



Estudo da classificação no óptico da Galáxia MegaMASER de OH IRAS 06487+2208

Douglas A. Silva^{1*}; Dinalva A. Sales¹; Rogemar A. Riffel²
Claudia M. Cassanta²; C. Hekatelyne³; A. Robinson⁴; Jack Gallimore⁵
Thaís Storchi-Bergmann⁶

Resumo: Neste trabalho realizamos um estudo detalhado da galáxia megamaser de OH (OHMG) IRAS 06487+2208, focando no ajuste do cubo de dados IFU. O principal objetivo foi analisar a cinemática do gás e situar este sistema no contexto da evolução galáctica. O processo megamaser de OH (OHM) emite radiação que é uma característica distintiva de galáxias [ultra] luminosas no infravermelho ([U]LIRGs). A detecção desta emissão nos espectros pode indicar tanto atividade nuclear térmica, devido à presença de estrelas na galáxia, quanto a existência de um disco de gás circumnuclear, similar ao toro postulado pelo modelo unificado de galáxias ativas (AGN). Para este estudo, utilizamos dados espectroscópicos no óptico obtidos com o espectrógrafo GMOS/GEMINI, imagens na banda *i* (F814W) do Telescópio Espacial Hubble (HST) e dados em rádio coletados pelo Very Large Array (VLA). A integração desses diferentes dados permitiu uma análise multi-comprimento das propriedades físicas da OHMG IRAS 06487+2208.

Palavras-chave: Galáxia OHMG; Cinemática gasosa; Evolução galáctica; Espectroscopia

*douglas.as@furg.br

¹Instituto de Matemática, Estatística e Física, Universidade Federal do Rio Grande, 96201-900, Rio Grande, RS, Brazil.

²Departamento de Física, CCNE, Universidade Federal de Santa Maria, 97105-900 Santa Maria, RS, Brazil.

³Universidad Tecnológica, Polo Educativo Tecnológico Rivera, Ruta 5 km 496, CP 40000, Rivera, Uruguay.

⁴School of Physics and Astronomy, Rochester Institute of Technology, 84 Lomb Memorial Drive, Rochester, NY 14623, USA.

⁵Department of Physics, Bucknell University, Lewisburg, PA 17837, USA.

⁶Departamento de Astronomia, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CP 15051, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brazil.

1 INTRODUÇÃO

As fusões de galáxias desempenham um papel crucial na evolução do universo, formando grandes halos através de múltiplas fusões, sendo este o mecanismo central para a formação de estruturas nas cosmologias Λ CDM Blumenthal *et al.* (1984). Observações e simulações cosmológicas indicam que galáxias mais massivas são formadas por grandes fusões, enquanto o crescimento de galáxias de massa intermediária é impulsionado por fusões menores ou pela acreção de gás frio Silk e Mamon (2012). Nesse contexto, as populações de galáxias luminosas no infravermelho e opticamente fracas (LIRGs) descobertas pelo Infrared Astronomical Satellite (IRAS) na década de 80 Neugebauer *et al.* (1984) são de grande interesse, pois incluem muitos exemplos de grandes fusões ricas em gás e fortes interações Sanders *et al.* (1988). As altas luminosidades infravermelhas desses objetos são resultantes do aquecimento de poeira por estrelas ou por núcleos galácticos ativos (AGN), desencadeados por influxos de gás movidos por forças de maré e torques gerados pela interação Veilleux, Kim, e Sanders (2002). Existem duas subdivisões principais desta população de galáxias: as galáxias infravermelhas luminosas (LIRGs), com luminosidades no infravermelho distante de $L_{FIR} > 10^{11} L_{\odot}$, e as galáxias [U]ltraluminosas no infravermelho ([U]LIRGs), com luminosidades superiores a $10^{12} L_{\odot}$.

Apesar de sua natureza dramática, LIRGs e [U]LIRGs são raras no universo local, contribuindo apenas com cerca de 6% da densidade total de energia da luz infravermelha e aproximadamente 3% da densidade total de energia. Embora os conjuntos de dados do IRAS estejam disponíveis há quase 40 anos, eles são pouco explorados. Atualmente, mais de 37.000 galáxias infravermelhas brilhantes no IRAS Faint Source Catalog (FSC) nunca foram observadas por outros instrumentos ou relatadas em publicações científicas. Apenas 43% das 64.606 fontes extragalácticas do FSC no banco de dados IRAS foram incluídas em algum tipo de publicação Meza *et al.* (2003). Estudos de [U]LIRGs sugerem que a morfologia da fusão correlaciona-se com a luminosidade de L_{FIR} , com fusões avançadas se tornando mais prevalentes em luminosidades mais altas, e a prevalência de poderosos núcleos galácticos ativos (AGN) aumenta tanto com a luminosidade de L_{FIR} quanto com o estágio da fusão. Em redshifts mais altos ($z \sim 1 - 2$), [U]LIRGs são muito mais comuns do que no universo local, apresentando tendências morfológicas semelhantes, embora com uma gama mais ampla de estados de fusão em alta luminosidade, tornando-se objetos de grande interesse para estudo Sales *et al.* (2019). (U)LIRGs são cruciais para entender o papel das fusões na evolução das galáxias e no crescimento de buracos negros.

Com o objetivo de realizar um estudo multi-comprimento de onda da galáxia OHMG IRAS 06487+2208, utilizamos observações realizadas com o instrumento Gemini Multi-Object Spectrographs (GMOS) para investigar a cinemática do gás ionizado a partir das linhas de emissão presentes no espectro deste objeto junto com dados no óptico obtidos pelo Telescópio HST/ACS e dados do Radiointerferômetro VLA.

