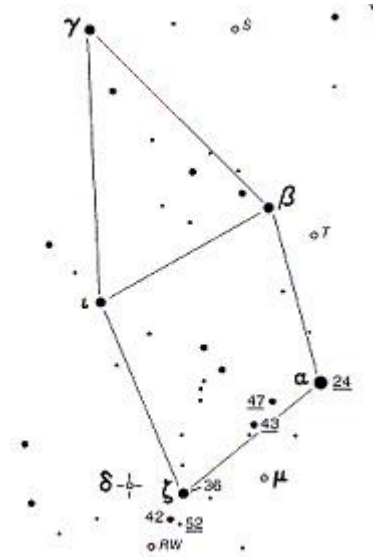
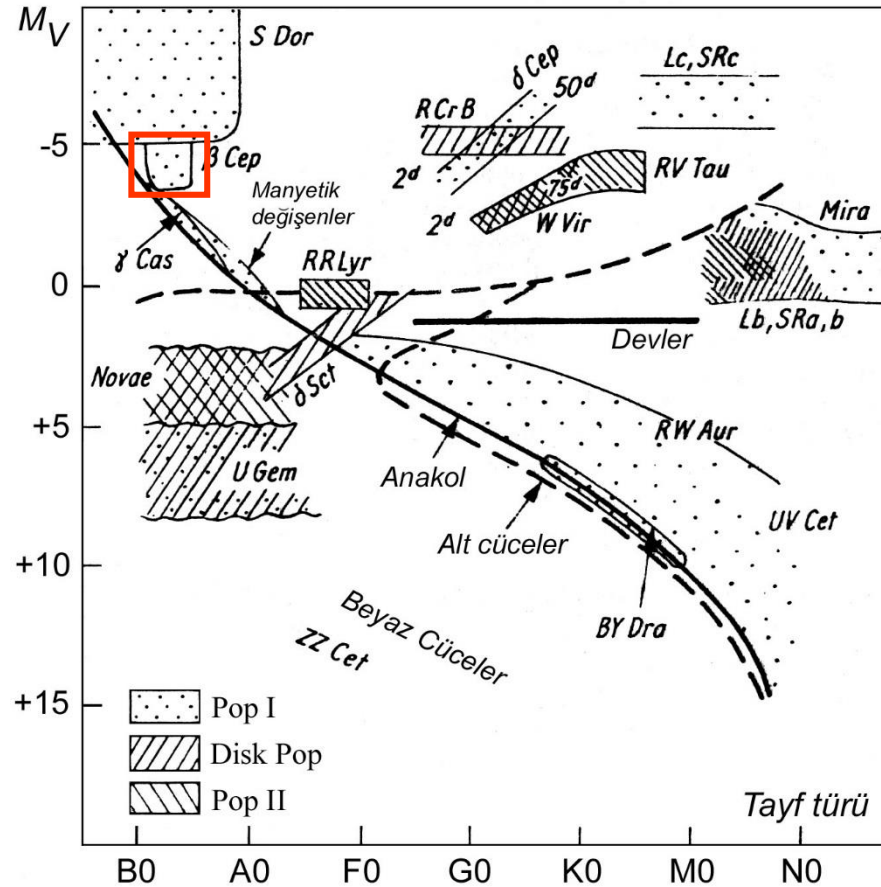


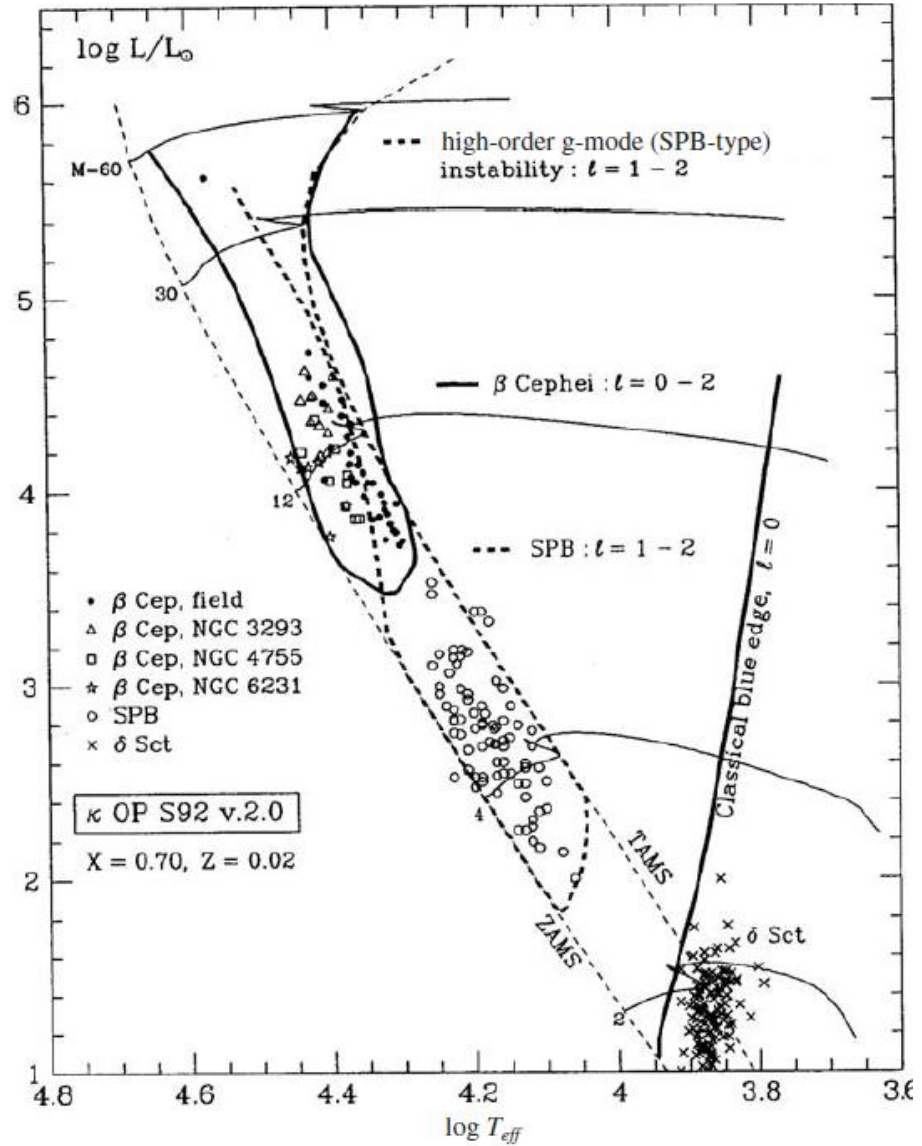
β Cephei Türü Değişenler



Değişen Yıldızların HR Diyagramı



- HR diyagramı üzerinde Beta Cephei yıldızlarının konumları. Yavaş zonklayan B yıldızları (SPB: açık daireler) ve Delta Scuti'ler (x). Şekil üzerinde teorik olarak elde edilen radyal modlar (sürekli eğriler) ve radyal olmayan g modları (kesikli çizgiler) için kararsızlık sınırları gösterilmiştir.
- Ayrıca klasik Cephei türü değişenler için bilinen kararsızlık kuşağının mavi kenarı şekilde bulunmaktadır (Pamyatnykh, 1999).



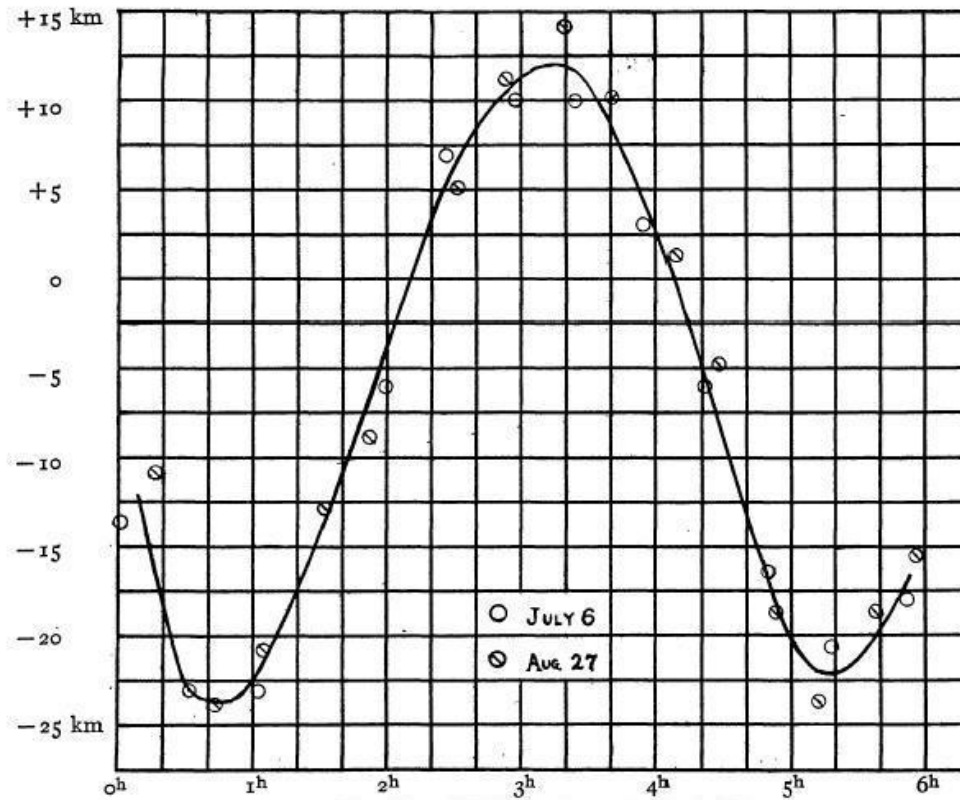
β Cephei türü değişenler

- β Cephei'ler kısa dönemli ışık ve dikine hız değişimi gösteren, erken B tayf türünden dev ve altdev yıldızlardan oluşan bir grup yıldızdır. (Tayf türleri B0.5 ile B2 arasında ve HR diyagramında anakolun hafifçe üzerinde bulunurlar.) GCVS4'de bu yıldızlar BCEP olarak sınıflandırılmıştır. Kısa dönemli Beta Cephei yıldızlarını gösterebilmek için ayrıca BCEPS sınıfı bulunmaktadır.
- 2 ile 7 saat arasındaki dönemleri, dönme ve/veya çift sistem hareketleri ile açıklanamayacak ölçüde kısadır ve parlaklık değişimi için tek geçerli açıklama zonklama olmaktadır. Çoklu döneme sahip bu yıldızlarda genellikle bir radyal dönem ve bir veya daha fazla radyal olmayan dönem bulunur.
- Bu grubun, yıldız astrofiziği ve zonklama kuramı açısından ayrıcalıklı bir yeri bulunur. β Cephei değişenlerinin zonklamaların nedeni ve zonklamalarını devam ettirecek teoriler yakın tarihe kadar bulunamamıştır. Uzun bir zaman boyunca bir muamma olarak kalmıştır. Grubun prototipi β Cep'in dikine hız değişimi gösterdiği 20. yüzyılın başında Frost (1902, ApJ, 15,340) tarafından bulunmuştur ve dönemi $4^{\text{sa}}34^{\text{dk}}$ olarak hesaplanmıştır.

