

Notas de clase

Una pizarra en la que intercambiar experiencias docentes

Detección de exoplanetas por el método de los tránsitos: Una simulación en arduino

David Pamos Ortega
IES Levante, Algeciras

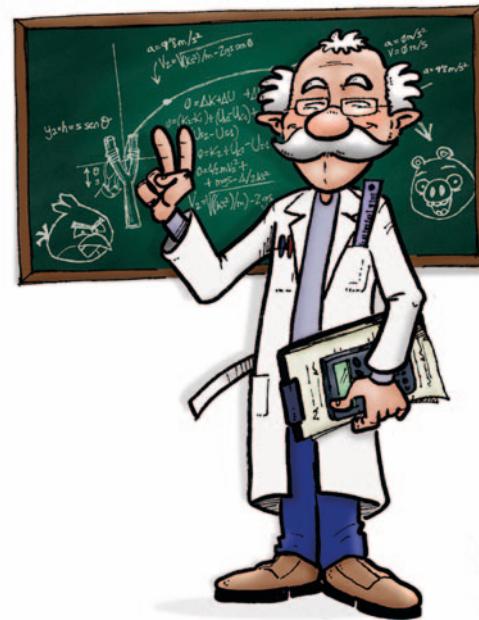


En 2019 fueron galardonados con el premio Nobel de Física los investigadores James Peebles, Michel Mayor y Didier Queloz por su contribución a la comprensión del universo. En particular, los dos últimos porque fueron los primeros en descubrir en 1995 un exoplaneta alrededor de una estrella de tipo solar, 51 Pegasi b, a unos 51 años luz de la Tierra. Un planeta extrasolar o exoplaneta es un planeta que orbita una estrella diferente al Sol y que, por lo tanto, no pertenece al Sistema Solar. Entre los métodos más utilizados para su detección está el método del tránsito, con el que los astrónomos miden el cambio periódico en el brillo aparente de la estrella cuando un planeta perteneciente a su sistema pasa por delante de ella.

Con el propósito de divulgar al público este tema tan interesante, y a la vez de actualidad, en nuestro centro se construyó una simulación controlada por Arduino para ilustrar este método con el que las sondas espaciales Kepler (NASA, 2009), CoRoT (ESA, 2006), y actualmente TESS (NASA, 2018), han conseguido detectar más de 4 000 exoplanetas.

Introducción

Encontrar un lugar fuera de la Tierra donde la vida sea posible, e incluso una realidad, es uno de los grandes objetivos de la ciencia actual. La tecnología no nos permite todavía viajar fuera del Sistema Solar hacia las estrellas a la conquista de mundos desconocidos, pero sí mirar increíblemente lejos. La estrella más cercana a la Tierra se halla aproximadamente a unos 4 años luz. Se trata de Próxima Centauri. Encontrar un planeta extrasolar que orbite en torno a su estrella se nos antoja una misión casi imposible, ya que se halla muy lejos y no brilla con luz propia. Sin embargo, en 1995, los astrónomos suizos Michel Mayor y Didier Queloz utilizaron la técnica de las velocidades radiales para descubrir la existencia de planetas extrasolares. Si el planeta se halla lo suficientemente cerca de su estrella y es lo suficientemente grande, puede provocar en ella un movimiento de bamboleo semejante al que un lanzador de pesas experimenta mientras gira antes de lanzarla. La componente dirigida a lo largo de la visual de ese movimiento de vaivén en la estrella, provocado por la influencia gravitatoria del planeta que se encuentra relativamente cerca, se llama



-13-

Ilustración por gentileza de Alberto García Gómez (albertogtg.com).

velocidad radial. Y es la responsable de que se produzca un efecto Doppler en la luz que la estrella nos envía. Así que, analizando el espectro de luz de la estrella, podemos deducir el valor de esa velocidad radial, y, a partir de ella, la masa mínima que debe tener el exoplaneta. Así es como Mayor y Queloz detectaron 51 Pegasi b, el primer exoplaneta en ser descubierto alrededor de una estrella de tipo solar, a una distancia de unos 51 años luz de la Tierra [1]. Unos cuantos años más tarde fue lanzada al espacio la misión CoRoT, de la ESA, con la que era posible medir el brillo aparente de las estrellas con una precisión de micromagnitudes. El fotómetro de a bordo era capaz de detectar los cambios periódicos en el brillo de una estrella cuando un planeta perteneciente a su sistema pasaba por delante. Se trata del método del tránsito, análogo al que nosotros podemos ver con los planetas internos de nuestro Sistema Solar, esto es, Mercurio y Venus, cuando pasan por delante del Sol. Junto con la misión Kepler lanzada por la NASA en 2009, fue posible detectar y caracterizar gracias a este método miles de exoplanetas, si no confirmados, validados por métodos estadísticos. En la Figura 1 se representa una típica curva de luz que muestra el brillo aparente normalizado en función del tiempo de observación, con datos reales procedentes de la misión Spitzer, de la NASA (2003), correspondientes a la estrella GJ 436, cuyo planeta GJ 436 b fue descubierto por Butler en 2004 utilizando el método de la velocidad radial [2].

