

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LS DEL ÖRTEN ÇİFT YILDIZININ FOTOMETRİK ANALİZİ

Serhat SİPAHİOĞLU

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİMDALI

**ANKARA
2008**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LS DEL ÖRTEN ÇİFT YILDIZININ FOTOMETRİK ANALZİ

Serhat SİPAHİOĞLU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Cemal AYDIN

Bu çalışmada LS Del örten çift yıldızının Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 2005, 2006 ve 2007 yıllarında elde edilen fotometrik gözlemlerin üretilen ışık eğrileri, 7 yeni minimum zamanı ile literatürden toplanan diğer minimum zamanlarının birleştirilmesiyle oluşturulan O-C eğrisi analiz edildi. O-C eğrisi analizi sonucunda sistemin yöründe döneminin artış gösterdiği belirlendi ve bu dönem değişiminin çift sistemde kütle transferi/kaybı mekanizması ile açıklanabileceği gösterildi. LS Del çift sisteminin B ve V bandı ışık eğrileri, sistemin fiziksel parametrelerini belirlemek amacıyla Wilson Devinney programının 2003 kodu kullanılarak analiz edildi. Analiz sonucunda sistemin büyük kütleli bileşenin üzerinde iki soğuk leke olduğu belirlendi.

2008 Nisan, 67 sayfa

Anahtar Kelimeler : Yıldızlar, Örten değişen yıldızlar, Işık eğrisi analizi, O-C analizi, LS Del

ABSTRACT

Master Thesis

PHOTOMETRIC ANALYSIS OF LS DEL ECLIPSING BINARY

Serhat SİPAHİOĞLU

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Prof. Dr. Cemal AYDIN

In this thesis, the analysis of O-C curve including all available minima times collected from literature with new 7 ones and the light curves obtained from new photometric observations at Ankara University Observatory in 2005, 2006 and 2007, were done. The results of period variation analysis attributed to the mass exchange/loss mechanism in the system. B and V light curves of LS Del were analysed by Wilson Devinney (2003) codes to determine physical parameters of the system. The results of light curve analysis indicate that there are two cool spots on more massive component.

2008 April, 67 pages

Key Words : Stars, Eclipsing binary stars, Light curve analysis, O-C analysis, LS Del

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca danışmanlığımı yürüten değerli hocam Prof.Dr. Cemal AYDIN'a, bu süre zarfında maddi manevi hiç bir desteği benden esirgemeyen sevgili aileme ve Gözde AYDIN'a, başta Prof. Dr. Berahitdin ALBAYRAK olmak üzere yıllardır sorularımı cevapsız bırakmayan değerli hocalarım Doç. Dr. Selim Osman SELAM, Yrd. Doç. Dr. Zekeriya MÜYESSEROĞLU'na, bu çalışma süresince ve öncesinde deneyim ve bilgilerinden yararlandığım kıymetli arkadaşlarım Zahide TERZİOĞLU, Dilek ÇAKAN, Doğuş ÖZUYAR, Lale ÇELİK, Araş. Gör. H. Volkan ŞENAVCI, Araş Gör. Taner TANRIVERDİ, Araş. Gör. H. Gökhan GÖKAY'a ve burada isimlerini sayamadığım tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma en derin ve içten duygularıyla teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Serhat SİPAHİOĞLU
Ankara, Nisan 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çift Yıldız Nedir?	1
1.2 Çift Yıldızlar Neden Önemlidir?	1
1.3 Örten Çift Yıldızlar.....	2
1.4 Örten Çift Yıldızların Sınıflandırılması.....	3
2. ROCHE MODELİ ve BU MODELE GÖRE YILDIZLARIN SINIFLANDIRILMASI.....	4
2.1 Roche Modeli.....	4
2.2 Roche Modeline Göre Yıldızların Sınıflandırılması	8
2.2.1 Ayrık Çift Yıldızlar.....	8
2.2.2 Yarı Ayrık Çift Yıldızlar.....	8
2.2.3 Değen Çift Yıldızlar.....	9
3. YAKINLIK ETKİLERİNDEN KAYNAKLANAN BAZI OLGULAR.....	9
3.1 Çekim Kararması.....	10
3.2 Kenar Kararması.....	11
3.3 Basıklaşma ve Armutlaşma.....	12
3.4 Yansıma Etkisi.....	13
4. W UMa TÜRÜ YILDIZLAR.....	14
5. IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ.....	19
5.1 Wilson-Devinney (WD) Programı.....	21
5.2 Phoebe (Physics Of Eclipsing BinariEs) Programı.....	22
6. DÖNEM DEĞİŞİMLERİNİN OLASI NEDENLERİ ve ÖNERİLEN	

MODELLER	23
7. LS DEL ÇİFT YILDIZ SİSTEMİ	34
7.1 LS Del'in Önceki Çalışmaları	34
7.2 LS Del'in Işık Eğrisi Analizi	40
7.3 LS Del'in O-C Analizi	44
8. TARTIŞMA VE SONUÇ	47
KAYNAKLAR	48
EKLER	55
EK 1 LS Del çift yıldız sisteminin ışık eğrisi verileri (Johnson BV)	56
EK 2 LS Del çift yıldız sisteminin literatürden toplanan ve bu çalışma da elde edilen minimum zamanları	65
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Bileşenleri, ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan bir çift yıldız.....	1
Şekil 1.2 Örtün bir çift yıldız sistemi ve ışık eğrisi.....	2
Şekil 1.3 Örtün çift yıldızlarda fotometrik sınıflama	3
Şekil 2.1 Ortak bir kütle merkezinin şekilsel gösterimi.....	4
Şekil 2.2 Bir çift sistem için eş potansiyel yüzeyleri	6
Şekil 2.3 Bir çift sistemin yörünge düzlemindeki Φ_n normalize potansiyel değerinin ızgara yüzeyli gösterimi	7
Şekil 2.4 Her iki bileşeninde Roche lobunu doldurmadığı bir ayırık sistem	8
Şekil 2.5 Bileşenlerden birinin Roche lobunu doldurduğu yarı ayırık bir sistem.....	9
Şekil 2.6 Bileşenlerin ortak bir zarfla çevrildiği aşırı degen bir sistem.....	9
Şekil 3.1 Çekim kararmasının sıcaklıkla değişimi.....	10
Şekil 3.2 Kenar kararma etkisi.....	11
Şekil 3.3 Yıldızlarda dönme ve çekim etkisiyle biçim bozulması	13
Şekil 3.4 Albedonun 0 ile 1 arasında aldığı değerlere göre değişen ışık eğrileri.	13
Şekil 4.1 LS Del sisteminin radyal hız eğrisi.....	19
Şekil 7.1 LS Del'in ilk ışık eğrisi	35
Şekil 7.2 LS Del için Sezer 'in (1984) Johnson B ve V filtrelerinde elde ettiği ışık ve renk eğrileri	36
Şekil 7.3 LS Del'in radyal hız eğrisi (Lu & Rucinski 1999).....	37
Şekil 7.4 Elmaslı vd. (2005)'in LS Del için elde ettikleri ışık ve renk eğrileri	38
Şekil 7.5 LS Del'nin B bandı ışık eğrisi.....	41
Şekil 7.6 LS Del'nin V bandı ışık eğrisi.....	41
Şekil 7.7 LS Del'in 0.25 evresindeki geometrik modeli.....	42
Şekil 7.8 LS Del'in 0.75 evresindeki geometrik modeli.....	42
Şekil 7.9. LS Del'in güncel O-C eğrisi	44
Şekil 7.10 LS Del'in gözlemsel ve üretilen kuramsal O-C eğrilerinin uyumu	45
Şekil 7.11 Mevcut O-C eğrisine yapılan kuramsal çakıştırmanın gözlemlerden olan farkı.....	46

Şekil 7.12 Qian'ın (2000) LS Del için elde ettiği O-C eğrisi..... .46

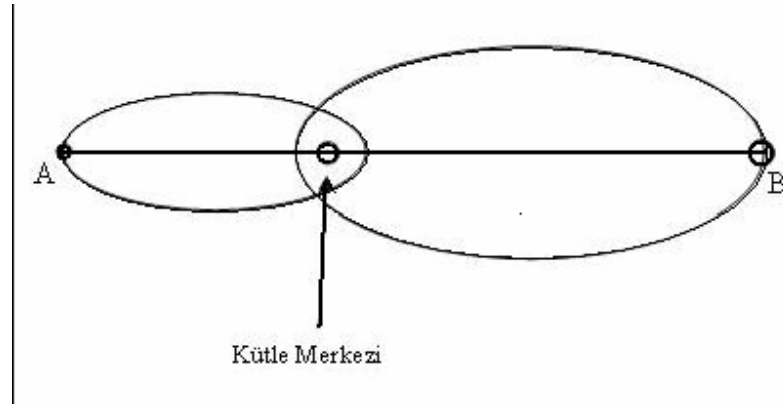
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 7.1 Sezer (1985)'in LS Del için bulduğu ışık eğrisi sonuçları (Johnson B-V).....	36
Çizelge 7.2 LS Del'in tayfsal analiz sonuçları (Lu & Rucinski 1999).....	37
Çizelge 7.3 LS Del'in en son fotometrik gözlemlerine ilişkin yörünge çözüm sonuçları (Elmaslı vd 2005).....	39
Çizelge 7.4 LS Del'in ışık eğrisi analiz sonuçları (Johnson B-V).....	43
Çizelge 7.5 Bu çalışmada ulaşılan sonuçların Qian (2000) ile bir karşılaştırması.....	46

1. GİRİŞ

1.1 Çift Yıldız Nedir?

Çift yıldız, birbirlerine kütle çekim kuvvetiyle bağlı ve ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yapan, iki veya daha çok yıldızdan oluşmuş sistemlerdir. “Çift Yıldız” terimi ilk olarak 1802 yılında Sir William Herschel tarafından kullanılmıştır. Günümüzde çift yıldızlar, genellikle gözlenme şekillerine göre sınıflandırılmakta olup optik çift, görsel çift, tayfsal çift, örten çift ve astrometrik çift yıldızlar şeklinde adlandırılmaktadırlar (Şekil.1.1).



Şekil 1.1 Bileşenleri, ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan bir çift yıldız

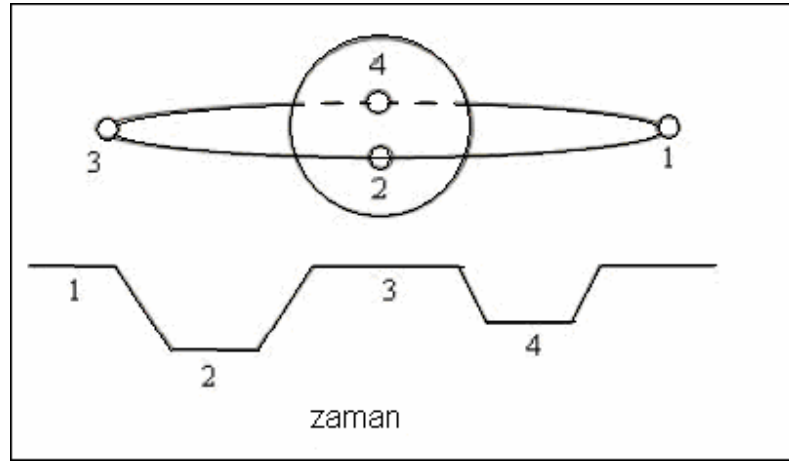
1.2 Çift Yıldızlar Neden Önemlidir?

Çift yıldızlar astrofizikte, tek yıldızlara kıyasla daha çok bilgi sunmaları bakımından daha büyük bir öneme sahiptirler. Örneğin herhangi bir gök cisminin kütlelerinin doğrudan belirlenebilmesi, en az iki cisim arasında ölçülebilen bir kütle çekim kuvvetinin varlığını gerektirir. Kütle, yıldızların evriminin anlaşılabilmesi bakımından temel parametredir, dolayısıyla çift yıldızlar yardımıyla bileşen yıldızların kütleleri, bu sayede de evrim durumları hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Bununla birlikte bileşen yıldızların

yarıçap, ışınım gücü gibi temel parametreleri de hesaplanabilmektedir. Çift yıldızlar yardımıyla belirlenen fiziksel parametreler ile tek yıldızların fiziksel özellikleri de belirlenebilmektedir. Çift yıldızlar ayrıca yakın galaksilerin ve yıldız topluluklarının uzaklıklarının belirlenmesinde, X-ışın çifleri, kataklizmik değişenler, novalar, simbiyotik yıldızlar ve bazı tür süpernovalar gibi egzotik cisimlerin doğasının açıklanmasında da önemli rol oynamaktadırlar.

1.3 Örten Çift Yıldızlar

Bu tür sistemlerde yörünge düzleminin, gözlemciye uygun bir açı altında yönelmiş olması halinde, bileşenlerin birbirini dönemli olarak örtmesi sonucu tutulmalar meydana gelir ve bir ışık değişimi gözlenir. Tutulmalardan kaynaklanan etkilerin izlendiği böylesi yakın çift yıldız sistemlerine “ Örten Çift Yıldızlar ” denir.



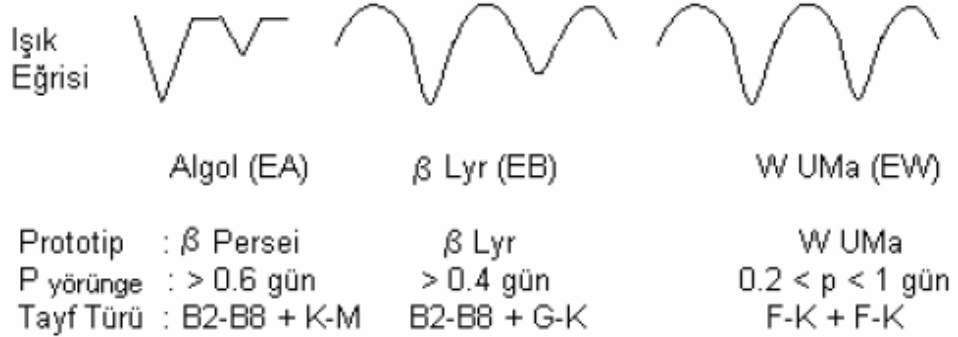
Şekil 1.2 Örten bir çift yıldız sistemi ve ışık eğrisi

Yörünge dönemi ile evrelendirilmiş ışık eğrilerinde farklı derinliğe sahip iki minimum profili izlenir. Daha derin olan minimum, daha sönük yıldızın parlak yıldızı örtmesiyle oluşur ve baş minimum yada birinci minimum olarak adlandırılır. Daha sığ olan minimuma

ise yan minimum yada ikinci minimum denir ve yoldaş bileşenin örtülmesiyle meydana gelir.

1.4 Örten Çift Yıldızların Sınıflandırılması

Örten çift yıldız sistemleri, bileşen yıldızların birbirine olan uzaklığına bağlı olarak başka ışık değişimleri de gösterirler. Dolayısı ile bu tür sistemlerin zamana göre periyodik değişim gösteren ışık eğrilerinin biçiminden bir sınıflama yapabilmek mümkündür. Fotometrik sınıflama adı verilen bu sınıflama türüne göre örten çift yıldızlar üç ana gruba ayrılmaktadırlar. Eğer ışık eğrisinde minimumlar arasındaki kısım fazla değişim göstermeyen düz bir bölge içeriyorsa o zaman bir Algol (EA) sisteminden bahsediliyor demektir. Minimumlar arasındaki bölgenin eğrisel olması halinde, bileşenlerin biçimi küresellikten sapmış bir sistemle karşı karşıya kalınmış demektir. Bu durumda ardışık iki minimum derinliğinin birbirine yaklaşık olarak eşit olduğu sistemlere W UMa (EW), farklı olduğu sistemlere ise β Lyr (EB) türü sistemler denilmektedir.

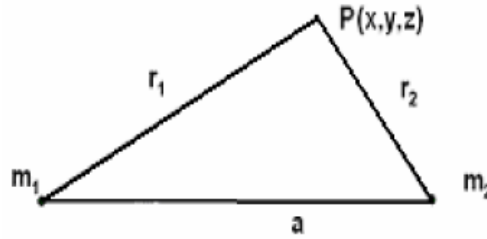


Şekil 1.3 Örten çift yıldızlarda fotometrik sınıflama

2. ROCHE MODELİ ve BU MODELE GÖRE YILDIZLARIN SINIFLANDIRILMASI

2.1 Roche Modeli

Eğer bütün çift yıldızlar ayırık sistemler olup evrimlerine de bu şekilde devam etselerdi, küresel yapıya sahip, minimum tedirginlik etkileri gösteren çift yıldızlar olarak kabul edilebilirlerdi. Bu durumda “Legendre Polinomları” bu sistemlerin geometrilerini ifade etmek için yeterli olacaktı. Ancak, Hertzsprung-Russell diyagramında sıfır yaş anakolu üzerinde bulunan, fiziksel olarak birbirlerine temas eden ve bunun sonucu olarak yüksek tedirginlik etkilerinden dolayı küresellikten önemli derecede sapmış, “değen çiftler” olarak adlandırılan sistemler mevcuttur. Bundan dolayı küresellikten sapmış ve çeşitli tedirginlik etkilerini modelleyebilen alternatif bir formülasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu formülasyon “Roche Modeli” dir. Roche Modeli dairesel yörüngelerde, kütle merkezi etrafında dolanan iki noktasal kütlelerin oluşturduğu sistemin toplam çekimsel potansiyelini temel almıştır. Kendi çekim alanlarının etkisi altındaki üç cismin hareketine ait bir analitik çözüm üretmek olanaksızdır. Böyle bir çözüm için matematikçiler, ortak kütle merkezi etrafında dairesel yörüngelerde dolanan iki cisim ve bu iki cismin kütle çekim alanı içinde hareket eden bir üçüncü cisimden oluşan kısıtlı üç cisim probleminden yararlanmışlardır.



Şekil 2.1 Ortak bir kütle merkezinin şekilsel gösterimi

(Ortak bir kütle merkezine sahip m_1 ve m_2 kütleleri birbirlerinden a birim uzaklığı ile ayrılmıştır. m_1 kütlelerinde merkezlenmiş koordinat sisteminde x - eksenine m_2 kütlesi boyunca uzanmıştır. y eksenine yörünge düzleminde ve x eksenine diktir. z eksenine ise yörünge düzlemine diktir. $P(x,y,z)$ noktası M_1 den r_1 , M_2 den r_2 kadar uzaklıktadır.)

Buna göre ortak bir kütle merkezi etrafında dairesel bir yörüngede dolanan m_1 ve m_2 kütleleri yakınında, kütlesi ihmal edilebilecek çok küçük bir parçacığın hareketi;

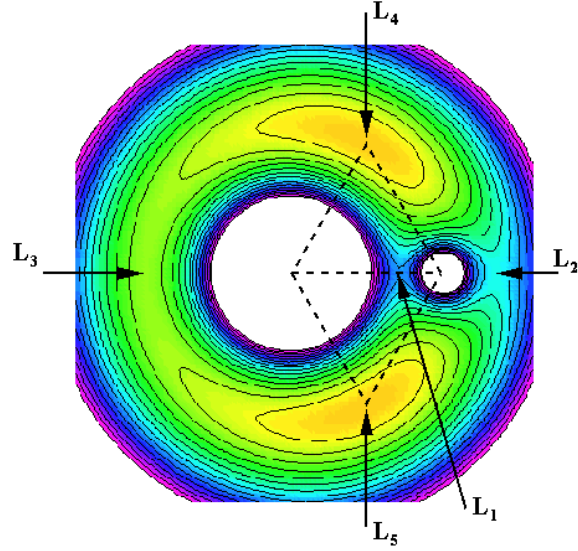
$$V^2 = \omega^2(x^2 + y^2) + \frac{2Gm_1}{r_1^2} + \frac{2Gm_2}{r_2^2} - 2C \dots\dots\dots 2.1.1$$

denklemleri ile ifade edilir. Burada V , kütlelerinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu kabul edilen parçacığın uzay hızı, C Jacobi integral sabiti, r_1 ve r_2 bileşen yıldızların kütle merkezine olan uzaklıkları, ω ise kütlesi ihmal edilebilecek kadar küçük olan parçacığın açısal hızını ifade etmektedir. (xyz) koordinat sisteminin başlangıç noktası ise m_1 ve m_2 kütlelerinin ortak kütle merkezindedir ve xy düzlemi, yörünge düzlemdir. Bu koordinat sistemi z eksenini etrafında ω açısal hızı ile dönmektedir. Denklem 2.1.1’de $V = 0$ alınarak, her bir C değeri için xy düzleminde hızın sıfır olduğu yüzeyler elde edilir ki buna “sıfır hız yüzeyleri” denir. Bu yüzeyler;

$$C = \frac{\omega^2}{2}(x^2 + y^2) + \frac{Gm_1}{r_1} + \frac{Gm_2}{r_2} \dots\dots\dots 2.1.2$$

formülü ile belirlenmektedir. Bu bağıntının sağ tarafındaki ilk terim dönme nedeniyle merkezkaç potansiyeli, son iki terim ise iki noktasal kütleden kaynaklanan (m_1 ve m_2) çekim potansiyelleridir. Denklem 2.1.2’de, r_1 ve r_2 ’nin çok büyük değerlerinde yani $(x^2+y^2) \cong C$ iken, yarıçapı \sqrt{C} olan asimptotik bir silindir verir. C ’nin büyük değerlerinde m_1 ve m_2 kütleleri etrafında ayrı ayrı, küresel şişimler oluşturan yüzeyler elde edilir. C azaldıkça, iki kütleli birleştiren merkez doğrultusu boyunca yüzeyler daha kararsız hale gelir, öte yandan bileşenlerin birbirlerine bakmayan yüzeyleri yaklaşık olarak küresel şekillerini korurlar. Sonunda iki noktasal küreyi saran bağımsız yüzeyler birbirlerine birinci Lagrange noktası olarak adlandırılan L_1 noktasında değeri. Bu noktaya “ iç Lagrange noktası” da denilmektedir. L_1 noktasında birbirine değen iki yüzey, çift sistemin bileşenlerinin “Roche Limitleri” olarak adlandırılır. Bu üç boyutlu sınır hacimleri “Roche Lobları” olarak da isimlendirilir. Bu hacimlerin limit olmalarının sebebi, bir çift sistemdeki bileşenlerin ulaşabilecekleri maksimum kapalı hacimleri tanımlamalarındandır. Her sınırlayıcı hacmin

fiziksel boyutu ilk olarak, “a” bileşenler arası uzaklığa ve ikinci olarak ta “q” kütle oranına bağlıdır. Kütle oranı eşit olan bir çift sistemde her iki bileşene ait Roche lobları da aynı büyüklüğe sahip olacaktır. Kütle oranı düşükçe daha büyük kütleli yıldızın Roche lobu genişlemekte iken daha küçük kütleli yıldızınki daralmaktadır.

