

Siete pasos para descubrir una estrella enana

Del Doppler a los exoplanetas



EU- HOU

OHP – France

May 2009



Siete pasos para
descubrir una
estrella enana

Roger FERLET, Instituto de Astrofísica de Paris, Francia

Suzanne FAYE, Liceo Chaptal, Paris, Francia

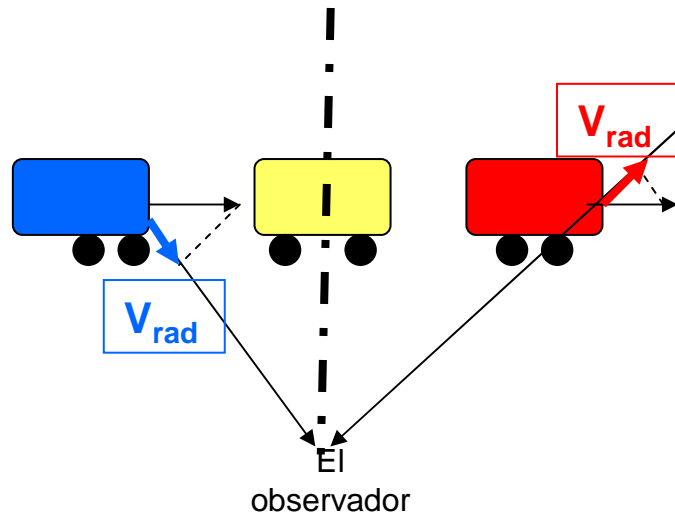
Michel FAYE, Liceo Louis-le-Grand, Paris, Francia

mfaye2@wanadoo.fr

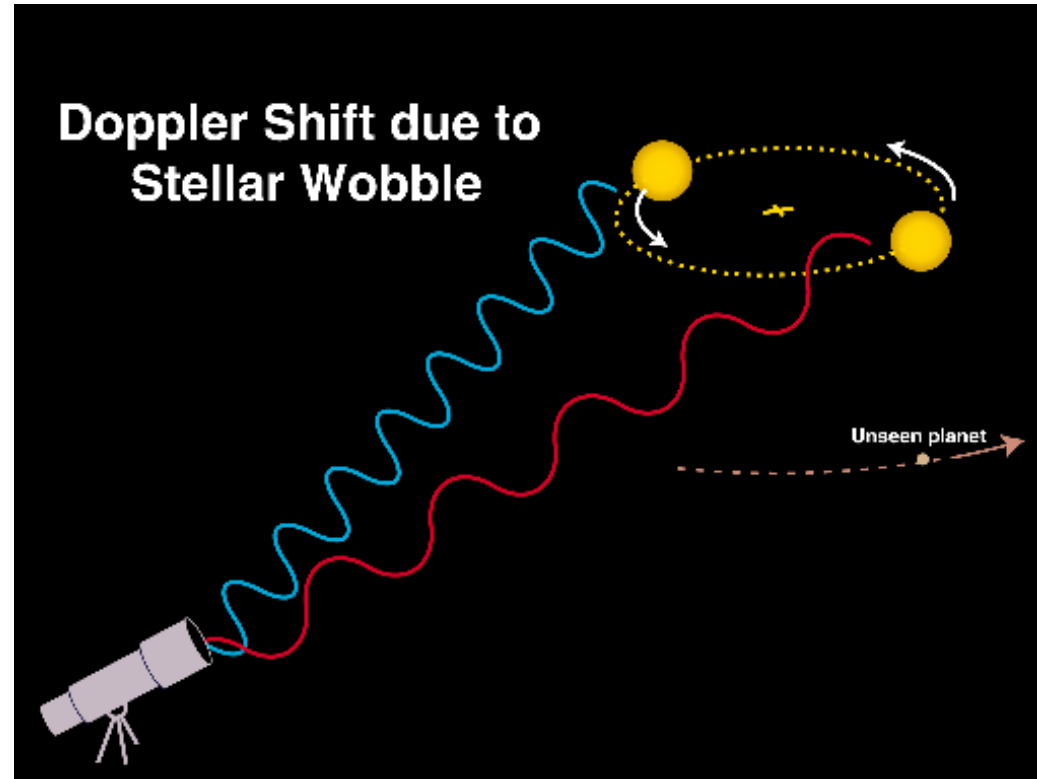
Del Doppler a los exoplanetas

Roger FERLET (Instituto de Astrofísica de Paris),

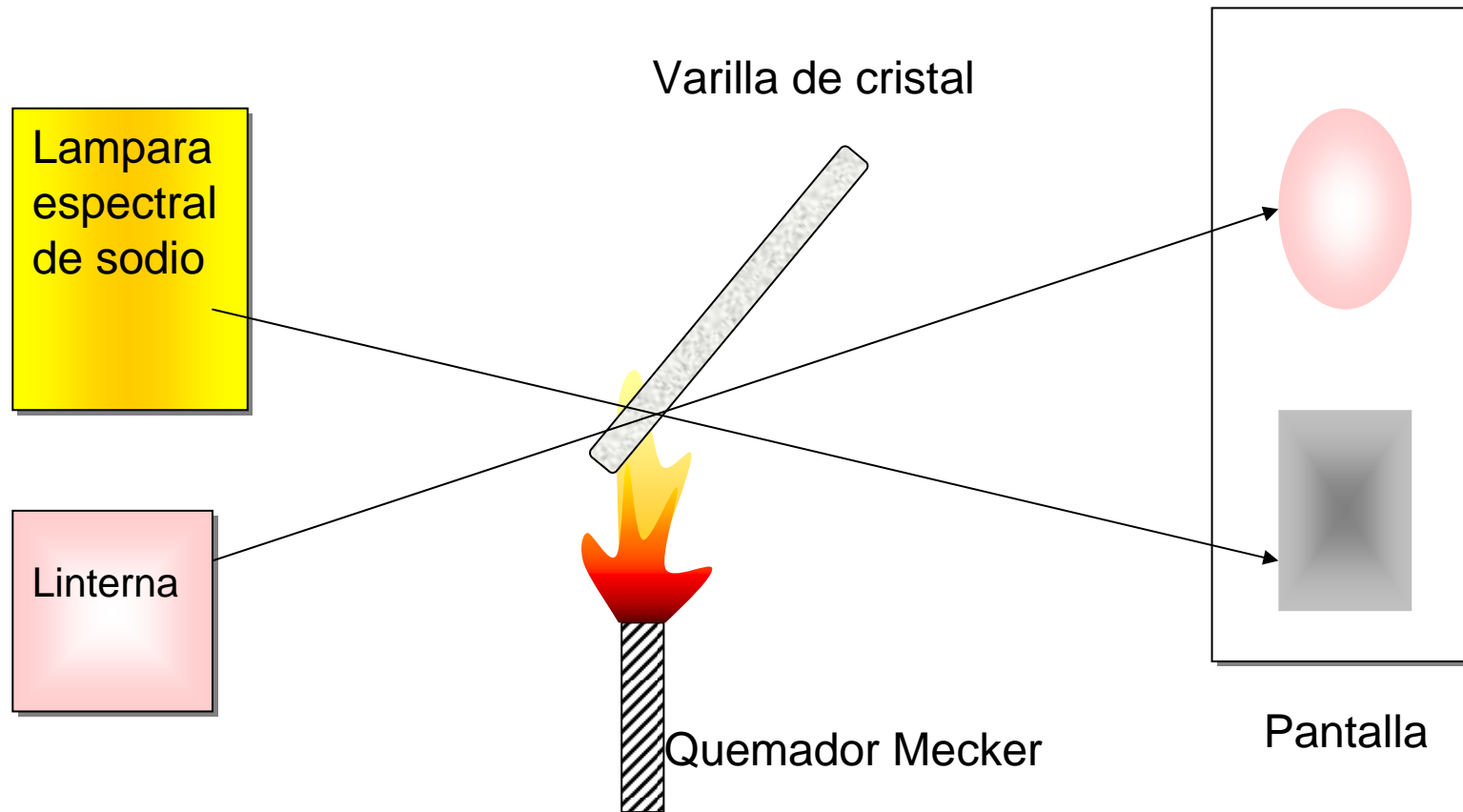
Suzanne FAYE (Liceo Chaptal, Paris) Michel FAYE (Liceo Louis-Le-Grand, Paris)



$$\Delta\lambda / \lambda = \pm v_{rad}/c$$

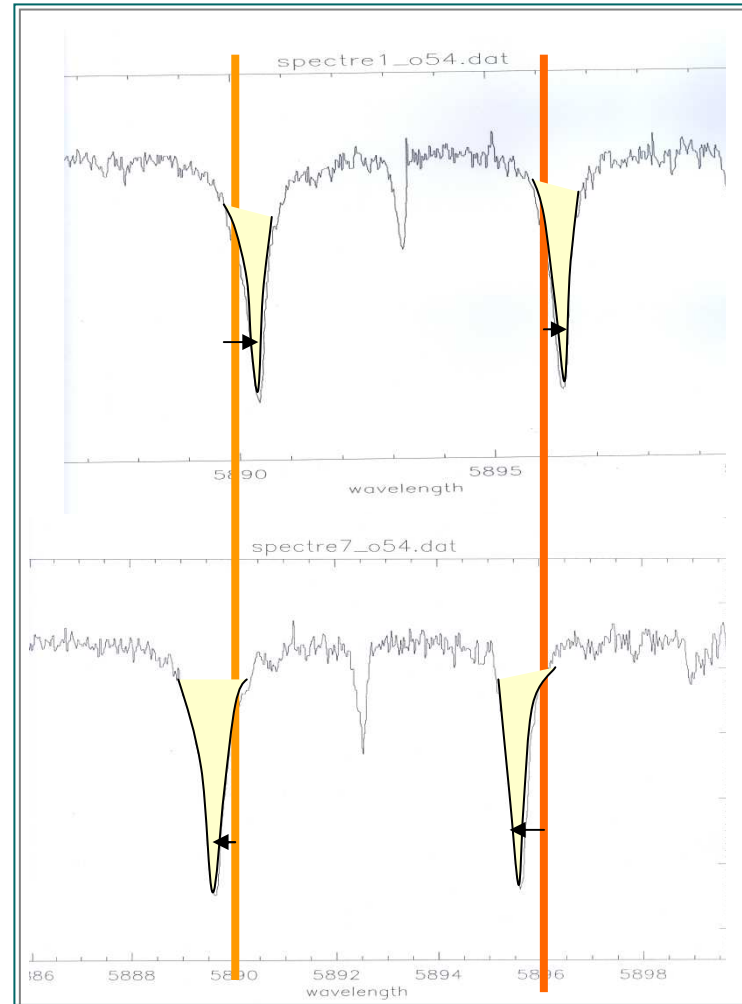


**1^{er} paso: Línea de doble espectro Na (5890 y 5896 Å)
fácil de estudiar en el laboratorio del colegio, con sal
corriente.**

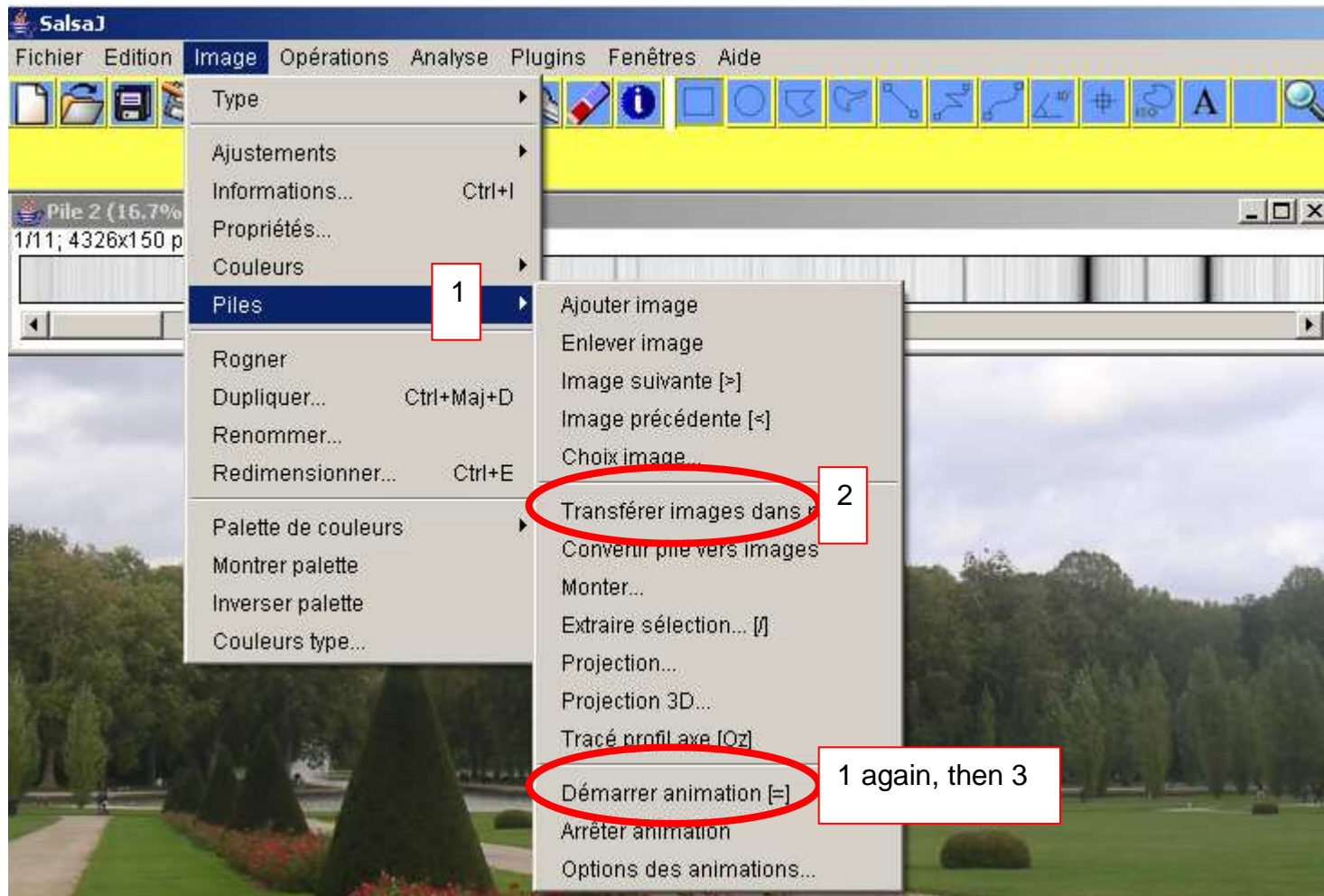


Espectro de una estrella :

Las longitudes de onda de la línea espectral doble de sodio, recibidas a través del espectroscopio, cambian a causa de la velocidad de rotación de la estrella alrededor del baricentro del sistema binario

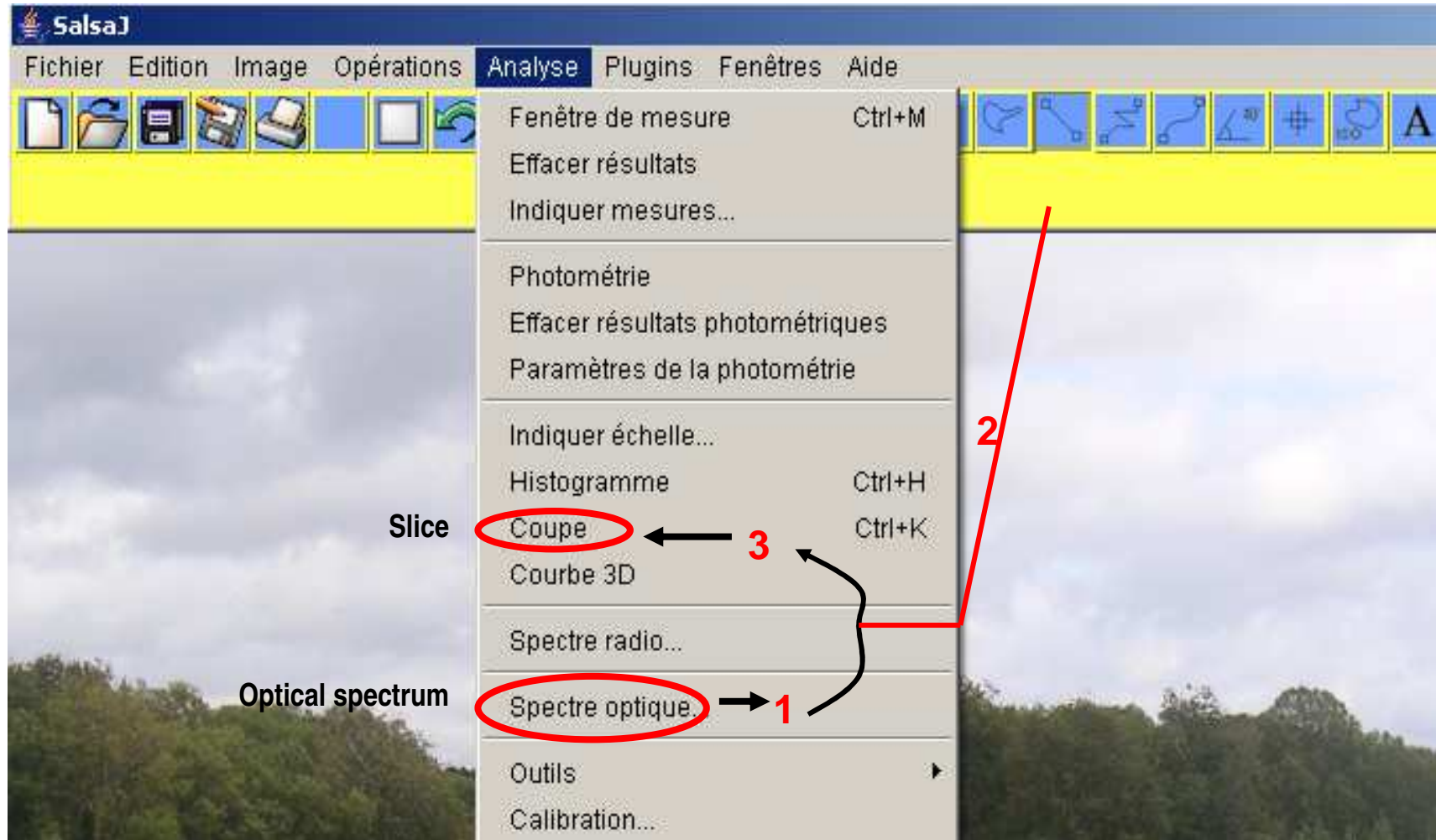


2º paso: Cambio animado del doppler de un sistema binario .Usamos **images.fit**



3er. paso: Medida de la longitud de onda λ y del flujo, espectro óptico

Usamos **images.dat**



Salsa

Fichier Edition Image Opérations Analyse Plugins Fenêtres Aide

x=4200, y=39, angle=359.61, length=882.02

spectr1.data (16.7%)
1325x100 pixels; 32 bits Niv. de gris; 1688K

Tracé d'après spectr1.data
370x250 pixels; 8 bits; 90K

Coordonnées des p...

Fichier Edition

X	Y
5890.216	2287.242
5890.230	2172.090
5890.246	1950.711
5890.261	1838.983
5890.275	1541.972
5890.291	1353.509
5890.306	1183.230
5890.321	1049.106
5890.335	885.984
5890.351	727.598
5890.366	683.100
5890.381	629.956
5890.396	599.803
5890.411	555.655
5890.426	515.443
5890.440	809.580
5890.456	863.945
5890.471	988.934

Flux[ADU]

Lambda[Å]

Liste Enregistrer Copier

Propriétés Indiquer échelle Options de coupe

X=5890.38 Y=629.96

Doble línea del espectro de sodio

**4º paso: Calcular la velocidad de la estrella
desplazamiento Doppler :**

$$\Delta\lambda / \lambda = v_{\text{rad}}/c$$

v_{rad} = velocidad de proyección de la estrella hacia el receptor; incluye la velocidad del baricentro+ movimiento de rotación de la estrella alrededor del sistema baricentro.

c = velocidad de la luz

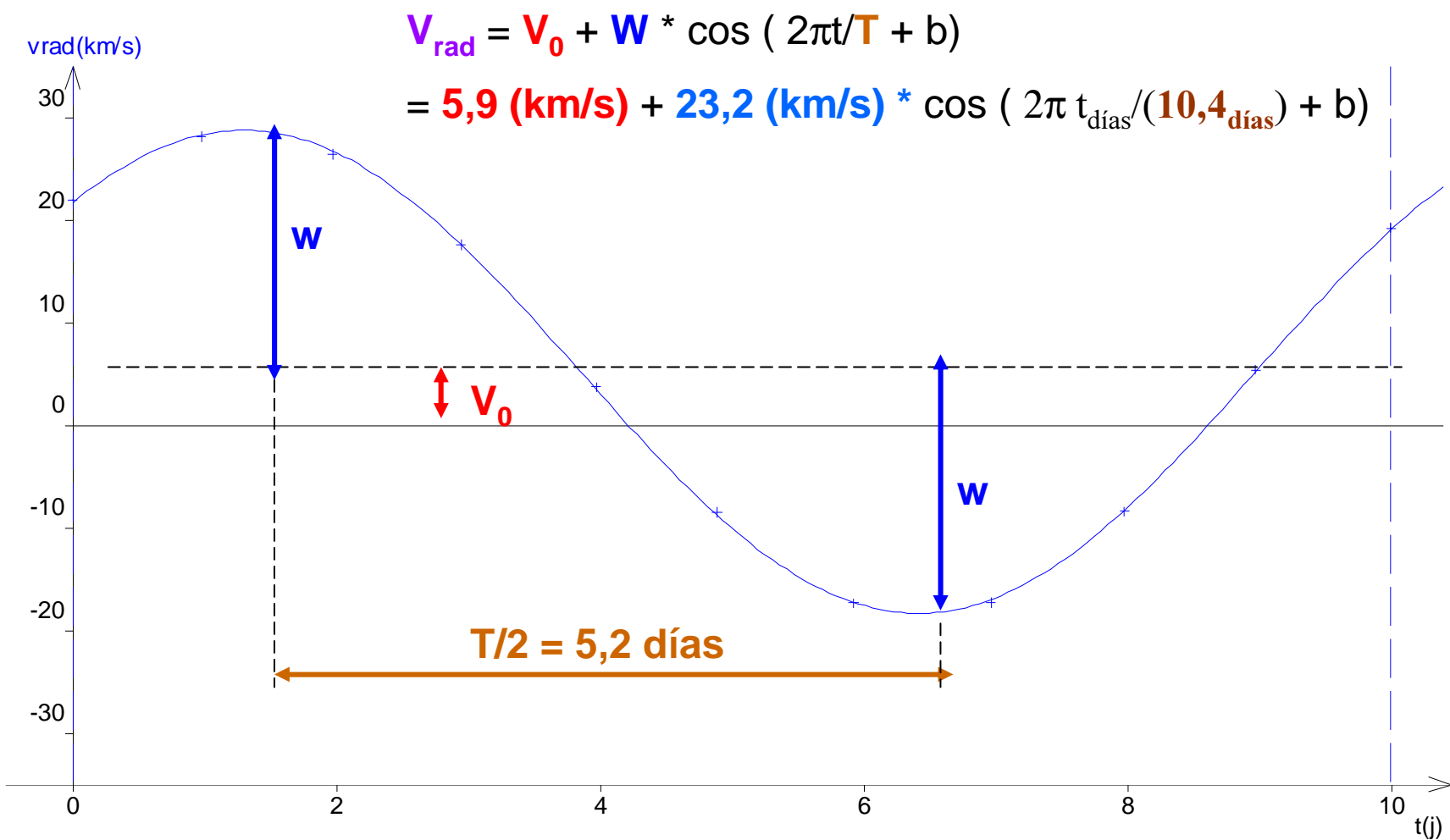


Los estudiantes pueden dibujar v_{rad} correspondiente a la fecha

Con el 4^o paso: 11 espectros

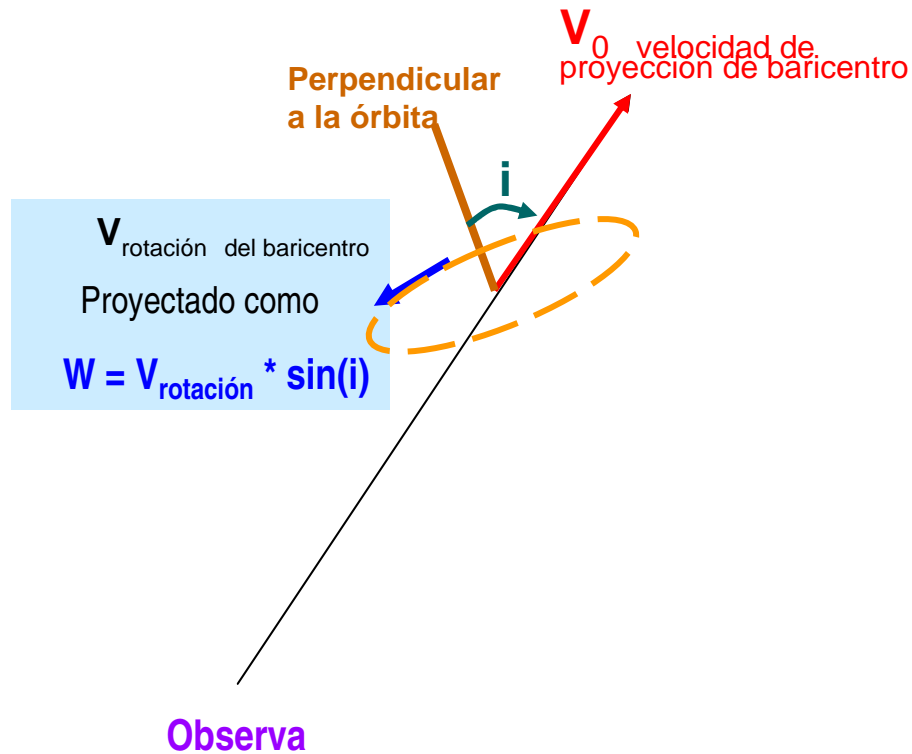
Espectro	Fecha t (días)	λ_1 (Å) 1 Å = 10 ⁻¹⁰ m	$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_{\text{NaI}}$ (Å) 1 Å = 10 ⁻¹⁰ m	$V_E = c \cdot (\lambda_1 - \lambda_{\text{NaI}}) / \lambda_{\text{NaI}}$ (km/s)
1	0	5890,411	0.461	23.48
2	0.974505	5890,496	0.546	27.81
3	1.969681	5890,491	0.541	27.56
4	2.944838	5890,305	0.355	18.08
5	3.970746	5890,014	0.064	3.26
6	4.886585	5889,815	-0.135	-6.88
7	5.924292	4889,642	-0.308	-15.69
8	6.963536	5889,638	-0.312	-15.89
9	7.978645	5889,764	-0.186	-9.47
10	8.973648	5890,056	0.106	5.40
11	9.997550	5890,318	0.368	18.74

5º paso : Velocidad radial de la estrella, de acuerdo con la fecha



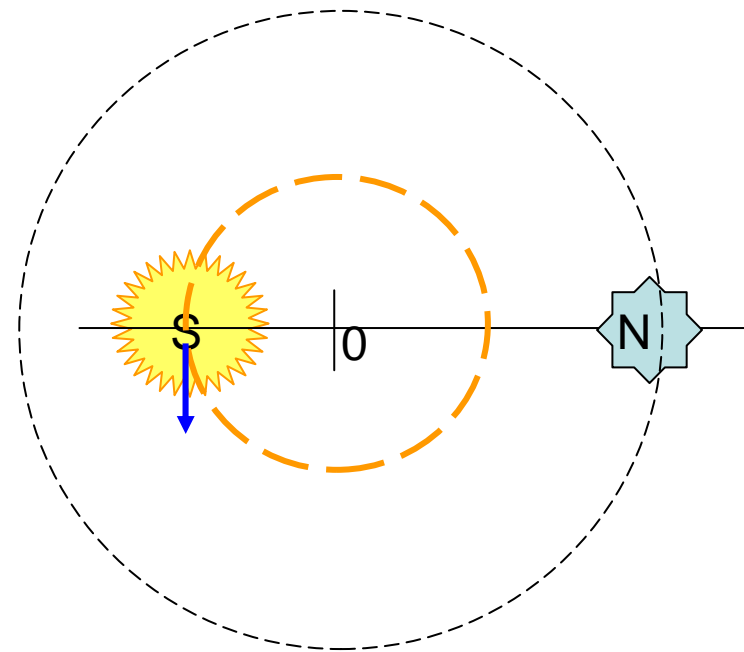
6º paso : Una ojeada a las órbitas circulares de un sistema binario

Vista lateral:



$$V_{\text{rad}} = V_0 + W \cos (2\pi t / T + b)$$

Vista superior:



S= Estrella

N = Compañero no identificado

O= baricentro

Ley de Kepler para órbitas circulares alrededor de la masa del baricentro y valores numéricos

- **Ley de Kepler :**
 $T^2/(SN)^3 = 4 \pi^2/[G (M_S + m_N)]$
- **Baricentro:**
 $SN = [(M_S + m_N) /m_N]OS$
- **Órbita circular :**
 $V_{star} = 2 \pi OS/T = W / \sin(i)$

De ahí, obtenemos:

$$2\pi G m_N^3 = v_{star}^3 T (m_N + M_S)^2$$

O usas una calculadora o reduces usando

$$m_N \ll M_S$$

La estrella que observamos tiene una masa

$$M_{Estrella} = 1.05 M_{Sol} = 2,1 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

Cálculo con calculadora:

Si $\sin(i) = 1$, y órbita circular, tenemos

$$M_N = 0.275 M_{Estrella} = 5,8 \cdot 10^{29} \text{ kg}$$

El compañero de la estrella pesa más que un exoplaneta; puede ser una estrella enana



7º paso : Búsqueda de exoplanetas

Datos:

- Masa de la Tierra, planeta telúrico: $M_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg
- Masa de Júpiter, planeta gigante: $M_J = 2 \cdot 10^{27}$ kg
- Masa del Sol : $M_{Sol} = 2,0 \cdot 10^{30}$ kg

- Masa de una planeta telúrico = $M_{Sol} / 10^6$
- Masa de una planeta gigante = $M_{Sol} / 1000$

- **Velocidad de un planeta telúrico = mm/s a dm/s**
- **Velocidad de un planeta gigante = m/s a 100 m/s**

- Periodos de rotación de la mayoría de los exoplanetas : 3 a 3000 días

Calculo estimado :

$$2\pi G m_N^3 = v_{estrella}^3 T (m_N + M_S)^2$$

- $m \ll$ masa de la estrella ; podemos entonces decir que :

$$m = K \cdot V \cdot T^{1/3} \cdot M^{2/3}$$

51-Pegaso, una estrella con desplazamiento Doppler

Masa de la estrella $M = M_{sol} = 2,0 \cdot 10^{30}$ kg

Velocidad de rotación de 51

Pegaso Estrella : $V = 60$ m/s

Periodo de la estrella 51 Pegaso

Estrella : $T = 4,2$ días.

El compañero llamado 51 Pegasi B orbita la estrella:

$$m_{compañero} = K \cdot V \cdot T^{1/3} \cdot M_{Estrella}^{2/3}$$

con $K = (1 / 2\pi G)^{1/3}$

Así: $m_{Compañero} = 9,1 \cdot 10^{26}$ kg = 0.45

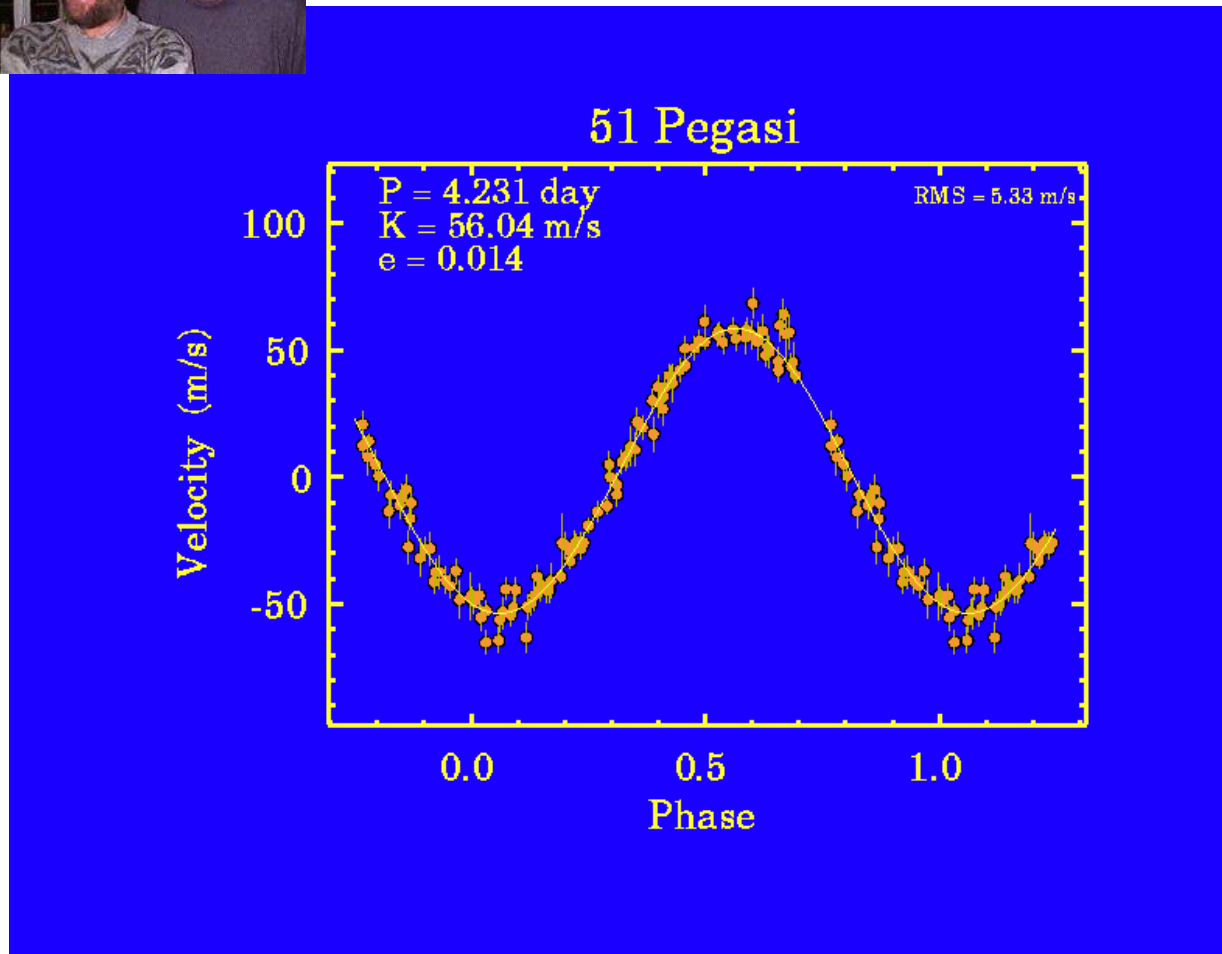
$M_{Jupiter}$

Por tanto, 51-PegasiB es un exoplaneta gigante.

Ahora entendemos cómo es el descubrimiento de los exoplanetas



Michel Mayor y Didier Queloz (1995)



Más luminoso que una estrella enana, hey !



Masa de un planeta telúrica = $M_{\text{Sol}} / 10^6$

Masa de un planeta gigante = $M_{\text{Sol}} / 1000$