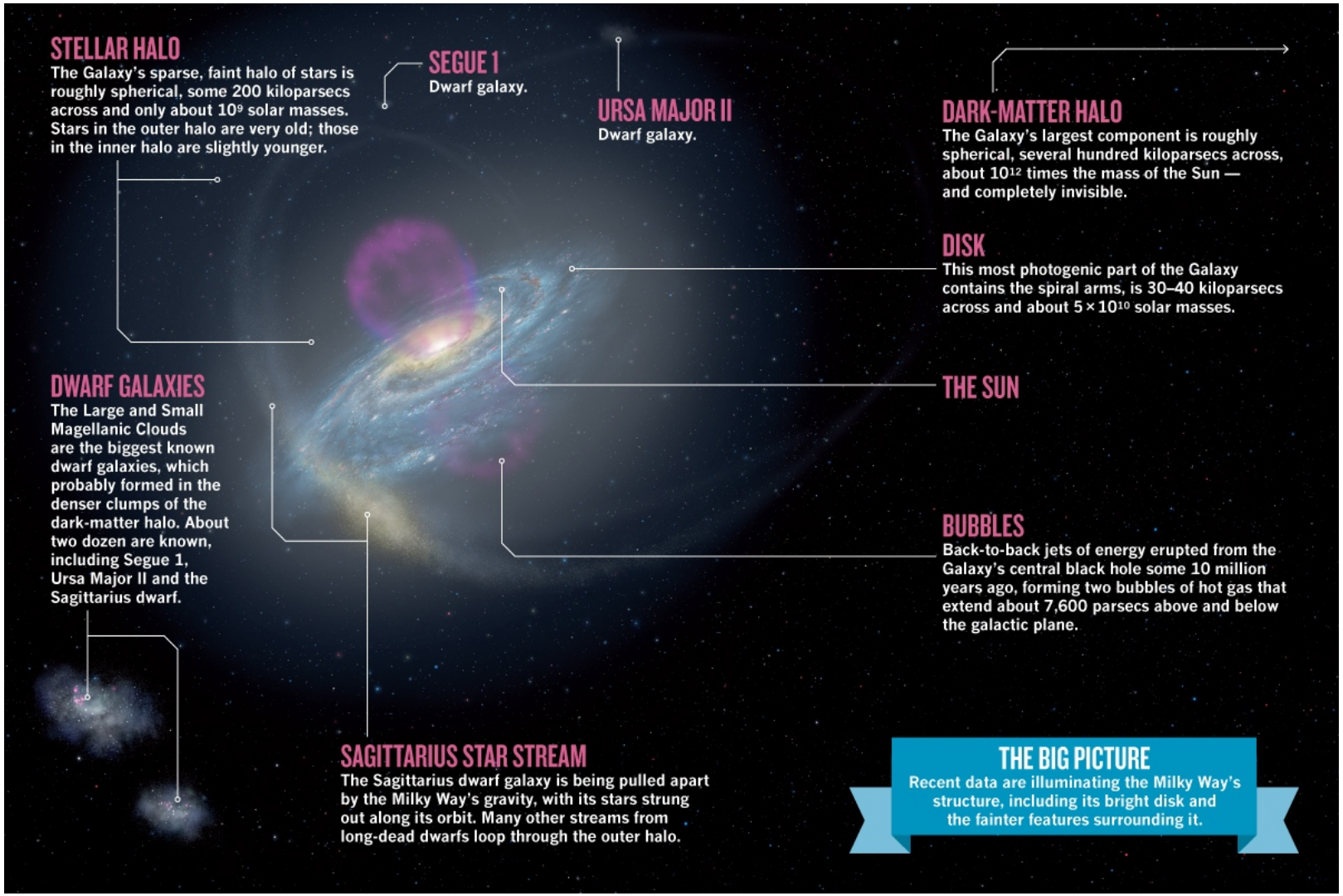
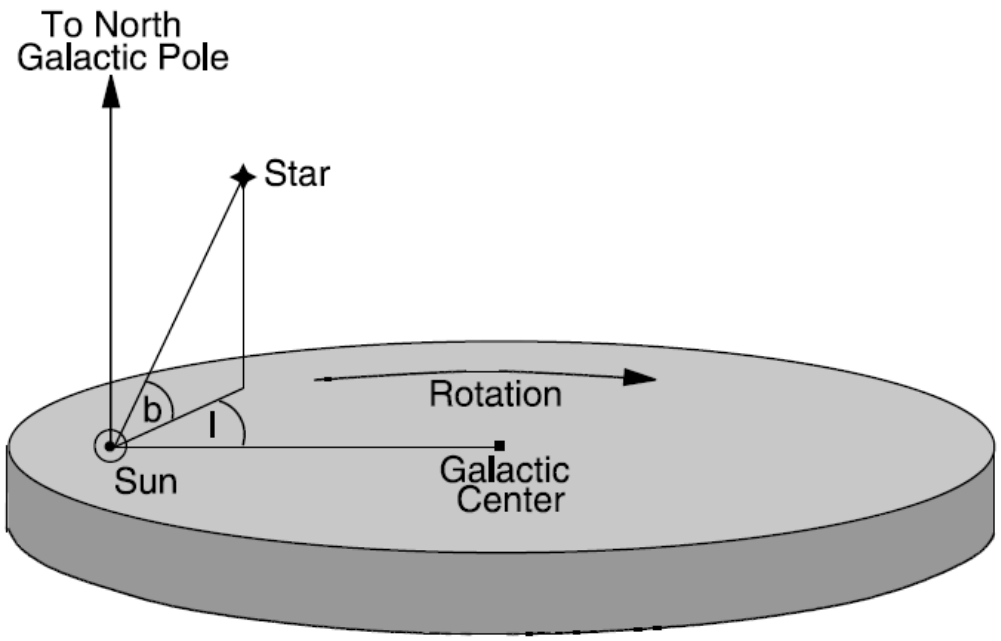
A Via Láctea: Big Picture



- Classificação: SBbc;
- Diâmetro: ~31-55kpc;
- Nº de estrelas:~2.5×10^{11};
- Massa estelar: ~$4.6\text{-}6.4 \times 10^{10} M_{\odot}$;
- Massa de gás: ~10% da M_*;
- Massa total: ~$0.8\text{-}4.5 \times 10^{12} M_{\odot}$.

Coordenadas Galácticas



- **b** – Latitude: ângulo a partir do plano da Via Láctea (-90°<b<+90°);
- **l** – Longitude: ângulo no plano, com origem no Sol, entre a linha que une o Sol ao centro da Via Láctea e a direção considerada, no sentido anti-horário olhando desde o polo norte galáctico.

Extinção

- Fluxo *S* de uma fonte a uma distância *s* que sofre extinção com profundidade ótica τ:

$$S_v = S_v(0)e^{-\tau_v(s)}$$

- Em magnitudes: $$m = -2.5log(s) + const$$

$$S \propto 10^{-0.4m}$$

$$\frac{S_v}{S_v(0)} = 10^{0.4(m-m_0)} = e^{-\tau_v} = 10^{-log(e)\tau_v}$$

$$A_v = m - m_0 = 2.5log(e)\tau_v = 1.085\tau_v$$

- Excesso de cor é a diferença da absorção em duas bandas:

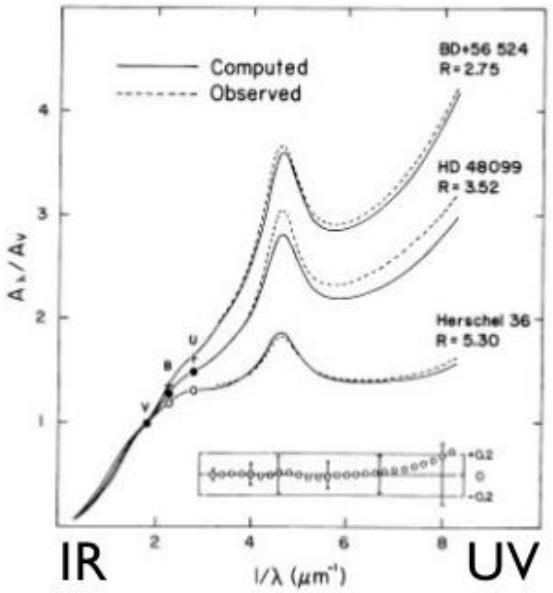
$$E(X-Y) = A_X - A_Y = (X - X_0) - (Y - Y_0) = (X - Y) - (X - Y)_0$$

$$E(X-Y) = A_X - A_Y = A_Y\left(-1 + \frac{A_X}{A_Y}\right) = A_Y\left(\frac{1}{R_Y}\right)$$

