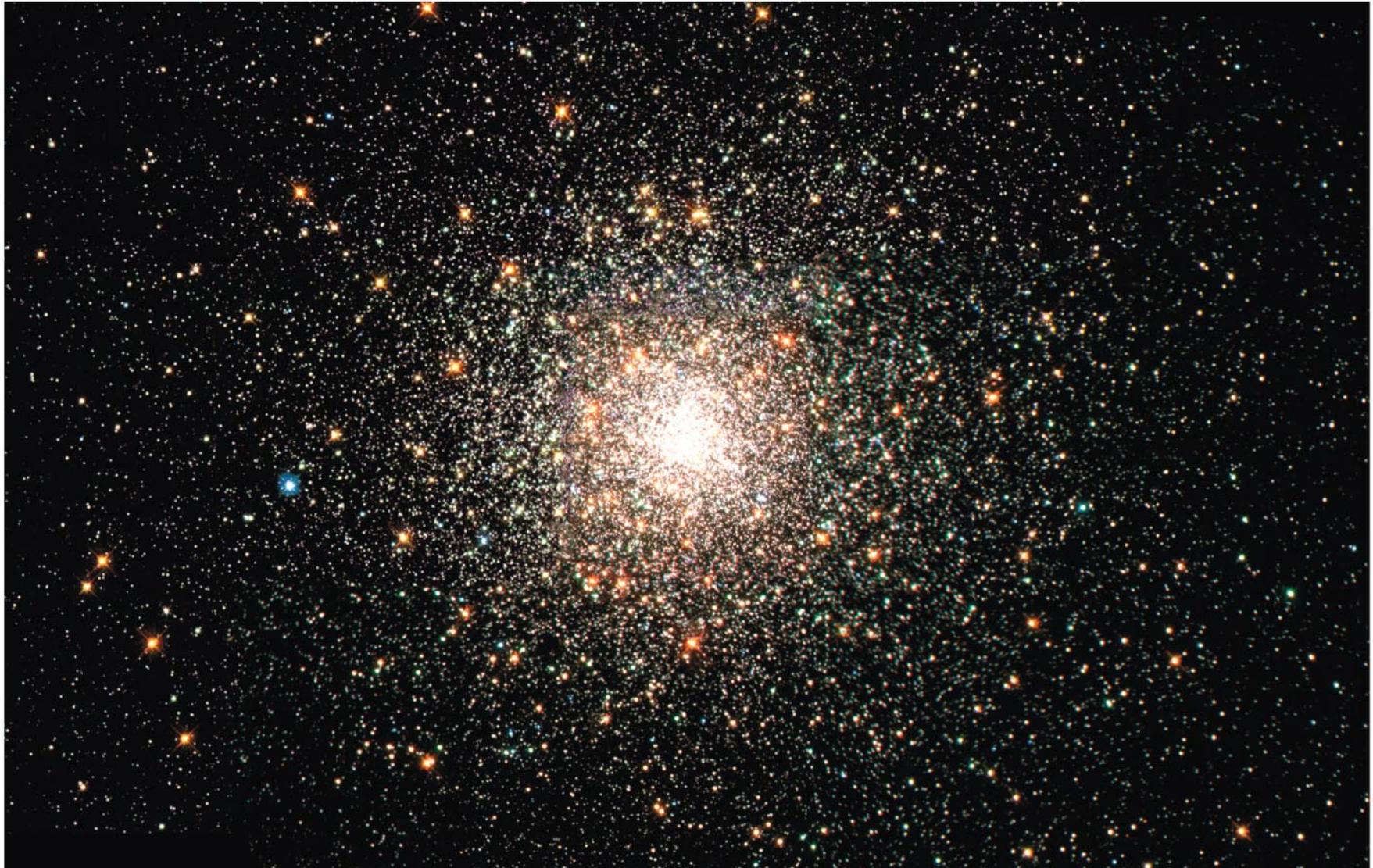


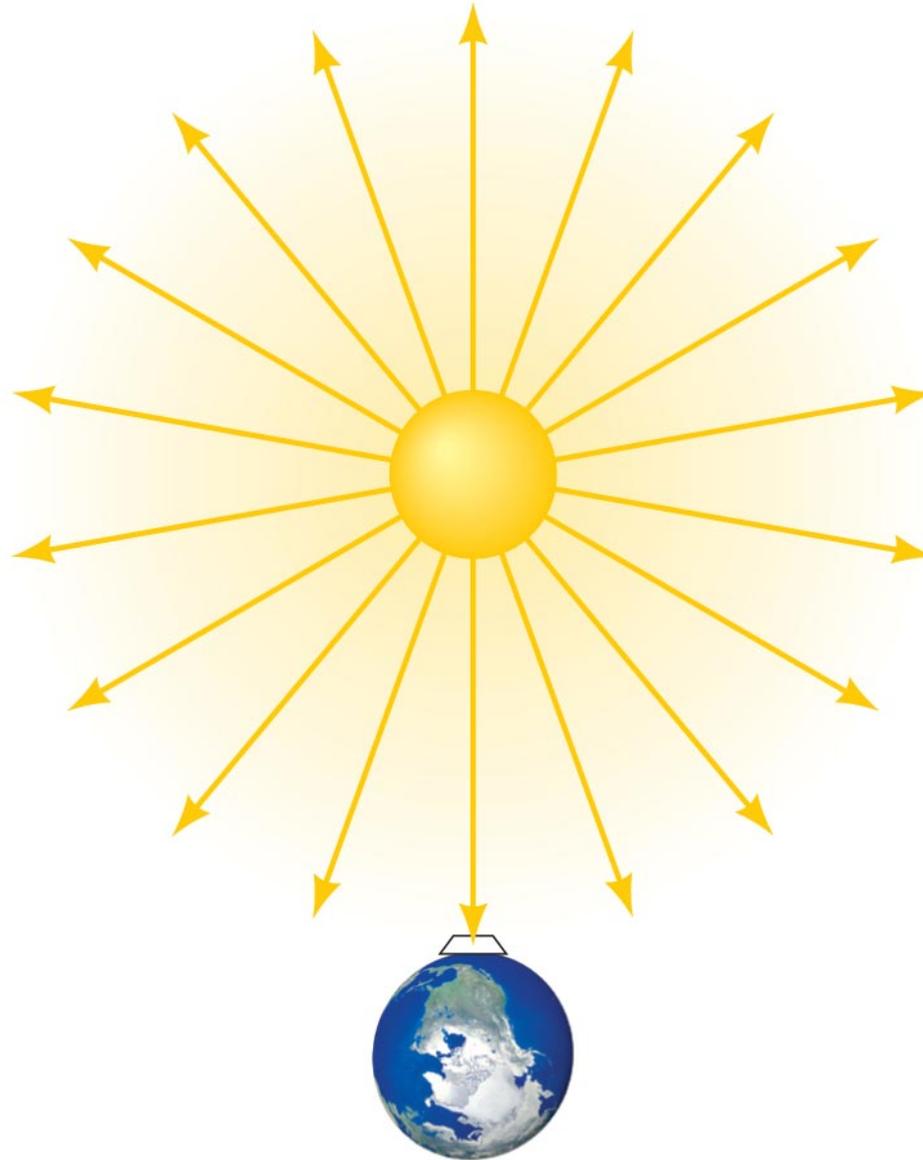
# Estrellas



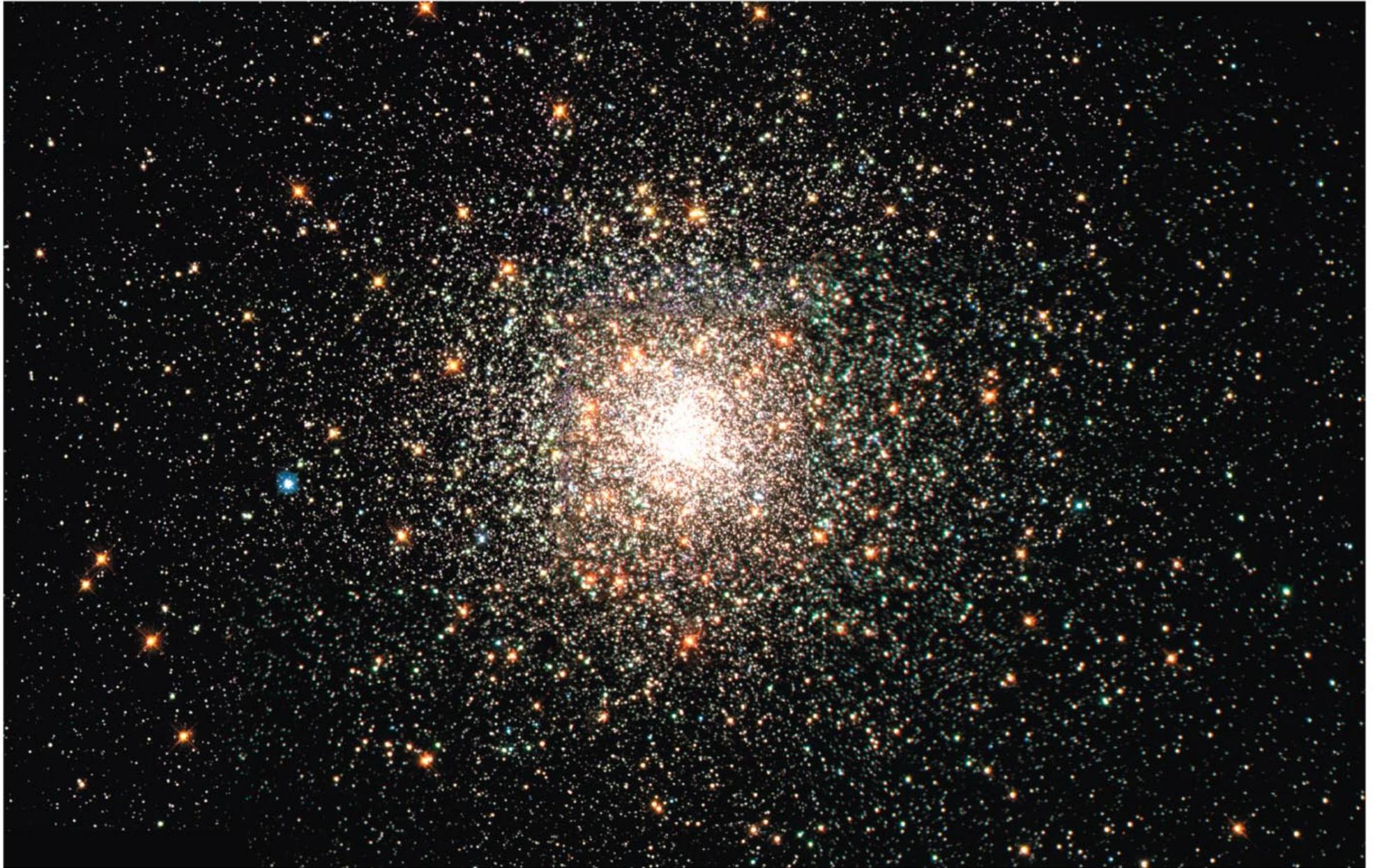
# Propiedades de las estrellas

- ¿Cómo medimos las luminosidades estelares?
- ¿Cómo medimos las temperaturas estelares?
- ¿Cómo medimos las masas estelares?

# ¿Cómo medimos las luminosidades estelares?

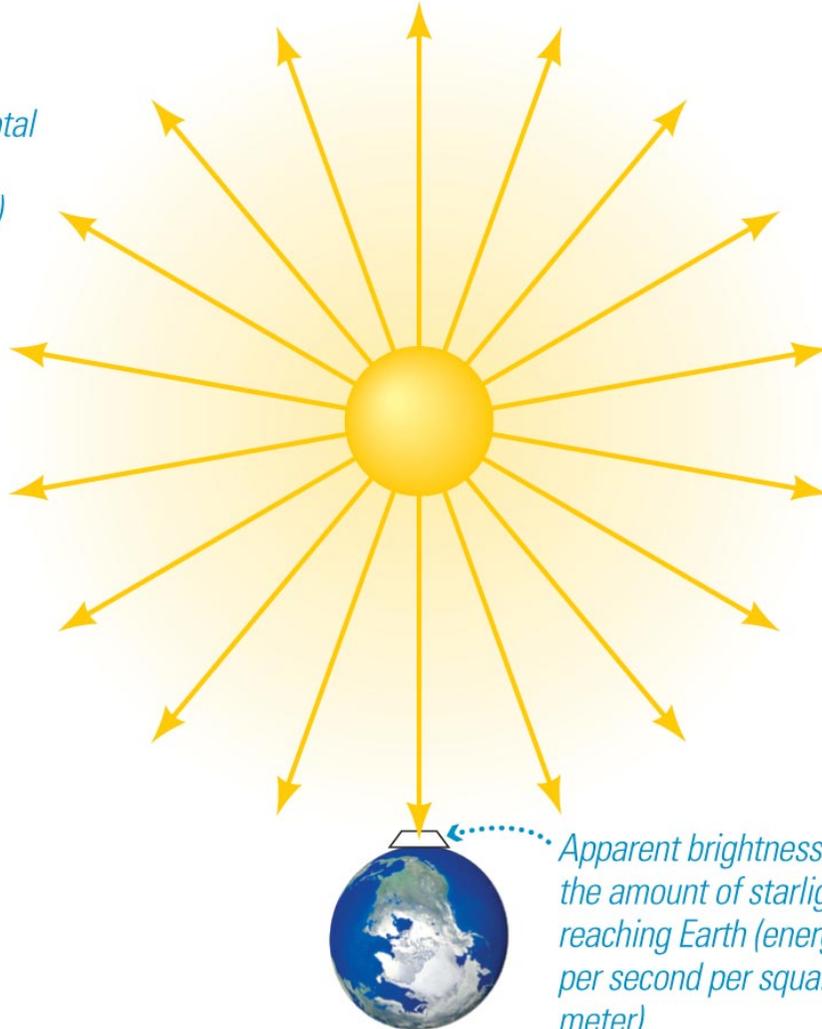


*Not to scale!*



El brillo de una estrella depende tanto de la distancia como de la luminosidad.

*Luminosity is the total amount of power (energy per second) the star radiates into space.*



*Not to scale!*

*Apparent brightness is the amount of starlight reaching Earth (energy per second per square meter).*

*Luminosidad:*

Cantidad de poder que irradia una estrella.

(energía por segundo = Watts)

*Brillo aparente:*

Cantidad de luz estelar que llega a la Tierra.

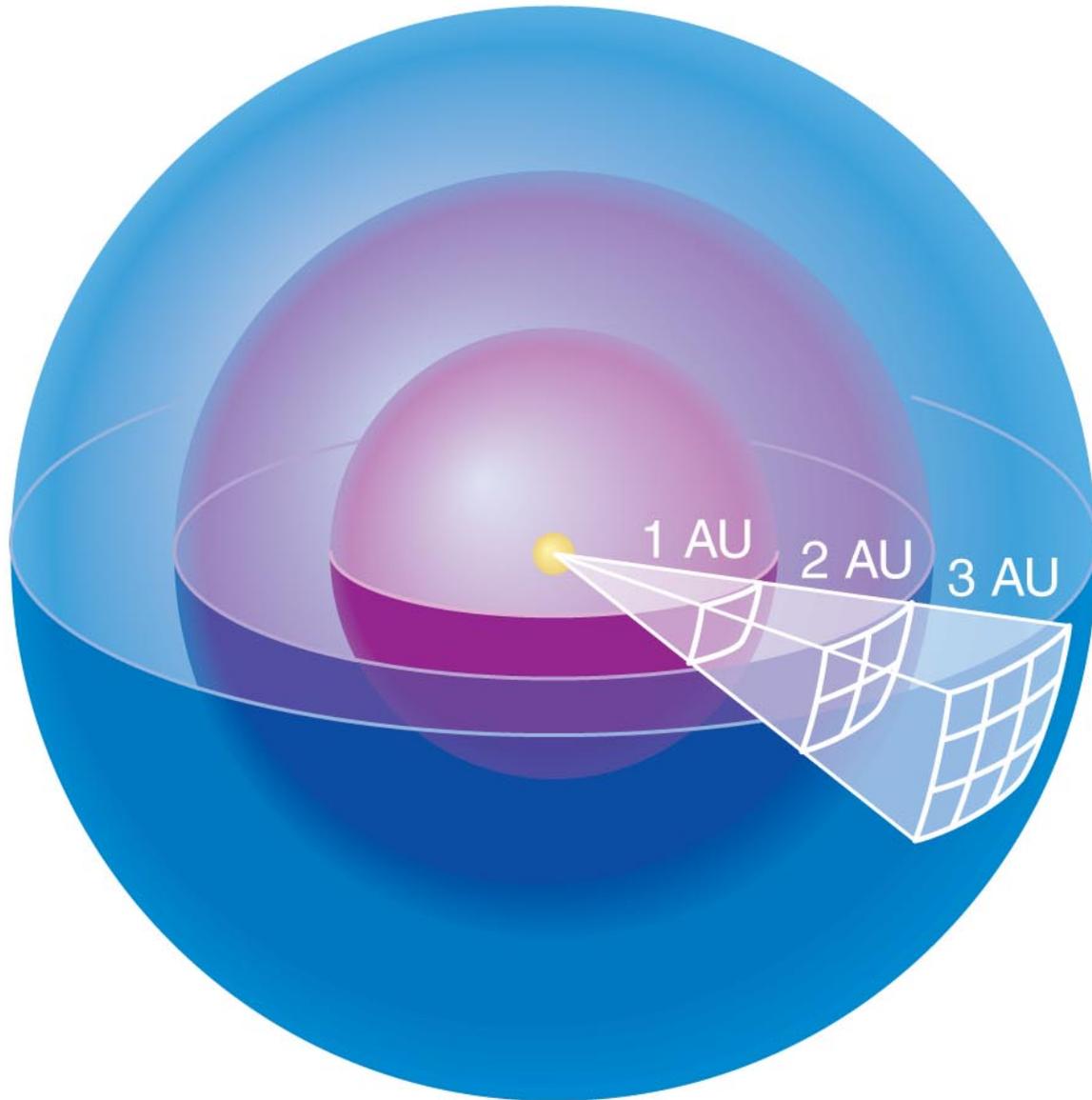
(energía por segundo por metro cuadrado)

Alpha Centauri y el Sol tienen aproximadamente la misma luminosidad. ¿Cuál se ve más brillante?

