

# Disk Galaksilerde Moleküler Gaz Kinematığı ve Çizgi Oranları Analizi

Selçuk Topal<sup>1\*</sup>, Martin Bureau<sup>1</sup>, Timothy A. Davis<sup>2,3</sup>, Melanie Krips<sup>4</sup>,  
Lisa M. Young<sup>5,6</sup>, Alison F. Crocker<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Sub-department of Astrophysics, University of Oxford, Denys Wilkinson Building, Keble Road, Oxford OX1 3RH, U.K.

<sup>2</sup>European Southern Observatory, Karl-Schwarzschild-Str. 2, 85748, Garching bei Muenchen, Germany

<sup>3</sup>Centre for Astrophysics Research, University of Hertfordshire, Hatfield, Herts AL1 9AB, U.K.

<sup>4</sup>Institut de Radio Astronomie Millimetrique (IRAM), 300 rue de la Piscine, Domaine Universitaire, F-38406 Saint Martin d'Hères, France

<sup>5</sup>Physics Department, New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro, NM 87801, U.S.A.

<sup>6</sup>Academia Sinica Institute of Astronomy & Astrophysics, PO Box 23-141, Taipei 10617, Taiwan, R.O.C.

<sup>7</sup>Reed College, 3203 SE Woodstock Blvd., Portland, OR 97202, U.S.A.

## Özet

Bu bildiriye, disk galaksilerde moleküler gaz kinematığı ve çizgi oranları analiz yöntemleri erken-tür galaksiler NGC 4710 ve NGC 5866 içerisindeki karbon monoksit (CO) [<sup>12</sup>CO(1-0), <sup>12</sup>CO(2-1), <sup>13</sup>CO(1-0) ve <sup>13</sup>CO(2-1)] ve yüksek yoğunluklu gazların [HCN(1-0), HCO<sup>+</sup>(1-0), HNC(1-0) ve HNCO(4-3)] çoklu geçiş gözlemleri analiz edilerek anlatılacaktır. Galaksilerin elde edilen X-şeklindeki pozisyon-konum grafiği (PVD) ortaya koyduğu üzere galaksilerin merkezinde çubuk yapısı bulunmaktadır. Gazın büyük bir çoğunluğu iki bileşenden oluşan (merkezi disk yapısı ve onun dışında bir gaz halkası) bir yapı içerisinde yer almaktadır. Göreli olarak daha az yoğun olan CO gazı her iki bileşende bulunurken, yüksek yoğunluklu gazlar merkezi disk yapısında yoğunlaşmıştır. Biz bu çalışmada, gözlenen emisyon çizgilerinin oranlarına dayanan ve birbirini tamamlayan 3 ayrı yöntem kullanarak gazın fiziksel koşullarını elde ettik. İlk olarak PV diyagramlarının oranını elde ettik. Daha sonra PVD üzerinde, her iki farklı bileşendeki toplam akı oranlarını değerlendirdik. Son olarak ise, fiziksel koşulları niceliksel olarak elde edebilmek için, bir radyatif transfer modeli uygulayarak gözlenen çizgi oranlarının hangi fiziksel koşullara denk geldiğini belirledik. Sonuç itibarıyla, dışta yer alan halka şeklindeki gaz yapısına kıyasla, nükleer diskteki yoğun gaz oranı daha fazla, daha sıcak ve CO gazı optik olarak daha incedir. Bu durum merkezi diskte UV radyasyonunun yüksek olduğunu, bir başka deyişle büyük kütleli genç yıldızların ve kozmik ışınların bu bölgede daha yoğun olduğunu göstermektedir. Diğer galaksiler için elde edilmiş benzer çizgi oranlarının, bu çalışmadaki değerlerle mukayesesi ise önemli farklılıklar ve benzerlikler olduğuna işaret etmektedir. NGC 4710 ve NGC 5866 merkezindeki gazın (nükleer bileşen) fiziksel özelliklerine bakıldığında koşulların spiral galaksiler ile starburst galaksiler arasında bir durum sergilediği anlaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** ISM: molecules, Radyo Astronomisi

## 1 Giriş

Yıldızlar moleküler gaz bulutları dediğimiz inanılmaz derecede soğuk ve yoğun yapılar içerisinde doğarlar. Bu nedenle bu bölgelere galaksilerin yıldız doğumhaneleri denir. Aktif olarak yıldız oluşumu gösteren galaksiler, galaksimiz Samanyolu gibi, moleküler gaz bakımından zengin iken erken-tip galaksiler dediğimiz evrenin daha erken zamanlarında oluşmuş ve belli süreçlerle yıldız oluşumu kesintiye uğramış galaksilerde moleküler gaz ya yoktur ya da çok azdır. Ancak yıldız oluşumunu daha iyi anlayabilmek için her tip galaksideki moleküler gazın fiziksel koşulları incelenmelidir. Bu çalışmada erken-tip galaksiler olarak kodlanan ancak hatırı sayılır derecede moleküler gaz barındıran iki galakside, NGC 4710 ve NGC 5866, gözlenen birçok moleküler çizgi geçişi kullanılarak gazın fiziksel koşulları derinlemesine incelenmektedir.