Hay un descenso en el flujo que se corresponde con el patrón de un tránsito planetario frente a su estrella. Cuando el planeta está en la posición 1, justo antes de comenzar el tránsito, el valor del flujo normalizado es aproximadamente uno. Entre las posiciones 2 y 3, mientras el planeta pasa por delante de la estrella, el valor del flujo es de aproximadamente 0.993. A partir de la posición 4, el flujo vuelve a ser su valor normal.

La profundidad del tránsito se define como la disminución de flujo luminoso relativo al flujo luminoso total de la estrella. En nuestro caso, si restamos el flujo normal menos el flujo reducido con los valores que hemos obtenido de la gráfica, obtenemos que la profundidad del tránsito vale $TD = 1 - 0.993 = 0.007$.

Como ésta es, a su vez, igual a la razón entre las áreas del planeta y de su estrella, según la fórmula aproximada:

$$TD = \frac{\pi R_p^2}{\pi R_*^2} \quad [1]$$

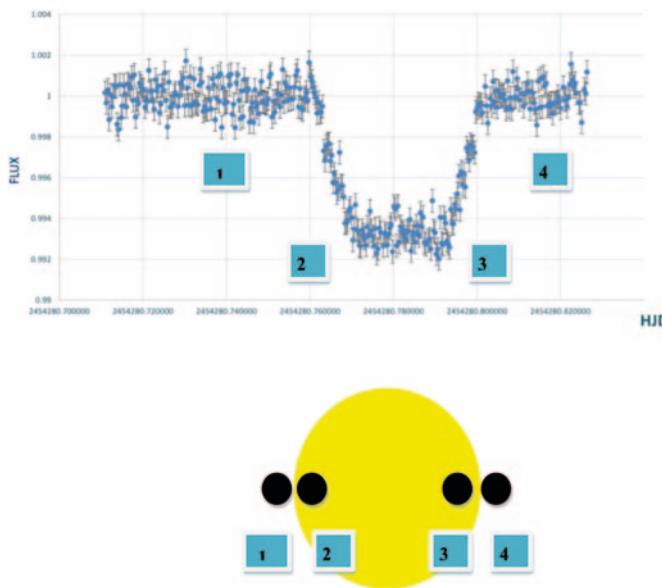


Figura 1. En el panel superior, curva de luz con datos reales del flujo en función de los días julianos, obtenidos por la misión Spitzer, de la NASA, correspondientes a la estrella GJ 436, y su planeta GJ 436 b. En la parte de abajo se indican las posiciones clave por las que el exoplaneta pasa por delante de su estrella.

De aquí resulta para el radio del planeta:

$$R_p = R_* \sqrt{TD} \quad [2]$$

El período orbital, P , puede deducirse utilizando dos tránsitos sucesivos. Utilizando la tercera ley de Kepler:

$$\frac{P^2}{a^3} = \frac{1}{M_*} \quad [3]$$

y conocida la masa de la estrella, M_* , podemos calcular el semieje mayor de la elipse, a , que representa la órbita del exoplaneta.

Con el método de la velocidad radial podemos hallar la masa mínima del planeta. Es necesario conocer la inclinación con respecto a la visual para tener una medida de la masa sin incertidumbres. Por otra parte, con el del tránsito podemos hallar su radio. Combinando los dos métodos podemos obtener entonces la densidad media, y por tanto tener alguna idea sobre el tipo de planeta descubierto, por ejemplo si es rocoso o gaseoso.

La Figura 2 muestra un diagrama con la distribución de exoplanetas, confirmados a fecha de enero de 2021, en función de su tamaño y densidad, con una escala de colores que muestra la masa de la estrella en torno a la cual órbita [3]. Se aprecia cómo la mayoría de exoplanetas detectados tienen un tamaño similar o superior al de Júpiter, llamado Júpites calientes, puesto que se hallan relativamente cerca de su estrella. Otros exoplanetas descubiertos tienen un radio que oscila entre 0.1 y 1 veces el radio de Júpiter, lo que los asemeja a Super Tierras, puesto que, aun siendo mayores que los planetas rocosos del Sistema Solar, tienen una densidad parecida a ellos. La escala de colores muestra la masa de la estrella en torno a la cual orbita, siendo mayoritariamente estrellas entre 1.0 y 2.0 masas solares. Esto no deja de ser un sesgo observacional, teniendo en cuenta la limitada precisión de los instrumentos utilizados para su detección.

