

A photograph of the Milky Way galaxy, showing a dense band of stars and interstellar dust, arching across a dark night sky. The foreground is a dark silhouette of a landscape, possibly a hill or a mountain range. The text is overlaid on the lower right portion of the image.

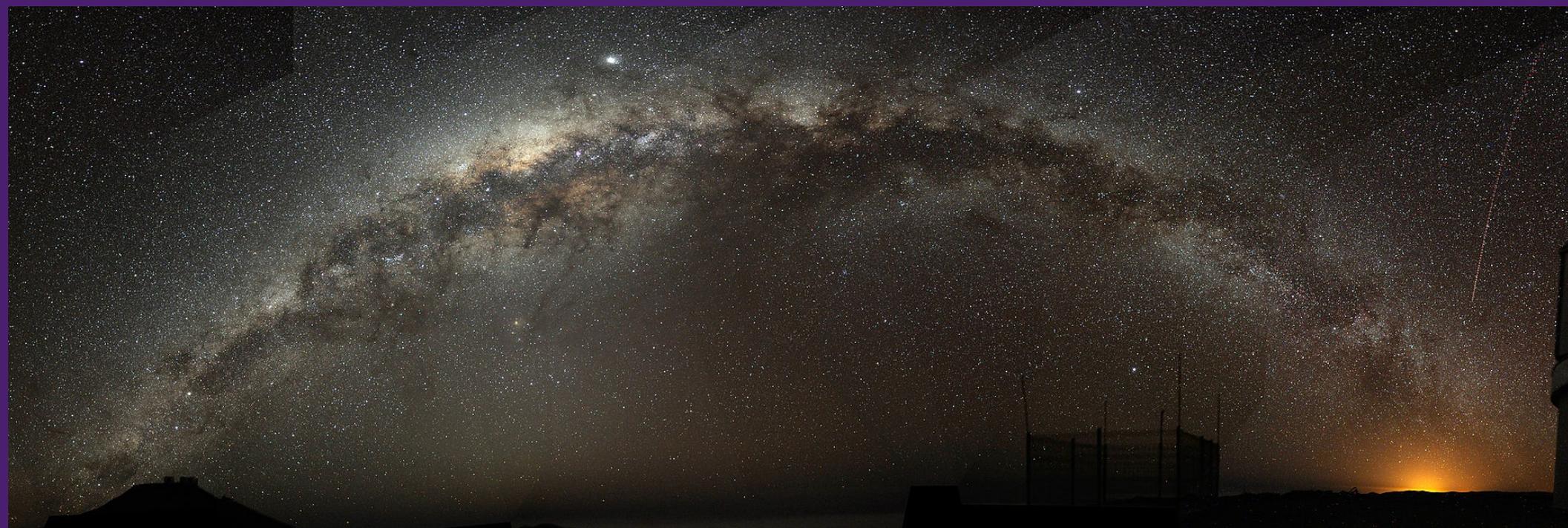
Características e formação da Galáxia

Como a vemos?

Via-Láctea vista do Observatório de Cerro Paranal (Chile):



Como a vemos?



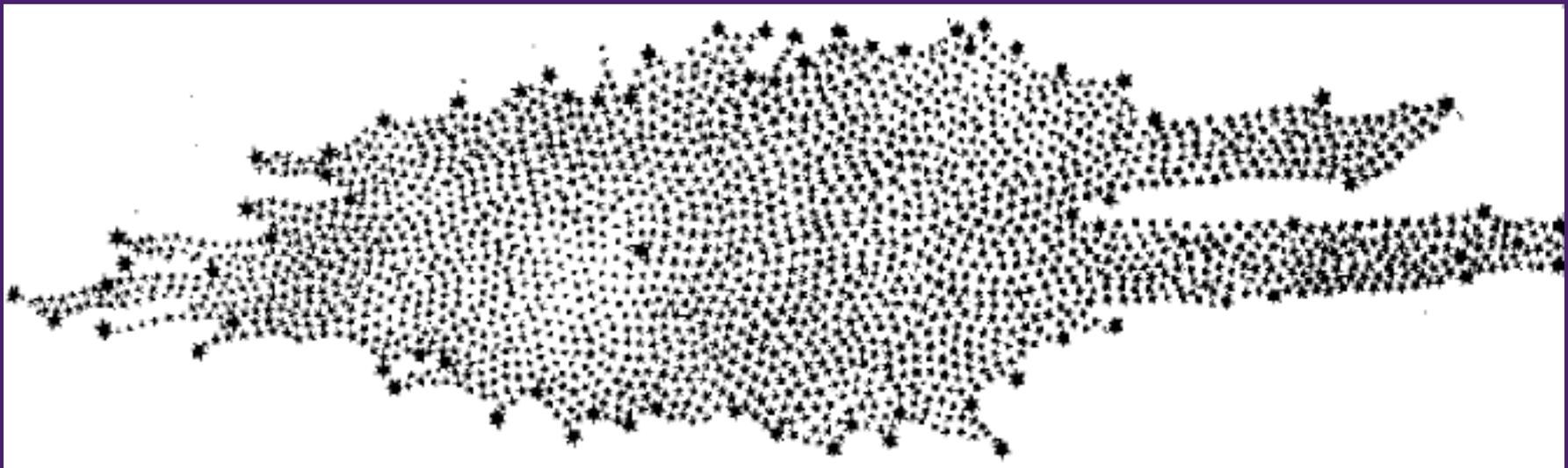
Como a vemos?

- *Via-Láctea* porque lembrava aos antigos um caminho esbranquiçado como leite;
- Galáxia: do grego *galaktikos* = branco como leite;
- Em 1609, Galileu verificou que tal aparência devia-se a uma multitude de estrelas;
- Proposto inicialmente pelos gregos Anaxágoras (~500 – 428 a. C.) e Demócrito (~460 – 370 a. C.)

(hoje: 100 – 400 bilhões de estrelas!
E mais de 100 bilhões de planetas)

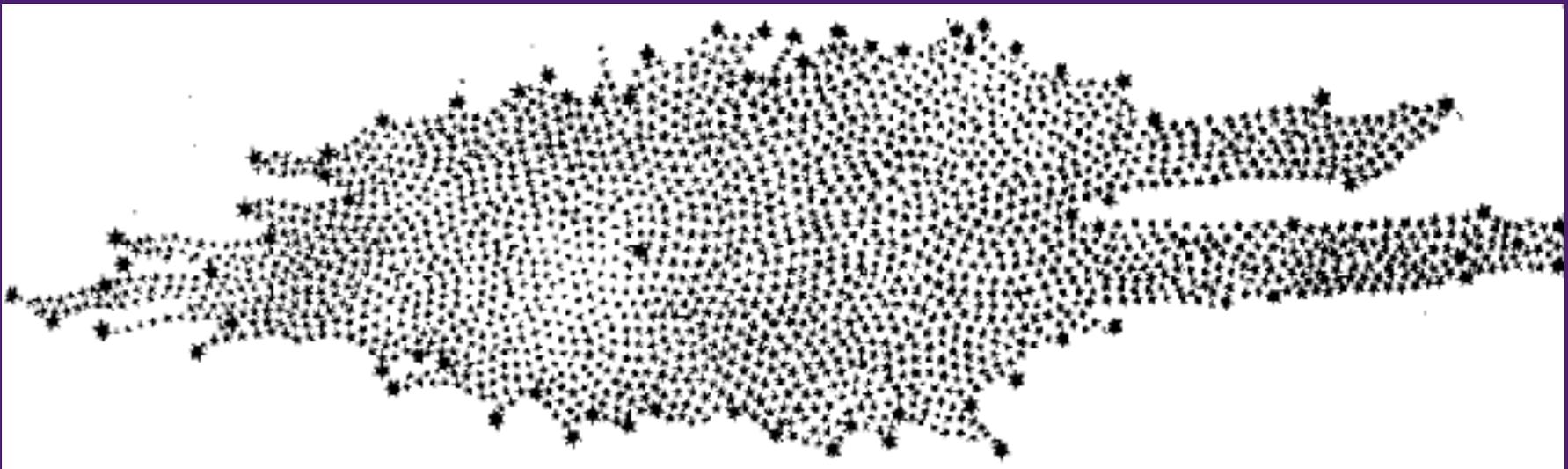
Como a medimos?

- No final do séc. XVIII, Herschel utilizou um telescópio de 1.2 m para mapear as estrelas na Via-Láctea;
- Assumindo que todas tinham a mesma luminosidade, contou as estrelas em diferentes direções e concluiu que a Galáxia era um sistema achatado:



Como a medimos?

- Herschel deduziu que a Galáxia era aproximadamente 5 vezes maior na direção do plano do que perpendicular a ele;
- Enxergava aproximadamente o mesmo número de estrelas em cada direção, então concluiu que o Sol estava no centro.



Como a medimos?

- Primeira estimativa do tamanho: séc. XX, pelo astrônomo holandês Jacobus Kapteyn;
 - Ele contou as estrelas em placas fotográficas e determinou suas distâncias medindo paralaxe e movimento próprio;
- Conclui que a Via-Láctea tinha a forma de um disco com 20 000 pc de diâmetro, com o Sol no centro.

Como a medimos?

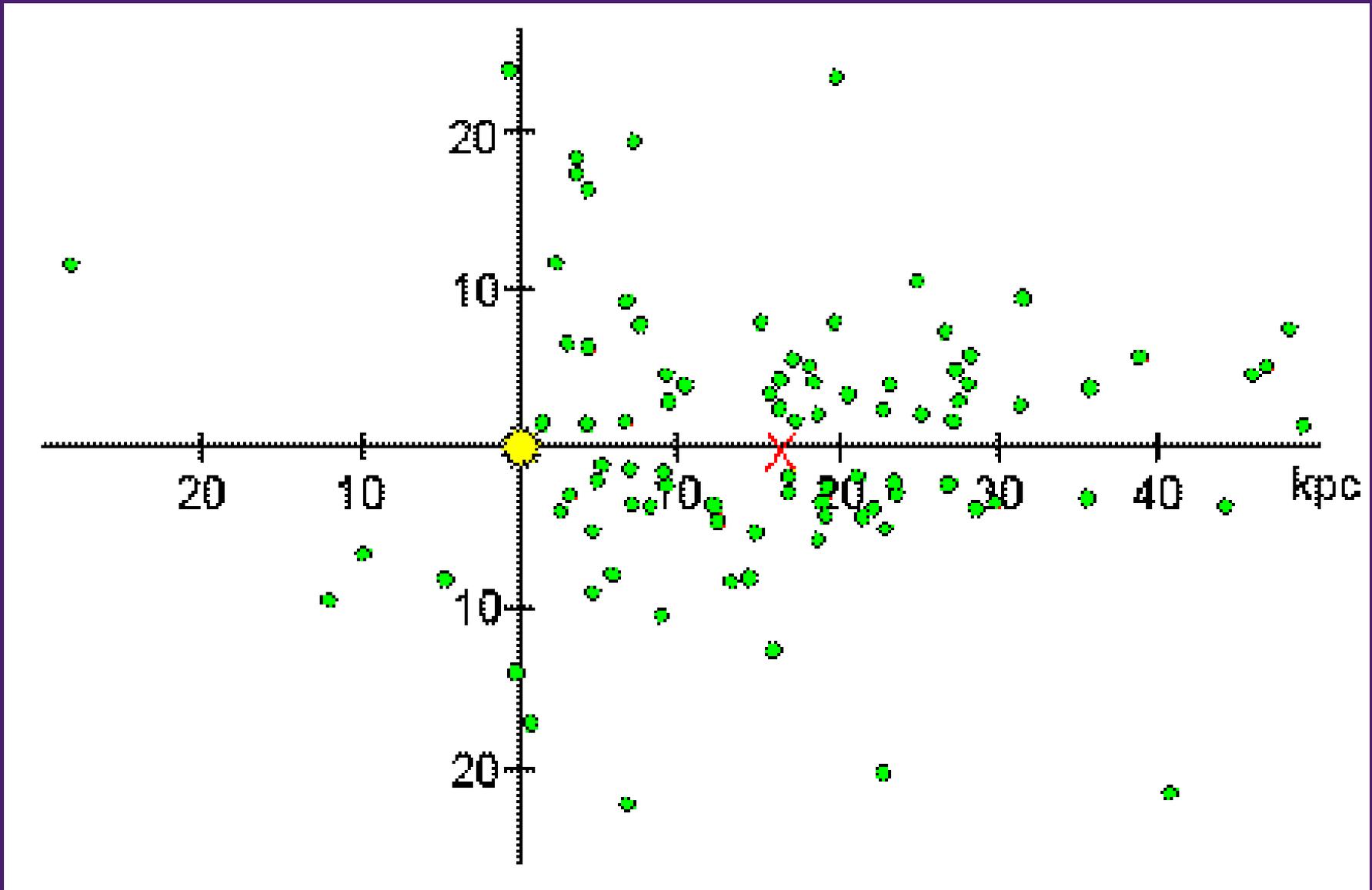
1 parsec =
distância de um
objeto com 1" de
paralaxe = 206 265
UA