## 2 Gözlem ve Veri İndirgeme

### 2.1 Gözlemler

NGC 4710 ve NGC 5866 galaksilerinin mm/mm-altı gözlemleri Combined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy (CARMA) ve Institut de Radio Astronomie Millimetrique (IRAM) Plateau de Bure Interferometer (PdBI) anten dizileri kullanarak gerçekleştirilmiştir. Gözlemlerde elde edilen çözünürlük yaklaşık 400 parseğe tekabül etmektedir.

### 2.2 Veri İndirgeme

CARMA ve PdBI anten dizileri ile alınan veriler bu verilere özgü indirgeme programları olan the Multichannel Image Reconstruction, Image Analysis and Display (MIRIAD) (Sault et al. 1995) ve Grenoble Image and Line Analysis System (GILDAS) packages Continuum and Line Interferometer Calibration (CLIC) and MAPPING<sup>1</sup> paket programları ile indirgenmiştir.

\* nebula81@gmail.com

<sup>1</sup> <http://www.iram.fr/IRAMFR/GILDAS>

### 2.3 Pozisyon-konum Grafiği (PVD)

Pozisyon-konum grafiği galaksi yarı-büyük eksen uzunluğu boyunca 5-pikselli (6.5'') bir kesit alınarak oluşturuldu. 5-pikselli kesit gözlem için kullanılan bir beam boyutuna yani maksimum çözünürlüğe karşılık gelmektedir. Elde edilen PVD'lere örnek olarak lütfen Şekil 1'e bakınız.

### 3 Çizgi oranları analizi

Farklı moleküler geçişler farklı fiziksel koşullar gerektirdiği için (örn. farklı sıcaklık, yoğunluk ve optik derinlik) bu geçişler arasındaki oranlar bize o bölgenin fiziksel koşulları hakkında yararlı bilgiler verebilir (örn. Topal et al. 2014). Örneğin, CO gazı doğası gereği yüksek yoğunluklu gazlara kıyasla (HCN, HNCO gibi) daha düşük yoğunluklu yerleri işaret edebilir. Bu amaçla bu çalışma esnasında 3 farklı şekilde çizgi oranları dikkate alınmıştır: (1) CO gazı geçişleri arası çizgi oranları (sıcaklık, optik derinlik ve kolon yoğunluğu hakkında bilgiler sunar), (2) CO ve yoğun gaz geçişleri arası çizgi oranları (yüksek yoğunluklu gazın oranı hakkında bilgiler sunar), ve (3) yüksek yoğunluklu gazlar arasındaki geçişlere ait çizgi oranları (gazın kimyasal durumu, yoğunluk ve baskın eksitasyon/de-eksitasyon mekanizmaları hakkında bilgiler sunar)

#### 3.1 PVD oranları

Fiziksel koşullar hakkında kabaca fikir sahibi olabilmek için ilk önce her geçiş için elde edilen PVD'lerin direkt oranları alınmıştır. Bu yöntemle fiziksel koşulların galaksi diski üzerinde nasıl değiştiği hakkında ilk bilgiler elde edilmiştir.

#### 3.2 Yarıçapın bir fonksiyonu olarak toplam akı oranlarındaki değişim

Fiziksel koşulların incelenmesi ikinci adım olan toplam akıların galaksi üzerinde her noktada elde edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Tüm geçişler için elde edilen toplam akı değerlerinin birbirleriyle oranlanması sonucu Şekil 2'de gösterildiği gibi grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler çizgi oranlarının galaksinin neresinde ne kadar değiştiğini gösterdiği için fiziksel koşulların değişimi hakkında da bize yararlı bilgiler sunmaktadır.

