

Astrofísica Extragaláctica

Lista 2 – Galáxias Resolução

Henrique Sarti Pires
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Curitiba - 2022

Parte A

1. Classificação morfológica.

- (a) Descreva em linhas gerais como variam ao longo da sequência de Hubble as propriedades: conteúdo de gás, taxa de formação estelar, cores das estrelas, idades das estrelas.

- Em contraste, observações na linha de 21 cm, que revela a distribuição do gás hidrogênio, mostra a existência de um disco de gás similar ao das galáxias espirais. As galáxias irregulares também lembram as espirais no seu conteúdo estelar, que inclui estrelas jovens e velhas. Assim a fração de gás cresce ao longo da sequência de Hubble.

- O modelo clássico de formação e evolução de galáxias propõe que as galáxias se formaram pelo colapso de grandes nuvens de gás em contração, e que o tipo de galáxia formada dependeria das condições iniciais - densidade e momentum angular dessa nuvem. Essas condições definiriam a rapidez com que se teria dado a formação estelar (taxa de formação estelar) na nuvem.

A ideia é que em nuvens com alta densidade e baixa rotação, a taxa de formação estelar era alta, fazendo com que praticamente todo o gás fosse consumido rapidamente, resultando uma galáxia elíptica, de forma ovalada e com pouco gás para dar origem a novas estrelas.

Em nuvens com baixa densidade e alta rotação, a taxa de formação estelar era baixa, de forma que as estrelas se formaram aos poucos sem consumir todo o gás; devido à rotação alta, à medida que a nuvem contraía o gás não consumido foi se depositando em um disco, resultando uma galáxia espiral, com gás suficiente para manter formação estelar até a época atual.

Assim a formação estelar ocorre nos discos.

- As galáxias ficam mais azuis ao longo da sequência de Hubble.

- As estrelas jovens e massivas são azuis, enquanto as mais velhas (e menos massivas) são mais vermelhas, ou seja, essas correlações mostram que a fração de estrelas jovens cresce ao longo da SH.

(b) Diga qual o tipo de cada galáxia: E0, E4, cD, SBc, Irr, Sbc, dSph, S0.

-E0, E4: galáxias elípticas comuns, sendo a E4 tendo uma razão do eixo de $b/a=0.6$, e E0 circular, ao longo da sequência vai se “achatando”.

-S0: é uma galáxia de transição, uma galáxia disco sem ter braços espirais.

-SBc e Sbc: Galáxias espirais barradas, consistem em um disco com estrutura de braço em espiral e um bojo central.

-dSph: Galáxia elíptica esferoidais anões exibem uma luminosidade muito baixa e brilho superficial.

-cD: Galáxia elíptica, estes são extremamente luminosos e grandes galáxias que são apenas encontrado perto dos centros de aglomerados densos de galáxias. Seu brilho da superfície é muito alto perto do centro, eles ter um envelope difuso estendido, e eles têm um muito.

-Irr: galáxias irregulares.

2. Relações de escala. Descreva o que são:

(a) Relação de Kormendy:

É uma relação de escala observada entre os raios eficazes das galáxias elípticas e seus brilhos superficiais no raio efetivo. Isso é mostrado na imagem à esquerda onde o raio efetivo é traçado no eixo x e o brilho da superfície no raio eficaz traçado no eixo y.

A relação indica que no raio efetivo, galáxias grandes (massivas) são mais fracas que pequenas galáxias. Isso, por sua vez, indica que as galáxias grandes são menos densas do que as pequenas galáxias – uma consideração importante para modelos de formação de galáxias.

(b) Relação de Faber-Jackson:

No caso de galáxias elípticas, se pudermos medir a dispersão da velocidade estelar central, o que pode ser feito de forma relativamente fácil usando espectroscopia para medir o deslocamento Doppler da luz emitida pelas estrelas, então pode-se obter uma estimativa da verdadeira luminosidade das estrelas / galáxia através da relação Faber-Jackson. Isso pode ser comparado à magnitude aparente da galáxia, que fornece uma estimativa do módulo de distância e, portanto, a distância até a galáxia.

Ao combinar a dispersão da velocidade central de uma galáxia com medições de seu brilho de superfície central e parâmetro de raio, é possível melhorar ainda mais a estimativa da distância da galáxia

(c) Relação de Tully-Fisher.

