



Concepção artística de como seria a Galáxia se vista de cima, mostrando uma barra, como indicada pelas [observações no infravermelho pelo satélite Spitzer \[NASA/JPL-Caltech/R. Hurt \(SSC\)\]](http://astro.if.ufrgs.br/vialac/vialac08.jpg). Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/vialac/vialac08.jpg>.

Introdução

Prezado aluno, em nossa primeira aula, da terceira área, vamos estudar a Via Láctea. Trataremos da sua estrutura, das diferentes populações estelares dentro dela, entre outros assuntos pertinentes ao estudo da Galáxia.

Bom estudo!

Galáxia e galáxia

Quando nos referimos à Via Láctea podemos escrever simplesmente Galáxia. Quando nos referimos a qualquer outra galáxia escrevemos galáxia.



Objetivos

Nesta aula estudaremos a Via Láctea. Esperamos que no final você esteja apto a:

- descrever, em linhas gerais, a estrutura da Via Láctea e a posição do Sol dentro dela;
- explicar, em termos da geometria da Via Láctea, por que, vista da Terra, ela aparece como uma faixa no céu;
- explicar a importância das estrelas variáveis na determinação das distâncias dentro da Galáxia;
- explicar as diferentes populações estelares presentes na Via Láctea e a sua distribuição dentro da Galáxia;
- estimar a massa da Galáxia contida dentro da órbita solar a partir do movimento do Sol;
- discutir as evidências para a existência de braços espirais na Galáxia e em outras galáxias;
- explicar o que é e como é a curva de rotação da Galáxia e por que ela indica a existência de matéria escura na Galáxia;
- explicar por que os astrônomos acreditam que tem um buraco negro supermassivo no centro da Galáxia.

Qual é a forma da Via Láctea e qual a nossa posição nela?

Em noites límpidas e sem lua, longe das luzes artificiais das áreas urbanas, pode-se ver claramente no céu uma faixa nebulosa atravessando o hemisfério celeste de um horizonte a outro, como visto na figura 03.01.01. Chamamos a essa faixa *Via Láctea*, devido à sua aparência, que lembrava aos povos antigos um caminho esbranquiçado como leite. Sua parte mais brilhante fica na direção da constelação de Sagitário, sendo melhor observável no Hemisfério Sul durante as noites de inverno.

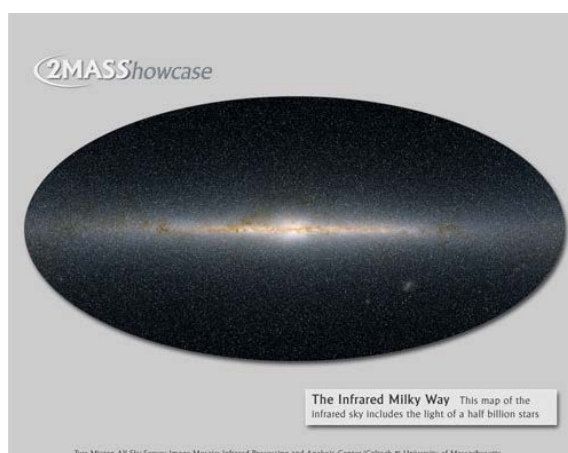


Figura 03.01.01: Vista panorâmica da Via Láctea como vista pelo Two Micron All-Sky Survey (2MASS). Outras imagens da vista lateral da Via Láctea: [Mapas da Via Láctea em diferentes bandas espectrais](#).

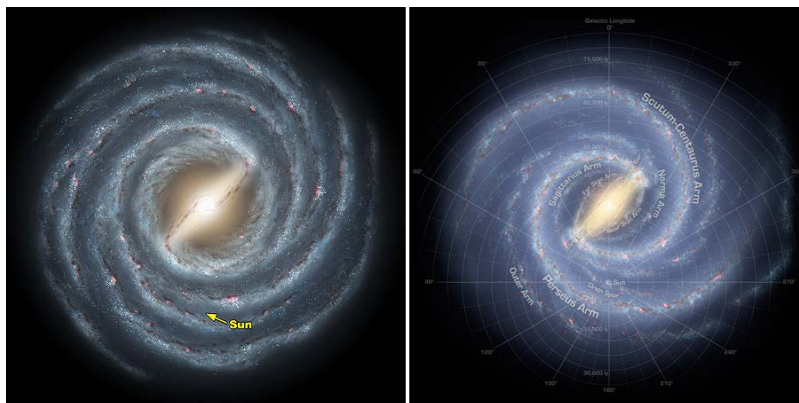


Figura 03.01.02: Concepção artística (NASA/JPL-Caltech/R.Hurt(SSC), [Spitzer Space Telescope](#)) de nossa galáxia como apareceria vista de cima. A figura da esquerda ilustra a estrutura de quatro braços de mesma intensidade; a figura da direita ilustra a estrutura espiral mais consistente com as novas observações do Spitzer (2008), que sugerem que a Via Láctea tem apenas dois braços principais; os outros dois seriam mais finos.



Figura 03.01.03: Imagem obtida por ©Roger Smith, do [Cerro Tololo Interamerican Observatory](#), mostrando a cúpula do telescópio Blanco, a Via Láctea, à direita, com o Cruzeiro do Sul, e à esquerda, a Pequena (em cima) e a Grande Nuvem de Magalhães, galáxias satélites da nossa Galáxia.

Via Láctea

Faixa nebulosa que atravessa o hemisfério celeste de um horizonte a outro.

O nome é devido à sua aparência que lembrava aos antepassados um caminho esbranquiçado como o leite.

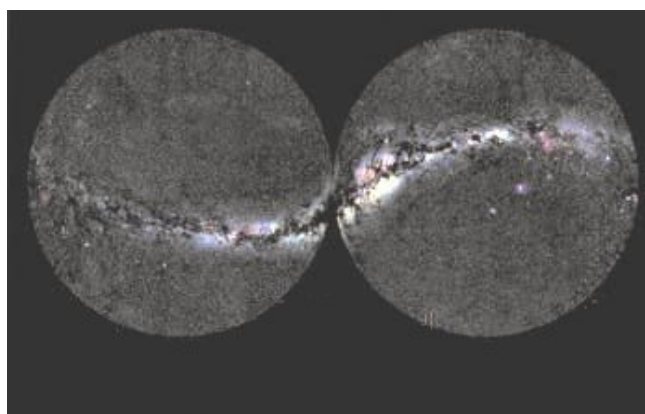


Figura 03.01.04: Via Láctea fotografada nos dois hemisférios celestes: o Norte (à esquerda) e o Sul (à direita).

Em 1609, **Galileo Galilei** (1564-1642), ao apontar seu telescópio para a Via Láctea, descobriu que ela consistia de uma multitude de estrelas. No final do século XVIII, o astrônomo alemão **William Herschel** (1738-1822), que já era famoso por ter descoberto o planeta Urano, mapeou a Via Láctea, usando seu telescópio de 1,2 m de diâmetro.



