

Estudo espectroscópico no óptico de galáxias ultra-luminosas no infravermelho com emissão de megamaser de hidroxila IRAS 15587+1609

Lara Gatto^{1,2} e Dinalva A. Sales¹

¹Universidade Federal do Rio Grande, FURG

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS

Resumo

A emissão do megamaser de OH (OHM) é uma característica importante, não muito explorada, de 20% das galáxias ultra-luminosas no infravermelho ([U]LIRGs). A presença dessa emissão pode ser um claro sinal não apenas de atividade nuclear térmica provinda de estrelas, mas também de uma energia não térmica provinda de um disco de gás circundando um buraco negro supermassivo (BNS). Galáxias que possuem a emissão de OHM (OHMGs) podem ser indicadoras do momento imediatamente antes da ativação do BNS. Entretanto, as OHMGs são pouco estudadas na literatura e este trabalho apresenta uma análise sobre a morfologia, classificação da fonte de ionização e a cinemática do gás ionizado da OHMG IRAS 15587+1609, usando dados espectroscópicos no óptico obtidos pelo telescópio Gemini Sul e imagem na banda *i* do telescópio Hubble. Foi possível inferir através dos dados espectroscópicos e fotométricos que a IRAS 15587+1609 é um sistema interagente composto por dois núcleos, separados a uma distância de 0,2878 Mpc. Além disso, a detecção de linhas de absorção tênues de K(3956,79 Å), H(3973,16 Å), H_Δ(4104,57 Å) e H_σ(4343,26 Å) nos espectros dos dois núcleos indica que o sistema IRAS 15587+1609 pode ser composto por duas galáxias *starburst*.

Abstract

The emission of the OH megamaser (OHM) is an important feature of 20% of the ultra-luminous Infrared Galaxies ([U]LIRGs) that are not much explored. The presence of this emission may be a clear sign not only of thermal nuclear activity from stars, but also from non-thermal energy from a gas disk surrounding a supermassive black hole (SMBH). Galaxies that have the OHM emission (OHMGs) can be indicators of the moment immediately before the SMBH activation. However, OHMGs are little studied in the literature and this work presents an analysis of the morphology, classification of the ionization source and the kinematics of the ionized gas of the OHMG IRAS 15587+1609 using optical spectroscopic data obtained by the Gemini South telescope and image in the *i* band, from the Hubble telescope. It was possible to infer through spectroscopic and photometric data that IRAS 15587+1609 is an interacting system composed of two cores, separated at a distance of 0,2878 Mpc. In addition, the identification of tenuous absorption lines of K(3956,79 Å), H(3973,16 Å), H_Δ(4104,57 Å) and H_σ(4343,26 Å) in the spectra of both cores, shows a strong indication that the IRAS 15587+1609 system may be composed by two starburst galaxies.

Palavras-chave: galáxias: interação, galáxias: OHMG, galáxia individual: IRAS 15587+1609, espectroscopia.

Keywords: galaxies: interactions, galaxies: OHMG, individual galaxy: IRAS 15587+1609, spectroscopy.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v2n1.32000](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v2n1.32000)

1 Introdução

Uma galáxia é um sistema constituído por estrelas, gás, poeira, e matéria escura ligados pela força gravitacional. Elas podem apresentar formas, cores e tamanhos diferentes. Edwin Hubble classificou-as em termos de sua morfologia,

dividindo as galáxias em espirais, espirais barradas, elípticas, lenticulares ou irregulares (ver Figura 1) [1]. As galáxias também podem apresentar propriedades diferentes dependendo do comprimento de onda observado. Assim utilizando dados espectroscópico e a fotométrico podemos classificá-las em *starburst* (alta taxa de formação

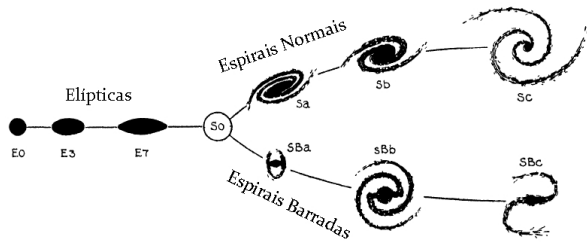


Figura 1: Esquema de Hubble para a classificação de galáxias em elípticas, espirais e espirais barradas. Fonte: brazilastronomy.wordpress.com/classificacao-morfologica-de-galaxias/.

estrelar), Luminosas no Infravermelho (onde sua luminosidade é mais intensa no infravermelho), Galáxias Ativas, e entre outras.

Neste artigo estudaremos as galáxias luminosas no infravermelho (LIRGs, do inglês luminous infrared galaxies) e as ultra luminosas no infravermelho (ULIRGs, do inglês ultra luminous infrared galaxies) que recebem esses nomes por apresentarem uma luminosidade que ultrapassa $10^{11} L_{\odot}$ e $10^{12} L_{\odot}$ no infravermelho, respectivamente. Descobertas com o lançamento do satélite IRAS (Infra-Red Astronomy Satellite) em janeiro de 1983, esta classe de galáxia tem a propriedade que a luminosidade emitida no infravermelho é praticamente igual a luminosidade bolométrica (luminosidade espectral integrada), e a quantidade total de energia emitida por essas galáxias é comparável aos quasares (QSOs) [2] que são os objetos mais energéticos já observados. Os QSOs com $z > 5$ possuem luminosidades entre 10^{13} a 10^{15} luminosidades solares.

