

Auxiliar 8

Astronomía General

17 de julio, 2013

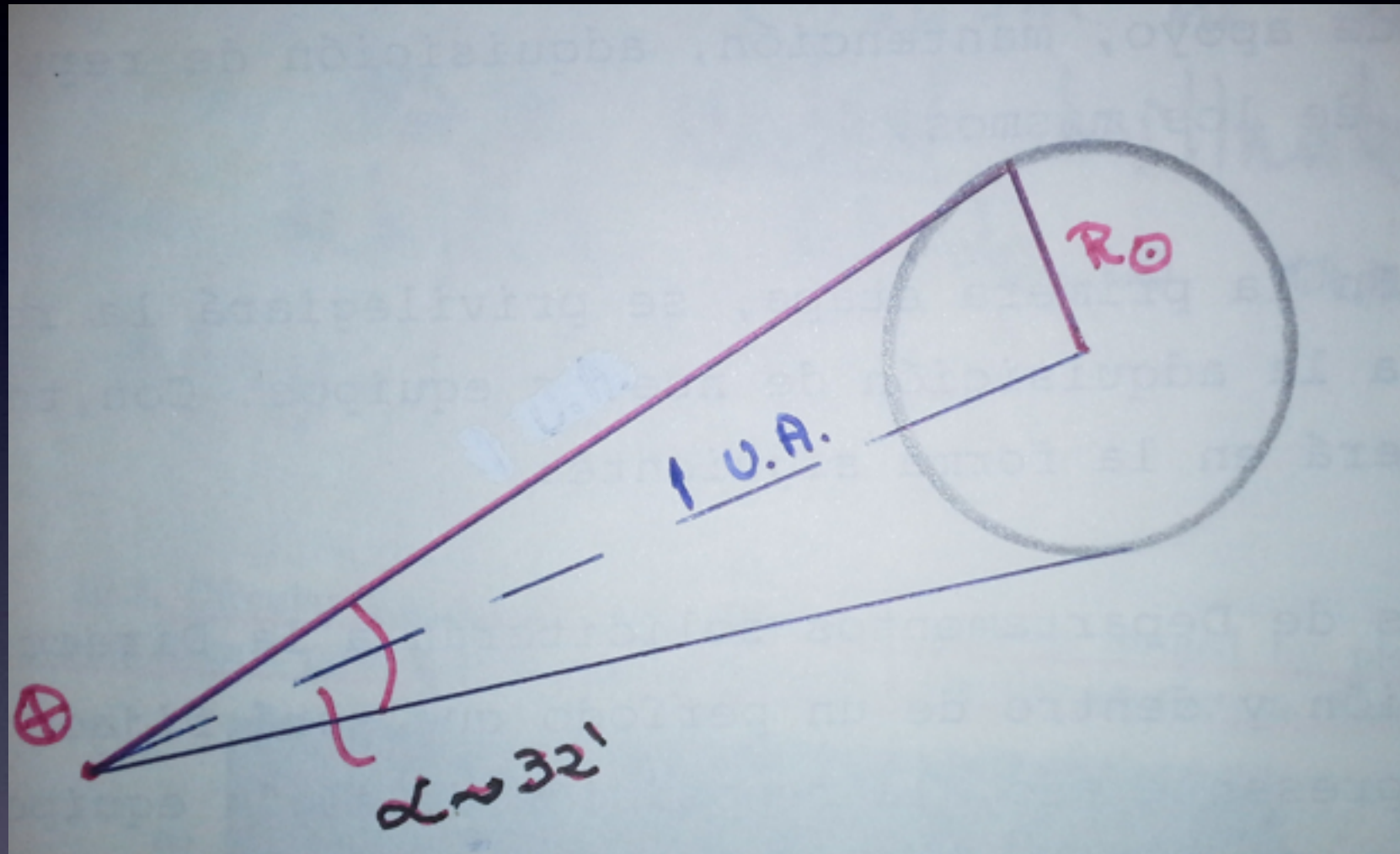
Carroll & Ostlie “Introduction to modern astrophysics”

Radios estelares

- Método directo: al conocer tamaño angular de la estrella y su distancia, se conoce el radio
- Sólo para Sol
- Problema: ¿dónde “termina” una estrella? -> Fotósfera: límite hasta donde puede penetrar nuestra visual

Tamaño angular medio del sol: $\alpha = 32'$

Distancia al sol: $d = 1.495 \times 10^8 \text{ Km}$



$$R_{\text{sol}} = d * \alpha / 2 = 6.96 \times 10^5$$

- Para otras estrellas no es posible distinguir el disco real.
- Lo que se observa es un disco espúreo por difracción en la abertura circular del telescopio (Disco de Airy).
- Mayoría de las estrellas: disco real menor que el disco de Airy.
- Además, está el efecto del seeing astronómico.

- Existe una forma indirecta de medición: asumir que la estrella es un cuerpo negro.

$$L_{\star} = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{ef}}^4$$

$$R_{\star} = \sqrt{\frac{L_{\star}}{4\pi\sigma T_{\text{ef}}^4}}$$

- Temperatura se puede determinar a través de espectroscopía o fotometría.
- Luminosidad se deduce a partir de la magnitud bolométrica.

