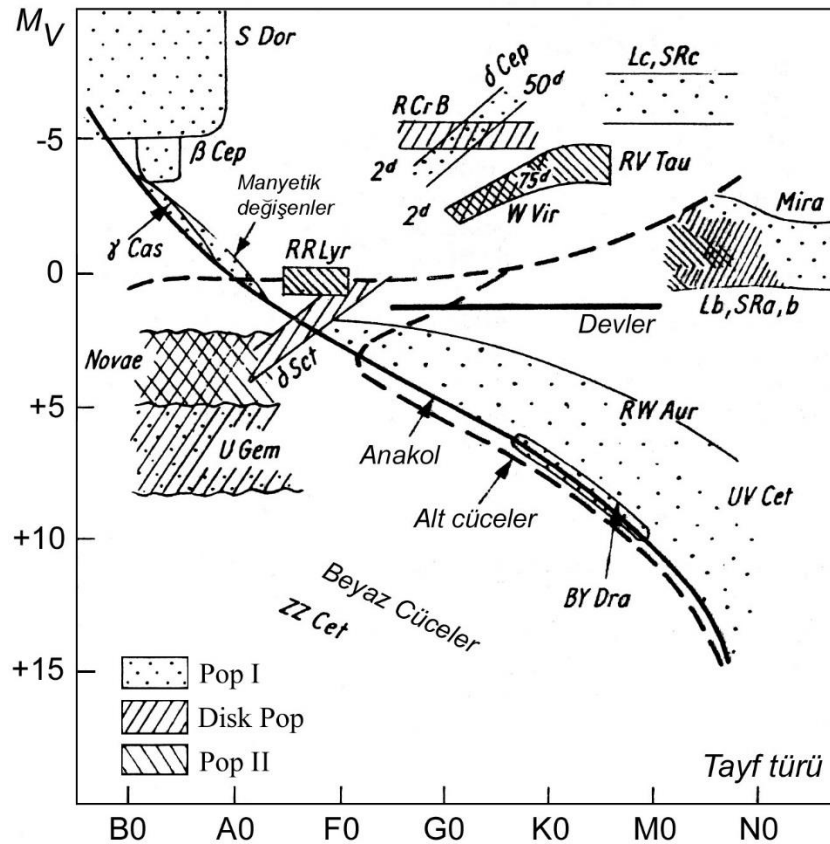


# Cephei ve W Virginis Değişenleri



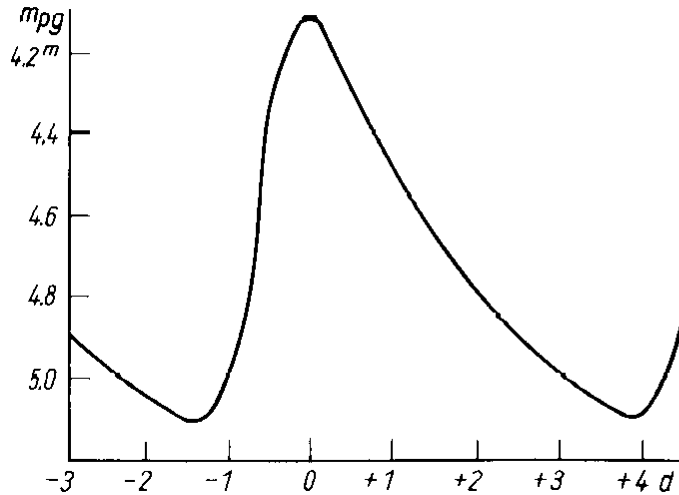
# Klasik Cephei ve W Virginis (Tip II Cephei) Değişenleri

- 1784 yılında Piggot ( $\eta$  Aql) ve Goodricke ( $\delta$  Cep) tarafından değişen oldukları belirlenen yıldız grubudur. Başlangıçta bu tür değişenlerin astronomide çok önemli bir konunun ögesi olacağı bilinmiyordu.
- Işık değişimi çok daha önce bilinmesine rağmen, yaklaşık çeyrek yüzyıl sonra bu yıldızların *dikine hız ve etkin sıcaklıklarında* değişimler olduğu anlaşılmış ve parlaklık değişiminin temel nedeni olarak belirlenmiştir.
- Normal yıldızlarda *radyal zonklama* teorik olarak Ritter tarafından tartışılmış olmasına rağmen, parlaklık değişimlerinin temel nedeni olarak çift yıldız oldukları düşünölmeye devam edilmiştir.
- **Dönem-Parlaklık** ilişkisi ilk defa Leavit tarafından 1912 yılında bulunduktan sonra, bu bağıntı yakın galaksiler için en duyarlı ve en kesin uzaklık belirleme yöntemi haline gelmiştir. Fakat parlaklık değişimine ilişkin uygun bir teori ortaya konamamıştır.

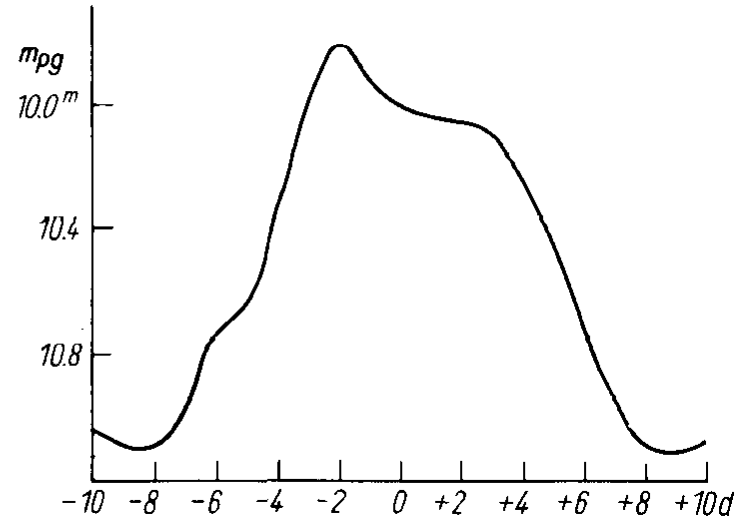
- Parlaklık değişimi konusunda yıldızların biçimsel olarak sınımlar yaptığı düşünceyle teorik denemeler yapılmasına rağmen, o yıllarda bu konuda bir başarı sağlanamamıştır. Yine de bu tür teorilerin ileri sürülmesi, sonradan *radyal-olmayan zonklamalar* düşüncesinin temelini oluşturmuştur.
- Tarihsel olarak bakıldığında değişim gösteren bütün yıldızlar başlangıçta Cephei olarak sınıflandırılmış ve zamanla bu tür değişenler için alt gruplar oluşturulabilmiştir.
- “*Pop I Cephei*” ler gibi tanımlamalar yapılmıştır.  $\delta$  Cephei’nin kendisi ise “ $\delta$  Cephei Yıldızları” yada “Klasik  $\delta$  Cephei Yıldızları” olarak sınıflandırılmıştır

# Tanımlar, İstatistikî Bulgular ve Işık Değişimleri

- Şekil 4 ve 5’de iki ayrı değişene ilişkin ışık eğrisi verilmiştir. Dönemleri 1 ile 70 gün arasında parlaklık değişimi gösteren yıldızlardır. Bu tür yıldızlarda dönem, 2 günün altında ve 50 günün üstünde nadiren bulunur. Bu nedenle bu tür yıldızlara “*uzun dönemli  $\delta$  Cephei yıldızları*” tanımlaması yapılmıştır. (Temel nedeni RR Lyrae yıldızlarının “kısa-dönemli” değişen yıldızlar olmasıdır.)



