

CYG OB2 OYMAĞI ÜYESİ ÇOK BÜYÜK KÜTLELİ ETKİLEŞEN BİR ÇİFT SİSTEM: V729 CYG

Bülent YAŞARSOY¹, Kadri YAKUT¹

¹ Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova, İzmir
eposta: bulent.yasarsoy@gmail.com

Özet: V729 Cyg (Cygnus OB2-5=BD+40°4220, P=6.6 gün) örten çift yıldız sistemi bize yakın ($d < 1.5$ kpc) uzaklıkta bulunan büyük kütleli yıldızları barındıran Cygnus OB2 oymağı üyesi büyük kütleli etkileşen bir çift sistemdir. V729 Cyg'nin ışık değişimleri Ağustos 2010 ile Ekim 2011 arasında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) 60 cm'lik teleskobu ile FLI CCD ve Bessel UBVRİ süzgeçleri kullanılarak elde edilmiş, ayrıca Ege Üniversitesi Gözlemevi (EUG) 40 cm'lik teleskobu ve Apogee U47 CCD ve Bessel BVRI süzgeçleri kullanılarak 71 gece gözlemi yapılmıştır. V729 Cyg'nin dikine hız ve beş renk ışık eğrisi eşzamanlı olarak analiz edildi ve fiziksel parametreleri türetilmiştir.

1. Giriş

Gökadamız içerisinde bulunan yıldız oymakları içerisinde büyük kütleli yıldızları barındıran Cygnus OB2 oymağı bize yakın oymaklardan birisidir ($d < 1.5$ kpc). Cygnus OB2 oymağı yıldız oluşum bölgesi Cygnus X ile ilişkilendirilmektedir. Oymak içerisinde çok sayıda O, B ve Wolf-Rayet yıldızları bulunmaktadır. Oymağın toplam kütlesi yaklaşık olarak $30.000 M_{\odot}$ olarak verilmektedir (Wright ve ark., 2011). Kümenin yaşı 1-10 Myıl olarak tahmin edilmektedir. Farklı araştırmacılar kümenin yaşı hakkında farklı değerler vermektedir. Massey ve ark. (1995) yaptığı çalışmalardan 1-4 yıl olarak, Wright ve ark. (2010) ise 3.5-5.3 Myıl olarak hesaplamışlardır. Bugüne kadar oymak elektromanyetik tayfin her bölgesinde farklı araştırmacılar tarafından çalışılmıştır.

Oymağın uzaklığı farklı araştırmacılar ve farklı yöntemler kullanılarak çalışıldığından farklılıklar göstermektedir. Kiminki ve ark. (2007) 146 OB sisteminin analizinden görsel artık (A_v) değerini 5.4 kadir olarak hesaplayarak uzaklık modülünü 11.3 kadir olarak belirlemişlerdir. Linder ve ark. (2009) cygnus OB2-5 sisteminin fotometrik çalışmalarının sonuçlarını kullanarak oymağın uzaklığını 925 (25) pc olarak belirlemişlerdir. V729 Cyg (Cygnus OB2-5=BD+40°4220, P=6.6 gün) Cygnus OB2 oymağının bir üyesi ve büyük kütleli sıcak değen bir çift yıldızdır. 1948 yılında Wilson tarafından keşfedildiğinden bu yana birçok çalışmada ele alınmıştır (Wilson & Abt 1951, Hall 1974, Bohannan & Conti 1976, Leung & Schneider 1978, Vreux 1985, Rauw ve ark. 1999, Linder ve ark. 2009). V729 Cyg çift yıldız sistemini oluşturan bileşen yıldızlar iki süperdev yıldızdan oluşmaktadır. Son yıllarda Kennedy ve ark. (2010) dolaylı yollardan elde edilmiş kanıtlarla V729 Cyg'nin 6.7 yıl yörünge dönemi olan üçüncü bileşeninin olduğunu bulmuştur.

Sistemin UBV değişimi Hall (1974) tarafından elde edilmiştir. Hall tarafından elde edilen ışık değişimi Wilson-Devinney kodu (Wilson ve Devinney 1971, bundan sonra W-D kodu olarak gösterilecektir.) kullanılarak Leung ve Schneider (1978) tarafından sistemin

yörünge ve fiziksel parametreleri elde edilmiştir. Bileşenlerin kütleleri $M_1=58.7\pm 9.1 M_\odot$ ve $M_2=13.7\pm 6.3 M_\odot$ olarak hesaplanmıştır.

