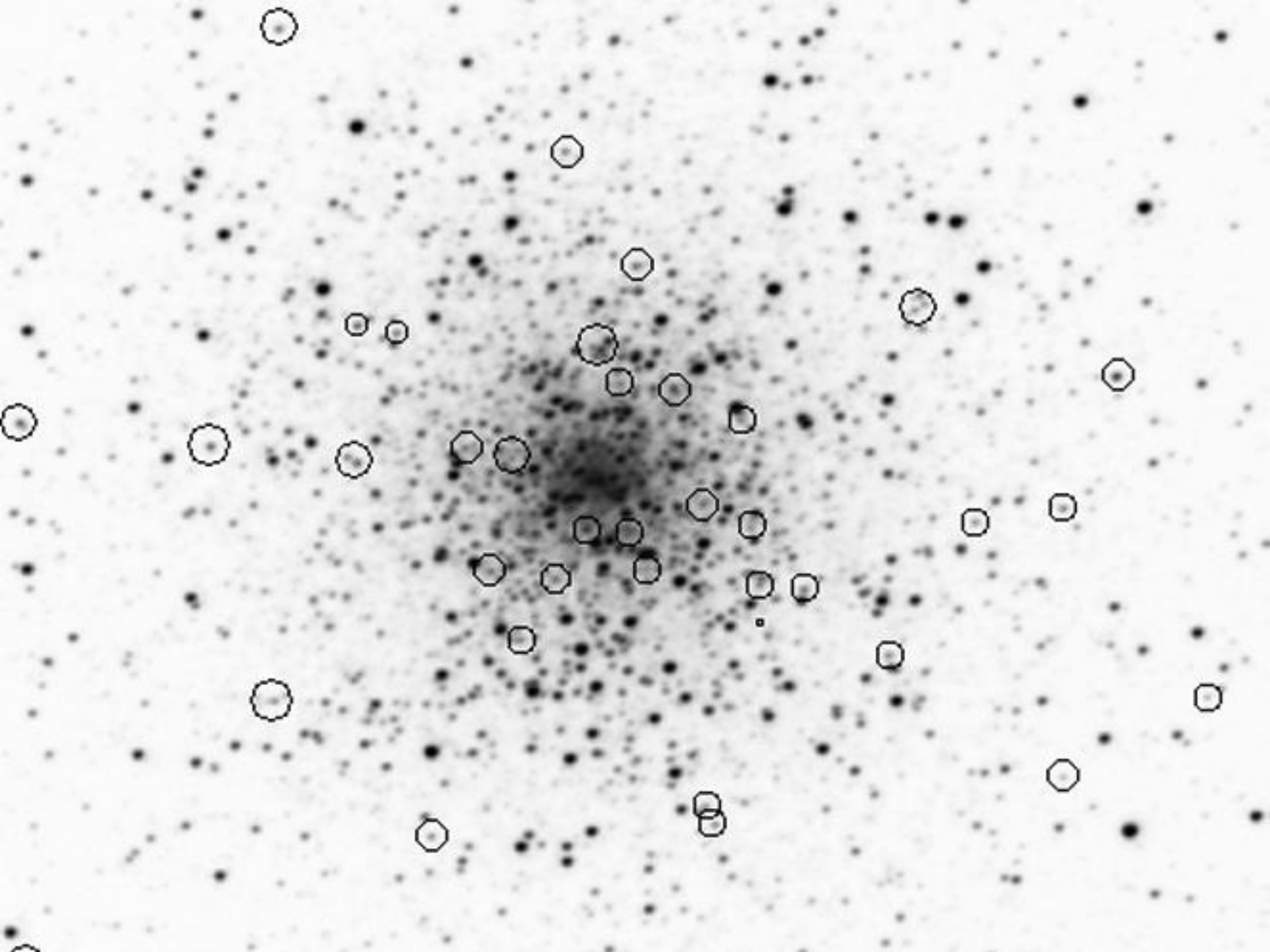
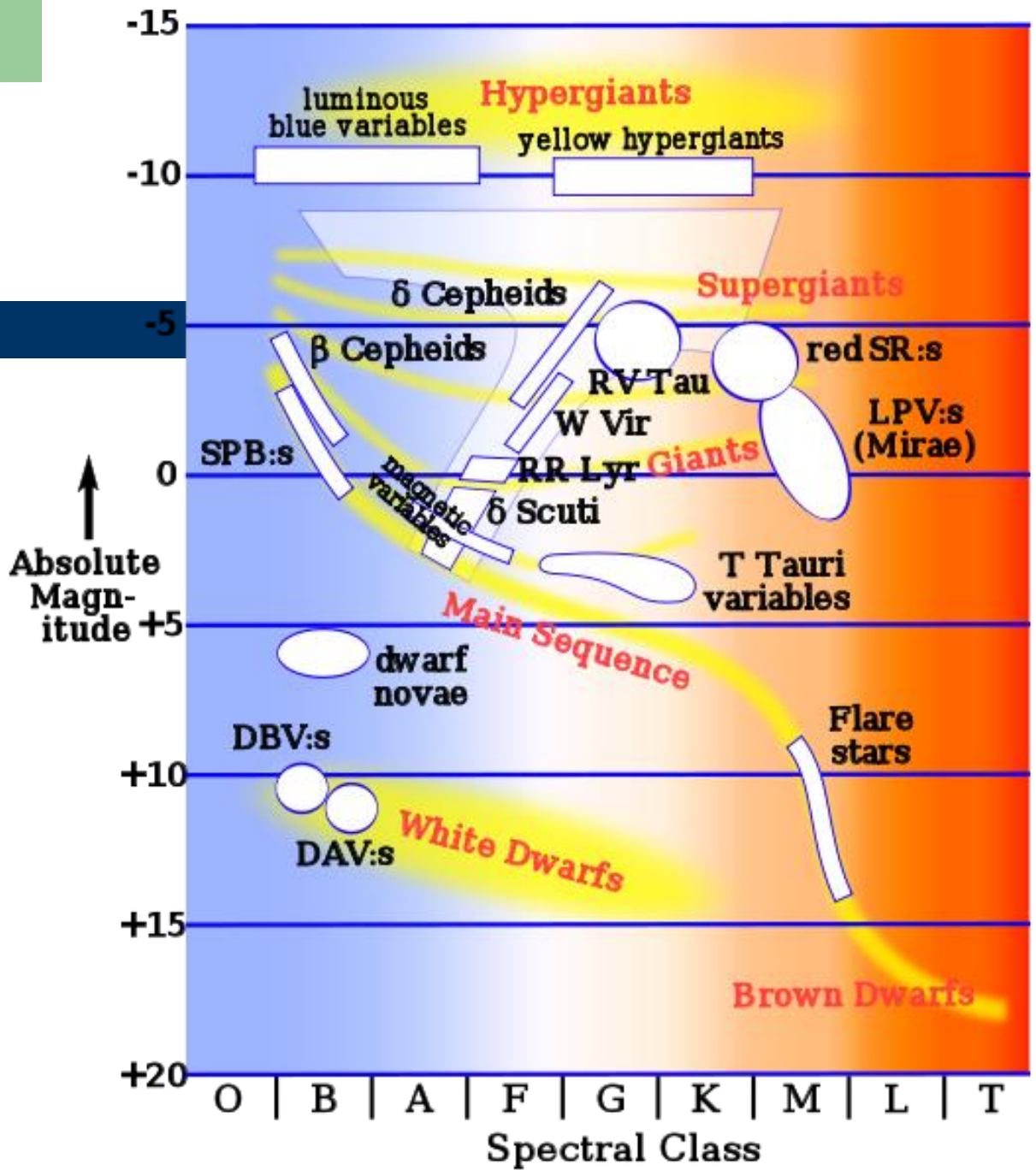




RR Lyrae Türü Değişenler





↑
Absolute
Magn-
itude

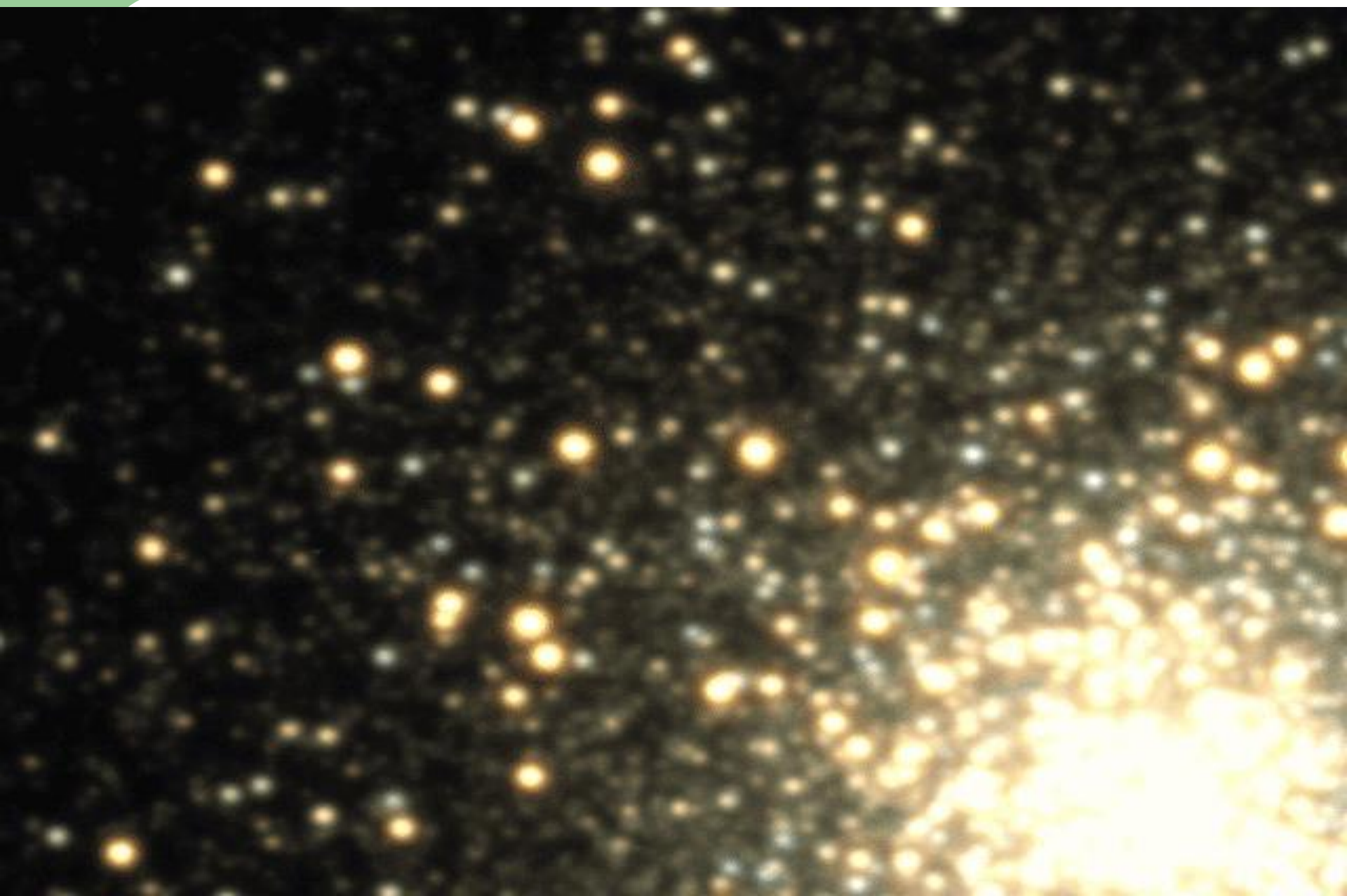
O | B | A | F | G | K | M | L | T
Spectral Class

Tip	Dönem Aralık	Pop. Türü	Radyal/ Nonradyal
Uzun-Dönemli Değişenler	100-700 gün	I, II	R
Klasik Sefidler	1-50 gün	I	R
W Virginis yıldızları	2-45 gün	II	R
RR Lyrae yıldızları	1.5-24 saat	II	R
δ Scuti yıldızları	1-3 saat	I	NR
β Cephei yıldızları	3-7 saat	I	NR
ZZ Ceti yıldızları	100-1000 saniye	I	NR

RR Lyrae Değişenleri

- RR Lyrae türü değişen yıldızlar δ Cephei türü değişenlerden dönemleri, Galaktik dağılımları, Pop II üyesi olup olmadıkları, HR diyagramındaki konumlarına ve evrimsel durumlarına bakılarak ayrılabilirler.
- Yakın zamana kadar “*küme değişenleri*” olarak adlandırılmışlardır. Bunun temel nedeni çoğunlukla küresel kümelerde bulunmalarıdır. Yaşlı yıldızlardır.
- Gökadamızda bulunan birkaç küresel küme için küme başına 100 den fazla sayıda örneği olduğu bilinmektedir. Fakat geriye kalan küresel kümelerdeki sayıları çok azdır, hatta bazılarında hiç yoktur.
- Bu tür değişenler için gökada halosunda bulunan alan yıldızlarından ve diskte yer alan yaşlı disk popülasyonundan örnekleri bulunur.