2 METODOLOGIA

2.1 Observação dos dados

Os dados empregados neste estudo constituem uma pesquisa multi-comprimento de onda voltada para investigar galáxias com Megamasers de OH (OHMGs). O objetivo principal é examinar a relação entre o estágio de fusão dessas galáxias e a fase de evolução de seus núcleos ativos ou de Starburst, além de analisar a distribuição e estrutura do gás ionizado nessas galáxias. Para isso, uma amostra de 15 OHMGs foi observada inicialmente com o Telescópio Espacial Hubble, utilizando o filtro de banda larga F814W para capturar tanto a emissão contínua na banda I quanto a emissão gasosa.

Adicionalmente, foram utilizados dados obtidos pelo Telescópio Very Large Array (VLA) nas bandas X (8-10 GHz), L (1-2 GHz) e C (4-8 GHz), incluindo as linhas do maser de OH em 1665/1667 MHz. No espectro óptico, foram empregados dados adquiridos pelo telescópio Gemini Sul, utilizando o modo de Unidade de Campo Integral (IFU) com o instrumento GMOS como pode ser visto nas figuras 4 e 5. O Gemini é um telescópio operado por um consórcio internacional composto por 7 países: Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Chile, Austrália, Brasil e Argentina, com o Brasil contribuindo com 2,31% do tempo de telescópio dedicado a observações científicas.

2.1.1 Observação e tratamento dos dados de IFU obtidos pelo Gemini

O telescópio GEMINI (figura 1) utiliza uma técnica avançada para o estudo de galáxias, conhecida como espectroscopia de campo integral, através de unidades de campo integral (IFU: *Integral Field Unit*) acopladas ao telescópio. Diferente da espectroscopia de fenda longa, que obtém espectros em uma única direção, a espectroscopia de campo integral captura espectros de campos bidimensionais. O resultado é um cubo de dados com duas dimensões espaciais (x e y), geralmente representadas em termos de ascensão reta (RA) e declinação (DEC) do campo observado, e uma dimensão espectral (λ).

Assim, cada pixel espacial (Spixel) da galáxia possui um espectro associado. A principal vantagem do uso de IFU é a capacidade de obter espectros específicos de várias regiões da galáxia simultaneamente. Isso é possível porque as IFUs são construídas utilizando conjuntos de fibras óticas, a imagem obtida pelo telescópio é colimada em direção às fibras, e cada fibra transporta um feixe de luz para o espectrógrafo, contendo apenas uma parte da imagem original. Assim, tem-se capacidade de mapear variações espaciais nas propriedades espectrais ao longo de uma galáxia. Isso permite estudar, cinemática do gás, movimentos e velocidades do gás ionizado ou molecular em diferentes regiões, distribuição química, composição e abundâncias dos elementos químicos em várias partes do objeto, atividade estelar e AGN, distribuição espacial da formação estelar e a presença de núcleos galácticos ativos.

No telescópio Gemini, o principal espectrógrafo óptico é o GMOS (*Gemini Multi-Object Spectrograph*), com uma versão no Gemini Sul otimizada para o azul (27%

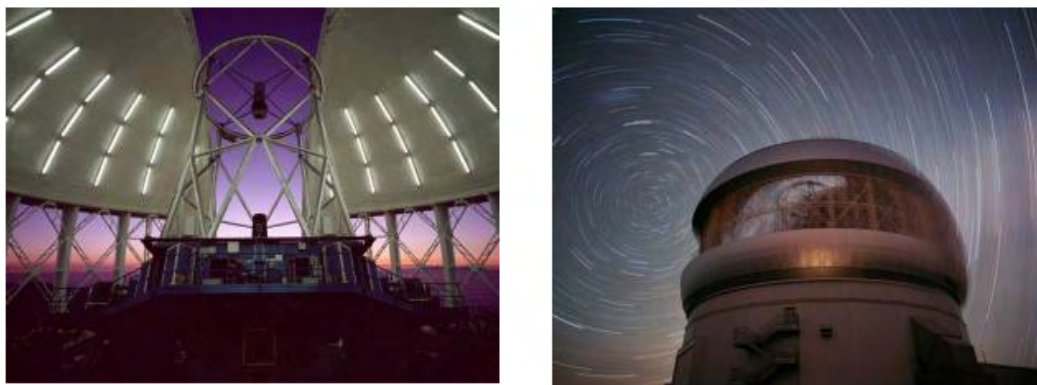


Figura 1: Imagens do Telescópio Gemini. A esquerda vista interior, e a direita, vista exterior.

em $5700 \text{ \AA}$ com a rede B600) e no Gemini Norte otimizada para o vermelho (28% em $7000 \text{ \AA}$ com a rede R831). No Gemini Sul, é possível orientar a fenda no ângulo paralático. Os GMOS operam na faixa de $3600 \text{ \AA}$ a $9400 \text{ \AA}$ nos modos de fenda longa e de multi-fendas (máscaras cortadas a laser), permitindo a obtenção de espectroscopia e imageamento em um campo de 5,5 minutos de arco. Cada GMOS também possui 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) como pode ser visto no esquema da figura 2. O Gemini Multi-Object Spectrograph (GMOS) é um espectrógrafo versátil e avançado, utilizado nos telescópios Gemini Norte e Gemini Sul. Ele é projetado para fornecer dados espectroscópicos de alta qualidade, bem como capacidades de imageamento, atendendo a uma ampla gama de necessidades científicas na astronomia moderna. Para mais informações, consulte a página do Gemini: <https://www.gemini.edu/instrumentation/gmos>.

