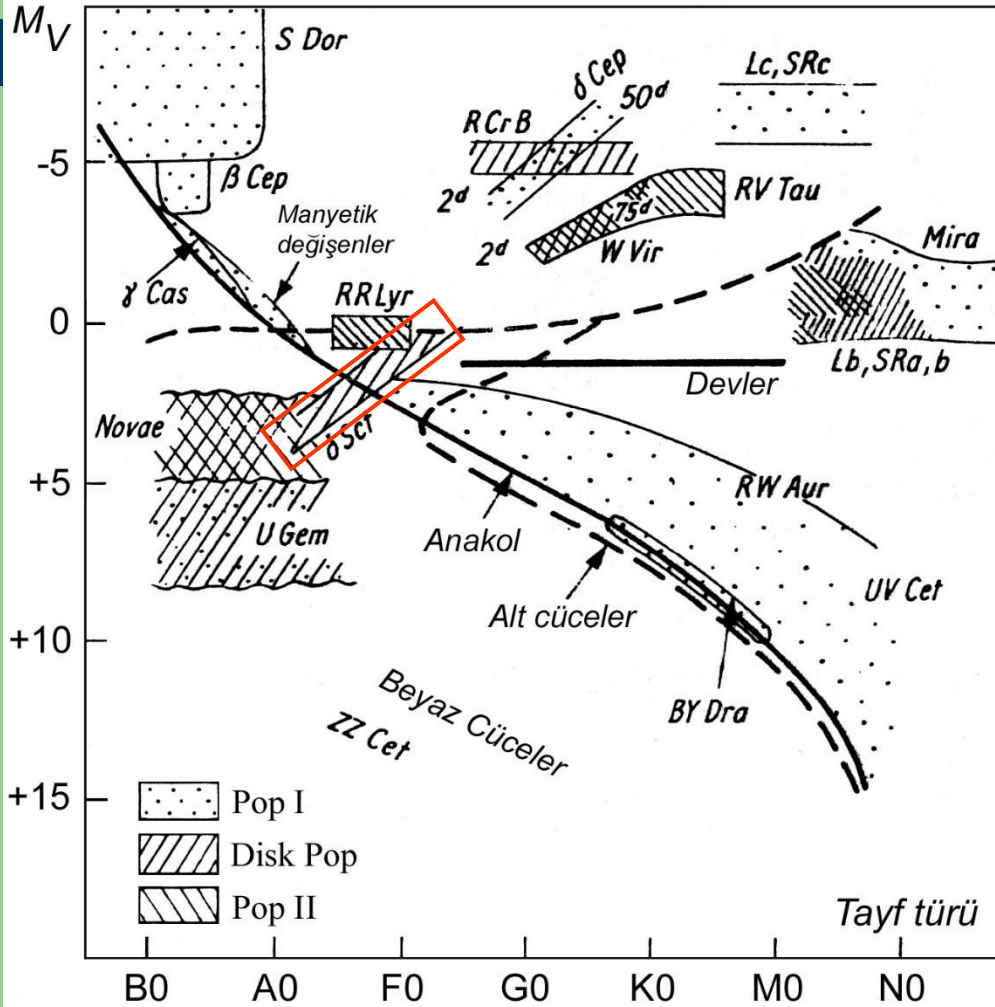


δ Scuti Değişenleri



δ Scuti Değişenleri

- δ Scuti'ler, dönemleri 0.3 günden kısa, A veya F tayf türünden olan ve görsel bölgede birkaç 0.001 kadirde 0.8 kadire kadar parlaklık değişimi gösteren zonklayan değişenlerdir.
- HR diyagramında “**karasızlık kuşağı**” içinde yer alırlar ve konumları üstten klasik Cephei'ler, alttan ise zonklayan beyaz cücelerle sınırlanan geniş bir alana dağılmışlardır.
- Böylesi geniş bir alanda yıldız çeşitliliği de oldukça fazladır ve en genç disk popülasyonundan yaşlı halo yıldızlarına kadar farklı yıldızlar δ Scuti türü değişenler grubuna girebilmektedir.
- Bu nedenle bir kısmı veya tüm grubu tarif eden çok farklı isimlerle de anılırlar; bunlardan bazıları “**cüce cepheidler**”, “**RRs değişenleri**”, “**AI Vel yıldızları**”, “**SX Phe yıldızları**” ve “**çok-kısa dönemli cepheidler**” gibi.

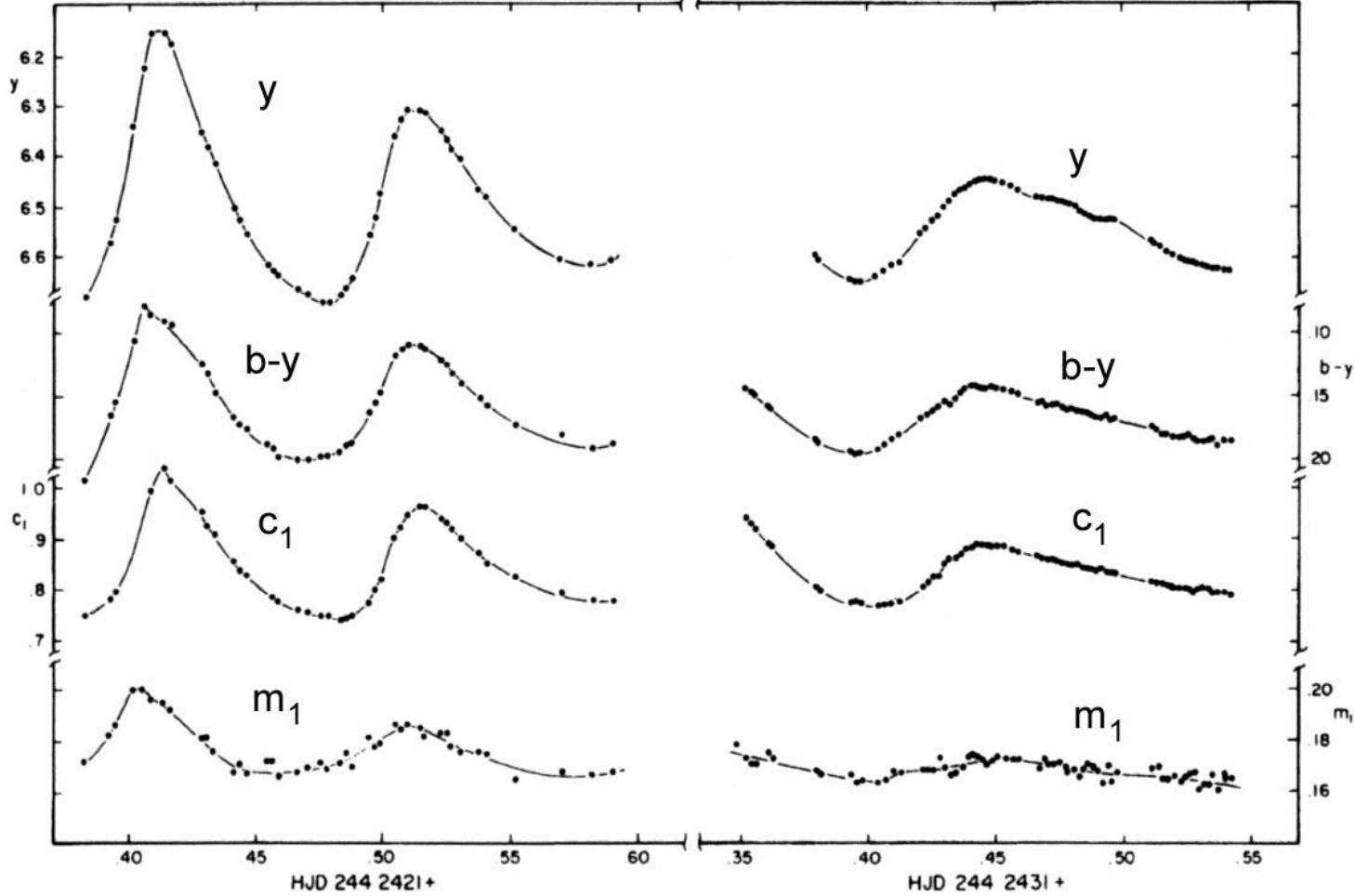
...devam

- δ Scuti'lerin ışık değişimleri çok karmaşık yapılarda olabilmektedir. Bir kısmı sadece çapsal (radyal) modda zonklarken, diğer bir kısmı ise çok sayıda çapsal ve çapsal-olmayan modda aynı anda zonklama yapabilmektedirler.
- Bazı örneklerinde modların anlık kayboluşu ve tekrar ortaya çıkışı da söz konusu olabilmektedir.
- Bu karmaşık yapıların detaylı incelemesi sonucu yıldızların iç yapıları hakkında önemli bilgiler elde edilmektedir. Bu türden çalışmalara genel olarak “**Yıldız Sismolojisi (Astroseismology)**” adı verilmektedir.

