

Nossa Galáxia hoje

Sparke & Gallagher 2007, Capítulo 2

nossa Galáxia a olho nu



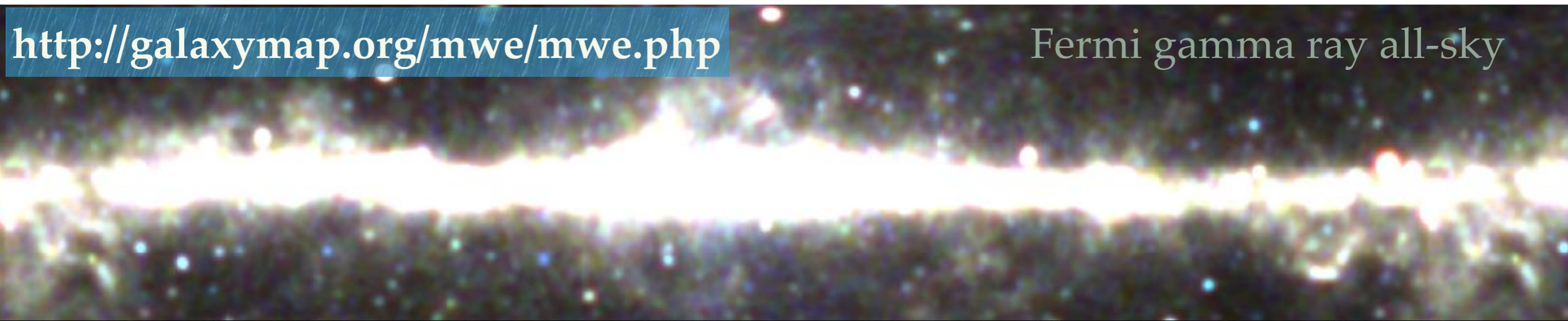


A Galáxia hoje, vista de dentro

Figure 10.7. The Milky Way galaxy from inside. This view of our galaxy, taken in the infra-red portion of the spectrum using instruments on the Cosmic Background Explorer (COBE) satellite, shows our galaxy's thin disk of stars, and dust (which appears red or orange in this image) within the disk. Infra-red light penetrates dust and gas much better than visible light, so the image reveals much more of the central swath of the Galaxy than we could see with traditional telescopes. (Copyright Edward L. Wright. Used with permission.)

