

Capítulo 7

Estrelas Binárias e Parâmetros Estelares

7.1 Classificação de estrelas binárias

7.2 Determinação de Massas usando binárias visuais

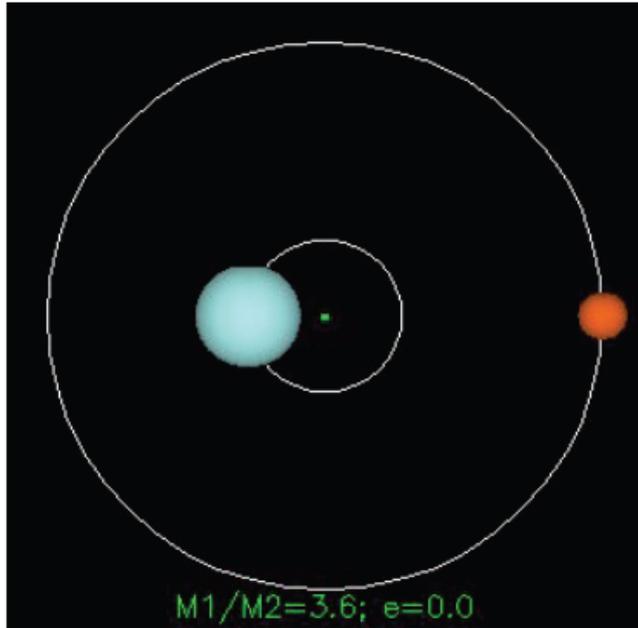
7.3 Binárias espectroscópicas eclipsantes

Relação Massa-Luminosidade

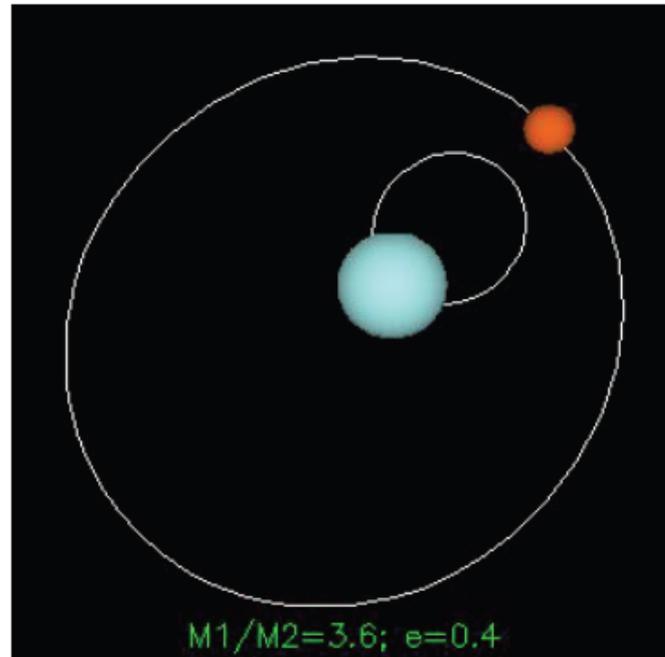
INTRODUÇÃO

Estrelas binárias

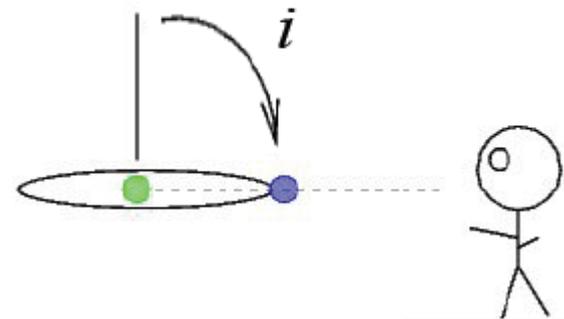
$$m_1/m_2 = 3,6 \quad e=0$$



$$m_1/m_2 = 3,6 \quad e=0,4$$



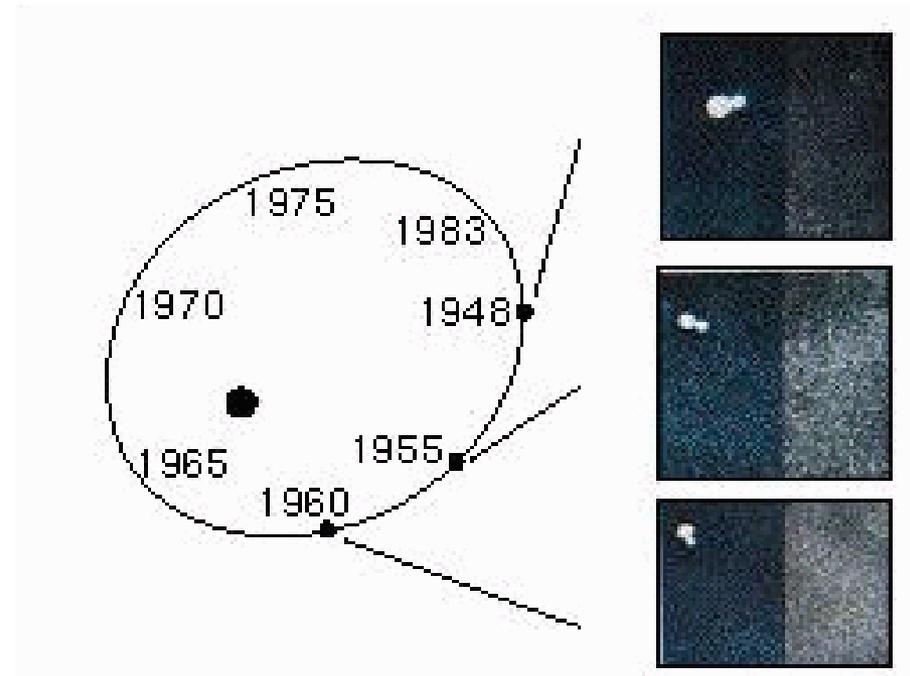
inclination angle



7.1 Classificação dos Sistemas Binários

- **Binárias aparentes** (*dupla óptica*) → não formam um sistema ligado → efeito de projeção.
- **Binária visual** → estudo de seu movimento → as estrelas estão fisicamente associadas.

Exemplo de sistema binário visual.
Os períodos e as separações das estrelas binárias podem ser observados diretamente se cada estrela é vista claramente.

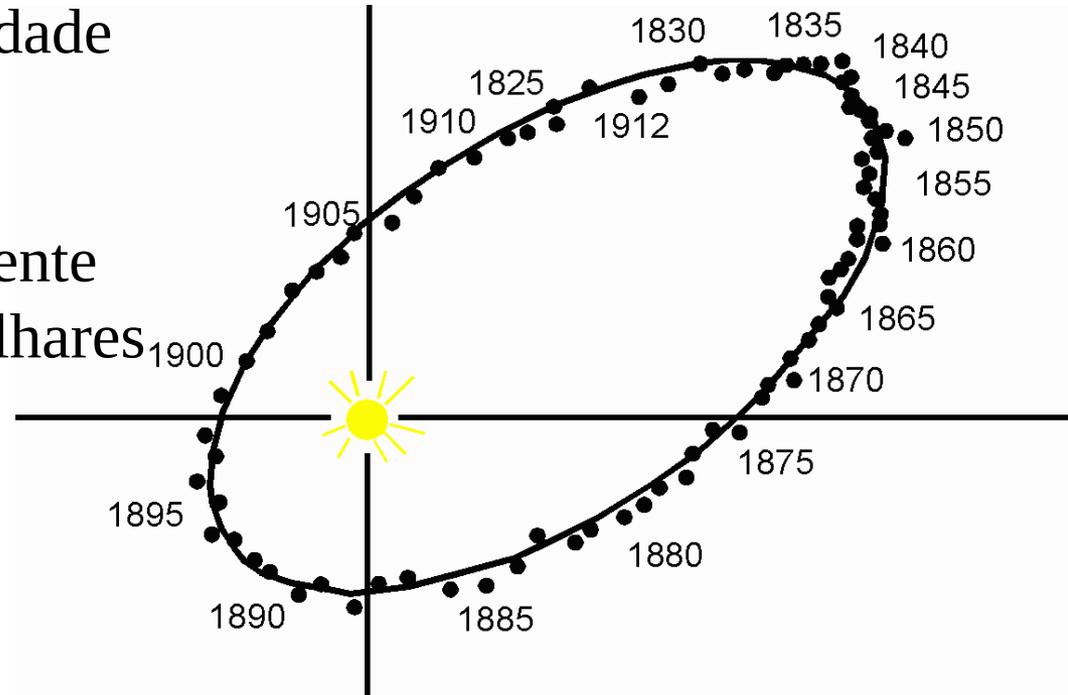


Binárias Visuais

A separação angular no movimento orbital deve ser grande o suficiente ($> 1''$) para resolver a duplicidade

