

# *Agradecimentos*

Estas aulas contou com o material do Professor Valter Líbero do IFSC-USP que teve a colaboração do Professor Roberto Boczko, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, IAG-USP e da equipe do Centro de Divulgação da Astronomia, CDA



Astronomia - Licenciatura

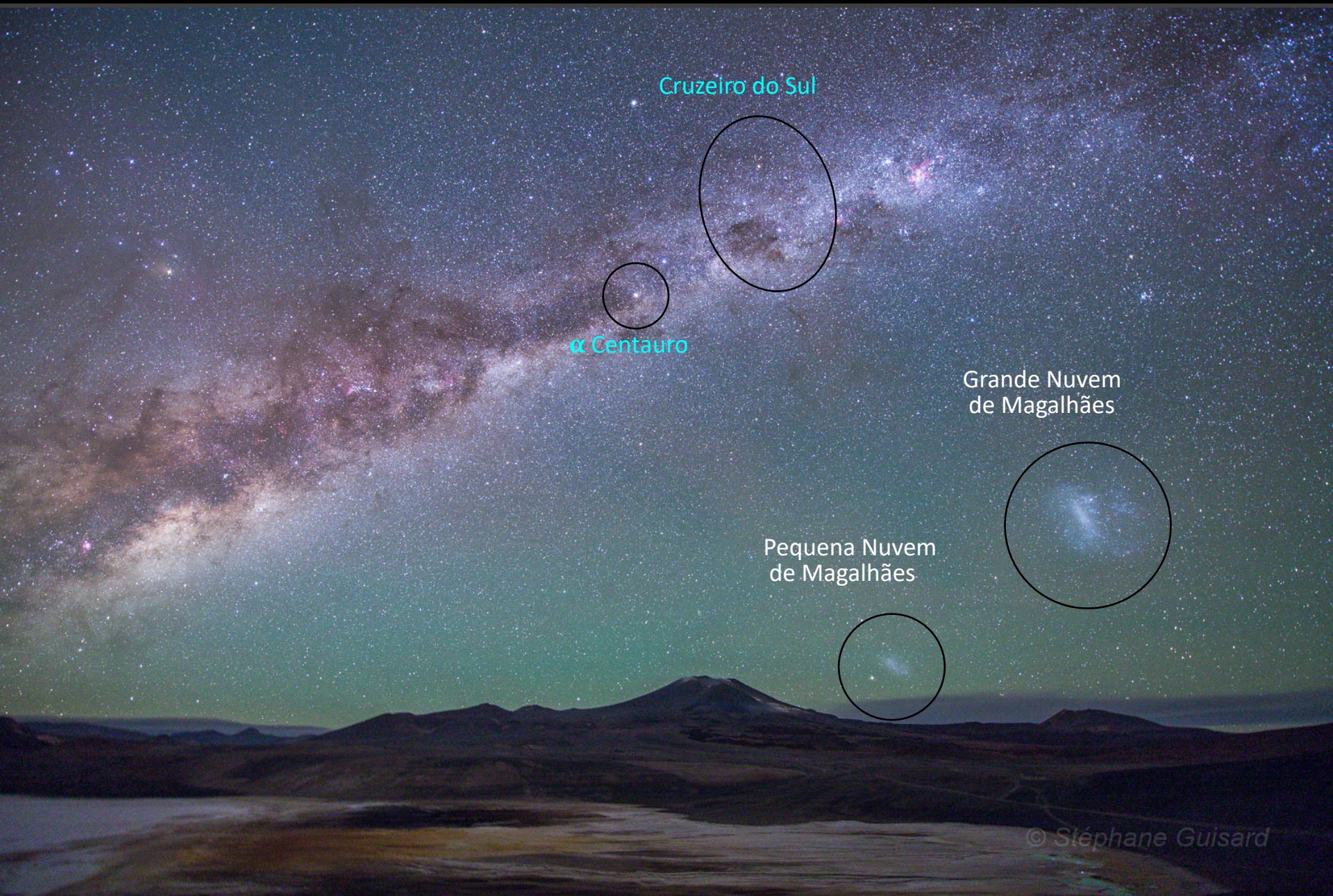
Aula 11: Galáxias

*Prof. Aion Viana*

# A Via Láctea a olho nú



# A Via-Láctea com câmera fotográfica



Cruzeiro do Sul

α Centauro

Grande Nuvem  
de Magalhães

Pequena Nuvem  
de Magalhães

# Vendo parte da Via Láctea

Com lente grande angular



© picture-alliance/dpa

Via Láctea = Nossa Galáxia = A Galáxia

(Latim)

(Caminho de Leite)

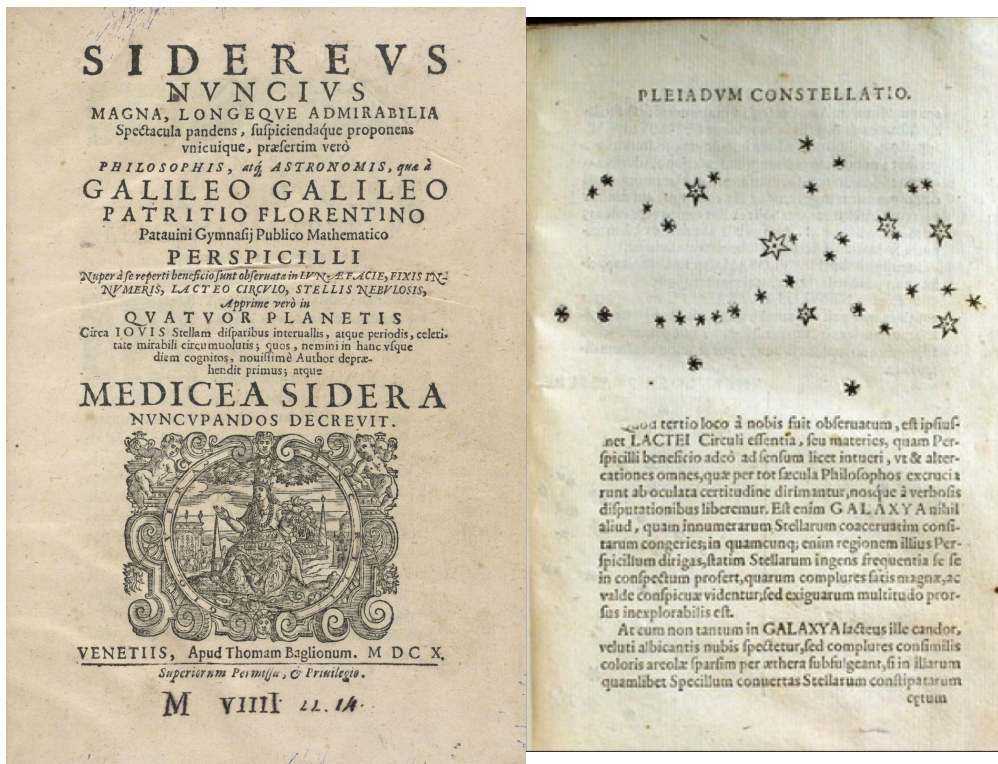
(Grego)

# Modelos históricos da Via-Láctea

- Em Meteorologica, **Aristóteles (384-322 aC)** afirma que os filósofos gregos Anaxágoras (c. 500-428 aC) e Demócrito (460-370 aC) propuseram que a **Via Láctea** é o brilho de estrelas não diretamente visíveis devido à sombra da Terra, enquanto outras estrelas recebem sua luz do Sol (mas têm seu brilho obscurecido pelos raios solares)
- O astrônomo persa **Abū Rayhān al-Bīrūnī (973–1048)** propôs que a Via Láctea é *"uma coleção de incontáveis fragmentos da natureza de estrelas nebulosas"*.
- O astrônomo persa **Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī (1201-1274)** em seu Tadhkira escreve: *"A Via Láctea, ou seja, a Galáxia, é composta de um número muito grande de estrelas pequenas, fortemente agrupadas, que, por causa de sua concentração e pequenez, parecem manchas turvas. Por isso, foi comparada à cor do leite. "*

# Modelos históricos da Via-Láctea

- **Galileu Galilei (1564 - 1642)** : primeiro a notar que a faixa embranquiçada vista a olho nú no céu era composta de estrelas

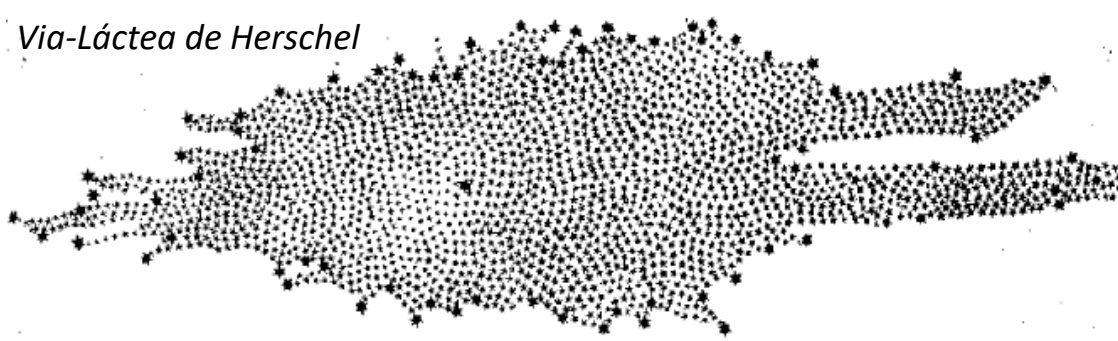


“O próximo objeto que observei é a essência ou substância da Via Láctea. Com a ajuda de um telescópio, qualquer um pode ver isso de uma maneira que atrai tão claramente os sentidos que todas as disputas que atormentaram os filósofos através de tantas eras são eliminadas ao mesmo tempo pela evidência irrefragável de nossos olhos, e somos libertados de longas disputas verbais sobre esse assunto, **pois a galáxia nada mais é do que uma massa de inumeráveis estrelas aglomeradas em grupos.** Em cima de qualquer parte dela que você dirige o telescópio diretamente, uma multidão vasta de estrelas se apresenta em vista; muitos delas são razoavelmente grandes e extremamente brilhantes, enquanto o número de pequenas é muito além da determinação.”

Mensageiro Sideral (Sidereus Nuncius) - Galileu Galilei 1610

# Modelos históricos da Via-Láctea

- **William Herschel (1738 - 1822)** : produziu o primeiro mapa da Via-Láctea contando o número de estrelas no céu. Suas hipóteses:
- todas as estrelas tem aproximadamente a mesma magnitude
  - a densidade numérica das estrelas é constante no volume
  - não existe nada entre as estrelas e nós que pode obscurecer os seus brilhos
  - ele era capaz de observar o limite da distribuição de estrelas



- **Conclusão:** a Galáxia é um sistema achatado, sendo aproximadamente 5 vezes maior na direção do plano galáctico do que na direção perpendicular a ele, e o Sol se encontra aproximadamente no centro.



# Modelos históricos da Via-Láctea

- **Jacobus C. Kapteyn (1851 - 1922)** : contagem das estrelas registradas em placas fotográficas e determinou as distâncias das estrelas próximas medindo suas paralaxes e movimentos próprios.
  - Via Láctea tinha a forma de um **disco com 20 kpc de diâmetro com o Sol no centro**
- **Harlow Shapley (1885 - 1972)** : estimou distâncias de 93 aglomerados globulares (AG) baseado em estrelas RR Lyrae (variáveis)
  - AGs estão preferencialmente localizados na direção da constelação de Sagittarius a uma distância de 15 kpc => **centro da Via-Láctea (não heliocêntrico!)**
  - Via-Láctea tem 100 kpc de diâmetro (distância dos mais distantes AGs)

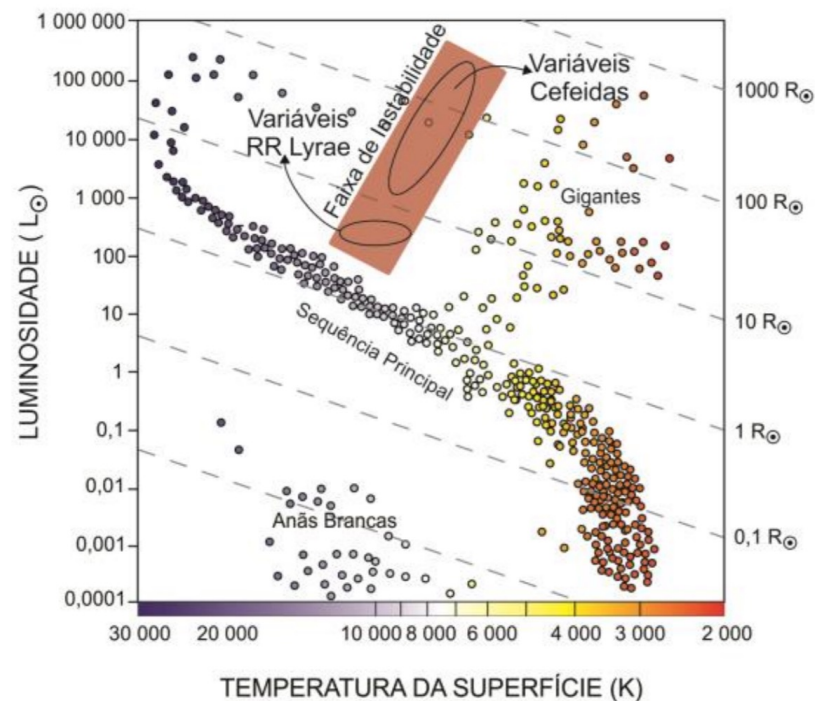
Kapteyn subestimou o tamanho da VL, enquanto Shapley a superestimou  
=> **ambos não consideraram extinção interestelar**

# Distâncias dentro da Galáxia

## Estrelas variáveis pulsantes:

### ➤ RR Lyrae

- estrelas evoluídas com massas entre 0,5 e 0,7 MSol,
- muito comuns em aglomerados globulares.
- **magnitude absoluta conhecida em torno de  $M_V = 0,6 \pm 0,3$ .**



# Distâncias dentro da Galáxia

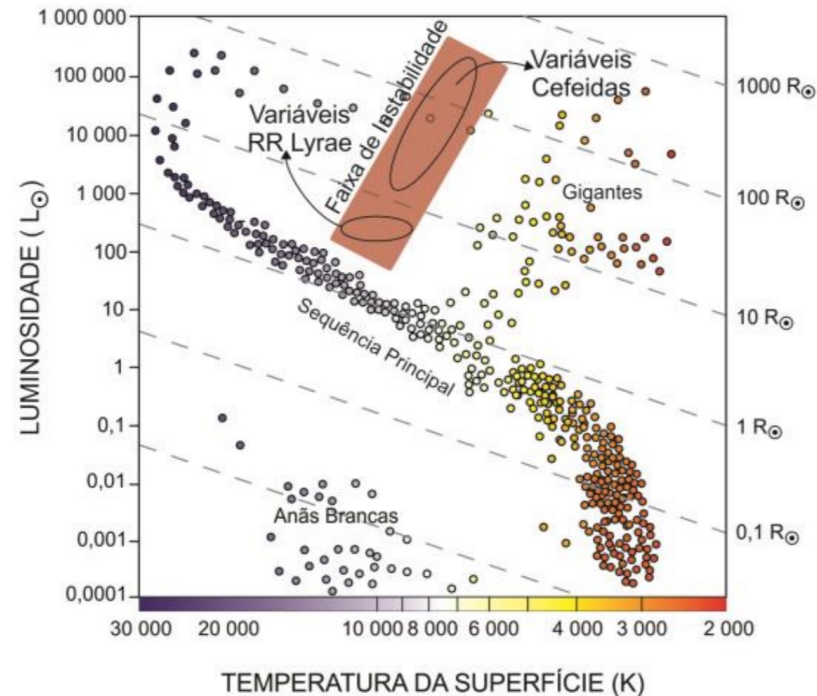
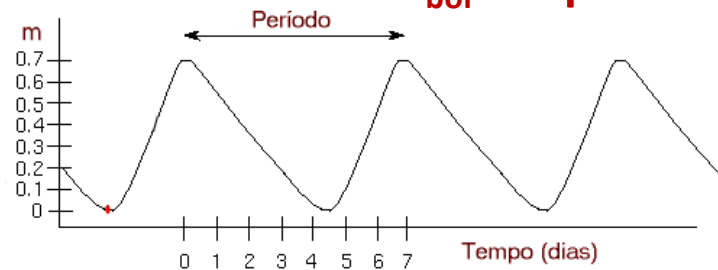
## Estrelas variáveis pulsantes:

### ➤ RR Lyrae

- estrelas evoluídas com massas entre 0,5 e 0,7  $M_{\text{Sol}}$ ,
- muito comuns em aglomerados globulares.
- **magnitude absoluta conhecida em torno de  $M_V = 0,6 \pm 0,3$ .**

### ➤ Cefeidas

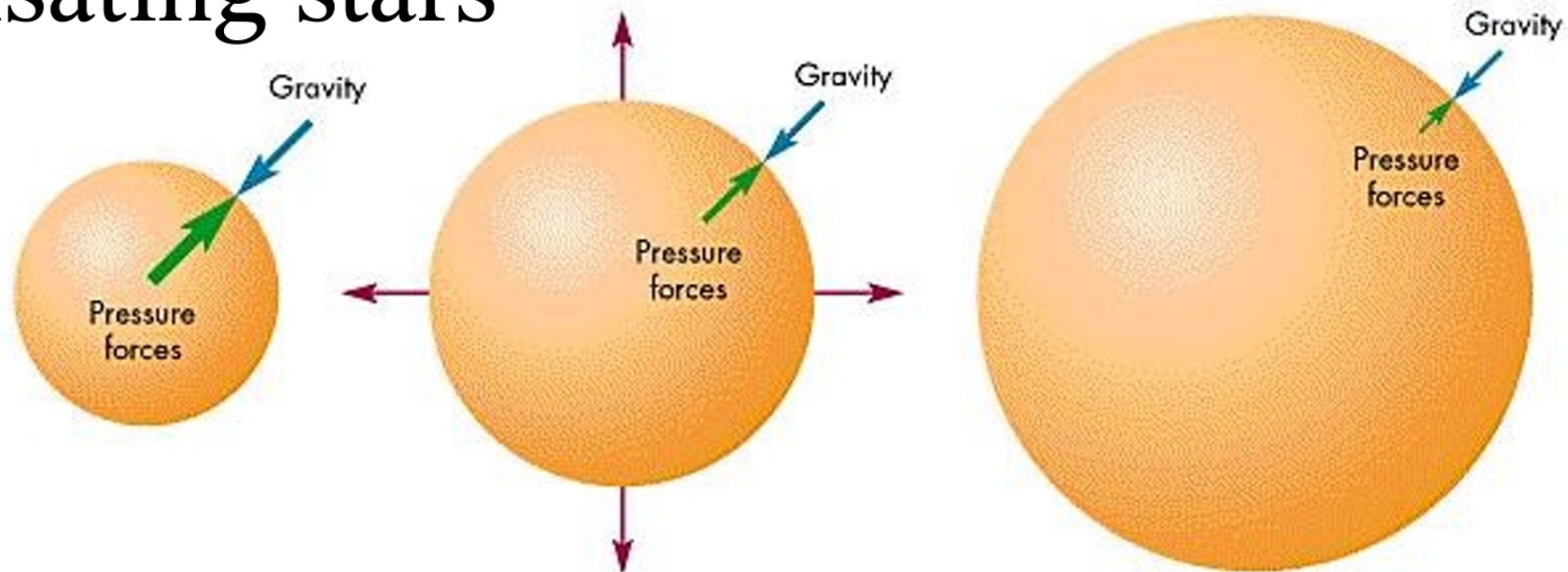
- supergigantes com massas entre 3 e 18  $M_{\text{Sol}}$
- **relação entre a magnitude bolométrica absoluta  $M_{\text{bol}}$  e o período  $P$  conhecida**



Estrelas RR Lyrae no aglomerado Globular M3



# Pulsating stars

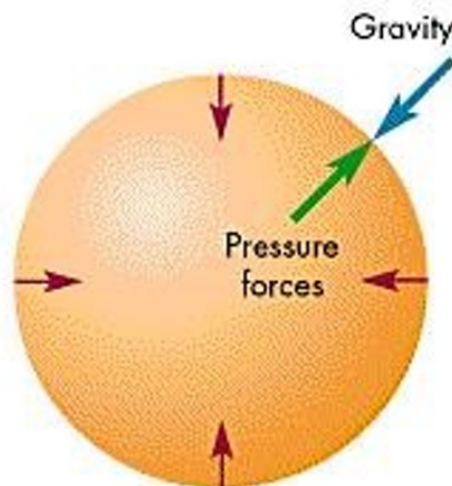


**A** Pressure forces exceed gravity: Pulsating star begins to expand

**B** Pressure and gravity balance but inertia makes the pulsating star expand further

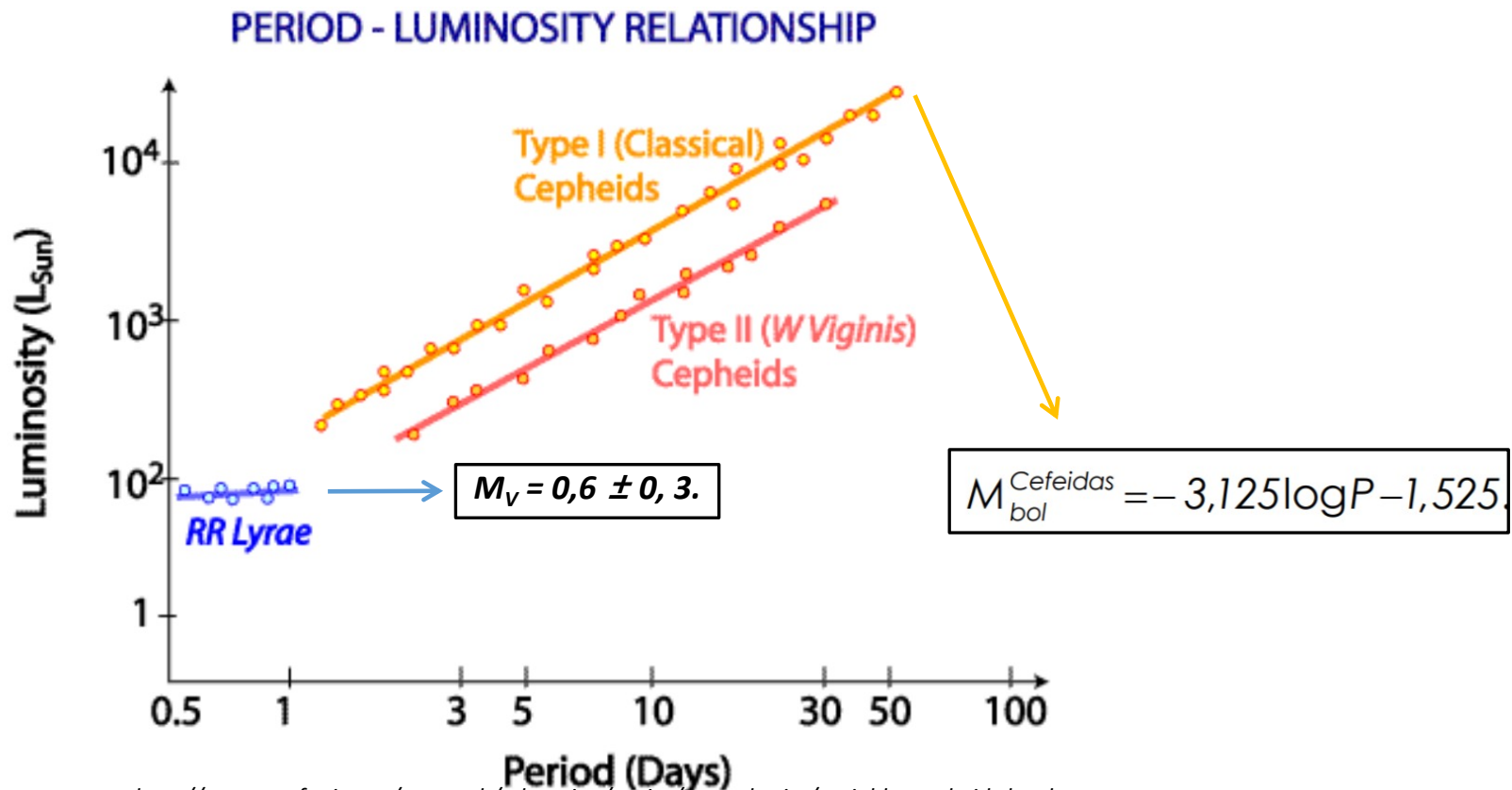
**C** Gravity exceeds pressure: Pulsating star begins to contract

