

DH Leonis'in Atmosfer Etkinliği ve Üçlü Doğası

Emre Işık¹, Zeki Aslan^{1,2}

¹Akdeniz Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Antalya 07058

²TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Antalya 07058

Özet

Bu çalışmada K0V+K7V türünde ($P_{\text{yör}} = 1.07$ g) bir BY Draconis çifti ile K5V türü bir üçüncü bileşenden oluşan DH Leonis'in bileşenlerindeki atmosfer etkinliği ve yörünge dinamiği incelenmiştir. Renkküre kaynaklı H α salmasının bileşenlere dağılımı ve değişimi incelenmiş, ayrıca manyetik etkinliğin uzun dönemli davranışı 27 yıllık ışıkölçümün ışığında irdelenmiştir. Uzun dönemi kapsayan veriler kullanılarak üçlü dizgenin yörünge nicelikleri elde edilmiş, astrometrik verilerle karşılaştırılmıştır.

1. Giriş

DH Leo = HD 86590, üç bileşenli BY Draconis türü bir yıldız dizgesidir. Özellikleri Çizelge 1'de verilmiş olan dizgenin görsel tayfı Bolton vd. (1981), Barden (1984, 1985), ve Newmark vd. (1990) tarafından, ışık değişimleri ise Aslan (1981), Aslan vd. (1992), ve Aslan (1993) tarafından incelenmiştir. DH Leo, şimdiye dek gözlenmiş BY Dra türü çiftleri arasında üçüncü bileşeni olduğu bilinen birkaç dizgeden biridir. Tutulma göstermeyen dizgenin hızlı biçim değişimleri gösteren ışık eğrisi, Johnson V bandında ortalama 0.15 kadir genliğe sahiptir. Bu değişimlerin bileşen yıldızlar üzerindeki leke alanlarından ileri geldiği, tayfsal bulgularla da desteklenmiştir. Işık eğrisindeki genlik değişimleri, birkaç hafta gibi kısa sürelerde olmaktadır. Dizgenin tayf gözlemleri, ışıkölçüm minimumunun karşılık geldiği evrelerde H α 'da renkküre kaynaklı artık salma olduğunu göstermiştir. Çiftin yörüngesi iyi bilinse de, üçüncü bileşenle ortak yörüngesine ilişkin şimdiye dek uzun dönemli bir gözlemin sonucu yayınlanmamıştır.

Bu çalışmada DH Leo'nun atmosfer etkinliği, ışıkölçüm ve tayfölçüm yöntemleriyle incelenmiştir. Yeni gözlemler, Catania Astrofizik Gözlemevi'nin 0.9 m çaplı teleskopuna bağlı echelle tayfölçer ve 0.8 m çaplı otomatik ışıkölçüm teleskopuna bağlı ışıkölçer ile 2000 yılı Nisan ayında alınmıştır. Bunların dışında, Aslan vd'nin (1992) Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde gerçekleştirilmiş olan ışıkölçüm gözlemleri ve Catania Astrofizik Gözlemevi'nde yapılmış ışıkölçüm de (Messina 1998) kullanılmıştır.

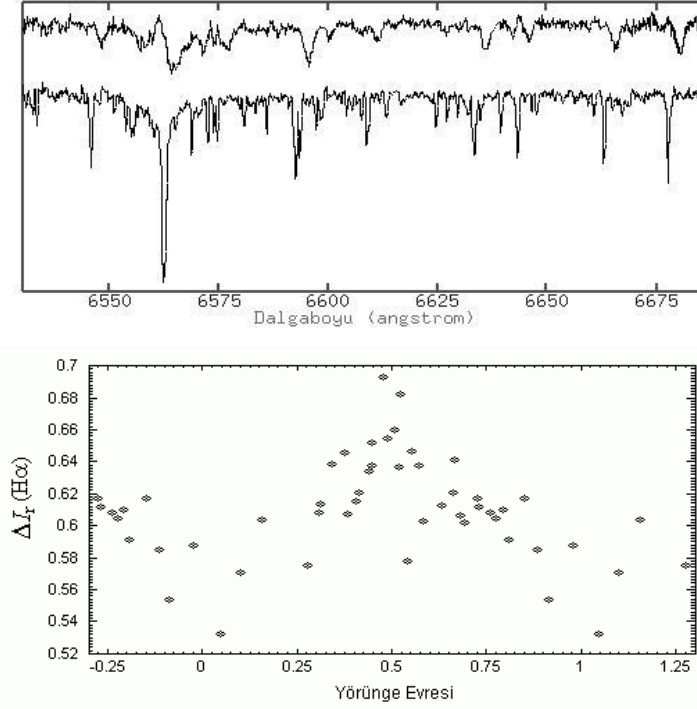
Çizelge 1. DH Leonis'e ilişkin bazı nicelikler

