



# Artigo Espectroscopia IFU da Galáxia MegaMASER de OH IRAS 06487+2208: Excitação e Cinemática do Gás

Silva, D.A.<sup>1</sup>, Sales, D.A.<sup>1</sup>, Riffel, R.A.<sup>2</sup>, Cassanta, C.M.<sup>2</sup>, Carpes, H.P.<sup>3</sup>, Robinson, A.<sup>4</sup>, Gallimore, J.F<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande: <u>douglas.as1999@gmail.com</u>

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Maria: rogemar@ufsm.br

<sup>3</sup> Universidad Tecnológica del Uruguay: <u>hekatelyne.carpes@gmail.com</u>

<sup>4</sup> Rochester Institute of Technology: <u>axrsps@rit.edu</u>

<sup>5</sup> Bucknell University: jgallimo@bucknell.edu

Received: 18/01/2024; Accepted: 25/01/2024; Published: 31/01/2024

**Resumo:** Este trabalho mostra um estudo sobre a galáxia megamaser de OH (OHMG) IRAS 06487+2208 onde o principal objetivo é fazer ajuste do cubo de dados e mapear quais elementos compõe o gás dessa galáxia, com isso podemos fazer um estudo da cinemática gasosa e classificar este sistema no cenário de evolução de galáxias, acreditase que emissão do magamaser de OH (OHM) é uma característica importante das galáxias [ultra] luminosas no infravermelho ([U]LIRGs), a presença dessa emissão no espectro de galáxias pode ser um sinal tanto de atividade nuclear térmica devido as estrelas que compõe a galáxia, e também da subsistência de um disco de gás circum-nuclear, análogo ao toro hipotetizado pelo modelo unificado de galáxias ativas (AGN). Para esse projeto utilizamos dados espectroscópicos no óptico obtidos com o GMOS/GEMINI, imagens da banda I (F814W) obtidas pelo telescópio espacial Hubble (HST) e dados em Rádio com o VLA.

Palavras-chave: Megamasers; ULIRGs; AGN; IFU

# 1. Introdução

Sabe-se que as fusões de galáxias desempenham um papel importante na evolução do universo, formando enormes halos através de inúmeras fusões sendo o mecanismo central para a formação de estruturas nas cosmologias ACDM (BLUMENTHAL, 1984). Indicações observacionais e simulações cosmológicas sugerem que as galáxias mais massivas são formadas em grandes fusões, enquanto o crescimento de galáxias de massa intermediária é impulsionado por fusões menores ou acréscimo de gás frio (SILK, 2012). Neste cenário, as populações de galáxias infravermelhas luminosas opticamente fracas (LIRGs) descobertas pelo Infrared Astronomical Satellite (IRAS) na década de 1980 (SOIFER, 1984) são de grande interesse para estudo, pois incluem muitos exemplos de grandes fusões ricas em gás e fortes interações (SANDERS, 1988; VEILLEUX, 2003). As altas luminosidades infravermelhas desses objetos surgem devido à poeira aquecida por estrelas ou por núcleos galácticos ativos (AGN), que se acredita serem desencadeados por influxos de gás movidos pelas marés e torques gerados pela interação (BARNES, 1992). Existem duas subdivisões principais dessa população de galáxias: as galáxias infravermelhas luminosas (LIRGs) têm luminosidades no infravermelho distante de L<sub>FIR</sub> >  $10^{11}$  L<sub>o</sub> e as galáxias [U]Itraluminosas no infravermelho ([U]LIRGs) onde as luminosidades são L<sub>FIR</sub> >  $10^{12}$  L<sub>o</sub>.

Embora de natureza dramática, LIRGs e [U]LIRGs no Universo local são raras, elas contribuem apenas ~ 6% da densidade total de energia da luz infravermelha e cerca de0 ~ 3% da densidade total de energia. Embora os conjuntos de dados do IRAS estejam disponíveis há quase 40 anos, eles são pouco explorados. Na data de publicação, existem mais de 37.000 galáxias infravermelhas brilhantes no IRAS Faint Source Catalog (FSC) que nunca foram observadas com nenhum outro instrumento e relatadas em nenhum artigo de jornal. Apenas 43% das 64.606 fontes FSC extragalácticas



no banco de dados IRAS foram incluídas em algum tipo de publicação (MEZA, 2003). Muitos estudos de [U]LIRGs apontam que a morfologia da fusão se correlaciona com a luminosidade do L<sub>FIR</sub>, com fusões avançadas se tornando mais prevalentes em luminosidades mais altas, e a projeção que hospeda poderosos núcleos galácticos ativos (AGN) aumenta tanto com a luminosidade do L<sub>FIR</sub> quanto com o estágio de fusão . Em redshifts mais altos (z ~ 1 - 2) [U]LIRGs são muito mais comuns do que no universo local, e tendências morfológicas semelhantes são vistas, embora com uma gama mais ampla de estados de fusão em alta luminosidade, tornando-se objetos de grande interesse de estudo (SALES, 2019), com o objetivo de fazer um estudo multi-comprimento de onda da galáxia OHMG IRAS 06487+2208, utilizamos observações realizadas com o instrumento Gemini Multi-Object Spectrographs (GMOS) para estudar a cinemática do gás ionizado a partir das linhas de emissão presentes no espectro desse objeto.

