

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI DEĞİŞEN YILDIZLARIN ÇOKLU PERİYOT DEĞİŞİMLERİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASEMİN ŞAHİN

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi TUNCAY ÖZDEMİR

AĞUSTOS 2023

T.C
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZI DEĞİŞEN YILDIZLARIN ÇOKLU PERİYOT DEĞİŞİMLERİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yasemin ŞAHİN

(36203612004)

Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Tuncay ÖZDEMİR

AĞUSTOS 2023

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aőamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedен beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Tuncay Özdemir'e, ROTSE III'd yıldızının verilerini ön analizlerini yapıp kullanmamıza izin veren Sayın Prof.Dr. Varol Keskin'e

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalıőmalarım süresince de bana her türlü destek olan aileme,

teşekkür ederim.

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Bazı Değişen Yıldızların Çoklu Periyot Değişimlerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığıım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yasemin Şahin



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Siyah Cisim Işıması	1
1.2. Kadir (Magnitude) Kavramı.....	3
1.3. Mutlak Kadir	5
1.4. Renk ve Renk İndeksi	6
2. DEĞİŞEN YILDIZLAR.....	8
2.1. Değişen Yıldızların Özellikleri ve Bileşimi	9
2.1.1. İçsel değişenler	10
2.1.2. Dışsal değişenler.....	12
2.2. Değişen Yıldız İsimlendirmesi.....	13
2.3. Değişen Yıldız Araştırmalarının Önemi	15
2.4. Spektral Sınıf ve Parlaklık Sınıfı.....	16
2.5. Hertzsprung-Russel Diyagramı	17
3. IŞIK EĞRİSİ.....	21
3.1. Julian Günü.....	21

3.2. Değişen Bir Yıldızın Ephemerisi.....	22
4. YILDIZ EVRİMİ	24
4.1. Kütle Sürekliliği	24
4.2. Hidrostatik Denge Denklemi.....	24
4.3. Basınçlar.....	26
4.3.1. Elektron gazı.....	26
4.3.2. Ortalama ağırlık.....	27
4.4. Işınım Basıncı	29
4.5. Enerji Üretim Oranı	30
4.6. Zonklama Mekanizması.....	31
5. ARAŞTIRMA VERİLERİ ve ANALİZ	35
5.1. Kırmızı Değişen Yıldızlar	36
5.2. Zonklayan Değişenler	37
5.3. Çoklu Periyot.....	41
5.4. Seçilen Yıldızlar	42
6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR.....	43
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2-1 : Farklı Spektral sınıftaki yıldızların özellikleri	16
Çizelge 2-2: Parlaklık sınıfları	17
Çizelge 3-1: Julian günü tanımları	22
Çizelge 4-1: İyonize gaz için ortalama moleküler ağırlıklar	27
Çizelge 4-2: İyonize gaz için elektron başına ortalama moleküler ağırlıklar	27
Çizelge 5-1: Seçilen yıldızlar	42



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1-1: Siyah cisim ışıması	2
Şekil 1-2: Geniş band sistemlerinin sistematik geçirim eğrileri	7
Şekil 2-1: U Geminirium yıldızının en parlak ve en sönük durumları	9
Şekil 2-2: Örtün değişen yıldızlar.....	10
Şekil 2-3: M31 Andromeda galaksisinde ki V1 cepheid değişen yıldızı.....	10
Şekil 2-4: Cepheid ışık eğrisi	11
Şekil 2-5: Nova ışık eğrisi.....	11
Şekil 2-6: Mira ışık eğrisi	11
Şekil 2-7: Püsküren değişen ışık eğrisi).....	12
Şekil 2-8: Spektral çizgi şiddetinin sıcaklığa bağlılığı	17
Şekil 2-9: HR diagramı. Kesik çizgiler eş yarıçap eğrileridir.....	18
Şekil 2-10: renk-parlaklık HR diyagramı	19
Şekil 2-11: HR diyagramında Dev kolları	19
Şekil 3-1: elektromanyetik spektrum.....	21
Şekil 3-2: Örnek ışık eğrisi	23
Şekil 4-1: Kütle elemanı	24
Şekil 4-2: Hidrostatik denge	25
Şekil 4-3: ideal gazın basıncı	29
Şekil 4-4: Küresel kabuk.....	30
Şekil 4-5: Zonklayan yıldızların HR diyagramı.....	31
Şekil 4-6: Çanın rezonans modları	32
Şekil 4-7: Sismik dalgalar.....	33
Şekil 5-1: ROTSE teleskopları.....	35
Şekil 5-2: M-68 küresel kümesinin HR diagramı	36
Şekil 6-1: IRAS 01216+6129 yıldızı SIMBAD veritabanı sonucu.....	43
Şekil 6-2: IRAS 01216+6129 ışık eğrisi.....	44
Şekil 6-3: DR2 511537378127424000 ışık eğrisi	45
Şekil 6-4: IRAS 01216+6129 yıldızının periyod analizi	46
Şekil 6-5: Gaia DR2 519032302210272768 ışık eğrisi.....	46
Şekil 6-6: DR2 511537378127424000 periyod analizi	47
Şekil 6-7: Gaia DR2 519032302210272768 analizi.....	48
Şekil 6-8: IRC +50278 ışık eğrisi.....	49

Şekil 6-9: IRC +50278 yıldızının dönemsel analizi	50
Şekil 6-10: IRAS 20575+2718 çoklu dönem analizi.....	52



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$B_{\lambda}(T)$: Siyah cisim ışımasında T sıcaklığındaki bir cismin birim zamanda birim alanından yayılan enerji
Φ	: Işık eğrisinde evre
GRB	: Gama ışını parlamaları (Gama Ray Burst)
M_{\odot}	: Güneş Kütlesi
R_{\odot}	: Güneş çapı
σ	: Stephan-Boltzmann sabiti
T	: Sıcaklık
M	: Mutlak kadir
m	: Görünen kadir
mag	: Kadir



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI DEĞİŞEN YILDIZLARIN ÇOKLU PERİYOT DEĞİŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

YASEMİN ŞAHİN

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

57+ IX sayfa

2023

Danışman: Dr. Öğr.Üyesi Tuncay Özdemir

Gama ışınları patlamalarının optik bölgedeki kaynaklarını bulmak üzere tasarlanmış olan ROTSE (Robotic Optical Transient Search Experiment) teleskopları, iki tanesi güney yarıkürede (Avustralya ve Namibya) iki tanesi de kuzey yarıkürede (Amerika ve Türkiye) kurulmuş robotik teleskoplardır. Bu teleskopların temel amacı Compton Gama ışınları teleskobu ile uyumlu bir şekilde çalışarak, uydu tarafından tespit edilen gama ışınları patlamalarının optik kaynaklarını tespit etmektir. Uydudan herhangi bir uyarı gelmediğinde teleskop filtresiz olarak tarama gözlemleri yapmaktadır. Bizim bu tezde kullanacağımız veriler işte bu tarama gözlemlerinin sonuçlarının bazılarıdır. Tarama gözlemleri sonucunda daha önce incelenmemiş binlerce yıldızın ışık eğrisi elde edilmiştir. Çalışmamızda bu yıldızlardan bazılarının ışık eğrilerini kullanarak periyot analizi yardımıyla henüz tam olarak sınıflandırılmamış değişen yıldızları sınıflandırmaya çalıştık. Yıldız sayısı çok fazla olduğu için çalışmamızı çoklu değişim periyoduna sahip yarı düzenli değişen yıldızlar üzerine temellendirdik. Yarı düzenli yıldızlar zonklama gösteren değişen yıldız tipinden olup özellikle evrim açısından mira tipi değişenler ile ilişkilendirildiği için önemlidir. Yıldızın iç yapısındaki fiziksel olaylar sonucu oluşan ses dalgaları yıldızın biçimini bozarak onun ışık eğrisinde değişime neden olurlar, bu değişim doğrudan yıldızın iç yapısı ile ilgili olduğu için yıldız evrimi ile ilgili bilgi verirler.

Anahtar kelimeler : Değişen yıldızlar, Yarı değişen yıldızlar, Çoklu periyot, Işık eğrisi

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF MULTIPLE PERIOD CHANGES OF SOME VARIABLE STARS

YASEMİN ŞAHİN

İnönü University

Graduate School of Nature and Applied Sciences

Physics Department

57+ IX pages

2023

Supervisor: Dr. Öğr.Üyesi Tuncay Özdemir

ROTSE (Robotic Optical Transient Search Experiment) telescopes, which are designed to find the sources of gamma-ray bursts in the optical region, are robotic telescopes, two of which are located in the southern hemisphere (Australia and Namibia) and two in the northern hemisphere (America and Turkey). The main purpose of these telescopes is to work in concert with the Compton Gamma-ray telescope to detect the optical sources of gamma-ray bursts detected by the satellite. When there is no warning from the satellite, the telescope makes scanning observations without a filter. The data we will use in this thesis are some of the results of these survey observations. As a result of scanning observations, the light curves of thousands of stars that have not been studied before have been obtained. In our study, we tried to classify variable stars that are not yet fully classified with the help of period analysis using the light curves of some of these stars. Since the number of stars is very large, we have based our study on semi-regular variable stars with multiple change periods. Semi-regular stars are of the pulsating variable star type and are especially important for evolution because they are associated with mira-type variables. Sound waves, which occur as a result of physical events in the internal structure of the star, deform the star and cause a change in its light curve. Since this change is directly related to the internal structure of the star, they give information about the evolution of the star.

Key Words: Variable stars, Semi-variable stars, Multiple period, Light curve

1. GİRİŞ

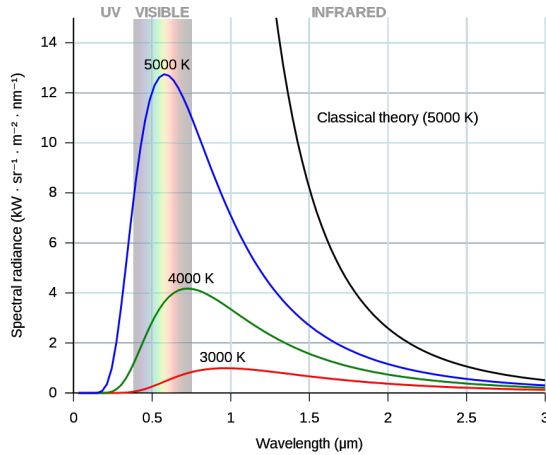
Gökyüzü ile ilgili kitapların neredeyse tümü, insanın gökyüzüne baktığında o muazzam güzellik karşısında hissettiği hayranlık ve acizlik duyguları ile başlar. İlkçağ insanının hayal dünyasının çizdiği takım yıldız çizgileri neredeyse hiç değişmeden günümüzde de kullanılmaktadır. Artık evrenin yapısal öğelerinin büyük çoğunluğunu biliyoruz. Teoriler üretip gözlemler ile bu teorileri destekleyebiliyoruz ama yine de bildiklerimiz bilemediklerimizden çok çok az. Astronomi tarihi antik Babil ve Mısır uygarlıklarına dayandırılır. İlk astronomik gözlemlerin özellikle antik Babil uygarlığında doğrudan geleceği tahmin yani kehanet ile de yakından ilgisi vardı. Tarım toplumuna geçişte ilk olarak ürünün ihtiyacı olan suyun bol olduğu yerlerde tarım yapılmaya başlanmıştır. Genellikle büyük nehir kenarlarında olan bu ekim alanlarını kullanabilmek için, nehrin taşma zamanlarını bilmek gerekiyordu. İlk gökyüzü gözlemleri ve doğal olarak da ilk takvimler bu zamanlarda yapılmaya başlanmıştır. Babil uygarlığında bu iş için görevlendirilmiş rahipler buldukları tapınaklarda gökyüzünü takip ederek gözlemlerini kayıt altına alıyorlardı. Astroloji denilen uydurmaların kökü bu inanışlara kadar iner. Bu insanlar, Güneş'in ve Ay'ın hareketlerini izliyor ve günlük not ediyorlardı. Gök cisimlerinin hareketlerinin temelinde aslında ciddi matematik ve fizik bilgisi yatmasına rağmen, bu cisimlerin hareketlerinde bir düzen olması Astronominin daha hızlı ilerlemesine yol açmıştır. Geometriyi astronomiye ilk uygulayanlar ise antik Yunan filozofları olmuştur. Thales'in M.Ö 600 lü yıllarda bir Güneş tutulmasını önceden bildiği söylenmektedir. Özellikle gemicilikteki ilerlemeler yıldızların da bu gözlemlere eklenmesini gerektirdi. Bu gözlemlerde sadece konum bilgisi ile yetinilmiyor, yanında parlaklık bilgisi de gözlemleniyordu.

1.1. Siyah Cisim Işınması

Gökyüzüne baktığımız anda ses ya da başka bir yolla bize ulaşan bir etki yoktur. Algıladığımız her şey gözümüze gelen ışık sayesinde. Işık diye isimlendirdiğimiz nicelik aslında elektrik ve manyetik alan bileşenlerine sahip ve ilerlemek için bir ortama ihtiyaç duymayan bir elektromanyetik dalgadır. Bu dalganın taşıdığı enerji ile frekansı arasında doğrudan bir bağıntı vardır. Sahip oldukları enerjiye göre elektromanyetik spektrum dediğimiz şematik yapıda yüksek enerjili gama ışınlarından görsel bölgeye oradan da düşük enerjili radyo dalgaları bölgesine doğru farklı isimlerle sınıflandırılırlar.

Astronomi 'de verinin neredeyse tamamı elektromanyetik spektrumun farklı dalga boylarındaki fotonları tarafından taşınır. Kaynağından çıkan bu fotonlar, yıldızlar arası ortam dediğimiz ortamı aşarak Dünya'ya sonrasında atmosferi aşarak yeryüzüne ulaşır. O yüzden ışığın özelliklerinin bilinmesi astronomi açısından son derece önemlidir. Gelen bu ışınlar incelendiğinde kaynağın fiziksel yapısı hakkında bilgi verirler. Sıcak cisimlerin ışınım yaydıkları ve bu ışınımın renginin cismin ısı ile ilişkili olduğu 18. Yüzyılın sonlarından beri biliniyordu (Carroll, ve diğerleri, 2007) Daha sonra fizikçiler tarafından yapılan çalışmalarda, mutlak sıfır sıcaklığının üstündeki tüm cisimlerin tüm dalga boylarında farklı miktarlarda ışınım yaydıkları bulundu. İdeal bir yayımcı diye üstüne gelen tüm ışınımı soğuran ve bu ışınımı karakteristik spektrum şeklinde yayan cisimlere denir. Üstüne gelen tüm ışınımı soğuran cisim herhangi bir ışın yaymayacağı için bu tür cisimlere siyah cisim denmektedir.

Göz önüne aldığımız gök cismi yıldızsa, yıldızın parlaklığı yıldızdan gelen F ışınım akısı miktarı cinsinden ifade edilir. Işınım akısı, ışığın yoluna dik yönde yönelmiş birim alandan birim zamanda tüm dalga boylarında geçen ışık enerjisi miktarıdır. Siyah cisim ışınması 19. Yüzyılda fizikçilerin temel problemlerinden biri olmuştur ve Planck tarafından çözülmüştür. T sıcaklığındaki bir siyah cismin birim frekans aralığında birim alandan yaydığı ışınım şiddeti



Şekil 1-1: Siyah cisim ışınması (Kule, 2010)

$$B_{\nu}(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (1-1)$$

ile verilir. Burada

$h=6,626 \cdot 10^{-34}$ joule/sn , Planck sabiti

$c= 3 \cdot 10^8$ m/sn , ışık hızı

$k=1.38 \cdot 10^{-23}$ Joule/K, Boltzmann sabiti

$B_{\nu}(T)$ tanımından Watt/m²Hz sterad bulunur.

Yukardaki formülle verilen Planck spektrumu süreklidir, siyah cismin yaydığı birim zaman aralığında birim yüzeyden çıkan ışınım gücü

$$L = \sigma T^4 \quad (1-2)$$

Stephan-Boltzmann yasası ile verilir. Burada $\sigma=5.67*10^{-8}$ W/m²K⁴ Stephan-Boltzmann sabitidir.

Yıldızların da birer siyah cisim gibi ışınım yaptıklarını kabul ederiz. Böylelikle r yarıçapındaki bir yıldızın toplam ışınım gücü,

$$F = 4\pi r^2 \sigma T^4 \quad (1-3)$$

ile verilir. Denklem (1-1) ile verilen Planck fonksiyonunu dalga boyuna göre türev alıp sıfıra eşitlersek sonuç Wien kayma yasasıdır.

$$\lambda_{mak} T = 0.002898 \quad (1-4)$$

Buradan bulunan T sıcaklığına yıldızın etkin sıcaklığı denir. Planck yasasını daha basit yaklaşımlarla da ifade edebiliriz.

λ_{mak} yada $(hc/\lambda kT) \gg 1$ ise,

$$B_\lambda(T) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5} e^{-hc/\lambda kT} \quad (1-5)$$

Wien yaklaşımı oluşur.

$\frac{hc}{\lambda kT} \ll 1$ yani $(\lambda \gg \lambda_{mak})$ ise , $e^{hc/\lambda kT} \approx 1 + hc/\lambda kT$ ve

$$B_\lambda(T) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{\lambda kT}{hc} = \frac{2ckT}{\lambda^4} \quad (1-6)$$

Rayleigh-Jeans yaklaşımı olur.

1.2. Kadir (Magnitude) Kavramı

Henüz teleskobun icat edilmediği çağlarda insanlar yıldızlara bakarak onların farklı parlaklıklarda olduklarını keşfetmişlerdi. 2000 yıl önce Yunan astronom Hipparchus (Hipparkos) çıplak gözle görülebilen yıldızları altı parlaklık sınıfına ayırdı. Pogson 1856 yılında Herchel'in çalışmalarından faydalanarak birinci kadir den bir yıldızın altıncı

kadirden bir yıldızdan 100 kez daha fazla ışık akısı ürettiğinden hareketle günümüzde de kullanılan modern kadir kavramını geliştirdi (Kaitchuck, 1990). Kadir sistemi insan gözüne dayalıdır ve insan gözünün ışık duyarlılığı lineer değildir. Bu bizim gözümüzün aslında bir korunma mekanizmasıdır. Birinci kadirden bir yıldızın görünen parlaklığı b_1 , ikinci kadirden bir yıldızın görünen parlaklığı $b_2 \dots$ m. kadirden bir yıldızın görünen parlaklığı b_m olsun.

$$\underbrace{\frac{b_1}{b_2} * \frac{b_2}{b_3} * \frac{b_3}{b_4} * \frac{b_4}{b_5} * \frac{b_5}{b_6}}_{a^5} = 100$$

$$a^5 = 100 \xrightarrow{ise} a^5 = 10^2 \text{ ve } a = 10^{2/5} = 2.512$$

Bu durumda m. kadirden yıldız (m+1). kadirden bir yıldızdan 2.512 kez daha parlaktır. Durumu genelleştirirsek m. kadirden bir yıldız n. kadirden bir yıldız arasındaki kadir farkı, (Mutz, 1966)

$$\overbrace{10^{2/5} * 10^{2/5} * \dots * 10^{2/5}}^{n-m \text{ çarpan}} = 10^{2/5(n-m)}$$

$$\frac{b_m}{b_n} = 10^{2/5(n-m)}$$

$$\log \frac{b_m}{b_n} = \frac{2}{5} (n - m) \log 10$$

$$(n - m) = \frac{5}{2} \log \frac{b_m}{b_n}$$

$$\Delta m = (m - n) = -2.5 \log \frac{b_m}{b_n} \quad (1-7)$$

Bu formül bize görünen parlaklıkları b_m ve b_n olan m ve n yıldızlarının kadir farklarını verir. n olarak nitelendirdiğimiz yıldızın parlaklığını standart olarak seçersek n yıldızına bağlı olarak m yıldızının kadirini bulmuş oluruz.