Şekil 4:  $\delta$  Cep’in ışık eğrisi



Şekil 5. W Vir’in ışık eğrisi

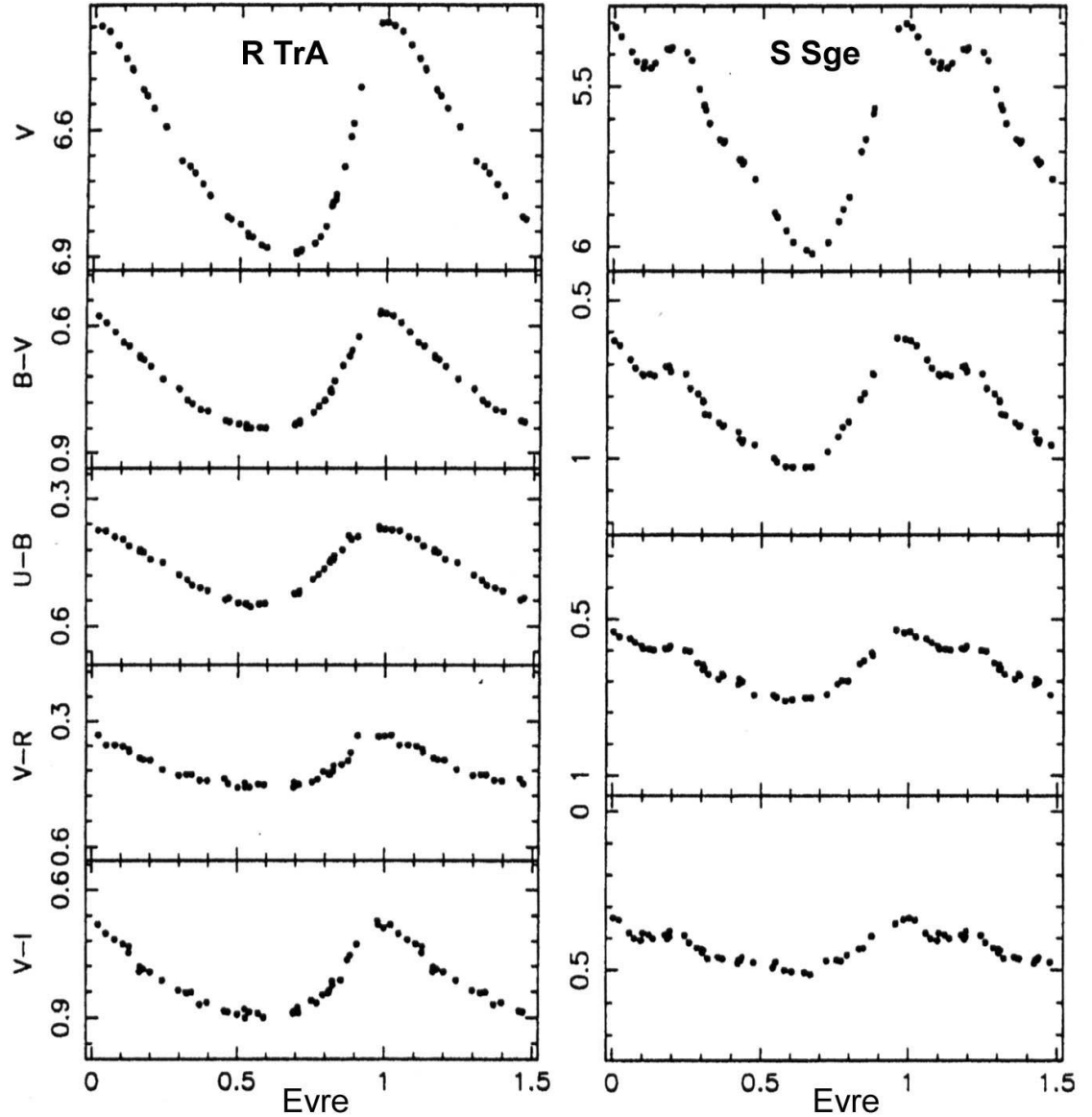
- Parlaklık değişim genlikleri  $1^m - 2^m$  arasındadır.  $0^m.1$ 'den daha küçük parlaklık değişimi gösteren örneklerin sayısı çok azdır.
- Işık eğrilerine bağlı olarak değişimin yapısı iyi bir şekilde tanımlanmıştır. Diğer fiziki değişim gösteren yıldızlardan dönemlerindeki ve ışık eğrilerindeki küçük düzensizlikler dikkate alınarak ayrılabilir.
- Işık eğrisi gözleminden değişimin dönemi kolaylıkla bulunabildiğinden, *Dönem-Parlaklık* bağıntı kullanılarak bu tür yıldızların mutlak parlaklıkları belirlenebilmektedir.
- Dönemlerinin belirlenmesi genellikle fotoğrafik veya fotometrik ölçümlerden yapıldığından son derece duyarlı verilerdir.

## $\delta$ Cep türü R TrA ve S Sge'nin ışık eğrileri

Klasik Delta Cephei

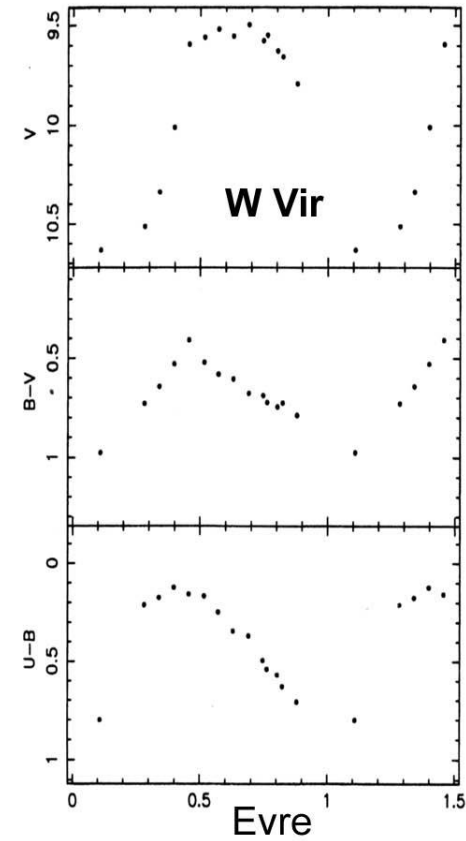
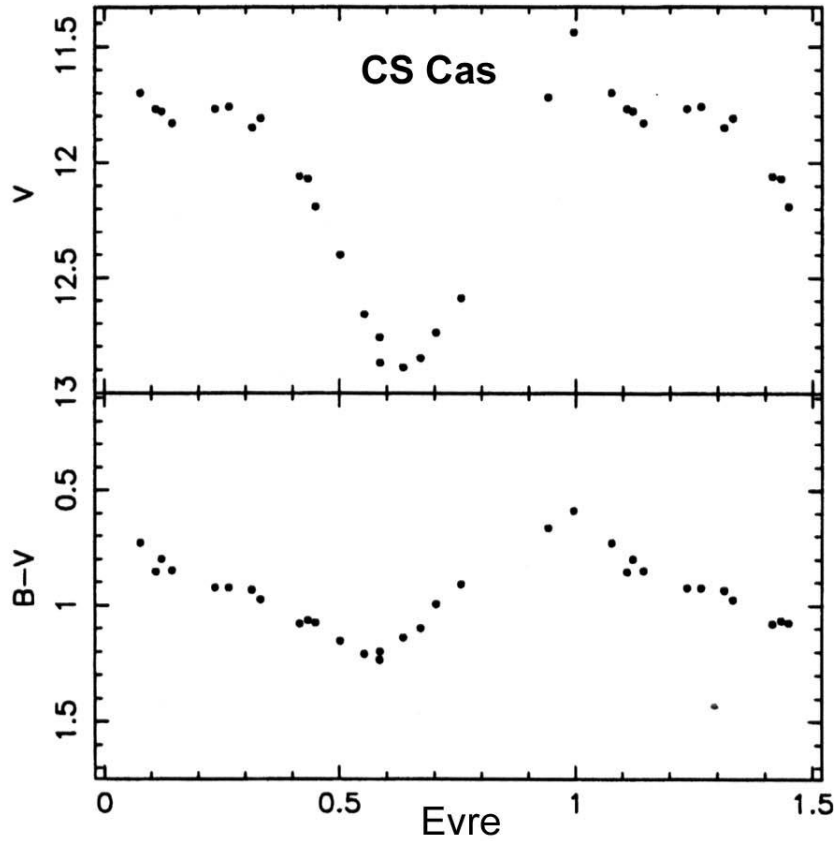
$\delta$  Cep: V=4.07, F5lab:

S Sge: V=5.52, G5Ibv



W Virginis türü değişen yıldızlara örnek:

Tip-II Cepheid'lerine örnek CS Cas ( $V=11.46$ )'ın (solda) ve düz maksimumlarına örnek olarak W Vir ( $V=9.69$ , F0Ib) (sağda) ışık ve renk eğrileri



## ...devam

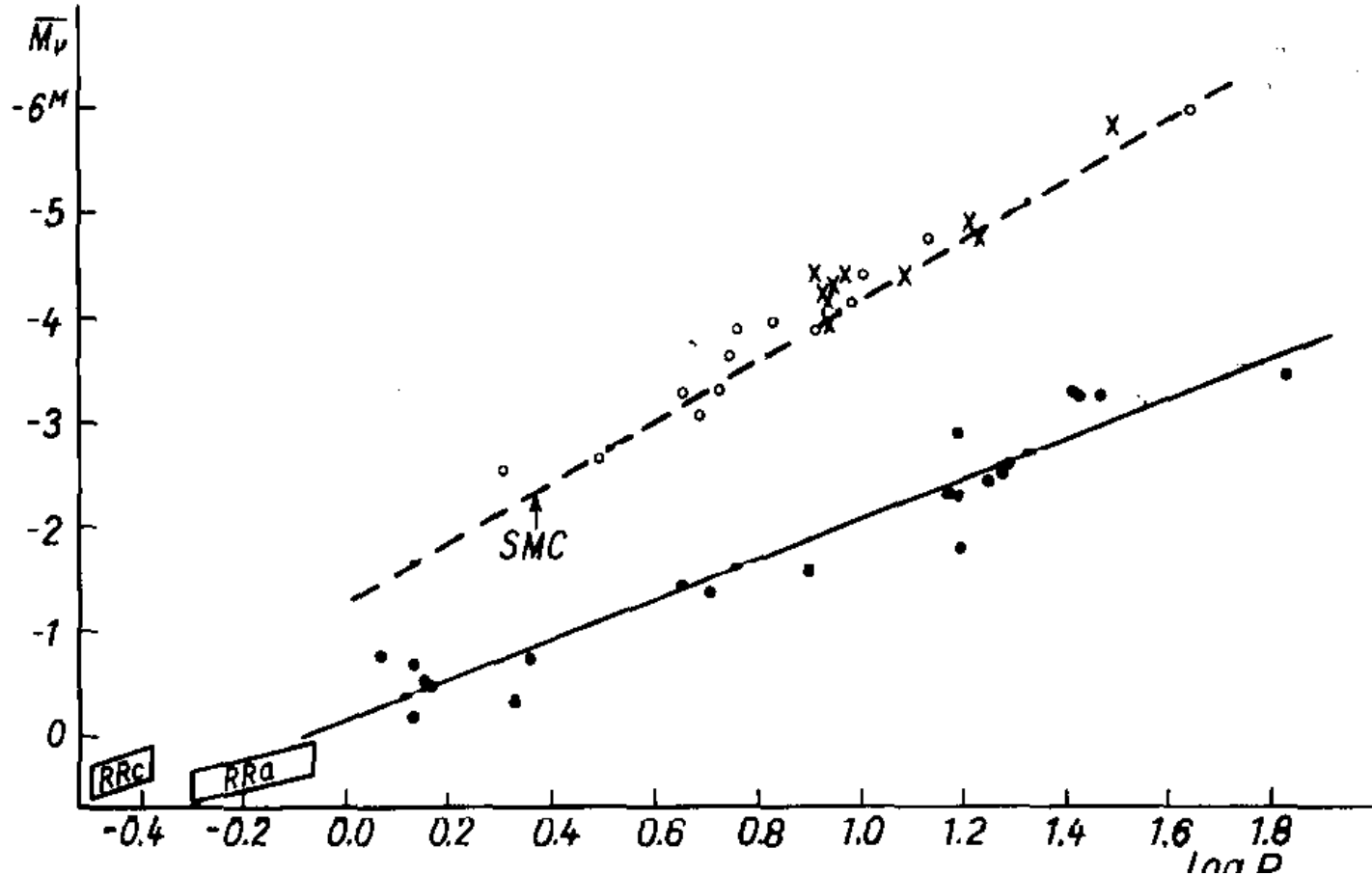
- Magellan bulutları bu türden çok sayıda değişen yıldızı bünyesinde barındırdığı için oldukça iyi bir gözlem bölgesidir. Aynı bölgede bulunan bu türden yıldızların tümünün bizden hemen hemen aynı uzaklıkta bulunduğu kabul edildiğinde, yıldızların görsel parlaklıklarından  $m-M$  uzaklık modülü ve buradan yıldızların mutlak parlaklıkları hesaplanabilmektedir.
- Bu bağıntı bayan Leavitt (1912) tarafından Küçük Magellan Bulutunda bulunan 25 adet değişen yıldız için hesaplanmıştır. Birkaç parlak  $\delta$  Cephei için belirlenmiş uzaklıklar kullanılarak mutlak parlaklıkları hesaplanmış ve buradan *Dönem-Parlaklık* bağıntısının kalibrasyonu yapılmıştır.
- Günümüzde bu bağıntı başarılı bir şekilde galaksimizdeki ve galaksi dışı cisimlerin uzaklıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Fakat kalibrasyon işlemi o dönemde çeşitli hataları içerdiğinden, 1952 yılında hesaplanan galaksi dışı uzaklıklar iki çarpanı kadar hatalı hesaplanmıştır.



