

Universidade Federal do Rio Grande
Instituto de Matemática Estatística e Física

Lara Maria Gatto

**A Classificação em Comprimento de Onda
do Óptico de Galáxias Megamaser de OH: O
Caso da IRAS15587+1609**

Rio Grande

2017

Lara Maria Gatto

**A Classificação em Comprimento de Onda
do Óptico de Galáxias Megamaser de OH: O
Caso da IRAS15587+1609**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Física Bacharelado do Instituto de Matemática Estatística e Física da Universidade Federal do Rio Grande como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Física.

Área de Concentração: Astronomia

Orientador(a): Prof.^(a) Dr.^(a) Dinalva A. de Sales

Rio Grande

2017

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a meus pais, que sempre me apoiaram em meus estudos, e acreditaram em mim, porque sem eles não chegaria aonde estou. À minha mãe Rosângela, me incentivou a seguir em frente, e que sempre ouviu minhas lamúrias, e me dando os melhores conselhos ao final de nossas conversas. A meu pai Ademir, por suas perguntas sobre o meu futuro.

A minha orientadora Dinalva, por me orientar neste trabalho e por ter me guiado no meu estudo. E por me mostrar os primeiros passos para construir minha carreira.

Aos meus colegas de turma e amigos, Franciele, Daniele, Ângelo, Rodrigo, Geferson, por fazerem parte desta etapa da minha vida, e por ouvirem meus surtos de nervosismo antes das provas e trabalhos.

A meus amigos perdidos pelo mundo.

Aos professores por me proporcionar o conhecimento não apenas reacional, mas também a manifestação do caráter profissional.

Aos técnicos do IMEF que me ajudaram tanto nos laboratórios como em questões burocráticas do curso.

A Universidade Federal do Rio Grande pela oportunidade de concluir o curso de Física Bacharelado, e pelo espaço cedido.

“O Cosmos é tudo o que existe, existiu ou existirá. Nossa contemplação do Cosmos nos comove – provoca calafrios, nos deixa sem voz, causa uma sensação de vertigem, como uma memória remota de estarmos caindo de uma grande altura. Sabemos que estamos nos aproximando do maior de todos os mistérios.”

Carl Sagan (no episódio “As Margens do Oceano Cósmico”, primeiro da série Cosmos: A Personal Voyage em 1980).

Resumo

Dentro de cenário de evolução de galáxias, as Galáxias Megamaser de OH (OHMGs) são consideradas galáxias 'pré-ativas', já que parecem estar em uma fase de transição de curta duração, porém crítica, onde uma alta concentração de gás molecular está provocando intensos episódios de formação estelar, através de colisões entre galáxias (levando assim matéria ao Buraco negro central) e subsequente, o surgimento de uma Galáxia Ativa (AGN). As OHMGs são encontradas em galáxias luminosas no infravermelho (LIRGs), que apresentam uma luminosidade que ultrapassa $10^{11} L_{\odot}$, e que emitem um megamaser de OH. Imagens na banda I do telescópio espacial Hubble mostra que o sistema estudado neste trabalho a IRAS 15587+1609 faz parte de um aglomerado de galáxia composta por uma dezenas de objetos. Este trabalho tem como principal objetivo reduzir e analisar os dados espectroscópicos no óptico da galáxia IRAS 15587+1609. Foram utilizados dados espectroscópicos no óptico obtidos pelo GMOS (Gemini Multi-Object Spectrograph) acoplado ao Telescópio Gemini. Neste estudo obtivemos espectros unidimensionais das duas principais galáxias interagente que compõem o sistema da IRAS 15587+1609. Através do diagrama de diagnóstico WHAN foi possível classificar a atividade nuclear deste par de galáxia, e foi concluído que ambas as galáxias possuem emissão ionizante originada por estrelas. O que nos leva a concluir que estas galáxias interagente são galáxias Starburst.

Abstract

Within a scenario of evolution of galaxies, OHMGs are considered to be 'pre-active' galaxies, since they appear to be in a short but critical transition phase where a high concentration of molecular gas is causing intense episodes of star formation, through collisions between galaxies (thus leading matter to the central black hole) and subsequent, the emergence of an Active Galaxy (AGN). OHMGs are found in Luminous infra-red galaxies (LIRGs), which have found a brightness in excess of $10^{11}L_{\odot}$, and emit an OH megamaser. Images in the band I of the Hubble Space Telescope show that the system studied in this work, IRAS 15587 + 1609 is part of a galaxy cluster composed of a dozen objects. This work has as main objective to reduce and to analyze the spectroscopic data in the optical of the IRAS 15587 +1609 galaxy. Optical spectroscopic data obtained by the GMOS (Gemini Multi-Object Spectrograph) coupled to the Gemini Telescope were used. In this study we obtained uni-dimensional spectra of the two main interacting galaxies that compose the IRAS 15587 + 1609 system. Through the WHAN diagnostic diagram it was possible to classify the nuclear activity of this galaxy pair, and it was concluded that both galaxies have ionizing emission originated from stars. Which leads us to conclude that these interacting galaxies are Starburst galaxies.

Lista de Figuras

1.1	Hubble Deep Field	16
1.2	Imagens reproduzidas a partir de P01 mostrando observações da emissão do Maser de OH e contínuo em EVN+MERLIN Resolução	19
1.3	Modelo da emissão maser em galáxias OHMGs	20
1.4	Espectros no ótico típicos de galáxias AGNs e starburst.	22
1.5	Demografia de galáxias com atividade (AGNs e formação estelar intensa	23
1.6	Imagem ilustrando o modelo unificado de AGNs	25
1.7	Diagnósticos de razões de linhas de emissão onde podemos distinguir galáxias starburst (regiões HII), liners, “objetos de transição” e Seyferts.	27
1.8	Diagrama BPT de linhas de emissão para distinguir AGNs de regiões HII	27
1.9	Diagrama WHAN, usado para distinguir AGNs de regiões HII	28
1.10	Ilustração de uma emissão estimulada	30
2.1	Imagem da galáxia SDSS J0911+6152	33
2.2	Imagem do céu obtida pelo telescópio Hiltner.	34
2.3	Imagem do espectro da galáxia SDSS J0911+6152 obtida pelo telescópio, percebe-se claramente os 4 CCD.	35
2.4	Corte da parte superior a direita da Figura 2.3, mostrando o espectro da galáxia SDSS J0911+6152 obtido pelo telescópio.	35
2.5	Imagem do espectro da SDSS J0911+6152 com o bias e os flats e o darks removidos.	35
2.6	Espectro bidimensional da lâmpada de argônio.	36
2.7	Imagem mostra o processo de identificação das linhas espectrais da lâmpada de argônio	36

2.8	Imagem da máscara dos raios cósmicos extraído do espectro da galáxia SDSS J0911+6152.	36
2.9	Imagem do espectro da galáxia SDSS J0911+6152 sem os raios cósmicos.	36
2.10	Imagem combinada de 4 observações espectrais da galáxia SDSS J0911+6152.	37
2.11	Imagem do perfil de linha da galáxia SDSS J0911+6152.	37
2.12	Espectro unidimensional da Galáxia SDSS J0911+6152. Somente calibrado em comprimento de onda.	37
2.13	Espectro bidimensional da estrela padrão.	38
2.14	Imagem do espectro unidimensional da estrela.	38
2.15	Espectro unidimensional da Galáxia SDSS J0911+6152, calibrado em comprimento de onda e em fluxo.	39
3.1	Galáxias Observadas para esse trabalho	43
3.2	Galáxia IRAS15587+1906	44
3.3	Fenda utilizada para na observação da galáxia IRAS15587+1906	45
3.4	Imagem do Bias	45
3.5	Imagem do flat	46
3.6	Imagem 2-D e 1-D da lâmpada de CuAr.	46
3.7	Imagem bisdimensional do espectro da galáxia IRAS15587+1906	46
3.8	Imagem das aberturas escolhidas para a extração dos espectros.	47
4.1	Espectro bidimensional da IRAS 15587+160	49
4.2	Espectro unidimensional da IRAS 15587+160 referente ao Núcleo 1	50
4.3	Espectro unidimensional da IRAS 15587+160 referente ao Núcleo 2	50
4.4	Imagem do diagrama WHAN para a galáxia IRAS 15587+1609	51

Sumário

1. <i>Introdução</i>	15
1.1 Contextualização Histórica	15
1.2 Galáxias	17
1.2.1 Galáxias Megamaser	17
1.2.2 Galáxias Starburst	21
1.2.3 Núcleos Ativos	22
1.2.3.1 LINERs	23
1.2.3.2 Seyfert	24
1.3 Modelo Unificado de AGNs	24
1.4 Diagrama de Diagnóstico	26
1.4.1 Diagrama de Diagnóstico Alternativo (WHAN)	26
1.5 Emissão Maser	28
1.6 Objetivos Gerais	31
1.7 Objetivos Específicos	31
2. <i>Método de Aprendizagem para Redução de Dados Espectroscópico</i>	33
2.1 Processo de Redução de dados Espectroscópicos	34
2.1.1 Tratamento com imagens do bias, darks e flat-field: instrument, twilight,doma.	34
2.1.2 Calibrar o espectro em comprimento de onda.	36
2.1.3 Extração dos raios cósmicos	36
2.1.4 Remoção do Background e combinação das imagens	37
2.1.5 Extrair múltiplos espectros	37

2.1.6	Calibração em fluxo	37
2.1.7	Obtenção do espectro final da Galáxia SSD J0911+6152	38
3.	<i>Observação e Redução de Dados</i>	41
3.1	Observação dos Dados	41
3.1.1	Observação da IRAS 15587+1609	42
3.2	Redução de dados Espectroscópicos	43
4.	<i>Resultados</i>	49
4.1	Resultados da IRAS 15508+1609	49
4.2	Diagrama WHAN	51
5.	<i>Conclusões e Perspectivas</i>	53
	<i>Referências</i>	55

Introdução

1.1 Contextualização Histórica

Em 1789, Willian Herschel construiu um telescópio refletor com comprimento focal de 40 pés e cujo espelho tinha o diâmetro de 48 polegadas. Com este telescópio, Herschel não só revelou mais satélites em órbita de alguns planetas, como revelou algumas “nebulosas” de aspecto indistinto em aglomerados de estrelas. Até os primeiros anos da década 1780, os astrônomos conheciam cerca de 100 “objetos nebulosos” no céu do hemisfério norte que haviam sido catalogados por Charles Messier ([Messier, 1781](#)). Herschel, até 1802, catalogou cerca de 2.550 “objetos nebulosos” ([Herschel, 1802](#)).

Com o avanço do conhecimento e da tecnologia, William Parsons em 1845, descobriu que algumas destas “nebulosas” possuíam estruturas complexas em formas de espirais. Em 1925, Hubble a partir do seu estudo sobre as Cefeídas (estrelas, que de modo súbito, tem sua luminosidade aumentada em cerca de até 10^6 vezes) encontradas nas “nebulosas espirais”, concluiu que estas “nebulosas” eram objetos localizados fora de nossa Galáxia, comprovando que o nosso Universo é composto por uma infinidade de galáxias ([Hubble, 1925](#)).

Passando se 8 décadas, o telescópio espacial Hubble, no período de 3 de setembro de 2003 a 16 de janeiro de 2004, observou uma pequena região do espaço aparentemente escura na constelação de Fornax, e obteve o Hubble Ultra Deep Field (“Campo Ultra Profundo do Hubble”), ou HUDF, que é a imagem [\(1.1\)](#) mais profunda do Universo observada em luz visível.

Olhando a imagem [\(1.1\)](#), notamos que nosso Universo é composto de várias galáxias de diferentes morfologias, temos galáxias espirais, espirais barradas, elípticas e irregulares,

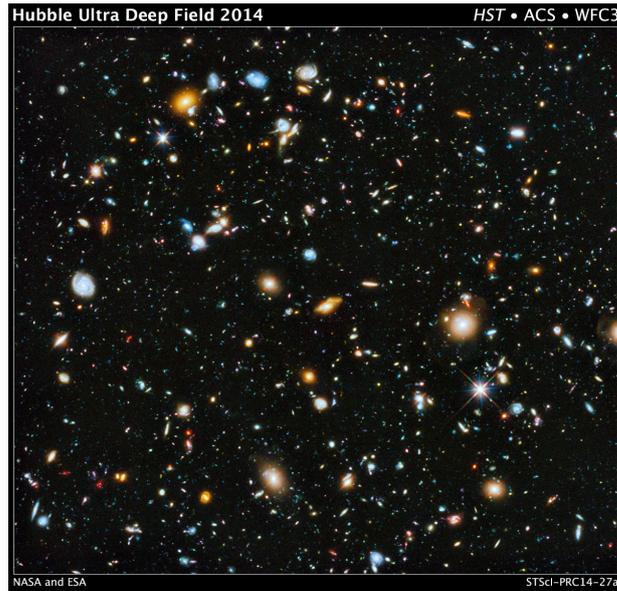


Figura 1.1: Hubble Deep Field, bandas, B,V,I. Fonte: [Site da imagem](#).

essa é a classificação morfológica mais popular utilizada até os dias atuais, criada por Hubble em 1936 (Hubble, 1936). Além da classificação morfológica, galáxias também podem ser classificadas através de suas características, como por exemplo, galáxias Starburst, (Ultra) Luminosas no Infravermelho, Galáxias Megamasers de OH ou H_2O , Galáxias Ativas (AGN) e entre outras.