$$E(B-V) = A_V\left(\frac{1}{R_Y}\right)$$

$$A_V = R_V E(B-V)$$

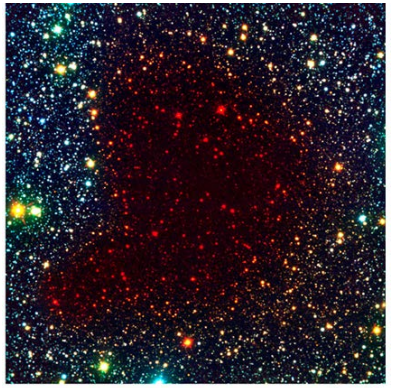
$$\frac{A_\lambda}{A_V}$$



IR UV

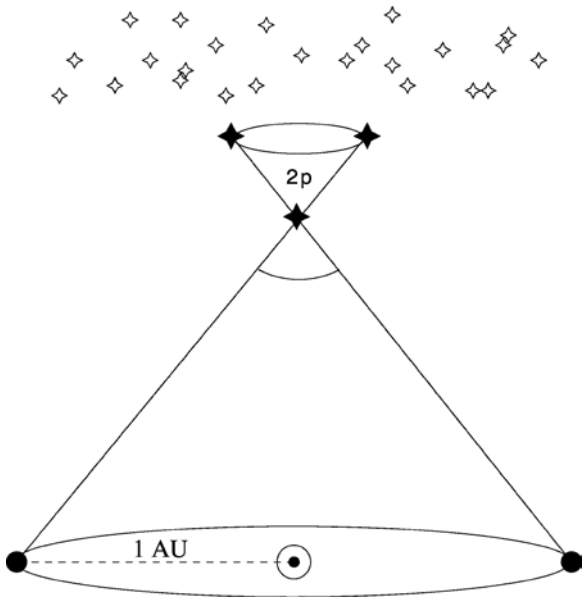
$1/\lambda$

B, V, I



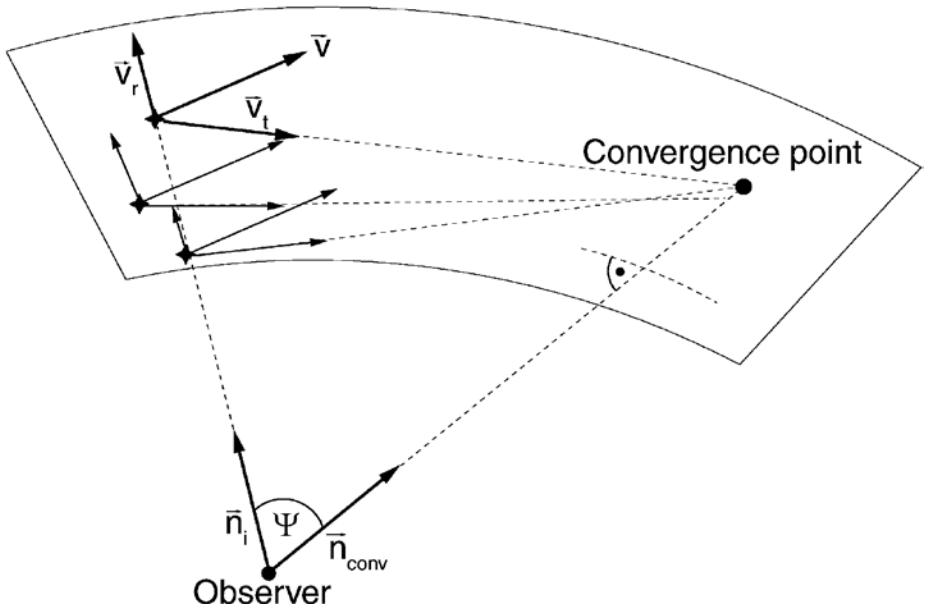
B, I, K

Determinação de distâncias



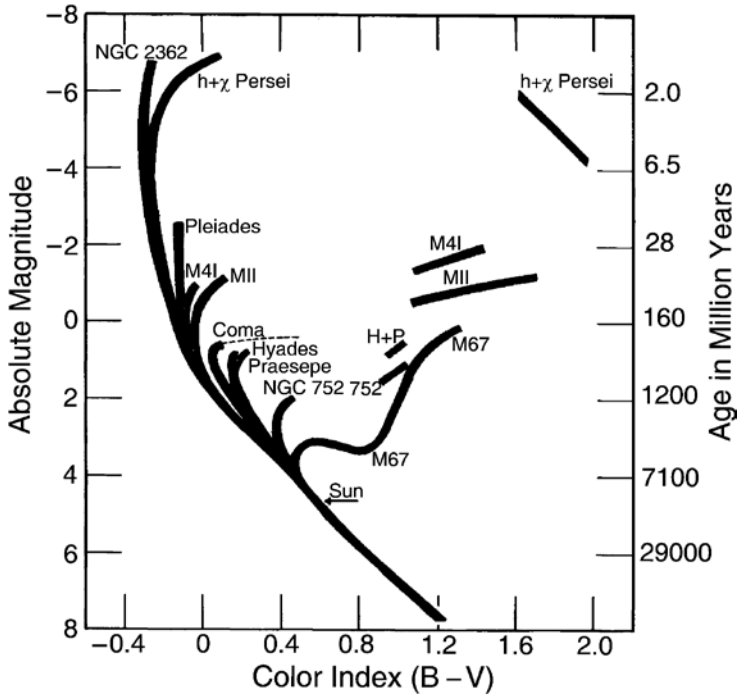
1. Paralaxe

$$D = \left(\frac{p}{1''}\right)^{-1} \text{pc}$$



2. Paralaxe de Aglomerados em movimento:

$$D = \frac{v_r \tan \psi}{\mu}$$

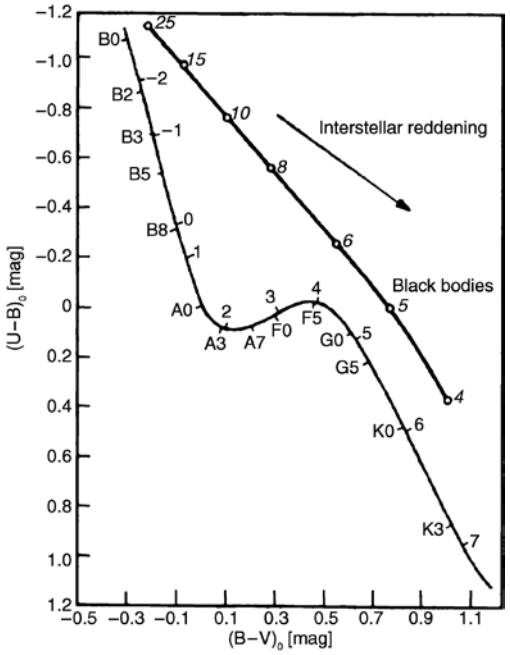


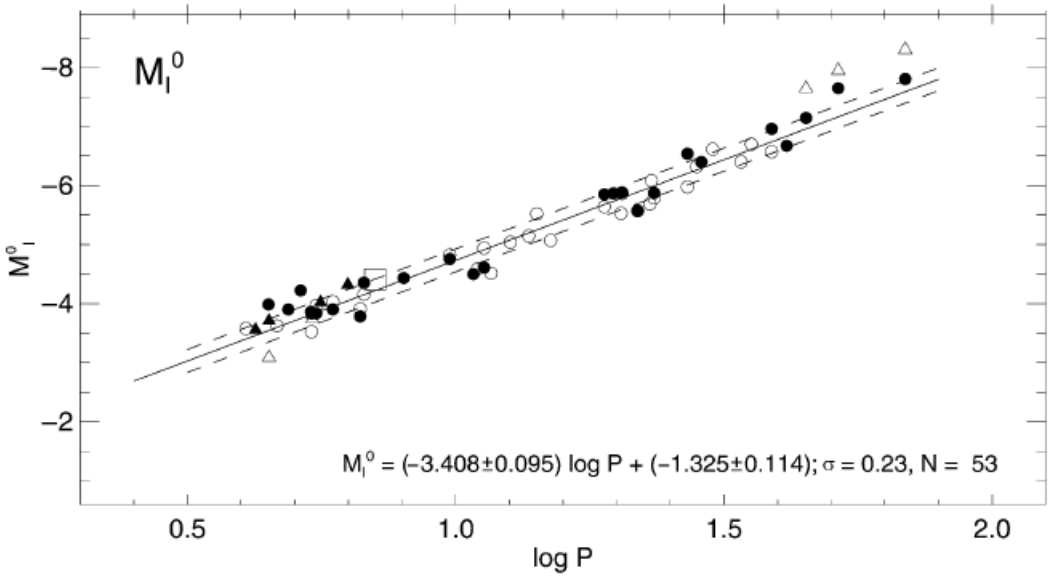
3. Distância fotométrica:

através do ajuste do diagrama HR observado a um teórico, baseado em distâncias geométricas (a partir da paralaxe).

$$m - M = 5\log(D/1\ \text{pc}) - 5 + A$$

Determinação de distâncias





4. Distância espectroscópica:

$$V - A_V - M_V = 5 \log (D/\mathrm{pc}) - 5$$

5. Distância a estrelas pulsantes:
estrelas CefeidasW Virginis e RR Lyrae são pulsantes e sua Luminosidade é proporcional ao logaritmo do período da pulsação. Assim, medindo o período, obtêm-se a luminosidade.

6. Distância a binárias visuais:
a partir do período orbital (fácil de medir) e da massa (que pode ser inferida da classificação espectral), obtêm-se o valor do semi-eixo maior da órbita elíptica a. Se é possível observar a separação angular 2θ, a distância D vai ser D = a/θ.

Metalicidade

- Para um elemento químico X, o índice de metalicidade é definido como:

$$\left[\frac{X}{H}\right] = log\left(\frac{n(X)}{n(H)}\right)_{*} - log\left(\frac{n(X)}{n(H)}\right)_{Sol}$$

- A metalicidade *Z* é a fração total de massa de todos elementos mais pesados do que o He: para o sol Z~0.02, o que significa que 98% da massa do Sol é somente Hidrogênio e Hélio.
- População I: Z~0.02 (Solar).
- População II: Z~0.001.

Estrutura da Via Láctea

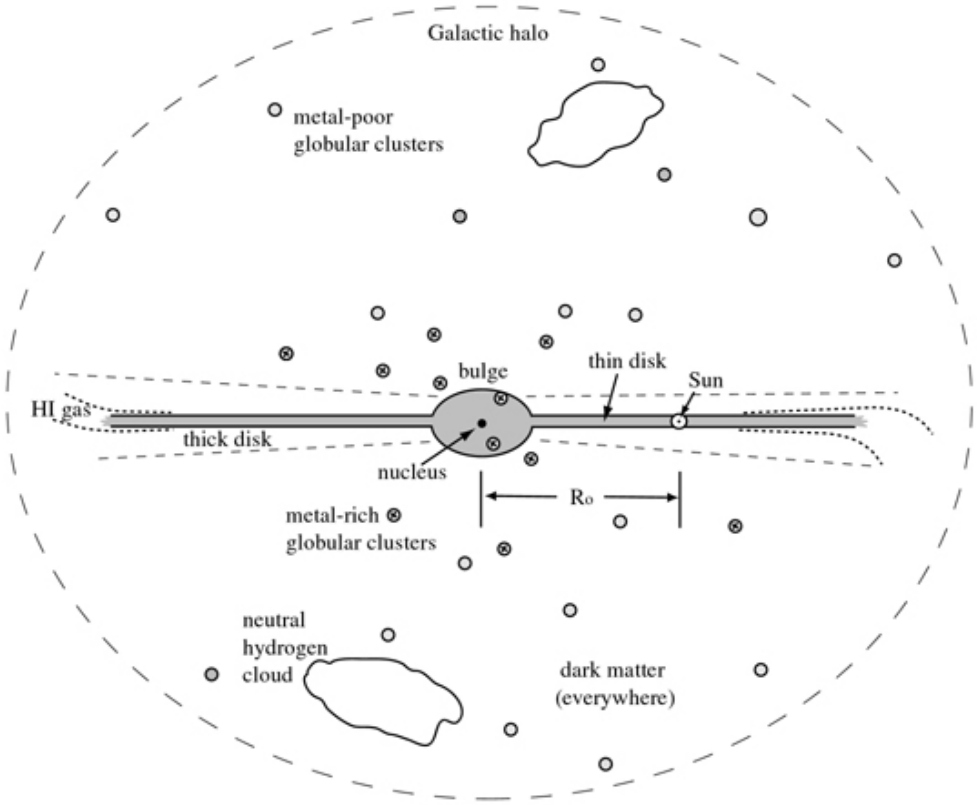


Fig 1.8 'Galaxies in the Universe' Sparke/Gallagher CUP 2007

Structure and metallicity

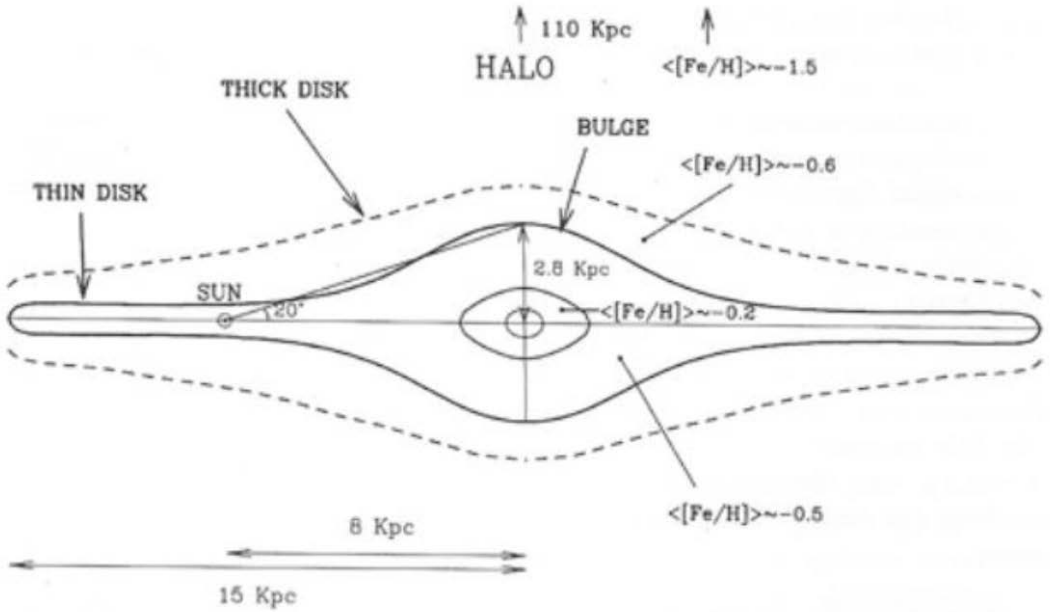


Figure 1.1. A sketch of the structure of the Milky Way: the stellar halo, bulge, thick and thin disk are indicated together with the mean metallicity of the stars in each galactic component. The galactocentric distance of the Sun together with the dimension of the optical disk are shown on the bottom. Reproduced here by kind permission of E. Zoccali and S. Ortolani.