2.1.2 Observação e tratamento dos dados obtidos pelo HST

O Telescópio Espacial Hubble (HST, do inglês “Hubble Space Telescope”) é um telescópio espacial refletor lançado pela NASA a bordo do ônibus espacial Discovery na década de 90. Equipado para varrer comprimentos de onda que vão do ultravioleta ao infravermelho próximo, o HST possui um espelho principal com 2.4 metros de diâmetro. Com dimensões totais de aproximadamente 13 metros de comprimento e 4 metros de largura, e uma massa de cerca de 11 toneladas, o Hubble é uma peça fundamental na astronomia moderna, permitindo observações detalhadas do universo que não seriam possíveis a partir da superfície da Terra.

No âmbito de pesquisas recentes, o HST desempenhou um papel crucial na astrometria da OHMG IRAS 06487+2208. As observações foram realizadas utilizando a Câmera WFPC2 (Wide Field and Planetary Camera 2), que inclui ótica corretiva interna para compensar a aberração esférica no espelho primário do telescópio. Estas imagens foram capturadas em 05/11/2009, com um tempo total de exposição de 800 segundos usando o filtro de banda larga F814W. O processamento das imagens foi conduzido utilizando o

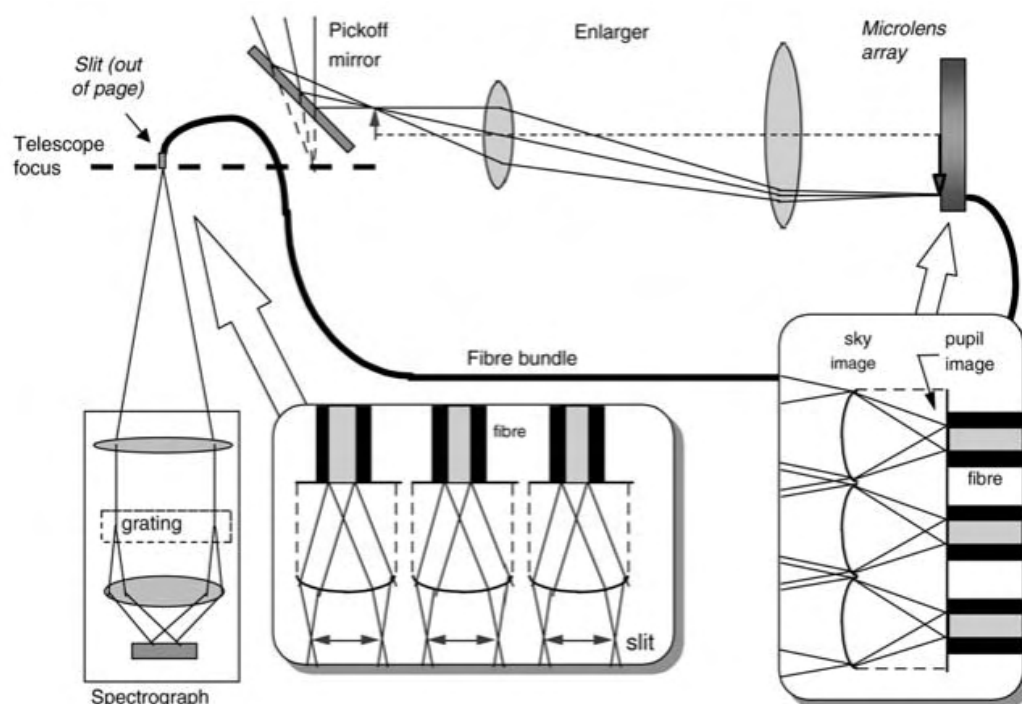


Figura 2: Princípio do GMOS-IFU. Os recortes mostram detalhes do acoplamento fibra-lente.

software padrão para redução de dados astronômicos IRAF.

A capacidade singular do Hubble em adquirir imagens de alta resolução e conduzir medições precisas tem sido fundamental para avanços significativos em campos como astrofísica estelar, formação de galáxias, cosmologia e estudo de exoplanetas. Suas observações não apenas inspiram novas descobertas que enriquecem nosso conhecimento do cosmos, mas também instigam novas indagações acerca da natureza do universo que habitamos.

2.1.3 Observação e tratamento dos dados obtidos pelo VLA

O VLA (Very Large Array) é um observatório de radioastronomia localizado na Planície de San Agustin, entre as cidades de Magdalena e Datil, cerca de 80 km a oeste de Socorro, no Novo México. Operado pelo NRAO (National Radio Astronomy Observatory), o VLA é composto por 27 antenas independentes, cada uma com 25 metros de diâmetro e pesando 209 toneladas. Com diferentes configurações, o VLA varre uma ampla faixa de comprimentos de onda, de 74 MHz até 50 GHz.

As observações em rádio foram realizadas em 24/01/2002 utilizando o telescópio VLA no âmbito do programa AD461, nas bandas C (4–8 GHz/ contínuo), X (8–12 GHz/ contínuo) e L (1-2 GHz/ contínuo), centradas nas linhas maser de OH em 1665 e 1667 MHz. A redução dos dados do VLA foi conduzida pelos colaboradores utilizando o software CASA (Common Astronomy Software Applications) McMullin *et al.* (2007).

