

질량비가 작은 접촉쌍성 FP Boo의 CCD 측광관측 - IV

오규동^{1†}, 이우백²

¹전남대학교 지구과학교육과

²한국천문연구원

CCD Photometry of Low Mass Ratio Contact Binary FP Boo - IV

Kyu-Dong Oh^{1†} and Woo-Baik Lee²

¹Department of Earth Science Education, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

²Korea Astronomy & Space Science Institute, Daejeon 305-348, Korea

E-mail: ohkd@chonnam.ac.kr

(Received February 9, 2009; Accepted February 12, 2009)

요 약

질량비가 작은 접촉쌍성 FP Boo를 3색(B,V,R) CCD 측광관측하여 새로운 광도곡선을 얻었으며, Rucinski et al.(2005)의 시선속도곡선과 함께 Wilson-Devinney 프로그램에 적용하여 FP Boo의 새로운 측광학적 해와 절대물리량을 구하였다. FP Boo를 포함한 24개의 질량비가 작은 접촉쌍성의 H-R도로부터 FP Boo의 진화 상태도 일반적인 질량비가 작은 접촉쌍성의 진화 상태와 일치하는 위치에 놓이고 있음을 다시 확인하였다. 이번 관측을 통하여 얻은 우리의 광도곡선에서는 작지만 약간의 비대칭성을 보였다.

Abstract

We present new B, V, and R CCD photometric light curves for the low mass ratio contact binary FP Boo. A new photometric solution and absolute physical dimensions of the system were derived by applying the Wilson-Devinney program to our observed light curves and to previously published Rucinski et al.'s radial velocity curves. From the H-R diagram of 24 low mass ratio contact binary system including FP Boo, the evolutionary stage of FP Boo was found to coincide with those of the general low mass ratio contact binary systems. The light curves obtained in this season show a small asymmetry in their shapes.

Keywords: low mass ratio contact binary, binary solution, evolution of binary stars

1. 서 론

FP Boo(BD +43°2523, HIP 76970, GSC 03059-00507, $V=10.^m21$)는 Hipparcos Astrometry Satellite(ESA 1997)에 의하여 주기가 0.640487일인 W UMa형 식쌍성으로 발견되었다. 특별히 FP Boo는 지금까지 알려진 질량비가 매우 작은 접촉쌍성들 가운데 5번째로 작은 질량비를 갖는 접촉쌍성으로 알려지고 있다(Arbutina 2007). Selam(2004)은 처음으로 Hipparcos Astrometry Satellite의

[†]corresponding author

표 1. FP Boo의 관측된 극심시각.

HJD(2454000.0+)	Min. Type	HJD(2454000.0+)	Min. Type
223.7758±0.0007	I	224.7348±0.0016	II

측광자료를 Lucy(1968)의 “contact model”을 기본으로 하는 Rucinski(1993)의 WUMA code 방법을 이용하여 이 별의 궤도요소를 얻었다. Selam(2004)에 의하여 얻어진 측광질량비, $q_{ph} = 0.1$ 로서 Rucinski et al.(2005)의 분광질량비, $q_{sp} = 0.106 \pm 0.005$ 와 매우 비슷한 값을 얻었다. FP Boo의 분광형은 Hipparcos database와 SIMBAD 자료에서는 A5로 주어졌으며, Tycho-2 목록에서는 F2V로 주어졌으나 Rucinski et al.(2005)의 분광관측 결과에 따르면 이 별의 분광형은 F0V이며 W UMa형 가운데 A형에 속한다고 발표하였다. 한편, Gazeas et al.(2006)는 4색(B,V,R,I)의 CCD 측광관측으로부터 얻은 광도곡선과 Rucinski et al.(2005)의 분광관측에 따른 시선속도곡선을 WD 프로그램(Wilson & Devinney 1971, Wilson & van Hamme 2004)에 적용하여 이 별의 해와 함께 질량, 반경과 광도를 발표하였다. 이들이 발표한 FP Boo의 광도곡선에서는 비대칭성이 없다고 하였다.