Após sua formação, uma galáxias pode evoluir de formas distintas, e podemos distinguir três tipos de evolução: (I) dinâmica, seja ela secular ou devido a interações, envolvendo alterações nas distribuições espacial e de velocidades (isto é, mistura no espaço de fase); (II) população estelar, que leva em conta a taxa de formação e a evolução estelar em função do tempo; (III) abundância química, isto é, o enriquecimento da galáxia devido à nucleossíntese estelar, ejeção e/ou queda de matéria no poço de potencial gravitacional da galáxia. Acredita-se e as Galáxias Megamaser de OH são consideradas galáxias “pré-ativas”, já que parecem estar em uma fase de transição de curta duração, porém crítica, onde uma alta concentração de gás molecular está provocando intensos episódios de formação estelar, através de colisões entre galáxias (levando assim matéria ao Buraco negro central) e subsequente, o surgimento de uma Galáxia Ativa.

1.2 Galáxias

Neste Capítulo será abordado conceitos sobre as galáxias que serão estudados neste projeto. As Galáxias Megamasers que são os objetos de estudo, as Galáxias Ativas e as Galáxias Starburst.

1.2.1 Galáxias Megamaser

Dentro do cenário de evolução de galáxias, as Galáxias Megamaser de OH (OHMGs), estão em um estágio anterior a uma Galáxia Ativa (AGNs), onde uma alta concentração de gás molecular está provocando intensos episódios de formação estelar. As OHMGs são encontradas em galáxias luminosas no infravermelho (LIRGs), que apresentam uma luminosidade que ultrapassa $10^{11}L_{\odot}$, e que emitem megamaser de OH.

Com o lançamento do satélite IRAS (Infra-Red Astronomy Sattelite) em janeiro de 1983, foi descoberto dois novos tipos de galáxias, as galáxias luminosas e ultra luminosas no infravermelho (LIRGs / ULIRGs, em inglês Ultra Luminous Infra-red Galaxies), que recebem esse nome por apresentarem uma luminosidade que ultrapassa $10^{11}L_{\odot}$ e $10^{12}L_{\odot}$ respectivamente. Nesta classe de galáxia a luminosidade emitida no infravermelho é praticamente igual a luminosidade bolométrica (luminosidade total da galáxia considerando as emissões em todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético), e também, a razão $\frac{L_{ir}}{L_{opt}}$ possui um valor alto ($\frac{L_{ir}}{L_{opt}} > 50$, para ULIRGs), onde L_{ir} representa a luminosidade em comprimento de onda do infravermelho, e L_{opt} representa a luminosidade em comprimento de onda do óptico (Soifer et al., 1987).

Os primeiros megamasers extragalácticos de OH foram detectados na galáxia espiral NGC253 (Whiteoak e Gardner, 1973; Gardner e Whiteoak, 1975) e logo em seguida em M82 (Nguyen-Q-Rieu et al., 1976), em uma frequência de 1667 MHz e com uma largura de linha estreita ($\sim 10 \text{ kms}^{-1}$). A emissão proveniente dessas fontes surpreendeu por sua intensidade que era cerca de dez vezes mais brilhante do que a associada a outros masers galácticos, a além disso, percebeu-se que a linha de 1667 MHz era mais intensa do que 1665 MHz. Para explicar essa amplificação da emissão do maser, foi proposto que para existir este tipo de emissão deve existir um contínuo em rádio (Whiteoak e Gardner, 1973; Nguyen-Q-Rieu et al., 1976).

Um exemplo de fonte de emissão megamaser de OH é a galáxia ARP220 (IC 4553),

identificada com o telescópio Arecibo (Baan et al., 1982). Essa galáxia possui luminosidade de $400 L_{\odot}$, cerca de 10^8 vezes maior do que a dos masers encontrados na região de W3(OH), sendo a emissão não polarizada. Essas propriedades são semelhantes às dos masers encontrados em NGC253 e M82, mas com um maior alargamento na linha de emissão de OH (400 kms^{-1}) e luminosidade muito intensa, que pode ser resultado da presença de um grande número de fontes masers de OH associados com regiões HII (Baan et al., 1982).

A descoberta do megamaser de ARP220 implicou na realização de um survey com objetivo de encontrar outros megamasers de OH usando telescópios com grande área coletora, como o Radiotelescópio Arecibo. Sob o cenário de que emissão megamaser de OH é a amplificação de um contínuo em rádio que aparece em segundo plano, foram realizadas observações que procuravam emissão megamaser em galáxias com absorção de HI, contínuo forte em rádio, fontes de radiação infravermelha, galáxias IRAS e Markarian (Baan et al., 1985; Schmelz et al., 1986). No início da procura por megamasers de OH, a cada 240 galáxias candidatas a propiciar a emissão, apenas 3 apresentavam esta emissão (Baan et al., 1985). A associação entre megamasers de OH e atividades de Starburst foi proposta, uma vez que os ambientes para starbursts poderiam fornecer as condições favoráveis à emissão de maser, como um campo de radiação infravermelha forte, gás de alta densidade e a presença de fontes de rádio contínuo (Bottinelli et al., 1985).

Emissão megamaser de OH pode ser utilizada justamente para traçar regiões de alta densidade ($n(H_2) = 10^{5-7} \text{ cm}^{-3}$) e especulam que uma separação nas componentes da emissão megamaser pode estar associada com outflows de matéria com baixa densidade, mas à altas velocidades (Baan et al., 1989; Lonsdale et al., 1998).

O cenário de que nesse tipo de emissão há a amplificação do contínuo rádio presente nas LIRGs não é totalmente aceito. Razões para discussões nessa hipótese ficaram mais evidentes a partir dos dados obtidos com a Interferometria de linha de base muito longa (VLBI, em inglês Very Long Baseline Interferometry), da galáxia ARP220. Nesse levantamento, foi constatado que cerca de dois terços da emissão MASER proveniente desse objeto é produzida em estruturas com volume de poucos pc^3 , geralmente partindo de dentro do núcleo de ARP220, mas sem coincidir com a emissão relacionada com a amplificação do contínuo em rádio (Lonsdale et al., 1998). Outros megamasers de OH foram detectados com o VLBI tendo como fontes IIZW35, IRAS17208-0014 (Diamond et al., 1999), 12032+1707 (Lonsdale et al., 2003), Mrk 231 (Klöckner et al., 2003), Mrk 273 (Klöckner e Baan, 2004)

e IRAS14070+0525 (Pihlström et al., 2005), sendo que as três últimas galáxias apresentam emissão estendida em um disco circumnuclear que corrobora o modelo proposto.

Parra et al. (2005) propuseram um modelo para a emissão de um maser de OH a partir da galáxia IIZw35. A galáxia IIZw35 é um LIRG a uma distância de 110 Mpc, a através de seu espectro no ópito foi classificada como LINER/Seyfert 2. A galáxia está na bem conhecida correlação radio-FIR e tanto no contínuo do rádio e sua emissão no infravermelho é consistentes com uma alimentação por explosão estelar com uma taxa de formação estelar de $\sim 19M_{\odot} yr^{-1}$ (P01). Mapas de resolução intermediária da emissão do maser de OH foram produzidos pela P01 combinando os dados de EVN e MERLIN e são reproduzidos na figura 1.2. A escala de cinza na figura 1.2.a mostra que, nesta resolução, a emissão de maser tem uma clara vazia perto do seu centro e duas regiões brilhantes para o Norte e Sul, com estimativas de Relação Linha a Contínua (LCR). Também podem ser vistas duas pontes de emissão difusa que conectam as regiões brilhantes, a ponte ocidental tem $LCR = 9 \pm 2$, a ponte leste tem uma $LCR = 14 \pm 4$. A figura 1.2.b mostra o gradiente de velocidade Norte-Sul obtido a partir do mapa de momento maser. Este gradiente e a distribuição do brilho maser são consistentes com um anel rotativo cujo eixo está inclinado por $i \sim 60^{\circ}$ na direção do observador.

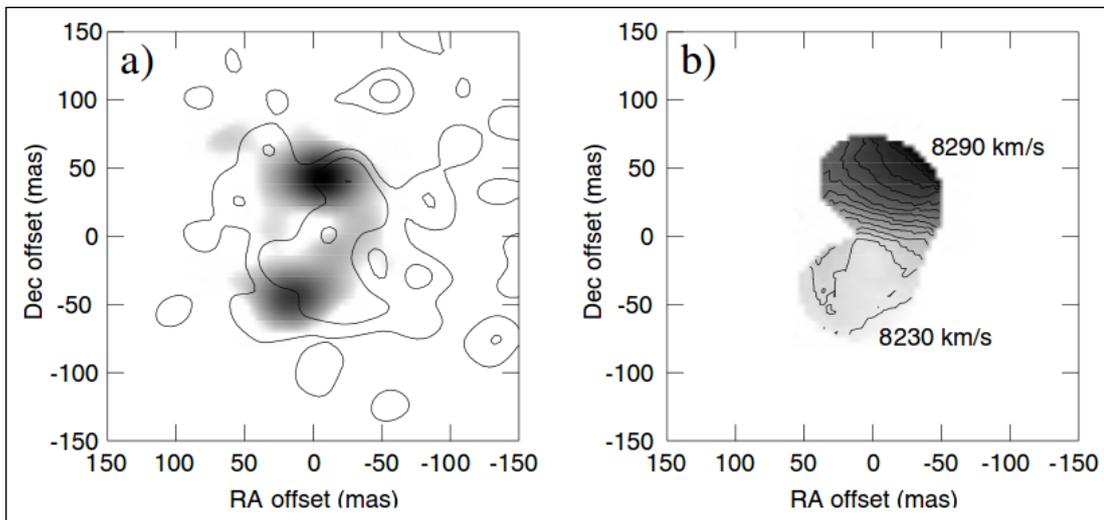


Figura 1.2: Imagens reproduzidas a partir de P01 mostrando observações da emissão do Maser de OH e contínuo em EVN+MERLIN. a) a escala de cinza mostra a velocidade de emissão integrada de OH em uma resolução de 34×29 mas. Os contornos mostram a emissão contínua na mesma resolução. b) Corresponde ao campo de velocidade do centróide da emissão do OH. Na escala de cinza está entre 8224 (cinza mais claro) e 8300 km s^{-1} (Preto). Extraído de Parra et al. (2005).

Com a inclinação da observação da galáxia IIZw35 em que ambas as nuvens de OH nuvens e contínuo da emissão coexiste dentro do modelo dos anéis circumnucleares da figura 1.3. Para conciliar essa geometria simétrica com a assimetria leste-oeste observada na emissão de linha e contínua (ver figura 1.2.a), o modelo também inclui um bi-cone de absorção livre que cobre o lado leste da fonte (Parra et al., 2005).

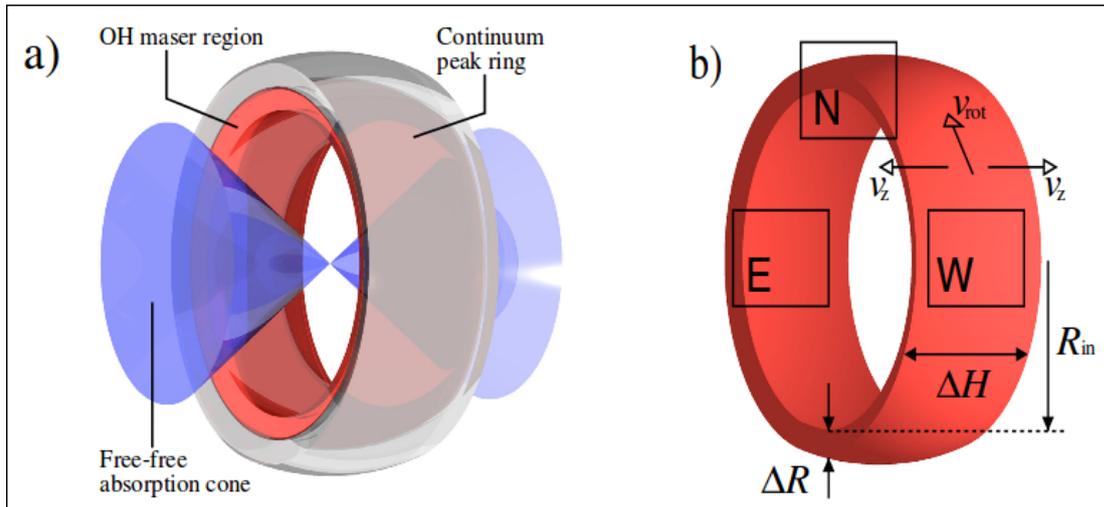


Figura 1.3: Modelo da emissão maser em galáxias OHMGs. a) Esboço da geometria da fonte proposta. O anel cinza escuro interno representa a região onde as nuvens de maser de OH são confinadas. O anel cinza claro externo retrata uma superfície isófora da emissividade contínua distribuída suavemente. Observe que, embora o raio de pico de continuidade a emissividade fica fora do anel de OH maser, algumas emissões contínuas se interpenetram e até se encontram dentro do anel de OH (não mostrado neste figura). Esta geometria explica a grande linha para a relação contínua no lado leste da fonte porque aqui a maioria do continuum é um fundo para o OH. Em contraste, no lado ocidental apenas a fração menor do continuum que interpenetra e mora dentro da OH maser zona está disponível como fonte de fótons de sementes. b) Representação detalhada do anel OH maser indicando posições e dimensões referidas no texto principal. As setas indicam componentes da rotação da nuvem ao redor do anel. Para a galáxia IIZw35 o raio interno do anel do maser $R_{in} = 22pc$, a espessura radial do anel do maser $\Delta R = 3pc$, a altura do anel do maser $\Delta H = 6pc$, a velocidade de rotação do anel do maser $v_{rot} = 57km s^{-1}$. Extraído de Parra et al. (2005).