	Birinci bileşen	İkinci bileşen	Üçüncü bileşen
Tayf türü	K0V	K7V	K5V
Yörünge dönemi	1.070354 gün ⁺		19 yıl (bu çalışma)
Işıkölçüm dönemi	1.06-1.07 gün		
Işıtma oranı (H α)	0.75	0.10	0.15
Dönme hızı ($v \sin i - \text{km s}^{-1}$) [*]	45	31	<8

^{*} Barden (1985) ⁺ Bolton vd (1981)

2. Renkküre Etkinliğinin Ölçümü

2000 yılı Nisan ayında 15 gün süreyle alınan tayflarda H α çizgisinin salma durumunda olduğu görülmektedir. Çift yıldız bileşenlerinin ayrık bulunduğu kimi evrelerde alınmış tayflara dikkatlice bakıldığında başyıldızın (K0V) sığ soğurma kesiti, yoldaş yıldızın (K7V) sürekliliğinin biraz üzerinde salma kesiti, üçüncü bileşenin ise (K5V) çift bileşenlerinin kırmızıya ve maviye kaymış H α çizgileri arasında bir soğurma kesiti verdiği görülmektedir. Çalışmanın bu bölümünde, DH Leo'nun bileşenlerinden kaynaklanan renkküre artık salması iki yöntemle belirlenmeye çalışılmıştır.



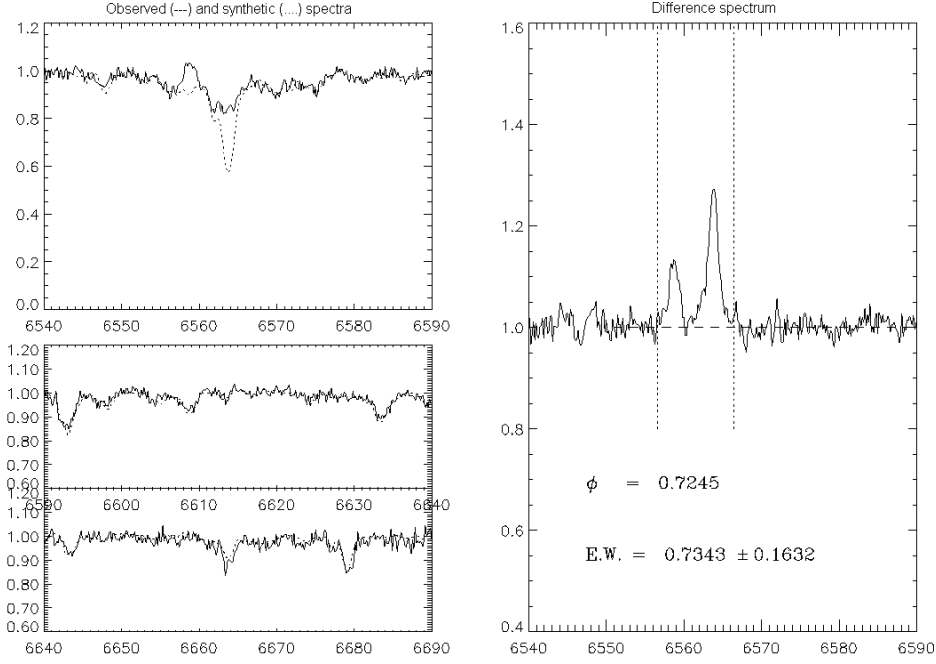
Şekil 1. (a) DH Leo ($\phi = 0.63$) (üstte) ile KOV standart yıldızı HD 145675'in (altta) sürekliliğe boylanmış $H\alpha$ bölgesi ($\lambda\lambda$ 6530 – 6680) tayfları. İki yıldızın çizgileri arasındaki kayma, standart yıldızın dikine hızının farklı (-5.5 km s^{-1}) olmasından dolayıdır. **(b)** DH Leo çiftinin bileşenleri için yörünge evresine göre bulunan artık $H\alpha$ yeğlilik oranları. Ölçüm hataları, yaklaşık olarak veri noktalarının gösterdiği boyutlardadır.

