

# V444 CYG ÇİFT YILDIZ SİSTEMİNİN 2007 YILI FOTOMETRİK GÖZLEMLERİ

**Figen Z. ERİŞ ve Fehmi EKMEKÇİ**

*Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100,  
Tandoğan*

*e-postalar: figeneris@hotmail.com, ekmekci@astro1.science.ankara.edu.tr*

## **Özet**

Wolf-Rayet bileşenli bir çift yıldız sistemi olan V444 Cyg'nin Ankara Üniversitesi Rasathanesi Maksutov Teleskobu kullanılarak B ve V bandı fotometrik gözlemleri Ağustos-Ekim 2007 döneminde yapıldı ve bu gözlemlerin Wilson-Devinney programı (2004 versiyonu) ile ışık eğrisi analizi gerçekleştirildi. V444 Cyg'nin fotometrik özellikleri belirlendi ve sistemin çevresel zarfının asimetric bir yapıya sahip olması gerektiği ve ışık eğrisi modellemesinde bu asimetric yapının dikkate alınmasının daha uygun olacağı ortaya çıkarıldı.

*Anahtar Kelimeler: Wolf-Rayet, örten çift, V444 Cyg*

## **Abstract**

Photometric B and V observations of Wolf-Rayet star and eclipsing binary system V444 Cyg carried out between August and October 2007 with 30 cm Maksutov telescope of the Ankara University Observatory are presented. B and V bands light curve analyses have been made using Wilson-Devinney (version of 2004) programme. Photometric properties of the circumstellar envelope of the system together with the physical and dynamical parameters have been determined and it has been found that the circumstellar envelope must have an asymmetric structure. As a consequence, it will be better to take into consideration this asymmetry in modelling the light curves.

*Key words: Wolf-Rayet, eclipsing binary, V444 Cyg*

## 1. Giriş

V444 Cyg hem Wilson tarafından 1939 yılında ortaya konduğu gibi bir tayfsal çift yıldız [1] hem de Gaposchkin tarafından 1941 yılında gösterildiği gibi örten bir çift sistemdir [2]. Bir WN5 Wolf Rayet yıldızı ile O6 V tayf türünden bir anakol yıldızından oluşmaktadır. Çizelge 1.1’de V444 Cyg sistemine ait parametreler verilmektedir.

Ekvator koordinatları  $\alpha = 20^{\text{sa}} 19^{\text{dk}} 32^{\text{sn}}$  ve  $\delta = +38^{\circ} 43' 53''$  olan V 444 Cyg, Cygnus takım yıldızında yer almaktadır. Galaktik koordinatları  $l=76''.5980$  ve  $b=+1''.4287$  dir. Perryman et al. (1997) tarafından Hipparcos Kataloğu bilgilerine dayanılarak paralaksı 2.62 miliyay saniye (382 pc) olarak verilmektedir [3]. 1996 yılında Estonia’da bulunan Tartu Astrofizik Gözlemevinin yayınında ise V444 Cyg’nin uzaklığı 1.15 kpc olarak verilmektedir [4]. Forbes et al. (1992) V444 Cygni’nin Berkeley 86 açık kümesinin bir üyesi olduğunu bildirmişlerdir [5]. Berkeley 86 açık kümesinin uzaklığı Forbes tarafından 1981 yılında 1.72 kpc olarak bildirilmiştir [6]. Kron and Gordon (1950) uzaklığı 1.50 kpc olarak hesaplamışlardır [7]. V444 Cygni’nin B bandı parlaklığı  $8^{\text{m}}.46$ , V bandı parlaklığı  $8^{\text{m}}.02$ , dönemi 4.212 gün ve dış merkezliği  $e \equiv 0$ ’dır [8, 9].

