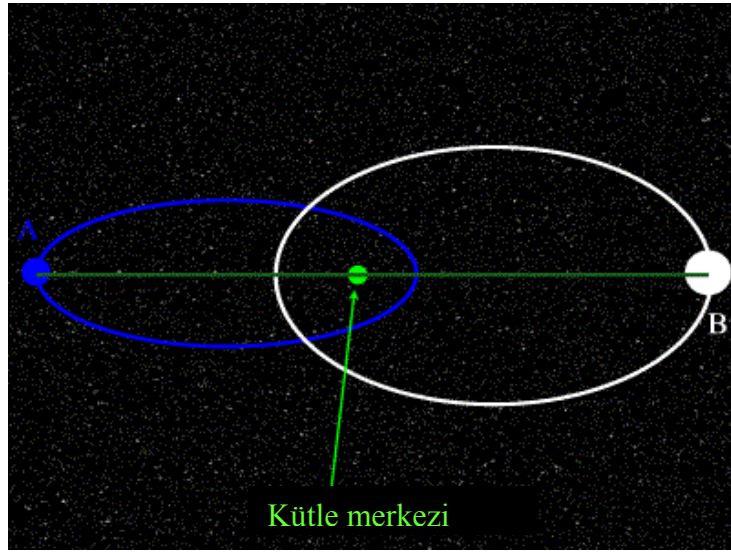


1. ÇİFT YILDIZLAR

Çift yıldızlar, çekimsel kuvvetlerle birbirine bağlı olan ve ortak bir kütle merkezi etrafında Kepler yasalarına göre yörünge hareketi yapan en az iki yıldızdan oluşan sistemlerdir.

Bileşenleri birbirine oldukça yakın çift yıldız sistemleri mevcuttur, öyle ki bunların bileşenleri arasındaki uzaklık bileşenlerin yarıçaplarıyla karşılaştırılabilir düzeydedir, (Yıldızların aralarındaki uzaklık (A) cinsinden eşdeğer yarıçapları toplamı r_1+r_2 olmak üzere $r_1+r_2 \cong 0.1$ mertebesinde) ve bileşenler evrimleri sırasında kütle alış verişiyle birbirlerini etkilerler. Bu sistemlerde bileşenler birbirlerinin evrimlerini etkileyecek kadar yakındırlar. “**Etkileşen Çift Yıldız**” ya da “**Yakın Çift Yıldız**” olarak bilinen bu sistemlerin üyeleri yakınlık etkisiyle çok çabuk şekil bozulmasına uğrayıp küresellikten saparlar ve tek bir yıldıza göre çok daha hızlı evrimleşirler.



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

2. ÇİFT YILDIZLARIN ÖNEMİ

Ankara Üniversitesi Rasathanesi'nde çift yıldız gözlemleri ve bünyesel değişen yıldız gözlemleri yapılmaktadır. Gözlemlerde büyük ağırlık çift yıldızlara verilmiştir. Peki çift yıldızları gözlenmeye değer, önemli yıldızlar yapan özellikler nelerdir? Bunlar kısaca özetlenecek olursa;

çift yıldızlar astrofizikte, tek yıldızlara kıyasla daha çok bilgi sunmaları bakımından daha büyük bir öneme sahiptirler. Örneğin herhangi bir gök cisminin kütesinin doğrudan belirlenebilmesi, en az iki cisim arasında ölçülebilen bir kütle çekim kuvvetinin varlığını gerektirir. Kütle, yıldızların evriminin anlaşılabilmesi bakımından temel parametredir, dolayısıyla çift yıldızlar yardımıyla bileşen yıldızların kütleleri, bu sayede de evrim durumları hakkında bilgi sahibi olabilmekteyiz. Bununla birlikte bileşen yıldızların yarıçap, ışınım gücü gibi temel parametreleri de hesaplanabilmektedir. Çift yıldızlar yardımıyla belirlenen fiziksel parametreler ile tek yıldızların fiziksel özellikleri de belirlenebilmektedir. Çift yıldızlar ayrıca yıldız evriminin açıklanmasında, yakın galaksilerin uzaklıklarının belirlenmesinde, X-ışın çiftleri, kataklizmik değişenler, novalar, simbiyotik yıldızlar ve bazı tür süpernovaların açıklanmasında da önemli rol oynamaktadır.

Çift yıldız gözlemleri şüphesiz bize sağladığı bilgiler bakımından çok önemlidir. Yörünge dönemi saat mertebesinde yıllar mertebesine uzanan çift yıldız sistemleri bulunmaktadır. Yörüngelerinin kısa olması nedeniyle ışık eğrilerinin kısa bir zamanda elde edilip çözülmesi bakımından A.Ü. Rasathanesi'nde daha çok yakın çift yıldızlar gözlenmektedir.

3. ÇİFT YILDIZLARIN SINIFLANDIRILMASI

3.1. Gözlemsel Olarak Keşfedilme ve İncelenme Yöntemlerine Göre Sınıflama :

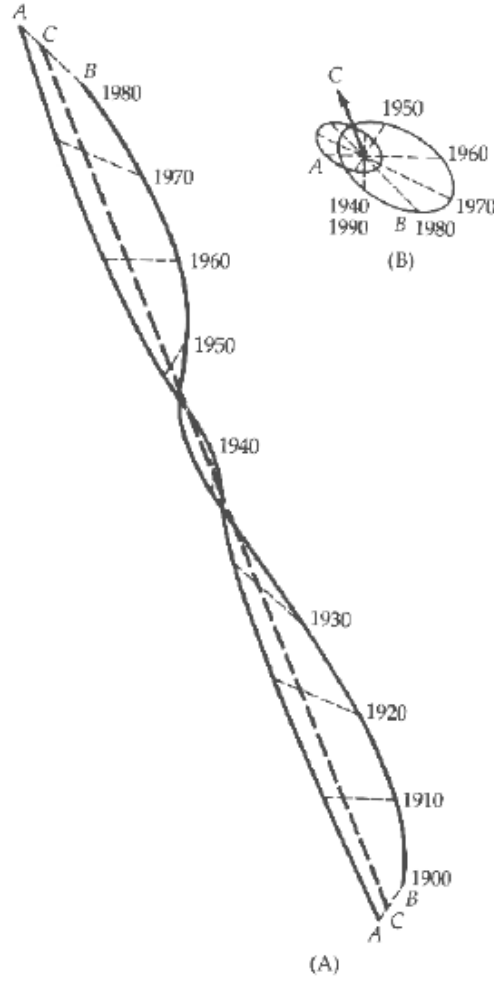
3.1.1 Optik Çiftler :

Birbirine fiziksel olarak bağlı olmayan, fakat aynı doğrultuda oldukları için gökyüzünde birbirlerine yakın görünen çiftlerdir. Bileşen yıldızların farklı farklı uzay hareketleri sayesinde onların bir fiziksel çift sistemin üyesi olmadıkları anlaşılır.

3.1.2. Astrometrik Çift Yıldızlar :

Teleskopla yapılan gözlem sonucunda sadece bileşen yıldızlardan birinin görülebildiği, fakat görülen bileşenin gökyüzünde yaptığı salınım hareketinden, görülmeyen bir bileşenin varlığı ortaya çıkarılan çift yıldız sistemleridir. Bileşen yıldızlar ortak kütle merkezi etrafında yörüngesel harekette bulunurlar. Kuzey yarıküreden en parlak yıldız olarak görülen Sirius'da

olduğu gibi parlak yıldızın gökyüzündeki konumunun zamana bağlı değişiminden (astrometrik gözlemler) hareketle çift oldukları belirlenen çift yıldızlardır.