Assumindo que todas as estrelas tinham a mesma luminosidade, de forma que as suas diferenças de brilho refletiam suas diferentes distâncias, Herschel contou o número de estrelas que conseguia observar em diferentes direções e concluiu que a Galáxia era um sistema achatado, sendo aproximadamente 5 vezes maior na direção do plano galáctico do que na direção perpendicular a ele. Como ele aparentemente enxergava o mesmo número de estrelas em qualquer linha de visada ao longo do plano, concluiu que o Sol deveria estar aproximadamente no centro da Galáxia. Hoje sabemos que essa conclusão estava errada.

Herschel não tinha como saber as distâncias das estrelas e, assim, determinar o tamanho da Via Láctea, pois a primeira medida da paralaxe de uma estrela foi feita só no século seguinte (1838). A primeira estimativa do tamanho da Via Láctea foi feita no início do século XX, pelo astrônomo holandês **Jacobus Kapteyn** (1851-1922). Kapteyn fez contagem das estrelas registradas em placas fotográficas e determinou as distâncias das estrelas próximas medindo suas paralaxes e movimentos próprios. Concluiu que a Via Láctea tinha a forma de um disco com 20.000 parsecs de diâmetro com o Sol no centro. Logo após a publicação do modelo de Kapteyn, **Harlow Shapley** (1885-1972) publicou um modelo diferente, baseado na distribuição de sistemas esféricos de estrelas chamados aglomerados globulares. Shapley descobriu que os aglomerados (150 deles), mostravam uma concentração maior em uma direção do céu e supôs que o centro dessa concentração devia coincidir com o centro de nossa Galáxia. Deduziu assim que estamos a 30 mil anos-luz do centro da Galáxia.

Shapley não levou em conta a extinção interestelar, o que o fez encontrar um valor exagerado para o tamanho da Galáxia. Hoje sabemos que o disco da nossa galáxia tem uma extensão de aproximadamente 25 kpc, e o Sol se encontra a aproximadamente 8,3 kpc do centro, como está representado na figura 03.01.05.

Extensão da Galáxia

Aproximadamente 25 kpc.

Posição do Sol

No disco a 8,3 kpc do centro da Galáxia.

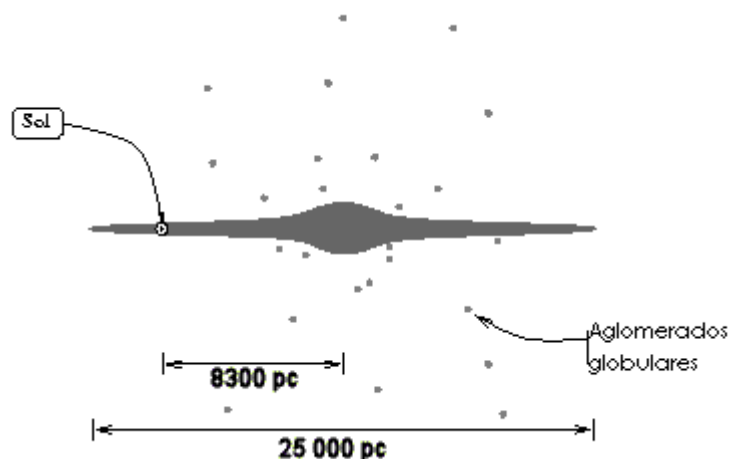


Figura 03.01.05: Representação esquemática da Via Láctea, vista de perfil, com a posição do Sol dentro dela.



Estrelas variáveis pulsantes

Estrelas cuja luminosidade varia com o tempo devido a variações de seu tamanho.

Apresentam uma relação entre suas luminosidades e seus respectivos períodos de pulsação que permite que sejam utilizadas como indicadores de distâncias.

Distâncias Dentro da Galáxia

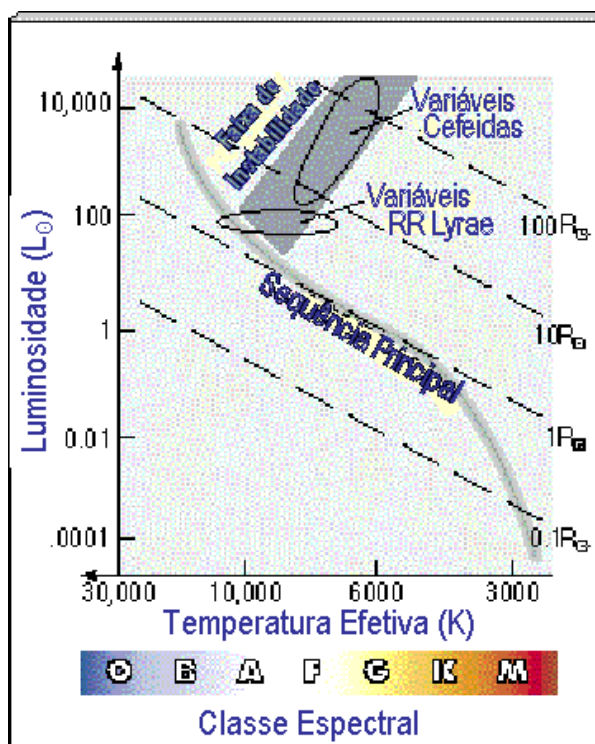
Nas aulas anteriores vimos como as distâncias das estrelas podem ser determinadas por paralaxe heliocêntrica, que utiliza o método de triangulação, ou por paralaxe espectroscópica, que utiliza as propriedades espectrais das estrelas para determinar sua magnitude absoluta pela sua posição no diagrama HR. Através da paralaxe espectroscópica, podemos medir distâncias de estrelas até aproximadamente 10.000 pc, alcance maior do que o obtido através da paralaxe heliocêntrica (1.000 pc), mas ainda insuficiente para cobrir o tamanho de nossa Galáxia, que tem 25.000 pc de diâmetro. É necessário, portanto, incluir um novo método de determinação de distâncias, que tenha um alcance maior. As estrelas variáveis importantes - estrelas cujas luminosidades variam com o tempo - cumprem o papel de indicadores de distância nesta escala.

A relação período-luminosidade de estrelas variáveis pulsantes

As estrelas variáveis pulsantes são estrelas cuja luminosidade varia com o tempo devido a variações no seu tamanho. Elas podem ser reconhecidas facilmente, observando a sua variação em luminosidade, que se dá de maneira muito regular.

Dois tipos de variáveis pulsantes são importantes como indicadores de distância na Galáxia: as variáveis Cefeidas e as variáveis RR Lyrae. Esses dois tipos de estrelas ocupam uma região do diagrama HR chamada faixa de instabilidade, onde as estrelas estão começando a queimar He no núcleo.