O VLA é especialmente conhecido por sua capacidade de formar imagens de alta

resolução do universo em rádio. Isso é possível devido às suas antenas móveis, que podem ser rearranjadas em diferentes configurações para variar a resolução angular e sensibilidade do observatório. A flexibilidade do VLA também permite estudos detalhados de objetos celestes que emitem radiação sincrotrônica, masers de OH, além de permitir o estudo de objetos transientes e eventos rápidos no universo.

2.2 Subtração das Populações estelares

Neste estudo, o foco não reside na investigação das contribuições das populações estelares. Portanto, procedemos à sua subtração utilizando o método PPXF (Penalized PiXel Fitting), desenvolvido por Cappellari e Emsellem (2004). Este método combina o ajuste do espectro total com informações fotométricas para derivar a cinemática estelar e a composição populacional das galáxias a partir de cubos de dados, permitindo assim a análise da cinemática e dinâmica do gás galáctico.

O PPXF realiza o ajuste do espectro observado da galáxia utilizando um modelo $G_{mod}(x)$, que é construído convoluindo espectros templates disponíveis na literatura, representando as populações estelares presentes na galáxia ($T(x)$) com uma distribuição de velocidades ao longo da linha de visada (LOSVD, Line-of-sight velocity distribution). O espectro modelado é então ajustado ao espectro observado para cada elemento espacial (*spaxel*) do cubo de dados. Após o ajuste, a componente estelar é subtraída do espectro observado.

O modelo do espectro da galáxia é definido pela equação:

$$G_{mod}(x) = \sum_{k=1}^K w_k [B \otimes T_k](x) + \sum_{l=0}^L b_l P_l(x), \quad (1)$$

onde $w_k \geq 0$ são os pesos associados aos templates, $B(x) = L(cx)$ representa o alargamento da função, T_k é o k -ésimo template espectral, $L(v)$ é a LOSVD, c é a velocidade da luz, $\otimes$ denota a convolução, b_l são os autovalores e P_l são os polinômios de Legendre de ordem l que corrigem diferenças de baixa frequência entre a galáxia e o modelo utilizado.

A função $L(v)$, que descreve a LOSVD, é expressa como uma série de Gauss-Hermite:

$$L(v) = \frac{e^{-(1/2)y^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left[1 + \sum_{m=3}^M h_m H_m(y) \right], \quad (2)$$

onde $y = (v - V)/\sigma$, V é a velocidade sistêmica, v é a velocidade radial, H_m são os polinômios de Hermite e h_m são os momentos de Gauss-Hermite.

O PPXF foi desenvolvido para ser independente de qualquer conjunto específico de modelos de população estelar e tem sido utilizado com diversos conjuntos disponíveis na literatura. Neste estudo, utilizamos a biblioteca estelar MILES modificada, cuja seleção de estrelas foi otimizada para abranger uma ampla gama de parâmetros estelares relevantes para a modelagem de síntese populacional. Os espectros estelares dessa biblioteca foram cuidadosamente calibrados em fluxo, com observações realizadas através de uma fenda

larga para minimizar perdas de fluxo seletivas devido ao efeito de refração diferencial, além de configurações de alta resolução para cobrir eficientemente o espectro estelar em ambas as regiões azul e vermelha.

2.3 Ajuste das linhas de emissão

Para ajustar os perfis espectrais, utilizamos o software IFSCube, um pacote Python desenvolvido por Ruschel-Dutra *et al.* (2021) especializado na análise de cubos de dados de espectroscopia de campo integral. O IFSCube emprega ajustes espectrais baseados em curvas gaussianas, gauss-hermitianas ou bi-gaussianas para modelar os perfis das linhas espectrais. Para este estudo, optamos por utilizar curvas bi-gaussianas para descrever os perfis das linhas, permitindo-nos correlacionar o pico do contínuo da distribuição, através do efeito Doppler, com a velocidade média do gás emissor. Além disso, a largura das gaussianas e a sua amplitude, combinadas com a dispersão, fornecem informações sobre o fluxo da linha associado a cada componente específico.

Com o objetivo de investigar detalhadamente a distribuição de fluxo e cinemática do gás ionizado na galáxia OHMG IRAS 06487+2208, realizou-se a subtração da componente estelar dos espectros contidos no cubo de dados. Após a síntese espectral, foram gerados mapas bidimensionais e conduzida uma análise da distribuição de fluxo e cinemática do gás na galáxia. O estudo do gás em galáxias é crucial, pois ele atua como um indicador significativo dos processos físicos que ocorrem nesses ambientes, permitindo a derivação de parâmetros como temperatura, densidade eletrônica, extinção do meio interestelar, além de proporcionar insights sobre a dureza do campo de radiação presente.

3 RESULTADOS

O painel superior da Figura 3 exibe imagens capturadas nas bandas X (8-10 GHz), L (1-2 GHz) e C (4-8 GHz) pelo telescópio VLA. No painel inferior, são apresentadas a linha maser do OH e imagens de alta resolução na banda i ACS/HST F814W do Telescópio Espacial Hubble. Observa-se dois objetos brilhantes distintos espacialmente: o objeto mais próximo da região de emissão do megamaser de OH é denominado núcleo norte, enquanto o outro é chamado de núcleo sul. A imagem na banda i revela a estrutura interativa da galáxia, com os fluxos mais intensos observados nos dois núcleos, e uma cauda estendida em direção ao megamaser de OH. As emissões na banda X concentram-se tanto na região do maser quanto na emissão proveniente do núcleo norte, corroborando achados dos dados de Unidade de Campo Integral (IFU) do telescópio Gemini, indicando que a fonte maser está inserida numa região de poeira. Na figura 4, são evidenciadas as linhas de emissão de gás presentes no espectro nuclear deste objeto, sendo que o núcleo norte apresenta um fluxo superior ao do núcleo sul.