**D** Pressure and gravity balance but inertia makes the pulsating star contract further



# Distâncias dentro da Galáxia

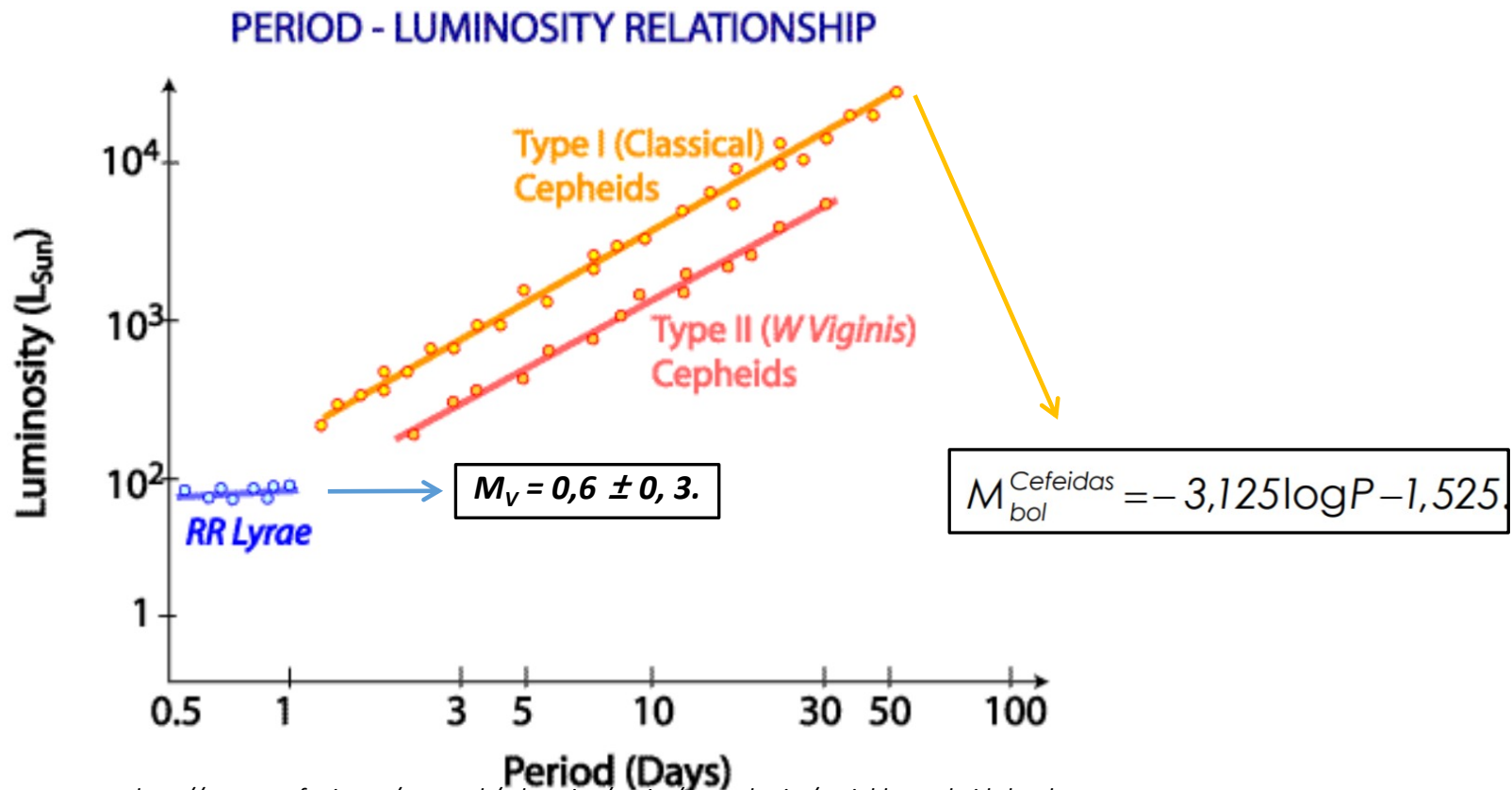
Em ambos tipos de estrelas podemos calcular sua magnitude (ou luminosidade)



[http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable\\_cepheids.html](http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable_cepheids.html)

# Distâncias dentro da Galáxia

Em ambos tipos de estrelas podemos calcular sua magnitude (ou luminosidade)



[http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable\\_cepheids.html](http://www.atnf.csiro.au/outreach/education/senior/astrophysics/variable_cepheids.html)

Conhecendo a magnitude absoluta podemos calcular a distância

Distância →

$$m - M = 5 \log \left( \frac{d}{10} \text{ pc} \right)$$

Vista de topo

Diâmetro  
~ 100.000 a.l.

Disco galáctico

Número de estrelas  
~ 150.000.000 + 1

Sol

Bojo central

Sol

# Morfologia da Nossa Galáxia

Rotação  
galáctica  
com  
período de  
~ 250.000.000  
anos

Disco galáctico

Sol

Disco galáctico

Bojo central

Vista de perfil

# Estrutura da Galáxia

Halo da Galáxia

Aglomerado globulares

Estrelas tipos O e B

Bojo Galáctico

Centro Galáctico

Disco Galáctico

4 kpc

12 k a.l.

Sol

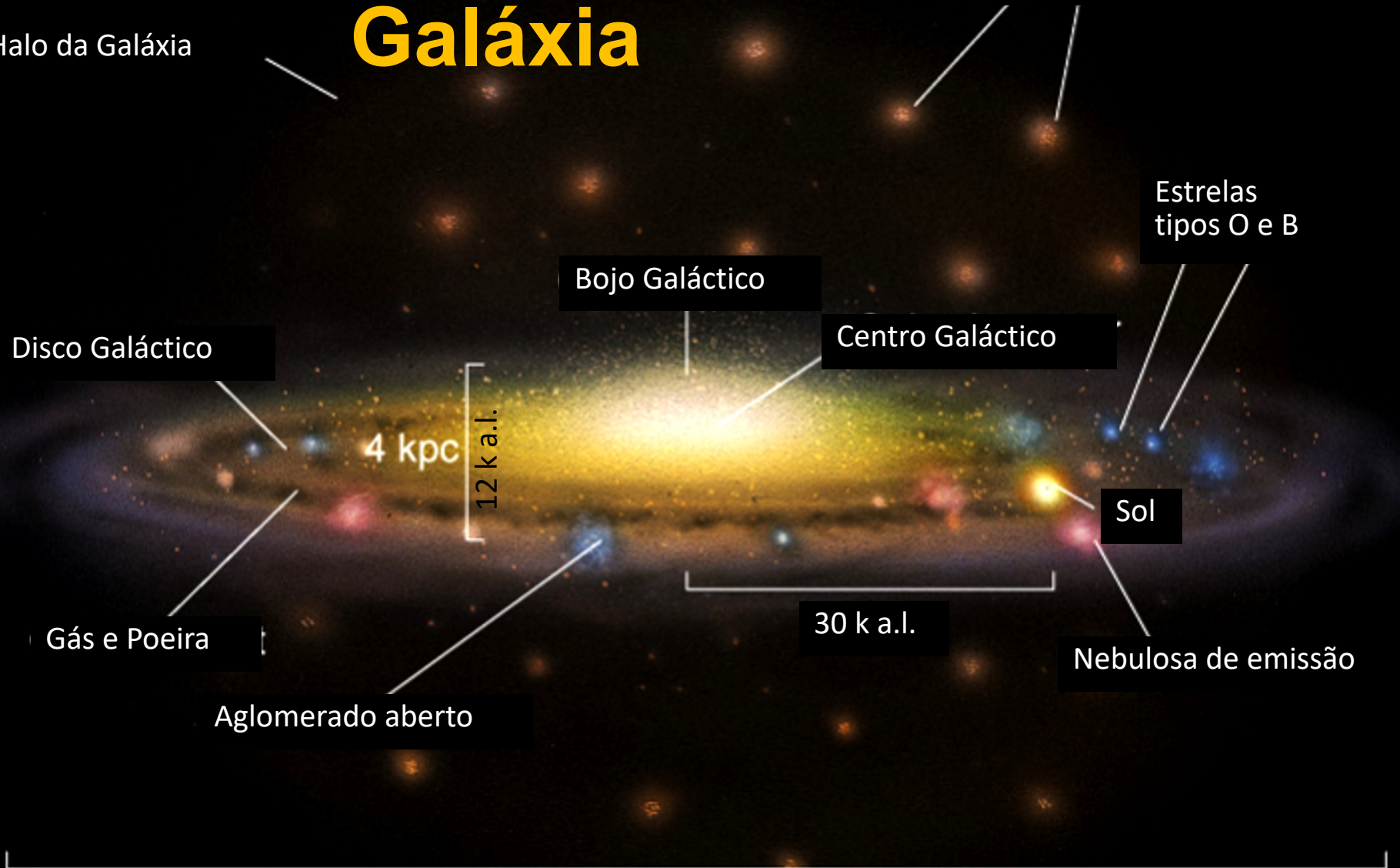
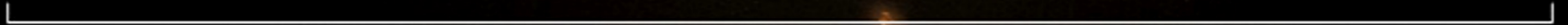
30 k a.l.

Gás e Poeira

Nebulosa de emissão

Aglomerado aberto

100 k a.l.

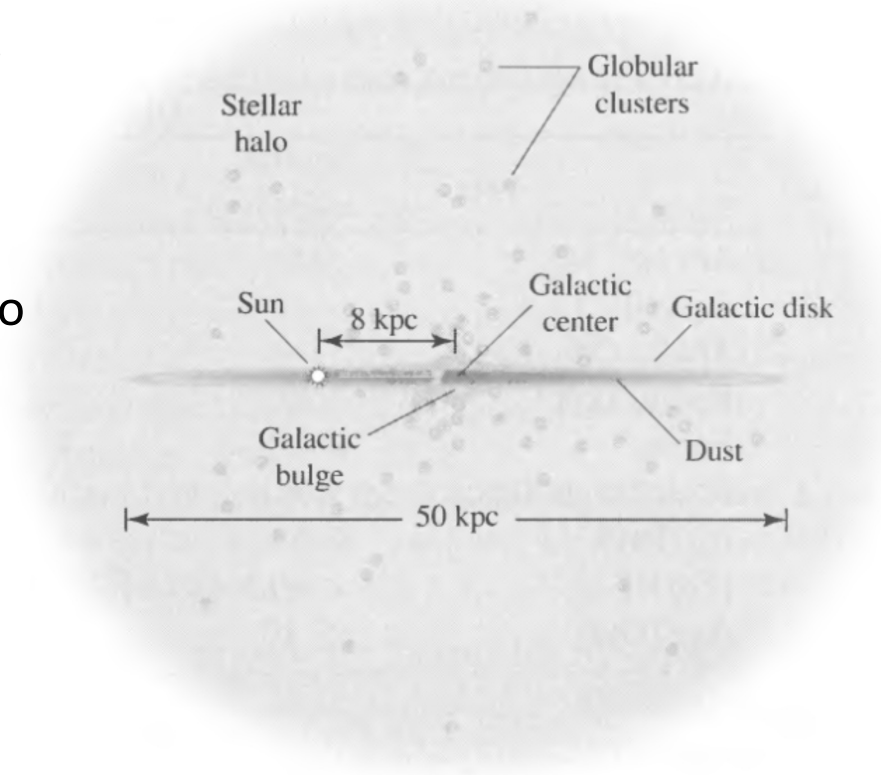




# Morfologia da Via-Láctea

A Via Láctea é uma galáxia espiral, composta de mais de 100 bilhões de estrelas, além de gás e poeira organizados em quatro componentes principais:

- O **disco**, que contém a maioria das estrelas, incluindo o Sol, e virtualmente todo o gás e poeira. Espessura estimada de 300 pc (fino: 1/100 do diâmetro) e diâmetro de 50 kpc.
- O **bojo** é uma região esférica de de extensão  $\sim 6$  kpc no plano do disco e  $\sim 4$  kpc na direção perpendicular.
- Um **halo estelar** formado pelos aglomerados globulares. Raio estimado  $> 100$  kpc
- um **halo de matéria escura**, de forma esférica, que é maior do halo estelar. Raio estimado  $> 230$  kpc

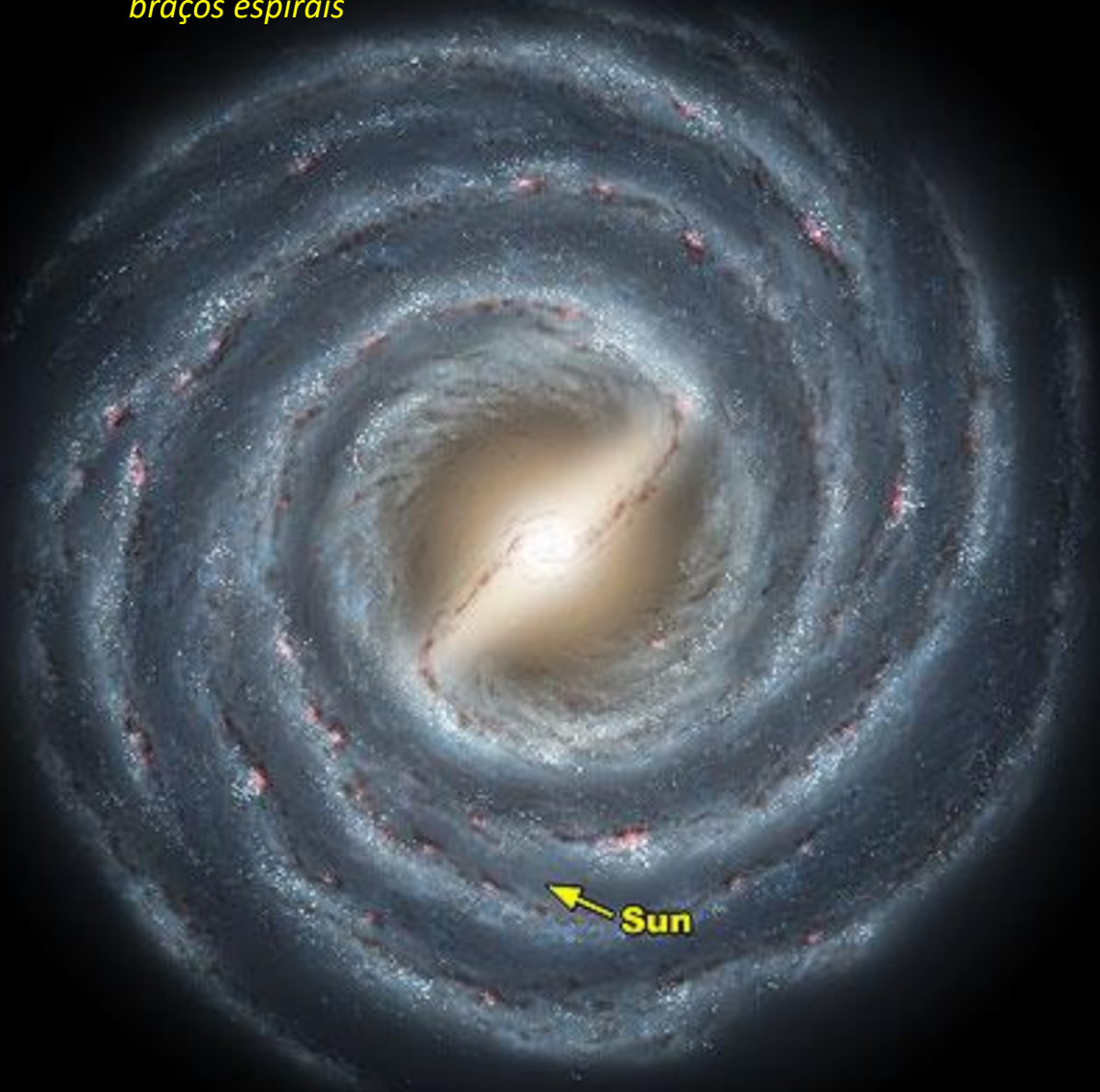


# Estrutura Espiral

## Mapeadores da estrutura espiral:

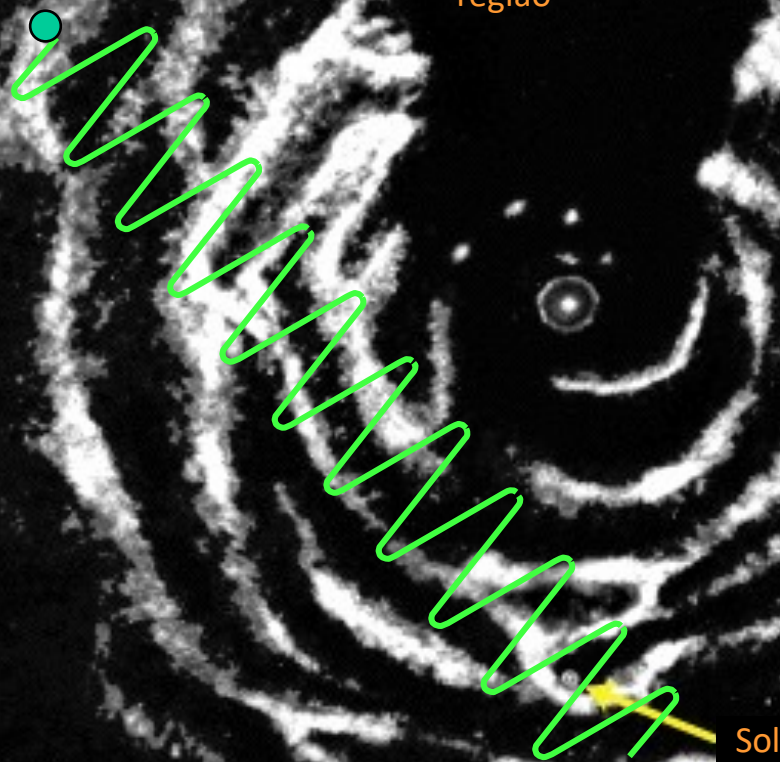
- estrelas O e B, regiões HII, excitadas por estas estrelas quentes, e estrelas cefeidas variáveis.
- linha de 21 cm do hidrogênio neutro

*Concepção artística da Via Láctea, mostrando a estrutura em braços espirais*



# Mapeamento possível da Nossa Galáxia

Muito gás e  
poeira  
impedindo a  
visão dessa  
região



Ondas de 21 cm  
(Radiotelescópios)



# Estrutura Espiral

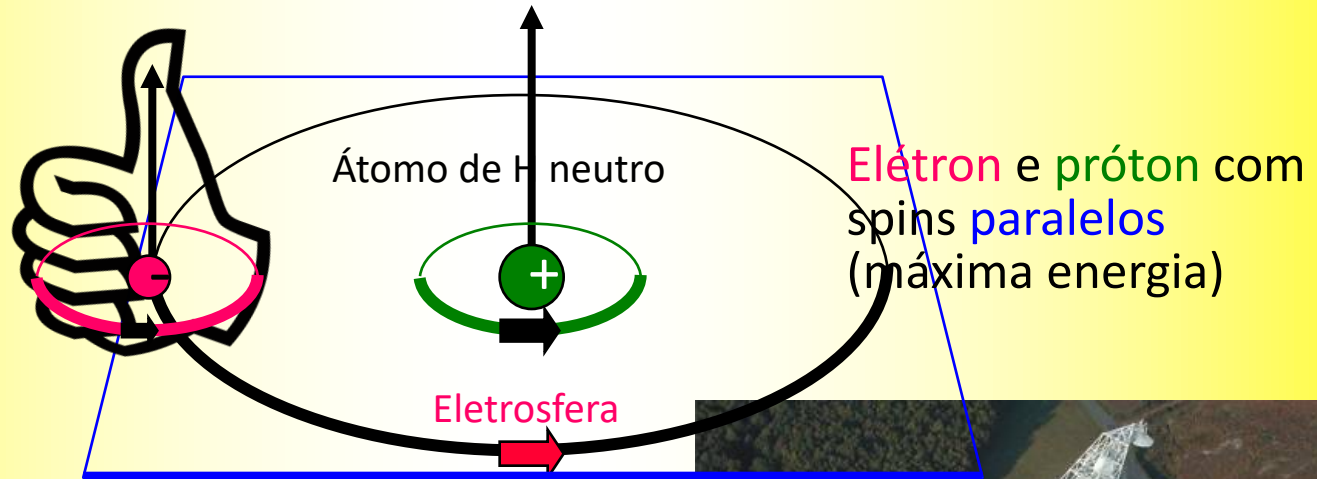
## Mapeadores da estrutura espiral:

- estrelas O e B, regiões HII, excitadas por estas estrelas quentes, e estrelas cefeidas variáveis.
- linha de 21 cm do hidrogênio neutro

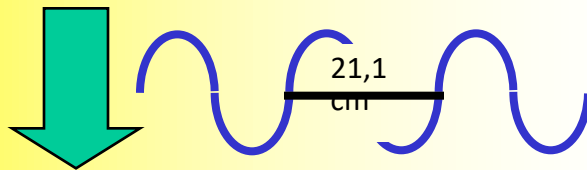


# Emissão de 21,1 cm

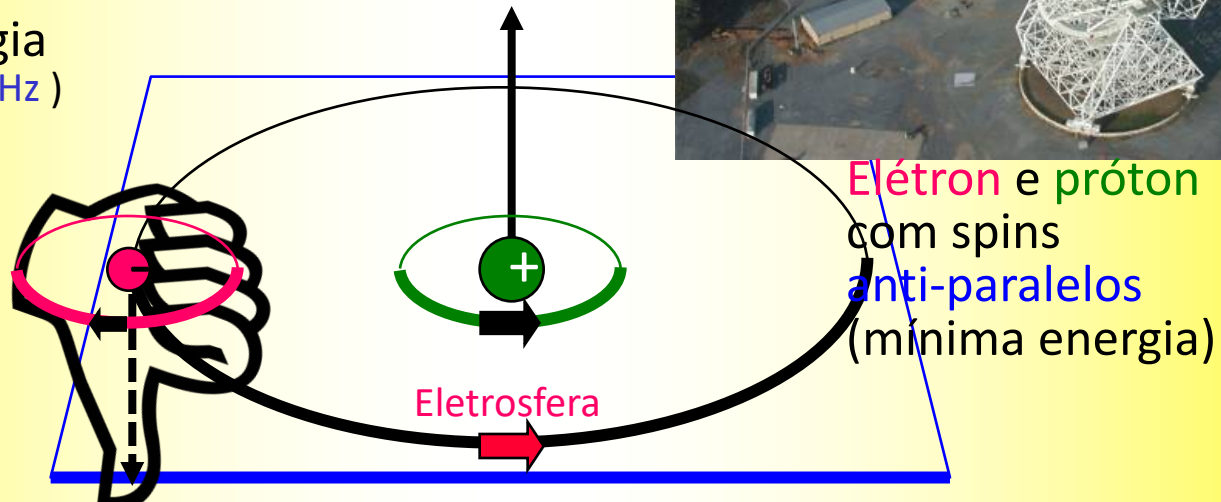
(Prevista em 1940 // Detectada em 1951)



Na inversão dos spins



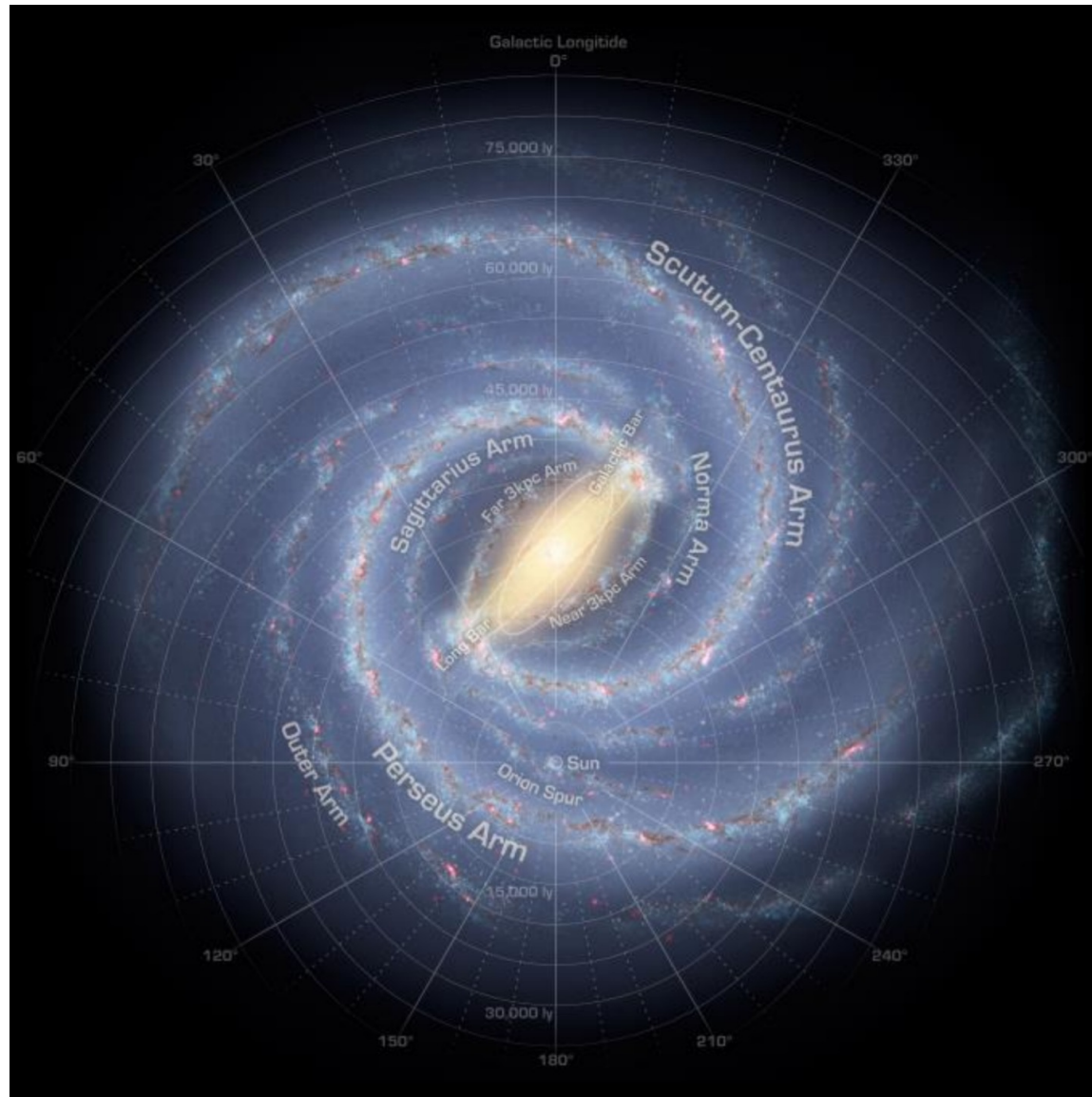
Emissão de energia  
( 21,1 cm  $\Leftrightarrow$  1.420 MHz )