Çizelge 1.1 V444 Cyg çift sisteminin parametreleri

PARAMETRE	DEĞERİ	KAYNAK
<b>Kütle</b>		
O yıldızı	$28.4 \pm 0.6 M_{\odot}$	[9]
	$27.9 \pm 3.2 M_{\odot}$	[10]
	$26.2 M_{\odot}$	[7]
WN5 yıldızı	$24.8 M_{\odot}$	[1]
	$12.4 \pm 0.5 M_{\odot}$	[9]
	$9.3 \pm 1.0 M_{\odot}$	[10]
	$10.4 M_{\odot}$	[7]
	$9.74 M_{\odot}$	[1]
<b>Yarıçap</b>		
O yıldızı	$9.3 R_{\odot}$	[7]
	$7 R_{\odot}$	[1]
WN5 (çekirdek)	$6.7 R_{\odot}$	[11]
	$< 4 R_{\odot}$	[12]
	$2.9 R_{\odot}$	[13]
	$6.5 R_{\odot}$	[11]
<b>a</b> (yörünge yarı büyük eksen uzunluğu)	$37.7 \pm 0.3 R_{\odot}$	[9]
	$38.0 \pm 0.5 R_{\odot}$	[10]

$i$ (yörünge eğim açısı)	$78^{\circ}.7 \pm 0.5$	[12]
$v_{\infty WN5}$	1785 km/sn $2500 \pm 200$ km/sn	[14] [15]
<b>Sıcaklık</b>		
$T_0$	23.000 K 40.000K	[1] [16]
$T_{WN5}$	35.000 K 33.000–35.000 K 90.000 K 80.000 K	[17] [18] [13] [1]

## 2. Fotometrik Gözlemler

02.08.2007–18.10.2007 tarihleri arasında toplam 19 gece Ankara Üniversitesi Gözlemevinde Maksutov teleskobu ile B ve V renklerinde gözlem yapıldı. Gözlemler sonucunda değişen - mukayese olarak her bir renkten 1894'er nokta elde edildi. Mukayese yıldızı olarak  $V = 7.44$  kadir parlaklığında olan O7e tayf türünden HD 193514 ve denet olarak da  $V = 9.35$  kadir parlaklığında olan B0 II tayf türünden HD 228943 yıldızları kullanıldı. Evre hesabı için

$$T_0 = 2441164.337 \text{ [19]}$$

$$P = 4.2124477 \text{ gün [20]}$$

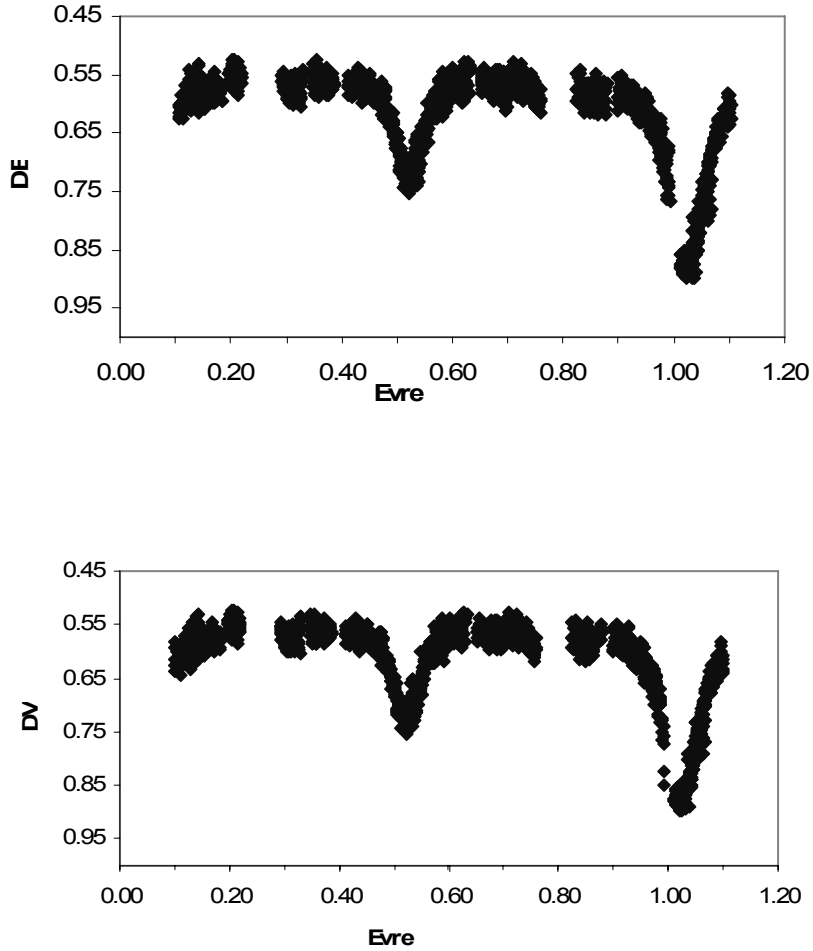
ışık elemanları kullanıldı. Işık eğrisi analizi Wilson-Devinney (WD) programının 2004 versiyonu ile yapıldı [21, 22, 23, 24]. Gözlemlerde elde edilen diferensiyel parlaklık değerlerindeki gecelik kadir hataları