- A. Alpha Centauri
- B. El Sol

Alpha Centauri y el Sol tienen aproximadamente la misma luminosidad. ¿Cuál se ve más brillante?

- A. Alpha Centauri
- B. **El Sol**



La cantidad de luminosidad que pasa por cada esfera es la misma.

Area de esfera:

$$4\pi (\text{radio})^2$$

Divide la luminosidad por área para obtener brillo.

La relación entre el brillo aparente y la luminosidad depende de la distancia:

$$\text{Brillo} = \frac{\text{Luminosidad}}{4\pi (\text{distancia})^2}$$

Podemos determinar la luminosidad de una estrella si podemos medir su distancia y brillo aparente:

$$\text{Luminosidad} = 4\pi (\text{distancia})^2 \times (\text{brillo})$$

¿Cómo cambiaría el brillo aparente de Alpha Centauri si estuviera tres veces más lejos?

- A. Sería  $1/3$  tan brillante.
- B. Sería  $1/6$  tan brillante.
- C. Sería  $1/9$  tan brillo.
- D. Sería tres veces más brillante.

¿Cómo cambiaría el brillo aparente de Alpha Centauri si estuviera tres veces más lejos?

- A. Sería  $1/3$  tan brillante.
- B. Sería  $1/6$  tan brillante.
- C. Sería  $1/9$  tan brillante.**
- D. Sería tres veces más brillante.



Entonces, ¿a qué distancia están estas estrellas?

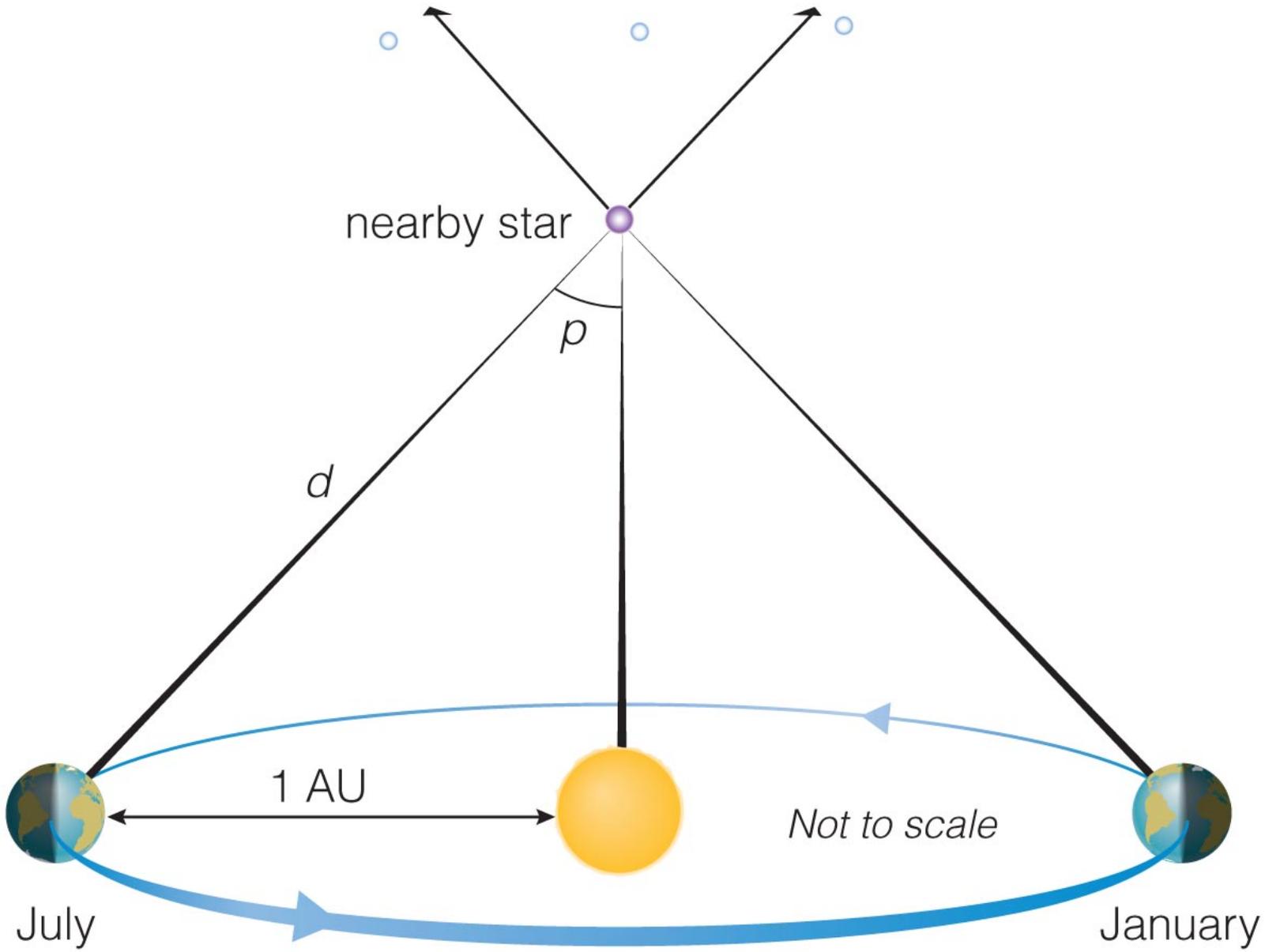
Every January,  
we see this:



distant stars



Every July,  
we see this:



# Paralaje y distancia

$p$  = ángulo de paralaje

$$d \text{ (en parsecs)} = \frac{1}{p \text{ (en arcosegundos)}}$$

$$d \text{ (en años luz)} = 3.26 \times \frac{1}{p \text{ (en arcosegundos)}}$$



Estrellas más luminosas:

$$10^6 L_{\text{Sun}}$$

Estrellas menos  
luminosas:

$$10^{-4} L_{\text{Sun}}$$

( $L_{\text{Sun}}$  es la luminosidad del  
sol)

# La escala de magnitud

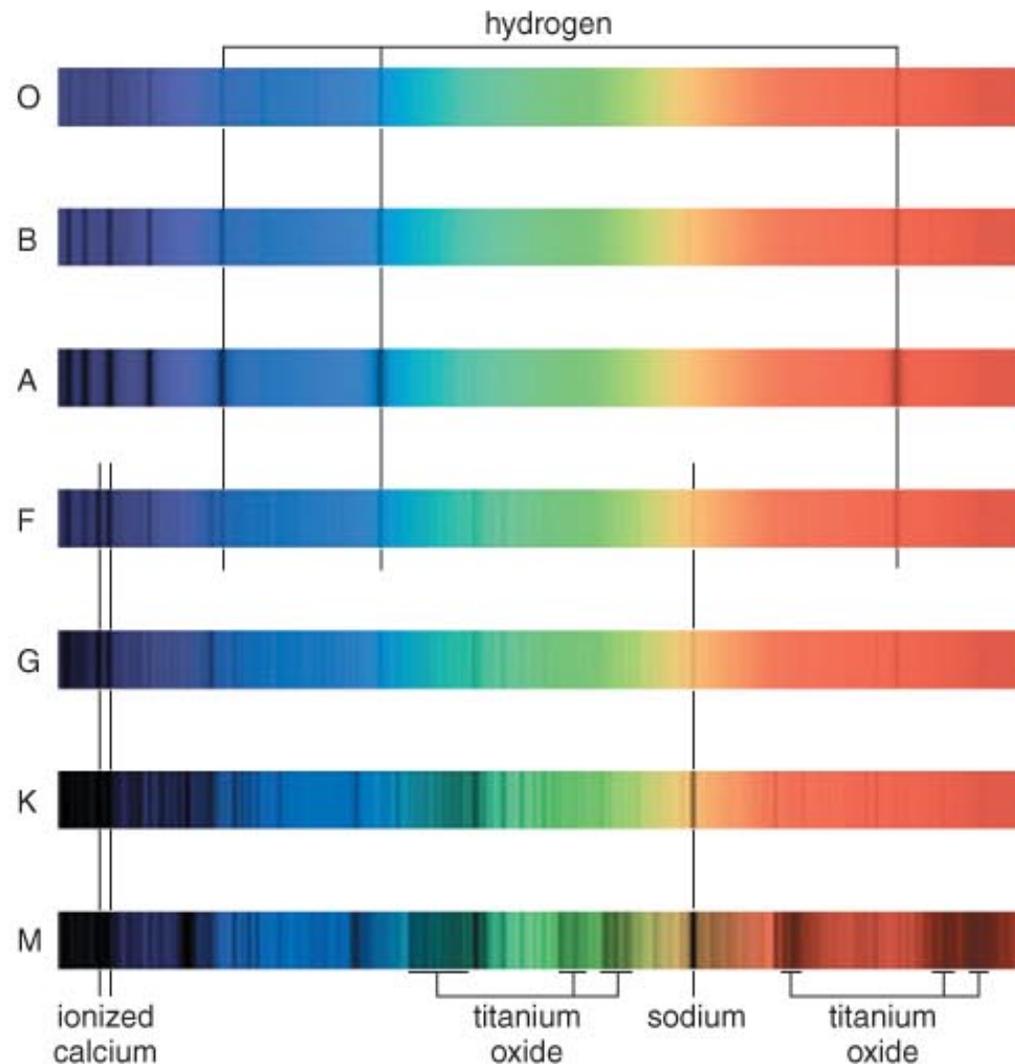
$m$  = magnitud aparente,

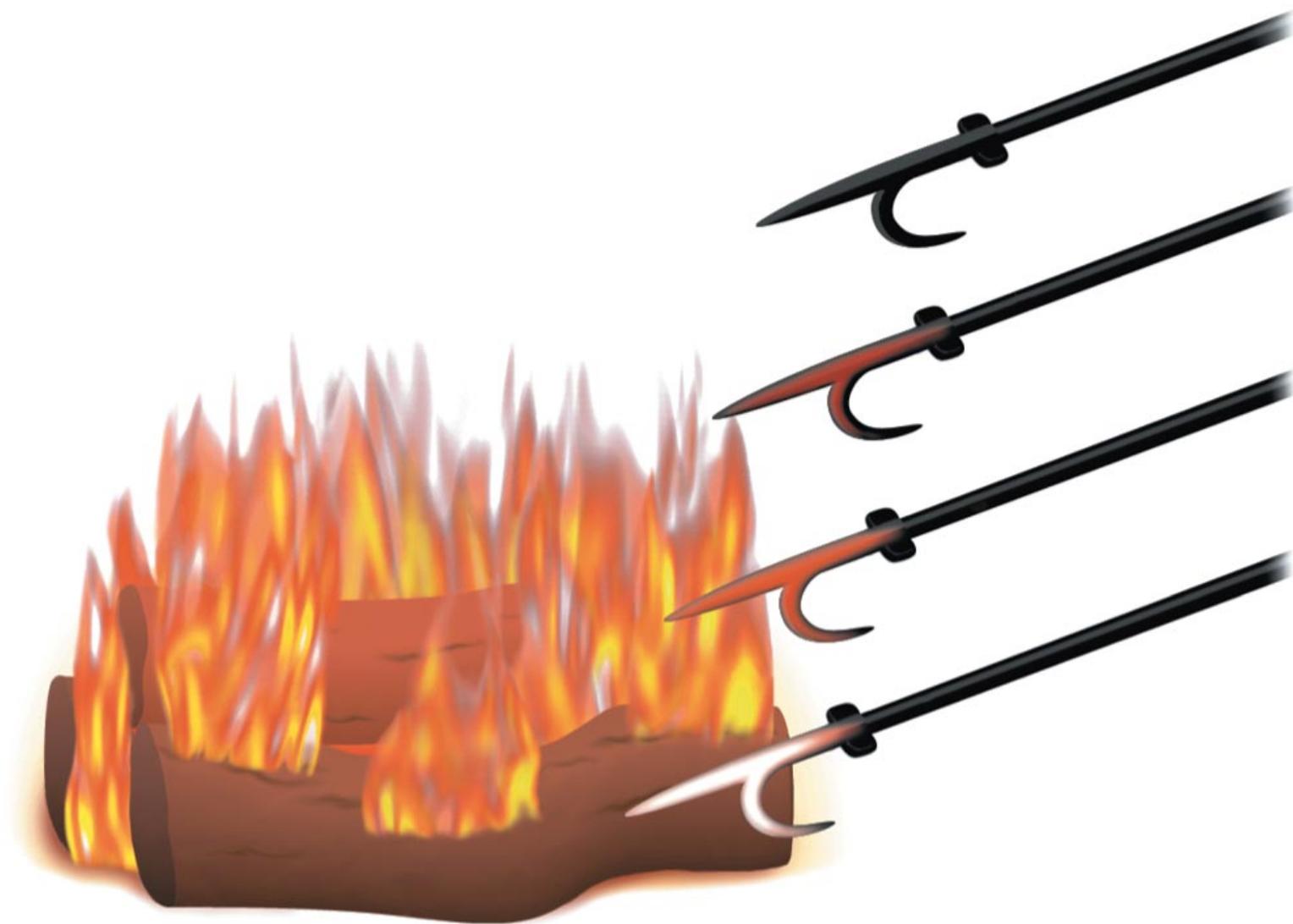
$M$  = magnitud absoluta

$$\frac{\text{Brillo aparente de la estrella 1.}}{\text{Brillo aparente de la estrella 2.}} = (100^{1/5})^{m_1 - m_2}$$

$$\frac{\text{Luminosidad de la estrella 1}}{\text{Luminosidad de la estrella 2}} = (100^{1/5})^{M_1 - M_2}$$

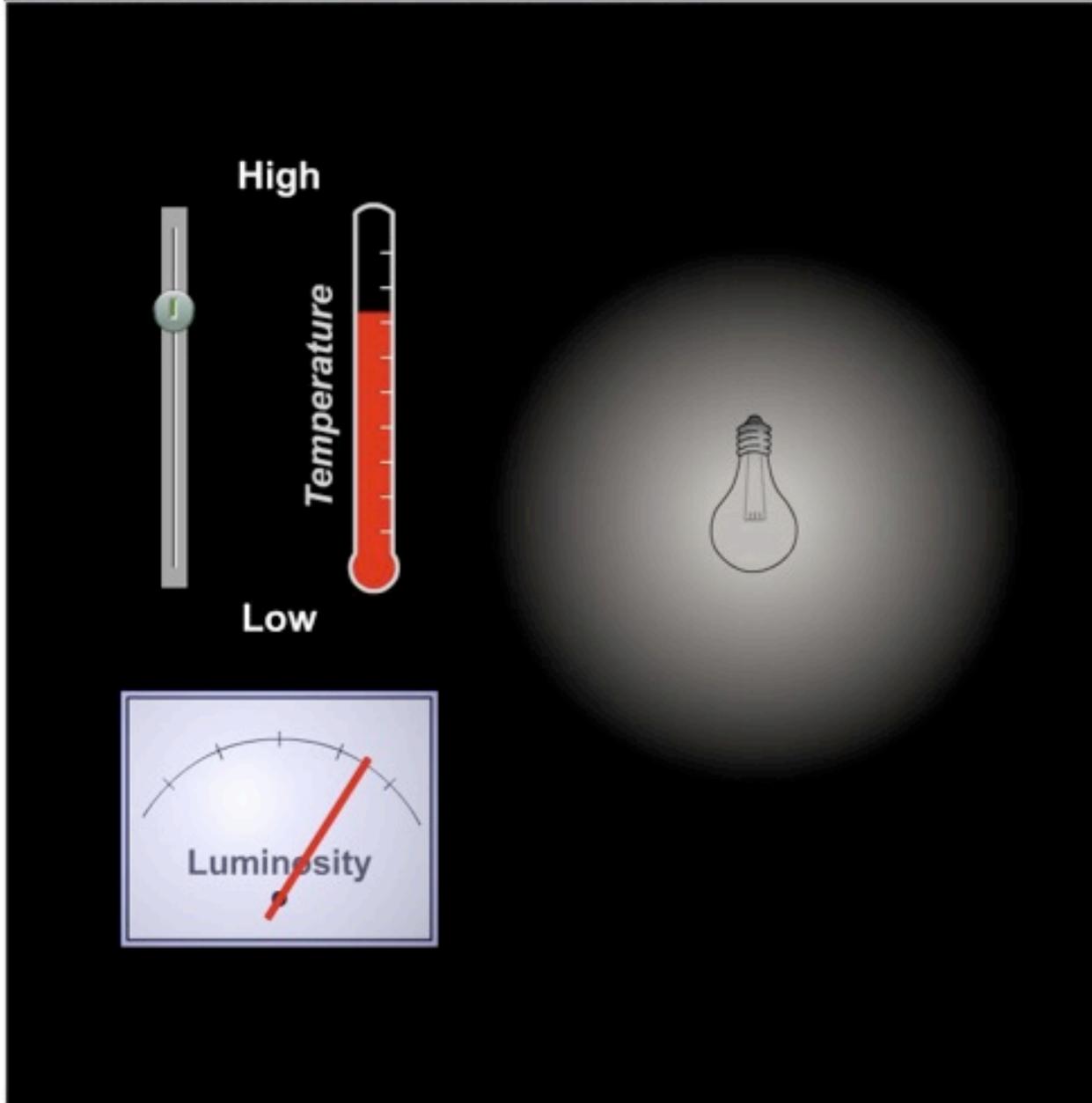
# ¿Cómo medimos las temperaturas estelares?





