

LAS ESTRELLAS

2h.4) Evolución Estelar Parte IV

Muerte de las Estrellas

La masa rige

Comenzaremos con las estrellas del tipo del sol y más grandes para seguir los pasos que llevan a su fin.

El Sol comenzó como una enorme nube de gas que comenzó a contraerse, luego la presión y temperatura de su centro dieron origen a la estrella cuando el hidrógeno comenzó a fusionarse en helio.

Más tarde, dentro de unos miles de millones de años, vemos al sol convertido en una gigante roja.

El sol y las estrellas de mediano y pequeño tamaño nunca alcanzan la suficiente temperatura para fusionar el carbono en hierro, así que llegan hasta este punto.

Cuando la fusión y la nucleosíntesis de elementos cesan, la fuerza de gravedad comprime la estrella.

Aquí haremos un pequeño paréntesis para explicarnos algunas de las características de la materia como la conocemos.

La materia es en su mayor parte espacio vacío.

Lo que actúan son las fuerzas presentes en los campos que acompañan a la materia, pero los átomos están habitualmente alejados unos de otros, al punto que un átomo que forma parte de una célula cualquiera de nuestro cuerpo aumentado hasta el tamaño de una moneda de un peso encontrará a su compañero a cien Kms de distancia. De Montevideo a minas o a Piriápolis.

Ahora podemos seguir con nuestra explicación de lo que sucede al final de las estrellas sin que parezca que hablamos de magia.

Enanas Blancas

Una enana blanca, que es una estrella de un tamaño cercano al de la Tierra, o un poco menor en realidad, pero con una masa similar a la del Sol, está impedida de encogerse más por la fuerza de repulsión electromagnética producida por la carga negativa de sus electrones.

Aquí los átomos están en casi en contacto, “resbalando” sobre sus capas de electrones. Esta materia, increíblemente densa sigue siendo materia, sus elementos siguen siendo reconocibles.



Pero hay un límite a la cantidad de materia que pueden aceptar.

Ninguna enana blanca puede tener un límite superior a 1,4 masa solares.

¿Que sucede a una enana blanca que tiene más de esa masa?

La fuerza electromagnética es la tercera en intensidad, con mucho superior a la gravedad, pero como vimos, no puede “sumar” mientras que la gravedad si puede y de hecho lo hace.

Todo lo que hemos visto hasta ahora forma parte de procesos evolutivos, pero fuerzas de estas magnitudes que funcionan en delicados y enormes equilibrios no siempre terminan o cambian pacíficamente sus etapas.

Esto nos lleva al siguiente fin estelar.

Supernovas y Pulsares.

El Fin de la Materia en las estrellas de neutrones

Cuando la gigante roja, generalmente para este caso una **supergigante roja**, termina de “quemar” por fusión a todo aquello que es fusionable posee un núcleo de capas a enorme temperatura. La capa que bordea al núcleo ha estado incluso fusionando el hidrógeno en helio con su presión, gravedad y temperatura. Esto es tan asombroso y cierto como si dijéramos que una sola estrella es capaz de brillar tanto o más que una completa galaxia con cientos de miles de millones de estrellas.

Pues bien, eso es lo que sucederá.

Y así sucede:

| Tiempo | Evento |
|---|--|
| 1.000.000 de años antes de la explosión | El núcleo eleva su temperatura hasta los 170 millones e grados, comenzando una nueva reacción de fusión: el Helio se transforma en Carbono y Oxígeno. |
| 1.000 años antes de la explosión | Cuando la mayor parte del Helio del núcleo se agotó la energía no es suficiente como para contrarrestar la gravedad y la estrella se contrae. Períodos de contracción y expansión convierten a la estrella en variable. Cuando la contracción llega a elevar la temperatura del núcleo hasta los 700 millones de grados el Carbono comienza a fusionarse en Neón y Magnesio. |
| 7 años antes de la explosión | Cuando la temperatura del núcleo alcanza los 1.500 millones de grados los átomos de Neón se fusionan para producir Oxígeno y Magnesio. |
| 1 año antes de la explosión | Al incrementarse la temperatura del núcleo hasta los 2.000 millones de grados los átomos de Oxígeno mas comprimidos se fusionan para formar Silicio y Azufre |

