

**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALGOL TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT YILDIZLAR IU PER VE  
AO SER' İN IŞIK EĞRİSİ ANALİZLERİ**

**Emine KOPARAN**

**Danışman:**

**Prof. Dr. Zeki EKER**

**Ekim, 2008**

**ÇANAKKALE**

# **ALGOL TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT YILDIZLAR IU PER VE AO SER' İN IŞIK EĞRİSİ ANALİZLERİ**

**Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Fizik Anabilim Dalı**

---

**Emine KOPARAN**

**Danışman:  
Prof. Dr. Zeki EKER**

**Ekim, 2008  
ÇANAKKALE**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**EMİNE KOPARAN** tarafından **PROF. DR. ZEKİ EKER** yönetiminde hazırlanan **“ALGOL TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT YILDIZLAR IU PER VE AO SER’ İN IŞIK EĞRİSİ ANALİZLERİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

---

---

Yönetici

---

---

Jüri Üyesi

---

---

Jüri Üyesi

Sıra No:.....

Tez Savunma Tarihi:...../...../.....

---

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın belirlenmesinde ve devamında desteğini gördüğüm Danışman Hocam Prof. Dr. Zeki Eker' e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Çalışmam süresince değerli önerilerini ve yardımlarını esirgemeyen, kıymetli vaktini ayırarak tezimin her aşamasına emeği geçen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Esin Soyduğan' a sonsuz şükranlarımı sunuyorum.

Çalışmam sırasında ihtiyaç duyduğum bütün zamanlarda beni geri çevirmeyen, yardımlarını ve desteklerini veren Arş. Gör. Dr. Volkan Bakış' a, Yrd. Doç. Dr. Hicran Bakış' a ve Yrd. Doç. Dr. Faruk Soyduğan' a, sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Gözlem verilerimi sağlayan Uzm. Mehmet Tüysüz, Arş. Gör. Burak Ulaş ve Yüksek Lisans öğrencisi Tunç Şenyüz' e teşekkürlerimi sunuyorum. Yardımseverlikleri ve destekleri için Arş. Gör. Burcu Özkardeş, Arş. Gör. Naci Erkan ve Arş. Gör. Yasemin Kaçar' a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ailemle sevgilerimle teşekkürlerimi sunuyorum.

Emine KOPARAN

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$a$	: Yarı-büyük Eksen Uzunluğu,
$A_{1,2}$	: Bileşenlerin Yansıtma Katsayıları,
$c$	: Işık Hızı,
$dm$	: Normalleştirilmiş Işık Eğrileri Ölçeğinde 1 Değerine Karşılık Gelen Kadir Cinsinden Parlaklık,
$e$	: Yörünge Basıklığı,
$i$	: Eğim Açısı, Yörünge Düzlemi Normali ile Bakış Doğrultusu Arasındaki Aç,ı,
$l$	: Işınım Yeğİnliği,
$L_{1,2}$	: Bileşenlerin Işınım Güçleri,
$L_1$	: Birinci Lagrange Noktası,
$m$	: Yıldızın Görünür Parlaklığı,
$M_1, M_2$	: Bileşenlerin Kütleleri,
$M$	: Güneş' in Kütlesi,
$R$	: Güneş' in Yarıçapı,
$S_{1,2}$	: Bileşenlerin Toplam Yansıtma Miktarı,
$\rho$	: Gaz Yoğunluğu,
$L$	: Güneş' in Işırtması,
$P$	: Yörünge Dönemi,
$q$	: Kütle Oranı ( $M_2/ M_1$ ),
$r_{1,2}$	: Bileşenlerin Kesirsel Yarıçapları.
$R_1, R_2$	: Bileşenlerin Yarıçapları,
$SB1$	: Tek-çizgili Tayfsal Çift Yıldız,
$SB2$	: Çift-çizgili Tayfsal Çift Yıldız,
$T_{1,2}$	: Bileşenlerin Sıcaklıkları,

$v$	: Yoldaş Yıldızın Dolanma Hızı,
$v_r$	: Kütle Merkezinin Güneş' e Göre Dikine Hızı,
$V$	: Baş yıldızın Dolanma Hızı,
$x_{1,2}$	: Bileşenlerin Lineer Kenar Kararma Katsayıları,
$g_{1,2}$	: Bileşenlerin Çekimsel Kararma Katsayıları,
$\alpha$	: Sağ Açıklık,
$\delta$	: Dik Açıklık,
$\lambda$	: Gözlenen Dalga Boyu,
$\lambda_0$	: Laboratuar Dalga Boyu,
$\Delta m$	: Değişen yıldız- mukayese yıldız parlaklık farkı,
$\Omega_{1,2}$	: Bileşenlerin Potansiyelleri,
$F$	:Yıldızın Yüzey Akısı,
$F_{1,2}$	: Bileşenlerin Dönme Parametreleri,
$\sigma$	: Stefan-Boltzmann Sabiti,
$\bar{\kappa}$	: Rosseland Opaklık Katsayısı,
CCD	: Charge Coupled Device,
DC	: Differential Correction.
GSC	: General Star Catalogue,
HJD	: Heliocentric Julian Day,
LC	: Light Curve,
LITE	: Işık-Zaman Etkisi,
O-C	: Gözlenen-Hesaplanan Minimum Zamanı Farkı,
W-D	: Wilson-Devinney Programı.

# ALGOL TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT YILDIZLAR IU PER VE AO SER' İN IŞIK EĞRİSİ ANALİZLERİ

## ÖZET

Bu tezde, AO Ser ve IU Per Algol türü örten çift yıldızlarının ışık ölçümü yapılmış ve ışık eğrileri analiz edilmiştir. AO Ser yıldızının B ve V bantlarında, IU Per yıldızının ise V bandında ışık ölçümleri yapılmış ve W-D programının 2003 sürümü ile ışık eğrileri çözülmüştür. Her iki sistemin de geometrik ve fiziksel parametreleri belirlenmiştir. Bu parametrelerle oluşturulan kuramsal ışık eğrilerinin gözlemsel ışık eğrisi noktaları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

IU Per ve AO Ser' in ışık eğrisi analizinden her iki sistem için de sırasıyla  $q=0.372$  ve  $q=0,243$  kütle oranları ışık eğrilerini en iyi temsil eden fitleri vermişlerdir. Yine ışık eğrisi analizinden IU Per' in ve AO Ser' in ikinci bileşenlerinin sıcaklığı sırasıyla 4768 K ve 5048 K olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan AO Ser' in birinci bileşeni anakol yıldızı olup A2V tayf türünden, ikinci bileşeni ise alt-dev bir yıldız olup G7IV tayf türündendir. IU Per sistemi için ise birinci bileşen yine anakol yıldızı olup A4V tayf türündendir. İkinci bileşeni dev bir yıldız ise G8,5III tayf türünden, alt-dev ise K0IV tayf türündendir. İncelenen sistemlerin Roche geometrileri, her iki sistemin de klasik Algol türünden örten çiftler olduğunu göstermektedir.

**Anahtar sözcükler:** Algol – örten çift – ışık eğrisi – analiz – tayf türü.

## **LIGHT CURVE ANALYSIS OF ALGOL TYPE ECLIPSING BINARY: IU PER AND AO SER**

### **ABSTRACT**

In this thesis, photometry of AO Ser and IU Per were performed and their light curves were analyzed. B and V color photometry of AO Ser and V color photometry of IU Per were performed and their light curves were studied using 2003 version of W-D program. Geometric and physical parameters of both systems were determined. It was shown that theoretical light curve which constituted with this parameters are harmonious with observational light curve's points.

From the light curve analysis of IU Per and AO Ser, in turn in order, the mass ratio of  $q=0.372$  and  $q=0,243$  was found to fit both light curves of both systems. Again from the light curve analysis, secondary component's temperatures of IU Per and AO Ser were found to be 4768 K and 5048 K in turn in order. Consequently, the primary component of AO Ser is a main sequence star with A2V spectral type and the secondary component is a subgiant star with a spectral type G7IV. Also, from their temperature and color information, the primary component of IU Per is a main sequence star with A4V spectral type. If the secondary component is a giant star, it's spectral type is G8.5III or if the secondary component is a subgiant star, it's spectral type is K0IV. Roche geometries of the investigated systems show that both systems are classical Algol type eclipsing binaries.

**Key words:** Algol – eclipsing binary – light curve – analysis – spectral type.



## İÇERİK

### Sayfa

TEZ SINAVI SONUÇ BELGESİ .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	iv
ÖZET .....	vi
ABSTRACT .....	vii
<b>BÖLÜM 1 – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 2 – ÇİFT YILDIZLAR .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Görsel Çift Yıldızlar .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Tayfsal Çift Yıldızlar .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Örten Çift Yıldızlar .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.1 Algol Türü Örten Çift Yıldızlar .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.2. <math>\beta</math> Lyrae Türü Örten Çift Yıldızlar .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.3. W UMa Türü Örten Çift Yıldızlar .....</b>	<b>12</b>
<b>BÖLÜM 3 – ROCHE MODELİ .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Çift Yıldızların Roche Modeline Göre Sınıflandırılması .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1.1. Ayrık Çiftler .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.2. Yarı Ayrık Çiftler .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1.3. Değen Çiftler .....</b>	<b>18</b>
<b>BÖLÜM 4 – IŞIK EĞRİSİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....</b>	<b>19</b>
<b>4.1. Kenar Kararması Etkisi .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2. Yansıma Etkisi .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3. Basıklık Etkisi .....</b>	<b>23</b>
<b>4.4. Leke Etkisi .....</b>	<b>24</b>
<b>4.5. Kütle Transferi Etkisi .....</b>	<b>25</b>
<b>4.6. Çekim Kararması Etkisi .....</b>	<b>26</b>
<b>4.7. Eksen Dönmesi Etkisi .....</b>	<b>27</b>
<b>4.8. Üçüncü Cisim Etkisi .....</b>	<b>28</b>

<b>4.9. Zonklama Etkisi</b> .....	29
<b>BÖLÜM 5 – WILSON-DEVINNEY ANALİZ PROGRAMI</b> .....	31
<b>BÖLÜM 6 – IU PERSEI YILDIZININ IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ</b> .....	34
<b>5.1. IU Persei</b> .....	34
<b>5.2. Gözlemler ve İndirgemeler</b> .....	34
<b>5.3. Işık Eğrisi Analizi</b> .....	36
<b>BÖLÜM 7 – AO SER YILDIZININ IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ</b> .....	41
<b>6.1. AO Ser</b> .....	41
<b>6.2. Gözlemler ve İndirgemeler</b> .....	41
<b>6.3. Işık Eğrisi Analizi</b> .....	43
<b>BÖLÜM 8 – SONUÇ VE TARTIŞMA</b> .....	47
<b>KAYNAKLAR</b> .....	51
<b>Tablolar</b> .....	I
<b>Şekiller</b> .....	II
<b>Yaşam Öyküsü</b> .....	IV

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Kepler Yasası' na göre bir ortak kütle merkezi etrafında dolanan ve kütle çekimi ile birbirlerini dengede tutan ikili yıldız sistemlerine **çift yıldızlar** denir. Çift yıldızlar, görsel çift, tayfsal çift ve örten çift olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Görsel çiftler, teleskopla bakıldığında bileşenlerinin ayrı ayrı görülebildiği yıldızlardır. Tayfsal çift yıldızların çift yıldız olduğu tayfında meydana gelen Doppler kaymasından anlaşılır. Örten çift yıldızların yörünge düzlemi, gökyüzü düzlemine hemen hemen diktir. Bu durumda gözlemciye göre yıldızlar birbirinin önünden geçer. Böylece gözlemci çift yıldızın ışık eğrisinde bileşenlerin birbirini örtmesinden kaynaklanan parlaklık değişimi gözler. Bileşenlerin her ikisinden de ışık alındığında parlaklık maksimumdur. Bileşenler birbirlerinin önünden geçerken sistemin toplam parlaklığında azalma olur. Bu azalma ışık eğrisinde minimum çukurları şeklinde gözlenir. Daha sıcak olan bileşenin önünden soğuk bileşen geçerken oluşan minimum çukurunun derinliği, tersi olan soğuk bileşenin önünden sıcak bileşen geçerken oluşan minimum çukuruna göre daha derindir. Daha derin olan minimuma birinci minimum adı verilir, MinI olarak yazılır. Diğerine ise ikinci minimum adı verilir, MinII olarak yazılır. MinI' e “örtülme”, MinII' e ise “örtme” denir.

Örten çift yıldızlar gösterdiği ışık eğrisine göre de Algol türü örten çiftler,  $\beta$  Lyrea türü örten çiftler ve W UMa türü örten çiftler olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Algol türü örten çift yıldızlarda ışık eğrisi maksimumlarda değişim göstermez.  $\beta$  Lyrea türü örten çift yıldızların ışık eğrisi maksimumlarda değişim göstermektedir. W UMa türü örten çift yıldızların ışık eğrisi de maksimumlarda değişim göstermekle birlikte minimum çukuru derinlikleri hemen hemen birbirine eşittir. Örten çift yıldızlar için bu sınıflama oldukça yüzeyseldir. Bu nedenle yıldızların evrimleri süresince ulaşabilecekleri maksimum büyüklüğün kriter alındığı bir sınıflama da yapılmıştır. Yıldızın ulaşabileceği maksimum büyüklük ‘eş-potansiyel yüzey’ veya ‘Roche lobları’ olarak adlandırılmıştır. Bu durumda iki yıldız için eş-potansiyel yüzeyler bir noktada birbirine değer. Bu noktaya ‘iç-Lagrange noktası ( $L_1$ )’ adı verilir. Eş-potansiyel yüzeylerin temel alındığı sınıflamaya göre **örten çift yıldızlar** üçe ayrılabilir. Bunlar ayrık çiftler, yarı-ayrık çiftler, degen çiftlerdir. Ayrık çift yıldızın her iki bileşeni de henüz Roche loblarını doldurmamıştır. Yarı-ayrık çiftlerde bileşenlerde biri kendi Roche lobunu doldurmuş ve armut şeklini almış diğer bileşen ise Roche lobunu doldurmamıştır. Bu durumda Roche lobunu doldurmuş olan bileşenden

diğerine madde akar. Bu tür sistemler genellikle Algol türü sistemler olarak bilinir. Değen çiftlerde ise iki bileşen de Roche lobunu doldurmuştur. Eğer yıldız maddesi Roche loblarından taşarak bileşenler üzerinde ortak bir zarf oluşturmuşsa artık yıldız bileşenleri ortak bir atmosfere sahiptir. Böyle sistemlere de aşırı değen sistemler denir ve değen sistemler içinde incelenir.

Astrofizikte örten çift yıldızlar oldukça önemlidir. Çünkü örten çift yıldızlar söz konusu olduğunda bileşen yıldızlarla ilgili fiziksel, geometrik ve salt parametreler tayfsal ve fotometrik gözlemlerle doğrudan belirlenebilmektedir. Bunlara ek olarak; yıldız oluşumu ve evrimi, kütle aktarımı ve kütle kaybı, açısal momentum aktarımı ve kaybı, manyetik etkinlik gibi konularda araştırma yapma olanağı sağlar.

Bu tezde Algol türü örten çift sistemlerden olan AO Ser ve IU Per' in ışık eğrisi elde edilmiş, fotometrik çözümü yapılmış; bu sistemlerdeki bileşen yıldızların fiziksel ve geometrik parametreleri belirlenmiştir.

## BÖLÜM 2

### ÇİFT YILDIZLAR

Evrende birbirine yakın yıldızlar arasında çekim yasası esasına dayalı dinamik bir bağ vardır. İki veya daha çok sayıda yıldız, birbirlerine yeterince yakın olduklarında çoklu yıldız sistemlerini oluştururlar. Bu çoklu sistemlerin en basiti de çift yıldızlardır. Birbirlerine olan yakınlıkları nedeniyle Kepler Yasası' na göre bir ortak kütle merkezi etrafında dolanan ve kütle çekimi ile birbirlerini dengede tutan ikili yıldız sistemlerine **çift yıldızlar** denir.

Yıldızların temel parametreleri kütle, yarıçap ve ışıtmalarıdır. Yıldız evrimi bu parametreler ile ilişkilidir. Yıldız kütlesi belli bir kütle miktarının üstünde ise örneğin  $M_* > 0,07M_{\odot}$  çekirdeğindeki fiziksel şartlar nükleer reaksiyonları başlatabilir. Yıldız kütlesinin miktarına bağlı olarak nükleer reaksiyonların hızı bellidir. Nükleer reaksiyonlar yıldıza enerji sağlar. Bu enerji üretimi hafif elementleri birleştirerek daha ağır elementler elde etmekle gerçekleşir ( $4H \Rightarrow He + \text{enerji}$ ). Daha fazla evrimleşmiş olan dev yıldızlar vardır. Dev denilmesinin nedeni yarıçaplarının oldukça büyük olmasıdır. Dolayısıyla yıldızların temel parametreleri (kütle, ışıltma ve yarıçap), teorik yıldız evrimi hesaplarını gözlemler ile doğrulayabilmek açısından oldukça önemlidir. Böyle olunca bu parametrelerin gözlemlerden doğrudan belirlenmesine olanak sağlayan çift yıldızlar, astrofizik için oldukça önem kazanmaktadır.

Yıldızların hemen hemen %75' i çift yıldızlardan oluşmaktadır. Bununla birlikte gökyüzünde ikili yıldız gibi görünen her sistem çift yıldız olarak tanımlanamaz. İki yıldız ancak aralarında dinamik bir bağ varsa çift yıldız tanımına girer. Aralarında kütle çekimsel bağ olmayan, yalnızca gökyüzündeki konumları itibariyle çift yıldız gibi görünen sistemler optik çift olarak tanımlanır. Çift yıldızları görsel (visual) çiftler, tayfsal (spektroskopik) çiftler ve örten çiftler olmak üzere üç sınıfa ayırmak mümkündür. Çift yıldız sistemleri görsel çift ise görelî yörüngeleri, tayfsal çift ise dikine hız eğrileri ve örten çift ise hem ışık eğrileri hem de dikine hız eğrileri uygun gözlemlerle elde edilebilir.

## 2.1. Görsel Çift Yıldızlar

Gözle bakıldığında tek ama yüksek ayırma gücüne sahip teleskoplarla bakıldığında çift olduğu görülebilen yıldızlara **görsel çift yıldızlar** denir. Bileşen yıldızları uygun bir teleskopla ayrı ayrı gözlenebilecek kadar birbirinden uzak olduklarından yörünge dönemleri de uzundur. Genellikle yörünge dönemleri bir yıldan büyüktür. Bileşenlerden daha parlak ve daha büyük kütleli olana **baş yıldız (birinci bileşen)**, diğerine **yoldaş yıldız (ikinci bileşen)** denir.

Çift yıldız bileşenleri, ortak kütle merkezi etrafında yörünge çizer. Gerçek yörünge, bileşen yıldızların üzerinde dolandıkları yörüngedir. Her bir bileşenin kütle merkezi etrafındaki yörüngesi, kütleler eşit değilse birbirinden farklıdır. Bileşenlerden birinin konumu sabit kabul edilip, diğer bileşenin bu yıldız etrafında çizdiği yörüngeye göreli yörünge adı verilir. Yoldaş yıldızın baş yıldızına veya baş yıldızın yoldaş yıldızına göre olmak üzere iki tane göreli yörünge vardır. İzdüşüm yörünge (görünen yörünge), göreli veya kütle merkezine göre gerçek yörüngelerden birinin gökyüzü düzlemi üzerindeki izdüşümü olabilir.

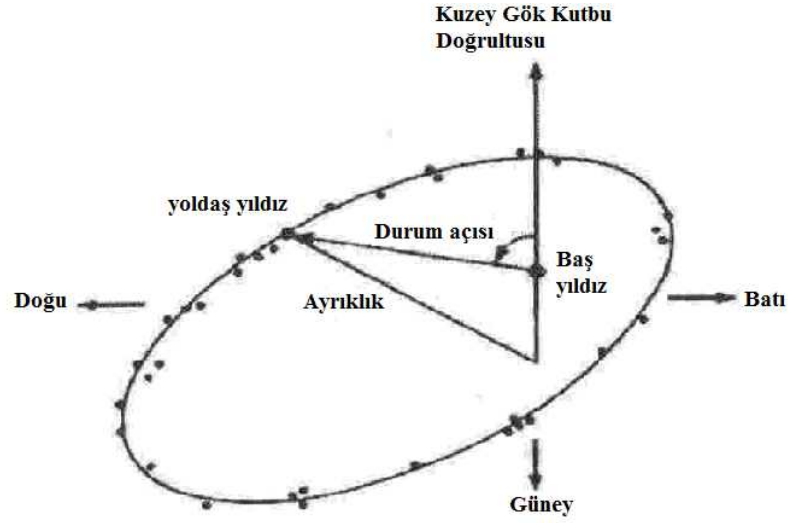
Görsel çift yıldız gözlemleri, konum belirlemeye dayanır. Gözlemlerde, çiftin gerçek yörüngesinin gökyüzü düzlemine izdüşümü görünür. Görsel çiftin gözleminden, yoldaş bileşenin baş bileşene göre konumu belirlenir ve yapılan gözlemler birleştirilerek, sistemin görünen göreli yörüngesi elde edilir. Yörünge'nin ne kadar zamanda tamamlandığına göre de yörünge dönemi belirlenir. Böylece görsel bir çiftin gözlemlerinden, göreli yörünge ve yörünge dönemi belirlenir (Şekil 2.1).