Uzun yıllar boyunca yapılan gözlemler sonucunda gökyüzünde referans yıldızları seçilmiştir. Eğer Vega'yı standart yıldız olarak seçer ve kadirine sıfır dersek herhangi bir yıldızın kadiri,

$$m = -2.5 \log \frac{b_m}{b_{vega}} \quad (1-8)$$

Olur. Dikkat edilirse kadir kavramı görünür parlaklık hakkında bir fikir verir , ışınım akısı uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğu için gerçekte daha parlak ama daha uzak cisimler, daha az parlak ama daha yakın cisimlerden daha sönük görülebilir. Yıldızın gerçek parlaklığını bulabilmek için uzaklıktan bağımsız olarak Mutlak kadir kavramını tanımlarız

1.3. Mutlak Kadir

Akının uzaklığın karesi ile ters orantılı olmasını ortadan kaldırmak için , mutlak kadir kavramını kullanırız. Yıldızların sanki 10 pc (1 parsek=3.26 IY) uzaklıktaymış gibi düşündüğümüzde göreceğimiz kadire mutlak kadir diyoruz. Bildiğimiz gibi ışınım ters kare yasasına bağlıdır yani uzaklığın karesi ile şiddeti azalır. Bu durumda bir yıldızın bize d uzaklığındayken ki ışınım gücü b_m ve 10 pc uzaklıktayken ki ışınım gücü b_M ise,

$$\frac{d^2}{10^2} = \frac{b_M}{b_m} \quad (1-9)$$

$$b_m = b_M \left(\frac{10}{d} \right)^2 \quad (1-10)$$

(10)

ve her iki tarafı -2.5 ile çarpıp logaritmasını alırsak mutlak kadir M,

$$m = -2.5 \log l \quad \text{görünen kadir}$$

$$M = -2.5 \log L \quad \text{mutlak kadir}$$

$$\left. \begin{aligned} l &= \frac{4\pi r^2}{4\pi d^2} \sigma T^4 \\ L &= \frac{4\pi r^2}{4\pi (10)^2} \sigma T^4 \end{aligned} \right\} \frac{l}{L} = \frac{10^2}{d^2} \Rightarrow \log \frac{l}{L} = \log \left(\frac{10^2}{d^2} \right) = \log \left(\frac{10}{d} \right)^2$$

$$\log \frac{l}{L} = 2[\log 10 - \log d]$$

$$-2.5 \log \frac{l}{L} = -5[\log 10 - \log d]$$

$$m - M = 5 \log d - 5$$

$$5 \log d = (m - M) + 5 \Rightarrow \log d = \frac{[(m - M) + 5]}{5}$$

$$d = 10^{\frac{[(m - M) + 5]}{5}} \quad \text{uzaklık modülü (distance modul)}$$

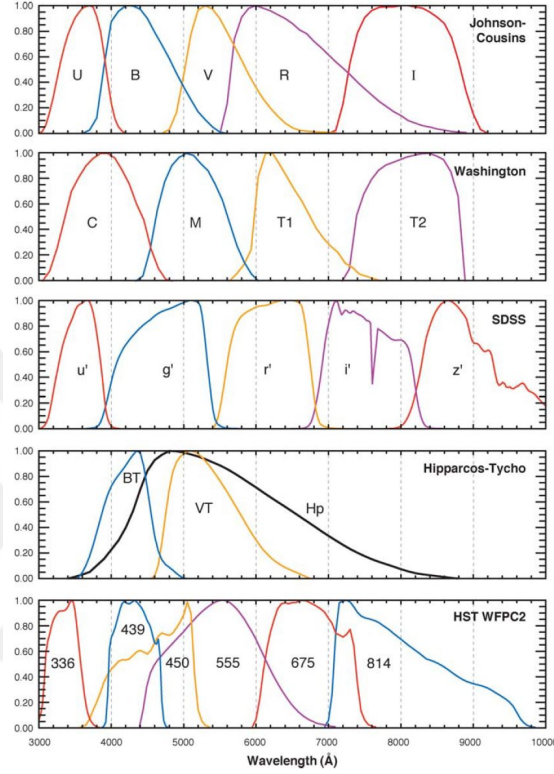
$$M = m - 5 \log d + 5 \quad (1-11)$$

bulunur.

1.4. Renk ve Renk İndeksi

Yukarıda vurguladığımız gibi görsel parlaklıklar ya da kadirler, görsel gözlemleri im ederler. Bunlar göz ile görülen parlaklıkları karşılaştırırlar ve görsel kadirler olarak isimlendirilirler. Günümüzde gözlemler foto katlandırıcılar ya da CCD kameralar gibi fotometrik aletler ile yapılmaktadır. Bu araçlar gözümüzden farklı duyarlılığa sahiptirler. Bu araçlar genellikle mavi dalga boylarına daha duyarlıdır. Bir yıldızın görsel parlaklığının Vega ile aynı olduğunu varsayalım yani $m_v=0$, eğer yıldız mavi bir yıldız ise (sıcak bir yıldız) mavi bölgede ölçülen kadiri Vega dan daha parlak olacaktır, yani $m_B < 0$. Bir yıldız genellikle farklı dalga boylarında farklı kadir'lere sahip olacaktır. Eğer yıldız Vega dan daha mavi ise yukarıda bahsettiğimiz gibi mavi dalga boyunda ki kadiri görsel bölgede ki kadirin den daha parlak olacaktır. Bir yıldızın farklı dalga boylarındaki kadir farkları, yıldızın rengi hakkında bize birşeyler söyleyecektir. Standart olarak Vega'nın tüm dalgaboylarında sıfır kadir parlaklığa sahip olduğunu kabul ederiz. Gerçekte $m_v(\text{Vega}) = 0.02 \pm 0.01$ kadardır (Böhm-Vitense, 1989). Yıldız ışığı kaynağından çıktıktan sonra yıldızlar arası ortamı, yer atmosferini geçerek kullandığımız gözlem aracına gelir. Kullandığımız ekipmanın aletsel

duyarlılığına bağlı olarak ölçüm sonuçlarımız da farklı olacaktır. İşte bundan kurtulmak için fotometrik sistem dediğimiz kullanım amacına uygun farklı dalga boylarında yapılmış standart filtre setleri kullanırız. Bu setler içinde en yaygını Johnson- Morgan UBV sistemidir. Bunun kızılaltı bantlarını da içine alan revize hali Johnson-Cousins sistemi dediğimiz UBVRI sistemidir (Bessell, 2005).



Şekil 1-2: Geniş band sistemlerinin sistematik geçirim eğrileri (Bessell, 2005)

Bir yıldızın mor ötesi ve mavi bölgelerdeki ölçülen kadir farkları,

$$U - B = m_U - m_B \quad (1-12)$$

$$B - V = m_B - m_V \quad (1-13)$$

olacaktır. Yukardaki tartışmamıza uygun olarak herhangi bir yıldızın $B - V > 0$ ise yıldız Vega'dan daha kırmızı, $U - B < 0$ ise yıldız morötesinde Vega'dan daha enerjili demektir.

2. DEĞİŞEN YILDIZLAR

Şimdiye kadar bir yıldızın ışınım gücünün nasıl elde edileceğini gördük. Eğer ölçtüğümüz bu ışınım gücü zamanla değişiyorsa bu durumdaki yıldızlara değişen yıldız ismini veriyoruz. Değişen bir yıldız, oldukça basit bir şekilde, parlaklığını değiştiren bir yıldızdır. Görünen kadri (parlaklığı) zamanla değişiyorsa bir yıldız değişen olarak kabul edilir. Bu değişiklikler yıllar içinde veya saniyenin kesirleri içinde meydana gelebilir ve kadir cinsinden parlaklığı binde biri ile 20 katı büyüklüğü arasında değişebilir. 50.000'den fazla değişen yıldız kataloglanmıştır. Binlercesinin de değişen olduğundan şüphelenilmektedir. Bu tezdeki amacımız zaten çoklu periyoda sahip değişenleri tespit etmek ile ilgilidir. Kendi güneşimiz de değişen bir yıldızdır; enerji çıkışı, 11 yıllık bir güneş döngüsü boyunca yaklaşık yüzde 0.1 kadar değişir.

İlk modern anlamda tanımlanmış değişen yıldız, daha sonra Mira olarak yeniden adlandırılan Omicron Ceti idi. 1596'da David Fabricius tarafından bir nova olarak tanımlanmıştı. 1638'de Johannes Holwards, Omicron Ceti'nin 11 aylık düzenli bir döngüde titreştiğini gözlemledi. Aristoteles gibi eski filozoflar yıldızların ebedi ve değişmez olduğuna inanıyordu, bu inancın yanlış olduğunu doğrulamaya yardımcı olduğu için bu önemli bir keşifti. Süpernova raporları ile birlikte değişen yıldızların keşfi, astronomi biliminin gelişmesinin yolunu açtı. Mira'nın keşfinin 400. yıldönümünü kutlamak için yapılan bir toplantıda Yale Üniversitesi'nden Dorrit Hoffleit, "Fabricius'u takip eden ilk yüzyıl içinde, dört Mira tipi değişen keşfedildi ve hepsinin yıldızların Batı Dünyasındaki resmi keşiflerinden çok önce nova olduklarından şüphelenildiği bulundu. Dördünden üçü, erken Çin veya Kore kayıtlarında nova olarak kaydedilmişti" demiştir (Hoffleit, 1997).

1669'da Geminiano Monanari tarafından ikinci bir değişen yıldız belirlendi. Değişken olduğu yüz yıldan fazla bir süre sonra 1784'te John Goodricke tarafından açıklansa da bu yıldız Algol adı verilen bir örten değişendi. Üçüncü değişen yıldız olan Chi Cygni, 1686 ve 1704'te gözlemlendi. Sonraki 80 yılda yedi değişen yıldız daha tanımlandı.

18. yüzyılın sonlarına doğru, astronomide bir ilerleme patlaması yaşandı. Bunlardan bazıları William Herschel'e (1738-1822) atfedilmelidir. Modern yıldız astronomisinin "babası" sayılan Herchel, büyük yansıtıcı teleskopları geliştirmesine, yıldızların görünen parlaklıklarından uzaklıklarını ölçme çabalarına, yıldızların ve bulutsuların fiziksel doğasına olan araştırmalarına, değişen yıldızlar çalışmasının gelişimine katkıda bulundu. İki yıldızın değişenliğini - 44i Bootis ve α Herculis - o keşfetti. Oğlu John Herschel (1792-1871)' in

“Astronomi İlkeleri” kitabında değişen yıldızlar hakkında söylediklerini okumak ilginç olacaktır (Percy, 2007). Astronomi İlkeleri'nden:

“Bu, çok az takip edilen bir pratik astronomi dalıdır ve tam olarak, sadece iyi gözler veya orta derecede cihazlar ile donatılmış olan bilim amatörlerinin zamanlarını mükemmel bir avantaj için kullanabilecekleri bir daldır. Bu, kesin bir şekilde zengin keşifleri vaat etmektedir ve gözlemlerin doğası nedeniyle gözlemevlerinde bulunan astronomların katılmaları engellenmektedir. Takım yıldızlardaki her bir yıldızın karşılaştırmalı parlaklığının katalogları, bu araştırmaların kolaylaştırılmasının açık amacıyla Sir William Herschel tarafından oluşturulmuştur.”



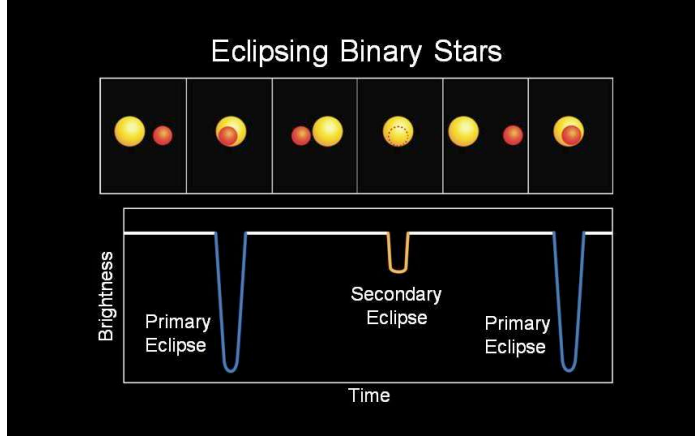
Şekil 2-1: U Geminorum yıldızının en parlak ve en sönük durumları (Henden, 1987)

1850'den beri çok sayıda değişen yıldız gözlemlendi, bu süreç fotoğrafın gelişiminin de yardımıyla gerçekleşti. 2017 itibariyle, Samanyolu Galaksisindeki 58,035 değişen yıldız bulunmuş ve Değişen Yıldızlar Genel Kataloğunda listelenmiştir (Kazarovets E.V.,

2022).

2.1. Değişen Yıldızların Özellikleri ve Bileşimi

Yıldızların parlaklık değişimlerinin çeşitli nedenleri vardır. Bunlar, yıldız parlaklığındaki veya yıldız kütleindeki değişiklikler ve Dünya ile yıldız arasındaki engeller nedeniyle Dünya'ya ulaşan ışık miktarındaki değişimleri içerir. Titreşen değişenler şişer ve küçülür. Örtün çiftler de ise yıldızlar birbirleri etrafında dönerken biri diğ erinin önünden geçerken



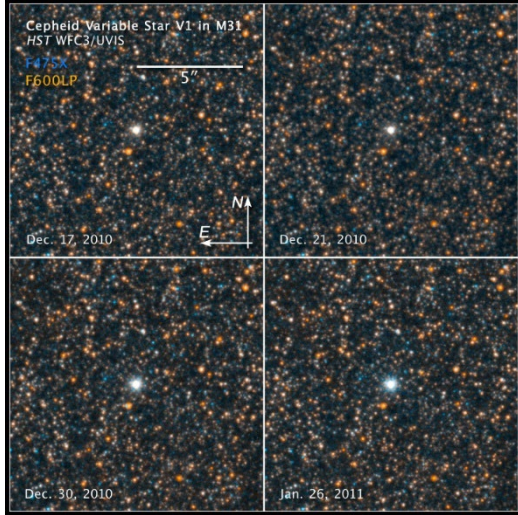
Şekil 2-2 :Örten değişen yıldızlar (NASA, -)

gelen toplam ışınımında değişim olur. (Şekil 2-4). Tanımlanan değişen yıldızlardan bazıları aslında birbirlerine çok yakın iki yıldızdır ve yıldızlar birbirlerine kütle transferi yaparlar.

Değişen yıldızların iki farklı kategorisi vardır. İçsel ya da yapısal (intrinsic) değişenler, zonklamalar, püskürmeler veya şişme ve büzülme nedeniyle parlaklıkları fiziksel olarak değişen yıldızlardır. Dışsal (Extrinsic) değişenler, yıldızın dönüşü veya başka bir yıldız veya gezegen tarafından tutulma nedeniyle parlaklığı değişen yıldızlardır.

2.1.1. İçsel değişenler

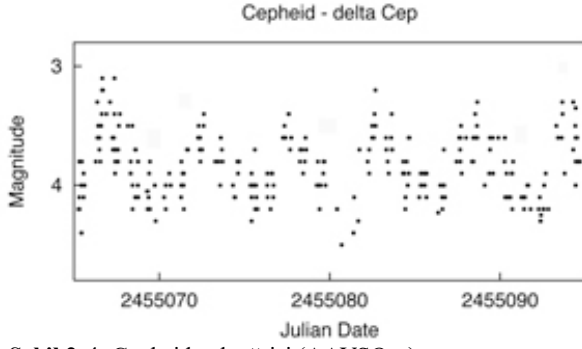
Cepheid Değişenleri, güneşten 500 ila 300.000 kat daha büyük, 1 ila 100 gün arasında değişen kısa değişim dönemleriyle çok parlak yıldızlardır. Belirli bir modeli izleyerek kısa bir süre içinde çarpıcı biçimde genişleyen ve küçülen zonklayan değişenlerdir. Gökbilimciler, parlaklık değişimini ölçerek bir Sefeid'e olan mesafe ölçümlerini yapabilirler, bu da onları astronomi bilimi için çok değerli kılar.



Şekil 2-3: M31 Andromeda galaksisinde ki V1 cepheid değişen yıldızı (NASA, 2011)

Pulsasyon yapan diğer değişenler arasında Sefeidler kadar büyük olmayan kısa dönemli, daha yaşlı yıldızlar olan RR Lyrae yıldızları; ve RV Tauri yıldızları, daha büyük ışık değişimlerine sahip süper devlerdir. Uzun dönemli zonklayan değişenler, büyük zonklamalara sahip soğuk kırmızı süperdevler olan Mira sınıfını ve 30 ila 1000 gün arasında değişebilen daha uzun dönemlere sahip kırmızı devler veya süperdevler olan Yarı düzenli değişenler sınıfını oluştururlar. En iyi bilinen Yarı Düzenli değişenlerden biri Betelgeuse'dur.

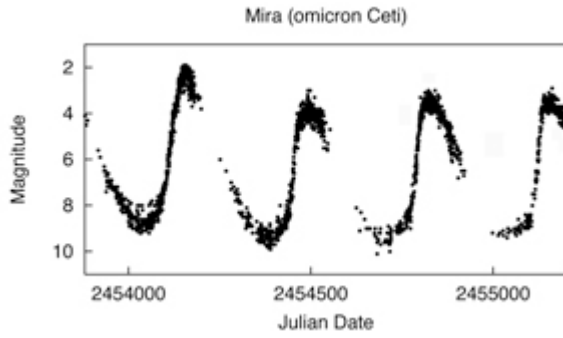
Düzensiz zonklayan değişenler de tanımlanmıştır. Bunlar genellikle kırmızı süper devlerdir, ancak üzerlerinde çok az çalışma yapılmıştır.



Şekil 2-4 :Cepheid ışık eğrisi (AAVSO, -)

içermediğini gösterdi.

Maryland'deki Uzay Teleskobu Bilim Enstitüsü'nden (STScI) astronom Dave Soderblom yaptığı açıklamada, "*V1, kozmoloji tarihindeki en önemli yıldızdır. Evrenin daha büyük olduğunu ve galaksilerle dolu olduğunu kanıtlayan dönüm noktası niteliğinde bir keşif*" demiştir (-).



Şekil 2-6 :Mira ışık eğrisi (AAVSO, -)

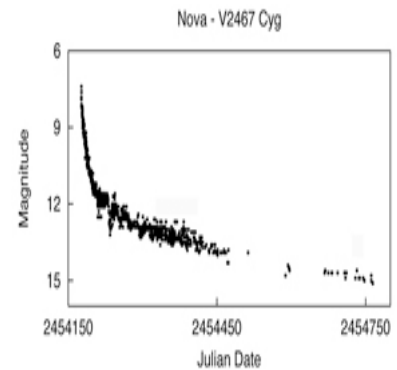
Novalar ve Cüce Novalar, genellikle bir yıldız patlaması nedeniyle dramatik veya ani parlaklık artışlarına sahip bir yıldız grubudur.

Süpernovalar, zaman zaman bütün bir galaksi kadar enerji yayan en dramatik olanlardır. 20 kadirde fazla artarak yaklaşık yüz milyon kat daha parlak hale gelebilirler. Süpernovalar genellikle büyük kütleli bir yıldızın ölümünü temsil eder, ancak çekirdek bir nötron yıldızı olarak kalabilir veya kalıntılar nebular oluşturabilir.

