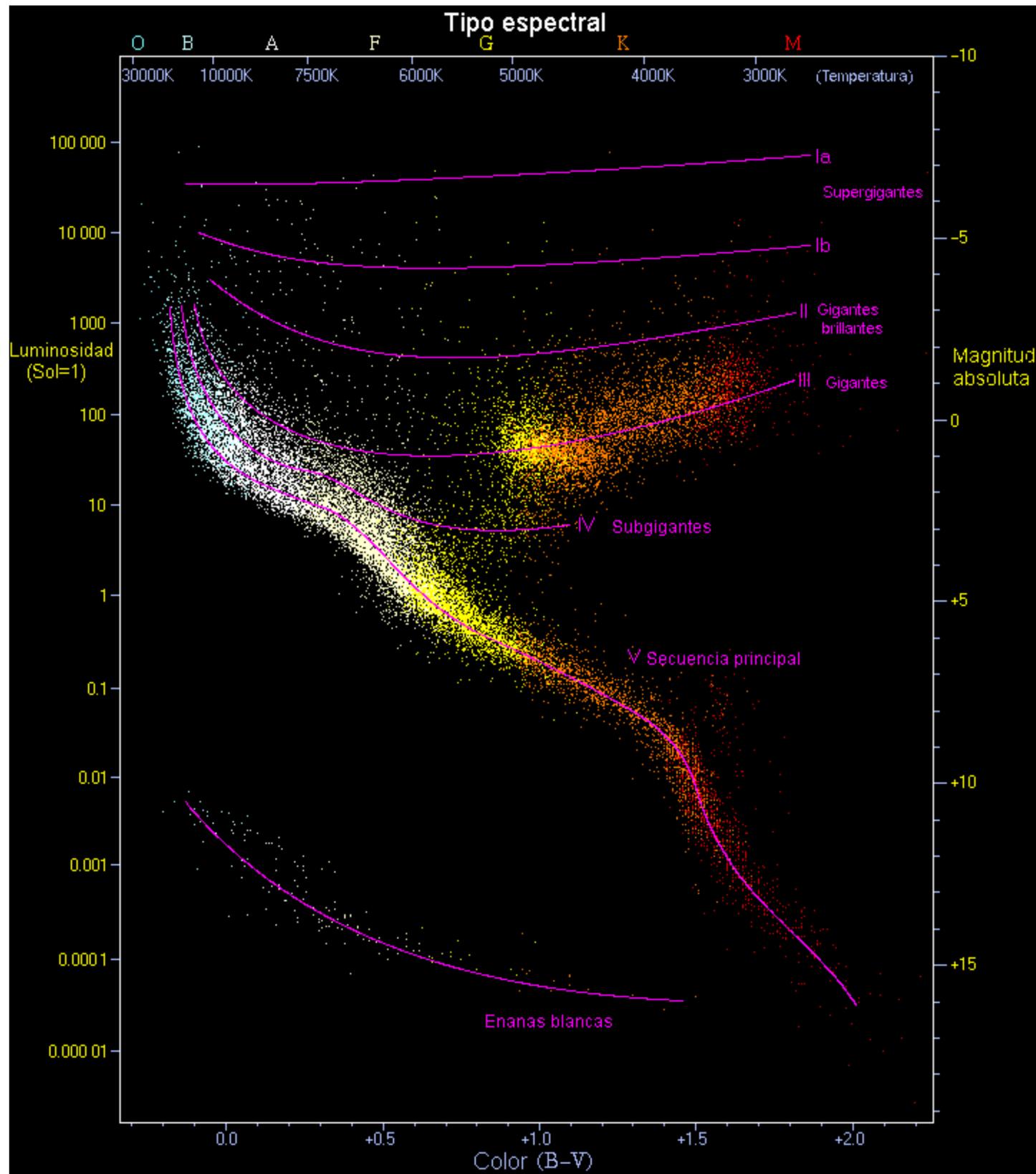


Clase anterior

- Generalidades del curso
- Astronomía, Física y Astrofísica
- Datos astronómicos: radiación EM, rayos cósmicos, neutrinos, ondas gravitatorias
- El Sol: descripción morfológica
- Sistema solar: Leyes de Kepler
- Estrellas — brillo: magnitudes visuales y bolométricas, magnitudes aparentes y absolutas, luminosidad
- Estrellas — color: filtros espectrales, índices de color, temperatura efectiva

Diagrama de Hertzsprung-Russell



- Hertzsprung y Russell graficaron la distribución de estrellas en función de su **índice de color B-V** y **magnitud absoluta**.
- La figura muestra 22000 estrellas en un **diagrama HR** relativamente reciente.
- Este diagrama puede convertirse en un diagrama de luminosidad L en función de T_{eff} que son cantidades físicas.
- Noten que no hay estrellas de cualquier luminosidad y cualquier temperatura, hay una concentración muy marcada en una franja que se llama **secuencia principal** y otros agrupamientos menores.
- Si suponemos que las estrellas son cuerpos negros, entonces hay una ley física que vincula su luminosidad con su temperatura. Cual es esa ley?