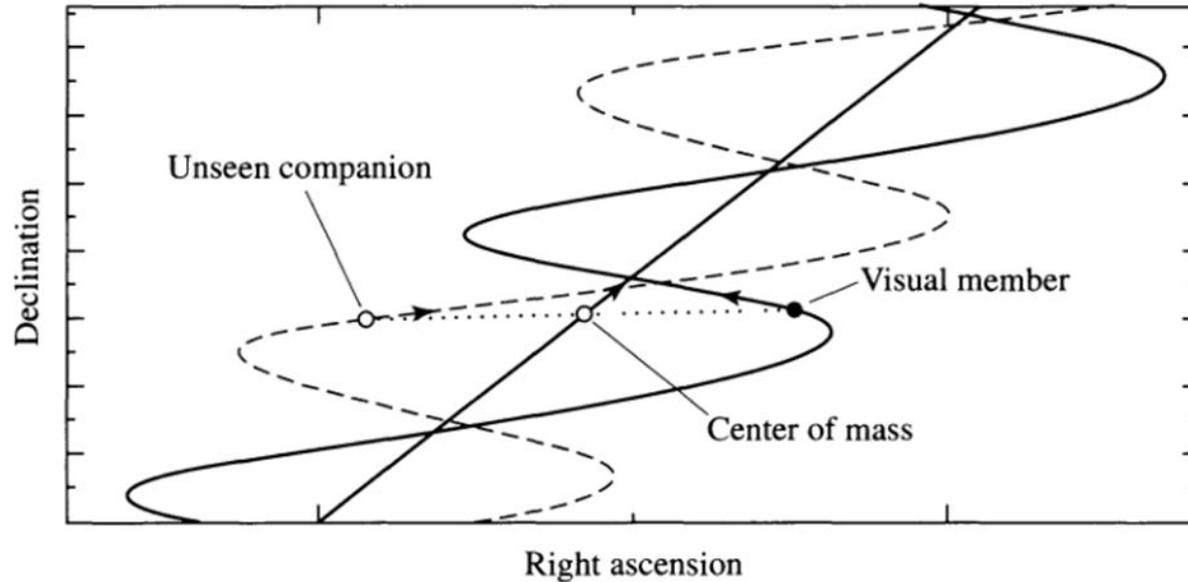


períodos orbitais necessariamente longos (de alguns anos até milhares de anos).

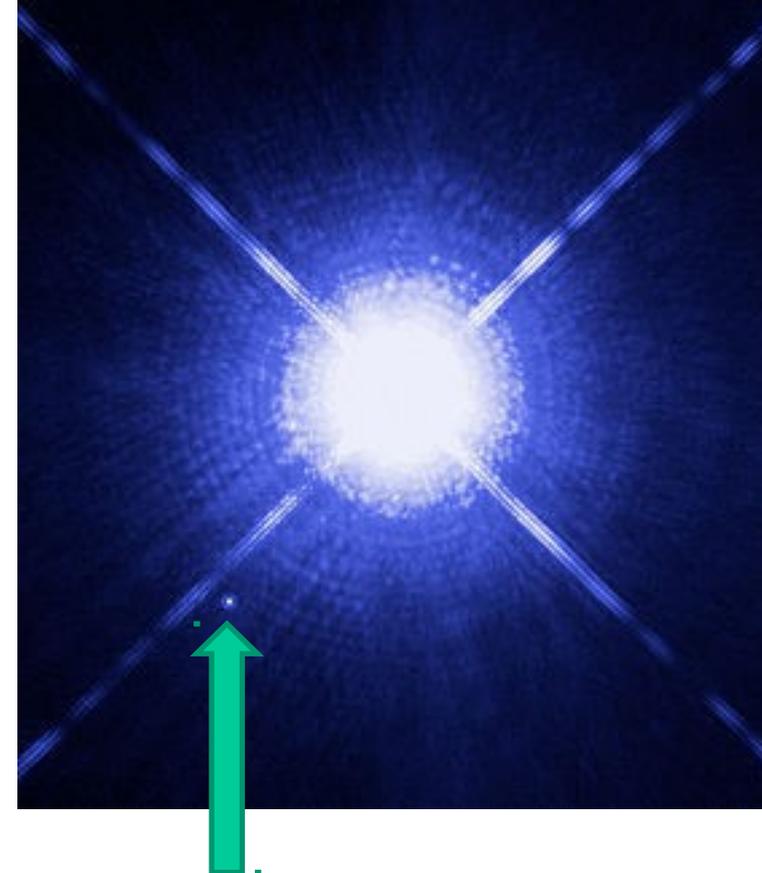
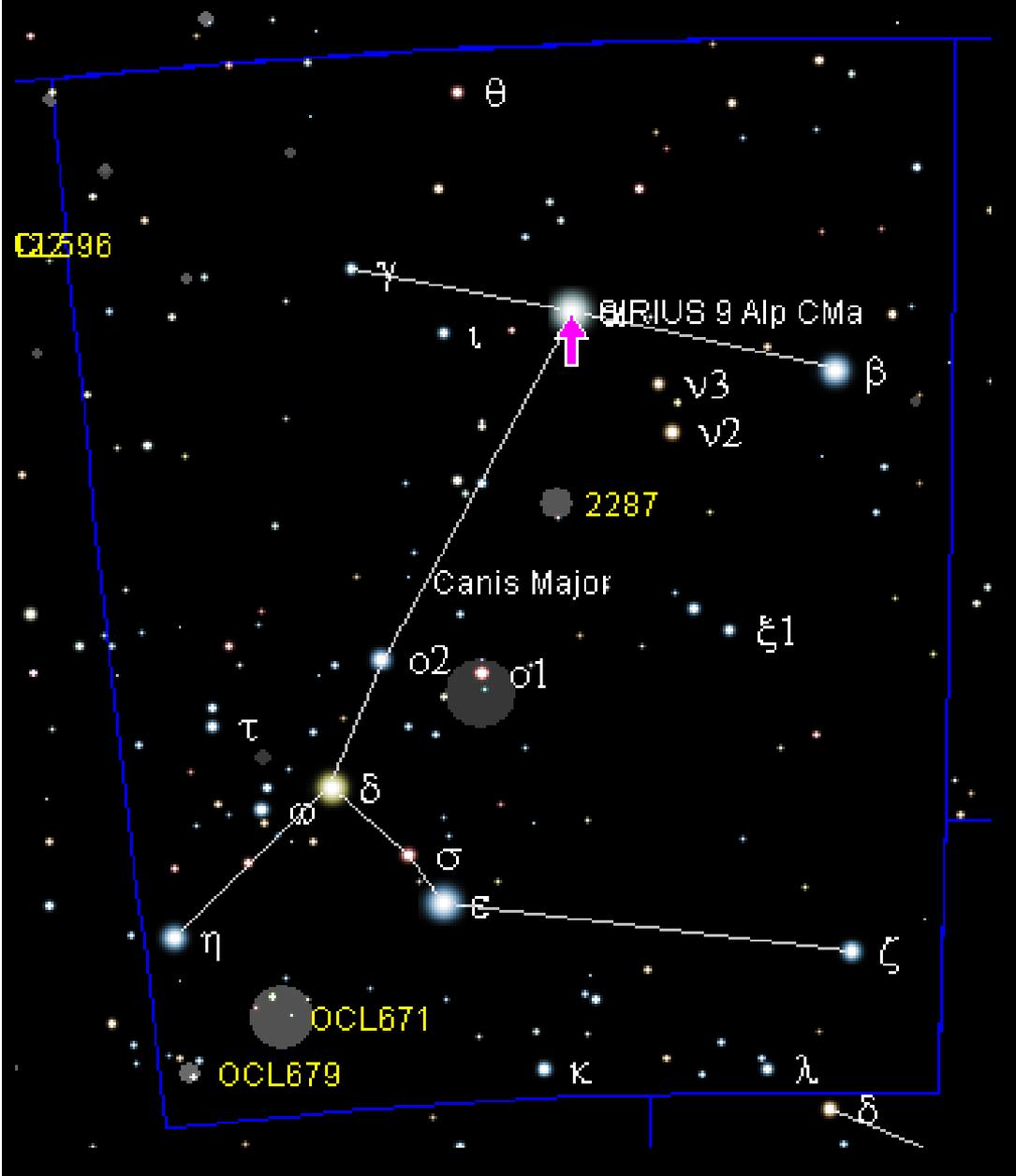


Sistema binário 70 Ophiuchi. À medida que o tempo passa, a posição relativa entre as estrelas é marcada como um ponto, traçando uma órbita aparente, com período de 88 anos

