

Galáxias no Universo

Profa. Thais Idiart

Departamento de Astronomia

Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Universidade de São Paulo



Definição:

Uma galáxia é um conjunto de matéria estelar e interestelar:

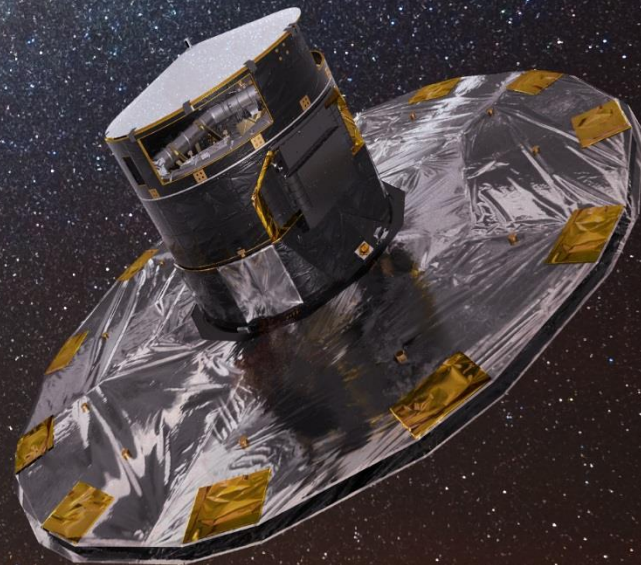
- estrelas, gás, poeira, estrelas de nêutrons, buracos negros
- isolado no espaço e mantido junto pela sua própria gravidade.

Número de galáxias catalogadas é de centenas de bilhões.

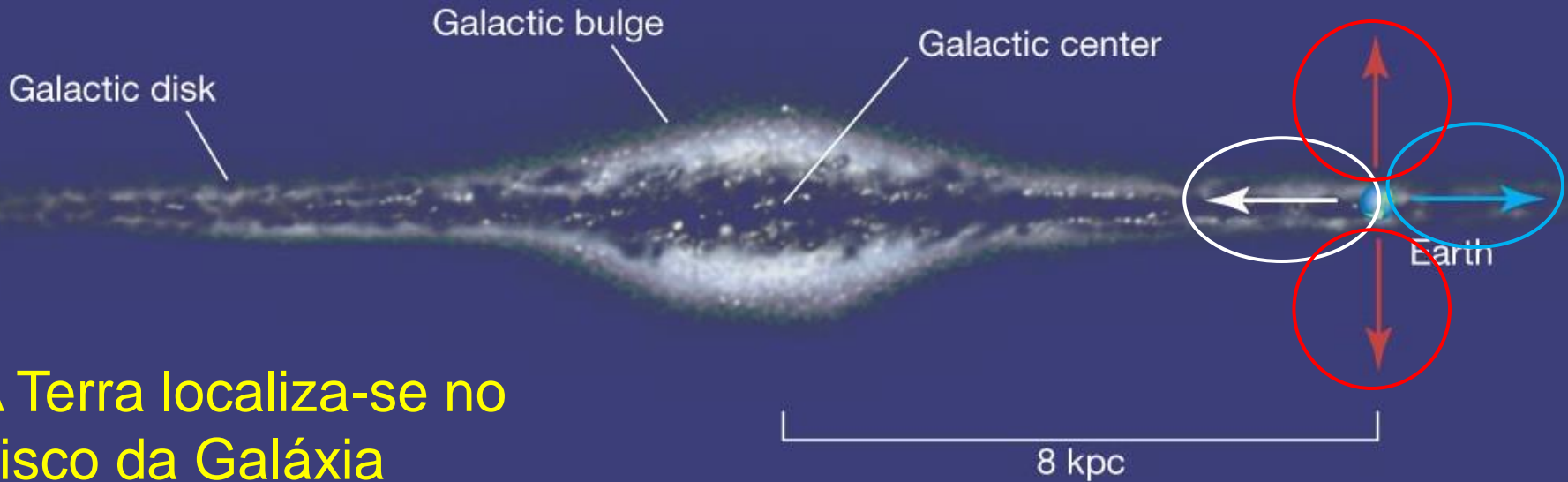
A nossa Galáxia é denominada **Via Láctea** ou simplesmente **Galáxia** com G maiúsculo.

A VIA-LÁCTEA

a nossa Galáxia



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)

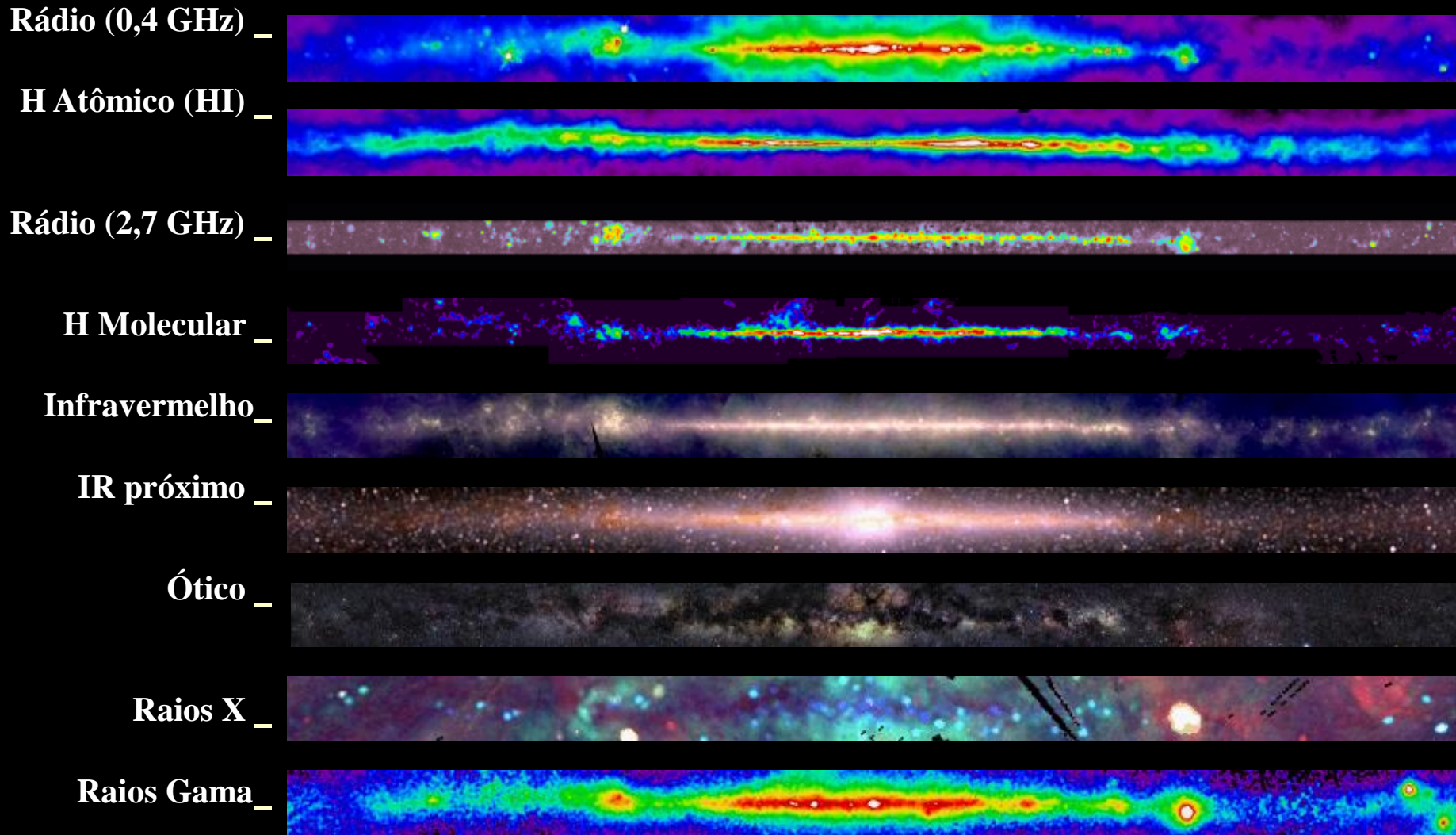
Relembrando:

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

1 pc = 3,26 anos-luz

Setas vermelhas → poucas estrelas são vistas

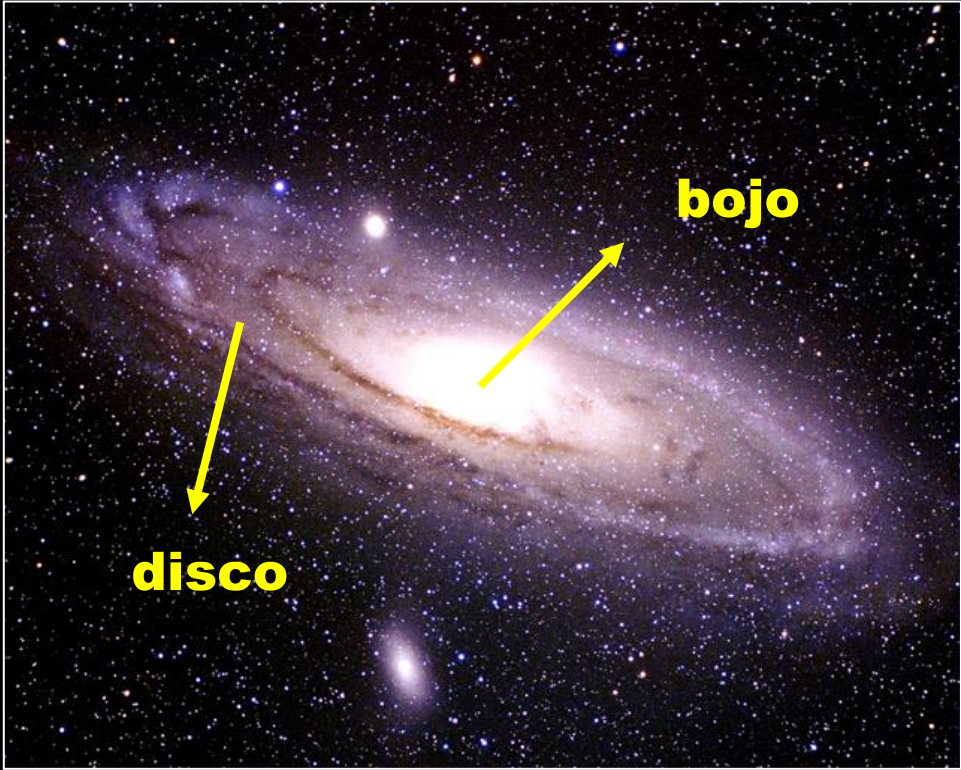
Decifrando a forma da Galáxia



Decifrando a forma da Galáxia

Comparação com outras galáxias distantes

**A
N
D
R
Ô
M
E
D
A**



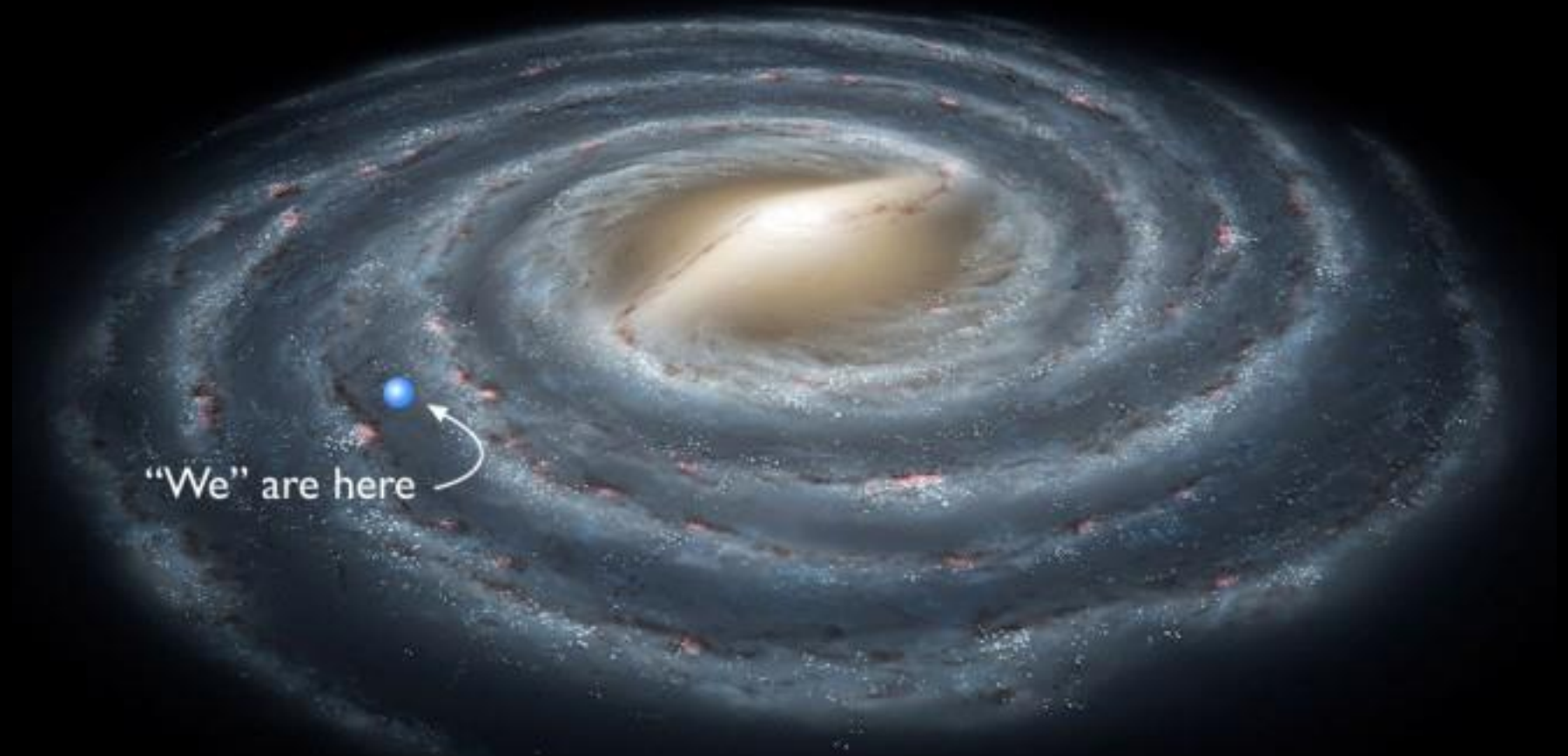
NGC 2997



NGC 4565

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

Localização do sistema solar na Galáxia



"We" are here

Visão artística da Via Láctea como seria vista de fora, baseada nas posições das estrelas e das nuvens de poeira e gás existentes no disco: observa-se uma SUBESTRUTURA ESPIRAL !

A forma e o tamanho da Galáxia

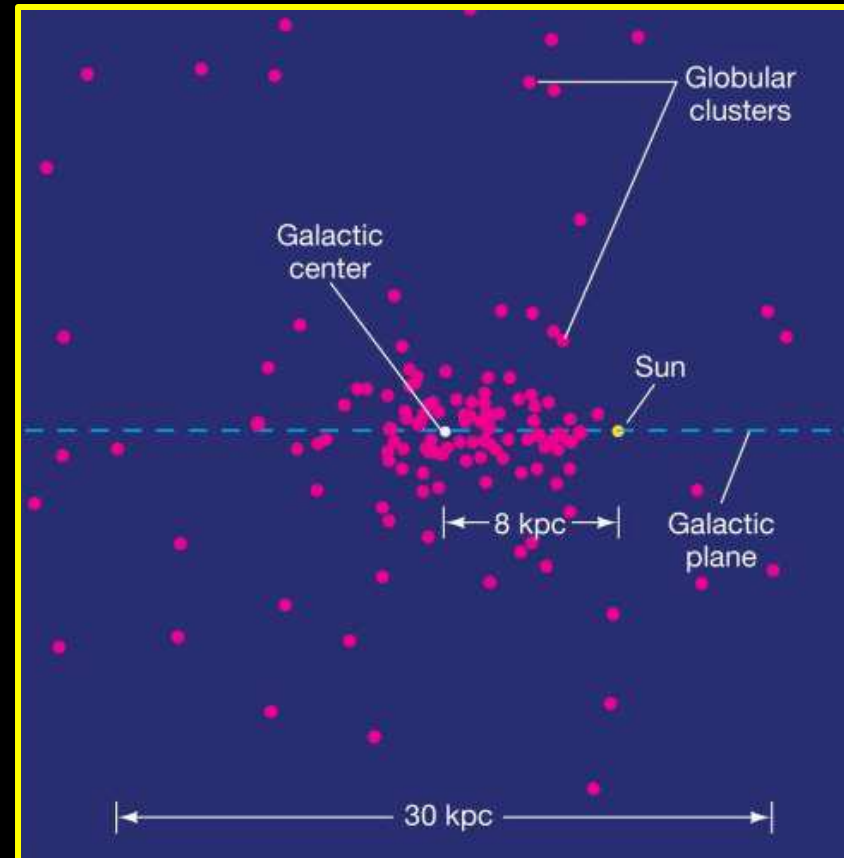
Harlow Shapley (começo do século XX) observando estrelas variáveis em aglomerados globulares fez duas importantes descobertas:

1. A maior parte dos aglomerados globulares está a grande distância do nosso sistema solar (centenas de pc)
2. Os aglomerados globulares ocupam um volume grande e ~ esférico que abrangem toda a Galáxia (diâmetro de ~ 30 Kpc).

