

DEFPOS Kullanılarak Galaktik Ve Atmosferik Balmer-Alfa Işınımının Ölçülmesi

Muhittin Şahan¹, İlhami Yeğinil¹, Nazım Aksaker¹, Meltem Akyılmaz¹

¹Çukurova Üniversitesi,
Fizik Bölümü,
Fen-Edebiyat Fakültesi , 01150, Adana
msahan@cu.edu.tr, ilhami@cu.edu.tr, aknazim@yahoo.com, makyilmaz@cu.edu.tr

Özet: Gökadamızın yıldızlararası ortamındaki HII bölgelerinden gelen zayıf H α ışınım çizgisini incelemek amacıyla ayırma gücü 11000 civarında olan 7.5 cm çaplı, çift etalonlu bir Fabry-Perot tayfölçeri yapılmıştır. Tayfölçer DEFPOS (Dual Etalon Fabry Perot Optical Spectrometer: Çift Etalonlu Fabry-Perot Optik Tayfölçeri) olarak adlandırılmıştır. İlk H α ışınım çizgisi 30 Kasım 2002 tarihinde başucu doğrultusunda 4.76° görüş alanıyla elde edilmiş ve geçen bir yıl içerisinde toplam 27 gece H α verisi alınmıştır. Elde edilen verilerin parlaklık kalibrasyonları için 1°'lik WHAM verileri kullanılmıştır. Dünya atmosferinin üst (geocorona) bölgesindeki hidrojenin Balmer- α (H α) çizgisi de gözlenmiş ve atmosferik H α ışınımının gecelik değişimi çıkarılmıştır. RTT150 teleskopunun coudé çıkışı hazır olduğunda, DEFPOS teleskop ile birlikte kullanılacak ve Samanyolu galaksisi ve diğer galaksilerden gelen H α ve diğer sönük çizgiler 4 açı dakikasında daha detaylı olarak incelenmeye başlanılacaktır.

Anahtar kelimeler: Fabry-Perot Tayf Ölçerleri, Yıldızlararası Ortam, HII Bölgeleri, Atmosferik Balmer- α

Abstract: A Fabry-Perot spectrometer has been built to observe faint optical H α emission line from the diffuse ionized hydrogen gas in our galaxy. The spectrometer has been called DEFPOS (Dual Etalon Fabry Perot Optical Spectrometer) and it has consisted of two 7.5 cm diameter Fabry-Perot etalons. Resolving power of the DEFPOS has been measured as 11000. The first H α emission line from the zenith direction with 4.76° field of view has been obtained at 30 September 2002. it has been collect total 545 H α spectra until 21 September 2003 within 27 nights. WHAM data has been used for intensity calibration of DEFPOS. Using DEFPOS, it has been also measured geocoronal Balmer α line in observations from earth's upper atmosphere (geocorona) and obtained its intensity variation during the night. When DEFPOS is coupled to coude exit of a 150 cm telescope (RTT150), it will start to examine interstellar medium of our Milky Way Galaxy and the other galaxies within 4' spatial resolution.

Key Words: Fabry-Perot Spectrometer, Interstellar Medium, HII Regions, Geocoronal Hydrogen Balmer- α Emission

1. Giriş

Yıldızlararası ortamda yapılan değişik gözlemler parlak HII bölgelerinin dışında önemli ölçüde iyonize olmuş gazın varolduğu ortaya çıkmıştır. Bu gözlemler özellikle pulsar dağılım ölçümleri (DM), düşük frekanslı galaktik radyo yayınının serbest eleckron soğurumu, ultra violet (UV) soğurum çizgileri ve yıldızlararası zayıf optik yayının çizgilerini içermektedir.Fabry-Perot tayfölçerlerinin gelişmesi sonucu yıldızlararası ortamdan gelen H α , [NII] ve [SII] gibi çok zayıf yayının çizgilerinin ölçülmesi mümkün olmuştur. Bu yayının çizgileri