<http://galaxymap.org/mwe/mwe.php>

Fermi gamma ray all-sky



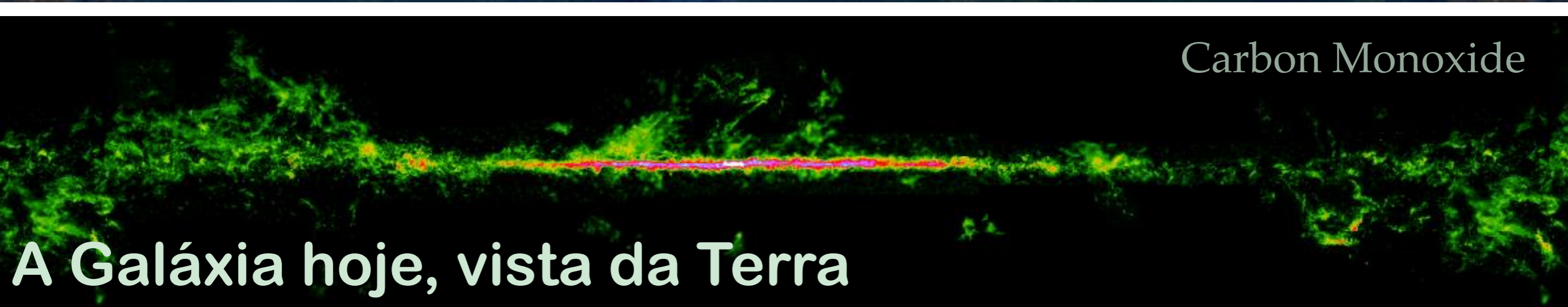
Serge Brunier Visible Light



IRAS Infrared

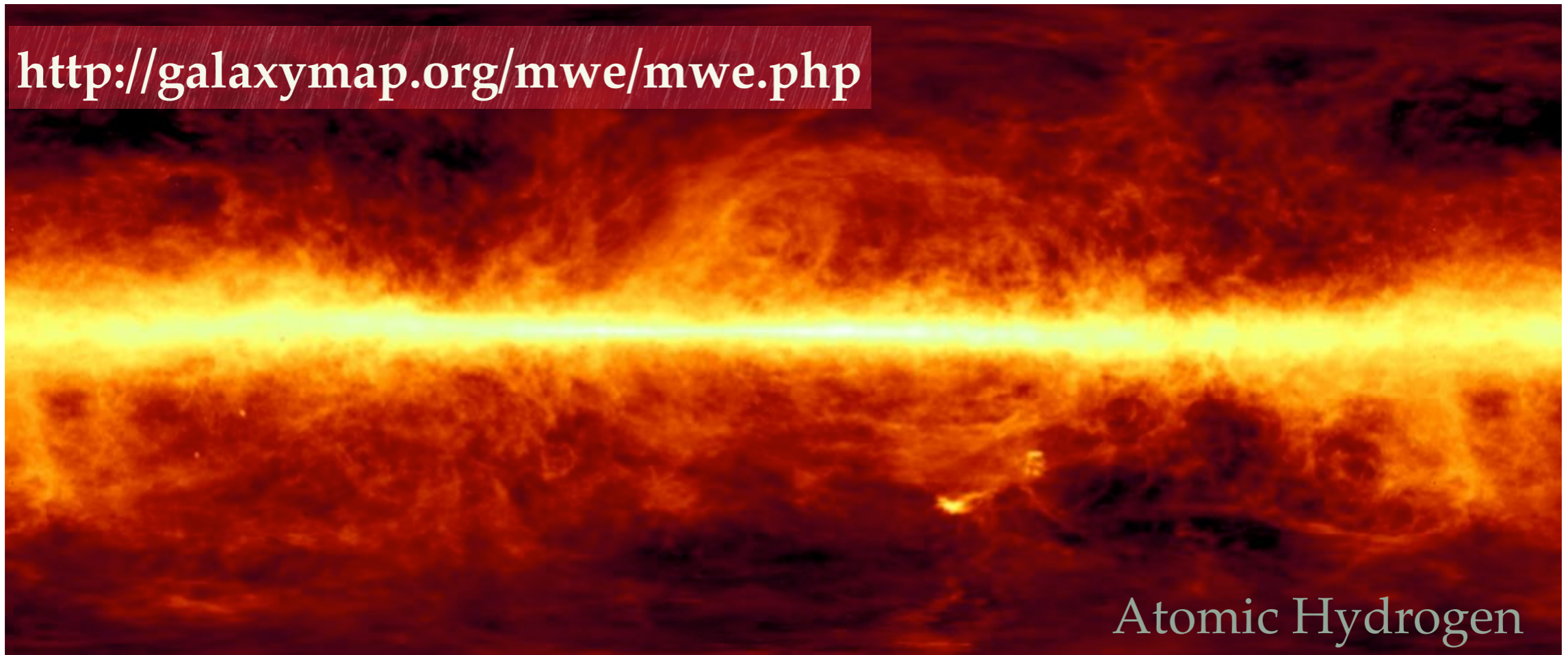


Carbon Monoxide



A Galáxia hoje, vista da Terra

<http://galaxymap.org/mwe/mwe.php>



Atomic Hydrogen



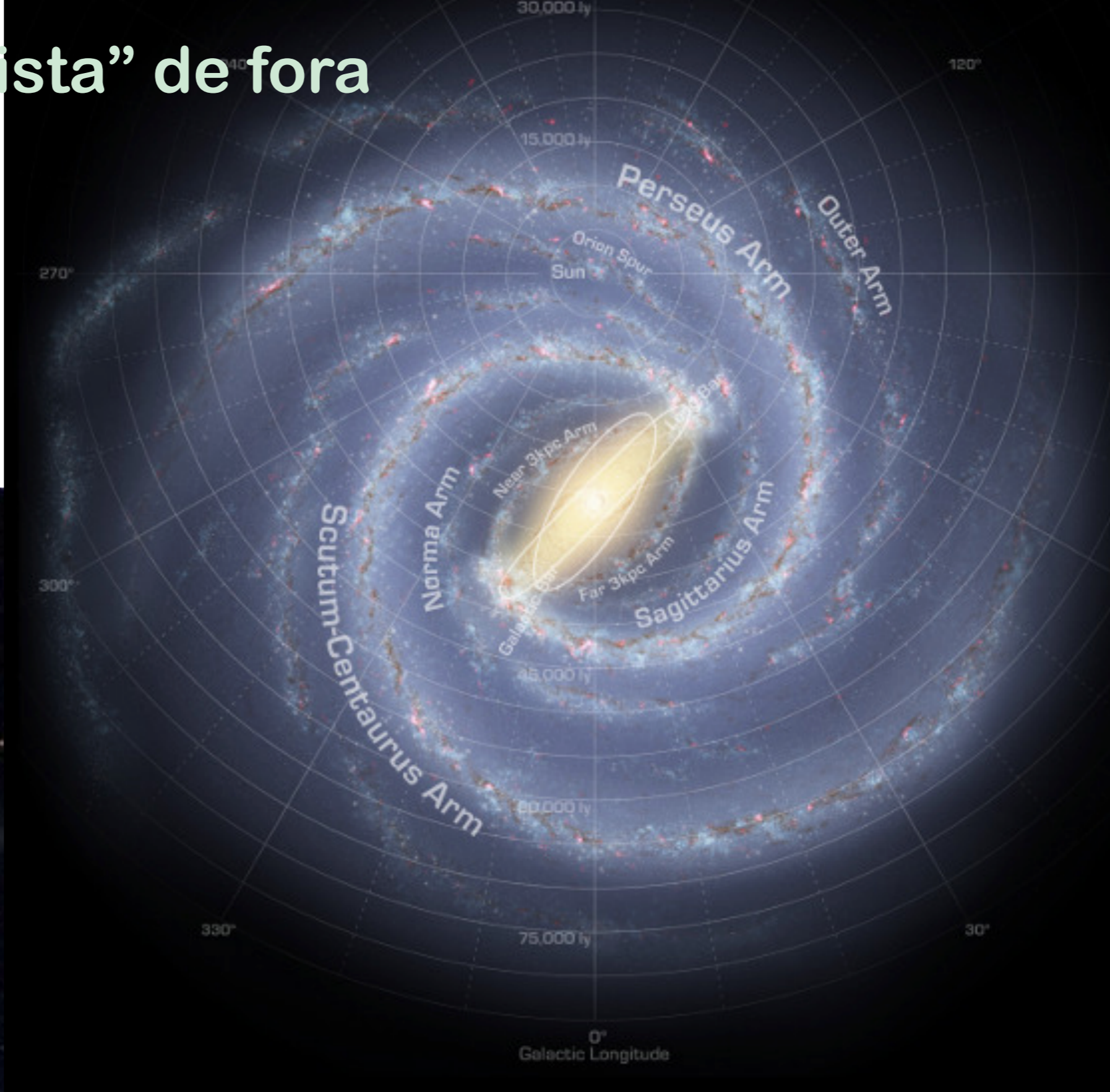
Near Infrared, COBE

A Galáxia hoje, vista da Terra

A Galáxia hoje, “vista” de fora

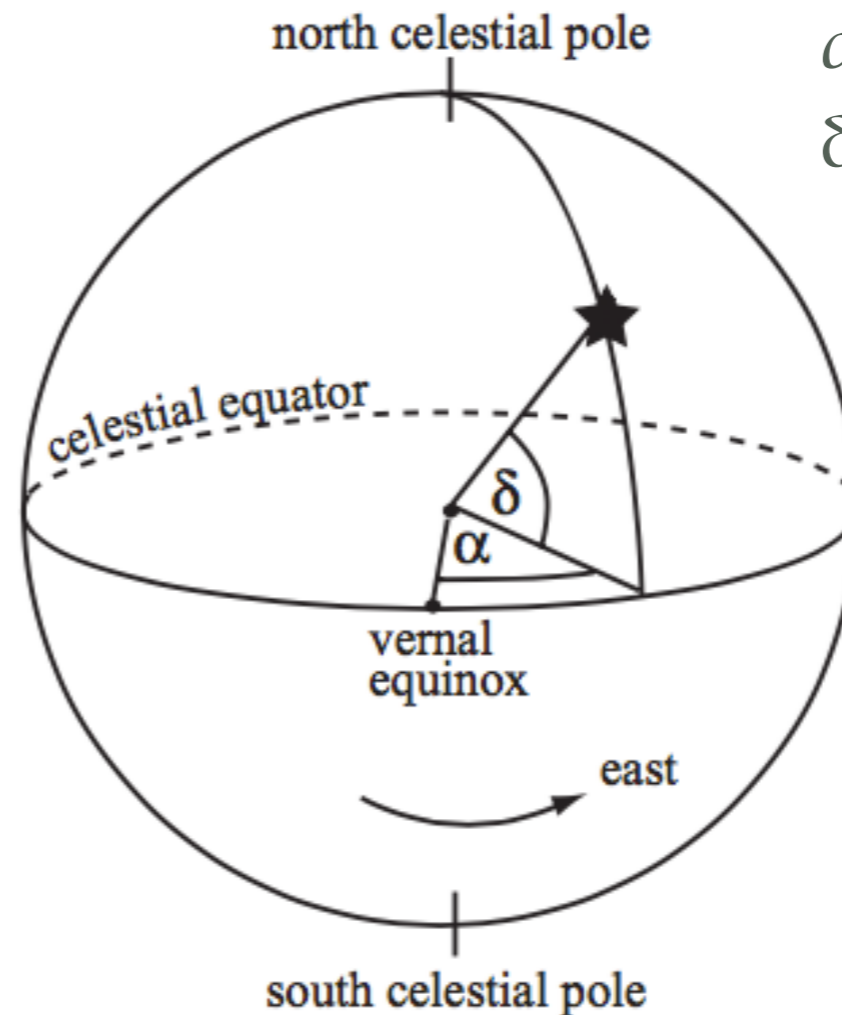
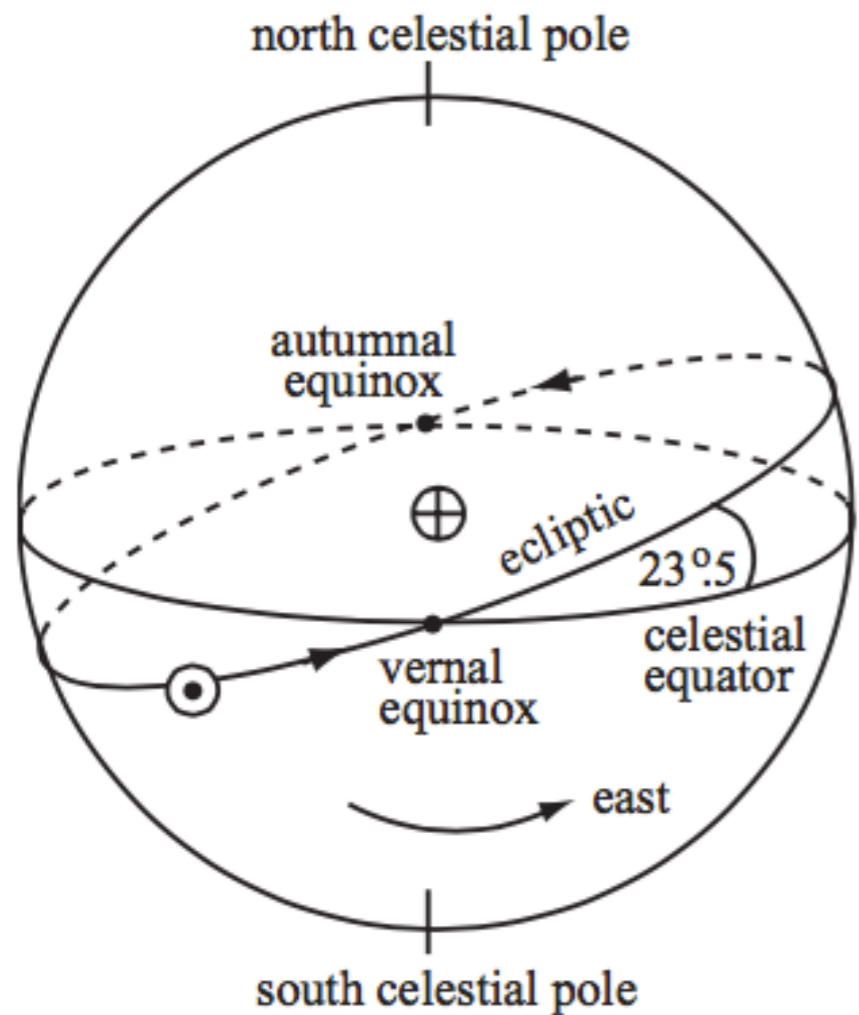


This **Chandra image** shows the hot x-ray halo surrounding the massive spiral galaxy NGC 5746. It also shows an optical view of the galaxy including the central bulge and thin disk. The Milky Way has a similar basic structure if viewed edge-on.



Crédito: Robert Hurt, NASA, 2008

Sistema de Coordenada Equatorial



α - ascensão reta
 δ - declinação

Fig. 1.9. The celestial sphere, showing the ecliptic: right ascension α is measured eastward from the vernal equinox, and declination δ from the celestial equator.

ponto vernal = equinócio de Outono para o hemisfério Sul

Sistema de Coordenada Galáctico

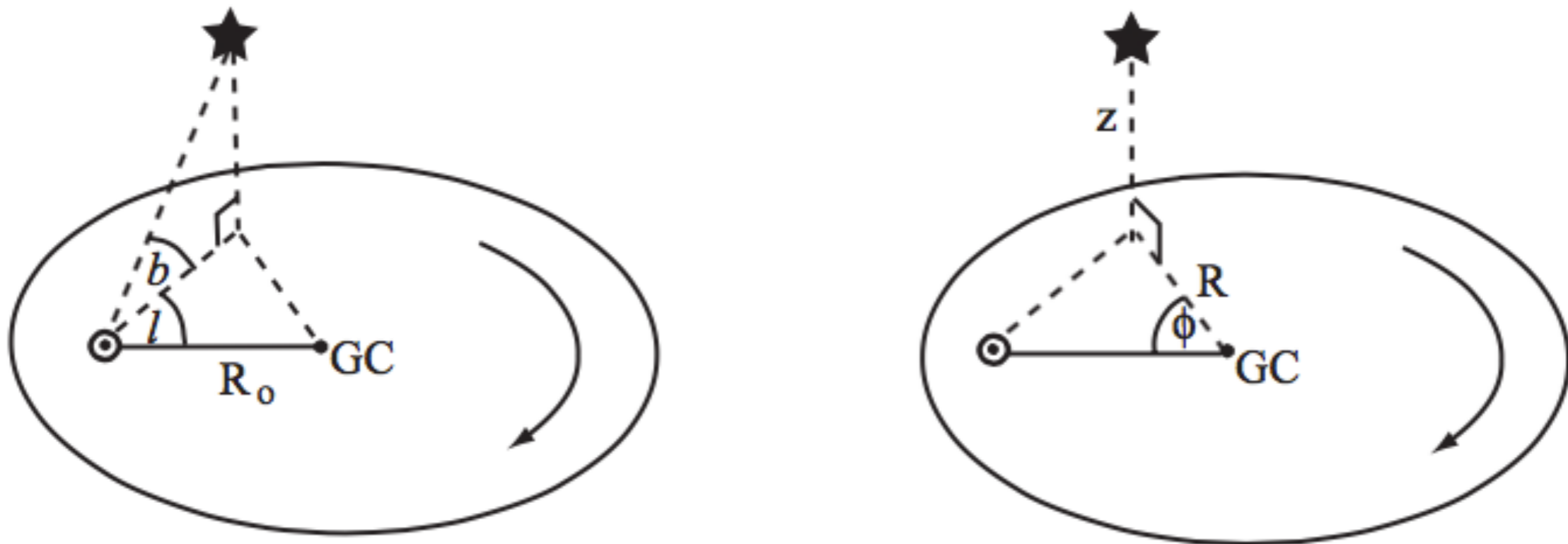


Fig. 1.10. Left, Sun-centred Galactic longitude l and latitude b ; right, cylindrical polar coordinates R, ϕ, z with the origin at the Galactic center.

