

## Bazı delta Scuti yıldızlarının salınımları üzerine eksenel dönmenin ikinci derece etkisinin incelenmesi

Doğan G. , Kırbıyık H. , Kızıloğlu, N.

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi , Fizik Bölümü, İnönü Bulvarı,  
06531 Ankara, TR*

Bu çalışmada bazı delta scuti yıldızlarının çapsal ve çapsal olmayan salınımları üzerine eksenel dönmenin etkileri incelenmiştir. Bu amaçla eksenel dönmesi olmayan, yavaş dönen ve hızlı dönen olarak üç yıldız seçilmiştir. Yıldızlar, sırasıyla, V350 Peg (HIP 115563, HD 220564) , CC And (HIP 3432) ve BS Tuc (HD6870)'dur. V350 Peg'in eksenel dönme hızı sıfır, CC And'ın  $v \sin i = 20$  km/s ve BS Tuc'un ise  $v \sin i = 130$  km/s.  $v \sin i$  bakış doğrultusundaki hız olup  $i$  açısı bakış doğrultusu ile dönme eksenini arasındaki açıdır.

Seçilen modeller gözlemsel parametrelerine göre modellenmiştir. Yarıçap, ışınma gücü gibi parametreler itibariyle gözlemlere en uygun modeller, hesaplanan pek çok model arasından seçilmiş ve bu modeller üzerinde salınım analizleri yapılmıştır. Çapsal salınım frekansları ve çapsal olmayan frekanslar hesaplanarak, en uygun salınım yapan yıldız modeli bulunmaya çalışılmıştır.

Dönme bir pertürbasyon olarak ele alınmış; dönme frekansının ikinci derecesine kadar hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar düşük harmonik dereceler için yapılmıştır ( $l = 1, 2, 3$ ).

### 1. Modeller

Kullanılan evrim hesaplama kodu Yıldız & Kızıloğlu (1997)'nin değiştirilerek hazırladığı Ezer & Cameron 1967 evrim kodudur. OPAL donukluk tabloları (Iglesias ve diğ. 1992) ve MHD gaz durum denklemleri kullanılmıştır (Mihalas ve diğ. 1990).

1.70 ile 2.00 güneş kütlesi arasında olan bir çok evrim modeli hesaplanmış ve her yıldız için bunlardan en uygun olanı

seçilmiştir. Evrim hesaplarında güneş kimyasal kompozisyonu  $(X,Z) = (0.7, 0.02)$  kullanılmış ve karışma uzunluğu parametresi 1.75 alınmıştır.

Denge modelleri elde edilirken düzgün dönme dahil edilmiştir.

## 2. Yıldızın özellikleri

### i) V350 Peg

Ekmekçi ve Topal (2007), bu yıldızın parametrelerini, güneş birimlerinde, ışınım gücünü 23.988, yarıçapını 4.3 ve kütlesini de 1.7-2.0 olarak vermektedir. Etkin sıcaklığı 6760.8 K olarak alınmış ve yıldızla ilişkin 6.67332 c/gün ve 4.66181 c/gün gibi iki frekans gözlemişlerdir. Salınımların çapsal olduğunu belirtmektedirler. Dönme yok.

### ii) CC And

Başka bir çok kişinin dışında bu yıldızla ilgili olarak Fu ve Jiang (1995) şu parametreleri vermektedir. Güneş cinsinden kütlesi 1.98, yarıçapı 3.04, bolometrik kadiri 1.25 dir. Ölçtükları salınımın periyodu ise 0.1249 gün olarak kaydedilmiştir. Etkin sıcaklığı 7400 K derecedir.  $v_{\text{sini}} = 20$  km/s dir.

### iii) BS Tuc

Literatürde bu yıldızla ilgili parametreler şu şekildedir. Güneş birimi cinsinden ışınım gücü 12.82 olarak verilmektedir. Diğer yandan Lopez de Coca ve diğ.(1990)  $v_{\text{sini}}$  için 130 km/s değerini vermektedir. Breger(1979) ve daha sonraki araştırmacılar salınım periyodu için 0.065 gün bulmuşlar, etkin sıcaklığını ise 7744.62 K (Tsvetkov, 1985) vermektedirler.

## 3. Lineer adyabatik, çapsal olmayan salınımlar üzerine dönmenin etkisi

Dönmenin, ikinci mertebeye kadar, yıldızın salınım

frekanslarına etkisini içeren matematiksel işlemler Doğan ve diğ. makalesinde (A&A'ye sunuldu, 2008) veya Gülnur Doğan'ın YL Tezi'inde (ODTÜ Fizik Bölümü, 2007) ayrıntılı olarak bulunabilir.

