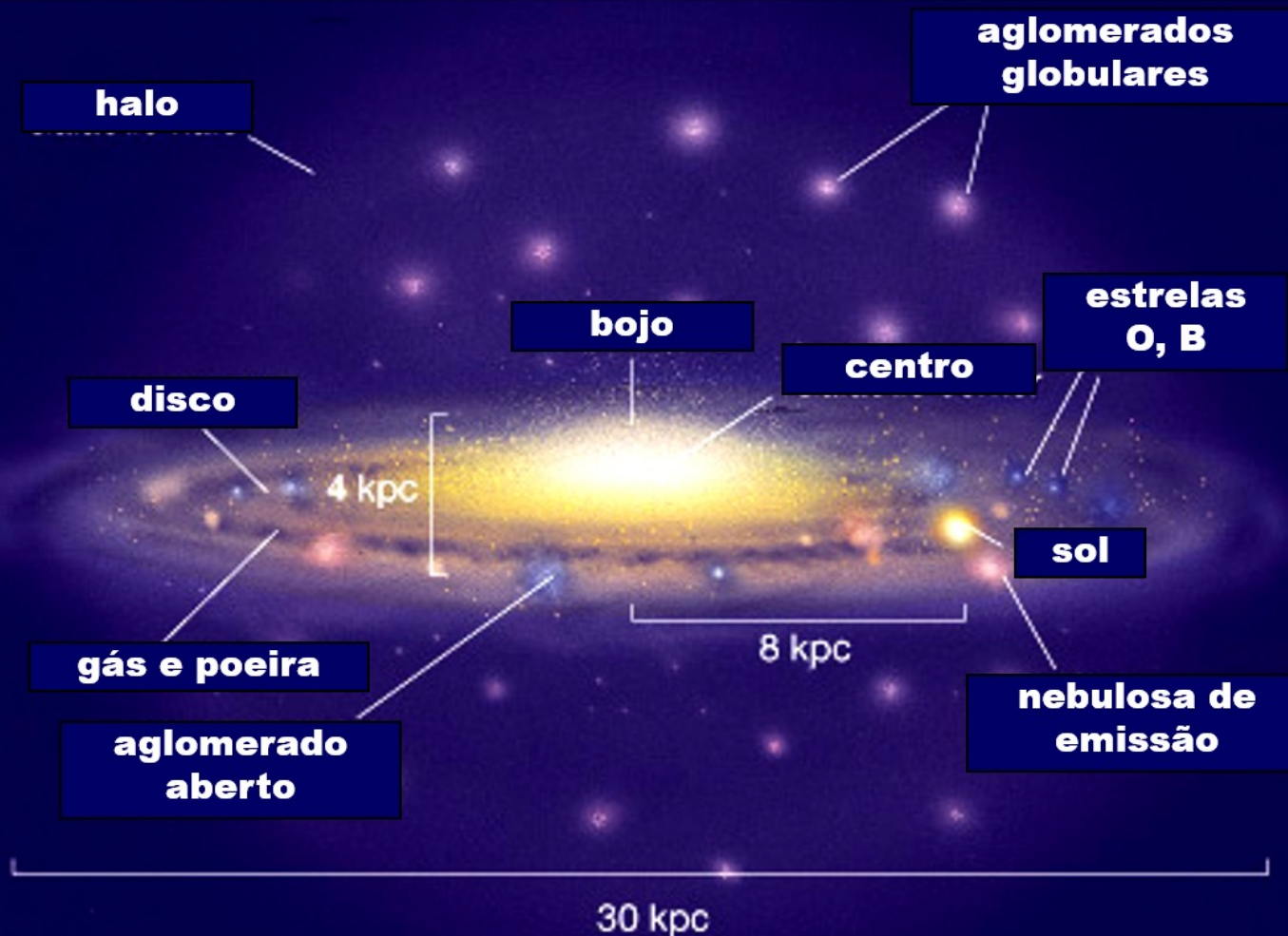
- 1. A maior parte dos aglomerados globulares está a grande distância do Sol (milhares de pc)**
- 2. Os aglomerados ocupam um volume grande e aproximadamente esférico (diâmetro de ~ 30 Kpc), sendo que o Sol NÃO ESTÁ no centro deste volume. A distribuição dos aglomerados representa máxima extensão da distribuição das estrelas na Galáxia**



halo da Galáxia

ESTRUTURA EM GRANDE ESCALA DA GALÁXIA

Baseado em observações no óptico, infravermelho e rádio de estrelas, gás e poeira.

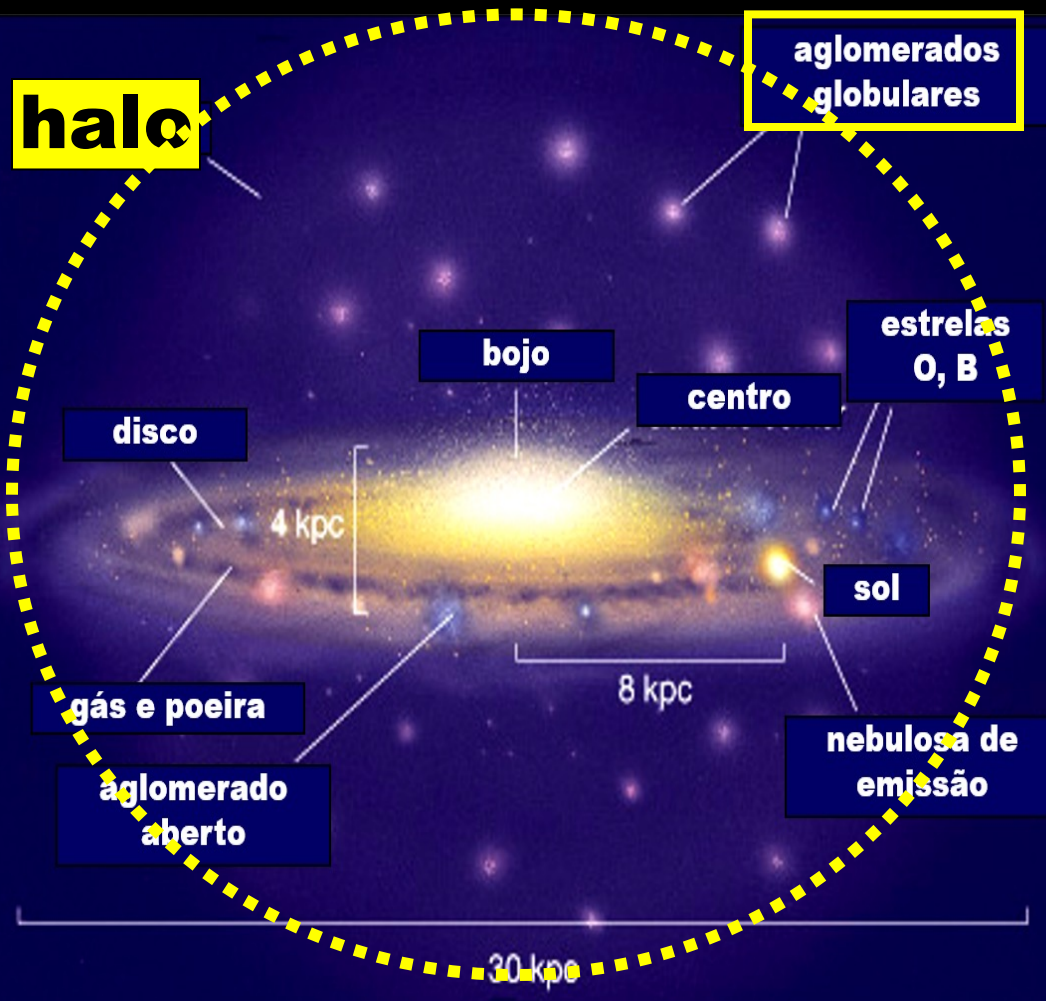


componentes:

- Halo
- Disco
- bojo

HALO

PROPRIEDADES



- Formado por estrelas velhas isoladas ou pertencentes a aglomerados globulares
- não contém nuvens densas de gás ou poeira (atualmente não há formação de estrelas)

Primeira estrutura a ser formada na Galáxia.

DISCO

PROPRIEDADES

- Formado por estrelas velhas (menor proporção) e jovens. As estrelas jovens podem estar isoladas ou em aglomerados abertos.



Disco formado após o Halo

• Contém nuvens densas de gás e poeira

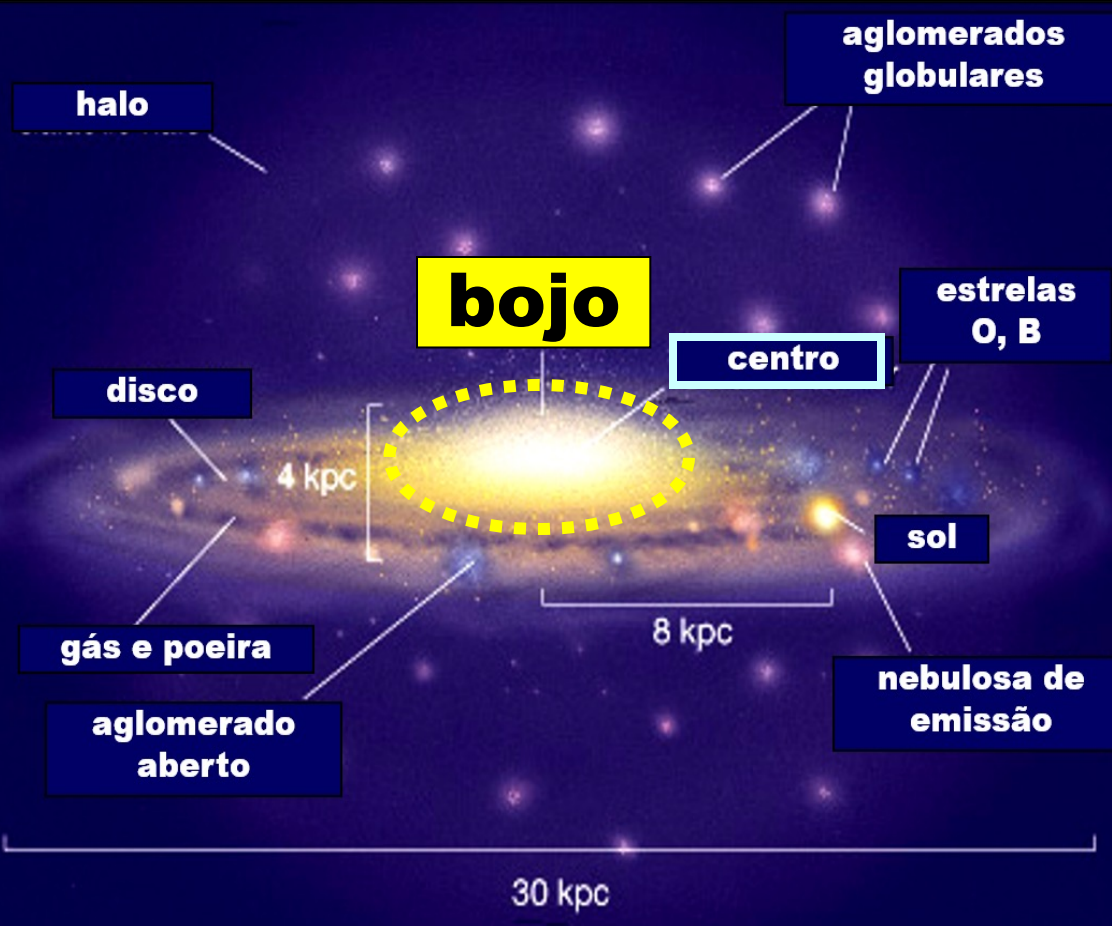


regiões de formação estelar

Contém braços espirais (subestrutura)

BOJO

PROPRIEDADES



- Formado por estrelas velhas e jovens (menor proporção).

- Contém nuvens densas de gás e poeira na região mais interna.

- Contém a barra

Centro da Galáxia:

**Buraco negro
supermassivo central**

A DINÂMICA DA NOSSA GALÁXIA

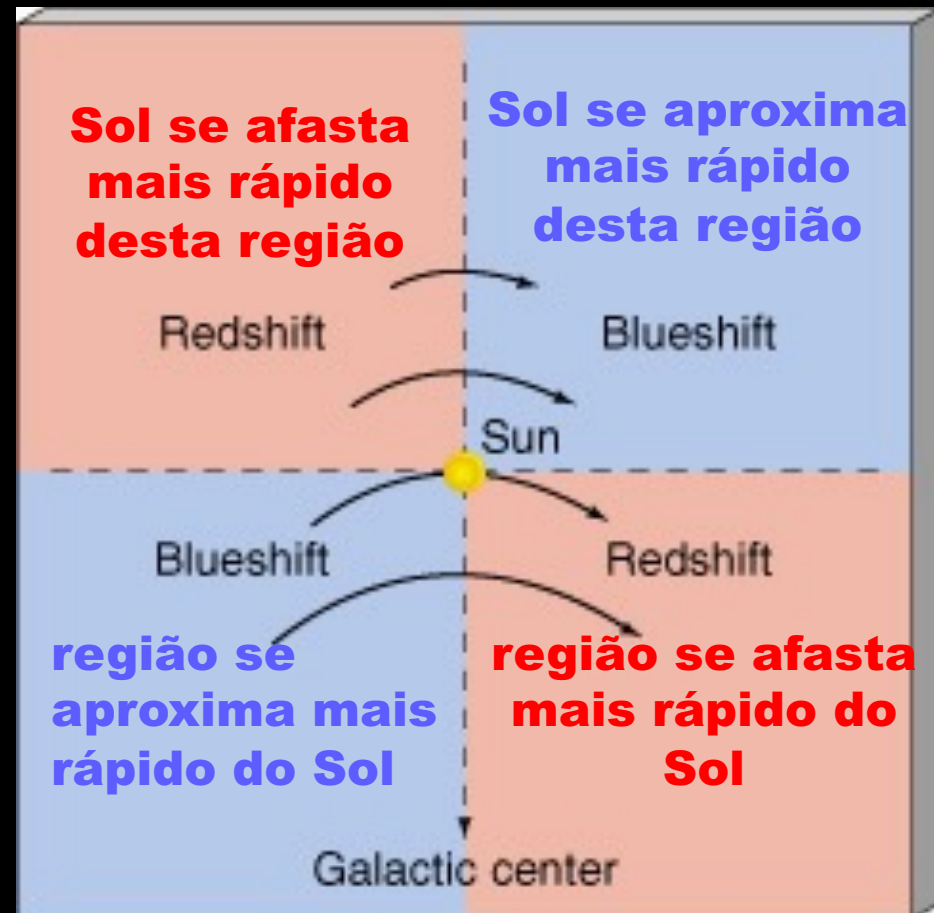
Movimento das estrelas, gás e poeira

Estrelas e gás apresentam movimentos Doppler sistemáticos em qualquer direção

Redshift = afastamento

Blueshift = aproximação

Disco da Galáxia está se movendo de maneira ordenada, em **rotação kepleriana**



Conclusão: o disco está rotando ao redor do centro da Galáxia

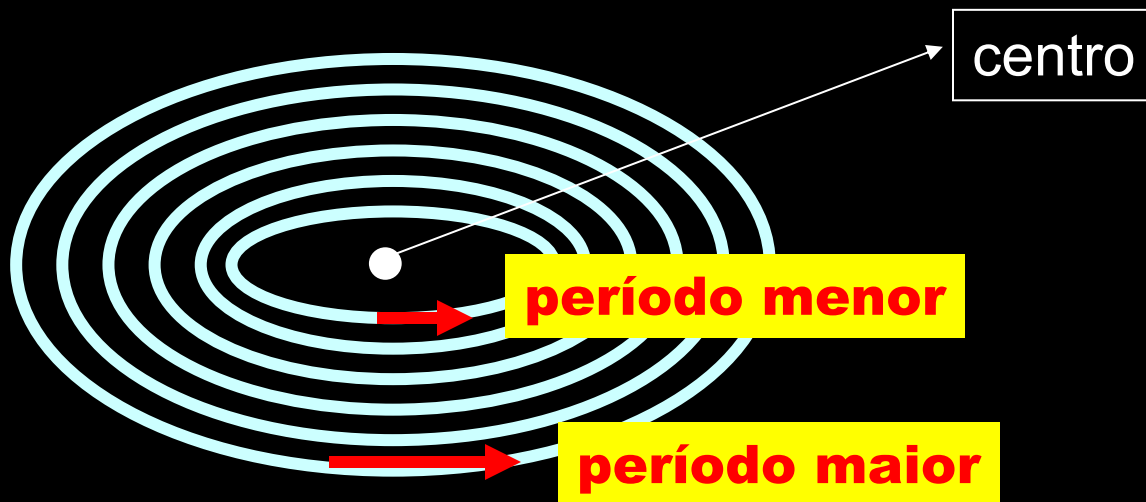
Na vizinhança do Sol a velocidade orbital é de 220 km/s e estamos a 8 kpc do centro.

Supondo uma órbita \approx circular:

$$P = \frac{2\pi r}{v}$$

O material leva \sim 225 milhões de anos para dar 1 volta completa em torno do centro da Galáxia \Rightarrow 1 ANO GALÁCTICO

Em outras distâncias em relação ao centro o período orbital é diferente!



Disco rota diferencialmente!
(não rota como um corpo sólido)

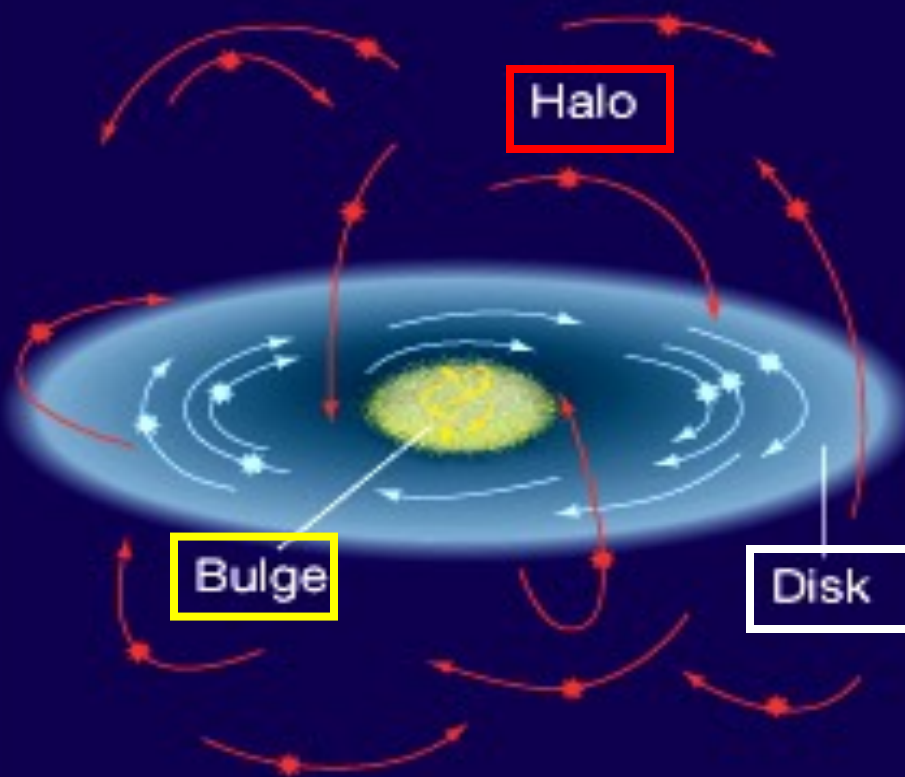
Somente o disco possui movimento orbital ordenado

HALO:

- componente aleatória
>> componente ordenada
- alta excentricidade

BOJO:

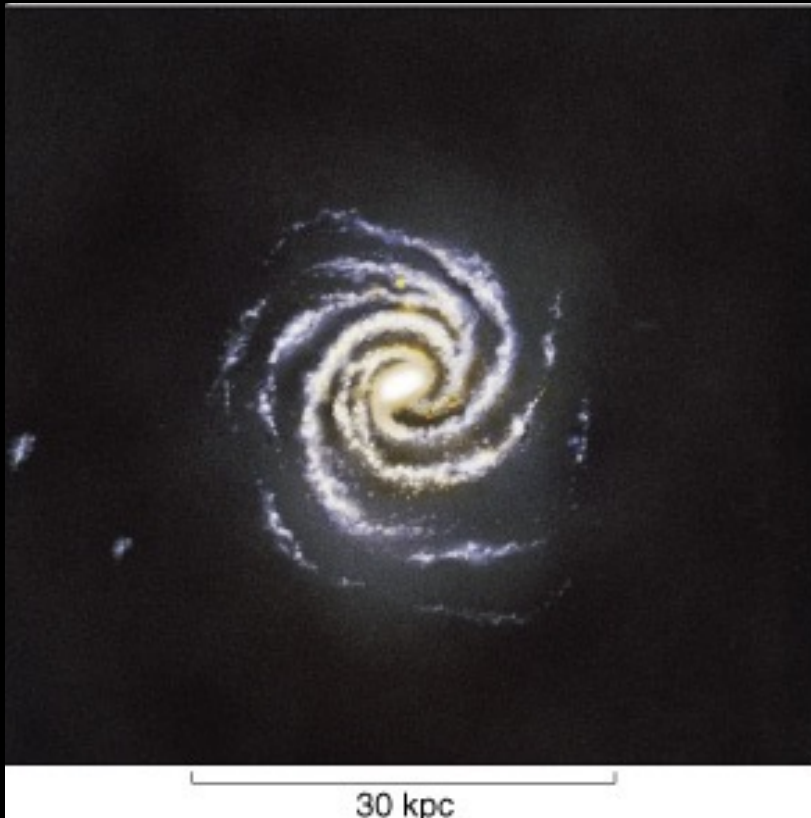
- Componente aleatória menor do que a do halo, porém bem menos ordenado que o disco



OS BRAÇOS ESPIRAIS

A descoberta dos braços espirais da nossa Galáxia foi feita pelo mapeamento da distribuição do seu gás através da radioastronomia

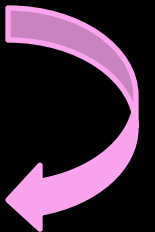
MAPAS DE RÁDIO DA NOSSA GALÁXIA



Diâmetro do disco ~ 30 kpc

Espessura ~ 300 pc (estrelas)
 ~ 140 pc (gás)

VIZINHANÇA SOLAR



FORMAÇÃO E DURAÇÃO DOS BRAÇOS DE ESPIRAIS

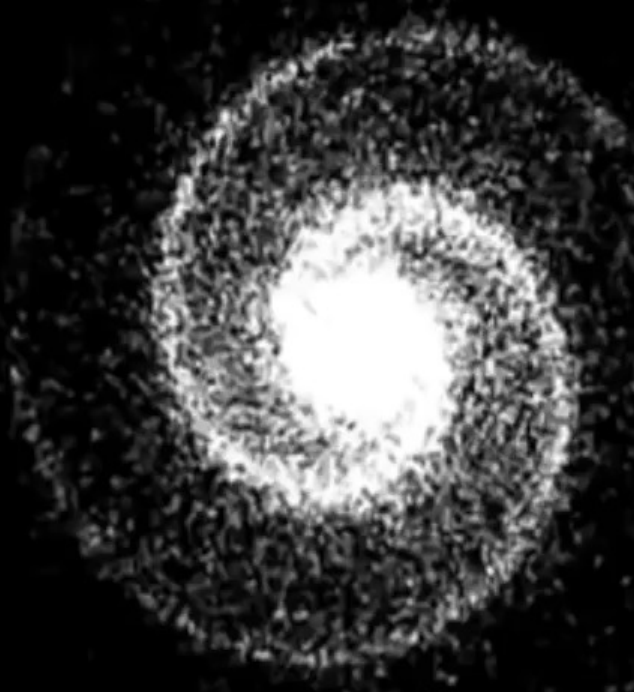
Os braços de espirais são formados por:

- gás
- poeira
- estrelas jovens O e B
- nebulosas de emissão: regiões ligadas à formação recente de estrelas
- aglomerados abertos recém formados

Conclusão: os braços de espirais são regiões estáticas e densas de gás e poeira onde ocorre a maior parte da formação de estrelas. **No entanto esta dedução tem um problema...**

Como as estruturas espirais sobrevivem por longos períodos de tempo??

O disco rota diferencialmente : partes internas levam menos tempo para dar uma volta ao redor do centro do que as externas \Rightarrow braços se “enrolariam” com o passar do tempo



A rotação diferencial faria com que estas estruturas desaparecessem rapidamente ao longo do tempo ($\sim 100 \times 10^6$ anos)...
No entanto não é o que se observa.

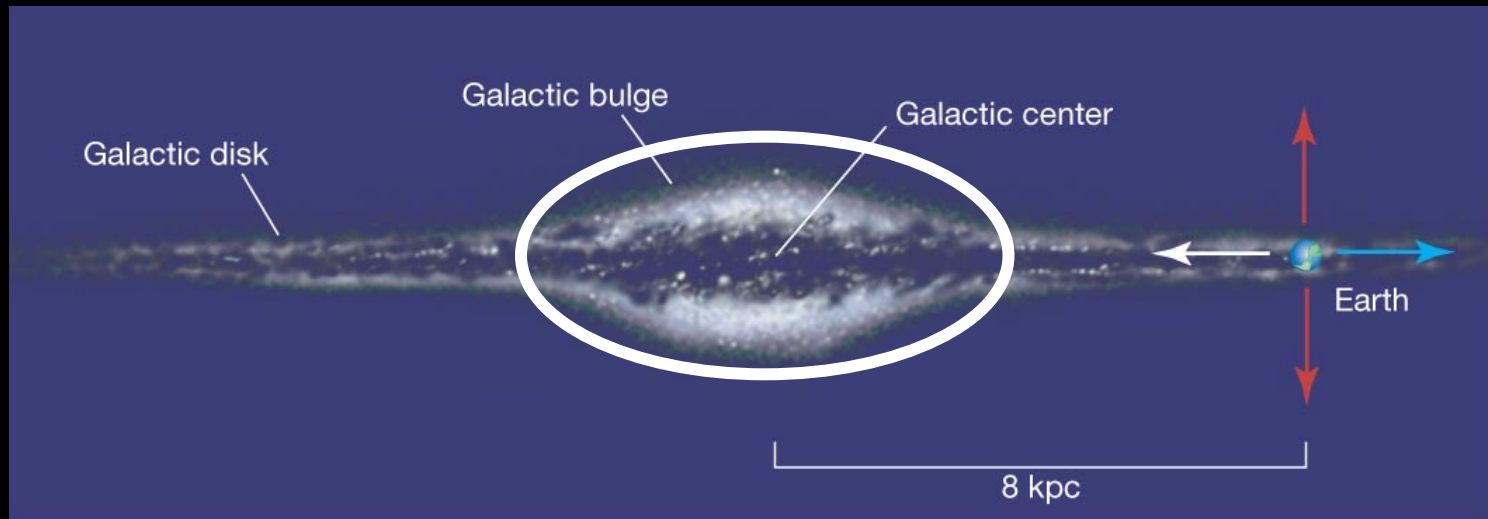
EXPLICAÇÃO: ONDAS ESPIRAIS DE DENSIDADE

Os “braços espirais” na verdade são ondas de pressão que se movem através do disco, comprimindo nuvens de gás e provocando a formação de estrelas. É um efeito análogo às ondas concêntricas produzidas num lago quando se joga uma pedra. Elas não transportam matéria, apenas produzem uma oscilação no nível da água.

