

A Via Láctea

Rogério Riffel

<http://astro.if.ufrgs.br>



Breve histórico

Via Láctea: Caminho esbranquiçado como Leite;

Galileo (Sec. XVII): multitude de estrelas;

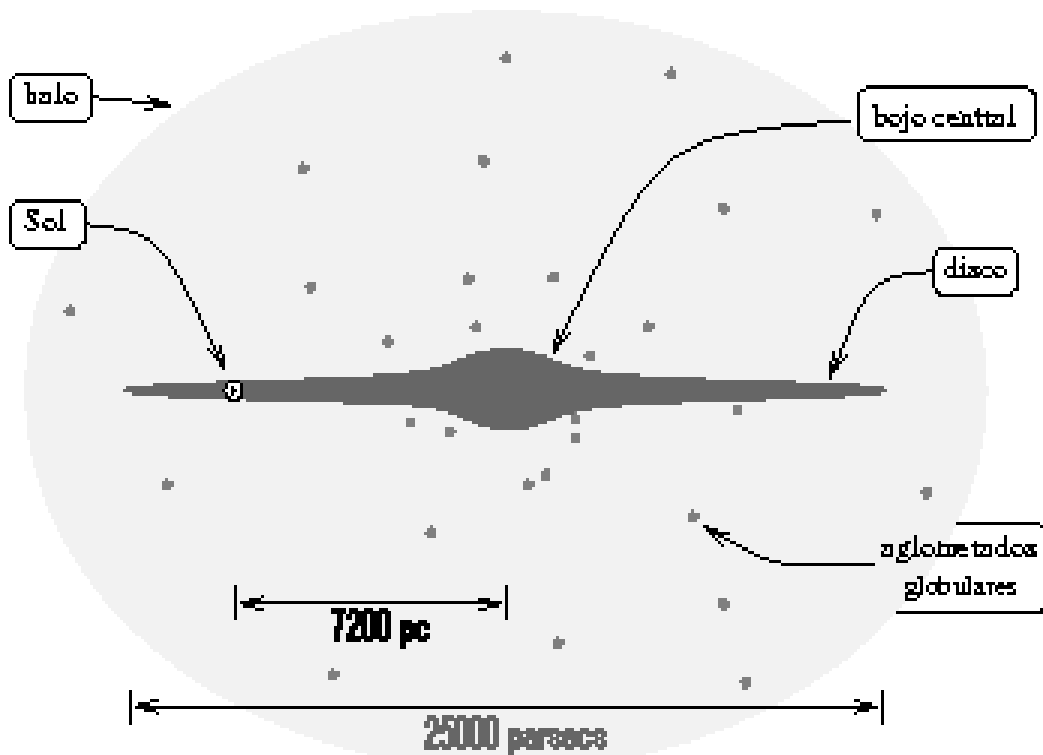
Herschel (XVIII): Sistema achatado (Sol ocupava a posição central da galáxia);

Kapteyn (XX): Primeira estimativa de tamanho;

Shapley (1917): Estudando a distribuição de aglomerados globulares, determinou o verdadeiro tamanho da Via Láctea e a posição periférica do Sol.

Distribuição de aglomerados

Vista lateral da Via Láctea

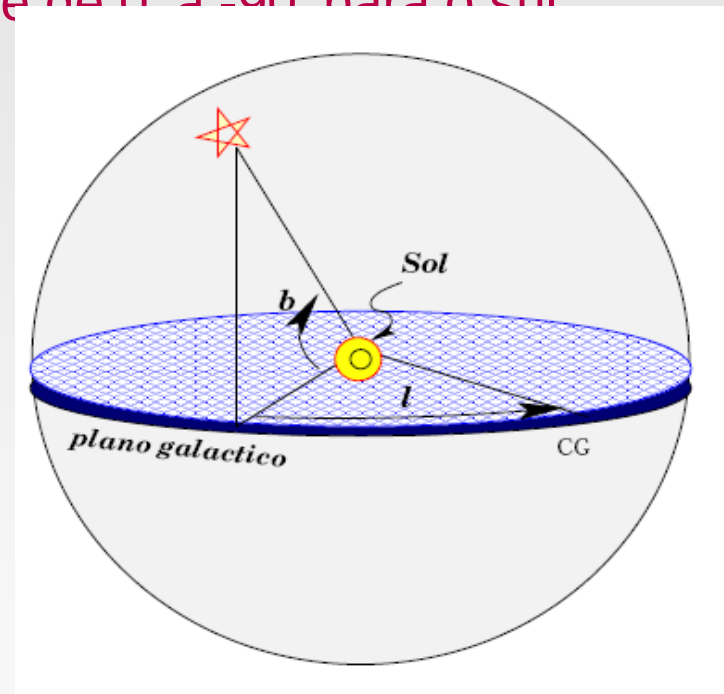


Assumindo que o **centro do halo** formado pelos aglomerados globulares coincide com o **centro de nossa Galáxia**, Shapley deduziu que **estamos a 30 mil anos-luz do centro da Via Láctea**, que está na direção da constelação de Sargitário.

Sistemas de coordenadas galácticas

O sistema de coordenadas galácticas tem como plano fundamental o plano galáctico, que é o círculo máximo que contém o centro galáctico e as partes mais densas da Via Láctea. É inclinado 60° em relação ao Equador Celeste.

Latitude galáctica (b): distância angular medida ao longo do plano galáctico, variando de 0° a 90° para o norte e de 0° a -90° para o sul

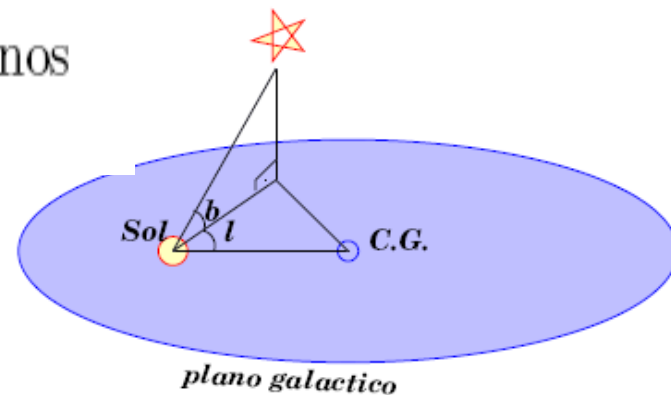


Sistemas de coordenadas galácticas

Longitude galáctica (l): distância angular medida ao longo do plano galáctico, variando de 0° a 360° para leste, a partir da direção do centro galáctico.

O **ano galáctico**, definido como o tempo que o Sol leva para dar uma volta completa em torno do centro galáctico, tem duração de **220 milhões de anos**.

$$P_{\odot} = \frac{2\pi r_{\odot}}{v_{\odot}} = \frac{2\pi \cdot 7,2 \text{ kpc}}{220 \text{ km/s}} = 202 \text{ milhões de anos}$$



As coordenadas do centro galáctico são:

- no sistema galáctico: $l = 0$, $b = 0$;
- no sistema equatorial celeste: $\alpha = 17\text{h } 42\text{min}$, $\delta = -28^\circ 55'$.

Distâncias dentro da galáxia

Radar: Planetas Internos e outros objetos próximos da Terra;

Paralaxe heliocêntrica: Planetas externos e estrelas próximas (até 500 pc);

Paralaxe espectroscópica: Estrelas a distâncias de até 10 000 pc.

Tamanho da galáxia: ~25 000 pc

Como medir distâncias maiores do que 10 000 pc?

R: Relação Período-Luminosidade de estrelas variáveis pulsantes.

Distâncias dentro da galáxia

Estrelas variáveis pulsantes radiais são estrelas cuja luminosidade varia com o tempo, devido a variações no seu tamanho.

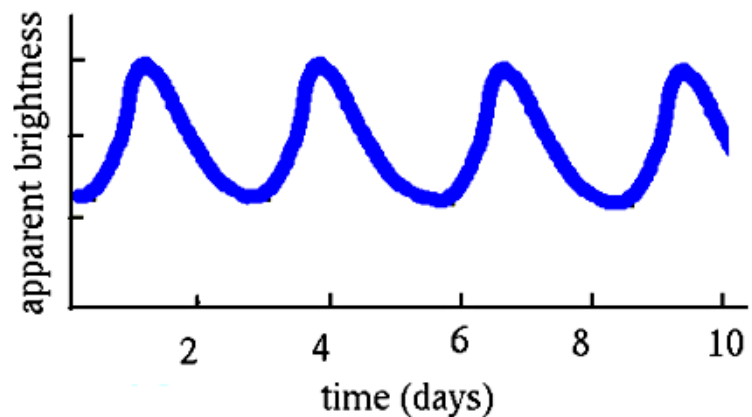
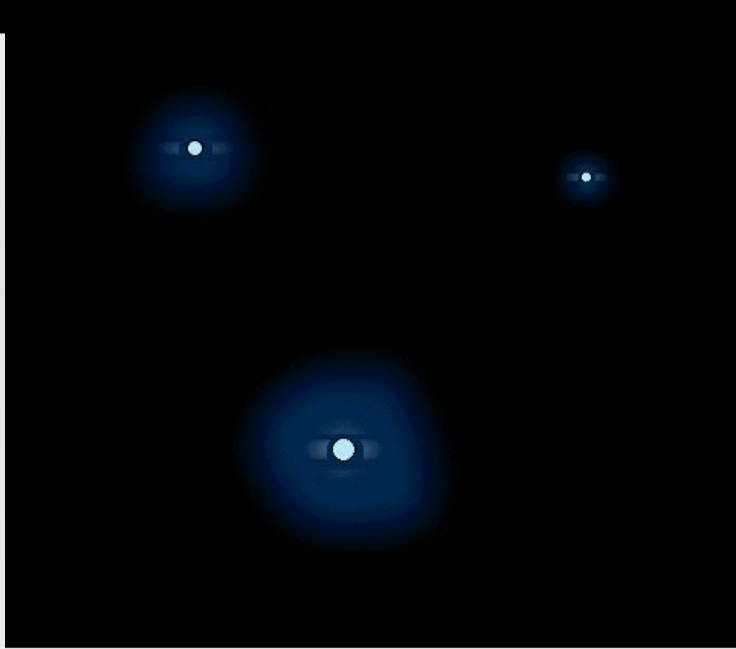
RR Lyrae: São estrelas evoluídas que estão começando a queimar hélio no núcleo. Seus períodos de pulsação são pequenos, entre 0,5 e 1 dia, com variação de magnitude menores do que uma magnitude.

Cefeidas: São supergigantes com períodos de pulsação entre 1 e 100 dias, com amplitudes de pulsação entre 0,3 e 3,5 magnitudes.

$$M_{\text{bol}} = -3,125 \log P - 1,525$$

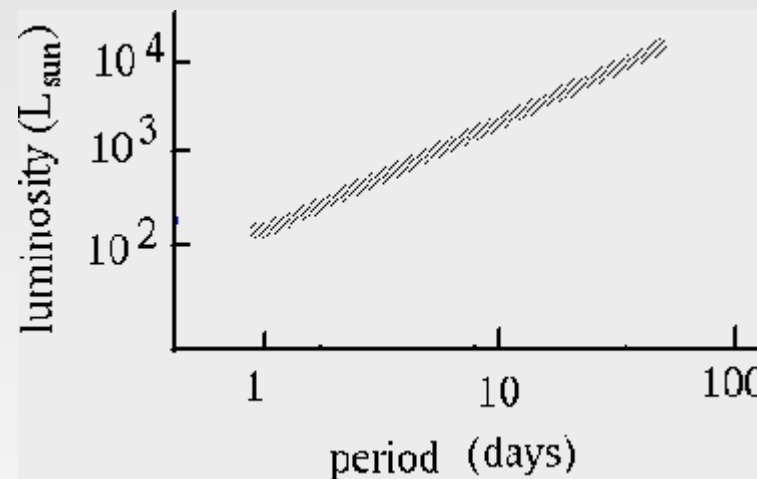
As variáveis Cefeidas são usadas para determinar distâncias de estrelas longínquas da nossa Galáxia, e distâncias de outras Galáxias.