Novae ve Recurrent Novae, yüzeydeki patlamalar nedeniyle değişen, ancak yıldızı yok olmayan yakın çift sistemlerdir. 2007 yılında en yüksek parlaklığa ulaşan Nova Scorpii, son

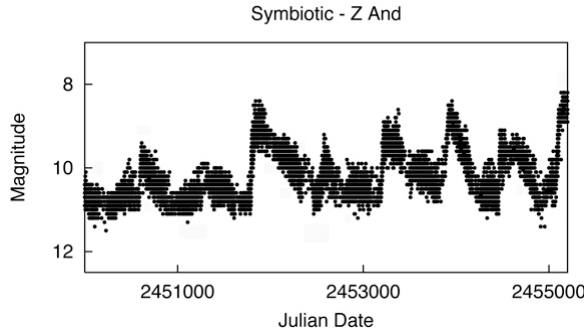
Sefeid değişimi V1 gökbilimcilerin evren algısını değiştirme de çok önemli rollerden birini oynadı. Bu değişen yıldız, Amerikalı astronom Edwin Hubble'ın, yıldızın içinde bulunduğu ince tabakalı bulutsunun aslında tamamen başka bir galaksi olduğunu belirlemesine olanak tanıdı ve Samanyolu'nun tüm evreni

Kataklizmik Değişimleri (Patlayıcı Değişimler olarak da adlandırılır), yüzeyde veya derinde termonükleer süreçlerin neden olduğu keskin veya şiddetli patlamalar nedeniyle parlak. Bunlar, birbirlerinin kütlelerini etkileyecek kadar yakın çift yıldızları içerir. Süpernovalar, Novalar, Tekrarlayan



Şekil 2-5 : Nova ışık eğrisi (AAVSO, -)

yıllarda görülen en parlak olanıdır; Nova Cygni, son 70 yılda görülen en parlak olanıdır. 1901'den beri ölçülen en parlak nova, 1918'de neredeyse gökyüzündeki en parlak yıldız olan Sirius kadar parlak olan Nova Aquilae idi.



Şekil 2-7 : Püsküren değişen ışık eğrisi (AAVSO, -)

Cüce Novalar, kütle aktaran ve düzenli değişim patlamalarına neden olan çift beyaz yıldızlardır. Patlayıcı değişenin başka bir biçimi, bir toz veya gaz bulutu içinde dolaşan kırmızı bir dev ve sıcak mavi bir yıldızdan oluşan yakın ikili sistemler olan Simbiyotik yıldızlardır.

Püsküren (Eruptive) değişenler, yüzeyde püsküren veya parıldayan veya diğer yıldızlararası madde ile etkileşime giren yıldızlardır. Bu kategoride, parlak mavi değişenler, parlama yıldızları, süperdevler, protoyıldızlar ve Orion değişenleri dahil olmak üzere epeyce alt tür vardır. Bazı erüptik değişenler yakın ikili sistemlerdir.

2.1.2. Dışsal değişenler

Örten çift Yıldızlar, birbirinin önünden geçerek Dünya'da görülen ışığın dalgalanmasına ve kararmasına neden olan yıldızlardır. Örten çift yıldızların, Dünya'daki bir ay tutulmasına benzer şekilde ışıklarını tutan kendi gezegenleri olabilir. En iyi bilinen örten çift yıldızlardan biri Algol'dür.

NASA'nın gezegen avcısı uzay aracı Kepler, görevi sırasında 2.600'den fazla örten çift yıldız tespit etmiştir.

Dönen Yıldızlar, yüzeylerindeki Güneş lekelerine benzer lekelerinin neden olduğu küçük ışık değişiklikleri gösteren değişen yıldızlardır. Manyetik kutuplarda parlak noktalara sahip olabilirler. Dönen yıldızlar genellikle ikili sistemlerdir ve yıldızlar hareket ettikçe parlaklık değişimlerine neden olan küresel olmayan biçimlerde olabilirler.

Pulsarlar, yalnızca yayınladıkları ışın Dünya'ya doğru yöneldiğinde görülen elektromanyetik ışınım yayan, uzun süre önce patlamış süpernovaların çekirdeği olan dönen nötron yıldızlarıdır. Pulsarlar kesin, ölçülebilir aralıklar ile yayınım yaptıkları için genellikle deniz fenerleriyle imgelenirler.

Bazı hızlı dönen pulsarlar, şehir büyüklüğündeki kütlelerini saniyede birkaç kez döndürür; bunlar milisaniye pulsarları olarak bilinir. Bilinen en hızlı milisaniye atarcası dakikada 43.000 kez döner. NASA'ya göre, "Milisaniye atarcalarının bu tür hızlara ulaştığı düşünülüyor çünkü ikili sistemlerde, yıldızlar yerçekimsel olarak bağlılardır. Yıldız yaşamlarının bir bölümünde, normal yıldızdan pulsara gaz akışı olur. Zamanla, düşen bu gazın etkisi kademeli olarak pulsarın dönüşünü hızlandırır."

2.2. Değişen Yıldız İsimlendirmesi

Amatör astronomlar, en parlak yıldızların genellikle Arapça kökenli bir ad taşıdığını bilirler ve bu adlar hala kullanılmaktadır: Sirius, Vega, Aldebaran iyi bilinen adlardır. Bayer 1603'te, çıplak gözle görülebilen yıldızları Yunan ve Latin alfabelerine dayanarak adlandırmanın basit ve akılcı sistemini önermiştir. Bir takım yıldızın en parlak yıldızına alfa, en parlak ikinci yıldızına beta adını verdi ve omega'ya kadar böyle devam etti; daha sonra Latin alfabesinin küçük harflerini ve gerekirse Kuğu takımı yıldızındaki Q harfine kadar büyük harfleri kullandı (garip bir şekilde, Q Cygni 1876'da patlayan bir nova olarak kataloglanıyor ve buna göre tekrarlayan bir nova olarak kabul edilmelidir). Astroomlar, Flamsteed'in 1725'te "Historia Coelestis Britannica" adlı eserinde tanıttığı, bir takımı yıldızın her yıldızına doğuya doğru uzanan bir sayı atayan daha yeni isimlendirme sistemini de kullandılar.

İlk öneri, kariyerinin büyük bir bölümünü "parlaklığı değişen yıldızlar" çalışmasına adanmış bir Alman astronomdan geldi. Bu astronom, ünlü Bonn kataloğunun (Bonner Durchmusterung veya BD) ve kendi adını taşıyan değişen yıldızların görsel gözlem yönteminin yazarı Argelander'di. 3 Mayıs 1855 de yazdığı makalede,

" Periyodik değişenliği 1809'da Harding tarafından keşfedilen Virgin'deki yıldız R adını veriyorum... Bayer kataloğunda yer almayan bir yıldız bir harfle belirtme cüretini gösterdiğim için umarım affedilirim, ancak bana öyle geliyor ki değişen yıldızlar orijinallikleri nedeniyle böyle bir ayırım talep etme hakkına sahiptir. Bana göre, sık sık bahsedilen yıldızların kolay bir şekilde tanımlanmasına izin vermek için belirli bir ad neredeyse kaçınılmaz görünüyor. Ancak Bayer'in alfabetik gösterimiyle karıştırılmaması için, ben sadece alfabenin son harflerini kullanmayı ve büyük harfle yazmayı tercih etmişim" diyordu. Yazarın kendisi tarafından yapılan bu açıklama, o günlerde keşfedilen

değişen yıldızların çoğunun "kırmızı" (Almanca'da Rot, Fransızca'da Rouge) olduğu için Argelander tarafından büyük R'nin kullanılmış olabileceği efsanesine son veriyor (Schweitzer, 2023).

23 Ağustos 1867'deki oturumunda, Alman astronomi derneği Astronomische Gesellschaft'ın (4 yıl önce kurulmuş olan) Genel Kurulu, hali hazırda bir adı olan veya Bayer'in kataloğunda yer alan ancak Flamsteed'in kataloğunda bir numara almış olan parlak yıldızlar dışında, Argelander tarafından önerilen değişen yıldızları belirleme yönteminin benimseneceğini kabul etti. Her değişen yıldız, bir büyük harfle ve ardından takımyıldızın tamlama biçimindeki Latince adıyla gösterilecektir. Alfabedeki harflerin ardışıklığı, belirli bir takım yıldızdaki keşiflerin kronolojik sırasını takip edecektir. Böylece, bir takımyıldızda keşfedilen ilk değişen R, ikinci S, üçüncü T vb. Z harfine kadar böyle devam edecektir. R'den Z'ye 9 harflik dizi tamamlandığında, harflerin iki katına çıkarılması, 10. değişenin RR, ardından RZ harfine kadar RS, ardından ZZ'ye kadar sıralama kullanılacaktır.

1907'de Kuğu takımyıldızında (ZZ Cygni) 54. Değişen olarak keşfedildiğinde, 1900'de Astronomische Gesellschaft içinde oluşturulan Değişen Yıldızlar Komisyonu harfleri üçe katlamayı düşündü ve böylece keşfedilecek bir sonraki değişen olarak RRR Cygni adını verdi. Son olarak, astronom Ristenpart tarafından yapılan bir önerinin ardından AA Cygni, benimsenen çözüm oldu. Diziyi AB, AC vb. takip ederdi. R ve Z harflerini farklı bir sırada olsa bile tekrar kullanmamak için listenin AQ'da duracağına inanılıyordu. Son olarak, 334 kombinasyonun mevcut olmasına izin veren QZ'ye kadar BB (BA değil), BC, ... BZ'nin ardından A'dan Z'ye kadar ilerlemeye karar verildi. Bu komisyonun üyelerinden biri, dizinin sonuna "muhtemelen asla ulaşılamayacağını" tahmin etti. Ancak 1929 yılında QZ Sagittarii'nin keşfi ile ulaşılmıştır bu harf dizilimine ulaşılmıştır.

Argelander'den bir süre sonra, Fransız astronom André , her değişeni V harfi artı değişenliğinin gözlemlenmesinin kronolojik sırasına göre bir sayı ile belirlemeyi önerdi (Andre, 1899). Bu öneri American Chambers tarafından onaylandı ve 1929'da bu isimlendirme sisteminin kullanılmasını önerdi. Bir sonraki değişen bu nedenle V335 Sgr idi. Bu tür adlandırma 1929'da art arda Yılcı için, 1933'te Kuğu, 1936'da Centaur ve Akrep ve 1937'de Kartal için de kullanıldı. Başlangıçta haritalarımızın iki terminoloji kullandığını bilelim, örneğin V1 = R Andromeda. Bu tarihe kadar, Okçu takımyıldızı (Yay) en fazla sayıda değişen yıldızla sahipken, en sonuncusu V5114 Sgr (yani nova 2004-2) dır. En küçük

sayı bilinen sadece 22 değişen yıldızla güney gökyüzünde Keski (Caelum) takım yıldızında 'da bulunur.

Değişen yıldızlar giderek artan bir hızla keşfedilirken, Harvard Gözlemevi onları 6 basamaklı bir sayı ile belirlemeyi önermişti; ilk dördü yıldızın saat ve dakika cinsinden ifade edilen sağ yükselişini, son ikisi 1900 ekinoksu için derece cinsinden dik açıklığı temsil ediyordu. Yıldızın eğimi negatif olduğunda, son iki hanenin altı çizili veya italik olarak yazılır. Bu nedenle, konumu 00h 18m 45s ve +38 01'4 olan R And değişeni 001838 olarak belirtilirken, dik açıklığı -22 33'3 olan güney değişeni S Lib 151822 veya 151822 olarak belirtilir. Ancak günümüzde bir "+" veya "-" işareti eklemek alışılmış bir durumdur. Sağ Yükselişin saniyeleri 57'den fazla olduğunda, dakika sayısı 1 artırılır: bu nedenle, örneğin 1900 ekinoksu için konumu 2s 30dk 58s olan R Tri, 0231+33 olarak belirlenir. Argelander atamasıyla eşzamanlı olarak halen kullanımda olan Harvard ataması, değişen yıldızların Sağ Yükseliş sırasına göre kolayca sıralanmasına izin verir, ancak dezavantajı, birkaç değişen zamanın en yakın dakikasına kadar aynı Sağ Yükseliş ve en yakın dereceye kadar aynı sapmaya sahip olduğunda indekslerin (a, b, c, vb.) kullanılması gerekliliğidir. Gerçekte Fransız Değişen yıldız Gözlemcileri derneği tarafından kullanılan bu sistem, yanlış bir şekilde "AAVSO ataması" olarak adlandırılmıştır.

Son olarak, Amerikalı bir astronom olan Chandler, Argelander terminolojisiyle eşzamanlı olarak her değişeni, saniye cinsinden ifade edilen ve ona bölünen 1900 ekinoksu için Sağ Yükselişinden oluşan bir sayı ile belirledi. Bu nedenle bu sayı, 0 ile 8640 arasında değişen bir ila dört haneye sahipti. Böylece, Sağ Yükseliş 00h 10dk 50s (1900.0) veya 650s olan X And'a 65 sayısı ve Y Cas'e 8629 veya 86290 saniyenin onda biri atanmıştı.

2.3. Değişen Yıldız Araştırmalarının Önemi

Değişen yıldız araştırmaları, bilim insanlarına yıldızın kütle, yarıçap, sıcaklık ve parlaklık gibi özellikleri ile yıldızın yapısı, bileşimi ve nasıl evrimleştiği hakkında bilgi verdiği için son derece önemlidir. Değişen yıldızların doğasını anlamak, davranışların onlarca yıl boyunca sistematik olarak gözlemlenmesini gerektirir. Değişen yıldızlar görsel olarak ve fotografik, fotoelektrik ve Charge Couple Device (CCD) teknikleriyle analiz edilir. Amatör gökbilimciler, verilerin toplanmasında ve gözlemlerin AAVSO Uluslararası Veritabanına sunulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Farklı değişen kategorileri içerisinde bazılarını, değişkenlikleri ölçülebildiği için astronomi için özellikle değerlidir. Sefeid değişenleri üzerine yapılan araştırmalar, evrenin yaşını belirlemeye yardımcı olur ve uzak galaksiler hakkında bilgi sağlar. Mira değişenleriyle ilgili çalışmalar, Güneşimizi anlamamız için önemlidir. Süpernovalar bize evrenin nasıl genişlediğine dair fikir verirken, Katakлизмik değişenler, aktif galaksilerin ve süper kütleli kara deliklerin anlaşılmasına yardımcı olur. Değişen yıldızlar, astronomide belirli bir çalışma alanıdır ve zaman içinde olayların nasıl ve neden değiştiğine dair önemli bilgiler sağlar. Evreni anlamamızda önemli bir rol oynarlar.

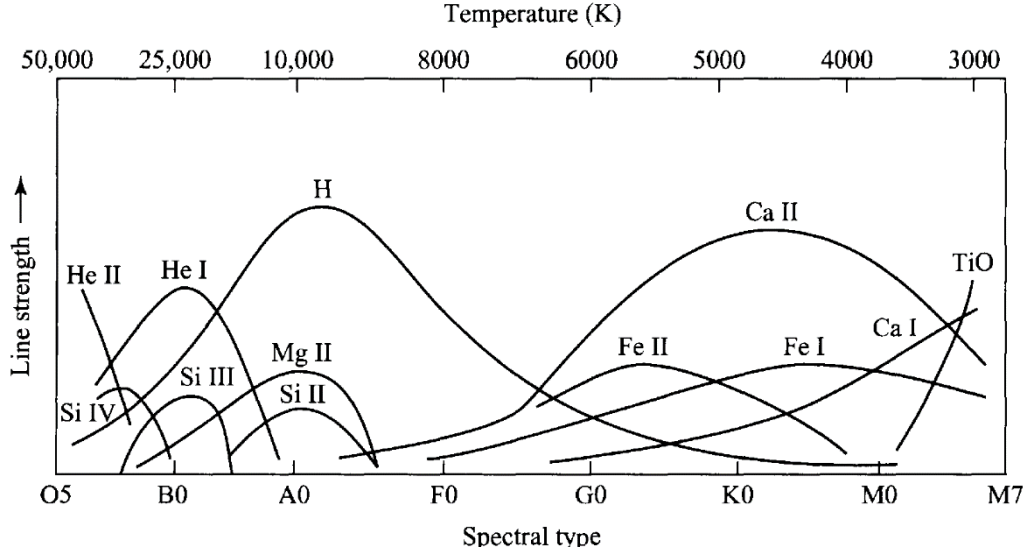
2.4. Spektral Sınıf ve Parlaklık Sınıfı

Siyah cisim ışımasını anlatırken yıldızın etkin sıcaklığının Wien kayma yasasından kolayca bulunabileceğini gördük. Bu kolaylık doğal olarak uzaklığı bilinen yıldızlar içindir. Sıcaklıkları bulmanın bir diğer yöntemi spektroskopik yöntemler kullanmaktır. Yıldız spekturumunda soğurma çizgilerinin çalışılması ile yıldızların yüzey sıcaklıkları hakkında bilgi sahibi oluruz. Sıcaktan soğuğa spektral sınıflar řu şekildedir.

Çizelge 2-1 : Farklı Spektral sınıftaki yıldızların özellikleri

Sınıf	Renk	Yüzey sıcaklığı	Baskın soğurma çizgisi
O	Mavi	>25000	İyonize Helyum çizgileri, Zayıf Hidrojen Balmer çizgileri, iyonize atom çizgileri (O, N, C)
B	Mavi	11,000–25,000	Nötral Helyum Çizgileri, Güçlü Hidrojen Balmer çizgileri
A	Mavi-Beyaz	7,000–11,000	Çok güçlü Hidrojen Balmer çizgileri
F	Beyaz	6,000–7,500	İyonize Kalsiyum (CaII) çizgileri, güçlü Hidrojen Balmer Çizgileri
G	Sarı	5,000–6,000	Güçlü CaII çizgileri, Zayıf Hidrojen Balmer çizgileri, nötral metal çizgileri
K	Kırmızı- Turuncu	3,500–5,000	Zayıf CaII çizgileri, Molekül bandları
M	Kırmızı	<3500	Nötral element çizgileri, güçlü molekül çizgileri

Her bir spektral sınıf da kendi içinde 0-9 aralığında 10 alt sınıfa ayrılır. Mesela A spektral sınıfında A0 en sıcakken, sıcaklık A9 a doğru gittikçe azalır. A9, B0 dan biraz sıcaktır.



Şekil 2-8 : Spektral çizgi şiddetinin sıcaklığa bağlılığı (Carroll, ve diğerleri, 2007)

Bir yıldızın parlaklığına iki özellik katkıda bulunur, Sıcaklık ve yarıçap. Aynı sıcaklıktaki yıldızlardan büyük olanı küçük olandan daha parlaktır, Spektral sınıftan bahsederken nasıl sıcaklıklardan bahsediyorsak, parlaklık sınıfı dediğimizde de yıldızların çapsal olarak büyüklük sınıflarını anlamalıyız (Palen, 2002).