galaktik disk boyunca dağılmış ve yıldızlararası hacmin yaklaşık %20 sini dolduran, sıcak (10^4 K), düşük yoğunluklu ($\approx 0.1\text{cm}^{-3}$) ve tamamına yakını iyonlaşmış hidrojenin varlığı hakkında güçlü kanıtlar sağlamıştır (Reynolds, 1992).Bu sıcak, iyonlaşmış ortam (HII bölgeleri: Reynolds Layers) yıldızlararası ortamın en önemli bileşenini oluşturmaktadır. Gökada düzlemine dik bir çizgi boyunca iyonize olmuş hidrojen (N_H^+) $2 \times 10^{20}\text{cm}^{-2}$ sütun yoğunluğuna sahiptir ve atomik (HI) hidrojenin 1/3'ü kadardır. İyonlaşmanın sürekliliği için cm^2 başına yaklaşık 10^{-4} erg/s 'lik bir güç gerekmektedir. Bu güç süpernovaların yıldızlararası ortama aktardığı toplam güce eşittir (Reynolds,1997, Reynolds,2002).Yıldızlararası ortamdaki hidrojeni iyonlaştıran mekanizmanın kaynağının ne olduğu henüz tam olarak

Başvuru tam metni : Muhittin ŞAHAN
e-mektup: msahan@cu.edu.tr

bilinmemektedir. O tipi yıldızların yaydığı enerji nedeniyle çevrelerindeki gazın iyonlaşması; gökadamızdaki manyetik rüzgarların etkisi gibi egzotik nedenler; kozmik ışınlardan kaynaklanan elektronların etkileri ve karanlık maddenin bozunmasına kadar değişik nedenler ileri sürülmektedir (Reynolds,1997). Yıldızlararası ortamdan gelen yayılı H α ışınım şiddeti düşük yoğunlukta da olsa gökadamın her yerine dağılmıştır. Yapılan gözlemler H α şiddetinin ekvator yakınında 3-12 R arasında olduğu ve kutuplara gidildikçe 0.5 R'a kadar azalarak tüm gök yüzünü kapladığı göstermiştir ($1R=(10^6/4\pi)$ foton $cm^{-2}sr^{-1}s^{-1}=2.41 \times 10^{-7} ergcm^{-2}sr^{-1}s^{-1}=2.25cm^{-6}pc$).

Galaksinin yıldızlararası ortamından gelen H α ışınımın açısal hızı dünyanın dönme hızına göre ± 25 km/s hıza sahiptir. Düşük gürültülü, yüksek kuantum verimli CCD kameralarının gelişmesi sonucu, yayılı kaynaklardan gelen zayıf yayımın çizgilerini çalışılmasında Fabry-Perot tayfölçerlerin önemi artmıştır (Reynolds, 1990)

Dünyanın üst atmosferinden 3-12 R arasında değişen şiddet oranıyla yayılan atmosferik (geocoronal) H α ışınım çizgisi galaktik H α çizgisine göre daha parlaktır. Yüksek çözünürlüklü Fabry-Perot tayfölçerler kullanılarak, yaklaşık 30 km/s yarı genişliğe sahip olan atmosferik H α çizgisini galaktik H α çizgisinden ayırt etmek mümkündür (Reynolds,1990, Haffner,1998)

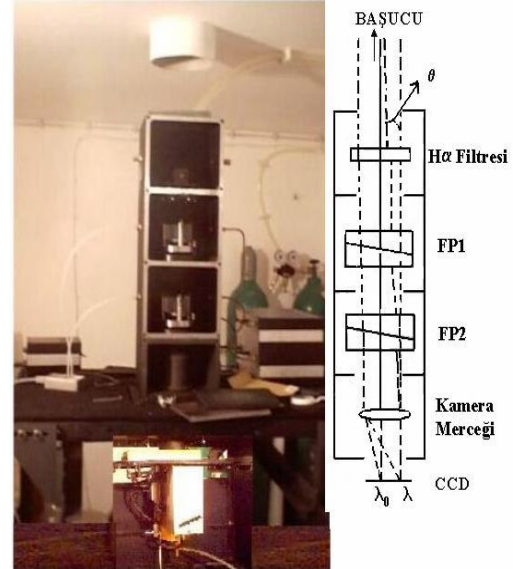
Fabry-Perot girişim aygıtı kullanarak yapılan ilk H α gözlemleri Reynolds ve ark. tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada gökadamızda birkaç bölge gözlenerek H α parlaklığı ve kinematik özellikleri saptanmıştır (Reynolds,1973). Daha sonra, H α taramalarına devam edilmiş ve 1997 yılında WHAM (Wisconsin Hydrogen Alpha Mapper) projesi ile kuzey gökkürenin yaklaşık 37.000 tayftan oluşan, 1° açısal, 12 kms⁻¹ tayfsal çözünürlükte H α haritasını hazırlanmışlardır.