Kepler' in 3. yasası çift yıldızların toplam kütlelerini belirlemede kullanılır. Ancak, Eşitlik 2.1' den de görüldüğü gibi sadece dönemin bilinmesi yetmez. Bir yıldızın diğerine göre yörüngesinin yarı büyük ekseninin mutlak değeri lazımdır. Görünen yörüngeden mutlak yörüngeye geçmek için de sistemin uzaklığının bilinmesi gerekir.

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2} \quad (2.1)$$

Burada, göreli yörünge'nin yarı-büyük eksen uzunluğu  $a$ , bileşenlerin ortak kütle merkezi etrafındaki mutlak yörüngelerinin yarı-büyük eksen uzunlukları  $a_1$  ve  $a_2$ ' nin

toplamıdır (birimi Astronomik birim);  $P$ , yörünge dönemi (yıl);  $M_1$  ve  $M_2$ , bileşen yıldızların kütleleridir (Güneş biriminde).



Şekil 2.1. Görsel bir çiftin görünen görelî yörüngesi, gerçek görelî yörüngenin gökyüzü düzlemi üzerindeki izdüşümüdür. Görelî yörüngede başyıldız, yoldaş yıldızın hareketinin merkezinde kabul edilir.

Gerçek yörüngenin odağında olan başyıldız, görünen yörüngenin odağında değildir. Başyıldızın, görünen yörüngenin odağından olan uzaklığı ölçülerek yörünge eğimi belirlenir. Gerçek yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu bilindiğinde sistemin toplam kütlesi hesaplanabilir. Gerçek yörüngenin yarı büyük eksen uzunluğunu açı saniyesi cinsinden  $a''$  olarak görünen yörünge ölçümlerinden hesaplamak mümkündür. Açısal yarı-büyük eksen ( $a''$ ) bilindikten sonra da

$$a = a''/\pi'' \quad (2.2)$$

formülü ile görelî yörüngenin yarı-büyük eksenini ( $a = a_1 + a_2$ ) Astronomik Birim (AB) cinsinden hesaplanabilir. Bu da çift yıldızın uzaklığı da bilindiğinde, artık sistemin toplam kütlesi elde edilebilir, anlamına gelmektedir.

## 2.2. Tayfsal Çift Yıldızlar

Bazı çift yıldızlarda bileşenler teleskoplar ile ayırt edilemeyecek kadar birbirine yakındır. En güçlü teleskoplarla bile göze tek görünen böyle yıldızların çift yıldız oldukları tayf çizgilerindeki dönemli kaymalardan anlaşılır. Bu nedenle, bu yıldızlara **tayfsal çift yıldızlar** denir. Birbirlerine yakın olduklarından yörünge hızları büyüktür. Yörünge dönemleri ise birkaç ay kadardır. Tayfsal çiftler, tayflarında her iki yıldızın da çizgileri görülüyorsa çift çizgili tayfsal çiftler (SB2), bileşenlerden birinin oldukça sönük olmasıyla yalnızca bir yıldızın tayf çizgisi görülüyorsa tek çizgili tayfsal çiftler (SB1) olarak tanımlanırlar. Tayfsal çift yıldızın tayfında gözlenen Doppler kayması aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \equiv \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c} \quad (2.3)$$

Burada  $\lambda_0$  laboratuvar dalga boyu,  $\lambda$  gözlenen dalga boyu,  $v_r$  bileşen yıldızın gözlemciye göre dikine (radyal) hızı ve  $c$  ise ışık hızıdır. Eşitlik (2.2)' den faydalanarak tayftan elde edilen farklı zamanlardaki  $\Delta\lambda$  Doppler kaymalarından, yıldızın dikine hız eğrisi yani zamana göre  $v_r$ ' nin değişimi elde edilebilir. İlk yaklaşımla yıldızların dairesel yörüngelerde olduğunu düşünürsek, yörünge üstünde yıldızların hızları sabit kabul edilebilir. Yörüngeye bakışımız, yörünge düzlemine dik değil ise  $\Delta\lambda$  ve  $v_r$ ' nin değişimi sinisoidal olur. Bu durumda başyıldız, bir dolanma boyunca  $V$  hızı ile  $2\pi R_1$  kadar yol almış olacaktır. Böylece başyıldızın ( $R_1$ ) ve yoldaş yıldızın ( $R_2$ ) yörüngelerinin yarıçapları için,

$$R_1 = \frac{VP}{2\pi} \text{ ve } R_2 = \frac{vP}{2\pi} \quad (2.4)$$

yazılabilir. Momentumun korunumu prensibine göre de  $MV = mv$  olmalıdır. Böylece,

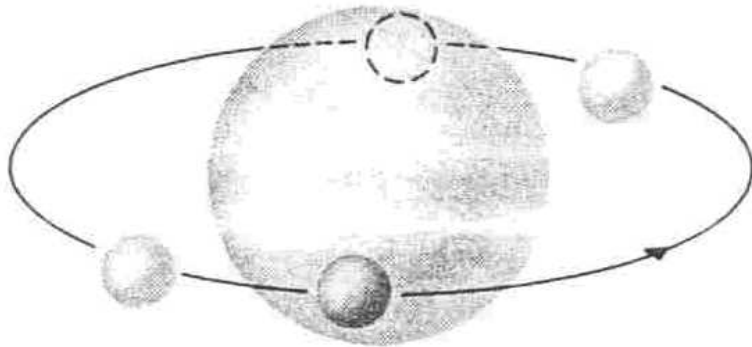
$$\frac{M}{m} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{v}{V} \quad (2.5)$$



yazılabilir. Ancak, sistemin toplam kütlesi ( $M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2}$ ) bilinmez. Gözlemlerden kolaylıkla ölçülen büyüklük çift yıldızın yörünge dönemidir. Kepler Yasası formülünde yarı-büyük eksen uzunluğu  $a$  ( $a_1+a_2$ )'nin da belirlenmesi gerekir ki toplam kütle hesaplanabilsin. Dikine hız eğrisinden ancak  $a \sin i$  değeri bulunur. Bu durumda toplam kütle hesaplanabilir. Tayfsal çift yıldızlarda ancak ve ancak  $i$  değeri bilinirse toplam kütle bulunabilir. Şayet, her iki bileşenin Doppler kaymaları belirlenebiliyorsa, yani sistem SB2 (çift çizgili tayfsal çift) ise  $v$  ve  $i$  biliniyorsa, sistemin kütle oranından (2.5) ve Kepler yasasından her iki yıldızın ayrı ayrı kütleleri bulunabilir.  $i$  değeri, sistem hem SB2 hem de örten ise bilinebilir. SB1 (tek çizgili tayfsal çift) sistemlerinde ise ancak kütle fonksiyonu ifadesi  $m^3 \sin^3 i / (M+m)^2$  e ulaşılabilir. Bu durumda kütleleri ayrı ayrı belirleme olanağı yoktur.

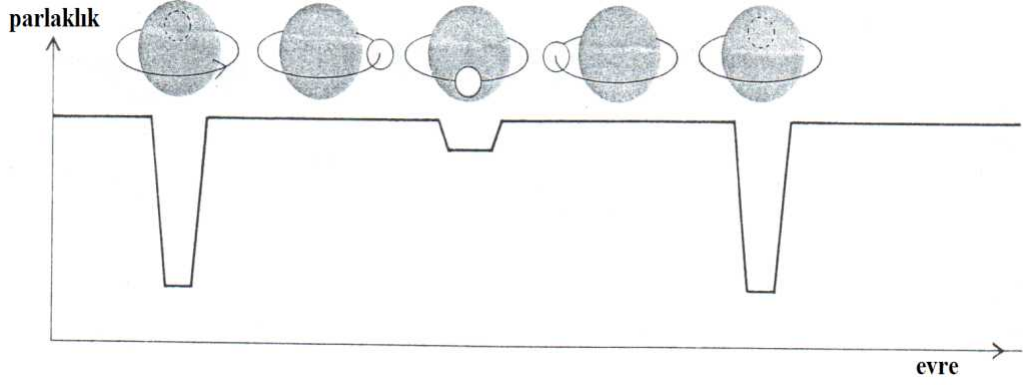
### 2.3. Örten Çift Yıldızlar

Çift yıldızın yörünge düzlemi gökyüzü düzlemine hemen hemen dik ( $i \sim 90^\circ$ ) ise yıldız bileşenleri ortak kütle merkezi etrafında dolanırken gözlemciye göre birbirleri önünden geçerler. Böylece bileşenlerden biri, diğerinin ışığını engeller. Bu durumda gözlemci yıldız sisteminin toplam parlaklığında dönemli değişimler görür. Bu değişimler yıldızın ışık eğrisinde minimum çukurları olarak kendini gösterir. Bu tür yıldızlara **örten çift yıldızlar** denir (bkz. Şekil 2.2). Yıldızın toplam ışığındaki dönemli değişimler nedeniyle böyle sistemler aynı zamanda değişen yıldızlar olarak da bilinir.



Şekil 2.2. Ortak kütle merkezi etrafında dolanan bir örten çift yıldız sistemi. Küçük yarıçaplı yıldızın tamamen örtüldüğü durum kesikli olarak ifade edilmiştir (Kaufmann,1977).

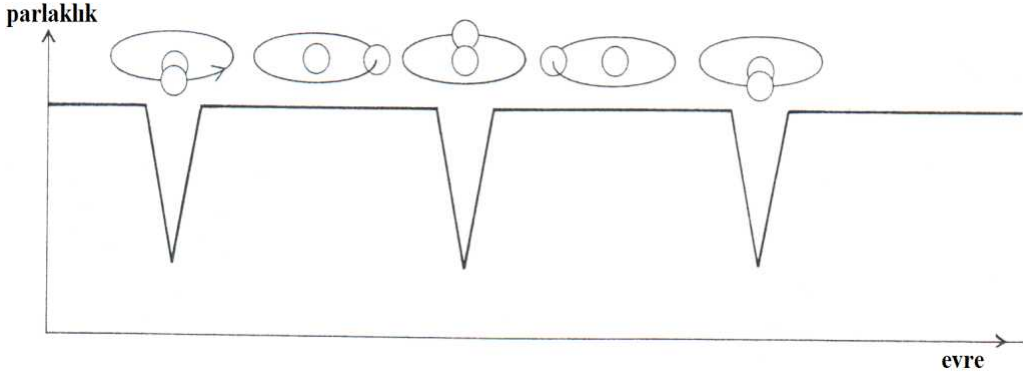




Şekil 2.4 Tam tutulma ve halkalı tutulma durumu ve bu durumlarda elde edilecek ışık eğrileri (Berman, 1973).

Eğer çift sistemin yörünge düzlemi ile gökyüzü düzlemi arasındaki açı tam  $90^\circ$  değil ise tam tutulma olmayabilir. O zaman ışık eğrisinde minimumlardaki düz kısımlar kısalmır ve daha keskin bir minimum gözlenir. Bu duruma **parçalı tutulma** denir (Şekil 2.5).

Örten çift yıldızlar, ışık eğrilerinin biçimine göre üç gruba ayrılır:



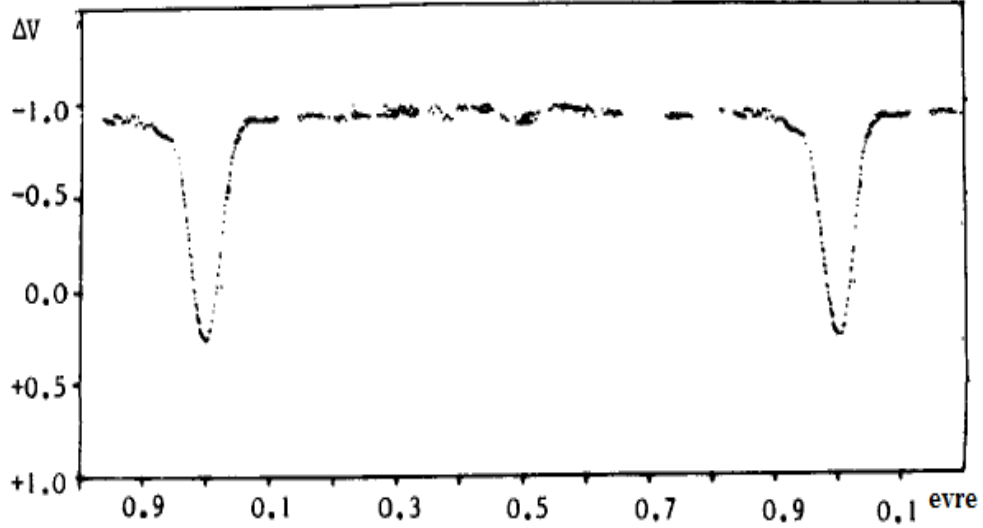
Şekil 2.5. Parçalı tutulma durumu ve bu durumda elde edilebilecek ışık eğrisi.

### 2.3.1. Algol Türü Örten Çift Yıldızlar

Bu türün keşfedilen ilk yıldızı olan  $\beta$  Persei ilk olarak 1667' de G. Montanari tarafından gözlenmiştir. Işık eğrisinde gözlenen değişim sebebiyle yıldıza Arapça' da şeytan veya umacı anlamına gelen *Algol* adı verilmiştir (İbanoğlu, 2004). Buna göre ışık

eğrisi Algol' ün ( $\beta$  Persei) ışık eğrisine benzeyen yıldızlara 'Algol türü örten değişen yıldızlar' denilmiştir. Algol türü örten çiftlerin yörünge dönemleri geniş bir aralığa sahiptir. Bir günden az olabileceği gibi, bir günün üzerinde de olabilir.

Şekil 2.6' da Algol türü örten çift yıldızların ışık eğrilerine örnek olan, Al-Naimiy ve diğ. (1984)' nin çalışmasından alınan  $\beta$  Persei (Algol) yıldızının V filtresindeki ışık eğrisi görülmektedir. Algol türü yıldızların ışık eğrilerinin en belirgin özelliği iki bileşenden de ışık alınan durumlarda yani maksimumlarda ışık eğrisinin düz olmasıdır. Buradan, yörünge farklı evrelerinde farklı açılardan görünen bileşenlerin hep aynı parlaklıkta olduğu sonucu çıkarılabilir. Yansıma ve armutlaşmanın etkileri ile maksimumlar düz olmayabilir. Bu konu ileride ışık eğrisini bozan faktörler olarak tekrar ele alınacaktır.



Şekil 2.6.  $\beta$  Persei (Algol) yıldızının V filtresindeki ışık eğrisi (Al-Naimiy ve diğ., 1984).

Algol türü örten çiftlerde genellikle birinci bileşen B ve A tayf türlerinden olup, anakol yıldızlarıdır. Diğer bileşen ise F, G veya K tayf türlerinde dev veya alt dev yıldızlardır. Bu sınıfın Klasik Algol olarak bilinen türünde birinci bileşen daha büyük yarıçaplı, daha sıcak ve daha büyük kütlelidir. Diğer bileşenin, daha evrimleşmiş durumda olması Algol paradoksu olarak bilinir. Bunun sebebi, 'büyük kütleli yıldız daha hızlı evrimleşir' gerçeğine ters düşmesidir. Bu durum şöyle açıklanmaya çalışılmaktadır; büyük kütleli bileşen daha önce evrimleşmiş ve ulaşabileceği maksimum büyüklüğe eriştikten

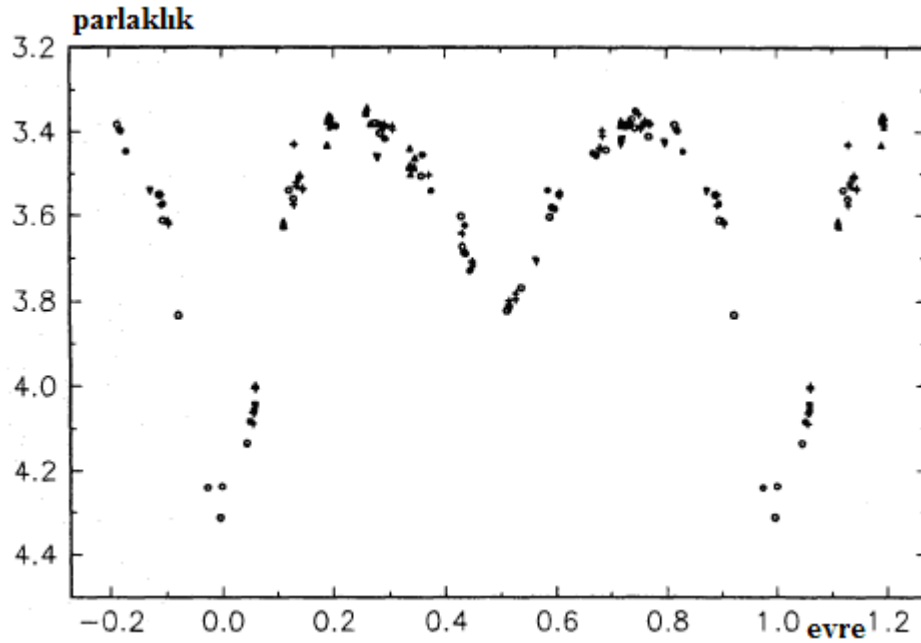
sonra, diğ er bileşene madde aktarmıştır. Böylece kütlesi azalmış ve madde alan bileşenin kütlesi artmıştır.

### 2.3.2. $\beta$ Lyrae Türü Ört en Çift Yıldızlar

Yakınlık ve çekim kuvveti etkileri nedeniyle bileşenlerin küresel yapıları bozulur ve armut şeklini alırlar. Bu durumda, yıldızın ışık eğrisi maksimumlarda da değışim gösterir. Böyle bir değışim gösterdiği keşfedilen ilk yıldız olan  $\beta$  Lyrae, 1784 yılında J. Goodricke tarafından bulunmuştur (İbanoğlu, 2000).

Işık eğrisi  $\beta$  Lyrae gibi değışim gösteren yıldızlara,  $\beta$  Lyrae türü ört en çift yıldızlar denilmektedir (İbanoğlu, 2000). Bileşenler birbirine yakın olduğundan yörünge dönemleri de kısa olup gün mertebesindedir.

Bu tür yıldızların sergiledikleri ışık eğrilerine örnek olarak Şekil 2.7' de, Harmanec ve diğ. (1996) tarafından gözlenmiş olan  $\beta$  Lyrae' in, ışık eğrisi verilmiştir.

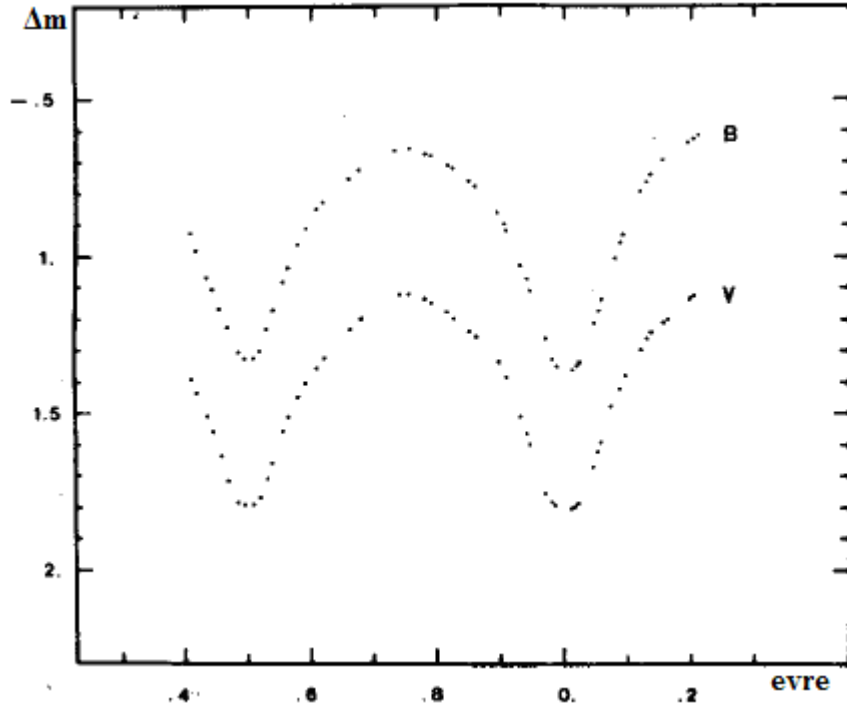


Şekil 2.7.  $\beta$  Lyrae' in V filtresindeki ışık eğrisi (Harmanec ve diğ., 1996).

