

LS DEL ÇİFT SİSTEMİNİN IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

Aslı ELMASLI¹, Berahitdin ALBAYRAK¹, Selim O. SELAM¹

Özet

LS Del çift sisteminin B ve V bandı ışık eğrileri, sistemin fiziksel parametrelerini belirlemek amacıyla Djurasevic'in ışık eğrisi analiz programları kullanılarak analiz edilmiştir. Gözlemler Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 23-25 Ekim 2004 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Işık eğrisi analizi sonucunda düşük kütleli bileşenin üzerinde soğuk leke olduğu belirlenmiştir.

Literatürden toplanan tüm minimum zamanları ile oluşturulan O-C eğrisinin analizi sonucu sistemin yörünge döneminin artış gösterdiği belirlenmiş ve bu değişimin sistemdeki kütle transferi/kaybı mekanizması ile açıklanabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: yıldızlar: örten değişen yıldızlar, ışık eğrisi analizi, O-C analizi, LS Del

Abstract

Photometric B and V light curves were obtained for the W-type W UMa eclipsing binary star LS Del to determine the physical parameters of the system. During the analyses, Djurasevic's light curve analysis programs were used. The light curves were obtained at the Ankara University Observatory during the nights of 23-25 October 2004. The results for LS Del indicate that the less-massive component has a cool spot area. The O-C diagram constructed with all available times of minima from the literature indicates increase in the orbital period of the system, which can be attributed to the mass exchange/loss mechanism in the system.

Keywords: stars: eclipsing, light curve analysis, O-C analysis, LS Del

1. Giriş

LS Del (HD 199497, $m_V = 8^m.67$)'in W UMa türü değişen bir yıldız olduğunu ilk kez Bond [1] 1966'da, prizma objektifli tayfçeker verilerinden keşfetmiş ve tayf türünü G5 olarak belirlemiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında gözlenen ilk fotometrik ışık eğrisi yıldızın W UMa türü değişen olduğunu desteklemektedir. Daha sonra Sezer ve ark. [2], Ruyou ve ark. [3], Leung [4], Wieck ve Wunder [5], Weaver [6], Derman ve ark. [7] ve Demircan ve ark. [8] sistemin fotometrik ışık eğrilerini gözlemiştir. Sezer ve ark. [9] ve Leung [4] sistemin ışık eğrilerini Wilson-Devinney [10] yöntemi ile analiz etmişlerdir. Her iki çalışma sonucunda da kütle oranı ($q \sim 1.8$) ve yörünge eğim değerleri ($i \sim 50^\circ$) hemen hemen aynı hesaplanmasına rağmen sistem için farklı modeller üretilmiştir. Sezer ve ark. [9]'ları sistemi W-türü degen çift olarak belirlerken, Leung [4] daha soğuk olan büyük kütleli bileşenin Roche lobunu doldurmuş olabileceğini ve sistemin yarı-ayrık bir konfigürasyona sahip olabileceğini göstermiştir.

¹ Ankara Üniversitesi Gözlemevi, 06837 Ahlatlıbel-Ankara (312) 212 67 20/1297 asli@astrol.science.ankara.edu.tr

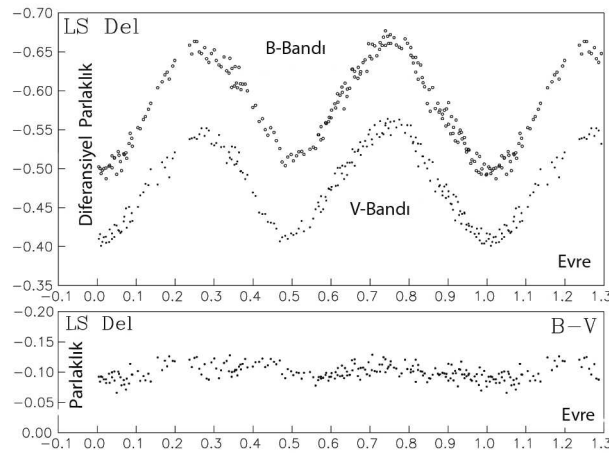
Lu ve Rucinski [11] LS Del sisteminin ilk radyal hız eğrisini elde ederek kütle oran değerini 0.375 olarak hesaplamıştır. Lu ve Rucinski [11], aynı çalışmada sistemi G0 V tayf türünden W türü bir W UMA olarak sınıflandırmıştır. Radyal hız eğrisinden, elde ettikleri kütle oranı değeri ile Ruyou ve ark. [3]'ların ışık eğrisini analiz ederek sistemin fiziksel parametrelerini ($i = 45^\circ$, $f = \%7$, $a = 2.44 R_\odot$, $M_1 = 1.07M_\odot$ ve $M_2=0.40 M_\odot$) hesaplamışlardır.

