

Práctica 2: Estudio de planetas extrasolares.

Introducción:

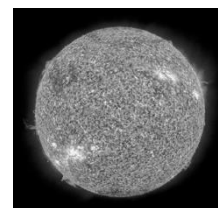
La búsqueda de sistemas planetarios que orbitan en torno a otras estrellas es un aspecto puntero en la investigación astronómica actualmente. Numerosos proyectos, entre los que se encuentra el CÁRMENES, en Calar Alto (Almería), con participación de la UGR, desarrollan diferentes técnicas para su detección.

El método de ocultamiento (disminución de la luminosidad que vemos de la estrella al pasar un planeta por delante) permite poner en práctica conocimientos de Física de 2º de Bachillerato, en concreto la 3ª ley de Kepler, para relacionar el periodo orbital con la distancia a la estrella y la masa de la misma.

ESTUDIO TEÓRICO

ESTRELLAS:

Una estrella es básicamente una enorme masa de hidrógeno, helio y otros elementos en estado de plasma (gas ionizado a alta temperatura) que desprende energía producida por las reacciones nucleares de fusión que ocurren en su interior.



“Vida” de una estrella:

Contracción e ignición: Una estrella se origina por la contracción gravitatoria de una nebulosa “fría” de hidrógeno, helio y otros elementos. Esa contracción va comprimiendo el gas y aumentando su temperatura, hasta alcanzar varios millones de K en su interior, dando lugar así a reacciones nucleares de fusión de hidrógeno en helio, que desprenden una enorme cantidad de energía. La estrella se “enciende”. Esta fase es relativamente rápida: suele durar pocos millones de años.

Secuencia principal: La elevada temperatura y la radiación desprendida originan un aumento de la presión del plasma, que tiende a aumentar su volumen. Se llega así a un equilibrio entre la gravedad, que intenta contraer la estrella, y la presión de radiación, que intenta expandirla. Empieza entonces la “vida normal” de la estrella (conocida como “secuencia principal”) en la que la estrella desprende energía a un ritmo aproximadamente constante (es la fase en la que se encuentra nuestro Sol actualmente). Esta fase es la más larga en la “vida” de la estrella. Dependiendo del tipo y masa de la estrella, dura entre pocos millones de años, y varios miles de millones de años.

Fase final (“muerte” de la estrella): Una vez que se ha consumido la mayor parte del hidrógeno, la estrella se desequilibra. Las reacciones nucleares no pueden suministrar suficiente energía y se enfría, contrayéndose su núcleo. Pero esta contracción provoca un nuevo aumento de temperatura, que puede hacer que se reinicie la fusión, incluso del helio y otros elementos. La estrella pasa por sucesivas fases de expansión (gigante roja) y contracción, hasta que la producción de energía no es capaz de compensar la contracción gravitatoria. Entonces, en función de la masa de la estrella, ocurrirá un colapso mayor o menor:

- Masa < 8 M_{sol} : Enana blanca, rodeada de una nebulosa planetaria.
- 10 M_{sol} < Masa < 30 M_{sol} : Explosión estelar (supernova). Estrella de neutrones (púlsar) rodeada de nebulosa planetaria.
- Masa > 30 M_{sol} : Explosión estelar (supernova). Formación de un agujero negro.

En la práctica, trabajaremos con estrellas que se encuentran en la secuencia principal (en su “vida normal”).



Características de las estrellas.

Podemos clasificar las estrellas según características observables, como la luminosidad o el color.

Luminosidad:

La luminosidad (cantidad de energía que desprende) está relacionada con el tamaño de la estrella, y con su masa. Para estrellas de la secuencia principal, se ha medido experimentalmente una relación aproximada dada por la expresión

$$\left(\frac{L}{L_{sol}}\right) = \left(\frac{M}{M_{sol}}\right)^{\frac{7}{2}}$$

Los valores de luminosidad (L) suelen estar dados en función de la luminosidad solar (L_{sol})

Relacionada también con la luminosidad está la **magnitud** de la estrella. Es esta una clasificación muy antigua, que viene de la antigua Grecia, ordenando las estrellas por su brillo (primera magnitud las más brillantes, y luego, 2ª, 3ª...). Esta es la **magnitud aparente**, tal y como la vemos brillar desde la Tierra, y no tiene en cuenta la distancia a la que se encuentra la estrella. Podemos ver más brillante una estrella que otra no porque sea más luminosa, sino porque esté mucho más cerca. Los planetas más cercanos, como Venus (-4,4), Marte (-2,9) y Júpiter (-2,2), tienen magnitud aparente negativa. El Sol, magnitud aparente -26,7.

