

근접촉 식쌍성 ZZ Aur의 측광학적 연구

오규동^{1†}, 강영운², 김호일³, 이우백³
¹전남대학교 지구과학교육과
²세종대학교 지구과학과
³한국천문연구원

A PHOTOMETRIC STUDY OF NEAR-CONTACT BINARY ZZ Aur

Kyu-Dong Oh^{1†}, Young-Woon Kang², Ho-Il Kim³, Woo-Baik Lee³

¹Department of Earth Science Education, Chonnam National University

²Department of Geoinformation Sciences, Sejong University

³Korea Astronomy Observatory

E-mail: ohkd@chonnam.ac.kr

(Received January 8, 2002; Accepted February 1, 2002)

요 약

2000년 2월부터 2001년 2월까지 소백산 천문대 61cm 망원경을 사용하여 CCD 측광관측에 의한 ZZ Aur(B, V & R)의 새로운 광도곡선을 얻었다. 이와 함께 새로운 광도곡선으로 부터 주극심 시각 3점과 부극심 시각 7점을 얻었다. 새로운 광도곡선을 WD model에 적용하여 이 별의 궤도 요소를 구하였다.

ABSTRACT

The BVR CCD full light curves of ZZ Aur were obtained as one of the near-contact binary observing programs at the Sobaek Mt. Observatory during Feb. 2000 - Feb. 2001. From the present observations, three primary and seven secondary times of minimum light were obtained. The photometric solutions have been found using the Wilson and Divenny model.

Keywords: EB type contact binary, light curve, WD model

1. 서 론

식쌍성 ZZ Aur(BD+41°1265)가 변광한다는 사실이 Furuhejm(1919)에 의하여 알려진 이후, Martinoff(1933)는 이 별을 Algol형의 식쌍성으로 분류하였다. Pierce(1938)와 Nekrassova & Volkov(1940)는 안시측광으로부터 이 별의 측광 궤도요소를 발표하였다. 그 후 Yang & Liu(1982)는 처음으로 2색(B & V)의 광전측광으로부터 4점의 식심시각을 발표하였으며, Liu et al.(1983)은 Yang & Liu의 광도곡선을 Russell-Merrill 방법을 이용하여 이 별의 궤도요소를 발표하였다. 그들은 ZZ Aur가 주극심에서 partial transit으로서 주성이 Roche면에 매우 근접한 준분리형이라고 발표하였다. 한편,

[†]corresponding author

Leung et al.(1985)은 Liu et al.의 광도곡선을 WD 모델을 이용하여 이 별의 궤도요소를 구하였으며 그 결과 Liu et al.의 결과와 똑같이 질량이 작은 반성이 로쉬면을 채우고 있으며 주성은 로쉬면에 매우 근접한 준분리형의 임계접촉계(critical contact system)로 발표하였다. 한편, ZZ Aur에 대한 분광 관측은 아직까지 발표되지 않았으며 Leung et al.에 의하여 발표된 측광 질량비(q)는 0.511이다. 그 후 Barone et al.(1991)과 Terrell et al.(1992)는 똑같이 Liu et al.의 광도곡선을 WD 모델을 이용하여 분석한 결과, 각각 반성이 로쉬면을 채우고 있는 준분리형과 분리형으로 발표하였다. 결과적으로 보면 지금까지 ZZ Aur에 대한 광전측광에 의한 완전한 광도곡선은 Liu et al.의 결과가 유일한 광도곡선이다.

이에 따라 소백산 근접쌍성 관측 프로그램의 하나로서 ZZ Aur에 대한 3색(B, V & R)의 CCD 측광 관측을 하였다. 이러한 측광 결과 전위상에 대하여 완전한 광도곡선을 보이는 2색(V & R)의 광도곡선을 WD 모델에 적용하여 이 별의 궤도요소를 산출하였다.

