Universidad Internacional de Valencia

Master universitario en Astronomía y Astrofísica

Exoplanetas y Astrobiología

Profesor: Dr. Pedro Viana Almeida

Actividad Guiada 1:
Detección de un exoplaneta: parámetros y zona de habitabilidad

Curso: 2021-2022 - Edición de octubre

Nombre:
Iván Arturo Pla Guzmán

e-mail:
ivanpg05@gmail.com

6 de diciembre de 2021

El objetivo de esta actividad es obtener diversos parámetros físicos de un exoplaneta analizando sus datos de transito y curva de velocidad. Dichos parámetros los obtendremos resolviendo los siguientes ejercicios:
Datos: $M = 0{,}45 M_{\odot}$, $R_s = 0{,}46 M_{\odot}$, $T_s = 3350K$, $P = 2{,}6439$ días, $e = 0{,}16$

Para resolver los ejercicios se creo un código en Python, se introdujeron los datos proporcionados así como otras constantes, dicho código se encontrara al final del documento.

Ej.1: Representa gráficamente la curva de luz de la estrella, y argumenta por qué se intuye la presencia de un planeta.

Para obtener la curva de luz se leyeron los datos de transito ya proporcionados para crear una gráfica de la variación del flujo respecto al tiempo.

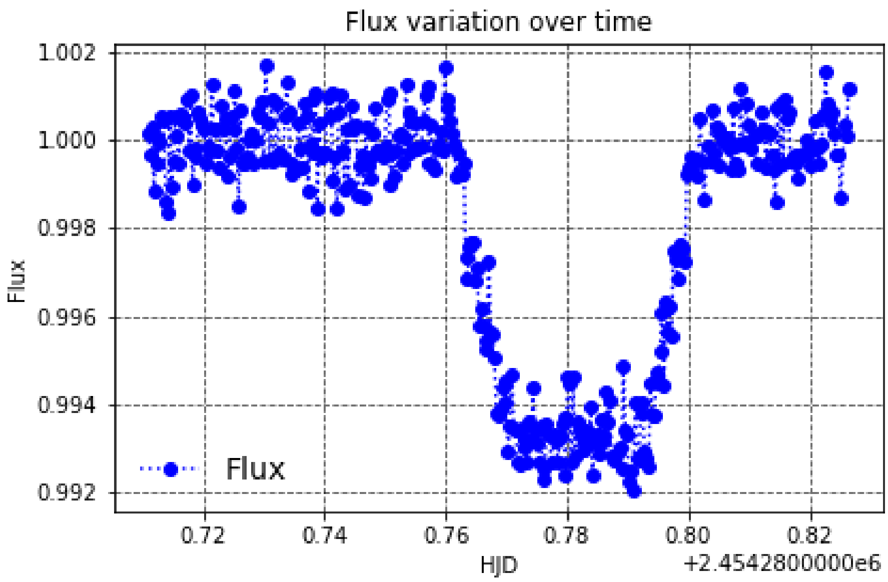

Figura 1: Gráfico de la variación de flujo de la estrella

Viendo el gráfico podemos asumir la parecencia de un planeta orbitando la estrella ya que se observa una gran disminución en su brillo durante un intervalo de tiempo fijo.

Ej.2: Obtén la profundidad del tránsito, y a partir de ésta, calcula el radio del planeta.

Para obtener la profundidad del tránsito (disminución de luminosidad) usamos directamente la formula:

$$TD = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \tag{1}$$

En donde C_1 es el valor más alto de luminosidad y C_2 es el valor más bajo, esto nos da un valor para la profundidad del tránsito de:

$$TD = 0{,}0097 \tag{2}$$

Siendo este un valor adimencional ya que las unidades, al ser todas unidades de luminosidad, se cancelan.

