

Astronomia ao Meio-Dia

Galáxias

Prof. Pieter Westera,
UFABC



pieter.westera@ufabc.edu.br



Uma foto noturna
da Avenida Paulista,
com céu limpa,
dá para ver a Lua e
algumas estrelas ...





Simulação do céu noturno de São Paulo (arredores da Avenida Paulista) sem as luzes da cidade ...

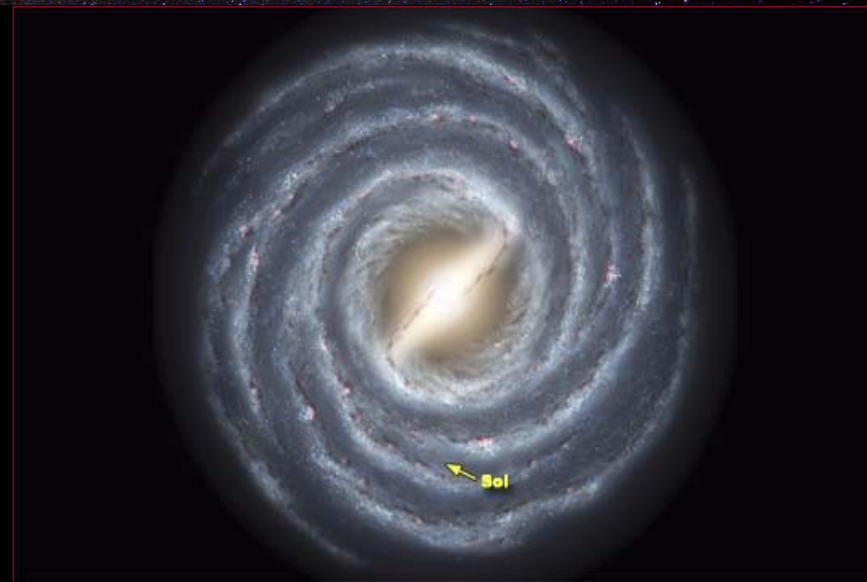
e sem a cidade.



Na Grécia antiga achava-se que esta faixa de luz difusa no céu era leite materna da deusa Hera jorrado no céu, quando esta deu um empurrão ao menino mortal Heracles, e a chamaram **Via Láctea**.

Galileu descobriu em 1610 que ela consiste de **estrelas**.

Hoje sabe-se que é a nossa **Galáxia** (com G maiúsculo) e o nosso Sistema Solar faz parte. Vista de fora, ela provavelmente tem aparência de uma **espiral**.



Interpretação artística da Via Láctea vista de fora



Em uma expedição de 1519-1522 de Fernão de Magalhães, dois objetos flocosos perto do polo sul celeste foram observados que mais tarde passaram a ser chamados as **Núvens de Magalhães**. Obviamente, os povos do hemisfério sul já conheciam estas “núvens”.

As Nuvens de Magalhães

São duas galáxias acompanhantes da Via Láctea.

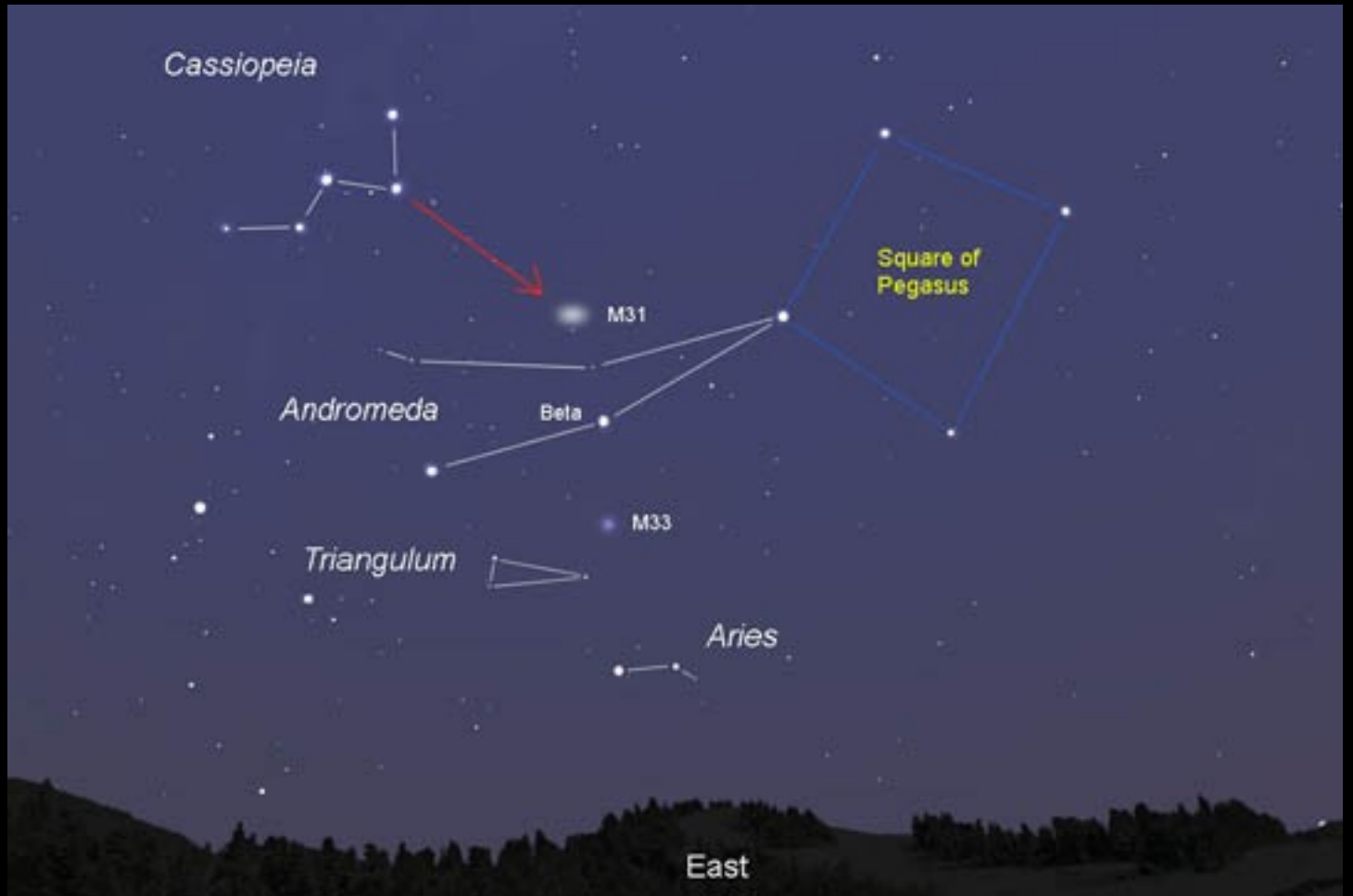
Elas são muito menores que a Via Láctea (galáxias **anãs**), e têm formas **irregulares**.



Pequena Nuvem de Magalhães



Do hemisfério norte, dá para ver, a olho nu, duas galáxias similares à Via Láctea, a galáxia de **Andrômeda** (M31) e a do **Triângulo** (M33), ambas fazendo parte do mesmo grupo de galáxias que a Via Láctea, o **Grupo Local**.



Com a ajuda de **telescópios**, conseguimos observar uma variedade enorme de galáxias.

No **Universo observável** deve haver umas $2 \cdot 10^{11}$ a $2 \cdot 10^{12}$.



Galáxias

Galáxias são sistemas **gravitacionalmente ligados** de 10^7 a 10^{14} **estrelas**, outros corpos celestes (planetas, anãs marrons, estágios finais de estrelas, ...), **gás**, **poeira**, talvez um **Buraco Negro Supermaciço** e **Matéria Escura**, similares à **Via Láctea**.

