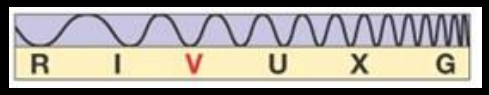
GALÁXIAS

Imagens de galáxias ≠ estrelas

imagens das galáxias são mais difusas

estrela

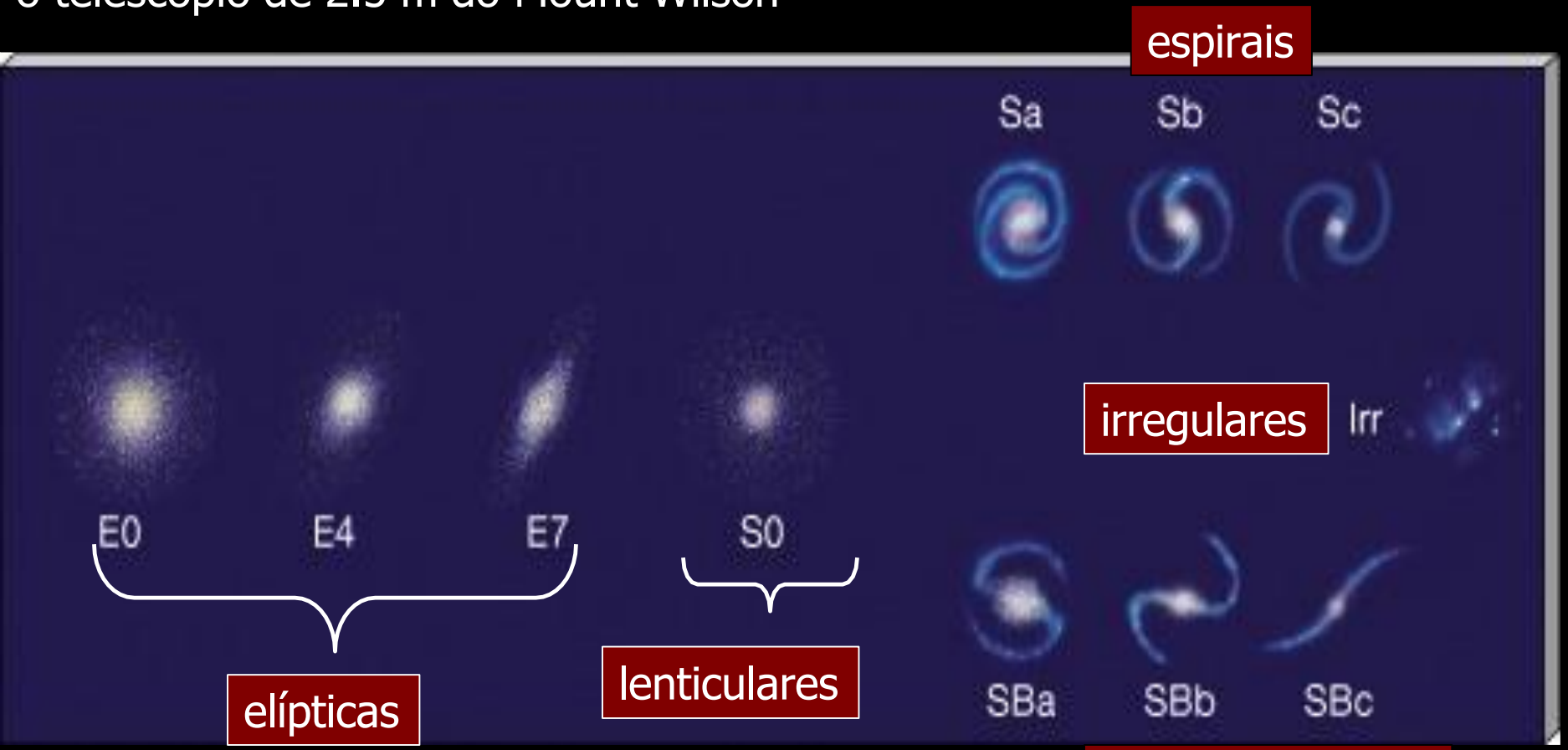
Algumas são espirais como a nossa Galáxia e Andrômeda, outras não.



Aglomerado de Coma
~ 1000 galáxias
(100 Mpc de distância da Terra)
~326 Manos-luz

MORFOLOGIA: CLASSIFICAÇÃO DE HUBBLE
(classificação quanto à aparência)

Hubble fez esta classificação em 1924 usando o telescópio de 2.5 m do Mount Wilson



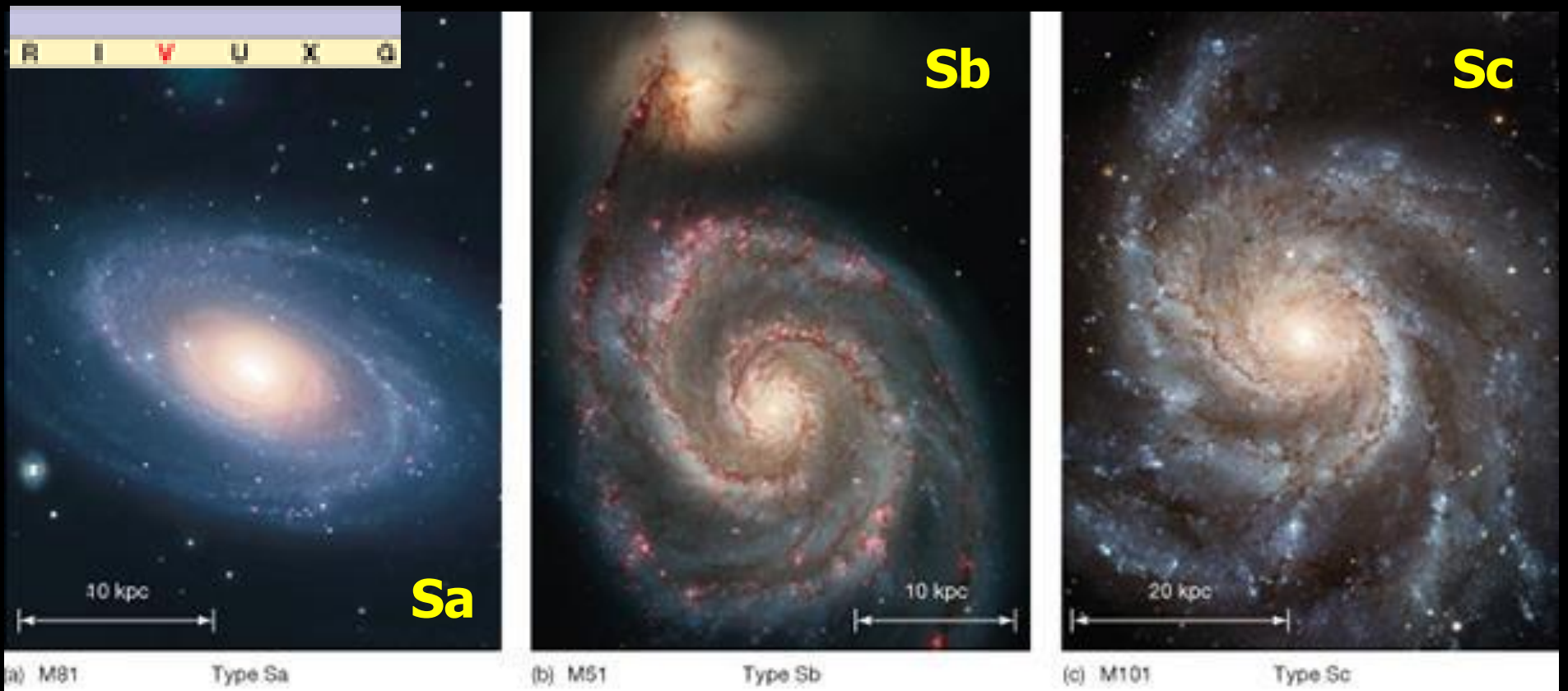
Atenção: não é um diagrama evolutivo

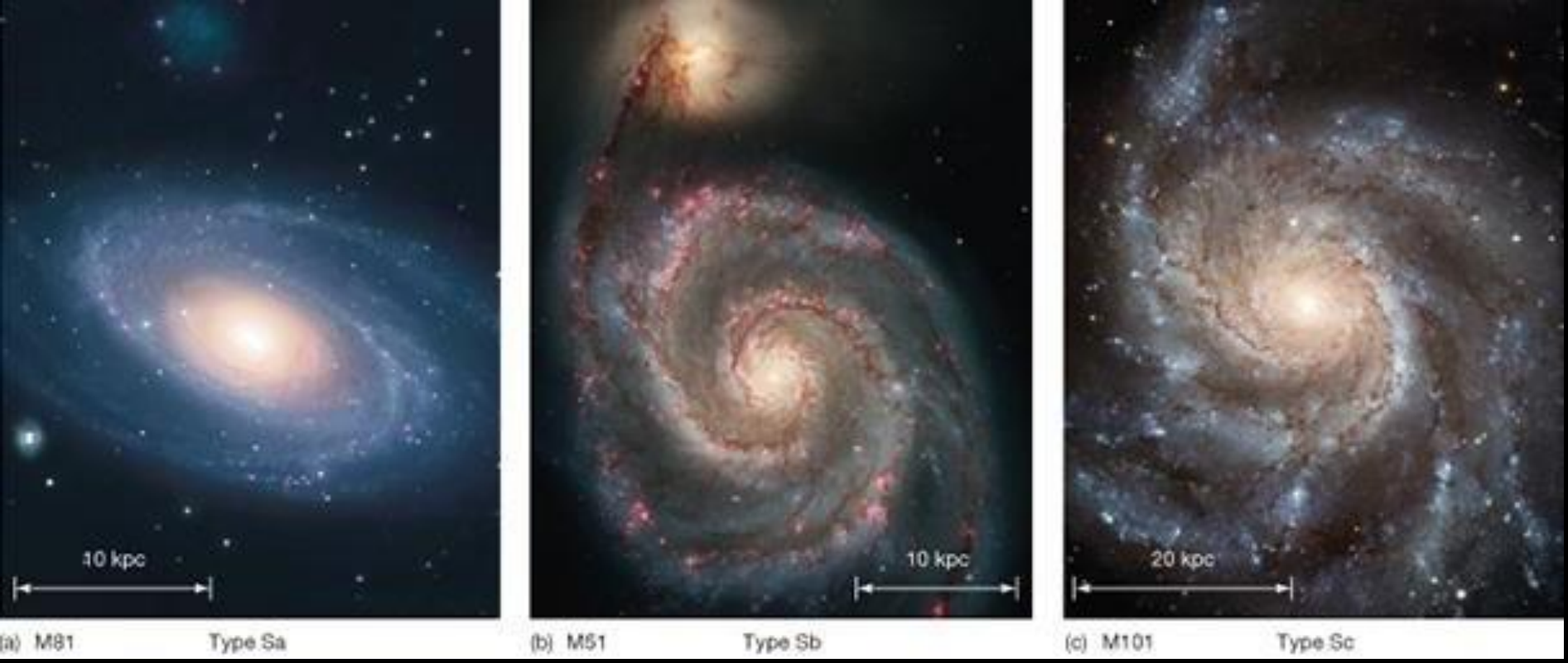
PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS DIFERENTES TIPOS DE GALÁXIAS

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

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

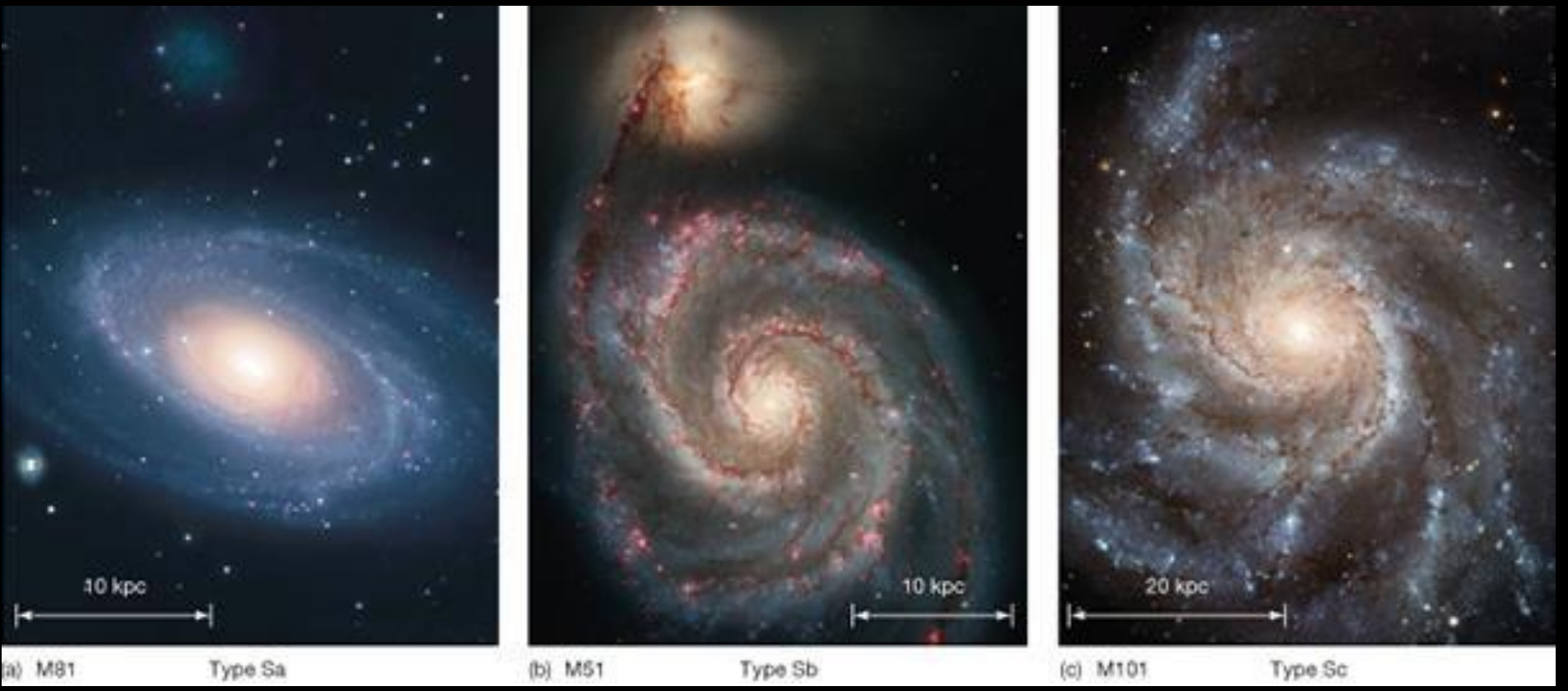




correlação bojo – braços de espirais

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).



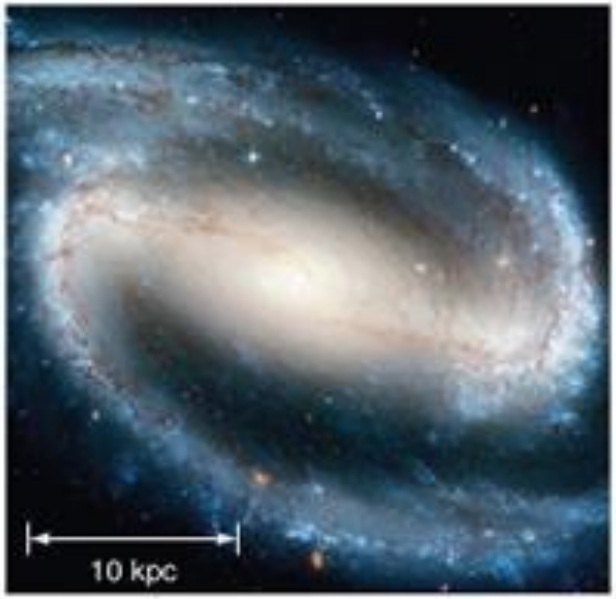
- **a maior parte da luz vinda das espirais ⇨ estrelas A - G do disco**
- **braços de espirais ⇨ estrelas O e B (coloração azulada)**
- **discos ricos em gás e poeira**
- **braços de espirais contém sítios de formação estelar recente e nuvens de gás e poeira mais densos**

Tipo Sc contém mais gás e poeira, Sa contém menos

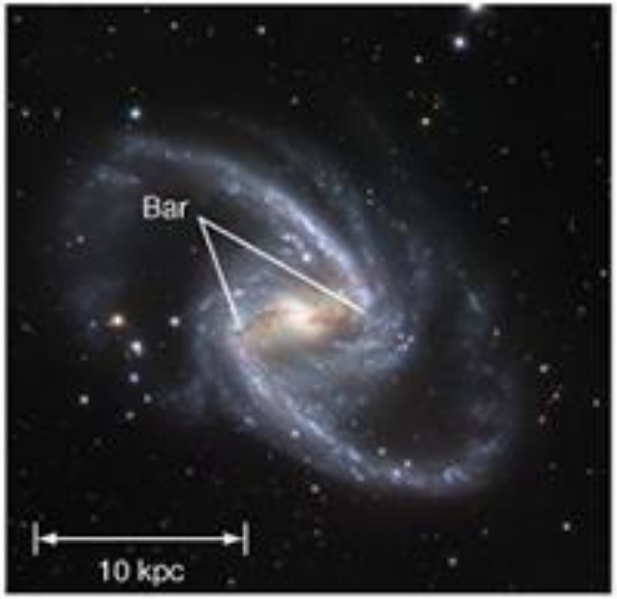
ESPIRAIS BARRADAS

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

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



(a) NGC 1300 Type SBa



(b) NGC 1365 Type SBb

(c) NGC 6872 Type SBc

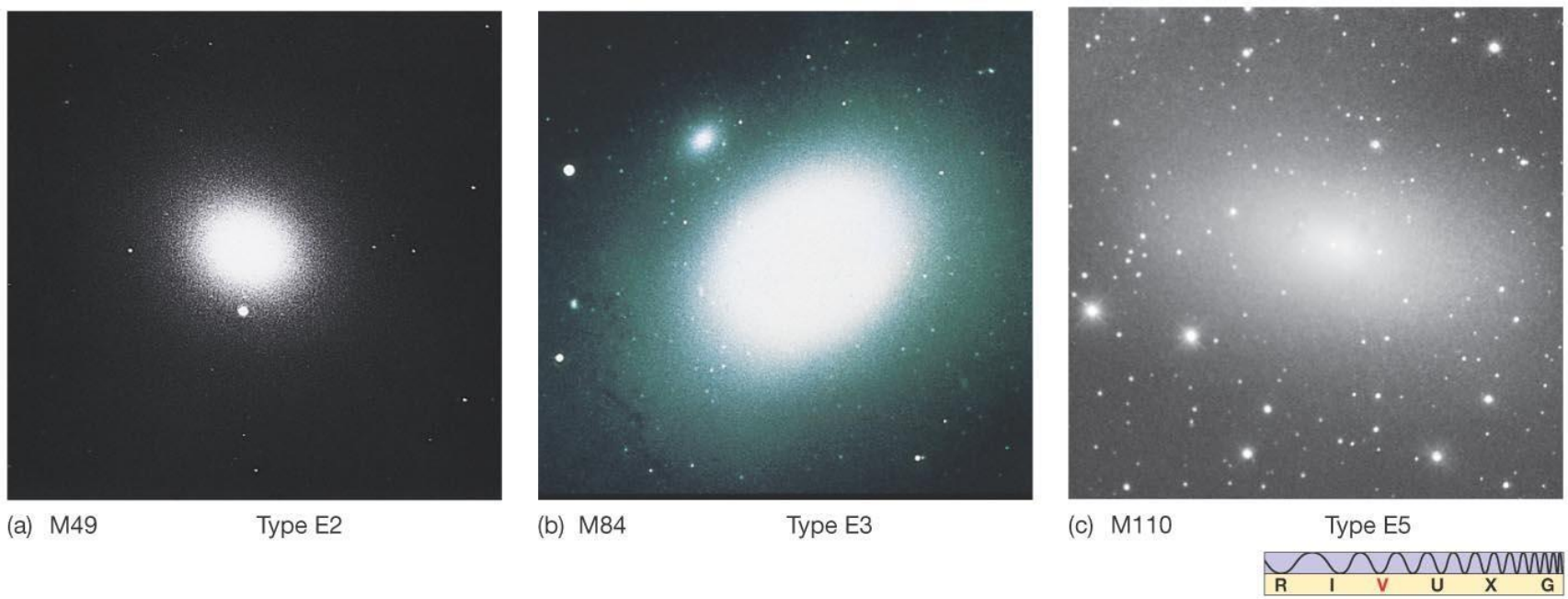
Braços de espirais projetam-se a partir da barra

Espirais normais e barradas têm as mesmas propriedades físicas e de composição química do gás e estrelas ⇨ difícil distinção entre os tipos

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

ELÍPTICAS

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



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

densidade de estrelas cresce da borda para o centro.