Após completarmos os processos de redução e ajuste do cubo descrito na metodologia, plotamos o espectro de emissão da galáxia, conforme ilustrado nas figuras 4 e 5.

Identificamos a presença tanto de linhas proibidas quanto de linhas da série de Balmer. As linhas de emissão observadas em IRAS 06487+2208 incluem [O III] $\lambda\lambda 4959, 5007$, $H\beta$, He $\lambda 5876$, [O I] $\lambda 6300$, [N II] $\lambda\lambda 6548, 6583$, $H\alpha$ e [S II] $\lambda\lambda 6716, 6731$, sendo que $H\alpha$ e [N II] $\lambda 6583$ apresentam a maior razão sinal-ruído. Com base nos ajustes realizados, podemos construir diagramas diagnósticos para esta galáxia e classificá-la dentro do modelo de evolução galáctica.

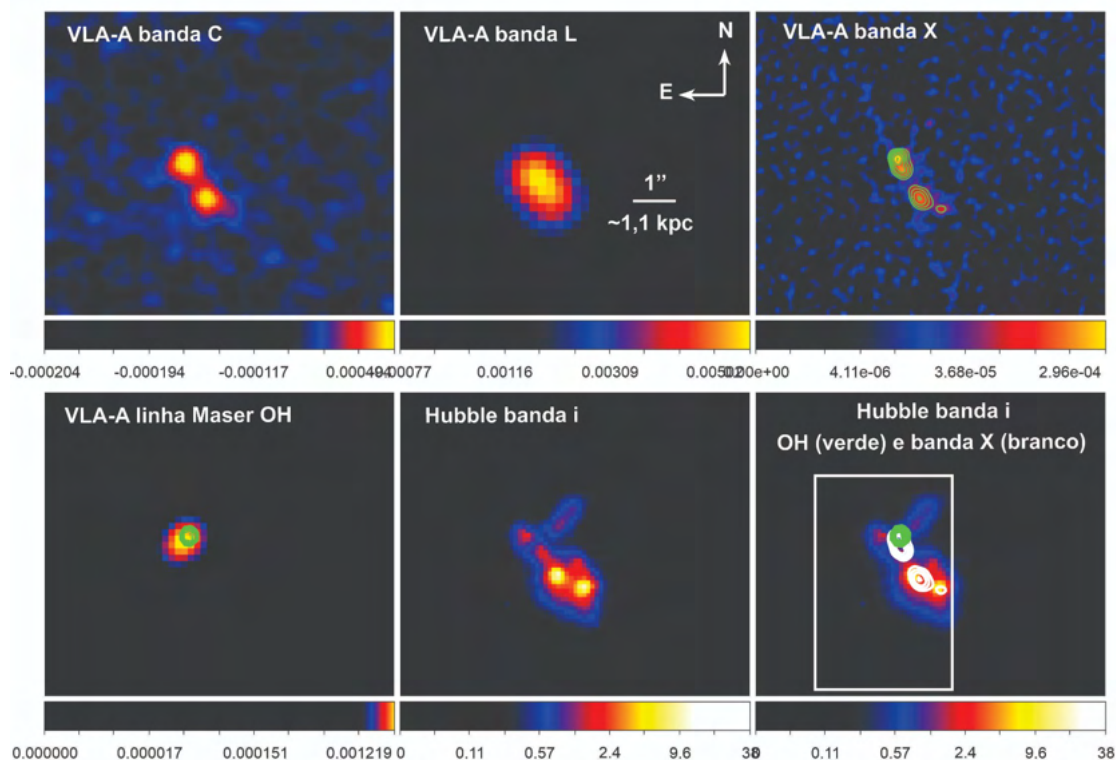


Figura 3: Imagem fora de escala da galáxia em diferentes bandas espectrais no Rádio na parte superior, na parte inferior temos a astrometria do Maser de OH e imagem em alta resolução do Hubble em F814W.

Na Figura 6, são apresentados diagramas e mapas de diagnóstico e excitação para IRAS 06487+2208. Esses diagramas levam em consideração cada spaxel do cubo de dados IFU que cobre toda a galáxia. Na Figura 3, localizada no canto inferior direito, é possível observar a astrometria obtida pelo Telescópio Espacial Hubble, combinada com os dados do Telescópio Gemini. No painel superior, encontramos o diagrama WHAN, uma alternativa proposta aos diagramas BPT Baldwin, Phillips, e Terlevich (1981), que representa a largura equivalente de $H\alpha$ em função da razão de fluxo [N II] $\lambda 6583/H\alpha$. Enquanto os diagramas BPT requerem quatro linhas de emissão para distinguir regiões ionizadas por AGN ou starburst, o diagrama WHAN utiliza apenas $H\alpha$ e [N II] para este propósito.