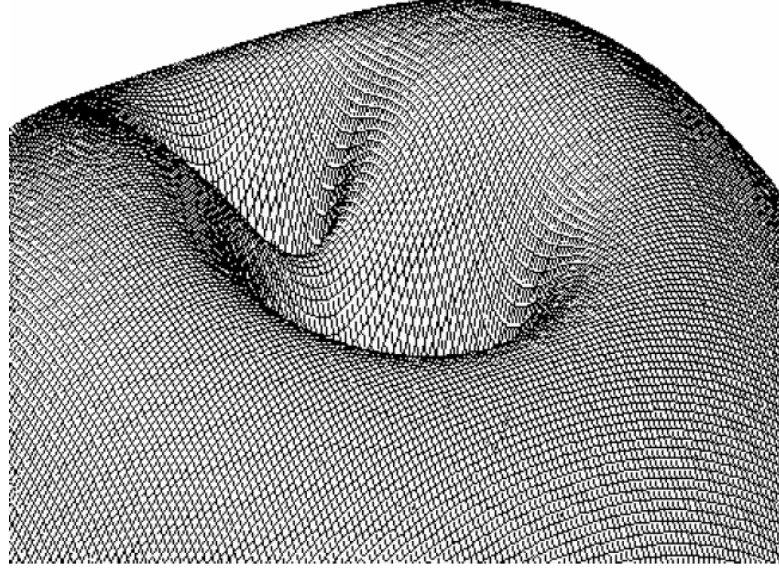


Şekil 2.2 Bir çift sistem için eş potansiyel yüzeyleri

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi sistemlerde iki bileşen boyun bölgesinde birbirlerine fiziksel olarak temas etmektedir. Sistem, Roche limitini çevreleyen bir ortak zarf ile çevrilidir. Bu bölgenin ötesinde ikinci bir eşpotansiyel yüzey mevcuttur. Bu yüzey tüm sistemi sarmakta ve ikinci Lagrange noktası olan L_2 ’de bir kesim noktası oluşturmaktadır. Bu nokta, maddenin sistemdeki kütle çekim alanından dışarı çıkabileceği dış Lagrange noktasıdır. m_1 ve m_2 kütlelerine göre L_2 noktasının karşı tarafında, L_2 ’den daha yüksek potansiyeldeki maddenin kaçış noktası olarak bilinen L_3 noktası bulunmaktadır. İki kütleli daha da uzakta potansiyel maksimumları olarak adlandırılan L_4 ve L_5 noktaları yer almaktadır.

Şekil 2.3’de (x,y) düzleminde görülen ve iki noktasal kütleli saran normalize potansiyel değeri ızgara-yüzeyler şeklinde gösterilmektedir. Şekilde bileşenlere ait potansiyel çukurları görülmektedir. L_1 noktası iki bileşen arasındaki geçitte bulunmaktadır. Her bileşen hacmini genişlettikçe kendisine ait yüzey potansiyel çukurunu doldurmaya başlar.

Bir bileşenin yüzeyi Roche limitine ulaştığında, madde L_1 yarığında diğer bileşenin potansiyel çukuruna kolayca geçebilir.



Şekil 2.3 Bir çift sistemin yörünge düzlemindeki Φ_n normalize potansiyel değerinin ızgara-yüzeyle gösterimi

Şekilde yıldızların potansiyel çukurlarıyla birlikte iç Lagrange noktası L_1 ve L_4 , L_5 potansiyel maksimumları görülmektedir.

Diğer yönlerdeki potansiyel bariyerleri daha büyüktür ve bu nedenle madde için bu bariyerleri aşmak, birinci Lagrange noktasına nazaran daha fazla enerjiyi gerektirmektedir. L_1 noktasının üç boyutlu etkisini düşünecek olursak; L_1 noktası maddenin bir sistemdeki bir bileşenden diğerine en kolay şekilde geçiş yapabileceği bir geçiş noktası etkisi yaratmaktadır. Benzer bir tanım L_2 noktası için de yapılabilir ve maddenin çift sistemden, potansiyel bariyerinin en düşük bölgesine atımını sağlayan geçittir. Özet olarak bir çift sistemin şekli, yıldız için uygun eş potansiyel yüzeylerle tanımlanabilir. R/a kesirsel yarıçap değerinin yaklaşık olarak 0.1 veya daha küçük olduğu tamamen ayrık sistemlerde bileşenler küreseldir. Çünkü noktasal kütleyle yakın olan eşpotansiyel yüzeylerde küreseldir. $R/a \approx 0.2 - 0.3$ olan, birbirlerine daha yakın sistemlerde, yıldızlar küresellikten uzaklaşmışlar ve sonunda kendi Roche loblarını doldurmuşlardır. Roche modeli oluşturulurken; (a) çift yıldız sistemini oluşturan bileşen yıldızların nokta kaynak olarak kabul edilmesi (b) bileşen yıldızların çevresindeki maddenin hareketsiz olduğu, çekim alanı

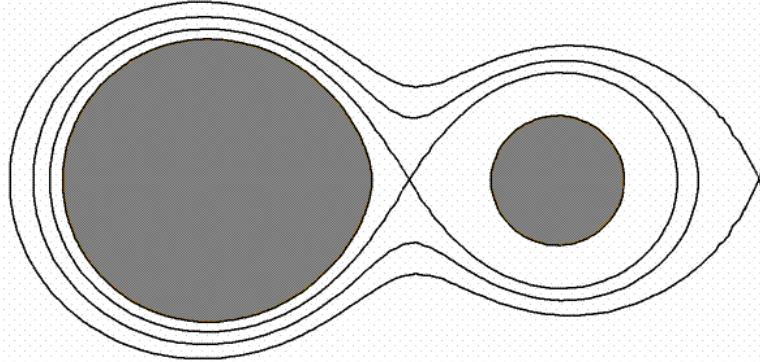
içerisinde görelî hareketin bulunmaması (c) çift yıldız yörüngesinin dairesel olması (d) bileşen yıldızların dönme eksenlerinin, yörünge düzlemine dik olması (e) bileşen yıldızların senkronize dönmesi (f) çekim gecikmesinin olmaması (g) ışınım basıncı, manyetik etkiler, viskozite gibi etkilerin olmaması gibi kabuller yapılmaktadır.

2.2 Roche Modeline Göre Yıldızların Sınıflandırılması

Kopal (1955), Roche modeline göre yakın çift yıldızları üç ana gruba ayırmıştır. Bu sınıflamada bileşen yıldızların Roche eşpotansiyellerini doldurmaları temel alınmıştır.

2.2.1 Ayrık Çift Yıldızlar

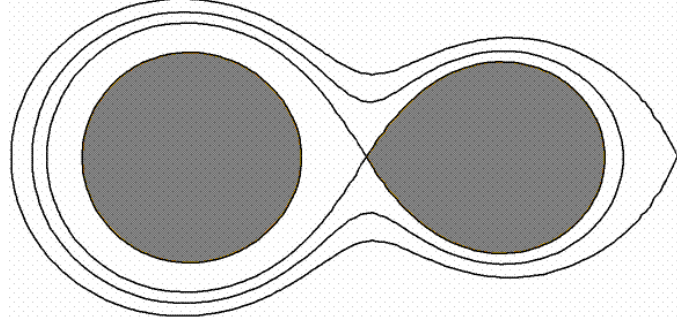
Bu tür sistemler, bileşenlerinin her ikisinde Roche lobunu doldurmamış sistemlerden oluşmaktadır. Karşılıklı etkileşme hemen hemen yoktur.



Şekil 2.4 Her iki bileşeninde Roche lobunu doldurmadığı ayrık bir sistemin şematik gösterimi

2.2.2 Yarı Ayrık Çift Yıldızlar

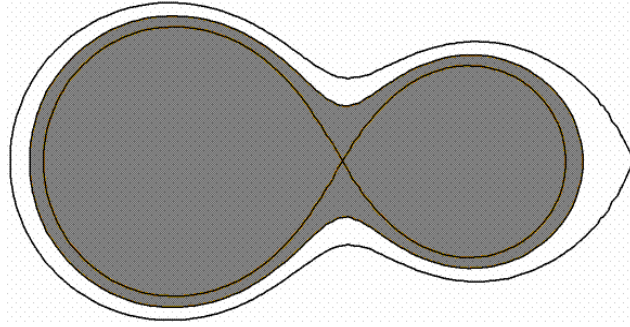
Bu tür sistemlerde bileşenlerden biri Roche lobunu doldurmuş, diğeri ise doldurmamış durumdadır. Bu sistemlerde karşılıklı etkileşme söz konusudur. Roche lobunu doldurmuş olan bileşen birinci Lagrange noktasından diğeriye doğru madde aktarmaktadır. Aktarılan madde bileşen etrafında bir spiral disk oluşturacak şekilde hareket eder. Algol türü sistemler bu grubun prototipidir.



Şekil 2.5 Bileşenlerden birinin Roche lobunu doldurduğu yarı ayrıklı bir sistemin şematik gösterimi

2.2.3 Değeri Çift Yıldızlar

Her iki bileşeni de Roche lobunu doldurmuş sistemlerdir. Eğer yıldız maddesi Roche lobundan taşarak her iki bileşenin de etrafını sarmış ise bu sistem ortak bir zarfa sahip demektir. Böyle sistemlere ise “aşırı değeri çift yıldızlar” adı verilmektedir. W Uma türü ışık eğrilerine sahip sistemler aşırı değeri çiftlerin prototipidir.



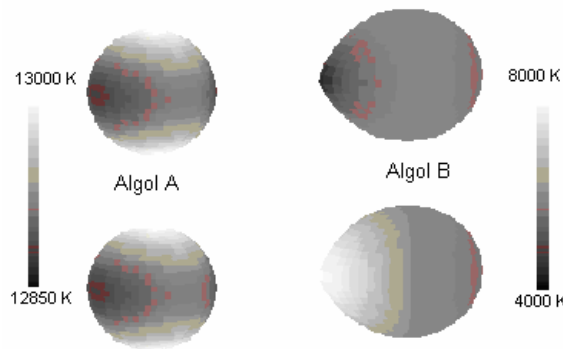
Şekil 2.6 Bileşenlerin ortak bir zarfla çevrildiği aşırı değeri çift bir sistem

3. YAKINLIK ETKİLERİNDEN KAYNAKLANAN BAZI OLGULAR

Bir çift yıldızdaki bileşenlerin birbirleriyle etkileşmesi durumunda, tek yıldızlarda görülmeyen birçok etkinin ışık eğrilerine yansıdığı bilinmektedir. Bileşenlerin, yakınlıkları ve karşılıklı çekim etkileri sonucu biçimleri küresellikten sapmıştır. Armutlaşmış bir yıldızın, izdüşüm düzlemindeki kesit alanı, kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu sürekli değişeceğinden ışığı sabit olmayacaktır. Bu ışık değişiminin oluşmasına sebep olan etkiler şunlardır;

3.1 Çekim Kararması

Çekimsel etkiler nedeniyle yıldız şeklinin küresellikten ayrılması durumunda, yıldız yüzeyinde farklı noktalar farklı yerel çekim gücüne sahip olacaktır. Yerel çekim gücünün farklı olması ise yıldız yüzeyinde farklı parlaklıkların ortaya çıkmasına neden olur. Yüzey parlaklığındaki bu değişim, yerel çekimsel kuvvetin farklılığından ortaya çıkması nedeniyle 'çekim kararması' olarak tanımlanmıştır. Dönen bir yıldızın şekli, yüzey çekim ivmesi ve yüzey parlaklık dağılımı, dönmeyen bir yıldızın sahip olduğundan oldukça farklıdır. von Zeipel (1924), bir yıldızın yüzeyi boyunca akı dağılımının yerel çekim ivmesi ile orantılı olduğunu belirlemiştir. Buna göre şekli bozulmuş bir yıldızın kutup bölgeleri ekvator bölgelerine nazaran daha sıcaktır.



Şekil 3.1 Çekim kararmasının sıcaklıkla değişimi

Von Zeipel (1924) teoremine göre, yıldızın çekim ivmesinin yarıçapının karesi ile orantılı olması ve yıldızın küresellikten sapmış olması sonucu yüzey akısı, yüzeyin her noktasında aynı olmayacaktır. Bu sonuç için modern bir yaklaşım Kippenhahn and Weigert (1990) tarafından,

$$F = \frac{4ac}{3\kappa\rho} T^3 \frac{dT}{dr} g = -k(U)g, \quad g = -\nabla U \dots\dots\dots 3.1.1$$

olarak verilmiştir. Burada F, ışımsal enerji akı vektörü ve g ise çekimsel ve merkezci ivmeleri içeren etkin yüzey çekim ivmesidir. Verilen bir potansiyel için akıyı hesaplamak gerekirse, akı sadece g ile değişmektedir. Buna göre yerel bolometrik akı aşağıdaki gibidir;

1.00 von Zeipel Teoremine göre

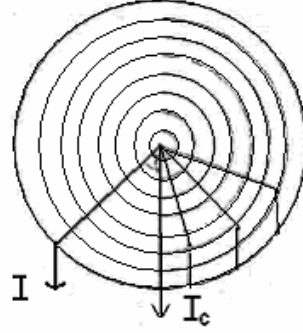
$$F_1 = F_p \left[\frac{g_1}{g_p} \right]^g, \quad g = \dots\dots\dots 3.1.2$$

≈ 0.32 Lucy'nin teoremine göre

Burada p indisi yıldızın kutbu anlamına gelmektedir. Lucy (1967) tarafından önerilen teoreme göre üssün 0.32 alınmasıyla T < 7200 K olan konvektif yıldızlara, Von Zeipel (1924) tarafından önerilen teoreme göre 1.00 alınmasıyla da T > 7200 K olan radyatif yıldızlara ilişkin bağıntı elde edilmektedir.

3.2 Kenar Kararması

Bu etkiyi ihmal etmek, yıldız diskinin üniform bir parlaklığa sahip olduğunu kabul etmek demektir. Yüzey parlaklığının merkezden kenarlara doğru değiştiğine dair birçok kanıt özellikle Güneş'te olmak üzere diğer yıldızlarda da açıkça görülmektedir.



Şekil 3.2 Kenar kararma etkisi

Kenar kararması, yeğinliğin yüzey normali ile yaptığı açığa bağlıdır (şekil 3.2). Yıldız atmosferlerinde sıcaklık, derinlikle artmaktadır ve merkezden alınan ışınım şiddeti ile kenarlardan alınan ışınım şiddeti arasındaki farktan dolayı kenar kararma etkisi meydana gelmektedir. I_c disk merkezinden alınan ışınım şiddeti olmak üzere herhangi bir noktadaki I ışınım şiddeti (lineer kenar kararma yasasına göre),

$$I = I_c(1 - x + x \cos \gamma) \dots \dots \dots 3.2.1$$

ile ifade edilmektedir. Burada x kenar kararma katsayısıdır. Kenar kararması yok iken $x = 0$ dir ve bu durumda $I = I_c$ olur. Tam kararmada ise $x = 1$ dir. Güneş dışında diğer tüm yıldızlarda kenar kararmasının belirlenebilmesi için ya tutulma gösteren çift sistemlerin incelenmesine yada “ay örtmesi” gözlemine gerek vardır. Tutulma gösteren çift sistemlerde kenar kararmasının belirlenebilmesi için ışık eğrilerinin minimumlarının yeterince derin ve sistemde tam tutulma olması gerekmektedir. Kenar kararması, örten çift yıldızların ışık eğrilerinde, özellikle minimuma giriş ve çıkış yöresinde daha etkin olmaktadır. Bu etki, tutulmanın daha geç başlayıp daha erken bitmesine neden olmaktadır. Özellikle parçalı tutulma gösteren ışık eğrilerinde, minimum tabanlarının daha eğrisel olmasına neden olur. Sıcak yıldızlara gidildikçe bu etkiler zayıflamaktadır.

Kenar kararma katsayıları çeşitli araştırmacılar tarafından teorik olarak hesaplanmış ve çizelgeler halinde yayınlanmıştır. Bunların arasında en önemlileri; Al Naimiy (1978), Wade and Rucinski (1985) ve Van Hamme (1993)’ın yaptığı çalışmalardır.

3.3 Basıklaşma ve Armutlaşma

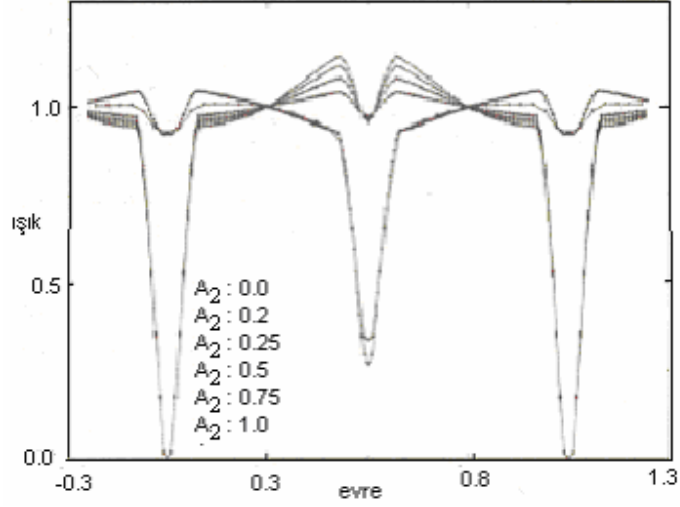
Bileşenler dönme sonucu küresel biçimden uzaklaşarak basıklaşırlar. Üzerinde yaşadığımız Dünya ve bize en yakın yıldız olan Güneş kendi eksenleri etrafında dönmelerinden dolayı basıklaşmıştır. Bu durumda yıldızların şekli dönel elipsoid olacağından, tutulma olmasa bile ışık eğrileri zamanla değişim gösterir. Küresellik ortadan kalktığından yarıçap artık tek değerle belirlenememektedir. Bileşen yıldızlar birbirine yakın ise, çekim nedeni ile birbirine bakan yarıçapları daha da uzun olacaktır, bu ise yıldızın armutlaşmasına neden olacaktır. Şekil 3.3’de bu iki olayın yıldız biçimini nasıl etkilediği gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Yıldızlarda dönme ve çekim etkisiyle biçim bozulması

3.4 Yansıma Etkisi

Bir çift sistemde bir bileşenin varlığı diğer bileşenin parlaklığının artmasına sebep olur. Bu olay bileşenlerin birbirlerine bakan yarıkürelerinde meydana gelmektedir. Bunun nedeni, bileşenlerden biri tarafından yayınlanan ışınımın küçük bir oranının diğer bileşen tarafından soğurularak kendi ışınımına ek olarak her yönde tekrar salmasıdır. Çok sıcak sistemlerde ışınımın önemli bir kesri serbest elektronlarca saçılmaktadır dolayısıyla böyle sistemlerde yansıma etkisi daha da önemli bir hale gelmektedir.



Şekil 3.4 Albedonun 0 ile 1 arasında aldığı değerlere göre değişen ışık eğrileri
Sıcaklıklar $T_1=20000$ ve $T_2=3600$ K dir.

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi yansıma etkisi ışık eğrisinde ikinci minimum civarında (ikinci minimumdan önce ve sonra) kendini göstermektedir. Yansıma etkisi bolometrik albedo parametresi ile modellenmektedir. T_1 bir r_1 yüzey noktasındaki sıcaklık olsun. Klasik bir yaklaşımla yansımayı modelleyebilmek için;

$$T_1' = \sqrt[4]{R_t T_1} \quad , \quad R_t = 1 + A_t \frac{F_s}{F_t} \quad \dots\dots\dots 3.4.1$$

ifadeleri kullanılmaktadır. Burada F_s bolometrik ışıma akısı, F_t yansıma etkisini içermeyen ışıma akısı, A_t bolometrik albedo ve R yansıma katsayısıdır. Eğer bileşenin yüzeyi radyatif ise $A = 1$ kabul edilir, eğer bileşen yüzeyi konvektif ise ışığın yarısı yansıtılır, yarısı atmosferdeki kütle hareketinde kullanılır. Bu durumda dış konvektif katmana sahip yıldızlar için $A = 0.5$ değeri kullanılmaktadır.

