

## AR Aur ve UV Leo Çift Sistemlerinin Dönem Değişimi

Aslı ELMASLI<sup>1</sup>, İbrahim ÖZAVCI<sup>1</sup>, Taner TANRIVERDİ<sup>1</sup>, Arzu KARA<sup>1</sup>, Mesut YILMAZ<sup>1</sup>, Hakan Volkan ŞENAVCI<sup>1</sup>, Ozan AKSU<sup>1</sup>, Cem ÇETİNTAŞ<sup>1</sup>, Tansel AK<sup>2</sup>, Selim Osman SELAM<sup>1</sup>, Berahitdin ALBAYRAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü Fen Fakültesi, 06100, Tandoğan, Ankara

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, 34452, İstanbul

**Özet:** Bu çalışmada, AR Aur ve UV Leo çift yıldızlarının dönem değişimleri, Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde elde edilen yeni minimum zamanları da dikkate alınarak incelendi. Her iki sistemin O-C eğrileri çevrimsel yapıya sahip olup, değişimlerinin nedeni çekimsel olarak bağlı görülemeyen bir üçüncü cismin varlığı (light-time effect) ile açıklanabilmektedir. Analiz sonucunda AR Aur ve UV Leo'nun O-C değişim karakteristikleri (genlik, dönem, vb.) ile olası üçüncü cismin fiziksel parametreleri belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** yıldızlar: değişen yıldızlar: AR Aur, UVLeo – yıldızlar: üçüncü cisim

**Abstract:** In this study, the period variations of AR Aur and UVLeo binary stars were investigated with the new minimum times obtained at the Ankara University Observatory. Both of the systems show cyclic O-C curves caused by the additional invisible third component (light-time effect) in the binary systems. The analyses yields O-C variational characteristics (amplitude, period, ect.) of AR Aur and UV Leo and the physical parameters of the third component were determined.

**Key words:** stars: variable stars stars: AR Aur, UV Leo – stars: light-time effect

### 1. Giriş

AR Aur (17 Aur, HD 34364, HR 1728, HIP 24740,  $V_{\max}=6^m.14$ ) yörünge dönemi 4.13 gün olan çift çizgili tayfsal ve ayrıık örten değişen bir çift yıldız sistemidir. Bileşenlerinin kütle, yarıçap ve ışım güçleri neredeyse birbirine eşit olup "ikiz bileşenli" bir sistemdir. Bileşenleri ayrıca peculiar yıldızlardır (Wolff ve Wolff 1974, Wolff ve Preston 1978, Takeda vd. 1979, Stickland Weatherby 1984, Khokhlova vd. 1995 ve Zverko vd.1997). Sistemin ışık değişimi gösterdiğini Pederson ve Steensgaard (1931) tespit etti.

AR Aur'un bileşenlerinin fiziksel parametreleri Nassau (1936), Huffer ve Eggen (1947), Grygar (1963), Tabachnik (1965) ve Johansen (1970) taraflarından hesaplandı. Tayfsal yörünge elemanları ise Wyse (1936), Harper (1938) ve Rachkovskaia (1985)'nin yaptıkları çalışmalarla belirlendi. Notrdström ve Johansen (1994) mevcut olan fotometrik ve tayfsal gözlemlerin analizi sonucunda bileşenlerin parametrelerini  $M_1=2.48M_{\odot}$ ,  $M_2=2.29M_{\odot}$ ,  $R_1=1.78R_{\odot}$ ,  $R_2=1.82R_{\odot}$ ,  $\log L_1=1.61L_{\odot}$ ,  $\log L_2=0.53L_{\odot}$ ,  $i=88^{\circ}.52$  ve B9 V + B9.5 V

olarak elde etti. Ayrıca, birinci bileşenin sıfır yaş anakoluna (ZAMS) yeni ulaştığını, ikinci bileşenin

ise anakola ulaşmak üzere olan bir protoyıldız olduğunu ifade etmiştir.

