

Sistemas binarios y la evolución estelar

Cuando hablamos de un sistema binario, inmediatamente nos viene a la mente la imagen de dos estrellas que giran una alrededor de la otra. Pero este esquema aparentemente tan simple, da lugar a fenómenos enigmáticos y complejos, y a problemas cuyo estudio es relevante a diversas áreas de la astrofísica contemporánea. Por ejemplo, las estrellas normales no son objetos rígidos, sino que son esferas de gas que se pueden deformar, o achatar, y en un sistema binario estelar, cada componente produce efectos de “marea” sobre la otra, tal como la Luna y el Sol provocan las mareas en la Tierra. Pero la interacción entre las dos estrellas puede ir mucho más allá de la atracción gravitacional: las dos estrellas pueden intercambiar masa. Los procesos de transferencia de masa en sistemas binarios son los que dan lugar, en ciertas ocasiones, a fuentes de rayos-X muy poderosas, y en otras, a explosiones tipo nova, donde la estrella receptora deja de aguantar a la masa que se le transfiere y la expulsa violentamente.

Existen sistemas binarios de muy diversos tipos. Algunos están constituidos por dos estrellas muy masivas y calientes, las cuales por su cercanía casi se tocan; otros contienen a dos estrellas de masa similar a la del Sol, donde la presencia de una estrella compañera genera enormes manchas oscuras sobre sus superficies, indicativas de campos magnéticos cien a mil veces mayores que los del Sol; otros más contienen a una estrella gigante roja acompañada de un objeto colapsado, como pueden ser una enana blanca o una estrella de neutrones. Nuestro propio sistema solar sería un sistema binario si la masa de Júpiter

fuese mayor y capaz de generar reacciones nucleares en su centro.

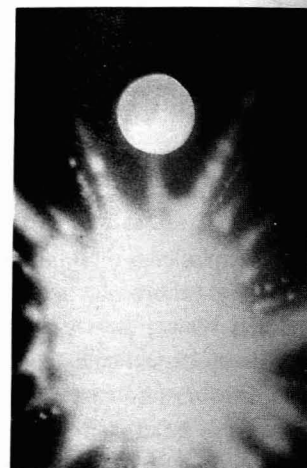
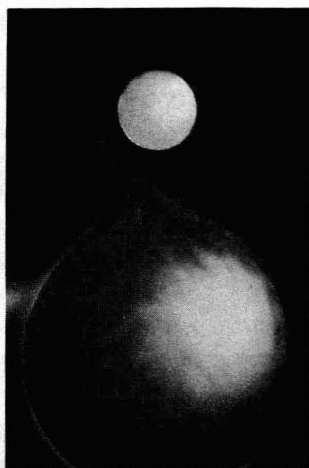
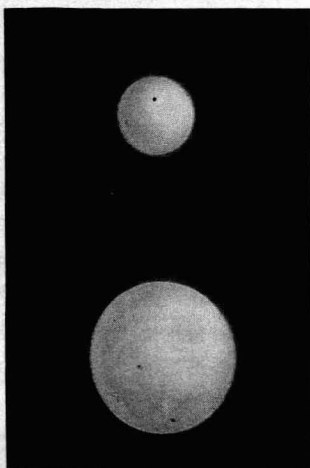
Transferencia de masa

Muchos de los fenómenos más espectaculares que se dan en las binarias están ligados a los procesos de evolución de las estrellas que forman parte del sistema. Es decir, las estrellas nacen; durante millones de años, viven como objetos calientes y brillantes, y finalmente mueren, algunas en forma lenta y tranquila, otras en forma explosiva. Durante las transiciones de una etapa evolutiva a otra, las estrellas se expanden y se contraen, y se propician los procesos de transferencia de masa. Esta masa cae sobre la compañera haciendo una espiral formando un disco denominado “disco de acreción”. Cuando la acreción se da sobre un objeto colapsado, ya sea enana blanca, estrella de neutrones o agujero negro, la aceleración del gas es muy grande y las temperaturas de los discos llegan a ser de millones de grados. A estas temperaturas se emiten rayos X, los cuales se han detectado en numerosos sistemas durante las últimas décadas.

La evolución estelar

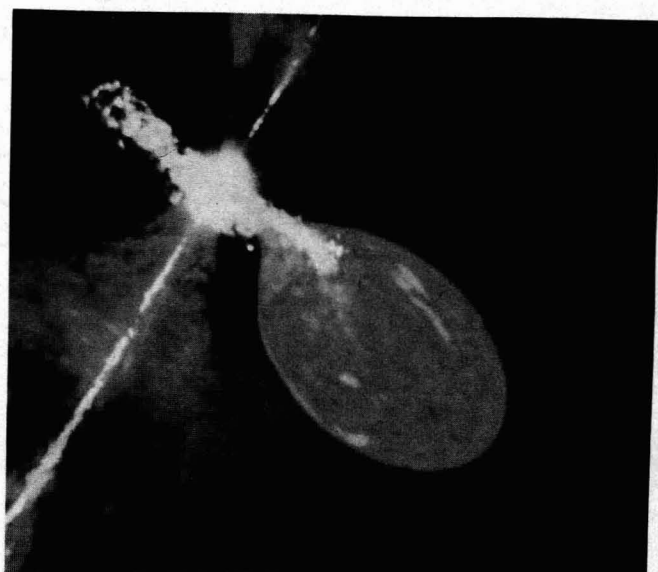
Las estrellas “viven” gracias a las reacciones nucleares que se llevan a cabo en sus regiones centrales. Durante las primeras etapas, se transforma el hidrógeno en helio, y en etapas subse-

