

Capítulo 7

Masas estelares. Estrellas binarias

7.1. Masas estelares

Masa magnitud fundamental de las estrellas

- Determina la producción de energía (\rightarrow) evolución
 - Constante durante la mayor parte de la vida estelar.
 - Influencia en las propiedades de la Galaxia
- Interacción gravitatoria entre las componentes de estrellas binarias: Unica método de estimar directamente de la masa estelar

Tercera ley de Kepler:

$$G(M_1 + M_2) = \frac{4\pi^2 a^3}{P^2} \quad (7.1)$$

- a = semieje mayor de la órbita relativa
- P = periodo
- M_1, M_2 = masas estelares
- G = constante de gravitación universal

Centro de masas:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{a_2}{a_1} \quad (7.2)$$

- a_1, a_2 = semiejes mayores alrededor del centro de masas
- Es común ver la 3. ley de Kepler de la forma:

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2} \quad (7.3)$$

con M en masas solares, a en unidades astronómicas y P en años.

Para utilizar lo anterior de forma estricta:

- debe ser posible separar ambas estrellas
- conocer la distancia al sistema binario
- determinar la órbita absoluta de una de las componentes

7.2. Estrellas binarias

■ Dobles visuales

- Sus componentes se pueden resolver con el telescopio.
- Binarias visuales pueden ser reales (físicas o no)
- Se puede saber si son reales con información sobre distancia (paralaje), movimientos propios y velocidad radial
- Se determina órbita relativa (CCD, micrómetro) de una componente alrededor de la otra, proyectada sobre el plano del cielo.
- Se mide el semieje mayor, a en segundos de arco, excentricidad e y período P . Kepler $\rightarrow M_1 + M_2$
- Si la distancia al sistema es conocida se halla a en cm .
- Kepler $\rightarrow M_1 + M_2$
- Movimiento de una componente con respecto a estrellas de fondo $\rightarrow a_i$: órbita alrededor del centro de masas
- Con la condición de centro de masas $\rightarrow M_1$ y M_2

Pocas dobles visuales suficientemente cercanas al Sol con separaciones adecuadas entre las componentes.

Dobles espectroscópicas

- Sus componentes no se resuelven con el telescopio.
- Los movimientos orbitales se calculan a partir del desplazamiento Doppler periódico de sus líneas espectrales:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

- Observable: velocidades radiales $v \sin(i)$,
- i = ángulo de inclinación de la órbita sobre el plano del cielo.
- Se mide P con la curva de velocidad radial.

$$v P = 2\pi a \quad (a \rightarrow a \sin i)$$

- Las curvas de velocidad radial suministran:

$$a_1 \sin i, a_2 \sin i, P, (Kepler) \rightarrow M_1 \sin^3 i + M_2 \sin^3 i$$

- Indeterminación en i
- Lo anterior es útil para fines estadísticos: relación tipo espectral-masa (se estima el valor medio $M \sin^3 i$ y se realiza hipótesis realista sobre el valor medio de todas las inclinaciones posibles ($\overline{\sin^3 i} = 0,59$)).
- Si una estrella de la binaria es significativamente más brillante que la otra ($\Delta m > 1$ mag) sólo se puede medir bien un espectro.
- Si ambas componentes tienen magnitudes similares, se observan bien las líneas de ambas estrellas.

■ Binarias eclipsantes

- $i = 90^\circ$: las curvas de luz espectroscópicas y fotométricas tienen dos máximos y mínimos bien diferenciados.

Datos exsistentes:

– ~ 200 estrellas dobles en $r < 20pc$

ROSS 614B: $M \sim 0,08 M_{\odot}$

HD 93250: $M \sim 130 M_{\odot}$

7.3. Relación Masa-Luminosidad

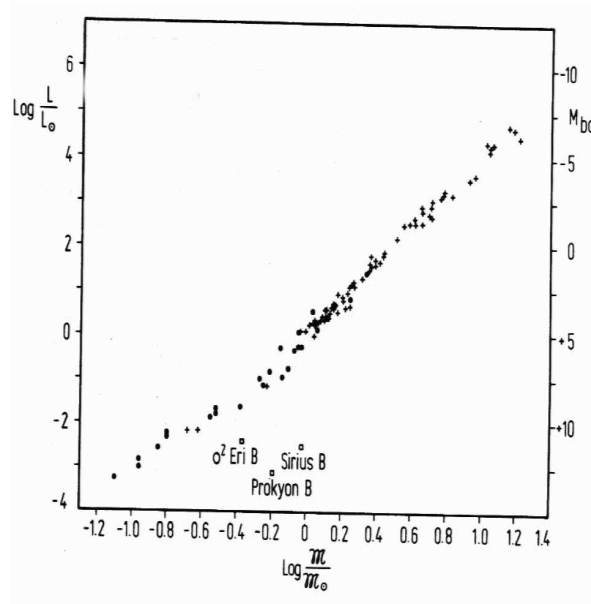


Figura 7.1: Relación masa-luminosidad para estrellas de la secuencia principal

Para estrellas de la secuencia principal (Clase V):

$$L \sim M^3$$

– Empíricamente se puede subdividir en:

$$L \sim M^{2,5} \quad (M < 0,5M_{\odot})$$

$$L \sim M^4 \quad (M \geq 0,5M_{\odot})$$

– Para las enanas blancas:

$$\frac{M}{M_{\odot}} \approx 0,6 + -0,3$$

– En el caso de las estrellas de la Población II: ???

7.4. Gravedad y densidad

- Masas estelares abarcan tres ordenes de magnitud en M_{\odot} ($\sim 0.07 - 100 M_{\odot}$).
- Radios abarcan $\approx 10^{-2} R_{\odot}$ (enanas blancas) a $10^3 R_{\odot}$ (supergigantes).
- Los valores medios de la densidad y gravedad estelares se pueden estimar con:

$$\frac{\rho}{\rho_{\odot}} = \frac{M/M_{\odot}}{(R/R_{\odot})^3} \quad \frac{g}{g_{\odot}} = \frac{M/M_{\odot}}{(R/R_{\odot})^2}$$

- $\rho_{\odot} = 1,41 \text{ g cm}^{-3}$,
- $g_{\odot} \approx 2,74 \cdot 10^2 \text{ m s}^{-2}$

Casos extremos:

- Enanas blancas:

$$\rho \approx 10^6 \text{ g cm}^{-3}; \quad g \approx 0,6 \times 10^4 g_{\odot}$$

- Supergigantes ($M \sim 20 M_{\odot}$; $R \sim 500 R_{\odot}$):

$$\rho \sim 2 \times 10^7 \text{ g cm}^{-3}; \quad g \sim 7 \times 10^{-5} g_{\odot}$$

7.5. Cuestiones y ejercicios

1. La separación angular media entre las componentes de un sistema binario es de $2''$ y el período del sistema es de 3 años. Si la paralaje del sistema es de $0.''5$, calcular la suma de las masas de las dos componentes en unidades de masa solar.

RESPUESTA: Utilizando la ley de Kepler:

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

Para el sistema Sol-Tierra:

$$\frac{G(M_\odot + M_\oplus)}{4\pi^2} = \frac{a_\oplus^3}{P_\oplus^2}$$

De aquí:

$$\frac{M_1 + M_2}{M_\odot} = \frac{a^3/a_\oplus^3}{P^2/P_\oplus^2}$$

Por tanto:

$$M_1 + M_2 = M = \frac{a^3}{P^2}$$

con M masas solares, a en unidades astronómicas y P en años.

Por definición de parsec, una paralaje de $1''$ equivale a una distancia de 1 pc. Por tanto, la distancia al sistema es de 2 pc y la separación angular media, expresada en unidades astronómicas es:

$$a(AU) = a('')/\pi('') = 4AU$$

.

Como $P = 3$ años, usando la ley de Kepler tenemos:

$$M = M_1 + M_2 = 7,1M_\odot$$

2. α Centauri es una estrella doble cuyas componentes tienen magnitudes aparentes en la banda V 0.33 y 1.70 respectivamente. a) Calcular la magnitud aparente de α Cen. b) Calcular la magnitud absoluta de α Cen y de cada una de sus componentes sabiendo que su paralaje es de $0.75''$. c) Estimar el tipo espectral de cada componente y las magnitudes aparentes en la banda B . d) Si suponemos que la extinción en V a α Cen es $A_V = 1 mag$, estimar las magnitudes aparentes de cada componente de la doble en la banda U . e) Calcular la razón de las luminosidades entre la estrella principal y la secundaria. f) Calcular el radio (en unidades astronómicas) de la órbita de la secundaria alrededor de la primaria sabiendo que la separación angular media es de $17.71''$. g) Calcular la suma de las masas (en unidades solares) sabiendo que el periodo de la órbita aparente es de 85 años.