Observações indicam que a maioria das LIRGs e ULIRGs são encontradas em processo de interação ou fusão, e suas regiões nucleares abrigam grandes massas de gás e poeira. Interações e fusões de galáxias são um fenômeno importante no cenário evolutivo de galáxias ao longo do Universo, pois estes acontecimentos provocam mudanças físicas e morfológicas, como por exemplo, núcleos dinamicamente desacoplados, caudas de marés, aumento significativo da taxa de formação estelar. Além disso, a fusão de um sistema composto com galáxias pode modificar a morfologia de seus constituintes transformando galáxias espirais ricas em gás em elípticas.

De acordo com a literatura, a fonte de energia por trás da emissão do infravermelho (IR) nas LIRGs é uma combinação de uma grande população de estrelas jovem e quentes (um starburst)

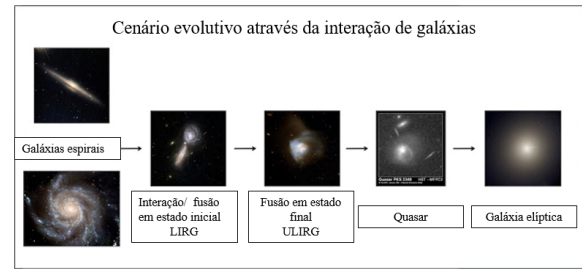


Figura 2: Diagrama ilustrando o cenário de fusão de duas galáxias espirais, ricas em gás, formando uma LIRG, que evolui para uma ULIRG, depois para um quasar e, eventualmente, para uma galáxia elíptica. Fonte: www.candels-collaboration.blogspot.com/2012/07/luminous-infrared-galaxies.html.

e/ou um buraco negro supermassivo (BNS), onde a taxa de acreção da matéria é muito alta, ou seja, temos neste caso, uma galáxia com núcleo ativo (AGN). Isto foi sustentado pela percepção de que os sistemas mais luminosos tendiam a estar nos estágios de fusão mais avançados como mostra a Figura 2. Embora a distinção entre os dois, inicialmente (e até agora) tenha se mostrado difícil, acredita-se que pelo menos no universo local, as ULIRGs são alimentadas por uma violenta taxa de formação estelar (starburst), mas frequentemente com uma contribuição significativa de AGNs [3].

Em outras palavras, de acordo com a literatura, as LIRGs e ULIRGs representam um papel fundamental no processo de evolução de galáxias, em que processos de interação gravitacional entre sistemas desencadeiam a ativação do núcleo da galáxia, por meio do aumento da poeira sendo levado ao núcleo, surgindo assim um AGN [4–7]. Este grande acúmulo de gás e poeira no núcleo galáctico resulta em regiões de alta densidade ($n(\text{H}_2) = 10^{3-4} \text{ cm}^{-3}$), ou seja, o ambiente perfeito para ocorrer a emissão de megamasers de OH, nas regiões espectrais em 1665 e 1667 MHz. Alguns autores especulam que uma das componentes da emissão do megamaser pode estar associada com fluxos de perda de massa com baixa densidade, mas com altas velocidades [8, 9]. Estas galáxias [U]LIRGs que possuem emissão de megamaser de OH são chamadas de galáxias megamasers de OH (OHGMs). Apenas 20% da [U]LIRGs possuem este tipo de emissão.

Um maser significa *microwave amplification by stimulated emission of radiation* (em português, amplificação de microondas por emissão estimulada de radiação). O princípio físico fundamen-

tal que descreve o maser é o conceito de emissão estimulada. Na emissão estimulada um fóton com comprimento de onda λ_i é absorvido por um átomo já em seu estado excitado, consequentemente de uma absorção anterior, em seguida, este mesmo átomo emite rapidamente dois fótons com o mesmo comprimento de onda λ_f para retornar ao seu estado fundamental. É importante lembrar que a emissão estimulada não é isotrópica, mas se faz na direção do campo radiativo presente, o que leva ao efeito maser. Quando um maser possui uma ordem de grandeza de Mega (10^6), em um sistema de unidades dado, damos o nome de megamaser.

De acordo com Darling [10] as linhas de HCN e CO fornecem uma nova visão sobre o fenômeno do megamaser de OH, sugerindo um *gatilho* de gás denso para os OHMs. Com o trabalho de Darling foram identificados três propriedades físicas que diferenciam OHMGs de outras galáxias starbursts, são as seguintes propriedades: (i) OHMGs tem as maiores taxas de densidades médias de gases moleculares alcançando, na sua maioria, uma densidade molecular de $\bar{n}(\text{H}_2) = 10^3 - 10^4 \text{ cm}^{-3}$ com nuvens que emitem a linha de OH com densidade de $\approx \text{H}_2 > 10^4 \text{ cm}^{-3}$; (ii) OHMGs possuem uma população distinta na parte não-linear da relação IR-CO; (iii) galáxias hospedeiras de OHM possuem frações de gás molecular excepcionalmente altas, em torno de $L_{\text{HCN}}/L_{\text{CO}} > 0,07$, como mostra a Figura 3, e (iv) compreendem aproximadamente metade dessa população incommum [10].

As OHMGs parecem estar em um estágio crítico da evolução das [U]LIRGs, onde um disco de gás circum-nuclear foi formado recentemente e que poderia estar relacionado com a fonte de alimentação de um AGN, ou seja, as OHMGs poderiam indicadoras da fase final de evolução que sinaliza o momento imediatamente antes do surgimento do AGN; ou o maser de OH pode estar relacionado a regiões de grande formação estelar (starburst). Para determinar a fonte de ionização do gás através de observações ópticas são utilizados diagramas de diagnóstico baseados nas intensidades relativas de linhas espectrais de $[\text{OIII}] \lambda 5007 / \text{H}_\beta$, $[\text{NII}] \lambda 6583 / \text{H}_\alpha$, $[\text{SII}] \lambda 6716$, conhecidos como diagramas BPT [11, 12].

