

T C  
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI

RS CV<sub>n</sub> TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT YILDIZ  
RT ANDROMEDAE'NİN  
YÖRÜNGE DÖNEM ANALİZİ

114239

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mülayim GÜRE

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ  
DOKÜMANİSTAN ÇANAKKALE

ÇANAKKALE-2001

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu araştırma jürimiz tarafından Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Cafer İBANOĞLU

Üye : Doç. Dr. İhsan YILMAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail TARHAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüsnü BAYSAL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ERDEM

*Cafer İbanoğlu*

*İhsan Yılmaz*

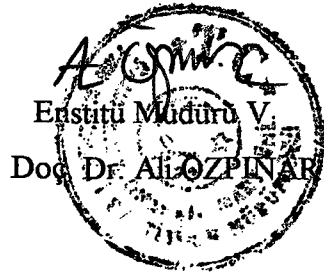
*İsmail Tarhan*

*Hüsnü Baysal*

*Ahmet Erdem*

Kod No: 29

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZ .....	i
ABSTRACT .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	---
ÇİZELGELER .....	iii
ŞEKİLLER .....	iv
EKLER .....	---
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	3
2.1. ÖRTEN DEĞİŞEN ÇİFT YILDIZLAR .....	3
2.2. ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN GÖZLEMLERİ .....	4
2.2.a IŞIK EĞRİLERİ .....	4
2.2.b DİKİNE HIZ EĞRİLERİ .....	5
2.3. ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN SINIFLAMASI .....	7
2.3.a ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN IŞIK EĞRİLERİNE GÖRE SINIFLAMASI .....	7
2.3.b ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN ROCHE MODELİNE DAYALI SINIFLAMASI .....	8
2.4 MİNİMUM / TUTULMA ZAMANLARI .....	10
2.5 O-C DİYAGRAMI .....	11
2.6 YÖRÜNGE DÖNEMİ DEĞİŞİMİ .....	13
2.6.a KÜTLE AKTARIMI .....	14
2.6.b KÜTLE KAYBI .....	17
2.6.c ÇEKİMSEL IŞINIM YOLU İLE ENERJİ KAYBI .....	21
2.6.d ÇEVİRİMSEL MANYETİK AKTİVİTE .....	23

2.6.e ÜÇÜNCÜ CİSİM NEDENİYLE IŞIK-ZAMAN ETKİSİ.....	30
2.6.f EKSEN DÖNMESİ.....	36
2.7 RT AND.....	40
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	48
4.1 KÜTLE KAYBI.....	48
4.2 ÜÇÜNCÜ CİSİM AÇIKLAMASI .....	50
4.3 MANYETİK AKTİVİTE .....	54
4.4 IŞIK DEĞİŞİMİ .....	56
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	60
6. ÖZET .....	61
7. SUMMARY .....	63
8. KAYNAKLAR .....	65
TEŞEKKÜR .....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	71
EKLER .....	---

## ÖZ

RS CVn türü örten çift yıldız RT And'ın yayınlanmış minimum zamanları literatürden toplanarak sistemin yörünge dönemindeki değişim için O-C analizi yapılmıştır. Sistemin yörünge döneminin parabol üzerine binmiş sinüs salınımları şeklinde olduğu saptanmıştır. Yörünge dönemindeki bu tür değişim, (i) sistemde kütle kaybı ya da kütle aktarımı, (ii) görülemeyen üçüncü bir cismin varlığı ve (iii) konvektif katmanda manyetik etkinlikle ilgili bozulmalar açısından tartışılmıştır. Ayrıca, RT And çift yıldızının yayınlanmış ışık eğrileri literatürden toplanarak sistemin ışık eğrilerinde görülen asimetrieler incelenmiş ve sistemin ışık değişiminde rol oynadığı varsayılan manyetik etkinlikle yörünge dönemi değişimi arasında bir ilişki aranmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Örten değişen çift yıldızlar - RT And: yörünge dönemi değişimi, ışık değişimi.

## **ABSTRACT**

The (O-C) diagram formed by all available published times of minima of RT Andromedae were intensively analyzed to deduce the general form of period variation for RT And. It is established that the orbital period change of the system has a quasi-sinusoidal form superposed on a downward parabola. Such variations of the orbital period have been examined in terms of three plausible mechanisms, namely (i) mass loss or mass transfer, (ii) a light-time effect due to an unseen third star in the system, and (iii) a orbital period modulation due to magnetic activity cycle of a component star. Only the future data will add information on the nature of the secular (O-C) variation. Secular light variation of the system was also studied and was found no correlation with the orbital period variation.

**Key words:** stars: binaries: close – stars: individual: RT Andromedae – orbital period variation – light changes.

## ÇİZELGELER

Çizelge No:	Çizelge Adı:	Sayfa No:
Çizelge 2.1	Yörünge dönemi değişim türleri	14
Çizelge 3.1	RT And'ın literatürden toplanan minimum zamanları	45
Çizelge 4.1	RT And sistemi için (4.2) bağıntısı ile verilen ışık-zaman gecikmesinin en iyi fit edilen öğeleri	52
Çizelge 4.2	Yörünge eğikliğine bağlı olarak üçüncü cismin alabileceği kütle değerleri	52
Çizelge 4.3	RT And sistemi için (4.6) bağıntısı ile verilen sinüs eğrisinin en iyi fit edilen öğeleri	55
Çizelge 4.4	RT And'ın literatürden toplanan ışık eğrilerinde V renginde ölçülen Max I (0.25 evre), Max II (0.75 evre), Min I (0.0 evre) ve Min II (0.50 evre) parlaklık düzeyleri.	57

## ŞEKİLLER

Şekil No:	Şekil Adı:	Sayfa No:
Şekil 2.1	Parlaklık-zaman grafiği (ışık eğrisi)	4
Şekil 2.2	Yörüngesi bakış doğrultusu ile çakışık bir çift yıldız üyesinin çeşitli konumlardaki dikine hız bileşenleri	6
Şekil 2.3	Dikine hız eğrisi	6
Şekil 2.4	Algol türü bir çift yıldızın ışık eğrisi	7
Şekil 2.5	$\beta$ Lyrae türü çift yıldızın ışık eğrisi	8
Şekil 2.6	W Uma türü çift yıldızın ışık eğrisi	8
Şekil 2.7	Ayrık sistem	9
Şekil 2.8	Yarı-ayrık sistem (birinci bileşen Roche lobunu doldurmuştur.)	9
Şekil 2.9	Değen çift yıldızlar	10
Şekil 2.10	Fazla değen çift yıldız	10
Şekil 2.11	Işık eğrisinde $T_0$ ve $P$ 'nin gösterimi	10
Şekil 2.12	$T_0$ başlangıç tarihi ve $P$ döneminin özürlerine göre $y=O-C$ değişimi, $\epsilon(T_0)=T$ nin özürü, $\epsilon(P)=P$ nin özürüdür.	12
Şekil 2.13	Ortak kütle merkezi etrafında hareket	22
Şekil 2.14	Çift yıldızın üçlü sistemin kütle merkezi etrafında dolanma hareketi	31
Şekil 2.15	Çift sistemin yörüngesine benzetilerek üçlü sistemin yörüngesinin gösterimi	33
Şekil 2.16	Yörünge eksenini dönen bir örten çift yıldızın konumları (KIZILIRMAK, 1974)	37
Şekil 3.1	RT And'ın O-C diyagramı	44
Şekil 4.1	RT And'ın 4.1 bağıntısının doğrusal kısmı kullanılarak hesaplanan O-C farklarının parabolik değişimi. Diyagramın alt kısmında gözlem verisi ile fit edilen kuramsal eğri arasındaki farklar gösterilmektedir.	49



Şekil No:	Şekil Adı:	Sayfa No:
Şekil 4.2	O-C değerleri ve fit edilen kuramsal parabolik eğri arasındaki farklar ve bu farklara fit edilen ışık-zaman gecikmesinin kuramsal eğrisi.	51
Şekil 4.3	RT And ile görülmeyen üçüncü cismin birlikte oluşturdukları (önerilen) konfigürasyon	53
Şekil 4.4	Gözlemsel O-C değerleri ile fit edilen kuramsal parabolik eğri arasındaki fark verisi ve bu farklara fit edilen kuramsal sinüs eğrisi	55
Şekil 4.5	RT And'ın $0^p.25$ , $0^p.75$ , $0^p.0$ ve $0^p.5$ evrelerinde ölçülen V rengindeki parlaklık düzeyinin yıllara göre değişimi	58

## 1. GİRİŞ

Örten çift yıldızlar, astrofizikçiler için doğal bir uygulama laboratuvarıdır. Örten çiftlerin verileri, yıldız kütle ve yarıçaplarının hesaplanmasının da ötesine uzanmaktadır. Yıldız oluşumu mekanizması, yıldız gelişimi, manyetik aktivite, gel-git etkinliği, kütle aktarımı ve kütle kaybı, açısal momentum aktarımı veya kaybı gibi konuların araştırılmasına olanak sağlarlar. Bu olanaklar, duyarlı gözlemlerin yapılması, yeni teori ve modellerin geliştirilmesi ile orantılı olarak artmaktadır.

Yörünge dönemindeki değişimler, örten çift yıldız sistemlerinin hemen hemen tümünde görülen ortak bir özelliktir. Bu değişimler çözümlenerek, incelenen sistem için kütle aktarımı veya kaybı, içyapı ve gelişim, eksen dönmesi, uzak ve görülemeyen üçüncü bileşenin varlığı, bileşenlerin yakınlığı nedeniyle ortaya çıkan gel-git etkileşimleri gibi konularda bilgiler üretilebilmektedir.

Birçok teorik model örten çift yıldızlarda meydana gelen yörünge dönemi değişimlerini açıklamaktadır. Uygulanan modellerin çoğu, eksen dönmesi ve görülemeyen üçüncü cismin neden olduğu değişimler içindir. İki olay da dönemli değişimi gerektirmektedir. Yapılan gözlemler, dönemli olmayan fakat dalga benzeri biçimindeki bozunmaların (modülasyon) varlığını da göstermektedir. VAN BUREN (1986) gözlediğimiz bazı değişimleri oluşturduğu literatürde önerilen üçüncü cisimlerin hem kütlelerinin yeterli olamayacağını hem de üçüncü cismin varlığını kanıtlayamayacak kadar ölçülemez sönüklükte olabileceğini göstermiştir. Eksen dönmesi ise yörünge basık olmasını gerektirmektedir. Ancak, yörünge dışmerkezliliğinin çok küçük yada sıfır olduğu durumlarda dönemli dönem değişimi gösteren sistemler de vardır.

Son yıllarda özellikle geri tayf türüne sahip örten çiftlerin yörünge dönemlerinde gözlenen bozunmaları (modülasyon) ortaya çıkaran fiziksel mekanizmanın bileşenlerin birinde yada her ikisinde görünen manyetik aktivite olduğuna ilişkin çalışmalar yapılmaktadır (HALL, 1990; APPLGATE, 1992; LANZA and RODONO, 1999). Bu çalışmalarda APPLGATE (1992) tarafından sunulan Applegate mekanizması özellikle RS CVn türü değişen yıldızlarda

görünen yörünge dönemi bozunmalarının açıklamasında başarılı olmaktadır. Bu mekanizma yakın çift sistemlerde dönmenin yörüngeye bağlılığı (spin-orbit coupling) nedeni ile bileşenlerden birinin dönme hızında oluşacak çevrimsel bir değişimi doğrudan çiftin yörünge hızının dolayısıyla yörünge döneminin çevrimsel bir değişim göstermesine olanak tanır.

Bu tezin amacı, örten çift yıldızların yörünge dönemlerinde gözlenen değişimleri ve bu değişimleri ortaya çıkaran olası fiziksel mekanizmaları sunmak ve bir uygulama olarak RS CVn türü değişen çift yıldız RT Andromedea'nın dönem değişimini yeni veriler ışığı altında incelemektir.

RT And, RS CVn türü kısa dönemli örten değişen bir çift yıldızdır. Işık eğrisi hem tutulmada hem tutulma dışında büyüklük ve biçimce değişim göstermektedir. RT And, ayrık bir sistemdir (PRIBULLA et al., 2000). AREVALO et al. (1995) tarafından sistemin tayf türü GOV+K2V olarak verilmiştir. Sistemin yörünge dönemi değişmektedir. Bu değişim için literatürde sunulan olası fiziksel mekanizmalar; manyetik frenleme (HALL and KREINER, 1980; DEMİRCAN, 1998), sistemde bir üçüncü cisim nedeni ile ışık zaman etkisi (BORKOVİTS and HEGEDÜS,1996; ALBAYRAK, et al. 1999) ve baş bileşenin çevrimsel manyetik aktivitesi (LANZA and RODONO, 1999) biçimindedir. PRIBULLA et al. (2000), yaptıkları ayrıntılı yörünge dönemi analizinde, yörünge dönemi değişiminden manyetik frenlemeye eşlik eden ışık-zaman etkisinin ya da üçüncü ve dördüncü cisimlerin oluşturdukları ışık-zaman etkisinin sorumlu olabileceğini önermektedir.

Tezin ikinci bölümünde örten çift yıldızlara ilişkin temel tanımlar, örten çift yıldızların yörünge dönemi değişim türleri ve bu değişimlerin nedeni olarak literatürde önerilen fiziksel mekanizmalar sunulmaktadır. Tezin üçüncü bölümünde RT And örten çift sisteminin gözlenen yörünge dönemi değişimi için O-C diyagramı verilmekte; dördüncü bölümde ise sistemde gözlenen bu yörünge dönemi değişimi için literatürden seçilen olası mekanizmalar tartışılmaktadır. Ayrıca bu bölümde sistemin ışık eğrisinin yıllara göre nasıl bir değişim gösterdiği de incelenmektedir. Tezin beşinci bölümünde yapılan çalışmanın sonuç kısmı verilmektedir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1 Örten Değişen Çift Yıldızlar

Karşılıklı çekim kuvveti altında ortak kütle merkezi etrafında kapalı yörüngeler çizen iki yıldızın oluşturduğu dizgeye çift yıldız denir.

Çift yıldızlar, kullanılan gözlem aracı ve gözlem duyarlılığına bağlı olarak aşağıdaki biçimde sınıflandırılabilir.

- (i) Görsel Çift Yıldızlar: Teleskop kullanılarak çıplak gözle çift yıldız oldukları anlaşılan sistemlerdir.
- (ii) Astrometrik Çift Yıldızlar: Teleskopta tek yıldız olarak görülür. Ancak yıldızın uzay hareketi çift yıldız olduğunu gösteren sinüs eğrisi çizer.
- (iii) Tayfsal Çift Yıldızlar: Teleskopta tek yıldız olarak görülür. Ancak yıldızın tayfında iki bileşene ilişkin çizgiler olup tayf çizgileri Doppler kayması gösterir.
- (iv) Spekturum Çift Yıldızlar: Teleskopta tek yıldız olarak görülür. Yıldızın tayfında iki bileşene ilişkin çizgiler vardır. Ancak bileşenlerin birbirine aşırı yakınlığı nedeniyle tayf çizgileri Doppler kayması göstermez.
- (v) Örten Çift Yıldızlar: Çift yıldızın ortak yörünge düzlemi gözlemcinin bakış doğrultusuna yakınsa iki yıldız birbirini örter ve çiftin toplam parlaklığında dönemli değişimler meydana gelir. Böylesi ışık değişimlerinden çift oldukları belirlenenlere örten çift yıldızlar denir.

Örten çift yıldızlar, fotometrik gözlemleri kolay yapılabilen çift yıldızlardır. Örneğin küçük bir teleskop ile bu tür çift yıldızların fotometrik gözlemleri kolaylıkla yapılabilir. Bu tür çift yıldızlar üzerinde çalışmanın bir diğer önemli avantajı, gözlemlerin analizi sonucu yıldızlara ilişkin önemli verilerin elde edilmesidir. Analiz sonucunda,

- (i) bileşenlerin görel yarıçapları,
- (ii) bileşenlerin görel parlaklıkları,

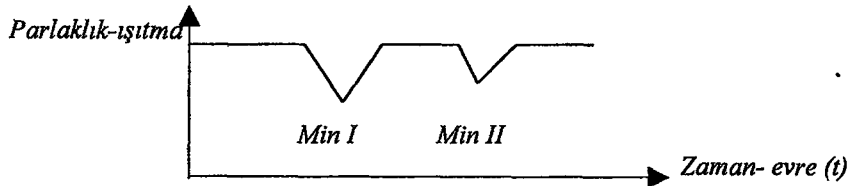
- (iii) ortak yörünge düzlemi ile gökyüzü düzlemi arasındaki açı yani yörünge eğikliği,
- (iv) yıldızların küresel yapıdan sapmaları,
- (v) kenar karama katsayıları,
- (vi) birbirini üzerinden yansıttıkları ışık miktarları,
- (vii) tayf verisi ile ışık eğrisi verisi birleştirildiği zaman bileşenlerin mutlak parametreleri yani bileşenlerin  $m_1$ ,  $m_2$  kütleleri,  $R_1$ ,  $R_2$  yarıçapları  $L_1$ ,  $L_2$  ışıtmaları ve  $g_1$ ,  $g_2$  çekim ivmeleri,
- (viii) dönme hızları ve aralarındaki gaz akımları,
- (ix) sıcaklıkları,
- (x) geometrik yapıları, evrim safhaları ve
- (xi) kimyasal yapıları bulunabilir.

## 2.2 Örten Çift Yıldızların Gözlemleri

### 2.2.a Işık Eğrileri

Değişen yıldızın gözlemine başlamadan önce uygun bir mukayese yıldızı ve denet yıldızı seçilir. Mukayese yıldızı, parlaklığı zamanla değişmeyen yıldız olmalıdır. Denet yıldızı olarak, mukayese yıldızının değişken olup olmadığını kontrol amacı ile, değişen olmadığı bilinen bir başka yıldız kullanılır. Yapılan gözlemler ile değişen yıldızın mukayese yıldızına göre parlaklığının zamana göre değişimi elde edilir. Elde edilen bu değişime ışık eğrisi denir.

Bir örten çiftin bir dönemlik ışık eğrisinde iki minimum çukuru görülür. Eğer yıldızlardan biri daha sıcaksa sıcak yıldızın örtülmesi sonucu oluşan daha derin minimuma baş minimum (Min I) ve soğuk yıldızın örtülmesi sonucu oluşan daha sığ minimuma da yan minimum (Min II) denir (bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Parlaklık-zaman grafiği (ışık eğrisi).

## 2.2.b Dikine Hız Eğrileri

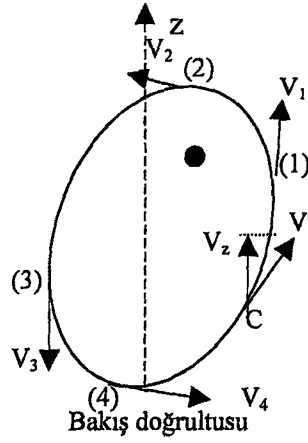
Eğer bir çift yıldız sisteminin yörünge düzlemi gökyüzü düzlemine yapışık değil ise (yani gözlemcinin bakış doğrultusuna dik değil ise) dolanma hareketi yapan bileşen, bu hareketinden dolayı, gözlemciye dönemli olarak yaklaşır ve uzaklaşır. Yıldızın bakış doğrultusundaki hız bileşenine dikine hız ve bu bileşene dik olanına da teğetsel hız denir.

Eğer hareketli bileşenin gözlemciye göre bir dikine hız bileşeni varsa, o zaman onun tayfında görülen çizgilerin yerlerinin laboratuarda bulunmuş olan yerlerine göre bir miktar kaymış olduğu görülecektir. Laboratuarda ölçülen  $\lambda$  dalgaboyundaki bir çizginin hareketli bir cisimden gelen ışığın tayfında ölçülen değeri  $\lambda'$  olsun.  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$  dalgaboyundaki değişimi ve  $V_r$  cismin dikine hızını gösterebilir. Doppler'e göre cismin dikine hızı

$$V_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad \dots (2.1)$$

olmalıdır. Burada  $c$  ışık hızıdır. Cisim bizden uzaklaşıyorsa  $\lambda' > \lambda$  dolayısıyla  $\Delta\lambda > 0$  olacaktır. Bu durumda çizgi uzun dalgaboyuna (yani kırmızıya doğru) kayar. Tersine cisim bize doğru yaklaşıyorsa  $\lambda' < \lambda$  ve dolayısıyla  $\Delta\lambda$  negatif olur ve çizgi kısa dalgaboyuna (yani maviye doğru) kayar. Buradaki  $V_r$ 'nin görelî harekete ilişkin hız olduğuna dikkat edilmelidir. (Yani gözlemcinin cisme yaklaşması ya da cismin gözlemciye yaklaşması aynı sonucu doğurur. Başka bir deyişle cisim ile aramızdaki uzaklık artıyorsa  $\Delta\lambda > 0$ , azalıyorsa  $\Delta\lambda < 0$  olur.)