...devam

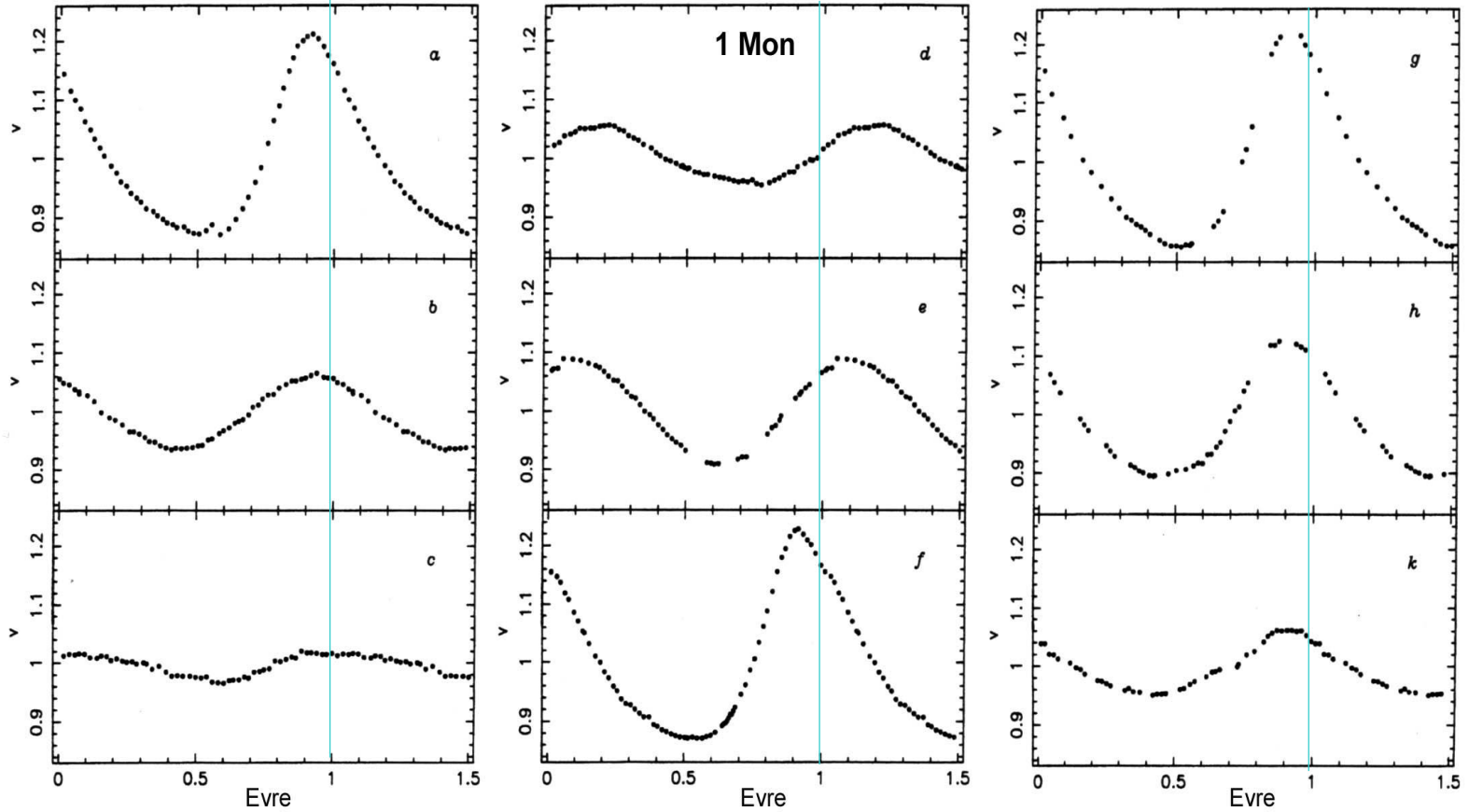
- Görsel mutlak parlaklıkları $+3^M.0$ ile $0^M.0$ kadir arasında bulunan δ Scuti ve benzeri yıldızlardan, GCVS kataloğunda listelenmiş **200** adet örnek bulunmaktadır. Toplam sayı 2000'li yıllarda 636 adettir.
- Ancak çok düşük genlikli örneklerinin bulunduğu hatırlanacak olursa, keşfedilmeyi bekleyen çok sayıda δ Scuti değişeninin var olabileceği açıktır.
- Gözlemsel açıdan bu konuda en büyük katkı HIPPARCOS uydusunun gözlemlerinden gelmiştir (ESA, 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA-SP-1200, Noordwijk).

...devam



Şekilde Al Vel yıldızının, 4 veya daha fazla dönemin girişimi sonucu ortaya çıkan ışık ve renk değişimleri görülmektedir. Şekilde iki farklı gecede, 5'er saatlik gözlemler boyunca elde edilen ışık eğrilerindeki farklılık göze çarpmaktadır. Filtreler Strömgen uvby β sistemine aittir. m_1 metallilik indeksini, c_1 ise Balmer süreksizliğini göstermektedir.

1 Mon yıldızının ardışık 9 gece boyunca, her gece 5 saat süre ile elde edilen ışık eğrileri. $P=0.13612$ gün dönemle evrelendirilmiştir.

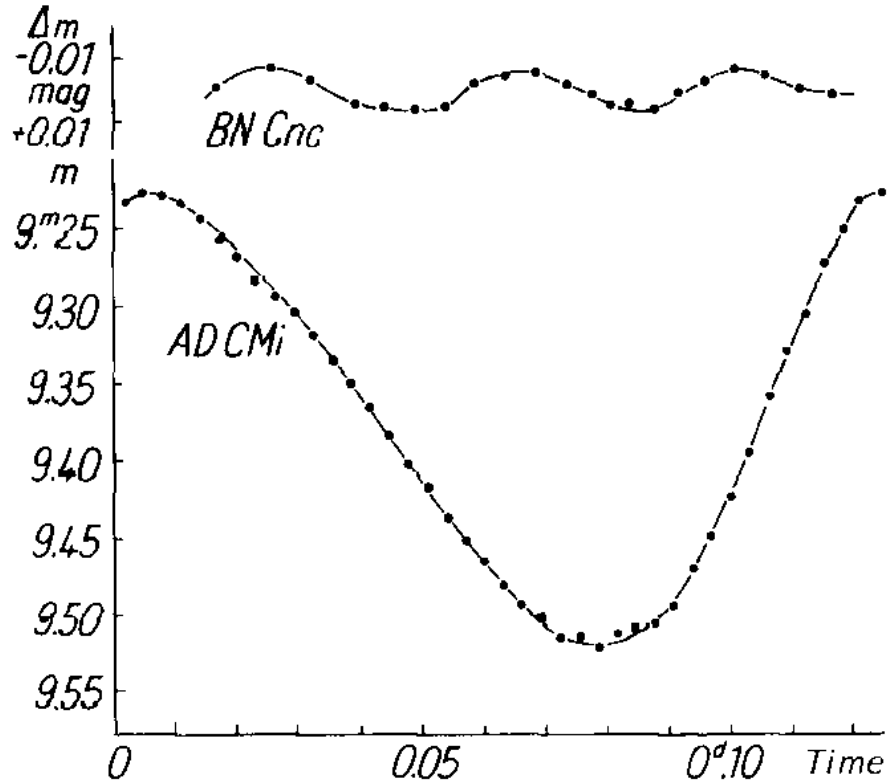


2.1.4. δ Scuti Yıldızları

Tanımlar, Karakteristik Özellikleri ve İstatistik Bilgisi

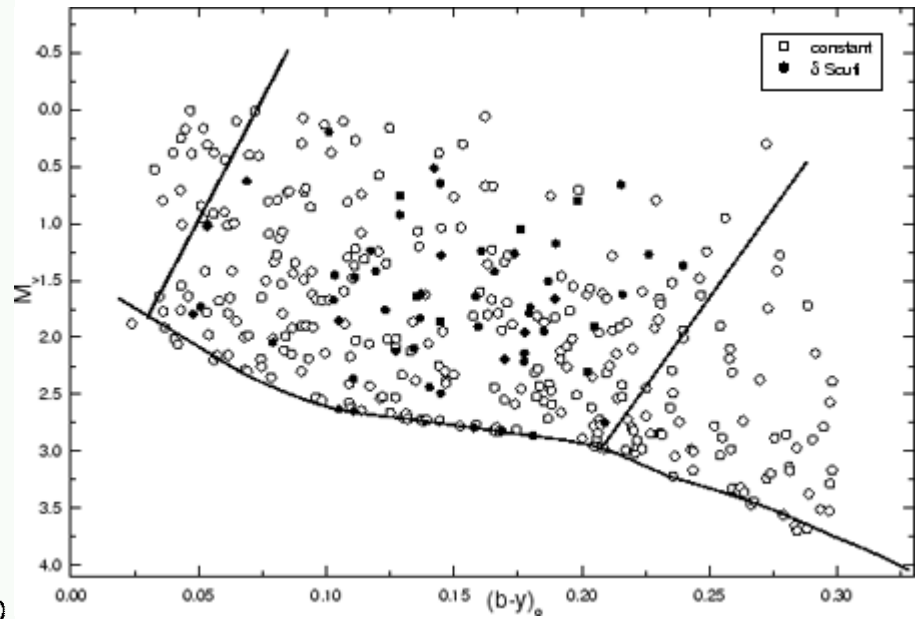
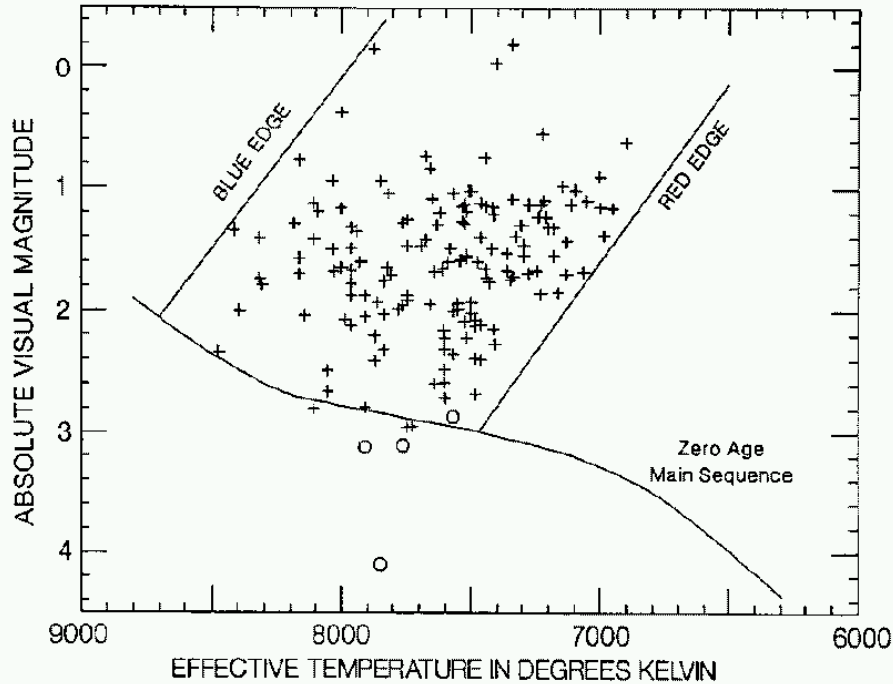
- δ Scuti yıldızları, zonklama dönemleri 0.3 gün'den kısa olan, tayf türleri A0 ile F5 arasında olan zonklayan değişen yıldızlardır.
- 0.2 ile 0.3 gün dönemleri arasında hem δ Scuti hem de RRc türü değişenleri bulunur ve sadece dönemlerine bakarak bu iki değişeni birbirinden ayırmak mümkün değildir.
- Parlaklık değişim genlikleri binde birkaç kadir ile onda birkaç kadir düzeyindedir, fakat tipik değişim genlikleri 0.02 kadir ölçüsündedir. Bu nedenle bu tür değişen yıldızların büyük bir çoğunluğu fotoelektrik yöntemle incelenebilen yıldızlardır.
- Şekil 19'da iki karakteristik ışık eğrisi gösterilmiştir.