2.1. Çizgi oranları ile karşılaştırma yöntemi

DH Leo başyıldızının $H\alpha$ soğurma çizgisinin, yakınında bulunan ışık küre kaynaklı soğurma çizgilerine göre yeğlilik oranları, KOV türü yavaş dönen standart yıldız HD 145675'in aynı çizgilerinden ölçülen yeğlilik oranlarıyla karşılaştırılmıştır. Bulunan farkların yörünge evresine göre dağılımı Şekil 1b'de görülmektedir. 0.5 evrede görülen maksimum, tutulma göstermeyen bu dizgede başyıldızın ikinci kavuşumunda renkküre etkinliğinin diğer evrelerdekinden daha üst düzeyde olduğu anlamına gelmektedir. Bu yöntemle ikinci bileşenin zayıf çizgilerinin kullanılması hatalar basamağında ölçüm verdiği için ikinci bileşen, bu incelemeye alınmamıştır. Sonuç olarak DH Leo başyıldızının $H\alpha$ çizgisi, içerisinde renkküre kaynaklı salma, ikinci kavuşumda maksimum olmak üzere yörünge evresine bağlılık göstermektedir. Bu salma değişiminin sabit bir salma değerinin üzerine modüle olmuş görünmesi, etkin renkküre bölgelerinin yıldızın tüm boylamlarına dağılmış bir tür taban katkısı olduğuna işaret etmektedir. Yöntemin güvenilirliğinin denetlemesi amacıyla DH Leo'nun eldeki tüm $H\alpha$ bölgesi tayflarında bulunan belirgin ışık küre çizgilerinin karşılaştırma yıldızının karşılık gelen çizgileriyle yeğlilik oranlarına bakılmıştır. Bu oranların yörünge evresiyle değişimi, 3σ düzeyinin altında bir saçılma göstermiştir.

2.2. Tayf çıkarma yöntemi

DH Leo'nun bileşenlerinin renkküresindeki $H\alpha$ – etkin bölgelerin karşıtlığını ortaya çıkarmak ve bunun yörünge evresine göre değişimini bulmak üzere yukarıdakinden daha ayrıntılı bir yöntem olan tayf çıkarma yöntemi (Barden 1985, Frasca ve Catalano 1994, Frasca vd 2000, Montes vd 2000, Taş vd 2001) uygulanmıştır. Bu yöntemde, gözlem zamanı boyunca gözlenen, KOV, K7V ve K5V türü HD 145675, 61 Cyg B ve 61 Cyg A karşılaştırma yıldızlarının $H\alpha$ etkinliği göstermeyen tayflarının, uygun vsini değerlerine karşılık gelen dönme kesitleriyle konvölüsyonu alınmış, uygun ve evreye bağlılığı



Şekil 2. $H\alpha$ bölgesi yapay ve gözlenen tayfları (sol yanda) ve çıkarılmış tayfı. Çıkarılmış tayfta görülen iki tepeli artık salma, birinci ve ikinci bileşen yıldızdan gelen renkküre salmalarıdır.

düzeltilmiş ışınım gücü ağırlıklarınca toplanmış yapay tayflar, her bir DH Leo tayfından dikine hız düzeltmesi yapılarak çıkarılmıştır. Kalan tayflar, DH Leo'nun gözlenen dalgaboyu aralığında yalnız $H\alpha$ çizgilerinin artık salma gösterdiğini, bu salmanın yeğinliğinin yörünge evresiyle dönemli olarak değiştiğini ortaya çıkarmıştır. Şekil 2'de $H\alpha$ bölgesi için yarı gözlemsel olarak üretilen yapay tayflarla DH Leo tayfı ve aradaki farkların tayfı verilmiştir.

