

IX PER SİSTEMİNİN YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ COUDE-ECHELLE TAYFLARININ ANALİZİ

Filiz Ak, N.¹, Ak, H.¹, Eker, Z.^{2,3}, Küçük İ.¹

¹ Erciyes University, Faculty of Sciences and Arts, Department of Astronomy and Space Sciences, Talas Yolu, 38039 Kayseri, Turkey.
e-mail:nfak@erciyes.edu.tr

² Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Sciences and Arts, Ulupınar Astrophysical Observatory, 17100, Çanakkale, Turkey

³ TÜBİTAK National Observatory, Akdeniz University Campus, 07058 Antalya, Turkey

ÖZET

IX Per sisteminin yüksek çözünürlüklü ($R=45000$) coude-échelle tayfları TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi RTT150 teleskobu ile elde edilmiştir. IX Per sistemi tek çizgili tayfsal çift olarak bilinmektedir ve ayrıca kromosferik aktiviteye sahiptir. Ancak elde edilen tayfların KOREL disengtangling ayırma metoduyla analiz edilmesi sonucunda, her iki bileşene ait tayflar ayrı ayrı elde edilmiştir. İkinci bileşenin oldukça zayıf olan ışık katkısı toplam ışınının %10'u kadardır. Tayflardan elde edilen radyal hız değerlerinin ön analizi sonucunda sistemin kütle oranının 0.64 olduğu görülmüştür. Ön bulgulara göre yörüngenin küçük bir dışmerkezliğe sahip eliptik çözümü ve dairesel çözüm karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüksek Çözünürlüklü Tayf, Aktif Kromosferli Yıldızlar, Tayfsal Ayırma, Sistem: IX Per

ABSTRACT

High resolution ($R=45000$) Coude - Echelle spectra of IX per has been obtained at TUBITAK National Observatory (TUG) of Turkey. IX per has been known to be a single lined (SB1) spectroscopic binary having chromospheric activity.

However, analyzed spectra of IX Per by KOREL disentangling method indicated that the system is a double lined (SB2) spectroscopic binary. Weaker lines from the secondary are discovered on the decomposed spectra. A preliminary orbit indicates that the mass ratio of the system is 0.64. The light contribution of the secondary is up to 10% in investigated spectral region. Circular orbit is sufficient to explain radial velocity variations.

Keywords: High Resolution Spectrum,
Chromospherically Active Stars, Spectral Disentangling,
System: IX Per

1. GİRİŞ

IX Per (HD 22124, F2IV) yaklaşık 1.32 gün döneme sahip bir tayfsal çift yıldızdır ve Morris (1985)'in tanımlamasından sonra bir elipsoidal değişen olarak sınıflanmaktadır. Sistemin ilk radyal hız değişimi Young (1939) tarafafından keşfedilmiştir, yaklaşık 1 yıl kadar sonra da radyal hız eğrisi Northcot (1940) tarafından yayınlanmıştır. Northcot (1940) tek çizgili radyal hız eğrisinin analizeri sonucunda, baş bileşenin F2 tayf türünden ve IV ya da V ışınlım sınıfından olduğunu ileri sürdü. Thomsen, Abt ve Kron (1955) 76 Å/mm'lik düşük çözünürlüklü spectrogram ile yaptıkları UV bölgesinde tayfsal çalışmaları ile Northcot'un bulgularını desteklediler. Thomsen, Abt ve Kron (1955) aynı çalışmalarında sistemin ışık eğrisini de yayınladılar. İki maksimuma sahip olan bu ışık eğrisindeki değişimler ilk olarak tutulmaları akla getirse de ışık eğrisindeki minimum zamanları radyal hız eğrisinde elde edilen kavuşum zamanlarına göre farklılık göstermekteydi. Işık eğrisinin bu yapısı birinci bileşenin elipsoidal yıldız olduğunun kabul edilmesi ile açıklanmıştı.

Morris (1985) elipsoidal değişenleri ele aldığı çalışmasına eklediği listede IX Per sistemine de yer vermiştir. Singh ve diğ. (1996) sistemin UV tayfında gözlenen bazı güçlü yüksek-sıcaklıklı salma çizgileri ve ayrıca radyo özellikleri nedeniyle (Drake ve diğ. 1989) bir RS CVn çifti olabileceğini öne sürmüştür. Hipparcos uydusu IX Per'in paralaksını 14.75 mas olarak ölçmüştür. Uydunun fotometrik gözlemleri ile elde edilen ışık eğrisinde dönemli olmayan, çok büyük saçılmalar mevcuttur.