Com o intuito de expandir a amostra de megamasers conhecidos, foi realizado um levantamento que observou 300 galáxias do catálogo galáxias IRAS no intervalo de $z > 0.1$ com o telescópio Arecibo (Darling e Giovanelli, 2002). O resultado foi a detecção de mais de 100 megamasers de OH em galáxias luminosas no infravermelho.

1.2.2 Galáxias Starburst

Galáxias Starburst apresentam uma taxa de formação estelar muito superior à taxa observada em galáxias ditas normais. Estima-se que 25% da formação estelar atual no Universo próximo ocorra em galáxias com surto de formação estelar (Starburst). É possível que todas as galáxias passam por uma fase de formação estelar intensa em algum momento de sua vida (Gallego et al., 1995; Conselice, 2000).

A formação de um starburst ainda não é bem compreendido. Sabemos que estes eventos devem ter uma duração relativamente curta ($\sim 10\text{--}100 \times 10^6$ anos), pois o gás da galáxia é rapidamente consumido na formação estelar. A taxa de formação estelar (SFR) em um “starburst” é cerca de 10^3 vezes maior que a SFR em galáxias consideradas normais, como a Via Láctea (Licquia e Newman, 2015).

Na maioria dos casos, o surto de formação estelar ocorre na região central da galáxia, $r \leq 1$ kpc. Neste caso, o surto é alimentado por gás que se acumula no centro; um mecanismo eficaz para isto está ligado à presença de barras nas galáxias espirais.

Para galáxias em alto redshift, o mecanismo que dispara o starburst é provavelmente as colisões galácticas; estas colisões podem levar à fusão das galáxias ou a formação de caudas de maré. O encontro entre duas galáxias ricas em gás leva a um choque do gás, que pode ser levado às condições propícias de formação estelar (Conselice, 2000).

Observacionalmente, podemos distinguir dois tipos de galáxias starburst:

- Galáxias com excesso de emissão ultravioleta. A luminosidade desta galáxia é dominada por associações OB, estrelas massivas de curta vida. Nestas galáxias a poeira tem uma distribuição “dispersa” e a radiação UV não é completamente absorvida.
- Galáxias com excesso de emissão infravermelha. Neste caso, a luz ultravioleta das estrelas massivas é absorvida pela poeira que re-emite a energia no infravermelho distante (FIR, far infra-red). Os casos mais extremos são as ULIRGs, com $L_{FIR} > 10^{12}L_{\odot}$. Se estas galáxias estão muito distantes ($z > 3$) a radiação da poeira é observada em micro-ondas.

O espectro no óptico típico de uma Galáxia Starburst, pode ser visto no figura 1.4.

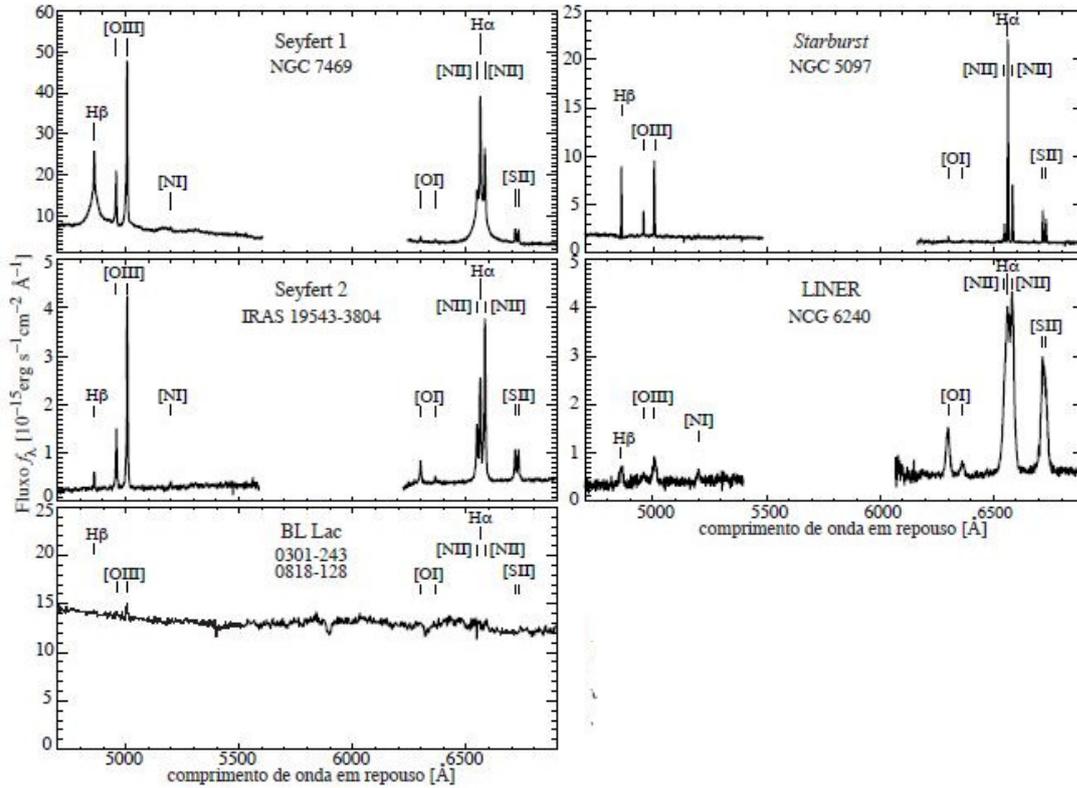


Figura 1.4: Espectros no ótico típicos de galáxias AGNs e starburst. Note as diferentes larguras e intensidades de linhas espectrais e comportamento do contínuo.

1.2.3 Núcleos Ativos

Em 1909, Fath (Fath, 1909) notou que a galáxias espiral (NGC 1068 = M77) possuía linhas de emissão brilhantes H_β , $[OII]$ 3727 Å, $[NIII]$ 3869 Å, $[OIII]$ 4363, 4959 e 5007 Å. Em 1943, Seyfert (Seyfert, 1943) afirmou que uma porção das galáxias espirais, aquelas que tinham núcleos brilhantes, possuíam também linhas de emissão largas.

Hoje sabemos que galáxias que possuem linhas fortes de emissão e alta luminosidade estão associadas a galáxias com núcleos ativos, ou seja a Galáxias Ativas (AGNs), que tem como características a presença de linhas fortes e largas em seu espectro de emissão devido a energia emitida pelo seu núcleo, e uma luminosidade que varia entre $-9 < M_B < -30$ e $10^{38} < L_X < 10^{48} \text{ergs}^{-1}$.

Com o trabalho de Seyfert em 1943, toda uma fauna de galáxias ativas foram definidas, a figura 1.5 exemplifica os tipos e densidade de abundância de diferentes AGNs.

Galáxias que possuem núcleo ativo podem ser divididas principalmente em LINERs e Seyferts, abaixo descreveremos cada uma dessas classes.

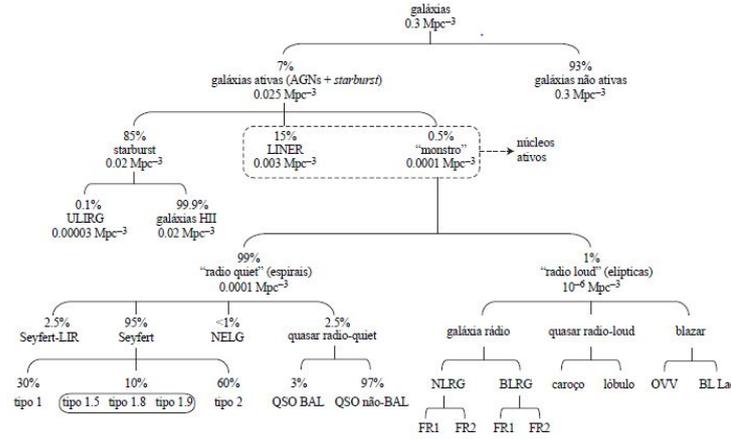


Figura 1.5: Demografia de galáxias com atividade (AGNs e formação estelar intensa). As porcentagens e densidades são aproximadas. Extraído de (Roy, 1994).

1.2.3.1 LINERs

A sigla LINERs vem do inglês Low Ionization Nuclear Emission-line Region, em tradução livre Região de Linha de Emissão Nuclear de Ionização Baixa. Um exemplo de Galáxia LINER é a galáxia M104 (galáxia de Sombreiro).

LINERs são AGNs de linhas estreitas e de baixa luminosidade, ou seja, são capazes de produzir apenas linhas de emissão de elementos de baixa ionização. Em 1980, Heckman define pela primeira vez esta classe de objetos pelas razões de intensidade $[O_{II}]\lambda 3727/[O_{III}]\lambda 5007 \geq 1$ e $[O_I]\lambda 6300/[O_{III}]\lambda 5007 \geq 1/3$. Os LINERs também podem ser definidos pelas razões $[N_{II}]/H\alpha > 0,6e$ e $[O_{III}]/H\beta < 3$ (Diagrama BPT, seção 1.3).

LINERs são encontrados em aproximadamente 80% de galáxias espirais do tipo S_a e S_b e, em uma proporção menor, em galáxias S_c e Elípticas. Existe um debate na literatura sobre a origem da fonte ionizante dos LINERs. Duas possibilidades opostas são:

- Núcleo ativo da galáxia. LINERs seriam o final fraco da função de luminosidade de AGNs.
- Formação estelar intensa no centro galáctico. LINERs seriam como regiões H_{II} no centro de galáxias.

Na figura 1.4 temos um exemplo de espectro de galáxias LINERs.

1.2.3.2 Seyfert

As galáxias Seyfert somam aproximadamente 0,1% das galáxias de campo e, pelo menos 90% delas são espirais de tipo S_b ou SB_b . Muitas apresentam vizinhos que podem estar em interação gravitacional. Das galáxias que possuem núcleo ativo, as Seyfert são as mais frequentes no Universo próximo.

De acordo com a proposta de Khachikyan Weedman ([Khachikyan e Weedman, 1971](#)), as Galáxias Seyfert podem ser divididas em três tipos baseados na largura das linhas de emissão:

- **Seyfert 1:** Linhas permitidas de emissão largas (p.ex. H_I , He_I , He_{II} ; 1000–5000 km/s); linhas proibidas estreitas (p.ex. $[O_{III}]$, $[NeV]$; aproximadamente 500 km/s).
- **Seyfert 2:** Tanto as linhas permitidas como as proibidas são estreitas (~ 500 km/s, i.e., 10 \AA no visível). O contínuo das Seyferts 2 é sistematicamente mais fraco que o das Seyferts 1. Quando observado em luz polarizada, as Seyfert 2 também apresentam linhas permitidas largas ([Miller e Antonucci, 1983](#)).
- **Seyfert 1.5 - 1.9:** Tipo intermediário, que apresentam linhas permitidas largas e estreitas.

A figura [1.4](#) ilustra a diferença espectral entre as Seyferts 1 e 2, além de compará-las com outros tipos de AGNs, como as LINERs e Starburst.

1.3 Modelo Unificado de AGNs

O modelo unificado das galáxias de núcleos ativos se baseia em três suposições básicas:

1. Alguns objetos são intrinsecamente mais brilhantes;
2. Alguns objetos produzem jatos de partículas relativísticas;
3. A orientação dos objetos é aleatória e, dependendo do ponto de vista do observador, regiões diferentes do núcleo são observadas, i.e., os núcleos ativos são anisotrópicos ([Barthel, 1989](#)).

De acordo com o modelo unificado de AGNs, no centro da galáxia se encontra um buraco negro supermassivo ativo (onde sua dimensão é menor que o valor dada pelo raio

de Schwarzschild, $r_s \equiv 2GM/c^2$), com um disco de acreção em sua volta, onde é produzido jatos de partículas relativísticas. A figura 1.6 ilustra o modelo unificado de AGN.