Estrelas Cefeidas



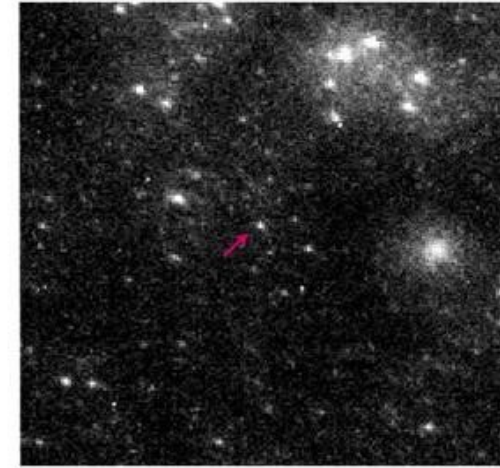
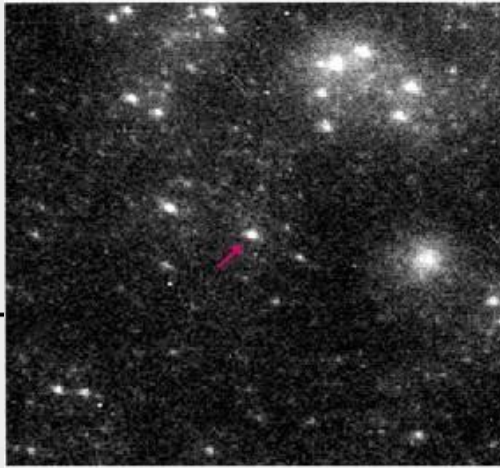
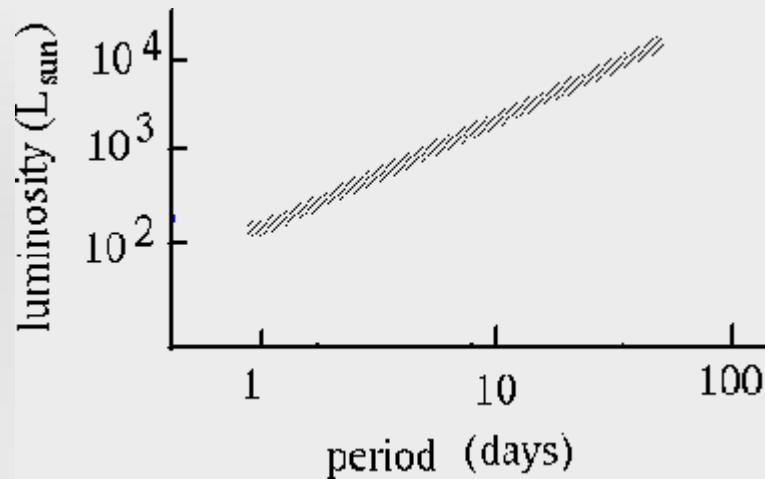
Curva de luz

São estrelas que expandem e contraem **periodicamente** as camadas mais externas de sua atmosfera o que produz variações de emissão de luz.



As estrelas mais luminosas têm maior período de variação de luz

Como calcular a distância de uma galáxia, com a observação de uma estrela Cefeida - 4 passos



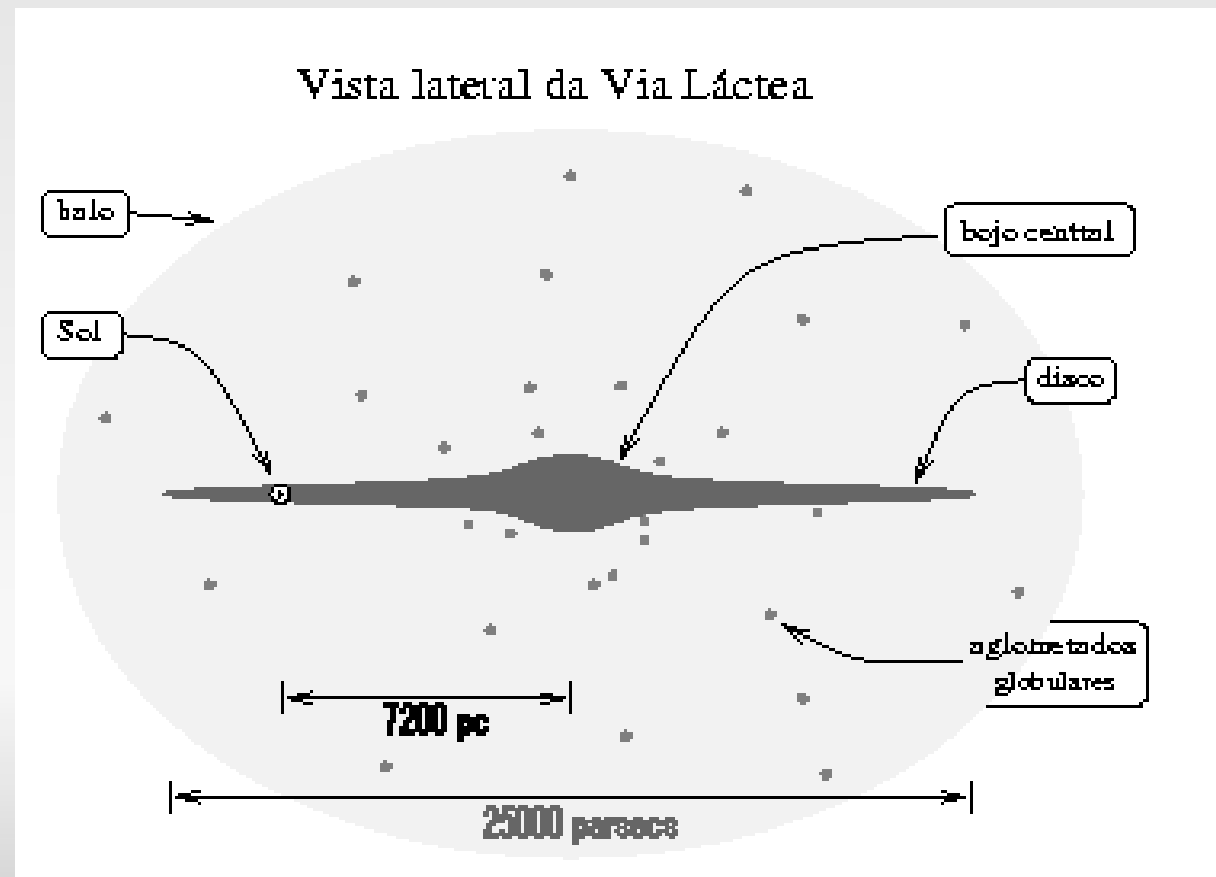
- 1) Observamos com o telescópio o período de variação da luz e fluxo (f) de uma estrela Cefeída, em uma galáxia distante (d);
- 2) Determinamos a luminosidade intrínseca (L) que tem a estrela, com a ajuda da relação período luminosidade das Cefeídas observadas na Via Láctea (figura)
- 3) A luminosidade observada $f \sim L/d^2$
- 4) A distância $d \sim (L / f)^{1/2}$

Forma e tamanho da Via Láctea

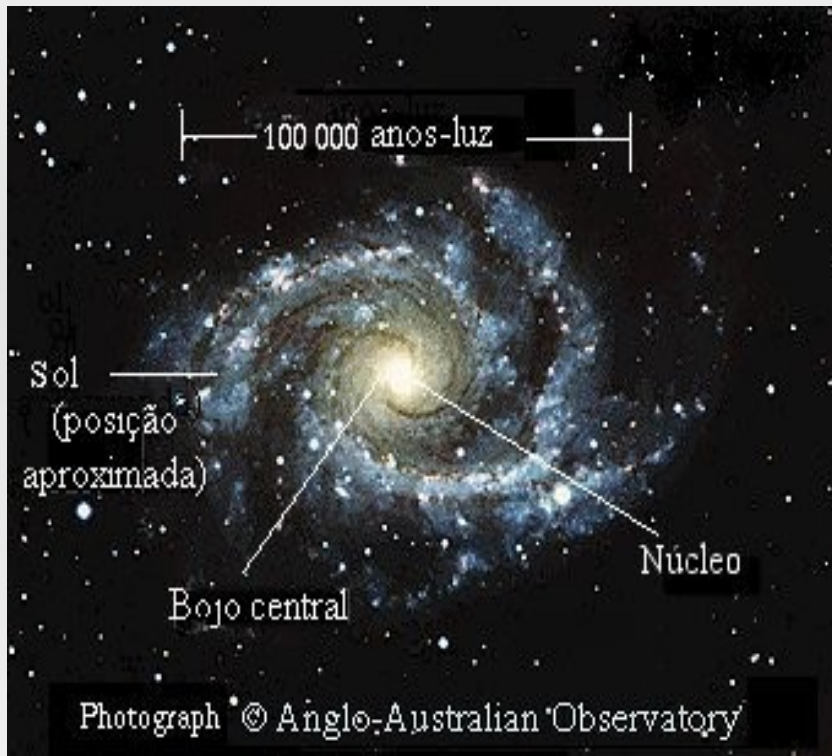
Nossa Galáxia tem a forma de um **disco circular**, com **diâmetro de cerca de 25 000 pc (100 000 anos-luz)** e **espessura de 300 pc aproximadamente**.

O disco está embebido em um **halo esférico** formado pelos aglomerados globulares e provavelmente grande quantidade de matéria não luminosa, que se estende por no **mínimo 100 000 pc**.

O **bojo**, que contém o núcleo, é uma região esférica de **2 000 pc** de raio, envolvendo o núcleo.



Forma e tamanho da Via Láctea



NGC2997 como uma representação da Via Láctea.

O Sol está localizado em um dos braços espirais, e orbita o centro da galáxia a uma distância de aproximadamente 7200 pc.

Resumindo

A Via Láctea tem duas componentes morfológicas principais: uma componente esferoidal (halo+bojo) e uma componente achatada (disco + braços espirais).

massa do disco: 2 a 13%
massa do bojo: 1 a 6%
massa do halo: 81 a 97%

Forma e tamanho da Via Láctea

O disco da galáxia contém, além das estrelas, a matéria interestelar, formada por gás e poeira, que constituem o material do qual as estrelas se formam.

O gás interestelar é constituído na maior parte por hidrogênio neutro, que é não luminoso.

Mas perto de estrelas muito quentes e massivas, o hidrogênio é ionizado pela radiação ultravioleta provinda das estrelas, e brilha por fluorescência.



Nebulosa de Órion

Estrutura espiral



Andrômeda (M31)



NGC4314

Em outras galáxias: Nebulosas gasosas geralmente se encontram distribuídas em uma estrutura espiral.

É razoável supor que nossa Galáxia também tem uma estrutura espiral.

É difícil visualizar a estrutura espiral pois estamos dentro do disco galáctico, e cercados de poeira interestelar, que bloqueia a luz.