As OHMG são pouco estudadas na literatura e os estudos disponíveis utilizaram dados de baixa resolução espacial e espectral. Portanto, este

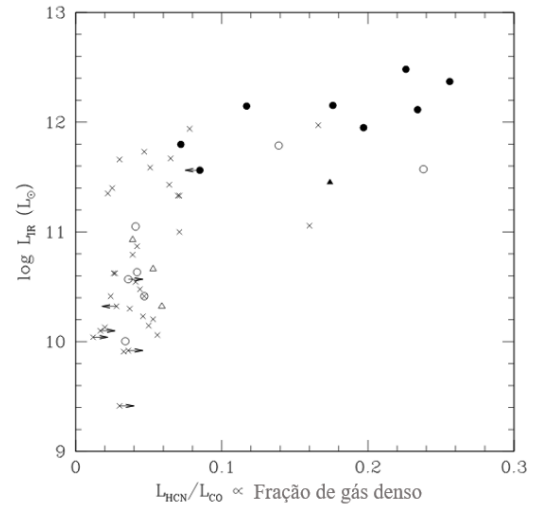


Figura 3: Diagrama da luminosidade no infravermelho (LIR) versus a razão das luminosidades das linhas de HCN e CO ($L_{\text{HCN}}/L_{\text{CO}}$) de uma amostra de [U]LIRGS. Os círculos pretos preenchidos representam galáxias com emissão de OHM; triângulos preenchidos representam galáxias com emissão de maser de OH na ordem de magnitude de kilo; círculos vazios representam objetos com absorção de OH; triângulos vazios representam objetos com absorção de OH com magnitude na ordem de kilo; e \times representam objetos que não possuem emissão de OH. Fonte: Ref. [10].

trabalho tem como principal objetivo instruir o aluno nos primeiros passos na astronomia observacional, estudar as OHMG, compreender o processo de observação e redução dos dados espectroscópicos obtidos por um telescópio, analisar os espectros e derivar as propriedades da OHMG IRAS 15587+1609. Além disto, objetivamos investigar o mecanismo de excitação das OHMGs, derivando a contribuição do AGN e do starburst através de diagramas de diagnósticos.

1.1 Caracterização da IRAS 15587+1609

A imagem na banda i do telescópio espacial Hubble (HST) foi observada pela *Advanced Camera for Surveys* (ACS) como parte do projeto ID 11604 (PI: D. J. Axon/ A. Robinson). Essa imagem mostra, pela primeira vez, que OHMG IRAS 15587+1609 é um sistema interagente composto por duas galáxias. A partir deste ponto do texto começaremos a denotar o nome IRAS 15587+1609 por IRAS 15. A Figura 5 obtida pelo telescópio Hubble na banda i mostra a IRAS 15 e seu universo local, assim é possível concluir que essa galáxia parece fazer parte de um grupo ou de um aglomerado de galáxias.

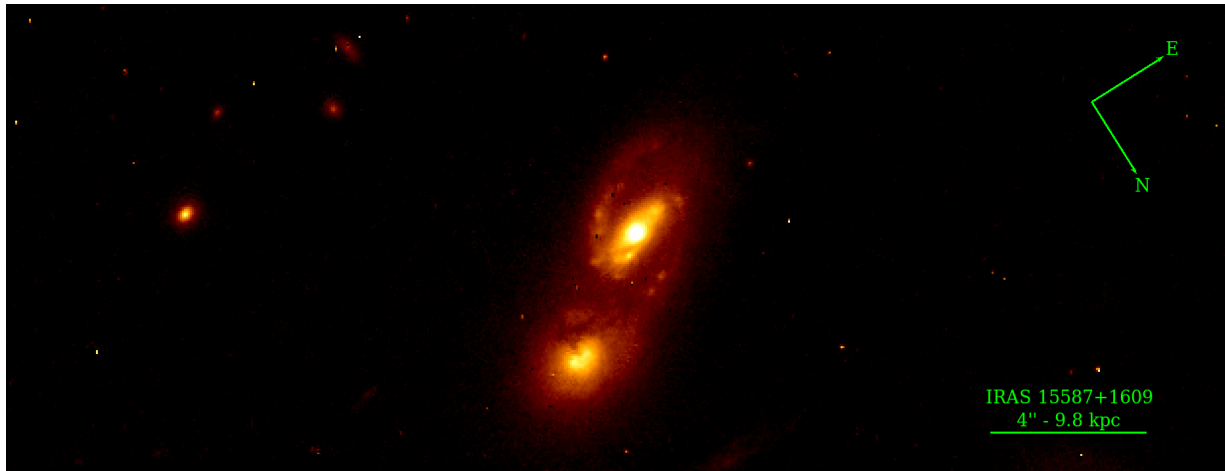


Figura 4: Imagem na banda i do sistema interagente IRAS 15 observado pelo telescópio Hubble. A sudoeste temos a IRAS 15A, e a noroeste IRAS 15B.

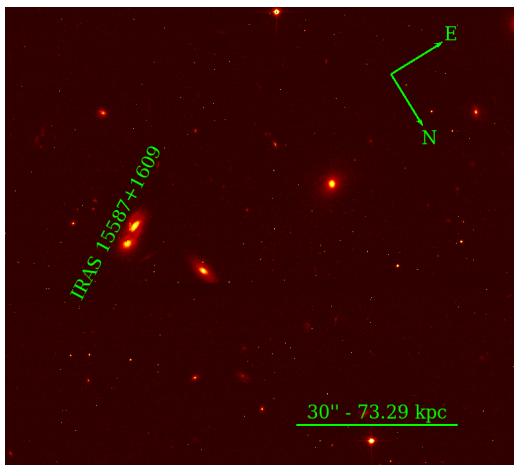


Figura 5: Imagem da IRAS 15587+1609 observado pelo telescópio Hubble na banda i .