A pulsação acontece devido ao desequilíbrio da estrela: sem equilíbrio, a temperatura do interior aumenta rapidamente, ionizando o hidrogênio, aumentando o número de partículas e, portanto, aumentando a pressão e forçando as camadas externas para fora; o aumento do raio diminui a temperatura, recombinando o hidrogênio e reduzindo o número de partículas; com isso a pressão diminui e a estrela se contrai, aumentando a temperatura e recomeçando o ciclo.





RRLyrae

Têm pequenos períodos de pulsação. São utilizadas como indicadores de distâncias para aglomerados globulares, da Galáxia, por serem comuns nesses aglomerados.

Cefeidas

São supergigantes com períodos de pulsação de 1 até 100 dias. As mais brilhantes têm maiores períodos de pulsação, pois têm raios maiores. São utilizadas para determinar a distância de estrelas longínquas da Galáxia, e de galáxias próximas.

RRLyrae: são estrelas evoluídas com massas entre 0,5 e 0,7 M_{Sol} muito comuns em aglomerados globulares. Têm tipo espectral entre B8 e F2 e magnitude absoluta em torno de $M_V = 0,6 \pm 0,3$. Seus períodos de pulsação são pequenos, entre 0,5 e 1 dia, com variações em magnitude menores do que uma magnitude. O fato de terem luminosidade conhecida permite que sejam usadas como indicadores de distância para aglomerados globulares, usando-se o módulo de distância.

Cefeidas: são supergigantes com massas entre 3 e 18 M_{Sol} e tipo espectral entre F e K. Também pulsam de forma regular, mas podem apresentar períodos de pulsação entre 1 e 100 dias, com amplitudes de pulsação entre 0,3 e 3,5 magnitudes.

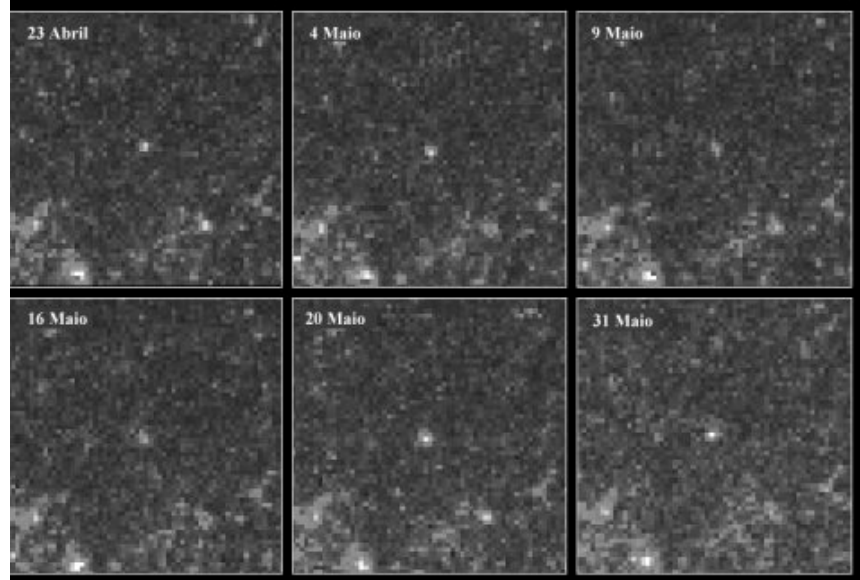


Figura 03.01.07: Série de imagens de uma estrela Cefeida na galáxia M100, a 56 milhões de anos-luz, tomadas entre abril e maio de 1994 pelo Telescópio Espacial Hubble. A estrela variável dobra de brilho, passando de magnitude 24,5 para 25,3 em 51,3 dias.

As Cefeidas diferem mais em luminosidade do que as RRLyrae, podendo ter magnitudes absolutas entre -2 e -6, mas apresentam uma relação muito estreita entre o período de pulsação e a luminosidade, o que permite conhecer sua luminosidade, uma vez conhecido seu período de pulsação. As Cefeidas mais brilhantes têm períodos maiores, por terem raios maiores.



Figura 03.01.08: Gráfico da variação de brilho (magnitude) com o tempo da estrela Delta Cephei, o protótipo da classe das Cefeidas. O período é de 5,366 dias.



Figura 03.01.09: John Goodricke, que descobriu a variabilidade de Delta Cephei em 1784, e Henrietta Swan Leavitt, que determinou a relação período-luminosidade das Cefeidas em 1912.

As observações indicam que a relação entre a magnitude bolométrica absoluta M_{bol} e o período P , em dias, é:

$$M_{bol}^{Cefeidas} = -3,125 \log P - 1,525.$$

As **variáveis Cefeidas** são usadas para determinar distâncias de estrelas longínquas da nossa galáxia, e distâncias de outras galáxias.

Tabela 03.01.01: Métodos para estimar distâncias astronômicas:

Distância de alcance	Método
1 UA	radar
1.000 pc	paralaxe heliocêntrica
10.000 pc	paralaxe espectroscópica
4 Mpc	estrelas variáveis

Morfologia



Figura 03.01.10: [Imagem da Via Láctea](#) como vista da Terra (ESO). As manchas brilhantes são constituídas de estrelas e gás. As manchas escuras são nuvens de poeira que impedem de ver as estrelas atrás delas.

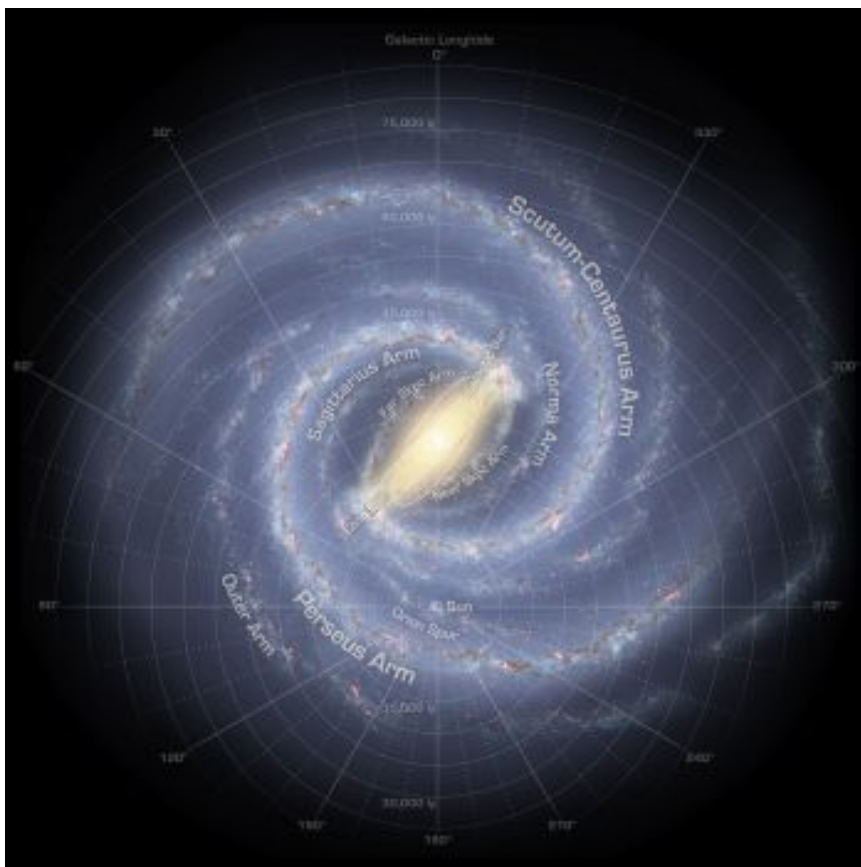


Figura 03.01.11: Concepção artística (NASA/JPL-Caltech/R.Hurt(SSC), Spitzer Space Telescope) de nossa galáxia como apareceria vista de cima, de acordo com as observações do Spitzer (2008), que sugerem que a Via Láctea tem barra de estrelas velhas no centro e uma estrutura espiral com dois braços principais e vários braços menores. O braço em que está o Sol – braço de Órion – é um desses braços pequenos.