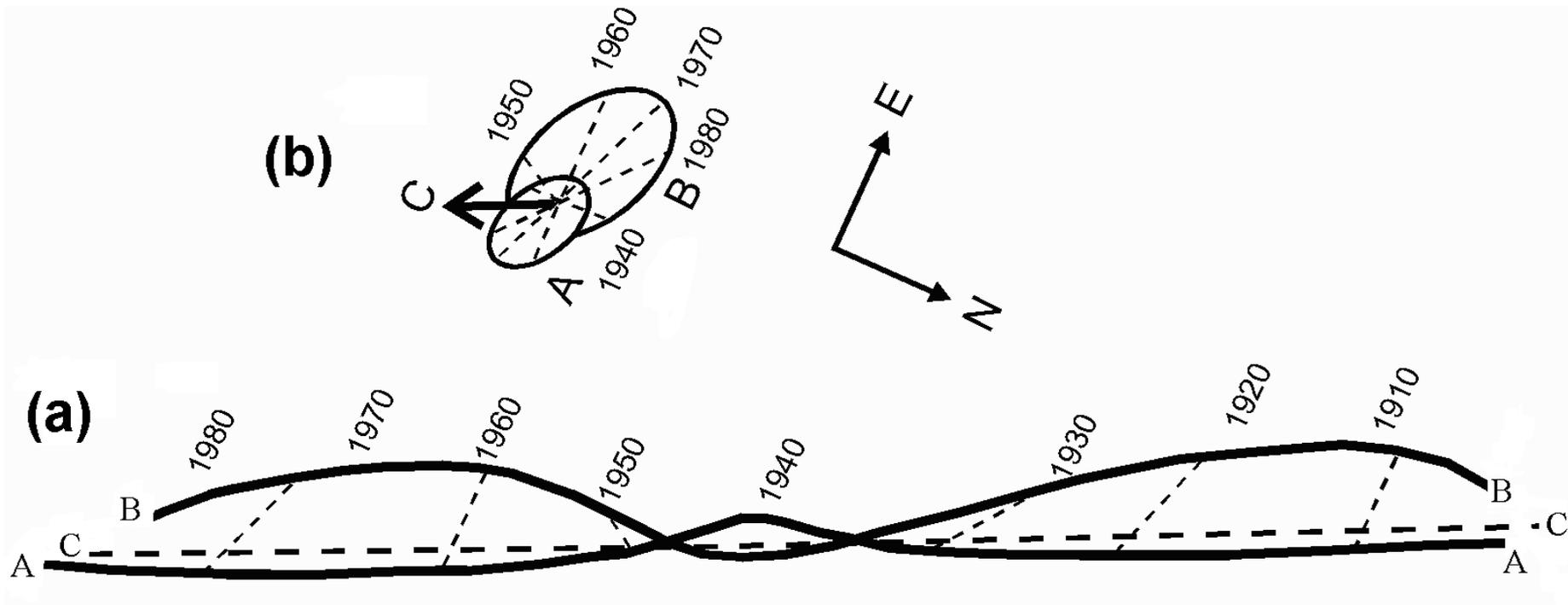
- **Binária astrométrica** → apenas uma estrela observada c/ telescópio, mas nota-se um movimento oscilatório



- **Sirius A:** exemplo de binária astrométrica → componente B descoberta antes de ser observada → presença deduzida pela alteração causada no movimento próprio de Sirius A



Binárias Astrométricas



(a) Movimentos aparentes de Sirius A e B, e do centro de massa C, com relação às estrelas de fundo. (b) Movimentos orbitais de Sirius A e B com relação ao centro de massa.

• **Binárias eclipsantes** → variação do brilho aparente das componentes → eclipse que uma causa na outra.

Como pode ser visto no exemplo da binária YY Sgr, a curva de luz desse sistema é regular,

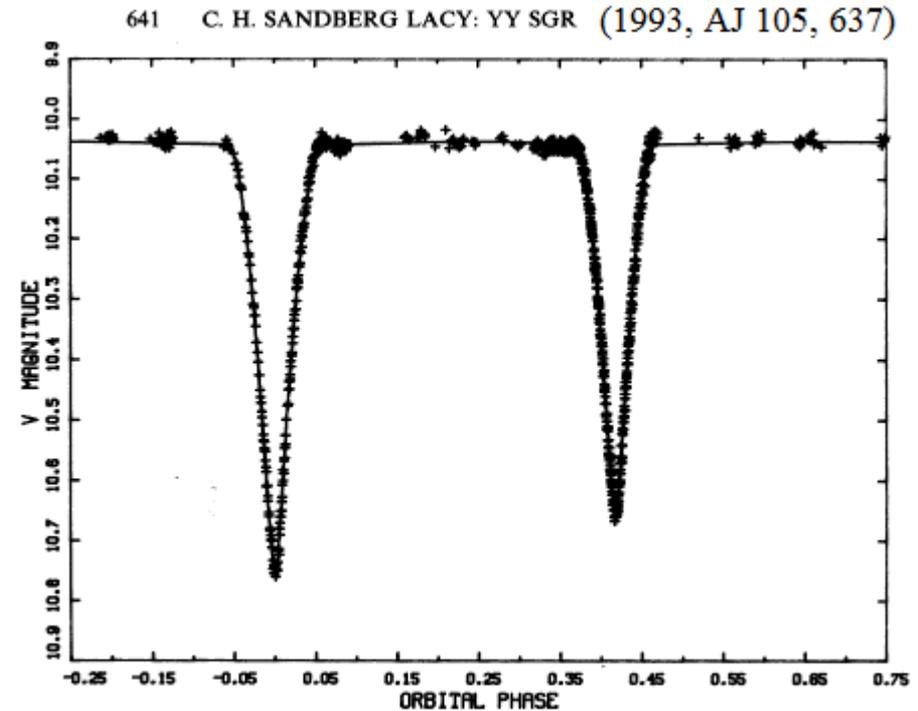


FIG. 1. *V* light curve for YY Sgr. The solid curve is the solution of Table 6.

Binárias Eclipsantes

Alguns milhares desses sistemas são conhecidos, muitas são binárias espectroscópicas e apenas algumas são binárias visuais.

Se o ângulo de inclinação da órbita de um sistema duplo é de 90° , cada uma das estrelas pode periodicamente eclipsar a outra.



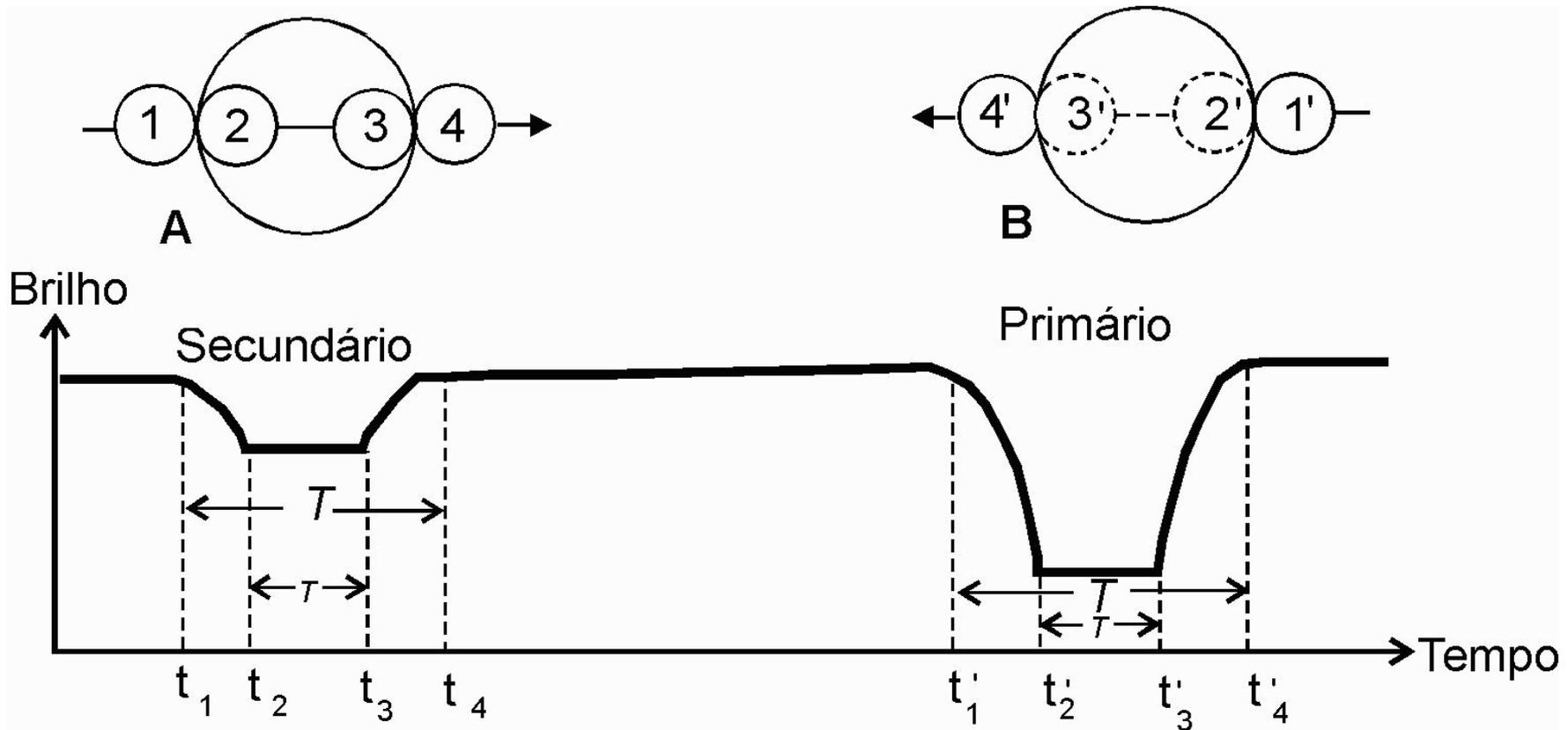
Curva de Luz: gráfico em função do tempo, que mostra a variação do brilho (magnitude ou fluxo) de uma binária eclipsante.