O CENTRO DA NOSSA GALÁXIA

Bojos são densamente populados de estrelas : cerca de bilhões de estrelas)

O bojo da nossa Galáxia é difícil de se observar no visível : entre o nosso campo de visão e o centro da galáxia existe o meio interestelar do disco \Rightarrow obscurece a luz visível vinda das estrelas do bojo.
Solução: observações no IR e rádio



Com observações no infravermelho e rádio pode-se observar regiões mais profundas no bojo.

Imagem no infravermelho da direção do centro da Galáxia (direção da const. de Sagitário)

QUADRADO BRANCO

Estas observações indicam uma densidade de ~ 50.000 estrelas por parsec³ na região do quadrado branco

milhões de vezes maior do que a densidade de estrelas na vizinhança solar.

boa probabilidade de haver “encontros de estrelas” ou mesmo colisões!

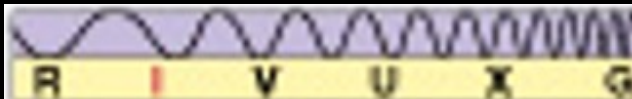
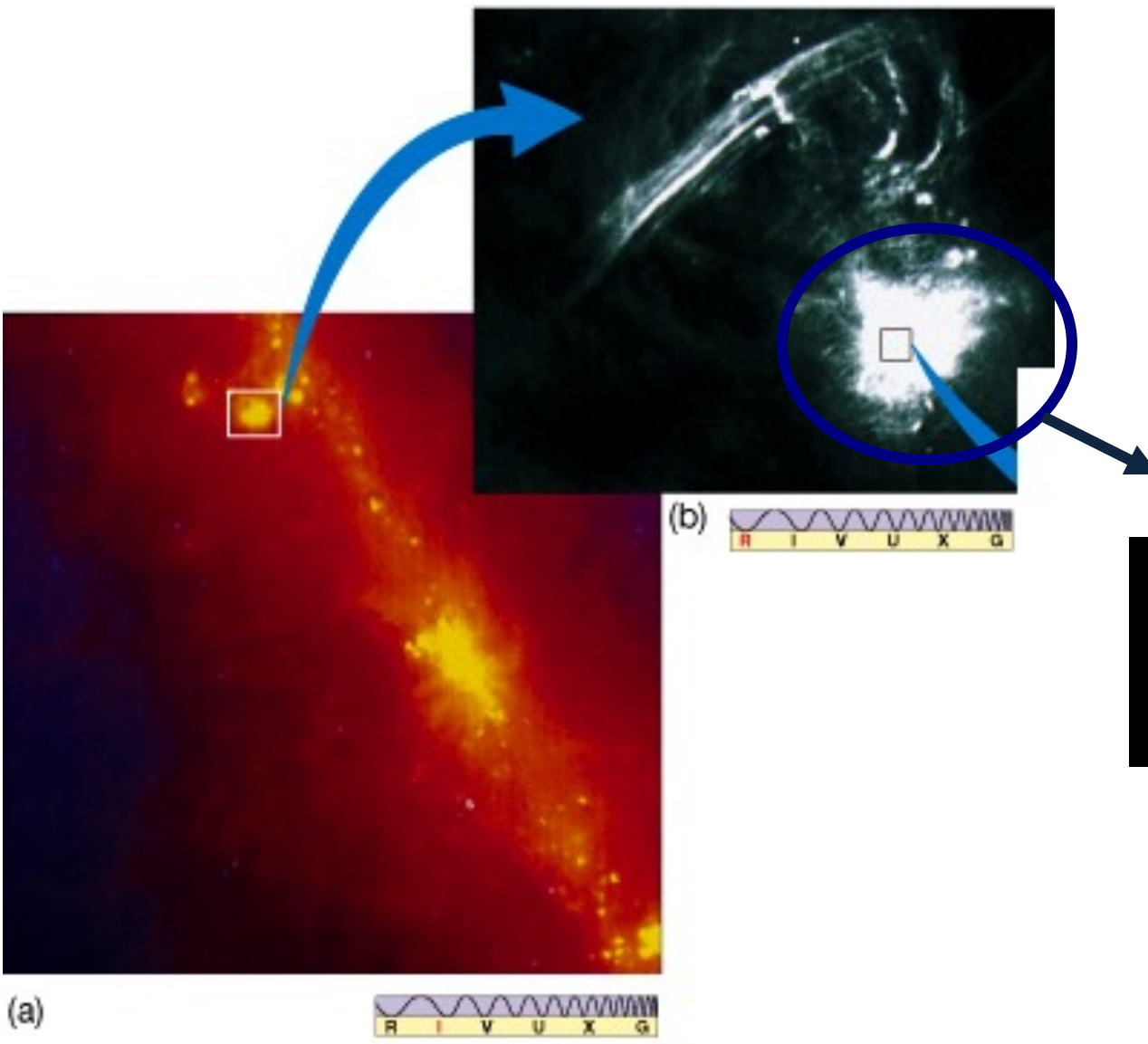
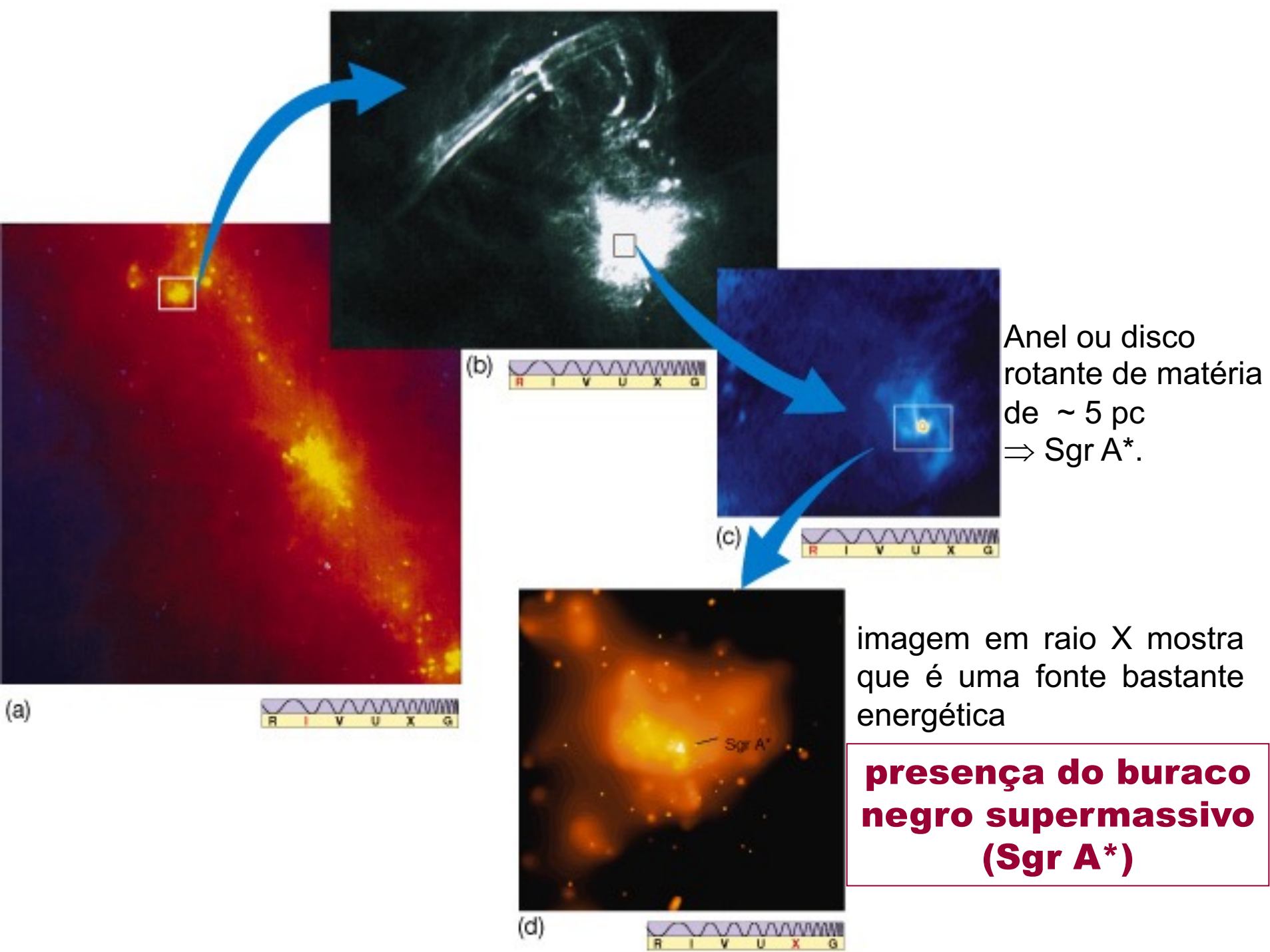


Imagem em rádio mostra zonas ainda mais profundas na direção central da Galáxia: **anel de gás molecular** de ~ 400 pc de diâmetro que contém cerca de $30.000 M_{\odot}$ de material e que rota com velocidade de 100 km/s.



**Fonte brilhante
=
Sagitário A**



Origem da atividade no centro da galáxia (fonte energética)

Medidas espectroscópicas no infravermelho indicam que o gás da região está se movendo em alta velocidade.



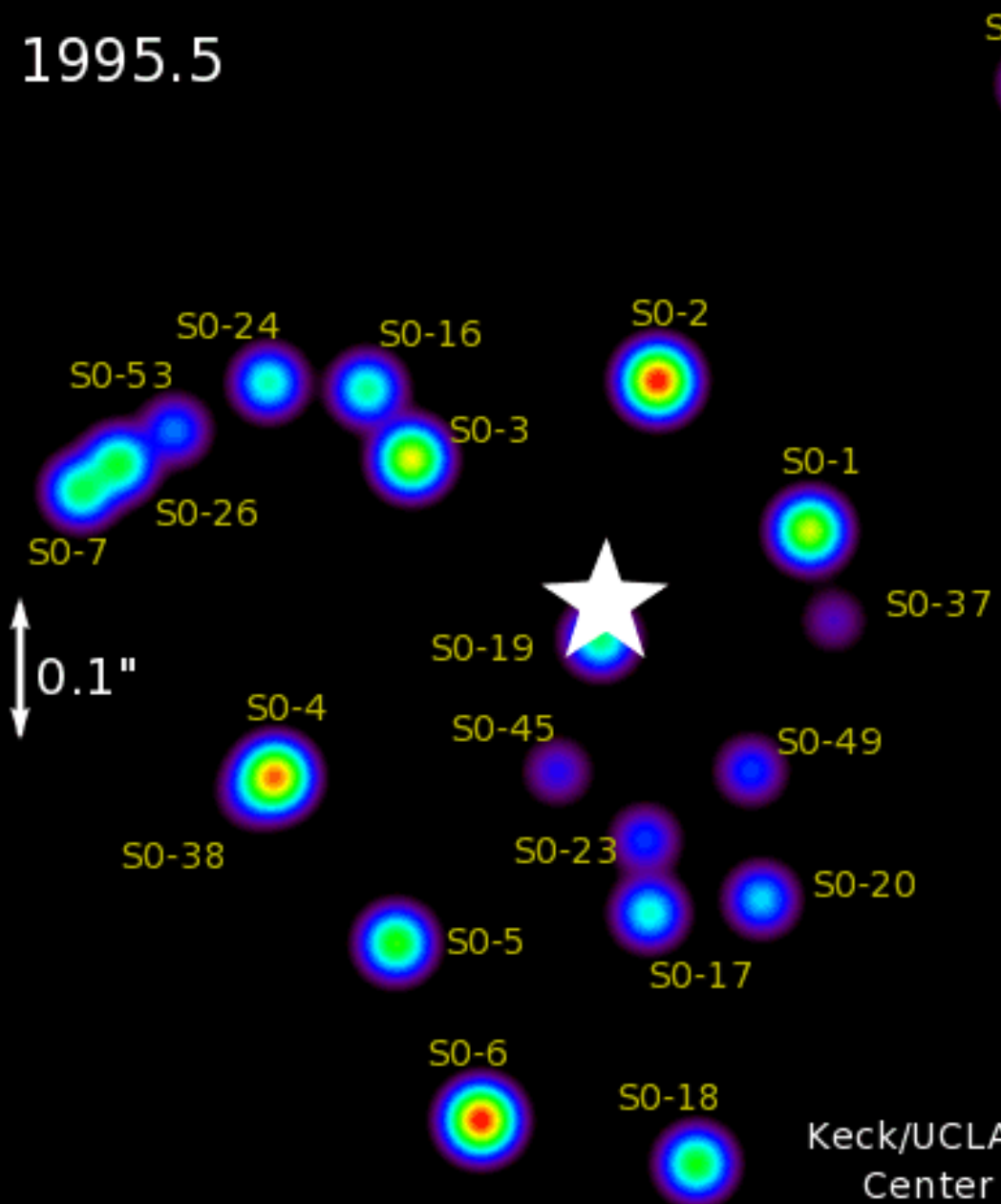
Dada a velocidade do gás, infere-se que para mantê-lo em órbita é necessário que o centro seja bastante massivo $\Rightarrow M > 1$ milhão de M_{\odot} !!!

Estas condições de alta massa e pequeno tamanho de Sgr A* indica a presença de um buraco negro massivo!

Atenção: a fonte de energia não é o buraco negro em si e sim o disco de matéria que está espiralando ao redor do grande potencial gravitacional do buraco negro.

Medidas em alta resolução da órbita de estrelas próximas a Sgr A*

1995.5



Usando a 3ª lei de Kepler
pode-se estimar a massa do
Buraco Negro central da
Galáxia $M \sim 3,3$ milhões de M_{\odot}

$$M(M_{\odot}) = \frac{\text{raio orbital}^3(\text{UA})}{\text{período orbital}^2(\text{anos})}$$

Keck/UCLA Galactic
Center Group

OUTRAS GALÁXIAS



Imagens de galáxias \neq estrelas
imagens das galáxias são mais difusas



estrela

Algumas são espirais como a nossa Galáxia e Andrômeda, outras não.