2. CCD 측광관측

ZZ Aur의 CCD 측광 관측은 소백산 천문대의 근접쌍성(near-contact binary star: 이하 NCB's) 관측 프로그램의 하나로서 3색(B, V & R)의 CCD 측광 관측에 의하여 광도곡선을 얻었다. 관측은 PM512 CCD 카메라를 이용하여 소백산 차등측광용 프로그램 DIPHO를 사용하여 이루어졌으며 관측일 마다의 대기 감광계수를 보정하였다. 관측점은 각각 B 필터에서 219점, V 필터에서 800점 그리고 R 필터에서 800점을 얻었다. 관측에 사용된 비교성과 검토성은 Yang & Liu(1982)이 사용한 것을 택하였다. 표 1은 ZZ Aur의 관측점으로서 첫째 열은 식 (1)의 광도요소로부터 구한 위상이며 둘째 열은 각각의 관측점을 산술평균하여 얻은 대표점이며 셋째 열의 Wt는 대표점의 가중치로서 각각의 관측점을 평균한 관측점의 개수에 따라 가중치 값을 주었다. 그림 1은 관측된 ZZ Aur의 3색(B, V & R)의 광도곡선으로서 아래의 광도요소를 사용하여 위상을 구하였다.

$$\text{Min } I = JD2451596.6486 + 0.6012160E \quad (1)$$

한편, 표 2에 이번 관측으로 부터 얻은 주극심시각 3점과 부극심시각 7점을 제시하였다. 따라서 앞으로 이번에 얻은 극심시각을 포함하여 여러 문헌으로부터 ZZ Aur의 극심시각을 수집하여 이 별의 공전주기 변화에 대하여 분석할 예정이다.

3. 광도곡선의 분석과 궤도요소

그림 1의 ZZ Aur의 3색(B, V & R) 광도곡선은 전형적인 β Lyrae형으로서 관측치를 WD 모델(Wilson & Devinney 1971, Wilson 1992)을 이용하여 2색(V & R)의 관측치를 동시에 입력 분석하였다. 서론에서도 밝힌 바와 같이 ZZ Aur에 대한 완전한 광도곡선은 단지 Liu et al.(1983)의 광전측광에 의한 광도곡선이 유일한 것으로 지금까지 대부분의 연구자(Leung et al. 1985, Barone et al. 1991, Terrell et al. 1992)들은 Liu et al.의 광도곡선을 이용하여 이 별을 분석한 바가 있다. 그런데 그림 1에 보인 바와 같이 3색의 CCD 광도곡선 가운데 B 광도곡선은 전 위상에 대하여 완전한 광도곡선을 얻지 못하였기 때문에 이번 분석에서는 제외하였다.

먼저 관측된 광도곡선을 WD 프로그램에 적용하기 위하여 2색(V & R)의 관측치에 각각 $-1''41$,

표 1. ZZ Aur의 관측점(Normal Point).