### 2.3.3. W UMa Türü Örtün Çift Yıldızlar

W UMa türü yıldızların ışık eğrileri ile  $\beta$  Lyrae türüne oldukça benzemektedir. Ancak W UMa türü örtün çiftlerin ışık eğrisinde,  $\beta$  Lyrae türünden farklı olarak minimum derinlikleri hemen hemen birbirine eşittir. Bu durum, W UMa türü örtün çiftlerde, bileşenlerin sıcaklıklarının hemen hemen birbirine eşit olmasıyla açıklanır. W UMa türü sistemlerde bileşenler birbirlerine degecek kadar yakın olduklarından yörünge dönemleri küçüktür, genellikle 1 günden azdır.

Şekil 2.8' de, W UMa türündeki yıldızların ışık eğrilerine örnek olarak, Hamzaoğlu ve diğ. (1982)' nin B ve V filtrelerinde gözledikleri W UMa' nın ışık eğrisi verilmiştir.



Şekil 2.8. W UMa' nın B ve V filtrelerindeki ışık eğrisi (Hamzaoğlu ve diğ., 1982).

## BÖLÜM 3

### ROCHE MODELİ

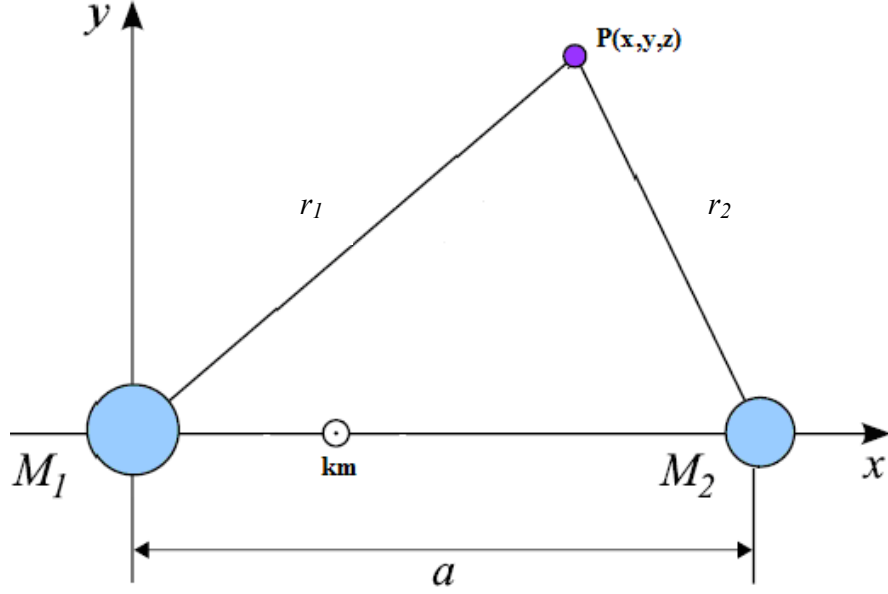
Roche modeli, çift yıldızların geometrisini tanımlamakta kullanılır. Roche modelinde,

- Çift sistem bileşenleri noktasal kütedir,
- Bileşenler dairesel yörüngelerde hareket ederler,
- Yıldızın dış katmanlarındaki parçacıklara yalnız çekim kuvveti etkir,

varsayımları geçerlidir. Bu model ilk olarak Fransız astronom Édouard Albert Roche tarafından 1849' da açıklanmıştır. Model, eş-potansiyel yüzeyler ilkesine dayanmaktadır. Eş-potansiyel yüzey ilkesine göre, bir çift yıldızdaki her bir bileşenin biçim ve fiziksel özelliği o yüzey üzerindeki potansiyelin bilinmesiyle belirlenir.

Roche modeli için, kısıtlı üç cisim probleminden yararlanılmıştır. Matematikçiler, kendi çekim alanları etkisindeki üç cismin hareketi için kısıtlı üç cisim problemini kullanmışlardır. Buna göre iki cisim ortak kütle merkezi etrafında dairesel yörüngelerde dolanmakta ve üçüncü cisim bu iki cismin kütle çekim etkisi altında hareket etmektedir. Üçüncü cisme uygulanan  $\Omega$  toplam çekimsel potansiyelin bir değeri için, üç boyutlu kuramsal yüzey, dairesel yörüngedeki iki kütle ile birlikte düzenli biçimde dönen koordinat sistemine göre üçüncü parçacığın hızının sıfır olduğu yüzeyi temsil etmektedir. Bu bölgeye sıfır-hız yüzeyi denir. Çift yıldızlara uygulandığında iki-bileşenli sistemdeki sabit çekimsel potansiyel yüzeyleri ile bu sıfır-hız yüzeylerinin benzer olduğu kolaylıkla görülür. Yani bir yıldızın yüzeyi, eş-potansiyel yüzeydir. Böylece bu yüzeylerin tanımlanması, çift sistemdeki yıldız yüzeylerinin biçimlerinin belirlenmesini sağlar (Hilditch, 2001).

Ortak kütle merkezi etrafında dolanan iki noktasal kütlelerin etrafındaki eş-potansiyel yüzeyin yeri, yörüngelerin dairesel olduğu varsayımı altında hesaplanabilir. Şekil 3.1, tipik bir çift sistemi göstermektedir. Koordinat merkezinin orijini daha büyük kütleli birinci yıldız  $M_1$  üzerindedir. Daha düşük kütleli yıldız, orijinden  $a = 1$  uzaklığındadır. Sistem z-ekseni ile paralel ve birinci bileşenin kütle merkezinden geçen eksen etrafında sabit  $\omega$  açısal hızı ile döner. Şekil 3.1' de görüldüğü gibi, bu dönen koordinat sisteminde  $M_1$  ve  $M_2$  yıldızlarının konumları sırasıyla  $(0,0,0)$  ve  $(1,0,0)$  konumlarındadır.



Şekil 3.1. km ortak kütle merkezine sahip  $M_1$  ve  $M_2$  kütleleri arasındaki uzaklık  $a$  birim uzaklığı ile verilmiştir.

$P(x,y,z)$  noktasına etki eden  $\Phi$  çekimsel potansiyel, iki noktasal kütlenin potansiyelleri ile rotasyonel potansiyelin toplamıdır,

$$\Phi = -\frac{GM_1}{r_1} - \frac{GM_2}{r_2} - \frac{\omega^2}{2} \left[ \left( x - \frac{M_2}{M_1 + M_2} \right)^2 + y^2 \right] \quad (3.1)$$

burada  $r_1 = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$  ve  $r_2 = \sqrt{[(x-1)^2 + y^2 + z^2]}$  ile ifade edilir. Dairesel yörüngede eş dönme ve  $a=1$  ile

$$\omega^2 = \left( \frac{2\pi}{P} \right)^2 = \frac{G(M_1 + M_2)}{a^3} = G(M_1 + M_2) \quad (3.2)$$

elde edilir.  $\Phi_n = -2\Phi/G(M_1 + M_2)$  ve  $q = M_2/M_1$  ( $0 < q < 1$ ) nicelikleri tanımlandıktan sonra,



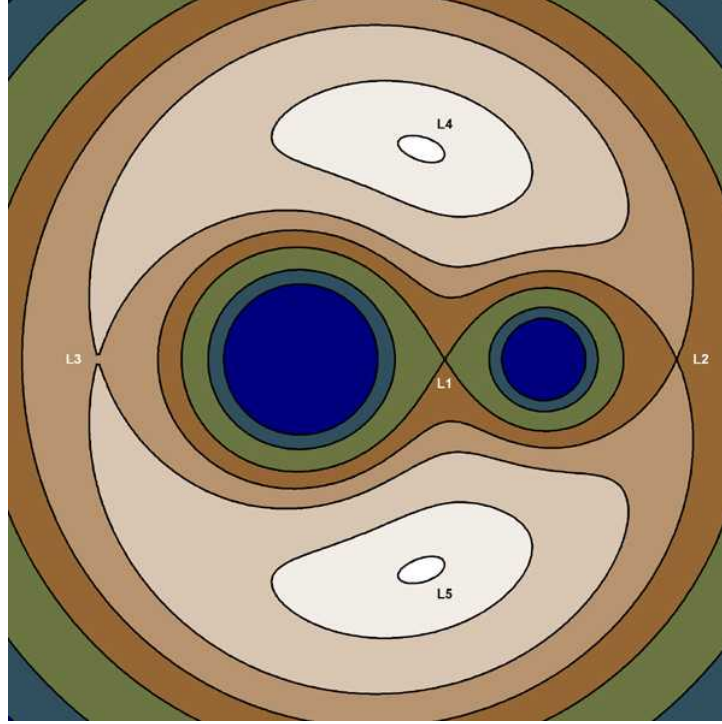
$$\Phi_n = \frac{2}{(1+q)r_1} + \frac{2q}{(1+q)r_2} + \left( x - \frac{q}{(1+q)} \right)^2 + y^2 \quad (3.3)$$

$\Phi_n$ , normalize potansiyel niceliği bulunur ve iki noktasal kütle etrafındaki herhangi bir  $(x,y,z)$  konumu için hesaplanabilir (eş olmayan dönme durumunda denklem  $F^2$  niceliği ile çarpılır;  $F$ , dönme hızının, dolanma hızına oranıdır). Buradan, dönen koordinat sistemi içinde bulunan eş-potansiyel yüzeylerin,  $q$  kütle oranına bağlı olduğu açıkça görülmektedir.

Şekil 3.2' de, örnek olarak bir çift sistemin eş-potansiyel çizgileri ve Lagrange noktaları gösterilmektedir. Dikkat edildiğinde özellikle iki kütlelerin merkezlerini birleştiren doğru boyunca, birbirlerine yakın olan yüzeylerin daha kararsız iken birbirlerine bakmayan yüzeylerinin yaklaşık olarak küresel şekillerini korudukları görülmektedir. İki noktasal kütle etrafındaki birbirinden bağımsız yüzeyler, Şekil 3.2' de  $L_1$  ile gösterilen bir noktada birbirine değeler. Bu noktaya 'iç Lagrange noktası' denir. Bu noktada birbirine değen üç boyutlu sınırlı hacimlere 'Roche lobları' adı verilir. Roche lobları, bileşenlerin evrimleri süresince ulaşabilecekleri maksimum hacimleri ifade etmektedir. Bu hacimlerin fiziksel boyutu,  $a$  bileşenler arası uzaklığa ve  $q$  kütle oranına bağlıdır. Kütleleri daha büyük olan yıldızın Roche lobu, kütleleri küçük olana oranla daha geniştir. Kütleler eşit ise Roche lobları da eşit büyüklükte olacaktır.

$L_2$  noktası, maddenin sistemin kütle çekim alanından dışarı çıkabileceği dış Lagrange noktasıdır.  $L_3$  noktası,  $L_2$ ' nin karşı tarafında bulunmaktadır. Madde  $L_2$ ' den daha yüksek potansiyeldeki bir bölgeden geçerek  $L_3$  noktasından kaçabilir.  $L_1$ ,  $L_2$  ve  $L_3$  noktaları, kararsız noktalardır.  $L_4$  ve  $L_5$  Lagrange noktaları ise iki kütlelerden daha uzakta yer almakta ve potansiyel maksimumları olarak adlandırılmaktadır.

Bileşenler arasında bulunan  $L_1$  noktası, yıldız Roche lobunu doldurduğunda maddenin en kolay geçebileceği noktadır. Diğer yönlerdeki potansiyel bariyerleri daha büyüktür ve maddenin bu bariyerleri aşması  $L_1$  noktasındakine göre daha fazla enerji gerektirir.



Şekil 3.2. Bir çift yıldız sisteminin eş-potansiyel yüzey çizimleri ve Lagrange noktaları.

Sonuç olarak, çift sistemdeki bir yıldızın biçimi, o yıldız için uygun olan eş-potansiyel yüzey ile belirlenir. Çift yıldız evriminde önemli bir nicelik de yıldızın *etkin yarıçapıdır* ( $r_L$ ). Etkin yarıçap için, Roche lobu ile aynı hacimde bir kürenin yarıçapına eşit olduğundan *hacim yarıçapı* adı da kullanılmaktadır. Etkin yarıçap Eşitlik 3.4' te tanımlanmıştır.

$$r_L = \frac{0,49q^{2/3}}{0,69q^{2/3} + \ln(1 + q^{1/3})} \quad (3.4)$$

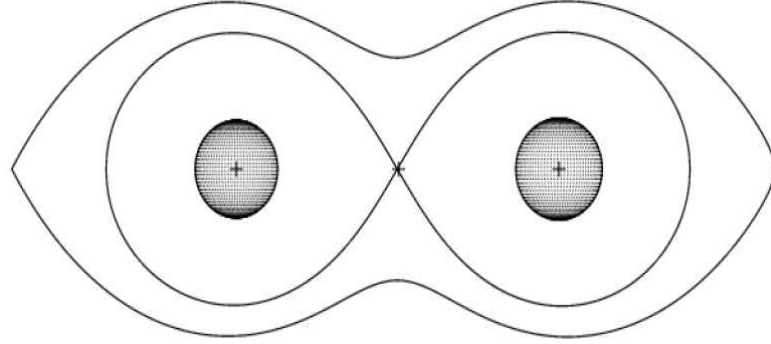
Bir yıldız için etkin yarıçap  $R_L = r_L a$  ile verilebilir.  $a$ , yarı-büyük eksen uzunluğu veya bileşenler arası uzaklıktır.

### 3.1. Çift Yıldızların Roche Modeline Göre Sınıflandırılması

Çift yıldızlarda her iki bileşenin kendi Roche lobuna göre olan büyüklüklerinin temel alındığı bir sınıflama şeklidir. Buna göre çift yıldızlar üç sınıfa ayrılırlar.

### 3.1.1. Ayrık Çiftler

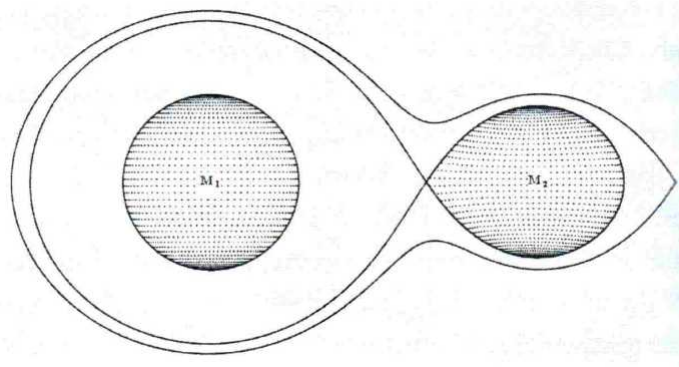
Bu tür sistemlerde, bileşenlerin her ikisi de Roche loblarını doldurmamış, kendi iç Lagrange yüzeyleri içerisinde kalmış, birbirlerine değmeyen sistemlerdir. Şekil 3.3' te böyle bir sistem gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Kendi Roche lobları içinde olan ayrık bir çift yıldız sistemi

### 3.1.2. Yarı Ayrık Çiftler

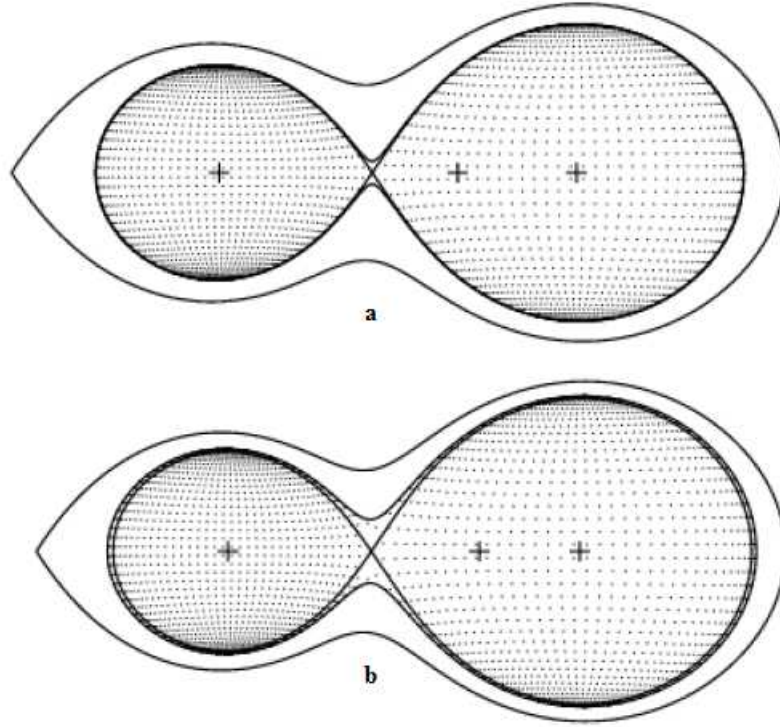
Bu tür sistemlerde bileşenlerden biri Roche lobunu doldurmamış, diğer bileşen ise hemen hemen veya tamamen doldurmuştur. Roche lobunu doldurmuş olan bileşenden diğerine birinci Lagrange noktasından madde akar. Roche lobunu doldurmuş olan bileşen küresel yapısını kaybetmiş ve armutlaşmıştır. Bu tür sistemler genellikle Algol türü sistemler olarak da adlandırılır. Örnek olarak Şekil 3.4' te AB Cas' ın Roche modeli gösterilmiştir (Soydugan, 2005).



Şekil 3.4. Bileşenlerden birisi kendi Roche lobunu doldurmuş, diğeri doldurmamış olan yarı-ayrık sistem; AB Cas (Soydugan, 2005).

### 3.2. Değen iftler

Bu tür sistemlerde her iki bileşen de Roche lobunu doldurmuştur (Şekil 3.5a). Hatta yıldız maddesi Roche loblarından taşarak bileşenler üzerinde ortak bir zarf oluşturur. Artık yıldız bileşenleri ortak bir atmosfere sahiptir (Şekil 3.5b). Böyle sistemlere de aşırı değen sistemler denir.



Şekil 3.5. (a) Her iki bileşenin de Roche loblarını doldurduğu değen sistem. (b) Ortak zarfla çevrilmiş aşırı değen sistem.

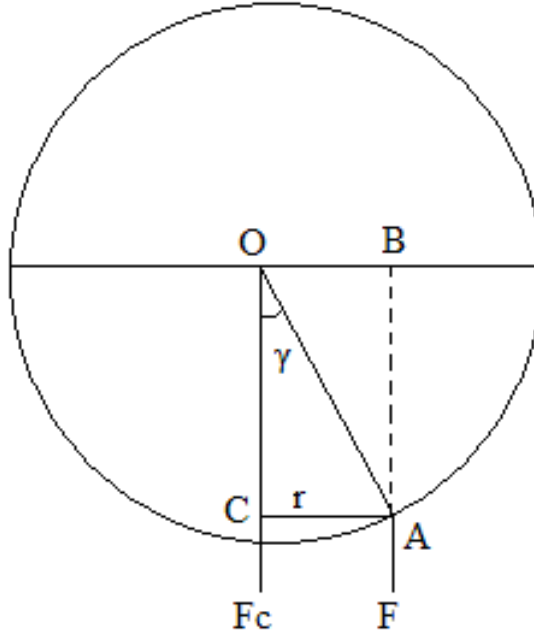
## BÖLÜM 4

### IŞIK EĞRİSİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

#### 4.1. Kenar Kararması Etkisi

Yıldız içi sıcaklıkları, yıldız merkezinden yıldız yüzeyine çıkıldıkça azalmaktadır. Bu sebeple tam tersi doğrultuda yani yıldız merkezine inildikçe ortamın ışınım yoğunluğu de daha fazla olacaktır. Gözümüze gelen fotonların ışınım yoğunluğu, o fotonun üretildiği ortamın sıcaklığına göredir. Yüzeyi dik terk eden fotonların optik derinliği, eğik terk edenlere göre daha kısa olsa bile görünen diskin merkezinden yüzeyi dik terk eden fotonlar, yıldızın daha derinlerinden gelirler. Bu yüzden görünen diskin merkezi en parlak iken görünen diskin dışına gidildikçe parlaklık azalır. Buna kenar kararması denir.

Şekil 4.1' de gösterildiği gibi, bir yıldızın merkez doğrultusu boyunca, yıldızdan birim alandan, birim zamanda çıkan ışınım  $F_c$  olsun. Merkez doğrultusu ile  $\gamma$  gibi bir açı yaparak A doğrultusu boyunca birim zamanda birim alandan çıkan ışınım da F olsun.



Şekil 4.1. Kenar kararma yasasının açıklanması.  $OA = 1$  birim uzunluk,  $AB = R \cos \gamma$ ,  $r = R \sin \gamma$ .

