

# Estrellas: Parte 5

**Dr. José Antonio García Barreto**

Investigador Titular B

Instituto de Astronomía

Universidad Nacional Autónoma de México

Material didáctico para utilizarse en el curso ***Astrofísica General*** a nivel licenciatura para estudiantes de física ofrecido en la Facultad de Ciencias, UNAM, Mayo 2020

# 1) Núcleos de He a núcleos de C, N, O

Cualitativamente el núcleo de una estrella en la secuencia principal, y tiempo después de salirse está siendo ocupado por núcleos de He.

La fuerza de gravedad actúa comprimiendo el núcleo de la estrella y aumentando su temperatura , mientras continúa el quemado de hidrógeno en las capas exteriores al núcleo

Cualitativamente debemos entender que el quemado de H para convertirlo en núcleos de He en las cáscaras no es uniforme, ni estable.

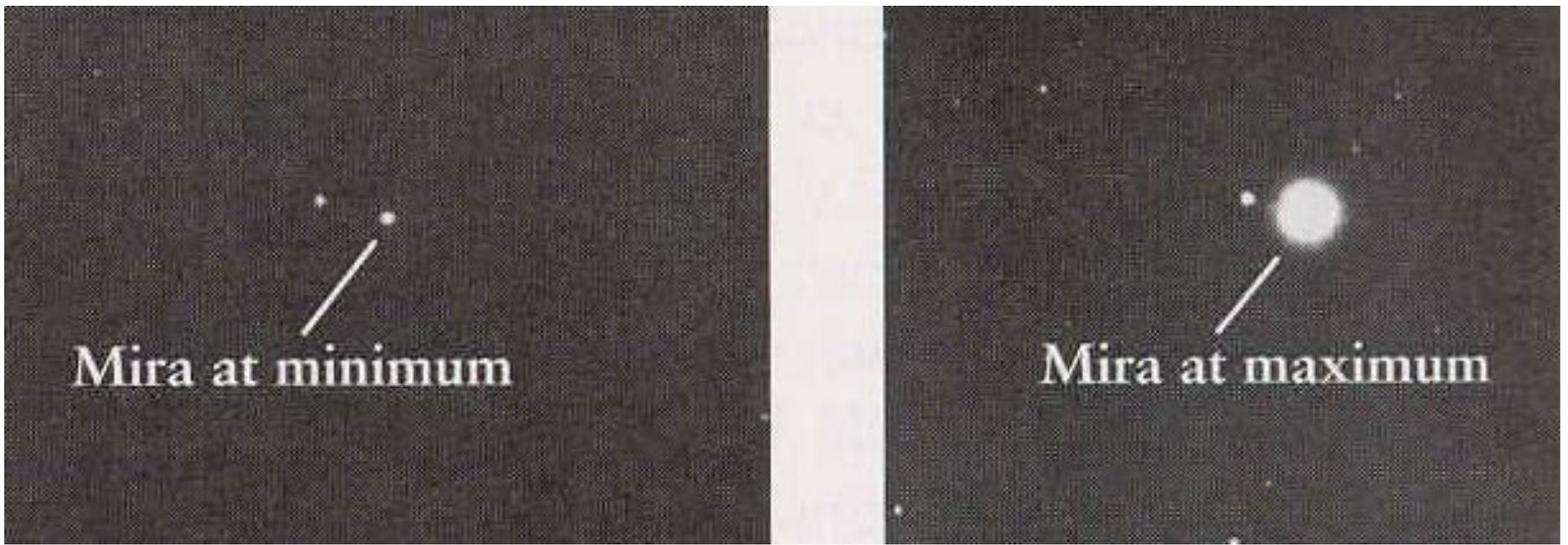
Al calentar las cáscaras, habíamos hablado que la estrella aumenta su diámetro, pero en momentos en que gas frío reemplaza al gas caliente en las cáscaras podría haber una variación de la tasa de quemado.

Si falta un poco de energía entonces el gas se enfría, y la estrella disminuye su diámetro.

En el momento que la estrella disminuye su diámetro, el volumen se reduce, y por las leyes de termodinámica de un gas ideal, el gas se calienta y la estrella aumenta su diámetro.

La estrella se comporta como un oscilador harmónico por un intervalo de tiempo.