Classificada como uma LIRG com uma luminosidade igual a $\log(L_{IR}/L_{\odot}) = 11,57$ e um maser de OH com luminosidade de $\log(L_{OH}/L_{\odot}) = 3,23$, a IRAS 15 é um objeto pouco estudado na literatura, e seu redshift é igual a 0.13718 [13]. Na Figura 4 visualizamos os detalhes da galáxia interagente IRAS 15 e suas componentes, onde, o núcleo mais intenso denominado de IRAS 15A está situado na direção sudoeste e o núcleo menos intenso denominado de IRAS 15B está situado na direção noroeste.

2 Observação e redução dos dados

Neste trabalho foram utilizados dados espectroscópicos obtidos pelo telescópio Gemini Sul (G-S) localizado na Cordilheira dos Andes, Chile. Os telescópios Gemini operam no IR e no visível

e possuem espelhos principais com 8,1 metros de diâmetro e apenas 10 cm de espessura. Os telescópios Gemini foram construído e são operados por um consórcio de 7 países, sendo eles os Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Chile, Austrália, Brasil e Argentina.

Para este projeto foram utilizados dados espectroscópicos de fenda larga. (longslit) com $1''$ (arcsec) de largura na região espectral do visível obtido através do projeto GS-2013B-Q-90 (PI: Dinalva A. Sales) intitulado “The gas kinematics and optical classification of OH megamaser galaxies”.

As observações de IRAS 15 ocorreram em dois dias, em cada noite de observação foi utilizado um comprimento de onda central: um centrado em 485nm (azul) e outro centrado em 579nm (vermelho) cobrindo todo o espectro eletromagnético visível. A Tabela 1 mostra os detalhes das noites de observação da IRAS 15.

Tabela 1: Detalhes das noites de observação da IRAS 15

Data da observação	Comprimento de onda (\AA)
05/08/2013	4850
15/03/2014	5790

A Figura 6 mostra uma imagem na banda ii observado pelo HST da galáxia IRAS 15. Sobreposta a essa imagem foi colocada a posição da fenda de $1''$ do GMOS, onde obtivemos os dados espectroscópicos no óptico.

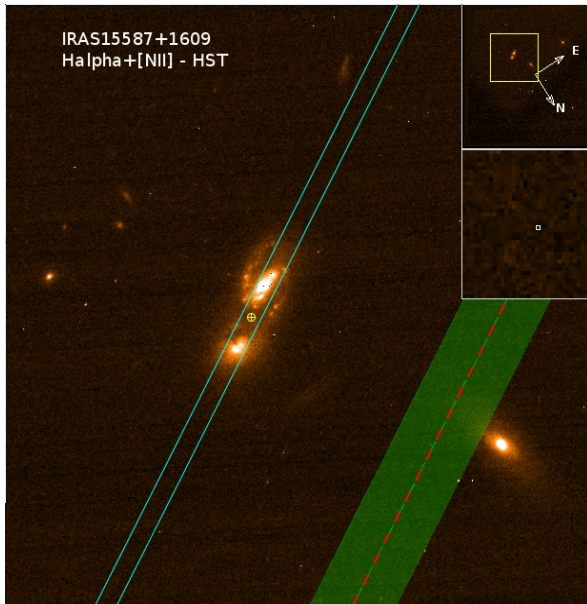


Figura 6: Imagem da banda i obtida pelo HST da IRAS 15 e, sobreposta a ela, a ilustração da fenda longa com largura de $1''$, utilizada para a observação dos dados espectroscópico do G-S.

2.1 Tratamento dos Dados Espectroscópicos

O processo de redução dos dados espectroscópicos é de suma importância para remover aberrações nas imagens, como erros de leitura dos pixels do CCD da câmera, raios cósmicos, linhas do céu e também para calibrar os espectros em comprimento de onda e fluxo. Este processo foi realizado utilizando o programa IRAF, junto com os pacotes desenvolvidos para a redução dos dados dos telescópios Gemini, específicos para o instrumento GMOS (Gemini Multi-Object Spectrographs).

O processo de redução dos dados neste trabalho segue o padrão utilizado para redução de dados de fenda larga. A descrição das tarefas podem ser encontradas em GEMINI.GMOS dentro do IRAF.

Nesta etapa tratamos dados de espectroscopia de fenda larga da galáxia utilizando as correções para os erros de leitura e não uniformidade do detetor CCD, além de espectros do Cu-Ar para calibração em comprimentos de onda. Os passos para obter o espectro unidimensional da IRAS 15 são os seguintes:

- Preparar os dados GMOS brutos para as reduções colocando a informação nos cabeçalhos e associando a máscara (MDF-mask de-

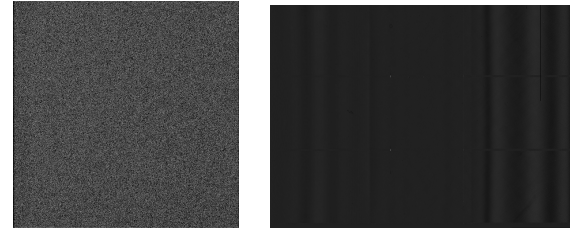


Figura 7: À esquerda: imagem do bias, nela vemos pontos que representam o ruído do CCD. À direita: imagem do flat, nela vemos faixas mais claras, onde o CCD é mais sensível. Imagens obtidas pelo telescópio G-S

finition file), que define a fenda usada (neste projeto todo é $1''0'$). A tarefa utilizada é `gprepare`.