Hareket denkleminde dönme terimleri eklenerek, yıldızın yapı denklemlerinin Euler formalizminde çizgiselleştirilmesi için fiziksel büyüklükler aşağıda verildiği gibi yazılmıştır.

$$f' = f'(r)Y_l^m(\theta, \phi)e^{i\sigma t}$$

Burada  $Y$  küresel harmonik fonksiyonunu,  $l$  harmonik dereceyi,  $m$  azimutal parametreyi ve  $\sigma$  da salınımın açılal frekansını göstermektedir.  $f$ , basınç, sıcaklık gibi fiziksel büyüklükleri ifade etmektedir. Dönme bir pertürbasyon olarak ele alınmıştır.

Çizgisel denklemler çözülerek salınım frekansı  $\sigma$  bulunmuştur. Salınım frekansı aşağıda verildiği gibi ikinci dereceye kadar hesaplanmıştır. Sıfırıncı mertebe, dönmenin olmadığı; birinci mertebe ( $\sigma_1$ ), dönme frekansı  $\Omega$ 'nın birinci kuvvetini ve ikinci mertebe ( $\sigma_2$ ), dönme frekansı  $\Omega$ 'nın ikinci kuvvetini içermektedir.

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 + \sigma_2$$

Bu denklemin içerdiği her terim ayrı ayrı hesaplanıp karşılaştırılmış ve pertürbasyonun etkisi araştırılmıştır.

Birinci mertebe salınım frekansı şu şekilde verilmektedir:

$$\sigma = \sigma_0 + m\Omega[1 - C]$$

$$\frac{\int [2\xi_{0r}\xi_{0h} + \xi_{0h}^2]\rho_0 r^2 dr}{\int [\xi_{0r}^2 + l(l+1)\xi_{0h}^2]\rho_0 r^2 dr} = C$$

İkinci mertebe salınım frekansı ise şu denklemin çözümü ile elde edilmiştir:

$$-\sigma_1^2 \xi_0 - 2\sigma_0 \sigma_1 \xi_1 - 2\sigma_0 \sigma_2 \xi_0 + 2i\sigma_0 (\Omega \times \xi_1) + 2i\sigma_1 (\Omega \times \xi_0) + \Omega \cdot (\Omega \times r) - \Omega^2 r$$

$$= 0$$

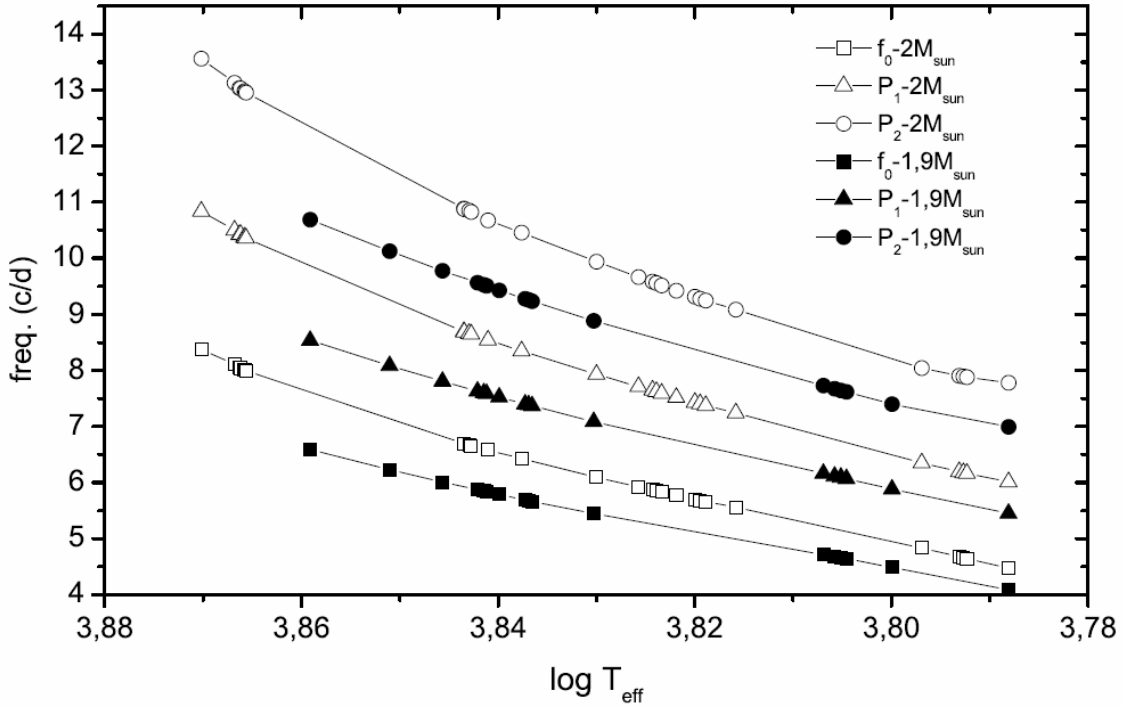
Burada  $\xi$  yer değiştirme vektörüdür,