이번 연구는 질량비가 작은 접촉쌍성에 대한 물리적 특성과 그 진화 상태를 이해하기 위한 연속적인 연구(오규동 등 2004, 2005, 이우백 등 2006)의 하나로서 FP Boo를 CCD 측광 관측하여 Rucinski et al.(2005)의 분광관측 결과와 함께 WD 프로그램을 이용하여 이 별의 새로운 해를 구하였으며, 그 결과와 최근에 발표된 Gazeas et al.(2006)의 결과와 비교하였다.

2. CCD 측광관측

질량비가 작은 접촉쌍성 FP Boo를 2007년 4월 16일부터 5월 3일까지 4일간 초점비 $f/7.5$ 인 레몬산 1m 망원경과 2K CCD로 측광 관측하여 3색(B,V,R)의 광도곡선을 얻었다. 관측에 사용된 비교성과 검토성은 각각 GSC 03059-00419와 GSC 03059-00506로서 관측 오차로서 검토성에 대한 비교성의 표준편차는 각각 ± 0.012 (B), ± 0.008 (V), ± 0.016 (R)이며 관측 자료의 전 처리 과정은 IRAF 패키지를 이용하였다. 그 결과 관측점은 379(B), 374(V), 379(R)을 얻었다.

그림 1은 CCD 측광 관측된 FP Boo의 3색(B,V,R)의 광도곡선으로서 이번 관측의 주극심시각을 이용하여 얻은 새로운 광도요소를 사용하여 위상을 구하였다.

$$Min.I = HJD2454223.7758 + 0.640487E. \quad (1)$$

표 1은 이번 관측으로부터 얻은 주극심시각 1점과 부극심시각 1점으로서 Kwee & van Woerden(1956)방법을 이용하여 극심시각을 구하였으며, 표 1의 극심시각은 B,V,R 필터별로 구한 각각의 극심시각의 평균치이며 그 표준편차로서 오차를 정하였다.

3. FP Boo의 궤도요소와 해

FP Boo의 3색(B,V,R) CCD 측광에 의한 새로운 광도곡선과 Rucinski et al.(2005)의 시선속도곡선을 WD 프로그램의 mode 3을 적용하여 분석하였다. 먼저 관측된 광도곡선을 WD 프로그램에 적용하기 위하여 3색(B,V,R)의 Δm 의 관측치에 각각 $1.^m71$, $1.^m17$ 와 $0.^m87$ 을 더하여 규격화 시켰으며 초

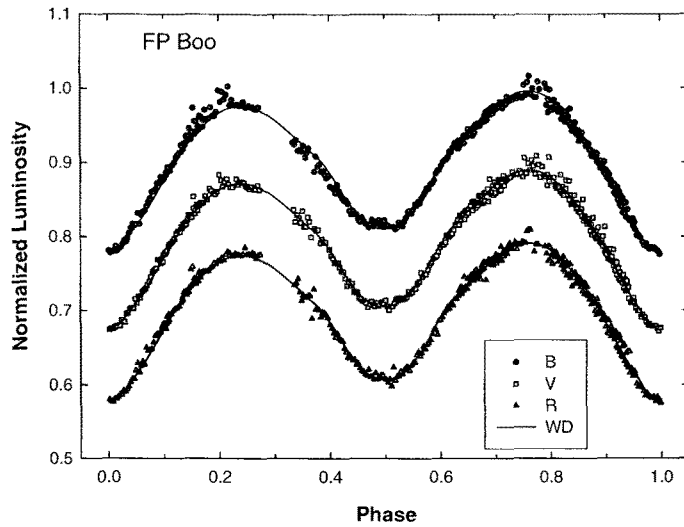


그림 1. FP Boo의 3색(B,V,R)의 관측된 광도곡선과 WD모델에 의한 이론적인 광도곡선(실선).