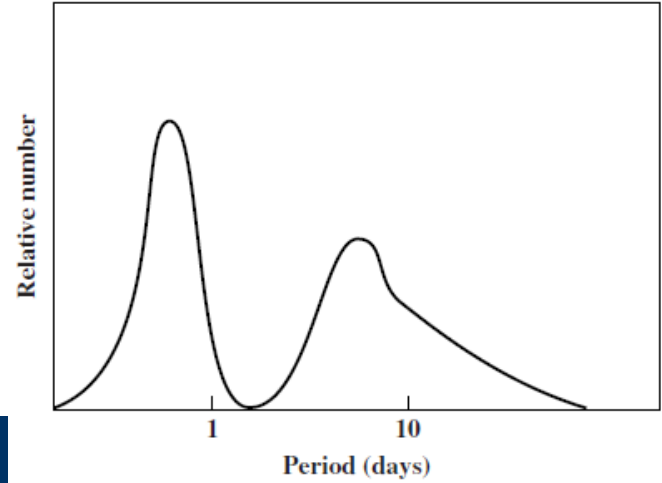
## ...devam

- Shapley, dikine hız ve öz hareket değerlerinden yararlanarak bu türden 11 yıldızın ortalama paralaks değerinin  $0''.0034$  olduğunu hesaplamıştır. Bu kadar küçük bir değer elde edilmesi, belirsizliğin boyutunu da ortaya koymaktadır.
- *Dönem-Parlaklık* bağıntısı (Şekil 6) bu alanda gerçekleştirilen çok sayıda çalışmadan yararlanarak daha duyarlı bir şekilde belirlenmiştir. Bu işlem sırasında kimyasal bileşim ve etkin sıcaklık gibi parametreler de dikkate alınmıştır.
- Sandage ve Tammann (1969)'ın çalışmasında 13 adet galaktik  $\delta$  Cephei yıldızı (Tablo 7'de listelenmiştir) kalibrasyon işlemi için kullanılmıştır. Kalibrasyon için kullanılan bu yıldızların parlaklıkları, küme ve asosyonlardaki konumları nedeniyle iyi bir şekilde bilinmektedir.

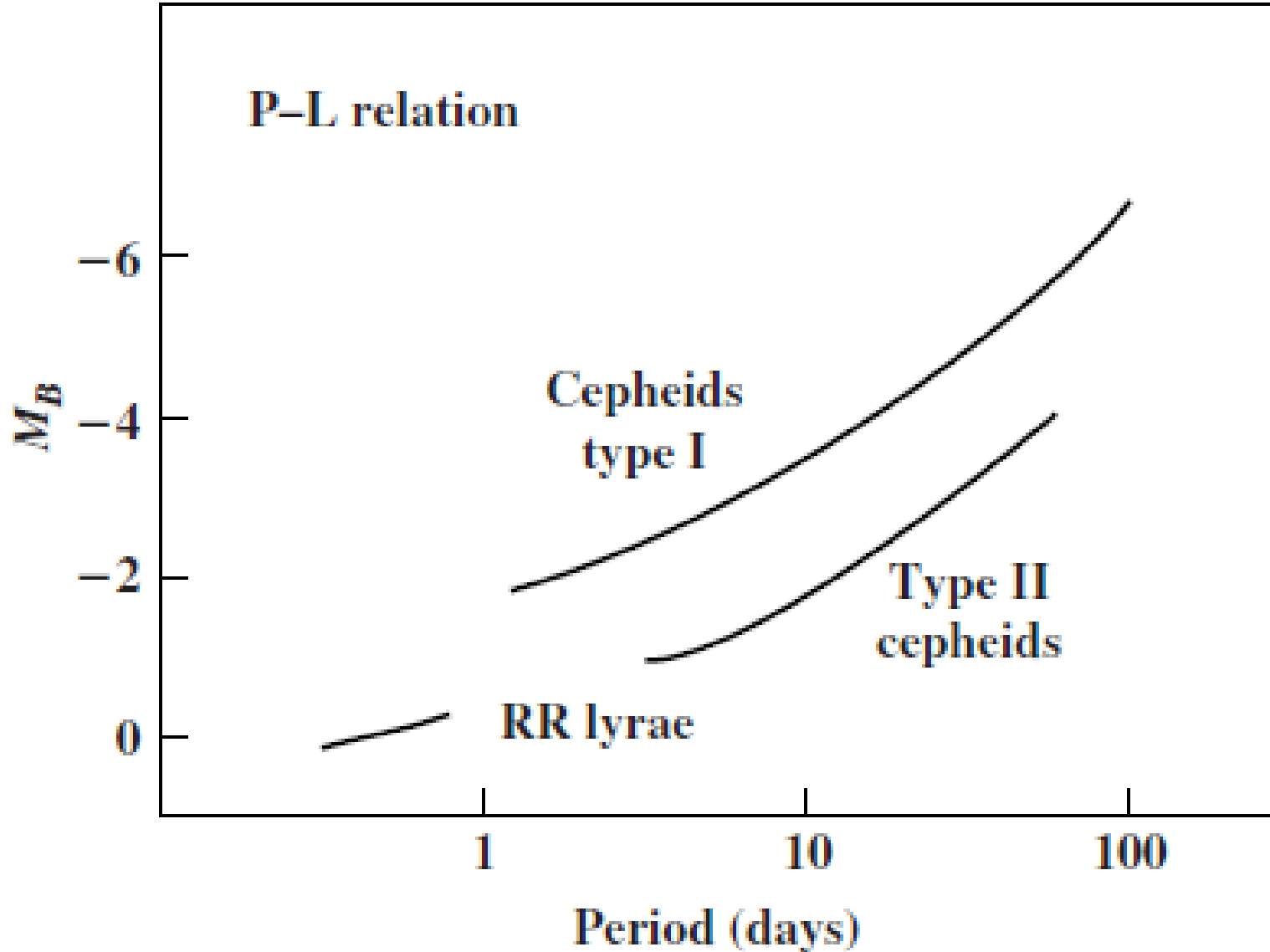
Şekil 6.  $\delta$  Cephei yıldızlarının Dönem-Parlaklık bağıntısı (üstte) ve W Virginis yıldızlarına ilişkin bağıntı (altta) gösterilmiştir. İçi boş yuvarlaklar galaktik kümelerdekileri, x sembolü Büyük Magellan Bulutundakileri göstermektedir. Kesikli çizgi Küçük Magellan Bulutu için bulunan bağıntıdır.  $\omega$  Centauri küresel kümesindeki RR Lyrae yıldızlarının konumları karşılaştırma amacıyla şematik olarak gösterilmiştir.



# Klasik ve Tip II Cephei ayrımı



- Cephei türü değişenler için dönemlerine bağlı olarak histogram grafiği çizildiğinde ilginç bir sonuç ile karşılaşılır. Dönem dağılımında iki ayrı pik ortaya çıkar (bkz. Şekil).
- Bu durum bize gerçekte iki tür Cephei değişeni bulunduğunu gösterir. Kısa dönemli olan grup tipik olarak Magellan Bulutlarında gözlenen değişenler ile aynı özelliklere sahiplerdir ve bu tür değişenlere *Klasik Cephei*ler adı verilir.
- Daha uzun dönemli olan grup ise *Tip II Cephei*ler veya *W Virginisler* olarak isimlendirilirler. Tip II Cephei'leri galaksimizdeki küresel kümelerde bulunurlar.
- Aynı döneme sahip Tip II Cephei'leri ile klasik Cephei'ler arasında  $1^{m.5}$  kadar bir parlaklık farkı mevcuttur. Bununla birlikte bu iki tür Cephei değişeni için dönem-parlaklık bağıntıları da birbirinden farklıdır.



- Aslında zonklama yapan yıldızların dönemleri ile parlaklıkları arasında bir bağıntının bulunması sürpriz bir durum değildir.
- **Radyal salınımlarda dönemin yaklaşık olarak  $(G\rho)^{-1/2}$  değerine eşit olmasını bekleriz. Burada  $\rho$  yıldızın ortalama yoğunluğudur.**
- Bir yıldızın kendi çekim ivmesi nedeniyle zonklamada bulunduğu dikkate alındığında, bu durumu dev bir sarkaç olarak dikkate alabiliriz. Bir sarkacın salınım dönemi  $2\pi(L/g)^{1/2}$  ile verilir.
- Yıldızlar için  $L=R$  ve  $g=GM/R^2$  olduğundan, dönem yaklaşık olarak  $(GM/R^3)^{-1/2}$  ile değişmelidir. Yıldızların yoğunluğu ise kabaca  $M/R^3$  ile gösterilebilir. Bu durum dikkate alındığında, dönemin  $\rho$  (yaklaşık olarak  $M/R^3$ ) ya bağlı olması, ve ışınımgücünün yıldızın yarıçapına bağlı olduğu da dikkate alındığında dönem ile parlaklık arasında bir ilişkinin bulunacağı açıktır.