# Estrutura Espiral

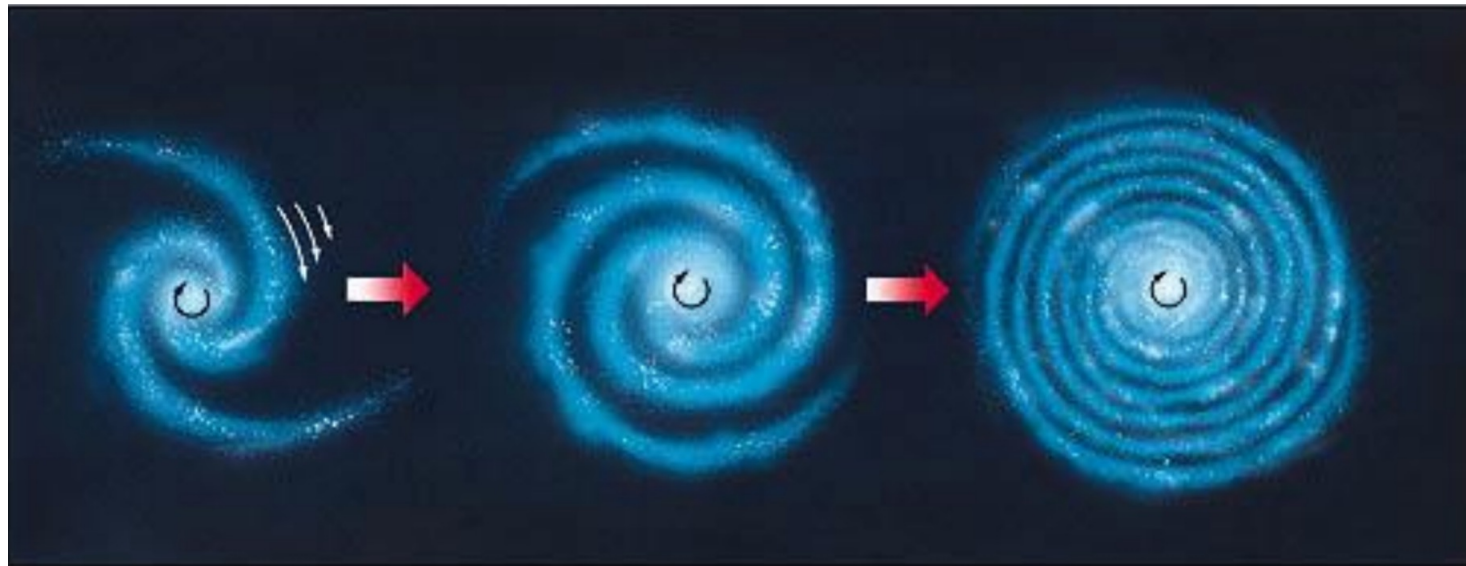
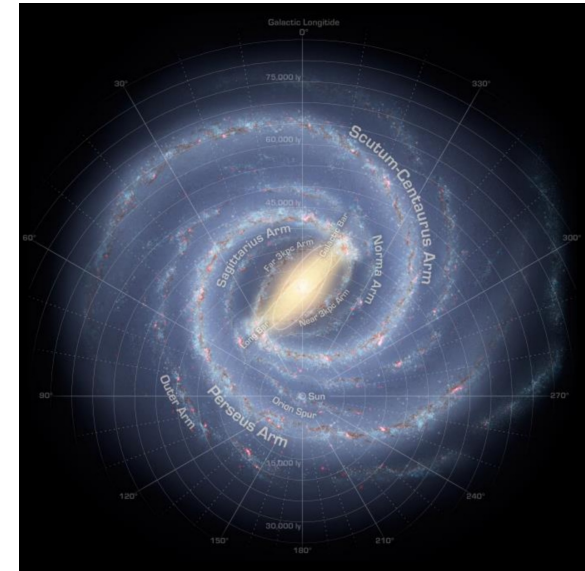
➤ Observações recentes, no infravermelho: dois braços principais – o braço de Scutum-Centaurus e o braço de Perseus – e outros braços menores

➤ O Sol está na borda interna de um braço pequeno chamado "braço de Órion"



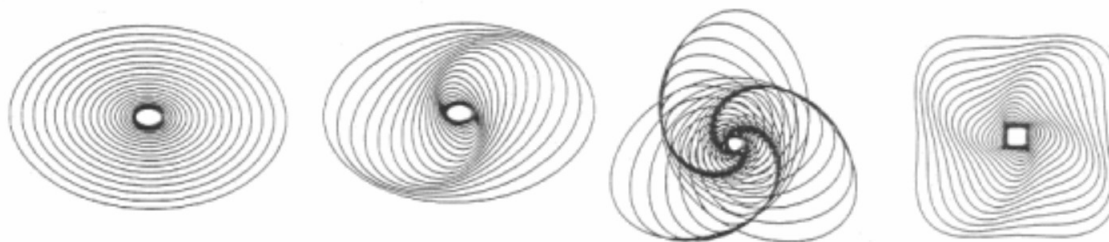
# Persistência da estrutura Espiral

- Como se explica a manutenção da estrutura espiral? A rotação diferencial: qualquer padrão espiral ligado ao material do disco não poderia sobreviver por muito tempo - os braços se enrolariam completamente em alguns períodos de rotação da gal.  $\sim 100 \times 10^6$  anos



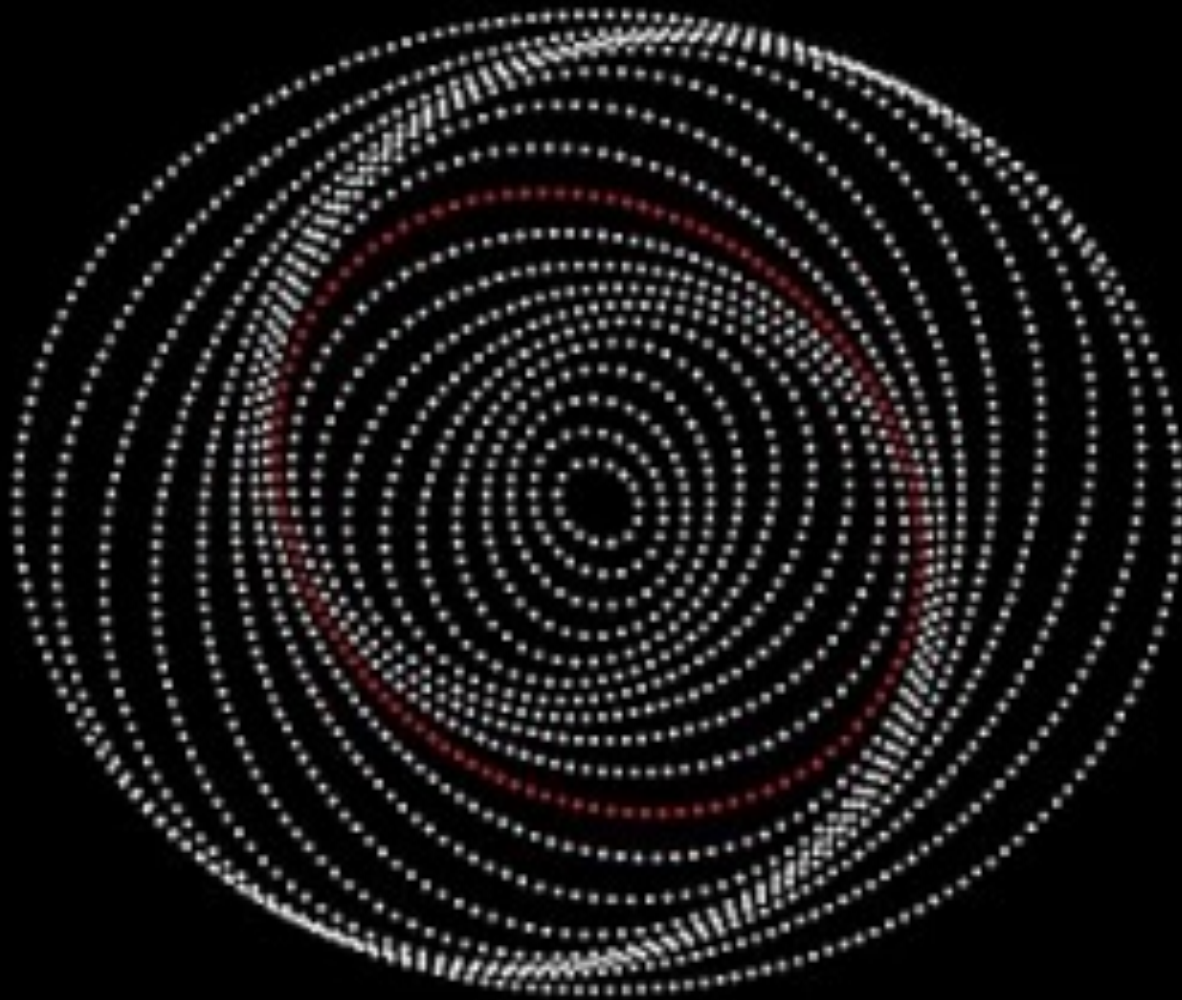
# Persistência da estrutura espiral

- Os braços espirais não podem ser regiões materiais girando juntamente com o restante do disco galáctico.
- O cenário mais aceito para explicar a persistência dos braços espirais: supõe a **existência de ondas de densidade = ondas de compressão de gas que se movem pelo disco galáctico, comprimindo nuvens interestelares provocando formação estelar à medida que passam**
- Os braços: formados por nuvens de gas densas e estrelas recém formadas - seriam criados pela passagem de ondas de densidade
- **Os braços espirais correspondem apenas à passagem das ondas pelas estrelas e não transportam grandes quantidades de massa.**





# Ondas de densidade



[https://www.youtube.com/watch?v=VqaDfY\\_GxUg](https://www.youtube.com/watch?v=VqaDfY_GxUg)

# Estrutura Espiral: questões em aberto

- Qual é a origem das ondas de densidade?
- Explosões de SN poderiam produzir ondas de densidade e comprimir o MIS: só formariam pedacos dos braços, não toda a estrutura.
- O que teria criado a primeira faixa de formação de estrelas, a qual teria dado continuidade ao avanço dos braços espirais?

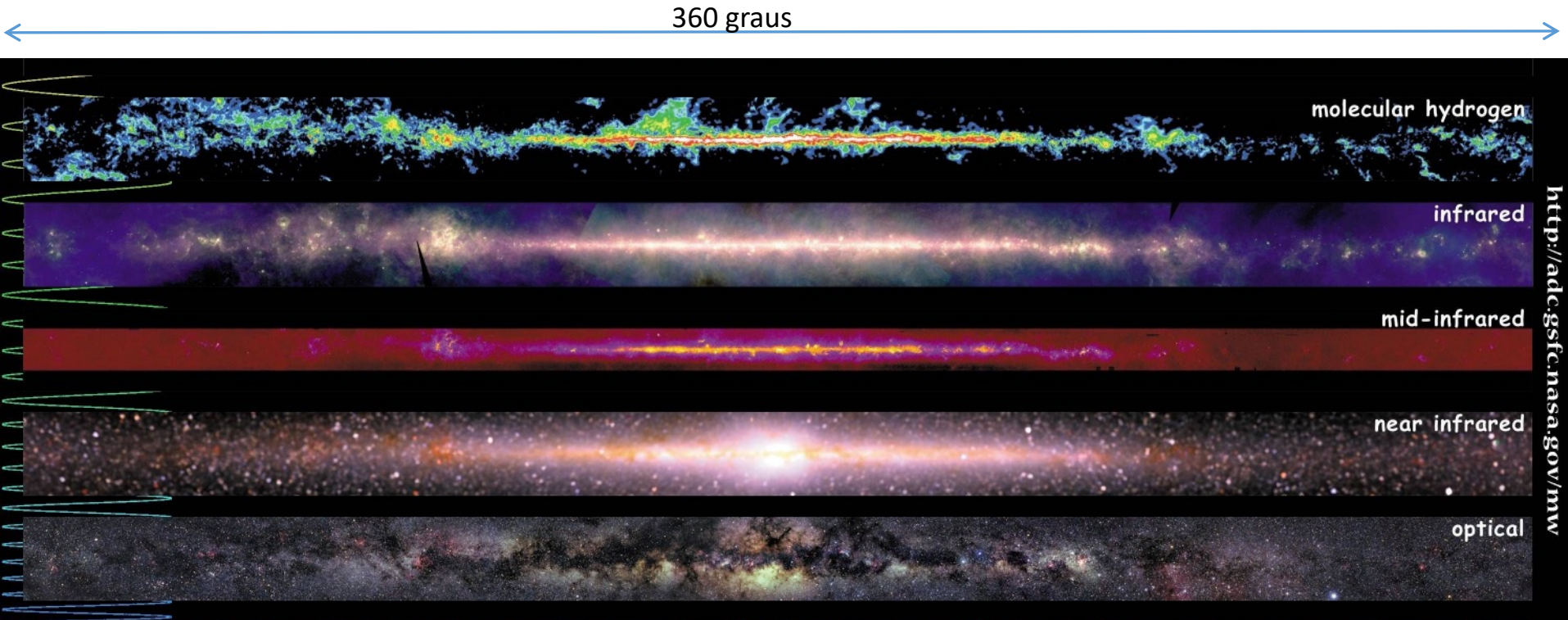
# Estrutura Espiral: possíveis respostas

1. Instabilidades do gás próximo ao bojo: perturbações começariam no bojo e propagariam radialmente pelo disco (mecanismo de origem?)
2. Efeito gravitacional (forças de maré) de outras galáxias (semelhante ao que vimos entre Terra e Lua)
3. Assimetria do tipo “barra” no bojo (observada em outras galáxias): teria influência no disco, iniciando a formação dos braços espirais.

# Observações do bojo galáctico

- Na faixa espectral do visível: as observações do **bojo** são muito afetadas pela **absorção interestelar**.
- Comprimentos de onda mais longos que os ópticos (**infravermelho e rádio**) são necessários para revelar a estrutura do bojo.
- **Emissão rádio do gás**  $\Rightarrow$  mapeamentos até **50kpc**.

# A Galáxia em outros comprimentos de onda



- Infravermelho próximo: estrelas frias
- Visível: estrelas próximas
- Infravermelho médio e distante: poeira e moléculas

# Componentes da Galáxia



M i l k y W a y G a l a x y

- Estrelas
- Campo de Radiação
- Meio interestelar
- Campo Magnético galáctico
- Raios Cósmicos



# Componentes da Galáxia

## Estrelas

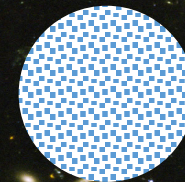
- Campo de Radiação
- Meio interestelar
- Campo Magnético galáctico
- Raios Cósmicos



# Estrelas

Correspondem de 80 a 90% da massa\* da Galáxia

- Estrelas isoladas (raras)
- Sistemas binários ou múltiplos
- Aglomerados Abertos
- Aglomerados Globulares



(\*) Sem considerar a possível existência de massa escura!





# Parênteses: Metalicidade

# Tabela Periódica

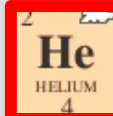
Em astrofísica

**Não metais:** H e He

**Metais:** todos os demais elementos

NON-METALS

METALS



3 <b>Li</b> LITHIUM 7	4 <b>Be</b> BERYLLIUM 9											5 <b>B</b> BORON 11	6 <b>C</b> CARBON 12	7 <b>N</b> NITROGEN 14	8 <b>O</b> OXYGEN 16	9 <b>F</b> FLUORINE 19	10 <b>Ne</b> NEON 20
11 <b>Na</b> SODIUM 23	12 <b>Mg</b> MAGNESIUM 24											13 <b>Al</b> ALUMINUM 27	14 <b>Si</b> SILICON 28	15 <b>P</b> PHOSPHORUS 31	16 <b>S</b> SULFUR 32	17 <b>Cl</b> CHLORINE 35	18 <b>Ar</b> ARGON 40
19 <b>K</b> POTASSIUM 39	20 <b>Ca</b> CALCIUM 40	21 <b>Sc</b> SCANDIUM 45	22 <b>Ti</b> TITANIUM 48	23 <b>V</b> VANADIUM 51	24 <b>Cr</b> CHROMIUM 52	25 <b>Mn</b> MANGANESE 55	26 <b>Fe</b> IRON 56	27 <b>Co</b> COBALT 59	28 <b>Ni</b> NICKEL 59	29 <b>Cu</b> COPPER 64	30 <b>Zn</b> ZINC 65	31 <b>Ga</b> GALLIUM 70	32 <b>Ge</b> GERMANIUM 73	33 <b>As</b> ARSENIC 75	34 <b>Se</b> SELENIUM 79	35 <b>Br</b> BROMINE 80	36 <b>Kr</b> KRYPTON 84
37 <b>Rb</b> RUBIDIUM 85	38 <b>Sr</b> STRONTIUM 88	39 <b>Y</b> YTTRIUM 89	40 <b>Zr</b> ZIRCONIUM 91	41 <b>Nb</b> NIÓBIUM 93	42 <b>Mo</b> MOLYBDENUM 96	43 <b>Tc</b> TECHNETIUM 98	44 <b>Ru</b> RUTHENIUM 101	45 <b>Rh</b> RHODIUM 103	46 <b>Pd</b> PALADIUM 106	47 <b>Ag</b> SILVER 108	48 <b>Cd</b> CADMIUM 112	49 <b>In</b> INDIUM 115	50 <b>Sn</b> TIN 119	51 <b>Sb</b> ANTIMONY 122	52 <b>Te</b> TELLURIUM 128	53 <b>I</b> IODINE 127	54 <b>Xe</b> XENON 131
55 <b>Cs</b> CESIUM 133	56 <b>Ba</b> BARIUM 137	57-71 ●	72 <b>Hf</b> HAFNIUM 178	73 <b>Ta</b> TANTALUM 181	74 <b>W</b> TUNGSTEN 184	75 <b>Re</b> RHENIUM 186	76 <b>Os</b> OSMIUM 190	77 <b>Ir</b> IRIDIUM 192	78 <b>Pt</b> PLATINUM 195	79 <b>Au</b> GOLD 197	80 <b>Hg</b> MERCURY 201	81 <b>Tl</b> THALLIUM 204	82 <b>Pb</b> LEAD 207	83 <b>Bi</b> BISMUTH 209	84 <b>Po</b> POLONIUM 209	85 <b>At</b> ASTATINE 210	86 <b>Rn</b> RADON 222
87 <b>Fr</b> FRANCIUM 223	88 <b>Ra</b> RADIUM 226	89-103 ●	104 <b>Rf</b> RUTHERFORDIUM 267	105 <b>Db</b> DUBNIUM 268	106 <b>Sg</b> SEABORGIUM 271	107 <b>Bh</b> BOHRÍUM 272	108 <b>Hs</b> HASSÍUM 277	109 <b>Mt</b> MEITNERÍUM 276	110 <b>Ds</b> DARMSSTADTIUM 281	111 <b>Rg</b> ROENTGENÍUM 280	112 <b>Cn</b> COPERNÍCIUM 285	113 <b>Nh</b> NIHONIUM 284	114 <b>Fl</b> FLEROVIUM 289	115 <b>Mc</b> MOSCÓVIUM 288	116 <b>Lv</b> LIVERMÓRIUM 293	117 <b>Ts</b> TENNESSÍNE 294	118 <b>Og</b> OGANESSÓN 294

## KEY

- SOLID at room temp
- LIQUID at room temp
- ☁ GAS at room temp
- ☢ RADIOACTIVE
- 🧪 Artificially created

57 <b>La</b> LANTHANUM 139	58 <b>Ce</b> CERIUM 140	59 <b>Pr</b> PRASEODYMIUM 141	60 <b>Nd</b> NEODYMIUM 144	61 <b>Pm</b> PROMETHIUM 145	62 <b>Sm</b> SAMARIUM 150	63 <b>Eu</b> EUROPIUM 152	64 <b>Gd</b> GADOLINIUM 157	65 <b>Tb</b> TERBIUM 159	66 <b>Dy</b> DYSPROSIUM 163	67 <b>Ho</b> HOLMIUM 165	68 <b>Er</b> ERBIUM 167	69 <b>Tm</b> THULIUM 169	70 <b>Yb</b> YTTERIUM 173	71 <b>Lu</b> LUTETIUM 175
-------------------------------------	----------------------------------	--	-------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

89 <b>Ac</b> ACTINIUM 227	90 <b>Th</b> THORIUM 232	91 <b>Pa</b> PROTACTINIUM 231	92 <b>U</b> URANIUM 238	93 <b>Np</b> NEPTUNIUM 237	94 <b>Pu</b> PLUTONIUM 244	95 <b>Am</b> AMERICIUM 243	96 <b>Cm</b> CURIUM 247	97 <b>Bk</b> BERKELIUM 247	98 <b>Cf</b> CALIFÓRNIUM 251	99 <b>Es</b> EINSTEINIUM 252	100 <b>Fm</b> FERMIUM 257	101 <b>Md</b> MENDELEVIUM 258	102 <b>No</b> NOBELIUM 259	103 <b>Lr</b> LAWRENCIUM 262
------------------------------------	-----------------------------------	--	----------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	--	-------------------------------------	---------------------------------------

# Indicativos de Composição química

$$X \equiv m_{\text{Hidrogênio}} / m_{\text{Total}}$$

$$Y \equiv m_{\text{Hélio}} / m_{\text{Total}}$$

$$Z \equiv m_{\text{Metais}} / m_{\text{Total}}$$



**Metal:**

Tudo que não é H ou He  
(definição usada em  
astrofísica,  
mas está errada!)

H i d r g ê n i o
Hélio
Metais

Exemplo de  
Alta metalicidade

$$Z = 0,02$$

Exemplo de  
Baixa metalicidade

$$Z = 0,001$$

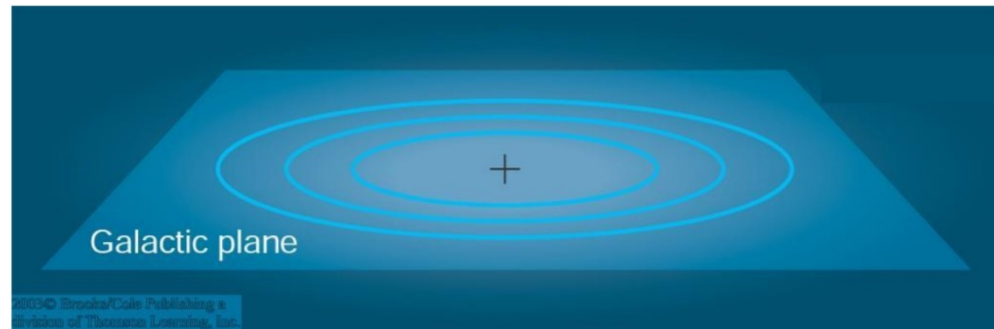
1 H																	18 He
3 Li	4 Be											13 B	14 C	15 N	16 O	17 F	18 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57-71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89-103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

# Populações estelares

- Início dos anos 1940: Walter Baade (estrelas se dividem em duas populações):

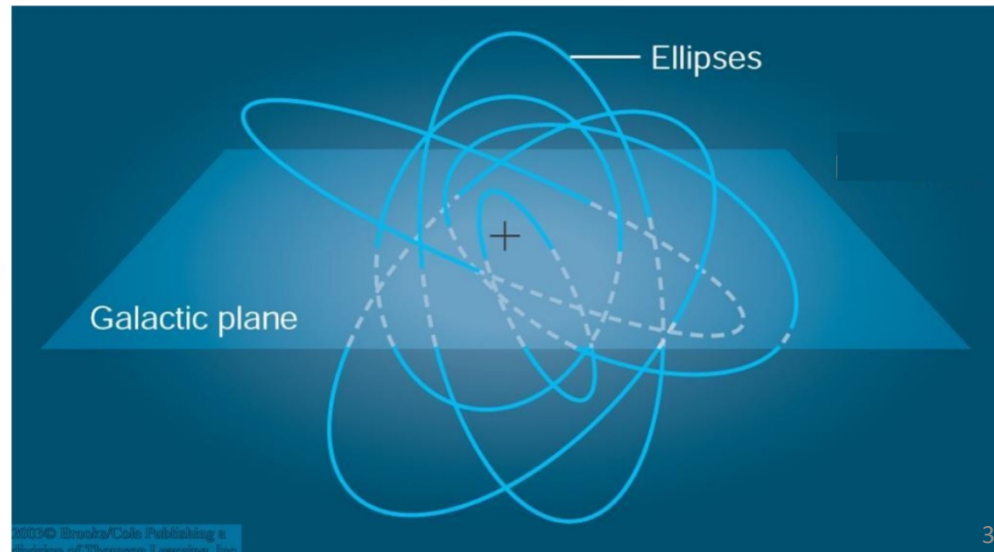
- **População I:**

- estrelas ricas em metais
- + azuis
- no disco da Galáxia
- movimento circular



- **População II:**

- estrelas pobres em metais
- + vermelhas
- no bojo e no halo da Galáxia
- movimento elíptico, fora do disco.

