

XXXIX Universitat Catalana d'Estiu

Física

# Astronomia i astrofísica: l'univers proper i llunyà

Sistema Solar i exoplanetes

IV: Exoplanetes: estat actual de la qüestió

David Galadí-Enríquez

Centro Astronómico Hispano-Alemán (CAHA)

Prada del Conflent,

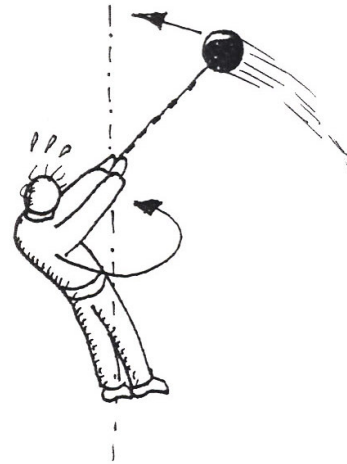
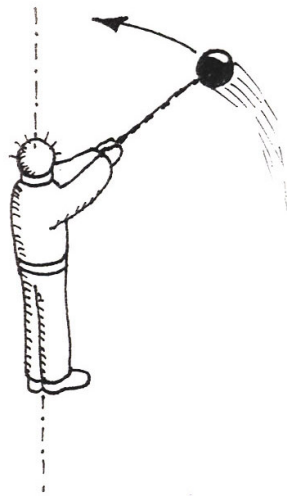
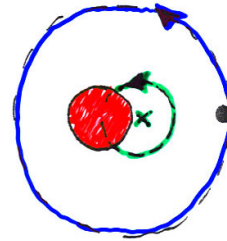
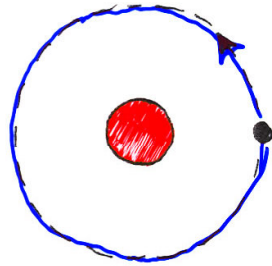
24 d'agost 2007

# Sistema Solar i exoplanetes

## IV: Exoplanetes: estat actual de la qüestió

- Tècniques de detecció
- Teories de formació
- Perspectives de futur

# Moviment orbital: qui ocupa el centre?



$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

# Moviment orbital: estels i planetes

Els planetes fan que el Sol es mogui:

El moviment és més intens per a planetes: a) massius  
b) Propers al Sol

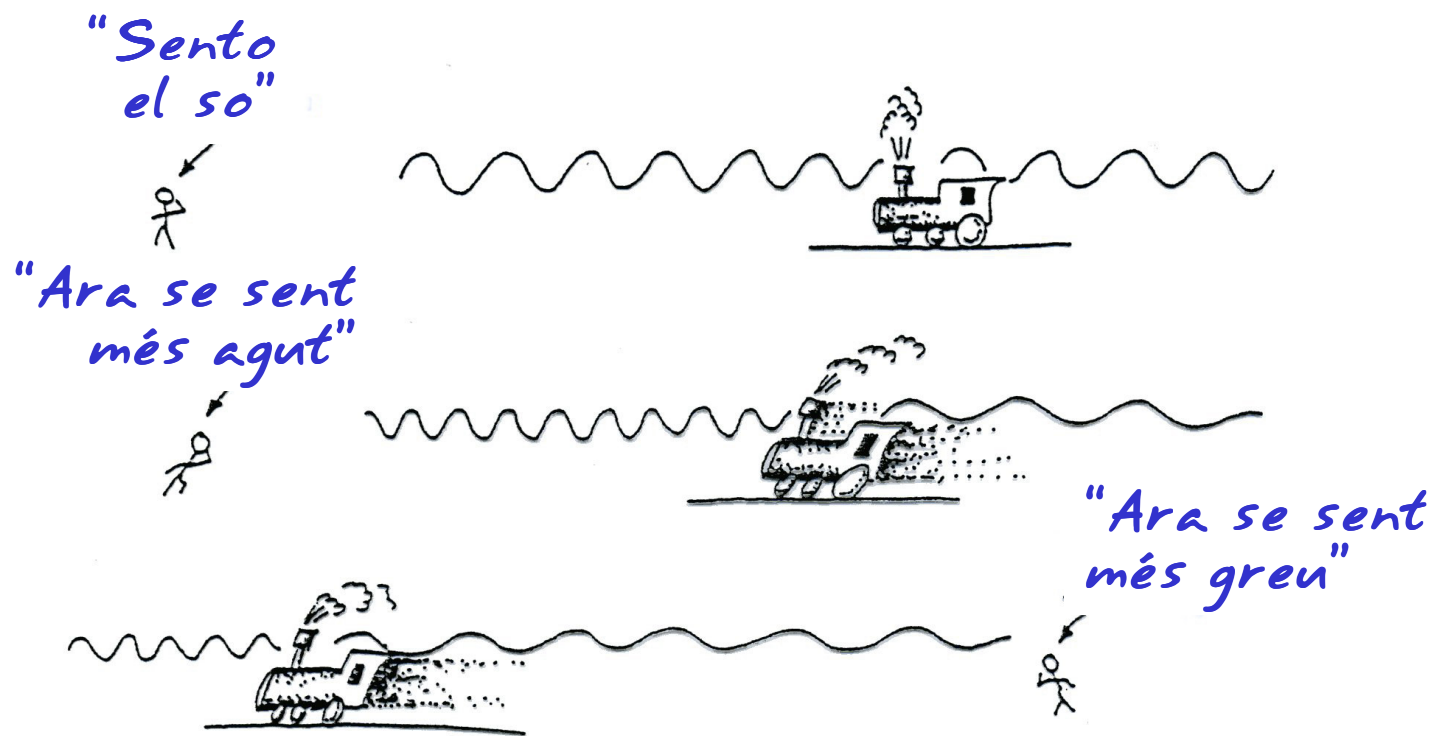
La Terra indueix un moviment solar de	0.33 km/h (10 cm/s)
Júpiter provoca un moviment solar de	46 km/h