Phase	$\Delta m(B)$	Wt	Phase	$\Delta m(R)$	Wt	Phase	$\Delta m(V)$	Wt
0.0044	2.6019	2	0.0059	2.1741	2	0.0052	2.3720	2
0.0145	2.5902	3	0.0147	2.1288	3	0.0152	2.3319	4
0.0247	2.5325	2	0.0245	2.0852	5	0.0247	2.2634	4
0.0347	2.3919	3	0.0355	1.9902	4	0.0356	2.1630	5
0.0448	2.2964	2	0.0446	1.9083	4	0.0452	2.0540	3
0.0509	2.2100	1	0.0544	1.8116	4	0.0548	1.9649	5
0.0651	2.1035	2	0.0652	1.7244	5	0.0662	1.8670	5
0.0752	2.0317	3	0.0744	1.6275	6	0.0754	1.8151	6
0.0854	1.9878	2	0.0843	1.5816	7	0.0849	1.7452	7
0.1001	1.8909	5	0.0993	1.5004	13	0.1013	1.6651	15
0.1166	1.8298	3	0.1179	1.4303	16	0.1189	1.5843	14
0.2288	1.6231	3	0.1388	1.3610	12	0.1389	1.5346	13
0.2495	1.6156	4	0.1593	1.3381	18	0.1596	1.5037	18
0.2694	1.6227	4	0.1793	1.3078	16	0.1800	1.4677	16
0.2909	1.6396	5	0.1992	1.2941	19	0.2005	1.4545	19
0.3097	1.6622	8	0.2192	1.2818	19	0.2200	1.4407	18
0.3295	1.6802	8	0.2401	1.2701	16	0.2400	1.4314	15
0.3493	1.7152	8	0.2606	1.2761	18	0.2598	1.4343	18
0.3692	1.7438	8	0.2803	1.2793	18	0.2801	1.4437	21
0.3890	1.7656	8	0.3002	1.2962	23	0.3006	1.4548	24
0.4089	1.8034	8	0.3206	1.3124	21	0.3209	1.4767	19
0.4287	1.8334	8	0.3409	1.3317	19	0.3404	1.4908	19
0.4495	1.8683	7	0.3610	1.3513	21	0.3606	1.5173	20
0.4690	1.9039	8	0.3809	1.3783	19	0.3801	1.5398	19
0.4888	1.9003	8	0.4010	1.4105	25	0.4002	1.5793	25
0.5088	1.9015	8	0.4207	1.4508	24	0.4199	1.6132	24
0.5291	1.8902	8	0.4397	1.4901	23	0.4393	1.6543	24
0.5489	1.8655	8	0.4597	1.5452	19	0.4594	1.6953	18
0.5688	1.8306	8	0.4803	1.5766	15	0.4793	1.7188	17
0.5887	1.8000	8	0.4998	1.5810	14	0.4993	1.7238	17
0.6086	1.7536	8	0.5206	1.5653	16	0.5195	1.7206	17
0.6270	1.7298	6	0.5404	1.5381	17	0.5396	1.6967	17
0.6488	1.7032	4	0.5604	1.4995	17	0.5596	1.6597	17
0.6687	1.6751	4	0.5804	1.4546	17	0.5796	1.6245	17
0.6885	1.6547	4	0.6004	1.4178	17	0.5996	1.5802	17
0.7091	1.6321	3	0.6205	1.3820	17	0.6195	1.5512	16
0.7282	1.6192	4	0.6393	1.3554	10	0.6384	1.5259	10
0.7467	1.6307	3	0.6608	1.3325	11	0.6600	1.5044	11
0.9174	1.9790	1	0.6809	1.3210	15	0.6801	1.4838	15
0.9254	2.0476	3	0.7001	1.3067	21	0.6992	1.4674	21
0.9355	2.1420	2	0.7203	1.2926	21	0.7191	1.4523	20
0.9456	2.2306	3	0.7399	1.2940	26	0.7404	1.4496	27
0.9578	2.3445	1	0.7594	1.2834	22	0.7592	1.4437	24
0.9658	2.4639	3	0.7795	1.2913	18	0.7781	1.4519	21
0.9760	2.5823	2	0.8000	1.3019	15	0.7994	1.4642	20
0.9841	2.6381	2	0.8170	1.3098	8.	0.8175	1.4778	12
			0.8392	1.3380	13	0.8403	1.5053	14
			0.8596	1.3639	15	0.8607	1.5105	14
			0.8783	1.3952	10	0.8782	1.5624	9
			0.8948	1.4569	4	0.8938	1.6312	4
			0.9042	1.4753	3	0.9033	1.6426	3
			0.9167	1.5786	4	0.9149	1.7453	5
			0.9244	1.6187	5	0.9239	1.7748	4
			0.9347	1.6938	5	0.9340	1.8653	5
			0.9440	1.7684	3	0.9432	1.9611	3
			0.9552	1.9222	3	0.9545	2.0880	3
			0.9653	2.0289	2	0.9646	2.2064	2
			0.9754	2.1124	3	0.9748	2.3006	3
			0.9856	2.1678	2	0.9849	2.3604	2

표 2. ZZ Aur의 극심시각.

