

19 - Las Estrellas



¿Cómo podemos estudiar los ciclos de vida de las estrellas?

Una estrella puede vivir de millones a miles de millones de años.

nunca vamos a observar una estrella en particular evolucionando desde el nacimiento hasta la muerte así que ¿cómo podemos estudiar la evolución estelar?

La clave es que todas las estrellas no nacieron al mismo tiempo.

las estrellas que vemos hoy en día están en diferentes etapas de su vida

se observa sólo un breve momento en la vida de cualquier estrella

mediante el estudio de un gran número de estrellas, se obtiene una "instantánea" de un momento en la historia de la comunidad estelar

podemos sacar conclusiones como lo haríamos con los datos del censo humano ... entonces hacemos demografía estelar!

Las estrellas que observamos también tienen masas diferentes.

contando estrellas de diferentes masas, podemos determinar cuánto tiempo las estrellas de una masa dada se encuentran en una determinada etapa de la vida.

Pero, ¿cómo podemos medir la masa de una estrella?

¿Qué cantidades podemos medir y cómo podemos usarlas para aprender sobre las estrellas?

Clasificación de las Estrellas

Estrellas fueron clasificados originalmente basado en:

- su brillo
- su ubicación en el cielo

Esta clasificación se refleja todavía en los nombres de las estrellas más brillantes ... las que podemos ver con nuestros ojos:

Orden de brillo dentro de una constelación

α Orionis

Genitivo latino de la constelación

δ Geminorum

El esquema de clasificación antiguo nos dice poco de la naturaleza (física) de una estrella.

Una estrella podría ser muy brillante

- porque es muy brillante en verdad
- porque está muy cerca de nosotros
- porque son realmente dos estrellas

Esa clasificación no nos decía nada sobre la distancia entre las estrellas dentro de una misma constelación.

En el siglo 20, los astrónomos desarrollaron un sistema de clasificación más apropiado, basado en:

- luminosidad de una estrella
- la temperatura de la superficie de una estrella


Dado que estas propiedades dependen de la masa de una estrella y la etapa en su vida:

medirlos nos permite reconstruir los ciclos de la vida estelar

¿Cómo medimos la temperatura de una estrella?

Podemos usar la espectroscopía para medir la radiación del cuerpo negro de una estrella.

Conociendo la ley de Planck y la ley de Wien, obtenemos la temperatura de una estrella.

Temperatura 

El diagrama Hertzsprung-Russell (H-R)

Un diagrama de gran utilidad para la comprensión de las estrellas.

Trazamos dos propiedades principales de estrellas:

Temperatura (x) vs Luminosidad (y) (diagrama teórico - diagrama HR)

Color (x) vs. Magnitud absoluta (y) (diagrama observacional – diagrama color-magnitud)

Estrellas tienden a agruparse en determinadas zonas.

Luminosidad

brillante

M_V

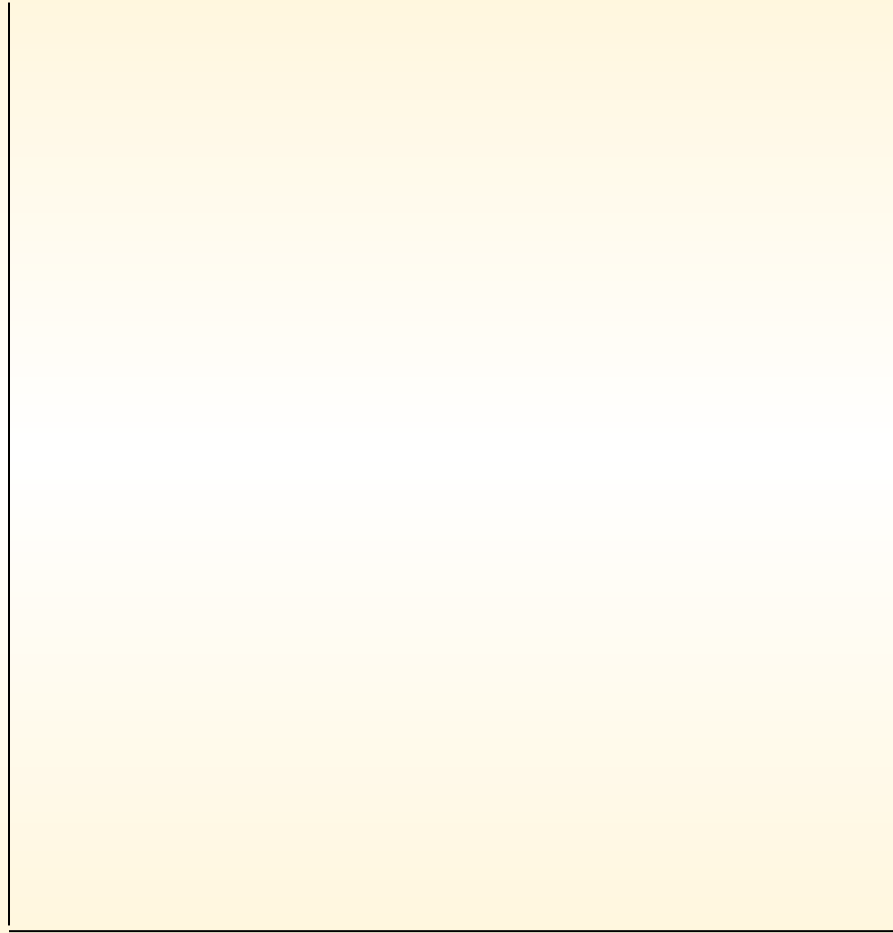
debíl

caliente

Color

frio

Temperatura





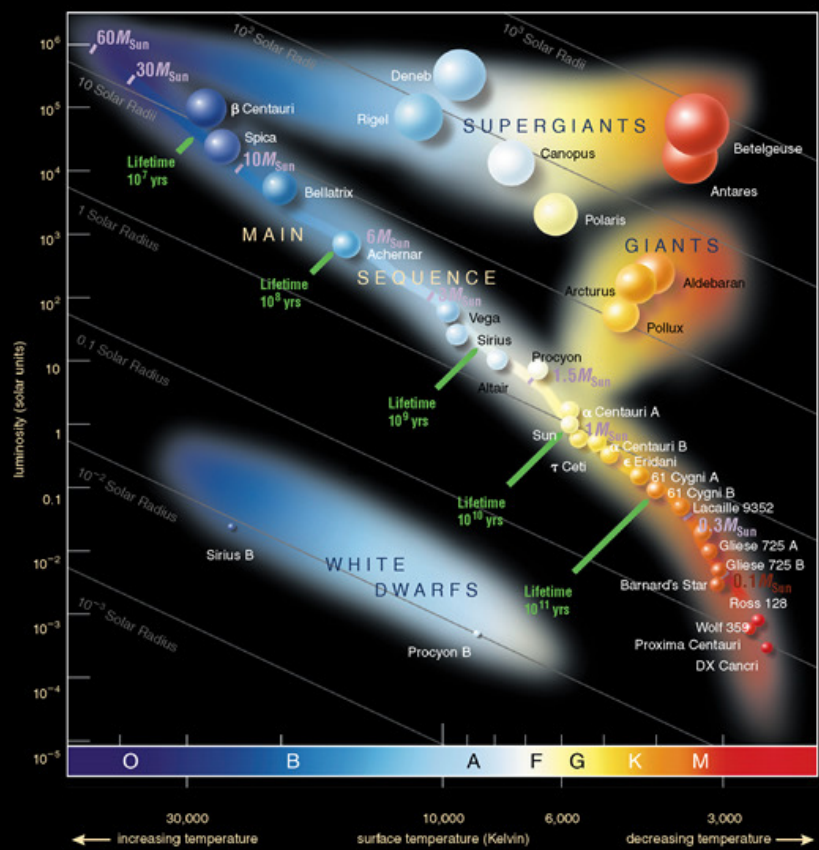
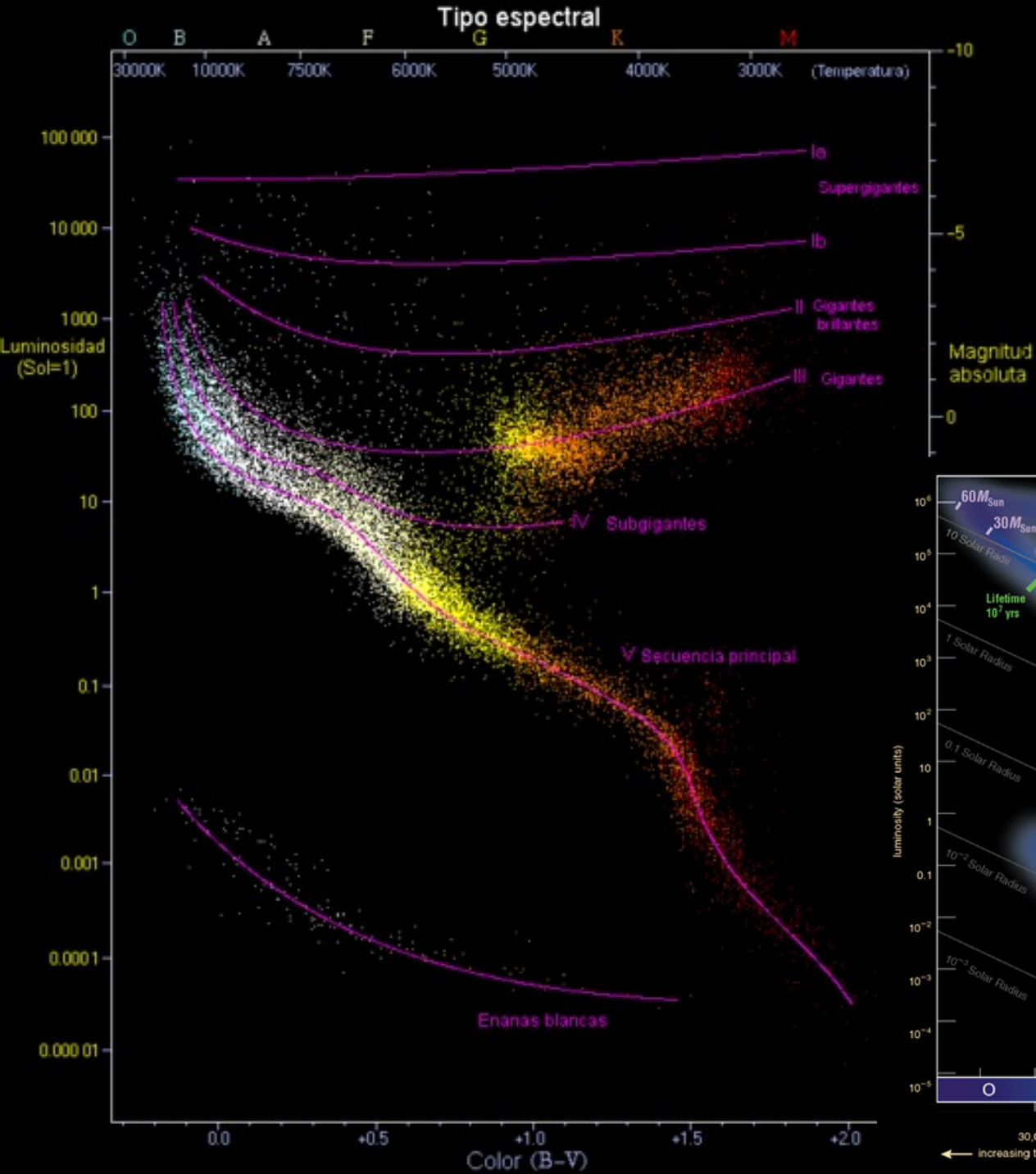
Ejnar Hertzsprung (8 de octubre de 1873, Copenhague – 21 de octubre de 1967, Roskilde) fue un astrónomo danés, que también ejerció como químico. Conocido por elaborar en 1911 un diagrama que relacionaba la luminosidad de las estrellas conocidas en función de su color.