Şekil.3.1.1. Bir astrometrik çift yıldız olan Sirius'un sönük yoldaşının varlığını belirleyen konum gözlemleri

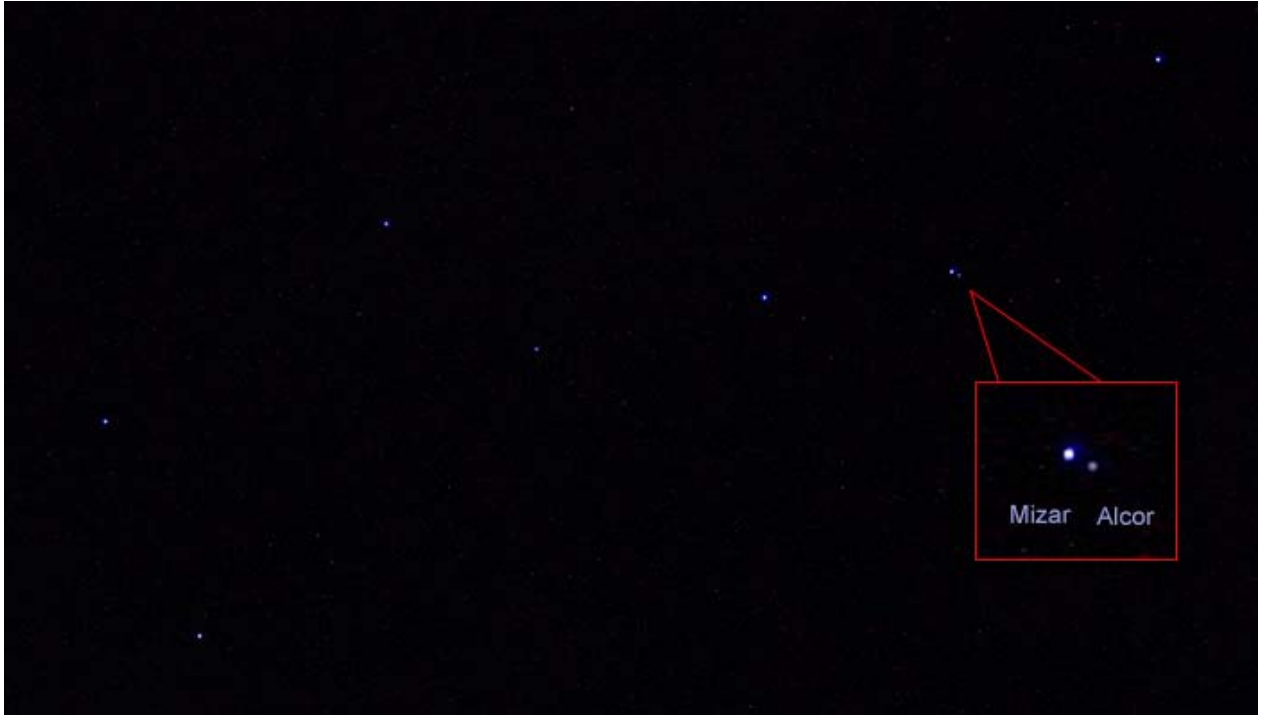
3.1.3. Görsel Çift Yıldızlar

Uygun teleskoplarla bileşen yıldızları ayrı ayrı görülebilen çiftlerdir. Daha parlak olan bileşene *baş yıldız*, diğerine ise *yoldaş yıldız* denir. Görsel çift yıldızların gözlemleri odak uzaklığı büyük olan teleskoplarla yapılır. Yoldaşın baş yıldıza göre görelî koordinatları teleskoplara takılmış özel konum ölçüm aletleri yardımıyla veya çekilmiş fotoğraf plakları üzerinden alınan ölçüler vasıtasıyla tayin edilir. Gözlemlerle bulunan koordinatlar yardımıyla yoldaşın baş yıldız etrafındaki yörüngesi tayin edilir. Yoldaşın baş yıldız etrafındaki yörüngesi bulunursa, a bileşenler arası en büyük açısal ayrıklık ve yörünge dönemi P biliniyor demektir. Çift yıldızın uzaklığının da bilinmesi halinde; bileşenler arası uzaklık a 'nın birimi

AB (Astronomi Birimi, $1 \text{ AB} = 1.49 \times 10^8 \text{ km}$), yörünge dönemi P 'nin birimi yıl ve bileşen kütleleri de M_{\odot} (Güneş kütlesi, $1 M_{\odot} = 1.99 \times 10^{33} \text{ gr}$) biriminde olmak üzere bileşen yıldızların kütlelerinin toplamı;

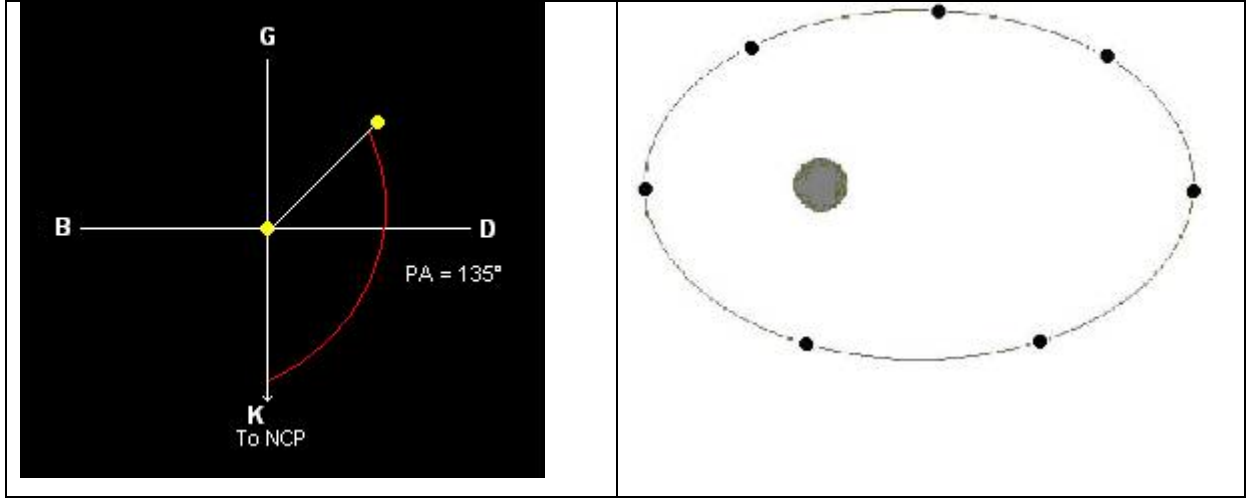
$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2} \dots\dots\dots (1)$$

şeklindeki Kepler yasası ile elde edilebilmektedir.



Şekil.3.1.2. Görsel çift sistemler olan Alcor ve Mizar'ın görünümü.

Görsel çift yıldızların gözlemleri odak uzaklığı büyük olan dürbünlerle yapılır. Yoldaşın baş yıldıza göre koordinatları teleskoba takılmış özel aletler yardımıyla (telli mikrometre gibi) veya fotoğraf plakları üzerinde yapılmış ölçüler vasıtasıyla tayin edilir. Bu durumda baş yıldızın daha büyük kütleli yıldız olduğu dolayısıyla çok az hareket ettiği kabul edilir. Yoldaşın baş yıldıza göre koordinatları, durum açısı adı verilen (θ) ve açısal uzaklık olan ρ değerleri her gözlemde ölçülür. Gözlemlerle bulunan doğrultusuna dik düzlem üzerindeki izdüşümü bulunur, bu görünen yörüngedir, buradan da gerçek yörünge tayin edilebilir. Gerçek yörünge genel olarak bir elips olacaktır. Bunun bakış doğrultusuna dik düzlem üzerindeki izdüşümü yani görünen yörünge bir elipstir.

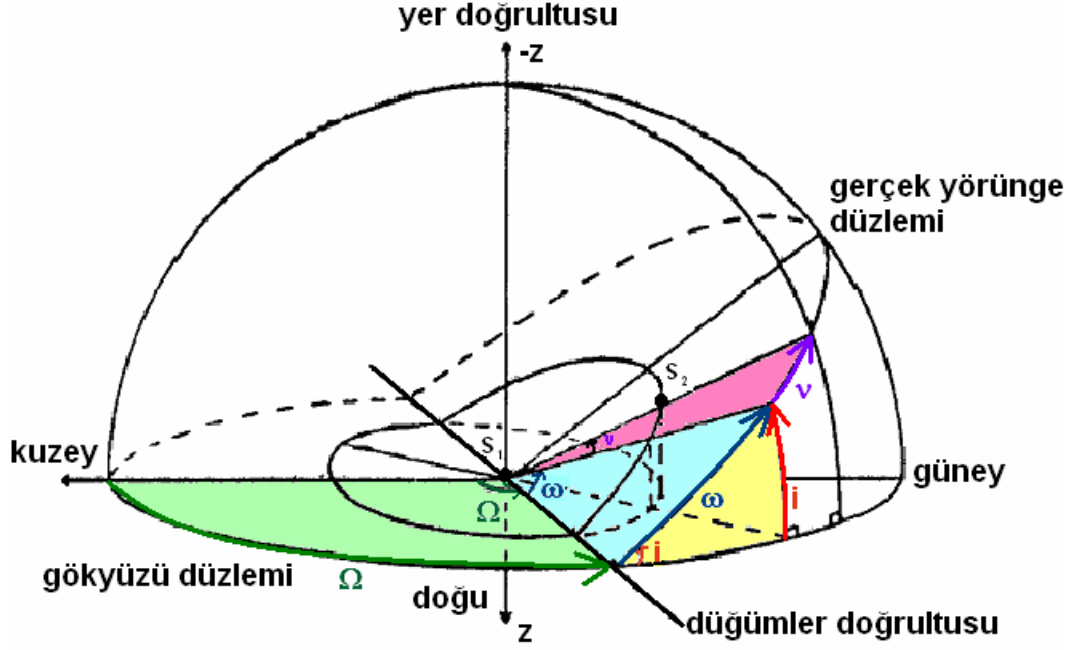


Şekil 3.1.3. Görsel çift sistemler

Görsel çift yıldızlarda baş yıldız gerçek yörüngesinin odağında olduğu halde görünen yörüngesinin odağında değildir. Gerçek yörünge geometrik yöntemle görünen yörüngeden hesaplanabilir. Gerçek yörünge tayin edilince yörünge elemanları da $(P, e, a, \omega, \Omega, T, i)$ tayin edilmiş olur. Görsel çift yıldızların periyotları büyüktür. En kısa periyotlu görsel çift yıldız ξ UMa olup periyodu 1.8 yıldır. En büyük periyodlu çift yıldız α Ursa Majoris (10850 yıl olarak hesaplanmış) olup bileşenler birbirlerinden 500 AB uzaklıktadır. Fakat bu kadar büyük periyodlu çift yıldızların yörüngelerini bulmak mümkün değildir. Gözlenbilen yörüngelerden büyük bir kısmının periyodunun 25-100 yıl arasında olduğu bulunmuştur.