Dois tipos de mínimos:

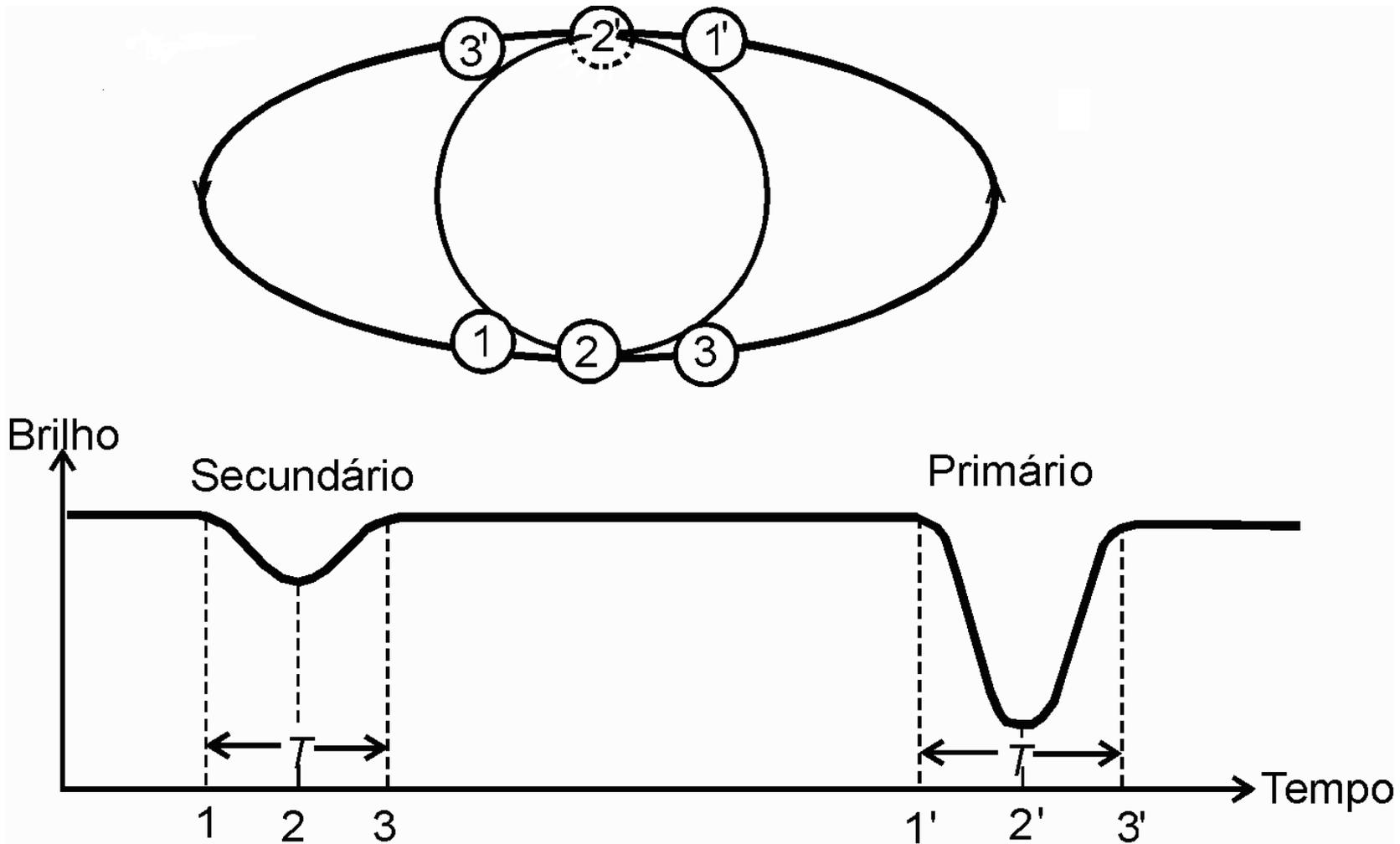


Maior profundidade → estrela mais fria passa na frente da mais **quente** → eclipse **primário**

Menor profundidade → estrela quente passa na frente da **fria** → eclipse **secundário**



Eclipse central para órbitas circulares. Neste caso a **estrela menor é a mais quente** das duas. Os quatro pontos de contato são numerados e definem a duração do eclipse. Na situação (A) ocorre o eclipse secundário, pois a estrela menor (**quente**) passa em frente da maior (**fria**). No caso (B) ocorre o eclipse primário.



Eclipses parciais para uma órbita circular **inclinada**. Neste caso a estrela menor é a mais quente.

Binárias Eclipsantes

Dois tipos de mínimos:

We see light from both stars A and B.



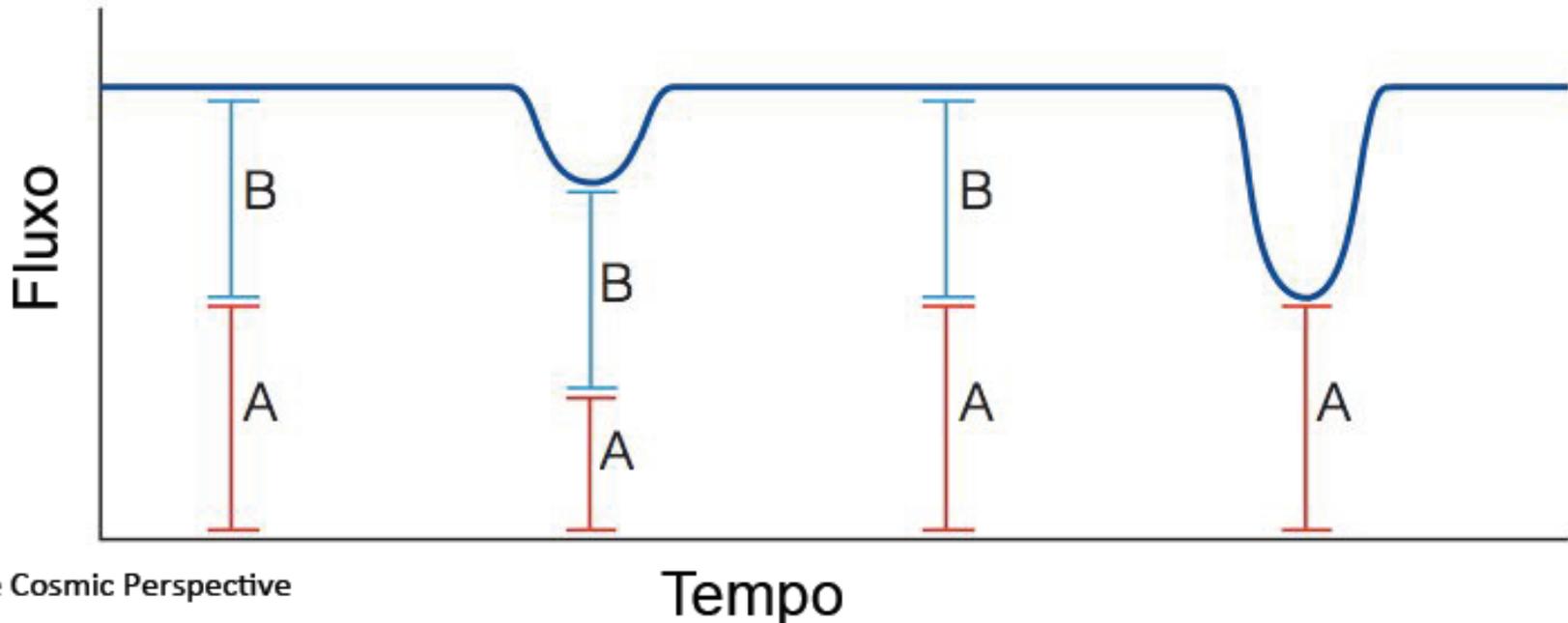
Estrela **quente** passa na frente da **fria** → **eclipse secundário**