É uma relação empírica entre a massa ou luminosidade intrínseca de uma galáxia espiral e sua velocidade de rotação assintótica ou largura da linha de emissão. A

luminosidade é calculada multiplicando o brilho aparente da galáxia por, onde está sua distância de nós, e a largura da linha espectral é medida usando espectroscopia de fenda longa Relação Tully-Fisher.

3. **Cor-magnitude.** Explique o significado dos termos: red sequence, blue cloud e green valley.

R: A red sequence inclui a maioria das galáxias vermelhas, que geralmente são galáxias elípticas. A blue cloud inclui a maioria das galáxias azuis, que geralmente são espirais. Entre as duas distribuições há um espaço subpovoado conhecido como green valley, que inclui várias espirais vermelhas.

Parte B

4. **Brilho superficial.** Uma galáxia elíptica gigante tem brilho superficial de $u_v = 17 \text{mag. arcsec}^{-2}$ na sua região central.

(a) Quanto vale isso em L^{-2} ?

Considerando que estamos visualizando a galáxia na banda I então obtemos que $M_v(V - I) = 4,11 \text{mag}$, assim então:

$$m - M_0 = -2,5 \log \frac{f}{F_0} \quad (1)$$

$$u - u_0 = -2,5 \log \frac{f/\alpha^2}{F_0 \alpha^2} \quad (2)$$

Sabendo que $d = 206265 \text{pc}$, então para descobrir u_0 :

$$u_0 - 4,83 = 5 \log d - 5$$

$$u_0 = 26,4 \text{mag. arcsec}^{-2}$$

Portando Voltando na equação (2)

$$u - u_0 = -2,5 \log \frac{f/\alpha^2}{F_0 \alpha^2}$$

$$u - u_0 = -2,5 \log \frac{\Sigma}{\Sigma_0}$$

$$\Sigma = 10^{\frac{u_0 - u}{2,5}}$$

$$\Sigma = 5754,4 L_0 \text{pc}^2$$

- (b) Supondo que a luminosidade seja dominada por estrelas com $M_V = 2.5$, qual é a densidade superficial dessas estrelas?

$$M = -2,5 \log \left(\frac{L}{L_0} \right)$$

$$L = l_0 \cdot 10^{\frac{-M}{2,5}}$$

Onde $L_0 = 3 \times 10^{28}$ e $L_{\odot} = 3,6 \times 10^{26} \rightarrow L = 8,33 L_{\odot}$, dividindo agora o brilho superficial pela luminosidade temos:

$$\frac{I_v}{L} = \frac{5754,4}{8,33}$$

$$\frac{I_v}{L} = 690,8 \text{pc}^{-2}$$

5. **Perfil de de Vaucouleurs.** Partindo do perfil de brilho (em $L \odot pc^{-2}$) expresso na forma:

$$\Sigma(R) = \Sigma_e e^{-7.67 \cdot [(\frac{R}{R_e})^{\frac{1}{4}} - 1]}$$

- (a) Mostre que fica o perfil de brilho, em termos de μ (em mag arcsec $^{-2}$):

Para o brilho superficial central $\Sigma(r = 0)$:

$$\Sigma_0 = \Sigma_e \cdot e^{-7.67} \approx 2143 \Sigma_e$$

Como o brilho superficial (em mag arcsec $^{-2}$) é $u_\alpha - 2.5 \log \Sigma$, temos que $u_0 \approx u_e - 8.33$

pegando a formula:

$$\log(\frac{I(R)}{I_0}) = -3.3307 [(\frac{R}{R_e})^{\frac{1}{4}} - 1]$$

Reescrevendo a função, podemos escrever $\log \frac{I(R)}{I_0}$ em função de u_0 assim obtemos

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

Trocando $u_0 = u_e - 8.33$

$$u(R) = u_e + 8.33 [(\frac{R}{R_e})^{\frac{1}{4}} - 1]$$

- (b) Mostre que a luminosidade total é:

$$L = \int_0^\infty 2\pi R \Sigma(R) dR$$

$$L = \int_0^\infty 2\pi \Sigma_e e^{(-7.67 \cdot [(\frac{R}{R_e})^{\frac{1}{4}} - 1])} dR$$

$$\text{Trocando por } x = \frac{R}{R_e}$$

$$L = 2\pi R_e^2 \Sigma_e \int_0^\infty x e^{(-7.67 \cdot [(x)^{\frac{1}{4}} - 1])} dx$$

Resolvendo esta integral chegamos que seu resultado da 3,6, assim chegamos na seguinte equação:

$$L = 7.2\pi R_e^2 \Sigma_e$$

6. **IMF.** Considere um surto de formação estelar com função de massa inicial de Salpeter:

$$\phi(m) = cm^{-(1+x)} \quad (1)$$

Onde $x=1.35$ é uma constante.