A DISTRIBUIÇÃO DOS AGLOMERADOS GLOBULARES ABRANGEM A MÁXIMA EXTENSÃO DA GALÁXIA

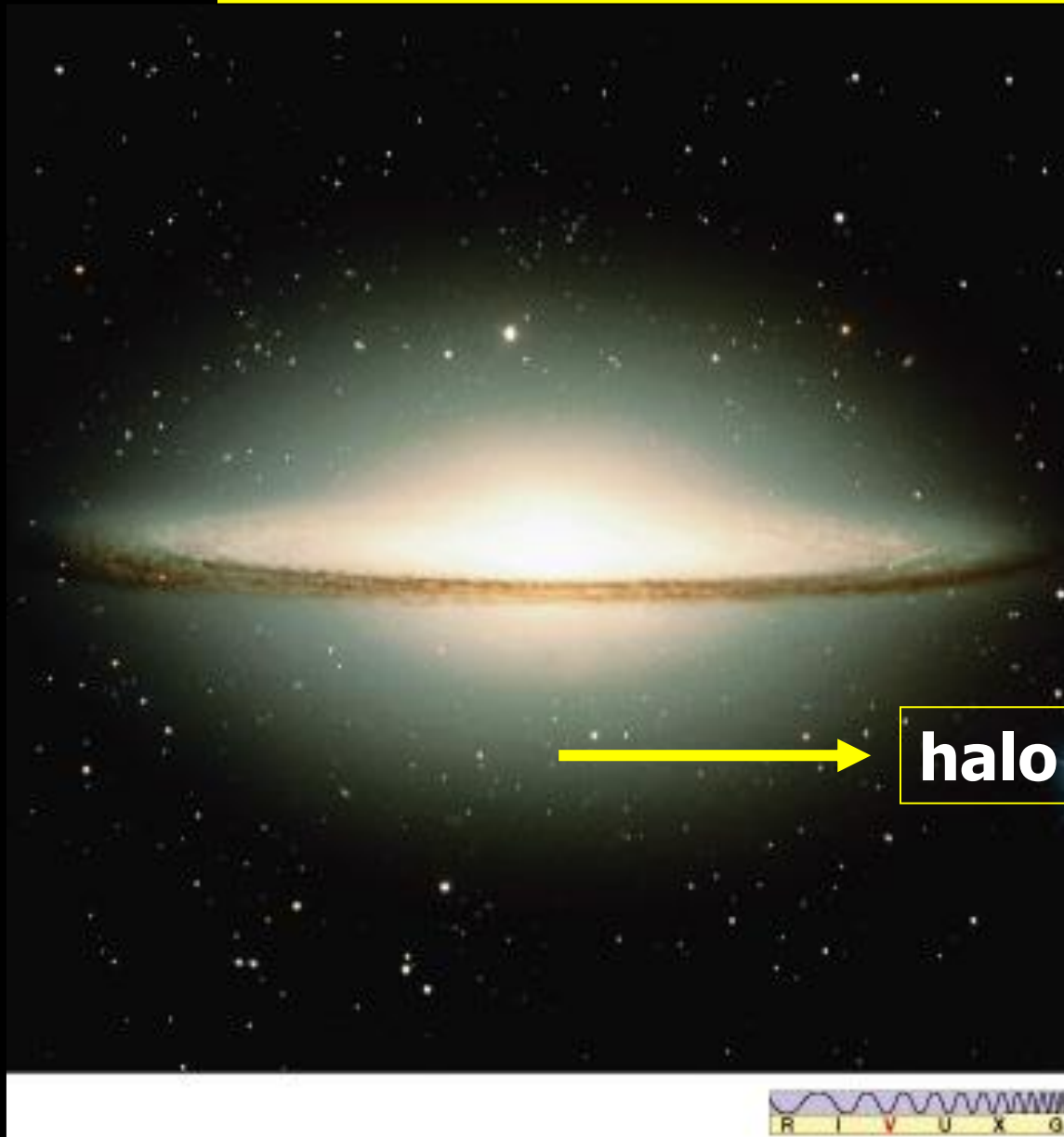


HALO DA GALÁXIA



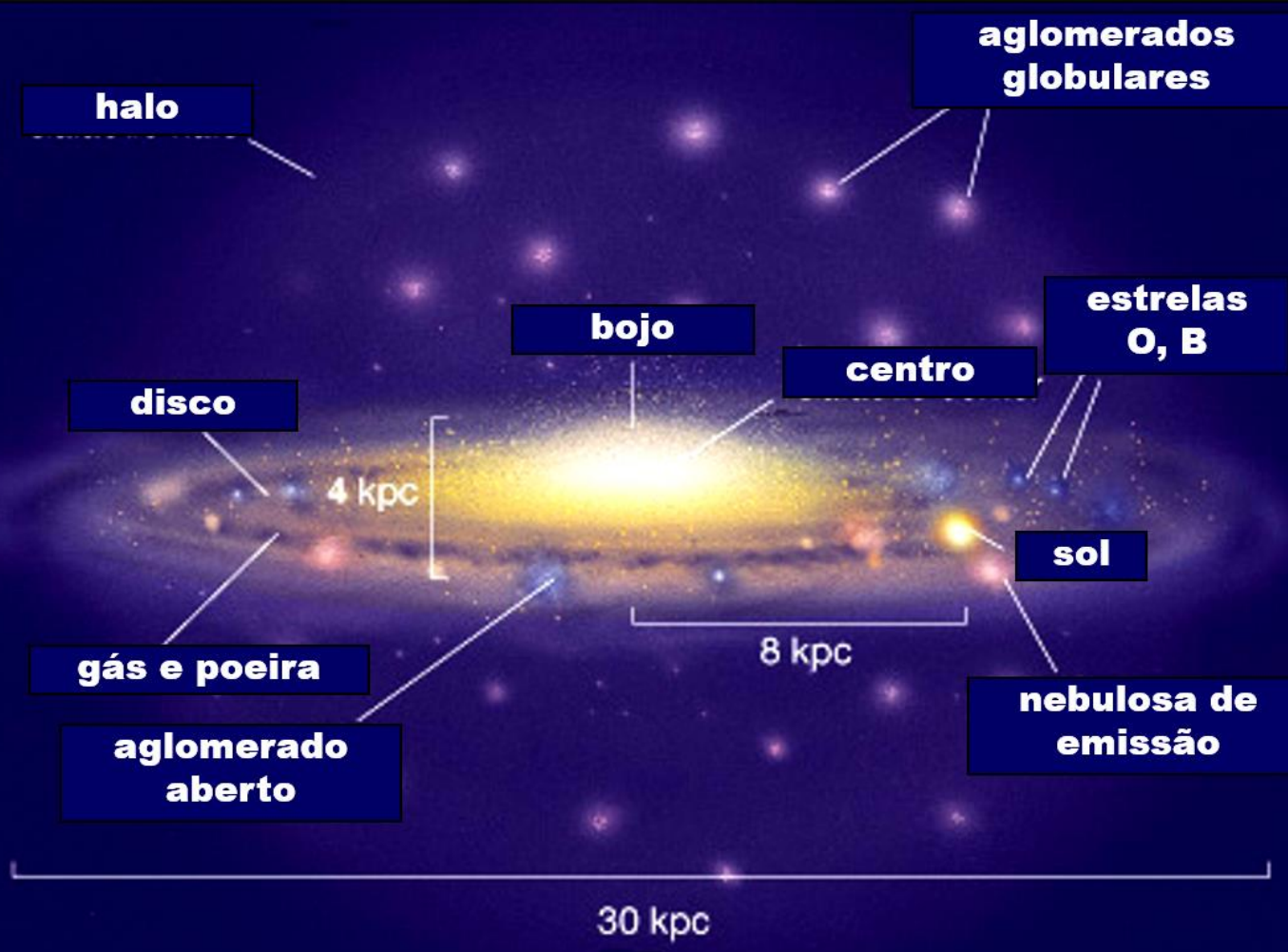
30 kpc ~ 100 mil anos-luz

M104 – Galáxia sombreiro



ESTRUTURA EM GRANDE ESCALA DA GALÁXIA

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

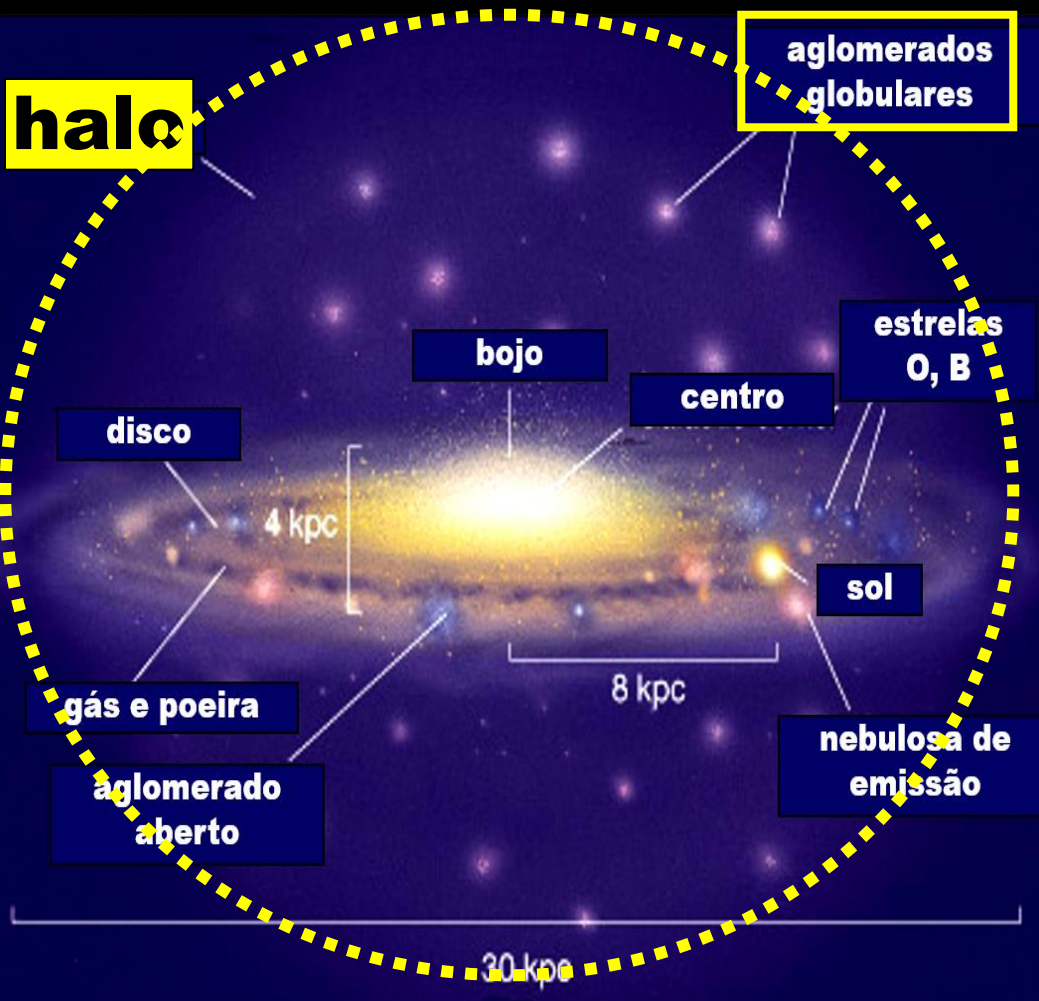


componentes:

- 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

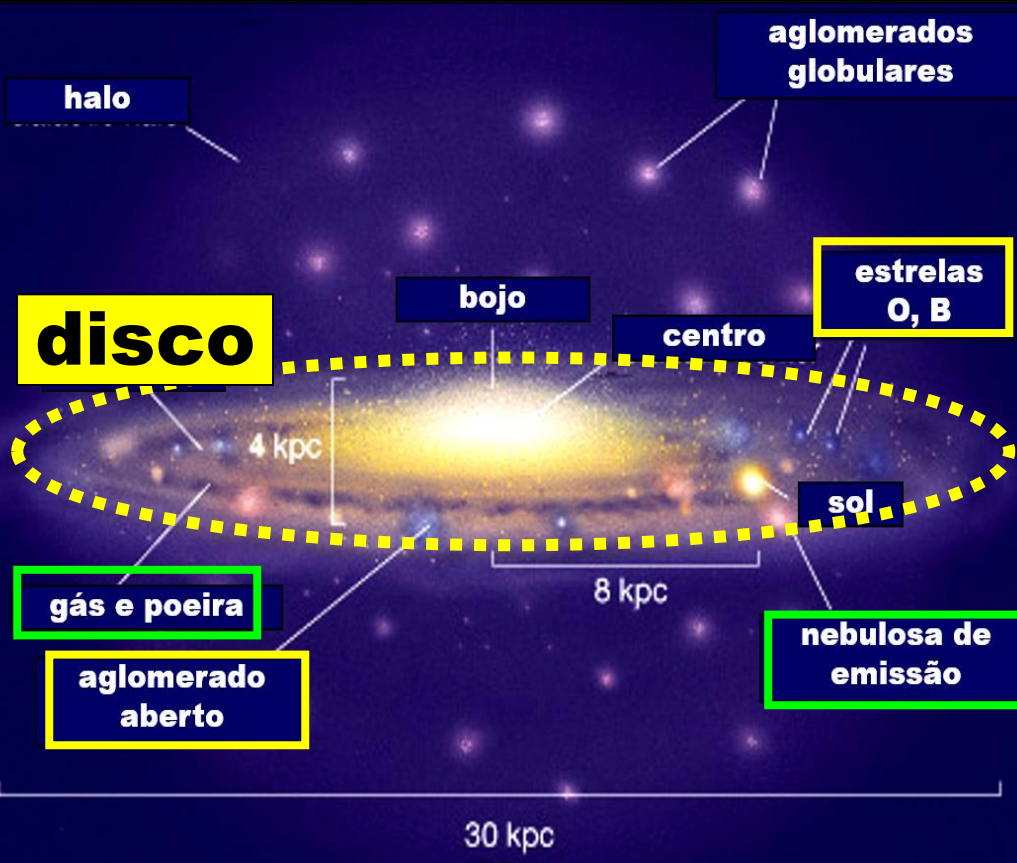
- Formado por estrelas velhas (menor proporção) e jovens. As estrelas jovens podem estar isoladas ou em aglomerados abertos.

Disco formado após o Halo

- **Contém nuvens densas de gás e poeira**



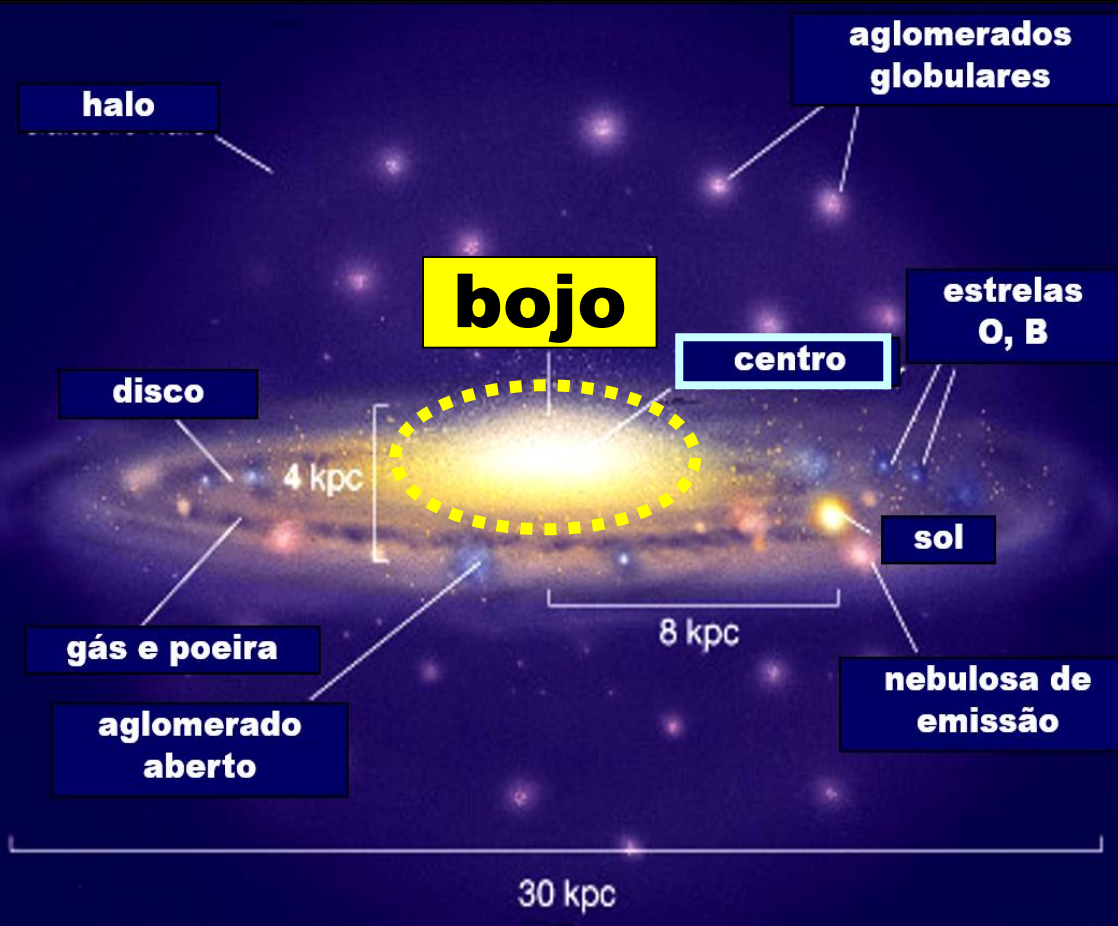
regiões de formação estelar



Contém braços de espirais (subestrutura)

BOJO

PROPRIEDADES



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

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

- Contém barra

Centro da Galáxia:

**Buraco negro
massivo central**

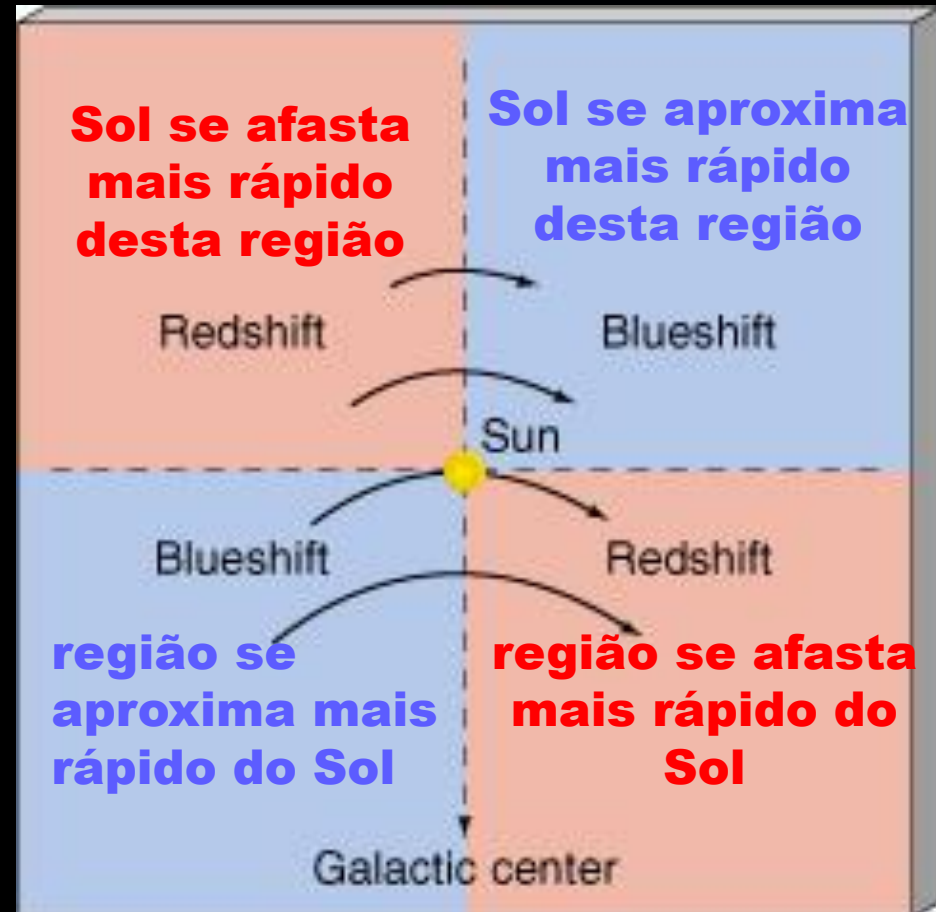
A DINÂMICA DA NOSSA GALÁXIA

Movimento das estrelas, gás e poeira

**Estrelas e gás
apresentam movimentos
Doppler sistemáticos em
qualquer direção**



**Disco da Galáxia
está se movendo de
maneira ordenada**



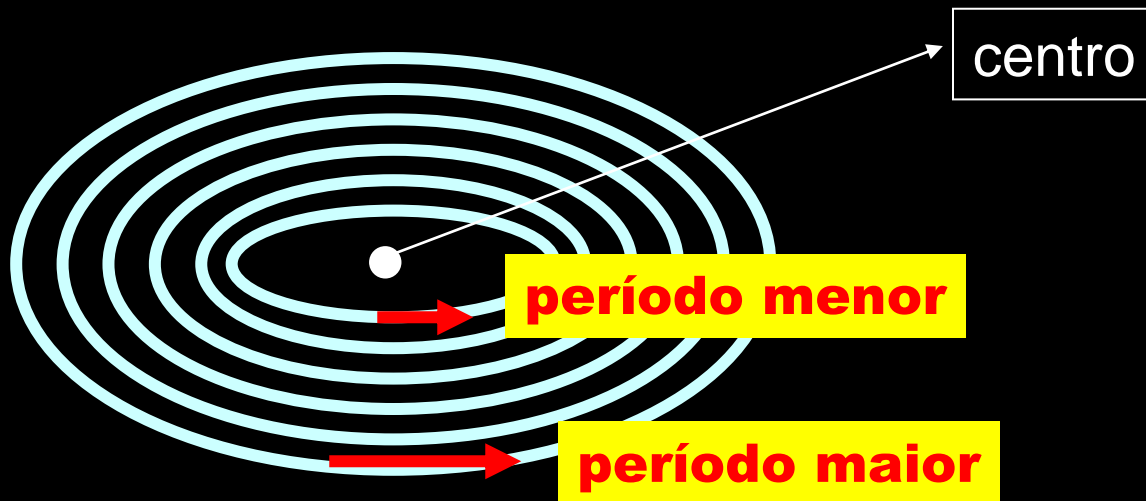
Conclusão: o disco está rotando ao redor do centro da Galáxia

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

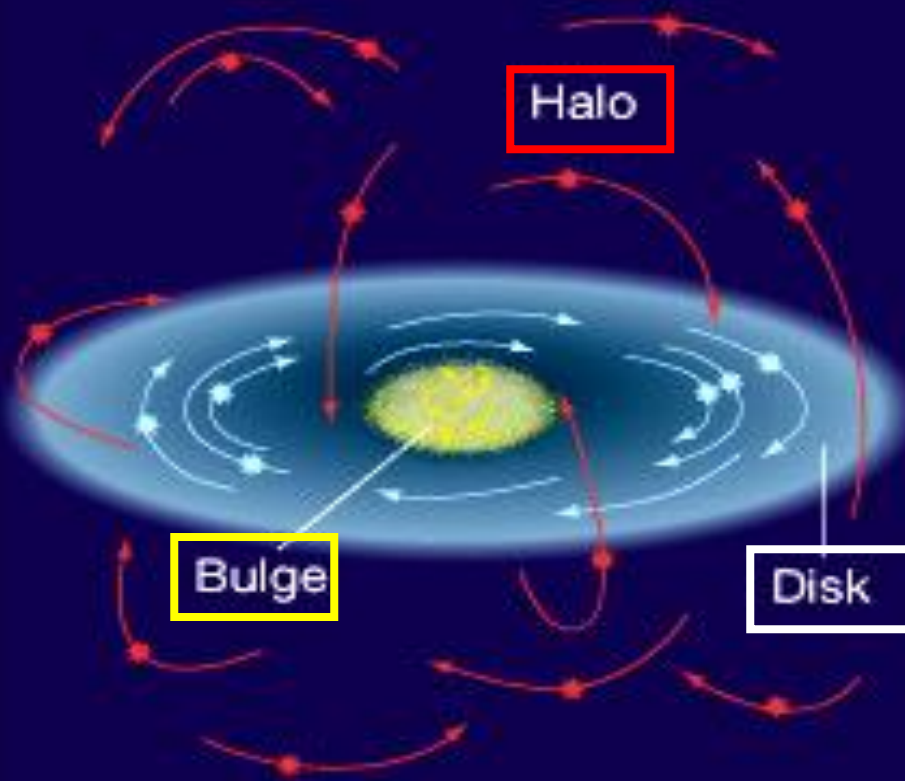
HALO:

- componente aleatória
- >> componente ordenada
- alta excentricidade


BOJO:

- Componente aleatória menor do que a do halo

Mas >> componente ordenada



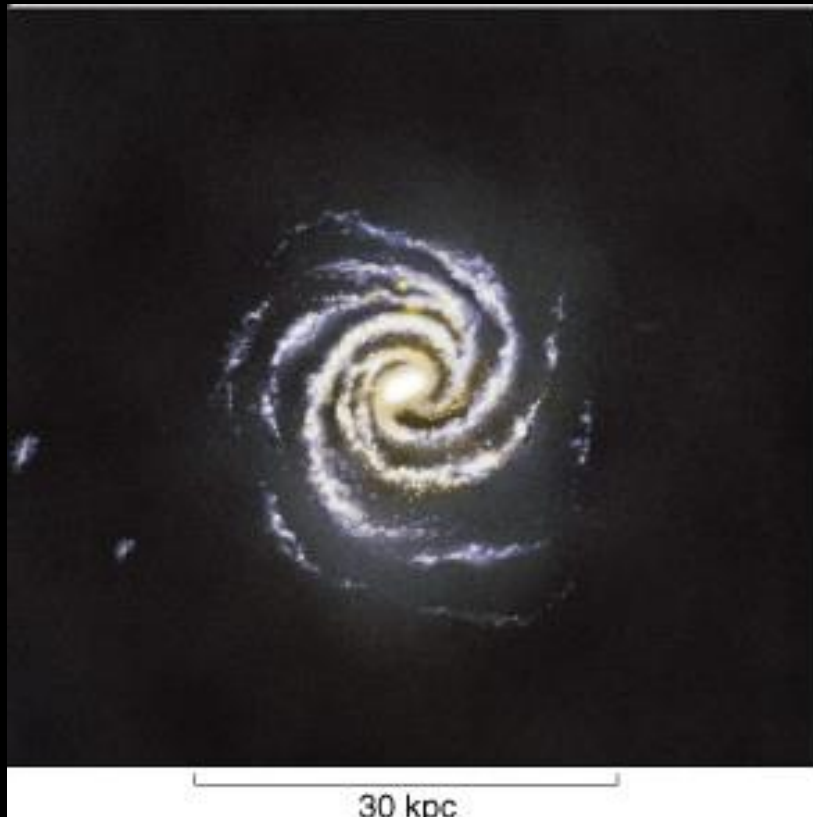
RESUMO DAS PROPRIEDADES OBSERVADAS DAS GALÁXIAS

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; núcleo central
Coloração branca com braços de espirais azuis	Coloração avermelhada	Coloração amarela e branca

OS BRAÇOS DE ESPIRAIS

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

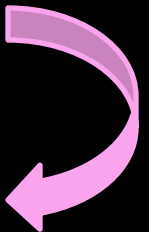
MAPAS DE RÁDIO DA NOSSA GALÁXIA



Diâmetro do disco ~ 30 kpc

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

VIZINHANÇA SOLAR



FORMAÇÃO E DURAÇÃO DOS BRAÇOS DE ESPIRAIS

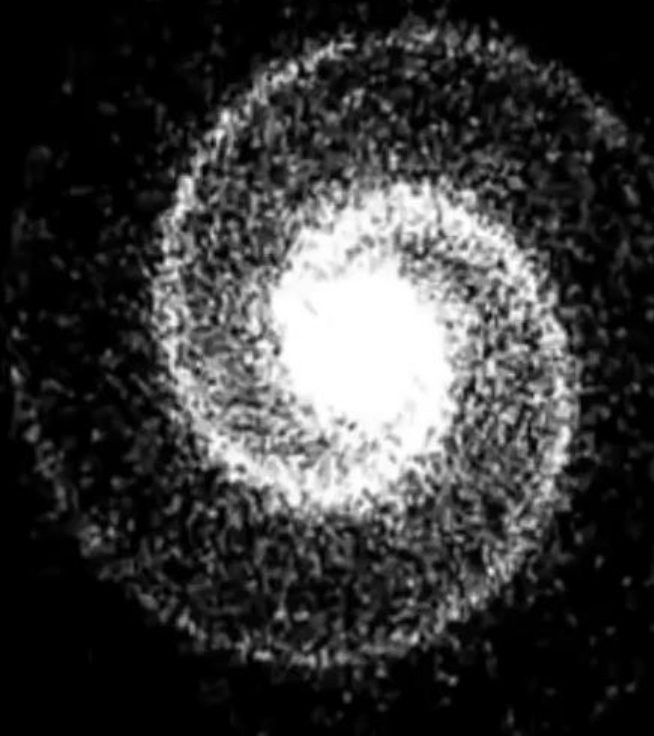
Os braços de espirais são formados por:

- 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??

