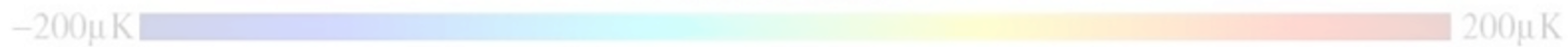




# GALÁXIAS

Carlos Alexandre Wuensche

ca.wuensche@inpe.br





# Introdução

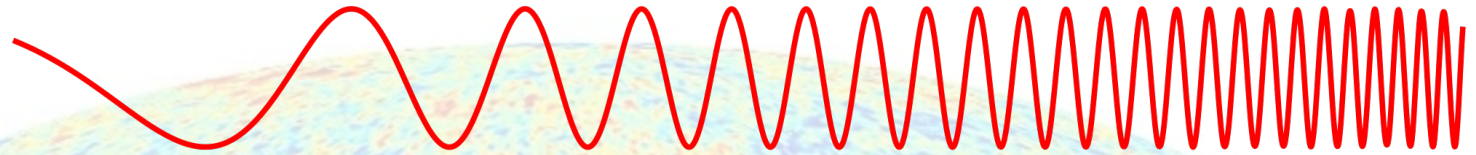
- ☑ Radiação eletromagnética: nosso único meio de estudar objetos celestes...
- ☑ Quanto mais distante um objeto, “mais fraca” é a quantidade de “luz” que medimos na Terra.
- ☑ Como manter a noção de distâncias, tamanhos e escalas no Universo?
- ☑ Compreensão das escalas  $\Rightarrow$  hierarquias
- ☑ Astrofísica e cosmologia são feitas a partir de uma “engenharia reversa” da luz recebida de objetos distantes





# O espectro eletromagnético: tudo isso é "luz"!

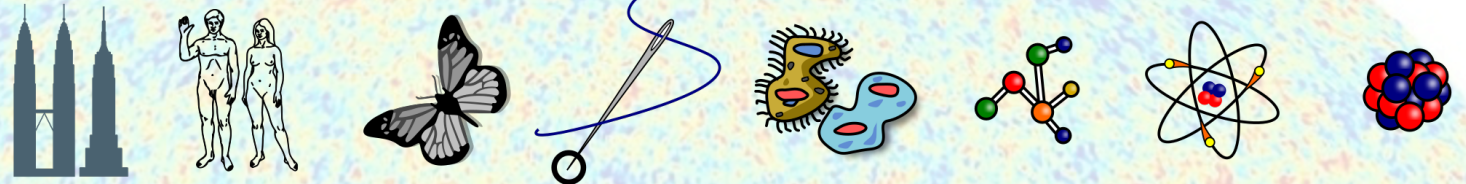
Penetrates Earth's Atmosphere?



Radiation Type  
Wavelength (m)

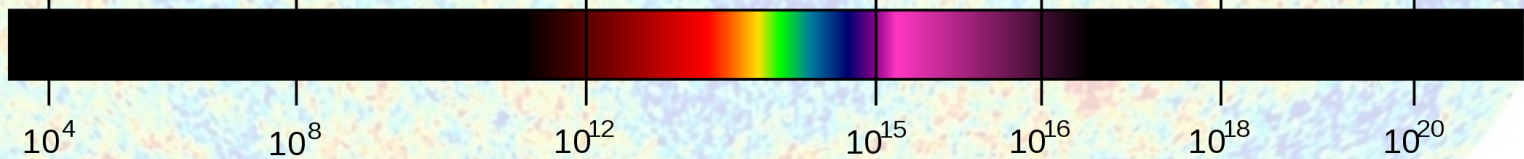


Approximate Scale of Wavelength

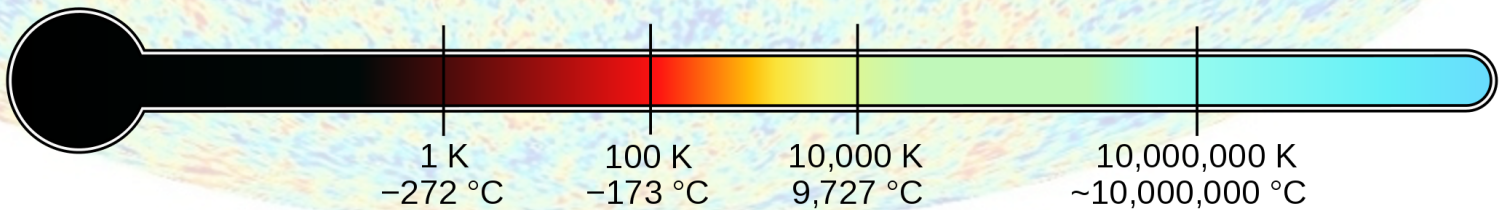


Buildings	Humans	Butterflies	Needle Point	Protozoans	Molecules	Atoms	Atomic Nuclei
-----------	--------	-------------	--------------	------------	-----------	-------	---------------

Frequency (Hz)

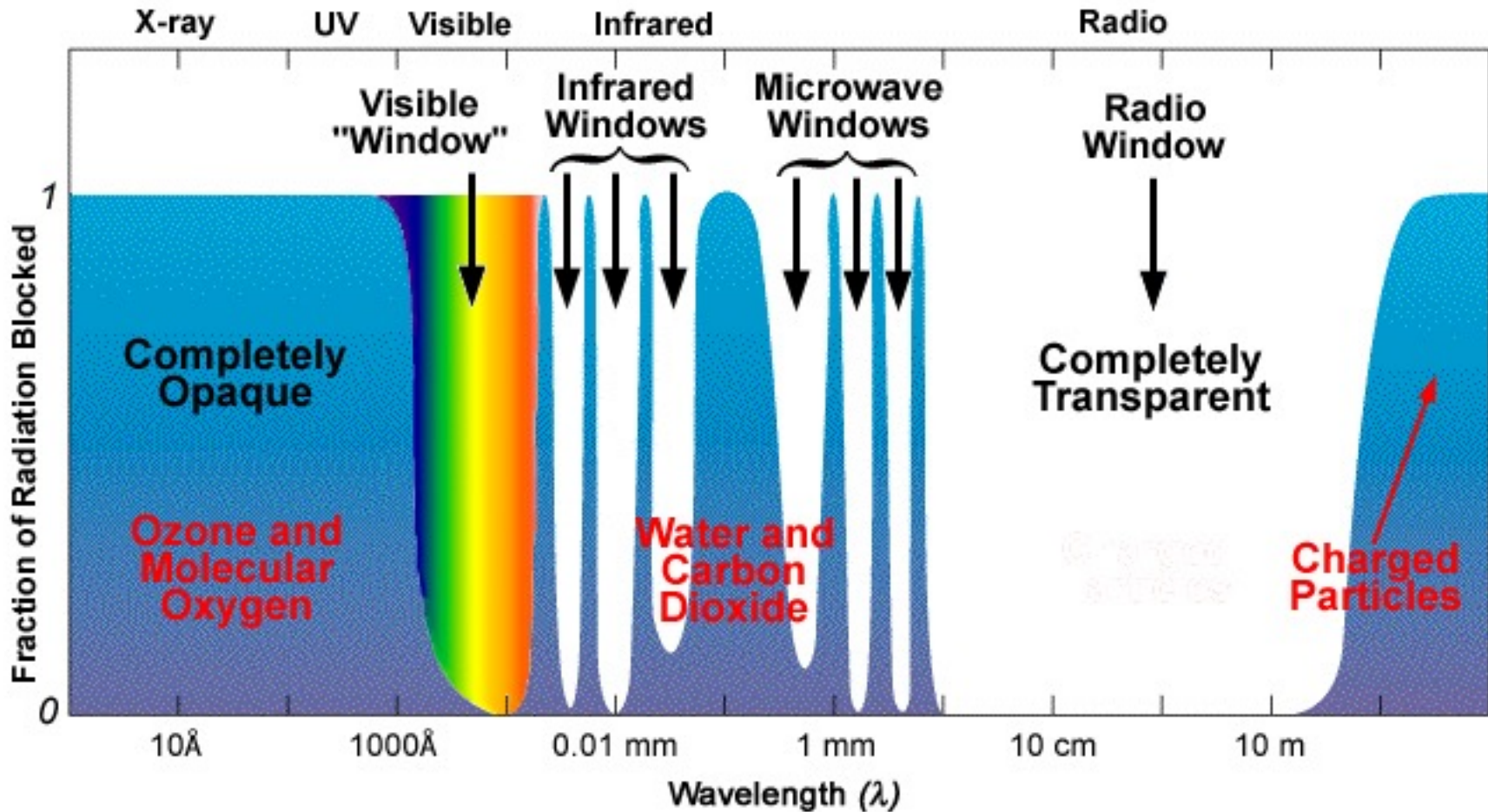


Temperature of objects at which this radiation is the most intense wavelength emitted



Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_spectrum](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum)

# Nossa janela de observação

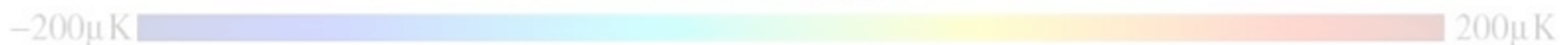




# A escala de distância cosmológica

- ☑ O estudo da astronomia depende:
  - do conhecimento da distância ao objeto,
  - da determinação do seu brilho intrínseco,
  - do estudo das propriedades da radiação que chega até nós.
- ☑ Precisamos “mapear a estrada cósmica”, começando com a nossa vizinhança.
- ☑ Notação científica: necessária devido ao tamanho dos números envolvidos.
- ☑ Como os astrônomos medem as distâncias aos objetos extragalácticos?

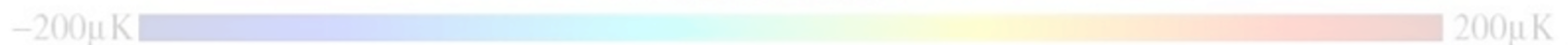
<https://youtu.be/rITZvz0oiao>





# Que régua usaremos?

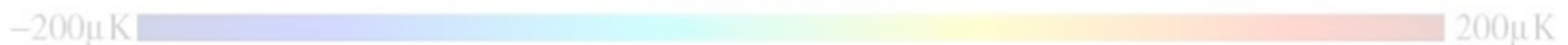
- ☑ A velocidade da luz... Mas como?
- ☑ E, afinal, o que é um ano luz?
  - 1 segundo luz = 300.000 ( $3 \times 10^5$ ) km
  - 1 minuto luz = 18.000.000 ( $1,8 \times 10^6$ ) km
  - 1 hora luz = 1.080.000.000 ( $1,1 \times 10^9$ ) km
  - 1 dia luz = 25.920.000.000 ( $2,6 \times 10^{10}$ ) km
  - 1 ano luz = 9.460.800.000.000 ( $1 \times 10^{13}$ ) km

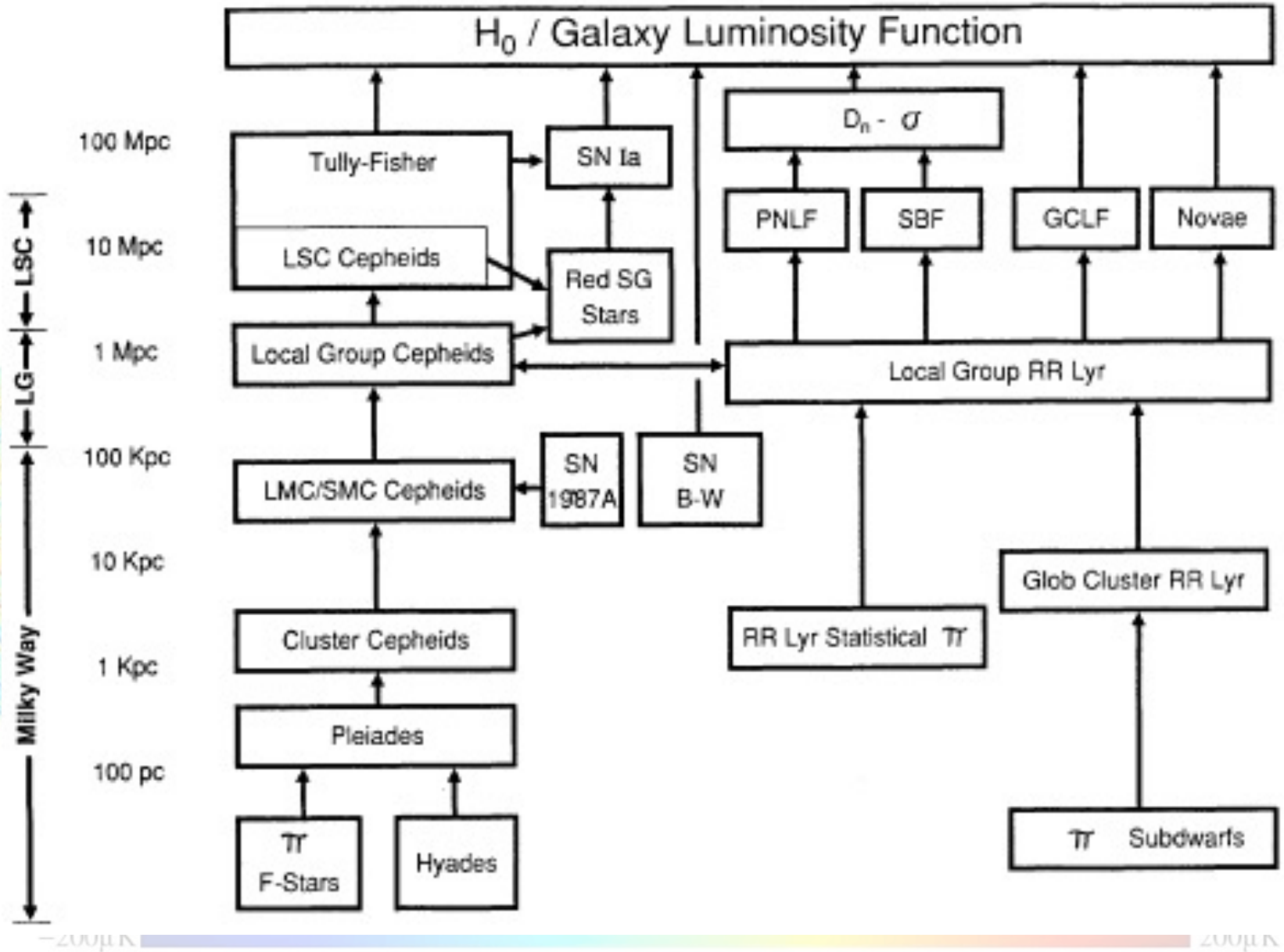




# A escala de distância cosmológica

- ✓ Naturalmente, o truque nesse processo é ter certeza que escolhemos um critério adequado para reconhecer que observamos o mesmo tipo de objeto visto na nossa vizinhança
- ✓ Com o “mapeamento da estrada cósmica” surgem algumas questões interessantes...
  - Por quê o Universo segue uma hierarquia de distribuição de matéria, mas somente até um certo ponto?
  - Como saber se existe alguém fora da nossa vizinhança cósmica?