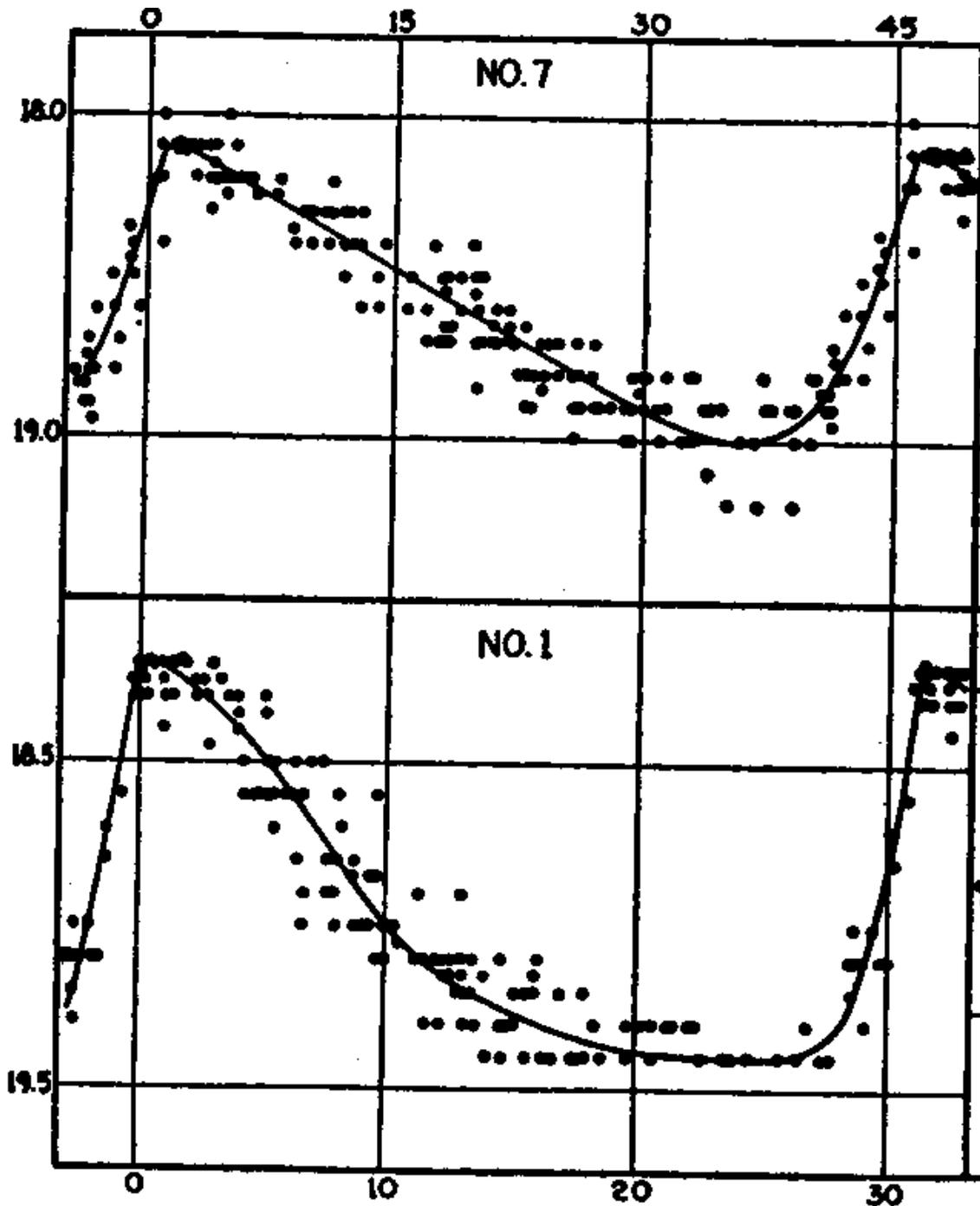
Se dice que la estrella es “varibale” en su brillo y en su diámetro.



Estas dos imágenes tomadas con diferencia de un intervalo de tiempo muestran un ejemplo de una estrella “variable”, en particular esta se denomina estrella tipo Mira.



Ejemplo cualitativo del brillo de 3 estrellas con el paso del tiempo cuando estan en la secuencia principal, quemando H y convirtiendolo en He, una estrella azul O, B, una estrella amarilla, G, y una estrella roja, K, M. El brillo es contante!