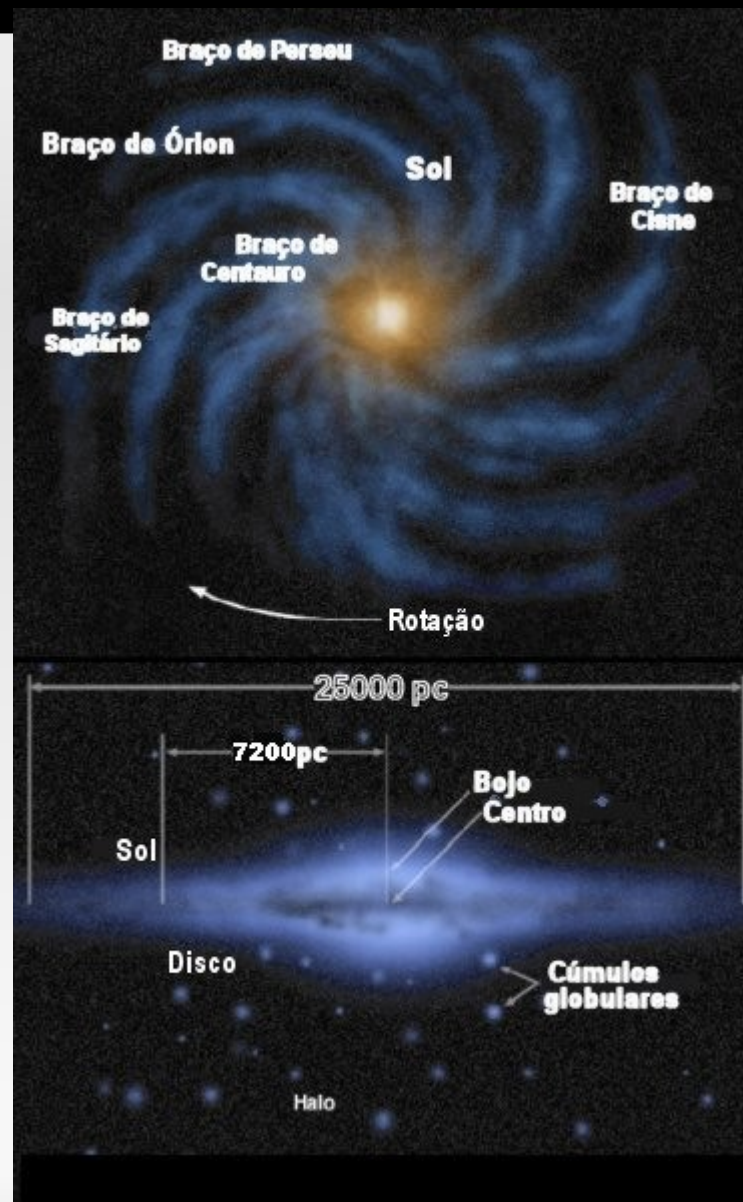
Estrutura espiral

Mapeadores da estrutura espiral:

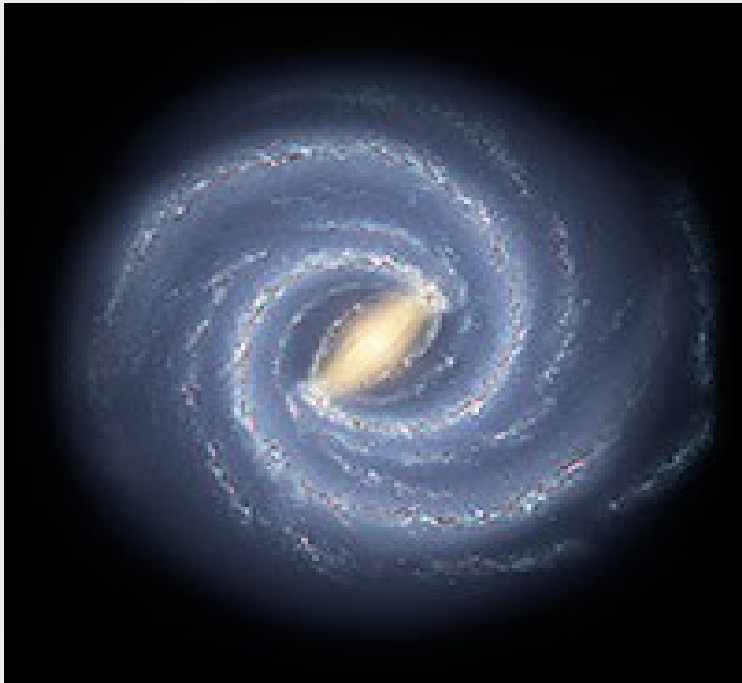
Óticos: objetos brilhantes como estrelas OB, regiões HII e estrelas cefeidas variáveis.

Rádio: O principal traçador em rádio é a linha de 21cm do hidrogênio neutro. Como o hidrogênio neutro existe em grande abundância na Galáxia, essa linha é observada em todas as direções.

O número de braços espirais ainda é não bem conhecido. Observações de 2008 são consistentes com a presença de apenas 2 braços espirais.

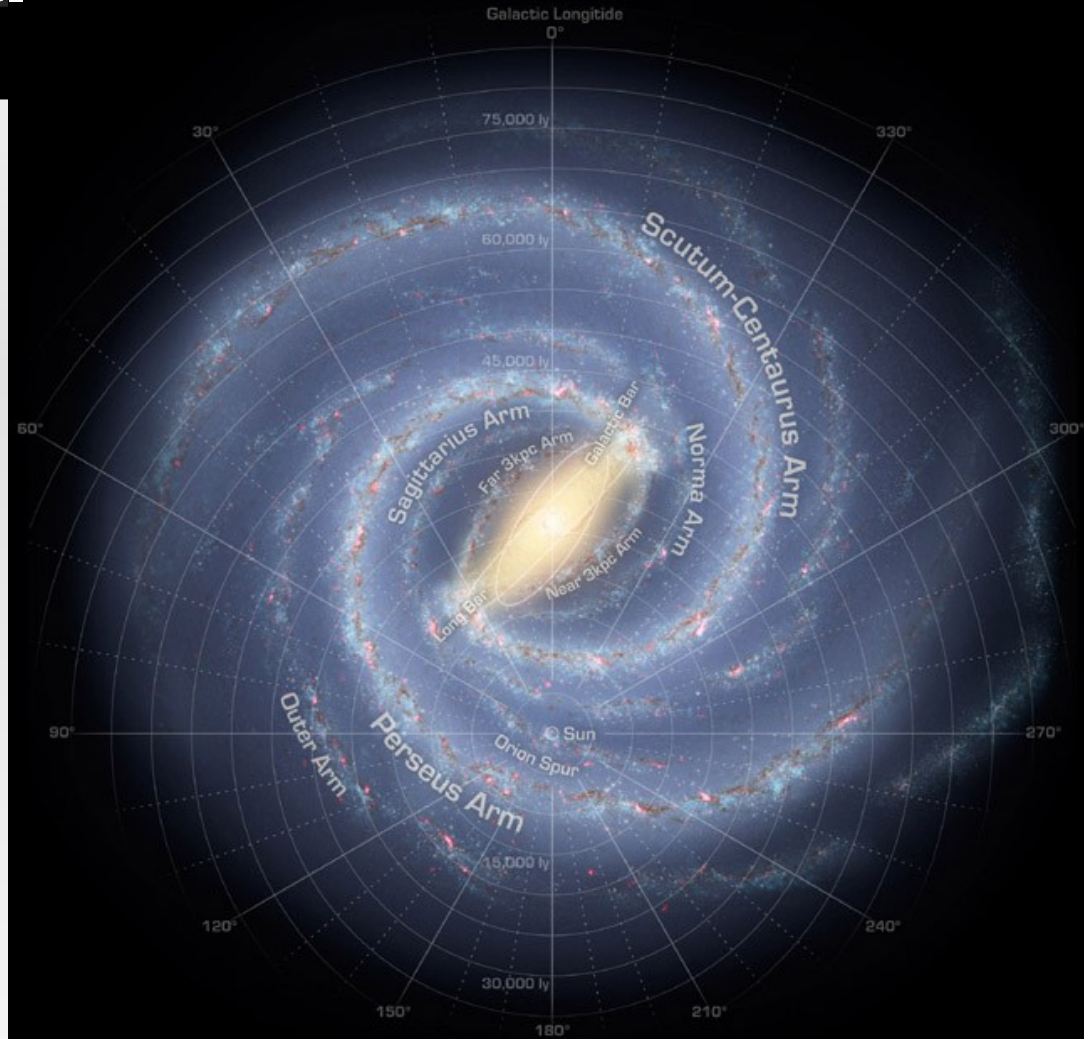


Estrutura espiral



Scutum-Centaurus

Perseus

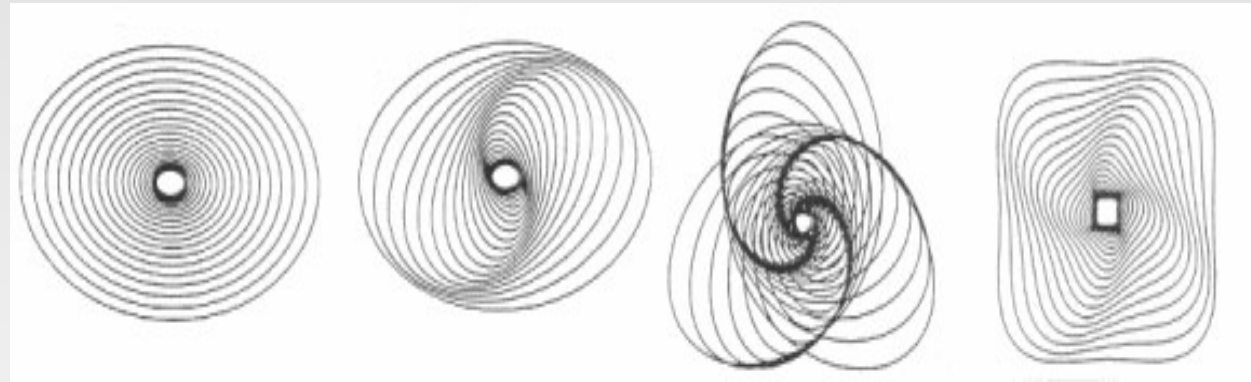
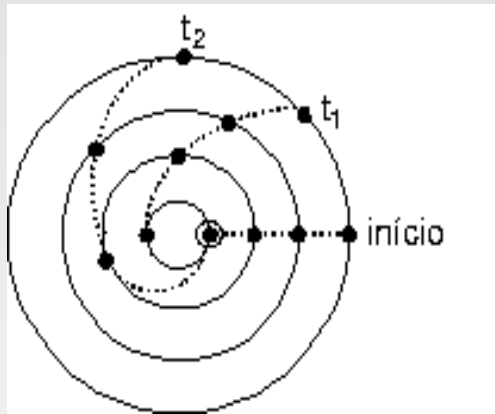


Annotated Roadmap to the Milky Way

(artist's concept)

A causa da estrutura espiral

A idéia inicial a respeito disso era de que os braços espirais seriam braços materiais formados pela rotação diferencial. O Sol já deu aproximadamente 20 voltas em torno do centro da galáxia e com isso os braços deveriam estar mais enrolados do que as observações indicam.



Teoria de ondas de densidade: A estrutura espiral é suposta como uma variação da densidade do disco em forma de onda, uma onda de compressão. Quando o gás passa pela onda, ele é comprimido fortemente até que a gravitação interna cause o colapso e a formação de estrelas.

Como Sabemos que a Via-Láctea é uma Galáxia Espiral?