- Primeira estimativa do tamanho: séc. XX, pelo astrônomo holandês Jacobus Kapteyn;
 - Ele contou as estrelas em placas fotográficas e determinou suas distâncias medindo paralaxe e movimento próprio;
- Conclui que a Via-Láctea tinha a forma de um disco com 20 000 pc de diâmetro, com o Sol no centro.

Como a medimos?

- Pouco depois, Harlow Shapley publicou um modelo distinto, baseado na distribuição de aglomerados globulares;
- Mediu as distâncias de 150 aglomerados utilizando estrelas RR Lyrae e verificou que estavam uniformemente distribuídos acima e abaixo do plano, mas mais concentrados na direção da constelação de Sagitário.
- Deduziu que o Sol estaria a 15 pc do centro e que a extensão total era de 100 kpc.

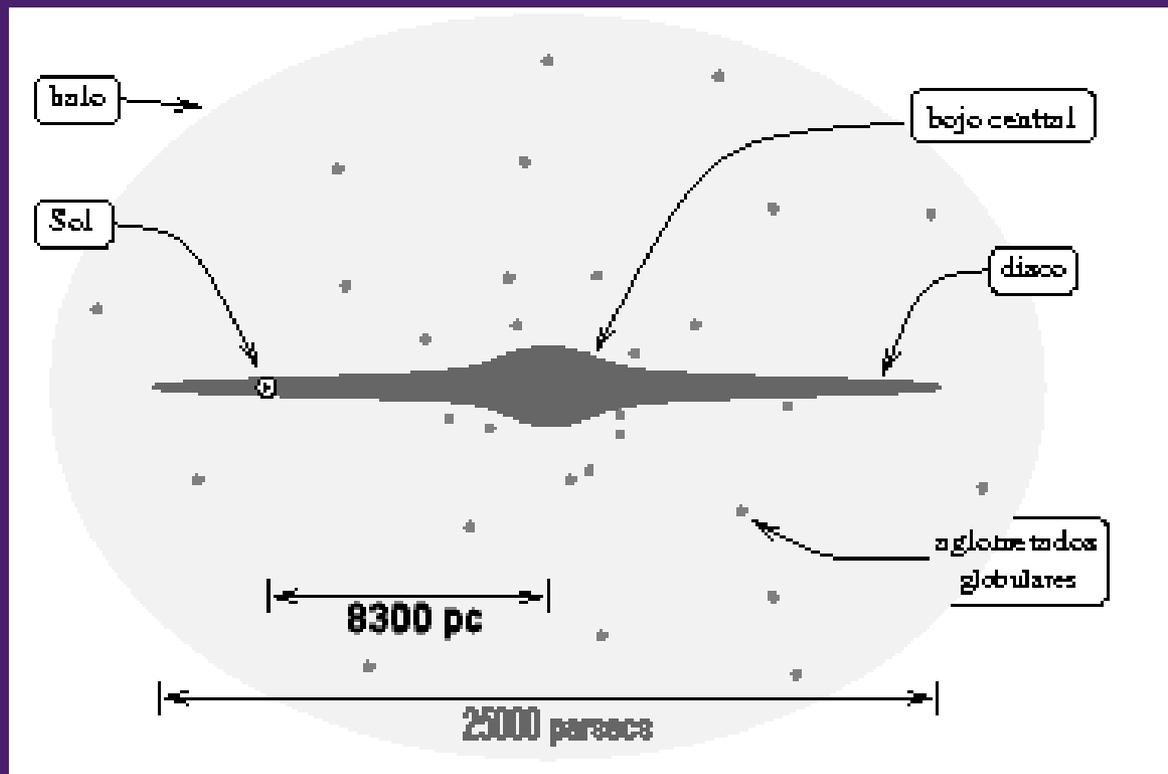
Como a medimos?



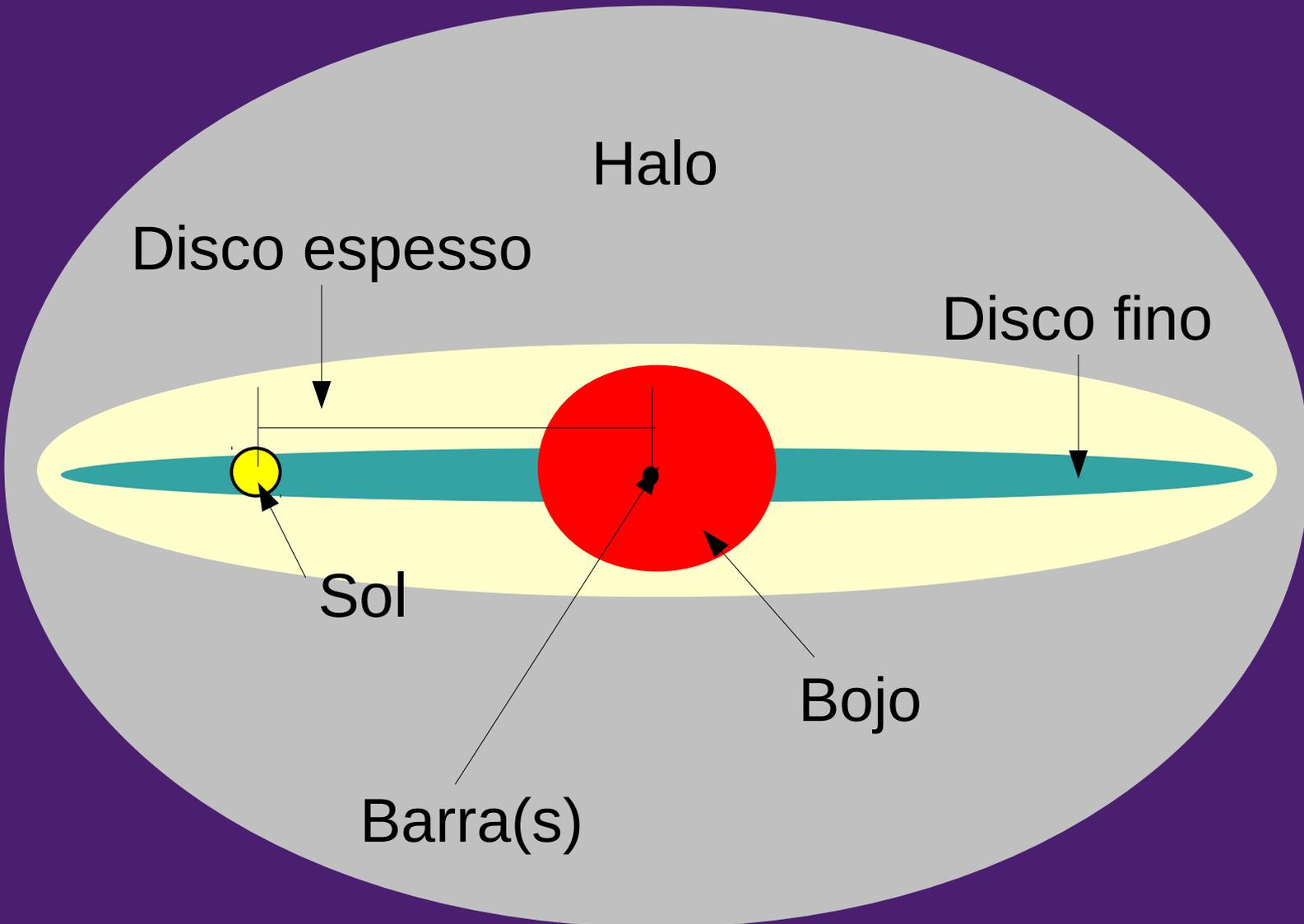
Como a medimos?

→ Shapley não levou em conta extinção interestelar, por isso encontrou um tamanho exagerado!

→ As medidas indicam hoje:

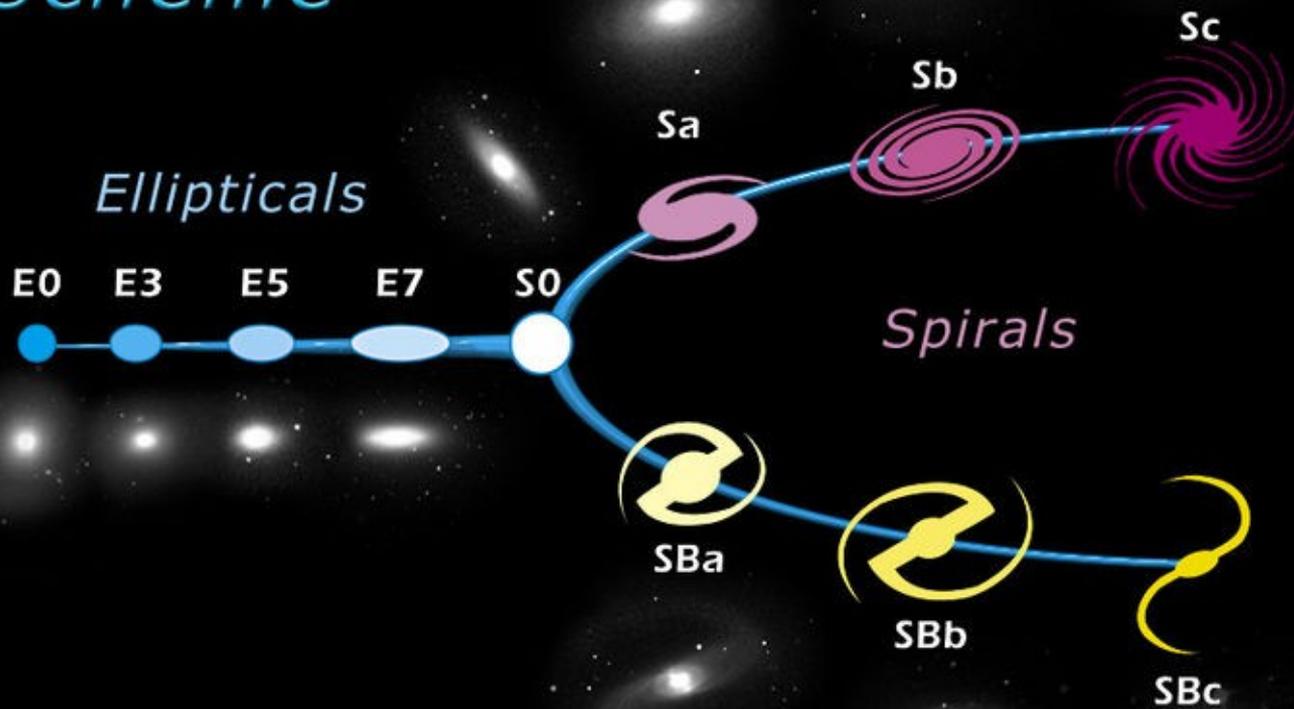


Como a medimos?



