

SCORPIUS-CENTAURUS OYMAĞINDAKİ ÇİFT ve ÇOKLU SİSTEMLERİN ÖZELLİKLERİ ÖRNEK ÇALIŞMA: η MUSCAE ve V831 CENTAURUS

Volkan BAKIŞ¹, Osman DEMİRCAN¹, Herman HENSBERGE²,
Hicran BAKIŞ¹

¹*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü, Terzioğlu Yerleşkesi, 17040,
Çanakkale*

²*Royal Observatory of Belgium, Belçika
e-posta: bakisv@comu.edu.tr*

Özet

Geçtiğimiz on yıl içinde Scorpius-Centaurus yıldız oymağı bölgesinde yapılan fotometrik, tayfsal, astrometrik ve kinematik çalışmalar oymağın üyelerinin $0.1 M_{\odot}$ kütleli yıldızlara kadar belirlenmesine katkı sağlamışlardır. Oymağın üyeleri incelendiğinde yıldız nüfusunun %70'inin en az bir bileşenin olduğu, bunun %40'ünün ise birden fazla bileşeni olan çoklu sistemler olduğu görülmektedir. Yıldız oluşum sürecinin hala aktif olduğu Sco-Cen bölgesinde çift/çoklu sistemlerin sıklığı yıldız oluşum sürecinde bu tür yapıların temel bir parametre olarak rol aldığını gösteriyor. Bu bölgede yapılacak tayfsal çalışmalar henüz keşfedilmemiş tayfsal çiftlerin varlığını ortaya koyarak yıldız oluşumunda çift/çoklu sistemlerin rolünün daha iyi belirlenmesini sağlayacaktır. Bu amaçla incelediğimiz Scorpius-Centaurus oymağındaki orta kütleli η Muscae ve V831 Centaurus yıldız sistemlerinin oymaktaki çift/çoklu yıldızların özelliklerini yansıttığı görülmektedir. Tayfsal, fotometrik ve kinematik çalışmalar bu sistemlerin etrafında bulunan ve sayıları birden fazla olan görünmeyen cisimlerin varlığını ortaya çıkarmıştır.

Anahtar kelimeler: Sco-Cen OB Oymağı, Çift/çoklu yıldız sistemler, Temel yıldız parametreleri, Yöntem: Fotometri, Tayf, Astrometri

Abstract

In the last decade, photometric, spectroscopic, astrometric and kinematic studies of Scorpius-Centaurus OB association allowed a reliable determination of member stars with masses down to $0.1 M_{\odot}$. Once the members of the association have been investigated, it is seen that 70 per cent of the member stars have at least one companion star, and 40 per cent of this have more than one companion. This frequency of multiple stars in the association shows that the multiplicity is a key role in the stellar formation process.

Spectroscopic surveys in Sco-Cen region will yield yet undiscovered binary and multiple systems and allow more precise determination of multiplicity in stellar formation process. η Muscae and V831 Centaurus systems, which were studied for this aim, show similar properties of the binary / multiple systems in the Sco-Cen association. Spectroscopic and photometric studies revealed the unseen components around these systems.

Key words: Sco-Cen OB Association, Binary/multiple stellar systems, Fundamental stellar parameters, Method: Photometry, Spectroscopy, Astrometry

1. Giriş

ROSAT'ın tüm gözkyüzü araştırması (RASS) 86 B-tayf türü (B7-B9) cüce yıldızın yüksek X-ışın salınımı yaptığını belirlemiştir. Bu yıldızlardan yapılan X-ışın salınımı daha sonra Grillo ve diğ. (1992) tarafından da doğrulanmıştır. Teorik açıdan bakıldığında B7-B9 tayf türünden yıldızların kayda değer oranda X-ışın salınımı yapması uygun görünmüyor. X-ışın salınımı tespit edilen yıldızların sadece birkaçının yakınında soğuk bir bileşenin olduğu bulunmuştur. ROSAT tarafından tespit edilen objelerdeki X-ışın kaynaklarını anlamak üzere 17 B yıldızı ROSAT'ın 5 açılı saniye görüş alanlı yüksek çözünürlüğe sahip kamerası ile gözlenmiştir. Beklenmedik bir biçimde gözlenen cisimlerin sadece birkaçında X-ışının görsel bileşen ile

bağlantılı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır (Berghöfer ve Schmitt 1994). Berghöfer ve diğ. (1997) RASS'ın tespit ettiği yıldızların 77%'sinin bilinen tayfsal çift yıldız olduğunu bildirmiştir. Gözlenen X-ışın yeğİnlİği bir anakol bileşenden gelemeyecek kadar büyük olduğundan büyük ihtimalle tayfsal çiftin ikinci bileşeni ya çok geç tayf türünden bir anakol öncesi yıldız ya da anakola yeni girmiş çok genç bir yıldız olmalıdır (Hubrig 2001).

Hubrig (2001), RASS tarafından bulunan ve daha sonra başka çalışmalarla da onaylanan X-ışın kaynağı B-türü yıldızlardan başka X-ışın kaynağı olan 49 B-türü yıldız daha gözlemiştir. B-türü yıldızların yakınındaki geri tayf türünden sönük yıldızlarla parlaklık farkının görsel bölgede çok büyük olması (8-10 kadir) nedeniyle yakın bileşenlerin varlığını speckle interferometresi yerine parlaklık farkının daha az olduğu (2-6 kadir) yakın kızılötesi bölgede yüksek çözümleme gücü olan görüntüleme sistemi (ADONIS) ile gözlemiştir. Çalışma sonucunda Hubrig (2001) bilinen X-ışın kaynaklı ve en az bir bileşeni olan sistemlere ek olarak 21 yeni X-ışın kaynaklı en az bir bileşeni olan B-türü yıldız belirlemiştir. Bunların arasından 9 tanesi çift, 5 tanesi üçlü ve 4 tanesi dördü sistemdir. Çalışma sonucunda Hubrig (2001) X-ışın salan B-türü yıldızların büyük çoğunluğunun görünmeyen düşük kütleli ve geri tayf türünden bir bileşene sahip olduğunu göstermiştir. İnceledikleri sistemlerin yakınındaki bileşenlerin 15'inin anakol öncesi yıldız olduğu bulunmuştur.

Yıldızların büyük çoğunluğunun çift veya çoklu sistemler olduğu 30 yılı aşkın bir süredir biliniyor (Heintz 1969; Batten 1973; Leinert ve diğ. 1993). Duquennoy ve Mayor (1991) Güneş türü yıldızların üçte ikisinin çoklu sistemin üyesi olduğunu göstermiştir. Çift yıldızların oluşum mekanizmasının önemi birçok çalışmada özetlenmiştir (Bodenheimer 1992; Boss 1993). Bunlardan en önemlisi anakol yıldızlarının çoğunun en az bir bileşene sahip olmasıdır. Ancak bugün hala çift ve çoklu sistemlerin oluşum mekanizması veya mekanizmaları çok iyi anlaşılabilmiş değildir. Bunun en büyük nedeni çift ve çoklu sistemler üzerine yapılan oluşum senaryoları ile gözlenen özellikler arasındaki ilişkilerin bu sistemlerin oluşumdan sonra anakola evrimleşirken yörünge parametrelerini de değiştirebileceği gerçeği ile karmaşık bir hale gelmesidir. Bu nedenle çift ve çoklu yıldız sistemlerinin bugünkü özelliklerini anlayabilmemiz için oluşum

sırasında veya oluşumdan hemen sonra bu tür sistemlerin özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