# A nossa Galáxia: a Via Láctea

- ✓ Constituintes: estrelas, gás e poeira
- ✓ Forma: espiral barrada Sb – uma barra central e braços espirais um pouco destacados (vamos ver mais à frente...)
- ✓ Dimensões:
  - Diâmetro: 170.000 – 200.000 anos luz
  - Espessura: 1000 anos luz
- ✓ Estrutura espiral, com um núcleo, disco e halo
- ✓ Cerca de 1 a  $4 \times 10^{11}$  estrelas (aproximadamente o mesmo número estimado de planetas)
- ✓ Composta de (estimativas):
  - $10^{10}$  anãs brancas
  - $10^9$  estrelas de nêutrons
  - $10^8$  buracos negros



# Um pouco de história...

- ☑ Desde a antiguidade, a faixa de estrelas destacada no céu recebeu atenção dos povos que observavam o céu regularmente:
  - Em grego: galaktikos kyklos
  - Em latim: Via Lactea
  - Em tupi: Caminho da Anta
  - Em chinês: 銀河 (Yínhé – rio de prata)
  - Em sânscrito: अर्यम्णः पन्था (o caminho de *Aryamñáh*)
  - Em persa: کهکشان *Kehkashan* (desenho de palha)
  
- ☑ A percepção de que estrelas estão concentradas ao longo de uma faixa no céu existe talvez desde antes do início da civilização humana

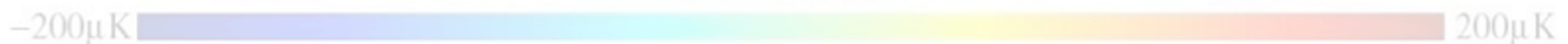


-200μK



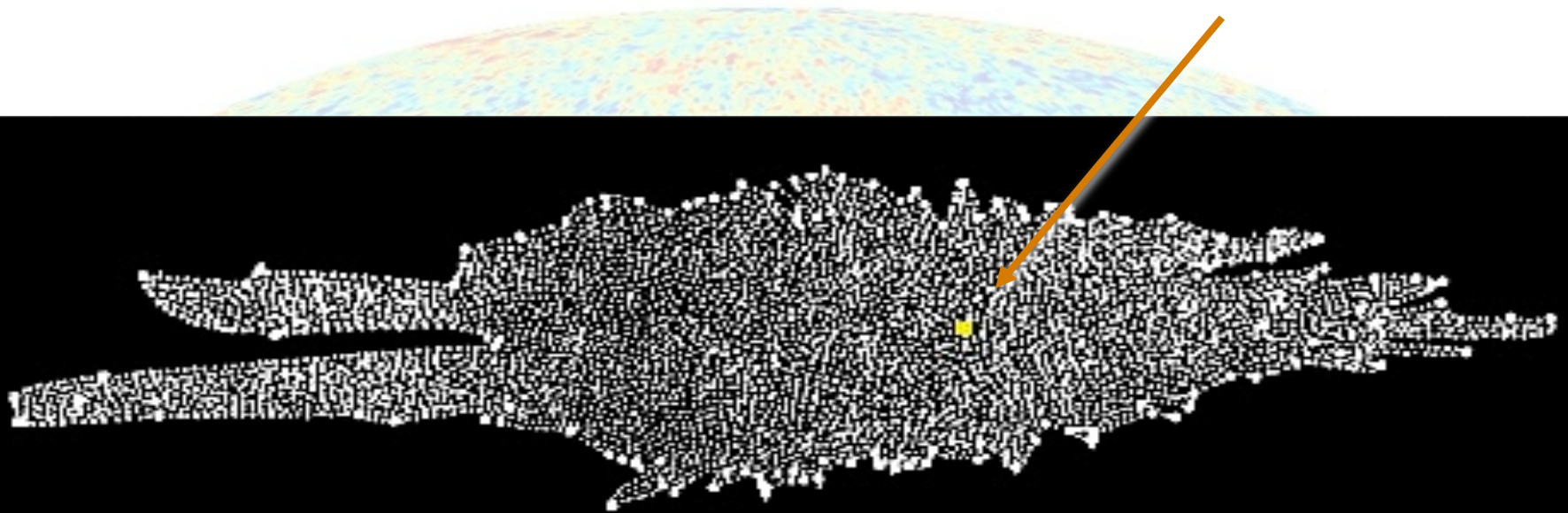
# Um pouco de história...

- ☑ Há 200 anos  $\Rightarrow$  distribuição  $\pm$  uniforme das estrelas no céu
- ☑ Primeira menção ao conceito de galáxia  $\Rightarrow$  Emmanuel Kant (séc. XVIII)
- ☑ William Herschel  $\Rightarrow$  disco uniforme de estrelas (séc. XVIII)
- ☑ Harlow Shapley  $\Rightarrow$  primeiras estimativas corretas do tamanho da nossa Galáxia (séc. XX)



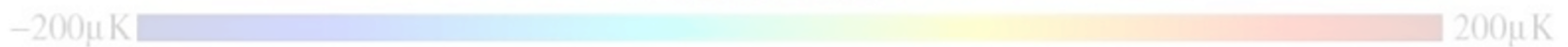
# Uma visão do Universo em meados do séc. XIX

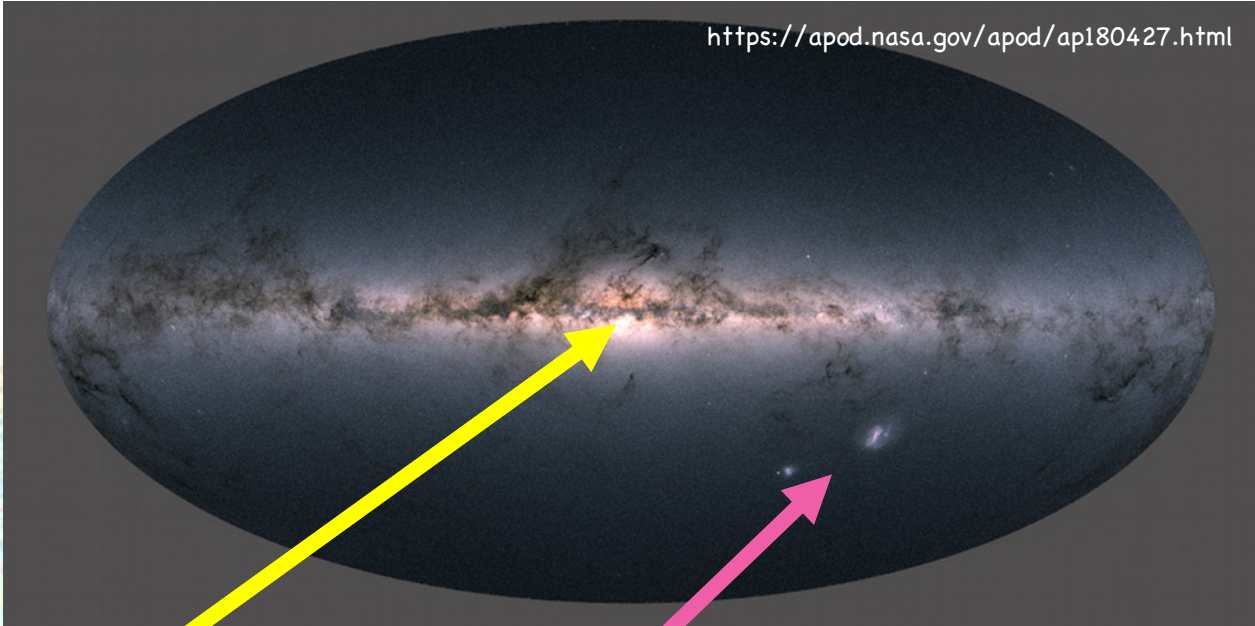
Sistema Solar



30,000 anos luz

William Herschel (1738-1822)





<https://apod.nasa.gov/apod/ap180427.html>

Foto da Via Láctea no deserto de Atacama (Chile)

Imagem produzida com dados do satélite GAIA



Pequena e Grande Nuvem de Magalhães

<https://apod.nasa.gov/apod/ap161013.html>

© Stéphane Guisard

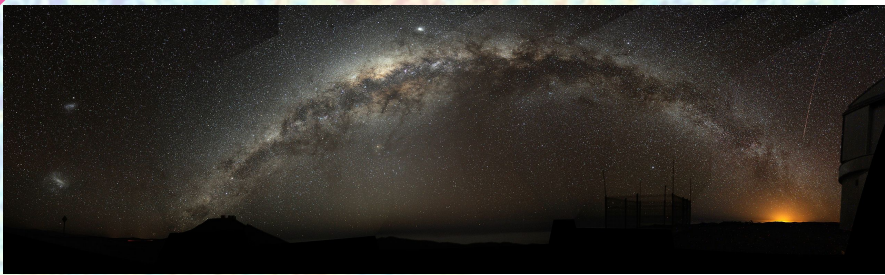


Foto da Via Láctea em Cerro Paranal (Chile)

Fonte: <http://www.eso.org/public/images/milkyway/>

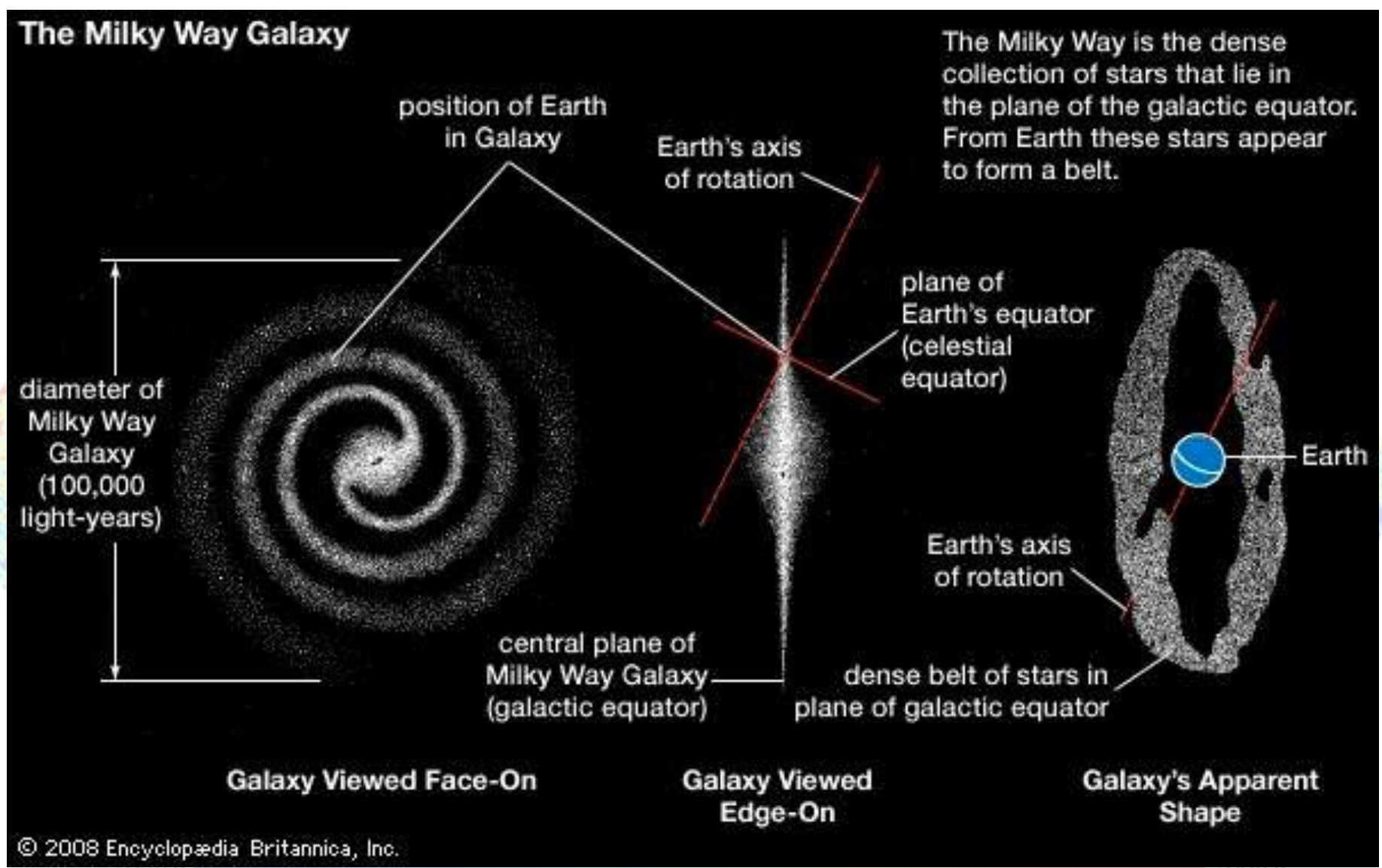


# A estrutura

Mas... como sabemos que ela é uma espiral?

