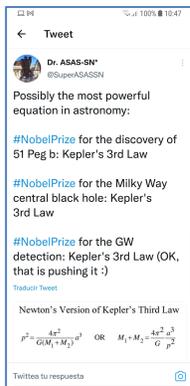


Los hoyos negros de Kepler

Itziar Aretxaga

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

Soy una entusiasta usuaria de Twitter, una de las redes sociales de comunicación abierta. En Twitter hay también una presencia científica accesible para todos. Ya me había comprometido a escribir este artículo cuando leí el siguiente tuit de un desconocido, que me hizo soltar una gran carcajada:



“Posiblemente la ecuación más poderosa de la Astronomía:

1. Premio Nobel por el descubrimiento de 51 Peg b: tercera ley de Kepler
2. Premio Nobel por el hoyo negro de la Vía Láctea: tercera ley de Kepler
3. Premio Nobel por la detección de ondas gravitatorias: tercera ley de Kepler (vale, venga, eso es exagerar un poco).”

Figural: Captura de pantalla del tuit.

Las leyes de Kepler

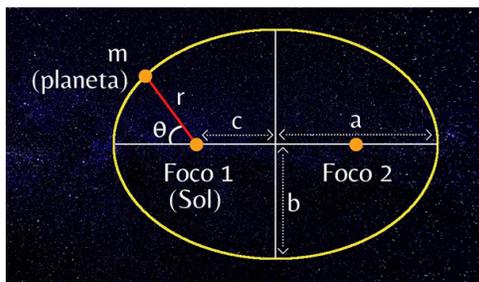


Figura 2: Esquema de órbita planetaria. Crédito: significados.com

La tercera ley de Kepler establece que el cuadrado del período orbital de cualquier planeta es

proporcional al cubo del semieje mayor de la órbita (“a” en la figura 2). El periodo orbital es el tiempo que tarda un planeta en llegar al mismo punto en su órbita.

A la tercera anteceden otras dos leyes de igual importancia:

1. Los planetas trazan una órbita elíptica alrededor del Sol, y éste se sitúa en uno de los focos de la elipse.
2. El radio que une al planeta con el Sol, barre áreas iguales en tiempos iguales. Es decir, el planeta tiene una velocidad mayor en su órbita cuanto más cerca está del Sol.

Johannes Kepler (1571-1630) dedujo sus leyes en parte gracias a las minuciosas tablas de posiciones planetarias registradas por el astrónomo coetáneo Tycho Brahe (1546-1601).

Tomando estas leyes como referencia, Isaac Newton (1642-1727) propuso la ley de la gravitación que estudiamos en la secundaria, y que, hasta la formulación de la teoría de la relatividad general de Albert Einstein (1879-1955), fue la mejor descripción de la gravedad con la que contábamos. Incluso hoy en día, para la mayor parte de los casos prácticos con los que nos encontramos como astrónomos profesionales, la descripción de la gravedad de Newton nos sirve y nos basta.

Siendo las leyes de Kepler un reflejo de la gravedad del Sol que se ejerce sobre los planetas, y la gravedad una ley universal, no es de extrañar que nos encontremos con órbitas keplerianas en muchas otras situaciones astrofísicas.

El hoyo negro de nuestra galaxia

Sospechamos que hay un hoyo negro muy masivo en el centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, desde hace bastante tiempo. Karl Jansky (1905-1950),

considerado el padre de la radioastronomía, detectó en 1931 un objeto muy brillante en ondas de radio en el borde la constelación de Sagitario, al que denominó Sagitario A. Observaciones con telescopios más potentes establecieron que en realidad Sagitario A estaba compuesto por varias fuentes astronómicas, entre las que se encuentra SgrA* (nomenclatura para Sagitario A fuente excitante).

Desde los años 80 varios equipos aportaron pruebas que concluían que SgrA* tenía un hoyo negro en su interior. La existencia de hoyos negros supermasivos en el centro de las galaxias con gran emisión de energía, fenómeno al que llamamos cuásar, estaba bien establecido en el imaginario de los astrofísicos desde los años 60, ya que la energía asociada a la gravedad de un cuerpo masivo es mucho mayor que la que pueden ofrecer las reacciones termonucleares que se dan en el interior de las estrellas. El material gaseoso que orbita alrededor de un hoyo negro llega a alcanzar grandes temperaturas y emite la luz que vemos a su alrededor.