AR Aur'un dönem değişimi gösterdiğini ilk kez Guarnieri vd. (1975) ifade etti. O'Connell (1979) yeni minimum zamanı gözlemleri ile bu değişimi onayladı. Zverko vd. (1981), 15 fotoelektrik minimum zamanı ile oluşturduğu O-C grafiğindeki dönem değişiminin sinüs benzeri bir yapı olduğundan ve değişimin çift sistem etrafında dolanan bir üçüncü cisimden kaynaklandığını ileri sürdü. Chochol vd. (1988), ve Nordström ve Johansen (1993, 1994) ilave minimum zamanları dikkate alarak oluşturdukları O-C eğrilerinin söz konusu çevrimsel yapının varlığını desteklemektedir.

UV Leo (HD 92109, BD+15 2230,  $V_{\max}=8^m.98$ ) örten yıldızının bileşenleri güneş benzeri G0V+G2V (Frederick ve Etzel, 1996) olup yörünge dönemi 0.6 gündür. Sistemin değişim gösterdiğini ilk kez Hoffmeister (1934) keşfetti ve Jensch (1935) Algol türü bir örten değişen olduğunu ileri sürdü.

Gaposchkin (1946), Perek (1952), Wellmann (1954), McClusky (1966), Frederick ve Etzel (1996) fotometrik gözlemlerinin analizi sonucunda sistemin mutlak parametrelerini hesapladılar. Ayrıca, Broglia (1965), Soliman vd. (1985) ve Synder & Mattingly (1995) de fotometrik ışık

eğrilerini yayınladı. UV Leo'nun ışık eğrilerinde değişimin olduğunu Broglia (1965), Frederick (1994), Frederick ve Etzel (1996), Mikuz vd. (2002) ve Zwitter vd. (2003) belirttiler ve bu değişimin bileşenlerin yüzeylerindeki leke aktivitelerinden kaynaklandığını Frederick (1994), Frederick ve Etzel (1996), Mikuz vd. (2002) ve Zwitter vd. (2003) ileri sürdüler.

Radyal hız gözlemlerini Gaposchkin (1946), Popper (1965, 1997) ve Zwitter vd. (2002) gerçekleştirdi. Zwitter vd. (2003) Hipparchos Uydusu'ndan alınan ışık eğrisi ile UV Leo'nun radyal hız eğrisinin eş zamanlı analizi sonucunda aşağıdaki parametreleri elde etti;

$$M_1 = 1.210 M_{\odot}, M_2 = 1.110 M_{\odot}, R_1 = 0.973 R_{\odot}, R_2 = 1.216 R_{\odot}, i = 83.^{\circ}07.$$

UV Leo'nun dönem değişimi gösterdiği iyi bilinmekte olup çok sayıda araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Jensch (1935) sistemin dönemini 0.3000435 gün olarak ifade etti, fakat daha sonra Schneller (1936) sistemin gerçek dönemini bu değer iki katı olduğunu belirledi. Broglia (1965) sistemin yörünge döneminin sabit olmadığını ileri sürdü. Sistemin dönem değişimi gösterdiğini Herczeg (1962), Ahnert (1973) ve Mallama (1980) taraflarından onaylandı. Rafert (1982) dönem değişimini, parabol üzerine binmiş bir sinüzoidal yapı olarak açıkladı. Synder ve Mattingly (1995) polinom fiti gerçekleştirerek sistemin döneminde bir azalma olduğunu ve ardından Wunder (1995) 1979 yılında sistemin döneminin artış gösterdiğini belirtti. Synder (1998) O-C eğrisine uyguladığı kuramsal bir parabolden olan artıkların 40.1 yıl dönemli bir değişim gösterdiğini belirledi ve bu değişimi ışık zaman etkisine atfetti. Mikuz vd. (2002) sistemin 1980 yılında ani bir dönem değişimi gerçekleştiğini belirterek bu değişimi kütle kaybı veya sisteme bağlı üçüncü cisme atfetti.