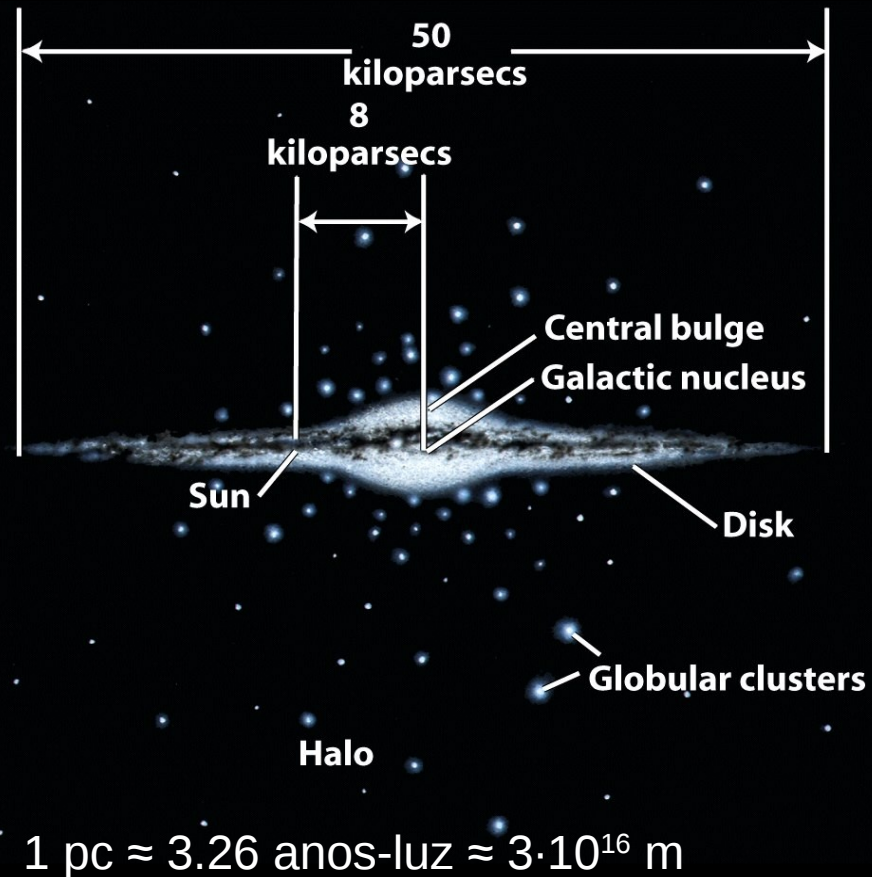
A palavra vem do grego galaxias (γαλαξίας), “leitoso”, em uma referência à Via Láctea.



Começando com a Via Láctea

Usando os dados disponíveis hoje, o modelo atual da Galáxia afirma que ela consiste de:

- o **Disco**, contendo maioria das estrelas (entre elas o Sol), gás e poeira.
- o **Bojo** (ou bulbo) Central, contendo estrelas, gás e poeira.
- o **Halo Estelar**
- o **Halo de Matéria Escura**
- o **Núcleo**, contendo um Buraco Negro supermaciço.



O Disco da Via Láctea

A **Via Láctea** é provavelmente uma **galáxia espiral SBbc** (\Rightarrow daqui a pouco) com um **disco** de **estrelas** de **alta metalicidade** (abundância de elementos pesados) contendo os **Braços Espirais**.



Estimativas do diâmetro do disco vão de 40 kpc a 50 kpc. Interpretação artística da Via Láctea vista *face on*.

O Sol fica a $R_0 \approx 8$ kpc do Centro Galáctico, ~ 30 pc “em cima” do plano.

O círculo com raio R_0 em torno do Centro se chama círculo solar.

O Sol orbita o Centro Galáctico a ~ 220 km/s em ~ 230 Myr.

Os Braços Espirais

A espessura do disco estelar é de 350 a 1000 pc.

E de que consistem os Braços Espirais?

Do mesmo material que o resto do disco, mas com **densidade ligeiramente maior**.

=> **Formação estelar**. Interpretação artística da Via Láctea vista *face on*

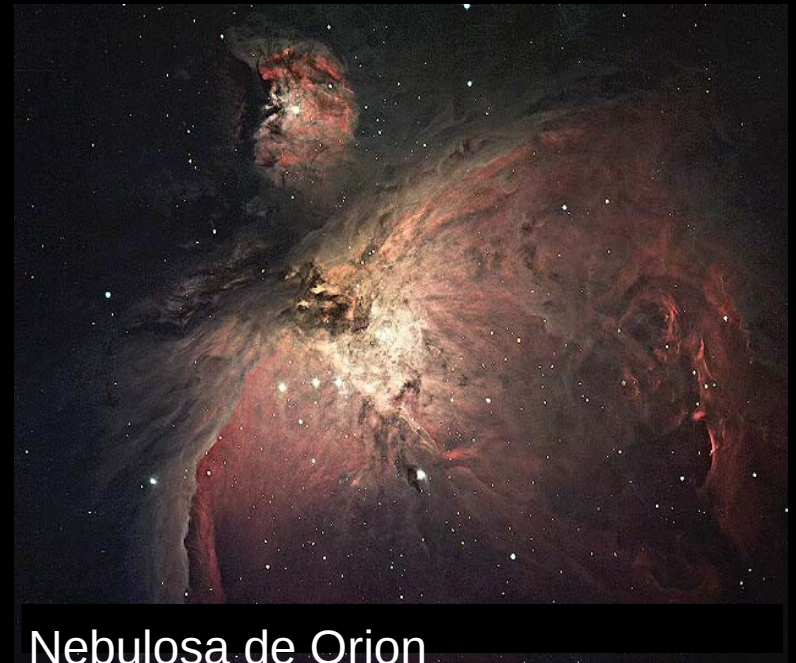
Os Braços Espirais são **mais brilhantes** que o resto do disco por serem regiões de formação estelar.



Os Braços Espirais

Nos Braços Espirais encontramos as **regiões HII**, regiões de **formação estelar**, e os **Aglomerados Estelares Abertos**, conjuntos de **estrelas recém-formados**.

Medindo as distâncias até estes objetos, conseguimos mapear os Braços Espirais, apesar de estarmos dentro do disco.



Nebulosa de Orion
(região HII mais próxima, a ~300 pc)



Pleíades

Os Braços Espirais

Segundo estes resultados a Via Láctea tem quatro grandes **Braços Espirais**:

Braço de Perseu

Braço de Norma

Scutum-Crux

Carina-Sagittarius,

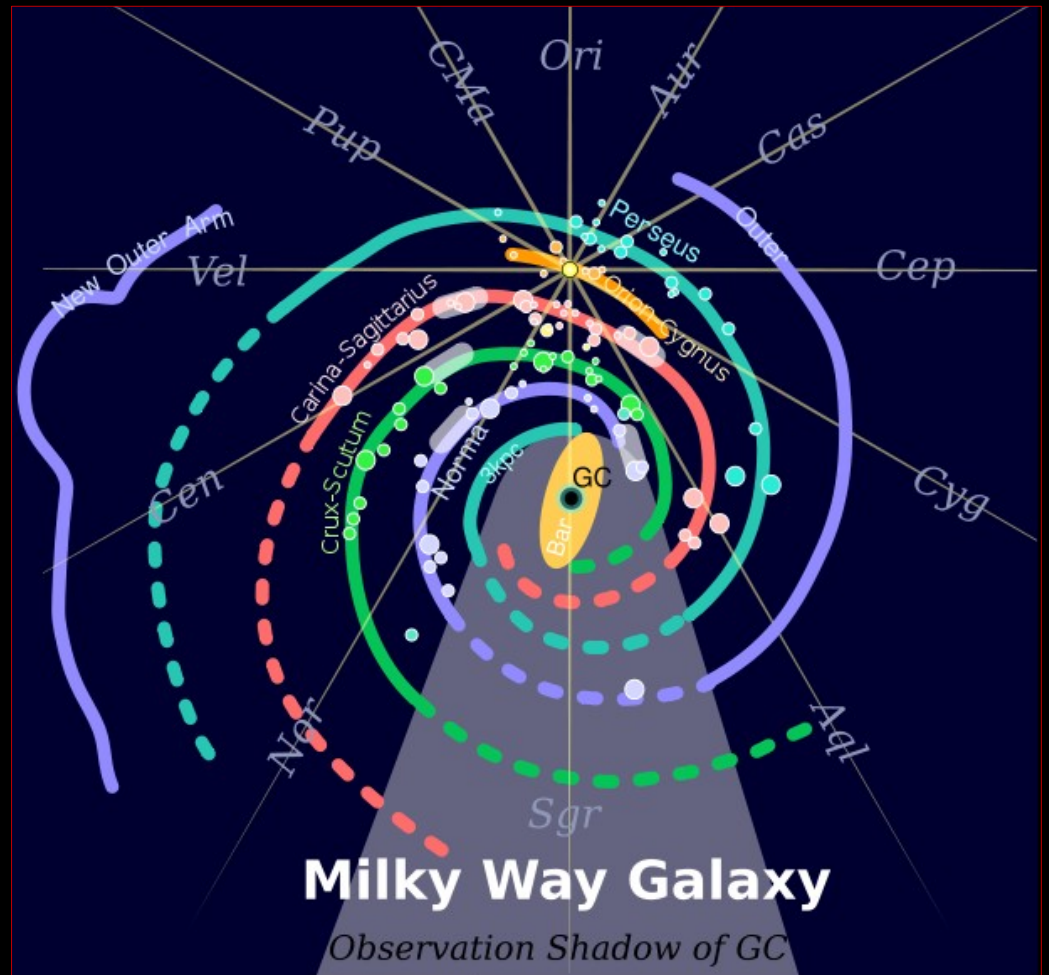
além de fragmentos de braços como o

Braço de Órion ou **Local**,

com o **Sistema Solar**

perto ou dentro (mas o Sol não é uma estrela jovem).