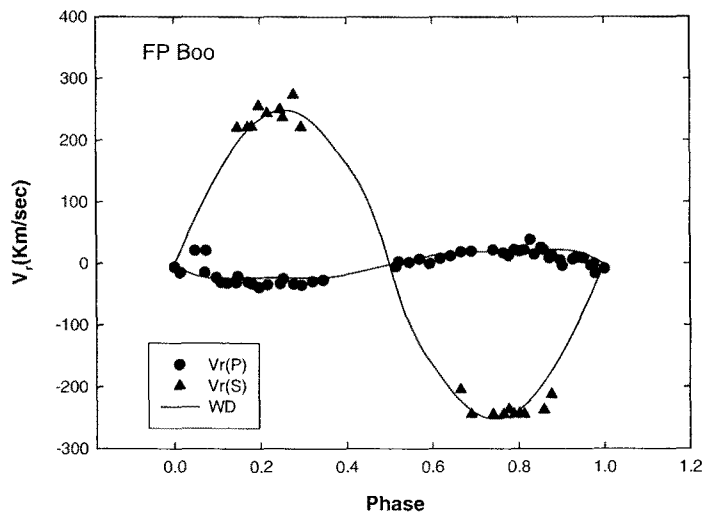


그림 2. FP Boo의 시선속도곡선과 WD모델에 의한 이론적인 시선속도곡선(실선).

기의 입력값으로 고정시킨 인자와 그 값은 다음과 같다. 주성의 온도(T_1)는 분광형이 F0V(Rucinski et al. 2005)로서 Harmanec(1988)으로부터 구하여 7160K로 고정하였으며, 중력감광계수($g_1 = g_2$)와 복사반사도($A_1 = A_2$)는 주성과 반성을 대류대기로 가정하여 모두 0.5로 고정하였다. 그런데, de Jager

표 2. FP Boo의 궤도요소와 해.

Element	This paper	Gazeas et al.(2006)
$a(R_o)$	3.895 ± 0.010	
V_o (km/sec)	-4.50 ± 0.003	
i (degree)	67.43 ± 0.78	68.8 ± 0.2
q	0.0985 ± 0.0011	0.096
T_1 (K)	7160	6980
T_2 (K)	6817 ± 87	6456 ± 14
$\Omega_1 = \Omega_2$	1.9289 ± 0.0047	1.922 ± 0.012
L_1 (B)	11.1932 ± 0.0748	11.386 ± 0.024
L_1 (V)	11.0587 ± 0.0634	11.365 ± 0.021
L_1 (R)	11.0354 ± 0.0572	11.262 ± 0.022
L_1 (I)		11.207 ± 0.022
L_2 (B)	1.1731	1.181
L_2 (V)	1.2095	1.202
L_2 (R)	1.2353	1.304
L_2 (I)		1.359
r_1 (pole)	0.5428 ± 0.0009	0.5442 ± 0.0002
r_1 (side)	0.6094 ± 0.0014	0.6115 ± 0.0003
r_1 (back)	0.6294 ± 0.0014	0.6311 ± 0.0004
r_2 (pole)	0.1982 ± 0.0058	0.1958 ± 0.0003
r_2 (side)	0.2073 ± 0.0068	0.2048 ± 0.0003
r_2 (back)	0.2504 ± 0.0176	0.2469 ± 0.0007
$g_1 = g_2$	0.5	0.32
$x_1 = x_2$ (B)	0.831 ± 0.037	
$x_1 = x_2$ (V)	0.854 ± 0.040	
$x_1 = x_2$ (R)	0.832 ± 0.043	
x_1 (bol) = x_2 (bol)	0.259	
y_1 (bol) = y_2 (bol)	0.240	
Spot Φ	90.0	none
Spot Θ	270.40 ± 0.10	none
Spot r_s	10.0	none
SpotTF	0.77 ± 0.01	none

$$f = (\Omega_{in} - \Omega) / (\Omega_{in} - \Omega_{out}) = 0.400$$

The subscripts 1 and 2 refer to the primary and secondary stars, respectively.