La **magnitud absoluta** tiene en cuenta la distancia. Es la magnitud que tendría una estrella si estuviera a una distancia concreta de nosotros (establecida en 32,6 años-luz = 10 *parsec*). Así, nuestro Sol pasa a tener magnitud absoluta de +4,8. Si estuviera a 32,6 años luz, sería apenas visible a simple vista y pasaría desapercibida entre el resto.

Hay que tener en cuenta que, cuanto menor (o más negativa) es la magnitud absoluta, más brillante será, tendrá mayor luminosidad.

Color:

Una estrella emite todos los tipos de luz (todo el espectro electromagnético, incluidos R-X, UV, infrarrojos, etc), pero según la temperatura de su superficie emite más de un tipo que de otro, dando una coloración a la estrella. El color de una estrella depende, por tanto, de la temperatura de la superficie.

Se establecen así varios **tipos espectrales** →

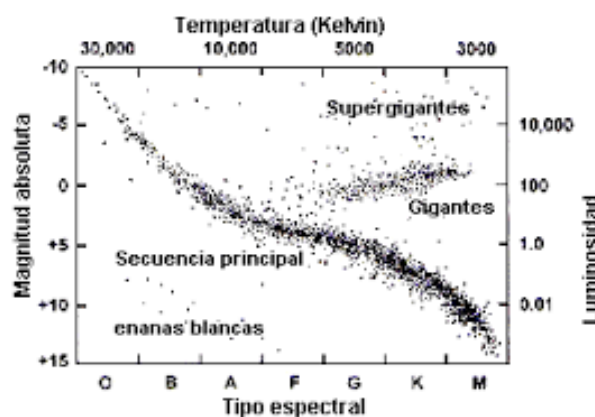
		Temperatura superficial	Color
	O	25000 K - 55000 K	Azul-violeta
	B	10000 K – 25000 K	Azulada
	A	8000 K – 10000 K	Blanco-azulada
	F	6000 K – 8000 K	Blanco-amarilla
	G	4500 K – 6000 K	Amarilla
	K	3000 K – 6000 K	Naranja
	M	< 2500 K	Roja

Nuestro Sol, con una temperatura superficial de aproximadamente 5800 K, es de tipo G.

El diagrama HR (diagrama de Hertzsprung-Russell):

El diagrama HR es una gráfica donde se representa cada estrella con un punto, según su tipo espectral y su luminosidad. El tipo espectral (y la temperatura) se colocan en el eje x, y la luminosidad (y la magnitud absoluta) en el eje y. Con esas coordenadas podemos ubicar cualquier estrella en el diagrama.

Al representar las estrellas, observamos que la mayoría, las que se están en la fase de “equilibrio” se encuentran en una franja, la “secuencia principal”. Hacia arriba tendremos las estrellas gigantes, más grandes y más luminosas. Hacia abajo, las estrellas “enanas”. Hacia la izquierda las de mayor temperatura superficial (tipo O, azul-violeta) y hacia la derecha las de menor temperatura (tipo M, rojas).



PLANETAS EXTRASOLARES (EXOPLANETAS):

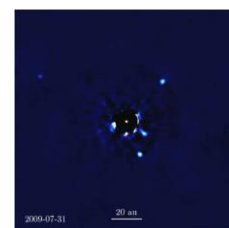
Hasta hace relativamente poco no se habían descubierto planetas que orbitaran en torno a otras estrellas. Un planeta es mucho menor que la estrella, no emite luz por sí mismo, sólo la refleja, y a las enormes distancias a las que se encuentran las estrellas, incluso la más cercanas, la luz de la estrella impide que distingamos el planeta, que se encuentra orbitando muy cerca. Era sólo cuestión de mejorar las técnicas de observación y tratamiento de la luz que llega hasta nosotros.

En la década de los 90 del siglo XX se descubrieron

Actualmente se descubren y estudian exoplanetas usando distintos métodos:

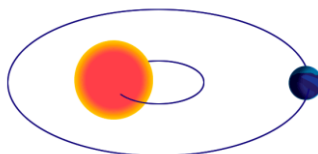
Observación directa:

Sólo en muy contadas ocasiones, con estrellas muy cercanas, los telescopios ópticos pueden ver la estrella como un disco y, ocultando su luz, distinguir el brillo de los planetas que la orbitan.