Morfologia

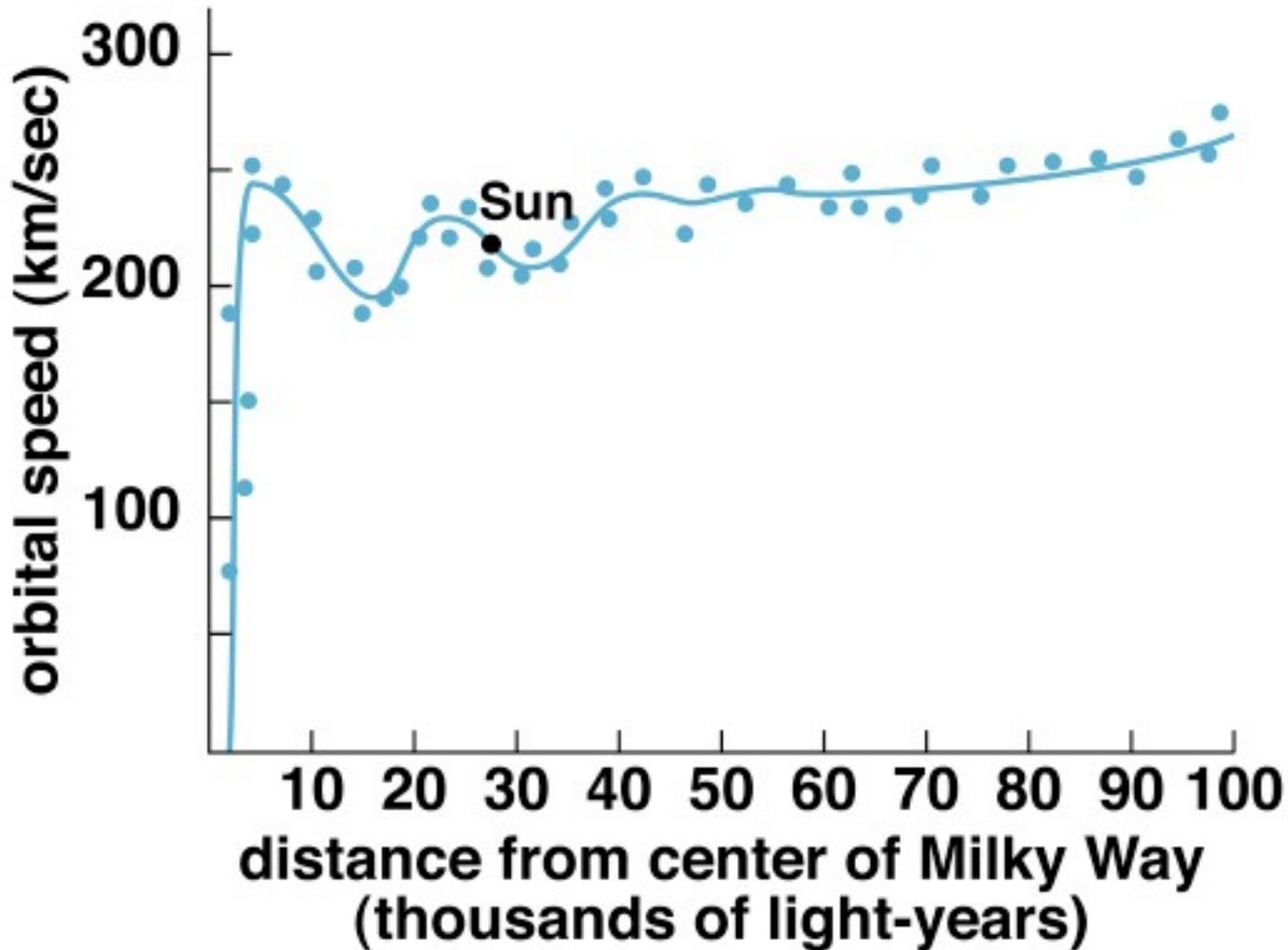
Edwin Hubble's Classification Scheme



Morfologia

- Determinada por observação em comprimentos de onda longos (rádio e IR), menos afetados pela poeira;
- **Disco circular**, com aproximadamente 25 000 pc de diâmetro e 300 pc de espessura;
- Disco está embebido em um **halo esférico** formado por aglomerados globulares e matéria escura (provavelmente), estendendo-se por no mínimo 100 000 pc;
- O **bojo**, que envolve o núcleo, é esférico com cerca de 2000 pc de raio.

Curva de rotação



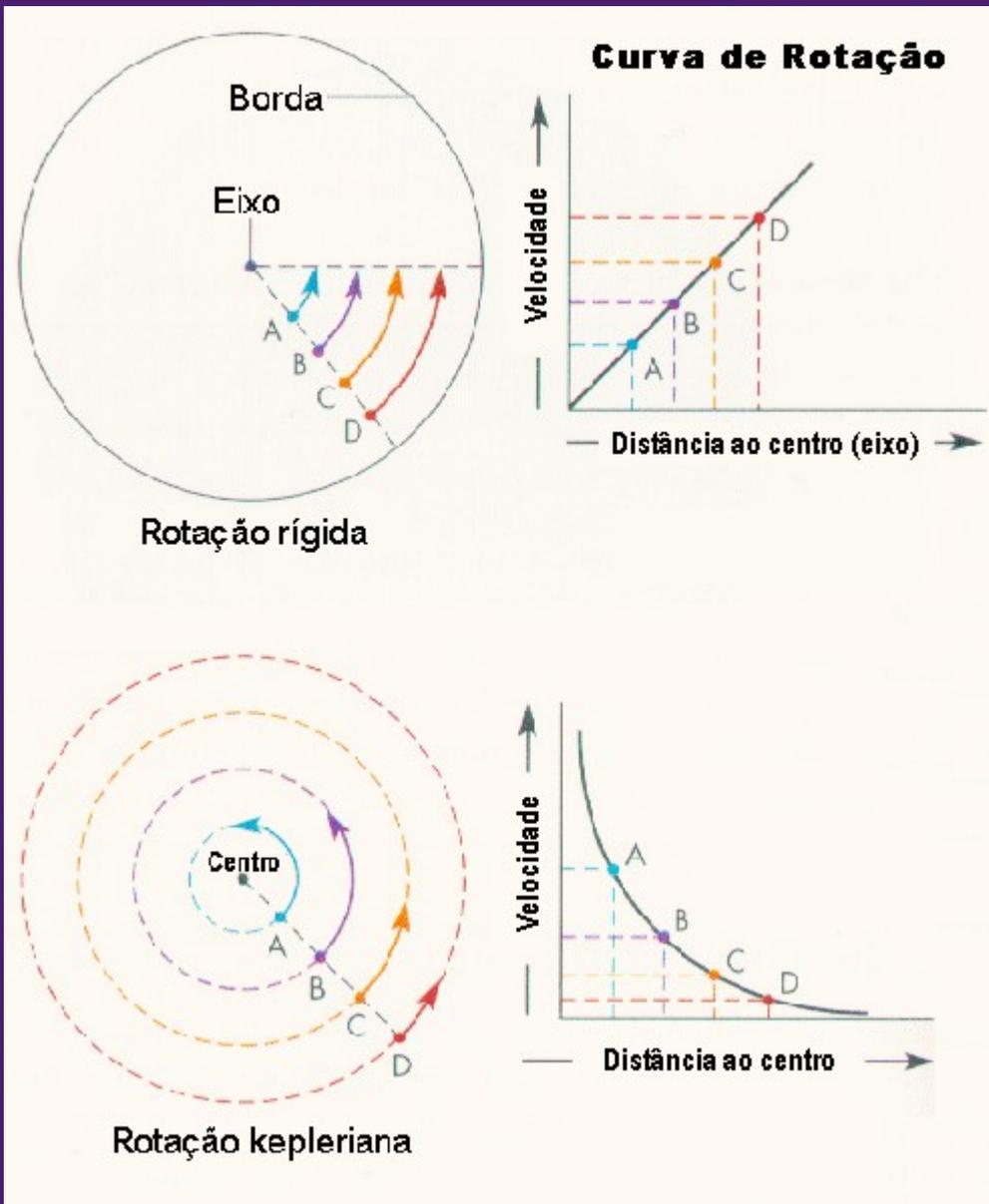
(c)