Herhangi bir çift yıldız üyesinin tayfı alınabiliyorsa seçilen bir referans çizgisinin dalgaboyu ölçülür ve (2.1) denkleminde göre  $V_r$  dikine hızı hesaplanabilir. Bu işlem çeşitli zaman aralıklarında tekrarlanırsa  $V_r$  nin zamana bağlı değişimi elde edilmiş olur. Yörünge düzleminin gökyüzü düzlemine dik olduğunu varsayalım. Bu konumda, cismin yörünge hızının bakış doğrultusu üzerindeki izdüşümü dikine hız bileşenini verecektir (bkz. Şekil 2.2). Bu hızı  $V_z$  ile gösterelim. Bakış doğrultusu için  $z$  eksenini seçilmiştir.

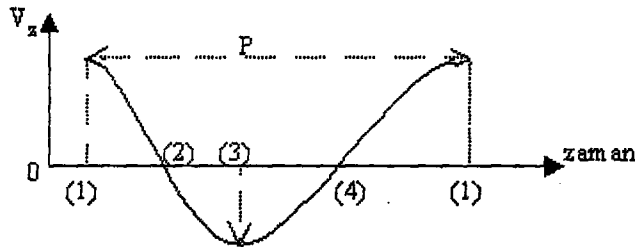


Şekil 2.2 Yörüngesi bakış doğrultusu ile çakışık bir çift yıldız üyesinin çeşitli konumlardaki dikine hız bileşenleri.

$V_z$  Herhangi bir C konumundaki dikine hız olmak üzere

- (1) konumunda  $V_z=V_1$  (en büyük),
- (2) konumunda  $V_z=0$
- (3) konumunda  $V_z=V_3$  (en küçük) ve
- (4) konumunda  $V_z=0$  değerlerini alır.

Şekil 2.2'de görüldüğü üzere iki konumda  $V_z$  bileşeni sıfırdır. (1) konumunda  $V_z$  pozitif  $V_1$  ile özdeş, (3) konumunda da negatif ve  $V_3$  ile özdeşir. Bu durumda  $V_z$  'nin zamana bağlı değişimi çizilecek olursa, Şekil 2.3' te görülen sinüzoidal bir eğri elde edilecektir.



Şekil 2.3 Dikine hız eğrisi.

Bu şekle çift sistemin dikine hız eğrisi denir. Bu eğri art ardına özdeş biçimde tekrar eder ve yörünge hakkında bilgi verir. Yörünge bir daire olsaydı bu eğri tam bir sinüs eğrisi olurdu. Çoğunlukla

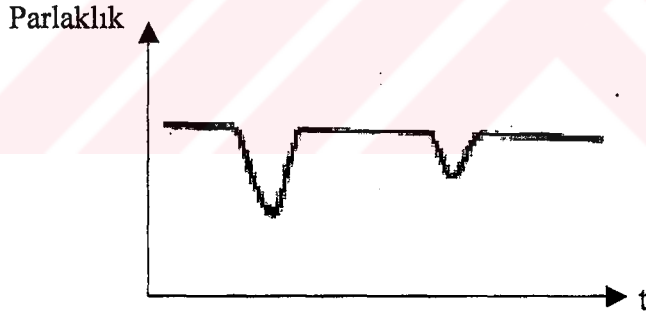
yörünge eğimi (yörünge düzlemi ile gökyüzü düzlemi arasındaki açı) sıfırdan farklı olmaktadır. Eğer  $i=0^{\circ}$  ise dikine hız bileşeni bütün yörünge boyunca sıfır olur. Bundan böyle dikine hız eğrisi de elde edilemez. En elverişli konum  $i=90^{\circ}$ , yani (Şek. 2.2) durumudur.

## 2.3 Örten Çift Yıldızların Sınıflaması

### 2.3.a Örten Çift Yıldızların Işık Eğrilerine Göre Sınıflaması

Örten çiftler, ışık eğrilerinin biçimlerine göre üçe ayrılırlar:

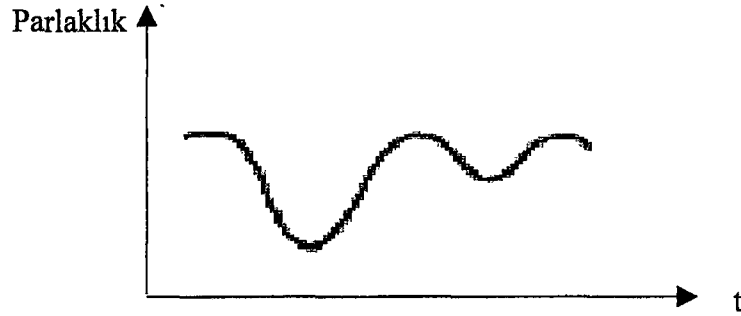
(i) *Algol* Türü Örten Çift Yıldızlar: Çift yıldız bileşenlerinin birbirinden yeterince uzak olması, parlaklığın maksimum olduğu süre boyunca ışık eğrisinin düz bir çizgi biçimini almasına neden olur. Bileşenlerinden biri sıcak diğeri soğuk bir yıldızdır. Bu kısım Algol sisteminde ikinci minimum hissedilemez. Bu tür sistemlerde, minimumlar; sivri ise tutulmalar parçalı, düz ise tutulmalar tamdır.



Şekil 2.4 Algol türü bir çift yıldızın ışık eğrisi.

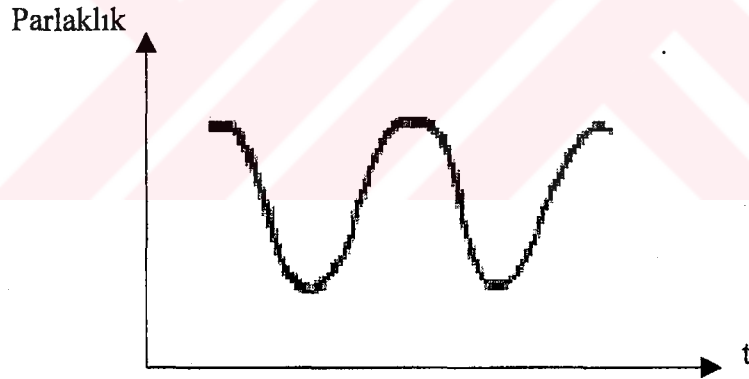
(ii)  *$\beta$  Lyrae* Türü Örten Çift Yıldızlar: Bileşenleri birbirlerine yakın çiftlerdir. Bileşenlerin birbirlerine uyguladıkları çekim kuvveti nedeniyle, iki yıldız da elipsoidal bir şekil almıştır. İki yıldızın gözlemciden görülen yüzeyleri sürekli değişir. Bu yüzden iki bileşenin parlaklığı örtmeler dışında da sürekli değişeceğinden ışık eğrileri her yerde yuvarlaklık gösterir. Baş yıldız daha sıcak yoldaş yıldız daha soğuk olduğu için minimumları ayrık durumdadır.





Şekil 2.5  $\beta$  Lyrae türü çift yıldızın ışık eğrisi.

(iii) W UMa Türü Örtün Çift Yıldızlar: Çok yakın çift yıldızlardır. Bunların ışık eğrileri de her yerde yuvarlaklıklar gösterir. Min I ve Min II çukurluğu hemen hemen eşit görülür. Bu nedenle, kütleleri farklı da olsa bu sistemdeki her iki bileşenin sıcaklıkları birbirine yakındır. İki bileşen arası uzaklık çok küçük olduğundan bu tür çift yıldızlara değen çift yıldızlar denir.



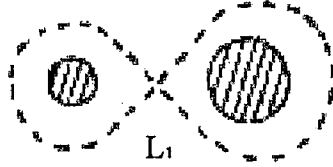
Şekil 2.6 W UMa türü çift yıldızın ışık eğrisi.

### 2.3.b Örtün Çift Yıldızların Roche Modeline Dayalı Sınıflaması

Bir örtün çift yıldız dizgesinde bileşenlerin birbirine çekim kuvveti uyguladıkları açıktır. Bileşenlerin bu karşılıklı etkileşimi göz önüne alınarak karşılıklı çekim potansiyelini ifade eden Poisson denklemi yazılır ve bileşenlerin özel durumları için çözülür. Böylesi özel çözümle elde edilen yakın çift yıldız

modeline Roche modeli denir. KOPAL (1959), Roche modeline göre yakın çift yıldızları üç gruba ayırmıştır:

(i) Ayrık Çift Yıldızlar: Işık eğrileri, genel olarak *Algol* türündendir. Her iki bileşenin ışık kürelerinin (fotosfer) bileşenlere ilişkin Roche loblarının içinde kaldığı çift yıldızlardır. Bileşenler arası etkileşme azdır (bkz. Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Ayrık sistem.

Bu çalışmada uygulama yıldızı olarak ele alınan RT And, bileşenleri kendi Roche loblarını doldurmamış ayrı sistemlerdendir.

(ii) Yarı-Ayrık Çift Yıldızlar: Bunların ışık eğrileri, *Algol* ya da  $\beta$  *Lyrae* türünden olabilir.

Bileşenlerden birinin ışık küresi bileşenin kendi Roche lobuyla çakışan çift yıldızlardır. Bir yıldız Roche lobunu doldurmuş diğeri ise henüz dolduramamıştır (bkz. Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Yarı-ayrık sistem (Birinci bileşen Roche lobunu doldurmuştur).

(iii) Değen Çift Yıldızlar: Değen çift yıldızların ışık eğrileri genelde W UMa türündendir. Bileşenlerin her ikisi de Roche lobunu doldurmuş yıldızlardır. Bileşenlerin küresel yapıları bozulmuştur. İki yıldızın ortak bir zarfla kaplandığı da görülebilir (bkz. Şekil 2.9).

**TÜRKÇE ABSKRAKT ( En fazla 250 sözcük ) :**  
**( TÜBİTAK/ TÜRDOK'un Abskrakt Hazırlama Klavuzu Kullanınız.)**

RS CVn türü örten çift yıldız RT And'ın yayınlanmış minimum zamanları literatürden toplanarak sistemin yörünge dönemindeki değişim için O-C analizi yapılmıştır. Sistemin yörünge döneminin parabol üzerine binmiş sinüs salınımları şeklinde olduğu saptanmıştır. Yörünge dönemindeki bu tür değişim, (i) sistemde kütle kaybı ya da kütle aktarımı, (ii) görülemeyen üçüncü bir cismin varlığı ve (iii) konvektif katmanda manyetik etkinlikle ilgili bozulmalar açısından tartışılmıştır. Ayrıca, RT And çift yıldızının yayınlanmış ışık eğrileri literatürden toplanarak sistemin ışık eğrilerinde görülen asimetrieler incelenmiş ve sistemin ışık değişiminde rol oynadığı varsayılan manyetik etkinlikle yörünge dönemi değişimi arasında bir ilişki aranmıştır.



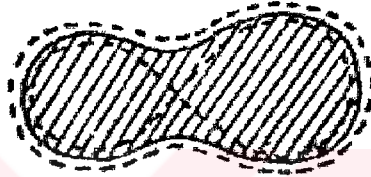
**İNGİLİZCE ABSKRAKT ( En fazla 250 sözcük ) :  
( TÜBİTAK/ TÜRDOK'un Abskrakt Hazırlama Klavuzu Kullanınız.)**

The (O-C) diagram formed by all available published times of minima of RT Andromedae were intensively analyzed to deduce the general form of period variation for RT And. It is established that the orbital period change of the system has a quasi-sinusoidal form superposed on a downward parabola. Such variations of the orbital period have been examined in terms of three plausible mechanisms, namely (i) mass loss or mass transfer, (ii) a light-time effect due to an unseen third star in the system, and (iii) a orbital period modulation due to magnetic activity cycle of a component star. Only the future data will add information on the nature of the secular (O-C) variation. Secular light variation of the system was also studied and was found no correlation with the orbital period variation.



Şekil 2.9 Değen çift yıldız .

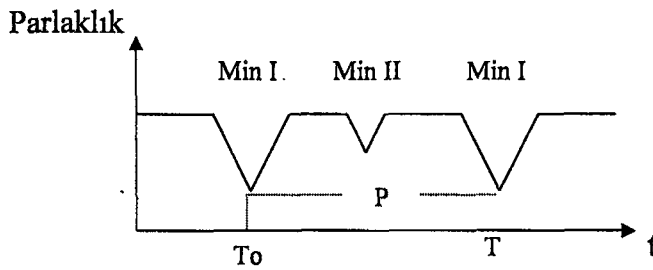
Ayrıca, “fazla-değen (over contact) çift yıldızlar” adı altında, her iki bileşen Roche lobunu doldurduğu halde (bkz. Şekil 2.10), en az bir bileşen için dönme döneminin dolanma dönemine eşit olmaması nedeniyle gerçek bir değmenin olmadığı yeni bir sınıfın varlığı ileri sürülmektedir (WILSON ,1979).



Şekil 2.10 Fazla-değen çift yıldızlar.

#### 2.4 Minimum / Tutulma Zamanları

Bir örten çift yıldızın bir dönemlik ışık eğrisi basitçe Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Işık eğrisinde  $T_0$  ve  $P$ 'nin gösterimi.

Art arda gelen iki Min I çukuru veya Min II çukuru arasındaki zaman farkına parlaklığın değişim dönemi denir. Bu dönem, örten çiftin geometrisinden dolayı yörüngedeki dolanma (P) dönemine eşit olmaktadır. Minimum/tutulma

zamanı, çiftin ışık eğrisinde parlaklığın minimum olduğu zamana denir. Gözlenmiş minimum zamanı  $T_0$  ise, diğer minimum/tutulma zamanları,

$$T = T_0 + EP \quad \dots (2.2)$$

ile hesaplanır. Burada E çevrim sayısıdır ve 1, 1.5, 2, 2.5.....gibi değerler alır. Tam sayılarda Min I, buçuklu sayılarda Min II' yi gösterir. P ise yörünge dönemini göstermektedir.

Buradaki  $T_0$  ve P değerlerine ışık ögeleri denir. T ve  $T_0$  in birimi H JD ile gösterilen Güneş merkezine indirgenmiş Julyen günüdür. E birimsizdir. P nin birimi gündür. Böylece gözlemci, elindeki  $T_0$  zamanından sonraki tutulma zamanlarını Denk. (2.2) den hesaplayabilecektir.

## 2.5 O-C Diyagramı

Herhangi bir tarihe ilişkin minimum zamanı  $T = T_0 + EP$  formülü ile hesaplanabilir. Hesaplanan minimum zamanı C (computed time) ile gösterilir. Gözlenen ve Güneş merkezine indirgenen minimum zamanı ise O (Observed time) ile gösterilir. Eğer  $T_0$  ve P ışık ögeleri hatalı bir şekilde verilmiş ise (yani gözlenen zaman hatalı belirlenmiş veya sistemin yörünge dönemi görünürde değişiyorsa) bu hesaplanan minimum zamanı ile gözlenen minimum zamanı arasında bir fark ortaya çıkar. Bu fark, O-C ile gösterilir. O-C ortaya çıkma nedenlerine bağlı olarak gözlemin duyarlılığını ve dönem sorununu belirtebilen tutarlı bir ölçektir.

Eğer bir örten çift yıldız, O-C farkları veriyorsa O-C değişiminin incelenmesi iki aşamada yapılmalıdır:

1. *Aşama:*  $T_0$ , P ve gözlenen minimum zamanlarındaki gözlem hatalarından kurtulmak gerekir.

Gerçekte  $T_0$  ve P gözlemlerden elde edilen sonuçlar olduğundan az ya da çok özürlü olabilirler.  $\epsilon(T)$  ve  $\epsilon(P)$  sırasıyla  $T_0$  ve P' nin özür miktarları olmak

üzere, başlangıç tarihi  $T_0$  olacak yerde  $T_0+\varepsilon(T)$  alınmış ve  $P$  yörünge dönemi  $P+\varepsilon(P)$  alınmış ise

$$C = T_0+\varepsilon(T)+EP+E\varepsilon(P) \quad \dots (2.3)$$

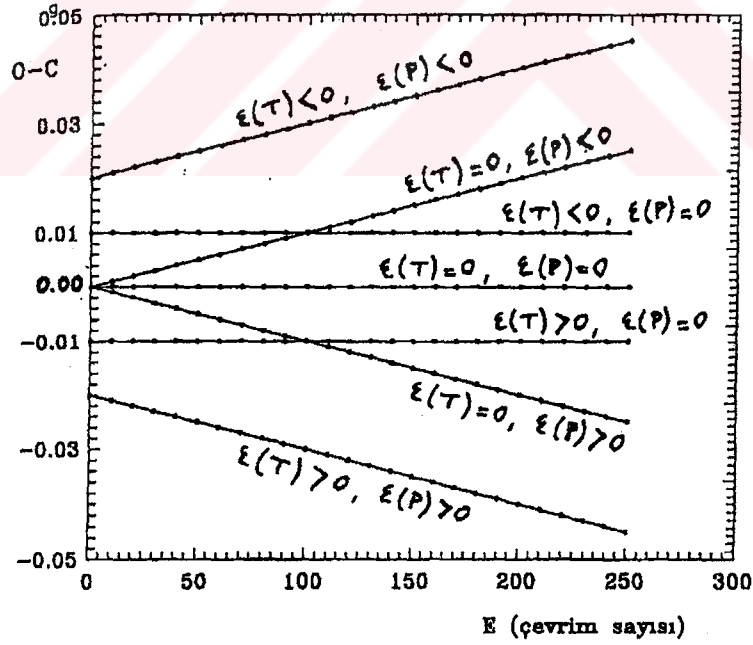
ve

$$O = T_0+EP \quad \dots (2.4)$$

den

$$O-C = -\varepsilon(T)- E\varepsilon(P) \quad \dots (2.5)$$

bulunur.



Şekil 2.12  $T_0$  başlangıç tarihi ve  $P$  döneminin özürlerine göre  $y=O-C$  değişimi,  $\varepsilon(T_0)=T$  nin özürü,  $\varepsilon(P)=P$  nin özürüdür.

Gözlem özürlerinden doğan bu durumlar, Şekil 2.12' de grafiksel olarak gösterilmektedir. Eğer O-C değerlerinin zamanla değişimi bu durumlardan birine uyuyorsa onun yorumlanması ve özürlerinin giderilmesi kolaydır. Burada önemli olan, hesap için kullanılan  $T_0$  ve P üzerine uygulanacak düzeltmeler, özürlerle karşıt işaretli, yani kullanılan  $T_0$  üzerine yapılacak düzeltme;

$$\Delta T = -\epsilon(T), \quad \dots (2.6)$$

P üzerine yapılacak düzeltme;

$$\Delta P = -\epsilon(P) \quad \dots (2.7)$$

olmalıdır (KIZILIRMAK, 1974).

Özürler giderildikten sonra O-C değerlerinin yani gözlemle bulunan minimum zamanları ile hesapla bulunan minimum zamanları arasındaki farkların (artıkların) zamanla değiştiği diğer durumlar, yörünge döneminin değişim ölçeği olarak karşımıza çıkar.

2. Aşama: Eğer bu hatalar giderildikten sonra O-C eğrisinde anlamlı bir değişim varsa, yörünge dönemi gerçekten değişiyordur ya da görünürde değişiyordur.

## 2.6 Yörünge Dönemi Değişimi

Günümüzde dönem değişimlerine neden olan mekanizmaların neler olduğu bilinmemektedir. Yörünge dönemi değişimi incelenirken gözlem yanlışları düzeltildikten sonra O-C eğrisi oluşturulur ve O-C eğrisinin biçimine bakılarak değişime neden olan mekanizma tahmin edilebilir. Çizelge 2.1'de dönemin değişim türleri verilmektedir.



### **Çizelge 2. 1 Yörünge Dönemi Değişim Türleri**

İlk sütunda gözlemsel O-C eğrisinin biçimleri, ikinci sütunda O-C eğrisinin biçimlerine karşılık gelen dönem değişiminin gerçek ya da görünürde bir değişim olduğu, üçüncü sütunda ise dönem değişimlerine karşılık gelen ve literatürde verilen olası fiziksel mekanizmalar sunulmaktadır.

O-C Eğrisi	Gerçek/Görünür Dönem Değişimi	Olası Mekanizma
Parabol	Gerçek	Kütle aktarımı
Parabol	Gerçek	Kütle kaybı
Parabol	Gerçek	Çekimsel ışınım
Sinüzoidal	Gerçek	Çevrimsel manyetik aktivite
Sinüzoidal	Görünür	Üçüncü cisim nedeniyle ışık-zaman etkisi
Sinüzoidal	Görünür	Eksen dönmesi

İlk olarak dönem değişimine neden olan fiziksel mekanizmalara değinilecek, sonra da bu mekanizmanın gözlem sonuçlarının nasıl bir O-C eğrisinin temsil ettiği anlatılacaktır.