M3 (NGC5272, V=6.4) Küresel Yıldız Kümesinde Bulunan Değişen Yıldızlar



...devam

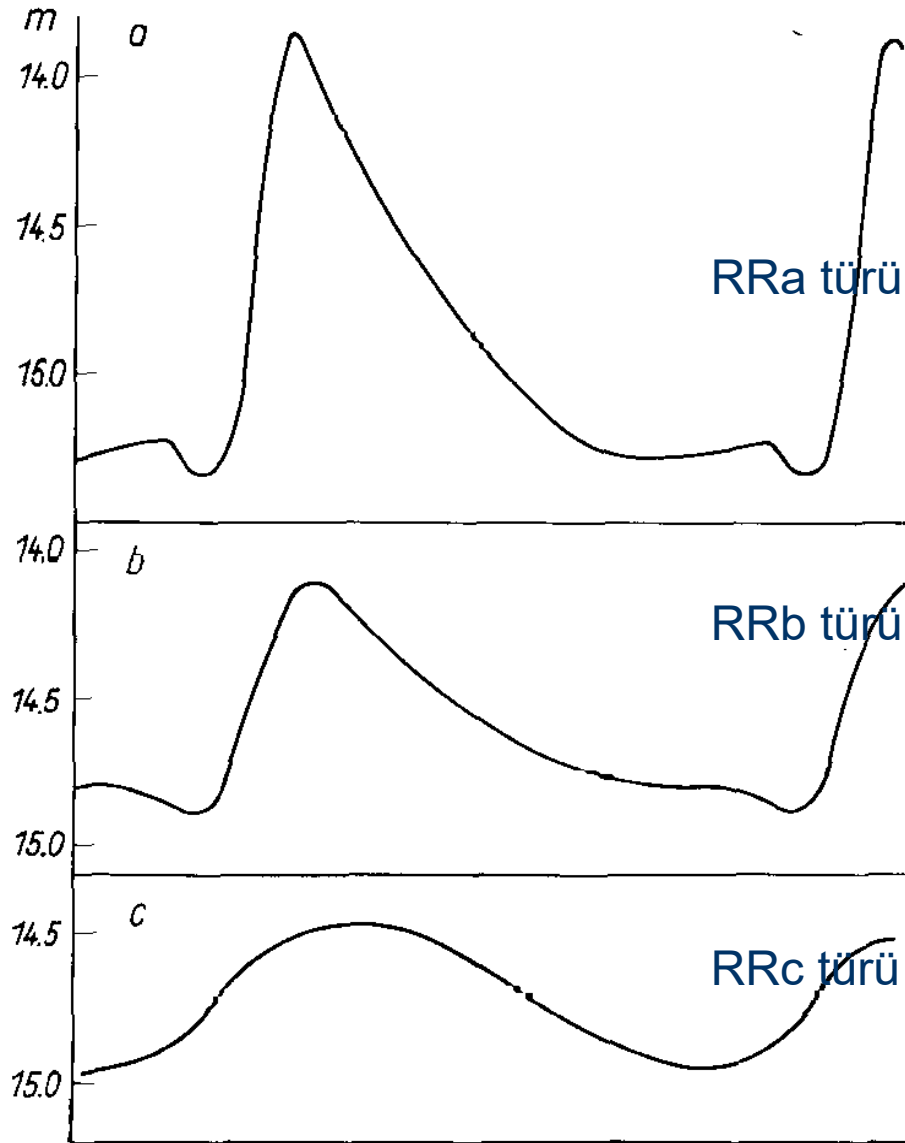
- RR Lyrae değişenleri, dönemleri 0.2-1.0 gün aralığında olan ve çapsal zonklama gösteren değişenlerdir. Tayf türü olarak A5 ile F5 arasında olan yıldızlardır.
- Metal bollukları, Güneş benzeri değerlerden başlayarak 100 kat daha düşük değerlere kadar geniş bir aralıkta değişir (Z değerleri 0.00001 ile 0.01 arasında bulunmaktadır).
- RR Lyrae'ler, kendilerine çok benzeyen ancak evrimsel olarak farklılık gösteren Tip-II Cepheidleri'nde olduğu gibi tayflarında ve yüzeylerine kadar ilerleyen şok dalgalarının varlığına dair izler bulunmaktadır.

- RR Lyrae değişenleri ışık eğrilerine göre birkaç alt türe ayrılırlar:
 - “RRa” türleri uzun dönemlidirler, daha büyük genlikli ve daha asimetrik ışık eğrisine sahiptirler.
 - “RRb” türü daha uzun dönemli, daha küçük genlikli ve daha az asimetrik ışık eğrisine sahiptirler. Bu iki tür sınıf arasındaki geçiş çok belirgin olmadığından, zaman zaman sınıflandırmada “a” ve “b” sembolleri birlikte “RRab” olarak kullanılır.
 - “RRc” türleri çok kısa dönemli, küçük genlikli ve neredeyse sinüsel ışık eğrisine sahiptirler. Bu türün diğerlerinden olan farkı bunların ilk radyal overton’da zonklamaları, diğerlerinin ise temel radyal modda zonklamalarıdır.
- Bir küresel kümede bulunan RRab’ler için ortaya çıkan önemli bir özellik, uzun zonklama dönemlerine doğru gidildikçe ışık değişim genliklerinin de azalıyor olmasıdır.

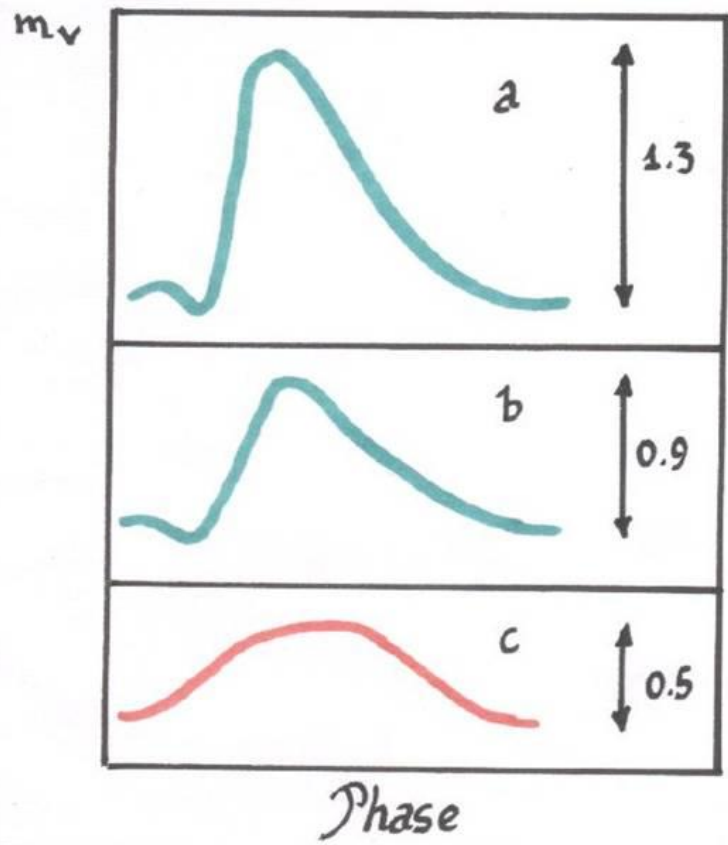
...devam

- Işık eğrilerinin biçimleri yanında alt türlerin ortalama dönemleri de birbirinden farklıdır;
 - RRa türleri için $0^g.48$,
 - RRb türleri için $0^g.58$,
 - RRc türleri için $0^g.32$.
- Işık eğrilerinin gruptan gruba değişimi süreklilik gösterdiğinden a ile b arasında sınıflandırmada genellikle problemler yaşanır. Buna ilaveten a türünden ışık eğrisine sahip yıldızların sayısı diğer alt gruplardaki yıldızların sayısından neredeyse 4 kat daha fazladır.
- Bilinen RRc türü değişen yıldızlardan %10'undan azı galaksimize ait yıldızlardır. Buna zıt olarak metalce fakir olan küresel kümelerde dönemleri 0.3 ile 0.4 gün arasında bulunan değişen yıldızların sayısı oldukça yüksektir.

...devam



Şekil 11. RR Lyrae türü değişenler. Farklı türlerine ait ışık eğrileri.



RR_{ab}

F

RR_c

$1H$

&

RR_d

$F+1H$

- Şekil: RR Lyrae türü değişenlerin **Bailey sınıflaması**.

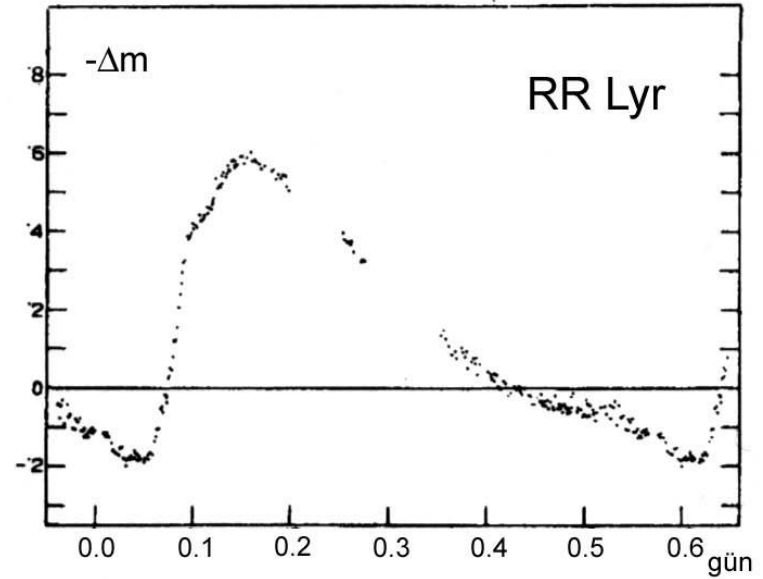
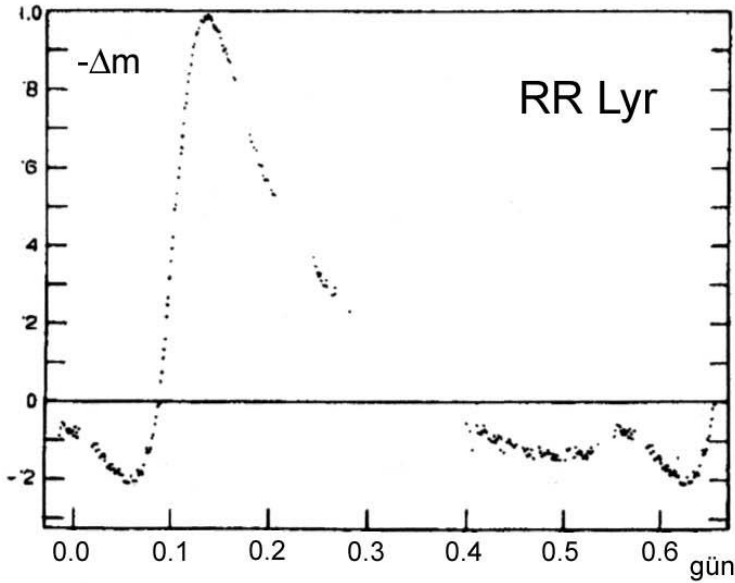
...devam

- Bazı RR Lyrae değişenlerin ışık eğrilerinde çevrimden çevrime biçim ve genlik olarak değişimler görülür. Buna etkiyen olayın iki farklı dönemin aynı anda uyartılması olduğu düşünölmektedir. RR Lyrae değişenlerdeki bu çift-dönemden biri **temel frekans** diğeri ise bunun **ilk harmoniği** olarak adlandırılır.
- “Çift-modlu” RR Lyrae’ler “RRd” olarak kodlanmıştır, ancak GCVS deki karşılığı olarak “RRb” kodu verilmiştir. Temel dönemin ilk harmoniğe oranı bu tür değişenlerin tamamı için **0.746** değerine sahiptir.
- RR Lyrae değişenleri arasında 3’lü döneme sahip olduğu bilinen tek örnek AC And (F8)’dir. Temel mod dışında birinci ve ikinci harmonikte de salınım yapmaktadır. Sadece ikinci harmonikte salınan RR Lyrae örneği ise hiç yoktur.

