

# ε AUR ÖRTEN ÇİFTİNİN FOTOMETRİK ANALİZİ

Ayvur Akalın

Osman Demircan

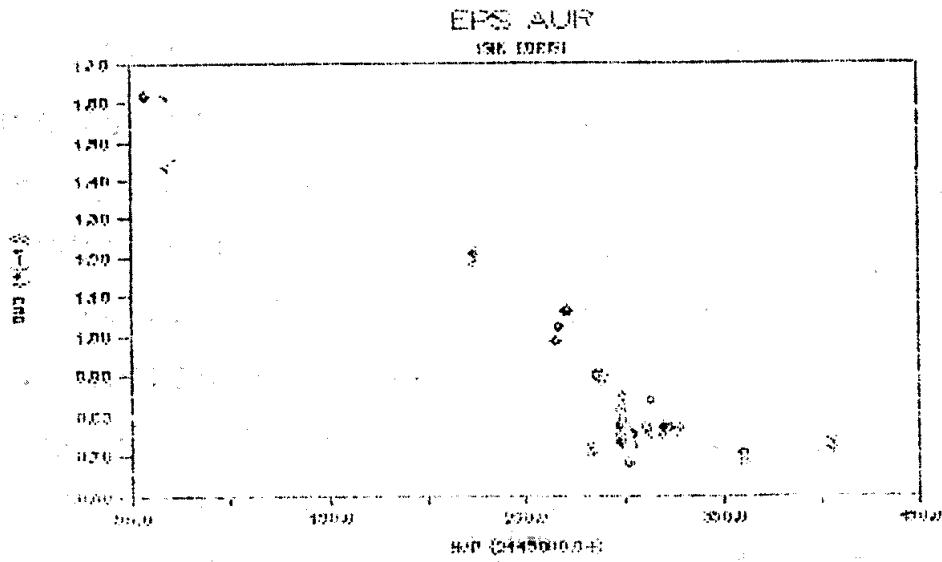
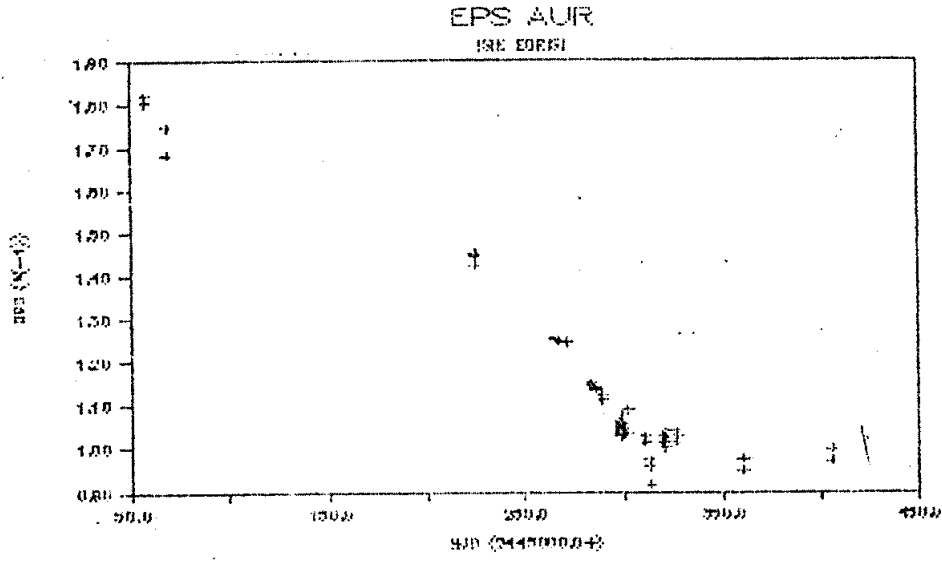
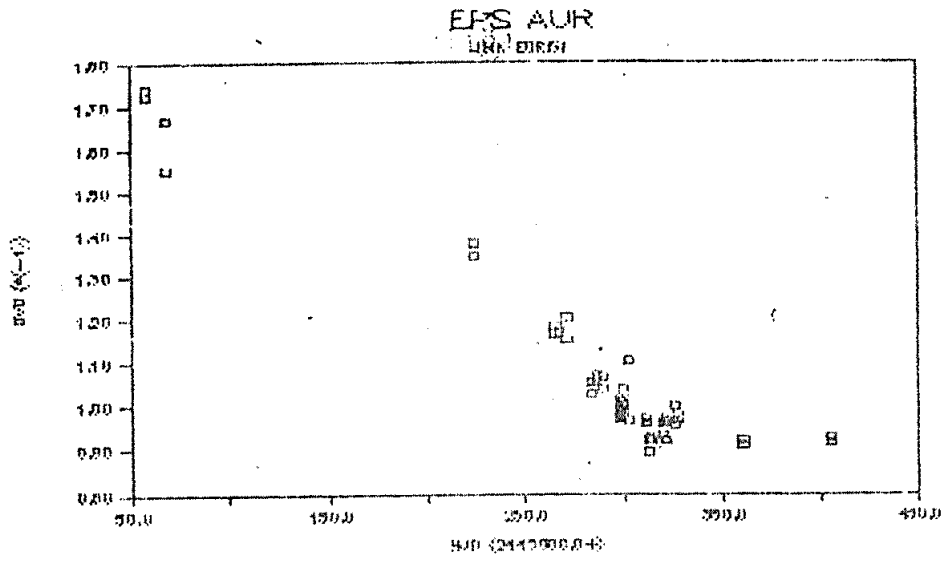
A.Ü., Fen Fakültesi,

Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

Beşevler, Ankara

## 1. Giriş :

Üçüncü kadirde parlak bir yıldız olan ε Aur sisteminin ilk olarak keşfedilmesi 1700'lere ve tutulma gösterdiğinin de 1821'de Fritsch tarafından bulunmasına rağmen fiziksel yapısı tamamen anlaşılmamıştır. Tutulma periyodu 27.1 yıl (9592 gün) olan ε Aur sistemi, 467 gün süren tam tutulma zamanlarında Dünya'daki pek çok amatör ve profesyonel astronom tarafından gözlenir. R.E. Stencel (NASA), D.S. Hall (Dyer Gözlemevi) ve R.W. Genet (Fairborn Gözlemevi) tarafından ε Aur sisteminin 1982-1984 yıllarına rastlayan tutulmasını gözlemek amacıyla bir kampanya düzenlenmiştir. Ayrıca A.Ü. Fen Fakültesi Ahlatlıbel Gözlemevi'nde 1982 yılında 20 gece, 1983 yılında 2 gece olmak üzere ε Aur örtene çifti üç renkte gözlenmiştir (**Şekil.1**). Bu tutulma sırasında elde edilen ışık eğrilerinin iki küresel yıldızla oluşturulamayacağı gösterilmiş ve tutulmada disk etkisini ortaya koymak amacıyla sayısal uygulamaya başlanmıştır.



Şekil.1. A.Ü.F.F. Ahlatlıbel Gözlemevi'nde 1982-1984 tutulmasında elde edilen ε Aur ışık eğrisi.

## 2. UBV Gözlemleri :

1982-1984 tutulması sırasında 22 gece boyunca yaptığımız gözlemlerde mukayese yıldızı olarak  $\lambda$  Aur yıldızı seçilmiştir. Gözlemlerimize göre tutulma, Gyldenker (1970) tarafından verilen zamana göre 123 gün önce başlamıştır. İkinci kontak ve diğer evreler uygunluk göstermektedir. Gözlemlerimizde ilk kontak noktası belirgin olmamakla birlikte tutulma anındaki ışık kaybı U, B ve V filtrelerinde sırasıyla  $0^m.8$ ,  $0^m.7$  ve  $0^m.6$  tespit edilmiştir. U filtresindeki derin tutulma başka gözlemciler tarafından da gözlenmiştir. (Schmidtke, 1985 ve Ake, 1985). Birinci bileşenin tayfsal çizgilerinin tutulmanın tüm evrelerinde gözlenebildiği bulunmuştu (Hack, 1961). Bu ikinci bileşenin hiç bir zaman birinci bileşeni tamamen tutulmaya uğratamayacağı anlamını taşır. Bizim gözlemlerimizde de ilk kontak noktası iyi belirlenememişti, örtülme durumu gerçekleşmemiştir.