3. Bulgular

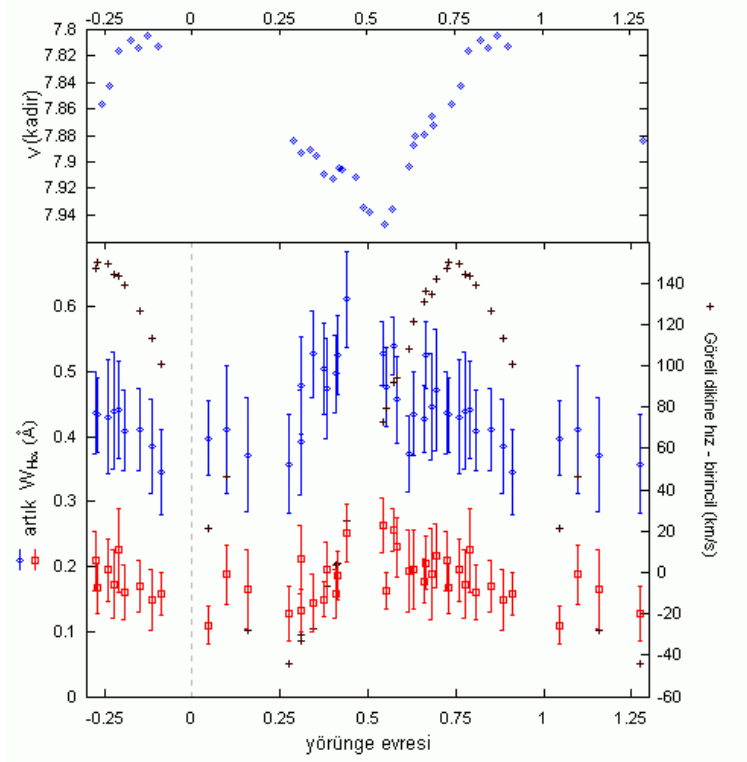
3.1. Tayfölçüm

Işıkküre karşılaştırma yönteminde (§ 2.1) başyıldızın (K0V) renkküre $H\alpha$ salma katkısının bir ölçüsü bulunmuştur. Yapılan yeğinlik oranı ölçümlerinden aşağıdaki durum belirlenmiştir.

$$\frac{r_{6595}}{r_{H\alpha}} - R_{std} \geq 0$$

Burada r_{6595} , ışıküre kaynaklı $\lambda 6595$ çizgisinin, $r_{H\alpha}$ da $H\alpha$ çizgisinin ölçülen DH Leo tayfındaki kalıntı yeğinlikleri, R_{std} ise bu yeğinlik oranının etkinlik göstermeyen standart yıldızdaki değeridir. Şekil 1b'den de fark edilen bu eşitsizlik, tüm yörünge evrelerinde başyıldızın büyük ölçekli bir artık salma katkısının olduğunu ifade etmektedir. Bu, Barden'ın (1985) önerdiği küresel ölçekli $H\alpha$ salmasının varlığını destekler görünmektedir. Ancak tüm evrelerde gözlenen artık bir salma artalanı üzerine binmiş bir salma modülasyonu, başyıldızın tüm yüzeyine dağılmış renkküre plaj topluluklarından da kaynaklanabilir. Dolayısıyla burada, sözkonusu evreden bağımsız salma bileşeninin kesin kaynağı için uzay çözünürlüğü daha yüksek tayf gözlemlerine gereksinim olduğu açıktır.