A forma da Via Láctea foi determinada através de observações em comprimentos de onda longos, como rádio e infravermelho, que podem penetrar a poeira presente no plano da galáxia. Com base nessas observações, os astrônomos chegaram à conclusão de que 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.

Forma da Galáxia

Forma de um disco circular com diâmetro de aproximadamente 25 kpc e espessura ao redor de 300 pc. Sua forma foi determinada através de observações dos comprimentos de ondas longas como infravermelho e rádio que atravessam a poeira presente no plano da Galáxia.

Vista lateral da Via Láctea

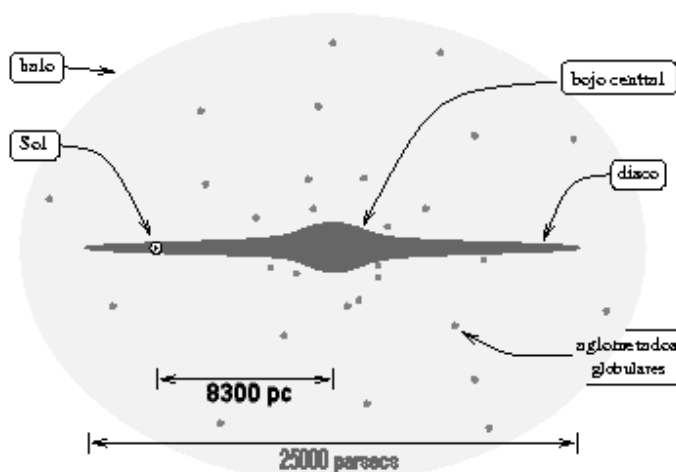


Figura 03.01.12: Representação esquemática da Via Láctea vista de perfil.

O disco está imerso em um **halo** esférico formado pelos aglomerados globulares e, provavelmente, grande quantidade de matéria não luminosa. Observações desses aglomerados indicam



Composição da Galáxia

Além de estrelas, há material interestelar composto por gás e poeira. O gás interestelar é constituído, em sua maior parte, por hidrogênio neutro.

Rotação diferencial da Galáxia

A Galáxia tem uma rotação diferencial que lembra a dos planetas. As estrelas mais próximas do centro se movem com maior velocidade do que as mais afastadas.

Nomenclatura

- HI: nebulosas com hidrogênio neutro.
- HII: nebulosas com hidrogênio ionizado.

que o halo está centrado no **núcleo** da Galáxia e, se estende por no mínimo 100.000 pc, bem além dos limites do disco galáctico. O **bojo** que contém o núcleo, é uma região esférica de 2.000 pc de raio, envolvendo o núcleo.

Da posição do Sol, onde estamos, a Galáxia é vista de perfil, daí a forma de faixa. A observação de estrelas nas proximidades do Sol mostra que elas se movem em relação ao Sol, pois apresentam deslocamento Doppler nos seus espectros. Isso evidencia que o disco da Galáxia não gira como um corpo rígido, mas sim tem uma rotação diferencial que lembra a dos planetas: estrelas mais próximas do centro galáctico se movem mais rapidamente do que as mais distantes.

O disco da galáxia contém, além das estrelas, a matéria interestelar, formada por gás e poeira, que constitui o material do qual as estrelas se formam. O gás interestelar é constituído na maior parte por hidrogênio neutro, que não é luminoso. Mas perto de estrelas muito quentes e massivas, o hidrogênio é ionizado pela radiação ultravioleta provinda das estrelas, e brilha por fluorescência. Se existe suficiente hidrogênio ao redor destas estrelas, ele será visível como uma nebulosa gasosa de emissão, brilhante, chamada Região HII. Um exemplo desse tipo de nebulosa é M42, que se localiza na constelação de Órion.

O hidrogênio neutro (HI) emite uma linha espectral de comprimento de onda $\lambda = 21,049$ cm (equivalente à frequência de 1.420,4 MHz), correspondente à radiação emitida pelo átomo de hidrogênio quando ele realiza uma transição entre dois níveis hiperfinos do estado fundamental. Ela é usada para mapear a distribuição do hidrogênio e teve um papel chave na determinação da estrutura espiral da Galáxia.

Estrutura espiral

Quando observamos outras galáxias que têm meio interestelar abundante como a nossa, verificamos que, nessas outras galáxias, as nebulosas gasosas geralmente se encontram distribuídas em uma estrutura espiral, como pode ser visto na figura 03.01.13. Parece então razoável supor que nossa Galáxia também tem uma estrutura espiral, mas fica muito difícil, para nós, visualizá-la, pois estamos dentro do próprio disco galáctico, e cercados de poeira interestelar, que bloqueia a luz.



Figura 03.01.13: Imagem da galáxia M51 (crédito: NASA/HST). As manchas rosadas ao longo dos braços espirais são regiões HII, as manchas azuladas são aglomerados de estrelas jovens azuis.



Localizadores dos braços espirais

- No óptico: estrelas do tipo O e B, regiões HII e variáveis cefeidas.
- Em rádio: a linha 21 cm do hidrogênio neutro.

Com base em observações mais recentes supõe-se que a Via Láctea tem dois braços principais: Perseus e Scutum-Centaurus.

Movimento próprio

É o movimento (angular) da estrela no plano do céu, medido em segundos de arco por ano. (Não confundir com paralaxe!)

Podemos estimar a localização dos braços espirais observando objetos que sejam **mapeadores da estrutura espiral**. Os principais mapeadores ópticos são objetos brilhantes como **estrelas OB, regiões HII e estrelas cefeidas variáveis**. 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.