# Büyük ve Küçük Magellan Bulutları

(LMC ve SMC)

$\alpha=5^{\text{h}} 23^{\text{m}} \delta=-69^{\circ}45'$

(d=160000 IY ve 200000 IY)





# Büyük Magellan Bulutu





# Küçük Magellan Bulutu





**$\omega$ Cen**

**$\alpha=12^{\text{h}} 42^{\text{m}}$**

**$\delta=-48^{\circ} 48'$**



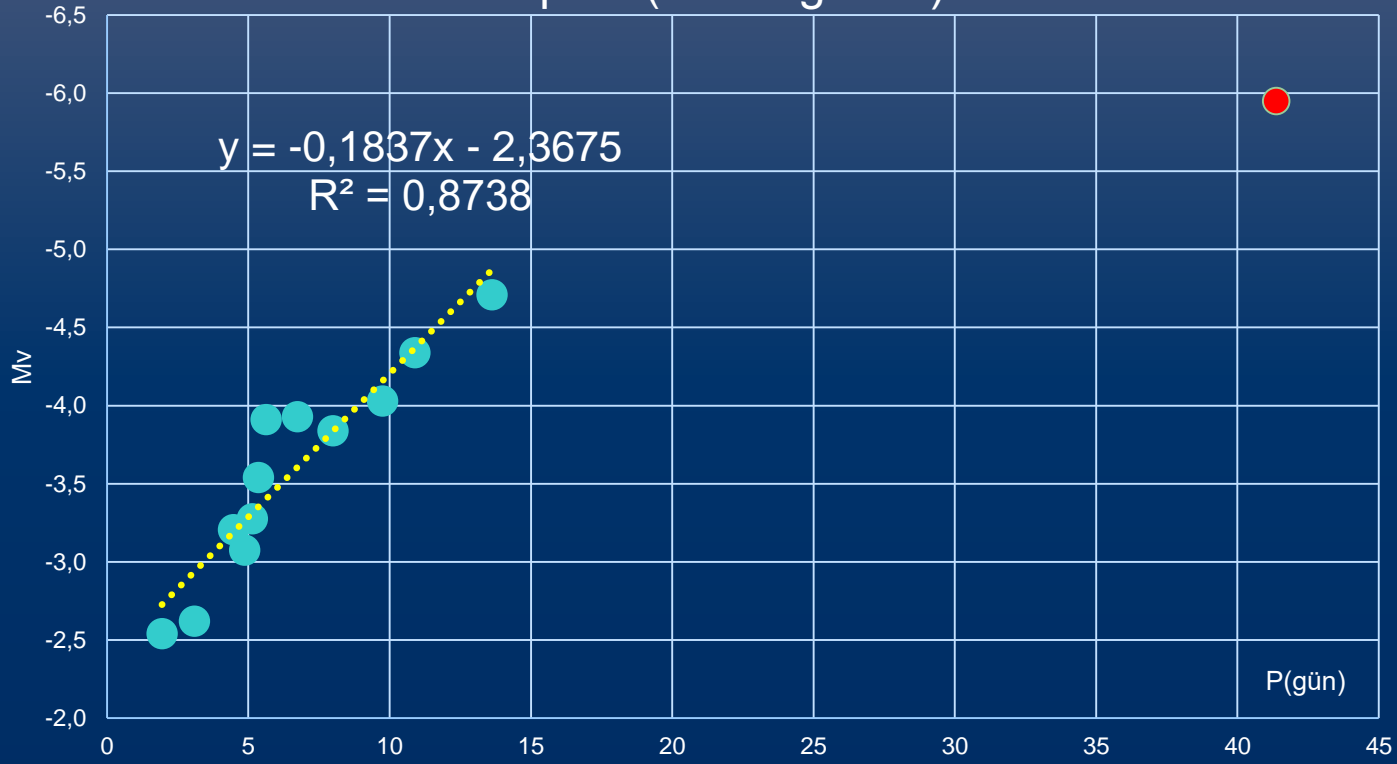


**Tablo 7. Işınmgücü (mutlak parlaklık) kalibrasyonu için kullanılan  $\delta$  Cephei yıldızları**

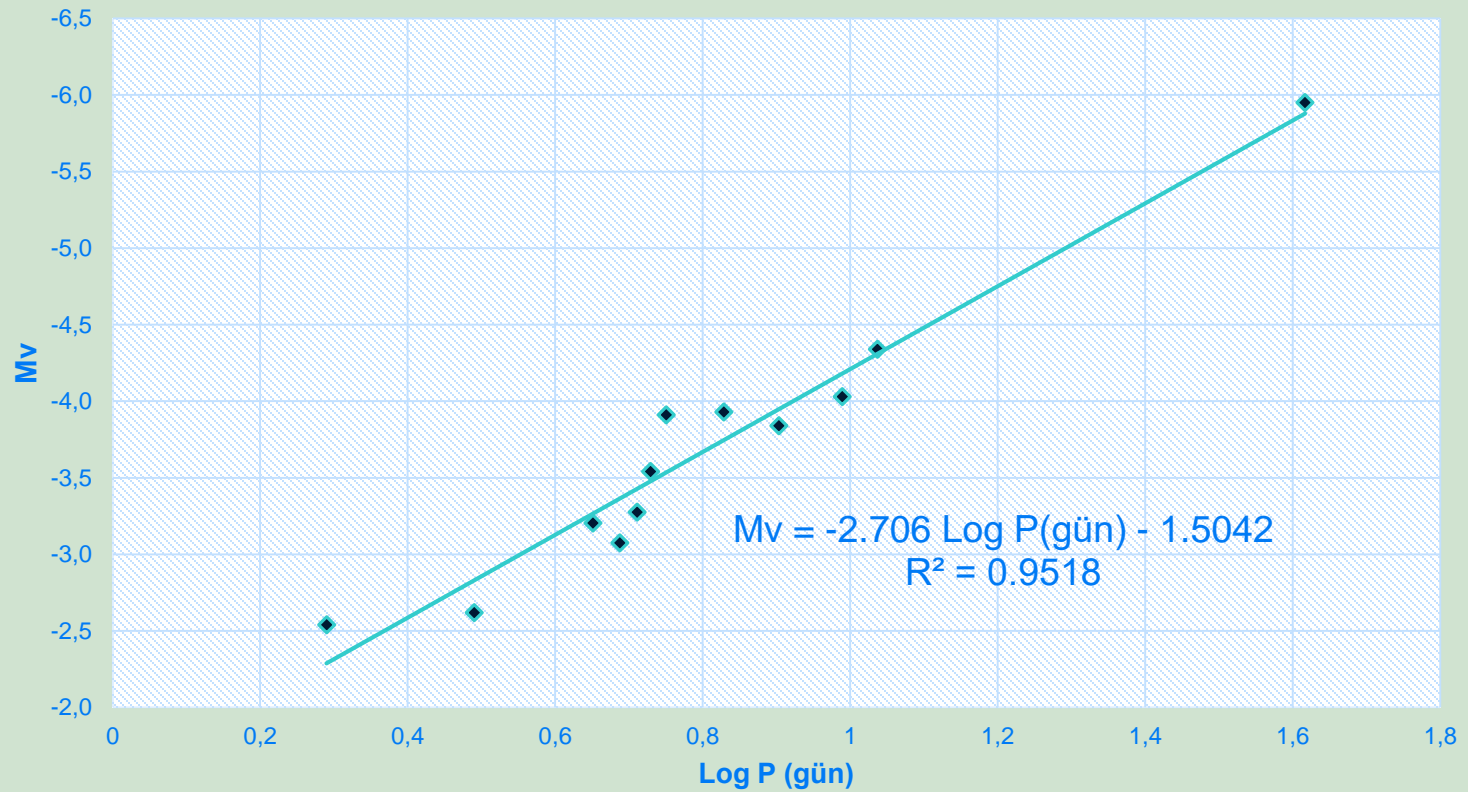
Star	Cluster	$P$	$\bar{M}_V$
SU Cas		1.95	— 2 <sup>M</sup> 54
EV Sct	NGC 6664	3.09	— 2.62
CE Cas b	NGC 7790	4.48	— 3.205
CF Cas	NGC 7790	4.87	— 3.075
CE Cas a	NGC 7790	5.14	— 3.275
UY Per	h, $\chi$ Per	5.36	— 3.54
VY Per	h, $\chi$ Per	5.53	— 3.91
U Sgr	M25	6.74	— 3.93
DL Cas	NGC 129	8.00	— 3.84
S Nor	NGC 6087	9.75	— 4.03
VX Per	h, $\chi$ Per	10.89	— 4.34
SZ Cas	h, $\chi$ Per	13.62	— 4.71
RS Pup	Pup III	41.38	— 5.95

?????

Cephei (P-L bağıntısı)



## Cephei (P-L Bağıntısı)



## ...devam

- GCVS'de **510** adet  $\delta$  Cephei türü değişen listelenmiştir.  $\delta$  Cephei yıldızlarının büyük çoğunluğu *Pop I* üyesi olduğundan, çoğunlukla galaktik düzleme yakın konumlarda bulunurlar. Bu nedenle yüksek ışınımgücüne sahip olsalar dahi bakış doğrultumuzda bulunan toz bulutları nedeniyle gözlenmeleri güçtür.
- Klasik  $\delta$  Cephei yıldızlarının oluşturdukları grup yanında *Pop I* üyesi olan ikinci bir grup değişen *W Virginis*'lerdir. Bunlar ışık değişim genlikleri, ışık eğrileri, tayfsal özellikleri ve dikine hız eğrilerine bakılarak birbirlerinden ayrılabilirlerdir.
- Literatürde bu tür değişenler "*Pop II Cephei*" leri olarak adlandırılmasına rağmen, uzun zamandır bu yıldızların galaktik düzlemde buldukları bilinmektedir. Bu nedenle bu tür yıldızların büyük bir çoğunluğu disk popülasyonuna ait yıldızlardır. GCVS'de bu türden **185** yıldız bulunmaktadır.