Şekil 3'de her bir bileşenin tayf çıkarma yöntemi ile ölçülen $H\alpha$ artık salma eşdeğer genişliklerinin ve V bandı parlaklıklarının yörünge evresine göre dağılımı görülmektedir. Bileşenlerin $H\alpha$ modülasyonlarının birbirleriyle eş evreli olduğu belirlenmiştir. Böyle bir durum, Newmark vd'nin (1990) çalışmasında bu denli belirgin değildir. Ayrıca iki bileşenin birlikte ölçülen toplam $H\alpha$ eşdeğer



Şekil 3. Alt çizgede yörünge evresine karşılık başyıldızın (eşkenar dörtgenler) ve yoldaş yıldızın (kareler) H α artık salma eşdeğer genişlikleri ve karşılık gelen görelî dikine hızlar görülmektedir. Üst çizgede ise neredeyse eş zamanlı olarak yürütülen V bandı ışık eğrisi verilmiştir.

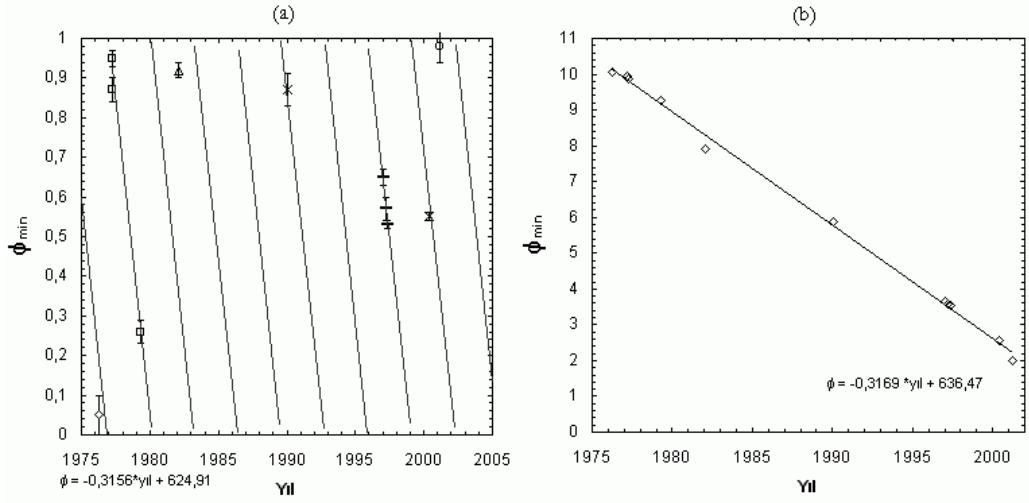
genişliğinin maksimum olduğu evre, Newmark vd'nin 1989 gözlemlerine göre 0.5 evre kadar farklı konumda görünmektedir. Başka bir durum da, dizgenin ışık eğrisinde görülen leke minimumunun plaj maksimumu ile uzaysal olarak ilişkili olduğudur. Sonuç olarak, evreye göre karşıtlık yaratan geniş etkin bölgeler yakın çiftin iki bileşeninde de (K0 ve K7) aynı boylamlarda bulunmaktadır.

Dizgenin toplam salması ile yakın çift üyelerinin salma katkılarının toplamı arasında yapılan karşılaştırma sonucunda görece yavaş dönen üçüncü bileşenin (K5) manyetik etkinliğinin H α kesitlerini etkilemeyecek düzeyde olduğu saptanmıştır. Söz konusu eşdeğer genişlik farkları, evreye göre +0.05 Å kadar bir yanlılık göstermiştir. Bu değer ölçüm hatalarının basamağındadır.