Ley de Stefan-Boltzmann

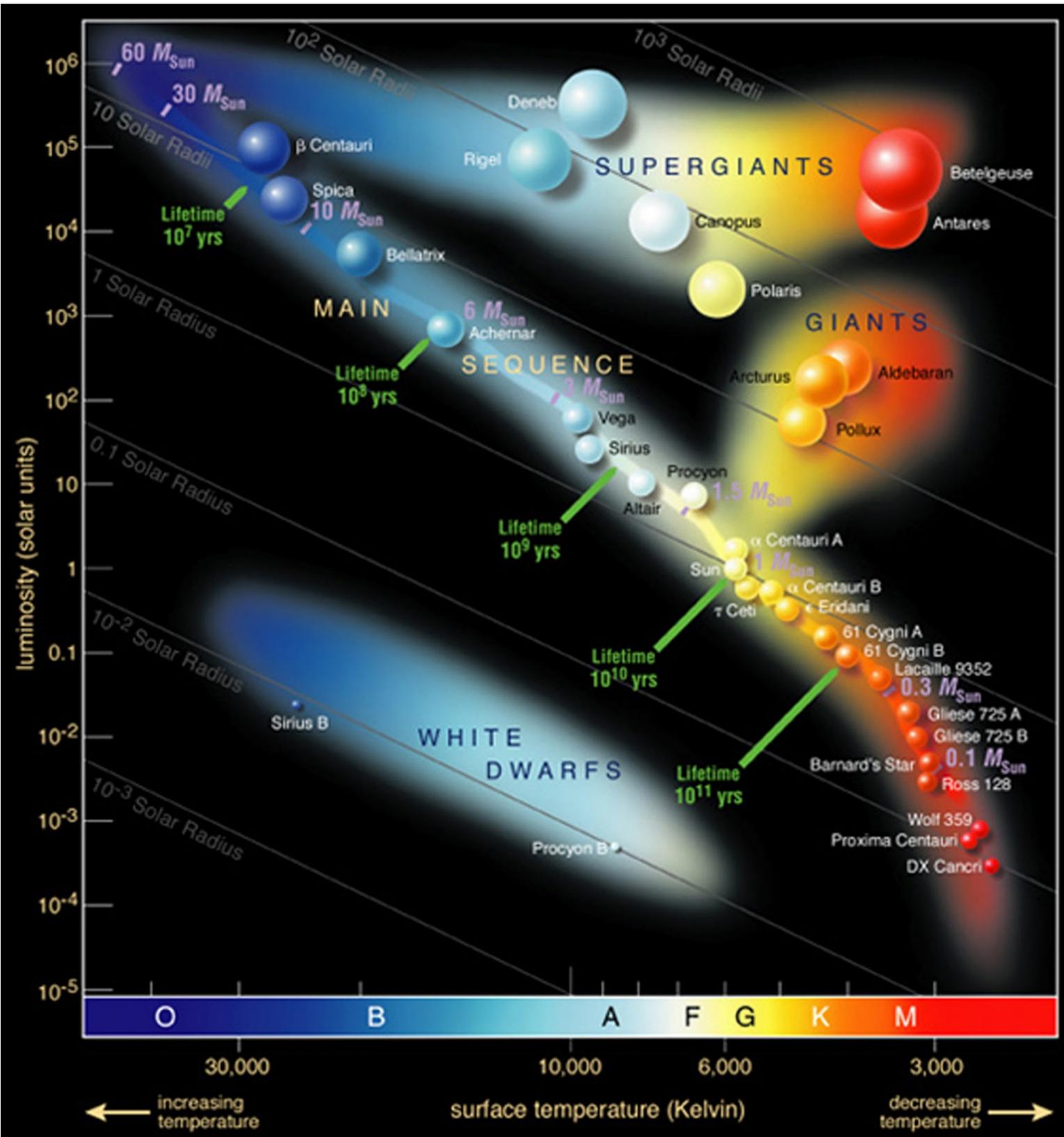
$$\frac{L}{4\pi R^2} = \sigma T_{\text{eff}}^4$$

donde R es el radio de la estrella y $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-5} \frac{\text{erg}}{\text{cm}^2 \text{K}^4 \text{s}}$ es la constante de Stefan-Boltzmann.