l - longitude galáctica, medida na direção da rotação do Sol

b - latitude galáctica, medido em direção ao Pólo Galáctico Norte

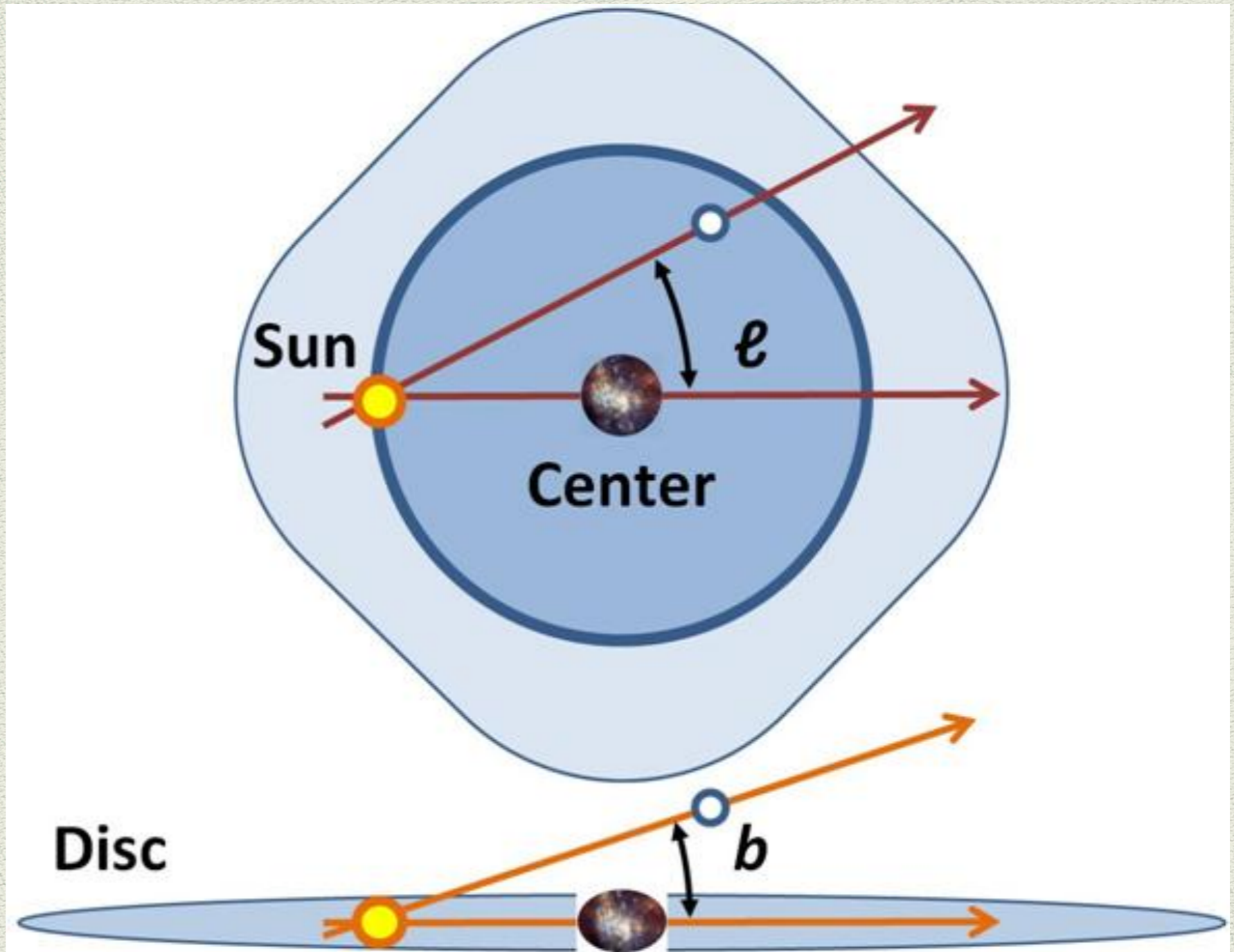
$$\alpha = 12^{\text{h}}49^{\text{m}}, \delta = 27^{\circ}24' \text{ (1950)}$$

Sistema de Coordenada Galáctico

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galactic_coordinates.JPG

l - longitude galáctica, medida na direção da rotação do Sol

b - latitude galáctica, medido em direção ao Pólo Galáctico Norte



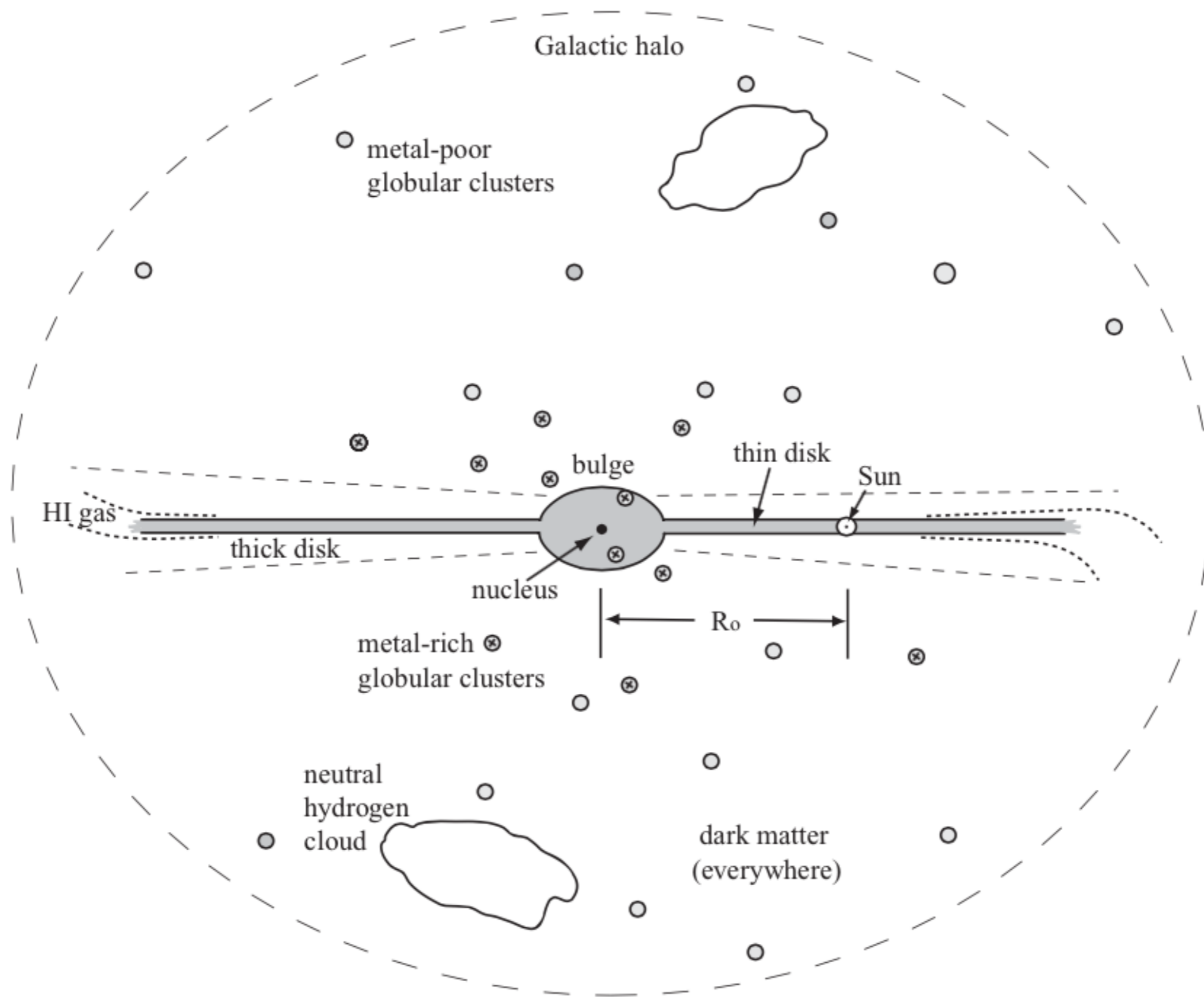
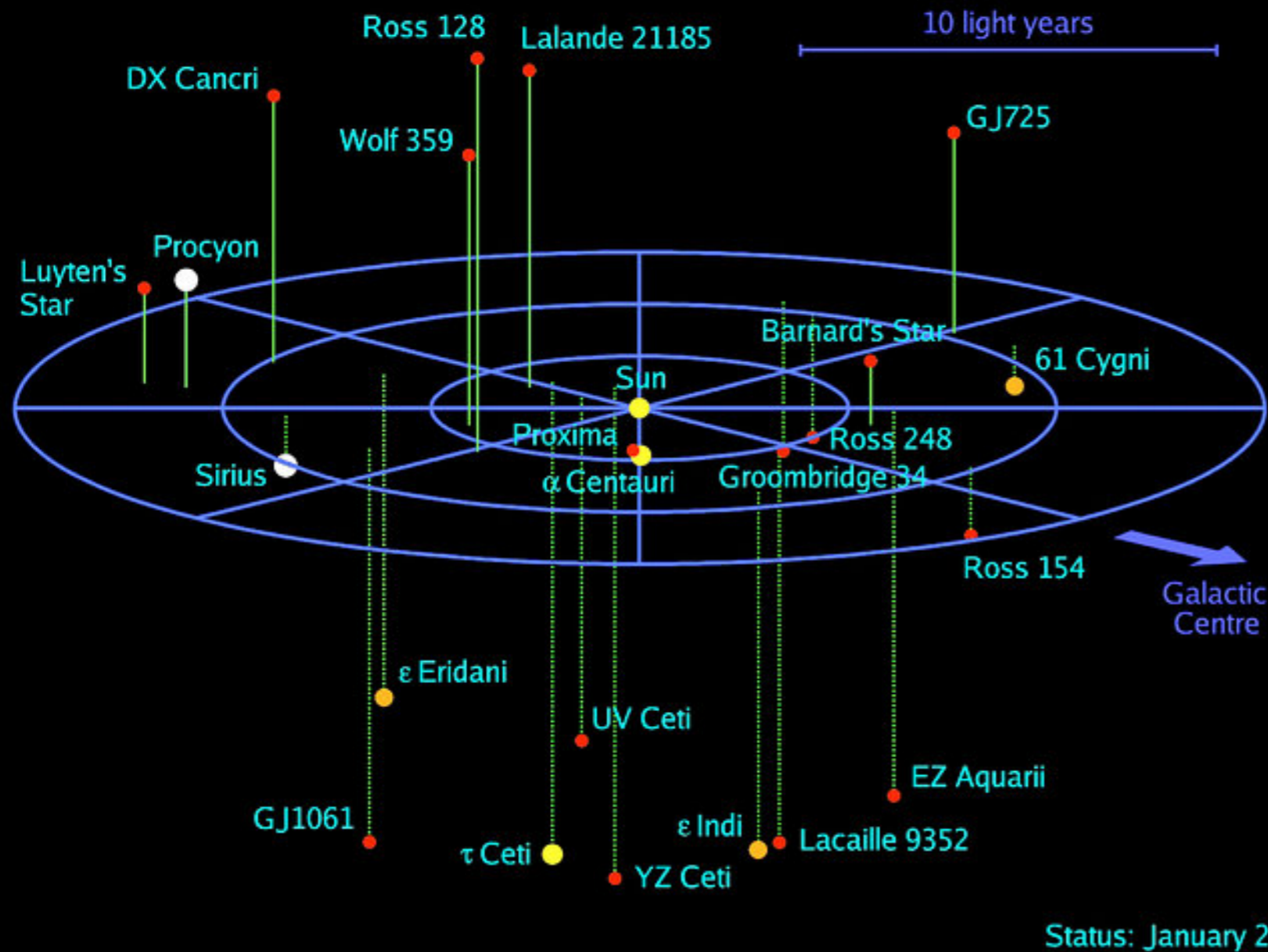


Fig. 1.8. A schematic side view of the Milky Way.