Um pouco sobre outras galáxias

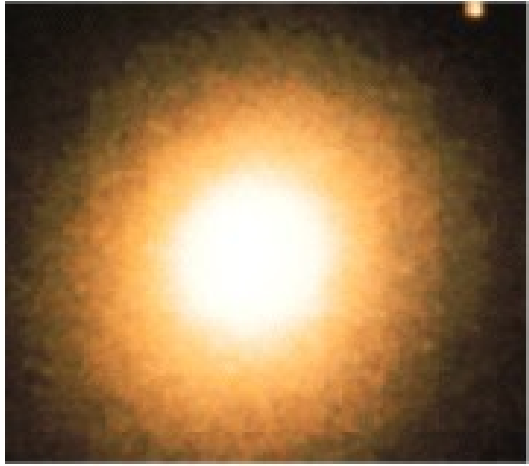
3 tipos básicos: elípticas, espirais e irregulares:

Elípticas: formato de elipse

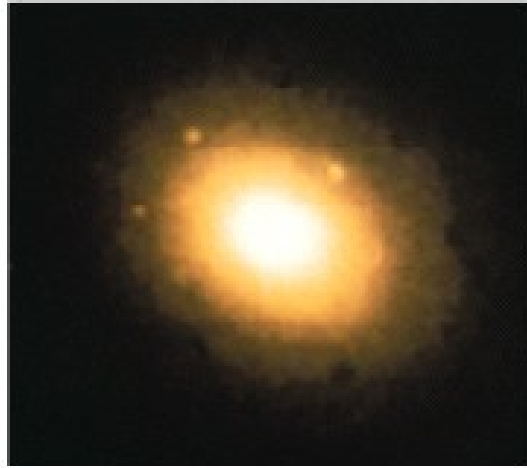
Espirais ou disco: forma planar (disco), contendo braços em espiral

Irregular: não têm forma bem definida

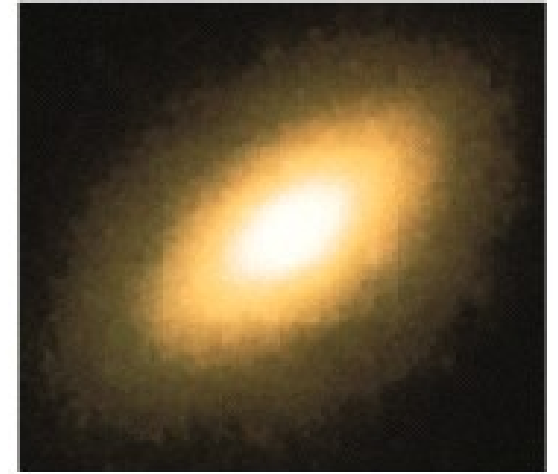
Elípticas (E)



E0

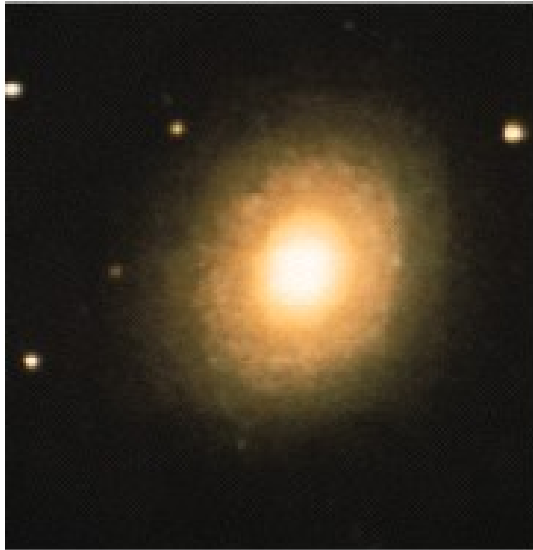


E3



E6

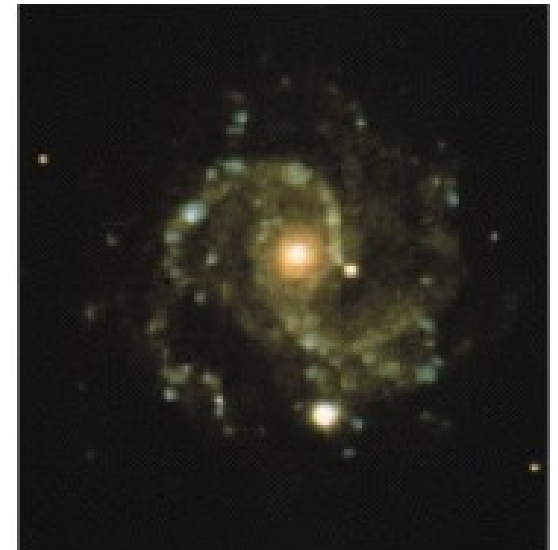
Espirais (S)



Sa



Sb



Sc

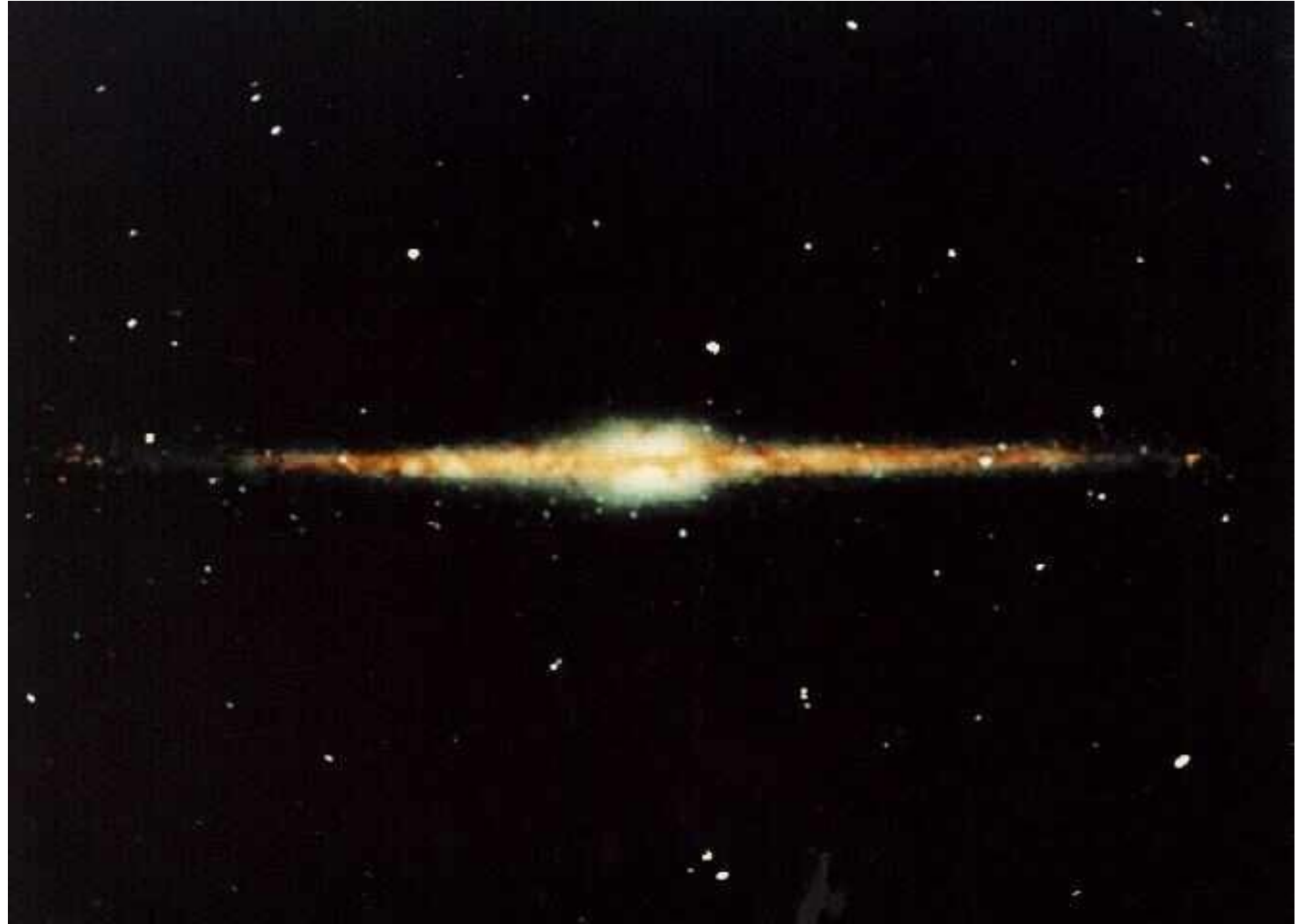
Irregulares (I)



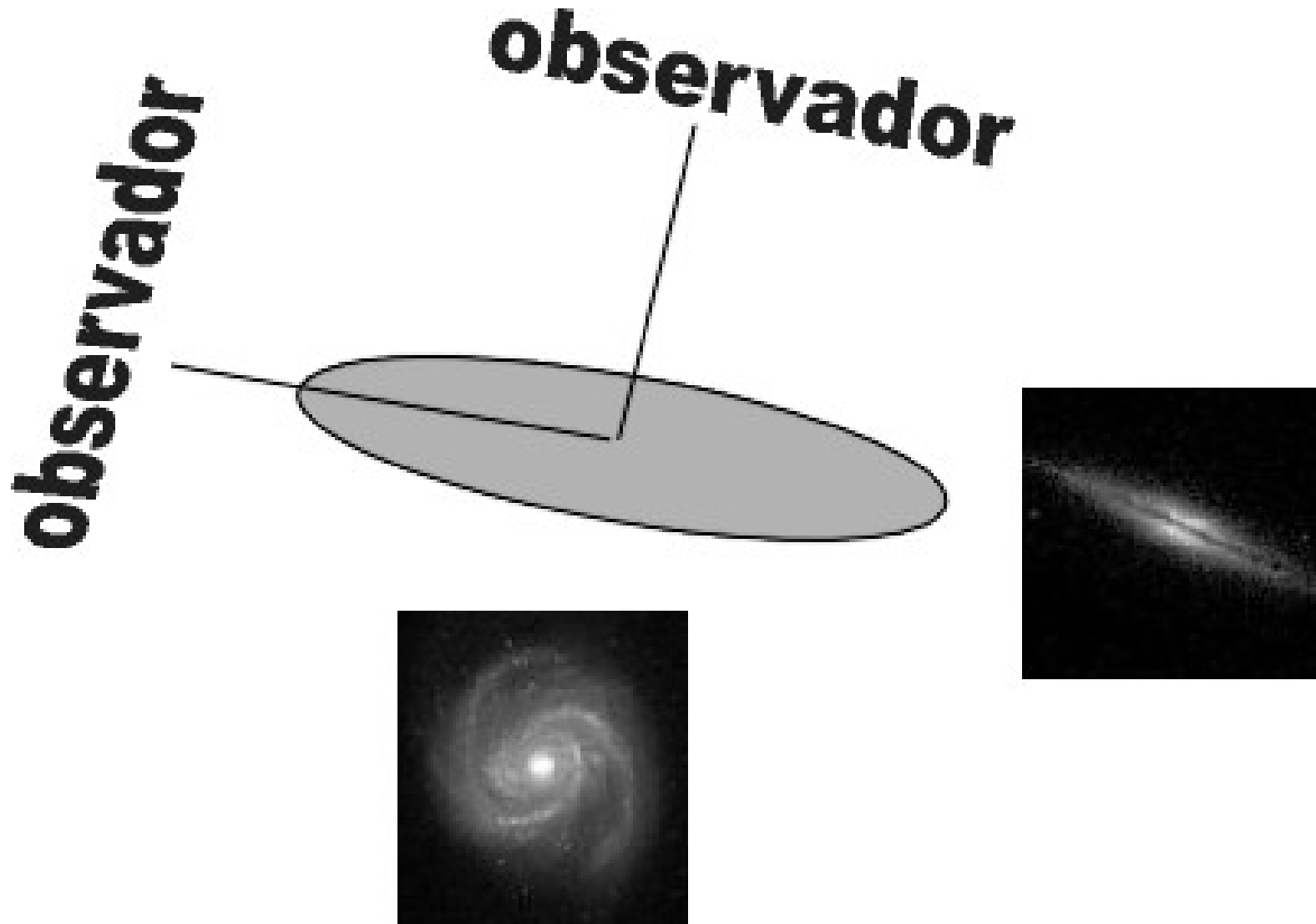
Qual o tipo da nossa Galáxia?

