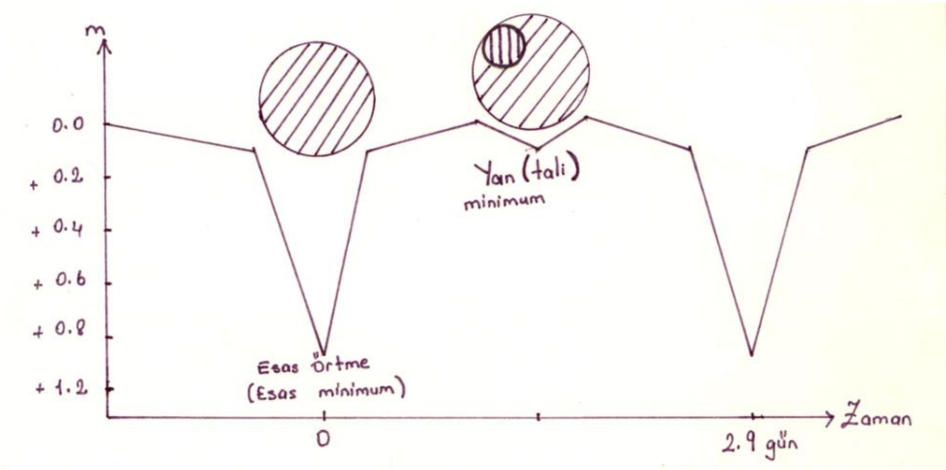
4- Örten Çift Yıldızlar :

Eğer bir çift yıldız yörüngesinin eğimi 90^0 'ye yakın oluyor ise yıldızların herbiri birbirini peryodik olarak örterler. İşte böyle çift yıldızlara örten çift yıldızlar adı verilir. Binlerce örten çift yıldız bilinmekte, bunların büyük bir çoğunluğu aynı zamanda spektroskopik çift yıldızlar, ancak çok azı da görsel çift yıldızdır.

Örten çiftlere en iyi örnek β Persei veya Algol'dur. Çünkü ilk olarak bu sistem bulundu. Örten çift yıldız olarak 1669 yılında G. Montonari Algol'un görünen parlaklığının 3 günde bir değiştiğini fark etti. Sonra J.Goodricke bu özelliğin yıldız örtülmesinden ileri geldiğini fark etti. Daha sonra 1890 da H. Vogel Algol'un tek çizgili bir çift yıldız oluğunu ve peryodunun da $2^d\ 20^h\ 49^m$ olduğunu buldu. Bu durum örten çiftlerin çok kolayca, periyodik olarak değişen parlaklığı ile tespit edilebileceğini bize gösterir. Eğer böyle bir çiftin görünen parlaklığını zamanın fonksiyonu olarak çizersek bu yıldızlar için ışık eğrisini elde ederiz. Algol'un ışık eğrisi Şekil-17 'de görülmektedir.



Şekil 17

Işık eğrisinde büyük minimuma esas minimum ve diğerine de tali (yan) minimum denir. Işık eğrilerinin incelenmesinden yörünge özelliklerinin çoğu tayin edilebilir. Doğaldır ki her sistemin ışık eğrisi farklı yani görünüş ve periyot bakımından farklıdır. Örten çiftlerin çoğunluğu aynı zamanda spektroskopik çift yıldızlar olduklarından, bunların hız eğrileri elde edilebilir ve böylece $\sin(i) \cong 1$'den bileşen yıldızların kütleleri doğru olarak tayin edilebilir.

4-1) Işık Eğrisini Belirleyen Faktörler

Örten bir çift yıldızın yörüngesinin incelenmesinden, bu çift yıldızın ışık eğrisinin aşağıdaki faktörlerle belirlendiği görülür :

1- Rölatif yörüngenin şekli
2- Çift yıldız bileşenlerinin büyüklüğü
3- Yörüngenin büyük ekseninin görüş doğrultusuna göre durumu
4- Bileşen yıldızlarının parlaklıklarının oranı
5- İki yıldızın küresel şekilden ne derece farklı olduğu
6- Rölatif yörüngelerin büyüklüğü
7- Yansıma tesiri