- Si suponemos que todas las estrellas tienen igual R , chequeen que cuando en el diagrama T_{eff} cambia un orden de magnitud, L cambia aproximadamente cuatro órdenes de magnitud!

Diagrama de Hertzsprung-Russell

- Aquí podemos ver otros grupos de estrellas, además de la **secuencia principal**, que contiene a la gran mayoría.
- Están las ramas de las **gigantes**, y de las **supergigantes**. Se llaman así porque su mayor luminosidad se debe a su mucho mayor R.
- También tenemos la rama de las **enanas blancas**, con mucha menor luminosidad que las estrellas de secuencia principal.



Tipo Espectral

Es una clasificación cualitativa basada en las características de los espectros estelares.

Estrellas tempranas y calientes

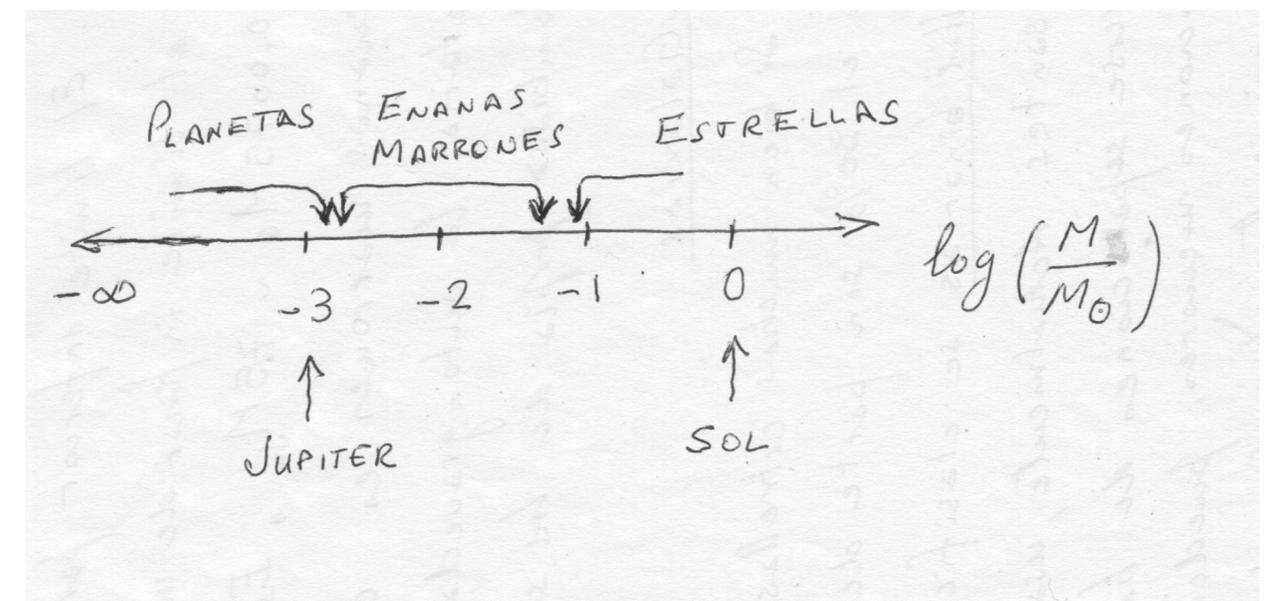
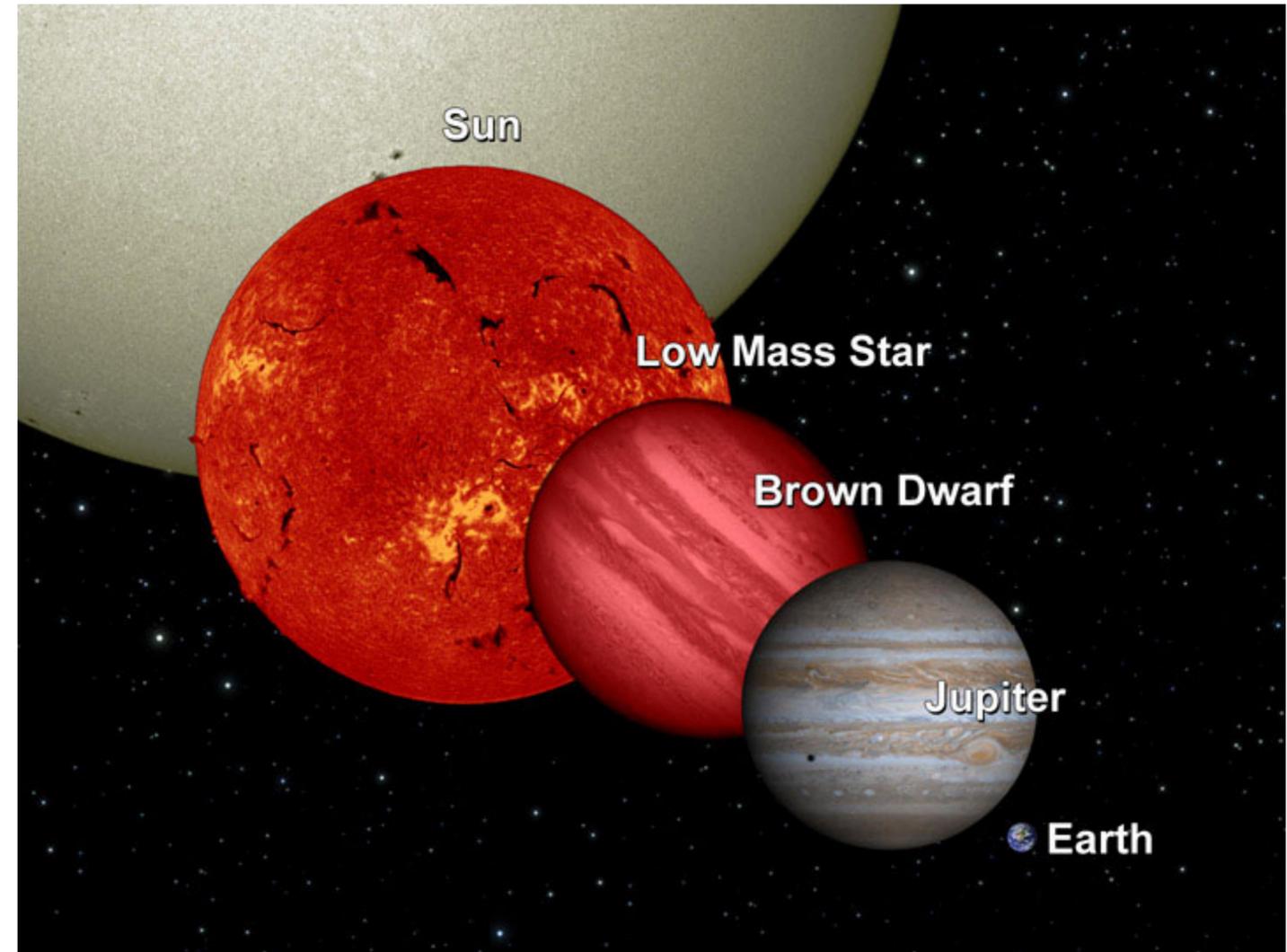
Estrellas tardías y frías