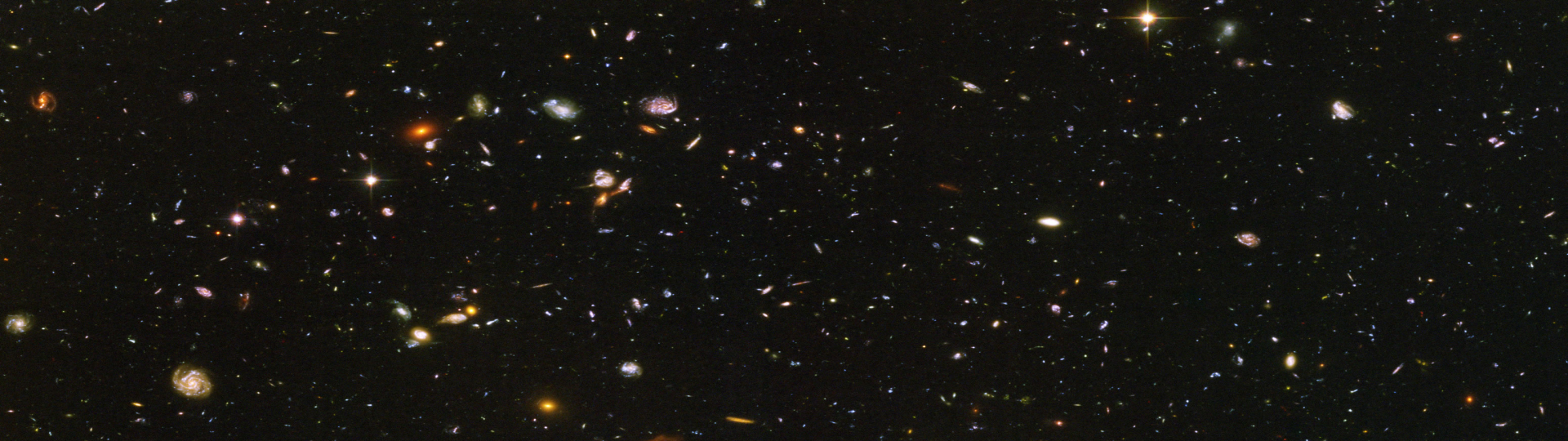


# Populações estelares

## Sumário das propriedades das populações estelares

Propriedade	População I	População II
Localização	disco e braços espirais	bojo e halo
Movimento	confinado ao plano	se afastando do plano
	órbitas quase circulares	órbitas excêntricas
Idade	$< 7 \times 10^9$ anos	$> 7 \times 10^9$ anos
Abundância de elementos pesados	1 - 2 %	0,1 - 0,01%
Cor	azul	vermelha
Exemplos	estrelas O,B	estrelas RR Lyrae
	aglomerados abertos	aglomerados globulares
	regiões HII	nebulosas planetárias

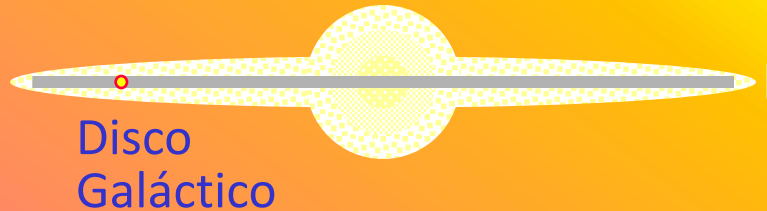
- Abundância está de acordo com o cenário evolutivo de enriquecimento do MIS da Galáxia => através de sucessivas gerações de estrelas.



# Aglomerados Abertos



# Aglomerados Abertos



- Muito numerosos na Galáxia
- De 10 a 1000 estrelas
- Diâmetro com dezenas de anos-luz
- Forma irregular
- Localizadas no Plano Galáctico
- Têm abundância normal de elementos químicos
- Têm idades variadas
- Vários têm estrelas com material pré-ejetado
- Estrelas de População I (composição semelhante à do Sol)

# Aglomerado Aberto Jovem

( NGC 3293 )

New General Catalogue

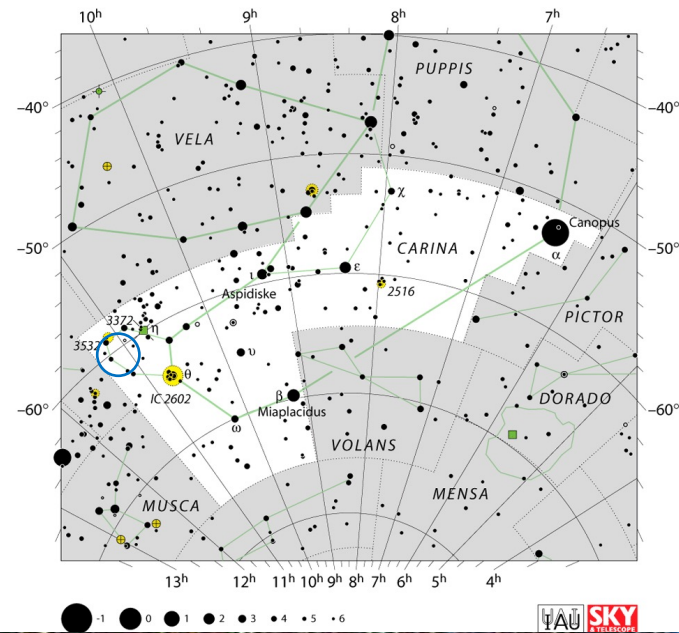




# NGC 3293

## Aglomerado aberto

Constelação: Carina.  
Distância: 7.500 a.l.  
Idade: 35 milhões de anos.  
Região do braço, rica em gás e poeira.



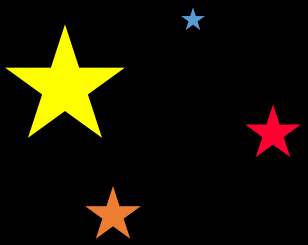
# Plêiades



# Futuro dos aglomerados abertos

As forças de atração gravitacional entre os componentes não são suficientes para manterem o grupo coeso.

A tendência é cada componente deslocar-se para uma direção própria.



Hoje



Futuro

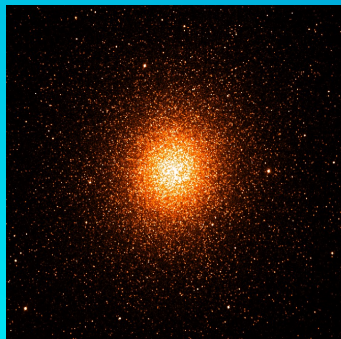
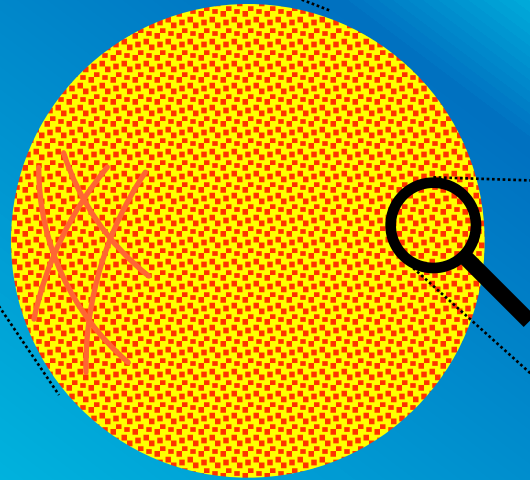
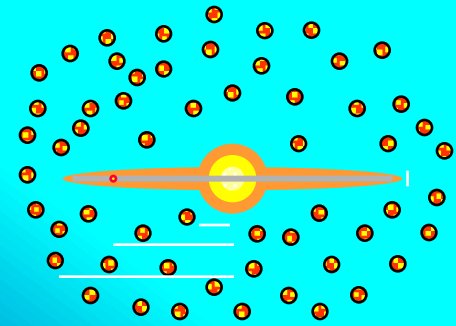
# **Aglomerados Globulares**

# Aglomerados Globulares

- São raros (cerca de 100 na Galáxia)
- Contêm de 100.000 a 1.000.000 de \*\*
- Têm a forma esférica



Aglomerado globular



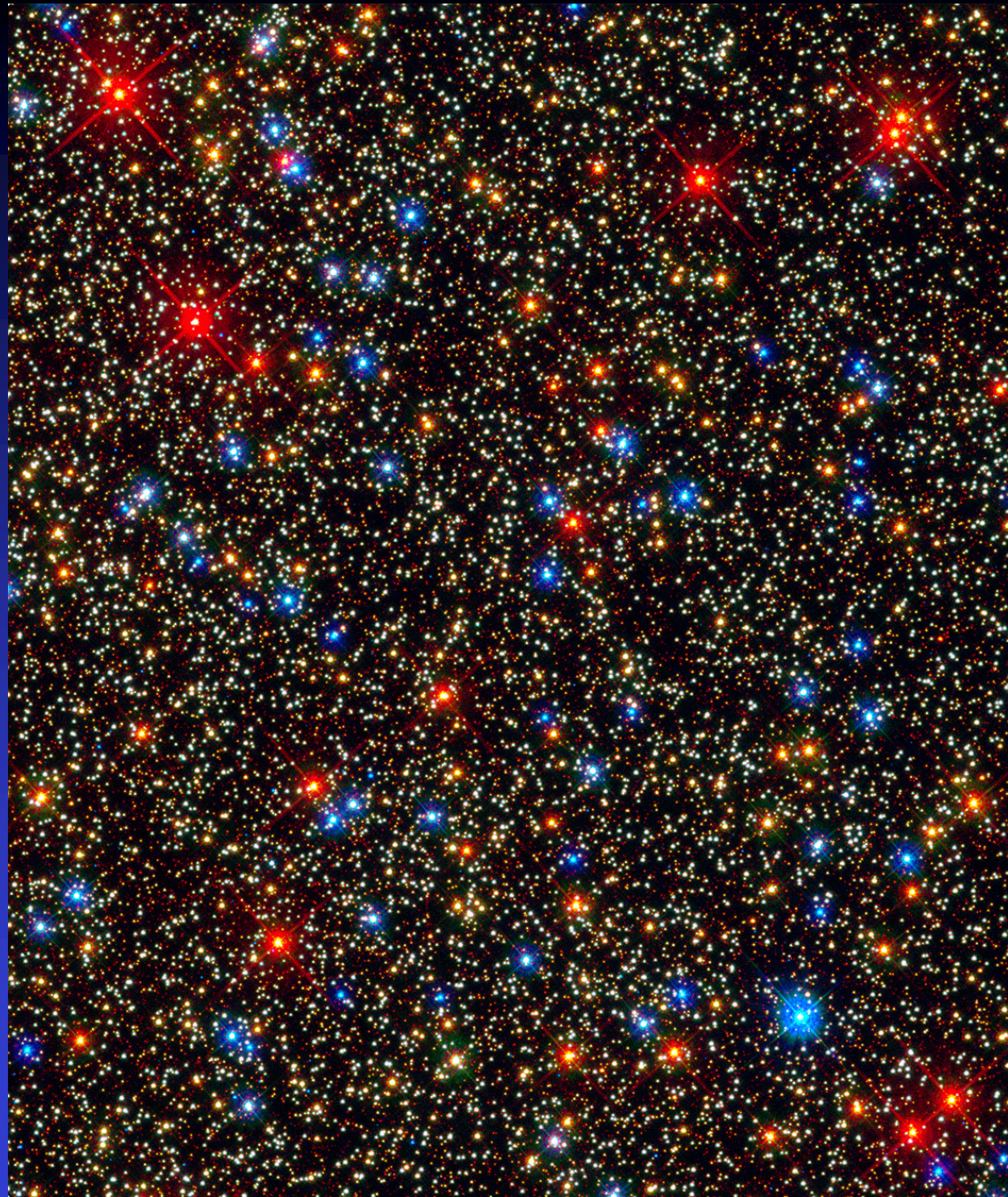
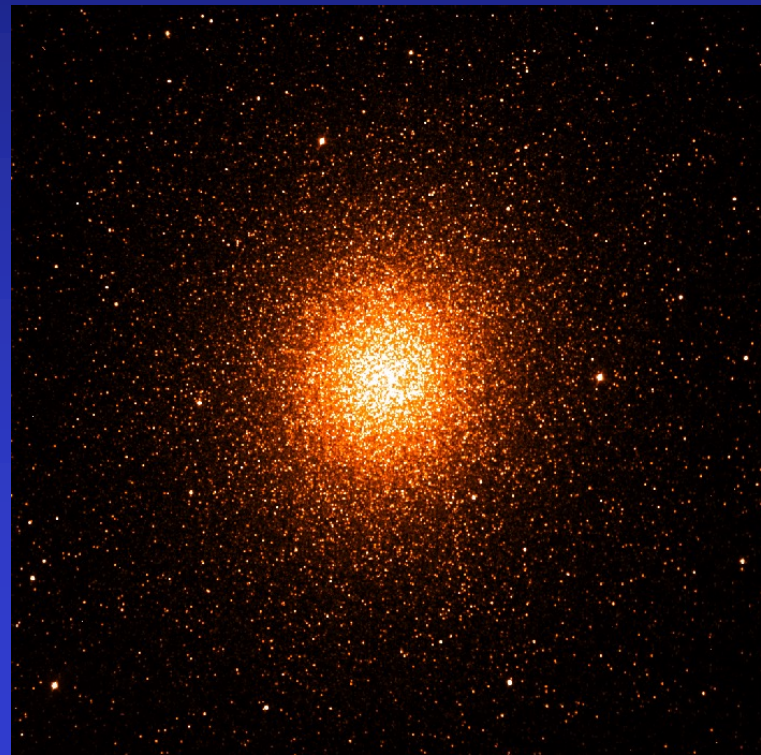
- São de estrelas mais velhas
- Formadas de material primordial da Galáxia
- Estrelas de População II (composição diferente da do Sol)
- Menor abundância de elementos pesados na superfície

# Aglomerado globular

## Ômega Centauro

Aglomerados globulares = ~200  
Distância = 15.000 a.l.  
Diâmetro = 150 a.l.  
10.000.000 estrelas

# Centro do Ômega Centaurus



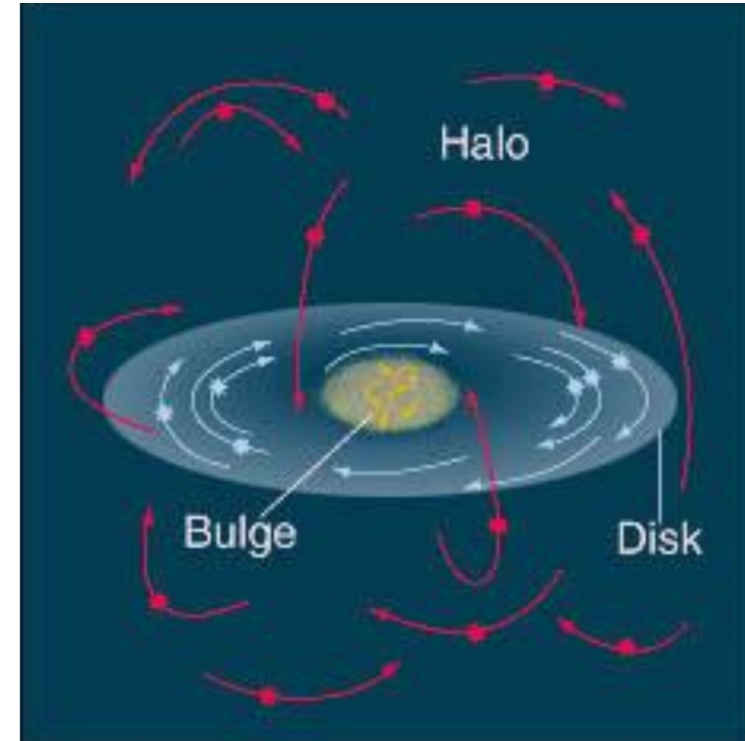
# Distribuição dos aglomerados globulares





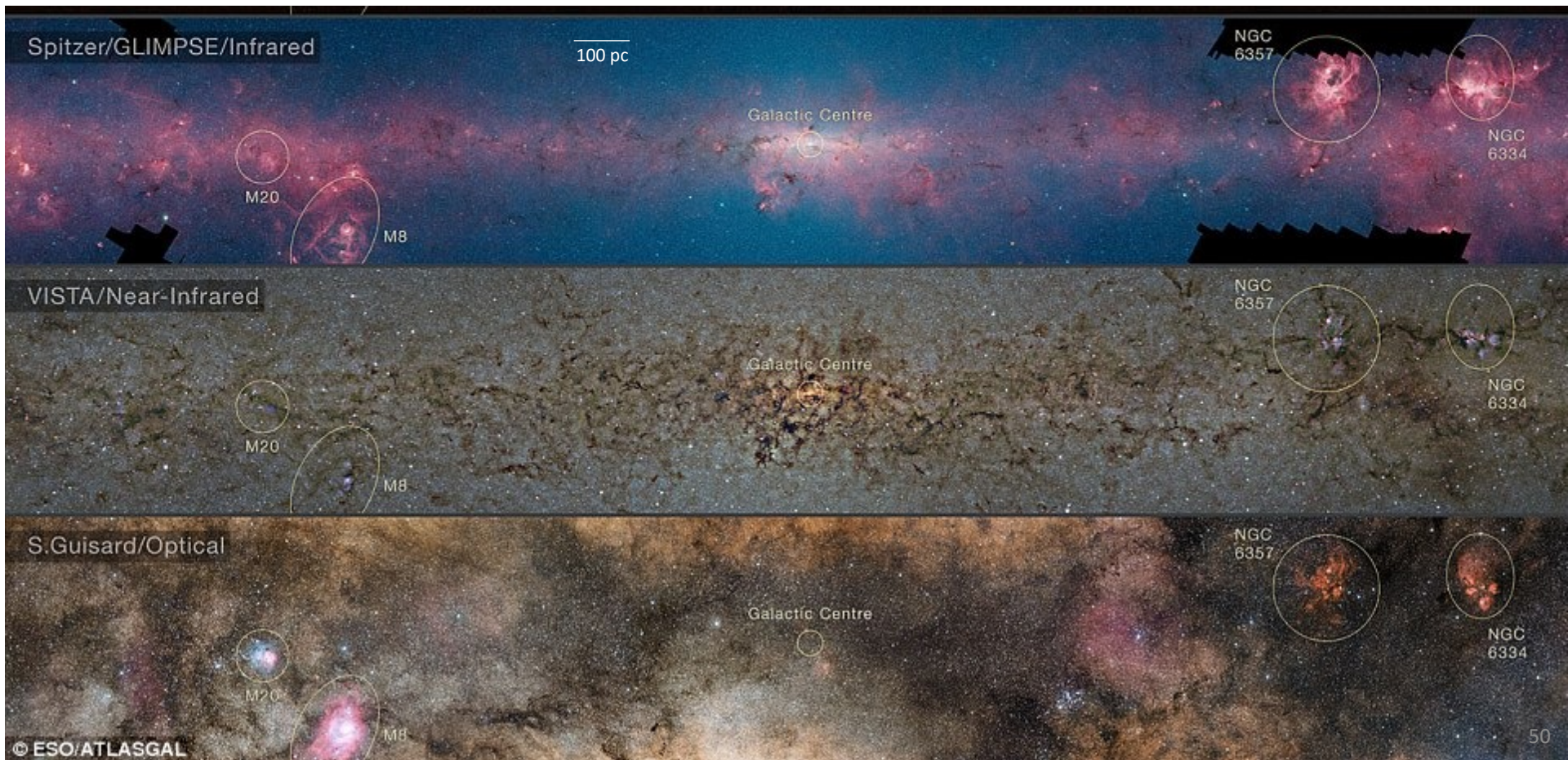
# Movimento orbital da galáctica

- O movimento das estrelas e nuvens ao redor do **CG** sustenta o sistema contra o colapso gravitacional (semelhante ao movimento dos planetas ao redor do Sol).
- O movimento coletivo das componentes do **disco galáctico** orbitando o **CG** é chamado **rotação galáctica**
- Estrelas do disco galáctico giram ordenadamente ao redor do **CG**, enquanto que as estrelas do halo têm órbitas com orientações e excentricidades aleatórias.