- (a) Verifique a formulação da constante normalização c : (onde $m_1 = 0.1M_\odot$ e $m_2 = 100M_\odot$ são as massas mínima e máxima.)

Integrando a formula (1) da formação estelar em m_1 e m_2

$$\begin{aligned}
\int_{m_1}^{m_2} \phi(m) dm &= \int_{m_1}^{m_2} c m^{-1} (1+x) \\
1 &= c \int_{m_1}^{m_2} m^{-1} (1+x) \\
1 &= c \left(\frac{m_1^{-1} x}{x} - \frac{m_2^{-1} x}{x} \right) \\
1 &= c \left(\frac{1}{x m_1^x} - \frac{1}{x m_2^x} \right) \\
1 &= c \left(\frac{x m_1^x - x m_2^x}{x^2 m_1^x m_2^x} \right) \\
1 &= c \left(\frac{x m_2^x \left(-\frac{m_1^x}{m_2^x} + 1 \right)}{x^2 m_1^x m_2^x} \right) \\
1 &= c \left(\frac{\left(-\frac{m_1^x}{m_2^x} + 1 \right)}{x m_1^x} \right) \\
\frac{1}{c} &= \left(-\frac{\left(-\frac{m_1^x}{m_2^x} + 1 \right)}{x m_1^x} \right) \\
c &= \left(\frac{x m_1^x}{\left(-\frac{m_1^x}{m_2^x} + 1 \right)} \right)
\end{aligned}$$

(b) Qual a massa média das estrelas?

Calculando a constante 'c' com os dados que foi passado no exercício dos valores de massa min. e max. obtemos $c = 0,06$

Agora apenas integrando a formula trocando os limites de integração e colocando a constante (c) descoberta temos:

$$\begin{aligned}
\phi &= \int_{0.1}^{100} 0,06 m^{-2,35} m dm \\
\phi &= 0,06 \int_{0.1}^{100} m^{-1,35} dm \\
\phi &= 0,35 M_{\odot}
\end{aligned}$$

(c) Qual a fração de estrelas com massas abaixo de $1 M_{\odot}$?

$$\begin{aligned}
\phi &= \int_{0.1}^1 0,06 m^{-2,35} m dm \\
\phi &= 0,06 \int_{0.1}^1 m^{-1,35} dm \\
\phi &= 0,95 M_{\odot}
\end{aligned}$$

95% das estrelas tem uma massa menor que a do sol.

(d) Qual a fração de estrelas com massas acima de $8 M_{\odot}$?

$$\begin{aligned}
\phi &= \int_8^{100} 0,06 m^{-2,35} m dm \\
\phi &= 0,06 \int_8^{100} m^{-1,35} dm \\
\phi &= 0,0026 M_{\odot}
\end{aligned}$$

0,26% das estrelas terminarão em supernovas.

7. **Síntese de populações.** Suponha que uma galáxia contenha 3 tipos de estrelas: O5, A0 e M0, todas na sequência principal e com IMF de Salpeter. Dados de massas, cores e luminosidades das estrelas estão na tabela a seguir. (a) Qual é a cor (B – V) da galáxia? (b) Suponha agora que todas as estrelas tipo O já tenham morrido e determine a nova cor (B – V).

tipo	$m (M_{\odot})$	$(B - V)$	$L_V (L_{\odot})$
O5 V	40	-0.35	2.5×10^5
A0 V	4	0.00	80
M0 V	0.5	1.45	0.06