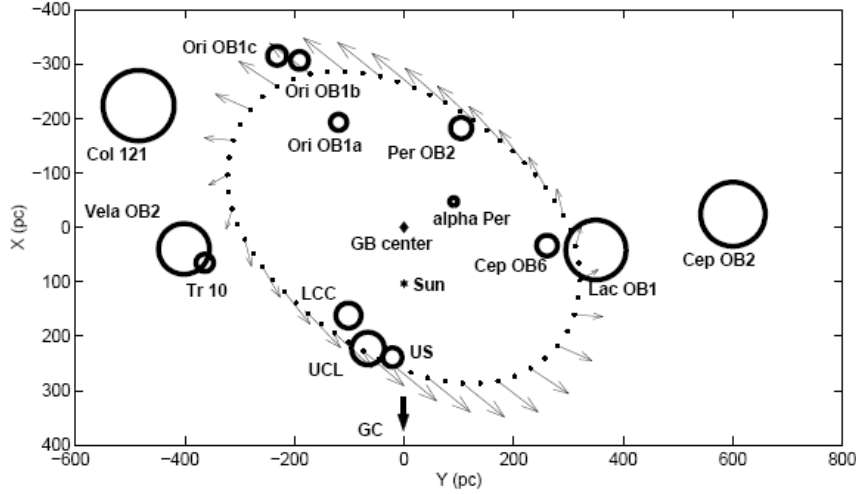
Belirtiler yıldızların çoğunun doğarken çift veya çoklu sistemler olarak meydana geldiğini gösteriyor. Yıldız kümelerinde çift ve çoklu yıldız sistemlerinin oluşumunun baskın olması, yıldız oluşum bölgelerindeki çift ve çoklu yıldız sistemlerini, yıldız topluluklarındaki yıldız oluşumunun anlaşılmasında önemli bir yere koyar (Blaauw 1991; Kouwenhoven ve diğ. 2007). Bu kapsamda geçtiğimiz on yıl içinde yıldız oluşum bölgelerinde çift ve çoklu sistemlerin sıklığının belirlenmesi üzerine bir çok çalışma yapılmıştır (Köhler ve diğ. 2000; Kouwenhoven ve diğ. 2007).

2. Sco-Cen'de Çift ve Çoklu Sistemlerin Sıklığı

Scorpius-Centaurus OB kompleksi Güneş'e en yakın OB oymağıdır ve üç alt gruptan oluşmuştur, Lower Centaurus Crux (LCC), Upper Centaurus Lupus (UCL) ve Upper Centaurus (US). Bu alt gruplar ilk olarak Blaauw (1964) tarafından belirlenmiştir. Hipparcos öncesinde Sco-Cen OB kompleksinin birçok parlak üyesi biliniyordu, fakat sönük üyeler ihmal edilmişti. Hipparcos verisinin (Perryman 1997) iki seçim yöntemi (Hoogerwerf ve Aquilar 1999; de Bruijne 1999) ile kullanılmasıyla de Zeeuw ve diğ. (1999) LCC, UCL ve US üç alt OB oymağının tam bir üye listesini çıkardılar. Tüm Sco-Cen kompleksi için toplam 521 güvenilir üye belirlediler: US'de 120, UCL'de 221 ve LCC'de 180. Alt grupların ortalama uzaklıkları LCC, UCL ve US için sırasıyla 118 pc, 140 pc ve 145 pc'dir (Levato ve diğ. 1987; Verschueren ve diğ. 1996). Şekil 1'de Sco-Cen OB kompleksi ve diğer yakın OB oymakları ile Gould Kuşağının Galaktik düzleme izdüşümleri gösterilmektedir. Sco-Cen kompleksinin Güneş'e olan yakınlığına dikkat ediniz.

Sartori ve diğ. (2003) $l=280-360^\circ$ Galaktik enlemleri aralığındaki Ophiucus, Lupus, Chamaeleon yıldız oluşum bölgelerindeki anakol öncesi yıldızları incelediği çalışmalarında Sco-Cen OB kompleksindeki genç ve erken tür yıldızların yaş, uzaklık, uzaysal dağılım, öz hareket ve dikine hız özelliklerini literatürden toplayarak Sco-Cen kompleksinin her bir alt üyesi için HR-diyagramları oluşturdular. Şekil 2'de Sartori ve diğ. (2003)'nin derlediği Sco-Cen kompleksinin üç alt grubuna ait OB oymaklarındaki

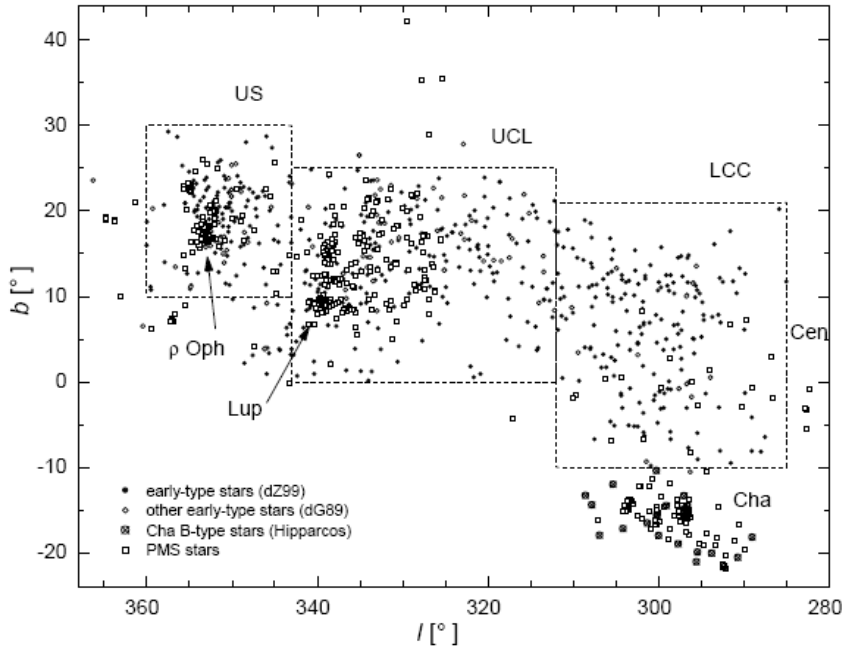
anakol öncesi ve erken tür genç yıldızların galaktik düzlemdeki dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 1. Sco-Cen OB oymağı ile diğer OB oymakları ve Gould kuşağının bugünkü halinin galaktik düzleme izdüşümü. X-ekseni Galaktik merkezi işaret ederken Y-ekseni Galaktik dönme yönünü gösterir. Bazı yakın OB oymakları çemberler ile gösterilmiştir (Perrot ve Greiner (2001)'den alınmıştır).

Hipparcos kataloğundaki öz hareket ve uzaklıkları kullanan Sartori ve diğ. (2003) üç alt grup için uzay hızlarını Yerel Durağan Standart (LSR)'a göre şöyle vermektedir: US için $U=2.4\pm 5.0$ km/s, $V=-10.0\pm 3.3$ km/s, $W=-0.9\pm 2.8$ km/s, UCL için $U=3.2\pm 4.2$ km/s, $V=-14.4\pm 4.6$ km/s, $W=1.4\pm 2.4$ km/s ve LCC için $U=1.1\pm 5.8$ km/s, $V=-13.6\pm 5.6$ km/s, $W=1.1\pm 2.4$ km/s. Oluşturdukları HR diyagramlarından ise alt grupların yaşlarını US için 6 Milyon yıl, UCL için 14-15 Milyon yıl ve LCC için 11-12 Milyon yıl olarak belirlemişlerdir. Her ne kadar bulunan bu yaşlar de Geuss ve diğ. (1989)'un fotometrik gözlemleriyle oluşturduğu HR diyagramlarından belirlediği yaşlarından farklı olsa da Sartori ve diğ. (2003)'ün belirlediği yaşlar Hipparcos uzaklıkları ve yeni izokronlar üzerinden bulunduğu için daha güvenilirdir (Sartori ve diğ. 2003).