# O Centro da Galáxia

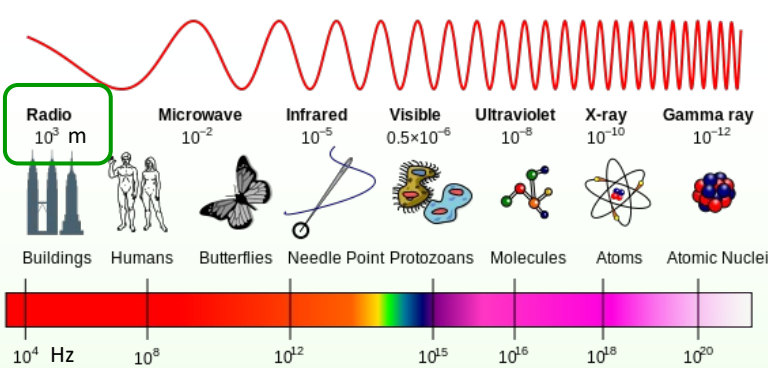
- Núcleo da Galáxia **grande quantidade de estrelas.**
- Absorção interestelar bloqueia a luz visível dos objetos, somente **observáveis no infra-vermelho e em rádio.**



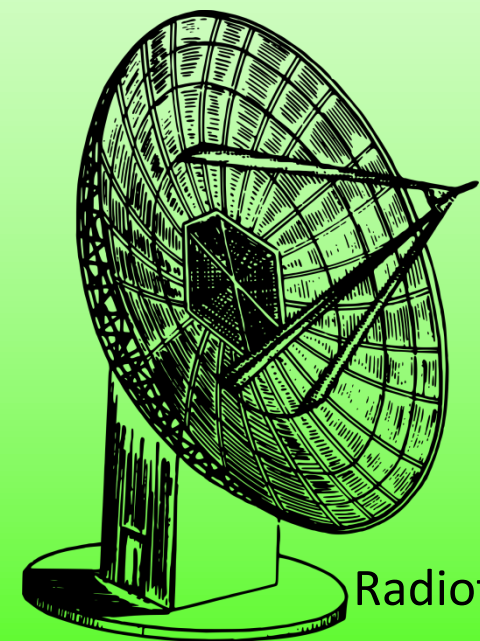
# O Centro da Galáxia

- Núcleo da Galáxia **grande quantidade de estrelas.**
- Absorção interestelar bloqueia a luz visível dos objetos, somente **observáveis no infra-vermelho e em rádio.**

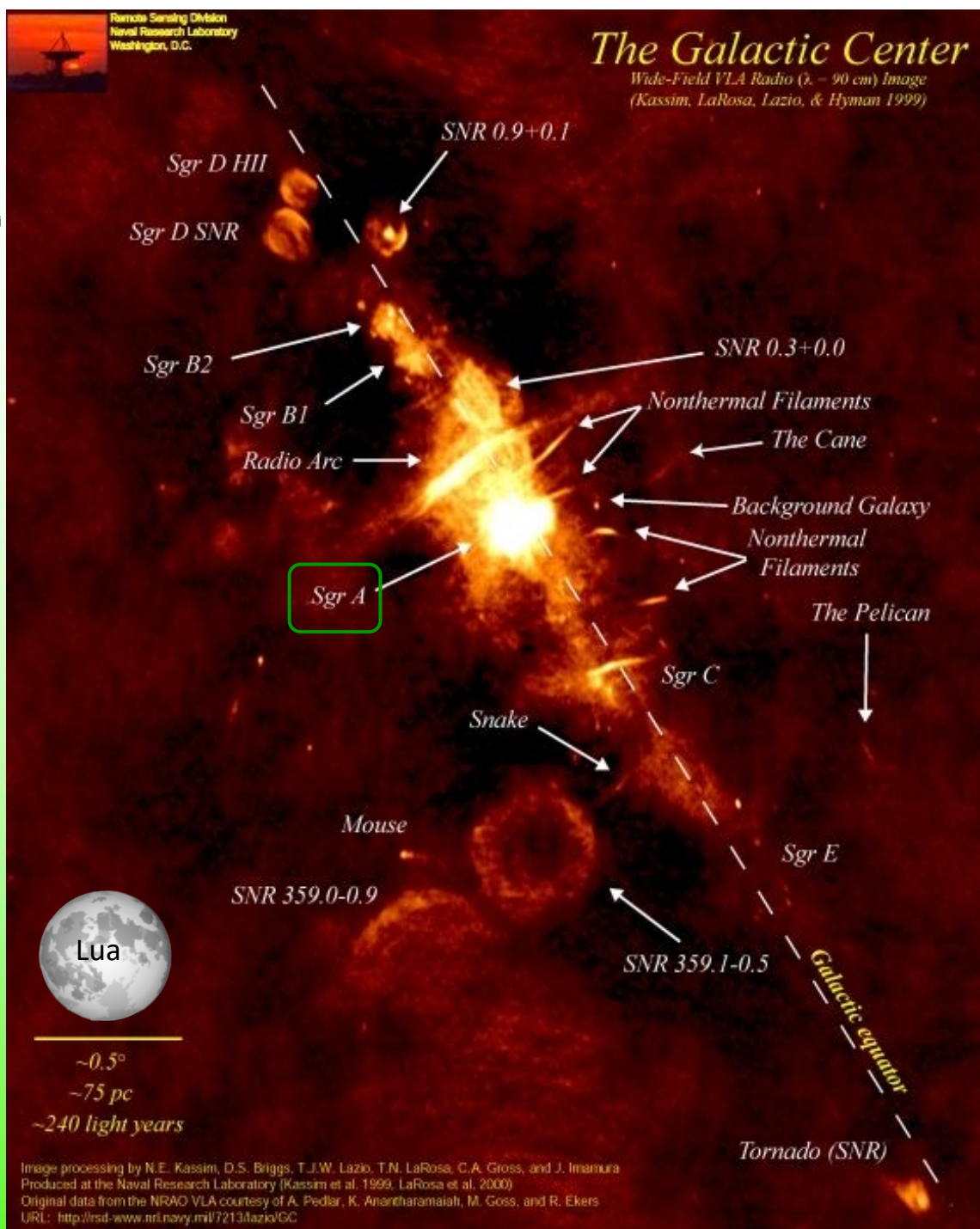




# Centro Galáctico em ondas de rádio



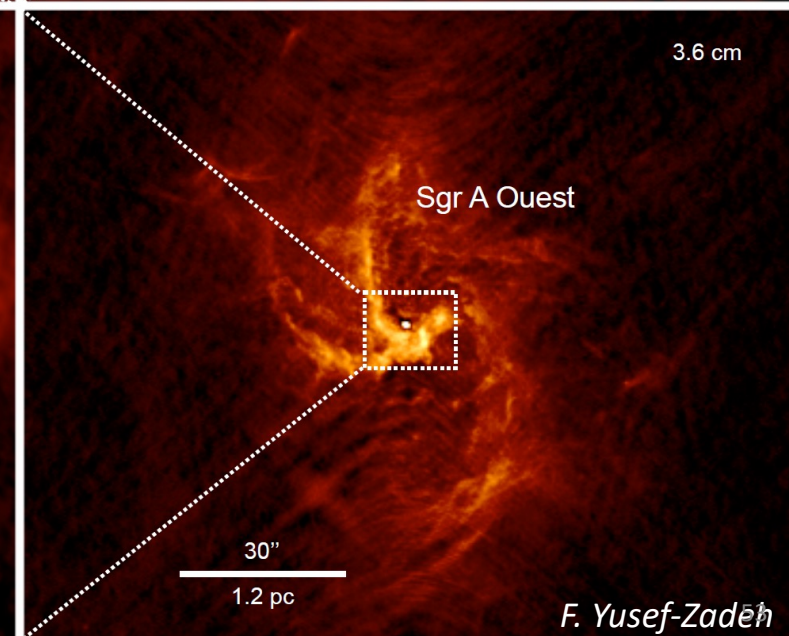
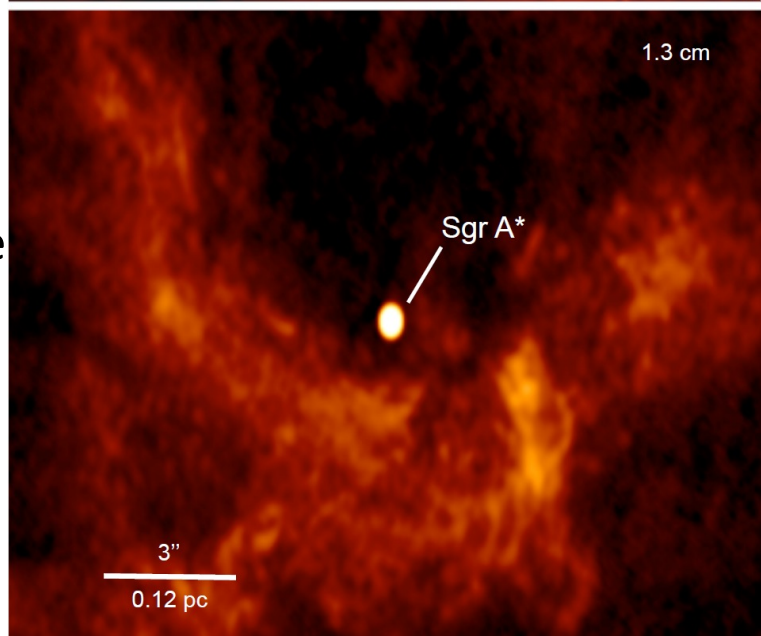
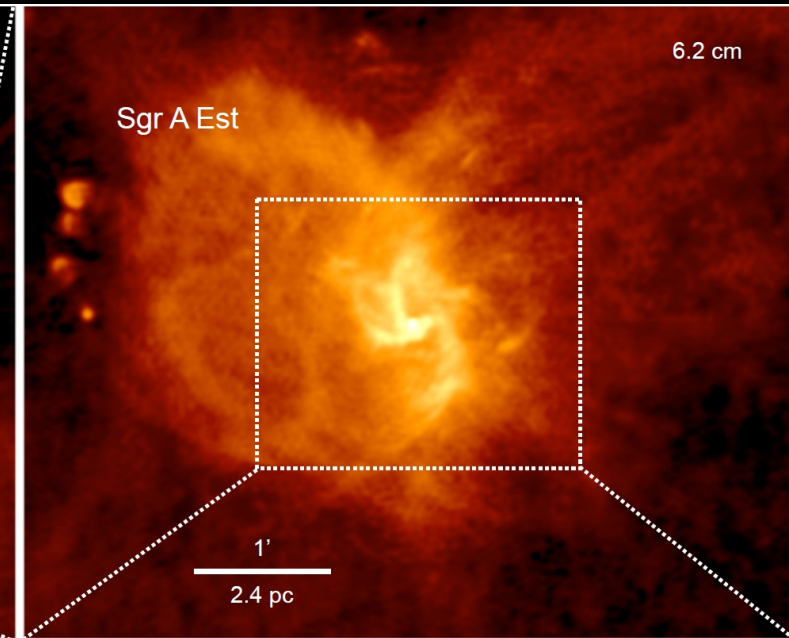
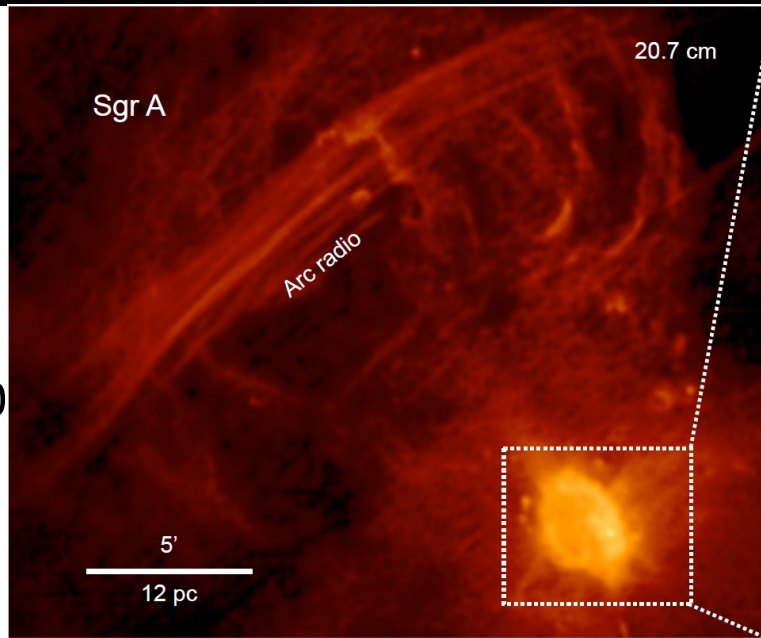
Radiotelescópio



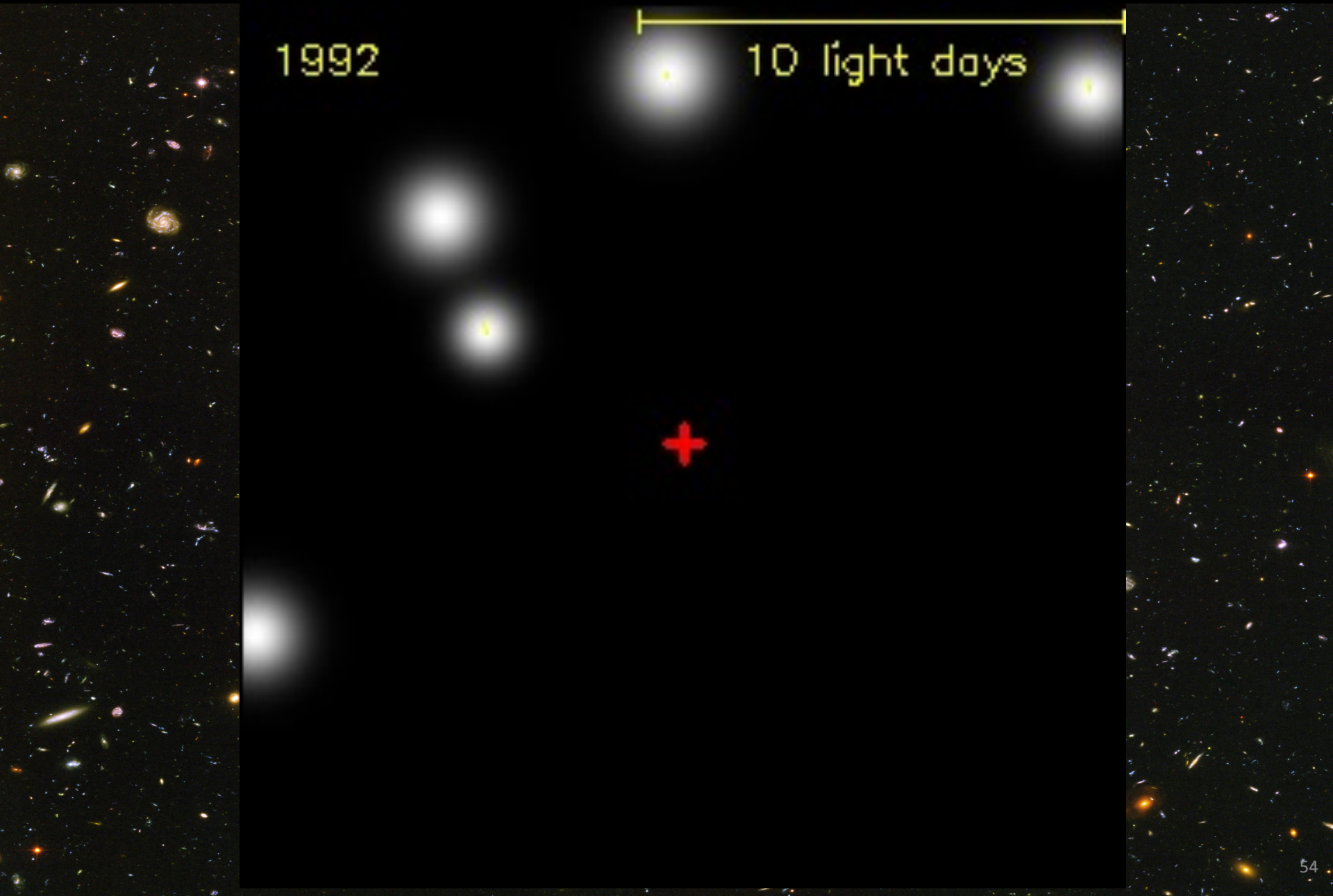
# O Centro da Galáxia em ondas de rádio

- O CG contém uma forte fonte rádio Sagittarius A\* em pequena escala, notam-se filamentos ( $\sim 100$  pc) => presença de fortes campos magnéticos.

- Escalas ainda menores: presença de um anel disco de gas em rotação: dimensão de < alguns parsecs: sugere CG massivo e compacto

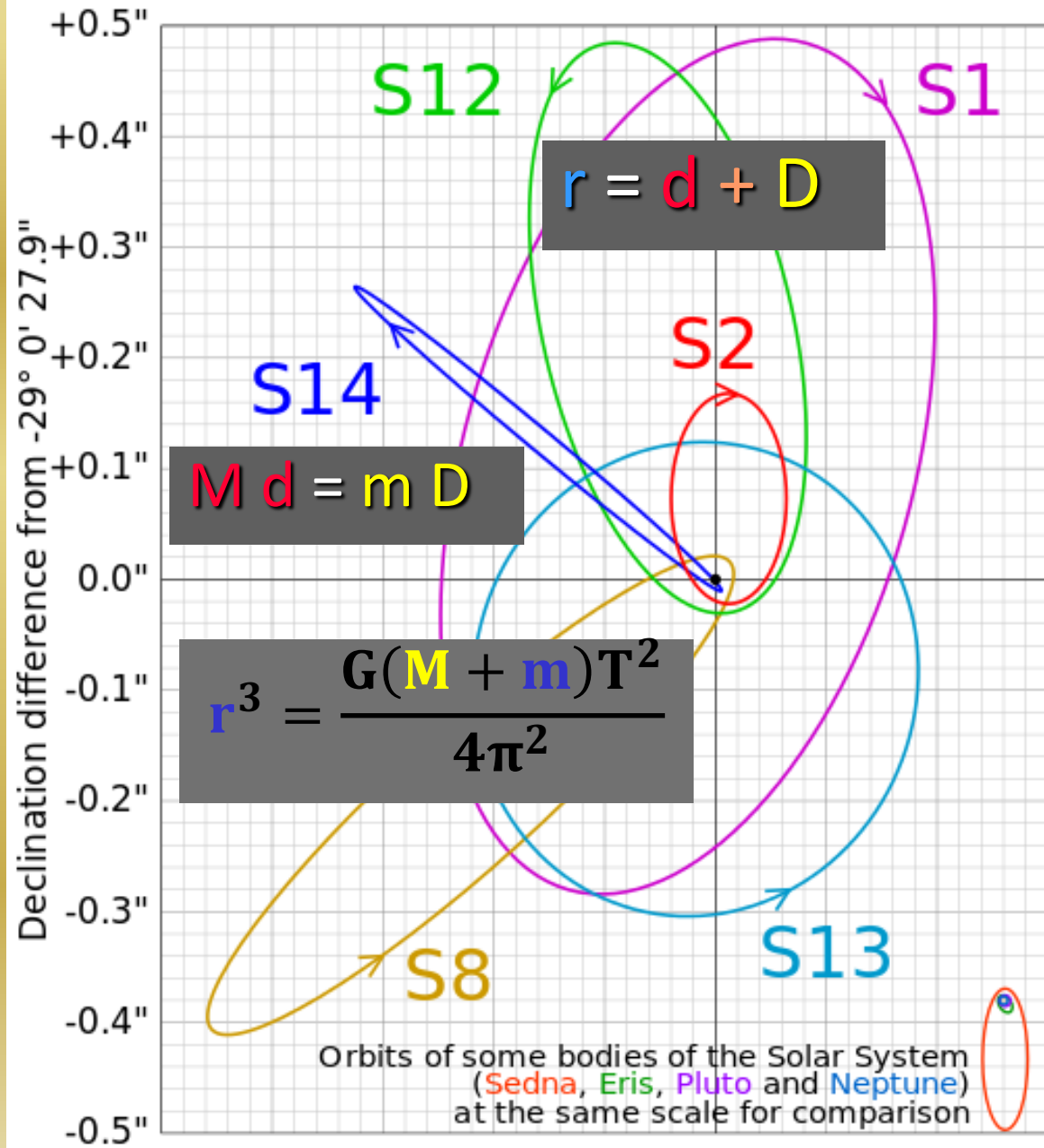


# Sgr A\*: buraco negro supermassivo?



Right Ascension difference from 17h 45m 40.045s

+0.5" +0.4" +0.3" +0.2" +0.1" 0.0" -0.1" -0.2"

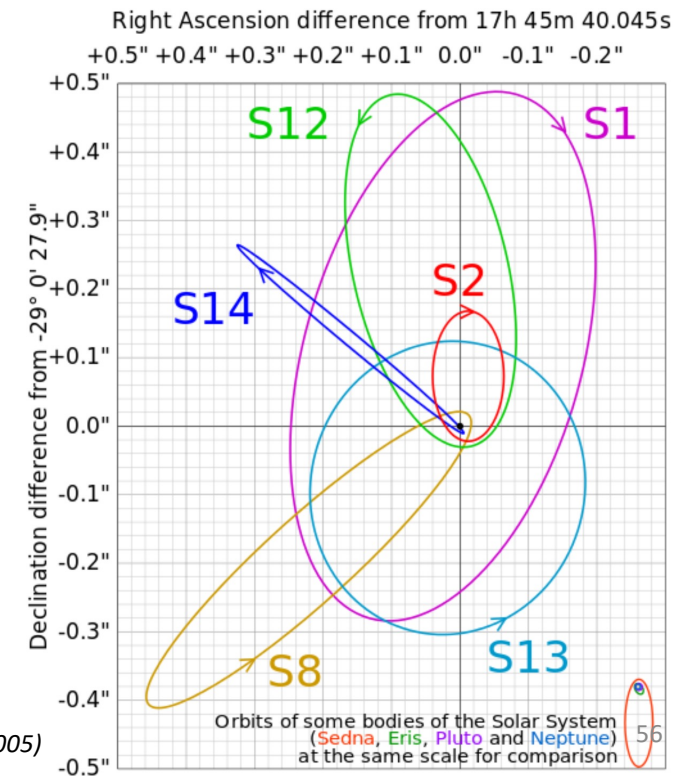
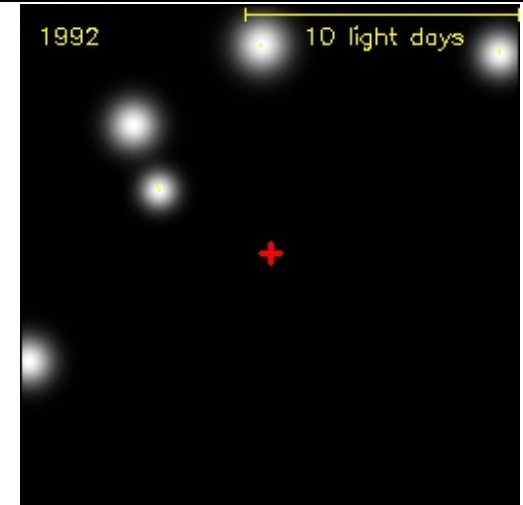


**Órbitas de 6  
estrelas  
massivas em  
torno do  
provável  
Buraco Negro  
do centro da  
Galáxia**

**M , m**

# Sgr A\*: buraco negro supermassivo?

- A estrela S2 segue uma órbita elíptica com um período de 15,2 anos e um pericentro (distância mais próxima) de 17 horas luz ( $1,8 \times 10^{13}$  m) do centro do objeto central.
- A partir do movimento da estrela S2, a massa do objeto pode ser estimada em 4,1 milhões de massas solares. (O raio de Schwarzschild correspondente é de 0,08 UA / 12 milhões de km ; 17 vezes maior que o raio do Sol.)
- O volume do objeto central pode ser ainda mais limitado pela órbita da estrela S0-16 (também conhecida como S14), que chegou a 45 UA sem colidir.
- As estimativas de massa e diâmetro são agora restringidas principalmente pelas incertezas na distância aos objetos.







E quanto às outras galáxias do Universo?



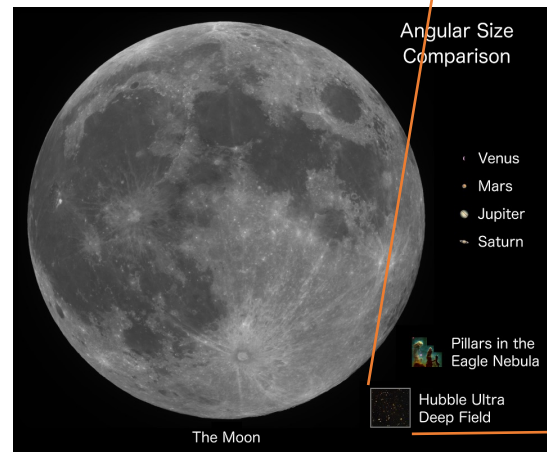
E quanto às outras galáxias do Universo?