#### **2.6.a Kütle Aktarımı**

Kütle aktarımı mekanizması sistemin yörünge döneminin gerçekte değişmesine neden olan fiziksel olaylardandır. Özellikle yakın çift yıldızlarda bileşenlerin evrimi, iç yapıları, ışınım basıncı ya da konvektif aktiviteden doğan yıldız rüzgarları, Roche lobunun taşması ve bunun gibi fiziksel olaylar yoluyla bileşenler arasında kütle aktarımı meydana gelir. Konunun en basit anlatımında sistemin toplam kütlesi ve yörünge açısal momentumunun korunduğu kabul edilir. Üçüncü Kepler yasası ve onun türevinden elde edilen denklemler şunlardır.

$$m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2 a^3}{G p^2} \quad \dots(2.8)$$

ve buradan

$$P = \frac{2\pi}{G^{1/2}} \frac{a^{3/2}}{(m_1 + m_2)^{1/2}} \quad \dots (2.9)$$

elde edilir. Sistemin toplam yörünge açısal momentumu,

$$L = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} a^2 \omega \quad \dots (2.10)$$

şeklinde ifade edilir. Denklem (2.10), denklem (2.9)'da yerine yazılıp türevi alınır;

$$\frac{\Delta P}{P} = \left( \frac{m_1}{m_1 + m_2} - 3 \right) \frac{\Delta m_1}{m_1} + \left( \frac{m_2}{m_1 + m_2} - 3 \right) \frac{\Delta m_2}{m_2} + 3 \frac{\Delta L}{L} \quad \dots (2.11)$$

elde edilir. Burada  $\Delta P$ , dönemdeki değişmeyi göstermektedir. Bu denklemlerin yorumlarından basit anlamda şunlar çıkarılabilir (SING and CHAUBEY, 1986):

- (i) Eğer kütle aktarımı, büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru oluyorsa dizgenin yarı-büyük eksen uzunluğu  $a$  ve dönemi  $P$  azalır.
- (ii) Küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru kütle aktarımı oluyorsa  $a$  ve  $P$  artar.

Bu şekilde kütle aktarımından sonra işlem tersine döner. Kütle kaybeden bileşen daha küçük kütleli bileşen durumuna geldiğinde  $P$  ve  $a$  artmaya başlar. Bu artış, kütle alan bileşenin evrimleşip Roche lobunu doldurarak karşı bileşene madde aktarmaya başlamasına kadar devam eder. Bu evreden sonra  $P$  ve  $a$  nın tekrar azalmaya başlaması gerekir (SOYDUGAN, 1999). Ancak bu aşamalar oldukça uzun sürer. Yakın çift yıldız dönemlerinin değişim nedeni sadece kütle aktarımı olsaydı, 40-50 yıllık bir gözlem süresi bu değişimlerin artan veya azalan dönemleri içerisinde küçük bir zaman dilimi olarak kalacağı için, çift yıldızın

dönemi ya hep artan ya da hep azalan bir görünümde olurdu. Fakat bu durum böyle değildir. Bir çok yakın çift yıldız ilişkili (O-C) eğrilerine göre, yörünge dönemleri ortalama 10-30 yıl mertebesinde bir dönemle artıp azalmaktadır. Bu durumu salt kütle aktarımı ile açıklamak mümkün değildir. Aslında bir çok yakın çift yıldız ilişkili ayrıntılı çalışmalardan elde edilen bilgilere göre sistemden kütle kaybı olduğu, yani kütle aktarımının korunumlu olmadığı anlaşılmıştır. Kütle kaybı ve aktarımının yörünge dönemi değişimine etkisi ayrıntılı olarak HUANG (1963) tarafından incelenmiştir.

Örten çiftin yörünge dönemi zamanla artıyor veya azalıyorsa ( $\Delta P/P \neq 0$ ); hesaplanarak bulunacak minimum zamanı,

$$T = T_o + EP + QE^2 \quad \dots (2.12)$$

bağıntısı ile verilir. Eğer  $Q > 0$  ise dönem uzuyor,  $Q < 0$  ise dönem kısalmaktadır. Dönemdeki değişim miktarını bulmak için (2.12) ifadesinin  $E$  çevrim sayısına göre türevi alınır ve sonuçta çevrim başına dönem değişimi için,

$$\frac{\Delta P}{E} = 2Q \quad \dots (2.13)$$

ifadesi bulunur. Burada dönemdeki değişim miktarının kendine oranı,

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{2Q}{P} \quad \dots (2.14)$$

olarak verilir. Bu bağıntıdan, dönemde yıl veya yüzyılda meydana gelecek olan değişimler elde edilir.

Kütle aktarımının gözlenen sonuçlarına bakılırsa; O-C değişimlerinin parabolik veya daha yüksek dereceli polinomlar ile temsil edilebildiği görülür. Parabolün biçimine göre de dönemin azalan veya artan olduğu hakkında bilgi alınabilmektedir.

## 2.6. b Kütle Kaybı

Yakın çift yıldızlarda, bileşenlerin birbiri üzerine uyguladıkları kütleçekim etkileri (tidal effects), bileşenlerin her birinin kendi ekseni etrafında dönme döneminin yörünge dolanma dönemine eşit olmasına yol açar. Yani, dönme döneminin dolanma dönemine bağlı olması koşulunu doğurur. Bu durumda, bileşenlerden birinin dönme döneminde meydana gelebilecek bir değişiklik hemen yörünge dönemine yansiyacak, dolayısıyla yıldızın dönmesi değişmeyecek ama yörünge dönemi değişecektir. Bu olaya “dönmenin dolanmaya bağımlılığı (spin-orbit coupling)” adı verilir.

Yakın çift yıldızlarda, ışınım basıncından ya da manyetik aktiviteden kaynaklanan yıldız rüzgarları büyük miktarlarda kütle kaybına yol açarlar ve yıldızın açısal momentum korunumunu bozarlar. Yakın çift sistemlerde dönme-dolanma bağımlılığı olduğundan, yıldızın dönme açısal momentumundaki kayıp hemen yörünge açısal momentumundan karşılanır. Yani yıldızın dönme dönemi yörünge dönemine kilitlidir; yıldız rüzgarlarından doğan frenleme nedeniyle yıldızın dönme döneminde meydana gelebilecek bir değişim hemen yörünge dönemine yansiyacak, yörünge dönemi küçülürken yıldızın dönmesi değişmeyecektir.

Yakın bir çift yıldızın yörünge açısal momentumu, Kepler'in üçüncü yasasından doğrudan elde edilen aşağıdaki denklem ile tanımlanır:

$$J_0 = \left( \frac{G^2}{2\pi} \right)^{1/3} \frac{m_1 m_2}{m^{1/3}} P^{1/3} \quad \dots (2.15)$$

Burada  $m_{1,2}$  bileşenlerin kütlelerini,  $m$  iki bileşenin toplam kütlelerini,  $P$  sistemin yörünge dönemini,  $G$  evrensel çekim sabitini göstermektedir. Bileşenlerden birinde (ya da her ikisinde) kütle kaybı olduğunda -sistemdeki toplam kütle sabit-; denklem (2.15)'in zamana göre tam diferansiyeli, kütle kaybı parametrelerini yörünge açısal momentumu  $J$  ve yörünge dönemi  $P$ 'nin değişimine bağlar. Böylece kütle kaybı yörünge açısal momentumu kaybını doğurmuş olur.

$$\dot{J} = \frac{\partial J_0}{\partial P} \dot{P} + \frac{\partial J_0}{\partial m_1} \dot{m}_1 + \frac{\partial J_0}{\partial m_2} \dot{m}_2 \quad \dots (2.16)$$

$$\dot{J} = J_0 \left\{ \frac{1}{3P} \dot{P} + \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{3m} \right) \dot{m}_1 + \left( \frac{1}{m_2} + \frac{1}{3m} \right) \dot{m}_2 \right\} \quad \dots (2.17)$$

Önceden belirtildiği gibi yıldız rüzgarı, yıldızın kütle kaybına, dolayısıyla dönme açısal momentumu kaybına yol açar. Bu nedenle yıldızın dönme açısal momentum kaybı denklemini yazmak, rüzgar plazmasının yıldızın dönme eksenine göre açısal momentumunu yazmak ile özdeştir.

Genelde F8 ve daha geri tayf türünden anakol yıldızlarında ve bir kısım altdev yıldızlarında Alfven teorisi geçerlidir. Bu teoriye göre ideal iletken bir plazmada manyetik alan çizgileri plazma ile birlikte hareket ederler. Bu olaya plazma içine donmuş manyetik alan (frozen-field) denir. Güneş benzeri yıldızlarda; yıldızın yakın kısımlarında alan çizgileri kapalı durumdadır. Bu kapalı alan bölgelerinde manyetik alan çizgileri yıldızın taç plazmasını hapsederek taç lobları (coronal lob)'nu oluşturur. Taç lobları yıldız ile birlikte bir katı cisim gibi döner. Bu birlikte dönme açısal momentum korunumuna göre yıldızın kendi eksenini etrafındaki dönmesini yavaşlatacaktır. Lobların boyutları yıldızdan ne kadar uzak olursa yıldızın dönmesi o denli azalır. Bu olaya manyetik frenleme (manyetik breaking) adı verilir.

Yıldızın taç plazmasında manyetik alan çizgilerinin açık olduğu bölgelerde hidrostatik denge bozulur ve yıldızın taç plazması yıldızdan dışa doğru yayılarak yıldız rüzgarlarını oluşturur. Yıldız rüzgarında yıldızdan uzaklaştıkça plazma ve plazma içine donmuş manyetik alan arasındaki etkileşim artar. Plazma yıldızdan uzaya kaçmaya çalışırken manyetik alan plazmayı manyetik lob içinde tutup yıldız ile birlikte dönmeye zorlar. Yıldızdan uzaklaştıkça manyetik alan çizgilerinin sayısı azalır (manyetik alan yoğunluğu düşer). Manyetik ilmekler boyunca spiraller çizen yüklü parçacıklar lobun tepesine yığılmaya başlar. Burada plazma basıncı (ya da kinetik enerji) manyetik basıncı (ya da manyetik enerjiyi) yendiği zaman artık plazma uzayda serbesttir ve yıldızdan uzaya kaçmıştır. Yıldız

rüzgarlarında plazma basıncının manyetik basıncı yendiği ya da manyetik alan çizgilerinin açılmaya başladığı kritik bölgeye Alfven küresi ve bu kürenin yarıçapına Alfven yarıçapı denir. Yukarıdan anlaşıldığı biçimde Alfven yarıçapı içinde manyetik alan plazmaya tamamen hakimdir ve plazmayı yıldız ile birlikte dönmeye zorlamaktadır. Alfven yarıçapı dışında plazma serbesttir ve uzaya kaçarak yıldız rüzgarını oluşturur.

Rüzgar plazmasının yıldızın dönme eksenine olan uzaklığı için Alfven yarıçapını almak uygundur. Göz önüne alınan değişimin zaman aralığı için yıldızın dönme dönemi alınabilir ve rüzgar plazması akışının başlangıcı ve sonu arasında dönem sabit varsayılabilir.

$$\dot{J}_\omega = 2\pi\dot{m}_1 r_A^2 P^{-1} \quad \dots (2.18)$$

Yukarıdaki denklemde, kütle kaybının yalnızca baş bileşenden olduğu varsayıldı. Denklem, önceden belirtildiği gibi çekimsel olarak birbirine bağlı yakın çiftlerde, dönme-dolanma bağımlılığına göre, kütle kaybında bulunan yıldızın dönme açısal momentumunda meydana gelen kaybın, yörünge açısal momentumu tarafından karşılandığını yansıtmaktadır (VAN'T VEER, 1999). Bu hipotez, açısal momentum kaybı denklemlerinin birbirine eşit olmasını sağlar. Yani, denklem (2.17) ile denklem (2.18)' i eşit kılar. Böylece,

$$r_A^2 \dot{m}_1 = \frac{1}{2\pi} J_0 P \left\{ \frac{1}{3P} \dot{P} + 3 \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{3m} \right) \dot{m}_1 \right\} \quad \dots (2.19)$$

eşitliği elde edilir. Kütle kaybı ikinci bileşende olduğunda  $m_1$  yerine  $m_2$  yazılarak benzer formül elde edilir. Kritik Alfven yarıçapını bulmak için bir önceki denklemde, kısa zaman aralığında, dönemin değişmediği varsayılır; yani  $\dot{P} = 0$  alınır:

$$r_{Ac}^2 = \frac{1}{2\pi} J_0 P \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{3m} \right). \quad \dots (2.20)$$

Bu değere kritik Alfven yarıçapı denmesinin nedeni; bu yarıçap içinde kalan plazmanın yıldız ile birlikte dönmesi, dışında kalan plazmanın ise uzaya kaçarak yıldız rüzgarını oluşturmasıdır. Yörünge yarıçapı ya da bileşenler arası uzaklık olarak tanımlanan  $a$ , doğrudan Kepler'in üçüncü yasaından elde edilir:

$$a = G^{\frac{1}{3}} [2\pi]^{-\frac{2}{3}} P^{\frac{2}{3}} m^{\frac{1}{3}} \quad \dots (2.21)$$

Eğer bileşenlerin kütlelerinin her biri 1 Güneş kütlesi, yörünge dolanma dönemi 1 gün alınrsa; denklem (2.20) kritik Alfven yarıçapını Güneş yarıçapının 3.41 katı olarak, denklem (2.21) yörünge boyutunu Güneş yarıçapının 5.28 katı olarak verecektir.  $r_{Ac}$  ile  $a$  nın boyutunun birbirine çok yakın çıkması gerçekten önemlidir. Bu yakınlık, kütle kaybından sonra yörünge dönemi değişiminin işaretini belirleyebilmektedir. Örnekte olduğu gibi  $r_{Ac}$  nin yörünge boyutuna yakın olması durumunda; bir bileşen için yıldız rüzgarlarını oluşturan kütle kaybı, sistemin diğer bileşeninin çekiminden etkilenebilir, hatta bu bileşenin çekim potansiyel alanına girerek yörünge dönemini artıracak diğer fiziksel mekanizmalara yol açabilir.

Yörünge dönemi değişimi, denklem (2.19)'dan  $\frac{\dot{P}}{P}$  ifadesi çekilerek bulunabilir:

$$\frac{\dot{P}}{P} = \left\{ \frac{6\pi r_A^2}{J_0 P} - \left( \frac{1}{m_1} - \frac{1}{3m} \right) \right\} \dot{m}_1. \quad \dots (2.22)$$

Yörünge dönemi değişimini kütle kaybına bağlayan denklem (2.22)'e göre;

- (i) kütle kaybı için  $\dot{m} < 0$  olmalıdır,

(ii) kısa dönemli RS CVn yıldızlarında, genelde,  $\left(\frac{1}{m_1} - \frac{1}{3m}\right) < 0$  olur.

Dolayısıyla  $\dot{P} < 0$  olması için (yani, yörünge döneminin azalması için) denklem (2.23)'te parantezdeki birinci terimin ikinci terimden büyük olması (yani Alfven yarıçapı  $r_A$  nın yeterince büyük olması) gerekir.

Sonuç olarak, eğer kütle kaybında bulunan bileşen yıldızın Alfven yarıçapı yeterince büyük ise yakın çift sistemin yörüngesi küçülecek Alfven yarıçapı yeterince küçük ise yörünge büyüyecektir.

### 2.6.c Çekimsel Işınım Yolu İle Enerji Kaybı

Temel olarak, Şekil 2.13 teki gibi, ortak kütle merkezi etrafında çember yörüngeler çizen bir çift yıldız ele alınabilir. İki yıldız kütlelerinin merkezde toplandığı nokta parçacıkları olarak göz önüne alındığında,  $a_1$  ve  $a_2$  bileşenlerin kütle merkezinden olan uzaklıkları olmak üzere, iki yıldızın arasındaki uzaklık  $a = a_1 + a_2$  dir.

Buradan

$$m_1 a_1 = m_2 a_2 = \mu a \quad \dots (2.23)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada  $\mu$  indirgenmiş kütle olup

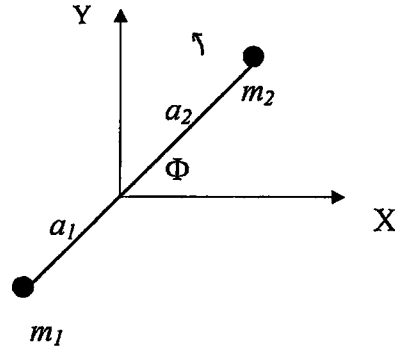
$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad \dots (2.24)$$

ile verilir. Tüm sistem için yörünge açısal hızı ise

$$\omega^2 = \frac{G(m_1 + m_2)}{a^3} \quad \dots (2.25)$$

denkleminde verilir.





Şekil 2.13 Ortak kütle merkezi etrafındaki hareket

RAYCHAUDRI et al. (1992), yukarıdaki koşullara uyabilen çift sistemlerde çekimsel ışınlam yoluyla enerji kaybının (2.26) denklemiyle ifade edilebileceğini göstermişlerdir:

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{32 G^4 (m_1 + m_2) m_1^2 m_2^2}{5 c^5 a^5} \quad \dots (2.26)$$

Burada E çekimsel enerji olup,

$$E = -\frac{1}{2} \frac{G m_1 m_2}{a} \quad \dots (2.27)$$

bağıntısıyla verilebilir. Öte yandan dönem değişimi, açısal hız değişimi, yarı-büyük eksen uzunluğu değişimi ve çekimsel enerji değişimi arasında

$$\frac{\dot{P}}{P} = -\frac{\dot{\omega}}{\omega} = \frac{2 \dot{a}}{3 a} = -\frac{3 \dot{E}}{2 E} \quad \dots (2.28)$$

eşitlikleri var olduğu kolayca gösterilebilir. Sonuç olarak bu denklemlerden bileşenlerin ortak kütle merkezi etrafında dairesel hareket yaptığı ya da çember yörüngeler çizdiği bir çift yıldız sistemi için çekimsel ışınlam yolu ile enerji kaybı

durumunda dönem değişimi bağıntısı denklem (2.19) dan aşağıdaki biçimde çıkartılmaktadır:

$$\frac{\dot{P}}{P} = -\frac{96 G^3 (m_1 + m_2) m_1 m_2}{5 c^5 a^4} \dots (2.29)$$

Kütle kaybı, kütle aktarımı ve çekimsel ışınım yoluyla enerji kaybı mekanizmalarının gözlemsel sonuçlarına bakılırsa, O-C değişiminin parabolik ya da daha yüksek dereceli polinomlar ile temsil edildiği görülür. Parabolün biçimine göre dönemin azalan ya da artan olduğu hakkında bilgi alınabilir.

#### 2.6.d Çevrimsel Manyetik Aktivite

Bazı örten çiftler, yörünge dönemi modülasyonu göstermektedir. Burada modülasyon sözcüğü, belli bir genliğe sahip değişimi belirtmektedir. Yörünge dönemi değişimi görülen bu çalışmada ele alınacak olan yakın çiftlerde bu genlik, on yıl ya da daha fazla bir sürede  $\Delta P/P \cong 10^{-5}$  mertebesindedir. APPELATE (1992), bu yörünge dönemi modülasyonlarını açıklamak için bir mekanizma önermiştir. Bu mekanizmanın esası şudur: Manyetik olarak aktif yoldaşın ortalama birkaç kilo gaussluk yüzey altı manyetik alanı, yıldızın açısız momentumunu tedirgin eden tork üretebilir. Bu yıldız kendi aktivite çevrimine girdikçe açısız momentum dağılımındaki değişimler, çekim potansiyeli ile yörüngeye aktarılır ve sonuç olarak yörünge dönemi değişir. Bu mekanizma üç koşula gerek duyar:

- (i) Aktif yoldaş  $\Delta L/L \cong 0.1$  düzeyinde değişen olmalı ve
- (ii)  $\Delta \Omega/\Omega \cong 0.01$  düzeyinde diferansiyel olarak dönmeli,
- (iii) Sistemin ışırtmasındaki değişimler ile O-C eğrisindeki değişimleri aynı döneme sahip olmalı.

Manyetik aktivite gösteren bir yıldız ile nokta kütle olarak alınabilen bir yoldaş yıldızı içeren yakın bir çift sistem göz önüne alınmaktadır.  $M$  ve  $R$ , sırasıyla, aktif yıldızın kütle ve yarıçapını;  $a$  dairesel yörüngelerde hareket eden

iki yıldızın birbirinden uzaklığını gösterebiliriz. Bu sistem için  $\Delta^2\Phi(\bar{X}) = 4\pi G\rho(\bar{X})$  Poisson denkleminin çözümüyle aktif yıldızın dış yüzeyindeki çekim potansiyeli

$$\Phi(\bar{X}) = -\frac{GM}{r} - \frac{3}{2}G \sum_{i,k=1}^3 Q_{ik} \frac{X_i X_k}{r^5} \quad \dots (2.30)$$

bulunur. Burada  $X_i$  ve  $X_k$  aktif yıldızın kütle merkezinden itibaren ölçülen Kartezyen koordinatlarıdır. Çözümde Einstein toplama kuralı varsayılmakta ve kuadropol momentinden daha yüksek terimler ihmal edilmektedir.  $Q_{ik}$  da gravitasyonel kuadropol moment tensörü olup

$$Q_{ik} = \int \rho (3x'_i x'_k - r'^2 \delta_{ik}) dV \quad \dots (2.31)$$

biçiminde tanımlanmaktadır. Eylemsizlik tensörü

$$I_{ik} = \int \rho (r^2 \delta_{ik} - x_i x_k) dV \quad \dots (2.32)$$

biçiminde tanımlanabildiğinden eylemsizlik tensörü ile kuadropol moment tensörü aşağıdaki gibi bir denklemle ifade edilebilir.

$$Q_{ik} = I_{ii} \delta_{ik} - 3I_{ik} \quad \dots (2.33)$$

Aşağıdaki koşullar altında bu çift sistemin üyeleri birbirine çok yakın varsayılmaktadır:

- (i) Gel-git sürtünmesi (tidal friction), dönmeyi ve dolanmayı eş zamanlı yapmaktadır.
- (ii) Yörünge daireseldir.
- (iii) Dönme ve yörünge açısal momentleri aynı doğrultuda alınmaktadır.