O disco da Via Láctea

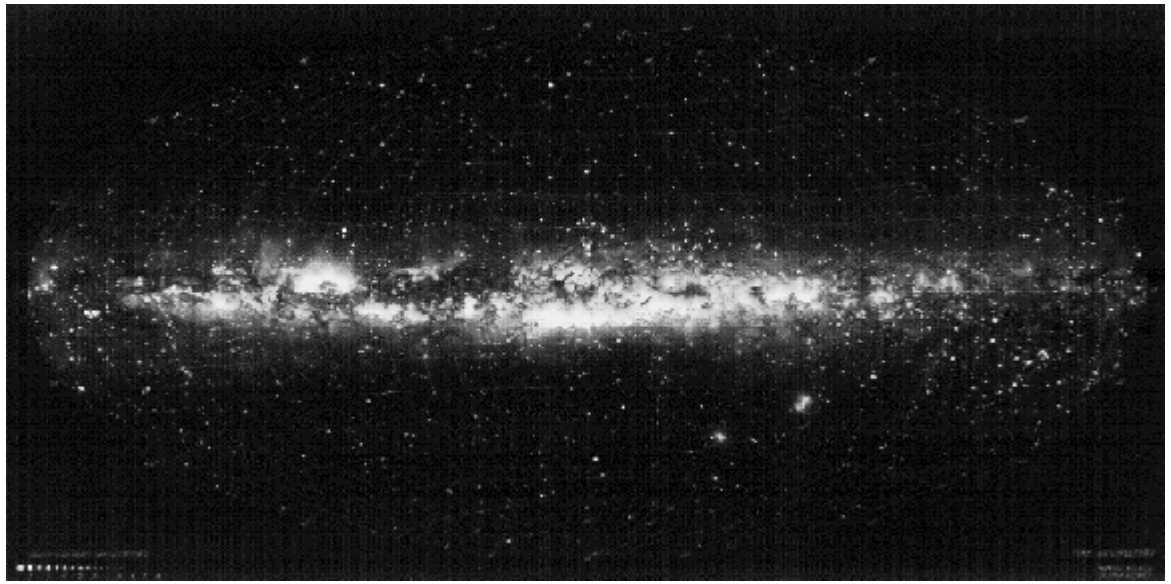
- Disco: estrutura de estrelas fina, aproximadamente circular, em rotação em torno do centro. Se extende por mais de 15kpc;
- Densidade de estrelas cai exponencialmente com distância do plano:

$$n(z) \propto exp\left(-\frac{|z|}{h}\right)$$

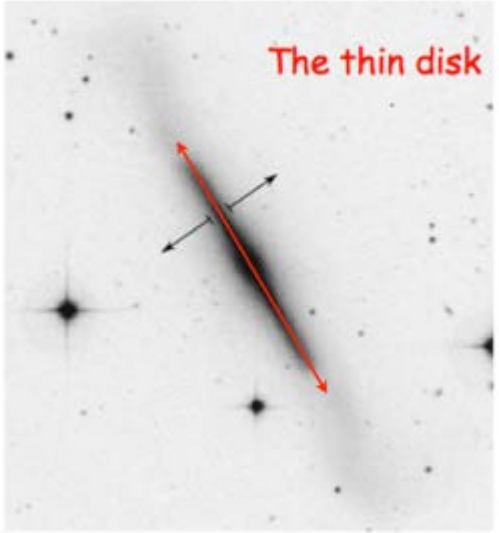
onde $n(z)=n(z)_{max}/e$

- Maioria das estrelas se concentra em um disco fino (95%), as restantes se concentram em um disco espesso;
- Disco de gás e estrelas jovens ainda mais fino (disco fino jovem);
- Distribuição de estrelas em coordenadas cilíndricas:

$$n(R,z) = n_0\left(e^{\frac{-|z|}{h_{thin}}} + 0.02e^{\frac{-|z|}{h_{thick}}}\right)e^{\frac{-R}{h_R}}$$

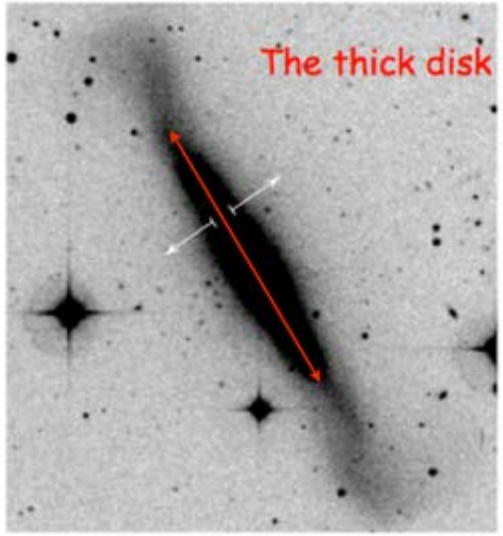


Disco espesso e Disco fino



- **Disco fino**: h~100pc, σ_z~20km/s, -0.5< [Fe/H]<0.3;
- Subdividido em **disco fino velho** (h~325pc) e **disco fino jovem** (h~100pc);
- Disco fino jovem: gás, poeira e formação estelar;
- A menor escala de altura corresponde ao gás molecular, onde novas estrelas são formadas, h~65pc. Quanto mais jovem é uma população, menor é sua escala de altura;
- Massa estelar do disco fino: ~$6x10^{10}M_{¤}$;
- Massa de gás e poeira: ~$0.5x10^{10}M_{¤}$;
- Luminosidade estelar na banda B : L_B~$1.8x10^{10}L_{¤,}$ M/L_B~3.

- **Disco espesso**: h=1.5kpc, M~$4x10^9M_{¤}$, L_B~$2x10^8L_{¤}$, σ_z~40km/s, -1.6< [Fe/H]<-0.4;
- Somente 2% da densidade em z = 0;
- Rotação menor comparada a do disco fino;
- M/L_B~15.



Disco: cinemática

- Movimento das estrelas: em torno do centro galáctico em órbitas circulares no plano, em primeira aproximação. Mas há outras componentes menores (randômicas) da velocidade, cuja amplitude chamamos de "dispersão de velocidades" σ:

$$< v >= n^{-1} \int d^3v f(v) v$$

$$n = \int d^3v f(v)$$

n= densidade de estrelas.
$f(v)d^3v$= n° de estrelas com velocidade na componente v_i no intervalo $[v_i, v_i + dv_i]$ e $d^3v=dv_1dv_2dv_3$.

$$\sigma_i^2 =< (v_i - < v_i >)^2 >=< v_i^2 - 2v_i < v_i > + < v_i >^2 >$$

$$\sigma_i^2 =< v_i^2 - < v_i >^2 > \cdot$$

$$\sigma_i^2 = n^{-1} \int d^3v f(v)(v_i^2 - < v_i >^2)$$

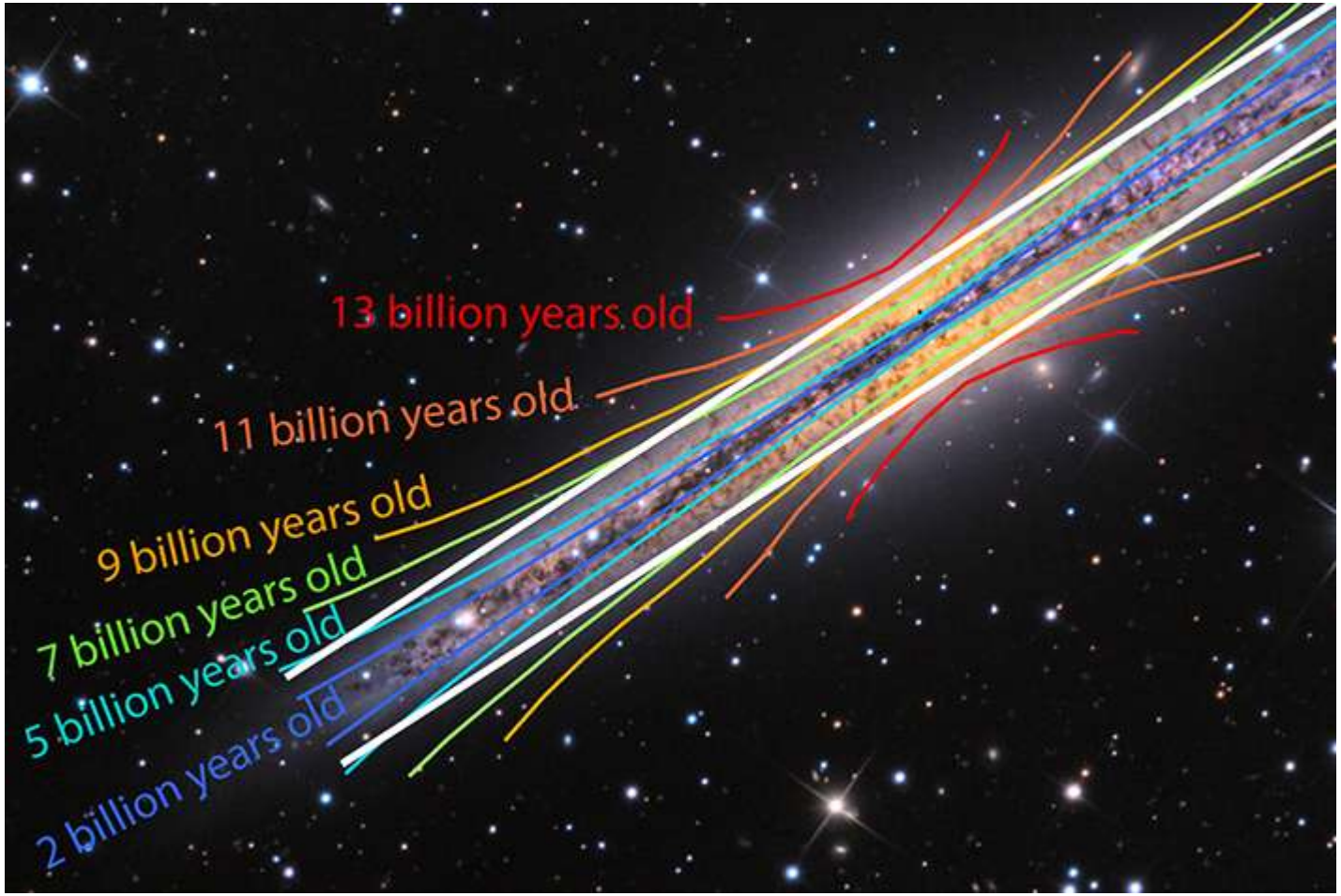
- σ é o desvido quadrático médio das velocidades em relação à velocidade média das estrelas . Quanto maior σ, mais "larga" é a distribuição de movimentos randômicos.
- A espessura do disco é devido à dispersão de velocidades das estrelas na direção perpendicular ao disco; quanto maior, maior é a escala de altura alcançada.