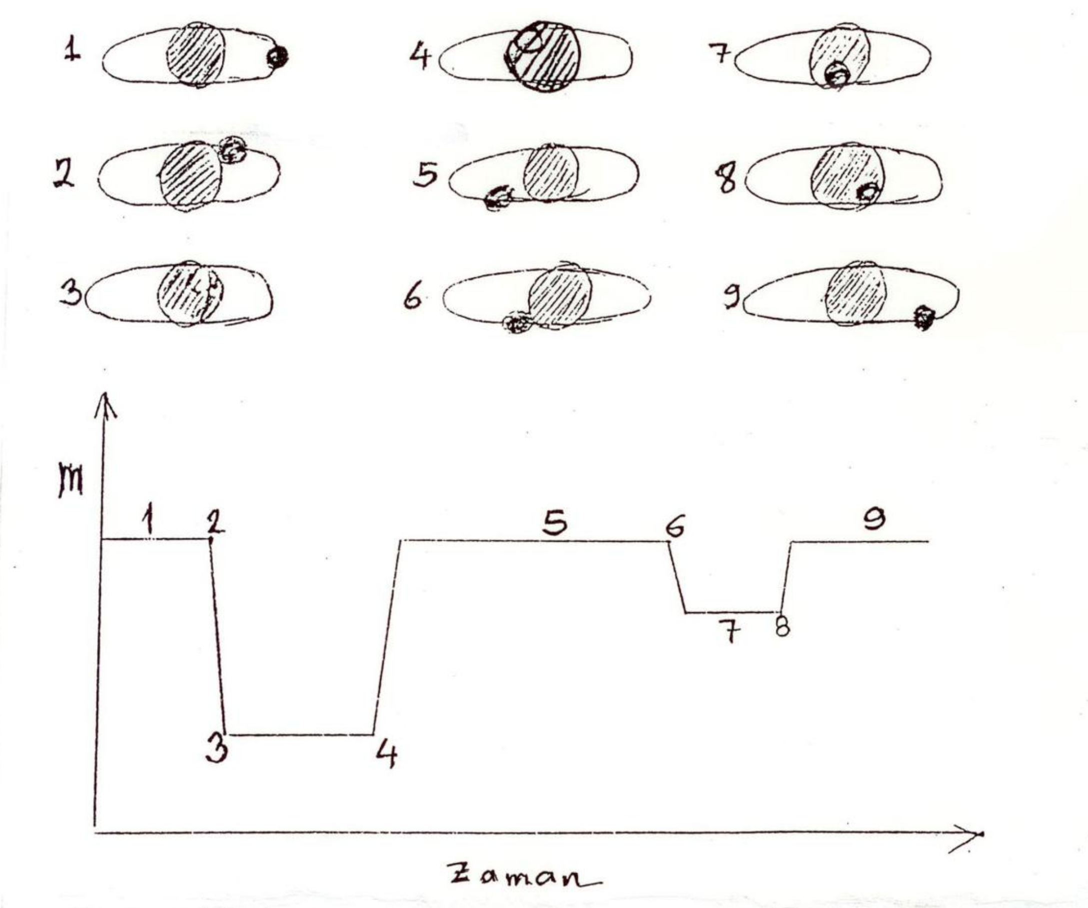
8- Kenar kararması

Işık eğrisini bu faktörler etkilediği için, tam bir analiz zordur. Fakat örten çiftlerin ışık eğrilerinin araştırılmasından elde edilen bazı sonuçları göstermek için birkaç basit durum gözönüne alınabilir.

1- Yörünge periyodu P gün ise iki örtülme vardır, ki bunlar yaklaşık birbirinden P/2 kadar ayrılmıştır. Genellikle bir örtülme yukarıda söylendiği gibi esas örtme olarak isimlendirilir ki bunun derinliği ışık eğrisinde tali (yan) örtmeden fazladır.

2- Eğer yörünge tam olarak dairesel ise örtülmeler tam olarak birbirinden 1/2 P gün farklıdır. Fakat aralarındaki uzaklık 1/2P yörüngenin tam dairesel olması gerekmez. Bazı eksentrik (yani dairesel şekilden farklı olan yörünge) yörüngeler 1/2P gün uzaklığı oluşturabilir. Ancak uzaklık aynı değilse yani aralıklarından biri 1/2P günden dahi uzun ve diğeri de daha kısa ise o zaman yörünge mutlaka eksentrik olmalıdır.

3- Eğer yörünge eğimi tam 90^0 ise ve yıldızların büyüklüklerini farklı olarak kabul ettiğimizde, P günlük dolanma periyodu içinde tam (toplam) örtülme (örtme) hem de halkalı örtme olacaktır. Tam olsun halkalı olsun her örtme kısmi bir evre (faz) ile başlar. Bir örnek aşağıda görülmektedir.