Görsel Çift Yıldızlarda Yörünge Parametreleri:

Gerçek yörünge düzleminde yörünge bazı parametrelerle belirlenir. Bu parametreler;



Şekil.3.1.4. Gerçek yörünge elipsi, gökyüzü düzlemi üzerindeki izdüşüm elipsi (görünür elips) ve yörünge parametreleri.

P = Ortalama Güneş yılı cinsinden bir yoldaşın bir dolanım yapması için geçmesi gereken süredir. Ortalama yıllık açısal hareket $n=2\pi/P$ ile hesaplanır.

T_0 = enberiden geçiş zamanı

e = gerçek elipsin dışmerkezliği

a = gerçek elipsin yarı-büyük eksen uzunluğu

$\Omega = 0^\circ$ ile 180° arasında düğümler noktasının durum açısıdır (Düğümler çizgisi-Kuzey doğrultusu arasındaki açı).

ω = gerçek yörünge düğümler doğrultusu ile enberi noktası arasındaki açıdır ve 0° ile 360° arasında, bileşen yıldızların hareket doğrultusu yönünde ölçülür.

i = yörünge düzleminin gökyüzü düzlemi ile arasındaki açıdır. Hareket esnasında zamana bağlı olarak durum açısı artıyorsa i açısı 0° ile 90° arasında, retrograde hareket yapıyorsa i açısı 90° ile 180° arasında ölçülür.

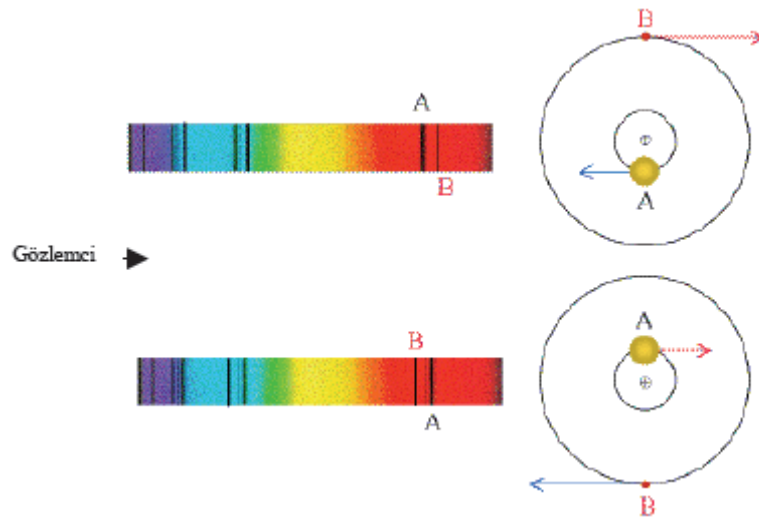
v = Gerçek anomali (enberi noktasının açısal uzaklığı (cismin yörünge üzerindeki yerini belirleyen bir parametredir)).

3.1.4. Tayfsal Çift Yıldızlar

Bu sistemler birbirlerine çok yakın çiftlerden oluşur, onları teleskopla bile tek bir yıldız gibi görürüz. Birbirlerine yakın olduklarından yörünge hızları büyüktür. Çift oldukları tayflarının incelenmesi ile anlaşılır. Eğer yörünge düzlemi bakış doğrultusuna dik düzlem ile çakışmıyorsa iki yıldız kütle merkezi etrafında dolanırken yörünge hızlarının sıfırdan farklı bir radyal bileşenleri vardır. Bileşenlerin yörünge hareketleri birbirine zıt yönde olduğundan Doppler olayı nedeniyle tayf çizgileri de zıt yönde kayma gösterirler, böylece bu çiftin tayfi alındığında bazı evrelerde tayf çizgileri çift görünür. Bir tayf çizgisinin iki çizgi şeklinde görülmesi ve bu iki çizginin, normal konumları etrafında dönemli olarak salınarak yer değiştirmesi iki bileşenin kütle merkezi etrafında dönmesi ile açıklanabilir.

Eğer iki yıldızın parlaklıkları birbirine yakınsa, bu durumda tayfta her iki yıldızın tayfi da görülür ve her ikisine karşılık bir çift çizgi gözlenir, bunlar birbirine göre zıt yönde yer değiştirirler.

Eğer bu parlaklık farkı 1^m den fazla ise yani $\Delta m > 1^m$ ise, sadece parlak yıldızın çizgileri görülebilir ve bunlar tayf üzerinde ortalama konumun etrafında ileri geri salınım hareketi yapar. Şekilde çift çizgili bir tayfsal çift yıldızın tayf çizgilerinin dönemli yer değiştirmesi gösterilmektedir.



Şekil 3.1.5. Çift çizgili bir tayfsal çift yıldızın tayf çizgilerinin dönemli yer değiştirmesi

Tayfsal Çift Yıldızlarda Yörünge Parametreleri :

Yörünge dönemi P (gün biriminde)

Enberiden geçiş zamanı T_0 (Jülyen günü)

Dışmerkezlik e (kesirsel)

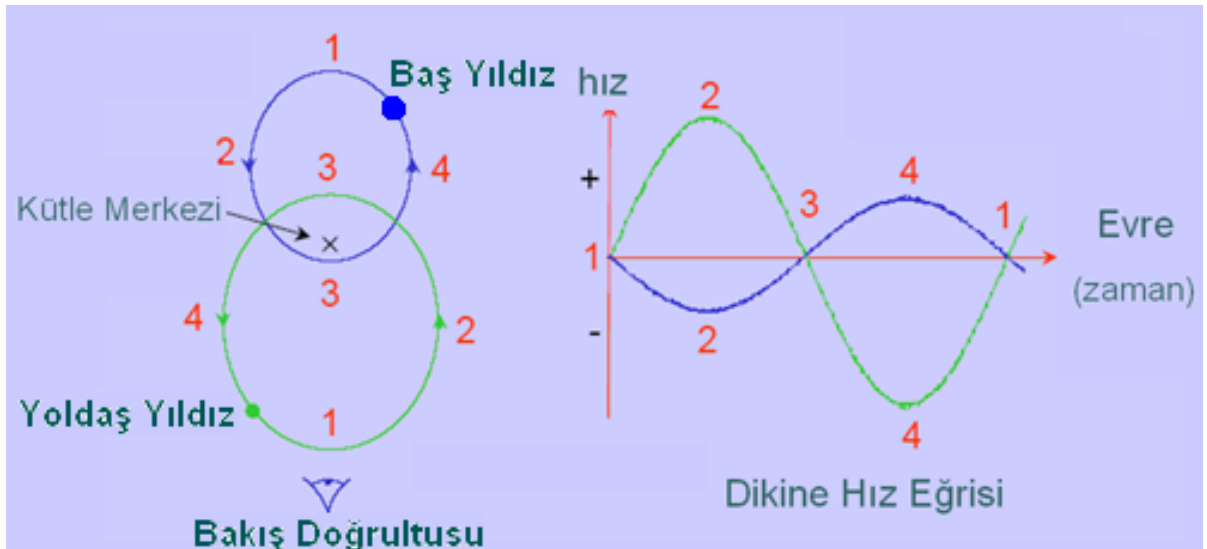
Enberi noktasının boylamı ω (derece biriminde)

Kütle-Merkezinin Hızı γ yada V_0 (km/sn biriminde)

Baş bileşenin dikine hız genliği K_1 (km/sn biriminde)

Yoldaş bileşenin dikine hız genliği K_2 (km/sn biriminde)

Şekil 3.1.6 da bakış doğrultusuna göre sıztemin yörüngesi ve sistemin bileşenlerinin hareketinden meydana gelen dikine hız eğrisi verilmiştir. Kütleleri daha büyük olan baş yıldız daha küçük bir yörüngede hareket ettiğinden dikine hız eğrisindeki genliği küçüktür.