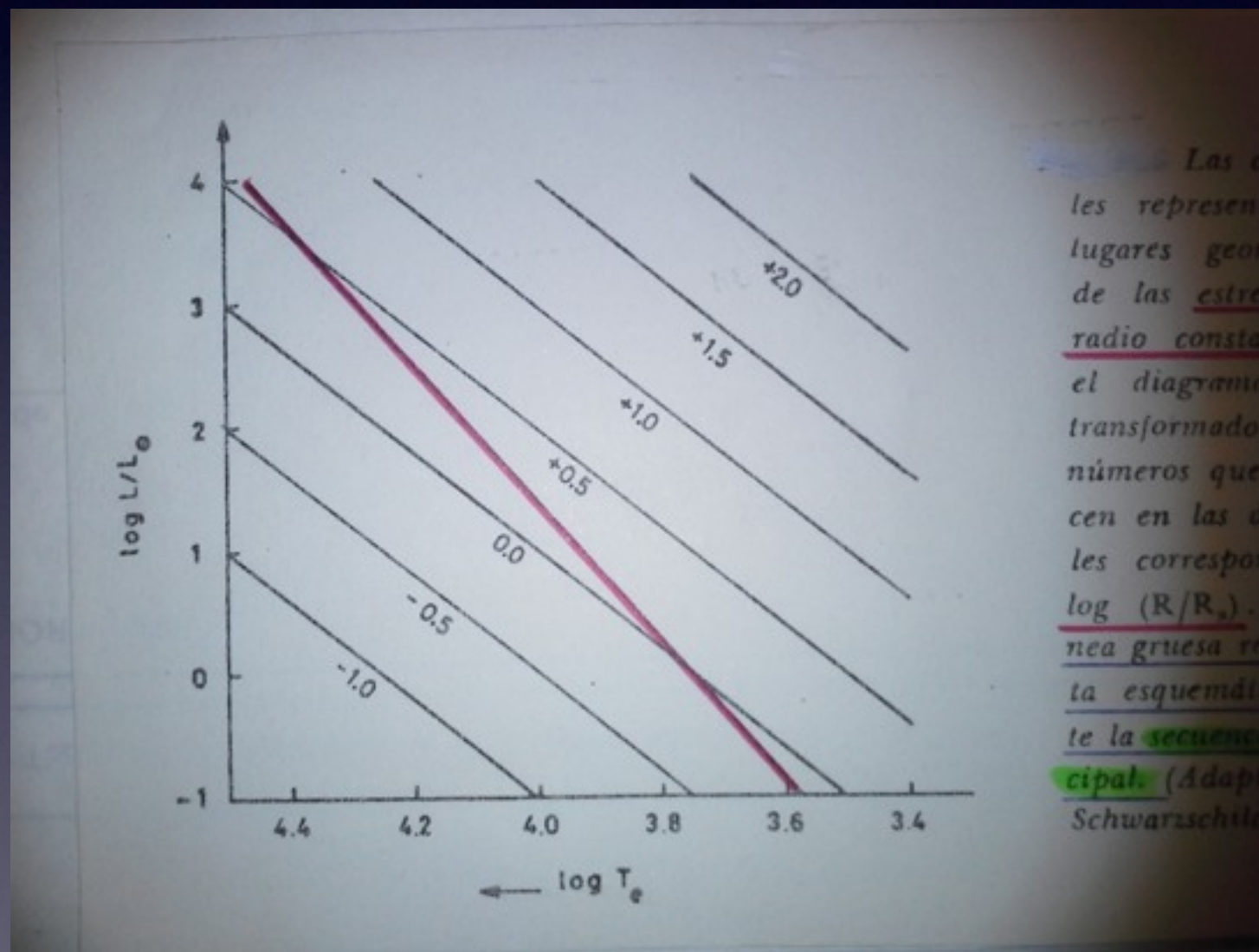
- En unidades solares:

$$L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4$$

$$\frac{L_{\star}}{L_{\odot}} = \left(\frac{R_{\star}}{R_{\odot}} \right)^2 \left(\frac{T_e}{T_{e\odot}} \right)^4$$

$$\log\left(\frac{L_{\star}}{L_{\odot}}\right) = \log\left(\frac{R_{\star}}{R_{\odot}}\right)^2 + \log\left(\frac{T_e}{T_{e\odot}}\right)^4$$

- En un diagrama HR, las estrellas de igual radio ocuparán líneas diagonales.



Rango de radios estelares

- Estrellas de secuencia media:
 - Estrella de Barnard, T.E. M5 V (enana roja): $1/8 R_{\text{sol}}$
 - Sirio, T.E. A1 V: $1.6 R_{\text{sol}}$
 - Rigel, T.E. B8 Ia (supergigante azul): $28 R_{\text{sol}}$
 - Rango en sec media: entre 0.1 y $30 R_{\text{sol}}$

- Estrellas gigantes (clase de luminosidad III)
 - Capella, T.E G2 III: 16-20 R_{sol}
- Supergigantes (I)
 - Betelgeuse T.E M2 Ia b
 - Antares T.E M1 Ib

→ 300 - 400 R_{sol}
- Enanas blancas (alta T, bajo L)
 - Sirio B: 1/40 R_{sol}
 - Estrella de Van Maanen: 0.007 R_{sol}
 - 40 Eridani B: 0.019 R_{sol}

Masas estelares

- Se miden a través de las leyes de la gravitación
- Dos escenarios: estudio de cuerpo menor que órbita la estrella; sistemas binarios.
- Se utiliza 3ª ley de Kepler

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

Sistemas binarios

- Sistema físico donde dos estrellas orbitan un centro de gravedad común.
- Numerosos. 50% de las estrellas de la vecindad solar son dobles o múltiples.
- Varios tipos

- Dobles ópticas: no están gravitacionalmente ligadas; son simples proyecciones en el cielo.
- Dobles Visuales: las dos componentes pueden observarse directamente (se resuelven). En principio, puede monitorearse el movimiento de c/u
- Dobles Astrométricas: Una es más brillante que la otra, por lo que la más débil no puede verse directamente. Esta última se observa por las perturbaciones que provoca a la más brillante.