Spectral Type	Color	Temperature (K)*	Spectral Features
O		28,000-50,000	Ionized helium, especially helium
B		10,000-28,000	Helium, some hydrogen
A		7,500-10,000	Strong hydrogen, some ionized metals**
F		6,000-7,500	Hydrogen and ionized metals such as calcium and iron
G		5,000-6,000	Both metals and ionized metals, especially ionized calcium
K		3,500-5,000	Metals
M		2,500-3,500	Strong titanium oxide and some calcium

* To convert approximately to Fahrenheit, multiply by 9/5.
 ** Astronomers regard elements heavier than helium as metals.

Enanas marrones

- Las **estrellas** difieren de los **planetas** en que tienen luz propia.
- Las estrellas tienen suficiente masa como para que la **auto-gravedad** permita alcanzar densidades y temperaturas suficientemente altas en el núcleo como para producir **reacciones de fusión**.
- Las estrellas representan el equilibrio entre auto-gravedad y la presión termodinámica del gas calentado en el núcleo por fusión.
- Las **enanas marrones** son estrellas de muy baja masa. No alcanza a tener fusión de H, pero sí de deuterio, helio y litio.
- El umbral de masa para tener ignición de H en el núcleo es $0.08 M_{\text{sol}}$.
- El umbral de masa para producir fusión de deuterio en el núcleo es de $0.0075 M_{\text{sol}}$, que corresponde a $7.5 M_{\text{jup}}$.
- En síntesis, las enanas marrones existen en un rango de masas de $0.008 - 0.08 M_{\text{sol}}$, como muestra el diagrama de abajo.
- Las enanas marrones fueron una especulación teórica por mucho tiempo, para explicar el gap entre planetas grandes y estrellas pequeñas. Son muy frías y por lo tanto difíciles de detectar.
- La primera se descubrió en 1988 y hoy hay varios miles de enanas marrones detectadas y catalogadas.