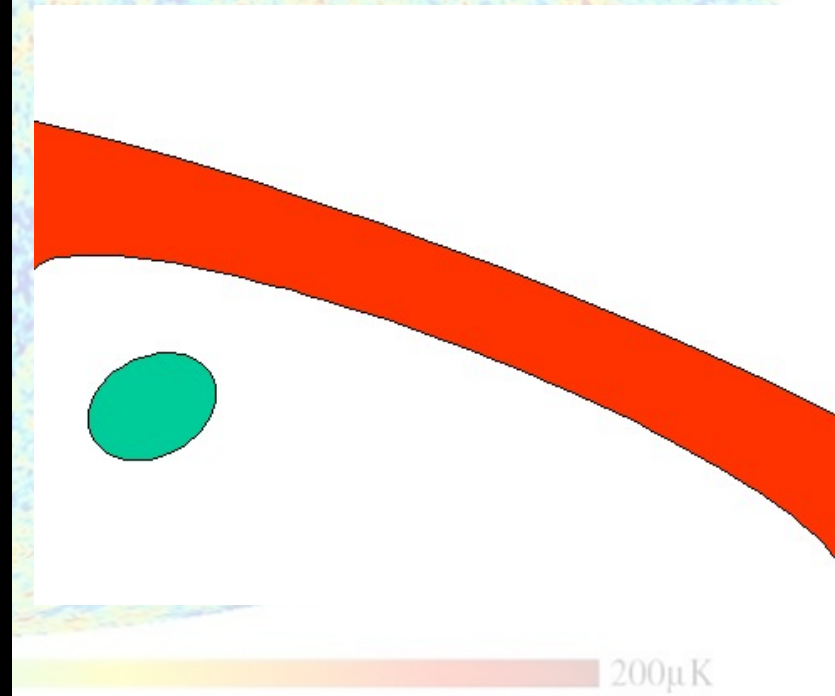
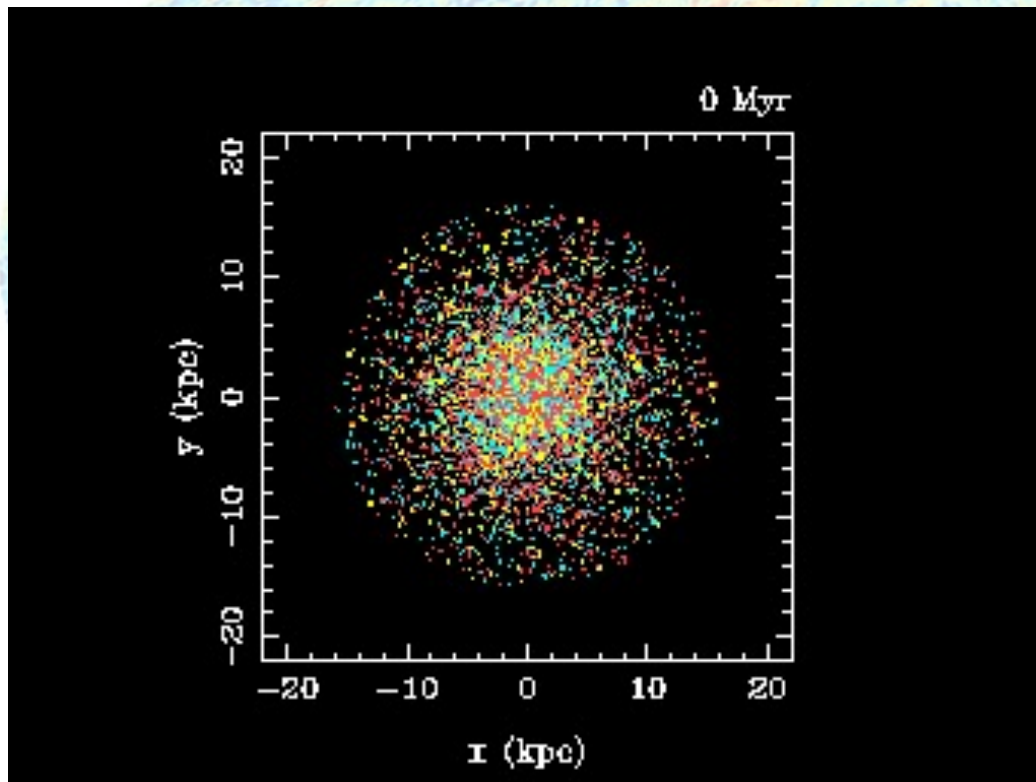


# A estrutura



# A formação dos braços espirais

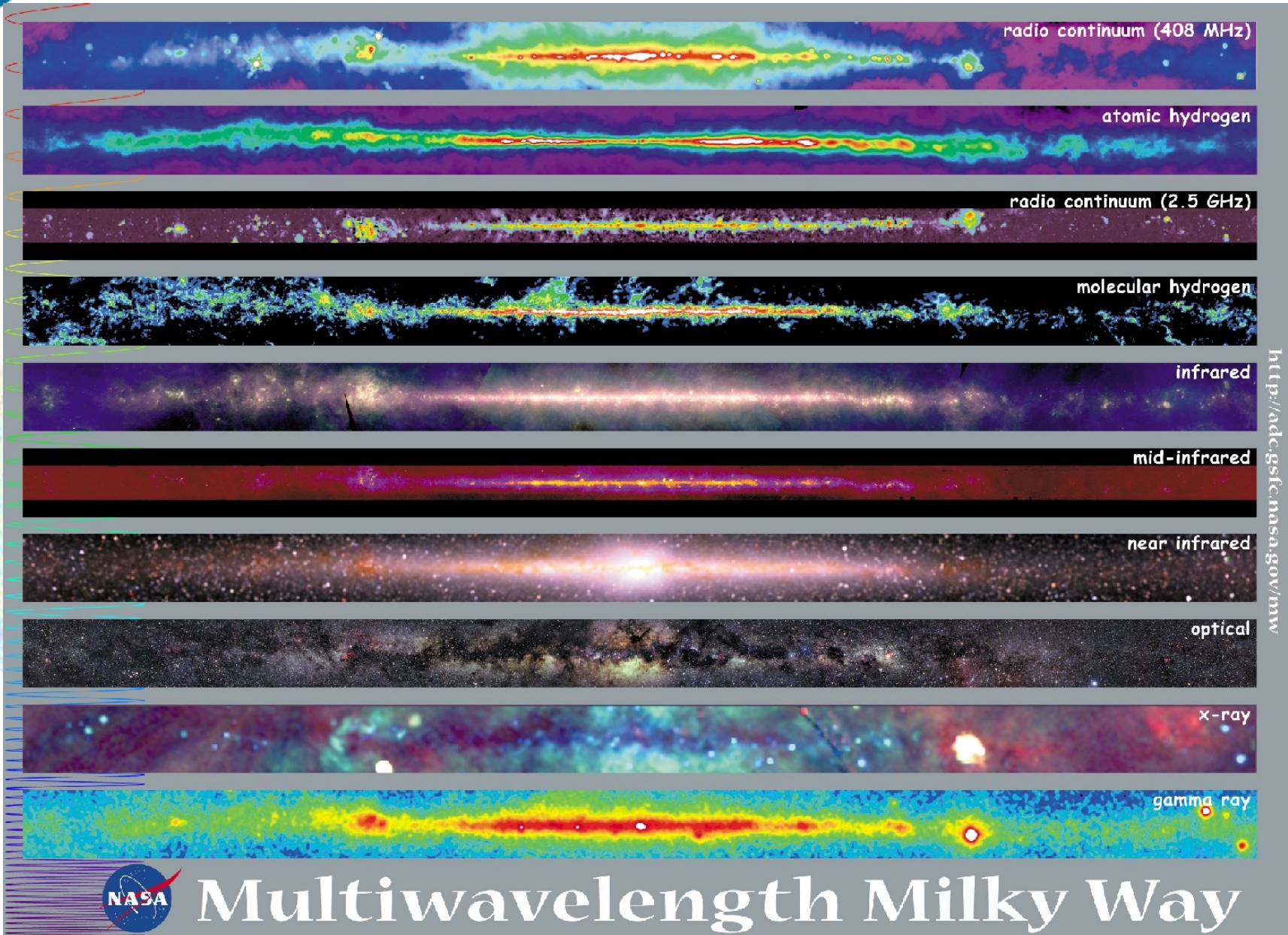
- ✓ Perturbação no disco galáctico (supernovas?)
- ✓ Ondas de densidade...



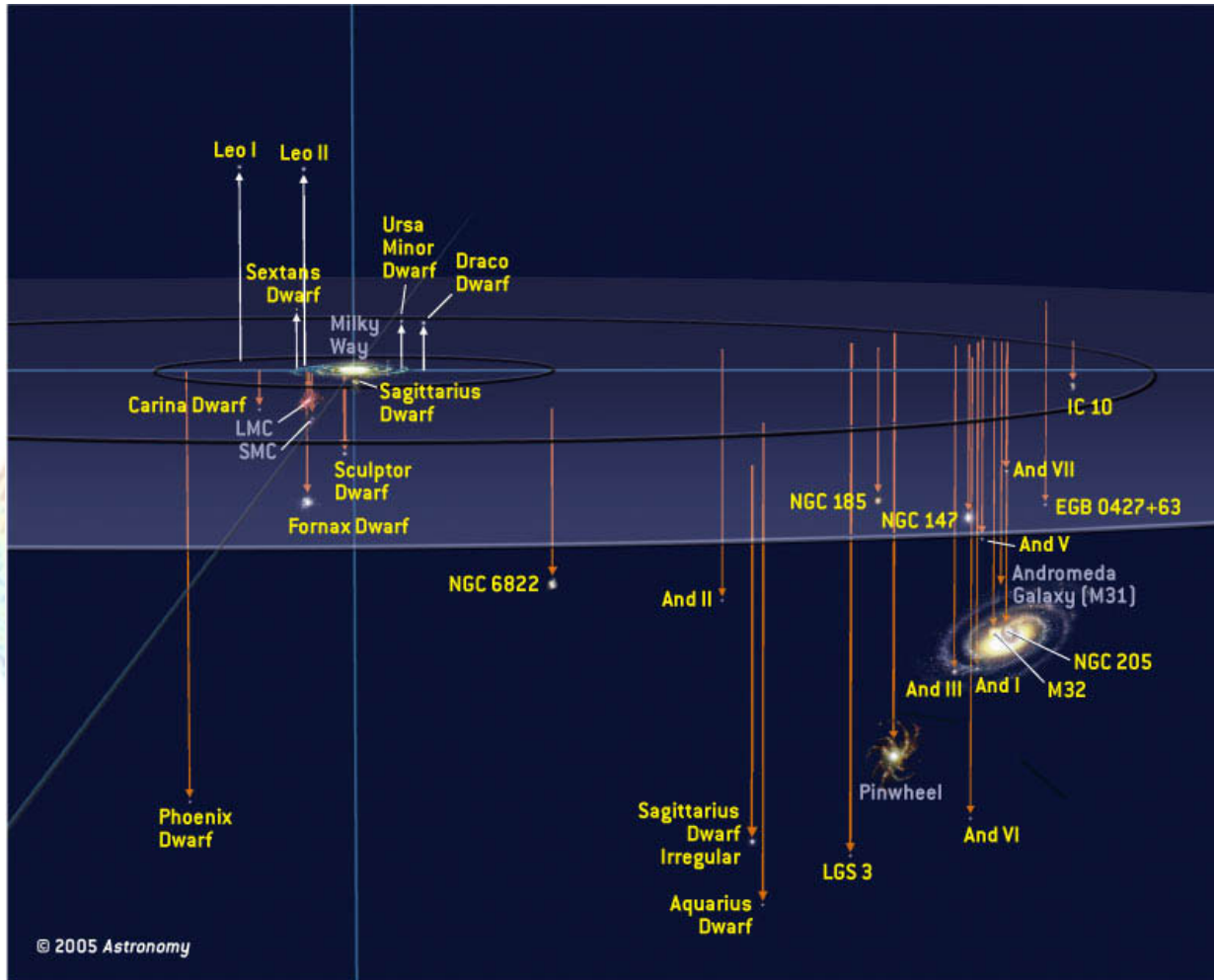




# Nossa Galáxia em diferentes comprimentos de onda



# Nossa posição no Grupo Local



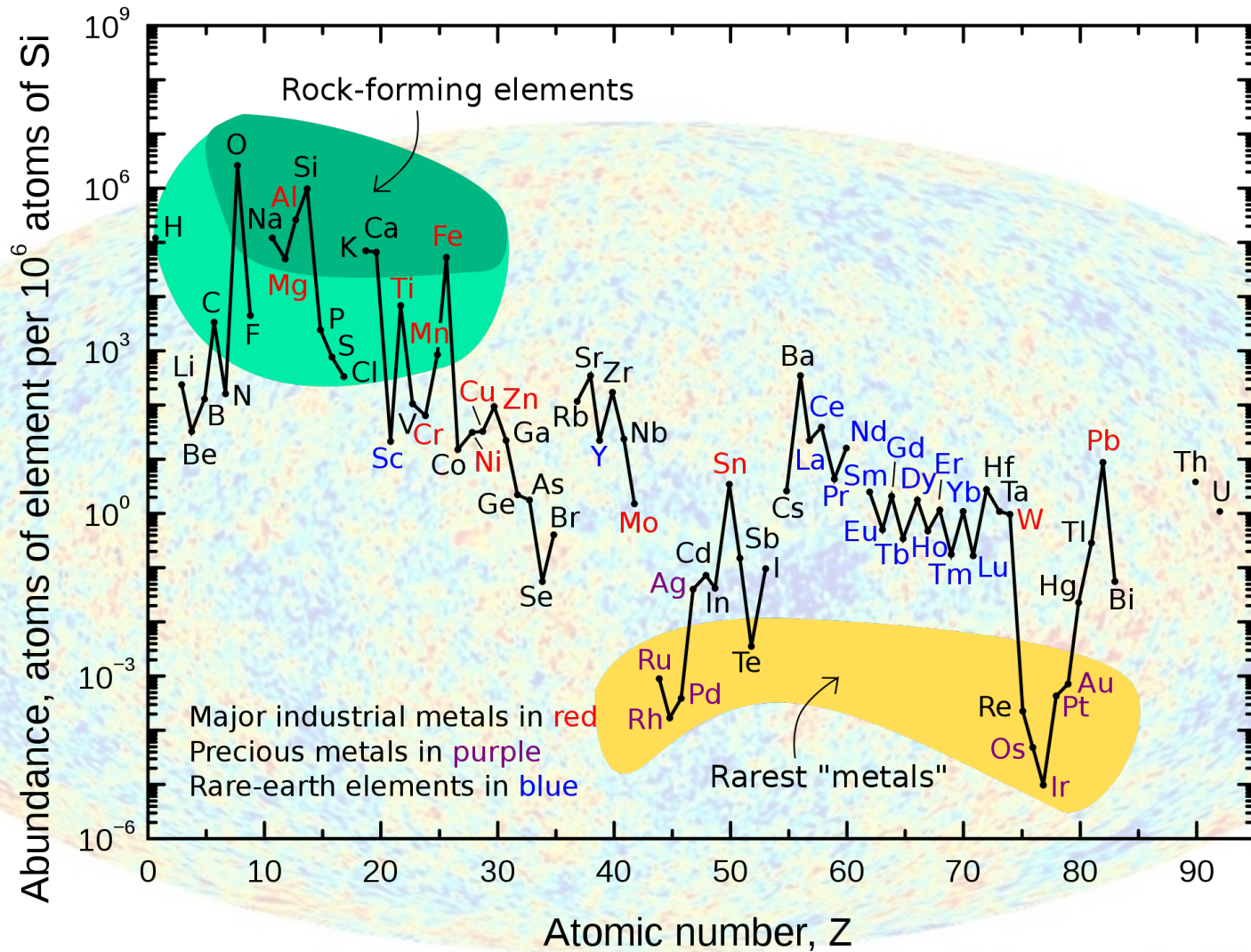
Somos cerca de 40 galáxias, sendo claramente visíveis: a Via Láctea, Andrômeda, a Galáxia do Redemoinho (Pinwheel) e as Nuvens de Magalhães.

As demais (cerca de 35) são galáxias de pequeno brilho superficial.