LS Del örten değişen yıldızın döneminin değiştiği birçok yazar tarafından belirtilmiştir (Ruyou ve ark. [3], Wieck ve Wunder [5], Derman ve ark. [7], Qian [12]). Derman ve ark. [7]'lerinin oluşturdukları O-C eğrisinde lineer bir azalma görülmektedir. Fotometrik dönemin kısa zaman aralığında 10^{-4} gün kadar değiştiğini ortaya koyan Derman ve ark. [7] bu durumun ışık eğrisinde izlenen değişimlerle ilişkili olabileceğini öne sürmüşlerdir. Daha sonra Qian [12] LS Del'in O-C eğrisini oluşturarak parabolik değişimin olduğunu ifade etmiş ve Derman ve ark. [7]'lerinin belirttiği fotometrik dönem değişiminin O-C değerlerinin saçılmasından kaynaklandığını belirlemiştir.

2. Gözlemler

LS Del'in ışık eğrileri Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 23, 24 ve 25 Ekim 2004 tarihlerinde 30 cm'lik Cassegrain teleskobuna bağlı SSP-5A fotometresi ile B ve V bandında yapılan gözlemlerle elde edilmiştir. Gözlemlerde mukayese ve denet yıldızı olarak sırasıyla G0 tayf türünden HD 35 3253 ve G5 tayf türünden HD 35 3251 kullanılmıştır.

LS Del'in gözlemi sırasında B ve V bandında toplam 408 nokta alınmıştır. Her bir geceye ait ve her renk için sönmüleme katsayıları mukayese yıldızı gözlemlerinden hesaplanmıştır. Diferansiyel B ve V ışık ile B-V renk eğrileri Şekil 1'de verilmiştir. LS Del'in ışık eğrisinde (Şekil 1) ufak asimetric bir yapı görülmekte olup, ikinci maksimumun birinci maksimumdan daha yüksektir. Ayrıca birinci ve ikinci minimumların seviyeleri arasındaki fark, B ve V bantlarında önemli derecede değişiklik göstermektedir. Şekil 1'de maksimum ve minimum civarında $\Delta(B-V)$ renk eğrisinde küçük değişimler görülmektedir. Işık eğrisinin biçimi LS Del'in aşırı degen bir sistem olduğunu göstermektedir.



Şekil 1: LS Del'e ait diferansiyel B ve V ışık, ve B-V renk eğrileri

3. Işık Eğrisi Analizi

LS Del sisteminin B ve V ışık eğrilerinin analizi için Djurasevic [14] tarafından geliştirilen ve aşırı degen sistemler için Djurasevic [15] tarafından düzenlenen bilgisayar programı kullanıldı. Kullanılan program Roche modelini ve Wilson ve Devinney [10] tarafından ortaya konan prensipleri temel almaktadır. Işık eğrisi analizleri, Djurasevic [13]'in,

geliştirilmiş Marquardt [16] algoritmasını temel alan ters-problem yönteminin uygulanması ile gerçekleştirilmiştir.

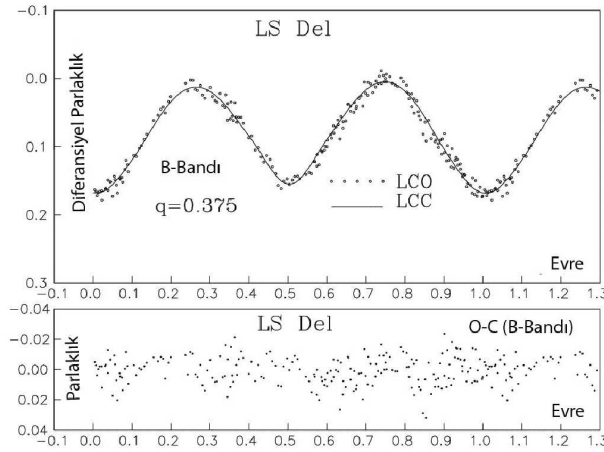
Çekim kararması için sabitleri Lucy [17]'nin konvektif zarfa sahip yıldızlar için verdiği teorik $\beta_{h,c} = 0.08$ değeri kullanılmıştır. Albedolar için kullanılan değer ise $A_{h,c} = 0.5$ 'dir. Kenar kararması için yeni bir lineer olmayan yaklaşım kullanılmıştır. Detaylı bilgi Claret [18]'de bulunabilir.