...devam

- Bu keşiften 6 yıl sonra Guthnick, dikine hız değişimi ile aynı dönem ve $0^m.05$ genlikli bir ışık değişiminin de bulunduğunu ortaya koymuştur.
- 1908 yılında Albrecht, β CMa'nın da benzer değişimler gösterdiğini açıklamıştır. Başlangıçta grubun en çok çalışılan yıldızı olması nedeni ile bu tür yıldızlara β CMa türü değişenler denilmiş olmasına rağmen günümüzde bu tür değişenler β Cephei'ler olarak adlandırılırlar.
- Bilinen β Cephei türü değişenlerin sayısı 50 den biraz fazladır. Genel özellikleri ve günümüzde ulaşılmış olan teorik bilgilere Sterken & Jerzykiewicz (1994, SpSciRev, 62,95) tarafından yayınlanan derleme çalışmasında detaylı olarak verilmiştir.

β Cephei Dikine hız değişimi (Frost 1906)



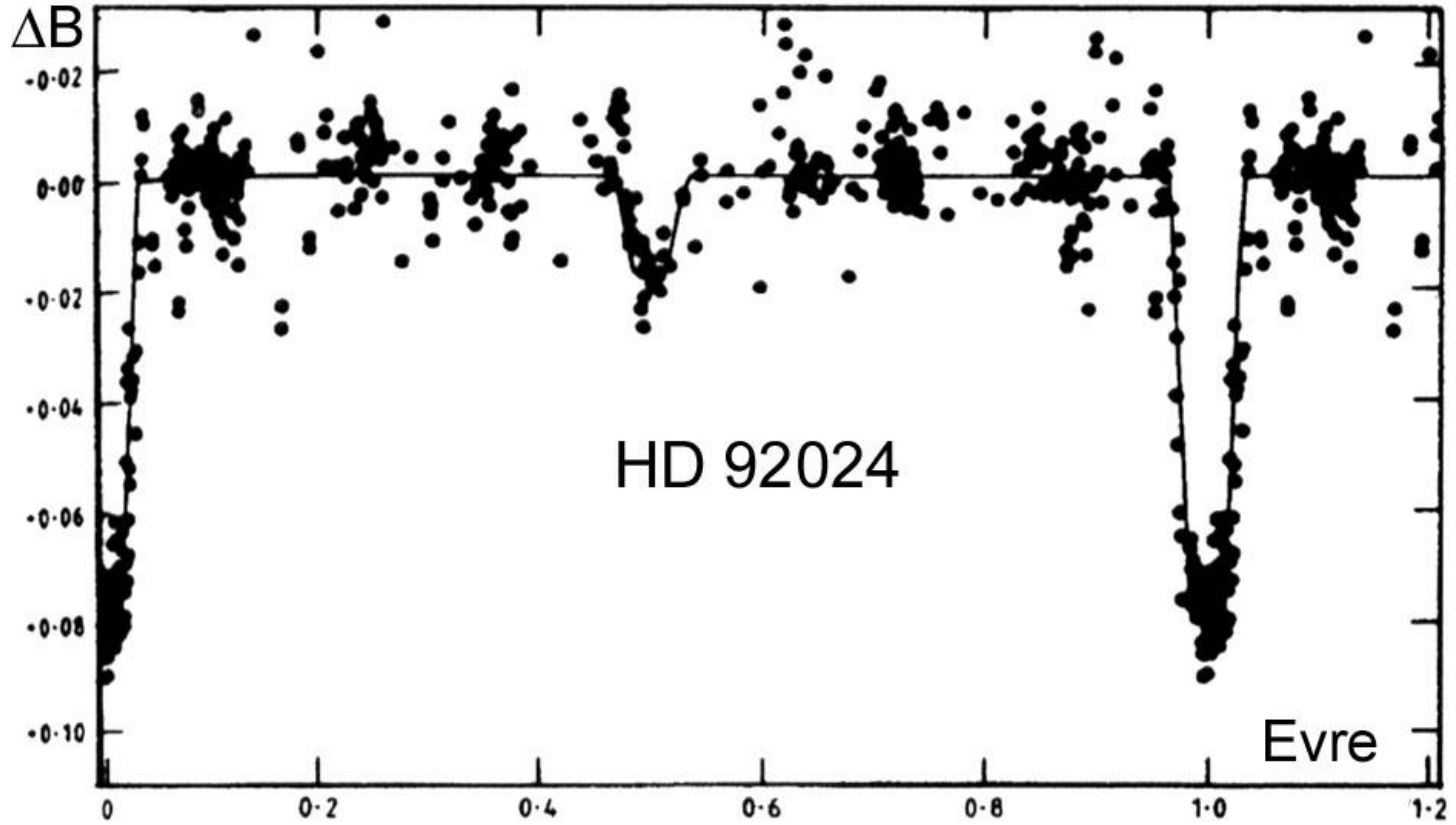
...devam

- β Cephei'lerin ışık değişim genlikleri görsel bölgede 0.1 kadirde daha küçüktür (BW Vul hariç), dikine hız değişim genlikleri ise 50 km/sn nin altındadır (σ Sco ve BW Vul hariç).
- Değişimler genelde “*yarı-sinüsel*” ışık eğrileri veren “*tek-dönemli (monoperiodic)*” yapılara sahiptir, ancak bazı örneklerinde “*temel-dönem*” ve bunun yanında “*harmonikleri*” de gözlenebilmektedir. Harmoniklere (ikincil dönemler) ilişkin genlikler daha düşüktür.
- β Cephei'lerin büyük çoğunluğunda tayfsal çizgi profilleri de değişim gösterir. Işık eğrilerinin iniş koluna denk gelen evrelerde çizgi profilleri en geniş şeklini alırken, zaman zaman değişime çizgi yarılması da eşlik eder.

...devam

- Işık değişim genliklerinin çok küçük olması nedeniyle, uzun bir süre 6^m.5 kadirde daha sönük β Cephei değişeni keşfedilememiştir.
- Sönük β Cephei'lerin keşfi, bu yıldızlar için yapılan sistematik gözlemler sayesinde olmuştur. Bilinen örneklerinden sadece ikisi, HD 92024 ve 16 Lac, örten çift yıldız bileşenidir.
- Dış galaksilerde, LMC ve SMC'de yakın zamana kadar keşfedilmiş β Cephei değişeni bulunmuyordu.