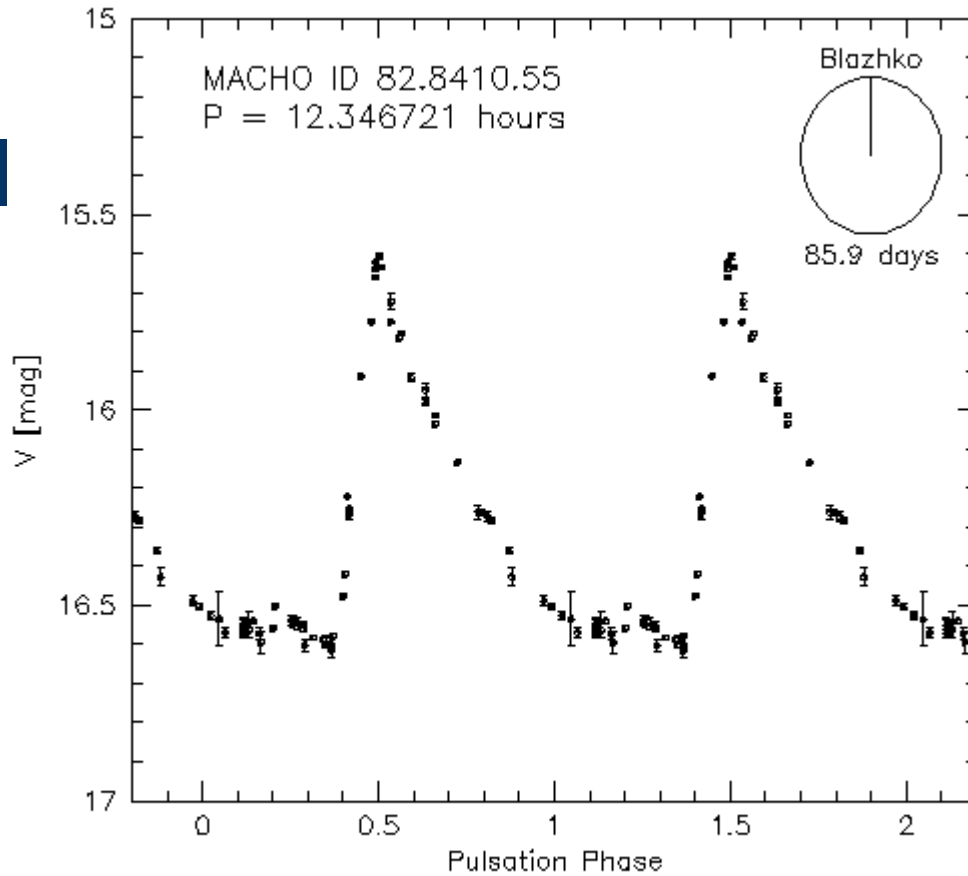
...devam

- RR Lyrae'lerin çoğu ışık eğrilerinde uzun dönemli ilave modülasyonlar (değişimler) görülür.
- Grubun prototipi RR Lyr bu duruma güzel bir örnektir. Bu olay "*Blazhko etkisi*" olarak bilinir. Nedeni tam olarak bilinmemekle birlikte, zonklama, dönme ve manyetik alanın bileşik etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Çevrimsel yapılı bu değişimlerin dönemleri 20-200 gün arasındadır. RR Lyr'nin kendisinde, görsel bölgede 0.3 kadir üzerinde uzun dönemli bir değişim olarak izlenmektedir.
- Bazı RR Lyrae'ler de Blazhko çevrimine ait dönemin de 3.8-4.8 yıl arasında dönemli olarak değişim gösterdiği bilinmektedir.

Grubun prototipi RR Lyr'nin iki ayrı Blazhko evresindeki ışık eğrisi



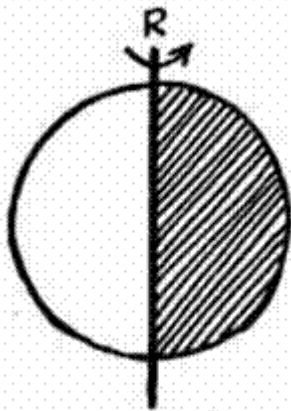
RR Lyrae ($\alpha=19^h 45'$, $\delta=42^\circ 47'$),
V=7.195 (7.06-8.12), Tayf Türü: A8-F7,
 $M_v=0^m.6$, $d=260\pm 10$ pc, $M=0.65 M_\odot$, $R=5.1-5.6 R_\odot$, $L=49 \pm 5 L_\odot$, $\text{Log } g=2.4\pm 0.2$



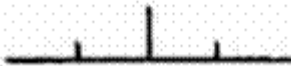
- Blazhko olayı ve ışık eğrisindeki değişim.

Blazhko etkisinin nedeni (model)

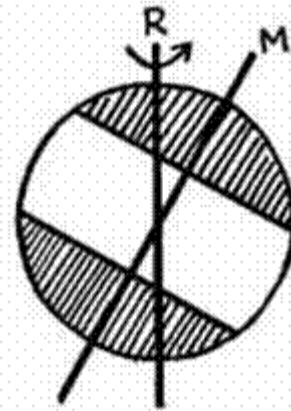
Resonance Model



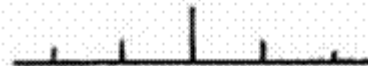
$l = 1$



Magnetic Model



$l = 2$

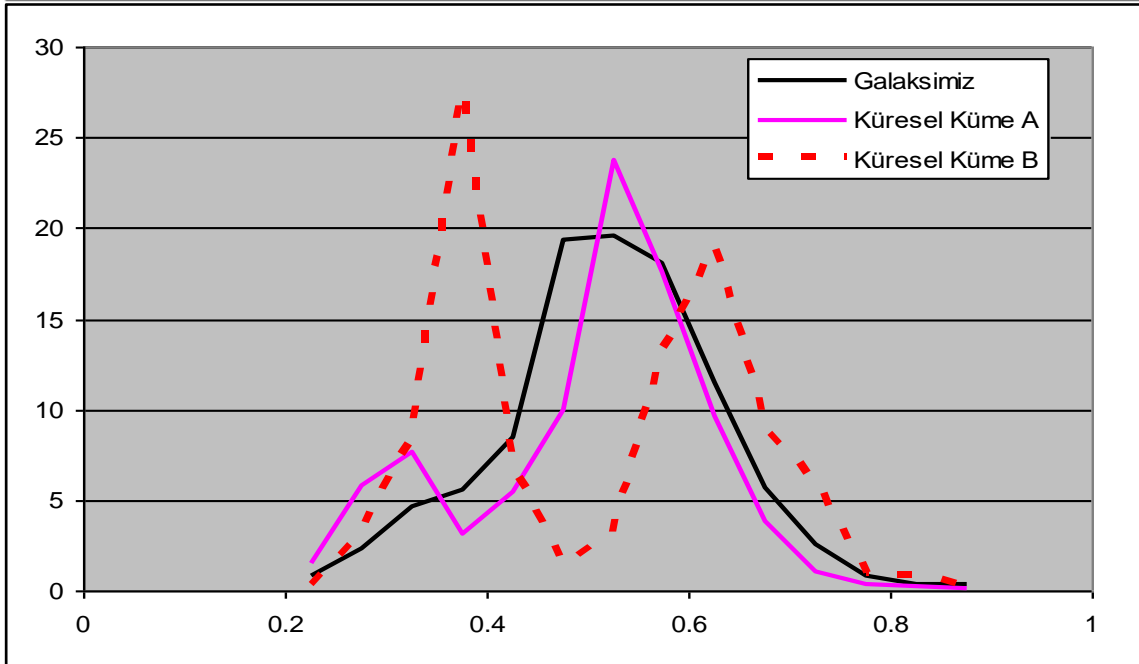


...devam

- RR Lyrae'ler için elde edilen dönem dağılımları Çizelge 12'de verilmiştir. Burada A (yüksek metal bolluğu) ve B (düşük metal bolluğu) sembolleri küresel kümeleri göstermek amacıyla kullanılmıştır.
- Çizelge incelendiğinde galaksimiz ve farklı metal bolluğuna sahip küresel kümelerde bulunan bu türden değişenlerin dönem dağılımlarında belirgin farklılıkların olduğu görülebilir.
- Bu durum RR Lyrae türü değişenlerin homojen bir grup olmadıklarını ve evrimsel olarak çok farklı süreçler sonucunda ortaya çıktıklarını bize göstermektedir.

Çizelge 12. RR Lyrae yıldızlarının dönem dağılımları.

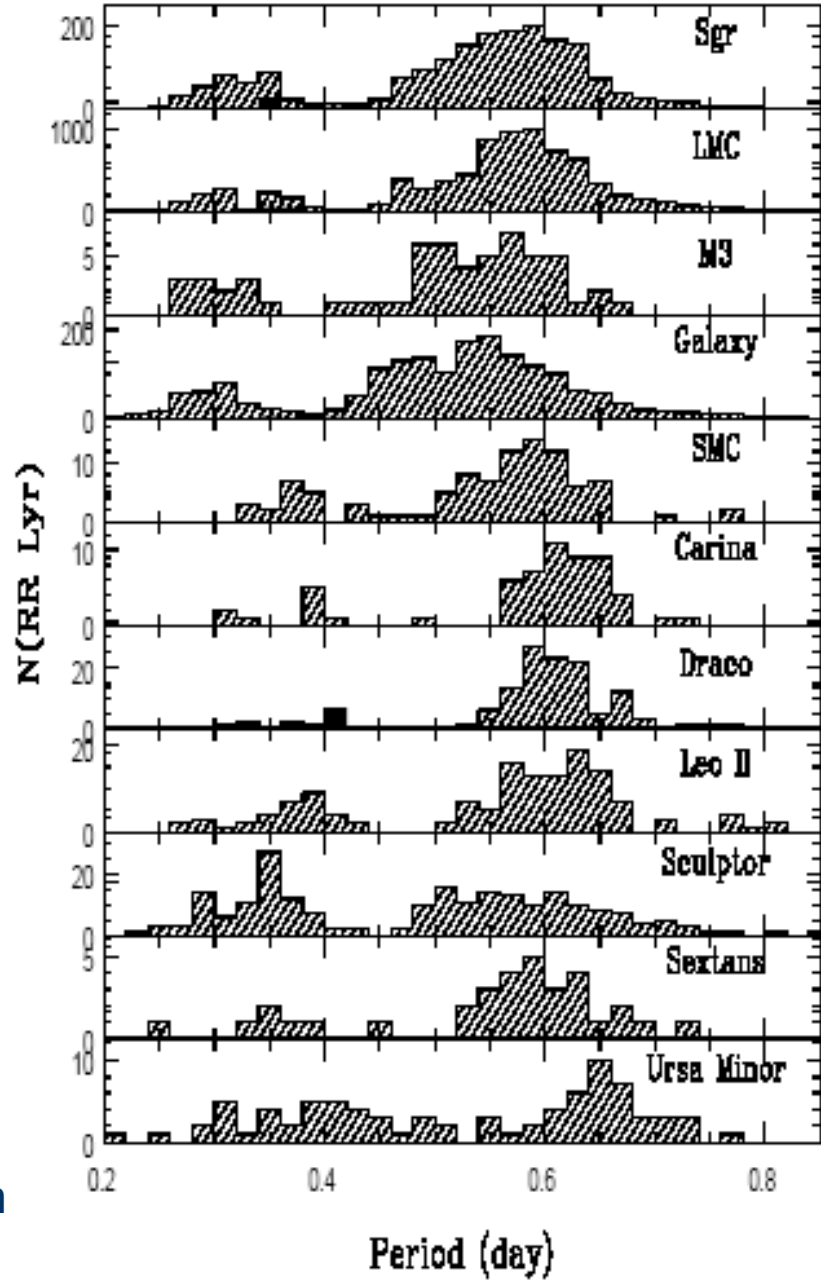
Dönem (gün)	Yüzde		
	Galaksimiz	Küresel Küme A	Küresel Küme B
0.225	0.8	1.5	0.4
0.275	2.3	5.8	3.2
0.325	4.6	7.7	8.5
0.375	5.6	3.1	27.6
0.425	8.5	5.4	6.8
0.475	19.4	10.0	1.4
0.525	19.6	23.8	3.2
0.575	18.1	17.6	13.1
0.625	11.5	9.6	19.0
0.675	5.7	3.8	9.0
0.725	2.5	1.0	5.9
0.775	0.8	0.4	0.9
0.825	0.3	0.2	0.8
0.875	0.3	0.1	0.2
Toplam:	100	100	100



A: Yüksek Metal Bolluğu
B: Düşük Metal Bolluğu

...devam

Farklı bölgelerde bulunan RR Lyrae türü değişen yıldızların dönem dağılımları. Taralı alanlar “Temel Dönem” değerlerini içeren RRd türü değişen yıldızlara aittir.



...devam

- Kukarkin ve ark. (1969, 1971, 1974, 1976) oluşturdukları kataloğa göre **galaksimizde 5800'den fazla RR Lyrae türü değişen yıldız bulunmaktadır.**
- Bunlardan yaklaşık **%50'si *RRab*** türü ve sadece **%6'sı *RRc*** türü değişendir. Geri kalan RR Lyrae türü değişen yıldızlarının alt sınıfları henüz yapılamamıştır.
- Herbir δ Cephei yada W Virginis türü değişene karşılık neredeyse 8 tane RR Lyrae türü değişen yıldız bulunur.