...devam

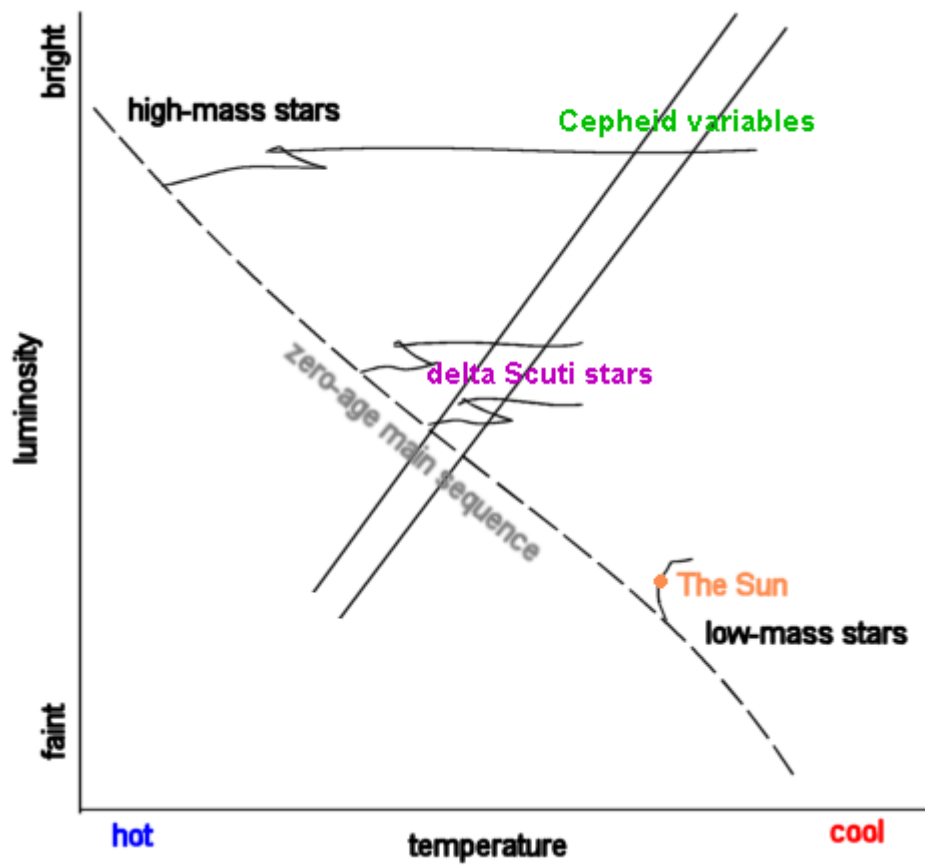


Şekil 19. BN Cnc ve AD CMi için elde edilen görsel dalgaboylarındaki fotoelektrik ışık eğrileri.

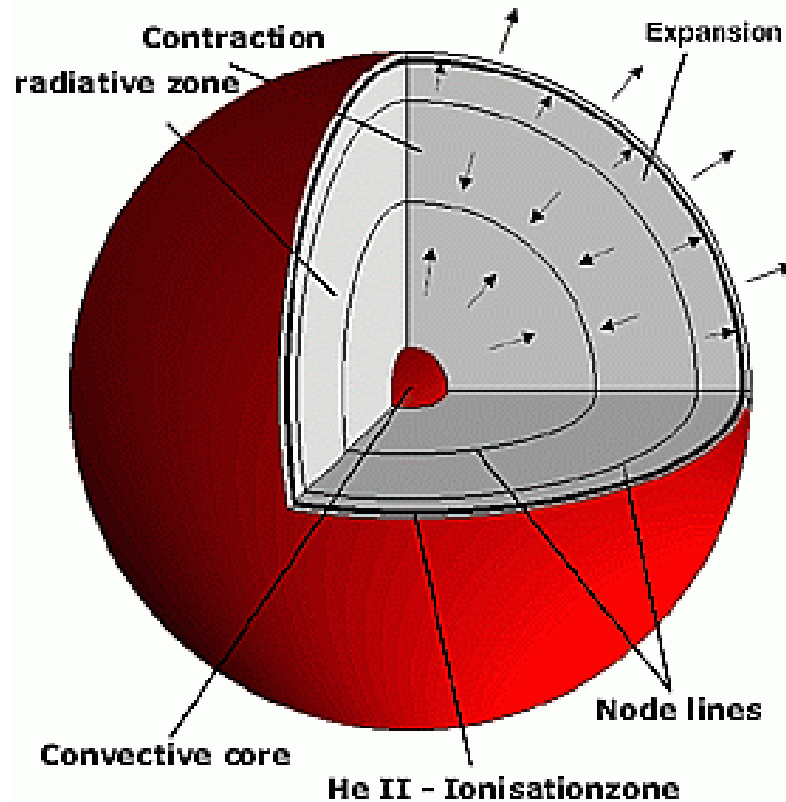
Kararsızlık Kuşağı



H-R diagramında δ Scuti kararsızlık kuşağı (Breger 1990)

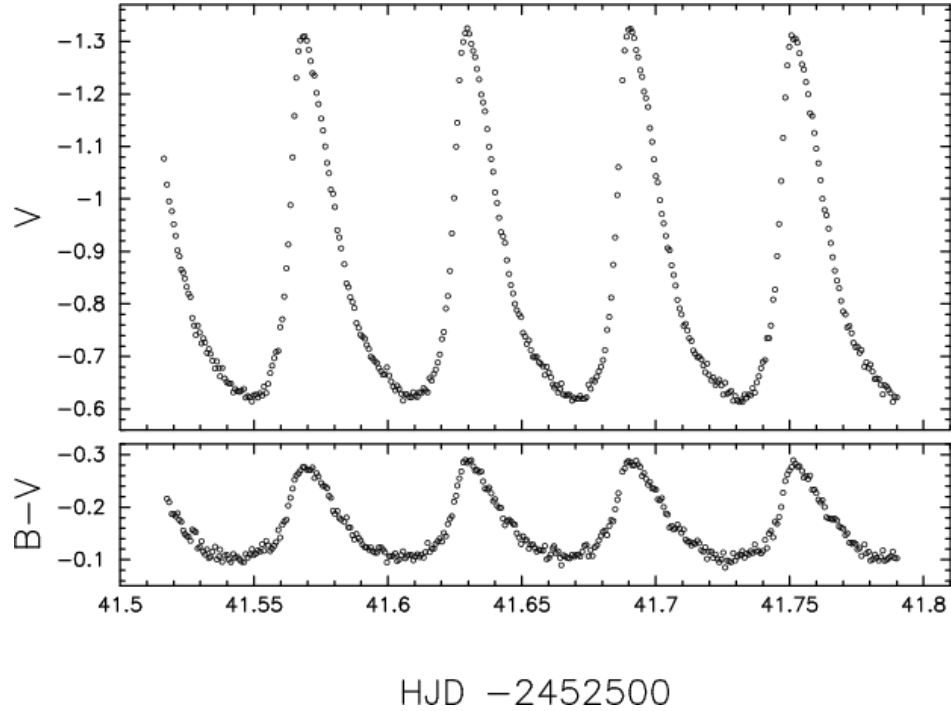


$n=2$ radyal modda zonklayan δ Scuti türü bir değişen yıldızın yapısı.