Henry Norris Russel (1877-1957) era un astrónomo y filósofo estadounidense. Estudió en la Universidad de Princeton, donde se convirtió en profesor de astronomía en 1905 y después director del observatorio en 1911. Junto a Ejnar Hertzsprung, aunque trabajando de forma independiente, desarrolló el diagrama de Hertzsprung-Russell (hacia el 1910).

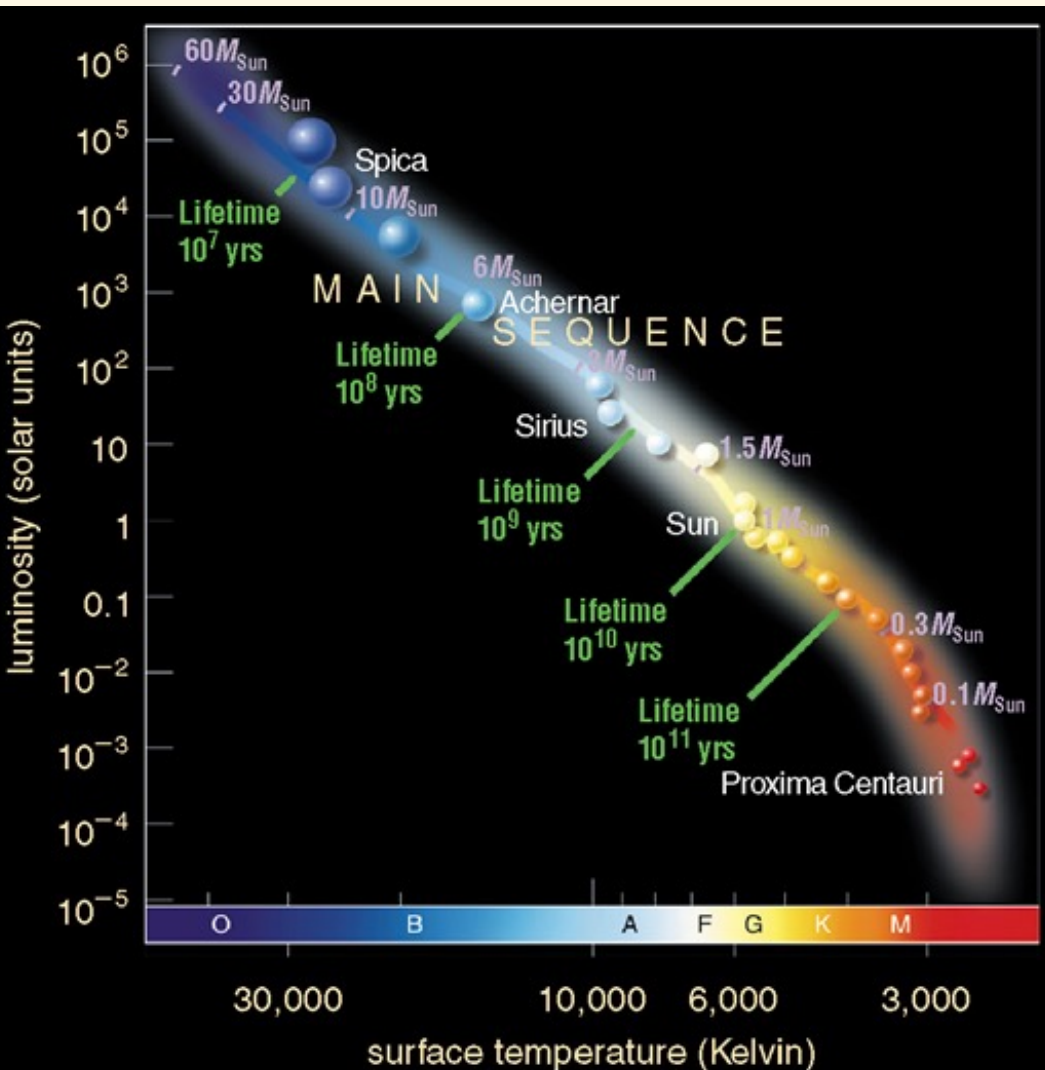


Si ponemos los datos de estrellas en un diagrama con su temperatura en la eje x y su luminosidad en la eje y llamamos esta diagrama **diagrama Hertzsprung-Russel**. Por la mayoría los teóricos utilizan esto.

También podemos utilizar su color en la eje x y su magnitud absoluta como eje y. Esta diagrama se llama **diagrama Color- Magnitud** y nos da la misma información. Los observadores por la mayoría utilizan esta manera de clasificar las estrellas.



La secuencia principal (Main Sequence MS)



90% de todas las estrellas se encuentran en la secuencia principal!