- Processar e combinar as imagens de compensação (bias) com a tarefa `gbias`. O bias é a variação do valor de cada pixel obtido através da exposição do CCD ao completo escuro perante o menor tempo de exposição possível. O exemplo de uma imagem com bias é apresentado no painel esquerdo da Figura 7.
- Derivar a imagem de campo uniforme (flat) dos espectros GMOS, com base nas exposições da lâmpada GCAL, com `gsflat`. O flat é a resposta do CCD perante uma exposição a uma luz uniforme da lâmpada GCAL, ele mostra a variação do brilho e é utilizado para corrigir a sensibilidade do SSD. O painel direito da Figura 7 é um exemplo de uma imagem de flat.
- Subtrair o overscan e bias, dividindo pelo flat. Isto implica em encontrar e corrigir raios cósmicos, cortar as bordas, e multiplicar pelo ganho, tudo com a tarefa `gsreduce`. Essa tarefa é aplicada nos dados da galáxia, nas lâmpadas de CuAr, e nos dados da estrela padrão utilizada para calibrar o fluxo.
- Determinar uma calibração aproximada dos comprimentos de onda do espectro da lâmpada de CuAr, baseada na informação do header das imagens com a tarefa `gsappwave`.
- Estabelecer uma calibração em comprimento de onda para espectros GMOS com a tarefa `gswavelength`. Essa tarefa cria uma função que transforma cada pixel em seu comprimento de onda, usando um espectro de uma lâmpada de CuAr (Figura 8) que já é conhecido e tabeladas todas as linhas de emissão.

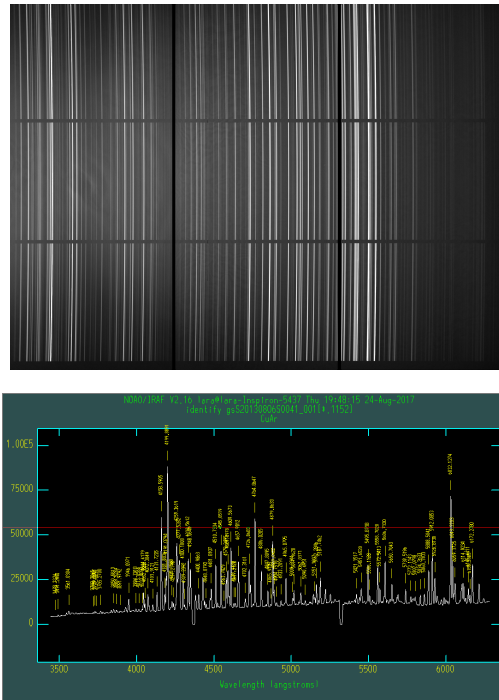


Figura 8: *Topo:* imagem 2-D do espectro do CuAr. *Abaixo:* imagem 1-D do CuAr com suas linhas identificadas.

- Calibrar o espectro da galáxia em comprimento de onda usando *gstransform*.
- Combinar as imagens. Após este passo temos o resultado da Figura 9.
- Subtrair do céu os espectros GMOS usando *gsskysub*.
- Extrair o espectro 1-D através do 2-D com a tarefa *gsextract*. Nesta etapa escolhemos as aberturas para extrair os espectros. A Figura 10 mostra as aberturas escolhidas, no pico de maior intensidade temos representada a abertura utilizada para a extração do espectro do núcleo mais brilhante da IRAS 15, denominado de IRAS 15A, por outro lado, no pico de menor intensidade temos representada a abertura utilizada para a extração do espectro do núcleo menos brilhante, denominado de IRAS 15B.

Neste trabalho não foi realizada a calibração em fluxo dos espectros da galáxia IRAS 15. Portanto, foram extraídos dois espectros para cada núcleo da galáxia, um centralizado na faixa do azul (4850 Å) e outro do vermelho (5790 Å) do espectro eletromagnético, cobrindo toda a faixa espectral do visível.

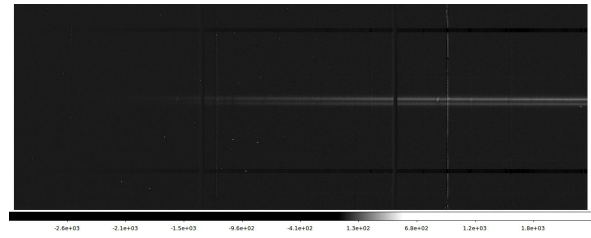


Figura 9: Imagem bidimensional do espectro da galáxia IRAS15.

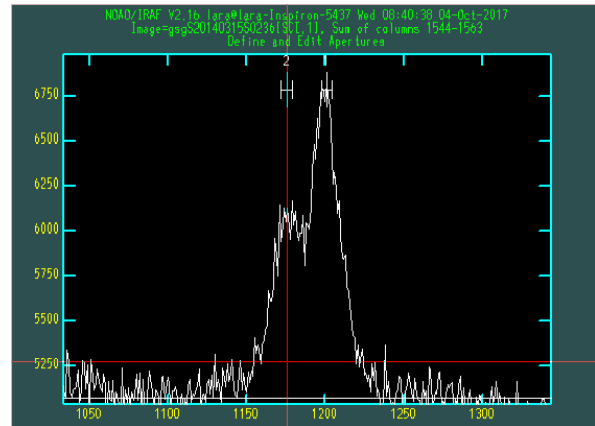


Figura 10: Perfil da emissão da IRAS 15 ao longo da fenda. Os picos de emissão correspondem aos núcleos da IRAS 15A a direita e IRAS15B a esquerda.