O diagrama WHAN possibilita a classificação entre starbursts, galáxias Seyfert (sAGN) e AGNs de baixa luminosidade (wAGN). No caso da linha estreita, observa-se que o gás é excitado por dois mecanismos principais: formação estelar, que domina a excitação no núcleo, e atividade nuclear intensa de AGN, concentrada nas bordas do campo de visão

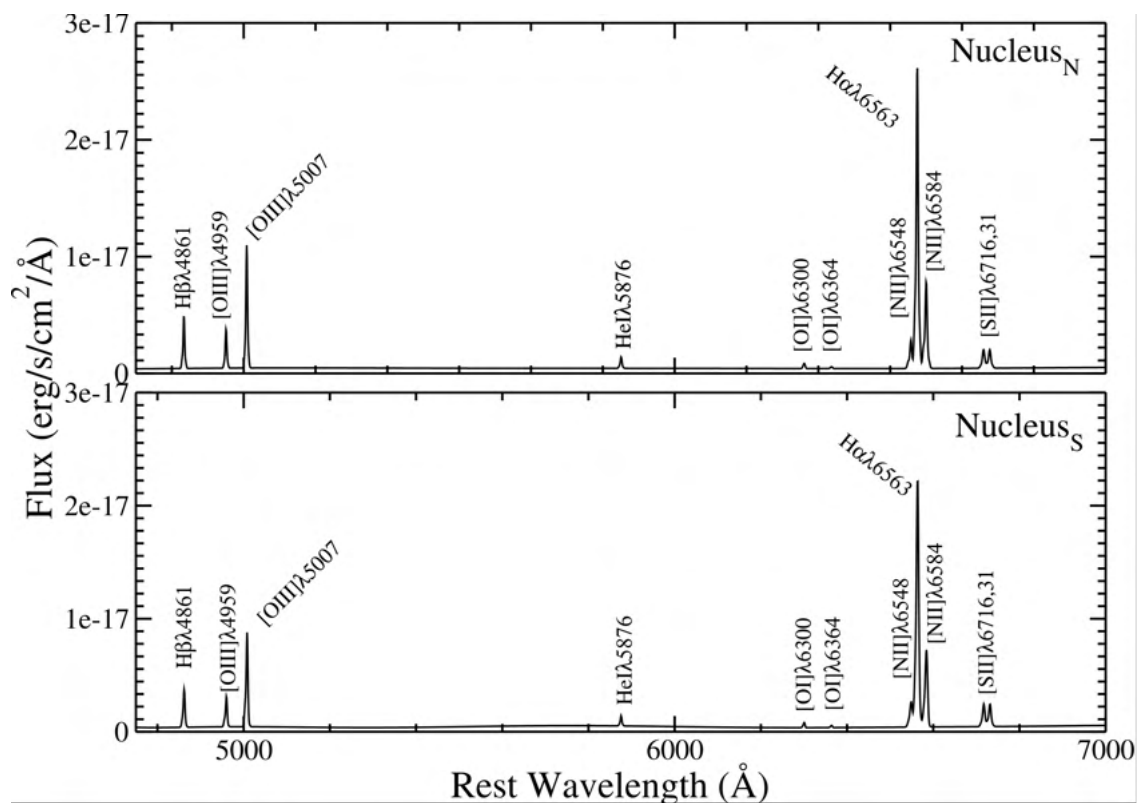


Figura 4: Espectro da linha de emissão de IRAS 06487+2208 obtido com o espectrógrafo GMOS/IFU do telescópio Gemini, observado nas regiões NW_α e NW_β .

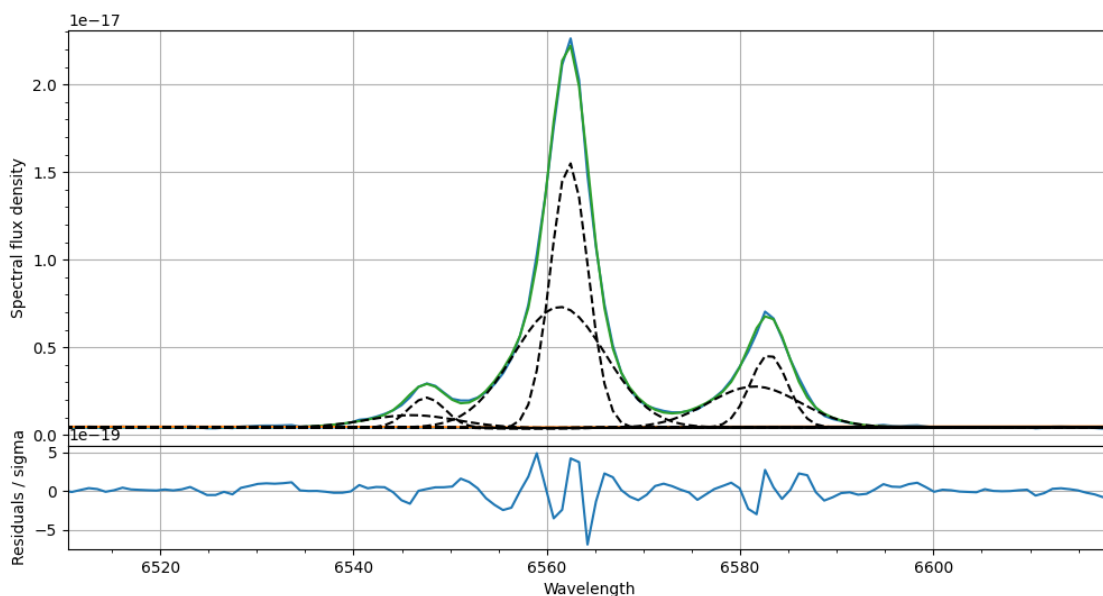


Figura 5: Ajuste do perfil de linhas de emissão de $\text{H}\alpha$, $[\text{NII}]\lambda 6548$ e $[\text{NII}]\lambda 6583$ obtidas com o espectrógrafo GMOS/IFU do telescópio Gemini. Para estes ajustes foi feito uso de Gaussianas duplas. Em linhas pontilhadas pretas, temos o resultado do ajuste em cada 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-continuo ajustado. Com isso é possível analisar o comportamento das linhas emissoras.

