

Turbulência na Formação Estelar

Workshop 2016

Carolina Gribel de Vasconcelos Ferreira
Orientador: Dr. Oswaldo Duarte Miranda
Co-orientador: Dr. José Williams dos Santos Vilas Boas

03 de Maio de 2016

Turbulência na
Formação Estelar

Carolina Gribel de
Vasconcelos
Ferreira

Orientador: Dr.
Oswaldo Duarte
Miranda

Co-orientador: Dr.
José Williams dos
Santos Vilas Boas

Introdução

Cenário
Hierárquico

Formalismo de Press
& Schechter
Função de Massa
Fração de Bárions

Taxa Cósmica de
Formação Estelar

Cenário Hierárquico
Turbulência na
Formação Estelar
Resultados

Considerações
Finais e
Perspectivas

Sumário

Introdução

Cenário Hierárquico

Formalismo de Press & Schechter

Função de Massa

Fração de Bárions

Taxa Cósmica de Formação Estelar

Cenário Hierárquico

Turbulência na Formação Estelar

Resultados

Considerações Finais e Perspectivas

Turbulência na
Formação Estelar

Carolina Gribel de
Vasconcelos
Ferreira

Orientador: Dr.
Oswaldo Duarte
Miranda

Co-orientador: Dr.
José Williams dos
Santos Vilas Boas

Introdução

Cenário
Hierárquico

Formalismo de Press
& Schechter
Função de Massa
Fração de Bárions

Taxa Cósmica de
Formação Estelar

Cenário Hierárquico
Turbulência na
Formação Estelar
Resultados

Considerações
Finais e
Perspectivas

Introdução

- ▶ A busca pelas relações entre o gás em galáxias e suas taxas de formação estelar.
- ▶ As observações sugerem a existência de algum fator a mais do que a densidade superficial do gás que determina a SFR.
- ▶ Para compreendermos a SFR, precisamos entender a dinâmica do gás.
- ▶ A turbulência nas nuvens moleculares podem suprimir ou ampliar a formação estelar dependendo das escalas envolvidas.

Turbulência na
Formação Estelar

Carolina Gribel de
Vasconcelos
Ferreira

Orientador: Dr.
Oswaldo Duarte
Miranda

Co-orientador: Dr.
José Williams dos
Santos Vilas Boas

Introdução

Cenário
Hierárquico

Formalismo de Press
& Schechter
Função de Massa
Fração de Bárions

Taxa Cósmica de
Formação Estelar

Cenário Hierárquico
Turbulência na
Formação Estelar
Resultados

Considerações
Finais e
Perspectivas

Introdução

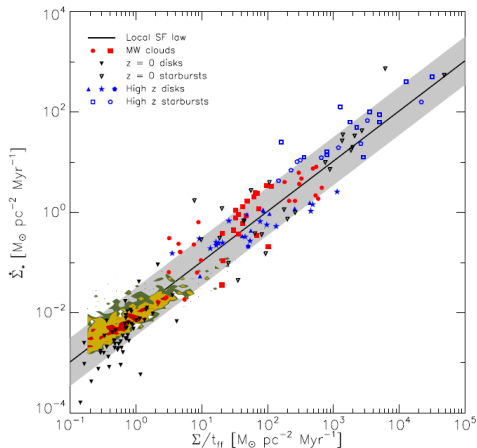


Figura: Superfície de Formação Estelar $\dot{\Sigma}_*$ vs. densidade superficial observada Σ/t_{ff} . Fonte: Krumholz (2012)

Turbulência na
Formação Estelar

Carolina Gribel de
Vasconcelos
Ferreira

Orientador: Dr.
Oswaldo Duarte
Miranda

Co-orientador: Dr.
José Williams dos
Santos Vilas Boas

Introdução

Cenário
Hierárquico

Formalismo de Press
& Schechter
Função de Massa
Fração de Bárions

Taxa Cósmica de
Formação Estelar

Cenário Hierárquico
Turbulência na
Formação Estelar
Resultados

Considerações
Finais e
Perspectivas

Cenário Hierárquico

Formalismo de Press & Schechter

- ▶ Galáxias residem em halos de matéria escura.
- ▶ Somente regiões com densidades de 1,69 irão colapsar. A fração de massa é dada pela seguinte distribuição Gaussiana:

$$f_{PS>(> M) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{1,69/\sigma}^{\infty} dx e^{-x^2/2} \quad (1)$$