<https://www.eso.org/public/images/eso0303c/>

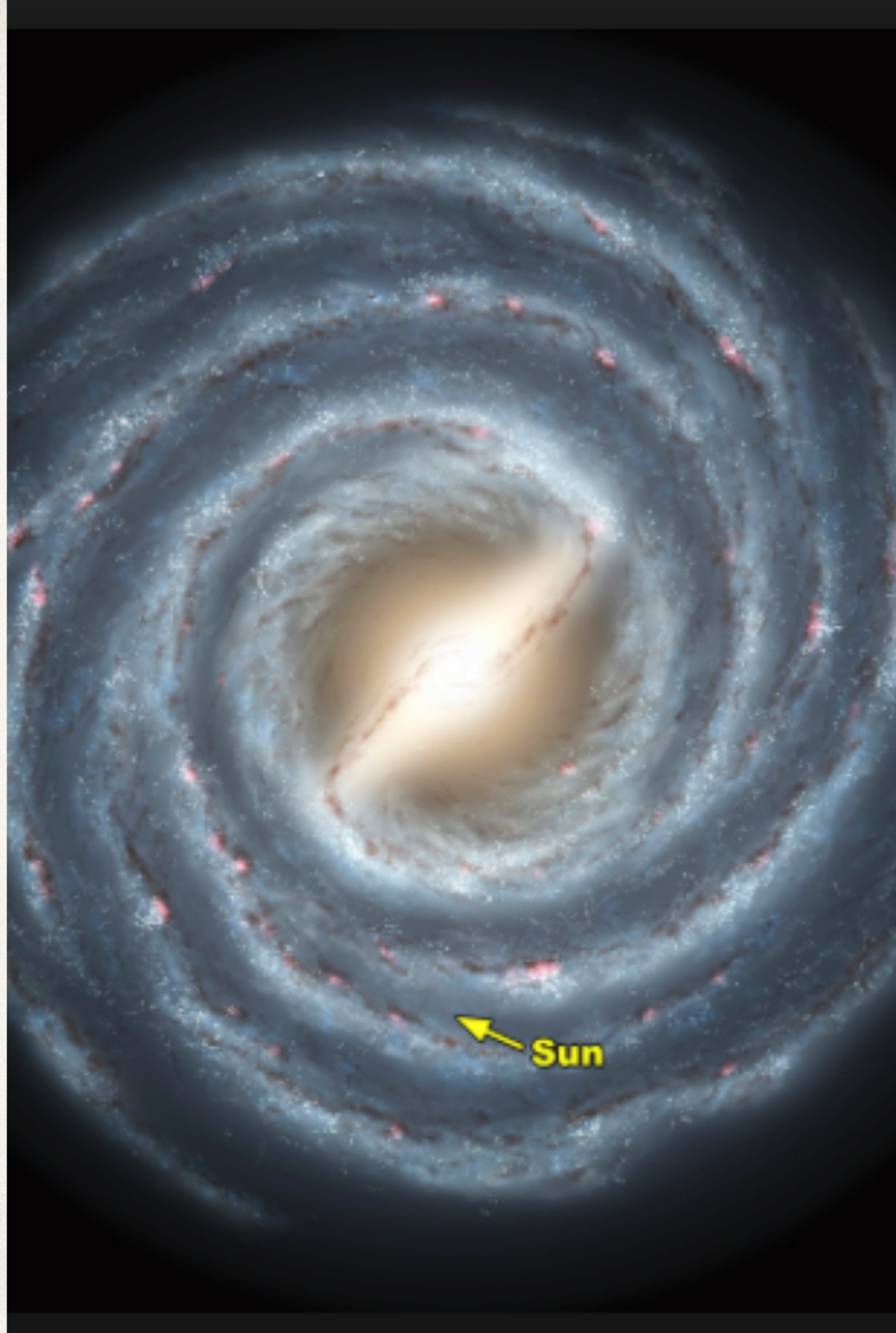
A vizinhança solar

Vizinhança solar

- ◆ Espaço associado a um cilindro em torno do Sol e perpendicular ao disco da Galáxia
- ◆ Raio:
 - ◆ 1 kpc ? (https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-642-11274-4_1460)
 - ◆ 15 anos-luz ? (http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast141/Unit5/Lect32_Neighbors.pdf)
 - ◆ 300 anos-luz ? (https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Bothun2/Bothun4_2_2.html)

Onde estamos?

- ❖ O Sol habita o disco
 - ❖ $R = 8 \pm 0.5$ kpc (Reid 1993)
 - ❖ $Z = 24 \pm 5$ pc (Juric et al. 2008)
 - ❖ $V = 236 \pm 1$ km/s (Reid & Brunthaller 2004)
- ❖ Estrelas na vizinhança solar orbitam o centro Galáctico a cerca de 200km/s, 250 Myr pra completar uma órbita.



Conceitos importantes

- ◆ Populações estelares (será visto em mais detalhes em uma aula futura)
- ◆ Função de luminosidade
- ◆ Função de massa

Populações estelares

Contém estrelas do disco fino, disco espesso e halo

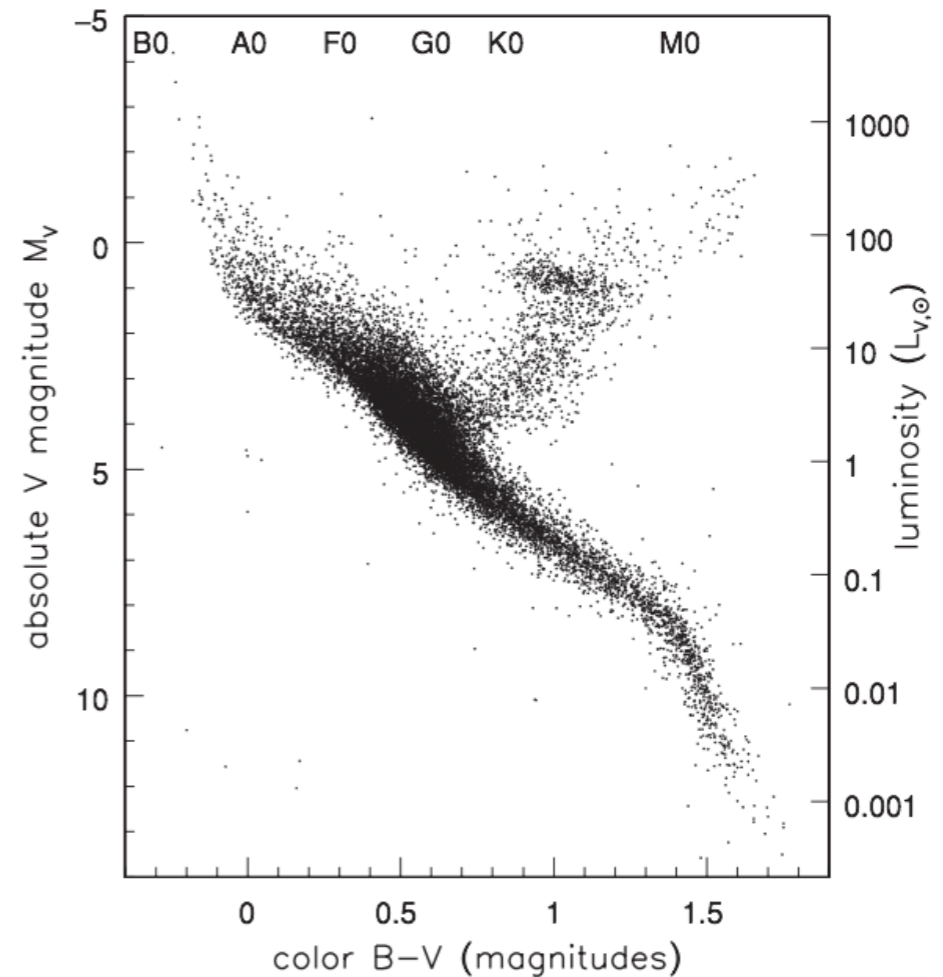
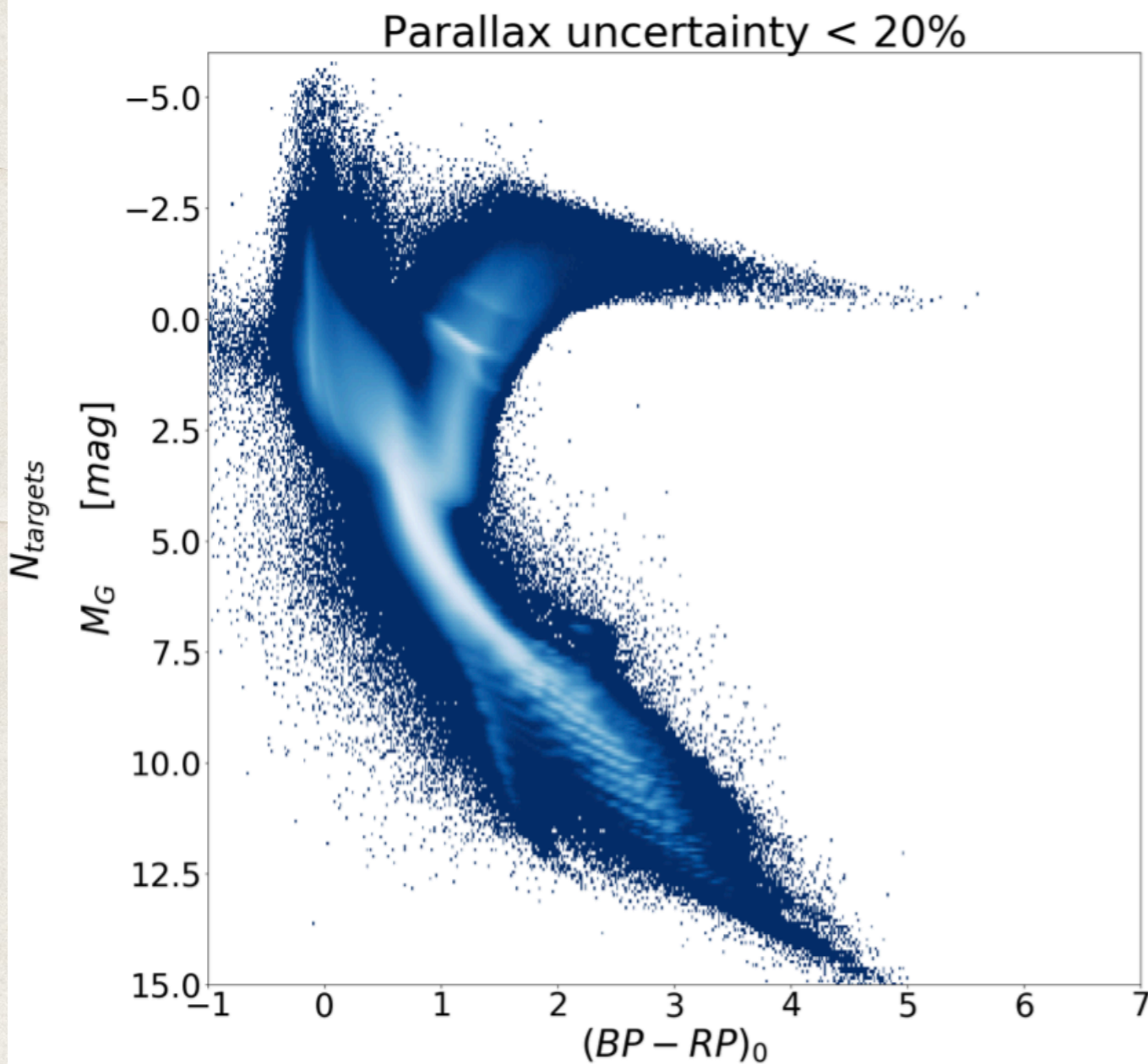