4. W UMa TÜRÜ YILDIZLAR

Lucy (1968) tarafından yapılan ilk çalışmalardan bu yana yaklaşık 40 yıllık bir zaman geçmiş olmasına rağmen, W UMa türü yıldızlar hala tam olarak anlaşılammıştır. Böyle sistemler, yapılarının ve evrimsel durumlarının anlaşılabilmesi amacıyla birçok makalede ele alınmıştır. W UMa yıldızları, ışık eğrilerinde izlenen neredeyse eşit derinlikli iki minimumla ve süreklilik gösteren ışık değişimleri ile karakterize edilmektedirler. Bu ayrım Lucy (1968)'nin ortak konvektif zarf (CCE) modeline dayanmaktadır. Modelde, bu sistemlerin ışık eğrilerinin hemen hemen eşit minimuma sahip oluşları tatmin edici bir biçimde açıklanmaktadır. Eşit minimum derinlikleri, bileşenlerin eşit yüzey sıcaklıklarına sahip olduklarının bir göstergesidir. Bunun nedeni, birinci bileşenden ikinci bileşene geniş ölçekli enerji transferidir. Bu enerji transferi, tüm sistem üzerindeki yüzey sıcaklığının kabaca eşitlenmesini sağlar. Lucy'nin bu modeli ısıl denge varsayımına dayanır ve Eggen (1967)'in W UMa yıldızları için gözlenen period-renk ilişkisini açıklamadaki zorluklar sonucu ortaya çıkmıştır. “Değen Çiftler” olarak bilinen bu sistemlerin bileşenleri birbirine çok yakındır. Qian (2001)'in yaptığı çalışmalar, W UMa türü çift sistemlerdeki period değişiminin kütle oranına (q) ve birinci bileşenin kütlesine (M_1) bağlı olabildiğini göstermiştir. W UMa türü çift yıldızın period değişimi için kritik bir kütle oranı (q_{cr}) vardır. Düşük kütle oranına ($q < q_{cr}$) sahip sistemlerin periodları azalırken, ($q > q_{cr}$) olan sistemler genellikle artan period gösterirler ve buna ek olarak kritik kütle oranı, baş bileşenin kütlesi M_1 ile ilişkilidir. Bu gözlemsel bulgulardan, açısal momentum kaybının, W UMa türü yıldızların birbirlerine bu denli yakın olmalarını sağladığı çıkarılabilir. Bu yakınlığın doğal sonucu olarak, sistem içerisinde oluşan ileri derecede karşılıklı tedirginlik kuvvetleriyle, küresellikten önemli ölçüde sapmış bileşenler içermektedirler. Diğer bir ifadeyle bu yıldızların en küçük açısal momentum değerine sahip olan yıldızlar oldukları söylenebilir. Yörünge dönemleri oldukça kısadır ve 5 saat ile 18 saat arasında değişen değerlere sahiptirler. Tayf türleri F0 ve daha geç türlerden olan değen çift yıldızların yaklaşık % 80'i W UMa'lardır. B-V renk ölçekleri +0.54 ile +0.59 ve bileşenlerin kütleleri 0.9 - 4.0 M_{\odot} arasındadır. W UMa'ların dönemleri ve renkleri arasında çok sıkı olmasa da bir bağıntı vardır ki buna renk-dönem ilişkisi denir. Bu ilişkide uzun dönemli sistemlerin sıcak yani

erken tayf türüne sahip olduğu, kısa dönemli sistemlerin ise soğuk, geç tayf türüne sahip oldukları görülmektedir. Bu sistemler için hesaplanan kütle oranı daima 1'den farklıdır. Bu durumda merkezinde hidrojen yakan anakol yıldızları için ortaya konan kütleışı-
nım-yarıçap bağıntısı dikkate alındığında, iki bileşenin yüzey sıcaklıklarının farklı olması gerekmektedir. Bu koşul ışık eğrisinde iki minimum derinliğinin farklı olmasını ve bu tür çiftlerin EB türü grupta yer almasını gerektirir. Genel olarak yıldızların fotosferleri, eş potansiyelli yüzeyler olarak ele alınırlar. Bu eş potansiyelli yüzeylerde yoğunluk ve basınç sıfırdır. Değen çift yıldızların her iki bileşeni de kendi Roche loblarını doldurmuş yıldızlardır. W UMa yıldızları, yakınlık etkileri nedeniyle ışık eğrisi sürekli değişim gösteren ve hemen hemen aynı tayf türünden oluşan sistemlerdir. Roche modeline göre ise değen yıldızlar olarak tanımlanan sistemlerin bir grubunu oluştururlar. Neredeyse eşit derinlikli minimumlara sahip ışık eğrileri veren W UMa'ların bu aykırı durumu, ancak yukarıda bahsedilen "değme" olgusunun dikkate alınması ve bir "ortak zarf" ile sarılmış olmaları halinde açıklanabilmektedir. Konvektif yapıya sahip bu zarf boyunca, etkin bir ısı dağıtımının varolması sayesinde iki bileşen yaklaşık olarak aynı yüzey sıcaklığında görünmektedirler. Bu sürecin modellenmesi oldukça güçtür. Teorik araştırmalar, W UMa zarflarında izlenen "ısısal değme" yapısının zaman zaman bozulduğunu göstermektedir. Bu durumun gerçekte var olduğunun en önemli kanıtı, W UMa'larla yaklaşık aynı yörünge dönemine ve bileşen kütlelerine sahip EB türü sistemlerin gözlenmesidir. Aslında W UMa bileşenlerinin, doğrudan tek anakol yıldızlarıyla karşılaştırılması yapılamaz. Çünkü her iki bileşeni de, birbirleri arasındaki ışınım aktarımından dolayı standart kütle-ışınım bağıntısına uymazlar. Göreli olarak kısa yörünge dönemleri, W UMa yıldızlarını fotometrik gözlemlerin en fazla tercih edilen hedefi durumuna getirmiştir. Literatürde mevcut gelişmiş ışık eğrisi sentez modelleriyle (Wilson-Devinney yöntemi vb), ışık eğrileri çözümlenebilmekte ve bileşenlere ait kesirsel geometrik parametrelerin yanı sıra, yörünge eğim açısı i , kütle oranı q ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları T_1 , T_2 belirlenebilmektedir. Bileşenlerin yüksek yörünge hızlarına sahip olmaları nedeniyle tayfsal çizgileri oldukça genişlemiştir. Bu nedenle dikine hız hesaplamalarında "cross correlation" yönteminin yanı sıra "broadening function" yaklaşımları daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. W UMa'ların çoğunda izlenen, sistemden kütle ve açısal momentum kaybıyla, ileride "Blue Stragglers"

olarak adlandırılan yaşlı ve büyük kütleli anakol yıldızlarına veya hızlı dönen çift çekirdekli lekeli FK Com türü dev yıldızlara evrimleşecekleri düşünülmektedir. Binnendijk (1970), W UMa yıldızlarının özelliklerini inceleyerek bu sistemleri W-türü ve A-türü olmak üzere iki alt gruba ayırmıştır. Bu sınıflama temelde, ışık eğrilerindeki derin minimumun bir geçiş (transit) veya bir örtme (occultation) sonucunda oluşmasına dayandırılmaktadır. Tutulma tanımlarına göre W-türü degen çift yıldızlarda küçük kütleli, küçük yarıçaplı yıldızın daha sıcak, A-türü degen çift yıldızlarda ise büyük kütleli ve büyük yarıçaplı yıldızın daha sıcak olması gerekmektedir. Bu iki grup degen çift yıldızların diğer bütün fiziksel özelliklerinin de farklı olduğu görülmektedir. Genel olarak W UMa türü sistemlerin gözlemsel verilerinden, alt sınıflar arasındaki basit farklılıklar şu şekilde ortaya çıkmaktadır (Binnendijk 1970):

A Türü

- I minimum geçiş (transit)
- Kütle oranı daha küçük $q < 0.54$
- Esas bileşen daha büyük kütleli ve sıcak
- Erken tayf türünde
- Bileşen kütleleri büyük
- Ortalama dönem 0.5 gün
- Ortalama sıcaklık daha fazla
- Yüksek ışıınım gücü
- Değme daha fazla
- Ortak zarf kalın
- Evrimde ileri safhada

W Türü

- I minimum örtme (occultation)
- Kütle oranı $0.14 < q < 0.87$
- Esas bileşen daha küçük kütleli ve sıcak
- Geç tayf türünde
- Bileşen kütleleri küçük
- Ortalama dönem 0.3 gün
- Ortalama sıcaklık daha az
- Düşük ışıınım gücü
- Değme daha az
- Ortak zarf ince
- Henüz anakol bandında

W- türü degen çift yıldızların fotometrik ışık eğrilerinde görülen ;

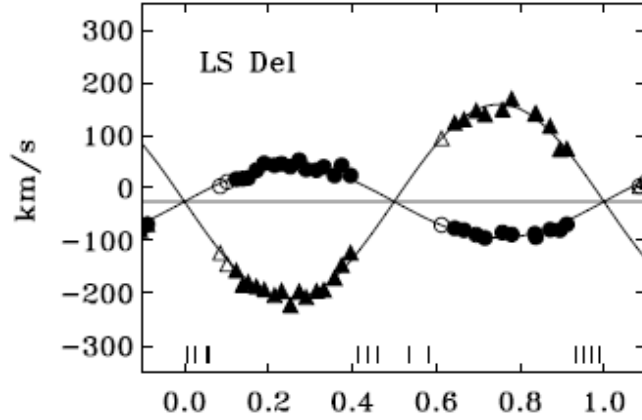
(i) minimumların asimetrik olması,

(ii) art arda iki maksimumun eşit seviyede olmaması,

(iii) minimum çıkışlarında düzensiz düşmeler olması, gibi düzensizliklere, bileşenlerdeki manyetik bir aktivitenin neden olma ihtimali Eaton (1983) ve Mullan (1975) tarafından araştırılmış ve zamanla biriken veriler sonucu manyetik aktivite olgusunun belirgin bir etki yaratabileceği ortaya çıkarılmıştır.

W-türü degen çift yıldızların ışık eğrilerinde derin minimumun örtülme olması, modellerde birkaç ayrı yoldan sağlanmıştır. En çok kullanılan yol küçük kütleli ve küçük yarıçaplı bileşenin diğerine göre 300°K kadar daha sıcak alınmasıdır (Rucinski 1974 ve Berthier 1975). En çok kullanılan ikinci yol, bolometrik albedo ve çekim kararması sabitini büyük almaktır (Wilson and Devinney, 1973 ve Wilson and Biermann, 1976). Çekim kararması sabitinin büyük alınması, örtülme minimumunu daha derin yapmaktadır ve albedonun büyük alınmasıyla da ışık değişimi genliği dengelenmektedir. Diğer taraftan Anderson and Shu (1977), normal çekim kararması, kuvvetli yansıma ve düşük kenar kararmasıyla da derin örtülme minimumları elde etmişlerdir. W-türü yıldızların ışık eğrilerini elde etmenin bir başka yolu ise büyük kütleli yıldız üzerinde Güneş lekelerine benzer fakat daha büyük ölçekli lekelerin varlığını kabul etmektir. Bu yolla sadece örtülme minimumlarının daha derin olması değil aynı zamanda W-türü ışık eğrilerindeki tüm farklı gözlemsel özellikler (lekelerin konum, büyüklük, dağılım ve sıcaklık farklarını ayarlayarak) sağlanabilmektedir (Mullan 1975, Eaton 1983). Birkaç farklı modelle optik bölgede W-türü ışık eğrilerine uyum sağlanmakta, ancak optik bölgede renkler, sıcaklığa fazla duyarlı olmadığı için optik gözlemlerle doğru modeli saptamak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle 1970'li yılların sonuna doğru degen çift yıldızların kırmızıöte (IR) ve moröte (UV) gözlemleri yapılmaya başlanmıştır. Kırmızı öteye gidildikçe minimum derinliklerinin 0^m.15 – 0^m.20 azaldığı, ancak morötesine ($\lambda \approx 2600 \text{ \AA}$ 'a kadar) gidildikçe genliğin belirgin şekilde değişmediği görülmüştür. Eaton (1986) ve Linnell (1987), UBVRI bantlarında W-türünden bir sisteme ilişkin tüm ışık eğrilerinin hepsini birden tek bir mekanizmayla modellemenin mümkün olmadığını göstermişlerdir. Buna karşın morötesi gözlemlerinden A8-A9 tayf türlerine kadar gözlenen bütün degen çift yıldızların kromosferik ve geçiş bölgesi salma çizgileri gösterdiği saptanmıştır (Eaton 1973). Bu yıldızlarda sıcak koronaların varlığı da x-ışın salmalarıyla kanıtlanmıştır. Soğuk yıldızlarda kromosfer, geçiş bölgesi ve koronaların

varlığı, manyetik etkinliğin ve dolayısıyla fotosferlerinde Güneş lekeleri benzeri soğuk lekeler bulunduğunun belirtisidir. Büyük olasılıkla iki türün farklı özelliklere sahip olması, atmosfer yapılarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. İki türe ilişkin atmosfer yapılarının farkını anlayabilmek için Rucinski *et al.* (1984), iki türün uç noktalarından SW Lac ile AW UMa'nın IUE uydusu ile alınan UV tayflarını incelemişler ve bu yıldızlarda farklı kromosfer ve koronalar ile benzer geçiş bölgeleri bulmuşlardır. Yıldız tayflarından dikine hızlar elde edildiğinde, tek tek bileşenlerin hız değerlerinin evreye veya zamana göre işaretlenmesiyle, o sistemin dikine hız eğrilerinin elde edildiği bilinmektedir. W UMa yıldızları için kaliteli tayflar elde edebilmek genellikle zordur. Dolanma dönemleri gün kesrinde olduğu için alınan tayflarda poz süresinin kısa olması gerekir. Oysa bu sistemlerin oldukça büyük bir kısmı aynı zamanda sönük olduklarından büyük çaplı teleskoplara gereksinim olmaktadır. W UMa sistemlerinin dikine hız eğrileri, sinüs eğrisi biçimindedir. Böyle olması, her bir bileşenin yörüngesinin dairesel biçimde olduğunu göstermektedir. Çoğu sistemlerin her iki bileşeninin dikine hız eğrilerinin ayrı ayrı elde edilebilmesi ise, bileşen yıldızların ışıtmalarının birbirleri ile karşılaştırılabilecek durumda olduklarını göstermektedir.



Şekil 4.1 LS Del sisteminin radyal hız eğrisi

5. IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

Yakın çift yıldız sistemlerinin ışık eğrileri çok basit bir şekilde, geometrik olarak tutulma ve yakınlık etkilerinden dolayı şekil bozulmasının ortak bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Gerçekte ışık eğrileri, daha birçok etkiyi de kapsadığından, daha karmaşık bir görünüm almaktadırlar. Işık eğrisine etki eden diğer etkiler aşağıdaki gibi sıralanabilir ;

- Sistemin toplam ışınım gücüne etki eden üçüncü bir ışığın varlığı,
- Yörünge dairesel olmaması,
- Bileşenlerden birinin yada ikisinin de genişlemiş atmosfere sahip olması,
- Bileşenlerden birinin yada ikisinin de fiziksel değişen olması,
- Bileşenler arası kütle aktarımı ve sistemden kütle kaybı olması,
- Bileşenler etrafında disk, halka ve sistem etrafında gaz bulutunun varlığı,
- Bileşenlerin yüzeylerinde parlaklık dağılımının düzensiz olması,
- Manyetik alanın varlığı.

Bu etkilerin bir veya birkaçının varlığı halinde, sisteme ilişkin ışık eğrilerinin analizi, sistem elemanları için sağlıklı sonuç vermemektedir. Ancak bu ikincil etkilerin çok iyi modellenemediği durumlarda, bileşenlerin sıcaklık, yarıçap, kütle oranı, yörünge eğikliği gibi yörünge elemanları doğru olarak elde edilebilmektedir. Tek başına fotometrik gözlemlerin çözümlenmesinden göreceli değerler ($r_{1,2}$, $l_{1,2}$, q); dikine hız eğrileri de çözüme katıldığında ise salt değerler ($M_{1,2}$, $R_{1,2}$) bulunabilmektedir. Yakın çift yıldızlara ait ışık eğrilerinin çözümüne ilişkin en basit durum, dairesel yörüngeli ve küresel yapıya sahip bileşenler olduğu varsayımı ile Russell (1912) tarafından ortaya konulmuştur. Gerçekte, doğada bu kadar basit ve ideal bir sistem hiç bir zaman yer almaz. Merrill (1950), Russell (1912)'in çalışmasını ve dinamik koşul bağıntısını temel alarak, çizelgeler yardımıyla çözüm yapan bir yöntem geliştirmiştir. Tutulmaların farklı türleri için, tutulma derinliklerine bağlı ayrı çizelgeler ile çözüme varılmaktadır. Bu yöntem geliştirilerek (Russell and Merrill 1952), bileşenlerin üç eksenli elipsoid yapısı dikkate alınmış, böylece yıldızların yakınlık etkileri ile geometrik örtme, örtülme olayları modellenmiştir. Bu modele göre etkileşen çift yıldızların yakınlık etkileri yaklaşık olarak hesaplanarak, gözlenen ışık eğrilerinden atılabilmektedir. Ancak bu tür uygulamalar yakın çift yıldızlar

için gerçek olmayan nicel sonuçlar vermektedir. Daha sonra geliştirilen yöntemlerde, bileşenler arası çekimsel ve ışımsal etkileşmeler daha doğru biçimde dikkate alınmasına karşın, problemin lineer olmaması sonucu arındırma işlemi sorun olmaya devam etmiştir. Kopal (1959) yönteminde kenar kararmasının yanında çekimden ve dönemden ileri gelen çekim kararması etkileri göz önüne alınmıştır. Kopal, nümerik işlemleri kullanarak kilit noktadaki zorlukları aşmayı başarmıştır. 1960'lı yılların sonunda, gelişmiş bilgisayarların kullanılmasıyla, Roche modeline dayalı sentetik ışık eğrisi yöntemleri geliştirilmiştir. Sentetik ışık eğrisi yöntemlerinde, yakın bir çift yıldız sistem modeli için pek çok parametre dikkate alınmıştır. Daha sonra bu model bazen denemeyanılma, bazen de diferansiyel düzeltme yöntemi ile gözlenen ışık eğrisine karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Modelde; iyi bir fit sağlandığında, sentetik eğrinin parametreleri çift yıldız sisteminin parametreleri olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemlere; Wilson and Devinney (1971-1973), Lucy (1973), Rucinski (1973), Binnendijk (1977) yöntemleri örnek gösterilebilir. Bütün bu yöntemlerde çekimsel şekil bozulmaları, yansıma etkileri, kenar kararması ve çekim kararması göz önüne alınmaktadır. Wilson-Devinney yöntemi farklı dalga boylarındaki ışık eğrilerini, varsa dikine hız eğrilerini de aynı anda çözebilmesi açısından en yaygın kullanılanı olmuştur.

5.1 Wilson-Devinney (WD) Programı

Wilson-Devinney programının ana teorisi, organizasyonu ve matematiği gibi temel bilgiler, Wilson and Devinney (1971), Wilson (1979, 1990) ve Wilson and van Hamme (2003) gibi araştırmacıların çalışmalarında geniş bir şekilde verilmiştir. Wilson- Devinney (WD) analiz programı, gözlenmiş bir ışık eğrisinden sisteme ait fiziksel parametreleri hesaplayan bir programdır. Model ilk olarak Wilson ve Devinney (1971) tarafından yayımlanmıştır. WD, Roche geometrisi kabulü altında yıldızlara ait dönme, çekimsel bozulmalar, yansıma etkisi, kenar ve çekim kararma etkilerini modelleyebilmektedir. Program Fortran dilinde yazılmış olup LC (Light Curve) ve DC (Differential Correction) olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. LC bölümü, ışık ve dikine hız eğrileri ile tayfsal çizgi profillerini verilen ilgili parametreler ışığında üretmektedir. DC bölümü ise en küçük kareler yöntemi ve iki

düzeninden fazla alt programcık ile girilen parametrelerin sistemin fiziğine uygun bir şekilde düzeltilmesinde kullanılmaktadır. DC programının en önemli özelliği, aynı anda birden çok bantta ışık eğrisi ve bir veya iki dikine hız eğrisini eşzamanlı olarak çözebilmesidir. Çoğu ışık eğrisi analiz programı bu özelliğe sahip olmadığından, aynı sistem için yapılan çözümlerde ortak olması gereken çift yıldız sistemine ait parametreler (q : kütle oranı, i : yörünge eğim açısı gibi) arasında farklılıklar ortaya çıkmaktadır. DC programının bu özelliği sayesinde sisteme ait olan ortak parametreler arasında ortaya çıkan uyumsuzluklar ortadan kaldırılmıştır. Farklı renkteki ışık eğrilerinin ve dikine hız eğrilerinin eşzamanlı çözümü ile serbest bırakılabilecek sisteme ait parametre sayısı azaldığından daha hızlı ve doğru çözümler elde edebilmek mümkün olmaktadır. Program çıktığından bu yana zaman içerisinde kapsam, hız ve hataların giderilmesi bakımından gelişimini sürdürmektedir. Programın yapıldığı ilk zamanlarda yalnızca dairesel yörüngelerde dolanan ve eş dönmeye sahip çift sistemlerin modellenmesi için kullanılmaktaydı. 1979'daki sürümde program, ışık eğrileri ile birlikte dikine hız eğrilerini de eş zamanlı olarak çözebilecek hale getirilmiştir. Ayrıca düzeltilmiş Roche modeli yardımıyla eş zamanlı dönmeyen ve dışmerkezli yörüngelerde dolanan çift sistemlerin modellenmesi ile ışık eğrilerindeki leke etkisi ve üçüncü ışık katkısının da modellenmesi sağlanmıştır. Daha ileriki sürümlerle programın kullandığı model atmosfer, kenar kararma yasaları, yansıma etkisi, leke ve disk modellemesi, diferansiyel düzeltmede kullanılan yöntemler açısından büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu özelliklerinin dışında programın dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan bazıları ;

- Komut satırında çalışması ve bu nedenle veri giriş çıkışında zaman kaybına neden olması,
- Üçüncü ışık katkısını hesaplamada, ya tüm filtrelerde serbest bırakılarak veya sabit tutularak çözüme ulaşılması,
- Doğrudan gözlemsel ve teorik çıktı grafiğini vermemesi,
- Leke parametrelerinin serbest bırakılmasında programın yetersiz oluşu, şeklinde sıralanabilir.