- ▶ chamando $\nu = 1,69/\sigma$, temos que:

$$\frac{df_{PS}}{dM} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{d}{dM} \left[\int_{\nu}^{\infty} dx e^{-x^2/2} \right] \quad (2)$$

$$\frac{df_{PS}}{dM} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{d\nu}{dM} e^{-\nu^2/2} \quad (3)$$

Cenário Hierárquico

Função de Massa

- ▶ A função de Sheth & Tormen, que apresenta melhor concordância com simulações numéricas de formação de estruturas.

$$F(\nu) = A \left(1 + \frac{1}{(a\nu)^p} \right) \left(\frac{\nu}{2} \right)^{1/2} \frac{\exp(-a\nu/2)}{\sqrt{\pi}} \quad (4)$$

onde $\nu = [\delta_c(z)/\sigma(M)]^2$, e $A=0,3222$, $a=0,707$, $p=0,3$ são constantes. A densidade numérica de halos é dada por,

$$n(M, z) = 2 \frac{\rho_0}{M^2} \left| \frac{d \ln(\sigma(M))}{d \ln(M)} \right| F(\nu) \quad (5)$$

Cenário Hierárquico

Fração de Bárions

- ▶ A fração de bárions é obtida considerando que a densidade de bárions é proporcional a densidade de matéria escura,

$$f_b = \frac{\int_{M_{min}}^{M_{max}} n(M, z) M dM}{\int_0^{\infty} n(M, z) M dM} \quad (6)$$

- ▶ Os limites de integração de (6) representam as massas mínima e máxima de halos formados. Nós consideramos $M_{min} = 10^6 M_{\odot}$ e $M_{max} = 10^{18} M_{\odot}$.

Taxa Cósmica de Formação Estelar

Cenário Hierárquico

- ▶ A equação que governa a quantidade total de gás nos halos é dada por:

$$\dot{\rho}_g = -\frac{d^2 M_*}{dVdt} + \frac{d^2 M_{ej}}{dVdt} + a_b(t) \quad (7)$$

- ▶ Usando a Lei de Schmidt, temos:

$$\frac{d^2 M_*}{dVdt} = \Psi(t) = k \rho_g \quad (8)$$

- ▶ sendo $d^2 M_*/dVdt$ a taxa de conversão de gás em estrelas, e ρ_g é densidade do gás, e $k = 1/\tau_s$, em que τ_s é o tempo de formação estelar.

Turbulência na
Formação Estelar

Carolina Gribel de
Vasconcelos
Ferreira

Orientador: Dr.
Oswaldo Duarte
Miranda

Co-orientador: Dr.
José Williams dos
Santos Vilas Boas

Introdução

Cenário
Hierárquico

Formalismo de Press
& Schechter
Função de Massa
Fração de Bárions

Taxa Cósmica de
Formação Estelar

Cenário Hierárquico
Turbulência na
Formação Estelar
Resultados

Considerações
Finais e
Perspectivas

Formação Estelar

Cenário Hierárquico

- ▶ O segundo termo é a massa ejetada pelas estrelas por ventos e supernovas, é dada por:

$$\frac{d^2 M_{ej}}{dVdt} = \int_{m(t)}^{140M_{\odot}} (m - m_r) \Phi(m) \Psi(t - \tau_m) dm \quad (9)$$

- ▶ Além disso na (9), o termo $\Phi(m)$ é a Função de massa inicial (IMF) de Salpeter:

$$\Phi(m) = Am^{-(1+x)} \quad (10)$$

Formação Estelar

Cenário Hierárquico

- ▶ O último termo é a taxa de acreção bariônica:

$$a_b(t) = \Omega_b \rho_c \left(\frac{dt}{dz} \right)^{-1} \left| \frac{df_b}{dz} \right| \quad (11)$$