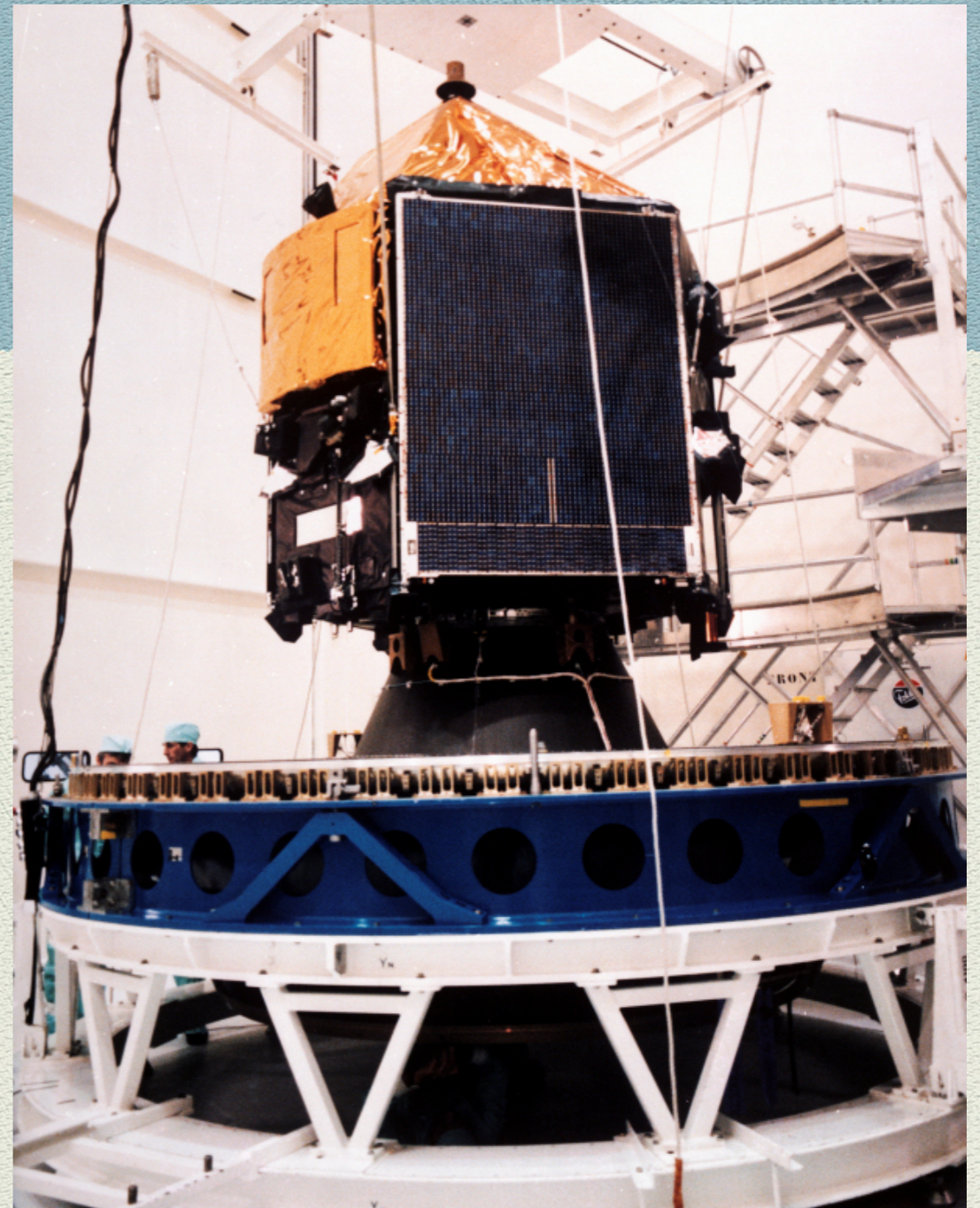
Fig. 2.2. A color-magnitude diagram and approximate spectral types for 15 630 stars within 100 pc of the Sun, for which Hipparcos measured the trigonometric parallax to $<10\%$, and the color $B - V$ to within 0.025 magnitudes – M. Perryman.



<https://arxiv.org/pdf/1904.11302.pdf>
103 milhões de estrelas

Hipparcos

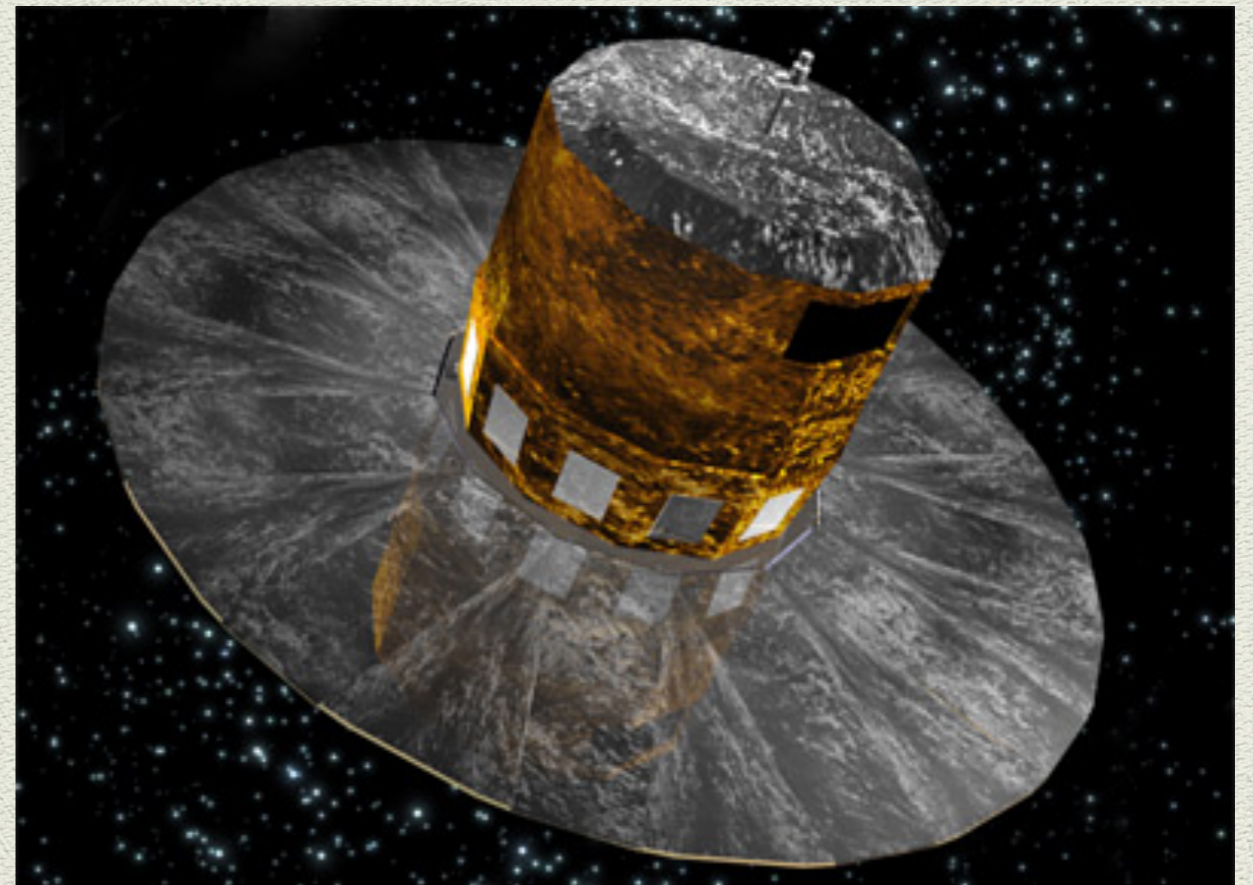
- ◆ O satélite Hipparcos (1989–93; European Space Agency) mediu movimentos aparentes de 120 000 estrelas, a uma acurácia de milliarcsecond. O banco de dados fornece distâncias e portanto luminosidades de estrelas dentro de centenas de parsecs.
- ◆ High precision parallax collecting satellite, <http://sci.esa.int/hipparcos/>



