Estudo Espectroscópico da Galáxia Isolada IC2007

Vítor de Oliveira Silva¹; Paulo César da Rocha Poppe²

1. Bolsista PIBIC/Fapesb, Graduando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: vtorfsa1@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: paulopoppe@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Galáxias Isoladas – Espectroscopia – Redução de Dados

INTRODUÇÃO

Uma galáxia pode ser definida como um grande sistema onde a força da gravidade desempenha o papel fundamental dentre as demais forças fundamentais da natureza. Sua composição pode ser descrita pela presença de estrelas, remanescentes de estrelas, um meio interestelar de gás, poeira e raios cósmicos, e ainda de matéria escura, que parece corresponder com cerca de 90% da massa da maioria das galáxias. Exemplos de galáxias variam desde as anãs, com até 10 milhões (10^7) de estrelas (ex.: a galáxia elíptica anã de Sargitário, uma satélite da Via Láctea), até gigantes com cem trilhões (10^{14}) de estrelas (como a elíptica gigante *Messier* 87). Dados observacionais de alta resolução sugerem que podem existir buracos negros supermassivos no centro de muitas delas. Desse modo, acredita-se, com base na evidências desses resultados observacionais, que os buracos negros sejam o impulsionador principal dos AGN (“Active Galactic Nuclei” ou “Núcleo Galáctico Ativo”), i.e., uma região compacta no centro de algumas galáxias que tem uma luminosidade muito maior do que a comum. A Via Láctea parece possuir pelo menos um desses objetos.

As galáxias foram historicamente classificadas segundo sua forma aparente, usualmente referida como sua morfologia visual. Excetuando os fatores que interferem na observação de solo (sobretudo atmosféricos), as galáxias possuem características bem diferentes quando comparados em termos de suas composições estelares, taxas de formação estelar, composições químicas, gás, poeira, etc (Kenicutt 1998). As galáxias atualmente conhecidas, cujas constituições são, por exemplo, semelhantes as da Via Láctea (um morfologia espiral barrada com bojo, disco estelar e gasoso, halo estelar e de matéria escura), apresentam aspectos diversos resultantes não apenas da distribuição das estrelas que as compõem, mas também dos processos dinâmicos intrínsecos das mesmas.

De acordo com as observações no visível, as galáxias podem ser alocadas em uma sequência morfológica bem definida que, de forma simplificada, são agrupadas em três categorias, conforme definido por Hubble (1926) e atualizado posteriormente: elípticas, lenticulares, espirais e irregulares (ver Figura 1). O processo de interação gravitacional envolvendo galáxias no universo local representa, atualmente, um fenômeno bastante comum. Os diversos tipos morfológicos observados (incluindo nestes as galáxias peculiares) podem ter sua origem, parcial ou total, associado ao fenômeno de interação, e não na evolução dinâmica do objeto em um estado físico isolado. Esta propriedade perturbativa e os resultados obtidos sugerem fortemente uma revisão do nosso ponto de vista sobre a classificação e a

evolução destes objetos. De forma simplificada, a interação gravitacional entre galáxias pode se dividir em três classes: (i) colisão (“*collision*”), onde uma galáxia atravessa a outra caracterizando uma seção eficaz de impacto, (ii) fusão (“*merging*”), onde os objetos envolvidos combinam-se em um único e, (iii) efeito de maré (“*tidal interaction*”), onde uma galáxia passa próxima de uma companheira.

Neste trabalho, iremos estudar a galáxia espiral IC 2007, considerada como um objeto isolado segundo os critérios descritos anteriormente. Uma hipótese para essa característica pode está associada ao processo de fusão (de 2 ou mais objetos), onde as técnicas de fotometria e de espectroscopia podem fornecer importantes pistas sobre a natureza destes objetos.

