FIS02013 - Lista de questões sobre o Cap. 3 do PS, p. 98-104
Prof. Basílio X. Santiago

1) Deduzir a expressão 3.10 a partir da expressão 2.41. Deduzir também a expressão 3.11 a partir da lei exponencial 2.34 integrada em z.

R:

No caso da lei de de Vaucouleurs:

$$I(R) = I_e exp(-7.67[(R/R_e)^{1/4} - 1])$$

$$\mu(R) = -2.5 log I(R)$$

$$\mu(R) = -2.5 log I_e + 2.5x7.67x[(R/R_e)^{1/4} - 1]xloge$$

$$\mu(R) = \mu_e + 8.33[(R/R_e)^{1/4} - 1]$$

No caso da lei exponencial, vimos que integral da 2.34 ao longo da perpendicular ao plano do disco resulta em:

$$\Sigma(R) = 2n'_0 h'_z exp(-R/h_R)$$

onde n'_0 e h'_z são uma combinação dos valores de densidade central e escala vertical dos diferentes componentes disco. Se associarmos a densidade superficial de estrelas no plano do disco ao brilho superficial (certamente o caso de uma galáxia vista de frente, dita *face-on*), temos então :

$$I(R) = I_0 exp(-R/h_R)$$

$$\mu(R) = -2.5 log I(R)$$

$$\mu(R) = -2.5 log I_0 + 2.5(R/h_R) loge$$

$$\mu(R) = \mu_0 + 1.09(R/h_R)$$

2) O que é a lei de Freeman? Defina o que são galáxias de baixo brilho superficial.

R:

A lei de Freeman, formulada na década de 1970, atribui um valor aproximado de $\mu_{0,B} = 21.5$ mag arcsec^{-2} para o brilho superficial central de galáxias disco Sa a Sc a algo em torno de uma magnitude mais fraco para as Sd. Posteriormente foi constatado que há muitas galáxias com intensidade central menor, revelando que a Lei de Freeman reflete em parte um efeito de seleção , pelo qual galáxias de maior brilho central são mais facilmente detectadas. As galáxias cujo brilho central é muito mais tênue do que o valor das espirais mais facilmente amostradas são chamadas de galáxias de baixo brilho superficial.

3) Qual a melhor orientação para se estudar discos espessos extragalácticos? Justifique sua resposta. Que parâmetro(s) se correlaciona(m) com a contribuição do disco espesso para a luminosidade total de uma galxia disco?

R:

Em galáxias vistas de perfil (ditas *edge-on*) o disco espesso segrega-se do fino, dominando a distribuição de intensidade fora do eixo maior da galáxia. Essa é a orientação mais favorável para o estudo desse componente.

O disco espesso contribui com uma fração significativa da luminosidade do disco de galáxias de baixa massa, com velocidade de rotação $V < 120km/s$, podendo por vezes ser mais luminoso do que o fino.

4) O brilho superficial do céu na banda B em Cerro Paranal (ESO) é de $\mu_B \simeq 21.5 mag\ arcsec^{-2}$ (Patat et al 2006, A&A, 455, 385). Qual a razão entre a intensidade central típica de uma galáxia espiral Sb e a intensidade do céu de Cerro Paranal? E no caso de uma Sd?

R:

Uma Sb típica tem um brilho superficial central igual ao brilho superficial do céu. Assim sendo a razão entre as intensidade é igual à unidade. No caso genérico temos:

$$\frac{I_0}{I_{ceu}} = 10^{-0.4(\mu_0 - \mu_{ceu})}$$

No caso de uma Sd, temos que $\mu_0 = 22.6$ mag arcsec^{-2}. Logo:

$$\frac{I_0}{I_{ceu}} = 10^{-0.4x(22.6-21.5)}$$

$$\frac{I_0}{I_{ceu}} = 10^{-0.4x1.1} = 0.36$$

5) O brilho superficial típico de um disco espesso numa galáxia de perfil é de $\mu_R = 26mag\ arcsec^{-2}$. Assumindo uma cor $B - R \simeq 1.5$ para um disco espesso, estime qual a razão entre o brilho típico de um disco espesso e o brilho do céu. Faça o mesmo para o componente halo de uma galáxia típica, para o qual $\mu_R = 27.5mag\ arcsec^{-2}$.