8 Aur sisteminin 1982-1984 tutulmasının ikinci kontak ve civarındaki evrelerde, Tjorn Adası Astronomi Gözlemevi (İsveç), Hopkins Phoenix Gözlemevi (Hopkins 1985, Arizona) ve Scalnate Pleso Gözlemevi (Chochol ve Ziznovsky, 1987) tarafından elde edilen gözlem değerleri bizim gözlemlerimizle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda SPO gözlemleri ile bizim gözlemlerimizin iyi uyum gösterdiği görülmüştür. Gözlemlerimizden ikinci kontak zamanı olarak 11 Aralık 1982 tarihi bulunmuştur. Önceden tahmin edilen ikinci kontak zamanı 4 Aralık 1982'dedir ve bizim bulduğumuz zamandan 7 gün daha erkendir. (Şekil.2). Pulsasyon nedeniyle yıldızın ışığındaki değişimin farklı farklı olması, kontak noktasından zaman tespitini etkiler. Aynı zamanda tutulmanın fiziksel ve geometrik elemanlarının tespitinde de kontak noktalarının önemi büyüktür.

### 3. e Aur Sisteminin Işık Eğrisi :

ε Aur sistemi Algol tipi ışık eğrisine sahiptir, sadece bir tek minimum gösterir ve görsel bölgede yaklaşık 0.7 kadırlık bir derinliğe sahiptir. Tutulma yaklaşık 647 gün sürer ve bu sürenin 446 günü tam tutulma şeklinde geçer. (Schmidtke, 1985). İkinci bileşen küresel olmaktan oldukça uzaktır ve yörünge eğimi 90° ye yakın olmasına rağmen tutulma anında birinci bileşeni hiç bir zaman tamamen örtemez.

Bir ikinci minimumun yokluğu ikinci bileşenin çok düşük sıcaklığa sahip olduğunu gösterir ve görsel olarak bu bileşen gözlenemez. İkinci bileşen için günümüze kadar çeşitli modeller ileri sürülmüştür. Bu modellere göre ikinci bileşen; bir karmaşık göklaş kumesi (Ludendorff, 1924), dev bir kırmızı ötesi yıldız (Kuiper ve ark., 1937), bir küçük yıldız artığı ile iyonize olmuş gaz akımları (Struve, 1956), bir iyonize olmuş gaz kabuğu tarafından çevrelenmiş bir sıcak B yıldızı (Hack, 1961), bir optik kalın metal çubuk (Huang, 1965), yeni oluşmakta olan gezegenimsi sistem (Kopal, 1971), bir kara delik ve yarı-geçirgen bir disk (Cameron, 1971), merkezi açılmaya uğramış kara delik çevresinde donuk disk (Wilson, 1971) ve donuk kalın bir disk ile çevrelenmiş erken tip kütleli bir yakın çifttir. (Lissauer ve Backman, 1964). Nitekim ε Aur sistemi, tüm çift yıldız sistemleri arasında en çok belirsizliği üzerinde toplayan tek sistemdir.