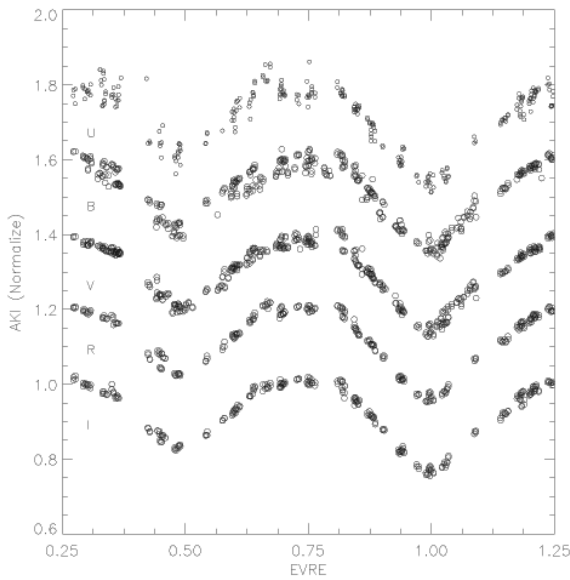
Rauw ve ark. (1999) bileşenlerin dikine hızlarını ölçmüşler ve yıldız rüzgarları etkileşimlerinin neden olduğu salma çizgi profilini çalışmışlardır. Bileşenlerin kütle fonksiyonlarını $M_1 \sin^3 i = 24 M_\odot$ ve $M_2 \sin^3 i = 6.9 M_\odot$ ve yıldız rüzgarları ile kütle kaybı oranını da $dM_1/dt = 5.0 \times 10^{-6} M_\odot/\text{yıl}$ ve $dM_2/dt = 5.5 \times 10^{-6} M_\odot/\text{yıl}$ hesaplamışlardır. Bileşenlerin tayf türlerini O6.5-7 Ia + Ofpe/WN9 olarak

2. Yeni Gözlemler ve Işık Eğrisi Analizi

V729 Cyg'nin ışık değişimi Ağustos 2010 ve Ekim 2011 arasında TUG 60 cm'lik teleskobu ile FLI CCD ve Bessel UBVRİ süzgeçleri kullanılarak, Haziran – Temmuz 2012 arasında EUG 40 cm'lik teleskobu ile Apogee U47 CCD ve Bessel BVRI süzgeçleri kullanılarak toplam 71 gece gözlemi yapılarak elde edilmiştir. Sisteme ait yeni minimum zamanları EUG 40 cm'lik teleskobu ile elde edilmiştir. Literatürde daha önce kullanılan ve test edilen mukayese yıldızları GSC 3161-01269 ve GSC 3161-01384 kullanılmıştır.

Veri indirgemesinde IRAF (DIGIPHOT/APPHOT) paketi kullanılmıştır. Herbir görüntüden standart bias görüntüsü ve dark görüntüsü çıkartılmış ve düzalan (flat) görüntüsü bölünmüş daha sonrasında açıklık fotometresi ile indirgemesi yapılmıştır. İndirgeme boyunca her bir gece ve her bir görüntü ayrı ayrı çalışılmıştır. U, B, V, R ve I süzgeçleri için standart sapma sırasıyla $0^m.030$, $0^m.010$, $0^m.010$, $0^m.008$ ve $0^m.009$ olarak bulunmuştur. Sistemin yeni elde edilen gözlemleri Şekil 1'de UBVRİ renkleri ayrı ayrı olarak Evre-Akı grafiğinde gösterilmiştir. İndirgeme boyunca kullanılan ışık öğeleri Denklem (1) de verilmiştir.

$$\text{Min I} = 24\ 40413.821 (38) + 6.597887 (28) \times E \dots (1)$$



Şekil 1. V729 Cyg sistemine ilişkin UBVRİ süzgeçlerinde elde edilen yeni ışık değişimleri. İyi bir görüntü için R, V, B, ve U süzgeçleri sabit bir sayı eklenerek ötelenmiştir.

Işık değişimi analizi sırasında yeni elde edilen ışık eğrileri ile literatürde Hall (1974) ve Linder (2009) tarafından elde edilmiş ışık eğrileri de ortak çözüm sırasında kullanılmıştır. Ayrıca Rauw (1999) tarafından elde edilen dikine hız eğrileri W-D kodu temelli PHOEBE (Prsa ve Zwitter, 2005) programı kullanılarak çözümlenmeleri yapılmıştır.