Derinlikle orantılı olarak, kenara doğru tam bir kararma söz konusu ise A noktasındaki ışınım yeğniliği  $\cos \gamma$  ile orantılı olmalıdır. Bu da,

$$F = F_c f(\cos \gamma) \quad (4.1)$$

olarak ifade edilebilir. Eğer kararma yoksa

$$F = F_c \quad (4.2)$$

olur. Bu durumda görünen diskin her yerinde akı aynıdır. Ancak kenar kararmasını  $\cos \gamma$ 'ya bağlı formülleştirmek için  $0 < x < 1$  olan bir **kenar kararma katsayısı** tanımı yapılmaktadır. Buna göre lineer kenar kararma yasası, bu iki koşulu da sağlayan bir denklemlerle Eşitlik 4.3' te verilmiştir.

$$F(\gamma) = 1 - x + x \cos \gamma = 1 - x(1 - \mu) \quad (4.3)$$

Disk kenarlarının tam karanlık olduğu durumda  $x=1$ , parlaklık dağılımının diskin her yerinde aynı olduğu durumda  $x=0$ ' dır.

Daha modern yıldız atmosferleri geliştirilince, lineer yasanın yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Alternatif kenar kararma yasaları önerilmiştir (Claret, 2004). Bu yasalar aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

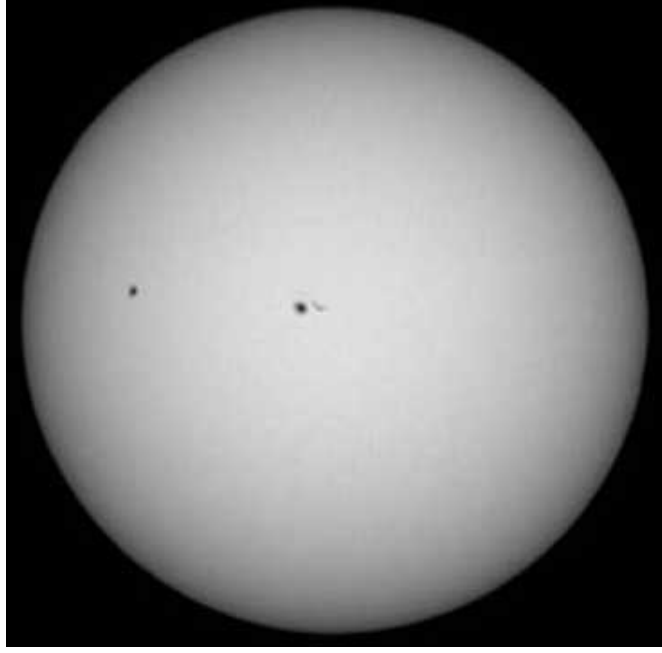
$$F(\gamma) = 1 - x(1 - \mu) - y \mu \ln(\mu), \quad \text{logaritmik kenar kararma yasası} \quad (4.4)$$

$$F(\gamma) = 1 - x(1 - \mu) - y(1 - \sqrt{\mu}), \quad \text{ters-kare kenar kararma yasası} \quad (4.5)$$

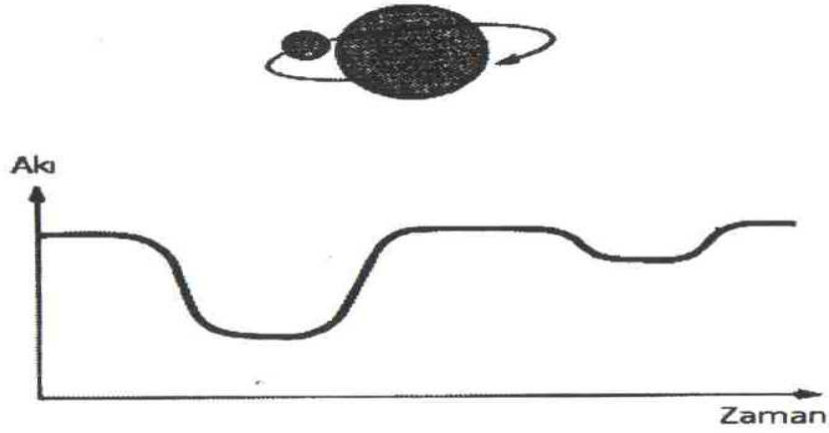
$$F(\gamma) = 1 - x(1 - \mu) - y(1 - \mu)^2, \quad \text{kuadratik kenar kararma yasası} \quad (4.6)$$

Bu formüllerdeki  $x$  ve  $y$  kenar kararma katsayılarıdır ve  $\mu = (1 - \cos \gamma)$ ' dır.

Kenar kararması en güzel Güneş' in disk resimlerinde görünür (Şekil 4.2). Yıldızlar nokta kaynak olduğundan aynı şekilde görüntülemek mümkün değildir. Ama aynı fiziksel olay yıldızlarda da olmaktadır. Bu etki ile ışık eğrisinin minimumları daha yuvarlak bir biçimde görülür (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Güneş' in kenar kararması etkisinin görüldüğü, beyaz ışıktaki disk görüntüsü.



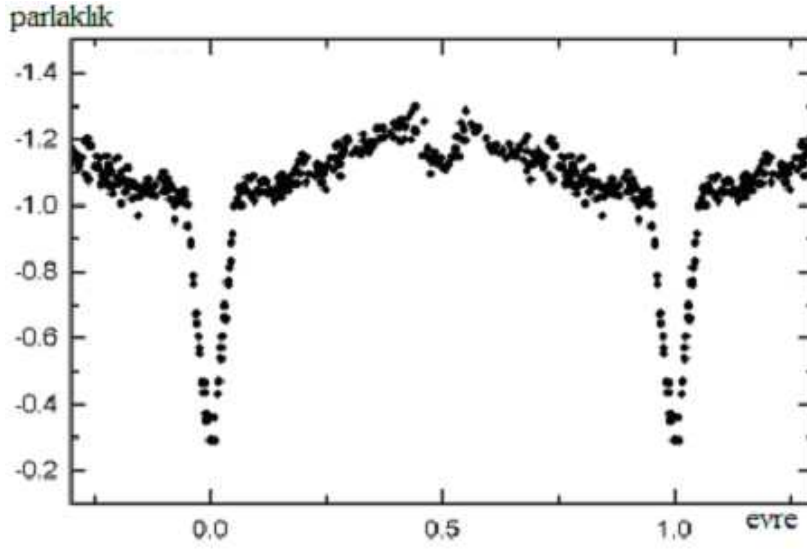
Şekil 4.3. Kenar kararması etkisi ile minimum çukurları yuvarlaklaşır.

#### 4.2. Yansıma Etkisi

Çift yıldızlarda bileşenler birbirlerine yakın olduğunda, sıcak olan bileşen, diğerinin kendine bakan yüzeyine doğru da ışınım yayar ve yoldaş yıldızın yüzeyini de aydınlatır. Sıcak bileşen tarafından ışınım etkisinde kalan bileşenin bu yüzeyi ısınır. Isınan yüzey, ısınmayan diğer yüzeye göre daha fazla ışınım yayar. Bu olay yıldızın yansıma gücünü

ifade eden albedosu ile ilgilidir. Yıldız üzerine düşen ışınımın bir kısmını soğurup, bir kısmını yansıtabilirken tümünü de yansıtabilir.

Bu durumda görece soğuk bileşenin iki yüzeyi (yoldaşı gören ve görmeyen) farklı miktarda ışınım yapar. Bu etkiye ‘yansıma etkisi’ denir. Bunun sonucu olarak yıldızın, farklı evrelerde gözlenen yüzeyleri, farklı miktarda ışınım yaptığından bu etki ışık eğrisinde gözlenebilir. Bu durumun ışık eğrisinde gösterdiği etkinin belirgin biçimde gözüktüğü bir yıldız olan HW Vir’ in ışık eğrisi, Kiss ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Yansıma olayının HW Vir’ in ışık eğrisindeki etkisi (Kiss ve diğ., 2000).

Maksimum parlaklıktaki yansıma etkisi,

$$l = (l_1 + l_2) - (s_1 - s_2) \cos \theta \sin i \quad (4.7)$$

ile verilir. Burada  $l_1$  ve  $l_2$  sırasıyla birinci ve ikinci bileşenin ortalama ışınım yeğİnliğidir.  $s_1$  ve  $s_2$  bileşenlerin toplam yansıma miktarlarıdır.  $\theta$  bileşenler için herhangi bir konumu ifade eder ve  $i$ , yörünge eğikliğidir.

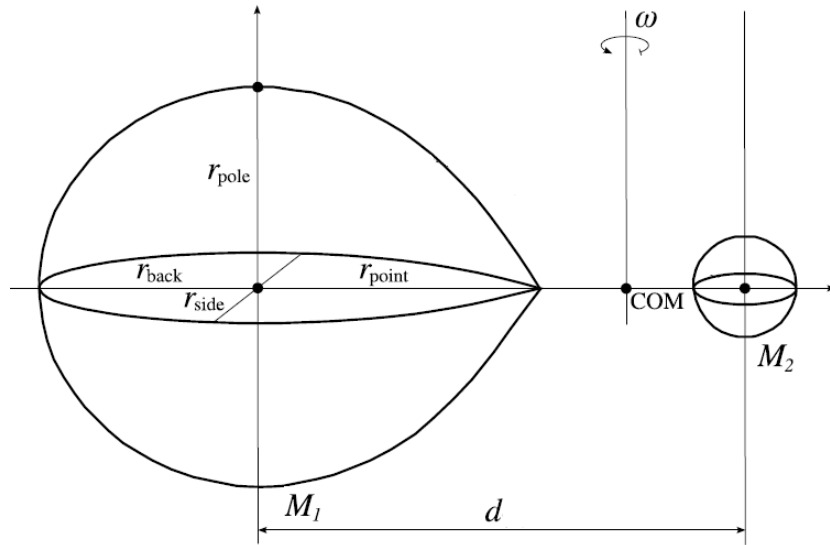
$$b = (s_1 - s_2) \sin i \quad (4.8)$$

yazılırsa,  $b$  **yansıma katsayısı** ve  $b \cos \theta$  ise **yansıma etkisi** olarak adlandırılır.

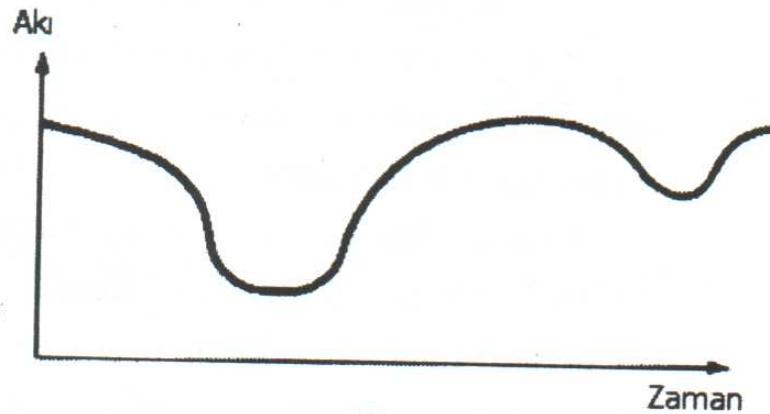


### 4.3. Basıklık Etkisi

Yakın çift sistemlerde bileşenlerin karşılıklı çekim etkileri nedeniyle biçimleri bozulur ve armut görüntüsü alır. Ayrıca dönme sebebiyle sistem küreselliğini kaybeder ve yıldızlar elipsoid biçimini alırlar. Yıldızın biçimi küreselliğini kaybetmiş olduğundan artık yarıçapı da bir tek değer ile ifade etmek mümkün değildir. Bu durumdaki yarıçaplar, Şekil 4.5' te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı değerlerle temsil edilen yarıçaplar.



Şekil 4.6. Örtün değişen yıldızlarda armutlaşmanın ve madde akımının ışık eğrisine etkisi, tutulmaların başlangıç ve bitişini bozduğu gibi tutulma dışında da parlaklık değişimine sebep olur.

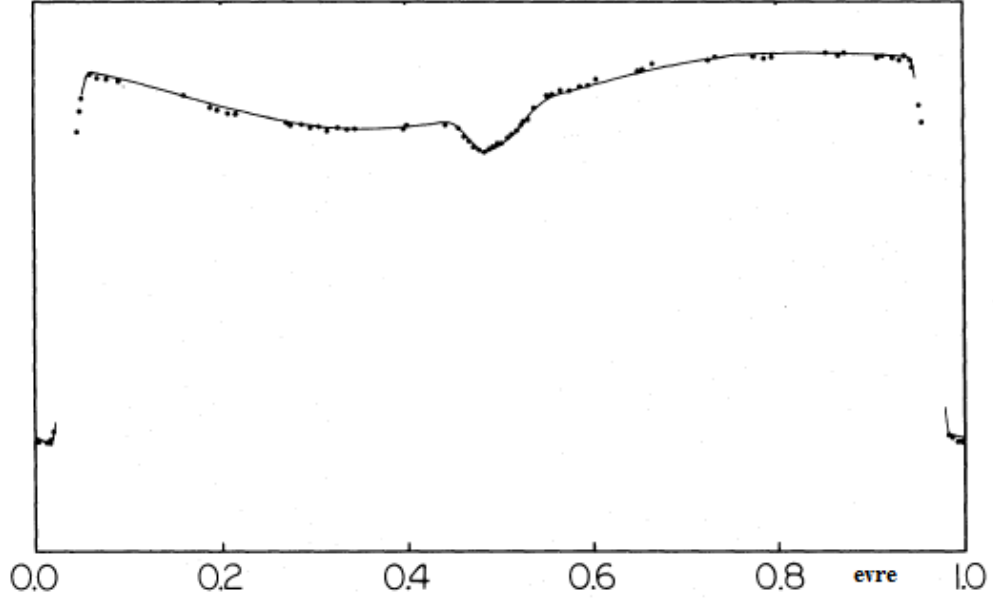
Basıklık etkisi olan sistemlerde, parlaklık değişimi Şekil 4.6' da gösterildiği gibi minimumlar dışında da gözlenir (zdemir ve diğ., 2005).

#### 4.4. Leke Etkisi

Güneş'in yüzeyinde yer yer siyah görünümlü bölgeler bulunmaktadır. Leke denilen bu bölgelerin siyah görünmesinin sebebi, Güneş'in fotosferine oranla bu bölgelerin daha soğuk yerler olmasıdır. İlk değişen yıldız keşfedildiğinde (Algol, 1667), Astrofizik o kadar gelişmiş olmadığından yıldızın parlaklık değişimi leke ile açıklanmıştır. Yani Güneş lekeleri, değişen yıldızların parlaklıklarının açıklanmasında ilk ilham kaynağı olmuştur.

Yıldızın ışığındaki değişimler, tutulmalarla, zonklamalarla veya daha olası fiziksel nedenler ile aıklanamadığında, 1950'lerden sonra bu gibi yıldızlarda Güneş benzeri yıldız fotosferine göre daha soğuk lekeler olduğu iddia edilmiştir. Leke yıldız yüzeyinde soğuk bir bölge olduğu için yıldızın lekeli yüzü lekesiz yüzüne göre daha az parlaktır. Yıldız kendi eksenini etrafında döndüğünde dönme döneminde göre lekeli yıldızın farklı parlaklık gösteren yüzeylerini göreceğimiz için lekeli yıldızın ışığı dönme döneminde parlayıp sönecektir. Yıldız rten değişen olduğunda leke etkisi ile Şekil 4.7' de olduğu gibidir. Görüldüğü gibi leke, ışık eğrisinde tutulmalar dışında düz olması beklenen evrelerde bozucu etki yapar. Etki asimetriktir ve zamanla şekli değişir. Çünkü Güneş' te olduğu gibi zamanla lekelerin şekilleri, konumları, büyüklükleri hatta sıcaklıkları değişir. Asimetrik ve tutulmalar dışı değişimin açıkça görüldüğü bir örnek olarak Eaton ve Hall (1979) tarafından gözlenmiş olan lekeli bir yıldız olan RS CVn' nin ışık eğrisi Şekil 4.7' de gösterilmiştir.

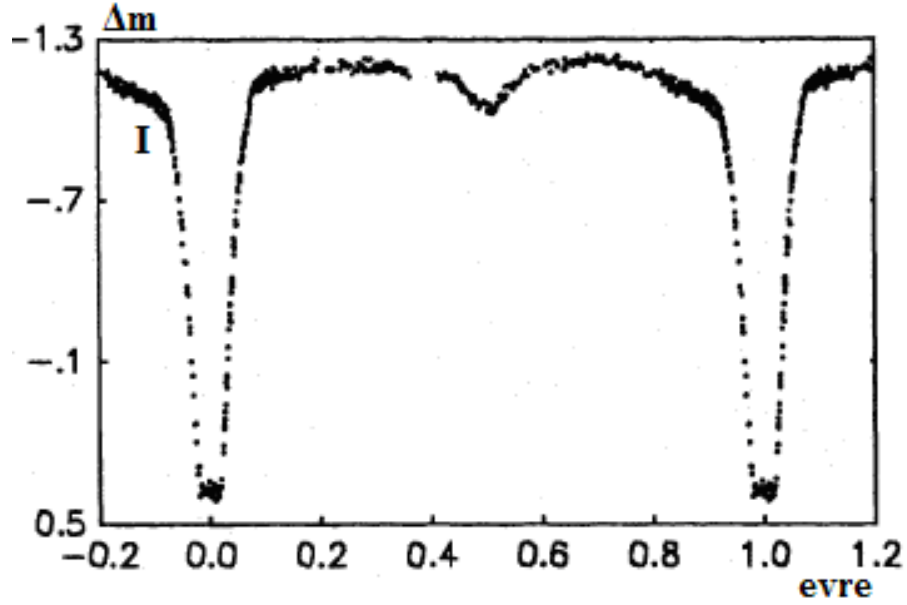
Zeeman olayına dayalı manyetik alan gözlemleri ile Güneş gözlemlerinden açıkça görülmektedir ki lekeler içindeki ve fotosferdeki manyetik alan şiddetleri aynı değildir. Konvektif hareketlerle yzeeye taşınan yüklü parçacıklar, yıldızların diferansiyel dönmesi ile de etkileşerek manyetik alan üretirler. Manyetik alan varlığı, yıldızlarda manyetik etkinliği beraberinde getirir. Bu manyetik etkinlikler, yıldızlarda leke oluşumunda önemli rol oynar ve bu nedenle birbirinden bağımsız düşünülemezler. Leke bölgeleri, fotosfere oranla daha gcl manyetik alanlara sahiptir.



Şekil 4.7. Leke etkisi gözlenen RS CVn' nin ışık ve kuramsal eğrisi. (Eaton ve Hall, 1979).

#### 4.5. Kütle Transferi Etkisi

Çift yıldız bileşenlerinden biri veya ikisi Roche lobunu doldurmuşsa bileşenler arasında kütle transferi meydana gelir. Genellikle soğuk bileşenden sıcak bileşen üzerine madde akar. Böylece sıcak bileşen üzerine akan görece soğuk madde, bu bileşenden gelen parlaklıkta değişime neden olur. Şekil 4.8' de, Burnett ve diğ., (1993) tarafından gözlenen U Cep' in I bandında ışık eğrisi verilmiştir. Birinci minimuma girerken parlaklıkta düşme, birinci minimumdan çıkarken ise yükselme gözlenmektedir. Bu durum kütle transferinin tipik bir göstergesidir. Birinci bileşen üzerine, ikinci bileşenden madde akmaktadır. Madde alan bileşenin, üzerine madde çarptığı bölgede parlama olur ve madde, bileşen etrafını sararak bir disk oluşturur. Şekil 4.8' de de görüldüğü gibi, birinci minimuma girerken oluşan düşme, birinci bileşeni saran maddenin bu bileşenin ışığında sönmlemeye neden olmasıdır. Birinci minimumdan çıkarken görülen yükselme ise maddenin çarptığında oluşan parlak bölgenin görünürde olmasıdır.



Şekil 4.8. Kütle transferinin U Cep' in ışık eğrisine etkisi (Burnett ve diğ., 1993).

#### 4.6. Çekim Kararması Etkisi

Bir yıldızın yüzeyi, dönme ve tedirginlik etkileri sonucu küreselliğini kaybeder. Böylece yüzeyleri boyunca akı dağılımı da değişiklik gösterir. von Zeipel (1924), bir yıldızın yüzeyindeki akı dağılımının, yerel çekim ivmesi ile orantılı olduğunu ifade etmiştir.

$$F = -\frac{16\sigma T^3}{3\kappa\rho} \frac{dT}{d\Omega} g \quad (4.9)$$

Burada  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  olarak Stefan-Boltzmann sabitidir.  $T$ , yerel yüzey sıcaklığı,  $\bar{\kappa}$  Rosseland opaklık katsayısı,  $\rho$  gaz yoğunluğu,  $g$  ise çekim ve merkezci ivmeleri içeren etkin çekim ivmesidir.