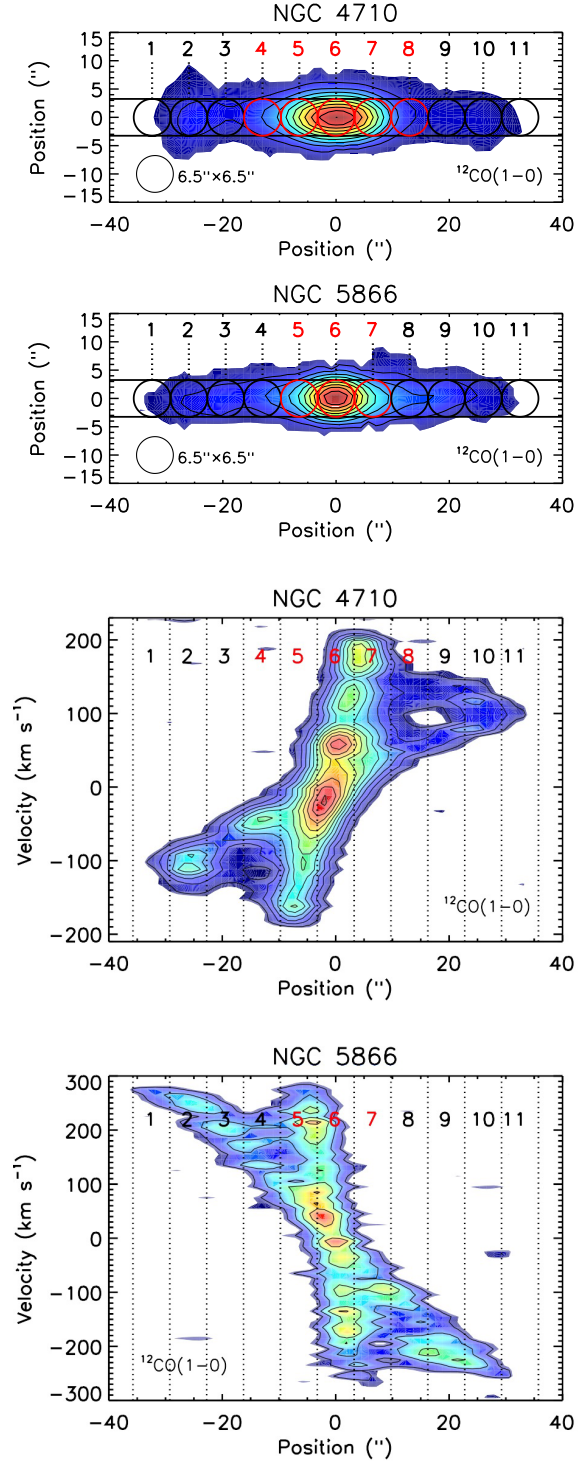
#### 3.3 Radyatif Transfer Modellemesi

Uygulanan bu son yöntemle, galaksi üzerinde birbirinden farklı en az 3 çizgi oranı elde edilen her bölge için fiziksel modelleme yapılmış ve gözlenen çizgi oranlarına karşılık gelen fiziksel koşullar niceliksel olarak elde edilmiştir. Modelleme için yerel termodinamik dengenin olmadığı RADEX kodu kullanılmıştır (van der Tak et al. 2007).

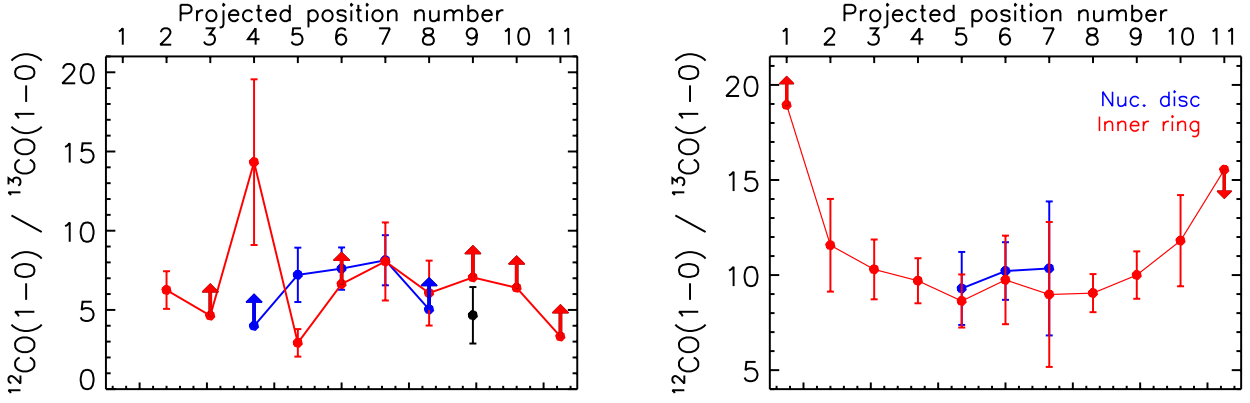
### 4 Sonuç ve Tartışma

Bu çalışma ile ilk defa erken-tip galaksiler için çoklu-geçiş çizgilerine dayanan ve sadece bolca gözlenen CO molekül geçişleri değil, aynı zamanda yoğun gazın belirteci olan HCN, HCO<sup>+</sup>, HNC, HNCO gibi moleküler geçişler de kullanılarak, gazın fiziksel özellikleri derinlemesine araştırılmıştır. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- X-şeklindeki PV diyagramlarının işaret ettiği gibi galaksilerin diski, merkezdeki çubuksu yapı tarafından kontrol edilen, iki bileşenli bir yapıya sahiptir; merkezde hızlı dönen disk yapısı ile daha dışta yer alan halka şeklindeki yapı.