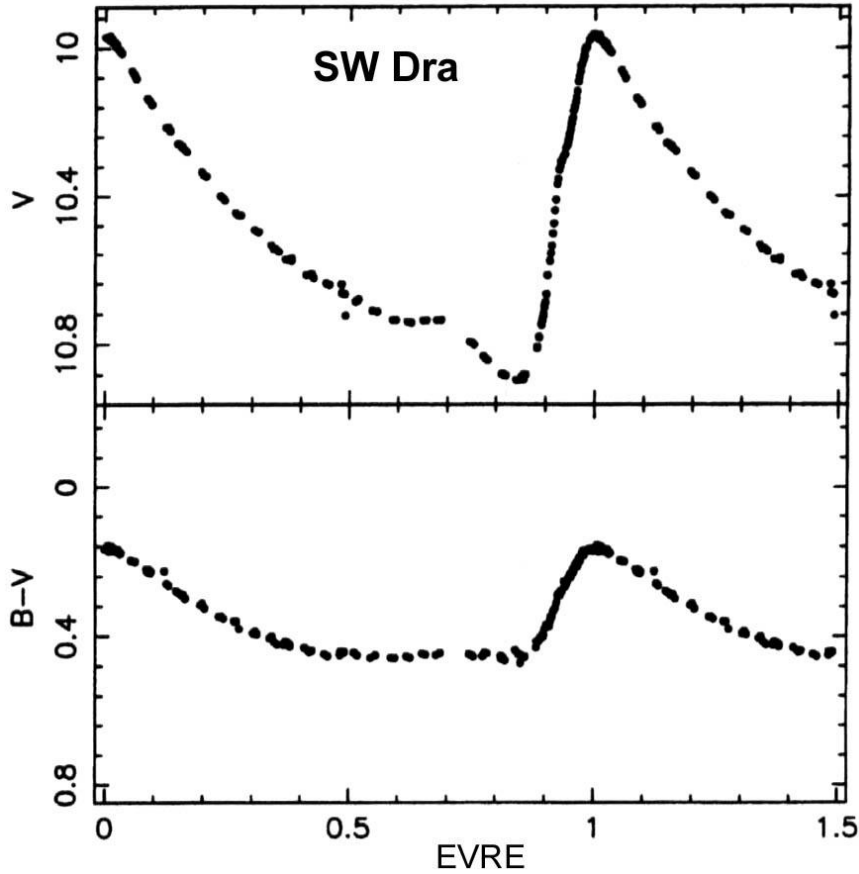
...devam

- RR Lyrae'ler HR diyagramı üzerinde yatay kol (*horizontal branch*) adı verilen ve yıldızların evrimleri boyunca devler bölgesine doğru ardışık iki yükselme hareketi arasında kalan bölgede bulunurlar.
- Gökadamızdan başka Macellan Bulutları, Andromeda Gökadası ve çok sayıda "Yerel Grup" üyesi cüce gökada da bu türden değişen yıldızlar bulunmaktadır.
- Yaşlı yıldızları içeren toplulukların uzaklıklarının bulunmasında önemli rol oynarlar. Özellikle cüce gökadalarda ve Samanyolu'nun merkez bölgelerinde klasik Cepheid'lerin bulunmayışı nedeniyle, "**uzaklık göstergesi**" görevi RR Lyrae'ler yapmaktadır.
- **Uzaklık belirlemede kullanılan görsel mutlak parlaklıkları, metal bolluklarının bir fonksiyonudur.**

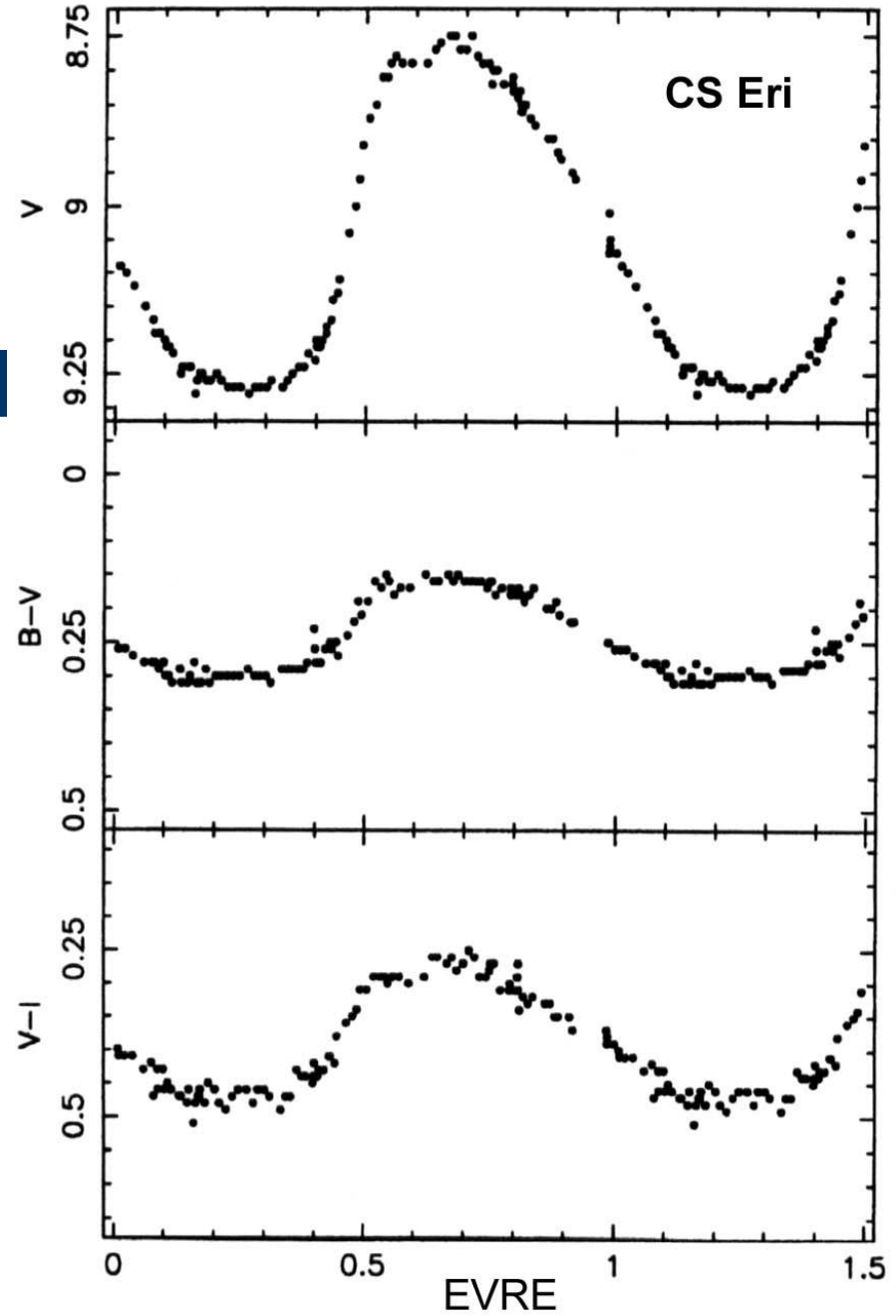
...devam

- Güneş benzeri metal bolluğuna sahip olanların görsel mutlak parlaklıkları $+1^M.0$ kadir, 100 kat daha düşük metal bolluğuna sahip olanların ise $+0^M.5$ kadir civarındadır.
- RRab türüne örnek SW Dra'nın ışık değişimi şekilde verilmiştir ($P=0.56$ gün). Parlaklık değişim genliği yaklaşık 1 kadir civarındadır ve çıkış kolu son derece diktir.
- Diğer bir şekilde ise RRc türüne bir örnek olarak, dönemi $P=0.31$ gün olan CS Eri'nin ışık eğrisi verilmiştir. Genliği daha düşük (~ 0.5 kadir) ve ışık eğrisinin biçimi sinüs eğrisine daha yakındır.

RRab türü SW Dra'nın ışık eğrisi



RRc türü CS Eri'nin ışık eğrisi



Sahte Dönemler

- Farklı türden değişen yıldızlarının dönemlerinin hesaplanmasında olduğu gibi, sönük değişen yıldızların dönemlerinin hesaplanmasında karşılaşılan sahte dönem kavramından burada bahsetmek gerekir.
- Bu problem dönemin hesaplanmasında ortaya çıkar ve farklı dönem değerlerinin kullanılması halinde aynı gözlemsel verilerin, aynı şekilde evrelendirilebilmesinden kaynaklanır.
- P_1 ve P_2 gibi iki dönem değeri kullanılarak gözlemsel veriler için aynı evre değerinin hesaplanabilmesi için;

$$\Phi(t) = \frac{t - M_0}{P_1} - E_1(t) = \frac{t - M_0}{P_2} - E_2(t)$$

...devam

yada

$$(t - M_0) \left(\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \right) = E_1 - E_2$$

yazılabilir. Burada E_1 ve E_2 epok sabitleri olarak bilinir ve tamsayıdır. Bir seri gözlemsel veri birbirinden mutlaka belirli bir T zamanı kadar farklı olacaktır ya da gözlemsel pencereler olarak adlandırılan zaman aralıkları nedeniyle farklılığa sahip olacaktır,

$$t - M_0 = K \times T \quad (\text{burada } K \text{ tamsayıdır})$$

yazılabilir ve yukarıdaki bağıntıdan,

$$\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} = \frac{E_1 - E_2}{K} \times \frac{1}{T}$$

...devam

yazabiliriz. RR Lyrae yıldızları için $T = 1$ yıldız günü $= 0^g.9973$ alabiliriz. Gözlemler sürekli olarak aynı saat açılarında tekrarlandığında,

$$\left| \frac{(E_1 - E_2)}{K} \right| = 1$$

olacaktır. Gerçek dönem P sembolü ile ve sahte dönem P_f sembolü ile gösterilmesi durumunda,

$$\left| \frac{1}{P} - \frac{1}{P_f} \right| \approx 1.0027 g^{-1}$$

değeri elde edilir. Buradan T değerinin ortalama güneş gününe eşit olduğu ortaya çıkar. Bu ise *gözlemlerin gece saatlerinde yapılmasından ve gündüz saatlerinde gözlemsel veri olmamasından kaynaklanan bir etkidir.*

...devam

- Ayrıca buna benzer bir durum, gözlemlerin Ay'lı gecelerde yapılmaması nedeniyle sahte dönem değerleri ortaya çıkabilir.
- Bu şekilde elde edilecek iki farklı dönem içinde hemen hemen aynı evre değerlerini hesaplamak mümkündür. Hatalı dönemlerden kurtulabilmek için gözlemlerin farklı saat açılarında ve farklı boylamlardan yapılması önemlidir.

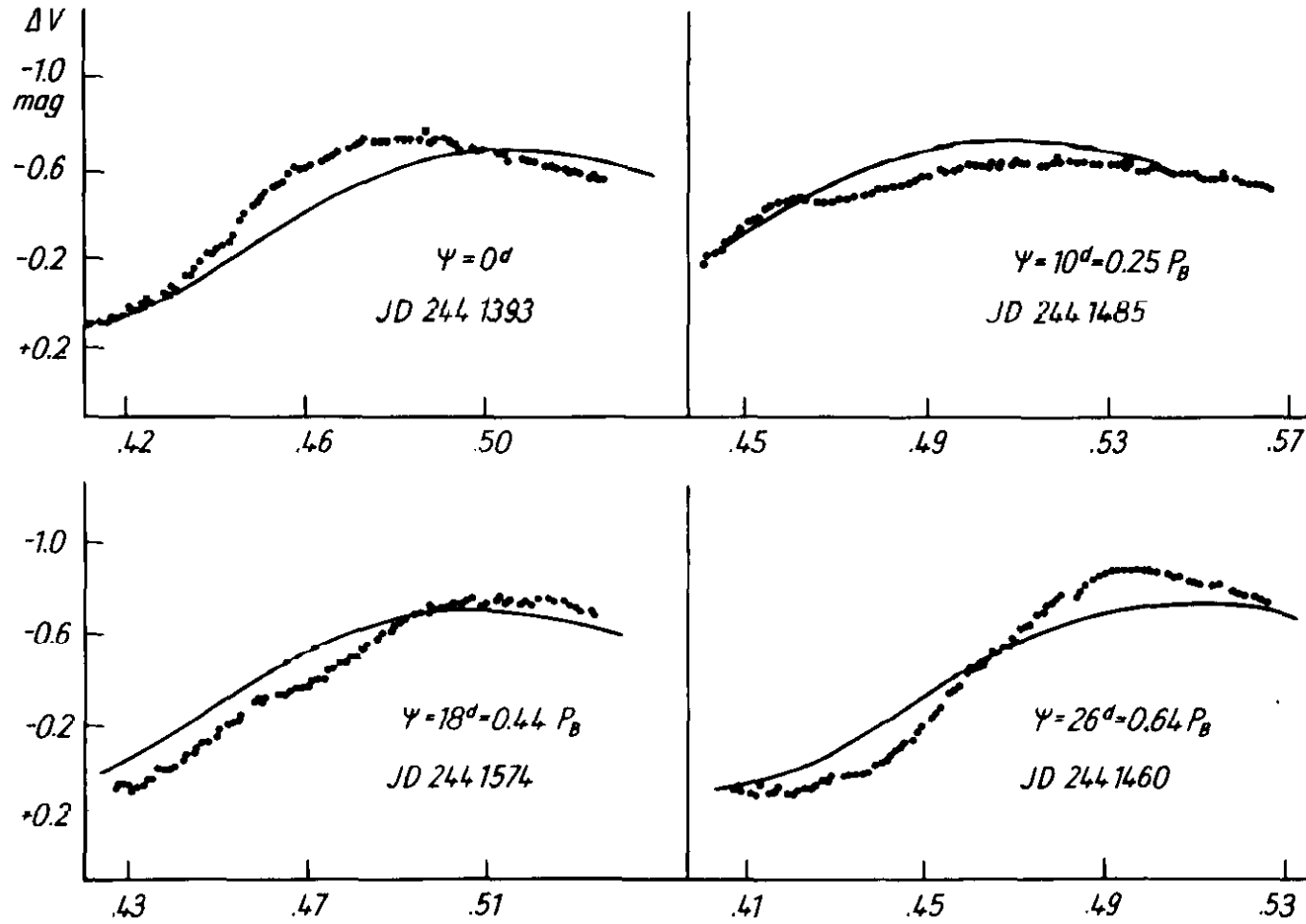
Çizelge 13. RR Lyrae türü değişen yıldızlarda belirlenen sahte döneme sahip yıldızlar.