Nitschelm (2003) Sco-Cen kompleksindeki çoklu sistemlere çalışmak için Sco-Cen'deki 668 yıldızı listelemiştir. Bu listedeki yıldızların 525 tanesi üyeliği de Zeeuw ve diğ. (1999) tarafından doğrulanan, 143 tanesi de de Geus (1988) ve Brown (1996) tarafından muhtemel üye olarak belirlenen yıldızlardır. Nitschelm (2003) 143



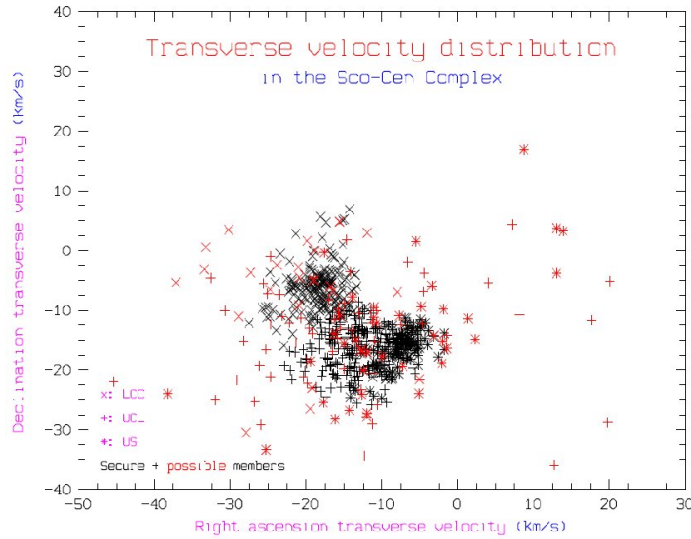
Şekil 2. Sco-Cen OB kompleksi ve Chameleon bölgesindeki genç ön tay türü yıldızlar ile anakol öncesi yıldızların galaktik koordinatlara göre dağılımı (Sartori ve diğ. 2003'den alınmıştır).

muhtemel üye olan yıldızlar arasında birkaç on tanesinin buldukları alt grupların hız dağılımlarından çok farklı enine hız değerlerine sahip olduklarını belirlemiştir (Şekil 3). Bu durum bu yıldızların tek yıldız olsalardı üyelikten hiç şüphesiz ayrılacakları anlamına gelirdi. 668 bilinen veya muhtemel üye yıldızın listelendiği katalogda 188 parlak ($V \leq 6.5$) yıldız arasında 55'ini fiziksel çift yıldız olarak listeleyen Nitschelm (2003) diğer yıldızlar arasında en az 120 tane çift veya çoklu sistem daha keşfetmeyi ummaktaydı.

Nitschelm ve diğ. (2008) çalışmasında Nitschelm (2003)'in Sco-Cen OB kompleksindeki muhtemel çift/çoklu sistemleri listelediği çalışmasından bugüne kadar yeni keşfedilen veya

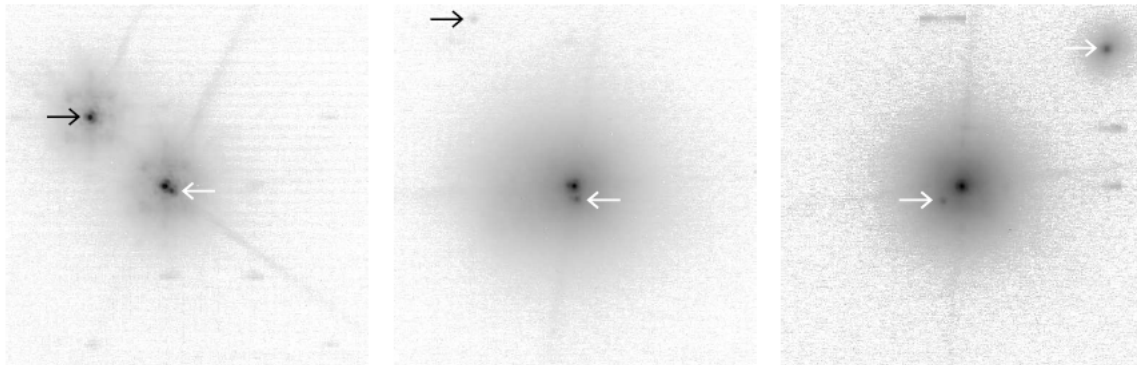
Hipparcos tarafından keşfedilip de yörünge parametreleri daha yeni belirlenen çift sistemleri sunmaktadır. Bu tür sistemlerden biri de Bakış ve diğ. (2007) tarafından η Muscae çoklu sistemini üzerine yapılan çalışmadır (Bölüm 3.1).

Sco-Cen kompleksindeki çoklu sistemlerin ortaya çıkarılması yönünde bir çalışma da Kouwenhoven ve diğ. (2007) tarafından ESO'nun Çok Büyük Teleskobuna (VLT) bağlı NAOS/CONICA sistemiyle JHK bantlarında yapılmıştır. B ve A-türü yıldızların yakınında bulunan küçük kütleli yıldız veya yıldız altı cisimlerin ortaya çıkarılmasını amaçlayan bu çalışmada kullanılan sistem ile Kouwenhoven ve diğ. (2007) aralarındaki uzaklığı $0.1''$ - $11''$ (13-1430 AB) ve parlaklığı $K=17$ kadire kadar olan bileşenleri çözümleyebilmişlerdir. Gözlemedikleri 22 orta kütleli yıldızın yakınında toplam 62 bileşen bulmuşlardır, bunların 18'i fiziksel bağlı, 11 muhtemel üye ve 33 tanesi de arka plan yıldızıdır. Şekil 4'de Kouwenhoven ve diğ. (2007)'nin orta kütleli yıldızların yakınında tespit ettikleri küçük kütleli bileşenlerin görüntülerinden üç örnek gösterilmektedir.



Şekil 3. Sco-Cen bölgesindeki yıldızların enine hızlarının dağılımı (Nitschelm 2003'den alınmıştır).

Kouwenhoven ve diğ. (2007a) Sco-Cen'deki orta kütleli çift ve çoklu yıldız sistemlerinin özelliklerini ortaya koymak üzere Sco-Cen OB2 kompleksindeki yıldız oluşumunu ve bugüne kadar tespit edilen görsel, astrometrik, tayfsal çift / çoklu sistemleri Monte Carlo simülasyonları yaparak mukayese etmişlerdir. Çalışmaları oldukça ilginç sonuçlar vermiştir: *a)* Sco-Cen OB2'deki A ve B-türü yıldızlar arasında bugünkü çift yıldızların kesri en az 70%'dir. *b)* Yörüngenin boyutlarının dağılımı Öpik Yasası ile uyum içerisinde; $\gamma=-1.0$ olacak şekilde $f_a(a) \propto a^\gamma$, bu da yörünge dönemi dağılımında $f_P(P) \propto P^{-1}$ 'e karşılık gelmektedir, *c)* Sco-Cen'deki orta kütleli yıldızların rasgele çift oluşturmaları veya kütle dağılımından birinci bileşenin özelliklerine bağlı çift oluşumu düşüncesi dışlanmıştır. Sco OB2'deki kütle oranı dağılımı $\gamma=-0.4$ olacak şekilde $f_q(q) \propto q^\gamma$ formu ile oldukça iyi temsil edilmektedir. *d)* Sco OB2 düşük yıldız yoğunluğuna sahip genç OB oymağıdır. Tek ve çift yıldız oluşumu sadece O-türü çift yıldızların oluşumunu etkilemiştir. Dinamik evrim çift yıldızların oluşumunu çok az etkilemiştir. Bugünkü çift yıldız miktarı ile simülasyon sonucunda elde edilen başlangıçtaki çift yıldız miktarı ile aynıdır.