β Cephei bileşenli HD 92024 çift sisteminin ışık eğrisi

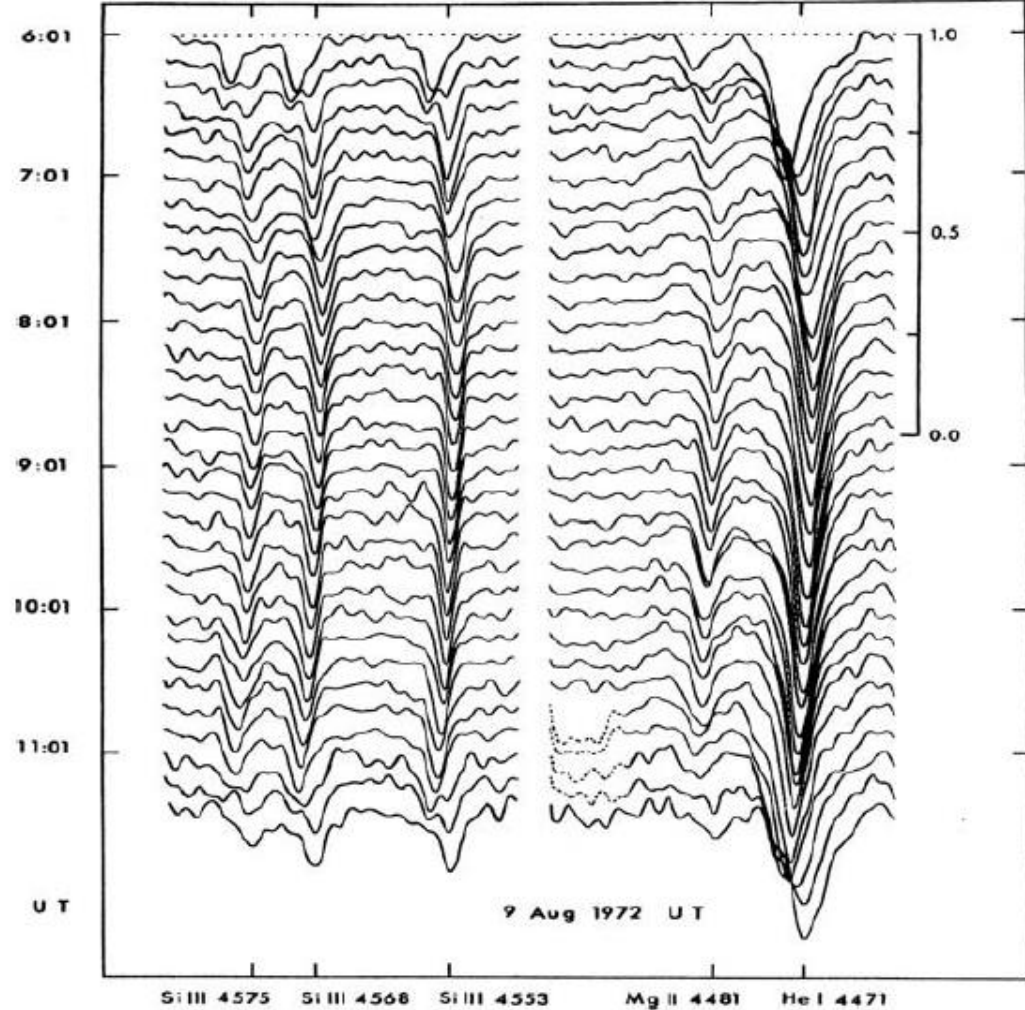


...devam

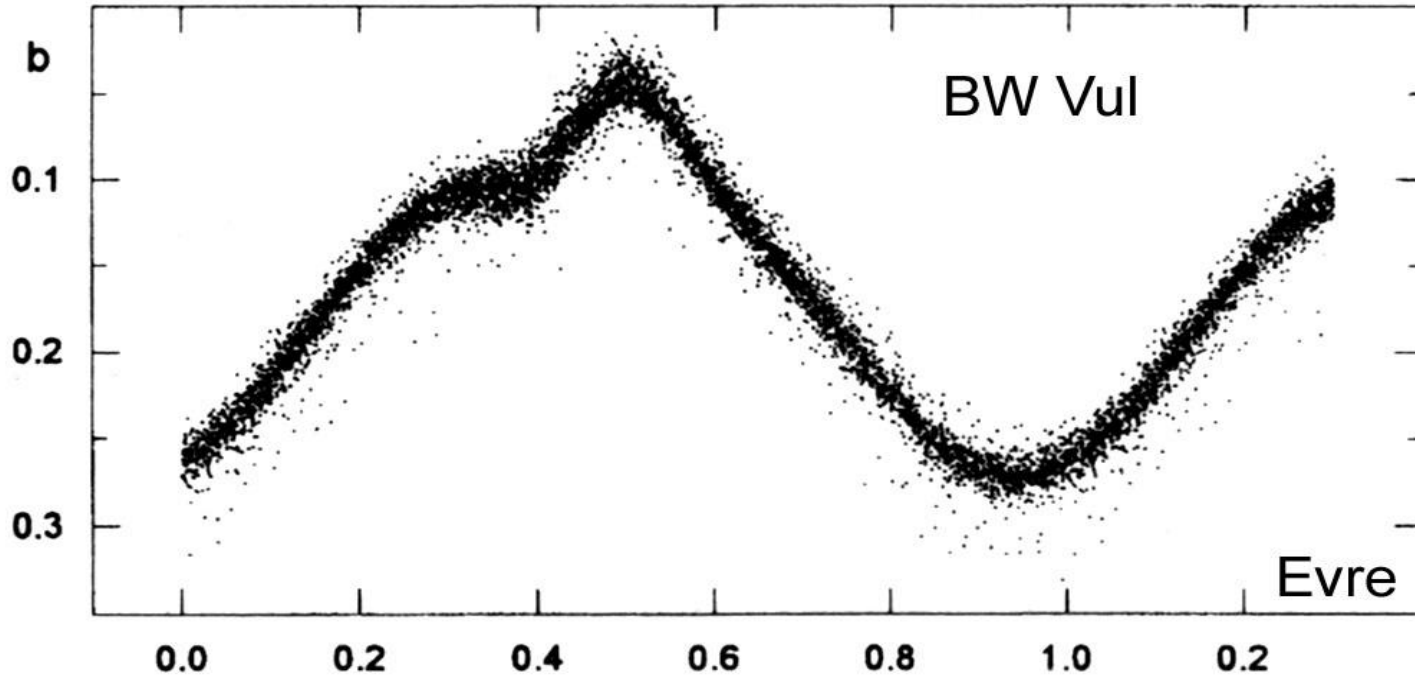
- Işınım güçleri ve tayf türleri gereği HR diyagramında dar bir bölgede bulunurlar. Bu bölgeye genelde “ *β Cep kararsızlık kuşağı*” adı verilir. Aynı bölgede bazı *Be* türü yıldızlar da bulunur.
- Bir süre *β Cephei* olarak gözlenen bazı yıldızların, zamanla *Be* türü değişene dönüştükleri anlaşılmıştır.
- Grubun prototipi *β Cep*'in 1990 yılında alınan tayfında çok şiddetli $H\alpha$ salması gösterdiği görülmüştür. Buna karşılık çok iyi gözlenmiş bir *Be* yıldızı olan EW CMa (27 CMa), 1987 ile 1990 yılları arasında belirgin zonklamalar göstermiştir.

BW Vulpeculae

- Beta Cephei türü değişen yıldız olan BW Vulpeculae'nın dikine hız değişimi.
- Tayfta Si III, Mg II ve He I çizgileri bulunmaktadır. Gözlemler yaklaşık beş saatlik bir zaman aralığında alınmıştır.
- Dikey ekseninde aşağı yönde zaman artmaktadır.
- Soğurma çizgilerinin sola (uzun dalgalı) ve sağa (kısa dalgalı) doğru hareketleri, ve tekrar geri eski konumuna ulaştığı görülebilir.
- Bu değişim yıldızın genişleme ve büzülmesi sonucu ortaya çıkmaktadır (Goldberg, Walker ve Odgers, 1976).



BW Vul'un ışık eğrisi



...devam

- BW Vul (B2III, $V=6^m.55$), β Cephei'ler arasında bilinen en büyük ışık değişim genliğine ve dikine hız değişimine sahip olan örnektir.
- Şekilden de görüleceği gibi ışık eğrisinin çıkış kolu üzerinde ışığın sabit kaldığı ve “*durağan evre*” olarak adlandırılan bir bölge bulunur. Maksimum parlaklık seviyesinden 0.05 kadir daha aşağıda gerçekleşen bu yapının “*durağanlık süresi*” 0.03 gün kadardır.
- Görsel bölgede 0.2 kadir olan genliği, moröte bölgede 1.2 kadire ulaşmakta, kırmızıöte bölgede ise hızla azalmaktadır. BW Vul'un dönemi yaklaşık olarak 5 saattir ve yüzyılda 2 sn'lik bir artışla dönem değişimi gösterir.

