

Astrofísica Extragaláctica

Lista 4 – Aglomerados de Galáxias

Junho de 2021

Parte A

1. **Determinação de massa.** Descreva três métodos de determinação de massa de aglomerados.
2. **SZ.** Explique o que é o efeito Sunyaev-Zeldovich.

Parte B

3. **Equação de Poisson.** Mostre que o perfil de densidade de Hernquist decorre do potencial gravitacional $\Phi(r) = -\frac{GM}{r+a}$.
4. **Perfil NFW.** (a) Calcule analiticamente a massa cumulativa $M(r)$ do perfil NFW. (b) Avaliando $M(r)$ em r_{200} , mostre que o parâmetro ρ_s fica determinado pela concentração $c = r_{200}/r_s$:

$$\rho_s = \frac{200}{3} \rho_{\text{crit}} \frac{c^3}{\left[\ln(1+c) - \frac{c}{1+c}\right]}$$

5. **Relação entre Hernquist e NFW** O comprimento de escala de Hernquist (a_h) e o comprimento de escala de NFW (r_s) estão conectados pela concentração $c = r_{200}/r_s$. Exigindo que os dois perfis coincidam para raios pequenos, demonstre a relação aproximada:

$$\frac{a_h}{r_s} \simeq \sqrt{2 \left[\ln(1+c) - \frac{c}{1+c} \right]}$$

6. **Equilíbrio hidrostático.** Considerando simetria esférica e um gás com perfil de densidade $\rho_g(r)$ em equilíbrio na presença de um potencial gravitacional total $\Phi(r)$, mostre que o perfil de temperatura do gás é:

$$T(r) = \frac{\mu m_H}{k} \frac{1}{\rho_g(r)} \int_r^\infty \rho_g(r') \frac{d\Phi}{dr'} dr'$$

7. **Peso molecular médio.** Mostre que, em termos de densidade numérica de elétrons, o peso molecular médio de um gás com abundância primordial totalmente ionizado é aproximadamente:

$$\mu_e \simeq \frac{2}{1+X} \simeq 1.1$$

Parte C

8. Determinação da massa de um aglomerado

Usando magnitudes e redshifts do SDSS, determine a massa dinâmica do aglomerado de Coma.

9. Modelo de um aglomerado

Vamos construir um modelo de um aglomerado de galáxias esfericamente simétrico, considerando duas componentes: a matéria escura, representada pelo perfil de Hernquist; e o gás do ICM, representado pelo perfil de Dehnen (com $\gamma = 0$).

Matéria escura:

- (a) Considere um halo com $M_{200} = 5 \times 10^{14} M_{\odot}$. Consulte em Duffy et al. (2008) qual deve ser a concentração c desse halo (supondo baixo redshift) e faça um gráfico do perfil de densidade de NFW com tais parâmetros.
- (b) Obtenha o comprimento de escala a_h do perfil de Hernquist de mesma massa $M_h = M_{200}$. Plote a comparação entre os dois perfis.

Gás:

- (c) Para estabelecer a massa total de gás, adote uma fração de bárions global de 15%. Encontre o valor do comprimento de escala a_g do perfil de Dehnen (com $\gamma = 0$), de tal modo que o perfil de densidade do gás seja comparável a um β -model com os seguintes parâmetros:

$$\begin{aligned}n_e &= 5 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-3} \\r_c &= 100 \text{ kpc} \\\beta &= 0.7\end{aligned}$$

- (d) Faça um gráfico da fração de bárions em função do raio.
- (e) Usando o potencial gravitacional total (com os parâmetros obtidos) calcule numericamente o perfil de temperatura e faça um gráfico de $T(r)$ em unidades de keV.
- (f) Supondo que o gás emite por Bremsstrahlung, integre numericamente a emissividade dentro do volume contido em r_{200} para obter a luminosidade total em raios-X.
- (g) Refaça os perfis do gás apenas trocando $\gamma = 0$ por $\gamma = 1$ no perfil de Dehnen. O que acontece com a densidade e a temperatura do gás na região central?