Origem do disco espesso

Possíveis cenários:

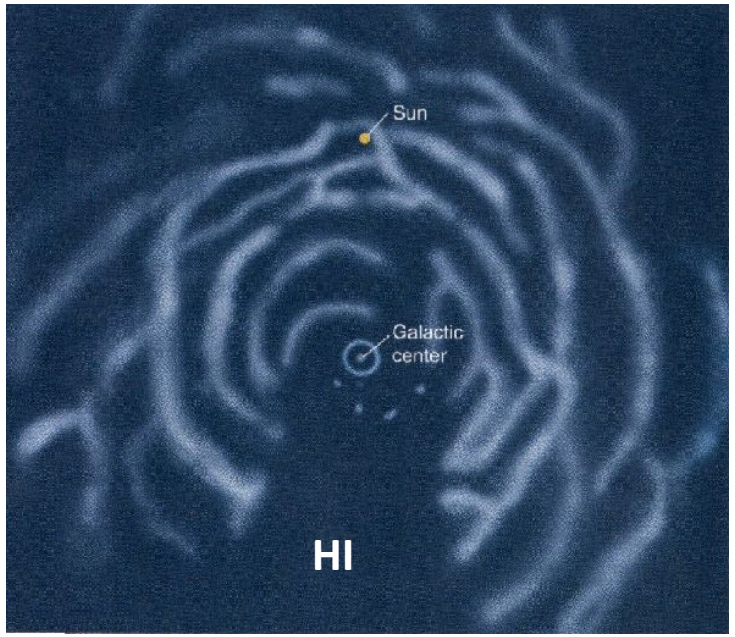
1. Colapso primordial de esfera de gás;
2. Estrela do disco fino migram para disco espesso;
3. Estrelas do disco espesso tem origem externa (acreção);
4. Aquecimento dinâmico do disco fino devido a fusões;

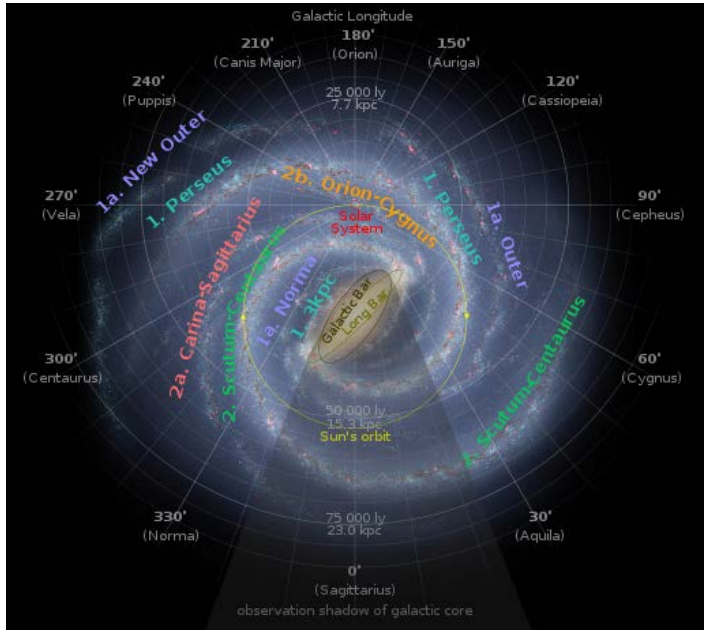
- Quarto cenário é o mais aceito;
- Minchev *et al*. 2015: interação com galáxias satélite causa "flare" (aumento de *h* com raio), criando discos espessos.

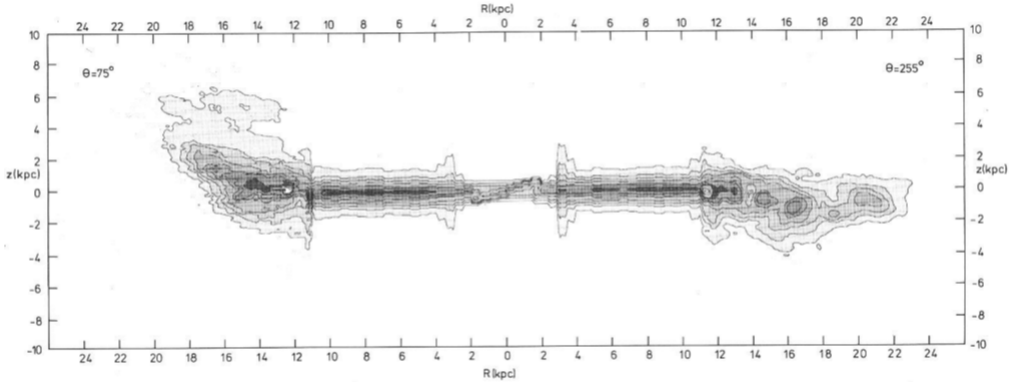


Disco: gás

- HI 21cm e CO são usados para observar meio interestelar;
- CO é a segunda molécula mais abundante depois de H molecular (H_2). Porém, H_2 não tem momento de dipolo e não emite muita radiação. CO/H_2=Fator X é constante;
- O gás molecular é encontrado entre 3kpc e 8kpc do centro, |z|<90pc. HI é encontrado mais para fora com |z|~160pc;
- Para R>12kpc, disco é “warped”;
- M(HI): ~$4x10^9 M_\odot$. M(H_2) ~$1x10^9 M_\odot$.

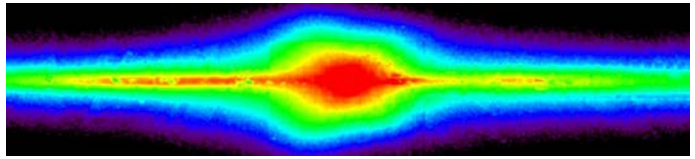






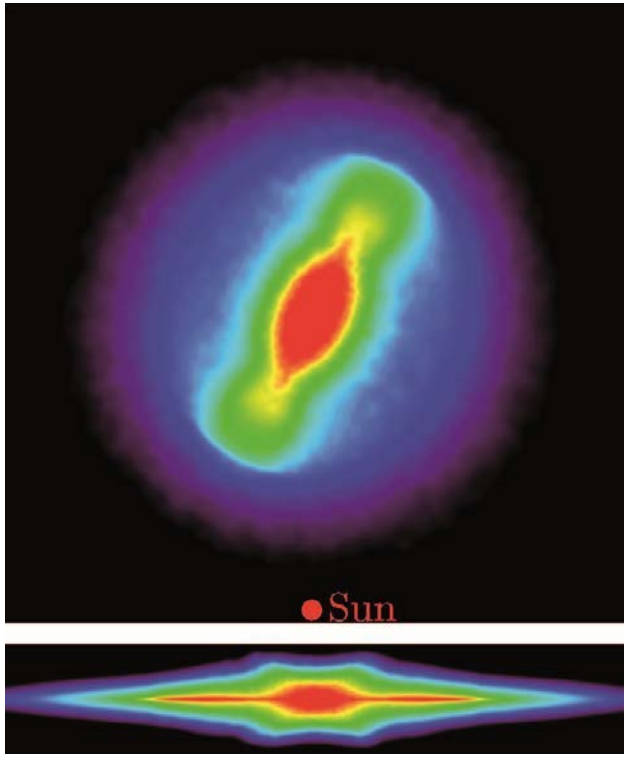
- Mapa de HI mostra estrutura espiral;
- Braços espirais são brilhantes devido a estrelas jovens O e B e suas regiões HII. São azuis, e pouco proeminentes na luz vermelha. Estrelas se formam ali e depois se afastam. O Sol está perto do braço de Órion.

Bojo



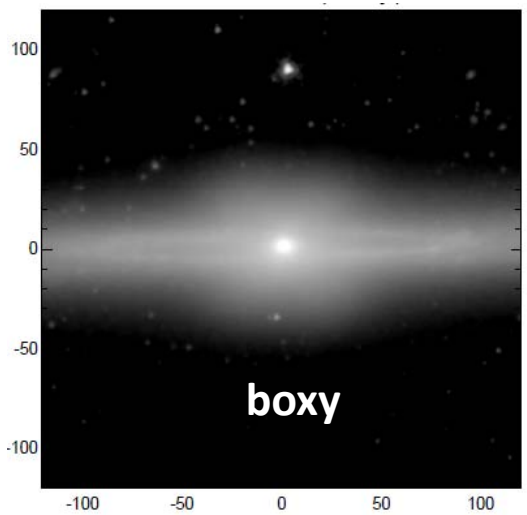
Acima: observação do bojo da via-láctea no ótico.
Abaixo: Densidade de estrelas.

- Escala radial característica ~1kpc, melhor observado no IR devido à extinção do disco;
- Densidade de estrelas no bojo: 55.000/pc^3, cerca de 100.000 vezes a densidade na vizinhança solar;
- O bojo tem a forma de uma barra, com seu eixo maior apontando para longe de nós por cerca de 30°. A escala de altura do bojo é de 400pc, a razão axial é ~0.6 e a extensão é de 4 kpc;
- Metalicidade do bojo: -1<[Fe/H]<+1, valor médio +0.3, maior que a Solar. Alta metalicidade sugere população jovem, mas a cor das estrelas indica população predominantemente velha;
- Massa de gás molecular: ~$10^8 M_\odot$;
- Massa do bojo: ~$10^{10} M_\odot$;
- Luminosidade: L_B~$3\times10^9 L_\odot$;
- $M/L \sim 3(M/L)_\odot$, semelhante à do disco fino.

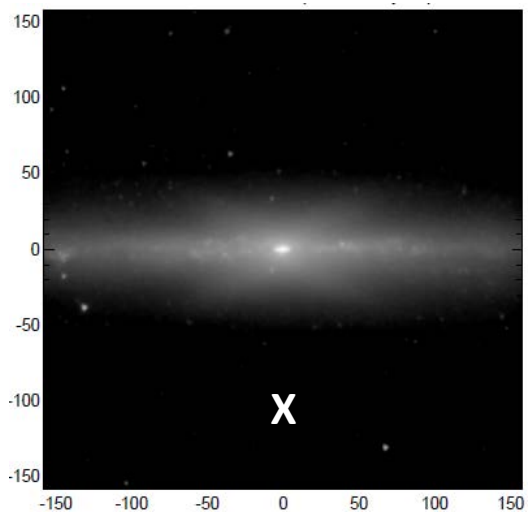


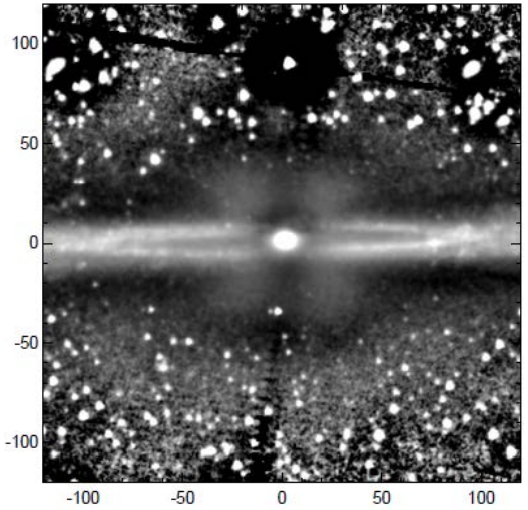
Modelo de pseudobojo "boxy" visto face-on (**acima**) e edge-on (**abaixo**).