Şekil-18

4- Tam bir örtme sırasında küçük yıldızın ışığı tamamen büyük yıldız tarafından engellenir ve cismin parlaklığı örtme bitene kadar sabit kalır ve parlaklık yalnızca büyük yıldızınkine eşit olur. O halde ışık eğrisinde düz bir taban örtülmenin tam olduğunu gösterir.

5- Bir örtülme tam ise, takip eden halkalı olacaktır. Halkalı bir örtülmede gözlenen ışık küçük yıldızdan ve büyük yıldızın örtülmemiş kısmından gelen ışıkların toplamıdır. Bütün yıldızların merkezleri kenarlarına göre daha parlak olduğundan, küçük yıldızın diski önce büyük yıldız diskinin kenar-kararması olan bölgeyi kapar sonra merkeze gelir ve sonra yine diğer kenar-karaması olan bölgeyi kapar. Böylece halkalı örtülme sırasında ışık eğrisinin tabanı tam düz değil, fakat bir miktar eğrilik vardır. En derin yeri orta tutulma anıdır.

6- Eğer eğim 90^0 'den hissedilebilir derecede ayrılırsa, sistem yalnızca kısmi örtülmeler gösterebilir. Hem esas hem de tali örtülme V şeklindedir veya keskince eğridir. Algol'un ışık eğrisi bu tiptir.

7- Eğer iki yıldızın aynı yüzey parlaklığı ve böylece aynı yüzey sıcaklığı varsa o zaman ışık eğrisinin ard arda gelen minimumların derinlikleri aynı olacaktır. Bu şu şekilde gösterilebilir : b, yıldızın yüzey parlaklığı (basitlik için kenar-kararması ihmal ediliyor) ve yıldızların yarıçapları R_1 ve R_2 olsunlar. $R_1>R_2$ olduğunu da kabul edelim. Örtülmeler arası gözlenen ışık şiddeti

$$\pi R_1^2 b+\pi R_2^2 b$$

olur. Tam örtme sırasında sadece büyük yıldızın ışığı gözlenir; yani

$$\pi R_1^2 b$$

ve halkalı örtülme sırasında ise küçük yıldızın ışığına ilaveten büyük yıldızın örtülmemiş kısmından gelen ışık da görülebilir, yani

$$\pi R_2^2 b+(\pi R_1^2 b-\pi R_2^2 b)= \pi R_1^2 b$$

böylece, ışık eğrisinde iki minimum aynı derinlikte ise yıldızların aynı sıcaklıkta ve aynı spektrel tipte olduğu sonucu çıkarılabilir. Eğer farklı derinlikler varsa (Akgol'daki gibi), bir bileşen sıcak, diğeri soğuktur. Sıcaklıkların oranı örtülmelerin gözlenen derinliklerinin oranından hesaplanabilir. Algol örneğinde bir bileşen 15000^0 sıcaklığında bir B spektrel tipinden ve diğer bileşende 7000^o sıcaklığında bir F sınıfından yıldzdır.

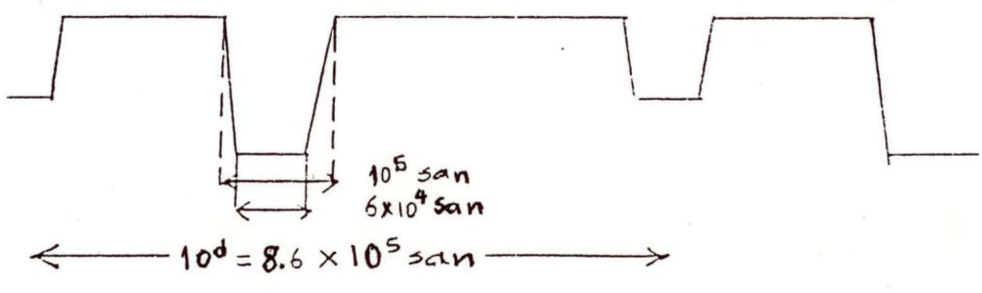
8- Şimdi varsayalım ki her iki yıldızın da hız eğrileri biliniyor. Ayrıca periyot 10 gün ve rölatif yörünge hızı 100 km/s olsun. Bu durumda yörüngenin çevresi

$$10*86400*100\cong10^8 \text{ km}$$

olur. Örtülmenin tam süresini de 10^5 saniye olarak düşünelim. Arzdan görüldüğü gibi iki yıldız bir taraftan birbirine değme halinde olduğundan da örtünme sona erer. 10^5 saniyede örten yıldızın aldığı yol yaklaşık oalrak, eğer eğim tam olarak 90^o ise (Şekil-19'a bakınız)