3 Resultados e discussões

A Figura 11 mostra os espectros unidimensionais da IRAS 15A obtidos pelo G-S do núcleo mais brilhante situado sudeste que pode ser visto na Figura 6. A Figura 12 nos mostra os espectros unidimensionais referentes a IRAS 15B, o núcleo menos brilhante situado a noroeste (Figura 6).

Nos espectros aqui apresentados a correção do desvio para o vermelho devido ao efeito doppler foi realizada utilizando a tarefa *dopcor* do IRAF empregando o redshift de 0,13718. Os espectros apresentados neste trabalho não foram calibrados em fluxo, assim neste caso apresentamos aqui espectros unidimensionais com fluxo em unidade arbitrária no eixo *y* e comprimento de onda em Angstroms (Å) no eixo *x*.

Investigando o espectro centrado na região espectral do azul da IRAS 15A, identificamos quatro linhas de emissão e quatro de absorção. As linhas de emissão presentes são [OII] (3729,87 Å), HeI(3889 Å), H_β (4862,68 Å) e [OIII] (4932,6 e 5007 Å), enquanto as linhas de absorção são K (3938,08 Å), H (3972,61 Å), Mgb (5170 Å) e [Fe II](5260 Å). A análise do espectro na região ver-

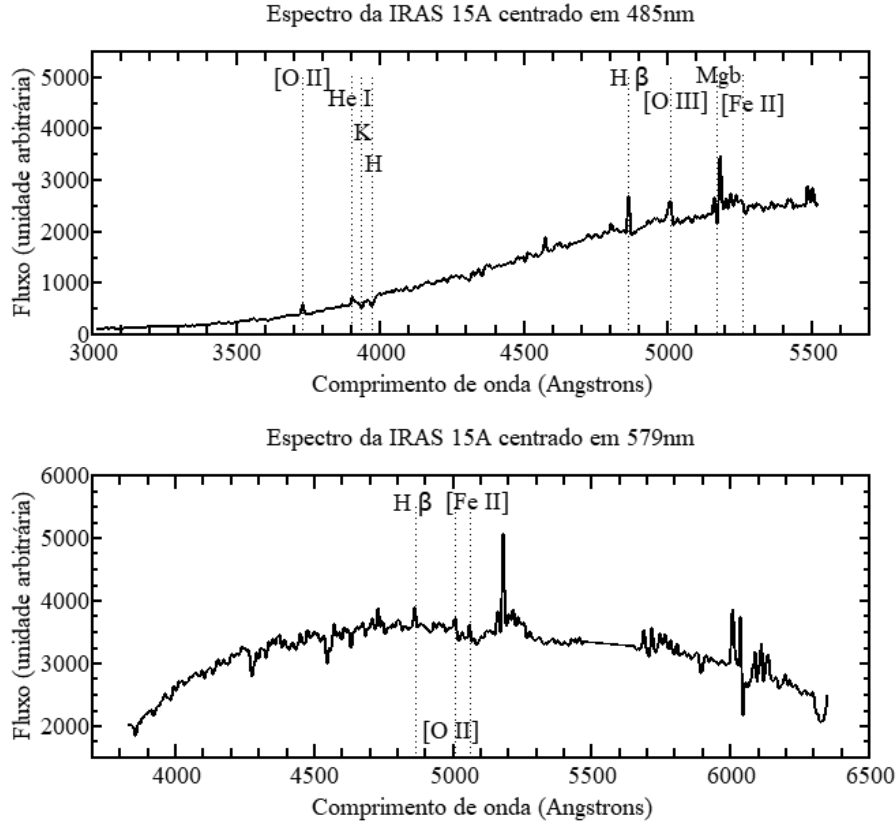


Figura 11: Espectro unidimensional da IRAS 15A observado pelo G-S. No topo temos o espectro referente a faixa espectral do azul, centrado em 485nm, onde identificamos as linhas de emissão de [OII] (3729,87 Å), HeI(3889 Å), H_{β} (4862,68 Å) e [OIII] (4932,6 e 5007 Å), e as linhas de absorção de K (3938,08 Å), H (3972,61 Å), Mgb (5170 Å) e [Fe II](5260 Å). Abaixo temos o espectro referente a faixa espectral do vermelho, centrado em 579nm, onde foram identificadas as linhas de emissão de H_{β} (4862,68 Å), [OIII] (5007 Å) e [FeII](5060 Å).

melha indica a presença das linhas de emissão H_{β} (4862,68 Å), [OIII] (5007 Å) e [FeII] (5060 Å). Neste espectro a região das linhas de H_{α} e [NII], que são importantes para a construção de um diagrama de diagnóstico, estão ausentes.

No caso do espectro do núcleo IRAS 15B centrado em 485nm foram identificadas as linhas de emissão de [OII] (3729,87 Å), HeI(3889 Å) e [OIII] (5007 Å), enquanto as linhas de absorção presentes são K (3956,79 Å), H (3973,16 Å), H_{Δ} (4104,57 Å), H_{γ} (4343,26 Å), H_{β} (4862,68 Å), Mgb (5170 Å) e [Fe II](5260 Å). Porém, o espectro centrado em 579nm somente apresentou a linha de emissão do [OIII] (5007 Å).

Como nos espectros da IRAS 15 não foi identificada a linha de H_{α} importante para a construção do diagrama de diagnóstico, não conseguimos identificar o mecanismo de ionização (radiativo ou colisional) provindos do disco de acreção do SMBH de AGNs.