Sistemin temiz ışık eğrisi en son ve ilk kez Thomsen, Abt ve Kron (1955) tarafından gözlenendir. Ancak bu ışık eğrisi de yanlış yorumlamalara yol açmıştır. Çalışmanın yapıldığı dönem astronomların ışık eğrilerinde değişimleri güneş lekeleri benzeri lekeler olarak yorumlamaktan kaçındığı bir dönemdir. Yıldız lekeleri, Russel 1906'dan önce oldukça popülerdi ve hertürlü ışık değişimini açıklamak için kullanılıyordu (Derlemeler, Kopal 1982, Hall 1994). Thomsen, Abt ve Kron'un çalışmalarında yayınladıkları ışık eğrisinin yapısına bakıldığında, değişimin kaynağının yıldız lekeleri olması oldukça muhtemeldir.

Bu çalışmada sistemin tayfsal analizi üzerinde durduk. Sistemin yüksek çözünürlüklü coude-echelle tayflarını elde ederek analizlerini yaptık ve sistemin bir çift çizgili tayfsal değişen olduğunu ortaya koyduk.

2. GÖZLEMLER ve VERİ İNDİRGEMESİ

Sistemin bütün tayfsal gözlemleri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) 150 cm teleskop ve yüksek çözünürlüklü coude echelle tayfçeker ile alınmıştır. Teleskobun coude odak uzunluğu 78 metredir. Gözlemler 7-11 Ekim 2007'de 5 ardışık gecede yapılmış ve IX Per sistemine ait 24 tayf elde edilmiştir. Gözlemlerde alınan tayflara ilişkin bilgiler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Gözlemlerin özeti. Tarih kolonu yerel zamana göre tarihi göstermektedir.

No	HJD	Tarih	UT Başlangıç	Poz Süresi
1	54381.41710	2007-10-07	22:44:51	1200
2	54381.49020	2007-10-07	00:30:01	1200
3	54381.56260	2007-10-07	02:14:22	1200
4	54381.59540	2007-10-07	03:01:39	1200
5	54381.63070	2007-10-07	03:52:24	1200
6	54382.33950	2007-10-08	21:03:02	1200
7	54382.40080	2007-10-08	22:31:32	1500
8	54382.46440	2007-10-08	00:02:49	1500
9	54382.51750	2007-10-08	01:19:19	1300
10	54382.56800	2007-10-08	02:32:32	1500
11	54382.63250	2007-10-08	04:04:52	1500
12	54383.35640	2007-10-09	21:14:43	1500
13	54383.43340	2007-10-09	23:01:28	2000
14	54383.45500	2007-10-09	23:36:46	1500
15	54383.54220	2007-10-09	02:42:19	1500

16	54384.37860	2007-10-10	21:46:37	1500
17	54384.45900	2007-10-10	23:42:22	1500
18	54384.51390	2007-10-10	01:01:25	1500
19	54384.58010	2007-10-10	02:36:48	1500
20	54384.63890	2007-10-10	04:01:29	1500
21	54385.35280	2007-10-11	21:09:23	1500
22	54385.43610	2007-10-11	23:09:21	1500
23	54385.51260	2007-10-11	00:52:34	1500
24	54385.63860	2007-10-11	04:00:52	1500

Coude echelle tayfçekeri, 3900-8500 Å aralığını kapsayan 68 echelle mertebesinden oluşmaktadır. 5000 ve 8000 Å aralıklarında 5-10 Å kadar boşluklar ve 3900-5000 Å aralıklarında ise küçük üst üste binmiş aralıklar mevcuttur. Coude echelle tayfçekeri 1Kx1K sıvı nitrojen soğutmalı CCD dedektörü ile birlikte kullanılmakta ve çözünürlüğü yaklaşık $R=50000$ civarındadır

Tayfların tüm indirgemeleri DECH programı (Galazutdinov 1992) ile yapılmıştır, dalgaboyu kalibrasyonu için Th-Ar lambası kullanılmıştır. Tüm tayflar normalize edildikten sonra aletsel ve yersel hareket nedenli radyal hız kaymaları hesaplanarak, gözlemler bu kaymalardan arındırılmıştır. Poz süreleri uygun sinyal gürültü oranını elde edecek ve bileşenlerin yörünge üzerindeki hareketleri ihmal edilebilecek düzeyde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Elde edilen sinyal gürültü oranı (S/N) 5500 Å civarında yaklaşık ~ 130 kadardır (bakınız Tablo 2).