Analiz sırasında, Lu ve Rucinski [11]'nin belirlediği tayf türüne göre sisteme ait birinci bileşenin sıcaklığı Popper [19]'ın sıcaklık kalibrasyon tablolarından $T_1 = 5916^\circ\text{K}$ olarak belirlenmiş ve $q = 0.375$ kütle oranı değeri ile beraber sabit tutulmuştur. LS Del'nin ışık eğrisindeki (Şekil 1) hafif asimetri sistemdeki bileşenlerin yüzey parlaklık dağılımlarının tekdüze olmadığına işaret etmektedir. Analiz sonuçları LS Del'in küçük değme oranına sahip, W türü bir sistem olduğunu göstermektedir. Elde edilen düşük yörünge eğimi ($i = 48.5^\circ$), parçalı tutulma ve ışık eğrisinin görece olarak küçük genliği ile uyumludur. İkinci bileşen (küçük kütleli ve daha sıcak olan), birinci (derin) minimumda örtülmektedir ve bileşenlerin sıcaklık farkı $\Delta T = T_2 - T_1 = 50\text{K}$ 'dir. Aktif bölge kabulü olmaksızın elde edilen sentetik ışık eğrileri gözlemleri tam olarak temsil etmekten uzaktır.

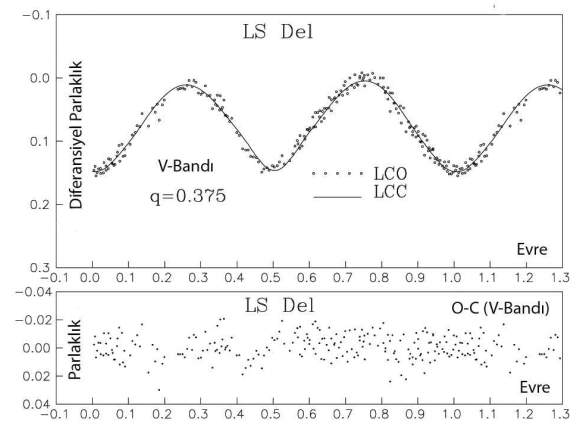
LS Del'in ışık eğrisi analizinin sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Tablonun ilk üç satırı sırasıyla toplam gözlem noktası sayısı, gözlenen ve teorik noktaların fark karelerinin toplamı ve standart sapmayı vermektedir. Tablonun sonunda verilen mutlak parametreler fotometrik çözümlerin, Lu ve Rucinski [11]'nin dikine hız çalışması ile birleştirilmesi ile elde edilmiştir.

Yaklaşık 10° boylamında bulunan ve fotosfere kıyasla % 6 daha soğuk olan leke bölgesi ışık eğrisinde izlenen asimetriyi oldukça başarılı bir şekilde modellemektedir. $\Delta(B-V)$ renk eğrisinin evreye bağlılığı temel olarak tutulmalara bağlı olmakla birlikte biçimi en azından kısmen de olsa bu leke bölgesinin varlığından etkilenmektedir.

Sistemin B ve V bandındaki gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ve farkları ile sistemin 0.25 evresindeki geometrik modeli sırası ile Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 2: LS Del'in B-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları

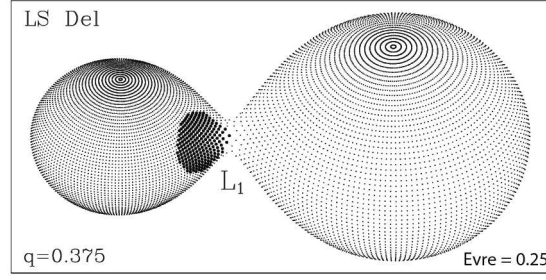


Şekil 3: LS Del'in V-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları

Tablo 1: LS'Del'in ışık eğrisi analizi sonuçları

Nicelik	B-filtresi	V-filtresi
n	408	
$\Sigma(O-C)^2$	0.0378	
σ	0.0096	
$q=m_2/m_1$	0.375	
T_1	5916	
$A_1=A_2$	0.5	
$\beta_1=\beta_2$	0.08	
$f_1=f_2$	1.0	
$A_{s1}=T_{s1}/T_2$	0.94±0.01	
θ_{sl}	20.7±1.5	
λ_{sl}	202.8±8.1	
Ψ_{sl}	14.0±5.1	
T_2	5966±44	
F_1	1.008±0.001	
$i[^\circ]$	48.5±0.2	
a_1	0.4431, 0.4243	0.5026, 0.4871
a_2	0.0475, 0.1358	0.1312, 0.2065
a_3	0.7684, 0.6482	0.4380, 0.3272
a_4	-0.3936-0.3468	-0.2804, -0.2340
$\Omega_{1,2}$	2.6081	
$\Omega_{iç, dış}$	2.6267, 2.3967	
$f_{over}[\%]$	8.07	
$R[D=1]$	0.441	0.281
$L_1/(L_1+L_2)$	0.698	0.699
$M_1[M_\odot]$	1.07±0.02	
$M_2[M_\odot]$	0.40±0.02	
$R_1[R_\odot]$	1.15±0.02	
$R_2[R_\odot]$	1.74±0.02	
$\log g_1$	4.34±0.02	
$\log g_2$	4.30±0.02	
M_{bol}^1	4.38±0.02	
M_{bol}^2	5.31±0.02	
$a_{yör} [R_\odot]$	2.436±0.009	

NOT: Çizelgedeki simgelerin temsil ettiği parametreler; n : toplam gözlem noktası, $\Sigma (O-C)^2$: gözlenen ve teorik noktalar arasındaki farkların kare toplamı, σ : gözlemlerin standart sapması, q : kütle oranı, $T_{1,2}$: soğuk ve sıcak bileşenlerin sıcaklıkları, $\beta_{1,2}$, $A_{1,2}$, $f_{1,2}$: bileşenlerin sırasıyla çekim kararım üsleri, albedoları ve senkronize olmayan dönme katsayıları, A_s , θ_s , λ_s , ϕ_s : leke parametreleri, F_1 : birinci bileşenin Roche lobunu doldurma parametresi, i : yörünge eğimi, $a_{1,2}$: kenar kararım katsayıları, $\Omega_{1,2}$, $\Omega_{dış}$: bileşenlerin yüzey potansiyelleri ve dış yüzey potansiyelleri, f_{over} : değme derecesi, $L_1/(L_1+L_2)$: büyük kütleli bileşenin ışınım gücü, $R_{1,2}$: bileşenlerin kutup yarıçapları (merkezler arası uzaklık biriminde), $M_{1,2}$, $R_{1,2}$: Bileşenlerin Güneş birimleri cinsinden kütle ve yarıçapları, $\log(g_1, g_2)$: bileşenlerin yüzey çekim ivmeleri, $M_{bol(1,2)}$: bileşenlerin mutlak bolometrik parlaklıkları, a : Güneş yarıçapı cinsinden yörünge yarı büyük eksen uzunluğu.



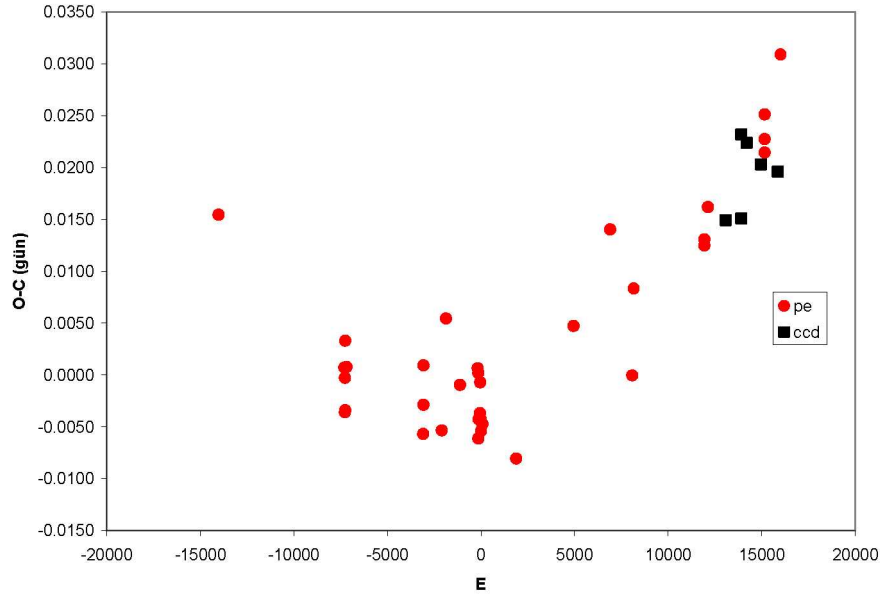
Şekil 4: LS Del'in 0.25 evresindeki geometrik modeli