2. DEFPOS Tayfölçeri

Yıldızlararası ortamdaki iyonize olmuş hidrojen bölgelerini (HII bölgeleri) incelemek amacıyla, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) 7.5 cm çaplı, çift etalonlu Fabry-Perot girişim aygıtı kullanan bir tayfölçer yapıldı (şekil 1). DEFPOS adını verdiğimiz tayfölçer, TUG 'da bulunan 1.5 m çaplı teleskopun (RTT150) coudé çıkışında kullanılmak üzere geliştirildi. Teleskopun coudé odası hazır olmadığından tayfölçer teleskop binasının üst katındaki bir odaya yerleştirildi ve başucu doğrultusunda 4.76° görüş alanıyla ve 1200 s poz süresi ile gökadamdan ve dünya atmosferinden H α gözlemleri yapmaya başladı. Tayfölçer dünyanın yörüngesel hareketinden dolayı, gökyüzünde 1200 s poz süresinde yaklaşık 4.76°x9°'lik bir açısal alanı taramaktadır.

Tayfölçerimiz RTT150 teleskopunun coudé çıkışında kullanılmaya başlandığında 4' görüş alanı ile dünya atmosferinde, gökadamızda ve gökadamızın dışında ışınım çizgi ölçümleri yapabilecektir. Böylece, 1°'lik WHAM haritasında önemli bölgeler DEFPOS ile 4 açı dakikalık bir açısal çözünürlük ile detaylı olarak incelenebilecektir (Şahan ,2004).

Şekil 1'de görüldüğü gibi tayfölçerde üst üste yerleştirilmiş dört ayrı odacık bulunmaktadır. Odacıklarda yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla dar bantlı (~15 Å) H α filtresi, Fabry-Perot etalonları (FP1 ve FP2) ve odaklama merceği (f=30 cm) bulunmaktadır. Fabry-Perot plakaları arasında slika camdan yapılmış ısıdan etkilenmeyen $l_1= 0.0148$ cm ve $l_2=0.0198$ cm kalınlıklı ayırıcılar kullanılmıştır. İki etalon üst üste kullanıldığında parazitli ışıklar yok olmakta ve sistemin serbest tayf genişliği artmaktadır. Bu nedenle etalonlardan geçen girişim saçaklarını tam olarak üst üste getirmek için basınç odacıklarında azot gazı ($n_g \approx 3 \times 10^{-3}$) kullanılmaktadır. Tayfölçer masasının altında ise 2048x2086 pixel boyutlu CCD kamerası bulunmaktadır. H α 'da yaklaşık %85 kuantum verimliliğine sahip olan CCD kamerası sıvı azot ile yaklaşık -110 °C'ye kadar soğutulabilmektedir.



Şekil 1: DEFPOS tayfölçerinin resmi ve optik diyagramı

3. Sonuçlar ve Tartışma

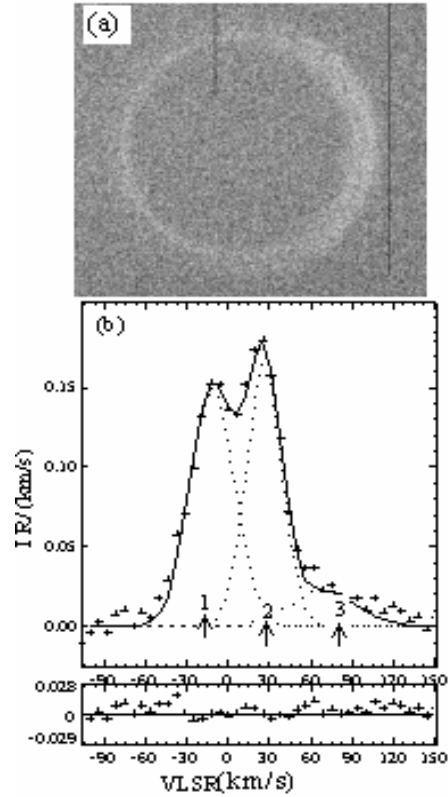
DEFPOS 30 Kasım 2002 tarihinden itibaren başucu doğrultusunda 4.76° görüş açısı ile gökadamızdan ve dünya atmosferinden 1200 s poz süreli H α gözlemleri yapmaya başlamıştır.