Çizelge 2-2: Parlaklık sınıfları

Parlaklık Sınıfı	Tanımlama
0 ya da Ia ⁺	Hiperdevler ya da çok parlak üstdevler
Ia	Parlak üstdevler
Iab	Orta parlak üstdevler
Ib	Az parlak üstdevler
II	Parlak devler
III	Normal devler
IV	Alt devler
V	Cüceler (Anakol yıldızları)

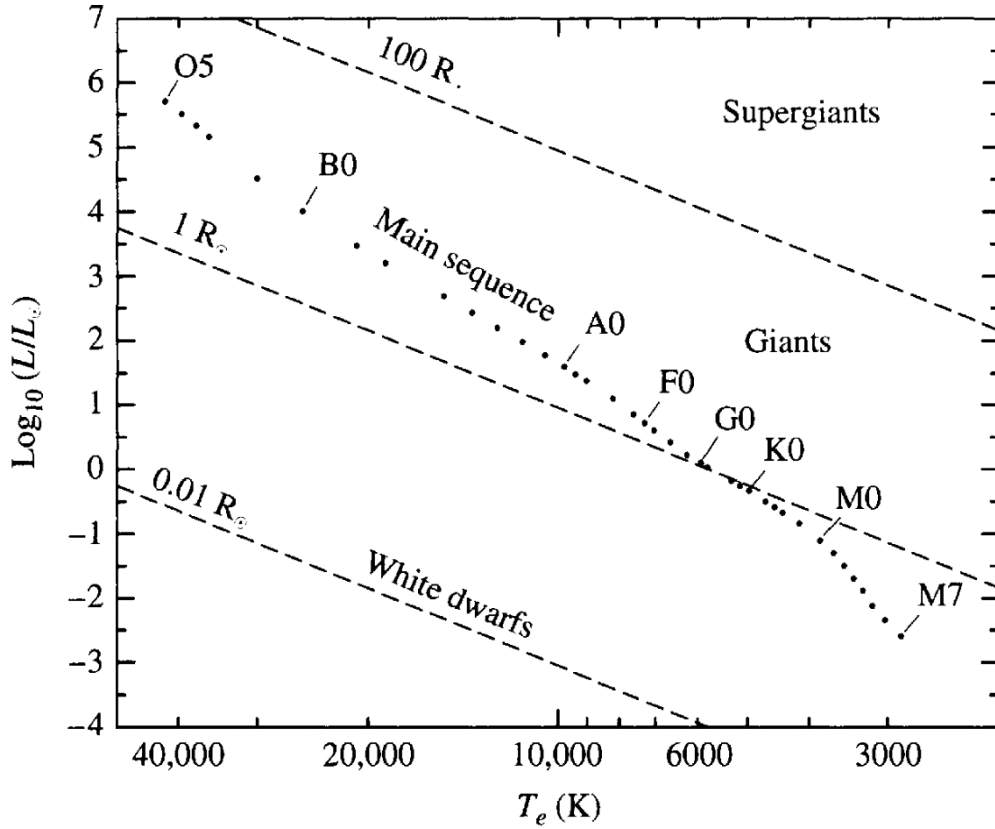
2.5. Hertzsprung-Russel Diyagramı

XX. yüzyılın başlarında astronomlar gittikçe daha fazla veri almaya başlamışlardı. Çizelge 2-1'deki spektral sınıflandırmada da göreceğimiz gibi bir O yıldızın, bir M yıldızından daha parlak ve daha sıcaktır. Ayrıca çift yıldızların çalışmalarından kütle-parlaklık bağıntılarının hesaplanmasına izin vermişti. Bu bağıntılardan yıldızların mutlak kadirleri ile spektral

tipleri arasında bir bağıntı olması gerektiği sonucuna götürmüştür. Danimarkalı astronom Hertzsprung (1873-1967) spektral tipleri ve mutlak parlaklıkları büyük bir doğrulukla ölçülmüş yıldızlara ait verileri kullanarak bu nicelikler arasında bir bağıntı olması gerektiğini önermişti. Stefan-Boltzmann yasasını gözönüne aldığımız da

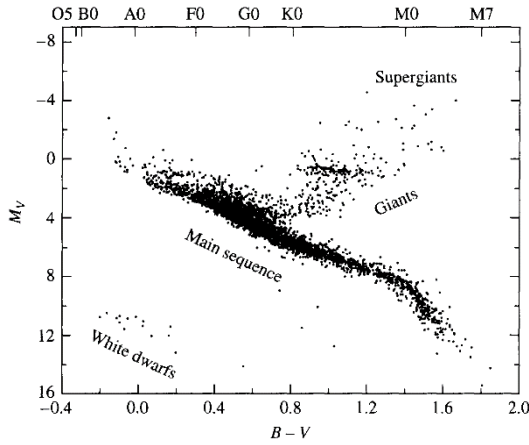
$$R = \frac{1}{T_e} \sqrt{\frac{L}{4\pi\sigma}}$$

Yıldızların yarıçapları ile parlaklıkları arasındaki bağıntıyı buluruz. Eğer iki yıldız aynı etkin yüzey sıcaklığına sahipse, parlak olan mutlaka daha büyük çaplı olmalıdır. Aynı düşünce bağımsız olarak Princeton üniversitesindeki Henry Norris Russell (1877-1957) tarafından da bulunmuştu.

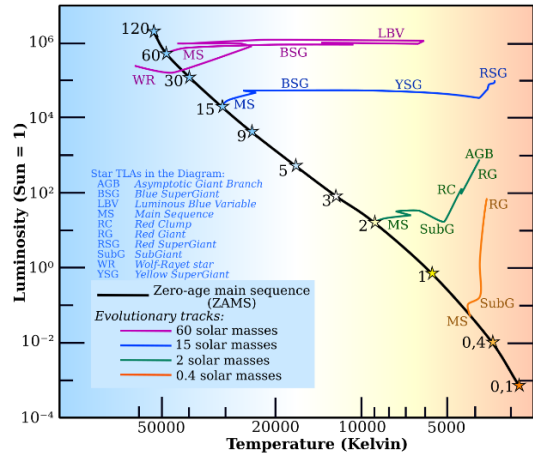


Şekil 2-9 :HR diagramı. Kesik çizgiler eş yarıçap eğrileridir (Carroll, ve diğerleri, 2007)

Farklı sıcaklık ölçekleri kullanılarak (T_e , B-V gibi) HR diyagramları çizmek mümkündür.



Şekil 2-10: renk-parlaklık HR diyagramı (Carroll, ve diğerleri, 2007)



Şekil 2-11: HR diyagramında Dev kolları (RURSUS, 2008)

Yıldız Evrimi, HR diyagramı kullanılarak tanımlanabilir, ancak bunu anlamak için bir yıldızın yaşam döngüsünü anlamamız gerekir. Tüm yıldızlar, hidrojen ve toz içeren moleküler bulutlarda başlar. Sonunda, belki de bir süpernovadan gelen bir şok dalgası türünde bir şey bu moleküler buluta çarpar ve ardından protostarlar oluşmaya başlar. Çoğu yıldız, bir bulutsunun içine gizlenmiş kümeler içinde oluşur. Belirli bir sıcaklık değerine ulaşıldığında füzyon süreci başlar. Bu, bir yıldızın ana kol yıldızı haline geldiği zamandır. Füzyon işlemi gerçekleşirken, yıldızlar hidrojeni helyuma dönüştürüyor. Mavi renkli gerçekten büyük yıldızlara sahip olabilirsiniz veya Güneşimiz gibi düşük kütleli bir yıldız veya hatta kendi güneşimizden çok daha küçük ve daha sönük bir kırmızı cüce yıldızla sahip olabilirsiniz. Kahverengi cüce yıldızlar, esasen, füzyon sürecini başlatacak kadar ısınmayan başarısız yıldızlardır. Gezegenimiz Jüpiter, bir kahverengi cüce örneğidir. Ancak zamanla bir yıldız tüm hidrojenini bitirmeye başlar ve yıldız yaşlılık döngüsüne girerken daha ağır elementleri yakmaya başlar. Eğer büyük bir yıldızsa, süperdev bir yıldızla dönüşecektir. Güneşimiz gibi düşük kütleli bir yıldızsa, kırmızı bir deve dönüşecektir. Boyut olarak büyüdükçe, füzyona devam etmek için yeterli kütle olmayacak, bu yüzden bir gezegenimsi bulutsuya dönüşmeye başlayacak ve tüm gazlar kaybolduğunda, bir beyaz cüce kalacaktır. Beyaz cüce aslında bir yıldızın sıcak artık çekirdeğidir. Ama gerçekten sıcak olmasına rağmen çok küçük (gezegen büyüklüğünde) olduğu için parlak değildir. Sonunda, beyaz cüce soğuduğunda siyah bir cüceye dönüşecek. Orion takımyıldızındaki Betelgeuse ve Rigel gibi büyük bir süperdev yıldızda, yıldız, içinde demir oluştuğunda kararsız hale gelir ve bir

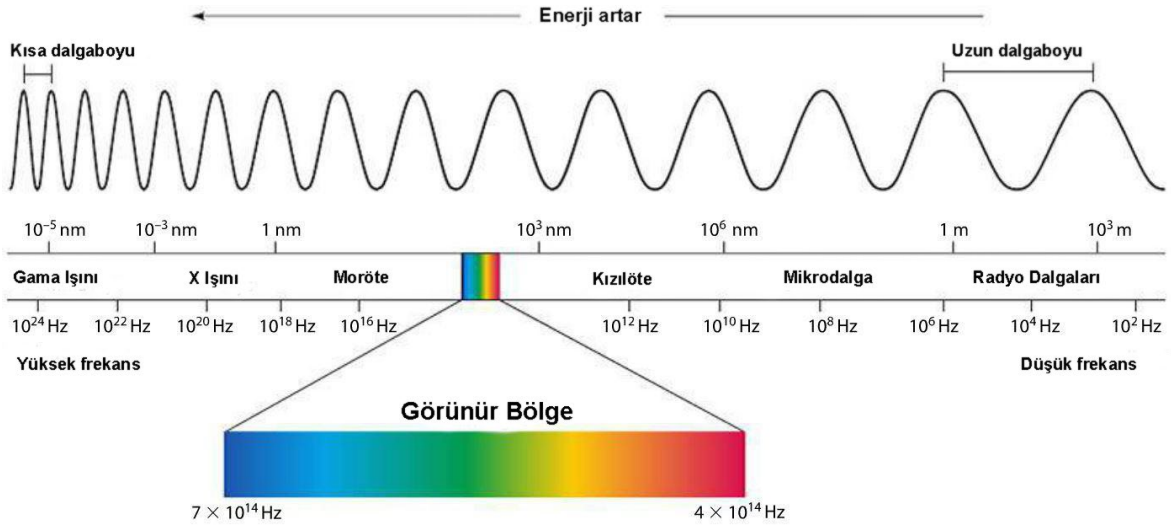
süpernovaya dönüşür. Nihai kaderi, kütle sine bağı olacaktır; ya bir kara deliğe ya da bir nötron yıldızına dönüşecek.

HR diyagramındaki kategoriler Yıldızların evrimini gösterebilir. Sol üstten sağ alta doğru uzanan uzun banda ana kol bandı denir. Yıldızların hayatlarının büyük bir bölümünü geçirdikleri yer burasıdır. Füzyondan gelen basınç ve her şeyi merkeze çeken yerçekimi açısından kararlılar. Yani dengeli yıldızlardır. Zamanla bir yıldızın bu diyagramdaki konumu değişecektir. Ana dizi yıldızları olarak başlarlar, devlere veya süperdevlere dönüşürler ve sonunda beyaz cücelere dönüşürler. Bir yıldız kütle sine bağı olarak yaşlandıkça, yaşamı boyunca farklı şekilde gelişecektir.



3. IŞIK EĞRİSİ

Evrenden aldığımız bilginin hemen hemen tamamı elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinden gelen fotonlardan elde edilir. Bu ışınımın zamana göre grafiğe geçirilmiş haline ışık eğrisi diyoruz. Günlük kullandığımız takvimde artık yıllar , takvim düzeltmelerinden kaynaklanan kayıplar gibi sorunlar olduğu için astronomide zaman olarak Julian günü dediğimiz özel bir zaman birimini kullanırız.



Şekil 3-1: elektromanyetik spektrum (Samanyolu Expressi, -)

3.1. Julian Günü

İki olay arasında geçen gün sayısını hesaplamak için Julian günü (JD) tanımını kullanırız. Kısaca JD başlangıcı olarak seçilen (Epoch) M.Ö 1 ocak 4713 öğlen saat 12 den bu yana geçen gün ve gün kesri sayısıdır. JD Greenwich ortalama öğlen saatinde yani 12 U.T 'de başlar ve bir sonraki günün öğlen saatine varıldığında 1 Julian günü (J.D) geçmiş deriz (Smart, 1949). Günlük yaşantımızda kullandığımız Gregorian takvimde yapılmış bulunan bir takım düzeltmelerden (artık yıl vs.) kurtulmak amacıyla J.Scaliger tarafından

önerilmiştir. Daha sonraki yıllarda genel olarak bilgisayar teknolojisindeki değişimlere ayak uydurmak amacıyla bazı yeni tanımlamalar yapılmıştır¹.

Çizelge 3-1: Julian günü tanımları

İsim	Epoch	Hesaplama	Şimdiki değer	Açıklama
Julian date	12:00 Ocak 1, 4713 BC	JD	2460148.95069	
Reduced JD	12:00 Kasım 16, 1858	JD – 2400000	60148.95069	
Modified JD	0:00 Kasım 17, 1858	JD – 2400000.5	60148.45069	SAO tarafından 1957
Truncated JD	0:00 Mayıs 24, 1968	JD – 2440000.5)	20148	NASA tarafından 1979

3.2. Değişen Bir Yıldızın Ephemerisi

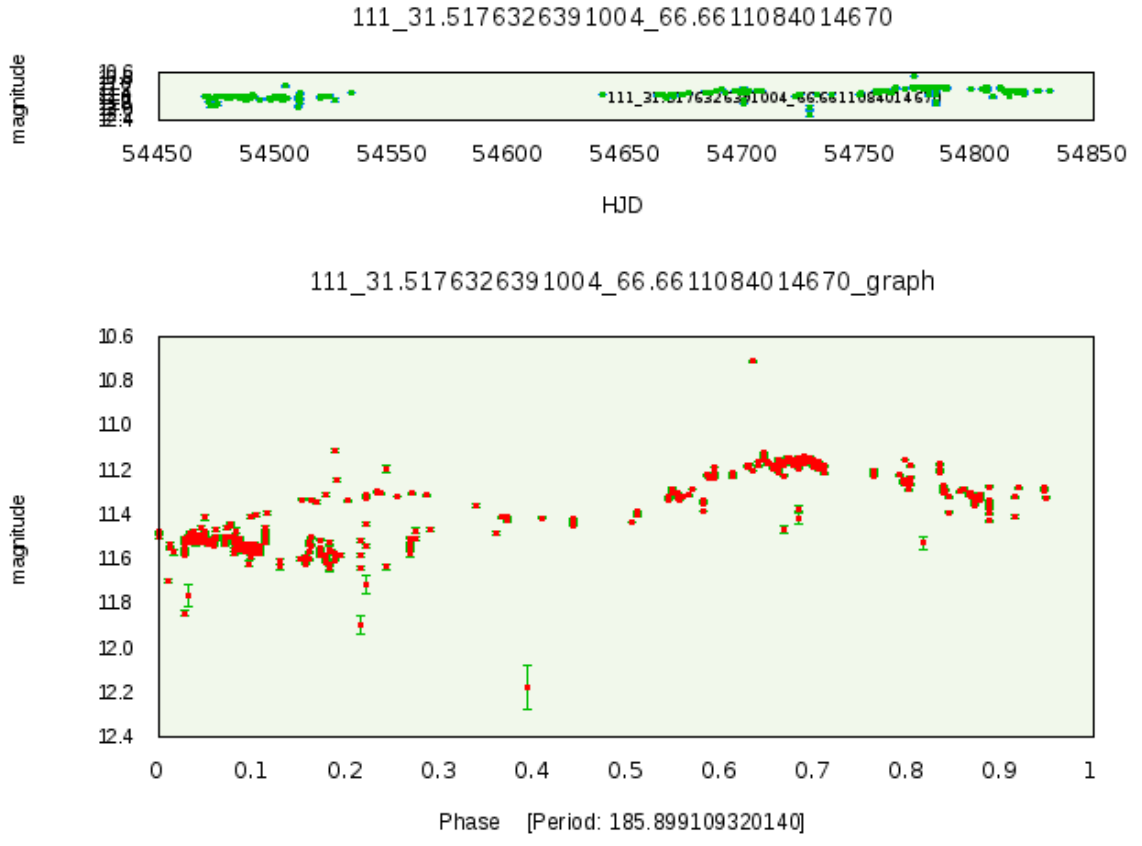
Düzenli bir değişen yıldız ışık elemanları ile karakterize edilir, tamamen dalgalar teorisine benzer şekilde Periyod, yıldızın bir değişim döngüsünü tamamlaması için geçen süredir. Bu durumda Epoch, örten sistemlerde baş tutulmanın merkez noktası olarak seçilir. JD biriminin kullanıldığı zaman eksenin uzamaması için faz dediğimiz ve gözlem anına karşılık gelen periyot kesrini kullanırız. Böylece faz,

$$\Phi = \left(\frac{t-t_0}{P} \right) \quad (3-1)$$

ifadesinin sonucunun ondalık kısmıdır. Burada P, periyot, t gözlem zamanı, t₀ başlangıç zamanı (Epoch) dur. Ondalık olmayan kısım başlangıç zamanından bu yana geçen periyot sayısını verir. Işık eğrisinden dönem bulma problemi için birçok yaklaşım bulunmakla beraber konu bu tezinin kapsamı dışındadır. Bu tezde kullanacağımız ROTSE III

¹ Heliocentric Julian günü tanımı da çok sık kullanılır. Bu Julian günü ile aynı olmakla beraber Güneş merkezli eylemsizlik sistemine göre tanımlanmıştır ve Jd'den 8.3 dk kadar fark eder (Güneş Dünya arasında ki ışık mesafesi)

verilerinden hareketle yapılmış bir ışık eğrisi şekil 3-2’de gösterilmektedir.

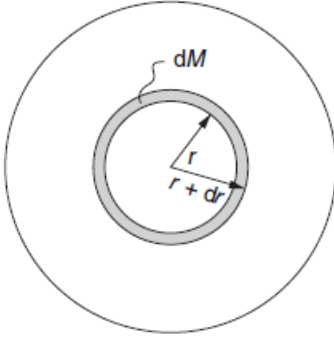


Şekil 3-2: Örnek ışık eğrisi

4. YILDIZ EVRİMİ

Yıldızlar da canlılar gibi doğar, yaşar ve ölürlür. Canlılardan farkı süreçlerin canlı yaşamıyla kıyaslanamayacak kadar uzun olmasıdır. Yine de insanlara benzer bir süreçleri vardır, ne kadar kilolu iseniz o kadar kısa yaşarsınız, yıldız ne kadar kütleli ise evrimini tamamlama süreci o kadar kısadır. Yıldız yapısı ve evrimi, atom fiziği, nükleer fizik, termodinamik, gravitasyon teorisi, akışkanlar mekaniği gibi bir çok disiplin bilgisi gerektiren oldukça karmaşık bir teoridir. Yıldız yapısı basınç P , yoğunluk ρ , sıcaklık T ve ışınım gücü L değişkenlerini içeren bir dizi denklem ile tanımlanabilir (de Boer K.S., 2008).

4.1. Kütle Sürekliliği



rile $r+dr$ kalınlığındaki küresel kabukta bulunan $dM(r)$ kütlesi,

$$dM(r) = 4\pi r^2 \rho(r) dr$$

$$\frac{dM(r)}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r)$$

ile verilir, bu bağıntıya kütle süreklilik denklemi denir.