5.2 Phoebe (PHysics Of Eclipsing Binaries) Programı

Phoebe analiz programı gözlenmiş ışık eğrileri yardımıyla, gözlenen sisteme ait fiziksel parametreleri hesaplayan bir programdır. Phoebe programı içinde gözlenmiş verilere ilişkin değerlerin ışık ve radyal hız eğrileri hemen çizdirilebilmektedir. Gözlenmiş ışık eğrilerine en uygun sentetik eğriler üretilerek, bu eğrilerden sisteme ait fiziksel parametreler elde edilmektedir. Phoebe Unix işletim sistemi altında çalışan bir program olup Wilson-Devinney (WD) ışık eğrisi analiz programının bir arayüzüdür. Phoebe arayüzü ise kullanım kolaylığı sağlayarak kullanıcıyı kodlarla çalışmaktan kurtarmakta ve zaman kazandırmaktadır. Phoebe, ışık eğrilerindeki leke etkisi, kenar kararması, çekim kararması, üçüncü ışık katkısı gibi parametreleri modelleyebilmekte ve Roche geometrisini esas almaktadır. Program ışık eğrileri ile dikine hız eğrilerini eş zamanlı olarak çözebilmektedir. Phoebe programı WD programının en son veriyonunu kullanmaktadır. En son sürümün tarihi Ekim-2004 sonudur (Wilson and van Hamme 2004). Phoebe arayüzü Wilson tarafından da desteklenmekte olup Prsa (2006) tarafından geliştirilmiştir. Programla ilgili ayrıntılı bilgiye <http://www.fiz.uni-lj.si/phoebe/> adresinden ulaşılabilmektedir.

6. DÖNEM DEĞİŞİMLERİNİN OLASI NEDENLERİ VE ÖNERİLEN MODELLER

Yeterli ve kaliteli gözlemsel verilerden elde edilen (O-C) değişim karakterinin doğru olarak ortaya konduğunu varsayarsak bu farklı değişimlere neden olan fiziksel olaylar üzerinde durulur. Önce belirtmek gerekir ki bir çift yıldızın yörünge dönemindeki her hangi bir değişiklik sistemin toplam açısal momentumu L ile ilgili olmalıdır. Bir çift sistemde, $m_{1,2}$ bileşenlerin kütleleri, $a_{1,2}$ bileşenlerin ortak kütle merkezine olan uzaklıkları ve $v_{1,2}$ bileşenlerin yörünge hızları olmak üzere sistemin bileşenlerden her birinin yörünge açısal momentumu $L_1=m_1a_1v_1$ ve $L_2=m_2a_2v_2$ dir. $P \leq 10$ gün ve $R_{1,2}/(a_1+a_2) \geq 0,2$ olan yakın çift yıldızlarda genelde, yörünge dönemi ile bileşen yıldızların her birinin kendi eksenleri etrafındaki dönme dönemleri birbirine eşittir. $P=P_1=P_2$ (senkronize dönme). Dolayısıyla $v=v_1=v_2$ olmaktadır. Bu durumda sistemin toplam açısal momentumu $L=(m_1a_1+m_2a_2)v$ şeklinde ifade edilmektedir. Yörünge hızları, açısal hız ω cinsinden $v=v_{1,2}=a_{1,2}\omega$ şeklinde ifade edilirse $L=(m_1a_1^2+m_2a_2^2)\omega$ yazılabilir. Kütle merkezi tanımından

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow a_{1,2} = \frac{m_{2,1}}{m_1 + m_2} a \text{ yazılabilir ve toplam açısal momentum ifadesinde yerine}$$

$$\text{konulursa, } L = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} a^2 \omega \text{ elde edilir. Buradan bileşenler arası uzaklık } a \text{ çekilir ve } \omega$$

$=2\pi/P$ değeri de yerine konulacak olursa,

$$a^2 = \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \frac{P}{2\pi} L \Rightarrow a = \frac{(m_1 + m_2)^{1/2}}{(m_1 m_2)^{1/2}} \frac{P^{1/2}}{\sqrt{2\pi}} L^{1/2} \dots\dots\dots 6.1.1$$

Kepler yasasından P yi çekersek,

$$m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2}{G} \frac{a^3}{P^2} \Rightarrow P^2 = \frac{4\pi^2}{G} \frac{a^3}{m_1 + m_2} \Rightarrow P = \frac{2\pi}{G^{1/2}} \frac{a^{3/2}}{(m_1 + m_2)^{1/2}} \dots\dots\dots 6.1.2$$

(1) den $a^{3/2}$ yi oluşturup (2) de yerine koyarsak,

$$P = \frac{2\pi}{G^{1/2}} \frac{1}{(m_1 + m_2)^{1/2}} \frac{(m_1 + m_2)^{3/4}}{(m_1 m_2)^{3/4}} \frac{P^{3/4}}{(2\pi)^{3/4}} L^{3/4} \text{ düzenlersek,}$$

$$P^{1/4} = (2\pi)^{1/4} \frac{(m_1 + m_2)^{1/4}}{(m_1 m_2)^{3/4}} \frac{L^{3/4}}{G^{1/2}} \text{ her iki tarafın dördüncü kuvvetini alırsak,}$$

$$P = \frac{2\pi}{G^2} \frac{m_1 + m_2}{(m_1 m_2)^3} L^3 \dots\dots\dots 6.1.3$$

elde edilir. Bu ifadenin logaritmik türevi alınacak olursa,

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\Delta m_1}{m_1 + m_2} + \frac{\Delta m_2}{m_1 + m_2} - 3 \frac{\Delta m_1}{m_1} - 3 \frac{\Delta m_2}{m_2} + 3 \frac{\Delta L}{L}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2} - 3 \right) \frac{\Delta m_1}{m_1} + \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} - 3 \right) \frac{\Delta m_2}{m_2} + 3 \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots 6.1.4$$

bulunur. Bu formül dönem değişimini kütle ve açısal momentum değişimine bağlayan genel bir formüldür. Bu bağıntının özel halleri (özellikle korunumlu kütle aktarımı) birçok araştırmacı tarafından kullanılarak çift yıldız sistemlerinde dönem değişimi, kütle aktarımı veya kütle kaybına bağlanmış ve kütle aktarımı ile kütle kaybı miktarları tahmin edilmiştir (örneğin, Kuiper 1941, Wood 1950, Kruszewski 1964, Huang 1956, Kwee 1958, Piotrowski 1964, Paczynski 1971, Thomas 1977). Bilindiği gibi kütle aktarımı yakın çift yıldızlarda büyük kütleli bileşenin Roche lobunu doldurmasıyla başlar. Önce büyük kütleli bileşenden küçük kütleliye madde aktığı için 6.1.4 ve 6.1.2 bağıntısına göre P ve a küçülür. Kütle kaybeden bileşen daha küçük kütleli bileşen durumuna geldiğinde P ve a artmaya başlar. Bu artım kütle alan bileşenin evrimleşip Roche lobunu doldurarak karşı bileşene madde aktarmaya başlamasına kadar devam eder. Bu evreden sonra P ve a'nın tekrar azalmaya başlaması gerekir. Bu evreler arası süreler insan ömrüne göre çok çok uzundur. Yakın çift yıldız dönemlerinin değişim nedeni sadece kütle aktarımı olsaydı insan ömrü içinde bir çift yıldız dönemini ya hep artması ya da hep azalması gerekirdi. Halbuki bir çok yakın çift yıldızla ilişkin (O-C) eğrilerine göre, yörünge dönemleri ortalama 10-30 yıl mertebesinde bir dönemlilikle artıp eksilmektedir. Bu durumu salt kütle aktarımı ile açıklamak mümkün değildir. Aslında birçok yakın çift yıldızın tayfsal gözlemlerinden elde edilen bilgilere göre sistemden kütle kaybı olduğu, yani kütle aktarımının korunumlu olmadığı anlaşılmıştır. Bu durum dikkate alındığında 6.1.4 genel formülünde ΔP/P değişiminde iki etkinin varlığı anlaşılır:

- Dönemin sürekli azalmasını sağlayan sistemden kütle kaybı,
- Aktarımın yönüne göre dönemi arttıran veya azaltan kütle transferi.

Sistemde güçlü manyetik alanın ve dönme-dolanma kilitlenmesinin varlığı halinde birinci etkinin kaynağı manyetik frenlenme olarak bilinir ve bu etkiyle frenlenmek istenen bileşen yörüngeye kilitli olduğu için yavaşlayamaz, fark momentumu yörünge açısıl momentumundan harcayarak yörünge döneminin sürekli azalmasını sağlar. Manyetik frenlemeye uğrayan bileşenin dönme açısıl momentumunu J ile gösterirsek sözü edilen olay $\Delta J = \Delta L$ olmasını gerektirir ve ΔL azalması da (4) bağıntısına göre kütle aktarımı olmasa bile dönem azalması oluşturur. Son yıllarda bu görüşü destekleyen hem kuramsal hem gözlemsel çalışmalar oldukça yoğundur (örneğin Applegate 1992).

Bir yıldızın dönme açısıl momentumu

$$J = k^2 R^2 m \omega \dots\dots\dots 6.1.5$$

ile verilmektedir ve birimi $\text{cm}^2 \text{grsn}^{-1}$ dir. Burada k^2 jirasyon sabiti olup Güneş benzeri yıldızlar için değeri 0,07 ile 0,15 arasındadır (Guinan and Bradstreet 1988). Rk ise jirasyon yarıçapıdır. 6.1.5 bağıntısında $\omega = v/R$ yerine konursa,

$$J = k^2 R m v \dots\dots\dots 6.1.6$$

Manyetik frenleme sonucu tek yıldızların dönmelerinin yavaşlama yasası Skumanich (1972) yasası olarak bilinir ve $v = \alpha t^{-1/2}$ bağıntısı ile verilir. Burada v , cmsn^{-1} biriminde yıldızın dönme hızı, t ise yıl biriminde yıldızın yaşıdır. Bu bağıntı Pleiades kümesindeki güneş benzeri yıldızlarla kalibre edilmiş ve deneysel olarak,

$$v \cong 1,4 \times 10^{10} t^{-1/2} \dots\dots\dots 6.1.7$$

bulunmuştur. Birkaç yüzyıl süre içerisinde yıldızların kütle, yarıçap ve iç yapılarında kayda değer değişimler olmadığı göz önünde tutulursa 6.1.6 ifadesinin zamana göre türevini,

$$\frac{dJ}{dt} = k^2 R m \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots 6.1.8$$

şeklinde yazabiliriz. 6.1.7 deneysel bağıntısının zamana göre türevi,

$$\frac{dv}{dt} \cong -7,1 \times 10^9 t^{-3/2} \dots\dots\dots 6.1.9$$

değerini 6.1.8 de yerine koyalım.

$$\frac{dJ}{dt} \cong -7,1x10^9 k^2 R m t^{-3/2} \dots\dots\dots 6.1.10$$

6.1.7 bağıntısından $t^{3/2}$ yi oluşturup 6.1.10 denkleminde yerine koyarsak ($v=2\pi R/P_d$ değerini kullanarak ve gerekli birim dönüşümleri yapılarak) dönme açısai momentumunun değişimi için,

$$\frac{dJ}{dt} \cong -4,5x10^{43} k^2 R^4 m P_d^{-3} \dots\dots\dots 6.1.11$$

bulunur. Burada m ve R güneş birimlerinde, dönme dönemi P_d ise gün birimindedir. Diğer taraftan 6.1.3 bağıntısından toplam yörünge açısai momentumu

$$L=1,242x10^{52} q (1+q)^{-2} (m_1+m_2)^{5/3} P^{1/3} \dots\dots\dots 6.1.12$$

şeklinde yazılabilir. Burada $q=m_2/m_1$ kütle oranıdır. Kütleler Güneş kütlei cinsinden, P yörünge dönemi ise gün birimindedir. Bu ifadenin türevini alacak olursak,

$$\frac{dL}{dt} = 4,1x10^{51} q(1+q)^{-2} (m_1 + m_2)^{5/3} P^{-2/3} \frac{dP}{dt} \dots\dots\dots 6.1.13$$

şeklinde yörünge açısai momentumunun değişimi elde edilir. Yakın çift yıldızlarda dönme-dolanma kilitlenmesi gereği $\Delta J=\Delta L$ olması gerektiğinden 6.1.13 ifadesini, bileşenlerin her biri için 6.1.11 ifadesinden oluşturacağımız dönme açısai momentumundaki değişimlerinin toplamına eşitleyebiliriz,

$$4,1x10^{51} q(1+q)^{-2} (m_1 + m_2)^{5/3} P^{-2/3} \frac{dP}{dt} = -4,5x10^{43} k^2 P^{-3} (m_1 R_1^4 + m_2 R_2^4) \dots\dots\dots 6.1.14$$

Burada dönme-dolanma kilitlenmesi gereği $P=P_d$ kullanılmıştır. Düzenlersek,

$$\frac{dP}{dt} = -1,1x10^{-8} q^{-1} (1+q)^2 (m_1 + m_2)^{-5/3} k^2 (m_1 R_1^4 + m_2 R_2^4) P^{-7/3} \dots\dots\dots 6.1.15$$

Burada P gün, m ve R Güneş birimlerindedir. 6.1.15 bağıntısı yakın çift yıldızlarda manyetik frenleme sonucu yörünge döneminin nasıl değiştiğini gösteren bağıntıdır. Bağıntının sağ tarafında bütün terimlerin pozitif olması $dP/dt<0$ olmasını yani dönemin sürekli azalmasını gerektirir. Bu bağıntı gereğince P azalırken a da azalarak sistemin iki bileşeni gittikçe birbirine yaklaşır ve sonunda içiçe girerek tek yıldız dönüşür. Bu senaryo ayrık ve yarı-ayrık çiftlerin, manyetik frenleme sonucu açısai momentum kaybına uğrayarak yörüngelerinin büzülmesi ve değen çiftlerin oluşturması teorisine temel teşkil etmektedir.

Kütle transferinin yörünge dönemini etkisi ile ilgili Biyermann and Hall (1973) ve Hall (1975) ilginç bir kuram geliştirmişlerdir. Özellikle algoller için geliştirilen bu kuramda küçük kütleli bileşenden zaman zaman hızlı atılan Δm kütlesi karşı bileşen etrafında disk oluşturarak sistemin yörünge açısal momentumunu küçülttüğü için dönem azalmakta, fakat diskten zaman zaman maddenin merkezdeki yıldızla düşmesi ile sistem momentum kazanarak dönemi artmaktadır. Uzun zaman aralıkları için ortalamalar sistemde küçük kütleli bileşenden diğerine korunumlu kütle aktarımının sonuçlarına eşdeğer dönem artımlarını verecektir. (O-C) diyagramı ise kolları yukarı yönelmiş, küçük salınımlar içeren bir parabol olacaktır. U Cep yarı-ayrık algol sisteminde Olson' un (1985) sürekli ve eşzamanlı fotometrik, tayfsal ve moröte gözlemleri bu kuramın geçerli olmadığını ortaya koymuştur.

Kütle kaybının yörünge dönemini etkisiyle ilgili ilginç bir kuramda Hall and Kreiner (1980) tarafından ileri sürülmüştür. RS CVn sistemlerinin hem artma hem azalma gösteren yörünge dönemlerini açıklamayı ön gören bu kurama göre RS CVn lerde aktif bileşenler üzerindeki korona deliklerinden çıkan yıldız rüzgarı, roket etkisi ile yörünge hareketini artırır veya azaltır, buna bağlı olarak yörünge dönemi de artar veya azalır. P nin artıp azalması korona deliğinin korunumuna bağlıdır. Bu konular zaman içinde manyetik etkinliğe bağlı olarak yer değiştirdiği için de dönem değişimide zamanla gözlemlerde olduğu gibi yön değiştirebilmektedir. Ancak daha sonraki gözlemlerden korona deliklerinden çıkan rüzgarın, gözlenen dönem değişimlerini yaratacak kadar yoğun olmadığı ve konularının da gözlenen dönem değişimleri ile uyum içinde olmadığı görülmüştür (DeCampli and Baliunas 1979) ve bu ilginç teori de geçerliliğini yitirmiştir. Şimdiye kadar örten çift yıldızlarda P' nin değişim nedeni olabilecek iki temel olaydan söz ettik; kütle aktarımı ve sistemden kütle kaybı. Manyetik alanın ve dönme-dolanma kilitlemesinin varlığı halinde sistemden kütle kaybı boşlanacak düzeyde olsa bile P azalmasının etkin olduğu 6.1.15 bağıntısı ile vurgulanmıştır.

Bu etkilerin dışında P değişimine neden sayılan olaylar ve etkiler şöyle sıralanabilir:

- eksen dönmesi,

- ilave cisim varlığı,
- Güneş'in uzay hareketi,
- enerji kaybı
- manyetik etkinlik.

Şimdi bu olay ve etkilerini kısa kısa açıklayalım:

Örten çift yıldız sisteminin yörüngesi eliptik ise ve elipsin büyük eksenini bakış doğrultusunda değilse fotometrik gözlemlerde minimumlar asimetrik ve eş süreli olmadığı gibi ikinci minimumda 0,5 evresinde bulunmaz. Böylesi gözlemsel bir durum yörüngenin elips olduğunu gösterir. Böyle bir sistemin minimum zamanları uzunca bir süre gözlenirse ikinci minimum evresinin komşu birinci minimumlara göre periyodik olarak yer değiştirdiği görülür. Böyle bir sistemin birinci ve ikinci minimum zamanları için çizilen (O-C) eğrileri birbiri ile 180° evre farkı olan iki ayrı sinüs eğrisi biçimindedir. Minimum zamanlarının zıt yönlü ve dönem değişimine neden olan olay yörünge asal eksenin daha doğrusu yörüngenin uzayda dönmesidir (sonuç olarak yörünge düzlemine dik olan dönme eksenini bir presesyon hareketi yapmaktadır). Bunun temel nedeni yörünge hareketinde relativite etkisi ve bileşenlerden en az birinin küresel simetriye sahip olmamasından kaynaklanan dinamik etkidir ve literatürde eksen dönmesi olarak bilinir.

Yörünge dönmesinin dönemi P' ve yörünge dönemi P birbirlerine,

$$\frac{P}{P'} = \frac{P}{P'_{obs}} - \frac{P}{P'_{rel}} \dots\dots\dots 6.1.16$$

şeklinde bağlıdır. Burada eksen dönme döneminin relativistik bileşeni P'_{rel}

$$\frac{P}{P'_{rel}} = \frac{12\pi^2 a^2}{c^2 P^2 (1 - e^2)} = \frac{3K_1^2 (1 + m_1 / m_2)^2}{c^2 \sin^2 i} \dots\dots\dots 6.1.17$$

bağıntısından bulunur (Freundlich 1958). P'_{obs} dönemi ise sinüs eğrisi şeklindeki (O-C) eğrisinin dönemi olarak bulunur. Yıl biriminde

$$P'_{obs} = \frac{2\pi}{\dot{\omega}} \frac{P}{365,25} \dots\dots\dots 6.1.18$$

olarak ifade edilir. Burada $\dot{\omega}$ bir dönemdeki ω değişimi, P ise gün biriminde yörünge dönemidir. Eksen dönmesi denen bu olayın P' dönemini, bileşen yıldızların iç yapı sabitlerine bağlayan temel denklem

$$\frac{P}{P'} = c_1 k_1 + c_2 k_2 \dots\dots\dots 6.1.19$$

şeklinde dir. Burada $c_{1,2}$ sabitleri bileşenlerin açıs al dönme hızlarına, yörünge dış merkezliklerine ve kesirsel yarıçaplarının beşinci kuvvetine bağlıdır. $c_{1,2}$ kuramsal olarak tahmin edildikten sonra P' eksen dönme dönemi (O-C) eğrisi yardımıyla 6.1.16 bağıntısından bilirse 6.1.19 dan bileşenlerin iç yapı sabitleri tahmin edilebilir. İç yapı sabitleri, yoğunluk dağılımını gözlemlerden bulmanın tek yoludur. Bu olay yakın geçmişte Stothers (1974), Jeffery (1984), Moffat (1984), Gimenez (1985), Gimenez and Claret (1992) ve Lacy (1992) tarafından yeniden ele alınarak irdelenmiştir.

Güneş'in (yani gözlemcinin) uzay hareketi, örten çift sistemin öz hareketi veya sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü bir cismin çekim etkisi ile sistemin ortak kütle merkezi etrafında dönemli hareketi sistemin gözlemciye olan uzaklığını yani sistem ışığının gözlemciye gelirken katettiği yolu değiştirir. Bu da yörünge dönemine, görünür bir değişim olarak yansır. İlk iki durumda sistemin gözlemciye göre hareket ivmesinin dikine bileşeni,

$$a = c \frac{d^2(O-C)}{dt^2} \dots\dots\dots 6.1.20$$

olması gerekir. Bize yakın yıldızların uzay hareketlerinin büyük kısmı Güneş'in öz hareketinin yansması olduğu için örten çift yıldızların dönem değişimleri galaktik koordinatlarına bağlı olmalı ve dönem değişimlerinde daha büyük etkiler yoksa bu bağlılık gözlemlerden bulunabilmelidir. Bu görüşler ilk kez Kordylewski (1965) tarafından ileri sürülmüş, Szafraniec (1966) tarafından 153 sistemin dönem değişimine uygulanarak doğruluğu gösterilmiş ancak Kreiner (1971) tarafından 137 sistem için daha çok veri kullanılarak Kordylewski'nin düşüncesinin doğru olsa bile etkisinin gözlemlerde hissedilemeyecek kadar küçük olduğu kesin olarak gösterilmiştir. Artık bu etki dikkate alınmamaktadır. Kreiner'in (1971) çalışmasına göre gözlenen dönem değişimlerinin nedenleri arasında Güneş'in öz hareketi bulunmamaktadır.