Şekil 1. Üst: NGC 4710 (sol) ve NGC 5866 (sağ) galaksilerinin yarı-büyük eksenleri boyunca çizgi oranlarının elde edildiği ve çalışıldığı pozisyonlar gösterilmektedir. Alt: Yukarıdaki pozisyonlara denk gelen, PVD üzerinde alınmış 5-pikselli (bir beam) dilimler, yine aynı PVD üzerinde gösterilmiştir. Kırmızı halkalar ve karşılık gelen sayılar gözlenen tayfa her iki bileşenden de katkının olduğu pozisyonları gösterirken, siyah halkalar ve karşılık gelen numaralar sadece dıştaki halka yapısından gelen akının olduğu pozisyonları göstermektedir. Her halka bir beam genişliğe yani 6.5'' çapa sahiptir.



**Şekil 2.**  $^{12}\text{CO}(1-0)$  ve  $^{13}\text{CO}(1-0)$  geçişlerinin NGC 4710 (sol) ve NGC 5866 (sağ) disk üzerindeki değişimleri. Üst ve alt limitlere ait oranlar sırasıyla yukarı ve aşağı yöndeki oklarla gösterilmektedir. Şekil 1'de gösterildiği gibi pozisyonlar numaralandırılmıştır.

- Önceden yayınlamış tek-çanak verileri ile bu çalışmada yayınlanan interferometrik veriler kıyaslandığında, interferometrik gözlemler vasıtasıyla tek-çanak tarafından belirlenemeyen diskin daha dış kısımlarındaki gazı da belirlediği anlaşılmıştır.
- Bu iki galaksi içerisinde HNC ve HNCO moleküler geçişleri ilk defa bu gözlemlerle ortaya çıkarılmıştır.
- Çizgi oranlarına dayalı fiziksel analiz sonuçları, merkezdeki gas diskinin dıştaki gas halkasına kıyasla homojen olmayan ve yıldız oluşumunun daha yüksek olduğu bir ortama sahip olduğunu işaret etmektedir. İki bileşendeki yıldızlararası ortam birbirini ile mukayese edildiğinde fiziksel koşulların farklı olduğu anlaşılmaktadır.
- Bu çalışmanın konusu olan iki erten-tip galaksi, NGC 4710 ve NGC 5866, için elde edilen çizgi oranları diğer tip galaksilerde elde edilen çizgi oranları ile karşılaştırıldığında önemli farklılıklar ve benzerlikler göze çarpmaktadır. Buna göre, NGC 4710 ve NGC 5866 merkezi bölgesinde bulunan gazın fiziksel koşulları normal sarmal galaksiler ve yüksek derecede yıldız oluşumu gösteren galaksilerde gözlenen fiziksel koşulların arasında değerler göstermektedir. Ancak her iki galaksinin daha dış kısmında yer alan gaz halkalarındaki fiziksel koşullar daha ılımlı bir yıldız oluşum aktivitesinin varlığına işaret etmektedir.

Yıldız oluşum bölgelerinin çoklu-çizgi geçiş oranlarına göre analizi bize fiziksel koşulların daha iyi araştırılması için birçok olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, sadece CO değil diğer daha sofistike moleküler gazların çoklu-çizgi geçişleri de gözlenmelidir.

#### Kaynaklar

Sault R. J., Teuben P. J., Wright M. C. H., 1995, in Shaw R. A., Payne H. E., Hayes J. J. E., eds, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series Vol. 77, Astronomical Data Analysis Software and Systems IV*. p. 433 ([arXiv:astro-ph/0612759](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0612759))

Topal S., Bayet E., Bureau M., Davis T. A., Walsh W., 2014, *MNRAS*, 437, 1434

van der Tak F. F. S., Black J. H., Schöier F. L., Jansen D. J., van Dishoeck E. F., 2007, *A&A*, 468, 627

#### Erişim:

O22-1200: [UAK-2015 Program](#) — [UAK Bildiri](#) — [Turkish J.A&A](#).