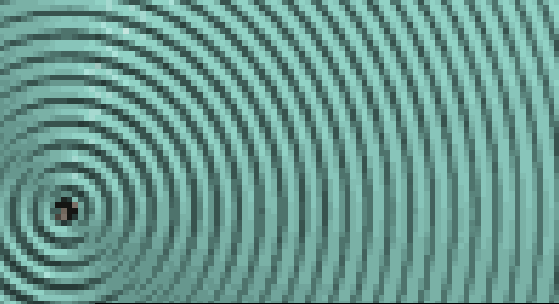
O disco rota diferencialmente : partes internas levam menos tempo para dar uma volta ao redor do centro do que as externas \Rightarrow braços se “enrolariam” com o passar do tempo



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.

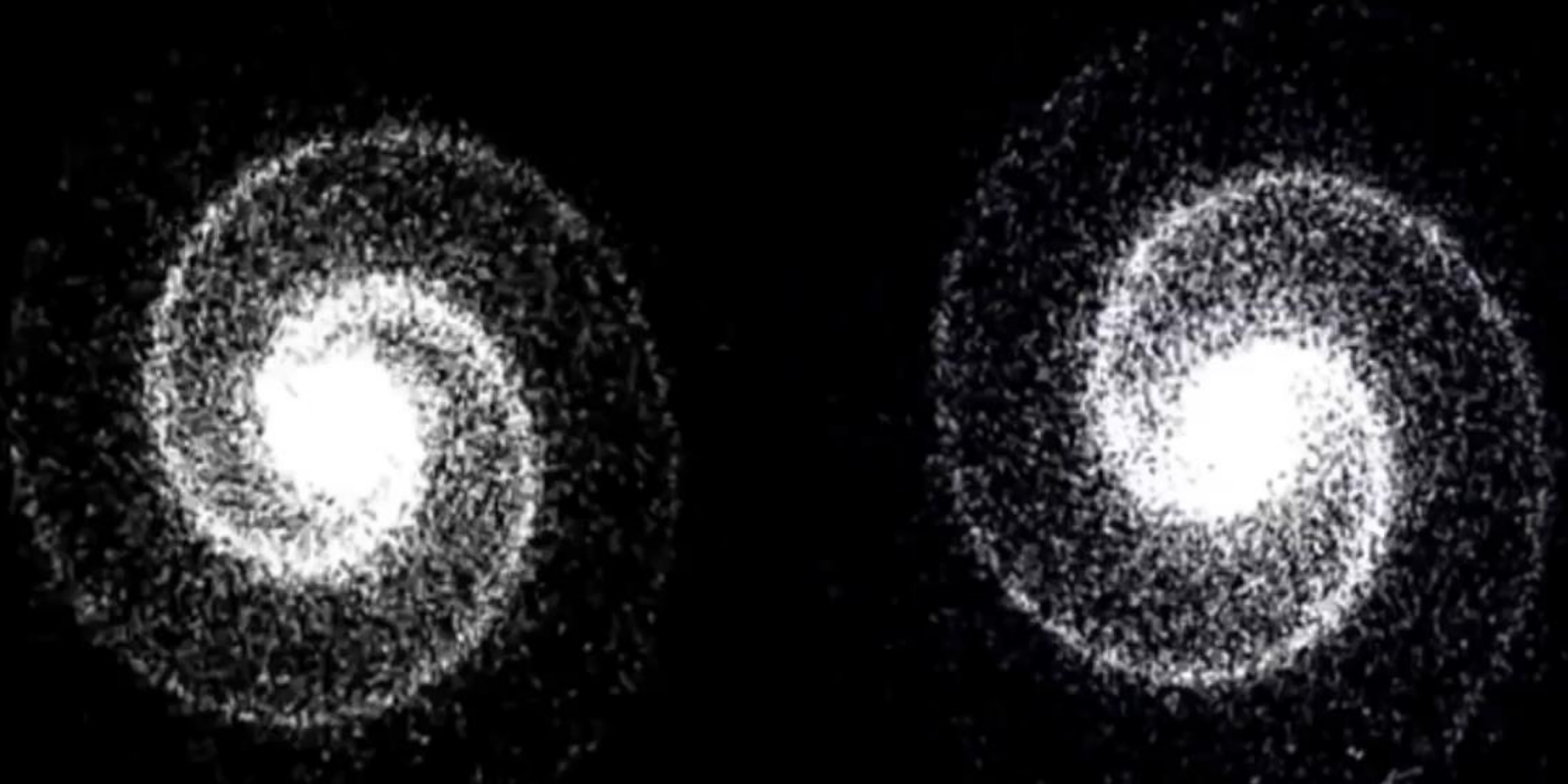
EXPLICAÇÃO: ONDAS ESPIRAIS DE DENSIDADE

os “braços de espirais” na verdade são ondas de pressão que se movem através do disco, comprimindo nuvens de gás e provocando a formação de estrelas.



não são grandes massas de matéria estáticas que estão no disco. São somente padrões que se movem através do disco.

Padrões espirais se mantêm intactos apesar da rotação diferencial



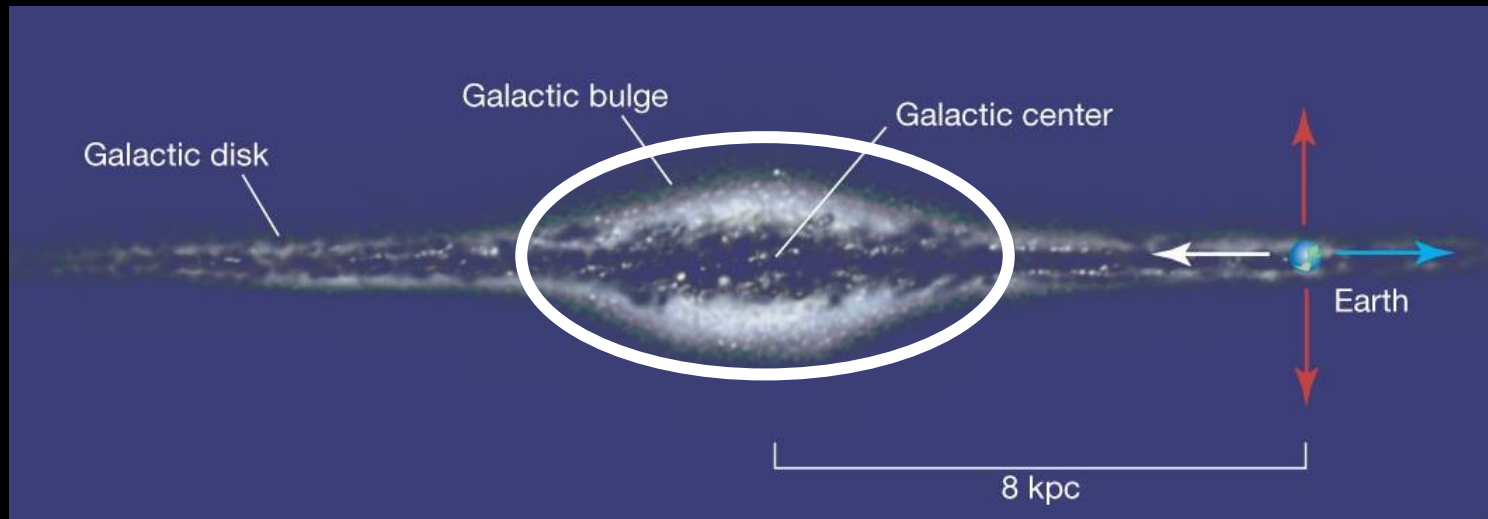
Modelo da onda de densidade

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!

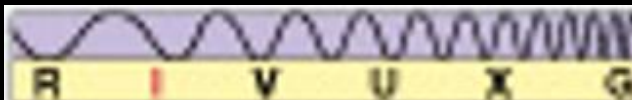
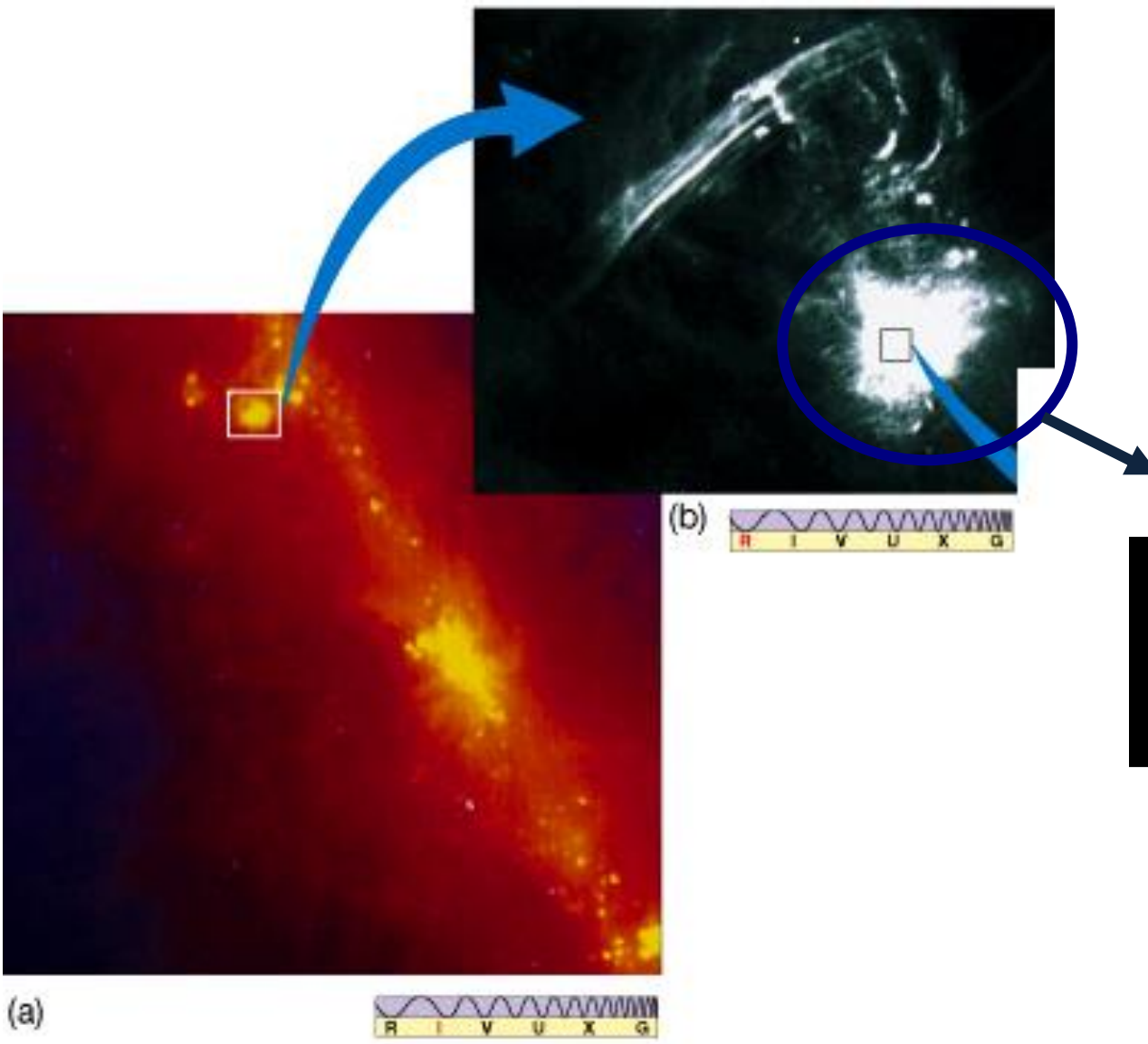
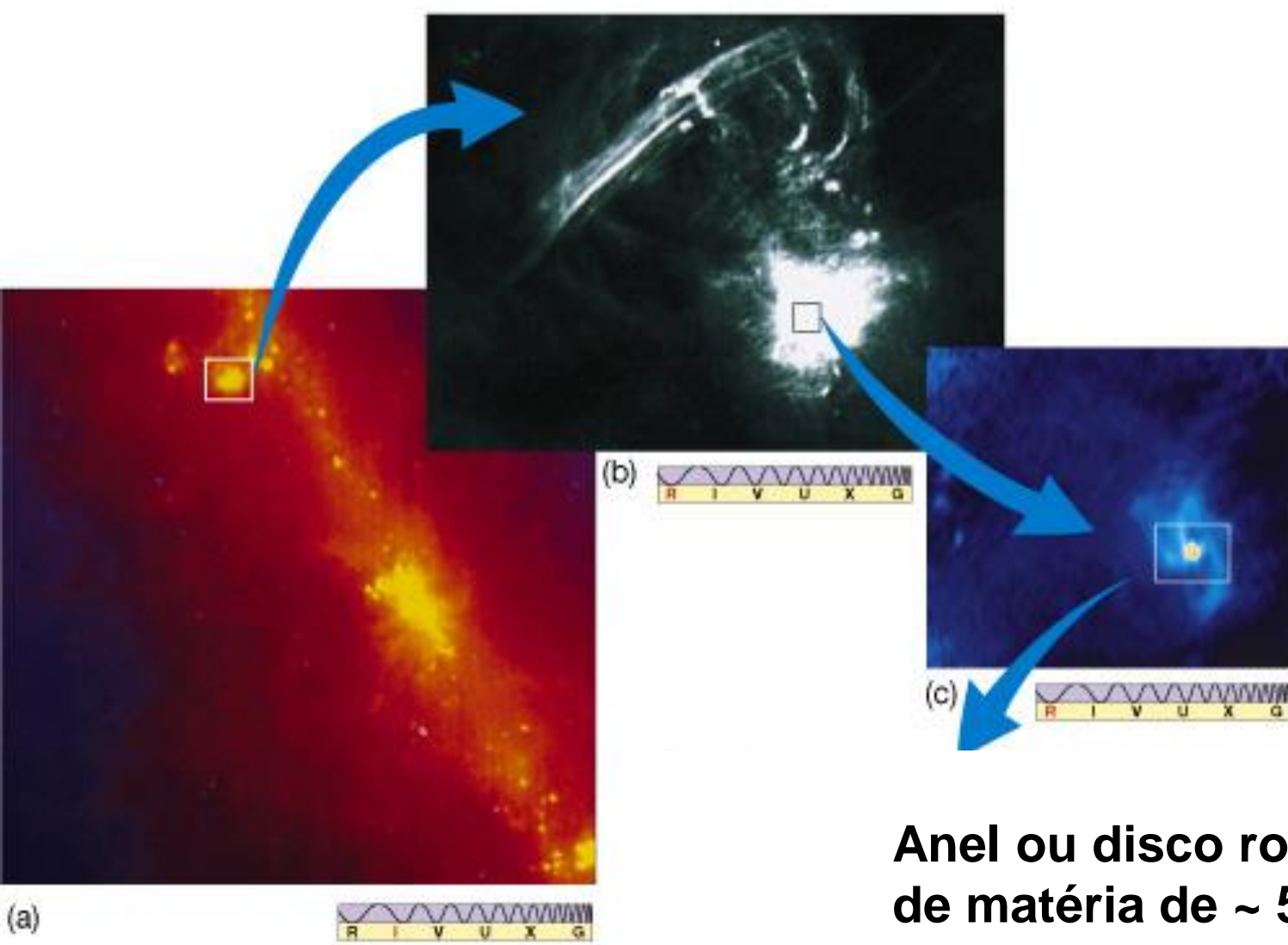


Imagem em rádio mostra zonas ainda mais profundas na direção central da Galáxia: **anel de gás molecular** de ~ 400 pc de diâmetro que contém cerca de $30.000 M_{\odot}$ de material e que rota com velocidade de 100 km/s.



**Fonte brilhante
=
Sagitário A**



**Anel ou disco rotante
de matéria de ~ 5 pc
 \Rightarrow Sgr 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.



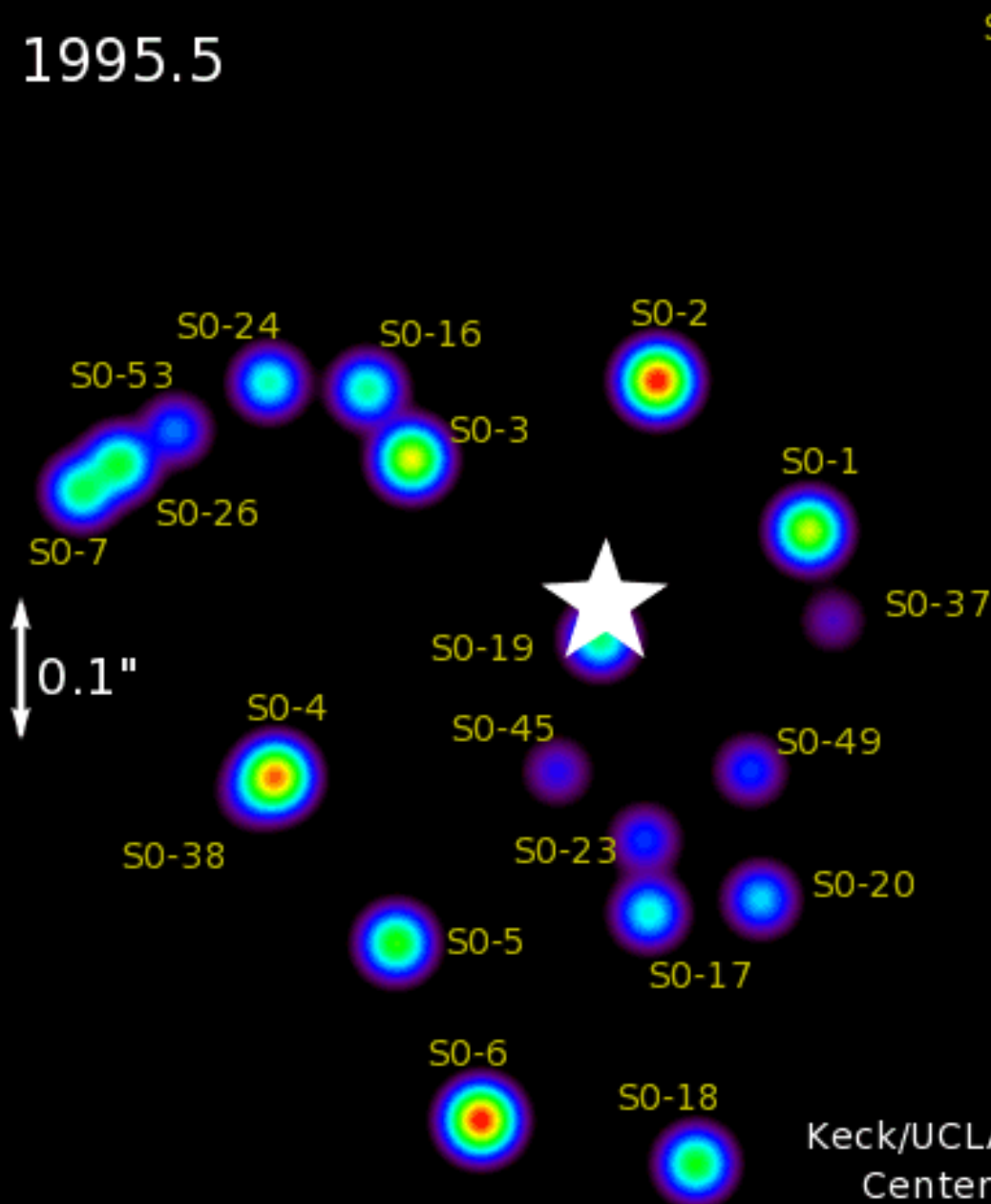
Dada a velocidade do gás, infere-se que para mantê-lo em órbita é necessário que o centro seja bastante massivo $\Rightarrow M > 1$ milhão de M_{\odot} !!!

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

The image features a vibrant, multi-colored spiral galaxy as the central focus, set against a deep black background filled with numerous stars of various colors and sizes. The galaxy's core is bright white and yellow, transitioning through orange and red to purple and blue in its outer arms. Overlaid on this cosmic scene is the text 'Outras galáxias' in a bold, 3D, yellow font with a dark shadow, slanted diagonally across the upper portion of the frame.