Açısal momentumun doğrultusu z-ekseni boyunca alınırsa, x-ekseninin de yoldaşı gösterdiği ve koordinat sisteminin de z-ekseni etrafında yörünge açısal hızıyla döndüğü kabul edilirse, denklem (2.30) daki toplama, yalnızca  $Q_{xx}$  terimi katılacaktır. Böylece çekim potansiyeli,

$$\Phi(x) = -\frac{GM}{r} - \frac{3 GQ}{2 r^3} \quad \dots (2.34)$$

olur. Göreceli koordinatlara dönüştürme, denklem (2.34) teki potansiyelin  $M_T/M$  ile çarpılmasını gerektirir. Burada  $M_T$  çiftin toplam kütesidir. Böylece hareket denkleminin göreceli koordinatlardaki çekim potansiyeli,

$$\Phi(x) = -\frac{GM_T}{r} - \frac{3 GQ M_T}{2 r^3 M} \quad \dots (2.35)$$

halini alır. Dairesel yörüngede göreceli hız,

$$v^2 = r \frac{d\Phi}{dr} \quad \dots (2.36)$$

ile verilmektedir. Denklem (2.35)dan;

$$\begin{aligned} \frac{d\Phi}{dr} &= \frac{d}{dr} \left\{ -\frac{GM_T}{r} - \frac{3 GQ M_T}{2 r^3 M} \right\} \\ &= \frac{GM_T}{r^2} + \frac{9 GQ M_T}{2 r^4 M} \end{aligned}$$

olup denklem (2.36) de yerine konursa;

$$v^2 = \frac{GM_T}{r} \left[ 1 + \frac{9 Q}{2 Mr^2} \right] \quad \dots (2.37)$$

elde edilir. Bu denklemin diferansiyeli alınrsa;

$$2 \frac{\Delta v}{v} = -\frac{\Delta r}{r} + \frac{9 \Delta Q}{2 Mr^2} \quad \dots (2.38)$$

bulunur. Yörünge açısal momentumu, büyüklük olarak,

$$J = \mu.v.r, \quad \dots (2.39)$$

denklemleri ile verilmektedir. Burada  $\mu$  indirgenmiş kütlelerdir. Yörünge dönemi de

$$P = \frac{2\pi r}{v} \quad \dots (2.40)$$

dir. Bu iki denklemden, sabit açısal momentum altında,

$$\frac{\Delta r}{r} = -\frac{\Delta v}{v}, \quad \frac{\Delta P}{P} = -2 \frac{\Delta v}{v} \quad \dots (2.41)$$

bulunur. Bu denklemler ile denklem (2.38) birleştirilerek,

$$\frac{\Delta P}{P} = -9 \left( \frac{R}{a} \right)^2 \frac{\Delta Q}{MR^2} \quad \dots (2.42)$$

sonucu elde edilir.

Yörünge dönemi değişiminin fiziği oldukça basittir. Eğer aktif yıldız daha basık hale gelirse,  $\Delta Q > 0$  olur. Denklem (2.35)'ya göre, aktif yıldızın eşlek düzlemindeki çekim alanı büyür. Eğer çekim kuvveti artarsa, merkezkaç ivmesi  $\frac{v^2}{r}$ , gravite dengesine göre artacaktır. Ancak  $vr$  çarpımı, yörünge açısal momentumu ( $=\mu.v.r$ ) değişmediği için, sabit kalacaktır. Böylece, çekim ile merkezkaç ivmelerini dengede tutmak için  $v$  artmakta,  $r$  azalmaktadır. Sonuç olarak, yıldız daha hızlı hareket edecekleri ve yörüngeyi kısa bir mesafede kat edecekleri için yörünge dönemi azalacaktır.

Bu mekanizmada manyetik alan, yıldız, bir hidrostatik konfigürasyondan başka bir hidrostatik konfigürasyona geçmesine neden olarak deforme etmektedir.

Dönen bir yıldızın kuadropol momenti, yıldızın içindeki açısal momentum dağılımına bağlıdır. Özellikle kuadropol moment yıldızın dış katmanları tarafından taşınan açısal momentum ile büyük ölçüde belirlenebilmektedir. Bu katmanların, kuadropol momentinin ölçümünde büyük bir rol oynamasının nedeni, eylemsizlik tensöründe kütlelerin yanında  $r^2$  nin de olması ve merkezkaç ivmesinin bu katmanlarda en büyük değeri almasıdır. Eğer açısal momentum yıldızın dış katmanına aktarılırsa, bu katmanlar daha hızlı dönüp daha az basık olacaktır. Bu net etki, yıldızın kuadropol momentini artırmak içindir. Çünkü, biraz önce değinildiği gibi, iç katmanlar kuadropol momentinin belirlenmesinde daha az katkıda bulunurlar. Bu yüzden  $dQ/dJ$  (burada  $J$  yıldızın dış katmanının açısal momentumudur) türevi, pozitifdir.  $dQ/dJ$  türevini hesaplamak için,  $M_s$  kütleli ve  $R$  yarıçaplı bir kabuk göz önüne alınmakta ve bu kabuğun, merkezde bulunan bir  $M$  noktasal kütlelerin çekim potansiyeli altında  $\Omega$  açısal hızı ile döndüğü kabul edilmektedir. Kabuğun kütlelerinin yıldızın kuadropol momentini belirleyen dış kısmının kütlelerine yakın olduğu düşünülebilir. Buradaki noktasal kütle, yıldızın geri kalan kısmını temsil etmektedir. Bu basit şekil,  $M_s \ll M$  alındıkça geçerli olmaktadır. Kabuk, döndüğü için basıktır.  $\Psi$  Lagrangian deformasyonu olmak üzere kabuğun uçlak yarıçapı,  $R_p = R - \Psi$ ; eşlek yarıçapı,  $R_e = R + \Psi$  dir. Kabuğun kuadropol momenti,

$$Q = \frac{1}{9} M_s R^2 \left( \frac{\Omega^2 R^3}{GM} \right) \quad \dots (2.43)$$

ve yine kabuğun eylemsizlik momenti,

$$I_s = \frac{2}{3} M_s R^2 \quad \dots (2.44)$$

dir. Böylece,  $dQ/dJ$  aşağıdaki denklemle verilir.

$$\frac{dQ}{dJ} = \frac{1}{3} \frac{\Omega R^3}{GM} \quad \dots (2.45)$$

$\Delta P$  yörünge dönemi değişimini üretmesi için gerek duyulan açısal momentum transferi  $\Delta J$ , denklem (2.42) ve (2.45) birleştirilerek bulunur:

$$\Delta J = -\frac{GM^2}{R} \left(\frac{a}{R}\right)^2 \frac{\Delta P}{6\pi} \quad \dots (2.46)$$

Yıldız daha basık hale geldikçe yörünge dönemi azalmaktadır. Bu yüzden denklem (2.46)'da negatif işaret vardır. Bu çalışmanın geri kalan kısmında  $\Delta P$  ve  $\Delta J$ , yörünge dönemi değişimi ile açısal momentum transferi büyüklükleri mertebesinde alınacaktır ve denklem (2.46) daki negatif işaret boşlanacaktır.

Açısal momentum transferi için gerek duyulan enerji,

$$\Delta E = \Omega_{dr} \Delta J + \frac{(\Delta J)^2}{2I_{eff}} \quad \dots (2.47)$$

dir. Burada  $\Omega_{dr} = \Omega_s - \Omega_{\otimes}$  olup diferansiyel rotasyonun açısal hızıdır ve  $I_{eff} = I_s I_{\otimes} / (I_s + I_{\otimes})$  etkin eylemsizlik momentidir.  $\otimes$  işaretiyle belirtilen nicelikler yıldızın iç kısmına aittir. Aşağıdaki sayısal örneklerde kabuğun kütlesi tipik olarak  $M_s \cong 0.1M$  alınmakta, böylece  $I_s \cong I_{\otimes}$  olmakta ve  $I_{eff} \cong I_s$  eşitliğini vermektedir.

$d\Omega = dJ/I_s$  açısal hızı yüzünden  $dJ$  nin kabuğa transferi, kabuğun daha hızlı dönmesine neden olmaktadır. Böylece denklem (2.46) kullanılarak

$$\frac{M_s}{M} \frac{\Delta\Omega}{\Omega} = \frac{GM}{2R^3} \left(\frac{a}{R}\right)^2 \left(\frac{P}{2\pi}\right)^2 \frac{\Delta P}{P} \quad \dots (2.48)$$

bulunabilir. APPLGATE (1992) bu denklemi kullanırken  $\Delta\Omega \leq \Omega_{dr}$  olduğunu varsaymaktadır.

Eğer denklem (2.47) deki enerji koşulu, konvektif bölgede enerji stoğu olmaksızın yıldızın yalnızca nükleer ısıtmasından sağlanmakta ise, yıldız, aşağıdaki denklemle verilen ısıtma değişimine sahip olmalıdır:

$$\Delta L = \pi \frac{\Delta E}{P_{mod}} \quad \dots (2.49)$$

Buradaki  $P_{mod}$ , yörünge dönemi değişiminin periyodudur. Yalnız dış kısmı ile iç kısmı arasında periyodik olarak  $\Delta J$  alışverişi için gerekli tork,

$$N = \pi \frac{\Delta J}{P_{mod}} = \frac{\pi GM^2}{3R} \left(\frac{a}{R}\right)^2 \frac{\Delta P}{P_{mod}} \quad \dots (2.50)$$

dır. Eğer bu tork, yüzeyaltı manyetik alan tarafından sağlanıyorsa, alan yeğnliği, kabaca

$$N \propto \frac{B^2}{4\pi} (4\pi R^2) \Delta R \propto 0.1 B^2 R^3 \quad \dots (2.51)$$

ile verilir. Burada torkun etkili olduğu uzaklık, yani kaldıraç kolu (lever arm),

$\Delta R=0.1$  varsayılmaktadır. Böylece

$$B^2 \cong 10 \frac{GM^2}{R^4} \left(\frac{a}{R}\right)^2 \frac{\Delta P}{P_{mod}} \quad \dots (2.52)$$

bulunur. Örneğin  $P=1$  gün,  $P_{mod}=50$  yıl alınırsa, denklem (2.52), bize  $3 \times 10^5$  G luk bir alan yeğnliği vermektedir. Bu denklemin altındaki fizik, denklem (2.50)deki torkun yavaş olduğunu, kademe kademe etkili olduğunu ve manyetik alanın da



açısal momentumu kademe kademe aktarabildiğini göstermektedir. Böylece hidrostatik denge korunabilmektedir.

Denklem (2.46) deki açısal momentum transferi, yalnızca gözlenen niceliklerle hesaplanmaktadır. Denklem (2.47) deki enerji koşulu,

- (i) açısal momentum transferine,
- (ii) diferansiyel dönmeye ve
- (iii) kabuğun kütesine bağlı olarak belirlenebilmektedir.

Diferansiyel dönmenin azalması ya da kabuğunun kütesinin artması,  $\Delta E$  enerjisini küçültmektedir. İnce kabuk yaklaşımı,  $M_s \gg 0.1M$  alındığında bozulmaktadır. Tersine  $M_s \ll 0.1M$  alındığında denklem (2.48) büyük bir diferansiyel rotasyon vermektedir.

Applegate mekanizmasının uygulamasında,

$$\Delta L \approx 0.1L,$$

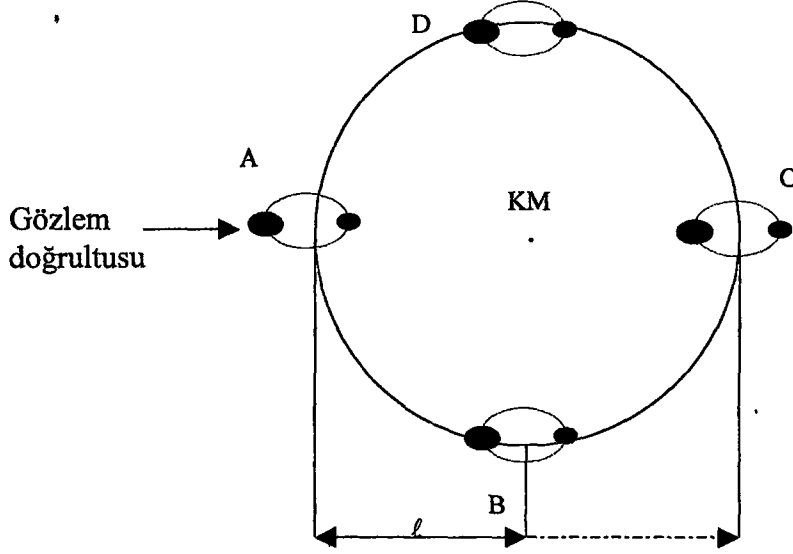
$$M_s \leq 0.1M,$$

$$\Delta \Omega \approx \Omega_{dr} \approx 0.01\Omega$$

alınarak gözlenen yörünge dönemi değişimleri açıklanabilmektedir. Birkaç kilogaussluk yüzeyaltı manyetik alanı da istenen torku oluşturabilmektedir.

### 2.6.e Üçüncü Cisim Nedeniyle Işık-Zaman Etkisi

Örten çift yıldızlar ile ilgili dönem değişimi çalışmalarında birçok çift sistemin sistemden uzak görülemeyen üçüncü bir cisim tarafından tedirgin edildiği bulunmuştur. Sistem iki değil de üç cisimden oluşuyorsa (yani iki bileşen başka bir gök cisimi ile birlikte ortak kütle merkezi etrafında dolanıyorsa) o zaman O-C farkları sinüzoidal bir değişime karşılık gelir. Çünkü çift yıldız, görünürde, üçlü sistemin kütle merkezi etrafında dolanırken, gözlemciden uzaklaşma ve yaklaşma hareketi yapar. Bu sırada minimum zamanları gözlemci tarafından farklı zamanlarda ölçülür.



Şekil 2.14 Çift yıldızın üçlü sistemin kütle merkezi etrafında dolanma hareketi

Şekil 2.14'te gösterilen böyle bir geometri için yörünge çember olarak alınmıştır. Çift yıldız A noktasında gözlenmeye başlanır. Bu noktada O-C =0 kabul edilir. Çift yıldız A dan B ye hareket ettiğinde; ışığın gözlemciye ulaştığı yol “  $\ell$  ” kadar artmakta ve bu yolu almak için geçecek zaman kadar O-C değerleri arasındaki fark büyümektedir (  $\ell$  yol farkı arttıkça O-C farkı büyür ). Bu fark B den C ye kadar büyümeye devam eder. C noktasında gözlemciden maksimum uzaklıkta olan çift yıldız, C noktasından sonra gözlemciye yaklaşmaya başlar. C den D ye gelirken O-C farkı giderek küçülmeye başlar. A noktasına kadar küçülmeye devam eder ve A noktasında bu fark tekrar sıfır olur.

Çiftin bu çember yörünge üzerindeki dikine hızı  $v$  (km/s) ve yörünge dönemi  $P$  (gün) olsun. Yörünge (B) konumunda bir örtme olmuşsa, ikinci örtmede çift sistem gözlemciden  $v.P.86400$  km kadar uzaklaşmış olacaktır. Bu durumda gözlemci ikinci örtmeyi,

$$\Delta t = \frac{v.P.86400}{300000} \text{ saniye} \quad \dots (2.53)$$

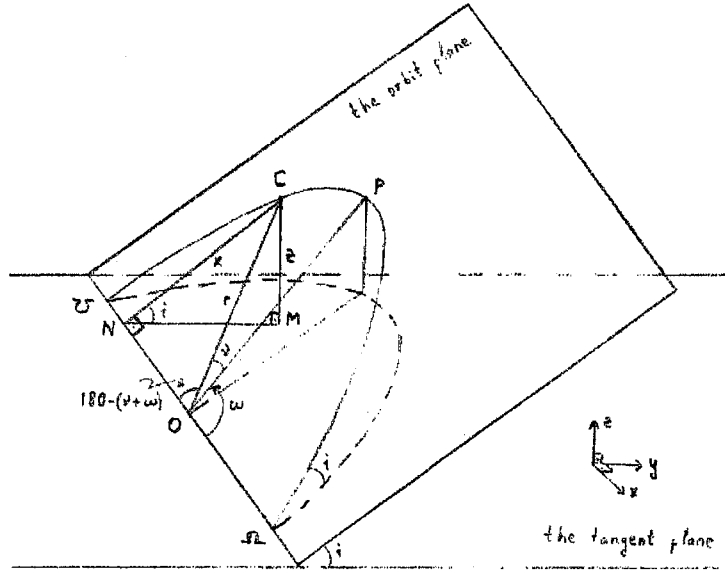
gecikme ile gözleyecektir. Bu denklem, bize oluşacak zaman gecikmesini verecektir. Art arda gelen iki minimum arası bir dönem olarak tanımlandığından dolayı bir öncekine göre gözlenen ikinci dönem bir öncekinden daha büyük belirlenecektir. Bu durum çiftin  $P$  dolanma döneminin olduğundan daha büyük gözlenmesine neden olur.  $C$  konumunda ise durum tersine döner ve dönem daha kısa algılanır.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi üçüncü cisim nedeniyle oluşan dönem değişimi çift yıldız sisteminin yörünge döneminin değiştiği anlamına gelmez. Sadece görünürde bir dönem (O-C) değişimine neden olur. O-C değişimi  $E$  çevrim sayısına veya zamana karşı çizildiğinde bu durum için düzgün bir sinüs verir ki bu sinüsün dönemi ikili sistemin kütle merkezi etrafındaki dolanma dönemine eşittir.

Üçüncü cisim nedeniyle oluşan ışık-zaman etkisi, aşağıda özetlenmiştir:

- (i) Eğer çift yıldız sistemi, uzak bir üçüncü cisim ile oluşturdukları ortak kütle merkezi etrafında dolanmakta ise; bu üçüncü cisim O-C eğrisini, dönemini, genliğini, biçimini, üçlü dizgenin yörüngesinin dönemine, yarı-büyük eksen uzunluğuna ve dış merkezliğine bağlı olacak biçimde değiştirecektir.
- (ii) Eğer üçlü sistemin yörüngesi çember ise O-C eğrisi dönemi değişmeyen basit bir sinüs eğrisi olacaktır. Fakat üçlü sistemin yörüngesi basık ve/veya yörünge düzlemi eğik ise O-C eğrisi yine dönemi değişmeyen ancak yörüngenin basıklığına ( $e$ ) ve eğikliğine ( $i$ ) bağlı olarak bozulmuş bir sinüs eğrisi olacaktır.
- (iii)  $\text{Min I}$  ve  $\text{Min II}$  zamanlarının O-C farkları aynı trendi izleyen bir O-C eğrisi verecektir.

Çift yıldızın, üçlü sistemin kütle merkezi etrafında dolanması nedeni ile oluşacak zaman gecikmesi ( $\Delta t$ ) şöyle hesaplanabilir: İlk olarak bu geometri bir çift sistemin geometrisine benzetilir ve çift sistem kütle merkezi etrafında dolanan bir yoldaş yıldız gibi ele alınır.



Şekil 2. 15 Çift sistemin yörüngesine benzetilerek üçlü sistemin yörüngesinin gösterimi

Şekil 2.15'deki geometriye göre, çift yıldızın üçlü sistemin ortak kütle merkezinden olan uzaklığı, çift yıldızın gerçek yörünge düzleminde hareket ederken izdüşüm düzlemine olan uzaklığı cinsinden ( $z$ ) olarak verilir.  $CNO$  üçgeninden;

$$x = r \sin (180-(v+\omega)) \quad \dots (2.54)$$

ve  $CMN$  üçgeninden de;

$$z = x \sin i \quad \dots (2.55)$$

ve  $\sin (180-(v+\omega)) = \sin (v+\omega)$  olduğuna göre (2.54) ve (2.55) denklemlerini birleştirirsek,

$$z = r \sin (v+\omega) \sin i \quad \dots (2.56)$$

denklemini elde edilir.

$$r = \frac{a_{12}(1-e^2)}{1+e \cos v} \quad \dots (2.57)$$

(2.57) formülü de elips denklemini olduğuna göre  $\Delta t$  zaman gecikmesi;

$$\Delta t = \frac{\text{yol}}{\text{ışık hızı}} = \frac{z}{c} \quad \dots (2.58)$$

olarak bulunur. Daha açık ifadesi ile

$$\Delta t = \frac{a_{12} \sin i}{c} \left\{ \frac{1-e^2}{1+e \cos v} \sin(\omega + v) \right\} \quad \dots (2.59)$$

olur. Burada;

$a_{12} \sin i$ : Çiftin üçlü sistemin ortak kütle merkezine olan izdüşüm uzaklığı

$c$  : ışık hızı,

$v$  : gerçek ayrıklık,

$\omega$  : enberi noktasının boylamıdır.

