

# Astrofísica Computacional

2020

## Problema 1. Estructura de una Enana Blanca

### Modelo de la Estructura Interna de una Enana Blanca

En este problema se modelará la estructura interna de una enana blanca utilizando las ecuaciones de un modelo simplificado de la estructura estelar utilizando las ecuaciones

$$\frac{dP}{dr} = -\frac{GM(r)}{r^2} \rho , \quad \text{Equilibrio hidrostático} \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dr} = 4\pi\rho r^2 . \quad \text{Conservación de la masa} \quad (2)$$

Para completar el conjunto de ecuaciones, también debe considerarse una ecuación de estado. En este modelo simplificado, en el que no se resolverá la ecuación de energía interna, se utilizará una ecuación politrópica,

$$P = K\rho^\Gamma , \quad (3)$$

donde  $K$  se denomina la *constante politrópica* y  $\Gamma$  es el *índice adiabático* ( i.e. la razón entre los calores específicos).

Como es bien conocido, las enanas blancas son objetos estelares cuya gravedad está soportada por la presión de degeneración de electrones. En el caso de una enana blanca relativista, completamente degenerada, el valor de las constantes en la ecuación de estado es

$$\begin{aligned} K &= 1,244 \times 10^{15} \times (0,5)^\Gamma \text{ dinas cm}^{-2} (g^{-1}\text{cm}^3)^\Gamma \\ \Gamma &= 4/3 . \end{aligned} \quad (4)$$

El objetivo de este problema será integrar las ecuaciones de estructura estelar para obtener las funciones de densidad y presión utilizando el método de Euler y un método de Runge-Kutta a su elección (RK2, RK3, RK4, adaptativo, etc.).

Implemente una malla adecuada y utilice el valor de densidad en el centro de la estrella de  $\rho_c = 10^{10} \text{ g cm}^{-3}$ . Debe realizar la integración hasta que alcance la frontera de la estrella, donde la presión debe ser nula (puede considerar el valor de corte como  $10^{-10} P_c$ ). Para mostrar la convergencia de su algoritmo, puede calcular la masa de la estrella utilizando el método de RK con múltiples resoluciones. Con los datos obtenidos de su modelo, realice una gráfica de  $\rho(r)$ ,  $P(r)$  y  $M(r)$ . Con un adecuado re-escalamiento de sus ejes puede mostrar las tres curvas en una sola figura.