FIS02013 - Lista de questões sobre Grupos e Aglomerados
Prof. Basílio X. Santiago

1) Caracterize grupos de galáxias quanto ao número esperado de membros, diâmetro e massa. Faça o mesmo para aglomerados de galáxias.

R:

A divisão entre grupos e aglomerados de galáxias não é rigorosa. Em geral, sistemas contendo algumas dezenas de galáxias ($N \simeq 50$, de acordo com o PS) ou menos em um raio de $\simeq 1.5 Mpc$ (ou menor) são considerados grupos, enquanto que sistemas com mais objetos no mesmo volume (ou um pouco maior) são aglomerados. A massa dos aglomerados é da ordem $10^{14} M_{\odot}$ (3X isso de acordo com PS) ou mais, enquanto que grupos têm valores mais próximos de $10^{13} M_{\odot}$ (3X isso pelo PS).

2) Discuta as diferenças entre aglomerados regulares e irregulares quanto ao número de componentes, à prevalência de galáxias de um dado tipo morfológico, à presença de cDs, à densidade central e à presença de subestruturas.

R: Os aglomerados regulares no óptico tendem a ter mais componentes, sendo que prevalecem as galáxias Es e S0s, principalmente nas suas regiões internas. Os regulares tendem a ter uma densidade central mais alta, e galáxias cDs são também mais comuns neles. Como o nome já diz, a presença de subestruturas é mais comum em aglomerados irregulares.

3) Explique em que passos na dedução da equação de equilíbrio hidrostático dada em 6.13, a partir do caso geral 6.8, entram: a) a hipótese de que o sistema é esférico; b) a hipótese de que ele é isotérmico.

R:

A hipótese de esfericidade é implícita na eq de equilíbrio hidrostático, 6.8, na qual a pressão e massa dependem de variável radial r. Esta hipótese também é explícita entre as expressões 6.8 e 6.9, onde a massa interna a um dado raio é substituída por $4\pi \int_0^r dr' r'^2 \rho(r')$

A isotermia é explícita entre as expressões 6.10 e 6.11, quando a derivada radial da pressão é calculada para o caso de um gás ideal, sendo que a temperatura é assumida como constante e uniforme, não havendo portanto um termo com dT/dr.

4) Prove que a distribuição de densidade espacial dada pela expressão 6.14 satisfaz a equação de equilíbrio hidrostático para um sistema esférico e isotérmico, 6.13.

R:

$$\rho(r) = \frac{\sigma^2}{2\pi G r^2}$$

$$\frac{d\rho(r)}{dr} = \frac{-\sigma^2}{\pi G r^3} = \frac{-2\rho}{r}$$

Logo:

$$\frac{\sigma^2 r^2}{\rho}\frac{d\rho(r)}{dr} = \frac{\sigma^2 r^2}{\rho}\frac{-2\rho}{r}$$

$$\frac{\sigma^2 r^2}{\rho}\frac{d\rho(r)}{dr} = -2\sigma^2 r$$

A derivada espacial da quantidade acima é portanto:

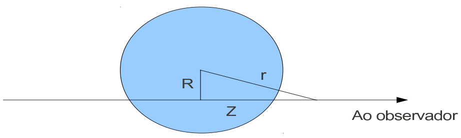
$$\frac{d}{dr}\left(\frac{\sigma^2 r^2}{\rho}\frac{d\rho(r)}{dr}\right) = -2\sigma^2$$

Mas pela própria expressão para a densidade, temos que:

$$-2\sigma^2 = -4\pi G r^2 \rho(r)$$

Assim sendo, fica claro que a equação de equilíbrio hidrostático 6.13 é satisfeita.

5) Deduza a expressão 6.7 para a densidade superficial $\Sigma(R)$ a partir da densidade espacial $\rho(r)$ de uma distribuição com simetria esférica. Lembre-se que a primeira é dada pela integral da segunda ao longo de uma linha de visada (ou seja, ao longo da variável z na figura) cuja distância mínima do ponto $r = 0$ é dada por R.