$$0^m.02 \leq \Delta V \leq 0^m.14 \text{ ile}$$

$$0^m.02 \leq \Delta B \leq 0^m.21$$

aralığında oldu. Her iki renkteki maksimum kadir hataları ( $V$  de  $0^m.14$  ve  $B$  deki  $0^m.21$ ) 10.10.2007 tarihine rastlayan aynı geceye ait olup genelde Ekim ayı içerisindeki gözlemlerde hava şartları nedeniyle yüksek olmuştur. Bu yüksek değerlere rağmen gecelik kadir hataları ortalama  $B$  rengi için  $0^m.09$   $V$  rengi için ise  $0^m.06$  civarında seyretmiştir. Elde edilen ışık eğrisi Şekil 2.1'de verilmektedir.

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi yaklaşık 0.20-0.30 evreler ile 0.75-0.80 evreler arası olumsuz atmosfer koşulları nedeniyle 2007 sezonunda gözlenememiştir.



**Şekil 2.1** AÜG Maksutov teleskopu ile B ve V renklerinde elde edilen ışık eğrisi

Bu ışık eğrisinden 1. minimum derinliği  $0^m.29$  ve ikinci minimum derinliği  $0^m.14$  olarak elde edilmektedir. Bu değerler Gaposhkin (1941) ve Hamman et al (1991) çalışmalarında elde edilen minimum derinlik değerleriyle uyum içerisindedir [2, 11].

### 3. Wilson-Devinney Analizi

Işık eğrisi analizi için WD çözümünde kullanılan parametreler Çizelge 3.1'de verilmektedir. Belirtilen parametreler ilk olarak PHOEBE programında denetlenmiş ancak PHOEBE 'de çevresel zarf modellenmesi yapılamadığından sonuçta WD programı kullanılmıştır.

Sıcaklık parametresinde önce WR için 35.000 K ile başlandı daha sonra en uygun fit 30.000 K'da elde edildi. Dış merkezlik çeşitli yayınlarda hem 0.036 olarak hem de 0 olarak bildirildiğinden önce 0.036 başlandı ancak en uygun fit 0 ile elde edildi. Çekim kararma sabiti radyatif zarf için 1 konvektif zarf için 0.32 olarak alındı. Elektron yoğunluğu için önce  $10^{13}$  alındı ancak en uygun fit  $10^{10}$  ile elde edildi.  $\mu_e$  değeri için de Loore and Doom (1992) tarafından WR yıldızları için belirtilen bolluklar olan  $X = 0.05$ ,  $Y = 0.90$  ve  $Z = 0.05$  dikkate alınarak