Çözümleme boyunca birinci bileşenin, kenar kararması (van Hamme, 1993), albedolar (Rucinski, 1969) ve çekim kararması (von Zeipel, 1924) sabit parametreler olarak seçilmiştir. Birinci bileşenin sıcaklığı Rauw ve ark. (1999) tarafından yapılan tayf çalışmasından 36000 K ve ayrıca O9I tayf türü için uygun değer olarak kabul edilen 32000 K seçilmiştir (Cox 2000). Ayrıca yaptığımız modeller sıcaklığın 28000 K civarında da olabileceğini göstermiştir. Bu nedenle çözüm sırasında farklı sıcaklıklar ele alınarak yapılmıştır. Çözüm sırasında minimum zamanı T_0 , yörünge dönemi P , yörünge eğikliği i , kütle oranı q , ikinci bileşenin sıcaklığı T_2 , yüzey potansiyelleri $\Omega_1 = \Omega_2$, ışıtmalar $L(U)$, $L(B)$, $L(V)$, $L(R)$, $L(I)$, $L_I(U1)$, $L_I(B1)$, $L_I(V1)$ serbest parametreler olarak seçilmiştir. Sonuçlar Çizelge 1’de özetlenmiştir. Birinci bileşenin ışık eğrisine tüm süzgeçlerde katkısı yaklaşık %85 olmaktadır.

Çizelge 1. V729 Cyg sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları. Çözümler farklı sıcaklık değerleri için yapılmıştır.

Parametre	$T_1 = 28000 \text{ K}$	$T_1 = 32000 \text{ K}$	$T_1 = 36000 \text{ K}$
T_0	24 40413.799(5)	24 40413.799(5)	24 40413.799(5)
P (gün)	6.597983(3)	6.597981(2)	6.597981(2)
Tayfsal Parametreler			
K_1	76.4 (2.3)	77.0 (2.4)	77.0 (2.4)
V_{r1}	-35.10 (4.3)	-35.10 (4.3)	-35.10 (4.3)
K_2	272.8 (8.3)	274.9 (8.4)	275.1 (8.4)
V_{r2}	-67.8 (7.2)	-67.8 (7.2)	-67.8 (7.2)
Geometrik Parametreler			
i (°)	63.7 (1)	64.6 (1)	64.7 (1)
a	50.78 (1.8)	50.78 (1.8)	50.78 (1.8)
q	0.280 (12)	0.280 (12)	0.280 (12)
$\Omega_{1,2}$	2.382 (6)	2.382 (6)	2.392 (7)
Doldurma oranı (%)	22 (2)	22 (2)	17 (3)
Birinci bileşenin kesirsel yarıçapı			
r_1 pole	0.4697	0.4699	0.4676
r_1 side	0.5082	0.5085	0.5053
r_1 back	0.5357	0.5361	0.5321
\bar{r}_1	0.5039 (4)	0.5042 (5)	0.5010 (6)
İkinci bileşenin kesirsel yarıçapı			
r_2 pole	0.2652	0.2626	0.2626
r_2 side	0.2773	0.2740	0.2740
r_2 back	0.3177	0.3110	0.3110
\bar{r}_2	0.2859 (4)	0.2862 (6)	0.2826 (6)
Işınım parametreleri			
T_2 (K)	21263 (365)	24253 (420)	26865 (480)
Albedo ($A_1 = A_2$)	1.0	1.0	1.0
Çekim kararması ($g_1 = g_2$)	1.0	1.0	1.0
İşıtma Oranı $L1/Lt$(%)			
U	86	86	86
B	84	85	84
V	84	85	84
R	84	85	84
I	83	84	85
UH	86	85	84
BH	84	84	84
VH	84	83	83
C1	84	83	83
C2	84	83	83
CIV	84	82	83
HeI	84	84	84
HeII	84	83	83