Gözlemlerde atmosferik ve galaktik H α ışınım çizgileri birlikte ölçülmektedir. 21 Kasım 2003 tarihine 27 gecede toplam 545 gözlem yapılmıştır. Verilerin uygun olanları belirlenerek CCD indirgemeleri yapılmış ve halka toplama tekniği kullanılarak tayfları elde edilmiştir. Verilerin indirgemesi ve tayfa dönüştürülmesinde IDL 5.4 (The Interactive Data Language) programlama dili kullanılmıştır. Tayflar atmosferik ve galaktik ışınım çizgilerinin birleşiminden oluşmaktadır. Her tayf 6.3 km/s tayfsal hız çözünürlüğüne karşılık gelen 42 tayfsal elementten oluşmaktadır. Bu nedenle DEFPOS ile elde ettiğimiz galaktik ve atmosferik H α ışınım çizgilerinin tamamı 260 km/s hız aralığına düşmektedir. H α tayfları yaklaşık olarak bir gaussian benzediğinden Peakfit programı kullanılarak tayfların üzerinden uygun gauss eğrileri geçirilmiş ve atmosferik ve galaktik H α ışınım çizgi veya çizgilerinin yerleri, yarı genişlikleri, genlikleri ve dolayısıyla parlaklıkları belirlenmiştir (şekil 2'de kesikli çizgilerle gösterilen 1, 2 ve 3 numaralı eğriler). Ölçülen verilerin galaktik enlem (b) ve boylamları (l) yapılan IDL programı ile belirlenerek LSR'a (Durgun Yerel Standart) göre hızları hesaplanmıştır. Atmosferik çizginin yeri -VLSR-2.33 olarak belirlenmiş ve galaktik çizgilerin hızları ise bu hızla göre belirlenmiştir (şekil 2'de 2 numaralı çizgi). Buna göre eğer galaktik çizgi atmosferik çizginin solunda ise çizginin hızı (-) olmakta ve Doppler hız kaymasına göre yapı maviye kaymaktadır (şekil 2'de 1 numaralı çizgi). Aynı şekilde, galaktik çizgi atmosferik çizginin sağında ise yapının hızı (+) LSR'dan uzaklaşmakta ve dalga boyu kırmızıya kaymaktadır. (şekil 2'de 3 numaralı çizgi) (Şahan,2004).

DEFPOS ile elde edilen galaktik ışınım çizgilerinin parlaklık değerlerini (I_{α}) Rayleigh (R) biriminde hesaplamak için WHAM verileri kullanılmıştır. DEFPOS'un 1200 s poz süresinde $4.76^{\circ} \times 9^{\circ}$ lik bir alandan elde ettiği parlaklık değerleri (ADU km/s), aynı bölgeden elde edilen WHAM verileri ile karşılaştırılmış ve 20 ADU kms^{-1} parlaklık değerinin 1 R'ye karşılık geldiği ilk sonuçlardan bulunmuştur. Yaklaşık 8000 K sıcaklığındaki iyonlaşmış hidrojen gazının ışınım ölçüsü $EM=2.75T_4^{0.9}I_{\alpha}=2.25,(\text{cm}^{-6}\text{pc})$ ifadesinden hesaplanmıştır.

Şekil 2 a'da 30 Temmuz 2003 tarihinde yerel saat 00:00-00:20 arasında alınan CCD görüntüsü verilmektedir. CCD üzerinde oluşan H α görüntüsü halka şeklindedir. Gözlenen bölgenin merkezi koordinatları $b=-18.85^{\circ}$, $l=95.37^{\circ}$ dir. Halka üzerindeki atmosferik ve galaktik yapılar oldukça belirgindir. Halka görüntünün sağ tarafındaki parlak yapı galaktik H α ışınım çizgisidir.

Etalonlardan önce optik sistem kullanılmadığından yıldızlararası ortamdan gelen ışınım çizgisi halkanın her tarafına eşit olarak dağılmamıştır. Bu nedenle halkanın belirli bir kısmı daha parlaktır. Şekil 2 a 'daki halka görüntüye CCD indirgemesi yapılmış ve daha sonra halka toplama tekniği uygulanarak elde edilen tayf şekil 2 b'de verilmiştir. Görüldüğü gibi tayf, atmosferik (2) ve iki galaktik (1,3) H α ışınımının birleşiminden oluşmaktadır. Her tayf yaklaşık bir gaussian eğrisine benzediğinden, tayf üzerindeki atmosferik ve galaktik H α ışınım çizgilerini belirlemek için gauss eğrileri uydurulmuştur.