Astrometría (técnica de las velocidades radiales):

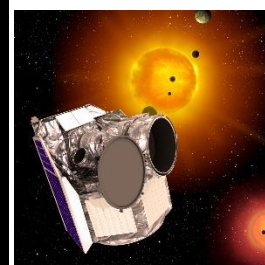
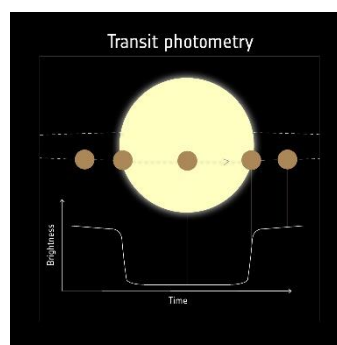
Es la que utilizan proyectos como CARMENES, en Calar Alto (Almería), o el satélite GAIA. La atracción gravitatoria de los planetas sobre las estrellas modifican ligeramente el movimiento de éstas, las hacen oscilar. Esta oscilación puede medirse usando el efecto Doppler (el espectro de la luz emitida por la estrella se desplaza hacia el azul o el rojo si ésta se acerca o aleja de nosotros, respectivamente).



Tránsito (u ocultamiento):

Se usa cuando el plano de rotación de los planetas hace que éstos se interpongan entre la estrella y nosotros. El planeta pasa por delante de la estrella, eclipsándola parcialmente, y haciendo que el brillo de la estrella disminuya muy ligeramente mientras dura el tránsito (unas horas). En comparación, es como detectar si un mosquito ha pasado por delante de una farola a varios km de distancia, pero la precisión de los aparatos permite medirlo en la actualidad.

Esta técnica es usada por satélites como CHEOPS, y es la que vamos a simular en la práctica.



Cuanto mayor sea el planeta, mayor es la disminución de la intensidad de la luz. De este modo podemos estimar el tamaño del mismo.

Podemos medir el periodo orbital T del planeta midiendo el tiempo que tarda en repetirse el tránsito. A partir de ahí, si conocemos la masa M de la estrella, podemos calcular su radio orbital r aplicando la tercera ley de Kepler

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

¿Cómo se le da el nombre a un exoplaneta? Se suelen nombrar a partir del nombre de la estrella, añadiéndole una letra minúscula, comenzando por la "b" (la "a" se reserva para la propia estrella), según el orden de descubrimiento. El nombre de la estrella puede provenir de la constelación a la que pertenece (Sirio es α -Canis Majoris, Rigel es β -Orionis...) o de la misión espacial que la ha descubierto; se indica entonces el nombre de la misión, y el número de orden que hace la estrella en los descubrimientos que ha hecho el telescopio.

La zona de habitabilidad de la estrella (*Goldilocks zone*)

Un factor importante a la hora de estudiar la posibilidad de vida (al menos, el tipo de vida que conocemos) en un planeta es la potencial presencia de agua líquida. Para que esto ocurra, la temperatura superficial del planeta debe permitirlo. Esto está relacionado con la luminosidad de la estrella y con la distancia a la que esté el planeta.

Una estimación de los límites de dicha zona es:

$$\text{Límite interior: } r_{\min} \sim 0,7 \cdot \sqrt{\frac{L}{L_{\text{sol}}}} \quad \text{Límite exterior } r_{\max} \sim 1,5 \cdot \sqrt{\frac{L}{L_{\text{sol}}}}$$



donde r_{\min} y r_{\max} están medidos en u.a (unidad astronómica: distancia Tierra-Sol) y L/L_{sol} es la luminosidad relativa de la estrella.

$$1 \text{ u.a} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m (aprox. 150 millones de km)}$$

Para comparar los datos de r obtenidos de los planetas b, c, d, y ver si se encuentran dentro de los límites de habitabilidad, debemos expresar los radios en u.a.

Existen otros factores que determinan la posible habitabilidad (planeta tipo rocoso o gaseoso, la actividad ultravioleta de la estrella, el tiempo de “vida” en la secuencia principal...) pero en esta práctica sólo trabajaremos con la posibilidad de agua líquida.

Datos importantes:

Masa del Sol: $M_{\text{sol}} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

Unidad astronómica (distancia Sol-Tierra): $1 \text{ u.a} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$ (aprox. 150 millones de km)

1 año: $3,154 \cdot 10^7 \text{ s}$ (365 días = 31536000 s)

1 día = 24 h = 86400 s

PRÁCTICA 2:

El escenario de la práctica.