Şekil 4-1: Kütle elemanı

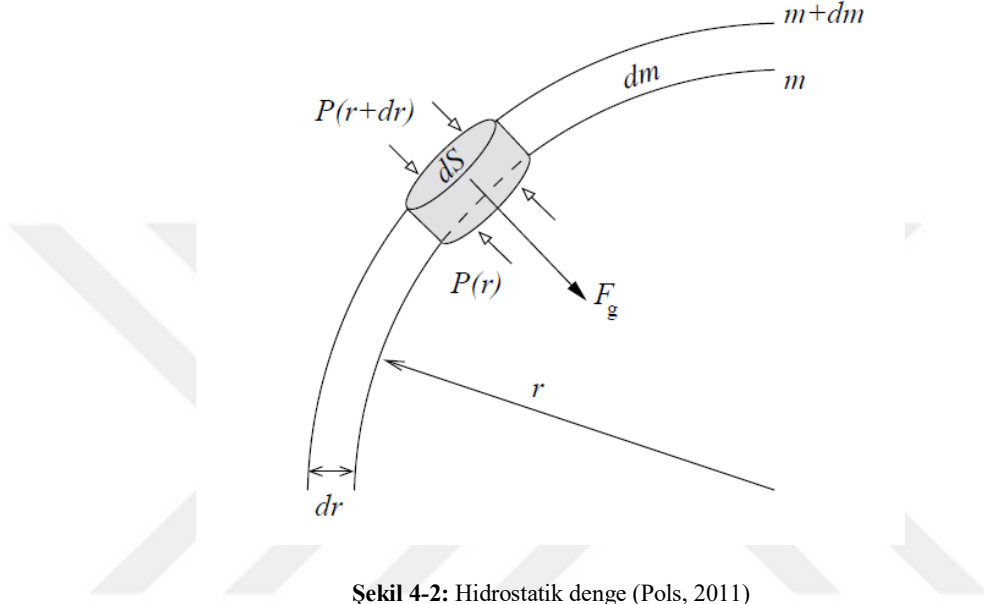
4.2. Hidrostatik Denge Denklemi

Evrende en bol bulunan element hidrojenidir, Yıldızlararası ortamda bulunan gaz-toz bulutları spiral yoğunluk dalgaları, bulut-bulut çarpışmaları, yüksek kütleli bir yıldızın kütle atımı, süpernova patlaması gibi etkiler ile tedirgin edilirse, kartopuna benzer şekilde yapılaşmaya başlar, bu süreçte kartopu büyüdükçe kütleçekim etkisi artacağı için daha çok madde üstüne eklenir ve içerdeki basınç dolayısıyla de sıcaklık

$$P.V = NkT \quad (4-1)$$

ideal gaz yasası uyarınca artar. Burada $N=6.02 \cdot 10^{23}$ molekül/mol Avagadro sayısı, $k=1.38 \cdot 10^{-16}$ Erg/K Boltzman sabitidir. Henüz merkezindeki hidrojeni yakacak sıcaklığa ulaşmamış bu tip yıldızlara önyıldız (protostar) denilir . Bu süreçte yıldızın kütle çekimini Yıldızın merkez sıcaklığı 107 Kelvin'e ulaştığında yıldız merkezindeki hidrojeni yakmaya başlar. İçteki nükleer reaksiyonun ışınım basıncı dıştaki kütleçekimsel çökmeyi dengeler,

böylece bir denge kurulur bu dengeye hidrostatik denge diyoruz. Bu kütle yaklaşık $0.08M_{\odot}$ kadardır. Bu değerden daha küçük kütleyle sahip cisimler merkezlerindeki nükleer tepkimeyi gerçekleştirebilecek sıcaklığa ulaşamazlar, bunlara kahverengi cüceler diyoruz. Termonükleer reaksiyonlar yıldız yapısını değiştirdiğinden merkezdeki yıldızın kütlesine bağlı olarak farklı termonükleer tepkime süreçleri meydana gelir.



Şekil 4-2: Hidrostatik denge (Pols, 2011)

$dm = \rho dr dS$ kütle elemanına etki eden net kuvvet,

$$\dot{r} dm = -g dm + P(r) dS - P(r + dr) dS \quad (4-2)$$

burada Newton genel çekim yasasından

$$\vec{F} = g dm = \frac{Gm(r) dm}{r^2} \quad (4-3)$$

$$\dot{r} dm = -\frac{Gm(r) dm}{r^2} + P(r) dS - P(r + dr) dS \quad (4-4)$$

her tarafı dr ile bölersek

$$\dot{r} dm = -\frac{Gm(r) dm}{r^2 dr dS} + \frac{P(r) dS - P(r + dr) dS}{dr dS}$$

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \lim_{dr \rightarrow 0} \frac{P(r + dr) - P(r)}{dr}$$

ve

$$\rho = \frac{dm}{dr ds} = \frac{dm}{dV} \quad (4-5)$$

tanımından,

$$\frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = -\frac{Gm(r)}{r^2} \rho - \frac{\partial P}{\partial r}$$

Yıldızlar yaşamlarının büyük bir kısmını değişmeden geçirirler, yani gözönüne aldığımız hacim elemanı kabaca ne aşağı ne yukarı hareket eder, bu durumda sol taraftaki ivme değerini sıfır alırsak yarı hidrostatik denge denklemini elde ederiz.

$$\frac{\partial P}{\partial r} = -\frac{Gm(r)}{r^2} \rho \quad (4-6)$$

Burada ki P basıncı, toplam basınçtır yani elektron, yionlar vs.tarafından üretilen gazbasıncı P_g ve ışınım basıncı P_r

$$P = P_g + P_r \quad (4-7)$$

toplamıdır.

4.3. Basınçlar

4.3.1. Elektron gazı

yıldızların içyapısını araştırırken bazı yaklaşımlarda bulunulur. Bu yaklaşımlardan bir tanesinde yıldızın içinin termodinamik dengede olması ve gaz'ın iyonize gaz olmasıdır. Bu durumda çarpışmalar dışındaki etkileşimleri ihmal edersek ideal gaz yaklaşımını kullanabiliriz. Parçacıklar arasındaki ortalama etkileşme enerjisi parçacıkların ısısal (termal) enerjisinden çok küçük demektir. Bu durumda ideal gaz için, P gazın basıncı, T sıcaklığı ve n sayı yoğunluğu olmak üzere, durum denklemi,

$$P = nkT = \frac{k\rho T}{\mu m_H}$$

Burada ρ kütle yoğunluğu , μ gazın ortalama moleküler ağırlığıdır. V hacmindeki toplam parçacık sayısı N dersek,

$$PV = NkT = \nu RT \quad (4-8)$$

Burada $\nu = \frac{N}{N_a}$ mol sayısı ve $R=8.31 \cdot 10^7$ erg/Kmol gaz sabiti, k Boltzmann sabitidir.

4.3.2. Ortalama ağırlık

Birden daha fazla çeşitte parçacık içeren ideal gaz da

$$n = \frac{\rho}{\mu m_H} \quad (4-9)$$

alınır. Burada μ , m_H hidrojen kütlesi cinsinden ortalama molekül ağırlığıdır. X , Y ve Z sırasıyla hidrojen, Helyum ve daha ağır element bollukları olmak üzere, $\mu(X,Y,Z)$ bağıntısı bulunur.

Çizelge 4-1: İyonize gaz için ortalama moleküler ağırlıklar

Element	cm ³ başına Kütle	cm ³ başına çekirdek	Çekirdek başına parçacık	cm ³ başına parçacık
H	ρX	$\rho X/m_H$	2	$2\rho X/m_H$
He	ρY	$\rho Y/4m_H$	3	$3\rho Y/4m_H$
Z, A _i	ρZ	$\rho Z/A_i m_H$	Z _i +1	$(Z_i+1) \rho / A_i m_H$

Çizelge 4-2: İyonize gaz için elektron başına ortalama moleküler ağırlıklar

Element	cm ³ başına Kütle	cm ³ başına çekirdek	Çekirdek başına elektron	cm ³ başına parçacık
H	ρX	$\rho X/m_H$	1	$\rho X/m_H$
He	ρY	$\rho Y/4m_H$	2	$\rho Y/2m_H$
Z, A _i	ρZ	$\rho Z/A_i m_H$	Z _i	$Z_i \rho / A_i m_H$

Örneğin gaz iyonize hidrojen ise, cm³ başına H kütlesi ρX , cm³ başına H çekirdek sayısı $\rho X/m_H$ ve cm³ başına serbest parçacık sayısı $2\rho X/m_H$ olur.

$$\mu = \frac{\rho}{nm_H} \quad (4-10)$$

bağıntısı uyarınca moleküler ağırlık $\mu=1/2X=1/2$ olur. Toplam yoğunluk n,

$$n = \frac{2\rho X}{m_H} + \frac{3\rho Y}{4m_H} + \frac{\rho Z}{m_H} \left(\frac{Z_i + 1}{A_i} \right)$$

$\langle \frac{Z_i+1}{A_i} \rangle \cong \frac{1}{2}$ yaklaşımı kullanırsak,

$$n = \frac{\rho}{m_H} \left(2X + \frac{3Y}{4} + \frac{Z}{2} \right)$$

ve

$$\mu = \frac{1}{2X+3Y/4+Z/2} = \frac{2}{1+3X+Y/2} \quad (4-11)$$

bulunur. son denklemden $X+Y+Z=1$ 'i kullandık. Saf hidrojen gazı için, $\mu=1/2$, saf helyum gazı için $\mu=4/3$ ve sadece ağır elementleri içeren gaz için $\mu=2$ olur. Tamamen iyonize gaz için $0.5 \leq \mu \leq 2$ aralığındadır.

Serbest elektron başına ortalama kütleyi de,

$$\mu_e = \frac{\rho}{n_e m_H}$$

şeklinde tanımlayabiliriz. yukardakilere benzer şekilde,

$$n_e = \frac{\rho X}{m_H} + \frac{\rho Y}{2m_H} + \frac{\rho Z}{m_H} \left\langle \frac{Z_i}{A_i} \right\rangle$$

$\langle \frac{Z_i}{A_i} \rangle \cong 1/2$ olduğunu düşünürsek,

$$n_e = \frac{\rho}{m_H} \left(X + \frac{Y}{2} + \frac{Z}{2} \right)$$

ve

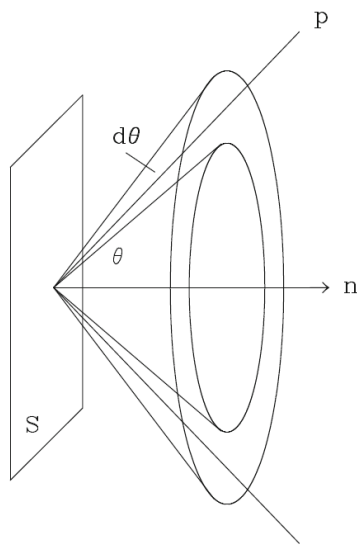
$$\mu_e = \frac{1}{X + \frac{Y+Z}{2}} = \frac{2}{1+X} \quad (4-12)$$

H gazı için, $\mu_e = 1$; He gazı için $\mu_e = 2$, genel olarak iyonize gaz için $1 \leq \mu_e \leq 2$ buluruz.

4.4. Işınım Basıncı

Bir gazdaki parçacık hareketleri düşünelim, parçacıklar içinde buldukları kabın S yüzeyi ile çarpışacaklar böylece parçacıklardan kabın yüzeyine bir momentum transferi olacaktır. Momentum transfer oranı yüzeye etkileyen kuvvete ($F=dp/dt$) karşılık gelir ve birim yüzeye etkileyen kuvvet gaz tarafından yüzeye etkileyen basınçtır. Yüzeye çarpışan p momentumuna sahip bir parçacık düşünelim, Parçacıklar yüeyle çarpışıp geri yansır, böylece yüzeye transfer edilen momentum,

$$\Delta p_n = (p \cos \theta) - (-p \cos \theta) = 2p \cos \theta \quad (4-13)$$



$F(p, \theta) dp d\theta$ momentumu p ile p+dp arasında , yüzeyin normali ile θ ile $\theta+d\theta$ yönde birim yüzeye birim zamanda gelen parçacıkların sayısı olsun. Şekilde gösterilen koni içindeki parçacıkların basınca katkısı,

$$P = \int_0^{\pi/2} \int_0^{\infty} (2p \cos \theta) F(p, \theta) dp d\theta \quad (4-14)$$

Eğer $n(p, \theta) dp d\theta$ gözönüne aldığımız şartlarda hareket eden parçacık sayı yoğunluğu ve $v \cos \theta$ yüzeye dik hız bileşeni ise

$$F(p, \theta) dp d\theta = v \cos \theta n(p, \theta) dp d\theta \quad (4-15)$$

Şekil 4-3: ideal gazın basıncı (Maciel, 1999)

gözönüne aldığımız katı açı (ds/r^2) içindeki basınç,

$$P = \frac{1}{3} \int_0^{\infty} p v(p) n(p) dp \quad (4-16)$$

ile verilir. Foton basıncını bulmak için, $p = \frac{h\nu}{c}$ ve $v=c$ kullanırsak

$$P_r = \frac{1}{3} \int_0^{\infty} h\nu n(\nu) d\nu \quad (4-17)$$

bu bize birim hacimde tüm frekanslardaki toplam enerjiyi verir,

$$U = \int h\nu n(\nu) d\nu$$

böylece,

$$P_r = \frac{1}{3} \int_0^{\infty} U_{\nu} d\nu = \frac{1}{3} U = \frac{1}{3} aT^4 \quad (4-18)$$

burada a ışınım sabiti

$$a = \frac{8\pi^5 k^4}{15h^3 c^3} = \frac{4\sigma}{c} = 7.56 * 10^{-15} \text{ erg/cm}^3 \text{K}^4 \quad (4-19)$$

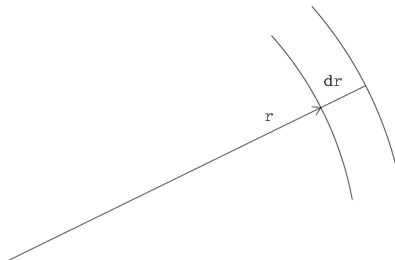
dir.

4.5. Enerji Üretim Oranı

Yıldızlar sürekli olarak enerji üretirler ve uzun zaman aralıklarında kararlılıklarını korurlar, bu durumda yayınlanan güç yıldızın içindeki enerji üretim oranları ile dengelenmelidir.

Eğer ϵ (erg/gram.sn) yıldızın iç bölgesindeki enerji üretim oranı ise, Yıldızın ışınım gücü

$$L = \int_0^R 4\pi r^2 \rho \epsilon dr \quad (4-20)$$



Şekil 4-4: Küresel kabuk

r yarıçapında dr kalınlığında bir kabul düşünürsek, L(r) r de birim zamanda yayınlanan enerji olmak üzere

$$L(r + dr) - L(r) = 4\pi r^2 \rho(r) \epsilon(r) dr$$

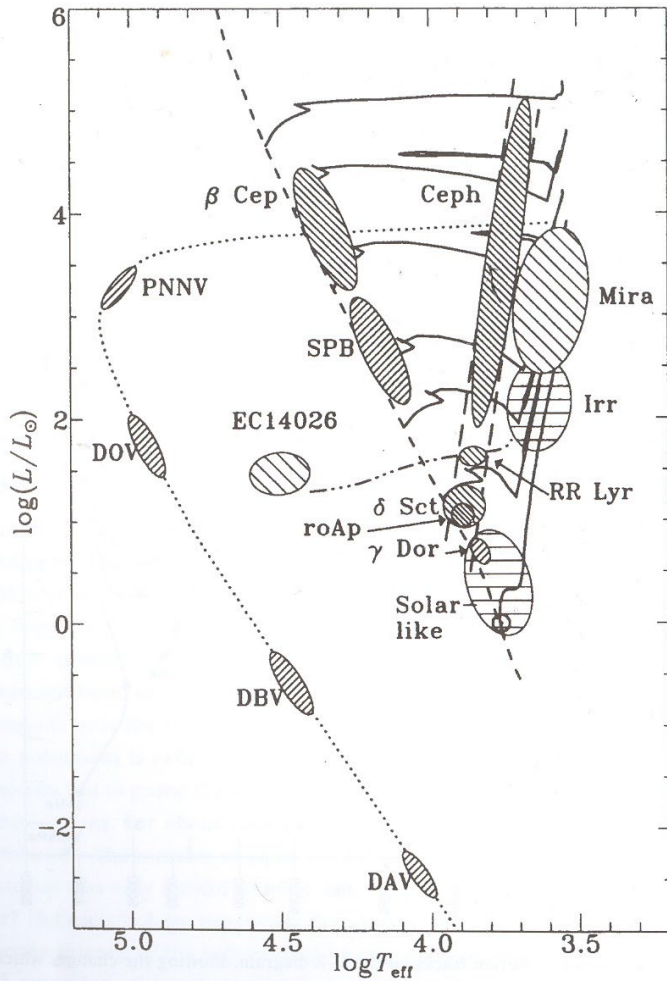
$$\text{ve } \frac{dL(r)}{dr} = 4\pi r^2 \rho(r) \epsilon(r) \quad (4-21)$$

enerji üretim denklemleri olur.

4.6. Zonklama Mekanizması

Yıldızları ne salınım yapar hale getirir ? Hidrostatik dengede ki bütün yıldızlarda birkütle elemanına etki eden kütle çekim kuvvetleri ışınım basıncı ile dengelenir. Eğer iç bölgelerdeki ısılarda bir değişim olursa zonklama mekanizması sönümlenmenin üstesinden gelir ve kendiliğinden salınım meydana gelir. Bu periyodik salınımları sürdürecektir bir mekanizma gereklidir.

Zonklamaları oluşturacak dört sürme mekanizması önerilmektedir. ϵ mekanizması, yıldızın nükleer reaksiyon oranındaki bir değişimi temel alır. Eğer nükleer yanma bölgesi bir şekilde sıkışır sıcaklık yükselir ve daha fazla enerji üretilir. (Rosseland Sander 1938) bu durumda bir genişleme olur ve basınç dolayısıyla enerji üretimi de düşer, hareket geri döner ve salınım süreci başlar. ϵ (nükleer reaksiyon oranı) mekanizmasındaki süreç dizel motorlardaki süreç benzerdir ve Güneşimizdeki ve beyaz cücelerdeki zonklamaları da açıklamak üzere birçok zonklayan yıldız türü için önerilmektedir.



Şekil 4-5: Zonklayan yıldızların HR diyagramı (Percy, 2007)

Yıldız zonklamalarını dikkate değer biçimde açıklayan mekanizma κ - γ mekanizmasıdır. Herhangi bir şekilde yıldız içe doğru büzülürse, bu içe doğru hareket tabakaları sıkıştırır, sıkışan tabakaların yoğunluğu artar ve bu durumda opasite (donukluk) artar. κ opasitesinin (donukluk) arttığı tabakalarda iç tabakalardan gelen akı geçici olarak depolanır. Yıldızın içindeki böyle bölgeler genellikle belirli kimyasal elementlerin iyonize olduğu bölgeler ile ilintilidir. Tabakanın altındaki basınç artar, tabaka genişler ve dışa doğru hareket ederken donukluk düşer ve ışınımı daha çok geçirir hale gelir böylece sıkışma süresince

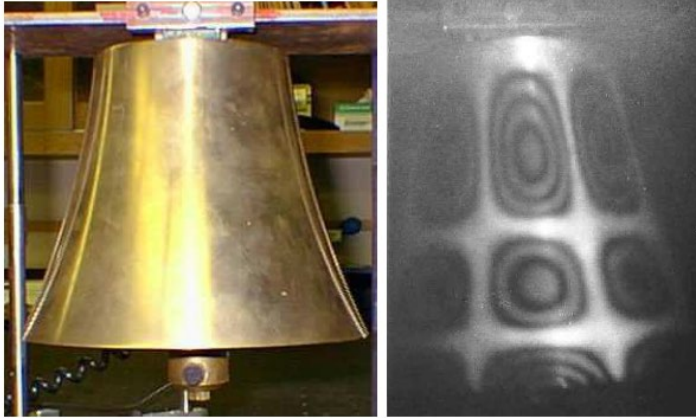
bu bölgelerde toplanan enerji, tabaka genişleyerek denge durumuna geri dönmeye çalıştığında serbest kalır. Böylece yıldız denge çapı etrafında salınır. κ mekanizmasının → [Delta Scuti](#) stars, → [Beta Cephei variables](#), → [Cepheids](#), and → [RR Lyrae stars](#) gibi yıldızlardaki zonklamalardan sorumlu olduğuna inanılmaktadır.

Eddington valfi olarak da isimlendirilen κ - γ mekanizmasına benzer bir mekanizma konvektif bloklama ya da konvektif sürme mekanizmasıdır. Bu mekanizmada konveksiyon bölgesi alttan gelen akıyı zaman zaman bloklar sıkışma sırasında depolanan enerji ardışık genişleme fazında salınır.