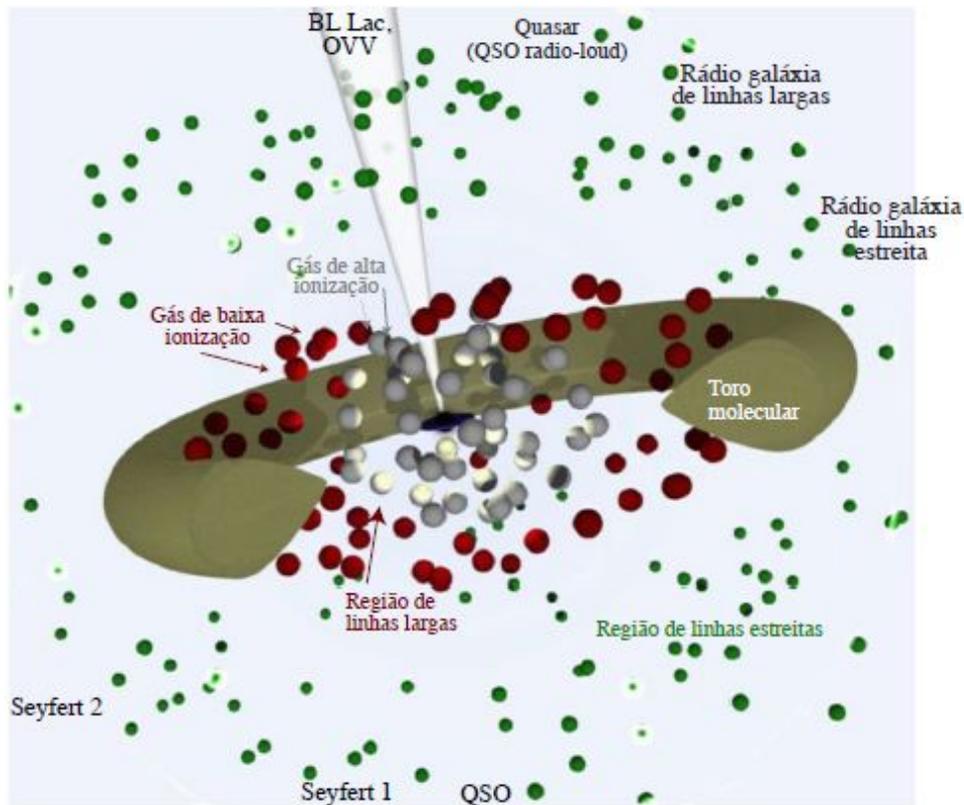


Figura 1.6: Modelo unificado de AGNs (fora de escala). No centro está o disco de acreção e o buraco negro. Dependendo da posição do observador, a AGN é classificada de maneira diferente. Em geral, se a região central pode ser observada temos uma AGN tipo 1; se a região central está escondida, temos uma AGN tipo 2. Para efeito de ilustração apenas um jato é mostrado (quando existem, os jatos são aproximadamente simétricos em relação ao núcleo).

Entre $\sim 0,1$ e ~ 30 parsec existem nuvens de gás que formam a chamada região de linhas largas (BLR, Broad Line Region). Na região mais interna, distribuída de forma aproximadamente esférica estão nuvens com gás altamente ionizado enquanto que, nas regiões mais externas, menos densa e distribuída de forma mais achatada, o gás tem baixa ionização. Estas nuvens são responsáveis pela emissão permitidas de linhas largas, com até 5000 km/s.

Na borda da região de linhas largas, existe um toro molecular, com uma dimensão da ordem até algumas centenas de parsecs. Esta região é composta de gás e poeira e é opticamente espessa. Quando o AGN é observada de perfil, a região de linhas largas e o disco de acreção são obscurecidos.

Uma evidência observacional importante do toro molecular é a observação de AGNs de tipo 2 em luz polarizada. O espectro produzido na região central (BLR, região que produz linhas largas), emitida perpendicularmente ao toro é espalhada e uma fração da radiação pode chegar a nós. Esta luz espalhada é polarizada e seu espectro apresenta características de AGNs de tipo 1 (linhas permitidas largas).

Na região por volta de 1 kpc, além do toro molecular (ou de poeira), encontra-se a região de linhas estreitas. Esta região é formada por nuvens de gás de baixa densidade e mais frio e, portanto, as linhas são mais estreitas.

1.4 Diagrama de Diagnóstico

As galáxias com formação estelar intensa e as AGNs possuem características espectrais diferentes (p.ex., fluxo UV e infravermelho distante elevados). Há diferenças contudo, pois as regiões de formação estelar (regiões HII) são aquecidas por estrelas jovens (tipo OB) e nas AGNs a energia vem da região central (provavelmente do contínuo produzido pelo disco de acreção de um buraco negro). Assim, diagramas de diagnósticos baseado nas intensidades relativas de linhas espectrais ($[O_{III}]\lambda 5007/H_{\beta}$, $[N_{II}]\lambda 6583/H_{\alpha}$, $[S_{II}]\lambda\lambda 6716, 6731/H_{\alpha}$, $[O_{I}]\lambda 6300/H_{\alpha}$, ver figura 1.7, foram propostas para distinguir AGNs de galáxias com surto de formação estelar (Baldwin et al., 1981; Veilleux e Osterbrock, 1987). Estes diagramas de diagnósticos são conhecidos como diagrama BPT e dividem as regiões de galáxias ativas e região de formação formação estelar. Um dos diagrama BPT é o gráfico da razão $[O_{III}]\lambda 5007/H_{\beta}$ em função da razão $[N_{II}]\lambda 6583/H_{\alpha}$, sugerido por (Baldwin et al., 1981) para classificação dos espectros com linhas de emissão, ver figura 1.8.

1.4.1 Diagrama de Diagnóstico Alternativo (WHAN)

Em 2011, Cid Fernandes et al, propuseram um diagrama de diagnóstico mais econômico, pois utilizam apenas informações das linhas de emissão de H_{α} e do NII, atualmente conhecido por diagrama WHAN (Cid Fernandes et al., 2011). Este diagrama combina a largura equivalente de H_{α} (WH_{α}) e a relação de linha $\frac{[NII]}{H_{\alpha}}$ para classificar a(s) fonte(s) de ionização em galáxias.

De acordo com Cid Fernandes et al. (2011), quatro classes de galáxias podem ser identificadas usando o diagrama WHAN (figura 1.9):

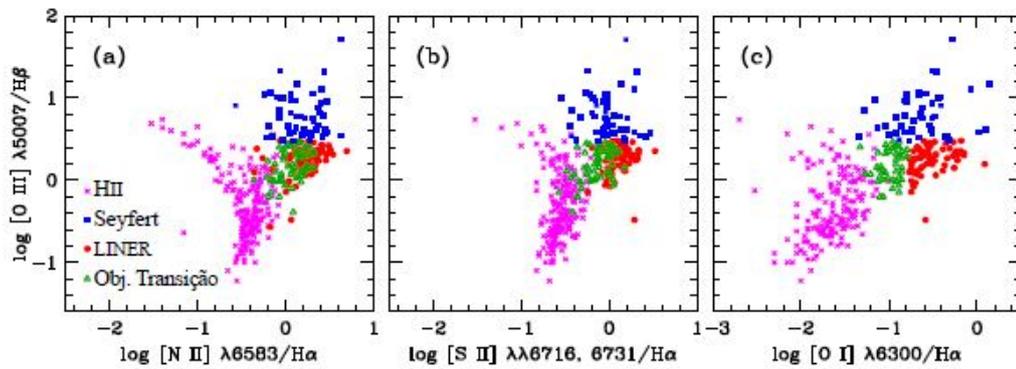


Figura 1.7: Diagnósticos de razões de linhas de emissão onde podemos distinguir galáxias starburst (regiões Hii), liners, “objetos de transição” e Seyferts. Imagem retirada de Ho, 2008, botar referência

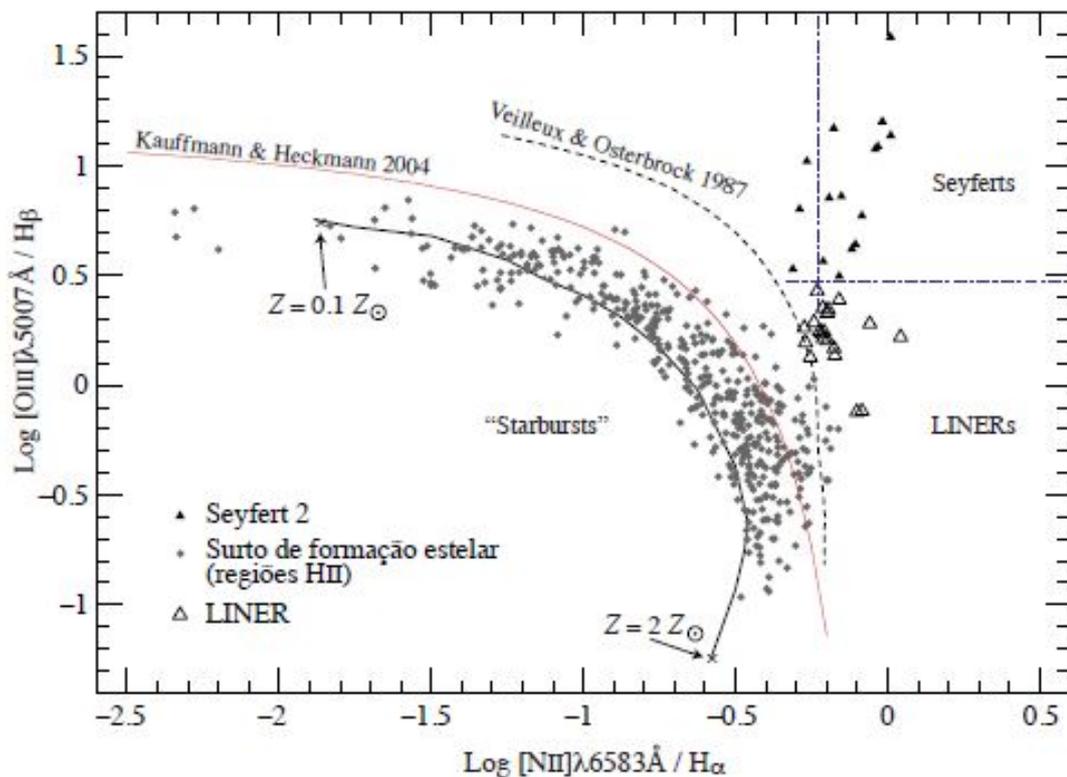


Figura 1.8: Diagrama BPT de linhas de emissão para distinguir AGNs de regiões Hii (formação estelar intensa). A linha contínua representa regiões HII de diferentes metalicidades segundo (Dopita e Evans, 1986). A linha tracejada separa AGNs de regiões de formação estelar segundo Veilleux e Osterbrock (1987) .

1. Galáxias formadoras de estrelas puras (SF): $\log\left[\frac{[\text{NII}]}{\text{H}\alpha}\right] < -0.4$ e $WH_\alpha > 0.5\text{\AA}$;
2. AGN forte (sAGN): $\log\left[\frac{[\text{NII}]}{\text{H}\alpha}\right] > -0,4$ e $WH_\alpha > 0.8\text{\AA}$;
3. AGN fraco (wAGN): $\log\left[\frac{[\text{NII}]}{\text{H}\alpha}\right] > -0,4$ e $0.5\text{\AA} < WH_\alpha < 0.8\text{\AA}$;
4. LINERs (galáxias aposentadas)(RG): $WH_\alpha < 0.5\text{\AA}$.

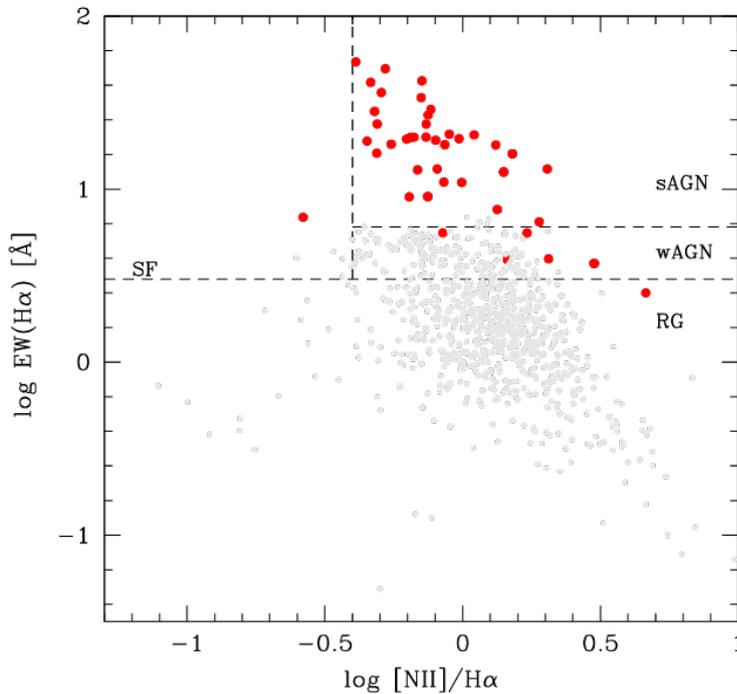


Figura 1.9: Diagrama WHAN, usado para distinguir AGNs de regiões HII, onde os pontos vermelhos e cinzas são amostras de U(LIRGs) do SDSS. Extraído de [Melnick et al. \(2015\)](#).

1.5 Emissão Maser

Podemos explicar a emissão masser através do modelo atômico de Niels Bohr, que foi proposto em 1913. Bohr propôs que o átomo era composto de um núcleo positivo com os elétrons se movendo em uma órbita circular, em torno deste núcleo. Neste modelo, o elétron só pode se mover em uma órbita em que seu momento angular é múltiplo inteiro de h (constante de Plank), e sua energia nesta órbita é constante. Bohr também postulou que se um elétron que se move inicialmente em uma órbita com energia E_1 , muda seu movimento

descontinuamente e passa a se mover em outra órbita com energia E_2 , é emitida uma radiação eletromagnética, e a frequência dessa radiação é igual a $\nu = \frac{E_1 - E_2}{h}$. Este último postulado é na realidade o postulado de Einstein, de que a frequência de um fóton é igual a energia carregada pelo fóton dividida pela constante de Plank $\nu = \frac{E}{h}$.