$$\xi = (\xi_r, \xi_h \partial/\partial\theta, (\xi_h/\sin\theta) \partial/\partial\phi) Y_l^m(\theta, \phi) \exp(i\sigma t)$$

V350 Peg

Kütle: Güneş	Yarıçap: R*/Rgün	Işıma gücü L*/Lgün	Te (K)	$\rho_c/\rho_{\text{ort}}$	frek. (c/d) (l=0, F0)
1.9	0.3400792E+01	0.2445154E+02	6965.300	26658.0	6,67
1.9	0.3693506E+01	0.2420325E+02	6666.568	50903.3	5,851
1.9	0.3701962E+01	0.2419243E+02	6658.206	52046.9	5,829
1.9	0.3762146E+01	0.2409741E+02	6598.239	58779.9	5,68
1.9	0.3770911E+01	0.2408478E+02	6589.702	59829.3	5,659
1.9	0.4146194E+01	0.2287361E+02	6203.862	125134.7	4,66
2.0	0.3769423E+01	0.2963301E+02	6941.603	139058.3	5,848
2.0	0.3840460E+01	0.2949271E+02	6868.950	53110.6	5,667
2.0	0.4324073E+01	0.2807006E+02	6393.926	119606.7	4,674
2.0	0.4333165E+01	0.2802848E+02	6384.848	121313.3	4,655

Ayrıca, evrimin salınım fekanslarına etkisi de incelenmiş ve sıcaklıkla frekansların değişimi gösterilmiştir. Bulunan sonuçlar aşağıdaki grafikte seçtiğimiz yıldız kütlelerini kapsayan sıcaklık aralığında, frekans etkin sıcaklığa karşı çizilmiştir.



V350 Peg yıldızı, dönmüyor ve iki frekansta salınım yapmaktadır; 6.673 /gün ve 4.662 /gün (Ekmekçi ve Topal, 2007, baskıda). Diğer bir gözlem de Vidal-Sainz ve diğ. (2002). Onların bulduğu frekanslar, 5.668/gün ve 5.840/gün dür. Kuramsal modeller arasında en uyumlu olanların kütleleri 1.9 ile 2.0 güneş kütlesi aralığında bulunmuştur. Evrim olarak HR diyagramının sonlarına yerleşmektedir. Gözlenen frekansların hepsi temel çapsal frekans olarak belirlenmiştir. Elde edilen temel, birinci harmonik ve ikinci harmonik frekansları, yukardaki grafikte görüldüğü gibi evrim süreci içinde birbirlerine göre konumları aynı kalmamaktadır; sıcaklık azaldıkça frekansların değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır. Başka bir husus ise evrimleştikçe salınım frekansı küçülmektedir.

Diğer iki yıldızın dönmesi var; birisi yavaş diğeri de hızlı dönmektedir. Aşağıda çizilen grafikte dönmenin mertebeye göre etkileri açıkça görülmektedir.

Yavaş dönen modelde farklılaşma önemli olmadığı için sadece hızlı dönen model için grafik gösterim verilmiştir. BS Tuc için verilen bu değerler, dönmemesi, durumunda değişik modların ne ve nasıl olduğu, birinci mertbe dönme alınırsa mod frekanslarının yarılması veya değişimi ve ikinci mertbe dönme dahil edildiğinde frekans yarılmaları ve birbirlerine girmesi görülmektedir. Üst mertbe dönmelerde ayrılmaların veya

yarılmaların simetrik olmadığı da dikkat çekmektedir.

Sonuç olarak, ikinci derece dönme etkisinin hızlı dönen yıldızlarda muhakkak dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