Yıldız	Sahte Dönem (gün)	Gerçek Dönem (gün)
V672 Aql	0.346	0.530
RV Del	0.332	0.498
XX Hya	0.337	0.508
DD Lyr	0.271	0.373
V1514 Sgr	0.341	0.519

- Bu konuda verilebilecek ilginç bir örnek *BG Oct* yıldızına aittir. Tek bir yaz sezonunda elde edilmiş 60 gözlem verisi kullanıldığında $P_1=0^{\text{g}}.5992$ ya da $P_2=0^{\text{g}}.7490$ ki bu iki dönem arasında $(E_1-E_2)/K=1/3$ 'tür aynı evre değerleri hesaplanabilmektedir.

Blazhko Etkisi

- RR Lyrae'lerin çoğunda ışık eğrileri çevrimden çevrime çok düzenli olarak tekrarlanır. 20. yy'ın başlarında bunlardan bazılarının maksimum ışınımlarında önemli değişimler gösterdiği ortaya çıkmış ve basit bir doğrusal denklemlerle bunun ifade edilemeyeceği görülmüştür (Şekil 12).
- RW Dra yıldızında, Blazhko ikincil değişimlerin 41.6 günde bir tekrarlandığını bulunmuştur.
- Szeidl, RRab türleri için yaklaşık %15-20 sinin bu türden ışık değişimleri gösterdiğini belirlemiştir.



Şekil 12. RR Lyrae yıldızlarında Blazhko etkisi. Fotoelektrik gözlemlerden elde edilen Blazhko dönemi ($P_B=40.8$ gün). Parlaklığın yükselmesini ve maksimuma ulaşmasına ilişkin dört farklı evre için grafik çizilmiştir.

...devam

- En uzun Blazhko dönenime sahip olan yıldız *RS Boo* (537 gün) ve en kısa döneme sahip olan ise *BV Aqr* (11.6 gün) dir.
- **Blazkho dönemlerinde 20 ile 40 gün arasında bir yığılma mevcuttur.** Bu değişim genellikle metalce fakir olan RRab yıldızlarında ve küresel kümelerde bulunan RR Lyrae türü değişenlerde görüldüğünü söylemek mümkündür.
- Ayrıca Blazkho etkisinden kaynaklanan parlaklık değişiminin kendisinin de değişim gösterdiği ve RR Lyrae'nin kendisi için bu değişim döneminin 4 yıl olduğu bulunmuştur. RR Lyr'daki 41 günlük Blazkho etkisinin temel zonklama dönemi, dönme ve manyetik alanın bileşik etkisi olduğu düşünülmektedir.
- Manyetik alanın kendisi özellikle yüzeye yakın bölgelerde radyal olmayan zonklamamanın önemli nedenlerinden biridir. Eğer yıldızın dönme eksenini ile manyetik alan eksenini birbiri ile çakışmıyorsa farklı şekillerde zonklamalara neden olabilir ve gözlemlerde temel zonklama dönemlerinin değişmesine neden olabilir.

...devam

Çizelge 14. Blazhko etkisi bulunan RR Lyrae türü değişen yıldızlar.

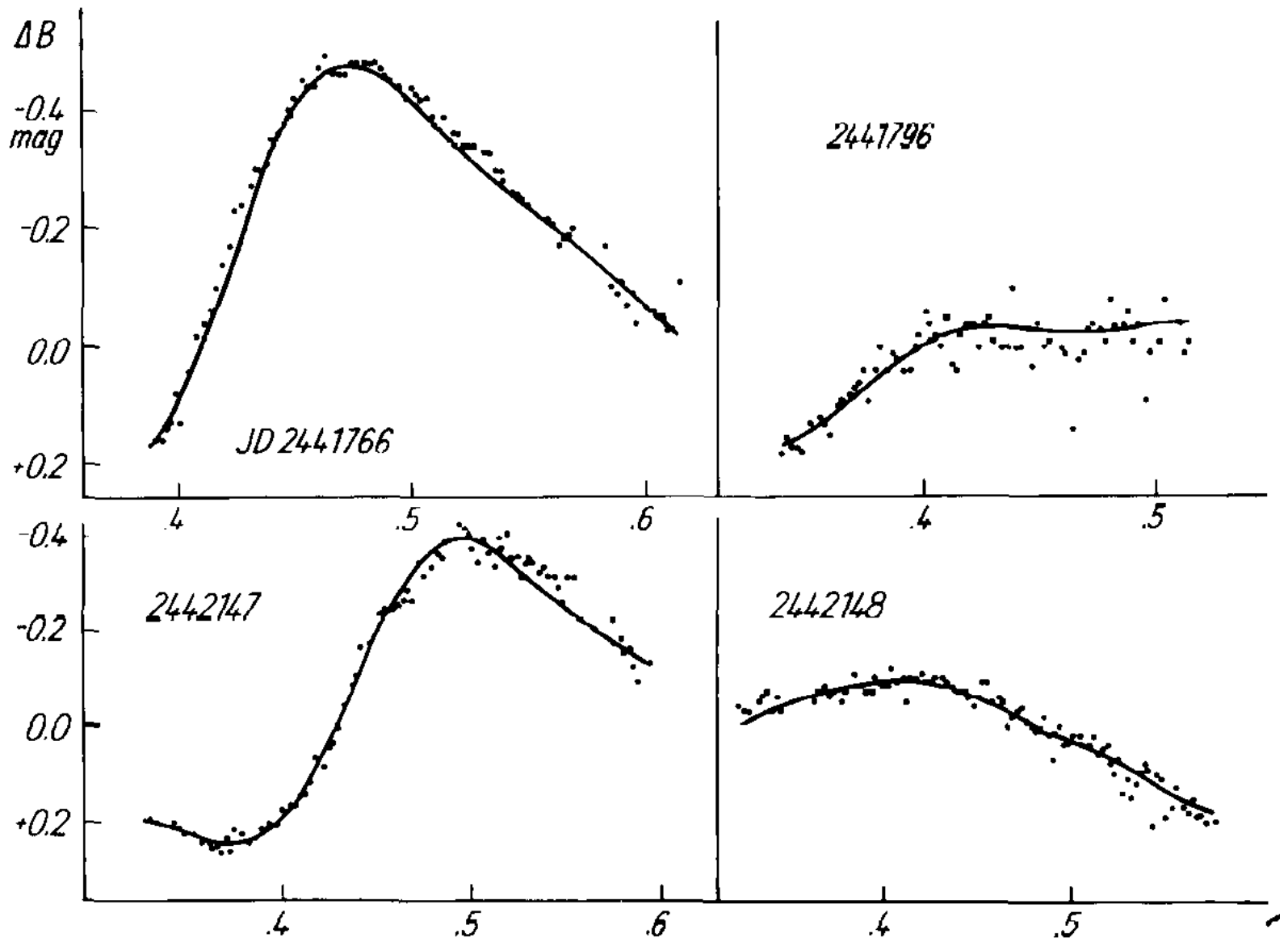
Yıldız	P (gün)	P _B (gün)
RR Gem	0.397	37
S ^W And	0.442	36.3
R ^W Dra	0.443	41.7
AR Her	0.470	31.6
SZ Hya	0.537	25.3
R ^W Cnc	0.547	29.9
TT Cnc	0.563	89
RR Lyr	0.567	40.3
AR Ser	0.575	105
DL Her	0.572	33.6
Z CVn	0.654	22.7
TV Boo	0.313	33.5 RRc

...devam

- RR Lyrae türü değişen yıldızların ışık eğrilerinde görülen bir başka değişim, **çift-modlu** (dönemli) değişimlerdir. Bu olay δ Cephei türü değişen yıldızlarda tartışılmıştır. Burada temel mod'un eşzamanlı uyarılması ve birincil modu (AQ Leo) ve hatta temel, birinci ve ikinci modların (AC And) ve bunların girişimleri gösterilmiştir.

Çizelge 15. AQ Leo yıldızına ilişkin ışık eğrisinin bileşenleri.

i	j	P_{ij} (gün)	A_{ij} (kadir)
1	0	0.4101	0.2210
0	1	0.5498	0.1124
1	1	0.2348	0.0522
2	0	0.2051	0.0476
1	-1	1.6151	0.0395
2	1	0.1494	0.0216
3	0	0.1367	0.0175
0	2	0.2749	0.0169
1	2	0.1646	0.0116
2	-1	0.3271	0.0115
2	2	0.1174	0.0111
3	1	0.1095	0.0092
1	-2	0.8334	0.0072
4	0	0.1025	0.0059



Şekil 13. Çift modlu RR Lyrae türü değişen olan AQ Leo'nun dört gece için elde edilen B bandındaki ışık eğrisi. Noktalar gözlenen sürekli çizgi ise hesaplanan ışık eğrisini göstermektedir.

...devam

- Şekil 13'de gösterilen hesaplama, farklı genlik ve dönemlere sahip sinüsel değişimlerin toplamı şeklindedir ve aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanmıştır.

$$m(t) = \bar{m} + \sum_{i,j} A_{ij} \sin(2\pi t / P_{ij} + \Phi_{ij})$$

- P_{ij} ve A_{ij} , Çizelge 15'de verilen parametrelerdir. Φ_{ij} her bir sinüsel dalganın evre kaymasına ilişkin bir parametredir ve \bar{m} çizgi ise uzun bir zaman aralığındaki gözlemlerden hesaplanan ortalama parlaklık değeridir.
- Şekil 13'den de görülebileceği gibi gözlenen ile modellenen ışık eğrisi arasındaki uyum mükemmel denecek kadar iyidir. Burada gösterilmeyen ve sonraki yıllar için elde edilmiş olan ışık eğrilerinin de bu parametreler ile iyi bir şekilde temsil edilebildiği bilinmektedir.
- Bu tür değişen yıldızlarda ışık eğrilerindeki değişimlerin *çift-modlu zonklamalar* ile kolayca açıklanabileceği ortaya çıkmaktadır.

...devam

- Cox ve ark. (1983), M15 Küresel Kümesinde bulunan RR Lyrae türü değişen yıldızların çift-dönemli zonklayan yıldızlar olduklarını göstermişlerdir.
- $P_0=0^g.55$ dönemi ve $P_1/P_0=0.746$ oranı daha önce AQ Leo için hesaplanan değerler ile iyi bir uyum içindedir ve **yeni modeller kullanılarak hesaplanan kütle değeri $0.65M_{\odot}$ olarak bulunmuştur.**

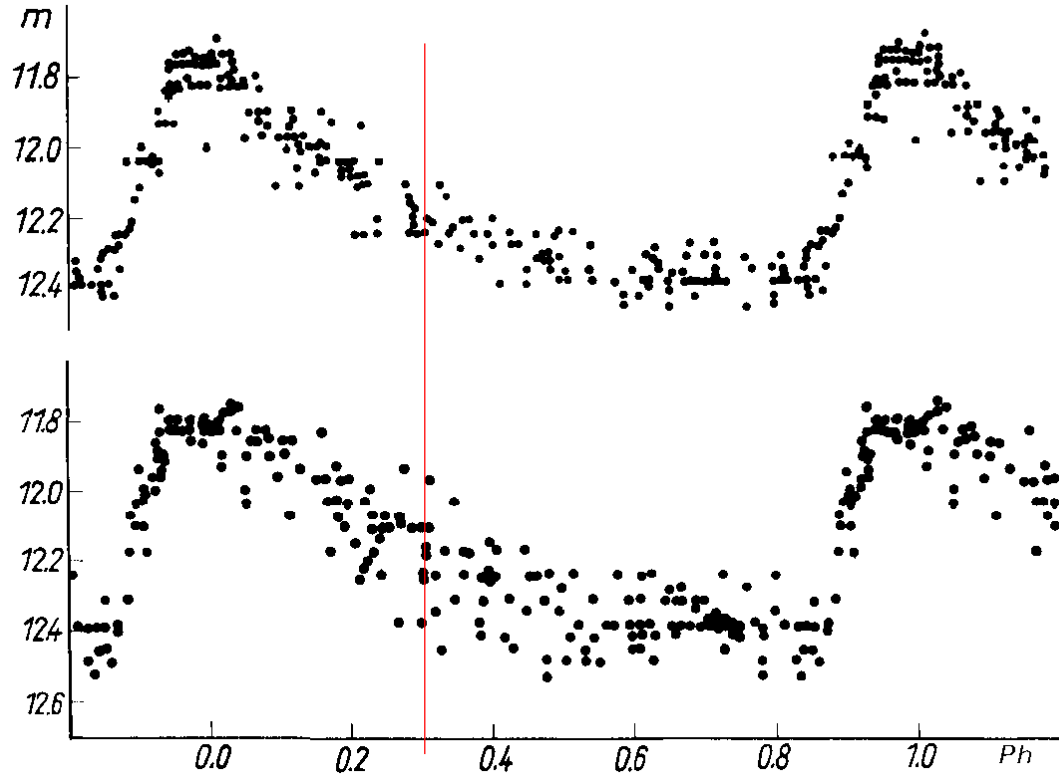
...devam

- RR Lyrae türü değişenlerin ışık eğrilerinde görülen üçüncü tür bir düzensizlik **dönem değişimidir**.
- *Çok büyük boyutlarda olmasa da düzensiz, aniden veya dönemli değişimler görülebilmektedir.*
- Küresel kümeler üzerinde yapılan bir araştırmanın sonuçlarına göre **dönem değişimi 10^{-10} gün/gün** (2.4×10^{-8} sn/yıl) ölçüsündedir.
- Bu türden değişimlerin RR Lyrae türü değişen yıldızların evrimsel durumları ile ilişkili olabileceği düşünülmesine rağmen **hem dönemin arttığı hem de azaldığı durumların varlığı nedeniyle açıklamalar yetersiz kalmaktadır.**

