


# Güney Galaktik Diskin Milimetre Dalgaboyunda Haritalandırılması

K. O. Çubuk,<sup>1,2</sup>  M. G. Burton,<sup>1,3</sup> C. Braiding,<sup>3</sup> G. F. Wong,<sup>3</sup> G. Rowell,<sup>4</sup> N. F. H. Tohill<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Armagh Observatory and Planetarium, Armagh, BT61 7HT, Northern Ireland, United Kingdom

<sup>2</sup> Queen's University Belfast, School of Mathematics and Physics, University Road, Belfast, BT7 1NN, Northern Ireland, United Kingdom

<sup>3</sup> School of Physics, University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia

<sup>4</sup> School of Physical Sciences, University of Adelaide, Adelaide, SA 5005, Australia

<sup>5</sup> School of Science, Western Sydney University, Locked Bag 1797, Penrith, NSW 2751, Australia

Accepted: February 20, 2022. Revised: January 7, 2022. Received: December 15, 2021.

## Özet

Bu çalıştay konuşmasında, on yıllık projemizi kısaca sunduk: Mopra Güney Galaktik CO Araştırması.  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$  ve  $\text{C}^{17}\text{O}$  çizgileri, 22 metrelik tek çanak Mopra Teleskobu kullanılarak haritalandı. Mopra CO Tarama Çalışması, Galaktik boylamda  $355^\circ$ 'den  $250^\circ$ 'ye ve Galaktik enlemde  $-1^\circ$ 'den  $+1^\circ$ 'ye kadar olan bir bölgeyi kapsar. Bu makalede, CO'nun moleküler bulutları araştırmak için neden en önemli moleküllerden biri olduğunu ve bu çalışmayı yapmak için kullandığımız yöntemleri kısaca tartışıyoruz.

## Abstract

In this workshop talk, we presented our decade-long project briefly: The Mopra Southern Galactic CO Survey.  $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$  and  $\text{C}^{17}\text{O}$  lines are mapped using the 22m single dish Mopra Telescope. The Mopra CO Survey covers a region from  $355^\circ$  to  $250^\circ$  in Galactic longitude and from  $-1^\circ$  to  $+1^\circ$  in Galactic latitude. In this paper, we briefly discuss why CO is one of the most important molecules to probe molecular clouds and the methods we have used to conduct this survey.

**Anahtar Kelimeler:** Galaxy: kinematics and dynamics – Galaxy: structure – ISM: clouds – ISM: molecules – radio lines: ISM – surveys

## 1 Giriş

Bir galaksideki yıldızlar arası uzayda bulunan maddenin tamamına yıldızlararası ortam denir. Yıldızlararası ortamı oluşturan bileşenlere örnek olarak atomik, moleküler veya iyonlaşmış halde bulunan gazlar ile toz ve kozmik ışınlar verilebilir.

Tüm yıldızlar yıldızlararası ortamdaki gaz ve tozdan oluşurlar. Düşük sıcaklığa ve yüksek yoğunluğa sahip olan gaz bulutları, moleküler bulutlar, evrendeki yıldız oluşum bölgeleridir. Evrende hiçbir şey durağan olmadığı gibi, yıldızlar da oluşumlarından ölümlerine kadar olan tüm evrimsel süreçlerinde doğrudan veya dolaylı olarak çevrelerini saran yıldızlararası ortama etkileşmekte ve onu değiştirmektedir. Yıldız evrimi doğrudan yıldızlararası ortamı etkilediği gibi yıldızlararası ortamın evrimi de gelecek nesil yıldızları ve galaksinin evrimini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeplerle yıldızların geldiği ve geri döndüğü yer olan moleküler bulutlar yıldız evriminden galaksi evrimine kadar pek çok önemli alanın temellerini oluşturmaktadır. Moleküler bulutları daha detaylı incelemek pek çok farklı alanı daha iyi anlamamız konusunda kıt bir öneme sahiptir.

Bu çalışmada Güney Galaktik Disk'te bulunan karbonmonoksit moleküllerinin dağılımı, dolayısıyla da moleküler bulutlar haritalandırılmaktadır.