Cada objeto emite radiación térmica con un espectro que depende de su temperatura.

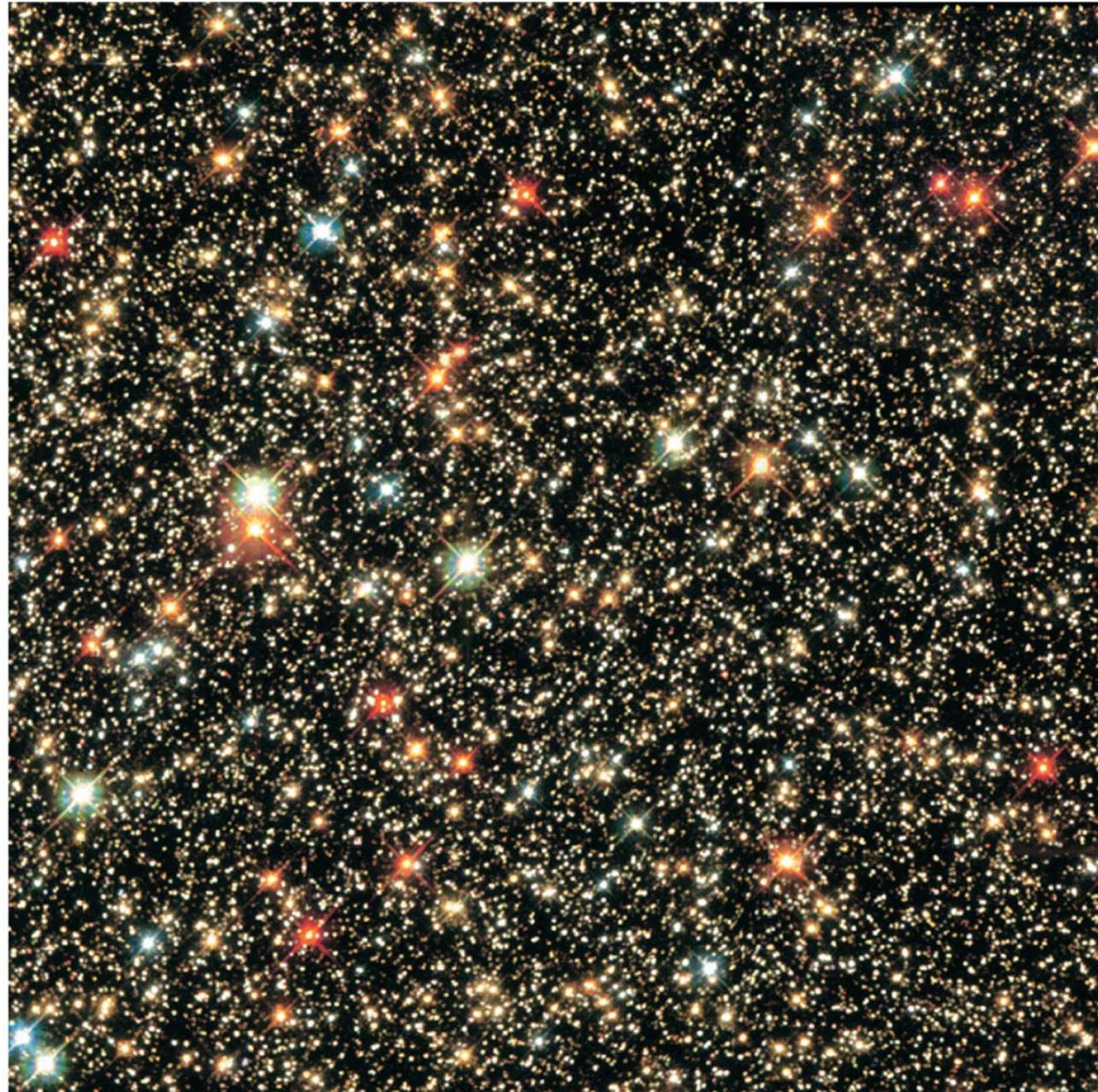
## Relationship Between Temperature and Luminosity



Un objeto de tamaño fijo se vuelve más luminoso a medida que aumenta su temperatura.

# Propiedades de la radiación térmica.

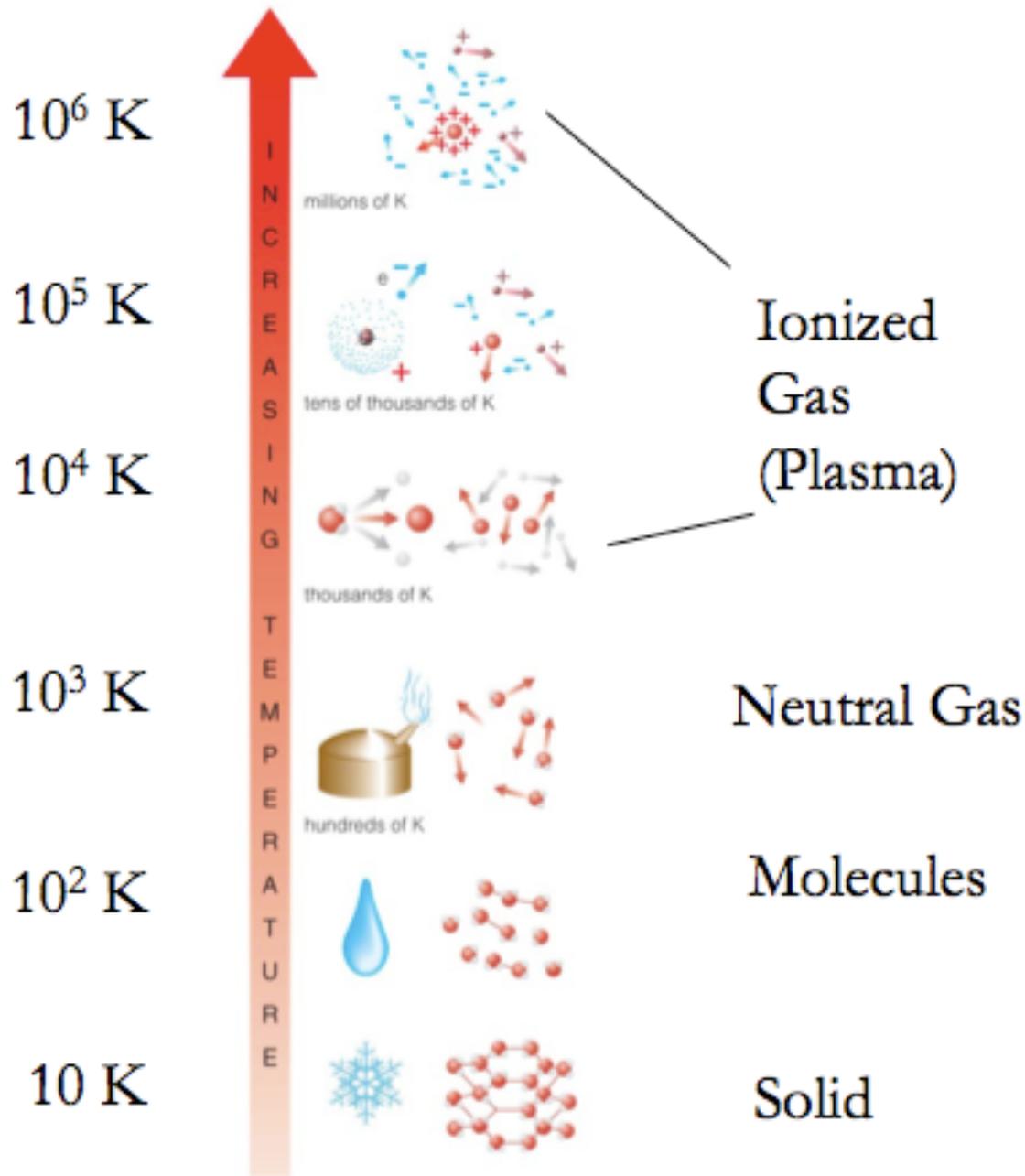
1. Los objetos más calientes emiten más luz por unidad de área en todas las frecuencias.
2. Los objetos más calientes emiten fotones con una energía media más alta.



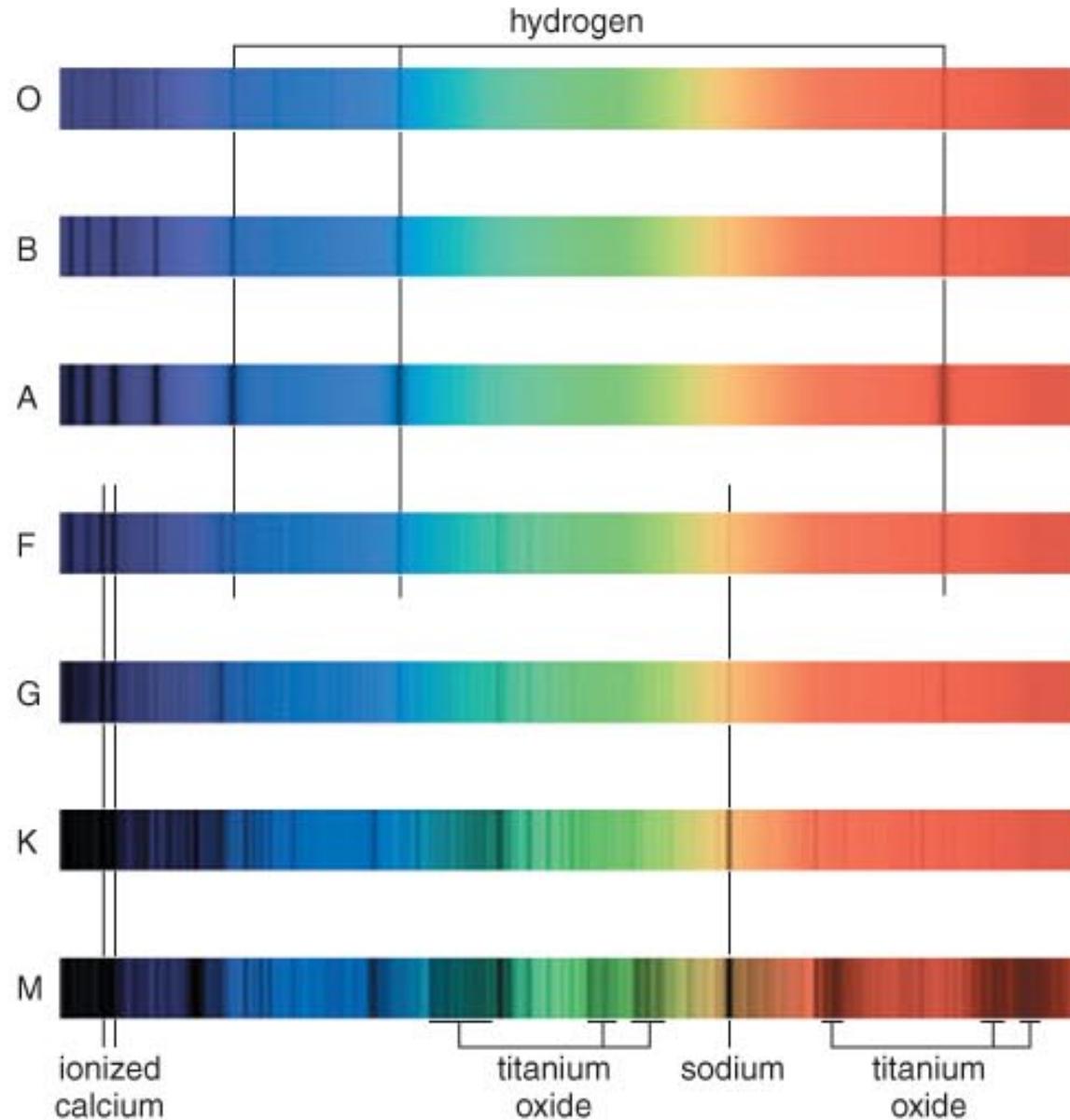
Las estrellas  
más calientes:  
50,000 K

Las estrellas  
más frías:  
3000 K

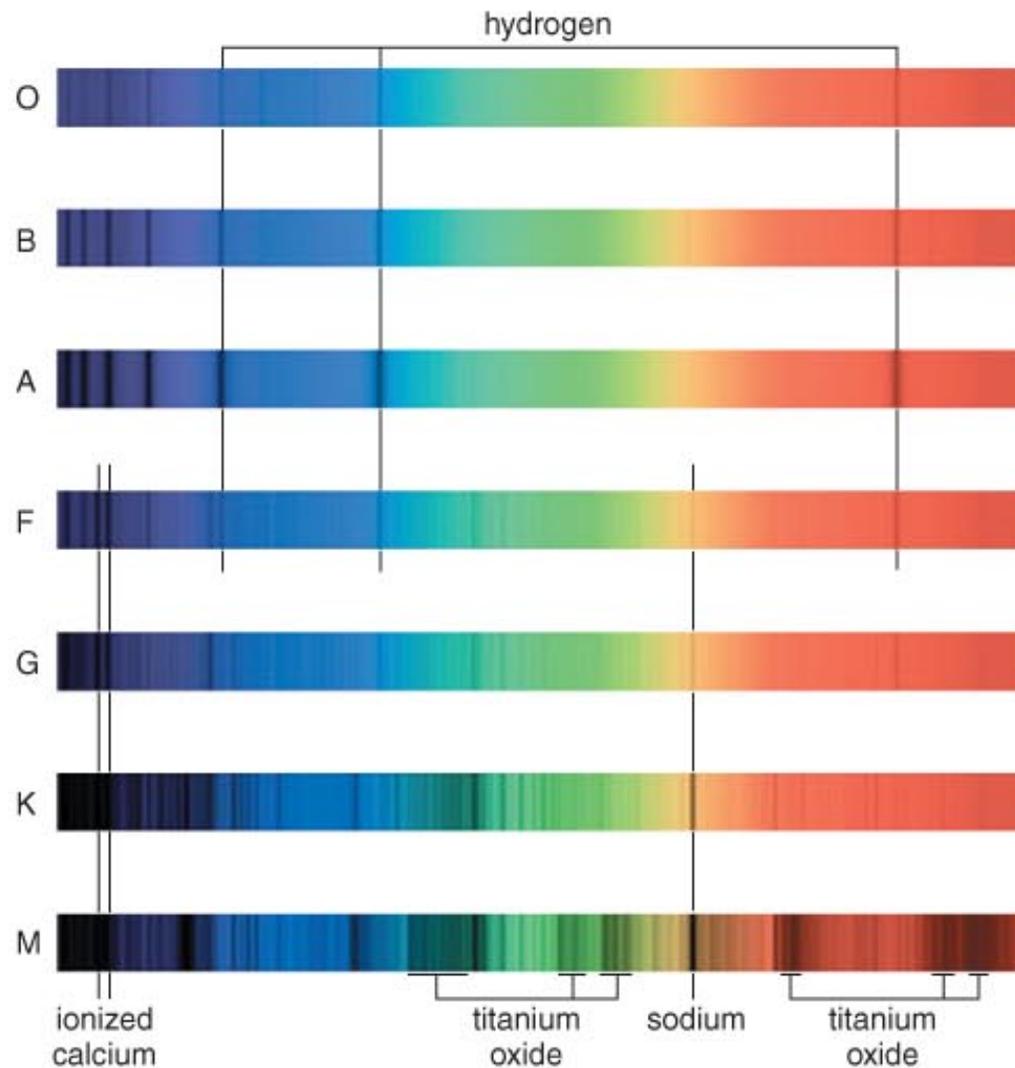
(La superficie  
del sol es  
5800 K.)



El nivel de ionización también revela la temperatura de una estrella.



Las líneas de absorción en el espectro de estrellas nos indican su nivel de ionización.



Las líneas en el espectro de una estrella corresponden a un *tipo espectral* que revela su temperatura.