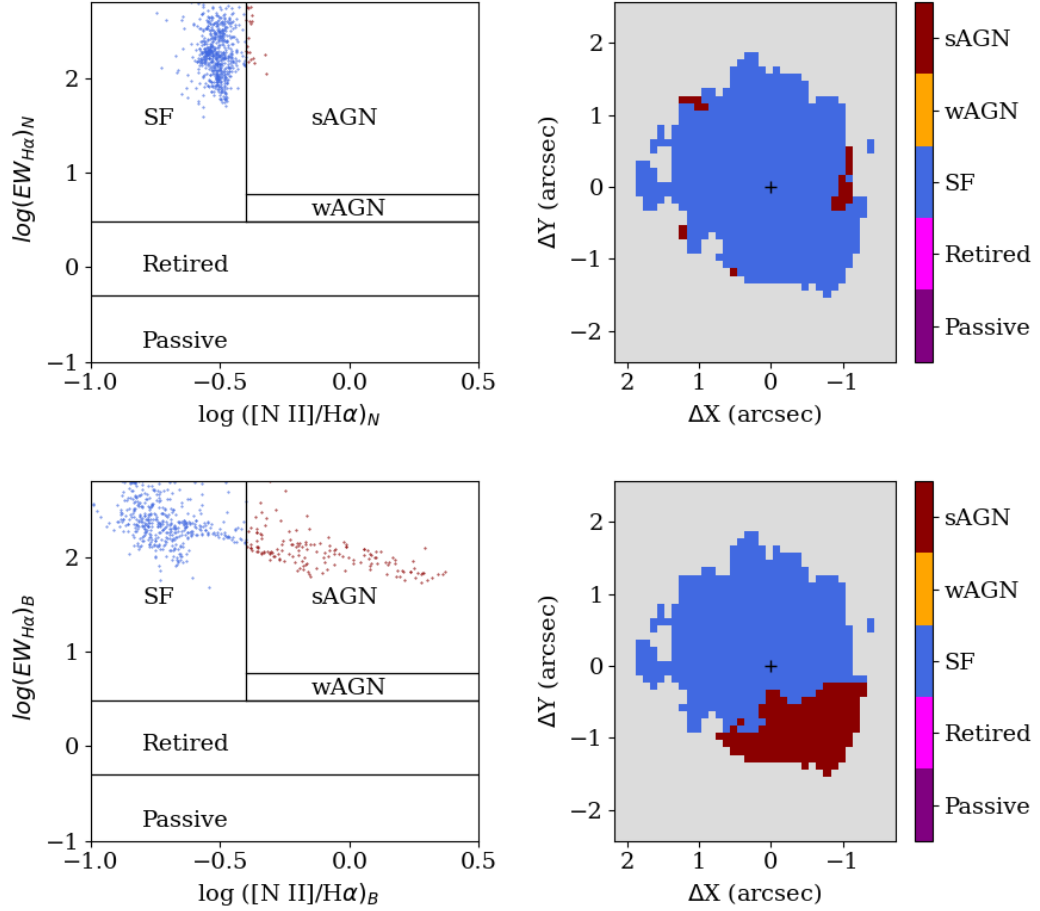


Figura 6: Temos no mapa superior e inferior a esquerda, o diagrama WHAN Cid Fernandes *et al.* (2011) para IRAS 06487+2208. Cada ponto corresponde a um spaxel individual do cubo de dados IFU que cobre toda a galáxia, neste diagrama são usadas as relações de linhas $\log(EW_{H\alpha})$ VS $\log([N II]/H\alpha)$. Na direita superior e inferior temos mapas de excitação identificando as regiões dentro do campo de visão correspondente a diferentes mecanismos de excitação: AGN forte (sAGN), AGN fraco (wAGN), formação estelar (SF) e galáxia aposentada (Retired) e galáxias passivas.

(FoV). Para linha larga, também são identificados dois processos de excitação: formação estelar e sAGN. Ao norte do pico do contínuo, a formação estelar é o principal agente de excitação, enquanto ao sul e sudeste do núcleo, a galáxia manifesta-se como uma Seyfert.

4 CONCLUSÃO

Concluimos que a galáxia OHMG IRAS 06487+2208 apresenta uma dinâmica complexa de interação e fusão, evidenciada pela presença de núcleos luminosos e uma cauda de emissão estendida. A análise multi-comprimento de onda realizada com dados do Telescópio Espacial Hubble, do VLA e do GEMINI permitiu não apenas mapear a distribuição do gás ionizado, mas também caracterizar os processos físicos em ação dentro da galáxia.

A presença de linhas de emissão intensas, como $H\alpha$ e $[NII]$, associadas a perfis complexos de linhas de emissão ajustados com gaussianas duplas, sugere uma atividade significativa de formação estelar e possivelmente a presença de um AGN embutido em uma região rica em poeira. A análise dos diagramas diagnósticos, como o diagrama WHAN, revela que diferentes mecanismos de excitação estão ativos em diferentes partes da galáxia, com áreas dominadas por formação estelar intensa e outras indicando a presença de AGN.