Tablo 2. Analizlerde kullanılan mertebeler ve bazı karakteristikleri

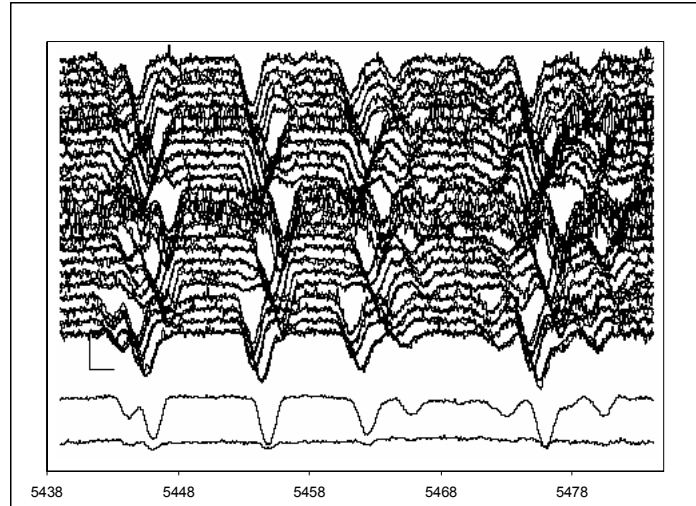
Açıklık	Dalgaboyu Aralığı	Ortalama S/N	Açıklamalar
18	6548-6612	150	H alpha
33	5432-5485	140	Weak Metallic lines
34	5371-5424	100	Weak Metallic lines
35	5312-5364	130	Weak Metallic lines
36	5253-5305	130	Weak Metallic lines
37	5196-5247	120	Weak Metallic lines
38	5140-5191	120	Weak Metallic lines
39	5086-5136	110	Weak Metallic lines
40	5032-5082	110	Weak Metallic lines
41	4980-5029	105	Weak Metallic lines
42	4929-4977	105	Weak Metallic lines
43	4878-4926	100	Weak Metallic lines
44	4829-4876	100	H beta
66	3952-3990	60	Ca II K
67	3920-3958	50	Ca II H

3. YÖRÜNGE ÇÖZÜMÜ ve ANALİZLER

IX Per'in tüm tayfları Fourier transformu ile tayfsal ayrıştırma tekniğini kullanan, direk olarak yörünge parametrelerini veren ve 5 kadar bileşeni ayırt edebilen KOREL programı (Hadrava 1995, 2004) ile yapılmıştır. KOREL programı ayrıca yörünge çözümü de yapabilmektedir. KOREL programına IX Per'in tayf analizi için verilen ilk girdi parametreleri (P, To, K1) Northcot (1940)'tan alınmıştır. Yörünge dışmerkezliği başlangıçta 0.0 kabul edilerek bileşenlerin kütle oranı belirlenmiştir. KOREL çözümleri ile bileşenlerin ayrıştırılmış tayflarından görüldüğü kadarıyla ikinci bileşenin ışık katkısı %10'lar civarındadır.

Dışmerkezlik ve enberi boylamı (w) hariç diğer tüm yörünge parametreleri itere edilerek yakınsanmış ve tek bir çözüme gidilmiştir. Şekil 1'de, gözlenen tayflar ve her iki bileşen tayfına KOREL tarafından üretilmiş fitlerin üstüste çizilmiş halleri gösterilmektedir, şeklin en altında ise birinci ve ikinci bileşenin ayrıştırılmış tayfları bulunmaktadır.

Analizlerde öncelikli olarak 5439-5484 aralığını kapsayan 33. mertebe tercih edilmiştir. Bu tercihin sebebi 33. mertebenin tellurik çizgileri içermemesi, yeterli sayıda iç içe girmemiş Fe elementine ait temiz metal çizgisi içermesi ve sürekliliğinin iyi belirlenmiş olmasıdır.