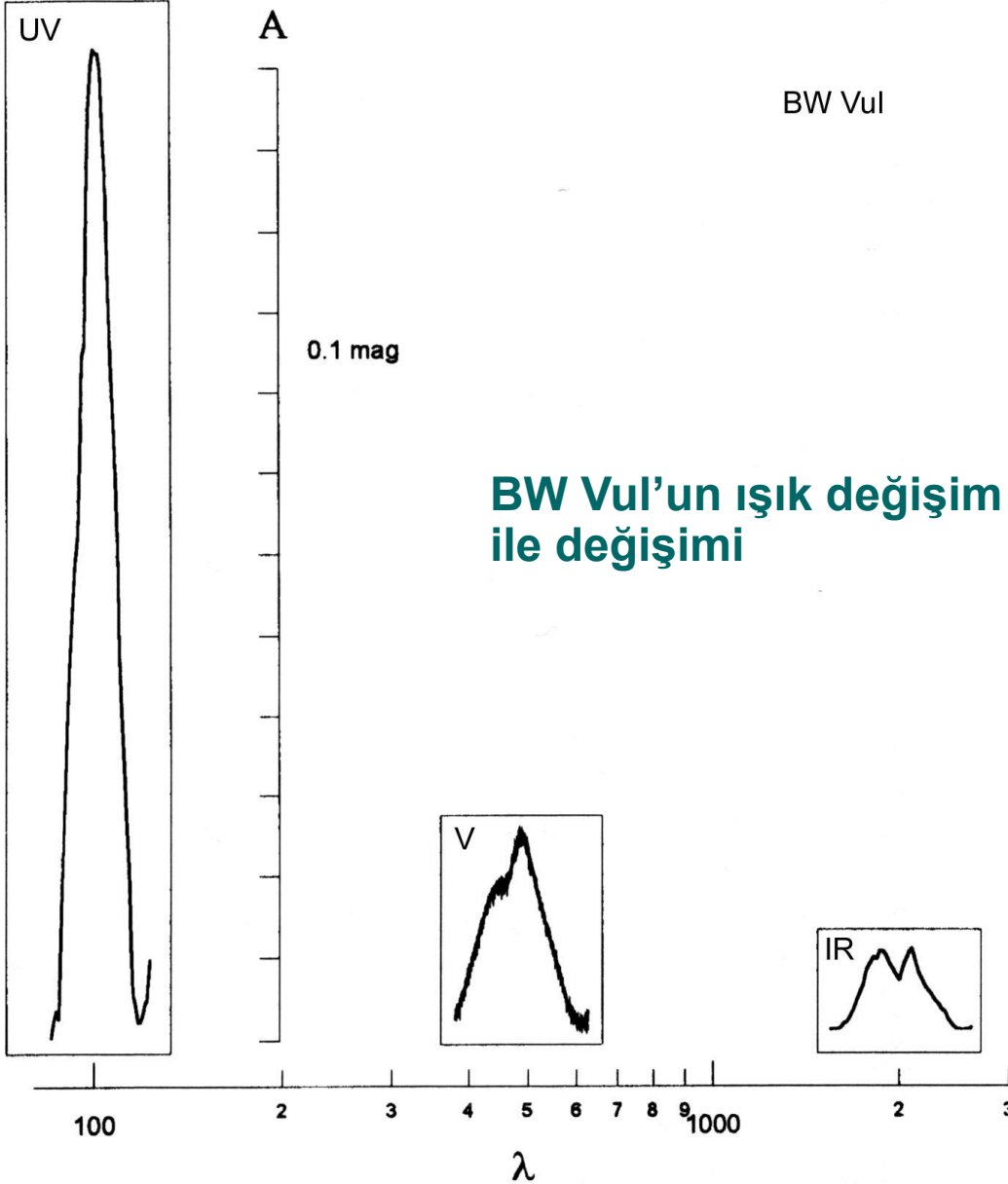
UV

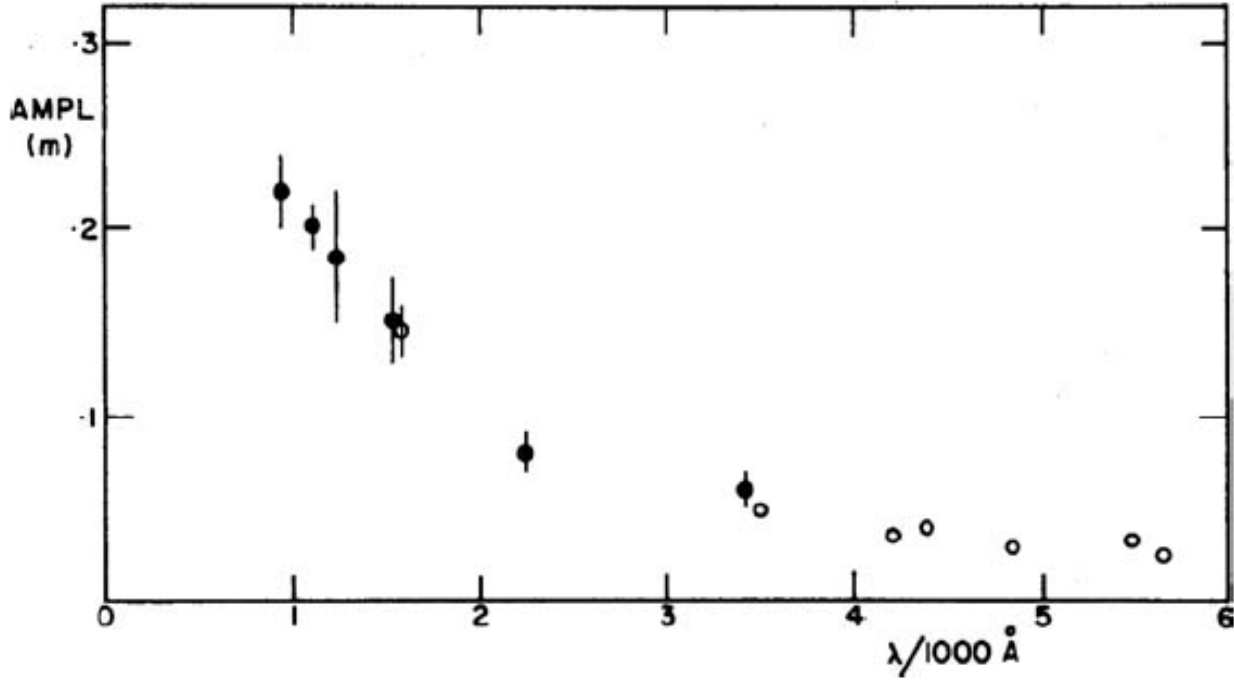
A

BW Vul

0.1 mag

BW Vul'un ışık değişim genliğinin dalgaboyu ile değişimi





- β Cephei'nin dalgaboyuna bağlı olarak ışık değişim genliğinin değişimi. Görsel bölgede değişim sadece birkaç onda bir kadar düzeyinde iken, UV bölgede bundan yaklaşık on kat daha büyük genliğe sahiptir (Hutchings ve Hill, 1977).

...devam

- Christy (Ann.Rev.Astr.Ap, 4, 353, 1966) He⁺ iyonizasyon katmanına sahip yıldızların, bu katmandaki ani donukluk değişimleriyle denge durumlarından saparak kararsız hale gelebileceklerini göstermiş ve zonklamaya ilişkin modern teorilerin temelini atmıştır. Donukluk değişimine dayalı bu mekanizmaya “*κ-mekanizması*” denildiğini biliyoruz.
- Klasik Cephei’ler, δ Scuti’ler, RV Tauri’ler, ve RR Lyrae’ler için bu mekanizma çalışırken, He⁺ iyonizasyon bölgesine sahip olmayan β Cephei’lerde zonklamanın nedeninin aynı mekanizma olduğunu kabul etmek mümkün değildir.
- β Cephei’lerin zonklama mekanizmaları için tutarlı teoriler, ancak Iglesias vd.’nin (1990, ApJ, 360, 221; 1991, ApJL, 371, L73; 1992, ApJ, 397, 717) *OPAL* adı verilen yeni donukluk hesaplarını yayınlamaları ile gelişmeye başlamıştır.

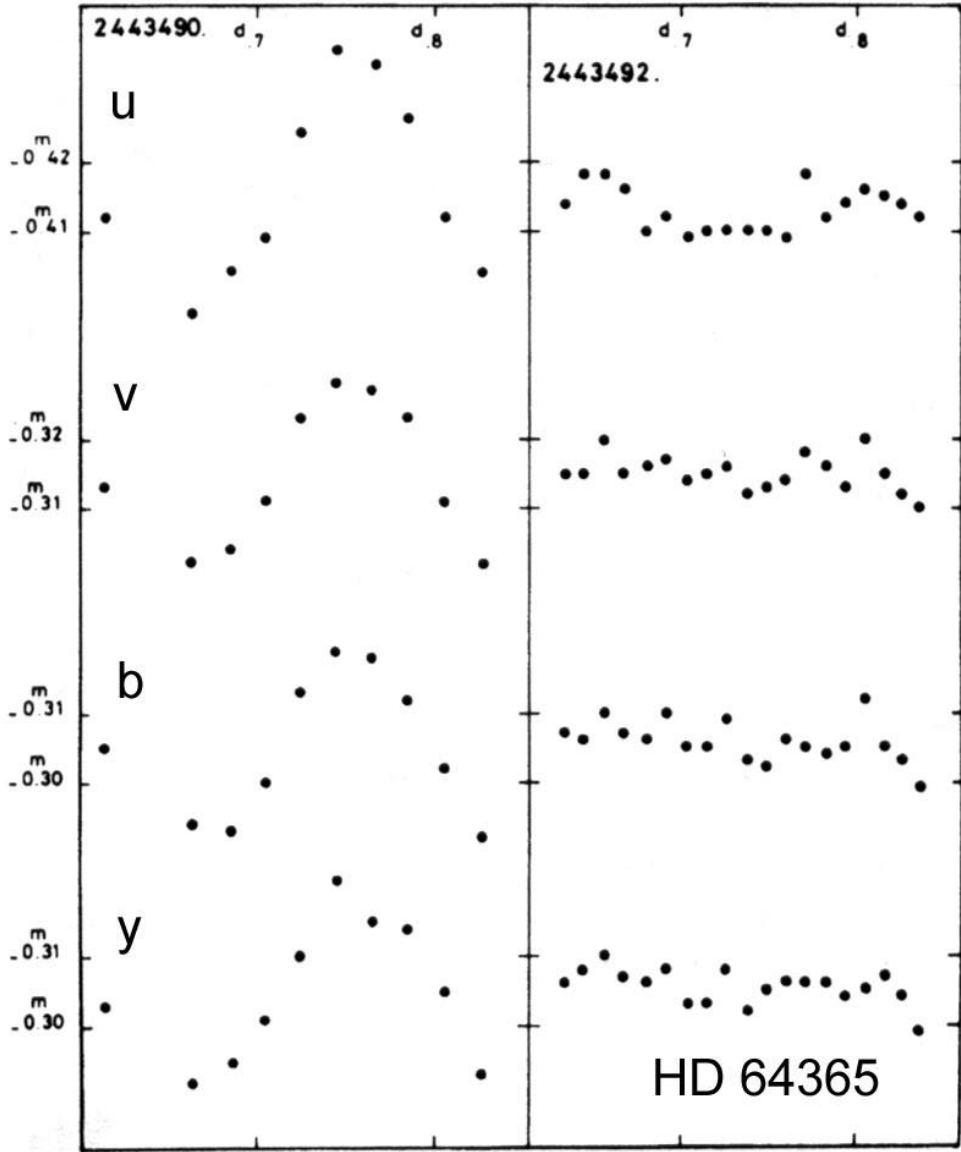
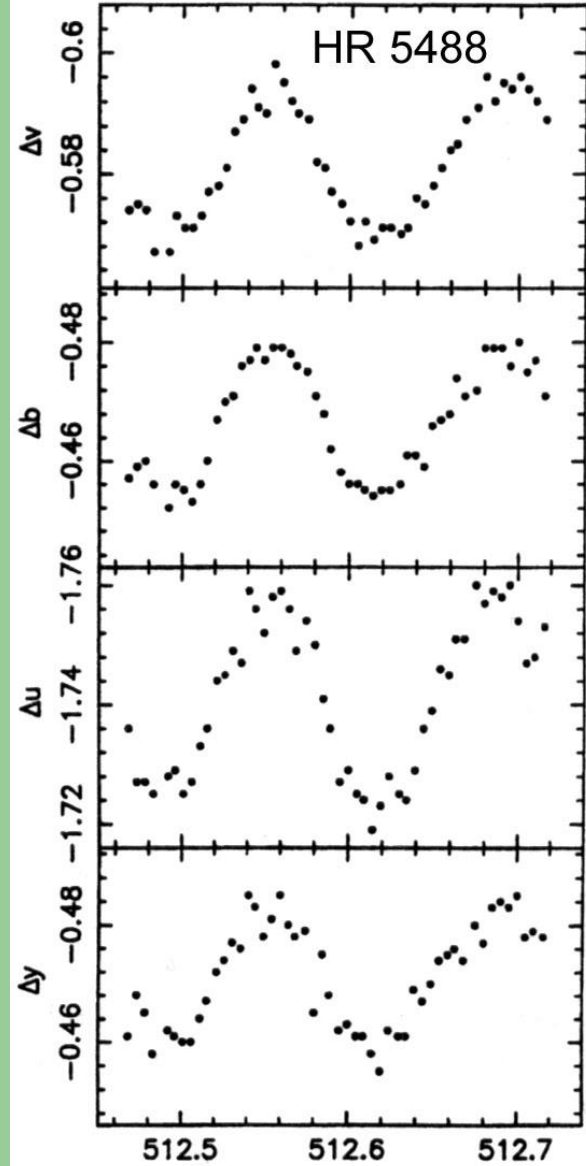
...devam

- Iglesias ve ark., donukluk hesaplarında daha önce dikkate alınmayan elementlere ilişkin atomlardaki elektronların, spin-yörünge etkileşimleri sonucu donukluğu önemli ölçüde arttırıcı rol oynadığını ve bu etkinin β Cephei'lerde de zonklamaları başlatabileceğini göstermiştir.
- Iglesias vd.'nin bu çalışmasından hemen sonra çok sayıda araştırmacı, yeni OPAL donukluk değerleri ile kurguladıkları teorileriyle, β Cephei'lerde gözlenen temel ve harmonik zonklama modlarının açıklanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Fortran Subroutines for OPAL Stellar Opacities