Com as informações obtidas através dos espectros podemos calcular a velocidade de recessão do

sistema interagente IRAS 15, ou seja, a velocidade com que a galáxia distante se afasta de nós devido à expansão do Universo e que pode ser escrita como,

$$V(z) = H_0 c \int_0^z \frac{dz'}{H(z')} = c \int_0^z \frac{dz'}{\sqrt{\Omega_V + \Omega_m(1+z')^3}}, \quad (1)$$

onde c é a velocidade da luz e H_0 é a constante de Hubble.

Utilizando o valor do desvio para o vermelho da IRAS 15, $z = 0.13718$, da equação acima obtemos que o valor da velocidade de recessão é igual a 41140 km/s. Para $z < 1$ os valores da equação 1 se aproximam da seguinte equação, escrita em termos do comprimento de onda observado (λ_{ob}) e o de laboratório (λ_0),

$$v = c \frac{\left(\frac{\lambda_{ob}}{\lambda_0}\right)^2 - 1}{\left(\frac{\lambda_{ob}}{\lambda_0}\right)^2 + 1}. \quad (2)$$

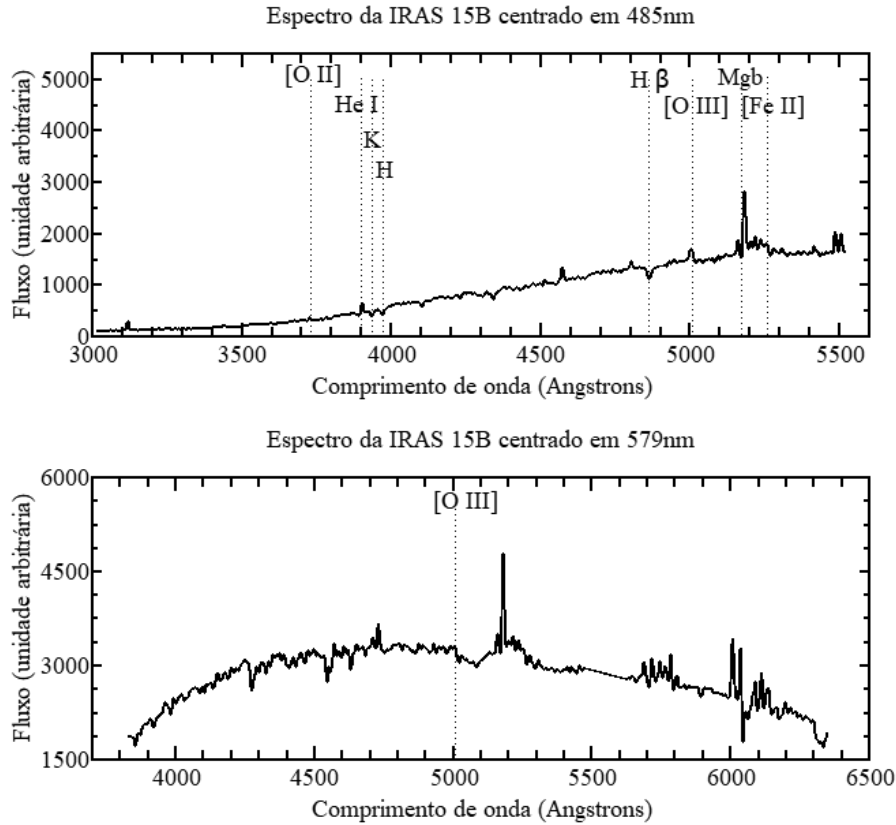


Figura 12: Espectro unidimensional da IRAS 15B. No topo temos o espectro referente a faixa espectral do azul, centrado em 485nm, onde foram identificadas as emissão de [OII] (3729,87 Å), HeI(3889 Å) e [OIII] (4932,6 e 5007 Å), e as linhas de absorção de K (3938,08 Å), H (3972,61 Å), H_{β} (4862,68 Å), Mgb (5170 Å) e [Fe II](5260 Å). Abaixo temos o espectro referente a faixa espectral do vermelho, centrado em 579nm, onde possui a linha de emissão de OIII] (5007 Å).

Utilizando a linha de emissão H_{β} presente no espectro da IRAS 15A não calibrado em redshift centralizada em 5531,45 Å, sendo que a emissão do H_{β} em laboratório é em 4862,68, temos que a velocidade de recessão da IRAS 15A (v_A) é igual a

$$v_A = 38398,35 \text{ km/s.} \quad (3)$$

No caso da IRAS 15B, utilizamos a linha e absorção de H_{β} centralizada em 5531,83 Å, assim a velocidade de recessão do IRAS 15B (v_B) é igual a

$$v_B = 38418,79 \text{ km/s.} \quad (4)$$

A diferença entre as velocidades dos dois núcleos é igual a

$$v = v_A - v_B = 20,4405 \text{ km/s.} \quad (5)$$

Através da Lei de Hubble sabemos que,

$$v = H_0 d, \quad (6)$$

onde $H_0 = 71 \text{ km/s} \cdot \text{Mpc}$ e d é a distância da galáxia até nós, podemos encontrar a distância entre os núcleos do sistema interatuante IRAS 15.

Desprezando a componente tangencial, essa distância, denominada de D , é igual a

$$D = 0,2878 \text{ Mpc} = 287,8 \text{ Kpc} \quad (7)$$

4 Conclusões

Através deste trabalho concluímos que o sistema interatuante IRAS 15587+1609 possui duas galáxias em processo de interação, denominadas neste artigo de IRAS 15A e IRAS 15B.

