

Modelo de Turbulência que regulam a Taxa Cósmica de Formação Estelar Workshop 2015

Carolina Gribel de Vasconcelos Ferreira

7 de Abril de 2015

Introdução

- A formação estelar é um dos fenômenos menos compreendidos na evolução cósmica.
- O gás interestelar que as estrelas se formam é um plasma supersonicamente turbulento.
- Variações na densidade e temperatura afetam o esfriamento do gás.
- Processos Químicos
- Campos Magnéticos

Introdução

- O disco da Via Láctea contém $\sim 10^9 M_{\odot}$ de gás molecular, em que $\sim 10^6 M_{\odot}$ dessa massa está em GMC.
- O tempo de queda-livre, $t_{ff} \sim 4 \text{ Myr}$, sendo assim a taxa de formação estelar é $\sim 250 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$.
- A taxa de formação estelar observada é de $\sim 3 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$.
- Este é um dos problemas da Taxa de Formação Estelar.
- O tempo de depleção, t_{dep} , é caracterizado pela razão da massa do gás pela a taxa de formação estelar.

Taxa C3smica de Forma33o Estelar

- Em 1959, Schmidt prop3s uma lei de pot4ncia entre o conte3do de g3s de uma gal3xia com a sua forma33o estelar.

$$\sum_* \propto \sum^{1.4} \quad (1)$$

- Os dados observacionais revelavam uma clara correla33o entre a densidade de superf3cie do g3s com a suas taxas de forma33o estelar.

$$\dot{\sum}_* \propto \frac{\sum}{\tau_d} \quad (2)$$

- $\dot{\sum}_*$ 3 a Taxa de Forma33o Estelar por unidade de 3rea, \sum 3 a densidade superficial do g3s, e τ_d 3 a escala de tempo din4mico da gal3xia.

Teorema do Virial

- Partimos da equação da Hidrodinâmica,

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p - \rho \nabla \phi_g + \frac{1}{c} \vec{j} \times \vec{B} \quad (3)$$

- O teorema do Virial é

$$\frac{1}{2} \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} = 2T + 2U + W + M \quad (4)$$

$$W \equiv \frac{1}{2} \int \rho \phi_g d^3 \vec{x}; \quad U \equiv \frac{3}{2} \int n k_b T d^3 \vec{x}; \quad M \equiv \frac{1}{8\pi} \int |\vec{B}|^2 d^3 \vec{x} \quad (5)$$

$$T \equiv \frac{1}{2} \int \rho |\vec{v}|^2 d^3 \vec{x} \quad (6)$$

Turbulência

- Turbulência é caracterizado por flutuações na velocidade.
- $\delta\rho/\rho \sim \mathcal{M}^2$.

$$\mathcal{M} \equiv \frac{v}{c_s} \quad (7)$$

- Da equação de Navier-Stokes temos os termos que chamamos de advecção, $\rho\vec{v}\cdot\vec{\nabla}\vec{v}$ e o termo de difusão $\rho\nu\nabla^2\vec{v}$, com esses dois termos podemos definir uma quantidade que determina se o fluido se torna caótico ou não.
- Essa razão é chamada de Número de Reynolds.

$$\rho\vec{v}\cdot\vec{\nabla}\vec{v} \sim \rho v_l^2/l \quad \rho\nu\nabla^2\vec{v} \sim \rho\nu v_l^2/l. \quad (8)$$

$$Re \equiv \frac{v_l l}{\nu} \quad (9)$$

Turbulência

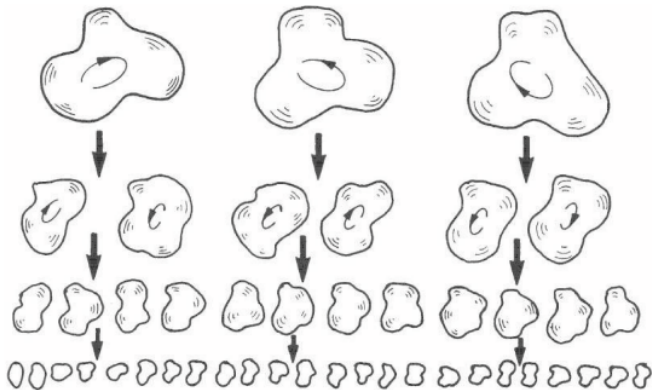


Figura : Cascata de Energia

Turbulência

- A taxa de transferência de energia específica, ϵ , e $\tau_l \sim l/v_l$ é o tempo para essa transferência, estimamos

$$v_l \sim (\epsilon l)^{1/3} \quad (10)$$

- Na escala dissipativa, $Re \sim 1$ e sendo assim, temos $v_d \sim \nu/l_d$. Obtemos uma expressão para a escala dissipativa,

$$l_d \sim \left(\frac{\nu^3}{\epsilon} \right)^{1/4} \quad (11)$$

Turbulência

- No espaço de Fourier,

$$\langle v_l^2 \rangle = \int_k^\infty E(k') dk' \quad (12)$$

- Temos que esse valor é da ordem de $(\epsilon l)^{2/3}$. Diferenciando com relação a k , sendo que $k = 2\pi/l$, temos

$$E(k) \sim \epsilon^{2/3} k^{-5/3} \quad (13)$$

Regulando a Taxa de Formação Estelar

- Fazendo uso da descrição estatística para a Turbulência Supersônica, e o Teorema do Virial. A Função de distribuição de probabilidade do gás turbulento no regime supersônico é

$$dp(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\rho^2} \exp\left[-\frac{(\ln x - \ln \bar{x})^2}{2\sigma_\rho^2}\right] \frac{dx}{x} \quad (14)$$

$$\ln \bar{x} = -\frac{\sigma_\rho^2}{2} \quad (15)$$

$$\sigma_\rho \approx \left[\ln \left(1 + \frac{3\mathcal{M}^2}{4} \right) \right]^{1/2} \quad (16)$$

Regulando a Taxa de Formação Estelar

- A densidade crítica requerida para ocorrer o colapso é

$$x \geq x_{crit} \equiv \left(\phi_x \frac{\lambda_{J0}}{\lambda_s} \right)^2 \quad (17)$$

- A fração de massa que colapsa nas estruturas deve ser maior que x_{crit} ,

$$f = \int_{x_{crit}}^{\infty} x \frac{dp}{dx} dx \quad (18)$$

- Contar com termos de outflow. Definimos ϵ_{core} .
- Convertendo para a taxa, devemos dividir pelo tempo característico da qual o gás se torna instável para o tempo de queda-livre, t_{ff} .

Regulando a Taxa de Formação Estelar

- As simulações numéricas chegam a uma taxa de formação estelar, dada por

$$SFR_{ff} \approx 0.014 \left(\frac{\alpha_{vir}}{1.3} \right)^{-0.68} \left(\frac{\mathcal{M}}{100} \right)^{-0.32} \quad (19)$$

- onde α_{vir} é o parâmetro do virial, que é a razão da termo turbulento com a gravidade, usado como critério de estabilidade.

Conclusão

- As simulações feita por Krumholz e McKee, concluíram que a taxa de formação por tempo de queda-livre não varia muito no intervalo de α_{vir} de ~ 0.5 até 3 e \mathcal{M} de ~ 10 para 1000.
- Os resultados mostram que o valor da taxa de formação estelar decresce ao considerar os efeitos de turbulência, mas não são obtidos os valores observados.
- Levar em conta a contribuição do outflow.
- Muitos modelos incluem os campos magnéticos.