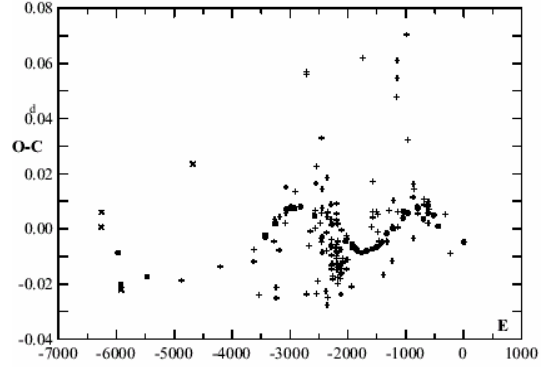
## 2. Gözlemler

AR Aur ve UV Leo çift yıldızları sırasıyla, 17 Kasım 2002, ve 31 Mart, 6 Nisan ve 24 Nisan 2004 gecelerinde Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde gözlemlendi. Mukayese yıldızları olarak AR Aur için 18 Aur (HR 1734) ve UV Leo için ise BD+14 2275 yıldızı seçildi.

Her iki yıldızın gözlenen ışık eğrileri Hardie (1962) yöntemi ile indirgedikten sonra minimum zamanları Kwee van Woerden (1956) yöntemi ile hesaplandı.

## 3. Analizler

AR Aur için 138 görsel, 7 fotoğrafik, 37 fotoelektrik ve 1 ccd olmak üzere 183 minimum zamanı toplandı. Şekil 1'de Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde gözlenen bir adet minimum zamanı ile toplanan diğer tüm minimum zamanlarının oluşturduğu O-C grafiğinin çevrimli yapısı görülmektedir. Görsel ve fotoğrafik minimum zamanları O-C eğrisinde saçılma gösterdiğinden ayrıntılı O-C analizinde dikkate alınmadı.



**Şekil 1.** AR Aur'un yayınlanmış tüm minimum zamanları ile oluşturulan O-C grafiği. Şekilde (+) sembolü ile görsel, (x) ile fotoğrafik ve (•) ile fotoelektrik ve ccd verilerini temsil edilmektedir.

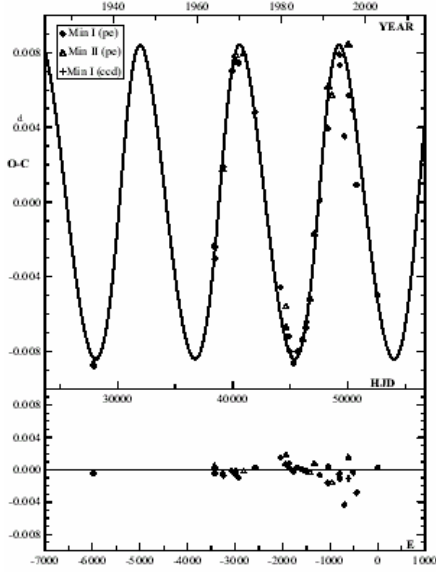
Tüm minimum zamanlarına enküçük kareler fiti uygulanarak yeni ışık elemanları

$$\text{MinI} = 2452596.4927 + 4^{\text{E}}.1346657 \times E \pm 21 \pm 10$$

olarak hesaplandı. Literatürden toplanan ve gözlenen minimum zamanları kullanılarak oluşturulan O-C eğrisi, sisteme çekimsel olarak bağlı bir ilave cismin varlığına işaret etmektedir. Irwin (1952)'in formülleri ile hesaplanan kuramsal O-C eğrisinin gözlemlerle uyumu Şekil 2'de görülmektedir. Olası üçüncü cismin belirlenen parametreleri Tablo 1'de sunuldu.