<http://www.cita.utoronto.ca/~boothroy/kappa.html>

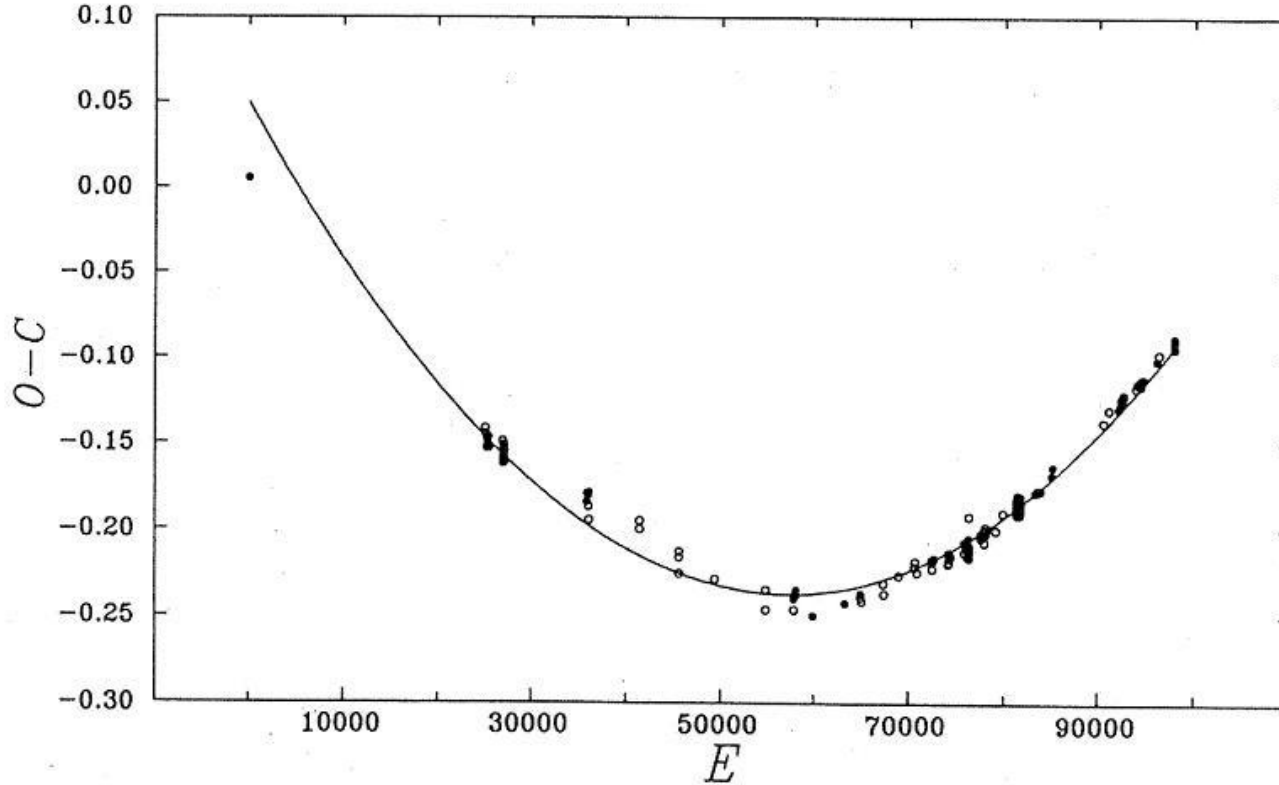
HR 5488 ve HD64365'in ışık eğrileri



OGLE: The Optical Gravitational Lensing Experiment

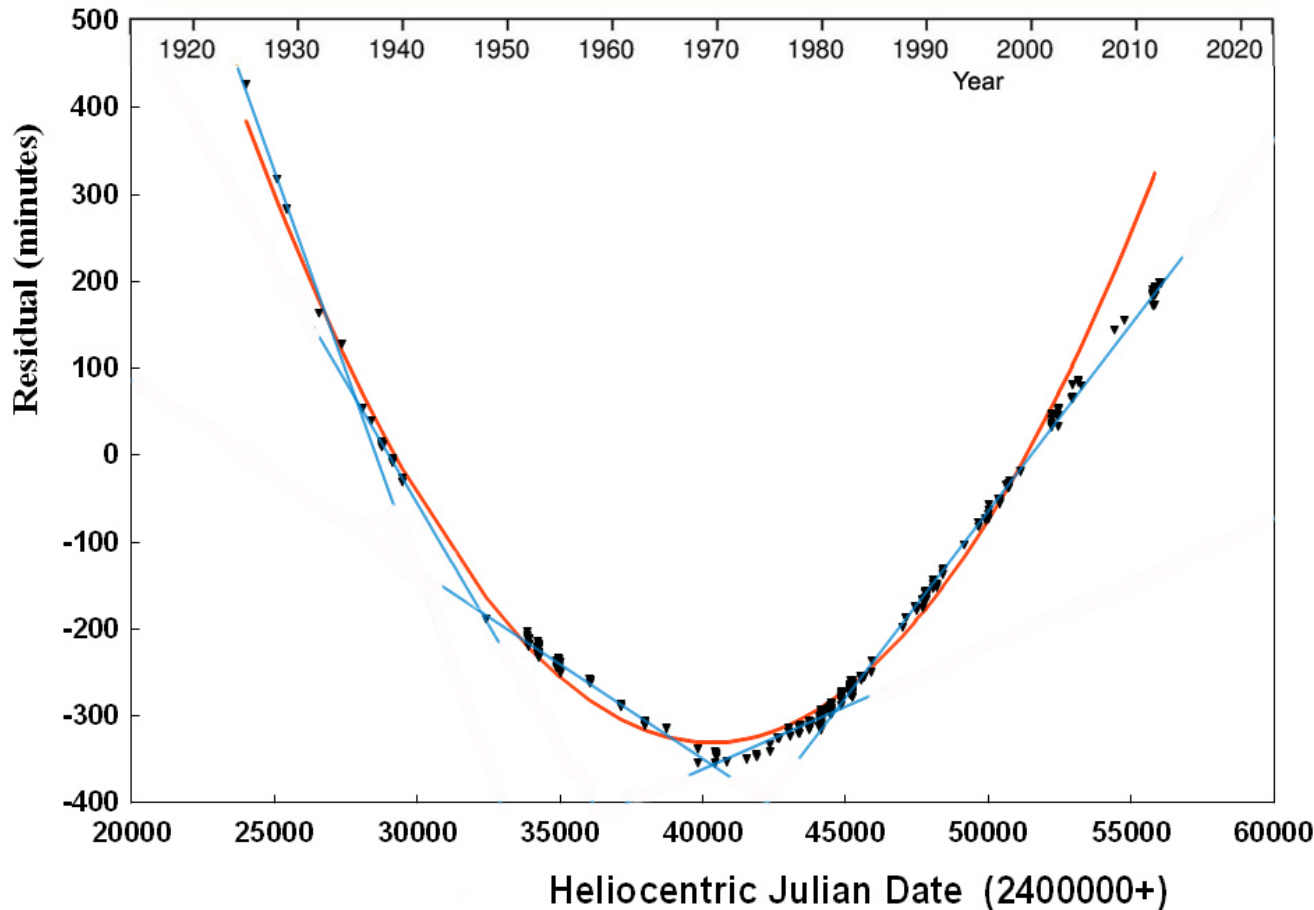
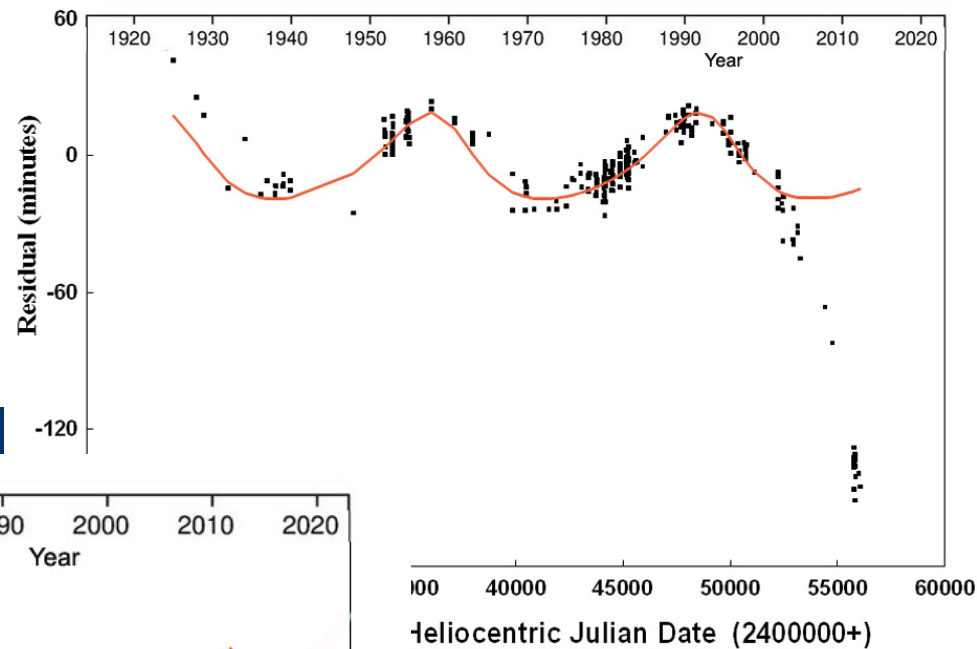
- Beta Cephei'lerin Samanyolu'nun dış kısımlarına doğru, ki bu bölgelerde düşük metal bolluğa sahip yıldızlar bulunur, sayılarının daha az olduğu şeklinde bir izlenim bulunmaktadır. Bu aslında beklenen bir durumdur, çünkü zonklamaya neden olan mekanizma demir gibi elementlerin (metallerin) opasitesinden kaynaklanmaktadır.
- Bu durumun bir denetlemesi metal bollukları 0.01 ile 0.005 arasında değişen LMC ve SMC'de bulunan Beta Cephei yıldızlarının taraması ile ortaya konulabilir (güneş benzeri yıldızlarda metal bollukları 0.02 düzeyindedir).
- Uzun araştırmalara rağmen başlangıçta bu bölgelerde Beta Cephei türü değişene rastlanmamış ve çok sonraları üç tane bulunduğu belirlenmiştir. Ardından OGLE-II tarama gözlemlerinin dikkatli bir şekilde incelenmesi sayesinde 75000'den fazla erken B tayf türü yıldızından 64 tanesinin büyük olasılıkla Beta Cephei türü değişen olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak binde bir oranında da olsa bu türden değişenlerin bulunabileceği belirlenmiştir.
- **Kütle olarak 7 ile 20 M_{\odot} arasında, sıcaklık olarak 20000-30000 K olan cisimlerdir.**

Dönem değişimi



- BW Vulpeculae için 100000 çevrimi içeren (O-C) değişimi. Parabolik değişim dönemin +2.8 sn/yy arttığını göstermektedir (Sterken 1993).