## ...devam

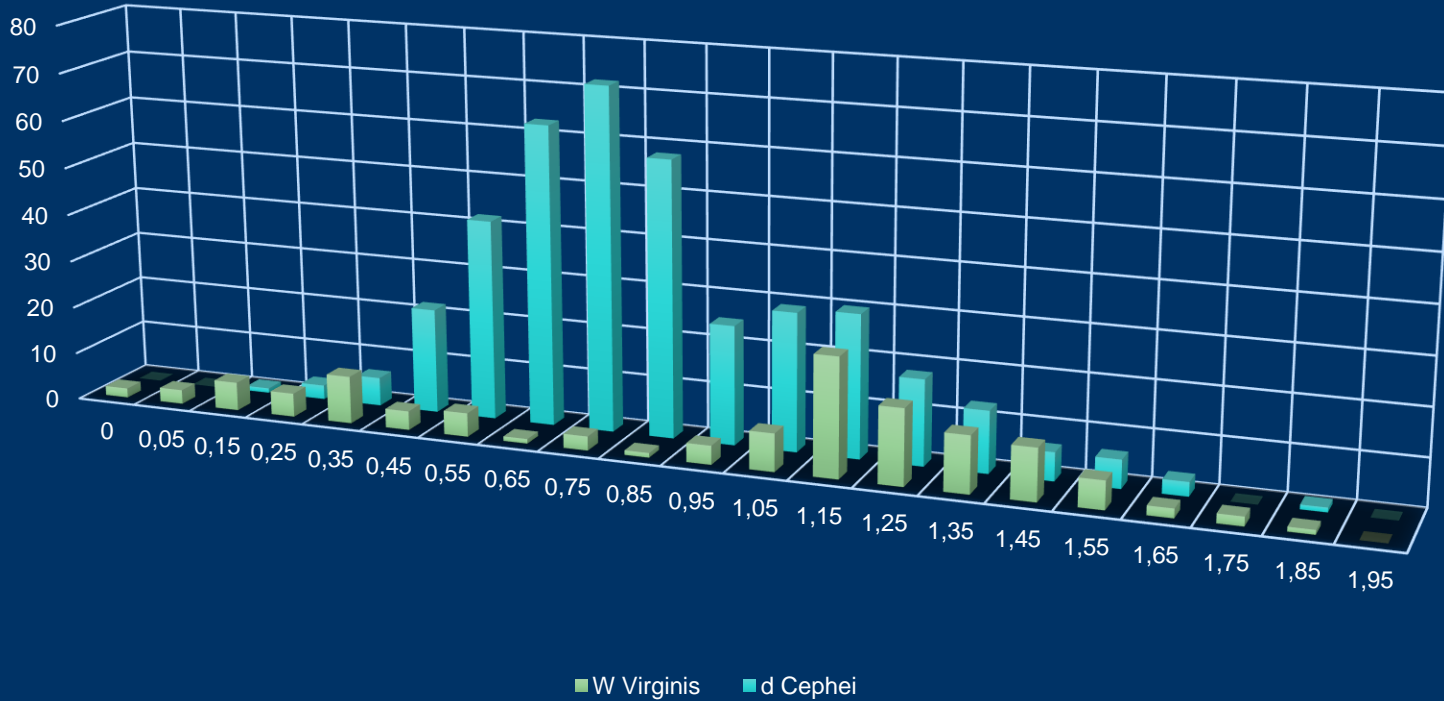
- W Vir türü değişenler için de *Dönem-Parlaklık* bağıntısı mevcuttur fakat değişimin eğimi,  $\delta$  Cephei türü değişenler için hesaplanandan daha küçüktür. Ayrıca bu tür değişenlerin mutlak parlaklıkları ortalama olarak  $1^m$ - $1^{m.5}$  kadar daha sönüktür (bkz. Şekil 6). Küresel yıldız kümelerinin uzaklıklarının belirlenmesinde  $\delta$  Cephei türü değişen yıldızlar gibi uzaklık hesaplanmasında kullanılmaktadırlar.
- Tablo 8'de  $\delta$  Cephei türü değişenler için belirli dönem aralıklarına karşılık gelen frekansları verilmiştir. P dönemi 1-100 gün arasında olan yıldızları içeren bu tablodan uç noktalardaki yıldızların sayısı istatistiki bulgulara fazla etkide bulunmayacaktır.

**Tablo 8. Galaktik  $\delta$  Cephei ve W Virginis yıldızlarının dönem dağılımları**

$\log P$	$\delta$ Cephei type	W Virginis type
0.0	0	2
0.05	0	3
0.15	1	6
0.25	3	5
0.35	6	10
0.45	22	4
0.55	42	5
0.65	63	1
0.75	72	3
0.85	58	1
0.95	25	4
1.05	29	8
1.15	30	25
1.25	18	16
1.35	13	12
1.45	6	11
1.55	6	6
1.65	3	2
1.75	0	2
1.85	1	1
1.95	0	0
Total	398	127

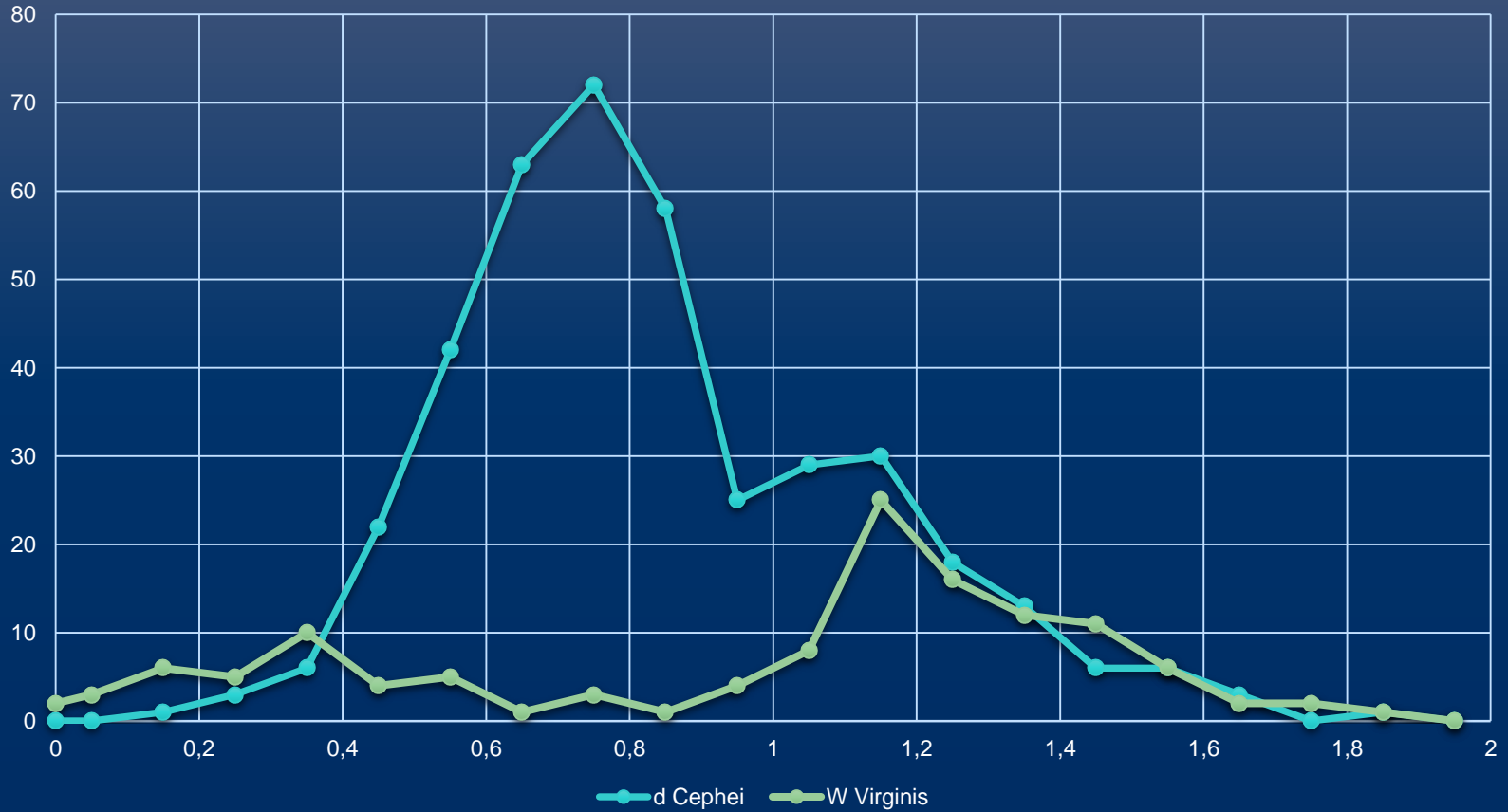
# Dönem Dağılımları

Dönem Dağılımı ( $\delta$  Cephei ve W Virginis)





## Dönem Dağılımı ( $\delta$ Cephei ve W Virginis)



## ...devam

- $\delta$  Cephei değişenleri çoğunlukla dönem olarak  $P=5.6$  gün civarında ( $\log P=0.75$ ) yoğunlaşmıştır. İkinci bir maksimum ise  $P=14^g$  ( $\log P=1.15$ ) civarında bulunmaktadır.
- Bu dönem değeri W Virginis türü değişenlerin yoğunlaştığı ana maksimuma karşılık gelmektedir. W Virginis'lerde ikinci bir maksimum ise  $P=2^g.2$  civarında bulunmaktadır.
- Galaksimizde bilinen en kısa dönemli  $\delta$  Cephei değişeni V473 Lyr'dır ( $P=1^g.49$ , F6Ib-II). Fakat bu yıldızda çeşitli düzensizlikler bulunmaktadır.
- W Virginis yıldızları arasında ise BX Del (F5) yıldızı en kısa döneme sahiptir ve dönemi  $1^g.09$  kadardır.
- Kısa döneme sahip diğer yıldızlar V553 Cen (dönemi  $P=2^g.06$  olan bir karbon yıldızdır), RT TrA ( $P=1^g.95$ ), SW Tau ( $P=1^g.58$ ) ve BL Her ( $P=1^g.31$ ) sayılabilir.