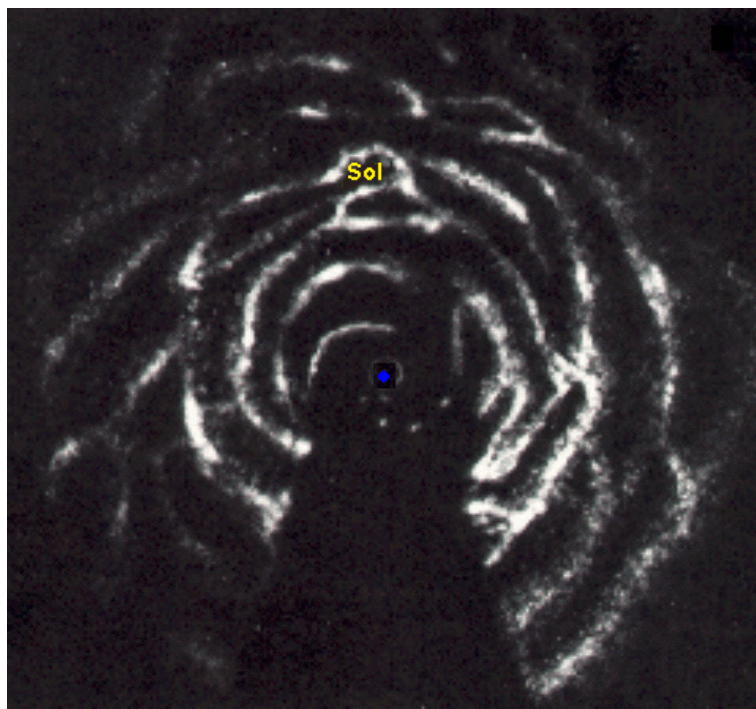


Figura 03.01.14: Mapa da distribuição de hidrogênio na Galáxia. O centro da Galáxia está indicado por um pequeno círculo azul.

Até 2005 pensava-se, com base nas observações no óptico e no rádio, que a Galáxia teria quatro braços espirais principais, mas observações mais recentes no infravermelho, sugerem que a Via Láctea tem dois braços principais – o braço de Scutum-Centaurus e o braço de Perseus – e vários braços menores (ver a figura 03.01.13). O Sol está na borda interna de um braço pequeno chamado "braço de Órion" (Orion Spur) que contém, entre outros aspectos marcantes, a Nebulosa de Órion.

Movimento das Estrelas

Em 1718, **Sir Edmund Halley** (1656-1742) observou que a posição da estrela Arcturus no céu havia mudado um grau em relação à posição medida por Ptolomeu. Sirius também havia mudado, de meio grau. Desde então os astrônomos têm medido o movimento transversal, isto é, o movimento aparente das estrelas no céu, perpendicular à linha de visada. Este movimento é chamado de **movimento próprio** e usualmente é medido em segundos de arco por ano.

A estrela conhecida com maior movimento próprio é a estrela de Barnard, descoberta em 1916 por **Edward Emerson Barnard** (1857-1923), localizada a 1,8 pc de distância de nós. É uma estrela pouco luminosa (tem um centésimo da luminosidade do Sol), e movimento próprio de 10 segundos de arco por ano.



Movimento das estrelas

As estrelas se movem umas em relação às outras dentro da Galáxia.

A velocidade de uma estrela em relação ao Sol pode ser medida combinando seus movimentos na linha de visada (radial) e na perpendicular a ela (transversal).

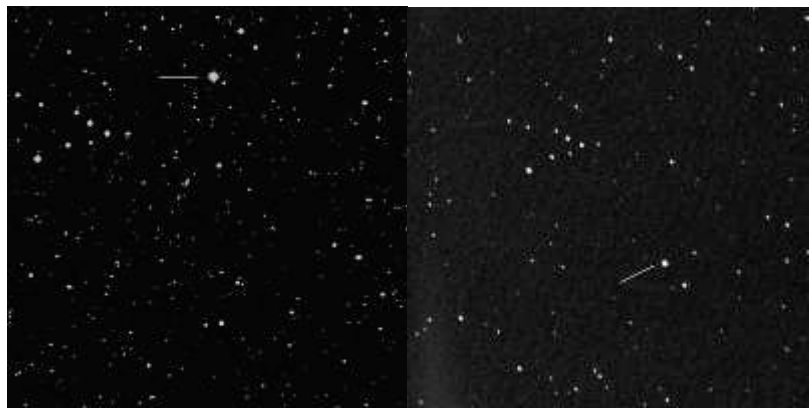


Figura 03.01.15: A estrela de Barnard (indicada pelas setas), fotografada em 1950 (foto da esquerda) e em 1997 (foto da direita). Note como a posição da estrela muda em relação às demais. Clique [aqui](#) para ver uma imagem em movimento.

Não se deve confundir o movimento próprio com a paralaxe, pois a paralaxe se deve ao movimento da Terra em torno do Sol, e é cíclica em um ano, ao passo que o movimento próprio se deve aos movimentos relativos entre a estrela e o Sol, e é cumulativo ao longo de anos. Ao se calcular o movimento próprio, deve-se fazer a correção pela paralaxe.

Em 1842 **Christian Doppler** (1803-1853) demonstrou que uma fonte que se distancia do observador tem todos os comprimentos de onda de seu espectro deslocados para o vermelho, isto é, o efeito Doppler desloca os comprimentos de onda para valores maiores quando a fonte se distancia e menores quando ela se aproxima, como se observa na figura 03.01.16. Com estas medidas do efeito Doppler, foi possível também medir a **velocidade radial** das estrelas, isto é, a velocidade na linha de visada.

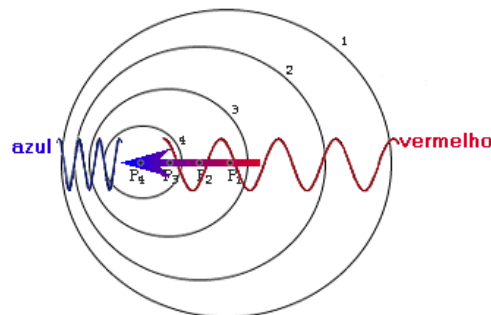


Figura 03.01.16: O efeito Doppler desloca os comprimentos de onda para valores maiores quando a fonte se distancia com a cor tendendo para o vermelho e menores quando ela se aproxima com a cor tendendo para o azul.

Combinando os movimentos radial e transversal da estrela, podemos medir a verdadeira velocidade da estrela em relação ao Sol.



Figura 03.01.17: Jan Heindrik Oort (1900 -1992).

Jan Heindrik Oort (1900–1992) demonstrou que os movimentos podem ser interpretados em termos do movimento geral das estrelas em torno da galáxia, de acordo com as leis de movimento de Kepler.



Ano galáctico

Tempo que o Sol leva para dar uma volta em torno do centro da Galáxia. Tem duração de 233 milhões de anos.

Massa da Galáxia

Seu valor aproximado pode ser obtido a partir do movimento das estrelas de seu interior. A massa interna à órbita do Sol é aproximadamente 10^{11} massas solares.

As estrelas mais próximas do centro da galáxia se movem mais rapidamente do que o Sol. Oort deduziu que o Sol revolve em torno do centro da nossa galáxia com uma velocidade de 220 km/s, completando uma volta a cada 233 milhões de anos.