(Más caliente) O B A F G K M (Mas fria)

# Recordando los tipos espectrales

(Más Caliente)    O B A F G K M    (Más fría)

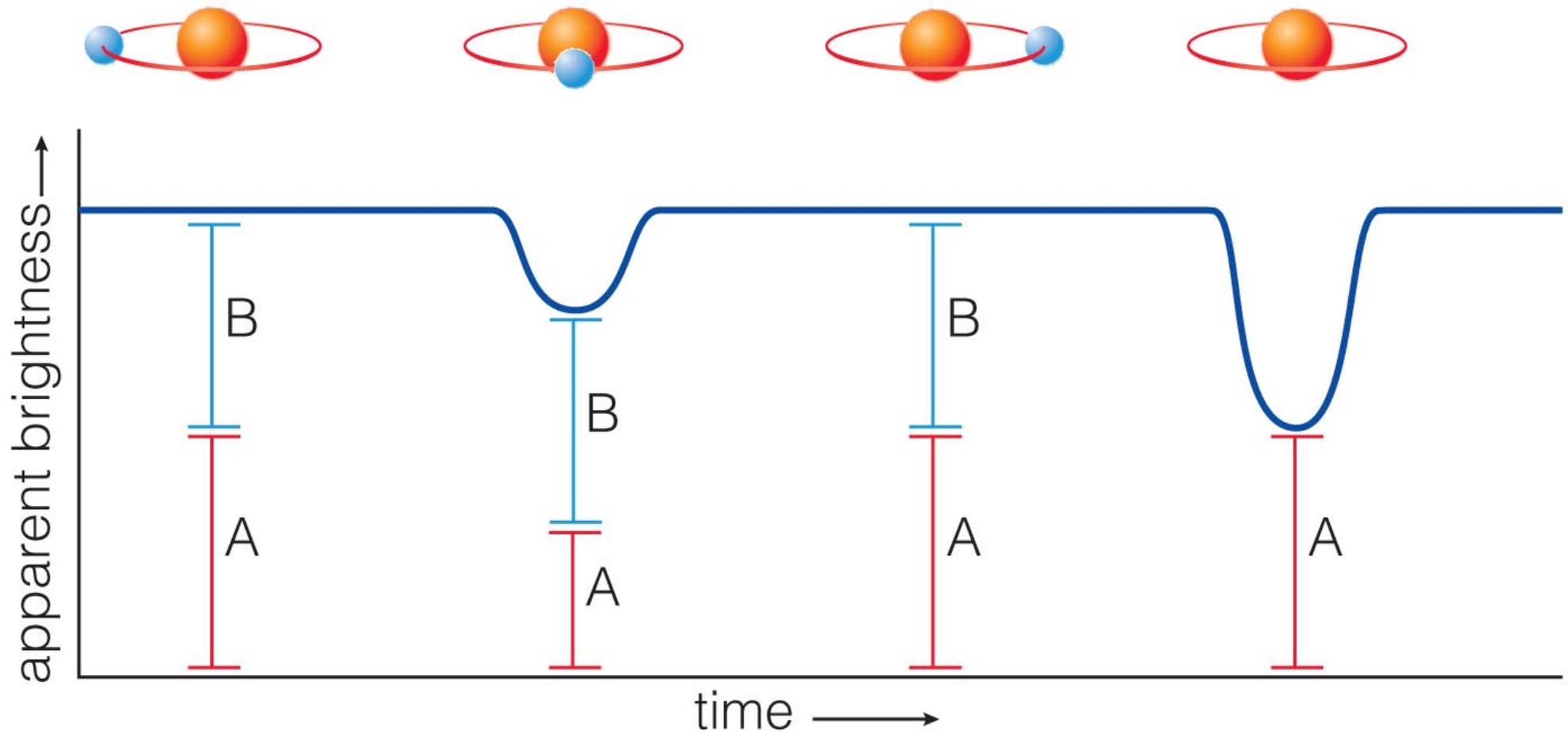
- Oh, Be A Fine Girl/Guy, Kiss Me
- Only Boys Accepting Feminism Get Kissed Meaningfully

# Pioneros de la Clasificación Estelar



- Annie Jump Cannon y las "calculadoras" de Harvard sentaron las bases de la clasificación estelar moderna.

# ¿Cómo medimos las masas estelares?





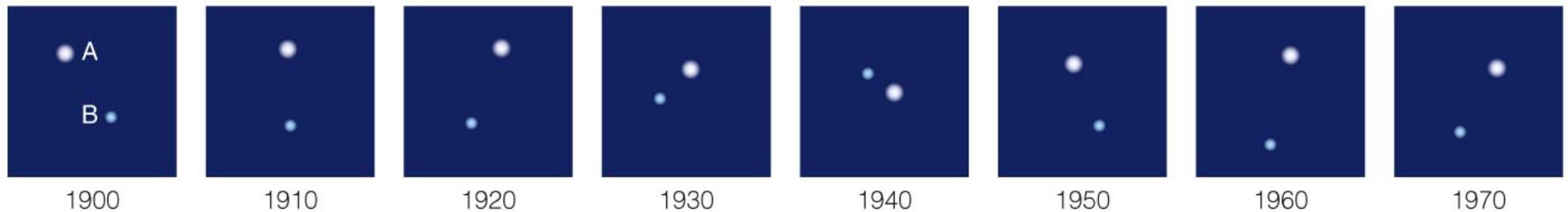
La órbita de un sistema estelar binario depende de la fuerza de la gravedad.

# Tipos de sistemas binarios de estrellas

- Binarias visual
- Binarias de eclipse
- Binarias espectroscópicas

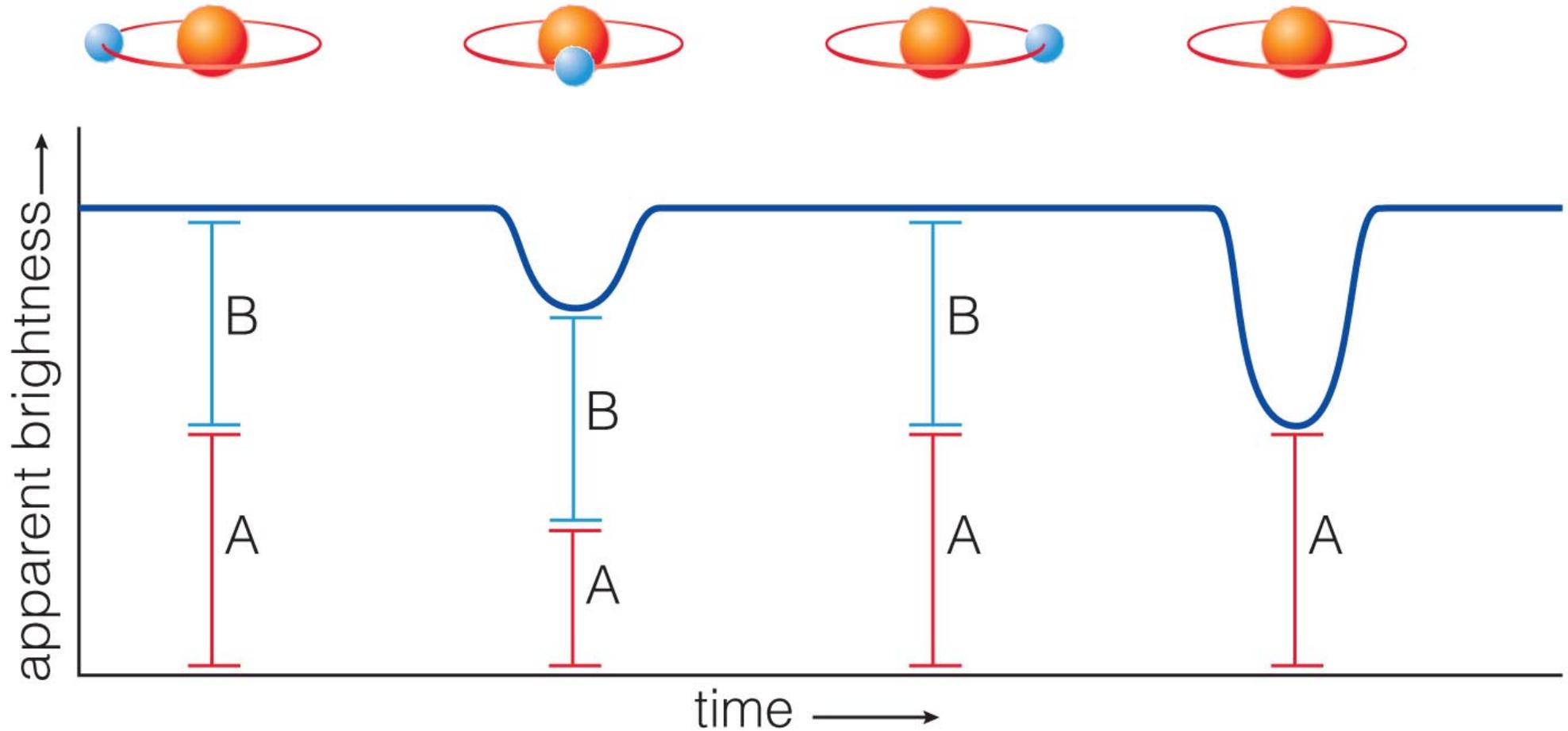
*Casi la mitad de todas las estrellas están en sistemas binarios.*

# Binarias visual



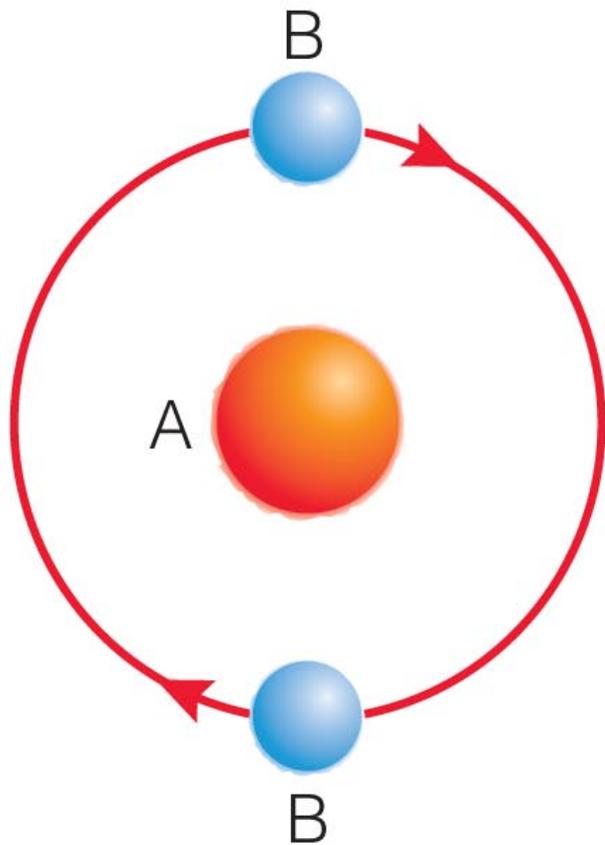
Podemos observar directamente los movimientos orbitales de estas estrellas.

# Binarias de eclipse

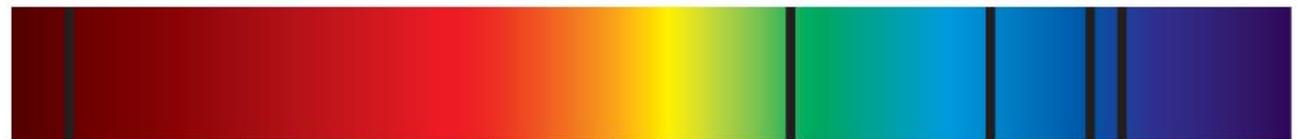


Podemos medir eclipses periódicos.

# Binarias espectroscópicas



to Earth



Determinamos la órbita midiendo los cambios Doppler.

Medimos la masa utilizando la gravedad.

Las mediciones directas de masa son posibles solo para estrellas en sistemas binarios de estrellas.

$$p^2 = \frac{4\pi^2}{G (M_1 + M_2)} a^3$$

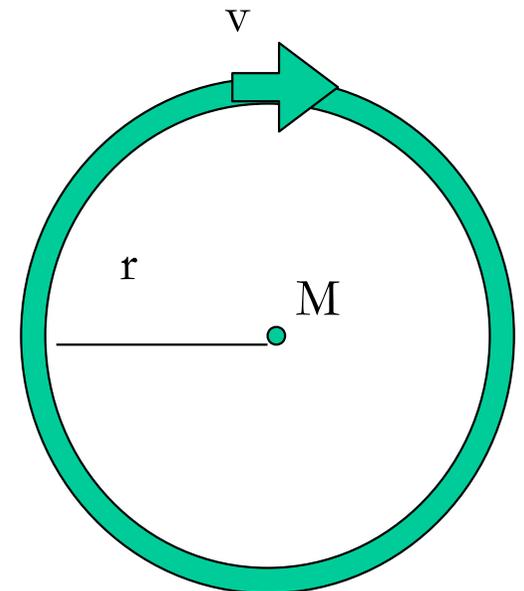
$p$  = Periodo

$a$  = separación promedio

Necesitamos dos de tres observables para medir la masa:

- 1) Periodo orbital ( $p$ )
- 2) Separación orbital ( $a$  o  $r = \text{radio}$ )
- 3) Velocidad orbital ( $v$ )

Por órbitas circulares,  $v = 2\pi r/p$ .



La mayoría de las  
estrellas masivas:

$$100M_{\text{Sun}}$$

Estrellas menos  
masivas:

$$0.08M_{\text{Sun}}$$

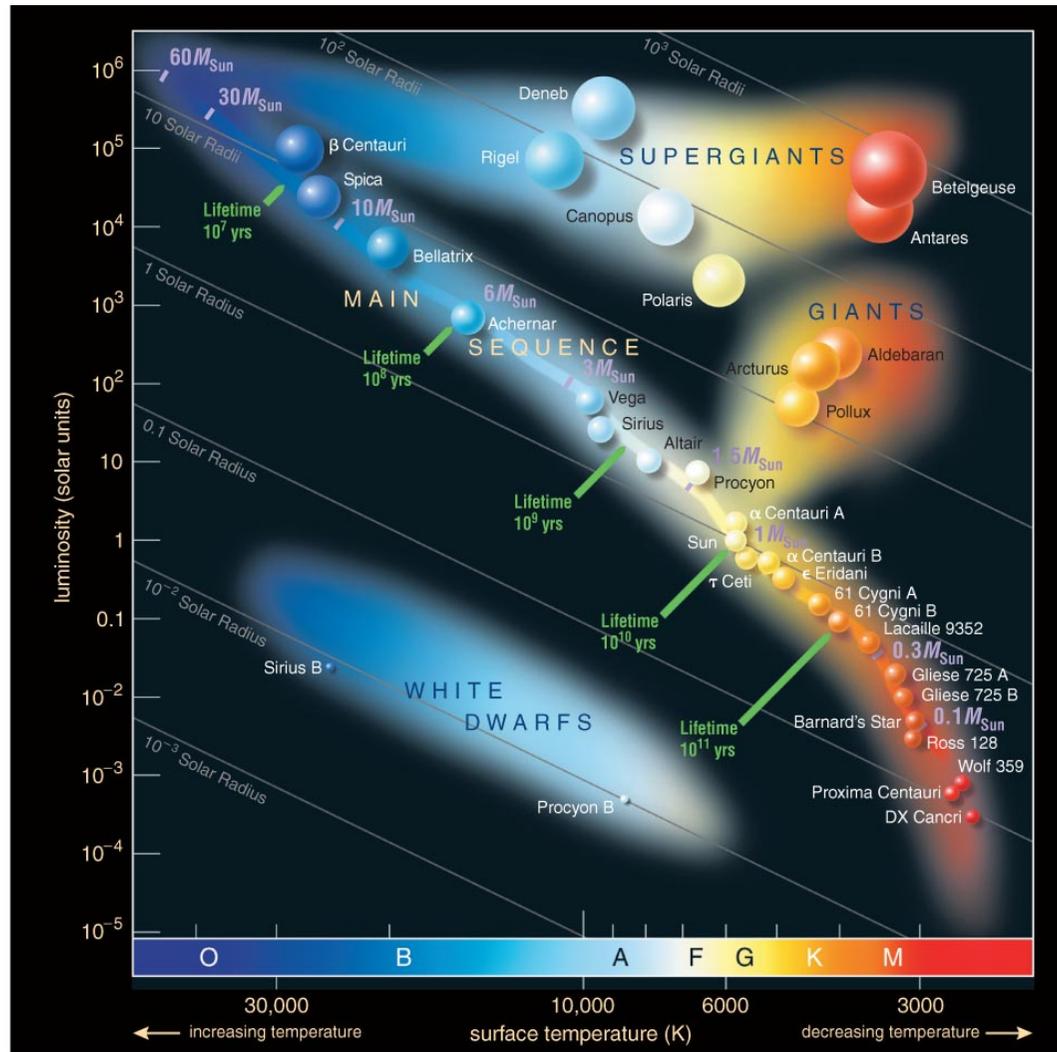
( $M_{\text{Sun}}$  es la masa  
del sol)



# Evolución estelar

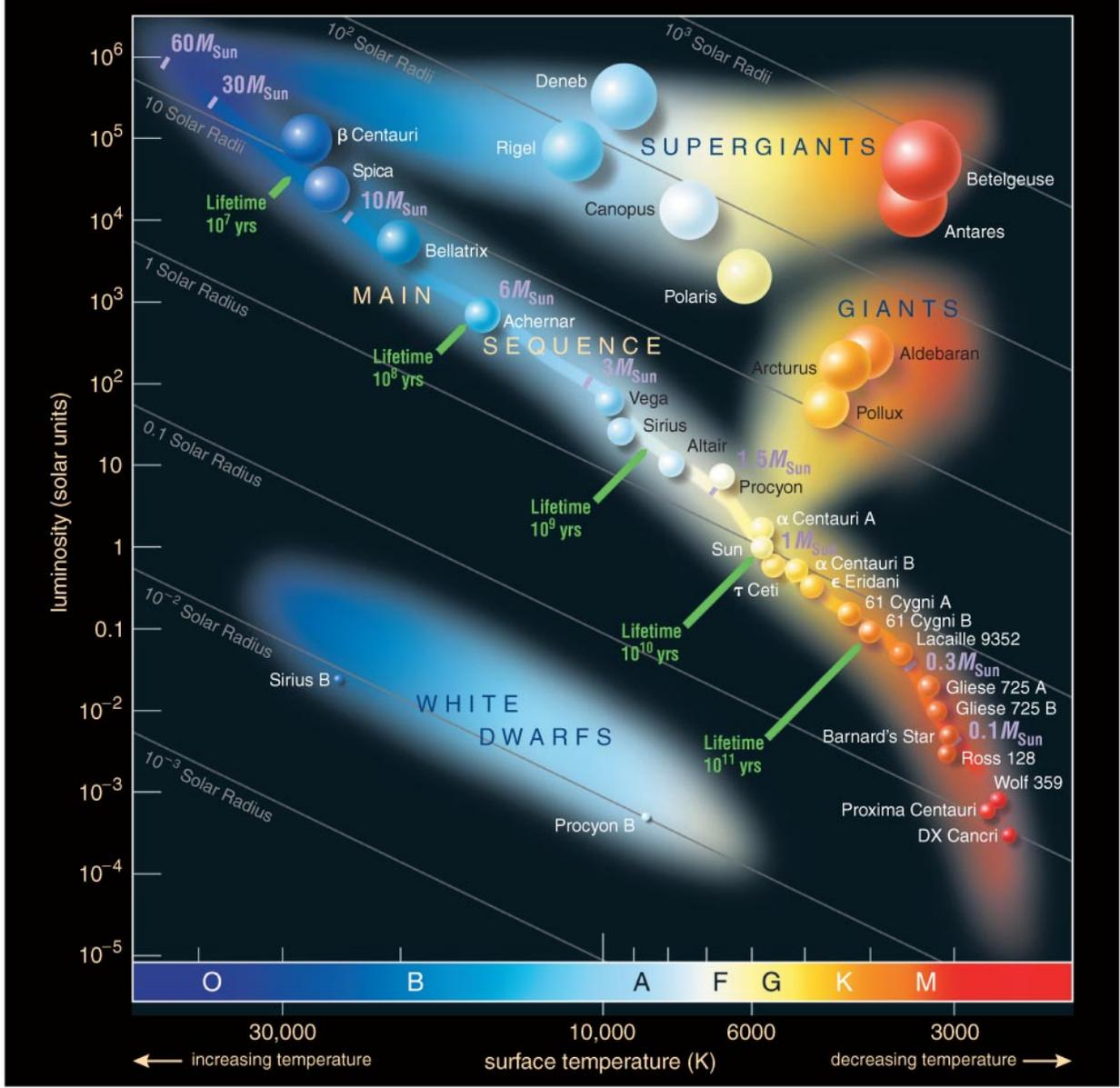
- ¿Qué es un diagrama de Hertzsprung-Russell?
- ¿Cuál es el significado de la secuencia principal?
- ¿Qué son los gigantes, las supergigantes y las enanas blancas?
- ¿Por qué varían las propiedades de algunas estrellas?