Şekil 4. Sco OB2'de keşfedilen yeni çift ve çoklu sistemler (Kouwenhoven ve diğ., 2007).

3. Örnek Çalışmalar

3.1. η Muscae

Hipparcos (Perryman, ESA 1997) uydusu tarafından keşfedilen η Muscae (HD 114911; HIP 64661; $V \sim 4^m.78$; $P \sim 2.40$ gün) güney yarımkürede bulunan parlak bir örten çift yıldız sistemidir.

Sistemin *Hipparcos* tarafından belirlenen trigonometrik paralaksı 8.04 ± 0.59 mas'dır. η Mus'un parlaklığı ve renginin belirlenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Schilt ve Jackson, 1949; Egen ve Lynga, 1968; Crawford, Barnes ve Golson, 1970; Lindroos, 1983; van Paradijs ve diğ., 1986; Slawson, Hill ve Landstreet, 1992). Moffat ve Seggewiss (1977) Wolf-Rayet türü çift yıldız θ Mus'un gözlemleri sırasında η Mus'un fotometrik değişimlerini fark etmişlerdir. Az sayıdaki gözlemlerden itibaren tek bir yörünge dönemi belirlenememesine rağmen, Moffat ve Seggewiss, içinde gerçek dönemi de bulduran birçok muhtemel dönem belirlemişlerdir.

Çoklu sistemler katalogunda (Tokovinin 1997) η Mus'u çoklu sistem olarak listelenmiştir. η Mus-B ile η Mus-A arasındaki ayrıklık 60 as, konum açısı da 332 derecedir. η Mus-B, η Mus-A'dan 3.4 kadir daha sönüktür. Medici ve Hubrig (2000) üçlü sistem olarak bilinen η Mus'un aslında dörtlü sistem olduğunu bildirmiştir. Dörtlü sistemin detayları daha sonra Hubrig ve diğ. (2001) tarafından verilmiştir. Dördüncü bileşen η Mus-C ile η Mus-A arasındaki ayrıklık 2.71 as, konum açısı 125 derece ve J, H ve K fotometrik bantlarındaki parlaklık farkları ise sırasıyla $5^m.25$, $4^m.54$ ve $3^m.32$ 'dir. Aynı çalışmada, η Mus-C'nin $0,88 M_{\odot}$ kütleli ve 4900 K etkin sıcaklığa sahip bir anakol öncesi yıldız olduğu iddia edilmiştir.

de Zeeuw ve diğ. (1999) η Mus-A'nın Scorpius-Centaurus (yada Sco-OB) oymağına üyeliği için 60% ihtimal vermişlerdir. 16-20 milyon yıl yaşında olduğuna inanılan (Sartori ve diğ., 2003) Sco OB oymağı Güneşe en yakın OB oymağıdır. Diğer yandan, η Mus-A Sco-OB'nin bir üyesi ise, bu durumda yaşı Hubrig ve diğ. (2001) tarafından belirlenen yaştan daha küçük olmalıdır. Bu durumda üyelik durumunun açıklığa kavuşturulmasının η Mus-A'nın kendisini ve oymağı anlamada ne kadar önemli olduğu ortaya çıkar. Çünkü OB oymaklarındaki çift yıldız sayısının ve özelliklerinin anlaşılması yıldız oluşum sürecinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır (Brown, 1999).

η Mus-A'nın tayf çizgilerindeki değişimler ilk olarak Campbell (1928) tarafından farkına varılmıştır. Daha sonra, Buscombe ve Morris (1961) elde ettikleri tayfları çalışmış ve dikine hız eğrisinden 56.5 km/s hız yarı-genliği ve 20 gün yörünge dönemi önermişlerdir. Tokovinin (1997) yıldızın tayf türüne bakarak kütlelerini

$M_1 = 4.48 M_{\odot}$ olarak belirlemiştir. Ayrıca, tek çizgili sistemin kütle fonksiyonundan, görünmeyen ikinci bileşen için $M_2 = 2.63 M_{\odot}$ kütlelerini önermiştir. η Mus-A “Eight Catalogue of Orbital Elements of Spectroscopic Binary Systems (Batten ve diğ., 1989)” adlı katalogda Buscombe ve Morris (1996) tarafından önerilen aynı yanlış yörünge parametreleri ile listelenmiştir.

η Mus-A tayfının çift-çizgili karakteri ilk olarak Hubrig ve Mathys (1996) tarafından geç B-tayf türünden yıldızlardaki 3984 Å çizgisinin çalışılması sırasında fark edilmiştir. *Hipparcos* tarafından hemen hemen eşit minimum derinlikleriyle örtme örtülme doğasının keşfinden sonra, Hensberge ve diğ. (2003) *Hipparcos* tarafından önerilen 20 günlük yörünge döneminin yanlış olduğu ortaya çıkmıştır.

3.1.1. Tayf Gözlemleri

Bakış ve diğ. (2007) iki farklı gözlem döneminde η Mus'un toplam 52 adet (50 η Mus-A, 2 η Mus-B) tayfını almıştır. İlk gözlem döneminde SITE 1024x1024 piksel CCD kamerası ile toplam 4 gecede (17-20/05/2006) 43 adet tayf elde edilmiştir. Poz süresi olarak ortalama 160 saniye verilmiştir ve ortalama sinyal/gürültü oranı (S/G) 550 nm'de 130 olarak elde edilmiştir. İkinci gözlem döneminde 3 gecede (19,20/08/2006 ve 07/09/2006) 9 adet tayf (7 η Mus-A, 2 η Mus-B için) SI600 kamerası ile elde edilmiştir. Bu dönemde yapılan gözlemlerde 290 saniyelik ortalama poz süresi ile 500 nm'de ortalama S/G oranı 90 olarak elde edilmiştir. Gözlemler ve veri indirgeme ile ilgili daha ayrıntılı bilgi Bakış ve diğ. (2007)'de verilmiştir.