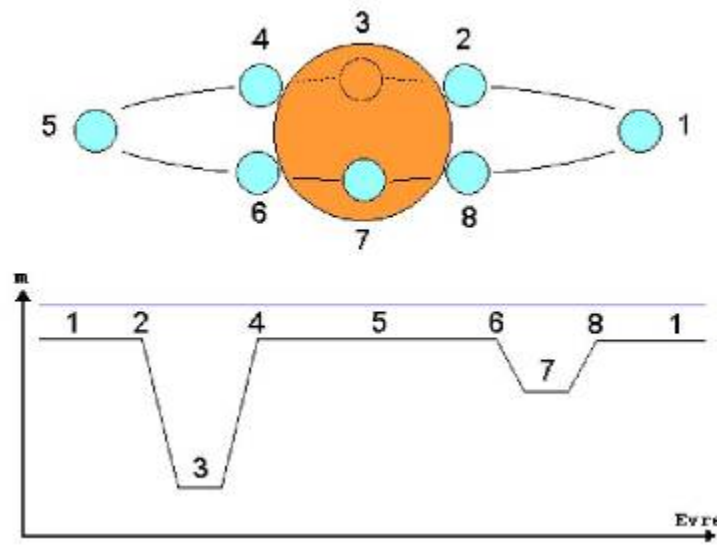


Şekil 3.1.6 Tayfsal çift sistemin yörüngesi ve dikine hız eğrisi

3.1.5. Örtün Çift Yıldızlar

Bir çift sisteminin yörünge düzleminin, gözlemciye uygun bir açı altında yönlenmiş olması halinde, bileşenlerin birbirini dönemli olarak örtmesi sonucu tutulmalar meydana gelir ve bir ışık değişimi gözlenir (Şekil 1.2). Tutulmalardan kaynaklanan etkilerin izlendiği böylesi yakın çift yıldız sistemlerine “Örtün Değişen Yıldızlar” denir. Yörünge dönemi ile evrelendirilmiş

ışık eğrilerinde farklı derinliğe sahip iki minimum profili izlenir. Daha derin olan minimum, daha sönük yıldızın parlak yıldızı örtmesiyle oluşur ve baş minimum ya da birinci minimum olarak adlandırılır. Daha sığ olan minimuma ise yan minimum ya da ikinci minimum denir ve yoldaş bileşenin örtülmesiyle meydana gelir. Örtün çift yıldızlarda yörünge dönemi P , örtme ve örtülmelerin tam ortasına gelen minimum zamanları kullanarak bulunur. Daha derin olan birinci minimumun Jülyen günü cinsinden iyi belirlenmiş bir zamanı olan “epok” T_0 , yörünge dönemi P ile beraber “ışık elemanları” olarak adlandırılır. Sistemin herhangi bir minimum zamanı, E çevrim sayısı olmak üzere $C = T_0 + P.E$ ile tahmin edilebilir.

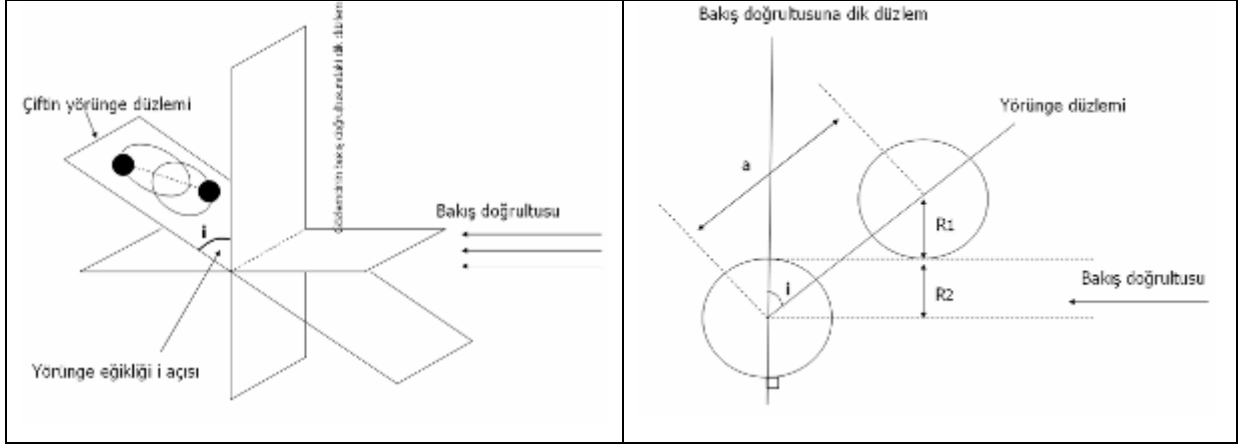


Şekil 3.1.7. Bir örtün çift yıldız sisteminde evreye göre ışık değişimi

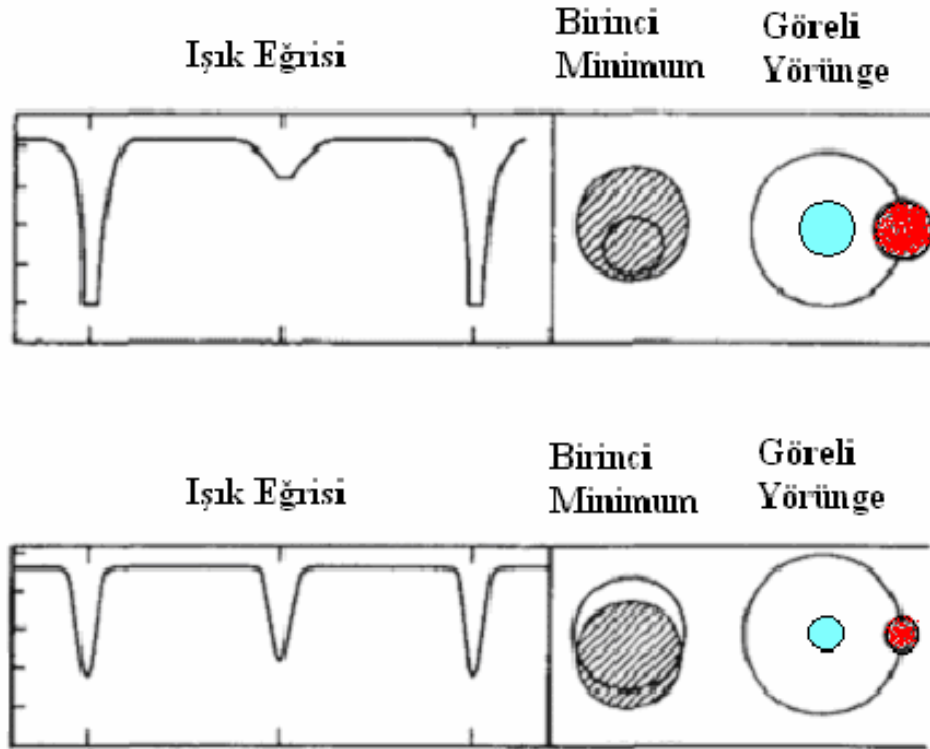
Tutulma olayının gözlenebilirliği, çift sistemin yörünge düzleminin gözlemciye göre uzaydaki konumuna ve sistemi oluşturan yıldızların arasındaki uzaklık cinsinden yarıçaplarına bağlıdır. Şekil 3.1.7’de görüleceği gibi bir çift sistemde tutulma koşulu, i yörünge eğim açısı, R_1 ve R_2 bileşen yıldızların yarıçapları ve a bileşenler arası uzaklık olmak üzere

$$|\sin(90 - i)| = |\cos(i)| \leq \frac{R_1 + R_2}{a} \dots\dots\dots (2)$$

eşitsizliği ile verilir. Bu eşitsizliğin sağlandığı durumlarda tutulmalar oluşur ve ışık değişiminin dönemi genelde çift sistemin yörünge dönemi ile çakışır.



Şekil 3.1.8. Çift yıldız sisteminde tutulma koşulu



Şekil 3.1.9. Işık eğrileri ve görelî yörüngeleri

Şekil 3.1.9.'da örnek ışık eğrileri ve görelî yörüngeleri verilmiştir. Yörüngeler ve ışık eğrileri göz önünde tutulduğunda bir takım farklar dikkat çekmektedir. İlk şekilde tam bir örtme-örtülme olayı söz konusudur. i eğim açısı 90° ye yakın olduğu zaman görülen bu tutulma şekline tam tutulma denir ve şekilde de görüldüğü gibi ışık eğrisinde düz minimumlar olarak kendisini belli eder. Parlak bileşenin örtüldüğü birinci minimumda ve sönük bileşenin örtüldüğü ikinci minimumda bir süre sistemden alınan ışık sabittir. Bu da minimum ortasının

düz olmasına sebep olur. İkinci şekildeki sistemde eğim açısı daha küçüktür ve yıldız yarıçapları birbirlerine çok yakındır. Bu sebeplerden dolayı tam bir örtme-örtülme olayı söz konusu değildir ve tutulma anında sistemden alınan ışınım sürekli değişir. Bu da ışık eğrisinde sivri minimumlar oluşmasına sebep olur. Işık eğrilerinde dikkat çeken bir başka durum da minimumların derinlikleri arasındaki farktır. İlk şekilde minimum derinlikleri arasındaki fark oldukça fazla iken ikinci şekilde minimum derinlikleri hemen hemen aynıdır. Bunun sebebi çift sistemi oluşturan yıldızların sıcaklıklarının birbirlerinden çok farklı veya birbirlerine yakın olmasıdır. Çift sistemi oluşturan yıldızlar arasında sıcaklık farkı fazla ise tutulmalardaki ışınım kayıp miktarı arasındaki fark fazla olacağından, minimum derinlikleri arasındaki fark da fazla olur, bu yıldızlar arasındaki sıcaklık farkı az ise, tutulmalardaki ışınım kayıp miktarları arasındaki fark az olacağından minimum derinlikleri arasındaki fark da az olur.