Buradaki parametrelerin tümü çift sistemin üçlü sistemin etrafında dolarken çizdiği elips yörüngesinin parametreleridir. Sonuç olarak bir üçüncü cisim tarafından tedirgin edilen bir çift yıldızın tutulma zamanlarını veren denklem aşağıdaki yapıya sahip olacaktır.

$$T = T_0 + EP + \frac{a_{12} \sin i}{c} \left\{ \frac{1-e^2}{1+e \cos v} \sin(\omega + v) \right\} \quad \dots (2.60)$$

Burada bilinmeyen parametreler;  $T_0$ ,  $P$ ,  $a \sin i$ ,  $e$  ve  $\omega$  dır. Burada  $v$  (gerçek ayrıklık)'nin bulunuşu denklemleri önemli derecede etkilemektedir. Üçlü sistemin çizdiği elips yörüngesinin dış merkezliğine, enberinin ( $\omega$ ) boylamına, ( $i$ ) yörünge eğimine bağlı olarak zamanla  $v$  açısı değişmektedir. Enberi noktasında  $v = 0^\circ$ , enöte de  $v = 180^\circ$  derece olur. Her bir  $T$  gözlem zamanı için  $v$  hesaplanır ve (2.60) denklemindeki diğer bilinmeyenler de ağırlıklı en küçük kareler yöntemi

sonucu bulunur. Bu çözümlenme sonrasında (O-C) dağılımına en iyi uyan (fit edilen ) kuramsal sinüs eğrisinin parametreleri ve bu parametrelerin yanılgıları elde edilir. Denklem (2.60)'de üçlü sistemin yörüngesinin elips olduğu öngörülür. Eğer yörünge çember yapıya sahipse denklemdeki  $e$  dış merkezliği sıfır olur. Böylece denklem O-C eğrisinin basit bir sinüs eğrisi biçimini almasına yol açar. Eğer yörünge elips ise denklem (2.60)'den görüleceği biçimde O-C farkları bozuk bir sinüs eğrisi biçimini alacaktır. Böyle bir eğri oluşmasının nedeni, çiftin üçlü sistemin yörüngesinde dolarken enberi ve enöte noktalarında farklı hızlarda hareket etmesidir.

Buraya kadar üçüncü cisim nedeniyle ışık zaman etkisinin nasıl oluşacağı incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucu çift sistemin başka bir üçüncü cisim tarafından tedirgin edildiği ortaya çıkar. Bu analiz, üçüncü cisme ilişkin kütle fonksiyonu ve üçüncü cismin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafında çizdiği yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu hakkında bilgi verir.

Hipotez olarak öne sürülen üçüncü cismin kütle fonksiyonu  $f(m_3)$  için aşağıdaki formül kullanılır:

$$f(m_3) = \frac{(a \sin i)^3}{P_s^2} = \frac{(m_3 \sin i)^3}{(m_1 + m_2 + m_3)^2} \quad \dots (2.61)$$

Burada  $m_1, m_2$  Güneş kütlesi biriminde bileşenlerin kütlelerini,  $m_3$  bulunması olası üçüncü cismin Güneş kütlesi biriminde kütlelerini vermektedir. Eğer  $a \sin i$ , AB biriminde,  $P_s$  (üçlü sistem yörüngesinin dönemi) yıl biriminde alınırsa;  $f(m_3)$  kütle fonksiyonunun değeri Güneş kütlesi biriminde hesaplanır ve  $f(m_3)$  bulunduktan sonra  $m_3$  terimi hesaplamak için denklem (2.61) aşağıdaki biçimde düzenlenir:

$$\frac{m_3^3 \sin^3 i}{f(m_3)} - (m_1 + m_2 + m_3)^2 = 0 \quad \dots (2.62)$$

Bu bağıntı kullanılarak olası üçüncü cismin sahip olabileceği kütle üçlü sistemin yörünge eğikliği  $i$  açısına bağlı olarak hesaplanır.

Üçüncü cismin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafında çizdiği yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu  $a_3$  için Kepler'in üçüncü yasası kullanılabilir:

$$\frac{a}{a_3} = \frac{m_3}{m_1 + m_2} \quad \dots (2.63)$$

Burada  $m_1$ ,  $m_2$  ve  $m_3$ , Güneş kütlesi biriminde ve " $a$ ", AB biriminde alınır;  $a_3$  AB biriminde hesaplanacaktır.

#### 2.6.f Eksen Dönmesi

Bir çift yıldız sistemi için bileşenler küresel yapıda ve çevrelerinde bileşenlerin hareketlerini bozabilecek bir etki yok ise her bileşen biçimleri, boyutları ve uzaysal yönlenmeleri değişmeyen birer elips boyunca sistemin ortak kütle merkezi etrafında hareket etmesi beklenir. Gerçekte bu koşulları uzayda yakalamak pek mümkün olmamaktadır. Bunların nedenleri şöyle açıklanabilir:

Yıldızların kendi eksenleri etrafında dönmeleri, kutuplarında bir basıklığa (küresel biçimlerini kaybetmelerine) neden olur. Diğer taraftan yakın çift yıldızlarda, bileşenler arasındaki uzaklık kendi yarıçapların 10 katından daha küçüktür (BATTEN, 1973); dolayısıyla bileşenlerin birbirlerini karşılıklı çekmeleri, küresel simetriyi bozar. Bu biçim bozuklukları sistemin çekim alanını etkiler ve yörüngelerinin tedirgin olmasına yol açar (BINNENDIJK, 1960). Küresel olmayan bir cismin meydana getirdiği çekim alanı, içindeki maddenin merkez de yoğunlaşmasına ve böylece iç yapısına bağlıdır (SAHADE ve WOOD, 1978). Bu nedenle çift yıldızlarda eksen dönmesi olayı yıldızların iç yapılarına ait çeşitli özellikler verebilir.

Çift yıldız sistemlerinde sistemin hareketini bozan iki etki daha vardır. Bunlar, olası üçüncü cismin çekim etkisi (KOPAL, 1965) ve ortamın direncidir

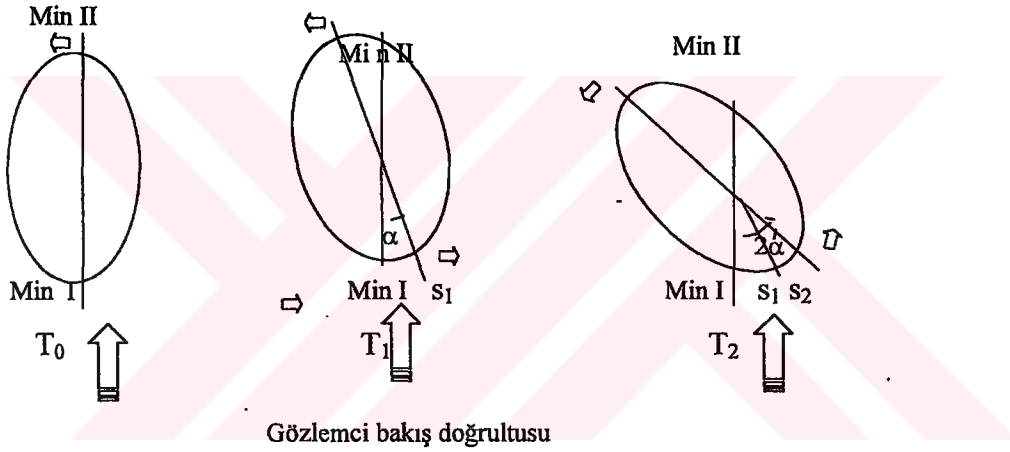
(SMART, 1953). Bu etkiler çift yıldız sistemlerinde enberi noktasının hareket etmesine neden olur (HADJIDEMENTRIOU, 1967).

Bütün bunlardan başka enberi noktası hareketinin relativistik düzeltilmesi yapılmalıdır (KOPAL, 1965).

Kısaca, çift yıldızlarda eksen dönmesine neden olan etkiler şunlardır:

- Dönme etkisi,
- Karşılıklı çekim etkisi,
- Olası üçüncü cisim etkisi,
- Ortamın etkisi ve
- Relativite olayı.

Bu etkilerden en önemlileri dönme ve karşılıklı çekim etkisidir.



Şekil 2.16 Yörünge eksenini dönen bir örten çift yıldızın konumları (KIZILIRMAK, 1974).

Eksen dönmesinin çift yıldız gözlemlerine olan etkisini anlamak için yörünge eksenini dönen bir çift yıldızın tasviri Şekil 2.16'da yapılmaktadır. Yörünge eksenini gözlemcinin bakış doğrultusunda iken yoldaş enberi noktasında ise parlak yıldız örtülür ve ışık eğrisi baş minimuma iner. Bu minimum zamana  $T_0$  diyelim. Yoldaş yörünge hareketini sürdürürken yörünge eksenini de aynı yönde yavaşça dönsün. Bunun sonucu, yoldaşın ikinci örtmesi enberi noktasından biraz daha beride olacaktır. Bu tutulma zamanına  $T_1$  diyelim. Sonuç olarak gözlenen dönem

$$P_1 = T_1 - T_0 \quad \dots(2.64)$$



yoldaşın gerçek  $P$  dolanma döneminden biraz kısa olacaktır. Bu zaman içinde yörünge ekseninin  $\alpha$  açısınca döndüğü, enberi noktasının da  $S_1$  yayını çizdiği kabul edilirse; yoldaşın bu zamanki ortalama hızı  $V_1$  olmak üzere gözlenen dönem yaklaşık olarak

$$P_1 = P - \frac{S_1}{V_1} \quad \dots (2.65)$$

olacaktır.

Yoldaş bir kez daha dönüp örtme gerçekleşince eksen yaklaşık bir  $\alpha$  açısı kadar daha dönmüş ve enberi noktası da  $S_2$  yayını çizmiştir. Bu konumda gözlenen

$$P_2 = T_2 - T_1 \quad \dots (2.66)$$

dönemi yaklaşık olarak

$$P_2 = P - \frac{S_2}{V_2} \quad \dots (2.67)$$

olacaktır. Diğer yandan şekle bakılırsa  $S_2 > S_1$  ve yörünge hızının enberiden enöteye doğru azalmasından ötürü  $V_2 < V_1$  dir. Dolayısıyla,

$$\frac{S_2}{V_2} > \frac{S_1}{V_1} ; P_2 < P_1 \quad \dots (2.68)$$

olur, yani gözlenen dönem azalmaktadır. Bunun sonucu olarak

$$(O-C)_2 > (O-C)_1, y=f(E) \quad \dots (2.69)$$

eğrisi artma gösterir. Bu artma artık doğrusal değildir. Burada bir ikinci özellik daha vardır. Örneğin  $T_1$ 'deki Min I den sonra gelecek yan minimum (Min II) örtülmesinin olacağı nokta yarı elips çevresinden daha kısadır. Bundan dolayı bu konum için (Min II- Min I) zamanı  $< P/2$  olacaktır.

Karşıt olarak, tam enöte noktası gözlemci tarafında ve bakış doğrultusunda olduğu anda bir örtme yani Min I oluşmuşsa, bunu izleyen örtmelerde durum değişik olacaktır. Çünkü yoldaş bu konumda yörünge hızının en yavaş olduğu aralıktadır. Bundan dolayı önceki konumun tersine  $V_2 > V_1$  olacaktır. Fakat  $V_2 - V_1$  farkı çok azdır. Buna karşılık  $S_2 < S_1$  ve fark büyüktür. Bundan dolayı yörünge'nin enöte yöresindeki örtmelerin herhangi birinde  $\frac{S_2}{V_2} < \frac{S_1}{V_1}$  olabilir. Bu da gözlenen dönemlerde  $P_2 > P_1$  eşitsizliğini sağlar. Sonunda  $(O-C)_2 < (O-C)_1$  olur; yani  $y=f(E)$  eğrisinde azalma görülür. Min I den Min II ye giden yol, yarı elips çevresinden daha uzundur. Bundan dolayı enötede oluşan Min I den sonra gelen Min II için,  $(\text{Min II} - \text{Min I}) \text{ zamanı} > P/2$  olacaktır.

Sonuç olarak;

(1) Bir örten çift yıldızın yörünge eksenini dönüyorsa O-C artıkları yörünge dışmerkezliği ile orantılı bir yarı-genliğe sahip sinüs eğrisi biçiminde olacaktır.

(2) Min I ve Min II zamanlarının O-C artıkları eşit genlikli ve eşit dönemli ancak  $180^\circ$  zıt faza sahip sinüs eğrileri verecektir.

(3) Her iki sinüs eğrisinin dönemi eksenin dönme dönemine eşit olacaktır.

Yukarıdaki koşulları sağlayan O-C artıklarının uyduğu sinüs eğrisinin denklemi MARTYNOV (1973) tarafından aşağıdaki biçimde verilmiştir:

$$(O - C) = \mp A \cdot \cos(\dot{\omega} \cdot E + \omega_0) \quad \dots (2.70)$$

Burada  $A$  sinüs eğrisinin genliğini,  $\dot{\omega}$  enberi argümanının yıllık açısal hızını,  $\omega_0$  başlangıç tarihi olarak alınan herhangi bir zamandaki enberi argümanını,  $E$  çevrim sayısını göstermektedir.  $A$  nın önündeki işaret tutulmanın türüne bağlıdır. Örneğin Min I için (2.70) bağıntısı “-” işaretli, Min II için “+” işaretlidir. Ayrıca sinüs eğrisinin genliği  $A$  aşağıdaki forma sahiptir:

$$A = \frac{Pe(1 + \cos ec^2 i)}{2\pi} \quad \dots (2.71)$$

Burada  $P$  yörünge dolanma dönemi,  $i$  yörünge eğikliği açısı,  $e$  yörünge dışmerkezliğidir.

Minimum zamanlarının böylesi O-C artıklarını veren bir örten çift sistemine ilişkin ışık öğeleri de aşağıdaki bağıntı yoluyla hesaplanır:

$$T = T_0 + E.P \mp A \cos(\omega .E + \omega_0) \quad \dots (2.72)$$

Çift yıldızlarda eksen dönmesi konusu yıldızların iç yapı konusuna ışık tutabilmektedir. Bir yıldızın bileşenine uyguladığı çekim kuvveti yıldızın iç yoğunluk dağılımına bağlıdır. Dolayısıyla eksen dönmesine yol açan etken iç yapı parametrelerinin bir fonksiyonu olarak yazılabilir. Örten çift yıldızlarda gözlenen eksen dönmesinden içyapı parametresi gözlemsel olarak bulunabilir. Öte yandan yıldızların iç yapılarına ait çalışmalar teorik olarak iç yapı parametrelerini vermektedir. Böylece yıldızların iç yapılarına ait teorik çalışmaların gözlemsel olarak denetlenebilmesi örten çift yıldızların gösterdikleri eksen dönmesi olayının O-C değişiminin analizi ile sağlanabilmektedir.

## 2.7 RT And

Astronomlar 20 yy. başından beri örten çift yıldız RT And'ı gözlemektedirler (BD +52<sup>0</sup> 3383 A, HIP 114484, GSC 39982167, PPM 41561, AGK + 52 1726, AAVSO 2306+52). Sistem 1911-1927 yılları arasında görsel olarak gözlenmiştir (DEICHMUELLER, 1901; ZINNER, 1916; GADOMSKI, 1928). İlk fotoelektrik gözlemleri (GORDON ,1948, 1955) tarafından yapılmıştır. GORDON sistemin oldukça ilginç bir ışık eğrisine sahip olduğunu bildirdikten sonra sistem çok sayıda yazar tarafından yoğun fotometrik gözlem programlarının konusu haline getirilmiştir (KRISTENSON 1967 ; DEAN 1974; DUMITRESCU 1973, 1974 ; DAPERGOLAS et al. 1988, 1991, 1992, 1994; MANCUSO et al.

1979a, 1979b, 1979c, 1981; MILANO et al. 1981, 1986; ZEILIK et al. 1982, 1988, 1989, GORDON et al. 1990; HECKERT 1995,1998; AREVALO et al. 1995, HECKERT et al.1996; diğ erleri arasından). Sistemin ilk spektroskopik çalışmasını PAYNE-GAPOSCHKIN (1946) yapmış daha sonra sistem KRON(1950), MANCUSO et al. (1981) , WANG ve LU (1993), POPPER (1994) LAZARO and AREVALO (1994) ve PRIBULLA et al. (2000) tarafından tayfsal olarak incelenmiştir. Bu sistem bir çok yazar tarafından başka tayf bölgelerinde de gözlenmiştir (UV bölgesi: BUDDING et al. 1982; Radyo bölgesi: DRAKE et al. 1986).

Sistemle ilgili bu çalışmaların sonuçları aşağıya maddeler halinde çıkartılmıştır:

1- Ört en çift RT And , HALL (1976) tarafından kısa dönemli RS CVn türü değış en olarak sınıflandırılmıştır.

2- Sistemin bileş enlerinin tayf türleri, görsel-kırmızı ötesi (visual-infrared) fotometri çalışmasında (AREVALO et al. 1995); G0V + K2V, tayfsal çalışmadan da (POPPER 1994); F8V + K3V olarak belirlenmiştir.

3- RT And ayırık bir sistemdir (MILANO et al. 1981, ZEILIK et al. 1989, AREVALO 1995, PRIBULLA et al. 2000) .

4- Iş ık eğ risi hem tutulmada hem tutulma dışında büyüklük ve biçim itibariyle değış im göstermektedir ( GORDON 1955; MILANO et al. 1981,1986; ZEILIK et al. 1989; diğ erleri arasından).

5- Bu fotometrik değış imlerin baş yıldızın yüzeyi üzerindeki büyük yıldız lekeler tarafından üretilmiş olabilecekleri önerilmektedir (ZEILIK et al. 1989, PRIBULLA et al. 2000).

6- Baş yıldız, görsel fotometri çalış malarında belirlenen manyetik aktiviteden tek başına sorumlu olacak şekilde sistemin görünür toplam ış ığının %86'sına katkıda bulunmaktadır (MILANO et al. 1981, 1986; ZEILIK et al. 1989, PRIBULLA et al. 2000; diğ erleri arasından).

7- Baş yıldızın yüzeyi üzerindeki aktif bölgeler karalı biçimde, boylamı  $90^{\circ}$  ve  $270^{\circ}$  civarına yerleş en aktif kuş aklar biçimini almaya çalış ırlar ( ZEILIK et al. 1989).

8- RT And yüksek dereceden kromosferik aktiviteye sahip olduğunu belirten Magnezyum (Mg) H ve K çizgilerinde salma gösterir (BUDDING et al. 1982).

9- DRAKE et al. (1986)'nın 6 cm radyo dalgaboyu çalışma programında RT And'in bir radyo kaynağı olduğu belirlenmemiştir.

10- AREVALO et al. (1995)'in görsel-kırmızı ötesi fotometri çalışmalarında sistemin kırmızı ötesi aşırılık verdiği gözlenmemiştir.

11- Sistemin yörünge dönemi değişmektedir. Günümüze kadar çeşitli yazarlar tarafından bir çok O-C diyagramı yayınlanmıştır (GORDON 1995; WOOD ve FORBES 1963; KRISTENSON 1967; DUMITRESCU 1973; DEAN 1974; WILLAMON 1974; HALL ve KREINER 1980; MILANO et al. 1981,1986; BORKOVITS ve HEGEDÜS 1996; ALBAYRAK et al. 1999, PRIBULLA et al. 2000). Sistemin O-C değişimi için sunulan olası açıklamalar; manyetik frenleme, sistemde bir üçüncü cisim nedeni ile ışık zaman etkisi ve baş bileşenin çevrimsel manyetik aktivitesi sayılabilir.