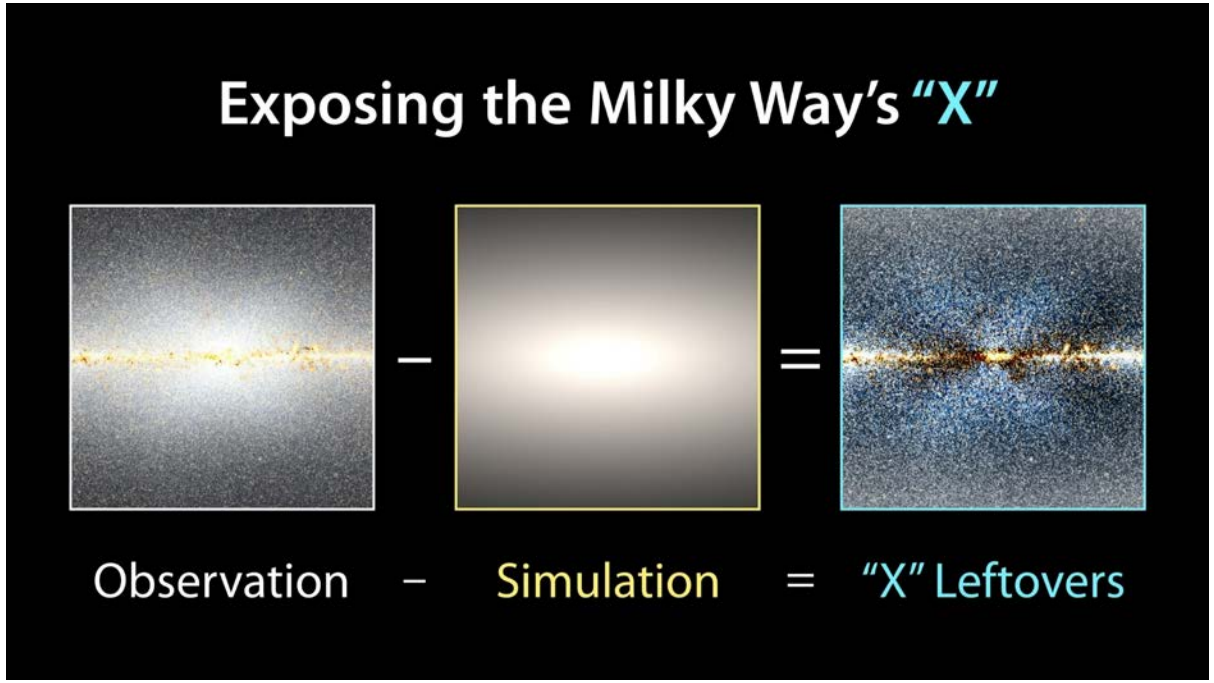
Bojo

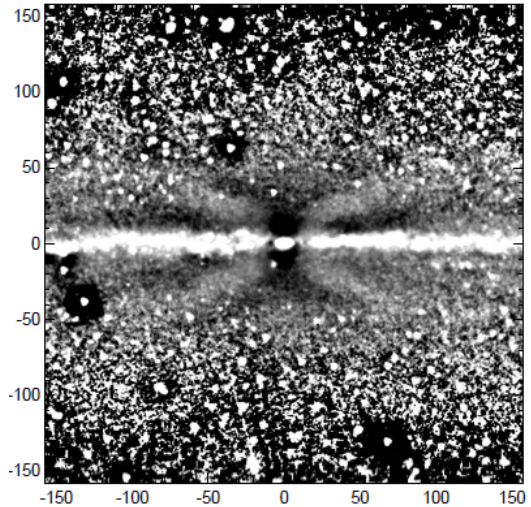


- O bojo da Via-Láctea é um **Pseudobojo:** formado por processos seculares relacionados a barra, comuns em galáxias espirais. Barra aquece estrelas do disco e forma bojo;
- Pseudobojos apresentam rotação cilíndrica, em contraste com estrelas em órbitas aleatórias em bojos clássicos;
- Pseudobojos podem ser **boxy** ou em forma de **X.**