Ya que obtuvimos el valor de TD podemos sustituirlo y despejar para obtener el radio del planeta.

$$TD = \left(\frac{R_p}{R_s}\right)^2 \tag{3}$$

$$R_p = \sqrt{TD} * R_s \tag{4}$$

Sustituyendo los valores y resolviendo obtenemos:

$$R_p = \sqrt{(0{,}0097)} * (320{,}16 \times 10^6\, m) = 31485479{,}64\, m = 31485{,}48\, km \tag{5}$$

Ej.3: Calcula la distancia del planeta a la estrella que órbita.

Para obtener la distancia estrella-planeta usamos la relación entre el periodo orbital y dicha distancia dada por la 3ra Ley de Kepler.

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{1}{M_s} \tag{6}$$

En donde P es la órbita en años sidéreos y M_s es la masa de la estrella en masas solares para obtener el valor de la distancia a en U.A. Despejando y resolviendo obtenemos:

$$a = \sqrt[3]{M_s * P^2} \approx 0{,}03\, U.A. = 4278449{,}66\, km \tag{7}$$

Por el valor obtenido podemos saber que el planeta se encuentra demasiado cerca de la estrella. Para dar una idea de lo cerca que se encuentra, la distancia entre Mercurio y el sol es de $\approx 0{,}4\, U.A$

Ej.4: Representa gráficamente la curva de velocidad radial de la estrella, explica qué indica cada eje, y qué se observa en la gráfica.

Para graficar la velocidad radial de la estrella usamos los datos de velocidad ya proporcionados. Se utilizaron los datos de velocidad radial, fase y error para crear la siguiente gráfica.

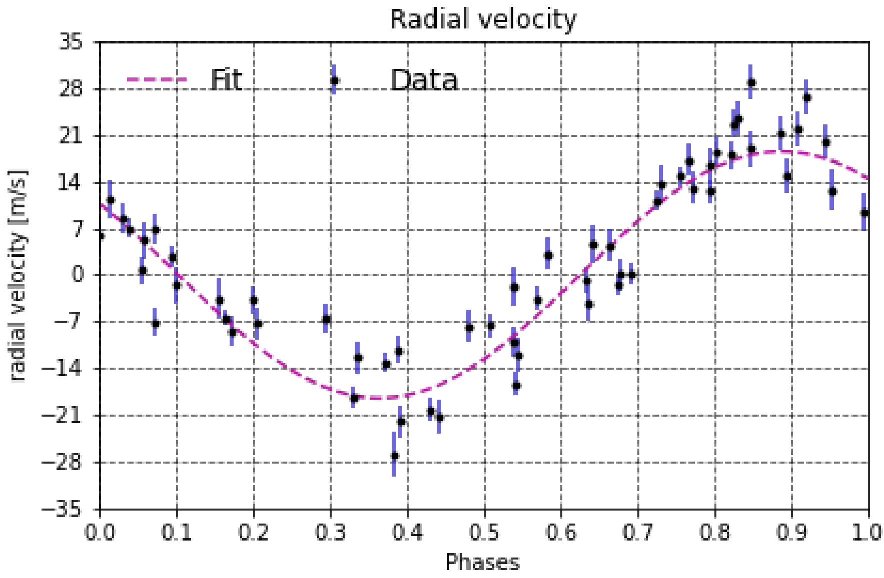

Figura 2: Gráfico de la velocidad radial de la estrella

En la Fig.2 podemos ver las variaciones de la velocidad radial, eje x, a lo largo del tiempo, eje y, que en este caso se muestra en fases. Dicha variación es producida por el efecto Doppler ya que tanto la estrella como el planeta orbitan alrededor de un centro de masa en común. De igual manera se le realizo un fit a la gráfica para mostrar el comportamiento senoidal.

Ej.5: Obtén K, la semi-amplitud de la velocidad radial. Para ello representa la curva de velocidad radial en función de la fase, y estima el valor de la amplitud de la modulación.

