FÍSICA SOLAR

Práctica 1

Resolver uno de los problemas siguientes:

1. Construir modelo de interior solar.
2. Calcular el camino de propagación de ondas acústico-gravitatorias en el interior solar.

1 Modelo de interior solar.

Resolver numéricamente el sistema de ecuaciones de masa, momento y energía para el modelo de interior solar, partiendo de las condiciones de contorno adecuadas:

$$\frac{\partial M_r}{\partial r} = 4\pi r^2 \rho \tag{1}$$

$$\frac{\partial P}{\partial r} = -\frac{G\rho M_r}{r^2} \tag{2}$$

$$\frac{\partial L}{\partial r} = 4\pi \rho r^2 \epsilon \tag{3}$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = \left(\frac{\partial T}{\partial r}_{\rm rad} \text{ or } \frac{\partial T}{\partial r}_{\rm conv} \right) \tag{4}$$

donde

$$\frac{\partial T}{\partial r}_{\rm rad} = \frac{3\kappa\rho L}{64\pi\sigma r^2 T^3} \tag{5}$$

$$\frac{\partial T}{\partial r}_{\rm conv} = -\frac{\mu g}{R_{\rm gas}} \frac{\gamma - 1}{\gamma} \tag{6}$$

Suponer ecuación de gas ideal con el peso medio molecular dado por la siguiente relación:

$$\mu = \frac{\mu_0}{1+E}; \;\; \mu_0 = \frac{1}{X + Y/4 + Z/2}; \;\; E = \mu_0(\eta_{H+}X + (\eta_{He+} + 2\eta_{He++})Y/4) \tag{7}$$

donde las fracciones de ionización de Helio, η_{He+}, η_{He++}, e Hidrgeno, η_{H+} se calculan a partir de que ecuación de Saha.

El ritmo de produccin de energía por reacciones nucleares:

$$\epsilon = \epsilon_{pp} = 2.53 \cdot 10^4 \rho X^2 T_9^{-2/3} \exp(-3.37 T_9^{-1/3}) \tag{8}$$

Las opacidad de Rosseland se obtiene a partir de la tabla adjunta, que da la opacidad en función de la densidad y la temperatura.

2 Propagación de ondas acústico-gravitatorias en el interior solar

Una onda acústico-gravitatoria, que se propaga en una atmósfera isoterma estratificada con gravedad constante, tiene la siguiente relación de dispersión:

$$\omega^4 - \omega^2(c_S^2(k_x^2 + k_z^2) + \omega_c^2) + c_S^2 N^2 k_x^2 = 0, \tag{9}$$

Resolviéndola para ω^2, se obtiene:

$$F(x, z, k_x, k_z) = \frac{(c_S^2(k_x^2 + k_z^2) + \omega_c^2)}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(c_S^2(k_x^2 + k_z^2) + \omega_c^2)^2 - 4c_S^2 N^2 k_x^2} - \omega^2 = 0 \tag{10}$$

En el caso de que los parámetros de la ecuación, c_S, N y ω_c varíen poco en distancias comparables con la longitud de onda, se puede resolver esta ecuación por el método de la Eikonal. En este método, el camino que recorre la onda (x, z) y la variación de los números de onda, k_x y k_z se pueden calcular a partir del siguiente sistema de ecuaciones diferenciales:

$$\frac{dk_x}{ds} = -\frac{\partial F}{\partial x} \tag{11}$$

$$\frac{dk_z}{ds} = -\frac{\partial F}{\partial z} \tag{12}$$

$$\frac{dx}{ds} = \frac{\partial F}{\partial k_x} \tag{13}$$

$$\frac{dz}{ds} = \frac{\partial F}{\partial k_z} \tag{14}$$

La variable s es la distancia a lo largo del camino de propagación de la onda. Los parametros c_S, N y ω_c se calculan a partir del modelo de atmosfera que se adjunta y son solamente funciones de la coordenada vertical, z.

Integrando numéricamente el sistema de ecuaciones de la Eikonal, calcular el camino que recorren ondas de frecuencias 5 mHz y 2.5 mHz, que salen de su punto de refracción interior ("lower turning point"), donde se cumple la condición $k_z = 0$ para la frecuencia dada.