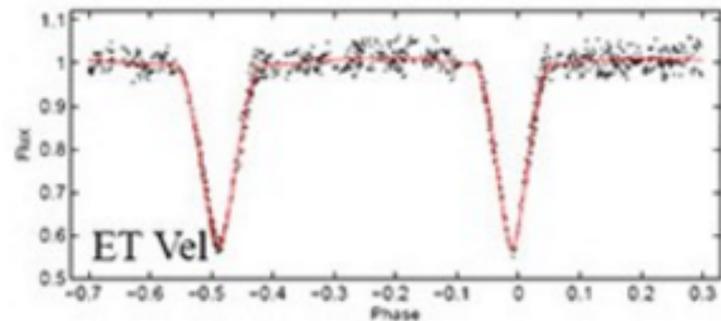
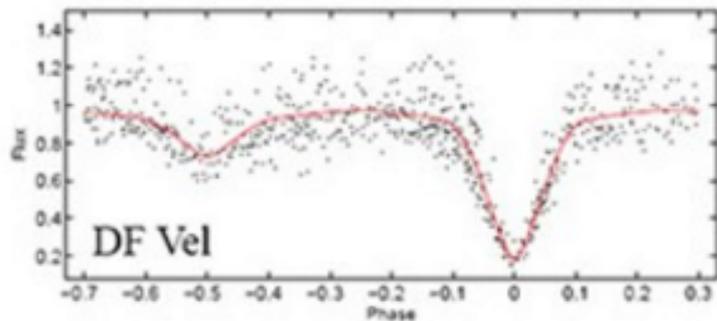
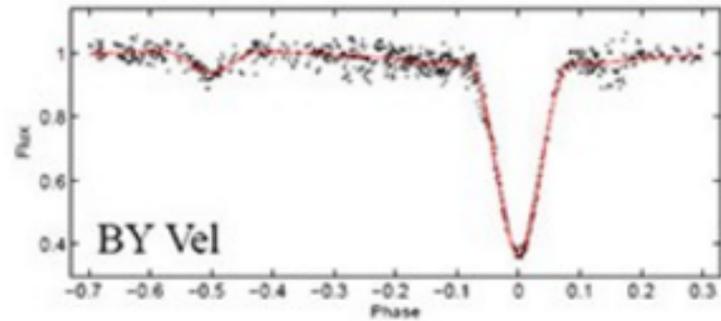
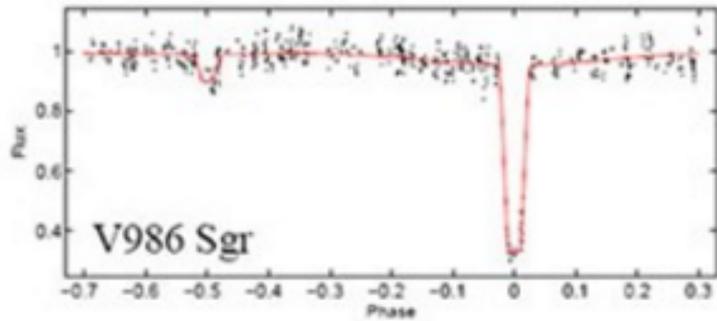
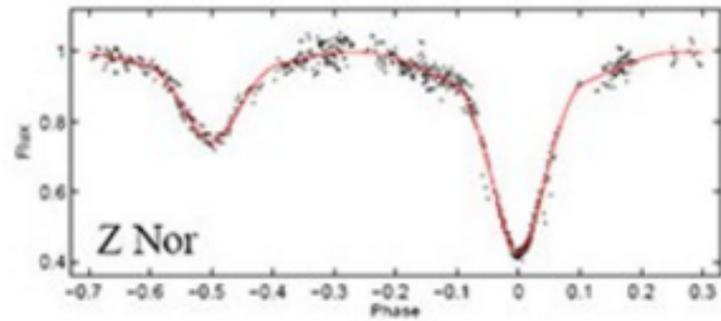
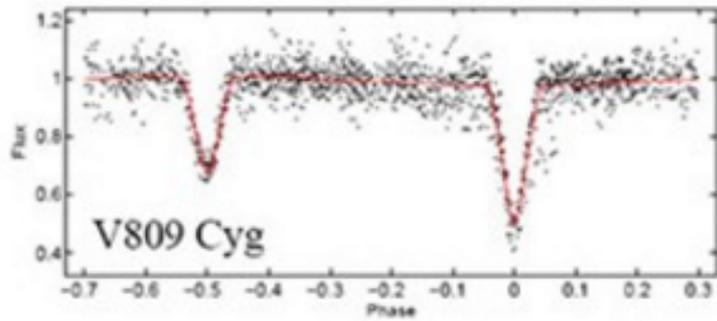
We see light from both A and B.



Estrela mais **fria** passa na frente da mais **quente** → **eclipse primário**

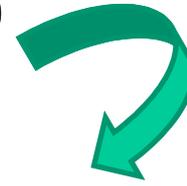


© The Cosmic Perspective

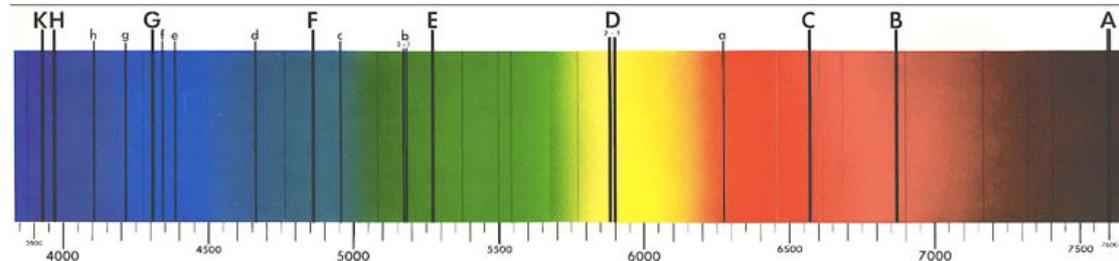
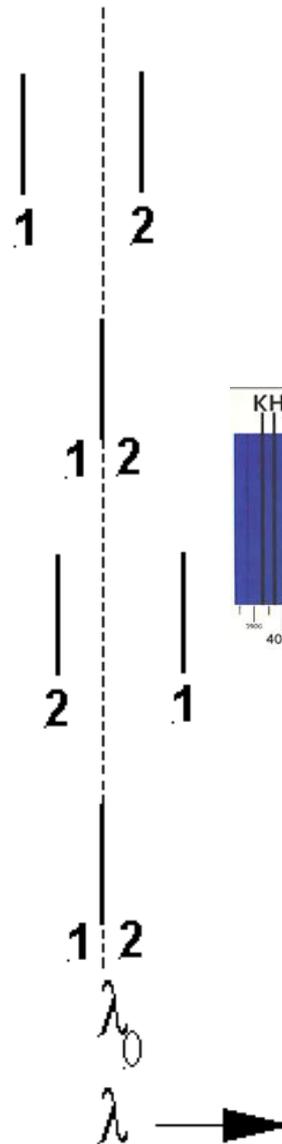
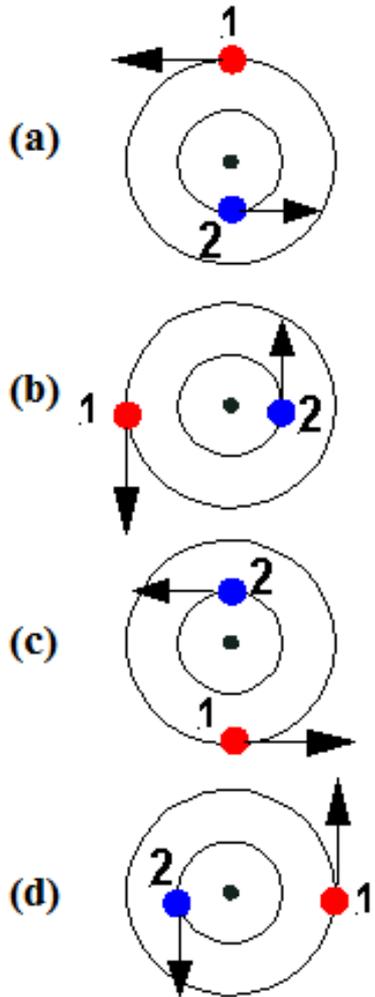


Binárias eclipsantes: variações periódicas na luz total observada

- **Binárias espectroscópicas** → estrelas muito próximas ($< 1\text{UA}$) e períodos orbitais pequenos (de horas a alguns meses)