# 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Espectroscopia de Campo Integral

O telescópio GEMINI emprega uma técnica muito poderosa para estudar galáxias, a espectroscopia de campo integral, junto ao telescópio são acopladas unidades de campo integral (IFU: *Integral Field Unit*). Nesse tipo de espectroscopia, são obtidos espectros de campos bidimensionais ao invés de uma única direção, como ocorre na espectroscopia de fenda longa, por exemplo. O resultado final consiste em um cubo de dados com duas dimensões espaciais (x e y), que de maneira geral, são dadas em termos de ascensão reta (RA) e declinação (DEC) do campo observado, e uma dimensão espectral ( $\lambda$ ).

Desse modo, cada pixel espacial (Spixel) da galáxia possui um espectro associado. A principal vantagem de usar IFU, é que é possível obter espectros específicos de várias regiões da galáxia simultaneamente. Isso deve-se ao fato de que as IFUs são construídas utilizando-se conjuntos de fibras óticas, logo, a imagem obtida pelo telescópio é colimada em direção às fibras e cada fibra transporta até o espectrógrafo um feixe de luz que contém apenas uma parcela da imagem original. A Figura 1 apresenta um esquema da obtenção de cubos de dados a partir de um conjunto de fibras óticas.

No Gemini, o principal espectrógrafo ótico é o GMOS (*Gemini Multiobject Spectrograph*), com uma versão no Gemini Sul optimizada no azul (27% em 5700 Å com a rede B600)e no Gemini Norte optimizada no vermelho (28% em 7000 Å com a R831). No Gemini Sul é possível orientar a fenda no ângulo paralático. Os GMOS operam de 3600 Å a 9400 Å no modo de fenda longa e de multi-fendas (máscaras cortadas a laser), obtendo espectroscopia e imageamento em um campo de 5,5 minutos de arco. Cada GMOS tem também uma Unidade de Campo Integral - IFU, que pode obter espectros de uma área de 35 segundos de arco, com resolução espacial de 0,2 segundos de arco (fibras), para mais informações consultar a página do Gemini: https://www.gemini.edu/instrumentation/gmos.



**Figura 1.** Como funcionam os IFUs: cada IFU consiste em uma microlente que guia a luz de uma pequena área do céu, normalmente centrada em um objeto celeste (por exemplo, uma galáxia distante) e a envia para a entrada do espectrógrafo (dentro da caixa pontilhada). Fonte: https://www.eso.org/public/spain/teles-instr/technology/ifu/?lang

#### 2.2. Ajuste dos dados – IFSCube

Para ajustar os perfis de linhas foi usado o Software IFSCube, que é um pacote python projetado por (RUSCHEL-DULTRA, 2021) para realizar tarefas de análise em cubos de dados de espectroscopia de campo integral, o IFSCube faz ajuste de espectros a partir de curvas gaussianas ou curvas de Gauss-Hermite, para este trabalho optamos por usar curvas Bi-Gaussianas para modelar os perfis das linhas, com isso, para cada dupla gaussiana ajustada conseguimos relacionar, através do efeito Doppler, o pico do contínuo da distribuição com a velocidade média do gás emissor, a largura da gaussiana com a dispersão e a amplitude, que junto da dispersão, nos dão o fluxo da linha devido àquele componente específico.

Com o intuito de realizar um estudo detalhado sobre a distribuição de fluxo e cinemática do gás ionizado da galáxia OHMG IRAS 06487+2208, foi subtraído a componente estelar dos espectros do cubo de dados. Após feito a síntese espectral, foram construídos mapas bidimensionais e realizado a análise da distribuição de fluxo e cinemática do gás para a galáxia. Estudar o gás em galaxias é importante pois é um importante traçador dos processos físicos que estão acontecendo nestes ambientes, sendo possível derivar parâmetros como a temperatura, densidade eletrônica, extinção do meio interstelar ou entender a dureza do campo de radiação que está presente.