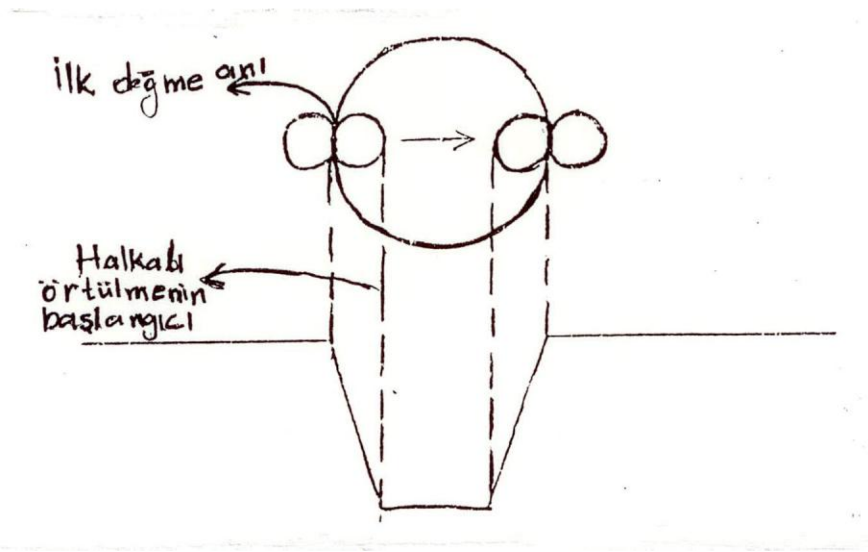
$$R_2+2R_1+R_2= 2(R_1+R_2)$$

olur. Bu son ifade şu düşünce ile bulunabilir.



Şekil-19

Yörünge düzlemi görüş doğrultusundan geçen yörüngelerde ilk örtme, küçük yıldız diskinin büyük yıldız (Şekil-20'ye bakınız) diskine değdiği t_1 anında ve halkalı örtmede küçük yıldız diskinin $2R_2$ uzunluğunda bir yol katettiği t_2 zamanında başlar. Böylece V iki yıldızın rölatif hızı olmak üzere



Şekil-20

$$(t_2-t_1)V=2R_2$$

olur. Halkalı örtme küçük diskin ön kenarının büyük diskin ikinci kenarı ile çakıştığı t_3 anında sona erdiğinden

$$(t_3-t_2)V=2R_1-2R_2$$

dir. Örtme sönük yıldız büyük yıldızı geçer geçmez bit t_4 anında sona erdiğinden

$$(t_4-t_3)V=2R_2$$

olur. Bütün bu bağıntıları birleştirirsek toplam t_4-t_1 örtme süresi elde edilir ve

$$(t_4-t_1)V=2(R_1+R_2)$$

bulunur. Böylece

$$10^5*100= 2(R_1+R_2)$$

veya

$$R_1+R_2= 5*10^6 \text{ km}$$

Bulunur. Bu basit analizle iki yıldızın yarıçaplarının toplamı, iki diski ayırmak için bir teleskop kullanmaksızın berlirlenebilir. Işık eğrisi daha fazla bilgi de verir. Örtülmenin kısmi evresini gözönüne alalım ve bunun $2*10^4$ san devam ettiğini kabul edelim. Bu durumda örtülmenin taban uzunluğu

$$10^5-2*(2*10^4)=6*10^4 \text{ san}$$

olacaktır. Buna göre

$$(t_4-t_3)V=2R_2$$

bağıntısından

$$(2*10^4 \text{ san})*100 \text{ km/san} = 2R_2$$
$$R_2 = 10^6 \text{ km}$$

ve

$$R_1+R_2=5*10^6 \text{ km}$$

olduğundan

$$R_1 = 4*10^6 \text{ km}$$

bulunur. Sonuçta her iki yıldızın yarıçapı ayrı ayrı bulunmuş olur.

9- Birbiri etrafında dönen küresel şekilli yıldızların ışık eğrileri örtülmeler arasında düz ve yatay olur. Bazı örten çift yıldızlar bu düzlüğün yerine eğrilmiş olabilir ki bu da yıldızların birbirleri üzerine uyguladıkları karşılıklı çekim etkileri sonucu şekillerinin küresellikten çıkıp yumurta şeklini aldığını gösterir. Bileşenler birbirine çok yakın olduğunda bu tip basıklık meydana gelir.