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



estrela

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

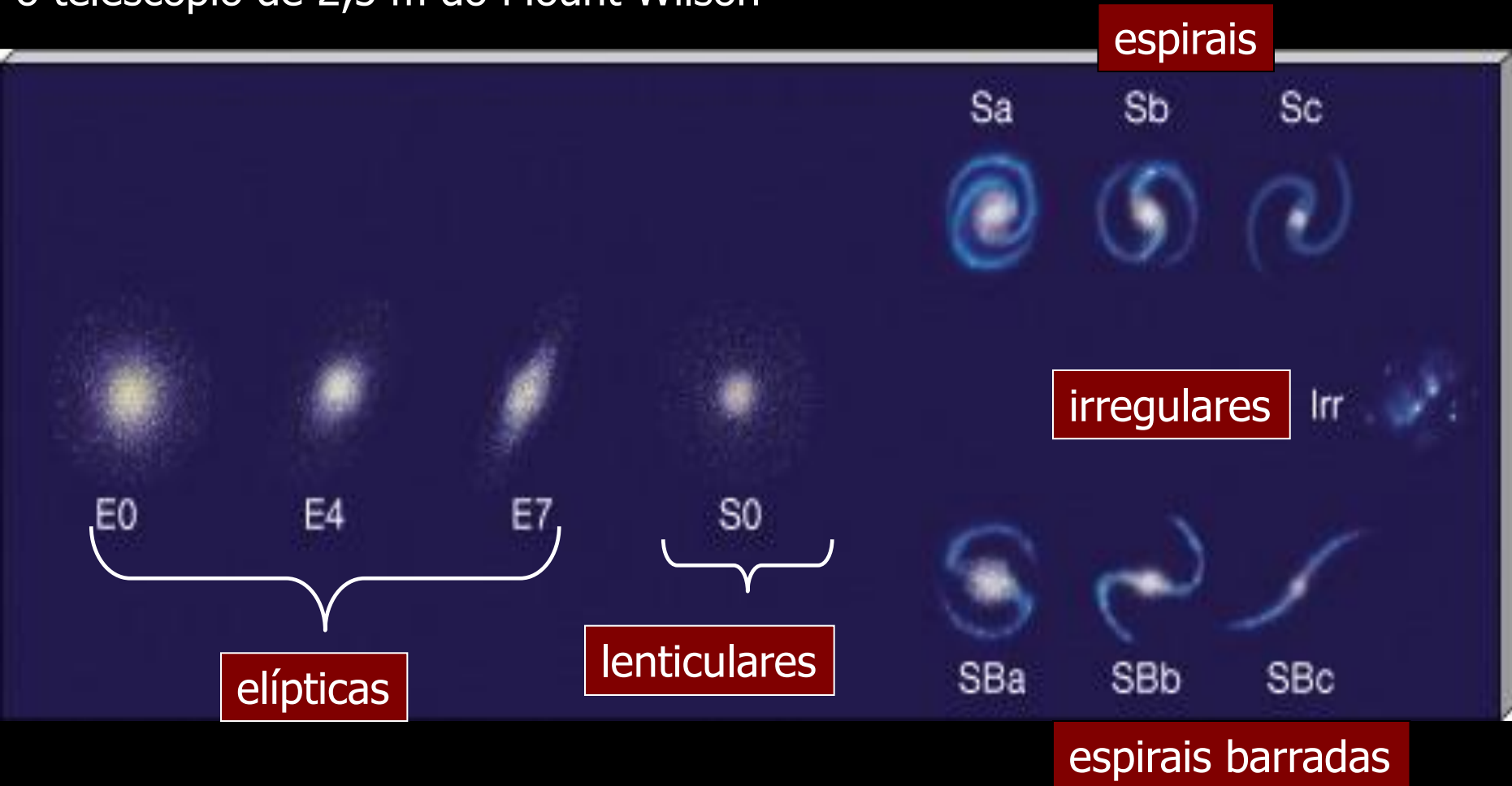


Aglomerado de Coma ~ 1000 galáxias
Está a 100 milhões de parsecs
ou 326 milhões de anos-luz de distância da Terra

MORFOLOGIA: CLASSIFICAÇÃO DE HUBBLE

(classificação quanto à aparência)

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



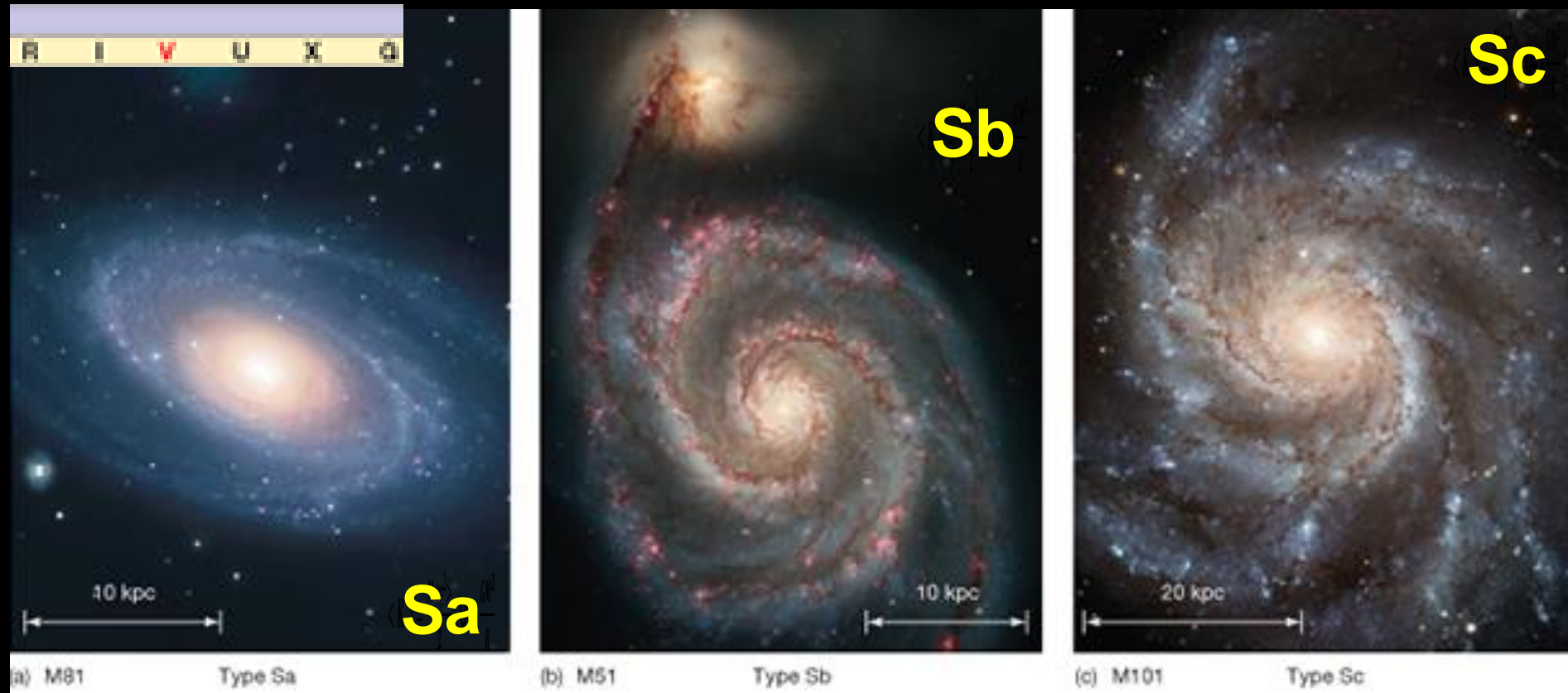
The background of the slide is a vast field of galaxies, likely from a deep space survey. The galaxies are scattered across the frame, appearing in various colors including yellow, orange, red, and blue. Some are bright and clear, while others are faint and distorted, possibly due to gravitational lensing or distance. The overall appearance is a rich, multi-colored population of galaxies.

**PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS
DOS DIFERENTES TIPOS DE GALÁXIAS**

ESPIRAIS

- disco em rotação, braços de 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 ⇒ classificação de acordo com tamanho do bojo





(a) M81 Type Sa



(b) M51 Type Sb



(c) M101 Type Sc

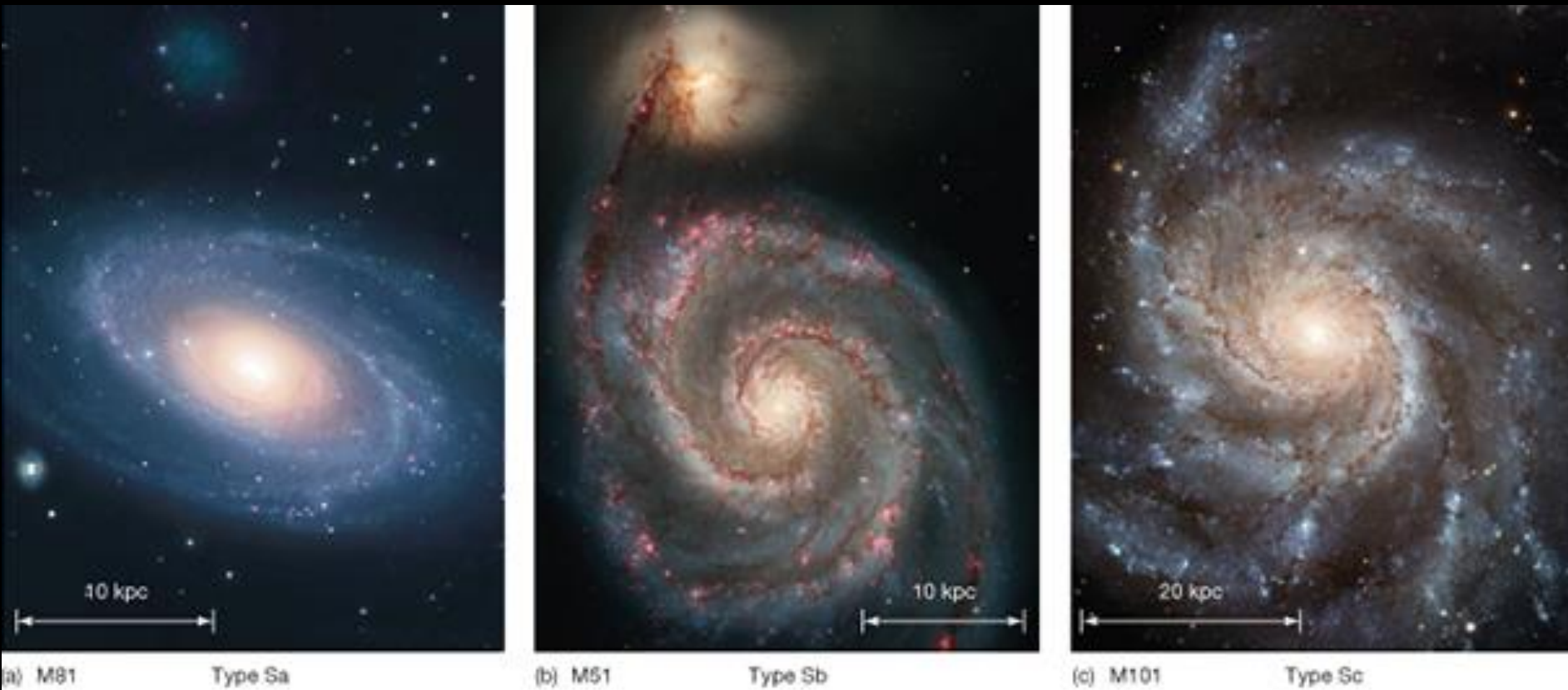
correlação bojo – braços de espirais

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).**



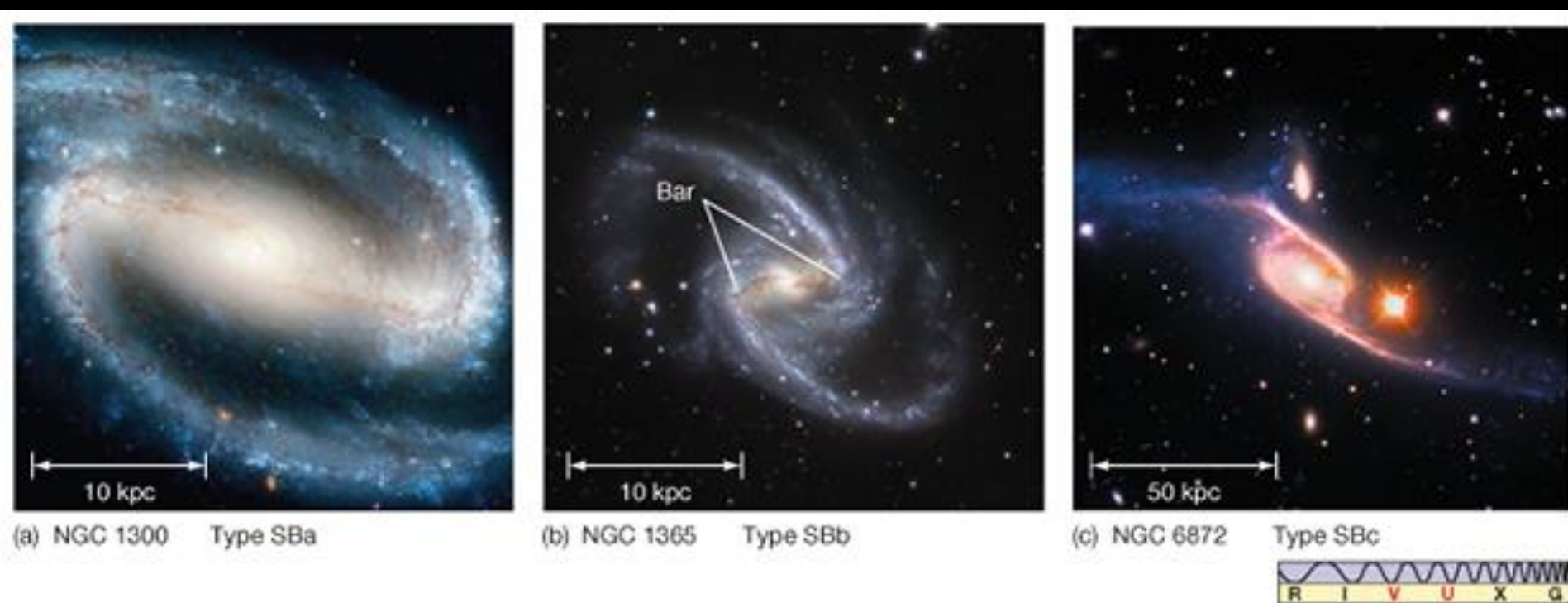
- a maior parte da luz vinda das espirais \Rightarrow estrelas A - G do disco
- braços de espirais \Rightarrow **estrelas O e B (coloração azulada)**
- discos ricos em gás e poeira
- braços de espirais contém sítios de formação estelar recente e nuvens de gás e poeira mais densos

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



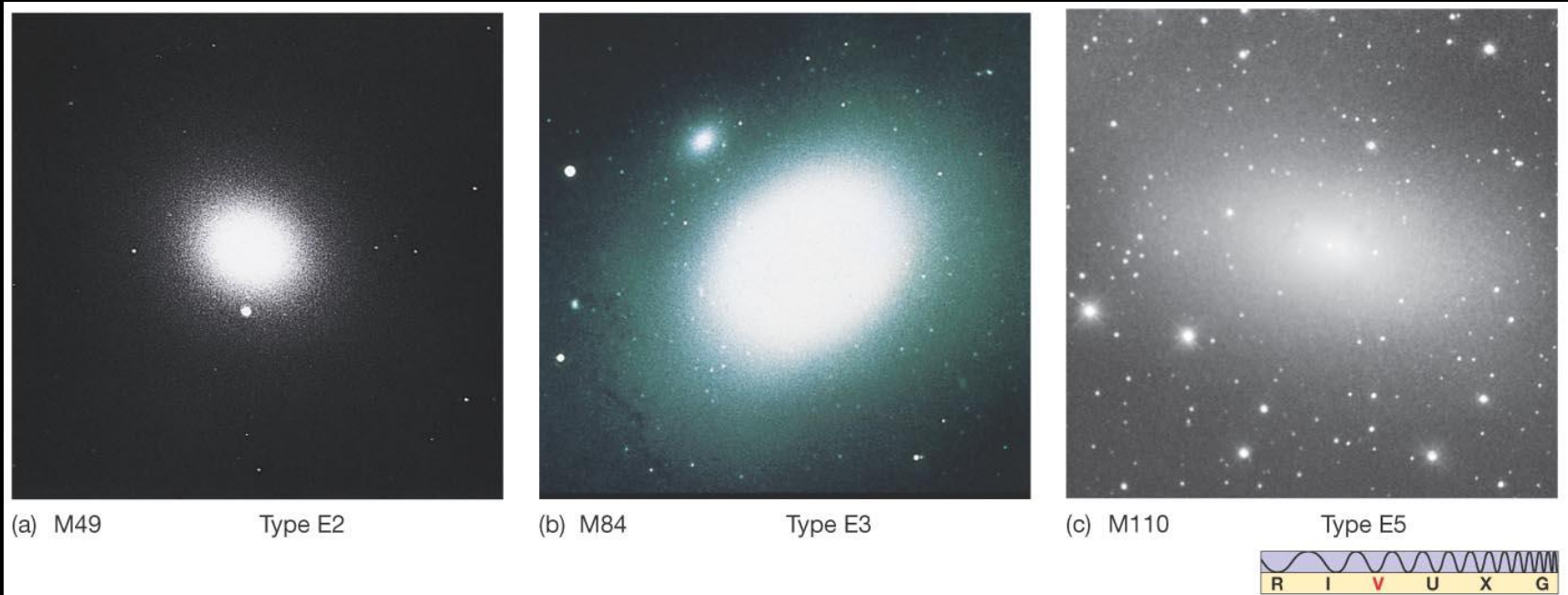
Braços de espirais projetam-se a partir da barra

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.

Talvez a nossa Galáxia seja barrada (SBb ou SBc)...

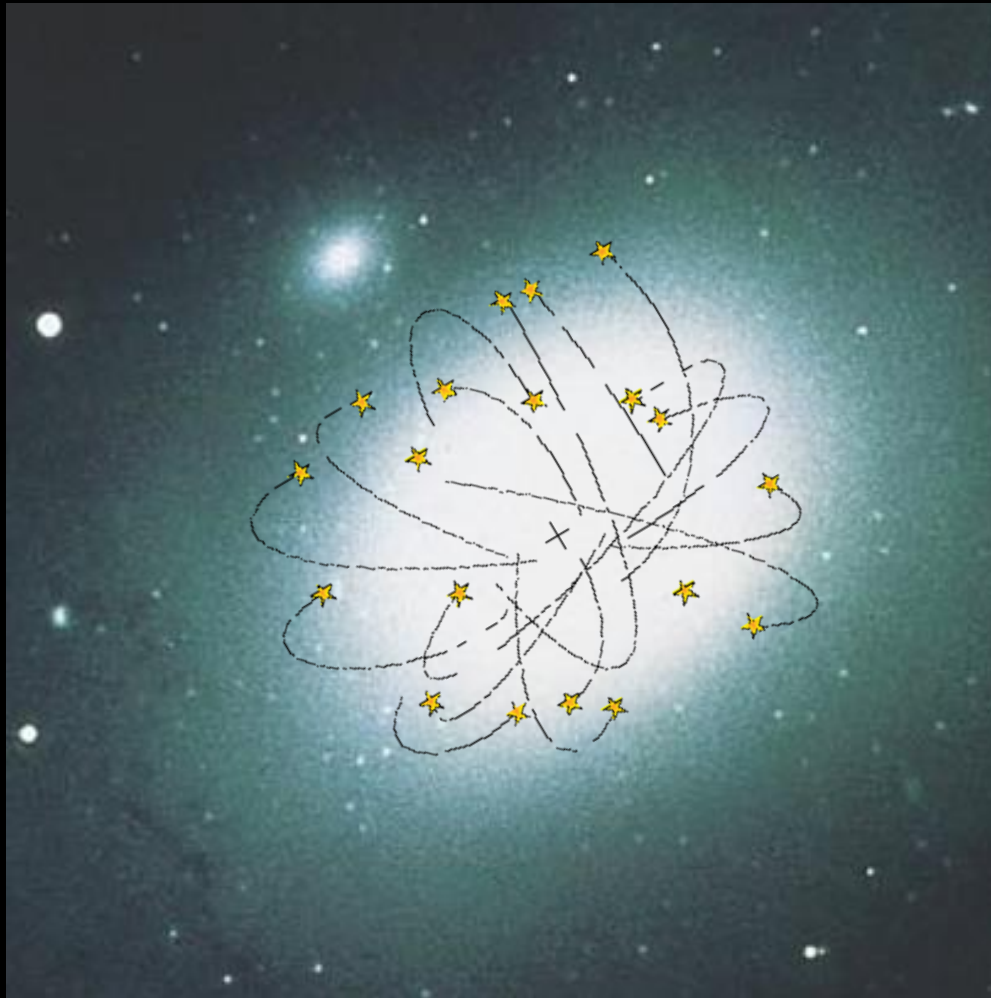
ELÍPTICAS

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



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

ELÍPTICAS



densidade de estrelas cresce da borda para o centro.