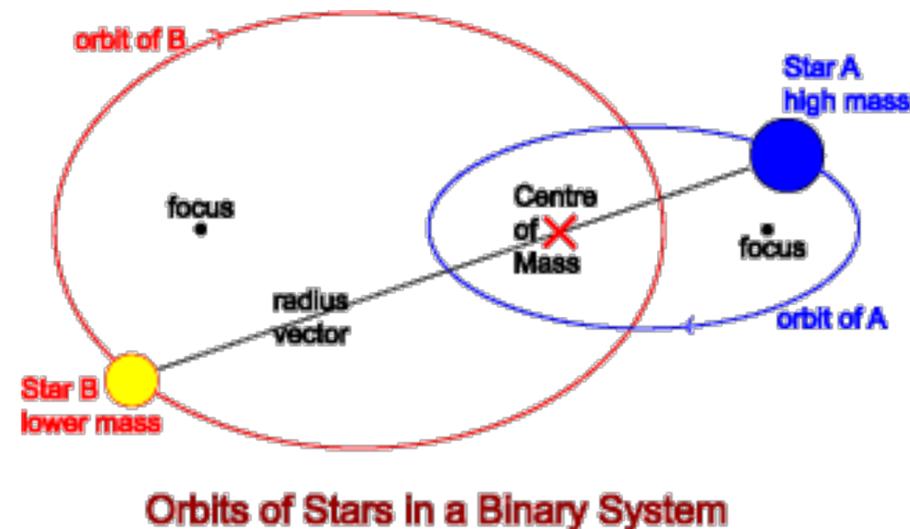


Grupos de estrellas

- Las estrellas pueden permanecer aisladas (como el Sol) o formar sistemas dobles o incluso triples. Se estima que el 30% de las estrellas forman sistemas binarios.
- Los **sistemas binarios**, según la forma en que son identificados, se clasifican en:

Binarias visuales:

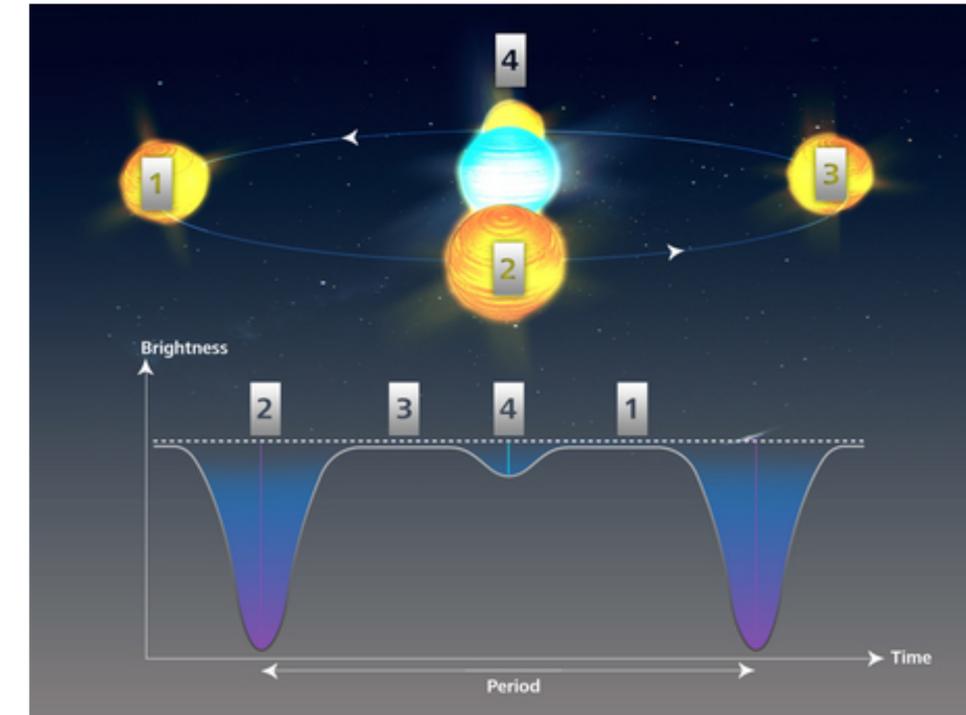
Se resuelven por separado en un telescopio, o bien se observa una de ellas describiendo una órbita alrededor de un punto. Hoy día se resuelven separaciones de 10^{-3} arcsec.