$$\mu = 1/(2X + 0.75Y + 0.50Z)$$

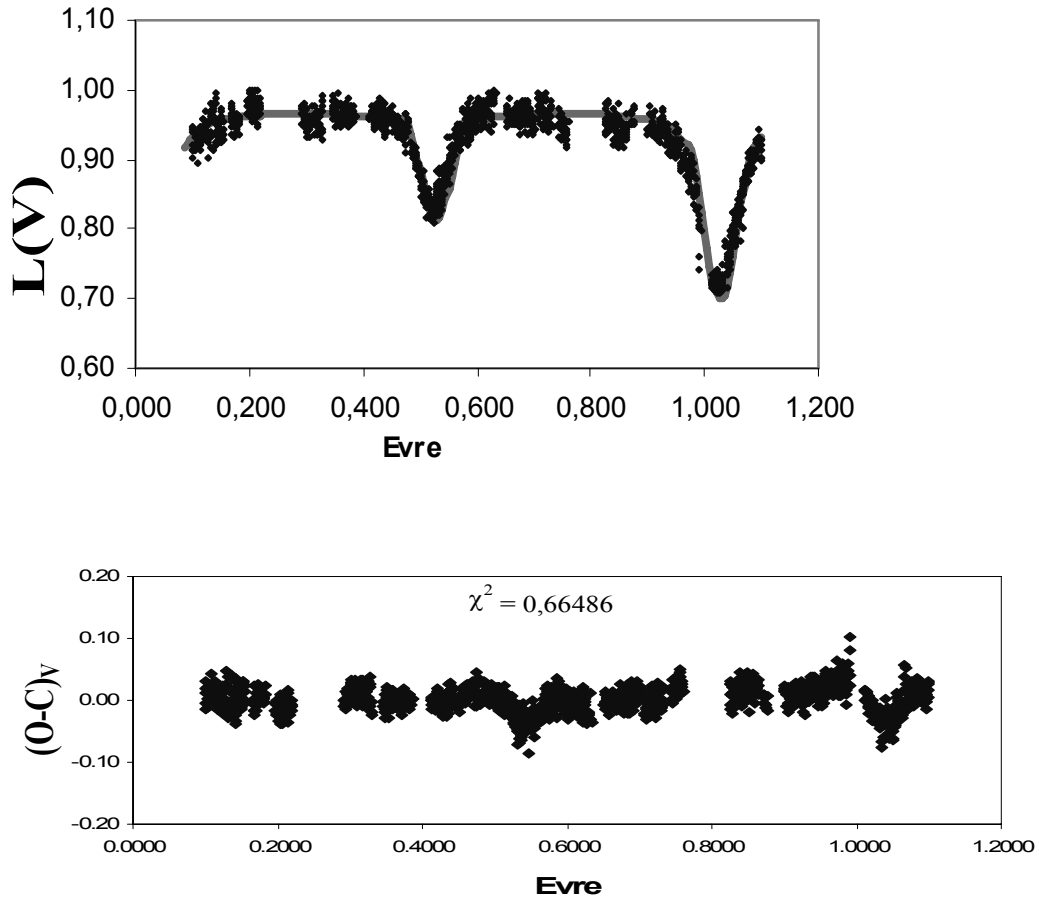
den 1.33 olarak hesaplandı [25]. Albedolar için radyatif (O bileşeni) ve konvektif (WN5 bileşeni) zarf için sırasıyla 0.6 ve 0.5 değerleri alındı.

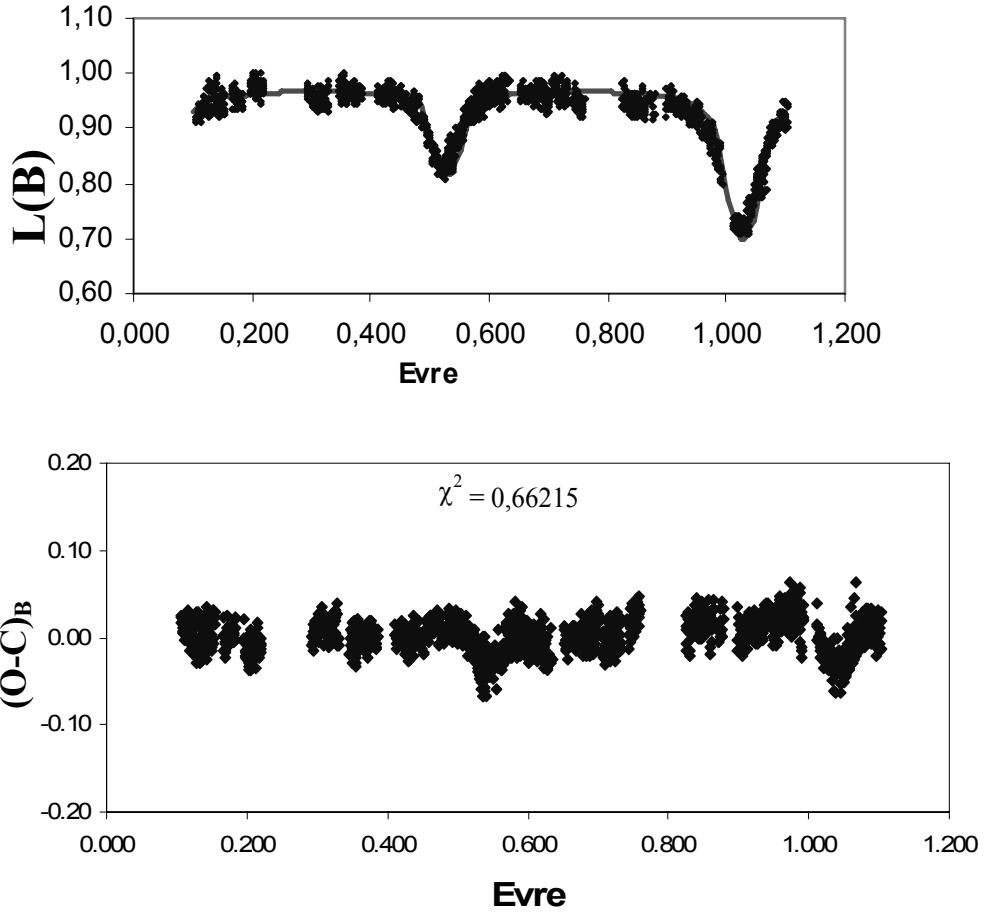
**Çizelge 3.1** WD çözümünde kullanılan V444 Cyg sistem parametreleri