3.1.2. Tayfsal Yörünge Çözümleri ve Mutlak Parametreler

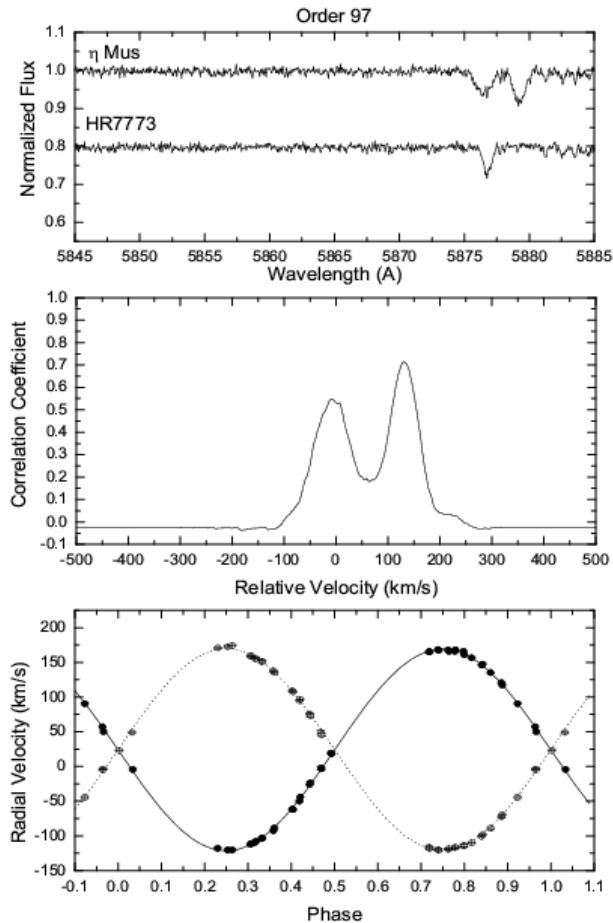
Dikine hızlar çapraz eşleme yöntem ile belirlenirken B9VI tayf türünden HR7773 yıldızı dikine hız standart yıldızı olarak seçilmiştir ve ilk gözlem döneminde 2 adet tayfı alınmıştır. Alınan tayfların ortalama S/G oranları 550nm dalgaboyu bölgesinde yaklaşık 180'dir. HR7773 yıldızının dikine hızı Fekel (1999) tarafından -1.02 km/s olarak verilmiştir. HR7773'ün dikine hızını kontrol etmek için bazı atmosfer çizgilerine (Si II6371, He I 5875, Ne I 6316, Cr II 5313, Fe I 5169, Mg I 5172, Mg I 5183, Fe II 5018, Si II 5041, Fe II 4583, Al II 4588, W I 4549, Cr II 4558 Å) IRAF'ın *splot* programı yardımıyla Gauss fonksiyonu fit edilmiştir. Ele alınan atmosfer çizgilerine ait laboratuvar dalgaboyları NIST (National Institute of Standards and

Technology) veritabanından alınmıştır. Elde edilen dikine hız, -1.06 ± 1.10 km/s, Fekel (1999) tarafından verilen katalog hızına çok yakındır. 1.10 km/s'lik hata her bir çizgiden ölçülen hataların standart sapmasıdır.

Dalgaboyu kalibrasyonunun güvenilirliğinin belirlenmesinden sonra, çapraz eşleme yöntemi uygulanmış ve dikine hızı okumak için IRAF'ın `FXCOR` programı yardımıyla çapraz eşleme fonksiyonunun merkezine Gauss fonksiyonu fit edilmiştir. Tayf çizgilerinin birbirine girdiği tutulma bölgelerinin yakınında bileşenlerin dikine hızlarını okumak için IRAF'ın `deblend` fonksiyonu yardımıyla çapraz eşleme fonksiyonuna iki Gauss fonksiyonu fit edilmiştir. Dikine hızların okunmasından sonra dikine hızlara ve tayfin alındığı zamana gün merkezli düzeltme yapılmıştır.

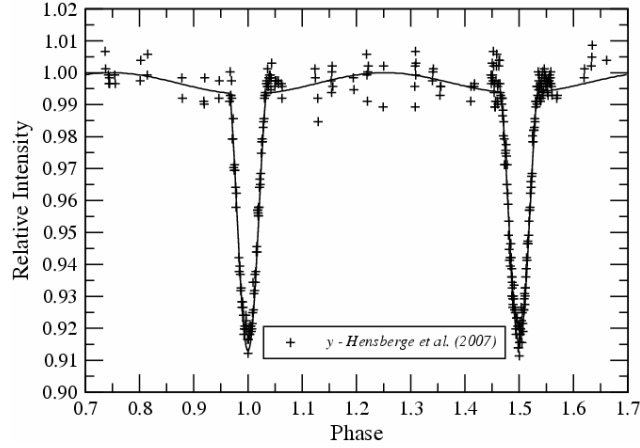
Çapraz eşleme yönteminden elde edilen dikine hızlardan teorik dikine hızların en küçük kareler yöntemi ile fit edilmesiyle yörünge çözümleri elde edilmiştir. Dikine hızlara en uygun fitler Şekil 5'de verilmiştir. Yörünge dönemi 2.3963 gün olarak sabit tutulmuş, basıklık e , enberinin boylamı w , hız yarı genlikleri $K_{1,2}$, kütle merkezinin hızı V_γ ve tutulum zamanı en küçük kareler ile yapılan çözümde serbest bırakılmışlardır.

Bakış ve diğ. (2007) çalışmasında η Mus-A sistemi için kullanılan fotometrik veriler, *Hipparcos* (H_p) ve Manfroid ve diğ. (1991) ve Sterken ve



Şekil 5. η Muscae'nin He I 5875 Å çizgilerine (üst panel) uygulanan çapraz korelasyon fonksiyonu (orta panel) ve elde

diğ. (1993)'nin Strömgren fotometrisine (*uvby*) aittir. η Mus-A sisteminin Strömgren bandında yapılan en son gözlemleri Hensberge (2007)'den alınmıştır. Hensberge (2007)'nin fotometrik verileri, bu çalışmada elde edilen tayfsal veriler (dikine hızlar) ile birleştirilerek eşzamanlı çözüme gidilmiştir.



Şekil 6. η Muscae'nin ortaband *v* filtresindeki ışık eğrisi ve ortak çözüm sonucunda elde edilen en iyi fit (Bakış ve diğ. (2007)'den alınmıştır).

Slawson (1992) tarafından η Mus-A için verilen B-V rengi ($-0^m.09$) SIMBAD'daki B8V tayf türü ile tutarlıdır. η Mus-A sistemi ile aramızdaki yıldızlararası sönmülemeyi belirlemek için Johnson ve Morgan (1953) tarafından önerilen *Q*-yöntemi kullanılmıştır. Johnson ve Morgan (1953) *Q* parametresini yıldızlararası ortamın etkisinden bağımsız, yıldızların (U-B) ve (B-V) renginin bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır: $Q=(U-B)-0.72(B-V)$. *Q* değerinin kızarmadan arındırılmış (B-V)₀ değeri ile arasında (B-V)₀=0.332*Q* şeklinde bir bağıntı vardır. η Mus-A'nın Johnson fotometrik sisteminde ölçülen renkleri U-B = $-0^m.36$ ve B-V = $-0^m.09$ dur. Yukarıda verilen bağıntı *Q* değerini -0.295 verir. (B-V)₀=0.332*Q* bağıntısında *Q* değeri yerine konursa η Mus-A'nın kızarmadan arındırılmış rengi (B-V)₀= $-0^m.098$ hesaplanır. Yıldızın gözlemsel (B-V) rengi ile kızarmadan arındırılmış renk indeksi arasındaki renk artışı $E(B-V) = 0^m.008$ 'dir. Yıldızın $E(B-V)$ renk artışı ise $E(U-B)=0.72E(B-V)$ bağıntısı kullanılarak $E(U-$

$B) = 0^m.006$ hesaplanır. η Mus-A ile aramızdaki V-bandındaki sönmüleme $A_v = 3.1 \times E(B-V) = 3.1 \times 0^m.008 = 0^m.025$ kadardır. Budding ve Demircan (2007)'nin anakol yıldızları için verdikleri renk-sıcaklık arasındaki bağıntı kullanılarak, $(B-V)_0 = -0.098$ rengi için, 12700 K'lik bir etkin yüzey sıcaklığı belirlenmiştir. Bu sıcaklığı birinci bileşenin yüzey sıcaklığı kabul edip sistemin ışık ve dikine hız eğrilerinin ortak çözümüne gidilmiştir. Sistemin model parametrelerinin tayininde Wilson-Devinney (W-D) (Wilson ve Devinney, 1971; Wilson, 1994) yazılımı kullanılmıştır. PHOEBE (Prsa ve Zwitter, 2005) yazılımı, ışık eğrisi ve diferansiyel düzeltme ile fitlerin oluşturulmasında kullanılmıştır. Radyatif atmosferli yıldızlara uygun çekim kararmaları $g_1 = g_2 = 1$ ve tüm ışınım yansıtma katsayıları $A_1 = A_2 = 1$ olarak alınmış ve analiz süresince bu parametreler sabit tutulmuşlardır. *Hipparcos* (Hp) ve Strömngren (uvby) filtreleri için kenar kararma katsayıları van Hamme (1993)'den alınmıştır. Işık eğrilerine yapılan en uygun model fite örnek olarak Şekil 6'da v orta bandına yapılan fit gösterilmektedir.