Binarias eclipsantes:

El plano orbital es tal que las estrellas se eclipsan mutuamente, lo cual permite identificarlas fotométricamente.

Con esta técnica también pueden detectarse exoplanetas.

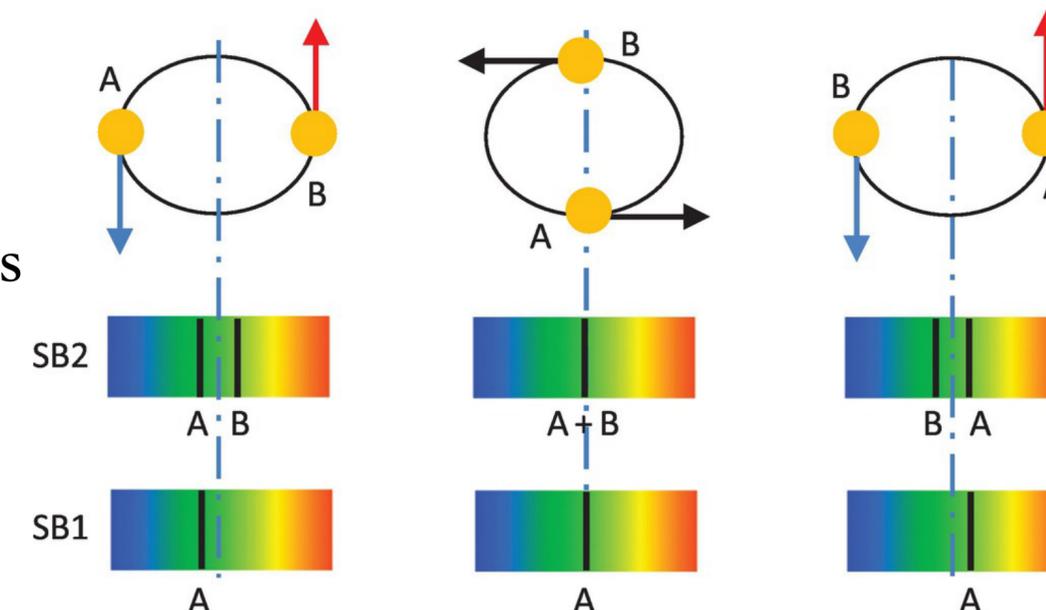


Binarias espectroscópicas:

Se resuelven por **efecto Doppler**.

Se utilizan espectrómetros y se miden las velocidades orbitales.

A partir del período y de las leyes de Kepler, es posible determinar las masas.