Özetlersek salınım merkezdeki nükleer reaksiyon oranı ile ayarlanıyorsa epsilon mekanizması, ışınımsal parlaklık ile ayarlanıyorsa kapa mekanizması baskın olur.

Son olarak Güneş yada güneş benzeri yıldızlar içsel olarak kararlı olmakla birlikte yüzeylerindeki konveksiyon bölgelerindeki türbülanslar yüzünden rastgele uyarılırlar. Güneş türü salınım modlarını tetikleyen bu dış yüzey tabakalarındaki güçlü konveksiyon hareketi geniş bir frekans aralığında akustik gürültüler oluşturur. Yüzeydeki bu çok fazla sayıdaki konvektif hücre nedeniyle bu tür salınımlar rastgeledir ve salınımların genliği oldukça değişkendir.

Biz bir yıldızın sadece fotosfer (ışık küre) denilen katmanından gelen ışınımı görürüz. bu



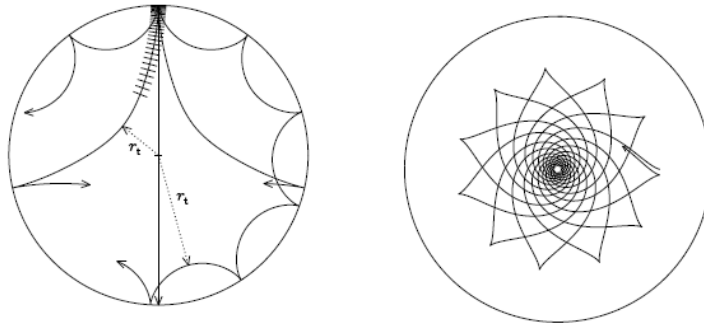
Şekil 4-6: Çanın rezonans modları (Mauro, 2017)

ışınım bize genel olarak yıldızın iç yapısı hakkında bilgi vermez, halbuki salınım sırasında ortaya çıkan değişimler doğrudan yıldızın iç yapısındaki değişimler nedeniyle oluşur ve bu değişimler yıldızın içinde duran dalgalar oluşturur. Bu dalgalar kendi aralarında rezonans modları oluşturacak

şekilde etkileşerek yıldızın yüzeyinde büzülen genişleyen görülebilir desenler oluşturur. Bu modlar bazı matematiksel teknikler ile incelenerek depremlere benzer teknikler ile incelenirler. Salınım modları olarak tanımlanan bu içe-dışa doğru hareketler yarıçap doğrultusunda (radyal) ya da yarıçap doğrultusunda olmayan (nonradial) titreşimler olarak isimlendirilir.

Yarıçap doğrultusunda oluşan titreşimler yıldızın yarıçapında dolayısıyla parlaklık , sıcaklık ve radyal hızlarında büyük değişimlere yol açarlar. En basit radyal mod, temel moddur ve yıldızın tüm atmosferi uyum içinde ileri geri hareket eder. İkinci basit titreşim modu, birinci Harmonik (overton) dur. Bu modda yıldızın dış yüzeyi genişlerken iç yüzeyi büzülür. Benzer şekilde diğer tonlarda farklı titreşim modlarına sahiptirler. Radyal modlar evrimleşmiş yıldızlarda RR Lyrae Mira lar gibi genişlemiş yarıçapa sahip olanlarında baskındır.

Radyal olmayan modlar daha karmaşıktır .Bu modlarda yıldızın yüzeyindeki bazı yerler dışa doğru genişlerken bazı yerler içe doğru büzülür. Radyal modları tek bir sayı ile ifade edebilirken radyal olmayanları tanımlamak için 3 sayıya ihtiyaç vardır. Kuantum sayılarına benzer şekilde bunlar n (çapsal) derece, yıldızın yarıçapı boyunca oluşan düğümlerin sayısını verirken, l derecesi yıldızın yüzeyindeki düğüm çizgileri sayısını verir, azimut derecesi m ise, ekvatordan geçen düğüm çizgilerinin sayısını verir.



Şekil 4-7: Sismik dalgalar (Mauro, 2017)

Yıldızda oluşan sismik dalgalar bir çanda oluşana benzer basınç ya da akustik dalgalar olacağı gibi atmosfer yada denizlerde oluşan kütle çekim dalgaları da olabilir. Bunlar dengeden uzaklaşmış

yıldızdaki kuvvetler nedeniyle oluşan p ve g dalgalarıdır. Basınç kuvvetleri yüzünden oluşan modlara p modları denilirken, Kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle oluşan modlara gravitasyon ya da g modları denilir. Geri çağırıcı kuvvetin basınç olması nedeniyle basınç modları konvektif bölgelerde oluşurken g modlarının geri çağırıcı kuvveti kaldırma kuvveti olduğundan bu modlar radyatif bölgelerde oluşur .

Sonuçta yıldız denklemlerinin çözülmesi ile bu salınımlardan doğrudan yıldızın içsel özelliklerini buluruz.

$$\frac{\delta \rho}{\rho} = \frac{v}{c_s} \quad (4-22)$$

Burada ρ yıldızın yoğunluğu, v akışkanın hızı (yıldızın salınımindan doğrudan gözlediğimiz hız genliği ile orantılıdır) c_s sesin ortamdaki hızıdır. Adyabatik ses hızı,

$$c_s^2 = \left[\frac{\partial \ln P}{\partial \ln \rho} \right]_{ad} \frac{P}{\rho} \quad (4-23)$$

ve ideal gaz yasasından $P \propto \rho T$ ol olduğundan $c_s^2 \propto T$. Sonuçta

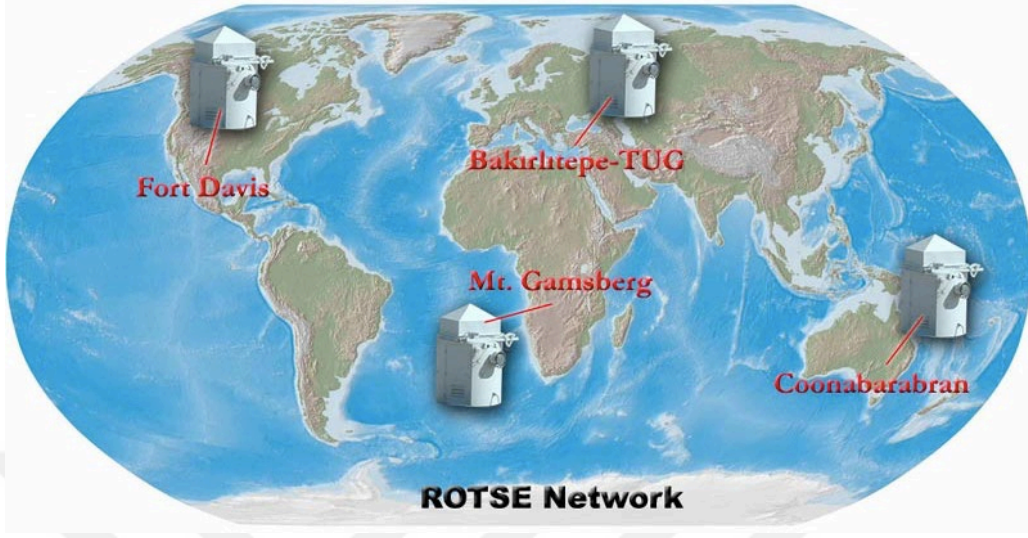
$$\left(\frac{\partial L}{L_{bol}} \right) \propto \frac{v_{sal}}{\sqrt{T_{etk}}} \quad (4-24)$$

bulunur (Kjeldsen, ve diğerleri, 1995)



5. ARAŞTIRMA VERİLERİ ve ANALİZ

Bu çalışmada ROTSE III teleskobu ile elde edilen gözlem verileri kullanılacaktır. **Robotic**



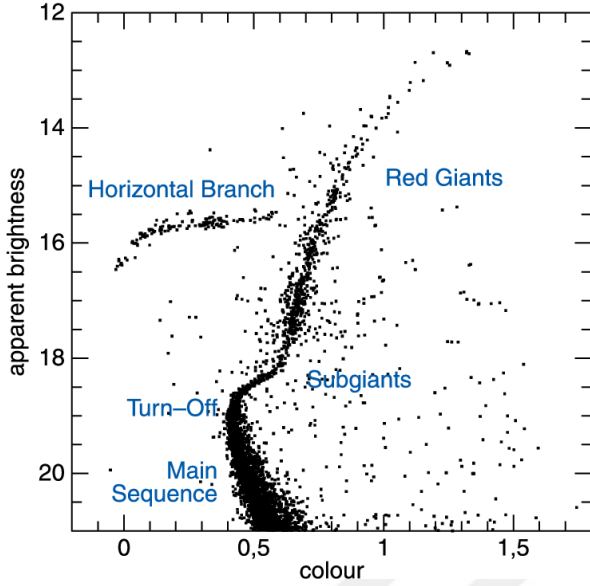
Şekil 5-1: ROTSE teleskopları (Tübitak Ulusal Gözlemevi, -)

Optical Transient Search Experiment (ROTSE) projesi , gama ışınlarının optik bölgede karşılıklarının bulunması için Michigan üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir projedir. Projenin asıl amacı gama ışını patlamalarını takip etmektir. Atmosferimiz gama ışınlarını geçirmediği için, gama ışınlarını yeryüzünden gözlemek imkansızdır. Bunun yerine uydu gözlemlerine bakılır, gama ışını gözlem uydularından herhangi birinden parlama ikazı geldiğinde teleskop o anda yaptığı tüm işi bırakarak doğrudan patlamanın geldiği koordinatlara dönerek patlamanın optik bölgede ki karşılığını bulmaya çalışır. Teleskoplar tam otomatik olarak çalışmaktadır. Uzayın tüm bölgelerini tarayabilmek için ikisi kuzey yarı kürede ikisi güney yarı kürede olmak üzere 4 tane ROTSE teleskobu vardır. Bunlar Avustralya, Namibya, Türkiye ve Amerika’da bulunmaktadır. ROTSE projesi tamamlanmış olup, Türkiye’de bulunan teleskop TÜBİTAK Ulusal gözlemevi bünyesinde kullanılmaya devam etmektedir.

ROTSE III teleskobu uydulardan sinyal gelmediği süre içinde “survey” olarak isimlendirdiğimiz uzayı düzenli şekilde tarayarak, yıldızların filtresiz ışık şiddeti ölçümlerini yapmaktadır. İşte bizim kullanacağımız veriler bu ölçümler sonucunda elde edilmiş verilerdir. Bu şekilde elde edilmiş binlerce yıldız verisi vardır ve bu yıldızların çoğunluğu hiç çalışılmamış ya da çok az çalışılmış yıldızlardır. Veriler Ege üniversitesi Astronomi ve Uzay bilimleri bölümü öğretim üyelerinden Prof. Dr. Varol Keskin tarafından bir ön incelemeye tabi tutularak ışık eğrileri çizilmiştir. Bizde bu verilerden bazılarını özellikle yarı

düzenli yıldızları seçerek literatürde olmayanların çok katlı periyoda sahip olup olmadıklarını inceledik.

5.1. Kırmızı Değişen Yıldızlar



Şekil 5-2: M-68 küresel kümesinin HR diagramı (Bartelmann, 2010)

Kırmızı değişenler asimtotik dev kolu (AGB) yıldızlarıdır ve kütle kaybı yoluyla yıldızlar arası ortamın zenginleştirilmesi, yıldız evrimi ve galaktik kinematik açısından önemli yıldızlardır (Mattei, 1997). Yaklaşık $0.8M_{\odot} - 8M_{\odot}$ kütle aralığına sahip Güneşimiz de dahil tüm yıldızlar Asimtotik dev kolu (AGB) yıldızı olacaktır (Karakas, 2008) AGB bu kütle aralığında yıldız evrimi açısından son nükleer yakma fazıdır. Bu fazda yıldızlar anakolda hidrojen yakma fazında durdukları sürenin %1 inden daha az zaman harcarlar. AGB yıldızlar HR diyagramında yüksek parlaklık ve düşük sıcaklık bölgesinde

bulunurlar. Bu yıldızlar H ve He yakma fazından sonra kütle-çekimsel çökmeye kabukta H ve He yakarak karşı koyarlar. Kabukta He yakma ısıl olarak kararsızdır ve yıldızın kütlesine bağlı olarak her 10^4 yılda ya parlar ya da puls (atım) verir. AGB yıldızları sıklıkla daha az evrimleşmiş kısımlarından farklı bir kimyasal şekilde gözlenirler ve yavaş nötron yakalama süreci sayesinde (s süreci) karbon ve ağır elementlerce zengin bir yapı sergilerler. M, MS, S SC ve C spektral tiplerinde gözlenirler. Burada C, C/O oranları birin üzerindeki karbon yıldızlarıdır. AGB yıldızları Uzun dönemli Mira, periyotları 100 günden büyük yarı düzenli ya da düzensiz değişen yıldızlar olarak gözlenirler. AGB yıldızları özellikle önemlidir, çünkü onlar nükleosentez açısından önemli bir bölgedir. AGB süresinde nükleosentez, karbon, nitrojen, flor ve baryum ve kurşun gibi ağır elementlerin oluşumuna yol açar. Tekrarlanan karıştırma işlemleri, sentezlenmiş materyali çekirdekten zarfa getirir ve güçlü yıldız rüzgarları bu malzemenin dışarı yani yıldızlararası ortama atılmasını sağlar (ISM). Bildiğimiz gibi evrenin en bol elementi hidrojen ve ilk yıldızlar hidrojen ağırlıklı metalce fakir Populasyon II yıldızlarıdır. AGB yıldızları sayesinde (diğer bir katkıda süper novalardan gelir) ağır elementlerce zenginleşen bir ortamda oluşacak yeni bir yıldız metalce

daha zengin bir yıldız olacaktır. Bu sebeple Güneşimizin ikinci hatta belki de üçüncü kuşaktan bir yıldız olduğunu söyleriz.

5.2. Zonklayan Değişenler

Zonklayan değişkenler, yüzey katmanlarında periyodik genişleme ve daralma gösteren yıldızlardır. Zonklamalar radyal veya radyal olmayan şekilde olabilir. Radyal zonklayan bir yıldız küresel şeklini korurken, radyal olmayan zonklama durumunda yıldızın şekli periyodik olarak küreden sapa ve yüzeyinin komşu bölgeleri bile zıt zonklama fazlarına sahip olabilir.

Periyot değerine, yıldızın kütlesine ve evrimsel durumuna ve titreşim olaylarının ölçeğine bağlı olarak, aşağıdaki titreşimli değişken türleri ayırt edilebilir:

Alfa Cygni tipi ACYG Değişkenleri, Bep-AepIa spektral tiplerinin radyal olmayan zonklayan süper devleridir. Genlikleri 0,1 kadir mertebesinde olan ışık değişimleri genellikle düzensiz görünür ve yakın periyotlara sahip birçok salınımın üst üste binmesinden kaynaklanır. Birkaç günden birkaç haftaya kadar döngüler gözlemlenmiştir.

Beta Cephei türü BCEP Değişkenleri (Beta Cep, Beta CMa), 0,1 - 0,6 gün aralığında ışık ve radyal hız değişim periyotlarına ve V'de 0,01 ila 0,3 kadirlik ışık genliklerine sahip zonklayan O8-B6 I-V yıldızlarıdır. Işık eğrileri şekil olarak ortalama radyal hız eğrilerine benzer, ancak fazda periyodun dörtte biri kadar gecikir, böylece maksimum parlaklık maksimum daralmaya, yani minimum yıldız yarıçapına karşılık gelir. Bu yıldızların çoğu muhtemelen radyal titreşimler gösterir, ancak bazıları (V469 Per) radyal olmayan titreşimler gösterir; çok dönemlilik bu yıldızların çoğunun karakteristik özelliğidir.

BCEPS Beta Cep değişkenlerinden oluşan kısa periyotlu bir grup. Tayf türleri B2-B3 IV-V'dir; dönemler ve ışık genlikleri sırasıyla 0,02 - 0,04 gün ve V'de 0,015 - 0,025 mag aralığındadır, yani normalde gözlenenlerden bir büyüklük sırası daha küçüktür.

BLBOO "Anormal Cepheidler" olarak adlandırılan, yani nispeten uzun periyotlu RRAB değişkenlerinin karakteristik periyotlarına sahip, ancak parlaklık açısından oldukça parlak yıldızlar (BL Boo = NGC 5466 V19).

CEP Cepheidler. Periyotları 1-135 gün aralığında ve genlikleri V'de birkaç yüzde birden 2 kadire kadar olan (B bandında genlikler daha büyüktür) radyal olarak titreşen, yüksek parlaklığa sahip (Ib-II sınıfı) değişkenler. Maksimum ışıkta spektral tip F'dir; minimumda

tipler G-K'dir. Işık değişim periyodu ne kadar uzunsa, spektral tip de o kadar geç olur. Yüzey katmanını genişleme hızının maksimum değeri neredeyse maksimum ışıkla çakışır.

CEP(B) Cepheidler (TU Cas, V 367 Sct) aynı anda çalışan iki veya daha fazla titreşim modunun (genellikle P0 periyoduna sahip temel ton ve ilk üst ton P1) varlığını gösterir. P0 periyotları 2 ila 7 gün arasındadır ve P1/P0 oranı yaklaşık 0,71'dir.

W Virginis tipi CW Değişkenleri. Bunlar galaktik küresel bileşen (yaşlı disk) popülasyonunun yaklaşık 0,8 ila 35 günlük periyotlara ve V cinsinden 0,3 ila 1,2 kadir genliklere sahip zonklayan değişkenleridir. Delta Cep değişkenlerinden farklı bir periyot-parlaklık ilişkisine uyarlar. Eşit bir dönem değeri için, W Vir değişkenleri Delta Cep yıldızlarından 0,7 - 2 kadir daha sönüktür. Bazı dönem aralıkları için W Vir değişkenlerinin ışık eğrileri, Delta Cep değişkenlerinin ışık eğrilerinden ya genlikleriyle ya da inen dallarında bazen geniş düz maksimumlara dönüşen tümseklerin varlığıyla farklılık gösterir. W Vir değişkenleri küresel kümelerde ve yüksek galaktik enlemlerde bulunur. Bunlar aşağıdaki alt tiplere ayrılabilir:

Dönemleri 8 günden uzun olan CWA W Vir değişkenleri (W Vir);

Dönemleri 8 günden kısa olan CWB W Vir değişkenleri (BL Her).

DCEP Bunlar klasik cepheidler veya Delta Cep tipi değişkenlerdir. Ana diziden ayrılmış ve Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramının kararsızlık şeridinde evrilmiş nispeten genç yıldızlardır. İyi bilinen Cepheid dönem-parlaklık ilişkisine uyarlar ve genç disk popülasyonuna aittirler. DCEP yıldızları açık kümelerde bulunur. Işık eğrilerinin şekilleri ile dönemleri arasında belirli bir ilişki gösterirler.

DCEPS Bunlar V'de $<0,5$ kadir (B'de $<0,7$ kadir) ışık genliklerine ve neredeyse simetrik ışık eğrilerine (M-m yaklaşık 0,4 - 0,5 dönem) sahip Delta Cep değişkenleridir; kural olarak dönemleri 7 günü geçmez. Muhtemelen birinci-aşırı tonlu pulsatörlerdir ve/veya ana diziden (SU Cas) ayrıldıktan sonra kararsızlık şeridi boyunca ilk geçiştedirler. Geleneksel olarak, hem Delta Cep hem de W Vir yıldızları sıklıkla Cepheid olarak adlandırılır, çünkü 3-10 gün aralığındaki dönemler için ışık eğrilerine dayanarak bunları birbirinden ayırmak genellikle imkansızdır. Ancak, bunlar farklı evrimsel aşamalardaki tamamen farklı nesnelere oluşan farklı gruplardır. W Vir yıldızları ile Cepheidler arasındaki önemli spektral farklılıklardan biri, belirli bir evre aralığında birincisinde hidrojen çizgisi emisyonunun, ikincisinde ise Ca II H ve K emisyonunun varlığıdır.