## 3. Resultados e discussões

IRAS 06487+2208 foi observada com o telescópio Karl G. Jansky Very Large Array (VLA) em 2014, na figura 2 vemos imagem da banda-X (8–10 GHz) contínua e a linha espectral da banda L das linhas de maser OH (1665/1667 MHz) desviadas para o vermelho. Reduzimos os dados seguindo procedimentos padrão de Processo de Imagem Astronômica - Sistema de Controle (AIPS). A imagem em rádio mostra dois núcleos não resolvidos, a partir dos dados obtidos pelo VLA usamos esses dados para derivar a astrometria do HST e do Gemini/IFU. A imagem continua e linhas de emissões foram obtidas usando o Hubble Space Telescope (HST) a partir do Programa 1160 (PI D. J. Axon) como parte de um projeto de mapeamento de amostra de OHMGs usando o Advanced Camera for Surveys (ACS), operando com larguras, largas, estreitas e filtros de banda média. O processo de redução foi feito usando Recurso de Redução e Análise de Imagem (IRAF) (TODY, 1986), as rotinas seguiram os procedimentos básicos descrito em (SALES, 2019), fica claro a partir da Figura 2, que IRAS 06487+2208 é um sistema em interação, composto por dois núcleos em que para as linhas de H $\alpha_N$ , [O<sub>III</sub>]  $\lambda$  4959<sub>N</sub>, [S<sub>II</sub>]  $\lambda$ 6716<sub>N</sub> apresentam um redshift a sudeste e um blueshift nas bordas do FOV como pode ser visto no mapa de velocidade da figura 4.

Após realizarmos os processos de redução e ajuste do cubo descrito acima, plotamos o espectro de emissão da galáxia conforme podemos ver nas figuras 2 e 3, com isso foi identificado a presença tanto de linhas proibidas como linhas da série de Balmer, as linhas de emissão observadas em IRAS 06487+2208 foram,  $[O_{III}] \lambda\lambda4959$ , 5007, H $\beta$ , He $\lambda$ 5876,  $[O_I]\lambda6300$ ,  $[N_{II}] \lambda\lambda6548$ , 6583, H $\alpha$  e  $[S_{II}] \lambda\lambda6716$ , 6731, sendo a linha de H $\alpha$  e  $[N_{II}] \lambda6583$  as que possuem maior razão sinal-ruído. A Partir dos ajustes é possível construir *chanel maps* para a galáxia como podemos ver na figura 4.

Para as linhas do mapa da figura 4 inferimos que a parte sudeste da galaxia onde está localizado o núcleo sul observado com o HST apresenta um redshif com velocidades de até 250kms<sup>-1</sup>, percebe-se também que a linha de [S<sub>II</sub>] tem tanto um redshift alto quanto um blushift alto na região central superior, fazendo com que essa linha seja a que apresenta maior predominância além dos limites centrais do FOV.

Com os ajustes das linhas de emissão feitos, busca-se então construir diagramas diagnósticos para a galáxia e identificar parâmetros físicos e estudar efeitos de ionização do objeto em questão, o que temos como perspectivas futuras, com as linhas presentes nessa galáxia poderemos construir diagramas BPT e WHAN usando as linhas de  $[N_{II}]$   $\lambda 6583$ , H $\alpha$ , H $\beta$ ,  $[O_{III}] \lambda \lambda 4959$ ,  $[S_{II}] \lambda \lambda 6716$ , 6731 e  $[O_{I}] \lambda 6300$  e classificar esta galáxia como sendo um sistema composto por formação estelar ou um sistema dominado por AGN, juntamente com estudos anteriores feitos pelo grupo de outras OHMGs, temos como objetivo final deste projeto identificar se exite uma correlação entre a emissão Megamaser de OH com a ativação do buraco negro supermassivo do centro dassas galáxias.





**Figura 2.** Astrometria do megamaser OHMG IRAS 06487+22208 no painel superior, contornos de cor quente = HST F814W, Contornos verdes = contÍnuo VLA-X-band, no circulo superior logo acima do Núcleo norte temos a região onde foi detectado o megamaser de OH. No painel inferior temos Ajuste Bi-Gaussiano do espectro sintetizado da OHMG IRAS 06487+2208 usando IFSCube, nesta imagem podemos ver às componentes de emissão gasosa da galáxia. Fonte: do autor.