& Nieuwenhuijzen(1987)에서는 분광형이 F0V에서 온도가 7310K로 주어졌다. 따라서 FP Boo의 경우 대류대기와 복사대기의 경계로서 이 별이 W UMa형의 근접쌍성으로서 반성의 온도가 주성의 온도보다 더 낮은 것도 함께 고려하여 두 별을 모두 대류대기로 가정하였다. 주연감광계수($x_1 = x_2$)와 복사주연감광계수 $x_1(bolo) = x_2(bolo)$, $y_1(bolo) = y_2(bolo)$ 는 van Hamme(1993)으로부터 구하여 고정하였다. 그 외의 수정시킨 초기값은 Gazeas et al.(2006)의 값을 사용하였다.

한편 그림 1에 나타난 바와 같이 FP Boo의 광도곡선이 약간의 비대칭성을 보이고 있기 때문에 이에 대하여서는 주성에 dark spot을 두어 해를 구하였다. FP Boo의 비대칭 정도는 위상 0.75(Max II)와 위상 0.25(Max I)에서의 광도의 차이, ΔI (Max II - Max I)가 각각 B,V,R에서 0.021, 0.018, 0.017로서 Max II에서 더 밝게 나타났다. 그림 1과 그림 2의 실선은 WD 프로그램의 mode 3에 의하여 구한 이론적인 광도곡선과 시선속도곡선으로서 관측된 광도곡선과 Rucinski et al.의 시선속도

표 3. FP Boo의 절대물리량 비교.

	M_1/M_\odot	M_2/M_\odot	R_1/R_\odot	R_2/R_\odot	M_{1bol}	M_{2bol}	L_1/L_\odot	L_2/L_\odot
this paper	1.77	0.17	2.31	0.85	2.04	4.42	13.46	1.38
Gazeas et al.	1.614	0.154	2.310	0.774			11.193	0.920

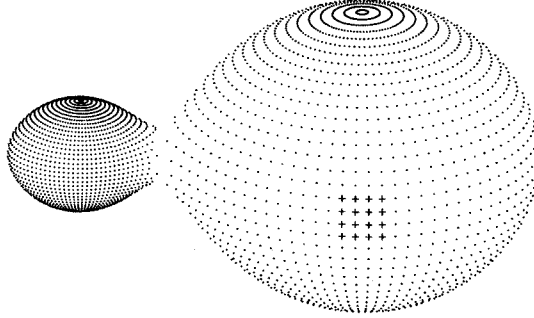


그림 3. 주성에 dark spot을 가진 FP Boo의 로쉬구조(위상 0.75).

곡선을 잘 대표하고 있다. 그림 3은 주성에 dark spot를 고려한 FP Boo의 로쉬모형이다. 표 2에 FP Boo의 우리의 해와 최근 발표된 Gazeas et al.(2006)의 해와 함께 비교하였다. 그 결과 이들 두 해는 대부분 일치하는 값을 보였다. 그런데, 서론에서도 밝힌 바와 같이 Gazeas et al.(2006)는 광도곡선 상에서 비대칭성을 발견할 수가 없다고 하였으나 우리의 광도곡선에서는 약간의 비대칭성을 보였기 때문에 주성에 dark spot를 가정하여 해를 구하였다. 또한 Gazeas et al.는 고정시킨 주성의 온도를 Tycho-2 목록에서 제시한 F2V로 가정하여 6980K로 고정하였는데 비하여 이번 연구에서는 Rucinski et al.(2005)의 분광관측 결과에서 얻은 F0V를 적용하여 주성의 온도를 7160K로 고정하였다. 따라서 WD 프로그램을 이용하여 FP Boo의 해를 구하는데 있어서 이러한 2가지 차이점이 있었으나 그 차이점이 너무 작기 때문에 표2의 우리의 해와 Gazeas et al.의 해 사이의 결과가 거의 일치하는 값을 보인 것으로 판단된다.