Em distâncias maiores que algumas dezenas de milhões de anos-luz, elas simplesmente desaparecem no "fundo cósmico".

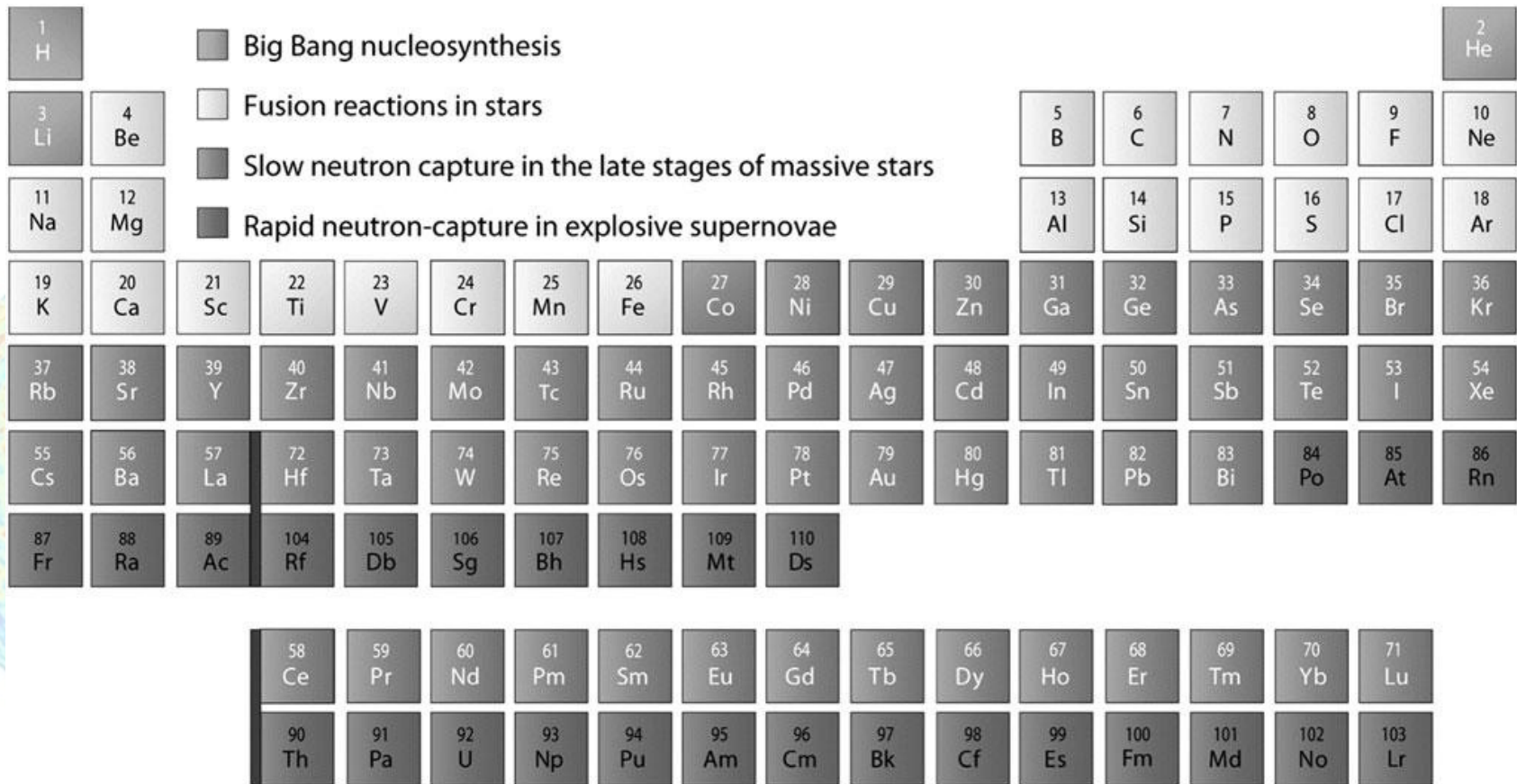


# A produção dos elementos



Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Abundance\\_of\\_elements\\_in\\_Earth's\\_crust](https://en.wikipedia.org/wiki/Abundance_of_elements_in_Earth's_crust)

# A produção dos elementos



Fonte: S. Domagal-Goldman & K. Wright, *Astrobiology*, 16 (8), 2016



# Uma descrição geral de galáxias

- ✓ A maioria das galáxias tem buracos negros em seus centros que podem produzir uma quantidade enorme de energia, vista pelos astrônomos a grandes distâncias.
- ✓ Em alguns casos, o buraco negro central é extremamente grande (fração significativa da massa da galáxia) ou ativo, mesmo em galáxias relativamente pequenas.
- ✓ O material que circula o buraco negro pode ser acelerado para fora por seus jatos.
- ✓ Outras galáxias podem conter quasares – os corpos mais energéticos do universo – em seu núcleo.
- ✓ Falaremos das formas a seguir...



# A classificação das Galáxias

## ☑ Elípticas

- Estrelas mais velhas, pouca poeira.
- Não possuem uma “fronteira” bem definida.
- Constitui cerca de 60% da população conhecida
- Possui uma grande variedade de massas e tamanhos.
- Massa: entre  $10^{-4}$  e  $10^2 M_{\text{GAL}}$
- Diâmetro: entre 0,03 e 7  $d_{\text{GAL}}$
- Luminosidade: entre  $10^{-6}$  e 100  $L_{\text{GAL}}$

## ☑ Irregulares

- Massa:  $\sim 0,1 M_{\text{GAL}}$

- Diâmetro: irregular

## ☑ Espirais

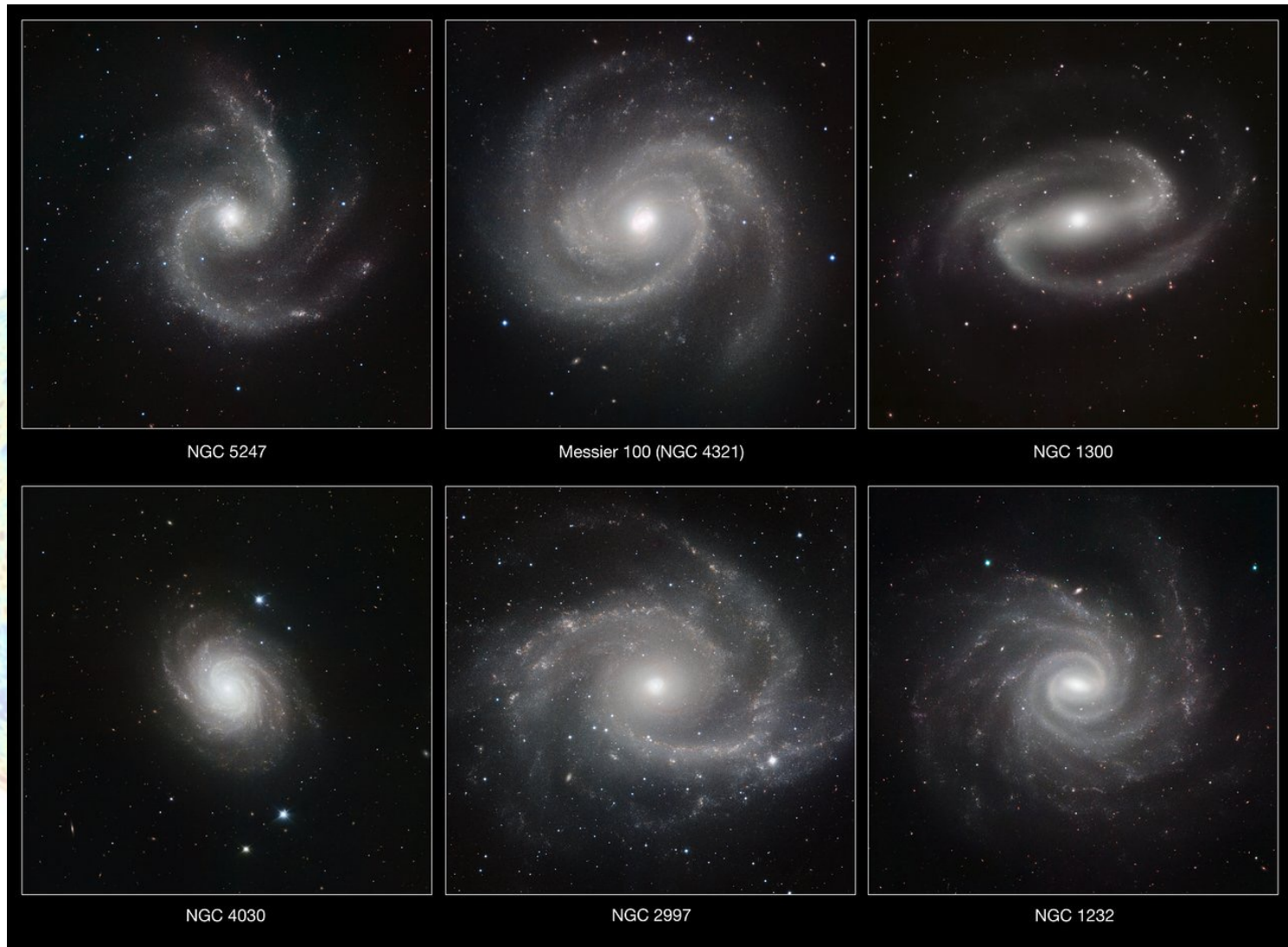
- Estrelas jovens e poeira no disco, estrelas velhas no halo.
- Subdivisão em espirais normais e barradas.
- Constituem cerca de 30% da população observada e 2/3 das espirais são barradas
- Não se conhece com precisão a origem dos braços.
- Massa: entre  $10^{-2}$  e  $10 M_{\text{GAL}}$
- Diâmetro: entre 0,05 e 5  $d_{\text{GAL}}$
- Luminosidade: entre  $10^{-3}$  e 10  $L_{\text{GAL}}$
- **Cerca de 70% das galáxias observadas são espirais**

- Luminosidade:  $\lesssim 0,1 L_{\text{GAL}}$

-200  $\mu\text{K}$

200  $\mu\text{K}$

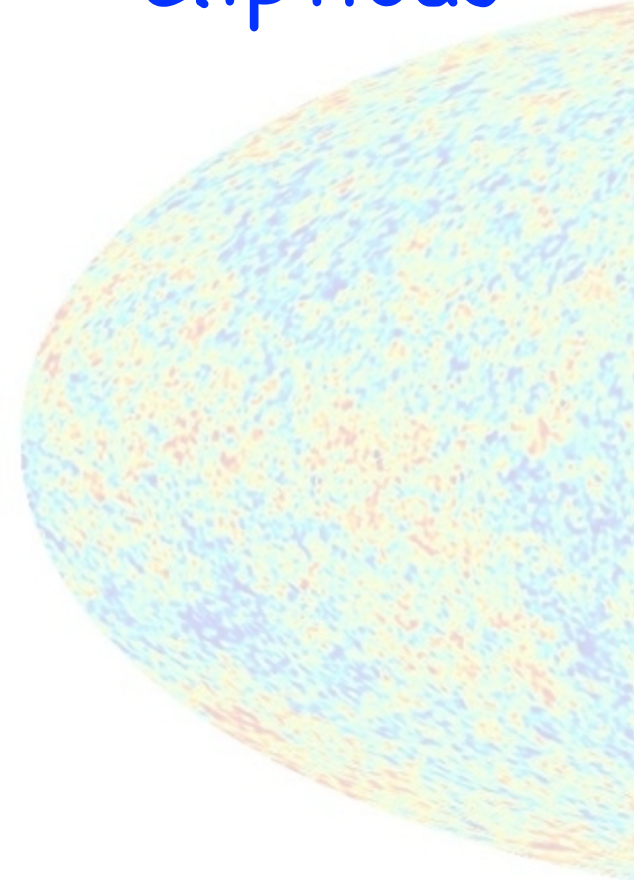
# Galáxias espirais



Fonte: <https://www.eso.org/public/news/eso1042/>

C.A. Wuensche (CIAA 2021)

# Galáxias elípticas



-200 $\mu$  K





# Galáxias Irregulares

Grande Nuvem de Magalhães



Fonte: <https://earthsky.org/>

Pequena Nuvem de Magalhães

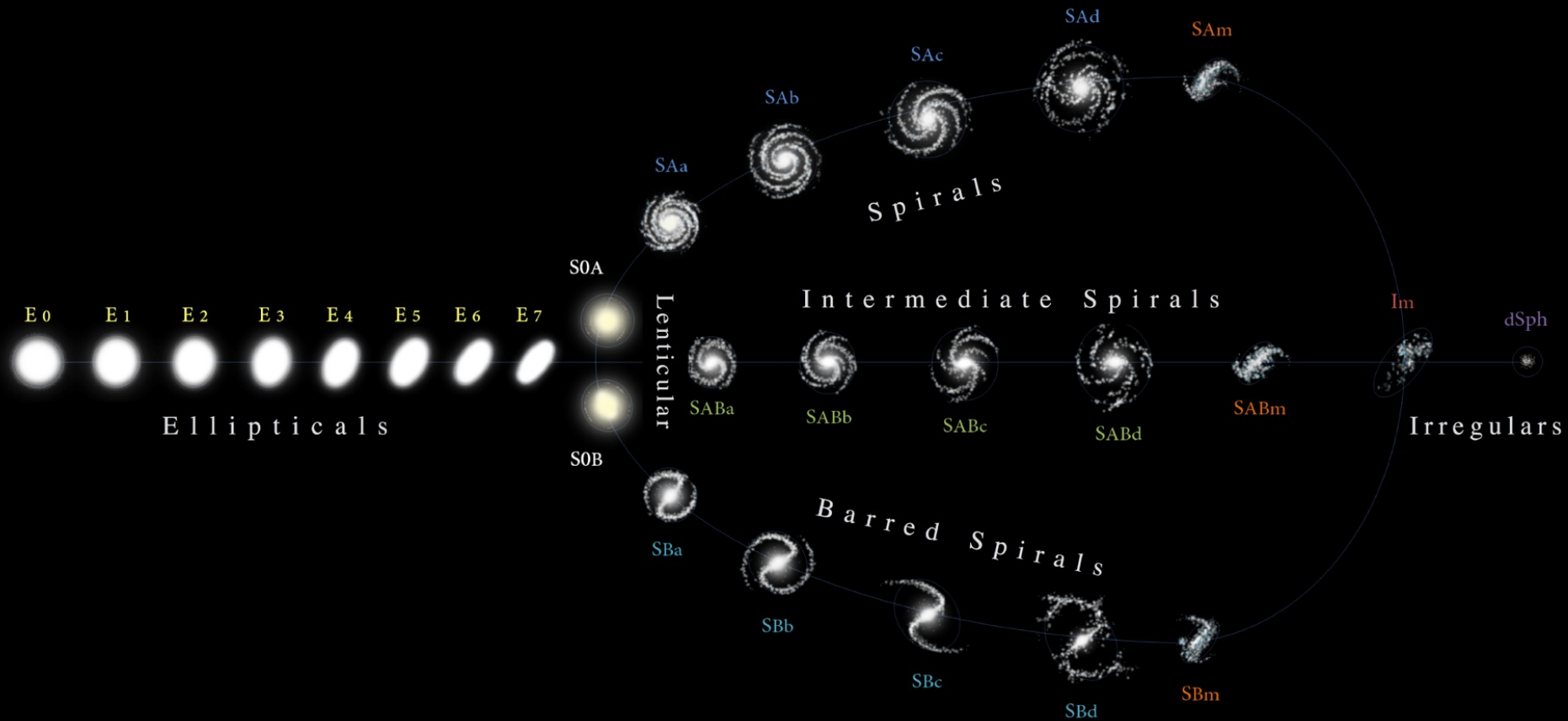


Fonte: <https://eso.org/>

-200 $\mu$ K

# O diagrama de Hubble

HUBBLE-DE VAUCOULEURS DIAGRAM



Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Intermediate\\_spiral\\_galaxy](https://en.wikipedia.org/wiki/Intermediate_spiral_galaxy)