## 1.1 Moleküler Bulutlar

Moleküler bulutlar, yıldızların hammaddesi olan atomik ve moleküler gazlar ile toz bakımından oldukça zengindir. Bir başka deyişle moleküler bulutlar yıldız doğumhaneleridir. Moleküler bulutların çapları bir parsekten yüzlerce parseğe çıkabildiği gibi, kütleleri de birkaç Güneş kütlesinden ( $M_\odot$ ) milyonlarca Güneş kütlesine çıkabilir.

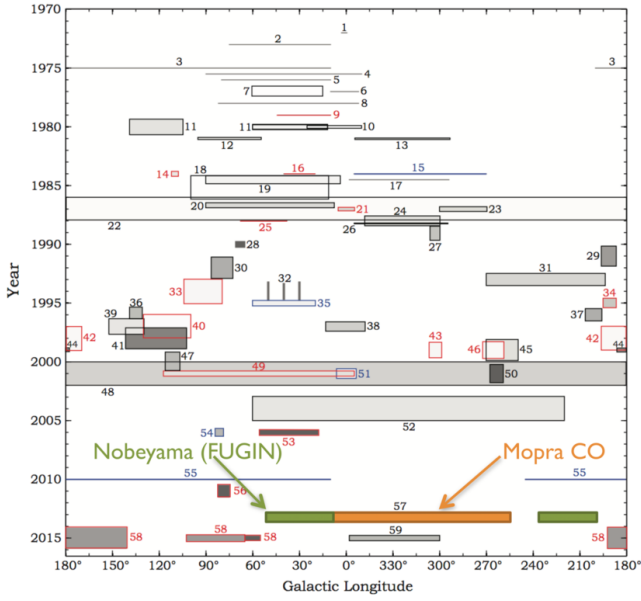
Yıldız oluşumunun gerçekleştiği moleküler bulutlar oldukça soğuk ve yoğundur. Sıcaklıkları genel olarak sadece 10–50 K arasında değişmekle birlikte yoğunlukları ise  $10^6$  molekül/ $\text{cm}^3$  mertebesindedir (Williams 2000). Bu yoğunluk gezegenimizin atmosferiyle karşılaştırıldığında son derece düşük kalmasının yanında yıldızlararası ortam için son derece yüksek bir yoğunluktur. Örneğin en iyi laboratuvarlarda oluşturulan vakum ortamda  $10^9/\text{cm}^3$  molekül yoğunluğuna kadar ulaşılabilirken, deniz seviyesinde atmosferde bulunan molekül miktarı  $10^{19}/\text{cm}^3$  mertebesindedir. Bir başka deyişle, yıldızların oluştuğu "yoğun" moleküler bulutlar, insanlığın henüz üretebildiği vakum ortamlarından daha az yoğundur.

Moleküler hidrojen ( $\text{H}_2$ ) yıldız oluşturan moleküler bulutların ana bileşenidir. Dolayısıyla moleküler hidrojenin gözlenmesi moleküler bulutları anlamak için kritik bir öneme sahiptir.

## 1.2 Moleküler Hidrojen ve Karbonmonoksit

$\text{H}_2$  moleküler bulutlarda bulunan en bol molekül olmasına rağmen, genel olarak,  $\text{H}_2$ 'yi doğrudan gözlemek neredeyse

\* kerem.cubuk@armagh.ac.uk



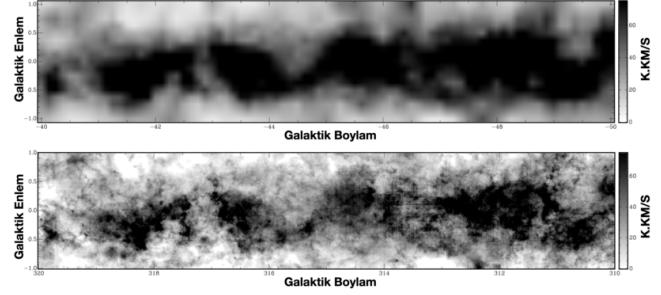
**Şekil 1.** Yıllara göre hazırlanmış CO tarama çalışmaları (Heyer ve Dame 2015). Her bir sayı ve çizgi bir başka CO tarama çalışmasını göstermektedir. Çizgilerin genişliği Galaktik boylamda kapsanan alanı gösterirken çizgilerin yüksekliği Galaktik enlemde kaplanan alanı gösterir. Kırmızı çizgiler  $^{13}\text{CO}$  çalışmalarını, mavi çizgiler ise  $^{12}\text{CO}$  ( $J=2-1$ ) çalışmalarını gösterir.