- ▶ lembrando que ρ_c é a densidade crítica, e dt/dz é a idade do universo,

$$\left| \frac{dt}{dz} \right| = \frac{9.78 h^{-1}}{(1+z)E(z)} \text{Gyr} \quad (12)$$

$$E(z) = \sqrt{\Omega_m^{(0)}(1+z)^3 + \Omega_\Lambda^{(0)}} \quad (13)$$

Formação Estelar

Cenário Hierárquico

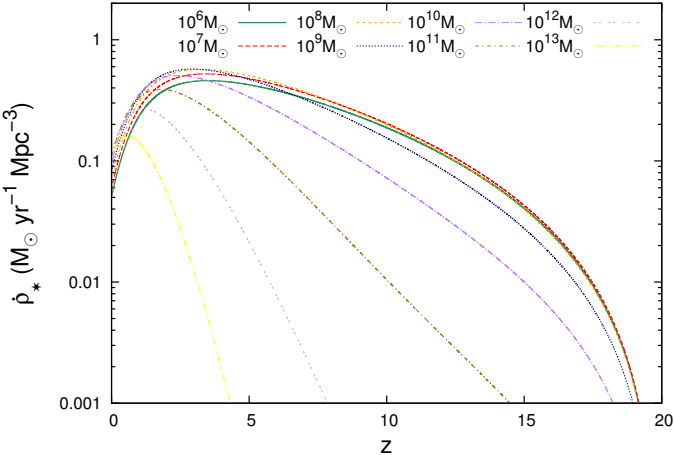


Figura: Taxa Cósmica de Formação Estelar no cenário Λ CDM.

Formação Estelar

Cenário Hierárquico

- ▶ Para reproduzirmos o valor atual da SFR, é feita uma normalização da formação estelar, ou seja,

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{\dot{\rho}_*(z=0)}{\dot{\rho}_*} \quad (14)$$

- ▶ Sendo assim, o gás que forma estrelas é dado por

$$\dot{\rho}_g = -\frac{d^2 M_*}{dV dt} + \frac{d^2 M_{ej}}{dV dt} + \langle \epsilon \rangle a_b(t) \quad (15)$$

- ▶ e (15) é integrado para obter o valor de ρ_g . Sendo assim, definimos a eficiência da formação estelar como sendo,

$$\epsilon_{ff} = \frac{\rho_g}{\rho_{tot}} \quad (16)$$

Formação Estelar

Cenário Hierárquico

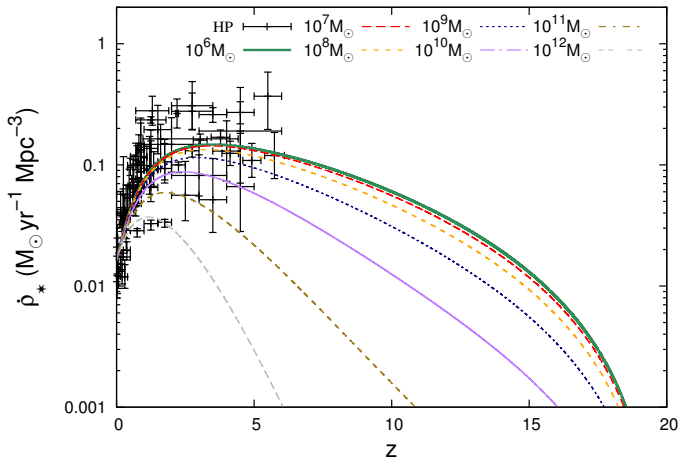


Figura: Taxa Cómica de Formação Estelar no cenário Λ CDM.

Turbulência na Formação Estelar

Carolina Gribel de Vasconcelos Ferreira

Orientador: Dr. Oswaldo Duarte Miranda

Co-orientador: Dr. José Williams dos Santos Vilas Boas

Introdução

Cenário Hierárquico

Formalismo de Press & Schechter
Função de Massa
Fração de Bárions

Taxa Cómica de Formação Estelar

Cenário Hierárquico
Turbulência na Formação Estelar
Resultados

Considerações Finais e Perspectivas

Formação Estelar

Turbulência na Formação Estelar

- ▶ De simulações numéricas, a turbulência supersônica induz uma ρ -PDF log-normal

$$\rho(s) = \frac{1}{\sqrt{1\pi\sigma_s^2}} \exp\left(-\frac{(s-\mu)^2}{2\sigma_s^2}\right) \quad (17)$$

- ▶ onde μ e σ_s são a média e largura, respectivamente. A largura de ρ -PDF está ligada às propriedades do gás turbulento através de

$$\sigma_s^2 = \ln(1 + b^2 M_s^2) \quad (18)$$

- ▶ onde M_s é uma medida da energia de turbulência, b é um parâmetro relacionado com o mecanismo de condução turbulência.