Esses resultados não apenas enriquecem nosso entendimento sobre a evolução de galáxias luminosas no infravermelho, mas também ressaltam a importância das fusões e interações galácticas para impulsionar a formação estelar e a atividade nuclear em escalas cósmicas. Portanto, a OHMG IRAS 06487+2208 representa um excelente exemplo para estudos futuros de fusões galácticas ricas em gás, contribuindo significativamente para o entendimento da formação e evolução de galáxias em cenários de cosmologia Λ CDM.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos sinceramente ao Observatório Gemini, operado pela Association of Universities for Research in Astronomy, Inc., sob um acordo de cooperação com a NSF em nome da parceria Gemini, que inclui a National Science Foundation (Estados Unidos), o Conselho Nacional de Pesquisa (Canadá), CONICYT (Chile), Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Argentina), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (Brasil) e o Korea Astronomy and Space Science Institute (República da Coreia), pelas observações fundamentais que embasam este trabalho. Agradecemos também à CAPES pelo imprescindível apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Baldwin, J. A., M. M. Phillips, e R. Terlevich (1981). “Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects.” *Em*: 93, pp. 5–19. DOI: 10.1086/130766.
- Blumenthal, G. R., S. M. Faber, J. R. Primack, e M. J. Rees (1984). “Formation of galaxies and large-scale structure with cold dark matter.” *Em*: 311, pp. 517–525. DOI: 10.1038/311517a0.
- Cappellari, M. e E. Emsellem (2004). “Parametric Recovery of Line-of-Sight Velocity Distributions from Absorption-Line Spectra of Galaxies via Penalized Likelihood”. *Em*: 116.816, pp. 138–147. DOI: 10.1086/381875.
- Cid Fernandes, R., G. Stasińska, A. Mateus, e N. Vale Asari (2011). “A comprehensive classification of galaxies in the Sloan Digital Sky Survey: how to tell true from fake AGN?” *Em: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 413.3, pp. 1687–1699. DOI: 10.1111/j.1365-2966.2011.18244.x. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2011.18244.x>.

- McMullin, J. P., B. Waters, D. Schiebel, W. Young, e K. Golap (2007). “CASA Architecture and Applications”. Em: *Astronomical Data Analysis Software and Systems XVI*. Ed. por R. A. Shaw, F. Hill, e D. J. Bell. Vol. 376. Astronomical Society of the Pacific Conference Series, p. 127.
- Meza, A., J. F. Navarro, M. Steinmetz, e V. R. Eke (2003). “Simulations of Galaxy Formation in a Λ CDM Universe. III. The Dissipative Formation of an Elliptical Galaxy”. Em: *The Astrophysical Journal* 590, pp. 619–635. URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:48843117>.
- Neugebauer, G., H. J. Habing, R. van Duinen, H. H. Aumann, B. Baud, C. A. Beichman, D. A. Beintema, N. Boggess, P. E. Clegg, T. de Jong, J. P. Emerson, T. N. Gautier, F. C. Gillett, S. Harris, M. G. Hauser, J. R. Houck, R. E. Jennings, F. J. Low, P. L. Marsden, G. Miley, F. M. Olmon, S. R. Pottasch, E. Raimond, M. Rowan-Robinson, B. T. Soifer, R. G. Walker, P. R. Wesselius, e E. Young (1984). “The Infrared Astronomical Satellite (IRAS) mission.” Em: 278, pp. L1–L6. DOI: 10.1086/184209.
- Ruschel-Dutra, D, T Storchi-Bergmann, A Schnorr-Müller, R. A. Riffel, B Dall’Agnol de Oliveira, D Lena, A Robinson, N Nagar, e M Elvis (2021). “AGNIFS survey of local AGN: GMOS-IFU data and outflows in 30 sources”. Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 507.1, 74–89. DOI: 10.1093/mnras/stab2058. URL: <http://dx.doi.org/10.1093/mnras/stab2058>.
- Sales, D. A., A Robinson, R. A. Riffel, T Storchi-Bergmann, J. F. Gallimore, P Kharb, S Baum, C O’Dea, C Hekatelyne, e F Ferrari (2019). “Gemini IFU, VLA, and HST observations of the OH Megamaser Galaxy IRAS17526 + 3253”. Em: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 486.3, 3350–3367. DOI: 10.1093/mnras/stz196. URL: <http://dx.doi.org/10.1093/mnras/stz196>.
- Sanders, D. B., B. T. Soifer, J. H. Elias, B. F. Madore, K. Matthews, G. Neugebauer, e N. Z. Scoville (1988). “Ultraluminous Infrared Galaxies and the Origin of Quasars”. Em: 325, p. 74. DOI: 10.1086/165983.
- Silk, J. e G. A. Mamon (2012). “The current status of galaxy formation”. Em: *Research in Astronomy and Astrophysics* 12.8, 917–946. DOI: 10.1088/1674-4527/12/8/004. URL: <http://dx.doi.org/10.1088/1674-4527/12/8/004>.
- Veilleux, S., D. C. Kim, e D. B. Sanders (2002). “Optical and Near-Infrared Imaging of the IRAS 1 Jy Sample of Ultraluminous Infrared Galaxies. II. The Analysis”. Em: 143.2, pp. 315–376. DOI: 10.1086/343844.