Period variation in BW Vulpeculae redux
Andrew P. Odell
<http://arxiv.org/pdf/1205.5996v1.pdf>

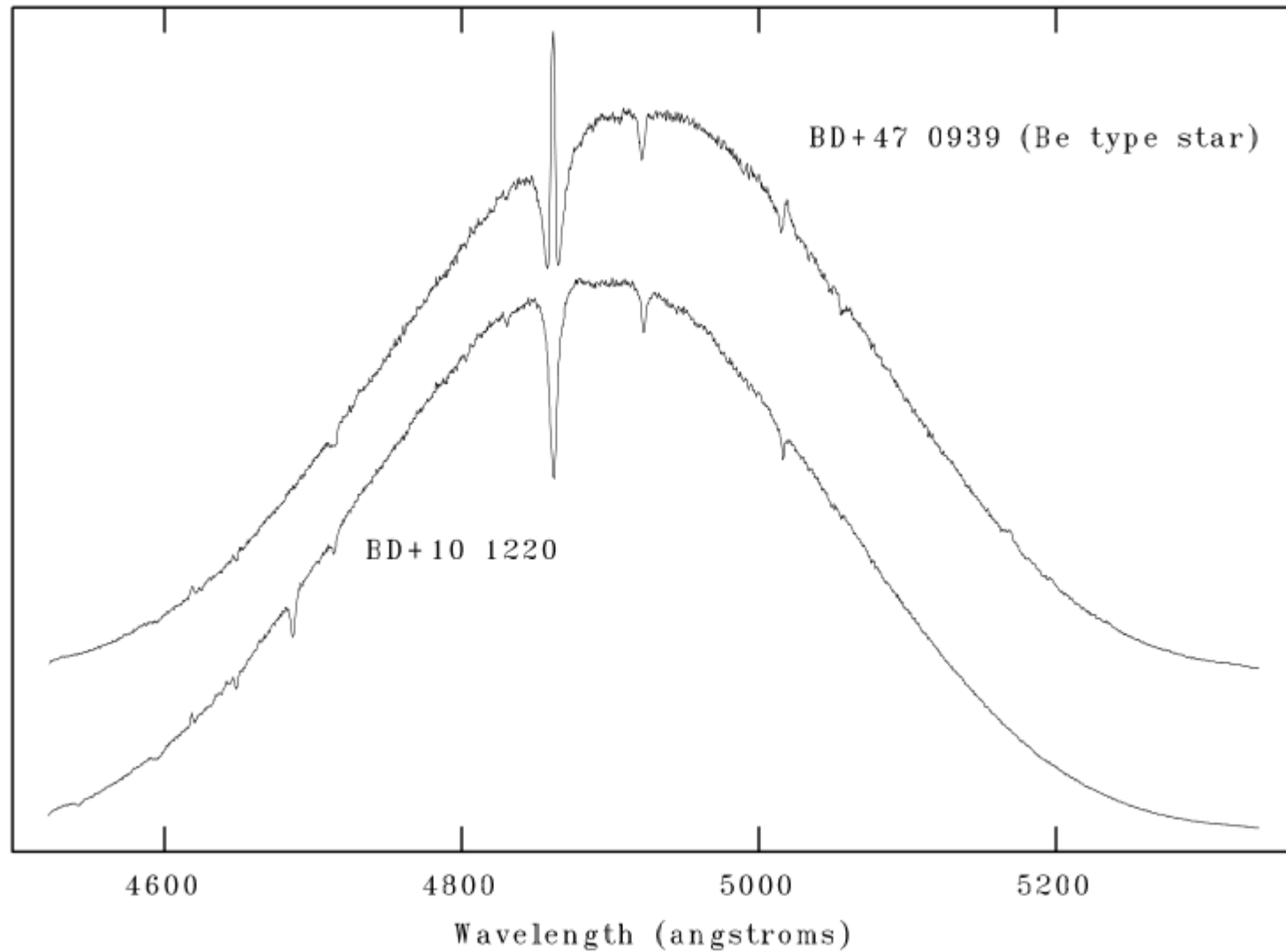


4. Conclusions
Photometry of BW Vulpeculae since 1995 fails to verify the continued secular period change or the cyclic period variation attributed to the LiTE of a binary system.

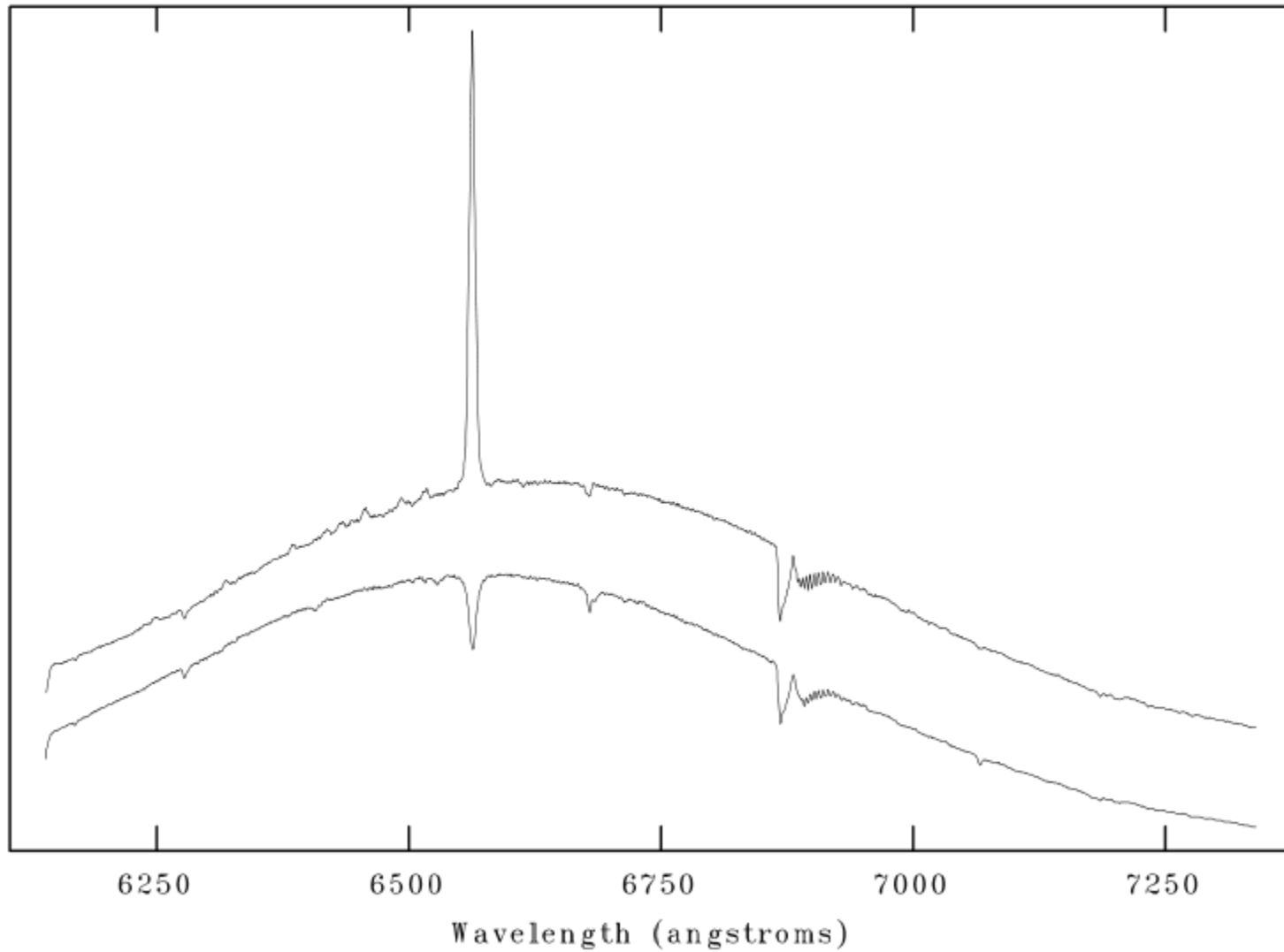
Be Yıldızları

- O6-B9 tayf türü aralığında, ışınım sınıfı V ile III arasında olan ve tayflarında hidrojenin Balmer serisi salma çizgilerinde şiddet değişimi gösteren yıldızlardır.
- Bu değişimi dönemli olarak gösterenlerine γ Cas veya λ Eri yıldızları da denmektedir. Balmer salma çizgileri, bu yıldızları saran ve hızla dönen zarf veya kabuktan kaynaklanır.
- Baade, bu tanımı biraz daha sınırlandırarak bir Be yıldızı için aşağıdaki ek kriterleri ortaya koymuştur:
 - ileri derecede iyonize olmuş ve yıldız yüzeyinden çok yükseklerde oluşan rüzgar aktivitesi,
 - hızlı dönme,
 - mor ve kırmızı salma bileşenlerinin eşdeğer genişlik oranı V/R değişken, ancak 1 civarında olması

NOAO/IRAF V2.15.1a gurol@252.astro.ankara.edu.tr Tue 09:02:28 26-Apr-201
Separation step = 35000.



NOAO/IRAF V2.15.1a gurol@252.astro.ankara.edu.tr Tue 09:09:21 26-Apr-201
Separation step = 45000.