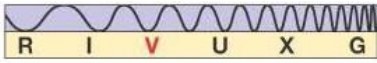
Estrelas com órbitas randômicas

ELÍPTICAS

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

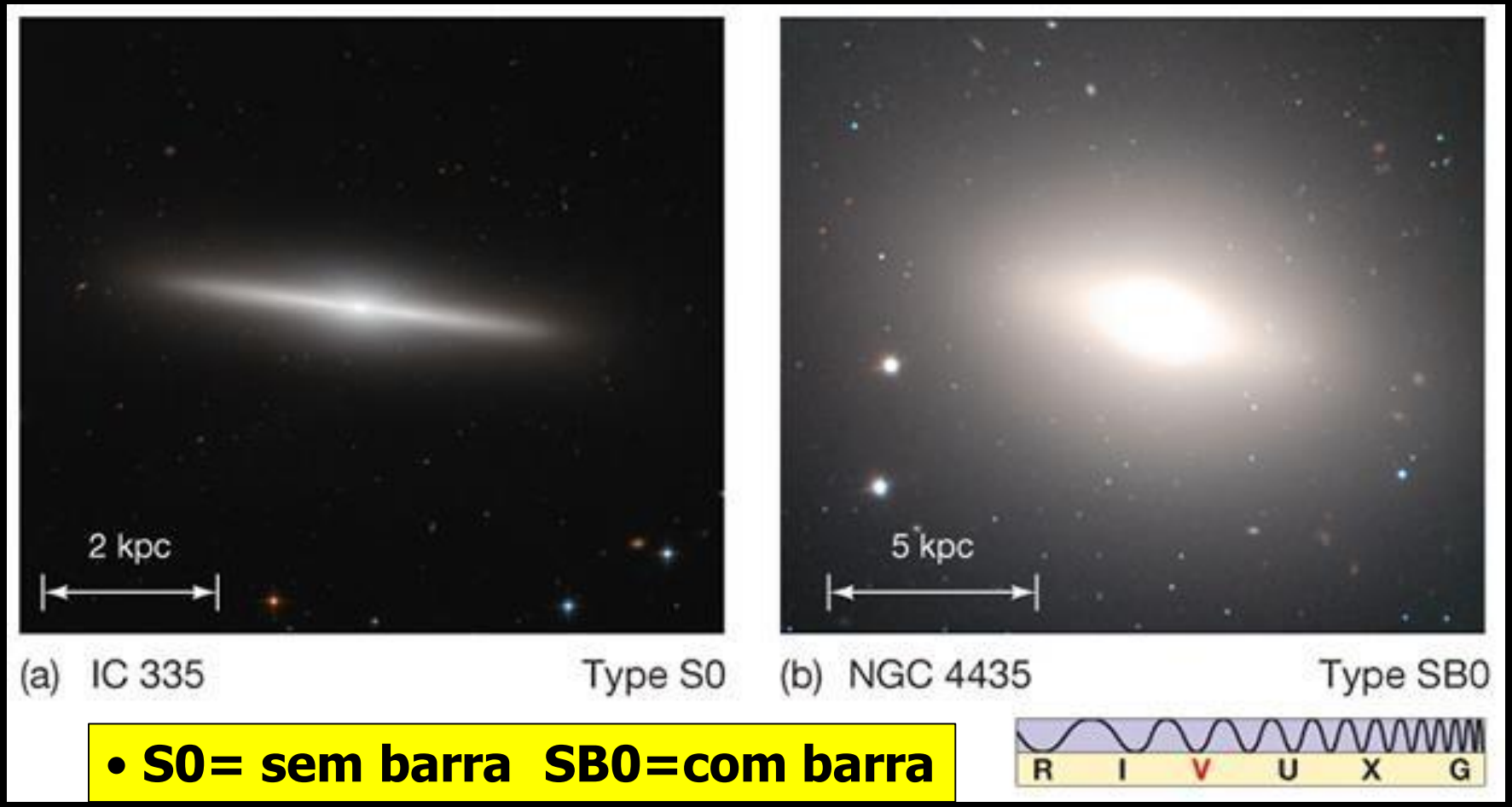
Comparação:
Nossa Galáxia: diâmetro ~ 30 kpc

LENTICULARES

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

  ↘

  constituído por estrelas velhas



- S0= sem barra SB0=com barra

IRREGULARES

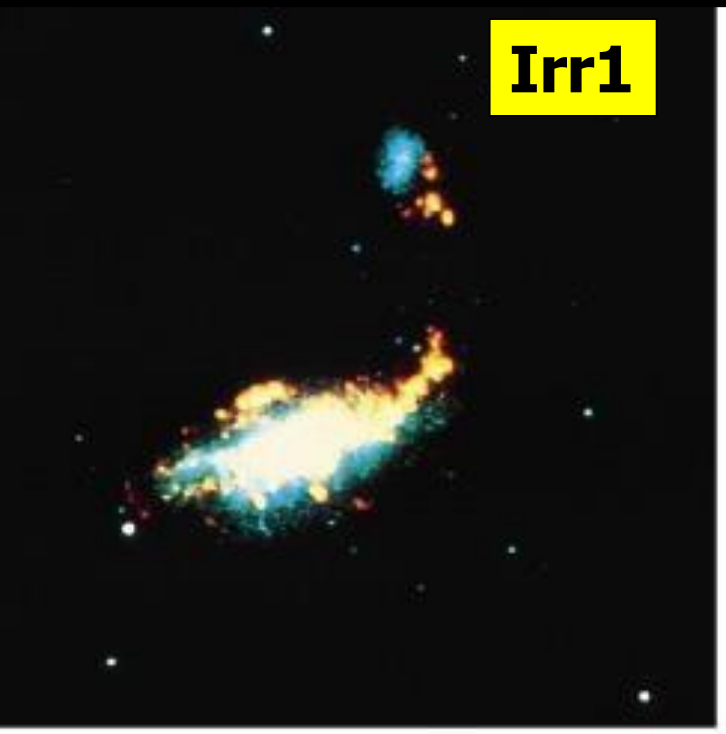
gás interestelar, estrelas jovens sem estrutura definida

→ intensa formação estelar

Contém 10^8 -10^{10} estrelas

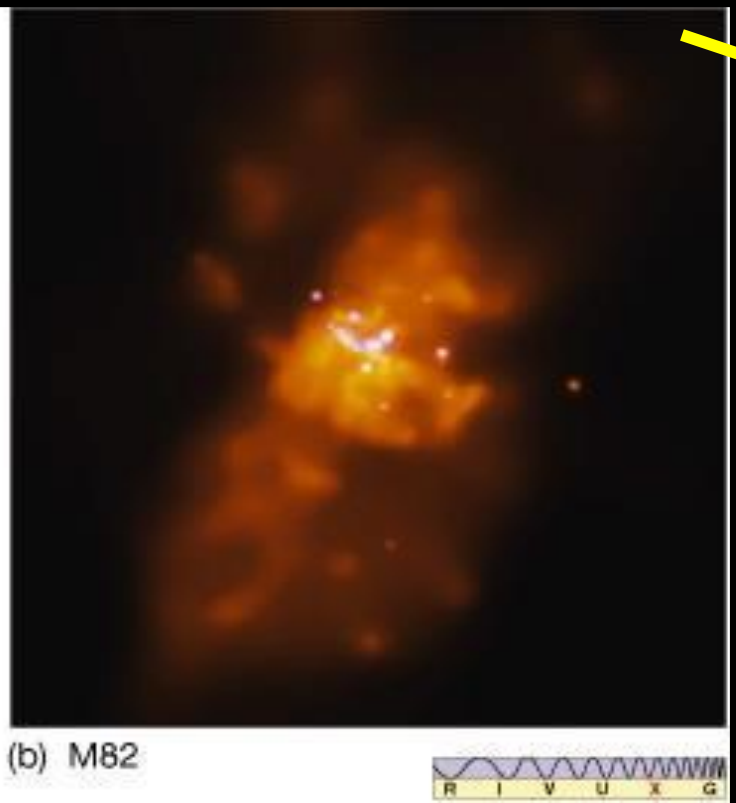
frequentemente encontram-se junto a galáxias maiores

Irr1



(a) NGC 4485/4490

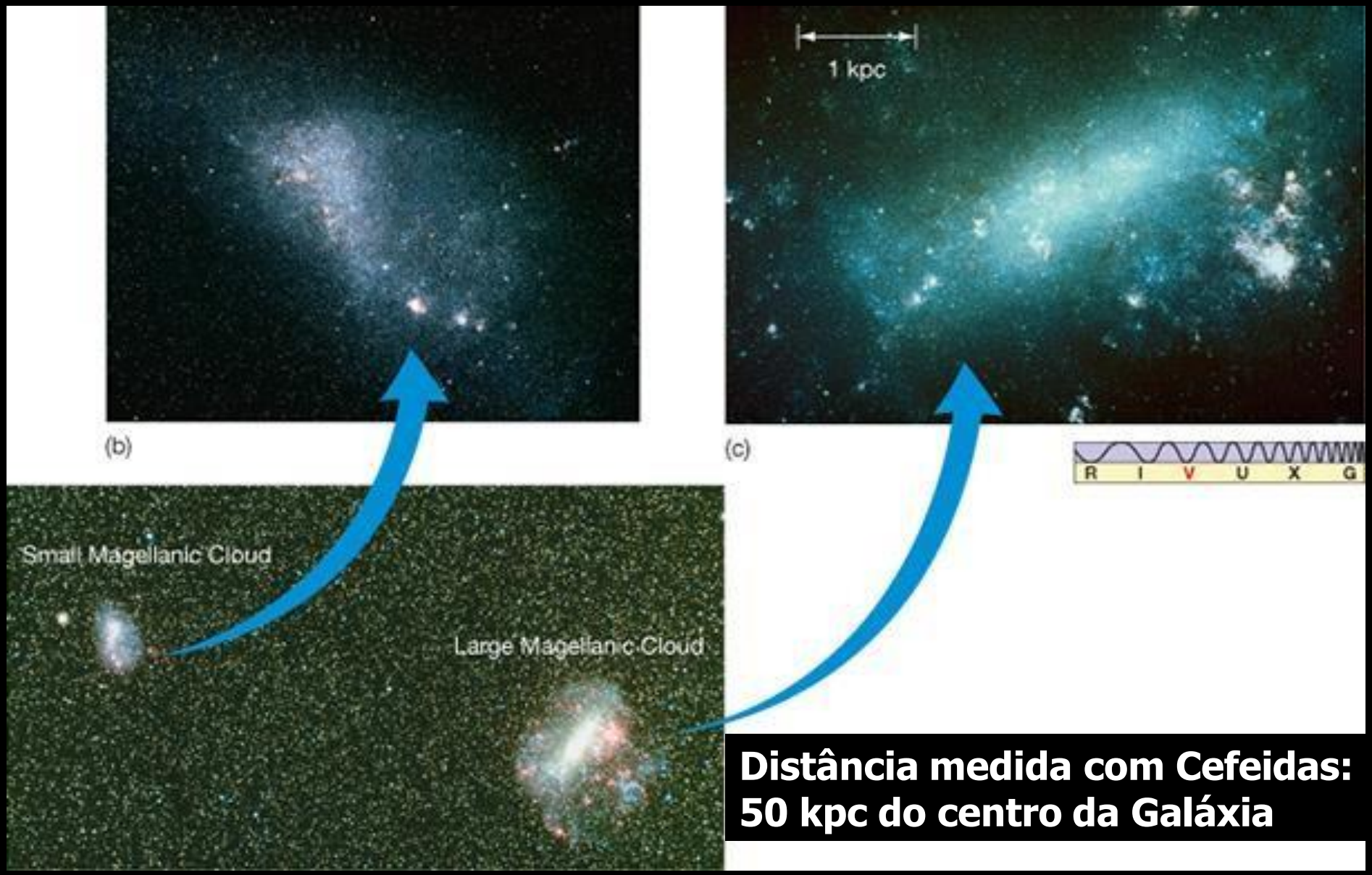
Irr2



(b) M82

IRREGULARES

Galáxias Irr1

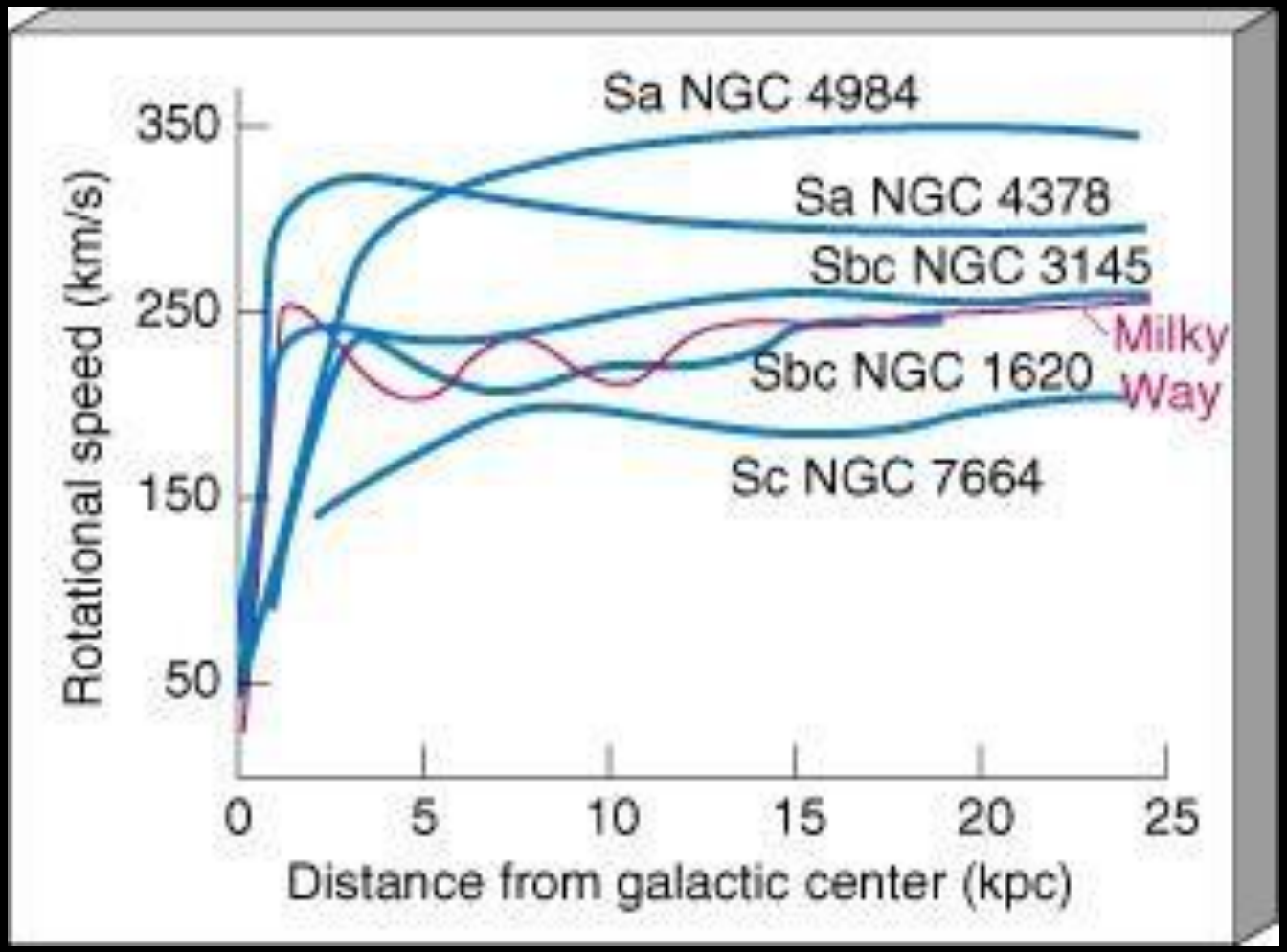


Distância medida com Cefeidas:
50 kpc do centro da Galáxia

	ESPIRAIS	ELÍPTICAS	IRREGULARES
Forma e estrutura	Presença de um disco contendo braços de espirais. Presença de bojo. Presençade halos ~ esféricos Sa e SBa = maiores bojos e estrutura espiral menos definida. SB = presença de barras centrais contendo gás e estrelas	Estrelas distribuídas dentro de um volume elíptico E0= esférico E7= + alongado Densidade de estrelas maior no centro	Estrutura não óbvia Irr1= "espirais deformadas" Irr2= aparência explosiva
Conteúdo estelar	Disco = estrelas jovens e velhas Halo = estrelas velhas	Estrelas velhas	Estrelas jovens e velhas
Gás e poeira	preferencialmente no disco	Halo de gás muito quente	Abundante em gás e poeira
Formação estelar	Formação nos braços de espirais	Formação recente insignificante	Alta taxa de formação
Dinâmica	Disco = gás + estrelas movimentam-se em órbitas ~ circulares Halo e bojo = órbitas randômicas	Estrelas com órbitas randômicas	Estrelas e gás com órbitas irregulares

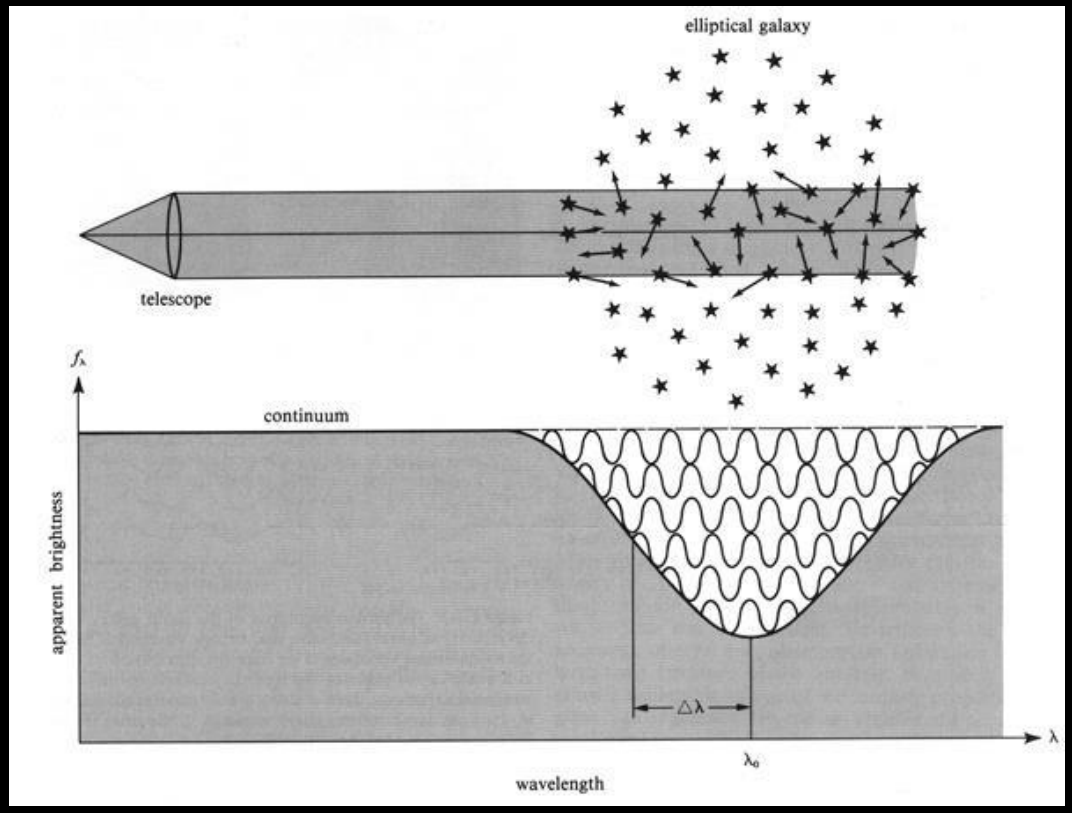
ESTIMATIVA DA MASSA DAS GALÁXIAS

Curvas de rotação para várias galáxias espirais



$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{R v^2}}{G}$$ matéria escura!

Massa de galáxias elípticas



$$M = \frac{3R\sigma^2}{G}$$

σ = dispersão de velocidades

R = raio médio da galáxia

Obs: Fórmula diferente da massa estimada de galáxias espirais: $M=Rv^2/G$ ⇨ v= velocidade de rotação

MATÉRIA ESCURA

- Outras galáxias também possuem matéria escura?
- Há evidência de matéria escura em maiores escalas?

Galáxias espirais contém ~ 3 a 10 vezes mais massa do que é observado na forma de matéria visível

É verificada mais ou menos a mesma quantidade de matéria escura para galáxias elípticas também.

Galáxias estão imersas em halos de matéria escura

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

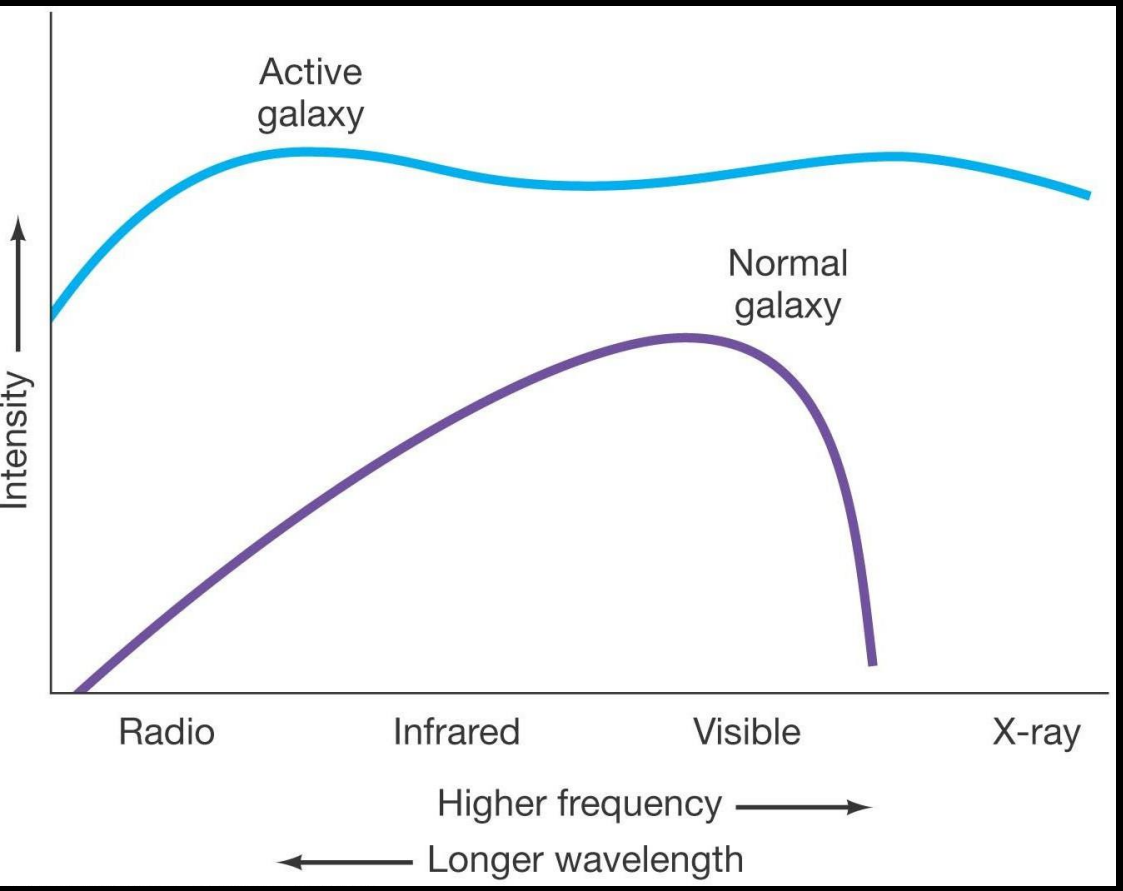
~ 40% das galáxias consideradas luminosas (> $10^{10}\ L_\odot$)
NÃO SÃO "NORMAIS" !!!
PODEM SER BASTANTE LUMINOSAS

São chamadas galáxias ativas ou com núcleo ativo.

Diferem das galáxias normais

1) **Grande luminosidade**
2) **tipo de radição emitida.**

GALÁXIAS COM NÚCLEO ATIVO



Já a luminosidade das ativas NÃO É representada por uma curva de corpo negro. O pico de radiação é observado em λ bem maiores ou menores

Numa galáxia normal a luz emitida é a soma da luz das estrelas, portanto pode ser representada por um CORPO NEGRO.