η Mus-A yakın çift sisteminin temel fiziksel parametreleri Tablo 1'de verilmiştir. Dikine hızların ışık eğrilerinin W-D yöntemi ile ortak çözümleri bileşenler arasında 150 K'lik bir sıcaklık farkına işaret etmektedir. He I 5875 Å ve 6678 Å çizgilerine yapılan model atmosfer fitleri de bu sıcaklık farkını doğrulamaktadır. Model atmosfer fitlerinden bulunan sıcaklıklar (renk sıcaklıklarından 470 K daha büyük) B7V tayf türüne işaret etse de Tablo 1'de verilen fiziksel parametreler B7,5V tayf türünü göstermektedir. Yakın çiftin bileşenlerinin sıcaklıklarına uygun tüm ışınım düzeltmeleri Budding ve Demircan (2007)'dan alınmıştır. L_1 ve L_2 mutlak ışıtmaları ve uzaklık modülünü kullanarak η Mus-A için fotometrik uzaklık 103 ± 5 pc hesaplanmıştır. Bu fotometrik uzaklık *Hipparcos* kataloğunda verilen trigonometrik paralakstan hesaplanan uzaklığa (124 ± 9 pc) göre daha küçüktür. η Mus-A sisteminin yaşı bileşenlerin H-R diyagramında izokron çizgileri ile karşılaştırılması sonucunda 16 ± 5 milyon yıl olarak belirlenmiştir. Bulunan bu yaş LCC'nin üyelerinin yaşı ile uyum içindedir.

Tablo 1. η Mus-Aab yakın çift sisteminin bileşenlerine ait mutlak parametreler.

<i>Parametre</i>	<i>Birinci Bileşen</i>	<i>İkinci Bileşen</i>
$M(M_{\odot})$	3.30±0.04	3.29±0.04
$R(R_{\odot})$	2.14±0.02	2.13±0.02
$T(K)$	12700±100	12550±300
$\log L(L_{\odot})$	2.03±0.03	2.00±0.03
$a(R_{\odot})$	14.11±0.05	
$\log g(cgs)$	4.293±0.005	4.298±0.005
$M_{bol}(kadir)$	-0.33±0.05	-0.26±0.12
BC	-0.75	-0.66
$M_v(kadir)$	0.42± 0.09	0.47±0.09
$d(pc)$	103±5	

3.2. V831 Centaurus

V831 Cen, (HD114529, HIP64425, HR4975) parlak ($V \sim 4^m.583$), ön tayf türünden (B-V = -0.08; U-B = -0.38; V-I = -0.07; R-I = -0.09; B6V) ve çoklu bir sistem içerisinde bulunan bir yakın çifttir. V831 Cen'in parlaklığı ve renginin belirlenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Schilt ve Jackson, 1949; Egen, 1965; Crawford ve diğ. 1970; Strauss ve Ducati, 1981; Waelkens ve Bartholdi, 1982; de Geuss ve diğ., 1990; Slawson ve diğ., 1992).

Galaktik düzleme yakın bir yerde bulunan ($l = 305^{\circ}.55$, $b = 2^{\circ}.85$) V831 Cen, IDS 13060-5923 (See 170) AB görsel çift yıldızının parlak bileşenidir. V831 Cen-A ile -B arasındaki ayrıklık 183 mas ve yörünge dönemi ise 27 yıldır. See 170 daha geniş ve çoklu bir sistemin (AB-C = I424, ABC-D = HDO 223; Worley, 1978; Worley ve Douglas, 1997) içinde bulunmaktadır. V831 Cen *Hipparcos* Girdi Kataloğunda (HIC)'da çoklu sistem olarak kayıtlı olduğu halde *Hipparcos* uydusu tarafından bileşenler ayırt edilememiştir. Ancak Falin ve Mignard (1999) *Hipparcos* kataloğunda astrometrik olarak çözümlenmemiş sistemleri tekrar ele aldıkları çalışmalarında V831 Cen AB-C yörüngesi için yaklaşık bir çözüm ($\theta = 7^{\circ}$, $\square\rho = 1.903$ as, $\Delta m = 3^m.72$) üretebilmişlerdir.

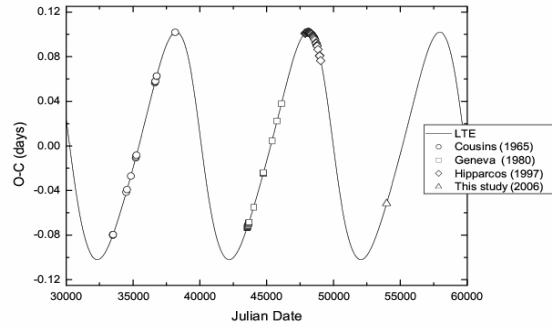
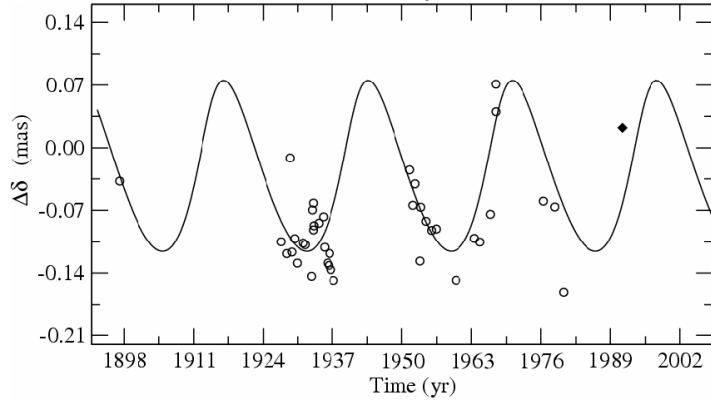
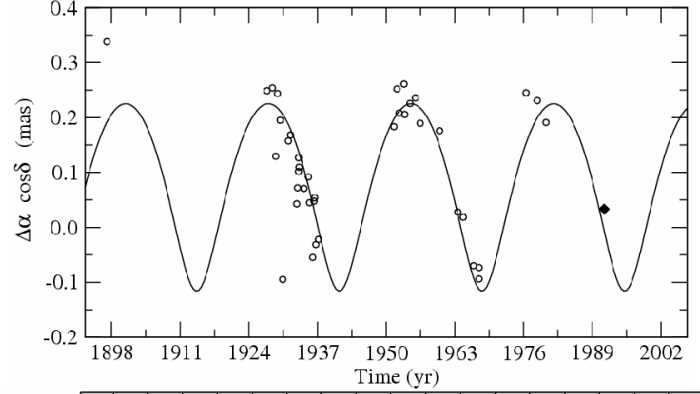
V831 Cen'in ışık değişimleri ilk olarak Waelkens ve Bartholdi (1982) tarafından duyurulmuştur. Sistemin ışık eğrisi ilk bakışta üçüncü bileşenin ışık katkısından veya küçük yörünge eğimi nedeniyle minimum derinlikleri sığlaşmış bir yakın çift yıldızinkine

benzemektedir. Waelkens ve Bartholdi'nin Geneva fotometrisinde elde ettikleri ışık eğrisinden, daha sonra *Hipparcos* uydusunun fotometrik

gözlemlerinden

yıldızın basit bir elipsoidal değişimden ziyade tutulum gösterdiği sonucuna varılmıştır. Işık eğrisinin sığ ve sinüs fonksiyonuna benzer bir yapıda olması, tek bir fotometrik model ortaya koymada bir takım zorlukları da beraberinde getirir. Ancak farklı gözlemsel bulguların bir araya getirilmesi ile mantıklı öngörüler yapılabilir.