...devam

- Gerçek ışık eğrilerinde görülen kararsızlıklar, ortalama ışık eğrisi elde edildiğinde, herbir gözlemsel verinin bu ortalama eğriye göre saçılma göstermesine neden olur. Bu durum ise yıldızda bu etkiyi yaratacak başka düzensiz ve bilinmeyen değişimlerin bulunduğunu gösterir.
- Hoffmeister (1970)'e göre bu tür yıldızların ışık eğrilerinde saçılma çoğunlukla 0.3 evresi civarında iniş eğrisi üzerinde gerçekleşme yönünde bir davranış gösterir (Şekil 14).
- İncelenen 30 alan yıldızından 20 sinin ışık eğrisinde düzensizliklerin bulunduğu ve bunlardan sadece 4 veya 5 tanesinde Blazhko etkisinin görüldüğü belirlenmiştir.
- RR Lyrae türü değişen yıldızların fiziksel durumlarının açıklanması konusunda daha yapılacak çok şey bulunmaktadır. Belki de gelecekte bu tür değişimler tek bir güçlü teori ile temsil edilebilecektir.

...devam



Şekil 14. RR Lyrae türü değişen olan LX Lyr yıldızının ortalama görsel ışık eğrisi (Hoffmeister 1970). Yukarıdaki şekil JD243 2791-2835 arasında saçılma göstermediğini ve alttaki şekilde ise 2682-2780 ile 2850-2865 arasında saçılma gösterdiği görülebilmektedir.

Fiziksel Özellikleri

- Özellikle **RRab** alt türündeki RR Lyrae türü değişen yıldızlar, bütün değişen yıldızlar içerisinde **en homojen sınıfın** olduğu ve bu nedenle de bu tür yıldızların Pop II bölgelerinin belirlenmesi ve Galaksimizin yapısıyla ilgili araştırmalarda kullanılabileceği düşünülmektedir.
- Ne yazık ki bu türden değişen yıldızlar Magellan Bulutları ve bazı cüce galaksiler haricinde büyük teleskoplarla bile gözlenemeyecek kadar sönüktür.
- Son zamanlarda yapılan araştırmalar sonucunda RR Lyrae türü değişen yıldızlarının içerisinde de farklı fiziksel grupların olduğu ortaya çıkmıştır. Bu farklılıklar, örneğin **farklı metal bolluğu** ve **popülasyon sınıfları** ile ilişkilendirilebilmektedir.
- Bu tür yıldızların mutlak parlaklıklarının sabit kalmadığı ortaya çıkmasına rağmen, ortalama görsel mutlak parlaklıkları $M_V=+0^m.6$ civarında **$0^m.3$ ile $0^m.4$** kadar bir saçılma ile kullanılabilmektedir.
- B bandındaki mutlak parlaklığı ise $M_B=+1^m$ dir ve bu tür yıldızlar için dönem-parlaklık ilişkileri zok zayıftır.

...devam

- Aynı durum hidrojenin soğurma çizgilerine ilişkin şiddetlerden elde edilen tayfsal sınıflama içinde geçerlidir.
- RRa türü değişenlerin büyük çoğunluğu için dönemlerine bağlı olarak maksimum parlaklıkta iken **A7**, minimum parlaklıkta ise **F5** tayf türüne sahiplerdir. Fakat Ca II'nin K çizgisi kullanılarak belirlenen tayf türleri, özellikle yıldız minimum parlaklıkta iken yıldızdan yıldıza farklılık gösterir. Bu fark yaklaşık olarak bir tayf sınıfına kadar ulaşır. Bu konuda çalışmalarda bulunan Preston (1959),

$$\Delta S = 10[\text{Sp.}(H) - \text{Sp.}(Ca II)]$$

şeklinde bir bağıntıyı minimum parlaklık için elde etmiş ve bu tür yıldızların tayf türlerini ve özellikle metal bolluğuna ilişkin bilgiye ulaşmak için kullanmıştır.

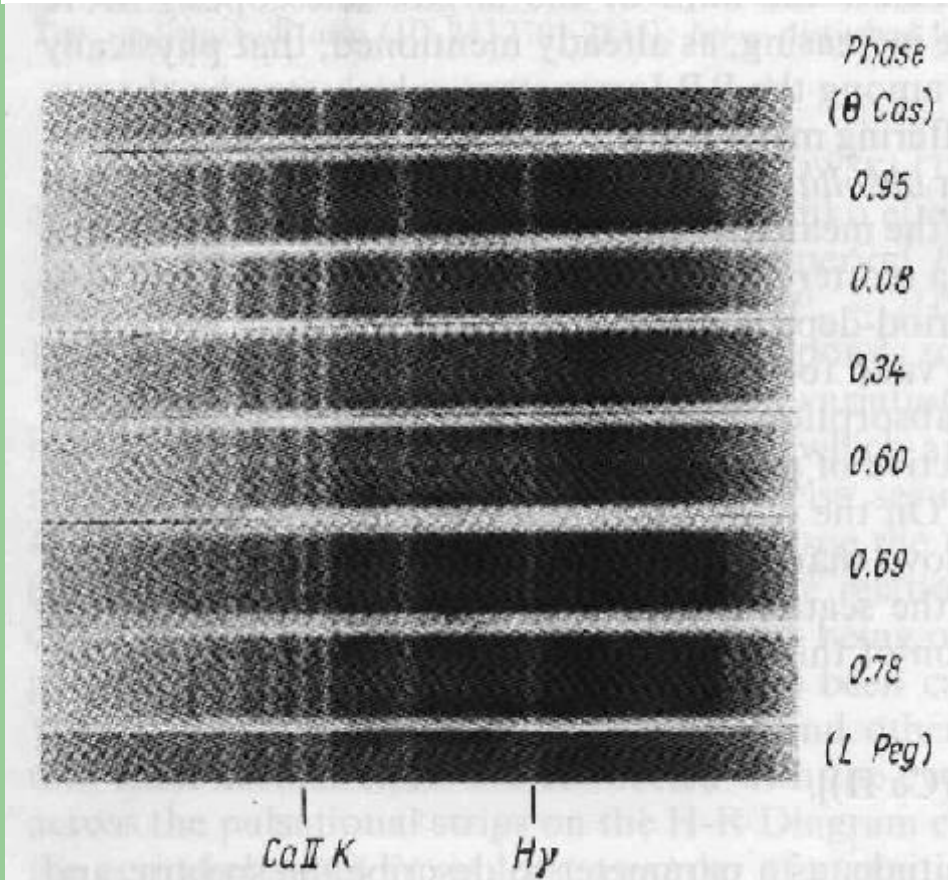
- $\Delta S = 0$ 'ın anlamı güçlü Ca II çizgilerinin ve yüksek metal bolluğunun bulunduğunu ve $\Delta S = 10$ ise aynı parametreler için düşük şiddet ve düşük metal bolluğu anlamında kullanılmıştır.

...devam

- Diğer taraftan hidrojen çizgisinin yapısı öncelikli olarak normal yıldızlarda olduğu gibi sıcaklığın bir göstergesidir.
- Preston ve bir gurup araştırmacı görel olarak metal bolluğu fazla olan yıldızların Galaksimizin disk popölasyonuna ait olduklarını fark etmişlerdir. Metal bolluğu bakımından fakir olan RR Lyrae türü değişen yıldızlar ise Halo popölasyonuna aittirler. Bu nedenle bu iki sınıf yıldızın farklı orijine sahip oldukları kabul edilir. Fakat hala henüz açıklanamayan çok sayıda anormallikler mevcuttur.
- RRc türü değişenler sistematik olarak minimum parlaklıklarında daha erken tayf türlerine sahiptirler. Fakat tayfsal özellikleri bakımından aynı türden saçılmaya sahiptirler.
- Farklı evrelere karşılık gelen tayf türleri arasındaki değişim Çizelge 16 ve Şekil 15'de verilmiştir.

Çizelge 16. RR Lyrae türü yıldızlarda tayf türü değişimi.

Evre	Sp.(H)	Sp.(Ca II)		
		$\Delta S=0$	6	10
0.8	F5	F5	A9	A5
0.0	A7	A6	A2	A2
0.1	F0	F1	A5	A3
0.3	F4	F4	A8	A5
0.6	F5	F5	A9	A5

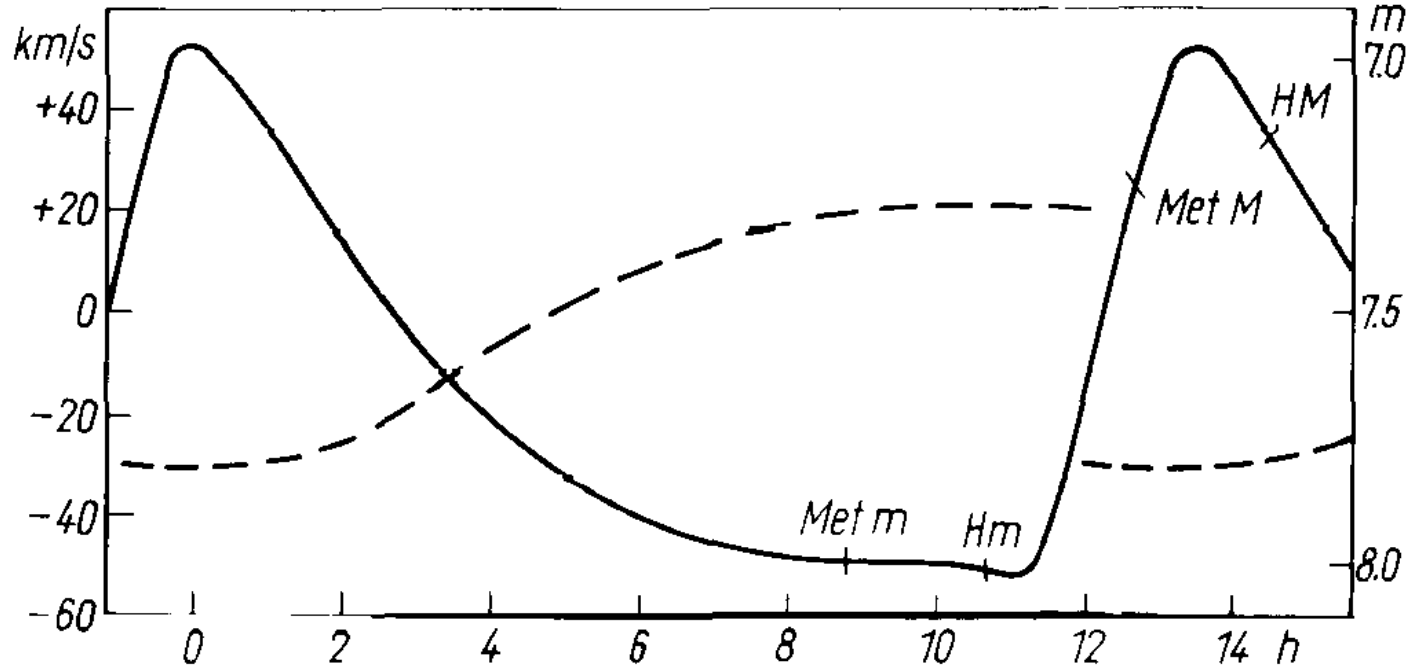


Şekil 15. RR Lyrae türü değişen yıldız olan XZ Dra yıldızının farklı evrelerinde alınmış altı adet tayfı görülmektedir. En üst ve altta bulunan tayflar mukayese tayflarıdır.