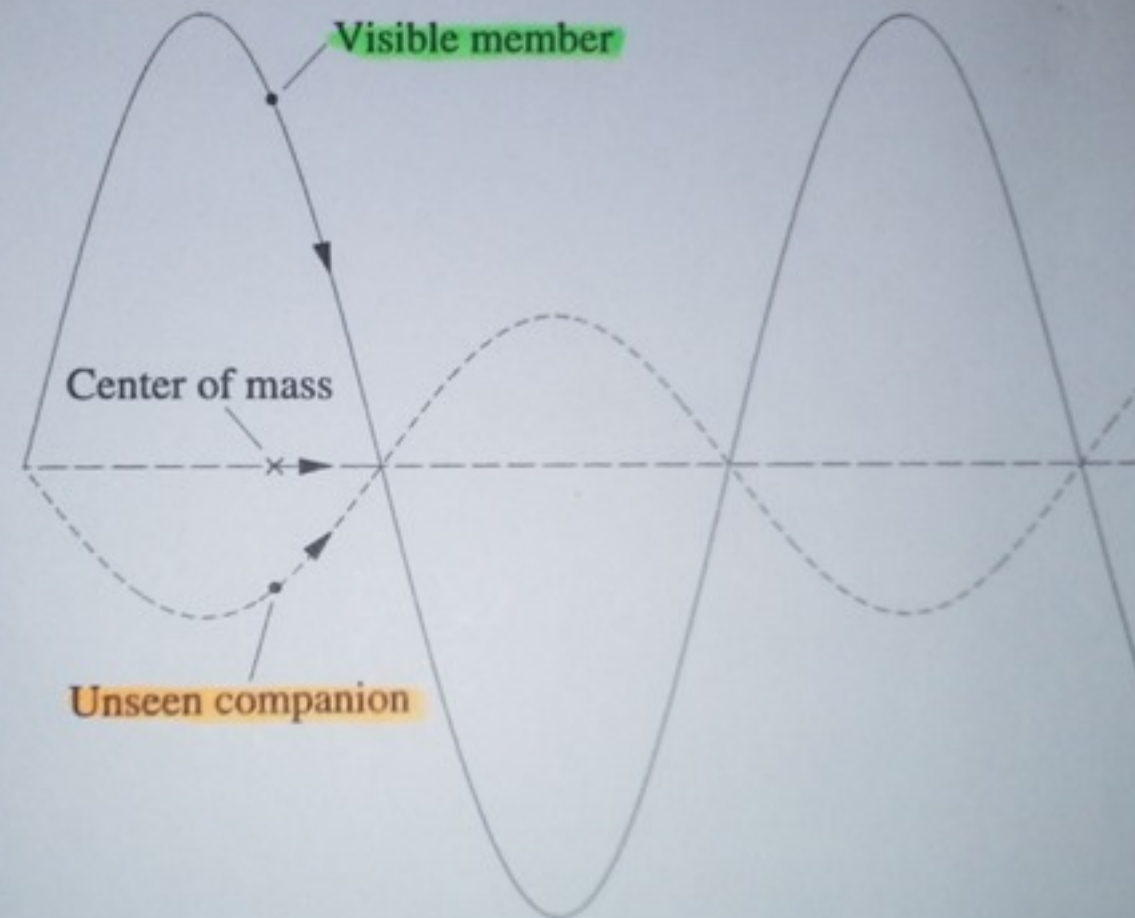


Figure 7.1 An astrometric binary, which contains one visible member. The unseen component is implied by the oscillatory motion of the observed element of the system.

- Dobles eclipsantes: Componentes se eclipsan mutuamente. Se observan variaciones en el flujo recibido.
- Curvas de luz pueden proveer información de T_{ef} y radios relativos.