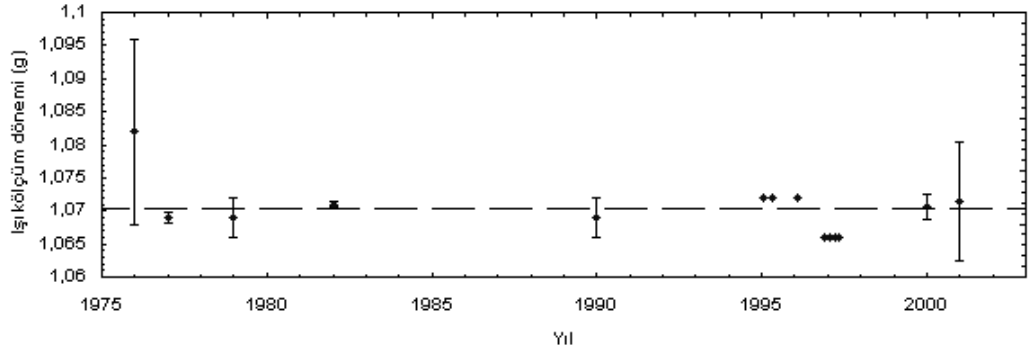
3.2. Işıkkölçüm

1976 – 2001 yılları arasında gerçekleştirilmiş ışıkölçüm verilerinden mevsimlik ışık eğrileri oluşturulmuş, bunların minimum gösterdiği yörünge evreleri yıllara göre Şekil 3'de verilmiştir. Olası bir "leke göçü"nü bu çizgelerden hesaplanan dönemi 3.16 yıl yöresindedir. Ancak, bu ve diğer benzer yakın çiftlerdeki "leke göçü" önerisi sorgulanmalıdır. Bunun için, Şekil 4'te verilen ışıkölçüm dönemlerini göz önüne alalım. Görece parlak başyıldızın dönme dönemini yansıttığı düşünülen ışıkölçüm dönemleri, yörünge dönemine göre genellikle dönem ölçüm hatalarının içinde kalan bazı sapmalar göstermektedir. Söz konusu ayrımların gerçekte 10^{-3} gün basamağında (~1.5 dakika) olduğu varsayılrsa bile, böylesi bir dönme-dolanma eşzamansızlığı, DH Leo minimumunda yaklaşık 2.93 yıl dönemli, çevrimli bir evre kaymasına neden olacaktır. Güneş paradigmasını bu tür yakın çiftlere doğrudan uygulanmasıyla öngörülen "leke göçü" gerçekte olmuyorsa bile, küçük bir yörünge eşzamansızlığının varlığı Şekil 3'deki evre kaymasından hesaplanana yakın minimum göç dönemleri verebilecektir.

Işık eğrilerinden yüzey diferansiyel dönmesinin varlığının öngörülmesi problemi, yakın çiftlerde açıklığını korumaktadır: Işıkkölçüm dönemlerinin gözlenen aralığından DH Leo'nun başyıldızında yüzey diferansiyel dönmesi $0.002 < \Delta\Omega / \Omega < 0.06$ gibi büyük bir aralıkta olabileceği söylenebilir.



Şekil 3. Işık minimumunun gözleendiği yörünge evresinin yıllara göre değişimi. (a) 1977.22, 1977.31 ve 1979.33 (kutular) minimum evrelerine uydurulan doğru, yatay ekseninde birer birim adımlarla ötelenmiştir. (b) a'da verilen evrelere uygun tamsayılar eklenerek elde edilmiş göç çizgisi. Soldaki çizgiden 3.17, sağdaki çizgiden 3.16 yıllık bir göç dönemi bulunmaktadır.