Telescópio COBE
(micro-ondas)

Mosaico



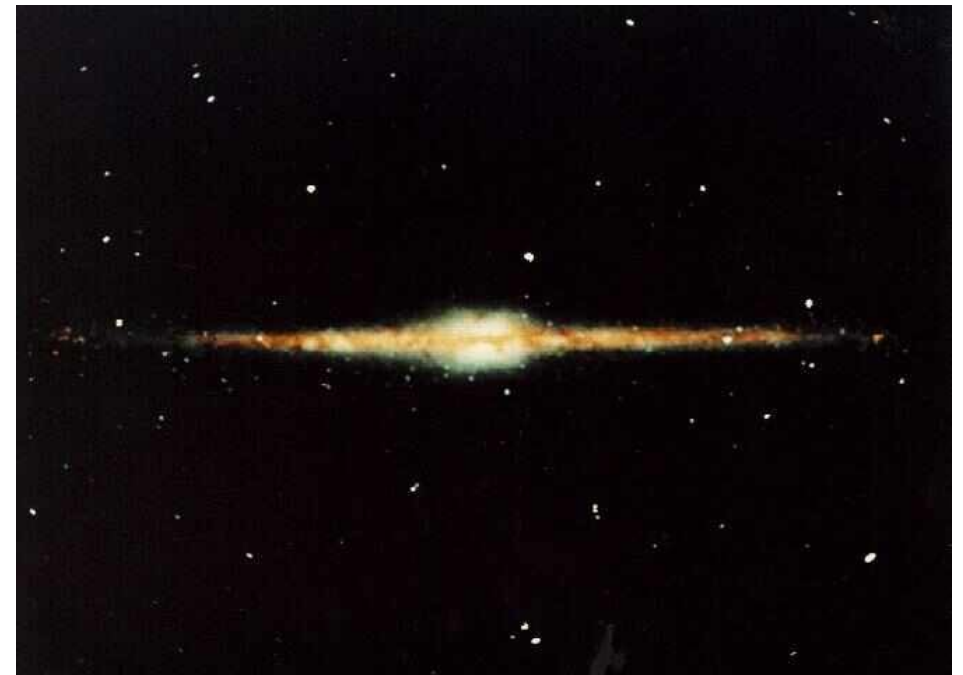
Resposta: uma espiral, com o Sol
no plano do disco



Exemplo de espiral de perfil

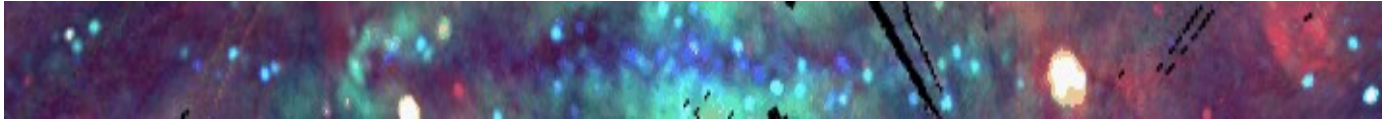


NGC 891



Mosaico da
Galáxia (COBE)

Mas cuidado: a aparência de uma galáxia muda com a forma como a observamos.



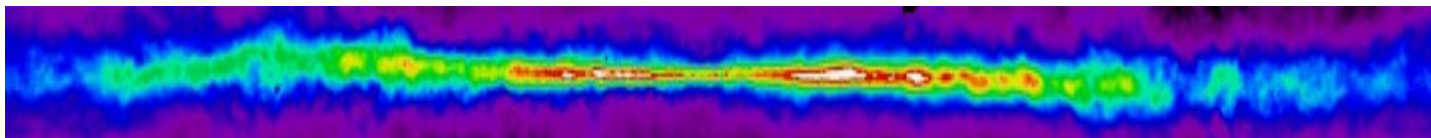
Raios X



Óptico



Infra-vermelho



Rádio

Populações Estelares

Bojo: predominam estrelas amarelas e vermelhas → frias

Disco: predominam estrelas azuis → quentes

Estrelas de baixa massa: duram muito e são frias

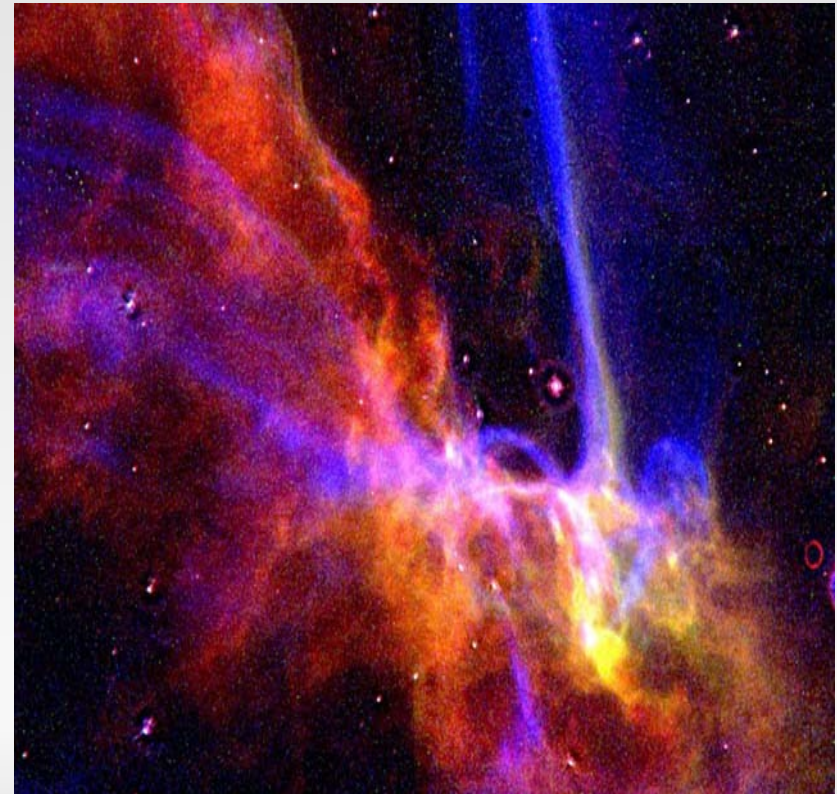
Estrelas de alta massa: duram pouco e são quentes.



Meio Interestelar

O meio entre as estrelas não é completamente vazio.

- Tem gás: principalmente hidrogênio atômico, molecular e ionizado
- Tem poeira: principalmente de grafite, silicatos e gelo de água.

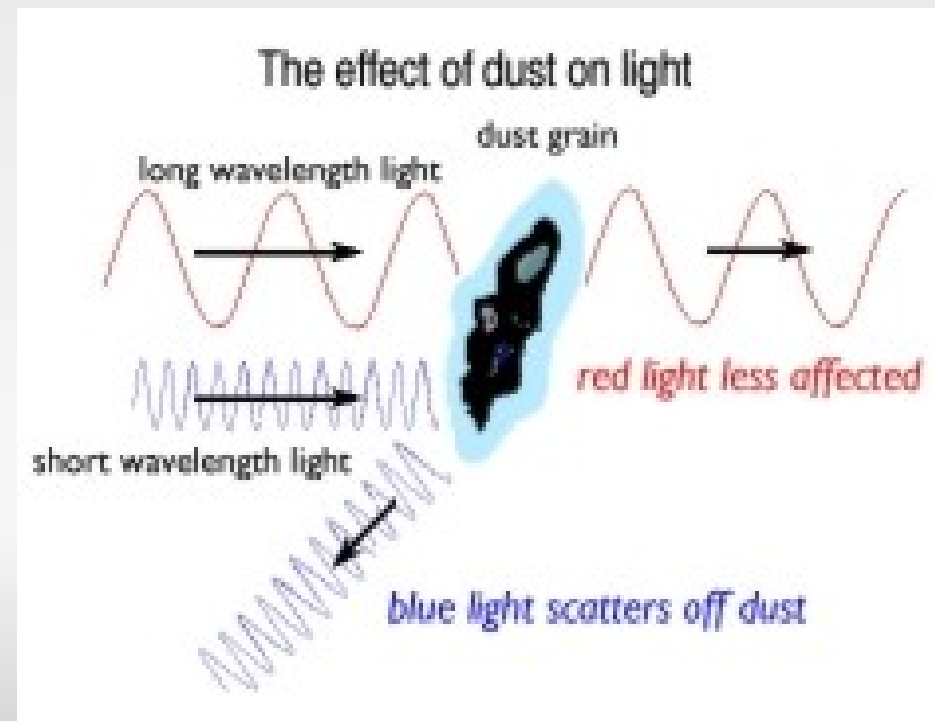
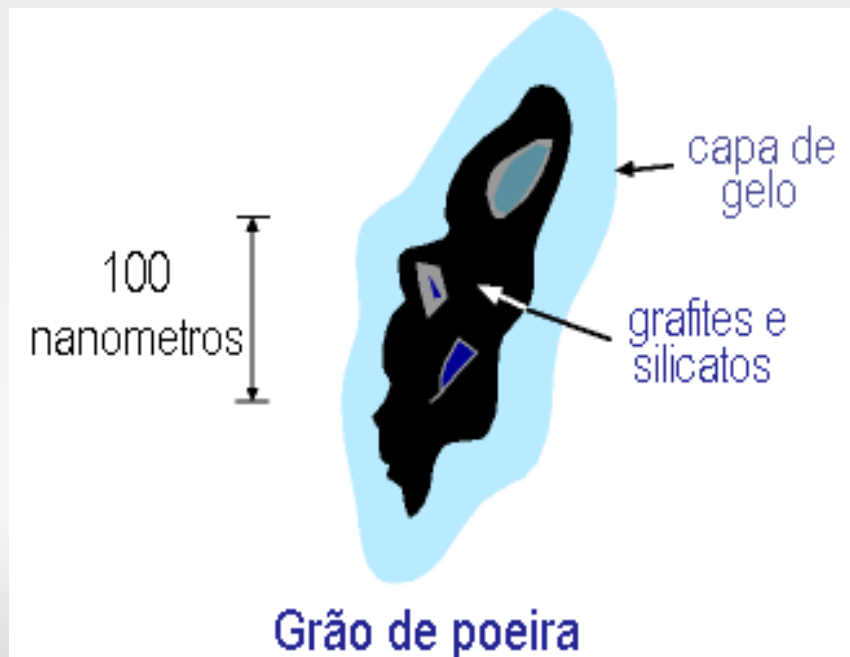


Meio Interestelar

Densidades

gás: tipicamente 1 átomo de hidrogênio por centímetro cúbico (para comparação: o ar que respiramos tem 10^{19} átomos de gás por cm^3)

poeira: 100 grãos de poeira por quilômetro cúbico (1 trilhão de vezes menos densa do que o gás)



Meio Interestelar- Poeira no Centro Galático.



Imagem do centro da Via Láctea no infravermelho; o campo mostrado cobre um campo de 10x8 graus, e nele foram identificadas quase **10 milhões de estrelas**. As bandas escuras são regiões onde a poeira é mais densa. O núcleo da Galáxia é a região mais rosada na parte superior da figura.