# Astrofísica extragaláctica

- ☑ Essa área estuda desde os vizinhos mais próximos da Via Láctea até galáxias distantes observadas menos de um bilhão de anos após o Big Bang.
- ☑ Estudar a evolução espacial e temporal da forma e crescimento de galáxias fornece informações cruciais sobre alguns dos mistérios da astronomia moderna:
  - natureza e a forma dos halos de matéria escura
  - como buracos negros supermassivos se retroalimentam em suas galáxias hospedeiras
  - como essas galáxias reionizaram o Universo circundante.
- ☑ O estudo da luz emitida por essas galáxias é também interessante, pois ela pode ser desviada por aglomerados de gás e matéria escura → informações sobre a composição e distribuição de matéria no Universo


-200 $\mu$ K

200 $\mu$ K

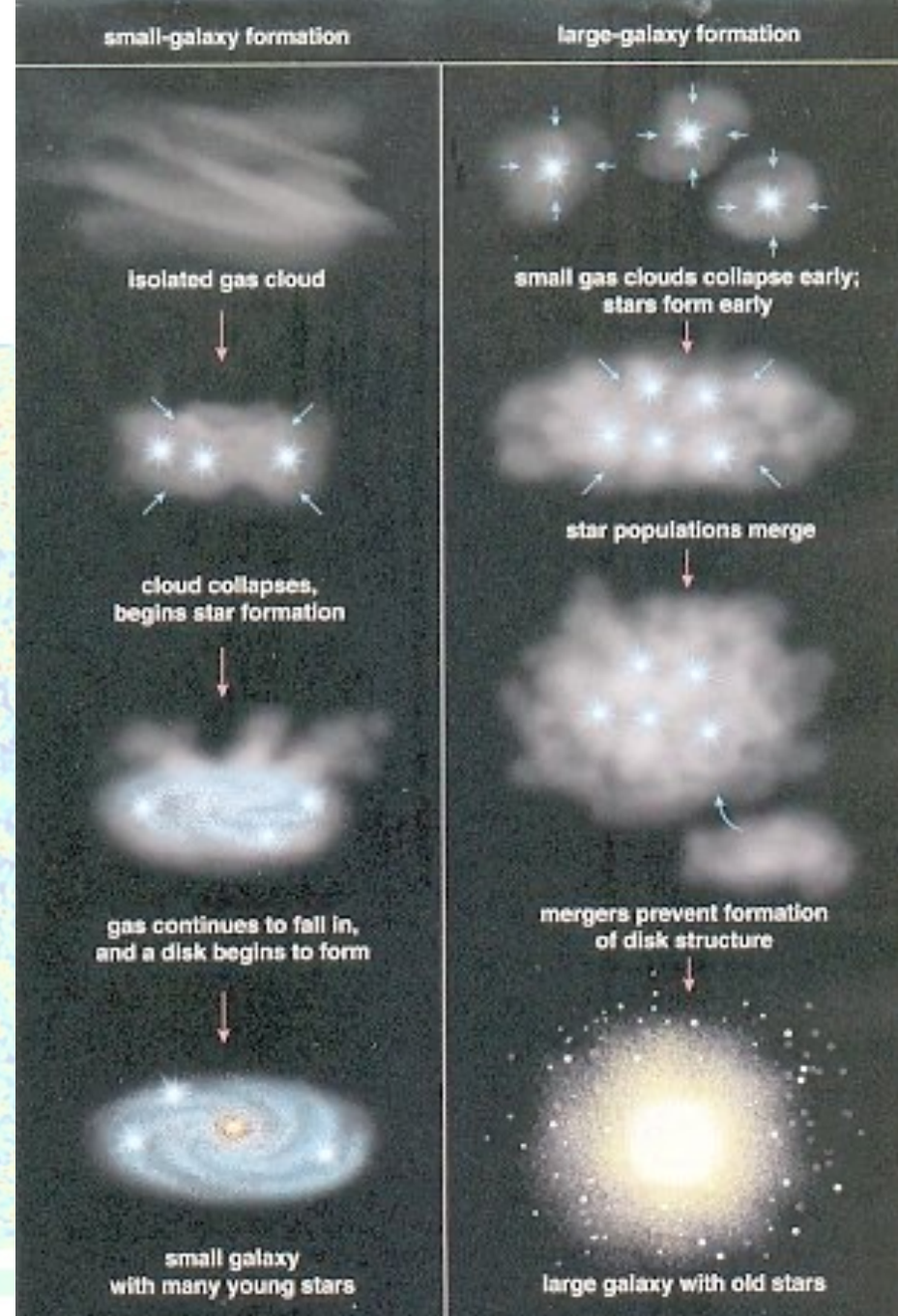
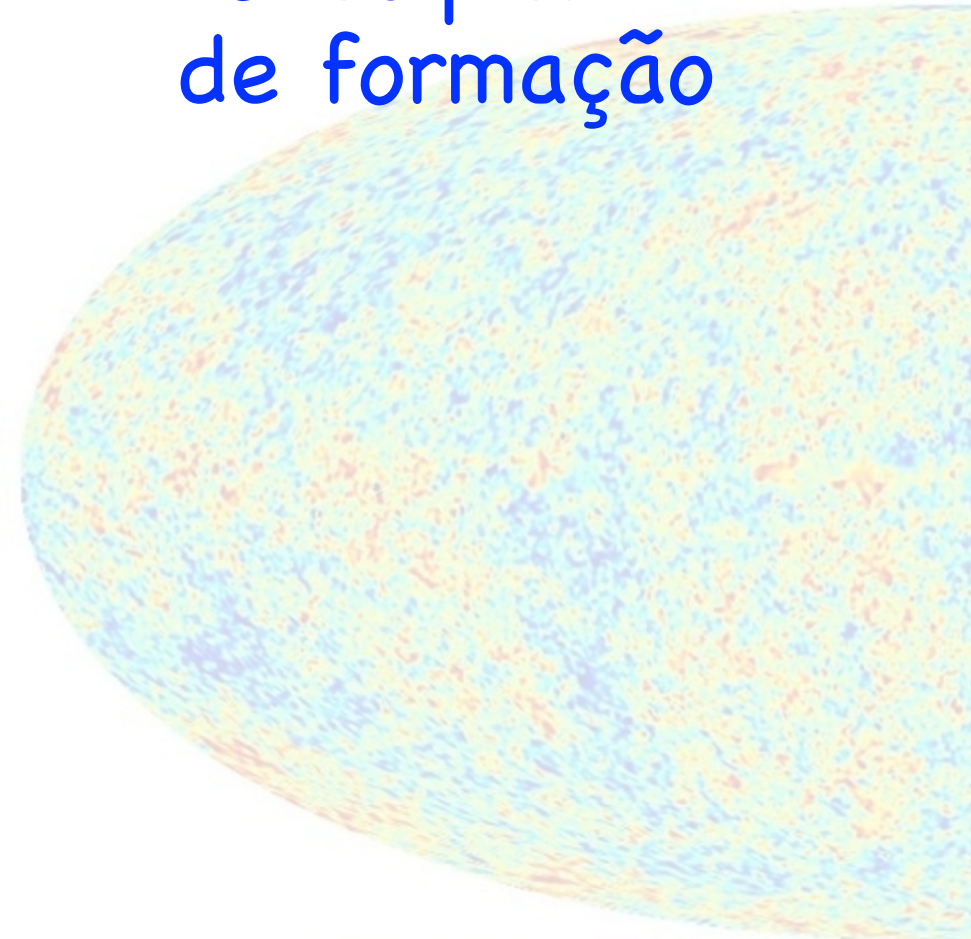


# Formação e evolução

- ✓ As primeiras galáxias foram criadas cerca de centenas de milhões de anos depois do Big Bang
- ✓ Elas estão frequentemente associadas aos quasares mais distantes, observados em redshifts  $6 \lesssim z \lesssim 10$
- ✓ Formadas por efeitos gravitacionais, a partir de uma nuvem de H e He, com traços de elementos mais pesados
- ✓ Após a formação, observa-se colisões dos mais diversos tipos, fusão e destruição da estrutura estável em grupos ou sistemas binários.

-200 $\mu$ K  200 $\mu$ K

# O esquema de formação



Fonte: <https://universe-review.ca/I05-02-galaxytypes2.jpg>



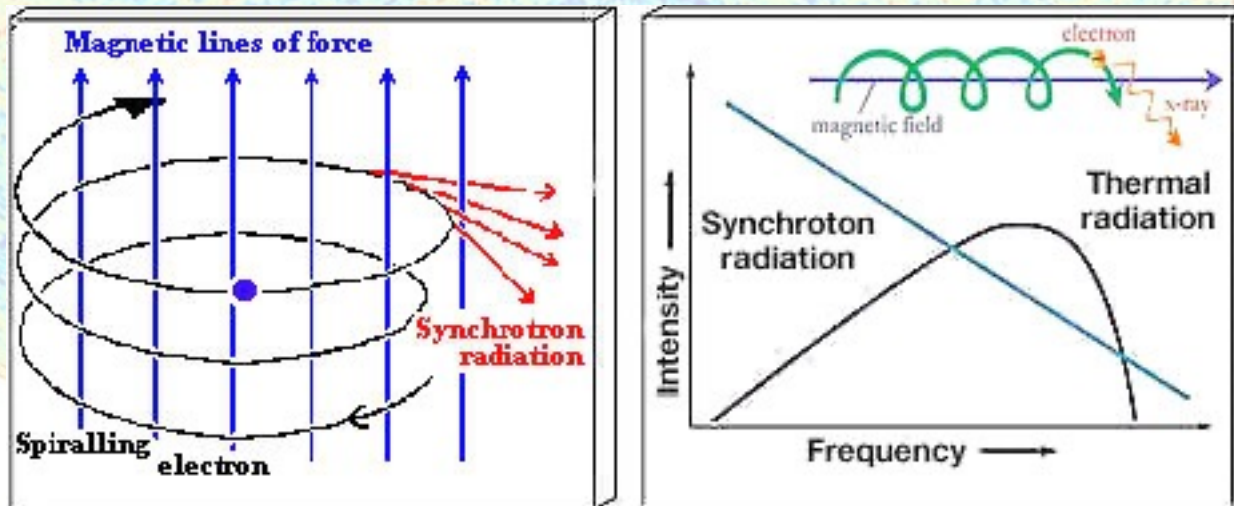
# Colisões de galáxias

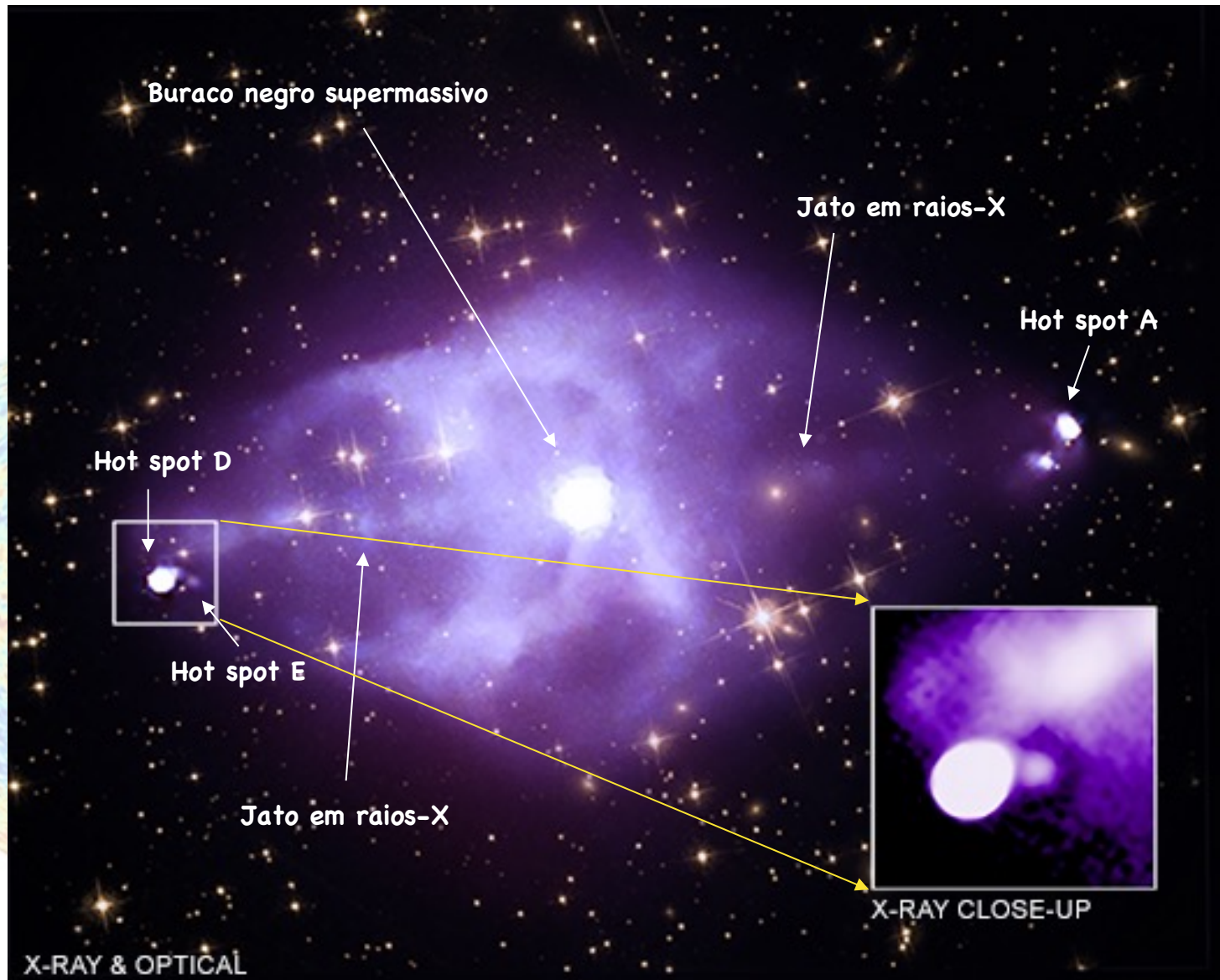
- ✓ As galáxias geralmente convivem em grupos (cerca de 10 a 100 objetos) e aglomerados (centenas a milhares de objetos). A Via Láctea está no Grupo Local (contém cerca de 50 galáxias)
- ✓ Colisões são processos importantes na evolução e crescimento de muitas galáxias, pois o influxo de poeira e gás aumenta a taxa de formação estelar
- ✓ Colisões ocorreram também em seu passado; sua protuberância característica pode ter se desenvolvido após consumir uma galáxia em forma de salsicha.
- ✓ **A Via Láctea deve colidir com a galáxia de Andrômeda em cerca de 5 bilhões de anos**

Interação de um aglomerado:  $\Delta t \sim 10 \times 10^9$  anos, 100 galáxias espirais

# Radiogaláxias e quasares

- ✓ Início das observações em rádio: década de 30
- ✓ Grande maioria delas associada a um objeto também visível no óptico.
- ✓ A maior parte das radiofontes muito intensas também visíveis no óptico são galáxias e emitem milhões de vezes mais energia em rádio que a nossa galáxia.
- ✓ O mecanismo responsável por essa enorme geração de energia é chamado de *emissão sincrotron*.