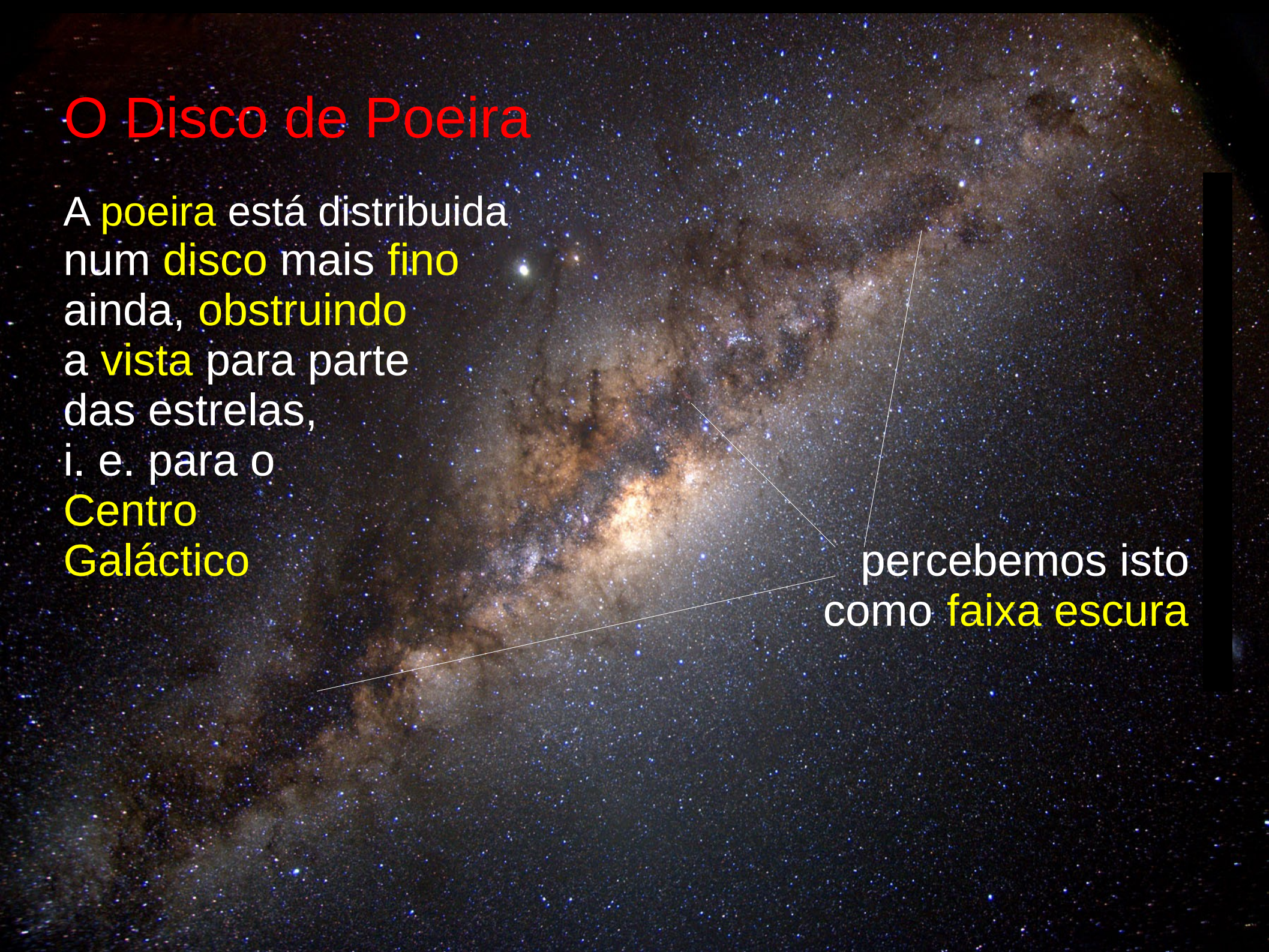
Também há dicas que nossa Galáxia tem uma **Barra Central** de 4.4 kpc de comprimento e proporções 1 : 0.5 : 0.4.



O Disco de Poeira

A **poeira** está distribuída num **disco** mais **fino** ainda, **obstruindo** a **vista** para parte das estrelas, i. e. para o **Centro Galáctico**

percebemos isto como **faixa escura**



O Bojo

No meio do Disco, a espessura aumenta para uns 4 kpc, formando o **Bojo Central**, de $\sim 10^{10} M_{\odot}$.



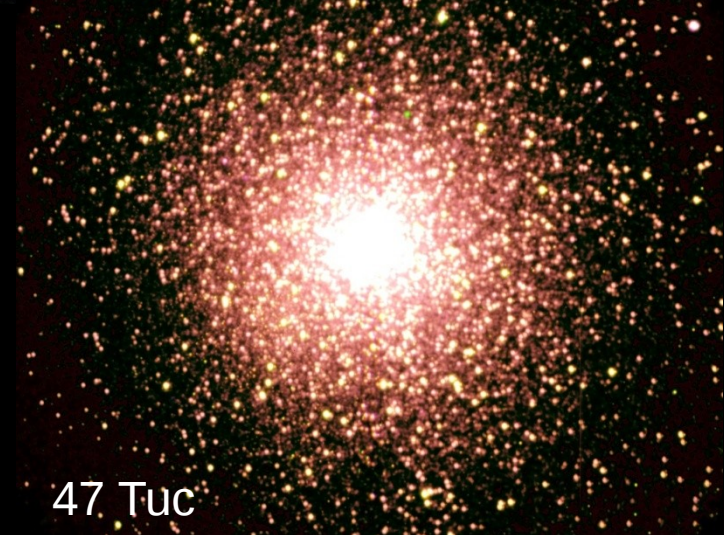
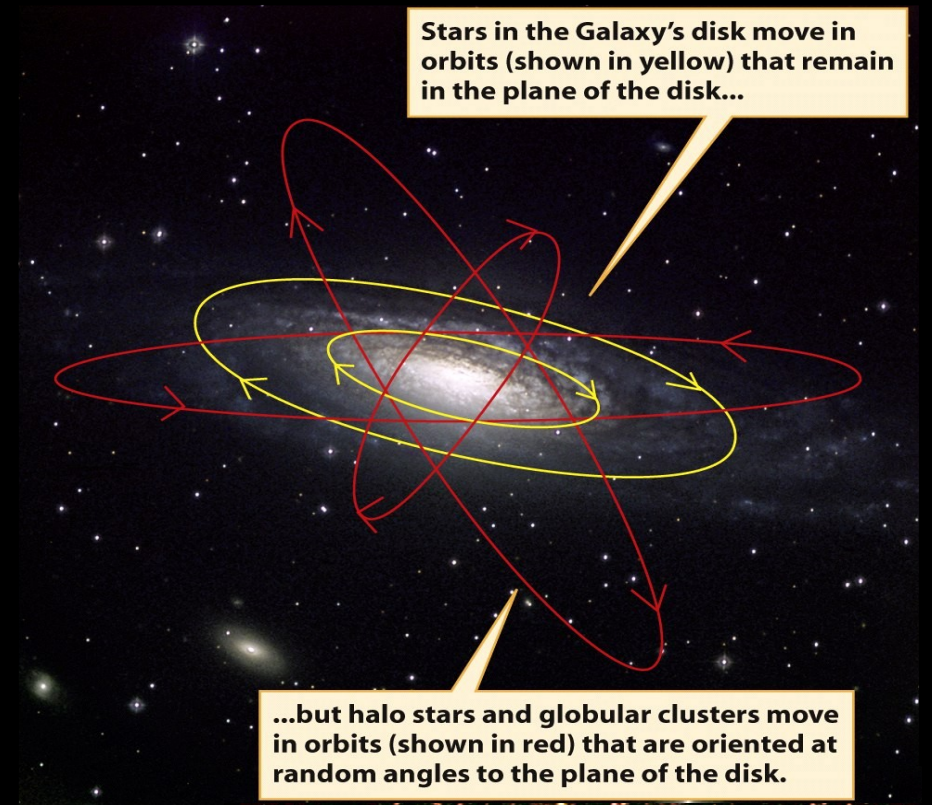
O bojo visto no infravermelho por COBE

Ao contrário de disco, o Bojo contém estrelas de **baixa** - e **alta metalicidade** e de uma **faixa grande** de **idades** (200 mi. a 10 bi. anos), mas **nenhuma formação estelar atual**.

Provavelmente houve uma época de formação estelar quando a Galáxia era jovem, e as estrelas formadas mais tarde foram formadas por material que caiu no Bojo depois, e tinha metalicidades (parcialmente) mais baixas.

