

DI Herculis, un antiguo desafío a la Relatividad General

EL MOVIMIENTO DE ESTA ESTRELLA BINARIA FUE UN DESAFÍO DURANTE MÁS DE 30 AÑOS.

Antonio CLARET (IAA_CSIC)

SEGÚN LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL, en un sistema binario, en el que dos objetos giran en torno a un centro común dibujando una órbita elíptica, ocurre lo que se denomina movimiento apsidal: la rotación de los objetos y sus fuerzas de marea provocan que la órbita gire progresivamente en el mismo sentido de la revolución.

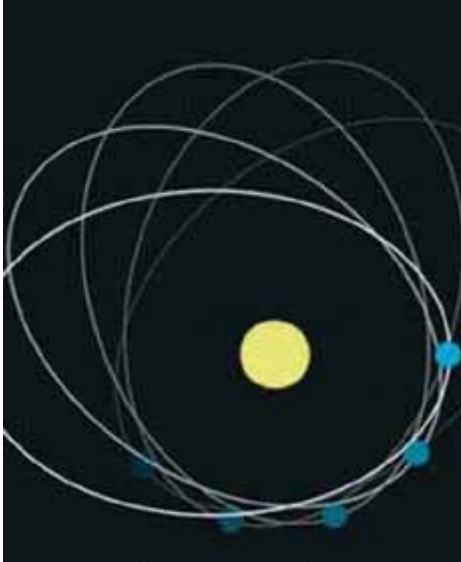
En el caso de Mercurio, el planeta que presenta la mayor excentricidad (o la órbita más elíptica) del Sistema Solar, el valor observado de su movimiento apsidal es del orden de 1,5 grados por siglo. Sin embargo, cuando se aplicó la Mecánica Clásica teniendo en cuenta las perturbaciones de los planetas conocidos en la época (siglo XIX), quedaban unos cuarenta y tres segundos de grado por siglo que no podían explicarse en el marco de dicha teoría. Se trata de una cantidad muy pequeña, pero suficiente como para no ser ignorada. Se propusieron algunas hipótesis para explicar tal diferencia, como la existencia de un nuevo planeta con una órbita muy cercana al Sol y que llegaron incluso a nombrar: Vulcano. El éxito en la detección del planeta Neptuno utilizando las técnicas de perturbaciones orbitales reforzó tal hipótesis, e incluso algunos astrofísicos documentaron tránsitos del ficticio Vulcano por delante del Sol. Otra alternativa sugería la existencia de una nube de gas y polvo alrededor del Sol, que afectaría a la constante universal de gravitación y explicaría así la anomalía. Sin embargo, estas observaciones no fueron corroboradas por otros grupos de investigadores, de modo que tales hipótesis fueron abandonándose y los famosos cuarenta y tres segundos por siglo quedaron sin una explicación convincente.

Algunos años después llegó la explicación. En 1915, Albert Einstein fue capaz de explicar la diferencia aplicando la Teoría de Relatividad General (TRG). Fue una de las primeras confirmaciones empíricas de dicha teoría, si no la primera. A partir de ahí, los astrofísicos utilizaron la TRG para los cálculos de las revoluciones orbitales de los planetas. Algún tiempo después, aplicaron también dichos cálculos a estrellas dobles muy próximas.

Como hemos señalado, hay dos contribuciones. Una clásica, o newtoniana, que depende de las fuerzas de marea y de las tasas de rotación. La componente de mareas puede obtenerse computando modelos de evolución estelar y calculando a cada paso el grado de concentración en masa y las distorsiones. Por otra parte, la contribución por rotación también depende del grado de concentración en masa de las estrellas, pero también depende de las tasas de rotación de cada componente. A las contribuciones de mareas y de rotación hay que añadir la corrección relativística, un método que se probó eficaz hasta que comenzó el estudio de DI Herculis en los inicios de los años 80 del pasado siglo.

El caso de DI Herculis

Durante alrededor de treinta años el sistema DI Her, constituido por dos estrellas de cinco y 4,5 masas solares, mostraba un movimiento apsidal muy lento comparado con los valores predichos teóricamente. Esta discrepancia cuestionaba incluso la validez de la Teoría de la Relatividad General, ya que la contribución relativística era significativamente alta.



Arriba, ilustración del movimiento apsidal en un sistema binario con órbita elíptica: se produce un giro de la órbita en el mismo sentido del giro de las estrellas.

Abajo, concepción artística de DI Herculis, formada por dos estrellas muy jóvenes (4,5 millones de años), cinco veces más masivas y unas quinientas veces más luminosas que el Sol. Fuente: Michael Carroll.

Curiosamente, fue el movimiento apsidal de un objeto (Mercurio) una de las primeras aplicaciones de la Relatividad General y, sin embargo, parecía fallar en este caso. La discrepancia era del orden del 400%. Esta anomalía persistía aunque supusiéramos una concentración en masa infinita en los modelos estelares. Además, las observaciones de otros sistemas relativísticos comparaban muy bien con la teoría, lo que contribuyó a aumentar aún más la dimensión del puzzle. Se propusieron varias hipótesis para explicar el desacuerdo, como la presencia de una nube interestelar en el sistema o incluso una teoría alternativa de la gravitación. Tales ideas fueron examinadas cuantitativamente por el autor de este artículo en 1998 y fueron descartadas.