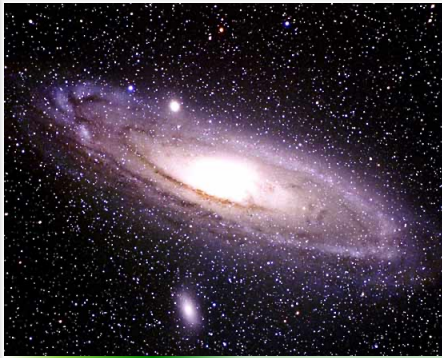
# Galáxias no Universo

- *Hubble Ultra Deep Field* milhares de galáxias de diversas cores e formas.
- 1/13000000 da área do céu
- Imagem indica existência > 100 bilhões de galáxias no Universo observável



HST, NASA and the European Space Agency





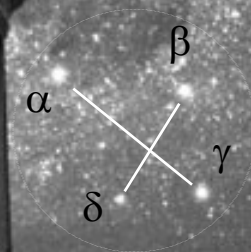
# Objetos extragalácticos visíveis a olho nu,

# Via Láctea e as Nuvens de Magalhães

Pequena  
Nuvem de Magalhães

Grande  
Nuvem de Magalhães

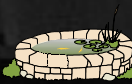
Via Láctea

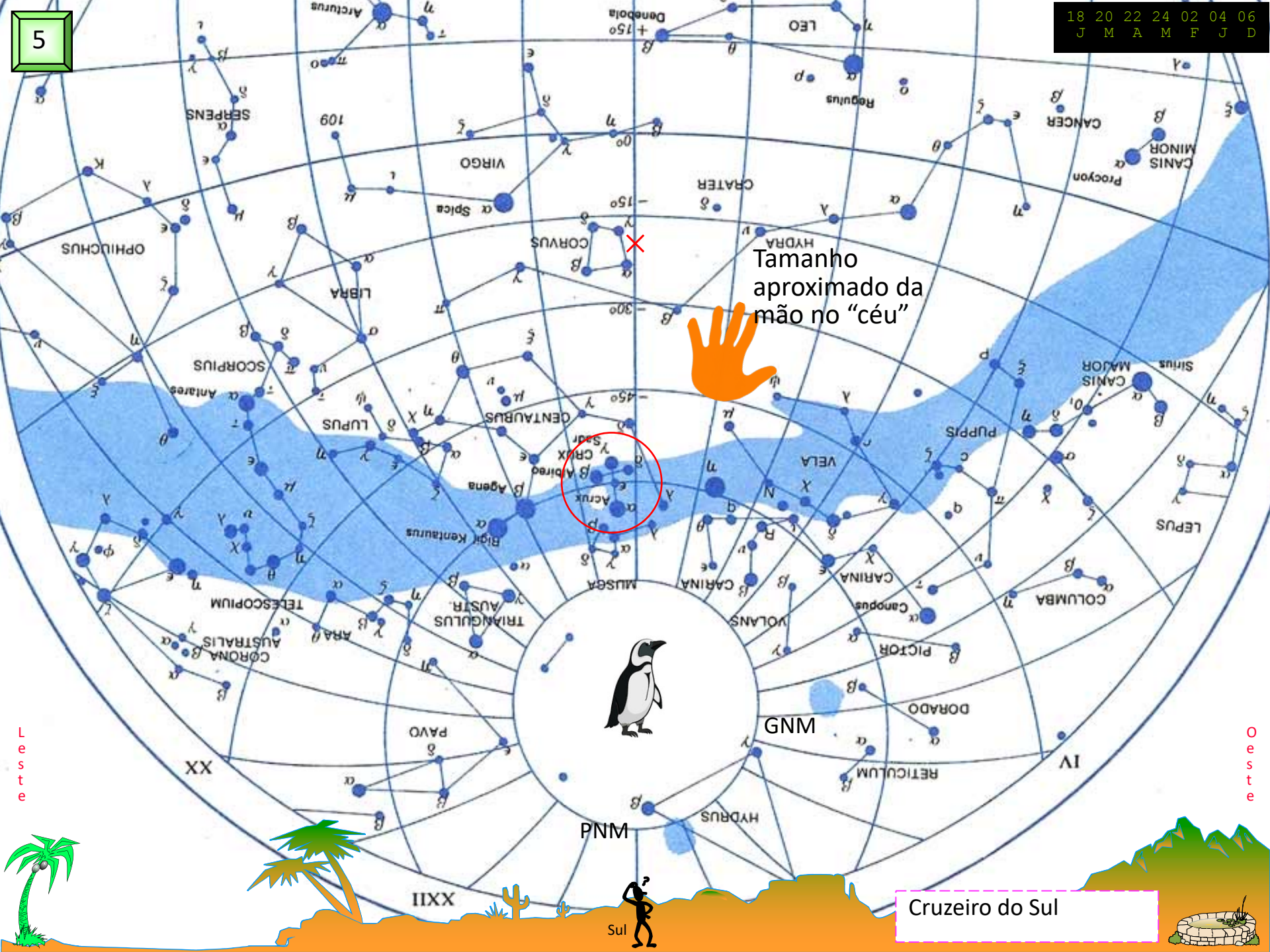


Cruzeiro do Sul

Foto feita no  
CTIO  
Cerro Tololo  
International  
Observatory

Exposição: 20 s





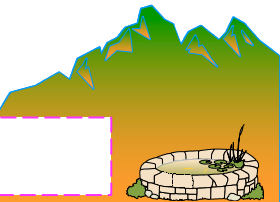
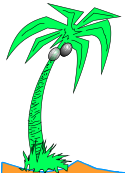
Tamanho aproximado da mão no "céu"



L  
e  
s  
t  
e

O  
e  
s  
t  
e

Cruzeiro do Sul



## Pequena Nuvem

- Irregular
- Diâmetro = 14.000 a.l.
- Distância = 190.000 a.l.
- 2 bilhões de estrelas
- Magnitude aparente = 2,4

# Nuvens de Magalhães

## Grande Nuvem

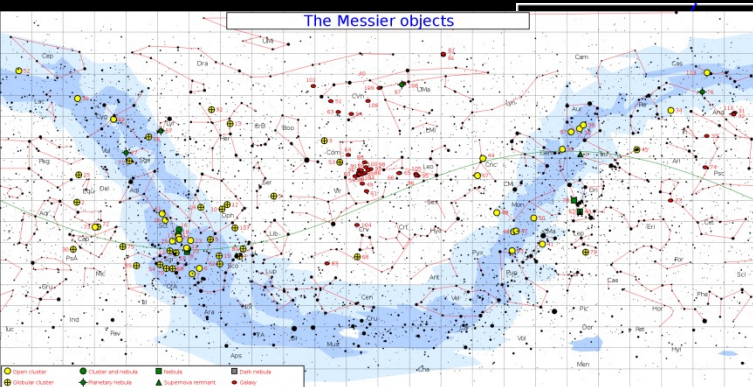
- Irregular
- Diâmetro = 30.000 a.l.
- Distância = 160.000 a.l.
- 10 bilhões de estrelas
- Magnitude aparente = 0,1



# Vendo Andrômeda







# Galáxia de Andrômeda M31

# Andrômeda

Messier 31  
M 31  
NGC 224

Descrita pelo  
persa Al-Sufi em  
964 a.E.C.

Galáxia Espiral Sb  
Diâmetro = 150.000 a.l.  
Distância = 2.000.000 a.l.  
150 bilhões de estrelas  
Magnitude aparente = 3,5

Galáxia espiral

# A Nossa Galáxia e a galáxia de Andrômeda



Andrômeda

2.000.000 anos-luz  
700 kpc

Nossa Galáxia



# Um Pouco de História

- **Immanuel Kant (1724 - 1804) e Thomas Wright (1711 - 1786)**  
: propuseram que a Galáxia é um disco finito de estrelas
  - Kant sugeriu que a fracas *nebulosas elípticas* observadas no céu seriam elas mesmas discos finitos de estrelas fora da Galáxia
  - Ele chamou esses objetos de **universos-ilha**

- **Immanuel Kant (1724 - 1804) e Thomas Wright (1711 - 1786)** : propuseram que a Galáxia é um disco finito de estrelas
  - Kant sugeriu que a fracas *nebulosas elípticas* observadas no céu seriam elas mesmas discos finitos de estrelas fora da Galáxia
  - Ele chamou esses objetos de **universos-ilha**
- **Charles Messier (1730 -1817)**: catalogou 103 nebulosas no seu famoso catálogo Messier
- **J.L.E. Dreyer (1852 - 1906)**: publicou o **New General Catalog (NGC)** baseado em observações de William Herschel e seu filho Sir John Hersche do hemisfério sul
  - o catálogo NGC continha quase 8000 objetos e muitos identificados como aglomerados estelares, e outros como nebulosas gasosas

# Universos-ilhas

- **Immanuel Kant (1724 - 1804) e Thomas Wright (1711 - 1786)**  
: propuseram que a Galáxia é um disco finito de estrelas
  - Kant sugeriu que a fracas *nebulosas elípticas* observadas no céu seriam elas mesmas discos finitos de estrelas fora da Galáxia
  - Ele chamou esses objetos de **universos-ilha**
- **Charles Messier (1730 -1817)**: catalogou 103 nebulosas no seu famoso catálogo Messier
- **J.L.E. Dreyer (1852 - 1906)**: publicou o **New General Catalog (NGC)** baseado em observações de William Herschel e seu filho Sir John Hersche do hemisfério sul
  - o catálogo NGC continha quase 8000 objetos e muitos identificados como aglomerados estelares, e outros como nebulosas gasosas

Até 1908, cerca de 15 000 nebulosas haviam sido catalogadas e descritas, no entanto sua natureza continuava inexplicada  
=> **distância desconhecida**

# O *Grande Debate*

O ***Grande Debate*** do início do século em abril de 1920, frente à Academia Nacional de Ciências: as nebulosas espirais se encontram dentro ou fora da nossa Galáxia?



# O Grande Debate

O **Grande Debate** do início do século em abril de 1920, frente à Academia Nacional de Ciências: as nebulosas espirais se encontram dentro ou fora da nossa Galáxia?

- **Harlow Shapley (1885-1972)**: defendia que as nebulosas se encontram na Galáxia. Seus argumentos:
- se o disco de Andrômeda (M31) fosse tão grande quanto ao da Via-Láctea (pelas suas estimativas  $\sim 100$  kpc), uma *nova* recentemente observada em M31 seria muito mais luminosa que *novas* observadas na Via-Láctea
  - existiam observações que mostravam movimento próprio de M101 indicando que se ela fosse tão grande quanto a VL, as velocidades de rotação seriam absurdamente grandes → (mais tarde essas observações foram desmentidas)

# O Grande Debate

O **Grande Debate** do início do século em abril de 1920, frente à Academia Nacional de Ciências: as nebulosas espirais se encontram dentro ou fora da nossa Galáxia?

- **Harlow Shapley (1885-1972):** defendia que as nebulosas se encontram na Galáxia. Seus argumentos:
  - se o disco de Andrômeda (M31) fosse tão grande quanto ao da Via-Láctea (pelas suas estimativas  $\sim 100$  kpc), uma *nova* recentemente observada em M31 seria muito mais luminosa que *novas* observadas na Via-Láctea
  - existiam observações que mostravam movimento próprio de M101 indicando que se ela fosse tão grande quanto a VL, as velocidades de rotação seriam absurdamente grandes → (mais tarde essas observações foram desmentidas)
- **Heber Doust Curtis (1872-1942):** defendia a idéia oposta, de que eram objetos extragalácticos. Seus argumentos:
  - a *nova* observada em M31 deveria estar a uma distância de 150 kpc, portanto M31 deveria ter um tamanho de  $\sim 20$  kpc (Via-Láctea de Kapteyn)
  - as velocidades radiais dessas nebulosas indicavam que elas escapariam da Galáxia, em um modelo de Kapteyn.
  - Dentro da Galáxia, se suas velocidades transversais fossem iguais as vel. radiais, nós poderíamos medir movimento próprio (o que não era o caso)

# Quem ganhou o debate?

**Nenhum dos dois...**

# Quem ganhou o debate?

Nenhum dos dois...



Somente em 1923 **Edwin Powell Hubble (1889-1953)** proporcionou a evidência definitiva para considerar as "nebulosas espirais" como galáxias independentes, ao identificar uma variável Cefeida na "nebulosa" de Andrômeda (M31).

- A partir da relação conhecida entre período e luminosidade das Cefeidas Hubble estimou a distância de Andrômeda a 700 kpc, bem além dos limites da nossa Galáxia, que tem ~30 kpc.
- **A nossa Galáxia é somente uma dentre uma quantidade imensa de galáxias no Universo**

# Galáxias

AAT 8



AAT 58



AAT 17



© IAC/RGO/D. Malin



© Anglo-Australian Observatory



O que é uma galáxia?

# Galáxias

Uma galáxia é um grande sistema de diversos corpos gravitacionalmente ligados.



NGC 4414  
Galáxia espiral  
Constelação: Coma Berenices  
Diâmetro: 55 mil anos-luz  
Distância: 60 milhões de anos-luz

## Componentes

- ❑ Estrelas (de  $10^7$  a  $10^{14}$ )
  - ❖ planetas e satélites
- ❑ Remanescentes de estrelas
- ❑ Meio interestelar
  - ❖ gás
  - ❖ poeira
  - ❖ raios cósmicos
  - ❖ campos de radiação
  - ❖ matéria escura (!?)
- ❑ Buracos negros
  - ❖ comuns
  - ❖ supermassivos

# Tamanho e população das galáxias

Galáxia anã



Diâmetro  
3 kAL  
~3.000

Número de estrelas  
10 M\*\*  
~10.000.000

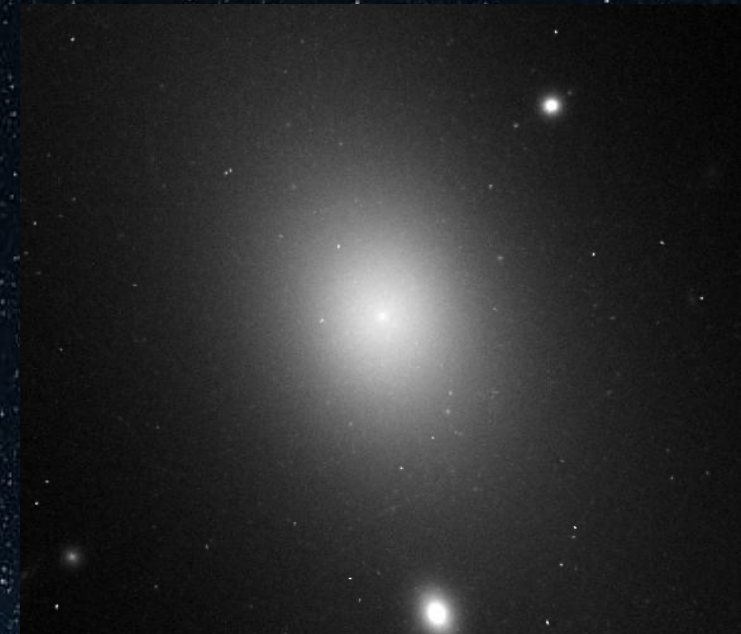
Nossa Galáxia



Diâmetro  
100 kAL  
~100.000

Número de estrelas  
150 G\*\*  
~150.000.000.000

Galáxia super-gigante

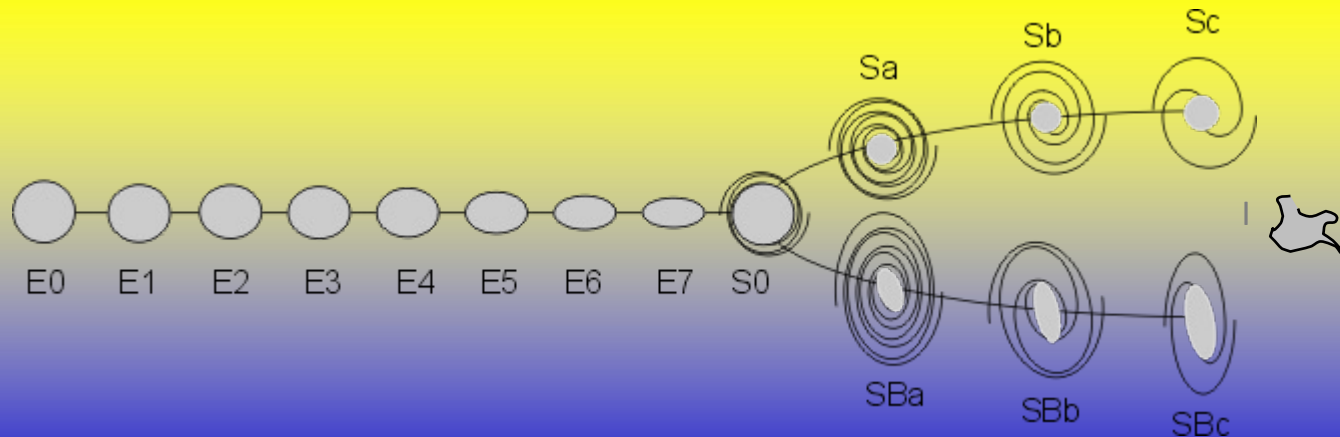


Diâmetro  
300 kAL  
~300.000

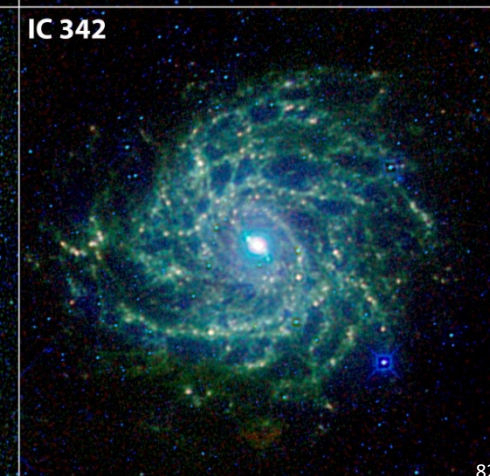
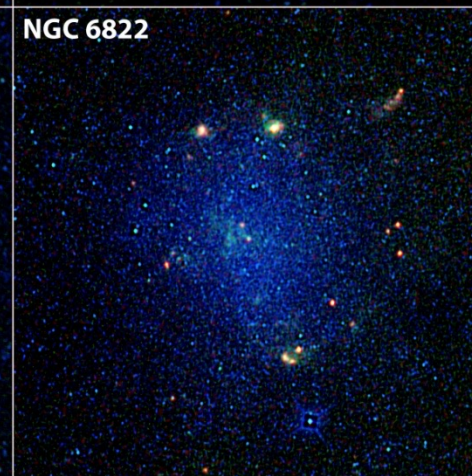
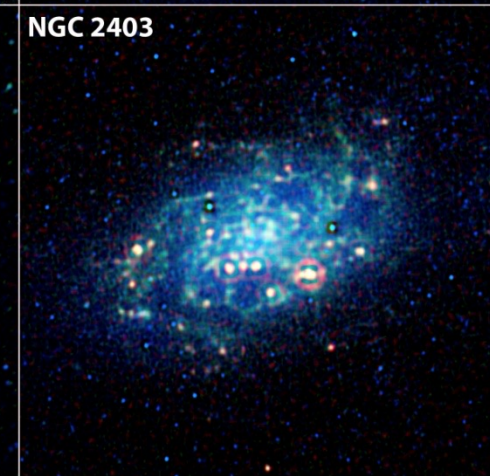
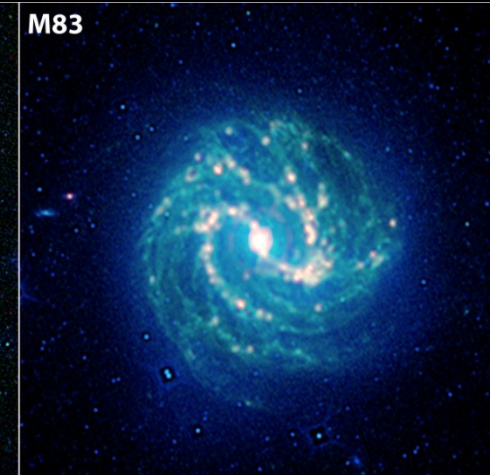
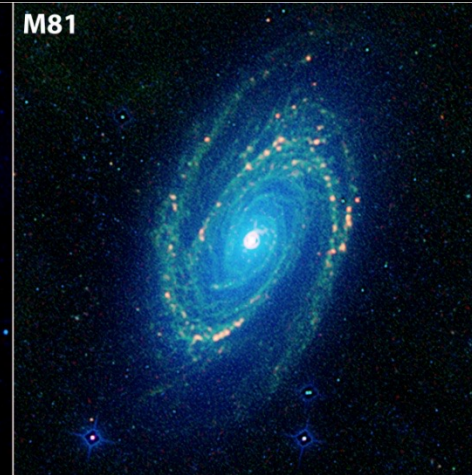
Número de estrelas  
100 T\*\*  
~100.000.000.000.000



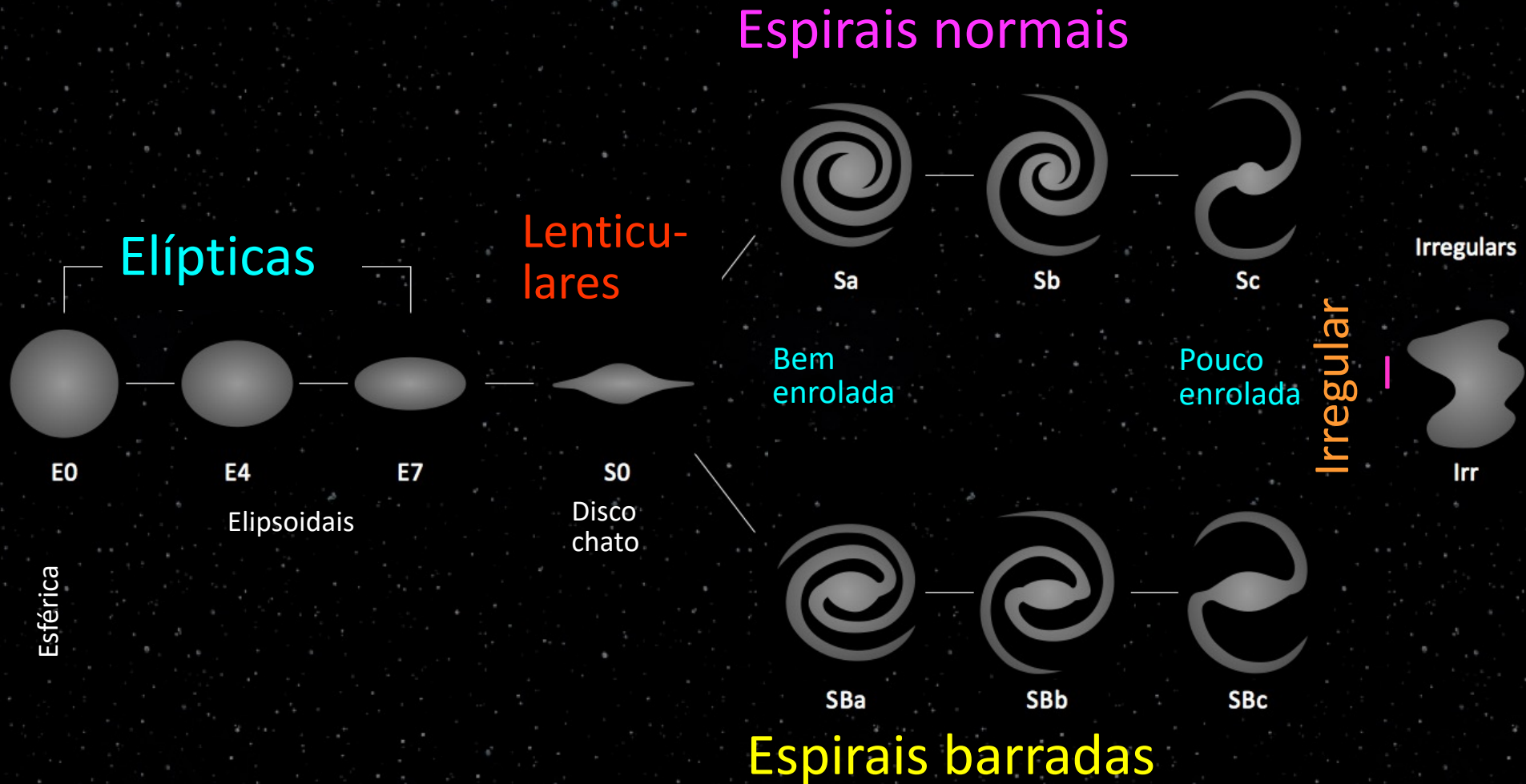
# Classificação morfológica (em função de suas formas) básica das galáxias



# Aspecto de diversas galáxias



# Classificação de galáxias segundo Hubble



# Galáxias espirais (S)

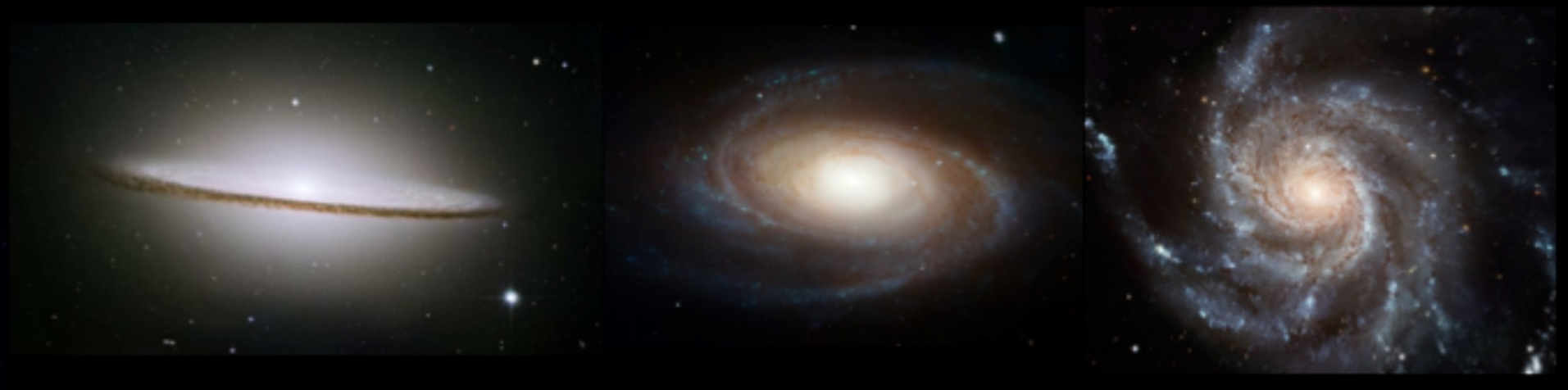
Possuem um núcleo, um disco, um halo, e braços espirais.

Galáxias espirais típicas (S):

Sa

Sb

Sc



- subdivididas nas categorias Sa, Sb e Sc, de acordo com o grau de desenvolvimento e enrolamento dos braços espirais e com o tamanho do núcleo comparado com o do disco

<b>a</b>	núcleo maior, braços pequenos e bem enrolados
<b>b</b>	núcleo e braços intermediários
<b>c</b>	núcleo menor, braços grandes e mais abertos

# Galáxias espirais (S)

Possuem um núcleo, um disco, um halo, e braços espirais.