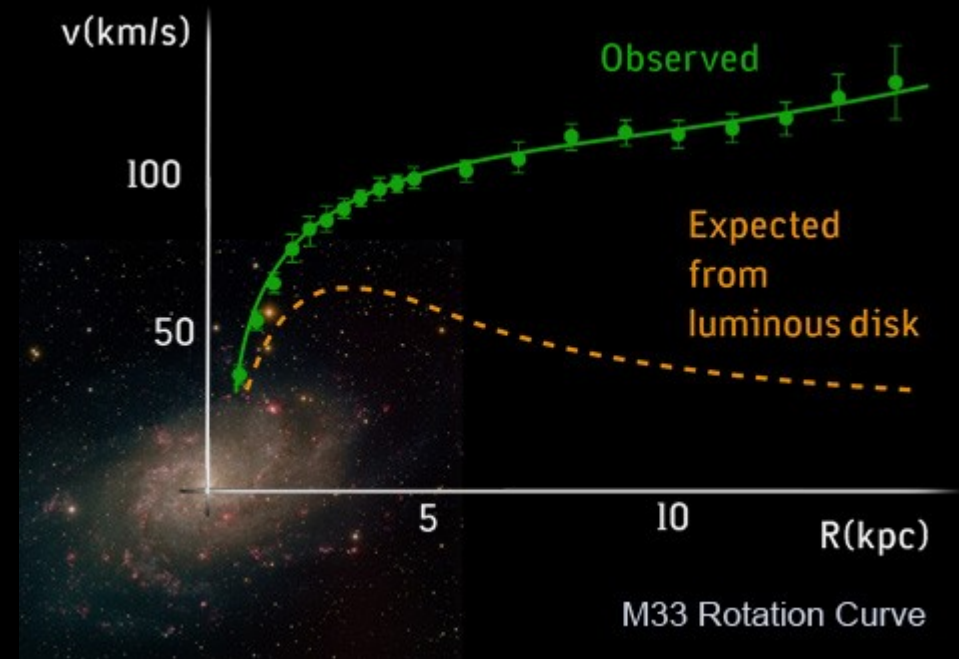
O Halo Estelar

Em torno de tudo, com um diâmetro de > 200 kpc temos o **Halo Estelar**, de $\sim 10^9 M_{\odot}$, consistindo de **estrelas** com **órbitas fora do disco** e **Aglomerados Globulares**, de 11 a 13 bi. anos de idade (**velhos**), e **baixas metalicidades**.



O Halo de Matéria Escura

Pela **curva de rotação** da Galáxia, isto é, a **velocidade da rotação** das estrelas em torno do centro Galáctico **em função da distância até este centro**, dá para estimar a **massa** do halo em cascas esféricas em torno do centro.



Encontra-se que tem **muito mais massa** no halo, do que somando as **componentes observadas** da Galáxia (estrelas, gás interestelar, ...).

=> Deve ter uma **componente** extra, **invisível**, na Via Láctea, chamada **Halo de Matéria Escura**.

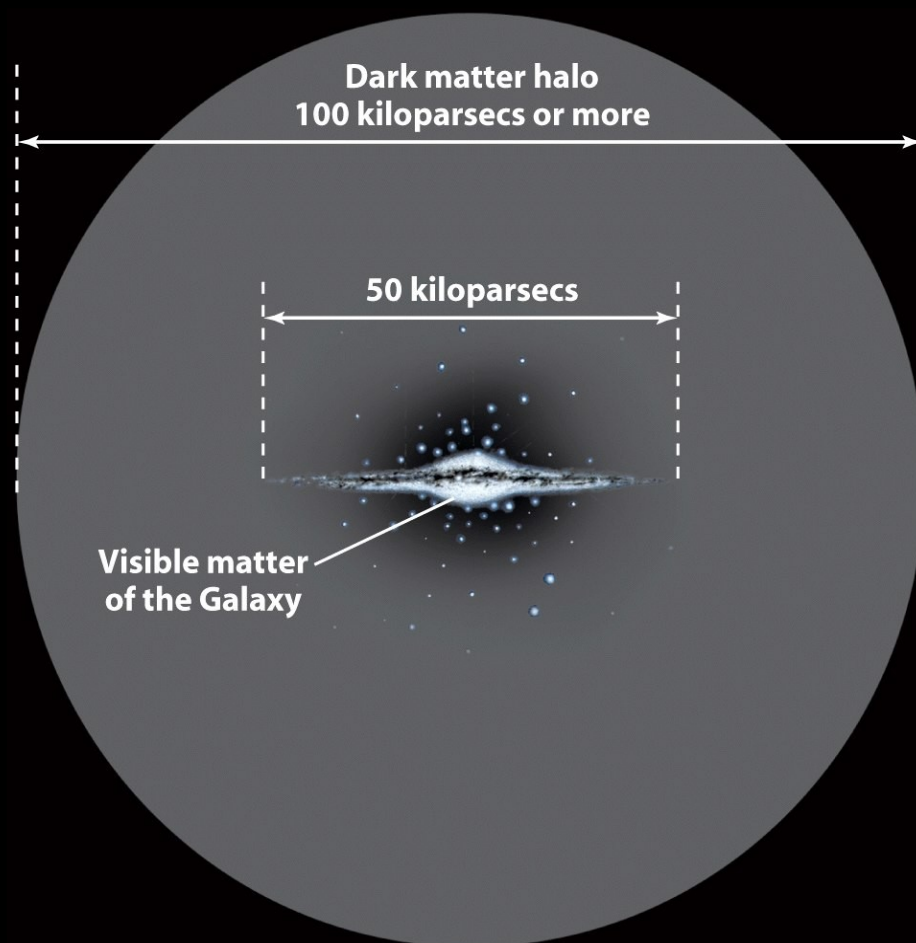
O Halo de Matéria Escura

A massa deste Halo é de $M = 5.4 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ até 50 kpc, e $1.9 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ até 230 kpc.

=> **95 % da massa total da Via Láctea!**

Não se sabe exatamente, de que consiste esta Matéria Escura.

Provavelmente são partículas elementares que (quase) não interagem com a matéria visível, apenas pela gravitação e talvez pela força fraca.



O Centro Galáctico

A parte mais difícil de observar da Via Láctea é o **Centro**, escondendo-se atrás de um monte de **poeira** na constelação de Sagitário.



O Centro Galáctico

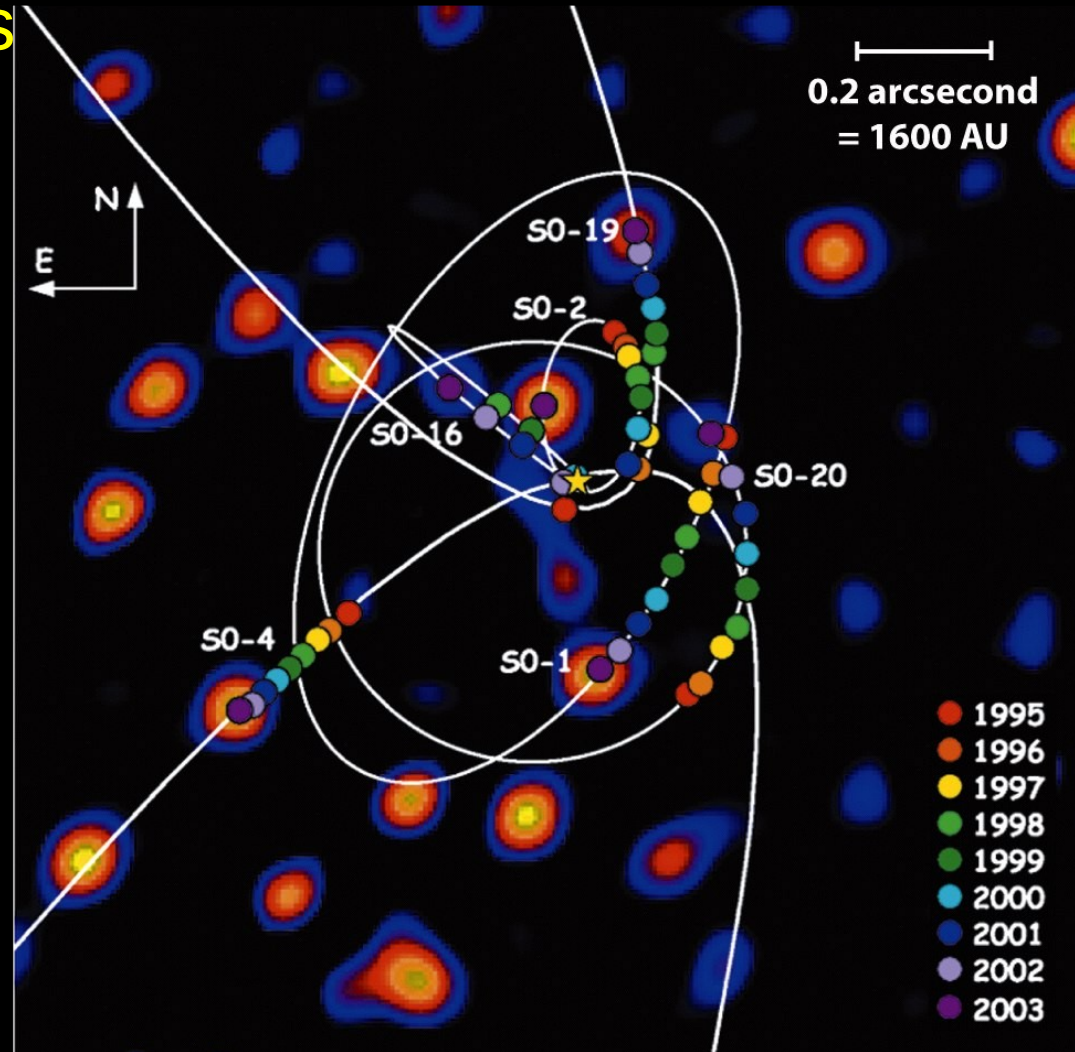
No **infravermelho**,
esta poeira é mais
transparente:

Consegue-se ver um
aglomerado denso de
estrelas velhas.



O Centro Galáctico

Nesta região, as **estrelas orbitam** algum **centro de massa**, ★, tão rapidamente que dá pra observar o movimento.



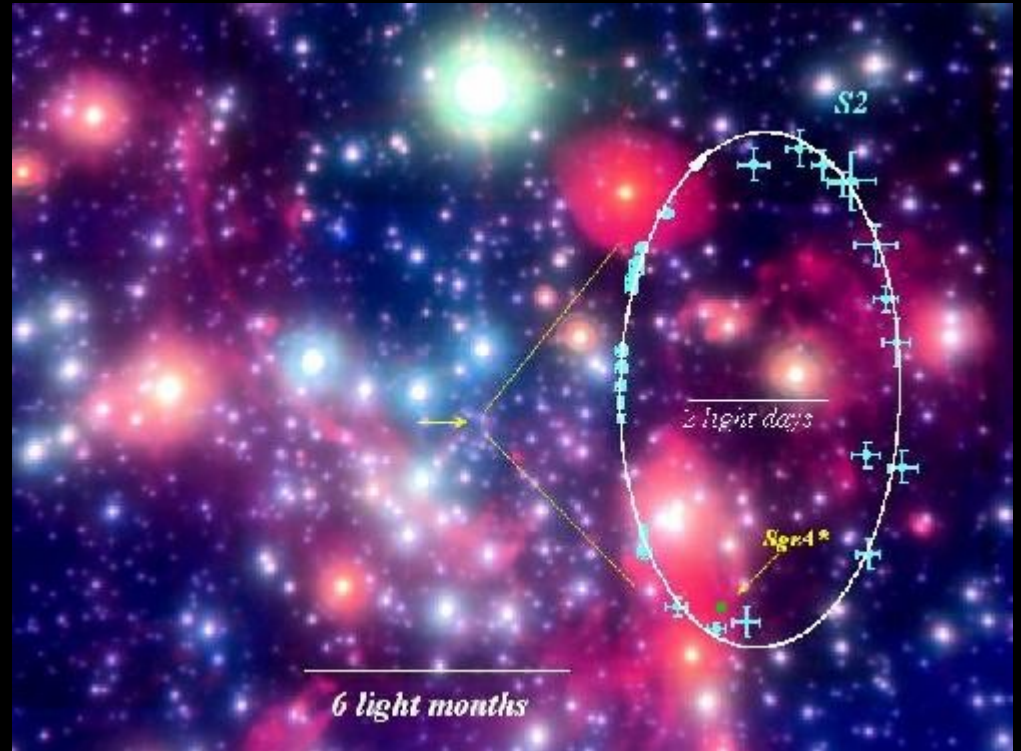
<http://www.youtube.com/watch?v=opUkRkexw10>

O Centro Galáctico

A estrela mais perto do Centro Galáctico, S2, orbita o centro em apenas 15.2 anos, chegando a 120 AU do Centro, órbita só poucas vezes a de Plutão em torno do Sol!

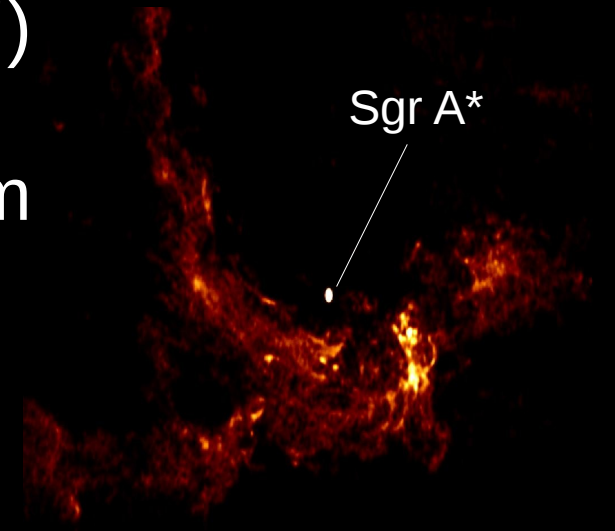
Pela velocidade de rotação destas estrelas dá para calcular a **massa** do objeto que elas orbitam: **3.7 mio. massas solares**.

=> Nos **120 AU internos** da Galáxia se **concentra** uma massa de **3.7 mio. M_{\odot}** que quase **não brilha!**



O Centro Galáctico

Observando no rádio (resolução 2 AU!) identifica-se uma fonte chamada **Sagitário A*** (Sgr A*), que coincide com esta massa, e que deve ser o verdadeiro centro da Via Láctea.



A única explicação que conhecemos para um objeto tão denso e escuro é um **Buraco Negro** Supermaciço.

=> No Centro da nossa Galáxia há um Buraco Negro de alta massa!

Agora para as demais galáxias

A Sequência de Hubble

1926, **Hubble**: Sistema de **Classificação morfológica de galáxias**

Tipos "Precoces"
(*Early type*)

Elípticas

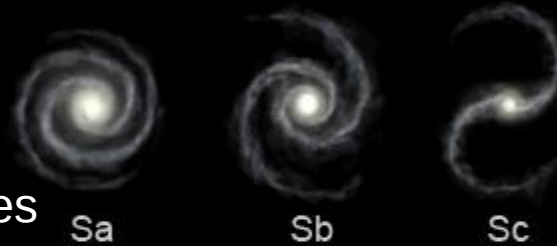


Elipticidade aparente
aumenta

Lenticulares

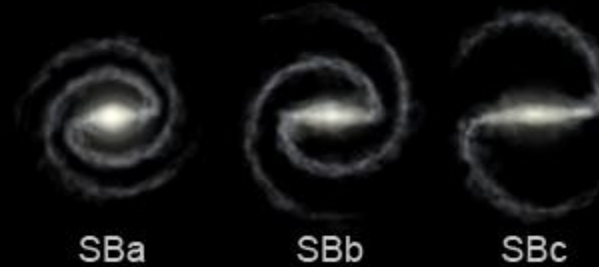


Espirais

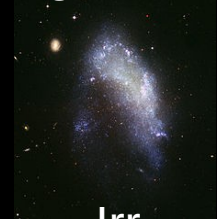


Tipos "Tardios"
(*Late type*)

Espirais Barradas



Irregulares



Tamanho do bojo diminui,
Ângulo de abertura dos braços
espirais aumenta

A Sequência de Hubble

Os dois tipos mais importantes são as **galáxias elípticas** e as **espirais**.

Quais as **diferenças principais**, além da morfologia?

- **Elípticas** consistem de **estrelas velhas**, **sem formação estelar** atual, e contêm **pouco** ou **nenhum gás** e **poeira**.

Se trata da ordem de 20 % das galáxias observadas



- **Espirais** (como a Via Láctea) têm **estrelas velhas** e **jovens** incl. **formação estelar** atual, e contêm **gás** e **poeira** no **disco**.

~75 % das galáxias observadas.



A Sequência de Hubble

Galáxias **lenticulares**, S0, são **tipos intermediários** entre elípticas e espirais. Elas tem **bojos enormes** e **discos fracos** sem estrutura, e **conteúdo estelar** similar às **elípticas**, **pouca** ou **nenhuma formação estelar**. Elas podem ter barras: tipo SB0.

Irregulares (exemplos: As Nuvens de Magalhães) costumam ser **pequenas**, **ricas em gás**, de **baixa metalicidade** e terem **altas taxas de formação estelar**. Geralmente elas são **associadas a galáxias maiores**.
~5 % das galáxias observadas



Galáxias

As velocidades das estrelas em **outras galáxias** mostram, que estas também têm **Halos de Matéria Escura** e as **grandes** também têm **Buracos Negros** nos seus centros.