Copyright © Addison Wesley

Curva de rotação



Curva de rotação



Massa: $6-10 \times 10^{11} M_{\odot}$

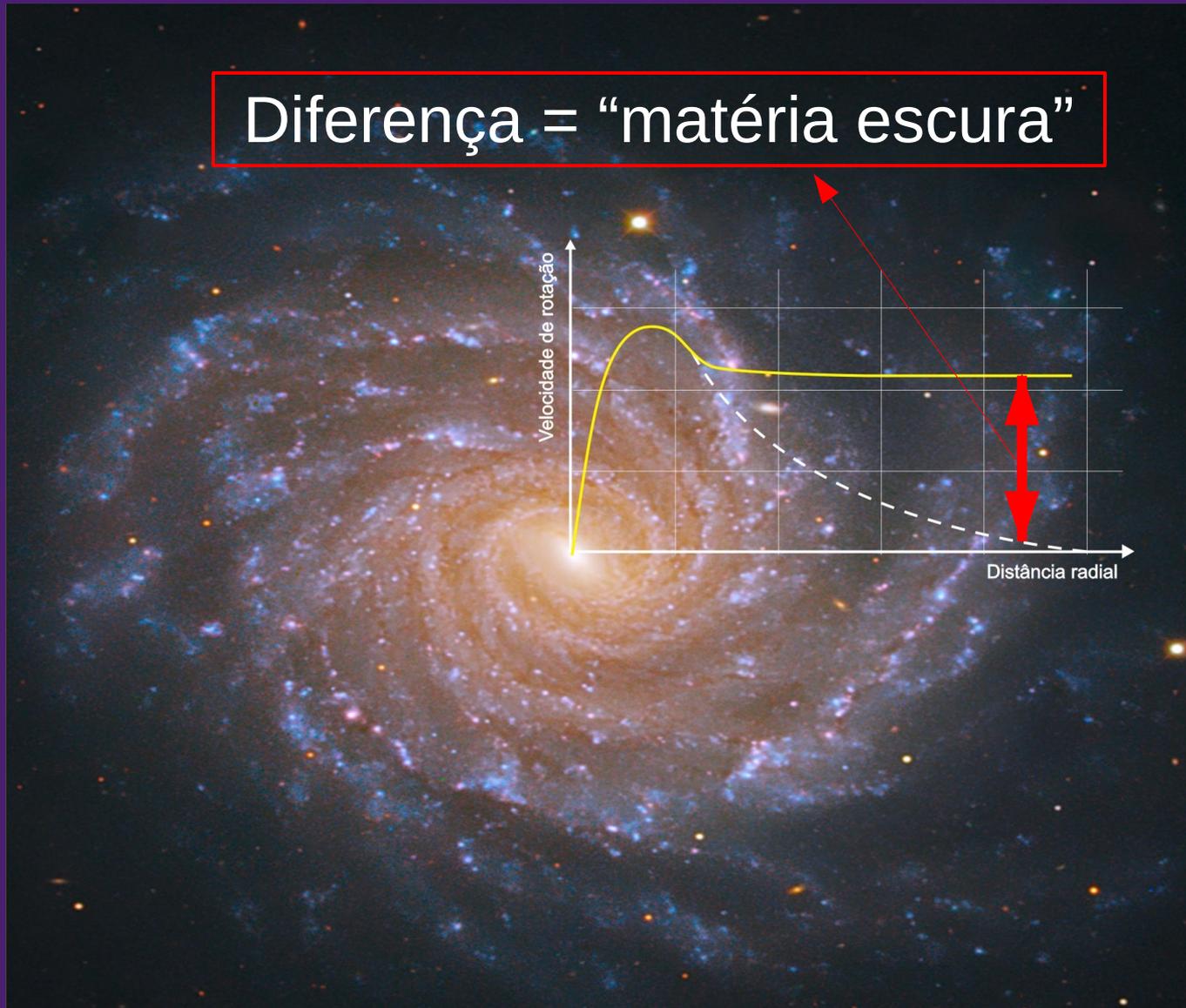
massa do disco: 2 a 13%

massa do bojo: 1 a 6%

massa do halo: 81 a 97%

Kuijken & Dubinski (1995)

Curva de rotação



Estrutura Espiral

Como sabemos sobre a estrutura espiral?

→ Observações de outras galáxias com poeira;



→ “Mapeadores de estrutura espiral”:

Ótico: estrelas OB, regiões HII, estrelas cefeidas variáveis.

Rádio: linha de 21 cm do hidrogênio neutro.

Estrutura Espiral

Número de braços: incerto!

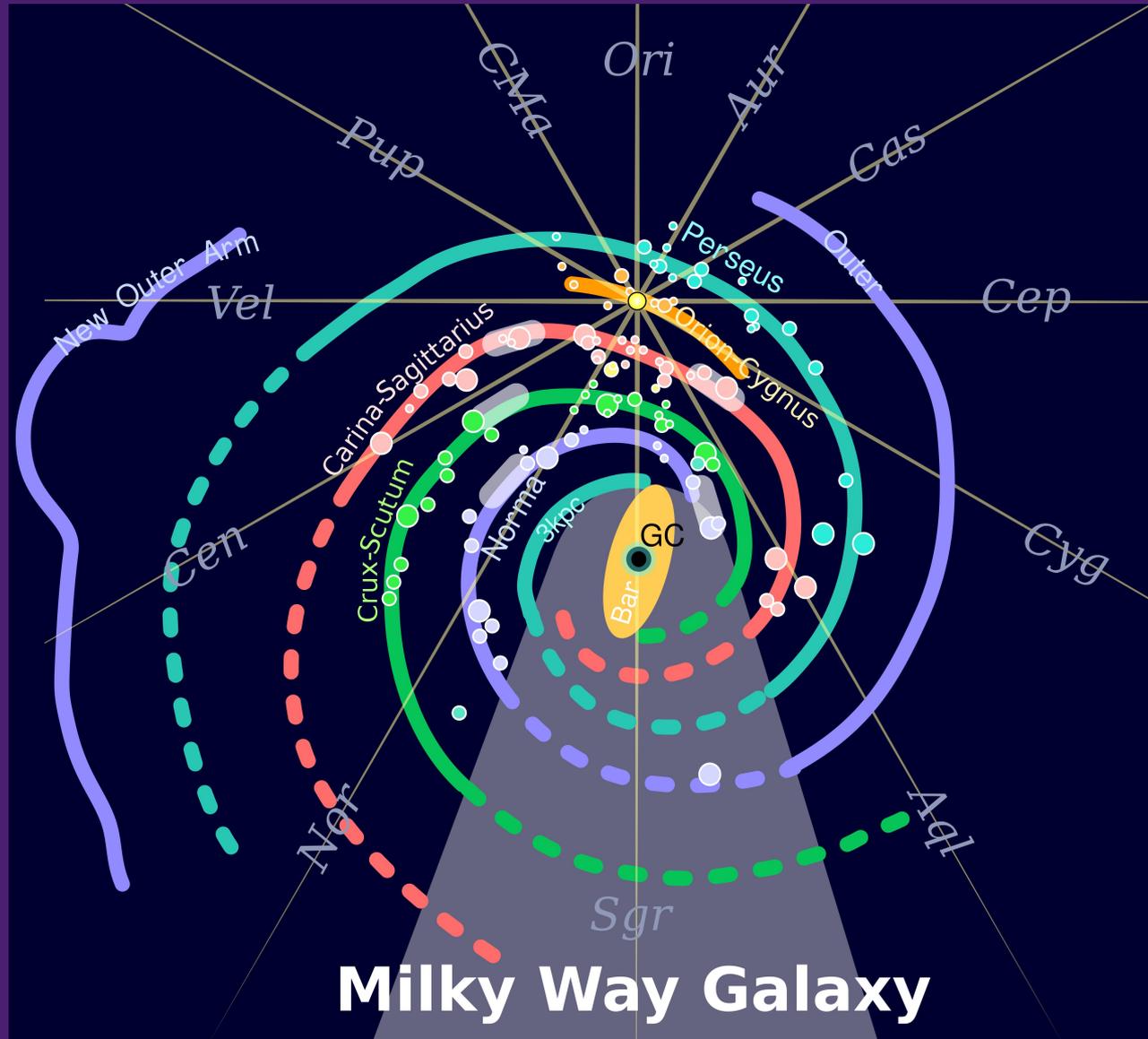
Acreditava-se ser quatro, mas observações de 2008 indicam ser apenas dois.

Além disso, sugerem a existência de uma barra.



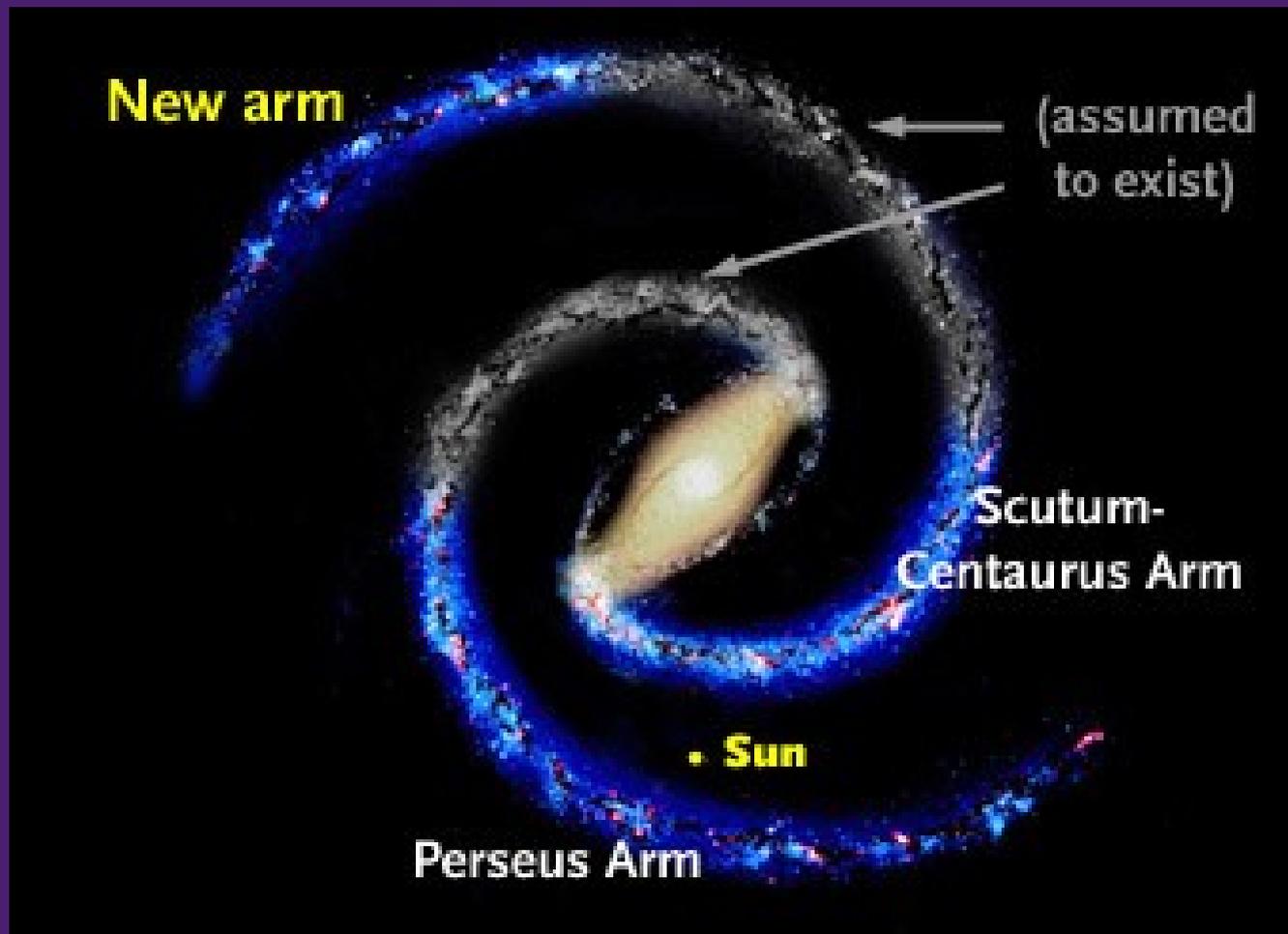
Concepção
artística da
Via-Láctea.