## Galáxias espirais típicas (S):

Sa

Sb

Sc



- subdivididas nas categorias Sa, Sb e Sc, de acordo com o grau de desenvolvimento e enrolamento dos braços espirais e com o tamanho do núcleo comparado com o do disco
- Nos braços espirais: material interestelar, nebulosas gasosas, poeira, e estrelas jovens, incluindo as super-gigantes luminosas, aglomerados abertos
- Aglomerados globulares no halo
- População estelar típica: estrelas jovens no disco e velhas nos halos

# Galáxias espirais (S)

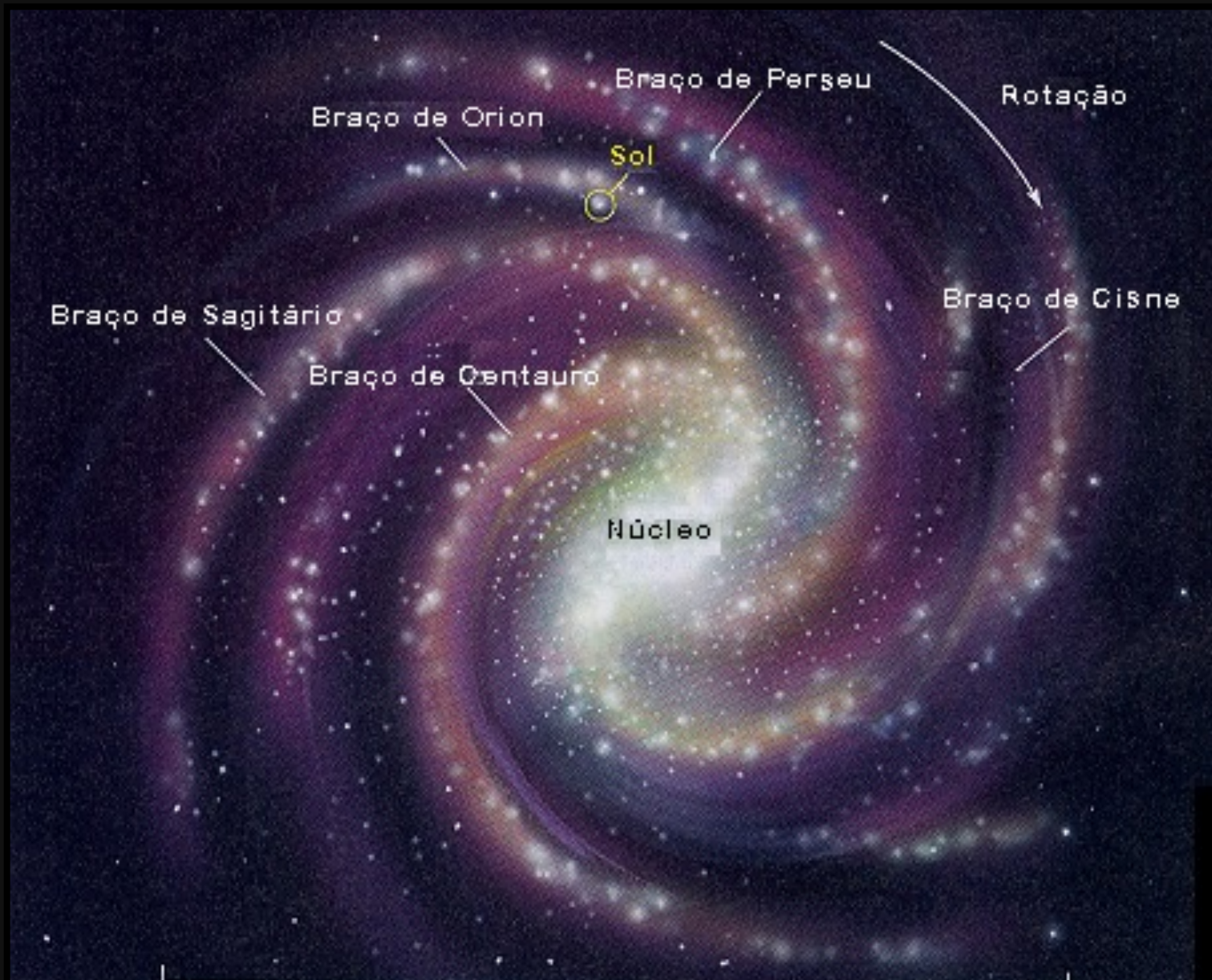
Possuem um núcleo, um disco, um halo, e braços espirais.

## Galáxias espirais barradas (SB):



- Modelos sugerem: barras parecem formar-se em galaxias com menor quantidade de matéria escura (ME).
- Há 2 galaxias espirais normais para cada barrada:

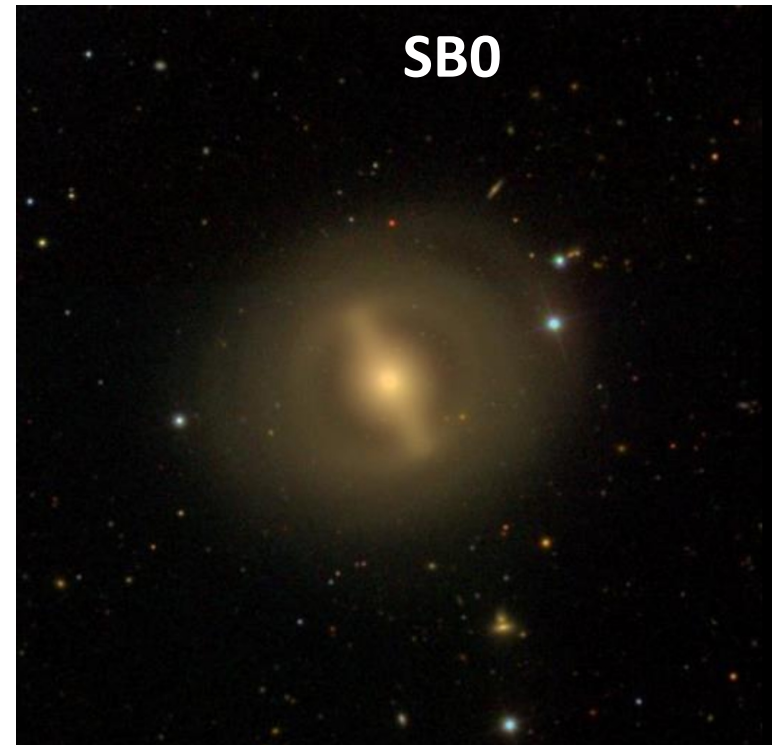
<b>a</b>	núcleo maior, braços pequenos e bem enrolados
<b>b</b>	núcleo e braços intermediários
<b>c</b>	núcleo menor, braços grandes e mais abertos



**Nossa Galáxia: tipo Sb (ou SBb ?)**

# Galáxias lenticulares (S0)

Possuem núcleo, disco e halo, mas não têm traços de estrutura espiral.



- Concentração central de estrelas importante
- Têm um envoltório ao redor do núcleo (com estrelas, alguma poeira, e pouco ou nenhum gas)



# Galáxias elípticas

Apresentam forma esférica ou elipsoidal, e não têm estrutura espiral.



- São chamadas de  **$E_n$** , onde  **$n=10(a-b)/a$** , sendo  $a$  o semi-eixo maior e  $b$  o semi-eixo menor.
- Têm pouco gás, pouca poeira e poucas estrelas jovens.
- Galáxias elípticas variam muito de tamanho, desde super-gigantes (cD) até anãs (dE e dSph).

# Elíptica Gigante: M87

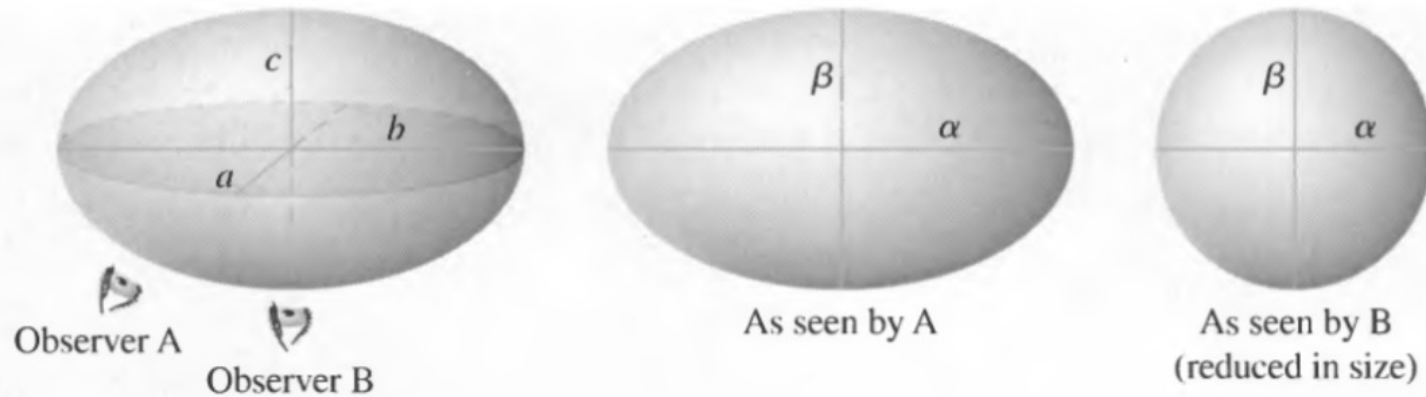
M87: no centro  
do aglomerado  
de galaxias de  
COMA

- Massa =  $2 \times 10^{12} M_{\text{sol}}$



# Galáxias elípticas

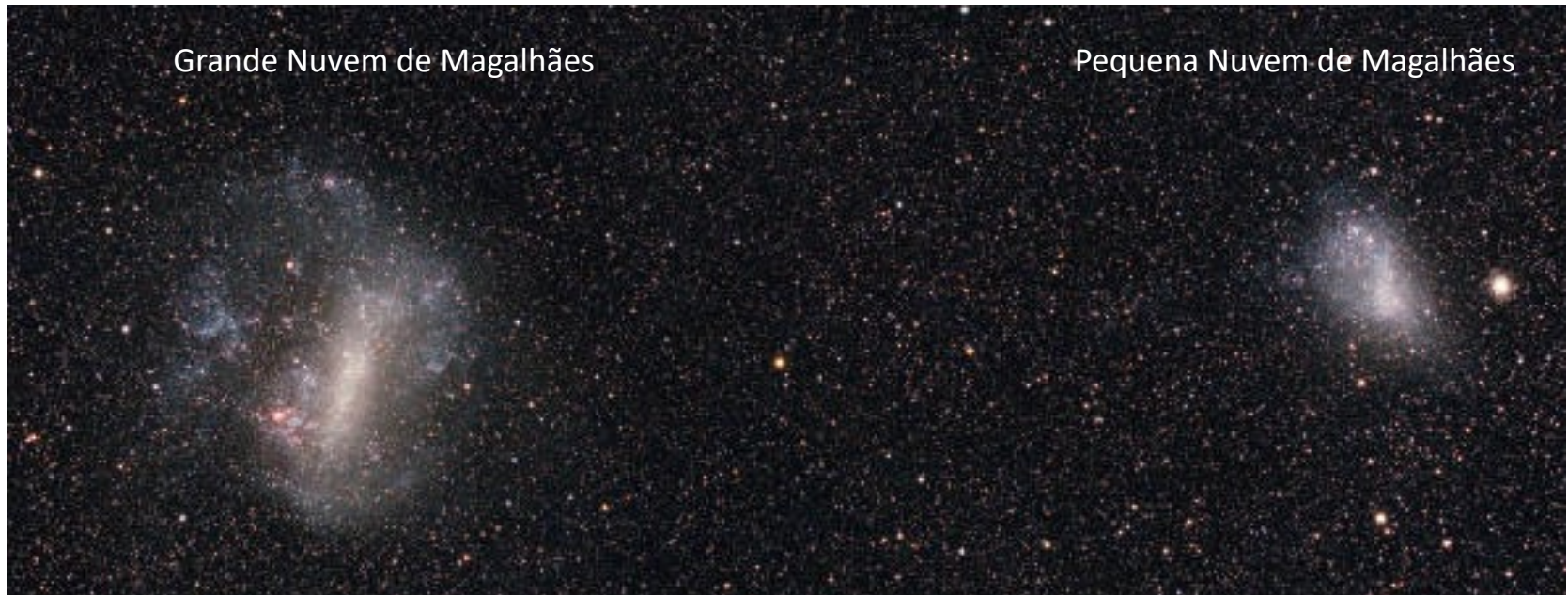
Hubble baseou sua classificação na aparência da galáxia, não na sua verdadeira forma.



**FIGURE 25.2** An oblate spheroidal galaxy has axis lengths  $a = b$  and  $c < a$ . If  $c/a = 0.6$ , the apparent shape resembles an E4 galaxy ( $\beta/\alpha = 0.6$ ) when seen by observer A. The same galaxy appears as an E0 when seen by observer B ( $\beta/\alpha = 1$ ).

# Galáxias irregulares

Privadas de qualquer simetria circular ou rotacional

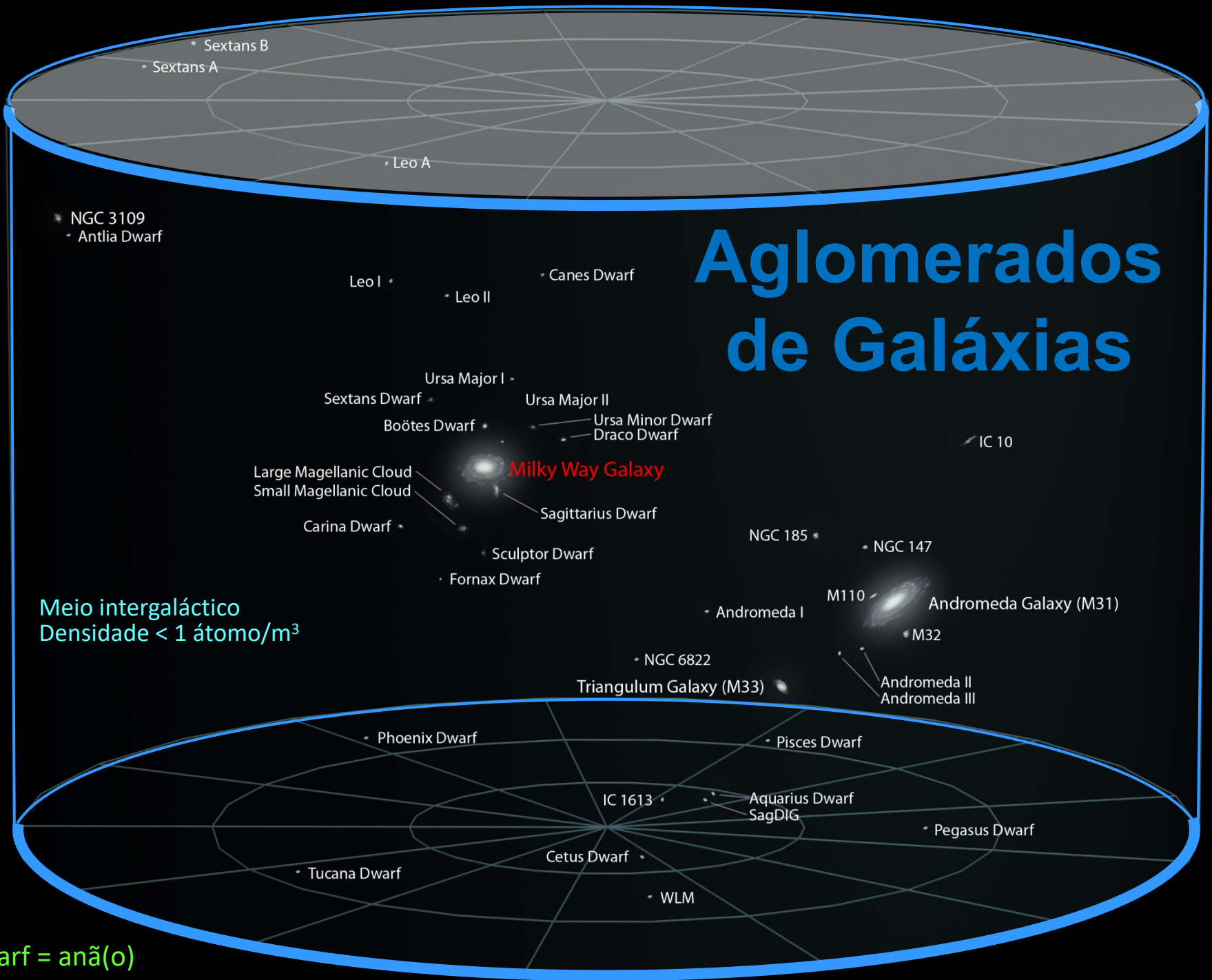


- Muitas irregulares parecem estar sofrendo **atividade de formação estelar** relativamente intensa, sua aparência sendo dominada por estrelas jovens brilhantes e nuvens de gás ionizado distribuídas irregularmente
- Observações na linha de 21 cm do hidrogênio mostra a existência de um **disco de gás** similar ao das galáxias espirais.
- Galáxias irregulares lembram as espirais no seu **conteúdo estelar**, que inclui estrelas de **população I e II (jovens e velhas)**



Onde estão e como se distribuem as galáxias?

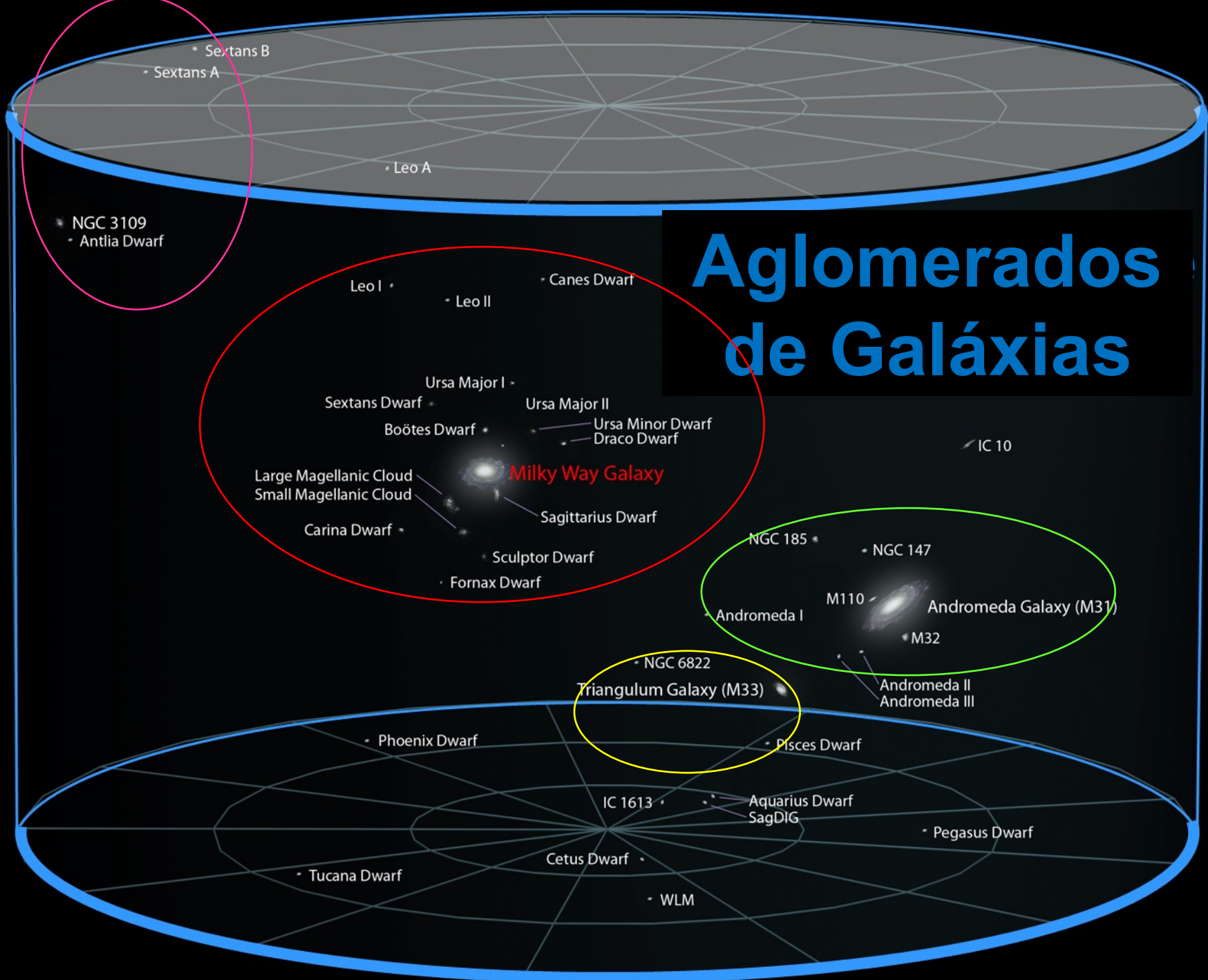
# Aglomerados de Galáxias



Meio intergaláctico  
Densidade  $< 1 \text{ átomo/m}^3$

Dwarf = anã(o)

# Aglomerados de Galáxias



## O sistema da Via Láctea

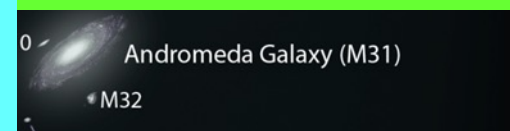
Anã de Sagittarius,  
Grande Nuvem de Magalhães,  
Pequena Nuvem de Magalhães,  
Anã de Canis Major,  
Anã da Ursa Minor,  
Anã de Draco,  
Anã de Carina,  
Anã de Sextans,  
Anã de Sculptor,  
Anã de Fornax,  
Leo I,  
Leo II e  
Anãs da Ursa Maior I e II.

## Membros gravitacionalmente separados dos subgrupos maiores:

IC 10,  
IC 1613,  
Anã de Phoenix,  
Leo A,  
Anã de Tucana,  
Anã de Cetus,  
Anã Irregular de Pegasus,  
Wolf-Lundmark-Melotte,  
Anã de Aquarius e  
Anã Irregular de Sagittarius.

## O sistema de Andrômeda :

M32,  
M110,  
NGC 147,  
NGC 185,  
Andrômeda I,  
Andrômeda II,  
Andrômeda III,  
Andrômeda IV,  
Andrômeda V,  
Anã Esferoidal de Pegasus VI,  
Anã de Cassiopeia VII,  
Andrômeda VIII,  
Andrômeda IX e  
Andrômeda X.



A Galáxia do Triângulo, a única espiral não barrada no Grupo Local, podendo ou não ser uma companheira da Galáxia de Andrômeda, apenas tem uma galáxia satélite, Pisces (LGS 3).



A qualificação de membro para **NGC 3109**, e suas companheiras **Sextans A** e **Antlia**, é duvidosa devido as suas extremas distâncias para o centro do Grupo Local.