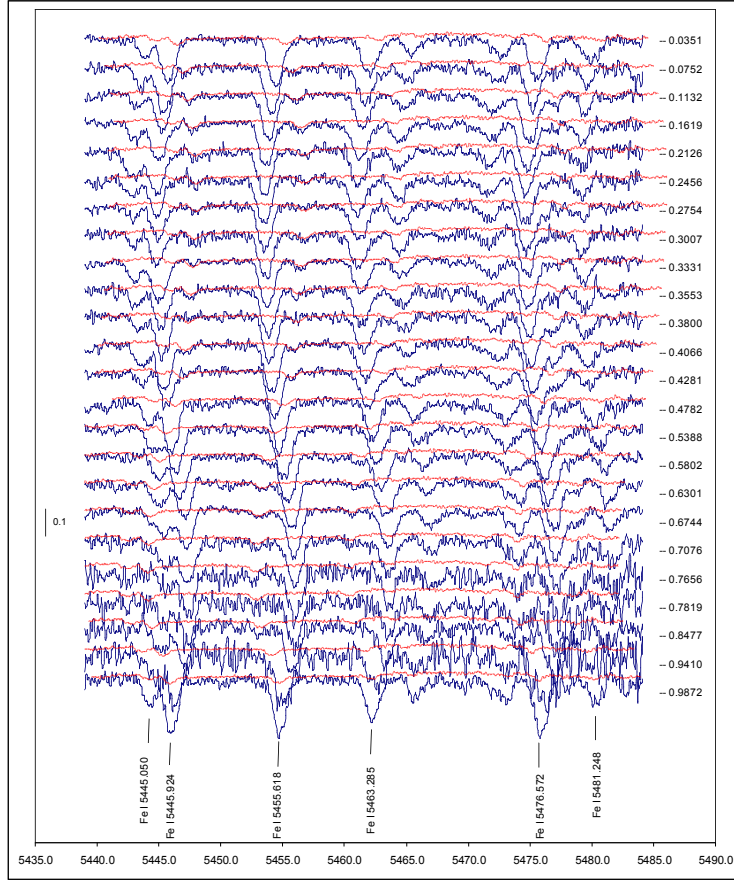


Şekil 1. IX Per sisteminin elde edilen gözlemsel tayfları üzerine Fourier tekniği ile KOREL programında elde edilmiş ayrıştırılmış tayfların görünümü. Şeklin alt kısmında üstte birincinin altta ikinci bileşenin ayrıştırılmış tayfı verilmiştir.

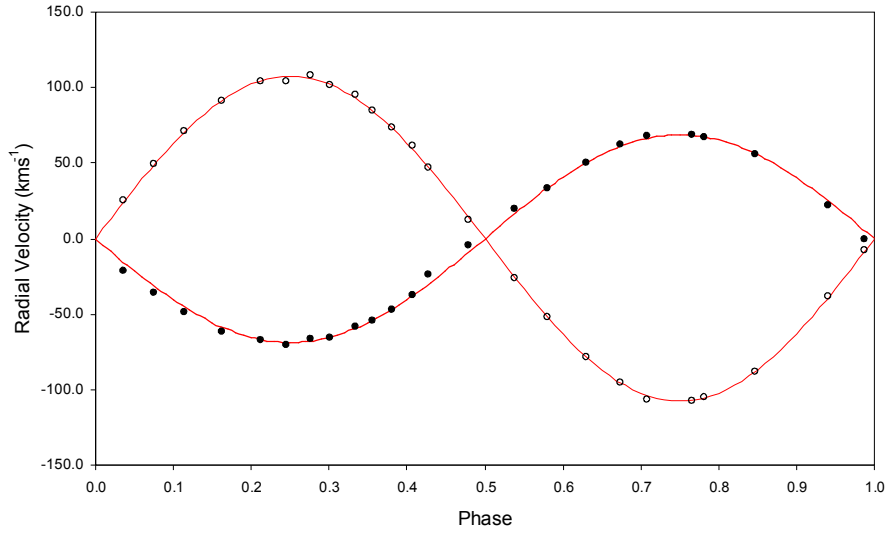
KOREL çözümleri ikinci bileşenin ışık katkısının %10 civarında olduğunu göstermiştir. Bu küçük ışık katkısı nedeniyle ikinci bileşenin çizgilerini gözlenen tayflarda gözle ayırt edebilmek oldukça zor olsa da KOREL tarafından ayrıştırılmış tayflar gözlenen tayf üzerine çizildiğinde ikinci bileşenin varlığı takip edilebilmektedir. Şekil 2’de ayrıştırılmış ikinci bileşen tayfının (kırmızı) gözlemsel tayflar üzerine (mavi) yapılan fiti görülmektedir. Şeklin sağ tarafında her tayfın gözleendiği tarihe karşılık gelen IX Per’in yörünge evresi verilmiştir. Bu evrelere göre 0.10-0.42 ve 0.58-0.70 arasında ikinci bileşenin tayftaki katkısı açıkça bellidir. Ancak son beş tayfta (0.76-0.98 evre) gürültü nedeniyle bu katkı fark edilememektedir.