3.2. Roche Modeli ve Roche Modeline Göre Sınıflama :

3.2.1 Roche Modeli

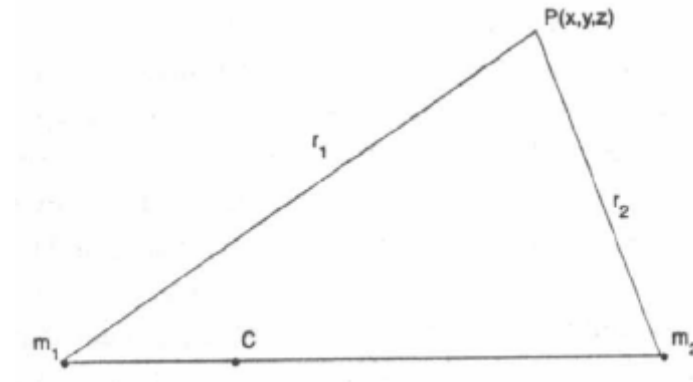
Eğer bütün çift yıldızlar ayrık sistemler olup evrimlerine de bu şekilde devam etselerdi, küresel yapıya sahip, minimum tedirginlik etkileri gösteren çift yıldızlar olarak kabul edilebilirlerdi. Bu durumda “Legendre Polinomları” bu sistemlerin geometrisini ifade etmek için yeterli olacaktı. Ancak, HR diyagramında sıfır yaş anakolu üzerinde bulunan, fiziksel olarak birbirlerine temas eden ve bunun sonucu olarak yüksek tedirginlik etkilerinden dolayı küresellikten önemli derecede sapmış, “değen çiftler” olarak adlandırılan sistemler mevcuttur. Bundan dolayı küresellikten sapmış ve çeşitli tedirginlik etkilerini modelleyebilen alternatif bir formülasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu formülasyon “Roche Modeli” dir. Roche Modeli dairesel yörüngelerde, kütle merkezi etrafında dolanan iki noktasal kütlelerin oluşturduğu sistemin toplam çekimsel potansiyelini temel almıştır.

Çift yıldızlar için olan Roche Modeli, kısıtlanmış üç cisim problemini araştıran 19. yüzyıl ünlü Fransız matematikçi Edouard Roche’un adıyla anılmaktadır. Kendi çekim alanlarının etkisi altındaki üç cismin hareketine ait bir analitik çözüm üretmek olanaksızdır. Böyle bir çözüm için matematikçiler, ortak kütle merkezi etrafında dairesel yörüngelerde dolanan iki cisim ve bu iki cismin kütle çekim alanı içinde hareket eden bir üçüncü cisimden oluşan kısıtlı üç cisim probleminden yararlandılar. Üçüncü cismin maruz kaldığı Φ toplam kütle çekim

çekim potansiyelin bir değeri için, iki noktasal kütle etrafındaki üç boyutlu kuramsal bir yüzeyin, dairesel bir yörüngede üniform olarak iki kütle ile birlikte dönen bir koordinat sistemine göre, üçüncü cismin hareketinin sıfır olduğu bir bölgeyi, yani sıfır hız yüzeylerini temsil ettiği bulundu. Bu sıfır hız yüzeyleri, çift sistemlerdeki sabit kütleli çekim potansiyel yüzeylerine benzemektedir. Bir yıldızın yüzeyi bir eşpotansiyel yüzeydir ve bu yüzeylerin tanımı, bir çift sistemdeki yüzeylerin belirlenmesine olanak sağlar.

Eşpotansiyel yüzeyleri anlamak için detaylı matematiğe inmeye gerek yoktur. Günlük hayattan bir örnekle gayet iyi bir şekilde izah edilebilir. Banyodaki bir küveti düşünelim. Belirli miktarda su küvete doldurulduğunda, su musluğun hemen altında birikmek yerine yüzeyi düz olacak bir şekilde küvetin şeklini alır. Bu yüzey bir eşpotansiyel yüzeydir ve kütlelerin herhangi bir yerine bir kütle aktarımı veya alımı yüzey şeklini bozmaz ancak düzeyde bir değişiklik yaratır. Çift yıldızlarda da durum aynen böyledir.

Ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan iki nokta kütleli saran eşpotansiyel yüzeylerin hesabını belirlemek gerekirse: yörüngenin dairesel olduğu varsayımı altında; daha büyük kütleli M_1 bileşenin kütle merkezindeki bir referans noktası çift sistemle birlikte sabit bir ω açısal hızı ile dönsün. Daha düşük kütleli M_2 yıldızı, merkezden $a \cong 1$ uzaklığındadır. Bu dönen koordinat sisteminde iki yıldız sırası ile $(0,0,0)$ ve $(1,0,0)$ konumlarındadır. Bu sistem aşağıdaki şekilde (Şekil 3.2.1.) gösterilmiştir



Şekil 3.2.1. C ortak kütle merkezine sahip M_1 ve M_2 kütleleri birbirlerinden a birim uzaklığı ile ayrılmıştır. M_1 kütlelerinde merkezlenmiş koordinat sisteminde x-ekseni M_2 kütleleri boyunca uzanmıştır. y eksenini ve z eksenini yörünge düzlemine diktir. $P(x,y,z)$ noktası M_1 den r_1 , M_2 den r_2 kadar uzaktadır.

$P(x,y,z)$ noktasına etkiyen ϕ kütle çekim potansiyeli, iki noktasal kütlelerin potansiyelleri ve rotasyonel potansiyelin bir toplamıdır.

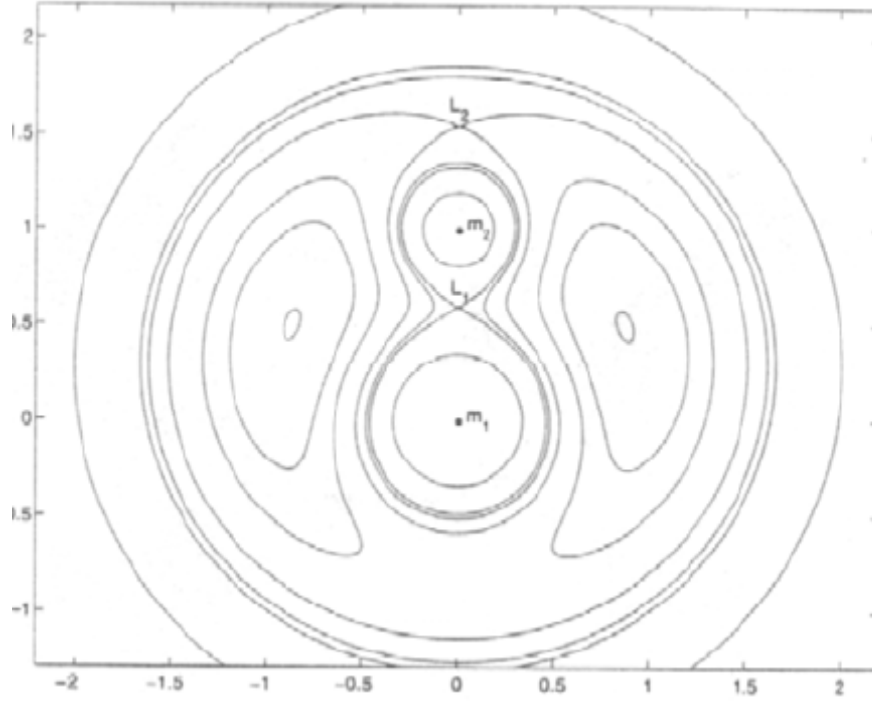
Yani,

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

burada;

$$r_1 = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2} \quad \text{ve} \quad r_2 = [(x-1)^2 + y^2 + z^2]^{1/2} \quad \text{dir.}$$