# ¿Qué es un diagrama de Hertzsprung-Russell?

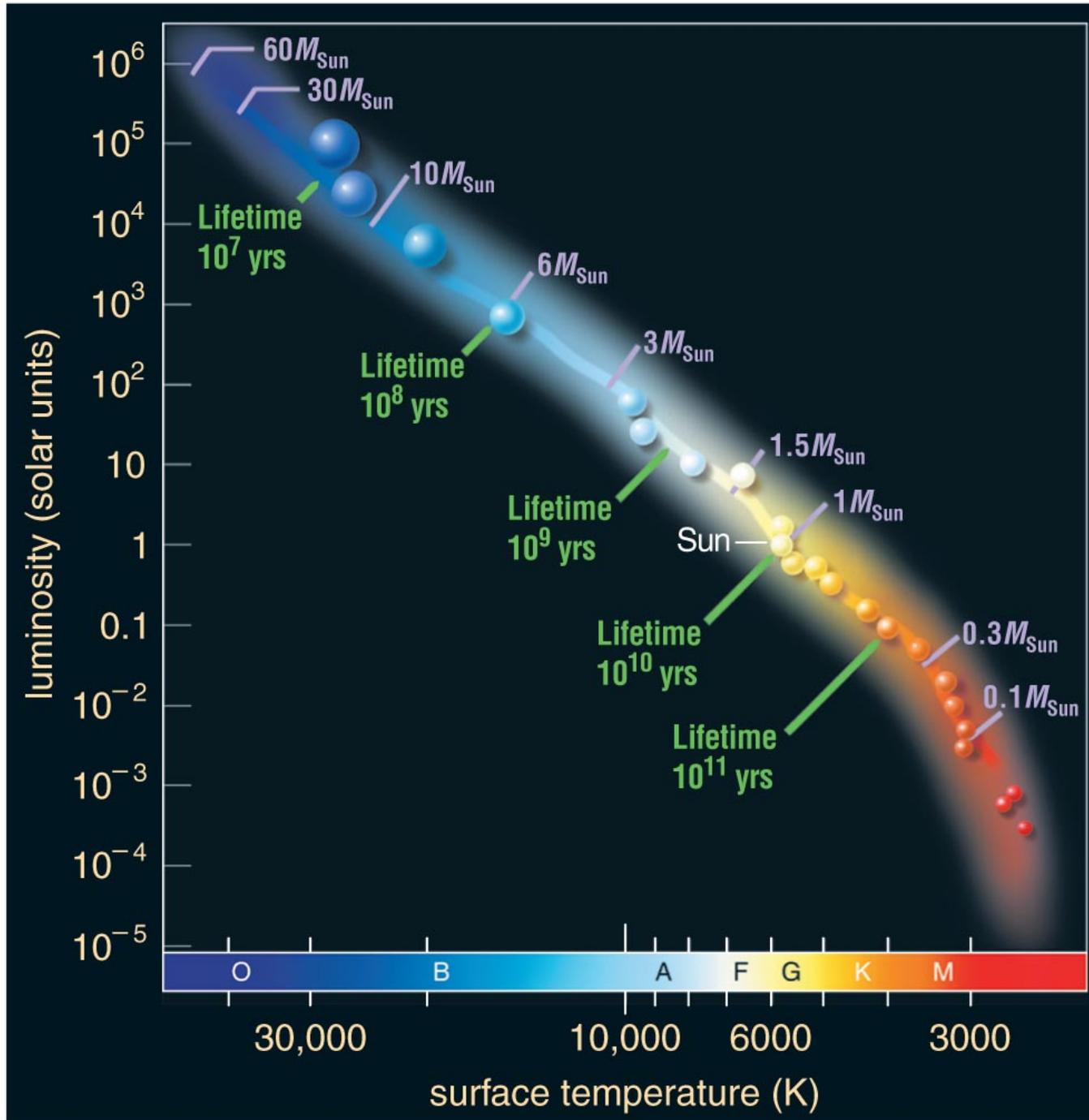


Un diagrama H-R traza la luminosidad y la temperatura de las estrellas.

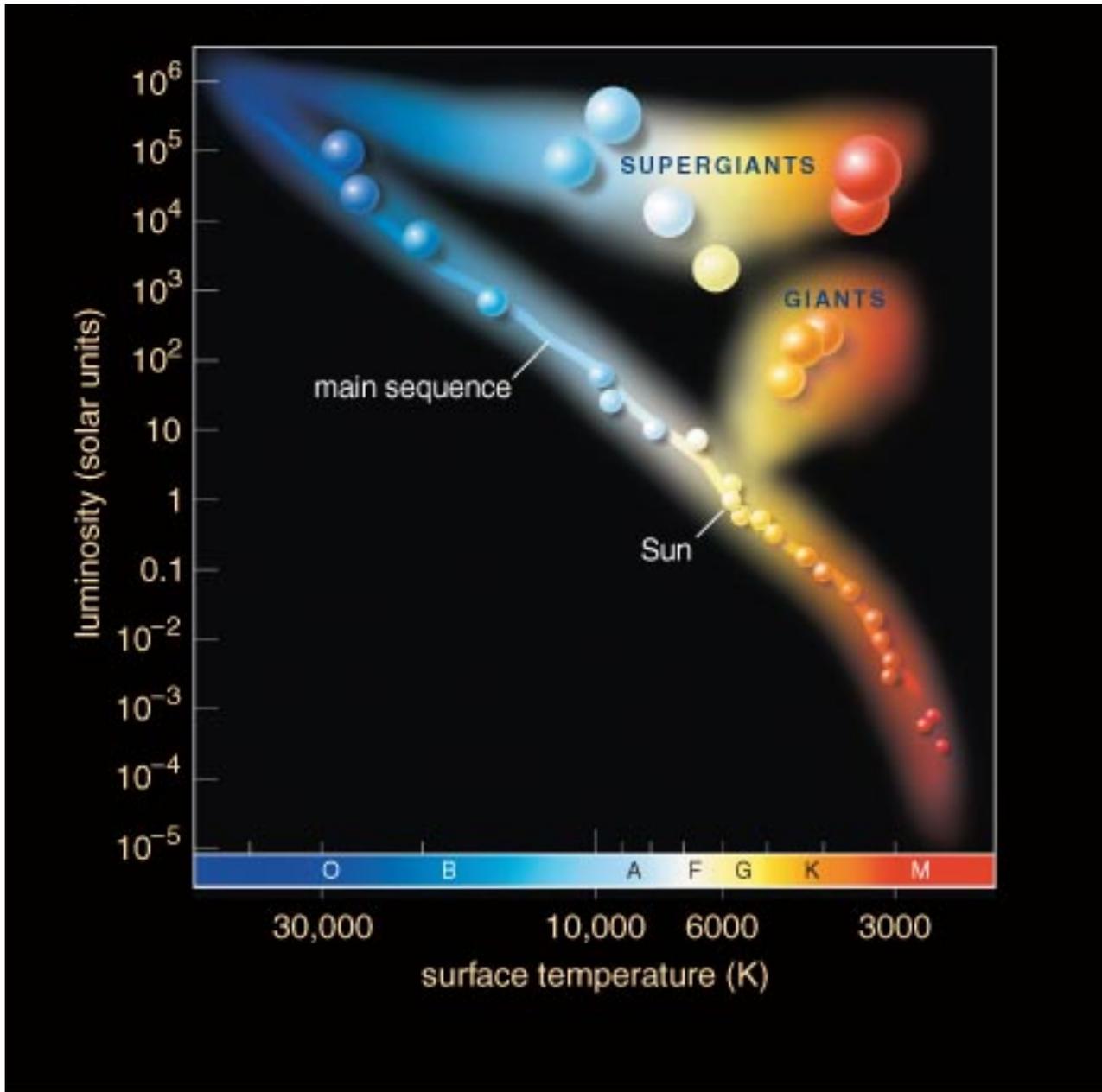
Luminosity ↑



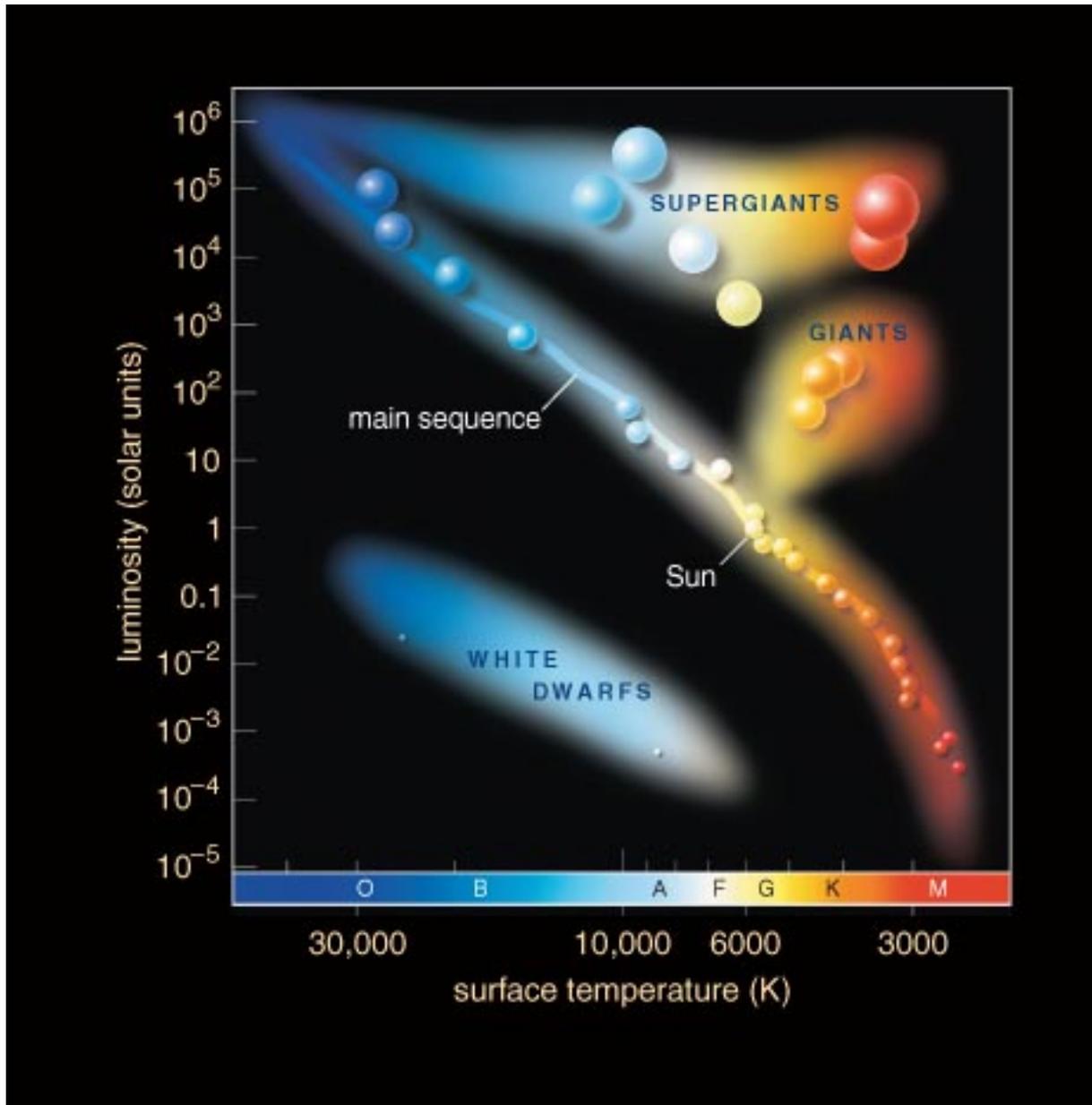
← Temperature



La mayoría de las estrellas caen en algún lugar de la secuencia principal del diagrama H-R.



Las estrellas con T más baja y L más alta que las estrellas de secuencia principal deben tener radios más grandes. Estas estrellas se llaman *gigantes* y *supergigantes*.



Las estrellas con mayor T y menor L que las estrellas de la secuencia principal deben tener radios más pequeños. Estas estrellas se llaman *enanas blancas*.

La clasificación completa de una estrella incluye el tipo espectral (identidades de línea) y la clase de luminosidad (formas de línea, relacionadas con el tamaño de la estrella):

I - supergigante

II - gigante brillante

III - gigante

IV - subgigante

V - secuencia principal

Ejemplos: Sun - G2 V

Sirius - A1 V

Proxima Centauri - M5.5 V

Betelgeuse - M2 I

El diagrama de H-R representa:

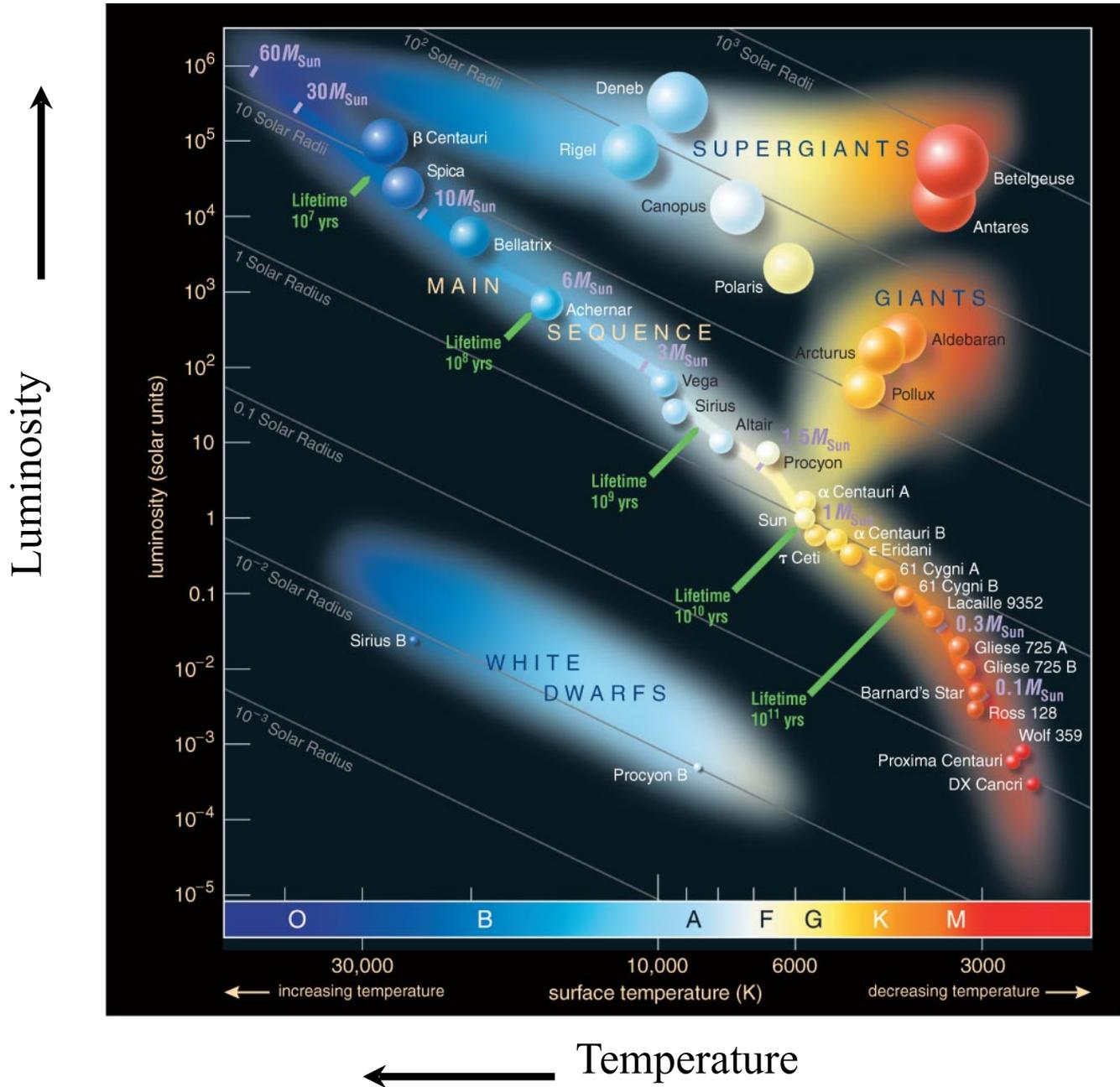
Temperatura

Color

Tipo espectral

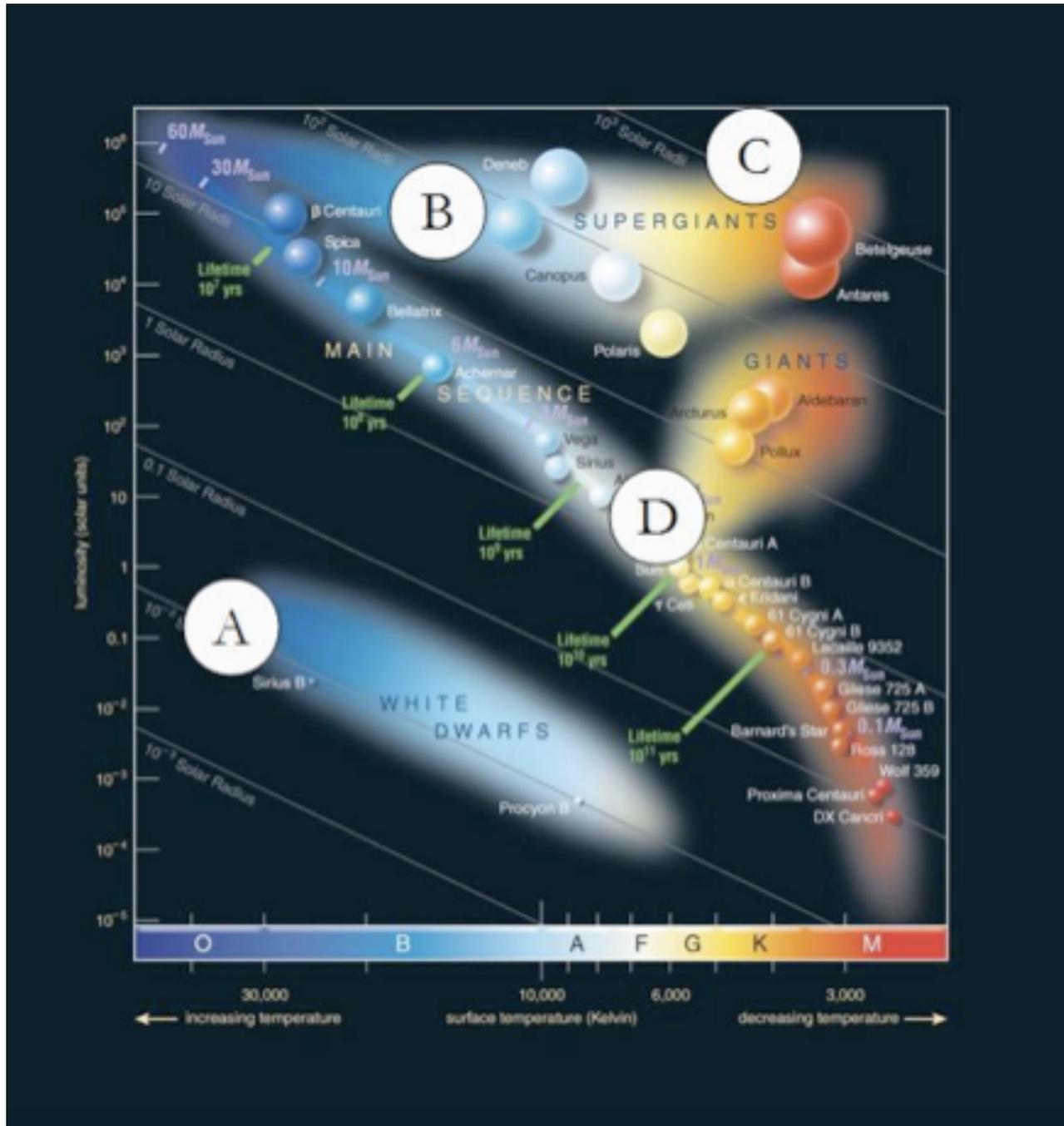
Luminosidad

Radio



¿Qué  
estrella es  
la más  
caliente?

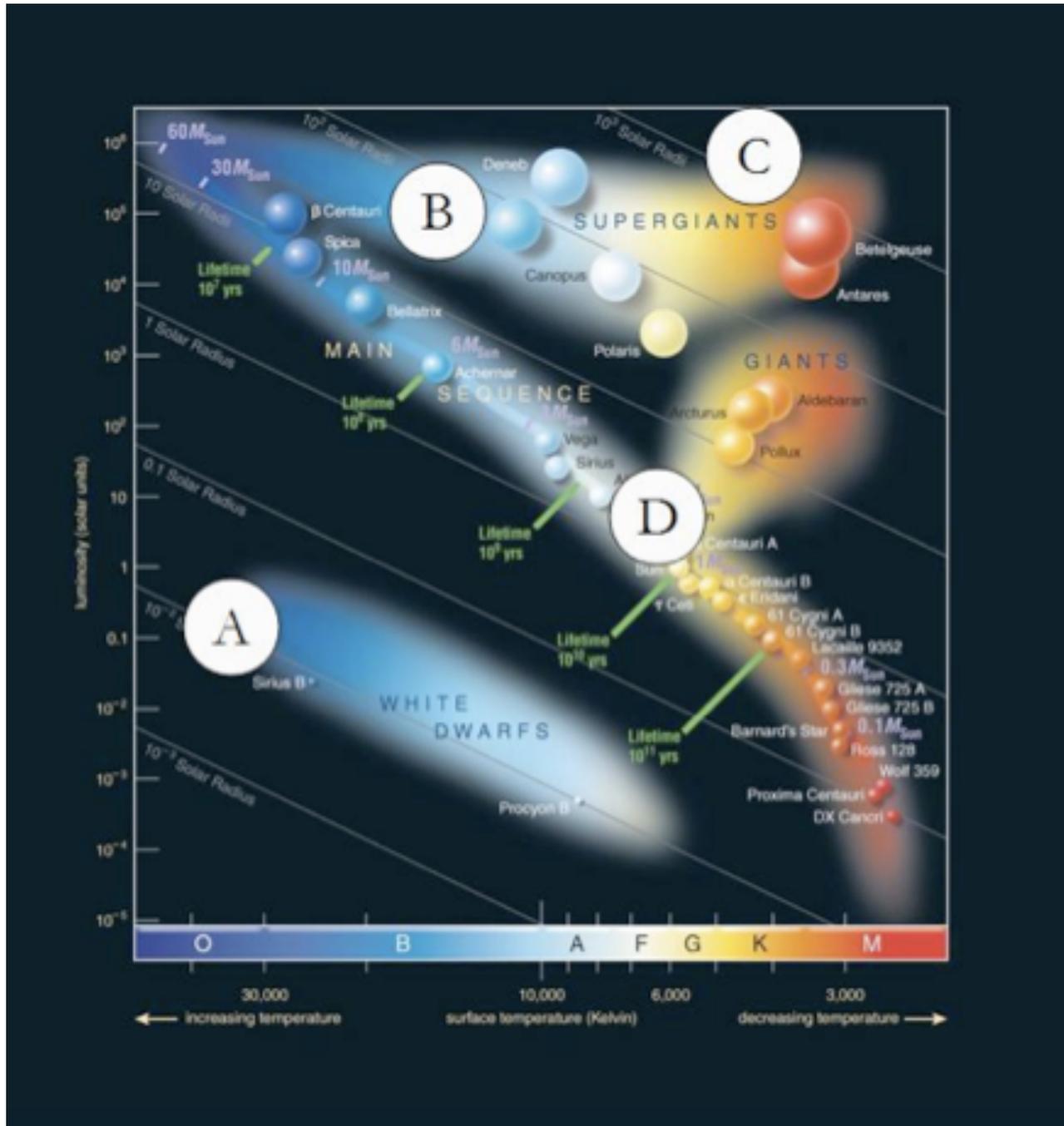
Luminosity ↑



← Temperature

¿Qué  
estrella es  
la más  
caliente?

Luminosity

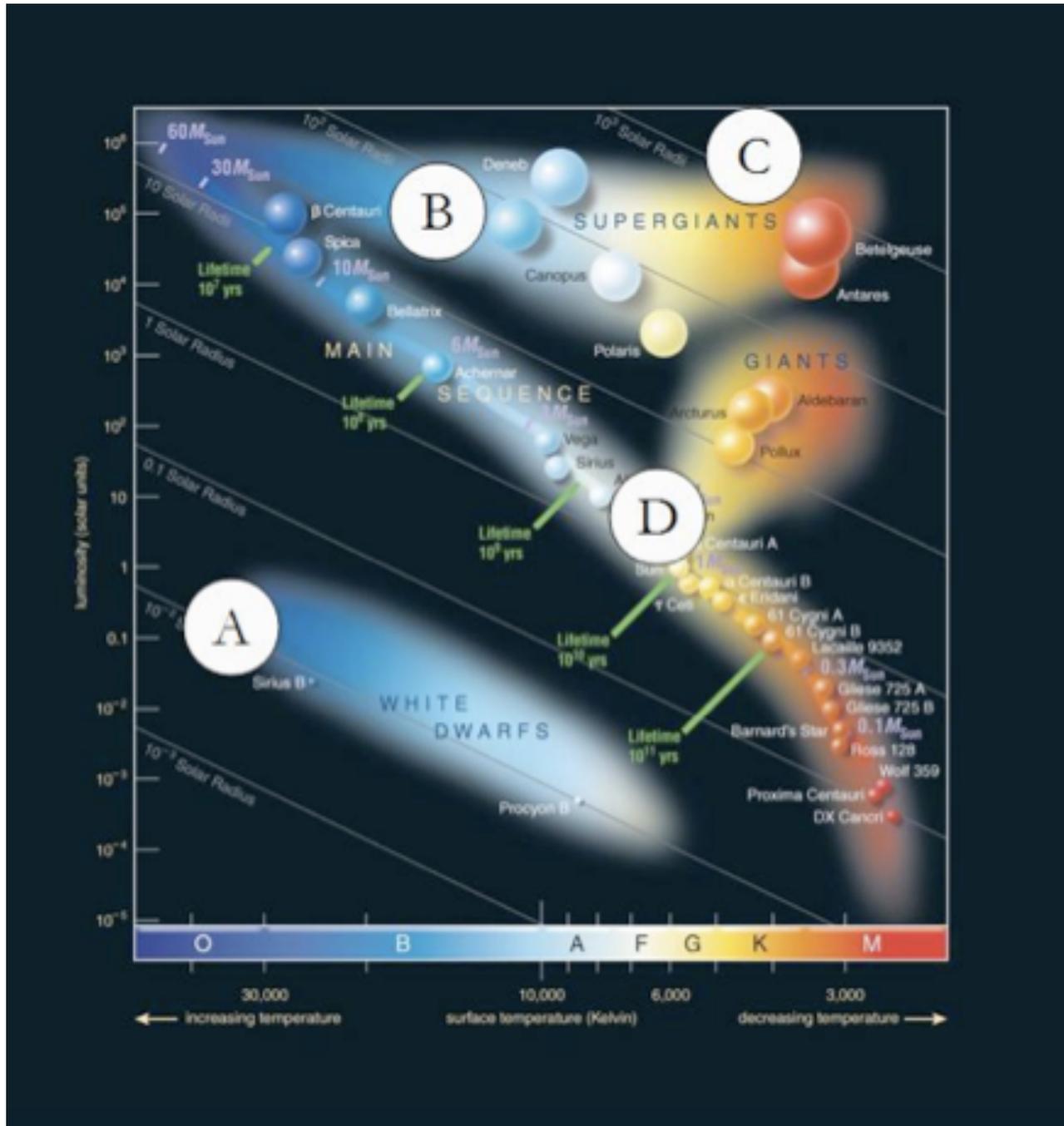


A

Temperature

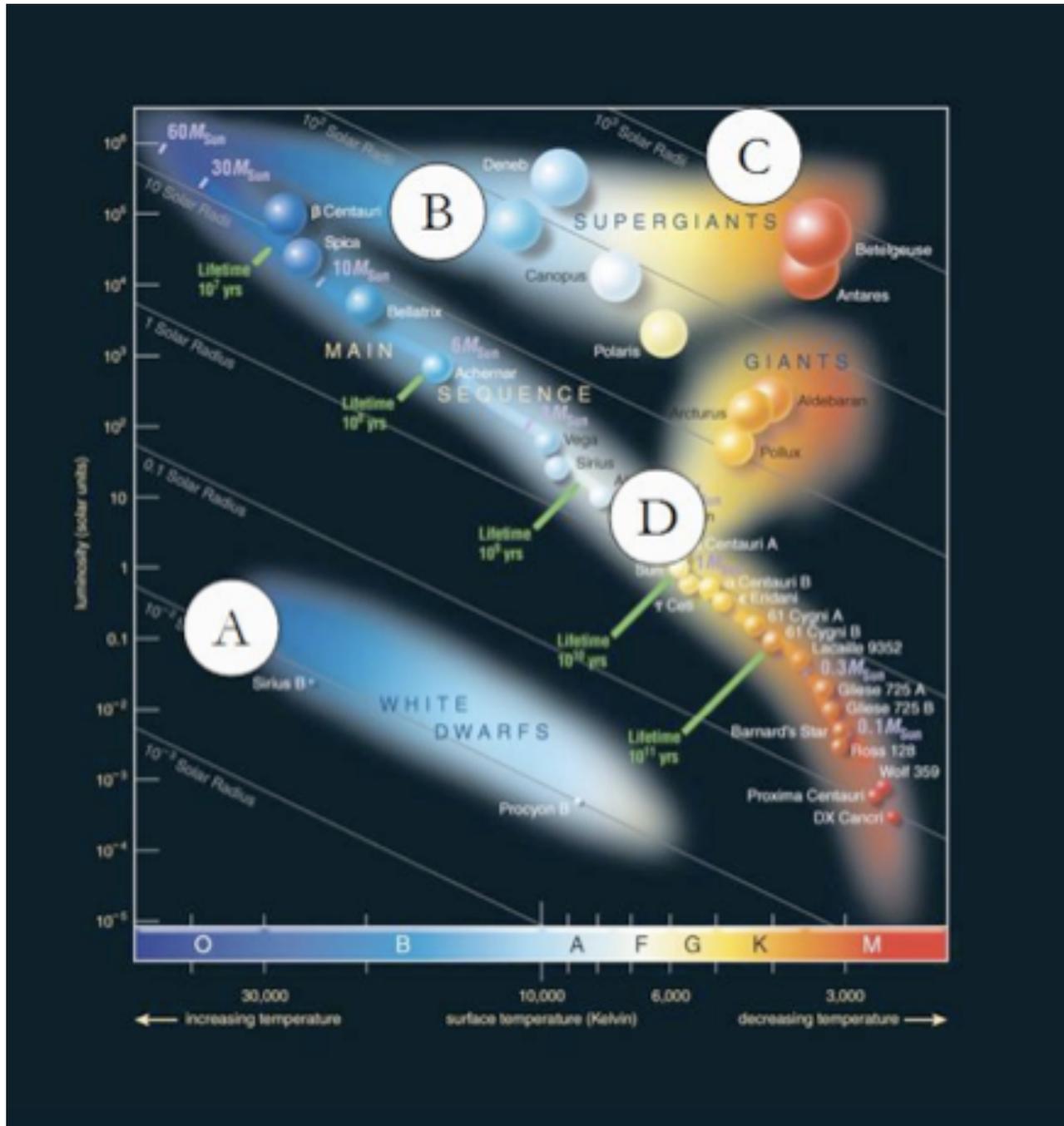
¿Qué estrella es la más luminosa?