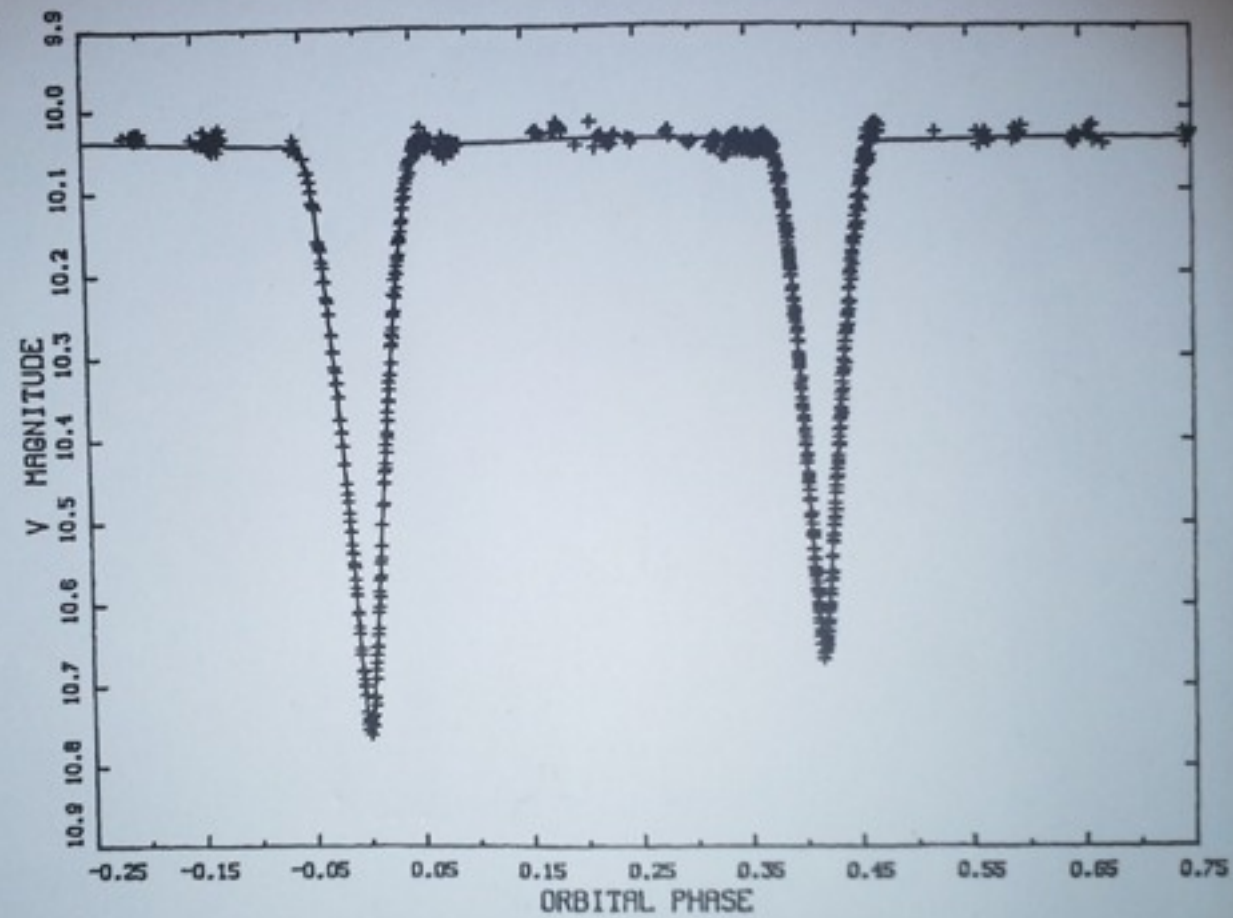


Figure 7.2 The V magnitude light curve of YY Sagittarii, an eclipsing binary star. The data from many orbital periods have been plotted on this light curve as a function of phase, where the phase is defined to be 0.0 at the primary minimum. This system has an orbital period $P = 2.6284734$ d, an eccentricity $e = 0.1573$, and orbital inclination $i = 88.89^\circ$ (see Section 7.2). (Figure from Lacy, C. H. S., *Astron. J.*, 105, 637, 1993.)

eccentricity $e = 0.1573$, and orbital inclination $i = 88.89^\circ$ (see Section 7.2).
 (Figure from Lacy, C. H. S., *Astron. J.*, 105, 637, 1993.)