한편, 표 4에 우리가 구한 FP Boo의 절대물리량과 Gazeas et al.(2006)의 절대물리량을 비교하였다. 그 결과 질량(M/M_\odot)과 크기(R/R_\odot)에 관하여서는 큰 차이를 보이고 있지 않지만 절대광도(L/L_\odot) 사이에서 약간의 차이를 보이고 있다. 이것은 결과적으로 주성의 분광형을 어떤 분광형으로 채택하였느냐에 따라서 결정되는 것으로 우리는 최근 Rucinski et al.(2005)의 분광관측을 통하여 발표된 분광형 F0V를 채택하였으나 Gazeas et al.(2006)의 경우는 Tycho-2 목록의 F2V를 택하여 우리의 경우 주성의 온도가 상대적으로 다소 높기 때문에 절대광도가 더 높게 나타났다.

4. 검토와 결과

3색(B,V,R) CCD 측광관측을 통하여 얻은 FP Boo의 새로운 광도곡선과 Rucinski et al.(2005)의 시선속도곡선을 WD 프로그램에 적용하여 이 별의 궤도요소와 해를 얻었으며 이로 부터 FP Boo의

표 4. 질량비가 작은 접촉쌍성.

Star	type	Sp.	P	q	M_1/M_\odot	M_2/M_\odot	R_1/R_\odot	R_2/R_\odot	L_1/L_\odot	L_2/L_\odot	$\log T_1$	$\log T_2$	Ref.
AW UMa	A	F0	0.4387	0.07	1.52	0.11	1.60	0.53	6.06	0.56	3.856	3.837	1
SX Crv	A	F6/7V	0.3166	0.078	1.246	0.098	1.347	0.409	2.59	0.21	3.802	3.789	14
V870 Ara	W	F8	0.3997	0.082	1.503	0.123	1.67	0.61	2.96	0.50	3.767	3.793	15
FP Boo	A	FOV	0.6404	0.101	1.77	0.17	2.31	0.85	13.46	1.38	3.855	3.840	16
ϵ CrA	A	F0	0.5914	0.11	1.76	0.20	2.20	0.79	11.07	1.08	3.851	3.822	1
GR Vir	A	F7/8V	0.3468	0.122	1.37	0.17	1.41	0.59	2.68	0.41	3.796	3.781	11
TZ Boo	A	G9	0.2971	0.13	0.79	0.10	1.05	0.32	0.57	0.07	3.690	3.722	2
UY UMa	W	G0	0.3760	0.13	1.19	0.16	1.40	0.63	1.58	0.42	3.740	3.771	3
V677 Cen	A/W	G2	0.3251	0.14	1.06	0.15	1.19	0.51	1.39	0.27	3.759	3.766	1
FG Hya	A	G0	0.3278	0.14	1.08	0.15	1.27	0.53	1.75	0.29	3.771	3.764	4,5
HN UMa	A	F8V	0.3826	0.14	1.91	0.19	1.42	0.61	2.72	0.41	3.796	3.774	13
V776 Cas	A	F2V	0.4404	0.145	1.71	0.25	1.77	0.81	6.83	1.39	3.848	3.845	12
HV Aqr	A	F5V	0.3744	0.145	1.43	0.22	1.45	0.66	3.63	0.80	3.822	3.830	11
TV Mus	A	G0,F2	0.4457	0.15	1.32	0.20	1.66	0.75	3.14	0.69	3.777	3.784	1
EF Dra	A	F9	0.4240	0.16	1.81	0.29	1.70	0.77	3.31	0.71	3.778	3.782	6
V410 Aur	A	G0/2V	0.3663	0.16	1.14	0.18	1.33	0.62	1.95	0.42	3.774	3.775	12
AH Aur	A	F7V	0.4942	0.169	1.683	0.284	1.853	0.891	3.33	1.01	3.793	3.788	7
II UMa	A	F5III	0.8252	0.172	2.14	0.37	2.91	1.42	12.72	2.87	3.807	3.802	13
OU Ser	A/W?	F9/G0V	0.2967	0.173	1.018	0.176	1.088	0.505	1.33	0.38	3.775	3.805	8
RR Cen	A	F5,F2	0.6057	0.18	1.80	0.32	2.15	0.96	11.44	2.19	3.860	3.856	1
XY Boo	A	F8	0.3705	0.18	1.49	0.27	1.47	0.63	5.17	1.01	3.857	3.851	1
MW Pav	A	A5	0.7950	0.18	2.13	0.39	2.70	1.31	22.10	5.05	3.882	3.879	1
TY Pup	A	A9	0.8192	0.18	2.30	0.42	2.84	1.39	26.91	5.75	3.892	3.879	9
Y Sex	A	F8	0.4198	0.20	0.76	0.15	1.20	0.54	2.23	0.40	3.810	3.800	10