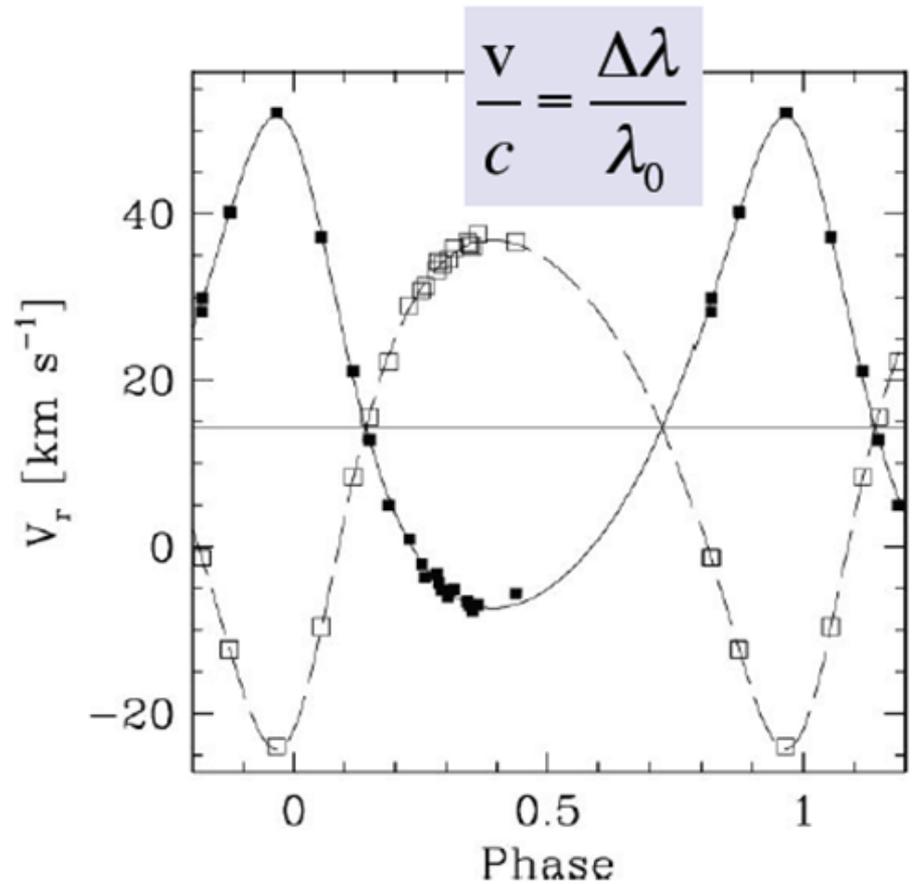
Oscilação das linhas espectrais em torno do λ_0 emitido.



←
To Earth

Binárias Espectroscópicas

- Deslocamento Doppler indica movimento radial da estrela.



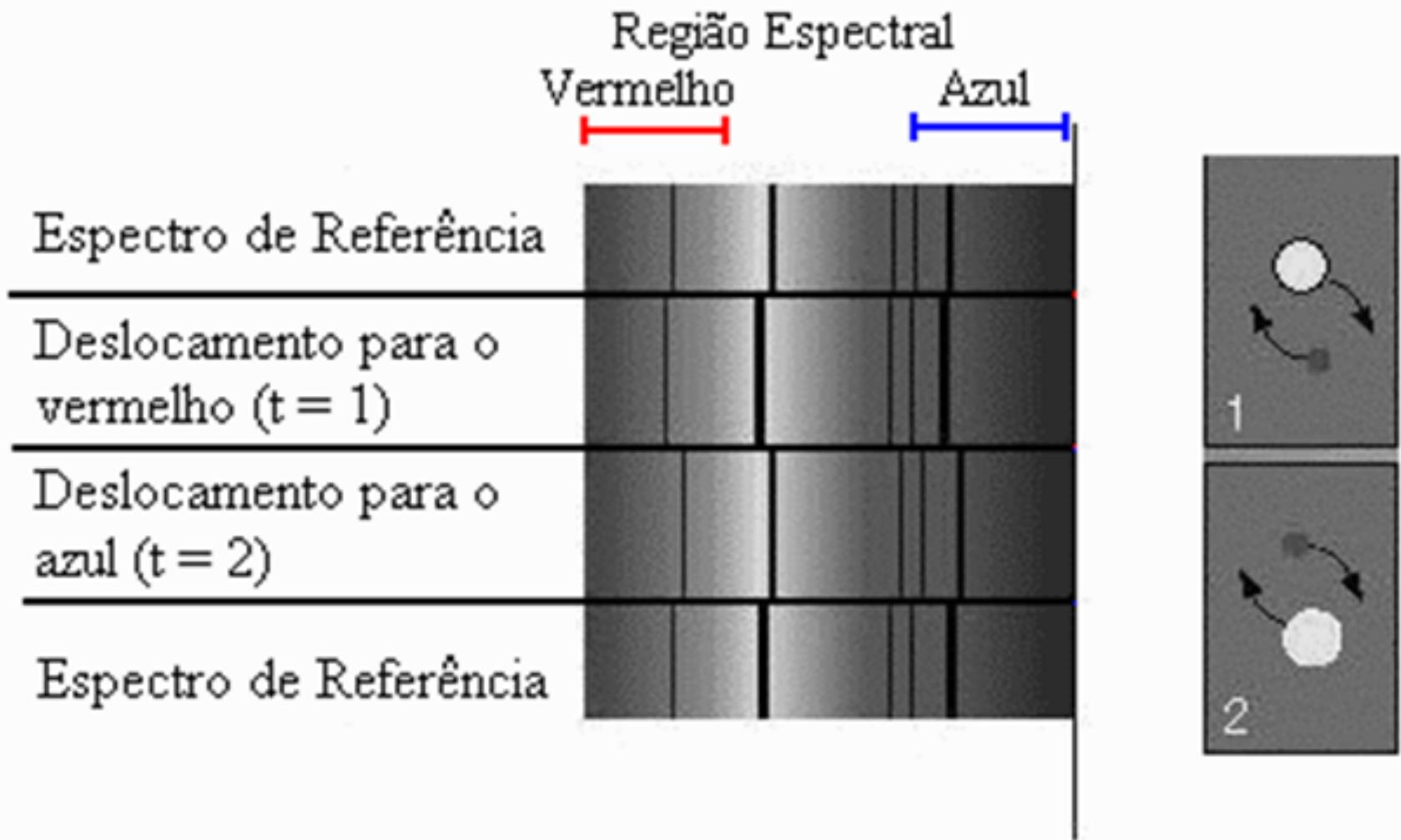
Platais et al. 2007 A&A 461, 509

Binárias Espectroscópicas

- No espectro da binária espectroscópica a separação de dois conjuntos de linhas varia num período bem determinado.
- Conjuntos de linhas duplas aparecem nos casos em que ambas estrelas têm luminosidades semelhantes.
- Se a companheira é muito fraca, são detectadas somente as linhas da primária, oscilando em comprimento de onda.

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$





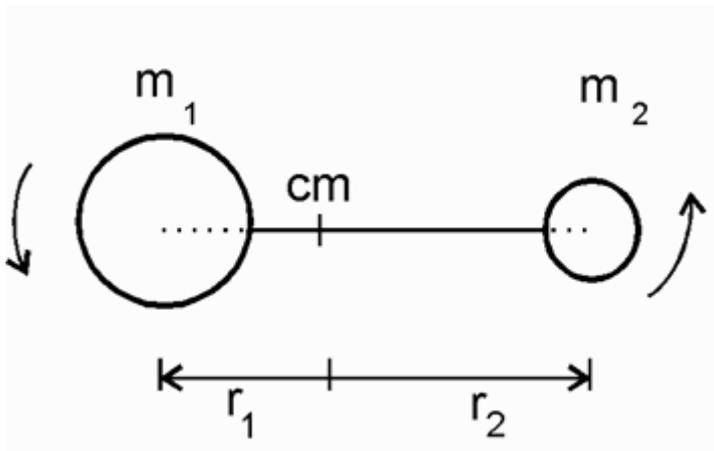
Periodicidade no deslocamento Doppler nas binárias espectroscópicas. O diagrama mostra um sistema em que apenas o espectro da componente mais brilhante é detectado

7.2 Determinação de Massas usando binária visual

- observando um sistema binário → medida da **separação angular** entre a estrela **primária** (a estrela mais brilhante do par) e a **secundária** (menos brilhante).
- sistema ligado gravitacionalmente → dois corpos girando em torno de seu centro de massa