Gaia

<http://sci.esa.int/gaia/>

- ◆ lançado em 19/12/2013
- ◆ início das operações científicas em 25/07/2014
- ◆ Objetivos: medir a posição de 1 bilhão de estrelas (1% das estrelas da Galáxia) com precisão de $24\mu\text{s}$, velocidades radiais para 150 milhões de objetos, criar uma mapa estrutural 3D da Galáxia



MEDINDO DISTÂNCIAS: PARALAXE TRIGONOMÉTRICA

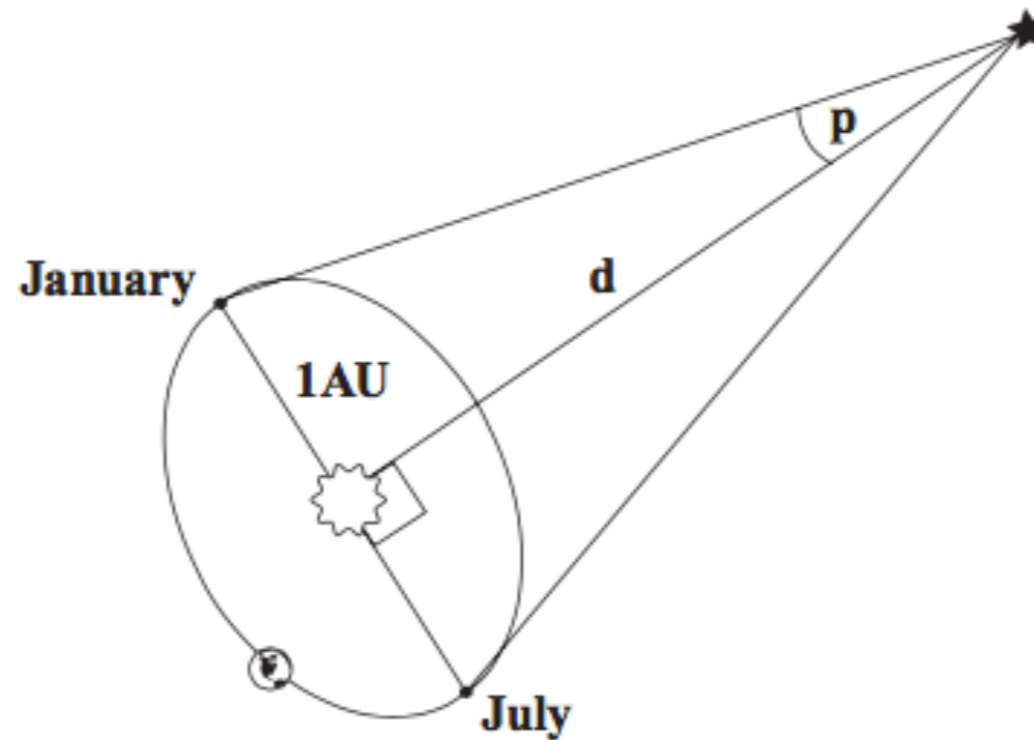


Fig. 2.1. Trigonometric parallax: in the course of a year, the star appears to move in an ellipse with a major axis of $2p$.

$$\frac{1 \text{ AU}}{d} = \tan p \approx p \text{ (in radians).}$$

Medidas de paralaxe hoje em dia

ESTIMATING DISTANCES FROM PARALLAXES IV: DISTANCES TO 1.33 BILLION STARS IN *Gaia* DATA RELEASE 2

C.A.L. BAILER-JONES,¹ J. RYBIZKI,¹ M. FOUESNEAU,¹ G. MANTELET,² AND R. ANDRAE¹

¹*Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg, Germany*

²*Astronomisches Rechen-Institut, Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg, Germany*

(Received 26 April 2018; Revised 30 May 2018; Accepted 5 June 2018; Published 20 July 2018)

ABSTRACT

For the vast majority of stars in the second *Gaia* data release, reliable distances cannot be obtained by inverting the parallax. A correct inference procedure must instead be used to account for the nonlinearity of the transformation and the asymmetry of the resulting probability distribution. Here we infer distances to essentially all 1.33 billion stars with parallaxes published in the second *Gaia* data release. This is done using a weak distance prior that varies smoothly as a function of Galactic longitude and latitude according to a Galaxy model. The irreducible uncertainty in the distance estimate is characterized by the lower and upper bounds of an asymmetric confidence interval. Although more precise distances can be estimated for a subset of the stars using additional data (such as photometry), our goal is to provide purely geometric distance estimates, independent of assumptions about the physical properties of, or interstellar extinction towards, individual stars. We analyse the characteristics of the catalogue and validate it using clusters. The catalogue can be queried on the *Gaia* archive using ADQL at <http://gea.esac.esa.int/archive/> and downloaded from <http://www.mpia.de/~calj/gdr2-distances.html>.

<https://arxiv.org/abs/1804.10121>

Outras escalas de distância

Saindo da vizinhança solar...

<http://www.talkorigins.org/faqs/astronomy/distance.html>

- ◆ Distâncias estelares
 - ◆ **Paralaxe trigonométrica**
 - ◆ Paralaxe dinâmica (sistemas binários)
 - ◆ **Paralaxe espectroscópica (ou fotométrica)**
 - ◆ Paralaxe secular
- ◆ Distâncias na galáxia
 - ◆ Ponto de convergência de movimentos próprios (aglomerados abertos)
- ◆ RR Lyrae
- ◆ **Ajuste de isócronas**
- ◆ Distâncias extra-galácticas
 - ◆ **Cefeidas (relação período-luminosidade)**
 - ◆ Estrelas novae
 - ◆ Supernovas
 - ◆ **Relação Tully-Fisher**
 - ◆ **Relação Faber-Jackson**
 - ◆ Lei de Hubble - Humanson

Função de Luminosidade Inicial

Qual a faixa de luminosidade que tem mais estrelas no diagrama H-R do Hipparcos?

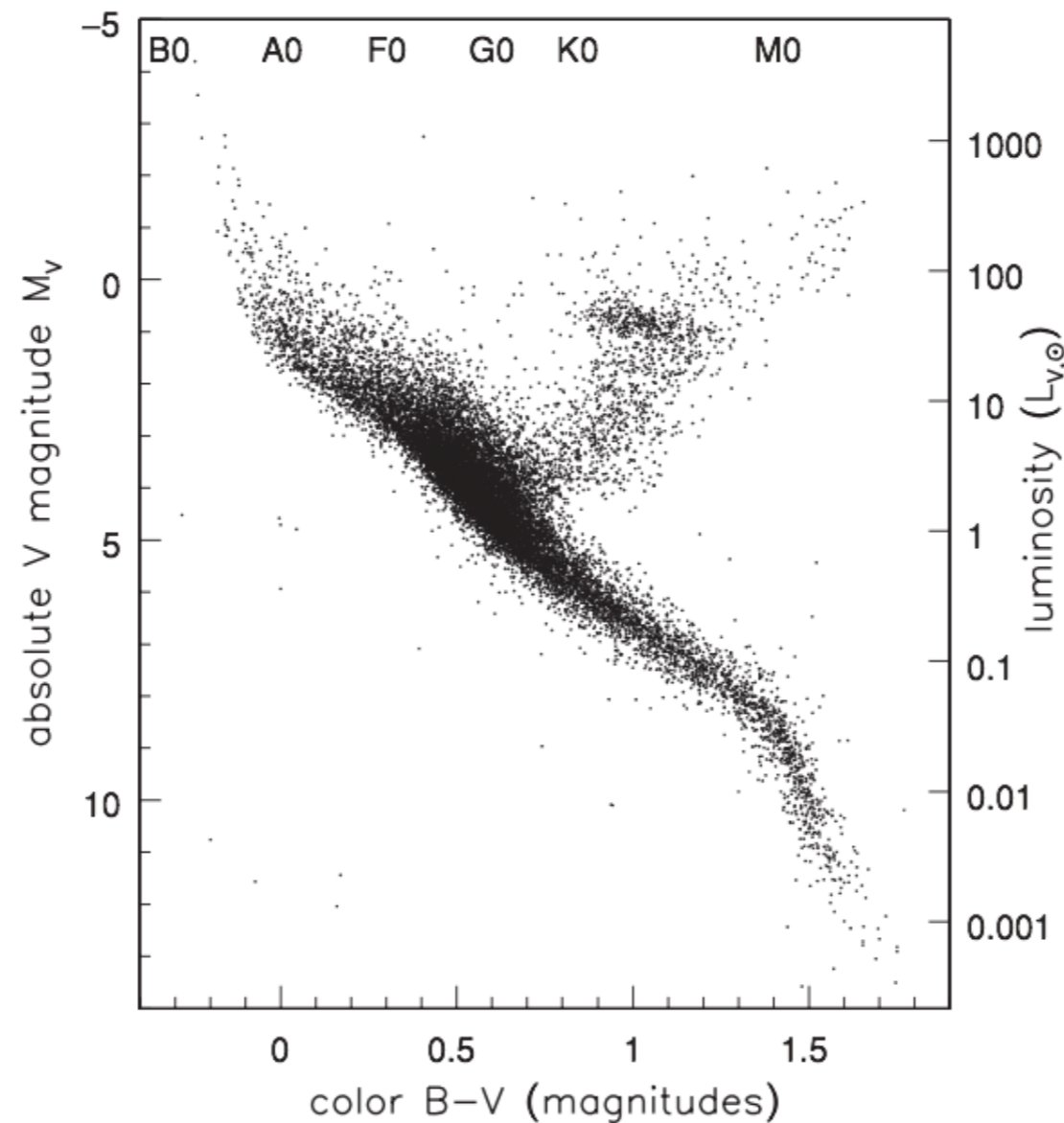


Fig. 2.2. A color–magnitude diagram and approximate spectral types for 15 630 stars within 100 pc of the Sun, for which Hipparcos measured the trigonometric parallax to $<10\%$, and the color $B - V$ to within 0.025 magnitudes – M. Perryman.