Dos gráficas del brillo aparente en el eje vertical contra tiempo en el eje horizontal que claramente muestran la variabilidad. El fenómeno es **cíclico!**

La región central se contrae por la fuerza de la gravedad y aumenta la temperatura.

Cuando alcanza una temperatura

$$T = 50 \rightarrow 70 \times 10^6 \text{ } ^\circ K$$

inicia lo que se conoce en inglés como el “flash de He” es decir, inician las reacciones termonucleares en donde se transforman núcleos de He, en núcleos de C, N, O.

Todas estas reacciones son exotérmicas, por lo tanto se calientan las capas de la estrella y aumenta su diámetro, ¡sigue siendo más gigante!

Los núcleos de C, N, O ocupan ahora la región más central de la estrella, se contrae y se calienta.

## 2) Producción de núcleos más pesados (hasta Fe) en la región más central de la estrella

Cuando la temperatura en la región más central alcanza valores de

$$T \sim 500 \times 10^6 \text{ } ^\circ K$$

inician las reacciones termonucleares exotérmicas para producir núcleos de átomos más pesados, F, Ne, Na, Mg, Al, Si, ..., hasta Fe.

Según los modelos teóricos, para producir núcleos de átomos más pesados que Fe, las reacciones termonucleares deben ser endotérmicas.

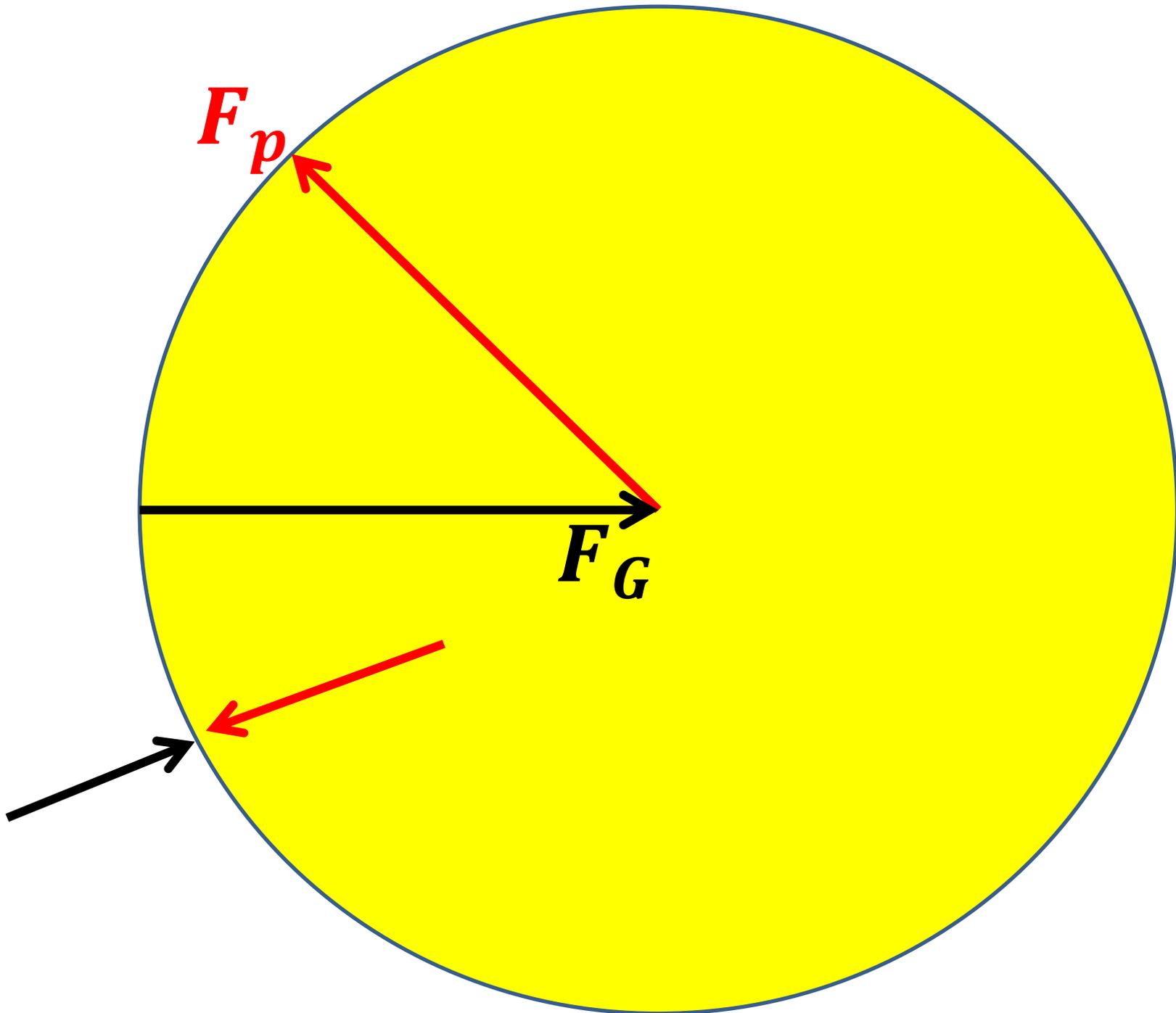
Ya no hay más producción de núcleos más pesados en la región más central de la estrella.