Delta Scuti tipi DSCT Değişkenleri. Bunlar A0-F5 III-V spektral tiplerinde, V cinsinden 0,003 ile 0,9 mag arasında ışık genlikleri (genellikle bir büyüklüğün birkaç yüzde biri) ve 0,01 ile 0,2 gün arasında periyotlar gösteren zonklayan değişkenlerdir. Işık eğrilerinin şekilleri, periyotları ve genlikleri genellikle büyük farklılıklar gösterir. Radyal titreşimlerin yanı sıra radyal olmayan titreşimler de gözlenir. Bu türün bazı üyelerinin değişkenliği düzensiz olarak ortaya çıkar ve bazen tamamen durur; bu, bazı durumlarda genliğin alt değeri 0,001 mag'ı aşmayan güçlü genlik modülasyonunun bir sonucudur. Yüzey tabakası genişlemesinin maksimum değeri, maksimum ışığın 0,1 periyottan daha fazla gerisinde kalmaz. DSCT yıldızları galaktik diskin (düz bileşen) temsilcileridir ve fenomenolojik olarak SX Phe değişkenlerine yakındır.

DSCTC Delta Sct değişkenlerinin düşük genlikli grubu (ışık genliği V'de $<0,1$ mag). Bu türün temsilcilerinin çoğunluğu parlaklık sınıfı V olan yıldızlardır; bu alt türdeki nesnelere genellikle açık kümelerdeki Delta Sct değişkenlerini temsil eder.

GDOR Gamma Doradus yıldızları. Bir günün onda birinden bir günün biraz üstüne kadar (çoklu) periyotlar gösteren erken F tipi cüceler. Genlikler genellikle 0,1 mag'ı geçmez. Muhtemelen düşük dereceli g-modu radyal olmayan pulsatörler. Prototip: gama Dor.

L Yavaş düzensiz değişkenler. Bu yıldızların ışık değişimleri hiçbir periyodiklik kanıtı göstermez veya mevcut herhangi bir periyodiklik çok zayıf tanımlanmıştır ve yalnızca ara sıra görünür. Tip I'de olduğu gibi, yıldızlar yeterince incelenmedikleri için genellikle bu tipe atfedilirler. Birçok L tipi değişken gerçekten yarı-düzensizdir veya başka tiplere aittir.

LB Geç tayf türlerinin (K, M, C, S) yavaş düzensiz değişkenleri; kural olarak devlerdir (CO Cyg). Bu tür, GCVS'de, tayf türleri ve parlaklıkları bilinmeyen yavaş kırmızı düzensiz değişkenlere de atfedilir.

LC V'de yaklaşık 1 kadirlik genliklere sahip geç tayf türlerinden düzensiz değişken süperdevler (TZ Cas).

LPB Nispeten uzun periyotlu zonklayan B yıldızları (periyotları bir günü aşan).

M Mira (Omicron) Ceti tipi değişkenler. Bunlar karakteristik geç tip emisyon spektrumlarına (Me, Ce, Se) ve V'de 2,5 ila 11 mag ışık genliklerine sahip uzun periyotlu değişken devlerdir. Periyodiklikleri iyi belirgindir ve periyotları 80 ila 1000 gün arasındadır. Kızılötesi genlikleri genellikle görünürdekinden daha azdır ve $<2,5$ kadir olabilir. Örneğin, K bandında genellikle 0,9 kadir'i aşmazlar. Genlikler 1 - 1,5 kadir'i aşıyorsa, ancak gerçek ışık

genliğinin 2,5 kadir'i aştığı kesin değilse, "M" sembolünü iki nokta üst üste izler veya yıldız, bu türün (SR) sembolünü izleyen bir iki nokta üst üste ile yarı düzenli sınıfa atfedilir.

PVTELE PV Telescopii türü değişkenler. Bunlar zayıf hidrojen çizgilerine ve gelişmiş He ve C çizgilerine sahip helyum süper dev Bp yıldızlarıdır. Yaklaşık 0,1 ila 1 günlük periyotlarla titreşirler veya yaklaşık bir yıllık bir zaman aralığında parlaklıkları V cinsinden 0,1 kadir genlikle değişir.

RPHS Çok hızlı zonklayan sıcak (alt cüce B) yıldızlar. Tipik periyotları yüzlerce saniye, genlikleri ise bir büyüklüğün birkaç yüzde biri kadardır. Prototip: V361 Hya = EC 14026-2647.

RR Lyrae tipi RR Değişkenleri, V'de 0,2 ila 2 kadir arasında genliklere sahip radyal olarak titreşen dev A-F yıldızlarıdır. Değişken ışık eğrisi şekillerinin yanı sıra değişken periyot vakaları da bilinmektedir. Bu değişimler periyodik ise "Blazhko etkisi" olarak adlandırılır. Geleneksel olarak RR Lyrae yıldızları bazen kısa periyotlu Cepheidler veya küme tipi değişkenler olarak adlandırılır. Bu yıldızların çoğunluğu Galaksinin küresel bileşenine aittir; bazen çok sayıda olmak üzere bazı küresel kümelerde bulunurlar ve burada zonklayan yatay dal yıldızları olarak bilinirler. Sefidler gibi, bu yıldızların yüzey katmanlarının maksimum genişleme hızları pratikte maksimum ışıkla çakışır.

RR(B) RR Lyrae değişkenleri aynı anda çalışan iki titreşim modu gösterir; P0 periyoduna sahip temel ton ve ilk üst ton olan P1 (AQ Leo). P1/P0 oranı yaklaşık 0,745'tir;

Asimetrik ışık eğrilerine (dik yükselen dallar), 0,3 ila 1,2 gün arasında periyotlara ve V'de 0,5 ila 2 kadir arasında genliklere sahip RRAB RR Lyrae değişkenleri;

RRC RR Lyrae değişkenleri, neredeyse simetrik, bazen sinüzoidal, ışık eğrileri, 0,2 ila 0,5 günlük periyotları ve V'de 0,8 kadirde büyük olmayan genlikleri ile (SX UMa).

RV Tauri tipi RV Değişkenleri. Bunlar maksimum ışıpta F-G ve minimumda K-M spektral tiplerine sahip radyal zonklayan süper devlerdir. Işık eğrileri, birincil ve ikincil minimumların dönüşümlü olarak yer aldığı çift dalgaların varlığı ile karakterize edilir ve bu dalgaların derinliği değişebilir, böylece birincil minimumlar ikincil hale gelebilir ya da tam tersi olabilir. Komple ışık genliği V'de 3-4 kadir'e ulaşabilir. İki komşu birincil minimum arasındaki periyotlar (genellikle resmi periyotlar olarak adlandırılır) 30-150 gün aralığındadır (bunlar Katalogda görünen periyotlardır). RVA ve RVB olmak üzere iki alt tip tanınmaktadır:

Ortalama büyüklükte değişiklik göstermeyen RVA RV Tauri değişkenleri (AC Her);

Periyodik olarak (600 ila 1500 günlük periyotlarla ve V'de 2 mag'a kadar genliklerle) ortalama büyüklükte değişen RVB RV Tauri değişkenleri (DF Cyg, RV Tau).

SR Yarı düzenli değişkenler, çeşitli düzensizliklerin eşlik ettiği veya bazen kesintiye uğradığı, ışık değişimlerinde belirgin periyodiklik gösteren orta ve geç spektral tipteki devler veya süper devlerdir. Periyotlar 20 ila >2000 gün arasında değişirken, ışık eğrilerinin şekilleri oldukça farklı ve değişkendir ve genlikler birkaç yüzde birden birkaç kat büyüklüğe kadar (genellikle V'de 1-2 kadir) değişebilir.

SRA Kalıcı periyodiklik ve genellikle küçük (V'de <2,5 kadir) ışık genlikleri (Z Aqr) gösteren yarı dairesel geç tip (M, C, S veya Me, Ce, Se) devler. Genlikler ve ışık eğrisi şekilleri genellikle değişir ve dönemler 35-1200 gün aralığındadır. Bu yıldızların çoğu Miras'tan yalnızca daha küçük ışık genlikleri göstermeleriyle ayrılır;

SRB Periyodikliği iyi tanımlanmamış (ortalama döngüleri 20-2300 gün aralığında) ya da periyodik ve yavaş düzensiz değişim aralıkları değişen, hatta ışık sabitliği aralıkları olan (RR CrB, AF Cyg) yarı dairesel geç tip (M, C, S veya Me, Ce, Se) devler. Bu tipteki her yıldız genellikle Katalog 'da verilen değer olan belirli bir ortalama periyot (döngü) atanabilir. Bazı durumlarda, iki veya daha fazla ışık değişim döneminin eşzamanlı varlığı gözlenir;

SRC Genlikleri yaklaşık 1 kadir olan ve ışık değişim periyotları 30 günden birkaç bin güne kadar değişen yarı değişen geç-tip (M, C, S veya Me, Ce, Se) süper devler (Mu Cep);

SRD F, G veya K tayf türlerinden, bazen tayflarında emisyon çizgileri bulunan yarı düzensiz değişken devler ve süper devler. Işık değişiminin genlikleri 0,1 ila 4 kadir aralığında ve dönem aralığı 30 ila 1100 gündür (SX Her, SV UMa).

SRS Kısa periyotlu (birkaç gün ila bir ay), muhtemelen yüksek otonom atımlı yarı dairesel zonklayan kırmızı devler. Prototip: AU Ari.

5.3. Çoklu Periyot

Geç tip yıldızlarda ki zonklama modu, son yıllarda birçok soruyu gündeme getirmiştir. Percy ve Polano ayrıntılı bir incelemelerinde üçüncü hata dördüncü mertebeden daha yüksek üst tonların varlığını göstermişlerdir (Percy R, 1998). Wood (Wood, 1998), MACHO fotometrik veri tabanında aldıkları verilerle yaptıkları incelemeler de LMC'de bulunan kırmızı değişkenler için Percy'nin üçüncü ve dördüncü mertebeden tonlarına benzer şekilde 5 farklı

periyot parlaklık dizisi bulmuştur. Tüm bu çalışmalar SRV'lerde temel artı ilk üst ton titreşiminin aynı anda uyarılan titreşim modları nedeniyle oluşan karmaşık ışık değişimleri olduğu yaklaşımını desteklemektedir.

5.4. Seçilen Yıldızlar

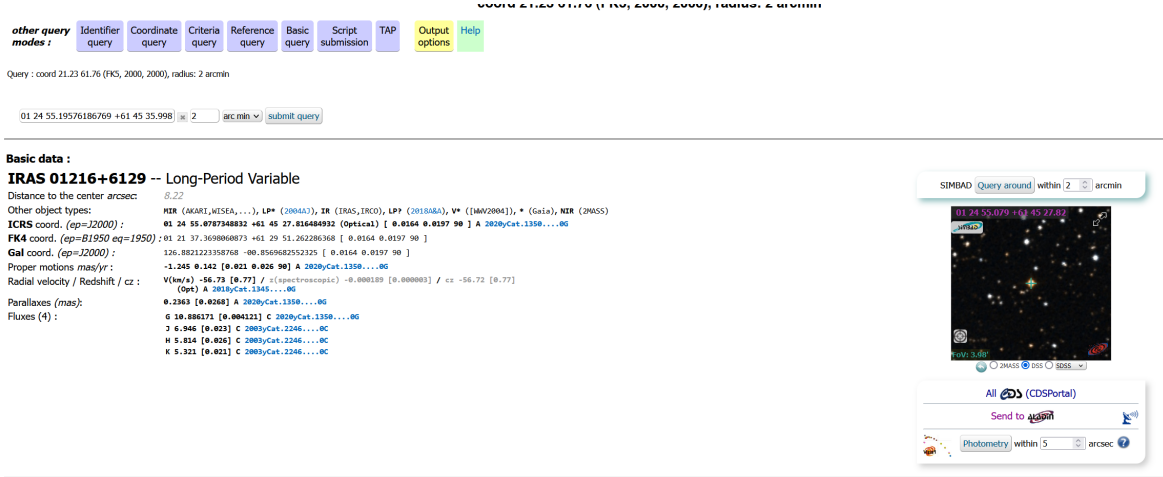
Biz bu çalışmamızda daha önce literatüre girmemiş yada az çalışılmış yıldızların periyot değişimlerini inceleyeceğiz. Bu amaçla daha önce Prof.Dr. Varol Keskin tarafından ön çalışması yapılmış ROTSEIII'de gözlemlerinden periyot değişimlerine bakarak nispeten ışık eğrileri sürekli gördüğümüz 5 yıldızı seçtik. Bu gözlemler farklı alanlardan elde edilmiş kabaca bir yıllık bir dönemi kapsayan filtresiz gözlemlerden elde edilmiştir. Işık eğrilerinin ilk periyotları Schwarzenberg-Czerny (Schwarzenberg-Czerny, 1991) metoduyla bulunmuştur. Seçtiğimiz yıldızlar şunlardır.

Çizelge 5-1: Seçilen yıldızlar

	Alfa	Delta	Simbad sonuçlarına göre alandaki yıldız ismi
1	21.23	61.76	IRAS 01216+6129
2	24.33	62.01	DR2 511537378127424000
3	30.21	67.66	Gaia DR2 519032302210272768
4	275.23	50.53	IRC +50278 -- Mira değişeni
5	314.94	27.51	IRAS 20575+2718 – Uzun dönemli değişen

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Daha önce bahsettiğimiz gibi ROTSEIII'de alan yıldızlarının büyük bir çoğunluğu daha önce hiç incelenmemiş ya da çok az incelenmiş yıldızlardan oluşuyor. Bizim seçtiğimiz yıldızlar da aynı şekilde daha önce hiç incelenmemiş yıldızlardır.



other query Identifier Coordinate Criteria Reference Basic Script TAP Output Help
modes : query query query query query submission options Help

Query : coord 21.23 61.76 (FK5, 2000, 2000), radius: 2 arcmin

01 24 55.19576186769 +61 45 35.998 [2 arcmin submit query

Basic data :
IRAS 01216+6129 -- Long-Period Variable

Distance to the center arcsec: 8.22

Other object types: MIR (AKARI, WISEA, ...), LP* (200443), IR (IRAS, IRCO), LP? (201848A), V* (IMV20041), * (Gaia), NIR (2MASS)

ICRS coord. (ep=J2000) : 01 24 55.0787348832 +61 45 27.816484932 (Optical) [0.0164 0.0197 90] A 2020yCat.1350....00

FK4 coord. (ep=B1950 eq=1950) : 01 21 37.3698060873 +61 29 51.262286368 [0.0164 0.0197 90]

Gal coord. (ep=J2000) : 126.882122338768 -00.8569682552325 [0.0164 0.0197 90]

Proper motions mas/yr : -1.245 0.142 [0.021 0.026 90] A 2020yCat.1350....00

Radial velocity / Redshift / cz : V(lyra) -56.73 [0.77] J (Spectroscopic) -0.000003 [0.000003] / cz -56.72 [0.77] (Opt) A 2019yCat.1345....00

Parallax (mas): 0.2363 [0.0268] A 2020yCat.1350....00

Fluxes (J) : G 10.886171 [0.004121] C 2020yCat.1350....00
J 9.940 [0.023] C 2009yCat.2246....00
H 5.814 [0.051] C 2009yCat.2246....00
K 5.321 [0.021] C 2009yCat.2246....00

SIMBAD Query around within 2 arcmin

IRAS 01216+6129

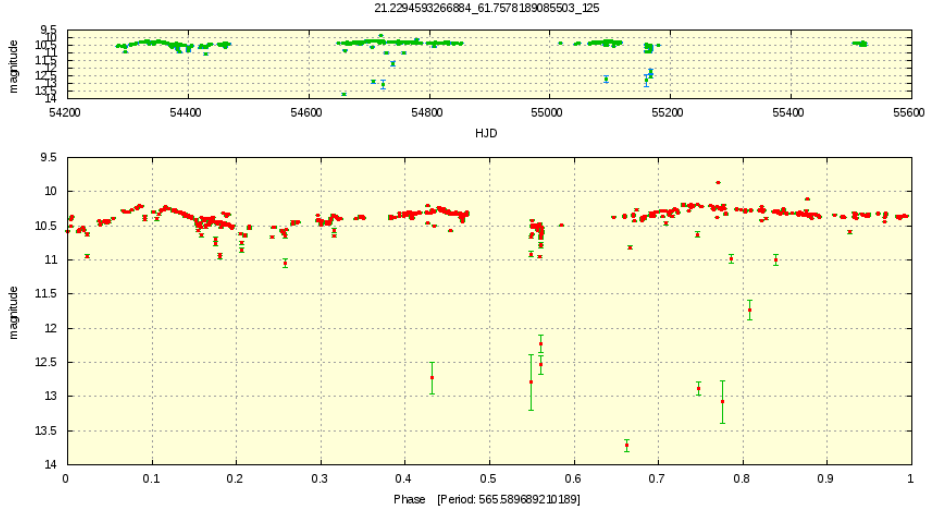
All CDS (CDSPortal)

Send to ADS

Photometry within 5 arcsec

Şekil 6-1: IRAS 01216+6129 yıldızı SIMBAD veritabanı sonucu

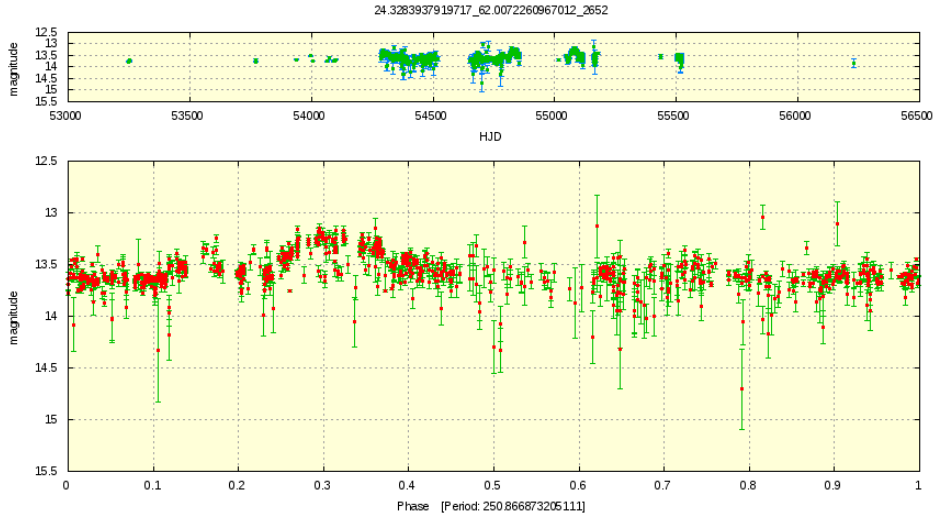
Seçtiğimiz koordinata karşı gelen ilk yıldızımız Nasa'nın Kızılaltı astronomi uydusu (Infrared Astronomy Satellite IRAS) tarafından gözlenmiş IRAS 01216+6129 olarak kataloglanmıştır (Wozniak P.R., 2004). Yıldız daha sonra GAIA uydusu tarafından da incelenmiş ve GAIA Data Release 2'de uzun dönemli değişen adayları arasında kataloglanmıştır (Mowlavi N., 2018). Yıldız üzerinde detaylı çalışma yapılmamıştır. Biz ROTSE III'den alınan verileri ve Prof. Dr. Varol Keskin hocamızın ilk periyod yaklaşımını kullanarak yıldızı Period04 programı ile inceledik. Yapılan analizde yıldız'ın çoklu frekansa sahip uzun dönemli değişen yıldız olduğu görüldü, bulunan değerler şekil 6-4 de verilmiştir.