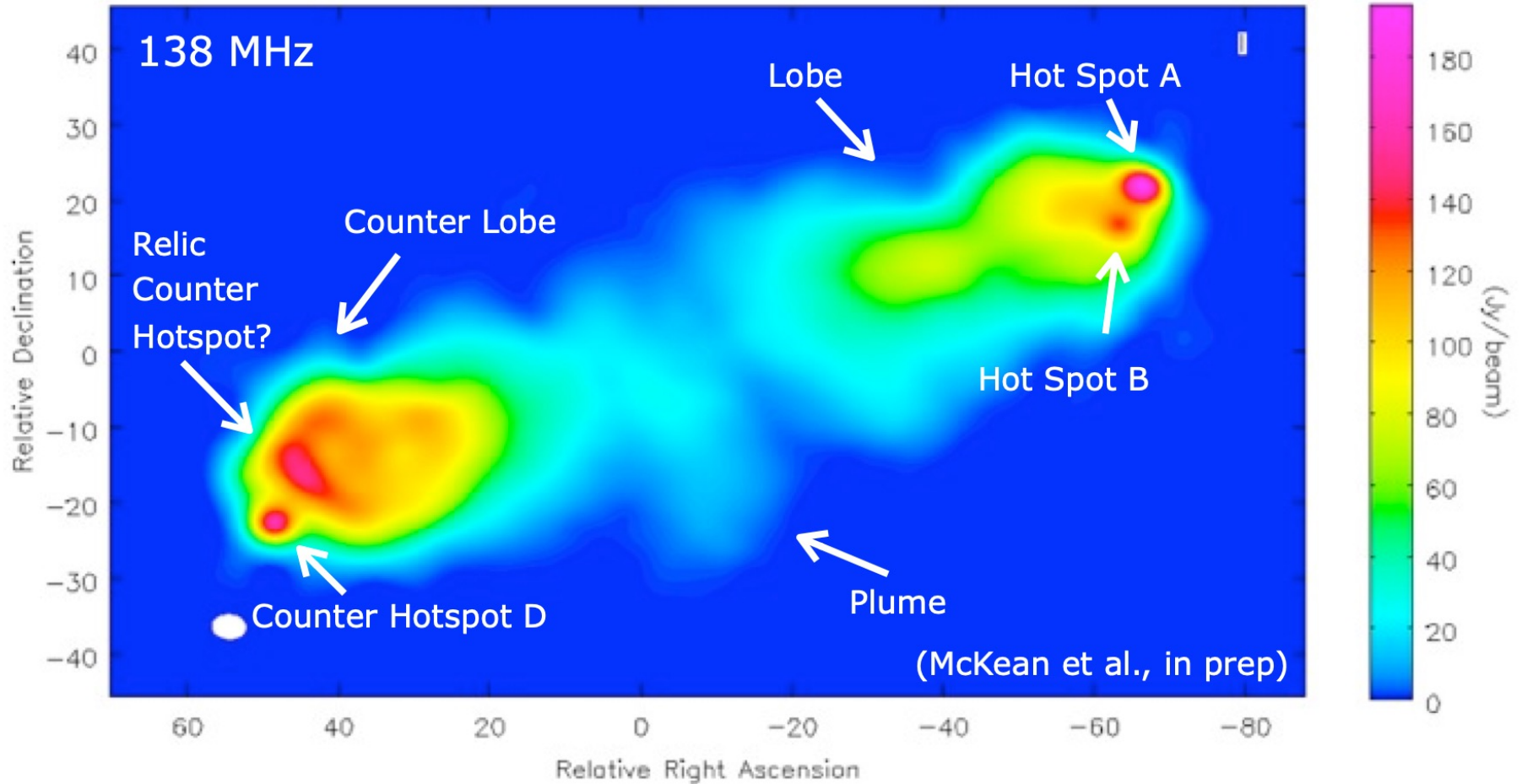
-200 $\mu$ K Mapa no óptico em em raios-X em Cygnus A 200 $\mu$ K



# Uma “imagem” em rádio...

- ☑ Forma geral: estrutura “dupla” com a emissão localizada principalmente nas extremidades, separadas por centenas de milhares de anos-luz.
- ☑ Freqüentemente a região central é também uma radiofonte que contém duas componentes emissoras separadas por algumas centenas de anos luz.
- ☑ Divisão:
  - extensas (as estruturas externas)
  - compactas (as regiões na própria radiogaláxia).





-200 $\mu$ K

Mapa em rádio em *Cygnus A*

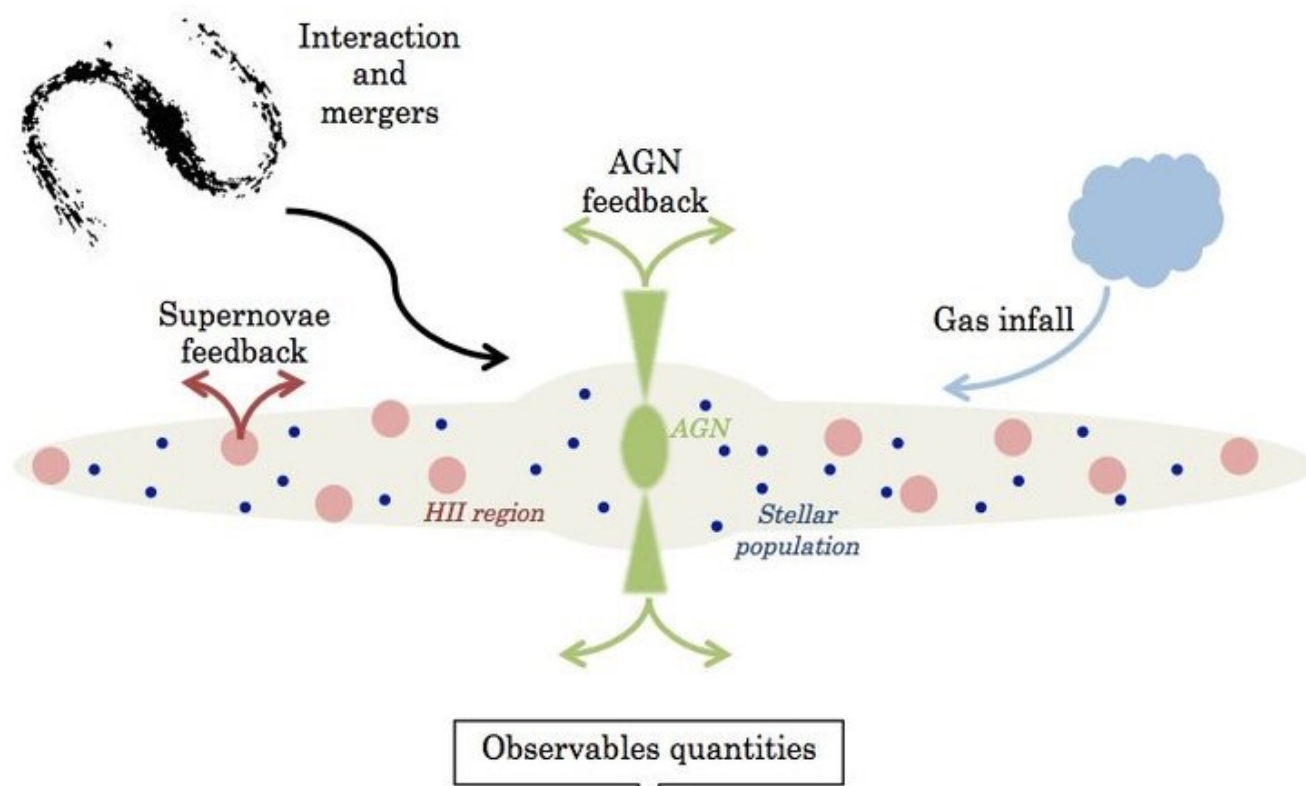
200 $\mu$ K

# Quasares e AGNs

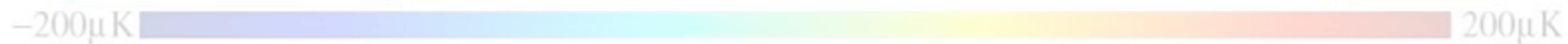
- ☑ Abreviações de “Quasi-Stellar Object” e “Active Galactic Nucleus”
- ☑ Descobertos na década de 60, a partir da análise espectral de objetos semelhantes à estrelas
- ☑ Esses objetos apresentam um grande deslocamento das linhas espectrais, em relação às medidas em laboratório, indicando um grande *redshift* e, conseqüentemente, uma grande distância de nós



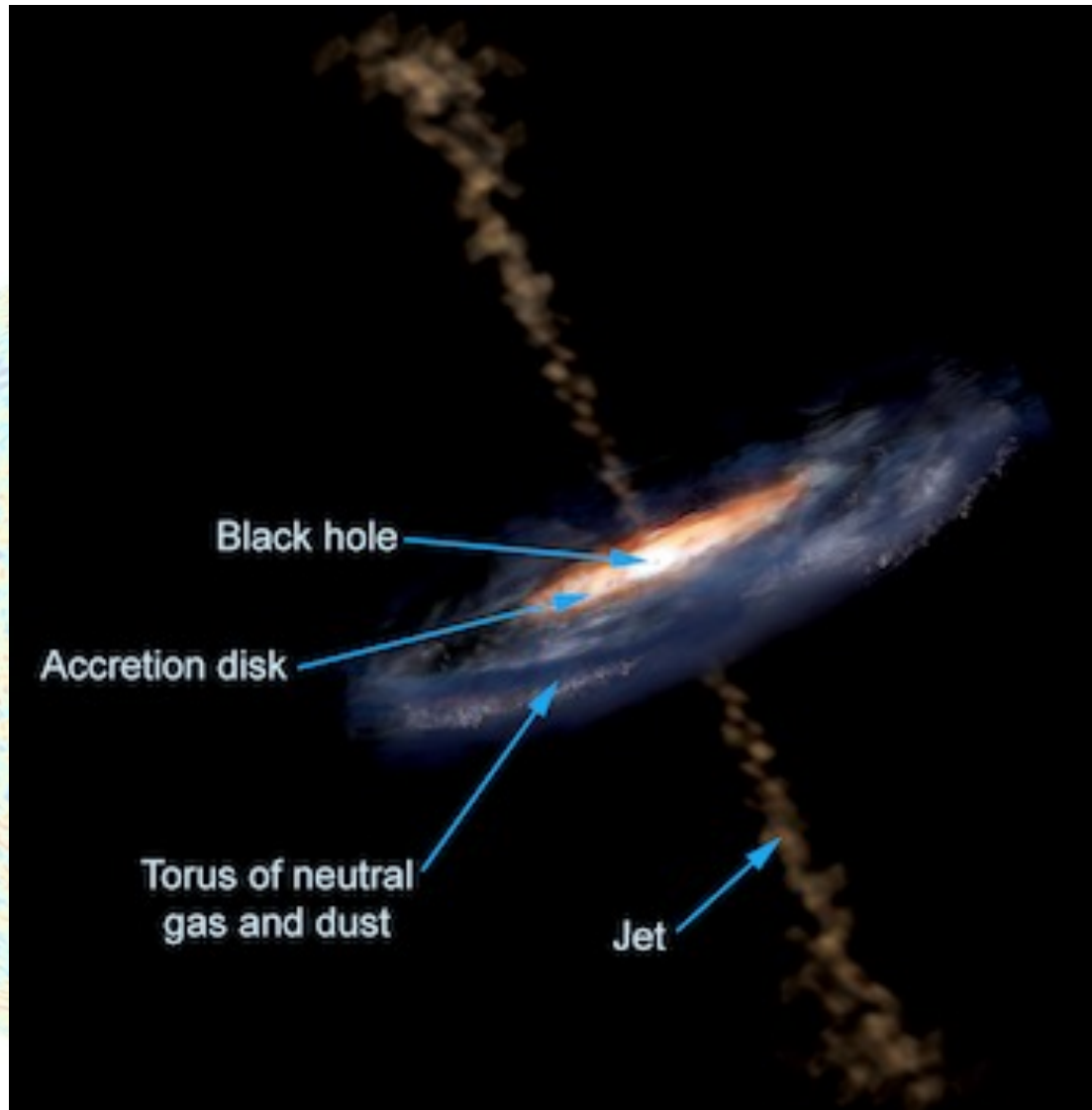
# Processos físicos em AGN



- |                  |                |     |           |       |          |            |             |              |            |
|------------------|----------------|-----|-----------|-------|----------|------------|-------------|--------------|------------|
| Angular momentum | Velocity field | SFR | Abundance | Shock | Feedback | Extinction | Gas density | Gas fraction | SF history |
|------------------|----------------|-----|-----------|-------|----------|------------|-------------|--------------|------------|