4. Dönem Değişimi

LS Del'in 23, 24 ve 25 Ekim 2004 tarihlerinde elde edilen gözlemlerinden Kwee van Woerden [20] yöntemi kullanılarak, 2 tane birinci minimum (53302.2526, 53303.3417) ve 1 tane ikinci minimum (53304.2501) hesaplanmıştır. Sistemin literatür taraması yapılarak 6 ccd ve 31 fotoelektrik minimum zamanı toplanmış ve yeni gözlenen minimum zamanları ile birlikte O-C eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 5). Tüm minimum zamanlarına yapılan kuadratik karşılaştırma sonucunda yeni ışık elemanları

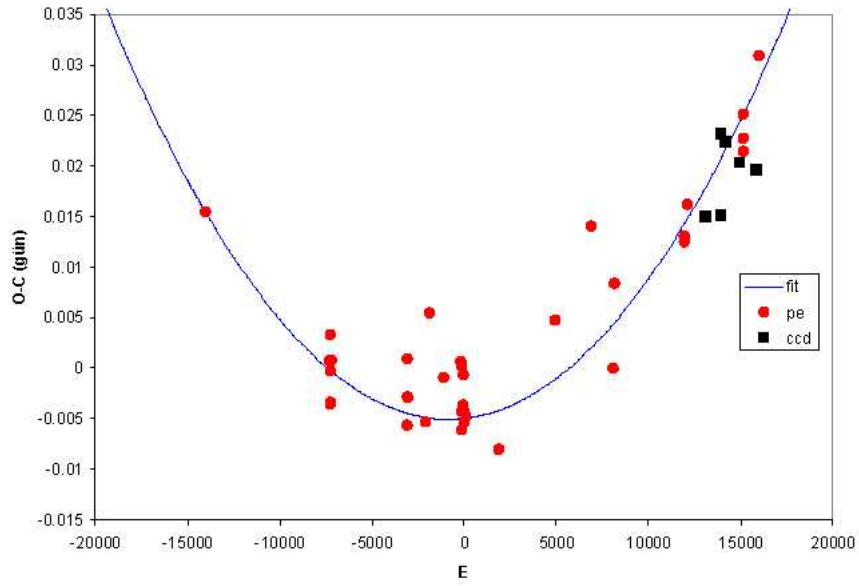
$$\text{MinI} = 24\,47790.4234 + 0.36383934 \times E + 1.18 \times 10^{-10} \times E^2$$

olarak belirlenmiştir.



Şekil 5: LS Del sisteminin O-C eğrisi

O-C analizi sonucunda sistemin yörünge döneminin düzgün olarak arttığı görülmektedir. Bu dönem değişim karakteri, sistemde mevcut olan kütle transferi/kayıbı mekanizması ile açıklanabilir. O-C diyagramına yapılan parabolik yaklaşımın kareli terim katsayısı sistemin dönem değişim hızını $dP/dE = 2.36 \times 10^{-10}$ gün/çevrim olarak vermektedir. Sistemdeki kütle transferinin korunumlu olduğu varsayımına dayanarak, transferin yönünün küçük kütleli bileşenden büyük kütleliye doğru olduğu söylenebilir. Bu koşullar altında kütle transfer hızı yılda $6.51 \times 10^{-7} M_{\odot}$ olarak hesaplandı.



Şekil 6: LS Del sisteminin O-C eğrisine kuramsal olarak çakıştırılan parabol

5. Sonuç

Bu çalışmada LS Del örten çift yıldızının B ve V bandlarında elde edilen yeni ışık eğrileri Djurasevic'in ışık eğrisi analiz programı kullanılarak analiz edilmiş ve sisteme ait yörünge parametreleri belirlenmiştir.