Ex. O Buraco Negro Central da Galáxia de Andrômeda deve ter uma massa de $1.4 \cdot 10^8 M_{\odot}$.

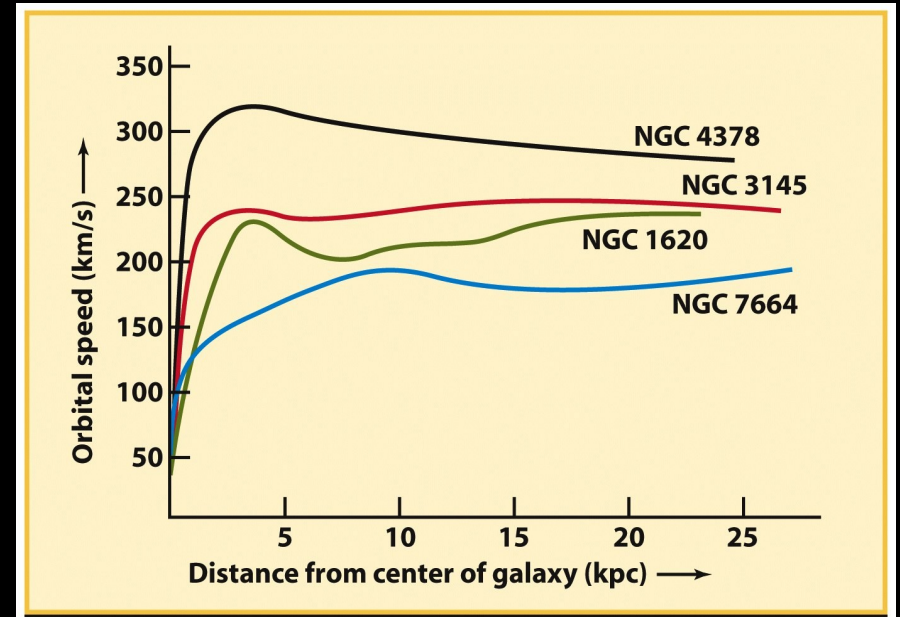


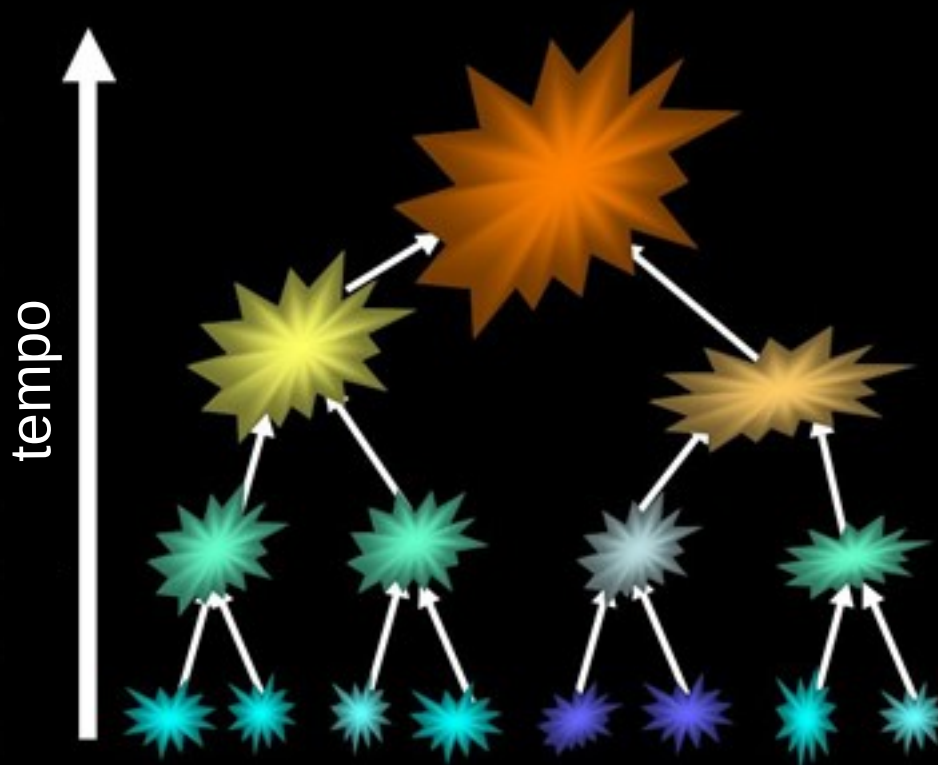
Figure 24-29
Universe, Eighth Edition
© 2008 W. H. Freeman and Company

Formação e Evolução de Galáxias

O Modelo Hierárquico de Fusões, Searle e Zinn (1978)

É o modelo mais aceito hoje.

As **estruturas menores** se formam **primeiro**, e depois **fusionam** para formar as **estruturas maiores**, “de baixo pra cima”, ou *bottom-up*.

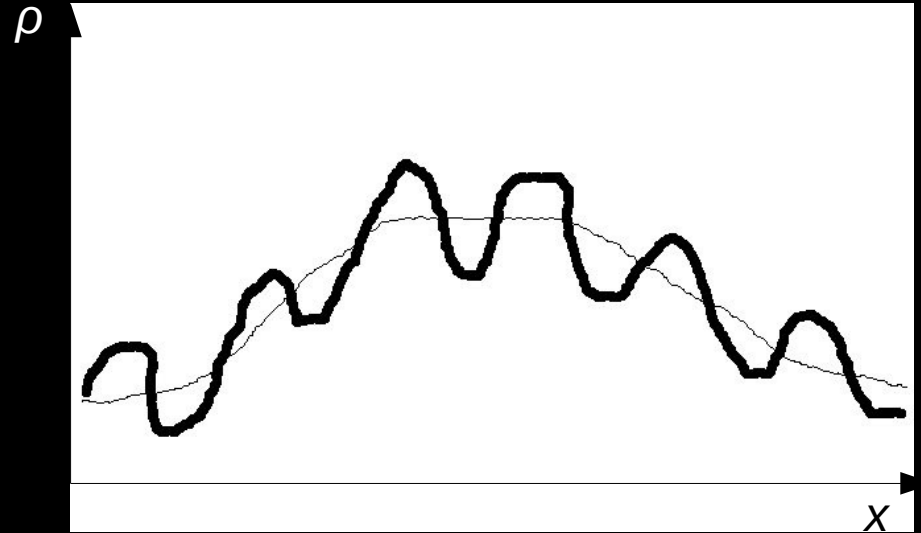


Formação e Evolução de Galáxias

O Modelo Hierárquico de Fusões (exemplo Via Láctea)

- Logo depois do *Big Bang* houve

flutuações de densidade grandes i. e. $10^{12} M_{\odot}$, com flutuações menores sobrepostas, na maioria de 10^6 a $10^8 M_{\odot}$.

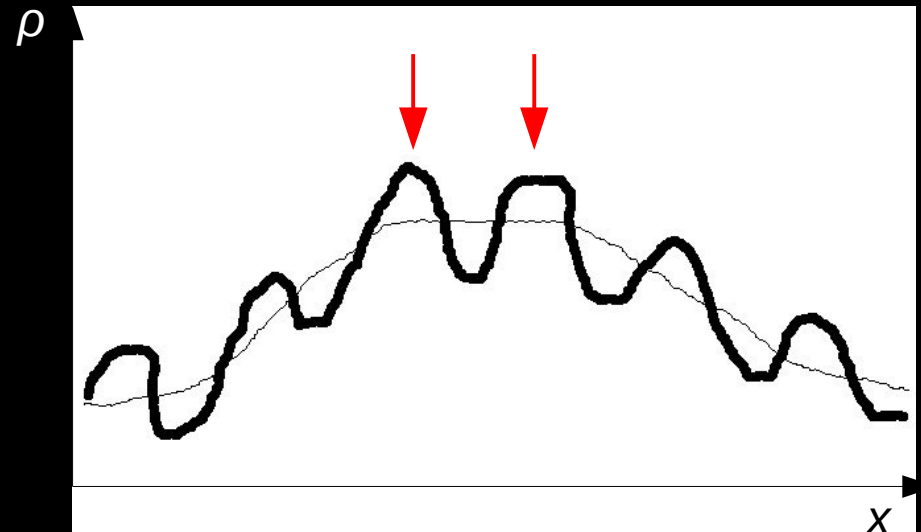


- Estas se **contrairam**, formando **estrelas** e, às vezes, **Aglomerados Globulares**
=> **fragmentos proto-galácticos**, praticamente galáxias anãs.