# Super-glomerado Local de Galáxias

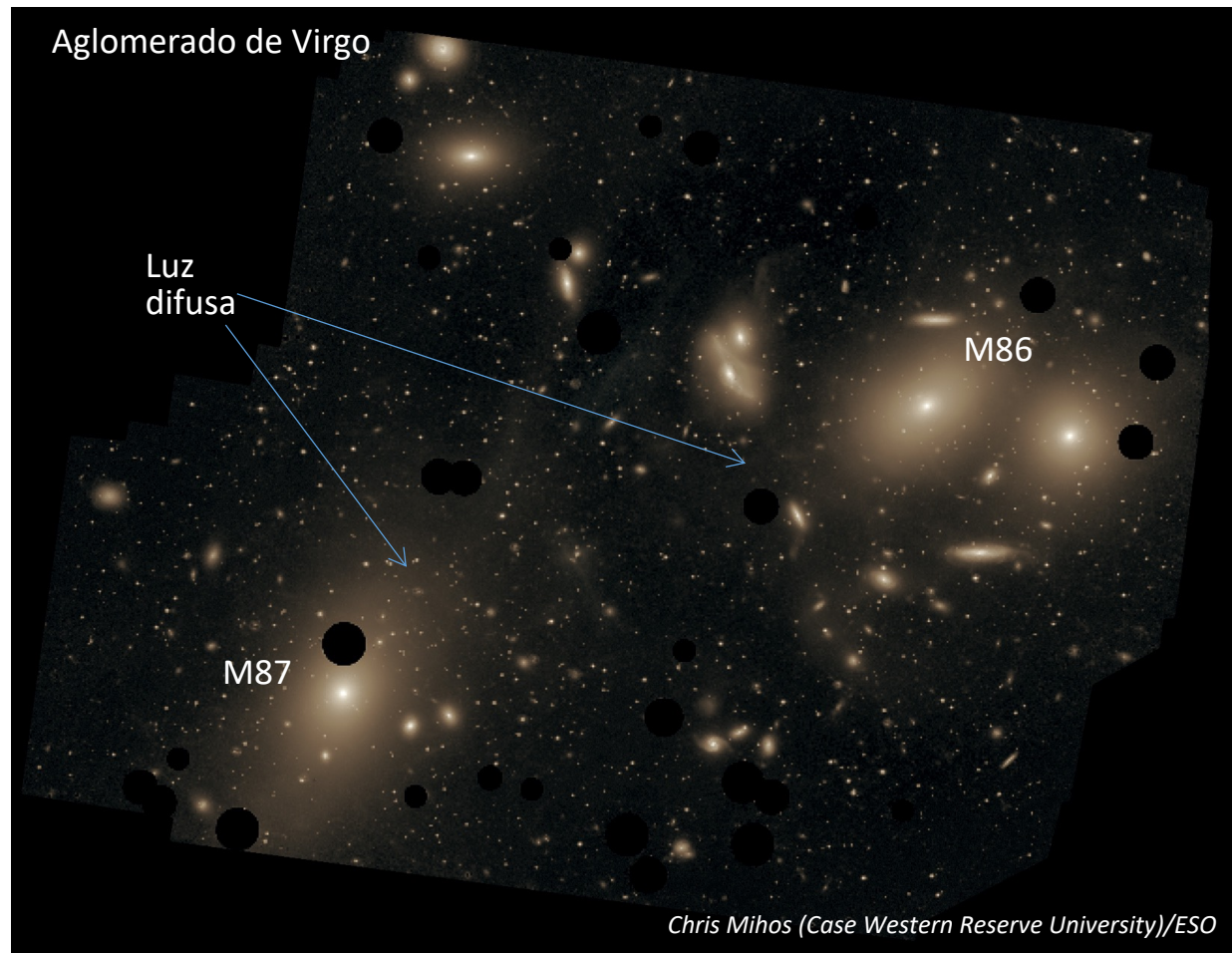
Aglomerado de Virgo



# Aglomerado de Virgo (Virgem)

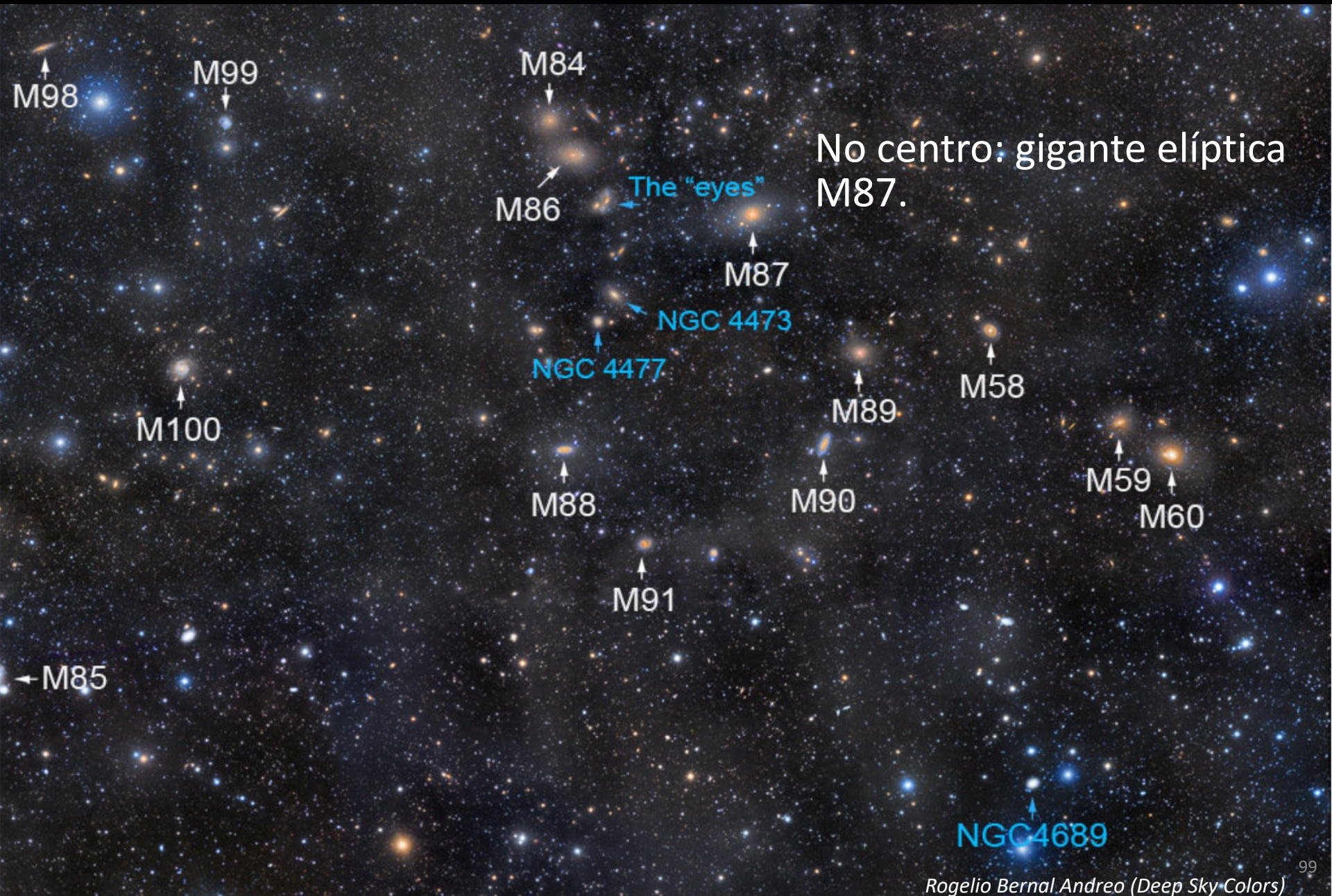
Virgo : aglomerado rico mais próximo: contém mais de 1000 galáxias

- área  $10^\circ \times 12^\circ$  no céu
- Diâmetro:  $D = 3$  Mpc
- Distância:  $d = 15$  Mpc (estrelas Cefeidas na galáxia S M100).
- Três elípticas gigantes (20 vezes maiores que galáxias normais) dominam o centro.



Chris Mihos (Case Western Reserve University)/ESO

# Aglomerado de Virgo (Virgem)



No centro: gigante elíptica M87.

The "eyes"

NGC4689

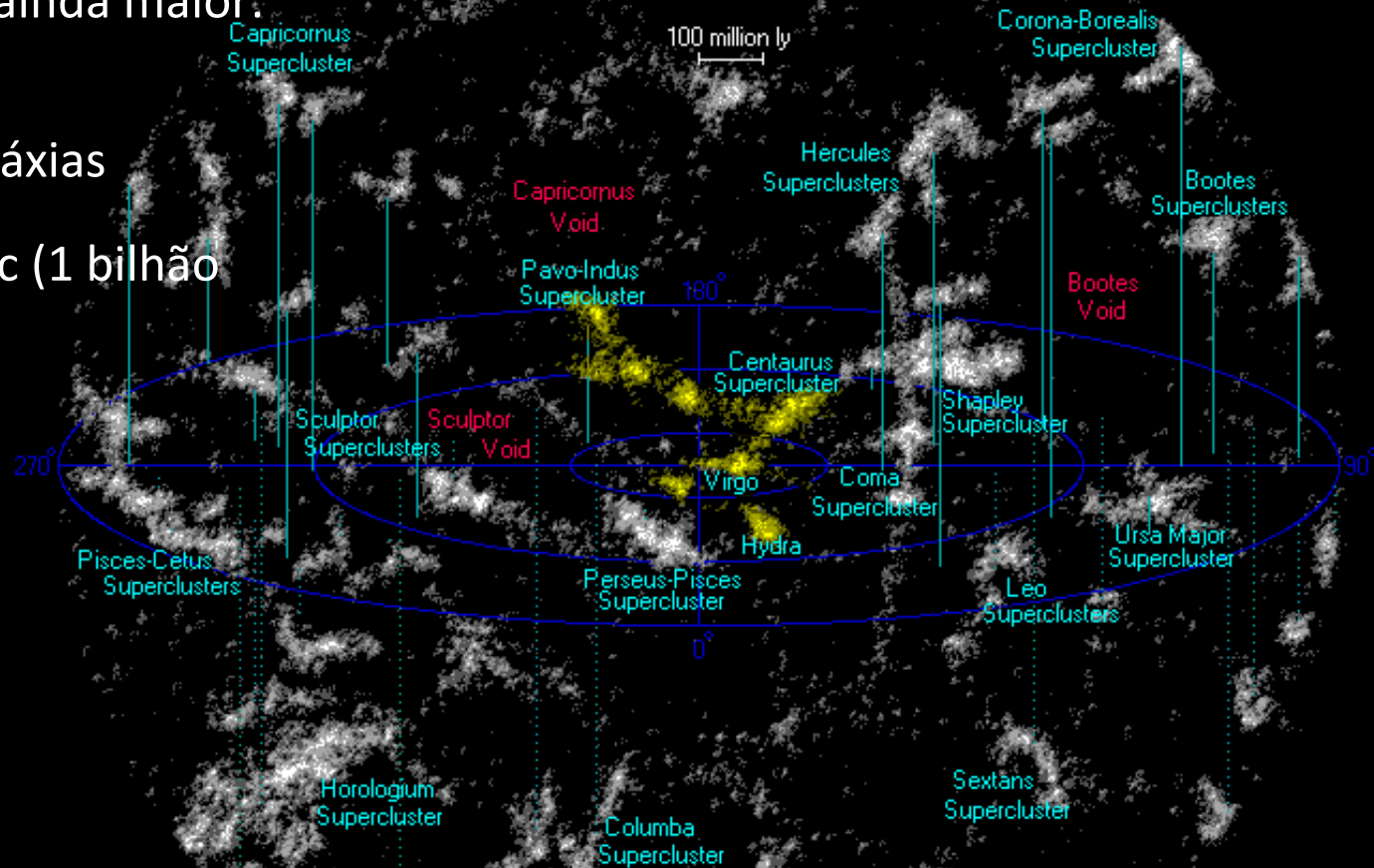
# Super-aglomerados de galáxias

- Super-aglomerado de Virgo seria só um lobulo de um super-aglomerado ainda maior:  
**Laniakea**

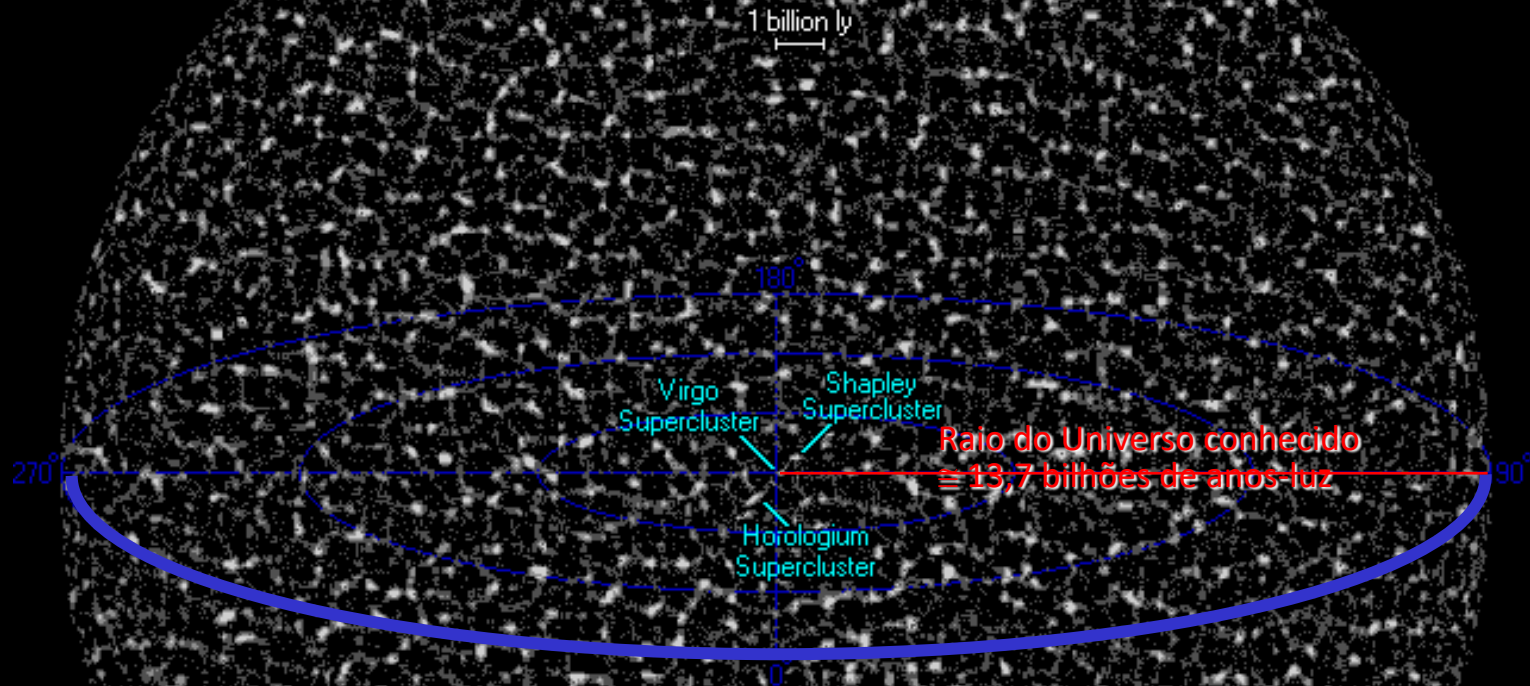
- mais de 100000 galáxias

- extensão ~ 160 Mpc (1 bilhão de a.l.)

- $M = 10^{17} M_{\text{sol}}$



Cerca de 2 trilhões  
(2 tera)  
de galáxias



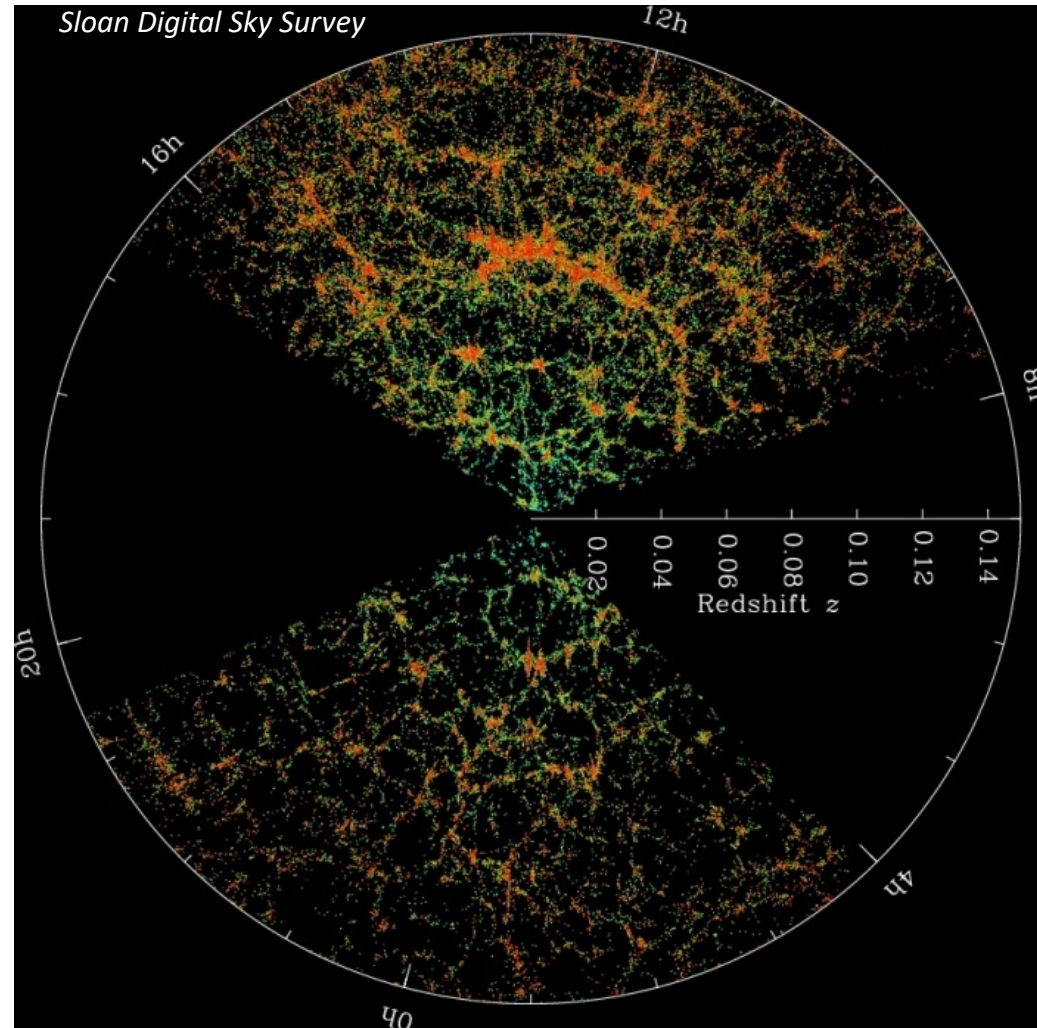
Estrutura filamentar  
com vazios

Distribuição  
de galáxias  
no universo

# Estruturas em Grande Escala do Universo

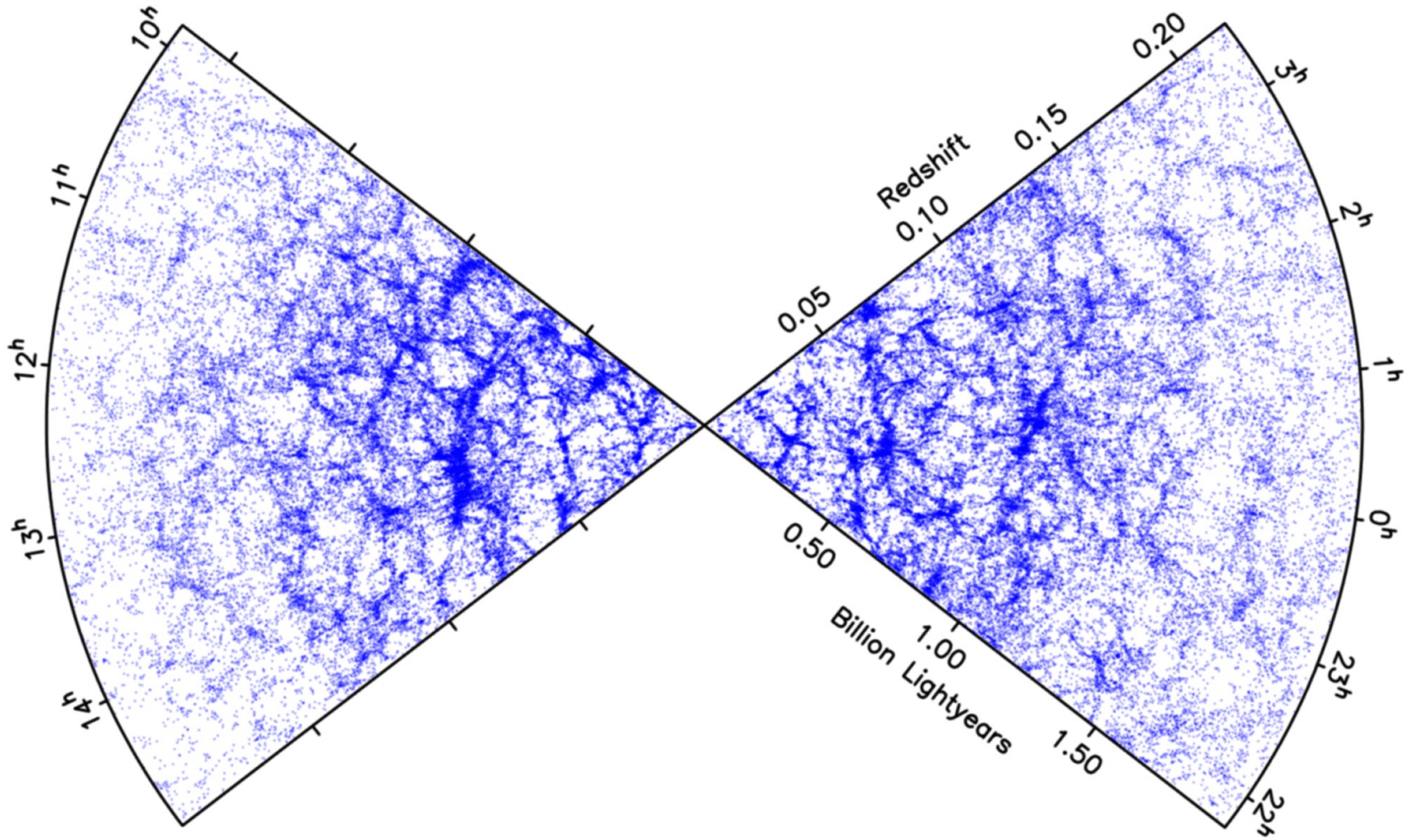
## Mapeando o Universo: distribuição espacial das galáxias

- Distribuição em grandes escalas: não aleatória: em filamentos ou cadeias circundando vazios imensos (100 Mpc)
- Universo formado de “bolhas”: com galáxias distribuindo-se nas superfícies dessas bolhas
- Aglomerados e super-aglomerados => formados nas zonas de contato entre 2 ou + bolhas
- Estrutura vermelha: a “Grande Muralha” de agls. de galáxias => 70 Mpc x 200 Mpc.

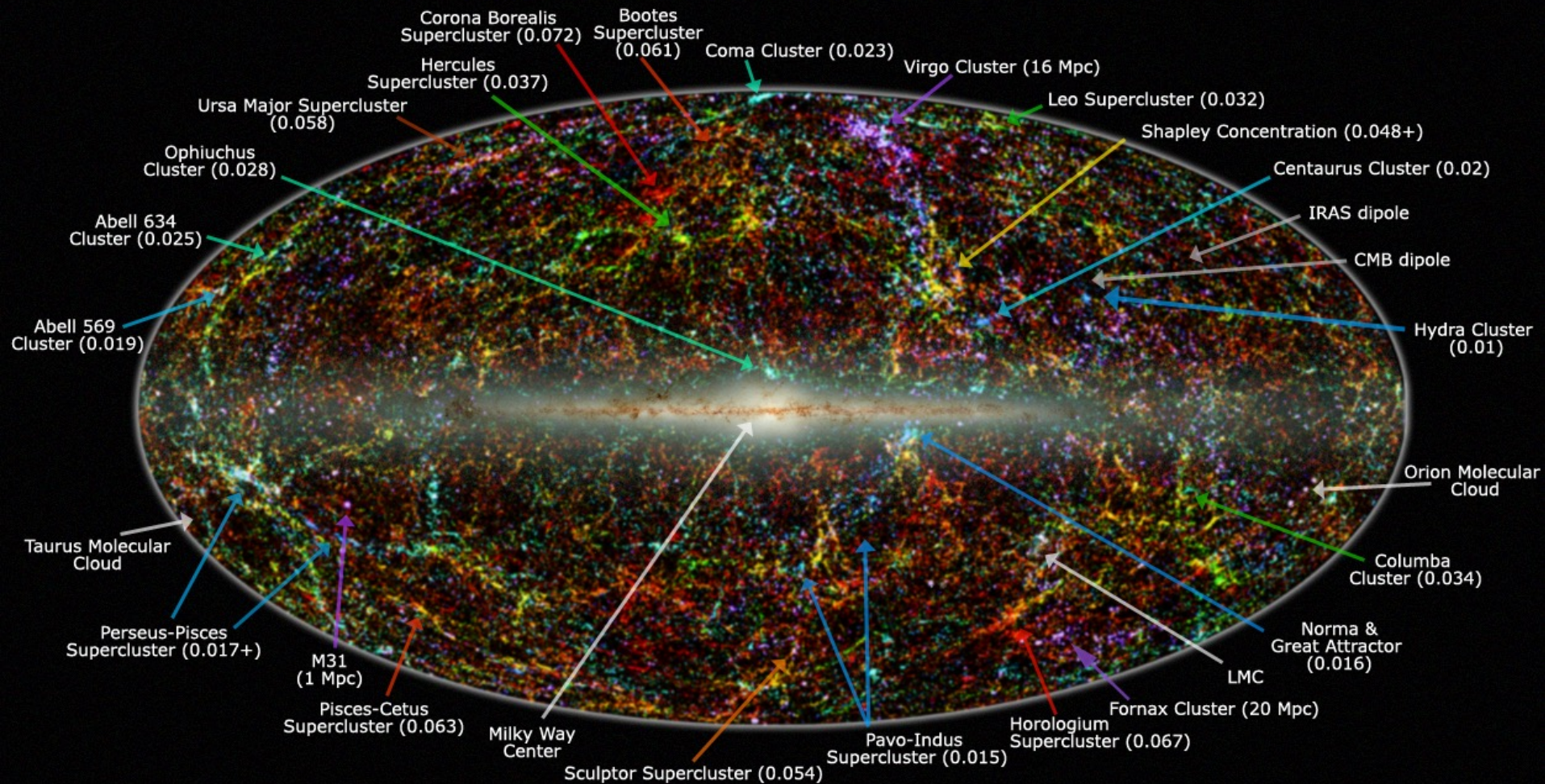


# Estruturas em Grande Escala do Universo

2dF Redshift Survey ( $z=0.2 \Rightarrow 780$  Mpc)



# Estruturas em Grande Escala do Universo



Legenda: imagem mostra as galáxias do 2MASS com cores correspondentes aos redshifts (Jarrett 2004); aglomerados e super-aglomerados de galáxias conhecidos estão indicados (números em parentesis mostram distancias)



# A Galáxia e o Universo vistos até muito longe