R:

A variável radial r pode ser decomposta em uma componente ao longo da linha de visada, z, e outra perpendicular a ela, R.

$$r^2 = z^2 + R^2$$

A coordenada R representa a variável *radial* sobre o plano da imagem projetada.

Integrando $\rho(r)$ ao longo da visada z temos:

$$\Sigma(R) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(r(R, z))dz$$

Pela simetria da distribuição $\rho(r)$, podemos escrever:

$$\Sigma(R) = 2\int_{0}^{\infty} \rho(r(R, z))dz$$

Usando a relação entre z e r para R fixo, temos que

$$2zdz = 2rdr$$

$$dz = \frac{rdr}{z} = \frac{rdr}{\sqrt{r^2 - R^2}}$$

Logo a integral da densidade superficial fica

$$\Sigma(R) = 2\int_R^\infty \rho(r(R,z))\frac{rdr}{\sqrt{r^2-R^2}}$$

6) Integre a densidade superficial do modelo de King, 6.17, e prove que a massa desta distribuição aumenta com ln R.

R:

$$\Sigma(R) = \frac{\Sigma_0}{1+\frac{R^2}{r_c^2}}$$

Para determinar a massa interna a um raio projetado (da imagem) R, temos que fazer a integral sobre a superfície:

$$M(\leq R) = \int_0^R 2\pi R' \frac{\Sigma_0}{1+\frac{R'^2}{r_c^2}} dR'$$

$$M(\leq R) = 2\pi\Sigma_0 \int_0^R R' \frac{1}{1+\frac{R'^2}{r_c^2}} dR'$$

Fazendo $u = 1 + R'^2/r_c^2$, temos que $du = 2R'dR'/r_c^2$.

$$M(\leq R) = \pi\Sigma_0 r_c^2 \int_1^{u(R)} \frac{du}{u}$$

$$M(\leq R) = \pi\Sigma_0 r_c^2 ln[1 + R^2/r_c^2]$$

7) Use o Teorema do Virial para estimar a massa de um aglomerado de galáxias com dispersão de velocidades observada $\sigma = 700$ km/s e raio projetado $R_G = 1.3$ Mpc.

R: Pelo teorema do virial temos aproximadamente que

$$M = \frac{3\pi R_G \sigma^2}{2G} = \frac{3x3.1416x1.3x3.1x10^{22}x49x10^{10}}{2x6.67x10^{-11}}$$

$$M = \frac{1.86x10^{35}}{13.34x10^{-11}} = 1.39x10^{45}kg$$

$$M = 7x10^{14} M_{\odot}$$

8) Estime o tempo de relaxação de 2 corpos. t_{relax} para um aglomerado com $N = 100$ membros, usando a estimativa do valor do tempo de travessia, t_{cross} dado por 6.18. O que significa o fato de t_{relax} ser muito maior do que a idade estimada do Universo?

R:

$$t_{relax} = t_{cross} \frac{N}{lnN}$$

$$t_{relax} = \frac{R_A}{\sigma} \frac{N}{lnN}$$

$$t_{relax} = 1.510^9 \frac{100}{ln100} = 32.5x10^9 = 3.2x10^{10} anos$$

Como $t_{relax} > H_0^{-1}$, não houve ainda tempo suficiente para que as galáxias do aglomerado sofressem colisões com outras. Ou seja, as galáxias respondem ao potencial gravitacional do sistema como um todo, sem sofrer perturbações significativas em suas órbitas causadas por encontros com suas vizinhas.

9) Explique com suas palavras o que é o processo de fricção dinâmica, que efeito ele causa e como (e se) este efeito depende da massa das partículas.

R: A fricção dinâmica ocorre quando uma partícula (de massa M) orbita o interior de um gás de partículas de menor massa (m). Ao atravessar um elemento de volume do gás, a partícula perturba o potencial gravitacional local do elemento, causando uma aceleração sobre as partículas do gás. Essas tendem e ser atraídas em direção à órbita da partícula de massa M, sendo que, como resultado, formar-se-á uma sobre-densidade de partículas do gás atrás da partícula maior. Essa sobre-densidade, por seu turno, acelera a partícula maior no sentido contrário ao seu movimento, o que equivale a um termo de frenagem ou fricção .