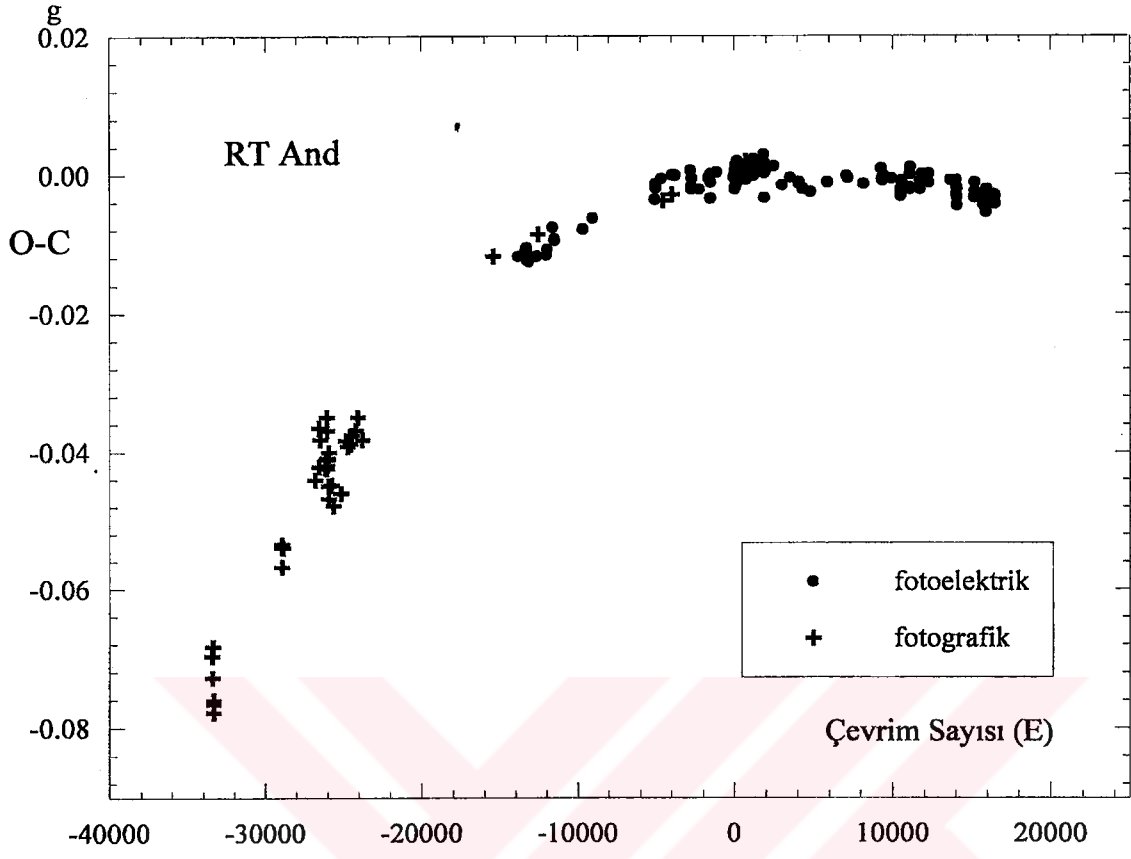
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Sistemin O-C diyagramını oluşturmak ve yörünge dönemi değişimini irdelemek için literatürden sisteme ilişkin 41'i fotografik ve 128'i fotoelektrik olmak üzere toplam 169 adet minimum zamanı toplanmıştır. Literatürden toplanan minimum zamanları, minimum türü ve literatür kaynağı ile birlikte, Çizelge 3.1'de verilmektedir. O-C analizi yapılırken kullanılan keyfi ağırlıklar; fotografik verinin içerdiği yüksek yanılğıdan dolayı, (fotografik verinin yanılğılı olması Şekil 3.1'de gösterilen O-C diyagramında verinin geniş saçılmasından kolayca anlaşılabilir) fotografik veri için 1 ve fotoelektrik veri için 5 olarak seçilmiştir.

O-C artıkları KHOPOLOV et al. (1985) tarafından verilen aşağıdaki ışık öğeleri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Min I (H JD)} = 24\,41141.88901 + 0^{\text{e}}.628929513 \times E \quad \dots (3.1)$$

Gözlenen tüm minimum zamanlarının O-C<sub>1</sub> artıkları, Şekil 3.1'de çevrim sayısına göre çizilmiştir. Şekil 3.1'den, sistemin yörünge döneminin zamanla değiştiği ve değişimin parabol yapıda olduğu görülmektedir. Parabolik karakter, bir çevrimsel karakterin bir parçası da olabilir. Ancak, bu diyagramdan görüleceği gibi, sinüzoidal bir yapıyı destekleyecek kadar, yeterli veri yoktur. Yörünge döneminin parabolik yapıdaki bu değişimini açıklamak için (örten çift yıldızların yörünge dönem değişimlerini açıklamada literatürde sıkça kullanılan) kütle kaybı mekanizması seçilmiştir. Ayrıca, O-C değişimine fit edilen parabolik eğri ile gözlem verisinin farkları da hesaplanmıştır. Bu farkların çevrimsel bir yapı sergilediği düşünülerek sistemde olası bir üçüncü cismin neden olduğu ışık-zaman gecikmesi ve bileşen yıldızların manyetik aktivite çevrimi mekanizmaları tartışılmıştır.



Şekil 3.1. RT And'in O-C diyagramı.

**Çizelge 3.1.** RT And'ın literatürden toplanan minimum zamanları

Fotografik veri											
Hel JD	Tür	Kaynak	Hel JD	Tür	Kaynak	Hel JD	Tür	Kaynak	Hel JD	Tür	Kaynak
20105.385	I	1	24286.534	I	3	24795.341	I	4	25912.324	I	3
20122.363	I	1	24434.34	I	4	24831.191	I	4	26000.376	I	3
20144.38	I	1	24446.284	I	4	24832.444	I	4	26176.473	I	3
20168.271	I	1	24490.313	I	4	24842.505	I	3	31435.608	I	5
20173.303	I	1	24686.535	I	4	24949.425	I	3	33230.576	I	50
20175.188	I	1	24732.448	I	4	25020.491	I	3	38288.432	I	52
22931.81	I	2	24751.322	I	4	25322.349	I	3	38644.407	I	53
22935.584	I	2	24756.346	I	4	25515.468	I	3	41605.412	I	54
22940.615	I	2	24761.383	I	4	25588.423	I	3			
22941.87	I	2	24769.555	I	4	25698.486	I	3			
22984.64	I	2	24778.356	I	4	25754.462	I	3			
Fotoelektrik veri											
32443.782	I	5	41141.8885	I	14	43725.5303	I	25	48858.5397	II	42
32758.876	I	5	41143.7755	I	14	43732.4483	I	25	48861.3686	I	42
32763.908	I	5	41167.673	I	14	44880.246	I	26	49734.3232	I	43
32775.858	I	5	41194.7197	I	14	44173.3267	I	56	49972.373	II	44
32787.807	I	5	41197.865	I	14	44851.3141	I	28	49973.3144	I	44
32804.787	I	5	41218.6181	I	14	45630.5587	I	29	49981.4914	I	45
32865.793	I	5	41227.4219	I	15	45673.3256	I	30	50000.3592	I	44
33175.856	I	5	41230.5675	I	15	46298.4807	I	31	50001.3001	II	44
33587.805	I	5	41232.4536	I	15	46998.4186	I	32	50004.4459	II	45
33627.4284	I	6	41261.3875	I	15	47015.461	I	33	50682.4319	II	55
33837.494	I	7	41300.3803	I	16	47044.3916	I	34	50708.5333	I	55

*Çizelge 3.1'in devamı*



Fotoelektrik veri											
Hel JD	Tür	Kaynak	Hel JD	Tür	Kaynak	Hel JD	Tür	Kaynak	Hel JD	Tür	Kaynak
33918.624	I	8	41508.5563	I	17	47082.7569	I	35	50709.478	II	55
33920.511	I	8	41598.4911	I	17	47381.4981	I	36	50964.5073	I	47
35066.422	I	8	41619.2458	I	18	47756.3385	I	37	51041.5496	II	55
35454.4731	I	9	41627.4228	I	17	47758.539	II	37	51066.3941	I	55
37958.8731	I	10	41886.5418	I	17	47759.4832	I	37	51076.4564	I	48
37987.8061	I	8	41905.4092	I	19	47760.4256	II	37	51103.5007	I	48
37999.7552	I	11	41924.2795	I	18	47763.5711	II	37	51141.4937	I	55
38227.429	I	11	41932.4547	I	20	47803.5094	I	38	51150.3551	II	55
38651.328	I	11	41947.549	I	20	47806.3397	II	38	51160.4162	II	55
38778.6862	II	11	41952.5796	I	20	47817.3456	I	39	51417.3357	I	46
39390.3209	I	12	41956.354	I	20	48125.5202	I	38	51426.4546	II	46
39422.3936	I	13	42011.3852	II	17	48126.4657	II	38	51433.3732	I	46
39429.3122	I	56	42317.3611	I	21	48130.5518	I	38	51434.3173	II	46
39441.263	I	56	42329.3092	I	17	48132.4386	I	38	51436.5185	II	46
39739.374	I	56	42330.5675	I	17	48133.3849	II	38	51468.468	I	46
40115.4755	I	56	42338.424	II	17	48506.3373	II	40	51508.2166	II	46
40161.3878	I	56	42339.371	I	17	48510.4262	I	41	51511.3613	II	46
40190.317	I	56	42367.3586	II	17	48511.3688	II	41	51530.228	II	46
40196.29	II	56	42385.2832	I	17	48512.3124	I	41			
40197.2368	I	56	42717.3586	I	22	48514.5131	II	41			
40200.3815	I	56	43044.3992	I	23	48600.3641	I	40			
40439.375	I	13	43381.5065	I	24	48646.2748	I	40			

Çizelge 3.1 in kaynakları:

1 – Zinner (1916), 2 – Jordan (1929), 3 – Nijlan (1931), 4 - Sternberk (1927), 5 – Gordon (1955), 6 – Lenouvel (1951), 7 – Lenouvel' (1957), 8 – Dean (1974), 9 – Pohl & Kızılırmak (1964), 10 – Pohl & Kızılırmak (1966), 11 – Kristensen (1967), 12 – Kızılırmak & Pohl (1969), 13 – Pohl & Kızılırmak (1964), 14 – Williamon (1974), 15 – Dumitrescu (1973a), 16 – Pohl & Kızılırmak (1972), 17 - Mancuso et al. (1978), 18 – Kızılırmak & Pohl (1969), 19 - Baldinelli et al. (1973), 20 – Murnikova & Lemeschenko (1981), 21 – Baldinelli & Ghedini (1976), 22 – Pohl & Kızılırmak (1976), 23 – Patkos (1980), 24 - Ebersberher et al. (1978), 25 - Mancuso et al. (1979b), 26 – Pohl & Gulmen (1981), 27 - BBSAG No.56, 28 - Pohl et al. (1982), 29 - BAAVSS No.60, 30 - Pohl et al. (1985), 31 - Pohl et al. (1981), 32 - BBSAG No.84, 33 – Keskin & Pohl (1989), 34 - BAAVS No.70, 35 - Cato et al. (1991), 36 – Hanzl (1990), 37 – Rovithis - Livanion et al. (1994), 38 - Dapergolas et al. (1991), 39 - BAAVSS No.73, 40 – Hanzl (1994), 41 - Dapergolas et al. (1992), 42 - Dapergolas et al. (1994), 43 - BBSAG No.108, 44 - Müyesseroğlu et al. (1996), 50 – Latrob (1950), 51 – Azarnova (1955), 52 – Obürka (1964), 53 – Obürka (1965), 54 – Ahnert (1973), 55 - Pribulla et al. (1999a), 56 –Bakos & Tremko (1981).

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1 Kütle Kaybı

Şekil 3.1'deki O-C artıklarına, ağırlıklı en küçük kareler yöntemi kullanılarak, bir parabol fiti yapılmış ve aşağıdaki kuadratik ışık ögesi hesaplandı:

$$\text{Min I H JD} = 24\,41141.88931 + 0^{\pm 6}.628929955xE - 4.65 \cdot 10^{-11}xE^2 \dots (4.1)$$

$\pm 6 \qquad \qquad \pm 5 \qquad \qquad \pm 4$

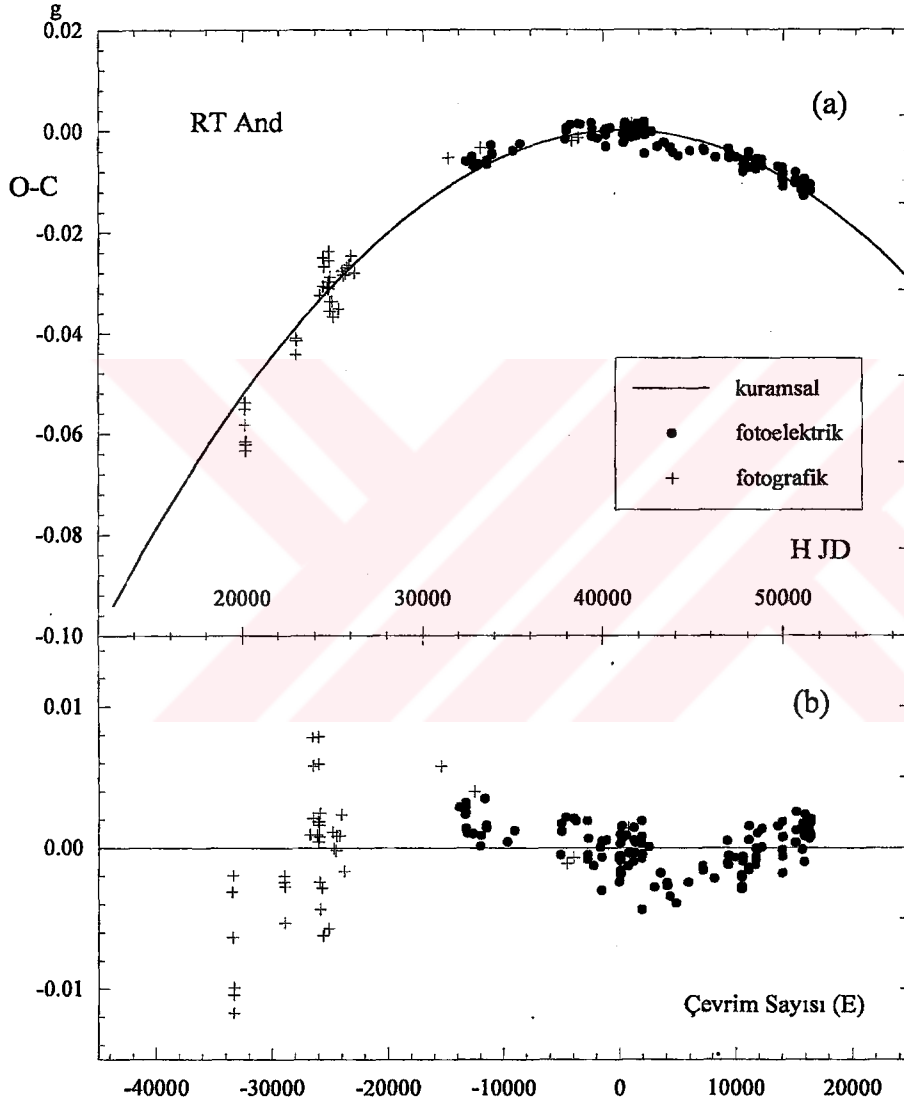
RT And'ın (4.1) bağıntısı ile verilen ışık öğelerinin doğrusal kısmı kullanılarak hesaplanan gözlenen minimum zamanlarının yeni O-C artıkları, Şekil 4.1'de çevrim sayısına göre çizildi. Bu diyagramda veriye fit edilen kuramsal eğri de çizilmiştir. Diyagramın alt kısmı, kuramsal eğri ile gözlem verisinin farkını göstermektedir. (4.1) bağıntısındaki kuadratik eleman, RT And'ın yörünge döneminin sürekli azaldığını belirtir. Dönemin bu seküler azalma miktarı,  $0.47 \pm 0.01$  saniye/yüzyıl olarak hesaplandı.

Sistemin toplam kütesinin ve toplam yörünge açısal momentumunun sabit kaldığı korunumlu kütle transferinin idealize edilmiş modunda; madde, büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene akıyorsa yörünge dönemi azalacak, tersine küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene akıyorsa yörünge dönemi artacaktır (bkz. Bölüm 2.6.a). RT And, ayrı bir sistem olup kütlesi büyük olan başyıldız Roche lobunu doldurmaya adaydır (PRIBULLA et al. 2000). Bu yüzden eğer bileşenler arası kütle aktarımı varsa kütle kaybeden yıldız, birinci bileşen olmalıdır. Böylece, gözlenen yörünge dönemi azalmasını, baş yıldızdan yoldaş yıldızla kütle aktarımı olduğu şeklinde açıklamak mümkündür. Sözü edilen kütle aktarım hızı ise  $9.68 \times 10^{-8} m_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$  olarak hesaplandı.

Öte yandan Güneş türü bileşeni bulunan çift yıldızlarda; sürekli dönem azalması, çiftin yıldız rüzgarları nedeniyle ortaya çıkan manyetik frenleme etkisi ile ilişkilidir. Diğer yandan, eğer yıldızdan uzaklaşan madde, oldukça büyük Alfvén yarıçapına kadar manyetik alan nedeniyle yıldız ile birlikte dönmeye

zorlanıyorsa, yörünge dönemi sistemin açısal momentum kaybı nedeniyle azalacaktır.

Bu fiziksel durum, RT And için, HALL and KREINER (1980)'in çalışmasında (31 RS CVn türü yıldız ile birlikte) ve DEMİRCAN (1998)'in çalışmalarında tartışılmıştır. HALL and KREINER (1980)'-



**Şekil 4.1.** RT And'nin, (4.1) bağıntısının doğrusal kısmı kullanılarak hesaplanan, O-C farkları ve bu farklara fit edilen kuramsal eğri. Diyagramın alt kısmında, gözlem verisi ile fit edilen kuramsal eğri arasındaki farklar gösterilmektedir.

in modelinde, soğuk bileşen yıldız rüzgarı mekanizması nedeniyle kütle kaybetmektedir. Buna göre soğuk bileşenin kütle kaybı oranı, RT And'ın gözlenen yörünge dönemi azalması için yaklaşık  $3 \times 10^{-9} m_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$  olarak tahmin edildi. DEMİRCAN (1998)'in modelinde ise yörünge açısal momentumu dağılımından elde edilen yörünge açısal momentumu kaybı, kütle kaybı ve dönem değişimi arasındaki ilişkiler kullanılmakta; yörünge dönemi azalması, manyetik frenlemenin neden olduğu yörünge açısal momentumunun evrimi ile açıklanmaktadır.

#### 4.2 Üçüncü Cisim Açıklaması

Gözlem verisi ile kuramsal eğri arasındaki farklılara (bkz. Şekil 4.1 (b)), RT And'ın, görünmeyen üçüncü cisim ile birlikte oluşturdukları üçlü dizgenin ortak kütle merkezi etrafında, çizdiği basık yörünge hareketinden kaynaklanan ışık-zaman gecikmesinin neden olduğu düşünüldü. Veriye aşağıda verilen ışık-zaman etkisinin denklemi, ağırlıklı en küçük kareler yöntemi kullanılarak, fit edildi:

$$\Delta t = \frac{a_{12} \sin i'}{c} \left\{ \frac{1 - e'^2}{1 + e' \cos v'} \sin(v' + \omega') \right\}. \quad \dots (4.2)$$

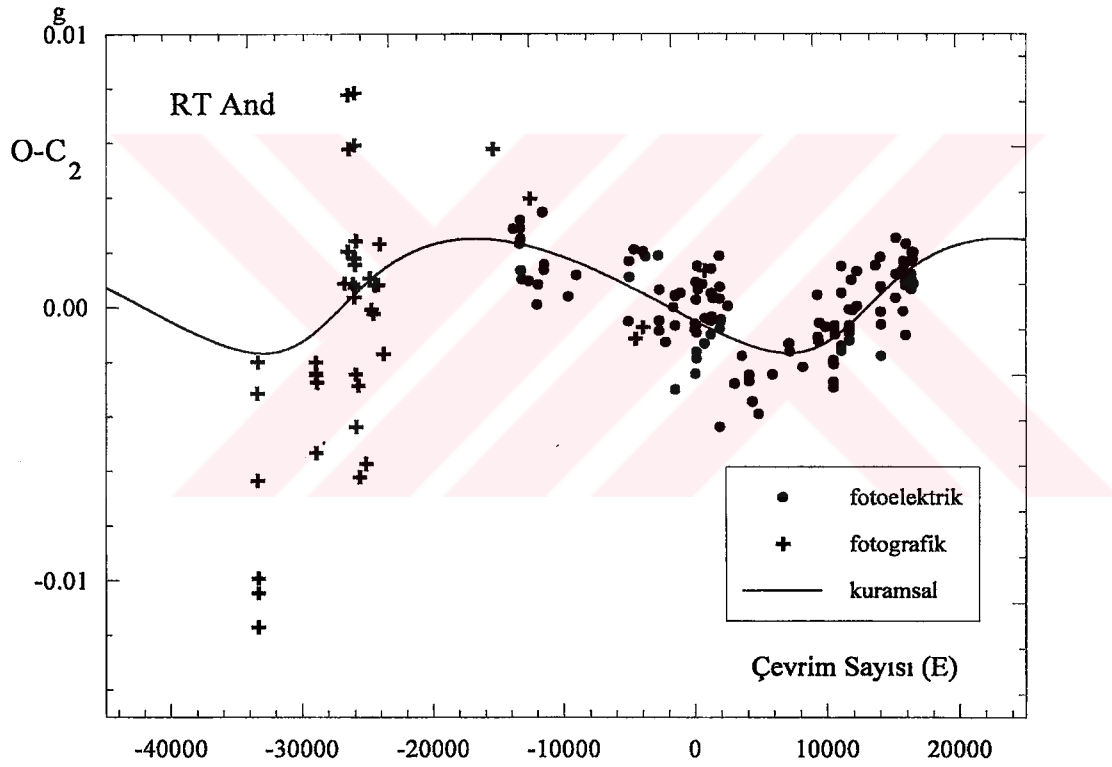
Burada;  $a_{12}$ , örten çiftin ortak kütle merkezinin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafında çizdiği basık yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu (km biriminde);  $c$ , ışık hızı (km/gün biriminde);  $i'$ ,  $e'$ ,  $v'$  ve  $\omega'$  sırasıyla, üçlü sistemin yörüngesinin yörünge eğikliği, dışmerkezliği, gerçek ayrıklığı ve enberi noktasının boylamıdır. Ayrıca,  $T'$  ve  $P_{12}$ , sırasıyla, üçlü sistemin yörüngesinin enberiden geçiş zamanını ve yörünge dönemini göstermektedir.