Slawson ve diğ. (1992) gökyüzünün Sco-Cen'i de içine alan bir bölgesinde çok sayıda B- ve A-türü yıldızların UBV fotometrik ölçümlerini yapmışlardır. Bu çalışmada V831 Cen'in U-B ve B-V renkleri, sırasıyla, -0.400 ve -0.080 kadir olarak verilmiştir. Yıldız renkleri 12700 K'lık renk sıcaklığına işaret etmektedir. 12700 K'lık sıcaklık Waelkens ve Bartholdi (1982)'nin Geneva fotometrisinden elde



Şekil 7. Finsen (1964)'in astrometrik yörünge çözümü (üstteki iki panel), ve fotometrik gözlemlerin Finsen(1964)'in yörünge parametrelerine göre 1956 yılından bugüne ışık zaman eğrisi üzerindeki dağılımı (alt panel).

ettikleri kızarmadan arındırılmış renk indeksleri Cramer ve Maeder (1979) kalibrasyon tablolarından belirledikleri 13800 K'lik etkin sıcaklık değerin ve Gulati ve diğ. (1989)'nin yıldızların moröte akıları ile renkleri arasındaki ilişkiden hesapladıkları 14890 K'lik sıcaklıktan oldukça küçüktür. Ancak bu ölçümler arasında, Waelkens ve Bartholdi sıcaklık tahminini, ışık eğrisindeki tutulmaları ve renk değişimlerini dikkate alarak yaptıkları için daha güvenilirdir.

Hipparcos (Perryman 1997) uzaklığı (106 ± 17 pc) ve sistemin koordinatları ($\alpha = 13^h 12^m 17^s,6$; $\delta = -59^\circ 55' 14'',1$) sistemi Scorpius-Centaurus (ya da Sco-OB) oymağının sınırları içerisine koyar. de Zeeuw ve diğ. (1999) V831 Cen'in Sco-OB'ye üyeliği için 82% ihtimal vermişlerdir. Kinematik yöntemlerle öngörülen üyelik ihtimalini daha iyi incelemek için V831 Cen'in mutlak parametrelerinin belirlenip bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumlarına bakılmalı veya kimyasal bolluğu ile Sco-Cen'deki OB yıldızları arasındaki ilişki incelenmelidir. Ayrıca V831 Cen'in de içinde bulunduğu çoklu sistemin üyelik özelliklerinin belirlenmesi, yıldız oluşum bölgelerinde (YOB) sayıca az olmayan çoklu sistemlerin istatistik çalışmalarına fayda sağlayacaktır.

Campbell (1928) V831 Cen'in bileşenlerini tayf üzerinde belirleyemeyerek yıldızın dikine hızını 12.2 km/s hesaplamıştır. Cucchiario ve diğ. (1977) B-tayf türleri için mor öte tayfları ile MK tayf sınıflaması arasındaki ilişkiden yararlanarak V831 Cen'in tayfını birinci ve ikinci bileşen için, sırasıyla, B8V ve B9V olarak belirlemiştir. Böylece V831 Cen'in tayfındaki çift çizgi yapısı ilk kez Cucchiario ve diğ. (1977) tarafından ortaya konulmuştur. Literatürde iki tayfsal çalışma dışında V831 Cen çift sisteminin tayfsal yörüngesinin belirlenmesi üzerine başka bir tayfsal çalışma bulunmamaktadır.

3.2.1. Tayf ve Işık Eğrisi Verisi

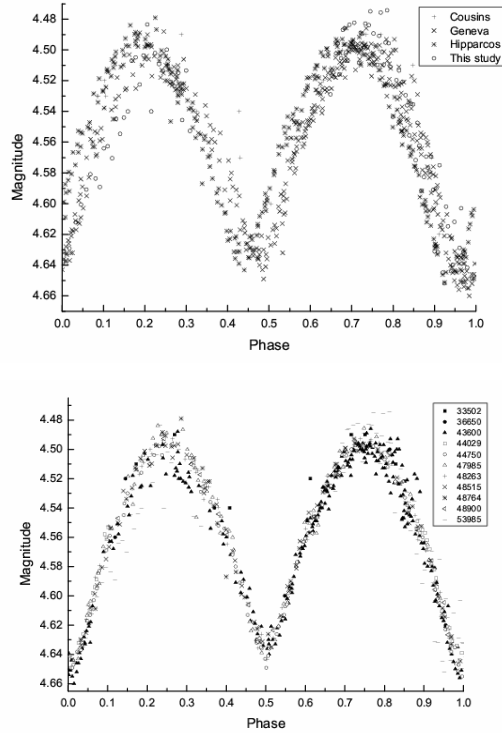
V831 Cen'in literatürde 52 yıllık fotometrik gözlemleri mevcuttur. Bu gözlemler Cousins (1956) V-bandı fotometrik verisi, Waelkens ve Bartholdi (1982) tarafından verilen Geneva fotometrisi, Hipparcos uydu verisi ve Mt John'da elde edilen CCD fotometrik verisini içermektedir. Yörünge dönemi ilk olarak Waelkens ve Bartholdi (1982) tarafından belirlenmiştir ($P=0.64254 \pm 0.00001$ gün).

V831 Cen'in

astrometrik gözlemlerinin analizi neticesinde B- bileşeni ile 27 yıllık bir yörünge hareketi yapıldığı belirlenmiştir (Finsen 1964). Buradan yakın çiftin tüm fotometrik gözlemleri boyunca büyük yörüngeyi iki defa tamamladığı anlaşılıyor. Şekil 7'de Finsen (1963)'ün belirlediği büyük yörüngeden kaynaklanan V831 Cen'in konum değişim grafikleri ile fotometrik gözlemlerin 27 yıllık yörüngede ışık zaman değişimi grafiği üzerinde dağılımı gösterilmektedir. Literatürde var olan ve bu çalışmada elde edilen tüm fotometrik veriler tek bir döneme göre çizdirildiğinde kuşkusuz ışık zaman etkisiz görmemiz gerekecektir. Bu etki her bir ışık eğrisi veri setinin evrece kayması olarak kendini gösterir

(Şekil 8 üst panel) ve ışık eğrisi analizinden önce ışık zaman düzeltmesi yapılması gerekmektedir. Şekil 8'in alt panelinde ışık zaman düzeltmesi sonucunda elde edilmiş ışık eğrisi gösterilmektedir.