Türün en büyük genliğe sahip örneklerinden CY Aqr ilk defa Hoffmeister (1934) tarafından fotoğrafik plakların incelenmesi sonucunda keşfedilmiştir. Daha sonra Jensch (1934) tarafından son derece kısa dönemli ($P=0^{\text{g}}.061=88$ dk) değişenler olduğu anlaşılmıştır. Şekil 20’de gösterilen ışık eğrisi normal RRab türü değişen yıldızların ışık eğrisine benzemektedir.

CY Aqr’nin parlaklığının maksimuma çıkma süresi yaklaşık 10 dk kadardır ve bu sürede 1 kadir kadar parlaklık değişimi gösterir.



Şekil 20. Kısa dönemli (87.9 dk), büyük genlikli (V bandında 0.71 kadir ve B bandında 0.89 kadir) değişim gösteren CY Aqr yıldızının 2003 yılında elde edilmiş ışık eğrisi.

...devam

Son derece kısa dönemli değişen yıldızlar (ultra-short-periodic variables) tanımı sonradan Eggen tarafından parlaklık değişim genliği dikkate alınmadan kullanılmaya başlanmıştır.

CY Aqr benzeri cisimlerin RR Lyrae türü değişen yıldızlardan farklılıkları konusunda ilk çalışmalar Smith (1955) tarafından verilen fiziksel parametreler ile başlamıştır.

Smith bu tür yıldızlara δ Cephei türü değişen yıldızların küçük halleri olduklarını belirtmek için “**cüce cepheidler**” tanımlamasında bulunmuş ve bu tür yıldızların orta popülasyona ait yıldız olduklarını belirtmiştir. Fakat bu tanımlama daha sonra çeşitli nedenlerden dolayı kullanılmamaya başlanmış ve “**AI Velorum yıldızları**” veya sonradan çok daha büyük genlikli değişim gösterenler bulunduktan sonra “**RRs değişenleri**” olarak adlandırılmaya başlanmıştır.

Breger (1979) ve diğer araştırmacılara göre büyük genlikli ve küçük genlikli bu tür değişen yıldızların fiziksel özellikleri açısından bir farklılığın bulunmadığı belirtilmiş ve **δ Scuti** adlandırılması kullanmayı tercih etmişlerdir.

...devam

δ Scuti türü değişen yıldızlarının istatistiksel incelemesinde seçim etkisi nedeniyle çeşitli güçlükler bulunur. Fotoğrafik olarak bu tür yıldızların bulunabilmesi ancak parlaklık değişim genlikleri büyük olan yıldızlar için yapılabilmektedir ve bu tür gözlemler için uzun poz süresi verilmesi gerektiğinden değişime ilişkin dönemi bulmak mümkün olmamaktadır.

A2V ile F0V tayf türünden yıldızlara ilişkin yapılan çok sayıdaki fotoelektrik gözlemler sonucunda, bu gruba ait yıldızların sayısı önemli şekilde artmıştır. Fakat bu çalışmalar sistematik çalışmalar olmadığından istatistiksel yanılığlara yol açmaktadır.

GCVS'de listelenmiş toplam **364** adet bu türden değişen yıldız bulunmaktadır ve bunlardan 38 tanesinin sınıflandırılmasında halen belirsizlik bulunmaktadır.

Çizelge 17'de bu tür değişen yıldızlar için V bandı genliklerine ilişkin dağılım verilmiştir. Çizelge 18'de ise 0.45 kadirde daha büyük genliğe sahip 13 örnek ve δ Scuti'nin kendisi için ayrıntılı bilgi verilmiştir.

...devam

Çizelge 17. 8 Scuti değışen yıldızlarının genlik dağılımları.

Genlik V	Sayısı
≤ 0.05 kadar	90
0.051-0.100	14
0.11 - 0.20	3
0.21 - 0.30	4
0.31 - 0.40	4
0.41 - 0.50	4
0.51 - 0.60	5
0.61 - 0.70	4
Toplam :	129



...devam

Çizelge 18. Bazı δ Scuti türü değişen yıldızlarına ilişkin parametreler.

Yıldız	Dönem (gün)	Genlik (V)	Tayf Türü
SX Phe	0.055	0.51	sdF0
CY Aqr	0.061	0.73	F0
DY Peg	0.073	0.54	A9
AE UMa	0.086	0.70	A9
EH Lib	0.088	0.50	F0
RV Ari	0.093	0.70	A0
AI Vel	0.112	0.67	F2
V703 Sco	0.115	0.50	F2
SZ Lyn	0.120	0.51	F0
DY Her	0.142	0.49	F4 III
RS Gru	0.147	0.56	A8
VZ Cnc	0.178	0.61	F2 III
BS Aqr	0.198	0.51	F3
δ Sct	0.194	0.29	F3 III-IV

Fiziksel Özellikleri – Zonklama Mekanizması

δ Scuti türü değişenlerin büyük çoğunluğu Pop I türü yıldızlardır ve az sayıda bu tür değişenin *Açık Yıldız Kümelerinde*'de bulunduğu görülmüştür.

Bu tür değişen yıldızların çok az bir kısmında düşük metal bolluğuna (Pop II türü olduğuna işaret eder) rastlanmıştır ve muhtemelen normal Pop I türü sistemlere ilişkin HR diyagramında anakolun altında bulunurlar.

Buna ekstrem örnek SX Phe yıldızdır ki Çizelge 18'de ışınım sınıfı *sd* (subdwarf: alt-cüce) olarak verilmiştir. Bazı hallerdeki yüksek uzay hızları onların Pop II üyeleri olduklarını göstermesine rağmen, bu tür yıldızların metalce fakir yıldızlar olduklarına yönelik öneriler bulunmaktadır (Baglin ve ark. 1980).

...devam

Mutlak parlaklıkları $M_V=0$ ile +3 arasında bulunur (SX Phe örneği için +4.1 kadirdir) ve böylelikle δ Cephei, W Virginis ve RR Lyrae türü değişen yıldızların buldukları zonklama şeridinin alt sınırında sürekliliği sağlarlar.

Işınımgücü ile tayf türü arasındaki bağımlılık için gerekli düzeltmeler yapılırsa, iyi belirlenmiş bir dönem-ışınımgücü bağıntısı gösterirler. δ Cephei ve RR Lyrae türü değişen yıldızlar ile karşılaştırıldığında dikine hız eğrileri her zaman ışık eğrisinin ayna simetrisi şeklinde olmamakta ve yaklaşık olarak dönemin 1/10'u kadar evre kaymasına sahiplerdir.

Maksimum sıcaklık, maksimum parlaklığa ulaşmadan çok kısa zaman önce gerçekleşir. $P=0.14$ gün olan yıldızlar için yarıçap ve kütle değerleri yaklaşık olarak $3 R_{\odot}$ ve $2 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır.

...devam

Bu fiziksel parametrelerden hesaplanan zonklama sabiti $Q=0.038$ gün kadardır. Teorik modellerden bu tür yıldızların parlaklık değişim nedeninin büyük oranda zonklama olduğu gösterilmiştir. Diğer zonklayan değişen yıldızlarda olduğu gibi zonklamamanın temel nedeni He^+ iyonizasyon sınırında işleyen *Kappa Mekanizması* dır.

Fakat *Kappa mekanizması* ile açıklanamayan örneklerin olduğu da bilinmektedir. Bu türler radyal olmayan zonklamada bulunurlar. Az sayıda olan bu tür örneklerden en ünlüsü *V474 Mon*'dur. Araştırmalar sonucunda 7.217, 7.346 ve 7.475 çevrim/gün (dönem olarak 0.1386, 0.1361 ve 0.1337 gün) frekanslarına sahip olduğu bulunmuştur. Bu değişenin genliği 0.2 kadir kadardır ve tayf türü ise F2 IV dir.

Benzer özelliklere sahip diğer sistemler: *V571 Mon*, *V376 Per* ve *V1208 Aql* gösterilebilir.

...devam

δ Scuti türü değişen yıldızlar kararsızlık kuşağının veya HR diyagramındaki zonklama şeridinin alt kısımlarında bulunurlar ve δ Cephei türü değişen yıldızlar ile bağlantılı olan cisimlerdir. Fakat bu bölgede bulunan yıldızların ancak 1/3'ünde ölçülebilir parlaklık değişimi bulunmuştur ve değişim gösterenler genel olarak δ Scuti olarak incelenirler.

Zonklamaya neden olan faktörlerin neler olduğu veya zonklamayı engelleyecek faktörlerin neler olduğu konusunda tam bir bilgiye henüz sahip değiliz. Muhtemelen yıldızların kendi eksenleri etraflarındaki dönmeleri bunda önemli bir rol oynamaktadır.

Yavaş dönen yıldızlarda meydana gelen sirkülasyon, He^+ iyonizasyon bölgesinin iç kısımlarına doğru sönümlenmekte ve yüzeyin üst kısımlarına doğru metallerin taşınmasına neden olmaktadır. He^+ miktarının iyonizasyon bölgesinde aşırı azalması, Kappa Mekanizmasının bozulmasına ve bunun sonucu olarak da zonklama kararlılığının yok olmasına yol açabilir (Am Yıldızları).

Genel olarak maddenin karışmasına neden olan karmaşık süreçler ile maddenin yüzeyde ince tabakalara ayrılmasını sağlayan süreçlerin, zonklamaları artırabileceği gibi tersine azaltabileceği ve hatta bazı durumlarda son derece güçlü salma durumlarını ortaya çıkarabileceği düşünülmektedir.