Função de luminosidade

- A função de luminosidade $\Phi(M_V)$ descreve quantas estrelas de cada luminosidade (ou magnitude absoluta) estão presentes em cada pc^3 : $\Phi(M_V)\Delta M_V$ corresponde à densidade de estrelas com magnitude absoluta V entre M_V e $M_V + \Delta M_V$

$$\Phi(x) = \frac{\text{number of stars with } M_V - 1/2 < x < M_V + 1/2}{\text{volume } \mathcal{V}_{\text{max}}(M_V) \text{ over which these could be seen}}. \quad (2.3)$$

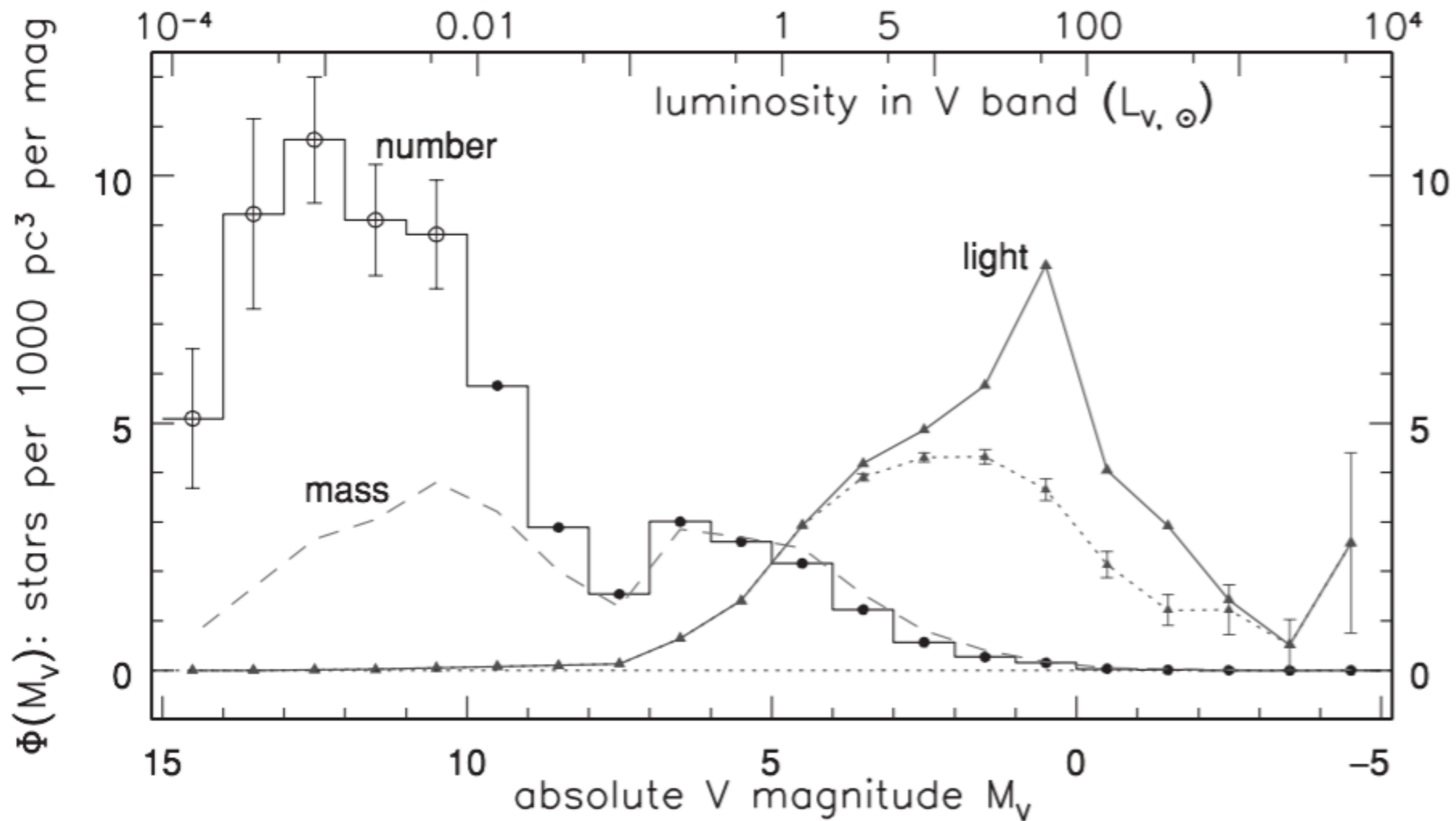


Fig. 2.3. The histogram shows the luminosity function $\Phi(M_V)$ for nearby stars: solid dots from stars of Figure 2.2, open circles from Reid *et al.* 2002 *AJ* **124**, 2721. Lines with triangles show $L_V \Phi(M_V)$, light from stars in each magnitude bin; the dotted curve is for main-sequence stars alone, the solid curve for the total. The dashed curve gives $\mathcal{M} \Phi_{\text{MS}}(M_V)$, the mass in main-sequence stars. Units are L_{\odot} or \mathcal{M}_{\odot} per 10 pc cube; vertical bars show uncertainty, based on numbers of stars in each bin.

Função de luminosidade

- ◆ É particularmente difícil determinar a região de baixa luminosidade da função de luminosidade, por motivos observacionais (as estrelas são muito pouco luminosas)
- ◆ A região luminosa é difícil de determinar pois as estrelas são raras e portanto não serão encontradas a menos que o volume seja maior do que $\sim 100\text{pc}$.
- ◆ A distribuição de estrelas não é uniforme ao longo da posição da galáxia.
- ◆ Vários sistemas múltiplos são confundidos com estrelas brilhantes.
- ◆ Apesar disso, fica claro que a maior parte das estrelas é fraca. A razão massa-luminosidade M/L dá uma medida da proporção entre estrelas luminosas e estrelas fracas. $M/L \sim 1$ para sequência principal, e $M/L \sim 2$ quando inclui todas as estrelas locais e gás.

Função de Luminosidade Inicial

- ◆ Usando modelos de evolução estelar, podemos converter a função de luminosidade observada hoje na função de luminosidade inicial $\Psi(M_V)$ i.e., quando todas as estrelas estavam na sequência principal
- ◆ $\Psi(M_V)\Delta M_V$ é o número de estrelas que se formaram com magnitude absoluta entre M_V e $M_V + \Delta M_V$
- ◆ Contando o número de anãs brancas no volume local, estima-se que estrelas tem se formado na vizinhança solar por 8 - 10 Gyr.

Função de Luminosidade Inicial

A função de luminosidade inicial $\Psi(M_V)$ está relacionada com a função de luminosidade atual Φ_{MS} através de:

$$\Psi(M_V) = \Phi_{MS}(M_V) \times \int_0^{\tau_{gal}} \mathcal{B}(t) dt / \int_{\tau_{gal}-\tau_{MS}}^{\tau_{gal}} \mathcal{B}(t) dt.$$

onde $\mathcal{B}(t)$ é a taxa de formação estelar. Para uma taxa de formação constante, temos:

$$\begin{aligned} \Psi(M_V) &= \Phi_{MS}(M_V) && \text{for } \tau_{MS}(M_V) \geq \tau_{gal}, \\ &= \Phi_{MS}(M_V) \times \frac{\tau_{gal}}{\tau_{MS}(M_V)} && \text{when } \tau_{MS}(M_V) < \tau_{gal}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

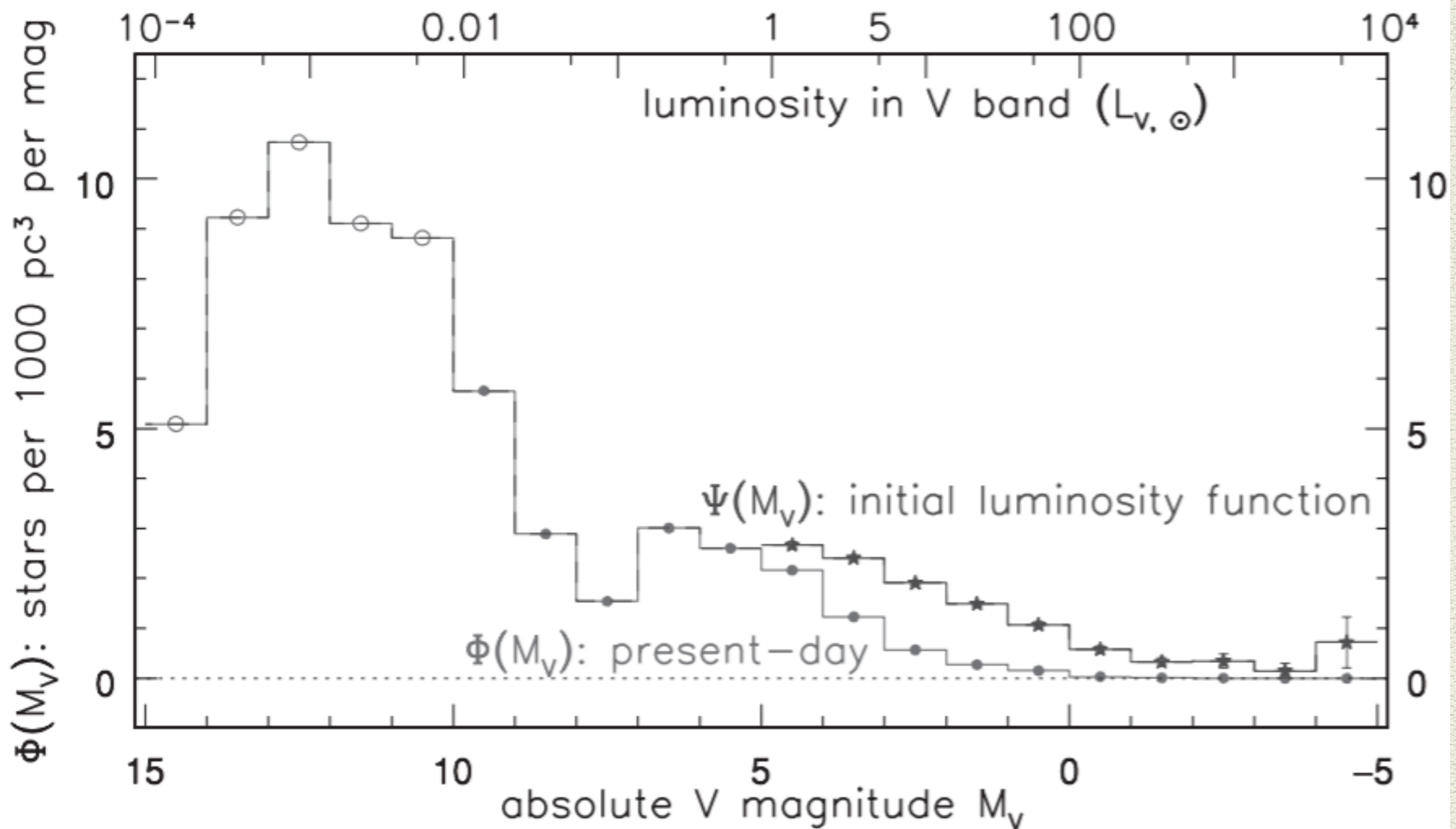


Fig. 2.4. Circles show the luminosity function $\Phi_{\text{MS}}(M_V)$ for main-sequence stars as in Figure 2.3. The histogram gives the initial luminosity function $\Psi(M_V)$, assuming that stars were born at a constant rate over the past 10 Gyr. Both functions have a minimum, the *Wielen dip*, at $M_V \approx 8$. This *V*-band luminosity corresponds to only a tiny range of stellar mass \mathcal{M} . The mass function $\xi(\mathcal{M})$ probably has no dip or inflection at this mass.