## ...devam

- Diethelm (1981, 1983) dönemleri 1 ile 3 gün arasında olan zonklayan değişen yıldızların fotometrik sınıflandırması ile ilgili çalışmasında kendi galaksimizde bulunan toplam 28 adet zonklayan yıldızı kullanarak aşağıda verildiği gibi bir fotometrik sınıflamada bulunmuştur;
  - *RR Lyrae Değişenleri*: V bandında düzgün ışık eğrisi, parlaklığının artmasından hemen önce küçük bir kamburumsu yapısının bulunması ( $\leq 0.26 P$ ). B bandındaki genliğin U bandındaki genlikten daha büyük olması,
  - *W Virginis Değişenleri*: Maksimumdan önce  $0.2P$  civarında kamburumsu yapının bulunması,
  - *BL Herculis Değişenleri*: Işık eğrisinde maksimumdan hemen sonra iniş kolunda yaklaşık  $0.25 P$  ( $\pm 0.1P$ )'e rastlayan kamburumsu yapının olması,
  - *$\delta$  Cephei Değişenleri*: Düzgün ışık eğrisine sahip kademeli parlaklık artışı (süresi  $\approx 0.3 P$ ),  $P > 2^9.3$  olması.
- Bu incelemede ışık eğrileri yaklaşık olarak sinüsel değişim gösteren değişenler ile çift döneme sahip değişenler dikkate alınmamıştır.

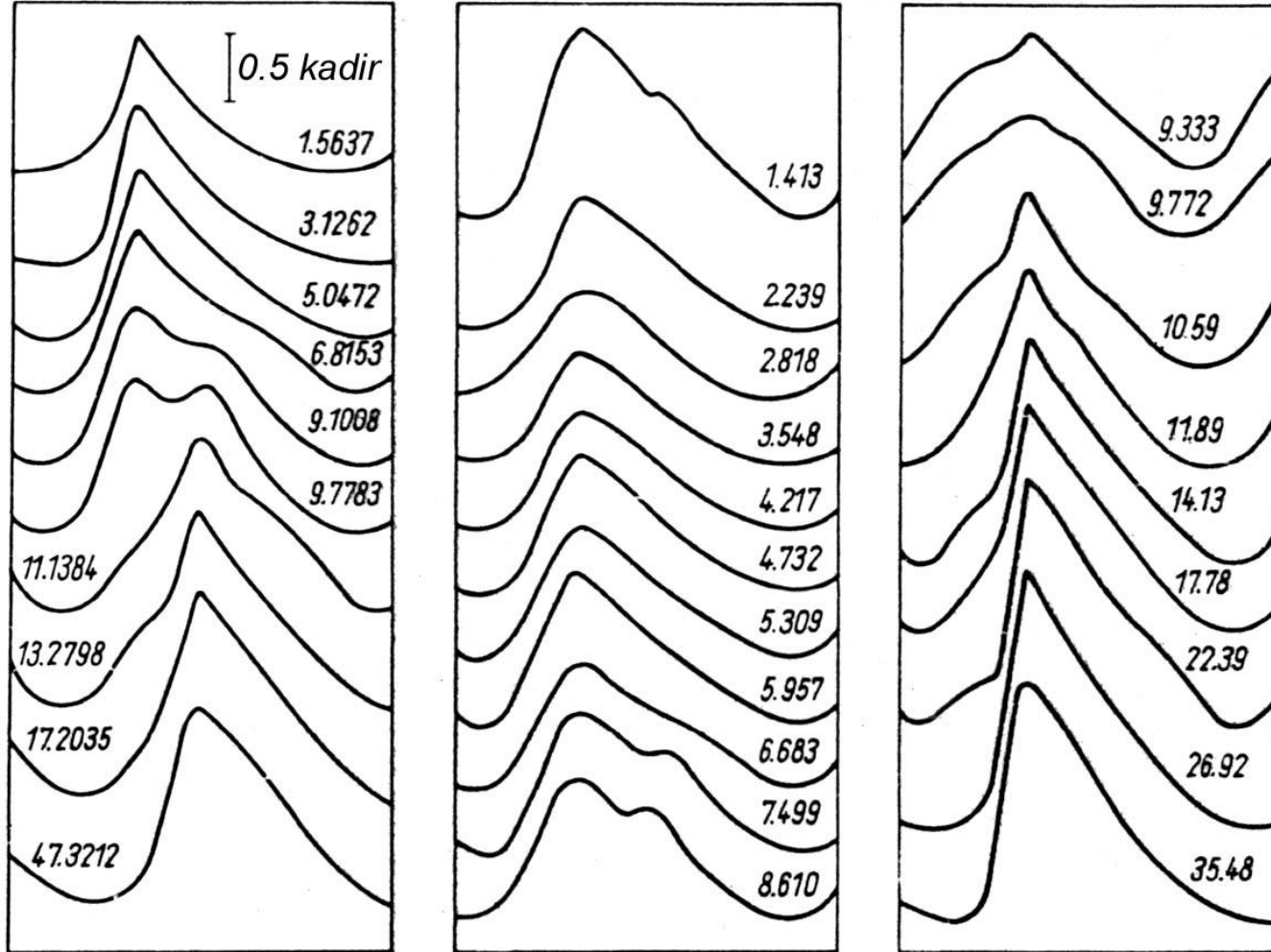
## ...devam

- Bu tür değişenler için parlaklık değişim genlikleri, döneme bağlı olarak değişmektedir.
- 2<sup>g</sup> ile 3<sup>g</sup> arasındaki dönemlerde ışık değişim genliği 0.5 kadir (B bandında) iken, P=40<sup>g</sup> ile 50<sup>g</sup> arası için 1.0 kadir (B bandında) civarındadır.
- Görsel ve fotoğrafik parlaklık olarak bakıldığında ise 1<sup>m</sup>.2 ile 1<sup>m</sup>.7 kadir değişime sahiplerdir.
- Moröte bölgede genlikler daha da artmaktadır,  $\delta$  Cephei örneği için görsel parlaklık değişiminin 3.4 katı kadardır.

## ...devam

- Hertzsprung (1926),  $\delta$  Cephei türü değişen yıldızlar için yaptığı sistematik ışık eğrisi analizinde (Şekil 7):
  - Kısa dönemli olanlarının ışık eğrilerinin daha düzgün yapıya sahip olduğunu,
  - $P=6^g.5$  ile  $9^g$  arasında dönemlere sahip olanlarında ise iniş eğrisi üzerinde dalgamsı (hörgüç) bir yapının bulunduğunu
  - Kısa dönemlere gidildiğinde azalan evrelere doğru hörgüç yapının kaydığını göstermiştir.
  - $P=10^g$  dönemli olanlarında hörgüç yapının ışık eğrisinin maksimumu ile çakıştığını. Daha büyük dönemlere doğru gidildiğinde ise hörgüç yapının çıkış kolu üzerinde ortaya çıktığını
  - Hörgüç yapının  $14^g$  ile  $15^g$  dönemler arasındaki ışık eğrilerinde çıkış kolunda ve en düşük parlaklığa ulaştığı konumlarda görüldüğünü,  $P>15^g$  için eğrinin tekrar düzgün hale geldiğini belirlemiştir.

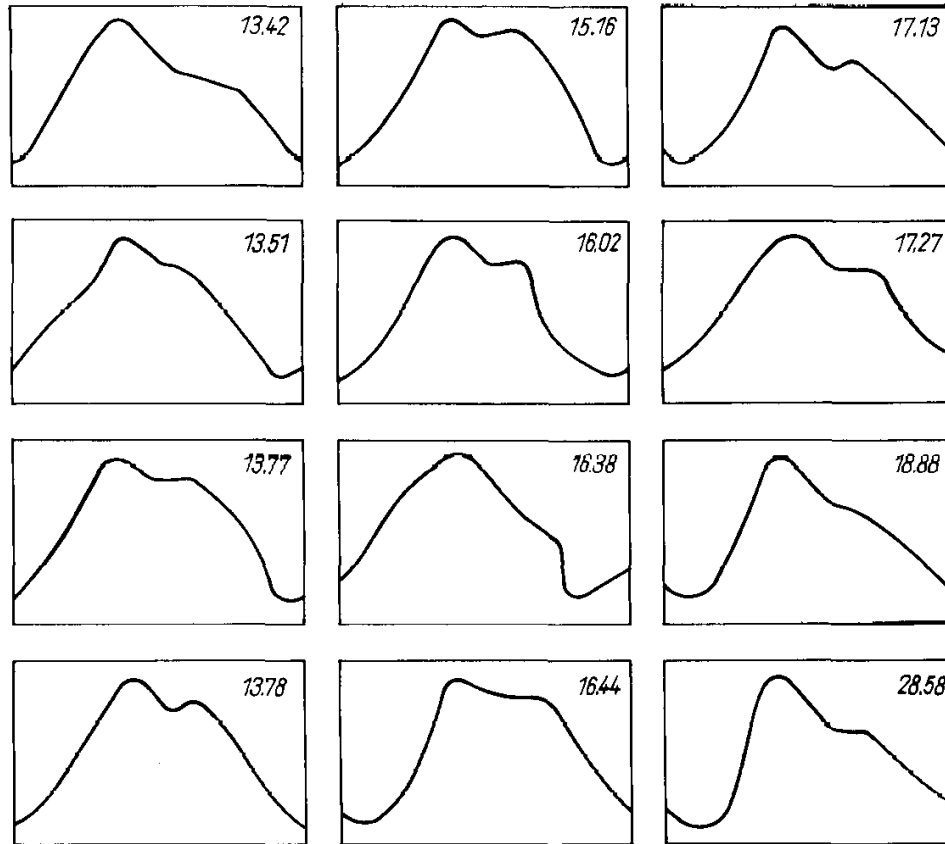
Şekil 7. **Hertzprung dizisi**. Soldaki sütun Macellan bulutlarındaki, ortadaki ve sağdaki iki sütun ise gökadamızda gözlenen Cepheid'leri göstermektedir.



