LA EVOLUCIÓN DE LAS ESTRELLAS

Gregorio José Molina Cuberos

Nacimiento de las Estrellas

Las estrellas, al igual que los seres vivos, nacen, viven, envejecen y mueren. Inicialmente una nube de gas y polvo, oscura y fría, empieza a contraerse por efecto de la gravedad, o quizás como resultado de la explosión de alguna estrella cercana (supernova) que la comprime. A medida que la nube se contrae y se calienta se va fragmentando en masas más pequeñas cada una de las cuales formará una protoestrella.

Cada **protoestrella** se forma inicialmente como una esfera en rotación que se aplana hasta transformarse en un disco con la mayor parte de su masa concentrada en el centro del mismo. Ese centro va aumentando progresivamente, por efecto de la gravedad, su densidad, presión y temperatura hasta alcanzar los diez millones de grados necesarios para que se inician las reacciones nucleares (hidrógeno que se fusiona para formar helio) dando lugar al nacimiento de la estrella.

En este periodo su situación en el diagrama H-R ha pasado desde la parte derecha hasta su lugar en la secuencia principal dependiendo de su masa; cuanto más masiva sea, mayor temperatura alcanzará su superficie y estará más arriba y más a la izquierda en la secuencia principal del diagrama H-R. Ya hemos dicho que en la secuencia principal estará el 90% de su existencia y que ese tiempo es relativamente breve para las estrellas muy masivas, y muy amplio para las estrellas poco masivas.

Cuando se termina su combustible (el hidrógeno) la estrella aumenta de tamaño y se convierte en una gigante roja y su posición en el diagrama H-R se mueve hacia arriba y hacia la derecha. La explicación de este proceso es la siguiente: al consumir todo su hidrógeno se rompe el equilibrio entre las fuerzas de contracción (gravedad) y las de repulsión (presión debida a la temperatura) a favor inicialmente de las fuerzas de contracción que provocan un aumento de temperatura para que se pueda iniciar la siguiente etapa de reacciones nucleares, es decir, la fusión de helio para producir elementos más pesados: carbono y oxígeno. A partir de aquí la evolución posterior dependerá del tamaño de la estrella.

Muerte de las Estrellas

Estrellas de baja masa (< 4 masas solares)

Cuando una estrella de masa hasta 4 solares agota el hidrogeno en su núcleo, este se colapsa ocasionando un aumento de temperatura y el inicio de procesos de fusión de hidrogeno en el material que lo rodea. Estas nuevas reacciones ocasionan que las capas exteriores de la estrella se expandan para compensar el nuevo aumento de temperatura enfriando la estrella convirtiéndose en ***gigantes rojas***. En el diagrama HR se dice que la estrella entra al brazo de las gigantes rojas.

El helio que constituye el núcleo se ve enriquecido y eventualmente lo calienta tanto que lo lleva a iniciar la fusión del mismo para formar nuevos elementos químicos. Este inicio de la combustión de helio se lleva a cabo suavemente cuando la

estrella tiene entre 2 a 3 masas solares pero cuando es mayor este inicia abruptamente.

La combustión del helio produce núcleos de carbono y oxígeno y después de millones de años prácticamente todo el helio se habrá convertido en estos dos elementos. Cuando las reacciones termonucleares cesan la temperatura cae y la estrella se contrae y solo es detenida por la fuerza ejercida por la presión de los electrones degenerados. Este aumento de presión aumenta la temperatura y provoca que el helio remanente alrededor del núcleo se prenda de nuevo. En este punto la historia se repite y la estrella vuelve a dilatarse y nuevamente pasa a ser una gigante roja pero en este caso con una luminosidad mucho mayor. Se llaman estrellas AGB.

Nebulosas Planetarias

Las estrellas AGB liberan por viento estelar sus capas exteriores formando una nube de gas a su alrededor. La estrella además presenta una serie de cambios de luminosidad durante los cuales se eyecta un cinturón de material al espacio. Este gas iluminado por la estrella central ha tomado el nombre de **nebulosa planetaria** por que en sus observaciones iniciales los astrónomos vieron que su forma redondeada se parecía a un planeta.