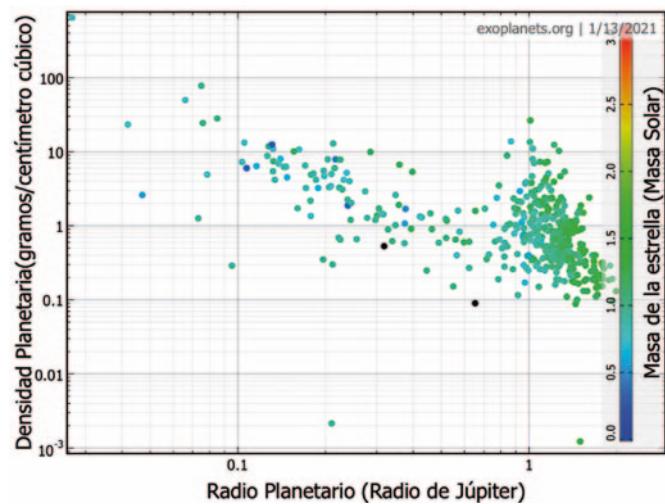


Figura 2. Distribución de todos los exoplanetas descubiertos a fecha de enero de 2021, en el diagrama densidad-radio, que puede construirse online en [3].

Objetivos del proyecto

Un grupo de alumnos de tercero de la ESO y yo nos propusimos, durante el curso 2019-2020, crear una simulación utilizando el lenguaje Arduino para divulgar el método del tránsito al público, en un proyecto que fuese presentado a concurso en la que sería la XIV edición de Diverciencia, una feria científica que tradicionalmente se celebra en Algeciras. Participan centros de primaria y secundaria, así como numerosas instituciones, ya no solo nacionales, sino también internacionales. Debido a la situación de pandemia, no pudo celebrarse de forma presencial en el mes de mayo, y tuvo que posponerse al mes de octubre de 2020 y realizarse de forma virtual. Se creó una página web para que toda la comunidad educativa de la comarca y cualquier interesado pudiese ver los proyectos presentados por cada centro, de manera que se pudiesen votar los favoritos. En este enlace se puede visitar el nuestro [4]. En él aparece un vídeo publicado en YouTube con la presentación realizada por los propios alumnos, así como alguna documentación relacionada con el proyecto. El nuestro fue el tercero más votado de entre una lista de 40 proyectos participantes, y consiguió el segundo premio en la modalidad de ciencias puras, lo que supuso un gran éxito de aceptación por parte del público y del jurado.

Los objetivos, algunos pedagógicos, dirigidos a los alumnos, y otros más bien de carácter divulgativo para el gran público, fueron los siguientes:

- Dar a conocer un campo de investigación en la Astronomía y Astrofísica moderna muy en auge, como es la detección y caracterización física de los exoplanetas, para incidir, sobre todo, en la posibilidad de encontrar mundos como el nuestro.
- Aportar estrategias para divulgar al gran público qué son los exoplanetas y algunos de los principales métodos utilizados para su detección.
- Construir una simulación utilizando materiales accesibles y baratos para ilustrar uno de esos métodos de detección: el método del tránsito.
- Introducir a los alumnos implicados en el lenguaje de programación Arduino para programar la simulación.

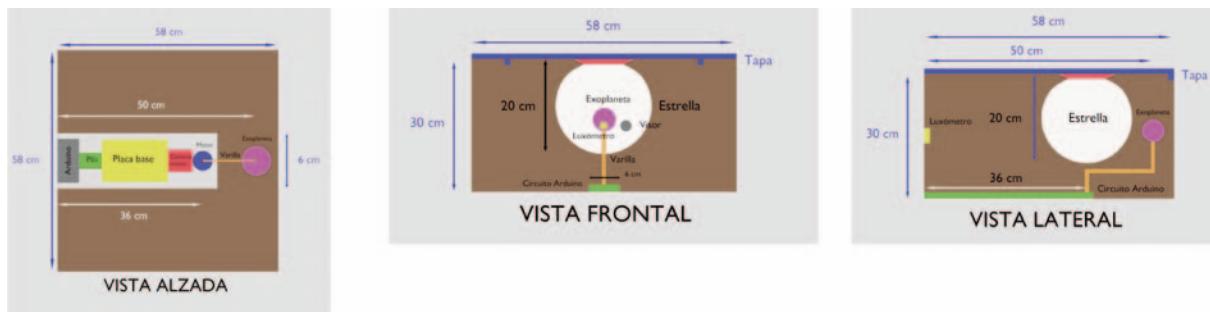


Figura 3.
Diseño de la simulación.

Construcción de la simulación

Los materiales necesarios para construir la simulación son:

Para la construcción de la caja:

- Tableros MDF.
- 2 bisagras.