3. Tutulma Zamanları ve Dönem Değişim Analizi

V729 Cyg gibi uzun dönemli çift yıldızların minimum zamanlarını elde etmek daha zordur. Bunun nedeni sistemin uzun dönemli olmasından dolayı gözlem sezonu içerisinde daha az minimum zamanlarının gözlenebilecek zaman aralığında olmasındandır. Bundan dolayı V729 Cyg'nin geçen yüzyılda elde edilmiş minimum zamanları diğer tür çift yıldızlar kadar çok fazla sayıda değildir. Gözlenen dönem değişimlerinin olası nedenlerini çalışmanın bir yolu sistemin O-C (O, Gözlenen; C, Hesaplanan) fark değişimlerini çalışmaktır. Bu değişim yörünge dönemindeki değişimler hakkında bilgi vermektedir. Tarafımızdan elde edilen minimum zamanları ve literatürden topladığımız minimum zamanları Çizelge 2'de verilmiştir. O-C değişimi kolları yukarı bakan parabolik bir değişim sergilemektedir. Bu değişim yörünge döneminin arttığını göstermektedir. Bunun nedeni ise yarı ayrık sistemlerde düşük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşen doğru madde aktarımı ile açıklanırken; ayrık sistemlerde dönem artışı bir ya da iki bileşenin yıldız rüzgarları ile kütle kaybı ile de açıklanabilmektedir. Ayrıca çift sistemin üçüncü cisim ile bir yörüngesi olması durumunda uzun dönemli yüksek salınımlı değişimlerin olması beklenmektedir.

Çizelge 2. V729 Cyg sistemine ilişkin toplanan minimum zamanları. Bu çizelgede referanslar şu şekildedir: 1- Sazanov (1961) (1975); 2- Hall (1974); 3- Bush et al. (1964); 4- Romano (1969); 5- Hipparcos; 6- Heubscher & Walter (2007); 7- bu çalışma

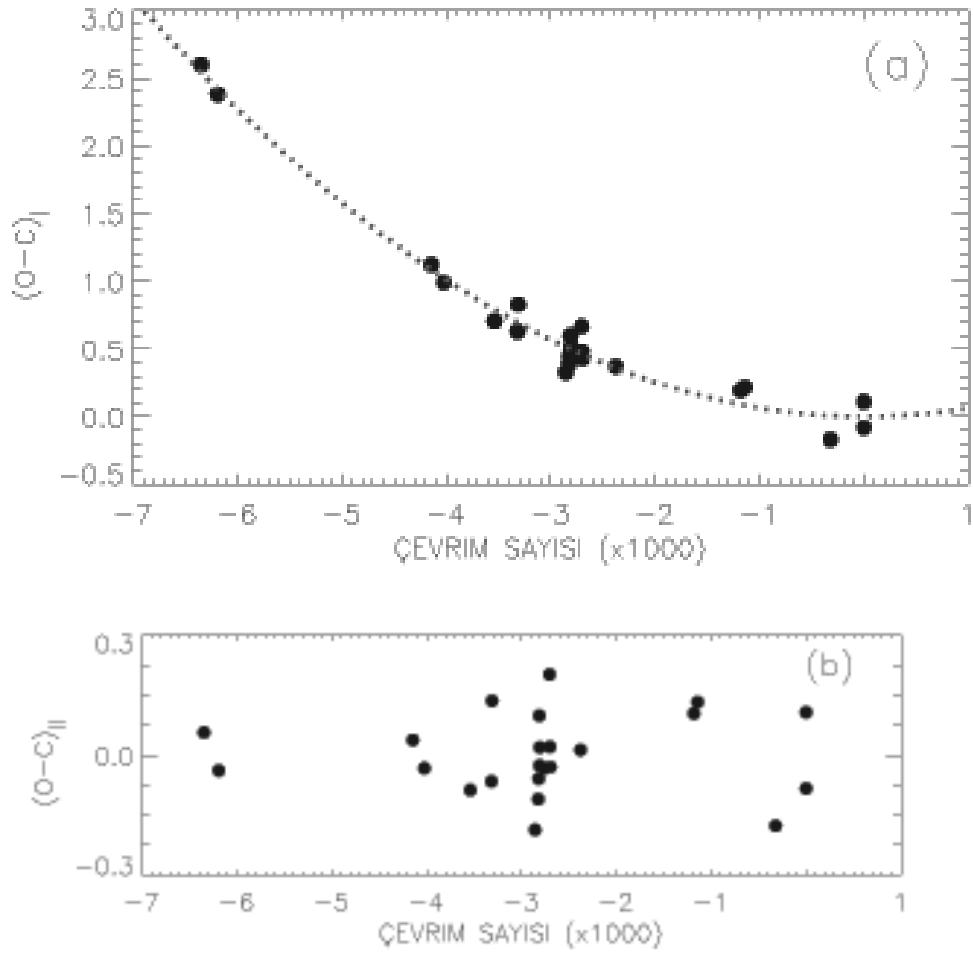
HJD Min	Kaynak	HJD Min	Kaynak
14228.269	1	37563.530	4
15257.350	1	37583.369	3
28749.154	1	37959.387	3
29553.985	1	38256.520	3
32747.167	2	38289.327	3
34218.463	2	38322.265	3
34264.849	1	40413.796	2
37253.276	3	48301.616	5
37464.480	4	48555.665	5
37497.520	4	53985.493	6
37550.460	4	56100.454(4)	7
		56103.562(3)	7