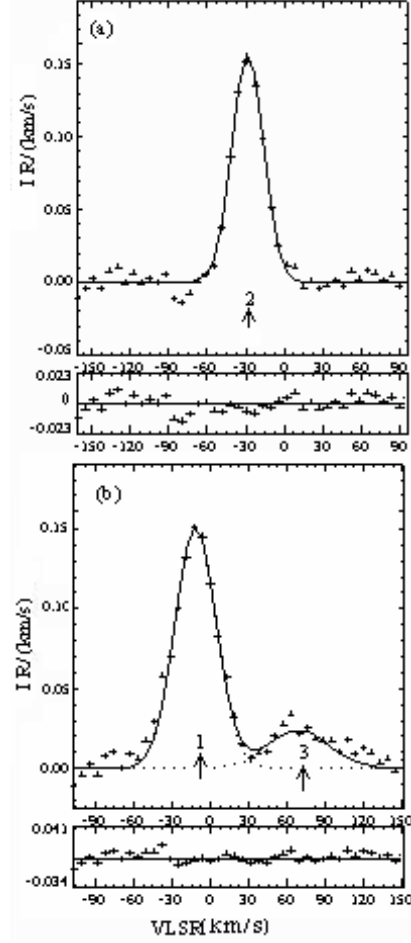
Şekil 2: CCD ile 30 Temmuz 2003 tarihinde saat 00:00-00:20 'de $l = 95.37$, $b = -18.85$ yönlerinde gözlenen görüntüden elde edilen tayf. Hızı -65.99 km/s^{-1} olan yapı oldukça parlak ve atmosferik çizgiden ayrıktır.

Atmosferik ve galaktik eğrilerin toplamı olan eğri (teorik) yaklaşık olarak bütün tayfsal elementlerden geçen koyu eğridir. Uydurulan teorik eğrinin deneysel eğri üzerinden ne kadar düzgün geçtiğini görmek ve olası başka yapıların olup olmadığını görebilmek için grafiklerin altına ikinci bir grafik daha çizilmektedir. Bu grafik deneysel ve teorik

eğrilerin arasındaki farktan oluşmaktadır. Artık noktalar (residual) olarak adlandırdığımız bu noktalara bakarak uydurulan gauss eğrilerinin tayfa ne kadar uyduğuna bakılabilmektedir (Şahan ,2004).

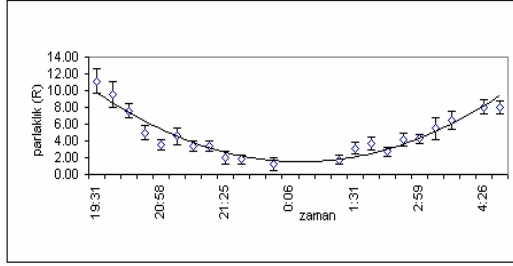
Şekil 2 b' de LSR'a göre -11.7 km/s hıza sahip olan 1 numaralı galaktik yapının yarı genişliği 37.8 km/s, parlaklığı ($H\alpha$ ışınım şiddeti) 6.09 R ve yayılım ölçüsü (EM) 13.75 cm^{-6}pc olarak belirlenmiştir[7]. LSR'a göre hızı 68.2 km/s olan 3 numaralı galaktik yapının yarı genişliği 56.7 km/s, parlaklığı 1.32 R ve yayılım ölçüsü (EM) 2.97 cm^{-6}pc olarak ölçülmüştür. İki galaktik yapının parlaklıkları toplamı 7.41 R'tir. WHAM tayfölçeri ile elde edilen aynı bölgenin parlaklık değeri ise 7.7 R olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi DEFPOS ile elde parlaklık değerleri aynı bölgeden elde edilen WHAM değerlerine oldukça yakındır. Şekil 2 a'da hızı 25.98 km/s ve yarı genişliği 29.11 km/s olan çizgi dünyanın üst atmosferinden gelen $H\alpha$ ışınım çizgisidir. Çizginin parlaklığı 5.3 R olarak bulunmuştur.