IX Per bileşenlerinin radyal hızları fotosferik çizgiler olan Fe I $\lambda\lambda$ 5445.924, 5455.618, 5463.285 ve 5476.572 Å çizgilerden ölçülmüş ve Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’de yer alan O-C kolonu, gözlemsel ve teorik olarak KOREL ile hesaplanmış değerlerin farkını vermektedir. IX Per’in elde edilmiş olan radyal hız eğrisi ve teorik olarak hesaplanan eğri Şekil 3’de görülmektedir.

KOREL programı sistemin kütle merkezi hızını vermemektedir, bunun yerine bileşenlerin görelî hızlarını ölçmeyi sağlamaktadır. Bu çalışmada IX per sisteminin kütle merkezi hızı DECH programı içerisinde yer alan çapraz korelasyon tekniği ile ölçülmüştür. İlk ön çözümlerin elde edilmesinin ardından elde edilen dairesel çözüm diğer tüm tayf açıklıklarına uygulanmıştır. Ayrıca elipsoidal yörüngeyi de dikkate alarak yapılan çözümlerde çok küçük bir eksantrisite bulunmuştur. 33. tayf açıklığından elde edilen dairesel ve elipsoidal yörünge parametreleri Tablo 4’de verilmektedir.



Şekil 2. 33. *33. tayf mertebesinde IX Per sisteminin ikinci bileşenin ayrıştırılmış tayfı (kırmızı) ve gözlemsel (mavi) tayfların üstüste gösterimi. Sağ tarafta verilen evre değerlerine göre radyal hız kayması açıkça görülmektedir.*



Şekil 3. *IX Per sisteminin analiz sonucu elde edilen radyal hız eğrisi.koyu renkli noktalar birinci bileşen, açık renkli noktalar ikinci bileşeni temsil etmektedir.*

Tablo 3. *Fourier transformu tekniği ile elde edilmiş IX Per sistemine ait radial hızlar. Kullanılan çizgiler Fe I $\lambda\lambda$ 5445.924, 5455.618, 5463.285 ve 5476.572 Å.*

HJD -2400000	Evre	RH ₁ km/s	O-C km/s	RH ₂ km/s	O-C km/s
54381.4171	0.246	-70.03	-1.25	104.45	-3.01
54381.4902	0.301	-65.34	0.00	102.09	0.00
54381.5626	0.355	-54.28	0.00	84.82	0.00
54381.5954	0.380	-47.09	0.00	73.58	0.00
54381.6307	0.407	-37.01	1.07	61.66	2.15
54382.3395	0.941	21.88	-3.05	-38.48	0.48
54382.4008	0.987	-0.65	-6.18	-7.88	0.76
54382.4644	0.035	-21.39	-6.32	25.21	1.67
54382.5175	0.075	-35.95	-4.65	49.29	0.38
54382.5680	0.113	-48.38	-3.45	71.37	1.17
54382.6325	0.162	-61.47	-2.95	91.56	0.12
54383.3564	0.708	68.36	1.99	-106.18	-2.47
54383.4334	0.767	68.47	0.00	-106.98	0.00
54383.4550	0.782	67.42	0.00	-105.35	0.00
54383.5422	0.848	56.25	0.00	-87.89	0.00
54384.3786	0.478	-4.15	5.24	12.34	-2.34
54384.4590	0.539	19.64	3.03	-25.87	0.08
54384.5139	0.580	33.22	0.00	-51.90	0.00
54384.5801	0.630	50.18	0.00	-78.41	0.00
54384.6389	0.674	62.70	1.51	-95.47	0.14
54385.3528	0.213	-66.91	0.00	104.55	0.00
54385.4361	0.275	-66.39	1.53	108.19	2.06
54385.5126	0.333	-58.57	1.07	95.33	2.15
54385.6386	0.428	-23.91	6.14	47.30	0.36