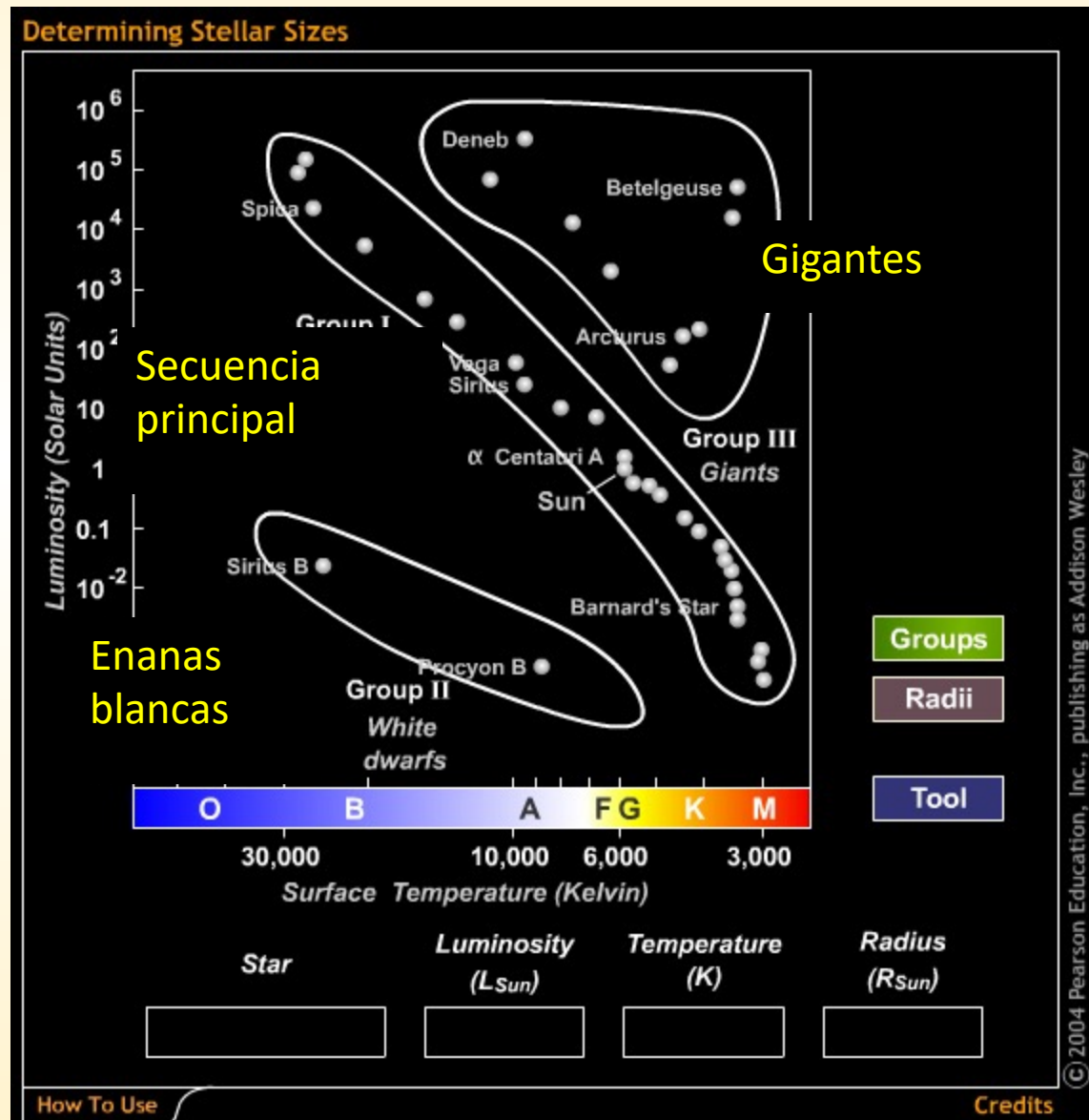
Luminosidad estelar

- ¿Cómo pueden dos estrellas tener la misma temperatura, pero luminosidades muy diferentes?
- La luminosidad de una estrella depende de dos cosas:
 - temperatura de la superficie
 - superficie (radio)

$$L = \sigma T^4 4 \pi R^2$$

- Las estrellas tienen diferentes tamaños!
- Las estrellas más grandes se encuentran en la esquina superior derecha del diagrama HR.

Regiones del diagrama H-R



Clases de luminosidad estelar Stellar Luminosity Classes

Class	Description
I	Supergiants
II	Bright giants
III	Giants
IV	Subgiants
V	Main sequence

Super-gigantes, Gigantes brillantes, Gigantes,
Sub-gigantes, Enanos (secuencia principal)

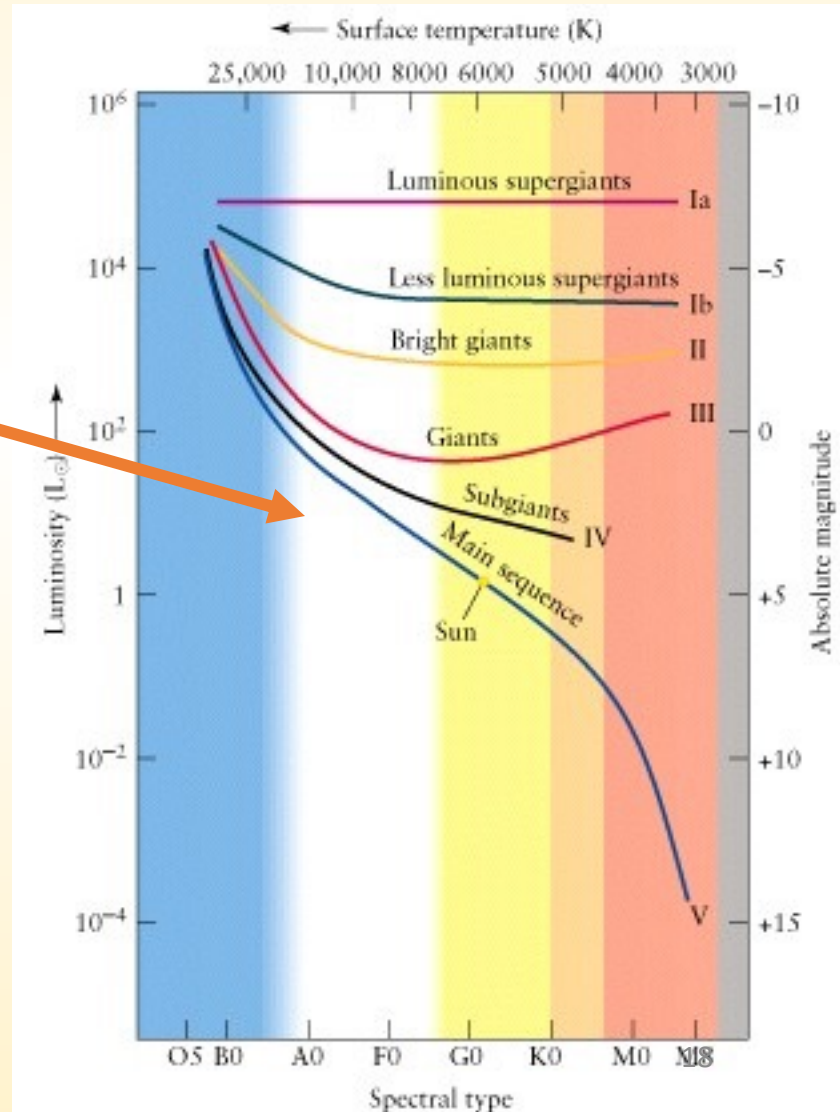
Stellar Luminosity Classes

Clase I se incluyen todas las supergigantes

Clase V incluye la secuencia principal de las estrellas

por ejemplo, el Sol es una G2 V

Si sabes el tipo espectral y la clase de luminosidad también puedes usar esto para medir la distancia a las estrellas.



Masas y Binarias

Masas de las estrellas

La **masa** es la propiedad más importante de cualquier estrella.

En cada etapa de la vida de una estrella, la masa determina ...

- qué es su luminosidad
- cuál es su tipo espectral

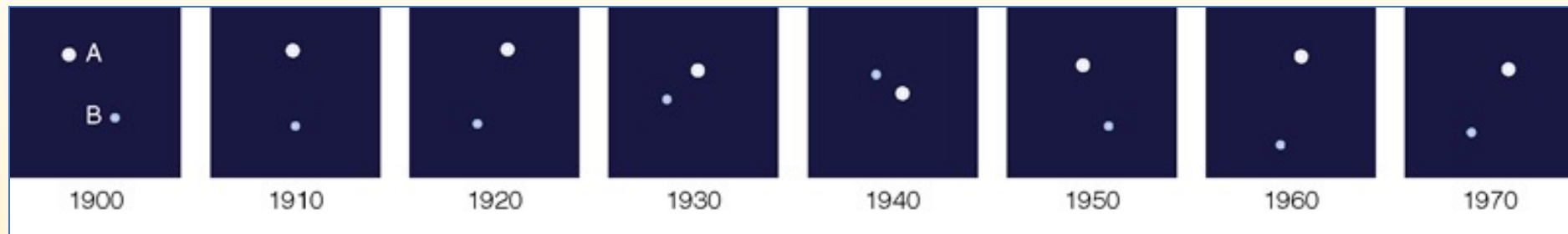
La masa de una estrella sólo se puede medir directamente por ...
observando el efecto que la gravedad de otro objeto tiene en la
estrella

Esto es más fácil de hacer por dos estrellas que orbitan entre sí ...
una estrella binaria!

Estrellas binarias (dos estrellas que orbitan entre sí)

Dobles ópticos = dos estrellas independientes que están en la misma zona del cielo

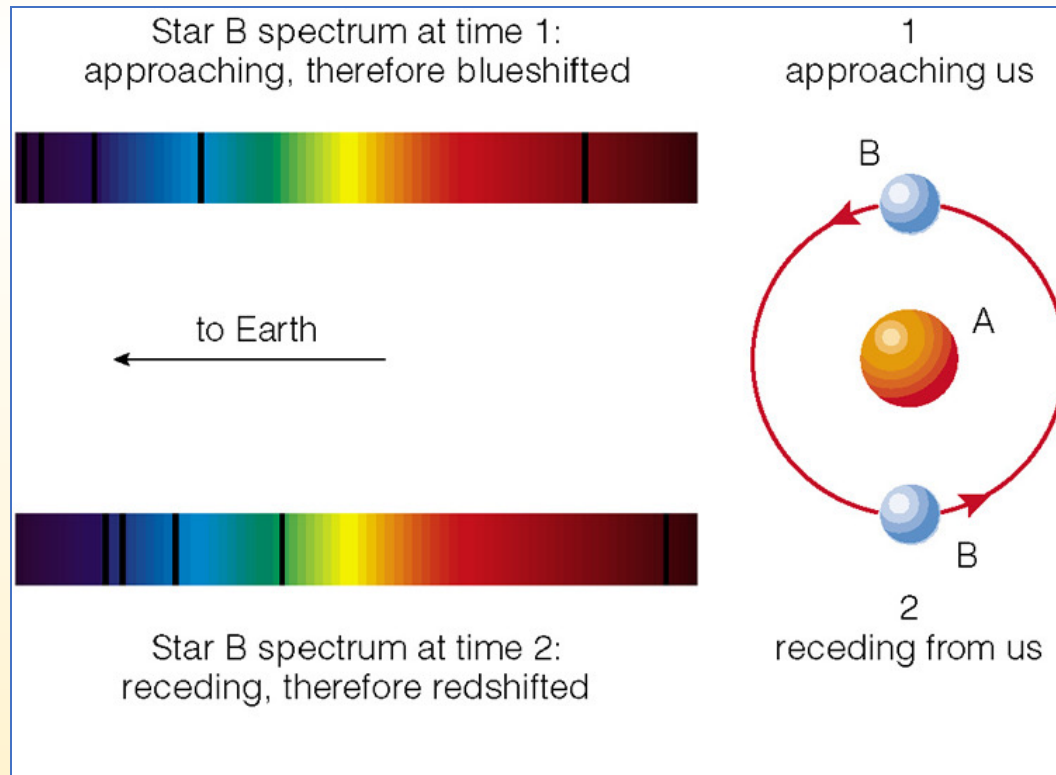
Binarias visuales = una binaria que es espacialmente resuelta, es decir, vemos dos estrellas (por ejemplo, Sirio)