Estrutura Espiral



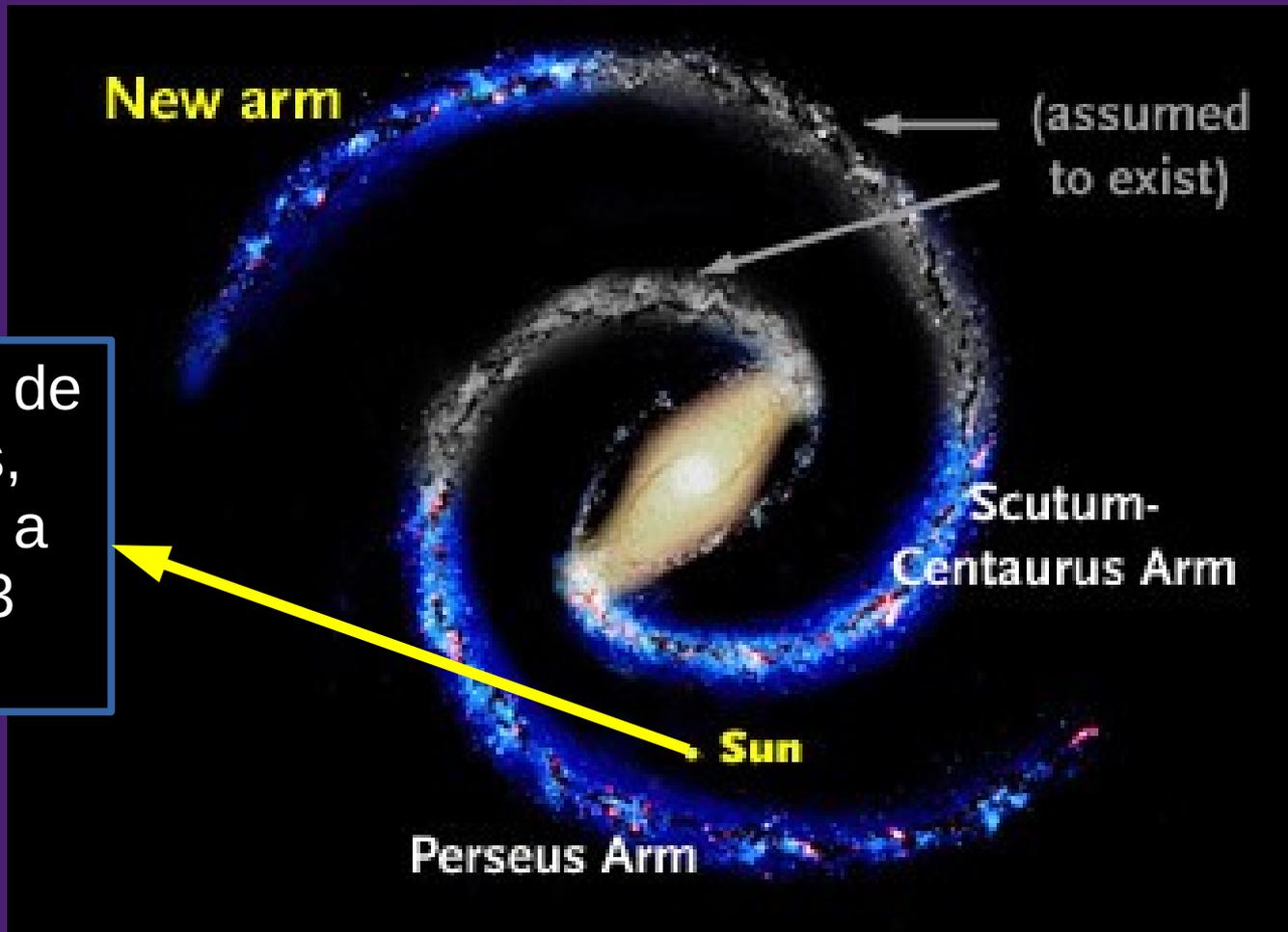
Estrutura Espiral

Como seria a Via-Láctea, pelo que indicam as observações de 2008:



Estrutura Espiral

Como seria a Via-Láctea, pelo que indicam as observações de 2008:



Velocidade de
220 km/s,
uma volta a
cada 223
Milhões

Estrutura Espiral

Mas observações de 2013 voltam a sugerir a existência de quatro braços...

Estrutura Espiral

Mas observações de 2013 voltam a sugerir a existência de quatro braços...

Basicamente: dois braços quando o traçador são estrelas velhas, quatro braços quando o traçador é gás e estrelas jovens.

O porquê dessa discrepância ainda é incerto.

Estrutura Espiral

Causa da estrutura espiral: rotação diferencial.

Material mais distante do centro tem menor velocidade, qualquer perturbação no disco naturalmente causaria a forma espiral.

Estrutura Espiral

Causa da estrutura espiral: rotação diferencial.

Material mais distante do centro tem menor velocidade, qualquer perturbação no disco naturalmente causaria a forma espiral.

Mas...

como a Via-Láctea tem ~12 Ganos, o material na vizinhança do Sol já teria executado cerca de 20 rotações e os braços estariam muito mais enrolados do que observamos.

Estrutura Espiral

Outra possibilidade: ondas de densidade (Lin & Shu, 1964)

Estrutura Espiral

Outra possibilidade: ondas de densidade (Lin & Shu, 1964)

Estrutura espiral = variação da densidade do disco em forma de onda, por onde passam o gás e as estrelas.

Origem: perturbação gravitacional externa (outra galáxia) ou interna (barra).

Estrutura Espiral

Outra possibilidade: ondas de densidade (Lin & Shu, 1964)

Estrutura espiral = variação da densidade do disco em forma de onda, por onde passam o gás e as estrelas.

Origem: perturbação gravitacional externa (outra galáxia) ou interna (barra).

Explica de maneira natural porque estrelas jovens, nuvens moleculares e regiões HII são encontradas nos braços: *quando o gás passa pela onda, ele é comprimido fortemente, causando colapso e formação de estrelas.*

Coordenadas Galácticas

- Sistema definido em 1959 pela IAU.
Plano fundamental: plano galáctico.
Inclinado 63° em relação ao equador celeste.

Coordenadas Galácticas

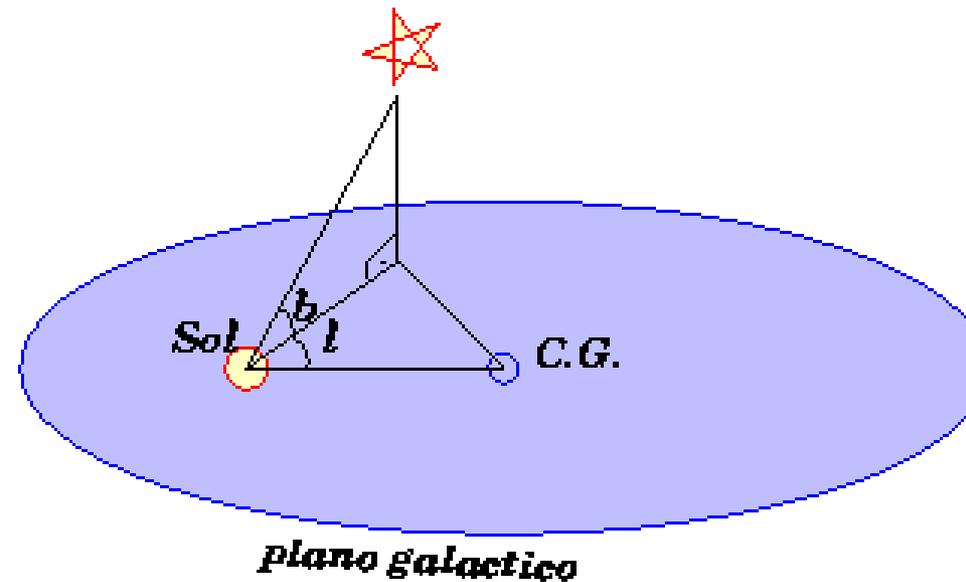
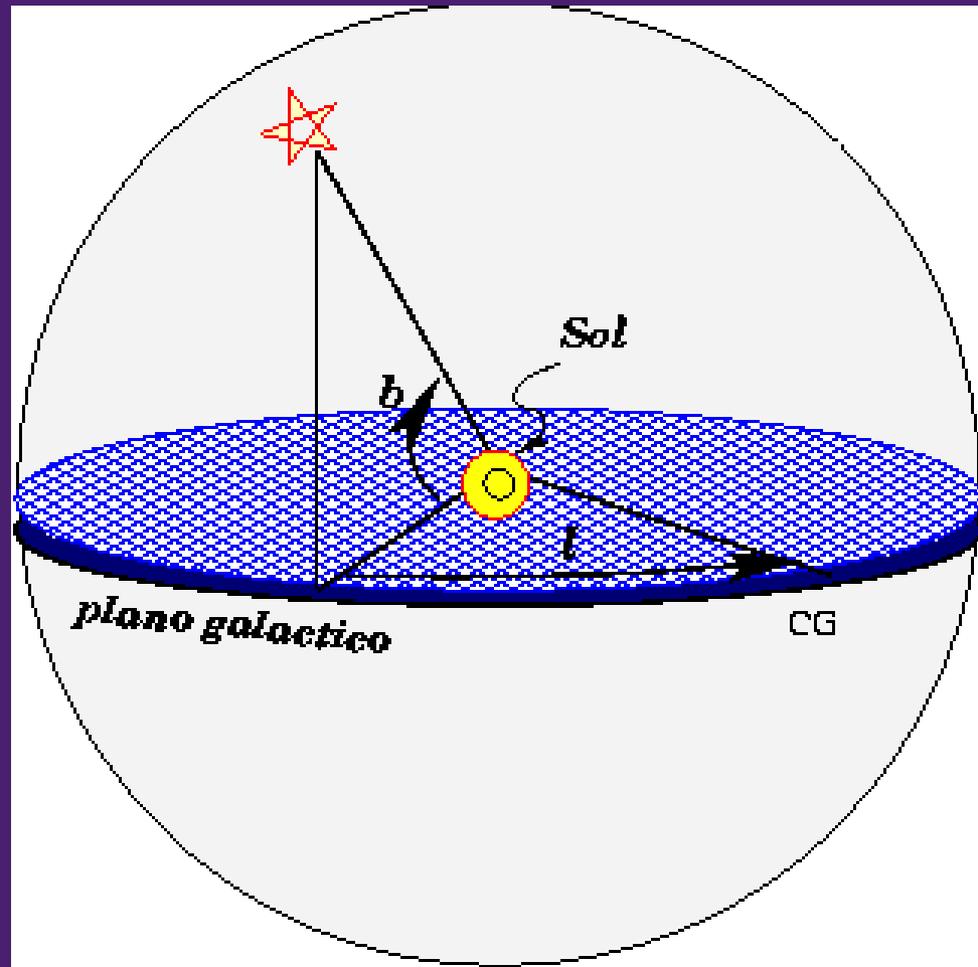
→ Sistema definido em 1959 pela IAU.

Plano fundamental: plano galáctico.

Inclinado 63° em relação ao equador celeste.

- ***latitude galáctica (b)***: distância angular medida perpendicularmente ao plano galáctico, variando de 0° a 90° para o norte e de 0° a 90° para o sul.
- ***longitude galáctica (l)***: distância angular medida ao longo do plano galáctico, variando de 0° a 360° para o leste (sentido contrário ao do movimento diurno da esfera celeste), a partir da direção do centro galáctico, que fica em Sagitário.

Coordenadas Galácticas



Coordenadas Galácticas

Vale lembrar: as estrelas não estão paradas!

Coordenadas Galácticas

Vale lembrar: as estrelas não estão paradas!