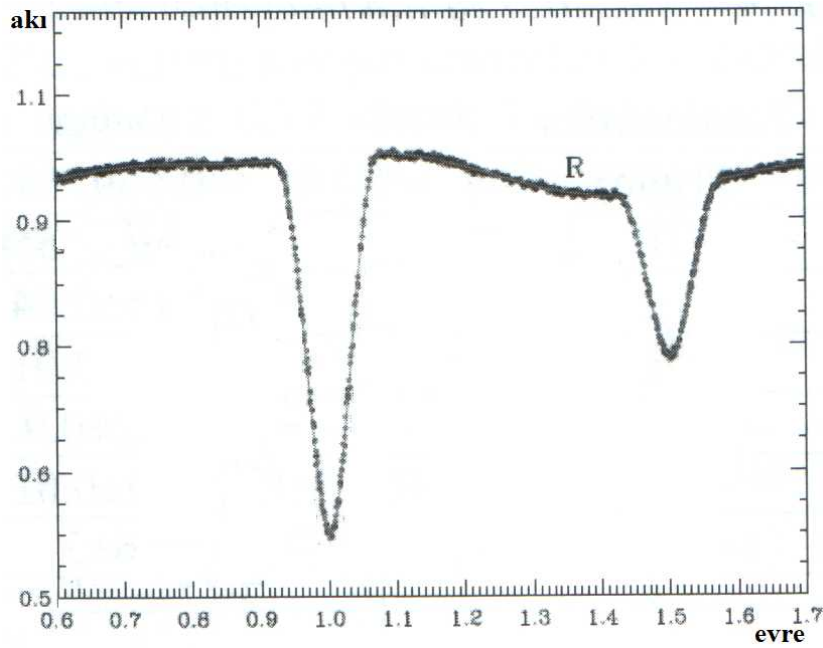
Verilen bir potansiyel için akıyı hesaplanmak istenirse ve yalnızca  $g$  ile değiştiği göz önüne alınırsa,

$$F_l = F_k = \left( \frac{g_l}{g_k} \right)^g \quad (4.10)$$

Burada  $l$  lokal,  $k$  ise kutup terimleri için kullanılmıştır. Radyatif yıldız atmosferleri için ilk çalışma von Zeipel (1924), konvektif yıldız atmosferleri için ise Lucy (1967)

tarafından yapılmıştır. von Zeipel (1924) teoremine göre  $g=1,00$ , Lucy (1967) kuramına göre ise  $g=0,32$  alınmaktadır.

Eşitlik 4.1, kutup bölgelerinin, ekvatorial bölgelerden daha sıcak olduğunu içerir. Bu etkinin, ışık eğrisine yansması Şekil 4.9' da NSVS 02502726 yıldızı için gösterilmiştir (Çakırlı ve diğ., 2008). Bu etki, minimumları daha derin yapar ve maksimumları yukarı çeker.



Şekil 4.9. Işık eğrisi üzerinde çekim kararmasının etkisi (Çakırlı ve diğ., 2008).

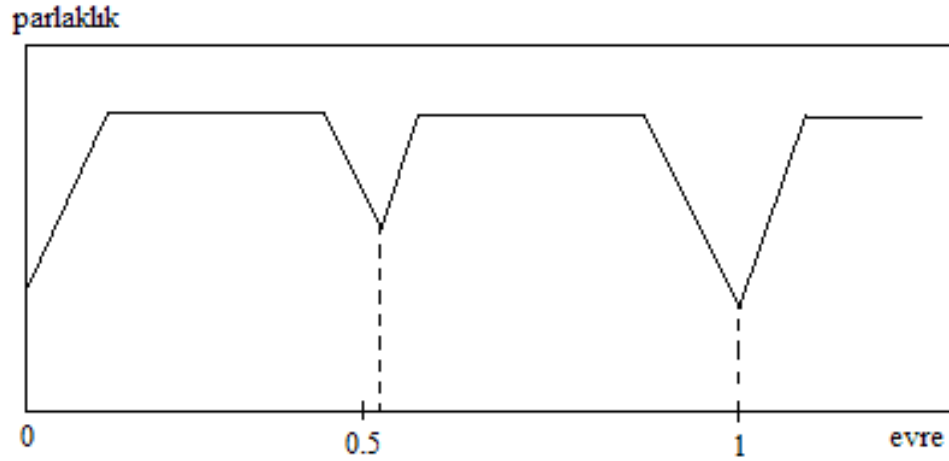
#### 4.7. Eksen Dönmesi Etkisi

Çoğu çift yıldızın, ortak kütle merkezi etrafında dolanırken oluşturdukları yörüngeler elips şeklindedir. Birbirine çekim kuvveti ile bağlı iki cismin eliptik yörüngelerdeki hareketlerinin açıklanmasında enberi boylamı genellikle sabit alınır. Bu durum üç varsayıma dayanır: 1) Cisimler nokta kütlelidir. 2) Newton çekim yasasına göre hareket ederler. 3) Çift sisteme başka herhangi bir cisim etkimemektedir. Bu üç varsayımdan en az biri geçerli olmadığında, enberi boylamı zamanla değişecektir.

Yakın çift yıldızlarda, bileşenlerin birbirine uyguladıkları çekim kuvvetleri onların küresel yapısının bozulmasına neden olur. Bu durumda yakın çift yıldız bileşenleri için

nokta kütle varsayımı geçerli olamaz. Gözlenen hareket ile nokta kütle varsayımı altında elde edilecek hareket arasındaki fark, enberi boylamının değişmesine neden olur. Bileşenlerin küresel yapılarının bozulması karşılıklı çekim ile olabileceği gibi yıldızların kendi eksenini etrafında hızlı dönmesi nedeniyle de olur.

Çift yıldızlarda eksen dönmesi, aynı zamanda Genel görelilikten kaynaklanan etkilerle de olabilir. İki yıldız nokta kütleler olsa bile “Einstein Görelilik Kuramına” göre yörünge büyük ekseninin dönmesi beklenir. Örtün bir çift yıldızın ışık eğrisine, eksen dönmesi etkisine bir örnek Şekil 4.10’ da verilmiştir. Baş minimum sıfır evrede ise yan minimum 0,5 evre civarında kayma gösterir. Ayrıca bileşenlerin tutulma süreleri farklı olmaktadır.

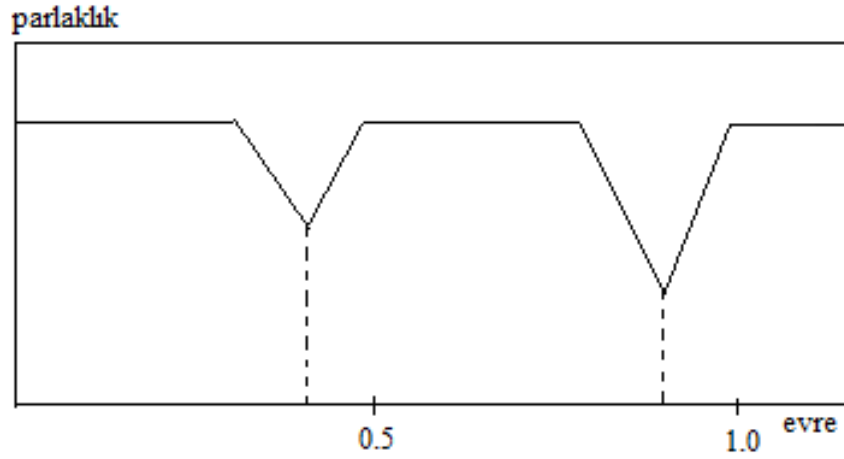


Şekil 4.10. Eksen dönmesi olayının, ışık eğrisi üzerindeki etkisi.

#### 4.8. Üçüncü Cisim Etkisi

Örtün çift yıldızlar, üçüncü bir cisimle birlikte ortak kütle merkezi etrafında dolanarak üçlü bir sistem oluşturabilirler. Bu yörünge hareketinde, çift sistem çevrimsel olarak gözlemciye yaklaşır ve uzaklaşır. Dolayısıyla çift sistemden gelen ışık, gözlemciye daha erken veya geç gelir. Işık-zaman etkisi (LITE) denilen bu olay ile örtün çiftin yörünge dönemi görünürde değişmektedir. Bu durumun ışık eğrisindeki etkisi Şekil 4.11’ de gösterildiği gibidir. Minimum zamanlarının belirlenmesinde rol oynayan ışık, gözlemciye belli dönemlerde daha erken veya daha geç geldiğinden dolayı, minimumlar ışık eğrisinde olması beklenen evrelerden erken görünürken, belli bir süre sonra, daha geç görünür.

Ayrıca üçüncü cismin etkisi de alınarak ışık eğrisi elde edilirse, minimum derinlikleri sığlaşır. Üçüncü cismin ışığının katkısıyla, maksimum değeri daha büyük olurken çiftin bileşenlerinin ışınımı değişmediğinden toplam ışınım katkıları daha az olacaktır. Dolayısıyla minimum derinlikleri de sığlaşacaktır.



Şekil 4.11. Üçüncü cismin etkisiyle sistemin yörünge dönemi değişir ve belli dönemlerle minimumlar, ışık eğrisinde olması gereken evrelerin sağında veya solunda olurlar.

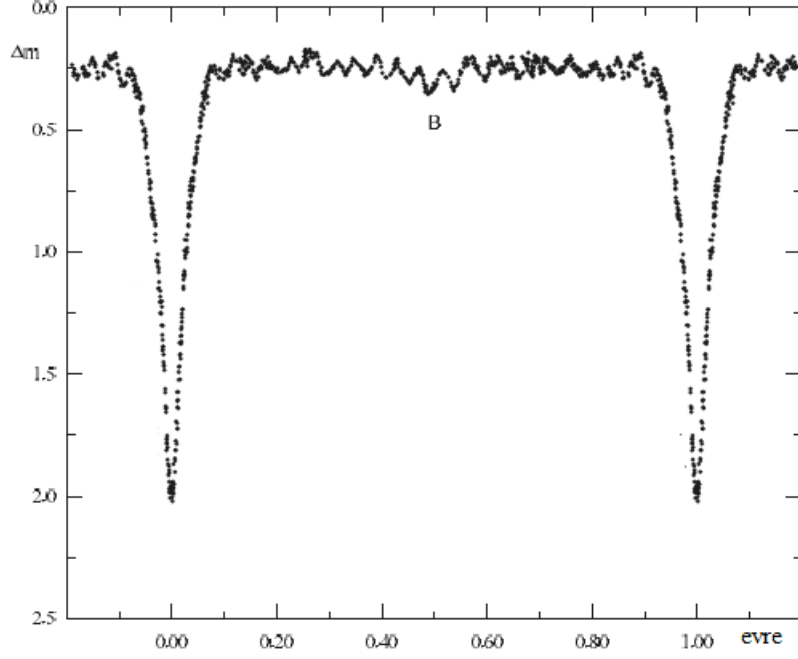
#### 4.9. Zonklama Etkisi

Zonklama etkisiyle yıldızın yarıçapı zamanla küçülür ve büyür. Yani zonklayan yıldızların yüzeyleri düzenli bir şekilde büzülüp genişlemektedir. Bu durumda, yıldızdan alınan ışık da düzenli olarak azalır artar. Zonklama etkisi ile ortaya çıkan bu parlaklık değişimi ışık eğrisinde gözlenebilmektedir. Çapsal ve çapsal olmayan olmak üzere iki tür zonklama vardır. Çapsal zonklama gösteren yıldızların biçimi küreseldir. Çapsal olmayan zonklamada ise küresel yapı korunmamaktadır. Bu kuram, gözlemlerle desteklenmektedir.

Soydugan ve diğ. (2003) tarafından gözlenen AB Cas' ın ışık eğrisi üzerinde zonklama etkisi, özellikle maksimumlarda belirgin şekilde gözükmemektedir (bkz. Şekil 4.12). Işık eğrisine dikkat edildiğinde, maksimumlarda ve yan minimumda zonklamadan kaynaklanan parlaklık değişimleri görülmektedir.

Minimumlardan yalnızca ikinci minimumda gözlenen zonklama etkisi, birinci bileşenin zonklama yaptığını göstermektedir. İkinci minimum olduğu sırada, ikinci

bileşen birincinin arkasındadır. Birinci bileşenin ışığı ön planda iken zonklama etkisi de gözlenmektedir. Öyleyse birinci bileşenin zonklama yaptığı sonucu kolaylıkla çıkarılabilir.



Şekil 4.12. AB Cas' ın B filtresindeki ışık eğrisinde zonklama etkisi maksimum ve yan minimum evrelerinde belirgin biçimde gözükmektedir (Soydugan ve diğ., 2003).



## BÖLÜM 5

### WILSON-DEVINNEY ANALİZ PROGRAMI

Yıldızların ışık ölçümleri yapılarak elde edilen ışık eğrilerinin analiz edilmesi ile sisteme ilişkin geometrik ve fiziksel parametreler bulunabilir. Wilson-Devinney (W-D) analiz programı, günümüzde ışık eğrilerini çözmek için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Bu program ilk kez Wilson ve Devinney (1971) tarafından hazırlanmıştır.

Roche geometrisini temel alan program, ışık ve dikine hız eğrileri ve tayfsal çizgi profillerini oluşturan LC (light curve) ve en küçük kareler yöntemi ile ışık ve hız eğrilerinin parametrelerini ayarlamak için diferansiyel düzeltmelerin yapıldığı DC (differential corrections) olmak üzere iki programdan oluşur.

Bu yöntem, yıldız yüzeylerini eş-potansiyelli olarak kabul eder ve yörünge basıklığı ( $e$ ), enberi boylamı ( $\omega$ ), dönme parametreleri ( $F_{1,2}$ ), evre kayması ( $\emptyset$ ), yörünge eğikliği ( $i$ ), çekim kararma üsleri ( $g_{1,2}$ ), akı ağırlıklı ortalama yüzey sıcaklıkları ( $T_{1,2}$ ), bolometrik albedolar ( $A_{1,2}$ ), yüzey potansiyelleri ( $\Omega_{1,2}$ ), kütle oranı ( $q=M_2/M_1$ ), normalize edilmemiş tek renk ışıtmaları ( $L_{1,2}$ ), lineer ya da logaritmik kenar karar ma katsayıları ( $x_{1,2}$ ), üçüncü cismin ışığı ( $l_3$ ) parametrelerini kullanarak yıldıza ilişkin kuramsal ışık eğrisi oluşturur. Buradaki 1 ve 2 alt indisleri, sırasıyla sıcak ve soğuk bileşenler için kullanılmıştır.

Yöntemde,  $q$ ,  $\Omega_{1,2}$ ,  $i$ ,  $L_{1,2}$ ,  $A_{1,2}$ ,  $g_{1,2}$ ,  $x_{1,2}$ ,  $T_{1,2}$ ,  $l_3$  parametreleri serbest bırakılabilen parametrelerdir. W-D yönteminde, örten çiftlere uygulanabilen sekiz ayrı 'Mod' vardır. Bu Mod' lara göre hangi parametrelerin serbest bırakılabileceği bellidir.

**Mod -1:** Bu mod x-ışını çiftleri için kullanılır. Sıkışık olan birinci yıldızdır. İkinci yıldızın yüzey potansiyeli sabit alınır.  $F_2$ ,  $q$ ,  $e$ ,  $\omega$ ,  $i$  ve  $\emptyset$  girdi parametrelerinden  $\Omega_2$  hesaplanır.

**Mod 0:** Bu modda bir kısıtlama uygulanmaz. Bileşenlerin ışınım güçleri oranının, yüzey sıcaklıkları ile uyumlu olması gerekmez.

**Mod 1:** Bu mod, W UMa gibi aşırı degen çiftler içindir.  $\Omega_2$ ,  $g_2$ ,  $T_2$ ,  $A_2$ ,  $L_2$ ,  $x_2$  ve  $y_2$  serbest bırakılır. Bu modda, birinci ve ikinci bileşenlerin yüzey potansiyelleri, çekim karar ma üsleri, kenar karar ma katsayıları ve bolometrik albedolarının eşit alınmaktadır.

**Mod 2:** Ayrık çiftler içindir. İkinci bileşenin ışınım gücü  $L_2$  sabit girilir.  $L_2$ , karacisim ve yıldız atmosferi ışınımı formülleri yardımıyla diğer parametrelerden hesaplanır.

**Mod 3:** Mod 1 gibi aşırı değen çiftler içindir. Burada,  $g_2$ ,  $T_2$ ,  $A_2$ ,  $x_2$  ve  $y_2$  serbest bırakılabilir.

**Mod 4:** Birinci bileşenin Roche lobunu doldurduğu yarı-ayrık sistemlerde kullanılır. Birinci bileşenin potansiyeli sabit alınır.

**Mod 5:** İkinci bileşenin Roche lobunu doldurduğu yarı-ayrık sistemler için kullanılır. Algol türü çiftler için genellikle bu mod kullanılır.

**Mod 6:** Değen-çiftler için kullanılır. Bu durumda bileşenlerden en azından biri, senkronize olarak dönmektedir. Mod 6, Mod 4 ve 5' in yüzey potansiyel kısıtlamalarını birlikte kullanır.

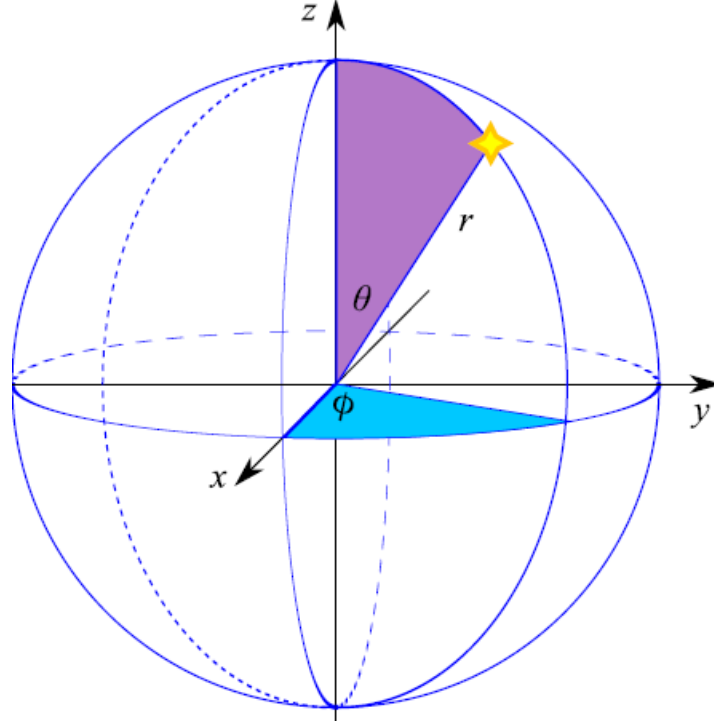
Çift sistem için kullanılacak Moda göre serbest ve sabit alınacak parametreler belirlenir. W-D' in ana programlarından DC, girilen bu parametreleri kullanarak en küçük kareler yöntemi ile gözlenen ışık eğrisini tanımlar ve en uygun parametreler için düzeltme ve olası hataları üretir. Değişkenlerin düzeltme değerlerine göre serbest parametreler yeniden düzenlenir. Düzeltme miktarının, olası hatalardan küçük olduğu ana kadar iterasyon yapılır. Böylece gözlenen ışık eğrisini en iyi ifade eden parametreler elde edilir. Bu parametreler diğer ana program LC' de kullanılarak, gözlenen ışık eğrisi ile en iyi uyumu sağlayan kuramsal ışık eğrisi oluşturulur.

Çözümde modele ait bileşenlerin yüzeyleri,

$$\Omega = \frac{1}{r} + q \left[ \frac{1}{\sqrt{a^2 - 2a\lambda r + r^2}} - \frac{\lambda r}{a^2} \right] + \frac{q+1}{2} (1-v^2)r^2 F^2 \quad (5.1)$$

denklemini ile belirlenir. Buradaki dönme parametresi  $F$ , eş olmayan dönmeye sahip sistemler için kullanılır,  $r$  yarıçap,  $q$  kütle oranıdır.  $\lambda$  ve  $v$  ise Eşitlik 5.2' de gösterildiği gibidir. Şekil 5.1.' de küresel koordinatlarda  $r$ ,  $\theta$  ve  $\phi$  gösterilmiştir.

$$x = r \sin \theta \cos \phi = \lambda r, \quad y = r \sin \theta \sin \phi = \mu r, \quad z = r \cos \theta = \nu r \quad (5.2)$$



Şekil 5.1. Küresel koordinat düzeneği: kutupsal açı  $\theta$ ,  $0-180^0$  arasında değişir; azimut açısı  $\phi$  ise  $0-360^0$  arasında değişir.