**Figura 3.** Ajuste do perfil de linhas de emissão de  $[O_{III}] \lambda\lambda4959$ , 5007 e H $\beta$  no primeiro painel, no segundo painel temos ajuste das linhas de H $\alpha$ ,  $[N_{II}] \lambda6548$  e  $[N_{II}]\lambda6583$ , e  $[S_{II}] \lambda6716$  e  $[S_{II}]\lambda6731$  no terceiro painel. Para estes ajustes foi feito uso de Gaussianas duplas. Em linhas pontilhadas pretas, temos o resultado do ajuste em cada uma das componentes; em azul, o espectro ajustado; em verde, a soma de todas as componentes ajustadas; em laranja, a linha demarcando fluxo nulo; em preto, mas linha sólida, o pseudo-contínuo ajustado. com isso é possível analisar o comportamento das linhas emissoras. Fonte: do autor.



**Figura 4.** Mapas de fluxo no painel superior e de velocidade no inferior, oBservamos linhas de H $\alpha_N$ , [OIII]  $\lambda$ 4959N, [SII]  $\lambda$ 6716N, respectivamente, a partir do ajuste bi-gaussiano podemos estudar a cinemática dos gases da galáxia e entender seus processos de evolução.Fonte: do autor.

# 5. Conclusão

Conclui-se com esse trabalho que as galáxias OHMGs são de grande importância para testar modelos de evolução dentro das cosmologias ACDM, pois seus processos de evolução muitas vezes conturbados acabam por proporcionar um ambiente ideal para testagem dessas teorias, devido as forças de marés que surgem devido a interação desses objetos, o gás de diferentes regiões da galaxia pode servir como combustível para formar zonas de formação estelar e/ou ser fonte de alimentação para AGNs, a OHMG IRAS 06487+2208 revelou ser um sistema em interação em que o fluxo de gás está contido nas regiões centrais do FOV onde a linha de H $\alpha_N$  apresenta menor dispersão de fluxo e a linha de  $\lambda$ 6716<sub>N</sub> apresenta maior dispersão, seguindo um fluxo semelhante ao observado com os telescópios VLA e HST, com isso, podemos usar esses fluxos para obter parâmetros cinemáticos e fazer diagramas diagnósticos e classificar essa galáxia dentro do cenário cósmico.

## Referências

- 1. Blumenthal, G. R, Faber, S. M., Primack, J. R, Rees, M. J., Formation of galaxies and large-scale structure with cold dark matter. *Nature*, *311*, *517*.
- 2. Silk, Joseph, Mamon, Gary A., The current status of galaxy formation. Research in Astronomy and Astrophysics.
- 3. Soifer, B. T. and Rowan-Robinson, M. and Houck, J. R. and de Jong, T. and Neugebauer, G. and Aumann, H. H. and Beichman, C. A. and Boggess, N. and Clegg, P. E. and Emerson, J. P. and Gillett, F. C. and Habing, H. J. and Hauser,

M. G. and Low, F. J. and Miley, G. and Young, E., Infrared galaxies in the IRAS minisurvey. *The astrophisical journal.* 

- 4. Sanders, D. B. and Soifer, B. T. and Elias, J. H. and Madore, B. F. and Matthews, K. and Neugebauer, G. and Scoville, N. Z., **Ultraluminous Infrared Galaxies and the Origin of Quasars.** *The astrophysical journal.*
- 5. Veilleux, S., Kim, D. -C. and Sanders, D. B., Optical and Near- Infrared Imaging of the IRAS 1 Jy Sample of Ultraluminous Infrared Galaxies. II. The Analysis. *The astrophisical journal.*
- 6. Meza, Andrés and Navarro, Julio F. and Steinmetz, Matthias and Eke, Vincent R., Simulations of Galaxy Formation in a ACDM Universe. III. The Dissipative Formation of an Elliptical Galaxy. *The astrophysical journal.*
- Sales, Dinalva A and Robinson, A and Riffel, R A and Storchi-Bergmann, T and Gallimore, J F and Kharb, P and Baum, S and O'Dea, C and Hekatelyne, C and Ferrari, F., Gemini IFU, VLA, and HST observations of the OH Megamaser Galaxy IRAS17526 + 3253. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.
- 8. Tody, Doug., **The IRAF Data Reduction and Analysis System**. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series.
- Allington-Smith, Jeremy and Murray, Graham and Content, Robert and Dodsworth, George and Davies, Roger and Miller, Bryan W. and Jorgensen, Inger and Hook, Isobel and Crampton, David and Murowinski, Richard., Integral Field Spectroscopy with the Gemini Multiobject Spectrograph. I. Design, Construction, and Testing. the Astronomical Society of the Pacific.
- 10. Ruschel-Dutra, D. and Storchi-Bergmann, T. and Schnorr-Muller, A. and Riffel, R. A. and Dall'Agnol de Oliveira, B. and Lena, D. and Robinson, A. and Nagar, N. and Elvis, M., **AGNIFS survey of local AGN: GMOS-IFU data and outflows in 30 sources.** *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.*