Formação e Evolução de Galáxias

O Modelo Hierárquico de Fusões (exemplo Via Láctea)

- Aqueles no **centro** da flutuação grande eram **mais densas**, e se desenvolveram **mais rapidamente**
=> **maiores** e com mais **alta metalicidade**.
=> **Proto-Bojo**.



Formação e Evolução de Galáxias

O Modelo Hierárquico de Fusões (exemplo Via Láctea)

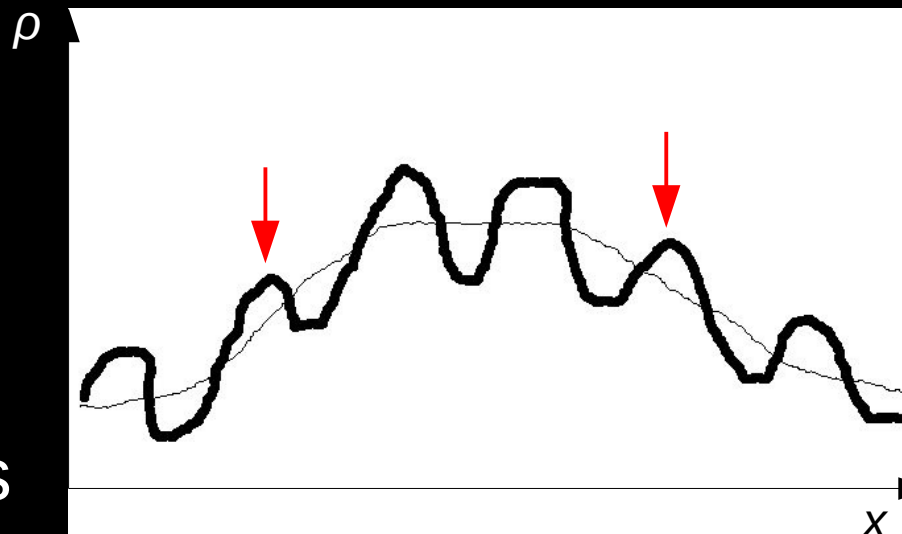
- Alguns **afastados** eram **menores** e tinham **metalidades mais baixas**, estes foram **atraídos** direção **centro**.

Foram **disrompidos** por forças de maré no caminho

=> As **estrelas** do **Halo**.

Uns 10 % dos Aglomerados Globulares nestes fragmentos sobreviveram.

=> os **Aglomerados Globulares** do **Halo**.



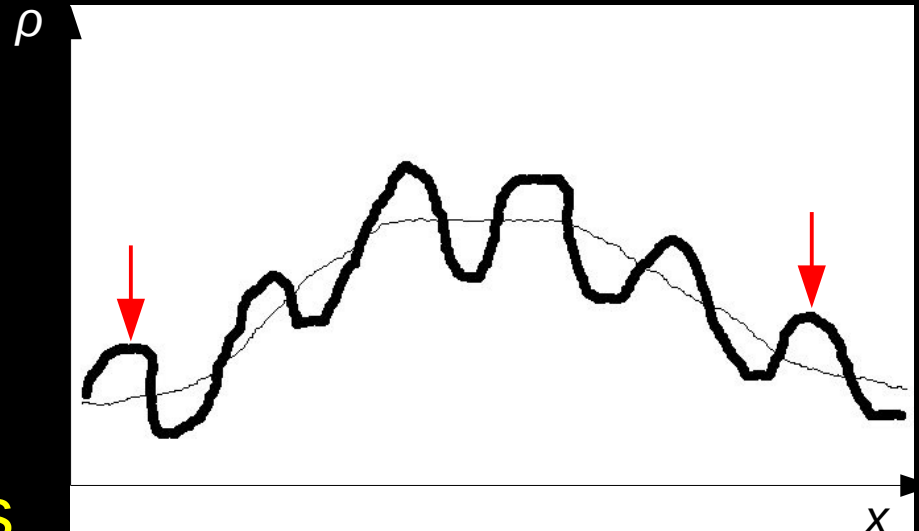
Formação e Evolução de Galáxias

O Modelo Hierárquico de Fusões (exemplo Via Láctea)

- Os fragmentos **mais afastados** e de **menor massa sobrevivem** até hoje, compondo as atuais **galáxias satélites** da Via Láctea.

Algum dia serão **incorporadas** na Galáxia (\Rightarrow Nuvens de Magalhães, galáxia de Sagitário, etc.).

- Fragmentos **longe** de qualquer sobre-densidade maior talvez **sobreviverão** “por sempre” como **galáxias anãs**.



Formação e Evolução de Galáxias

O Modelo Hierárquico de Fusões (exemplo Via Láctea)

- O **gás** dos fragmentos disrompidos caiu pro centro e, tendo um **momento angular** por causa de torques de nuvens protogalácticas, formou um **disco**.

Enquanto este disco ficou **mais fino**, a **densidade aumentou**, levando (até hoje) a nova **formação estelar**.

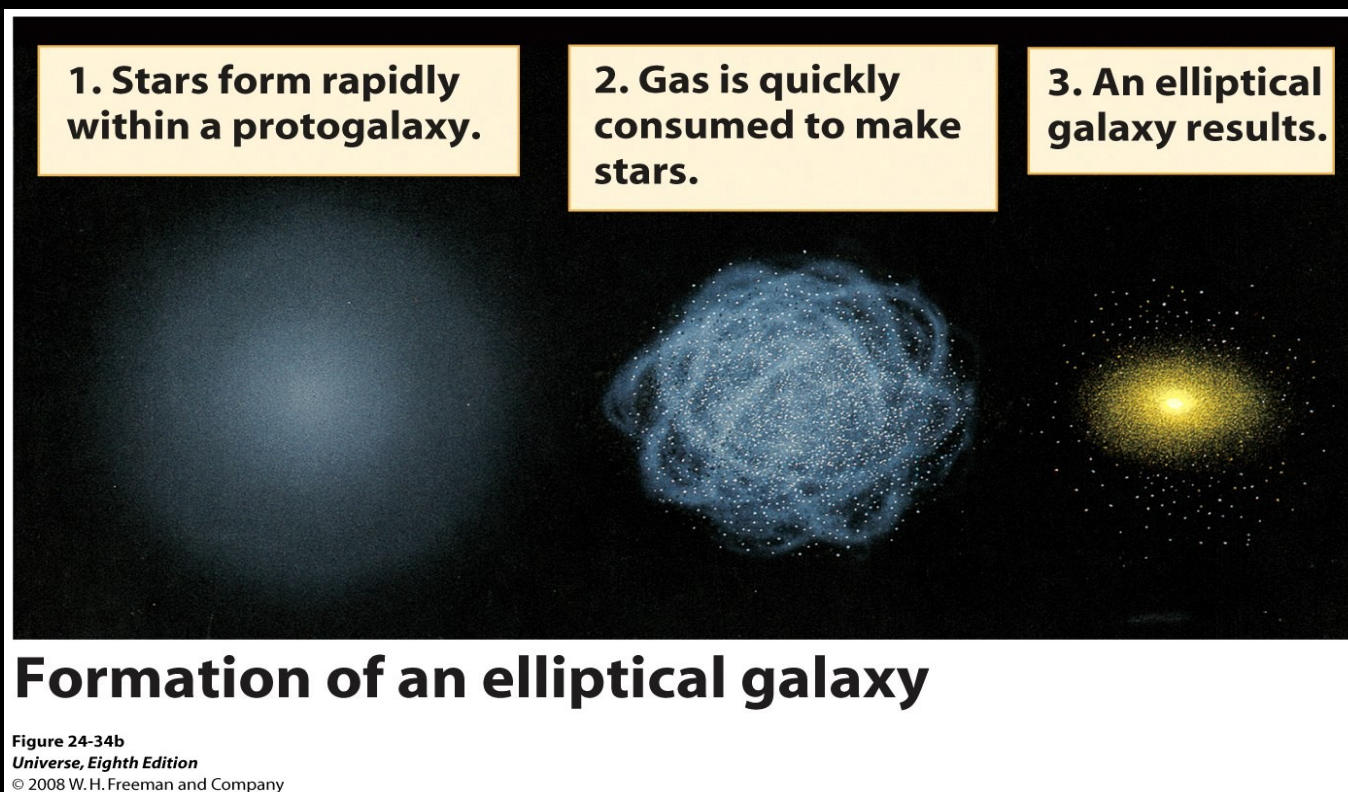
=> As **estrelas do disco**

- Finalmente, o **gás** que **sobrou** se **resfriou** ainda mais, se **contraíndo** para um disco de ~ 100 pc, o atual **disco de gás e poeira**.

Formação e Evolução de Galáxias

Galáxias Elípticas

Muitas **elípticas** foram provavelmente formadas num **colapso** similar àquele das espirais, só que **sem gás** sobrando para formar um disco.