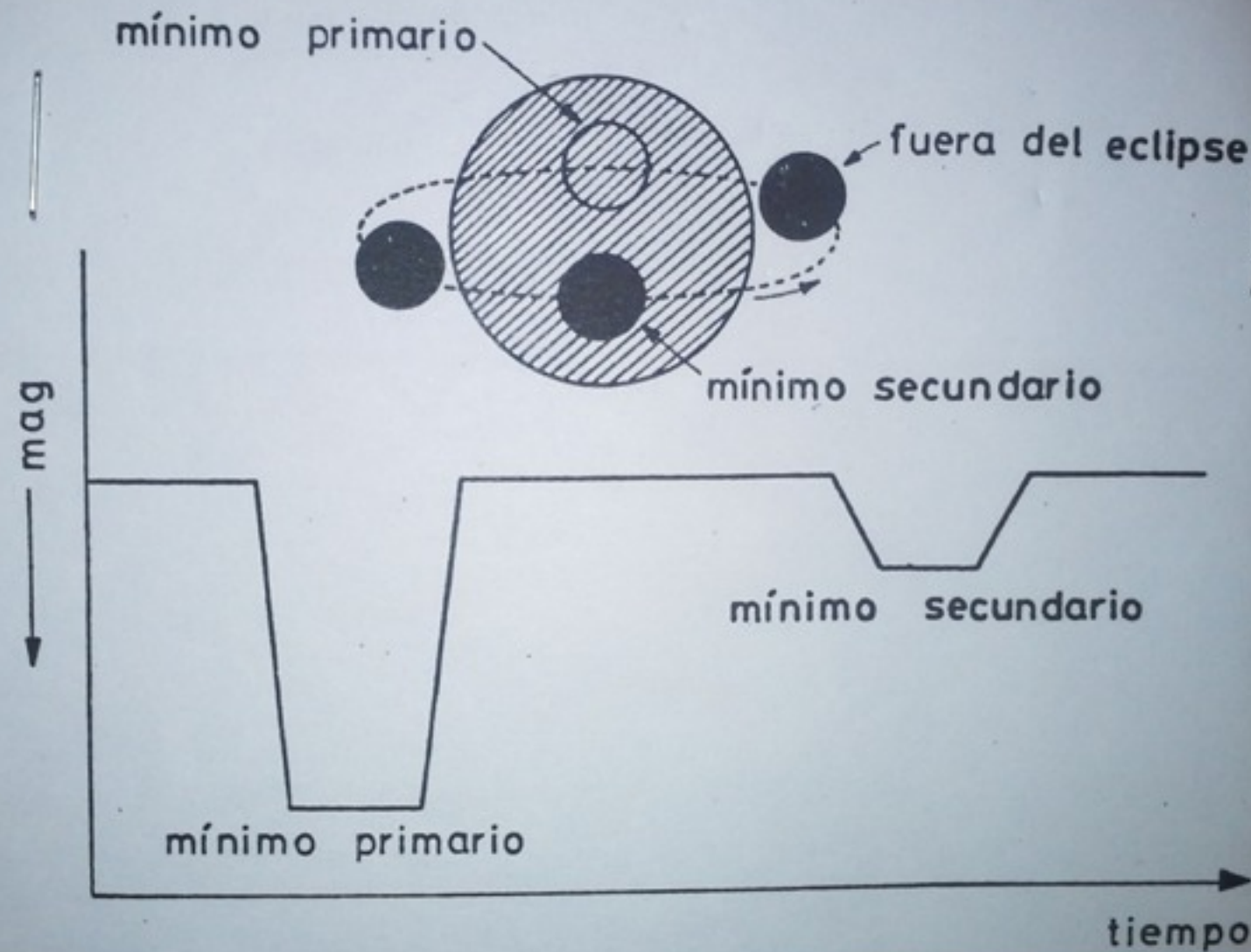
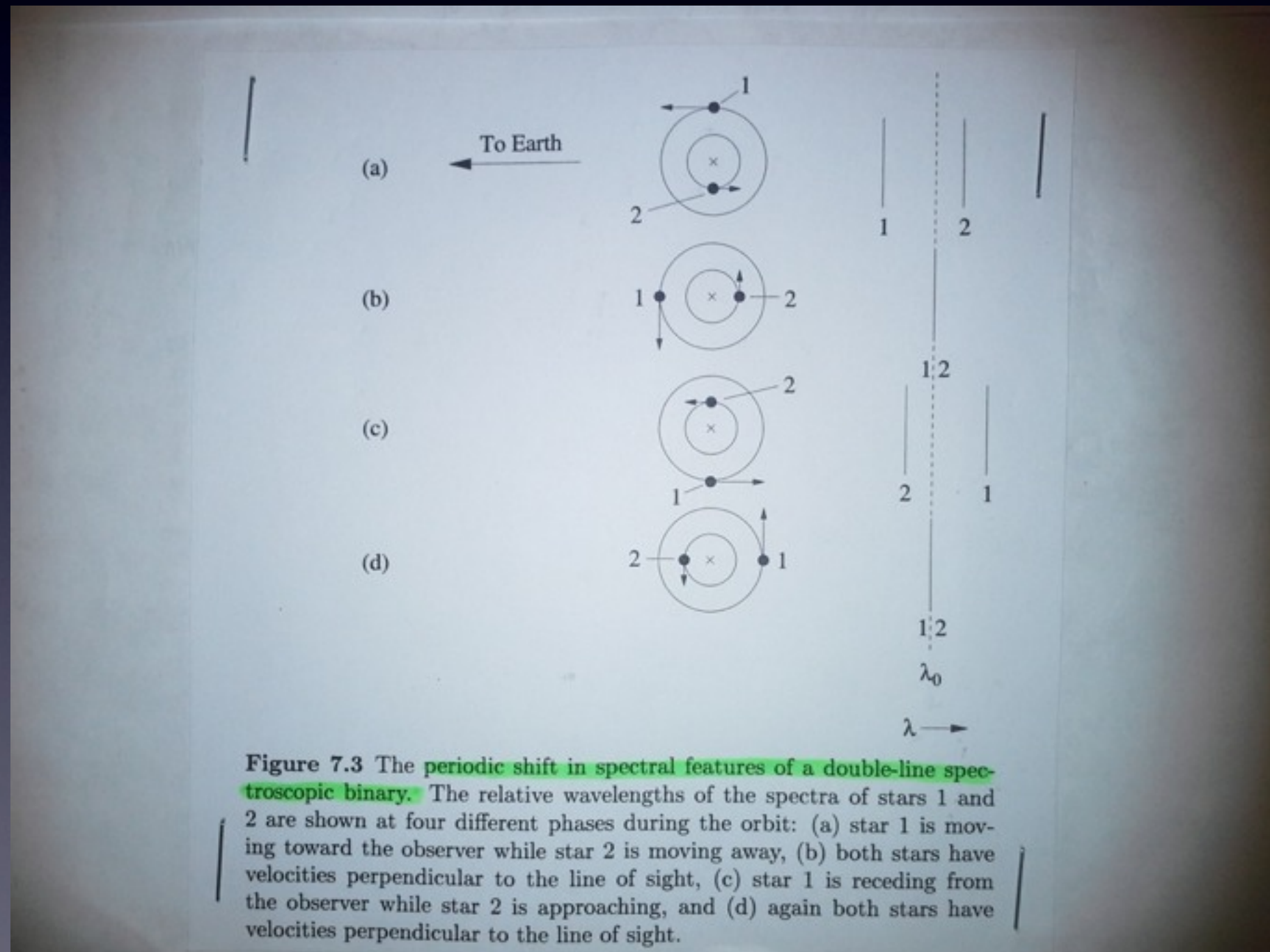


Fig. 5.12 Representación esquemática de la curva de luz de una binaria a eclipse.

- Dobles Espectroscópicas: Se observan dos sets de lineas espectrales independientes. Presentan corrimiento Doppler.



Determinacion masa

- Se usan dobles visuales resueltas.
- Se estudia el movimiento orbital de cada componente -> razón entre masas.
- Si se conoce la distancia al sistema -> masas individuales.

