

Propiedades estrellas

Mauro Jélvez

October 2024

Las estrellas son la mayor parte de la vía láctea, para algunas de estas estrellas podemos estimar su edad o sus metalicidades la cuál nos da más información también sobre su evolución. Por otro lado la gran estructura de la vía láctea tiene un alto impacto en la formación estelar la cuál toma lugar en las nubes moleculares.

Los parámetros más básicos para caracterizar una estrella son las luminosidad L , su radio R , su temperatura efectiva T_{eff} , su masa M y su edad τ . Otro parámetro importante es la metalicidad

Leyes para cuerpos negros

Para una esfera radiando como cuerpo negro, de acuerdo con la ley de Steffan-Boltzmann:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{eff}^4$$

$$B_T(\lambda) \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

El espectro de longitud de onda tiene su máximo flujo en $B(\lambda_{Max})$ de acuerdo con la ley de Wien.

$$\lambda_{Max} = \frac{2.9 \times 10^3}{T}$$

Para $\lambda \gg \lambda_{Max}$ el espectro de distribución de energía puede ser descrito por la aproximación de Rayleigh-Jeans:

$$B_T(\lambda) \approx \frac{2c}{\lambda^4} kT$$

Propiedades de estrellas de secuencia principal

Este tipo de estrellas queman hidrógeno transformándolo en helio en su núcleo. Esta fase es casi el 90% de la vida de quema de las estrellas. Por otro lado, el 90% de la estrellas son de la secuencia principal y sus propiedades particularmente relevantes.

Relación Masa-Luminosidad en la secuencia principal

La luminosidad es una fuerte función de la masa, con exponente α para diferentes rangos de masa.

$$\frac{L}{L_{\odot}} \approx a \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{\alpha}$$

- $\alpha = 2.3$, $a = 0.23$ para $M < 0.43M_{\odot}$
- $\alpha = 4.0$, $a = 1$ para $0.43M_{\odot} < M < 2M_{\odot}$
- $\alpha = 3.5$, $a = 1.5$ para $2M_{\odot} < M < 20M_{\odot}$
- $\alpha = 1.0$, $a = 3200$ para $M > 20M_{\odot}$

Tiempo de vida en la secuencia principal

El tiempo de vida en la secuencia principal termina para una estrella cuando se ha quemado ya cerca del 10% del H y se ha transformado en He. Las estrellas masivas tienen luminosidades grandes y queman su hidrógeno mucho más rápido que estrellas de baja masa. En primer orden se puede escribir, por ejemplo, para estrellas de mayor masa entre $20M > M_{\odot}$.

$$\tau_{ms} \propto \frac{M}{L} \propto \frac{1}{M^{2.5}}$$

Y para estrellas de baja masa $M < 0.43M_{\odot}$:

$$\tau_{ms} \propto \frac{M}{L} \propto \frac{1}{M^{1.3}}$$

Algunos parámetros para estrellas de secuencia principal para diferentes tipos espectrales son:

sp.type	O5 V	B0 V	A0 V	G0 V	M0 V	M8 V
M/M_{\odot}	60	18	3.0	1.1	0.50	0.06
L/L_{\odot}	$8 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^4$	54	1.5	0.080	$1.2 \cdot 10^{-3}$
R/R_{\odot}	12	7.5	2.5	1.1	0.50	0.10
T_{eff} [K]	41'000	30'000	9500	6000	3800	2600
τ_{ms} [yr]	$8 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{11}$

Función inicial de masa (IMF)

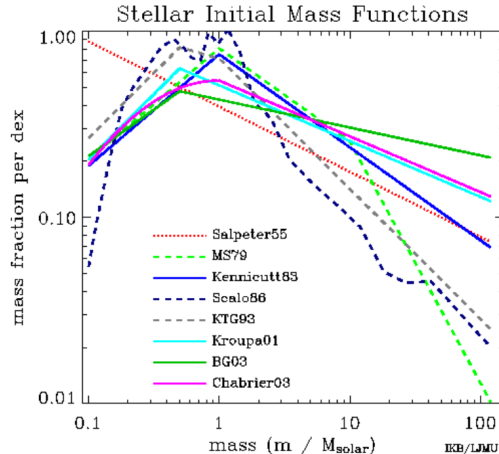
Describe la distribución de masa $N_S(M)$ de estrellas recién formadas por el intervalo de masa ΔM . Es útil para el entendimiento de las poblaciones estelares. La IMF standard puede ser descrita como:

$$\frac{dN_S}{dM} \propto \frac{1}{M^{2.35}}$$

Para $M > 0.5M_{\odot}$. También puede ser descrita en forma logarítmica.

$$\frac{dN_S}{d \log M} \propto \frac{1}{M^{1.35}}$$

Esto es equivalente a un ajuste lineal con pendiente -1.35 en el siguiente diagrama. Este ley indica que el número de estrellas recién formadas con masas entre 1 y 2 masas solares es cerca de 20 veces más grande que para estrellas con masas entre 10 y 20 masas solares.