Çoklu Dönemler

δ Scuti türü değişenlerde dönemlerinin bulunması, genliklerinin küçük olmaları nedeniyle genellikle çok zor bir iştir. Bu tür çalışmalar genellikle ikincil dönemler nedeniyle, asıl zonklamaya ilişkin dönemlerin etkilenmesi sonucu çok daha zor hale gelebilmektedir. Aynı olay δ Cephei ve RR Lyrae türü değişen yıldızlarında da mevcuttur.

Çizelge 19'da Fitch (1976) tarafından çoklu döneme sahip olduğu kesin olan sistemlerdeki dönem değerleri verilmiştir. Bu çizelgeye, çizelge 11'in bir devamı olarak bakılabilir. Bu örnekte daha kısa dönemli yıldızlar bulunmaktadır.

...devam

Çizelge 19. 8 Scuti yıldızlarında belirlenmiş çoklu dönemler. Dönemler gün birimindedir.

Yıldız	P_0	P_1	P_2	P_1/P_0	P_2/P_1	P_2/P_0
VZ Cnc		0.1784	0.1428		0.8006	
VY Hya	0.2234	0.1727		0.7732		0.6005
D Sct	0.1983		0.1164			
V703 Sco	0.1500	0.1152		0.7683		0.6069
V474 Mon	0.1361		0.0826			0.5999
CC And	0.1249		0.0749			
AI Vel	0.1116	0.0862		0.7727		
BP Peg	0.1094	0.0845		0.7715		
V571 Mon	0.0999	0.0750		0.7507		
RV Ari	0.0931	0.0720		0.7726		
AE UMa	0.0860	0.0665		0.7734		
CY Aqr	0.0610	0.0454		0.7443		
SX Phe	0.0550	0.0428		0.7782		

...devam

Dönem belirlenmesinde karşılaşılan güçlüğe örnek V474 Mon sistemi verilebilir. Çizelgede sistem radyal olmayan zonklamada bulunan değişen yıldız olarak sınıflandırılmasına rağmen, burada temel modda (P_0) zonklama yaptığı ve ikinci zonklama döneminin (P_2) olduğu görülebilir.

Dikkatli bir şekilde analizi gerçekleştirilmiş ışık eğrilerinde δ Scuti'nin kendisinde toplam 9 ayrı dönem olduğu bulunmuştur. Bunlar içinde radyal olmayan zonklama modları da bulunur. Ek olarak δ Cephei ve RR Lyrae türü değişen yıldızlarda da farklı dönemlerin birleşiminden oluşan dönemler olduğu bilinmektedir.

Bunun yanında Çizelge 19'da verilen dönemlerin oranları, teorik olarak hesaplanan zonklama dönemlerinden elde edilen değerler ile çok iyi uyumludur.

Bu parametre yıldızların metal bolluklarına bağlıdır ve $P_1/P_0=0.74$ ile 0.78 arasında ve $P_2/P_1 \approx 0.81$ olduğu teorik olarak hesaplanmıştır.

Buradan çıkarılacak bir başka sonuç ise δ Scuti'lerin tamamının temel modda zonklama yapmadıklarıdır.

Dönem-Parlaklık Bağintısı

- Diğer zonklayan değişenler gibi δ Scuti yıldızları da dönem-ışınım gücü (PL) veya dönem-ışınım gücü-renk (PLC) bağıntısı gösterirler. Bu durum ise radyal zonklama döneminin yıldızın yarıçap ve kütesine bağlı olduğunu gösterir. Son elde edilen dönem-ışınım gücü bağıntısı (Petersen ve Christensen-Dalsgaard, 1999) aşağıda verilmiştir,

$$M_v = -3.725 \log P (\text{temel_mod}) - 1.969$$

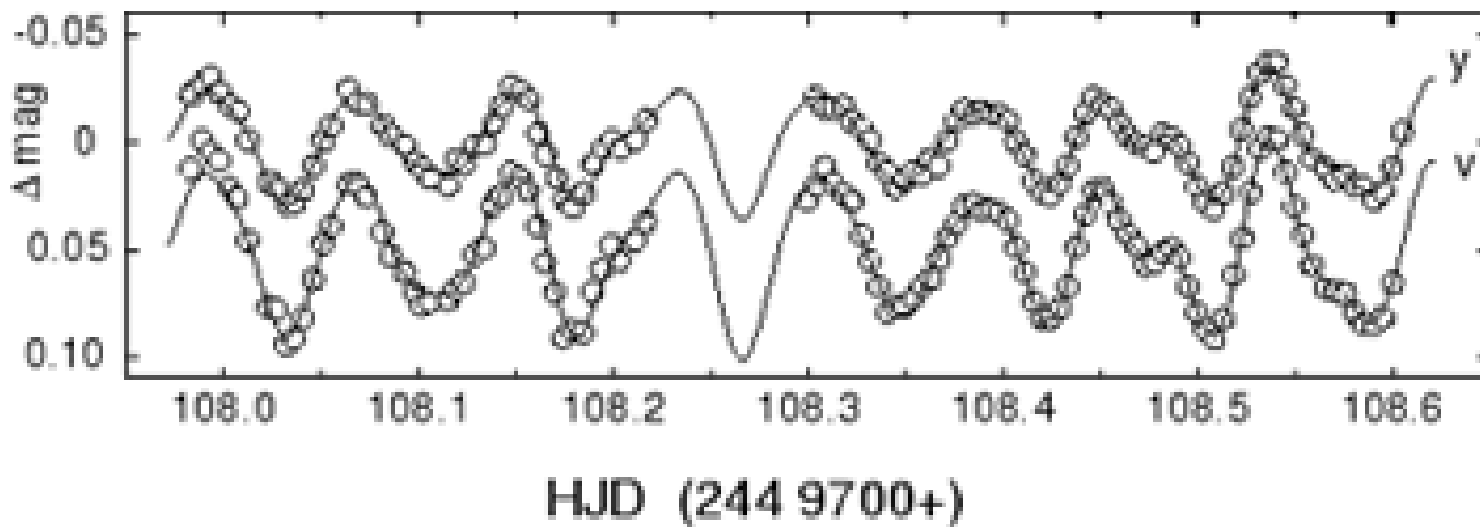
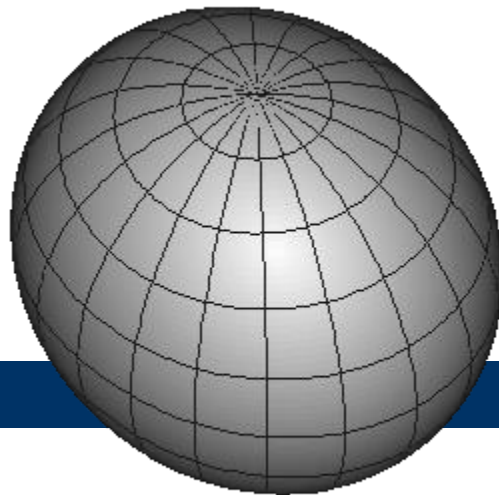
Bu ifadeden M_v mutlak parlaklık değerleri ± 0.1 hata ile elde edilebilmektedir.

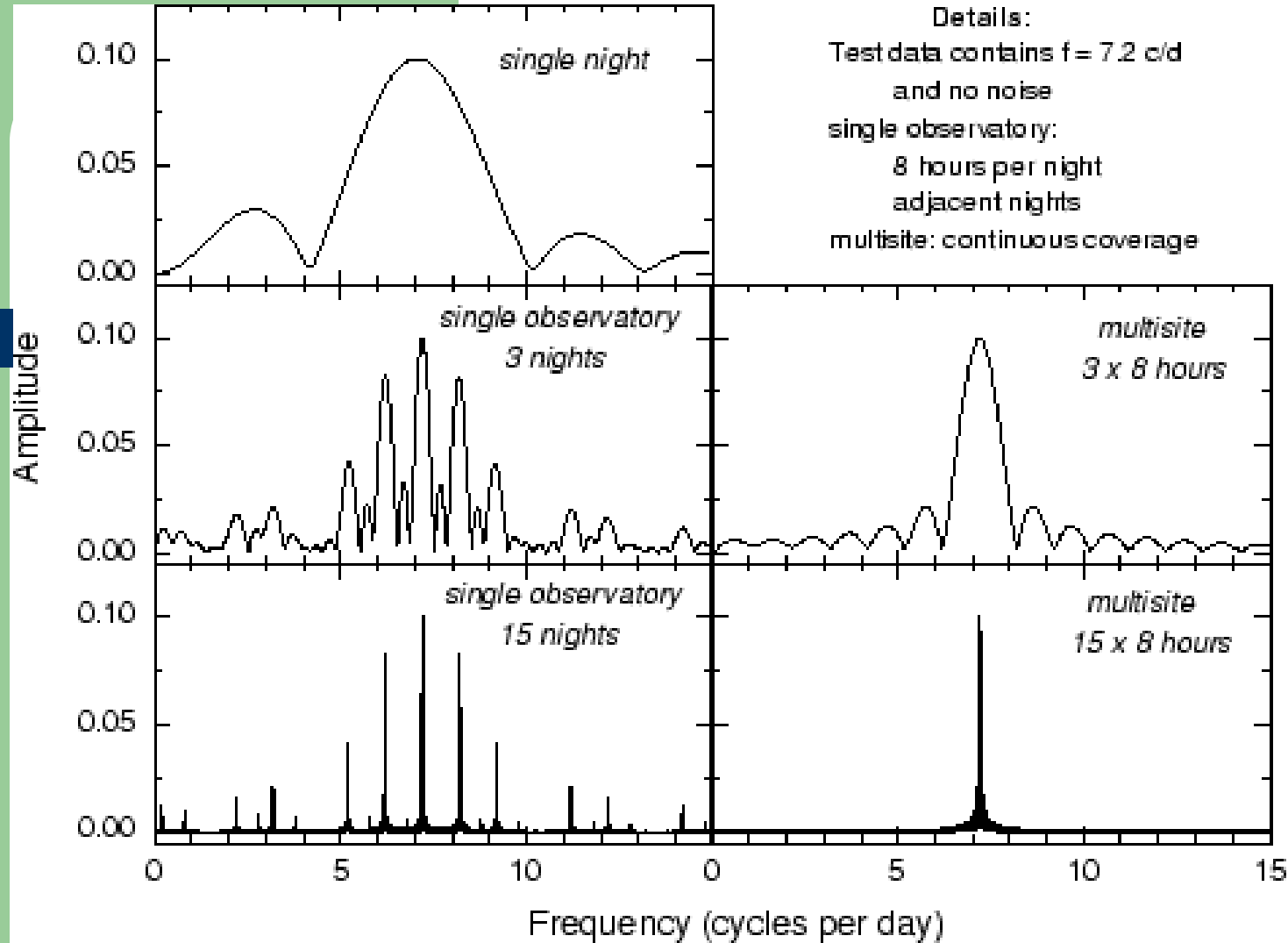
The Delta Scuti Network (DSN)