## ...devam

- Benzer bir çalışma Kwee (1968) tarafından, W Virginis türü değişenlerin ışık eğrileri üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada özellikle 1 ile 3 gün arasında, ve 13 ile 19 gün arasında ışık değişimi gösteren değişenlerin iniş kolunda ikincil dalga yapılarının ve hörgüç yapılarının bulunduğu belirtilmiştir (Şekil 8).
- Genel olarak bakıldığında W Virginis türü değişenlerde ani dönem değişimlerinin,  $\delta$  Cephei türü değişenlere göre daha sık rastlanan bir durum olduğu bilinmektedir.

Şekil 8. 12 adet Galaktik W Virginis türü değişen yıldızın dönemlerine göre ışık eğrilerindeki değişimler.

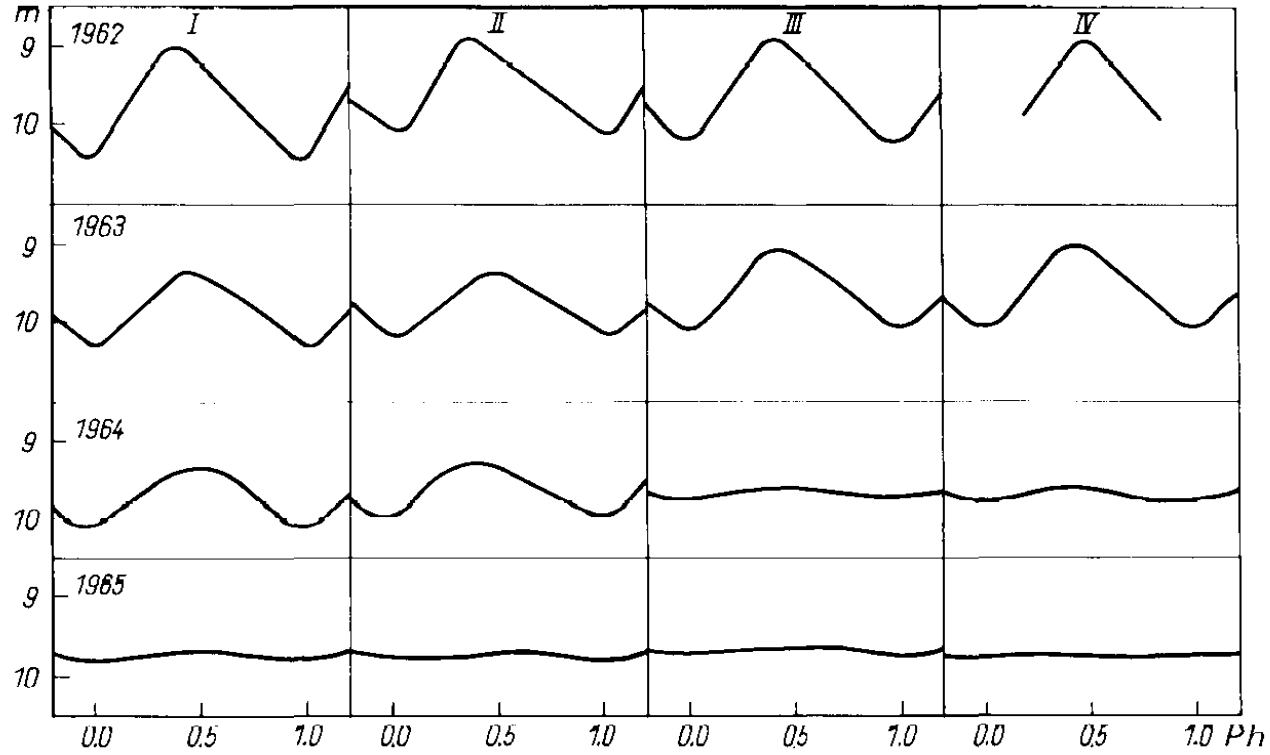




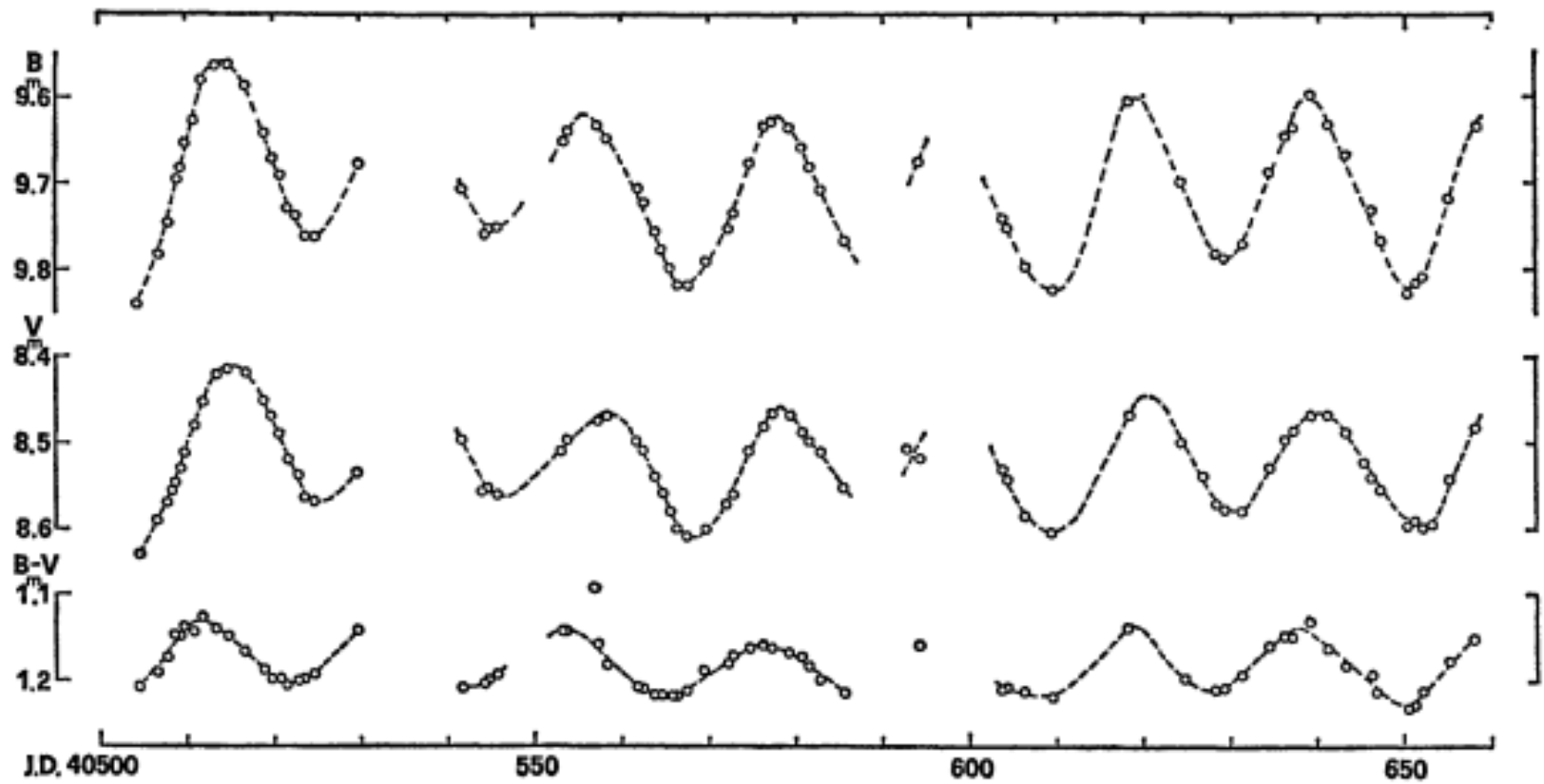
# ...devam

- Tamamen normal dışı olan bir durum W Virginis türü bir değişen olan *RU Cam* (Ce) yıldızında rastlanmıştır. Bu yıldızın dönemi  $P=22^g.26$  dir. 1966 yılının başlarında Fernie ve Demers (1966), *RU Cam* yıldızının döneminde önemli ölçüde değişim olduğunu duyurmuştur.
- Daha eski fotoğrafik gözlemleri inceleyen Hutch (1966), Şekil 9'da gösterilen sürpriz bir bulgu ile karşılaşmıştır. Bu yıldızın tayfında da değişimler bulunmaktadır ve maksimumda iken *K0*, minimumda iken ise *R2* tayf türüne sahiptir.
- İncelemeleri sonucunda yıldızın bir karbon yıldızı olduğu ve tayf türünün *C01* ile *C32e* arasında değiştiği anlaşılmıştır. Yıldızın yüzeyinde karbon elementinin bulunması, bu türden yaşlı yıldızlar için merkezi bölgelerinde He'u karbona dönüştürmüş olmalarını ve dış katmanlarını kütle kaybı nedeniyle atmış olması gerektiğini göstermektedir.
- Fakat 1967 yılından sonra parlaklık değişiminin tekrar arttığı belirtildiğinden bu değişim bir muamma olarak kalmıştır. Wallerstein ve Crampton (1967)'in gözlemlerine göre dikine hız eğrisindeki değişimde bu dönemde durmuştur.

Şekil 9. RU Cam yıldızı için 3'er aylık ortalama fotoğrafik parlaklık değerlerinden elde edilen ışık değişimi gösterilmiştir.