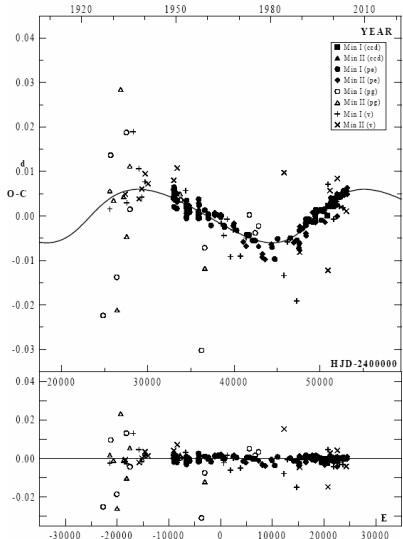
UV Leo sisteminin 76 yıllık zamanı kapsayan (1928 ile 2004 yıllarını) 78 vizüel, 36 fotoğrafik, 143 fotoelektrik ve 14 ccd olmak üzere 271 minimum zamanı içeren bir veri seti oluşturuldu.

O-C artıklarını hesaplamak için McCluskey (1966)'nin belirlediği ışık elemanları kullanıldı;  $\text{Min I} = 2438440.7275 + 0.^{\text{E}}6000855 \times E.$



Şekil 2. AR Aur için oluşturulan en olası kuramsal O-C eğrisi ve gözlemler ile uyumu.

O-C diyagramı, hemen hemen iki maksimum ve bir minimuma sahip sinus benzeri değişim göstermektedir. Şekil 3'den de görüldüğü gibi vizüel ve fotoğrafik minimum zamanları saçılma gösterdiğinden, Irwin (1952)'i formülleri ile oluşturulan kuramsal O-C eğrisinde sadece fotoelektrik ve ccd minimum zamanları dikkate alındı.



Şekil 3. UV Leo'un yayınlanmış tüm minimum zamanları ile oluşturulan O-C grafiği ve kuramsal eğri görülmektedir. Şekilde, (x) sembolü ile görsel, (+) ile fotoğrafik ve (•) ile ise fotoelektrik ve ccd verilerini temsil edilmektedir.

Tablo 1. AR Aur ve UV Leo sistemlerine bağlı olası üçüncü cisim için hesaplanmış büyüklükler ve onların hataları.

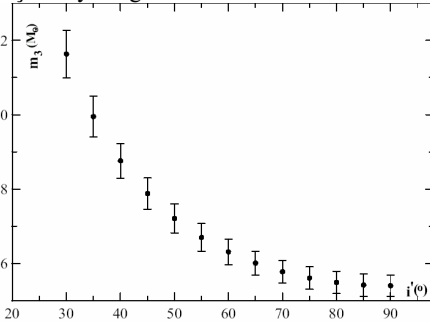
Parametre	AR Aur		UV Leo	
	Değer	Hata	Değer	Hata
$a'_{12} \sin i'$	1.47	0.04	1.08	0.23
$e'$	0.2	0.04	0.3	0.08
$w'$	32	2	350	20.86
T HJD	2448090	45	2449000	1066.3
$P_{12}$ (yıl)	23.68	0.17	71.73	0.90
A (gün)	0.0084	0.0002	0.0060	0.0012
$f(m_3) M_{\odot}$	0.0057	0.0004	0.00025	0.00019
$\Sigma(O-C)^2(\text{gün}^2)$	$4.86 \times 10^{-5}$		$2.96 \times 10^{-4}$	

#### 4. Sonuç

AR Aur ve UV Leo çift yıldızlarının gözlenen minimum zamanları yardımıyla oluşturulan O-C artıklarının gösterdiği dönemli değişim ışık zaman etkisinden (light-time effect) kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

AR Aur'un bileşen kütleleri ve yörünge eğim açısı için Notrdström & Johansen (1994)'in değerleri (bkz bölüm 1.) kullanıldı. İkili sistem ve üçüncü cismin aynı düzlemde bulunduğu kabuledilip, üçüncü cismin kütlesi  $0.54 M_{\odot}$  olarak hesaplandı Şekil 4'te, farklı  $i'$  değerleri için  $M_3$  değerleri verilmiştir. Bu ilave cisim anakol öncesi evrim aşamasında (proto-stellar object) olmalıdır (bkz. bölüm 1.)