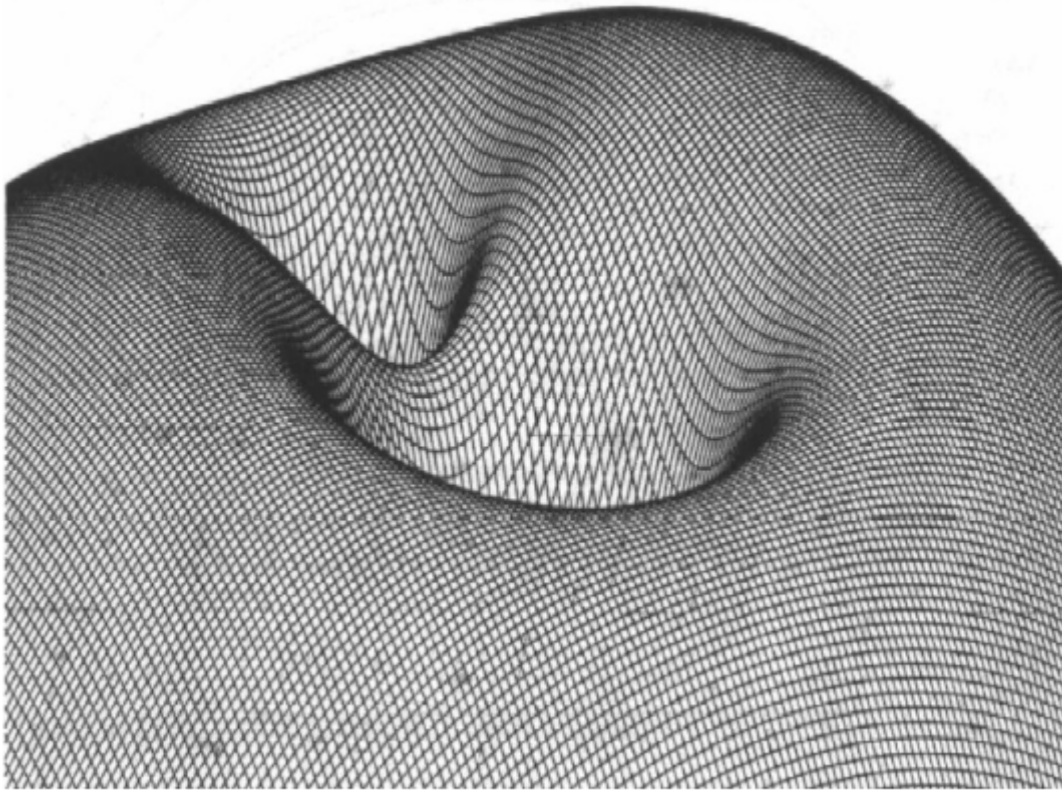
Burada ϕ_n niceliği normalize potansiyeldir ve noktasal kütleler etrafındaki herhangi bir (x,y,z) konumundan hesaplanabilir. Dolayısıyla dönen bir koordinat sistemindeki q kütle oranına sahip ve uzaklık birimi a ile ifade edilebilen eşpotansiyel yüzeyler bu ifade yardımı ile elde edilebilir. Şekil 3.1.2.'de $q = 0.4$ ve $z = 0$ için bu yüzeylerin bir kısmı gösterilmektedir. M_1 ve M_2 noktasal kütlelerine yakın olan yüzeyler bu (x,y) düzleminde daireseldir. Aynı durum (y,z) ve (x,z) düzlemleri için de geçerlidir. Tam-ayrık sistemlerdeki bileşenler küresel şekillere sahiptirler. Bileşenlerden diğere daha da yaklaşıldığında özellikle iki kütleli birleşiren merkez doğrultusu boyunca yüzeyler daha kararsız hale gelir, öte yandan bileşenlerin birbirlerine bakmayan yüzleri yaklaşık olarak küresel şekillerini korurlar. Sonunda iki noktasal kütleli sistemdeki bağımsız yüzeyler birbirlerine L_1 , birinci Lagrange noktası olarak adlandırılan noktada değeri. Bu noktaya “iç Lagrange noktası” da denilmektedir. L_1 noktasında birbirine değen iki yüzey, çift sistemin bileşenlerinin “Roche Limitleri” olarak adlandırılır. Bu üç boyutlu sınır hacimleri “Roche Lobları” olarak da isimlendirilir. Bu hacimlerin limit olmalarının sebebi, onların bir çift sistemdeki bileşenlerin ulaşabilecekleri maksimum hacimleri tanımlamalarındandır. Her sınırlayıcı hacmin fiziksel boyutu birincil olarak a bileşenler arası uzaklığa ve ikincil olarak da q kütle oranına bağlıdır. Kütle oranı eşit olan bir çift sistemde her iki bileşene ait Roche lobları da aynı büyüklüğe sahip olacaktır. Kütle oranı düşüğe daha büyük kütleli yıldızın Roche Lobu genişlemekte iken daha küçük kütleli yıldızın daralmaktadır.



Şekil 3.2.2. $q = 0.4$ kütle oranına sahip bir çift sistem için eş potansiyel yüzeyleri. ϕ_n 'in aldığı değerler iki noktasal kütleye en yakın olandan itibaren dışa doğru sırasıyla: 5.0, 3.9075 (L_1 de), 3.8, 3.559 (L_2 de), 3.2, 3.0, 2.8 ($L_{4,5}$ de) ve artan uzaklıkla küçülmektedir.

Şekil 3.2.2.'deki gibi sistemlerde iki bileşen boyun bölgesinde birbirlerine fiziksel olarak temas etmektedir. Sistem Roche limitini kaplayan bir ortak zarf ile çevrilidir. Bu bölgenin ötesinde ikincil bir eşpotansiyel yüzey mevcuttur. Bu yüzey tüm sistemi sarmış ve L_2 noktasında bir kesim noktası göstermektedir. Bu nokta maddenin, sistemin kütle çekim alanından dışarı çıkabileceği dış Lagrange noktasıdır. Şekil 3.1.2.'de görülemeyen, M_1 ve M_2 'ye göre L_2 noktasının karşı tarafında, L_2 den daha yüksek potansiyeldeki maddenin kaçış noktası olarak bilinen L_3 noktası bulunmaktadır. İki kütlede daha da uzakta potansiyel maksimumları olarak adlandırılan L_4 ve L_5 noktaları yer almaktadır.

Şekil 3.2.3'de (x,y) düzleminde görülen ve iki noktasal kütleleri saran normalize potansiyel değeri ızgara-yüzeyler şeklinde gösterilmektedir. Şekilde bileşenlere ait potansiyel çukurları görülmektedir. L_1 noktası iki bileşen arasındaki yarıktadır (geçitte) bulunmaktadır. Her bileşen hacmini genişlettikçe kendisine ait yüzey potansiyel çukurunu doldurmaya başlar. Bir bileşenin yüzeyi Roche limitine ulaştığında, madde L_1 yarığından diğer bileşenin potansiyel çukuruna kolaylıkla geçebilir.



Şekil 3.2.3. Bir çift sistemin yörünge düzlemindeki ϕ_n normalize potansiyel değerinin ızgara-yüzeyle gösterimi. Şekilde yıldızların potansiyel çukurları ile birlikte iç Lagrange noktası L_1 ve L_4 , L_5 potansiyel maksimumları görülmektedir. L_2 noktası merkez doğrultusunda, şeklin arkasında yer almaktadır

Diğer yönlerdeki potansiyel bariyerleri daha büyüktür ve bu nedenle madde için bu bariyerleri aşmak, L_1 noktasındakine nazaran daha fazla enerjiyi gerektirmektedir. L_1 noktasının üç boyutlu etkisini düşünecek olursak; L_1 noktası maddenin bir sistemdeki bir bileşenden diğerine en kolay şekilde geçiş yapabileceği bir geçiş noktası etkisi yaratmaktadır. Benzer bir tanım L_2 noktası için de yapılabilir ve maddenin çift sistemden, potansiyel bariyerinin en düşük bölgesine atımını sağlayan geçittir.