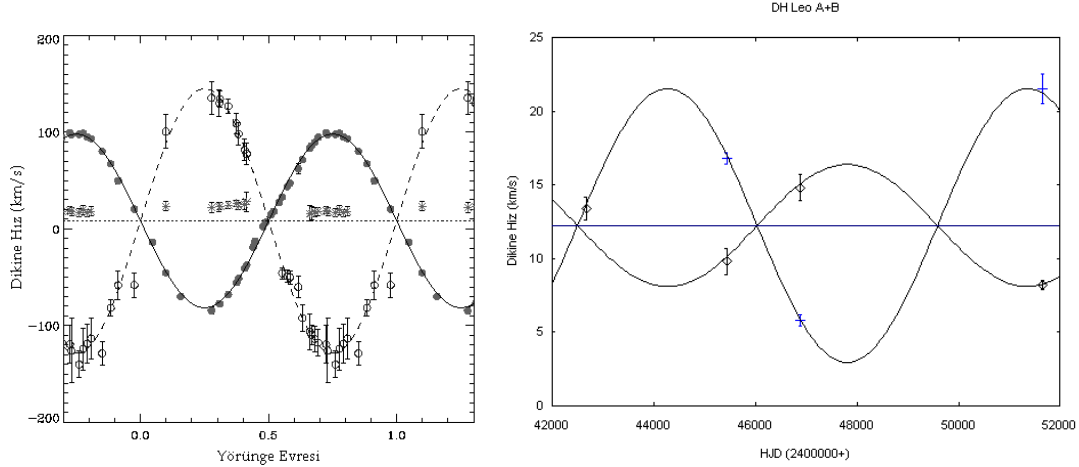


Şekil 4. AÜG ve OAC gözlemlerinden elde edilen ışıkölçüm dönemleri. Kesikli çizgi, yörünge dönemini göstermektedir.

3.3. Yörünge çözümü

DH Leo'nun yakın çifti (A) ve bağlı yörüngede olduğu Barden (1984) tarafından saptanan ve tarafımızdan da doğrulanan (Işık 2002) üçüncü bileşenine (B), ilişkin dikine hız eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. Çift dizgeye ilişkin yapılan dairesel yörünge çözümünde (Şekil 5a) kütle oranı (M_2 / M_1) 0.65, yörünge yarıçapları $a_1 = 0.0088$ AB (astronomik birim), $a_2 = 0.0134$ AB bulunmuştur. Çiftin şimdiye dek ölçülen dizgesel (kütle merkezi) dikine hızları, üçüncü bileşenin şimdiye dek ölçülebilen mevsimlik ortalama dikine hızlarıyla birlikte Şekil 5b'de gösterilmiştir. Bu iki veri kümesine Marquardt-Levenberg algoritmasıyla yapılan ortak çözüm sonucunda DH Leo A ve B'nin yörünge dönemi 19.4 yıl, üçüncü bileşenin çifte göre kütle oranı 0.44, $a_A = 2.75$ AB, $a_B = 6.25$ AB olarak bulunmuştur.

Astrometrik verilerle yapılan karşılaştırmada bu çalışmanın uyumlu değerler verdiği belirlenmiştir. Öncelikle, Hipparcos DMSA (Double and Multiple Systems Annex, ESA 1997) çözümlerinde $0''.22$ ayrıklıkta, $H_p = 10^m.429$ parlaklıkta, DH Leo ile aynı öz harekete sahip olan bir bileşen saptanmıştır. Hartkopf vd'nin (1997) ICCD-Speckle girişimölçüm gözlemleriyle 1994 başları için belirlediği açısal ayrıklık ($0''.273$) ve Hipparcos paralaksı için $P_{\min} = 17.3$ yıl olduğu belirlenmiştir. Hipparcos DMSA çözümünde verilen değerler, uzaklık modülü bağıntısı ve anakol yıldızları için kütle-parlaklık bağıntısından DH Leo B'nin A'ya göre kütle oranı 0.41 olarak bulunmuştur. Bu değer, eldeki az sayıda gözlem noktasıyla saptanan uzun dönemli dikine hız çözümündeki değere yakındır. Bileşenlerin tayf türlerinden de böylesi oranlar beklenmelidir.



Şekil 5. (a) Çift dizgenin yörünge çözümü. Yatay çizgiyle gösterilen dizgesel hızdır ve onun hemen üzerinde üçüncü bileşenin ölçülen dikine hızları görülmektedir (solda). (b) Çift dizge (A; eşkenar dörtgenler) ile üçüncü bileşenin (B; yatay çizgiler) dikine hızları ve çembersel yörünge çözümü.