2MASS Showcase

The Galactic Center Infrared view penetrating to the central star cluster of the Galaxy

Meio Interestelar (Poeira + Gás)

Como se encontra a poeira?

nebulosas escuras

nebulosas de reflexão

nuvens moleculares (misturada com gás)

Como se encontra o gás ?

nebulosas brilhantes: regiões HII, nebulosas planetárias, restos de supernova

hidrogênio atômico

nuvens moleculares (misturado com poeira)

Meio Interestelar

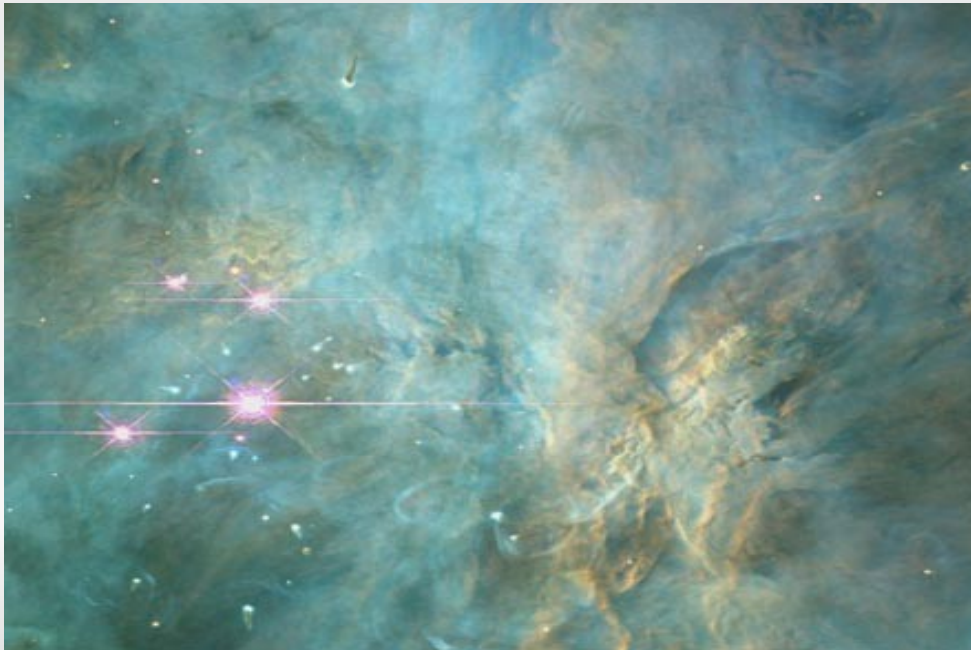
Regiões HII

Compostas por gás hidrogênio ionizado

Encontrado junto a estrelas O e B, brilha por fluorescência (luz ultravioleta --> luz visível)

Principal linha de emissão: $\lambda=6563$ Angstroms (ótico)

Associado a zonas de formação estelar



Meio Interestelar

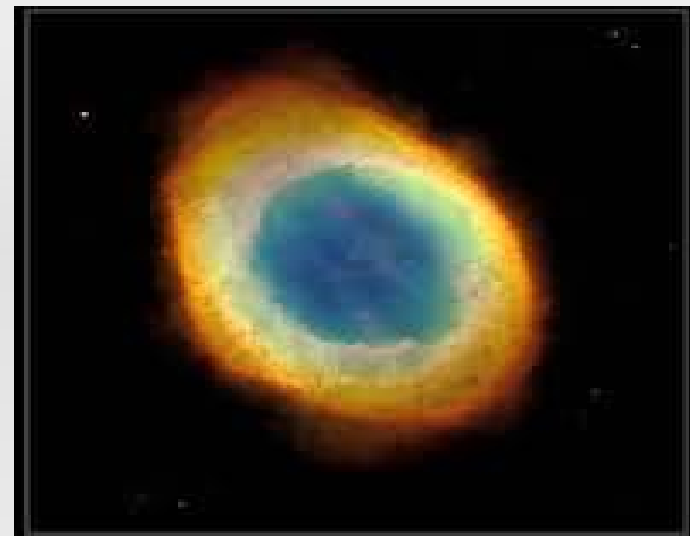
Nebulosas Planetárias

Final da vida evolutiva de estrelas com menos de 10 massas solares

Propriedades similares as Regiões H II, porém muito menores



Meio Interestelar



Regiões HII	Objeto	Nebulosas Planetárias
O, B	Estrelas	O, W
30.000-50.000 K	Temperatura efetiva	30.000-300.000K
I jovem	População	II velha
10.000 K	Temperatura eletrônica	10.000 K
$10 - 10^2 \text{ cm}^{-3}$	Densidade Eletrônica	$10^2 - 10^4 \text{ cm}^{-3}$
$10^2 - 10^4 M_{\text{Sol}}$	Massa	$0,01 - 1 M_{\text{Sol}}$
10 pc	Dimensão	$< 0,5 \text{ pc}$
10 km/s (térmica)	Velocidade típica	25 km/s

Processos físicos

Fotoionização – É a absorção de um fóton por um átomo com a liberação de um elétron com energia cinética igual a diferença entre a energia do fóton incidente e o potencial de ionização do átomo.

Recombinação – É a recaptura de um elétron pelo íon. Geralmente a captura é feita em níveis excitados e o elétron decai radiativamente, emitindo radiação.

Excitação colisional – Elétrons livres colidem com átomos (e íons) transferindo energia cinética para estes e povoando estados de energia excitados. Se a densidade eletrônica é baixa o suficiente os elétrons decaem radiativamente.

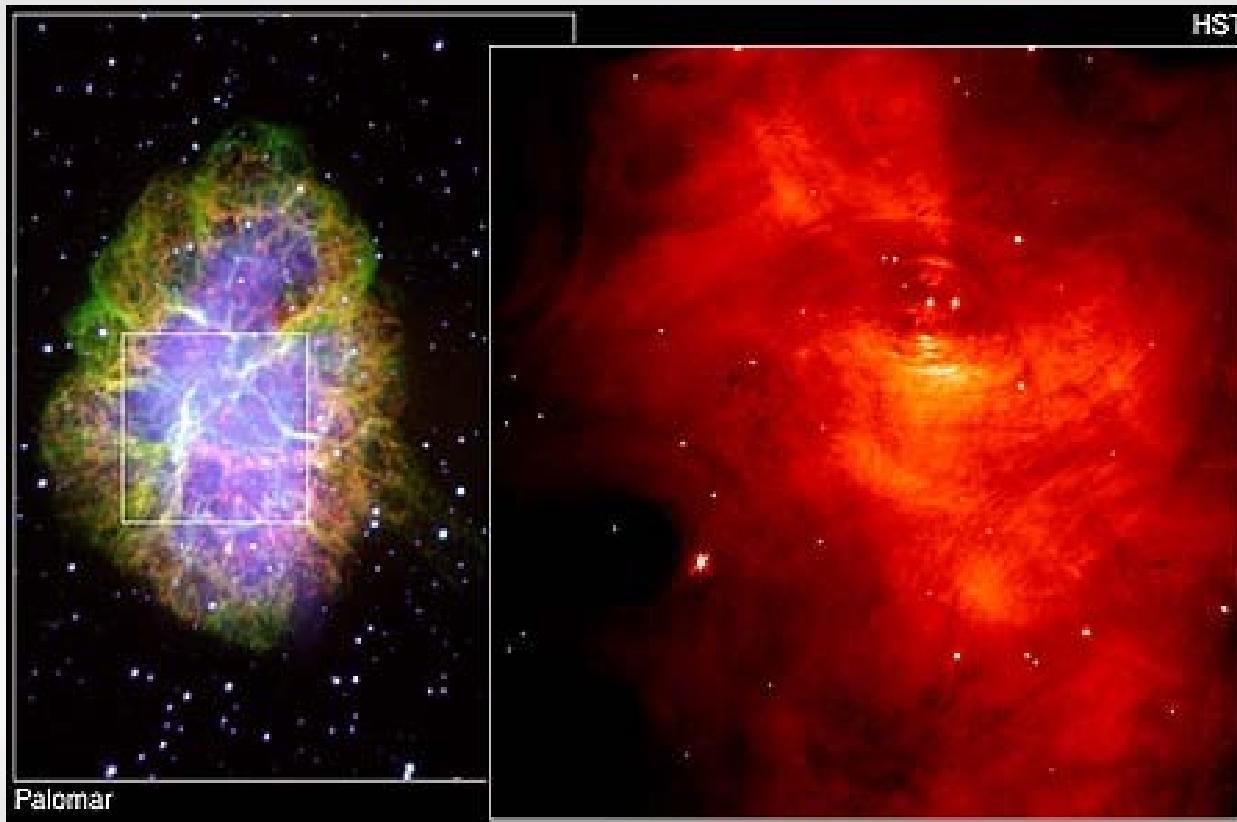
Emissão livre-livre – Colisões entre elétrons livres distribuem suas energias estabelecendo uma distribuição Maxweliana de velocidades, correspondente a uma temperatura de 5.000 a 20.000 K.

Meio Interestelar

Restos de Supernova

Final da vida de estrela com massas entre 10 e 25 massas solares

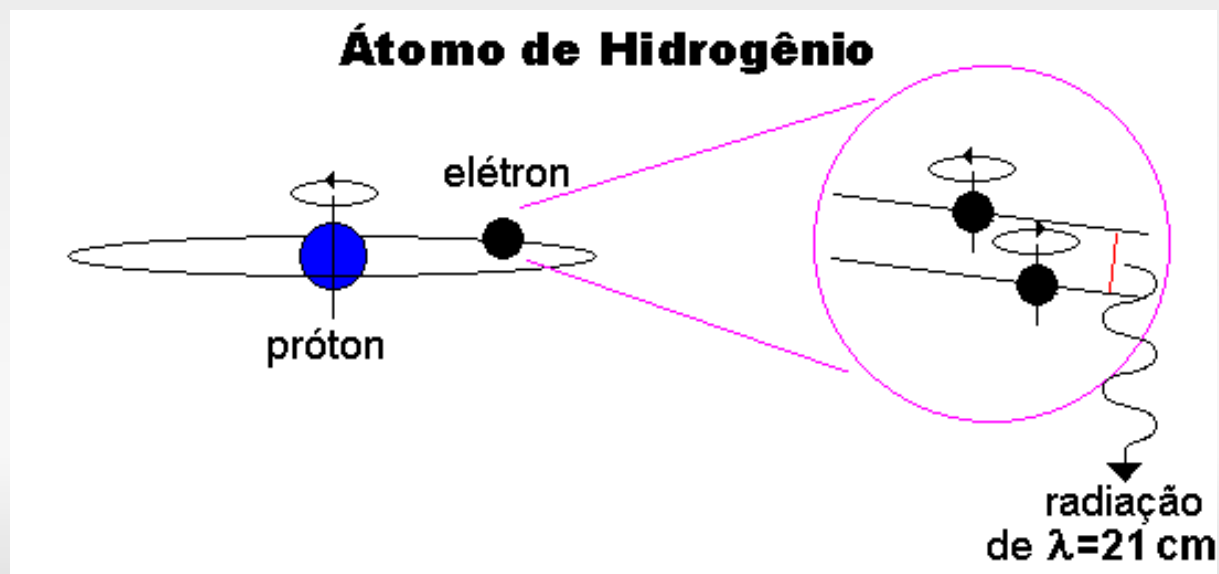
- gás ionizado por colisões
- emitem em raios-X e em rádio



Meio Interestelar

Hidrogênio atômico

Emite uma linha em 21 cm (1420 MHz). Como o elétron e o próton são cargas elétricas girando, eles criam campos magnéticos locais que interagem, de forma que o estado de menor energia é com spins anti-paralelos. De vez em quando (1 vez a cada 500 anos) um átomo colide com outro, ganhando energia e ficando num estado excitado de spins paralelos. Quando volta ao estado fundamental (o que pode levar milhões de anos) emite a radiação de 21 cm.