Özet olarak bir çift sistemin şekli, yıldız için uygun eşpotansiyel yüzeylerle tanımlanabilir. R/a kesirsel çap değerinin yaklaşık olarak 0.1 veya daha küçük olduğu tam-ayrık sistemlerde, bileşenler küreseldir. Çünkü noktasal kütleyle yakın olan eşpotansiyel yüzeyler de küreseldir. $R/a \approx 0.2 - 0.3$ olan, birbirlerine daha yakın sistemlerde, yıldızlar küresellikten uzaklaşmışlar

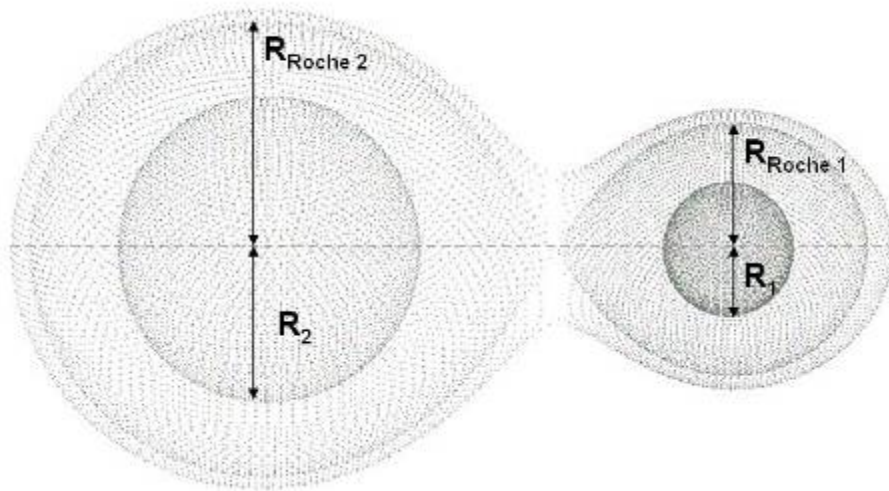
ve sonunda kendi Roche loblarını doldurmuşlardır. Özellikle çift yıldızların evrimi ile ilgili olan önemli bir nicelik, yıldızın Roche lobunun hacmi ve dolayısıyla etkin yarıçapı (r_L) dır. Eş olmayan dönme durumunda;

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

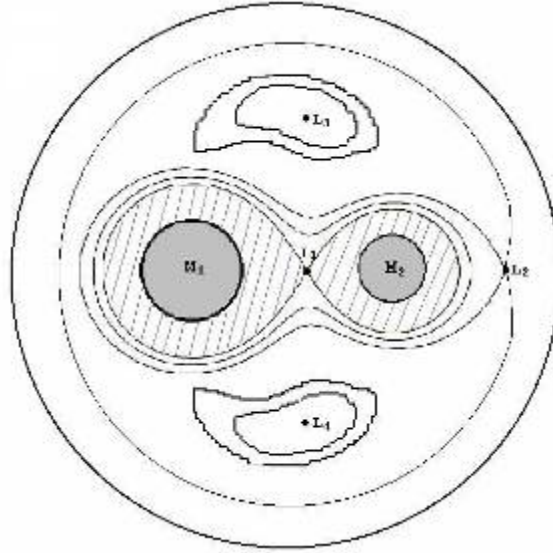
denklemini F_2 niceliği ile çarpmak gerekmektedir. Burada F eksen etrafında dönme hızının yörünge hızına oranıdır.

3.2.2 Roche Modeline Göre Sınıflama

Çift yıldız sistemleri; bileşenlerinin Roche şişimlerini (kütleçekimsel eşpotansiyel yüzeylerini) (Şekil 3.2.3 ve Şekil 3.2.4) doldurup doldurmamalarına göre üç sınıfa ayrılmaktadırlar. Evrimleşmesi sırasında genişleyerek kendi Roche şişimini dolduran bileşen L_1 Lagrange noktasından diğer bileşene madde aktarır. Eğer her iki Roche şişimi de dolmuşsa; madde birinci Roche yüzeyinden taşarak, ikinci Roche şişimini doldurmaya başlar. Şekil 3.2.4'de M_1 ve M_2 sırasıyla büyük ve küçük kütleli bileşenleri, taralı alan ise birinci Roche şişimini göstermektedir.

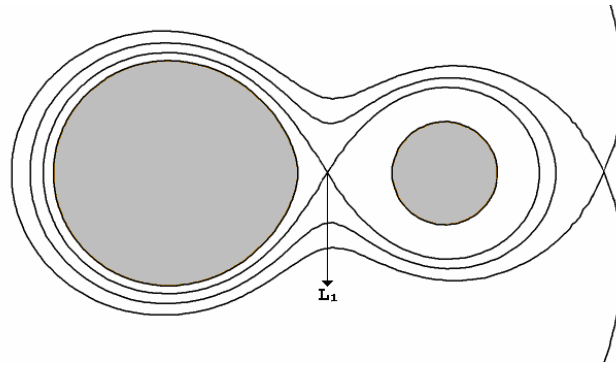


Şekil 3.2.3 Bir çift yıldız sistemi için Roche şişimleri



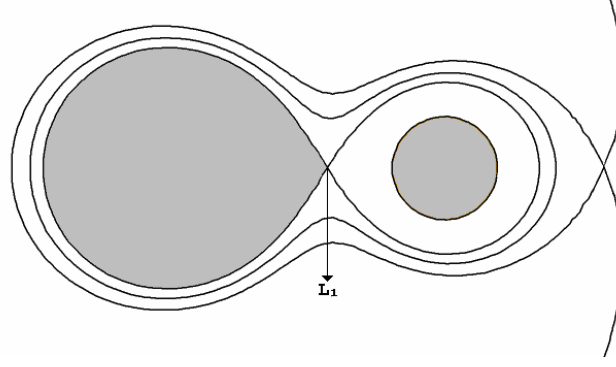
Şekil 3.2.4 Bir çift yıldız sistemi için Roche şişimleri ve Lagrange noktaları

a) Ayrık Çiftler (Detached Binaries): Bileşenlerin ikisi de Roche şişimini doldurmamıştır (Şekil 3.2.5). Bileşenler arasında madde aktarımı gerçekleşmemektedir.



Şekil 3.2.5. Ayrık çiftler

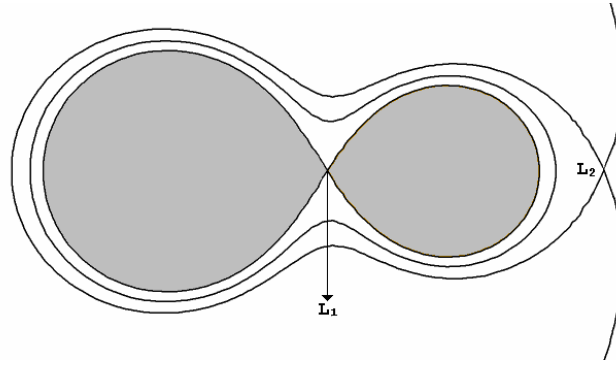
b) Yarı Ayrık Çiftler (Semi-Detached Binaries): Bileşenlerden biri (genellikle kırmızı dev) Roche şişimini doldurmuşken, diğer bileşen doldurmamıştır (Şekil 3.2.6). Roche şişimini doldurmuş olan bileşen L_1 Lagrange noktasından diğerine madde aktarır ve aktarılan madde, diğer bileşenin etrafında sarmal biçimli bir yığılma diski (accretion disc) oluşturarak yüzeyine ulaşır.



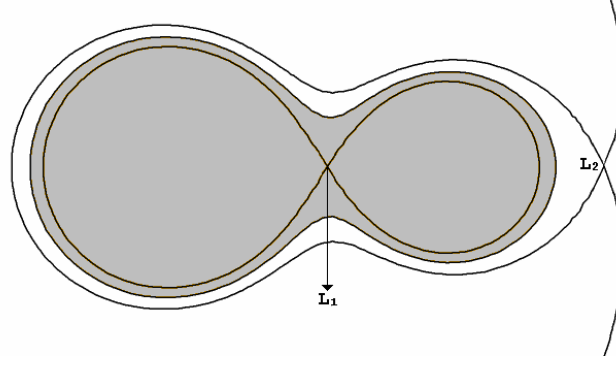
Şekil 3.2.6. Yarı ayrık çiftler

c) Değen Çiftler (Contact Binaries): Her iki bileşen de Roche şişimini doldurmuştur (Şekil 3.2.7). Eğer yıldız maddeleri şişimlerden taşarak her iki yıldızın etrafını sarmışsa, ortak zarfa sahip bir sistemden sözediyoruz demektir. Bu durumdaki çiftlere “Aşırı Değen Çiftler” (Over-Contact Binaries) adı verilir (Şekil 3.2.8).

Bileşenler birinci Roche şişimini tamamen doldurduktan sonra taşan madde ikinci Roche yüzeyine ulaşmıştır. Bu durumda; L_2 noktasına ulaşan gaz, yanında büyük miktarda açısal momentumu da taşıyarak sistemi tamamen terk edebilir.



Şekil 3.2.7. Değen çiftler



Şekil 3.2.8. Aşırı degen çiftler

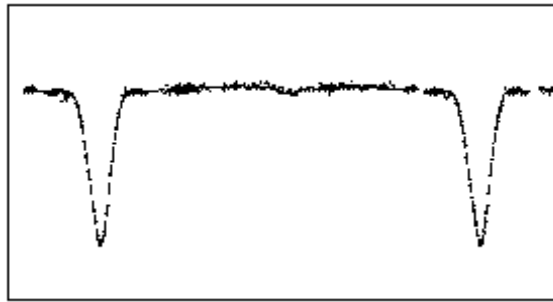
3.3 Fotometrik (Işık Eğrisine Göre) Sınıflama :

Örten çift yıldız sistemleri, bileşen yıldızların birbirine olan uzaklığına bağlı olarak başka ışık değişimleri de gösterirler. Dolayısıyla bu tür sistemlerin zamana göre parlaklık değişimini gösteren ışık eğrilerinin biçiminden bir sınıflama yapabilmek mümkündür. Fotometrik sınıflama adı verilen bu sınıflama türüne göre örten çift yıldızlar üç ana gruba ayrılmaktadır.