Esse tempo que o Sol leva para dar uma volta completa em torno do centro galáctico, com duração de 233 milhões de anos é chamado de ano galáctico.

$$P_{\odot} = \frac{2\pi r_{\odot}}{v_{\odot}} = \frac{2\pi \cdot 7,2 \text{ kpc}}{220 \text{ km/s}} = 233 \text{ milhões de anos}$$

A Massa da Galáxia

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 estrelas ali concentradas, da mesma forma que os planetas giram em torno do Sol.

Observando o movimento orbital de uma estrela na periferia da galáxia, podemos determinar aproximadamente a massa da Galáxia, M_G , desde que saibamos a distância dessa estrela ao centro galáctico. Tomemos como exemplo o próprio Sol, e vamos assumir que ele está em uma órbita circular em torno do centro galáctico com velocidade v_{\odot} .

A força centrípeta do Sol é

$$F_c = \frac{M_{\odot} v_{\odot}^2}{R_{\odot}}$$

que é produzida pela atração gravitacional entre o Sol e a massa da Galáxia interna ao Sol, dada por

$$F_G = \frac{GM_{\odot} M_G}{R_{\odot}^2}$$

Uma vez que a força gravitacional atua como força centrípeta, ou seja:

$$F_G = F_c,$$

temos:

$$\frac{GM_G m}{R^2} = \frac{mv^2}{R} \rightarrow M_G = \frac{Rv^2}{G}$$

Os estudos da rotação galáctica mostram que nas proximidades do Sol a velocidade orbital é de $v_{\odot} = 220 \text{ km/s}$. Sabemos que a distância do Sol ao centro galáctico é de $8.300 \text{ pc} = 2,5 \times 10^{20} \text{ m}$. A massa da galáxia M_G pode então ser calculada:

$$M_G = \frac{v_{\odot}^2 R_{\odot}}{G} = \frac{(2,20 \times 10^5 \text{ m/s})^2 (2,5 \times 10^{20} \text{ m})}{6,7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2)},$$

$$M_G = 1,8 \times 10^{41} \text{ kg} \approx 10^{11} M_{\odot}.$$

Portanto, considerando o Sol como uma estrela de massa típica, a Via Láctea teria aproximadamente 100 bilhões de estrelas. Este é um limite inferior, pois estamos considerando apenas a massa interna à órbita do Sol.

A curva de rotação da Galáxia

A massa da Galáxia, calculada da maneira acima, é apenas a massa contida dentro da órbita do Sol em torno do centro galáctico. Para conhecer a massa existente além da órbita do Sol, é necessário medir o movimento de estrelas e do gás localizados a distâncias maiores do centro Galáctico do que o Sol.



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 um gráfico da velocidade orbital em função da distância ao centro (figura 03.01.18).

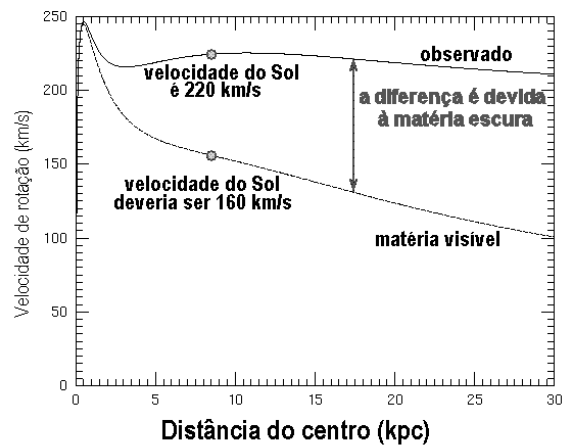


Figura 03.01.18: Duas curvas de rotação para a Galáxia: a curva de cima é a curva observada, a partir do movimento do gás no disco; a curva de baixo é a curva esperada a partir da matéria visível.

A curva de rotação da Galáxia mostra que a massa contida dentro do raio de 15 kpc - duas vezes a distância do Sol ao centro galáctico - é de $2 \times 10^{11} M_{\text{Sol}}$, ou seja, o dobro da massa contida dentro da órbita do Sol. A distância de 15 kpc corresponde ao limite da estrutura espiral visível da Galáxia (onde **visível**, aqui, significa o que pode ser detectado em qualquer comprimento de onda). Portanto, era de se esperar que, a partir desse ponto, a curva de rotação passasse a decrescer, pois se a maior parte da massa da Galáxia estivesse contida até esse raio, o movimento das estrelas e do gás situados mais distantes deveria ser cada vez mais lento, da mesma forma que a velocidade dos planetas diminui à medida que aumenta sua distância ao Sol.

Supreendentemente, não é isso o que se observa. 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, corresponde a uma massa de $6 \times 10^{11} M_{\text{Sol}}$, o que só pode ser explicado considerando que **nossa Galáxia contém matéria não-visível** que se estende muito além da matéria visível, e que constitui, no mínimo, **dois terços da massa total** da Galáxia. Esta é uma indicação de um problema muito maior, chamado de matéria faltante (*missing mass*), ou **matéria escura** (invisível, que não emite luz), externa à órbita do Sol. Essa massa, que **só interage pela gravidade**, ainda não foi detectada em laboratório e constitui um dos pontos mais perplexantes da astronomia moderna. Está distribuída em um halo extenso em torno da Galáxia. Conclusão: **a curva de rotação observada prova que existe matéria escura em nossa Galáxia e que ela é dominante**.

A curva de rotação da Galáxia

Mostra como varia a velocidade orbital das estrelas em função das suas distâncias ao centro da Galáxia. A curva de rotação da Galáxia aumenta ligeiramente para distâncias maiores. Isso significa que a massa continua a crescer, o que é explicado pela existência da matéria escura.