**Estrelas com órbitas
randômicas**

TAMANHOS



a) M49

Type E2



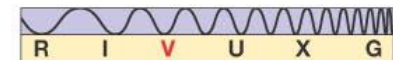
(b) M84

Type E3



(c) M110

Type E5



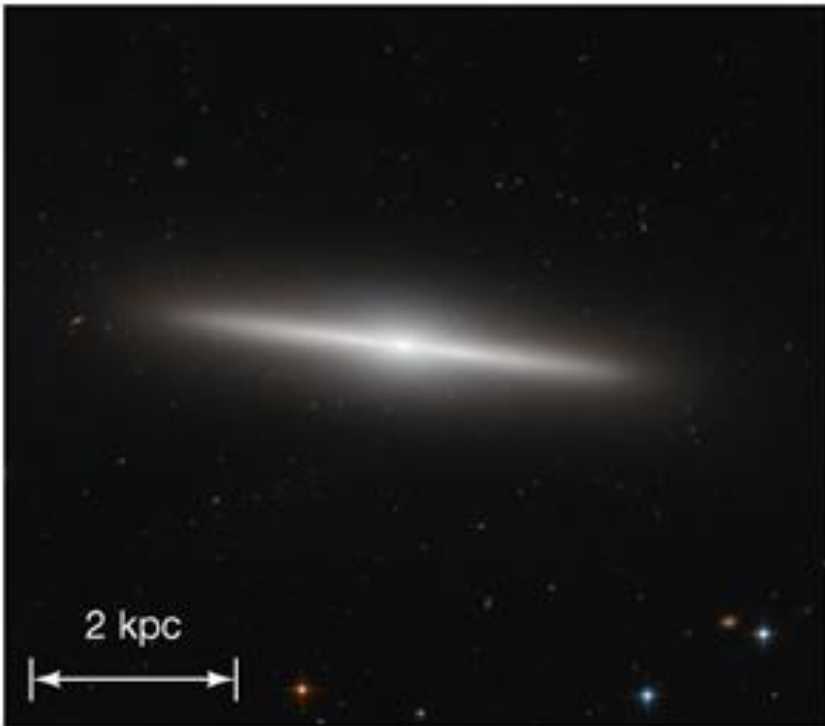
- **elípticas gigantes:** diâmetro de n Mpc com 1 trilhão de estrelas
- **elípticas anãs:** diâmetro de ~ 1 kpc com poucos milhões de estrelas

**mais comuns
no universo**

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

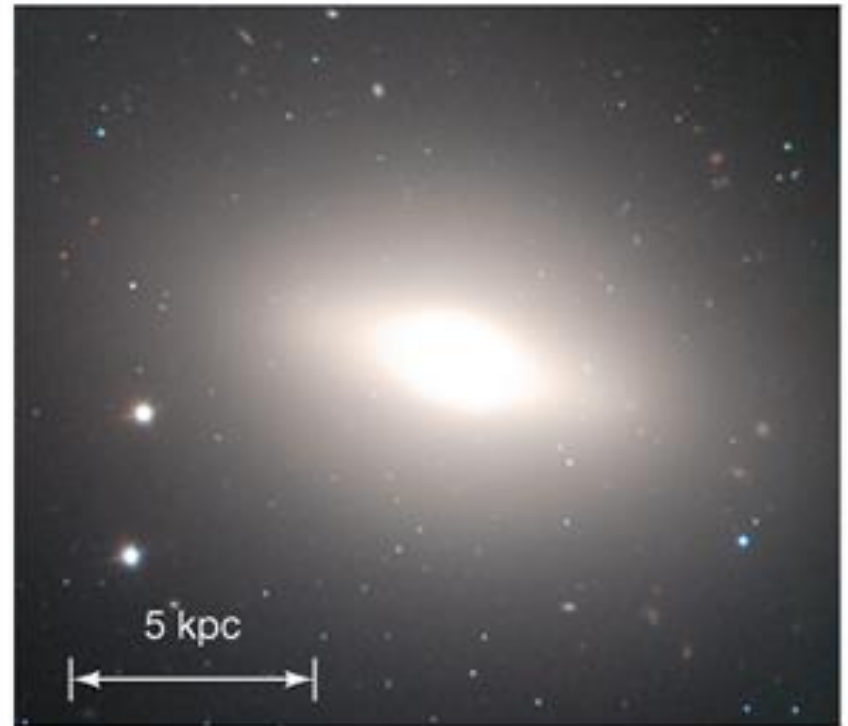
LENTICULARES

- 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

Contém $10^8 - 10^{10}$
estrelas

frequentemente encontram-se junto a galáxias maiores

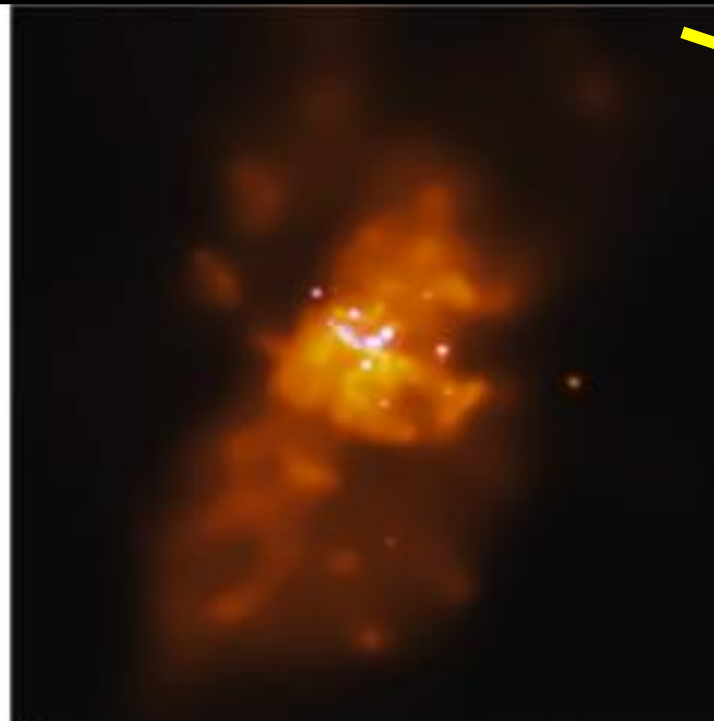
Irr1



(a) NGC 4485/4490



Irr2



(b) M82

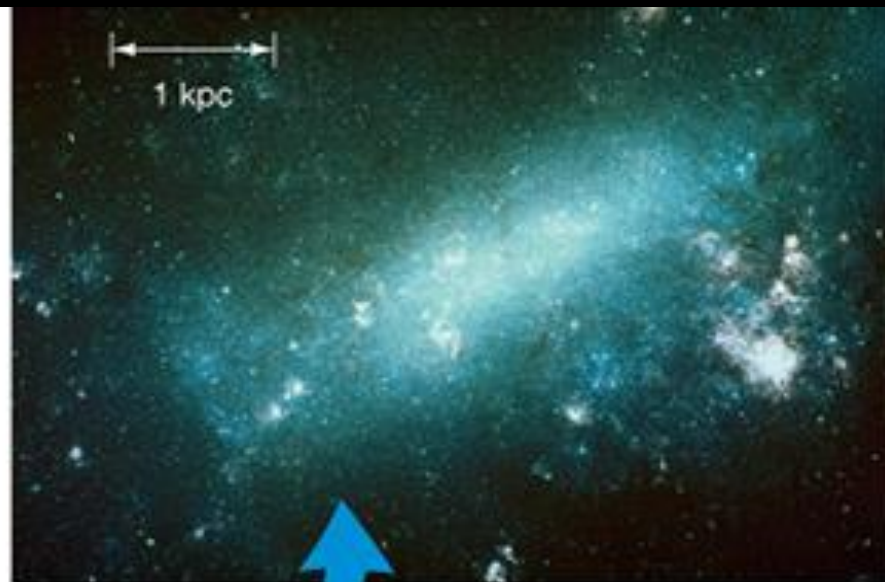


IRREGULARES

Galáxias Irr1



(b)



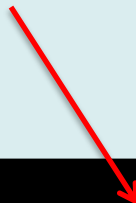
(c)

Small Magellanic Cloud

Large Magellanic Cloud

**Distância estimada :
50 kpc do centro da Galáxia**

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



relativo a brilho

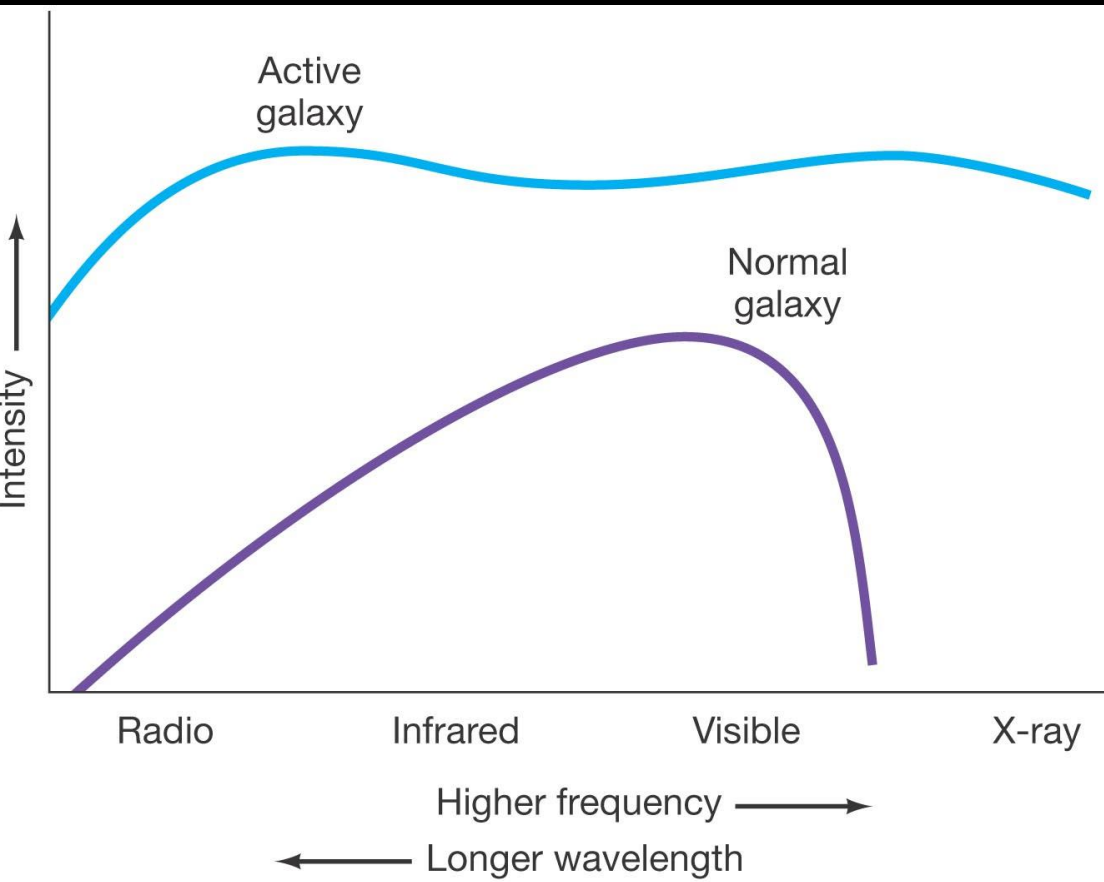
**~ 40% das galáxias consideradas luminosas ($> 10^{10} L_{\odot}$)
NÃO SÃO “NORMAIS” EM BRILHO!!!**

**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 RADIÇÃO 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**

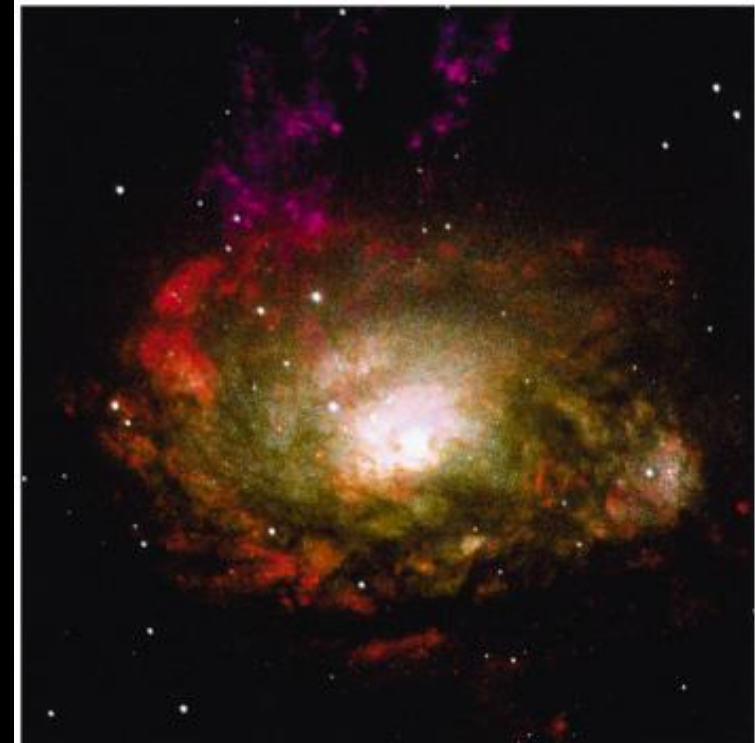
Galáxias SEYFERT

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)

Galáxias SEYFERT



**Núcleos emitem radiação desde o infravermelho até raios-X
(75% emitem a maior parte da radiação no infravermelho)**

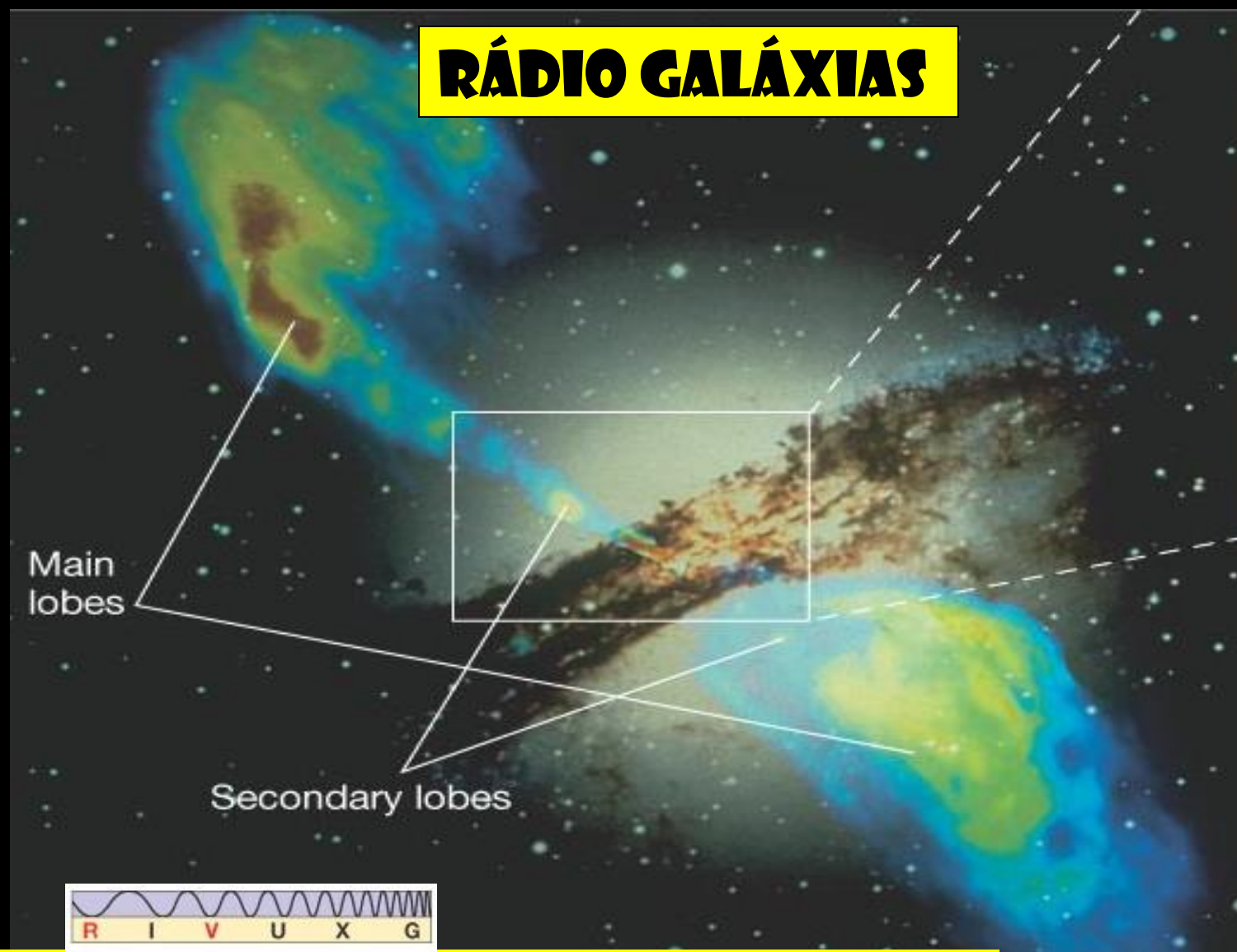
RÁDIO GALÁXIAS

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)

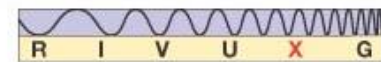
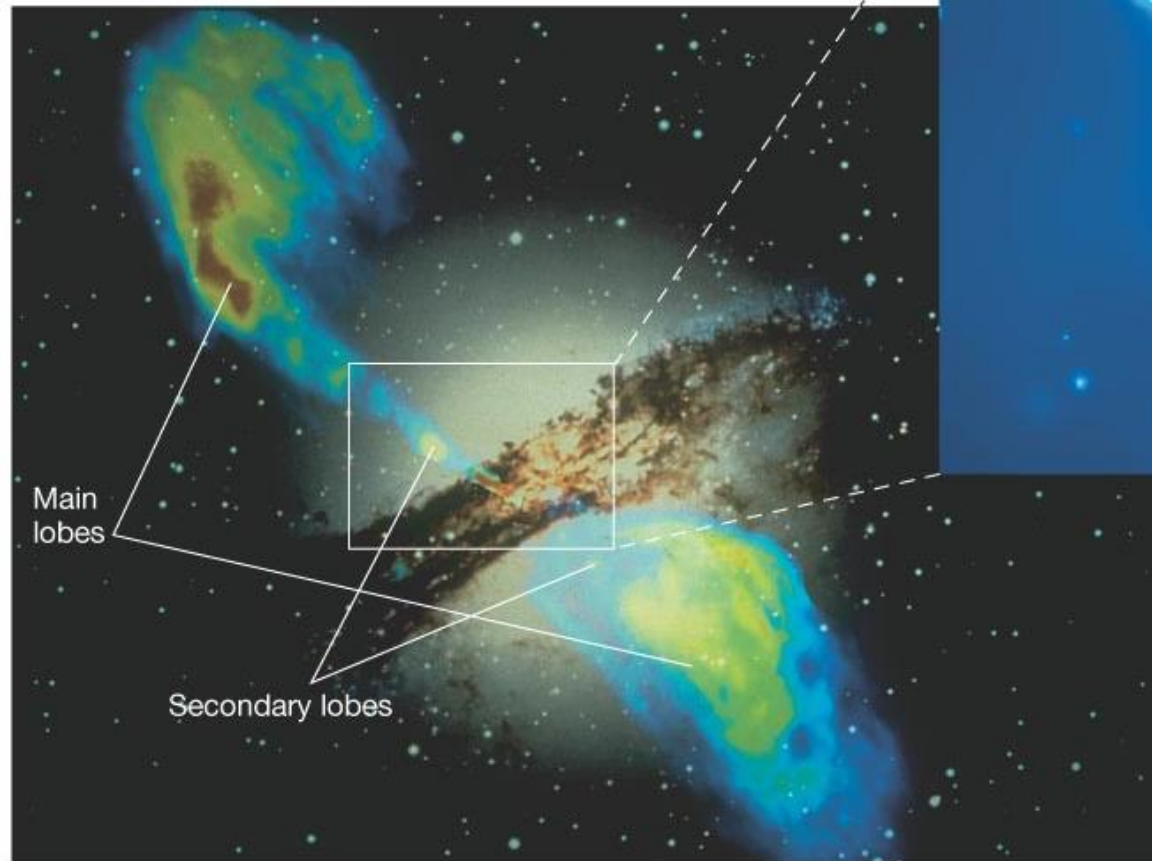


Imagem em raios X indica que as partes mais internas, próximas ao centro de origem dos jatos, emitem em alta energia

RÁDIO GALÁXIAS

Observadas a distâncias bem maiores do que as galáxias normais brilhantes

- **associadas geralmente a galáxias elípticas**

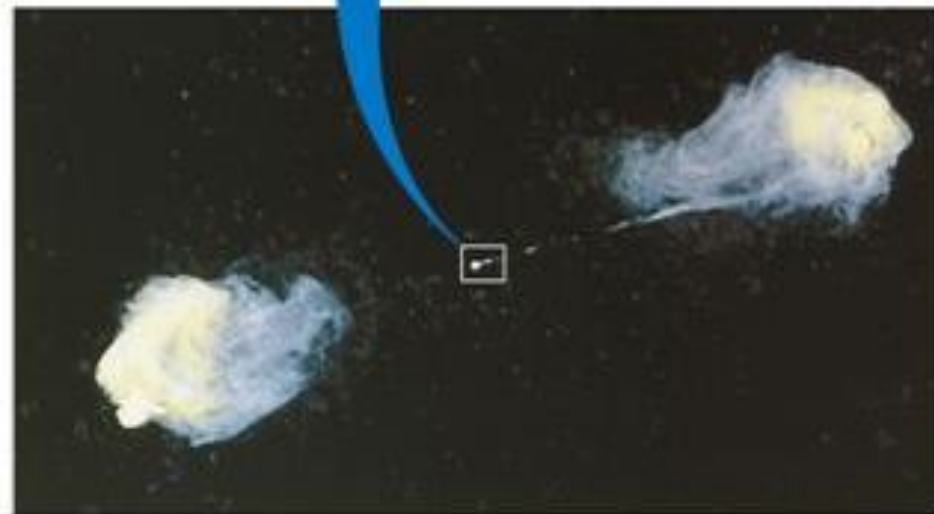
**Energia do jato pode alcançar
~ 10^{35} W
250 milhões L_{\odot}**

**Jatos podem alcançar
1 Mpc de extensão...**

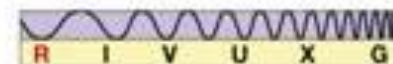
Cygnus A – 250 Mpc da Terra



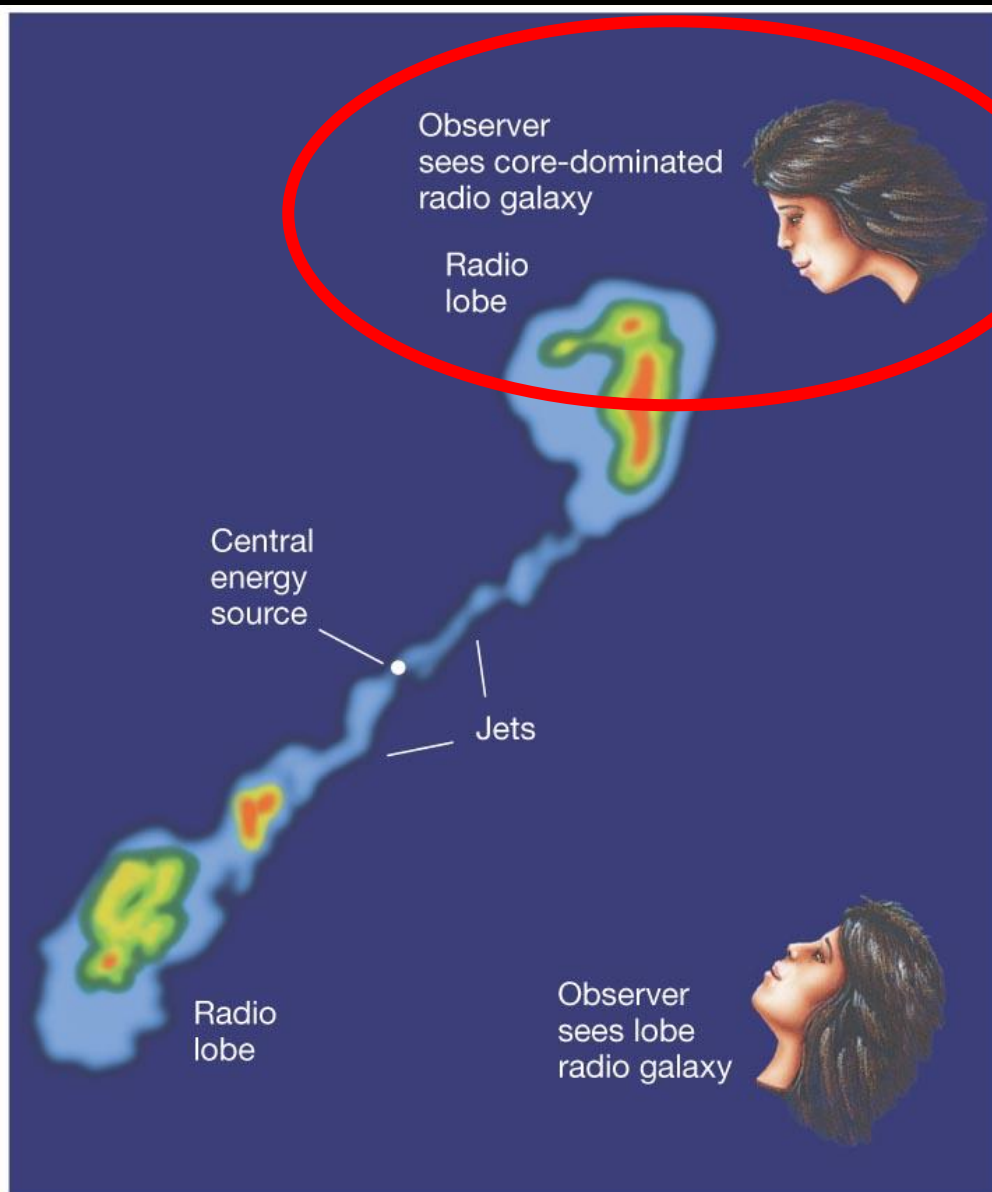
(a)



(b)



Dependendo do ângulo pode-se ver os lóbulos ou não.