Com o estudo de Bohr sobre o átomo podemos explicar a emissão e absorção de fótons pelos átomos, e conseqüentemente entendermos como é formado um Maser. Um Maser significa Microwave Amplification by Stimulation Emission of Radiation (em português, Amplificação de Microondas por Emissão Estimulada de Radiação). O princípio físico fundamental que descreve o MASER é o conceito de emissão estimulada. Antes de defini-lo, olhamos para dois fenômenos relacionados envolvendo a interação entre matéria e radiação, a absorção e a emissão espontânea.

- **Absorção:** De acordo com a mecânica quântica, a absorção de um fóton por um átomo ocorre somente se o comprimento de onda do fóton for equivalente a diferença de energia entre dois níveis de energia do átomo. Caso isto ocorra, o átomo irá "absorver" este fóton e ir de seu estado fundamental para seu estado excitado, não violando o princípio de exclusão de Pauli.
- **Emissão espontânea:** Como um átomo não gosta de permanecer em seu estado excitado, um elétron de uma camada de alta energia move-se para uma camada de mais baixa energia, emitindo assim um fóton com energia igual a diferença de suas energias iniciais e finais. Normalmente, o tempo de vida médio para as emissões espontâneas por átomos excitados é de cerca de 10^{-8} segundos. Ocasionalmente, no entanto, existem estados para os quais a vida útil é muito mais longa, talvez cerca de 10^{-3} segundos. Esses estados são chamados metaestáveis.
- **Emissão estimulada:** Um fóton com comprimento de onda λ é absorvido por um átomo já em seu estado de alta energia, consequência de uma absorção anterior, em seguida, este mesmo átomo emite rapidamente dois fótons para retornar ao seu estado de energia mais baixo, seu estado fundamental. De acordo com a mecânica quântica, ambos os fótons recém-emitidos são de comprimento de onda λ . A figura 1.10 exibe este conceito em detalhes.

Um Maser é produzido através da emissão estimulada, mas ao invés de pensarmos em átomos, usamos o mesmo conceito para moléculas. A emissão de um Maser não é

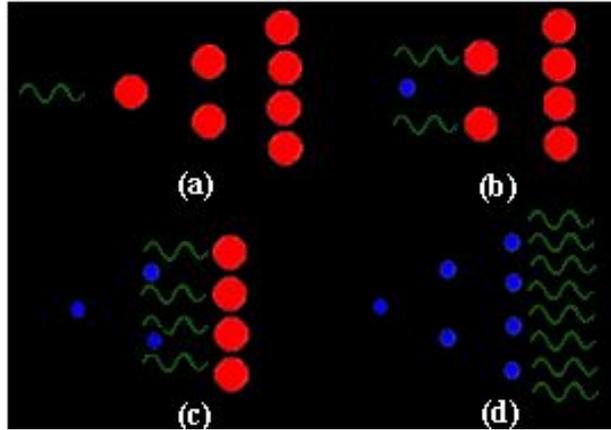


Figura 1.10: Ilustração de uma emissão estimulada. Na figura, cada círculo vermelho representa uma molécula em seu estado excitado de alta energia, os círculos azuis representam moléculas em seu estado de menor energia, no seu estado fundamental, o traço verde representa um fóton. (a) Temos que todas as moléculas estão em seu estágio excitado e um fóton de comprimento de onda λ incide sobre uma dessas moléculas. (b) O fóton incidente interage com uma das moléculas fazendo com que a molécula emita dois fótons, decaindo para seu estado fundamental. (c) Cada um dos fótons emergentes interage com uma molécula, e cada molécula emite dois fótons, resultando em quatro fótons emitidos. (d) O processo continua com outra duplicação de número de fótons.

possível em um meio que está em equilíbrio térmico, pois a radiação emitida pela fonte é absorvida ao invés de ser amplificada. Mas a emissão Maser pode ocorrer em laboratórios sob condições específicas e com equipamentos elaborados. No meio interestelar (MIS), onde há condições de equilíbrio térmico e altas densidades $N_{H_2} > 10^7 \text{ cm}^{-3}$ a emissão Maser ocorre naturalmente.

A primeira evidência de um maser astrofísico foi em 1963 com Weinreb et al., onde foi detectado uma absorção do radical de hidroxila (OH) na direção de Cassiopeia A (S. Weinreb, 1963). Posteriormente, um estudo mais abrangente sobre os masers astrofísicos começaram com o trabalho de Weaver et al. (1965) e Gundermann (1965). Estes trabalhos observaram intensa emissão do radical hidroxila (OH) na direção da nuvem de Orion (Weinreb, 1965).

A segunda espécie molecular detectada como maser foi a de vapor de água (H_2O), descoberto por Cheung, na transição em comprimento de onda de rádio entre dois estados rotacionais excitados com energias muito próximas (Cheung, 1969).

Objetos que possuem maser encontrados em seu núcleo (H_2O ou de OH) com luminosidade cerca de 10^6 vezes mais intensa que os masers observados na galáxia, foi dado o

nome de Galáxias Megamaser.

1.6 *Objetivos Gerais*

A emissão megamaser de OH é uma característica importante das ULIRGs até agora não muito explorada. A presença de emissão OHM pode ser um claro sinal não apenas de atividade nuclear em uma galáxia, mas também da existência de um disco de gás circum-nuclear, similar ao toro hipotetizado pelo modelo unificado de AGN (Antonucci, 1993). As galáxias que emitem OHM (OH megamaser galaxies, OHMGs) parecem estar em um estágio crítico da evolução das ULIRGs, onde este disco de gás circum-nuclear foi formado recentemente. Este disco pode ser a fonte de alimentação de um AGN e as OHMGs podem ser traçadoras da fase final de evolução que sinaliza o momento imediatamente antes do surgimento do AGN. Porém, como essas galáxias são pouco estudadas elas não possuem dados de baixa qualidade espectral disponíveis para possibilitar a classificação do mecanismo de excitação, AGN ou Starburst. Entretanto, ainda existe um grande debate na literatura sobre qual o tipo de atividade de fato domina a emissão nuclear de energia desses objetos. Muito dessa polemica existe porque a maioria das galáxias são (U)LIRGs e possuem uma grande densidade de material absorvedor (gás/poeira) circundando a fonte nuclear ionizante, impossibilitando a detecção de assinaturas claras da emissão não térmica do núcleo ativo em todos os comprimentos de onda, inclusive em raios-X. Também, a maioria das galáxias são sistemas em interação (Sales et al, 2017, em preparação) e as observações espectroscópicas integram a luz dos múltiplos núcleos, impossibilitando a classificação de cada galáxia individualmente.

1.7 *Objetivos Específicos*

Portante, este projeto tem como objetivo analisar dados espectroscópicos de 7 galáxias que possuem emissão megamaser de hidroxila (OH), obtidos pelo telescópio Gemini (8m). Assim, o objetivo específico deste projeto é derivar a contribuição relativa da atividade AGN e/ou Starburst dos núcleos das galáxias 7 OHMG. Para isso, usaremos o bem estabelecido diagrama de diagnóstico BPT (Baldwin et al. 1981), que usa as linhas, tanto iônica quanto de recombinação do hidrogênio, para separar o mecanismo de ionização dominante (estelar ou não-térmica) das galáxia da amostra.

Entretanto, neste trabalho será apresentado a primeira parte do projeto que descrevem os passos para a redução dos dados espectroscópicos observados pelo Gemini da galáxia IRAS15597+1609.

Além disso, este trabalho de conclusão de curso objetiva descrever os passos necessários para a redução de dados espectroscópicos para servir como base para alunos da astronomia observacional no geral. Portanto, contribuir de modo específico para a formação de astrônomos observacionais, através deste material didático.

Método de Aprendizagem para Redução de Dados Espectroscópico

Por motivos de aprendizagem, primeiramente foi reduzido o espectro da galáxia espiral SDSS J0911+6152 (2.1), que está a um redshift de $z = 0.0027$. A aquisição dos dados foi feita pelo Observatório MDM (em inglês, Michigan- Dartmouth-MIT), com o Hiltner Telescope (desde 1986), que possui 2.4m de diâmetro. Os dados espectroscópicos utilizados foram obtidos através do instrumento OSMOS acoplado ao telescópio Hilner, no modo de fenda longa (longslit). O guia utilizado para a redução dos dados espectroscópicos desta galáxia, se encontram no site [link do site com a descrição dos processos de redução de dados espectroscópicos](#).

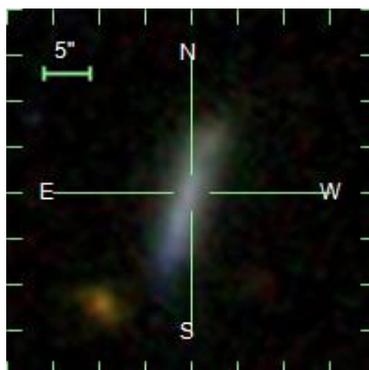


Figura 2.1: Finding chart da Galáxia SDSS J0911+6152 observado pelo SDSS DR9. A imagem foi construída usando os filtros U,G, R, I, Z.

Para a redução dos dados espectroscópicos foi utilizado o software IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) que contém todos os pacotes necessários para redução dos dados. O processo de redução segue 10 principais passos que serão descritos a seguir.

2.1 Processo de Redução de dados Espectroscópicos

Os dados necessários para a redução espectroscópica consistem nas imagens de corrente do escuro (dark), das bias, dos flats, da lâmpada (para a calibração em comprimento de onda), de uma estrela padrão (para a calibração em fluxo), todos estes dados devem ser obtidos no mesmo dia da observação. O telescópio MDM Hiltner é composto por 4 CCDs e mostramos abaixo uma imagem (2.2) obtida do céu com esse instrumento.

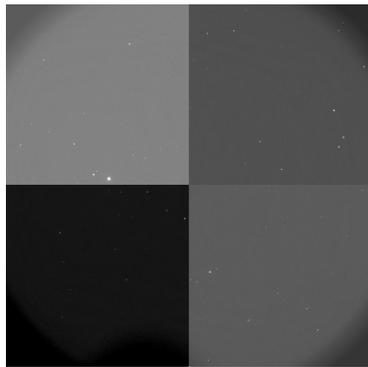


Figura 2.2: Imagem do céu obtida pelo telescópio Hiltner.

Os passos para a redução destes dados segue a seguinte sequência:

2.1.1 Tratamento com imagens do bias, darks e flat-field: instrument, twilight, doma.

Em um CCD pode haver pixels diferentes, nem todos são iguais, podem haver alguns que leem um sinal mais quente e outros um sinal mais frio, por essa razão as imagens darks é um mapeamento da temperatura do CCD, nos dando a diferença de cada pixel. Os darks escuros são imagens tiradas logo após a aquisição de todos os dados, com a abertura do telescópio fechada, de modo que nenhuma luz pode entrar. Desta forma, você tem uma imagem escura onde nada deve se parecer. No entanto, quadros escuros não são puramente pretos. Eles ainda contêm os pixels quentes, o sinal térmico e qualquer outro sinal não-aleatório presente na sua imagem. Para corrigir este problema da imagem do espectro de um objeto, deve-se dividir a imagem do objeto pela imagem dark.

A maioria dos telescópios não distribuem uniformemente a luz através do sensor da câmera. Isso faz com que as imagens sejam mais brilhantes no centro e mais escuras para as bordas. Também pode haver poeira em um sensor de câmera que faz com que manchas escuras sejam exibidas. Os flats field servem para remover essas aberrações do CCD. Há

três formas de adquirir uma imagem de flat field, são as seguintes:

- Instrument Flats: é feito através da uma lâmpada, com curto tempo de exposição ($< 10s$).
- Twilight Flats: é retirado apontando o telescópio para o céu ao entardecer, com grande tempo de exposição ($> 10s$).
- Dome Flats: são retirados apontando o telescópio para uma tela branca plana e iluminada.

Removendo os bias, os flats e os darks com as tarefas específicas do IRAF, obtemos:

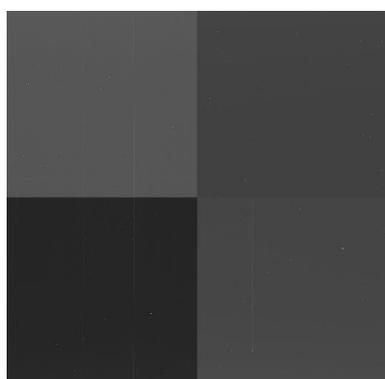


Figura 2.3: Imagem do espectro da galáxia SDSS J0911+6152 obtida pelo telescópio, percebe-se claramente os 4 CCD.

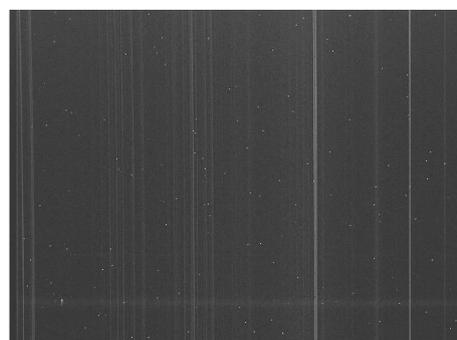


Figura 2.4: Corte da parte superior a direita da Figura 2.3, mostrando o espectro da galáxia SDSS J0911+6152 obtido pelo telescópio.