No	JD Hel.	E	(O - C) ₁	Type	Method	Reference
1	2451596.9490	43399.5	-0.0158	II	CCD(R)	this paper
2	2451596.9491	43399.5	-0.0157	II	CCD(V)	this paper
3	2451617.9942	43434.5	-0.0132	II	CCD(R)	this paper
4	2451617.9942	43434.5	-0.0132	II	CCD(V)	this paper
5	2451884.3288	43877.5	-0.0172	II	CCD(R)	this paper
6	2451884.3304	43877.5	-0.0156	II	CCD(V)	this paper
7	2451884.3289	43877.5	-0.0171	II	CCD(B)	this paper
8	2451948.9605	43985	-0.0163	I	CCD(R)	this paper
9	2451948.9603	43985	-0.0165	I	CCD(V)	this paper
10	2451948.9605	43985	-0.0163	I	CCD(B)	this paper

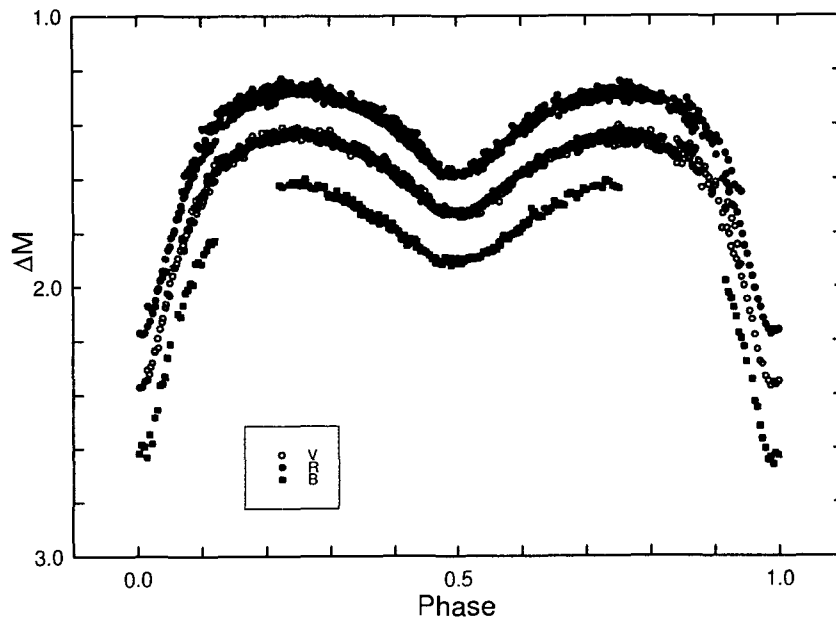


그림 1. 관측된 ZZ Aur(B, V & R)의 광도곡선.

1^m25 을 더하여 규격화 시켰으며 초기의 입력값으로서 고정시킨 인자와 그 값은 다음과 같다. 주성의 분광형은 A5V(Liu et al. 1983)으로서 de Jager & Nieuwenhuijzen(1987)으로부터 $T_1 = 8184\text{K}$ 로 고정하였다. 다음으로는 주성과 반성의 주변감광계수 x_1 과 x_2 및 복사주변감광계수 $x_1(bolo)$ 과 $x_2(bolo)$ 은 van Hamme(1993)으로부터 구하여 고정하였다. 그리고 중력감광계수 $g_1 = 1.0$ 과 $g_2 =$