Estrellas Binarias

Binarias Espectroscópicas

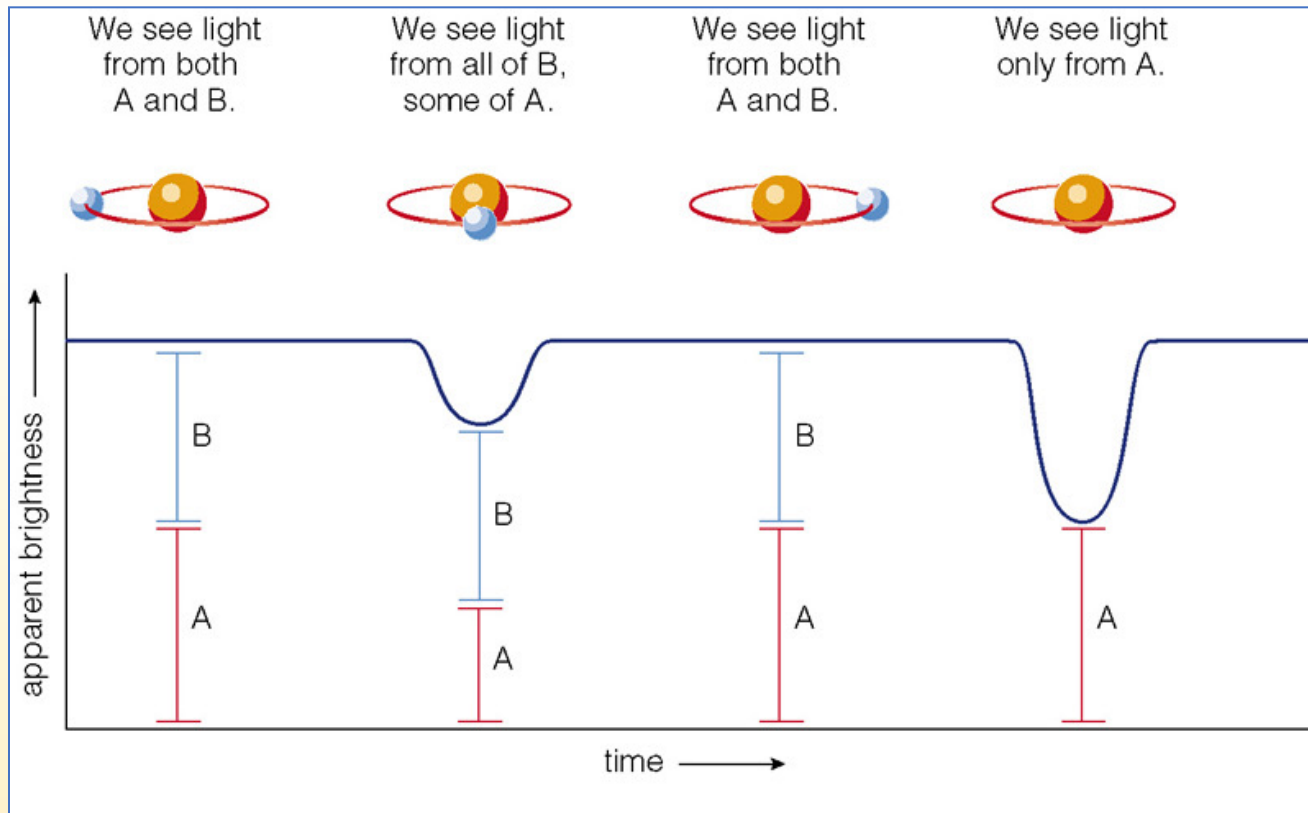
= una binaria que no podemos resolver espacialmente, es decir, sólo una estrella es visible; la existencia de la segunda estrella se deduce de la frecuencia Doppler de las líneas.

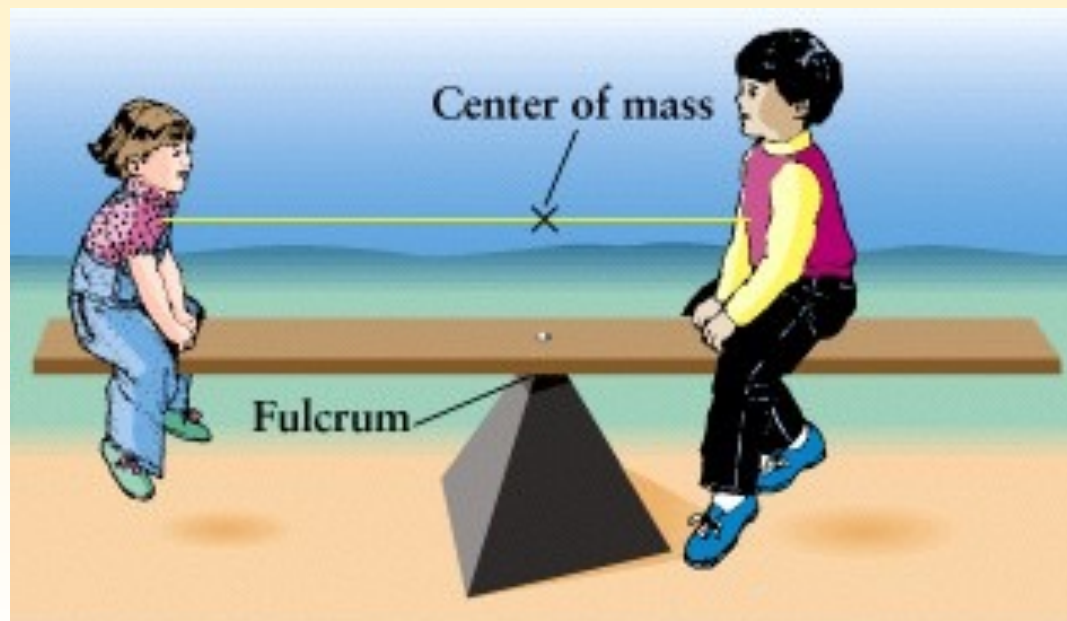


Estrellas Binarias

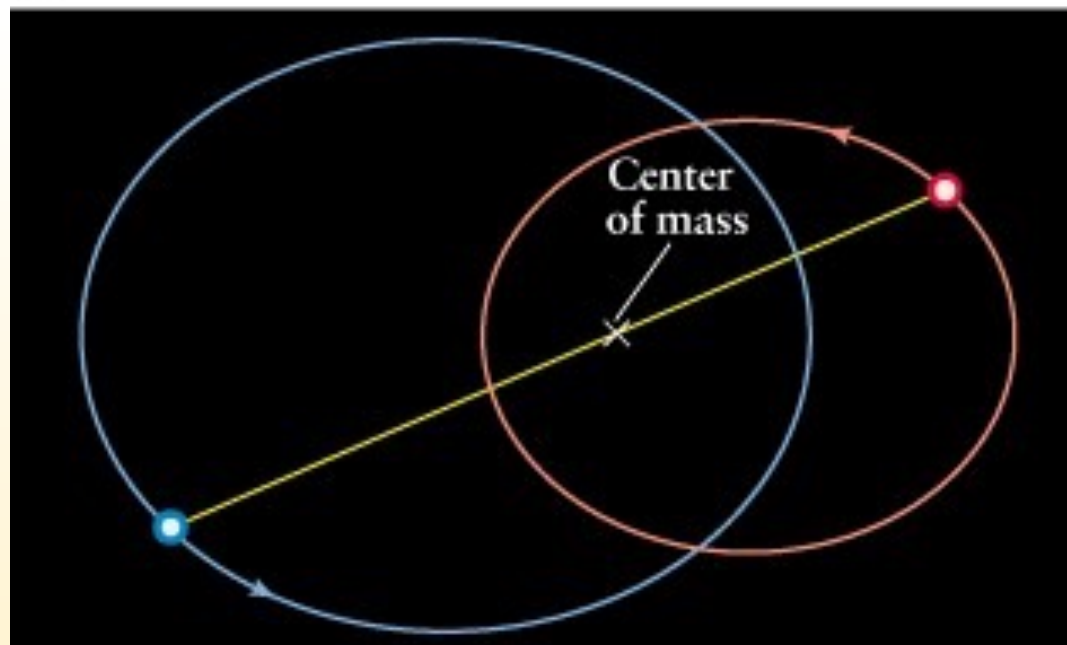
Binarias eclipsantes

= una binaria cuyo plano orbital se encuentra a lo largo de nuestra línea de visión, lo que causa "caída" en la curva de luz.





a



Estrellas Binarias

- Las estrellas orbitan entre sí a través de la gravedad.
- Así que las leyes de Kepler y Newton se aplican!
- Recuerde la versión de Newton de la tercera ley de Kepler:

$$P^2 = 4\pi^2 a^3 / G (m_1 + m_2)$$

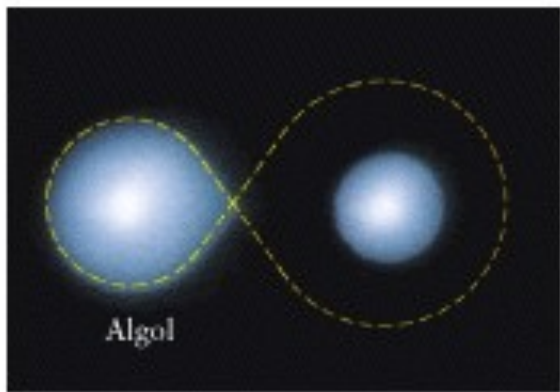
- Si puedes medir el período orbital del sistema binario (P) y la distancia entre las estrellas (a), entonces puedes calcular la suma de las masas de ambas estrellas ($m_1 + m_2$).