Figura 1. Classificação morfológica (não evolutiva) das galáxias proposta por Hubble. Fonte: Brandt 2017.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

A observação da galáxia com o conjunto telescópio, espectrógrafo e rede de difração, fornece um espectro bidimensional, onde o eixo vertical representa a dispersão, i.e., o sinal espectral da galáxia estudada. Uma vez obtido o espectro, torna-se necessário o procedimento de redução, que significa transformar o mesmo em um resultado que possa ser explorado cientificamente, calibrado em fluxo ($\text{ergs/cm}^2/\text{s}/\text{\AA}$) e em comprimento de onda ($\text{\AA}$). Todo o processo é feito com as tarefas presentes no software IRAF (Image Reduction and Analysis Facility, Tody 1986), versão V2.16.1 instalado em um PC desktop com a distribuição Linux Ubuntu. Os procedimentos básicos na redução de dados espectroscópicos são: subtração de bias, correção de flat field, remoção de raios cósmicos, subtração do céu, extração do espectro para o objeto observado, calibração em comprimento de onda, calibração em fluxo, combinação dos espectros unidimensionais para cada abertura, eliminação de efeitos residuais devido a raios cósmicos (van Dokkum 2001), *desavermelhamento* interestelar (*foreground* da Galáxia), correção em comprimento de onda devido à recessão do objeto para cada abertura, e reamostragem da escala de comprimento de onda para a realização da síntese de populações (mais especificamente para permitir a leitura do espectro com o código STARLIGHT).

Para combinar os bias frames é utilizada a tarefa zerocombine, o frame será uma média descartando os de pior e os de maior valor para cada posição de pixel.

Os flats foram combinados utilizando a tarefa flatcombine.

O cálculo da síntese espectral foi realizada com o código STARLIGHT (*SEAGal - Semi-Empirical Analysis of Galaxies*), Cid Fernandes et al. (2004, 2005, 2007).

De forma resumida, as diferentes técnicas existentes de síntese espectral podem ser classificadas em duas linhas: (i) síntese de população estelar evolutiva e (ii) síntese de população estelar semi-empírica. O primeiro procura comparar os dados observados da galáxia com modelos que seguem a evolução de um sistema estelar inteiro, através da combinação de bibliotecas com caminhos evolutivos e espectros estelares. O segundo utiliza a informação contida nos espectros (como descritos em Kenicutt 1998), como elementos de partida para se extrair as populações estelares existentes. Ambas técnicas apresentam vantagens e desvantagens, e diferenças em relação ao conjunto de observáveis que são sintetizados.

A comparação entre os dados observacionais e os modelos gerados é realizada em termos dos chamados “índices espectrais”, i.e., larguras equivalentes de linhas de absorção com emissão e cores (razões de fluxo em diferentes comprimentos de onda). Nesse sentido, os índices de Lick (Trager et al. 1998) e os definidos por Bica (1988) estão entre os mais usados para fins de síntese espectral. Porém, embora contenham importantes informações espectrais, tais índices são, infelizmente, uma versão resumida do espectro real observado. Logo, é desejável que a comparação entre observação e modelo seja feita para todos os comprimentos de onda, pixel a pixel. Este trabalho se dedica a tal estudo, através da síntese de população estelar semi-empírica STARLIGHT (*SEAGal - Semi-Empirical Analysis of Galaxies*), Cid Fernandes et al. (2004, 2005, 2007).

Basicamente, o método baseado no STARLIGHT consiste em modelar um espectro observado O_λ usando uma combinação linear com coeficientes positivos dos elementos de uma base, que pode ser constituída tanto por observações (estrelas ou combinações de estrelas) ou por modelos teóricos (estrelas e populações estelares empíricas) de diferentes idades e metalicidades. Uma gaussiana é incluída para dar conta da cinemática e um termo para a extinção por poeira, de acordo com a equação:

$$M_\lambda = M_{\lambda 0} \left[\sum_{j=1}^{N_s} x_j T_{j,\lambda} r_\lambda \right] \otimes G(v_s, \sigma_s)$$

onde M_λ é o espectro sintético e $M_{\lambda 0}$ um fator de normalização, definido como o fluxo total de M_λ no comprimento de onda λ_0 ; $T_{j,\lambda}$ representa o espectro da j -ésima componente da base, normalizado em λ_0 ; x_j é a fração com que cada elemento $T_{j,\lambda}$ da base contribui para o fluxo de M_λ ; $r_\lambda \equiv 10^{-0.4(A_\lambda - A_{\lambda 0})}$ leva em conta os efeitos de extinção por poeira. $G(v_s, \sigma_s)$ é uma distribuição gaussiana de velocidades na linha de visada, centrada em v_s e alargada por σ_s . O símbolo $\otimes$ expressa uma convolução.