imkansızdır.  $\text{H}_2$  ilk rotasyon geçişi olan  $J=2-0$  için yaklaşık 511K ortam sıcaklığına ihtiyaç duyar (Burton 1992). Fakat moleküler bulutlarda sıcaklık genel olarak 10 ile 50 K arasında değiştiğinden  $\text{H}_2$  bu ışınımı yapmak için uyarılmaz. Çok nadir olarak, genç bir O veya B tayf sınıfından yıldızın çevresindeki moleküler bulutu uyarmasıyla  $\text{H}_2$  bu ışınımı yapabilir de bu kadar nadir olan bir mekanizmayla moleküler bulutları haritalandırmak mümkün değildir.

Bugüne kadar yıldızlararası ortamda 150'den fazla molekül gözlenmiştir. Bunların arasında karbonmonoksit (CO), moleküler bulutlarda en bol bulunan ikinci moleküldür. Ayrıca CO'nun, ilk rotasyon geçişi ( $J=1-0$ ) için sadece 5.5K sıcaklık gereklidir (Ward-Thomson ve Whitworth 2011). Bu sebeple soğuk ve yoğun yıldız oluşum bölgelerinde CO rahatlıkla gözlenebilmektedir. CO milimetre ve milimetre-altı dalgaboylarında ışınım yapar. CO ve CO'nun moleküler izotoplarının ışınimleri ( $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$  vb.) ve yine CO'nun çoklu moleküler geçişleri ( $J=2-1$ ,  $J=3-2$  vb.) incelendiğinde bu verilerin ışınımın geldiği moleküler bulut hakkında detaylı bilgiler verir. Örneğin  $^{13}\text{CO}$  ışınımı optik derinlik,  $J=3-2$  rotasyon geçişi de sıcaklık belirtici olabilir.

Sıcaklık ve kolon yoğunluğu önemli parametreler olmasına rağmen moleküler bulutların evrimi üzerine yorum yapabilmek için yoğunluk ve kütle parametrelerinin elde edilmesi çok önemlidir. Bu noktada sıklıkla,  $\text{H}_2$  ve CO arasında bulunan ve genel olarak kabul görmüş olan bir dönüşüm oranı kullanılır. Bu dönüşüm oranı moleküler bulutlarda yaklaşık olarak her bir CO molekülü için  $10^4$   $\text{H}_2$  molekülü olduğunu varsayar (van Dishoeck 1992). Bu sayede CO kolon yoğunluğundan  $\text{H}_2$  kolon yoğunluğuna geçilir ve moleküler bulutun mesafesi de biliniyorsa kütle ve yoğunluğu kolaylıkla hesaplanabilir.

Bu bölümde kısaca bahsettiğimiz sebeplerden dolayı CO,



**Şekil 2.** Aynı bölgenin iki farklı CO tarama çalışmasından alınmış görüntüsünün karşılaştırılması. Yukarıdaki görsel Dame CO Tarama çalışmasından, alttaki görsel ise Mopra CO Tarama çalışmasından alınmıştır. Yaklaşık 20 yıl arayla yapılan iki çalışma arasında açılal ve tayfsal çözünürlük gözle görülür ölçüde farklıdır. Dame CO taraması  $10''$  açılal çözünürlüğe ve  $1.3$  km/s tayfsal çözünürlüğe, Mopra CO tarama çalışması  $40''$  açılal çözünürlüğe ve  $0.1$  km/s tayfsal çözünürlüğe sahiptir.

moleküler bulutların incelenmesindeki en önemli moleküllerden biridir.