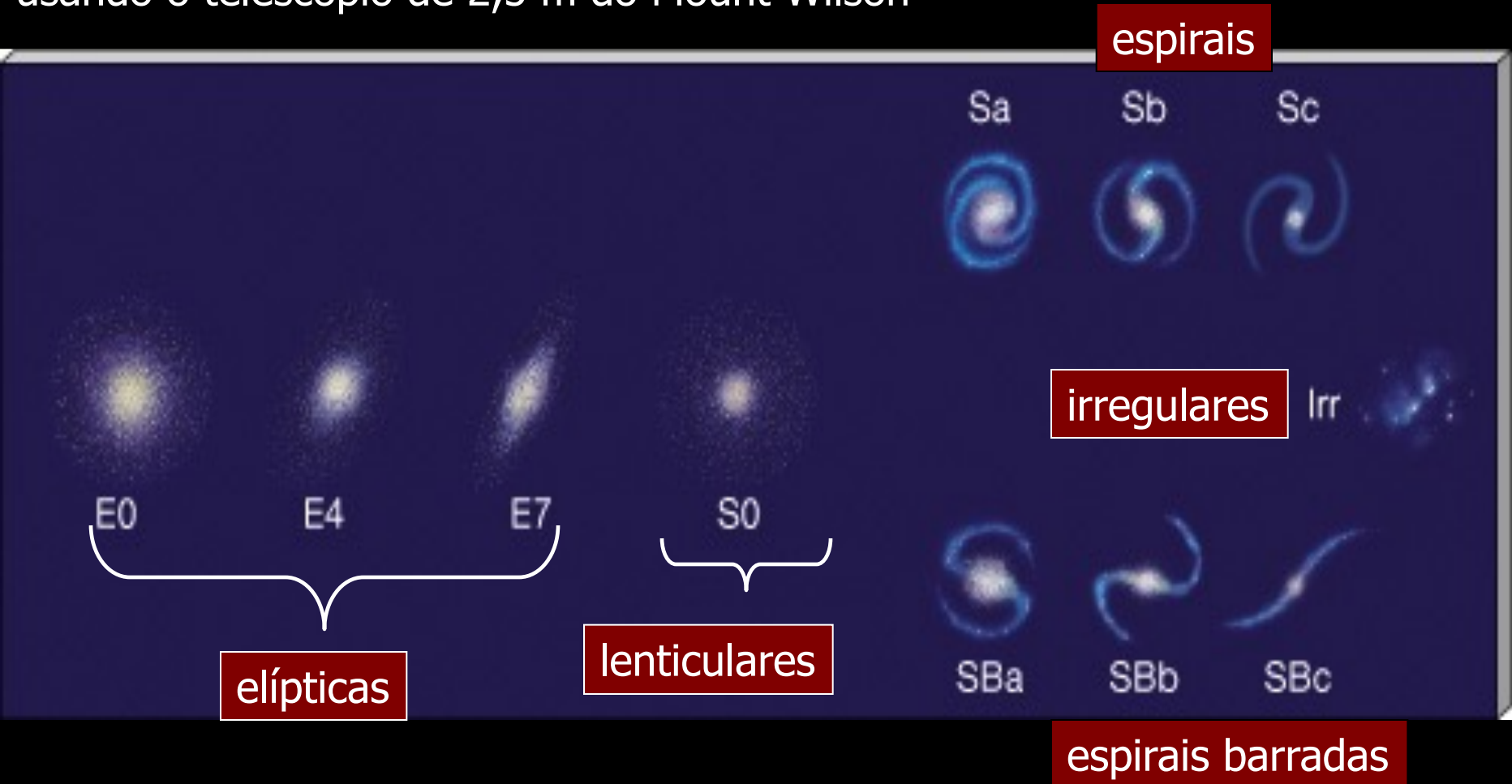


Aglomerado de Coma ~ 3000 galáxias
Está a 100 milhões de parsecs
ou 326 milhões de anos-luz de distância da Terra

MORFOLOGIA: CLASSIFICAÇÃO DE HUBBLE

(classificação quanto à aparência)

Edwin Hubble fez esta classificação em 1924 usando o telescópio de 2,5 m do Mount Wilson



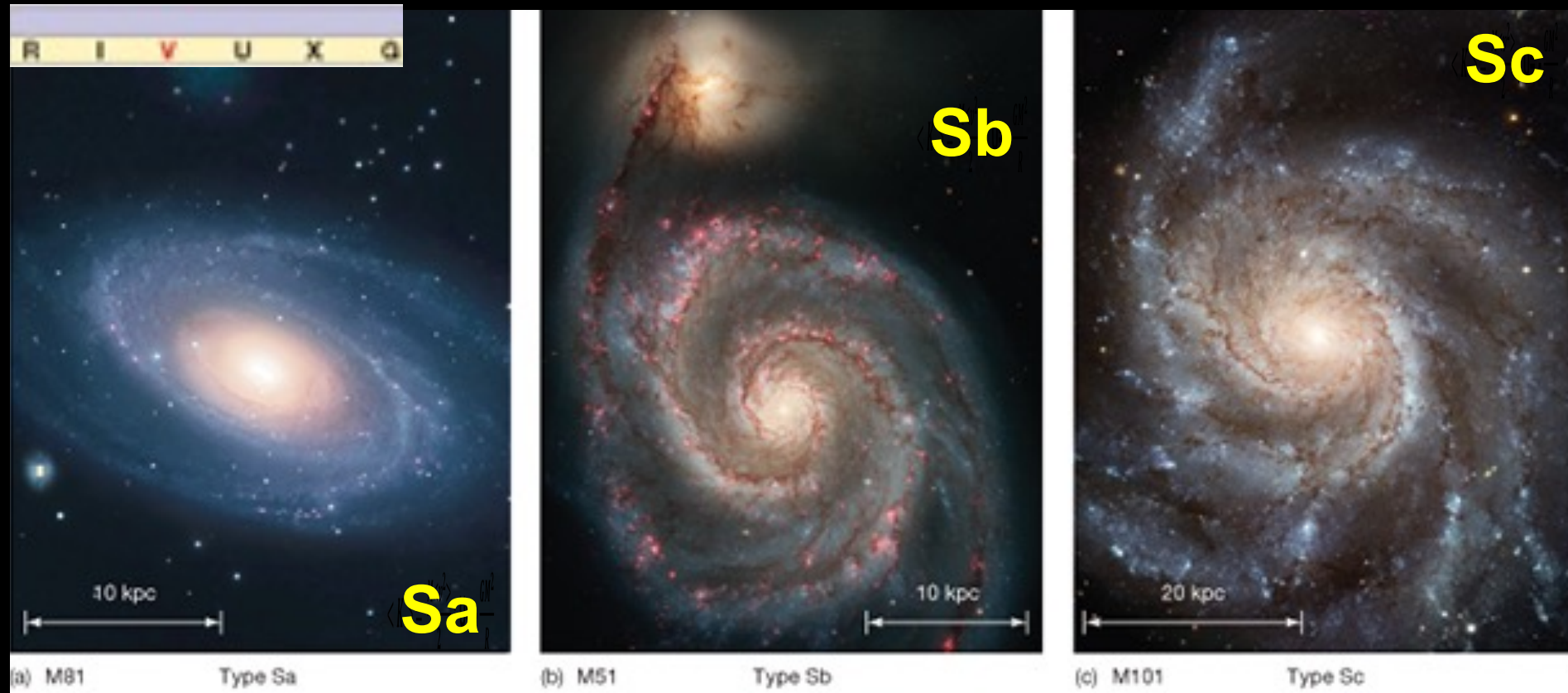


**PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
DOS DIFERENTES TIPOS DE GALÁXIAS**

GALÁXIAS ESPIRAIS

- disco em rotação, braços espirais e bojo
- densidade estelar maior concentrada no bojo
- halo extenso de estrelas velhas e de brilho fraco isoladas e em aglomerados globulares (envolve a galáxia)

Sa, Sb e Sc \Rightarrow classificação de acordo com tamanho do bojo





(a) M81 Type Sa



(b) M51 Type Sb



(c) M101 Type Sc

relação bojo – braços espirais

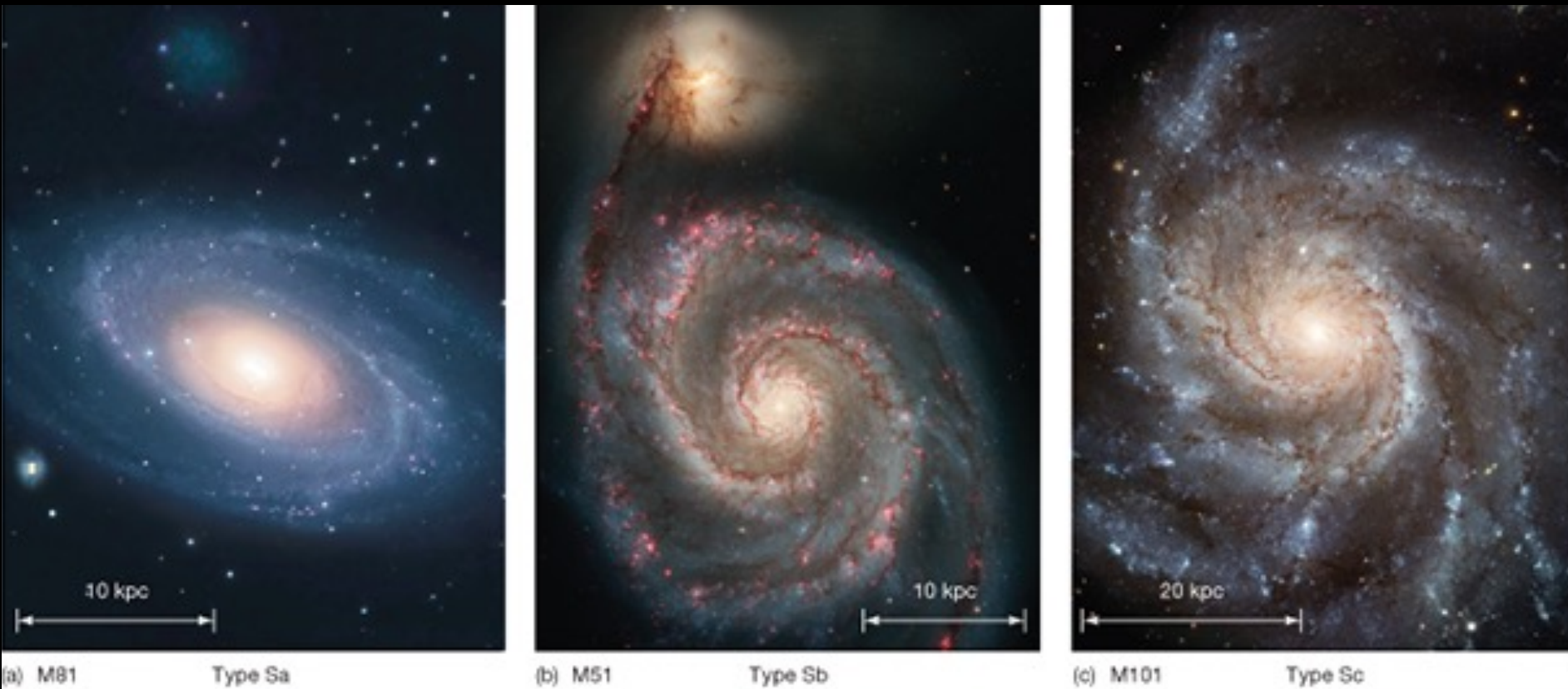
Galáxias Sa (bojos maiores)

espirais quase circulares e pouco delimitadas

Galáxias Sc (bojos menores)

espirais mais espalhadas e mais definidas.

presença maior de “nós” de matéria (estrelas + gás).



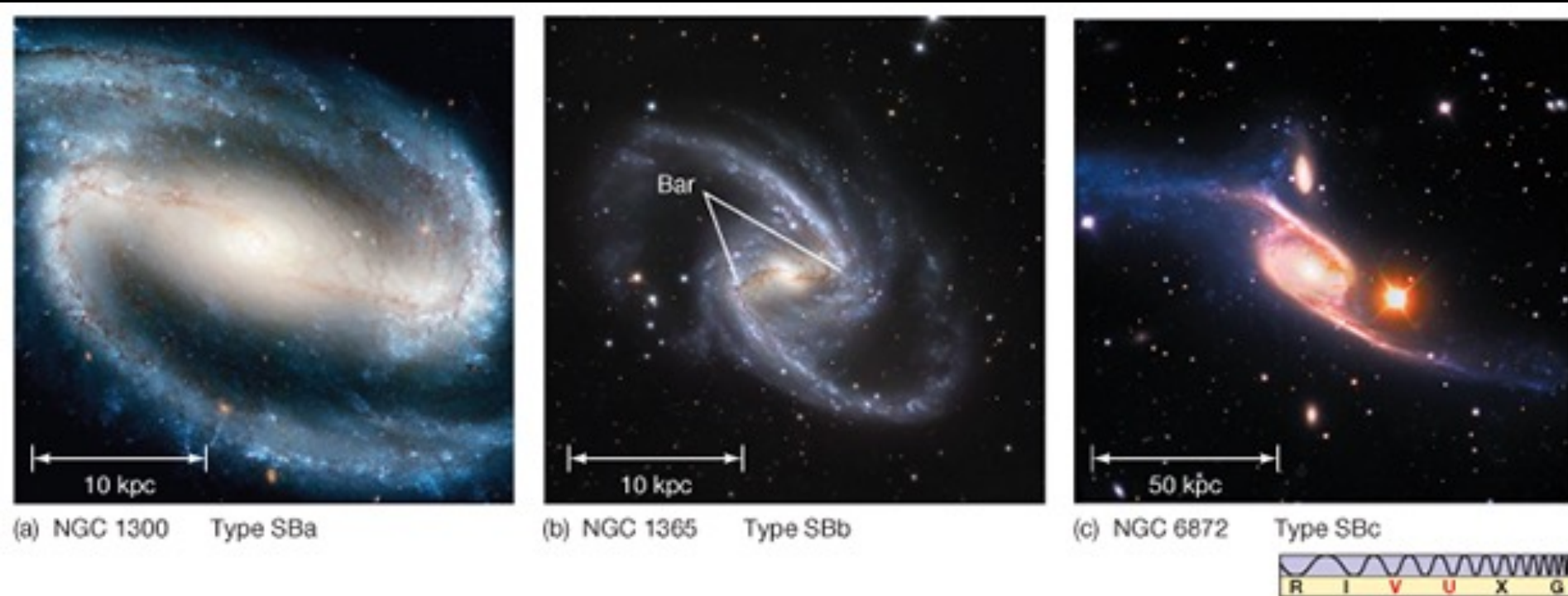
- a maior parte da luz vinda das espirais \Rightarrow estrelas A - G do disco
- braços espirais \Rightarrow estrelas O e B (coloração azulada)
- discos ricos em gás e poeira
- braços espirais contém sítios de formação estelar recente e nuvens de gás e poeira mais densos