### 3) Etapas finales de una Estrella

Recordemos que la estrella durante sus años en la secuencia principal, en la región fuera de la secuencia principal como gigante, estaba en equilibrio de fuerzas:

la fuerza de gravedad que trataba de llevar todo el gas hacia el centro y

La fuerza ( $F = \text{Presión} \times \text{Area}$ ) del gas caliente que trataba de empujar las capas de la estrella a distancias mayores.

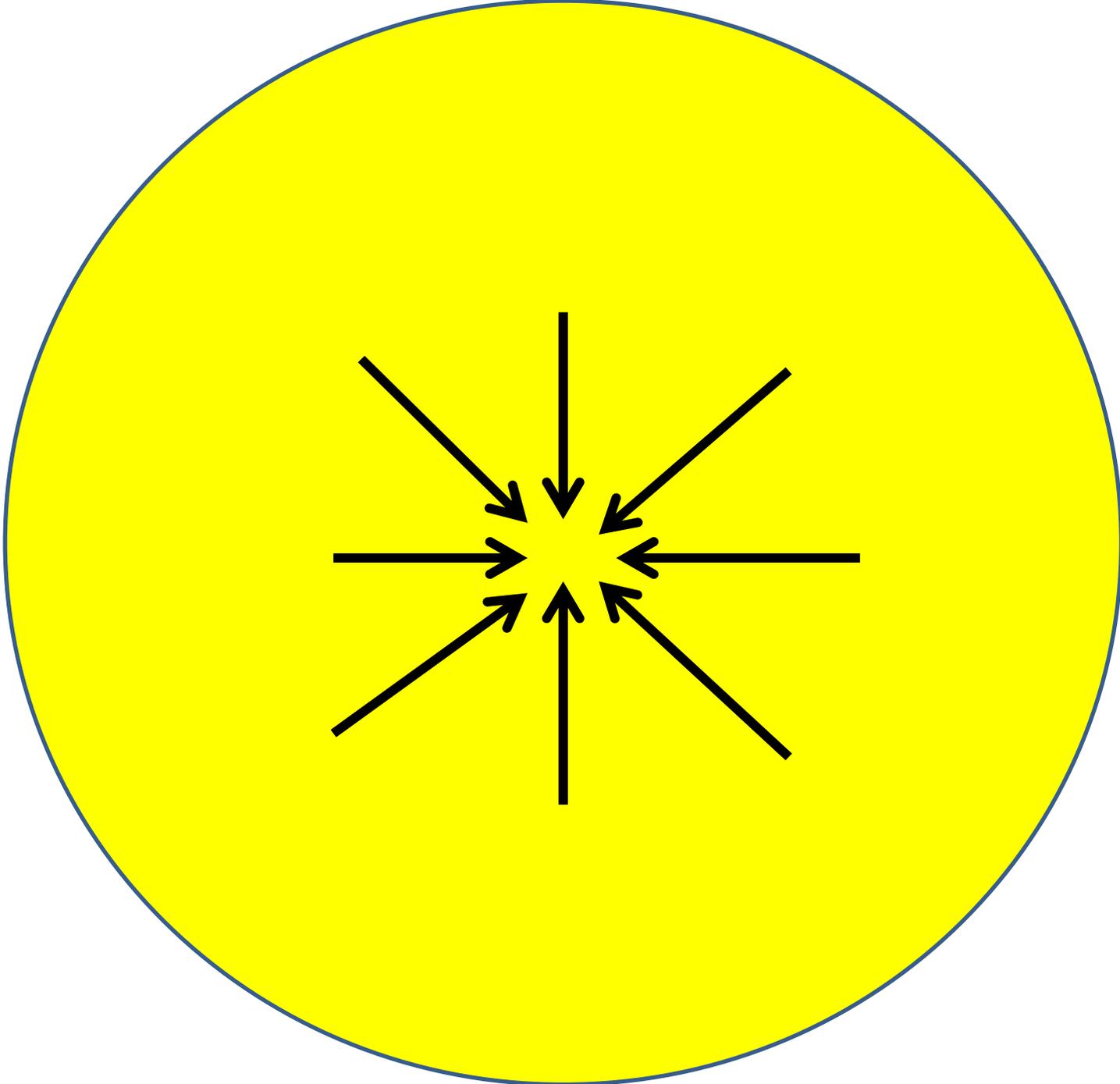


En el momento que ya no hay más reacciones termonucleares exotérmicas en la región más central de la estrella,

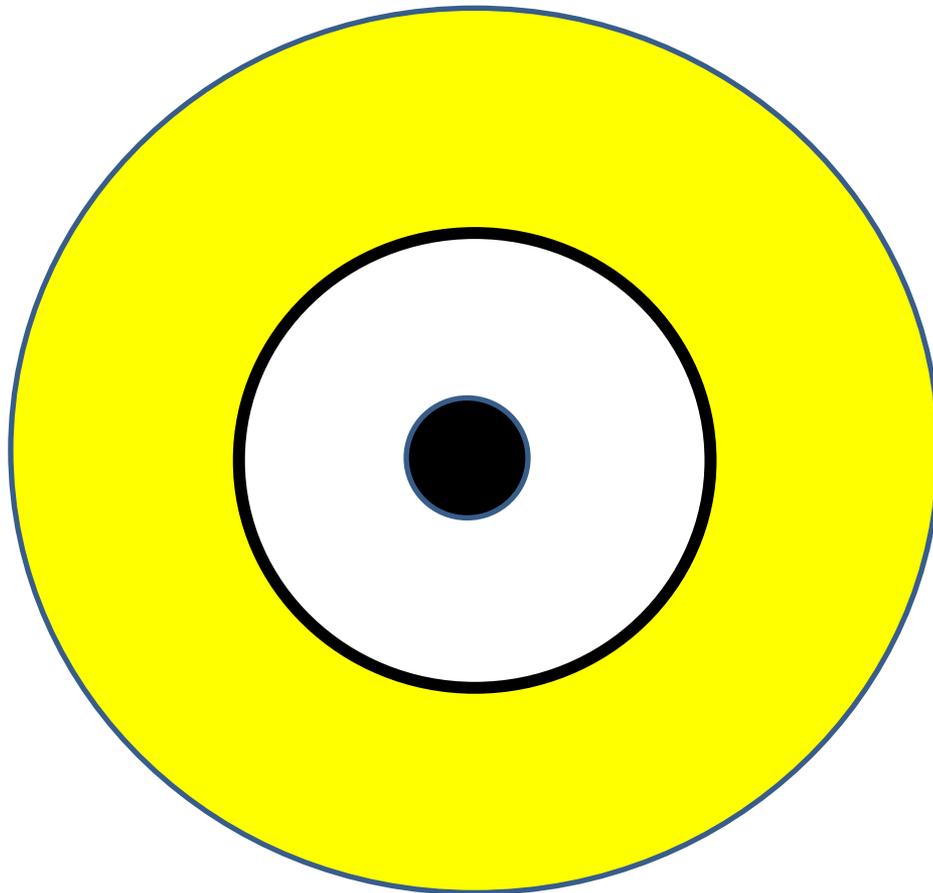
**i desaparece la fuerza del gas caliente,  $F_p = 0!$**

iii Oh no !!!

iii Ya no hay nada que resista la fuerza de gravedad !!!