Transferencia de masa en sistemas binarios cercanos puede producir estrellas dobles inusuales

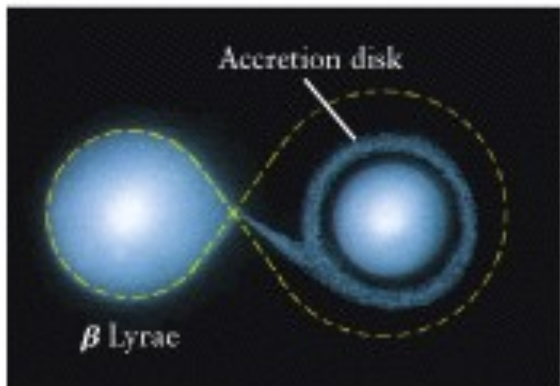
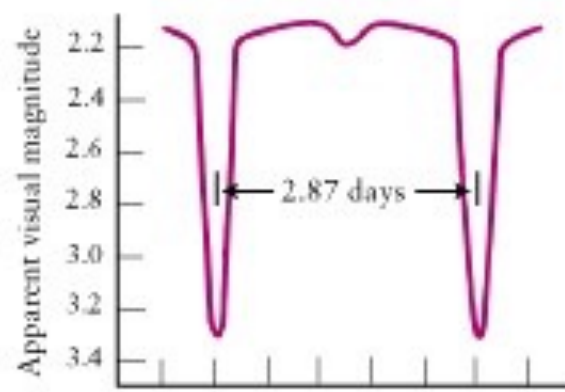
Sistemas binarios cercanos tienen separaciones de sólo unos pocos diámetros de una estrella o menos

Masa puede ser dramáticamente transferida entre las estrellas

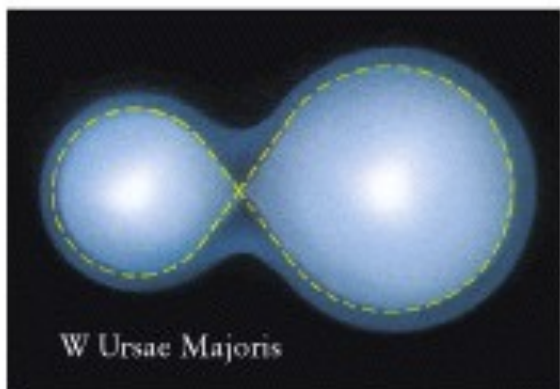
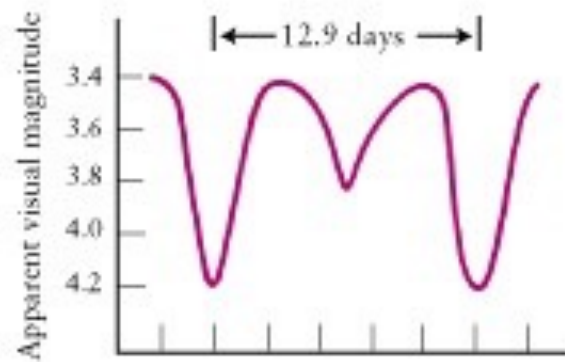
- Binaria independiente (no hay transferencia de masa)
- Binaria interactuaria (material puede fluir a través de un camino llamado el **lóbulos de Roche**)
- Binaria de contacto (dos estrellas en un sistema binario de estrellas cuyas componentes están tan cerca que se tocan entre sí o se han fusionado para compartir sus capas gaseosas)



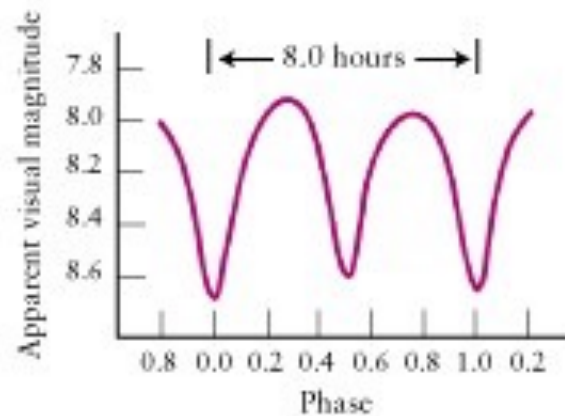
a



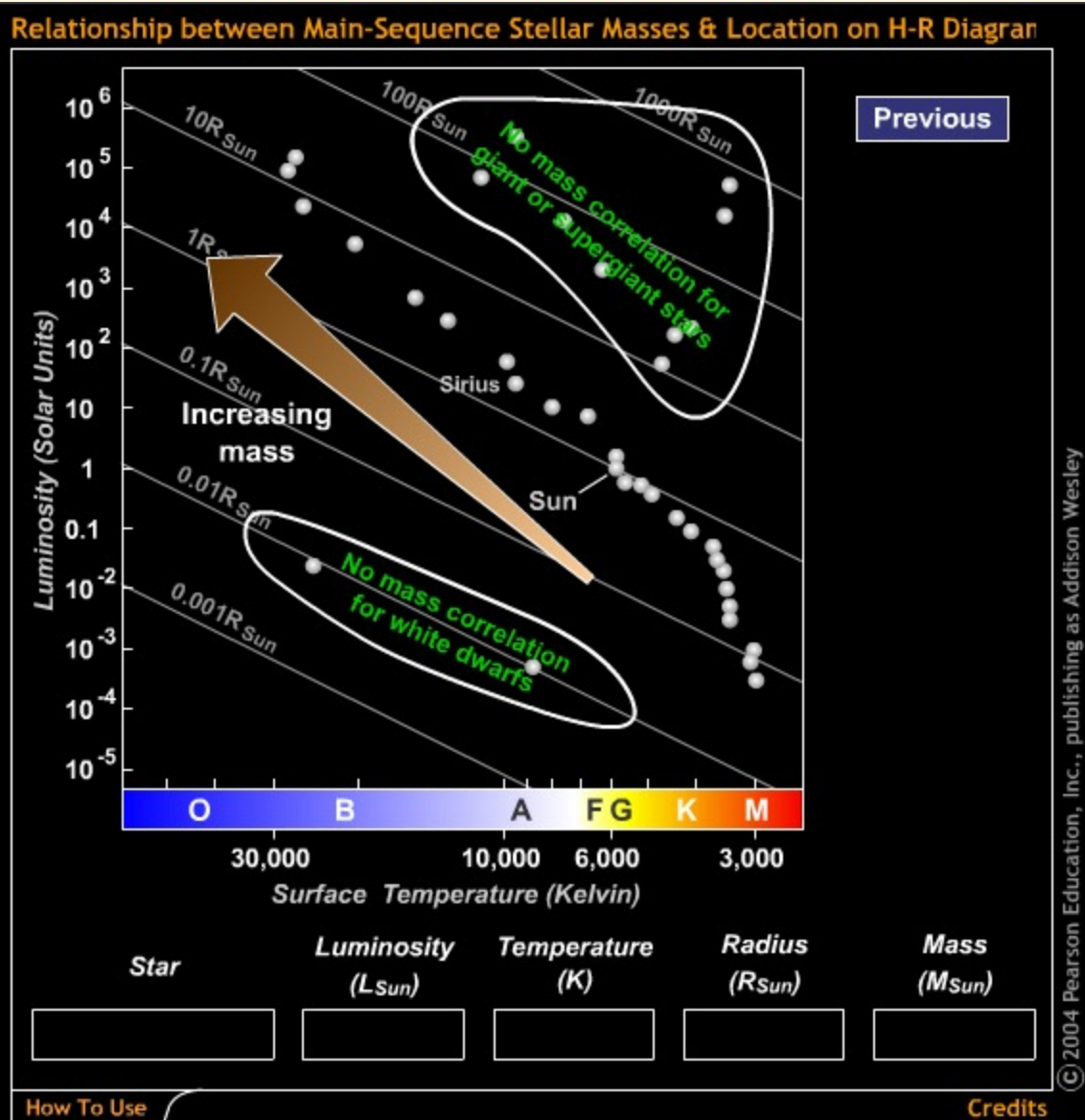
b



c



Masas estelares en el diagrama H-R



Existe solo una correlación para estrellas de la secuencia principal indicada por la flecha.