1. Maceroni & van't Veer(1996); 2. Rovithis-Livaniou et al.(1992); 3. Yang et al.(2001);
 4. Lu & Rucinski(1999); 5. Yang & Liu(2000); 6. Pribulla et al.(2001); 7. Pribulla & Vanko(2002);
 8. Vanko et al.(2001); 9. Gu et al.(1993); 10. Hilditch et al.(1988); 11. 오규동 등(2004);
 12. 오규동 등(2005); 13. 이우백 등(2006); 14. Zola et al.(2004); 15. Szalai et al.(2007); 16. this paper

절대물리량을 구하여 표 3에 제시하였다. 이와 함께 표 4에 FP Boo를 포함한 24개(이우백 등 2006, Szalai et al. 2007, Zola et al. 2004)의 절대물리량이 잘 알려진 질량비가 작은 접촉쌍성들의 절대물리량을 함께 제시하였다. 한편 FP Boo는 지금까지 발표된 질량비가 작은 접촉쌍성들 가운데 5번째로 질량비가 작은 접촉쌍성으로 알려져있다(Arbutina 2007). 그러나 표 4에 따르면 FP Boo가 4번째로 질량비가 작은 접촉쌍성으로 나타나있다. 이는 지금까지 질량비가 가장 작은 접촉쌍성으로는 V857 Her(Qian et al. 2005)가 알려져 있으나 이 별에 대한 절대물리량이 발표되어 있지 않았기 때문에 표4에서는 V857 Her를 제외하였다. 그림 4는 FP Boo를 포함한 24개의 질량비가 작은 접촉쌍성의 H-R도로서 FP Boo의 진화 상태도 일반적인 질량비가 작은 접촉쌍성의 진화 상태와 일치하는 위치에 놓고 있음을 다시 확인할 수가 있었다.

한편, 지금까지 정밀도가 높은 CCD 측광관측을 통하여 발표된 FP Boo의 광도곡선은 이번 관측을 통하여 얻은 우리의 광도곡선과 Gazeas et al.(2006)의 광도곡선 뿐으로서 Gazeas et al.의 광도곡선에서는 비대칭성을 발견하지 못하였다고 발표하였으나 우리의 광도곡선에서는 작지만 약간의 비대칭성을 보이고 있다. 따라서 앞으로 이에 대한 검증이 다시 요구된다.