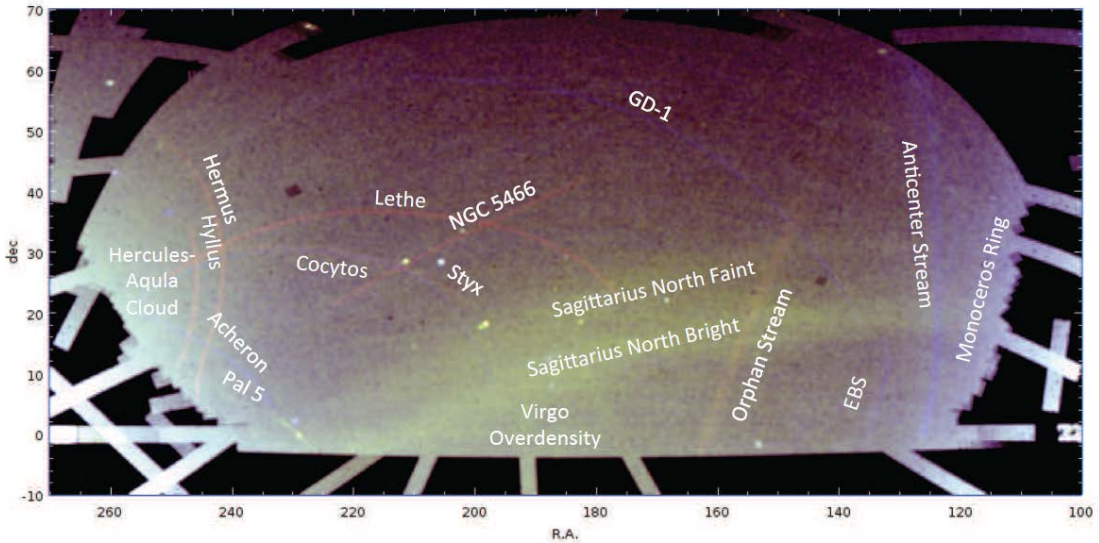


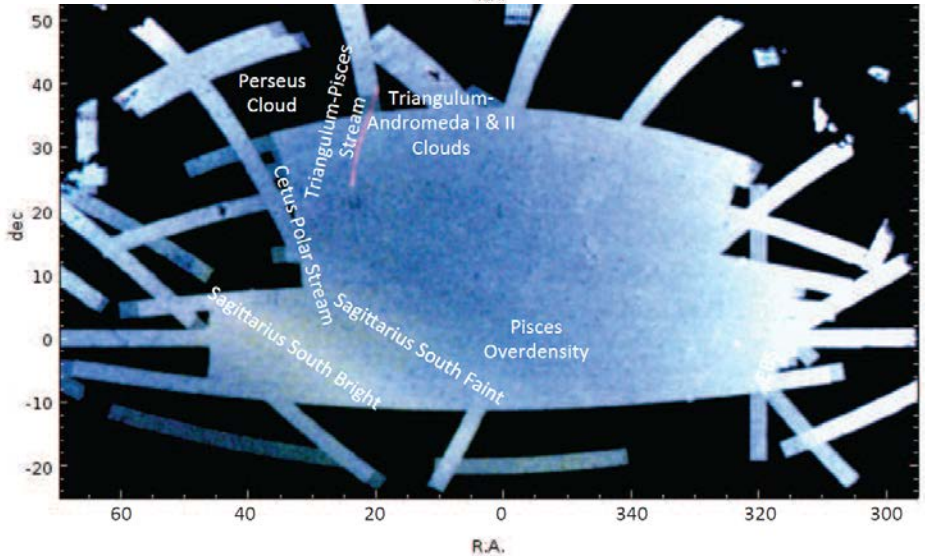






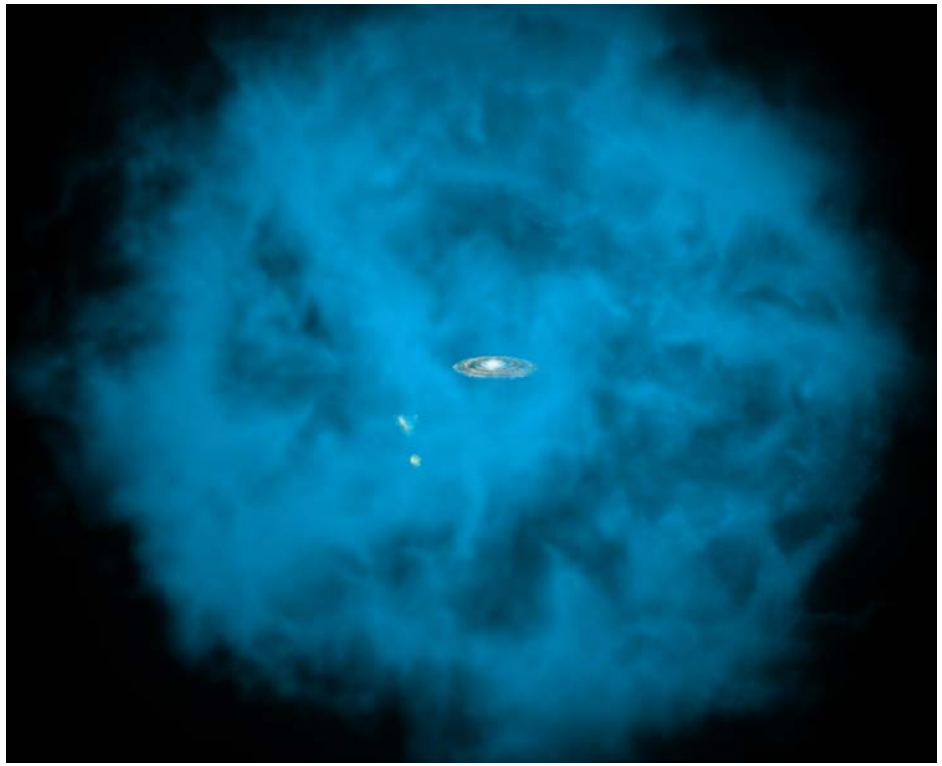
Halo Estelar

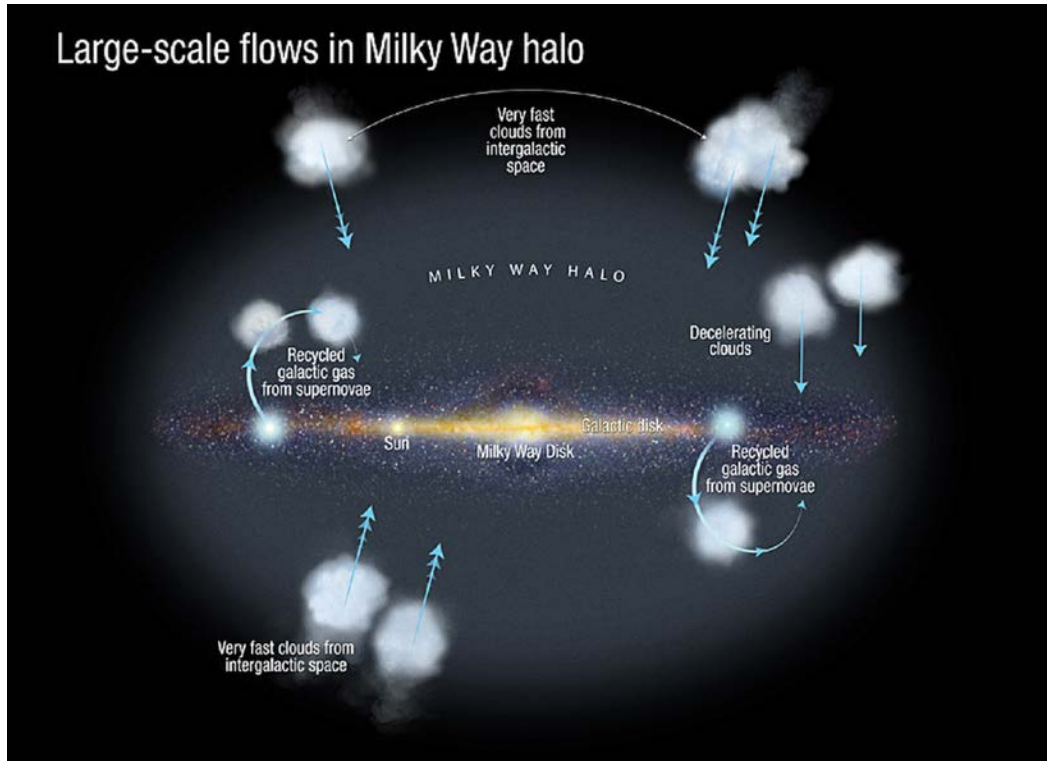




- Distribuição esférica de estrelas e aglomerados globulares, a distâncias em sua maioria < 35kpc, mas podendo chegar a 60kpc. Raio assumido de 50kpc;
- Metalicidade: -4.5< [Fe/H]<-0.5;
- Estrelas e aglomerados do Halo possuem componentes de alta velocidade perpendicular ao plano, mas um pequeno sinal de rotação (~5-25km/s) é observado (Deason *et al*. 2017);
- Formado principalmente por acreção de galáxias anãs, mas uma pequena componente formada *in-situ* existe;
- Distribuição de densidade de estrelas e aglomerados globulares pobres em metais: $n(r) \propto r^{-3.5}$
- Massa do halo estelar: ~$10^9 M_\odot$;
- Luminosidade: $L_B \sim 10^9 L_\odot$;
- $M/L \sim 1 (M/L)_\odot$.

Halo: gás

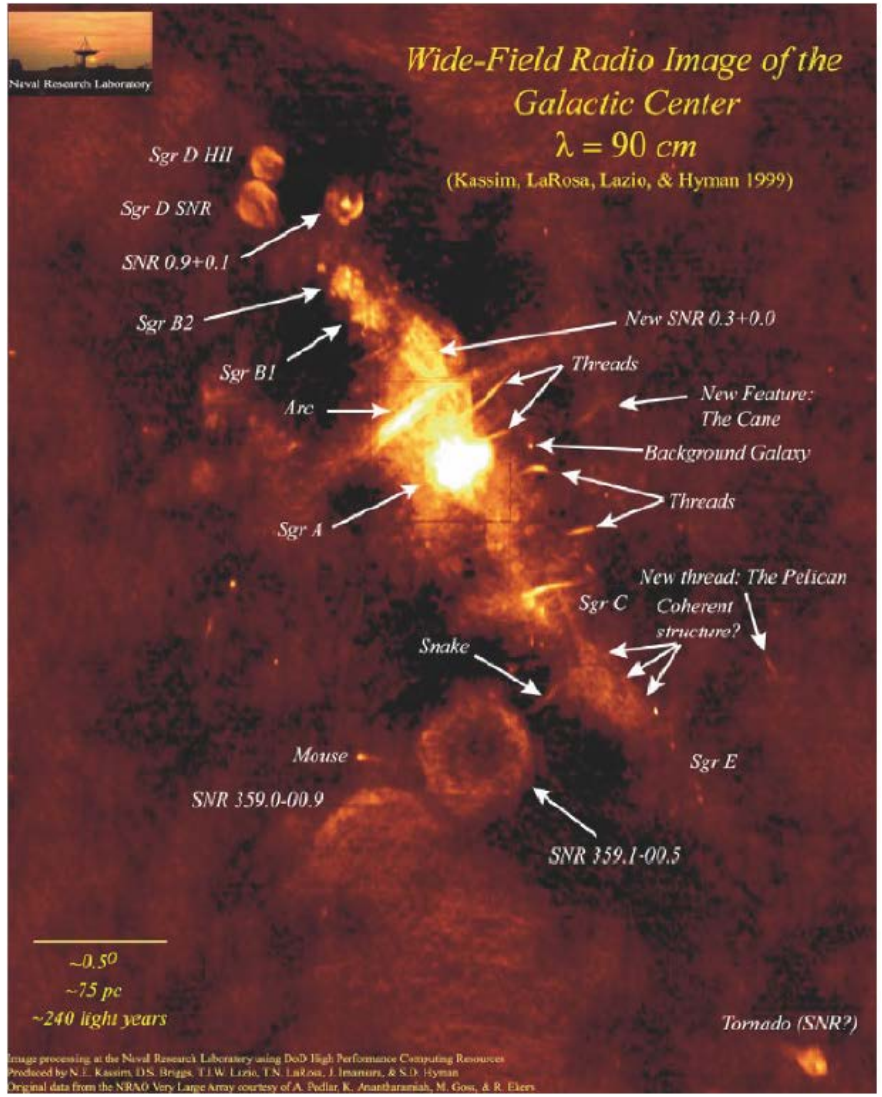




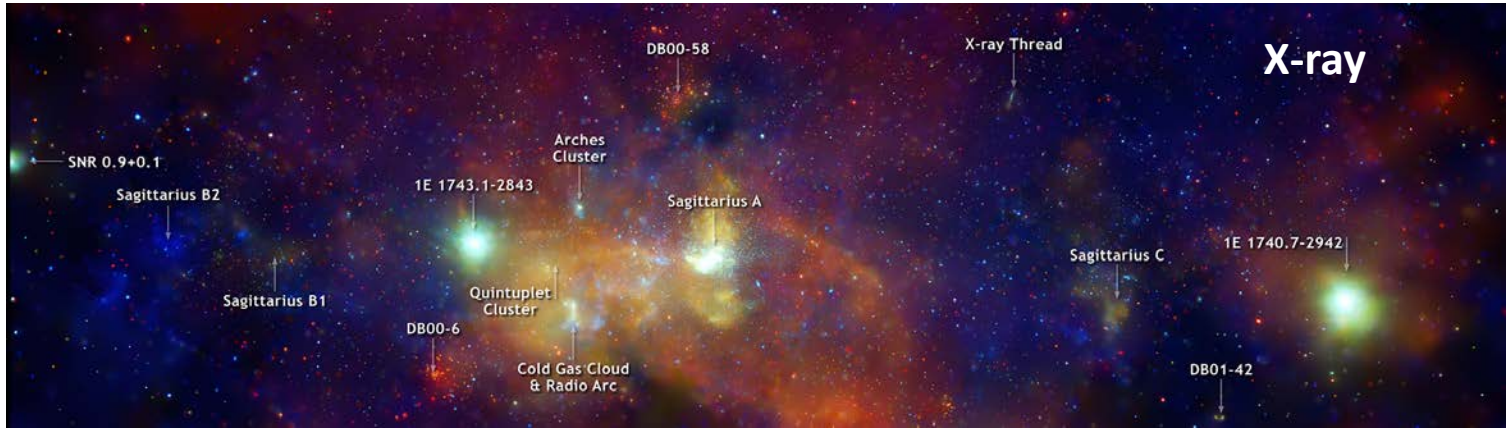
- Halo de gás quente (105-106K), chamado corona, em rotação no mesmo sentido do disco;
- $M \sim 10\text{-}60 \times 10^9 M_{\odot}$ dentro de 160kpc.

- "High velocity clouds (HVC)": nuvens de HI se movendo com velocidade radial negativa de ~400km/s, ou seja, caindo no disco da Via Láctea;
- Nuvens acretadas do meio interestelar ou gás reciclado.

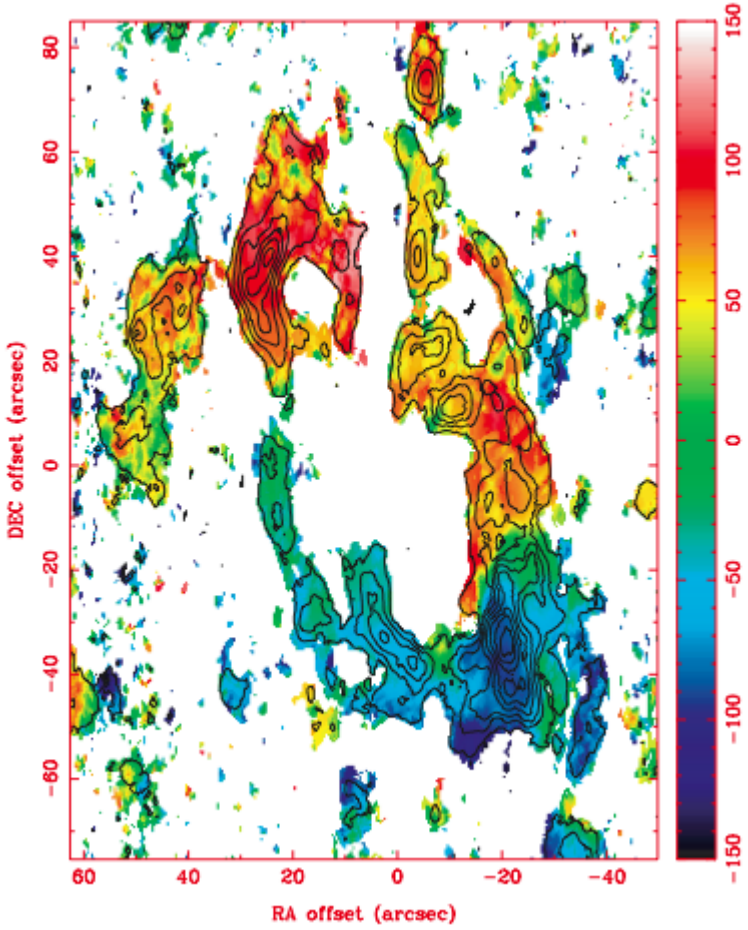
Centro da Via Láctea



- Distância de 8kpc se traduz numa escala de 0.04pc/”;
- Observações em rádio: Disco central de HI desde R>100 pc até 1kpc. M(HI) dentro de 2kpc: $3x10^7 M_{¤}$;
- Vários remanescentes de SN;
- Observações em raios-X: binárias de raios-X e gás quente a $T \sim 10^7$K.