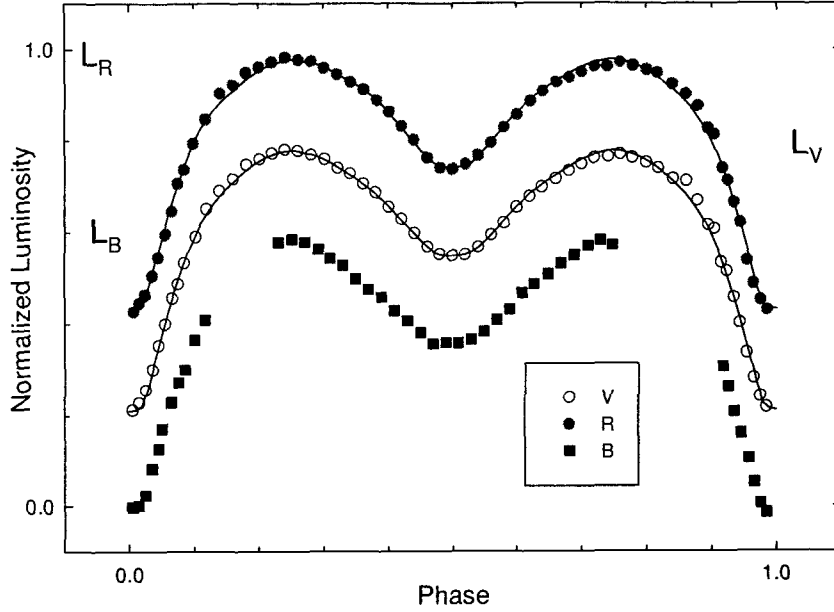


그림 2. ZZ Aur(B, V & R)의 광도곡선과 WD 모델에 의한 이론적인 광도곡선(실선).

0.3으로 고정하였다. 또한 복사 반사계수는 주성과 반성에 대해 각각 $A_1 = 1.0$ 과 $A_2 = 0.5$ 로 고정하였다. 이밖의 초기의 입력 인자들은 Leung et al.(1985)으로부터 채택하였다.

ZZ Aur의 궤도요소를 얻기 위하여 각각 WD 프로그램에 여러 mode를 사용하여 보았다. 먼저 1차적으로 소위 접촉형의 mode 3을 적용하였다. 그런데 WD 프로그램에서 mode 3는 주성과 반성이 공동대기를 갖고 있기 때문에 내부 임계 포텐셜($\Omega_1 = \Omega_2$)를 포함한 몇가지 인자들($g_1 = g_2, A_1 = A_2, x_1 = x_2$)이 주성과 반성에서 모두 같은 값을 갖도록 프로그램되어 있다. 그러나 ZZ Aur과 같은 β Lyrae형의 경우 비록 접촉형의 로쉬 구조를 갖는다고 하더라도 두 별의 온도 차이가 다소 크게($\Delta T = 3,000$ K) 나타나므로 위에 제시한 몇가지 인자들의 주성과 반성의 값이 각각 서로 다른 값을 적용하도록 WD 프로그램을 수정하여 사용하였다. 그 결과 주성과 반성이 모두 로쉬면을 완전히 채우고 있는 접촉형은 아니지만 로쉬면에 거의 근접한 접촉형(almost near contact system; 이하 ANCS)에 가까운 구조를 보였다. 따라서 분리형의 mode 2를 적용하여 보았으나 이 경우 수렴되지 않았다. 다음으로 각각 준분리형의 mode 4(주성이 로쉬면을 채우고 있으나 반성은 로쉬면과 분리)와 mode 5(반성이 로쉬면을 채우고 있으나 주성이 분리)를 적용하여 본 결과 이 두 가지의 구조가 모두 ZZ Aur에서 만족한 결과를 얻었다. 여기서, 각각 mode 4와 mode 5에서 로쉬면과 분리되어 있는 반성(mode 4)과 주성(mode 5)은 로쉬면과 분리되어 있지만 실제 로쉬면에 매우 근접한 접촉 구조를 보이는 ANCS로 나타나고 있다. 그런데, 이러한 결과는 일반적으로 β Lyrae형의 광도곡선을 보이고 있는 ANCS의 일반적 특성이기도 하다(Lazaro et al. 1995). 이러한 이유 때문에 지금까지 발표된 ZZ Aur의 로쉬 구조가 연구자(Leung et al. 1985, Barone et al. 1991, Terrell et al. 1992)들에 따라 서로 다른 로쉬구조의 결과로 발표되었다. 그림 2는 ZZ Aur의 대표점으로 나타낸 광도곡