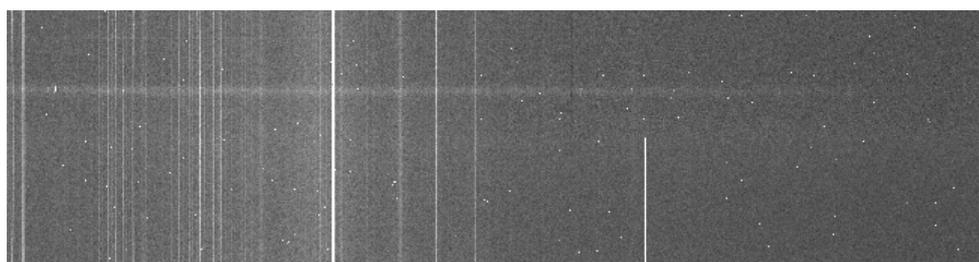


Figura 2.5: Imagem do espectro da SDSS J0911+6152 com o bias e os flats e o darks removidos. A imagem também foi cortada na área de interesse.

Analisando as imagens acima percebemos o quanto elas foram modificadas e melhoradas, tornando uma imagem obscura, onde não há nitidez nenhuma, em uma imagem com o espectro da galáxia bem visível.

2.1.2 Calibrar o espectro em comprimento de onda.

Para a calibração do espectro da galáxia em comprimento de onda foi utilizado o espectro da lâmpada de argônio que possui todas as linhas de emissão catalogadas. Os espectros da galáxia e da lâmpada foram obtidos na mesma noite de observação, para não haver variação da configuração do CCD. Também deve ser removido do espectro da lâmpada o bias, os darks e os flats.

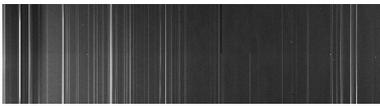


Figura 2.6: Espectro bidimensional da lâmpada de argônio.

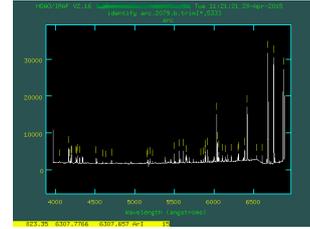


Figura 2.7: Imagem mostra o processo de identificação das linhas espectrais da lâmpada de argônio.

Através da identificação das linhas espectrais da lâmpada de argônio, as tarefas *Identify* e *Reidentify* do IRAF criam uma função que transforma cada pixel em seu valor do comprimento de onda correspondente. Este processo possibilita a calibração do espectro 2-D da galáxia em comprimento de onda.

2.1.3 Extração dos raios cósmicos

A extração dos raios cósmicos na imagem 2-D do espectro da galáxia é muito importante, pois é uma luz que não é provinda do nosso objeto de estudo, e que interfere muito no resultado final se não for removido.



Figura 2.8: Imagem da máscara dos raios cósmicos extraído do espectro da galáxia SDSS J0911+6152.

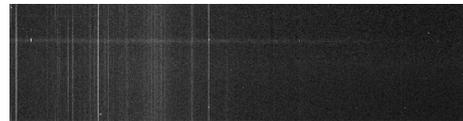


Figura 2.9: Imagem do espectro da galáxia SDSS J0911+6152 sem os raios cósmicos.

Comparando as figuras 2.5 e 2.9, que são imagens da mesma galáxia uma com os raios cósmicos e a outra sem os raios cósmicos, respectivamente, vemos uma grande diferença na descontaminação do espectro da galáxia, notamos também, que a mesma se torna mais nítida.

2.1.4 Remoção do Background e combinação das imagens

O background é toda a luz subjacente que passa através da fenda que não é do objeto a ser analisado. Quando uma fenda é posta em frente a imagem do céu, tendo a luz emitida pela galáxia em seu centro, temos ainda na mesma fenda uma luz provinda de outros objetos do céu, esta luz é vista no espectro como linhas contínuas na vertical, o background é utilizado para a remoção destas linhas.

Usamos a tarefa background do IRAF para subtrair as linhas contínuas do céu (background), deixando apenas o espectro do objeto que nos interessa. Para aumentar o sinal do objeto, combinamos as 4 imagens da mesma galáxia que passaram pelos mesmos processos de redução imagem, e obtemos a imagem mostrada na figura 2.10:

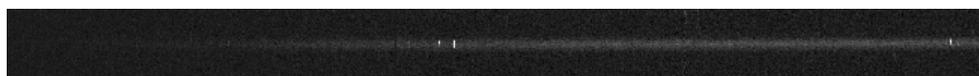


Figura 2.10: Imagem combinada de 4 observações espectrais da galáxia SDSS J0911+6152.

2.1.5 Extrair múltiplos espectros

Nesta secção é feito um perfil da emissão da imagem 2-D do espectro da galáxia (figura 2.10), através disto é possível determinar o tamanho espacial que será usado para extrair os espectros. Para realizar esta etapa é utilizado a tarefa Apall do IRAF.

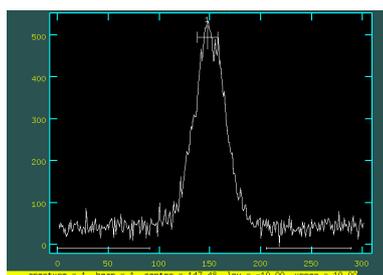


Figura 2.11: Imagem do perfil de linha da galáxia SDSS J0911+6152. A abertura utilizada neste caso está demonstrada na figura.

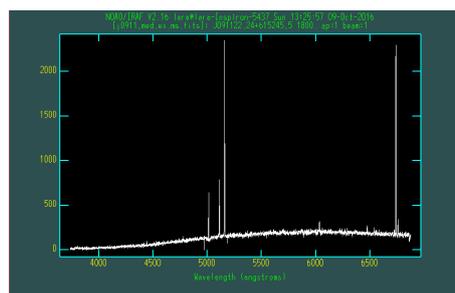


Figura 2.12: Espectro unidimensional da Galáxia SDSS J0911+6152. Somente calibrado em comprimento de onda.

2.1.6 Calibração em fluxo

Para calibrar em fluxo o espectro observado da galáxia é utilizado o espectro de uma estrela padrão, que descreve uma função plankeana de uma temperatura específica da

estrela. A imagem do espectro da estrela também deve passar pelos mesmos processos de redução que o espectro da galáxia.

Neste passo relacionamos o fluxo observado com o fluxo da estrela padrão, construindo assim, uma curva de sensibilidade.



Figura 2.13: Espectro bidimensional da estrela padrão.

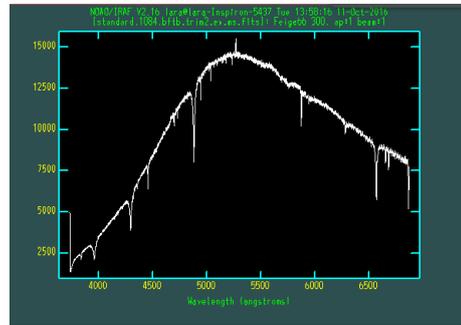


Figura 2.14: Imagem do espectro unidimensional da estrela.

Para realizar esta etapa é usado a tarefa Calibrate do IRAF, em que calibra o espectro da galáxia utilizando o espectro da estrela padrão.

2.1.7 Obtenção do espectro final da Galáxia SSD J0911+6152

Após seguir os passos anteriores para manipulação dos dados observados aplicamos correção de extinção e velocidade heliocêntrica. Para corrigir a velocidade heliocêntrica usamos a tarefa do IRAF Rvcorrect. Assim, finalmente obtemos o espectro final da galáxia calibrado em comprimento de onda e em fluxo.

Completando as 7 etapas acima, conseguimos extrair o espectro da galáxia SDSS J0911+6152, e aprendemos os principais passos para a redução de dados espectroscópicos. Tendo o espectro da galáxia podemos analisa-lo e extrair as propriedades físicas necessárias.

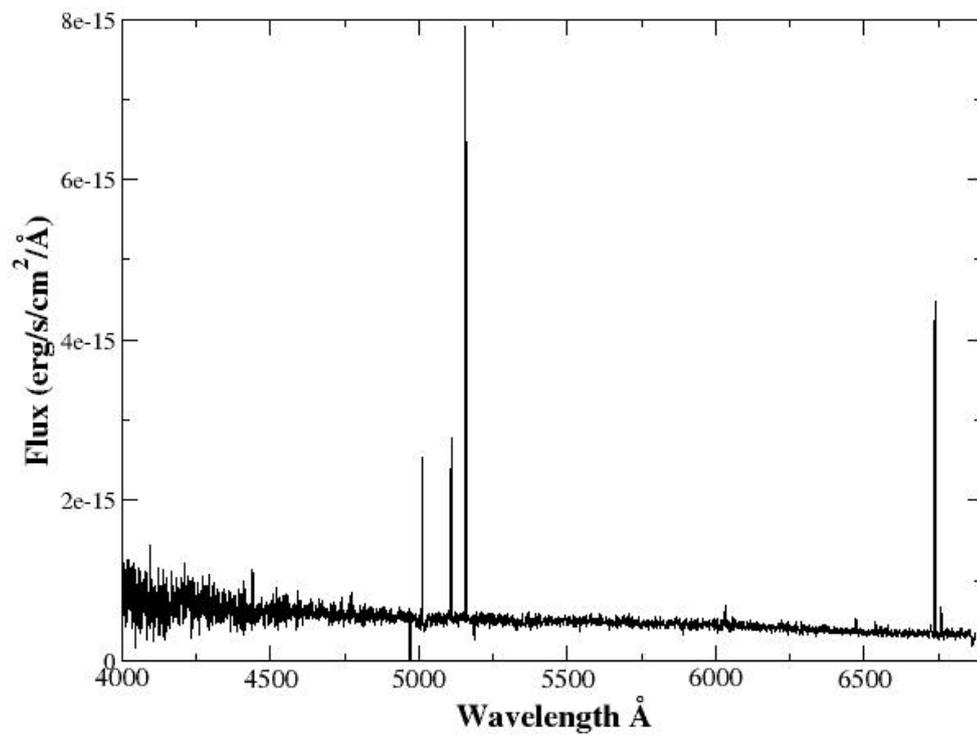


Figura 2.15: Espectro unidimensional da Galáxia SDSS J0911+6152, calibrado em comprimento de onda e em fluxo.

Observação e Redução de Dados

3.1 Observação dos Dados

Os dados espectroscópicos utilizados neste projeto foram obtidos pelo Observatórios Gemini, que são dois telescópios idênticos, o telescópio Gemini-Norte (G-N) localizado no Havaí e o telescópio Gemini-Sul (G-S) localizado na Cordilheira dos Andes, Chile. Os telescópios Gemini operam no infravermelho e no visível, eles possuem espelhos principais com 8,1 metros de diâmetro e apenas 10 cm de espessura. O Gemini foi construído e é operado por um consórcio de 7 países, sendo eles os Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, Chile, Austrália, Brasil e Argentina, onde o Brasil tem direito a apenas $\approx 5\%$ do tempo de telescópio destinado a observações científicas.

Para este projeto foi utilizado dados de espectroscopia de fenda-longa (longslit) na região espectral do visível de uma amostra composta por 8 galáxias distintas, obtidos tanto pelo Gemini Norte e Sul, através dos projetos GN-2013A-Q-117 (PI: Dinalva A. Sales) e GS-2013B-Q-90 (PI: Dinalva A. Sales) intitulados “The Gas kinematics and Optical Classification of OH Megamaser Galaxies”. Foi observado galáxias com morfologias diferentes e em vários estágios evolutivos de interação.

A configuração instrumental comum para todas as observações é a seguinte: espectrógrafo GMOS (Gemini Multi-Object Spectrograph) no modo fenda-longa com uma largura de fenda de $1''.0$, com rede de dispersão de B600-G5323 que fornece uma cobertura espectral de $\sim 2760 \text{ \AA}$ e uma resolução espectral $R \approx 1688 (\sim 177 \text{ km s}^{-1})$. As observações iniciaram-se em julho de 2013 e ocorrerão até junho de 2014. Foram observadas as seguintes galáxias destacadas na figura 3.1 com as datas e instrumento utilizado na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Detalhes das observações das 7 OHMGs

Objeto	Telescópio	Data de Observação
IRAS 1915+2704	G-N	21/07/13
		24/07/13
		25/08/13
		02/12/13
IRAS 08229-2332	G-N	06/12/13
		13/12/13
		14/12/13
		17/12/13
IRAS 15587+1609	G-S	05/08/13
		12/08/13
		14/03/14
		15/03/14
IRAS 11506-3851	G-S	20/04/14
		10/08/13
IRAS 20248+1734	G-S	14/03/14
		20/09/13
IRAS 05100-2425	G-S	10/01/14
		15/03/14
IRAS 10039-3338	G-S	06/03/14
		14/03/14

3.1.1 Observação da IRAS 15587+1609

A observação da IRAS15587+1906 ocorreu em 5 dias, no intervalo de 8 de agosto de 2013 a 20 de abril de 2014, cada noite de observação foi utilizado um comprimento de onda central, cobrindo boa parte do espectro eletromagnético dentro da luz visível, a tabela 3.2 mostra os detalhes das noites de observação da IRAS15587+1609.