Az önceki örnekteki yörüngenin çevresi

$$2\pi R=10^8 \text{ km}$$

veya yarıçapı

$$R=16*10^6 \text{ km}$$

dir. Diğer yandan bileşenlerin yarıçaplarının toplamı $5*10^6$ km olduğundan, yüzeyleri arasındaki uzaklık $11*10^6$ km olur. Bu durumda basıklığın önemli olması için, birbirlerine kafi derecede yakın olmayacaklardır.

10- Bazı ışık eğrileri diğer tip asimetri gösterirler. Örneğin Algol durumundaki esas ve tali minimumlardan önce ve sonra parlaklık artar. Bu yansıma etkisidir. Algol'un küçük, parlak ve sıcak bileşeni büyük, sönük ve soğuk bileşeninin önünde olduğundan, küçük parlak yıldızın görünmeyen yarımküresinden gelen ışık yansıtılır. Bu büyük ve soğuk yıldızın görünen yarımküresinden gözlenen ekstra ışığa neden olur.

4-2) Örten Çift Yıldızlarda Tutulmaların İrdelenmesi

İki bileşenin birbirini örtmesi sonucu ortaya çıkan ışık eğrisinden itibaren yörünge elemanlarının bulunması ilk kez H. N.Russel tarafından başlanmıştır. Aslında problem tümüyle çok karışıktır. Ancak burada basit bir model üzerinde çalışacağız.

Yörünge elemanları diğer tür çift yıldızlarda olduğu gibidir. Fakat şimdi t_0 konjonksiyon epoku (zamanı) zamanını göstersin. Yani iki bileşenin görüm doğrultusunda olduğu zamandır. Sadece ışık eğrisinde Ω düğüm boylamı saptanamaz. Bunun anlamı, örten yıldız sistemini döndürdüğümüz zaman hep aynı ışık eğrisinin oluşması demektir(düğüm çizgisi nasıl ve nerede olursa olsun). Aynı zaman da sadece ışık eğrisinden hareketin yönü de bulunamaz. Bundan başka periyodu sabit tutarak, bütün sistemin geometrisinin iki katına kadar geliştiğini düşünürsek, ışık eğrisi değişmeyip aynı kalacaktır. O halde ışık eğrisi yardımı ile ancak rölatif büyüklükleri bulabiliriz. Diğer taraftan, her iki bileşenin ışık şiddetlerini iki katına çıkarırsak ışık eğrisinin şekli aynı kalır. Şu halde biz ancak rölatif ışık şiddetlerini bulabiliriz. Buna göre de ışık şiddetlerinin toplamını birim olarak alabiliriz bu başka bir yolla da görülebilir. Değişen yıldızın ışık şiddeti bir mukayese yıldızın şiddetine göre ölçülür. Tabiidir ki, örten yıldız sisteminin yörünge elemanları gözlemci tarafından seçilen mukayese yıldızına hiç bağlı değildir. Şu halde biz örten değişen yıldız sisteminin ışık eğrisi o şekilde alırız ki eğrinin maksimumu mukayese yıldızının ışık şiddetine eşit olsun. Buna göre de maksimumda kadir farklarını 0'a, yani şiddet oranlarını bire eşit yapabilmek için kadirlere sabit bir miktar ekleyerek ışık eğrisini kaydırırız.

Birim olarak şunları kullanacağız.

Uzunluk : (r,a), iki bileşenin merkezleri arasındaki uzaklık.

Dairesel bir yörünge için yarıçap,

Eliptik yörünge için yarı büyük eksen alınır.

Alan : küçük yıldızın alanı alınır.

Şiddet : I, $I=I_1+I_2$, her iki yıldız birbirini örtmediği zaman, ışık eğrisinin maksimumunda her iki yıldızın ışık şiddetlerinin toplamı.