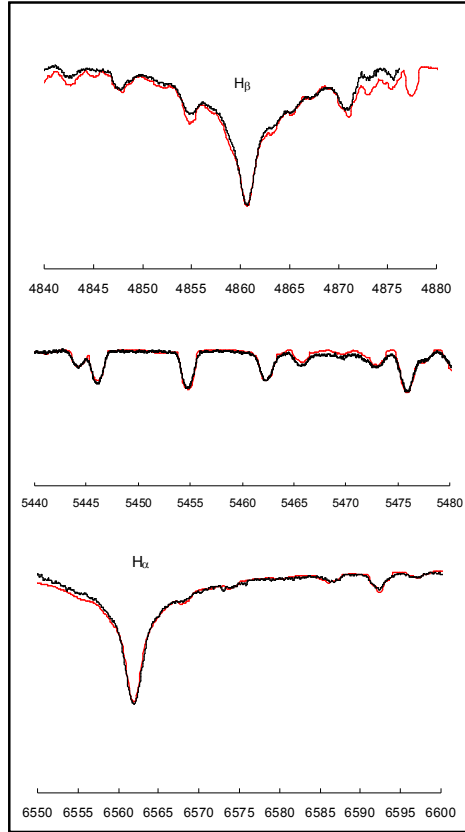
Tablo 4. *IX Per sisteminin dairesel ve eliptik çözümlerden bulunan yörünge parametreleri, Northcot (1940) değerleri ile karşılaştırılmıştır.*

Parameter	Circular Orbit	Elliptic Orbit	Northcot 1940
To (HJD)	54382.4178	54382.4178	29146.808
P (days)	1.326488	1.326488	1.32639
e	0.0	0.0104	0.024
K ₁ (km s ⁻¹)	68.80	70.88	63.67
K ₂ (km s ⁻¹)	107.50	99.78	-
q	0.64	0.69	-
V _γ (km s ⁻¹)	-40.9	-40.9	-4.9
rms error for primary (km s ⁻¹)	3.0	1.29	
rms error for secondary (km s ⁻¹)	1.28	1.41	

3. 1. Sentetik Tayf Modellemesi

Coelho (2005)'den alınan sentetik tayflar, IX Per'in KOREL yardımıyla ayrıştırılmış birinci bileşeni üzerine uygulanmıştır. Sentetik ve birinci bileşenin gözlemsel tayfları arasındaki en iyi uyum 6500K sıcaklık, $\log g$ 3.5 ve $v \sin i$ 45 km/sn değerleri için güneş metal bolluğunda elde edilmiştir.

H_α , H_β çizgileri ve 33. tayf mertebesinin gözlemsel verilerinin (siyahla gösterilmiştir) sentetik tayflarla (kırmızı ile gösterilmiştir) karşılaştırması Şekil 4'de verilmektedir. Özellikle H_β bölgesinde dikkat çeken uyumsuzluğun sentetik tayfın parametrelerinin hatasından değil, gözlemsel tayfın normalizasyon hatasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. Gözlemsel (siyah) ve sentetik tayfın karşılaştırması. En üstte H_α , ortada 33. tayf açıklığı ve en altta H_β bölgeleri bulunmaktadır.

4. KAYNAKLAR

- Coelho P., Barbuy B., Melendez J., Schiavon R., Castilho B., 2005, *A&A*, 443, 735
Drake, Stephen A.; Simon, Theodore; Linsky, Jeffrey L., 1989, *ApJS*, 71, 905
Galazutdinov, H.A. 1992, Preprint of SAORAS, No :92
Hadrava,P. 1995, *A&AS*, 114,393
Hadrava, P. 2004, *PAICz*, 92, 15
Hall D. S. , 1994, *IAPPP*, 54, 1
Kopal, Z. 1982, *Ap&SS*, 87, 149
Kron, G. E. 1950, *ASPL*, 6, 52
Morris, S. L., 1985, *ApJ*, 295, 143
Northcot, R. J.,1940, *PDDO*, 1, 197
Russel H. N., 1906, *ApJ*, 24, 1
Singh, K. P., Drake, S. A., White, N. E. 1996, *AJ*, 111, 2415
Thomsen, I. L., Abt, H. A., Kron G. E., 1955, *PASP*, 67, 412