Ayrıca, Kepler'in üçüncü yasası kullanılarak, üçüncü cismin yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu 13.0 AB olarak belirlendi. Sistemin uzaklığı 143 pc (Notrdström & Johansen, 1994) olarak alındığında çift sistemin üçüncü cisimden olan açısal ayrıklığı  $0.''091$  olarak bulundu.

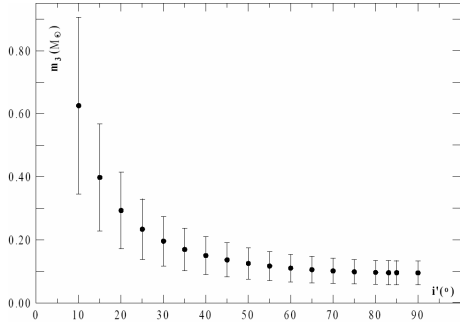


Şekil 4. AR Aur için farklı  $i'$  değerlerine karşılık hesaplanan  $M_3$  değerleri.

UV Leo'nun bileşen kütleleri ve yörünge eğim açısı için Zwitter vd. (2003)'in değerleri (bkz. bölüm 1.) kullanıldı. İkili sistem ve üçüncü cismin aynı düzlemde bulunduğu kabul edilerek, üçüncü cismin kütlesi  $0.096 M_{\odot}$  hesaplandı. Şekil 5'te, farklı  $i'$  için

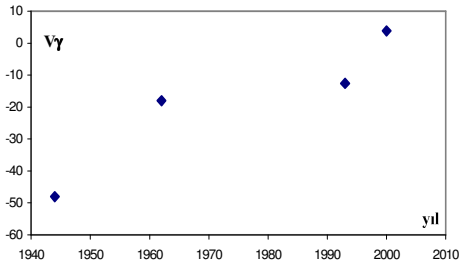
$M_3$  değerleri verilmiştir. Bu ilave cismin kütlesi dikkate alındığında yıldız altı cisimlerin kütle sınırı ona çok yakın olduğu görülmektedir.

Ayrıca, Kepler'in üçüncü yasası kullanılarak, üçüncü cismin yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu 26.0 AB olarak belirlendi. Sistemin uzaklığı 92 pc (Hipparcos Kataloğu) olarak alındığında çift sistemin üçüncü cisimden olan açısız ayrıklığı değeri 0.'286 olarak bulundu.



**Şekil 5.** UV Leo için farklı  $i'$  değerlerine karşılık hesaplanan  $M_3$  değerleri.

UV Leo'nun 1944-2003 yıllarını kapsayan gamma değerleri incelendiğinde sistemin özhareketine ek olarak ilave bir salınım görülmektedir. Şekil 6'de görülen bu salınımın, çift sisteme fiziksel olarak bağlı olası bir üçüncü cismin varlığının diğer bir destekleridir.



**Şekil 6.** UV Leo'nun yayınlanmış gamma hızlarının zaman bağılı değişimi.

Bu çalışma, *Türkiye Bilimler Akademisi* (BA/TÜBA-GEBİP/2001-2-2) ve 20040705089 proje numarasıyla Ankara Üniversitesi Araştırma fonu tarafından desteklenmiştir.