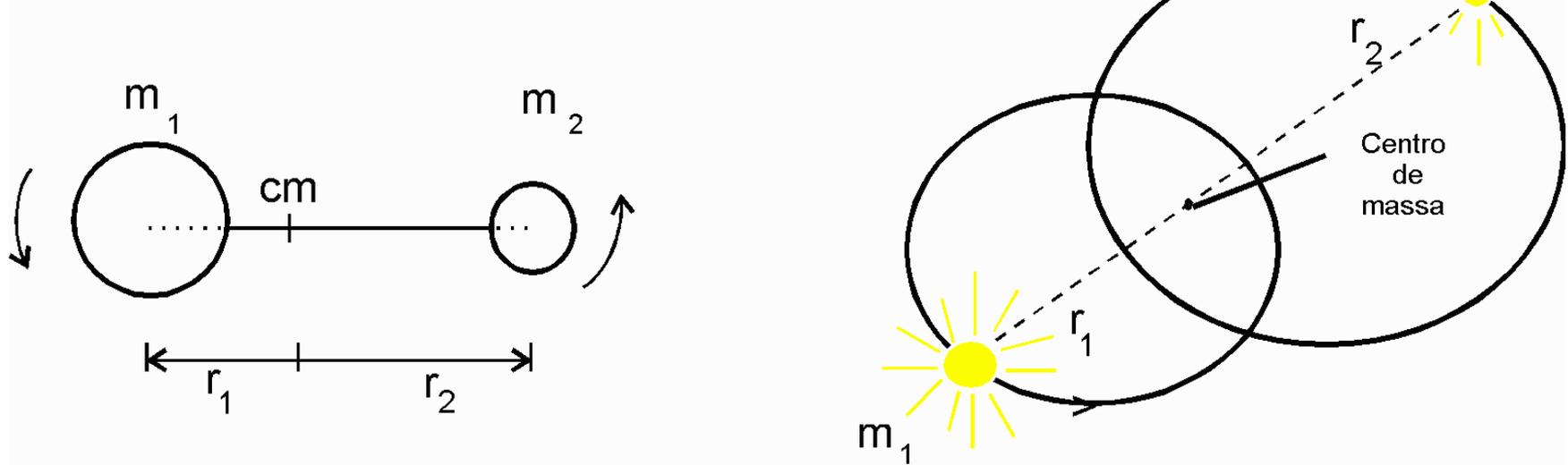


relação das massas: $m_1 r_1 = m_2 r_2$
separação: $a = r_1 + r_2$.



$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

Supomos que o plano orbital é **perpendicular** à linha de visada



No sistema binário cada estrela move-se numa órbita elíptica em torno do centro de massa. A separação é dada por $a = r_1 + r_2$.

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

Exercício

Uma binária visual é observada com uma separação angular máxima $a = 3''$ e uma paralaxe trigonométrica de $0.1''$. A órbita é completada em 30 anos e a posição da estrela primária coincide com o foco da órbita, sendo que a companheira é sempre vista a uma distância até o centro de massa cinco vezes maior que a distância da estrela primária até esse ponto ($r_2 = 5 r_1$).

$$\theta = 3'', p = 0.1'', P = 30 \text{ anos}, r_2 = 5 r_1$$

Se utilizarmos os parâmetros P , a e m respectivamente em unidades de anos, UA e M_{\odot} , podemos aplicar a terceira lei de Kepler na forma:

$$p(\text{rad}) = \frac{1\text{UA}}{d}$$

$$p'' = \frac{1}{d(\text{pc})}$$

$$1\text{pc} = 206265 \text{ UA}$$

$$1\text{rad} = 206265''$$

$$a(\text{UA}) = \theta(\text{rad}) * d(\text{UA})$$

$$a(\text{UA}) = \theta(\text{rad}) / p(\text{rad})$$

$$a(\text{UA}) = \frac{\theta''}{p''}$$

$$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{P^2}$$

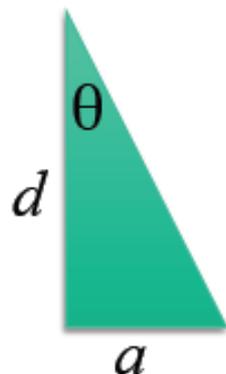
$$m_1 + m_2 = \left(\frac{3''}{0,1''} \right)^3 \frac{1}{(30)^2}$$

$$m_1 + m_2 = 30 M_{\odot}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2}{r_1} = 5 \rightarrow m_1 = 5 m_2$$

$$6m_2 = 30 M_{\odot}$$

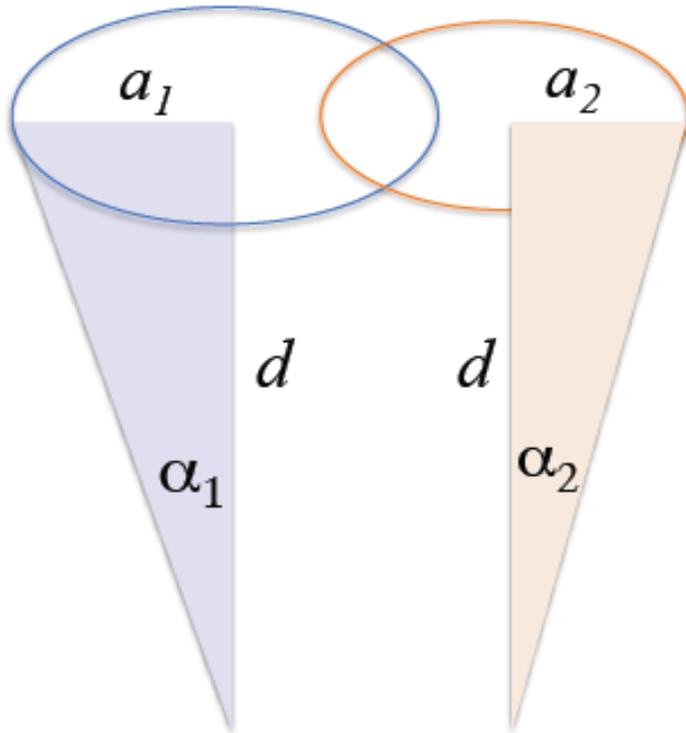
$$m_2 = 5M_{\odot} \quad m_1 = 25M_{\odot}$$



Inclinação do Sistema

Método complicado pelo movimento próprio do centro de massa, e pelo fato de nem todos os planos orbitais encontrarem-se orientados convenientemente.

Sejam a_1 e a_2 os semi-eixos maiores das órbitas das estrelas da binária, e d a distância entre o sistema e o observador:

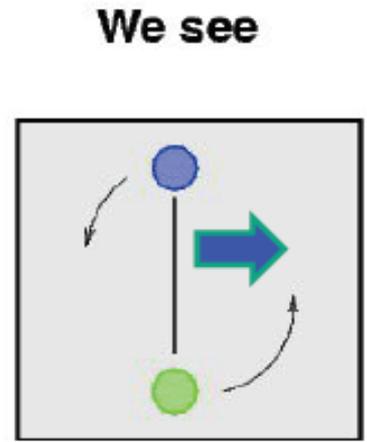


$$\alpha_1 = \frac{a_1}{d} \quad \text{e} \quad \alpha_2 = \frac{a_2}{d}$$

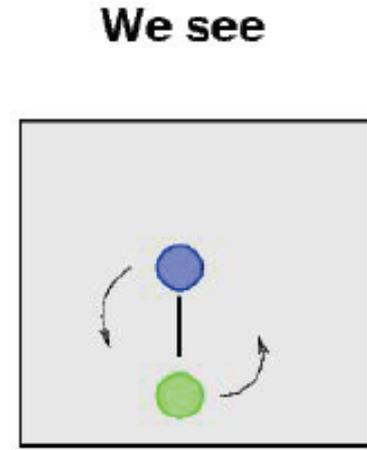
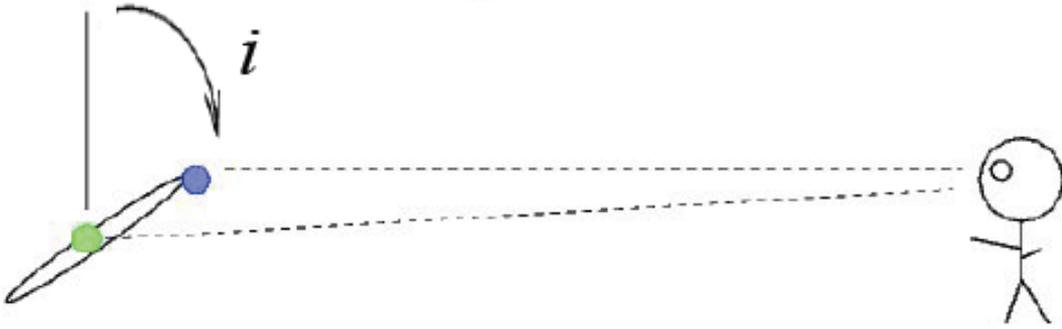
Como $\frac{m_1}{m_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{a_2}{a_1}$

$$\rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

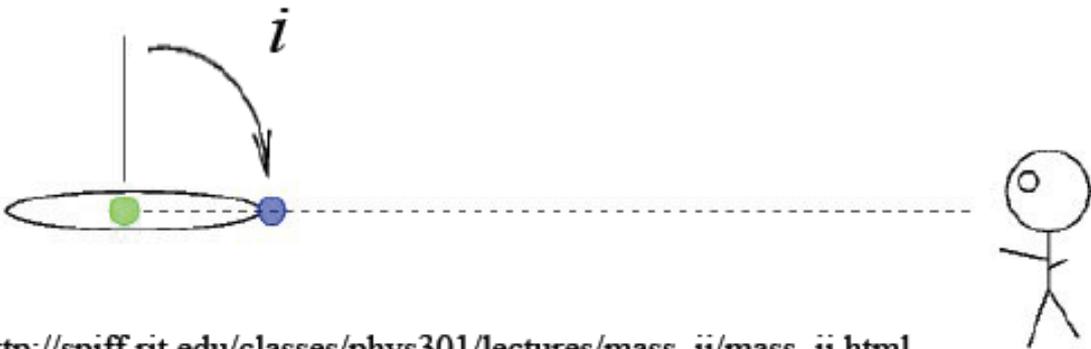
$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$



inclination angle



inclination angle



http://spiff.rit.edu/classes/phys301/lectures/mass_ii/mass_ii.html

Créditos: Prof. J. Meléndez

Podemos tentar determinar o ângulo de inclinação i estudando a projeção da órbita no céu