Velocidade radial (km/s): aproximação ou afastamento, medida pelo deslocamento Doppler das linhas espectrais.

Coordenadas Galácticas

Vale lembrar: as estrelas não estão paradas!

Velocidade radial (km/s): aproximação ou afastamento, medida pelo deslocamento Doppler das linhas espectrais.

Movimento próprio ("ano): na esfera celeste, perpendicular à linha de visada, devido ao movimento relativo entre o Sol e a estrela. Deve ser corrigido pela paralaxe.

Coordenadas Galácticas

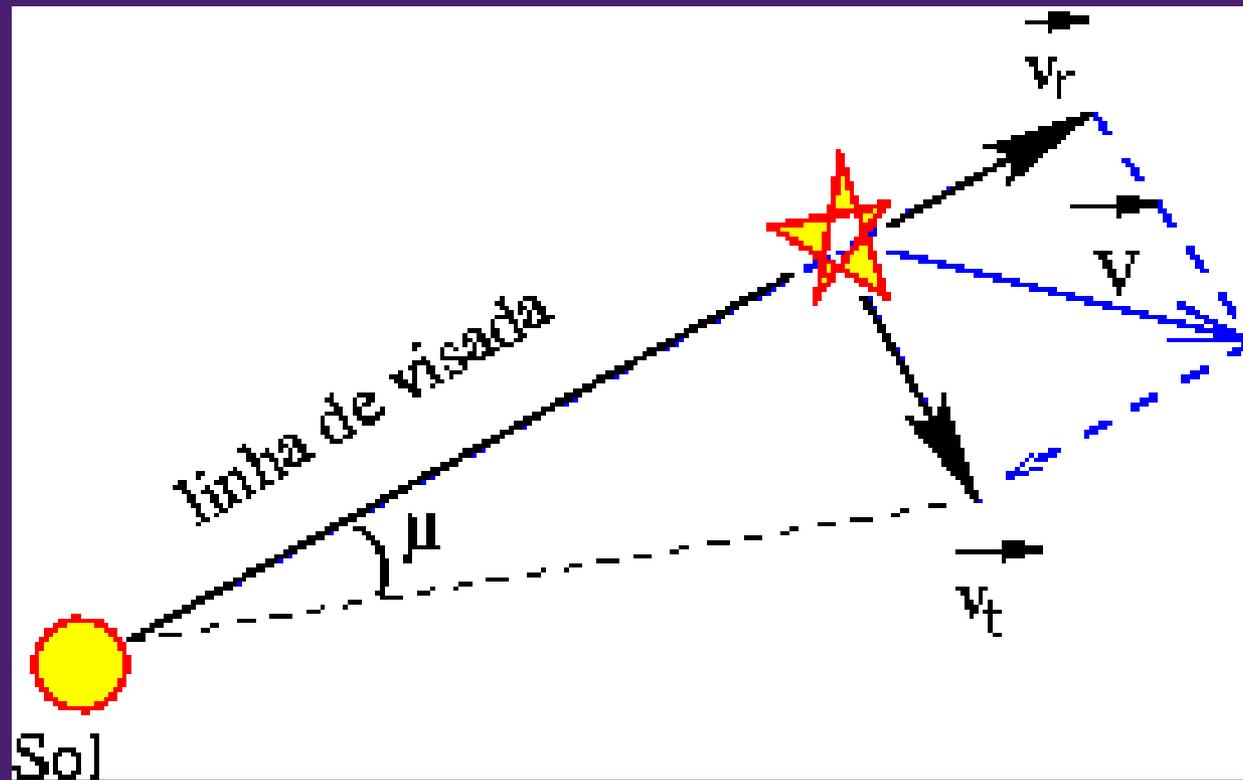
Vale lembrar: as estrelas não estão paradas!

Velocidade radial (km/s): aproximação ou afastamento, medida pelo deslocamento Doppler das linhas espectrais.

Movimento próprio ("ano): na esfera celeste, perpendicular à linha de visada, devido ao movimento relativo entre o Sol e a estrela. Deve ser corrigido pela paralaxe.

Velocidade tangencial: componente da velocidade perpendicular à linha de visada. Obtida da distância e do movimento próprio.

Coordenadas Galácticas



Populações Estelares

População I: estrelas jovens, ricas em metais.

População II: estrelas velhas, pobres em metais

População III: por definição, as primeiras estrelas formadas na galáxia (baixíssima metalicidade), já que a nucleosíntese do Big Bang só formou 10^{-13} a 10^{-16} de carbono, lítio e berílio, além do hidrogênio, deutério e hélio.

Populações Estelares

Propriedade	População I	População II
<i>Localização</i>	Disco e braços espirais.	Bojo e halo.
<i>Movimento</i>	Confinado ao plano. Órbitas quase circulares.	Afastando-se do plano. Órbitas excêntricas.
<i>Idade</i>	< 7 Ganos	> 7 Ganos
<i>Abundância de elementos pesados</i>	1 – 2 %	0.1 – 0.01 %
<i>Cor</i>	azul	vermelha
<i>Exemplos</i>	Estrelas O, B Aglomerados abertos Regiões HII	Estrelas RR Lyrae Aglomerados globulares Nebulosas planetárias

O centro da Galáxia



Centro da
Galáxia no
visível.

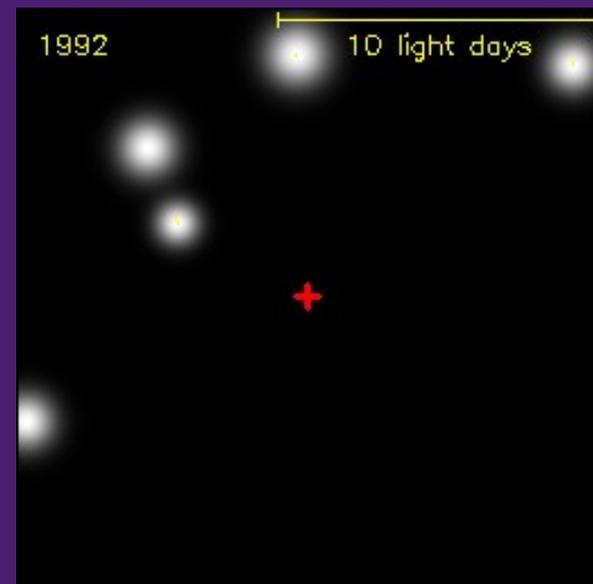
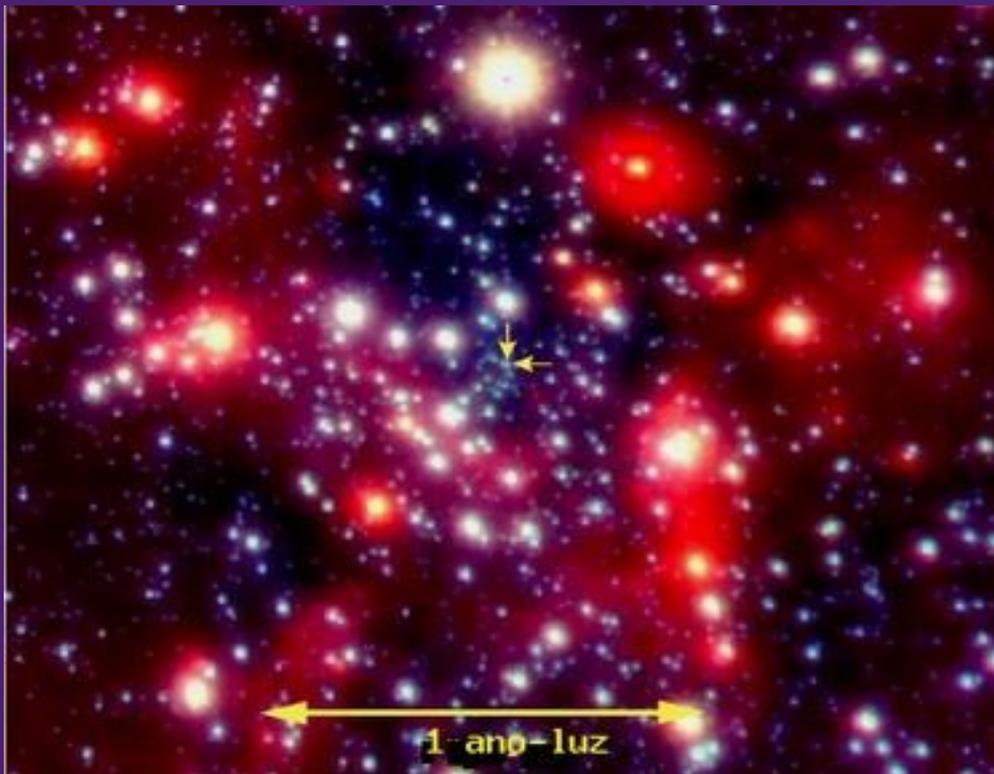


Centro da Galáxia
no infravermelho.

Buraco negro central?

- Observações em rádio indicam que no centro da Galáxia existe um um anel molecular de 3 kpc de diâmetro, envolvendo uma fonte brilhante de rádio, *Sagitário A**, que marca o centro.
- O movimento do gás e das estrelas na região indica que ali existe um objeto compacto e denso, *provavelmente* um buraco negro com 4.3 M de massas solares.

Buraco negro central?



<http://astro.if.ufrgs.br/vialac/gcmovie2003.gif>

O tamanho do universo

Até 1920, a maioria dos astrônomos acreditava que todas as estrelas estavam contidas na Via-Láctea.

Nesse ano, ocorreu o *Grande Debate*:
Harlow Shapley (Via-Láctea = Universo)

X

Heber Curtis (“nebulosas” eram “outros universos”)

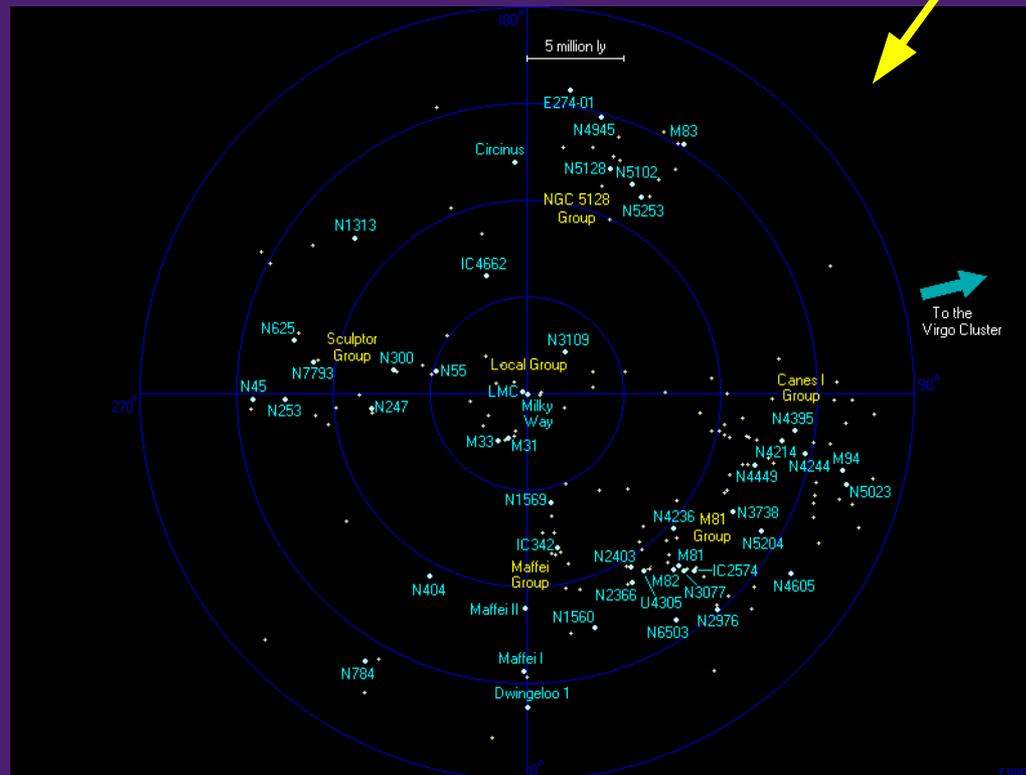
Observações de Edwin Hubble (1922-1923): provam que as tais “nebulosas” eram, na verdade, outras galáxias.