## 5. Kaynaklar

- Ahnert, P. 1973, Mitteilungen über Veranderliche Sterne , 6, 100
- Brogia, P. 1965, JO, 48, 124
- Chochol, 6D., Juza, K., Mayer, P., Zverko, J. & Ziznovsky, J. 1988, Bull. Astron. Inst. Czech., 39, 69
- Frederick, M.C.G 1994, rdb. Conf, 223
- Frederick, M.C.G. ve Etzel, P.B. 1996, AJ, 111 (5), 2081
- Gaposchkin, S. 1946, ApJ, 104, 370
- Grygar, J. 1963, Bull. Astron. Inst. Czech. 14, 127
- Guarnieri, A., Bonifazi, A. & Battistini, P. 1975, A&AS, 20, 199
- Hardie, R.H. 1962, Astronomical Techniques. ed. W. A. Hiltner. Chapter 8, Univ. of Chicago Press, Illinois
- Harper, W.E. 1938, Publ. Dominion Astron. Obs., 6, 311
- Herczeg, T. 1962, Veroff. der Stern. Bonn No.63, 5
- Hoffmeister, C. 1934, AN, 253, 195
- Huffer, C.M. & Eggen, O.J. 1947, ApJ, 106, 106
- Irwin, J.B. 1952, ApJ, 116, 211
- Jensch, A. 1935, AN, 257, 139
- Johansen, K.T. 1970, A&A, 4, 1
- Khokhlova, V.L., Zverko, Y., Zhizhnovskii, I. & Griffin, R.E.M. 1995, Astronomy Letters 21, (6), 818.
- Kwee, K.K. ve van Woerden, H. 1956, BAN, 12, 327
- Mallama, A.D. 1980, ApJS, 44, 241
- McCluskey, G. E. 1966, AJ, 71, 536
- Mikuz, H., Dintinjana, B., Prsa, A., Munari, U. ve Zwitter, T. 2002, IBVS No. 5338
- Nassau, J.J. 1936, AJ, 45, 137
- Nordström, B. & Johansen, K.T. 1993, IBVS No., 3871
- Nordström, B. & Johansen, K.T. 1994, A&A, 282, 787
- O'Connell, D.J.K. 1979, Specola Vaticana, Ricerche Astron. 8, 563
- Pedersen, H.N. & Steensgaard, J.L. 1931, Beob. Zirk. 13, 70
- Perek, L. 1952, Contributions from the Astronomical Institute of the Masaryk University BRNO, 1, 1
- Popper, D.M. 1965, ApJ, 141, 126
- Popper, D.M. 1997, AJ, 114, 1195
- Rachkovskaia, T.M. 1985, Krymskaia Astrofizicheskaia Observatoriia, Izvestiia 70, 134
- Rafert, J.B. 1982, PASP, 94, 485
- Schneller, H. 1936, AN, 206, 404
- Soliman, M. A., Hamdy, M. A., Mahdy, H. A. 1985, IBVS, No. 2809
- Stickland D.J. & Weatherby, J. 1984, A&AS, 57, 55

A. Elmaslı vd. : AR Aur ve UV Leo Çift Sistemlerinin Dönem Değişimi

- Synder, L. F. and Mattingly, P. 1995, I.A.P.P.P. Communications No, 61, 50  
Synder, L. F. 1998, IBVS No.4624  
Tabachnik, V.M. 1965, Astr. Zu 45, 1048, Sov. Astron.-A.J., 12, 830  
Takeda, Y., Takada, M. & Kitamura, M. 1979, PASJ, 31, 821  
Wellmann, P. 1954, ZA, 34, 99  
Wolff, S.C. & Wolff, R.J. 1974, ApJ, 194, 65  
Wolff, S.C. & Preston, G.W. 1978, ApJS, 37, 371  
Wunder, E. 1995, IBVS No.4179  
Wyse, A.B. 1936, PASP 48, 24  
Zverko, J., Chochol, D., Juza, K. & Ziznovsky, J. 1981, IBVS No. 1997  
Zverko, J., Ziznovsky, J. & Khokhlova, V.L. 1997, Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso, 27, 41  
Zwitter, T., Munari, U., Marrese, P.M., Prsa, A., Milone, E.F., Boschi, F., Tomov, T. ve Siviero, A., 2003, A&A, 404, 333