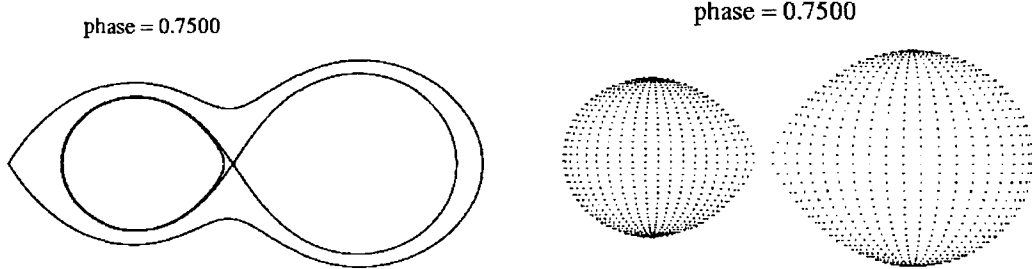


그림 3. ZZ Aur의 등포텐셜 곡선과 기하학적 모델(mode 4).

표 3. ZZ Aur의 궤도 요소값.

궤도 요소	V	R
$i(^{\circ})$	89.303 ±1.198	
q	0.53008±0.00499	
$T_1(K)$	8184*	
$T_2(K)$	5127±24	
$L_1/(L_1 + L_2)$	0.9298	0.9070
Ω_1	2.9332*	
Ω_2	2.9530±0.0172	
x_1	0.510*	0.406*
x_2	0.660*	0.510*
$x_1(bolo)$	0.666*	0.648*
$x_2(bolo)$	0.172*	0.187*
$r_1(pole)$	0.4094±0.0015	
$r_1(point)$	0.5648±0.0126	
$r_1(side)$	0.4343±0.0017	
$r_1(back)$	0.4626±0.0016	
$r_2(pole)$	0.3011±0.0047	
$r_2(point)$	0.3961±0.0339	
$r_2(side)$	0.3139±0.0057	
$r_2(back)$	0.3444±0.0091	

*fixed

선으로서 실선은 WD 모델의 mode 4에 의하여 구한 이론적인 광도곡선으로서 관측점을 잘 대표하고 있다. 이때 관측점과 이론적인 광도곡선과의 오차는 V와 R에서 각각 $\Sigma(residual)^2 = 0.0009$ 와 $\Sigma(residual)^2 = 0.0011$ 이다.

결과적으로 보면 주성과 반성 가운데 어느 한 별이 로쉬면을 채우고 있으며 또 다른 한 별은 로쉬면에 거의 근접하고있는 이와 같은 ANCS들은 WD 모델을 적용함에 있어서 거의 대부분의 별들이 mode 4와 mode 5에서 모두 만족한 결과를 얻게 된다. 따라서 ZZ Aur의 로쉬 구조에 대한 보다 구체적인 분석을 위하여서는 이 별의 공전주기 변화에 대한 연구가 요구된다. 표 3에 단지 WD 모델의 mode 4로부터 구한 ZZ Aur의 궤도요소들을 제시하였으며 실제 mode 5로 구한 궤도요소 사이에

는 차이점은 없었다.