Tutulmaları incelerken en basit durumu gözönüne alacağız :

Dairesel yörünge, küresel yıldızlar, üniform ışık ve yansıma olayı yok. Yörünge dairesel olduğu için minimumlar birbirinden P/2 kadar ayrıktır. Yıldızlar küresel olduğundan maksimumlarda ışık sabittir. Üniform ışık (bütün disk üzerinde) örtülen alanın ışık kaybı ile orantılı alacağı anlamına gelir. Şu notasyonları kullanacağız :

R_K = Küçük yıldızın yarıçapı
R_B = Büyük yıldızın yarıçapı
L_K = Küçük yıldızın ışık şiddeti
L_B = Büyük yıldızın ışık şiddeti
α = örtülen alan (küçük yıldızın alanı birim alındığı taktirde belirlenecek birimle ölçülür).

Yarıçapların oranı k, maksimum ışık şiddetini l_{max} ile gösterirsek

$$k = \frac{R_K}{R_B} \leq 1, \quad l_{max} = L_K + L_B = 1$$

olur. Çift yıldız sisteminden aldığımız ışık, öndeki yıldızın parlaklığı ve arkadaki yıldızın örtülmemiş kısmının parlaklığının toplamı ile orantılıdır. Gözlenen minimum şekli bize yıldızların rölatif büyüklükleri hakkında fikir verdiğinden ışığın azalması veya kaybı çok önemlidir. Artık ışık şiddetlerini kullanacağımızdan (kadirler değilde), ışık eğrisinin kadir farklarını şiddet oranlarına dönüştürmeliyiz. Yukarıda bahsettiğimiz birimleri alırsak

$$m=-2.5\log(l) \text{ veya } \log(l)=-0^m.4$$

bağıntılarıyla kadirler ve ışık şiddetleri birbirlerine çevrilebilirler.

Birbirini örten çift sistemlerde tutulmaların 4 olasılığı vardır. Kullanılan deyimler aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir.

Her durumu ayrı ayrı ele alacağız.

Tutulma	Örtülme(a)	Geçiş(b)
1-) Tam	Tam	Halkalı
2-) Tam değil	Parçalı	Parçalı

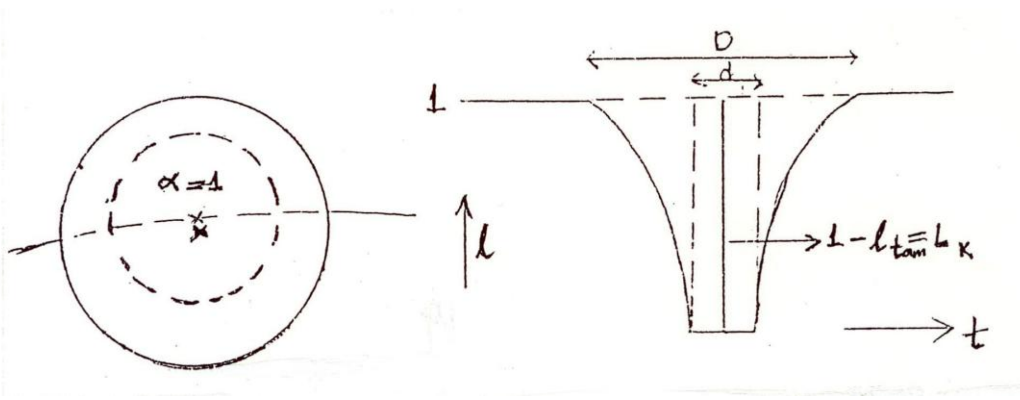
1a) Tam, örtülme : Büyük yıldız öndedir ve tutulma sırasında sadece bunu görürüz. Işık eğrisinin minimumu sabittir. Işığın kaybolan kısmı küçük yıldızın parlaklığını verir; minimum sırasındaki şiddet de büyük yıldızın parlaklığıdır (Şekil-21'e bakınız) Şekile göre

$l_{tam}=L_B$ ve $L_B+L_K=1$ olduğundan

$l_{tam}+L_K = 1$ ve

$l_{tam}= 1-L_K = L_B$

yazılabilir.



