

放射冷却

ver. 0

1 はじめに

このモジュールは、放射冷却・静的加熱を陽解法で解くためのものです。

2 放射冷却項・静的加熱項

エネルギー方程式の、放射冷却項 R と静的加熱項 H について記述する。基礎方程式は

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p}{\gamma - 1} \right) = H - R \quad (1)$$

ここで、 γ は比熱比、 H は静的加熱、 R は放射冷却。

光学的に薄い放射による冷却項は、密度・温度の関数として次のように表される。

$$R = \rho^2 \cdot \Lambda(T) \quad (2)$$

密度が高くなって、光学的に厚くなると、冷却が効きにくくなる効果を入れるため、次のように近似する。

$$R = \rho^2 \cdot \Lambda_\rho(\rho) \cdot \Lambda(T) \quad (3)$$

冷却関数 $\Lambda(T)$ は複雑な関数であるがここでは、次のような代数関数で近似する。

$$\Lambda(T) \approx \Lambda_0 \cdot 10^{\Theta(T)} \quad (4)$$

$$\theta \equiv \log_{10}(T/T_{\text{cl}}) \quad (5)$$

$$\Theta(\theta) = 0.4\theta - 3 + 3 \times \frac{2}{\exp[1.5(\theta + 0.08)] + \exp[-2(\theta + 0.08)]} \quad (6)$$

第1項はおもに熱制動放射の効果、第3項は紫外線からX線域での輝線放射の効果である。この関数は $\theta = 0$ つまり $T = T_{\text{cl}}$ 付近で輝線効果が極大になり、そこでの値が $\Theta = 0$ つまり $\Lambda = \Lambda_0$ となる。 Λ_0 と T_{cl} とは物性・大気組成・電離度などから決まり $\Lambda_0 = 8 \times 10^{-22}$ cgs、 $T_{\text{cl}} = 2 \times 10^5$ K。光学的に厚くなったときの効果は

$$\Lambda_\rho(\rho) = (\rho_{\text{cl}}/\rho) \tanh(\rho/\rho_{\text{cl}}) \quad (7)$$

この関数は、 $\rho/\rho_{\text{cl}} \ll 1$ のとき $\Lambda_\rho \approx 1$ で、 $\rho/\rho_{\text{cl}} \gg 1$ のとき $\Lambda_\rho \approx \rho_{\text{cl}}/\rho$ となる。いま $\rho_{\text{cl}} = 10^{12}$ cm⁻³ と仮定している。静的加熱項は

$$H = \rho h(x) \quad (8)$$

で仮定する。加熱と冷却とが初期につりあっているとして $h(x)$ を求める。

$$h(x) = R/\rho \quad \text{at } t = 0 \quad (9)$$