Função de Luminosidade Inicial

Podemos inferir a função de luminosidade inicial $\Psi(M_V)$ a partir da função de luminosidade atual Φ_{MS} e hipóteses sobre a taxa de formação estelar.

Para uma taxa de formação constante, temos:

$$\begin{aligned} \Psi(M_V) &= \Phi_{\text{MS}}(M_V) && \text{for } \tau_{\text{MS}}(M_V) \geq \tau_{\text{gal}}, \\ &= \Phi_{\text{MS}}(M_V) \times \frac{\tau_{\text{gal}}}{\tau_{\text{MS}}(M_V)} && \text{when } \tau_{\text{MS}}(M_V) < \tau_{\text{gal}}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Função de Massa Inicial

Função de Massa Inicial

- ◆ IMF do inglês, *Initial Mass Function* $\xi(\mathcal{M})$
- ◆ Podemos converter $\Psi(\mathcal{M})$ em $\xi(\mathcal{M})\Delta\mathcal{M}$: número de estrelas que se formaram com massa entre \mathcal{M} e $\mathcal{M} + \Delta\mathcal{M}$
- ◆ Pode ser interpretada como a probabilidade de uma estrela que está nascendo de ter uma dada massa.
- ◆ Massas baixas são mais prováveis do que altas massas

Função de Massa Inicial

- ◆ Na vizinhança solar, uma boa aproximação para estrelas mais massivas que 0.5 Msun é a IMF de Salpeter (1955):

$$\xi(M)\Delta M = \xi_0(M/M_\odot)^{-2.35}(\Delta M/M_\odot), \quad (2.5)$$

- ◆ ξ_0 é uma constante que define a densidade local de estrelas
- ◆ a IMF de Salpeter superestima o número de estrelas com massas menores que 0.5 Msun, mas para massas maiores é adequada
- ◆ Observações no Universo Local mostram que a IMF é surpreendentemente homogênea (Galáxia e Nuvens de Magalhães) (mas nem tanto)

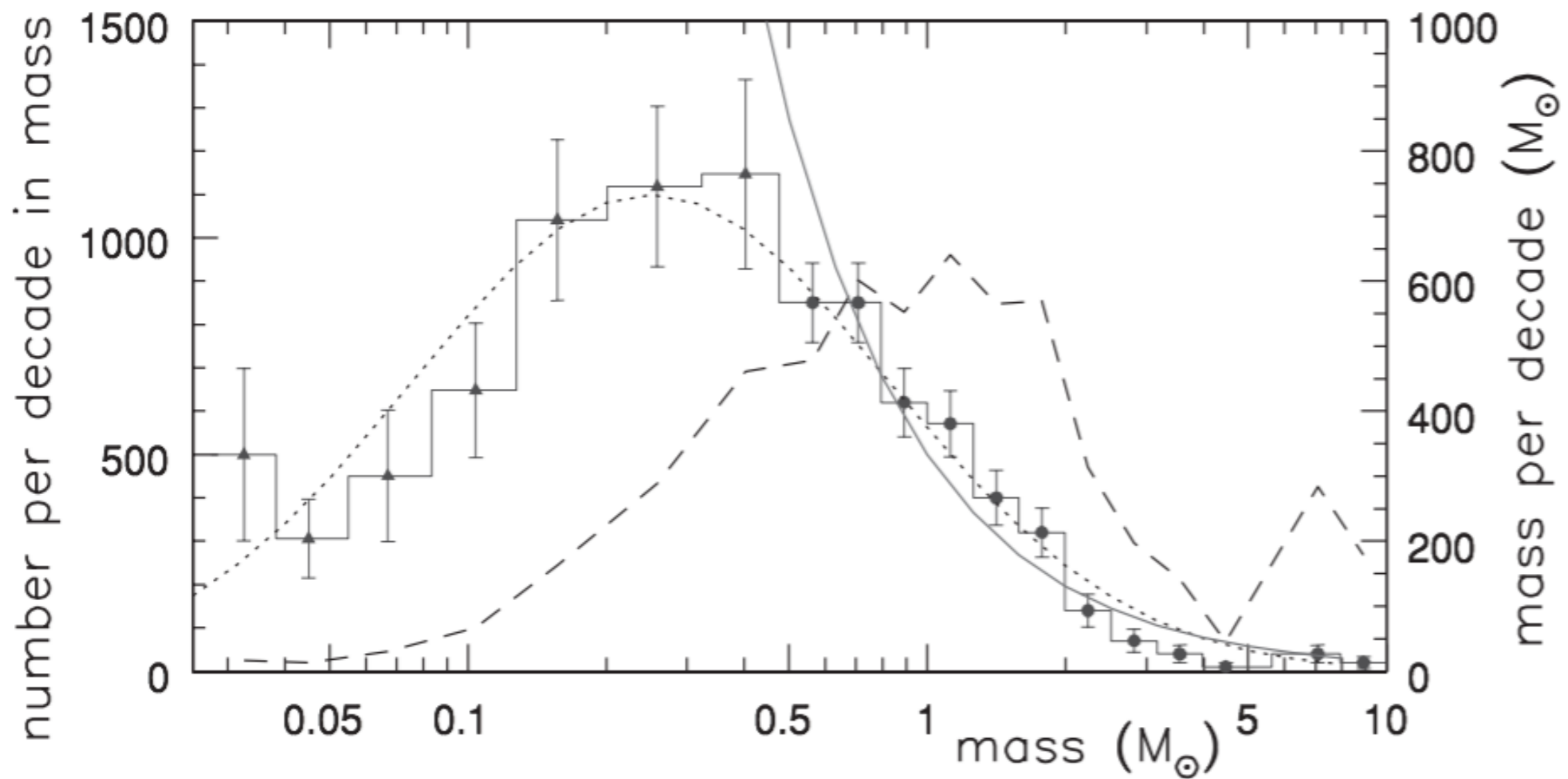


Fig. 2.5. Masses of stars in the Pleiades cluster: the number in each mass range is proportional to the area under the histogram. The smooth curve shows the Salpeter initial mass function, the dotted curve is a lognormal function. The dashed line shows mass: stars near $0.25M_{\odot}$ are most numerous, but those of $(1-2)M_{\odot}$ account for most of the cluster's mass – E. Moreau.

IMF

(Mo, Bosch & White, Cap. 9.6)

IMF, $\phi(m)$ é definida de modo que $\phi(m) dm$ seja o número de estrelas nascidas no intervalo $m \pm dm/2$, dada uma normalização:

$$\int_{m_\ell}^{m_u} m\phi(m) dm = 1 M_\odot$$

O número de estrelas e massa nascidas em um intervalo dm é então dado por:

$$dN(m) = \frac{M_\star}{M_\odot} \phi(m) dm \quad \text{and} \quad dM(m) = \frac{M_\star}{M_\odot} m\phi(m) dm,$$

Quais são valores razoáveis de se adotar para m_l e m_u ?

Algumas parametrizações

(Mo, Bosch & White, Cap. 9.6)

$$\phi(m)dm \propto m^{-b}dm \quad \text{with } b = 2.35 \quad \text{[Salpeter IMF]}$$

$$\xi(x) = a_0 - a_1x - a_2x^2 \quad \text{with } x \equiv \log(m/M_\odot) \quad \text{[Miller–Scalo IMF],}$$

$$(a_0, a_1, a_2) = (1.53, 0.96, 0.47).$$

$$\phi(m) \propto \begin{cases} m^{-2.45} & (m > 10M_\odot) \\ m^{-3.25} & (1M_\odot < m < 10M_\odot) \\ m^{-1.80} & (0.2M_\odot < m < 1M_\odot). \end{cases} \quad \text{[Scalo IMF]}$$

$$\phi(m) \propto \begin{cases} m^{-2.7} & (1.0M_\odot < m < 100M_\odot) \\ m^{-2.3} & (0.5M_\odot < m < 1.0M_\odot) \\ m^{-1.3} & (0.08M_\odot < m < 0.5M_\odot) \\ m^{-0.3} & (0.01M_\odot < m < 0.08M_\odot). \end{cases} \quad \text{[Kroupa IMF]}$$

$$\xi(m) \propto \begin{cases} m^{-1.35} & (m > 1.0M_\odot) \\ \exp\{-[\log(m/0.2M_\odot)]^2/0.6\} & (m < 1.0M_\odot) \end{cases} \quad \text{[Chabrier IMF]}$$

Questões em aberto

- ◆ Dado que conhecemos pouco do processo de formação estelar, não sabemos derivar a IMF a partir de princípios básicos. Algumas teorias propostas estão listadas em 9.6.2 de Mo, Frank & White.
- ◆ Universalidade: estudos de aglomerados abertos do Universo Local tendem a indicar universalidade da IMF. Mas há estudos que indicam que ela pode ser diferente em starburst galaxies e elípticas (9.6.2 de Mo, Frank & White e artigos mais recentes).