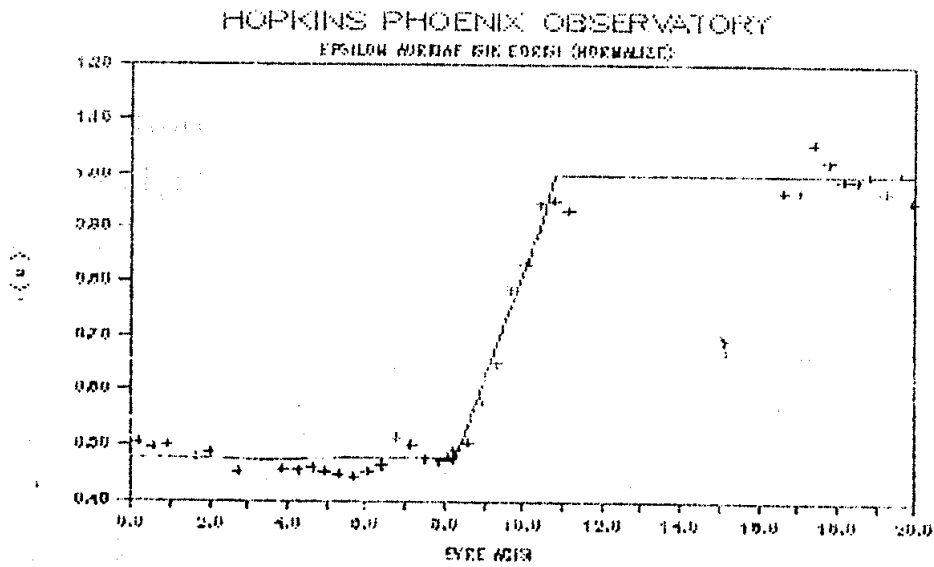
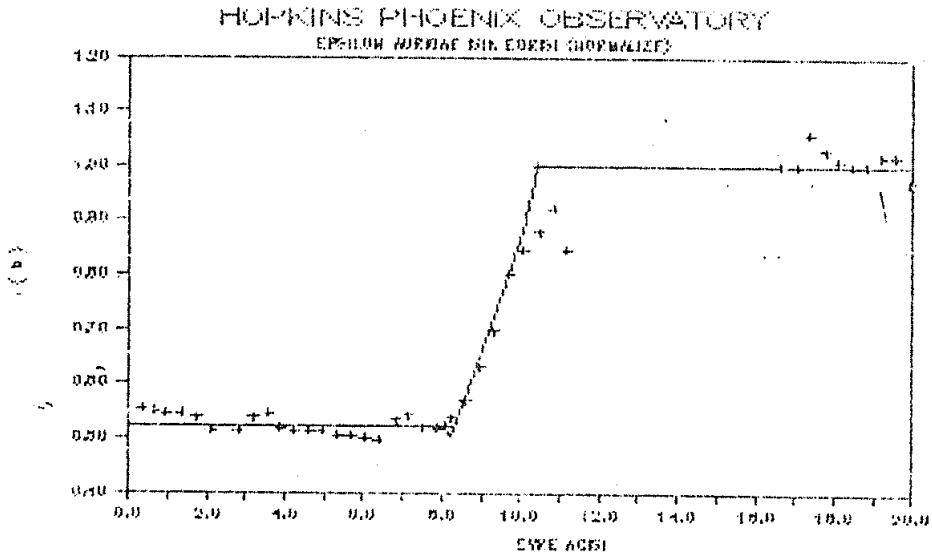
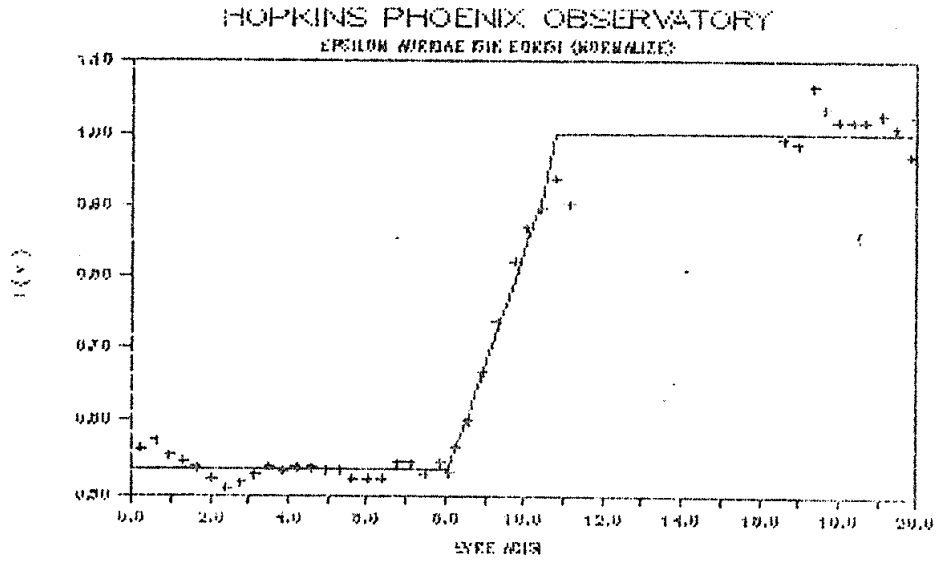
Son gözlem kampanyası ile ε Aur hakkında biraz daha belirsizlik ortadan kalktı. Farklı dalgaboylarında alınan fotometrik verilerden, sistemin birinci bileşeni olan FO Iap tipi süperdevin 105-120 günlük bir periyot ile pulsasyon yaptığı belirlenmiştir. (Guinan, 1982). İlk olarak Krat (1936) tarafından ileri sürülen bu pulsasyonlar tutulmanın dışında 0<sup>m</sup>.1-0<sup>m</sup>.2 kadar değişim gösterirler. Bu değişim, tutulmanın içindeki pulsasyon

nedeniyle meydana gelen değişim kadar iyidir. Pulsasyon ile ilgili fotometrik bulgular UV ve polarizasyon verileri ile desteklenmektedir. UV süreklilikte değişimler cepheid benzeridir.