4. Sonuç

Atmosfer etkinliğinde düzenli ve yarı düzenli, kısa ve uzun dönemli değişimler gösteren çiftlerden gerek DH Leo'da, gerekse diğer hızlı dönen BY Dra türü çiftlerde ve üçlü dizgelerde etkin bölgelerin göçü dönme-dolanma eşzamansızlığından ayırmsanmalı, bunun yanında başka yöntemlerle de denetlenmelidir. DH Leo'da farklı dönme modülasyonu dönemleri gözlenmesi, lekelerin farklı enlemlerde bulunabildiğine ve yüzey diferansiyel dönmesinin varlığına işaret edilebilir. Fakat diferansiyel dönmenin ölçüsü için yüksek zaman çözünürlüklü ışıkölçüme gereksinim vardır. DH Leo'nun çift bileşenlerinde birbirine uyumlu $H\alpha$ artık salma modülasyonu gözlenmiştir. Etkin (yeğlenmiş) bir boylam, her iki yakın çift bileşeninde de vardır, ancak dağınık etkin bölgelerin renkküre akılarına katkısı da belirgin ölçüdedir. Bu türdeki çift dizgelerin uzayda ve zamanda daha gerçekçi "etkinlik haritalarını" oluşturabilmek için "dönme ile modülasyon" (ışık eğrileri) ve onlara ilişkin leke modellerinin yeterli olmadığı, DH Leo gibi dizgeler için yeterli duyarlılıkta Doppler görüntülemesine gerek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yavaş dönen üçüncü bileşenin, soğuk yıldızların dönme-etkinlik ilişkilerinden de beklendiği gibi, eldeki yöntem ve olanaklarla saptanamayacak denli düşük düzeyde renkküre ısınması yaşadığı, $H\alpha$ gözlemlerinden tayf sentezi ve çıkarması yapılarak anlaşılmıştır. Diğer yandan bu bileşenin yakın çifte olan dinamik etkisi, tayfsal ve astrometrik yöntemlerle üçlü dizgenin temel yıldız niceliklerinin bulunmasını sağlamıştır. Ancak bu büyük ölçekli ve uzun dönemli etkinin çiftteki olası manyetik etkinlik çevrimleriyle ilişkisi, daha fazla dikine hız eğrisi elde edilerek yapılacak O-C çözümlemesine bırakılmıştır.

Kaynaklar

- Aslan, Z. **1981.** *Inf. Bull. Var. Stars.*, No. 1941
 Aslan, Z., Derman, E., Akalin, A., Özdemir, T. **1992.** *Astron. & Astrophys.* 257, 580
 Aslan, Z., **1993.** *Astron. & Astrophys.*, 273, L47
 Bolton, C.T., Aslan, Z., Kamper, K.W., Lyons, R.W. **1981.** *Astron. J.*, 86, 1267
 Barden, S.C. **1984.** *Astron. J.*, 89, 683
 Barden, S.C. **1985.** *Astrophys. J.*, 295, 162
 Frasca, A., Catalano, S. **1994.** *Astron. & Astrophys.* 284, 883
 Frasca, A., Marino, G., Catalano, S., Marilli, E. **2000.** *Astron. & Astrophys.* 358: 1007-1021
 Hartkopf, W.I., McAlister, H.A., Mason, B.D., Brummelaar, T.T., Roberts, L.C., Turner, N.H., Wilson, J.W., **1997.** *Astron. J.*, 114, 1639
 Işıık, E. **2002.** Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya
 Messina, S. **1998.** Doktora tezi, Catania Üniversitesi, İtalya
 Montes, D., Fernández-Figueroa, M.J., De Castro, E., Cornide, M., Latorre, A., Sanz-Forcada, J. **2000.** *Astron. & Astrophys. Suppl. Ser.*, 146, 103
 Newmark, J.S., Buzasi, D.L., Huenemoerder, D.P., Ramsey, L.W., Barden, S.C., Nations, H.L., Seeds, M.A. **1990.** *Astron. J.*, 100, 560