Luminosity



Temperature

Lumiosity ↑



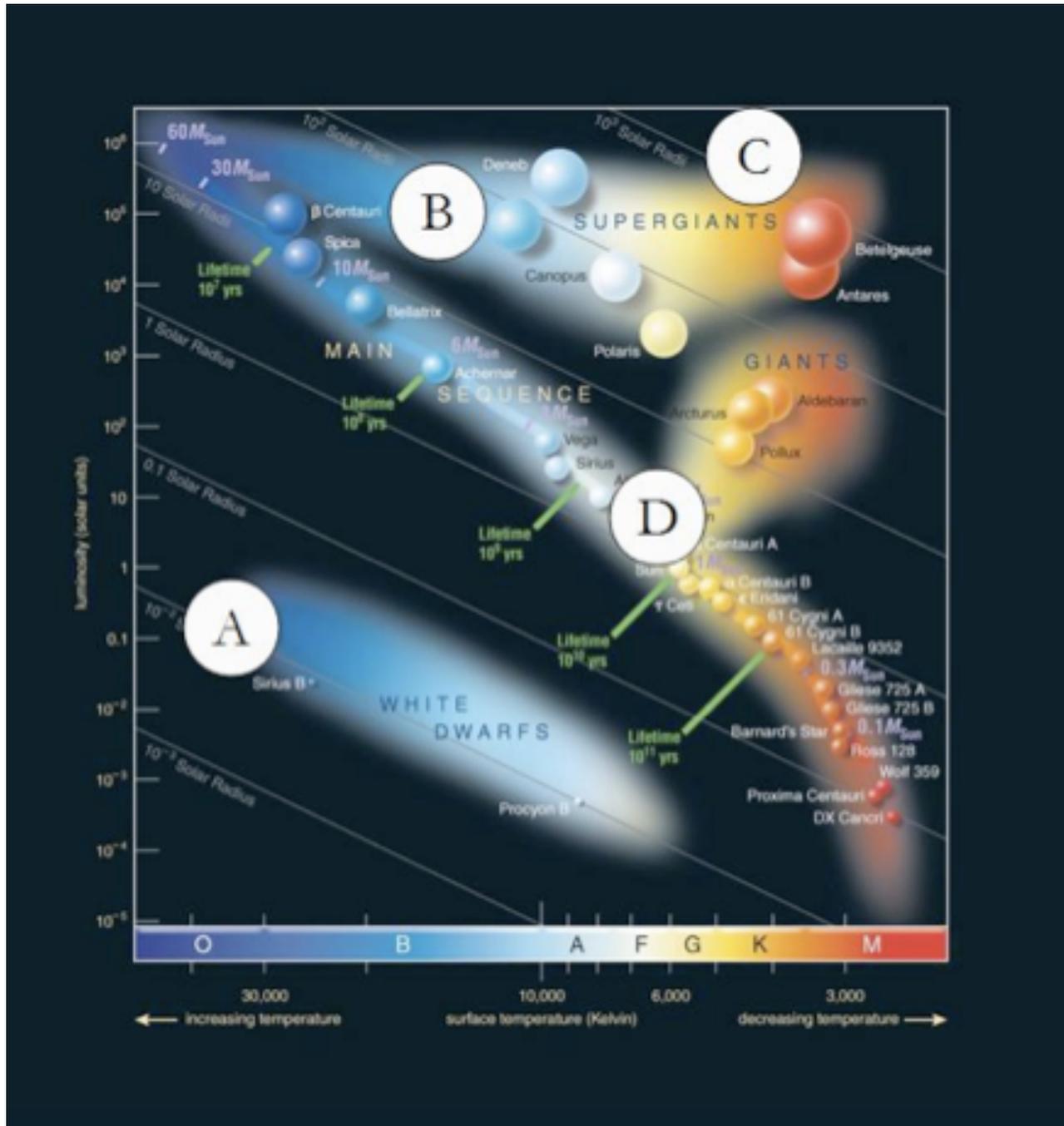
¿Qué estrella es la más luminosa?

C

← Temperature

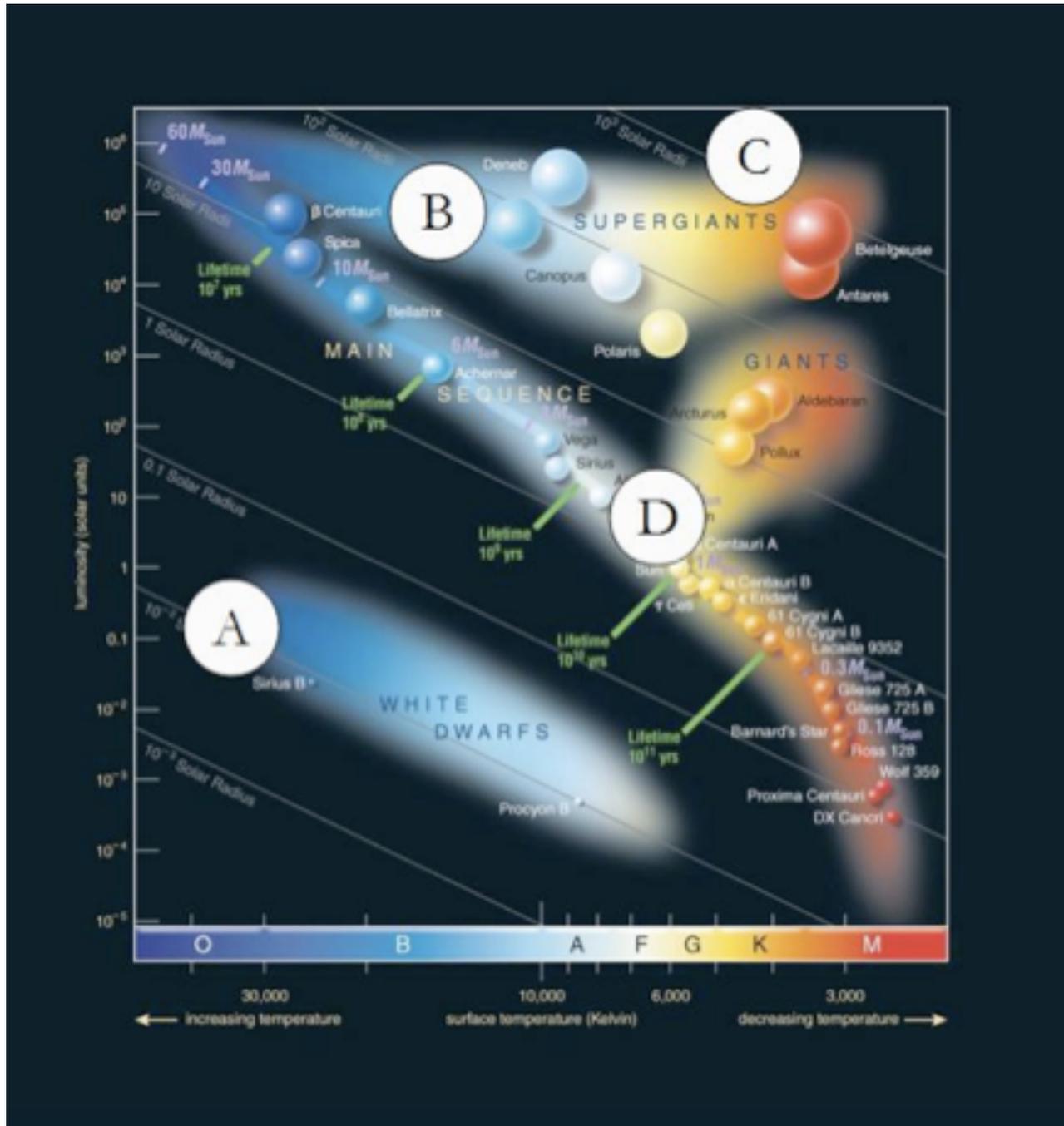
¿Qué estrella es una estrella de secuencia principal?

Luminosity ↑



← Temperature

Luminosity ↑



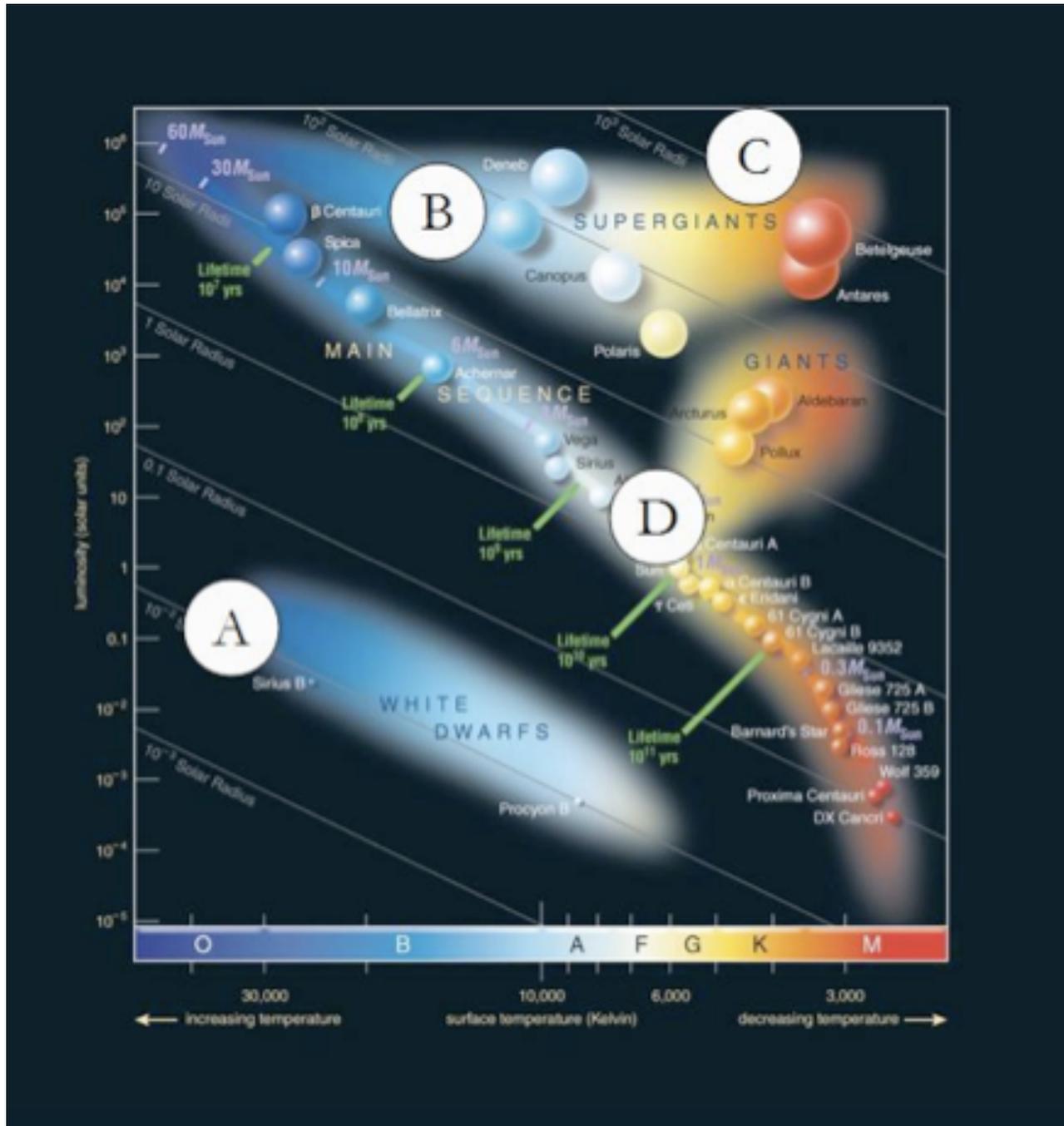
¿Qué estrella es una estrella de secuencia principal?

D

← Temperature

¿Qué  
estrella  
tiene el  
radio más  
grande?

Luminosity ↑

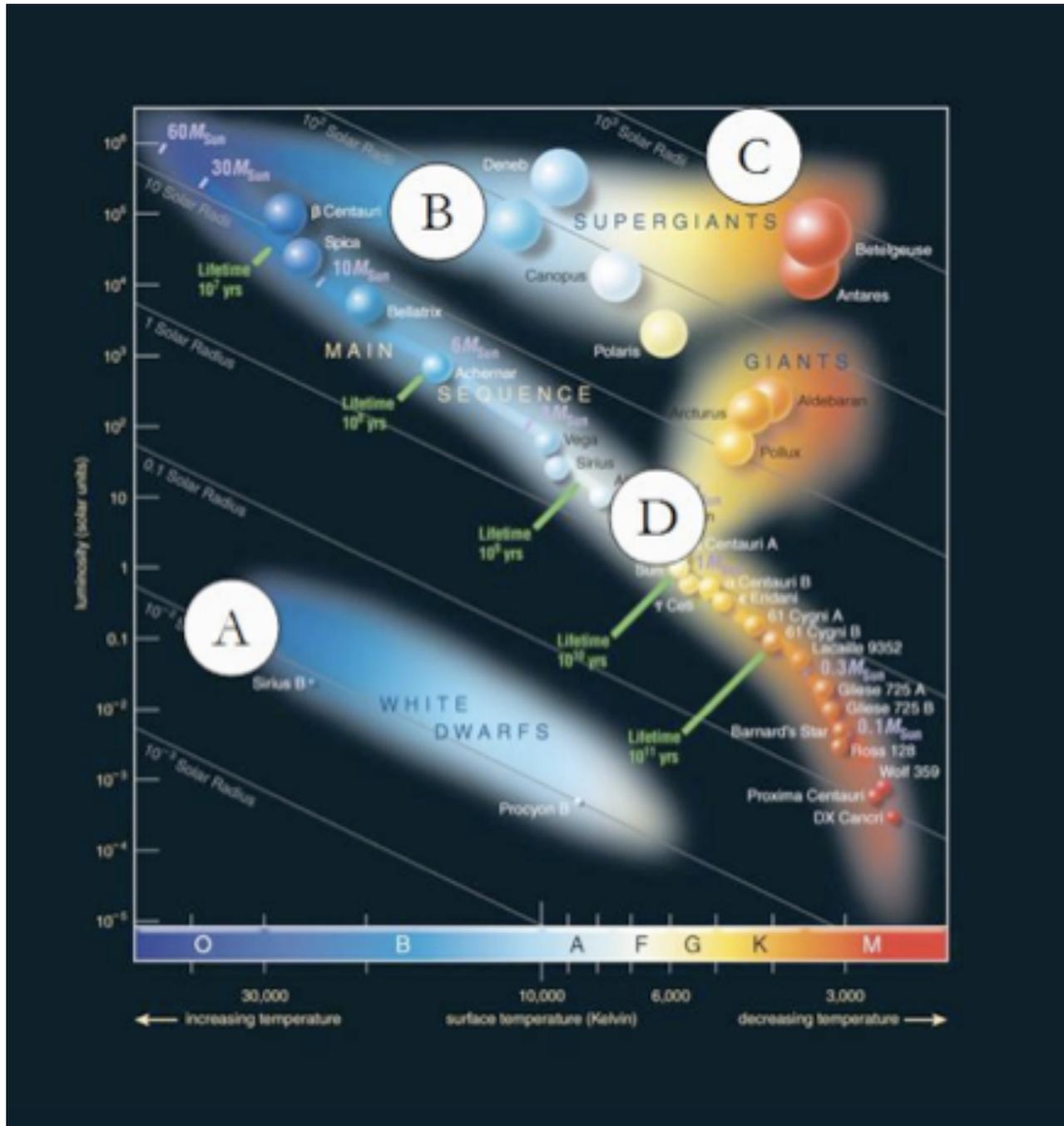


← Temperature

¿Qué estrella tiene el radio más grande?

