

# LAS ESTRELLAS

## 2h.4 ) Evolución Estelar Parte V

### Más allá de la muerte de las Estrellas II

#### Agujeros Negros

El resultado de una explosión de Supernova puede ser una estrella de neutrones, pero la masa del núcleo restante puede ser muy superior a 1,4 masas solares.

No podemos aumentar la masa de una estrella de neutrones infinitamente sin que algo más suceda.

Tomemos por ejemplo una enana blanca que tiene, por supuesto, menos de 1,4 masas solares y agreguémosle lentamente materia.

Cuando llegemos a la masa de Chandrasekar veremos que la estrella “implota”, se contrae y se transforma en una estrella de neutrones. Ahora sigamos agregando materia y veremos que esa esfera que tiene alrededor de unos 25 kms de diámetro comienza a contraerse más. ¿Hay un límite a esta contracción? ¿Cuál es este?



## El Agujero Negro.

### ¿Qué es un Agujero Negro?

Si se lanza hacia arriba un objeto, desde la superficie de la tierra, alcanza cierta altura, y luego cae de regreso. A mayor fuerza, mayor altura. El matemático francés Pierre Simon de Laplace (1749 - 1827), calculó la altura que alcanzaría si se le daba cierta velocidad inicial. Encontró que la altura aumentaba más rápidamente que la velocidad, de modo que la altura se hacía muy grande para una velocidad no demasiado grande. De otro modo diríamos que una parábola tiende a ser mayor cuanto mayor es la fuerza con la que se arroja el objeto.

Si lo arrojamos con suficiente fuerza la parábola será igual a la curvatura de la tierra y el objeto nunca caerá. Estará en órbita, en una caída perpetua como la de los planetas alrededor del Sol.

A una velocidad de 40.000 Km/h la altura tiende a ser infinita. Esta velocidad es llamada "velocidad de escape". Siendo un matemático, Laplace resolvió el problema para todos los cuerpos esféricos, no sólo para la Tierra.

Él encontró una fórmula muy simple, que nos dice que la velocidad de escape,  $V$ , está dada por,  $V=(2GM/R)^{1/2}$ , donde  $G$  es una constante que define qué tan fuerte es la gravedad,  $M$  es la masa, o cantidad de materia en el cuerpo, y  $R$  es su radio. Esta fórmula dice que objetos pequeños pero masivos (o sea,  $R$  pequeña y  $M$  grande), requieren enormes velocidades de escape. Esta sorprendentemente simple fórmula produce exactamente la misma respuesta que la obtenida usando la teoría de la relatividad.

La luz viaja a algo más de 1.000 millones de Km/h, y en 1905 Albert Einstein demostró que nada puede viajar más rápido que la luz. La fórmula de arriba puede ser despejada para mostrar qué radio debe tener un objeto para que la velocidad de escape desde su superficie sea la velocidad de la luz.

La respuesta:  $R=(2G/c^2)M$ , donde  $c$  es la velocidad de la luz.

Este radio en particular,  $R$ , es llamado el "radio de Schwarzschild", en honor del astrónomo Alemán que primero lo derivó a partir de la teoría de la relatividad de Einstein. La fórmula nos dice que el radio de Schwarzschild para la Tierra es de menos de un centímetro, comparado con su radio de 6.357 Km.

El radio de Schwarzschild es el radio que debe adquirir un objeto para que su velocidad de escape alcance la velocidad de la luz. Es decir, para que nada pueda escapar de él. Y si la luz no puede escapar no habrá forma de detectarlo, excepto por su presencia gravitatoria y por las emisiones de radiación que provoque la materia cayendo en tan masivo cuerpo.

**Los valores para algunos otros objetos astronómicos se dan en la tabla de abajo.**

<b>Radio De Schwarzschild Para Algunos Objetos Astronómicos</b>				
Objeto	Masa del Objeto (Masas Solares)	Radio (Km)	Velocidad de Escape (Km/seg)	Radio de Schwarzschild
Tierra	0,00000304	6.357	11,3	9,0 mm
Sol	1,0	696.000	617	2,95 Km
Enana Blanca	0,8	10.000	5.000	2,4 Km
Estrella de Neutrones	2	8	250.000	5,9 Km
Núcleo Galáctico	50.000.000	?	?	147.500.000 Km

Si pudiésemos estar de pie en un agujero negro, algo sólo concebible en la imaginación, y encendiéramos una linterna, veríamos la luz curvarse y caer al suelo, como el chorro de una manguera.

Podría parecer sorprendente que la luz pueda concebirse como comportándose como un cohete o una bola de billar.

Fue Einstein quien demostró que la luz puede ser considerada como una colección de partículas, llamadas fotones, que tienen masa, o más correctamente, energía, por virtud de la famosa fórmula  $E=Mc^2$ , que relaciona la energía E con la masa M.

Los fotones siempre viajan a la misma velocidad, la velocidad de la luz, pero cuando se alejan de un objeto con gravedad pierden energía, y para un observador externo, parecen ser más rojos. Recordemos el efecto Doppler-Fizeau. Es este “corrimiento hacia el rojo” lo que implica que los fotones que parten de un agujero negro pierdan toda su energía y se hagan completamente invisibles. Si ni siquiera la energía de la luz viaja lo suficientemente rápido como para escapar (y nada puede viajar más rápido), entonces ninguna señal de ningún tipo puede escapar, y el objeto sería 'negro'.