Tabela 3.2 - Detalhes das noites de observação da IRAS15587+1609

Data da Observação	Comprimento de onda central (Å)
05/08/2013	4850
11/08/2013	4950
14/03/2014	5690
15/03/2014	5740
20/04/2016	5690

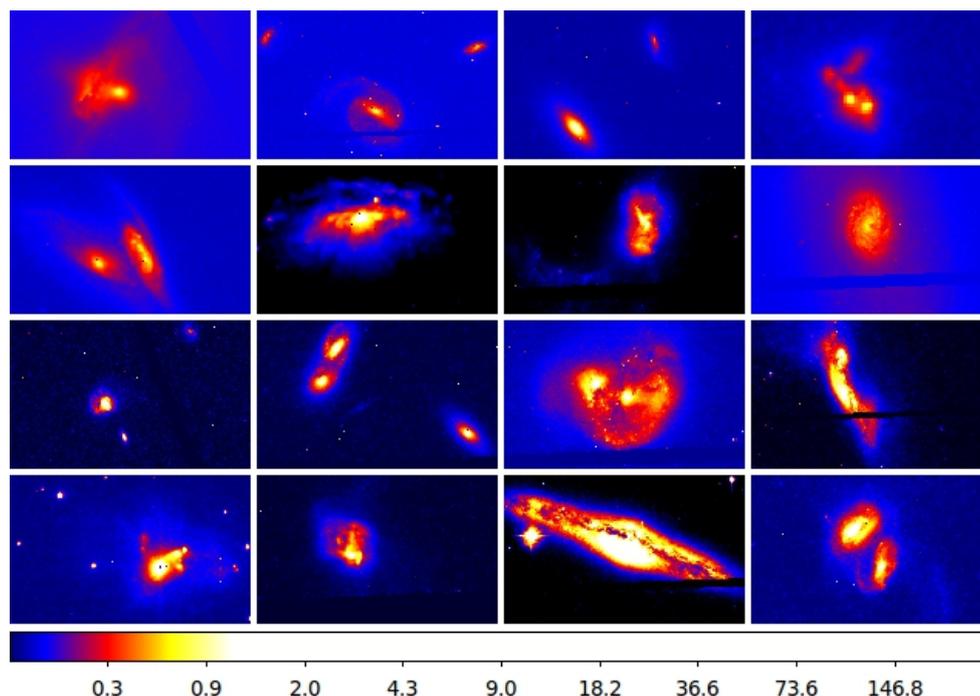


Figura 3.1: Imagem na banda I observada pelo Hubble da amostra de OHMGs. Sales et al. 2017 (em preparação).

A figura 3.2 mostra a imagem da galáxias a ser estudada, a IRAS 15587+1609, obtida pelo Hubble na banda I, podemos perceber que este sistema interagente faz parte de um aglomerado de galáxia com cerca de uma dezena de galáxias.

A figura 3.3 mostra uma imagem na banda i observado pelo HST da galáxia IRAS15587+1609, sobreposto a essa imagem foi colocado a posição da fenda do GMOS, onde obtivemos os dados espectroscópicos no óptico.

3.2 Redução de dados Espectroscópicos

O processo de redução dos dados espectroscópicos foi realizado utilizando o software IRAF, junto com os pacotes desenvolvidos para a redução dos dados dos telescópios Gemini, em específico 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 longslit. A descrição das tarefas podem ser encontradas em GEMINI.GMOS dentro do IRAF. Os passos para obter o espectro unidimensional:

- Preparar dados GMOS brutos para as reduções colocando informação nos headers e associa a máscara (MDF-mask definition file), que define a fenda usada (neste

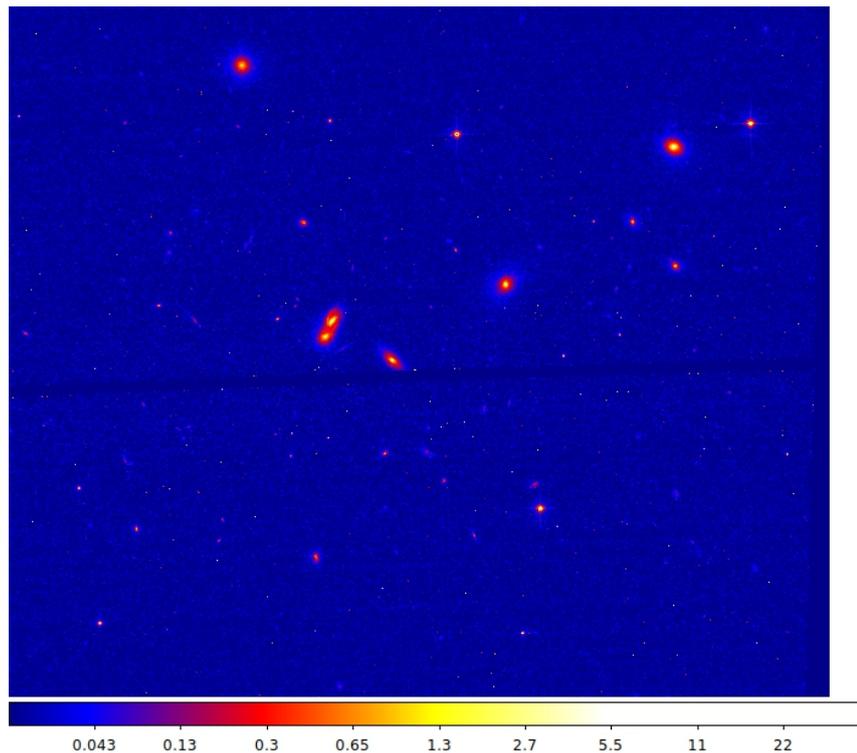


Figura 3.2: Imagem de aquisição da galáxia IRAS15587+1906 observada pelo Gemini-Sul no óptico.

projeto todo são $1''0'$). A tarefa utilizada é **gprepare**.

- Processar e combinar as imagens bias 3.4 com o **gbias**.
- Derivar o campo plano para espectros GMOS, com base nas exposições da lâmpada GCAL 3.5, com **gsflat**.
- Subtrair o overscan e bias, divide pelo flat, encontra e corrige raios cósmicos, corta as bordas, e multiplica 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.
- Com a tarefa **gsappwave**, determinar uma calibração aproximada dos comprimentos de onda do espectro da lâmpada de CuAr, baseada na informação do header das imagens.
- Com a tarefa **gswavelength**, estabelecer uma calibração em comprimento de onda para espectros GMOS. Essa tarefa cria uma função que transforma cada pixel em seu comprimento de onda, usando um espectro de uma lâmpada de CuAr 3.6 que já é conhecido as linhas de emissão.

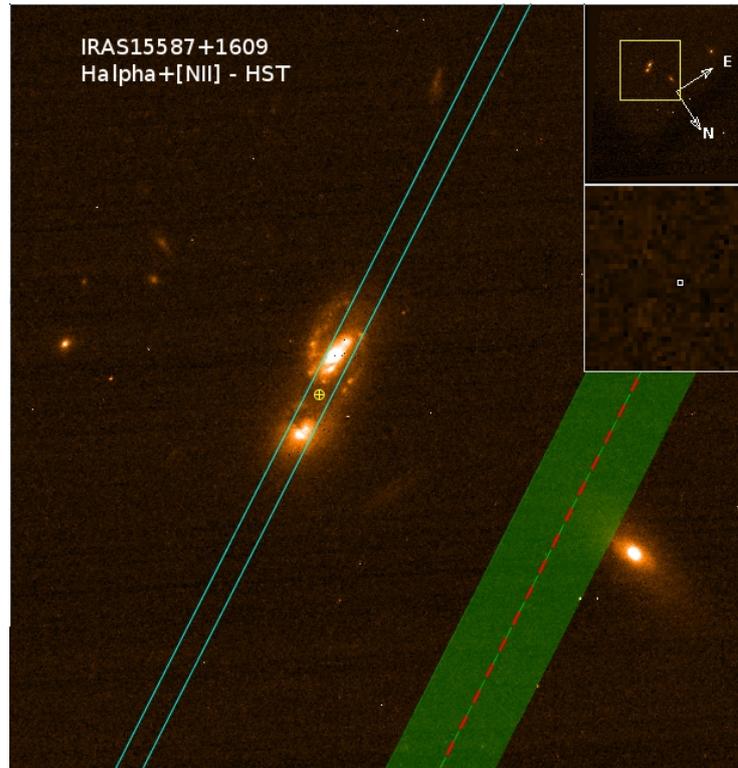


Figura 3.3: Imagem da fenda utilizada para a extração do espectro da galáxia IRAS15587+1906 observada pelo Gemini-Sul no óptico.

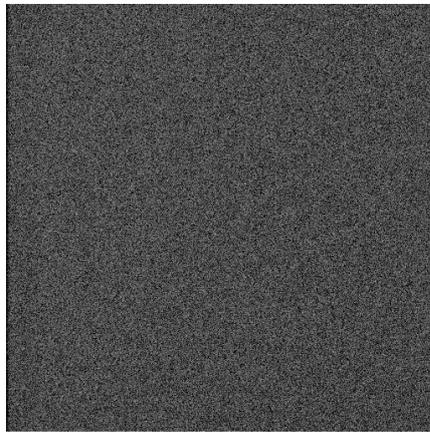


Figura 3.4: Imagem do bias.

- Calibrar o espectro da galáxia em comprimento de onda usando **gstransform**.
- Combinar as imagens. Após este passo temos o resultado da figura 3.7.
- Subtrair o céu dos espectros GMOS usando **gsskysub**.
- Com **gsextract**, extrair o espectro 1D dos espectros GMOS (longslit), escolhendo as



Figura 3.5: Imagem do Flat.

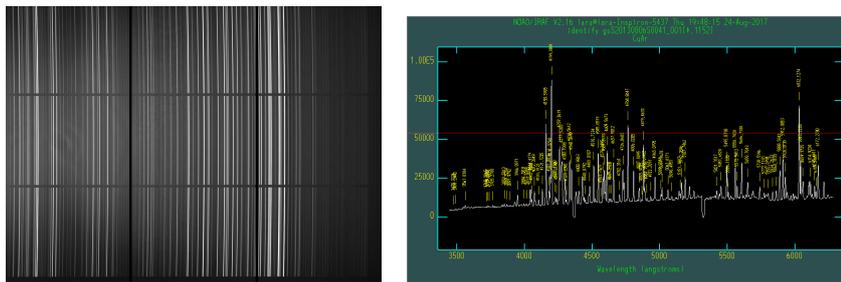


Figura 3.6: Imagem 2-D e 1-D respectivamente da lâmpada de CuAr.

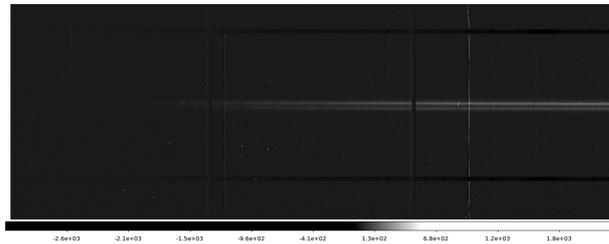


Figura 3.7: Imagem bidimensional do espectro da galáxia IRAS15587+1906 após o passo 8.

aberturas desejadas 3.8.

- Com a tarefa **gsstandard**, estabelecer uma calibração em fluxo no espectro da galáxia, utilizando o espectro de uma estrela padrão.
- Finalmente, calibrar o espectro da galáxia em fluxo relativo usando **gscalibrate**. Neste trabalho não aplicaremos uma calibração relativa do fluxo pelo motivo que as observações das estrelas padrões não foram feitas nos mesmos dias que as observações das galáxias.

Finalizando esse processo de redução, teremos 8 espectros de galáxias megamaser de OH, podendo assim, analisar as linhas de emissão dessa amostra de galáxia. Entretanto,

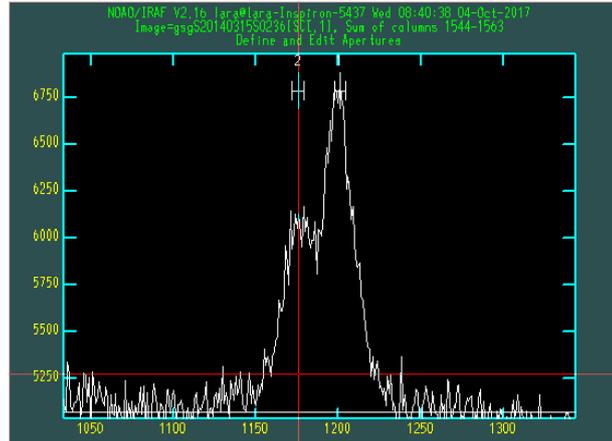


Figura 3.8: Imagem das aberturas escolhidas para a extração dos espectros.

vale ressaltar que será apresentado o resultado final para a galáxia IRAS 15508+1609.

Resultados

Neste capítulo apresento os resultados obtidos através da redução dos dados espectroscópicos da IRAS 15587+1609.

4.1 Resultados da IRAS 15508+1609

A galáxia IRAS 15587+1609 foi observada em 5 noites e os dados com melhor sinal foi observado em 14 de março de 2014, portanto, aqui será apresentado os resultados referente a esta noite de observação. A imagem do espectro bidimensional da IRAS 15587+1609 é ilustrada na figura 4.1. Percebemos na figura 4.1 duas linhas brilhantes na horizontal, cada linha destas representa um núcleo do sistema interagente do objeto observado.