Tutulmanın derinliği  $\lambda > 5$  mikrometreden az olup, donuk ve çok soğuk bir diskten kaynaklanabilecek şekildedir. İkinci bileşen için IRAS gözlemleri,  $T = 475 \pm 50$  °K'lık bir sıcaklık değeri vermiştir. Backman (1985) tarafından, ikinci bileşenin birinci bileşene dönük yüzünün  $\sim 1100$  °K'nin üzerinde ısıtılmış olduğu bulundu. Ferluga ve Hack (1985), tozlu donuk diski oluşturan parçacıkların yıldızlararası toz parçacıklarına göre çok daha büyük olması gerektiği, çünkü tutulma sırasında  $2200 \text{ \AA}$  'deki gözlemlerde hiç kızarmaya rastlanmadığını belirttiler. Tutulma sırasında alınan tayflar, diskin çevresinde çok genişlemiş gaz zarfın varlığını gösterir. Ferluga ve Hack, tüm sistemin de genişlemiş zarf ile sarıldığını belirtmektedirler.

$\lambda = 1500 \text{ \AA}$  de ışınımı hakim olan az sıcak cisim tutulma göstermemektedir. Tutulmanın etkisi  $1200 \text{ \AA}$  'de en belirgindir. (Ake, 1985). Bu UV'deki artışı gerçek olduğunu ve birinci bileşenin tayfındaki uzun dalgalı boylarındaki ışığın saçılması nedeniyle olmadığını gösterir. Bu sıcak cisim diskin merkezinde bir yıldız (Hack, 1971) veya kütleli çift yıldız (cf. Lissauer ve Backman 1984, Eggleton ve Pringle 1985) olabilir. Backman (1985), IR 'de diskin görünen bölgedeki genişliğinin yarı uzunluğunda olduğunu buldu. Büyük kalınlığın nedeni diskteki maddelerin salınım yapması olabilir. Sıcak cisimin ışınımı diskin kutuplarından kaçmaktadır ve bu şekilde uyarılan ve iyonize olan gaz zarfı shell tayfı gösterir. UV bölgede sıcak cisimin değişen ışığı, yakın çift yıldız modeli ile açıklanmaktadır.

Tutulma ortasında, optik ve UV ışık eğrilerinde  $0^m.2$ 'den fazla bir parlama görülmektedir. (Şekil.2). Bununla beraber renk



Şekil.2. Hopkins Phoenix Gözlemevi'nde 1982-1984 tutulmasında elde edilen  $\epsilon$  Aur ışık eğrisi.

eğrisinde bu parlama yoktur. Bu garip parlamanın nedeni pulsasyon olabilir. Tutulma ortası parlamaları daha önceki tutulmalarda da gözlenmiştir. Parlamanın ince disk içindeki sıcak cisim nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. Yörünge eğimi kesin olarak bilinmemektedir. ( $i < 90^\circ$ ). Bu parlamanın artan genliğinin nedeni diskin presesyon yapması olabilir. Diğer bir olasılıkta çekim kararması etkisidir. (Hopkins 1984, Schmidtke 1985).

#### **4. Disk Etkisi :**

Kemp ve ark. (1985) tarafından tutulma sırasında elde edilen polarizasyon verilerinde simetrisiz değişimler gözlenmiştir. Bunun nedeninin eğilmiş disk etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Diskin eğiminin hafifçe kuzeye doğru kaymış olduğunu da iddia etmektedirler. UV'deki tam tutulma evrelerinde negatif eğim de olduğu Kemp ve ark. (1985) tarafından açıklanmıştır. Bu eğime sahip halka, birinci yıldızın ekvatorunu çevreler. Bu ikinci disk de eğime sahiptir ve birinci yıldızın dönme eksenini presesyon yapmalıdır. Kemp ve ark. tarafından diskin 1000 yıllık bir presesyon zamanına sahip olduğu belirtilmiştir.

#### **5. Tutulma Eğrisinin Küresel Modele Göre Analizi :**

ε Aur'un Hopkins (1985)'den alınan ve Şekil.2'de gösterilen tutulma eğrilerinin küresel yapılı iki yıldızın örtme (veya örtülme)siyle oluşturulup oluşturulamayacağı denetlenmiştir. Bunun için önce ışık eğrileri maksimum ışığa normalize edilmiştir. Normalize işleminde Schmidtke (1985)'nin verdiği parlaklık seviyeleri kullanılmıştır. (bkz. Çizelge. 1).