Yakın çift yıldızların yörünge dönemi değişimlerinde ilave cisim etkisine gelince bu etkiden ilk kez Chandler (1888) söz etmiş ve etkini ilk tam formülasyonu Irwin (1959) tarafından verilmiştir. Bu formülasyona göre sadece çift sisteme fiziksel olarak bağlı

3'üncü bir cismin etkisiyle oluşan dönem değişimi (dolayısı ile (O-C) değişimi) düzgün ve dönemli olmalıdır. Bu durumda (O-C) değişimi

$$(O - C) = \frac{A}{1 - e^2 \cos^2 \omega} \left[\frac{1 - e^2}{1 + e \cos v} \sin(v + \omega) + e \sin \omega \right] \dots\dots\dots 6.1.21$$

bağıntısına uymaktadır. Burada (O-C) salınımının yarı genliği

$$A = \frac{a_{1,2} (1 - e^2 \cos^2 \omega) \sin i}{173,15} \dots\dots\dots 6.1.22$$

üçüncü cisin için kütle fonksiyonu,

$$f(m_3) = \frac{(a_{1,2} \sin i)^3}{P_2^2} = \frac{m_3^3 \sin^3 i}{(m_{1,2} + m_3)^2} \dots\dots\dots 6.1.23$$

ve çift sistemin üçüncü cisim ile oluşturduğu yörüngesindeki dikine hızı

$$V_r = K [\cos(v + \omega) + e \cos \omega] \dots\dots\dots 6.1.24$$

bağıntıları ile verilmektedir. Burada dikine hız yarı genliği,

$$K = \frac{A}{P_2} \frac{5156}{(1 - e^2)^{1/2} (1 - e^2 \cos^2 \omega)^{1/2}} \dots\dots\dots 6.1.25$$

bu formüllerde v , e , ω ve i üçüncü cisim yörüngesinin parametreleri, $a_{1,2}$ örten çift yıldızın ortak kütle merkezinin üçlü sistemin ortak kütle merkezine uzaklığı, P_2 ise üçüncü cisim yörüngesinin dönemidir. Formüllerde P_2 yıl, $a_{1,2}$ astronomi birimi, A gün, V_r km/sn ve K km/sn birimlerindedir. Üçüncü cisim yörüngesinin çember olması halinde (O-C) eğrisi düzgün bir sinüs eğrisi olacak ve ilgili formüllerde $e=0$ alınacaktır.

Sistemin (O-C) değişimi

$$(O - C) = c_1 + c_2 E + c_3 E^2 + \sum_{j=0}^n c_{sj} \sin \left[2\pi \frac{E - T_{sj}}{P_{sj}} - \frac{\pi}{2} \right] \dots\dots\dots 6.1.26$$

formülüne göre birden fazla sinüslü terim içeren bir fonksiyon ile temsil edilebiliyorsa sisteme çekimsel olarak bağlı çok sayıda ilave cisim varsayılabilir ve bu ilave cisimlere ilişkin parametreler yukarıda verilen formüllerle tahmin edilebilir. Bu konuda Frieboes-Conde ve Herczeg'in (1973) yaptığı uygulamaya göre ilave cisim yorumunun güvenilir olabilmesi için;

- Ana ve yan minimum zamanlarının aynı (O-C) eğrisi üzerinde olması,
- (O-C) eğrisinin 6.1.26 formülü ile temsil edilebilmesi,
- Her sinüslü terim için kütle fonksiyonunun kabul edilebilir değerde olması,

- İlave cisim yörüngelerindeki dikine hızların yine kabul edilebilir değerde olması,
- Çift sistemin ışık eğrisi çözümünde de ilgili üçüncü ışık etkilerinin görünmesi ve hatta bunlara ek olarak ilave cisim varlığının tayfsal gözlemlerle desteklenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

1973 yılına kadar tüm bu kriterlere uyan ve böylece ilave cisme sahip olduğu kanıtlanmış bulunan sadece bir sistem vardı: Algol. Algol'de üçüncü cisim varlığı tayfsal olarak ilk kez McLaughlin (1934) tarafından kanıtlanmış ve Eggen (1948) tarafından (O-C) analizi sonuçları ile desteklenmiştir. Sayıca ve kalite olarak artan gözlemsel verilerle, bugün ilave cisme sahip olduğu kesinlik kazanan çok sayıda yakın çift yıldız sistemi vardır (Fekel 1987 ve Mayer 1990).

Yakın çift yıldızlarda dönem değişimi için önerilen başka bir mekanizma ise sistemin ışınım, nötrino yayını veya çekimsel dalgalarla enerji ve momentum kaybetmesi sonucu yörünge döneminin kısılması şeklindedir. Normal yıldızlardan oluşan çift sistemlerde bu mekanizmanın pek etkin olmadığı bilinmektedir. Ancak kısa dönemli ($P < 2$ saat) kataklizmik değişen yıldızlarda etkin dönem azalmasının çekimsel dalgalarla momentum kaybından kaynaklandığı, hatta kataklizmik değişenlerde $2\text{saat} < P < 3\text{saat}$ arasındaki dönme boşluğunun da bu sistemlerde açıl momentum kaybı mekanizmasının farklılığından kaynaklandığı sanılmaktadır (Rappaport *et al.* 1983). Bir çift yıldız sistemi için Kepler harmonik yasası, sistemin toplam $E = -G(m_1 + m_2)/2a$ enerjisi cinsinden,

$$P = 2\pi G(m_1 + m_2)(-2E)^{-3/2} \dots\dots\dots 6.1.27$$

olarak yazılabilmektedir. Bu ifadenin zamana göre türevi,

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{12\pi^2 a^4}{P} \frac{1}{G^2 m m_1 m_2} \frac{d\varepsilon}{dt} = -\frac{192}{5} \frac{G^{5/2}}{c^5} \frac{m_1 m_2 m^{1/2}}{a^{5/2} (1 - e^2)^{7/2}} \left(1 + \frac{73}{24} e^2 + \frac{37}{96} e^4 + \dots \right) \dots\dots\dots 6.1.28$$

dönem değişimini sistemden enerji kaybına bağlamaktadır (Kruszewski 1966). Burada $d\varepsilon/dt$ ışınım, nötrino yayını ve çekimsel dalgalarla sistemden bir dönemde sayılan toplam enerjidir ve cgs birimlerinde

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{32}{5} \frac{G^4}{c^5} \frac{m_1^2 m_2^2 m}{a^5 (1 - e^2)^{7/2}} \left(1 + \frac{73}{24} e^2 + \frac{37}{96} e^4 + \dots \right) \dots\dots\dots 6.1.29$$

olarak verilmektedir (Peters and Mathews 1963). (28) ve (29) bağıntılarında, m sistemin toplam kütlesi, c ışık hızı, G çekim sabiti, a sistem yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu ve e yörüngenin dış merkezliğidir. 6.1.28 bağıntısının önündeki eksi işaretinden de

anlaşılacağı gibi çift sistemden enerji kaybı sonucu yörünge dönemi sürekli bir azalma gösterecektir. Şimdi tekrar yakın çift yıldızların kendi eksenleri etrafındaki dönmelerinin yörünge hareketine kilitlendiğini, dolayısıyla dönme açısal momentumundaki bir değişimin yörünge açısal momentumuna yansıtıldığını düşünerek bileşenlerden birinin dönme açısal momentumunu $\vec{J} = \sum m_i \vec{r}_i \times \vec{v}_i$ şeklinde yazalım. Formülden kolayca görülür ki m_i kütlelerinin yer değiştirmesiyle \vec{r}_i konum vektörü ve \vec{v}_i hızı değer değiştirir ve hiçbir kütle kaybı veya transferi olmaksızın \vec{J} değişir. $\Delta J = \Delta L$ olduğundan bu değişim yörünge döneminin değişimini gerektirir. Yıldızlarda hidrostatik denge bozulduğunda dikine ve/veya dikine olmayan salınımların başladığını biliyoruz. Bu salınımların dönemi dakika mertebesinde olabildiği gibi yıl mertebesinde de olabilmektedir. Bu dönemli ve yarı dönemli değişimler yıldızda kütle dağılımı değişimi ve yarıçap değişimiyle beraber açısal momentum değişimini de gerektirmektedir. Diğer taraftan yıldızın merkez bölgesi radyatif olsa bile nükleer reaksiyon sürecinde oluşabilecek düzensizlikler merkez bölgede madde hareketini dolayısıyla açısal momentum değişimini gerektirmektedir. Yakın çift yıldızlarda bu yolla dönem değişimi olasılığı van't Veer (1986) tarafından tartışılmıştır.

Yakın çift yıldızlarda kütle kaybı ve kütle transferi olmaksızın açısal momentum değişimi gerektiren bir başka olgu, değişim gösteren manyetik alan etkisidir. Soğuk yıldızların manyetik etkinlik gösterdiği yani manyetik alana sahip olduğu ve bu manyetik alanların Güneş' te olduğu gibi çevrimsel yapıları değişimler gösterdiği iyi bilinmektedir. Bu yıldızlar için hidrostatik denge denkleminde değişen manyetik basınç dikkate alınır, manyetik basınç yarı dönemli bir değişim gösterdiği için yıldızın da manyetik çevrim içinde sürekli olarak eşpotansiyelli yüzey değiştirmesi gerektiği anlaşılır. Bu farklı eşpotansiyelli yüzeyler maddenin yer değiştirmesi yerine dönme hızı değişiminden de kaynaklanmış olabilir. Bu durumda eşpotansiyelli yüzeylerin sadece basınlıkları değişim gösterir. Yakın çift yıldızlarda bileşen yıldızlardan birinin bu şekilde çevrimli manyetik alan etkisiyle eşpotansiyelli yüzey değiştirmesi dönemli açısal momentum değişimini gerektirecek, bu da eşdönme nedeniyle yörünge açısal momentumuna yansıtıldığı için sistemin yörünge dönemi, dönemli salınımlar yapacaktır. Açık ki, bu dönem salınımlarının ortalama değeri

manyetik etkinlik gösteren yıldızın manyetik çevrim dönemine eşit olmalıdır. Bileşenlerinden biri F0' dan daha geç tayf türünde olan yakın çift yıldızların dönem değişimindeki salınımlar bu tür manyetik etkilere bağlanmaktadır. Bu mekanizma sistemin ışınım gücünde ve renginde de dönem değişimine benzer çevrimli bir değişim öngörmektedir.

Kurama göre;

- (O-C) değişiminin, ışınım gücü değişiminin ve renk değişiminin dönemleri aynı olmalı,
- Değişimlerden birindeki minimum veya maksimum zamanı diğerlerindeki minimum veya maksimum zamanları ile çakışmalı,
- Aktif yıldızın parlaklığı maksimum olduğunda çift sistemin rengi en mavi olmalı
- Aktif yıldızın içi dışına göre daha hızlı dönüyorsa ışınım gücü değişimi, (O-C) değişimi ile eş evreli olmalı yani birinin maksimumu diğerinin maksimumu ile çakışmalı.

Diğer taraftan aktif yıldızın dışı içine göre daha hızlı dönüyorsa ışınım gücü değişimi, (O-C) değişimi ile 180° evre farkı göstermeli yani birinin maksimumu diğerinin minimumu ile çakışmalıdır. Applegate'e (1992) göre değişim evrelerinin bu kriterlere tam olarak uymaması ise çevrimli enerji akışının, konvektif katmanı yavaşlatarak ışınım değişiminde gözlenen bir evre kaymasını oluşturması şeklinde yorumlanmaktadır. Bu kuramın, dönemli değişen (O-C) eğrilerini açıklamak amacıyla ileri sürüldüğünün tekrar hatırlatalım. Buna göre dönemi P (gün) ve yarı genliği A (gün) olan (O-C) değişiminden, dönem değişimi

$$\frac{\Delta P}{P} = 2\pi \frac{A}{P'} \dots\dots\dots 6.1.30$$

şeklinde çevrim başına gün cinsinden bulunur. Bu değişimi yaratabilecek gerekli ΔJ momentum transferi cgs birimlerinde

$$\Delta J = -\frac{Gm^2}{R} \left(\frac{a}{R}\right)^2 \frac{\Delta P}{6\pi} \dots\dots\dots 6.1.31$$

formülünden bulunur. Burada m ve R manyetik etkinlik gösteren bileşenin cgs birimlerinde kütlesi ve yarıçapıdır. Applegate (1992), kütlesi m_s , yarıçapı R, açıl dönme hızı

$\Omega_s = \frac{2\pi}{P}$ ve eylemsizlik momenti $I_s = \frac{2}{3}m_s R^2$ olan kabuğa ΔJ momentumunu transfer etmek için gerekli enerjiyi

$$\Delta E = \Omega_{dr} \Delta J + \frac{(\Delta J)^2}{2 I_{eff}} \dots\dots\dots 6.1.32$$

bağıntısı ile vermiştir. Burada $\Omega_{dr} = \Omega_s - \Omega_*$ yıldızın iç bölgesi ile yüzeyinin açısal dönme farkıdır ve diferansiyel dönmenin açısal hızı olarak bilinir. $I_{eff} = \frac{I_s I_*}{(I_s + I_*)}$

yıldızın efektif eylemsizlik momentidir. Sayısal uygulamalar $m_s \cong 0,1m$ ve dolayısıyla $I_s \cong I_*$ olması gerektiğini göstermektedir. Buna göre $2I_{eff} \cong I_s$ alınır. Bu kabuğa ΔJ açısal momentumunun transferi sonucu, kabuğun $\Delta\Omega = \Delta J / I_s$ kadar hızlanması gerekmektedir. Eğer ΔE enerjisinin kaynağı nükleer ışıma ise ve bu enerji konvektif katmanda tutulmuyorsa yıldızın ışınım gücünde $\Delta\ell$ kadar bir değişim olmalıdır. $\Delta\ell$ değeri

$$\Delta\ell = \pi \frac{\Delta E}{P'} \dots\dots\dots 6.1.33$$

bağıntısından tahmin edilebilir. Buradan tahmin edilecek değişim gözlemlerle karşılaştırılarak dönemli P değişiminin bu olaydan kaynaklanıp kaynaklanmadığı irdelenebilir. Bu değişimlerin gerçekleştiği yıldızın yüzey manyetik alanı da gauss biriminde

$$B^2 = 10 \frac{Gm^2}{R^4} \left(\frac{a}{R} \right)^2 \frac{\Delta P}{P'} \dots\dots\dots 6.1.34$$

bağıntısından tahmin edilir.

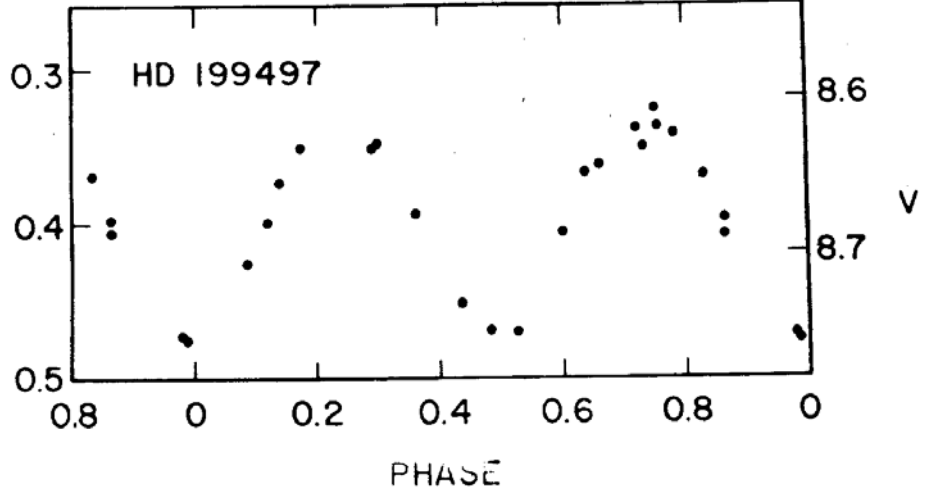
Yakın çiftlerin dönem değişimleri için önerilen yukarıdaki olası nedenler ve ilgili formülasyonlar pratikteki uygulanabilirlikleri dikkate alınarak açıklanmıştır. Buna göre çift sistemin mutlak boyutlarının bilinmesi halinde, gözlenen dönem değişimi karakterine en iyi uyum sağlayan ve fiziksel anlamda geçerliliği olan model/modeller belirlenerek çift sisteme ve dönem değişimine neden olan olguya ilişkin önemli sonuçlar elde edilebilir.

7. LS DEL ÇİFT YILDIZ SİSTEMİ

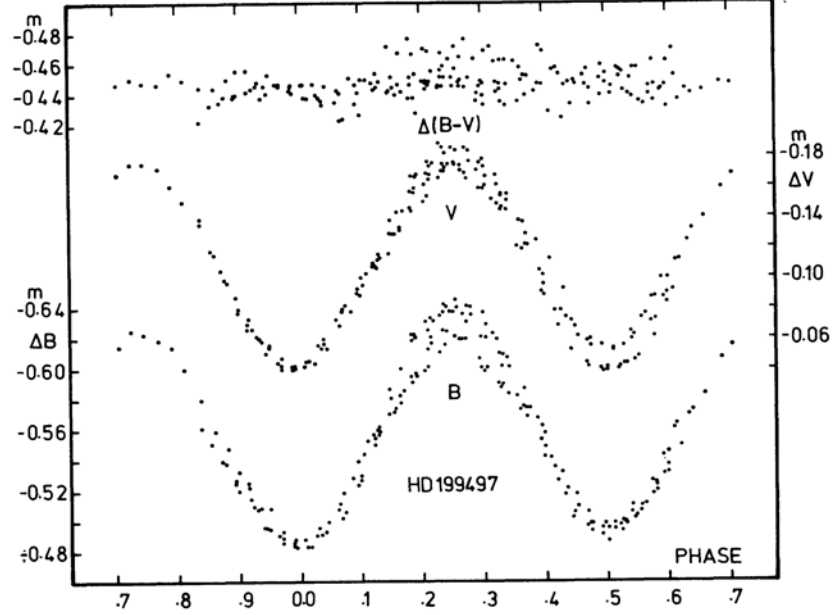
7.1 LS Del' in Önceki Çalışmaları

LS Del sisteminin W UMa türü değişen olduğunu ilk defa, prizma objektifli tayfçeker ile yaptığı gözlemler sonucu Bond (1966) tarafından belirlenmiştir (Şekil 7.1). Yine bu çalışmasında Bond, sistemin tayf türünü G5 olarak tespit etti. LS Del sisteminin fotometrik çalışmaları daha sonraki yıllarda Sezer vd. (1984), Ruyou (1987), Leung(1988), Wieck (1989), Weaver (1990), Derman vd (1991), Demircan vd. (1991) tarafından yapıldı. Sezer vd. (1984) ile Leung (1968) ışık eğrisi analizleri sonucunda sistem için kütle oranını ($q \sim 1.8$) ve yörünge eğim açısını ($i \sim 50^\circ$) olarak belirlediler. Her iki çalışmada ışık eğrisi farklı yöntemler kullanarak modellendi. Sezer vd.(1984) sistemi W-türü degen çift olarak belirlerken (Şekil 7.2), Leung(1988) daha soğuk olan büyük kütleli bileşenin Roche lobunu doldurmuş olabileceğini ve sistemin yarı-ayrık bir yapıya sahip olabileceğini ileri sürdü. Elmaslı vd. (2005) sistemin ışık (Şekil 7.4) ve dönem değişimini inceledi. Bu çalışma sonucunda araştırmacılar, LS Del'in W alt türünden bir W UMa degen sistemi olduğunu göstermiştir. Bileşenlerin degen derecesinin oldukça düşük olduğunu (% 8), yörünge eğiminin ise ($48.^\circ 5$) parçalı tutulma meydana getirebileceğini belirtmişlerdir. Buna bağlı olarak sistemin ışık eğrisinde izlenen değişimin büyük oranda yakınlık etkilerinden kaynaklandığını söylemişlerdir. Lu ve Rucinski(1999) LS Del sisteminin ilk radyal hız eğrisini (Şekil 7.3) elde ederek kütle oranını 0.375 olarak hesapladılar. Aynı çalışmada sistem G0 V tayf türünden W alt türü bir W UMa olarak sınıflandırıldı. Radyal hız eğrisinden, elde edilen kütle oranı değeri ile Ruyou vd.(1987) ışık eğrisi analiz edilecek sistemin fiziksel parametreleri ($i = 45^\circ$, $f = \%7$, $a = 2.44 R_\odot$, $M_1 = 1.07M_\odot$ ve $M_2=0.40 M_\odot$) hesaplandı. LS Del'in döneminin değiştiği birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Ruyou vd. (1987) , Wieck ve Wunder(1989), Derman vd.(1991), Qian(2001)). Derman vd. (1991) larının oluşturdukları O-C eğrilerinde lineer bir azalma görülmektedir. Fotometrik dönemin kısa zaman aralığında 10^{-4} gün kadar değiştiğini ortaya koyan Derman vd.(1991) bu durumun ışık eğrilerinde gözlenen değişimlerle ilişkili olabileceğini öne sürdüler. Daha sonra Qian(2001) LS Del'in O-C eğrisini oluşturarak parabolik bir yapının olduğunu tespit

etti ve Derman vd.(1991)'larının bulduğu değişim dönemini O-C değerlerindeki saçılmadan kaynaklandığını ileri sürdü.



