2011.11.11 Grain Formation Workshop/銀河のダスト研究会



Y. I. Fujii, S. Okuzumi, & S. Inutsuka (2011) in press (arXiv:1106.3528)

藤井悠里 奥住聡、犬塚修一郎 (名古屋大学 TA研)







- 若い星の周りに原始惑
 星系円盤が形成される
- 原始惑星が形成される
- 円盤中のガスが大きな 原始惑星に流入する







弱く電離 → MRI (磁気回転不安定性) → 降着

最有力候補











磁気回転不安定性(MRI)による乱流

電離度計算の重要性

周惑星円盤でも原始惑星系円盤と同様に MRIによる乱流は起こるのだろうか?

⇒周惑星円盤のMRI不活性領域の大きさを 見積もった

Re_M(磁気レイノルズ数):磁気乱流が起こるかの指標

Re_M<1 ⇒ MRI不活性領域

Re_Mを求めるには円盤の電離度の計算が必要

電離度の決まり方

- 電離源によって中性ガ スが電離される
- イオンや電子がダスト
 に吸着される
- これらの反応のつり合いで電離度が決まる

各反応の時間スケール は桁で大きく異なる

⇒計算に時間がかかる





e : electron

d : dust grains

Z : charge of grains

$$\frac{dn_{\rm M^+}}{dt} = \zeta n_{\rm n} - \alpha_{\rm M^+} n_{\rm M^+} n_{\rm e} - \sum_Z k_{\rm M^+d} (Z) n_{\rm d} (Z) n_{\rm M^+}$$

$$\frac{dn_{\rm e}}{dt} = \zeta n_{\rm n} - \alpha_{\rm M} n_{\rm H} n_{\rm e} - \sum_{Z} k_{\rm ed}(Z) n_{\rm d}(Z) n_{\rm e}$$

ダストの帯電量分布

- ダストの帯電量分布は正規分布で近似できる (Okuzumi, 2009)
- 各n_d(Z)の代わりに <Z> と <dZ²>の時間発展を計算





M⁺ : metal ion

$$\frac{dn_{\mathrm{M}^{+}}}{dt} = \zeta n_{\mathrm{n}} - \alpha_{\mathrm{M}^{+}} n_{\mathrm{M}^{+}} n_{\mathrm{e}} - \langle k_{\mathrm{M}^{+}\mathrm{d}} \rangle N_{\mathrm{d}} n_{\mathrm{M}^{+}}$$

$$\frac{dn_{\rm e}}{dt} = \zeta n_{\rm n} - \alpha_{\rm M} + n_{\rm M} + n_{\rm e} - \langle k_{\rm ed} \rangle N_{\rm d} n_{\rm e}$$

$$\begin{aligned} \frac{d\langle Z\rangle}{dt} &= \langle k_{\mathrm{M}^{+}\mathrm{d}} \rangle n_{\mathrm{M}^{+}} - \langle k_{\mathrm{ed}} \rangle n_{\mathrm{e}} \\ \frac{d\langle \delta Z^{2} \rangle}{dt} &= \left(\langle k_{\mathrm{M}^{+}\mathrm{d}} \rangle + 2\langle k_{\mathrm{M}^{+}\mathrm{d}} \delta Z \rangle \right) n_{\mathrm{M}^{+}} + \left(\langle k_{\mathrm{ed}} \rangle - 2\langle k_{\mathrm{ed}} \delta Z \rangle \right) n_{\mathrm{e}} \end{aligned}$$

 $N_d = \sum_Z n_d(Z)$ $\langle \rangle$: averaged value $\alpha_{M^+}, k_{\mu d}(Z)$: Rate coefficients ζ : Ionization rate



An application to CPD

Is MRI active in CPD?



MRI不活性領域=Dead zone

円盤モデル・パラメータ

• 電離率

$$\zeta = \zeta_{\rm \tiny CR}[{\rm s}^{-1}]$$

• 円盤温度

$$T \simeq 160 \left(\frac{r}{20R_J}\right)^{-3/4} \text{K}$$

• 円盤面密度
 $\Sigma_{g} \simeq 100 \left(\frac{r}{20R_J}\right)^{-3/4} \text{g/cm}^{2}$

・ダストサイズ $a = 0.1 \mu \text{m} - 1 \text{cm}$

・ダスト/ガス質量比

$$f_{dg} \equiv \frac{\rho_{dust}}{\rho_{gas}} = 0-10^2$$

 ρ_{gas}
・プラズマベータ(z成分)
 $\beta = \frac{P_{gas}}{P_{mag}} = 10^2-10^6$

Canup & Ward (2002)

Dead zoneの大きさ



ダストの量を減らした場合

$$\beta = 10^{4}, f_{dg} = 10^{-6}, a = 0.1 \mu m$$

$$\beta = 10^{4}, f_{dg} = 0$$

磁場を強くした場合

$\beta = 10^{2}$, a=0.1 μ m





周惑星円盤モデルではMRIは 成長できない

⇒円盤モデルで仮定されている ような粘性係数は得られない

まとめ

- 周惑星円盤では原始惑星系円盤のようなMRI による降着は期待できない →ほぼ全領域が Dead zone
- ・
 ・
 円盤モデルの再考が必要
 ・



谷川氏(北大)のスライドより

- ・スパイラル波によるトルクなどMRIによる乱 流以外の降着メカニズム?
- 今後は原始惑星系円盤から周惑星円盤への流 入を数値計算で求めて、より正確な電離度の 値の決定を目指す