**Çizelge.1:** 1982-1984 E Aur tutulmasının girişi ile çıkışı arasındaki ortalama parlaklık seviyeleri;

	<u>V</u>	<u>B</u>	<u>U</u>
Tutulma dışı	: 3.048	3.600	3.708
Tutulma ortası	: 3.734	4.305	4.510
Fark	: 0.686	0.705	0.802

Tutulmanın çıkış kolunda seçilen yirmi noktaya Kopal (1975) yöntemine göre tutulmanın momentleri V rengi için ;

$$A_0=0.4684$$

$$A_2=0.0129399$$

$$A_4=0.00036474$$

$$A_6=0.00001055854$$

bulunmuştur. Aynı yöntemle göre

$$C_3=A_2/A_0$$

$$C_2=(A_4/A_0-C_3^2)^{1/2}$$

$$C_1=(A_6/A_0-C_3^3-3C_2^2C_3)/C_3^2$$

bağıntılarından bulunan C büyüklükleri,

$$r_1=[C_1^2/((1-C_3)*C_1+C_2^2)]^{1/2}$$

$$r_2=[C_2^2/((1-C_3)*C_1+C_2^2)]^{1/2}$$

$$\text{Sin } i=[C_1/((1-C_3)*C_1+C_2^2)]^{1/2}$$

ifadelerinde yerine konarak  $i=90^\circ$ ,  $r_1=0.10692$ ,  $r_2=0.03783$  ve  $L_1=0.5316$  bulunmuştur. Bu değerlere göre tutulmanın transit olması gerekmektedir. Halbuki kullanılan bağıntılar tam tutulma için geçerlidir. Bu çelişki gözlemsel eğrinin küresel modelde "occultation" olarak elde edilememesinden kaynaklanmış olmalıdır ki bu bileşenlerden en az birinin küreden çok farklı bir biçime sahip olmasını gerektirir. Bu bulgu, tayfsal gözlemlere göre bileşenlerden birinin optik bölgede ışınım yapmayan bir disk olarak bilinmesi tezini desteklemektedir.



## 6. Disk Boyutları :

Optik bölgede ışınım yapmayan ve düzgün parlaklık dağılımına sahip ( $u=0$ ) soğuk disk küresel bir biçimde temsil edilebilir. Diğer tutulmaya uğrayan bileşenin yüzeyindeki parlaklık dağılımı da düzgün kabul edildiğinde, tutulmalar sırasında normal bileşenin kenar kararmasına ve sistemin geometrisine göre ışık kaybı gözlenecektir. Kenar kararması klasik kosinüs kuralıyla ifade edilebilir.  $\epsilon$  Aur sisteminin gökyüzü düzlemindeki izdüşüm geometrisi **Şekil.3**'de gösterilmiştir. Yörünge eğimi  $i$ , bileşenler arası izdüşüm uzaklığı  $\delta$ , evre açısı  $\theta$  olmak üzere (bkz. Demircan, 1988) ;

$$O'H = \cos i \quad \text{ve} \quad OH = \sin \theta * \sin i$$

dolayısıyla

$$\cos \epsilon = \sin \theta * \sin i / \delta \quad \text{ve} \quad \sin \epsilon = \cos i / \delta$$