Atmosferik $H\alpha$ 'nın gecelik değişimine örnek olarak 28 Eylül 2003 tarihinde alınan veriler seçilmiştir. Verilerin tayflarından galaktik ışınım şiddetleri çıkartılmış ve atmosferik tayfların değişimleri kullanarak şekil 4'te verilen grafik elde edilmiştir. Şekilde yatay eksen yerel zamanı düşey eksen ise atmosferik $H\alpha$ ışınımının parlaklık değişimini göstermektedir. Atmosferik $H\alpha$ değişimi Güneşin Lyman β ışımasından kaynaklanmaktadır. Dünyanın üst atmosferindeki $H\alpha$ ışınımının gecelik değişimi düzgün değişim göstermektedir. Bu değişim dünyanın gölgeleme yüksekliğine bağlıdır. Akşam güneşin atmosferi aydınlatması maksimum olduğundan atmosferik $H\alpha$ ışınımının parlaklığı maksimumdur. Zaman geçtikçe ışınım şiddeti azalarak yaklaşık gece yarısında minimuma düşmekte ve daha sonra tekrar artarak sabah alaca karanlıkta maksimuma ulaşmaktadır. Atmosferdeki



Şekil 3. şekil 2'deki galaktik ve atmosferik ışınım çizgileri bir birinden ayrıştırılarak atmosferik (a) galaktik (b) tayflar elde edilmiştir.

$H\alpha$ ışınımının parlaklığındaki bu değişim Depression Angle olarak adlandırdığımız güneşin ufukla yaptığı batış açısıyla benzerlik göstermektedir. Güneşin batış açısı büyüdükçe dünyanın gölgeleme yüksekliği büyümekte ve dolayısıyla atmosferde düşük şiddetli $H\alpha$ ışınımı gözlenmektedir.Şekil 4'te görüldüğü gibi gece boyunca atmosferik $H\alpha$ değişimi 1.30 R- 11.13 R arasında değişmektedir.



Şekil 4. 28 Eylül 2003 tarihinde elde edilen tayflardan galaktik H α ışınımının etkisi çıkarılarak elde edilen atmosferik H α çizgilerinin zamana göre parlaklık değişimi.

Sonuç olarak, 27 gecede elde edilen verilerden uygun olanları seçilerek CCD indirgemeleri yapılmış ve halka toplama tekniği kullanılarak tayfları elde edilmiştir. Tayflarda atmosferik ve galaktik yapılar bir birlerinden ayırt edilmiş ve atmosferik veriler kullanılarak dünya atmosferindeki gecelik H α değişimi elde edilmiştir. DEFPOS RTT150 teleskopunun coudé odasında kullanılmaya başladığında, gökadamız ve diğer gökadalardan gelen çok sönük çizgiler daha kısa poz sürelerinde gözlenebilecektir. O zamana kadar tayfölçer ile başucu yönünde H α gözlemlerimiz devam edecektir.

4. Kaynaklar

- REYNOLDS, R.J., COX, D.P., Heating The Warm Ionized Medium, The Astrophysical Journal , 1992, 400:L33-L34.
- REYNOLDS, R.J., Ionizing the Galaxy, SCIENCE, 1997, Vol. 277.
- REYNOLDS, R.J., HAFFNER, L.M., MADSEN, G.J. , Tree-Dimensional Studies of the Warm Ionized Medium in The Milky Way Using WHAM. arXiv:astro-ph/0201392 v1, 2002.
- REYNOLDS, R.J., ROESLER, F.L., SCHERB, F., HARLANDER, J., Fabry-Perot/CCD Multi Channel Spectrometer For The Study Of Warm Ionized Interstellar Gas And Extragalactic Clouds. SPIE The International Society for Optical Engineering. Instrumentation In Astronomy, VII, 1990, Vol. 1235.
- HAFFNER, L.M., REYNOLDS, R.J., TUFTE, S.L. , Faint Large Scale H α Filaments In The Milky Way. The Astrophysical Journal, 501, 1998, L83-L87.
- REYNOLDS, R.J., SCHERB F., A Search For H α Emission From Interstellar Clouds. The Astrophysical Journal, 1973, 181:L79-L82..
- ŞAHAN MUHİTTİN, DEFPOS : Tasarımı, Özellikleri ve İlk Sonuçlar, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Edb. Fak. Fizik Bölümü, (Adana,Türkiye), 2004.