Representación esquemática de la evolución en un sistema binario donde ambas componentes son inicialmente masivas. La estrella originalmente más masiva evoluciona más rápidamente que su compañera, se convierte en gigante o supergigante roja, y le transfiere material. Una vez que se agota el combustible nuclear en el centro de la estrella, ésta explota como supernova quedando una estrella de neutrones o un agujero negro.



cuentas el helio se transforma en carbono y oxígeno; éstos, a su vez, en elementos más pesados. Durante estas etapas en las cuales se efectúan reacciones nucleares en la región central de la estrella, la energía liberada por procesos de fusión se difunde hacia capas exteriores hasta llegar a la atmósfera, de donde es irradiada al espacio. Nosotros observamos esta energía en la forma de ondas electromagnéticas (*i.e.*, luz visible, ultravioleta, infrarroja, etc.). Estas son etapas relativamente estables en la vida de una estrella, ya que la energía que se difunde desde las regiones centrales, hacia afuera, sostiene las capas externas de la estrella, impidiendo que se colapsen. Sin embargo, esta estabilidad se pierde cada vez que alguno de los combustibles nucleares se agota. Consideremos, por ejemplo, el caso de la etapa de conversión de H en He: eventualmente, todo el H en la región central se ha fusionado en He. Para continuar generando energía, tendría que iniciarse la fusión de He en C. Pero la fusión de He requiere de temperaturas mucho más elevadas que las requeridas para la fusión de H; es así pues, que la estrella se encuentra en una situación en la que se le ha agotado su fuente de energía interna, no tiene la temperatura suficiente para fusionar el He, y comienza a contraerse debido a su propio peso. La contracción tiene dos efectos: por un lado, se comienzan a elevar las temperaturas centrales para alcanzar las requeridas para la fusión de He, y por el otro, el colapso gravitacional representa una fuente de energía para las capas externas de la estrella, las cuales son impulsadas hacia afuera. Es en esta etapa que la estrella se convierte en gigante o en supergigante roja.

Todas las etapas posteriores a la de la primera gigante roja transcurren rápidamente, y finalmente, la estrella se encuentra con una zona central de hierro. La fusión del hierro no libera energía, como ocurre con los elementos más ligeros. Como consecuencia, ya no hay combustible nuclear para proveer a la estrella de energía en su centro. Mientras que en todas las etapas anteriores a ésta el colapso de las capas exteriores se veía frenado por el inicio de una nueva reacción nuclear, en este último caso, el de un núcleo de hierro, el colapso no se puede detener. La caída desenfrenada de capas externas de la estrella, que todavía contienen hidrógeno, produce un alza desmesurada en la temperatura de la región afuera del centro de hierro, produciéndose así una tremenda explosión nuclear. Ésta es una supernova. Si la explosión no destruye el núcleo de hierro, éste se sigue contrayendo, dando lugar a la creación de una estrella de neutrones, o bien un agujero negro.



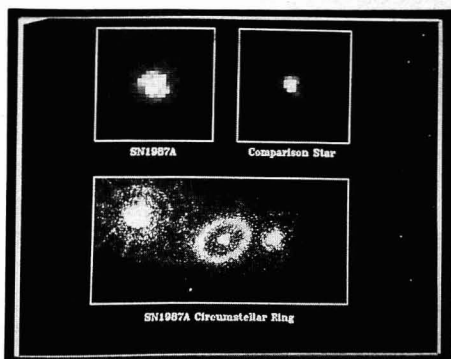
Representación artística de un sistema binario, llamado sistema simbiótico. La estrella gigante roja tiene temperaturas de alrededor de 2000 grados. Nótese el disco de acreción (azul) cuyas temperaturas son de millones de grados. El objeto en la parte central del disco es una enana blanca con campo magnético muy intenso. (Cortesía de Berry/STScI).

Sistemas binarios y regiones de formación estelar

Poder entender los detalles de la evolución de las estrellas en sistemas binarios es de relevancia al estudio de la evolución de sistemas más complejos como cúmulos de estrellas jóvenes, donde hay cientos de miles de objetos estelares concentrados en una región muy pequeña del espacio. Ahí se espera una frecuencia muy grande de sistemas binarios y es posible que la evolución de estas regiones esté gobernada por procesos de transferencia de masa. Asimismo, hay teorías que proponen que la fuente de energía de algunos de los núcleos de galaxias activas (o sea, aquellas que muestran emisiones intensas de rayos X, por ejemplo) está asociada a cúmulos muy compactos de estrellas sumamente masivas. Aquí también, los procesos que dominarían la evolución de las estrellas bajo tales condiciones serían los procesos que se dan en sistemas binarios.

Conclusión

El estudio detallado de los procesos que ocurren en sistemas binarios es un tema muy relevante dentro de la investigación astronómica contemporánea. Mediante el análisis de los espectros de estos sistemas y de los eclipses que se pueden observar, es posible deducir propiedades intrínsecas, como la masa de las estrellas que conforman el sistema. Por esta razón y por que la interacción que ocurre entre las estrellas de los sistemas puede dar lugar a emisión de rayos X, formación de discos de acreción e, inclusive, la unión de ambas componentes del sistema para formar una sola estrella con dos núcleos, se estudian sistemáticamente con todos los medios posibles. Se espera que, al entender los procesos que se dan aquí, se podrán entender fenómenos que se presentan en mayores escalas, como en cúmulos jóvenes o regiones de brotes de formación estelar en otras galaxias. ◇



Imágenes obtenidas con el Telescopio Espacial Hubble de la Supernova 1987A. (Cortes de NASA/ESA).