Bu çalışmada kullanılan W-D' in 2003 sürümünün önceki sürümlerle arasındaki farklar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Mod 3' te,  $g_1$ ,  $x_1$ ,  $y_1$  ve  $A_1$ ' e eşit alınmaksızın  $g_2$ ,  $x_2$ ,  $y_2$  ve  $A_2$  parametreleri de serbest bırakılabilmektedir.
- IBAND parametresi ile gözlemsel verinin hangi bantta olduğu sayısal kodlama ile yapılabilmektedir (U-5, B-6, V-7 gibi).
- Girdi dosyasının formatı ile çalıştırma komutlarında değişiklik yapılması şeklinde yenilikler getirilmiştir.

## BÖLÜM 6

### IU PERSEI YILDIZININ IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

#### 6.1. IU Persei

IU Per, GCVS katalogunda, A4 tayf sınıfında Algol türünden yarı-ayrık bir sistem olarak yer almaktadır. Kim ve diğ. (2005) tarafından yapılan çalışma ile IU Per' in zonklama gösteren klasik Algol türü örten çift yıldız olduğu belirlenmiş ve zonklama genliği  $a_{zonk} = 0^m,02$  olarak belirlenmiştir. Kütle ve açısal momentum korunumu dikkate alınarak, ikinci bileşenden birinci bileşene madde aktarımı Algol türü çiftlerde yörünge döneminin artmasına neden olmaktadır. Qian (2001), IU Per' in O-C analizini yaptığı çalışmada bu durumun IU Per için geçerli olmadığını ve yörünge döneminin azaldığını belirlemiştir. Periyot azalma oranı  $dP/dt = -4,11 \times 10^{-7}$  gün/yıl olarak belirlenmiştir. Bu durumun sebebi, açısal momentumun korunmadığı, kütle ve açısal momentum kaybı ile açıklanmıştır. Zhang ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada da kütle azalma oranı belirlenmiş ( $dP/dt = -2,2 \times 10^{-7}$  gün/yıl) ve Qian (2001)' in IU Per' in dönem azalmasına ilişkin yorumunu desteklemiştir. Zhang ve diğ. (2008), literatürden minimum zamanları toplayarak, yeni minimum zamanı ve periyot düzeltmesi yapmıştır. Buna göre elde ettiği sonuç Eşitlik (6.1)' de verilmiştir. Ayrıca Zhang ve diğ. (2008) tarafından sistemin ilk ışık eğrisi çözümü de yapılmıştır.

$$\text{Min. I} = \text{HJD}2454413,0933(5) + 0,85702543E \quad (6.1)$$

IU Per yıldızına ilişkin parlaklık ve koordinat bilgileri Tablo 6.1' de yer almaktadır.

#### 6.2. Gözlemler ve İndirgemeler

IU Per, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi' nde 30 cm' lik Cassegrain-Schmidt teleskop kullanılarak 2007 yılı gözlem sezonunda 5 gece gözlenmiştir. Sistemin gözlemleri B ve V filtrelerinde, SBIG STL 10MXE CCD kamera ile yapılmıştır. Gözlemlerde TYC 2859-794 ve TYC 2858-2003 sırasıyla mukayese ve denet yıldızı olarak seçilmiştir. Tablo 6.1' de IU Per ile birlikte gözlenen mukayese ve denet yıldızlarına ilişkin bilgiler yer almaktadır. Gözlemler boyunca mukayese yıldızının ışık değişimi göstermediği tespit edilmiştir. Gözlemler Güneş merkezine indirgenmiştir. Yapılan gözlemin duyarlılığını hesaplamak üzere, parlaklığı değişmeyen mukayese ve

denet yıldızları göz önüne alınmıştır. Buna göre V filtresinde standart hata  $0^m,01$  olarak belirlenmiştir.

Tablo 6.1. Gözlenen yıldızlara ilişkin bilgiler.

Yıldız	İsim/TYC	$\alpha$ (2000)	$\delta$ (2000)	$m_v$	B-V
Değişen	IU Per	$02^{\text{sa}} 59^{\text{dk}} 37^{\text{s}},00$	$+43^0 55^{\text{dk}} 18^{\text{s}},0$	$10^m,50$	0,3
Mukayese	TYC 2859-794	$03^{\text{sa}} 00^{\text{dk}} 19^{\text{s}},59$	$+43^0 55^{\text{dk}} 25^{\text{s}},4$	$11^m,36$	0,382
Denet	TYC 2858-2003	$02^{\text{sa}} 59^{\text{dk}} 32^{\text{s}},53$	$+43^0 55^{\text{dk}} 50^{\text{s}},7$	$11^m,88$	0,339

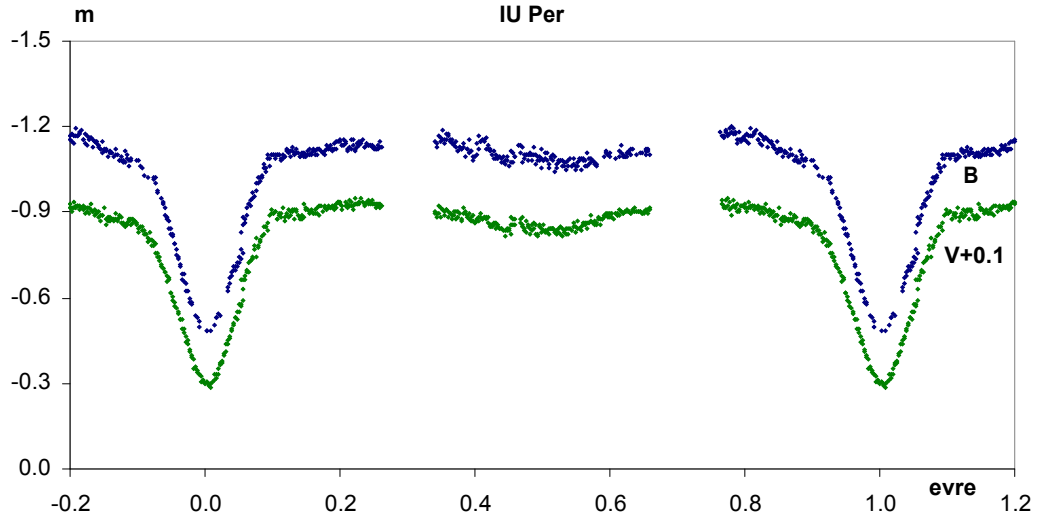
Gözlemler süresince toplam B filtresinde 777 ve V filtresinde 839 gözlem noktası elde edilmiştir. Gözlem verileri Maxlm DL ve C-Munipack programları ile indirgenerek yıldızın B ve V filtrelerinde ışık eğrisi elde edilmiştir (Şekil 6.1). Kwee (Kwee ve van Woerden, 1956) yöntemi ile bir tane birinci minimum zamanı hesaplanmıştır ve HJD  $\text{Min I} = 2454368,5276 \pm 0,0002$  olarak bulunmuştur. Aşağıdaki formül ile gözlem zamanları evreye dönüştürülmüştür.

$$\text{Evre} = \frac{T - T_o}{P} - \text{int}\left(\frac{T - T_o}{P}\right) \quad (6.2)$$

Burada  $T_o$  gözlem verilerinden hesaplanan birinci minimum zamanı, P yörünge dönemi ve T ise gözlem zamanlarıdır. Kullanılan ışık elemanları (minimum zamanı ve yörünge dönemi) Eşitlik (6.3)' te verilmiştir.

$$\text{Min. I} = \text{HJD}2454368,5276(2) + 0,8570E \quad (6.3)$$

B filtresindeki verilerden elde edilen ışık eğrisi fazla saçılmalı olduğundan analize katılmamıştır. Sistemin sadece V filtresinde çözümü yapılmıştır. Analiz için mukayese yıldızına göre fark fotometresi uygulanarak gözlemler atmosfer etkisinden arındırılmıştır.



Şekil 6.1. IU Per' in B ve V filtrelerindeki ışık eğrisi.

### 6.3. Işık Eğrisi Analizi

Bu çalışmanın amacı, Algol türü örten çift yıldız IU Per' in ışık eğrisinin çözümlenmesi ve sisteme ilişkin fiziksel ve geometrik parametrelerin belirlenmesidir. Işık eğrisi analizi için Wilson-Devinney (1971) kodunun 2003 sürümü (van Hamme ve Wilson, 2003) kullanılmıştır.

Wilson-Devinney yöntemi, diferansiyel düzeltmeler programı DC (differential corrections) ve ışık eğrisi programı LC (light curve)' den oluşmaktadır. Programa girdi parametrelerinin uygun değerleri girilmeli ve hangi parametrelerin serbest bırakıldığı belirtilmelidir. Wilson-Devinney yönteminde kullanılan her bir gözlem noktası normalize edilmelidir. Normalize işleminde,

$$I = 10^{(-0,4*(m-dm))} \quad (6.4)$$

formülü kullanılmıştır. Yani ışık eğrileri kadir eşelinden, ışık şiddeti eşeline çevrilmiştir. 0,25 evredeki parlaklık birim alınıp, ışık değişimi incelenmiştir. Burada m, ışık eğrisindeki her bir evreye karşılık gelen parlaklık değeri, dm ise 0,25 evreye karşı gelen parlaklık değeridir. V filtresindeki gözlem noktaları 0,25 evrede ölçülen  $-1^m,026$

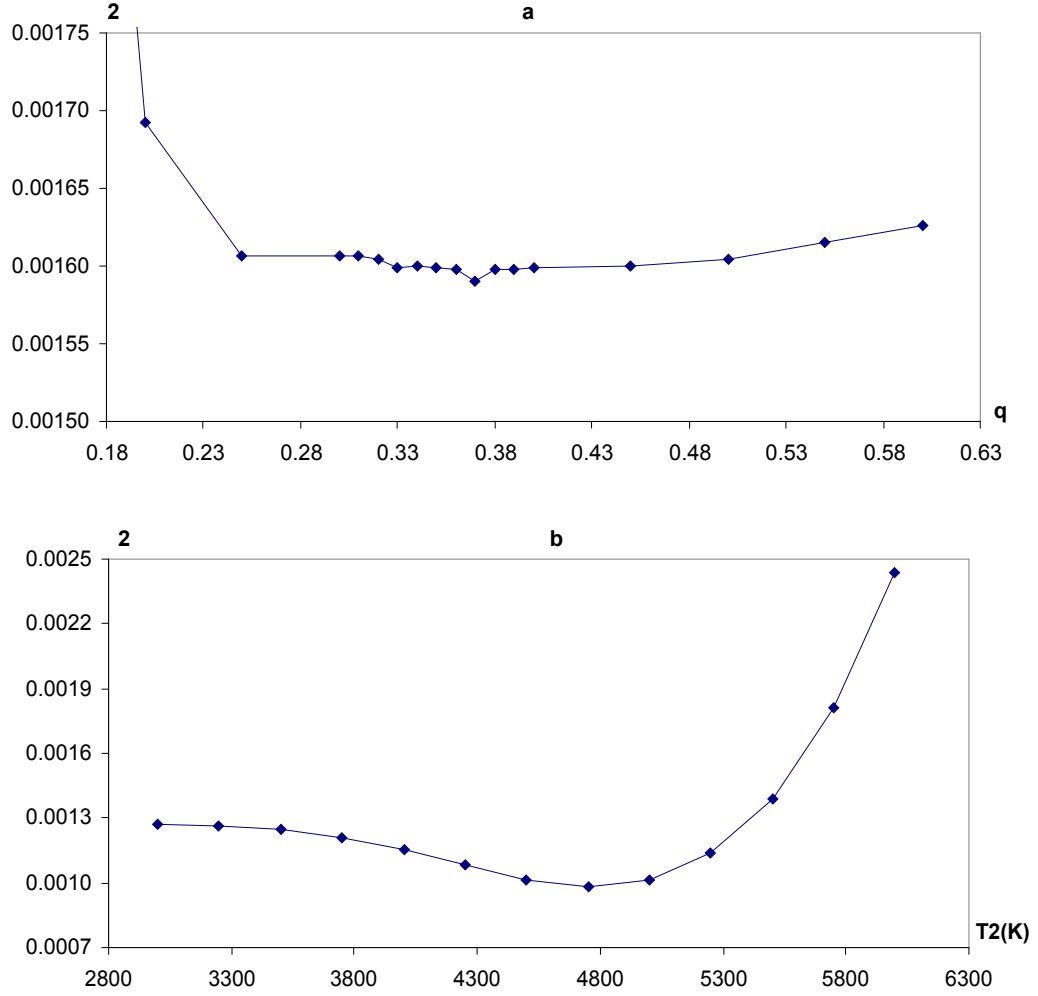
parlaklığına göre normalize edilmiştir. Çözüm için V filtresinden 804 gözlem noktası kullanılmıştır.

Başyıldızın yüzey sıcaklığı  $T_1$ , de Jager ve Nieuwenhuijzen (1987) tarafından tayf türüne göre sıcaklıkların belirlendiği tablolardan yararlanarak A4 tayf türü için 8690 K olarak alınmıştır. Bolometrik albedolar  $A_{1,2}$ , Rucinski (1969)' nin çalışmasından alınmıştır. Rucinski, bolometrik albedoları radyatif atmosferler için 1,0 ve konvektif atmosferler için 0,5 olarak belirlemiştir. Bu çalışmada ön tayf türünden olan birinci bileşen için  $A_1 = 1,0$  ve geri tayf türünden ikinci bileşen için ise  $A_2 = 0,5$  olarak alınmıştır.

Kenar kararım katsayıları ( $x_{1,2}$ ) sıcaklıklara göre van Hamme (1993)' dan alınmış, dönme parametreleri  $F_{1,2}$  eş-zamanlı dönme varsayımı ile 1,0 olarak alınmıştır. Çekim kararım katsayıları ( $g_{1,2}$ ), radyatif atmosferler için von Ziepel (1924)' den ( $g_1=1,0$ ) ve konvektif atmosferler için Lucy (1967)' den ( $g_2=0,32$ ) alınmıştır.

Kütle oranı ( $q$ ) için  $q$  taraması yapılmıştır.  $q$  kütle oranı, 0,15' ten başlayarak 0,60' a kadar 0,05 artırımlarla her defasında sabit alınarak girilen her bir  $q$  değeri için  $\chi^2$ ' nin değişimi kontrol edilmiştir. 0,30 ile 0,40 arası değerler minimuma yakın olduğundan, bu aralıkta 0,01 artırımla yine  $q$  taraması yapılmıştır.  $\chi^2$ ' ye karşı,  $q$  grafiği çizilmiş ve eğrinin minimum değerinin en uygun  $q$  değeri 0,37' yi verdiği tespit edilmiştir (Şekil 6.2a). Bulunan bu  $q$  değeri de çözüm için başlangıç parametresi olarak girilmiş ve serbest bırakılmıştır.

Benzer işlem ikinci bileşenin yüzey sıcaklığı  $T_2$  için de yapılmıştır. Burada sıcaklık 3000 K' den başlatılmış ve her defasında 250 K artırılarak 6000 K' e kadar iterasyon yapılmıştır.  $\chi^2$  ile çizilen grafikteki minimum değeri 4750 K olarak tespit edilmiştir (Şekil 6.2b). Bu değer de çözüm için iyi bir başlangıç parametresi olarak kabul edilmiş ve serbest bırakılmıştır. Çözümde, yörünge eğikliği ( $i$ ), yoldaş yıldızın yüzey sıcaklığı ( $T_2$ ), başyıldızın omega potansiyeli ( $\Omega_1$ ), evre kayması ( $\emptyset$ ) ve başyıldızın kesirsel ışıması ( $L_1$ ) parametreleri serbest bırakılmıştır. Diğer parametreler ise iterasyon süresince sabit parametreler olarak kabul edilmiştir.



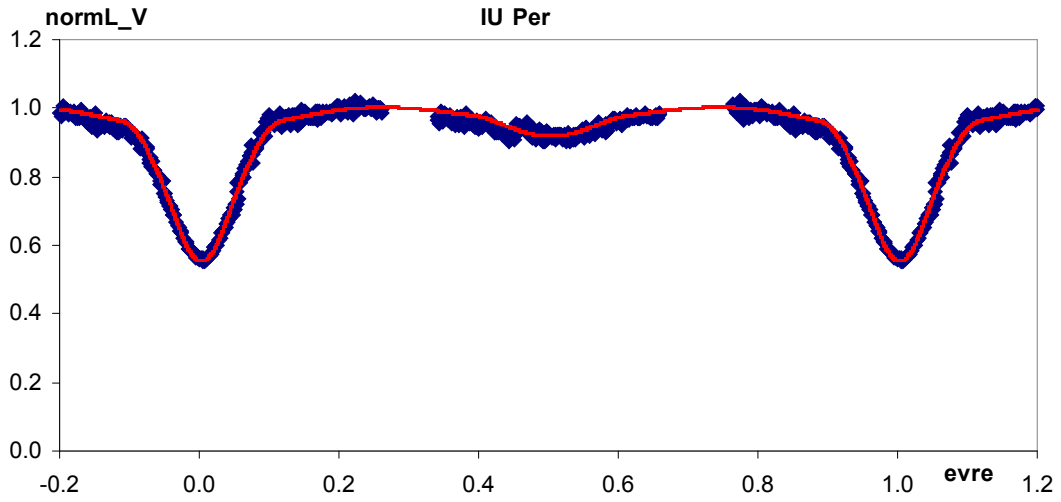
Şekil 6.2. (a)  $q$  taraması, (b) İkinci bileşen için sıcaklık taraması.

Sabit ve serbest bırakılacak parametreler belirlendikten sonra çözüm, ayrık sistemler için olan Mod 2' de denenmiştir. Buna göre bileşenlerin potansiyel ( $\Omega_{1,2}$ ) değerleri ikinci bileşenin Roche lobunu doldurduğunu göstermiştir. Bu nedenle W-D çözümü için, Mod 5 seçilmiştir. Üçüncü cismin ışık katkısı  $l_3$ ' de serbest bırakılmış ancak anlamlı bir sonuç vermemiştir. Çözüm, ayarlanabilir parametrelerin düzeltmeleri, hatalardan küçük olana kadar devam ettirilmiştir. Işık eğrisinin analizi sonucunda geometrik ve fiziksel parametre değerleri belirlenmiş ve Tablo 6.2' de listelenmiştir. Tabloda yer alan  $r_1$  ve  $r_2$  ifadeleri sırasıyla birinci ve ikinci bileşenin kesirsel yarıçaplarını göstermektedir. İkinci bileşenin sıcaklığına göre, de Jager ve Nieuwenhuijzen (1987)' in tablolarından yararlanarak bileşenin tayf türü belirlenmeye çalışılmıştır. İkinci bileşenin dev veya alt-dev olduğu öngörülebilmektedir. Ancak bir kesinlik söz konusu değildir. Buna göre bileşenin ısıtma

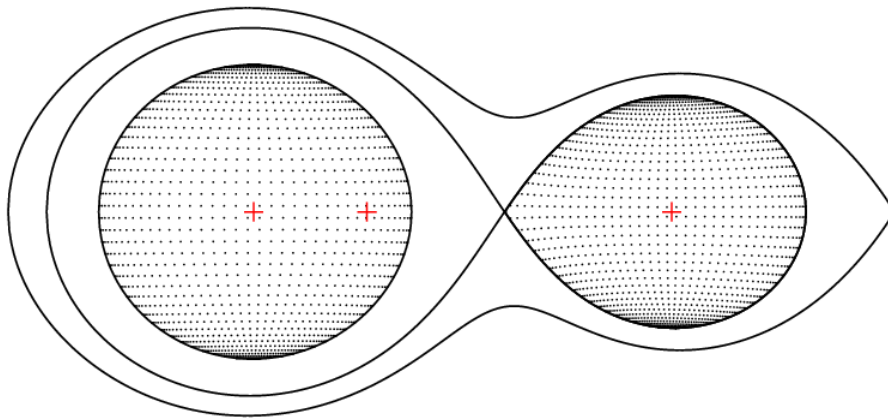


sınıfı dev ise tayf türü G8.5III, ancak ikinci bileşen dev değil de daha az parlak sınıftan bir alt-dev ise tayf türünün K0IV olması öngörülebilir.

Bileşenlerin geometrik ve fiziksel parametreleri kullanılarak V filtresinde normalize noktalarıyla uyumlu kuramsal ışık eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 6.3). Sistemin kütle oranı  $q=0,372$  için Roche modeli Şekil 6.4’ te gösterilmektedir. Yoldaş bileşen Roche lobunu tamamen doldurmuş ve baş bileşene madde aktarması olağandır.



Şekil 6.3. IU Per’ in V filtresinde normalize edilmiş gözlem noktaları ve WD çözümünden elde edilen kuramsal eğrisi.



Şekil 6.4. IU Per’ in  $q=0,372$  için Roche gösterimi.

Tablo 6.2. IU Per' in V renginde elde edilen ışık ölçüm çözümleri.