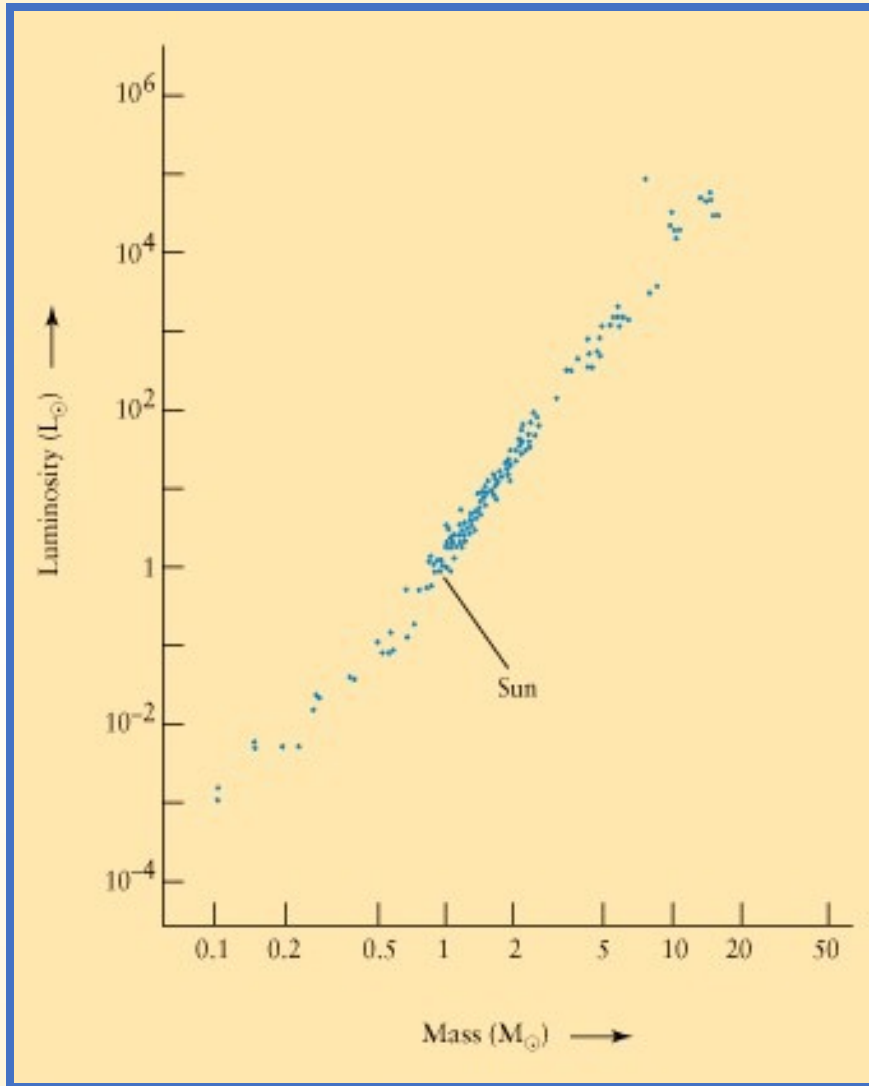
Usamos estrellas binarias para medir directamente la masa de las estrellas de todo tipo. Esto lleva a la:

Mass-Luminosity Relation relación masa-luminosidad

$$L \sim m^{3.5}$$

Solo para la secuencia principal

A medida que uno se mueve a la parte superior izquierda de la secuencia principal:
estrellas son más masivas
estrellas son más luminosas
estrellas aparecen en menor número



Existe una relación entre masa y luminosidad para las estrellas de secuencia principal

-
Mientras más masiva, más brillante!

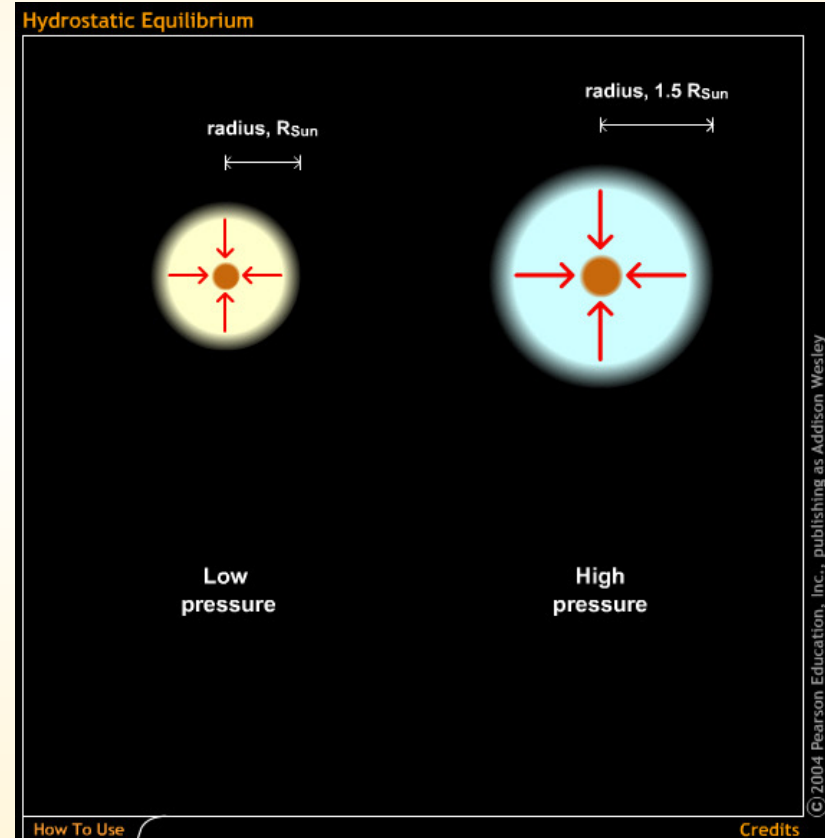
Mass–Luminosity Relation

Todas las estrellas de secuencia principal convierten H en He en sus núcleos.

La luminosidad depende directamente de la masa debido a que:

más masa significa más peso de las capas exteriores de la estrella

tasa de fusión nuclear debe ser más alta con el fin de mantener el equilibrio gravitatorio



Tiempo de permanencia en la secuencia principal (MS)

¿Cuánto tiempo pasará antes de que estrellas de MS agotan su combustible (hidrógeno)?

¿Cuánto combustible hay?

M

¿Qué tan rápido es consumido?

$L \sim M^{3.5}$

¿Cuánto tiempo pasa antes que se agote?

$$M/L = M/M^{3.5} = M^{-2.5}$$

Lifetime on the Main Sequence

- Enanos O y B queman combustible como un autobús!
- Enanos M queman combustible como un coche compacto!
- Nuestro Sol tendrá una duración de 10^{10} años en la secuencia principal
- Tiempo de MS $\tau = 10^{10} \text{ yrs} / M^{2.5}$

Lifetime on the Main Sequence

Entonces, por ejemplo:

Enano B2 ($10 M_{\odot}$) tiene	$3.2 \times 10^7 \text{ yr}$
Enano F0 ($2 M_{\odot}$) tiene	$1.8 \times 10^9 \text{ yr}$
Enano M0 ($0.5 M_{\odot}$) tiene	$5.6 \times 10^{10} \text{ yr}$

Pero el Universo tiene $1,37 \times 10^{10}$ años de edad!

Cada enana M que se haya creado todavía está en la secuencia principal!

Cefeidas

Estrellas variables de tipo Cefeida

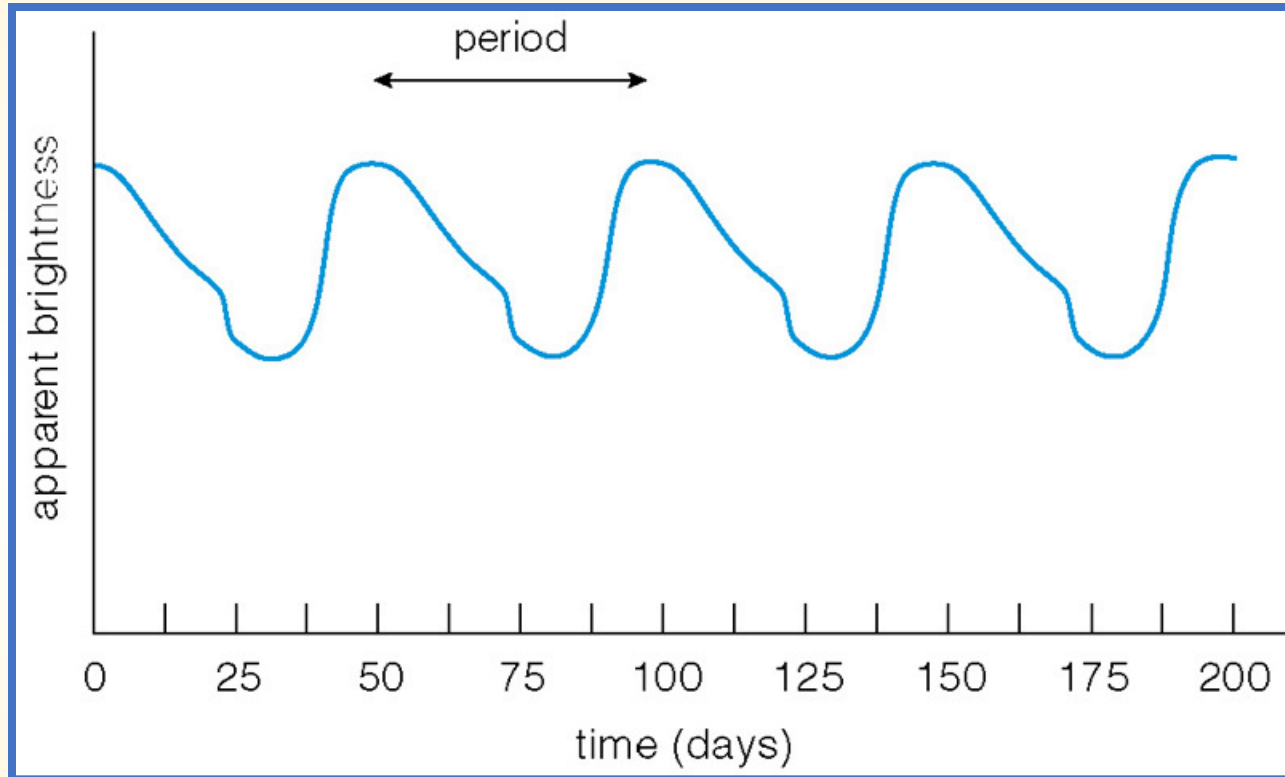
Henrietta Leavitt estudió las curvas de luz de estrellas variables en las nubes Magallanes.