# RU Cam



## RU Cam

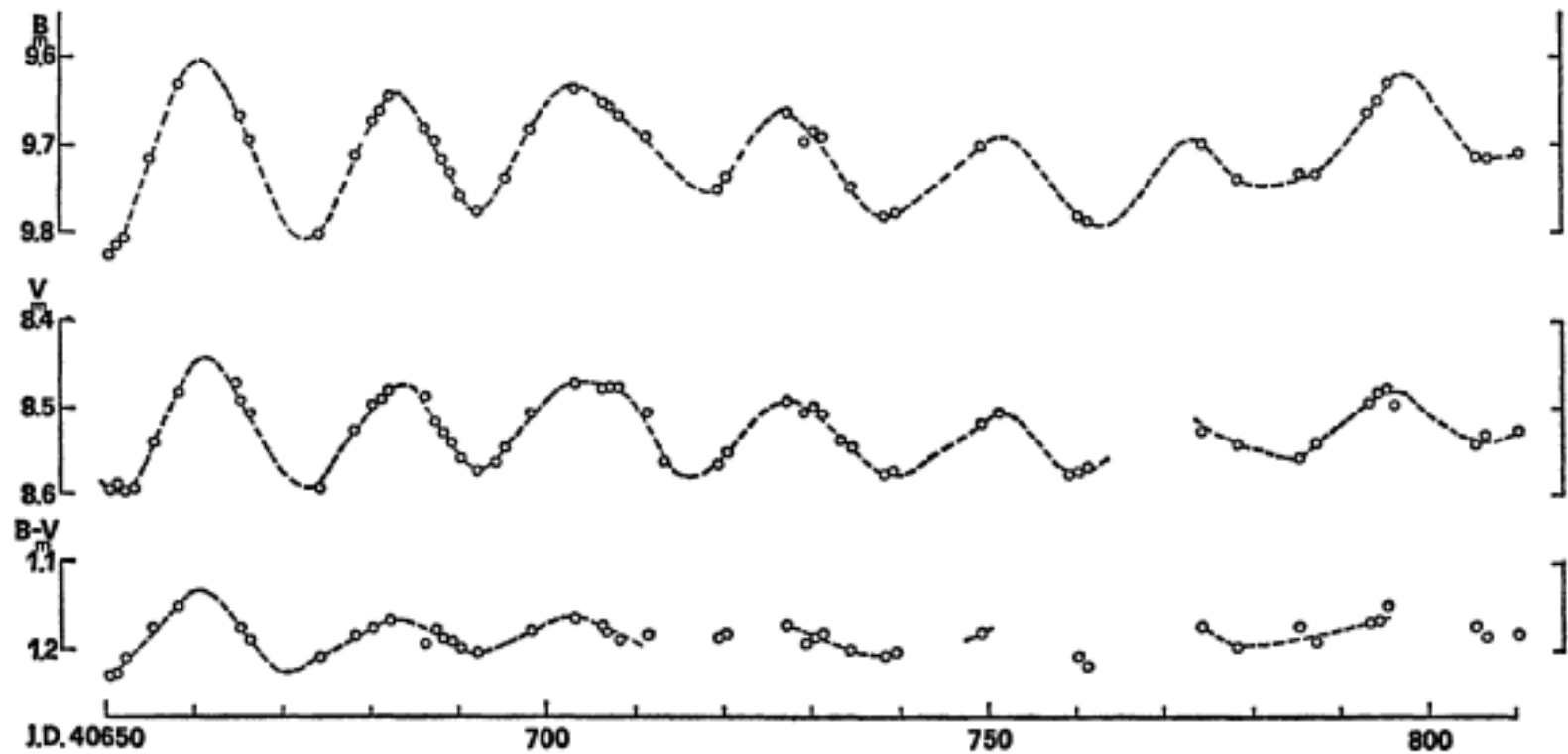


Fig. 1. Light and colour curves of RU Cam from 1969 October to 1970 August

## RU Cam (Dönem değişimi)

Vol. 18, No. 2, 1972 The Light Curve of RU Cam from 1969.8 to 1970.6 and the Variation of its Period

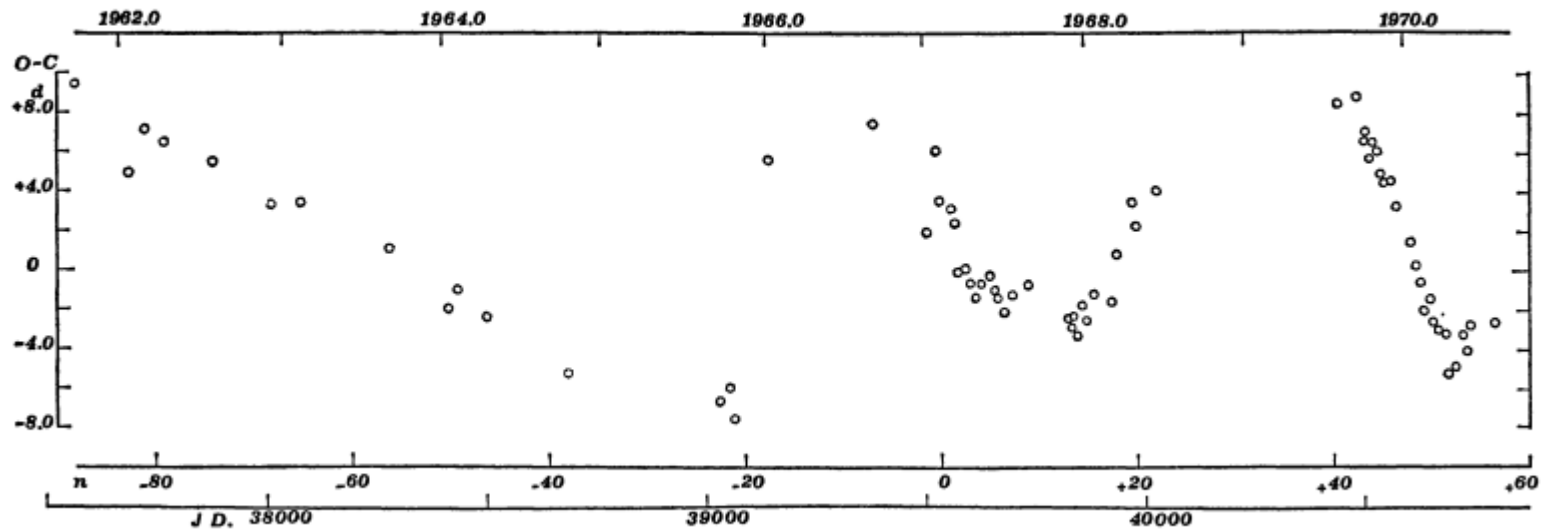
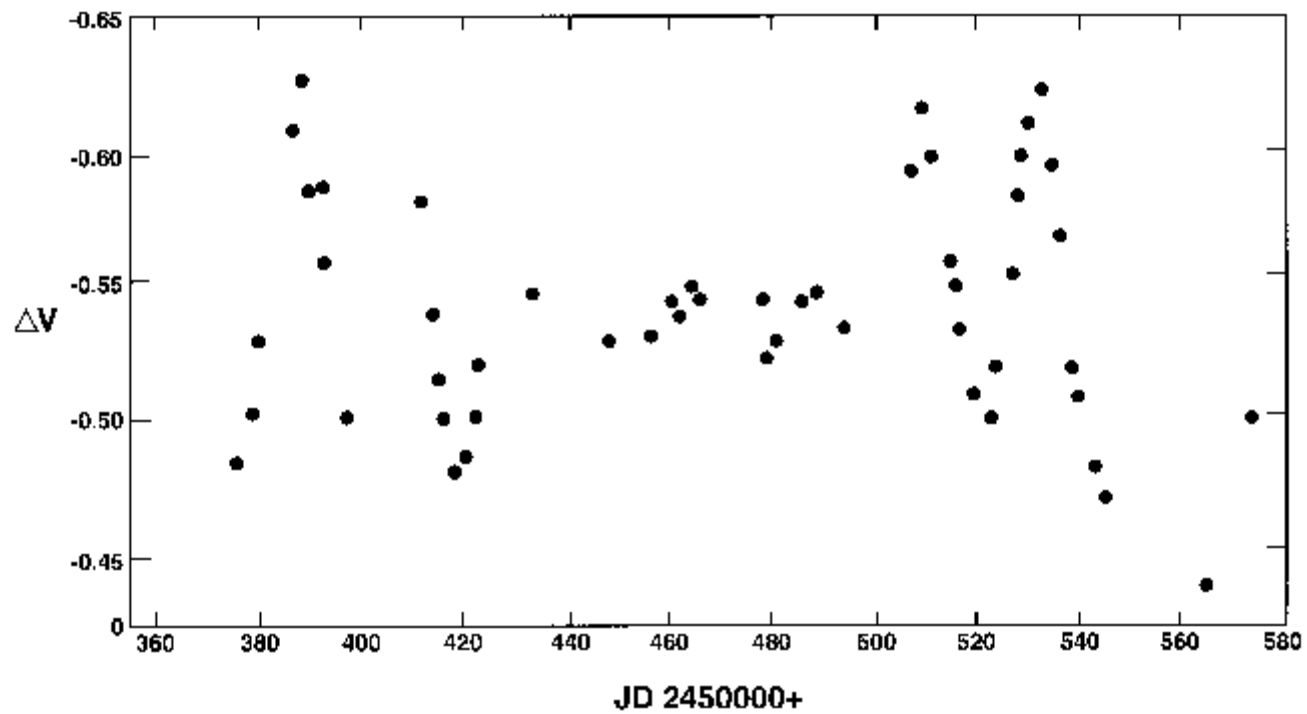


Fig. 2. Trend of the residuals of the epochs of minimum and maximum light with respect to the linear ephemeris (1)



**Figure 1.** The AAVSO photoelectric V light curve of the peculiar Population II Cepheid RU Cam in 1997-98, relative to HD 56323 ( $V=9.05$ )