Şekil 7.1 LS Del'in ik ışık eğrisi (Bond 1976)



Şekil 7.2 LS Del için Sezer 'in (1984) Johnson B ve V filtrelerinde elde ettiği ışık ve renk eğrileri

Sezer (1984)'in bu çalışma sonucunda LS Del sistemine ilişkin elde ettiği parametreler aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir:

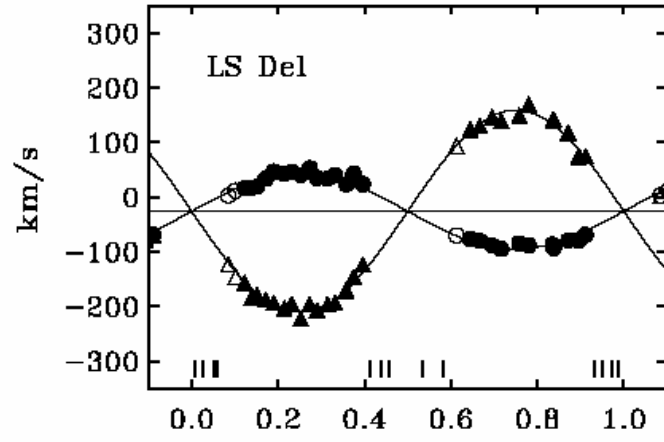
Çizelge 7.1 Sezer (1985)'in LS Del için bulduğu ışık eğrisi sonuçları

Nicelik	B	V
i	$47^{\circ}62 \pm 0^{\circ}28$	$48^{\circ}48 \pm 0^{\circ}42$
T_h	5780 K	5780 K
T_c	5487 ± 58 K	5704 ± 51 K
$\Omega_h = \Omega_c$	4.8555	4.9305
q	1.72 ± 0.21	1.78 ± 0.28
$L_h/(L_h + L_c)$	0.449 ± 0.030	0.384 ± 0.032
$L_c/(L_h + L_c)$	0.551	0.616
r_h (pole)	0.312 ± 0.010	0.309 ± 0.012
r_h (point)	0.444 ± 0.012	0.441 ± 0.015
r_h (side)	0.326 ± 0.010	0.323 ± 0.013
r_h (back)	0.358 ± 0.010	0.355 ± 0.012
r_c (pole)	0.402 ± 0.010	0.404 ± 0.013
r_c (point)	0.556 ± 0.012	0.559 ± 0.015
r_c (side)	0.426 ± 0.012	0.428 ± 0.015
r_c (back)	0.454 ± 0.011	0.457 ± 0.014
$\Sigma w(O-C)^2$	± 0.0117	± 0.0097

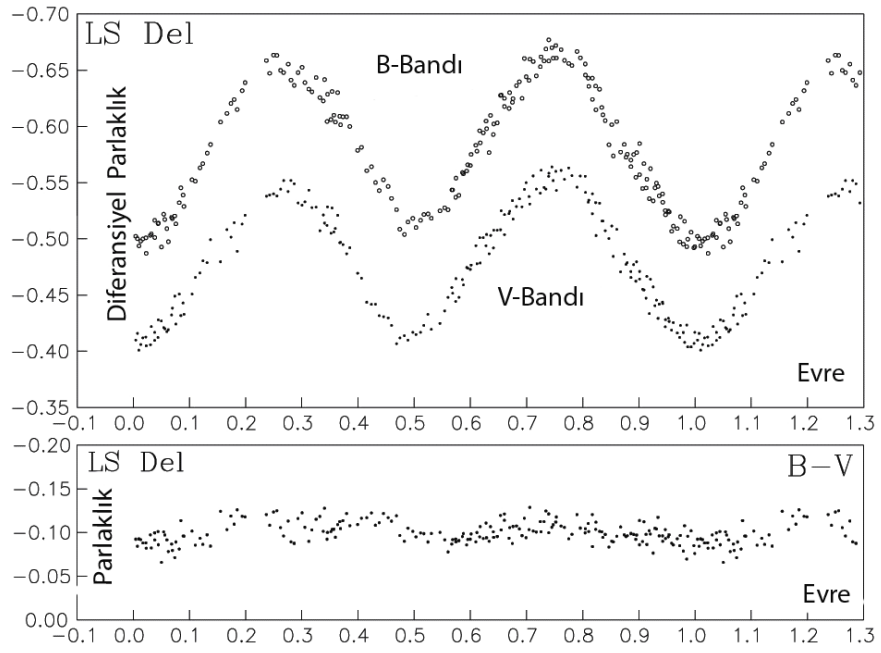
Çizelge 7.2 LS Del'in tayfsal analiz sonuçları (Lu and Rucinski 1999)

γ	K_1 K_2	ϵ_1 ϵ_2	T_0 (2400000) P	$a_1 \sin i$ $a_2 \sin i$	$m_1 \sin^3 i$ $m_2 \sin^3 i$	$q = m_2/m_1$
-25.9	69.0	± 6.2	48154.9932	0.496	0.449	0,375
	184.8	± 9.5	0.3638384	1.328	0.168	

Burada γ , LS Del çift sisteminin uzay hızını belirtmektedir. İfadenin önündeki (-) işareti sistemin gözlemciye yaklaştığını söylemektedir. K_1 ve K_2 sırasıyla birinci ve ikinci bileşenin radyal hızlarının genliklerini, q sistemin kütle oranını belirtir.



Şekil 7.3 LS Del'in radyal hız eğrisi (Lu and Rucinski 1999)



Şekil 7.4 Elmaslı vd. (2005)'in Johnson B ve V filtrelerinde LS Del için elde ettikleri ışık ve renk eğrileri

Çizelge 7.3 LS Del'in en son fotometrik gözlemlerine ilişkin yörünge çözüm sonuçları
(Elmaslı vd 2005)

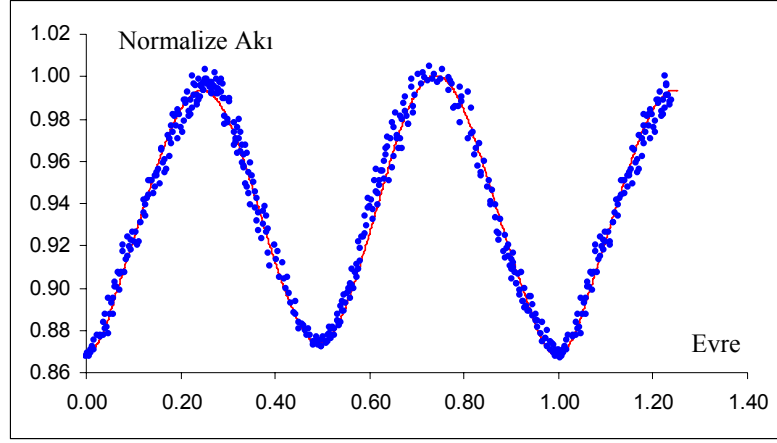
Nicelik	B-filtresi	V-filtresi
n	408	
$\Sigma(O-C)^2$	0.0378	
σ	0.0096	
$q=m_2/m_1$	0.375	
T_1	5916	
$A_1=A_2$	0.5	
$\beta_1=\beta_2$	0.08	
$f_1=f_2$	1.0	
$A_{sl}=T_{sl}/T_2$	0.94±0.01	
θ_{sl}	20.7±1.5	
λ_{sl}	202.8±8.1	
ψ_{sl}	14.0±5.1	
T_2	5966±44	
F_1	1.008±0.001	
$i[^\circ]$	48.5±0.2	
a_1	0.4431, 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	
$\Omega_{i\check{c},dış}$	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	

7.2 LS Del' in Işık Eğrisi Analizi

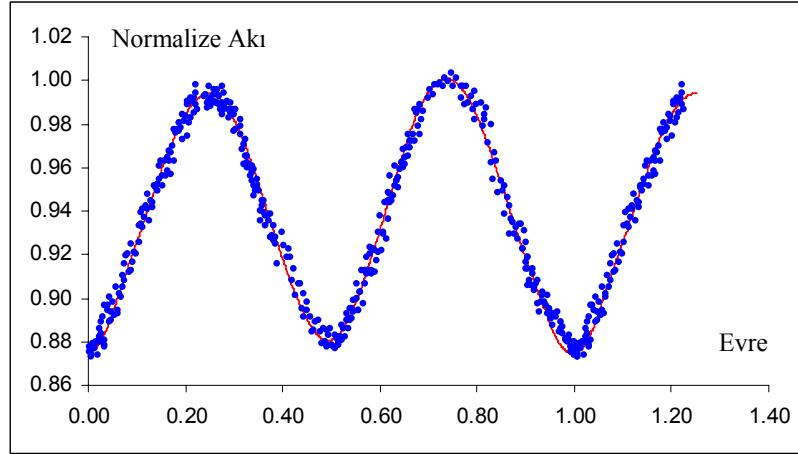
LS Del'in bu çalışmayla incelenen ışık eğrileri Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde 2005 – 2006 ve 2007 yıllarında 30 cm'lik Maksutov teleskobuna bağlı SSP-5A fotometresi ile B ve V bandlarında, ve 40 cm'lik Kreiken teleskobuna bağlı Apogee ALTA U47+ CCD kamera ile yapılan gözlemlerle elde edildi. Maksutov Teleskobu gözlemlerinde mukayese ve denet yıldızı olarak sırasıyla G0 tayf türünden HD 35 3253 ve G5 tayf türünden HD 35 3251 kullanıldı. Her bir geceye ait ve her bir renk için sönmüleme katsayıları mukayese yıldızı gözlemlerinden hesaplandı. Elde edilen ışık eğrileri B,V bandlarına göre sırasıyla Şekil 7.5'de ve Şekil 7.6 'de verildi. LS Del'in ışık eğrilerinde (Şekil 7.5 ve Şekil 7.6.) hissedilebilir bir asimetrik yapı mevcuttur. Ayrıca ışık eğrilerinde ikinci maksimum birinci maksimumdan daha yüksektir. Birinci ve ikinci minimumların ışık seviyeleri arasındaki fark, B ve V bandlarında önemli derecede farklılık göstermektedir. Işık eğrilerinin biçimi LS Del'in aşırı degen bir sistem olduğuna işaret etmektedir. Bu çalışmada, ışık eğrileri analiz edilirken 2005 yılı gözlemleri, dönem analizinde ise 2005,2006 ve 2007 verileri kullanılmıştı. Bunun sebebi olarak ise; 2006 ve 2007 yılı gözlemlerinin kalitesinin ışık eğrisi analizi için yeterli olmaması söylenebilir. 2006 ve 2007 yıllarında LS Del için seçilmiş gözlem gecelerinin, gözlem kalitesi açısından kötü olması, ışık eğrisi oluşturmak için uygun eri alınmasına olanak vermezken, minimum zamanı hesaplamak için yeterli görülmüştür.

LS Del sistemin B ve V ışık eğrilerinin analizi için Wilson Devinney (2003) kodu içeren PHOEBE arayüzü kullanılmıştır. Analiz sırasında, Lu ve Rucinski (1999)' nin belirlediği tayf türüne göre sisteme ait birinci bileşenin sıcaklığı Popper (1980)' ın sıcaklık kalibrasyon tablolarından $T_1 = 5916^{\circ}\text{K}$ olarak alındı ve $q = 0.375$ kütle oranı değeri ile beraber sabit tutuldu. Işık eğrilerindeki asimetrik yapı sistemdeki bileşenlerin yüzey parlaklık dağılımlarının tekdüze olmadığına işaret etmektedir. Analiz sonuçları LS Del'in küçük degen oranına sahip, W türü bir alt sistem olduğunu göstermektedir. Elde edilen düşük yörünge eğimi ($i = 48.5^{\circ}$), parçalı tutulma ve ışık eğrisinin görel olarak küçük

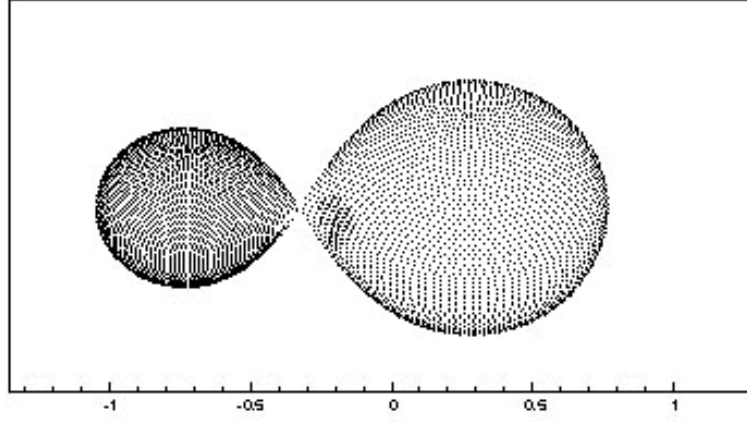
genliği ile uyumludur. İkinci bileşen (küçük kütleli ve daha sıcak olan), birinci (derin) minimumda örtölmektedir. Analizler sonucunda sistemin 2. bileşeninde 2 soğuk leke olduğu düşünölmektedir (Şekil 7.7 ve Şekil 7.8).



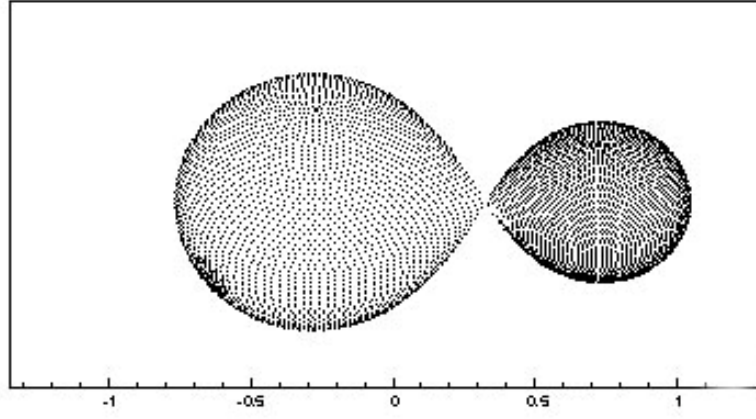
Şekil 7.5 LS Del'nin B bandı ışık eğrisi



Şekil 7.6 LS Del'nin V bandı ışık eğrisi



Şekil 7.7 LS Del'in 0.25 evresindeki geometrik modeli



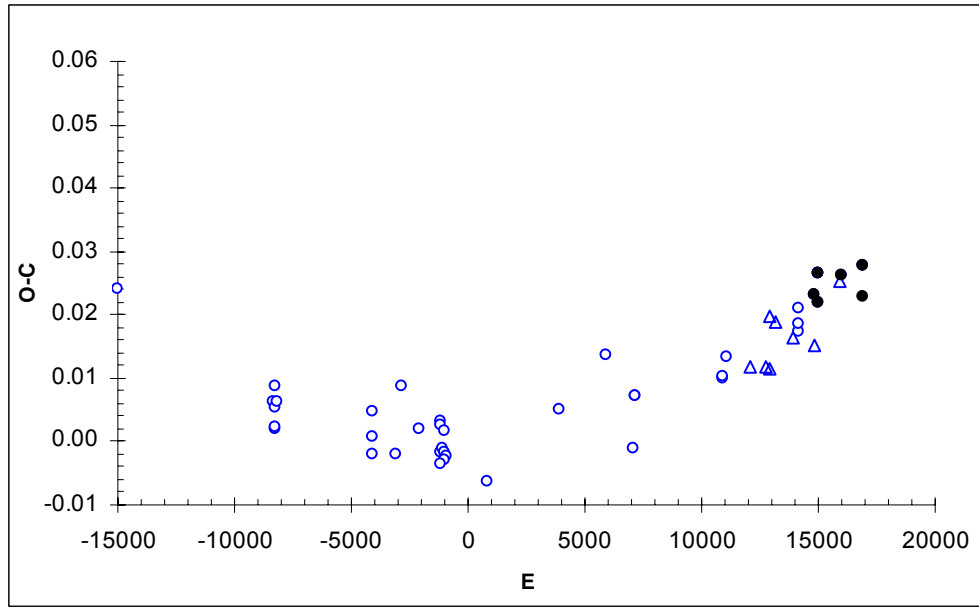
Şekil 7.8 LS Del'in 0.75 evresindeki geometrik modeli

Çizelge 7.4 LS Del'in ışık eğrisi analiz sonuçları (Johnson B-V)

Parametre	B Rengi	V Rengi
T_1	5915	
T_2	5344	
$q (m_2/m_1)$	2.67	
$i (^\circ)$	47.29 ± 1	
$A_1=A_2$	0.5	
$G_1=g_2$	0.32	
$\Omega_1=\Omega_2$	6.16599	
$L_1/(L_1+L_2)$	0.437	0.397
$L_2/(L_1+L_2)$	0.563	0.603
x_1	0.449	0.209
x_2	0.714	0.419
y_1	0.439	0.626
y_2	0.154	0.423
$F_{1,2}$	1.0	
$A (R_\Theta)$	2.4395	
$F (\%)$	1.56	
$\Sigma (O-C)^2$	0.025	
1.Leke		
$\lambda (^\circ)$	80.21	
$\varphi (^\circ)$	20.50	
$\theta (^\circ)$	0.2	
$TF_1 (T_{leke}/T_e)$	0.85	
2.Leke		
$\lambda (^\circ)$	100.26	
$\varphi (^\circ)$	217.74	
$\theta (^\circ)$	0.18	
$TF_2 (T_{leke}/T_e)$	0.75	

7.3 LS Del'in O-C Analizi

Qian (2001) yaptığı çalışmada, LS Del'in O-C eğrisindeki değişimi ikinci dereceden bir fonksiyonla ifade ederek dönem değişimini 2.25×10^{-7} gün/yıl olarak buldu. Sistemin ayrıntılı O-C eğrisi analizi için yayınlanmış tüm minimum zamanları literatürden alındı. Ayrıca bu çalışma kapsamında yapılan yeni ışık eğrisi gözlemlerinden LS Del için dört adet birinci ve üç adet ikinci minimum zamanı hesaplandı. Söz konusu 7 minimum zamanından bir tanesi CCD gözlemleriyle elde edilmişken diğerleri fotometrik gözlemleri kapsamaktadır. Toplam 50 adet minimum zamanından 41 tanesi fotoelektrik, 9 tanesi ise CCD verisidir. Söz konusu verilerin 49 tanesi bu analizde kullanılmıştır.

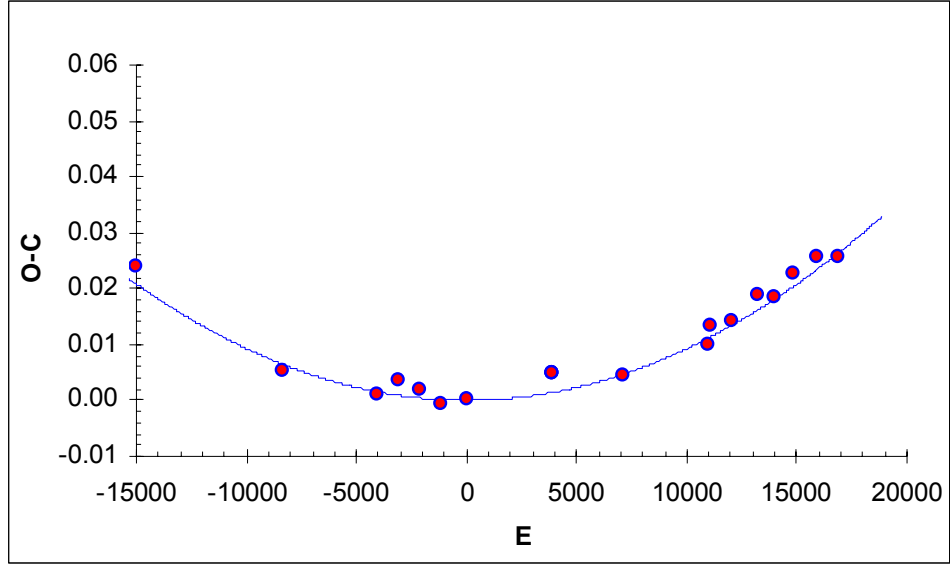


Şekil 7.9 LS Del'in güncel O-C eğrisi

İçi boş olarak gösterilen veriler literatürden toplanan fotoelektrik yuvarlak) ve CCD (üçgen) verilerini temsil etmektedir.İçi dolu olan veriler ise bu çalışma kapsamında elde edilen verilerdir.

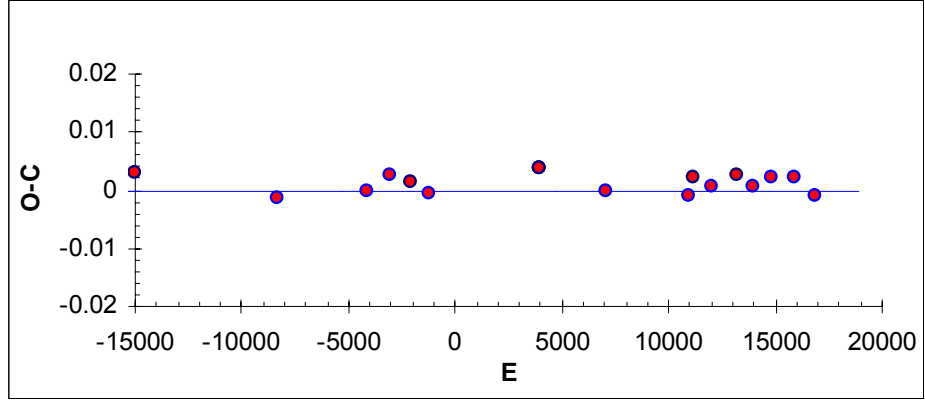
O-C grafiği sistemin yörünge döneminin düzgün olarak arttığına işaret etmektedir. Bu dönem değişim yapısı, sistemde mevcut olan kütle transferi/kaybı mekanizması ile açıklanabilir. Sistemdeki kütle transferinin korunumlu olduğu varsayımına dayanarak, transfer yönünü küçük kütleli bileşenden büyük kütleliye doğrudur. Bu koşullar altında kütle transfer hızı yılda $9.32 \times 10^{-9} M_{\odot}$ olarak hesaplandı. Bu çalışmada elde edilen diğer sonuçlar ise;

- $dP/dt = 1.857 \times 10^{-7}$ gün / yıl
- $P/dP/dt = 1.96 \times 10^6$ yıl dır.