Meio Interestelar

Nuvens moleculares

Contém moléculas de H_2 , CH, CO, e outras.

Dão origem a novas estrelas

Geralmente encontram-se imersas em regiões HII.



Meio Interestelar

Nebulosas escuras

Melhor observáveis no infravermelho

Aparência como regiões com deficiência de estrelas

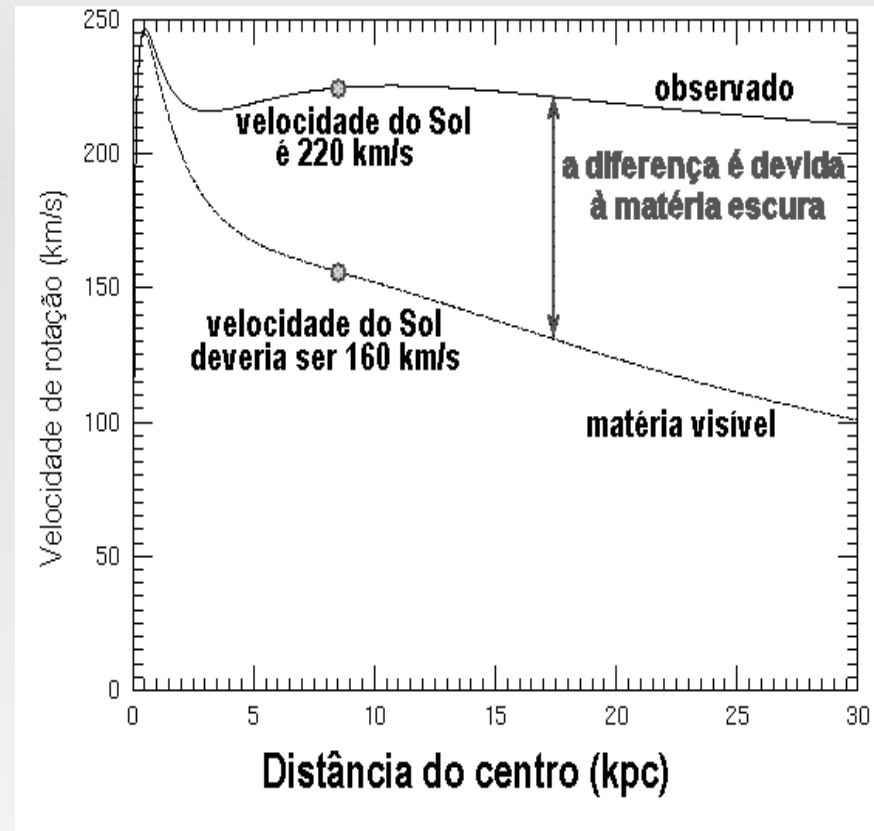
Nebulosas de reflexão

Nuvens de poeira junto a estrelas quentes,

Brilham porque refletem a luz azul das estrelas



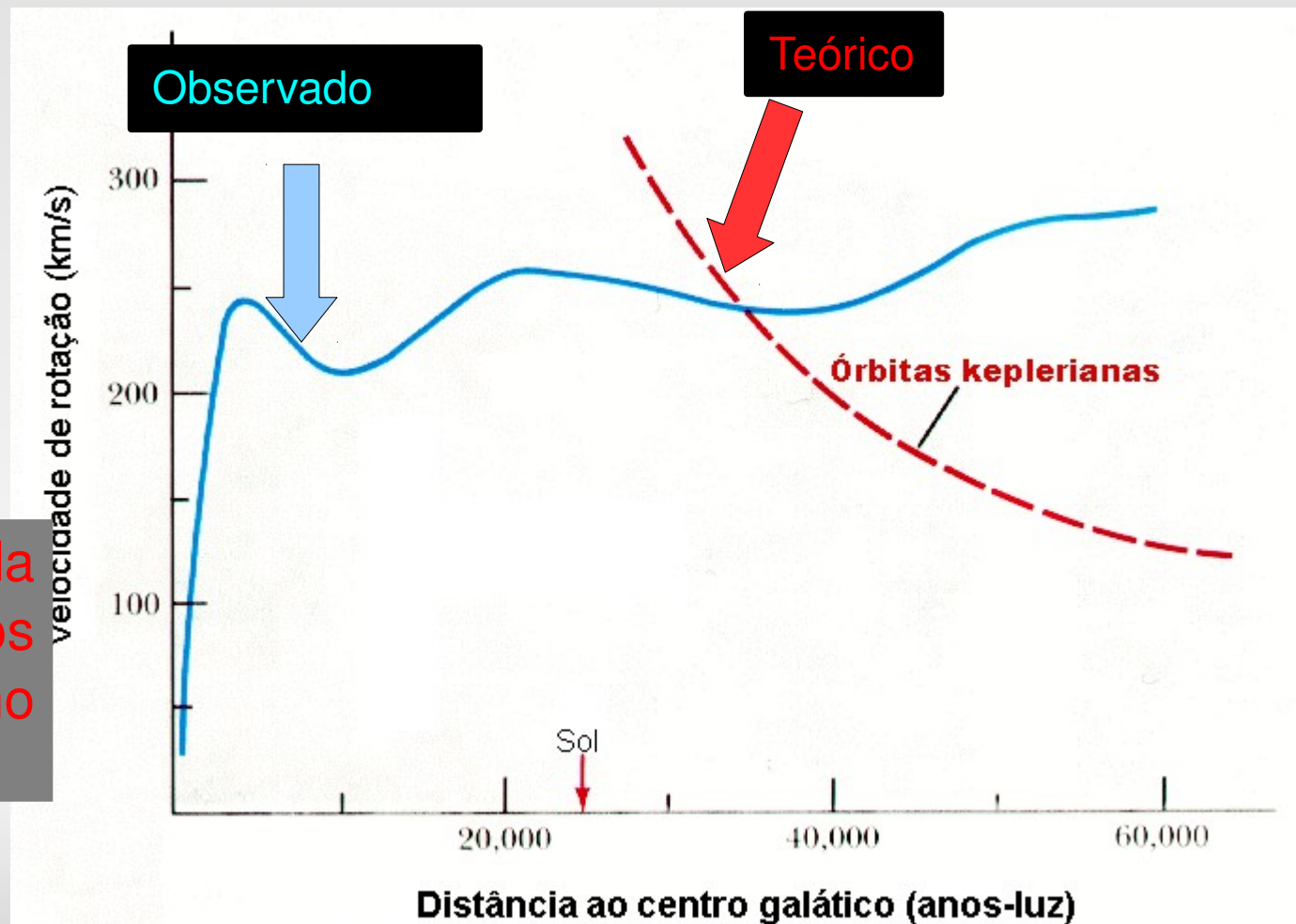
A curva de rotação da Galáxia



- Como a matéria diminui a curva de rotação deveria cair na periferia da Galáxia.
 - Mas não é isso que acontece. Pelo contrário, a curva de rotação aumenta ligeiramente para distâncias maiores, o que implica que a quantidade de massa continua a crescer.
- A velocidade de rotação, à distância de 40 kpc implica em $M_G = 6 \times 10^{11}$ Massas solares

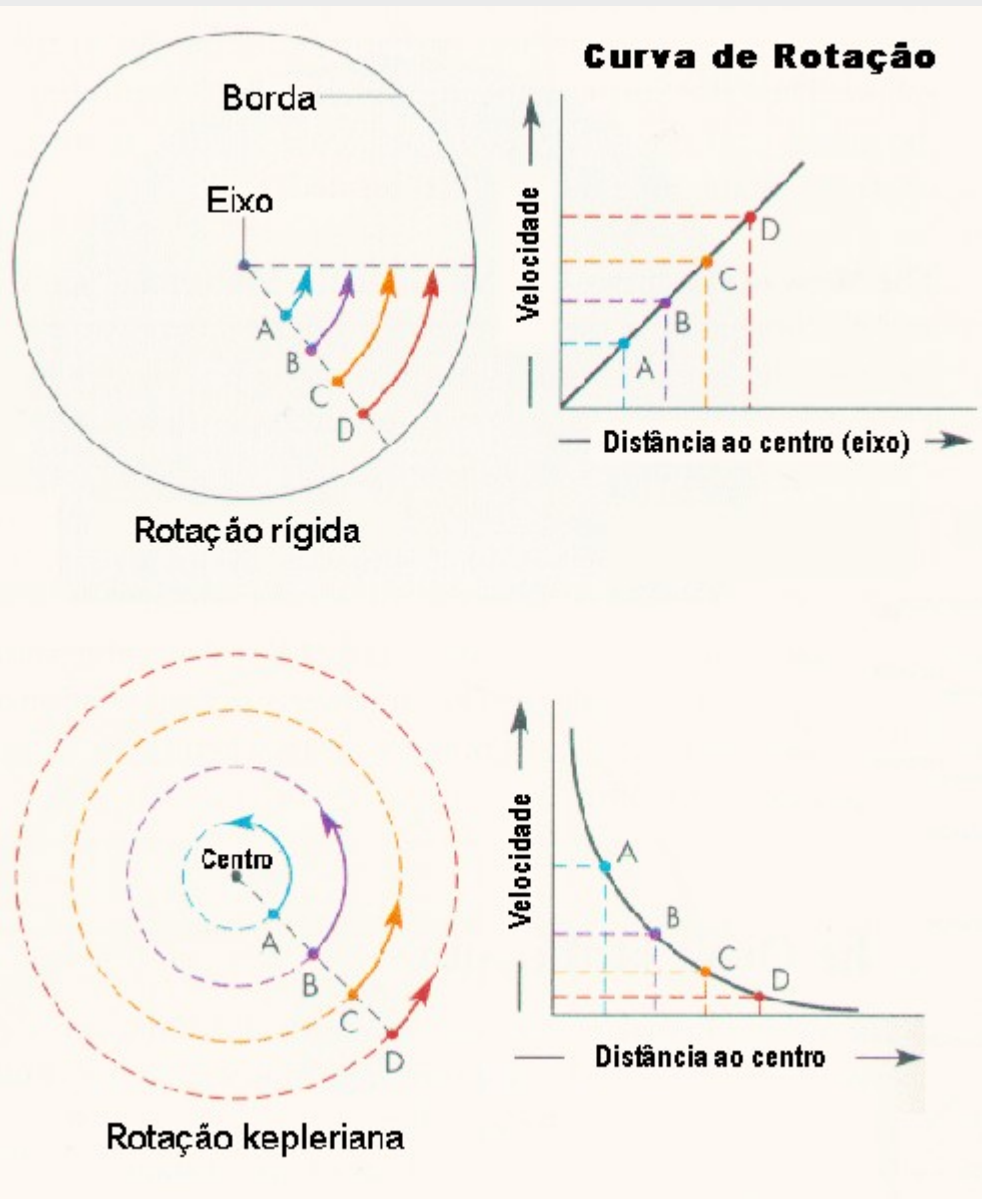
A Curva de rotação da Via-Láctea

O Sol, as outras estrelas, as nebulosas gasosas, e tudo o que faz parte da galáxia, gira em torno do centro galáctico movido pela atração gravitacional da grande quantidade de matéria localizada no C.G.



Órbitas Keplerianas: da mesma forma que os planetas giram em torno do Sol.