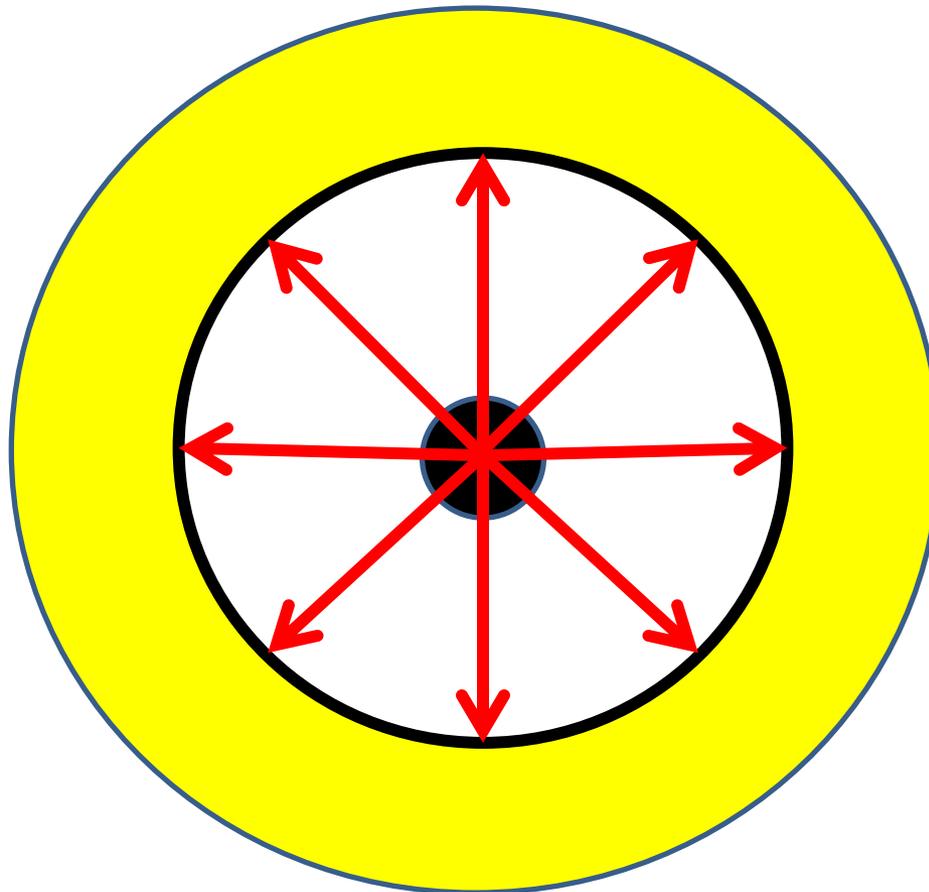
**Se habla de un intervalo de tiempo de  $\Delta t = 10 \text{ s}$  !!**



En la contracción debido a la implosión, el gas se **calienta a miles de millones de grados** y se cree que en esos instantes se crean la mayoría de los núcleos de la segunda parte de la tabla periódica, desde Co, Ni, Cu, Zn...hasta U, Pu, etc.

Justo después de la implosión, inicia una

**iii explosión !!!**



donde las capas externas sienten la fuerza del gas caliente que las impulsa a distancias más y más grandes del centro de la estrella.

La energía térmica,  $E_T = \kappa T$ , se convierte en energía cinética,  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ , y dependiendo de que tipo espectral original de estrella el gas viaja a diferentes velocidades.

Permítanme en éste primer curso de Astrofísica general sólo referirme a dos tipos espectrales de estrellas en la secuencia principal:

**a) Estrellas tipo O,B** , dan lugar a una estrella de neutrones en el centro, con diámetro menor de 50 km.

En esta estrella es la presión de los neutrones la que contrarresta la fuerza de gravedad.

La magnitud del campo magnético es muy grande.

Está rodeada de muchos electrones libres (con carga negativa) que interactúan con las líneas del campo magnético.

Si la masa inicial de la estrella O es muy grande, entonces la implosión creará un “objeto muy muy compacto y con muy muy alta densidad”.

La fuerza de gravedad de este “objeto” es tan grande que modifica la trayectoria de fotones de radiación de baja energía (incluyendo la banda de luz visible) de tal manera que no los deja “escapar” y por lo tanto

**¡¡¡un observador en la Tierra no detecta nada de luz de ese objeto!!!**

se dice que es un agujero negro o un hoyo negro Pero ni es “hoyo” ni es “negro”. Hoyo porque todo lo que se le acerca lo atrae hacia sí mismo. Negro, porque no permite escapar luz visible.

Las capas externas de la estrella viajan a velocidades de decenas de miles de kilómetros por segundo, las cuales son mucho mayores a la velocidad de escape y por lo tanto se alejarán a distancias cada momento más grandes del centro de la implosión.