| | |
|---|---|
| <p>Pocos días antes de la explosión</p> | <p>Las enormes presiones elevan la temperatura por encima de los 3.000 millones de grados convirtiendo el Silicio y Azufre en una esfera de Hierro fuertemente comprimida que posee unas 1,44 masas solares aproximadamente. La estructura atómica del Hierro no permite que se fusione en átomos mas pesados, por tanto esta es la última reacción que tiene lugar en el núcleo.</p> |
| <p>Décimas de segundo antes de la explosión</p> | <p>El núcleo de Hierro llega al punto de máxima compresión, de solo el diámetro de la Tierra, la repulsión entre sí de los núcleos atómicos produce que la parte interna del núcleo de Hierro se expanda y contraiga violentamente creando una onda de choque que recorre toda la estrella.</p> |
| <p>Milisegundos después de la explosión</p> | <p>El retroceso del núcleo arroja materia desde dentro hacia afuera en una onda explosiva que atraviesa capa a capa los diferentes elementos creados anteriormente, calentándolas y produciendo elementos mas pesados.</p> |
| <p>Segundos después de la explosión</p> | <p>La explosión libera el 99,5 por ciento de su energía en forma de neutrinos. Los neutrinos son el primer signo perceptible de la explosión de la estrella. Lo que queda ahora de la estrella es una esfera superdensa compuesta principalmente de neutrones, una estrella de neutrones.</p> |
| <p>Horas después de la explosión</p> | <p>Las ondas de choque hacen erupción a través de la superficie de la estrella, liberando gran parte de la masa hacia el espacio para formar una nube que será visible durante miles de años.</p> |

Una supernova expelle sus capas exteriores a causa de una enorme onda de choque producto del colapso gravitatorio. La onda de choque actúa sobre la estrella produciendo un rebote que permite que la mayor parte de la masa de la estrella sea expulsada violentamente. El remanente de este fenómeno es una estrella de neutrones que llegado el caso se la detectara como un pulsar.

Una de las consecuencias del suceso es la producción de materiales pesados que la estrella no puede crear mediante el normal proceso de fusión, dado que en condiciones normales sólo les es posible fusionar elementos por debajo del Hierro. Otra importante consecuencia es la onda de choque producida en el espacio, capaz de reunir gases para comenzar la formación de nuevas estrellas. Gracias a las supernovas de tipo II se pueden determinar enormes distancias, dado que su magnitud absoluta es constante es posible medir su magnitud aparente y determinar fácilmente la distancia que nos separa.

Esto ya lo vimos al estudiar el caso de las variables Cefeidas.

A continuación se exponen algunas características de las supernovas tipo II:

Tipo de población estelar: I

Magnitud Absoluta máxima: **-16,5**

Tiempo de extinción desde el máximo: **125 días.**

Tiempo para alcanzar el máximo: **10 días.**

Espectro: **tipo nova.**

Lugar y tipo de galaxia: **espirales en zonas periféricas.** No se conocen en elípticas o irregulares.



Supernovas de Tipo II

La estructura de todas las estrellas está determinada por la batalla entre la gravedad y la presión de radiación resultante de la generación interna de energía. En las etapas primitivas de la evolución de una estrella, la generación de energía en su centro proviene de la conversión de hidrógeno en helio. Para estrellas con masas de cerca de 10 veces la del Sol, esto continúa durante cerca de diez millones de años.

Luego de este tiempo, todo el hidrógeno en el centro de este tipo de estrella se agota, y la fusión de hidrógeno sólo puede continuar en una capa alrededor del núcleo de helio. El núcleo se contrae bajo los efectos de la gravedad, hasta que su temperatura es lo suficientemente alta como para que pueda ocurrir la fusión del helio en carbono y oxígeno. La fase de fusión del helio dura cerca de un millón de años, pero eventualmente el helio en el centro de la estrella se agota, y continúa, igual que el hidrógeno, fusionándose en una capa. El núcleo de nuevo se contrae, hasta que está suficientemente caliente como para la conversión de carbono en neón, sodio y magnesio. Esto dura por cerca de unos 10 mil años.

Este patrón de agotamiento del núcleo, contracción, y fusión por capas, se repite mientras el neón es convertido en oxígeno y magnesio (durante unos 12 años), el oxígeno se convierte en silicio y azufre (cerca de 4 años), y finalmente el silicio se convierte en hierro tal vez una semana.

No puede obtenerse más energía por fusión una vez que el núcleo ha llegado al hierro, así que no hay presión de radiación para igualar la fuerza gravitatoria. El colapso ocurre cuando la masa de hierro alcanza 1,4 masas Solares. La compresión gravitatoria calienta el núcleo hasta un punto en el que decae endotérmicamente en neutrones. El núcleo colapsa desde el diámetro de la Tierra hasta cerca de 100 Kms en unas pocas décimas de segundo, una pequeñísima pausa, y en cerca de un segundo se convierte en una estrella de neutrones de 10 Kms de diámetro. Esto libera una enorme cantidad de energía potencial, principalmente en forma de neutrinos, que transportan cerca del 99% de la energía.