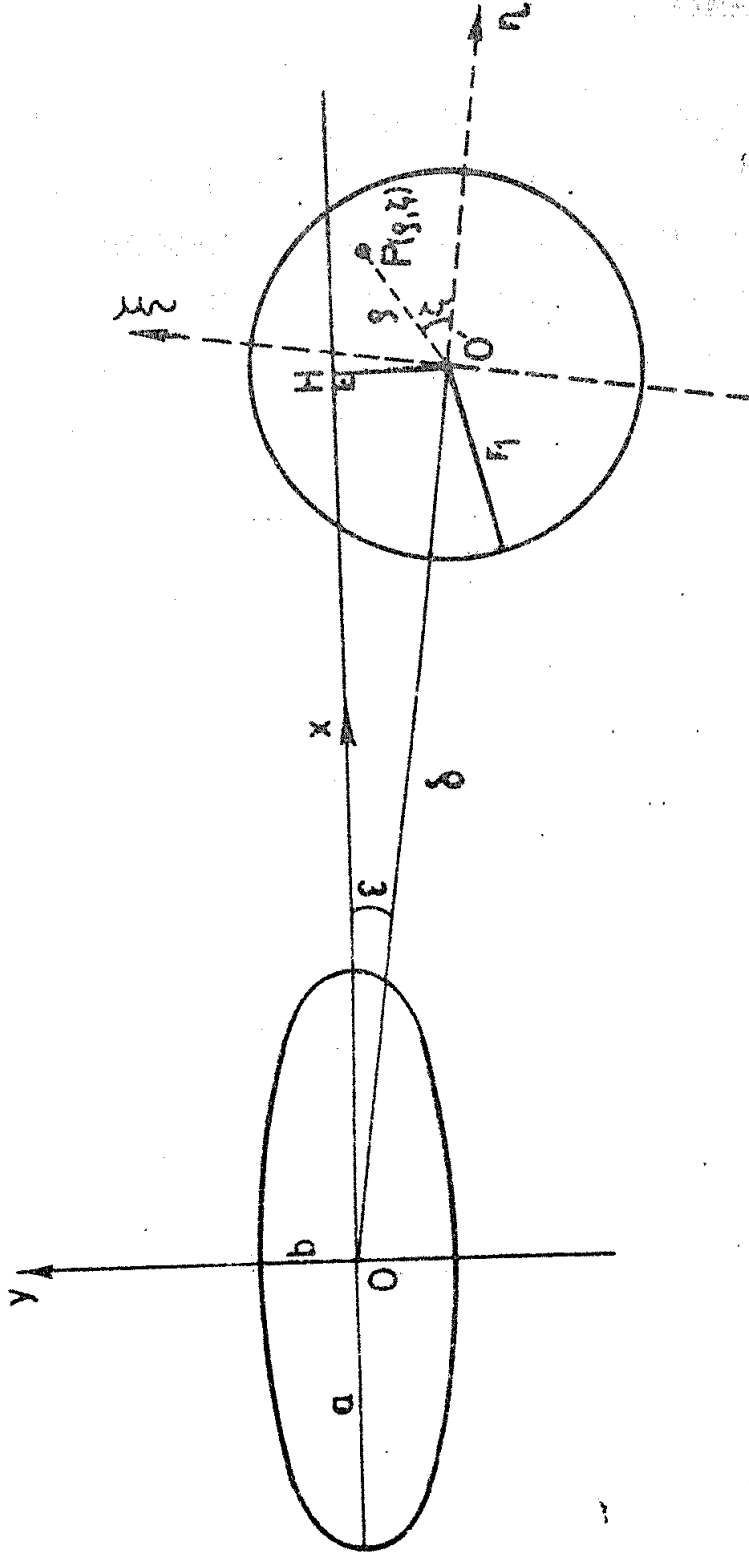
olacaktır. Burada  $\delta^2 = \sin^2 \theta * \sin^2 i + \cos^2 i$  şeklinde verilir.

Soğuk diskin izdüşümü yarıbüyük eksenini  $a$  ve yarıküçük eksenini  $b$  olan bir elips ile ifade edilebilir. **Şekil.3**'de izdüşüm elipsinin yarıbüyük eksenini diskin yarıçapını ve yarıküçük eksenini de diskin yarı kalınlığını belirlerse ve diskin yarı kalınlığını  $p$  ile gösterirsek;

$$b = p \cdot \cos(90^\circ - i) + a \cdot \cos i$$

olmalıdır.

Diske ait izdüşüm elipsinin  $x$ -eksenini diğer bileşenin merkezinden geçmezse, yörünge eğikliği de  $90^\circ$  değil ise bir  $\epsilon$  açısı oluşur. Bu açı  $\delta$ 'ya bağlıdır ve  $\cos i \leq \sin \epsilon \leq i$  şeklinde değişim gösterir.



Şekil.3. Disk - yıldız sisteminin gökyüzü düzleminde izdüşüm geometrisi

Birbirine çekimsel olarak bağlı ve bir bileşeninin etrafında büyük bir disk bulunan iki yıldızlı bir çift yıldız sisteminde meydana gelen tutulmalarda ışık kaybı

$$L_1 \cdot \alpha = L_1 \cdot \sum_{h=0}^{\infty} C(h) \cdot \alpha_h^0$$

şeklinde verilir. Burada  $L_1$  örtülen yıldızın veya diskin ışınım gücüdür.  $\epsilon$  Aur sistemi uzun dönemli bir çift yıldız sistemi olduğu için basıklık ve yansıma etkileri boşlanabilmektedir.