(<http://www.univie.ac.at/tops/dsn/intro.html>)



FG Vir





- Tek bir gözlemevi, tek gözlemevi 3 gözlem gecesi ve tek gözlemevi 15 gözlem gecesi durumlarına karşılık gelen Fourier analizi. Sağda bulunan şekillerde ise 3x8 saatlik ve 15x8 saatlik farklı gözlemevlerinden gözlem yapılması durumuna karşılık gelen Fourier analizi gösterilmiştir.

FG Vir

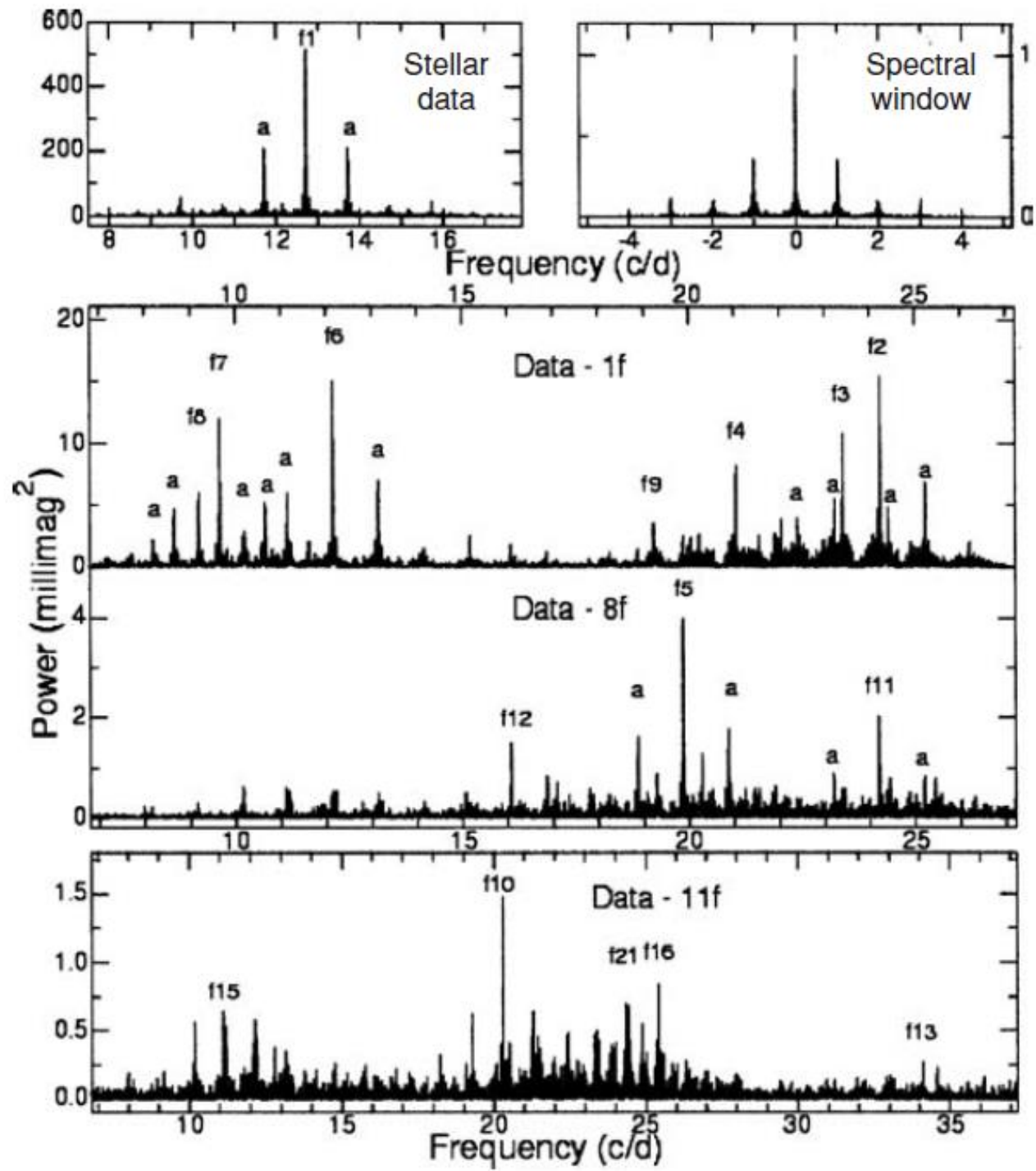
FG Virginis dönemleri 0.025 ile 0.174 gün arasında değişen 79 farklı modda zonklamaktadır ve genlikleri 0.2 mili-kadir veya daha büyük değerlere sahiptir (Breger ve ark. 2005).

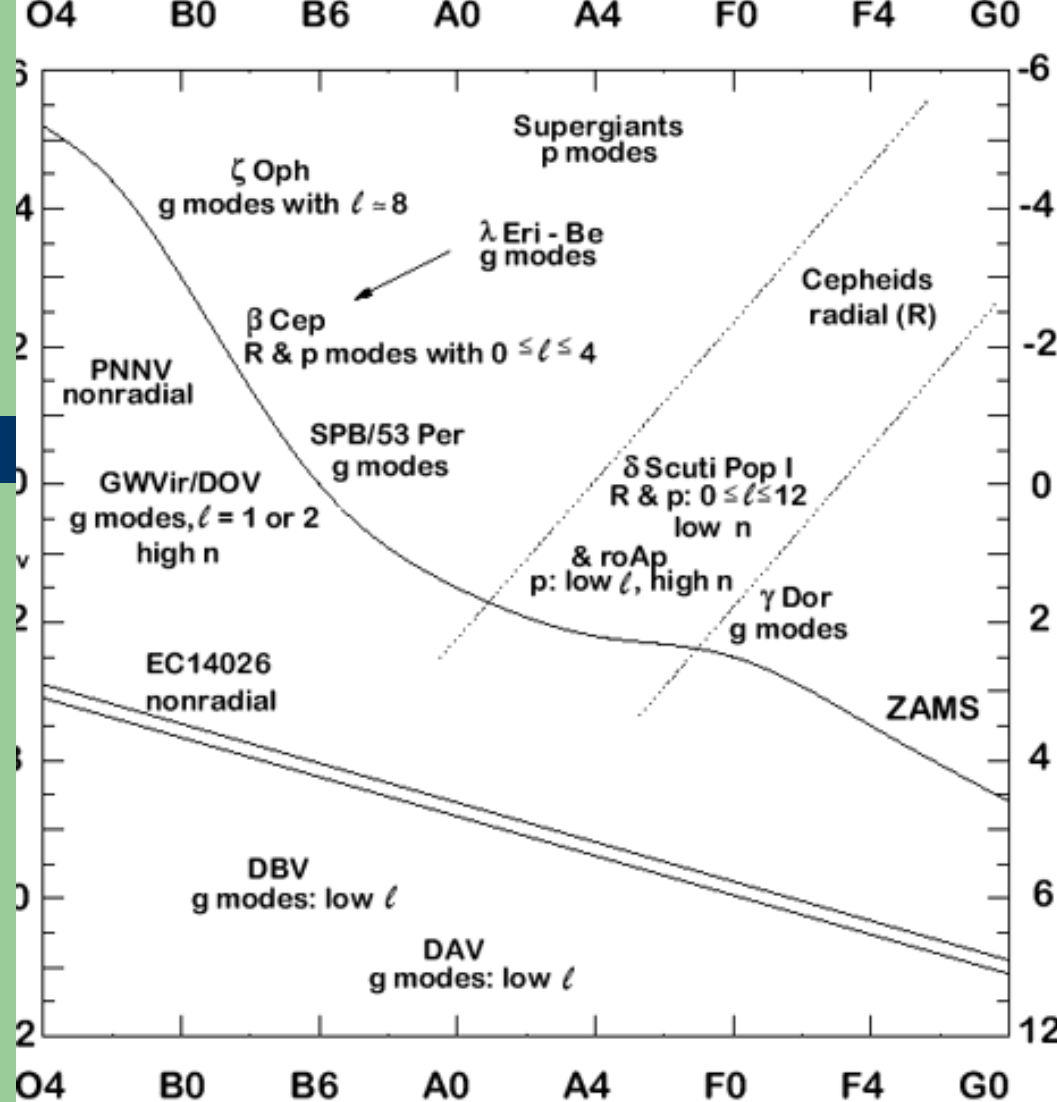
Böylesine bir çalışma gözlemlerin sadece tek bir gözleminden yapılması durumunda imkansızdır; gözlem sayısını sınırlayan sadece gündüz gözlem yapılamaması değildir, fakat bu durum güç spektrumunda hatalı piklerin ortaya çıkmasına neden olur. Birden fazla boylamda gözlemlerin sürekli olarak yapılması bu türden çalışmalar için gereklidir.