Tipo Sc contém mais gás e poeira, Sa contém menos

ESPIRAIS BARRADAS

galáxias espirais com a presença de uma barra alongada de gás e estrelas no bojo

SBa, SBb e SBc \Rightarrow classificação de acordo com tamanho do bojo



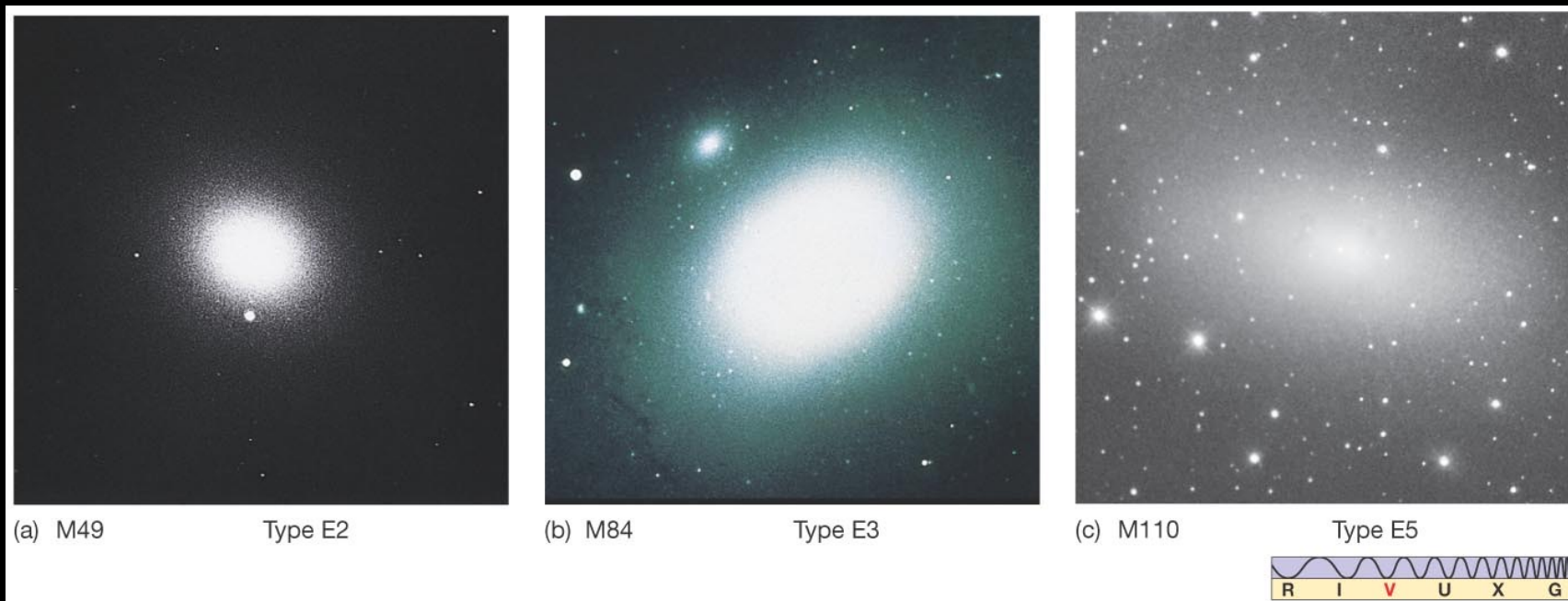
Braços espirais projetam-se a partir da barra

Espirais normais e barradas têm as mesmas propriedades físicas e de composição química do gás e estrelas ⇒ difícil distinção entre os tipos quando observadas a grandes distâncias.

Nossa Galáxia é barrada (SBb ou SBc)...

GALÁXIAS ELÍPTICAS

- sem estrutura espiral e sem disco
- E0...E7 \Rightarrow classificação quanto à elipticidade



- contêm estrelas velhas
- praticamente sem formação estelar recente
- quantidade insignificante de gás (frio) interestelar

GALÁXIAS ELÍPTICAS



densidade de estrelas cresce da borda para o centro.

Estrelas movem-se em órbitas aleatórias, não têm movimento ordenado como ocorre nos discos das espirais

TAMANHOS



a) M49

Type E2



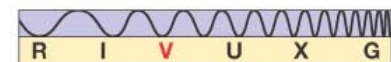
(b) M84

Type E3



(c) M110

Type E5



- **elípticas gigantes:** diâmetro de n Mpc com 1 trilhão de estrelas
- **elípticas anãs:** diâmetro de ~ 1 kpc com poucos milhões de estrelas

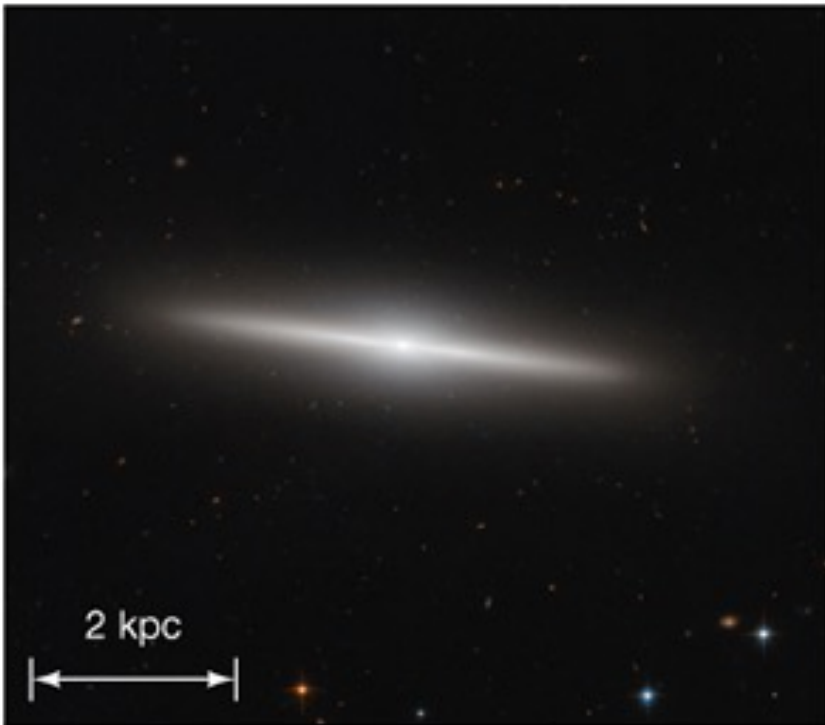
**mais comuns
no universo**

**Comparação:
Nossa Galáxia: diâmetro ~ 30 kpc**

LENTICULARES

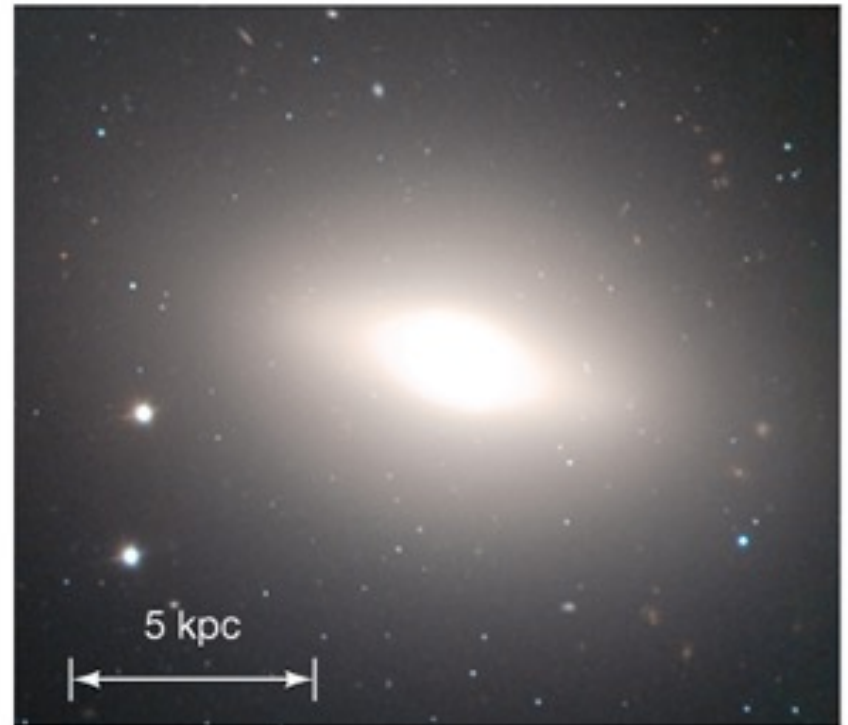
- Evidência de disco e bojo, pouco gás e sem estrutura espiral

constituído por estrelas velhas



(a) IC 335

Type S0



(b) NGC 4435

Type SB0

- S0 = sem barra** **SB0 = com barra**



IRREGULARES

gás interestelar, estrelas jovens sem estrutura definida

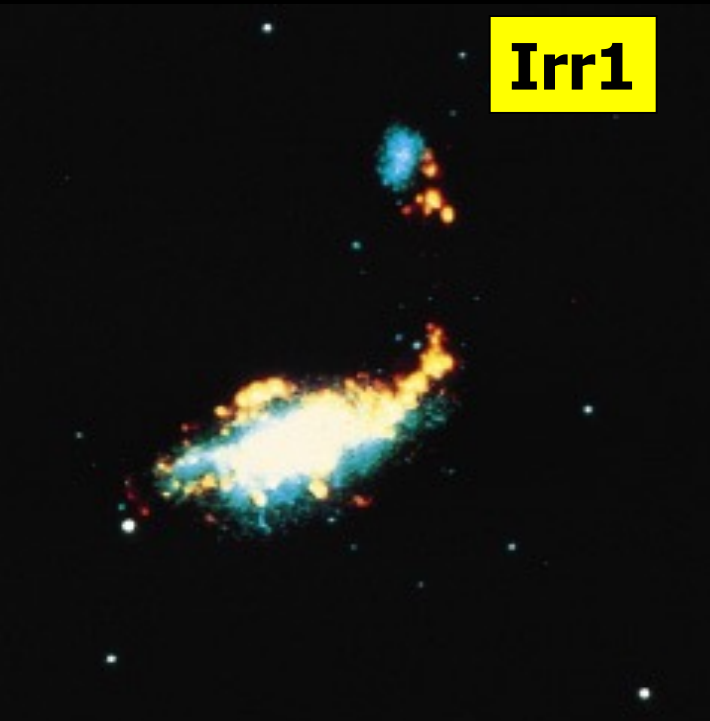


intensa formação estelar

Contêm $10^8 - 10^{10}$
estrelas

frequentemente encontram-se junto a galáxias maiores

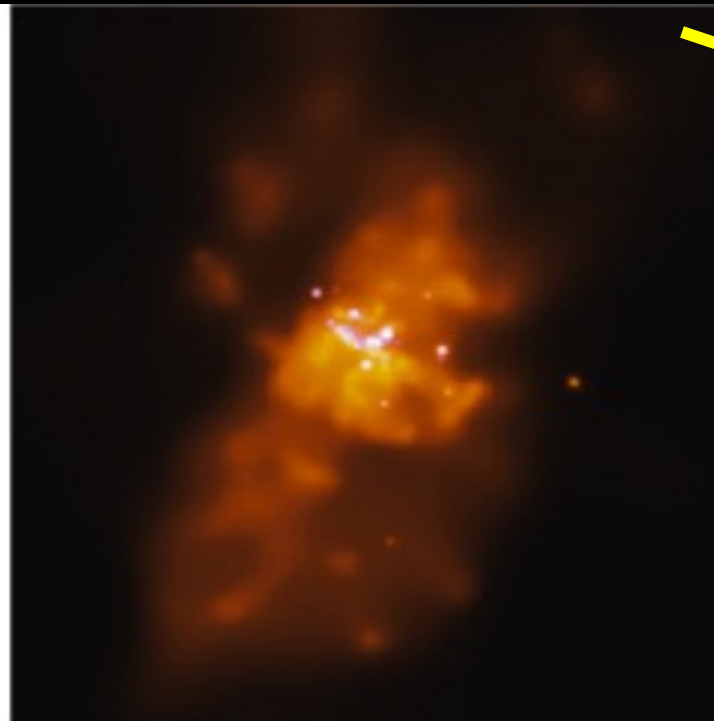
Irr1



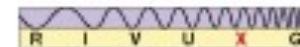
(a) NGC 4485/4490



Irr2



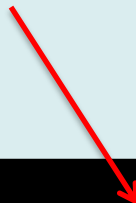
(b) M82



RESUMO DAS PROPRIEDADES OBSERVADAS DAS GALÁXIAS

DISCO	HALO	BOJO
Bastante achatado	~ esférico	Um pouco achatado e alongado no plano do disco
Estrelas velhas e jovens	Somente estrelas velhas	Estrelas velhas e jovens (jovens na região + interna)
Gás e poeira	Não contém gás ou poeira	Gás e poeira nas regiões mais internas
Sítio de formação estelar atual	Não forma estrelas atualmente	Formação estelar nas regiões mais internas
Gás e estrelas movem-se em órbitas ~ elípticas ao longo do plano galáctico	Estrelas possuem órbitas randômicas em 3 dimensões	Estrelas possuem órbitas randômicas mas com alguma rotação em relação ao centro da Galáxia
Braços de espirais	Não contém subestrutura evidente	Anel de gás e poeira perto do centro; barra e B.N. central
Coloração branca com braços de espirais azuis	Coloração avermelhada	Coloração amarela e branca

GALÁXIAS NORMAIS: $10^6 L_{\odot}$ (elípticas anãs e irregulares)
 $10^{12} L_{\odot}$ (elípticas gigantes)
nossa Galáxia: $2 \times 10^{10} L_{\odot}$



Mas...