Blazar = quando observamos um lóbulo de frente

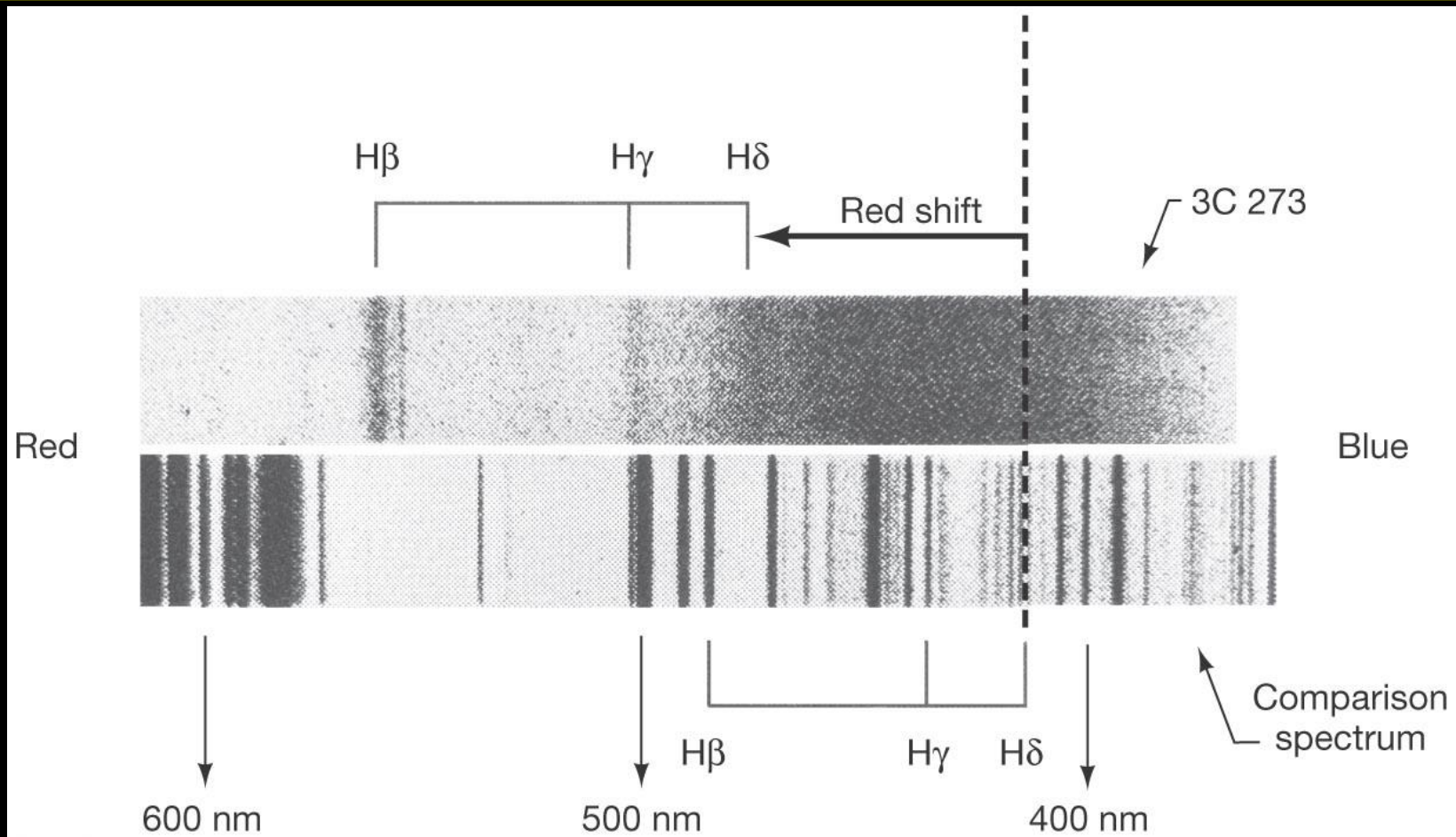
por efeito Doppler observamos a radiação na forma de raios-X ou gama

QUASARES



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

Depois observou-se que o espectro não era incomum e sim que as linhas espectrais eram enormemente deslocadas para o vermelho (*redshift*).



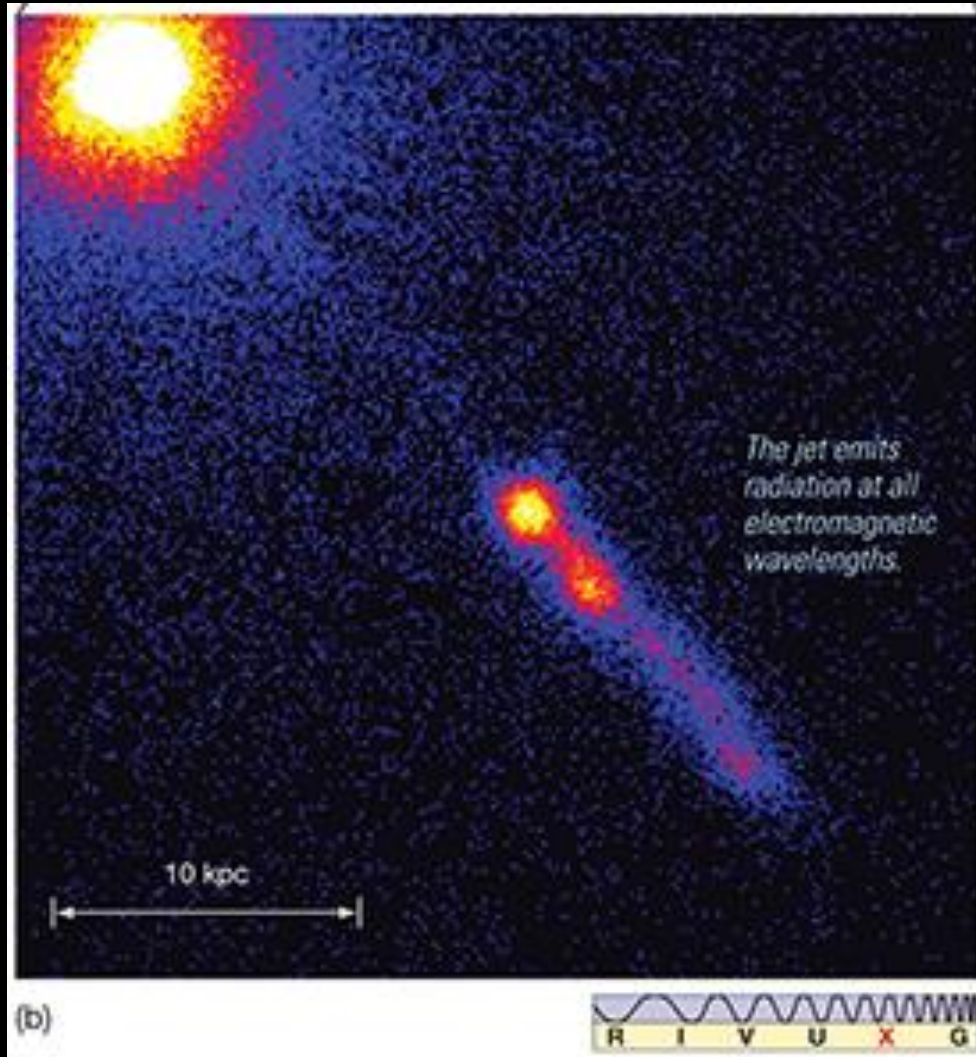
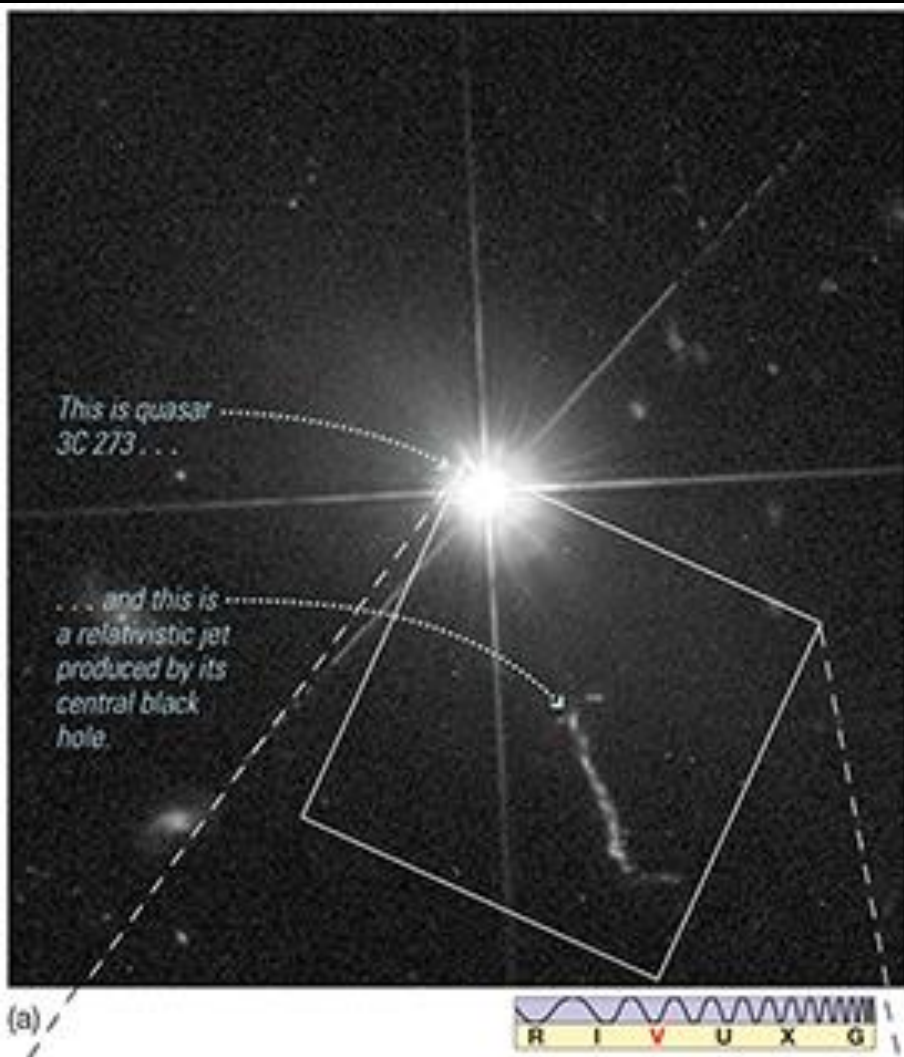
Indicativo os quasares podem encontrar-se a distâncias muito maiores do que todas as galáxias visíveis

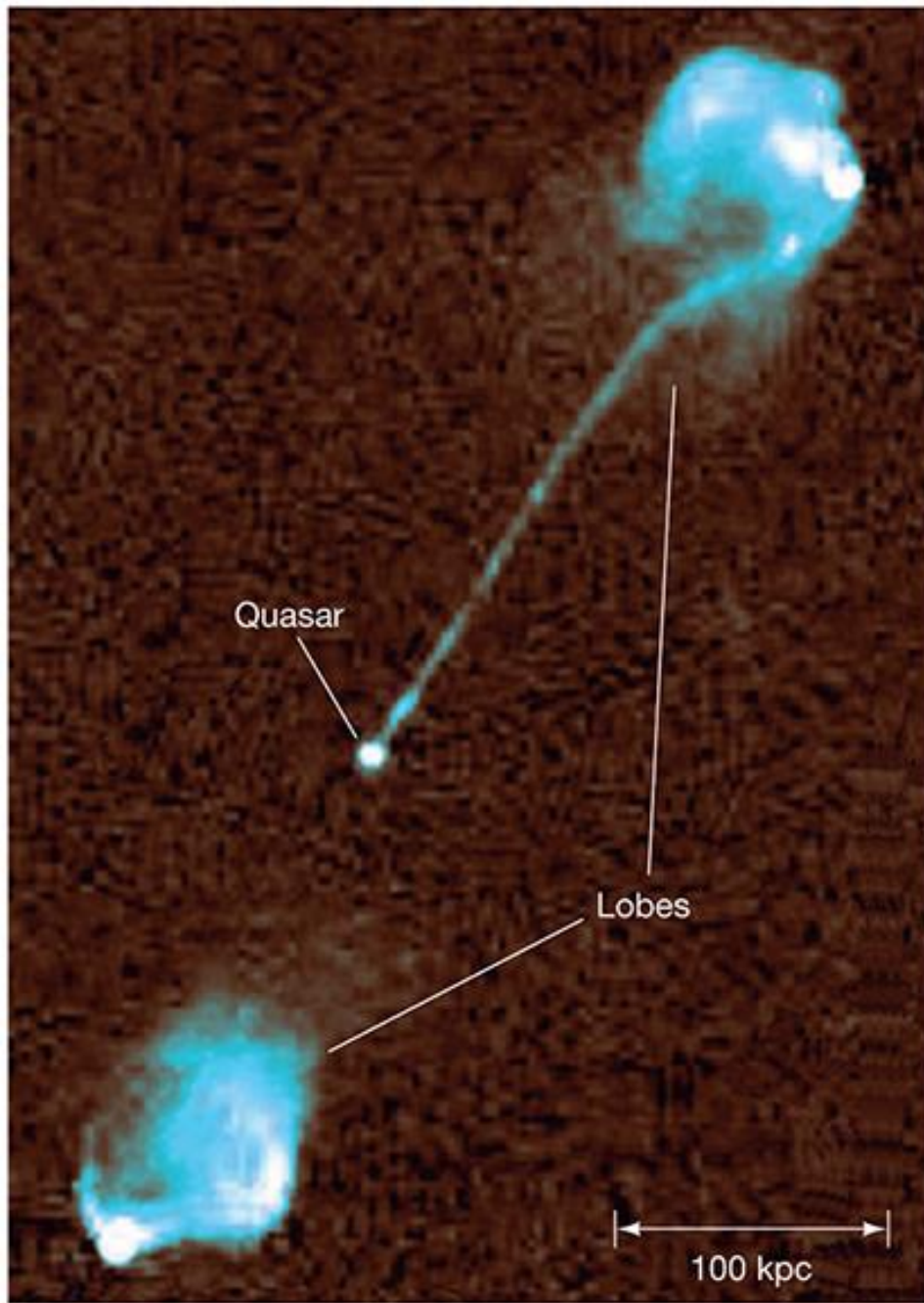
**ULAS J1120+0641 , o quasar é observado tal como era há 770 milhões de anos após o big-bang .
Levou 12,9 bilhões de anos para que a luz emitida por ele nos alcançasse.**



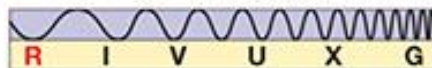
QUASAR 3C 273

Contém jatos que atingem 30 kpc em extensão





Quasar 3C175
Lóbulos de 1Mpc de tamanho.

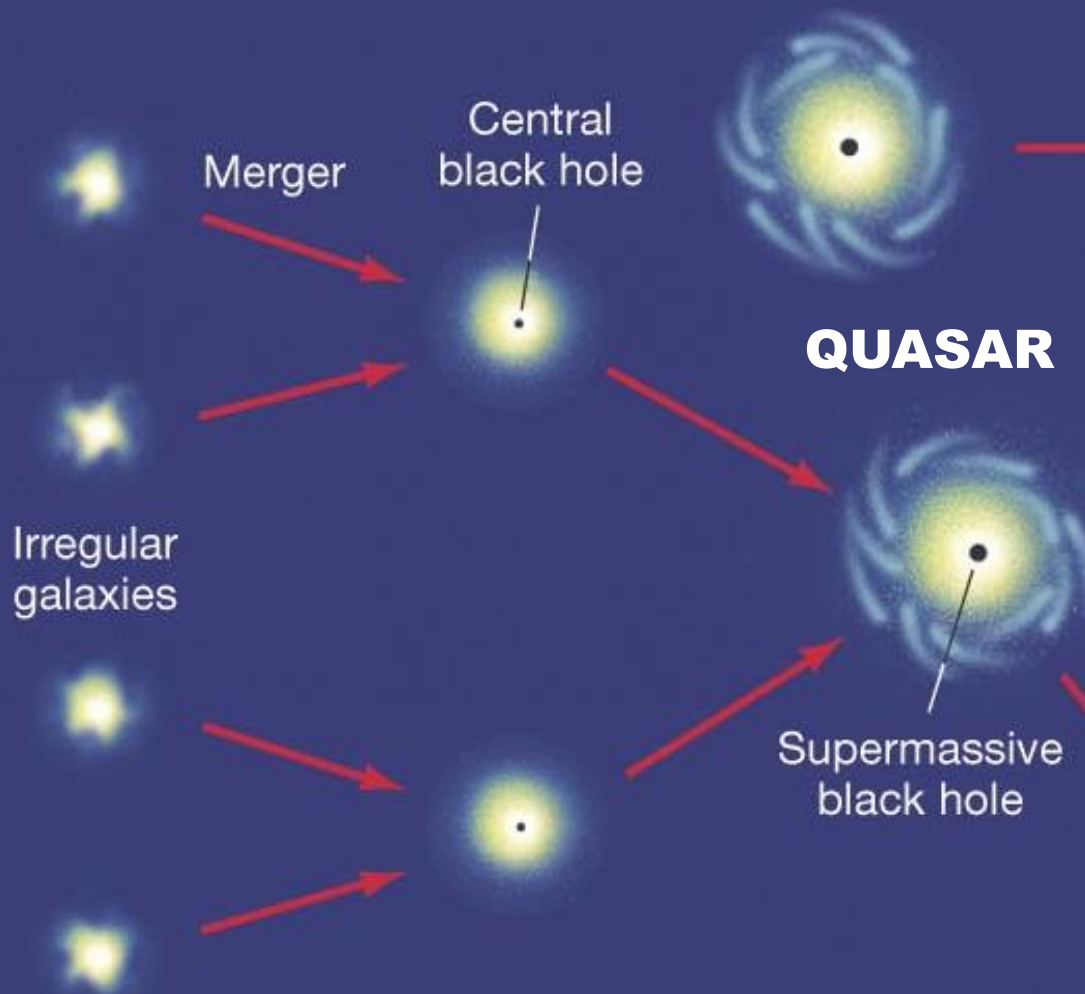


QUASARES TEM PROPRIEDADES PARECIDAS COM RÁDIO-GALÁXIAS

IMPORTANTE:

PODE REPRESENTAR UMA SEQUÊNCIA EVOLUTIVA:

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



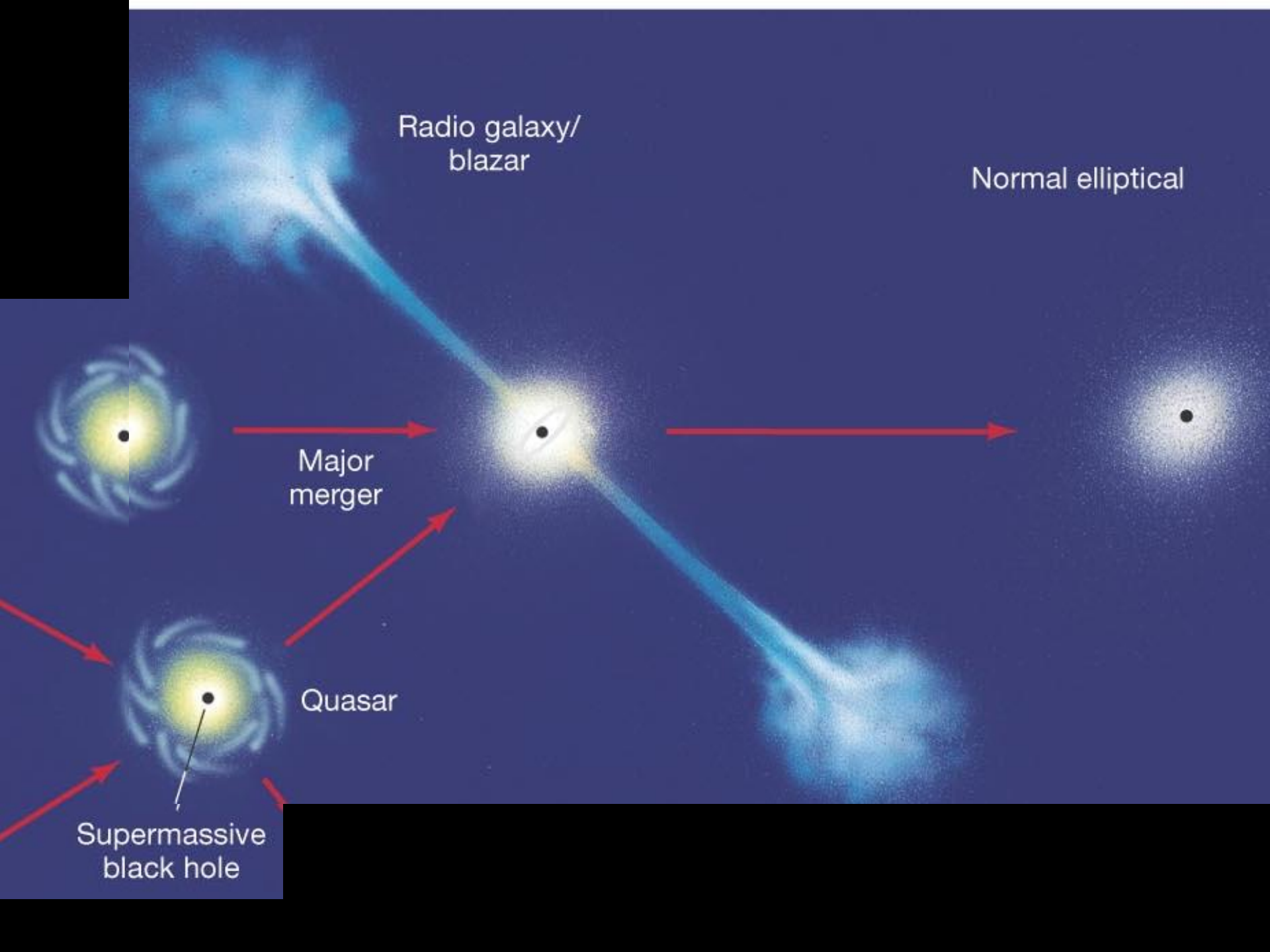
QUASAR

Irregular galaxies

Merger

Central black hole

Supermassive black hole



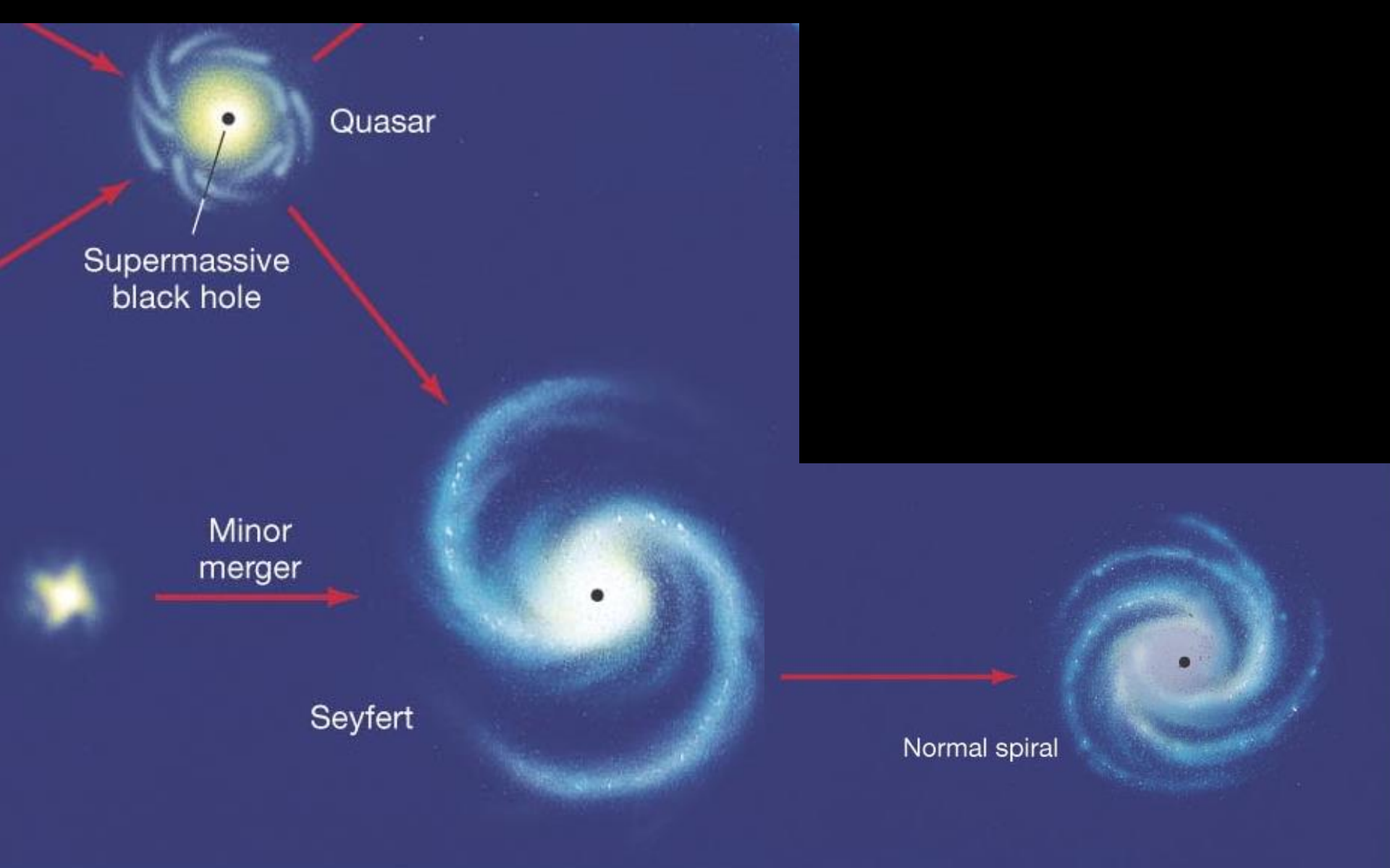
Radio galaxy/
blazar

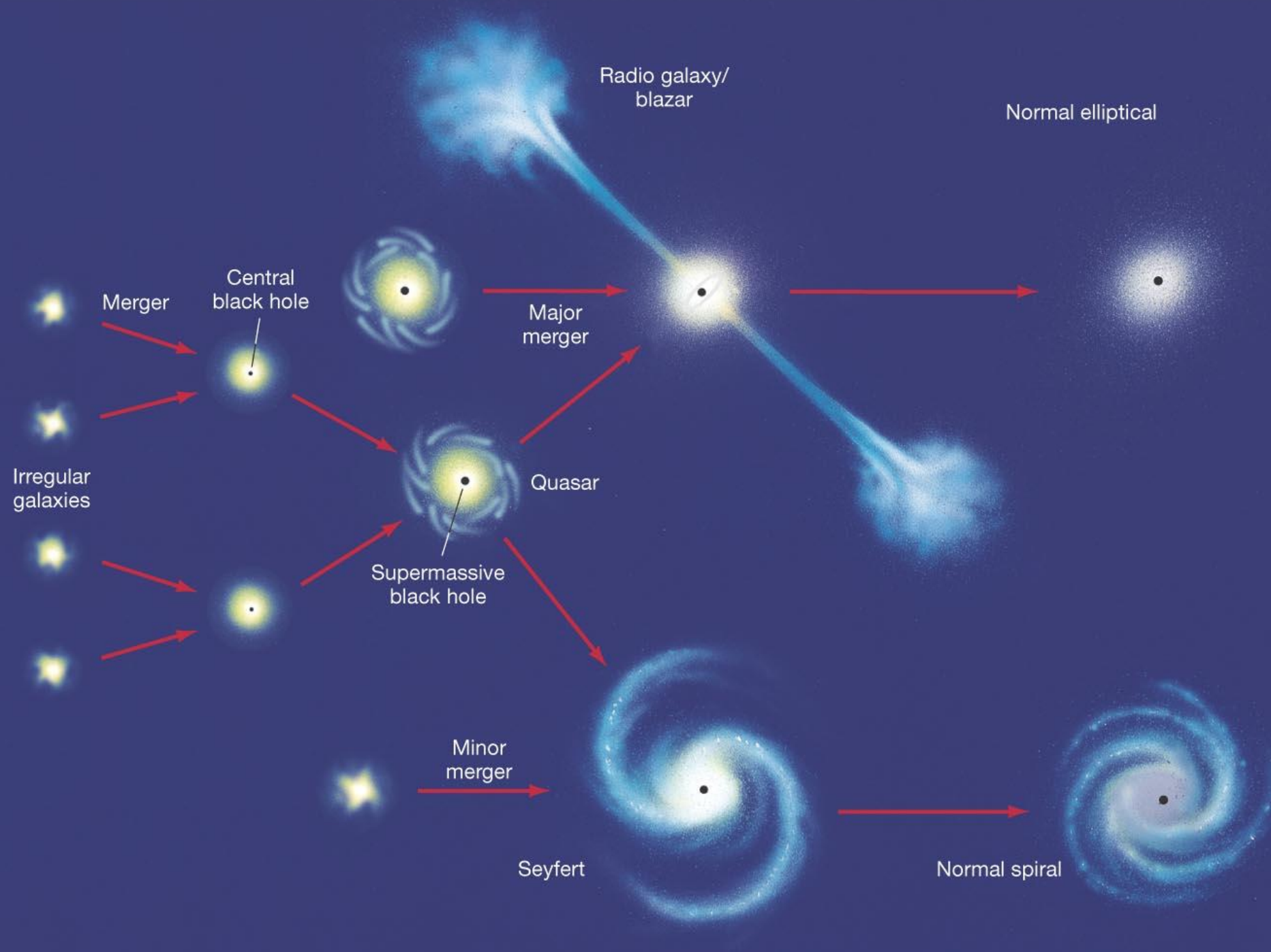
Normal elliptical

Major
merger

Quasar

Supermassive
black hole





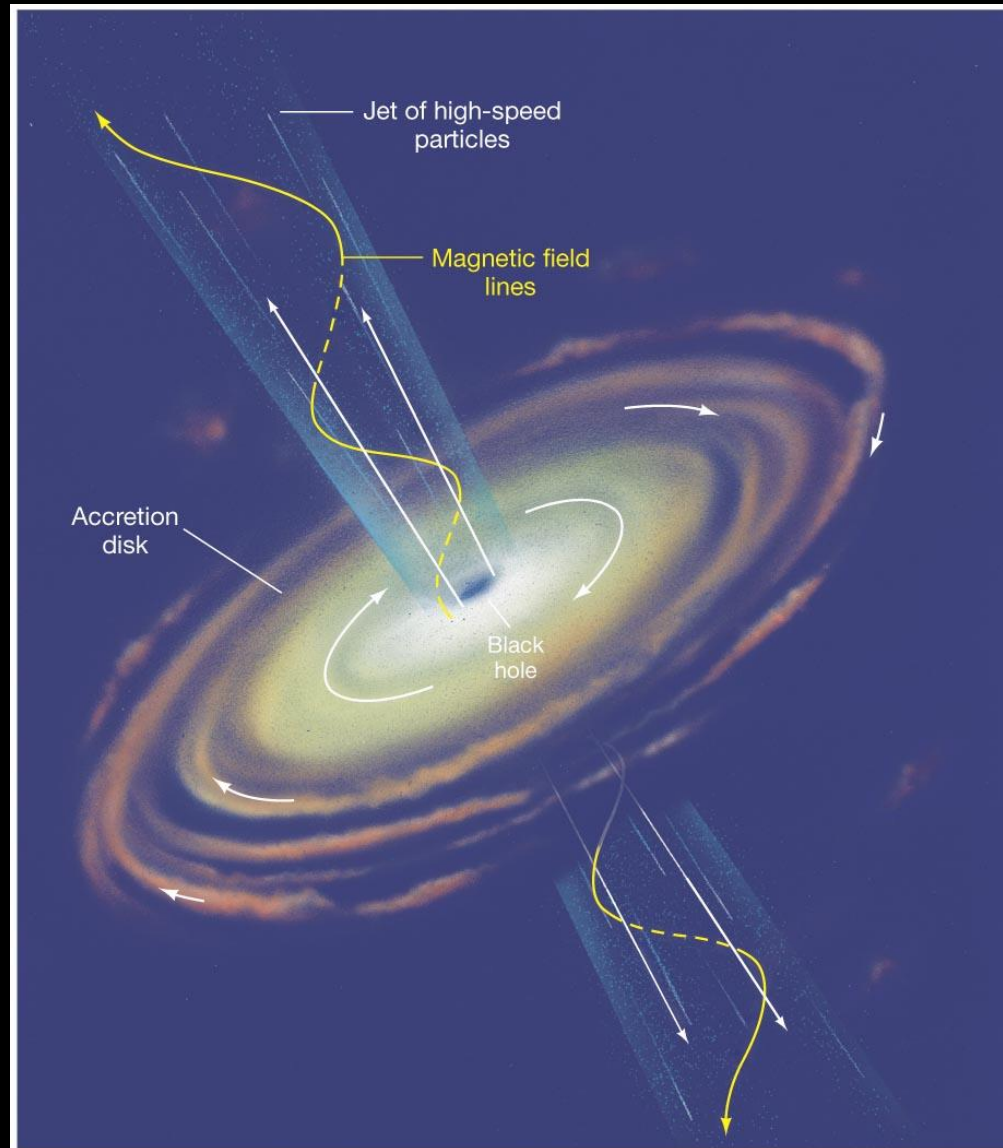
TEORIA MAIS ACEITA PARA EXPLICAR OS NÚCLEOS ATIVOS

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

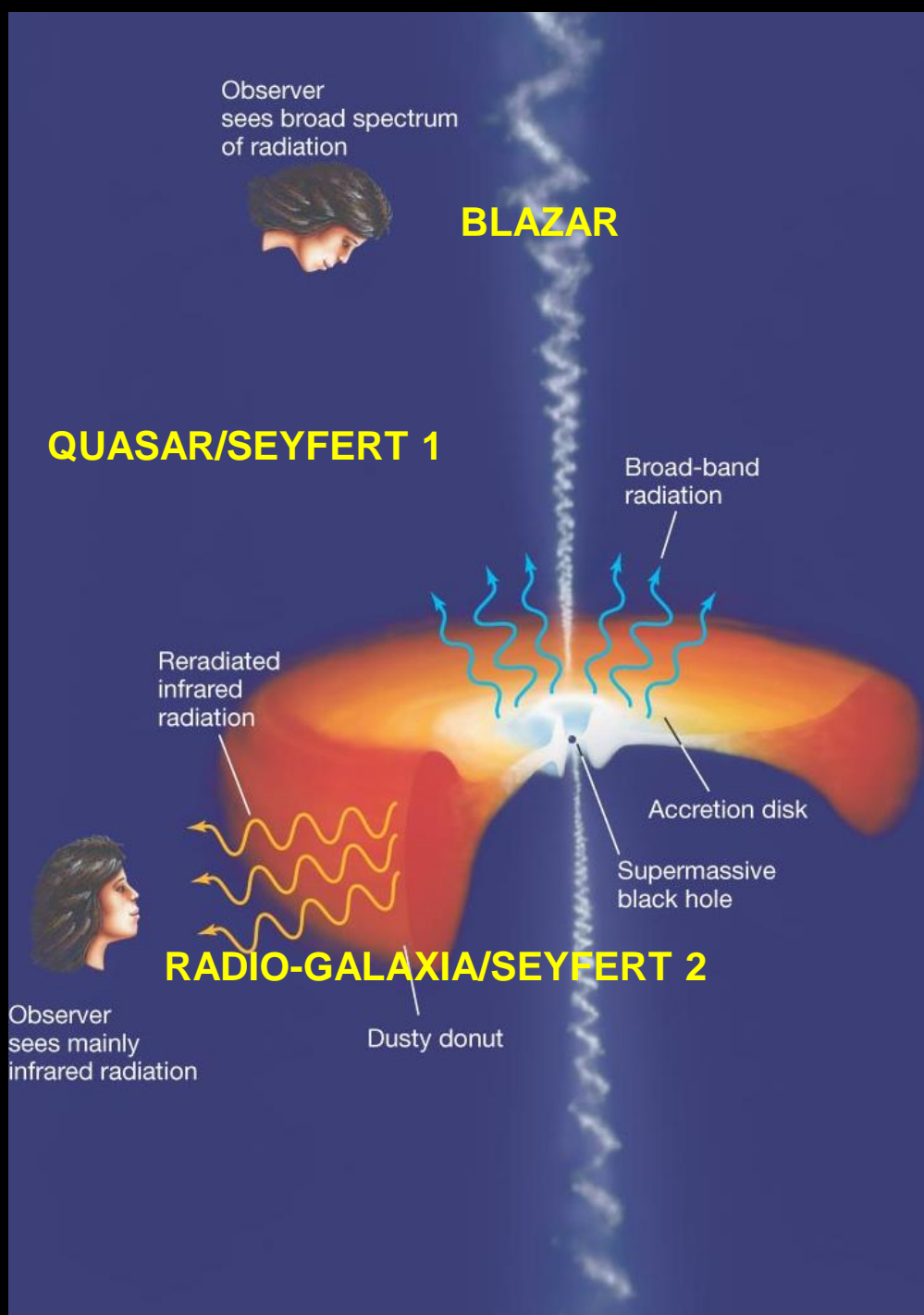
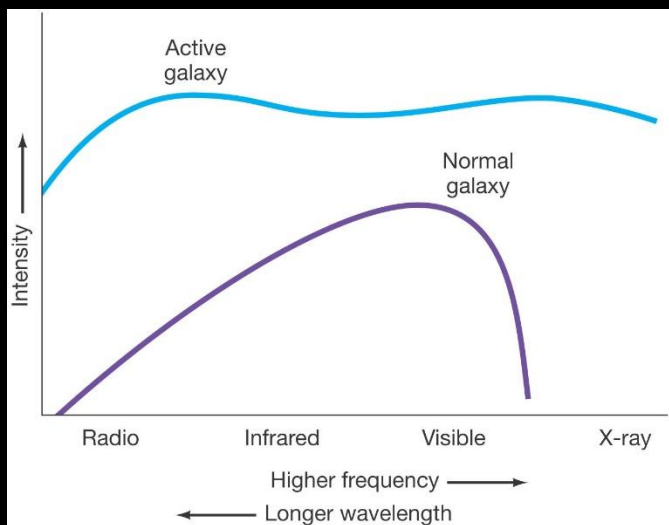
A matéria neste disco espirala em direção ao buraco negro, aquecendo e produzindo uma quantidade enorme de energia.

Linhas de campo magnético são estreitadas nas regiões internas do disco e partículas carregadas movem-se com alta velocidade ao longo destas linhas.

Radiação γ e X é produzida NA PARTE INTERNA DO DISCO DE ACRESÇÃO, mas pode ser reprocessada nas nuvens densas de gás ao redor do buraco negro e reemitida em comprimentos de onda maiores.



Dependendo da linha de visada, pode-se observar a radiação vinda no núcleo em comprimentos de onda mais curtos ou mais longos (família de galáxias ativas)



ESTRUTURA EM GRANDE ESCALA: Distribuição das galáxias no universo

Galáxias não estão distribuídas uniformemente no espaço

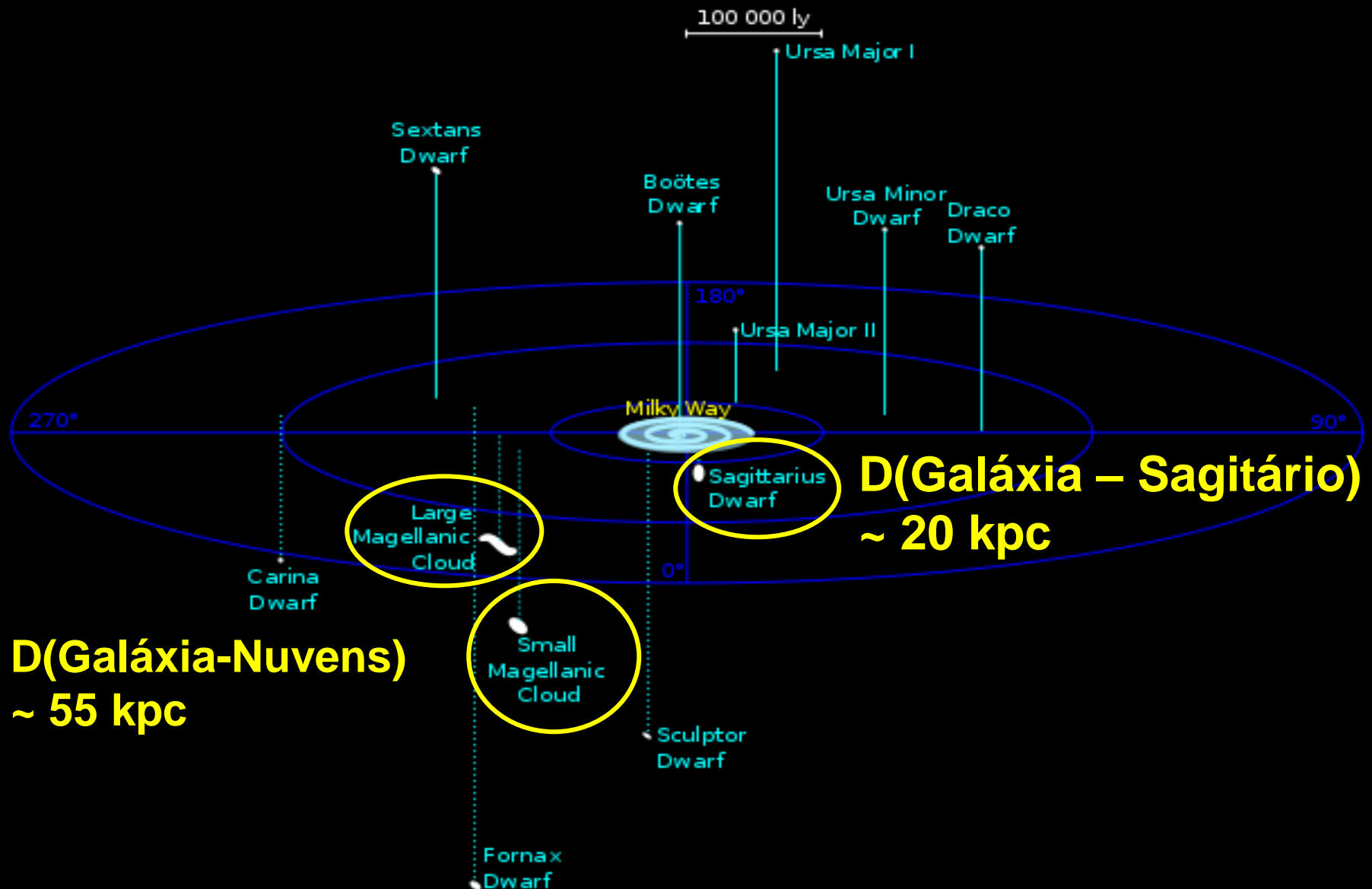
Somente 20 ou 30 % das galáxias estão isoladas no espaço intergaláctico

Normalmente galáxias agrupam-se em:

- pares
- grupos (~ 1 Mpc de extensão, dezenas de galáxias)
- aglomerados (\sim alguns Mpc e milhares de 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.