O melhor ajuste definido é aquele que minimiza o χ^2 entre o espectro observado (O_λ) e o modelo (M_λ):

$$\chi^2 = \sum_\lambda [(O_\lambda - M_\lambda) \omega_\lambda]^2$$

onde ω_λ é o inverso do ruído em O_λ . O algoritmo de Metropolis em conjunto com o “Simulated Annealing” (MacKay 2003) é empregado para evitar que o ajuste prenda-se por mínimos locais. Características espectrais não desejáveis no ajuste, ou por serem muito ruidosas ou por não estarem contempladas na base, podem ser mascaradas com a definição $\omega_\lambda = 0$. Simulações e testes empíricos para verificar a confiabilidade deste método na

recuperação de propriedades galácticas também serão discutidos. Usaremos as trajetórias evolutivas de Padova 1994, recomendado por Bruzual & Charlot (2003), com a função de massa inicial de Chabrier (Chabrier 2003), entre 0,1 e 100 Msolar.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

A partir dos diagramas de diagnóstico de Coziol et al. 1999 e Pérez-Montero 2013, classificamos IC 2007 como uma galáxia do tipo HII, i.e., uma galáxia com de formação estelar, conforme pode ser observado no alto valor da linha do H β , no qual representa um dos indicadores primários de formação estelar no visível.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

Realizamos a redução espectroscópica da galáxia isolada IC2007. Este projeto permitiu obter o conhecimento necessário sobre os processos de redução com o software IRAF. Os resultados obtidos foram satisfatórios e coerentes com os valores publicados na literatura, tanto para a velocidade radial heliocêntrica, quanto para a classificação do objeto, uma galáxia HII, evidenciado pela presença do indicador no óptico de formação estelar, a linha H β .

No que tange a sua natureza, não podemos afirmar com segurança que este objeto foi formado pela fusão de uma ou mais galáxias, uma vez que não detectamos algum indício de um segundo núcleo no espectro estudado. Mas, certamente, os dois outros processo possíveis de colisão e de maré, estão descartados. Um estudo fotométrico nas bandas UBVRI poderá fornecer pistas para uma definitiva conclusão da sua natureza nuclear. Como este objeto é relativamente brilhante, 13,68 mag, iremos realizar em breve uma série de observações fotométricas como o telescópio CDK20 de 50,8cm, de forma a explorar o máximo esta galáxia isolada.

REFERÊNCIAS

- Brandt, W. N. Astro 1: ‘Slides’ for Class 21 - Examples of Galaxies. 2017. Disponível em: <<http://personal.psu.edu/wnb3/astro1/slideshows/class21/slides-21.html>>.
- Chabrier, G. Galactic stellar and substellar initial mass function. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 2003. IOP Publishing, v. 115, n. 809, p. 763, 2003.
- Cid Fernandes R., Gu Q., Melnick J., et al., 2004, MNRAS, 355, 273
- Cid Fernandes R., Mateus A., Sodré L., et al., 2005, MNRAS, 358, 363
- Cid Fernandes R., Asari N.V., Sodré L., et al., 2007, MNRAS, 375, 15
- Coziol, R. et al. The abundance of nitrogen in starburst nucleus galaxies. Astron. Astrophys, 1999. v. 345, p. 733–746, 1999.
- Karachentseva V.E., Mitronova S.N., Melnyk O.V., Karachentsev I.D., 2010, ASPC, 421, 11
- Kennicutt, R. Star formation in galaxies along the hubble sequence. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 1998. v. 36, n. 1, p. 189–231, 1998.
- Kurtz M.J., Mink D.J., Wyatt W.F., et al. 1992, in Astronomical Data Analysis Software and Systems I, ASP Conf, Ser., Vol. 24, eds. D.M., Worral, C. Biemesdrefer, and J. Barnes, 432
- Kurtz M.J., Mink D.J., 1998, PASP, 110, 924
- Pérez-Montero E., Contini T., Lamareille F., et al., 2013, A&A, 549, 25
- Tody D., 1986, PROCSPiE, 627, 733
- van Dokkum P.G., 2001, PASP, 113, 1420