FG Vir'in güç spektrumu, bir önceki şekilde bulunan gözlem verilerinden elde edilmiştir (Breger ve ark. 2004).

En üst panelde yıldız verisi ile gözlem zamanları için elde edilmiş güç spektrumu verilmiştir (pencere fonksiyonu). Sonraki üç panelde ise 1, 8 ve 11 frekanslarının arındırılması ile elde edilen güç spektrumu verilmiştir.



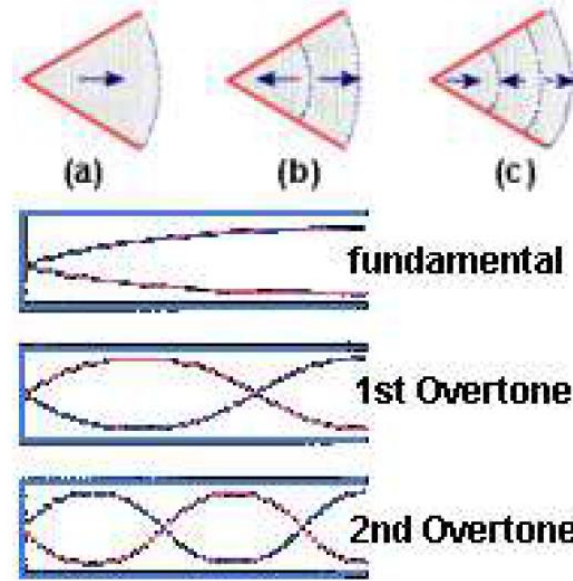


Spectral Type

Pulsation modes
 R = radial
 p = nonradial acoustic
 g = nonradial gravity

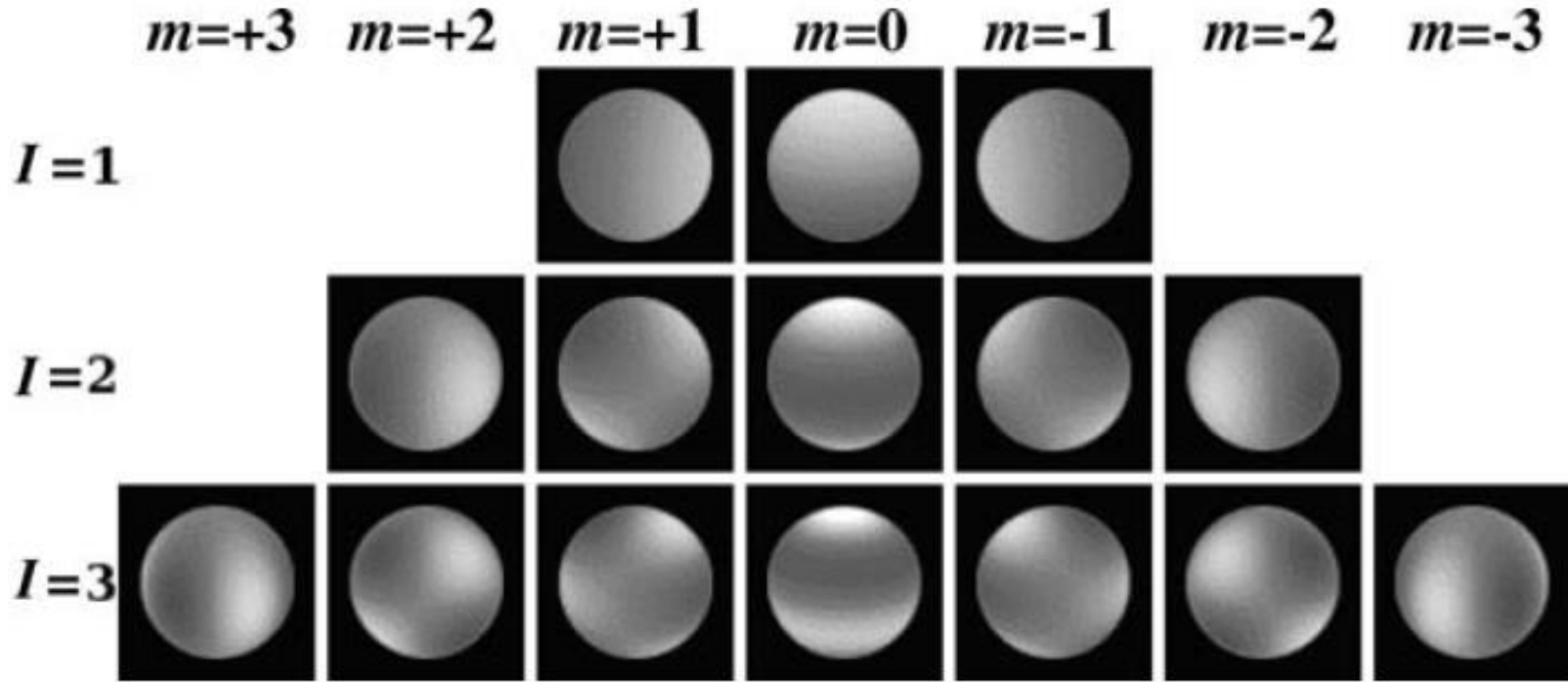
Quantum numbers
 n = radial
 ℓ = degree
 m = azimuthal

Zonklama modları



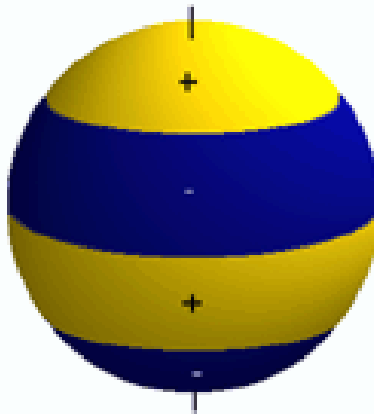
- Yıldızlar ilk yaklaşım olarak küresel biçimli cisimler olarak ele alınır. Bu tür cisimlerde karşılaşılabileceğimiz en basit zonklama, *çapsal (radyal) zonklama* olabilir ki bu durumda yıldız küresel simetriğini bozmadan dış katmanlarının genişleme ve büzölmeye maruz kalır.
- Bir yıldızda sonsuz sayıda çapsal zonklama modu bulunabilir. En basitine *temel mod* adı verilir. Bu modda yıldız bir bütün olarak genişler ve büzölür.
- Bir sonraki en basit zonklama modu, *birinci overton* modudur. Bu modda yıldızda *düğüm veya büküm noktaları* (nodal sphere) bulunur, ki materyal bu noktalarda sabit kalır. Bu noktanın dışında kalan küre genişlerken, bu noktanın içerisinde kalan küre büzölür ve/veya bunun tam aksi gerçekleşir.
- İkinci overton modunda ise kürede iki adet düğüm noktası bulunur, ki bu noktalarda madde hareketsizdir.

- apsal olmayan zonklama modları;
- (i) *p (basınç) modları* ki bu durumda hareketler çapsal şekildedir ve yöneten kuvvet basıncıdır (apsal modlarda olduğu gibi), ve
- (ii) *g (ekimsel) modlar* ki bu durumda hareketler temel olarak yatayda gerçekleşir ve yöneten kuvvet ekimseldir (su dalgalarına benzer şekilde).
- Yıldızların büyük kısmı çapsal olmayan zonklamada bulunur: beyaz cüce atarcalarının büyük çoğunluğu, yavaş zonklayan B yıldızları ve Gamma Doradus yıldızları ve bazı Beta Cephei ile Delta Scuti'ler hem çapsal hem de çapsal olmayan modlarda zonklarlar.
- apsal olmayan zonklamalar, çapsal zonklamalara göre daha düşük genlikli parlaklık ve renk değişimlerine neden olur fakat eğer gzlenebilirse göreli genlikleri ve evreleri (dönemleri ile birlikte dikkate alınarak) apsal olmayan zonklama modlarının daha kesin bir şekilde tanımlanabilmesine neden olurlar.