A radiação vinda das galáxias ativas é chamada de RADIAÇÃO NÃO-TÉRMICA

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

GALÁXIAS DE NÚCLEO ATIVO são classificadas em 3 tipos:

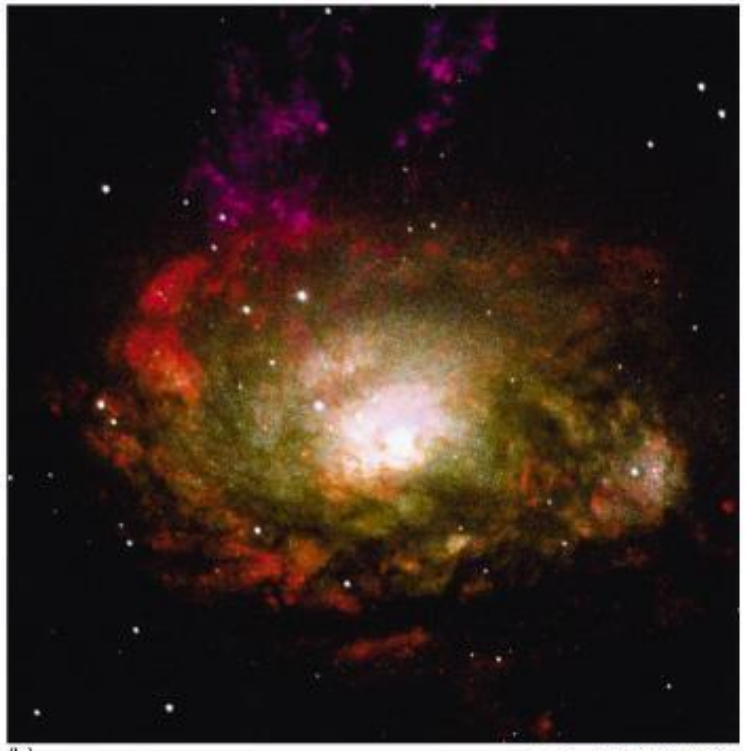
1) **Seyfert**
2) **Radio-Galáxias**
3) **Quasares**

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)

Radiação de alta energia absorvida pela poeira pertencente ao núcleo ou pertencente a regiões próximas ao núcleo e reeemitida em IR

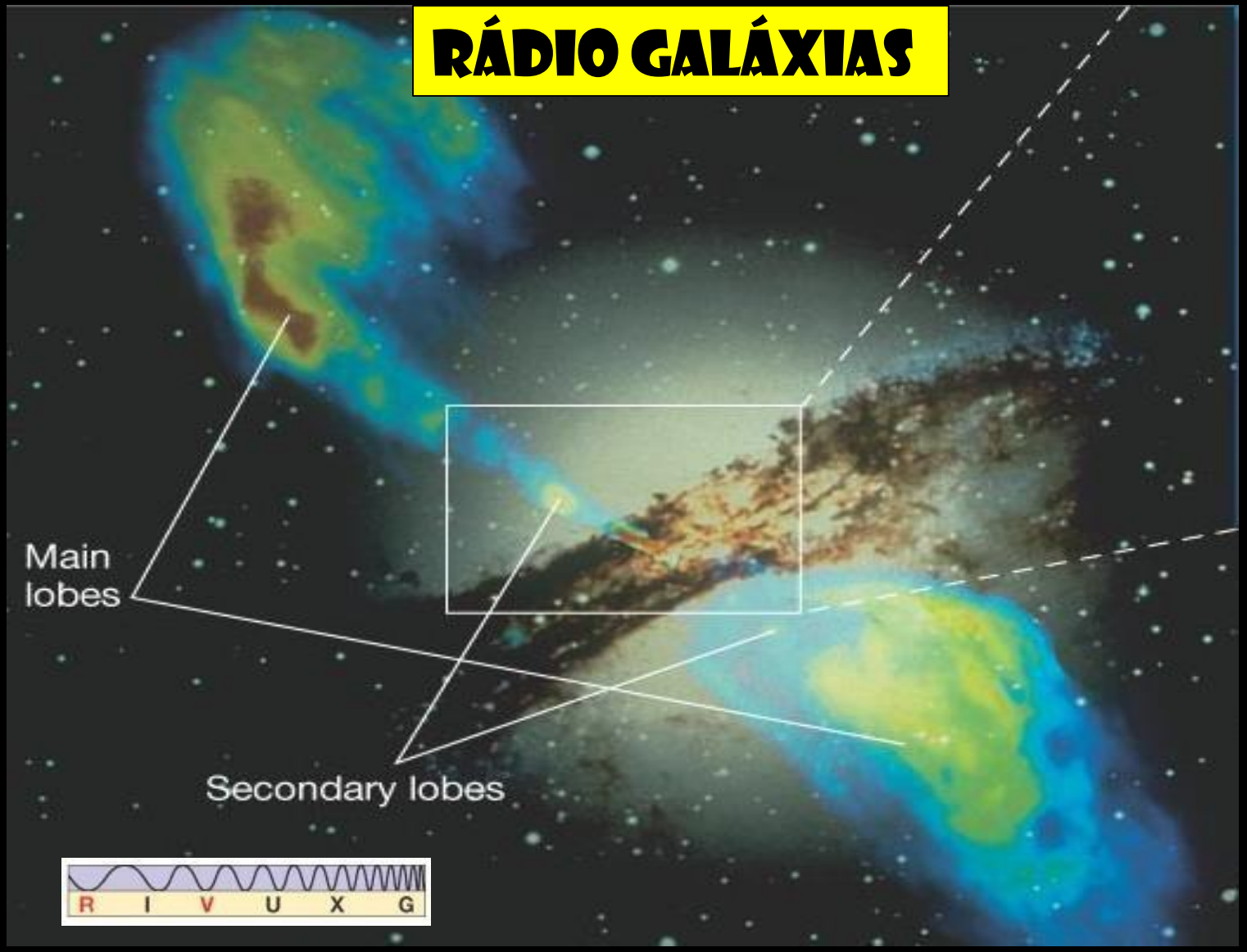
RÁDIO GALÁXIAS

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) invisíveis aos telescópios ópticos.

Tais lóbulos são perpendiculares ao plano da galáxia.

A energia em rádio é emitida através dos lóbulos!

RÁDIO GALÁXIAS

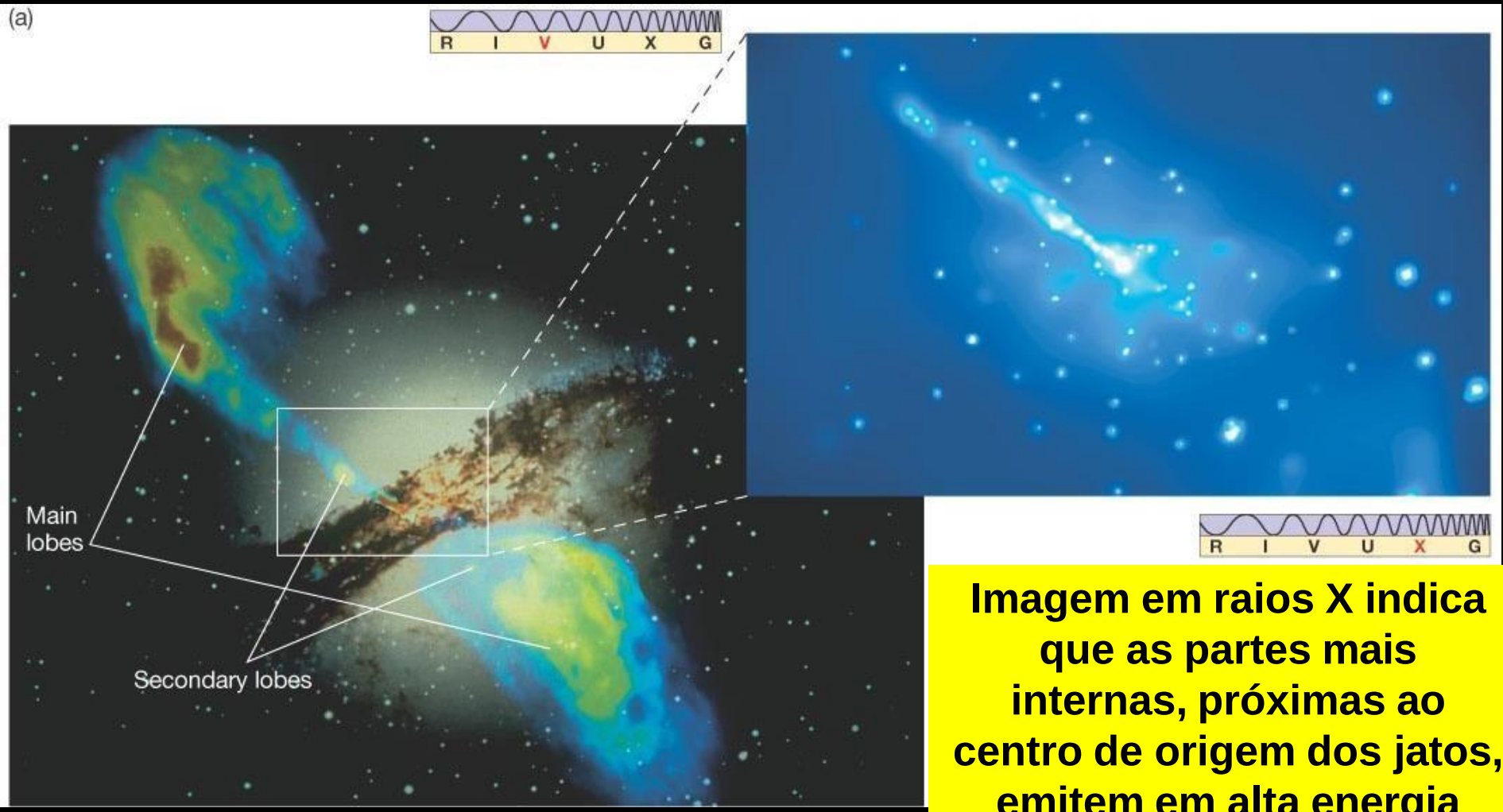


Imagem em raios X indica que as partes mais internas, próximas ao centro de origem dos jatos, emitem em alta energia

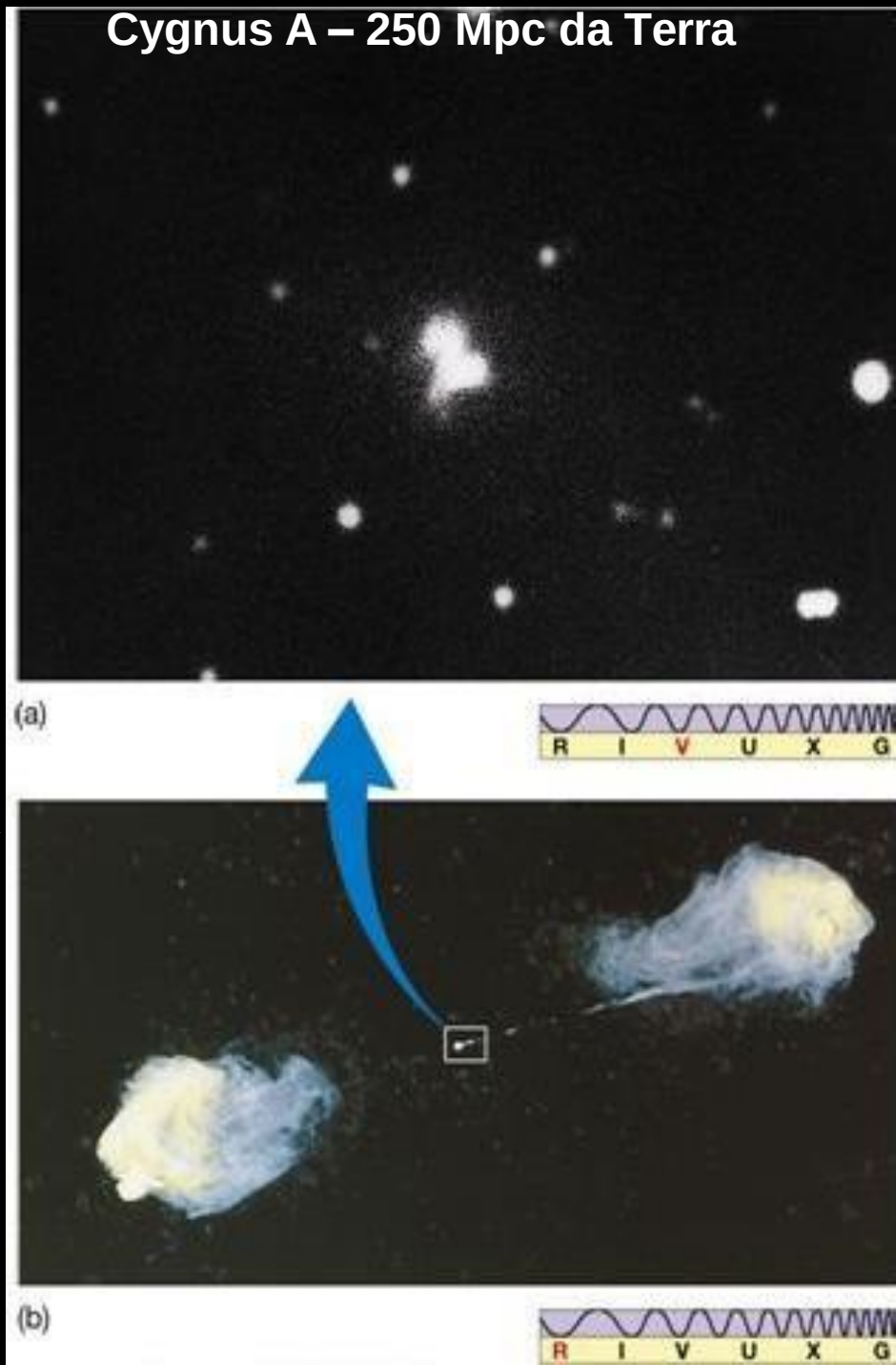
RÁDIO GALÁXIAS

Observadas a distâncias bem maiores do que as galáxias normais brilhantes

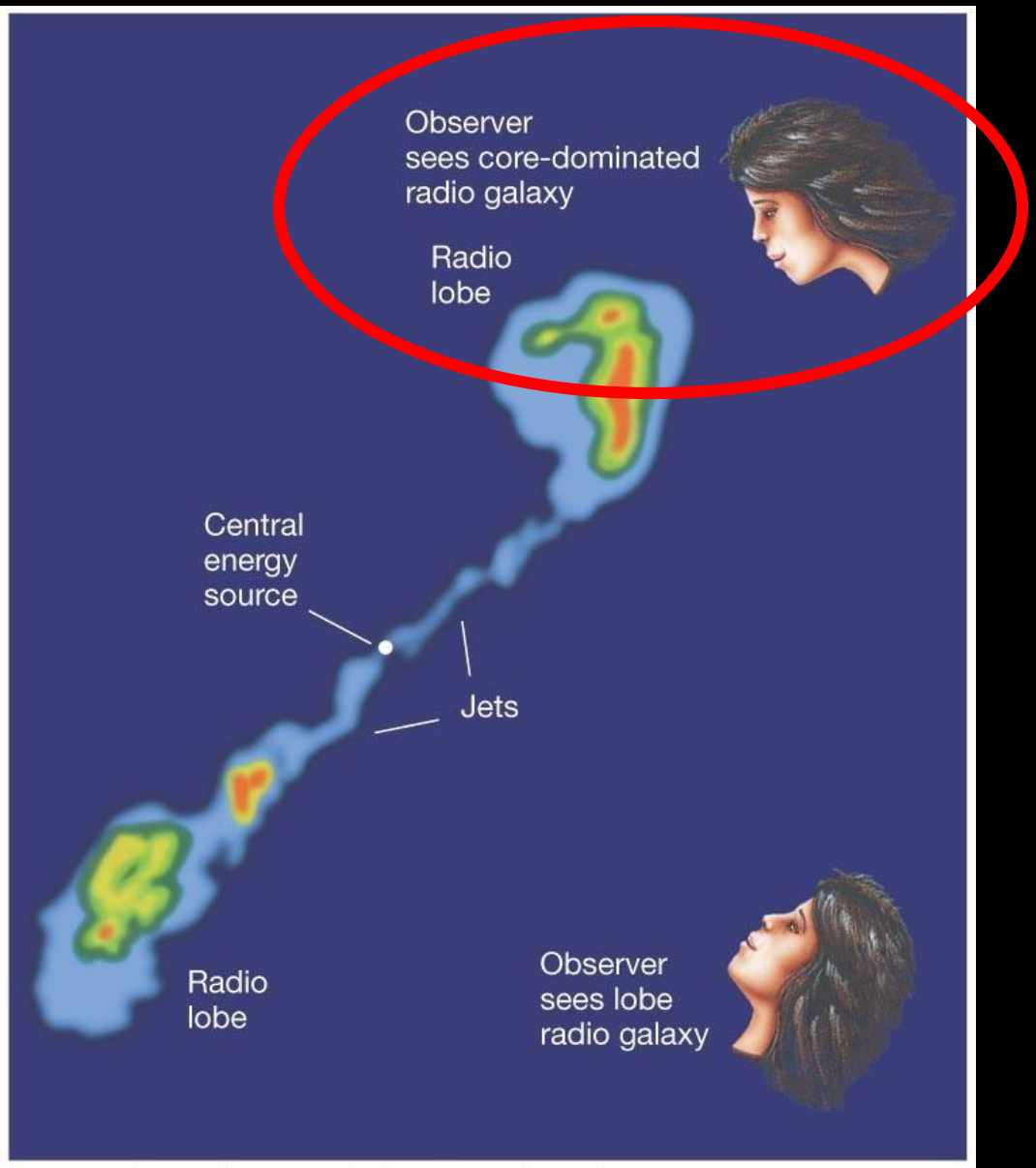
- **associadas geralmente a galáxias elípticas**

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

Jatos podem alcançar 1 Mpc de extensão...



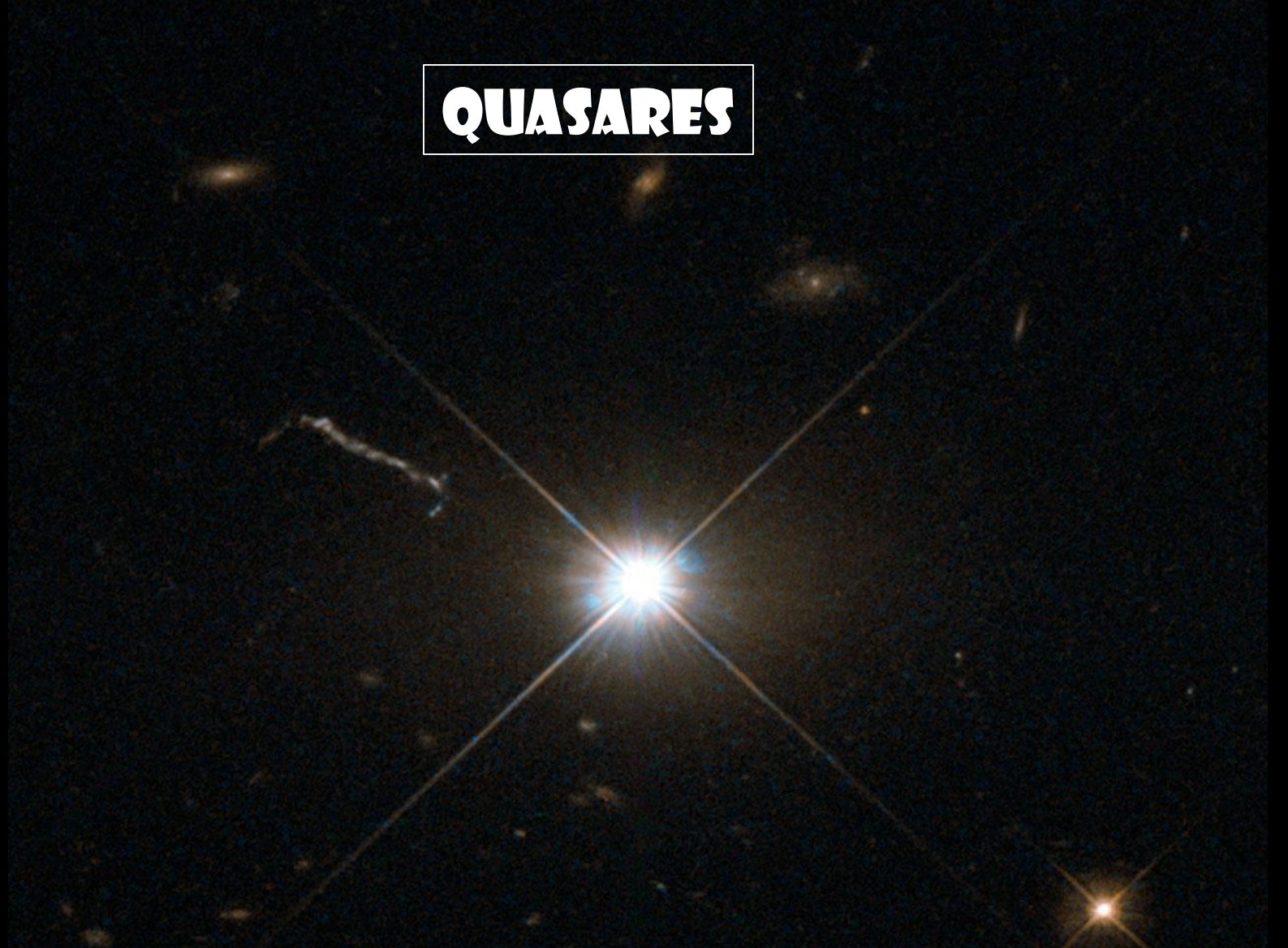
Dependendo do ângulo pode-se ver os lóbulos ou não.