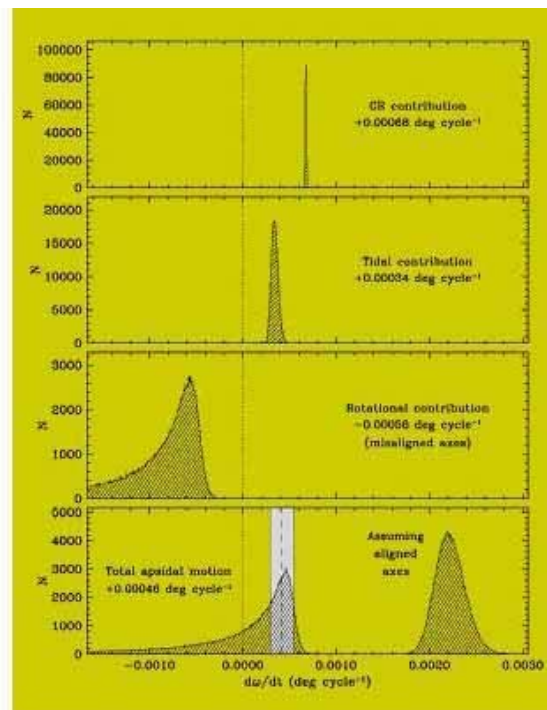
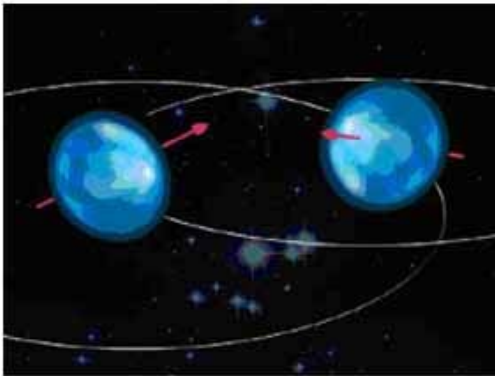
Otra alternativa para explicar la discrepancia apunta a que los ejes de rotación de las dos estrellas se hallen inclinados respecto al plano orbital. Este fenómeno es relativamente común en los planetas extrasolares. Nuestros modelos estelares más recientes para DI Herculis indican que se trata de un sistema muy joven (unos cuatro millones de años) y desde el punto de vista de la teoría de la evolución por mareas es posible que los ejes de rotación de las estrellas aún estén inclinados.

Tales observaciones son muy difíciles de llevar a cabo pero, a la postre, fueron uno de los elementos cruciales para resolver el problema de DI Herculis. Solo muy recientemente un grupo de investigadores, usando las distorsiones de las líneas espectrales durante los eclipses, fueron capaces de medir los ángulos entre las proyecciones celestes de los ejes de rotación y el eje orbital. La discrepancia, utilizando estos resultados, fue reducida drásticamente pero todavía presentaba un significativo desacuerdo, del

Se trata de un sistema muy joven, de unos cuatro millones de años, por lo que Es posible que los ejes de rotación de las estrellas estén aún inclinados

orden de 50%. A pesar del éxito de tales mediciones, hay que notar que no todos los ángulos involucrados en la geometría del sistema fueron medidos directamente y que se tuvo que emplear el método de Monte Carlo para evaluar la contribución rotacional.

Un grupo de astrofísicos, con participación del Instituto de Astrofísica de Andalucía, ha reexaminado todos los ingredientes del sistema -radios, masas, temperaturas efectivas- con el fin de obtener tanto unas predicciones teóricas más precisas como nuevos datos observacionales.



Gráfica: simulaciones de Monte Carlo para DI Herculis. El primer panel muestra la contribución relativística, el segundo la contribución por mareas y el tercero la contribución rotacional teniendo en cuenta que los ejes no están alineados. Nótese que en este caso hay un movimiento retrógrado. En el cuarto panel se puede ver el movimiento apsidal total. El valor observacional (0.00042±0.00012 grados/ciclo) viene indicado por las dos barras verticales mientras el valor teórico es representado por la distribución de probabilidades de la izquierda. A la derecha del cuarto panel podemos ver la predicción teórica suponiendo que los ejes de rotación están alineados. La diferencia es del orden de 520 %.

Se elaboraron nuevos modelos de evolución estelar y se obtuvieron observaciones del movimiento apsidal a lo largo de varios años. La distribución de probabilidades resultante (ver gráfica superior) indica que la discrepancia ha sido significativamente reducida: el valor total del movimiento apsidal teórico es de 0.00046 grados/ciclo (modo de las simulaciones) mientras el nuevo valor observado es de 0.00042 grados/ciclo, es decir, la diferencia es menor que un 10% y perfectamente dentro de los errores observacionales. Nótese que la contribución por rotación indica un movimiento retrógrado (tercer panel de la gráfica). Se confirma así que la Teoría de la Relatividad General sigue siendo válida.

Es importante resaltar que si consideramos los ejes como perfectamente alineados on la órbita, la distribución de Monte Carlo predice un valor 5,2 veces el observado

y completamente en desacuerdo con el valor observacional (ver el diagrama de la derecha, último panel de la figura).

REFERENCIAS

- Albrecht, S. et al. N. 2009, *Nature*, 461, 373.
Claret, A. 1997, *Astronomy & Astrophysics*, 327,11.
Claret, A. 1998, *Astronomy & Astrophysics*, 330, 533.
Claret, A., Torres, G., Wof, M. 2010, *Astronomy& Astrophysics*, 506, 1335.
Triaud, A. H. M. et al. 2009 *Astronomy &Astrophysics*, 503, 377.

ANTONIO CLARET (IAA_CSIC)

Este artículo aparece en el número 31, julio 2010, de la revista "Información y Actualidad Astronómica", del Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA_CSIC)