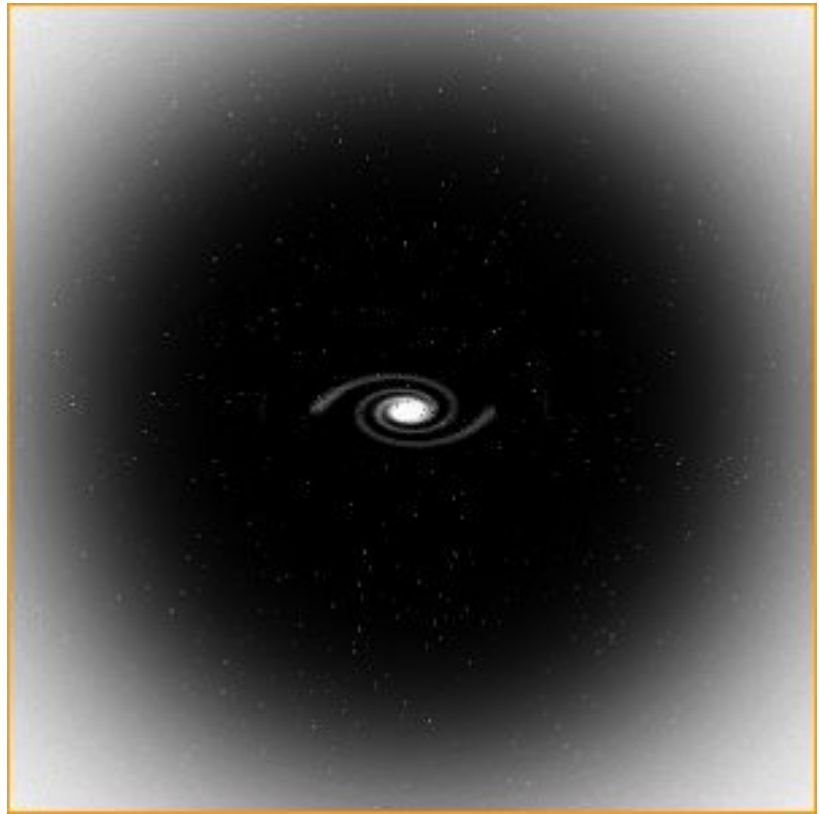


Figura 03.01.19: Representação artística do halo de matéria escura envolvendo a parte luminosa da Via Láctea.

Populações Estelares



Figura03.01.20: Wilhelm Heinrich Baade (1893-1960).

Walter Baade [Wilhelm Heinrich Baade (1893-1960)], contemporâneo de Edwin Hubble no observatório de Mount Wilson, estudando a galáxia Andrômeda, notou que podia distinguir claramente as estrelas azuis nos braços espirais da galáxia, e propôs o termo População I para estas estrelas dos braços, e População II para as estrelas vermelhas visíveis no núcleo da galáxia. Atualmente, utilizamos essa nomenclatura mesmo para estrelas da nossa Galáxia e sabemos que as estrelas de **População I são estrelas jovens**, como o Sol, com menos de 7 bilhões de anos, ricas em metais, isto é, com conteúdo metálico (qualquer elemento acima do He) de cerca de 2%, enquanto que a **População II corresponde a estrelas velhas**, com cerca de 10 bilhões de anos, e pobres em metais, isto é, com menos de 1% em metais.



População I

São Estrelas jovens como o Sol.

População II

São estrelas velhas.

Centro da Galáxia

Fica na direção da constelação de Sagitário.

O movimento das estrelas e do gás no núcleo indica a existência de um buraco negro no núcleo.

Tabela 03.01.02: 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

O centro da Galáxia

O centro da Galáxia fica na direção da constelação de Sagitário, numa região com alta concentração de material interestelar que impede sua visualização a olho nu ou usando detectores ópticos.

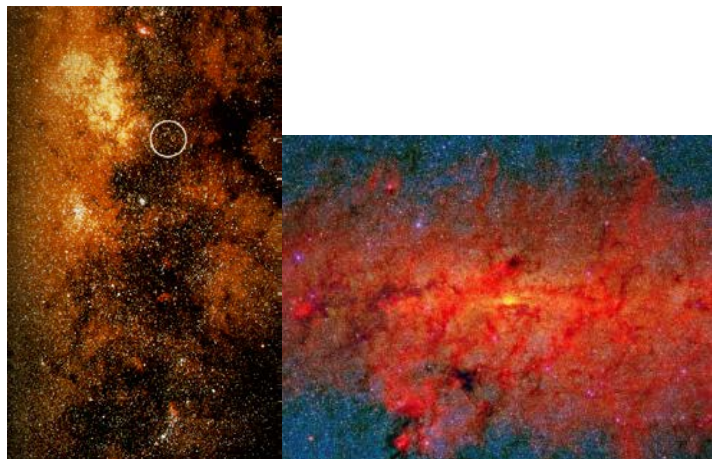


Figura 03.01.21: Imagens do centro da Via Láctea no visível, esquerda, e no infravermelho (falsa cor), direita. A imagem no infravermelho, obtido pelo projeto [2MASS \(2 Micron All Sky Survey\)](#) e [MSX \(Midcourse Space Experiment\)](#), mostra a poeira em vermelho.

A melhor maneira de estudar o bojo central é usando comprimentos de onda mais longos, como infravermelho e rádio, que atravessam mais livremente a poeira e o gás do disco.

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 no núcleo indica que ali existe um objeto compacto, provavelmente um buraco negro com massa de 4,3 milhões de massas solares.

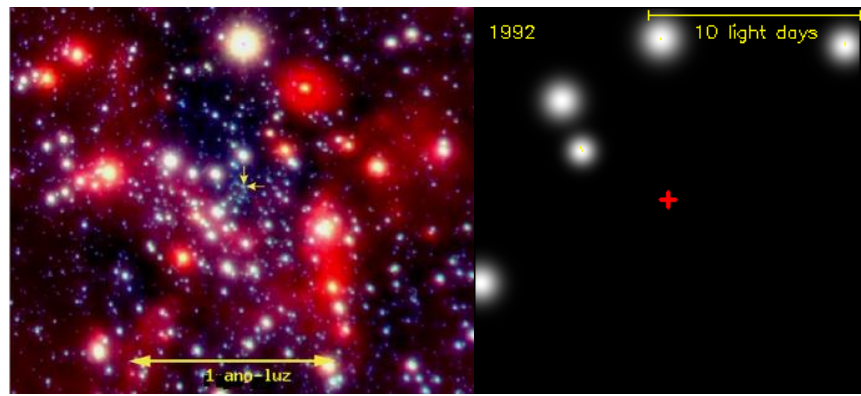


Figura 03.01.22: À esquerda, imagem do centro da Galáxia obtida no infravermelho com um telescópio de 8,2 m do European Southern Observatory por Rainer Schödel et al. (2002, Nature, 419, 694). As setas indicam o centro da Via Láctea, onde uma estrela, chamada S0-2, com 17 vezes a massa do Sol e período orbital de 15,2 anos, passou a 17 horas-luz (3 vezes o raio da órbita de Plutão) do buraco negro central, que tem cerca de 2 milhões de massas solares. A velocidade da estrela era cerca de 5 000 km/s. À direita, simulação da série de observações de estrelas dentro de 1 parsec do centro galáctico, da página [do Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik](#), combinando as medidas de Reinhard Genzel e Andreas Eckart, do Max Planck, com dados do 3.6m NTT e 8.2m do VLT no ESO, e Andrea Ghez da UCLA, com dados do 10m Keck. A órbita fechada na figura é da estrela S0-2, orbitando Sagittarius A*.

Observações desde 2001 em raio-X confirmam que o núcleo da Galáxia é um lugar violento, com [flares diários](#), onde além do buraco negro central supermassivo, existe grande quantidade de gás ionizado, e centenas de anãs brancas, estrelas de nêutrons e buracos negros, como visto na figura 03.01.23.