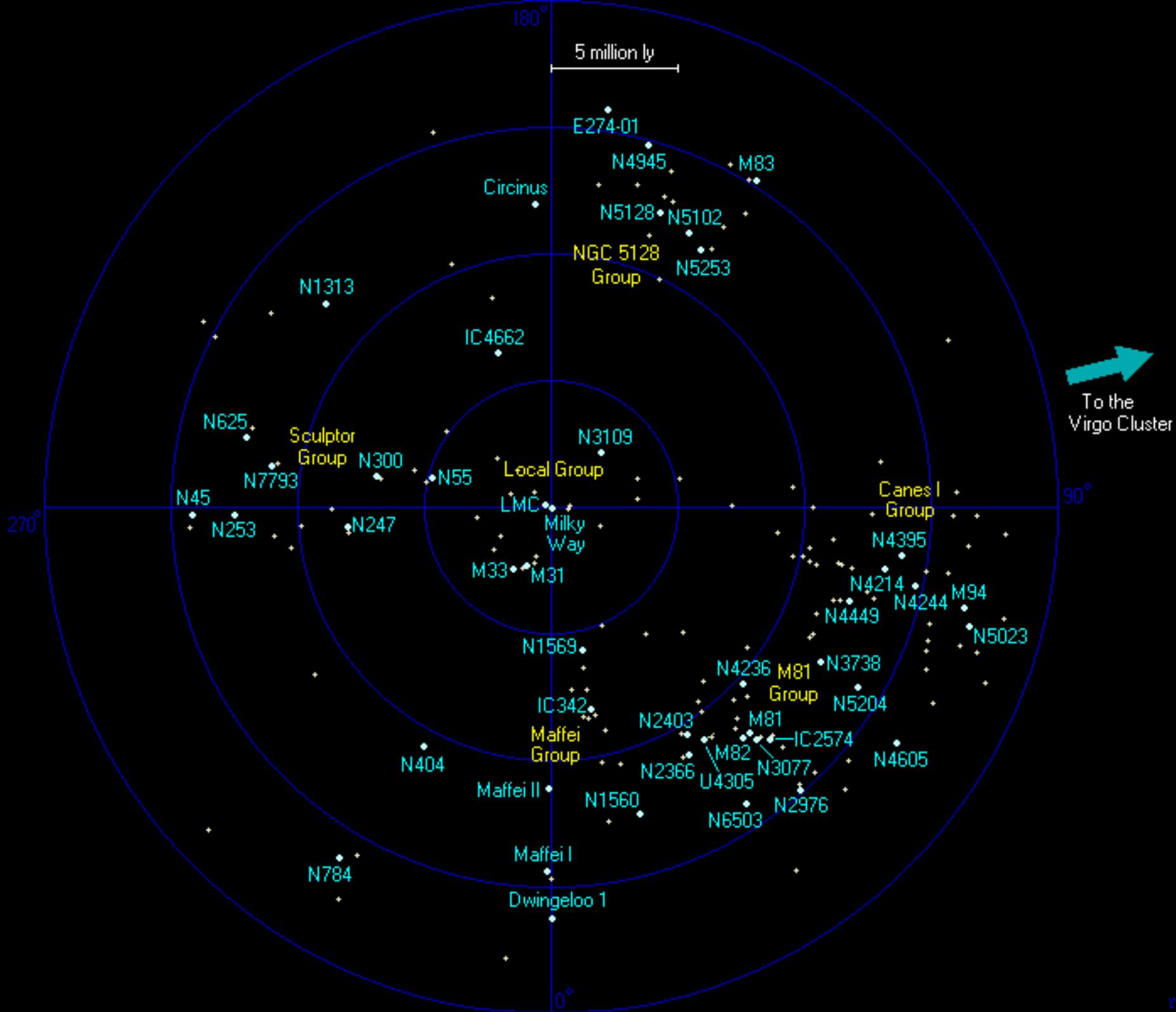
Nosso endereço

Terra → Sistema Solar → Braço de Órion → Via-Láctea →
Grupo Local → Superaglomerado de Virgem →
Superaglomerado Laniakea (definido em *2014*)

Nosso endereço

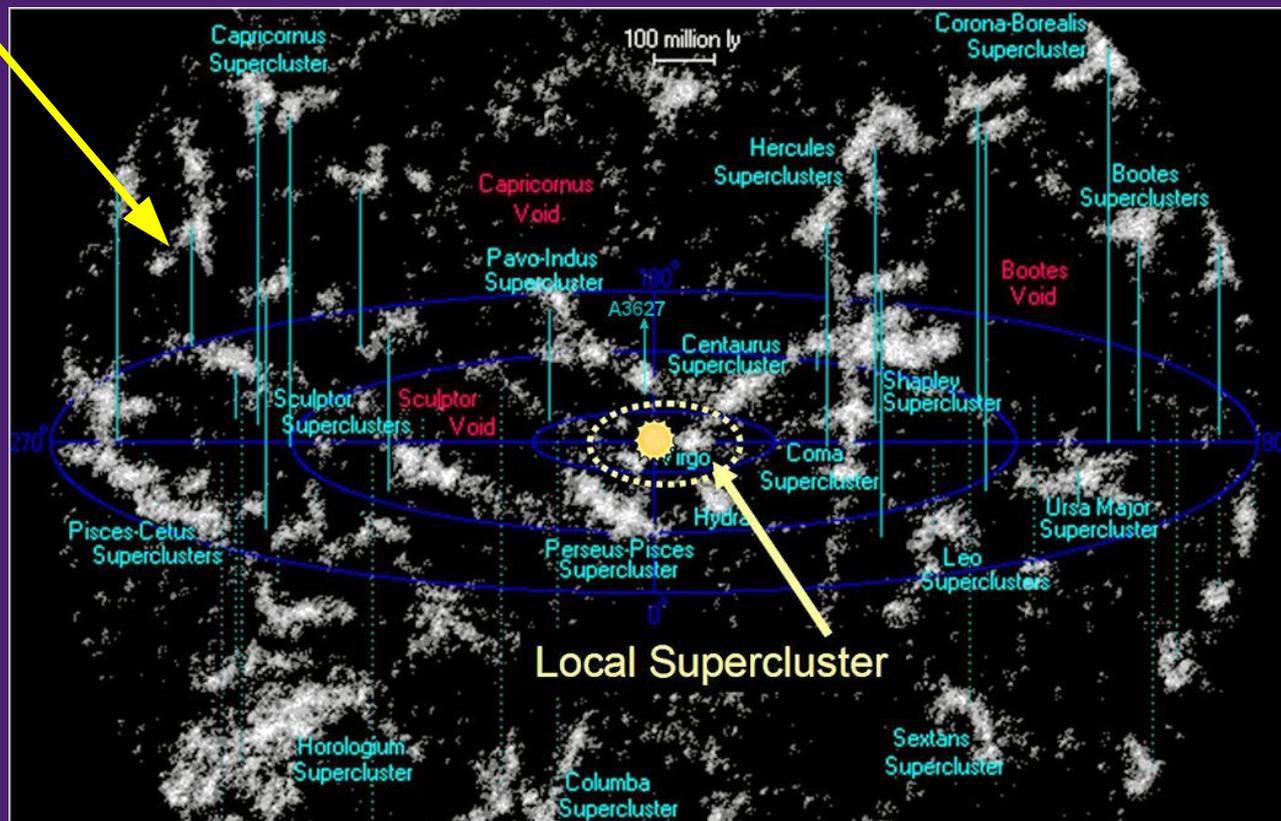
Terra → Sistema Solar → Braço de Órion → Via-Láctea → Grupo Local → **Superaglomerado de Virgem** → Superaglomerado Laniakea (definido em 2014)

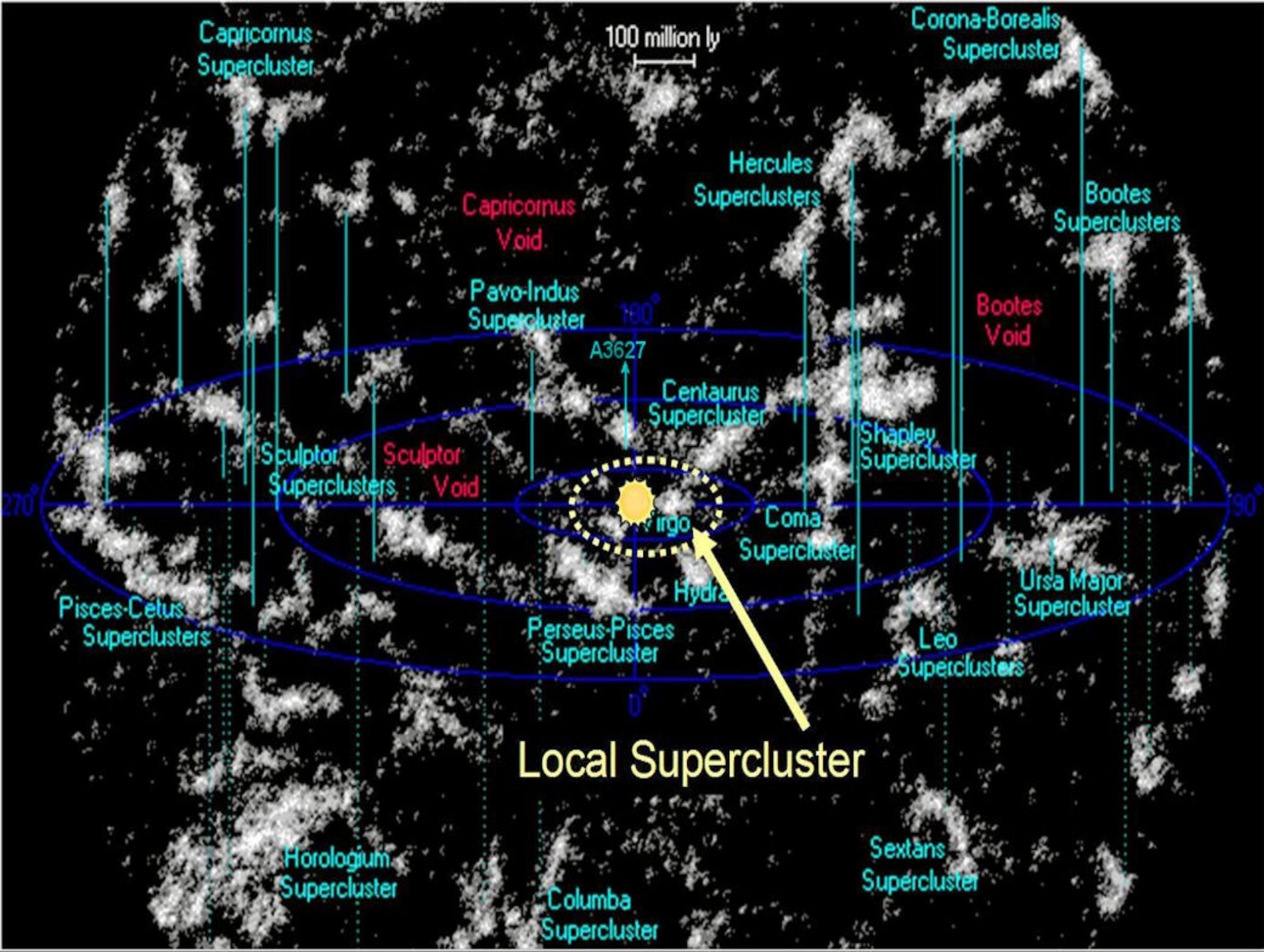




Nosso endereço

Terra → Sistema Solar → Braço de Órion → Via-Láctea → Grupo Local → Superaglomerado de Virgem → **Superaglomerado Laniakea** (definido em 2014)





Formação de galáxias

Universo homogêneo → Universo heterogêneo

Como?