O-C değişimine ağırlıklı en küçük kareler yöntemi uygulandığında elde edilen kuadratik çözüm;

$$HJD = HJD_0 + P_0E + \frac{1}{2} dP/dE E^2$$

$$= 24\,56103.646(38) + 6.598074(12) \times E + 6.3(6) \times 10^{-8} \times E^2 \quad (2)$$

Hesaplanan farklar Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu sonuçlar yörünge dönem değişimini $P/dP/dt \sim 9.4 \times 10^5$ olarak göstermektedir. Kennedy ve ark. (2010) tarafından önerilen 6.7 yıllık üçüncü cisim dönemi tarafımızdan elde edilememiştir. Bunun nedeni muhtemelen gözlenen minimum zamanların hem yeterli olmaması hem de gerektiği kadar hasas olmamasıdır.



Şekil 2. V729 Cyg sistemine ilişkin dönem değişim analizi sonuç grafikleri. Üst panel sistemin bileşenleri arasında bir madde transferi olduğuna işaret etmektedir. Alt panel parabolik değişim çıkarıldıktan sonra kalan farkları göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

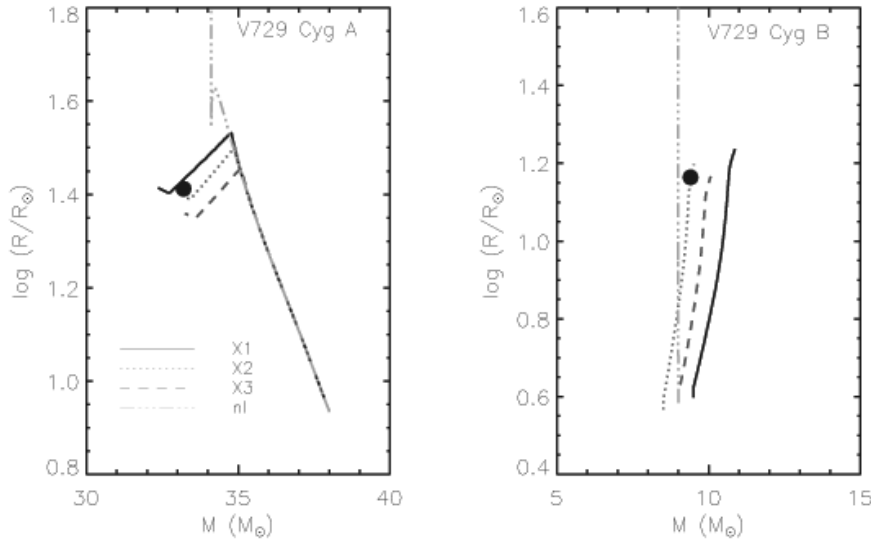
Sistemin yörünge öğeleri elde edildikten sonra bu değerler kullanılarak sistemin fiziksel öğeleri elde edilmiştir. Hesaplamalar sırasında Güneş'in sıcaklığı 5777 K ve bolometrik parlaklığı $4^m.732$ olarak alınmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda bileşenlerin kütleleri $31.6 M_{\odot}$ ve $8.8 M_{\odot}$ olarak elde edilmiştir. Sisteme ait elde edilen fiziksel öğeler Çizelge 3'de verilmiştir.

Ön tür sistemler bilindiği gibi özellikle yıldız rüzgarları ile önemli miktarda maddesini kaybeder. Bu kayıp miktarı onların evrimine doğrudan etkir. Şekil 3'de V729 Cyg sisteminin evrim modeli gösterilmiştir. Bileşen yıldızların evrimi modellenirken onların farklı başlangıç koşulları dikkate alındı. Yapılan onlarca model içerisinde en uygun üç model şekilde gösterilmiştir. Modeller P.P. Eggleton tarafından geliştirilen Cambridge STARS kodunun etkileşen çift sistemler için güncellenmiş versiyonu kullanıldı.