Blazar = quando observamos um lóbulo de frente

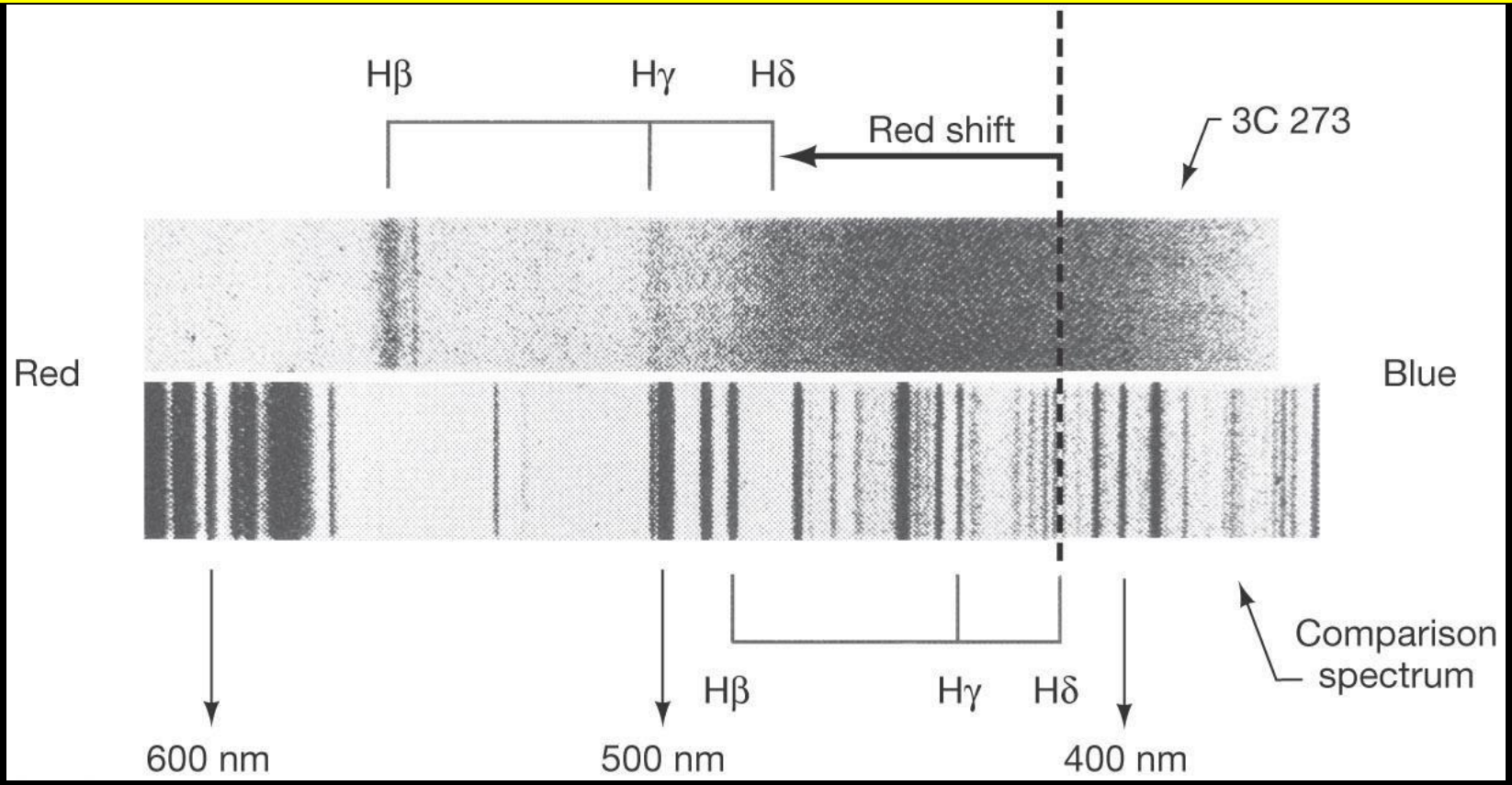
por efeito Doppler observamos a radiação na forma de raios-X ou gama

QUASARES



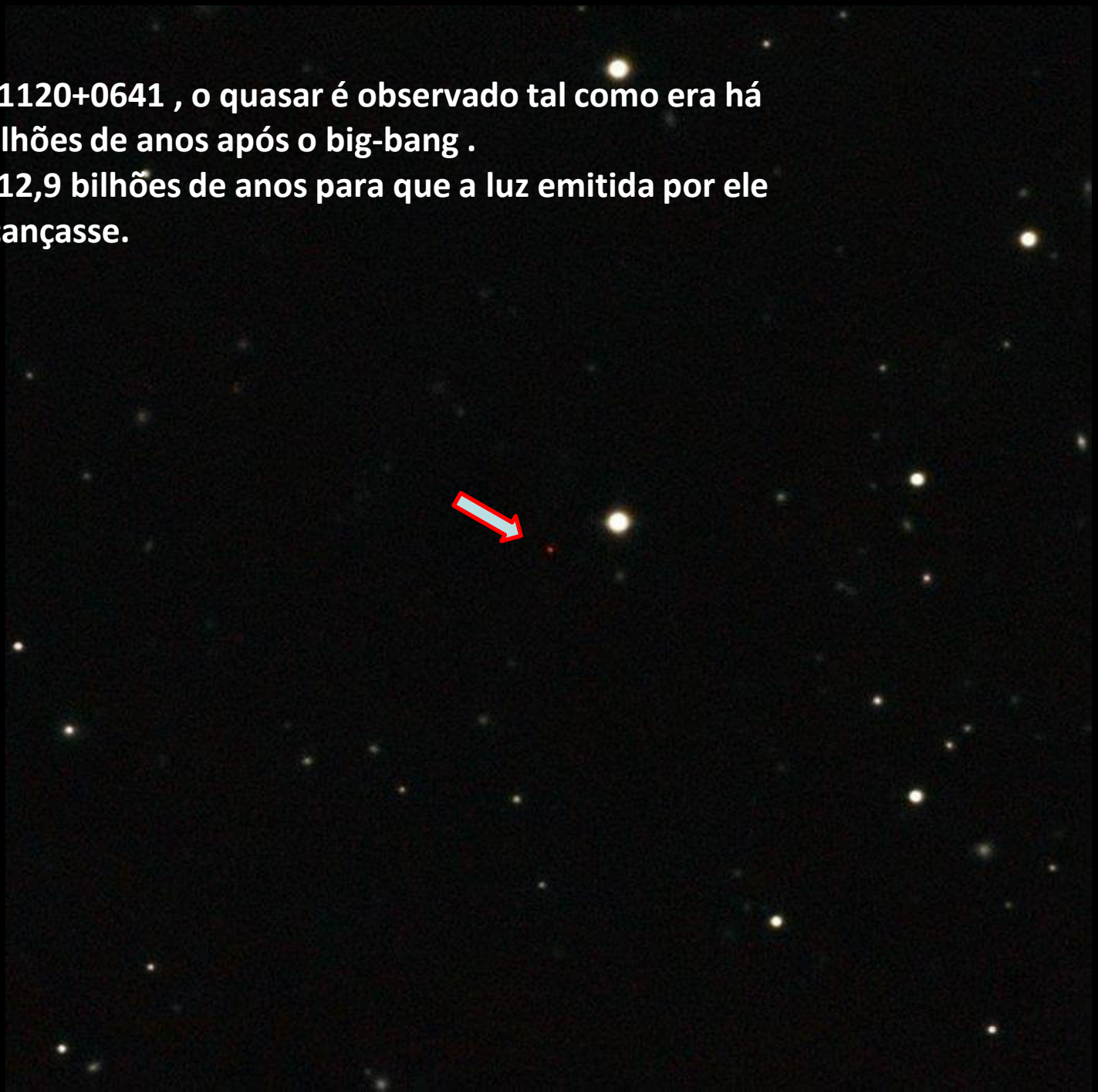
Quasi-stellar objects : aparência de estrela quando observados a baixos tempos de exposição, mas eram medidos espectros incomuns.

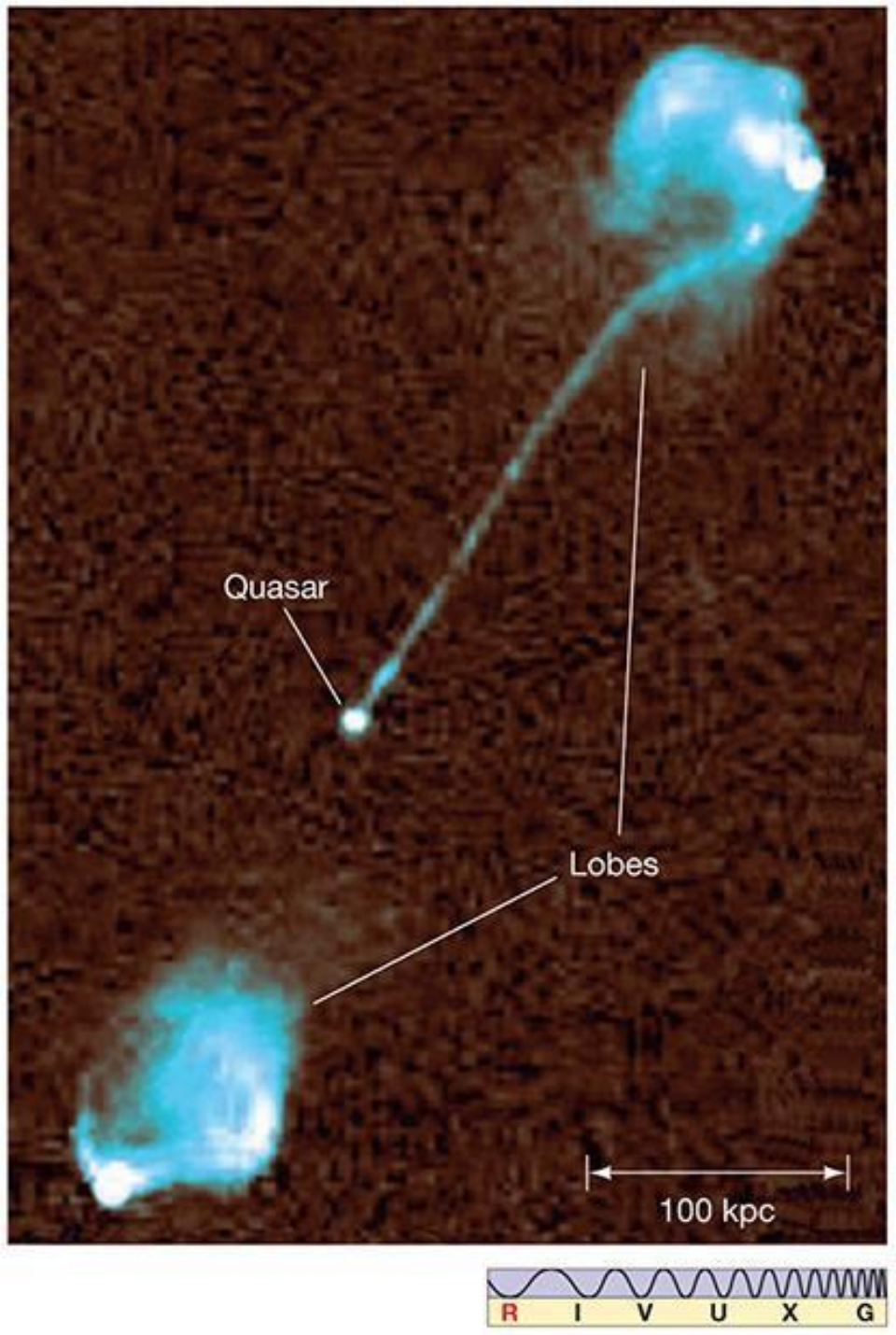
Depois observou-se que o espectro não era incomum e sim que as linhas espectrais eram enormemente deslocadas para o vermelho (redshift).



Indicativo que estes objetos 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.





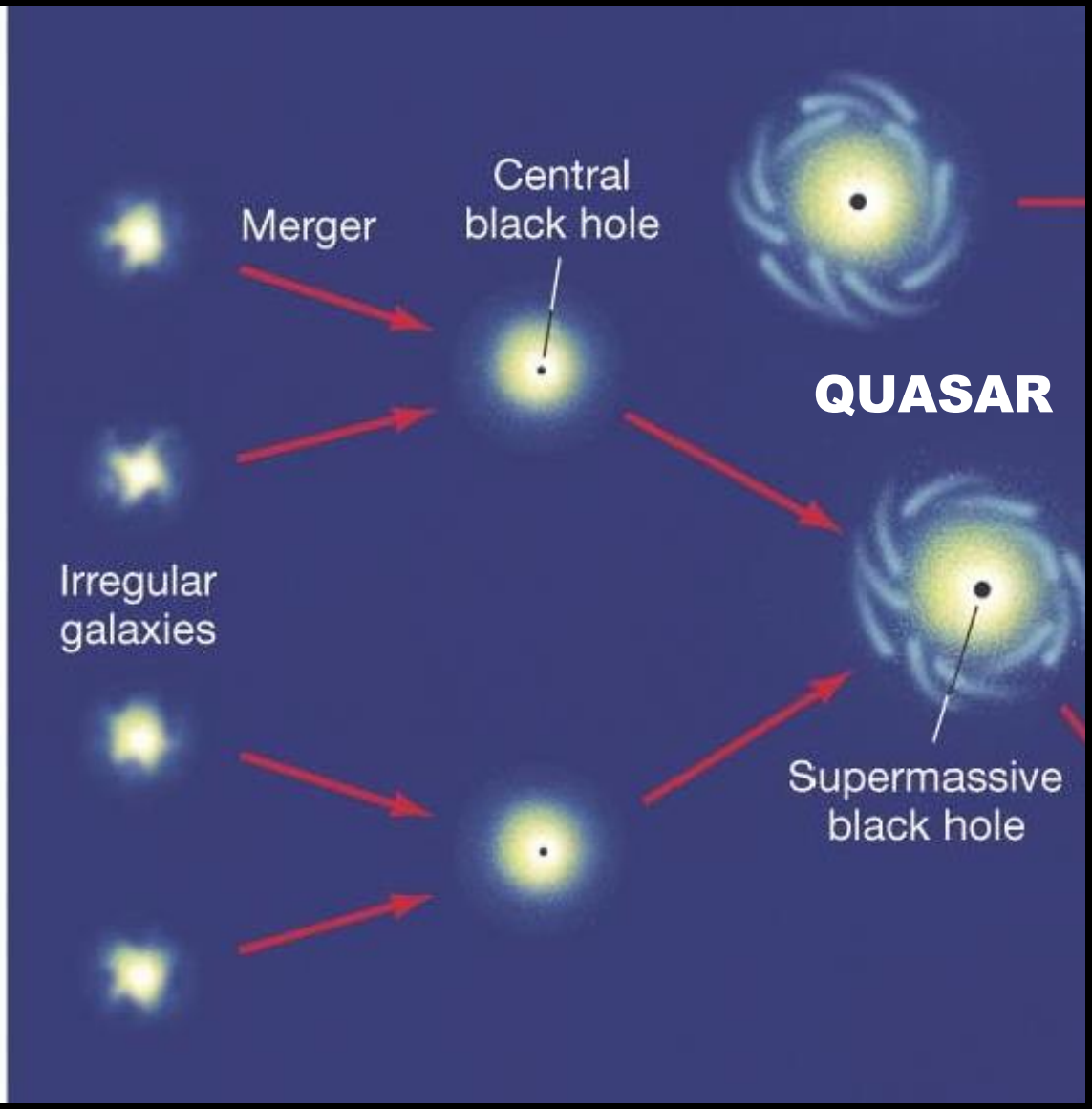
Quasar 3C175
Lóbulos de 1Mpc de tamanho.

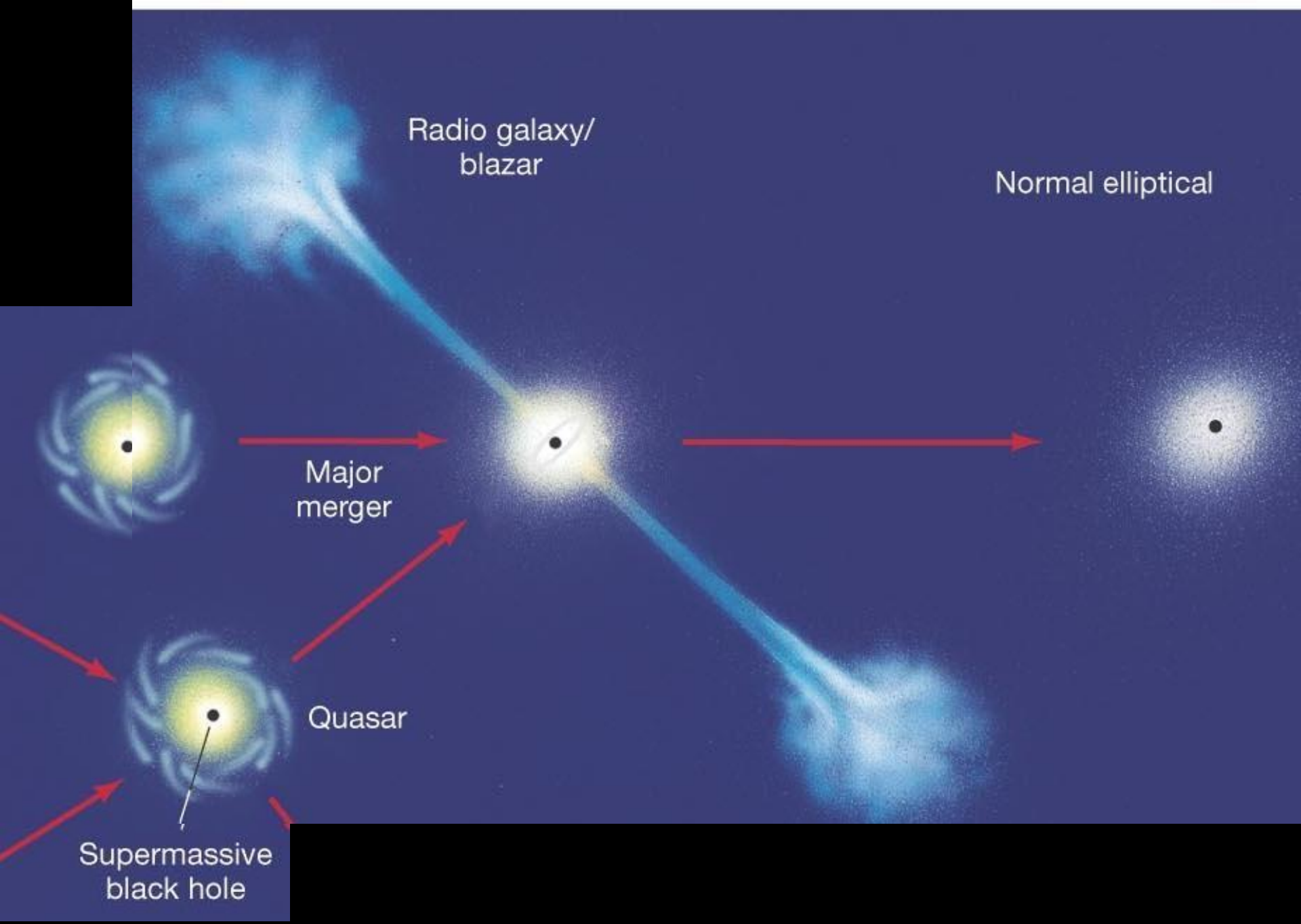
QUASARES TEM PROPRIEDADES PARECIDAS COM RÁDIO-GALÁXIAS

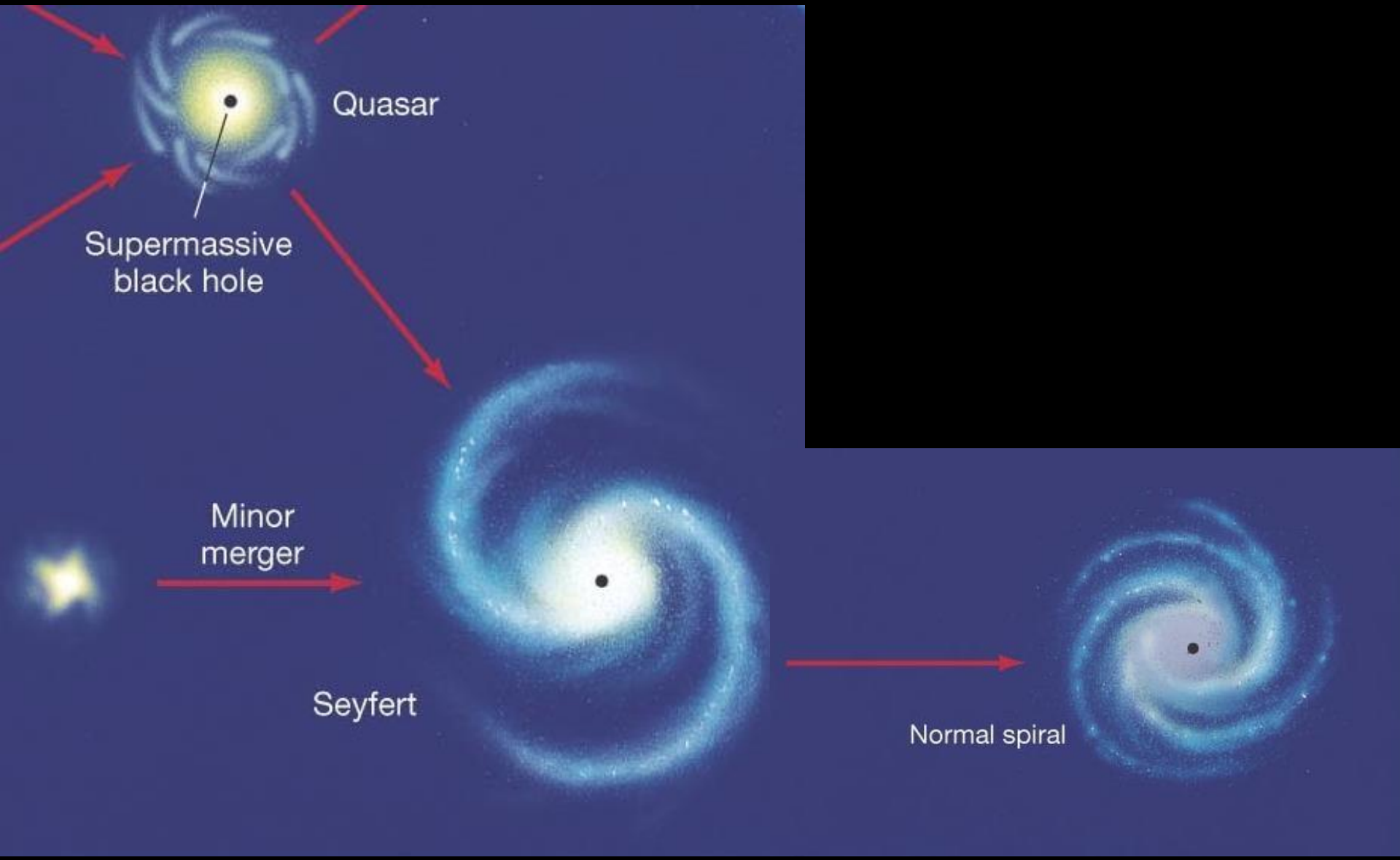
IMPORTANTE:

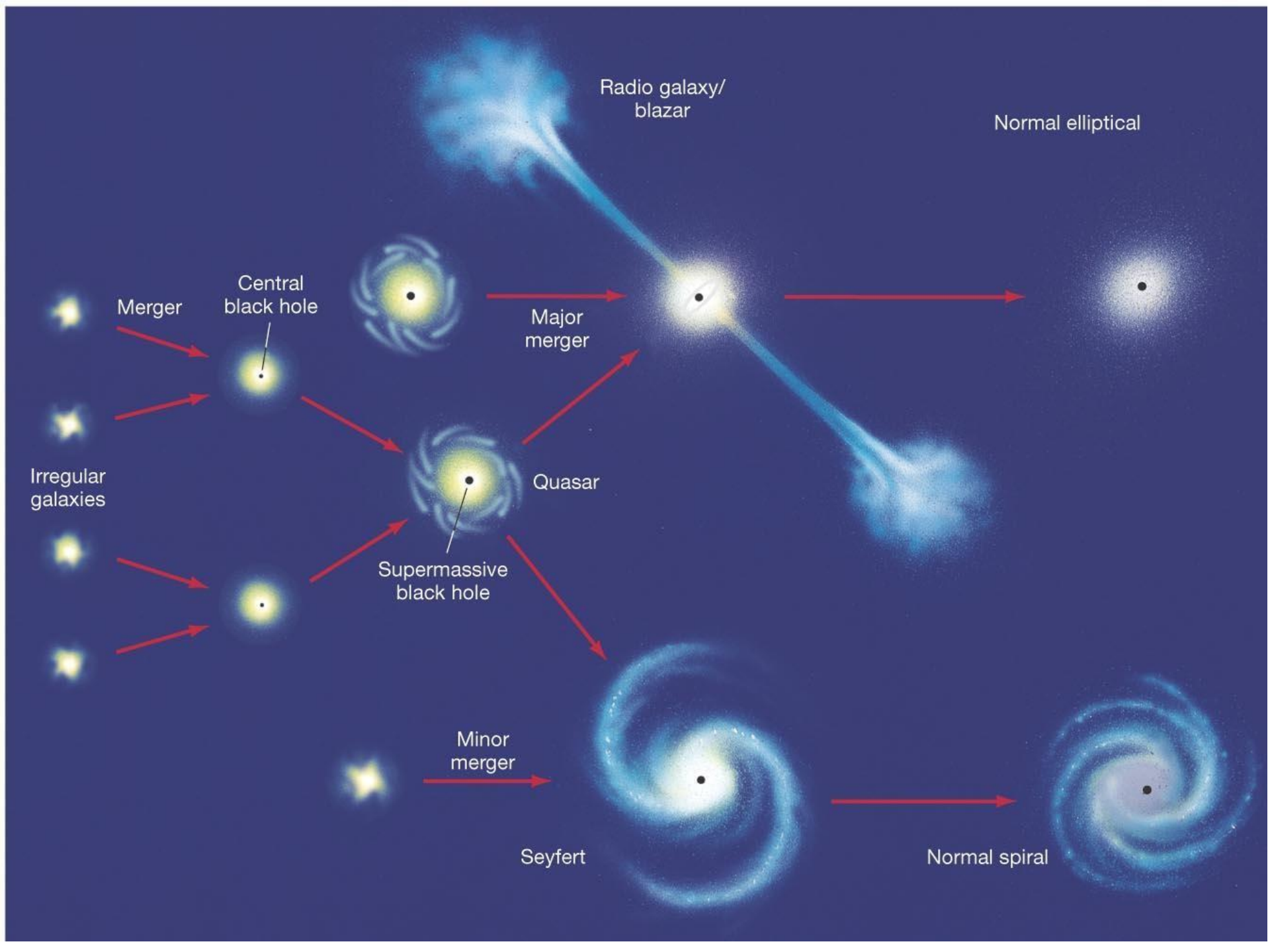
PODE REPRESENTAR UMA SEQUÊNCIA EVOLUTIVA:

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


Merger
Central
black hole
QUASAR
Irregular
galaxies
Supermassive
black hole


Radio galaxy/
blazar
Normal elliptical
Major
merger
Quasar
Supermassive
black hole

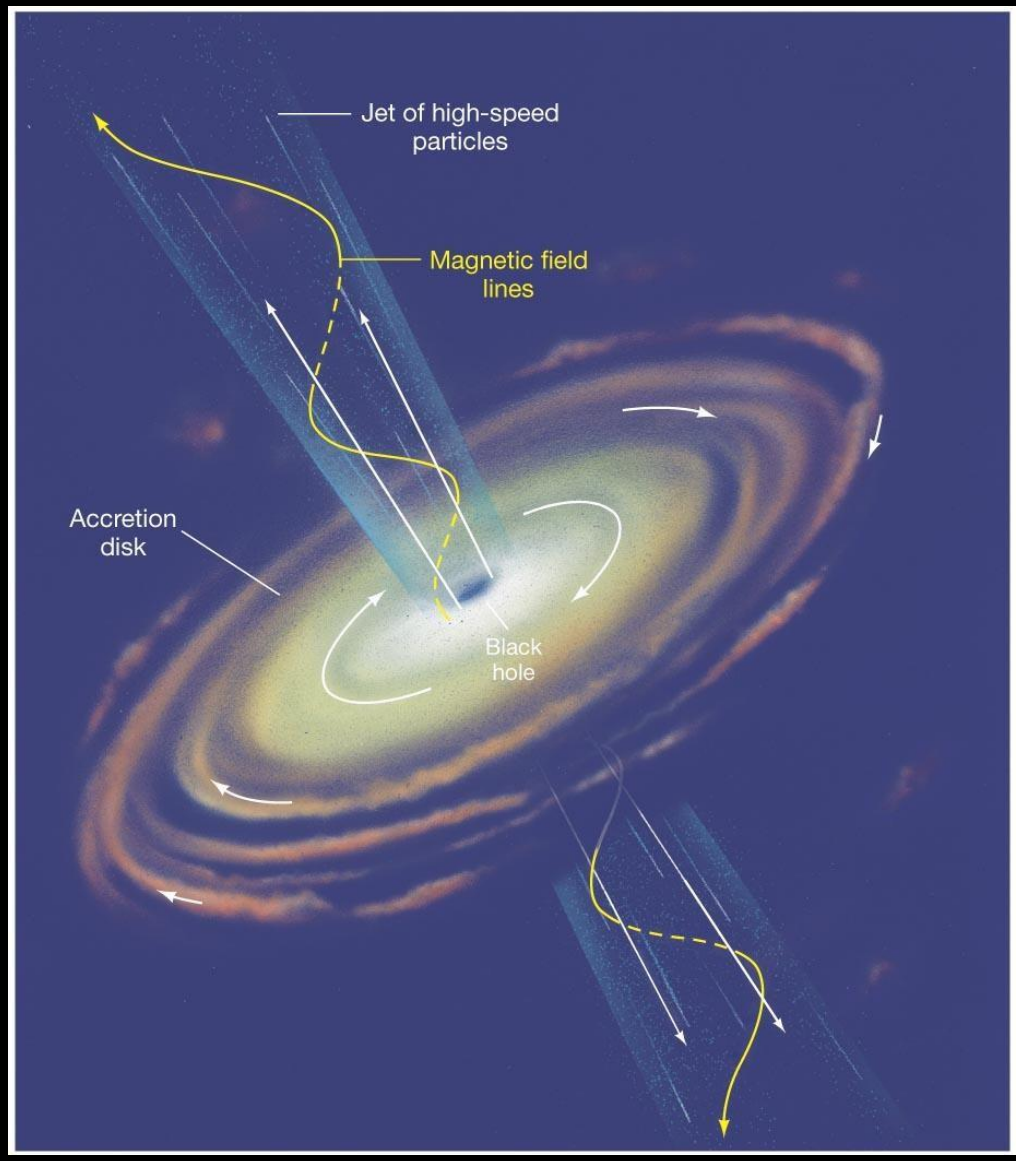

Quasar
Supermassive
black hole
Minor
merger
Seyfert
Normal spiral


Radio galaxy/
blazar
Normal elliptical
Merger
Central
black hole
Major
merger
Irregular
galaxies
Quasar
Supermassive
black hole
Minor
merger
Seyfert
Normal spiral

TEORIA MAIS ACEITA PARA EXPLICAR A ALTA LUMINOSIDADE, JATOS E LÓBULOS

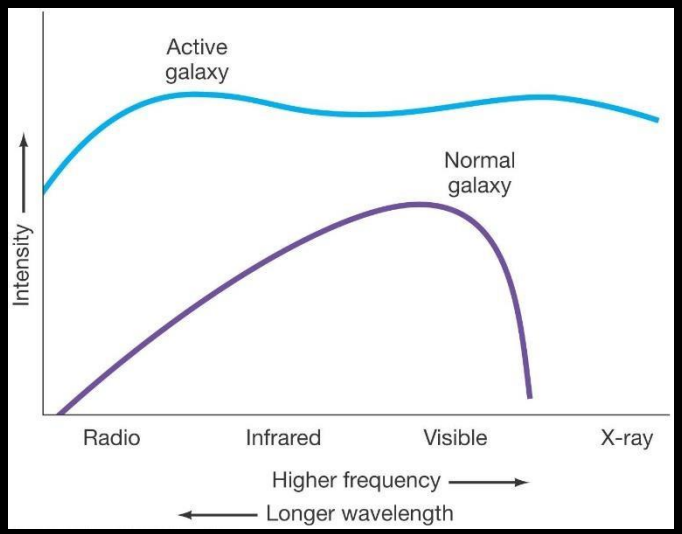
Um buraco negro central supermassivo forma um disco de matéria ao seu redor, chamado disco de acresção. Nas galáxias ativas, o buraco negro central pode atingir bilhões de $M_{\odot}$.

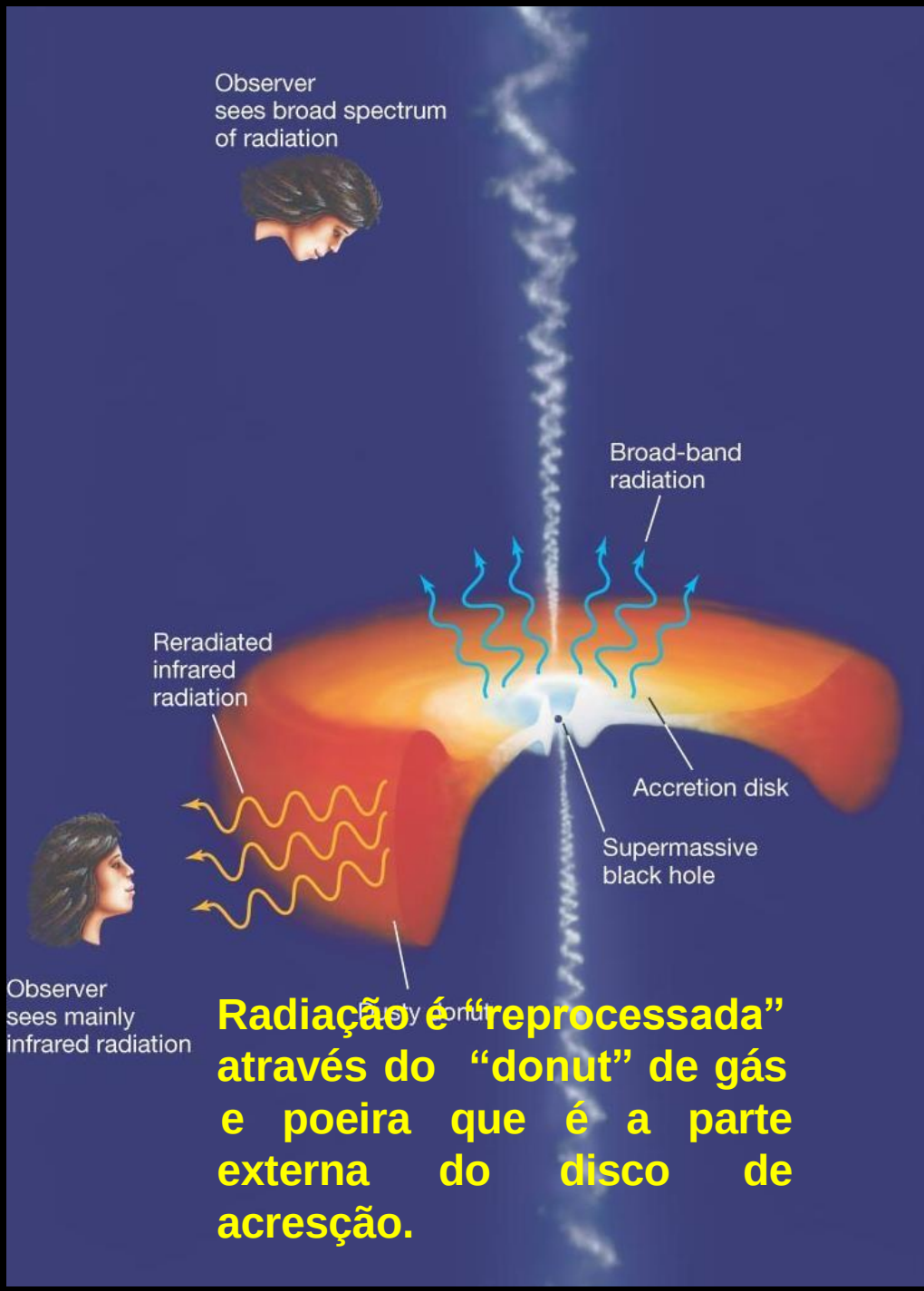
A matéria neste disco (estrelas, gás e poeira interestelar) espirala em direção ao buraco negro, aquecendo e produzindo quantidade enorme de energia.



Radiação é produzida NA PARTE INTERNA DO DISCO DE ACRESÇÃO em raios γ e X, 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



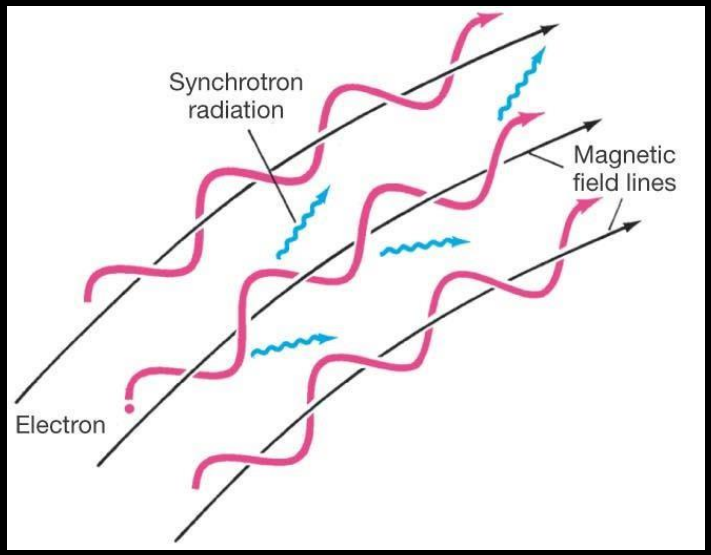


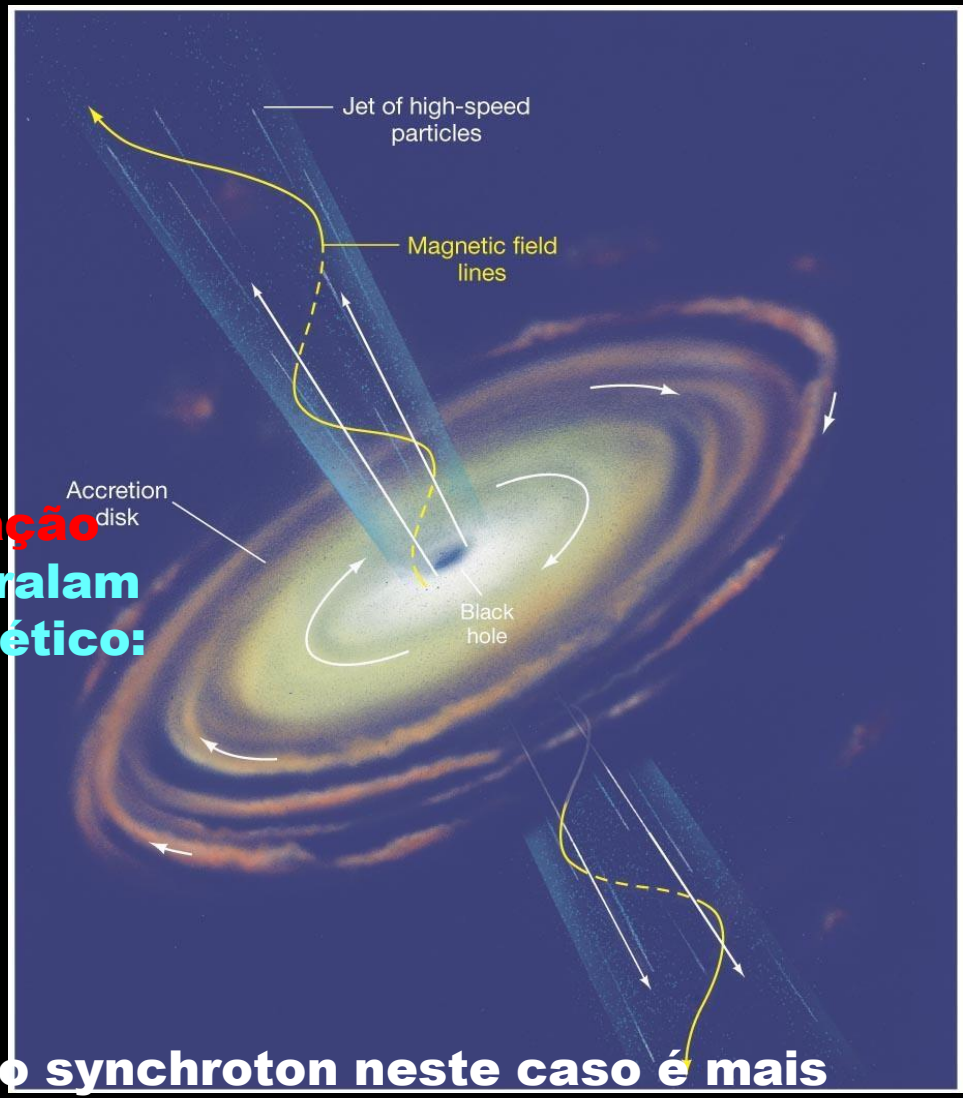
Radiação é "reprocessada" através do "donut" de gás e poeira que é a parte externa do disco de acresção.

Jatos de gás de alta velocidade são formados perpendiculamente ao disco de acresção, formando os LÓBULOS OBSERVADOS em radio galáxias e quasares.

Linhas de campo-magnético são estreitadas ao longo do jato. Partículas carregadas percorrem as linhas de campo magnético, produzindo também parte da radiação não-estelar observada.

Partículas carregadas emitem radiação synchrotron a medida que elas espiralam ao longo das linhas de campo magnético:



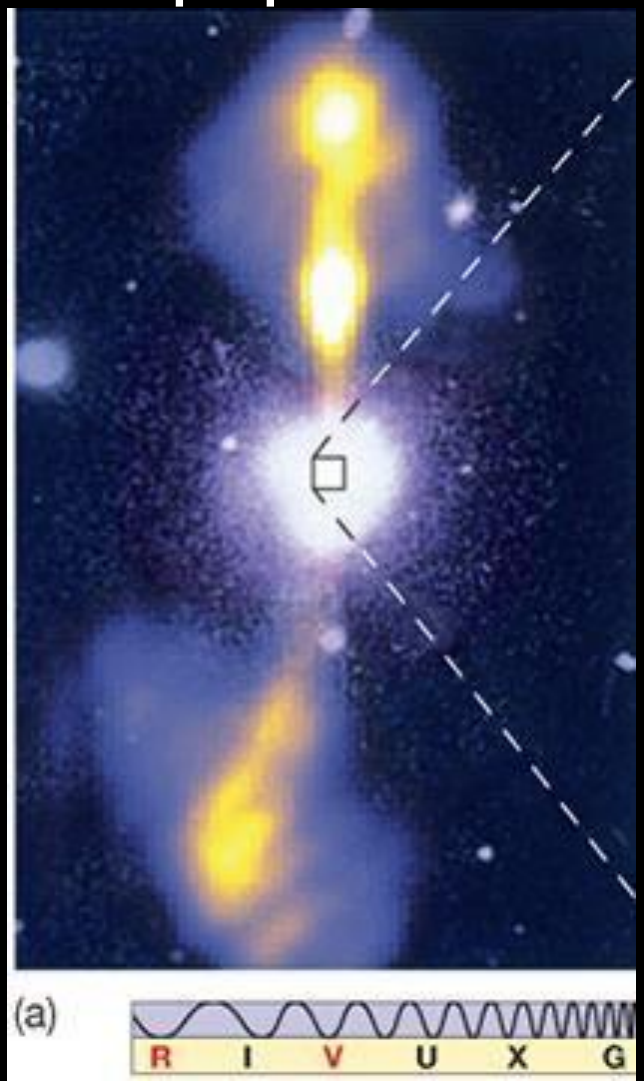


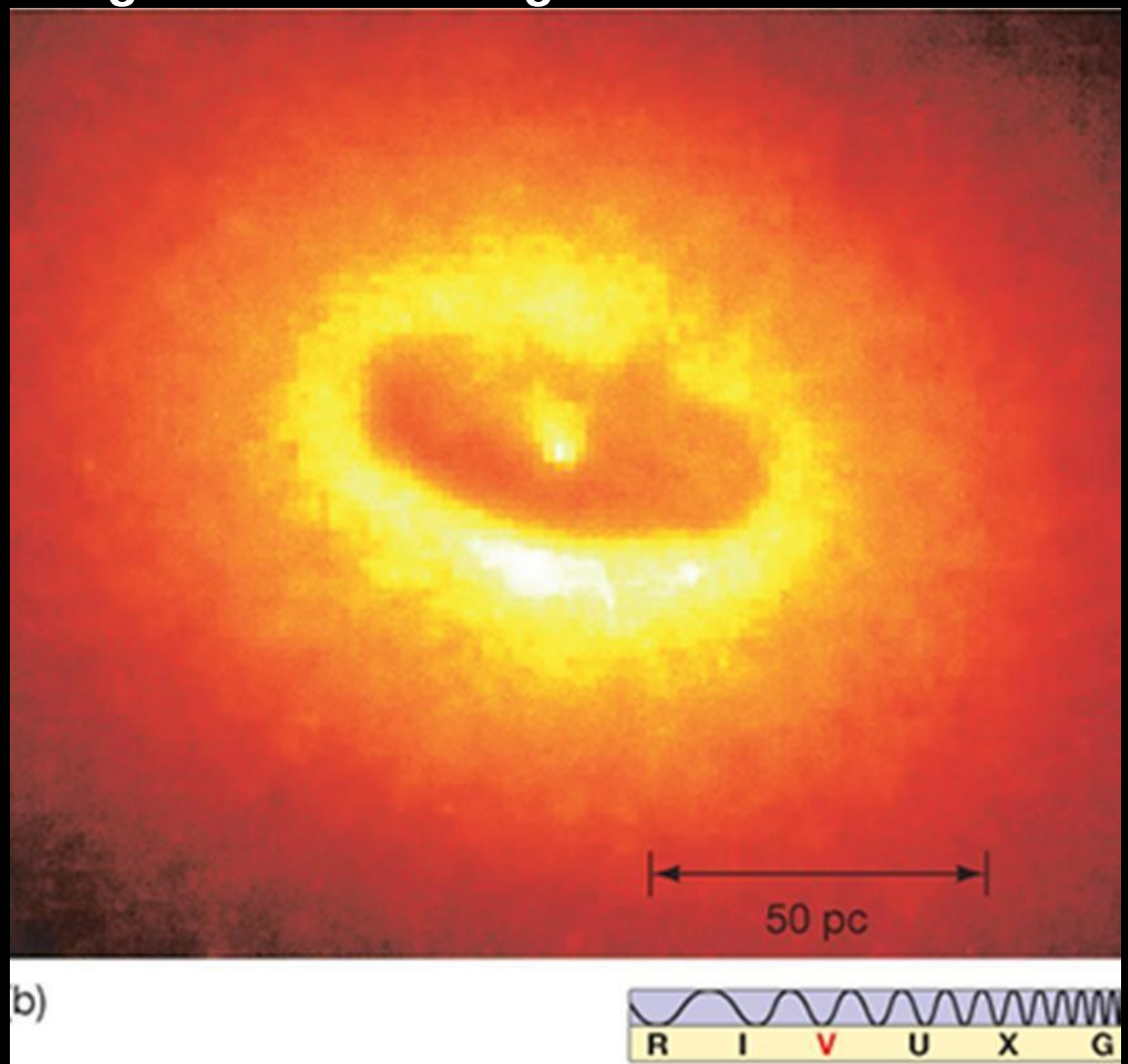
Radiação synchroton neste caso é mais intensa a baixas frequências (radio) e não depende da T do objeto emissor (radiação não térmica).