Tienen la misma distancia



Henrietta Leavitt
(1868-1921)

Cepheid Variables (variables cefeidas)



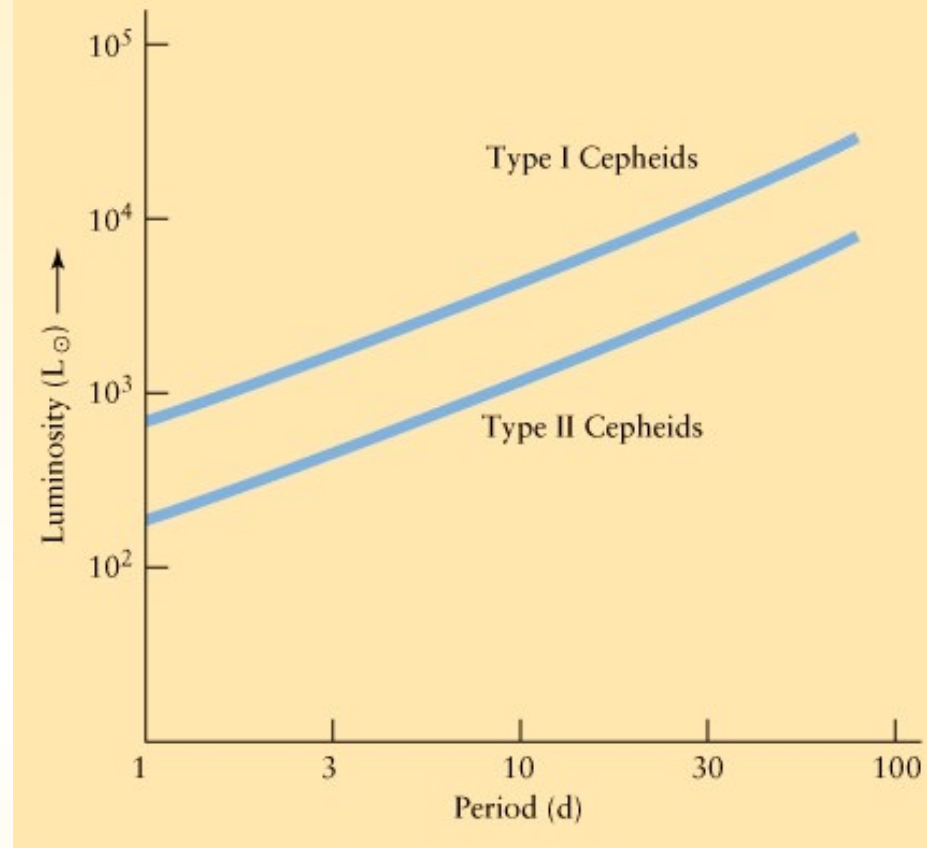
El brillo de las estrellas varía siguiendo un patrón regular.

Cepheid Variables (variables cefeidas)

F – G gigantes brillantes (II), cuyos períodos de pulsación (1-100 días) se hacen más largos, con más brillo ($M_V = -2$ a -6)

➔ Indicador de distancia!

Las Cefeidas
permitirán a los
astrónomos calcular
las enormes distancias



- Esta **relación período-luminosidad** es importante porque si un astrónomo puede encontrar un Cefeide y medir su período, puede determinar la luminosidad y la magnitud absoluta.
- La comparación de las magnitudes absoluta y aparente permite calcular la distancia.

relación período-luminosidad

Para Cefeidas classicas (tipo I):

$$M_V = -2.78 \log_{10}(P) - 1.35$$

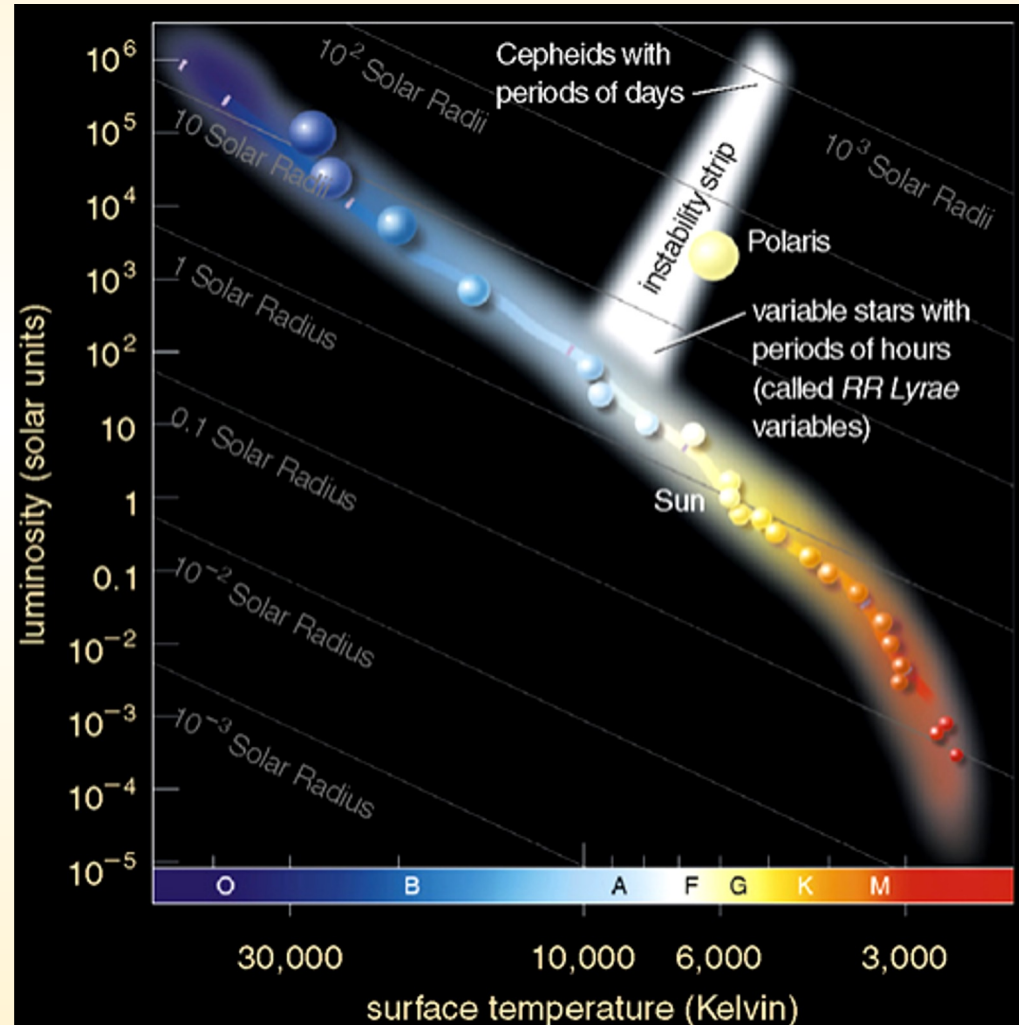
Esta ecuación es vieja, hoy en día la relación es mas complicada.

The Instability Strip

= La banda de inestabilidad

Parece que hay una región casi vertical en el diagrama HR, donde todas las estrellas dentro de ella (excepto en la secuencia principal) son variables.

Ellos pulsan debido a la ionización parcial!



Tipos de estrellas variables

- Alpha Cygni
- Cefeidas (beta Cephei y delta Cephei)
- Tipo W Virginis
- Delta Scuti
- Mira
- RR Lyrae
- RV Tauri
-

Cúmulos de Estrellas

Los cúmulos estelares son grupos muy grandes de estrellas.

Se pueden distinguir dos tipos de cúmulos estelares: los **cúmulos globulares** son grupos estrechos de cientos a millones de estrellas viejas que están unidas gravitacionalmente, mientras que los **cúmulos abiertos**, grupos de estrellas agrupados más libremente, generalmente contienen menos de unos pocos cientos de miembros, y a menudo son muy joven.

Cúmulos abiertos

- Unos 100 – unos 1000 de estrellas
- 10^6 a 10^9 años de edad
- Formas irregulares
- distribuido
- A veces con gas



Pléyades (8×10^7 años)

Cúmulos globulares

- $10^4 - 10^6$ estrellas
- 8 hasta 15 billones años de edad (10^{10} años)
- forma esférica
- denso
- sin gas



M 80 (1.2×10^{10} años)

Hoy sabemos que los cúmulos abiertos y globulares son realmente lo mismo.

Las galaxias forman estrellas en cúmulos estelares de todos los tamaños.

También en el pasado, las galaxias han formado cúmulos en todas las escalas, pero solo las masivos y densos han sobrevivido hasta hoy.

Hoy las galaxias como la Vía Láctea no forman tantas estrellas como en el pasado. Por lo tanto, la mayoría de los cúmulos jóvenes no pueden convertirse en cúmulos globulares en el futuro.

Cúmulos estelares son útiles para el estudio de la evolución estelar!