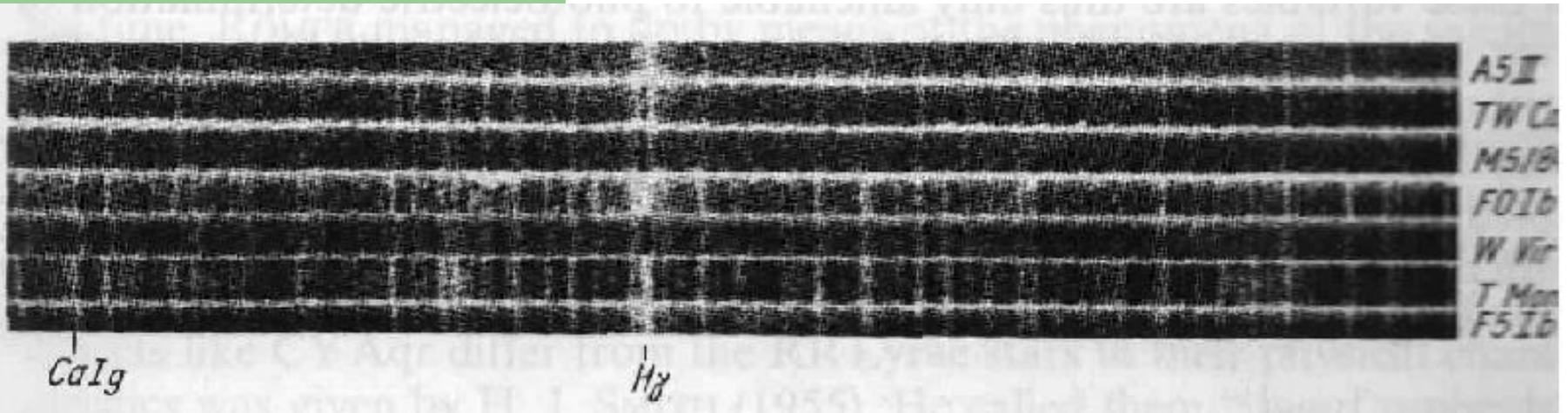
...devam

- Bu tür değişen yıldızlarda görülen bir başka düzensizlik, **hidrojen salma çizgilerinin varlığı ve ışık eğrisinin yükselen evresinde çizgi yarılmasının ortaya çıkmasıdır.**
- Bu durum ilk kez Struve (1947) ve Sanford (1949) tarafından RR Lyrae'nin kendisinde gözlenmiştir (Şekil 16). Bu türden değişimlerin RR Lyrae'nin kendisi ve diğer Pop II türü zonklayan yıldızların atmosferinde meydana gelen **şok dalgaları** nedeniyle ortaya çıktığı düşünölmektedir.
- Galaktik düzlemde bulunan RR Lyrae türü değişenlerin yarıçap ve kütleleri Woolley ve Savage (1971) tarafından hesaplanmıştır;
 - Dönem ve mutlak parlaklığı sırasıyla $P > 0^g.44$ ve $M_V = +0^m.40$ olan RRab türü değişen yıldızlar için $R \approx 5.5 R_\odot$ ve $M \approx 0.5 M_\odot$,
 - RRc türü değişenler için $P > 0^g.36$ ve $M_V = +0.8$ için, $R \approx 4.5 R_\odot$ ve $M \approx 0.6 M_\odot$ elde etmişlerdir.
- Bu parametreler kullanılarak zonklama sabiti $Q \approx 0^g.03$ olarak hesaplanmıştır. Zonklama sabitinin teorik çalışmalardan bulunan değerler ile uyum içinde olduğu görölmektedir.

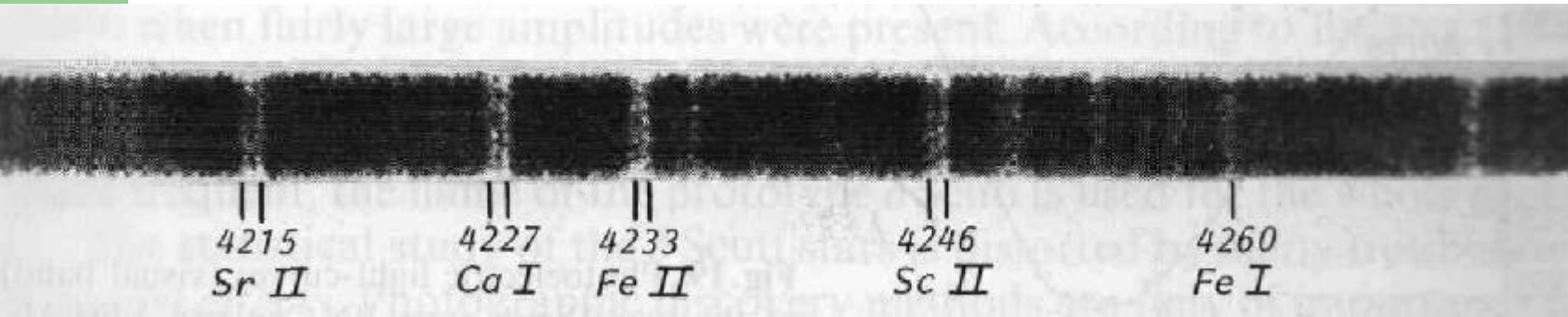
...devam



Şekil 16. RR Lyrae için ortalama ışık eğrisi (sürekli eğri) ve ortalama dikine hız eğrisi (kesikli çizgi) verilmiştir. Özellikle maksimum parlaklığa ulaşmadan yaklaşık 2 saat önce meydana gelen dikine hız değişimi dikkat çekicidir (tayfsal çizgilerin yarıldığı zamana karşılık gelmektedir). *Met m* ve *Met M*: metal çizgilerinden ve *H m* ile *H M* ise hidrojen çizgilerinden belirlenen en geç ve en erken tayf türlerinin bulunduğu konumu göstermektedir.



Şekil 17. W Virginis (TW Cap, M5 küresel kümesinde bulunan 84 nolu yıldız ve W Vir) yıldızlarına ilişkin, Klasik δ Cephei türü yıldız olan T Mon'a ilişkin tayfsal gözlemler ile 3 adet mukayese yıldız tayfı görülmektedir. W Virginis türü yıldızlarında görülen $H\gamma$ salması dikkat çekicidir ve δ Cephei türü değişenlerde bu salma yoktur.



Şekil 18. M5 küresel kümesinde bulunan 42 nolu W Virginis türü değişen yıldızına ait maksimum parlaklığa yakın bir evredeki tayfsal görüntünün bir kesiti görülmektedir. Şekilden bazı soğurma çizgilerinin ikiye yarıldıkları açık bir şekilde görülmektedir ve bu durum **yıldızda farklı yönlerde (dışarıya ve içe doğru) hareket eden iki farklı katmanın bulunduğu açık bir göstergesidir.**

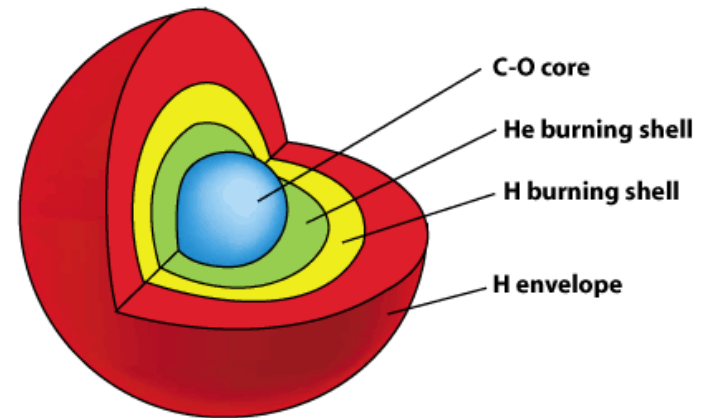
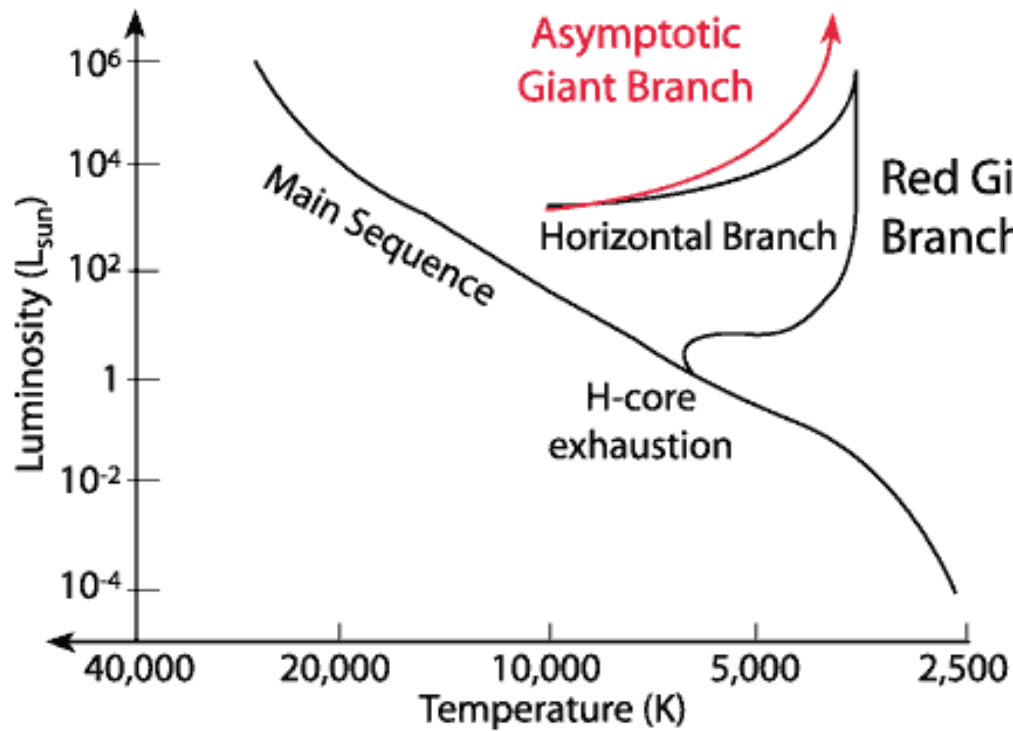
...devam

- Van Herk (1965), toplam 210 yıldız için öz hareket, paralaks ve uzay dağılımlarına ilişkin çalışmasında; öz hareketlerinden belirlediği istatistiksel paralaks değerinin $0''.00097$ olduğunu, buna karşılık gelen mutlak parlaklık değerinin ise $M_{pg}=+0^m.87$ ve $M_V=+0^m.68$ olduğunu hesaplamıştır.

RR Lyrae – Küme Değişenleri

- RR Lyrae türü zonklayan yıldızlar **Yatay Kol (Horizontal Branch)** yıldızlarıdır ve tayf türleri genellikle A (ender olarak ise F) dir. (A5-F5 arası)
- Kütle olarak $0.5 M_{\odot}$ kütlesi civarındadırlar. Bu tür yıldızların kütlelerinin bir kısmını önceden attıkları düşünülmektedir. Dolayısıyla başlangıç kütlelerinin Güneş kütlesi veya daha küçük kütleli oldukları düşünülmektedir ($0.8 M_{\odot}$).
- RR Lyrae türü değişenler de Cephei türü değişenler gibi zonklama yaptıkları, dolayısıyla zonklama mekanizmalarının benzer oldukları düşünülmektedir. Evrimsel açıdan ise farklı sürece sahip oldukları kabul edilir.
- Cephei türü değişenlerin aksine RR Lyrae türü değişenlerin yaşlı, görece olarak daha küçük kütleli ve metalce fakir olan Pop II yıldızlarıdır. Işınım gücü olarak da Cephei türü değişenlerden daha küçük değerlere sahiptirler.
- Ortalama mutlak parlaklıkları 0.75 kadirdir ve Güneş'ten sadece 40 veya 50 kat daha parlak cisimlerdir. Dönemleri 1 günden daha küçüktür ve hatta bazı örnekleri için 7 saate varan dönemler görülebilmektedir.
- Cephei türü değişen yıldızlarında olduğu gibi RR Lyrae türü değişenler için de Dönem-Mutlak Parlaklık bağıntısı bulunur. Özellikle küresel kümelerin uzaklıklarının belirlenmesinde ve yaşlı yıldızların kimyasal kompozisyonunun incelenmesinde kullanılırlar.

Asimtotik Devler Kolu (AGB) ve Yatay Kol (HB)



Hertsprung Boşluğu

- Hertsprung boşluğu, küme yıldızları için oluşturulan HR diyagramlarında ilk defa görülmüştür. Ejnar Hertsprung, HR diyagramında A5-G0 tayf türü arasında ve +1 ile -3 mutlak parlaklıklar arasında yıldız bulunmadığını fark eden ilk kişi olmuştur.
- Bu boşluk, yıldızların evrimleri sırasında geçtikleri bir bölgedir. Evrimsel açıdan merkezi hidrojenini yakmış, fakat henüz merkezi helyumunu yakmaya başlamamış yıldızlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Gerçekte bu evrede yıldızların bulunması gerekiyor, fakat HR diyagramındaki bu bölgeyi yıldızların hızlı geçmesi (bin yıllar düzeyinde bir zaman içerisinde) nedeniyle gözlenebilen yıldız sayısı son derece azdır.
- Hipparchos uydusu gözlemleri ile çizilen HR diyagramlarında bu bölgede yıldızların bulunduğu ortaya çıkmıştır.