Analiz sonucu bulunan öğeler ve yanılırları, Çizelge 4.1'de verilmektedir. Işık-zaman etkisinin kuramsal eğrisi de Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1'de verilen ışık-zaman gecikmesi öğeleri kullanılarak çift yıldızın kütle merkezinin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafındaki dolanma

dönemi 61.09 yıl ve ortak kütle merkezine olan izdüşüm uzaklığı 0.38 AB olarak hesaplandı. Bu değerler aşağıdaki bağıntıda yerine konarak üçüncü cisim hipotezinin kütle fonksiyonu  $1.15 \times 10^{-5} m_{\odot}$  olarak elde edildi:

$$f(m_3) = \frac{(a_{12} \sin i')^3}{P_{12}^2} = \frac{(m_3 \sin i')^3}{(m_1 + m_2 + m_3)^2} \quad \dots (4.3)$$



**Şekil 4.2.** O-C değerleri ve fit edilen kuramsal parabolik eğri arasındaki farklar ve bu farklara fit edilen ışık-zaman gecikmesinin kuramsal eğrisi.

**Çizelge 4.1.** RT And sistemi için (4.2) bağıntısı ile verilen ışık-zaman gecikmesinin en iyi fit edilen öğeleri.

Öge	Değeri	Yanılıgısı
$a_{12} \sin i'$ (km)	$5.69 \times 10^7$	$0.22 \times 10^7$
$e'$	0.36	0.04
$\omega'$ (rad)	5.74	0.09
$n' = \frac{2\pi}{P_{12}}$ (rad/gün)	0.000249	0.000006
$T'$ (H JD)	48390	281

Ayrıca, üçlü dizge yörüngesinin eğikliği  $i'$  ne keyfi değerler verilerek sistemde var olması düşünülen üçüncü cismin alabileceği kütle değerleri hesaplandı. Bulunan sonuçlar, Çizelge 4.2'de verilmektedir.

**Çizelge 4.2.**  $i'$  yörünge eğikliğine bağlı olarak üçüncü cismin alabileceği kütle değerleri.

$i'$ (°)	$m_3 (m_\odot)$
30	0.072
40	0.055
50	0.046
60	0.041
70	0.038
80	0.036
90	0.035

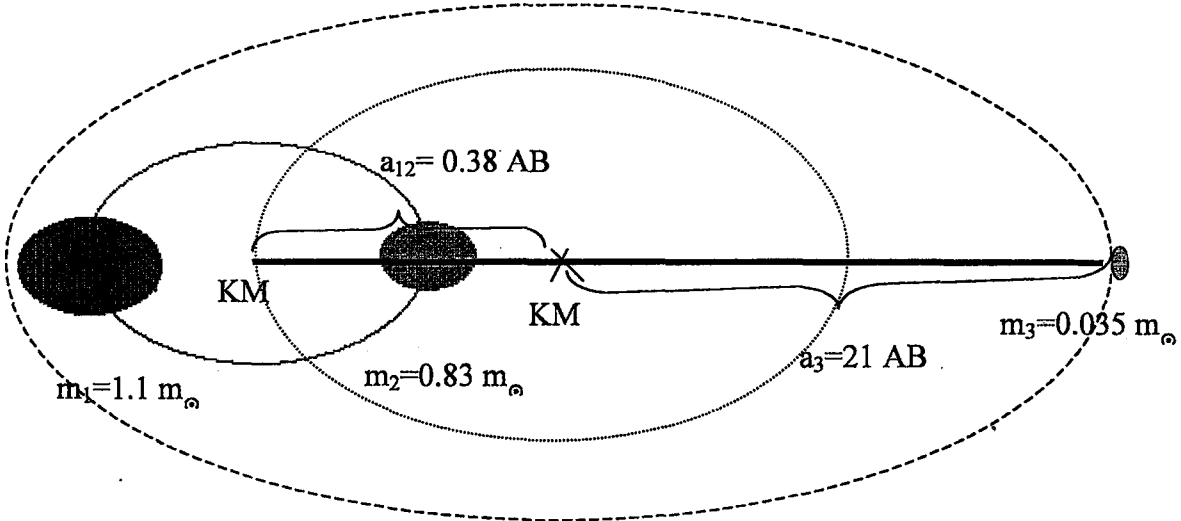
Olası üçüncü cismin yörüngesi ile RT And'ın yörüngesi aynı düzlemde olursa, üçüncü cismin yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu için, aşağıda verilen bağıntı kullanılarak, 21 AB değeri bulunabilir:

$$\frac{a_{12}}{a_3} = \frac{m_3}{(m_1 + m_2)} \quad \dots (4.4)$$

Bu değere göre üçüncü cisim (eğer varsa) RT And'ın dış Lagrange noktalarının çok dışında dolandır ve yörüngesi kararlıdır. Eğer RT And'ın yerden uzaklığı için Hipparcos Kataloğu'nda verilen 75 pc değeri alınır; çift sistem ile üçüncü cisim arasındaki açısal ayrıklık için aşağıdaki bağıntı kullanılarak, 0".005 değeri hesaplanır,

$$\alpha = \frac{a_{12} + a_3}{d} \quad \dots (4.5)$$

RT And örten çifti için üçüncü cisim hipotezine ilişkin hesaplanan yukarıdaki verilerin ışığı altında RT And ve olası üçüncü cisim birlikte gösteren bir konfigürasyon Şekil 4.3'de çizilmiştir.



**Şekil 4.3.** RT And ile görülmeyen üçüncü cismin birlikte oluşturdukları önerilen konfigürasyon.



Sonuç olarak, önerilen üçüncü cismin olası kütlesi oldukça küçüktür ve çift sisteme çok yakındır. Bu nedenle, bu sonuç, önerilen üçüncü cismin RT And'ın etrafında dolanan bir "gezegen" yada "kahverengi cüce" olabileceği şüphesini uyandırmaktadır.

### 4.3 Manyetik Aktivite Açıklaması

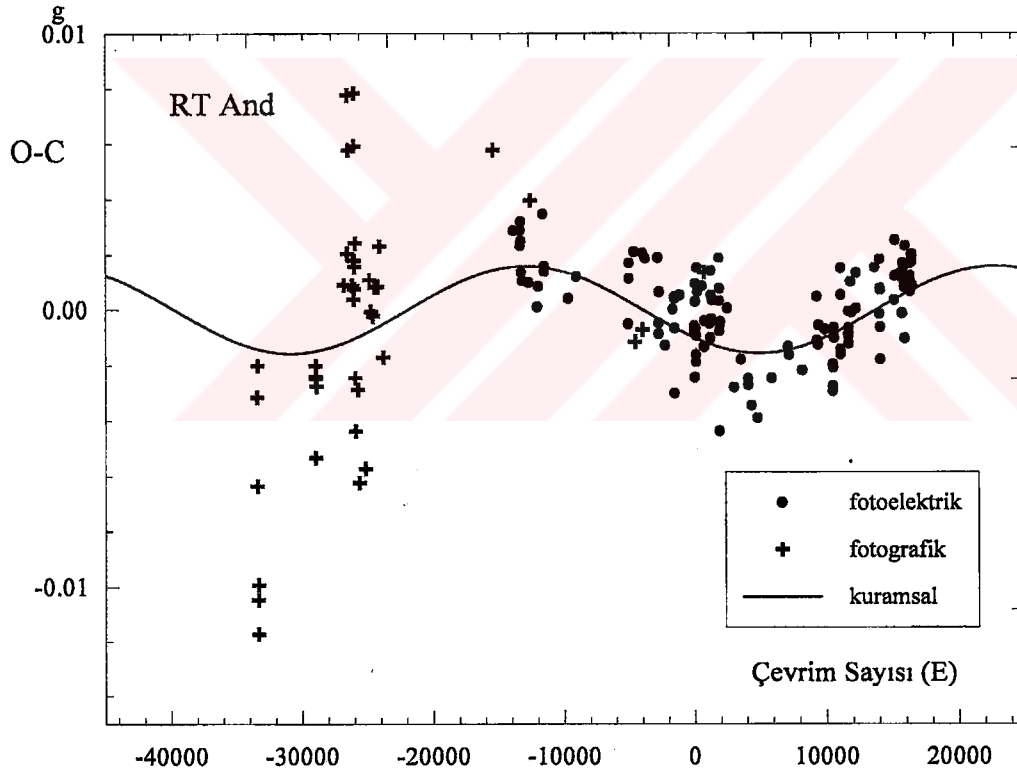
RS CVn türü sistemlerin yörünge dönemleri üzerinde çevrimsel manyetik aktivite etkisi, bu sistemlerin bileşenlerinin geri tayf türünden olmaları ve dönme-dolanma kilitlenmesi göstermeleri nedeniyle olası gözükmemektedir. Bu nedenle, (O-C) değerleri ve parabolik kuramsal eğri arasındaki farklar (bkz. Şekil 4.1.(b)), RT And'ın yörünge döneminde çevrimsel değişim olarak alınabilir ve manyetik aktivitenin yörünge dönemi değişimine olan etkisini en iyi biçimde gösteren "APPLEGATE (1992) mekanizması" RT And'a uygulanabilir. Böylece, bu yaklaşım altında, Şekil 4.1'de verilen diyagramın alt kısmındaki farkların yörünge döneminde olası bir çevrimsel değişimi gösterdiği düşünülerek, veriye aşağıda verilen sinüs denklemi, ağırlıklı en küçük kareler yöntemi kullanılarak, fit edildi:

$$O - C_2 = A_s \times \sin \left[ \frac{2\pi}{P_s} (E - T_s) \right], \quad \dots (4.6)$$

Burada, E çevrim sayısı iken  $A_s$ ,  $P_s$  ve  $T_s$ , sırasıyla, sinüs eğrisinin genliği, dönemi ve minimum momentidir. Analiz sonucu bulunan öğeler ve yanılırları Çizelge 4.3'te verilmekte, Şekil 4.4'de ise grafiği gösterilmektedir.

**Çizelge 4.3.** RT And sistemi için (4.6) bağıntısı ile verilen sinüs eğrisine yapılan en iyi fit öğeleri.

Öge	Değeri	Yanılışı
$A_S$ (gün)	0.00156	0.00007
$T_S$ (Çevrim sayısı)	13894	251
$P_S$ (Çevrim sayısı)	35756	849



**Şekil 4.4.** Gözlemsel O-C değerleri ile fit edilen kuramsal parabolik eğri arasındaki farklar ve bu farklara fit edilen kuramsal sinüs eğrisi.

RT And'ın baş yıldızının yüzeyinde soğuk lekeler olduğu belirtildiğinden ve toplam ışığa katkısı %86 olduğundan dolayı, baş bileşen manyetik aktiviteden sorumlu yıldız olarak ele alındı.

Çizelge 4.3'te verilen küçük genlikli değişimin öğeleri kullanılarak, sistemin yörünge dönemi değişimini açıklamak için elde edilen APPELEGATE (1992) parametreleri; (1)  $A_s=0.00156$  gün ve  $P_s=61.6$  yıl için gözlenen yörünge dönemi değişimi  $\Delta P=0.024$  s, (2) aktif bileşenin iç kısmından dış kısmına, dış kısmının başka değişle kabuğun farklı dönmesine yol açacak şekilde aktarılan açısal momentum  $\Delta J=4.86 \times 10^{46}$  gcm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>, (3) kabuğun eylemsizlik momenti,  $M_k=0.1M$  kabulü altında,  $I_k=1.06 \times 10^{54}$  gcm<sup>2</sup>, (4) açısal momentum transferi için gerek duyulan enerji  $\Delta E=4.46 \times 10^{39}$  erg, (5) yukarıdaki maddede hesaplanan enerji değişimi, konvektif bölgede enerji stoğu olmaksızın yıldızın yalnızca nükleer ısıtmasından sağlanmakta ise  $0.002 L_{\odot}$  'lik değerinde bir ısıtma değişimine sahip olacağı bulundu, (6) bu ısıtma değişimi sistemin toplam ışınımının yaklaşık  $0^{m}.001$  genlikte değişmesi gerektiğini belirtir, (7) yıldızın dış kabuğu ile iç kısmı arasında açısal momentum transferi olması için gerekli yüzeyaltı manyetik alanı 2.7 kG'dir.

Ayrıca, Applegate modeli, (i) yıldızın ışık değişiminin dönemi ile O-C değişiminin döneminin eşit olmasını ve (ii) yıldız en parlak olduğunda en sıcak olmasını koşul koyar. Bu nedenle, RS CVn türü örten çift yıldız RT And'ın O-C değişimi ile uzun dönemli ışık değişimleri arasında bir ilişki aranmalıdır. Bu ilişki, bundan sonraki bölümde araştırılacaktır.

#### 4.4 Işık Değişimi

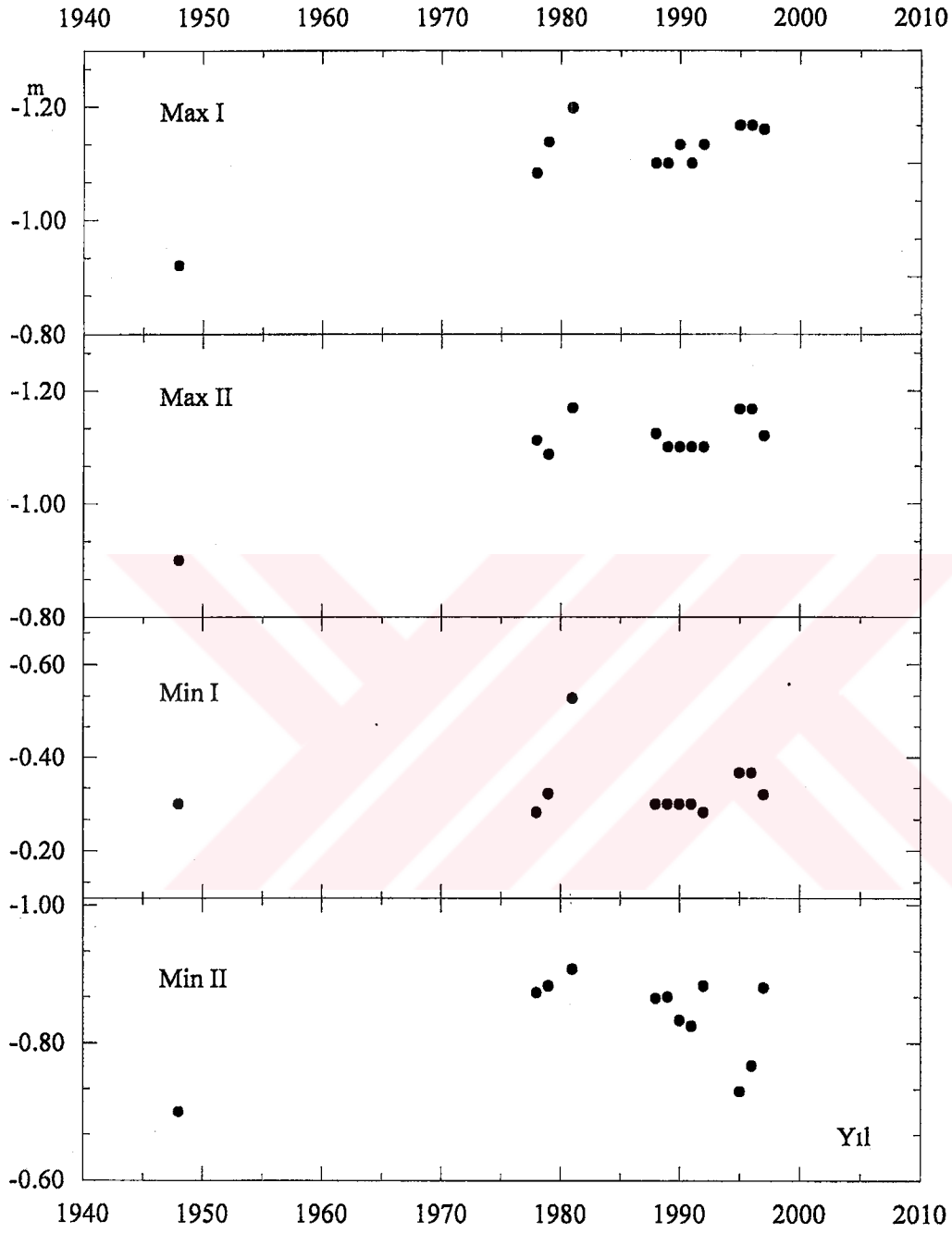
RT And'ın uzun dönemli ışık değişimini araştırmak için; 1948-1997 arasında yayınlanmış ışık eğrileri literatürden elde edildi. Işık değişimini okuyabilmek için 4 klasik evre seçildi: Min I (0.0 evre), Min II (0.5 evre), Max I (0.25 evre) ve Max II (0.75 evre). Böylece, dört özgün evredeki ışık düzeyleri, yalnızca V renge ölçüldü. Sadece V renge seçilmesinin nedeni hem manyetik aktivitenin etkin bir biçimde görüldüğü dalgaboyunun V rengi olması

hem de birçok araştırmacının RT And'ın gözlemini yalnızca V renginde yapmasıdır. Ölçülen ışık değişiminin değerleri, Çizelge 4.4'te verilmekte; seçilen her bir özgül evredeki ışık değişimleri, Şekil 4.5'te gösterilmektedir.

**Çizelge 4.4.** RT And'ın literatürden toplanan ışık eğrilerinde V renginde ölçülen Max I (0.25 evre), Max II (0.75 evre), Min I (0.0) ve Min II (0.50 evre) parlaklık düzeyleri.

Yıl	Max I	Max II	Min I	Min II	Kaynak
1948	-0 <sup>m</sup> .92	-0 <sup>m</sup> .9	-0 <sup>m</sup> .3	-0 <sup>m</sup> .7	1
1978	-1.083	-1.112	-0.283	-0.873	2
1979	-1.138	-1.087	-0.322	-0.883	3
1981	-1.198	-1.169	-0.529	-0.907	4
1988	-1.1	-1.124	-0.3	-0.865	5
1989	-1.1	-1.1	-0.3	-0.867	6
1990	-1.133	-1.1	-0.3	-0.833	7
1991	-1.1	-1.1	-0.3	-0.825	8
1992	-1.133	-1.1	-0.283	-0.883	9
1995	-1.167	-1.167	-0.367	-0.73	10
1996	-1.167	-1.167	-0.367	-0.767	11
1997	-1.16	-1.12	-0.32	-0.88	12

<sup>1</sup> Gordon (1955), <sup>2</sup> Mancuso et al. (1979), <sup>3</sup> Milano et al. (1981), <sup>4</sup> Zeilik et al. (1982), <sup>5</sup> Dapergolas et al. (1988), <sup>6</sup> Dapergolas et al. (1991), <sup>7</sup> Dapergolas et al. (1991), <sup>8</sup> Dapergolas et al. (1992), <sup>9</sup> Dapergolas et al. (1994), <sup>10</sup> Heckert (1995), <sup>11</sup> Heckert et al. (1996), <sup>12</sup> Heckert (1998).



**Şekil 4.5.** RT And'ın  $0^p.25$ ,  $0^p.75$ ,  $0^p.0$  ve  $0^p.5$  evrelerinde ölçülen V rengindeki parlaklık düzeyinin yıllara göre değişimi.