Para calcular a cor, use a seguinte expressão onde já está incluída a constante de calibração entre os pontos zero dos dois filtros em questão:

$$(B - V) \cong 0.75 - 2.5 \cdot \log \frac{L_b}{L_v} \quad (1)$$

(a) reescrevendo a função dada para achar o L_b , obtemos:

$$L_b = L_v \cdot 10^{\frac{(B-V)-0,75}{-2,5}}$$

Calculando L_B e também calcular as frações de massa cada tipo de estrela:
Para O5V:

$$\begin{aligned} L_b &= 2,5 \times 10^5 \cdot 10^{\frac{-0,35-0,75}{-2,5}} \\ L_b &= 6,9 \times 10^5 L_{\odot} \\ f_{O5V} &= \int_{30}^{100} 0,06 \cdot m^{-2,35} dm \\ f_{O5V} &= 0,00036 \end{aligned}$$

Para A0V:

$$\begin{aligned} L_b &= 80 \cdot 10^{\frac{0-0,75}{-2,5}} \\ L_b &= 160 L_{\odot} \\ f_{AOV} &= \int_1^{30} 0,06 \cdot m^{-2,35} dm \\ f_{AOV} &= 0,04399 \end{aligned}$$

Para M0V:

$$\begin{aligned} L_b &= 0,06 \cdot 10^{\frac{1,45-0,75}{-2,5}} \\ L_b &= 0,03 L_{\odot} \\ f_{MOV} &= \int_{0,1}^1 0,06 \cdot m^{-2,35} dm \\ f_{MOV} &= 0,9505 \end{aligned}$$

Agora para saber a cor da Galaxia voltamos na equação (1)

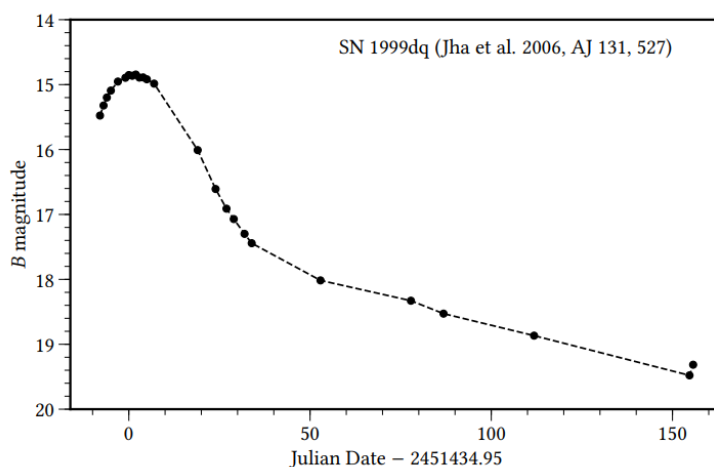
$$\begin{aligned} (B - V) &\cong 0.75 - 2.5 \cdot \log \frac{L_b}{L_v} \\ (B - V) &\cong 0.75 - 2.5 \cdot \log \frac{(6,9 \times 10^5 \cdot 0,00036) + (160 \cdot 0,04399) + (0,03 \cdot 0,9505)}{(2,5 \times 10^5 \cdot 0,00036) + (80 \cdot 0,04399) + (0,06 \cdot 0,9505)} \\ (B - V) &\cong -0,341 \end{aligned}$$

- (b) Supondo estrelas do tipo O já tenham morrido, apenas retirá-las da conta, ficando assim:

$$(B - V) \cong 0.75 - 2.5 \cdot \log \frac{(160.0,04399) + (0,03.0,9505)}{(80.0,04399) + (0,06.0,9505)}$$

$$(B - V) \cong 0,0105$$

8. **Determinação de distâncias.** A figura a seguir é a curva de luz de uma supernova. Estime a distância da supernova. Para isso, consulte uma calibração em magnitude absoluta, por exemplo, Riess et al. (1998)



$$m - M = 5 \log d - 5$$

Onde, m é a magnitude aparente pode ser obtida através do pico do gráfico da questão, ou seja, $m = 14,6$, e M é a magnitude absoluta, que pode ser obtida no menor ponto do gráfico, sendo $M = -19,4$, assim alterando na fórmula de magnitude:

$$d = 10^{\frac{m-M+5}{5}}$$

$$d = 10^{\frac{14,6 - (-19,4) + 5}{5}}$$

$$d \cong 63 \text{ Mpc}$$

Parte C

9. Função de luminosidade de Schechter

Neste exercício computacional os resultados serão enviados no arquivo com os códigos com passo a passo, encaminhado em conjunto a este arquivo