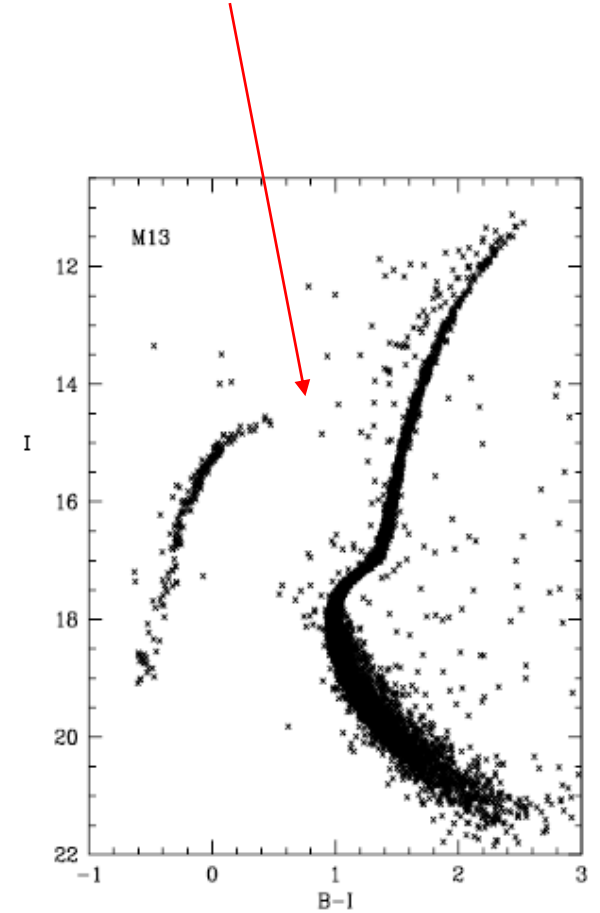
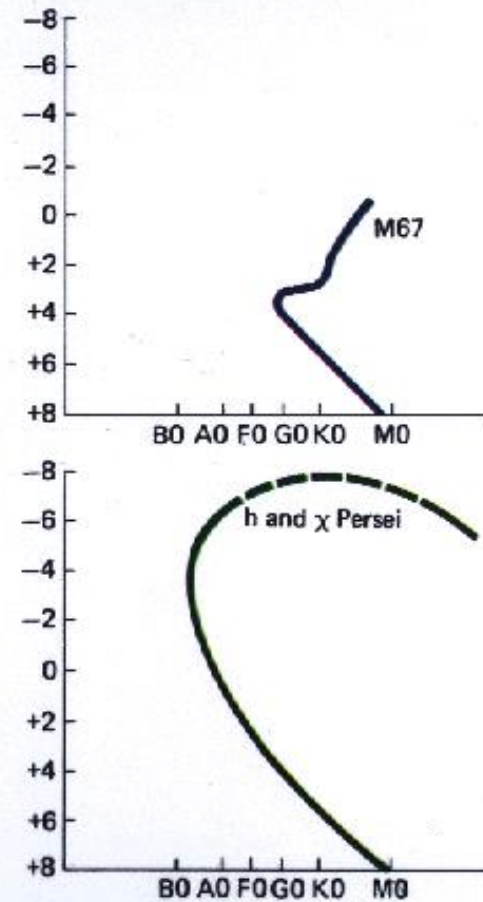
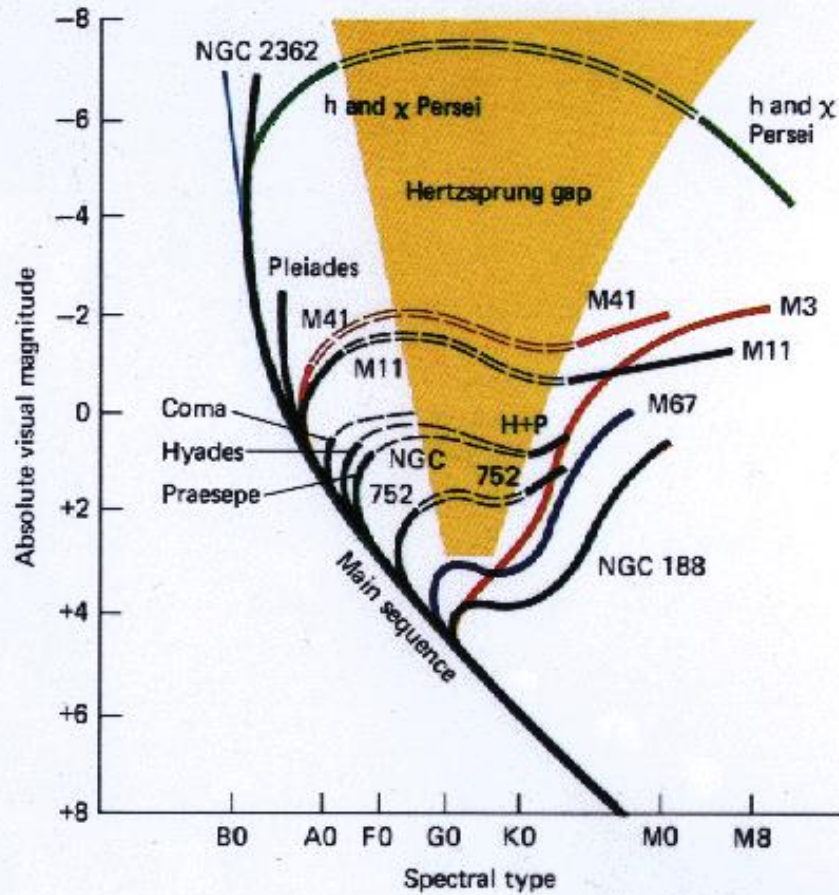
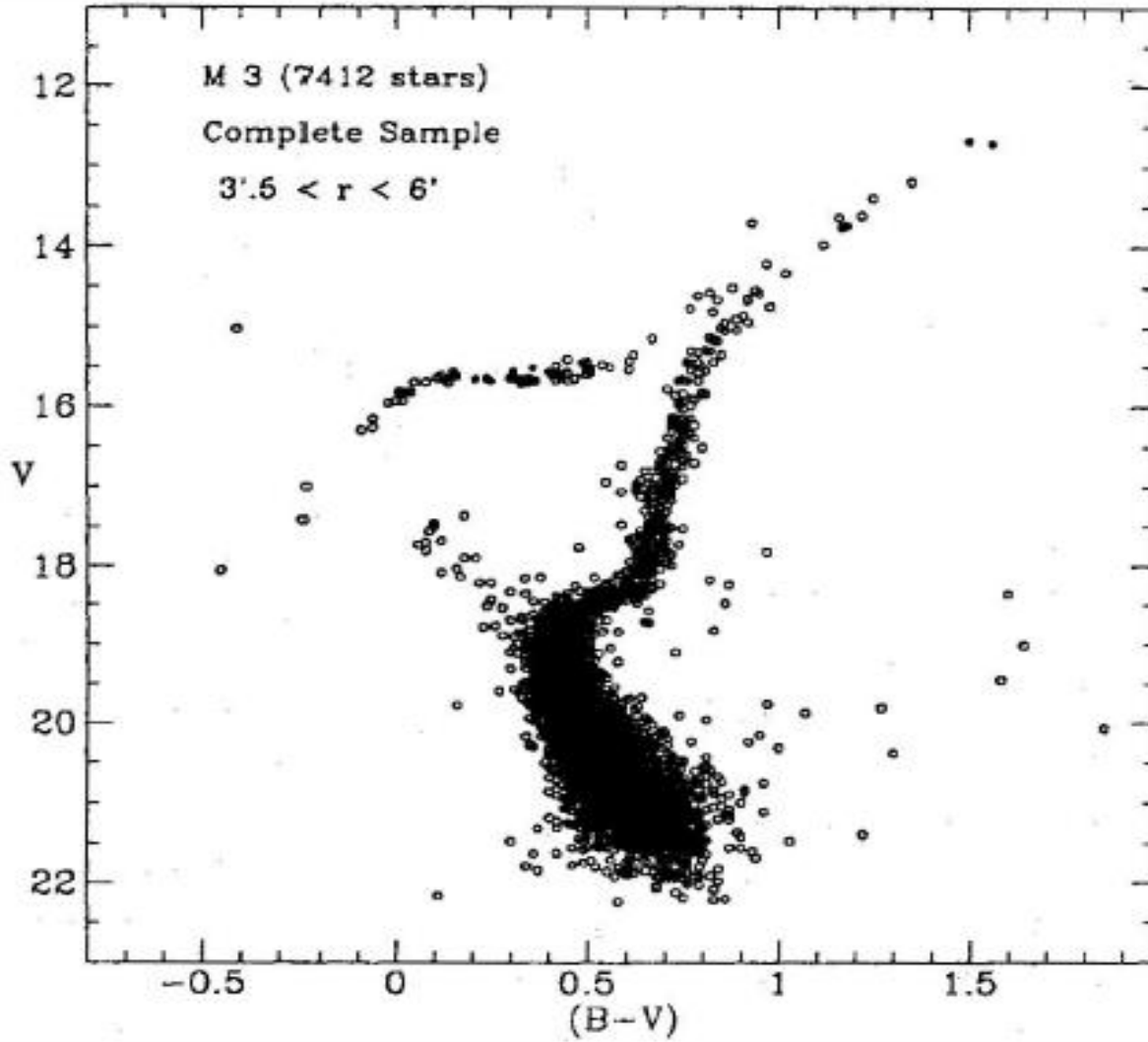
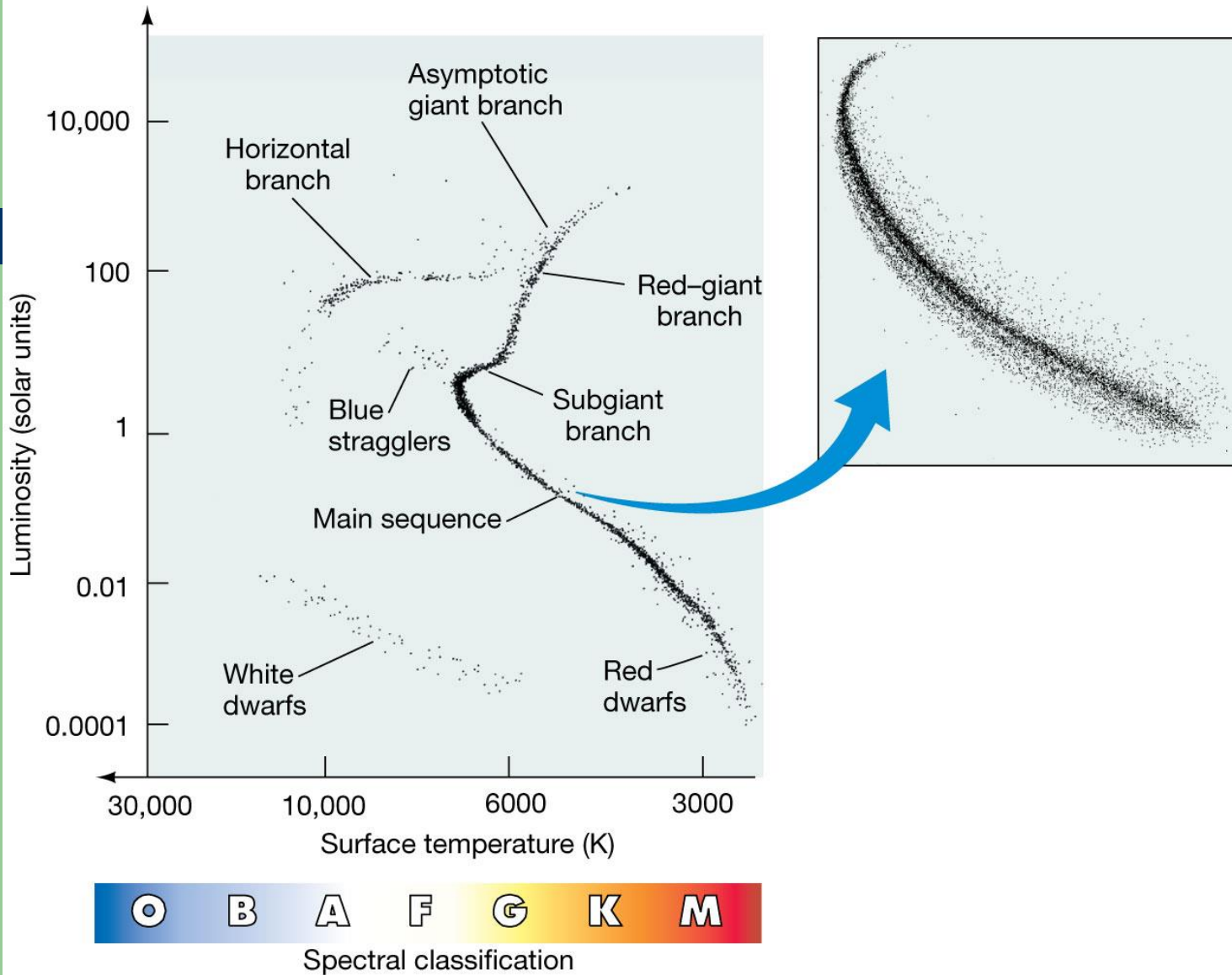


Figure 4: Color-magnitude diagram for 6,624 minimally crowded stars in the field of M13.





Şekil: M3 Küresel yıldız kümesinin Renk-Parlaklık diyagramı. Hipparchos gözlemleri ile oluşturulmuştur.



(b)

Adapted from SEDS (<http://www.seds.org>)