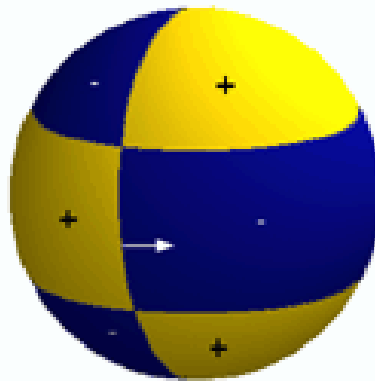


- **Şekil 6.1** Çapsal olmayan zonklama modlarının şeklen gösterimi. Parlak renkli bölgeler içeriye doğru hareket ederken, karanlık bölgeler yukarıya doğru hareket eder. Çapsal zonklamada, yıldızın her parçası içeriye ve dışarıya doğru birlikte hareket eder. (Whole Earth Telescope)

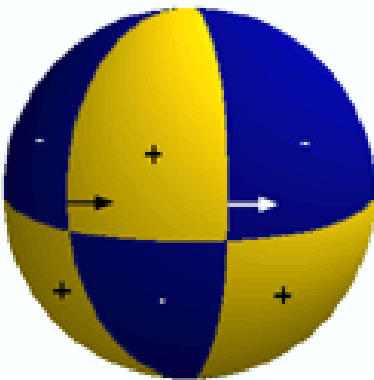
Zonklama Modlari



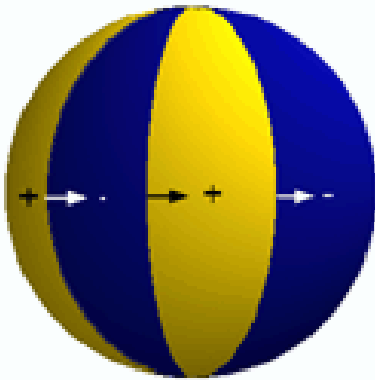
$|m| = 0$



$|m| = 1$



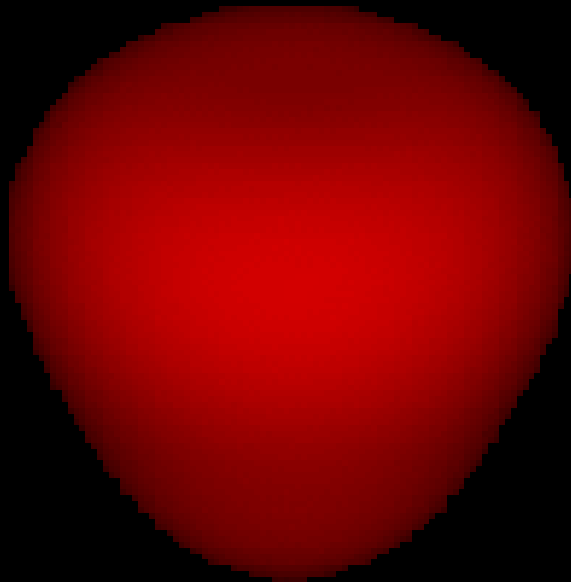
$|m| = 2$



$|m| = \ell = 3$

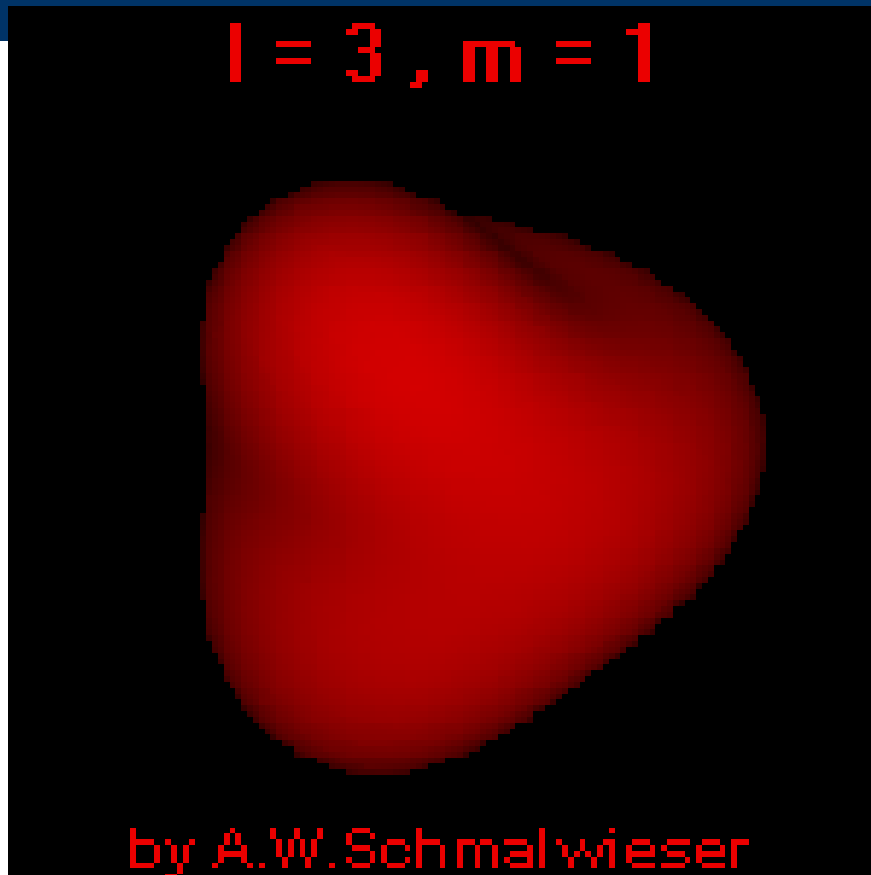
$l=3, m=0$

$l = 3, m = 0$

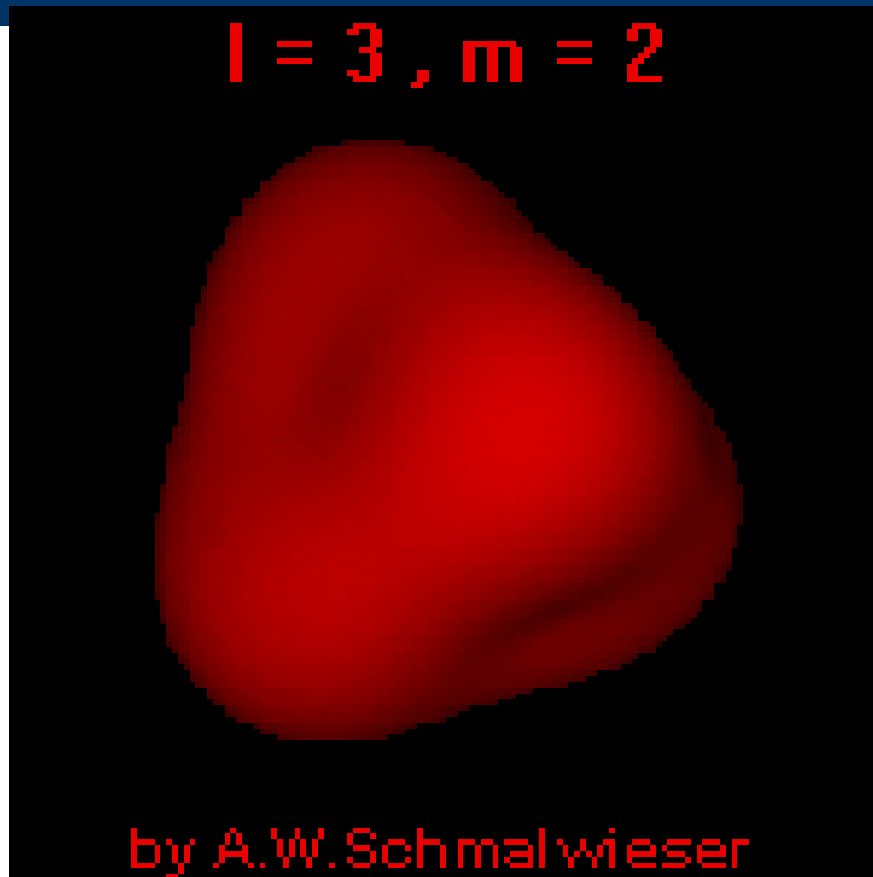


by A.W. Schmalwieser

$l=3, m=1$

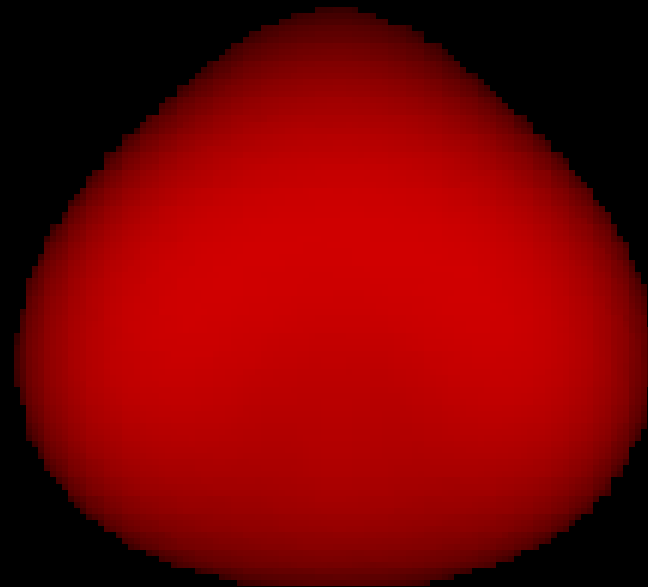


$l=3, m=2$



$l=3, m=3$

$l = 3, m = 3$



by A.W. Schmalwieser

- <http://www.univie.ac.at/tops/Period04/>
- <http://www.aavso.org/software-directory/>
- CLEANest (Foster, 1995)

- <http://www.as.up.krakow.pl/o-c/cont.html>
- <http://var.astro.cz/ocgate/index.php?lang=en>

- Bob Nelson: <http://members.shaw.ca/bob.nelson/software1.htm>