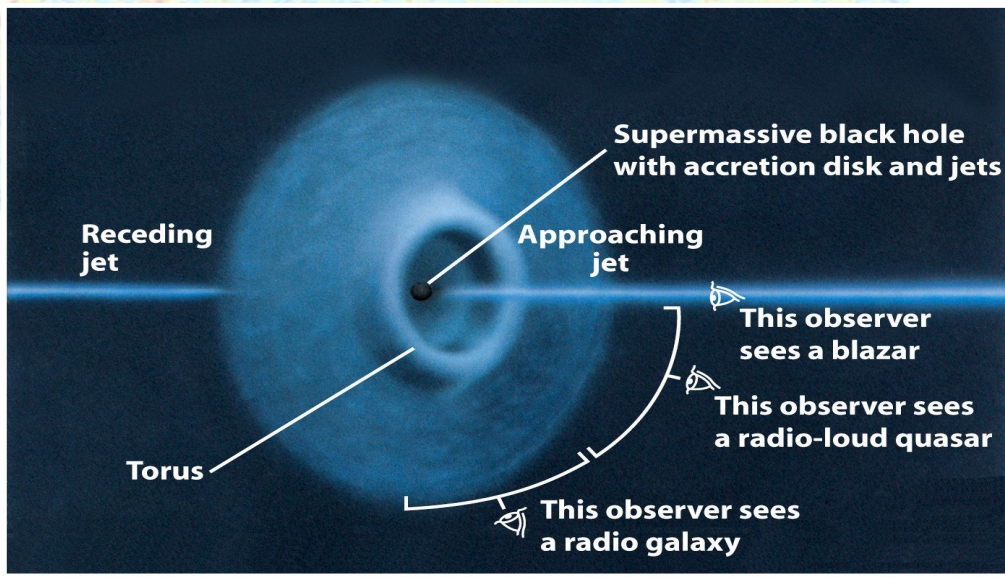
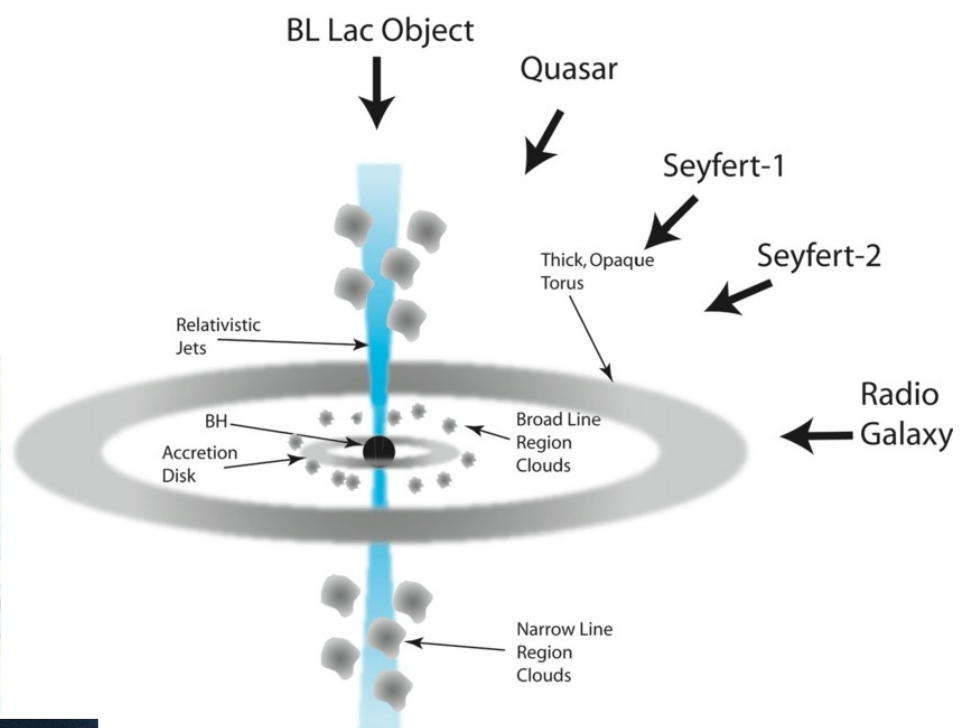
# Esquema de um AGN



Fonte: [https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/objects/active\\_galaxies1.html](https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/objects/active_galaxies1.html)



BL Lac = BL Lacertae => um tipo de *blasar*, que é uma nomenclatura unificada para objetos tipo BL Lac e quasares opticamente variáveis - OVV)

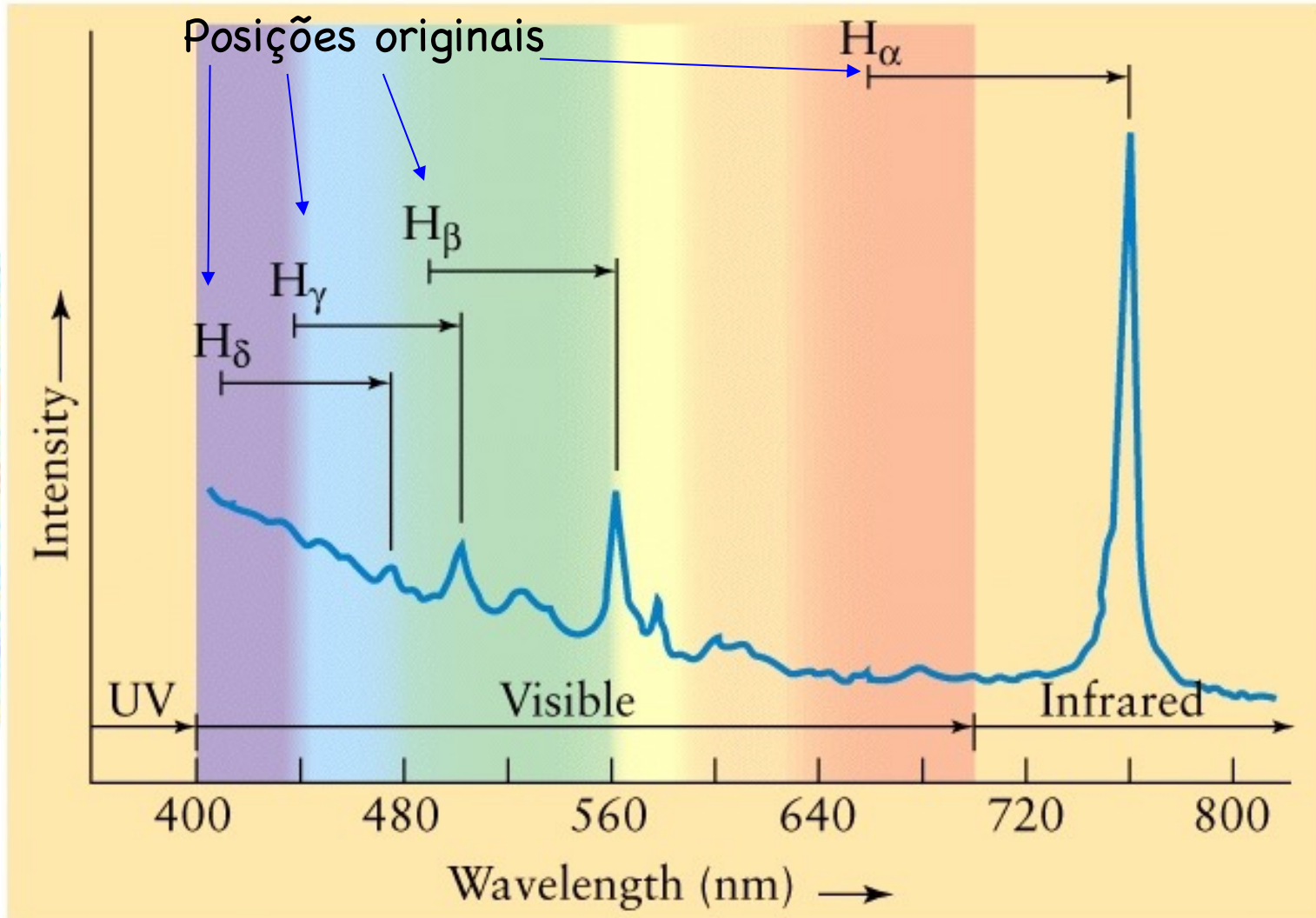


Um AGN pode ser interpretado de diversas formas, dependendo de como nós o estamos vendo...

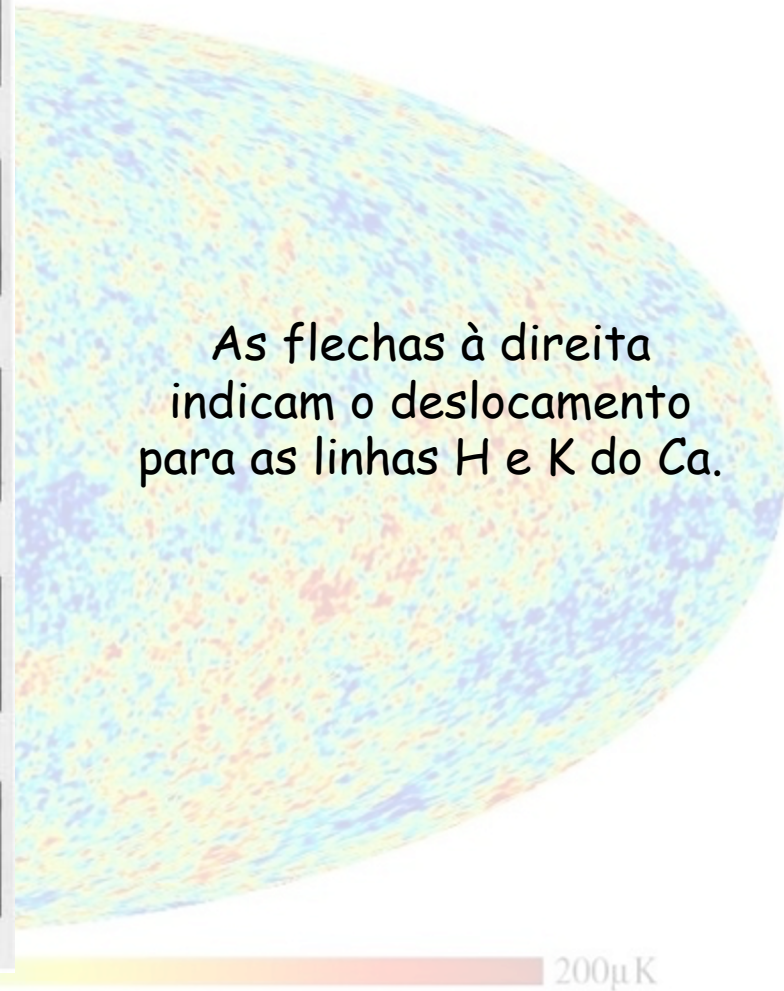
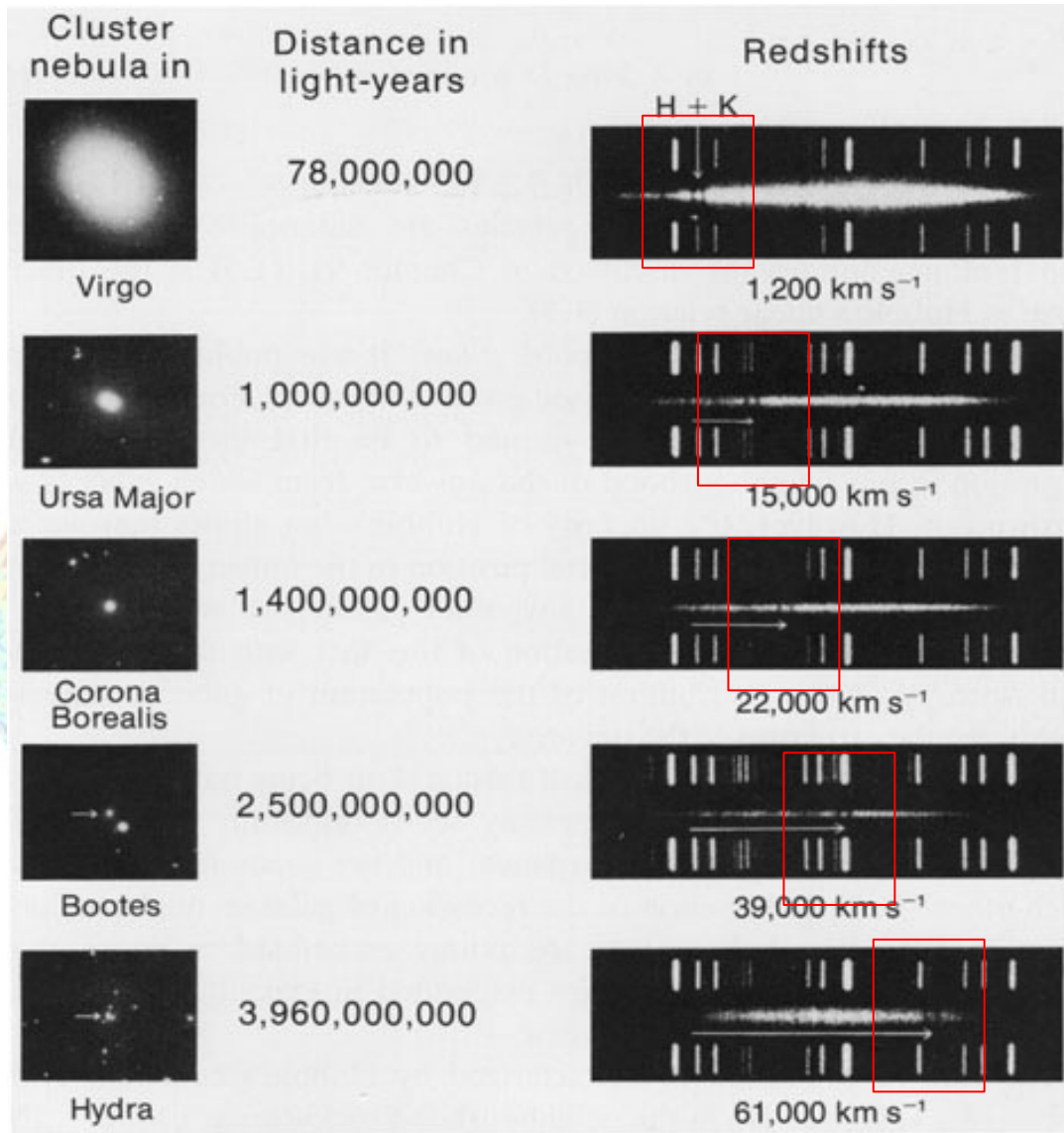