Para la simulación Arduino:

- Lámpara esférica de 20 cm de diámetro.
- Alambre.
- Bolas de porexpan.
- Arduino UNO.
- Cables de conexión.
- Motor reductor.
- Módulo para el control del motor reductor.
- Batería 9 V.
- Sensor de luz BH1750.
- Placa base.

En nuestra simulación, situamos una lámpara esférica (la estrella) dentro de una caja de madera de unos $60 \times 60 \times 30$ cm, alrededor de la cual gira una bola (el exoplaneta) animada por un motor reductor controlado por Arduino. Un sensor de luz BH1750, igualmente controlado por Arduino, mide continuamente la cantidad de luz emitida por la lámpara, de manera que, cuando la bola pase por delante de ella, se producirá una caída de luz como la que se produce en el método del tránsito. Como Arduino no permite realizar dos tareas simultáneamente, en la programación del código es necesario utilizar librerías de tareas asíncronas, las cuales permiten que el código vaya haciendo una tarea (mover el motor reductor) y luego la otra (leer la cantidad de luz con el luxómetro) con una diferencia de tiempo de unos pocos microsegundos, de manera que parezca que el sistema lo hace de forma sincrónica. Los datos se enviarán por puerto serie a un ordenador, con los que se obtendrá la curva de luz.

Utilizando bolas de porexpan de distintos tamaños podemos simular distintos tipos de exoplanetas y ver cómo la profundidad del tránsito cambia de uno a otro.

En la Figura 4 se muestra una de estas curvas de luz simuladas utilizando la función "Serial Plotter" de Arduino. Los alumnos pueden deducir el periodo orbital de la bola moviéndose en torno a la lámpara y midiendo el tiempo transcurrido, en segundos, entre dos caídas del brillo consecutivos, y, al mismo tiempo, la profundidad del tránsito midiendo la caída del brillo en uno de esos tránsitos, en luxes.

Conclusiones

Aunque podría mejorarse la simulación calibrando la distancia a la que debemos situar la bola de porexpan de la lámpara, y escogiendo tamaños adecuados para ellas, con el fin de

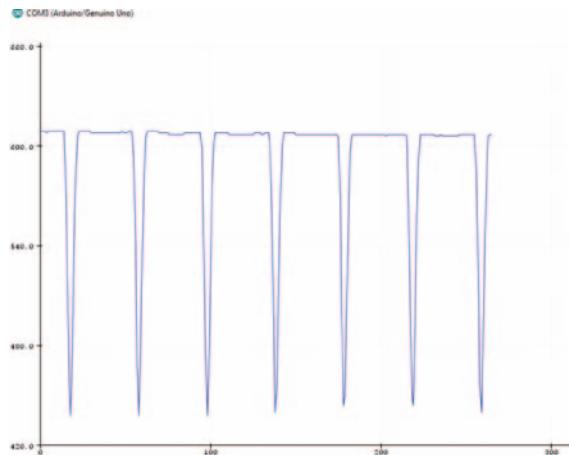


Figura 4. Curva de luz simulada con Arduino.

conseguir que la profundidad del tránsito sea igual a la razón entre las superficies de la bola y de la lámpara, como en la fórmula [1], los resultados cualitativos ya son lo suficientemente buenos como para que los alumnos y el público entiendan el método del tránsito con el que se han detectado la gran mayoría de exoplanetas descubiertos hasta ahora.

Agradecimientos

Quiero dar las gracias, sobre todo, a mi alumna Natalie y a mis alumnos Gonzalo, Alejandro, Mario y Javier, quienes pusieron mucho interés y ganas de trabajar en este proyecto, y que, a pesar de las difíciles circunstancias debidas a la situación de pandemia y confinamiento durante los difíciles meses desde marzo hasta junio del pasado curso, lo hemos podido sacar adelante. Gracias también a los compañeros de la Asociación Amigos de la Ciencia y a la Fundación del Campus Tecnológico de Algeciras, quienes han reconocido el valor de este trabajo con el segundo premio en la modalidad de ciencias puras en la XIV Jornada de Ciencia en la Calle. Y, por último, a todos los que vieron y/o votaron por nuestro proyecto visitando nuestro stand virtual, porque, en definitiva, se trataba de hacer una labor pedagógica y también divulgadora que llegase al mayor número de personas posible.

Referencias:

- [1] M. MAYOR y D. QUELOZ, "A Jupiter-mass companion to a solar-type star", *Nature* **378**, 355-359 (1995).
- [2] R. P. BUTLER *et al.*, "A Neptune-Mass Planet Orbiting the Nearby M Dwarf GJ 436", *The Astrophysical Journal* **617**, 580-588 (2004).
- [3] www.exoplanets.org
- [4] https://divercienciavirtual.com/?da_image=centros-ies-levante