Çizelge 3. Baş (Ola) ve yoldaş (O/WN9) yıldızın fiziksel öğeleri.

$T_1=36000K$			
Parametre	Birim	A	B
Kütle (M)	M_{\odot}	32(3)	8.8(3)
Yarıçap (R)	R_{\odot}	25.4(1.1)	14.4(1.0)
Sıcaklık (T_{eff})	K	36000	26865(480)
Işıtma ($\log L$)	L_{\odot}	5.989(65)	4.984(96)
Yüzeçekimi ($\log g$)	CGS	3.13(2)	3.07(2)
Mutlakbol.Parlaklık (M_b)	mag	-10.24	-7.28
Mutlakgör.Parlaklık (M_v)	mag	-6.77	-5.02
Bileşenlerarası ayrıklık (a)	R_{\odot}	50.8(1.8)	
Uzaklık(d)	pc	1021(22)	

Elde edilen sonuç modellere göre sistemi oluşturan yıldızların başlangıçta $38 M_{\odot}$ $8.5 M_{\odot}$ ile hayatlarına başlamamış olmaları ve yörünge dönemlerinin ise 8 gün kadar olması öngörülmektedir. Her iki bileşen yıldız rüzgarları ile kütle kaybettikten sonra baş bileşen kendi Roche lobunu doldurmuş ve yan bileşene madde aktarmaya başlamıştır. Bu aşamada yan bileşen, hem rüzgarlar ile kütle kayıp etmeye devam etmiş hem de baş bileşenden kütle almaya başlamıştır. Baş bileşen kütle kaybederek yan bileşen ise kütle alarak kütleleri gözlenen bugünkü değerlere ulaşmıştır.



Şekil 3. Erken tür degen bir sistem olan V729 Cyg'nin evriminin Kütle-Yarıçap panelinde gösterimi. Burada onlarca model yapılmış fakat en uygun üç tanesi konmuştur. Burada X1 modeli $38 M_{\odot} + 8.5 M_{\odot}$, 8 gün başlangıç koşullarını; X2 modeli $38 M_{\odot} + 9 M_{\odot}$, 7 gün ve X3 modeli ise $38 M_{\odot} + 9.5 M_{\odot}$, 9 gün başlangıç koşullarını göstermektedir.

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK 111T270 nolu proje kapsamında desteklenmektedir.

5. Kaynaklar

- Bohannon B., Conti P. S., 1976, ApJ, 204, 797
Cox A. N., 2000, Allen's astrophysical quantities, 4th ed. Publisher: New York: AIP Press; Springer
Hall D. S., 1974, The O9+Of eclipsing binary V729 Cygni in Cygnus OB2, AcA, 24, 69
Hubscher, J., & Walter, F. 2007, IBVS 5761
Kennedy M., Dougherty S. M., Fink A., Williams P. M., 2010, ApJ, 709, 632
Kiminki D. C., et al., 2007, ApJ, 664, 1102
Leung K.-C., Schneider D. P., 1978, ApJ, 224, 565
Linder N., Rauw G., Manfroid J., Damerdjı Y., De Becker M., Eenens P., Royer P., Vreux J.-M., 2009, A&A, 495, 231
Massey P., Johnson K. E., Degioia-Eastwood K. 1995, ApJ, 454, 151
Prsa, A., ve Zwitter, T. 2005, ApJ, 628, 426
Rauw G., Vreux J.-M., Bohannon B., 1999, ApJ, 517, 416
Rucinski, S. M. 1969, Acta Astron. 19, 245
van Hamme, W. 1993, AJ, 106, 2096
von Zeipel, H. 1924, MNRAS, 84, 665
Vreux, J. M., 1985, A&A, 143, 209
Wilson, O. C., Abt A., 1951, ApJ, 114, 477
Wilson, O. C., 1948, PASP, 60, 385
Wilson, R.E., Devinney, E.J. 1971, ApJ, 166, 605
Wright, N. J., Drake J. J., Drew J. E., Vink J. S., 2010, ApJ, 713, 871
Wright N. J., Drake J. J., Drew J. E., Vink J. S., 2011, arXiv, arXiv: 1103.0778, v1
Yakut, K., & Eggleton, P. P. 2005, ApJ, 629, 1055