RESPUESTA:

a): (banda V)

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log \frac{S_1}{S_2}$$

Con los datos ($m_1 = 0,33$; $m_2 = 1,70$):

$$\frac{S_1}{S_2} = 3,53$$

$$m - m_2 = -2,5 \log \frac{S}{S_2} \Rightarrow m = 0,06$$

siendo $S = S_1 + S_2$ y m la magnitud de α Cen.

Operando resulta:

$$m = 0,06$$

b):

$$d = 1/\pi = 1,33 \text{ pc}$$

$$m_V - M_V = 5 \log d - 5 = -5 \log \pi - 5 = -4,38$$

$$M_V = 4,44$$

Análogamente para las estrellas 1 y 2:

$$M_1 = 4,71$$

$$M_2 = 6,08$$

c) Estrella 1: G2; estrella 2: K1 (Tablas)

Para G2: $B - V = 0,63$; para K1: $B - V = 0,86$. Las magnitudes aparentes en la banda B serán

$$m_1 = 0,96$$

$$m_2 = 2,57$$

d) Para G2: $U - B = 0,12$; para K1: $U - B = 0,54$. Las magnitudes aparentes en la banda U serán

$$m_1 = 1,08$$

$$m_2 = 3,01$$

Si la extinción a la estrella es $A_V = 1 \text{ mag}$ y suponemos una ley de extinción normal (p.e. van de Hulst 15)
 $\Rightarrow A_U = 1,55 \text{ mag}$ y:

$$m_1 = 2,63$$

$$m_2 = 3,56$$

e) Una estrella de la secuencia principal de tipo G2 es análoga al Sol. Su luminosidad es $1 L_\odot$. Una estrella K1 tiene $\approx 0,32 L_\odot$.

f) El radio medio será 23.55 AU

g) Para hallar la suma de las masas aplicamos la 3. Ley de Kepler (más sencillo en unidades solares). Se obtiene

$$M = 2,05 M_\odot$$

.

3. La paralaje de un sistema binario es de $0.005''$ y la separación angular media entre las dos componentes es de $2''$. El tipo espectral de la componente primaria del sistema es A0V y el de la estrella secundaria es F0V. Calcular; (a) el período orbital del sistema, (b) magnitud aparente de cada componente y del sistema en la banda V si la extinción en la línea de visión es $A_V = 1.5$ magnitudes. (c) la densidad media (partículas/cm³) de los granos de polvo a lo largo de la línea de visión, suponiendo que su distribución es uniforme y que sus parámetros físicos son a (radio de los granos) = $0.3 \mu\text{m}$ y $Q_{ext} = 2$.

RESPUESTA:

a)

$$\pi = 0,005'' \rightarrow d = 200 \text{ pc} \rightarrow a = 400 \text{ UA}$$

Masa estrella A0V: $M_1 = 2,9 M_\odot$

Masa estrella FOV: $M_2 = 1,6 M_\odot$

Aplicando la tercera Ley de Kepler:

$$P = 3771 \text{ años}$$

b)

Magnitud absoluta estrellas A0V: $M_V = 0,65$

Magnitud absoluta estrellas F0V: $M_V = 2,73$

$$m_v - M_V = 5 \log r - r + A_v$$

$$m_v(AO) = 8,66; \quad m_v(F0V) = 10,74; \quad m_v(A0 + F0) = 8,51$$

c)

$$A_V = 1,086 \, n \pi a^2 Q_{ext} L$$

$$n = 7,9 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-3}$$

4. La curva de velocidad radial de la estrella 51 Peg (tipo espectral G2 V) muestra un comportamiento sinusoidal con una amplitud de 59 ms^{-1} y un periodo de 4.2 días. Este comportamiento se explica debido a la existencia de un objeto compañero no visible de la estrella. Suponiendo que la órbita es circular, calcular la masa del objeto no visible y la separación entre dicho objeto y 51 Peg.