R:

$$\mu_B = \mu_R + (B - R)$$

No caso do disco espesso, temos

$$\mu_B = 26.0 + 1.5 = 27.5\ mag\ arcsec^{-2}$$

Usando a expressão da questão anterior temos:

$$\frac{I_0}{I_{ceu}} = 10^{-0.4x(27.5-21.5)} = 10^{-2.4} = 4x10^{-3}$$

Fazendo o mesmo para o halo temos

$$\frac{I_0}{I_{ceu}} = 10^{-0.4x(29.0-21.5)} = 10^{-3}$$

6) Deduza a expressão 3.12, seguindo a argumentação do livro sobre as curvas de rotação observada numa galáxia e esperada a partir da distribuição de matéria luminosa.

R:

$$V^2(R) = \frac{GM(R)}{R}$$

$$M(R) = \frac{RV^2}{G}$$

$$V_{lum}^2(R) = \frac{GM_{lum}(R)}{R}$$

$$M_{lum}(R) = \frac{RV_{lum}^2}{G}$$

$$M_{dark}(R) = M(R) - M_{lum}(R) = \frac{R}{G}(V^2 - V_{lum}^2)$$

7) Explique com suas palavras porque a determinação de massa em elípticas é mais difícil do que em espirais. Quais as duas principais evidências que sugerem que Es também têm grande quantidade de matéria escura?

R:

Já vimos que a maior parte da energia cinética das elípticas não está armazenada na velocidade de rotação , mas na dispersão de velocidades, a qual pode ser maior numa direção do que em outra. É justamente a esta anisotropia na dispersão de velocidades que a maioria das Es devem a sua forma.

A determinação de massa de uma galáxia via teoremas do virial exige que se determine a sua energia cinética, o que, pelo exposto acima, é uma tarefa mais complexa em Es.

Tome por exemplo uma galáxia E0, ou seja, de aparência circular no plano do céu. Ao medirmos sua dispersão de velocidades central, σ_0, sua aparência circular pode nos tentar a assumir que a galáxia é esférica e que as órbitas são isotrópicas. Neste caso, a medida de σ_0 seria adequada para estimar a energia cinética da galáxia.

Mas se na verdade a galáxia em questão for prolata com o eixo maior orientado com a linha de visada, σ_0 será o valor máximo de dispersão de velocidades para este objeto. A massa baseada nesta medida será então superestimada assumindo esfericidade e isotropia. Se, pelo contrário, estivermos observando um esferoide oblato ao longo do seu eixo menor, estaremos subestimando a massa.

Espectroscopia espacialmente resolvida ao longo de vários eixos sobre a imagem de uma galáxia permite o modelamento de sua dinâmica interna, levantando parcialmente as incertezas quanto à sua forma verdadeira, quantidade de suporte rotacional e anisotropia na dispersão de velocidades.

Mas a maior evidência em favor da existência de matéria escura nas Es é dada pela emissão de raios-X em torno de alguns exemplares, em geral opticamente luminosos, desses objetos. Essa radiação de alta energia é emitida por gás ionizado a alta temperatura, da ordem de 10^8 K. Assumindo que o gás está em equilíbrio hidrostático com a galáxia, é necessário incluir muito mais massa do que a observada para impedir que o gás se evapore em uma escala de tempo relativamente curta, de algumas centenas de milhões de anos.

8) Descreva qualitativamente as curvas de rotação de galáxias disco e como elas variam com a luminosidade e com o subtipo morfológico.

R:

A velocidade de rotação aumenta rapidamente nas regiões centrais, atingindo um valor máximo, o qual se mantém aproximadamente constante ou decai muito suavemente com a distância galactocêntrica. O valor máximo da curva, v_{max}, assim como o gradiente interno de aumento da velocidade, ambos aumentam com a luminosidade da espiral.

Valores médios de v_{max} dependem do subtipo de espiral, sendo maiores para as Sa e decrescendo ao longo da sequência de Sb a Sd.

9) Como a cor integrada e a fração de massa na forma de gás variam ao longo da sequência de espirais?

R:

A cor integrada apresenta uma variação sistemática ao longo da sequência de espirais, no sentido de que as Sa são mais vermelhas e as Sd as mais azuladas. Isso significa que as *late types* têm uma fração de massa na forma de estrelas jovens. De forma consistente, essas galáxias também têm proporcionalmente mais gás do que as espirais com maior razão bojo/disco.

10) Como são os gradientes de cor ao longo dos discos e quais as explicões para sua ocorrência?

R:

Em geral, discos apresentam um gradiente de cor no sentido de serem mais vermelhos nas regiões centrais. Esse gradiente pode ser o efeito combinado de dois fatores: metalicidade e idade. A metalicidade costuma ser maior nas regiões centrais, sendo que estrelas mais ricas em metais são mais vermelhas a uma massa e idade fixas. Quanto à idade, há mais gás disponível para formação estelar nas regiões mais externas.