Fonte: <http://web.physics.ucsb.edu/~ski/skipicture-1.html>

# Linhas de emissão do H – 3C273



# A relação redshift x distância

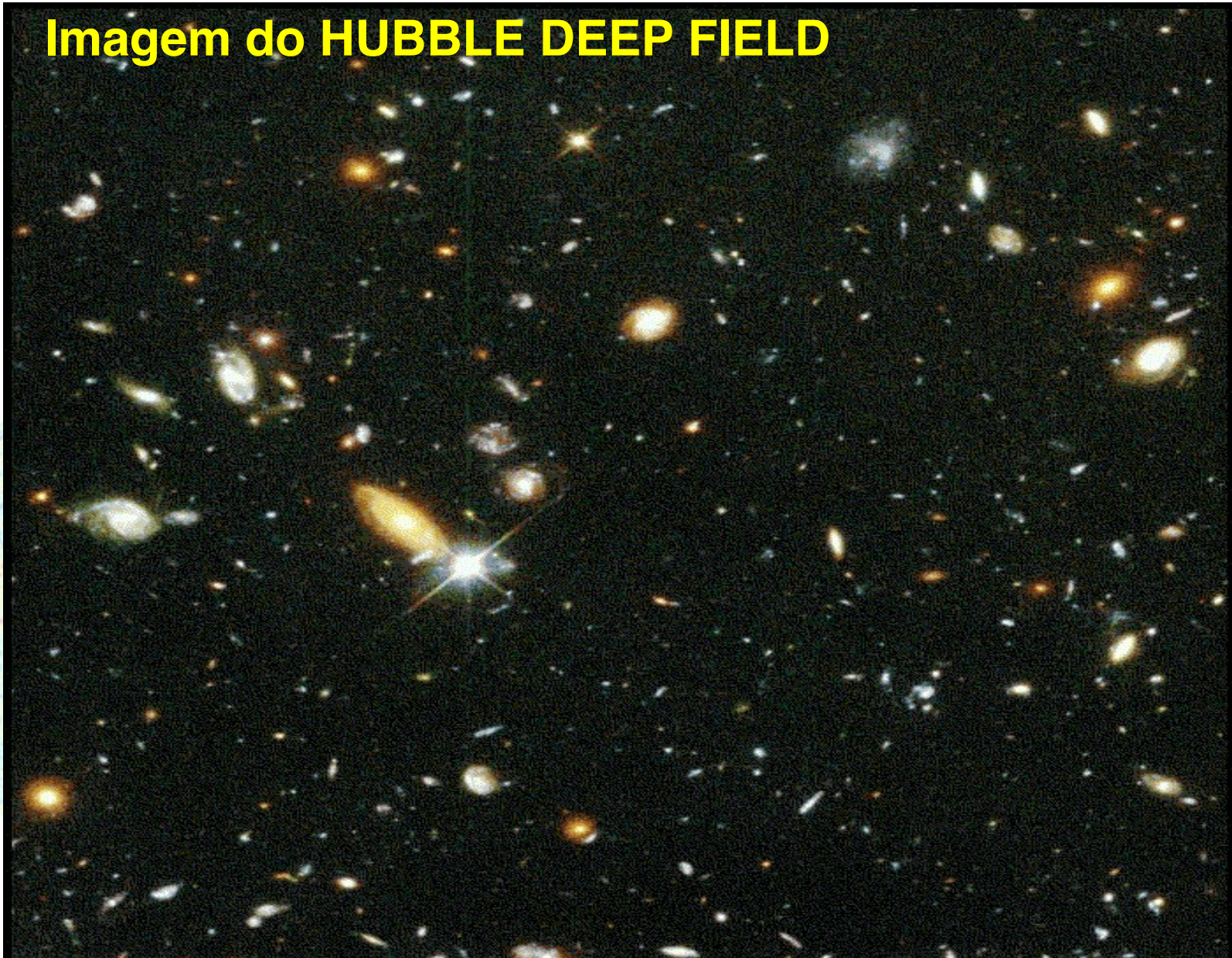


As flechas à direita indicam o deslocamento para as linhas H e K do Ca.





# Imagem do HUBBLE DEEP FIELD



**Hubble Deep Field**

**HST · WFPC2**

PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA

# Simulações de interação

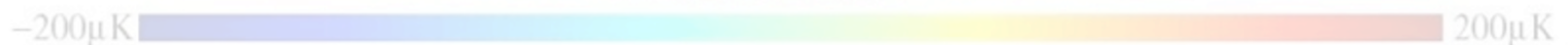
## ☑ Interação Via-Lactea e Andromeda

- Início dentro de  $3 \times 10^9$  anos
- Separação inicial:  $2 \times 10^6$  anos-luz

## ☑ Interação de um aglomerado

- Visão interna (viajante)
- Intersecção de 20 galáxias

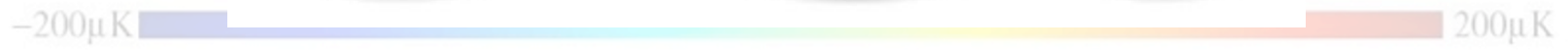
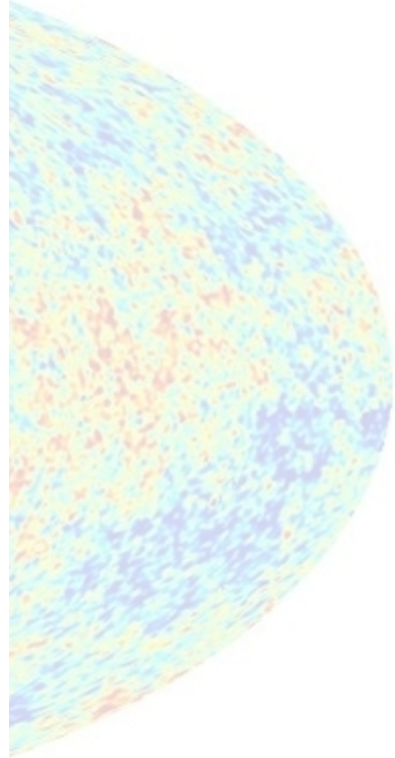
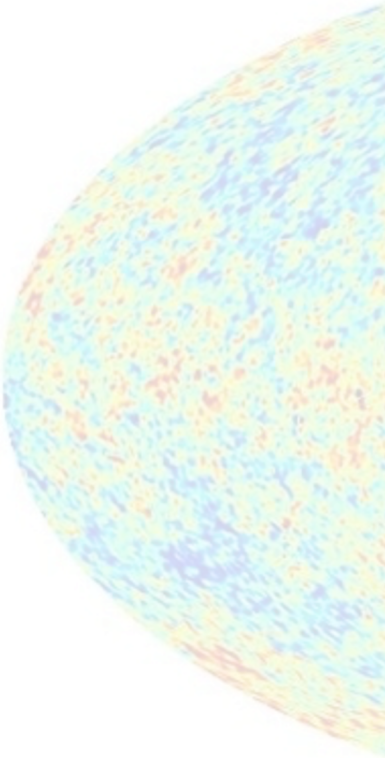
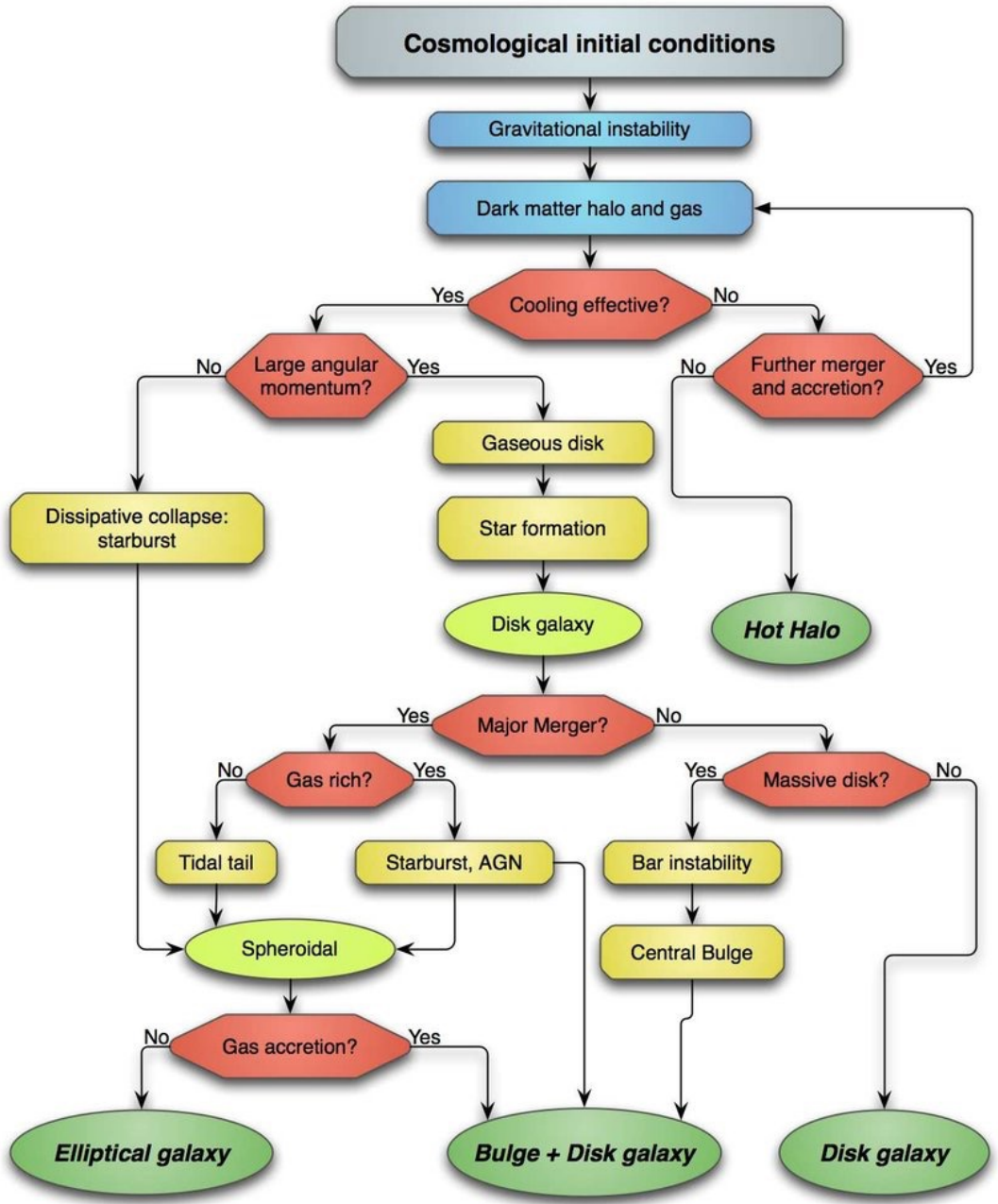
Autor: J. Dubinski (CITA – [dubinski@astro.utoronto.ca](mailto:dubinski@astro.utoronto.ca))



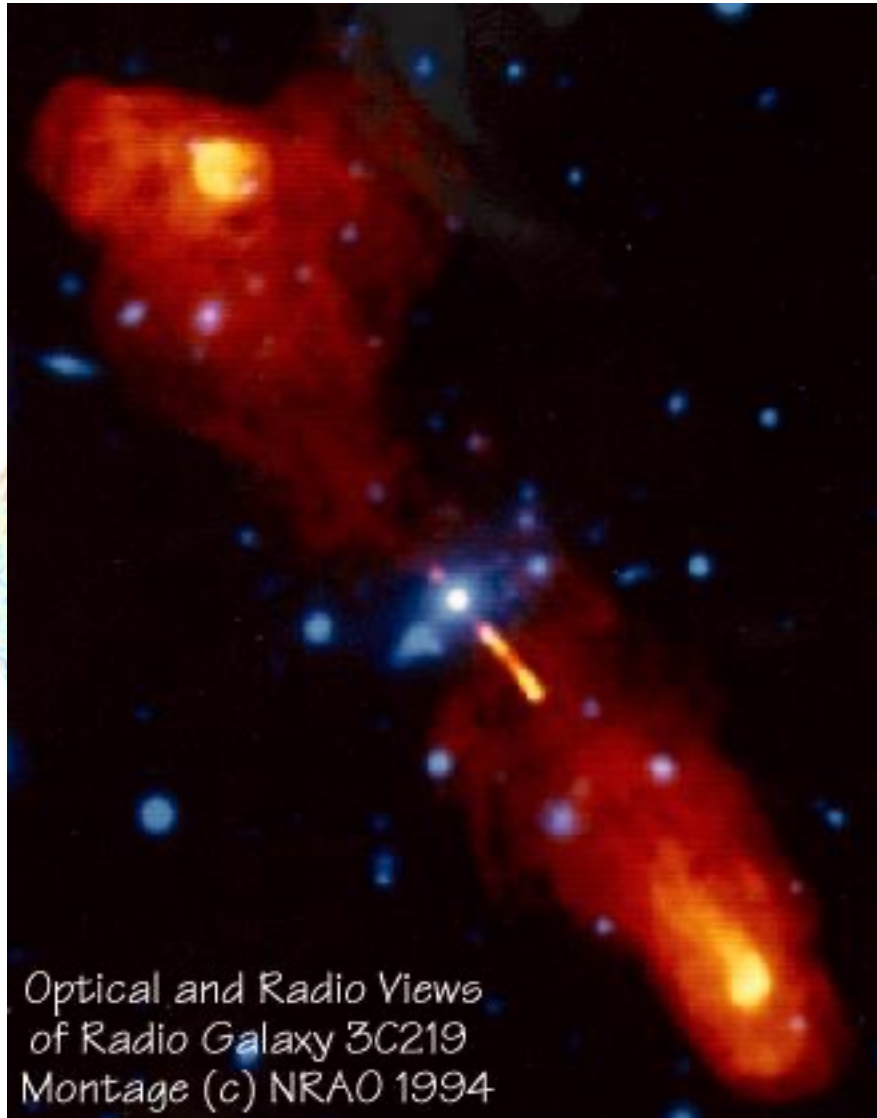


A seguir, ao infinito e além...





# A associação óptica x rádio...



- ✓ As regiões amarela e vermelha são os jatos emitidos na faixa de rádio (sincrotron). O objeto óptico encontra-se no centro da figura

Galáxias

Galáxias

"Buraco" SZ

Lenteamento gravitacional

Gás de fótons da RCF

ALMA (ESO/AOJ/NRAO), Kitayama et al.,  
NASA/ESA Hubble Space Telescope

Espalhamento de fótons da RCF (em azul, cor falsa) por elétrons no centro do aglomerado de galáxias [J1347.5-1145](#): o efeito Sunyaev-Zel'dovich (SZ). Superposição de medidas da RCF com o radiotelescópio ALMA e de galáxias do aglomerado feitas com o telescópio espacial Hubble. A região central não contém fótons da RCF, espalhados para outras frequências. A forma irregular do gás indica a grande atividade dinâmica do aglomerado.

-200 $\mu$  K

200 $\mu$  K