Parametre	Değer	Kaynak
T (WN5/O6)	30 000 K / 38 000 K	[16]
M (WN5/O6)	12 / 28 $M_{\odot}$	[9]
R (WN5/O6)	9 / 10 $R_{\odot}$	[16]
$i$	$78^{\circ}.7$	[27]
$\gamma$	40 km/sn	[26]
e (eccentricity)	0	[9]
a	38 $R_{\odot}$	[10]
g (WN5/O6) (çekim kar. s.)	0.32 / 1.00	
$N_e$ (WN5/O6)	$1 \times 10^{10}$	[28]
$R_{\text{Cloud}}$	0.49 a	
$\mu$	1.33	[25]
Albedo (WN5/O6)	0.6 / 0.5	
X(bolo.) (WN5/O6)	0.682 / 0.660	[29]
Y(bolo.) (WN5/O6)	0.188 / 0.169	[29]
X(B) (WN5/O6)	0.482 / 0.350	[29]

Y(B) (WN5/O6)	0.288 / 0.239	[29]
X(V) (WN5/O6)	0.434 / 0.334	[29]
Y(V) (WN5/O6)	0.269 / 0.227	[29]

WD programı ile elde edilen en uygun kuramsal ışık eğrisi ile gözlenen ışık eğrisinin bir karşılaştırması ve her renk için kuramsal parlaklıklar ile gözlemsel parlaklıklar arasındaki farkın (O-C) evreye göre dağılımı Şekil 3.1 de gösterilmektedir. WD çözümünden elde edilen kuramsal ışık eğrileri için  $\chi^2(B) = 0.66215$  ve  $\chi^2(V) = 0.66486$  olmuştur.





**Şekil 3.1** WD programı ile elde edilen en uygun kuramsal ışık eğrisi (kırmızı sürekli eğri) ile gözlenen ışık eğrisinin (noktalar) bir karşılaştırması

#### 4. Sonuç ve Tartışma

V444 Cyg çift yıldız sistemi Algol türü ışık eğrisi veren ayrık bir sistemdir. Kuramsal ışık eğrisi ile gözlenen ışık eğrisinin karşılaştırılmasında ikinci minimum da istenilen uyumun sağlanamadığı görülmektedir. Bu uyumsuzluğun WR zarfının asimetrik yapısından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. WD programı ile asimetrik zarf yapısı modellenmesi mümkün olmamaktadır.

WD çözümünden elde edilen sonuç değerler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuç kütle değerleri Hirv et al (2006) değerleri ile uyum içerisindedir [9]. Çizelge 2.1'de de gösterildiği

gibi yayınlarda elde edilen kütle değerleri de zaten birbirleriyle uyum içerisindedir. Elde edilen yarıçap değerleri ise Hamann (1991) değerlerine yakındır [11]. WR yıldızının çevresel zarfı nedeniyle yayınlarda bildirilen yarıçap değerleri Çizelge 1.1 de belirtildiği gibi çeşitlilik göstermektedir.