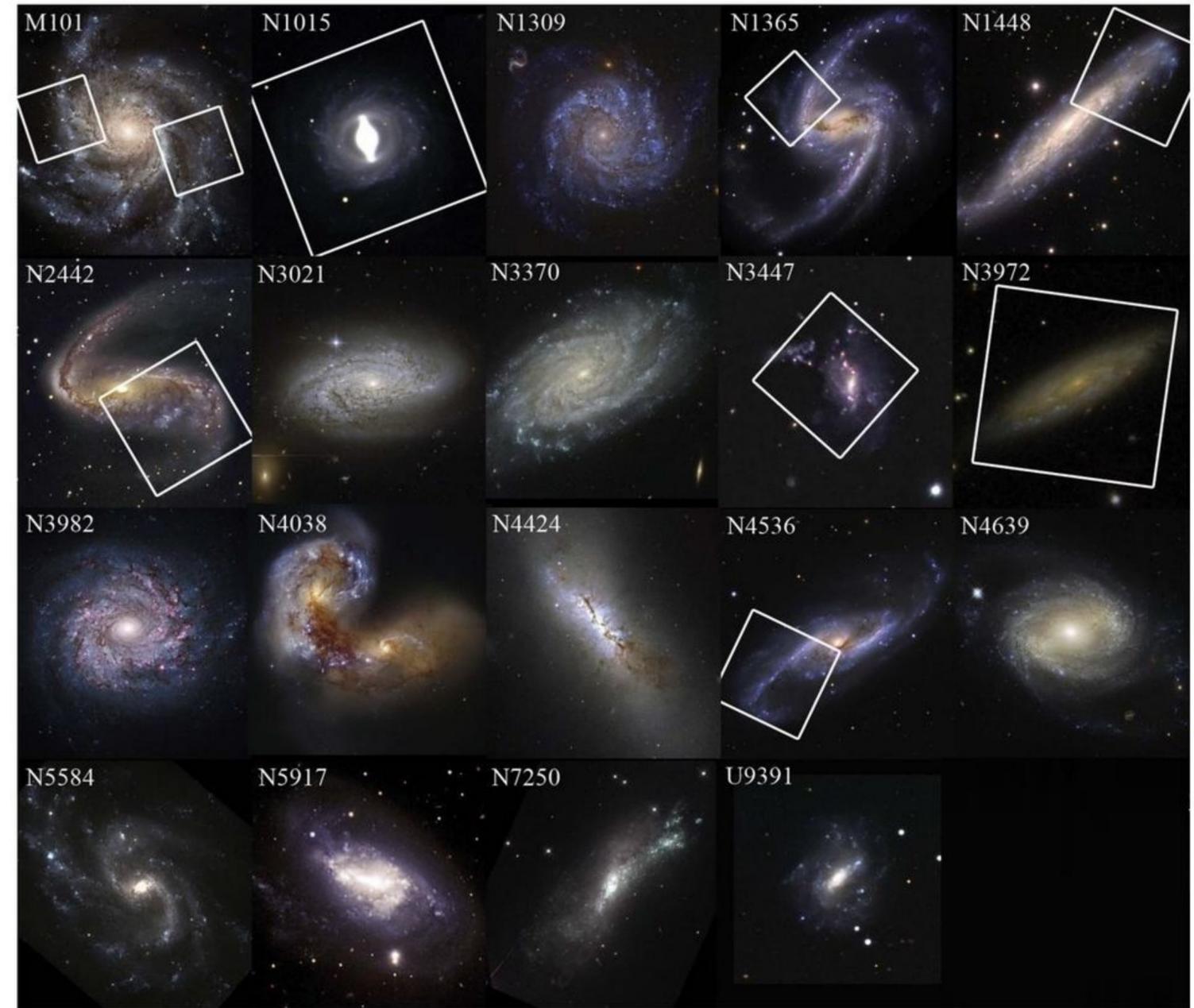


Galaxias

- Hay agrupaciones de mayor número de estrellas, tales como los **cúmulos galácticos** (50 - 500 estrellas) o los **cúmulos globulares** (10^5 estrellas).
- Y por supuesto las galaxias ($10^8 - 10^{12}$ estrellas). Podemos distinguir galaxias **espirales** (S), **barradas** (SB) e **irregulares** (Ir).
- Las galaxias están compuestas de estrellas, gas interestelar y polvo. La masa de gas y polvo no es despreciable.
- Si las galaxias giran alrededor de su CM siguiendo las leyes de Newton, giran muy rápido para la masa que tienen. Esta discrepancia da origen a la propuesta de **materia oscura**.