4. 토 의

ZZ Aur에 대한 3색(B, V & R)의 CCD 관측을 수행하여 2색(V & R)으로 이 별의 완전한 광도 곡선을 얻었다. 그런데 지금까지 발표된 이 별의 광도곡선은 Liu et al.(1983)의 2색(B & V)의 광전 측광의 광도곡선이 유일한 것이었다. 한편, 앞에서도 밝힌 바와 같이 일반적으로 β Lyrae형의 근접 축식쌍성들은 준분리형의 mode 4(주성이 로쉬면을 채우고 있으나 반성은 로쉬면과 분리)와 mode 5(반성이 로쉬면을 채우고 있으나 주성이 분리) 혹은 접촉형의 mode 3를 서로 만족하는 결과로 나타나는 경우가 일반적인 특성(Lazaro et al. 1995)으로서 실제 ZZ Aur도 지금까지 조사된 로쉬 구조는 연구자(Leung et al. 1985, Barone et al. 1991, Terrell et al. 1992)에 따라서 서로 다른 구조로 발표된 바 있다. 이번 관측된 우리 광도곡선의 분석 결과도 이 두 가지(mode 4와 mode 5)의 구조가 모두 ZZ Aur에서 만족한 결과로 나타났다. 그러나 그 구조는 각각 mode 4와 mode 5에서 로쉬면과 분리되어 있는 반성(mode 4)과 주성(mode 5)은 로쉬면과 분리되어 있기는 하지만 실제 로쉬면에 매우 근접한 접촉 구조를 보이는 ANCS으로 나타나고 있다. 그림 3에는 WD 모델의 mode 4로부터 얻은 ZZ Aur의 등포텐셜 곡선과 기하학적 모델만을 제시하였다. 따라서 ZZ Aur의 로쉬 구조에 대한 보다 자세한 분석을 위해서는 이 별의 공전주기 변화에 대한 연구가 요구되며 이번 관측을 통하여 얻은 10점(표 2 참조)의 극심시각과 함께 지금까지 발표된 극심시각을 여러 문헌을 통하여 수집된 후 이 별의 공전주기 변화를 분석할 예정이다. 이와 함께 이 별의 물리적 특성을 이해하기 위하여서는 ZZ Aur의 분광 관측이 시급히 이루어져야 할 것이다.

감사의 글: 본 연구는 2001학년도 한국과학재단의 지역대학우수연구과제(2001-1-11300-001-1) 연구비에 의하여 수행되었습니다. 또한 한국천문연구원 기관고유사업의 일부로 소백산 천문대의 망원경을 사용하였음.

참고문헌

- Barone, F., Covino, E., Fiore, D., & Milano, L. 1991, *Ap&SS*, 183, 117
 de Jager, C., & Nieuwenhuijzen, H. 1987, *A&A*, 177, 217
 Furuhejm, R. 1919, *AN*, 209, 47
 Lazaro, C., Niarchos, P., Rovithis, P., Rovithis-Livaniou, E., Arevalo, M. J., & Abtonopoulou, E. 1995, *AJ*, 110, 1796
 Leung, K-C., Zhai, D., Liu, Q., & Yang, Y. 1985, *AJ*, 90, 115
 Liu, Q. Y., Yang, Y. L., Lu, L., & Wang, H. 1983, *Acta Astron. Sinica*, 24, 217
 Martinoff, D. J. 1933, *Engle.(Kasan) Obs. Bull.*, 1, 5
 Nekrassova, S., & Volkov, M. 1940, *Poulkovo Circ.*, 29, 67
 Pierce, N. L. 1938, *AJ*, 47, 78
 Terrell, D., Mukherjee, J. D., & Wilson, R. E. 1992, *Binary Stars: A Pictorial Atlas* (Florida: Krieger Pub. Co.)
 van Hamme, W. 1993. *AJ*. 106. 2096

Wilson, R. E. 1992, Documentation of Eclipsing Binary Computer Model (Florida: University of Florida)

Wilson, R. E., & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605

Yang, Y. L., & Liu, Q. Y. 1982, *IBVS* 2202