## 2 CO Tarama / Haritalandırma Çalışmaları

CO molekülünün uzayda keşfedilmesinden bu yana (Wilson ve diğ. 1970) pek çok Galaktik CO tarama çalışması yapılmıştır (Şekil 1). Bu çalışmalar arasında en önemlilerinden biri "The Milky Way in Molecular Clouds: A New Complete CO Survey" taramadır (Dame 2001). 2001 yılında yayınlanmış olan çalışmada her biri 1,2 metre olan kuzey ve güney yarı kürelerde bulunan iki radyo teleskop kullanılmıştır. Bununla birlikte, yıllar geçtikçe ilerleyen teknolojiyle üretilen daha hassas enstrümanlar sayesinde çok daha yüksek çözünürlüklü tarama çalışmaları yapılabilmektedir. Bu noktada Dame CO tarama çalışması ile Mopra CO tarama çalışması arasındaki çözünürlük farkı net bir şekilde görülmektedir (Şekil 2).

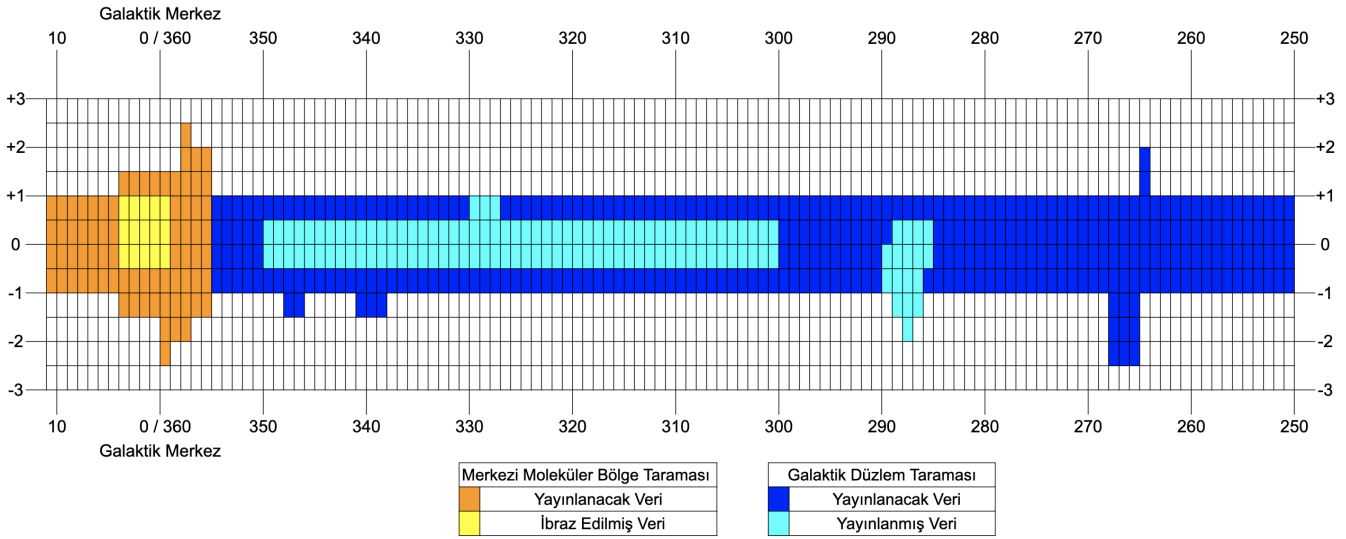
### 2.1 Mopra Karbonmonoksit Haritalandırma Çalışması

Mopra Radyo Teleskobu 22 metrelik bir tek çanak antendir. Teleskop Avustralya'nın New South Wales eyaletine bağlı olan Coonabarabran'da bulunur.

"Mopra Güney Galaktik Disk CO Taraması" bu teleskop kullanılarak yapılmıştır (Burton ve diğ. (2013)). Çalışmada CO'nun dört farklı çizgisi gözlenmiş olup ( $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$  and  $\text{C}^{17}\text{O}$ ), gözlemsel veriler 2011 ile 2018 yılları arasında teleskop zamanının neredeyse tamamı kullanılarak alınmıştır. Çalışmanın uzaysal çözünürlüğü yaklaşık  $40''$  iken tayfsal çözünürlüğü  $0.1$  km/s dir. Tarama çalışması  $355^\circ$  Galaktik boylamdan  $250^\circ$  Galaktik boylam ile  $-1^\circ$  Galaktik enlemden  $+1^\circ$  Galaktik enleme kadar olan bölgeyi kapsar. Bazı küçük uzantılarla birlikte tarama çalışmasının gökyüzünde kapladığı alan 230 derece kareyi aşmaktadır (Şekil 3). İncelenen gökyüzü parçası, normal şartlarda, açılal çözünürlüğü yaklaşık  $40''$  olan tek bir teleskop ile gözlemek için çok büyüktür. Bunun üstesinden gelebilmek için Hareket Halinde Haritalandırma (HHH) adı verilen bir teknik kullanılmaktadır.