Formação de galáxias

Universo homogêneo → Universo heterogêneo

Como?

Pequenas flutuações quânticas após o Big-Bang.

Formação de galáxias

Universo homogêneo → Universo heterogêneo

Como?

Pequenas flutuações quânticas após o Big-Bang.

...ahn?

Formação de galáxias

1. Galáxias espirais são finas, densas e rotam relativamente rápido;
2. A maior parte da matéria nas galáxias é escura;
3. Estrelas do halo são mais velhas e menos metálicas do que estrelas no disco;
4. Muitas galáxias têm um disco “estendido”, composto por estrelas velhas;
5. Diferentes formas e tamanhos para espirais e elípticas;
6. Buraco negro supermassivo central;
7. Dois tipos principais: azuis, com formação estelar, e vermelhas, sem formação.

Galáxias discoidais ou espirais



Características:

- Muito finas;
- Rotação rápida;
- Órbitas seguem um padrão;
- Ricas em poeira;
- *Frequentemente* têm estrutura espiral.

Formação de galáxias espirais

Proposta 1: **colapso monolítico** de uma grande nuvem de gás.
(top-down = *de cima para baixo*)

- Conforme a nuvem colapsa, o gás se arranja em um disco com rápida rotação.
- Semelhante à formação de sistemas planetários...

Formação de galáxias espirais

Proposta 1: **colapso monolítico** de uma grande nuvem de gás.
(top-down = *de cima para baixo*)

→ Conforme a nuvem colapsa, o gás se arranja em um disco com rápida rotação.

→ Semelhante à formação de sistemas planetários...

= simples! Mas observações sugerem que não é isso que ocorre.

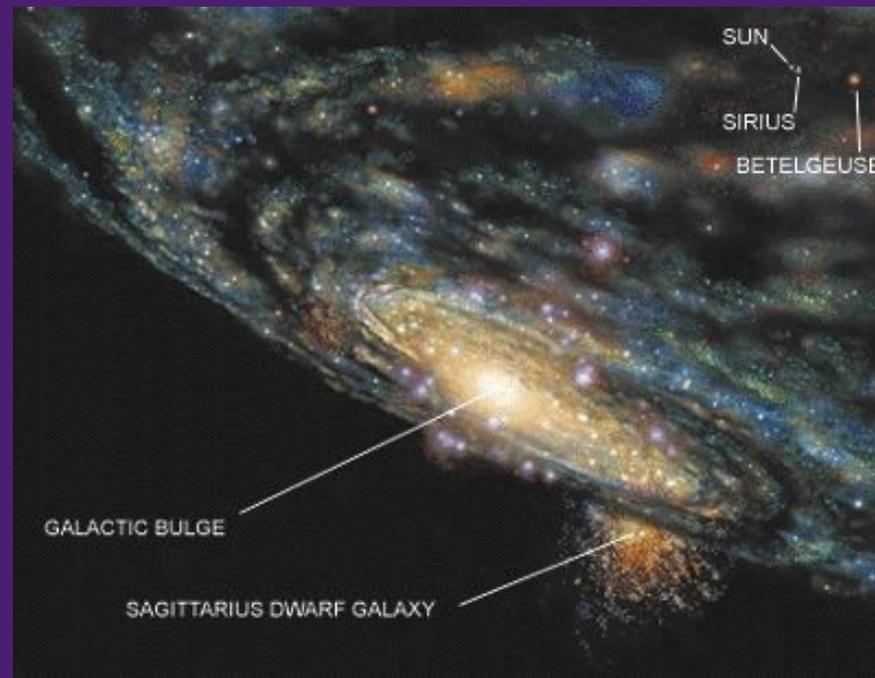
Formação de galáxias espirais

Proposta 2: **coalescência** de progenitores menores.
(bottom-up = *de baixo para cima*)

- Galáxias eram essencialmente compostas por gás e halos de matéria escura que se aglomeraram, com poucas estrelas;
- Conforme a galáxia ganhava massa por acreção de galáxias menores, a matéria escura concentrava-se nas partes externas, enquanto o gás contraía-se e rotava cada vez mais rápido, resultando em um disco.

Formação de galáxias espirais

Proposta 2: **coalescência** de progenitores menores.
(bottom-up = *de baixo para cima*)



Exemplo: galáxia-anã
elíptica de Sagitário

Formação de galáxias espirais

O que pára a contração do disco?

- Pressão de radiação das estrelas que se formam?
- Interação com o halo de matéria escura?

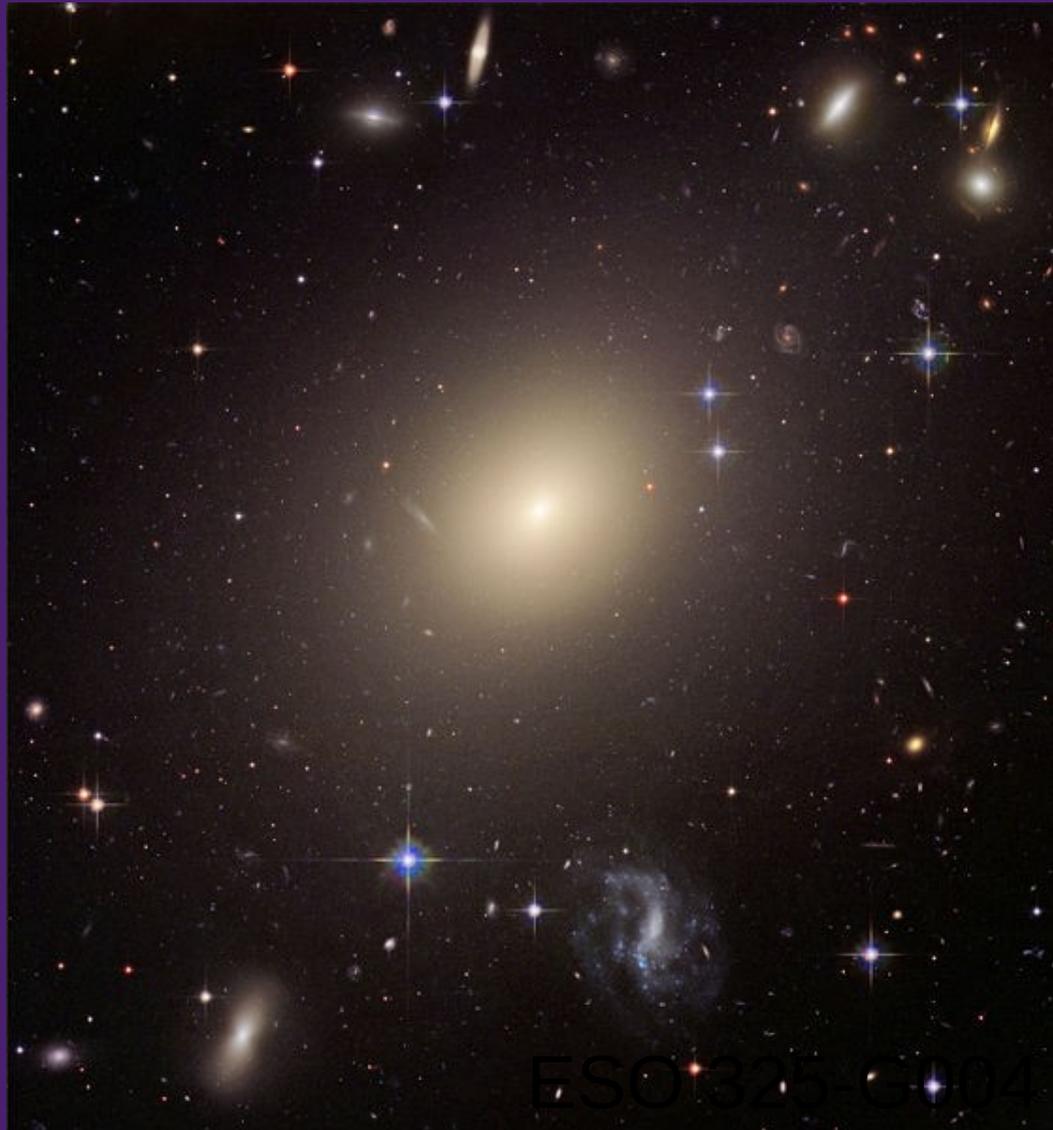
Formação de galáxias espirais

O que pára a contração do disco?

- Pressão de radiação das estrelas que se formam?
- Interação com o halo de matéria escura?

O modelo atual de formação e evolução do Universo (Λ -CDM) *subestima* o número de galáxias espirais...

Galáxias elípticas



Características:

- Massivas;
- Estrelas tem órbitas orientadas aleatoriamente;
- Compostas por estrelas velhas;
- Encontrada em regiões mais populosas;
- Pouca ou nenhuma poeira.

Formação de galáxias elípticas

Proposta: fusão de galáxias menores.



- Galáxias estão frequentemente em interação gravitacional;
- Quando galáxias *de tamanhos similares* se fundem, o resultado não se parece necessariamente com nenhuma das galáxias originais, mas é uma galáxia elíptica.

Formação de galáxias elípticas



NGC 4038

Formação de galáxias

1. Galáxias espirais são finas, densas e rotam relativamente rápido;
2. A maior parte da matéria nas galáxias é escura;
3. Estrelas do halo são mais velhas e menos metálicas do que estrelas no disco;
4. Muitas galáxias têm um disco “estendido”, composto por estrelas velhas;
5. Diferentes formas e tamanhos para espirais e elípticas;
6. Buraco negro supermassivo central;
7. Dois tipos principais: azuis, com formação estelar, e vermelhas, sem formação.