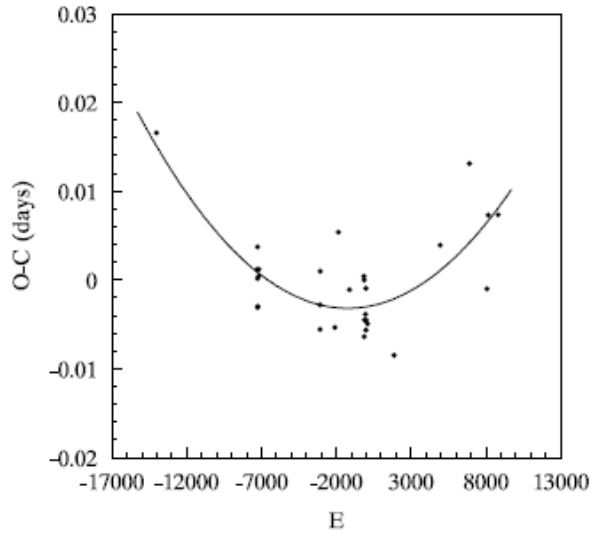


Şekil 7.10 LS Del'in gözlemsel ve üretilen kuramsal O-C eğrilerinin uyumu

Burada, literatürden toplanan veriler mevsimsel olarak, hatalarına göre ağırlıklandırılarak analizde kullanılmıştır. Üretilen kuramsal eğri ile gözlemsel eğri arasındaki farkkare toplamı 0.00202 dir ve kuramsal eğri ile gözlemsel eğri arasındaki fark Şekil 7.11 de gösterilmektedir.



Şekil 7.11 Mevcut O-C eğrisine yapılan kuramsal çakıştırmanın gözlemlerden olan farkı



Şekil 7.12 Qian'ın (2000) LS Del için elde ettiği O-C eğrisi

Çizelge 7.5. Bu çalışmada ulaşılan sonuçların Qian (2000) ile bir karşılaştırması

	dP/dt (gün/yıl)	P/dP/dT (yıl)
Qian (2000)	2.25×10^{-7}	1.61×10^6
Bu çalışma (2007)	1.857×10^{-7}	1.96×10^6

8. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada LS Del çift yıldızının B ve V bandlarında elde edilen yeni ışık eğrileri Wilson Devinney (2003) kodu ile analiz edildi ve sisteme ait yörünge parametreleri belirlendi. Çözümler LS Del'in W alt türünden bir W UMa değen sistemi olduğunu göstermektedir. Ancak burada bir marjinallik söz konusudur. Bileşenlerin değme derecesi oldukça düşük olup (%1.56) , yörünge eğimi (47.29) parçalı tutulma meydana getirmektedir. Buna bağlı olarak sistemin ışık eğrisinde gözlenen salınımların büyük oranda yakınlık etkilerinden kaynaklandığını söyleyebiliriz. Işık eğrilerinde izlenen düşük ışık değişim genliği bu fikri doğrulamaktadır.

LS Del sisteminin gözlenen yeni minimum zamanları literatürden toplananlar ile birleştirilerek O-C eğrisi analiz edildi. Bu çalışmada sunulan gözlemlerin minimum zamanları da dikkate alınarak yapılan (O-C) analizi, LS Del için 1.857×10^{-7} gün/yıl mertebesinde bir dönem değişiminin varlığını ortaya koydu. Bileşenler arası korunumlu kütle transferi yaklaşımı altında bu değişim miktarı Bu koşullar altında kütle transfer hızı yılda $9.32 \times 10^{-9} M_{\odot}$ olarak hesaplandı. Elde edilen O-C eğrisinde görülen parabolik yapı çift sistemin dönem değişiminin kütle transferi/kaybı ile oluşabileceğine işaret etmektedir.

KAYNAKLAR

- Al Naimy, H. M. 1978. Linearized limb-darkening coefficients for use in analysis of eclipsing binary light curves, *Ap & SS*, 53, 181
- Anderson, L. and Shu, F. H. 1977. On the light curves of W Ursae Majoris stars
- Applegate, J.H. 1992. A mechanism for orbital period modulation in close binaries. *Apj*, 358,621
- Berthier, E. 1975. A study of W UMa-type eclipsing binaries by the method of light
- Biermann, P. and Hall, D.S. 1973. A model to explain alternate period changes in Algol like binaries. *A&Ap*,27,249.
- Binnendijk, L. 1970. The orbital elements of W Ursae Majoris systems, *VA*, 12, 217
- Binnendijk, L. 1977. Synthetic light curves for contact binaries, *VA*, 21, 359
- Brancewicz, H.K. and Dworak, T.Z. 1980. A catalogue of parameters for eclipsing binaries.*AcA*,30, 501
- Chandler, S.C. 1988. *AJ*, 7 165.
- 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
- DeCampi, W.M. and Baliunas, S.L. 1979. what tides and flares to do RS Canum Venaticorum binaries. *ApJ*,230, 815.
- Derman, E., Demircan, O., Selam, S.O. (1991), "Light Curve and Period Variation of W UMa System LS Del", *A&AS*, 90, 301
- Demircan, O., Selam, S.O. and Derman, E. (1991), "1990 Photometry of a Small Amplitude W UMa System LS Delphini", *Ap&SS*, 189, 57
- Eaton, J. A., 1973, An Ultraviolet Analysis of Algol, *BAAS*, 5, 387
- Eaton, J. A. 1983. Chromospheric emission of W Ursae Majoris-type stars and its relation to the structure of their common envelopes *APJ*, 268, 800
- Eaton, J. A. 1986. Implications of the light curve of the A-type W UMa binary V566 Ophiuchi, *AcA*, 36, 275
- Eggen, O.J.1948. The system of Algol. *ApJ*, 108, 1E

- Eggen, O.J., 1967, Contact Binaries, II., *MmRAS*, 70, 111E
- Elmaslı, A., Albayrak B., Selam, S. O, LS Del Çift Sisteminin Işık Eğrisi Analizi, 2005. XV. Ulusal Astronomi Kongresi ve IV. Ulusal Öğrenci Astronomi Kongresi Bildiri Kitabı, Cilt II, 341
- Fekel, F.C. 1987. Multiple stars-anathemas or friends. *Vistas in Astr.*, 30, 69.
- Freundlich, F. 1958. *Celestial Mechanics*. Pergamon Press, Oxford.
- Frieboes-Conde, H. and Herezeg, T. 1973. Period variaions of fourteen eclipsing binaries with possible light-time effect. *A&A*, 12, 1.
- Gimenez, A. 1985. General-relativistic perastron advances in eclipsing binary system. *ApJ*, 297, 405.
- Gimenez, A. and Claret, A. 1992. Recent results on the apsidal motion test in eclipsing binaries. In: Y. Kondo et al (editors), *Evolutionary processes in interacting binary stars*. Kluwer Acad. Publ., IAU Symp., No: 151, p.227, Dordrecht
- Guinan, E.F. and Bradstreet, D.H. 1988. Kinematic clues to orgin and evolution of low mass contact binaries. In: A.K. Dupree and M.T.V.T. Lago (editors), *Formatting and Evolution of Low Mass Stars*. Kluwer Acad. Publ., p.345, Dordrecht.
- Hall, D.S. 1975. on the period variations and light curve changes in RS Canum Venaticorum. *AcA*, 25, 215.
- Hall, D.S. and Kreiner, J.M. 1980. period changes and mass loss rates in 34 RS CVn binaries. *AcA*, 30, 387.
- Huang, S. 1956. A dynamical problem in binary systems and its bearing on stellar evolution. *AJ*, 61,49.
- Irwin, J.B. 1959. Standart lite-time curves. *AJ*, 64, 148.
- Jeffery, C.S. 1984. Apsidal motion in main-sequence binary stars. *MNRAS*, 207,323.
- Kippenhahn, Rudolf; Weigert, Alfred 1990. *Stellar Structure and Evolution*. 1990,sse..book. K
- Kopal, Zdenek. 1955. *AnAp*, 18; 379
- Kopal, Zdenek. 1959. cbs. Book.K.

- Kreiner, J.M. 1971. Investigation of changes in periods of eclipsing variables. *AcA*, 21, 365.
- Kruszewski, A. 1966. Adv. In *A&Ap*, 6, 258.
- Kuiper, G.P. 1941. On the interpretation of b Lyrae and other close binaries. *ApJ*, 98, 133.
- Kwee, K.K. 1958. Investigation of variations in the period of 16 bright short-period eclipsing binary stars. *BAN*, 14 no:485, 131.
- Kwee, K.K. ve van Woerden, H. 1956. "A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable", *BAN*, 12, 327
- Lacy, C.H. 1992. An exact solution of the ephemeris-curve problem. *AJ*, 104, 2213.
- Leung, K.C. 1988. "Critical Observations Versus Physical Models for Close Binary Systems", Editors: Leung, K.C, Gordon & Breach: New York, p.93
- Linnell, A. P. 1987. The problem of the W-type light curve of W Ursae Majoris. *APJ*, 316; 389L
- Lu, W.and, Rucinski, S.M.1999. "Radial velocity studies of close binary stars. I.", *AJ*, 118, 515
- Lucy, L. B.1967. Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes. *ZA*, 65; 89.
- Lucy, L. B.1968. The Structure of Contact Binaries. *APJ*, 151; 1123.
- Lucy, L. B.1973. The Common Convective Envelope Model for W Ursae Majoris
- Lucy, L. B.1967. "Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes", *Zeitschr. F. Astrophys.*, 65, 89
- Mayer, P. 1990. Eclipsing binaries wth light-time effect. *BAC*, 41, 231.
- McLaughing, D. 1934. Spectrographic studies of eclipsing binaries. *Publ. Obs. Univ. Michigan*. 6, 3.
- Merrill, J. E.1950. Book reviews: Stellar Evolution. *PA*, 58; 475.
- Moffat, J.W. 1984. The orbital motion of DI Herculis as a test of a theory of gravitation. *ApJ*, 287, L77.
- Morgenroth, O. 1934. Neue Veraderliche. *AN*, 251, 17
- Mullan, D. J. 1975. On the possibility of magnetic starspots on the primary components

- Olson, E.C. 1985. Photometry of active algols. In: P.P. Eggleton and J.E. Pringle (editors),
Interacting Binaries, NATO ASI ser C, Vol: 150, D. Reidel Publ.Comp., p.
127, Dordrecht.
- Özuyar, D. 2007. Yüksek Lisans Tezi
- Paczynski, B. 1971. *Ann. Rev. A&Ap*, 9, 183.
- Peters, P. and Mathews, R. 1963. *Phys. Rev.*, 131, 435.
- Petrie, R. M. 1939. *JRASC*, 32; 63.
- Piotrowski, S. 1964. *AcA*, 14, 271.
- Popper, D.M. 1980. "Stellar masses", *ARA&A*, 18, 115
- Pribulla, T. and Rucinski, S.M. 2006. Contact binaries with additional components. I. The
extant data. *AJ*, 131.
- Prsa, A.; Zwitter, T. 2006. Introducing Powell's Direction Set Method to a Fully Automated
Analysis of Eclipsing Binary Stars. *astro.ph*, 7340P.
- Qian, S. 2001. "A possible relation between the period change and the mass ratio for W-
type contact binaries", *MNRAS*, 328, 635
- Rappaport, S., Verbunt, F. And Joss, P.C. 1983. A new technique for calculations of binary
stellar evolution, with application to magnetic braking. *ApJ*, 275, 713.
- Rucinski, S. M. 1973. The W UMa-type Systems as Contact Binaries. I. Two Methods of
Geometrical Elements Determination. *Degree of Contact AcA*, 23; 79R.
- Rucinski, S. M. 1974. Binaries. II. A- and W-type Systems. The W UMa-type Systems as
Contact *AcA*, 24; 119R.
- Rucinski, S. M. et al. 1984. IUE observations of two extremes among contact binaries –
AW Ursae Majoris and SW Lacertae. *MNRAS*.208.309R.
- Russel, H. N. 1912. On the Determination of the Orbital Elements of Eclipsing
- Russel, H. N. and Merrill, J. E. 1952. *deeb.book..R*.
- Ruyou, W., Wenxian, L. 1987. "New B,V Light Curves of LS DELPHINI", *IBVS* 2982
- Selam, S. O. 1998. Yakın Çift Yıldızların Dönem Değişimleri. Doktora Tezi.
- Sezer, C., Gülmen, Ö., Güdür, N. 1985. "Photoelectric Light Curves and Period of HD
199497", *Ap&SS*, 115, 309

- Stothers, R. 1974. The Apsidal-motion test for models of main-sequence stars. *ApJ*, 194, 651.
- Szafraniec, R. 1960. *AcA*, 10, 99.
- Szafraniec, R. 1966. *AcA*, 16, 177
- Thomas, H.C. 1977. Consequences of mass transfer in close binary systems. *Ann. Rev. A&Ap*, 127.
- van Hamme, W. 1993. New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves, *AJ*, 106, 2096
- van't Veer, F. 1986. Period variations of binary systems as a possible source on information about motions in the stellar core. *A&Ap*, 156, 181.
- von Zeipel, H. 1924. The radiative equilibrium of a rotating system of gaseous masses *MNRAS*, 84, 665
- Wade, R. A., Rucinski, S. M. 1985. Linear and quadratic limb-darkening coefficients for a large grid of LTE model atmospheres, *A & AS*, 60, 471
- Wieck, M., Wunder, E. 1989. "Revised Elements and Light Curve for LS Delphini", *IBVS* 3406
- Weaver, F. J. 1990. "A Photometric Study of LS Delphini", *BAAS*, 22, 1296
- Wilson, R. E. and Biermann, P. 1976. Which component is hotter, *A & A*, 48, 349
- Wilson, R. E. and Devinney, E. J. 1973. Fundamental data for contact binaries: RZ Comae Berenices, RZ Tauri, and AW Ursae Majoris, *APJ*, 182, 539
- Wilson, R. E. and Devinney, E. J. 1971. *APJ*, 166, 615 .
- Wilson, R. E. and van Hamme, 2004. Stellar atmospheres in eclipsing binary models *ASPC*, 298, 323V
- Wilson, R. E. 1979. Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves, *ApJ*, 234, 1054
- Wilson, R. E. 1990. Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect *ApJ*, 356, 613
- Wilson, R.E. Devinney, E. J. 1971. "Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni", *ApJ*, 166, 615

- Wilson, R.E. Devinney, E. J. 1973. Fundamental Data For Contact Binaries: RZ Comae Berenices, RZ Tauri, and AW Ursae Majoris, ApJ, 182, 539
- Wood, B.D. and Forbes, J.E. 1963. Ephemerides of eclipsing stars. AJ, 68, 257.
- Wood, F.B. 1950. On the change of period of eclipsing variable stars. ApJ, 112, 196.

EKLER

Ek 1 LS Del çift yıldız sisteminin ışık eğrisi verileri (Johnson BV)

Ek 2 LS Del çift yıldız sisteminin literatürden toplanan ve bu çalışma da elde edilen minimum zamanları

EK 1. LS Del çift yıldız sisteminin ışık eğrisi verileri (Johnson BV)

HJD	DMB
2454274,43741	-0,4960
2454274,43750	-0,4980
2454274,43896	-0,4965
2454274,43912	-0,4987
2454274,44067	-0,5004
2454274,44120	-0,4982
2454274,44202	-0,5024
2454274,44290	-0,5003
2454274,44364	-0,5056
2454274,44496	-0,5089
2454274,44846	-0,5082
2454274,44848	-0,5091
2454274,45016	-0,5166
2454274,45018	-0,5086
2454274,45140	-0,5121
2454274,45224	-0,5212
2454274,45312	-0,5137
2454274,45397	-0,5096
2454274,45445	-0,5299
2454274,45608	-0,5208
2454274,45633	-0,5269
2454274,45762	-0,5305
2454274,45778	-0,5207
2454274,45943	-0,5395
2454274,45970	-0,5365
2454274,46083	-0,5368
2454274,46149	-0,5445
2454274,46289	-0,5346
2454274,46350	-0,5443
2454274,46417	-0,5449
2454274,46525	-0,5567
2454274,46595	-0,5605
2454274,46725	-0,5449
2454274,46764	-0,5518
2454274,46907	-0,5543
2454274,46915	-0,5646
2454274,47053	-0,5593
2454274,47165	-0,5575
2454274,47225	-0,5629
2454274,47349	-0,5675
2454274,47363	-0,5623
2454274,47561	-0,5675
2454274,47676	-0,5606
2454274,47735	-0,5617
2454274,47966	-0,5730
2454274,47967	-0,5723
2454274,48099	-0,5780

HJD	DMV
2454274,43764	-0,4204
2454274,43774	-0,4233
2454274,43919	-0,4181
2454274,43935	-0,4200
2454274,44090	-0,4250
2454274,44143	-0,4223
2454274,44225	-0,4243
2454274,44313	-0,4262
2454274,44387	-0,4188
2454274,44519	-0,4292
2454274,44869	-0,4236
2454274,44871	-0,4244
2454274,45039	-0,4260
2454274,45041	-0,4339
2454274,45163	-0,4375
2454274,45247	-0,4306
2454274,45335	-0,4400
2454274,45421	-0,4272
2454274,45467	-0,4470
2454274,45631	-0,4468
2454274,45656	-0,4435
2454274,45786	-0,4375
2454274,45801	-0,4514
2454274,45966	-0,4381
2454274,45994	-0,4428
2454274,46106	-0,4485
2454274,46171	-0,4411
2454274,46312	-0,4565
2454274,46373	-0,4435
2454274,46441	-0,4420
2454274,46548	-0,4530
2454274,46617	-0,4514
2454274,46748	-0,4634
2454274,46787	-0,4565
2454274,46930	-0,4600
2454274,46938	-0,4694
2454274,47075	-0,4738
2454274,47188	-0,4746
2454274,47248	-0,4651
2454274,47372	-0,4658
2454274,47386	-0,4800
2454274,47584	-0,4700
2454274,47699	-0,4756
2454274,47758	-0,4748
2454274,47989	-0,4896
2454274,47990	-0,4811
2454274,48122	-0,4970

HJD	DMB
2454274,48139	-0,5849
2454274,48263	-0,5829
2454274,48330	-0,5762
2454274,48406	-0,5856
2454274,48490	-0,5957
2454274,48588	-0,5875
2454274,48686	-0,5957
2454274,48733	-0,5960
2454274,48852	-0,5888
2454274,49015	-0,5924
2454274,49044	-0,5984
2454274,49157	-0,5998
2454274,49213	-0,5984
2454274,49336	-0,6016
2454274,49392	-0,5935
2454274,49468	-0,6128
2454274,49558	-0,6121
2454274,49663	-0,6050
2454274,49762	-0,5997
2454274,49803	-0,6070
2454274,49931	-0,6014
2454274,49977	-0,6195
2454274,50105	-0,6182
2454274,50120	-0,6086
2454274,50292	-0,6248
2454274,50502	-0,6152
2454274,50568	-0,6309
2454274,50679	-0,6212
2454274,50725	-0,6295
2454274,50865	-0,6248
2454274,50890	-0,6310
2454274,51029	-0,6182
2454274,51058	-0,6333
2454274,51178	-0,6309
2454274,51267	-0,6236
2454274,51357	-0,6218
2454274,51439	-0,6273
2454274,51516	-0,6384
2454274,51661	-0,6386
2454274,51682	-0,6363
2454274,51804	-0,6423
2454274,51853	-0,6297
2454274,51875	-0,6327
2454274,52000	-0,6387
2454274,52008	-0,6309
2454274,52132	-0,6507
2454274,52171	-0,6339
2454274,52239	-0,6465
2454274,52304	-0,6411

HJD	DMV
2454274,48163	-0,4911
2454274,48286	-0,4892
2454274,48353	-0,4988
2454274,48429	-0,4944
2454274,48513	-0,5010
2454274,48611	-0,4993
2454274,48709	-0,5065
2454274,48757	-0,4923
2454274,48875	-0,5030
2454274,49038	-0,4994
2454274,49068	-0,5025
2454274,49180	-0,5107
2454274,49237	-0,5100
2454274,49360	-0,5088
2454274,49415	-0,5118
2454274,49492	-0,5147
2454274,49582	-0,5215
2454274,49686	-0,5238
2454274,49785	-0,5160
2454274,49826	-0,5116
2454274,49955	-0,5243
2454274,50000	-0,5163
2454274,50128	-0,5262
2454274,50143	-0,5190
2454274,50315	-0,5292
2454274,50525	-0,5243
2454274,50591	-0,5175
2454274,50702	-0,5284
2454274,50748	-0,5319
2454274,50889	-0,5236
2454274,50913	-0,5399
2454274,51051	-0,5382
2454274,51082	-0,5403
2454274,51201	-0,5435
2454274,51290	-0,5390
2454274,51380	-0,5410
2454274,51462	-0,5355
2454274,51539	-0,5476
2454274,51684	-0,5445
2454274,51705	-0,5471
2454274,51827	-0,5371
2454274,51877	-0,5549
2454274,51899	-0,5526
2454274,52023	-0,5440
2454274,52032	-0,5536
2454274,52155	-0,5565
2454274,52194	-0,5464
2454274,52261	-0,5549
2454274,52327	-0,5488

HJD	DMB
2454274,52323	-0,6459
2454274,52445	-0,6409
2454274,52453	-0,6357
2454274,52456	-0,6375
2454274,52591	-0,6387
2454274,52656	-0,6488
2454274,52765	-0,6459
2454274,52792	-0,6400
2454274,52806	-0,6447
2454274,52976	-0,6435
2454274,52979	-0,6435
2454274,53031	-0,6471
2454274,53115	-0,6537
2454274,53147	-0,6489
2454274,53285	-0,6463
2454274,53301	-0,6490
2454274,53355	-0,6467
2454274,53429	-0,6471
2454274,53433	-0,6445
2454274,53566	-0,6421
2454274,53571	-0,6417
2454274,53619	-0,6478
2454274,53716	-0,6456
2454274,53747	-0,6447
2454274,53846	-0,6525
2454274,53903	-0,6446
2454274,53924	-0,6495
2454274,54003	-0,6417
2454274,54052	-0,6430
2454274,54129	-0,6441
2454274,54143	-0,6420
2454274,54205	-0,6471
2454274,54334	-0,6421
2454274,54414	-0,6489
2454274,54439	-0,6394
2454274,54496	-0,6464
2454274,54623	-0,6255
2454274,54629	-0,6300
2454274,54664	-0,6393
2454274,54799	-0,6264
2454274,54882	-0,6285
2454274,54915	-0,6376
2454274,54948	-0,6395
2454274,55058	-0,6269
2454274,55086	-0,6218
2454274,55098	-0,6144
2454274,55210	-0,6182
2454274,55290	-0,6160
2454274,55395	-0,6100