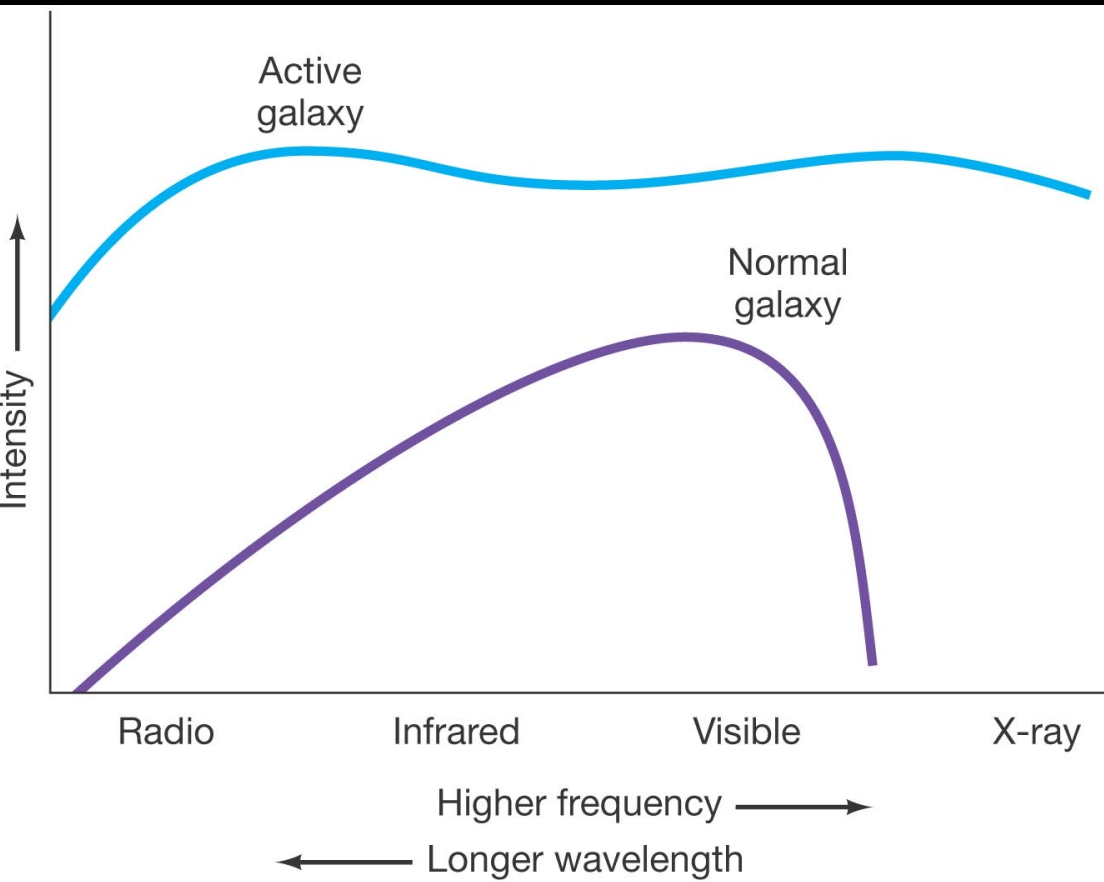
**~ 40% das galáxias consideradas luminosas ($> 10^{10} L_{\odot}$)
NÃO SÃO “NORMAIS” EM BRILHO!!!**

São chamadas galáxias ativas ou de núcleo ativo.

Diferem das galáxias normais

- 1) Grande luminosidade
- 2) tipo de radiação emitida.

GALÁXIAS DE NÚCLEO ATIVO



Galáxias ativas: pico de radiação em λ bem maiores ou menores

Galáxias normais: ~ pico de radiação no visível

A radiação vinda destas galáxias é chamada de **RADIAÇÃO NÃO-ESTELAR**

Radiação não é consistente com o esperado se considerarmos que a maior parte da luminosidade vem do conjunto de estrelas que formam uma dada galáxia.

GALÁXIAS DE NÚCLEO ATIVO = atividade energética ocorre ao redor do núcleo da galáxia.

GALÁXIAS DE NÚCLEO ATIVO são classificadas em 3 tipos:

- 1) Seyfert**
- 2) Radio-Galáxias**
- 3) Quasares**

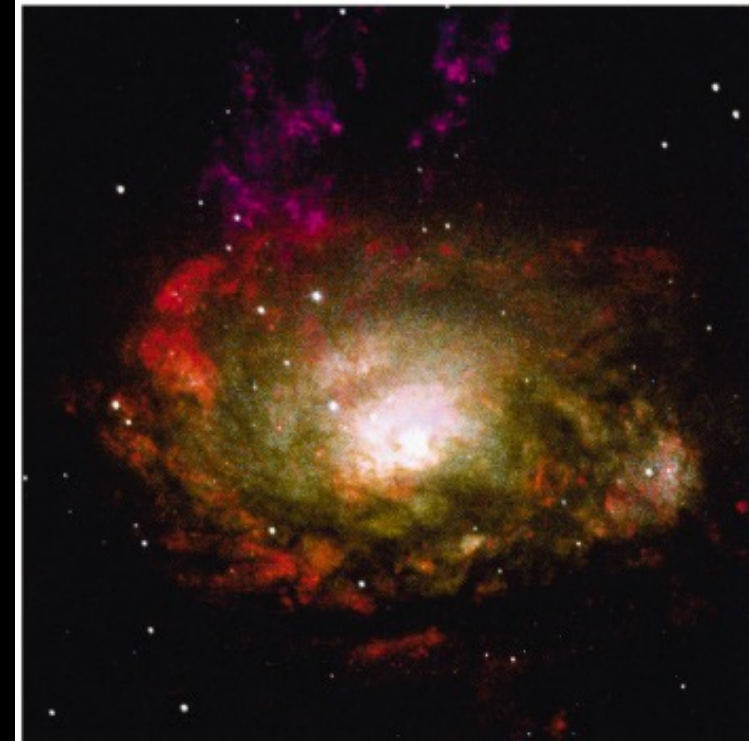
Galáxias SEYFERT

Galáxias espirais com núcleos extremamente brilhantes

núcleo ~ 10,000 vezes mais brilhante do que o núcleo da nossa Galáxia (10 vezes mais do que a Via Láctea inteira)



(a)



(b)

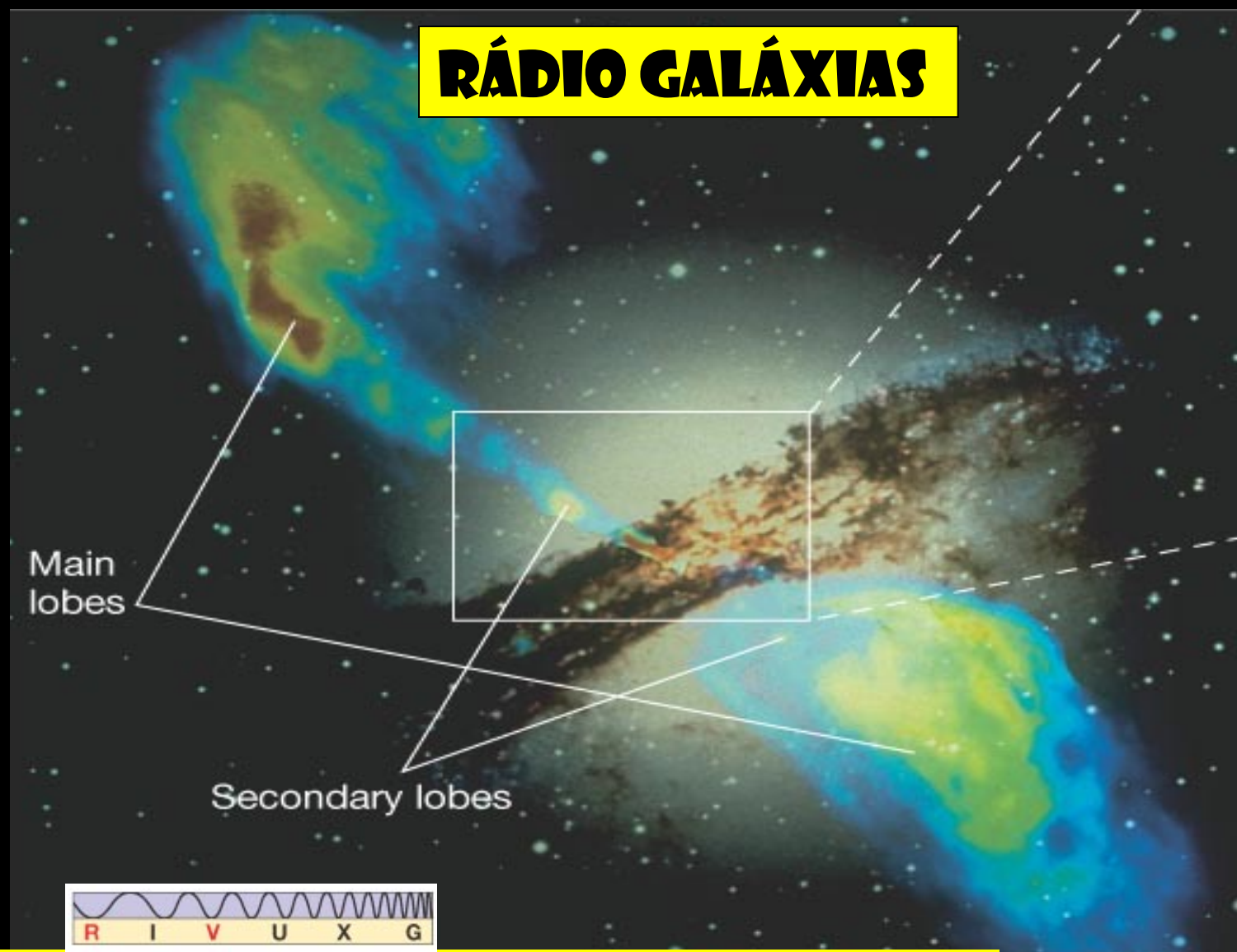
RÁDIO GALÁXIAS

Diferem das Seyfert por emitirem fortemente radiação na faixa de rádio e na aparência e extensão da região emissora.

Centaurus A

Visível: galáxia E2 ou lenticular (500 kpc de diâmetro)
cortada por uma banda de poeira irregular

RÁDIO GALÁXIAS



Possuem lóbulos de matéria (nuvens de gás arredondadas por atrito com o MI) invisíveis aos telescópios ópticos.

Tais lóbulos são perpendiculares ao plano da galáxia.

A energia em rádio é emitida através dos lóbulos!

RÁDIO GALÁXIAS

(a)

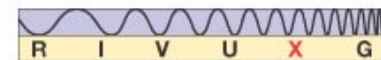
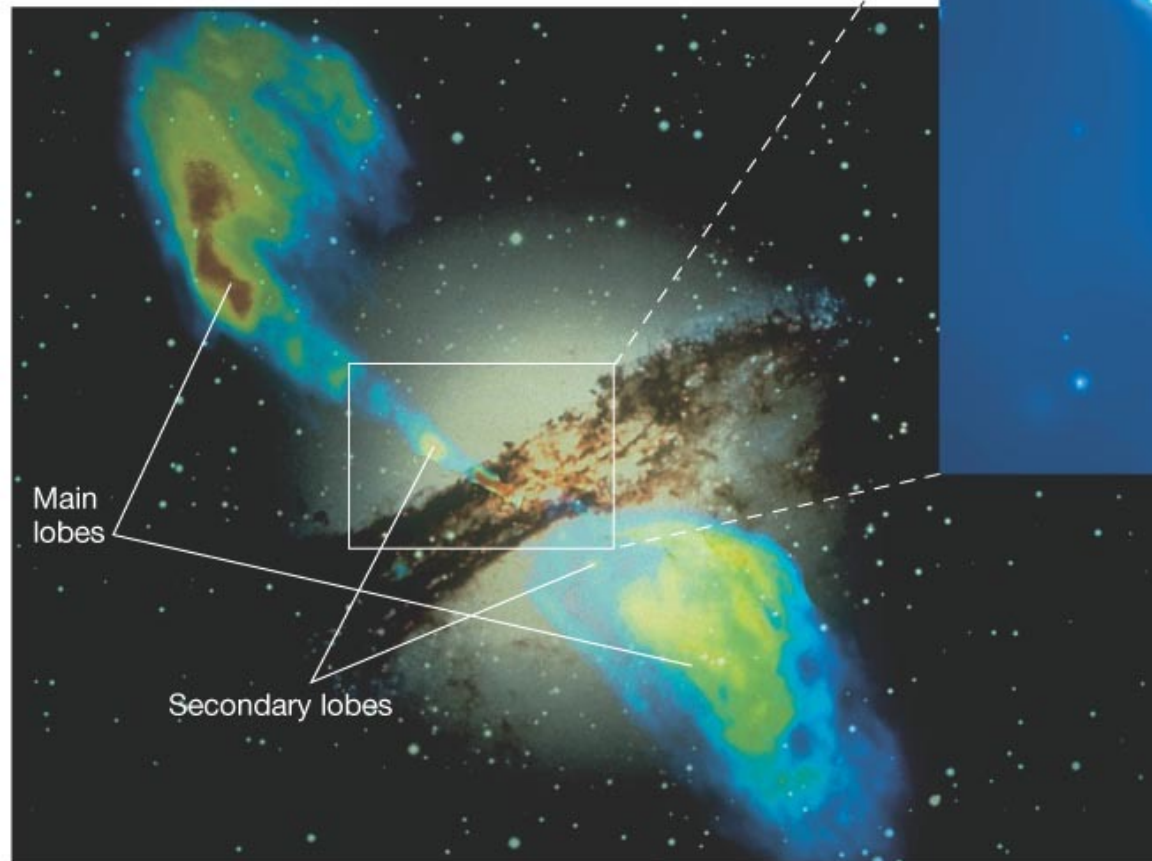