- todas las estrellas tienen la misma distancia
 - uso de magnitudes aparentes
- todas las estrellas se formaron al mismo tiempo
 - tienen la misma edad

Diagrama HR de las Pléyades

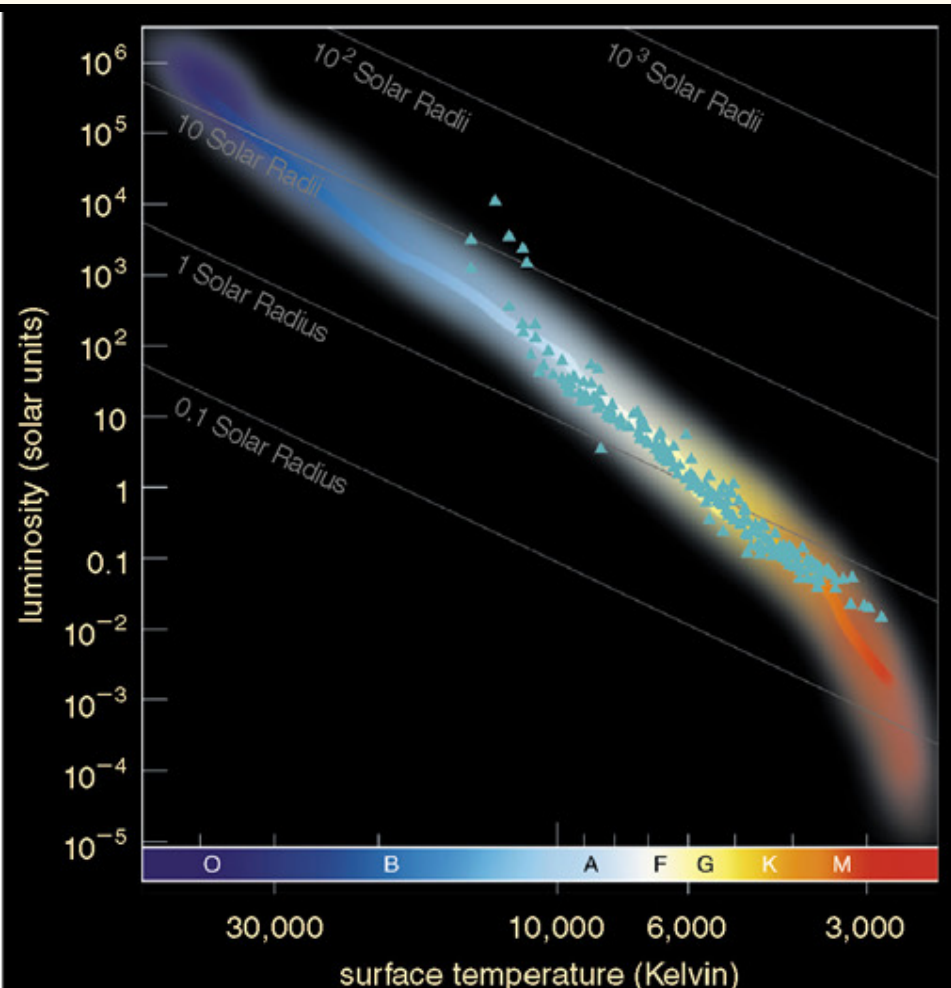
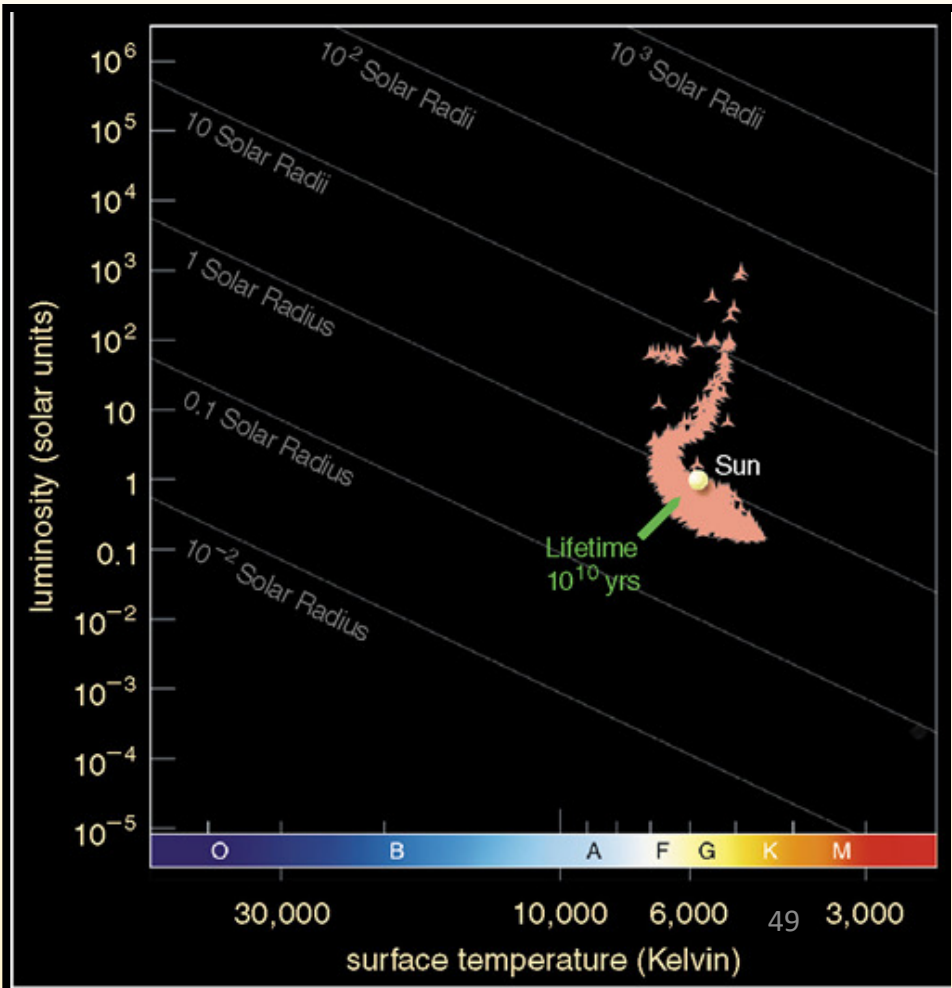
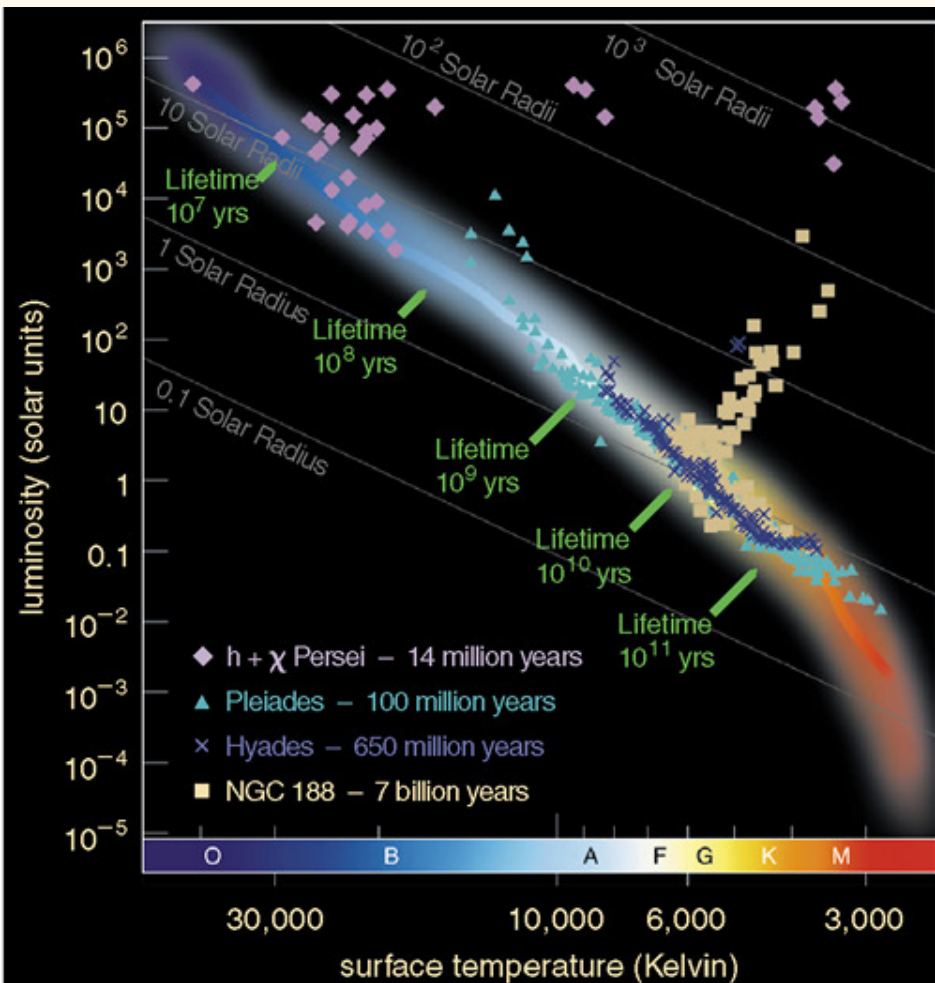


Diagrama HR de Palomar 3



Diagramas HR de cúmulos de estrellas indican la edad

- Todas las estrellas llegaron a la MS más o menos al mismo tiempo.
- El cúmulo es tan antiguo como las estrellas más luminosas (masivas) a la izquierda de MS.
- Todas estrellas de MS a la izquierda ya han agotado su combustible H y se van.
- La posición de las estrellas más calientes, más brillantes de la secuencia principal de un cúmulo se denomina punto de desvío de la secuencia principal.



Cúmulos de estrellas viejas tienen secuencias principales más cortas !