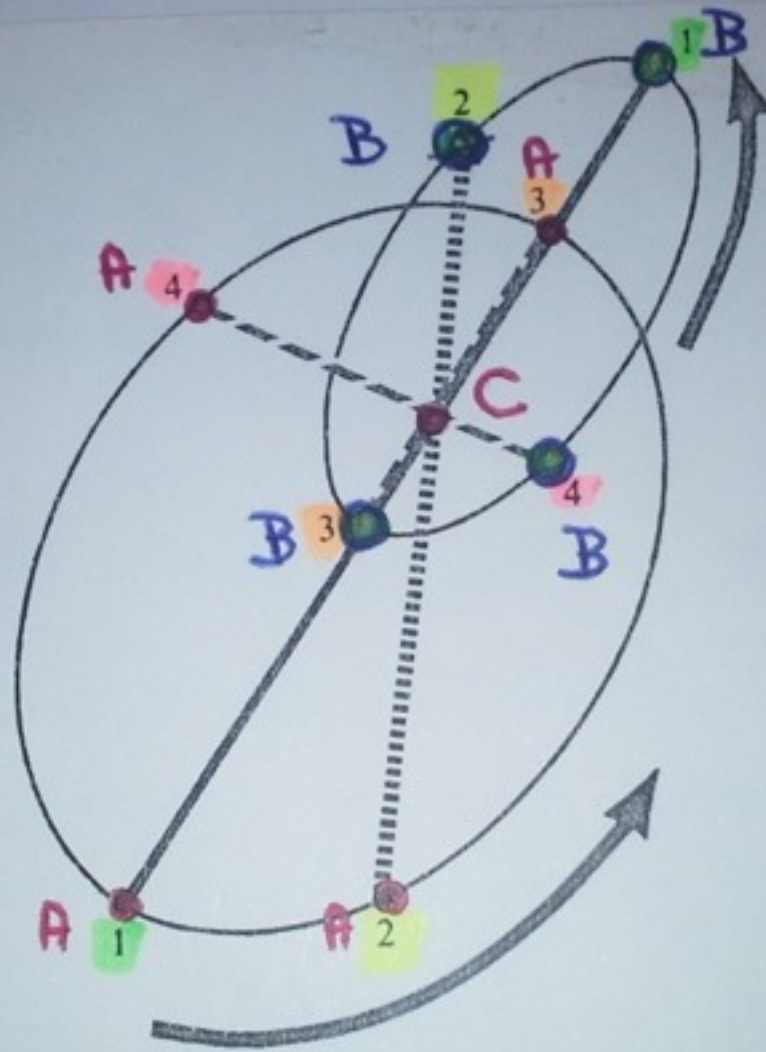


FIG. 21-4 The line from one component of a binary to the other must always pass through the center of mass of the system as the two stars revolve about each other.

Período P asignado a un sistema se aplica a ambas estrellas

$$P_{\text{bin}}^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G(m_1 + m_2)}$$

a: distancia media entre las dos estrellas
(semieje mayor de la órbita de una estrella
relativa a la otra)

$$m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2 a^3}{GP_b^2}$$

En unidades de Tierra-Sol:

$$P_{\oplus}^2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G(m_{\odot} + m_{\oplus})} \sim \frac{4\pi^2 a^3}{Gm_{\odot}}$$

$$a = 1[\text{U.A.}] = A$$

$$\frac{m_1 + m_2}{m_{\odot}} = \frac{4\pi^2 a^3 / GP_b^2}{4\pi^2 A^3 / GP_{\oplus}^2}$$

Si expresamos los períodos en años ($P_{\oplus} = 1$ año)

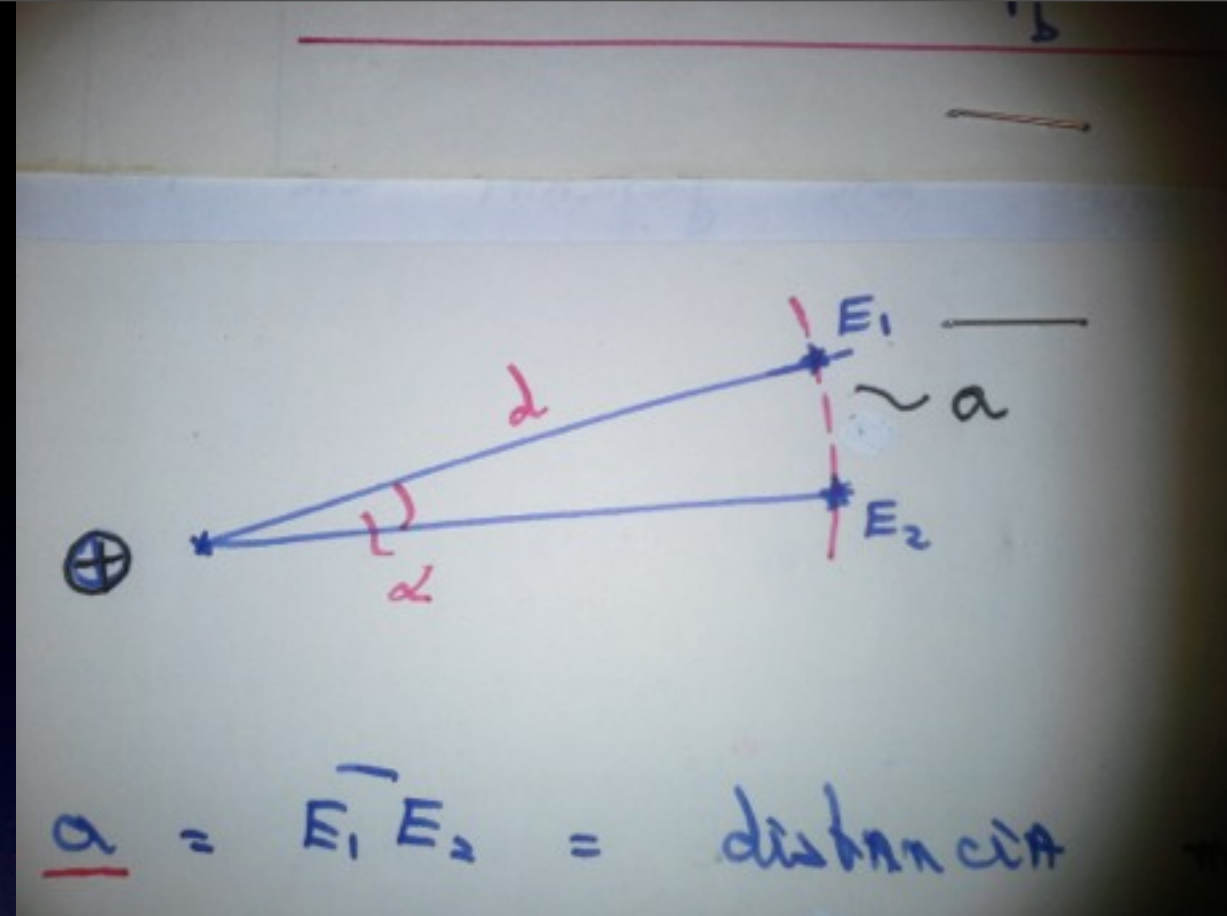
$$\frac{m_1 + m_2}{m_{\odot}} = \frac{(a/A)^3}{P_b^2} \quad \text{Pb en años}$$