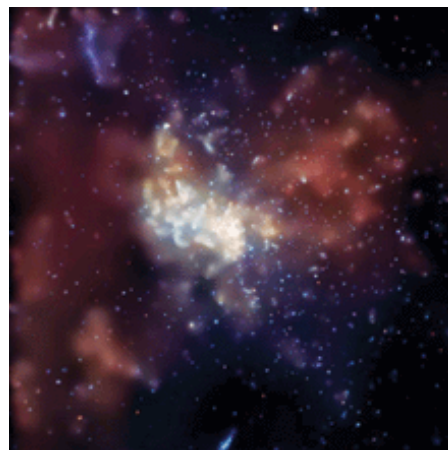


Figura 03.01.23: Ilustração do centro da Galáxia com seus flares , em branco, gases ionizados, suas anãs brancas e seus demais constituintes.

Resumo

Via Láctea: faixa nebulosa que atravessa o hemisfério celeste de um horizonte a outro. Chamamos a essa faixa *Via Láctea*, devido à sua aparência, que lembrava aos povos antigos um caminho esbranquiçado como leite. Sua parte mais brilhante fica na direção da constelação de Sagitário.

- Extensão da Galáxia: aproximadamente 25 kpc.
- Posição do Sol: no disco galáctico a 8,3 kpc do centro da Galáxia.

As distâncias do centro da Galáxia são determinadas usando estrelas variáveis, como as Cefeidas e RR Lyrae. Essas estrelas apresentam variações periódicas no brilho, sendo que o período da variação é correlacionado com a luminosidade. Isso permite que sejam indicadores de distância.



A forma da Via Láctea foi determinada por observações em comprimentos de ondas longas, rádio e infravermelho, pois essas podem penetrar a poeira existente no plano da Galáxia.

De onde estamos a Galáxia tem a forma de faixa. O disco da Galáxia não gira como um corpo rígido, mas tem uma rotação diferencial que se assemelha a dos planetas. As estrelas mais próximas do centro galáctico se movem mais rapidamente que as mais afastadas.

O disco galáctico é composto por estrelas e matéria interestelar. Essa é composta por gás e poeira. O gás interestelar é constituído em sua maior parte por hidrogênio neutro.

Forma espiral da Galáxia: A distribuição do hidrogênio neutro em nossa Galáxia, detectada pela emissão na linha de 21 cm (em rádio), indica que a nossa Galáxia é espiral; a existência da estrutura espiral também é indicada pela presença de estrelas jovens e meio interestelar abundante no plano da Galáxia. Devido a observações mais recentes a Via Láctea teria dois braços principais: o braço de Scutum-Centaurus e o braço de Perseus, além de vários braços menores.

Movimento das estrelas

Movimento transversal: movimento aparente das estrelas no céu. É perpendicular à linha de visada e chamado de movimento próprio. Combinando os movimentos radial e transversal da estrela podemos medir a verdadeira velocidade da mesma em relação ao Sol.

Ano galáctico: tempo que o Sol leva para dar uma volta completa em torno do centro galáctico tem duração de 233 milhões de anos.

Curva de rotação da galáxia

É um gráfico da velocidade orbital das estrelas em função de suas distâncias ao centro galáctico. Essa curva mostra que a massa é o dobro da massa contida dentro da órbita do Sol. Se esperava que a partir desse ponto, 15 kpc de distância ao centro galáctico, a curva de rotação diminuísse, mas observa-se que a curva de rotação aumenta ligeiramente para distâncias maiores, de onde conclui-se que a quantidade de massa da galáxia continua a crescer. Tal constatação indica que há matéria escura em nossa galáxia. Essa matéria escura é dominante. Equivale a aproximadamente dois terços da massa total da Galáxia.

Populações estelares

- População I: estrelas jovens.
- População II: estrelas velhas.

O centro da galáxia fica na direção da constelação de Sagitário.

Questões de fixação

Agora que vimos o assunto previsto para a aula de hoje resolva as questões de fixação e compreensão do conteúdo a seguir, utilizando o fórum, comente e compare suas respostas com os demais colegas.

Bom trabalho!

1. O que é a Via Láctea, e por que tem esse nome?



2. Faça uma representação esquemática da nossa galáxia, de frente e de perfil, colocando as dimensões e a localização do Sol, halo, disco, bojo nuclear, e braços espirais.

3. Qual região da Galáxia é definida pelos aglomerados globulares? Qual a forma e tamanho dessa região? Em que ponto da Galáxia ela está centrada?

4. Que evidências existem para a existência de uma estrutura espiral em nossa galáxia? Por que os astrônomos acreditam que nos braços espirais esteja ocorrendo formação de novas estrelas?

5. Que tipo de objetos são chamados mapeadores ópticos da estrutura espiral? Como se mapeia a estrutura espiral em rádio?

6. Como as estrelas variáveis pulsantes são usadas para medir as distâncias de estrelas? Uma estrela variável com período não uniforme pode ser usada para esse fim? Explique.

7. Como as observações do hidrogênio neutro (HI) são usadas para estudar a rotação da Galáxia e a distribuição do gás dentro dela?

8. O que é a curva de rotação da Galáxia? (é uma curva do que em função do quê?)

9. Que evidência observacional existe de que uma grande fração da massa da Galáxia está em órbitas externas à órbita do Sol?

10. Qual é a diferença de população I e população II em termos de idade, composição química, localização na Galáxia, e características orbitais?

11. Por que é difícil estudar o centro da Galáxia? Que região do espectro é mais indicada para ser utilizada na realização desse estudo? Para ajudar a responder esta questão, observe estes [mapas da Via Láctea em diferentes comprimentos de onda](#). Em qual dos mapas o centro da nossa Galáxia aparece mais brilhante?

12. Em um certo aglomerado de estrelas observa-se uma Cefeida cujo período de variação é de 20 dias, e cuja magnitude aparente média é $m = 20$. Usando a relação período-luminosidade das cefeidas ($M = -3,125 \log P - 1,525$, P em dias), encontre a distância desse aglomerado. (Assuma que a distância do aglomerado é a distância encontrada para a Cefeida.)

13. Usando a distância do Sol ao centro galáctico (8,5 kpc), e a velocidade com que ele se move (220 km/s),

a) Qual é a duração do "ano galáctico"?

b) Qual a massa da Galáxia interna à órbita do Sol?

c) Supondo que a Galáxia tenha uma idade de 12 bilhões de anos, quantas voltas o Sol já deu em torno do centro galáctico?

14. Um aglomerado globular está em órbita elíptica ($e = 0,9$) em torno do centro galáctico, tal que a distância apogaláctica (maior afastamento do centro) é 40 kpc.

a) Qual é a distância perigaláctica (mínimo afastamento do centro)?

b) Quanto tempo este aglomerado vai levar para completar sua órbita? (Considere que a massa da Galáxia interna à órbita do aglomerado é $10^{11} M_{\text{Sol}}$.)

Até a próxima aula!