Şekil-21

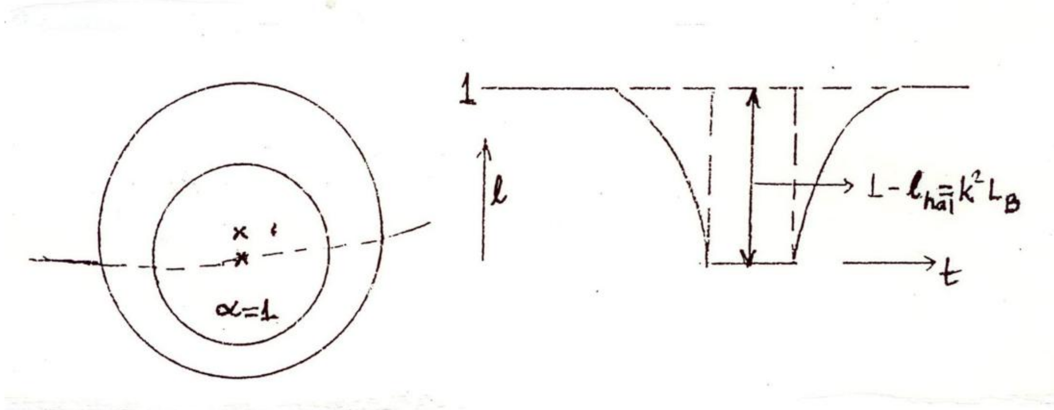
1b) Halkalı, geçiş : Küçük yıldız öndedir. Işık kaybı, büyük yıldızın ışığının bir kesrinin kesilmesinden ileri gelir. Bu kesir, tutulmanın ortasında yıldız yıldız alanlarının oranına eşittir. Şu halde $k^2 \leq 1$ dir. Bundan başka minimumun sabit yani düz bir parçası vardır. Işık kaybı için Şekil-22 den yararlanarak

$$k^2 = \left(\frac{R_K}{R_B}\right)^2 \quad \text{ve } l_{hal} = (L_B + L_K) - k^2 L_B$$

$$l_{hal} = 1 - k^2 L_B \text{ ve}$$

$$1 - l_{hal} = k^2 L_B$$

yazılabilir.

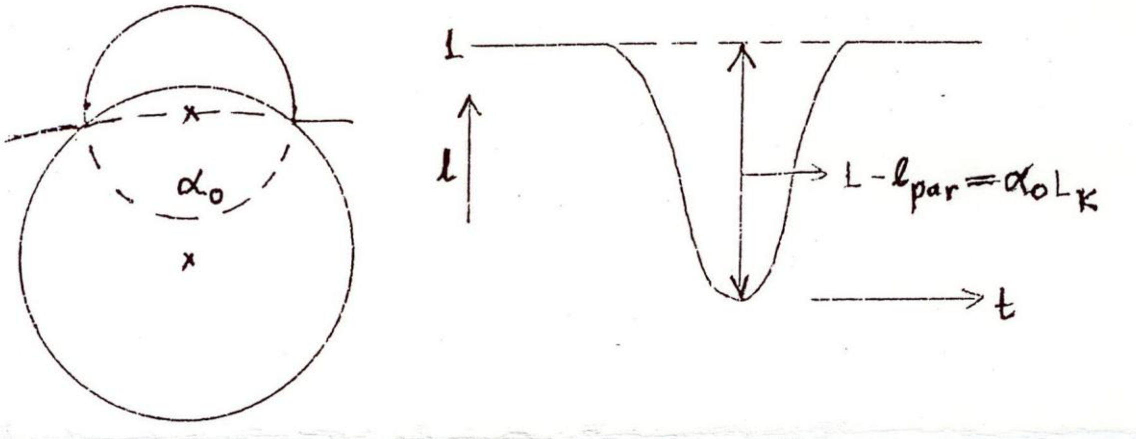


Şekil-22

2a) Parçalı, örtülme : Büyük yıldız öndedir. Tutulmanın ortasında artık sabit ışık yoktur; minimum eğriseldir. Tutulmanın ortasında ışık kaybı Şekil-23'e göre

$$1 - l_{par} = \alpha_0 L_K, \qquad \alpha_0 = \frac{1 - l_{par}}{L_K}$$

yazılabilir.

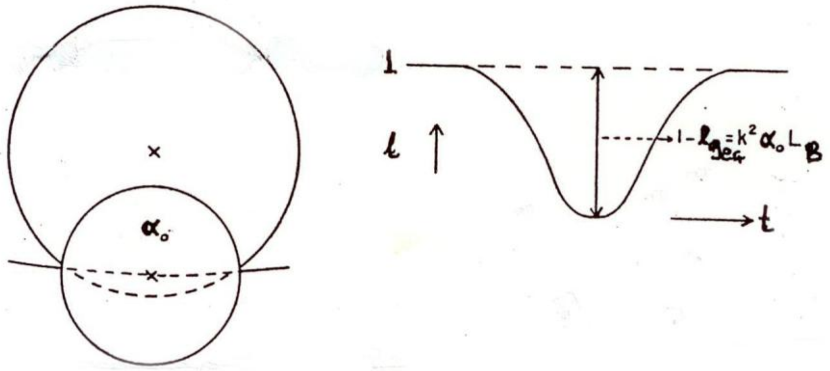


Şekil-23

2b) Parçalı, geçiş : Küçük yıldız öndedir. Gene örtülen alan veya ışık kaybı küçük yıldızın alanı birim alındığına göre ifade edilmiştir. Büyük yıldız birim alındığı zaman bu miktar $k^2\alpha_0$ ile ifade edilir. Burada minimum eğriseldir. Tutulma ortasında ışık kaybı (Şekil-24'e bakınız).