Siendo d la distancia al sistema binario y p'' su paralaje, tenemos que:

$$d = 206265 \frac{A}{p''} \text{ [U.A.]}$$

$$A = \frac{dp''}{206265}$$

$$m_1 + m_2 = \frac{(206265 \cdot a/dp'')^3}{P_b^3} m_{\odot}$$



$a = \text{arco } E_1 E_2 = \text{distancia media entre las estrellas}$

Si α se expresa en radianes

$$a = d\alpha \rightarrow \alpha [\text{rad}] = \frac{a}{d}$$

α es la separación angular media

En segundos de arco

$$\alpha'' = 206265 \left(\frac{a}{d} \right)$$

$$m_1 + m_2 = \frac{\alpha''^3}{p''^3 P_b^2} m_{\odot}$$

Siendo a_1 y a_2 los semiejes mayores de las elipses descritas por la estrella 1 y 2, respectivamente, se tiene que la posición del centro de masa del sistema está definido por:

$$a_1 \cdot m_1 = a_2 \cdot m_2 \quad \text{con } a_1 + a_2 = a$$

Luego:

$$m_1 = \frac{(\alpha''/p'')^3}{P_b^2(1 + a_1/a_2)}$$

$$m_2 = \frac{(\alpha''/p'')^3}{P_b^2(1 + a_2/a_1)}$$

Notese que:

- Pb es medible, p'' también
- Es posible determinar la órbita verdadera de una estrella respecto a la otra observacionalmente $\rightarrow$ obtenemos a (α'')
- Es posible determinar la órbita de cada estrella en torno al C.M. del sistema observacionalmente $\rightarrow$ obtenemos a_1 y a_2 (α_1'' , α_2'')

- Períodos: varían entre poco más de un año y miles de años. La mayor parte de la sórbitas tienen períodos entre 25 y 100 años.

Más corto: 1.8 años

Más largo: 10.850 años

Probablemente hay muchos otros sietmas con $P > 11000$ años, pero son difíciles de observar.

- Excentricidades: Altas, $e=0.5$
- Separaciones angulares: entre $0.16''$ y $17''$.
80% menor que $2''$

- Rango de masas es muy estrecho comparado al rango de luminosidades

$$10^{-4} \leq L/L_{\odot} \leq 10^6$$

$$0.08 \leq m/m_{\odot} \leq 90$$

- Correlación entre TE y número de binarias visuales: ~33% de las componentes son de tipo G

Relación masa-luminosidad

- Relación entre la masa de una estrellas y su luminosidad.
- Depende de la clase de luminosidad.
- Es más consistente en la secuencia media

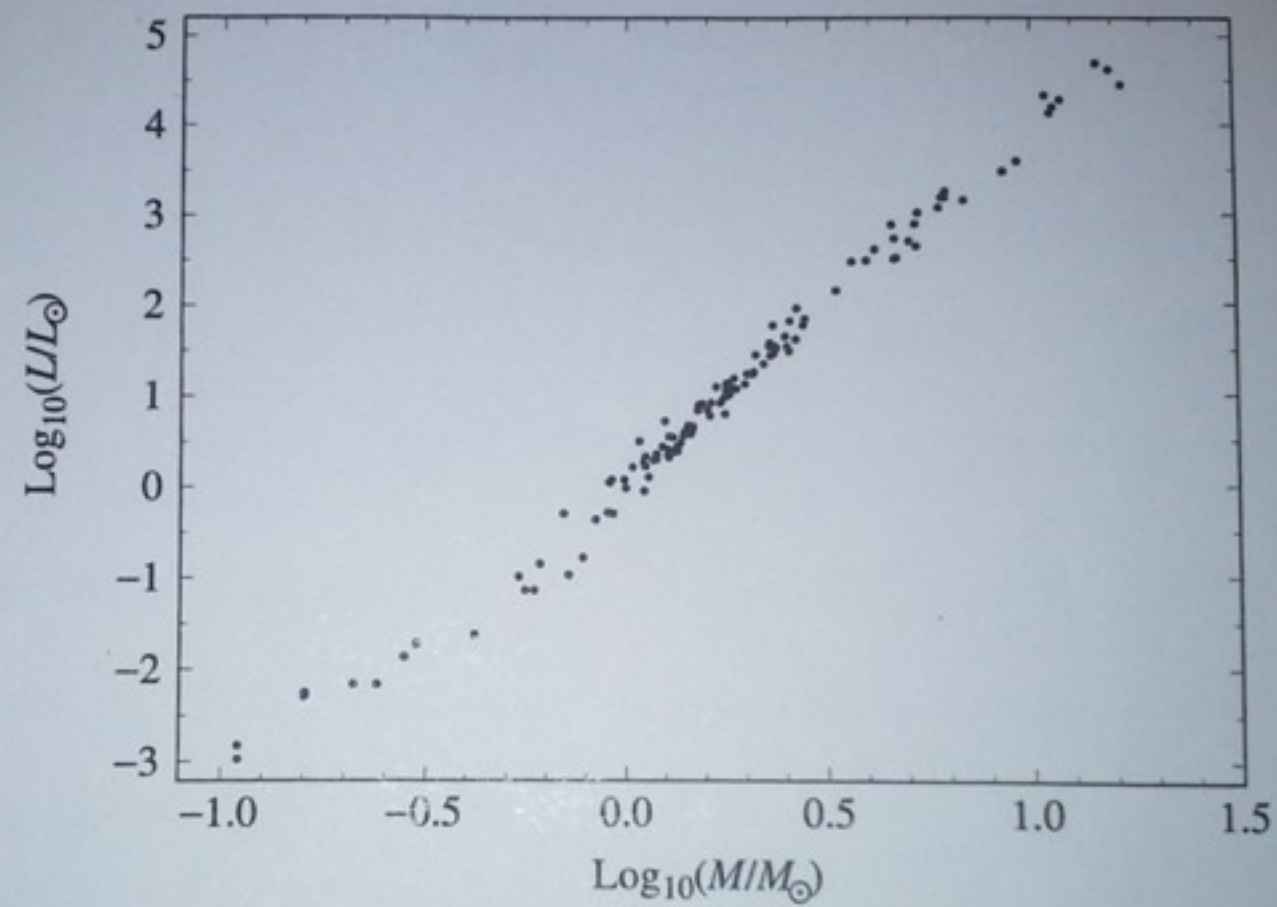


Figure 7.7 The mass–luminosity relation. (Data from Popper, *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 18, 115, 1980.)