El que una capa de gas viaje a grandes velocidades crea ondas de choque con otras capas de gas y eleva su temperatura de tal manera que electrones unidos a diferentes Átomos adsorben esa energía para subir a niveles

niveles superiores de energía. Después de un intervalo de tiempo, los electrones bajan a niveles inferiores de energía y emiten fotones tanto en las bandas de luz visible, infrarroja y de radio.

Esta emisión de radiación es mucho muy grande y da lugar a lo que vulgarmente se conoce como supernova, que antes del siglo XX se creía que eran estrellas nuevas, pero ahora sabemos que son las etapas finales de una estrella.



Dos imágenes de la galaxia M51 en diferentes épocas mostrando una “estrella nueva” , o supernova



Supernova del  
Cangrejo  
o  
Nebulosa del  
Cangrejo

Diferentes registros señalan su “aparición” en el  
año 1054 de nuestra era.

**b) Estrellas tipo G** : su implosión da lugar a una estrella enana blanca en donde son los electrones los que proporcionan la presión suficiente para contrarrestar la fuerza de gravedad.

Enana, porque su diámetro es como el de la Tierra, o unas 100 veces menor que su diámetro inicial cuando la estrella estaba en la secuencia principal.

Blanca, porque su temperatura superficial es

un poco más de 200 000 grados Kelvin.

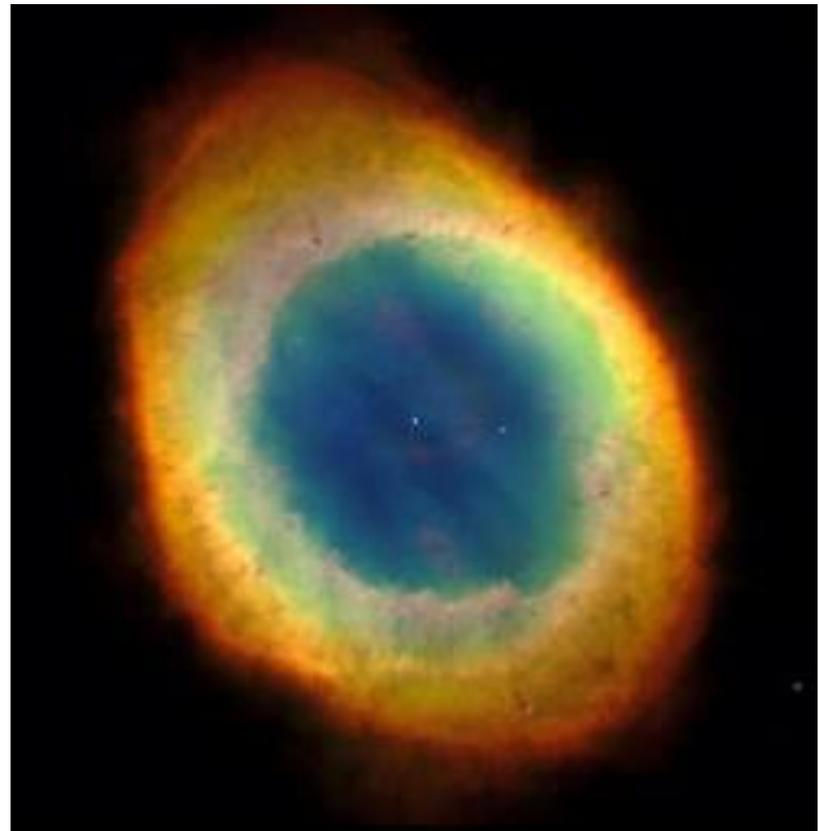
Ya no existen reacciones termonucleares en su centro y por lo tanto se enfriará al paso del tiempo.

La explosión da la energía necesaria a las capas externas de la estrella para alcanzar velocidades de varios miles (1 a 5) de kilómetros por segundo, las cuales son mayores a la velocidad de escape y por lo tanto las capas viajarán alejándose del centro de la implosión.

Las capas externas al momento de su descubrimiento se creían que eran un sistema planetario, pero ya en siglo XX se sabe que son solo esas capas de gas expandiéndose.

Y se les denominó desde esas épocas como **Nebulosas Planetarias.**

Nebulosa Planetaria  
conocida como la Hélice



Nebulosa Planetaria  
conocida como M57