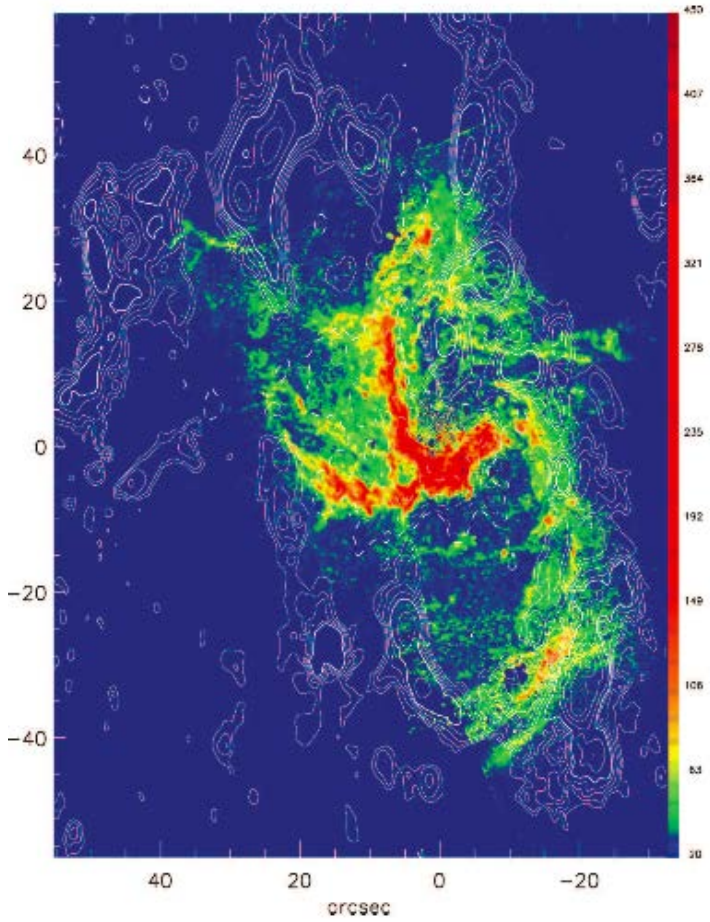


Centro da Via Láctea: 8pc centrais



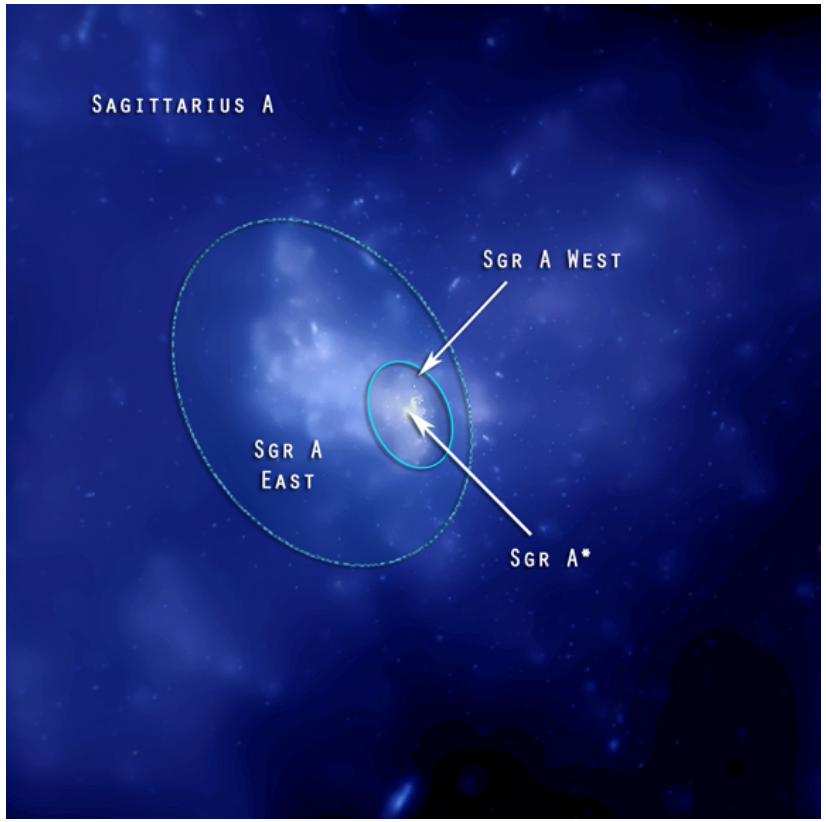
Gás molecular (HCN)

- Anel de gás molecular entre 2pc<R<8pc, inclinado por 20 graus em relação ao disco, com velocidade de rotação de ~100km/s.
- Borda interna bem delimitada, sugerindo um evento energético ocorrido há ~82.293 anos.
- Mini-spiral dentro do “circumnuclear disk”(CND), conectando o anel ao centro;
- A espiral é formada por várias componentes: o braço norte, o arco oeste, o braço leste e a barra. A mini-spiral tem temperaturas no intervalo de centenas de K (na poeira) até 10^4K (no gás ionizado);
- Massa de gás molecular (T>100K, densidade de até $10^7 cm^{-3}$) e poeira no anel de ~$10^5 M_{☉}$.

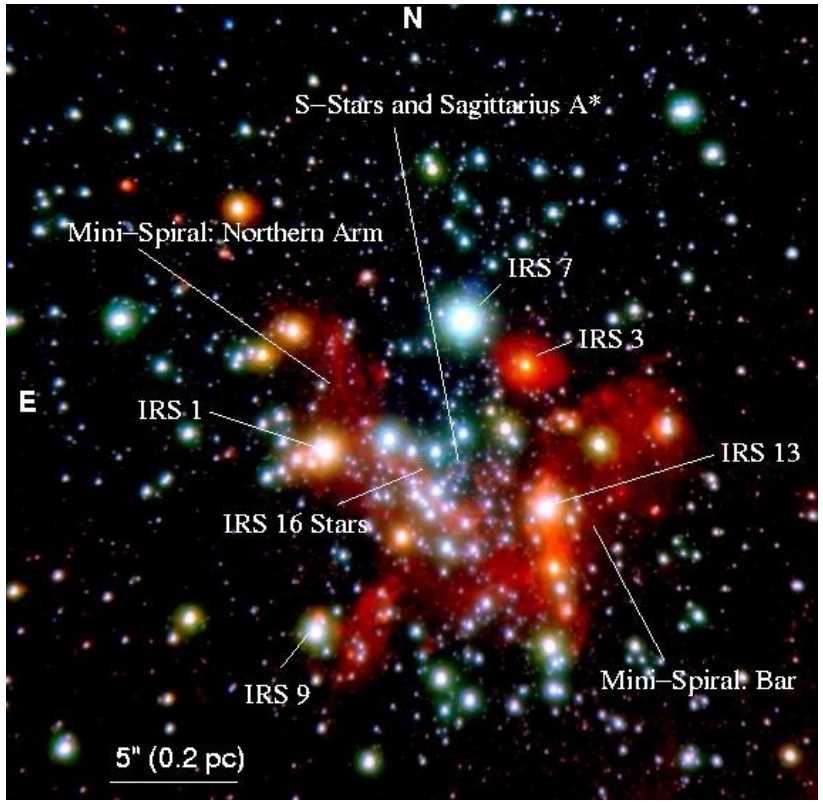


Gás ionizado (Paα)

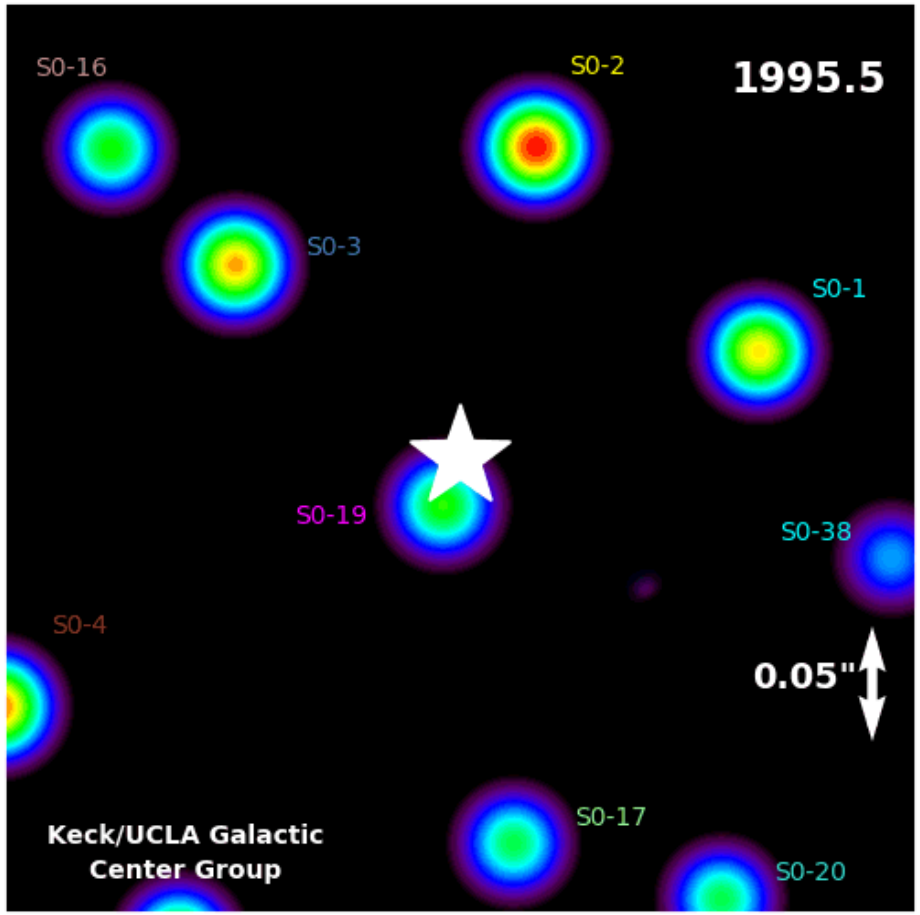
Centro da Via Láctea: o parsec central



- Sgr. A Leste: fonte de radiação não-térmica (synchrotron) na forma de uma concha, possivelmente um remanescente de SN com idade entre 100 e 5000 anos;
- Sgr. A Oeste: localizada a 1.5′ (3.6pc) a oeste da Sgr Leste. É uma fonte térmica, uma região HII muito peculiar, na forma de uma espiral de 3 braços;
- Sgr. A*: fonte compacta de rádio próxima ao centro da Sgr. A Oeste. Extensão menor que 3UA e L_{radio}~$2x10^{34}$erg/s.



Centro da Via Láctea: SMBH



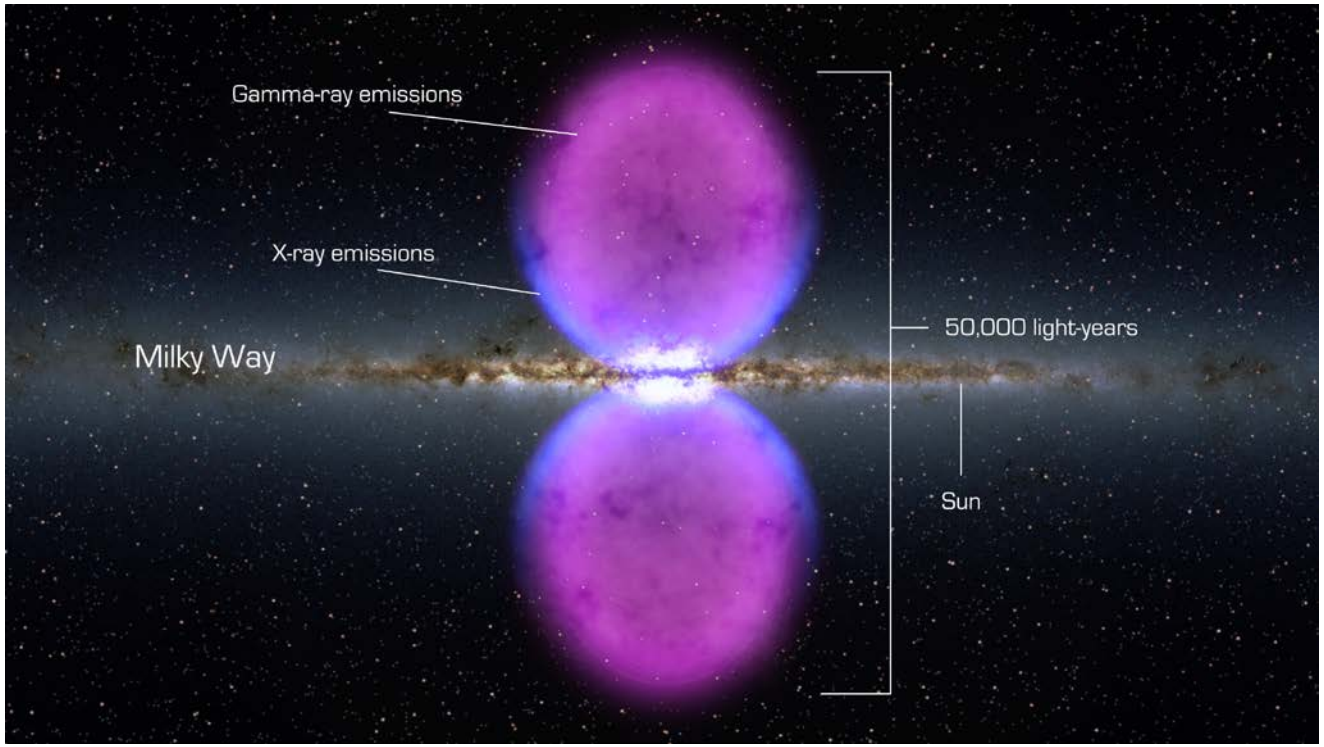
- Estrelas em movimento Kepleriano. Massa constante de $4 \times 10^6 M_{☉}$ de 0.01 até 0.5pc do núcleo. Isto corresponde a uma densidade para r = 0.01pc de:

$$n = \frac{4 \times 10^6 M_{Sol}}{4/3\pi(0.01pc)^3} = 9.5 \times 10^{11} M_{Sol}/pc^3$$