Al expulsar sus capas externas el núcleo de la estrella queda expuesto liberando gran cantidad de radiación ultravioleta que ioniza excita y expande el material liberado.

Las nebulosas planetarias son muy comunes, se cree que sus gases se expanden a altas velocidades que pueden alcanzar los 10 a 30 km/segundo, una nebulosa típica contiene carbono, hidrógeno y nitrógeno y tiene un tamaño de un año luz. Una nebulosa planetaria existe durante 50.000 años aproximadamente hasta que los gases se mezclan con el medio interestelar.

Enanas Blancas

Las estrellas de baja masa nunca alcanzan una presión suficiente para iniciar las reacciones termonucleares que utilicen el oxígeno y el carbono como combustibles. Si no hay reacciones termonucleares el núcleo se enfría y el resultado son las llamadas **enanas blancas**. Estas estrellas tienen el mismo tamaño de la tierra y mantienen su tamaño sin colapsarse debido a su densidad; los electrones del núcleo están degenerados y la presión ejercida por ellos soporta el colapso total de la estrella.

Las enanas blancas son un millón de veces más densas que el agua y un cucharada de su material en la tierra pesaría alrededor de 5 toneladas, se calcula que su densidad alcanza 10^9 kg/m^3 y cuanto más masivas son más pequeñas. Existe, sin embargo un límite para que la estrella pueda ser soportada por la presión de los electrones degenerados, este máximo de masa se conoce como límite de **Chandrasekhar** que es igual a 1,4 masas solares, por encima de este valor, el núcleo se colapsa para formar una **estrella de neutrones** o un **agujero negro**.

Estrellas masivas (> 4 masas solares)

Como en las estrellas de masa menor, la vida de una estrella masiva comienza su fin cuando agota el hidrógeno como combustible principal, en este momento se convierte en una gigante con un núcleo de helio y una capa de hidrogeno en combustión, el núcleo comienza a tener reacciones termonucleares cuando la temperatura y presión aumentan lo suficiente para desencadenarlas.

Una vez que termina la fusión de helio en el núcleo, éste queda rico en carbono y oxígeno, y es en este punto cuando la muerte de la estrella masiva toma un camino diferente a la de las estrellas de menor masa.

El núcleo remanente de carbón y oxígeno supera el límite de Chandrasekhar, y de esta manera, su colapso lo lleva a tener las condiciones necesarias para que se inicie un nuevo ciclo de reacciones en las cuales el carbono comienza a fusionarse en oxígeno, neon, sodio y magnesio. Si la estrella tiene más de 8 masas solares una vez que el carbono se agota, el núcleo nuevamente se contrae alcanzando temperaturas de 10^9 K momento en el que se dispara la fusión de neon aumentando las concentraciones de oxígeno y magnesio, y cuando éste se agota se inicia la combustión de oxígeno y después la fusión del silicio que produce una gran variedad de átomos, entre ellos, hierro.

Durante todas estas fases la luminosidad, temperatura y radio de la estrella varían ampliamente lo que hace que se desplace en varias zonas del diagrama HR (estrellas variables)

Por cada estado de fusión nuclear la estrella agrega un nuevo cinturón de material alrededor de su núcleo, después de varias etapas la estructura interna de una estrella masiva (mayor que 25 masas solares) se asemeja a una cebolla por sus diferentes capas de material rodeando al núcleo. La cantidad de energía liberada por estas reacciones hace que la estrella se dilate convirtiéndose en una estrella **supergigante**.

Una estrella supergigante no puede continuar indefinidamente adicionando capas de material a su estructura, y las reacciones termonucleares se detienen cuando el núcleo alcanza un tamaño crítico.

Supernovas

Las estrellas mayores a 8 masas solares no forman nebulosas planetarias ni enanas blancas, sino que terminan en explosiones espectaculares llamadas **Supernovas**.

Cuando la temperatura en el núcleo de una estrella masiva aumenta lo suficiente se inician reacciones termonucleares que liberan inmensas cantidades de neutrinos. La estrella para compensar la pérdida de energía por el escape de neutrinos aumenta la combustión nuclear o se contrae más, pero cuando llega la etapa estable con la producción de hierro no se produce más energía termonuclear y solo queda la contracción del núcleo como fuente de ella.