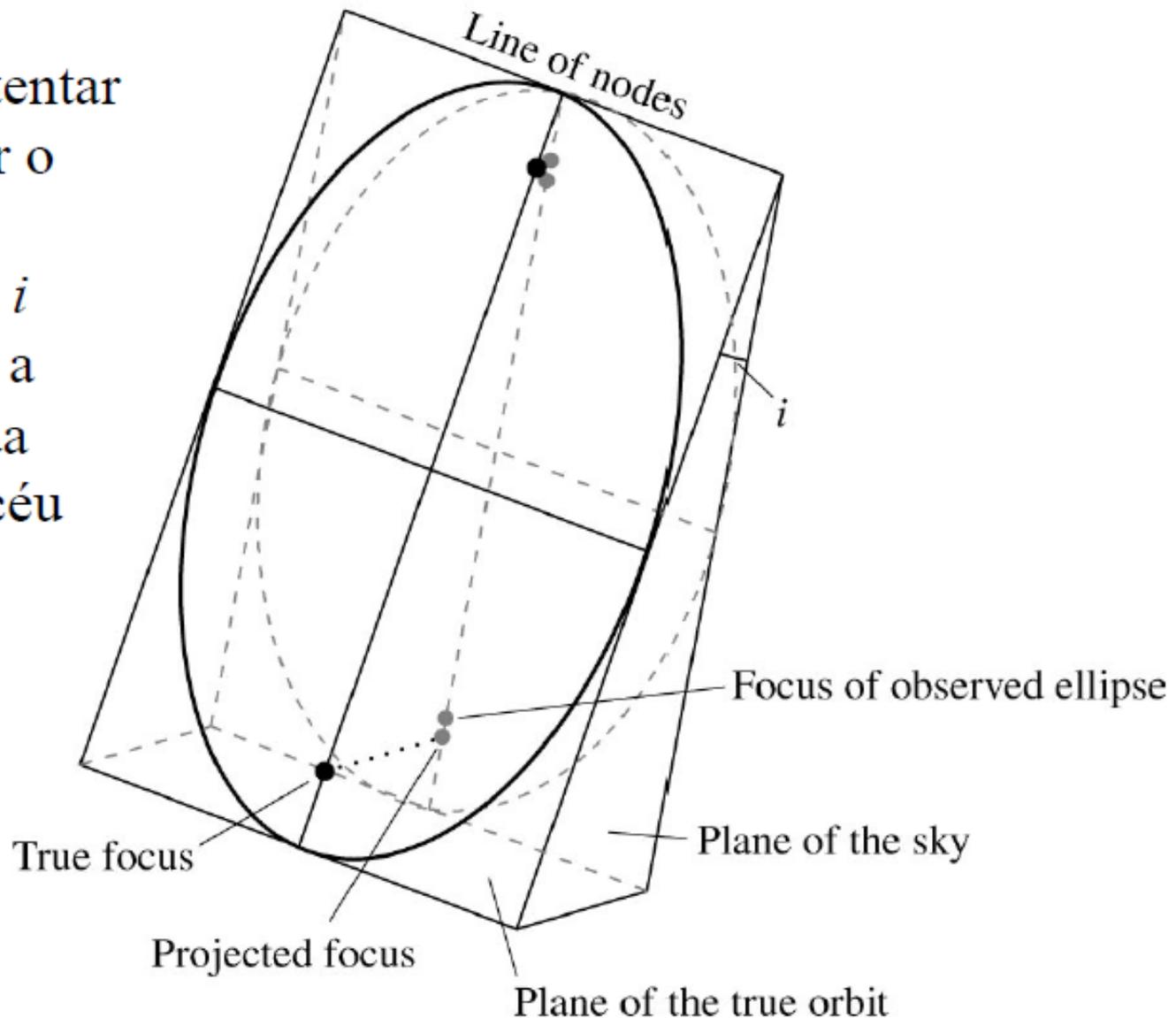


FIGURE 7.4 An elliptical orbit projected onto the plane of the sky produces an observable elliptical orbit. The foci of the original ellipse do not project onto the foci of the observed ellipse, however.

Inclinação do Sistema

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

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

Considere o **ângulo de inclinação (i)** entre o plano de órbita e o plano do céu (perpendicular à linha de visada), o observador não pode medir diretamente α_1 e α_2 , mas apenas sua projeção:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{\alpha_2 \cos i}{\alpha_1 \cos i} = \frac{\tilde{\alpha}_2}{\tilde{\alpha}_1}$$

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

que resulta em:

$$m_1 + m_2 = \frac{4 \pi^2 (\alpha d)^3}{G P^2} = \frac{4 \pi^2}{G} \left(\frac{d}{\cos i} \right)^3 \frac{\tilde{\alpha}^3}{P^2}$$

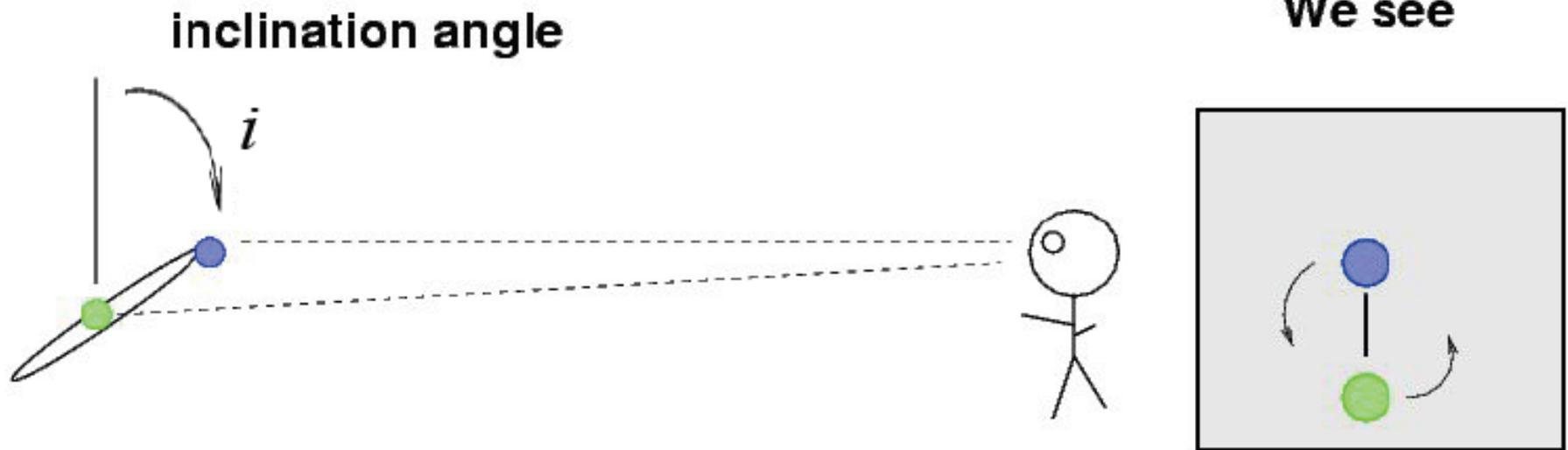
$$\alpha = \frac{a}{d}$$

$$\alpha = \frac{\tilde{\alpha}}{\cos i}$$

onde $\tilde{\alpha} = \tilde{\alpha}_1 + \tilde{\alpha}_2$

Ângulo de inclinação i afeta as velocidades radiais

velocidade máxima: v_{\max} (observada) = $v_{\max} \sin i$



PRÓXIMA AULA

7.3. Binárias espectroscópicas eclipsantes

BIBLIOGRAFIA

- Carrel & Ostlie (2007, Cap. 7)
- Karttunen et al. (1997, Cap. 4)

- Ver também

<http://slideplayer.com/slide/9211736/>

<http://slideplayer.com/slide/6341032/>

<http://slideplayer.com/slide/6341032/>