11) Defina frequência específica de aglomerados estelares. Que valores típicos essa grandeza tem para galáxias Es e galáxias disco?

R:

A frequência específica, S_N, é uma medida do número de aglomerados por unidade de luminosidade. Ela é dada pela seguinte expressão :

$$S_N = N_{gc} 10^{-0.4(M_V+15)}$$

onde N_{gc} é o número de aglomerados da galáxia e M_V é a sua magnitude absoluta. Então podemos interpretar S_N como sendo uma medida do tamanho do sistema de aglomerados que a galáxia teria se sua luminosidade fosse escalonada para o valor $M_V = -15$, assumindo-se que N_{gc} é proporcional à luminosidade.

$S_N \simeq 1.2$ para as Sa e Sb, sendo menor do que isso para as disco *late-types*. Para as Es, S_N é maior tipicamente do que em espirais, atingindo valores da ordem de 5 a 10 para algumas cDs.

12) Explique como a relação de escala Tully-Fisher pode ser usada para estimar a distância de uma galáxia. Estabeleça uma relação envolvendo a magnitude medida de uma galáxia, sua velocidade rotacional máxima e sua distância.

R:

$$L \propto V_{max}^{\alpha}$$

Tomando o logaritmo de ambos os lados e multiplicando por -2.5 temos:

$$M = -2.5logL + cte = -2.5\alpha \; logV_{max} + cte$$

$$m = M + 5logd(pc) - 5 = -2.5\alpha \; logV_{max} + 5logd(pc) - 5$$

Medindo a magnitude aparente m e determinando V_{max}, podemos inferir a distância da galáxia. Isso, claro, supõe ainda que assumamos um valor para $\alpha(\simeq 4)$.

13) Deduza a expressão 3.17, seguindo os argumentos expostos no livro.

R:

Usando o teorema do virial sob a premissa de que toda a energia cinética da galáxia está na rotação do seu disco, temos

$$V_{max}^2 = \frac{GM}{R} = \frac{M}{L}\frac{GL}{R}$$

Elevando ao quadrado:

$$V_{max}^4 = \left(\frac{M}{L}\right)^2 G^2 < I > L$$

onde $< I >= L/R^2$ é o brilho superficial médio. Logo:

$$L = V_{max}^4 \left(\frac{M}{L}\right)^{-2} G^{-2} < I >^{-1}$$

14) Utilizando o teorema do virial

$$M = \frac{\sigma_0^2 R_e}{G}$$

e assumindo uma razão M/L igual para todas as galáxias elípticas, deduza uma expressão semelhante ao plano fundamental, eq. 3.25, mas com coeficientes um pouco diferentes.

R:

$$M = \frac{\sigma_0^2 R_e}{G}$$

$$R_e = \frac{GM}{\sigma_0^2}$$

$$R_e \sigma_0^2 = G\left(\frac{M}{L}\right) L$$

$$R_e \sigma_0^2 = G\left(\frac{M}{L}\right) < I > R_e^2$$

$$log R_e = 2 log \sigma_0 + 0.4 < \mu > + cte$$

Note que o último passo da dedução acima presume que a razão M/L é a mesma para todas as elípticas.

15) Deduza as relações 3.27, usando 3.26.

R:

Pelo teorema do virial, temos

$$R_e = \sigma_0^2 G^{-1} \left(\frac{M}{L}\right)^{-1} < I >^{-1}$$

$$\left(\frac{M}{L}\right) \propto R_e^{-1} \sigma_0^2 < I >^{-1}$$

Mas pela relação do Plano Fundamental temos:

$$R_e \propto \sigma_0^{1.4} < I >^{-0.85}$$

Substituindo uma na outra temos:

$$\left(\frac{M}{L}\right) \propto \sigma^{-1.4} < I >^{0.85} \sigma_0^2 < I >^{-1}$$

$$\left(\frac{M}{L}\right) \propto \sigma^{0.6} < I >^{-0.15}$$

$$\left(\frac{M}{L}\right) \propto \sigma^{0.6} < L >^{-0.15} R_e^{0.3}$$

$$\left(\frac{M}{L}\right) \propto \frac{M^{0.3}}{R_e{}^{0.3}} < L >^{-0.15} R_e^{0.3}$$

$$\left(\frac{M}{L}\right) \propto \frac{M^{0.3}}{R_e{}^{0.3}} < L >^{-0.15} R_e^{0.3}$$

$$\left(\frac{M}{L}\right)^{0.85} \propto M^{0.15}$$

$$\left(\frac{M}{L}\right) \propto M^{0.18}$$