La temperatura producida por la rápida contracción se eleva hasta los 5×10^9 K en una centésima de segundo. En este momento se liberan gran cantidad de rayos gamma que impactan sobre los núcleos de hierro rompiéndolos en partículas alfa en un proceso denominado **fotodesintegración**. En otra centésima de segundo el núcleo es tan denso que los electrones se combinan con los protones para formar neutrones, proceso en el cual se liberan gran cantidad de neutrinos. Esta liberación de neutrinos enfría a la estrella llevándola a contraerse aun más. En un lapso de 0,25 segundos después de esta contracción rápida, se detiene de manera súbita y la parte mas interna del núcleo rebota y se expande creando una poderosa onda de presión hacia el exterior.

Durante esta etapa las capas externas se han enfriado y están cayendo a un 15% de la velocidad de la luz, chocando contra el material que sale, en una fracción

de segundo el material que cae al núcleo comienza a salir nuevamente hacia el exterior. Después de algunas horas alcanza la superficie de la estrella en donde se libera en un fenómeno llamado supernova.

Antes de que la supernova ocurra, la compresión de las ondas de choque ocasionan nuevas reacciones termonucleares que producen muchos elementos químicos más pesados que el hierro (zinc, oro, plata, mercurio uranio, etc).

Los remanentes de supernovas son detritus que deja la explosión esparcidos por el espacio (nebulosa del Velo). Las partículas de gas colisionan produciendo excitación del material y su brillo. En general cubren amplias zonas del espacio.

Igualmente cuando el material de estos remanentes colisiona con el medio interestelar radian energía en una amplia gamma de amplitudes de onda. En muchos casos una nebulosa es todo lo que queda después de la explosión de supernova, sin embargo, para otras supernovas, el núcleo puede permanecer como una *estrella de neutrones* o un *agujero negro* dependiendo de la masa y de las condiciones del núcleo.

El límite de masa para que una estrella forme una estrella de neutrones o un agujero negro se denomina *masa de Oppenheimer - Volkoff* que es de 5,7 masas solares. Las estrellas de neutrones tienen alrededor de 30 km de diámetro y su densidad es 2×10^{14} veces la del agua.

Pulsares

Las características físicas de estas estrellas son tan extrañas que en principio no se creyó posible su existencia hasta el descubrimiento de los *Pulsares*. Un grupo de astrónomos encabezados por **Jocelyn Bell** se encontraban escaneando el cielo para determinar la influencia atmosférica en las ondas de radio cuando descubrieron fuentes de radio que pulsaban en periodos muy regulares (1,3373011 segundos), a este fenómeno, después de descartar que eran señales de civilizaciones extraterrestres, se les denominó Pulsar (Pulsating Star). En estudios posteriores se encontraron por todo el cielo.

¿Por qué los pulsares son estrellas de neutrones? Las estrellas de neutrones son muy pequeñas y su rotación muy rápida; el tamaño de las estrellas de neutrones indican que tienen campos magnéticos intensos.

Las partículas cargadas giran en espiral alrededor de las líneas del campo magnético produciendo radiación electromagnética. Esta energía es llamada *radiación no térmica* que como lo dice su nombre no es producida por una fuente de calor sino por partículas aceleradas (llamada también *radiación sincrotrón*). La estrella radia pulsos de energía a través de un eje magnético que no coincide con el eje polar (de manera similar a la luz emitida por un faro en las costas), si por coincidencia la tierra esta alineada con el eje magnético del pulsar cada vez que éste rote observaremos un flash de energía que parte de la estrella. Así, desde la tierra solo se identifican los pulsares en los casos en que se presente esta coincidencia, por tanto deben existir muchos pulsares que al menos por este método no se lograran descubrir. Los radiotelescopios han detectado pulsares en una amplia gamma de pulsos desde 4,308 segundos hasta 0,0016 segundos. La radiación emitida por la estrella de neutrones es la que excita e ilumina a las nebulosas remanentes de la explosión. La energía perdida hace que se vaya disminuyendo la velocidad de giro y eventualmente el pulsar termina cuando la velocidad de rotación es muy lenta como para producir pulsos de radiación.