### 2.2 Hareket Halinde Haritalandırma

Her bir kaynağın parlaklığı veya ışınım gücü farklı olduğundan gözlenmesi istenen kaynağa uygun pozlama süresi seçmek astronomik gözlemler için en temel faktörlerdendir. Genel



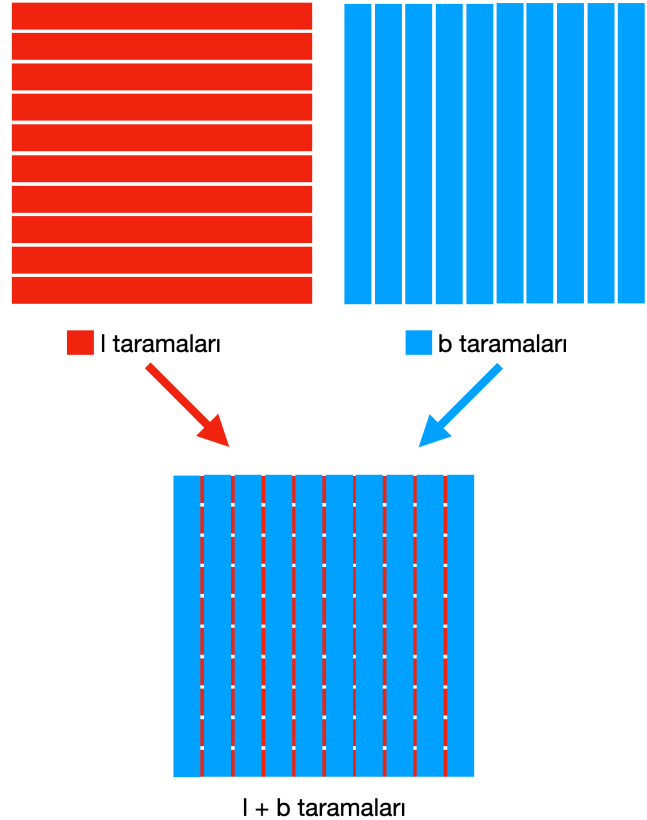
**Şekil 3.** Mopra Güney Galaktik Disk CO Taraması'nın kapsadığı Galaktik koordinatlar. Her bir kutu Galaktik boylamda  $1^\circ$  ve Galaktik enlemden  $0.5^\circ$  alan kaplar. Koyu mavi ile gösterilen alan veri indirgemesinin tamamlandığı fakat henüz yayınlanmayan verileri gösterirken açık mavi ile gösterilen alan halihazırda yayınlanmış verileri göstermektedir. Sarı ve turuncuyla gösterilen alanlar aynı çalışma grubuna ait olan fakat veri indirgemesi adımlarının farklı ele alındığı paralel bir projeye aittir.

olarak, bir kaynak ne kadar uzun süre pozlanabilirse o kadar yüksek sinyal/gürültü (S/G) oranına ulaşılabilir. Fakat tarama çalışmalarında genelde geniş alanların gözlenmesi istenildiğinden uzun pozlama yapıp en iyi S/G oranına ulaşmak yerine kaynağın parlaklığına göre seçilebilen en kısa pozlama süresi seçilir. Bazen bu pozlama süresi o kadar kısadır ki teleskobun belli bir konumda sabit kalması gerekmez, hareket halindeyken yeterince yüksek S/G oranına erişilebilir. İşte teleskobun durmadan hareket ederek gökyüzünü taradığı bu yöntem "Hareket Halinde Haritalandırma" adı verilir (On-the-Fly Mapping). Mopra Teleskobu CO ve onun moleküler izotoplarını gözlemek için yeterince hassas olduğundan bu çalışmada HHH metodunu bir adım daha öteye taşıyarak Hızlı Hareket Halinde Haritalandırma (Fast On-the-Fly Mapping) metodu kullanılmıştır.