Distancias

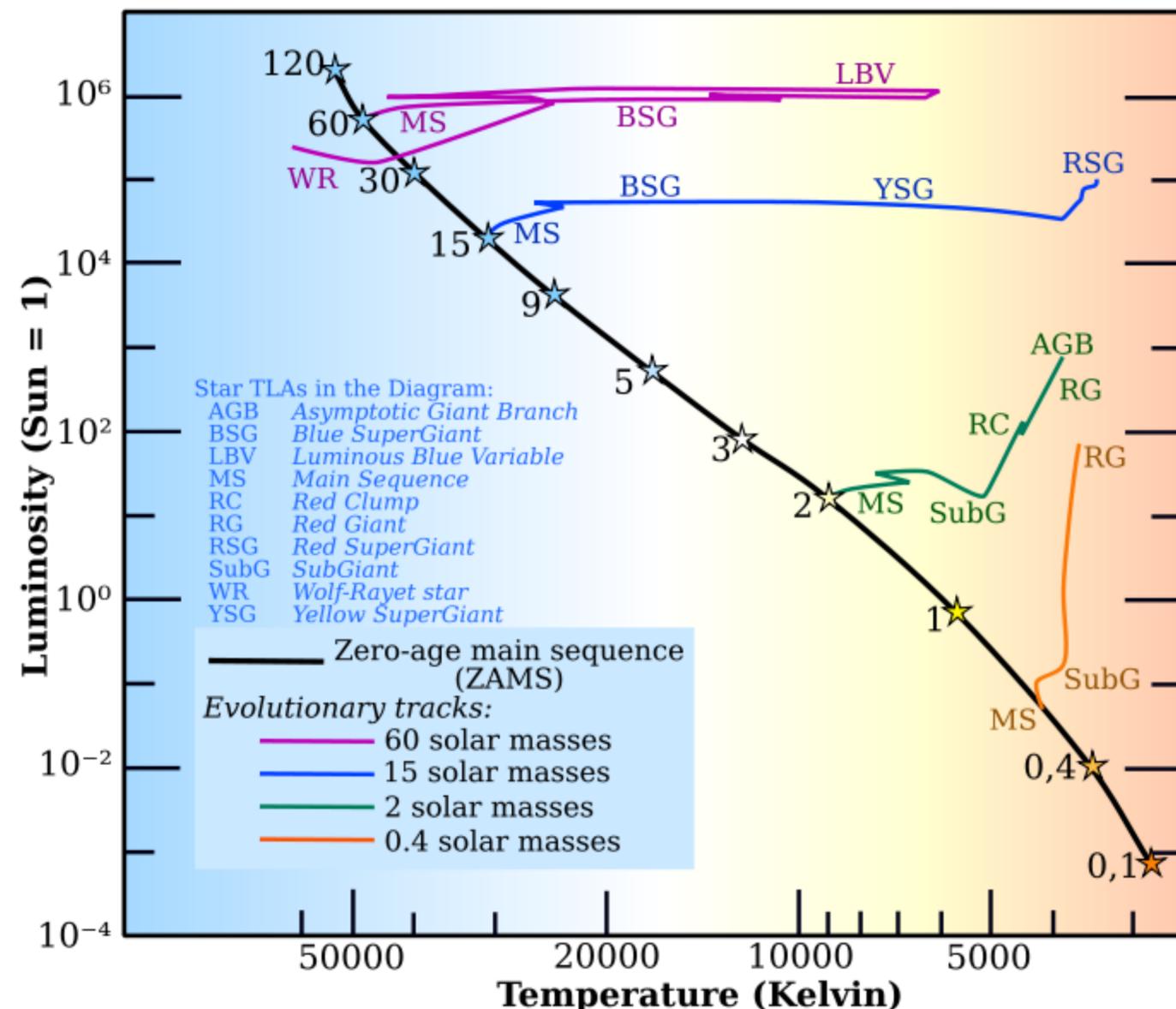
- 10^{13} cm — 1 UA (distancia Sol-Tierra)
- 10^{20} cm — cúmulos globulares ($1 \text{ pc} = 3 \cdot 10^{18} \text{ cm}$)
- 10^{23} cm — galaxias (kpc)
- 10^{25} cm — cúmulos de galaxias (Mpc)
- 10^{26} cm — gran escala (paredes y filamentos)
- 10^{28} cm — radio de Universo ($T = 13.7 \text{ Gyr}$)



- Las galaxias se agrupan en **cúmulos de galaxias**. La Vía Láctea por ejemplo pertenece al llamado Grupo Local.
- A escalas aún mayores, la distribución de materia presenta una estructura muy inhomogénea, con paredes, filamentos y grandes huecos.

Evolución estelar

- Las estrellas se ven como estructuras muy estáticas en el cielo, pero sin embargo **evolucionan** [Shu 1982, *The Physical Universe*, cap. 8].
- Al colapsar gravitatoriamente ingresan al diagrama HR por la derecha (baja T) y mas arriba o mas abajo según su masa.



- Permanecen millones de años en la secuencia principal, como una esfera de gas ideal que quema H en el núcleo.
- Una vez agotado el H en el núcleo y dependiendo de su masa, el núcleo se contrae y comienza a quemar H en su periferia.
- Las **estrellas frías** (como el Sol) se expanden y aumentan fuertemente su luminosidad debido a su mayor tamaño, viéndoselas ascender verticalmente por la rama de las **gigantes rojas**.
- Quemando elementos progresivamente mas pesados, pueden alcanzar la rama de las supergigantes y finalmente descender en luminosidad hasta convertirse en **enanas blancas**.
- En **estrellas calientes** de mas de 8 M_{sol}, las primeras etapas son similares pero en escalas de tiempo mucho mas cortas.
- La evolución de estrellas masivas es mucho mas vertiginosa, alcanzando la rama de las **supergigantes**, hasta agotar todo el combustible en el núcleo.
- Las capas externas explotan violentamente como supernovas, y puede quedar un centro que (dependiendo de su masa) colapse como **enana blanca, estrella de neutrones o agujero negro**.