La Fig.2 ya se encuentra en función de la fase, por lo que para obtener el valor de k simplemente tomamos el valor máximo de todas las velocidades, siendo este.

$$k = 18{,}46\, m/s \,\text{basandonos en el fit} \tag{8}$$

$$k = 28{,}81\, m/s \,\text{basandonos en los datos} \tag{9}$$

Ej.6: Calcula la masa mínima del planeta. Comenta el valor obtenido. Calcula la masa real del planeta, y explica cómo puedes conocerla.

Para calcular la masa usamos la siguiente formula:

$$M_p \sin i = 4{,}92{\times}10^{-3}\sqrt{1-e^2}{\cdot}k{\cdot}P^{1/3}{\cdot}M_s^{2/3} \tag{10}$$

En donde M_p es la masa del planeta en masas de Júpiter, i es la inclinación de la órbita, e es la excentricidad de la órbita, k es la semi-amplitud de la orbita en m/s, P es el periodo orbital en días y M_s es la masa de la estrella en masas solares.

Al desconocer el valor de i la Ec.10 solo nos va a dar la masa mínima. Al sustituir y resolver obtenemos:

$$M_p = 0{,}7\,\text{masas de Júpiter} \tag{11}$$

Para obtener la masa real del planeta usamos la conservación del momento angular:

$$M_s\,V_s\,r = M_p\,V_p\,r \tag{12}$$

Donde M representa la masa, V la velocidad y r el radio de la órbita planetaria el cual se cancela. V_p puede ser calculando de la siguiente manera:

$$V_p = \frac{2\pi a_p}{T} \tag{13}$$

Donde a_p es la distancia estrella-planeta en metros y T es el periodo en segundos. Sustituyendo la Ec.13 en 12 y resolviendo tenemos:

$$M_p = \frac{M_s V_s T}{2\pi a_p} \approx 1{,}41\times10^{26}\,kg \tag{14}$$

Dicha masa es equivalente a:

$$0{,}7\,\text{masas de Júpiter} = 23{,}64\,\text{masas terrestres} = 0{,}0001\,\text{masas solares} \tag{15}$$

Ej. 7: Si el valor de la masa estelar se conoce con una incertidumbre del 10 %, cómo influye esto en la determinación de la masa del planeta?

Ya que la masa de la estrella es un valor utilizado para obtener la masa del planeta, una incertidumbre en el valor de la masa de la estrella se acarrea generando así una incertidumbre en el valor de la masa del planeta.

Ej.8: Calcula la densidad del planeta, e intenta deducir qué tipo de planeta puede ser (rocoso, gaseoso ..)

Para calcular la densidad utilizamos:

$$d = \frac{M_p}{V} \tag{16}$$

$$d = \frac{3{\cdot}M_p}{4\pi R_p^3} \approx 1079{,}61\,kg/m^3 = 1{,}08\,g/cm^3 \tag{17}$$

Comparando la densidad obtenida con la densidad de los planetas en nuestro sistema solar es muy probable que el planeta sea de tipo gaseoso.

Planeta	Densidad promedio (gr/cm^3)
Mercurio	5.4
Venus	5.2
Tierra	5.5
Marte	3.9
Júpiter	1.3
Saturno	0.7
Urano	1.3
Neptuno	1.6

Cuadro 1: Densidades de los planetas en el Sistema Solar

Ej.9: : Calcula la temperatura de equilibrio del planeta. Utiliza un albedo nulo, o el valor del albedo de la Tierra. Comenta el valor obtenido.

Para obtener la temperatura de equilibrio (T_{eq}) usamos la siguiente formula:

$$T_{eq} = T_s(1-A)^{1/4}\sqrt{\frac{R_s}{2a}} \tag{18}$$

En donde T_s es la temperatura de la estrella, A es el albedo, R_s es el radio de la estrella y a es la distancia estrella-planeta.