La única indicación de la presencia de tal objeto es su atracción gravitatoria. Lejos de su superficie es como si un objeto ordinario de la misma masa estuviera allí. La presencia de su gravedad significa que otros objetos pueden caer en él, de allí el nombre de “agujero”.

Un agujero negro es un objeto tan compacto que la velocidad de escape desde su superficie es mayor que la velocidad de la luz.

- La velocidad de la luz es de 299.800 Km/seg.
- 11 Km/seg es equivalente a 40.000 Km/hr. La velocidad de escape de la Tierra.
- 147.000.000 Km es casi igual al radio de la órbita de la Tierra alrededor del Sol.

### **¿Dónde Podremos Encontrar Agujeros Negros?**

Es imposible observar directamente un agujero negro, de modo que cualquier candidato a ser un agujero negro tiene que ser identificado por su efecto sobre la materia que lo rodea.

Si ninguna otra explicación es válida para los fenómenos observados, entonces es probable que estemos en presencia de un agujero negro.

La navaja de Occam: “Ante dos explicaciones igualmente buenas para un suceso, la más simple tiende a ser la correcta”. (La versión original en latín dice que no es necesario multiplicar innecesariamente las entidades). **“Pluralitas non est ponenda sine necessitate.”**

*Guillermo de Occam*

Hay algunos objetos que son buenos candidatos para la presencia de un agujero negro. Como los pulsares.

## ¿Cómo Podremos Ver Un Agujero Negro?

Debido a que los agujeros negros son pequeños, y a que ninguna señal escapa de ellos, podría parecer una tarea imposible el encontrarlos. Sin embargo, la fuerza de la gravedad no desaparece, de modo que si detectamos gravedad donde no hay una fuente visible de luz, entonces un agujero negro podría ser el responsable. Este tipo de argumento en si mismo, no es muy convincente, de modo que debemos buscar otras pistas.

Si existe materia alrededor de un agujero negro que pueda caer en él, entonces lo hará. La mayoría de las estrellas son binarias, pequeños grupos, o grandes cúmulos. Si en una pareja, las estrellas tienen masas diferentes, entonces la más masiva quemará su combustible más rápidamente, y podría convertirse en un agujero negro, mientras que la otra permanece como una estrella normal. El gas puede así ser absorbido desde la estrella hacia el agujero negro. El gas acelerado por la gravedad se calentará con una temperatura de millones de grados, y brillará, no con luz visible, sino con rayos-X. Recordemos las leyes de la radiación.

Estos rayos-X tendrán un efecto observable en la producción de luz de la estrella ordinaria. Puesto que estrella y agujero negro giran uno alrededor del otro en pocos días, podríamos esperar ver variaciones regulares en el brillo y en la producción de rayos-X.

Hay algunas fuentes de rayos-X que tienen todas las propiedades descritas arriba.

Desafortunadamente, es imposible distinguir entre un agujero negro y una estrella de neutrones, a menos que podamos comprobar que la masa del objeto invisible es demasiado grande como para que sea una estrella de neutrones.

Los astrónomos encontraron importante evidencia de que una de estas fuentes, llamada Cyg X-1 (lo que significa que es la primera fuente de rayos-X descubierta en la constelación de Cygnus), Cisne, realmente contiene un agujero negro.

Las cosas son muy diferentes si hay un masivo agujero negro en el centro de una galaxia. Es posible allí, que una estrella sea tragada por el agujero negro. La atracción de la gravedad sobre tal estrella será tan fuerte como para desintegrarla en sus átomos componentes, y para lanzarlos a altas velocidades en todas direcciones. Algunos de los fragmentos caerán en el agujero, incrementando su masa, mientras que otros producirán un estallido de ondas de radio, luz, y rayos-X justo en el límite de su zona de atracción gravitatoria, llamada horizonte del suceso, puesto que más allá de ese punto nada es observable. A su vez la deformación del espacio trae como consecuencia la deformación del

tiempo. En consecuencia esa deformación infinita del espacio haría que desde el punto de vista de un objeto que cae la caída fuera infinita.

Los últimos estudio revelan que en el centro de nuestra galaxia y probablemente en el de la mayoría existan agujeros negros supermasivos que tienen la masa de millones de soles.

De la materia en el agujero negro sólo podemos hacer especulaciones, ya que no es posible todavía ni efectuar cálculos exactos para este tipo de fenómenos.

Se han planteado teorías que manejan modelos avanzados de la materia que involucran sub-partículas componentes de los protones y neutrones como los quarks y los gluons. Pero la especulación está abierta y deberemos esperar para obtener modelos fiables de estos objetos.

Hemos visto que muchas cosas suceden en las insólitas estrellas y **TODAS** dependen de la masa. **La masa Rige**. Debemos recordar que es posible explicar cualquier efecto que suceda en una estrella investigando a partir de su relación con la masa y su equilibrio.