- Las estrellas de alta masa nacen con mucha menos frecuencia que estrellas de masa menor.
- Las estrellas de alta masa, aunque raras, dominan la luminosidad de una población de estrellas recién nacida (una asociación joven o un cúmulo estelar).
- Las estrellas masivas son de color azul y una población estelar de éstas tienen este color.
- Después de un tiempo ≈ 1 Gyr las estrellas amarillas-rojas dominan la población en la secuencia principal, debido a que las estrellas masivas evolucionan muy rápido y ya se fueron.
- La luminosidad total de una población estelar disminuye constantemente con la edad.

Mediciones de magnitudes y colores

Las mediciones fotométricas se realizan normalmente en bandas de longitud de onda que son específicas para cada instrumento usado. Como referencia fotométrica se usa la magnitud de la estrella Vega:

$$m_{\lambda}(\text{Vega}) = 0.0^m$$

Todas las mediciones fotométricas están relacionadas a Vega por su magnitud aparente la cual es constante en todas las bandas de longitud de onda de entre 150 nm a 15 μ m (UV-Visual-IR range)

Photometric magnitude is a logarithmic quantity which relates the relative flux ratio of two measurements I_1 y I_2 por la relación:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log \frac{I_1}{I_2}$$

Esto significa que la estrella $m_2 = 2.5^m$ es 10 veces más débil que una estrella con $m_1 = 0^m$. Los colores aparentes o índices de color CI entre los filtros de longitud de onda λ_1 y λ_2 también se cuantifican como diferencia de magnitud.

$$CI = m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}$$

El color B-V es la diferencia entre el filtro azul Johnson estándar y el filtro visual $m_B - m_V$. B-V es positivo para una estrella que es más "roja" que Vega y negativo para una estrella que es más "azul". Los colores para otros pares de filtros se definen según el mismo principio.

Distancias e extinción interestelar

La relación entre el flujo aparente f_{λ} y el flujo absoluto F_{λ} de una estrella depende de la distancia d y la extinción interestelar τ_{λ}

$$f_{\lambda}(d) = \frac{F_{\lambda}}{4\pi d^2} e^{-\tau_{\lambda}}$$

Esta relación puede ser expresada en magnitudes. Para esto, la magnitud absoluta M_{λ} es introducida, la cual es la magnitud aparente de un objeto a una distancia de 10 pc sin extinción interestelar.

$$M_{\lambda} = m_{\lambda}(f_{\lambda}(10\text{pc}))$$

$$M(\text{Vega}) \approx 0^m$$

La fórmula general es (d en pc):

$$m_{\lambda} = M_{\lambda} + 5 \log d - 5 + A_{\lambda}$$

Donde $A_{\lambda} \geq 0^m$ es la extinción interestelar.

La extinción interestelar se debe a pequeñas partículas de polvo interestelar de $< 1\mu\text{m}$. Su absorción es más fuerte en el azul más que en el visual

$$A_B > A_V$$

y por lo tanto la luz se enrojece. En promedio, la siguiente relación se aproxima bastante bien al efecto de extinción:

$$E_{B-V} = A_B - A_V \approx 3.1A_V$$

Diagrama H-R para estrellas en el vecindario solar

Este diagrama tiene dos ventajas:

- Las distancias d son conocidas por medidas mediante paralaje
- La extinción interestelar es pequeña $A_V < 0.2^m$ y puede ser despreciado

GAIA'S HERTZSPRUNG-RUSSEL DIAGRAM

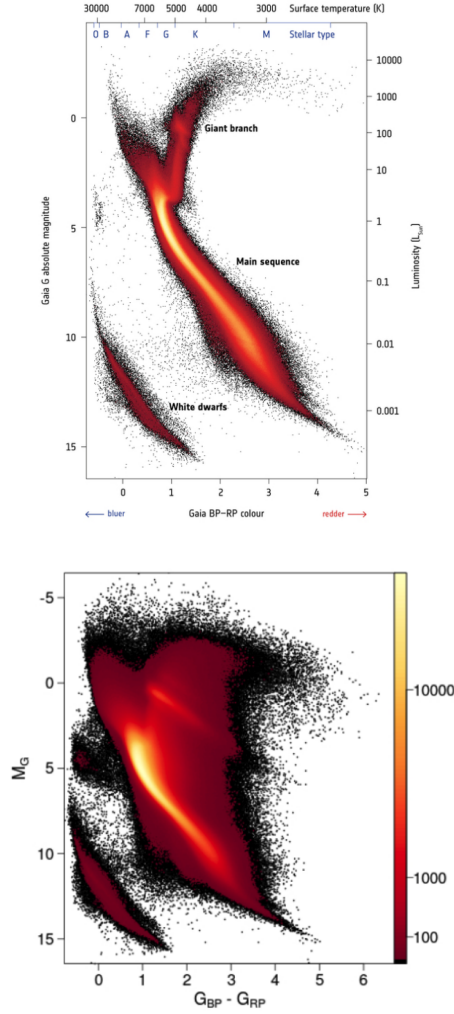


Fig. 1. Full *Gaia* colour-magnitude diagram of sources with the filters described in Sect. 2.1 applied (65 921 112 stars). The colour scale represents the square root of the relative density of stars.