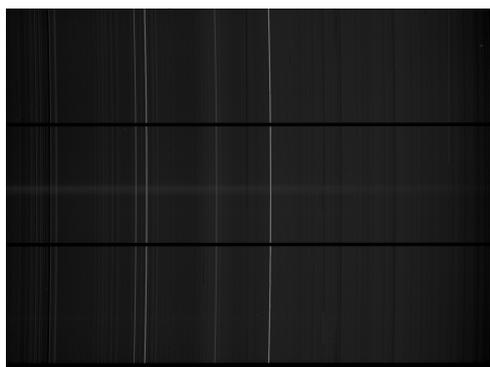


Figura 4.1: Espectro bidimensional da IRAS 15587+160.

Como discutido anteriormente, foi extraído um espectro unidimensional de cada núcleo do sistema IRAS 15587+1609. Na figura 3.3 observamos que temos dois núcleos, o núcleo mais brilhante denominado Núcleo 1, e o núcleo menos brilhante denominado de Núcleo 2. O espectro unidimensional Núcleo 1 é representado na figura 4.2, e o espectro unidimensi-

onal do Núcleo 2 é representado na figura 4.3.

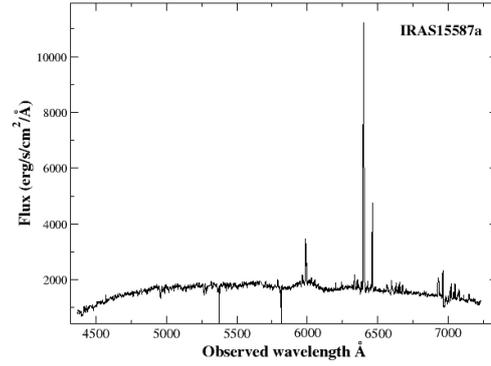


Figura 4.2: Espectro unidimensional da IRAS 15587+160 referente ao Núcleo 1.

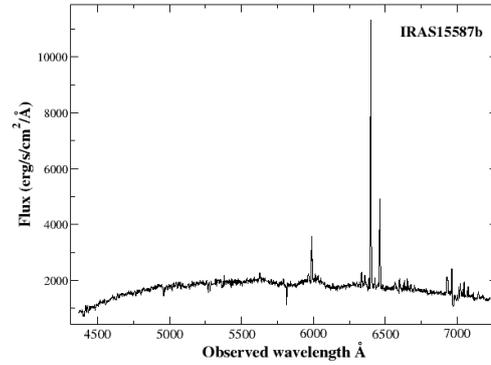


Figura 4.3: Espectro unidimensional da IRAS 15587+160 referente ao Núcleo 2.

As figuras 4.2 e 4.3 mostram claramente as linhas de emissão de H_α e de [NII]. Conhecendo os fluxos destas linhas de emissão através do software IRAF, onde estas informações são mostradas na tabela 4.1. E utilizando as medidas dos fluxos e largura equivalente das linhas de H_α e NII obtidos, foi construído o diagrama WHAN.

Tabela 4.1 - Dados das linhas de H_α e NII dos dois núcleos da galáxia IRAS 15587+1609. O flux das linhas é dados em unidade arbitrária.

	Núcleo 1	Núcleo 2
eqw H_α [Å]	7.4	5.818
Flux H_α	12794	11753
Flux [NII]	2886	2905
$\log(\text{eqw } H_\alpha)$ [Å]	0,8	0,76
$\log(\text{Ha}/[\text{NII}])$	-0,64	-0,6

4.2 Diagrama WHAN

Este diagrama WHAN utiliza a largura equivalente de H_α (WH_α) e a relação das linha de H_α e [NII] ($\frac{[NII]}{H_\alpha}$). E utilizando os dados da tabela 4.1, construímos o diagrama WHAN representado na figura 4.4.

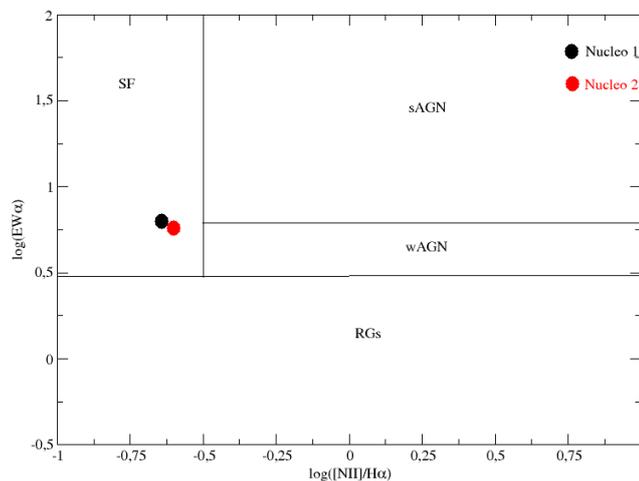


Figura 4.4: Imagem do diagrama WHAN para a galáxia IRAS 15587+1609

Através do diagrama WHAN mostrado na figura 4.4 podemos concluir que as galáxias do sistema interagente IRAS 15587+1609 são galáxias Starburst, ou seja, são galáxias dominadas por surto de formação estelar.

Conclusões e Perspectivas

Este trabalho objetivou reduzir e analisar dados espectroscópicos observados com o GMOS/Gemini do sistema interagente IRAS 15587+1609. E através deste trabalho de conclusão de curso, concluiu-se que os espectros 1D das galáxias interagente da IRAS 15507+1609 mostram claramente as linhas de emissão [NII] e H_α , e utilizando diagrama de diagnóstico WHAN, concluiu-se que as galáxias que compõem o sistema em interação IRAS 15587+1609 são classificadas como galáxias Starburst.

Nos espectros eletromagnéticos da IRAS 15587+1609 também foram detectados algumas inconsistências nos passos que aplicam a calibração em comprimento de onda, e como perspectiva revistaremos esses passos para derivar uma função mais adequada que transformará pixels na imagem bidimensional em comprimento de onda de espectro 1D.

As perspectivas deste trabalho, que serão desenvolvidas no mestrado, são:

- Reduzir os dados espectroscópicos da amostra composta por 7 Galáxias Megamaser de OH que foram observadas com o GMOS/Gemini.
- Construção de uma ferramenta na linguagem Python, com o objetivo de derivar as propriedades físicas das linhas de emissão observadas nos espectros das galáxias OHM da amostra apresentada aqui.
- Construção de diagramas de diagnósticos afim de distinguir a fonte de ionização de todas as galáxias que compõem a amostra observadas.
- Discutir a fração de AGNs e Starburst das galáxias desta amostra. E colocar as OHMGs no cenário de evolução de galáxias.

Referências Bibliográficas

- Baan W. A., Haschick A. D., Henkel C., Molecular outflows in powerful OH megamasers, *Astrophysical Journal*, Part 1, 1989, vol. 346, p. 680
- Baan W. A., Haschick A. D., Schmelz J. T., The fourth OH megamaser - Markarian 273, *Astrophysical Journal*, Part 2 - Letters to the Editor, 1985, vol. 298, p. 51
- Baan W. A., Wood P. A., Haschick A. D., Broad hydroxyl emission in IC 4553, *Astrophysical Journal*, Part 2 - Letters to the Editor, 1982, vol. 260, p. 49
- Baldwin J. A., Phillis M. M., Terlevich R., Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects, *Astronomical Society of the Pacific, Publications*, 1981, vol. 93, p. 5
- Barthel P. D., Is every quasar beamed?, *ApJ*, 1989, vol. 336, p. 606
- Bottinelli L., Fraix-Burnet D., Gouguenheim L., Kazes I., Le Squeren A. M., Patey I., Rickard L. J., Turner B. E., MRK 273 - A new OH megamaser, *Astronomy and Astrophysics*, 1985, vol. 151, p. 7
- Cheung A. C., Detection of water in interstellar regions by its microwave radiation, *Nature*, 1969, vol. 221, p. 262
- Cid Fernandes R., Stasińska G., Mateus A., Vale Asari N., A comprehensive classification of galaxies in the Sloan Digital Sky Survey: how to tell true from fake AGN?, *MNRAS*, 2011, vol. 413, p. 1687
- Conselice C. J., The Evolution of Starburst Galaxies, *ArXiv Astrophysics e-prints*, 2000

- Darling J., Giovanelli R., A Search for OH Megamasers at $z=0.1$. III. The Complete Survey., *The Astronomical Journal*, 2002, vol. 124, p. 100
- Diamond P. J., Lonsdale C. J., Lonsdale C. J., Smith H. E., Global VLBI Observations of the Compact OH Megamaser Emission from III ZW 35 and IRAS 17208-0014, *The Astrophysical Journal*, 1999, vol. 511, p. 178
- Dopita M. A., Evans I. N., Theoretical models for H II regions. II - The extragalactic H II region abundance sequence, *ApJ*, 1986, vol. 307, p. 431
- Fath E. A., The spectra of some spiral nebulae and globular star clusters, *Lick Observatory Bulletin*, 1909, vol. 5, p. 71
- Gallego J., Zamorano J., Aragon-Salamanca A., Rego M., The Current Star Formation Rate of the Local Universe, *ApJ*, 1995, vol. 455, p. L1
- Gardner F. F., Whiteoak J. B., The groundstate OH spectrum of the galaxy NGC 253, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1975, vol. 173, p. 77
- Herschel W., Catalogue of 500 New Nebulae, Nebulous Stars, Planetary Nebulae, and Clusters of Stars; with Remarks on the Construction of the Heavens, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1802, vol. 92, p. 477
- Hubble E. P., Cepheids in spiral nebulae, *The Observatory*, 1925, vol. 48, p. 139
- Hubble E. P., *Realm of the Nebulae*, 1936
- Khachikian E. E., Weedman D. W., A spectroscopic study of luminous galactic nuclei., *Astrofizika*, 1971, vol. 7, p. 389
- Klößner H.-R., Baan W. A., An embedded circumnuclear disk in Mrk 273, *Astronomy and Astrophysics*, 2004, vol. 419, p. 887
- Klößner H.-R., Baan W. A., Garrett M. A., Investigation of the obscuring circumnuclear torus in the active galaxy Mrk231, *Nature*, 2003, vol. 421, p. 821
- Licquia T. C., Newman J. A., Improved Estimates of the Milky Way's Stellar Mass and Star Formation Rate from Hierarchical Bayesian Meta-Analysis, *ApJ*, 2015, vol. 806, p. 96

- Lonsdale C. J., Diamond P. J., Lonsdale C. J., Smith H. E., Imaging of the ARP 220 OH Megamasers with VLBI, *Radio Emission from Galactic and Extragalactic Compact Sources*, ASP Conference Series, 1998, vol. 144, p. 227
- Lonsdale C. J., Lonsdale C. J., Smith H. E., Diamond P. J., VLBI Imaging of Luminous Infrared Galaxies: Active Galactic Nucleus Cores in Markarian 231, UGC 5101, and NGC 7469, *The Astrophysical Journal*, 2003, vol. 592, p. 804
- Melnick J., Telles E., De Propriis R., Chu Z.-H., The Starburst-AGN connection: quenching the fire and feeding the monster, *A&A*, 2015, vol. 582, p. A37
- Messier C., *Catalogue des Nébuleuses e des amas d'Étoiles (Catalog of Nebulae and Star Clusters)*, *Connaissance des Temps*, 1781, pp 227–267
- Miller J. S., Antonucci R. R. J., Evidence for a highly polarized continuum in the nucleus of NGC 1068, *ApJ*, 1983, vol. 271, p. L7
- Nguyen-Q-Rieu Mebold U., Winnberg A., Guilbert J., Booth R., OH emission an absorption in M82, 1976, vol. 52, p. 467
- Parra R., Conway J. E., Elitzur M., Pihlström Y. M., A compact starburst ring traced by clumpy OH megamaser emission, *A&A*, 2005, vol. 443, p. 383
- Pihlström Y. M., Baan W. A., Darling J., Klöckner H.-R., High Resolution Imaging of the OH Megamaser Emission in IRAS 12032+1707 and IRAS 14070+0525, *The Astrophysical Journal*, 2005, vol. 618, p. 705
- Roy A., *ACTIVE GALAXY UNIFICATION*, School of Physics, University of Sydney, 1994, Tese de Doutorado, 6 p.
- Schmelz J. T., Baan W. A., Haschick A. D., Eder J., An Arecibo survey for extragalactic hydroxyl absorption. I - Presentation of results, *Astrophysical Journal*, 1986, vol. 92, p. 1291
- Seyfert C. K., Nuclear Emission in Spiral Nebulae., *ApJ*, 1943, vol. 97, p. 28
- Soifer B. T., Sandres D. B., Madore B. F., Neugebauer G., Danielson G. E., Elias J. H., Rice W. L., The IRAS bright galaxy sample. II. The sample and luminosity function, *The Astrophysical Journal*, 1987, vol. 320, p. 238

S.Weinreb A. H., Radio Observations of OH in the Intersllar Medium, *Nature*, 1963, vol. 200, p. 483

Veilleux S., Osterbrock D. E., Spectral classification of emission-line galaxies, *ApJS*, 1987, vol. 63, p. 295

Weinreb H. W., Observation of a trong unidentified microwave line and emission from the OH molecule, *Nature*, 1965, vol. 208, p. 29

Whiteoak J. B., Gardner F. F., A 5-GHz Survey of the galactic center region with a resolution of 4 arc min, *Astrophysical Letters*, 1973, vol. 13, p. 205