Se produce una onda de choque que pasa, en dos horas, a través de las capas externas de la estrella, causando que ocurran reacciones de fusión. Estas forman los elementos pesados. En particular el silicio y el azufre, formados poco antes del colapso, se combinan para producir níquel y cobalto radioactivos, que son responsables por la forma de la curva de la luz luego de las primeras dos semanas. La curva de luz es una relación gráfica entre la emisión de luz de un objeto y el tiempo.

Cuando la onda de choque llega a la superficie de la estrella, la temperatura alcanza los 200.000 grados, y la estrella explota a cerca de 15.000 Km/seg. Esta envoltura en rápida expansión se ve como la veloz elevación inicial del brillo. Pero en realidad es más una enorme bola de fuego que se expande rápidamente y se adelgaza, permitiendo ver la radiación de su interior, cerca del centro de la estrella original. Luego, la mayor parte de la

luz proviene de la energía liberada por la descomposición radioactiva del cobalto y el níquel producidos durante la explosión.

Supernovas de Tipo I:

Las supernovas del Tipo I son objetos aún más brillantes que aquellos del Tipo II. Aún cuando el mecanismo de la explosión es algo similar, la causa es muy diferente.

El origen de una supernova del Tipo I es un antiguo y evolucionado sistema binario, en el que al menos un componente es una estrella enana blanca.

Las enanas blancas como vimos son muy pequeñas y compactas, han colapsado hasta un tamaño cercano a un décimo del tamaño del Sol. Ellas representan la etapa evolutiva final de todas las estrellas de poca masa. Los electrones en una enana blanca están sujetos a restricciones de la mecánica cuántica (la materia se llama **degenerada**), y este estado sólo puede ser mantenido para masas estelares menores a 1,4 veces la del Sol. (Pronto veremos por qué).

Volviendo a nuestro ejemplo de las binarias vemos como el par de estrellas pierde momento angular, hasta que están tan cercanas que la materia de la estrella compañera es transferida a un grueso disco alrededor de la enana blanca, y es gradualmente incorporada por la enana blanca. La masa transferida desde la estrella gigante, aumenta la masa de la enana blanca hasta un valor significativamente mayor que el valor crítico, y como consecuencia de ello, toda la estrella colapsa, y la 'combustión' nuclear del carbón y el oxígeno en níquel, produce suficiente energía como para volar la estrella en pedazos. La energía liberada subsecuentemente es, como en el caso del Tipo II, proveniente de la descomposición radioactiva del níquel, a través del cobalto, en hierro.

Después de la Explosión:

La evolución de la supernova después de la explosión, es una en la cual el material eyectado continúa expandiéndose en una capa alrededor del sitio progenitor, mientras que, en las supernovas del Tipo II, la estrella de neutrones central permanece. El material eyectado continúa expandiéndose durante miles de años, hasta que choca con gases y nubes de polvo en el espacio interestelar circundante. Allí el gas eyectado se mezclará con el material interestelar, y eventualmente podrá ser incorporado a una nueva generación de estrellas.

Es decir en la Supernova de tipo I, la explosión es tan potente que no deja siquiera vestigios de la estrella.

En la de tipo II vemos en el centro de la explosión, rodeada por la nube a un objeto extraño y único en su especie. Un Pulsar o una estrella de neutrones.

El Origen de los Elementos:

La teoría del Big Bang, que ya veremos, predice exitosamente la abundancia de los elementos “livianos”. Las primeras estrellas estaban compuestas de hidrógeno, helio, una muy pequeña cantidad de litio y berilio, y casi nada más. Algunas de estas estrellas se convirtieron en supernovas, y distribuyeron los elementos ' pesados' , hechos en sus interiores, en el ambiente interestelar. Subsecuentes generaciones de estrellas han aumentado aún más la proporción de los elementos ' pesados' , como el carbono, oxígeno, fósforo y hierro.

Es un razonamiento maravilloso: **todos los elementos pesados que encontramos fueron formados así”, en el centro de estrellas, y sin esas explosiones, nosotros no existiríamos.**

Podríamos suponer que aquí finaliza la historia de la estrella.

Nada más lejano a la realidad. Los elementos formados por estas explosiones del tipo II perdurarán sin cambio hasta el final mismo del universo.

Módulo siguiente:

Novas, pequeñas y a veces recurrentes explosiones.

Estrellas de neutrones, pulsares y agujeros negros.