**Çizelge 4.1** V444 Cyg için Çevresel Zarf modeline ilişkin WD sonuçları

Parametre	Sonuç (Bu çalışma)	(Diğer çalışmalar)
M (WN5/O6)	12.497 / 29.130 $M_{\odot}$	12.4 / 28.4 $M_{\odot}$ [9]
R (WN5/O6)	7.43 / 7.12 $R_{\odot}$	2.9 / 7 $R_{\odot}$ [1] 15.6 / 9.4 $R_{\odot}$ [30] 6.5 / 6.7 $R_{\odot}$ [11] 6.03 / 5.01 $R_{\odot}$ [17]
M Bol (WN5/O6))	-6.72 / -7.66	-6 / -3.5 [1] -8.6 / [31]
Log g (WN5/O6)	3.79 / 4.20	
r pole (WN5/O6)	0.192 / 0.187	
r point (WN5/O6)	0.201 / 0.188	
r side (WN5/O6)	0.195 / 0.188	
r back (WN5/O6)	0.199 / 0.188	

Bu çalışmada elde edilen bolometrik parlaklık değerleri WR yıldızı için Wilson (1940) değeri ile uyum içerisinde ancak van der Hutch (1988) tarafından teorik olarak hesaplanan bolometrik parlaklıktan yaklaşık 2 kadir daha sönük bulunmuştur [1, 31]. WR yıldızlarının uzaklıkları tam bir doğrulukla tayin edilemediğinden farklı mutlak parlaklık değerleri elde edilebilmektedir.

Bileşenler için elde edilen kesirsel r ' lerin point/pole/side/back değerleri O bileşeni için birbirleriyle aynı değerler olarak bulunmuş WR bileşeni için ise bu değerler birbirlerine çok yakın olarak elde edilmiştir. Yani, O bileşeni tam küresel iken WR bileşeni kutuplardan az bir miktar basıklık göstermektedir. Ancak bu basıklık ihmal



edilecek düzeyde olduğundan WR bileşeninin de küresel bir yapıya sahip olduğu düşünülebilir.

## Kaynaklar

- [1] Wilson, O. C. (1940), “The Wolf-Rayet spectroscopic binary HD 193576”, ApJ, 91, 379-393.
- [2] Gaposhkin, S. (1941), “The absolute dimensions of a Wolf-Rayet eclipsing binary :  
HV11111 = BD+38<sup>0</sup> 4010 = HD 193576”, ApJ, 93, 202-207.
- [3] Perryman, M. A. C., Lindegren, L., Kovalevsky, J., Hog, E., Bastian, U., Bernacca, P. L., Creze, M., Donati, F., Grenon, M., Van Leeuwen, F., Van der Marel, H., Mignard, F., Murray, C. A., Le Poole, R. S., Schrijver, H., Turon, C., Arenou, F., Froeschle, M. and Petersen, C. S. (1997), “The Hipparcos catalogue”, A&A, 323L, 49-52.
- [4] Nugis, T. (1996), “The distance to HD 193576(V444 Cyg)”, 33<sup>rd</sup> Liege Int. Astroph. Coll.  
( Eds. J.M. Vreux, A. Detal, D. Fraipont-Caro, E. Gosset, and G. Rauw) , s.283-284.
- [5] Forbes, D., English, D., De Robertis, M. M. and Dawson, P. C. (1992), “Membership of  
the WR binary system V444 Cygni in the young open cluster Berkeley 86”, AJ, 103, 916-923.
- [6] Forbes, D. (1981), “The young open clusters Berkeley 62 and Berkeley 86”, PASP, 93, 441- 446.
- [7] Kron, G. E., Gordon, K. C. (1950), “The structure of the Wolf-Rayet eclipsing variable  
V444 Cygni”, ApJ, 111, 454-463.
- [8] Centre de Données astronomiques de Strasbourg, (2007), Web sitesi.  
<http://cdsweb.u-strasbg.fr>. (Erişim Tarihi: 03.04.2008)
- [9] Hirv, A., Annuk, K., Eenmae, T., Lümets, T., Pelt, J., Puss, A. and Tempel, M. (2006),  
“Orbital elements and mass loss rate of V444 Cyg”, BaltA, 15, 405-412.
- [10] Marchenko, S.V., Moffat, A.F.J. and Koenigsberger, G. (1994), “The Wolf-Rayet binary  
V444 Cygni under the spectroscopic microscope. I. Improved characteristics of the components and their interaction seen in He I”, ApJ, 422, 810-822.