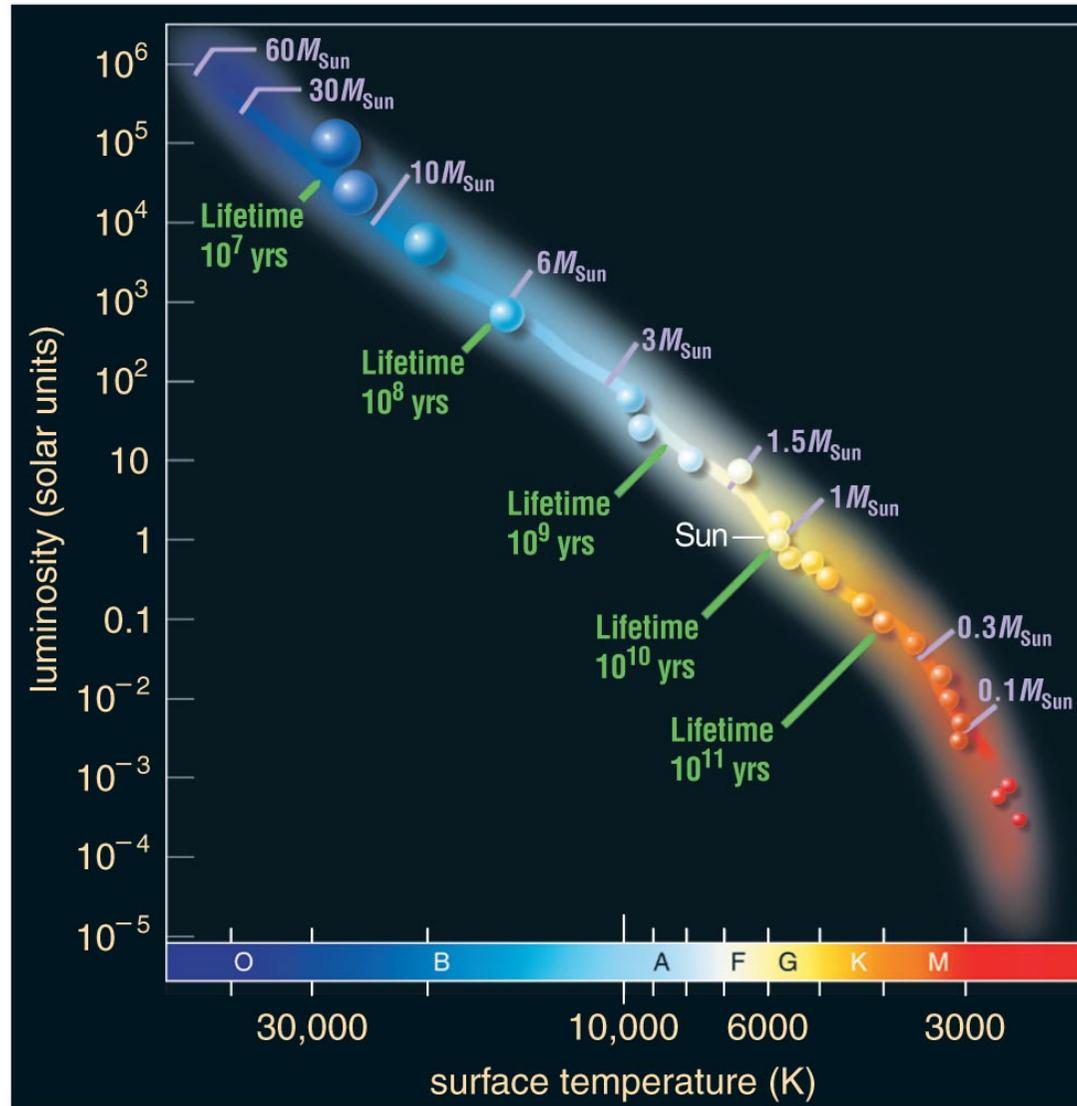
C

Luminosity ↑



← Temperature

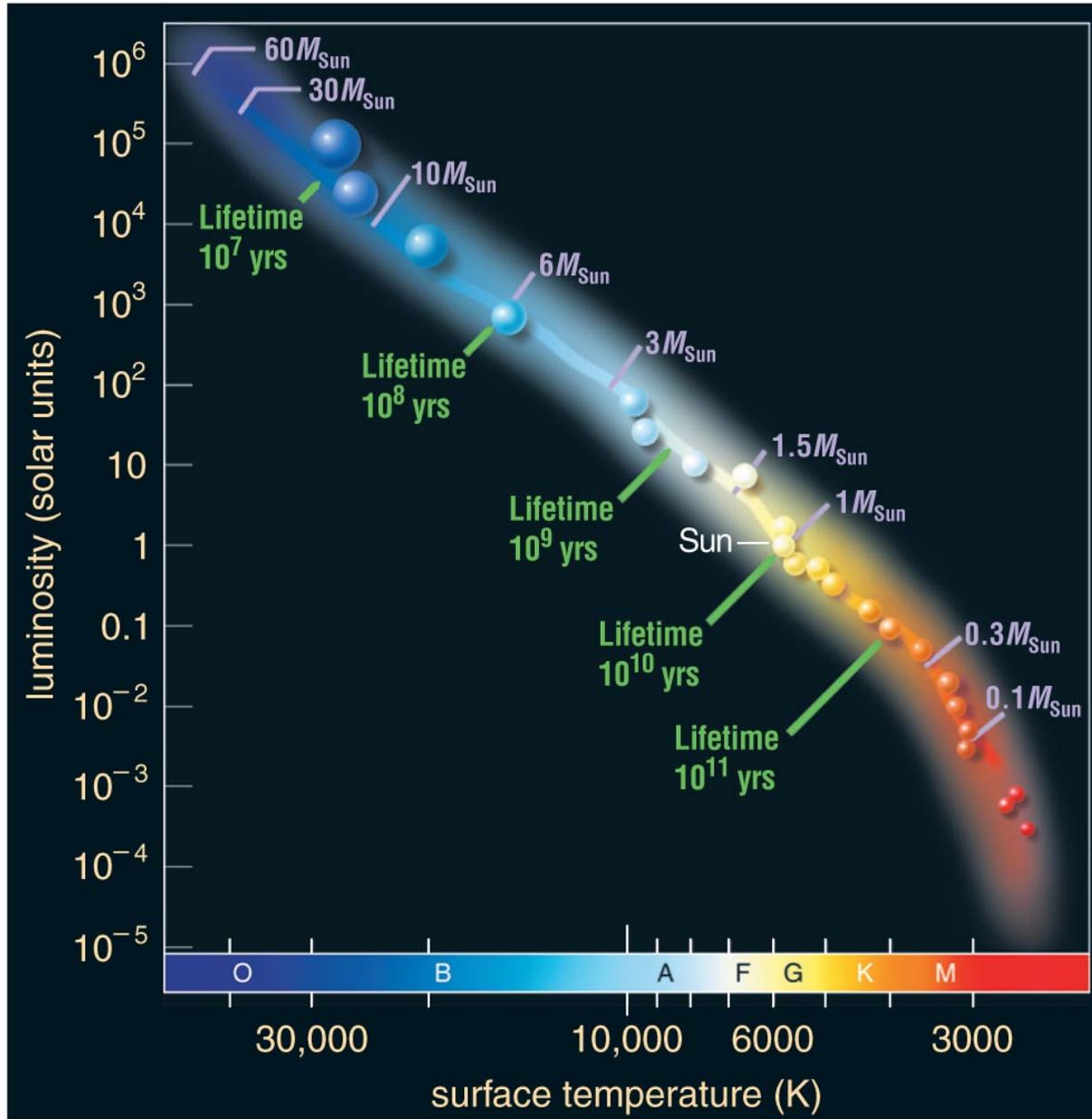
# ¿Cuál es el significado de la secuencia principal?

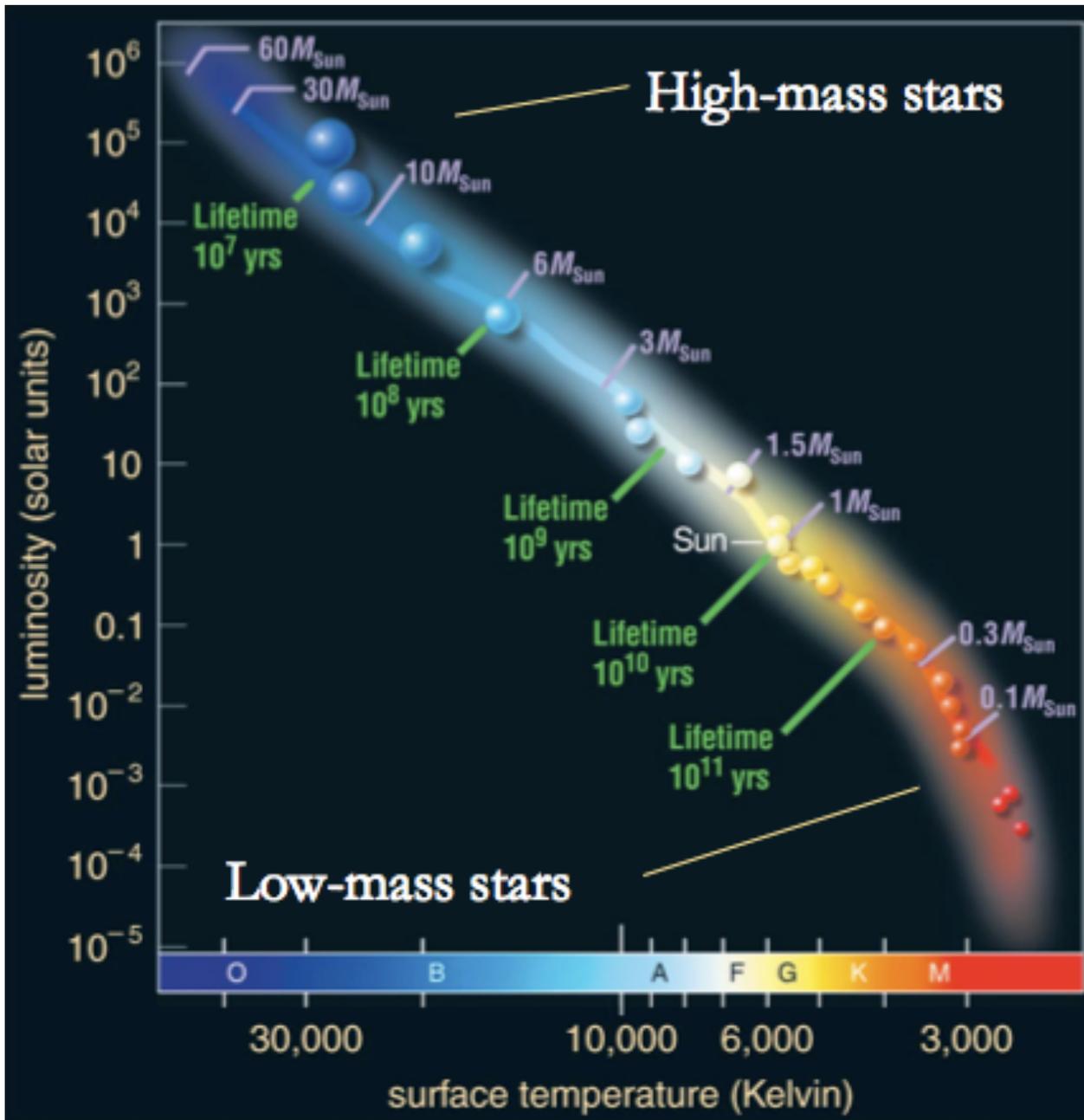


Las estrellas de la *secuencia principal* están fusionando hidrógeno en helio en sus núcleos como el Sol.

Las estrellas luminosas de la secuencia principal son calientes (azules).

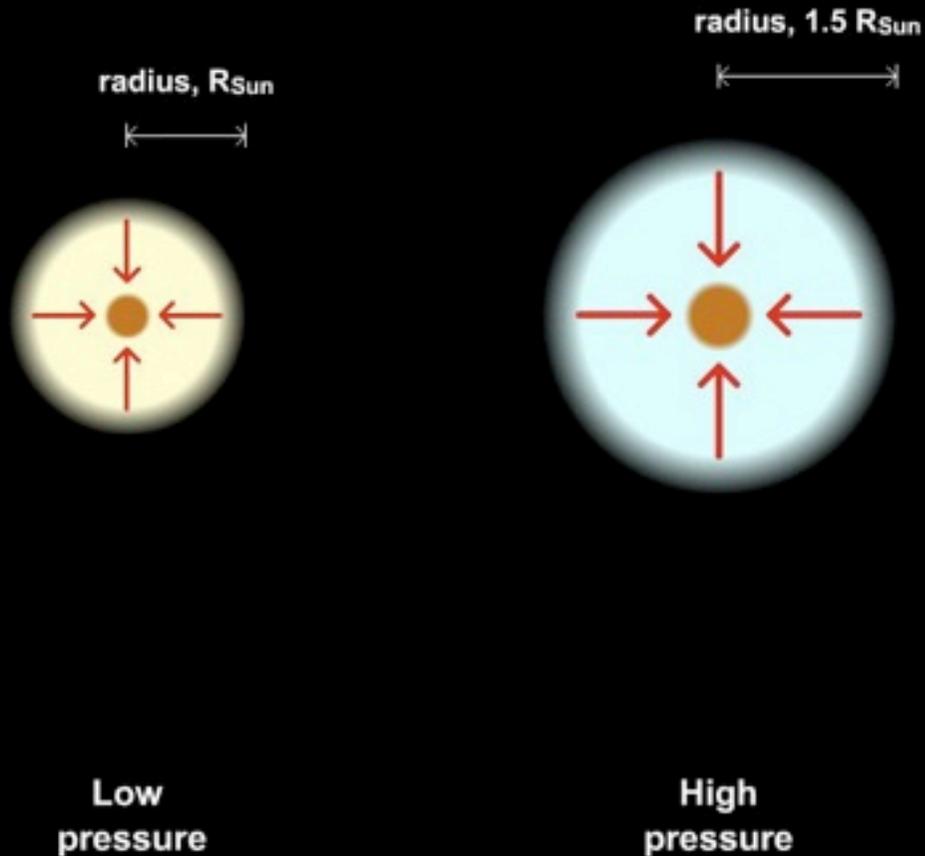
Los menos luminosos son los más fríos (amarillo o rojo).





La masa de una estrella normal que quema hidrógeno determina su luminosidad y su tipo espectral.

## Hydrostatic Equilibrium



La presión central y la temperatura de una estrella de mayor masa necesitan ser más grandes para equilibrar la gravedad.

Una temperatura central más alta aumenta la tasa de fusión, lo que lleva a una mayor luminosidad.

# Propiedades estelares

*Luminosidad:* de el brillo y la distancia.

$$10^{-4}L_{\text{Sun}} - 10^6L_{\text{Sun}}$$

*Temperatura:* del color y tipo espectral.

$$3000 \text{ K} - 50,000 \text{ K}$$

*Masa:* del periodo (p) y la separación media (a).  
de órbita binaria

$$0.08M_{\text{Sun}} - 100M_{\text{Sun}}$$

# Stellar Properties Review

*Luminosity:* from brightness and distance

$$(0.08M_{\text{Sun}}) 10^{-4}L_{\text{Sun}} - 10^6L_{\text{Sun}} \quad (100M_{\text{Sun}})$$

*Temperature:* from color and spectral type

$$(0.08M_{\text{Sun}}) 3000 \text{ K} - 50,000 \text{ K} \quad (100M_{\text{Sun}})$$

*Mass:* from period ( $p$ ) and average separation ( $a$ )  
of binary star orbit

$$0.08M_{\text{Sun}} - 100M_{\text{Sun}}$$

# Masa y tiempo de vida

*Esperanza de vida del Sol:* 10 mil millones de años

# Mass and Lifetime

*Esperanza de vida del Sol:* 10 mil millones de años

Hasta que el núcleo  
de hidrogeno  
(10% del total) es  
agotado

# Mass and Lifetime

*Esperanza de vida del Sol:* 10 mil millones de años

Hasta que el núcleo  
de hidrogeno  
(10% del total) es  
agotado

*Esperanza de vida de una estrella de  $10M_{Sun}$ :*

10 veces más combustible, lo usa  $10^4$  veces más rápido

10 millions de años  $\sim$  10 mil millones de años  $\times$   $10/10^4$

# Mass and Lifetime

Hasta que el núcleo de hidrogeno (10% del total) es agotado

*Esperanza de vida del Sol:* 10 mil millones de años

*Esperanza de vida de una estrella de  $10M_{Sun}$ :*

10 veces más combustible, lo usa  $10^4$  veces más rápido

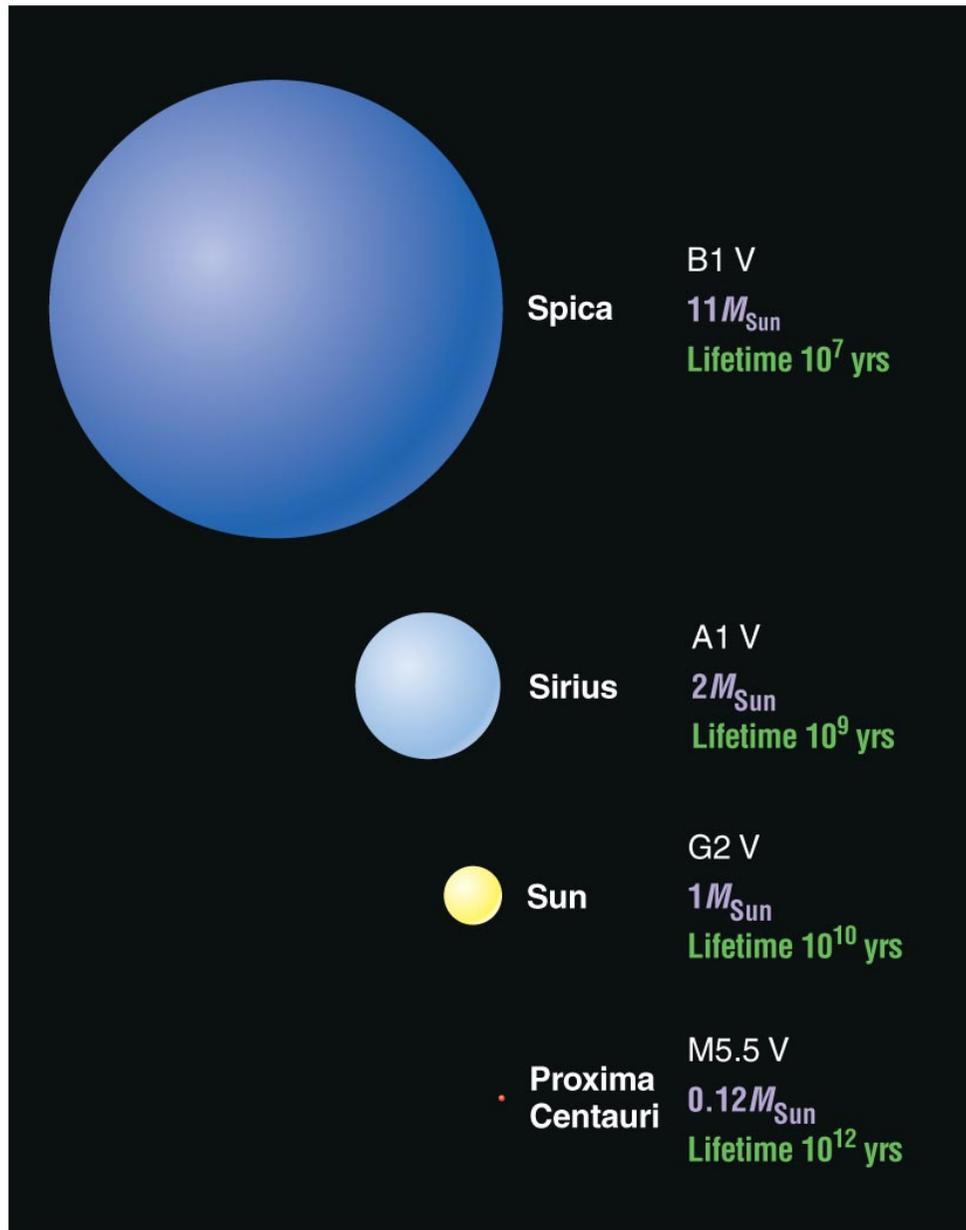
10 millions de años  $\sim$  10 mil millones de años  $\times$   $10/10^4$

*Esperanza de vida de una estrella de  $0.1M_{Sun}$ :*

0.1 veces más combustible, lo usa 0.01 veces más rápido

100 mil millones de años  $\sim$  10 mil millones de años  $\times$   $0.1/0.01$

# La secuencia principal



Estrella de gran masa:

- Luminosidad Alta
- Vida corta
- Radio mayor
- Azul

Estrella de baja masa:

- Baja luminosidad
- Larga vida
- Radio pequeño
- Roja