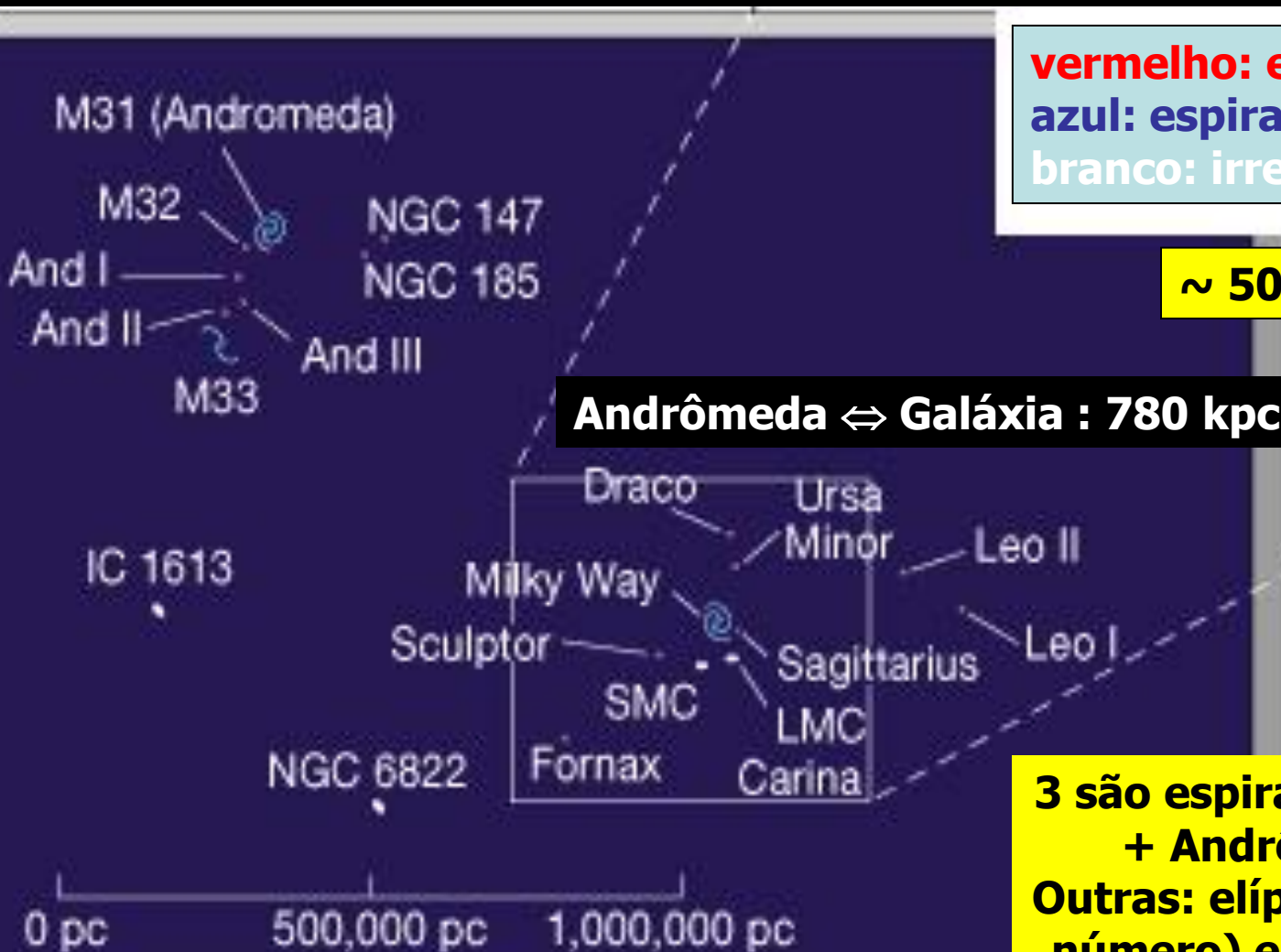
A nossa Galáxia forma um pequeno grupo com as suas satélites : **Nuvens de Magalhães, a elíptica anã Sagitário, outras elípticas anãs e irregulares anãs .**



O GRUPO LOCAL

Grupo Local consiste em:

Nossa Galáxia + Andrômeda + dezenas de galáxias menores



vermelho: elípticas anãs
azul: espirais
branco: irregulares

~ 50 galáxias no total

Andrômeda ↔ Galáxia : 780 kpc

3 são espirais: nossa Galáxia + Andrômeda + M33
Outras: elípticas anãs (maior número) e irregulares anãs

Andrômeda e algumas de suas galáxias satélites

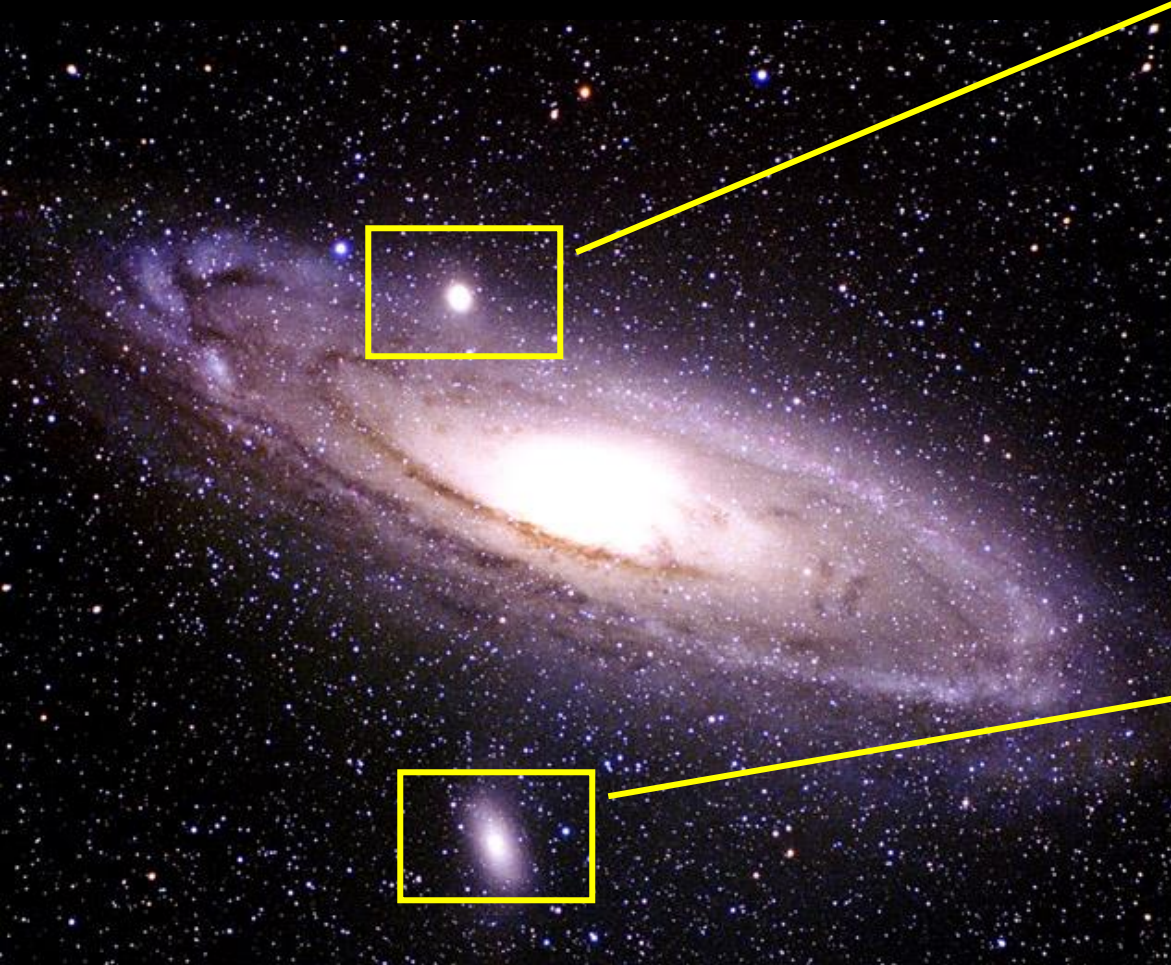
M32

Elíptica anã



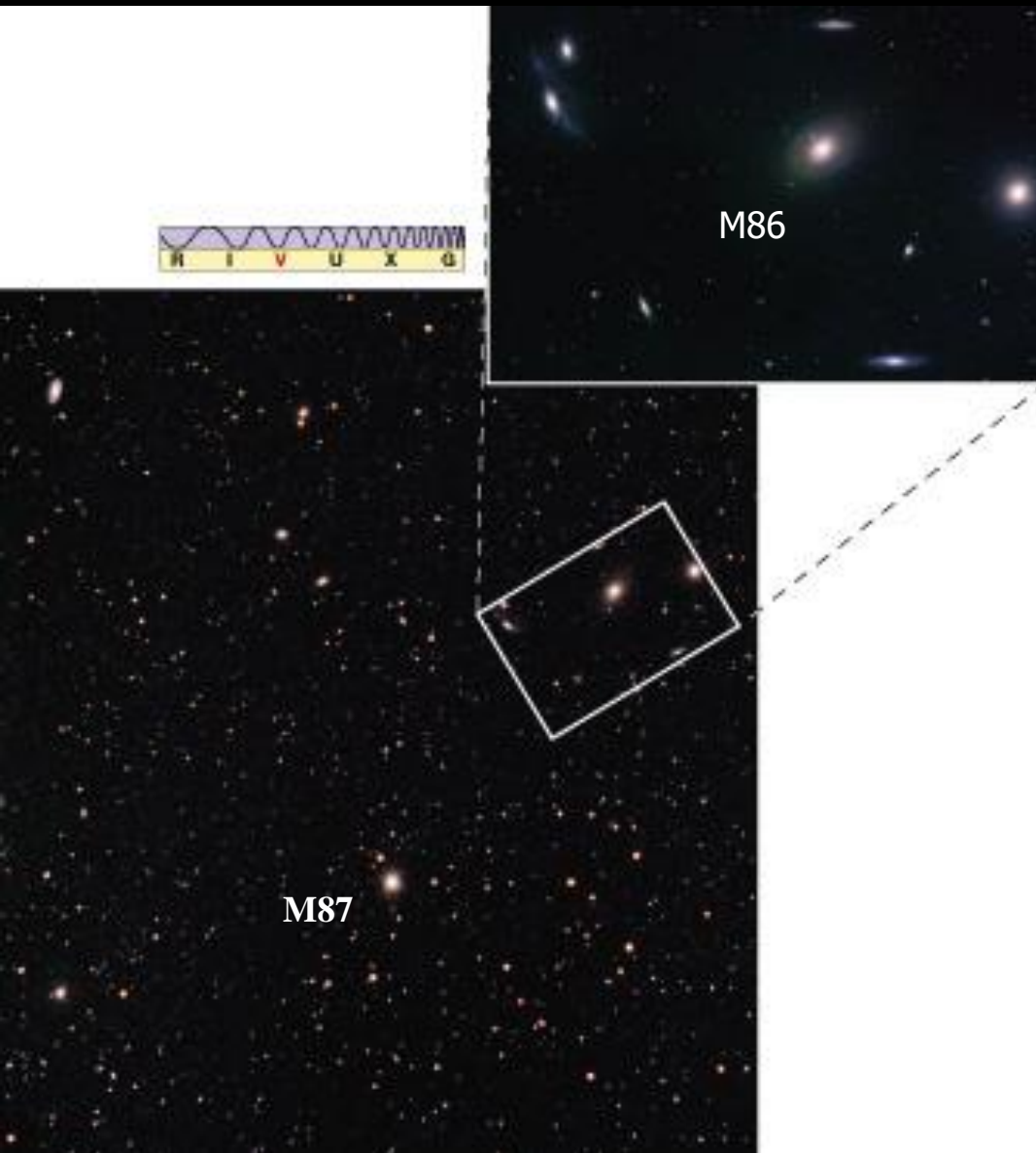
M33

espiral



A próxima concentração de galáxias:

AGLOMERADO DE VIRGEM



- Contém $> \sim 3500$ galáxias
- 3 Mpc de dimensão

~ 18 Mpc da Galáxia

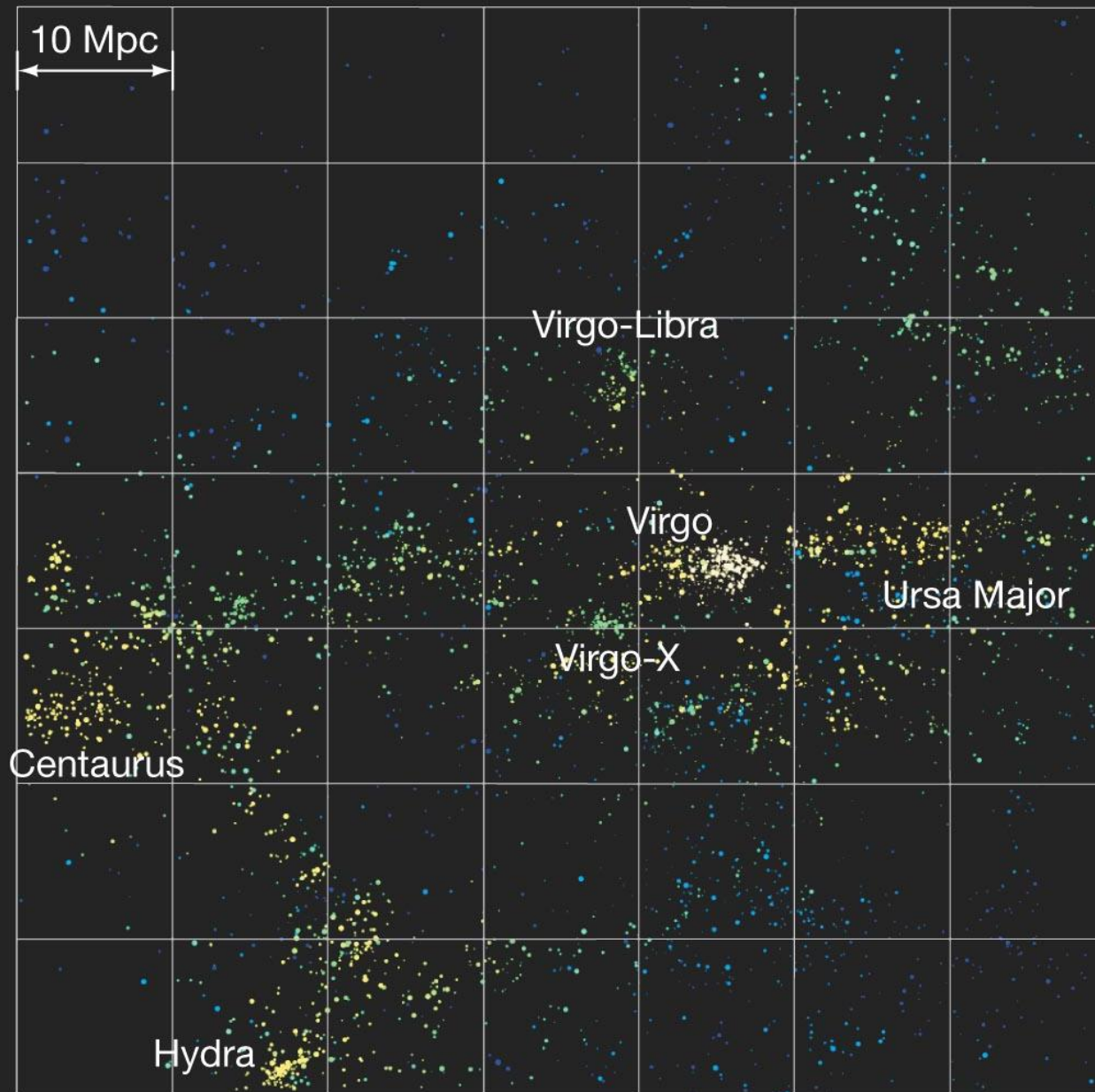
M86 e M87 são elípticas gigantes

**Mapeamento do universo local
Aglomerados de aglomerados**



SUPERAGLOMERADOS

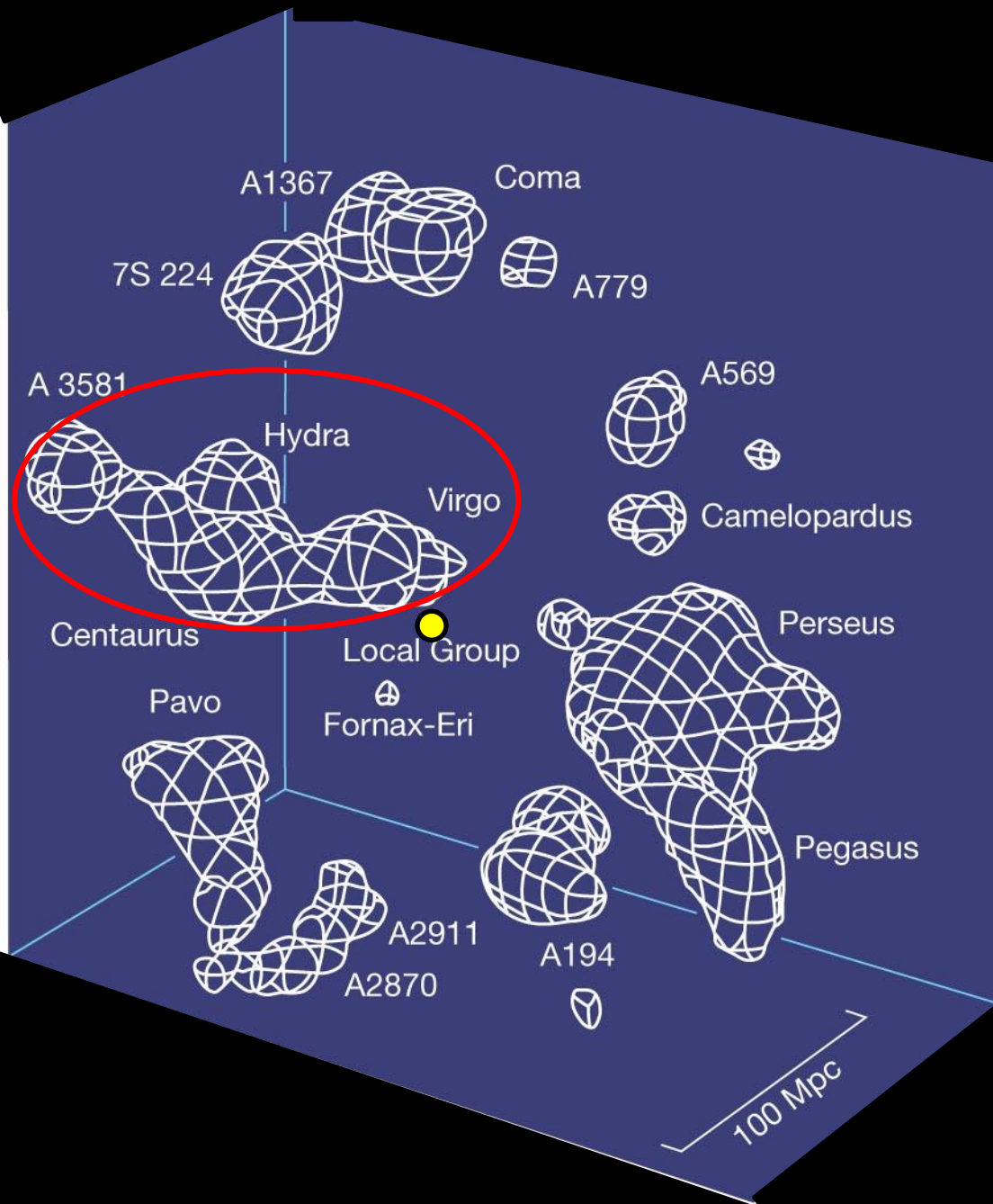
O SUPERAGLOMERADO LOCAL (superaglomerado de Virgem)



Tamanho total ~
40 -50 Mpc
Tamanho irregular e
alongado
 $10^{15} M_{\odot}$

Branco e amarelo =
regiões + densas

Verde e azul =
menos densas



Grupo Local localiza-se na periferia do superaglomerado local.