HJD	DMV
2454274,52345	-0,5561
2454274,52468	-0,5530
2454274,52475	-0,5632
2454274,52478	-0,5590
2454274,52614	-0,5500
2454274,52679	-0,5569
2454274,52787	-0,5583
2454274,52816	-0,5542
2454274,52829	-0,5512
2454274,52999	-0,5556
2454274,53002	-0,5625
2454274,53054	-0,5536
2454274,53139	-0,5524
2454274,53171	-0,5565
2454274,53308	-0,5548
2454274,53324	-0,5583
2454274,53378	-0,5607
2454274,53451	-0,5600
2454274,53456	-0,5535
2454274,53589	-0,5583
2454274,53594	-0,5604
2454274,53642	-0,5536
2454274,53739	-0,5529
2454274,53770	-0,5571
2454274,53869	-0,5500
2454274,53926	-0,5618
2454274,53946	-0,5540
2454274,54026	-0,5476
2454274,54075	-0,5506
2454274,54152	-0,5590
2454274,54166	-0,5528
2454274,54228	-0,5535
2454274,54357	-0,5549
2454274,54436	-0,5500
2454274,54462	-0,5464
2454274,54519	-0,5507
2454274,54646	-0,5540
2454274,54651	-0,5486
2454274,54687	-0,5500
2454274,54822	-0,5396
2454274,54906	-0,5479
2454274,54938	-0,5500
2454274,54971	-0,5403
2454274,55081	-0,5417
2454274,55109	-0,5451
2454274,55121	-0,5378
2454274,55235	-0,5300
2454274,55313	-0,5220
2454274,55418	-0,5326

HJD	DMB
2454274,55402	-0,6239
2454274,55452	-0,6282
2454274,55540	-0,6182
2454274,55601	-0,6110
2454274,55620	-0,6218
2454274,55703	-0,6049
2454274,55750	-0,6146
2454274,55836	-0,6090
2454274,55902	-0,6028
2454274,55902	-0,6038
2454274,55982	-0,6144
2454274,56028	-0,5936
2454274,56106	-0,5925
2454274,56125	-0,6104
2454274,56231	-0,6002
2454274,56278	-0,5887
2454274,56363	-0,5828
2454274,56408	-0,6048
2454274,56543	-0,5980
2454274,56583	-0,5948
2454274,56682	-0,5894
2454274,56718	-0,5804
2454274,56843	-0,5740
2454274,56880	-0,5864
2454274,57004	-0,5683
2454274,57008	-0,5780
2454274,57165	-0,5641
2454274,57299	-0,5792
2454274,57350	-0,5719
2454274,57456	-0,5815
2454274,57539	-0,5767
2454274,57582	-0,5671
2454274,57684	-0,5562
2454274,57742	-0,5692
2454274,57873	-0,5488
2454274,57879	-0,5600
2454274,58007	-0,5519
2454274,58166	-0,5571
2454274,58291	-0,5419
2454274,58444	-0,5500
2454274,58574	-0,5411
2454274,58742	-0,5353
2454274,58874	-0,5424
2454274,59027	-0,5334
2454274,59157	-0,5275
2454274,59312	-0,5214
2454274,59461	-0,5281
2454274,59664	-0,5167
2454274,59805	-0,5208

HJD	DMV
2454274,55426	-0,5353
2454274,55475	-0,5271
2454274,55563	-0,5271
2454274,55624	-0,5210
2454274,55643	-0,5228
2454274,55727	-0,5203
2454274,55774	-0,5222
2454274,55860	-0,5167
2454274,55925	-0,5181
2454274,55925	-0,5215
2454274,56005	-0,5137
2454274,56051	-0,5060
2454274,56129	-0,5194
2454274,56149	-0,5113
2454274,56254	-0,5087
2454274,56301	-0,5146
2454274,56386	-0,5111
2454274,56431	-0,5083
2454274,56566	-0,4927
2454274,56606	-0,4976
2454274,56705	-0,5035
2454274,56742	-0,5009
2454274,56866	-0,5028
2454274,56903	-0,4968
2454274,57027	-0,4951
2454274,57031	-0,4905
2454274,57188	-0,4924
2454274,57323	-0,4841
2454274,57373	-0,4964
2454274,57479	-0,4842
2454274,57562	-0,4819
2454274,57605	-0,4896
2454274,57707	-0,4840
2454274,57765	-0,4800
2454274,57896	-0,4696
2454274,57901	-0,4868
2454274,58030	-0,4792
2454274,58189	-0,4729
2454274,58314	-0,4778
2454274,58467	-0,4732
2454274,58598	-0,4604
2454274,58765	-0,4667
2454274,58897	-0,4522
2454274,59050	-0,4589
2454274,59180	-0,4583
2454274,59335	-0,4446
2454274,59484	-0,4530
2454274,59687	-0,4482
2454274,59828	-0,4400

HJD	DMB
2454274,60110	-0,5123
2454274,60272	-0,5149
2454274,60403	-0,5145
2454274,60561	-0,5118
2454274,60703	-0,5086
2454274,60877	-0,5122
2454274,61004	-0,5087
2454274,61149	-0,5033
2454274,61175	-0,5047
2454274,61440	-0,5076
2454274,61444	-0,5047
2454274,61458	-0,5041
2454274,61569	-0,5030
2454274,61776	-0,5060
2454274,61804	-0,5023
2454274,61859	-0,5023
2454274,61949	-0,5076
2454274,62146	-0,5052
2454274,62150	-0,5044
2454274,62241	-0,5038
2454274,62272	-0,5052
2454274,62294	-0,5084
2454274,62424	-0,5100
2454274,62446	-0,5130
2454274,62532	-0,5121
2454274,62557	-0,5065
2454274,62718	-0,5139
2454274,62841	-0,5089
2454274,62879	-0,5123
2454274,63006	-0,5169
2454274,63007	-0,5211
2454274,63128	-0,5148
2454274,63161	-0,5142
2454274,63290	-0,5162
2454274,63293	-0,5256
2454274,63418	-0,5224
2454274,63451	-0,5280
2454274,63580	-0,5231
2454274,63593	-0,5323
2454274,63726	-0,5276
2454274,63767	-0,5329
2454274,63895	-0,5337
2454274,63896	-0,5353
2454274,64047	-0,5383
2454274,64049	-0,5300
2454274,64177	-0,5377
2454274,64233	-0,5466
2454274,64368	-0,5353
2454274,64440	-0,5453

HJD	DMV
2454274,60133	-0,4440
2454274,60295	-0,4405
2454274,60426	-0,4319
2454274,60584	-0,4327
2454274,60726	-0,4369
2454274,60900	-0,4381
2454274,61037	-0,4316
2454274,61198	-0,4255
2454274,61333	-0,4333
2454274,61467	-0,4257
2454274,61481	-0,4264
2454274,61592	-0,4232
2454274,61636	-0,4327
2454274,61745	-0,4300
2454274,61799	-0,4336
2454274,61882	-0,4243
2454274,61972	-0,4243
2454274,62041	-0,4232
2454274,62169	-0,4299
2454274,62173	-0,4223
2454274,62295	-0,4280
2454274,62317	-0,4293
2454274,62447	-0,4244
2454274,62469	-0,4250
2454274,62581	-0,4286
2454274,62741	-0,4274
2454274,62752	-0,4360
2454274,62864	-0,4341
2454274,62902	-0,4292
2454274,63029	-0,4418
2454274,63030	-0,4387
2454274,63151	-0,4333
2454274,63184	-0,4393
2454274,63313	-0,4447
2454274,63316	-0,4387
2454274,63442	-0,4393
2454274,63473	-0,4446
2454274,63603	-0,4494
2454274,63616	-0,4429
2454274,63750	-0,4506
2454274,63790	-0,4582
2454274,63918	-0,4438
2454274,63919	-0,4440
2454274,64070	-0,4542
2454274,64072	-0,4537
2454274,64201	-0,4659
2454274,64256	-0,4479
2454274,64391	-0,4590
2454274,64463	-0,4655

HJD	DMB
2454274,64523	-0,5492
2454274,64574	-0,5419
2454274,64650	-0,5617
2454274,64725	-0,5462
2454274,64814	-0,5515
2454274,64854	-0,5588
2454274,64941	-0,5647
2454274,65017	-0,5651
2454274,65122	-0,5665
2454274,65138	-0,5761
2454274,65255	-0,5713
2454274,65437	-0,5864
2454274,65452	-0,5804
2454274,65579	-0,5816
2454274,65681	-0,5852
2454274,65741	-0,5749
2454274,65817	-0,5794
2454274,65873	-0,5960
2454274,66000	-0,5895
2454274,66048	-0,6015
2454274,66133	-0,5823
2454274,66164	-0,5882
2454274,66302	-0,5930
2454274,66339	-0,5954
2454274,66463	-0,6012
2454274,66488	-0,6008
2454274,66632	-0,5968
2454274,66673	-0,6060
2454274,66769	-0,6092
2454274,66800	-0,6127
2454274,66963	-0,6188
2454274,66973	-0,6133
2454274,67100	-0,5953
2454274,67127	-0,6182
2454274,67255	-0,6029
2454274,67329	-0,6265
2454274,67387	-0,6085
2454274,67460	-0,6238
2454274,67546	-0,6317
2454274,67630	-0,6194
2454274,67697	-0,6182
2454274,67765	-0,6125
2454274,67853	-0,6296
2454274,67940	-0,6184
2454274,67993	-0,6129
2454274,68076	-0,6278
2454274,68159	-0,6366
2454274,68263	-0,6327
2454274,68293	-0,6401

HJD	DMV
2454274,64546	-0,4734
2454274,64598	-0,4637
2454274,64715	-0,4661
2454274,64748	-0,4752
2454274,64837	-0,4781
2454274,64877	-0,4641
2454274,64964	-0,4660
2454274,65039	-0,4775
2454274,65145	-0,4652
2454274,65161	-0,4770
2454274,65278	-0,4715
2454274,65460	-0,4861
2454274,65475	-0,4757
2454274,65603	-0,4953
2454274,65703	-0,4770
2454274,65765	-0,4859
2454274,65841	-0,4861
2454274,65895	-0,5026
2454274,66024	-0,4829
2454274,66157	-0,5035
2454274,66187	-0,4933
2454274,66326	-0,5022
2454274,66362	-0,5024
2454274,66389	-0,5076
2454274,66486	-0,5069
2454274,66511	-0,5161
2454274,66654	-0,5033
2454274,66696	-0,5063
2454274,66792	-0,5112
2454274,66824	-0,5214
2454274,66986	-0,5139
2454274,66996	-0,5139
2454274,67123	-0,5157
2454274,67150	-0,5104
2454274,67278	-0,5200
2454274,67353	-0,5229
2454274,67410	-0,5208
2454274,67483	-0,5300
2454274,67569	-0,5257
2454274,67653	-0,5222
2454274,67720	-0,5313
2454274,67788	-0,5375
2454274,67877	-0,5265
2454274,67964	-0,5306
2454274,68017	-0,5347
2454274,68099	-0,5347
2454274,68182	-0,5374
2454274,68286	-0,5347
2454274,68316	-0,5507

HJD	DMB
2454274,68397	-0,6296
2454274,68576	-0,6255
2454274,68583	-0,6255
2454274,68738	-0,6494
2454274,68751	-0,6448
2454274,68871	-0,6316
2454274,68950	-0,6349
2454274,69087	-0,6411
2454274,69285	-0,6519
2454274,69467	-0,6465
2454274,69684	-0,6525
2454274,69835	-0,6500
2454274,70036	-0,6483
2454274,70207	-0,6555
2454274,70410	-0,6495
2454274,70560	-0,6519
2454274,70811	-0,6471
2454274,70967	-0,6489
2454274,71189	-0,6543
2454274,71599	-0,6500
2454274,71654	-0,6429
2454274,71799	-0,6481
2454274,71846	-0,6465
2454274,71952	-0,6337
2454274,72081	-0,6348
2454274,72120	-0,6351
2454274,72234	-0,6267
2454274,72262	-0,6453
2454274,72275	-0,6400
2454274,72386	-0,6375
2454274,72483	-0,6423
2454274,72591	-0,6176
2454274,72726	-0,6342
2454274,72754	-0,6206
2454274,72904	-0,6214
2454274,73038	-0,6096
2454274,73206	-0,6125
2454274,73310	-0,6032
2454274,73405	-0,6155
2454274,73515	-0,5984
2454274,73568	-0,5998
2454274,73730	-0,6062
2454274,73974	-0,5925
2454274,74143	-0,5955
2454274,74225	-0,5846
2454274,74302	-0,5829
2454274,74455	-0,5900
2454274,74620	-0,5828
2454274,74647	-0,5756

HJD	DMV
2454274,68420	-0,5486
2454274,68599	-0,5417
2454274,68606	-0,5500
2454274,68761	-0,5379
2454274,68774	-0,5533
2454274,68894	-0,5457
2454274,68973	-0,5492
2454274,69111	-0,5560
2454274,69307	-0,5603
2454274,69490	-0,5580
2454274,69707	-0,5631
2454274,69858	-0,5630
2454274,70059	-0,5640
2454274,70231	-0,5620
2454274,70434	-0,5664
2454274,70583	-0,5646
2454274,70834	-0,5686
2454274,70991	-0,5617
2454274,71212	-0,5658
2454274,71622	-0,5623
2454274,71677	-0,5560
2454274,71821	-0,5617
2454274,71869	-0,5526
2454274,71976	-0,5619
2454274,72104	-0,5535
2454274,72143	-0,5571
2454274,72257	-0,5507
2454274,72286	-0,5451
2454274,72298	-0,5595
2454274,72409	-0,5528
2454274,72506	-0,5535
2454274,72614	-0,5424
2454274,72749	-0,5479
2454274,72777	-0,5451
2454274,72926	-0,5510
2454274,73061	-0,5333
2454274,73230	-0,5229
2454274,73333	-0,5431
2454274,73429	-0,5146
2454274,73538	-0,5285
2454274,73591	-0,5243
2454274,73752	-0,5077
2454274,73997	-0,5139
2454274,74166	-0,5083
2454274,74248	-0,4963
2454274,74325	-0,5111
2454274,74478	-0,5049
2454274,74643	-0,5007
2454274,74670	-0,4856

HJD	DMB
2454274,74768	-0,5673
2454274,74838	-0,5665
2454274,74933	-0,5631
2454274,75057	-0,5659
2454274,75064	-0,5743
2454274,75228	-0,5563
2454274,75432	-0,5527
2454274,75568	-0,5582
2454274,75617	-0,5537
2454274,75697	-0,5599
2454274,75822	-0,5487
2454274,75896	-0,5462
2454274,75993	-0,5501
2454274,76041	-0,5555
2454274,76196	-0,5412
2454274,76236	-0,5518
2454274,76333	-0,5479
2454274,76414	-0,5449
2454274,76499	-0,5385
2454274,76620	-0,5383
2454274,76629	-0,5441
2454274,76784	-0,5320
2454274,76802	-0,5347
2454274,76925	-0,5452
2454274,77000	-0,5279
2454274,77092	-0,5287
2454274,77170	-0,5244
2454274,77221	-0,5358
2454274,77360	-0,5257
2454274,77423	-0,5232
2454274,77561	-0,5311
2454274,77608	-0,5232
2454274,77724	-0,5311
2454274,77824	-0,5262
2454274,77848	-0,5203
2454274,77987	-0,5172
2454274,78039	-0,5206
2454274,78171	-0,5136
2454274,78205	-0,5172
2454274,78376	-0,5100
2454274,78518	-0,5166
2454274,78586	-0,5053
2454274,78757	-0,5064
2454274,78762	-0,5070
2454274,78908	-0,5025
2454274,78937	-0,5118
2454274,79117	-0,5006
2454274,79151	-0,5052
2454274,79254	-0,5038

HJD	DMV
2454274,74791	-0,4937
2454274,74861	-0,4917
2454274,74956	-0,4853
2454274,75080	-0,4910
2454274,75087	-0,4892
2454274,75251	-0,4833
2454274,75455	-0,4910
2454274,75591	-0,4771
2454274,75640	-0,4771
2454274,75719	-0,4875
2454274,75845	-0,4708
2454274,75919	-0,4816
2454274,76016	-0,4729
2454274,76064	-0,4728
2454274,76219	-0,4667
2454274,76259	-0,4671
2454274,76356	-0,4580
2454274,76438	-0,4604
2454274,76522	-0,4576
2454274,76831	-0,4641
2454274,76652	-0,4670
2454274,76807	-0,4569
2454274,76825	-0,4549
2454274,76948	-0,4583
2454274,77023	-0,4478
2454274,77115	-0,4600
2454274,77193	-0,4433
2454274,77245	-0,4486
2454274,77383	-0,4521
2454274,77446	-0,4535
2454274,77583	-0,4486
2454274,77631	-0,4470
2454274,77747	-0,4417
2454274,77847	-0,4521
2454274,77871	-0,4444
2454274,78010	-0,4389
2454274,78062	-0,4396
2454274,78193	-0,4354
2454274,78227	-0,4424
2454274,78399	-0,4400
2454274,78541	-0,4427
2454274,78609	-0,4319
2454274,78780	-0,4373
2454274,78785	-0,4340
2454274,78931	-0,4347
2454274,78960	-0,4306
2454274,79139	-0,4280
2454274,79174	-0,4268
2454274,79277	-0,4262

HJD	DMB
2454274,79372	-0,5028
2454274,79418	-0,4987
2454274,79541	-0,4968
2454274,79576	-0,5000
2454274,79730	-0,4994
2454274,79818	-0,5004
2454274,79901	-0,4968
2454274,79955	-0,4956

HJD	DMV
2454274,79394	-0,4271
2454274,79441	-0,4303
2454274,79564	-0,4233
2454274,79599	-0,4210
2454274,79754	-0,4190
2454274,79841	-0,4264
2454274,79924	-0,4236
2454274,79978	-0,4180

Ek 2. LS Del çift yıldız sisteminin literatürden toplanan ve bu çalışma da elde edilen minimum zamanları

HJD Min.(+2400000)	Min.Tür	Metod	Ref.
42687.4180	2	pe	Bond
45136.4045	2	pe	Sezer et al.
45145.4995	2	pe	Sezer et al.
45146.4058	1	pe	Sezer et al.
45149.5053	2	pe	Sezer et al.
45150.4082	1	pe	Sezer et al.
45177.5184	2	pe	Sezer et al.
46668.1609	2	pe	Ruyou et al.
46670.1686	1	pe	Ruyou et al.
46671.0744	2	pe	Ruyou et al.
47028.3620	2	pe	Wieck & Wunder
47114.2388	2	pe	Derman et al.
47386.5660	1	pe	Derman et al.
47729.4860	2	pe	Wieck & Wunder
47737.4900	2	pe	Wieck & Wunder
47741.4859	2	pe	Derman et al.
47745.4900	2	pe	Derman et al.
47772.4147	2	pe	Derman et al.
47778.4210	1	pe	Wieck & Wunder
47790.4230	1	pe	Wieck & Wunder
47790.4241	1	pe	Derman et al.
47822.2596	2	pe	Derman et al.
48472.4368	2	pe	IBVS 4670
49588.3442	2	pe	Demircan O.
50301.4783	2	pe	IBVS 4670
50731.3401	1	pe	IBVS 4670
50758.2726	1	pe	IBVS 4670
50758.2726	1	pe	Selam O.S.
52134.4983	2	pe	IBVS 5623
52136.5000	1	pe	IBVS 5623
52200.3569	2	pe	Borkovitz T.
52550.5508	1	ccd	Dvorak S.W.
52808.5130	1	ccd R	IBVS 5579
52854.9024	2	ccd	Maciejewsk G.
52855.0924	1	ccd	Maciejewsk G.
52952.6005	1	ccd	Dvorak S.W.
53229.4800	1	ccd R	IBVS 5684
53302.2526	1	pe	IBVS 5649
53303.3418	1	pe	IBVS 5649
53304.2501	2	pe	IBVS 5649
53559.4814	1	ccd V	IBVS 5684
53562.4001	1	pe	aug
53608.4244	2	pe	aug

53610.4303	1	pe	aug
53613.3409	1	pe	IBVS 5649
53938.4305	2	ccd V	IBVS 5753
53967.3564	1	pe	aug
54304.4555	2	pe	aug
54316.4573	2	ccd	aug
54317.3424	1	pe	aug

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Serhat SİPAHİOĞLU

Doğum Yeri: Zonguldak

Doğum Tarihi: 04.01.1983

Yabancı Dili: İngilizce

Öğrenim Durumu:

Lise: Zonguldak Mehmet Çelikel Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı) (1996-2000)

Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri
Bölümü (2000 –2004)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay
Bilimleri Anabilim Dalı (Mayıs 2008)

Katıldığı Bilimsel Toplantılar:

15. Ulusal Astronomi Kongresi – 2006 İstanbul – TÜRKİYE

Yayımlar:

Kilicoglu, T.; Basturk, O.; Senavci, H. V.; Yilmaz, M.; Tanriverdi, T.; Alan, N.;
Sipahioglu, S.; Aydin, G.; Celik, L.; Caliskan, S.; Elmasli, A.; Gokay, G.; Cakan, D.;
Demircan, Y.; Ekmekci, F.; Selam, S. O.; Yuce, K.; Albayrak, B., 2007. Photoelectric
Minima of Some Eclipsing Binary Stars. IBVS, 5801.

Senavci, H. V.; Tanriverdi, T.; Torun, E.; Elmasli, A.; Kilicoglu, T.; Cinar, D.; **Sipahioglu,**
S.; Alan, N.; Colak, T.; Yilmaz, M.; Ulus, N. D.; Basturk, O.; Caliskan, S.; Aydin, G.;

Ekmekci, F.; Albayrak, B.; Selam, S. O., 2007. Photoelectric Minima of Some Eclipsing Binary Stars. IBVS, 5754.