Isto explica as suas **baixas metalicidades** e a **falta de gás**.

Formação e Evolução de Galáxias

Galáxias Elípticas

Porém, **elípticas gigantes** são provavelmente resultados de **fusões** de **galáxias espirais**, como mostram **simulações**.

No processo, os discos são destruídos e o gás, expulso.

Fusões destas podem ser **observadas** “ao vivo” com **telescópios**.



As galáxias Antenas

Formação e Evolução de Galáxias

Galáxias cDs (central dominant)

O auge de fusões de galáxias devem ser as galáxias cD, galáxias gigantes nos centros de Aglomerados de galáxias com tamanhos de até 1 Mpc e centenas de vezes a massa da Via Láctea.

Muitas têm núcleos múltiplos que se orbitam com ~ 1000 km/s, velocidade muito mais alta que a das estrelas, ~ 300 km/s.

Há gás intergaláctico se estendendo por toda a região central de Aglomerados.

Deve ser o resultado de fusões de muitas galáxias.



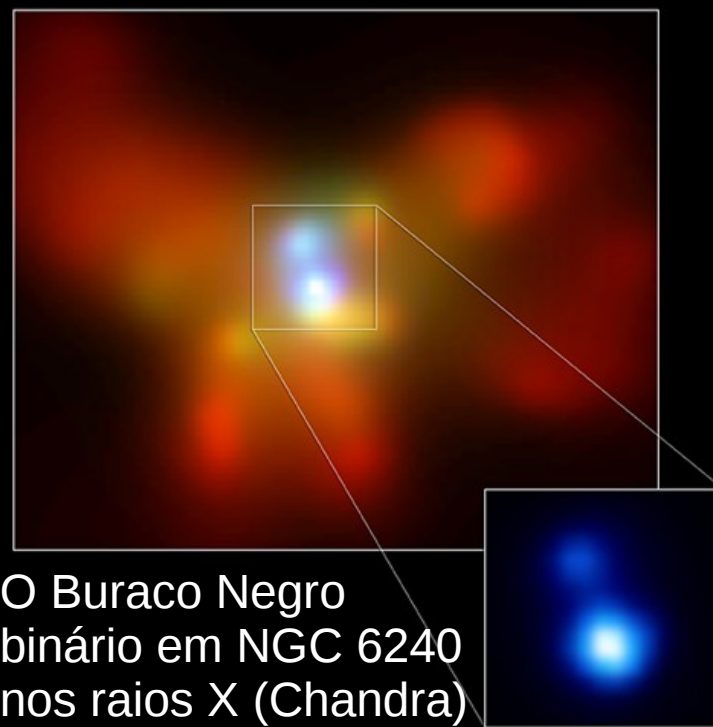
Formação e Evolução de Galáxias

Buracos Negros Binários

Em fusões de galáxias grandes é inevitável se formar um **Buraco Negro Supermaciço Binário**.

Os Buracos Negros centrais das galáxias envolvidas migram para o **centro** da **nova galáxia** por fricção dinâmica.

Em NGC 6240, os dois Buracos Negros se encontram numa distância de ~ 1 kpc um do outro.

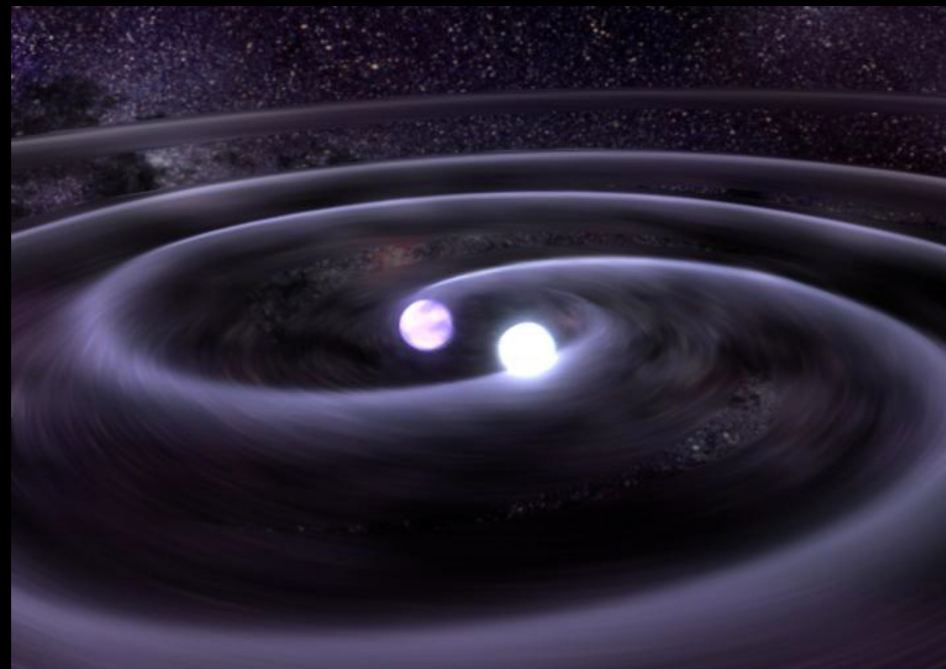


O Buraco Negro binário em NGC 6240 nos raios X (Chandra)

Formação e Evolução de Galáxias

Buracos Negros Binários

Quando os Buracos Negros chegam muito **pertos**, eles se **orbitam** e emitem **ondas gravitacionais**, assim perdendo momento angular e **espiralando** ainda mais para o **centro de massa**.



No final há uma **fusão** de **Buracos Negros**, resultando em uma Buraco Negro ainda maior.

Acredita-se que foram formados desta maneira os **Buracos Negros centrais** de **galáxias gigantes**.

Formação e Evolução de Galáxias

Formação de Galáxias no Universo Jovem

A imagem **mais distante**, quer dizer **mais antiga**, de galáxias que temos à disposição é o *Hubble Ultra Deep Field*, mostrando algumas galáxias como eram **400 a 800 Myr** após o *Big Bang*.

Elas tinham aparências bem diferentes das galáxias atuais.



Deve se tratar de **fragmentos proto-galácticas**.

Formação e Evolução de Galáxias

Resumo

Afinal, o que determina, que **tipo** de **galáxia** é formada é:

- a **massa** da sobredensidade protogaláctica
- a **eficiência** da **formação estelar** (se **sobra gás** ou não)
- o **ambiente** (interações com outras galáxias, transferência de momento angular, fusões, ...).

Esquema Simplificado

Fragmentos protogalacticos



isolados



gals. Anãs



perturbados por outra galáxia



Irregulares



Fusões com gás sobrando



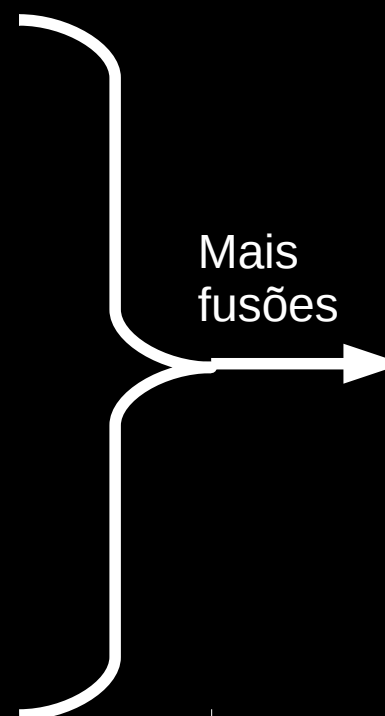
Espirais



Elípticas



Mais fusões



Elípticas gigantes ou cDs



Fusões sem gás sobrando



O Futuro da Galáxia

Medindo o **espectro** da **galáxia** de **Andrômeda** encontramos um deslocamento para comprimentos de onda mais curtos, um *blueshift*, das linhas espectrais.

=> **Efeito Doppler**

=> Andrômeda está se **aproximando** da Via Láctea



O Futuro da Galáxia

=> Em uns 4 bi. anos, as duas maiores galáxias do Grupo Local **colidirão**, formando uma **galáxia elíptica gigante**, “Lactômeda”.

Algum tempo depois, Triângulo se juntará também.

O Sistema Solar vai provavelmente parar mais longe do centro da nova galáxia, ou será expulso.



Impressão artística (e pouco realista) da colisão Via Láctea-Andrômeda vista da Terra.

A wide-field astronomical image showing a galaxy with a prominent central region. The galaxy is oriented diagonally across the frame. The central region is bright and yellowish-white, with a red text label 'FIM' overlaid on it. The galaxy's structure is composed of numerous stars and interstellar dust, appearing as a dense, multi-colored band. The background is a deep black space filled with a vast field of distant stars, some of which are brighter than others. The overall color palette is dominated by blues, purples, and whites, with the central region providing a stark contrast in yellow and white.

FIM