Parametre	V
i	75,82±0,17
T <sub>1</sub> (K)	8690
T <sub>2</sub> (K)	4768±200
Ω <sub>1</sub>	3,202±0,024
Ω <sub>2</sub>	2,620
Evre kayması	0,0025±0,0002
q	0,372±0,007
l <sub>3</sub>	0
x <sub>1</sub>	0,659
x <sub>2</sub>	0,644
g <sub>1</sub>	1,00
g <sub>2</sub>	0,32
L <sub>1</sub> /(L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> )	0,954
L <sub>2</sub> /(L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> )	0,046
r <sub>1</sub> (pole)	0,351±0,003
r <sub>1</sub> (point)	0,378±0,004
r <sub>1</sub> (side)	0,362±0,003
r <sub>1</sub> (back)	0,371±0,004
r <sub>2</sub> (pole)	0,277±0,001
r <sub>2</sub> (point)	0,399±0,003
r <sub>2</sub> (side)	0,288±0,001
r <sub>2</sub> (back)	0,321±0,001
(O -C) <sup>2</sup>	0,00160

## BÖLÜM 7

### AO SER YILDIZININ IŞIK EĞRİSİ ANALİZİ

#### 7.1. AO Ser

AO Ser, GCVS katalogunda, A2 tayf sınıfında Algol türünden yarı-ayrık bir sistem olarak yer almaktadır. Ayrıca çeşitli kaynaklarda da sistemin A4 tayf türüne sahip bir klasik Algol olduğu belirtilmiştir (van Schewick, 1941; Branzewicz ve Dworak, 1980). Kim ve diğ. (2004) tarafından yapılan çalışma, AO Ser' in küçük genlikli ve kısa dönemli zonklama yapan bir sistem olduğunu açıklamaktadır. Buna göre zonklama genliği ve zonklama dönemi sırasıyla  $a_{zonk}=0^m,02(B)$  ve  $P_{zonk}=0,0465$  gün' dür.

Sistemin minimum zamanına ilişkin birkaç çalışma, Faulkner (1986), Diethelm (2003) ve Kotkova ve Wolf (2006) olarak sıralanabilir. Ayrıca görünür parlaklığı ve koordinatları Tablo 7.1' de listelenmektedir. Soydugan ve diğ. (2006), sistemin dönemini 0,8793 gün olarak vermiştir.

#### 7.2. Gözlemler ve İndirgemeler

AO Ser' in gözlemleri, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi' de 40 cm' lik Cassegrain-Schmidt teleskop kullanılarak 2006 gözlem sezonu sürecinde 10 gece yapılmıştır. Sistem B ve V filtrelerinde, SBIG STL 1001E CCD kamera kullanılarak gözlenmiştir.

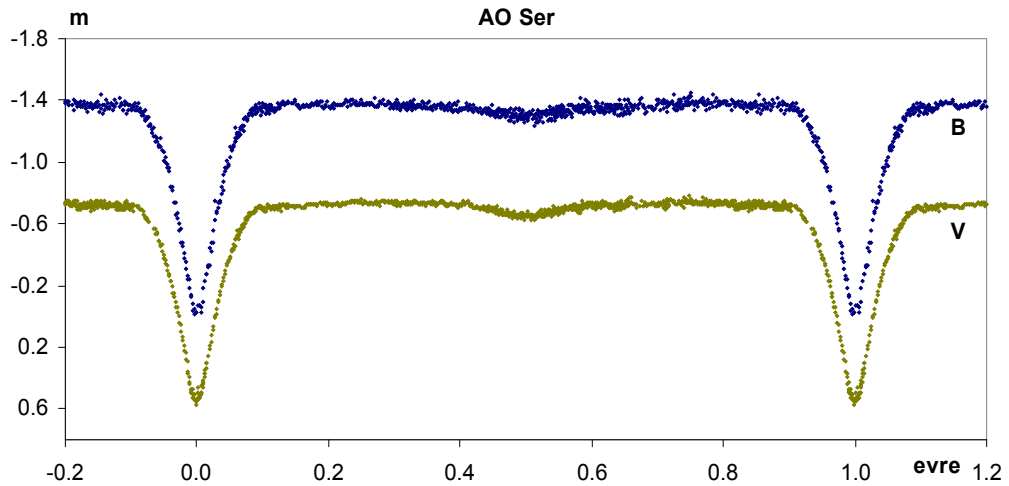
Gözlemlerde mukayese ve denet yıldızı olarak sırasıyla GSC 1496-1071 ve GSC 1496-0063 alınmıştır. Değişen, mukayese ve denet yıldızlarına ilişkin bilgiler, Tablo 7.1' de yer almaktadır. Mukayese yıldızının gözlemler süresince parlaklık değişimi gösterip göstermediği test edilmiştir. Gözlemler süresince toplam 2580 gözlem noktası elde edilmiştir. Gözlem verileri MaxIm DL ve C-Munipack programları ile indirgenmiş ve elde edilen ışık eğrisi Şekil 7.1' de gösterilmiştir. Kwee-van Woerden (1956) yöntemi kullanılarak sisteme ilişkin bir tane birinci minimum zamanı hesaplanmıştır ve  $HJD MinI = 2453951,311 \pm 0,002$  olduğu bulunmuştur. Eşitlik (6.2)' deki formül yardımıyla gözlem zamanları evreye dönüştürülmüştür. Evreye dönüştürmede kullanılan ışık elemanları (minimum zamanı ve yörünge dönemi), Eşitlik (7.1)' de verilmiştir.

$$\text{Min. I} = \text{HJD}2453951,311(2) + 0,8793E \quad (7.1)$$

Tablo 7.1. Gözlenen yıldızlara ilişkin bilgiler.

Yıldız	İsim/GSC	$\alpha$ (2000)	$\delta$ (2000)	$m_v$	B-V
Değişen	AO Ser	15 <sup>sa</sup> 58 <sup>dk</sup> 18 <sup>s</sup> ,41	+17 <sup>0</sup> 16 <sup>dk</sup> 10 <sup>s</sup> ,0	11 <sup>m</sup> ,400	0,242
Mukayese	GSC 1496-1071	15 <sup>sa</sup> 58 <sup>dk</sup> 19 <sup>s</sup> ,91	+17 <sup>0</sup> 19 <sup>dk</sup> 45 <sup>s</sup> ,4	11 <sup>m</sup> ,682	0,736
Denet	GSC 1496-0063	15 <sup>sa</sup> 58 <sup>dk</sup> 12 <sup>s</sup> ,10	+17 <sup>0</sup> 16 <sup>dk</sup> 42 <sup>s</sup> ,5	11 <sup>m</sup> ,864	0,483

Gözlemler Güneş merkezine indirgenmiş ve IU Per için kullanılan yöntemle, B ve V filtrelerindeki standart hatalar sırasıyla 0<sup>m</sup>,015 ve 0<sup>m</sup>,014 olarak hesaplanmıştır. Analiz için mukayese yıldızına göre fark fotometresi uygulanarak gözlemler atmosfer etkisinden arındırılmıştır.



Şekil 7.1. AO Ser' in B ve V filtrelerindeki ışık eğrisi.

### 7.3. Işık Eğrisi Analizi

Algol türü örten çift yıldız AO Ser' in ışık eğrisi analiz edilerek sisteme ilişkin fiziksel ve geometrik parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

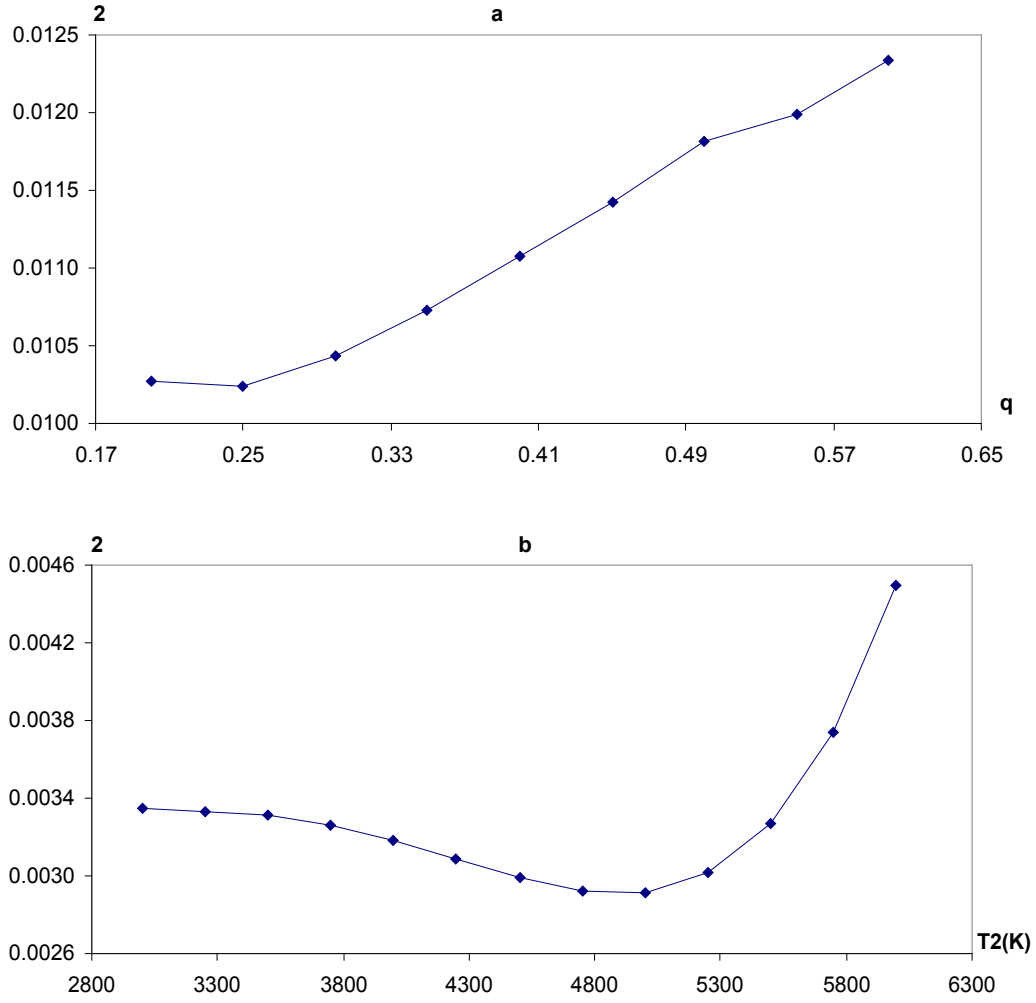
AO Ser' in ışık eğrisinin çözümü için de Wilson-Devinney (2003) bilgisayar programı kullanılmıştır. Wilson-Devinney programı ile çözüm yapmak için her bir gözlem noktası Eşitlik 6.4' teki formül yardımıyla normal noktaya dönüştürülmüştür.

B ve V filtrelerindeki gözlem noktaları 0,25 evrede ölçülen, sırasıyla  $-1^m,377$  ve  $-0^m,732$  parlaklıklarına göre normalize edilmiştir. Çözümde B filtresinde 1258, V filtresinde 1276 gözlem noktası kullanılmıştır. Her gözlem noktası eşit ağırlıkta alınmıştır.

Birinci bileşenin yüzey sıcaklığı A2 tayf türüne göre  $T_1=8970$  K olarak de Jager ve Nieuwenhuijzen (1987)' den alınmıştır. Kütle oranı için 0,20 ile 0,60 değerleri arasında kütle oranı taraması yapılmış ve bulunan  $q=0,25$  değeri çözüm için başlangıç parametresi olarak girilmiş ve serbest bırakılmıştır. IU Per' in sıcaklık taramasında yapılan işlem AO Ser için de aynı şekilde yapılmış ve 5000 K olarak bulunan değer çözüm için iyi bir başlangıç parametresi olarak kabul edilmiş ve serbest bırakılmıştır. Kütle oranı ve sıcaklık taramaları sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 7.2' de gösterilmiştir.

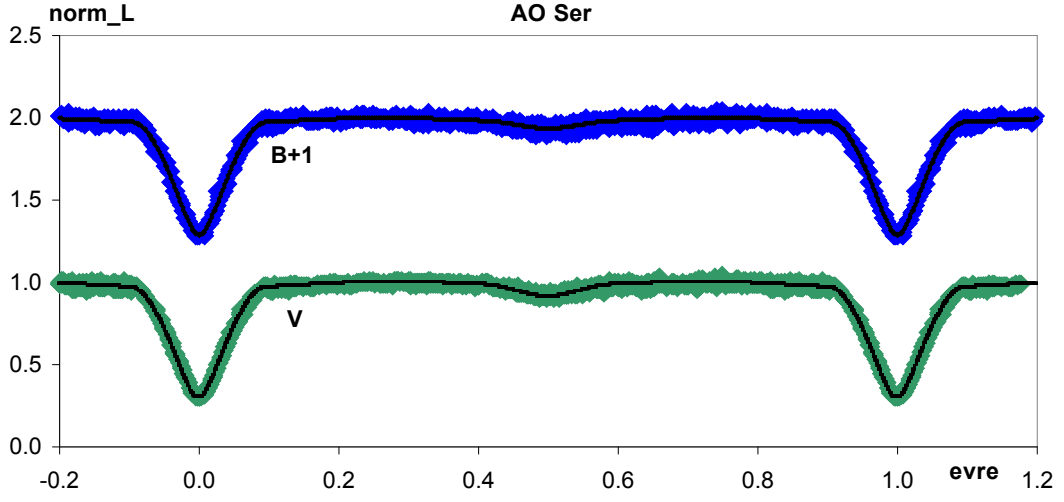
W-D programı ile yapılan çözümde, IU Per için yapılan çözüm yöntemine benzer şekilde aynı parametreler sabit ve serbest parametre olarak seçilmiştir ve B ve V filtrelerindeki ışık eğrileri eş zamanlı olarak çözülmüştür.

IU Per' de olduğu gibi W-D, Mod 5' te çalıştırılmıştır. Üçüncü cismin ışık katkısı  $l_3$ ' de serbest bırakılmış ancak anlamlı bir sonuç alınamamıştır. Ayarlanabilir parametrelerin düzeltilmeleri, hatalardan küçük olana kadar iterasyon devam etmiştir. Işık eğrisi analizi sonucunda geometrik ve fiziksel parametre değerleri belirlenmiş ve Tablo 7.2' de listelenmiştir. İkinci bileşenin elde edilen sıcaklığından AO Ser' de uygulanan aynı yöntemle tayf türü belirlenmiştir. Soydugan ve diğ. (2006b) tarafından yapılan çalışmada AO Ser' in ikinci bileşenin ısıtma sınıfı alt-dev olarak yer almaktadır. Buna göre ikinci bileşenin belirlenen tayf türü G7IV olmuştur.

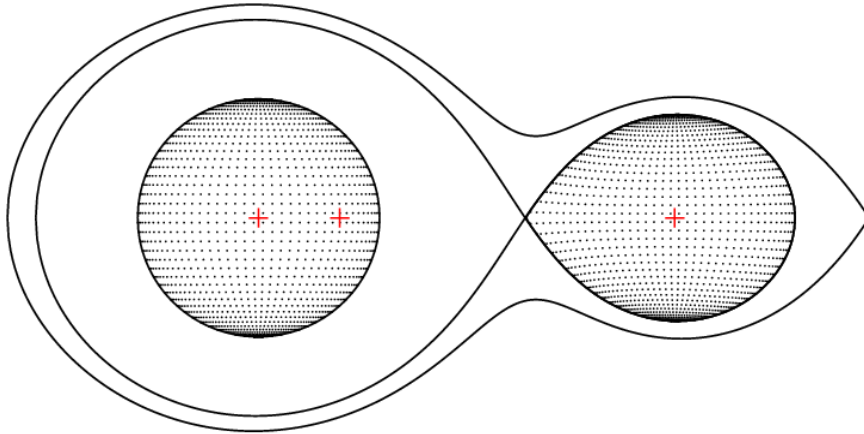


Şekil 7.2. (a) Kütle taraması sonucunda elde edilen eğri, (b) Sıcaklık taraması sonucunda elde edilen eğri.

AO Ser yıldızı için de bileşenlerin geometrik ve fiziksel parametreleri kullanılarak B ve V filtrelerinde normal noktalarla uyumlu kuramsal ışık eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 7.3). Sistemin kütle oranı  $q=0,243$  için Roche modeli Şekil 7.4' te gösterilmektedir. Yoldaş bileşen Roche lobunu tamamen doldurduğu için baş bileşene doğru madde aktarması olağandır. Bu çalışma sonucunda AO Ser' in fotometrik analizi yapılarak geometrik ve fiziksel parametreleri belirlenmiştir.



Şekil 7.3. AO Ser' in B ve V filtrelerindeki normalize gözlem noktaları ve kuramsal eğrileri.



Şekil 7.4. AO Ser' in  $q=0,243$  için Roche gösterimi.

Tablo 7.2. AO Ser' in ışık ölçümünden elde edilen çözümler.

<b>Parametre</b>	<b>B&amp;V</b>
i	85,08±0,22
T <sub>1</sub> (K)	8970
T <sub>2</sub> (K)	5048±200
Ω <sub>1</sub>	3,760±0,020
Ω <sub>2</sub>	2,336
Evre kayması	-0,0030±0,0001
q	0,243±0,003
l <sub>3</sub>	0
x <sub>1</sub>	0,655
x <sub>2</sub>	0,105
g <sub>1</sub>	1,00
g <sub>2</sub>	0,32
L <sub>1</sub> /(L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> )	0,969(B), 0,929(V)
L <sub>2</sub> /(L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> )	0,031(B), 0,071(V)
r <sub>1</sub> (pole)	0,283±0,002
r <sub>1</sub> (point)	0,290±0,002
r <sub>1</sub> (side)	0,287±0,002
r <sub>1</sub> (back)	0,289±0,002
r <sub>2</sub> (pole)	0,246±0,001
r <sub>2</sub> (point)	0,359±0,001
r <sub>2</sub> (side)	0,256±0,001
r <sub>2</sub> (back)	0,288±0,001
(O - C) <sup>2</sup>	0,0096



## BÖLÜM 8

### SONUÇ VE TARTIŞMA

Çift yıldızlarda ayırık ve yarı-ayırık sistemler, yıldızların evrim basamakları göz önüne alındığında, evrim sürecinin farklı basamaklarına karşılık gelirler. Ayırık sistemlerde, bileşenler Roche loblarını henüz doldurmamışlardır, yani bu sistemler evrimleşmemişlerdir. Örtün değişen ama henüz Roche loblarını doldurmamış ayırık sistemler parametreleri gözlemlerle en duyarlı belirlenebilen sistemlerdir. Buna göre böyle sistemlerin çalışılması iç-yapı modelleri, kimyasal bollukların belirlenmesi ve bileşenlerin tek yıldız gibi davranması ile yaş hesabının yapılması gibi çalışmalar açısından önemlidir. Yarı-ayırık sistemlerde ise bileşenlerden biri Roche lobunu doldurmuştur. Bu tür sistemler evrimin daha ileri evrelerinde olduğundan bu sistemlerin gözlenmeleri ve gözlemlerinin yorumlanması çift yıldızların evrim basamaklarını anlamak için önemlidir.

Bu tezde yarı ayırık sistemler olan IU Per ve AO Ser Algol türü örtün çift yıldızlarının gözlemleri yapılmış ve ışık eğrileri analiz edilerek bileşenlerin özellikleri belirlenmiştir.