Sustituyendo y resolviendo obtenemos:

$$T_{eq} \approx 647{,}99\,K \text{ utilizando un albedo nulo} \tag{19}$$

$$T_{eq} \approx 592{,}71\,K \text{ utilizando el albedo medio de la Tierra (0.3)} \tag{20}$$

Ej.10: Sitúa el planeta en un diagrama con las zonas habitabilidad, y discute si se encuentra o no en zona habitable.

Basándonos en el diagrama de habitabilidad incluido en la guía para esta actividad general se concluye que el planeta no se encuentra dentro de la zona habitable ya que con una distancia de $0{,}03\,U.A.$ y una masa de $0{,}0001\,M_{\odot}$ se encontraría por debajo de limite inferior de masas.

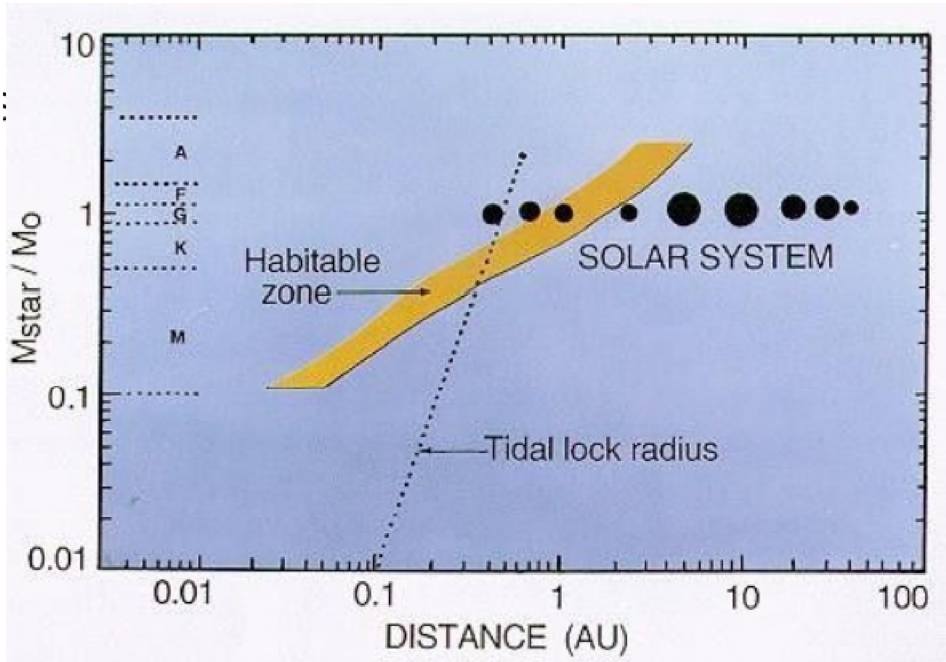

Figura 3: Diagrama de zonas de habitabilidad

Ej. 11: De qué planeta se trata? Busca en qué año fue detectado, por qué método, y por qué investigadores. Puedes buscar más información extra si lo deseas.

Tras una extensa investigación el planeta cuyas características se asemejan mas al de esta actividad es Gliese 436 b. Fue descubierto en Agosto del 2004 por Paul Butler y Geoffrey Marcy del Carnegie Institute of Technology de Washington, y de la Universidad de California usando el método de velocidad radial A continuación una tabla en donde se comparan sus características.

	Planeta (actividad)	Gliese 436 b
Semi-eje Mayor	0.03 U.A.	0.028 U.A.
Excentricidad	0.16	0.152
Periodo Orbital	2.6439 días	2.6439 días
Semi-amplitud	18.46	17.38
Radio promedio	4.9 R_T	4.3 R_T
Masa	23.64 M_T	21.36 M_T
Densidad	1.08 g/cm^3	1.51 g/cm^3
T_{eq}	647.99 K	712 K

Cuadro 2: Comparación de las propiedades físicas y orbitales el planeta Gliese 436 b y los obtenidos durante la actividad.

Anexo: El código creado para realizar esta actividad lo podrá encontrar aquí: Código Exoplanetas A.G.1