$\alpha_h^0$  kesirsel ışık kaybı, diskin diğer bileşeni örtmesi halinde;

$$\alpha_h^0(a, b, r_1, \delta) = 2\pi a b 2^v \Gamma(v) \int_0^{\infty} \left( \frac{J_v(2\pi q r_1)}{(2\pi q r_1)^v} \right) \cdot$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} \left\{ \left( \frac{J_1(2\pi q [a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi]^{1/2})}{[a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi]^{1/2}} \right) \cdot \exp[-2\pi i \delta q \cos(\phi + \epsilon)] \right\}$$

$$/ (2\pi q [a^2 \cos^2 \phi + b^2 \sin^2 \phi]^{1/2}) d\phi \} q dq$$

ifadesi ile belirlenir. (Demircan, 1988). Tutulma dışında  $\alpha_h^0$  sıfırdır. Bu denklemden  $v = (h+2)/2$  'dir. Kesirsel ışık kaybı ifadesinin yığılm disklerinin fotometrik etkisi için genelleştirilmiş şekli olan bu denklem,  $\epsilon$  Aur sistemi için belirlenen  $a, b, r_1$  değerlerine göre  $\alpha_h^0$  ve  $l(\theta)$  değerleri bilgisayar programı yardımıyla elde edilmeye çalışılmaktadır. Henüz sonuçlanmamış olan bu çalışmadan elde edilecek sonuçlara göre çizilecek ışık eğrisi ile gözlenen  $\epsilon$  Aur ışık eğrisi karşılaştırılarak özellikle diskin boyutları hakkında bir yargıya ulaşılabilecektir.

## Kaynaklar

- Ake, T.B., 1985 in Stencel 1985, p.37.
- Backman, D. E. ,1985 in Stencel 1985, p.23.
- Cameron, A. G. W., 1971, Nature, 299, 178.
- Chochol, D. and Ziznovsky, J. ,1987, Contributions of the  
Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, 26, 207.
- Demircan, O., "Çift Yıldızlarda Yığılım Disklerinin Fotometrik  
Tutulma Etkisi", Ulusal Astronomi Toplantısı, İzmir 1988,  
(Bu Toplantı).
- Eggleton, P. P. & Pringle, J. E. ,1985 Ap.J. 288, 275.
- Ferluga, S. & Hack, M. ,1985 in Stencel 1985, p.43.
- Fritsch, J. M. , 1824, Berl. Jahrb., p.252.
- Guinan, E., 1982, 8 Aur. Campaign Newsletter No:3, 4.
- Gyldenkerne, K., 1970, Vistas in Astronomy, 12, 199.
- Hack, M., 1961, Mem. Soc. Astr. Italiana, 32, 4.
- Hack, M. & Selvelli, P. L., 1979, A&Ap. 75, 316.
- Hardie, R. H., 1962, im Astr. Techniques, ed. W. A. Hiltner, p. 178.
- Hopkins, J. L., 1984, 8 Aur. Campaign Newsletter No:11, 2
- Hopkins, J. L., 1985 in Stencel 1985, p.7.
- Huang, S. S., 1965, Ap.J., 141, 976.
- Kemp, J. E., Henson, G. D., Kraus, D. J., & Beardsley, I. S., 1985 in  
Stencel 1985, p.33.
- Kopal, Z., 1971, Ap. Space Sci., 10, 332.
- Krat, O., 1936, Kasan Englehardt Bull. No: 7, 15.
- Kuiper, G. P., Struve, O., Stromgen, B., 1937, Ap.J., 86, 570.
- Lissaner, J, J, & Backman, D. E., 1984, Ap. J. Lett. 288, L39.
- Ludendorf, H., 1924, Sitz. Bern. Preuss. Akad. Wiss., 9, 49.
- Müyesseroğlu, Z., 1983, M.Sc. Thesis, Ankara University.
- Schmidtke, P. C., 1985 in Stencel 1985, p.67.

Stencel, R.E. (editor) 1985, 1982-1984 eclipse of  $\epsilon$  Aur, ed. R. E.

Stencel, Nasa 2384.

Struve, O., 1956, Publ. A.S.P., 68, 27.

Webbink, R. F., 1985 in Stencel, 1985, p.49.

Wilson, R. E., 1971, Ap.J., 170, 529.