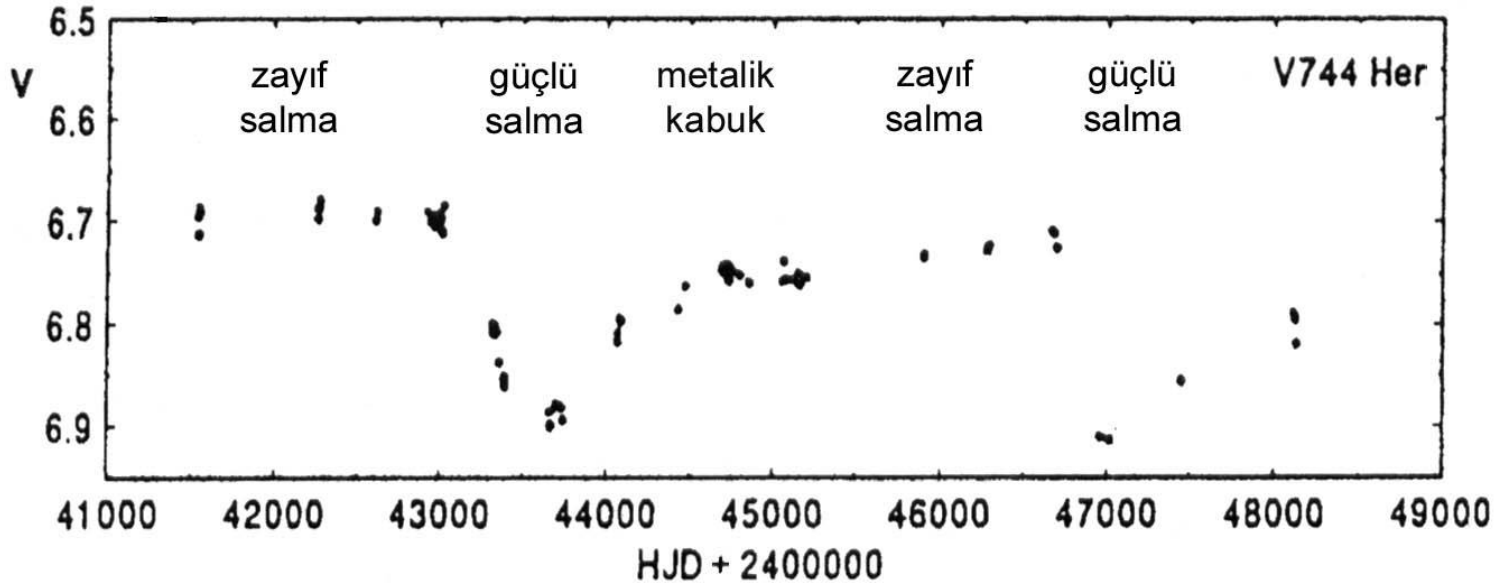
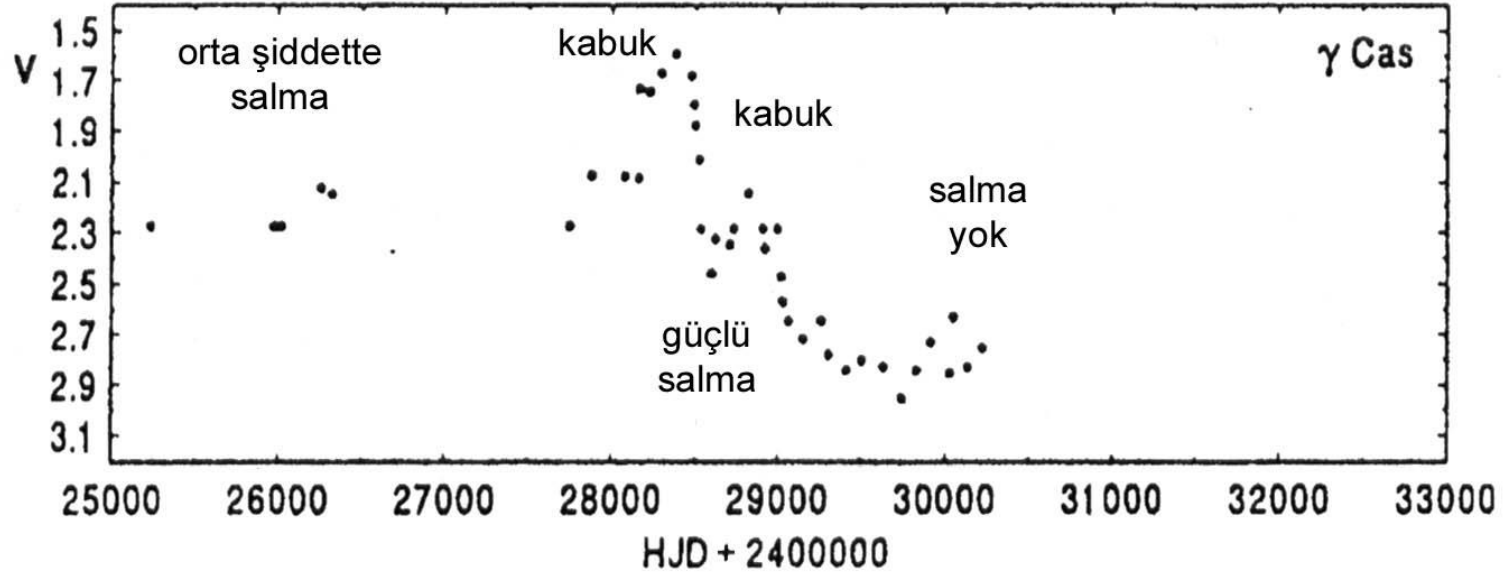
...devam

- Be yıldızları HR diyagramında genel olarak β Cephei ve 53 Per/orta-B yıldızları ile aynı bölgeyi paylaşırlar.
- Bir önceki bölümde bazı β Cephei yıldızlarının aniden salma çizgileri gösterdiğini ve Be yıldızı haline geldiğini, buna karşılık bazı Be yıldızlarının belirli zamanlarda zonklamalar gösterdiğini görmüştük. Ayrıca EW CMa gibi bazı Be yıldızları zonklamaya başlamadan hemen önce birkaç hafta süren ani parlaklık düşüşleri de gösterebildikleri bilinmektedir.
- EW CMa da birbirini takip eden yarı-dönemli zonklamaların dönemi kabaca 10-20 gün arasındadır.

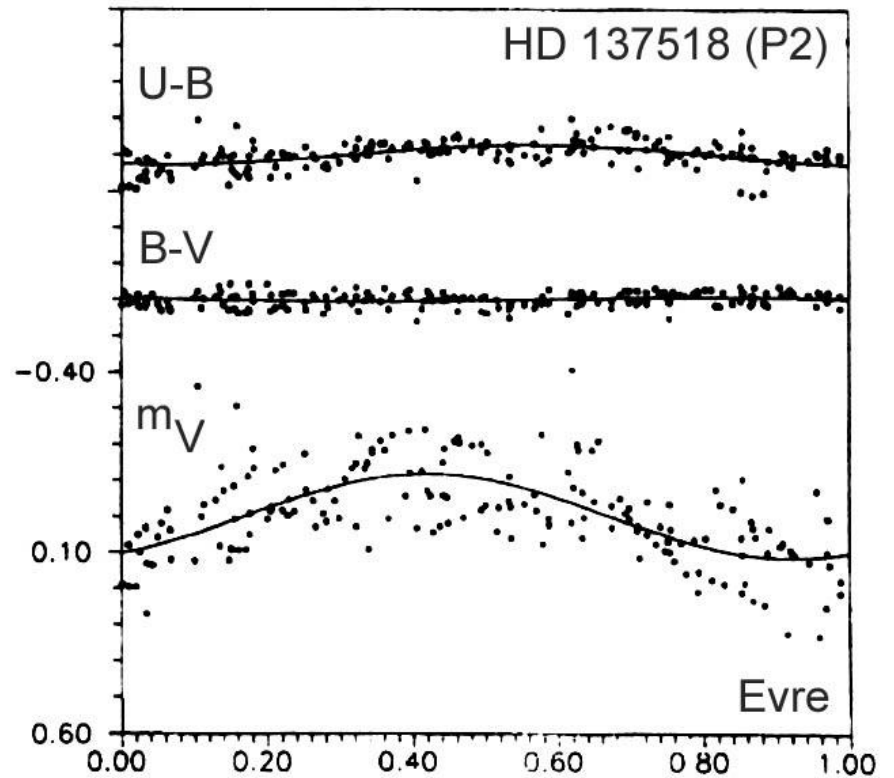
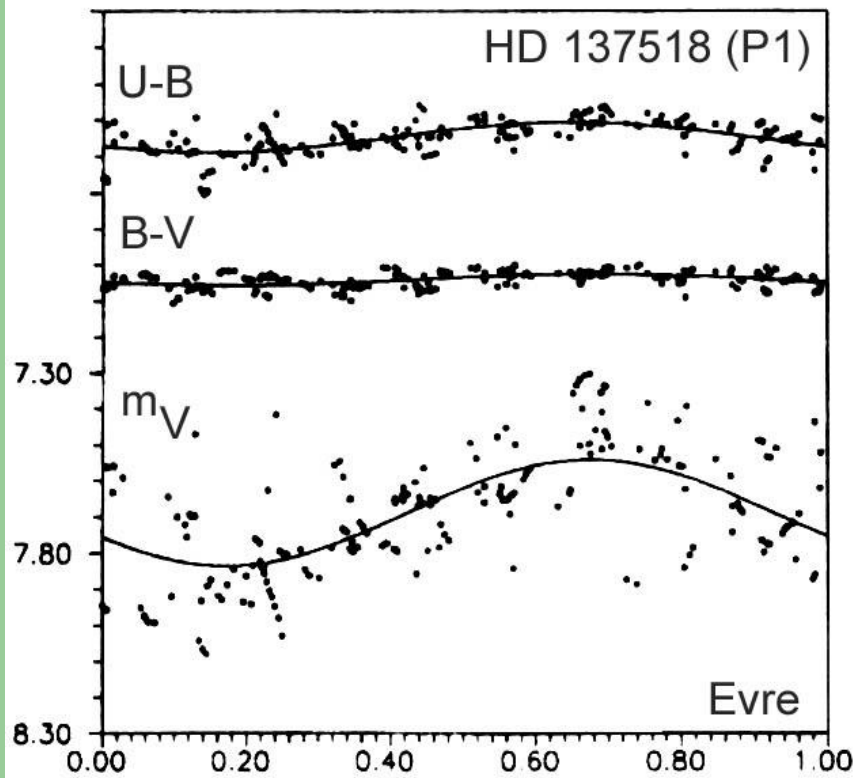
...devam

- Çoğu Be yıldızı kısa veya orta zaman ölçekli ışık değişimi gösterirler. Bu değişimlere ilişkin dönemler 0.4 – 3 gün arasında olup çoklu dönemler ve ışık eğrilerinde çift dalga yapıları görülür.
- Işık değişim genlikleri 0.01– 0.3 kadir aralığındadır. Tayflarında görülen belirgin salma çizgilerindeki şiddet değişimi ile ışık değişimleri genellikle birbirleri ile uyumludur.
- Bu açıdan ilgi çekici iki örnek γ Cas ve V744 Her'in ışık eğrileridir. Salma çizgilerindeki şiddet değişimi ile parlaklık değişimleri ters korelasyona sahiptir.
- Çoklu dönemli Be yıldızlarına örnek olarak HD137518 yıldızının çift-dönemli ışık değişimine ilişkin ışık eğrileri iki ayrı dönem için ($P_1=8.929$ gün ve $P_2=2.824$ gün) ayrı ayrı evrelendirilerek verilmiştir.