Şekil 4.5'te sistemin parlaklık düzeyi değişiminde çevrimsel bir yapı görülmemektedir. Yalnız, Max I ve Max II düzeylerinde sistemin V rengindeki parlaklığı belirgin olarak doğrusal bir artış göstermektedir. Buradan, kabaca, sistemin maksimum düzeylerde V renginde yılda yaklaşık olarak  $0^{m}.006$  parlaklık artışı verdiği söylenebilir. Min I ve Min II düzeylerinde ise böylesi doğrusal bir artış belirgin olmayıp yalnızca hissedilmektedir. Öte yandan Applegate mekanizmasının RT And'ın baş bileşenine uygulaması, baş bileşenin parlaklık değişimi için yaklaşık  $0^{m}.001$  mertebesinde bir değer vermektedir. Bu sonuç, sistemde gözlenen ışık değişiminden yalnızca leke aktivitesinin sorumlu değil kütle kaybı gibi diğer bazı olayların da sorumlu olabileceğine işaret etmektedir. Ancak, bu çalışma, Bölüm 4.3'te değinildiği biçimde, sistemin gözlenen ışık değişimi ile yörünge dönemi değişimi arasında Applegate mekanizmasını destekleyen herhangi bir ilişki vermemektedir. Belki, ışık değişimleri ile yörünge dönemi salınımlarına neden olan iki olayın zaman ölçekleri oldukça farklıdır.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

RT And sisteminin yörünge dönemi değişimini açıklamak için kullanılan mekanizmalar ve sonuçları maddeler halinde aşağıda özetlenmektedir:

(i) **Sistemden kütle kaybı:** Manyetik aktivite sonucu oluşan yıldız rüzgarları RT And'ın döneminde bir azalma meydana getirmiştir. (ii) **Üçüncü cisim nedeniyle oluşan ışık-zaman etkisi:** Olası üçüncü cismin hesaplanan kütlesi, onun bir “gezegen” veya “kahverengi cüce” olabileceği şüphesini uyandırmaktadır. (iii) **Manyetik aktivite:** Yörünge dönemi değişimini açıklamak için Applegate mekanizması uygulandığında, yıldız yüzeyi üzerinde büyük soğuk lekelerin oluşmasını sağlayacak değerde bir yüzey-altı manyetik alan şiddeti (2.7 kG) bulunmaktadır. Bir çok yazar tarafından da yapılan çalışmalarda baş bileşen üzerinde büyük lekeler olduğu belirtilmiştir. Fakat, O-C değişimi ile aynı dönemli olması beklenen uzun dönemli ışık değişimi ile karşılaşılmamıştır.

Sonuç olarak, RT And sisteminde görülen yörünge dönemi değişiminden manyetik frenleme ile dönem azalmasına eşlik eden ışık-zaman etkisinin sorumlu olabileceği görülmektedir. Ancak, bu yanıtın doğruluğu, gelecekte yapılacak gözlemlere dayanmaktadır.

## ÖZET

RS CVn türü örten çift yıldız RT Andromedae'nın yörünge dönemi değişimini irdelemek için sisteme ilişkin literatürden yayınlanmış gözlenen minimum zamanları toplandı ve sistemin O-C diyagramı çizildi. RT And'ın Şekil 3.1'deki O-C diyagramı, sistemin yörünge dönemi değişiminin parabol üstüne binmiş sinüslü bir karaktere sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle literatürde örten çift sistemlerin yörünge dönemi değişimlerini açıklamak için önerilen ve bu çalışmanın ikinci bölümünde sunulan mekanizmalar arasından RT And'ın yörünge dönemi değişimini açıklamak için olası üç mekanizma seçildi: (1) sistemde bileşenler arası kütle aktarımı, (2) sistemde varolması olası görülemeyen uzak bir üçüncü bileşen nedeniyle oluşan ışık-zaman etkisi ve (3) bir bileşen yıldızın çevrimsel manyetik aktivitesi nedeniyle oluşan yörünge dönemi modülasyonu. Bu mekanizmalar ve RT And'ın O-C farklarına fit edilen kuramsal eğri parametreleri kullanılarak; sistemin yörünge dönemi değişimi için üç farklı yorum elde edildi. (1) Manyetik frenleme nedeni ile dönem azalması: Sistemin O-C diyagramına fit edilen kuramsal parabol eğrisi, sistemin yörünge döneminin azaldığını göstermektedir. RT And, ayrı bir sistemdir (PRIBULLA et al. 2000). Dolayısıyla, bileşenler arasında  $L_1$  Lagrangian noktasından sürekli bir madde aktarımı beklenemez. Ancak bir olası durum, manyetik aktivite sonucu oluşan yıldız rüzgarlarının RT And'ın döneminde bir azalma meydana getirmesidir. (2) Manyetik frenleme ile yörünge dönemi azalmasına eşlik eden ışık-zaman etkisi: Analiz sonucu bulunan üçlü sistemin yörünge parametreleri ve olası üçüncü cismin kütlesi, fiziksel olarak kabul edilebilir çıkmıştır. Ancak, önerilen üçüncü cismin kütlesinin oldukça küçük çıkması ve çift sisteme çok yakın olması önerilen üçüncü cismin RT And'ın etrafında dolanan bir "gezegen" yada "kahverengi cüce" olabileceği şüphesini uyandırmaktadır. (3) Manyetik frenleme ile yörünge dönemi azalmasına eşlik eden birinci bileşenin çevrimsel manyetik aktivitesi: RT And'ın O-C diyagramına uygulanan Applegate mekanizması, birinci bileşenin 2.7 kilogauss mertebesinde bir ortalama yüzeyaltı manyetik alan yoğunluğuna sahip olabileceğini belirtmektedir. Bu güçlü manyetik alan, birçok yazar tarafından



yıldızın ışık eğrileri analizinde, eğri asimetrisinden sorumlu olarak birinci bileşenin yüzeyinde var olduğu önerilen geniş soğuk lekeler ile, ayrıca güçlü Mg H ve K salması göstermesi ile desteklenir. Ancak, sistemin parlaklık değişiminin O-C değişimi ile aynı çevrimsel davranışı göstermeyişi bu yorumu geçersiz kılmaktadır.

Bu çalışma, sistemde görülen yörünge dönemi değişiminden sorumlu mekanizmanın manyetik frenleme ile dönem azalmasına eşlik eden ışık-zaman etkisi olabileceğini göstermektedir. Ancak, çözümün duyarlılığı gelecekteki gözlemlere bağlıdır.



## SUMMARY

To re-analyze orbital period change of the RS CVn type binary star RT Andromedae, all the available times of observed minima of the system were collected from the literature. Then, the O-C diagram of the system was plotted in Figure 3.1. This diagram indicates that the orbital period change of the system has a sine character superposed on an downward parabola. Therefore, the following three mechanisms which seemed plausible for the orbital period change of RT And from the existing models proposed to explain the orbital period changes of eclipsing binary systems were chosen: (1) the mass transfer from a component to other component, (2) a light-time effect due to a hypothetical third body in the system, and (3) the orbital period modulation due to a cyclical magnetic activity of a component star. Using these mechanisms and the parameters of fitted theoretical curve for O-C diagram of RT And, the following three different interpretations in our investigation. (1) The orbital period decrease due to magnetic braking process: A downward parabolic O-C diagram corresponds to a secular period decrease. RT And is a system with well-separated components (PRIBULLA et al., 2000). Therefore, it is not feasible to assume a flow of matter between the components through the inner Lagrangian point  $L_1$ . There is also the possibility that the magnetic braking process could explain the continuous period decrease. (2) A light-time effect due to a hypothetical third body superposing on a magnetic braking process: The resulting orbital parameters and mass of the hypothetical third body are physically acceptable. But, the plausible mass of the suggested third body is too small value, and it is very near the eclipsing pair. So, this result raises doubts about the suggested third body could be “a brown dwarf” or “a planet” which revolves around the RT And system. (3) A cyclical magnetic activity of the primary component star combined with a magnetic braking process: The Applegate model, applied to O-C change of RT And, indicates that the primary star has a mean subsurface magnetic intensity of about 2.7 kilogauss. This strong magnetic field are supported by large cool star-spots over the surface of the primary star which were obtained from the light-curve analysis of the system by

many authors and by emission cores in the Mg H and K lines. On the other hand, it is against the validity of this interpretation that the luminosity variation of the system does not exhibit the same cyclical behavior as O-C variation.

This work indicates that a light-time effect due to a hypothetical third body superposing on a magnetic braking process may be responsible for the observed orbital period change of the system RT And. But, as in the case of some eclipsing binary star, it is impossible to decide which interpretation of the period change is true for RT And. The problem will be resolved by future observations.



## KAYNAKLAR

- AHNERT F.: 1973, *Inf. Bull. Var. Stars* No. 780
- ALBAYRAK B., ÖZEREN F.F., EKMEKÇI F., et al.: 1999, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 35, 3
- APPLEGATE, J.H.: 1992, *Ap. J.*, 385, 621
- AREVALO, M.J., LAZARO, C., and CLARET, A.: 1995, *AJ*, 110, 1376
- AZANOVA T.A.: 1955, *Astron. Circ.*, 168, 15
- BAKOS G.A., TREMKO J.: 1981, in: Chiosi C., Stalio R. (eds.) *Effects of Mass Loss on Stellar Evolution*, D.Reidel, Dordrecht, s.491
- BALDINELLI L., and GHEDINI S.: 1976, *Inf. Bull. Var. Stars* No. 1143
- BALDINELLI L., BENEFENATI F., CORTELLI P.: 1973. *Inf. Bull. Var. Stars* No.838
- BATTEN A.H.: 1973, in *Binary and Multiple System of Stars*, Pergamon Press.
- BINNENDIJK L.: 1960, in *Properties of Double Stars*, Univ. of Pensilvania Press.
- BORKOVITS T.; HEGEDÜS T.: 1996 *A&AS* 120, 63
- BUDDING E., KADOURI T.H. and GIMENEZ A.: 1982, *Ap&SS*, 88, 453
- CATON D.B., BURNS W.C., HAWKINS R.L.:1991 *Inf. Bull. Var. Stars* No.3552
- DAPERGOLAS A., KONTIZAS E. and KONTIZAS M.: 1988, *Inf. Bull. Var. Stars* No., 3267
- DAPERGOLAS A., KONTIZAS E. and KONTIZAS, M.: 1991, *Inf. Bull. Var. Stars* No., 3661
- DAPERGOLAS A., KONTIZAS E. and KONTIZAS M.: 1992, *Inf. Bull. Var. Stars* No., 3818
- DAPERGOLAS A., KONTIZAS E. and KONTIZAS M.: 1994, *Inf. Bull. Var. Stars* No., 4036
- DEAN C. A.: 1974, *PASP* 86, 912
- DEICHMUELLER F.: 1901, *Anac*, 157, 31
- DEMIRCAN O.: 1999 in *Magnetic Activity in Cool Stars*, edited by O. Demircan (TUBİTAK, Ankara), p.425
- DRAKE S.A., SIMON T. and LINSKY J.L.: 1986, *AJ*, 91, 1229

- DUMITRESCU A: 1973a, Studii si Cercetari de Astron, 18, 47
- DUMITRESCU A.: 1974, Studii si Cercetari de Astr. 19, 89
- DUMITRESCU A.: 1973, Inf. Bull. Var. Stars No., 830
- EBERSBERHER I., POHL E., KIZILIRMAK A.: 1978, Inf. Bull. Var. Stars No. 1449
- GADOMSKI J.: 1928, Acta Astr., Series C, 1, 21
- GORDON K. C.: 1955, A.J., 60, 422
- GORDON K. C.: 1948, A.J., 53, 198
- GORDON M.A.: 1995, A&A, 301, 853
- GORDON S., HALL S., LEDLOW M., MANN E. and ZEILIK M.: 1990, Inf. Bull. Var. Stars No., 3469
- HADJIDEMENTRIOU J.: 1967, Astron. & Astrophys., 5, 131
- HALL D.S., KREINER J.M., Shore S.N.: 1980, in Close Binary Stars: Observations and Interpretations, Plavec, M.J. et al. (eds), IAU Symp. 88, Reidel Dordrecht, s.383
- HALL D.S. and KREINER J.M.: 1980, AcA, 30, 387
- HALL D.S.: 1976, Proceeding of IAU Colloq. 29, p. 287
- HALL D.S.: 1990, in Active Close Binaries, edited by C. İbanoğlu (Kluwer, Dordrecht), p. 95
- HANZL D.: 1990, Inf. Bull. Var. Stars No. 3423
- HANZL D.: 1994, Inf. Bull. Var. Stars No. 4097
- HECKERT P. A.: 1995, Inf. Bull. Var. Stars No., 4224
- HECKERT P. A.: 1998 Inf. Bull. Var. Stars No., 4656
- HECKERT P. A.; BEAVER M. R.; PHILLIPS, K.: 1996 Inf. Bull. Var. Stars No. 4384
- HUANG S.S.: 1963 Astrophys. J., 138, 471
- JORDAN F.: 1929 Publ. Allegheny obs. 7(2), 160
- KESKIN V., POHL E.: 1989, Inf. Bull. Var. Stars No. 3355
- KHOPOLOV P. N.: 1985, Nauka Publishing House, Moskow.
- KIZILIRMAK A., POHL E.: 1969, Astron. Nachr. 291, 111

- KIZILIRMAK A.: 1974, Örten Çiftlerde Dönem Sorunları, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul
- KOPAL Z.: 1959, in Close Binary Systems, Chapman and Hall, London and New York
- KOPAL Z.: 1965, Adv. in Astron.& Astrophys., Vol 9, 89
- KRISTENSON H.: 1967, BAICz, 18, 261
- KRON G.E.: 1950, PASP, 62, 141
- LANZA A. F., RODONÒ M.: 1999 A&A 349, 887
- LATROB M.: 1950, Astron. Circ. 100, 17
- LAZARO C. and AREVALO M.J.: 1994, csss, 8, 435
- LENOUVEL M.: 1951, Publ. Obs. Havte-Provence 2,1
- LENOUVEL M.: 1957, J.dos. Obs. 40,41
- MANCUSO S. MILANO L., RUSSO G. et al.: 1978, Inf. Bull. Var. Stars No.1409
- MANCUSO S., MILLANO L., VITTONE A., BUDDING E. and JASSUR D.M.Z.: 1981, in Photometric and Spectroscopic Binary Systems, edited by E. B. Carling and Kopal (Reidel, Dordrecht), p.313.
- MANCUSO S.; MILANO L.; RUSSO G.: 1979a, A&AS, 36, 415
- MANCUSO S.; MILANO L.; RUSSO G.; SOLLAZZO C.: 1979b, A&AS, 38, 187
- MANCUSO S.; MILANO L.; RUSSO G.; SOLLAZZO C.: 1979c, Ap&SS, 66, 475
- MARTYNOV D.Ya: 1973 in Eclipsing Variable Stars, ed. V.P. Tsesevich, (Newyork: John Wiley & Sons, Inc.), p. 281.
- MILANO L.; MANCUSO S.; VITTONE A.; DORSI A.; MARCOZZI S.: 1986, Ap&SS, 124, 83
- MILANO L.; RUSSO G.; SOLLAZZO C.: 1981, A&A 103, 57
- MURNIKOVA V.P., LEMESCHONKO N.D.: 1981, Perem Zvezdy 21,593
- MÜYESSEROĞLU Z., GÜROL B., SELAM S. O.: 1996 Inf. Bull. Var. Stars No. 4380
- NIJLAN A.: 1931, Bull. Astron. Inst. Nether. 6,113

- OBÛRKA O.: 1964, bull. Astron. Inst. Czechosl. 15, 250
- OBÛRKA O.: 1964, bull. Astron. Inst. Czechosl. 16, 212
- PATKOS L.: 1980 Inf. Bull. Var. Stars No. 1751
- PAYNE-GAPOSCHKIN C.: 1946, ApJ 100, 291
- POHL E., GÛLMEN C.: 1980, Inf. Bull. Var. Stars No.1751
- POHL E., KIZILIRMAK A.: 1964, Astron. Nachr. 288,69
- POHL E., KIZILIRMAK A.: 1966, Astron. Nachr. 289,191
- POHL E., KIZILIRMAK A.: 1972, Inf. Bull. Var. Stars No.647
- POHL E., KIZILIRMAK A.: 1976, Inf. Bull. Var. Stars No.1163
- POHL E., EVREN S., TUNCER Ö. ve ark. : 1982, Inf. Bull. Var. Stars No.2189
- POHL E., EVREN S., TUNCER Ö. ve ark. : 1982, Inf. Bull. Var. Stars No.2793
- POPPER, D. M.: 1994, AJ, 108, 1091
- PRIBULLA T. CHOCHOL D., PARIMUCHA S.: 1999a Inf. Bull. Var. Stars No. 4731
- PRIBULLA T.; CHOCHOL D.; MILANO L.; ERRICO L.; VITTONI A. A.; BARONE F.; PARIMUCHA S.: 2000, A&A, 362, 169
- RAYCHAUDRI A.K., BANERJI S. and BANERJEE A.: 1992, in General Relativity, Astrophysics, and Cosmology, Springer-Verlag, p.111.
- ROVITHIS-LIVANIOU H., ROVITHIS P., KALIMERIS A., et al.: 1994, Rom Astron. J. 4 No.2, 135
- SAHADE J., WOOD F.B.: 1978, in Interacting Binary Stars, Chap. 6, Pergamon Press.
- SINGH M. and CHAUBEY U.S.:1986 Astrophys. & Space Sci., 124, 389
- SMART W.M.: 1953, in Celestial Mechanics, Longmans Green, London.
- SOYDUGAN F.: 1999, Yüksek Lisans Tezi, Ege Univ. Fen Bilimleri Ens.
- STENRBERK B.: 1927, Publ. Inst. Astron. Univ. Charles de Prague, ser. 11 No.7, 10
- VAN BUREN D.: 1986, Astron. J.,92,136
- VAN'T VEER F.: 1999, in International Workshop: Magnetic Activity in Cool Stars, ed. O. Demircan, published by TÜBİTAK, p.313.

- WANG X. and LU W.: 1993, in Leug J.C. & Nha I.S. (eds.), *New Frontiers in Binary Star Resource ASP Conference Series*, 38, p.280.
- WILLAMON R.M.: 1974, *PASP* 86, 924
- WILSON R.E: 1979 *Astrophys J.*234,1024
- WOOD F.B. & FORBES J.E.: 1963, *AJ.* 68, 257
- ZEILIK M., BECKERT D., DE BLASI C., LEDLOW M., RHODES M., WILLIAMS T.: 1998, *Inf. Bull. Var. Stars No.*, 3173
- ZEILIK M., COX D.A., DE BLASI C., RHODES M., BUDDING E.: 1989, *ApJ*, 345, 991
- ZEILIK M.; BECKERT D.; DE BLASI C.; LEDLOW M.; RHODES M.; WILLIAMS T.: 1988, *Inf. Bull. Var. Stars No.*, 3173. 1
- ZEILIK M.; BECKERT D.; COX D.; DOLBY J.; LEDLOW M.; NEWBERRY M.; RHODES M.: 1989 *Inf. Bull. Var. Stars No.* 3301
- ZEILIK M.; ELSTON R.; HENSON G.; SCHMOLKE P., SMITH P.: 1982, *Inf. Bull. Var. Stars No.* 2090.1
- ZINNER E.: 1916, *Astron. Abh*, 4, C5.



## TEŞEKKÜR

Bu çalıŐmayı yaparken değerli bilgilerine ve gürüŐlerine baŐvurduęum hocam Prof. Dr. Osman DEMİRCAN'a; tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve yol gsteren tez danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet ERDEM'e; bilgi ve kaynak bulma hususunda yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Sacid ÖZDEMİR, ArŐ. Gör. Esin SOYDUGAN ve ArŐ. Gör. Faruk SOYDUGAN'a; yardımda kusur etmeyen tüm arkadaşlarıma ve özellikle tezin her aşamasında desteklerini esirgemeyen değerli eŐim Sacide GÜRE'ye teşekkür ederim. Bu alıŐma, Çanakkale Onsekizmart Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından 1999 / FE / 013 nolu proje ile desteklenmiştir.

## ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında doğdu. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra 1987 yılında Ankara Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Bölümünü kazandı.

1992 yılında bu bölümden mezun olduktan sonra aynı yıl İstanbul Polis Kolejinde Fizik Öğretmeni olarak atandı. 1994 yılında Millî Eğitim Bakanlığı bünyesinde çalışmaya başladı. 1996 yılında görevli öğretmen olarak Eğitimi Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı (EARGED) 'ında göreve başladı. Fizik komisyonunda görev aldı. Program Koordinasyon Grubu Üyesi olarak bilgisayar hizmetlerinde yardımcı oldu. Komisyonların (Fizik, Kimya, Edebiyat, Türkçe, Fenbilgisi, Matematik (ilköğretim, ortaöğretim), Sosyal Bilgiler, Coğrafya) Alanda deneme uygulamasında kullanılmak üzere ders materyali hazırlanması işlemlerini bilgisayar ortamında yürüttü. Programların alanda deneme uygulaması aşamasında bilgisayar ortamında değerlendirilmesi işlemlerini yürüttü. 1997 yılında katıldığı BİLGİSAYAR FORMATÖR ÖĞRETMEN sertifikası aldı.

1998 yılında Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans çalışmalarına başladı. 1999 yılı içinde açılan Öğretim Görevliliği kadrosuna müracaat ederek Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Eğitim Fakültesi Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Bölümünde göreve başladı.

Yabancı dili İngilizce olan MÜLAYİM GÜRE Halen bu bölümde görev yapmaktadır.