Un premio Nobel

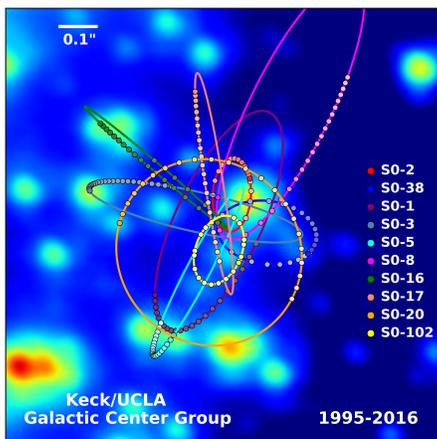


Figura 3: Órbitas de las estrellas del cúmulo de SgrA* entre 1995 y 2016. Crédito: Keck/UCLA.

La medida precisa de la masa del hoyo negro de nuestra galaxia vino a través de la competencia de dos equipos de científicos por trazar las mejores órbitas de las estrellas alrededor de SgrA*. Estas observaciones se realizaron a lo largo de décadas con grandes telescopios sensibles a la luz infrarroja: el Very Large Telescope de Chile (8 metros de diámetro), y el telescopio Keck de Hawái (10 metros de diámetro). Los investigadores principales de los dos equipos, Reinhard Genzel (1952-) del Instituto Max Planck de Física Extraterrestre de Alemania y Andrea Ghez (1965-) de la Universidad de California

en Los Ángeles de EEUU, fueron galardonados con el Premio Nobel de Física en 2020 por este trabajo. El entorno interestelar de SgrA* tiene una gran cantidad de polvo que imposibilita realizar observaciones directas en ondas visibles. La luz de las estrellas, que tiene un máximo de emisión en ondas visibles, está atenuada por un factor un billón por el polvo. Sin embargo, en el infrarrojo (a 2 micras), se pueden realizar observaciones precisas de la luz de las estrellas que, aunque menos brillante intrínsecamente, no sufren tan dramáticamente la atenuación del polvo (tan sólo una atenuación de un factor 10).

La posición de las estrellas va cambiando a lo largo del tiempo, y tras varias décadas de observación, se puede comprobar que describen órbitas elípticas alrededor de la posición del hoyo negro central de nuestra galaxia. En particular, la estrella S2, la más cercana al hoyo negro, tiene una órbita completa registrada por los telescopios (véase imagen 4). Una vez uno conoce el semieje mayor de la órbita ("a" de la figura 2) y el periodo de rotación ("p" de la figura 1), aplicando la reformulación de Newton de la tercera ley de Kepler, se puede determinar la masa del objeto central alrededor del cual orbita la estrella ("M1" en la figura 1, siendo M2 despreciable por comparación con M1).

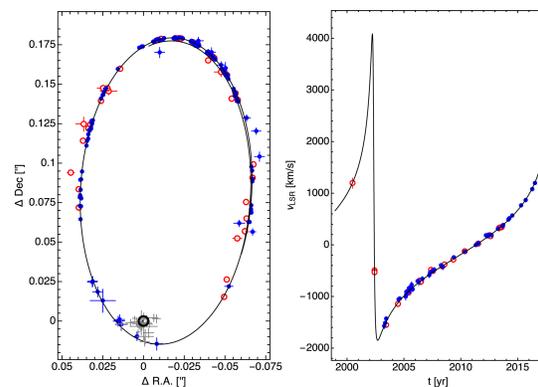


Figura 4: Izquierda, órbita completa de S2, combinando los datos de los dos equipos internacionales que estudian el cúmulo estelar de SgrA*. La posición del hoyo negro se deduce del foco de la órbita elíptica y está indicada por el círculo negro. Derecha: diagrama de la velocidad radial de S2 frente al tiempo, en el que se ve en línea continua el ajuste a una ley kepleriana de movimiento. Crédito: Genzel et al. arXiv1006.0064.

La combinación de las órbitas de todas las estrellas da la mejor determinación de la masa del hoyo negro de nuestra galaxia, de 4.3 millones de masas solares, donde la masa del Sol es un poquito menos de 2 pentallones de kilogramos (2×10^{30} kg). No es el hoyo negro más grande que conocemos en la naturaleza, pero sí una de las mediciones de masa más precisas de hoyos negros supermasivos con las que contamos.

¿Y qué tienen que ver las ondas gravitatorias con todo esto? Va de hoyos negros... pero quedará para otro artículo.