- Para secuencia media:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{m}{m_{\odot}} \right)^{\alpha}$$

- Hay tres tramos:
 - Estrellas masivas, azules y brillantes ($M_{\text{bol}} \leq 0$): $\alpha \sim 3$
 - Estrellas semejantes al Sol: amarillas, masa y brillo moderado: $\alpha \sim 4$
 - Estrellas rojas, de baja masa y brillo ($M_{\text{bol}} \geq +7.5$): $\alpha \sim 2$

- Diferencias en el índice de potencia refleja que la estructura interna de las estrellas de secuencia principal no es igual para todas (depende de m y T)

- También existe una relación radio-masa:

$$\frac{R}{R_{\odot}} = \left(\frac{m}{m_{\odot}} \right)^{0.75} \quad \text{TE O} \rightarrow \text{G0}$$

$$\frac{R}{R_{\odot}} = \left(\frac{m}{m_{\odot}} \right)^{0.50} \quad \text{TE G4} \rightarrow \text{M}$$

se muestra en la figura siguiente:

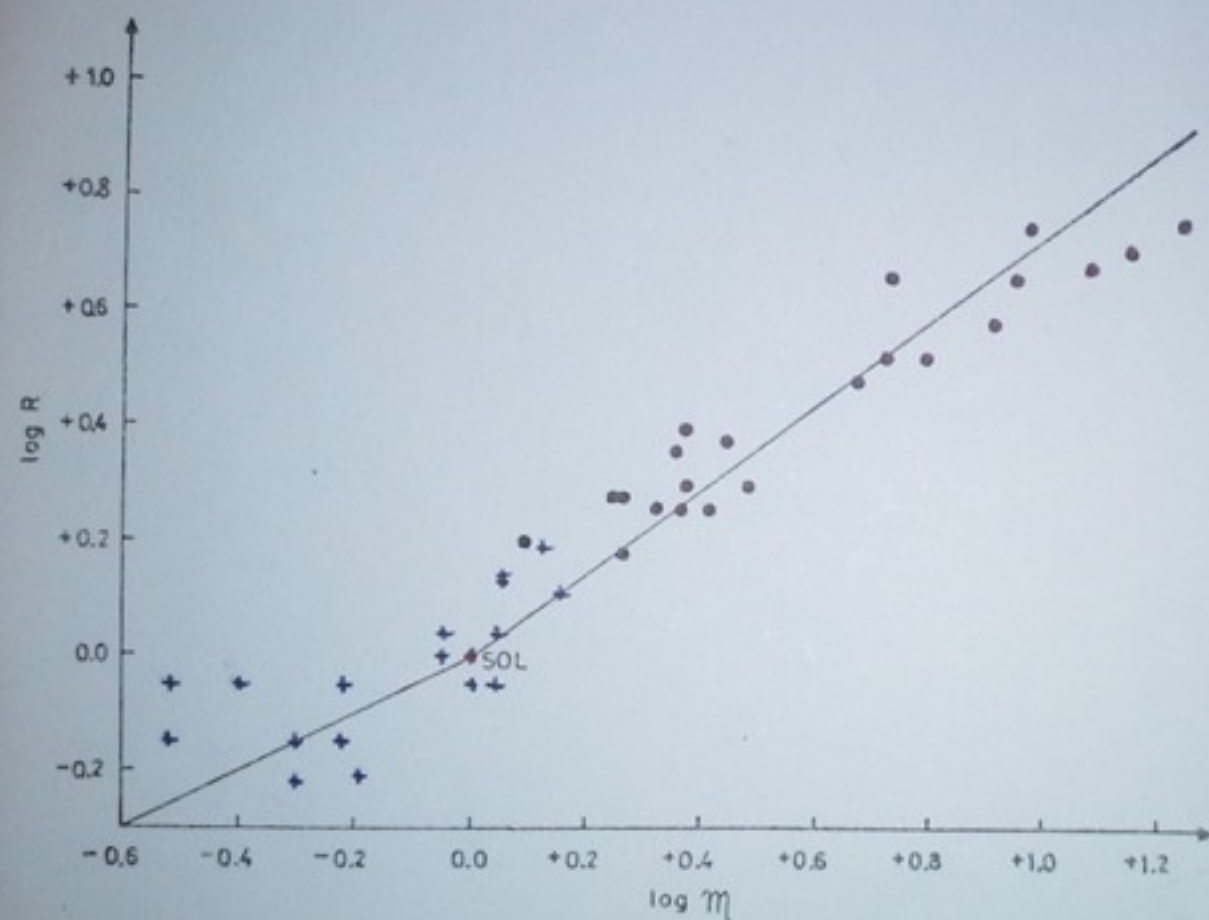


Fig. 6.10 Relación empírica masa-radio. Las estrellas representadas se han tomado de Harris, Strand y Worley. No se han incluido las estrellas gigantes y supergigantes de masa y radio conocido, ya que se alejan de la relación media.

Esta fig. incluye
 y las * para las
 cuales se tienen
 estimaciones de
 sus radios,
 exceptuando *
 gigantes.