A Curva de rotação da Via-Láctea

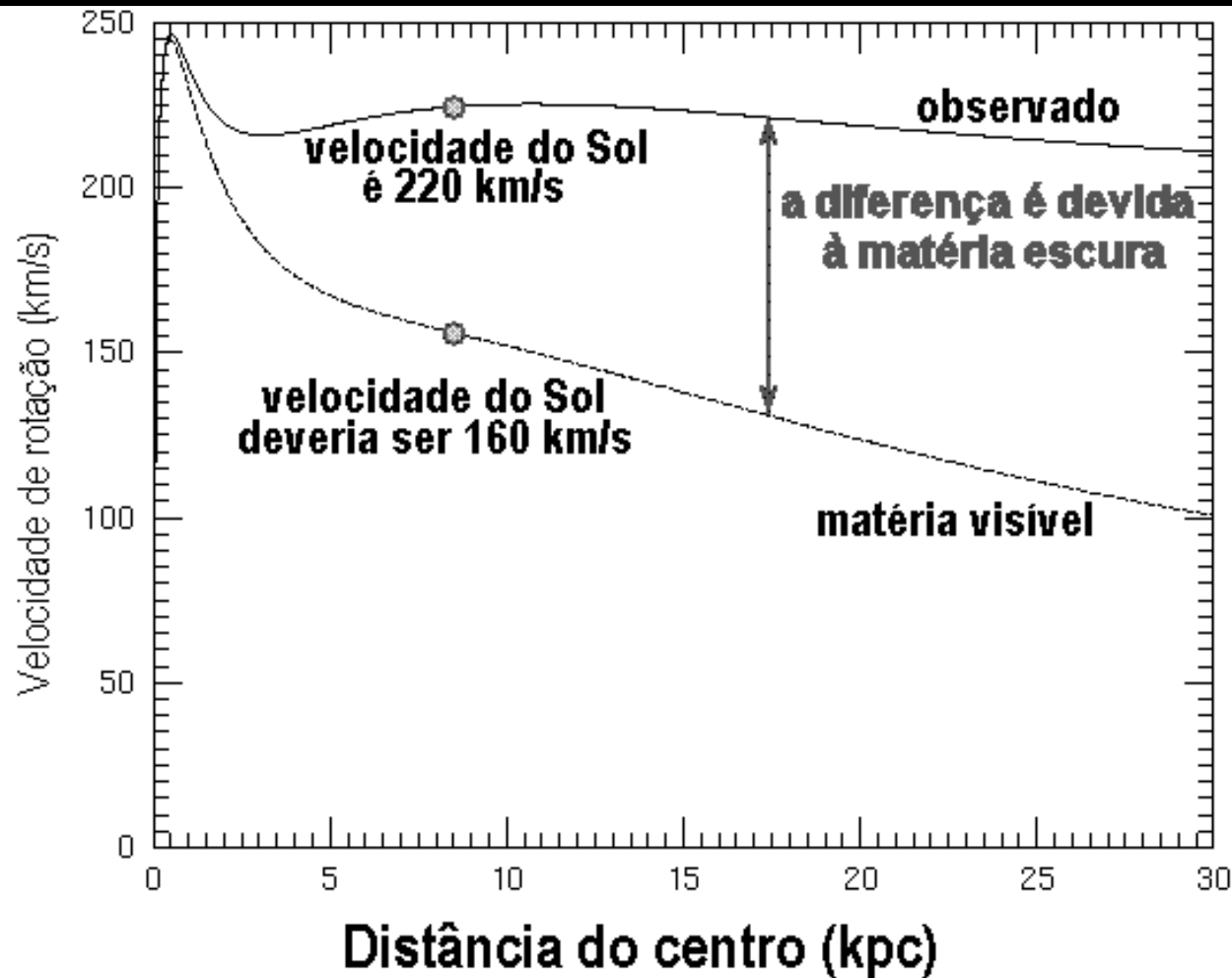


Disco em rotação

Terra em torno do Sol

Para saber como se determina a curva de rotação veja:
<http://astro.if.ufrgs.br/vialac/node5.htm>

A curva de rotação da Galáxia

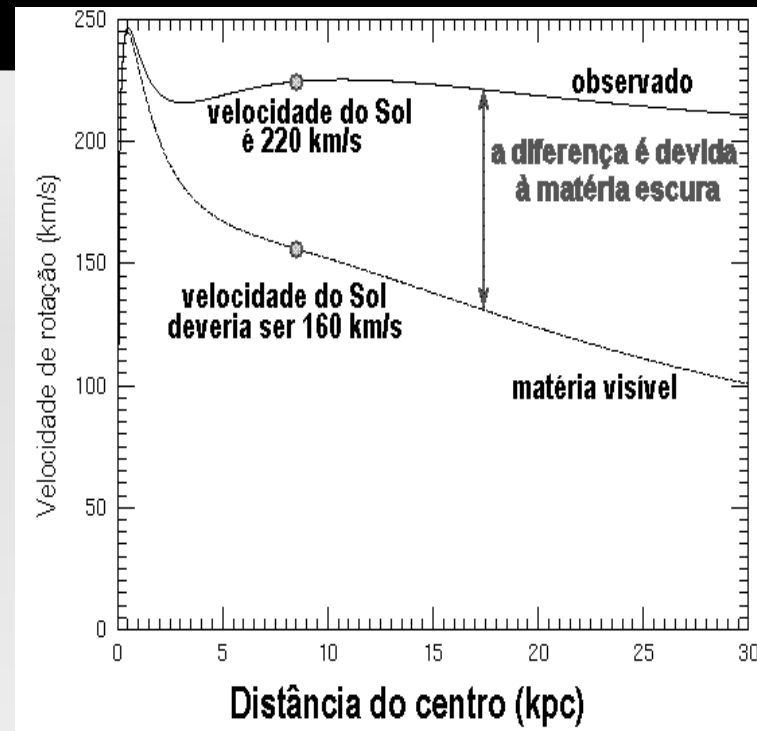


Através de observações em rádio, os astrônomos mediram o movimento do gás no disco, até distâncias além do limite visível da Galáxia, e determinaram, assim, a curva de rotação da Galáxia, que é a velocidade de rotação em função da distância ao centro.

A curva de rotação da Galáxia

nossa Galáxia contém matéria não-visível?

Sim, 2/3 e se estende muito além da matéria visível.

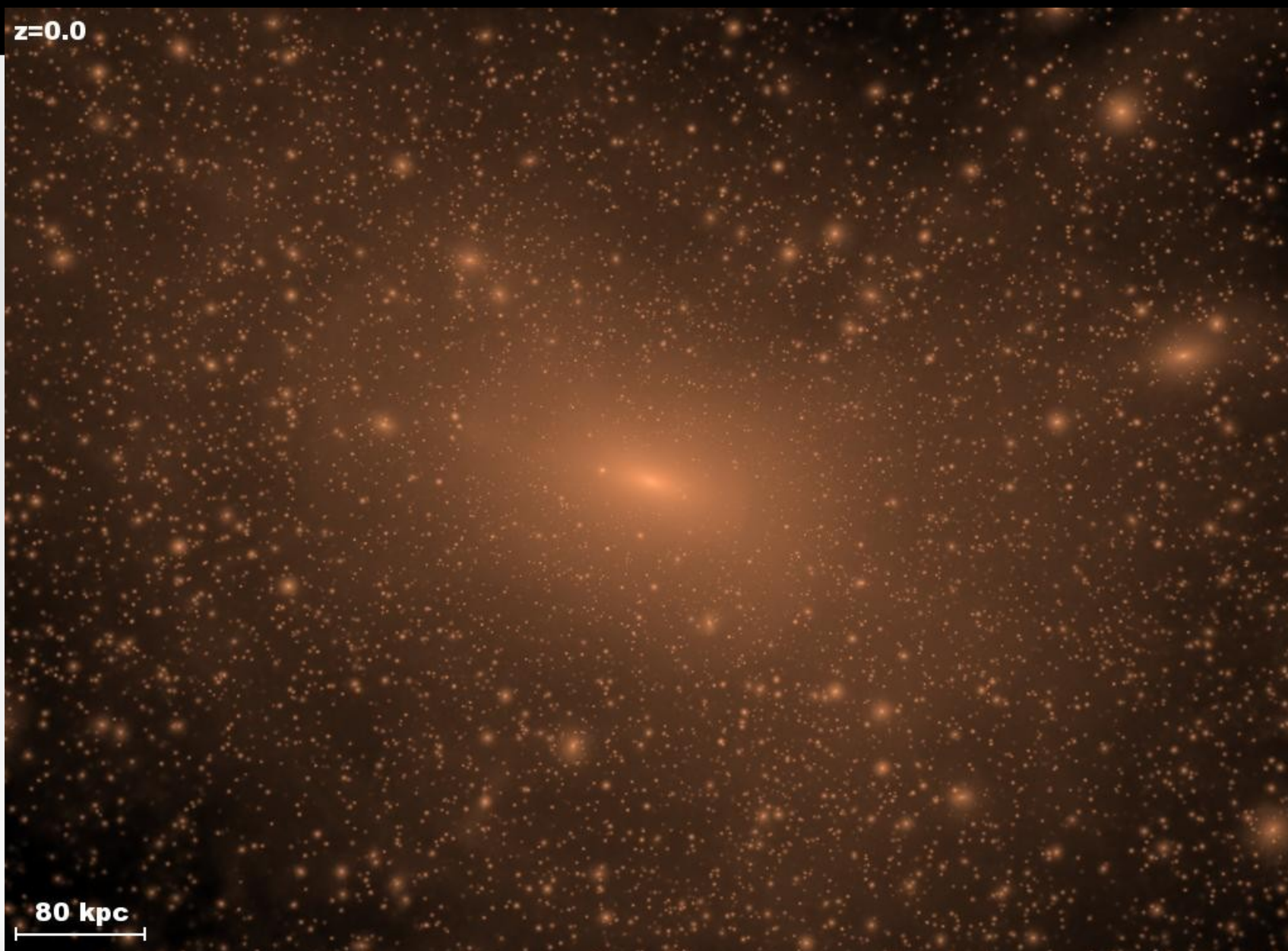


- Como a matéria diminui a curva de rotação deveria cair na periferia da Galáxia.

- Mas não é isso que acontece. Pelo contrário, a curva de rotação aumenta ligeiramente para distâncias maiores, o que implica que a quantidade de massa continua a crescer.

A velocidade de rotação, à distância de 40 kpc implica em $M_G = 6 \times 10^{11}$ Massas solares

Matéria escura (não luminosa)



Então, de que é feita a Galáxia?

- Estrelas: solitas como o Sol, binárias (a maioria) ou em aglomerados.
- Meio interestelar: gás (H e He) e poeira (grãos)
- Matéria escura (evidência da curva de rotação)

Receita para fazer a Galáxia

- Pegue 90% de matéria escura, cuja natureza você não conhece.
- Adicione 10% de estrelas, gás e poeira, na seguinte proporção: estrelas - uns 80%, gás – uns 15-20%, poeira – 1 ou 2%.

Mas como encaixar neste esquema:

- A Terra e os planetas que orbitam o Sol?
- Os planetas extra-solares (já conhecemos uns 500)?
- Os cometas, asteróides, etc?
- Os buracos negros e estrelas de neutrons?

Resposta: Poeira!

- Exceto pelos buracos negros, estrelas de neutrons e anãs brancas, que são resultado da evolução das estrelas (remanescentes estelares).

O que resta saber sobre nossa Galáxia?

- Qual a natureza da matéria escura?
- Quando e como se formou a Galáxia?
- Como e a que passo o gás foi convertido em estrelas (histórico de formação estelar)
- Como o meio interestelar é transformado em estrelas?

Matéria escura: Deve ser algo difícil de observar!

- Estrelas de baixa massa?
- Gás frio?
- Buracos negros ou anãs brancas muito tênues?
- Partículas exóticas (fotinos, gravitinos, axions, etc)?

Idade da Galáxia

- Sistemas estelares mais velhos são os aglomerados globulares: $t \geq 10^{10}$ anos.
- Idade estimada do universo: 1.4×10^{10} anos.