Imagem em raios X indica que as partes mais internas, próximas ao centro de origem dos jatos, emitem em alta energia

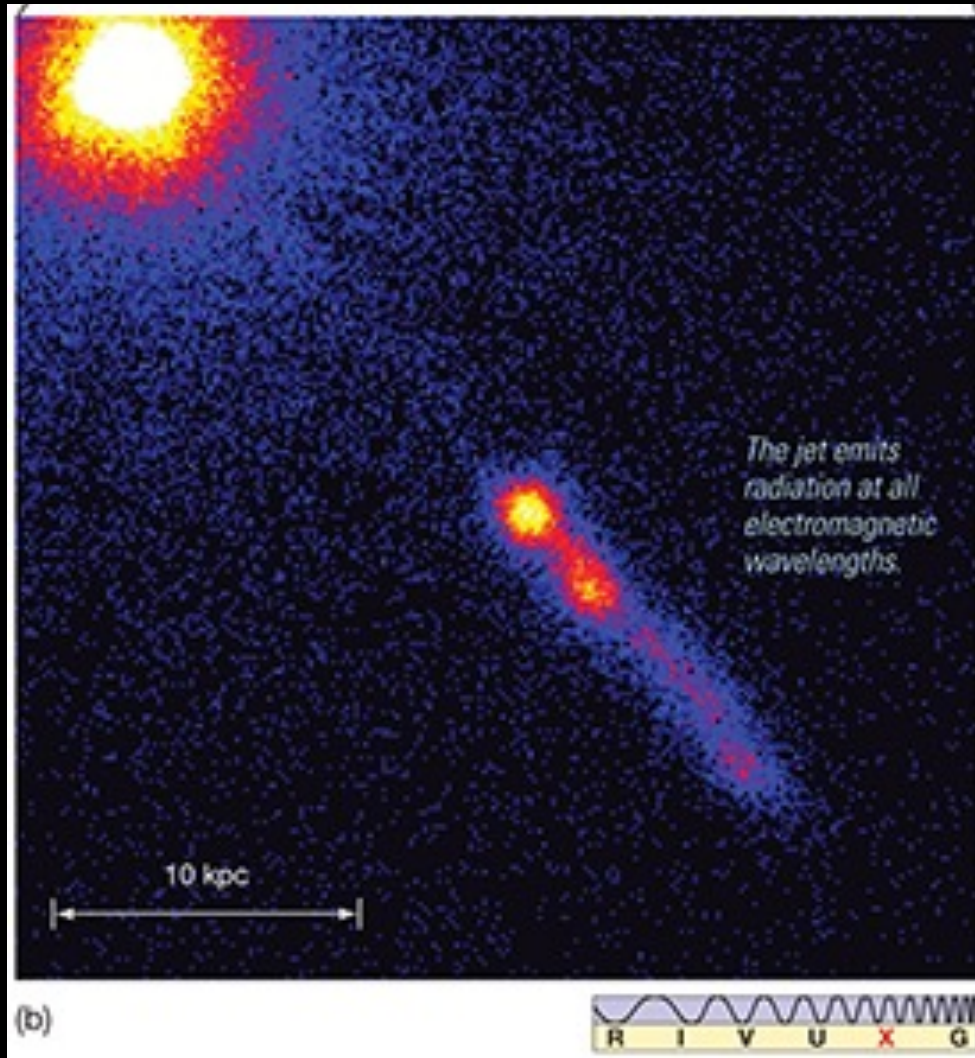
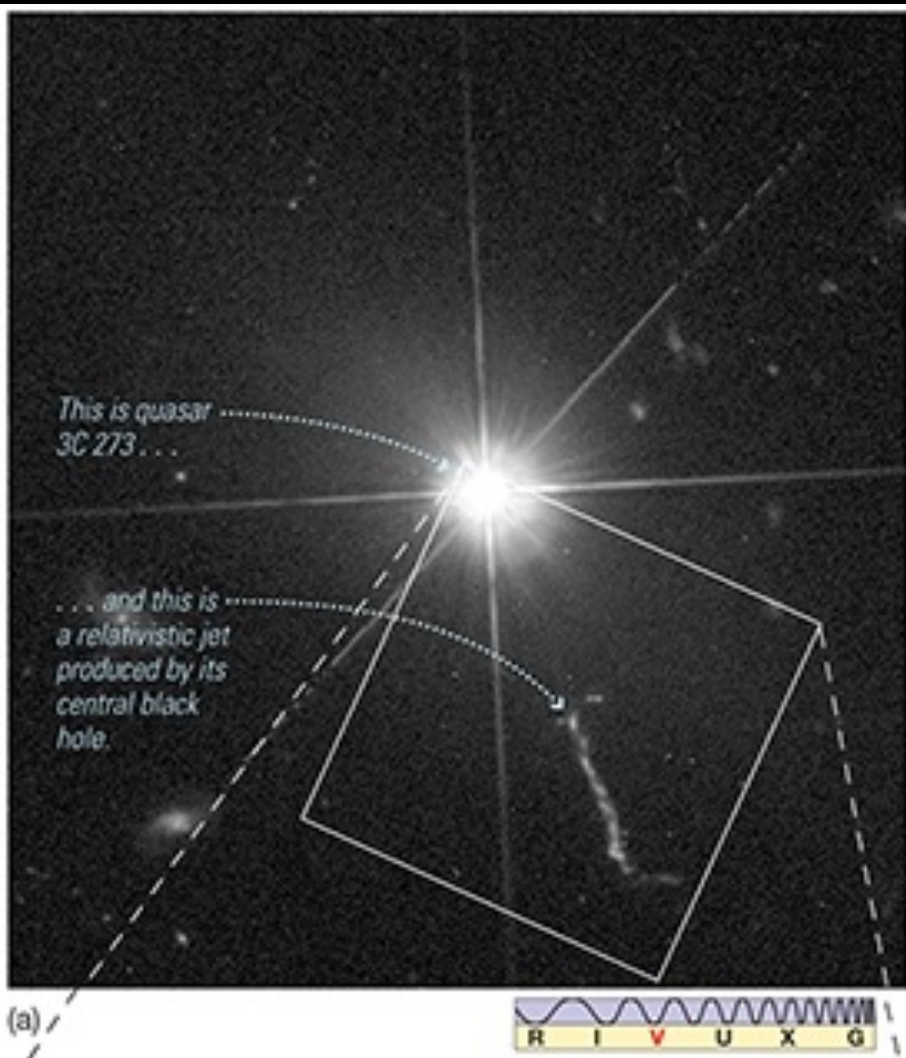
QUASARES

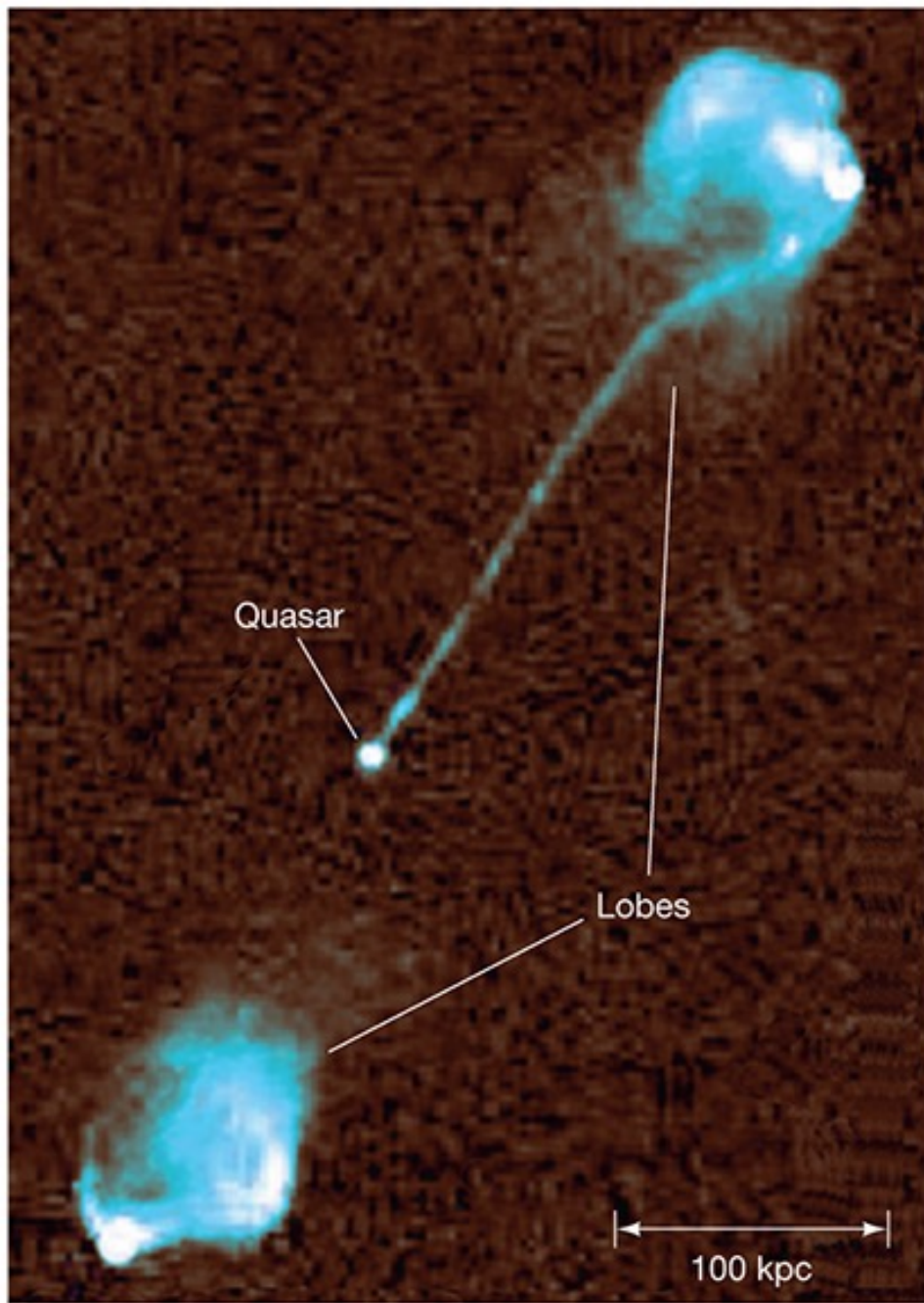


Quasi-stellar objects : aparência de estrela quando observados a baixos tempos de exposição, mas eram medidos espectros incomuns.

QUASAR 3C 273

Contém jatos que atingem 30 kpc em extensão





Quasar 3C175
Lóbulos de 1Mpc de tamanho.



ULAS J1120+0641 , o quasar é observado tal como era há 770 milhões de anos após o Big-Bang .
Levou cerca de 13 bilhões de anos para que a luz emitida por ele nos alcançasse.



QUASARES TÊM PROPRIEDADES PARECIDAS COM RÁDIO-GALÁXIAS

Mas..

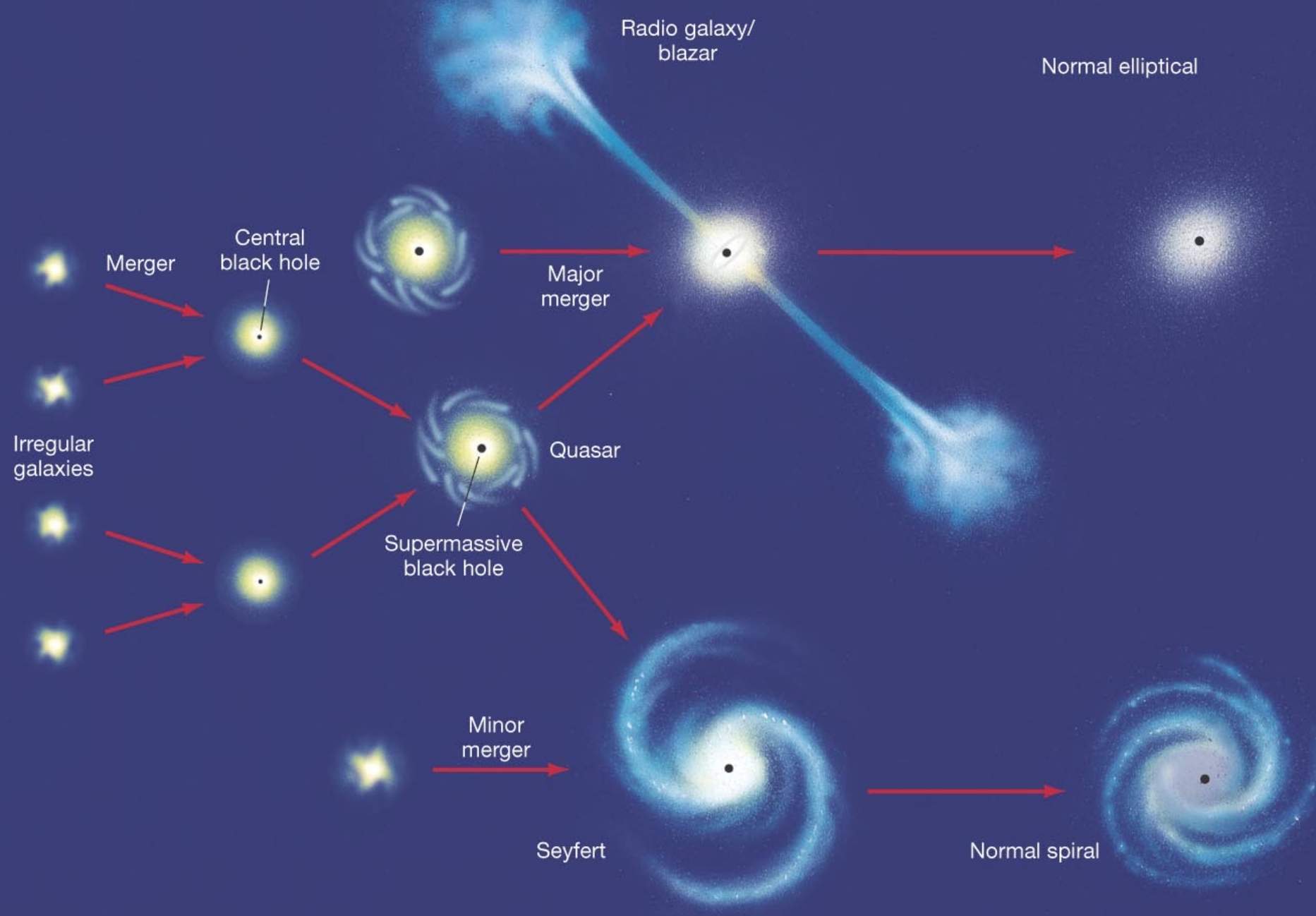
Não existem quasares na vizinhança da Via Láctea, apenas muito distantes, o que significa que são muito antigos.