- Um aglomerado estelar tão denso não é estável, dissolvendo-se rapidamente devido a colisões;

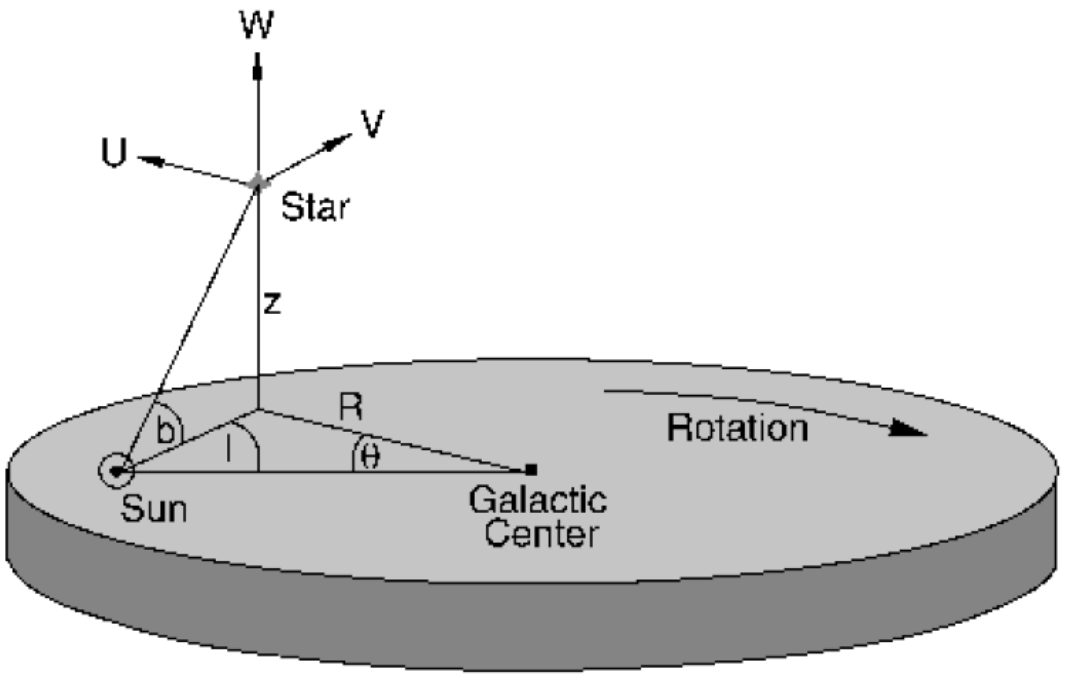
- Observações em raios-X: flares com aumento de luminosidade de até 200 vezes. Variabilidade observada em escalas de até alguns minutos, indicando que a fonte não pode ter um tamanho maior do que alguns minutos-luz (5 minuto-luz ~distância Sol-Terra).

Fermi Bubbles



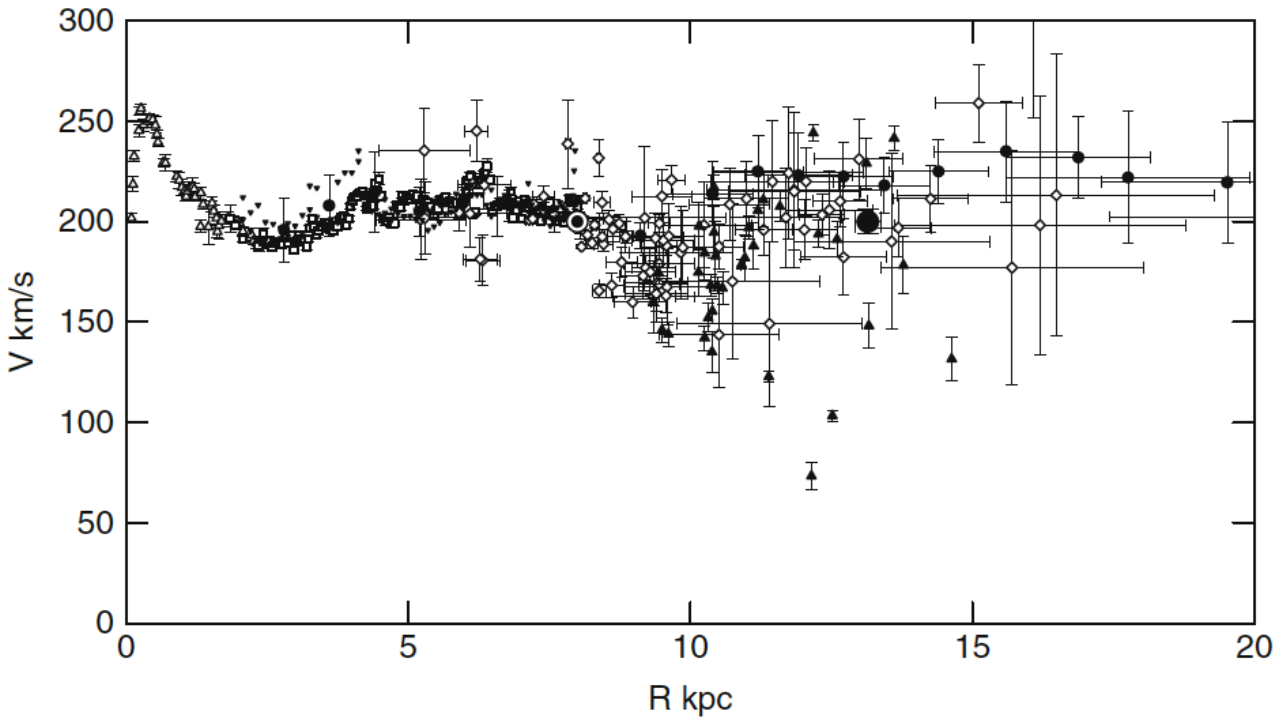
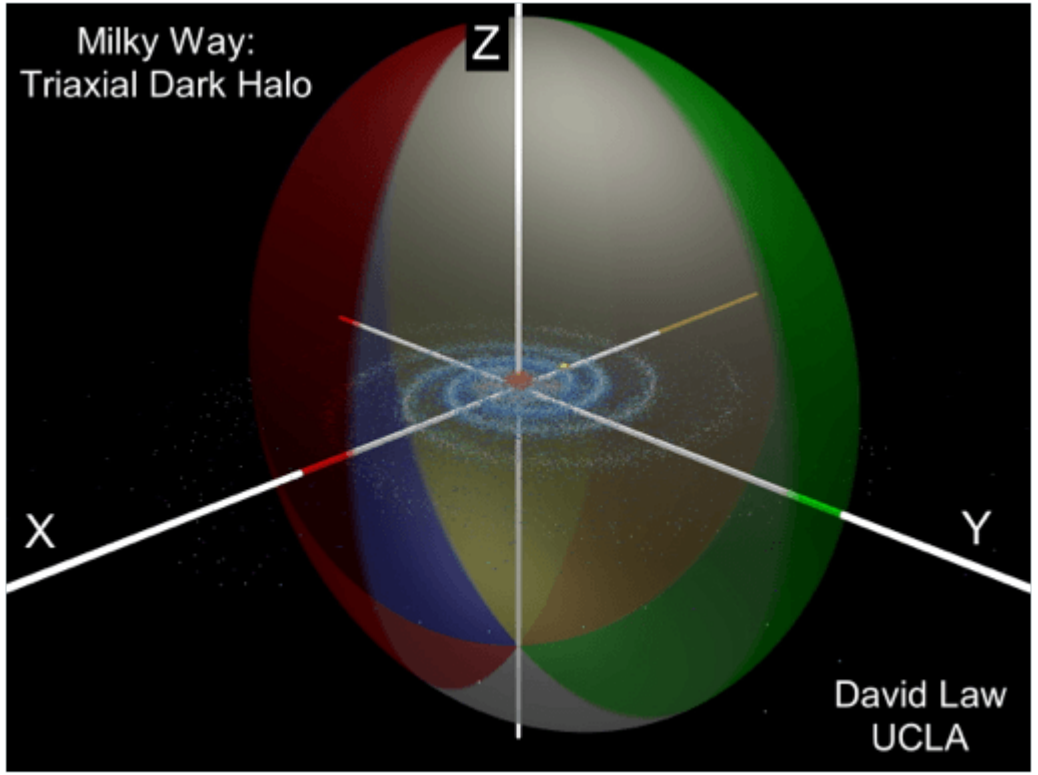
- Bordoloi *et al*. 2017: outflow bicônico, V_{out}~1000-1300km/s, idade do outflow 6−9 Myr;
- Taxa de outflow > $0.2M_{¤}$, $M_{out}>2x10^{6}M_{¤}$;
- Cinemática não é consistente com injenção de energia por processos seculares (intensa formação estelar por exemplo);
- Atividade constante por 5Myr ou dois surtos de atividade 4 e 6Myr atrás são necessários para explicar cinemática.

Local Standard of Rest



- **LSR**: sistema de referência fictício, cuja origem é a posição atual do Sol, mas que se move ao longo de uma órbita perfeitamente circular no plano do disco da galáxia;
- Velocidades: $U_{LSR} = 0$, $V_{LSR} = V_0$ (velocidade orbital circular na posição do Sol) e $W_{LSR} = 0$;
- Velocidades peculiares em relação ao LSR: $u = U - U_{LSR}$, $v = V - V_{LSR}$, $w = W - W_{LSR}$: U, $V - V_0$, W
- Assumindo simetria axial e Via Láctea "estacionária": $\langle u\rangle=\langle w\rangle=0$. Porém, as órbitas não são necessariamente circulares, então: $\langle v\rangle=-C\langle u^2\rangle$;
- A velocidade peculiar do sol será então:

$$v_{¤}=(-\langle\Delta u\rangle,-C\langle u^2\rangle-\langle\Delta v\rangle,-\langle\Delta w\rangle)=(-10,5,7)\ \text{km/s}$$

- Como determinar velocidade orbital do sol? Observando estrelas do halo. $\langle\Delta u\rangle_{halo}=0$, $\langle\Delta v\rangle_{halo}=-220$km/s. Rotação do Halo é baixa, então $V_{0=}-220$km/s.

Curva de rotação da Galáxia