Tablo 1, Şekil 2 ve Şekil 3'den görülebileceği gibi LS Del'in gözlenen ışık eğrisi, küçük kütleli yıldız üzerinde soğuk leke olan Roche modeli ile başarılı bir şekilde temsil edilebilmektedir. Soğuk leke ile üretilen sentetik B ve V ışık eğrileri gözlem noktalarını çok iyi bir biçimde fit etmiştir.

Çözümler LS Del'in W alt türünden bir W UMa değen sistemi olduğunu göstermektedir. Bileşenlerin değme derecesi oldukça düşük olup (% 8), yörünge eğimi ($48.^\circ 5$) parçalı tutulma meydana getirmektedir. Buna bağlı olarak sistemin ışık eğrisinde izlenen değişimin büyük oranda yakınlık etkilerinden kaynaklandığını söyleyebiliriz. Işık eğrilerinde izlenen düşük ışık değişim genliği ($\Delta m \sim 0.^\text{m}19$ B ve $\Delta m \sim 0.^\text{m}16$ V bandı) bu fikri doğrulamaktadır.

Sistemin gözlenen yeni minimum zamanları ile literatürden toplanan minimum zamanlarından O-C eğrisi oluşturulmuştur. O-C eğrisinde görünen parabolik yapı dönem değişiminin kütle transferi/kaybı ile oluştuğuna işaret etmektedir.

Kaynaklar

- [1] Bond, H.E. (1976), "Eclipsing Binaries Found Spectroscopically III. HD 199497", *IBVS* 1214
- [2] Sezer, C., Gülmen, Ö., Güdür, N. (1984), "Photoelectric Light Curves and Period of HD 199497", *IBVS* 2553
- [3] Ruyou, W., Wenxian, L. (1987), "New B,V Light Curves of LS DELPHINI", *IBVS* 2982
- [4] Leung, K.C., (1988), "Critical Observations Versus Physical Models for Close Binary Systems", Editors: Leung, K.C, Gordon & Breach: New York, p.93
- [5] Wieck, M., Wunder, E. (1989), "Revised Elements and Light Curve for LS Delphini", *IBVS* 3406
- [6] Weaver, F. J. (1990), "A Photometric Study of LS Delphini", *BAAS*, 22, 1296
- [7] Derman, E., Demircan, O., Selam, S.O. (1991), "Light Curve and Period Variation of W UMa System LS Del", *A&AS*, 90, 301
- [8] Demircan, O., Selam, S.O., Derman, E., (1991), "1990 Photometry of a Small Amplitude W UMa System LS Delphini", *Ap&SS*, 189, 57

- [9] Sezer, C., Gülmen, Ö., Güdür, N. (1985), "Photoelectric Light Curves and Period of HD 199497", *Ap&SS*, 115, 309
- [10] Wilson, R.E. Devinney, E. J. (1971), "Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni", 166, 605
- [11] Lu, W., Rucinski, S.M. (1999), "Radial velocity studies of close binary stars. I.", *AJ*, 118, 515
- [12] Qian, S. (2001), "A possible relation between the period change and the mass ratio for W-type contact binaries", *MNRAS*, 328, 635
- [13] Djurasevic, G. (1992), "An analysis of active close binaries (CB) based on photometric measurements. I - A model of active CB with spots on the components. II - Active CB with accretion discs", *Ap&SS* 196, 241
- [14] Djurasevic, G., (1992), *Ap&SS*, 197, 17, "An analysis of active close binaries (CB) based on photometric measurements. III - The inverse-problem method: an interpretation of CB light curves".
- [15] Djurasevic, G. (1992), "An analysis of active close binaries (CB) based on photometric measurements. III - The inverse-problem method: an interpretation of CB light curves" *Ap&SS*, 197, 17
- [16] Marquardt, D.W., 1963, *J.Soc.Ind.Appl.Math.*, 11, No.2, 431.
- [17] Lucy, L., B. (1967), "Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes", *Zeitschr. F. Astrophys.*, 65, 89
- [18] Claret, A. (2000), "A new non-linear limb-darkening law for LTE stellar atmosphere models. Calculations for $-5.0 \leq \log[M/H] \leq +1$, $2000 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} \leq 50000 \text{ K}$ at several surface gravities", *A&A*, 363, 1081
- [19] Popper, D.M. (1980), "Stellar masses", *ARA&A*, 18, 115
- [20] Kwee, K.K. ve van Woerden, H. (1956), "A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable", *BAN*, 12, 327