- [11]Hamann, W. R., Schwarz, E. and Wesselowski, U. (1991), “The light curve of V444 Cygni”, IAUS, 143, 254.
- [12]St.Louis, N., Moffat, A. F. J., Lapointe, L., Efimov, Y. S., Shakhovskoy, N. M., Fox, G. K. and Piirola, V. (1993), “Polarization eclipse model of the Wolf-Rayet binary V444 Cygni with constraints on the stellar radii and an estimate of the Wolf-Rayet mass-loss rate”, ApJ, 410, 342-356.
- [13]Cherepashchuk, A. M., Eaton, J. A. and Khaliullin, Kh. F.(1984), “Ultraviolet photometry from the orbiting astronomical observatory. XXXIX. The structure of the eclipsing Wolf-Rayet binary V444 Cygni as derived from light curves between 2460 Å and 3,5 microns”, ApJ, 281, 774-788.
- [14]Nugis, T. and Lamers, H. J. G. L. M. (2000), “Mass-loss rates of Wolf-Rayet stars as a function of stellar parameters”, A&A, 360, 227-244.
- [15]Eaton, J. A., Cherepashchuk, A. M. and Khaliullin, Kh. F. (1985), “Stratification of the extended atmosphere of the Wolf-Rayet component of V444 Cygni”, ApJ, 297, 266-274.
- [16]Underhill, A. B. and Fahey, R. P. (1987), “The problem of V444 Cygni”, ApJ, 313, 358-375.
- [17]Hamann, W. R. and Schwarz, E. (1992), “The eclipsing Wolf-Rayet binary V444 Cygni: modelling the light curve and the helium spectrum consistently”, A&A, 261, 523-534.
- [18]Schmutz, W. Hamann, W. R. and Wesselowski, U. (1989), “Spectral analysis of 30 Wolf-Rayet stars”, A&A, 210, 236-248.
- [19]Khaliullin, Kh. F. (1974), “Mass-loss by Wolf-Rayet stars”, SvA, 18, 229-233.
- [20]Underhill, A. B., Grieve, G. R. and Louth, H. (1990), “The period of V444 Cygni and its rate of change”, PASP, 102; 749-753.
- [21]Wilson, R. E. (2005), Özel görüşme.
- [22]Wilson, R. E. and Devinney, E. J. (1971), “Realisation of accurate close binary light curves: application to MR Cygni”, ApJ, 166, 605-619.

- [23]Wilson, R. E. (1979), “Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves”, *ApJ*, 234, 1054-1066.
- [24]Wilson, R. E. (1990), “Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect”, *Ap.J.* 356, 613-622.
- [25]de Loore, C.W., Doom, C. (1992), “Structure and Evolution of Single and Binary Stars”, Kluwer Academic Pub., 458 p, Dordrecht, Boston, London.
- [26]Underhill, A. B., Yang, S. and Hill, G. M. (1988) “The orbit of the Wolf-Rayet spectroscopic binary HD 193576, V444 Cygni”, *PASP*, 100, 741-748.
- [27]van der Hucht, K. A. (2001), “The VIIth catalogue of galactic Wolf-Rayet stars”, *New Astronomy Reviews*, 45, 135-232.
- [28]Kopal, Z. and Shapley, M. B. (1946), “A study of the extended envelope surrounding the Wolf-Rayet component of V444 Cygni”, *ApJ*, 104, 160-176.
- [29]van Hamme, W. (1993), “New limb-darkening coefficients for modelling binary star light curves”, *ApJ*, 106(5), 2096-2117.
- [30]Smith, S. A. H. and Theokas, A. C. (1980), “New techniques of light curve analysis: application to V444 Cygni”, *Ap&SS*, 70, 103-132.
- [31]van der Hucht, K. A. Hidayat, B., Admiranto, A.G., Supelli, K.R. and Doom, C. (1988), “The galactic distribution and subtype evolution of Wolf-Rayet stars III”, *A&A*, 199, 217-234.