Mediante os espectros obtidos pelo GMOS/Gemini, concluímos que a faixa espectral do vermelho onde se localiza as linhas de H_{α} e [NII] importantes para a construção do diagrama de diagnóstico estão ausentes. No entanto, a faixa espectral do azul apresenta algumas linhas de emissão e absorção claras. Por meio da linha de H_{β} identificada no espectro da IRAS 15A e IRAS 15B foi possível derivar as velocidades de recessão das duas componentes da IRAS 15. São elas, $v_A = 38398,35 \text{ km/s}$ e $v_B = 38418,79 \text{ km/s}$. Utilizando a Lei de

Hubble e a diferença de velocidades dos dois núcleos determinada neste trabalho foi, no limite das aproximações feitas, possível quantificar a distância relativa entre os dois núcleos, que é igual a 0,2827 Mpc.

Através da identificação de linhas de absorção tênues de K (3956,79 Å), H (3973,16 Å) e H_Δ (4104,57 Å) nos espectros aponta forte indício que o sistema IRAS 15587+1609 é composto por duas galáxias starburst. Este resultado corrobora o cenário evolutivo de galáxia proposto por Lonsdale [3] segundo o qual galáxias interatuantes no começo do processo de colisão (como indica a imagem obtida na banda *i* pelo telescópio Hubble e a distancia que as separam) apresentam aumento da taxa de formação estelar sem, entretanto, que haja interação o suficiente para alimentar o buraco negro.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. D. A. Sales agradece a CNPq e a FAPERGS.

Sobre as autoras

Lara Maria Gatto (laragatto01@gmail.com) é doutoranda em Física na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre em Física pela Universidade Federal do Rio Grande e Bacharela em Física pela mesma instituição. Possui foco de suas pesquisas na área de astrofísica, atuando principalmente em pesquisas de galáxias megamasers de OH e AGNs.

Dinalva Aires de Sales (dinalvai-res@gmail.com) é Graduada em Matemática pela Universidade do Vale do Paraíba (2005), Mestre em Física e Astronomia pela Universidade do Vale do Paraíba (2007) e Doutora em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2012). Foi NASA Postdoctoral Fellow no Rochester Institute of Technology (2012/2013) e pós-doutoranda da DOCFIX-FAPERGS/CAPES na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2013/2016). Tem experiência na área de Astrofísica, atuando principalmente nos seguintes temas: núcleo ativo de galáxia, galáxia em interação, moléculas complexas, espectroscopia e

imageamento. Atualmente é professora adjunta do Instituto de Matemática, Estatística e Física (IMEF) da Universidade Federal do Rio Grande (IMEF-FURG) e Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Física (PPG-Física) do IMEF-FURG.

Referências

- [1] E. P. Hubble, *Extragalactic nebulae.*, ApJ. **64**, 321 (1926).
- [2] B. T. Soifer, D. B. Sanders, B. F. Madore, G. Neugebauer, G. E. Danielson, J. H. Elias, C. J. Lonsdale e W. L. Rice, *The IRAS Bright Galaxy Sample. II. The Sample and Luminosity Function*, ApJ. **320**, 238 (1987).
- [3] C. J. Lonsdale, D. Farrah e H. E. Smith, *Ultraluminous infrared galaxies*, in *Astrophysics Update 2*, editado por J. W. Mason (Springer, Berlin, 2006), 285.
- [4] D. B. Sanders, B. T. Soifer, J. H. Elias, B. F. Madore, K. Matthews, G. Neugebauer e N. Z. Scoville, *Ultraluminous Infrared Galaxies and the Origin of Quasars*, ApJ. **325**, 74 (1988).
- [5] D. A. Sales, A. Robinson, D. J. Axon, J. Gallimore, P. Kharb, R. L. Curran, C. O’Dea, S. Baum, M. Elitzur e R. Mittal, *An Embedded Active Nucleus in the OH Megamaser Galaxy IRAS 16399-0937*, ApJ. **799** (1), 25 (2015).
- [6] C. Hekatelyne, R. A. Riffel, D. Sales, A. Robinson, J. Gallimore, T. Storchi-Bergmann, P. Kharb, C. O’Dea e S. Baum, *Gemini IFU, VLA, and HST observations of the OH megamaser galaxy IRAS F23199+0123: the hidden monster and its outflow*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **474** (4), 5319 (2017).
- [7] D. A. Sales, A. Robinson, R. A. Riffel, T. Storchi-Bergmann, J. F. Gallimore, P. Kharb, S. Baum, C. O’Dea, C. Hekatelyne e F. Ferrari, *Gemini IFU, VLA, and HST observations of the OH megamaser galaxy IRAS 17526+3253**, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **486** (3), 3350 (2019).

- [8] W. A. Baan, A. D. Haschick e C. Henkel, *Molecular Outflows in Powerful OH Megamasers*, ApJ. **346**, 680 (1989).
- [9] C. J. Lonsdale, P. J. Diamond, C. J. Lonsdale e H. E. Smith, *Imaging of the ARP 220 OH Megamasers with VLBI*, in *IAU Colloq. 164: Radio Emission from Galactic and Extragalactic Compact Sources*, editado por J. A. Zensus, G. B. Taylor e J. M. Wrobel (1998), vol. 144 de *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 227.
- [10] J. Darling, *A Dense Gas Trigger for OH Megamasers*, Astrophys. J. Lett. **669**, L9 (2007).
- [11] J. A. Baldwin, M. M. Phillips e R. Terlevich, *Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects.*, Pasp. **93**, 5 (1981).
- [12] S. Veilleux e D. E. Osterbrock, *Spectral Classification of Emission-Line Galaxies*, ApJS. **63**, 295 (1987).
- [13] J. Darling e R. Giovanelli, *Optical spectral classification of major mergers: OH megamaser hosts versus nonmasing (ultra) luminous infrared galaxies*, The Astronomical Journal **132** (6), 2596 (2006).