GALÁXIA E GIGANTE NGC 4261

a) **Em amarelo imagem em rádio dos lobos (60 kpc de extensão)**

b) **Evidência de um buraco negro no centro da rádiogaláxia ⇨ disco de 100 pc de diâmetro ao redor de um material brilhante que possivelmente abriga um buraco negro.**





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 integaláctico

Normalmente galáxias agrupam-se em:

- **pares**
- **grupos (~ 1 Mpc de extensão, dezenas de galáxias)**
- **aglomerados (~ alguns Mpc e milhares de galáxias)**
- **super aglomerados (~ 50-100 Mpc)**

massas vão de 10^{15} a 10^{16} $M_\odot$
(aglomerados a super aglomerados)

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

Construção de um mapa 3D da estrutura do universo

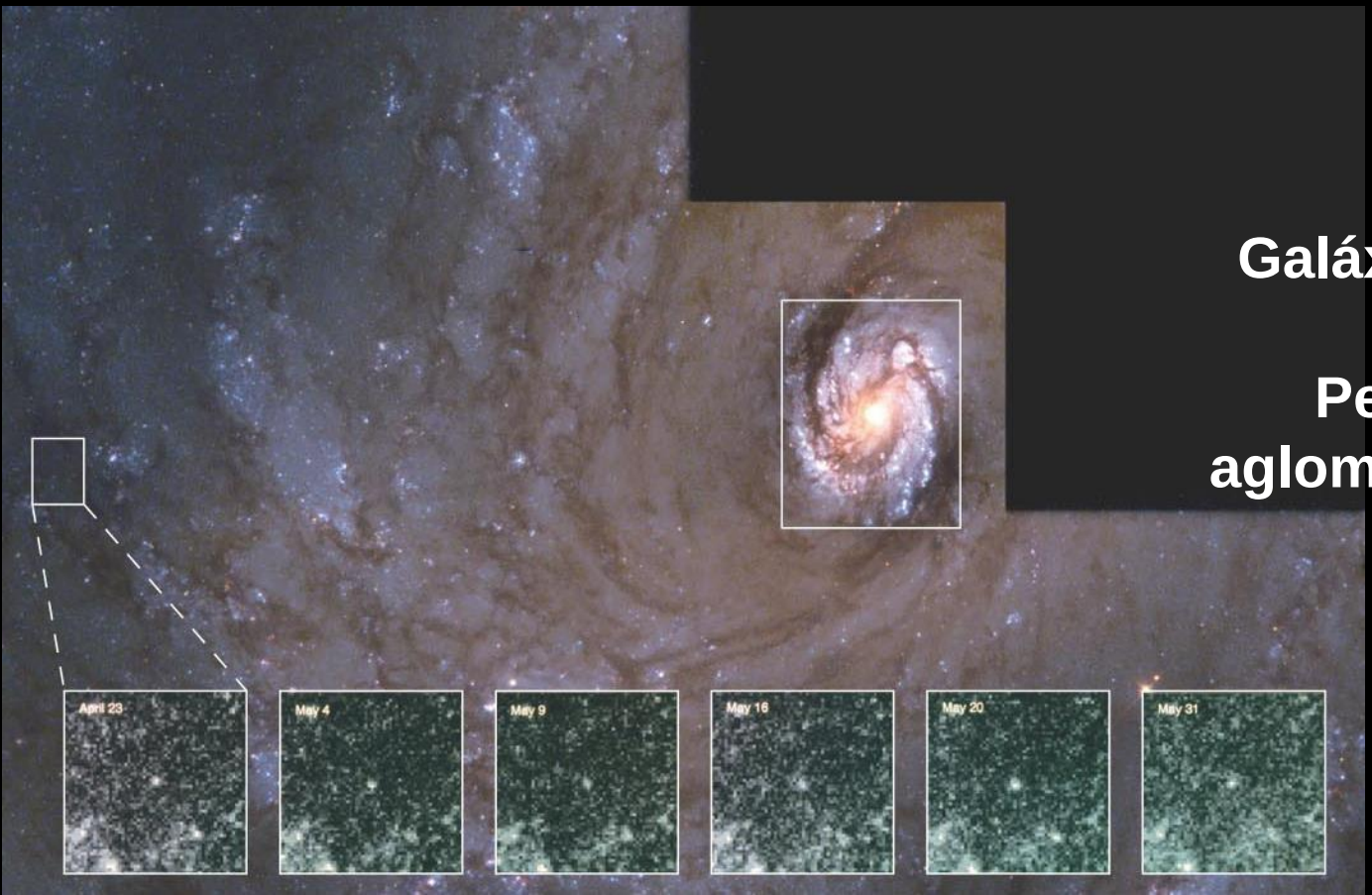
Determinação precisa das distâncias

Estendendo a escala de distâncias

Estimativa : ~ 40 bilhões de galáxias tão brilhantes quanto a nossa existem no universo observável.

Indicador de distância

VARIÁVEIS CEFEIDAS

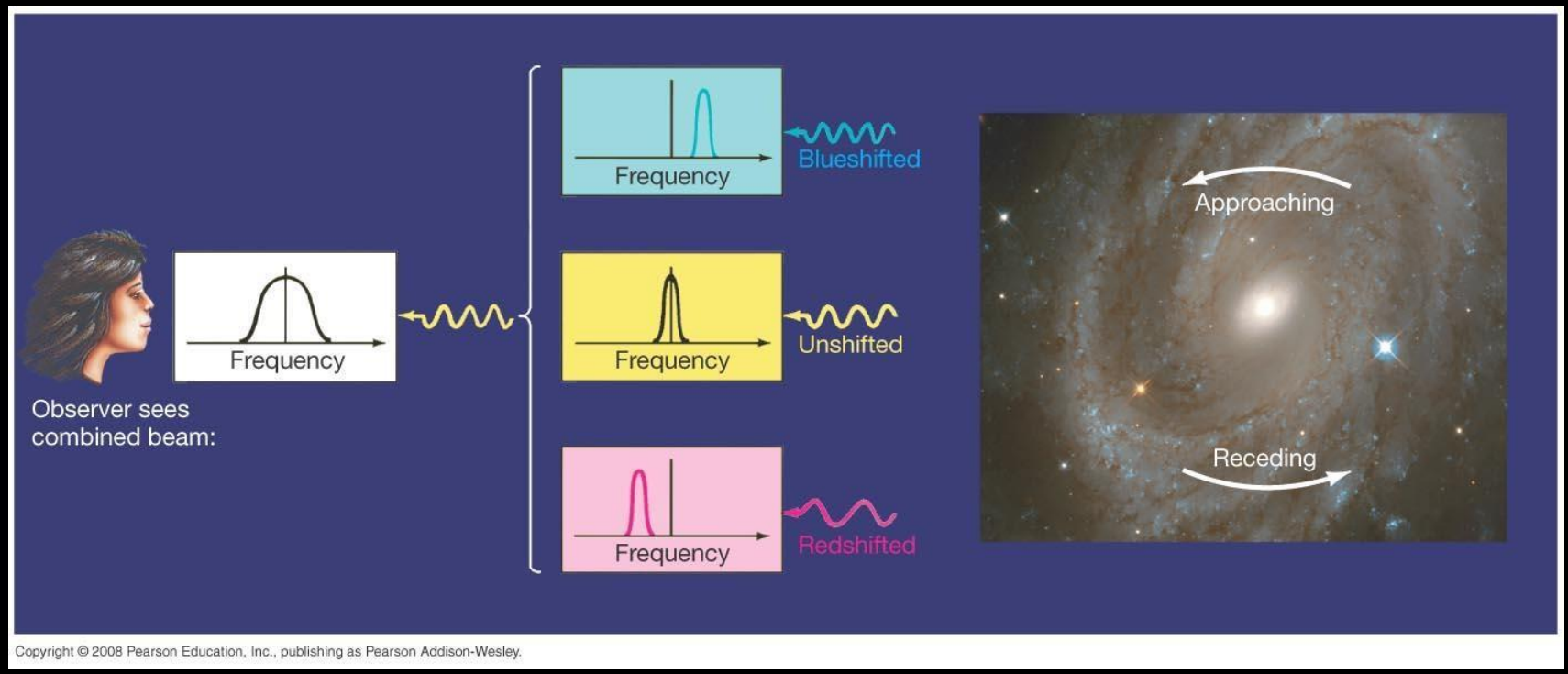


Galáxia espiral M100 (16 Mpc) Pertencente ao aglomerado de Virgem

Indicador de distância

GALÁXIAS ESPIRAIS: RELAÇÃO DE TULLY-FISHER

Galáxias muito distantes

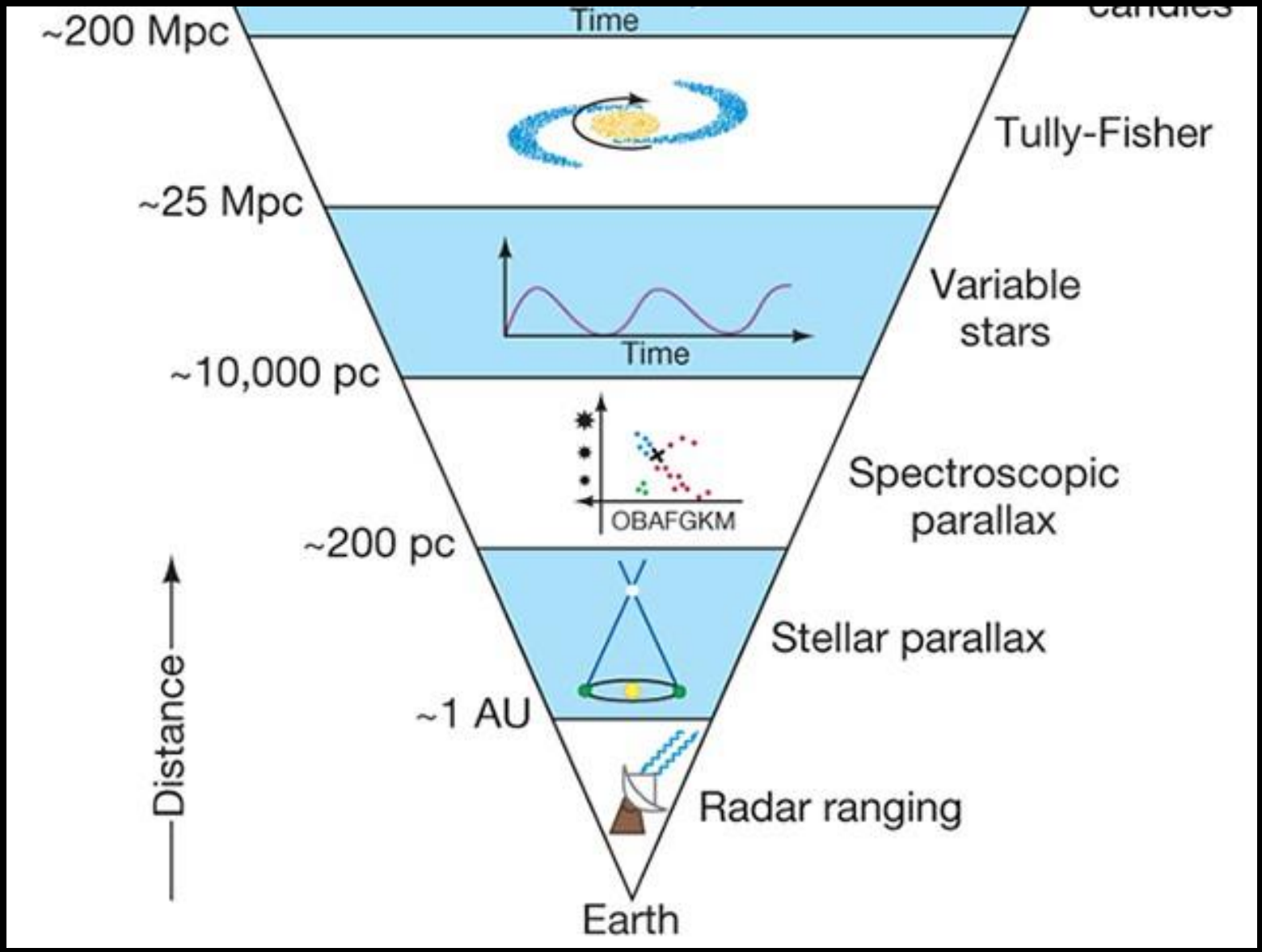


$$\frac{Alargamento}{\lambda} = \frac{2 \times v_{rot}}{c}$$

velocidade de rotação ⇔ luminosidade

$$L \propto v_{rot}^{4}$$

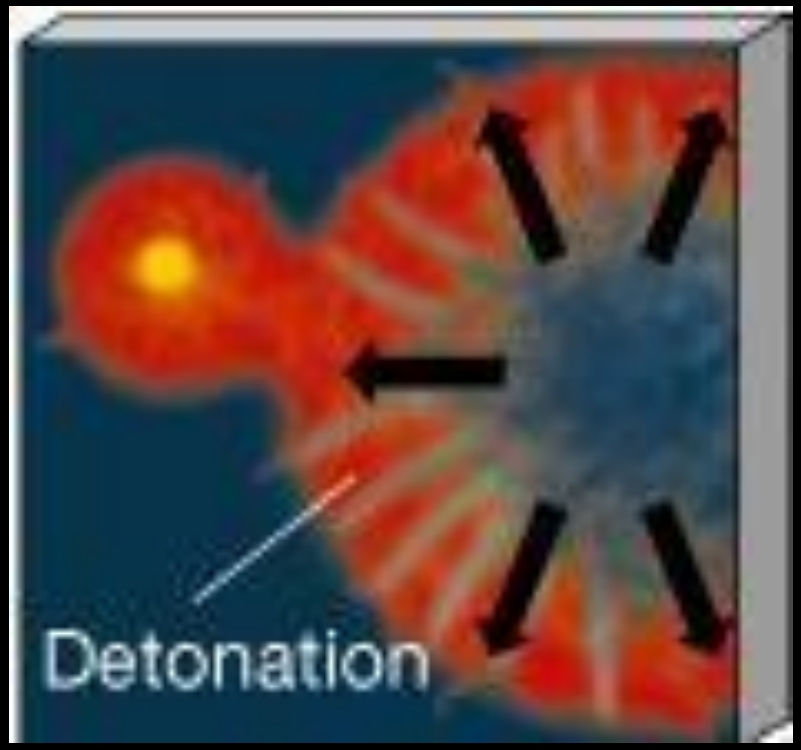
$$m - M = 5 \log D - 5$$


~200 Mpc
Time
Tully-Fisher
~25 Mpc
Variable
stars
Time
~10,000 pc
Spectroscopic
parallax
OBAFGKM
~200 pc
Stellar parallax
~1 AU
Radar ranging
Distance
Earth

Indicador de distância

SUPERNOVAS DE TIPO Ia

1. **Estrela anã branca pertencente a um sistema binário cerrrado recebe massa de sua companheira que se encontra no estágio de gigante**
2. **A estrela anã colapsa quando sua massa ultrapassa o limite de Chandrasekhar (1,44 $M_{\odot}$) (limite de uma estrela sustentada pela pressão de elétrons degenerados).**



Quando a anã branca colapsa: sua T aumenta e começa haver a fusão do C em todos os pontos da estrela.

Mais próximo do centro: fusão de C e O ⇨ formação de elementos do pico do ferro: ex. Mn, Cu, Zn, Co, Ni, Fe.

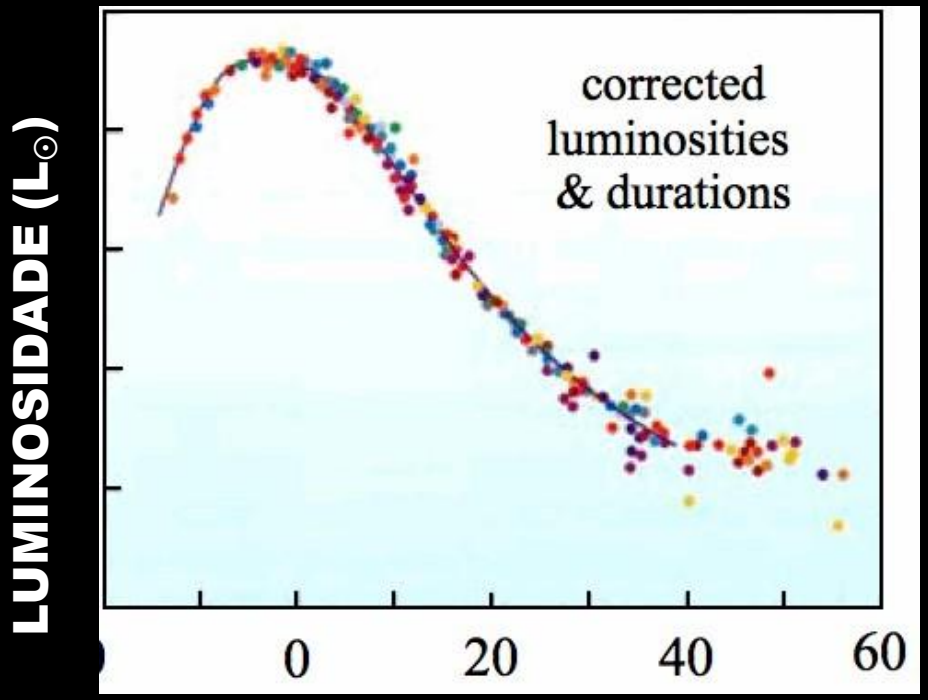
A anã branca explode ⇨ Carbon Detonation Supernovae

SNIa não deixa remanescente central

Indicador de distância

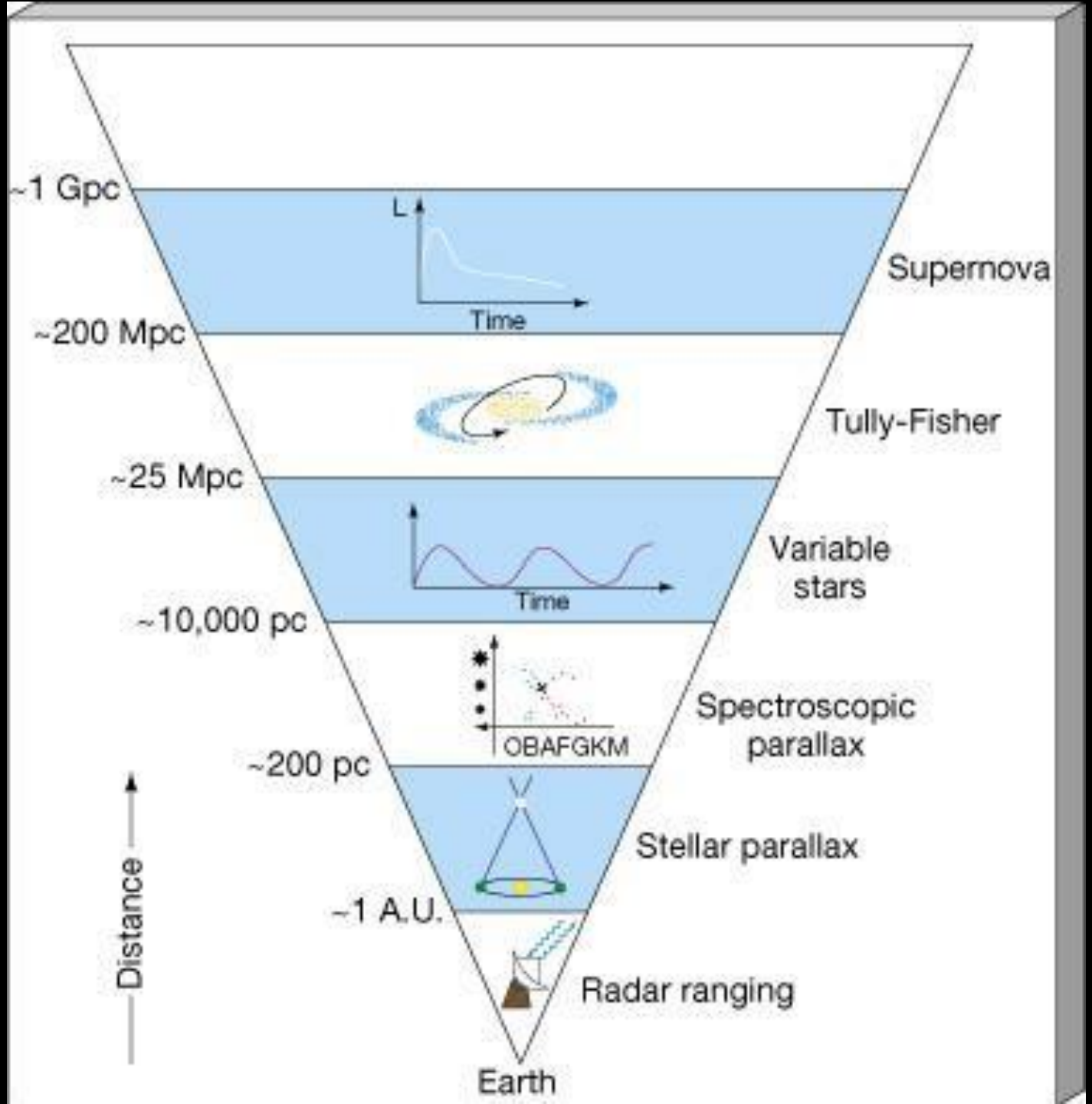
SUPERNOVAS DE TIPO Ia
a "vela padrão" que vai a maiores distâncias

Curva de luz aproximadamente similar entre todas as SNIa independente da progenitora