¡Enhorabuena! Has sido reclutado/a para participar en la misión espacial PMSat, que investiga sistemas planetarios extrasolares y su posibilidad de albergar agua en estado líquido.

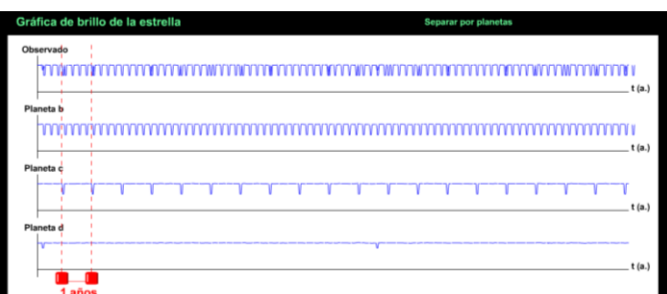
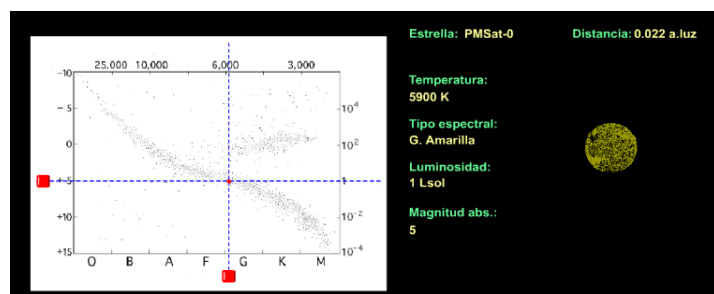
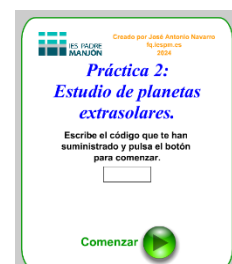
Para poder acceder a la simulación virtual, debes hacerlo con un **ordenador con sistema operativo Windows**. Es más cómodo si usas un ratón, aunque no es imprescindible.

Al abrir la aplicación, debes escribir el código que te haya suministrado tu profesor/a. Recuerda que los valores de las estrellas y planetas que suministra el programa están personalizados. No hagas la práctica con otro código diferente.

El escenario nos muestra inicialmente información sobre la misión PMSat. A partir de ahí puedes acceder a la información sobre la estrella (diagrama HR) y sobre los planetas (gráficas de ocultamiento) pulsando los botones correspondientes:

Diagrama HR: La posición de la estrella en el diagrama HR viene marcada por un punto rojo. Debemos mover los cursores horizontal y vertical hasta hacerlos coincidir con el punto y así obtener las características de la estrella.

Gráficas de tránsito (ocultamiento): La pantalla nos muestra el estudio de la luminosidad de la estrella durante un periodo de 20 años, mostrando los picos de descenso de la luminosidad cuando un planeta pasa por delante y “eclipsa” parcialmente la luz de la estrella. Inicialmente todos los planetas aparecen juntos. Debemos hacer que el programa los separe. Una vez separados los tres planetas (b,c,d), debemos, moviendo los cursores, determinar el periodo orbital de cada planeta (tiempo que tarda en volver a ocultar la luz de la estrella). Presta mucha atención a las unidades.



Existen planetas con un periodo orbital muy rápido, de apenas unos días (incluso algunas horas, en el caso de estrellas pequeñas tipo M). Medido en años, los picos de ocultamiento se juntan tanto que no se distinguen. En ese caso, al separar los planetas, la aplicación muestra una lupa que nos permite ampliar la escala, mostrándola en días.



Procedimiento:

Con los datos obtenidos de las características de la estrella, y los periodos orbitales de los planetas, debes calcular el resto de magnitudes que pide el informe (masa de la estrella, radios orbitales de cada planeta, y discriminar si se encuentran o no en la zona de habitabilidad de la estrella) y completarlo.

Debes hacer una captura de pantalla del diagrama HR, una vez localizada la estrella con sus características, y otra de las gráficas de ocultamiento, para adjuntarlas al informe. También debes adjuntar en la actividad una foto de la hoja donde hayas hecho los cálculos.

Datos importantes:

Masa del Sol: $M_{\text{Sol}} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

Unidad astronómica (distancia Sol-Tierra): $1 \text{ u.a} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$ (aprox. 150 millones de km)

1 año: $3,154 \cdot 10^7 \text{ s}$ (365 días = 31536000 s)

1 día = 24 h = 86400 s