Si la Terra fos on és Júpiter, induiria	0.14 km/h (4 cm/s)
Si Júpiter es trobés on és la Terra,	104 km/h

Límit de detecció actual:	20-40 km/h (5-10 m/s)
Límit absolut per mètodes espectroscòpics:	1 m/s (4 km/h)

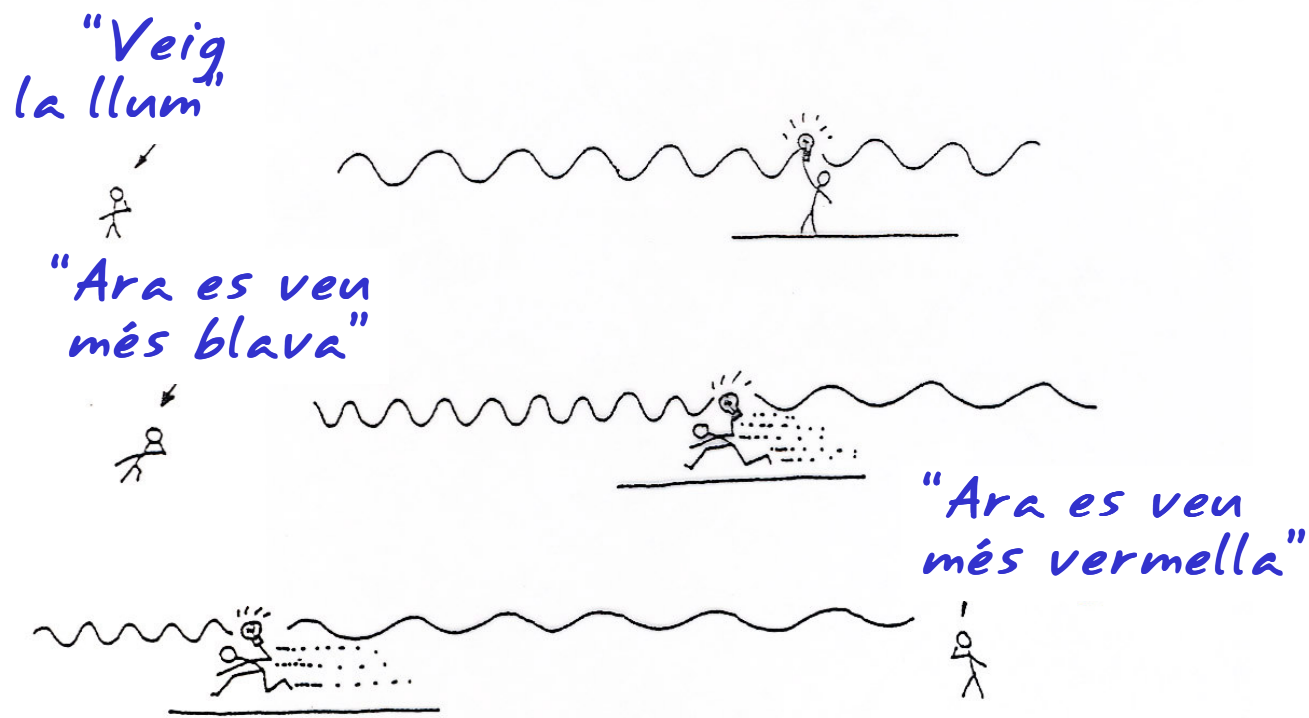
# Com detectar moviments tan subtils als estels?

Efecte Doppler al so:



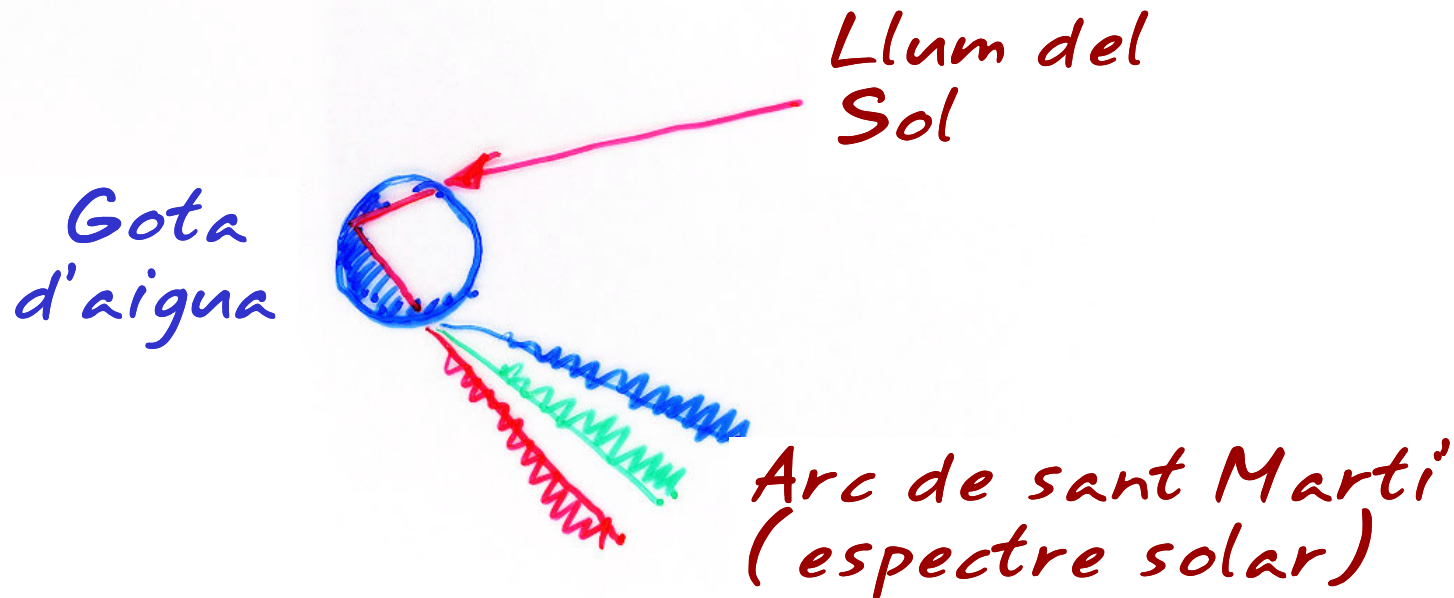
# Com detectar moviments tan subtils als estels?

Efecte Doppler a la llum:

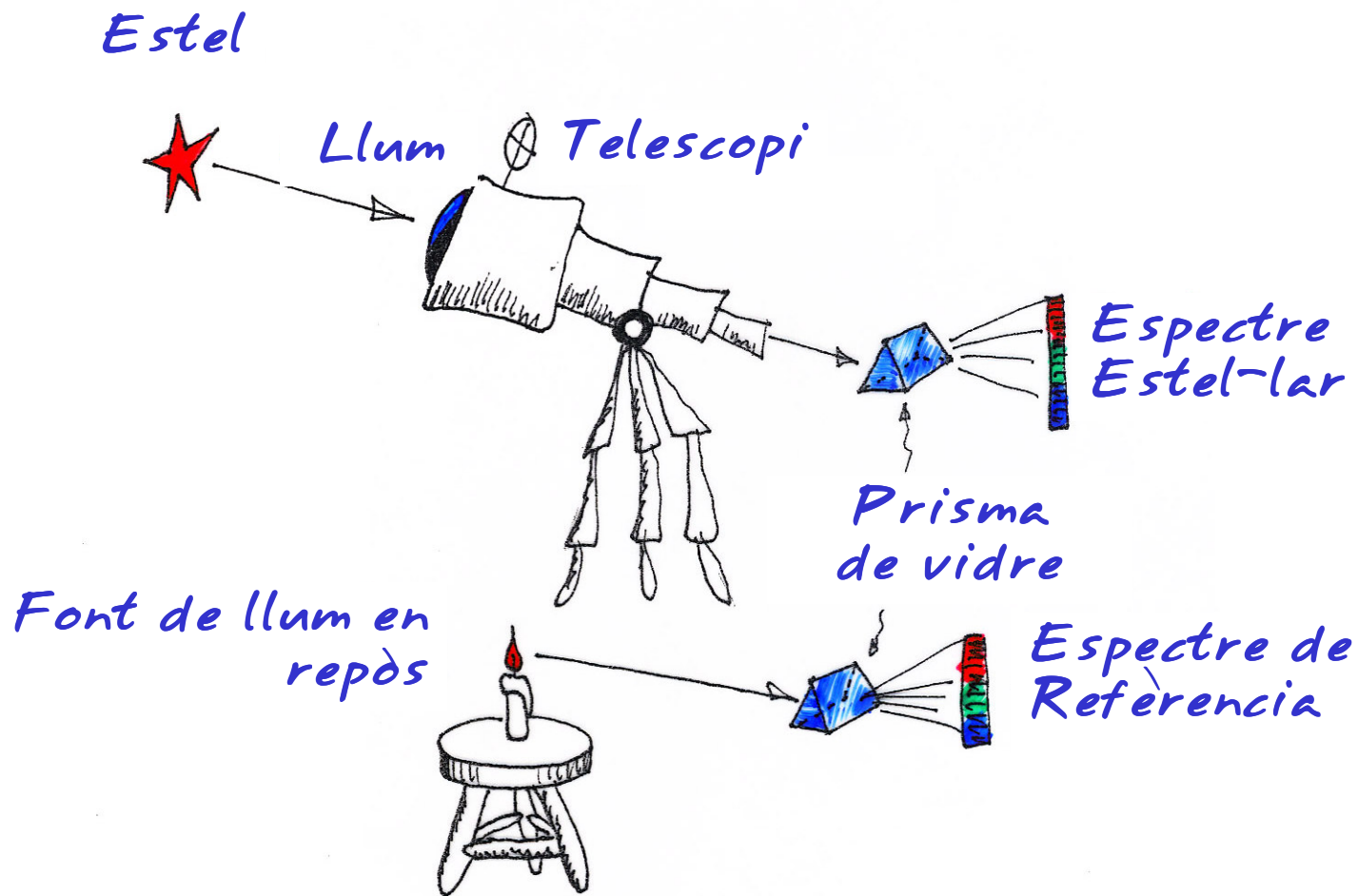


# Com detectar moviments tan subtils als estels?

La clau és a l'arc de sant Martí!



# Com detectar moviments tan subtils als estels?





$$K = \sqrt[3]{\frac{2\pi G}{P}} \frac{M_p \sin i}{\sqrt[3]{(M_p + M_*)^2}} \frac{1}{\sqrt{1-e^2}}$$

$K$ : amplitud de la velocitat observada

$G$ : constant de la gravitació universal

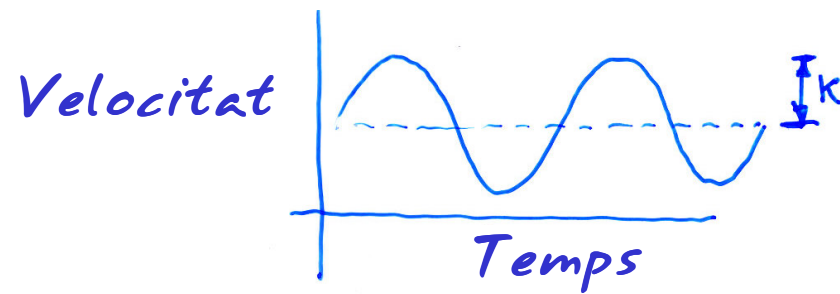
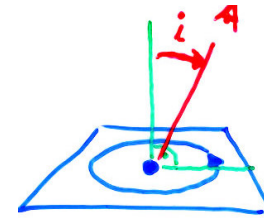
$P$ : període orbital

$M_p$ : massa del planeta

$M_*$ : massa de l'estel

$i$ : inclinació del pla orbital sobre la visual

$e$ : excentricitat orbital



## Òrbita circular:

$$K[\text{m/s}] = 28.4 \frac{1}{\sqrt[3]{P[\text{anys}]}} M_p [M_J] \sin i \frac{1}{\sqrt[3]{M_*^2 [M_{\text{Sol}}]}}$$

$$M_p \sin i = \frac{1}{28.4} K \sqrt[3]{PM_*^2}$$

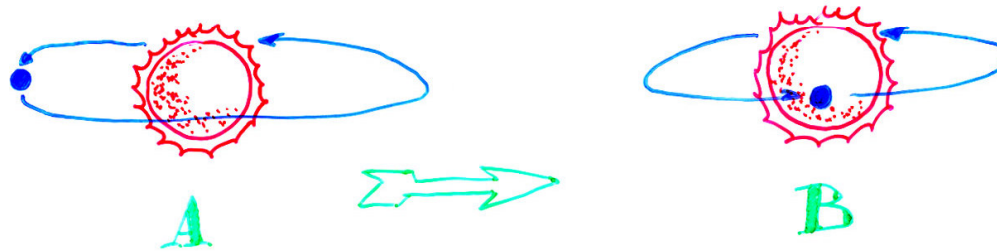
$M_p \sin i$ : massa mínima del planeta (depèn de  $\sin i$ )

## Hi ha altres mètodes:

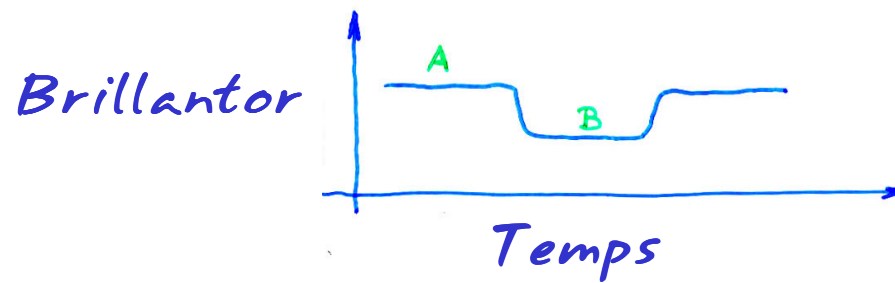
- Trànscits planetaris (*Kepler*)
- Mètode astromètric (*Gaia*)
- Lents gravitatòries
- Visió directa, interferometria (*Darwin*) i òptica adaptativa

# Trànsits planetaris:

Fonament: el planeta passa per davant de l'estel i n'oculta part de la llum



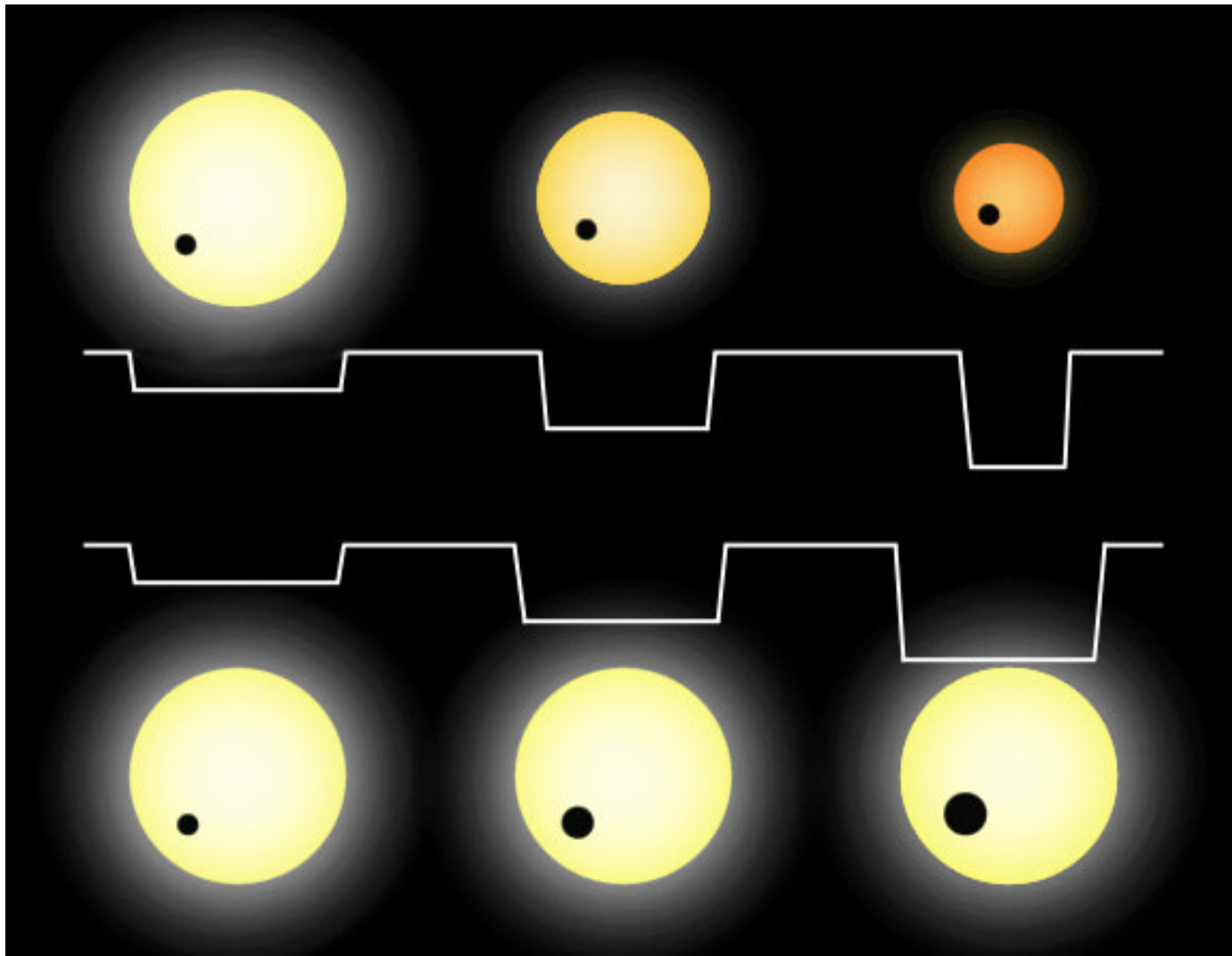
Evolució de la brillantor aparent de l'estel:



Exemple: estel HD 209458

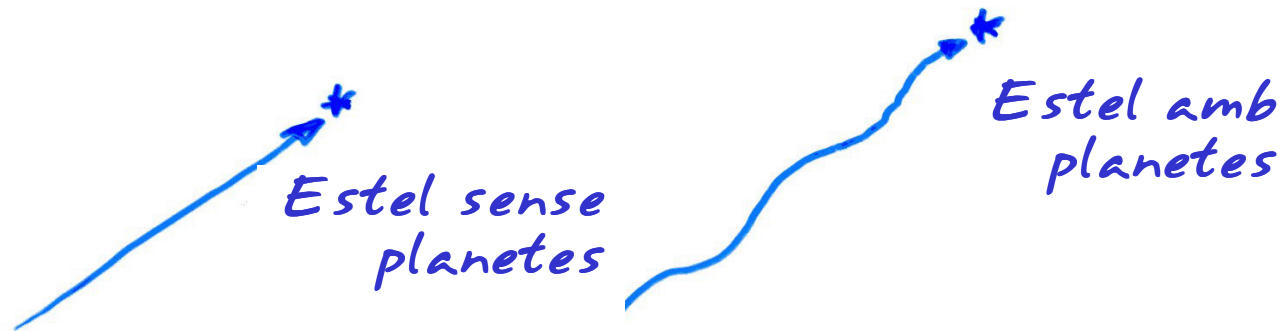
# Trànsits planetaris:

La profunditat de l'eclipsi depèn tant de les propietats del planeta com de l'estel



# Mètode astromètric:

Fonament: el desplaçament de l'estel degut al planeta és prou gran com per afectar el moviment propi estel·lar



Especialment sensible per a:

- Planetes prou allunyats dels seus estels
- Planetes massius
- Planetes amb períodes llargs

# Mètode astromètric:

Fonament: el desplaçament de l'estel degut al planeta és prou gran com per afectar el moviment propi estel·lar

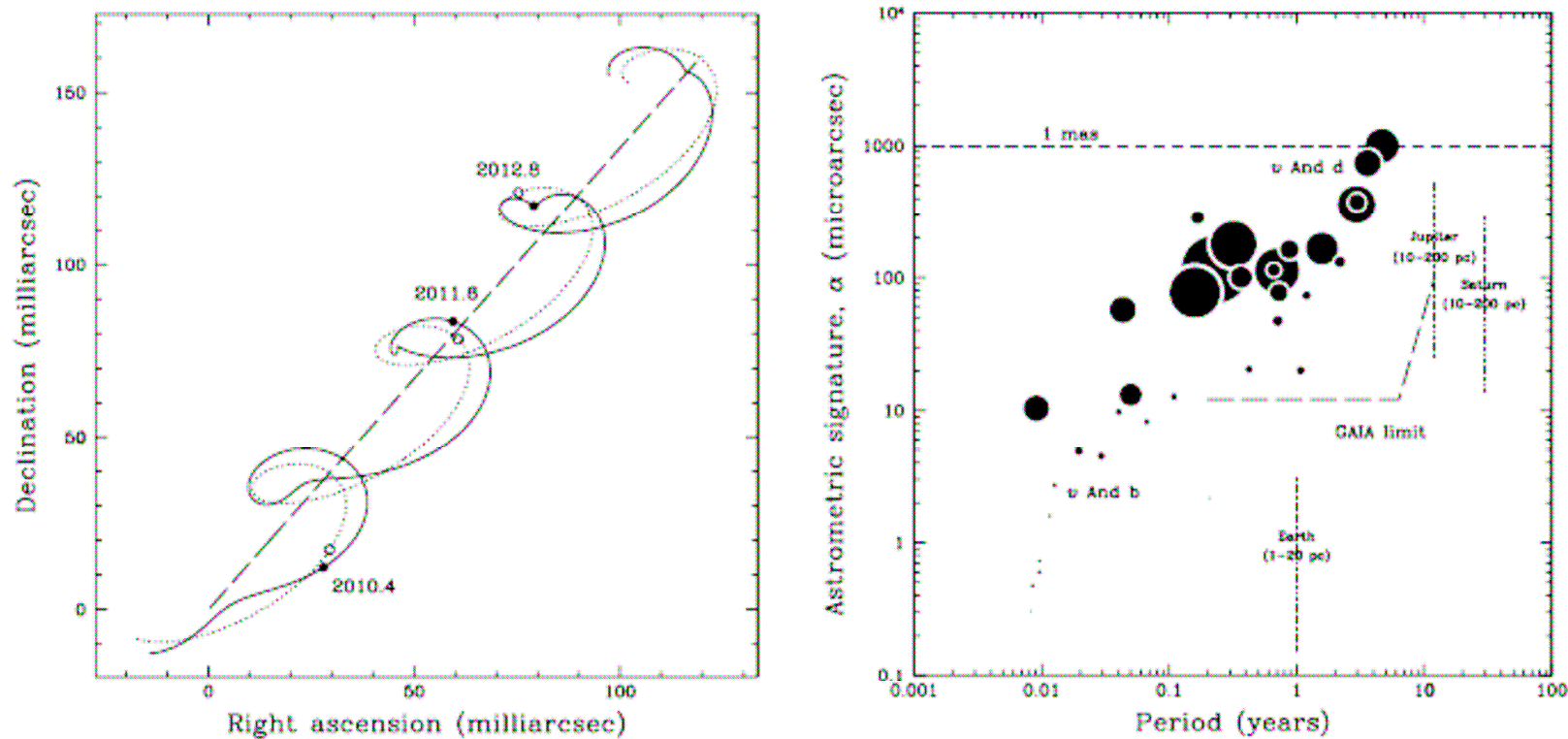
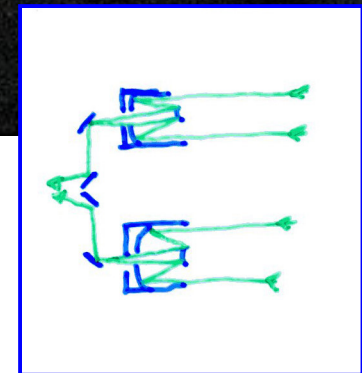
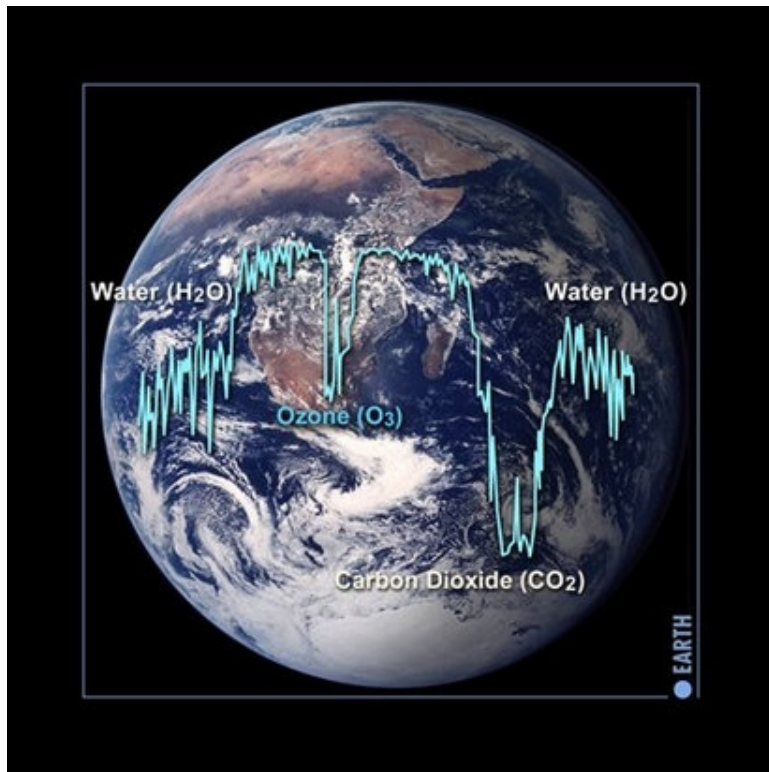


Figure 5. Left: the modelled path on the sky of a star at a distance of 50 pc, with a proper motion of  $50 \text{ mas year}^{-1}$ , and orbited by a planet of  $M_p = 15M_J$ ,  $e = 0.2$ , and  $a = 0.6 \text{ AU}$ . The

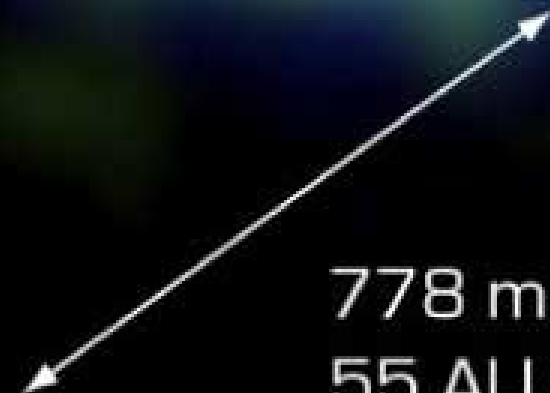
# Interferometria



Missió *Darwin* (ESA), cap el 2015

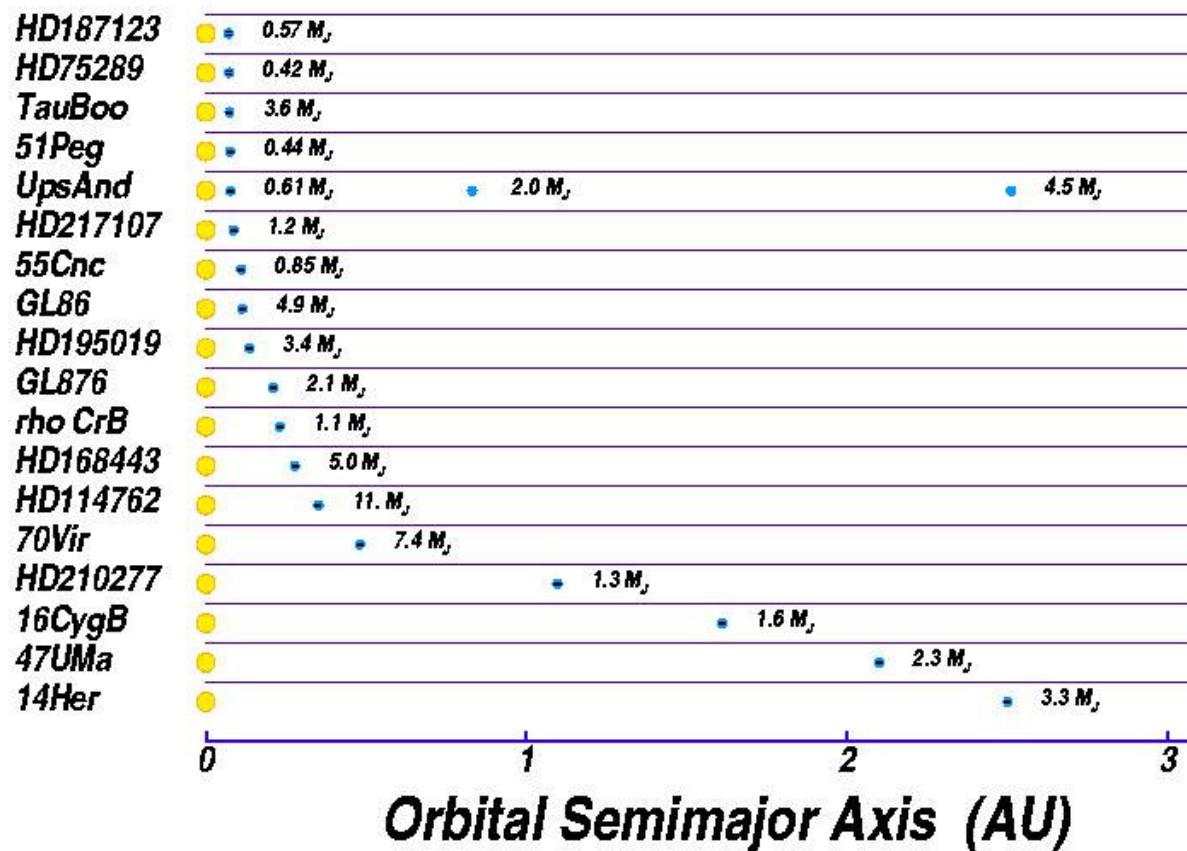


Imatge directa:  
óptica adaptativa



778 mas  
55 AU at 70 pc

# Exemples de planetes extrasolars



# Conseqüències per a les teories de formació i evolució de sistemes planetaris:

1. Planetes massius molt propers als seus estels:
  - Se sap que no es poden formar de cap manera en aquestes zones: han de provenir d'altres llocs del disc d'acreció → migració planetària
2. Òrbites molt excèntriques:
  - Interaccions gravitatòries catastròfiques i crucials.
3. Planetes al voltant d'estels binaris.
  - Complicació teòrica inesperada.

# Present i futur:

- Es coneixen ja més de 200 planetess extrasolars.
- Se'n continuen descobrint a bon ritme.
- Cada cop se'n troben de més petits, i de més allunyats dels seus estels.
- Molts dels presents viuran el dia del descobriment dels primers planetes extrasolars semblants a la Terra.
- Pas següent: vida extraterrestre.