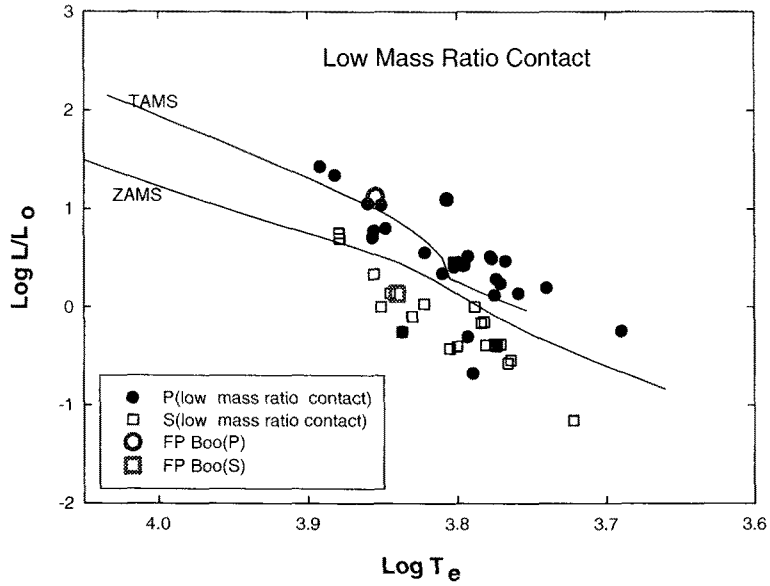


그림 4. 질량비가 작은 접촉쌍성의 H-R도. P와 S는 각각 주성과 반성

참고문헌

- 오규동, 김천휘, 김호일 2005, 한국우주과학회지, 22, 223
 오규동, 김천휘, 김호일, 강영운, 이우백 2004, 한국우주과학회지, 21, 83
 이우백, 김호일, 강영운, 오규동, 2006, 한국우주과학회지, 23, 189
 Arbutina, B. 2007, MNRAS, 377, 1635
 de Jager, C. & Nieuwenhuijzen, H. 1987, A&A, 177, 217
 ESA 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogs, SP-1200
 Gazeas, K. D., Niarchos, P. G., Zola, S., Kreiner, J. M., & Rucinski, S. M. 2006, AcA, 26, 127
 Gu, S., Yang, Y., & Zhang, Z. 1993, Ap&SS, 203, 161
 Harmanec, P. 1988, BAC, 39, 329
 Hilditch, R. W., King, D. J., & McFarlane, T. M. 1988, MNRAS, 231, 341
 Kwee, K. K. & van Woerden, H. 1956, BAN, 12, 327
 Lu, W. & Rucinski, S. M, 1999, AJ, 118, 515
 Lucy, L. B. 1968, ApJ, 151, 1123
 Maceroni, C. & van't Veer, F. 1996, A&A, 311, 523
 Pribulla, T. & Vanko, M. 2002, CoSka, 32, 79
 Pribulla, T., Vanko, M., Chochol, D., & Parimucha, S. 2001, CoSka, 31, 26

- Qian, S.-B., Zhu, L.-Y., Soonthornthum, B., Yuan, J.-Z., Yang, Y.-G., & He, J.-J. 2005, *AJ*, 130, 1206
- Rovithis-Livaniou, H., Rovithis, P., & Bitzaraki, O. 1992, *Ap&SS*, 189, 237
- Rucinski, S. M. 1993, *PASP*, 105, 1433
- Rucinski, S. M., Pych, W., Ogloza, W., DeBond, H., Thomson, J. R., Mochnacki, S. W., Capobianco, C. C., Conidis, G., & Rogoziecki, P. 2005, *AJ*, 130, 767
- Selam, S. O. 2004, *A&A*, 416, 1097
- Szalai, T., Kiss, L. L., Meszaros, Sz., Vinko, J., & Csizmadia, Sz. 2007, *A&Ap*, 465, 943
- Vanko, M., Pribulla, T., Chochol, D., Parimucha, S., Kim, C. H., Lee, J. W., & Han, J. Y. 2001, *CoSka*, 31, 129
- van Hamme, W. 1993, *AJ*, 106, 2096
- Yang, Y. & Liu, Q. 2000, *A&A*, 144, 457
- Yang, Y., Liu, Q., & Leung, K.-C. 2001, *A&A*, 370, 507
- Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605
- Wilson, R. E. & van Hamme, W. 2004, *Computing Binary Star Observables* (Florida: University of Florida)
- Zola, S., Rucinski, S. M., Baran, A., Ogloza, W., Pych, W., Kreiner, J. M., Stachowski, G., Gazeas, K., Niarchos, P., & Siwak, M. 2004, *AcA*, 54, 299