Formação Estelar

Turbulência na Formação Estelar

- ▶ Consideramos o modelo de *single free-fall*, em que $t_{ff}(\rho_0)/t_{ff}(\rho) = 1$

$$\dot{\rho}_* = \epsilon \int_{s_{crit}}^{\infty} \frac{\rho}{\rho_0} p(s) ds = \epsilon \int_{s_{crit}}^{\infty} \exp\left(\frac{3}{2}s\right) p(s) ds \quad (19)$$

- ▶ Integrando a equação acima obtemos,

$$\dot{\rho}_* = \frac{\epsilon}{2} \exp\left(\frac{3}{8}\sigma_s\right) \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\sigma_s^2 - s_{crit}}{\sqrt{2}\sigma_s}\right) \right] \quad (20)$$

Formação Estelar

Resultados

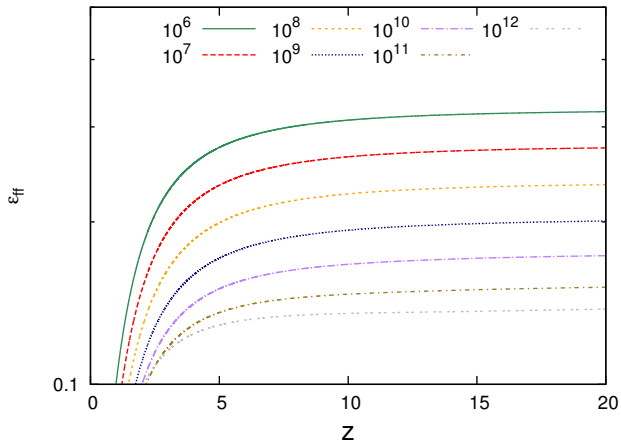


Figura: Eficiência de Formação Estelar

Turbulência na
Formação Estelar

Carolina Gribel de
Vasconcelos
Ferreira

Orientador: Dr.
Oswaldo Duarte
Miranda

Co-orientador: Dr.
José Williams dos
Santos Vilas Boas

Introdução

Cenário
Hierárquico

Formalismo de Press
& Schechter
Função de Massa
Fração de Bárions

Taxa Cósmica de
Formação Estelar

Cenário Hierárquico
Turbulência na
Formação Estelar

Resultados

Considerações
Finais e
Perspectivas

Formação Estelar

Resultados

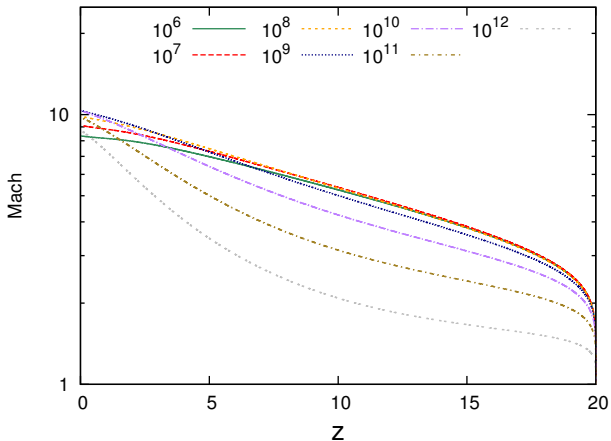


Figura: Número de Mach

Turbulência na
Formação Estelar

Carolina Gribel de
Vasconcelos
Ferreira

Orientador: Dr.
Oswaldo Duarte
Miranda

Co-orientador: Dr.
José Williams dos
Santos Vilas Boas

Introdução

Cenário
Hierárquico

Formalismo de Press
& Schechter
Função de Massa
Fração de Bárions

Taxa Cósmica de
Formação Estelar

Cenário Hierárquico
Turbulência na
Formação Estelar

Resultados

Considerações
Finais e
Perspectivas

Considerações Finais

Formação Estelar

- ▶ A turbulência controla a eficiência de Formação Estelar.
- ▶ Avaliar o efeito de diferentes IMF.

Turbulência na
Formação Estelar

Carolina Gribel de
Vasconcelos
Ferreira

Orientador: Dr.
Oswaldo Duarte
Miranda

Co-orientador: Dr.
José Williams dos
Santos Vilas Boas

Introdução

Cenário
Hierárquico

Formalismo de Press
& Schechter
Função de Massa
Fração de Bárions

Taxa Cósmica de
Formação Estelar

Cenário Hierárquico
Turbulência na
Formação Estelar
Resultados

Considerações
Finais e
Perspectivas