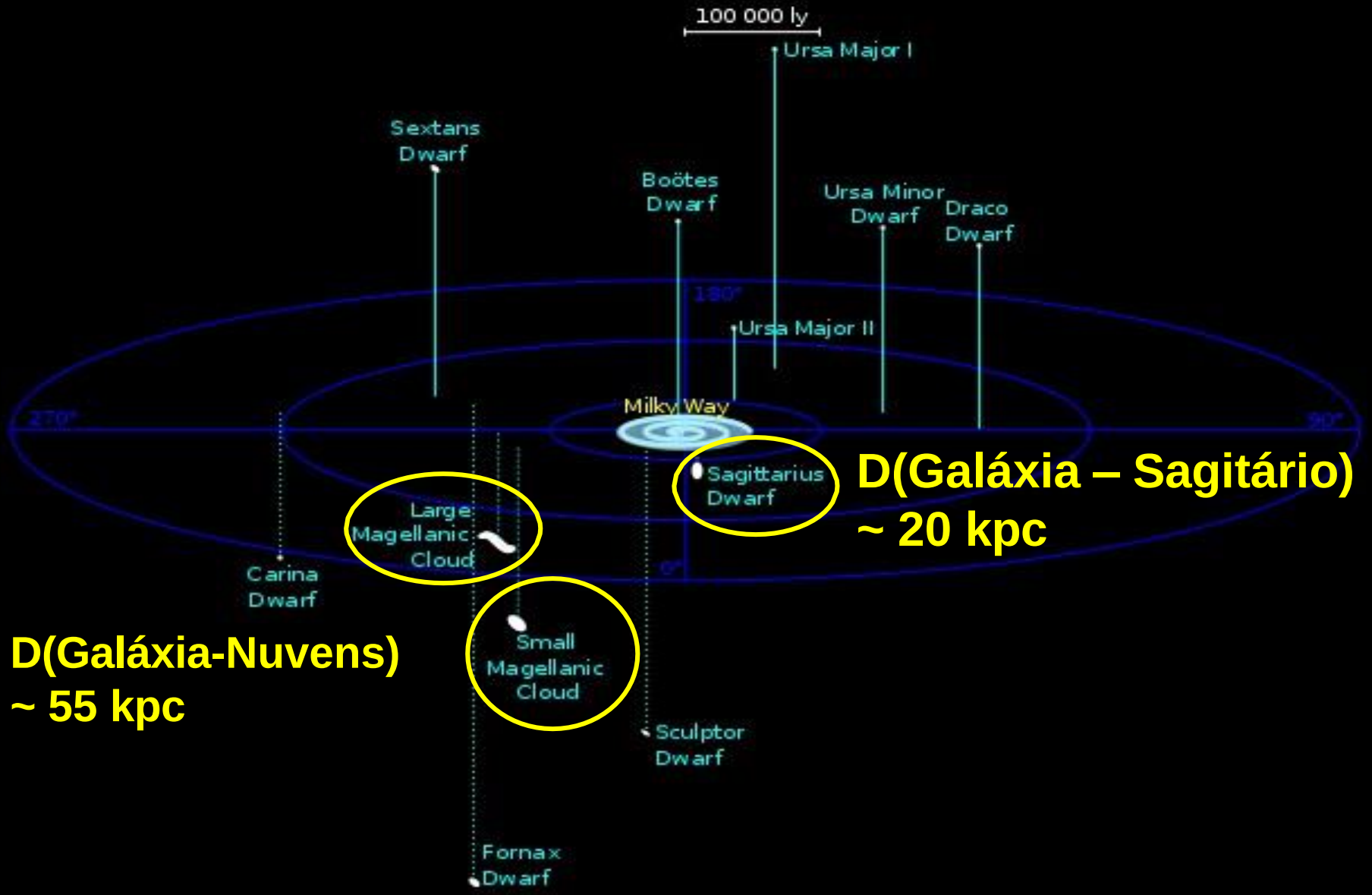


Máximo de luminosidade ~ 10^{11} $L_\odot$

$$m - M = 5 \log D - 5$$


~1 Gpc
L
Time
Supernova
~200 Mpc
Tully-Fisher
~25 Mpc
Time
Variable stars
~10,000 pc
OBAFGKM
Spectroscopic parallax
~200 pc
Stellar parallax
~1 A.U.
Radar ranging
Distance
Earth

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

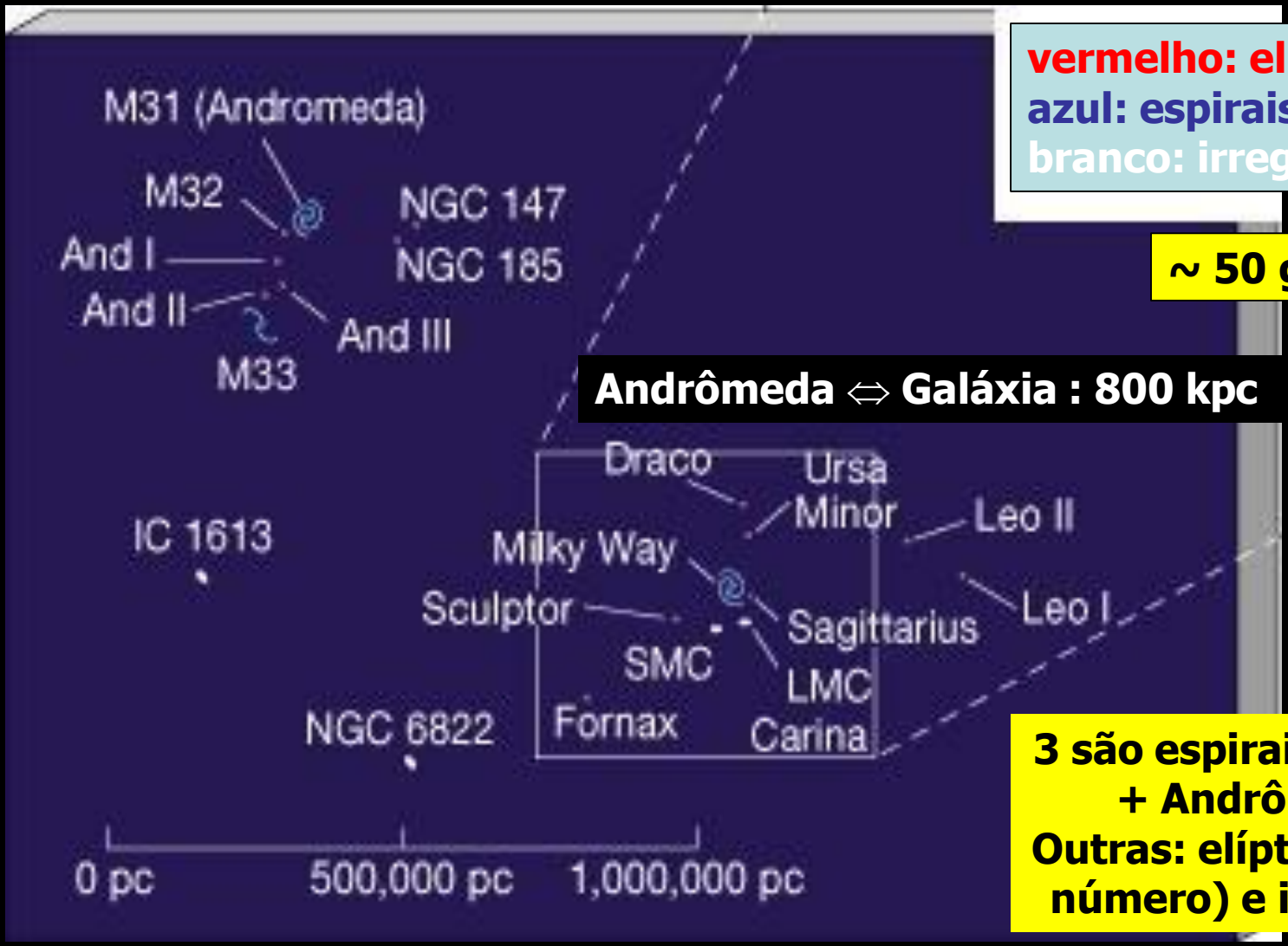


D(Galáxia – Sagitário) ~ 20 kpc

D(Galáxia-Nuvens) ~ 55 kpc

O GRUPO LOCAL

<u>Grupo Local consiste em</u>:
Nossa Galáxia + Andrômeda + dezenas de galáxias menores



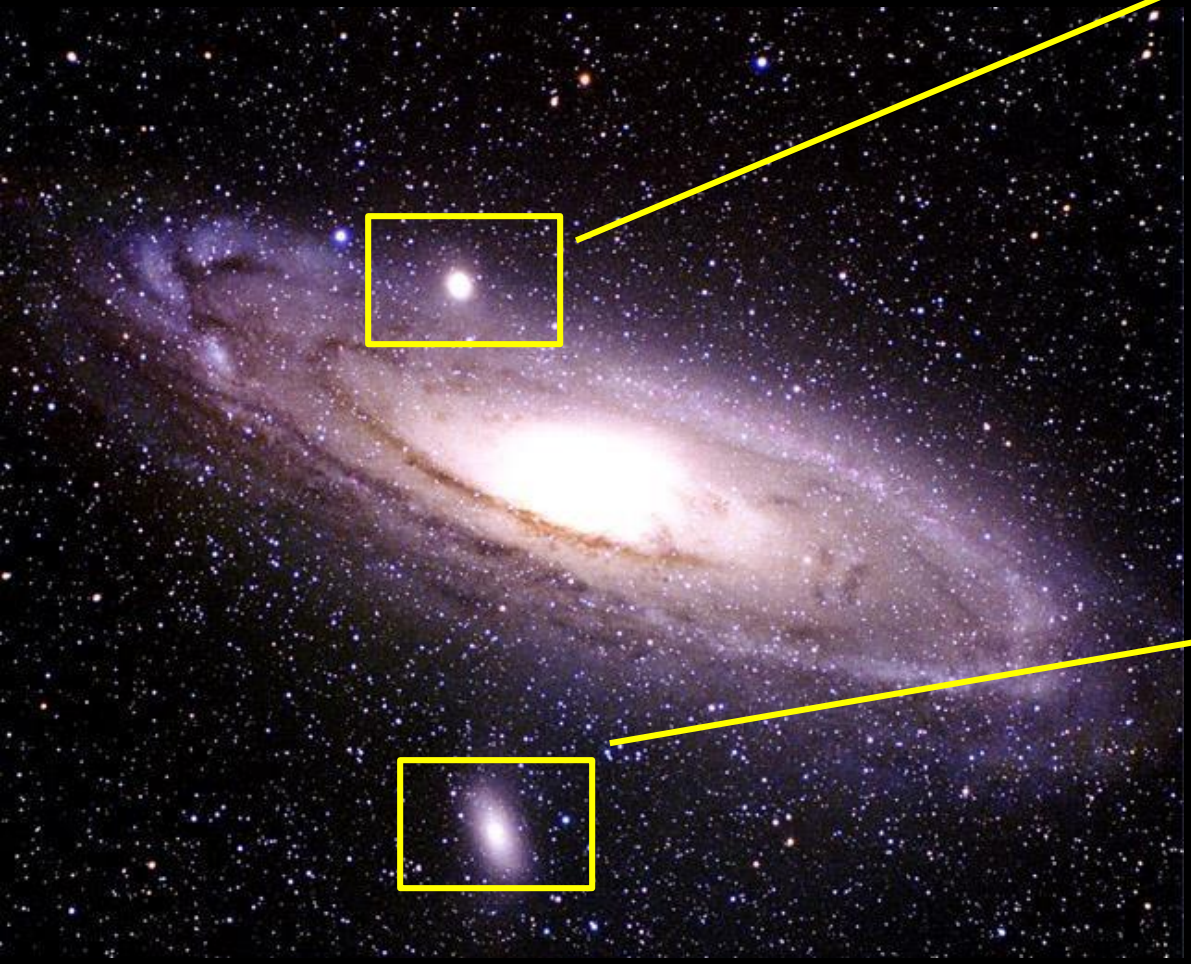
vermelho: elípticas anãs
azul: espirais
branco: irregulares

~ 50 galáxias no total

Andrômeda ⇔ Galáxia : 800 kpc

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

Andrômeda e suas galáxias satélites

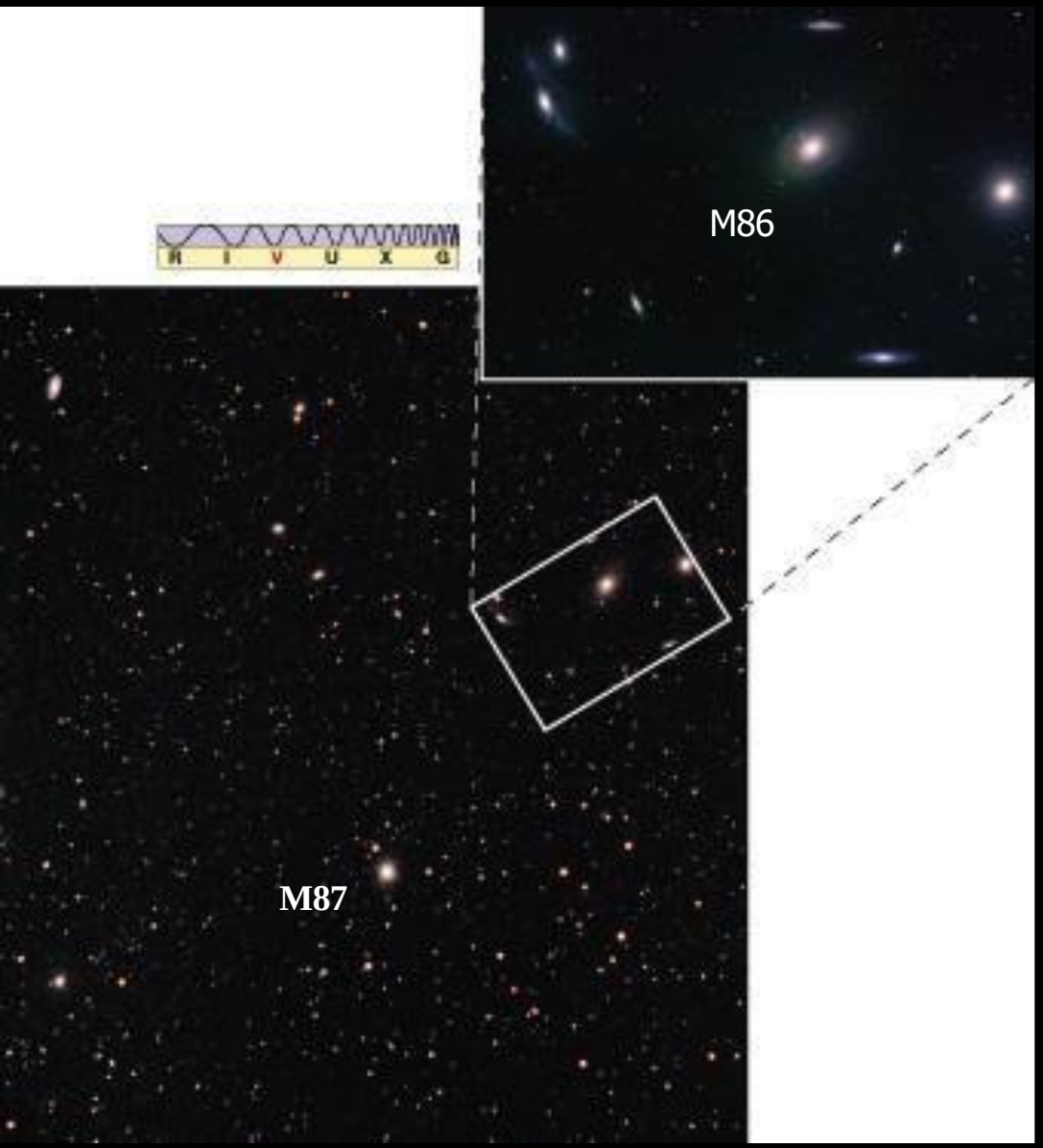


M32 Elíptica anã

M110 Elíptica anã

A próxima concentração de galáxias:

AGLOMERADO DE VIRGEM



- Contém >~3500 galáxias
- 3 Mpc de dimensão

~18 Mpc da Galáxia

M86 e M87 são elípticas gigantes

613 Mpc da MW
2,5 bilhões de anos–luz

Espera-se que: galáxias em um aglomerado se movam de maneira randômica

Mas em maior escala : galáxias e aglomerados se movem de maneira ordenada.

A LEI DE HUBBLE

Vesto Slipher (1917) observou que numa amostra de 40 galáxias espirais, a maioria tinha espectros deslocados para o vermelho (movimento de afastamento (RECESSÃO) em relação à nossa Galáxia)

- **O espectro medido da maior parte das galáxias, em todas as direções no céu, apresenta linhas com deslocamento para λs maiores em relação ao λ em repouso (*REDSHIFT*).**

$$\frac{\lambda_{obs} - \lambda_{lab}}{\lambda_{lab}} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V}{c}$$

$$\Delta\lambda > 0$$

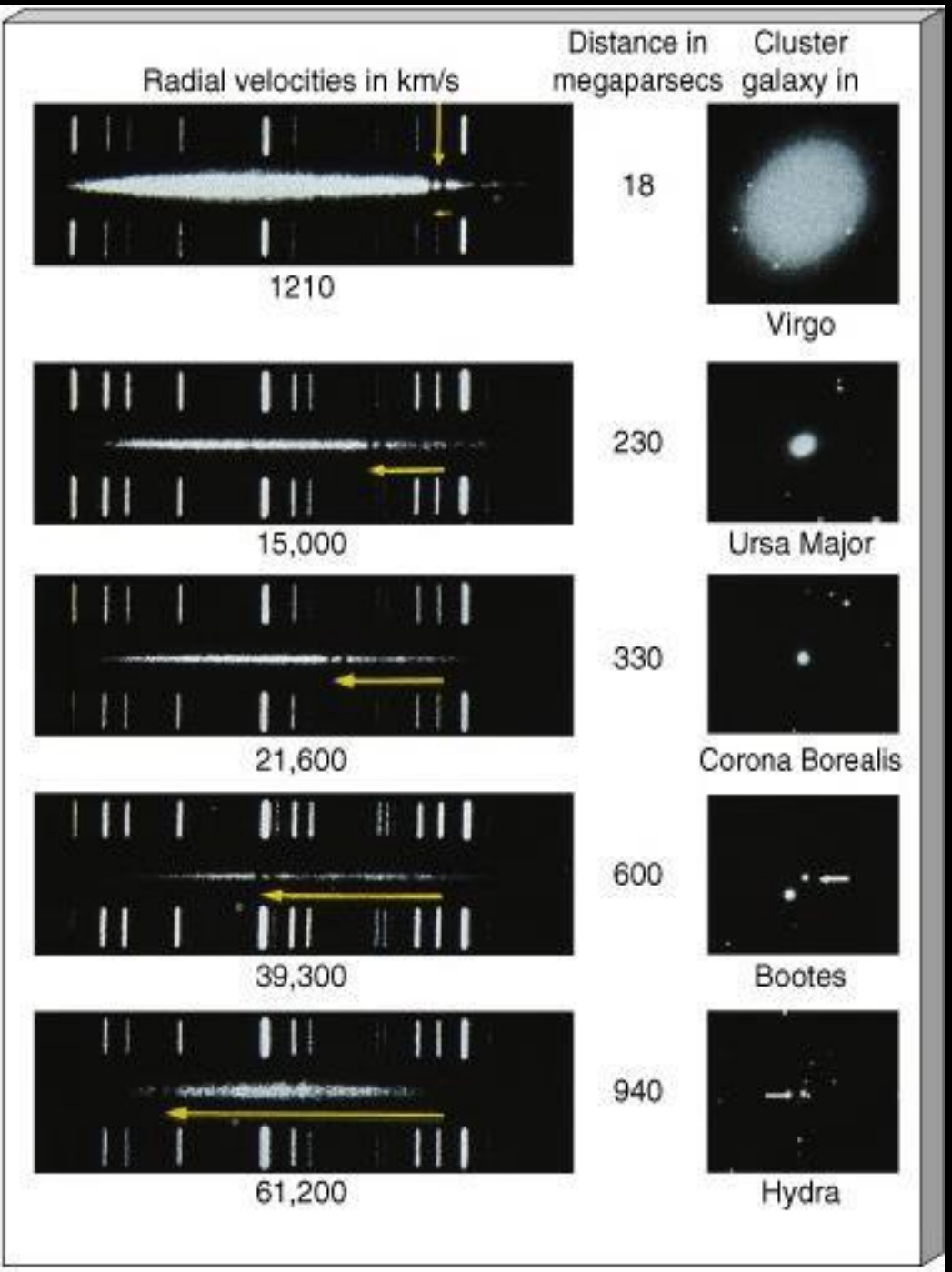
- **Efeito observado em grandes escalas (distâncias)**

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \equiv z$$

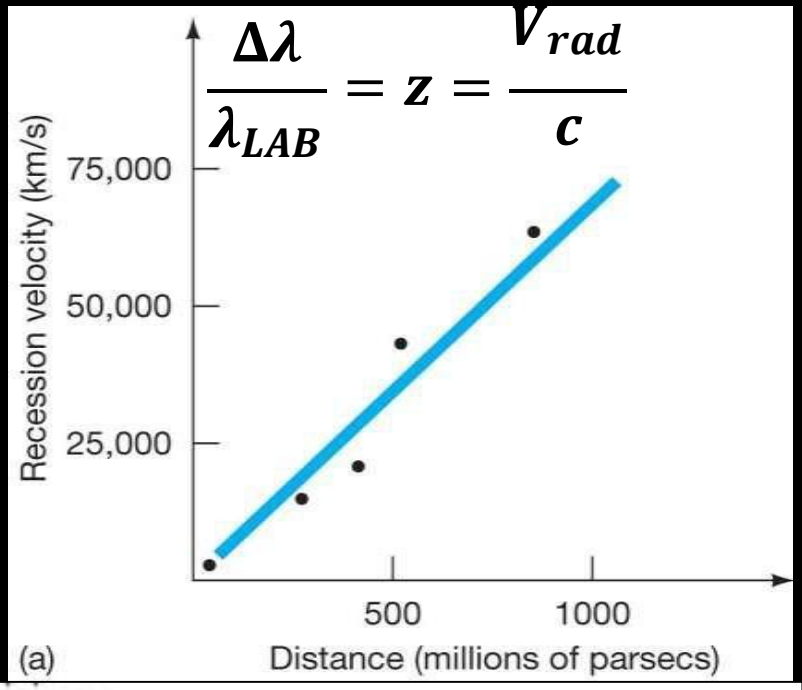
Z = *redshift*

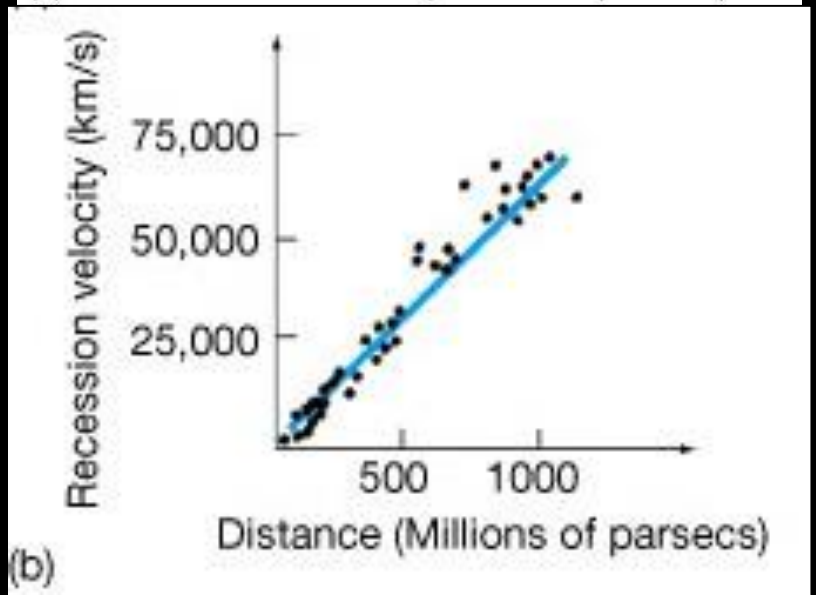
Através do redshift mede-se v:

DIAGRAMAS DE HUBBLE

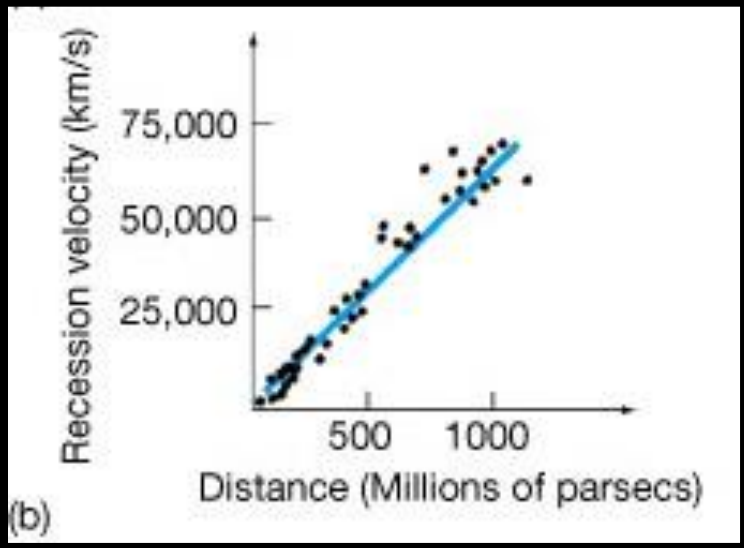


$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_{LAB}} = z = \frac{v_{rad}}{c}$$





A velocidade de afastamento de uma galáxia é $\propto$ à distância $\equiv$ lei de Hubble



vel. de recessão = H_o × distância

Constante de Hubble

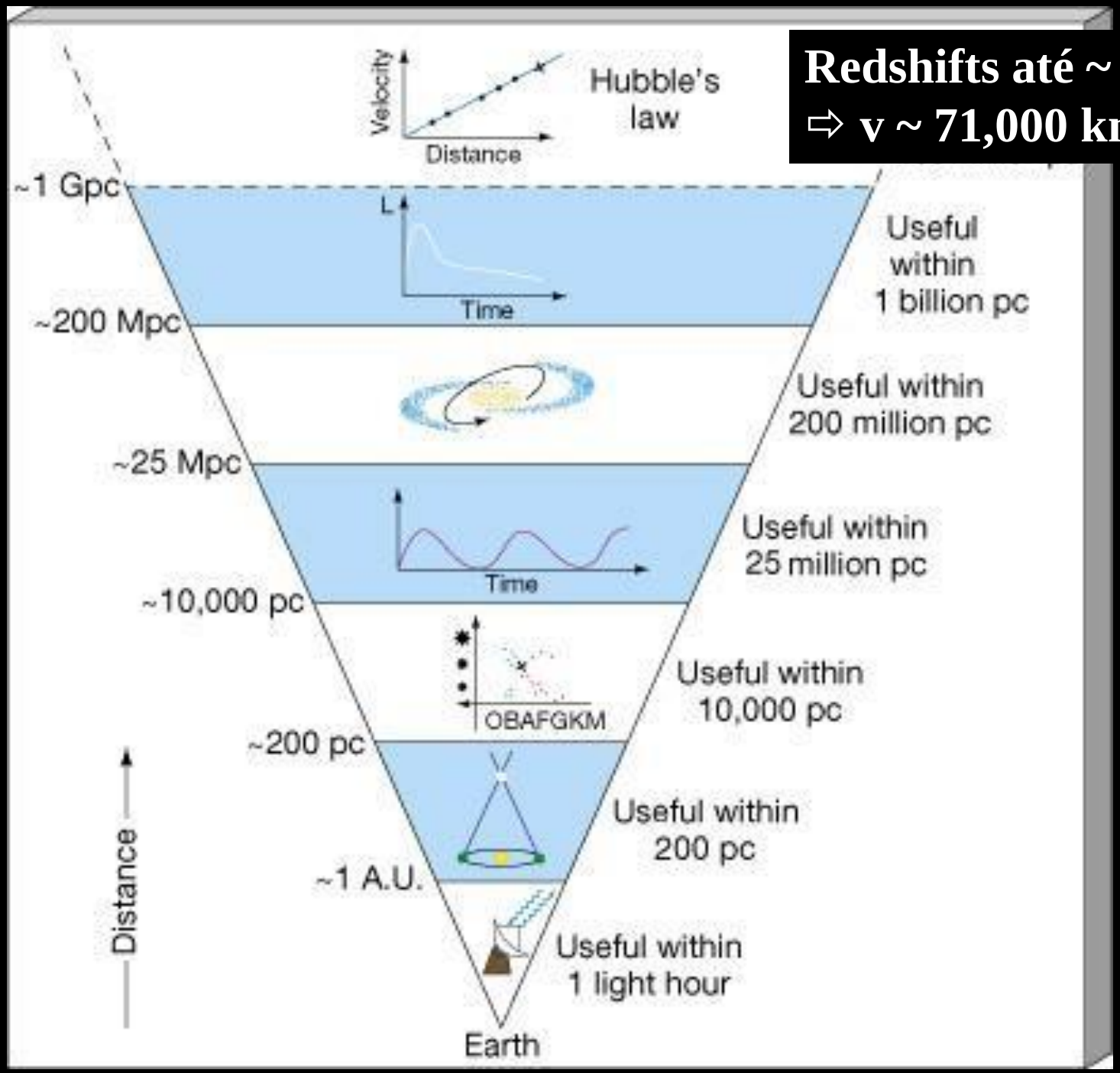
H_o= 71 km/s/Mpc ⟹ a cada 1 Mpc a velocidade aumenta 71 km/s

incerteza de pelo menos 10%

incerteza estimada levando-se em conta todos os métodos de determinação de distância.

Redshifts até ~ 0,24

⇨ v ~ 71,000 km/s : D ~ 1 Gpc

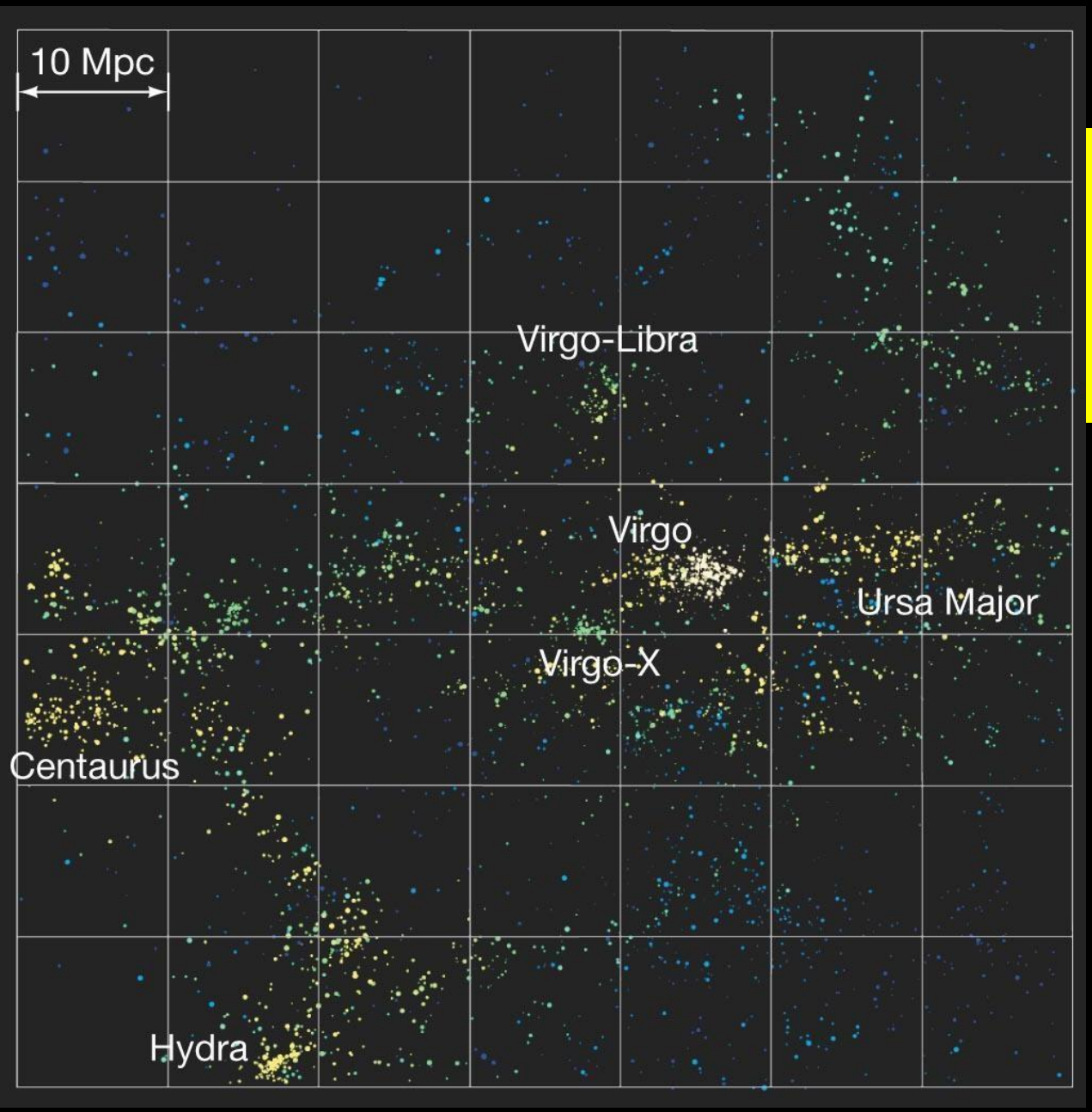


Usando todos os indicadores de distância

Mapeamento do universo local
Aglomerados de aglomerados

SUPERAGLOMERADOS

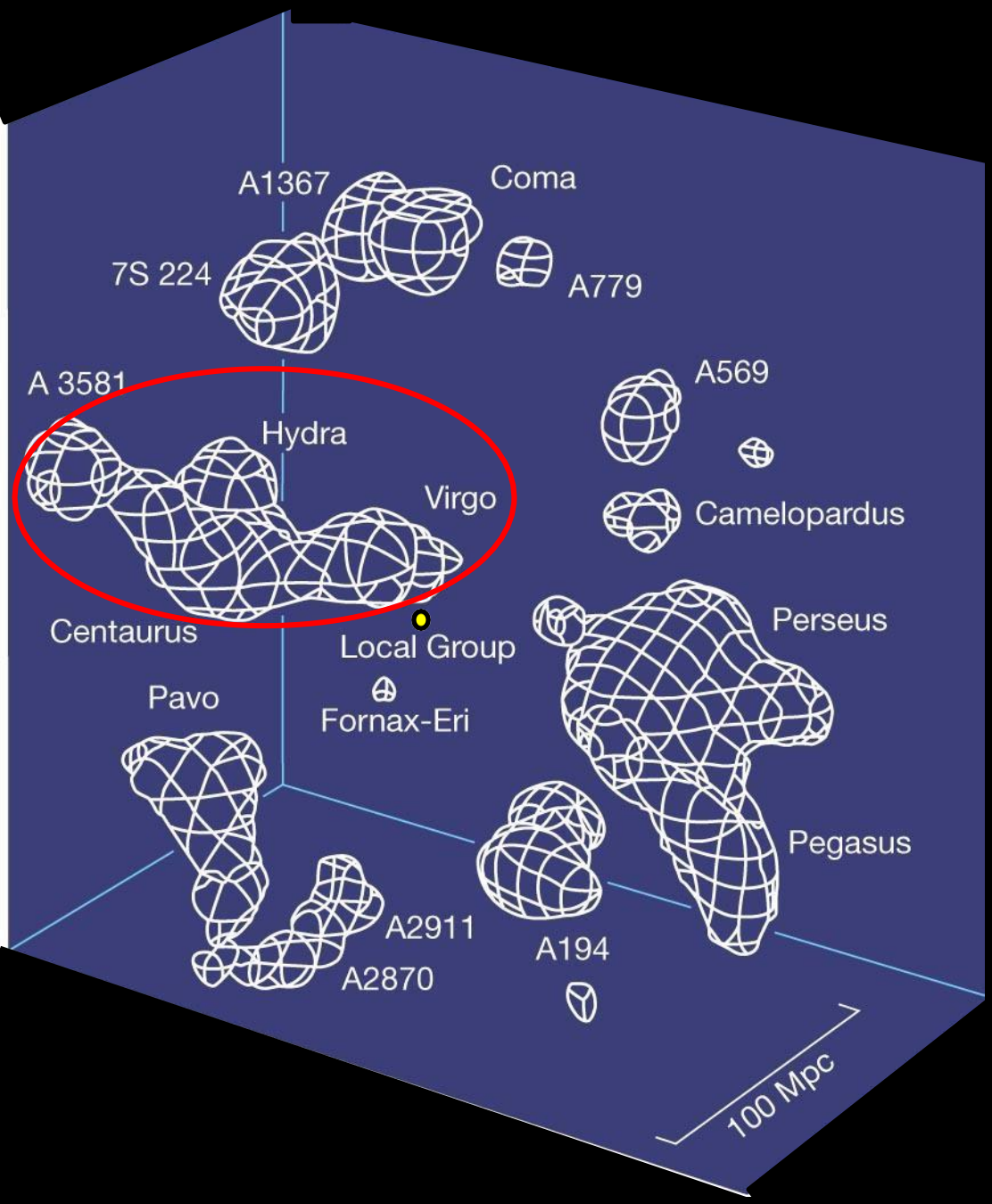
O SUPERAGLOMERADO LOCAL (superaglomerado de Virgem)



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

Branco e amarelo = regiões + densas

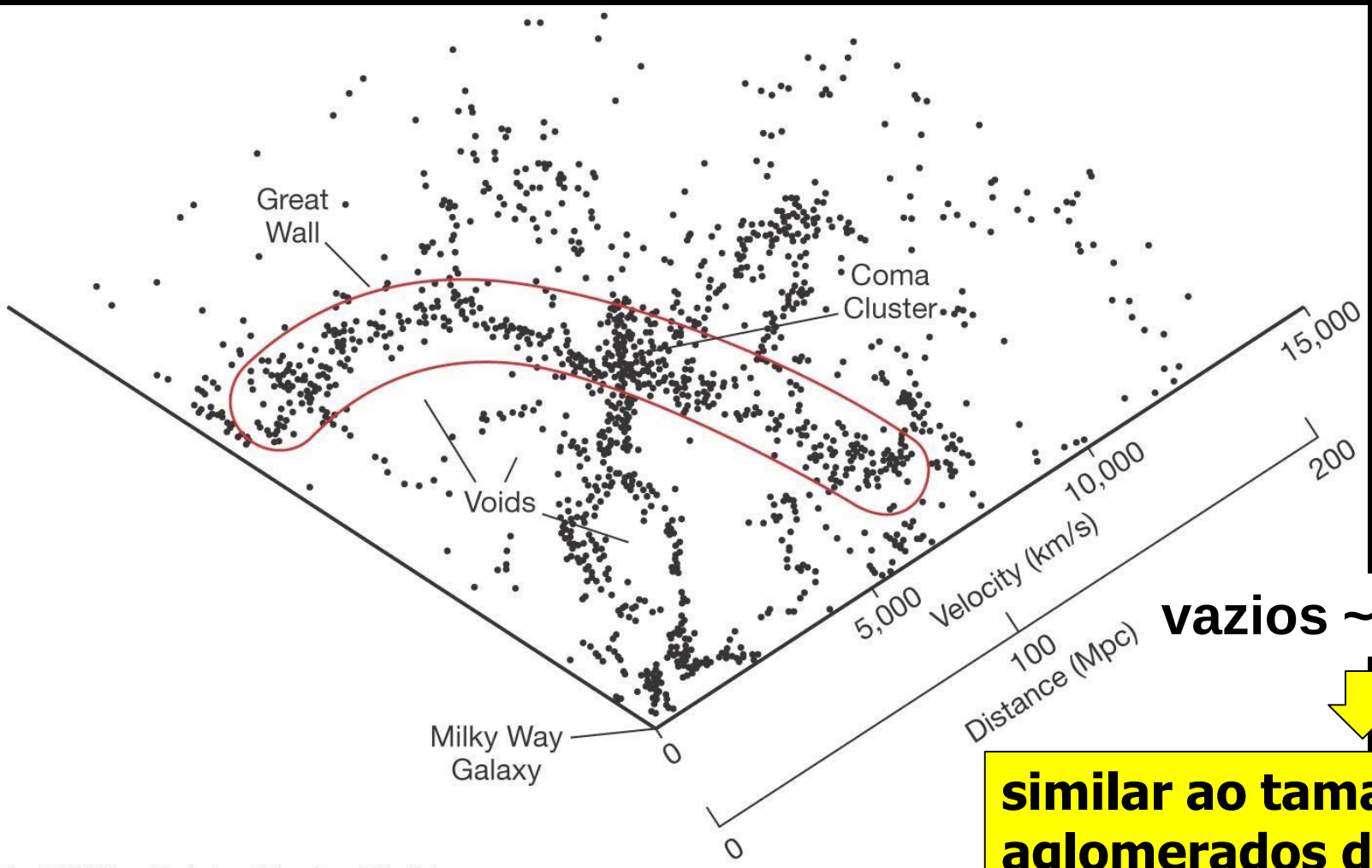
Verde e azul = menos densas



Grupo Local pertence ao aglomerado de Virgem e se localiza na periferia do superaglomerado local.

muitos superaglomerados apresentam estruturas filamentares ou paredes (assinalado em vermelho na fig.)

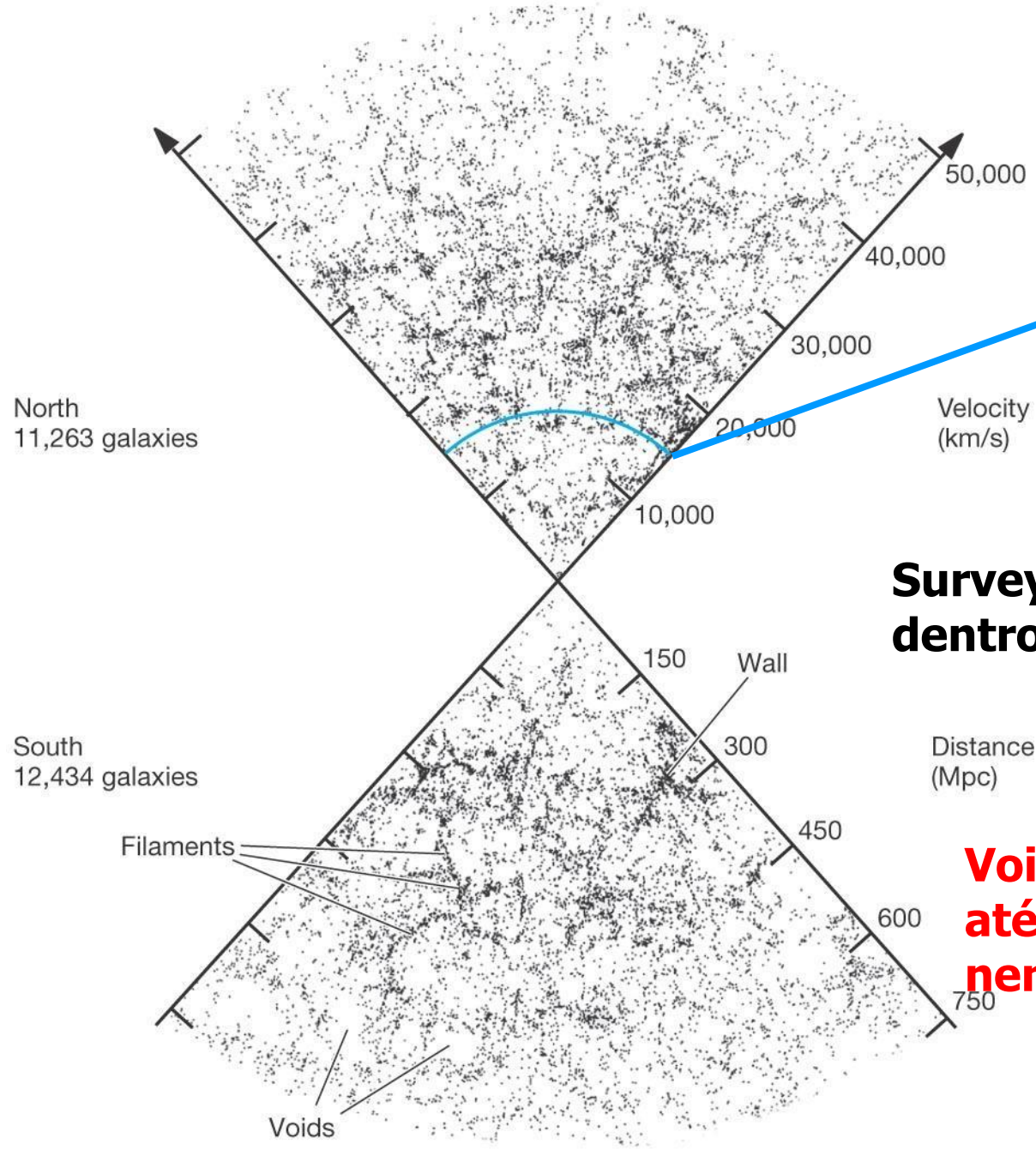
"Redshift Survey" com 1732 galáxias observadas do hemisfério norte. Vários pedaços profundos de céu de 6º de largura.

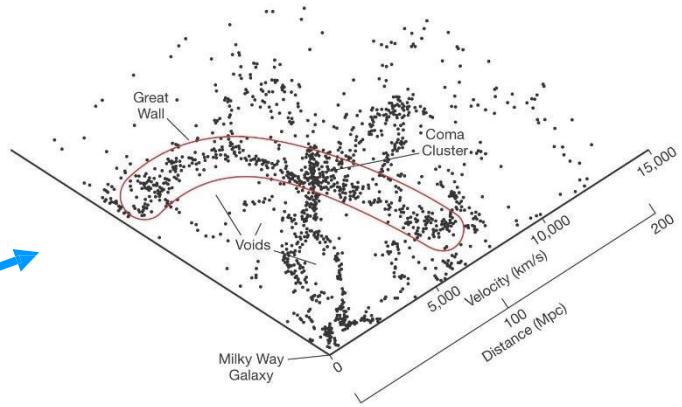


vazios ~ 50 Mpc

similar ao tamanho dos aglomerados de galáxias

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.





Survey com ~24.000 galáxias dentro de 4,5⁰ A 80⁰ de céu.

Voids e filamentos medindo até 100 a 200 Mpc, nenhuma estrutura maior

Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley.