

V566 Ophiuchi Değen Çift Sisteminin Fotometrik Analizi

Ö. L. Değirmenci, Ö. Gülmen, C. Sezer

Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Bornova 35100, İzmir

Özet

Aşırı değen W UMA türü değışen V566 Ophiuchi'nin TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi ve Ege Üniversitesi Gözlemevinde elde edilen ışık eğrilerinin eş zamanlı çözümleri ile yörünge öğeleri belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: W UMA yıldızları, örten çiftler, V566 Ophiuchi

Abstract

Orbital elements of the over-contact W UMA type variables V566 Ophiuchi, based on simultaneous solution of the light curves obtained at TÜBİTAK National Observatory and Ege University Observatory, have been derived.

Keywords: W UMA type stars, eclipsing binaries, V566 Ophiuchi.

1. Giriş

V566 Oph (BD+05°3547)'nin değışen bir yıldız olduğu Hoffmeister (1935) tarafından keşfedilmiştir. Sistem Binnendijk (1970) tarafından tanımlanan A-türü bir W UMA örten çiftidir. Baş minimumda örtülen bileşen daha büyük kütleli olup, sistem yan minimumda tam tutulma göstermektedir.

Sistemin literatürde mevcut olan en önemli fotoelektrik ışık eğrileri şunlardır: 1) Binnendijk (1959) tarafından 1955-1959 yıllarında elde edilen B, V ışık eğrileri; 2) Bookmyer (1969) tarafından 1966 yılında elde edilen B, V ışık eğrileri; 3) Bookmyer (1976) tarafından 1973 yılında elde edilen B, V ışık eğrileri; 4) Eaton (1986) tarafından 1984 yılında IUE uydusu ile elde edilen moröte ($\lambda\lambda$ 2585-3200 bandı) ışık eğrisi. Sistemin fotometrik analizleri; Nagy (1977) (daha önceki analizler karşılaştırmalı olarak verilmiştir), Lafta ve Grainger (1985), van Hamme ve Wilson (1985), Eaton (1986) ve Niarchos ve ark. (1993) tarafından verilmiştir.

Bileşenlerin tahminen hızlı dönüyor olmaları nedeni ile tayf çizgileri oldukça genişlemiştir. Bu nedenle sistemin tayfsal çalışmaları ve dikine hızlarının elde edilmesi son derece güçtür. Bugüne kadar yayınlanmış dikine hızlar şunlardır: 1) Heard (1965) tarafından yayınlanan 1954-1957 yıllarına ilişkin dikine hız eğrileri; 2) McLean (1983) tarafından 1979-1980 yıllarında elde edilen dikine hız eğrileri; 3) Hill ve ark. (1989) tarafından 1985-1987 yıllarında elde edilen dikine hız eğrileri.

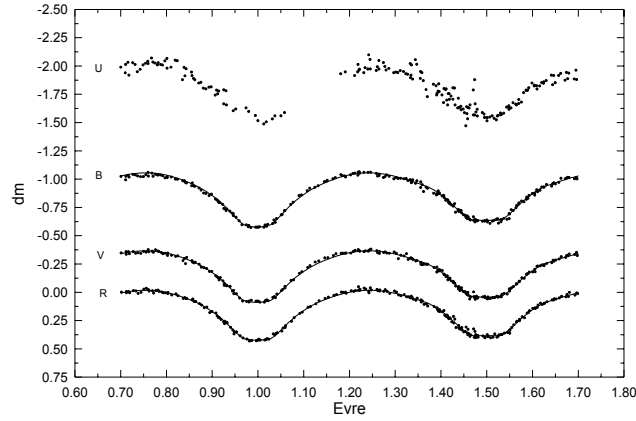
V566 Oph, McLean (1983)'in dikine hız eğrisi analizine kadar, tayfsal ve fotometrik kütle oranı arasında önemli farklılık gösteren klasik örneklerden biri idi. Sistemin ilk tayfsal kütle oranı Heard (1965) tarafından $q_{sp} = 0.34$ olarak verilmiştir. Heard ayrıca sistemin tayf sınıfını F4 V olarak vermiştir. Mochneck ve Doughty (1972), Hutchings ve Hill (1973) ve Nagy (1977) tarafından yapılan fotometrik analizler ise fotometrik kütle oranı için $q_{ptm} = 0.23 - 0.24$ arasında değerler vermiştir. McLean (1983) sistemin yeni ve yüksek yaymalı tayflarını aldı ve çok daha gelişmiş bir indirgeme tekniği (cross-correlation) ile yeni dikine hız eğrilerini elde etti. Onun dikine hız analizi $q_{sp} = 0.24 \pm 0.03$ vermiştir ki, daha önce fotometrik olarak belirlenen değerler ile son derece uyumludur. van Hamme ve Wilson (1985), McLean'ın dikine hız eğrilerini yeniden çözdüler. Çözümlerinde yakınlık ve tutulma etkilerini de dikkate alan van Hamme ve Wilson (1985), kütle oranı için $q_{sp} = 0.216 \pm 0.018$ değerini elde ettiler. Bu sonucu kontrol etmek amacıyla noktasal kütle varsayımı ($\Omega \rightarrow \infty$) ile yeni bir çözüm daha yaptılar ve $q_{sp} = 0.247 \pm 0.017$ değerini elde ettiler. Ayrıca McLean'ın dikine hız eğrileri ile Bookmyer (1976)'nın 1973 B, V ışık eğrilerini eş zamanlı olarak çözen van Hamme ve Wilson (1985), kütle oranı için $q = 0.237 \pm 0.001$ değerini elde ettiler. Bu son değer McLean (1983)'ün verdiği değer ile oldukça uyumludur. Hill ve ark. (1989), sistemin 1985 - 1987 yıllarındaki Reticon gözlemlerine dayanarak yeni dikine hız eğrilerini elde ettiler. Dikine hız eğrilerinin non-Keplerian çözümlerinden $q_{sp} = 0.251 \pm 0.007$ değerini ve Keplerian çözümlerinden de $q_{sp} = 0.266 \pm 0.006$ değerini elde ettiler. Hill ve ark. (1989) sistemin kızıllaşma parametrelerinden yararlanarak tayf türünü F2 ve ortalama etkin sıcaklığını da 6700 K olarak belirlediler.

Sistemin fotoelektrik minimum zamanı gözlemleri 1952 yılında Fresa (1954) ile başlar. Sistemin minimum zamanlarına ilişkin en son derleme Hobart ve ark. (1989) tarafından verilmiştir. Bookmyer (1969) sistemin 1952-1966 yılları arasında 14 yıl süresince sabit dolanma dönemine sahip olduğunu belirtmiştir. Ancak Maddox ve Bookmyer (1981), biri JD 24 40000 (1968 yılı) ve diğeri de JD 24 42600 (1975) civarında olmak üzere iki ani dönem artışı belirlemişlerdir. Hobart ve ark. (1989), ani dönem değışimi için basit ve yetkin bir açıklama olmaması gerçeğinden hareketle tüm minimum zamanlarına parabolik bir fit yaptılar ve sistemin 2.63 s/yy değerinde bir dönem artışı gösterdiğini

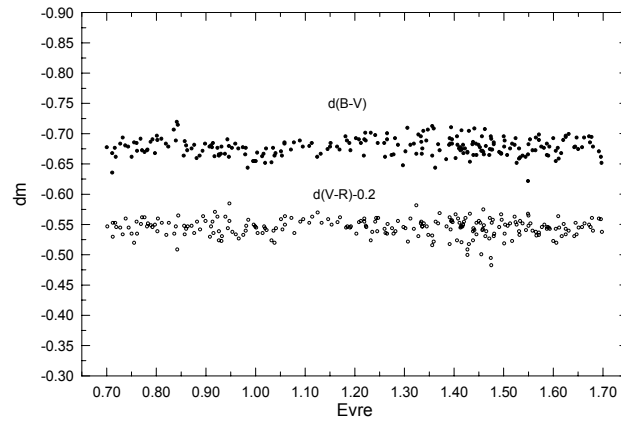
buldular. Son olarak Kalimeris ve ark. (1994), değen çiftlerin dönem değişimi üzerine olan bir makalelerinde sistemin O-C ve dönem değişimi grafiklerini yayınlamışlardır. Kalimeris ve ark., sistemin yörünge döneminin hemen hemen sinüoidal olarak ve yaklaşık 42 yıllık bir dönemle değiştiğini buldular. Lanza ve Rodonò (1999) ise sistemin dönem değişiminden manyetik aktivitenin sorumlu olduğunu varsaymış ve yörünge modülasyon dönemi için 35.6 yıl değerini elde etmişlerdir.

2. Gözlemler

V566 Oph'nin gözlemleri 18-21 Haziran 1997 tarihlerinde (4 gece) TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinin (TUG) 40 cm (F/12.5)'lik teleskopu ve 24 Temmuz 1997 tarihinde Ege Üniversitesi Gözlemevinin (EUO) 48 cm (F/13)'lik teleskopu ile yapılmıştır. Her iki gözleminde de SSP5 fotometresi kullanılmış ve gözlemler TUG'da *U*, *B*, *V*, *R* filtrelerinde EUO'de ise *B*, *V*, *R* filtrelerinde yapılmıştır. *U*, *B*, *V*, *R* filtrelerinin her birinde sırasıyla 201, 232, 234 ve 233 gözlem noktası elde edilmiştir. İndirgenmiş ışık eğrileri Şekil 1'de verilmiştir. Işık eğrilerinin evrelendirilmesi bir sonraki bölümde açıklanmıştır. Aletsel $d(B-V)$ ve $d(V-R)$ renk ölççekleri ise Şekil 2'de verilmiştir. Renk ölççekleri tipik bir W UMa türü sistemin özelliklerini göstermekte ve $d(B-V)$ 'de baş minimum civarındaki hafif bir kızıllaşma dışında hemen hemen hiç bir renk değişimi gözlenmemektedir. Işık eğrilerine ilişkin özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 1. V566 Oph'nin gözlenen ışık eğrileri. Düz çizgiler kuramsal (Model B, bkz. Bölüm 4) ışık eğrileridir.



Şekil 2. V566 Oph'nin gözlenen renk eğrileri.

Çizelge 1. Işık eğrilerine ilişkin parlaklık değerleri

	Max I	Min I	Min II	Min I derinliği	Min II derinliği	Min I-Min II
U	-2.029	-1.505	-1.548	0.524	0.481	0.043
B	-1.046	-0.579	-0.636	0.467	0.410	0.057
V	-0.366	0.088	0.042	0.454	0.408	0.046
R	-0.017	0.422	0.382	0.439	0.399	0.040

3. Dönem analizi

Gözlemler sırasında V566 Oph'ye ilişkin 5 adet minimum zamanı elde edilmiştir. Aynı gecede fakat farklı filtreler ile elde edilen minimum zamanları ortalama alınarak Çizelge 2'de verilmiştir. Minimum zamanları ve hataları Kwee-van Woerden yöntemi (Kwee ve van Woerden, 1956) ile elde edilmiştir. Böylece literatürden topladıklarımızla birlikte, 45 yıllık bir dönemi kapsayan ve toplam 167 fotoelektrik minimum zamanından oluşan bir veri seti elde edilmiş oldu.

Çizelge 2. V566 Oph'nin bu çalışmada elde edilen minimum zamanları.

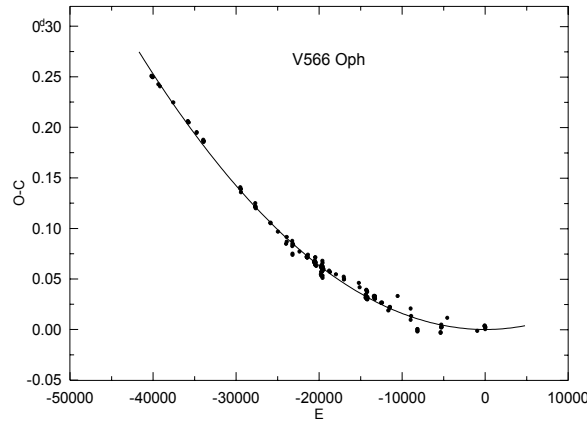
Minimum Zamanı JD 24 00000+	Hata	Filtre
50618.5119	.0005	U,B,V,R
50619.3318	.0008	U,B,V,R
50619.5359	.0005	B,V,R
50621.3793	.0005	U,B,V,R
50654.3552	.0004	B,V,R

Minimum zamanlarına ilk olarak parabolik bir fit yapıldı ve aşağıdaki ışık öğeleri elde edildi:

$$MinI = HJD 2450619.5331 + 0.4096513 E + 1.58 \cdot 10^{-10} E^2 \quad (1)$$

$\pm 12 \quad \pm 1 \quad \pm 3$

Parabolik terim için elde ettiğimiz değer, Hobart ve ark. (1989) tarafından elde edilenden (1.705×10^{-10}) %7 daha küçüktür. (1) eşitliğinin doğrusal kısmı ile hesaplanan O-C değerleri, parabolik fit ile birlikte Şekil 3'de ve gözlemlerin parabolik fitten farkları ise Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi V566 Oph'nin dönem değişimi yalnızca parabolik terim ile temsil edilemez. Sistemde parabolik dönem değişiminden başka, çevrimli ve belki de dönemli bir dönem değişiminin olduğu açıkça görülmektedir.



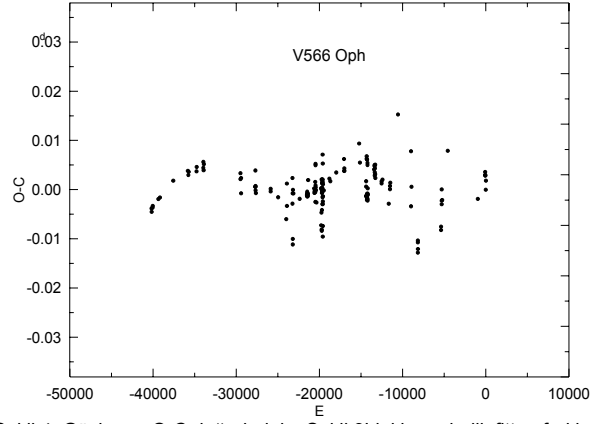
Şekil 3. V566 Oph'nin fotoelektrik minimum zamanlarından elde edilen yörünge döneminin değişimi. O-C farkları (1) eşitliğinin doğrusal kısmı ile hesaplanmıştır.

V566 Oph'nin dönem sorununun incelenmesinin ikinci aşamasında parabolik ve sinüsoidal değişimi birlikte dikkate alarak yeni bir dönem analizi yaptık. Burada bozulmuş sinüsoidal değişim için Irwin (1959) tarafından verilen ışık-zaman fonksiyonunu kullandık. Ancak sinüsoidal değişimin nedeni olarak sistemde görünmeyen bir üçüncü cisimin varlığı gibi başka nedenler de olabileceğini burada belirtmekte yarar görüyoruz. Bizim şimdilik amacımız böylesi bir çevrimsel dönem değişiminin varlığını ve dönemini ortaya koymaktır. Ağırlıklı en küçük kareler ve diferansiyel düzeltme yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te verilmiştir. Sinüsoidal değişimin yarı-genliği ve dönemi sırasıyla A ve P' ile temsil edilmiştir. Çizelge 3'teki öğelerle elde edilen kuramsal O-C eğrisi ile gözlenen O-C'ler Şekil 5'te ve dönem değişimindeki sinüsoidal katkı da Şekil 6'da verilmiştir. Buna göre V566 Oph'nin yörünge dönemi, global olarak 2.39 s/yy'lık bir artış göstermekte fakat dönem artış hızı zamanla değişmektedir.

Işık eğrilerini evrelendirebilmek amacıyla JD 2445863'ten sonraki 23 minimum zamanına doğrusal fit uygulanarak aşağıdaki ışık öğeleri elde edildi:

$$\text{Min } I = \text{HJD } 2450619.5314 + 0.40965009 E .$$

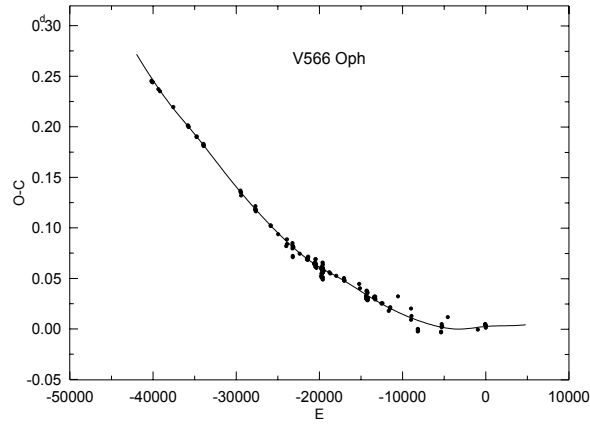
(2)



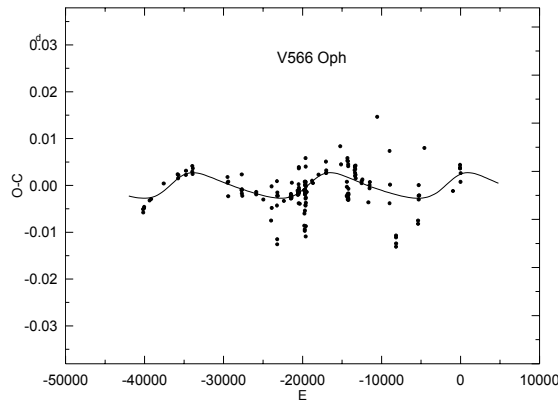
Şekil 4. Gözlenen O-C değerlerinin, Şekil 3'deki parabolik fitten farkları.

Çizelge 3. Parabolik ve sinüsoidal değişimi birlikte dikkate alarak yapılan fit ile elde edilen sonuçlar.

Öge	Değer	Hata
T_0	50619.5323	0.0017
P (gün)	0.4096511	0.0000001
Q (gün/çevrim)	$1.55 \cdot 10^{-10}$	$0.03 \cdot 10^{-10}$
A (gün)	0.0027	0.0005
P' (yıl)	20	1



Şekil 5. V566 Oph'nin gözlenen minimum zamanlarına parabolik ve sinüsoidal fit yapılarak elde edilen O-C diyagramı. Gözlenen O-C değerleri Çizelge 3'te verilen doğrusal ışık ögeleri ile hesaplanmıştır.



Şekil 6. V566 Oph'nin gözlenen dönem değişimindeki sinüsoidal katkı.

4. Fotometrik çözüm

V566 Oph'nin elde edilen ışık eğrileri Wilson-Devinney (WD) programı (Wilson ve Devinney, 1971) ile çözülmüştür. U rengindeki büyük saçılma nedeni ile yalnızca B, V ve R ışık eğrileri eş zamanlı olarak çözülmüştür. Çözümde kullanılacak ışık eğrilerinin görelî ağırlıkları eş zamanlı çözümlerde oldukça önemlidir. Bu amaçla ışık eğrilerinin maksimumlarına (0.14-0.36 ve 0.64-0.84 evre aralıkları) Fourier serileri [$I = I_0 + \sin\theta + \cos\theta + \sin 2\theta + \cos 2\theta$] fit ettik ve bu fitlerin standart sapmalarını ışık eğrilerinin görelî ağırlıkları olarak kullandık. Fourier fit sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Işık eğrilerinin maksimumlarına yapılan Fourier fitlerinin standart sapmaları (ışık eğrilerinin görelî ağırlıkları)

Filtre	Görelî Ağırlık
U	0.039
B	0.012
V	0.011
R	0.009

Sistem aşırı değen olduğundan çözümler bu tür için geçerli olan MOD 3'te yapıldı. Baş yıldızın sıcaklığı F2 tayf türüne uygun olarak 7000 K alındı. Çözümlerde logaritmik kenar kararına yasası kullanıldı. Güneşin kimyasal bollukları ve $\log g = 4.25$ varsayılarak bileşenlerin bolometrik ve tek renk kenar kararına katsayıları Claret (2000)'den alındı. Bileşenlerin bolometrik albedoları ($A_h = A_c$) 0.5 alındı ve senkronize dönme varsayıldı ($F_h = F_c = 1$). Hem karacisim yaklaşımı (Model A) hem de model atmosfer yaklaşımı (Model B) ile çözümler elde edilmiştir. Bileşenlerin çekim kararına üsleri (g), Model A'da van Hamme ve Wilson (1985)'ten alınmışken Model B'de ise serbest bırakılmıştır. Model A'da basit yansıtma kabul edilirken Model B'de bileşenler arasında çoklu yansıtma varsayılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. V566 Oph'un B, V, R ışık eğrilerinin eş zamanlı çözüm sonuçları.

Öge	Model A	Model B
i ($^\circ$)	79.6 ± 0.2	80.6 ± 0.2
$g_h = g_c$	0.399 (kabul)	0.36 ± 0.05
T_h (K)	7000 (kabul)	7000 (kabul)
T_c (K)	6912 ± 6	6907 ± 14
$\Omega_h = \Omega_c$	2.272 ± 0.003	2.288 ± 0.003
q (m_2/m_1)	0.2309 ± 0.0008	0.2395 ± 0.0005
$L_h/(L_h+L_c)$	0.796 ± 0.001 (B)	0.791 ± 0.003 (B)
	0.794 ± 0.001 (V)	0.788 ± 0.002 (V)
	0.794 ± 0.001 (R)	0.787 ± 0.002 (R)
$L_c/(L_h+L_c)$	0.204 (B)	0.209 (B)
	0.206 (V)	0.212 (V)
	0.206 (R)	0.213 (R)
r_h (pole)	0.4845 ± 0.0005	0.4826 ± 0.0006
r_h (side)	0.5273 ± 0.0007	0.5249 ± 0.0009
r_h (back)	0.5534 ± 0.0009	0.5517 ± 0.0011
r_c (pole)	0.252 ± 0.002	0.255 ± 0.001
r_c (side)	0.263 ± 0.002	0.267 ± 0.002
r_c (back)	0.304 ± 0.004	0.309 ± 0.003
Σ	0.0085	0.0087

Model B'nin ögeleri ile hesaplanan kuramsal eğrilerin, gözlenen ışık eğrileri ile uyumu Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5'ten de anlaşılacağı üzere her iki model de hemen hemen aynı sonucu vermektedir. Ancak Model B'de elde edilen kütle oranının $q=0.240$ değeri van Hamme ve Wilson (1985)'nin nokta kaynak varsayımı ile elde ettikleri $q=0.247$ değeri ile oldukça uyumlu ve Hill ve ark. (1989)'nin, tayf çizgilerini yapma profiller ile temsil ederek elde ettikleri dikine hız eğrilerinin çözümünden buldukları $q=0.266$ değerine daha yakın olması bakımından daha anlamlı gözükmektedir.

6. Salt ögeleri

McLean (1983)'in dikine hız eğrileri ile Bookmyer (1976)'in ışık eğrileri, van Hamme ve Wilson (1985) tarafından eş zamanlı olarak çözülmüş ve V566 Oph'nin görelî yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu için $2.79 \pm 0.14 R_\odot$ değeri elde edilmiştir. Bu değer ve Çizelge 5'te verilen fotometrik ögeleri kullanılarak bileşenlerin salt ögeleri hesaplanmış ve Çizelge 6'da verilmiştir. Salt ögelerdeki hataların

büyüklüğü, esas olarak dikine hızların belirlenmesindeki hatalardan kaynaklanmaktadır. Taşma derecesini veren F parametresi (fill-out parameter), Mochnacki ve Doughty (1972) tarafından tanımlanmıştır. F parametresi 1 ile 2 arasında değerler almakta olup, $F=1$ değeri degen sistemlere ve $F=2$ değeri de dış kritik Roche yüzeyine kadar genişlemiş aşırı-degen sistemlere karşılık gelmektedir. V566 Oph sistemi için taşma parametresinin değeri ise $F=1.27$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6. V566 Oph'nin bileşenlerinin salt öğeleri

Öge	Baş Yıldız	Yoldaş Yıldız
Kütle $m (m_{\odot})$	1.41 ± 0.18	0.34 ± 0.08
Yarıçap $R (R_{\odot})$	1.45 ± 0.07	0.78 ± 0.04
Yüzey Çekimi $\log g$ (cgs)	4.26 ± 0.10	4.18 ± 0.10
Etkin sıcaklık T_e (K)	7000 ± 15	6907 ± 15
Bolometrik Salt Parlaklık M_b	3.14 ± 0.10	4.56 ± 0.12
Görel yörüngenin yarı-büyük eksen $A (R_{\odot})$		2.79 ± 0.14

Bileşenlerin elde edilen salt öğeleri dikkate alındığında, baş bileşenin normal yıldızlar için olan kütle-ışıtma bağıntısından çok az sapmasına karşın yoldaş yıldızın kütesine göre aşırı ışıtmalı olduğu ve bu nedenle de oldukça evrimleşmiş olması gerektiği anlaşılmaktadır.

7. Sonuç.

V566 Oph değişen yıldızı, oldukça kısa dönemli ve aşırı degen bir örten çift sistemdir. Baş minimum transit ve yan minimum tam tutulmadır. Baş minimumda örtülen bileşen daha büyük ve daha kütleli olandır. Buna göre V566 Oph örten çifti A-türü bir W UMa sistemidir. Sistemin ortalama tayf türü F2 dir. $\log T_e$ - $\log L$ diagramında, baş yıldız ZAMS ile TAMS arasında yer alırken yoldaş yıldız ZAMS'ın bir miktar altına düşmektedir. Sistem ortak konvektif zarf ile çevrelenmiş olup, sıcaklık gradiyenti için en uygun çekim kararma üssü yaklaşık olarak $g=0.37$ dir. Bileşenler arasındaki sıcaklık farkının ancak 100 K kadar olması nedeniyle, ortak zarf hemen hemen ısıl dengeye ulaşmıştır.

Teşekkür

V566 Oph örten çift sisteminin gözlemlerini yapmamız için olanak sağlayan TUG ve EUO yönetimlerine içten teşekkürlerimizi sunuyoruz.

Kaynaklar

- Binnendijk, L.: 1959, A. J. 64, 65.
 Binnendijk, L.: 1970, Vistas in Astr. 12, 217.
 Bookmyer, B. B.: 1969, A. J. 74, 1197.
 Bookmyer, B. B.: 1976, Pub. A. S. P. 88, 473
 Eaton, J. A.: 1986, Acta A. 36, 275.
 Fresa, A.: 1954, Mem. Soc. Astr. Ital. 25, No.2; Contr. Astr. Napoli (Copodimonte) Serie II, 4, No.14.
 Heard, J. F.: 1965, Roy. Astron. Soc. Canada J. 59, 258.
 Hill, G., Fisher, W. A., Holmgren, D.: 1989, A. A. 218, 152.
 Hobart, M. A., Gómez, T., Peña, J. H.: 1989, Rev. Mexicana Astron. Astrof. 17, 39.
 Hoffmeister, C.: 1935, A.N. 225, 401.
 Hutchings, J. B., Hill, G.: 1973, A. J. 179, 539.
 Irwin, J. B.: 1959, A. J. 64, 149.
 Kalimeris, A., Rovithis-Livaniou, H., Rovithis, P.: 1994, A. A. 282, 775.
 Kwee, K. K., van Woerden, H.: 1956, B. A. N. 12, 327.
 Lafta, S. J., Grainger, J. F.: 1985, Ap. Space Sci. 114, 23.
 Lanza, A. F., Rodonò, M.: 1999, A. A. 349, 887.
 Maddox, W. C., Bookmyer, B. B.: 1981, Pub. A. S. P. 93, 230.
 McLean, B. J.: 1983, Mon. N. R. A. S. 204, 817.
 Mochnacki, S. W., Doughty, N. A.: 1972, Mon. N. R. A. S. 156, 51.
 Nagy, T. A.: 1977, Pub. A. S. P. 89, 366.
 Niarchos, P. G., Rovithis-Livaniou, H., Rovithis, P.: 1993, Ap. Space Sci. 203, 197.
 van Hamme, W., Wilson, R. E.: 1985, A. A. 152, 25.
 Wilson, R. E., Devinney, E. J.: 1971, Ap. J., 166, 605.