V831 Cen'in tayfsal gözlemleri de η Mus'un gözlemleri gibi Mt John gözleminde HERCULES tayfçeki kullanılarak elde edilmiştir. 2 farklı gözlem döneminde toplam 32 yüksek çözünürlüklü tayf elde edilmiştir. Elde edilen tayfların dikine hız ölçümleri sonucunda birinci bileşenin dikine hız yarı-genliği 188 km/s ikinci bileşenin ise 217 km/s olarak bulunmuştur. Böylece yakın çiftin kütle oranının $q \approx 0.87$ olduğu görülmektedir. Işık ve dikine hız eğrilerinin ortak çözümleri bir sonraki çalışmada ele alınacaktır. Ancak yakın çifte 0.18 as uzakta bulunan uzak bileşenin tayftaki süreklilik katkısı



Şekil 8. V831 Cen'in ışık zaman etkisi düzeltilmeden çizdirilmiş ışık eğrisi (üst panel) ile düzeltme yapıldıktan sonra çizdirilmiş ışık eğrisi (alt panel).

yakın çiftin bileşenlerinin dikine hızlarının belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu çoklu sistemin tayftaki bileşenlerini tam olarak ayırabilmek için KOREL gibi tayfin bileşenlerine ayrıştırılması yöntemini kullanmak gerekmektedir. Üçüncü bileşenin tayftaki katkısı ve astrometrik yörünge tayini neticesinde, üçüncü bileşenin 1-2 M_{\odot} kütle aralığında olan bir yıldız beklenmektedir.

Kaynaklar

- Bakış V., Bakış H., Eker Z., Demircan O., 2007, MNRAS, 382, 609.
Batten A., 1973, "Binary and multiple systems of stars", Oxford, New York : Pergamon Press
Batten A, Fletcher J. M. ve MacCarthy D. G., 1989, Publications of the Dominion Astrophysical Observatory, 17, 1.
Berghöfer T. W., Schmitt J. H. M. M., 1994, A&A, 292, L5.
Berghofer T. W., Schmitt J. H. M. M., Danner R., Cassinelli J. P., 1997, A&A, 322, 167.
Blaauw A., 1964, ARA&A, 2, 213.
Blaauw, A., 1991, The Physics of Star Formation and Early Stellar Evolution, NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C, Vol. 342, held in Agia Pelagia, Crete, Greece, May 27th - June 8th, Dordrecht: Kluwer, 1991, edt. Charles J. Lada & Nikolaos D. Kylafis., p.125.
Bodenheimer P., 1992, IAUS, 151, 9.
Boss A. P., 1993, ASSL, 177, 355.
Brown A. G. A., 1996, Ph.D. Thesis, Thesis Publishers, Amsterdam.
Brown A. G. A., Blaauw A., Hoogerwerf R., de Bruijne J. H. J. ve de Zeeuw P. T., 1999, OB Associations. in The Origin of Stars and Planetary Systems, Eds.: Charles J. Lada and Nikolaos D. Kylafis, Kluwer Academic Publishers, 411.
Budding E. ve Demircan O., 2007, Introduction to Astronomical Photometry, 2nd edition, Cambridge Univ. Pres, Cambridge.
Buscombe W. ve Morris P. M., 1961, MNRAS, 123, 183.
Campbell L., 1928, Lick Obs. Publ., 16, 195.
Cousins, A. W. J., 1960, MNSSA, 19, 56.

- Cramer N. ve Maeder A., 1979, A&A, 78, 305.
- Crawford D. L., Barnes J. V. ve Golson J.C., 1970, AJ, 75, 624.
- Cucchiaro A., Macau-Hercot D., Jaschek M., Jaschek C., 1977, A&AS, 30, 71.
- de Bruijne Jos H. J., 1999, MNRAS, 310, 585.
- de Geus E., Lub J., de Zeeuw T., 1986, ESO Messenger, (ISSN 0722-6691), 7.
- de Geus E.J., Lub J. ve van de Grift E., 1990, A&AS, 85, 915.
- de Zeeuw P. T., Hoogerwerf R., de Bruijne J. H. J., Brown A. G. A., Blaauw A., 1999, AJ, 117, 354.
- Duquennoy A., Mayor M., 1991, A&A, 248, 485.
- Eggen O.J., 1965, AJ, 70, 19.
- Eggen O. J. ve Lynga G., 1968, ApJ, 153, 195.
- Falin J.L. ve Mignard F., 1999, A&AS, 135, 231.
- Fekel F. C., 1999, ASPC, 185, 378.
- Finsen, W.S., 1964, Republic Obs. Circ. 7, 59.
- Grillo F., Sciortino S., Micela G., Vaiana G. S., Harnden F. R. Jr., 1992, ApJS, 81, 795.
- Gulati R.K., Malagnini M.L. ve Morossi C., 1989, A&ASS, 80, 73.
- Heintz W. D., 1969, JRASC, 63, 275.
- Hensberge H., Nitschelm C., Bouzid Y. M. ve 7 ortak yazar, 2003, in Open Issues in Local Star Formation, Eds.: Jacques Luine and Jane Gregorio-Hetem, Astrophysics and Space Science Library, 299.
- Hensberge H., Nitschelm C., Olsen E.H. ve 9 ortak yazar, 2007, MNRAS, 379, 349.
- Hoogerwerf R., Aguilar Luis A., 1999, MNRAS, 306, 394.
- Hubrig S. ve Mathys G., 1996, A&AS, 120, 457.
- Hubrig S., Le Mignant D., North P., Krautter J., 2001, A&A, 372, 152.
- Johnson H. L. ve Morgan W. W., 1953, ApJ, 117, 313.
- Kouwenhoven M. B. N., Brown A. G. A., Kaper L., 2007, A&A, 464, 581.
- Kouwenhoven M. B. N., Brown A.G.A., Portegies Zwart S.F., Kaper L., 2007b, A&A, 474, 77.
- Koehler R., Leinert Ch., Zinnecker H., 2000, AAS, 197, 1005.
- Levato H., Malaroda S., Morrell N., Solivella G., 1987, ApJS, 64, 487.

- Leinert Ch., Zinnecker H., Weitzel N., Christou J., Ridgway S. T., Jameson R., Haas M., Lenzen R., 1993, A&A, 278, 129.
- Lindroos K. P., 1983, A&AS, 51, 161.
- Manfroid J., Sterken C., Bruch A. ve 17 ortak yazar, 1991, A&AS, 87, 481.
- Medici A. ve Hubrig S., 2000, IBVS, 4827, 1.
- Moffat A.F.J. ve Seggewiss W., 1977, A&A, 54, 607.
- Nitschelm C., 2003, ASSL, 299, 16.
- Nitschelm C., David M., Rezende Landin N., Bakış V., Hensberge H., 2008, ESO workshop on Star Formation Accross the Milkyway, Santiago de Chile, March 3-6, 2008.
- Perrot C. A., Grenier I. A., 2001, ICRC, 6, 2419.
- Perryman M. A. C., ESA, 1997, ESA Publications Division, 1997, Series: ESA SP Series v1200, ISBN: 9290923997
- Prsa A. ve Zwitter T., 2005, ApJ, 628, 426.
- Sartori M. J., Lépine J. R. D.; Dias W. S., 2003, A&A, 404, 913.
- Schilt J. ve Jackson C., 1949, AJ, 55, 9.
- Sterken C., Manfroid J., Anton K. ve 23 ortak yazar, 1993, A&AS, 102, 79.
- Strauss F.M. ve Ducati J.R., 1981, A&ASS, 44, 337.
- Slawson R.W., Hill R.J. ve Landstreet J.D., 1992, ApJS, 82, 117.
- Tokovinin A. A., 1997, A&AS, 124, 75.
- van Hamme W., 1993, AJ, 106, 2096.
- van Paradijs J., van Amerongen S., Damen E. ve van der Woerd H., 1986, A&AS, 63, 71 .
- Verschueren W., David M., Brown A. G. A., 1996, 90, 131.
- Waelkens C. ve Bartholdi P., 1982, A&A, 108, 51.
- Wilson R. E. ve Devinney E. J., 1971, ApJ, 166, 605.
- Wilson R. E., 1994, PASP, 106, 921.
- Worley C.E., 1978, Publications of the United States Naval Observatory, 24, 1.
- Worley C.E. ve Douglas G.G., 1996, A&AS, 125, 523.