$1\text{-}l_{ge.} = k^2\alpha_0 L_G$

şeklinde olur.



Şekil-24

Tam veya tam olmayan her iki tutulmada da şöyle hareket edebiliriz. Asal ve tali minimumlarda tutulmanın ortasında örtülen alanlar eşittir (yörünge dairesel ise). Üniform aydınlanmada, her iki halde de ışık kaybının eşit büyüklükte alanlar için olduğunu biliyoruz. Başka bir deyişle bu modelde yüzey yıldız yüzey ışınım güçlerini karşılaştırıyoruz. Bu düşünce tarzı iki minimum sırasındaki eğrinin ν ve $180^o + \nu$ fazlarına karşılık gelen noktalar içinde doğrudur. Bunun ortaya çıkan etkisi olarak ışık eğrisinin maksimum yatay çizgisi ile eğrisel minimum arasında kalan alanı göz önüne alabiliriz (minimum I ve minimum II alanları). Baş minimum da ışık kaybı daha büyüktür, şu halde bu minimum yüzey parlaklığı daha büyük olan, yani iki yıldızdan en sıcak olanının tutulmasına karşılık gelir.

$$\frac{I_{sıı}}{I_{soğ}} = \frac{1-l_1}{1-l_2} = \frac{\min imum\_I\_alanı}{\min imum\_II\_alanı}$$

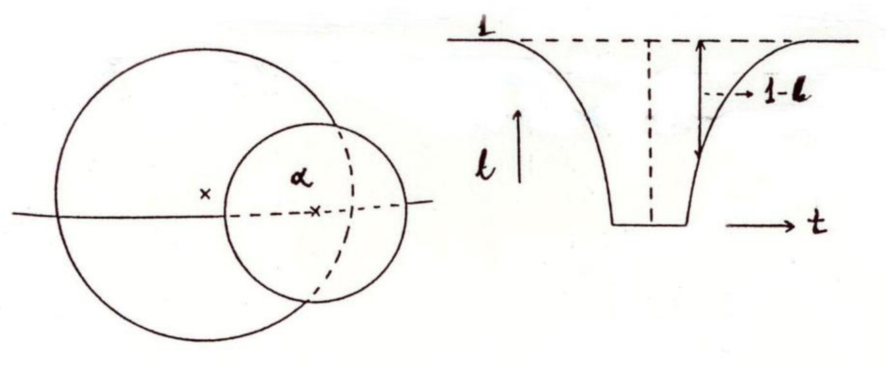
4-2a) Işık Kaybı:

Tutulmanın ortası esnasında ışık kaybı için bulduğumuzu özetleyelim ve bu kaybı kol üzerindeki bir nokta için de ifade edelim (Şekil-25'e bakınız). Böylece dört durumla ilgili sonuçlar aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir. Dört halde de sonucu bir tek formülle yazabiliriz.

	Tutulma ortası	kol	Işık kaybı
(1a) tam	$1-l_0 = L_K$	$1-l = \alpha L_K$	$\alpha = \dfrac{1-l}{1-l_0}$
(1b) hal	$=k^2 L_B$	$= k^2 \alpha L_B$	
(2a) par	$=\alpha_0 L_K$	$=\alpha L_K$	$n = \dfrac{\alpha}{\alpha_0} = \dfrac{1-l}{1-l_0}$
(2b) geç	$=k^2 \alpha_0 L_B$	$=k^2 \alpha L_B$	

$$n = \frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{1-l}{1-l_0}$$

Burada tutulmanın ortası için n=1 dir; tam tutulmalar için α_0 =1 ve parçalı tutulmalar için de $\alpha_0 \leq 1$ olur. Herhangi bir noktadaki parçalı tutulmalar için ışık kaybını veya α'yı, birim olarak alınan maksimum ışık kaybı cinsinden hesaplanabilir.



Şekil-25