IU Per yıldızının elde edilen ışık eğrisi V filtresinde W-D (2003) programı ile analiz edilmiştir. Sonuçlar Tablo 6.2' de verilmiştir. Birinci bileşenin bilinen tayf türünden (A4), sıcaklığı 8690 K olarak belirlenmiştir. Zhang ve diğ. (2008)' nin, IU Per için yaptığı çalışmada birinci bileşenin sıcaklığı 6450 K olarak kabul edilmiştir. A4 tayf türünden bir yıldız için bu sıcaklık uygun değildir. Bu nedenle, Zhang ve diğ. (2008)' nin q taraması ile elde ettiği fotometrik kütle oranı  $q=0,274(2)$  da, bu çalışmada bulunan kütle oranı  $q=0,372(7)$  ile uyuşmamaktadır. Dolayısıyla kütle oranına bağlı olarak bulunan potansiyel değerleri de, Zhang ve diğ. (2008) tarafından bulunan potansiyel değerlerini  $\Omega_1=2,9845(51)$ ,  $\Omega_2=2,4076$  destekler nitelikte değildir. Bu çalışmada 0,372(7) olarak bulunan kütle oranının ışık eğrisi için en iyi uyumu sağladığı belirlenmiştir. Kesirsel ışıtmalar birinci ve ikinci bileşenler için sırasıyla 0,954 ve 0,046 olarak hesaplanmıştır. Birinci bileşenin toplam ışıtmaya katkısı, ikinci bileşene kıyasla oldukça baskındır. Elde edilen bu sonucun Zhang ve diğ. (2008)' in birinci bileşen için verdiği kesirsel ışıtmam 0,962 ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca bu çalışmada 4768 K olarak belirlenen ikinci bileşenin sıcaklığı Zhang ve diğ. (2008) tarafından 4790 K olarak bulunmuştur. Bu sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Yarı ayrık sistem olan AO Ser' in ışık eğrisi, B ve V filtrelerinde analiz edilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 7.2' de listelenmiştir. Birinci bileşenin kesirsel ışıması 0,969 (B) ve 0,929 (V), ikinci bileşenin ise 0,031 (B) ve 0,071 (V) olarak hesaplanmıştır. Buradan birinci bileşenin toplam ışınımına yaptığı katkının oldukça baskın olduğu açıktır. Literatürde elde edilen bu verileri kıyaslayabilecek yeterli bilgi bulunmamaktadır. Ancak Brancewicz ve Dworak (1980)' in hazırladığı 1048 yıldızın yer aldığı katalogda AO Ser' e ilişkin kimi bilgiler yer almaktadır. Bu katalogun hazırlanmasında örten çift yıldızların geometrik ve fiziksel parametrelerinin hesaplanması için sunulan yöntem, Dworak (1975) tarafından tanımlanmış bazı hesaplamalara dayanmaktadır. Brancewicz ve Dworak (1980)' in katalogunda 0,45 olarak yer alan kütle oranı, bu çalışmada 0,243(3) değerinde elde edilmiştir. İkinci bileşenin sıcaklığı 6090 K olarak verilmiş, bileşenlerin yarıçapları ise sırasıyla Güneş biriminde 1,80 ve 1,79 olarak verilmiştir. AO Ser için katalogda yer alan bu bilgilerin yenilenmesi açısından, yapılan bu çalışma oldukça önemlidir.

Bulunan sonuçlardan biraz daha ileriye gidilmek istenirse, kaba tahminlerle her iki yıldız IU Per ve AO Ser' e ilişkin birtakım bilgilere ulaşılabilir. Bunun için ilk olarak Eşitlik (8.1)' de verilmiş olan, Budding ve Zeilik (1987) tarafından önerilen ve yıldız bileşeninin kütlelerini hesaplamakta kullanılan formülden yararlanılmıştır.

$$\log M_1 = 0,22 * [ \log(1 + q) + 2 * \log P + 3 * \log r_1 + 6 * \log T_1 - 20,99 ] \quad (8.1)$$

Yıldızların ışık eğrisi analizlerinden belirlenen kütle oranı ile de ikinci bileşenlerin kütleleri hesaplanmıştır.

$$q = M_2 / M_1 \quad (8.2)$$

Her iki bileşenin ayrı ayrı kütleleri bilindiğinden Kepler Yasası ( $M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2}$ ) kullanılarak, sistemlerin yörünge yarı-büyük eksen uzunlukları hesaplanmıştır.

$$R_1 = a r_1 \quad (8.3)$$

formülü ile birinci bileşenin yarıçapı hesaplanmıştır.  $R_2 = a r_2$  formülünden ikinci bileşenin yarıçapı hesaplandıktan sonra

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (8.4)$$

formülü kullanılarak her iki bileşenin bolometrik ışıtmaları hesaplanmıştır. Burada T sıcaklıkları, birinci bileşenler için daha önce belirtilmiş ve ikinci bileşen için ise analiz sonucu belirlenmiştir.

$$g = g M/R^2 \quad (8.5)$$

Çekim ivmeleri için (8.5) Eşitliği her iki yıldızın bileşenleri için ayrı ayrı yazılıp  $\log g$  değerleri hesaplanmıştır. Bileşenlerin bolometrik parlaklıkları kadir cinsinden,

$$M_{bol} = M_{bol} - 2,5 \log(L/L) \quad (8.6)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Budding ve Demircan (2007)' in çalışmasında yer alan tablodan yararlanarak, yıldızların birinci bileşenlerinin bilinen tayf türlerine göre bolometrik düzeltmeler BC belirlenmiştir. Böylece,

$$M_v = M_{bol} - BC \quad (8.7)$$

eşitliği yardımıyla görsel mutlak parlaklıklar hesaplanmıştır. Buradan sonra sistem için görsel mutlak parlaklık,

$$M_{v,1} - M_{v,12} = -2,5 \log \frac{l_1}{l_{12}} \quad (8.8)$$

denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Görsel parlaklıklar  $m_{v,12}$ , literatürden bilinmektedir.  $M_{v,12}$  için (8.8) Eşitliği kullanılmıştır. Öyleyse Eşitlik (8.9) yardımıyla kabaca uzaklık hesabı yapılabilir.

$$m_{v1,2} - M_{v1,2} = 5 \log d - 5 \quad (8.9)$$

Bu yöntemlerle IU Per ve AO Ser için elde edilen mutlak parametreler Tablo 8.1' de listelenmiştir. Her iki sistemin de tayf verisi olmadığından elde edilen değerler tahmin niteliğindedir. Sistemlerin parametrelerin çok daha duyarlı olarak belirlenebilmesi için tayfsal verilerine ihtiyaç vardır.

Bu çalışma, literatürde yeterli verisi olamayan IU Per ve AO Ser' in ışık eğrisi çözümlerinin yapılması ve var olan bilgilerin yenilenmesi açısından önemlidir. Sistemlere ilişkin elde edilen sonuçlar ve kütle oranlarına göre çizilen Roche modelleri, her iki sistemin de yarı-ayrık Algol türü örten çiftler olduklarını doğrular niteliktedir.

Tablo 8.1. IU Per ve AO Ser için hesaplanan mutlak parametreler.

Parametre	IU Per	AO Ser
$a(R)$	5,28	5,06
$R_1(R)$	1,98	1,45
$R_2(R)$	1,68	1,44
$L_1(L)$	18,74	12,12
$L_2(L)$	1,29	1,19
$\log g_1(\text{cgs})$	4,16	4,35
$\log g_2(\text{cgs})$	3,85	3,75
$M_1(M)$	1,97	1,75
$M_2(M)$	0,73	0,42
$M_{\text{bol},1}$	1,496	2,034
$M_{\text{bol},2}$	4,459	4,546
$M_{v,1}$	1,512	2,142
$BC_1$	-0,016	-0,108
$M_{v,12}$	1,461	2,062
$d(\text{pc})$	642	737

## KAYNAKLAR

- Al-Naimiy, H. M. K., Mutter, A. A. A., Flaih, H. A. ve Al-Roubaie, A. H. A., 1984. Photoelectric Observations of the Eclipsing Variable beta Persei. *Information Bulletin on Variable Stars*, 2520: 374-676.
- Berman, L., 1973. *Exploring The Cosmos*. Little, Brown & Company (Canada) Limited. 254-254.
- Brancewicz, H. K. ve Dworak, T. Z., 1980. A Catalogue of Parameters for Eclipsing Binaries. *Acta Astronomica*, 30: 501-524.
- Budding, E. ve Zeilik, M., 1987. An Analysis Of The Light Curves Of Short Periods RS Canum Venaticorum Stars: Starspots and Fundamental Properties. *The Astrophysical Journal*, 319: 827-835.
- Budding, E. ve Demircan, O., 2007. *Introduction to Astronomical Photometry*. Cambridge University Press, Cambridge. 67 p.
- Burnett, B. J., Etzel, P. B. ve Olson, E. C., 1993. New Six-Color Intermediate-Band Photometry and Photometric Solutions For U Cephei. *The Astronomical Journal*, 106: 1627-1638.
- Claret, A., 2004. A New Non-Linear Limb-Darkening Law For LTE Stellar Atmosphere Models III. Sloan filters: Calculations For  $-5.0 = \log [M/H] = +1$ ,  $2000 \text{ K} = T_{\text{eff}} = 50 \text{ 000 K}$  at Several Surface Gravities. *Astronomy and Astrophysics*, 428: 1001-1005.
- Çakırlı, Ö., Güngör, C. ve İbanoğlu, C., 2008. Yeni Bir Küçük Kütleli Örtün Çift Yıldız: NSVS 02502726. *XVI. Ulusal Astronomi Kongresi, V. Ulusal Öğrenci Kongresi*. ÇOMÜ Yayınevi, Çanakkale, 1110 s.
- de Jager, C. ve Nieuwenhuijzen, H., 1987. A New Determination Of The Statistical Relations Between Stellar Spectral And Luminosity Classes And Stellar Effective Temperature And Luminosity. *Astronomy and Astrophysics*, 177: 217-227.

- Diethelm, Roger, 2003. 162-nd List of Minima Timings of Eclipsing Binaries by BBSAG Observers. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5438: 1-11.
- Dworak, T. Z., 1975. A Catalogue Of Photometric Parallaxes Of Eclipsing Binaries. *Acta Astronomica*, 25: 383-416.
- Eaton, J. A. ve Hall, D. S., 1979. Starspots As The Cause Of The Intrinsic Light Variations in RS Canum Venaticorum Type Stars. *The Astrophysical Journal*, 227: 907-922.
- Faulkner, D. R., 1986. Epochs Of Minimum Light For 27 Eclipsing Binaries. *Publication Of The Astronomical Society Of The Pacific*, 98: 690-695.
- Hamzaoğlu, M., Hamzaoğlu, E. ve Eker, T., 1982. Photoelectric Observations Of W UMa (BD+56 1400). *Information Bulletin on Variable Stars*, 2152: 1-2.
- Harmanec, P., Morand, F., Bonneau, D., Jiang, Y., Yang, S., Guinan, E. F., Hall, D. S., Mourard, D., Hadrava, P., Bozic, H. ve 7 coauthors, 1996. Jet-like structures in  $\beta$  Lyrae. Results of optical interferometry, spectroscopy and photometry. *Astronomy and Astrophysics*. 312: 879-896.
- Hilditch, R. W., 2001. *An Introduction to Close Binary Stars*. Cambridge University Pres, United Kingdom. 157 p.
- İbanoğlu, C., 2004. *Çift Yıldızlar*. Ege Ün. Basımevi, İzmir. 8 s.
- İbanoğlu, C., 2000. *Örten Çift Yıldızlar*. Ege Ün. Basımevi, İzmir. 4-10 s.
- Kaufmann, William J., 1977. *Astronomy: The Structure of the Universe*. Macmillan Publishing Co., Inc., New York. 220 p.
- Kim, S.-L., Kang, Y. B., Koo, J.-R., Mkrtichian, D. E. ve Lee, J. W., 2004. Discovery Of A Short-Periodic Pulsating Component in The Algol-Type Eclipsing Binary System AO Ser. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5538: 1-4.

- Kim, S.-L., Lee, J. W., Koo, J.-R., Kang, Y. B. ve Mkrtichian, D. E., 2005. Discovery Of A Short-Periodic Pulsating Component in The Algol-Type Eclipsing Binary System IU Per. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5629: 1-4.
- Kiss, L. L., Csak, B., Szatmary, K., Furesz, G. ve Sziladi, K., 2000. Spectrophotometry and Period Analysis Of The sdB Eclipsing Binary HW Virginis. *Astronomy and Astrophysics*, 364: 199-204.
- Kotkova, L. ve Wolf, M., 2006. Precise CCD Times of Minima of Selected Eclipsing Binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5676: 1-4.
- Kwee, K. K. ve van Woerden, H., 1956. A Method For Computing Accurately The Epoch Of Minimum Of An Eclipsing Variable. *Bulletin Of The Astronomical Institutes Of The Netherland* , 464: 327-329.
- Lucy, L. B., 1967. Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes. *Zeitschrift für Astrophysik*, 65: 89-92.
- Özdemir, S., Gürol, B. ve Demircan, O., 2005. *Astronomi ve Astrofizik*. BRC Basım, Ankara. 241-252 s.
- Qian, Shengbang, 2001. Possible Mass and Angular Momentum Loss in Algol-Type Binaries. III. TU Cancri, FZ Delphini, AY Geminorum, VZ Leonis, FH Orionis, IU Persei, XZ Persei, and BE Vulpeculae. *The Astronomical Journal*, 121: 1614-1622.
- Rucinski, S. M., 1969. The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes. *Acta Astronomica*, 19: 245-255.
- Soydugan, E., Demircan, O., Akan, M. C. ve Soydugan, F., 2003. A Binary Star With A  $\delta$  Scuti Component: AB Cassiopeiae. *The Astronomical Journal*, 126: 1933-1938.
- Soydugan, E., 2005. Delta Scuti Bileşenli Örten Çift Sistemlerin Işıkkölçümü (Doktora Tezi). Ege Üniversitesi, İzmir.

- Soydugan, E., İbanoğlu, C., Soydugan, F., Akan, M. C. ve Demircan, O., 2006. The Connection Between The Pulsational And Orbital Periods For Eclipsing Binary Systems. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, 366: 1289-1294.
- Soydugan, E., Soydugan, F., Demircan, O. ve İbanoğlu, C., 2006b. A Catalogue Of Close Binaries Located in The  $\delta$  Scuti Region Of The Cepheid Instability Strip. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, 370: 2013-2024.
- van Hamme, W., 1993. New Limb-Darkening Coefficients For Modeling Binary Star Light Curves. *The Astronomical Journal*, 106: 2096-2117.
- van Hamme, W. ve Wilson, R. E., 2003. Stellar Atmospheres in Eclipsing Binary Models. *Astronomical Society Of The Pacific Conference Series*, 298: 323-328.
- van Schewick, H., 1941. Photographische Und Visuelle Beobachtungen Von Veranderlichen. *Astronomische Nachrichten*, 272: 197-199.
- von Zeipel, H., 1924. The Radiative Equilibrium Of A Rotating System Of Gaseous Masses. *Monthly Notices Of The Royal Astronomical Society*, 84: 665-684.
- Wilson, R. E. ve Devinney, E. J., 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *The Astrophysical Journal* , 166: 605-619.
- Zhang, X-B., Zhang, R-X., Li, Qi-Sheng, 2008. The Semi-Detached Binary System IU Per and Its Intrinsic Oscillation. *Chinese Journal Of Astronomy and Astrophysics*, 8063: 1-12.



## TABLULAR

<b>Tablolar</b>		<b>Sayfa</b>
Tablo 6.1	Gözlenen yıldızlara ilişkin bilgiler.	35
Tablo 6.2	IU Per' in V renginde elde edilen ışık ölçüm çözümleri.	40
Tablo 7.1	Gözlenen yıldızlara ilişkin bilgiler.	42
Tablo 7.2	AO Ser' in ışık ölçümünden elde edilen çözümler.	46
Tablo 8.1	IU Per ve AO Ser için hesaplanan mutlak parametreler.	50

## ŞEKİLLER

Şekiller		Sayfa
Şekil 2.1.	Görsel bir çiftin görünen görelî yörüngesi gerçek görelî yörüngenin gökyüzü düzlemi üzerindeki izdüşümüdür. Görelî yörüngede başyıldız, yoldaş yıldızın hareketinin merkezinde kabul edilir.	5
Şekil 2.2.	Ortak kütle merkezi etrafında dolanan bir örten çift yıldız sistemi. Küçük yarıçaplı yıldızın tamamen örtüldüğü durum kesikli olarak ifade edilmiştir (Kaufmann, 1977).	7
Şekil 2.3.	Örten bir çift sistemin konumları ve bu konumlara göre ışık eğrisi değişimi.	8
Şekil 2.4.	Tam tutulma ve halkalı tutulma durumu ve bu durumlarda elde edilecek ışık eğrileri (Berman, 1973).	9
Şekil 2.5.	Parçalı tutulma durumu ve bu durumda elde edilebilecek ışık eğrisi.	9
Şekil 2.6.	$\beta$ Persei (Algol) yıldızının V filtresindeki ışık eğrisi (Al-Naimiy ve diğ., 1984).	10
Şekil 2.7.	$\beta$ Lyrae' in V filtresindeki ışık eğrisi (Harmanec ve diğ., 1996).	11
Şekil 2.8.	W UMa' nın B ve V filtrelerindeki ışık eğrisi (Hamzaoğlu ve diğ., 1982).	12
Şekil 3.1.	km ortak kütle merkezine sahip $M_1$ ve $M_2$ kütleleri arasındaki mesafe $a$ birim uzaklığı ile verilmiştir.	14
Şekil 3.2.	Bir çift yıldızın eş-potansiyel yüzey çizgileri ve Lagrange noktaları.	16
Şekil 3.3.	Kendi Roche lobları içinde olan ayrık bir çift yıldız sistemi.	17
Şekil 3.4.	Bileşenlerden birisi kendi Roche lobunu doldurmuş, diğeri doldurmamış olan yarı-ayrık sistem; AB Cas (Soydugan, 2005).	17
Şekil 3.5.	(a) Her iki bileşenin de Roche lobunu doldurduğu değen sistem. (b) Ortak zarfla çevrilmiş aşırı değen sistem.	18
Şekil 4.1.	Kenar kararma yasaının açıklanması. $OA = 1$ birim uzunluk, $AB = R \cos \gamma$ , $r = R \sin \gamma$ .	19
Şekil 4.2.	Güneş' in kenar kararması etkisinin görüldüğü, beyaz ışıktaki disk görüntüsü.	21
Şekil 4.3.	Kenar kararması etkisi ile minimum çukurları yuvarlaklaşır	21
Şekil 4.4.	Yansıma olayının HW Vir' in ışık eğrisindeki etkisi (Kiss ve diğ., 2000).	22

Şekil 4.5.	Farklı değerlerle temsil edilen yarıçaplar.	23
Şekil 4.6.	Örten değişen yıldızlarda armutlaşmanın ve madde akımının ışık eğrisine etkisi, tutulma başlangıç ve bitişini bozduğu gibi tutulma dışında da parlaklık değişimine sebep olur	23
Şekil 4.7.	Leke etkisi gözlenen RS CVn' nin ışık ve kuramsal eğrisi. (Eaton ve Hall, 1979).	25
Şekil 4.8.	Kütle transferinin U Cep' in ışık eğrisine etkisi (Burnett ve diğ., 1993).	26
Şekil 4.9.	Işık eğrisi üzerinde çekim kararmasının etkisi (Çakırlı ve diğ., 2008).	27
Şekil 4.10.	Eksen dönmesi olayının, ışık eğrisi üzerindeki etkisi.	28
Şekil 4.11.	Üçüncü cismin etkisiyle sistemin yörünge dönemi değişir ve belli dönemlerle minimumlar, ışık eğrisinde olması gereken evrelerin sağında veya solunda olurlar.	29
Şekil 4.12.	AB Cas' in B filtresindeki ışık eğrisinde zonklama etkisi özellikle maksimum evrelerde belirgin biçimde gözükmektedir (Soydugan ve diğ., 2003).	30
Şekil 5.1.	Küresel koordinat düzeneği: kutupsal açı $\theta$ , $0-180^0$ arasında değişir; azimut açısı $\phi$ ise $0-360^0$ arasında değişir.	33
Şekil 6.1.	IU Per' in B ve V filtrelerindeki ışık eğrisi.	36
Şekil 6.2.	(a) q taraması, (b) İkinci bileşen için sıcaklık taraması.	38
Şekil 6.3.	IU Per' in V filtresindeki normalize edilmiş gözlem noktaları ve WD çözümünden elde edilen kuramsal eğrisi.	39
Şekil 6.4.	IU Per' in $q=0,372$ için Roche gösterimi.	39
Şekil 7.1.	AO Ser' in B ve V filtrelerindeki ışık eğrisi.	42
Şekil 7.2.	(a) Kütle taraması sonucunda elde edilen eğri, (b) Sıcaklık taraması sonucunda elde edilen eğri.	44
Şekil 7.3.	AO Ser' in B ve V filtrelerindeki normalize gözlem noktaları ve kuramsal eğrileri.	45
Şekil 7.4.	AO Ser' in $q=0,227$ için Roche gösterimi.	45

## YAŞAM ÖYKÜSÜ

**Adı, Soyadı:** Emine KOPARAN

**Doğum Yeri/Yılı :** Çorum / 1982

### Öğrenim Bilgileri:

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	Fizik (2001-2005)	Lisans
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	Astrofizik (2005-2008)	Yüksek Lisans

### Katıldığı Etkinlikler:

XVI. Ulusal Astronomi Kongresi ve V. Ulusal Astronomi ve Öğrenci Kongresi	Çanakkale Onsekiz Mart Üniv.	8-12 Eylül 2008
VI. Temel Bilimler Lisansüstü Yazokulu, IRAF ve Tayfsal İndirgeme	İstanbul Kültür Üniv.	11-17 Ağustos 2008

### İçinde Bulunduğu Projeler:

Bakış, V., Soydugan, F., Demircan, O., **Koparan, E.**, “Seçilen iki Algol Türü Çift Yıldızın Fotometrik ve Tayfsal Çalışması”, 2008, kod: 2008/37, BAP Projesi, *devam ediyor*.