A desaceleração experimentada pela partícula massiva será proporcional à sua massa M (posto que ela ditará a amplitude da perturbação local e da sobredensidade resultante) e à densidade das partículas menores (posto que para uma pertubação fixa, quanto maior a densidade maior a desaceleração

). A desaceleração será também inversamente proporcional ao quadrado da velocidade da massa M no gás, posto que quanto mais rápido esta última atravessar o gás, menos tempo ela terá para perturbar um dado elemento do sistema.

10) Diferencie as propriedades de grupos das de aglomerados no que tange à razão M/L típica, à fração de galáxias espirais, às propriedades do gás emissor de raios-X.

R: Aglomerados têm razão M/L tipicamente maior do que grupos. Especialmente em suas regiões centrais, eles tendem a ter uma fração menor de espirais do que os grupos. O gás emissor em raios X em aglomerados tende a ser mais luminoso e de maior metalicidade do que em grupos.

11) Descreva com suas palavras o que é a chamada relação morfologia-densidade. Que outras relações semelhantes existem?

R: Tal relação expressa simplesmente que a fração de galáxias de um dado tipo morfológico depende da densidade local de galáxias. Em ambientes de baixa densidade (no *campo*), há uma prevalência de galáxias disco. A fração destas últimas, em especial das Sc e Sd, cai com a densidade ambiente, em benefício da fração de S0s e de Es.

Outras formulações propõem que a prevalência de um tipo morfológico sobre outro dependa da distância radial a regiões de aglomeração (grupos e aglomerados). Há ainda uma formulação desse efeito ambiental que estabelecer que uma dependência da da cor e da luminosidade das galáxias (em substituição à morfologia) com a densidade local de galáxias.

12) Quais as explicações propostas para o contínuo aumento na fração de S0s em regiões de densidade intermediária (ou, alternativamente, de distância ao centro de um aglomerado pouco menor do que o seu raio virial)? E quais as explicações propostas para o abrupto aumento na fração de Es luminosas nas regiões mais centrais (de maior densidade) em aglomerados?

R: O aumento na fração de lenticulares, associado à redução na fração de espirais tardias, pode ser resultado da remoção (ou rápido consumo) do gás interno dessas causada pela interação desse gás com o plasma quente intra-aglomerado. Seja removido ou rapidamente consumido o meio interestelar dessas galáxias, o fato é que, nesta situação , a formação estelar nessas espirais de aglomerados ou grupos será truncada, fazendo com que elas sejam avermelhadas e tenham razão B/D alta, sendo semelhantes, portanto, às S0.

O aumento na fração de Es para regiões de densidades ainda mais altas pode ser resultado de fusões de galáxias disco (S0s inclusive e principalmente) nessas regiões . Simulações de N corpos sob o efeito da gravidade mostram que comumente discos são destruídos nesses eventos, fazendo com que a fusão de duas espirais resulte numa E luminosa.

13) Descreva a dependência com a densidade e a temperatura do gás ionizado da intensidade de emissão em raio X no caso de se tratar exclusivamente de radiação bremsstrahlung.

R: A intensidade emitida cresce com o quadrado da densidade do plasma e com a raiz quadrada da sua temperatura. Isso é estritamente verdadeiro no caso de um plasma de hidrogênio, sendo portanto um comportamente adequado para descrever os plasmas em torno de aglomerados.

14) Descreva as propriedades de aglomerados regulares e irregulares em raios-X no que concerne à luminosidade L_x, à temperatura do gás emissor e à densidade central de galáxias.

R: Aglomerados regulares, além de terem pouca ou nenhuma subestrutura em emissão de raios-X, também tendem a ter maior densidade central, ter maior L_x e temperatura associada ao gás emissor também maior.