PORTANTO:

TUDO INDICA QUE EXISTE UMA SEQUÊNCIA EVOLUTIVA:

QUASAR - GALÁXIAS ATIVAS (SEYFERT E RADIO) - GALÁXIAS NORMAIS

UMA SEQUÊNCIA EVOLUTIVA



NATUREZA DA ATIVIDADE NUCLEAR

PROPRIEDADES OBSERVADAS DOS NÚCLEOS ATIVOS:

- **ALTA LUMINOSIDADE**
- **EMISSÃO DE ENERGIA TEM CARÁTER NÃO-ESTELAR**
- **VARIAÇÃO RÁPIDA DA INTENSIDADE DE ENERGIA, INDICANDO UM NÚCLEO COMPACTO**
- **JATOS E OUTROS INDICADORES DE ATIVIDADE EXPLOSIVA**
- **LINHAS ESPECTRAIS DE EMISSÃO ALARGADAS, INDICANDO ROTAÇÃO RÁPIDA**

MODELO MAIS ACEITO

$$\langle l \rangle = \frac{kb}{1} \left[\frac{1}{1} \right]$$

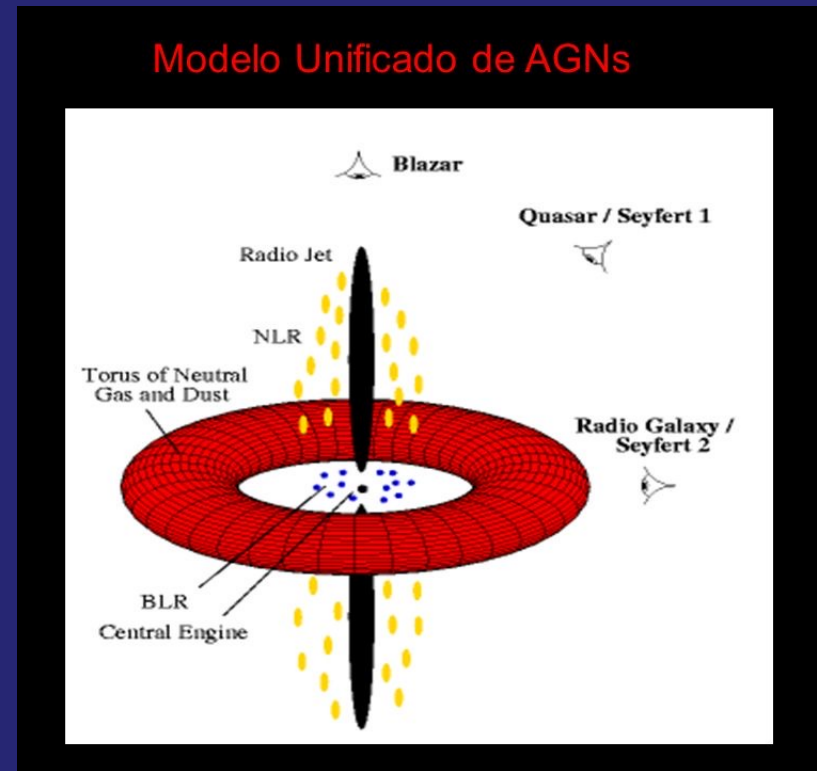
Um buraco negro central supermassivo forma um disco de matéria ao seu redor, chamado disco de acreção.

A matéria neste disco espirala em direção ao buraco negro, aquecendo-se e produzindo uma quantidade enorme de energia.

Jatos de gás de alta velocidade são formados perpendicularmente ao disco de acreção, formando os jatos e lóbulos observados em muitos objetos ativos.

Os campos magnéticos gerados no disco são transmitidos aos lóbulos, produzindo a radiação observada.

→ Através de diferentes ângulos de visada em relação à estrutura, visualizam-se diferentes membros da "família"



ESTRUTURA EM LARGA ESCALA: Distribuição das galáxias no universo

Normalmente galáxias agrupam-se em:

- isoladas ou em pares
- grupos (~ 1 Mpc de extensão)
- aglomerados (\sim alguns Mpc) (10% das galáxias)
- super aglomerados ($\sim 50-100$ Mpc)

O que define grupos, aglomerados e super-aglomerados de galáxias é a força gravitacional que os mantém ligados.

O GRUPO LOCAL

Grupo Local consiste em:

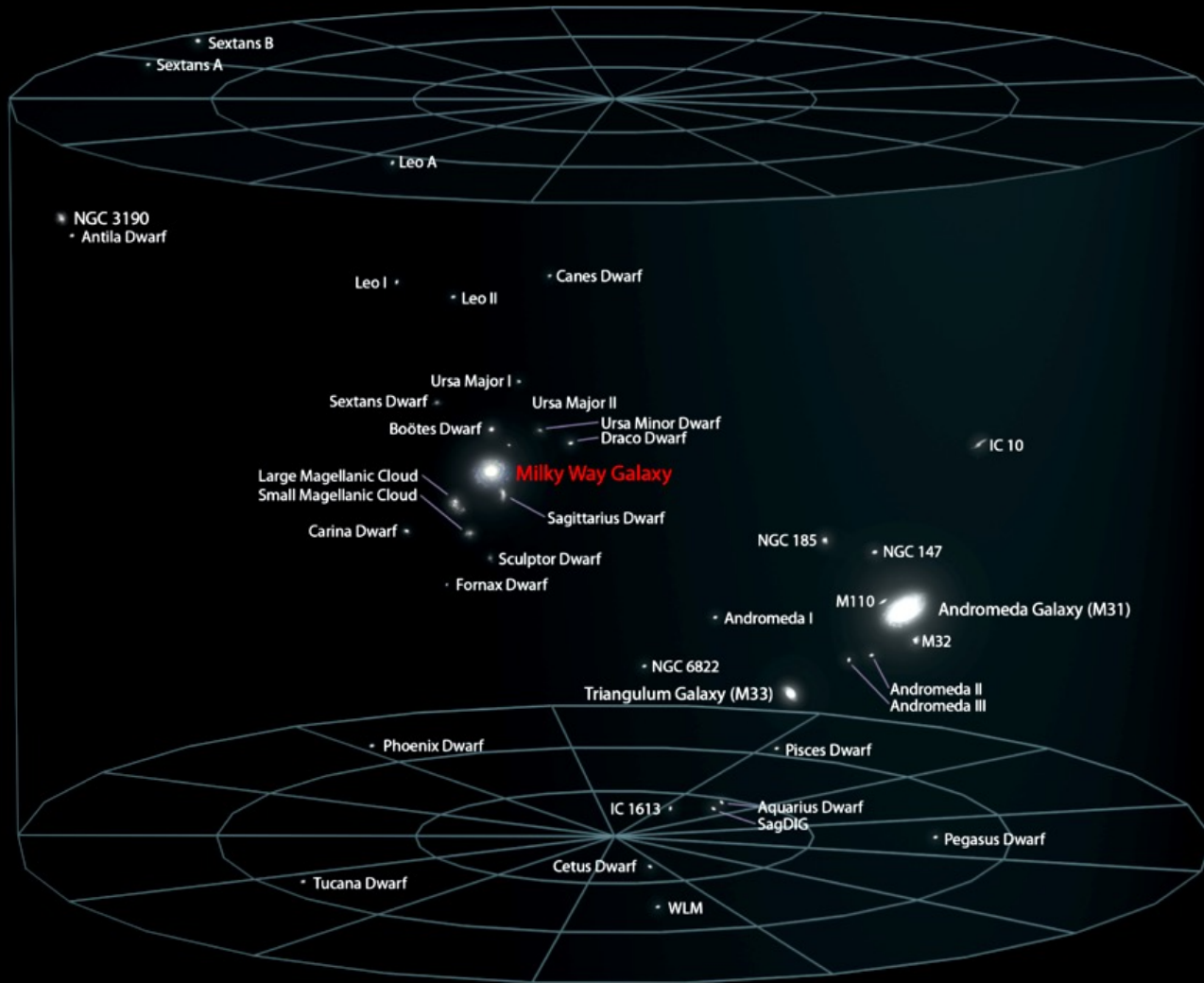
Nossa Galáxia + Andrômeda + dezenas de galáxias menores



aprox. 80 galáxias no total

3 são espirais: nossa Galáxia +
Andrômeda + M33
Outras: anãs esferoidais e
irregulares

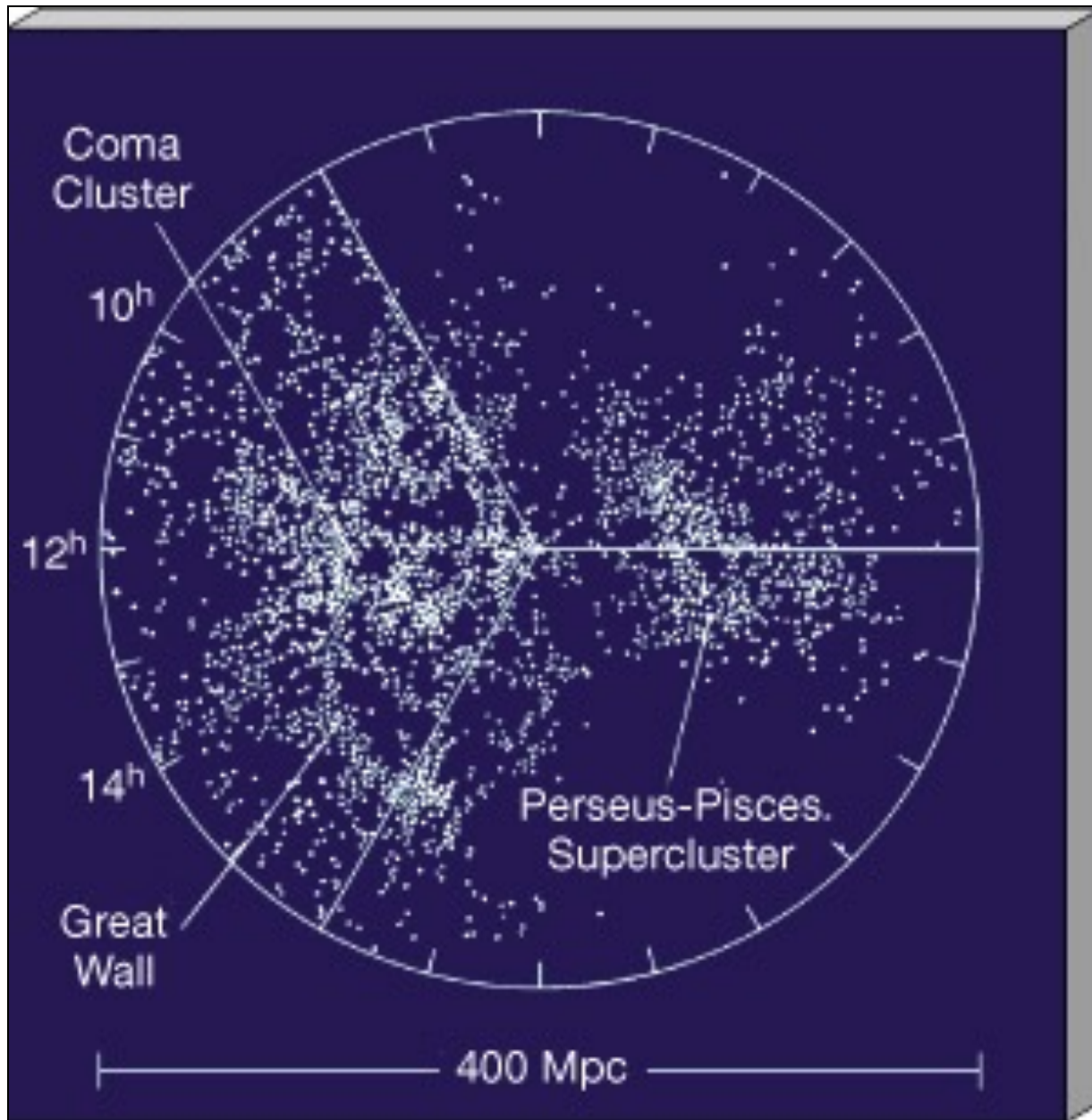
Local Galactic Group



Aglomerado de Virgo: o mais próximo do Grupo Local

tem cerca de 2000 galáxias e está a 55 milhões de anos-luz





Vista da estrutura em larga escala do **universo local**, num raio de 400 Mpc (1,3 bilhões de a.l. da nossa Galáxia)

Cada ponto representa uma galáxia

O Universo local, num raio de 1,5 Gpc