Radyo astronomi verileri diğer dalga boylarına kıyasla atmosferik olaylar ve yapay kaynaklardan daha az etkilenir de uzun yıllara yayılan gözlemlerde farklı pek çok etken sebebiyle gözlem verileri bozulabilmektedir. Özellikle kuvvetli rüzgar ve kalın bulut katmanları tek çanakla yapılan milimetre gözlemlerini doğrudan etkilemektedir. Gözlem sırasında oluşan bariz problemler sebebiyle o günün gözlem takvimi sonradan tekrarlanabilir. Fakat gözden kaçabilecek problemleri ortadan kaldırmak ve S/G oranını arttırmak için aynı bölgenin birden fazla kez gözlemini yapmak son derece önemlidir. Bu sebeple Mopra Tarama Çalışması sırasında tarama alanı içerisinde kalan her bölge en az iki kere gözlenmiştir (Şekil 4).

### 3 Sonuçlar ve Gelecek Çalışmalar

Radyo astronomide veriler optik astronomi verilerine kıyasla oldukça büyüktür ve dolayısıyla bu verilerin işlenmesi çok daha uzun zaman gerektirdiği gibi saklanması da çok daha büyük sabit diskler veya sunucular gerektirir. Mopra teleskobu kullanılarak yapılan sekiz yılı aşkın gözlemlerin sonucunda CO'nun dört farklı moleküler izotopunun verileri elde edilmiştir. Bu veriler gözlemler devam ederken indirgenmeye başlanmıştır.



**Şekil 4.** Kırmızı çizgiler Galaktik boylam (l) taramalarını, mavi çizgiler Galaktik enlem (b) taramalarını göstermektedir. Her bir tarama  $1^\circ \times 0,1^\circ$  alan kaplar. Dolayısıyla her  $1^\circ \times 1^\circ$  alan için toplamda 20 farklı tarama yapılır. Her bir tarama yaklaşık 1.5 saat sürer. Sonuçta l ve b taramaları üst üste bindirilerek daha iyi bir S/G oranı elde edilir.

Buna rağmen tüm veri setinin indirgenmesi 2021 yılının ikinci yarısına kadar sürmüştür.

2022'nin ilk yarısında yayınlanacak olan projeye ait son veri seti ve makaleyle on yılı aşkın süredir devam eden Mopra Güney Galaktik Disk CO Taraması sona ermiş olacaktır. Bununla birlikte, şu anda veri setleri üzerinde yürütülen başka çalışmalar da vardır. Bu çalışmalar şu şekilde listelenebilir:

- C<sup>18</sup>O Kümelerinin Belirlenmesi
- CO'nun Moleküler İzotoplarının Çizgi Oranlarının Hesaplanması
- Galaksi Ölçeğinde Üç Boyutlu Moleküler Bulut Haritasının Oluşturulması

#### **Kaynaklar**

- Burton, M. G. ve diğ., The Mopra Southern Galactic Plane CO Survey. Publications of the Astronomical Society of Australia **30** (2013) 28
- Burton, M. G., Excitation of molecular clouds and the emission from molecular hydrogen. Australian Journal of Physics **45** (1992) 463–486
- Dame, T. M. ve diğ., The Milky Way in Molecular Clouds: A New Complete CO Survey. The Astrophysical Journal **547** (2001) 792–813
- van Dishoeck, E. F., Panel Discussion: The Co/H<sub>2</sub> Abundance Ratio. Proceedings of the 150th Symposium of the International Astronomical Union (1992) 285
- Heyer, M. ve Dame, T. M., Molecular Clouds in the Milky Way. Annual Review of Astronomy and Astrophysics **53** (2015) 583
- Ward-Thomson, D. ve Whitworth, A. P., An Introduction to Star Formation. Cambridge University Press (2011) ISBN: 9780521630306
- Williams, J. P., The Structure and Evolution Of Molecular Clouds: from Clumps to Cores to the IMF. Invited Review for Protostars and Planets IV, University of Arizona Press (2000) ISBN: 9780816520596
- Wilson, R. W. ve diğ., Carbon Monoxide in the Orion Nebula. The Astrophysical Journal **161** (1970) 43

#### **Access:**

M22-0303: [Turkish J.A&A](#) — Vol.3, Issue 3.