Algol Türü Sistemler:

Işık eğrilerinde, tutulmalar dışında önemli bir değişim yoktur, yani maksimumlar düzdür ki bu da bileşenler arasındaki yakınlık etkilerinin az olduğunu göstermektedir. Genelde her ikisi de küresel şekilli veya biri belirli düzeyde şekil bozulmasına uğramış bileşenlere sahiptir. Algol türü sistemler, sıcak bir anakol yıldızı ile soğuk bir dev ya da alt devden oluşan sistemlerdir. Her iki minimum derinliği arasında büyük farklılık gözlenmektedir.

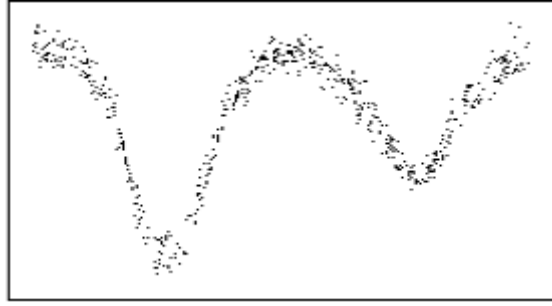
Hatta bazı dalgalı boylarında ikinci minimum gözlenemeyebilir. Minimumların sivri olması, tutulmaların parçalı olduğunu gösterir.



Şekil 3.3.1 Algol (EA) türü bir örten çift yıldızın ışık eğrisi

Beta Lyrae (β Lyr) Türü Sistemler:

Beta Lyrae türü sistemlere ait ışık eğrilerinde, yakınlık etkilerinden kaynaklanan şekil bozulmasından dolayı sürekli bir değişim gözlenmektedir. Işık eğrilerindeki minimumlar arasındaki fark, bileşenlerin farklı yüzey sıcaklıklarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. GCVS'ye göre Beta Lyrae (EB) ve W UMa (EW) türleri arasındaki ayırım, birinci ve ikinci minimum derinlikleri arasındaki farka bakılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.3.2. β Lyr (EB) türü bir örten çift yıldızın ışık eğrisi

W UMa (EW) Türü Sistemler:

Işık eğrilerinde neredeyse eşit derinlikli iki minimum ve sürekli ışık değişimleri ile karakterize edilmektedir. Eşit minimum derinlikleri, bileşen yıldızların eşit yüzey sıcaklıklarına sahip olduklarının bir göstergesidir. “Değen Çiftler” olarak da bilinen bu sistemlerin bileşenleri birbirine çok yakındır. Bunun doğal bir sonucu olarak birbirlerine uyguladıkları ileri düzeyde karşılıklı tedirginlik etkileriyle, küresellikten önemli ölçüde sapmış bileşenler içermektedirler. Yörünge dönemleri oldukça kısadır. Bu sistemler için hesaplanan kütle oranları daima 1 den farklıdır. Bu durumda merkezinde Hidrojen yakan anakol yıldızları için ortaya konan kütle-ışınım-yarıçap bağıntısı dikkate alındığında, iki bileşenin yüzey sıcaklıklarının farklı olması gerekmektedir. Bu koşul, ışık eğrisinde izlenen minimum derinliklerinin farklı olmasını ve bu türden çiftlerin EB türü olmasını gerektirir. Neredeyse eşit derinlikli minimumlara sahip ışık eğrileri veren W UMa’ların bu aykırı durumu ancak “değme olgusu”nun dikkate alınması ve bileşenlerin bir “ortak zarf” ile sarılmış olmaları halinde açıklanabilmektedir. Konvektif yapıya sahip bu zarf boyunca etkin bir ısı dağıtımının var olması sayesinde iki bileşen yaklaşık olarak aynı yüzey sıcaklığında

görülmektedir. Bu sürecin modellenmesi oldukça güçtür (Lucy 1968). Teorik araştırmalar, W UMa zarflarında izlenen “ısısal değme” yapısının zaman zaman bozulduğunu göstermektedir. Bu durumun gerçekte var olduğuna dair en önemli kanıt, W UMa’larla yaklaşık aynı yörünge dönemine ve bileşen kütlelerine sahip Beta Lyrae türü sistemlerin gözlenmesidir. Göreli olarak kısa olan yörünge dönemleri, W UMa türü sistemleri fotometrik gözlemlerin en fazla tercih edilen hedefi haline getirmiştir. Mevcut ışık eğrisi sentez modelleriyle ışık eğrileri çözülebilmekte ve bileşenlere ait küresel geometrik parametrelerin yanısıra yörünge eğimi, kütle oranı ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları belirlenebilmektedir. Bu analiz sonuçlarının dikine hız çözümleri ile birleştirilmesi durumunda bileşenlere ait salt parametreler hesaplanabilmektedir.

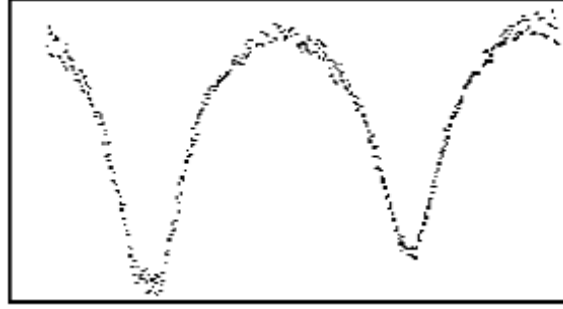
W UMa türü sistemler gösterdikleri belirgin fiziksel farklılıklara göre W ve A türü olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Bu iki türe ait özellikleri sıralamak gerekirse:

- A türü W UMa larda değme oranı daha fazla, yani ortak zarf daha kalın iken, W türlerinde değme oranı daha düşük, yani ortak zarf daha incedir.
- A türü W UMa lar daha büyük kütleli bileşenlere sahip iken W türleri daha küçük kütleli bileşenlere sahiptirler.
- A türü W UMa larda birinci minimum transit, yani ana bileşen daha büyük kütleli ve sıcak iken, W türlerinde birinci minimum örtme şeklinde, yani ana bileşen daha küçük kütlelidir.
- A türünden olanların kütle oranları daha küçük iken W türlerinin kütle oranları daha büyüktür. Bu da A türü W UMa ların W türüne göre daha fazla evrimleştiğinin bir göstergesidir.
- Daha kırmızı olan W türleri daha düşük yörünge dönemlerine sahipken (0.22 – 0.4 gün), daha mavi olan A türü sistemler daha uzun yörünge dönemlerine (0.4 – 0.8 gün) sahiptirler.
- A ve W türü arasında, bir kaç ay veya yıl zaman ölçeğinde (TZ Boo, 44i Boo gibi) tür değişimi gösteren örnekler de mevcuttur.

Hemen hemen tüm W UMa’larda dönem değişimi gözlenmektedir. Tespit edilebilen dönem değişimi büyük ölçüde baş bileşenden ana bileşene aktarılmakta olan kütleden kaynaklanmaktadır. Ayrıca görülmeyen bir üçüncü bileşenin varlığından kaynaklanan çevrimsel yapıli dönem değişimleri ve manyetik etkinlik kökenli kaotik değişimler de izlenmektedir. Düşük ışınlım güçleri nedeniyle daha çok Güneş komşuluğundaki yakın

galaktik örnekleri bilinmektedir. Ancak son yıllarda gelişen tekniklerle, küresel kümelerde ve yakın dış galaksilerdeki (LMC, SMC) örnekleri de keşfedilmeye başlandı.

W UMa türü çift sistemlerin çoğunda izlenen kütle ve açısal momentum kaybı, bu yıldızların ileride “Blue Stragglers” olarak adlandırılan yaşlı ve büyük kütleli anakol yıldızlarına veya hızlı dönen çift çekirdekli ve lekeli FK Com türü dev yıldızlara evrimleştiklerini düşündürmektedir.



Şekil 3.3.3 W UMa (EW) türü bir örten çift yıldızın ışık eğrisi

KAYNAKLAR

<http://en.wikipedia.org>

http://www.wishfire.com/Gallery_2003

<http://cfa-www.harvard.edu>

<http://www.skyworksdigital.com>

<http://spiff.rit.edu>

Prof. Dr. Berahitdin ALBAYRAK Genel Astronomi Ders Notları

Doç. Dr. Birol GÜROL Çift Yıldızlar Ders Notları

Ulusal Astronomi Toplantısı Tebliğleri, 1984 (Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi)

Arş. Gör. Tolga ÇOLAK Yüksek Lisans Tez Çalışması

Arş. Gör. H. Volkan ŞENAVCI Yüksek Lisans Tez Çalışması