γ Cas ve V744 Her'in ışık değişimleri



HD137518'in iki farklı döneme göre ışık eğrileri

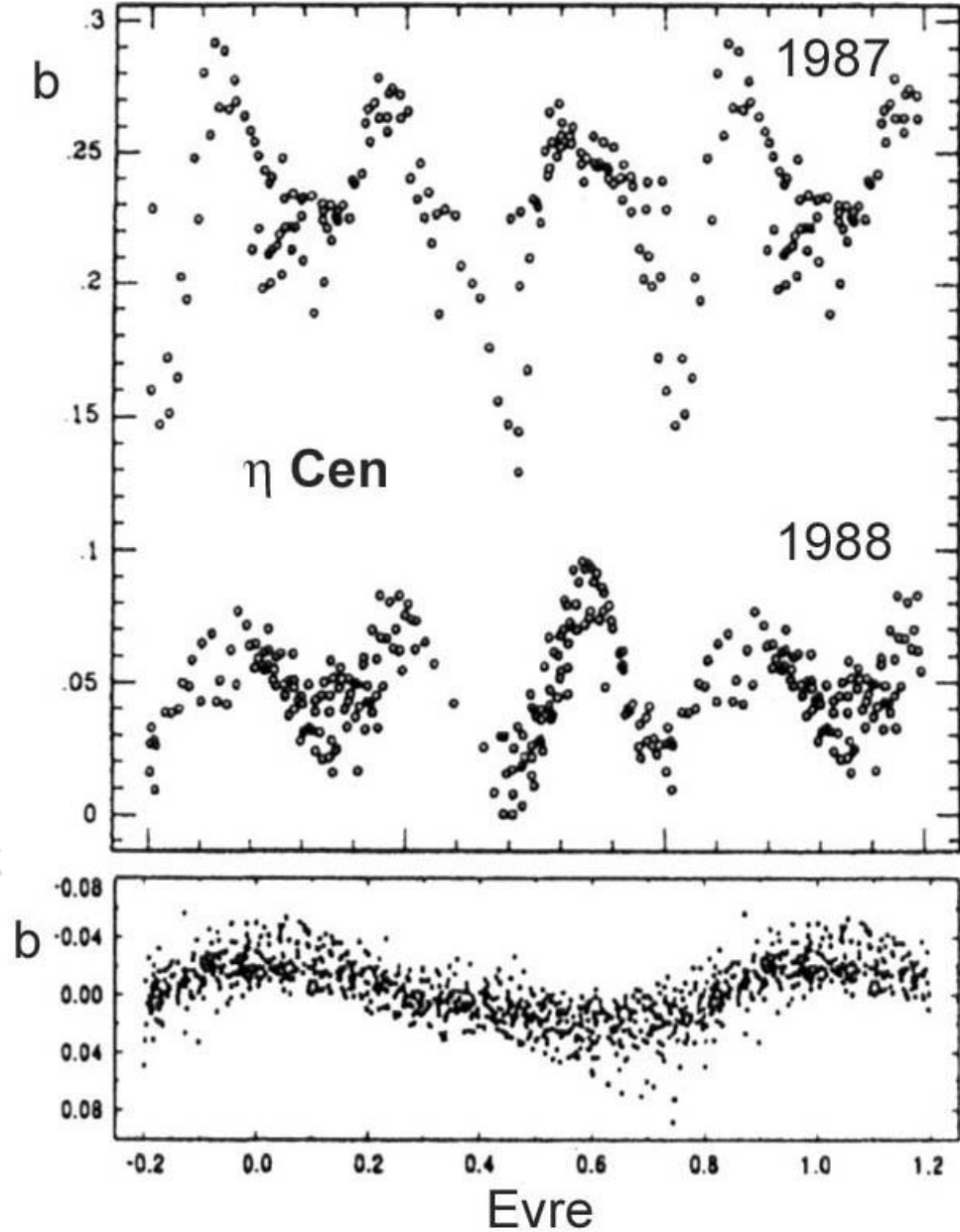


...devam

- Be yıldızlarının uzun-dönemli değişimleri Harmanec (1994, “*The Impact of Long-Term Monitoring on Variable-Star Research*”, NATO-ARW, eds. C Šterken, M. de Groot, NATO-ASI Ser C. Vol:436, p.55) tarafından iki ayrı kategoride tarif edilmiştir:
 - γ Cas’da izlenen ve ılımlı nova patlamalarını andıran ışık eğrileri
 - V744 Her ve BU Tau’da izlenen ve R CrB yıldızlarını andıran ışık eğrileri
- Balona (1990, MNRAS, 245, 92), Be yıldızlarının çizgi profili ve ışık değişim dönemlerinin, dönme dönemlerine çok yakın olduğunu göstermiş ve buna bağlı olarak değişimlerin kaynağının çapsal olmayan zonklamalar yerine, yıldızın kendi eksenini etrafında dönmesi sonucu ortaya çıkan modülasyonlardan kaynaklandığını söylemiştir.

η Cen'in ilginç ışık değişimi

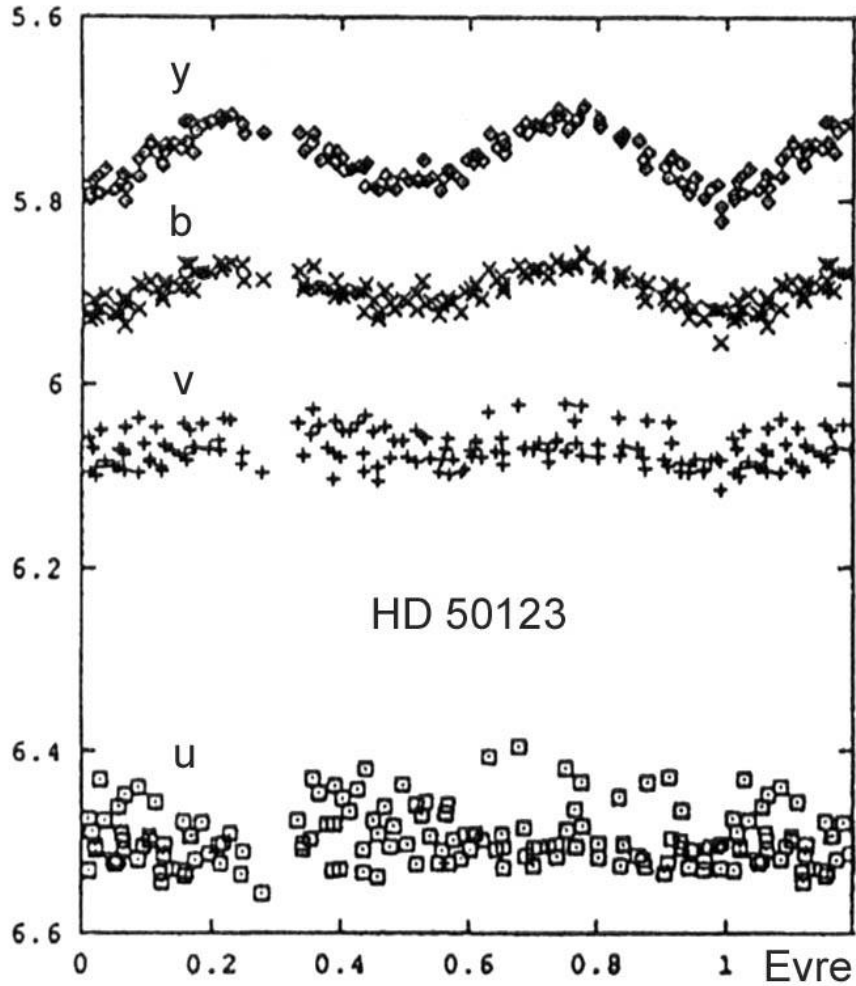
- ▶ İlginç bir Be yıldızı olan η Cen'in ışık eğrisi.
- ▶ Ender rastlanan 3 dalgalı ışık değişiminin dönemi $P=1.927$ gündür (üst panel).
- ▶ Ancak daha sonra ışık değişiminin $P=0.642424$ gün ile tek bir sinüs dalgası olarak ifade edilebildiği anlaşılmıştır (alt panel).



...devam

- Işık eğrisi az da olsa simetriden sapmış sinüs biçimli bir dalga şeklindedir ve genliği strömgren y, b, v bantlarında ortalama olarak 0.05 kadirdir. u bandında ise 0.1 kadir yöresindedir. Dolayısıyla β Cep yıldızlarında görülen, azalan dalgaboyu ile artan genlik özelliği η Cen'de de izlenmektedir.
- Ancak HD50123 de durum bunun tam tersidir. v bandında değişim genliği son derece küçük, b ve y de sırası ile 0.05 ve 0.08, u bandında ise değişim görülmemektedir.
- Bu garip durum Sterken vd. (1994, A&Ap, 291, 473) tarafından açıklanmıştır. HD50123, **B6Ve+K0III** tayf türüne sahip bir çift yıldızdır. Yörünge eğimi tutulma oluşturamayacak derecede düşüktür ve izlenen ışık değişimi, sadece karşılıklı çekim etkisi sonucu basıklaşmış ve sistemin toplam ışınımında baskın olan Be yıldızının eksenini etrafında dönmesi sonucu oluşmaktadır.

Şekil 41. HD50123'ün ışık eğrisi



...devam

- HD50123'de izlenen ışık değişimi, elipsoid değişenlerin gösterdikleri türdendir.
- Beech'in (1985, ApSS, 117, 69) 27 adet elipsoid değişenden oluşan listesinde bulunan sistemlerin yörünge dönemleri 0.8 – 5.6 gün aralığındadır ve tayf türleri ise O ile G2 arasında olan cüce yıldızlardır.
- HD50123, elipsoidal değişenler arasında 28.6 günlük dönemi ile biraz uç bir noktada bulunur ve Roche şişimini doldurmuş bileşene (K0 dev) sahip bilinen tek örnektir.
- HD50123 gibi sistemler aslında sayıca azdır. Ancak genliklerinin düşük ve dönemlerinin uzun olması, keşfedilmelerinin önündeki en önemli engeldir. HD50123 genel konfigürasyonu açısından W Serpentis türü çift sistemlere çok benzeyen yıldızlardır.