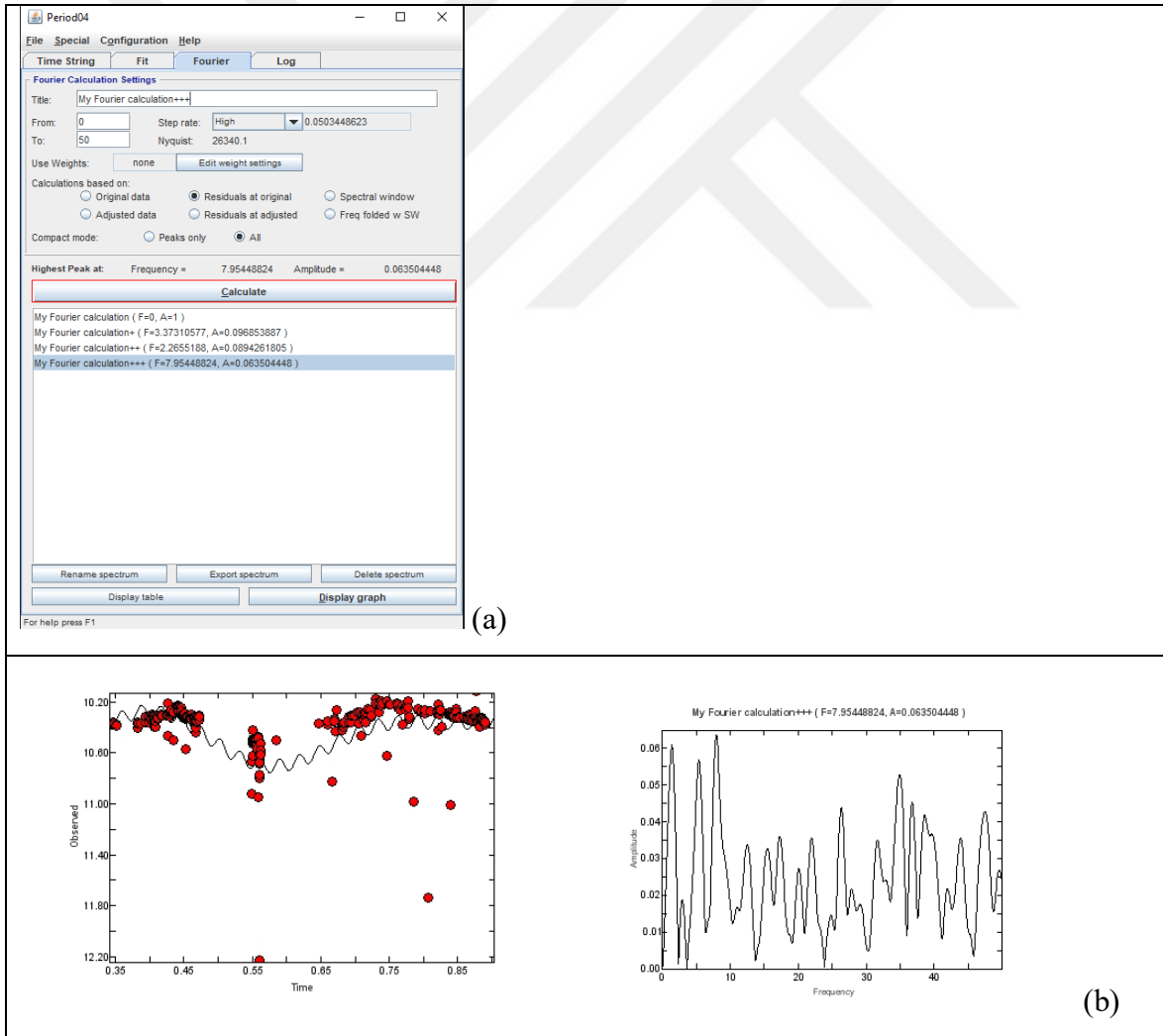
Şekil 6-2: IRAS 01216+6129 ışık eğrisi

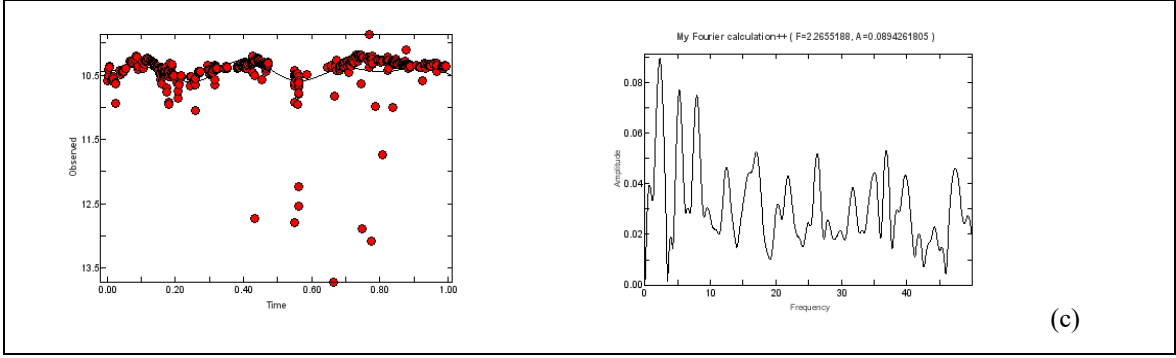
Dikkat edilirse Fourier katasayıları hesabında 3. yaklaşımda bulunan katsayılarla yapılan eğri fit yaklaşımında 2. Mertebeden olan katsayılarla bulunan frekansların değiştiği ama daha önemlisi fit edilen eğrinin tamamen zarf'dan uzaklaştığı görülmektedir. Bu analiz sırasında dikkat edilmesi gereken bir husustur. Çoklu frekansları bulmaya çalışırken eğri fitini bir noktadan sonra kesmemek frekans analizinde de bizi yanlış sonuçlara götürmektedir (Şekil 6-4b) . Bu yıldız için en iyi yaklaşımda 12 den fazla frekans vardır ve bunlar düzenli değildir.

İkinci yıldızımız DR2 511537378127424000 Gaia kataloğunda uzun dönemli yıldız olmayıp emisyon çizgili yıldız olarak sınıflandırılmıştır. Yıldız hakkında ışık eğrisi analizi yapılmamıştır ancak H α artıklı yıldızlardan biri olarak incelenmiştir. Bu yıldızda da asal frekansa ek olarak 10 dan fazla titreşim frekansı görülmektedir (Şekil 6-6).

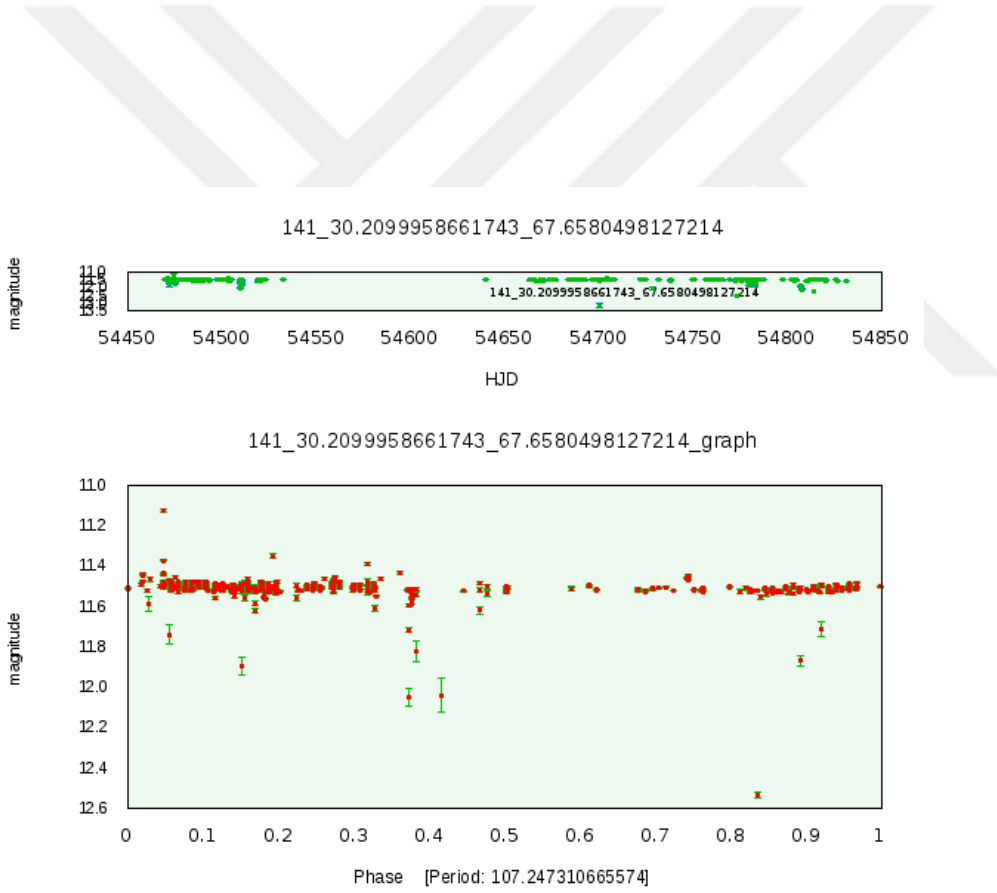


Şekil 6-3: DR2 511537378127424000 ışık eğrisi

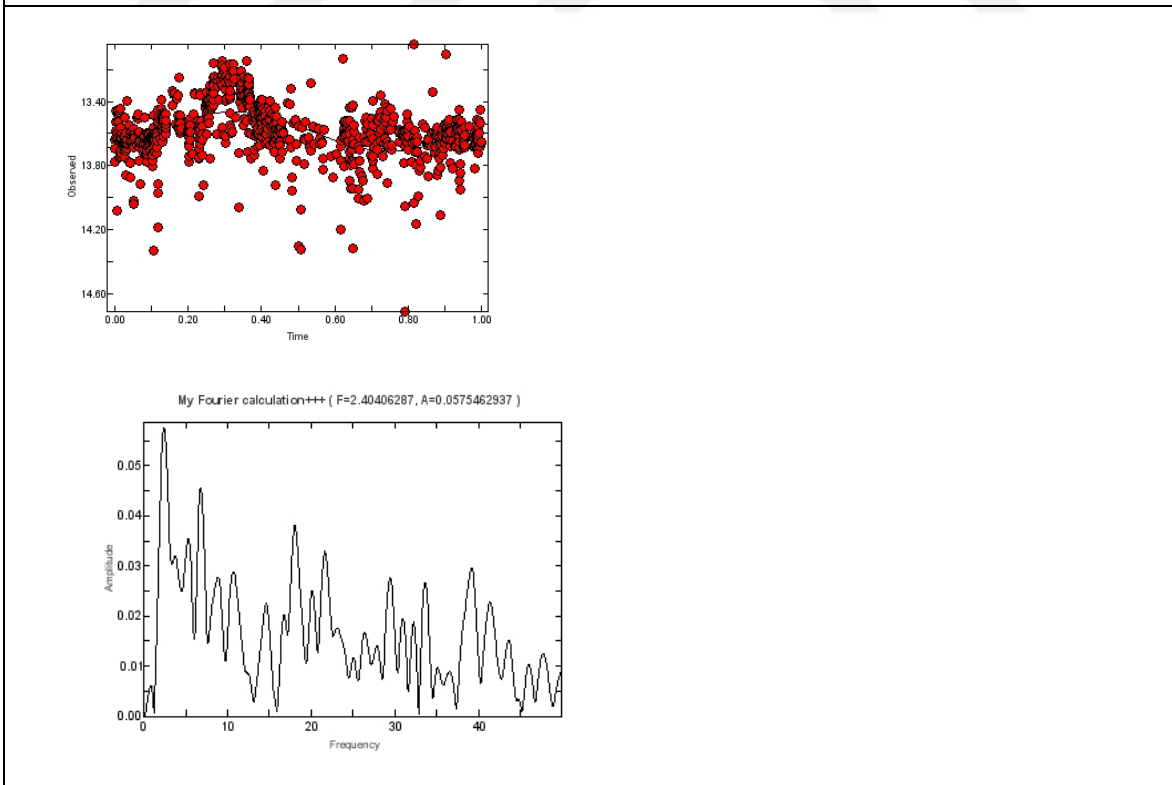
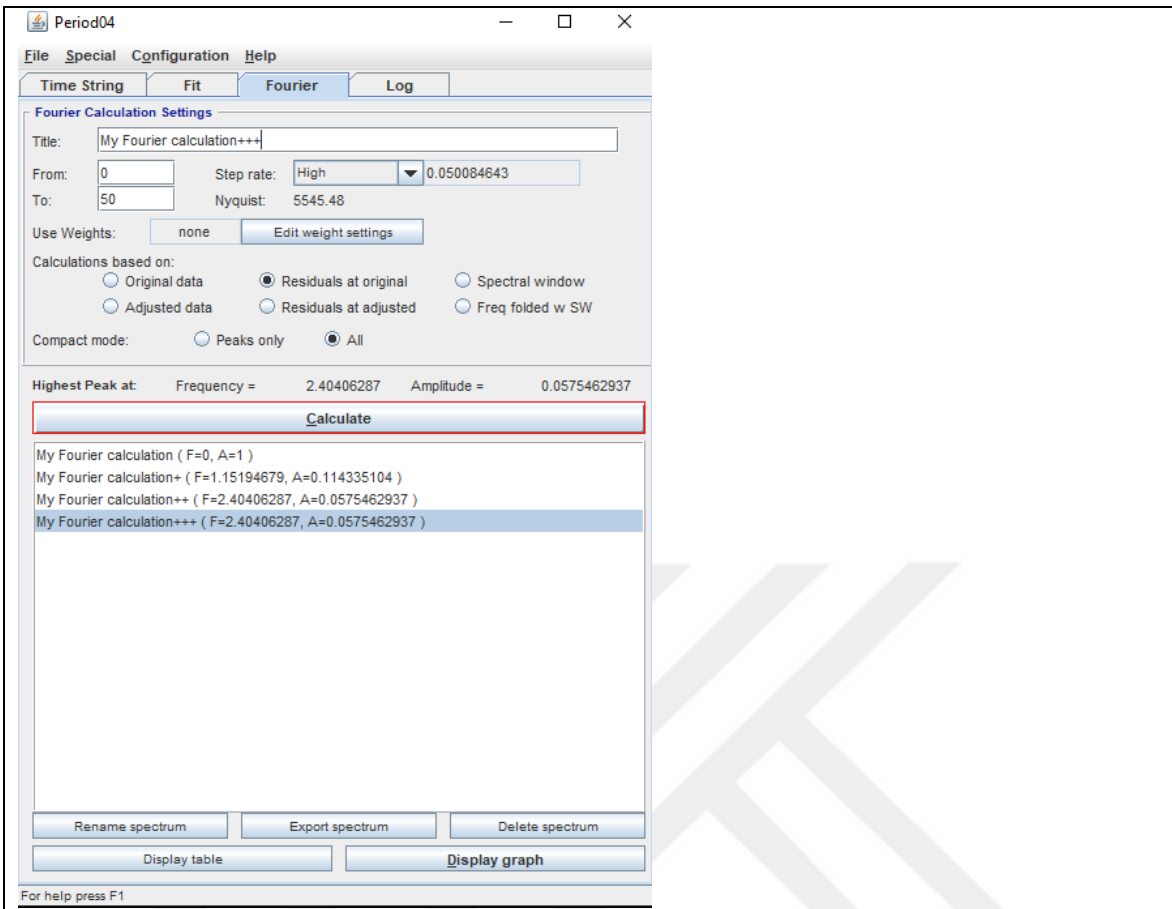




Şekil 6-4: IRAS 01216+6129 yıldızının periyod analizi

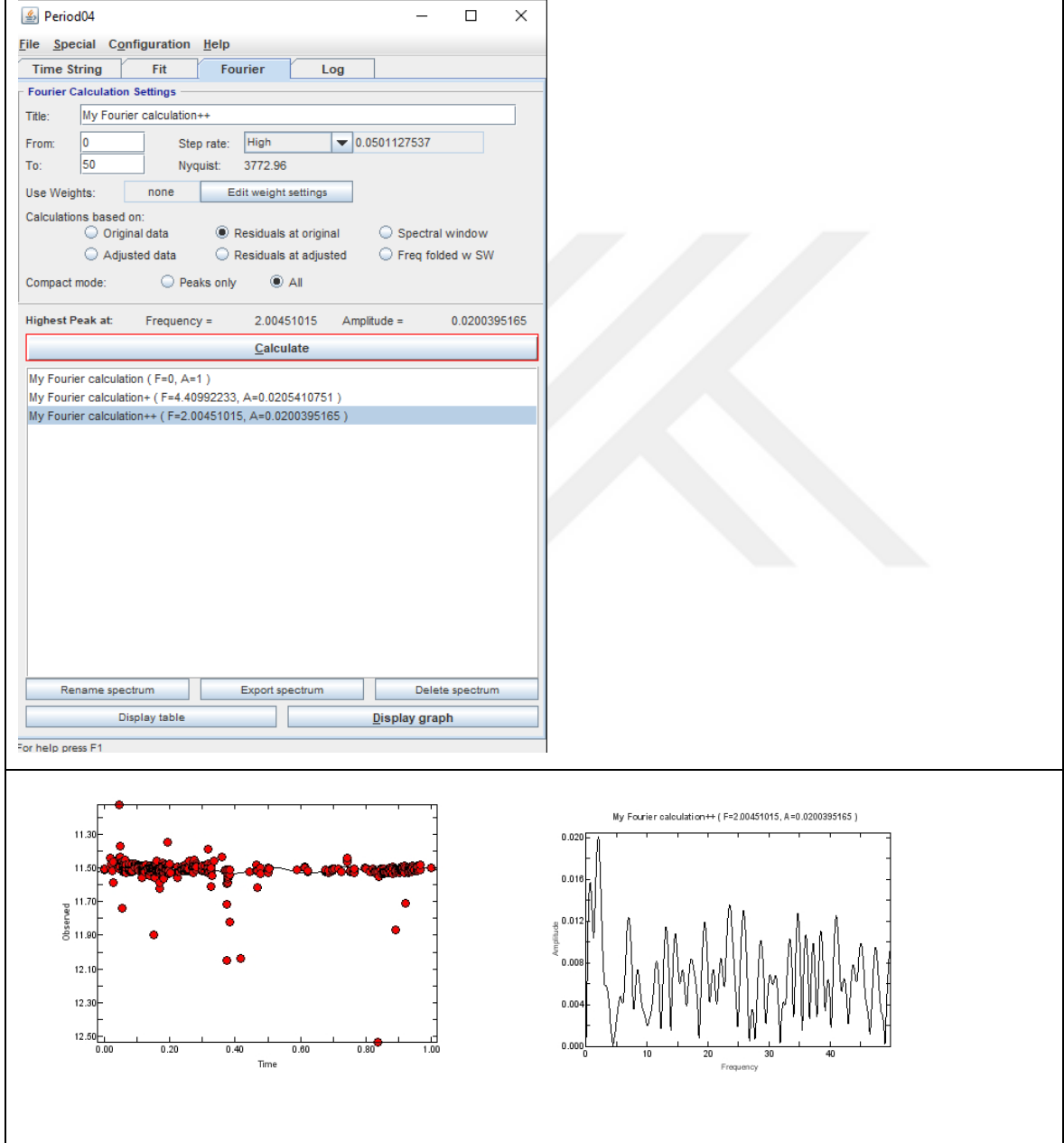


Şekil 6-5: Gaia DR2 519032302210272768 ışık eğrisi



Şekil 6-6: DR2 511537378127424000 periyod analizi

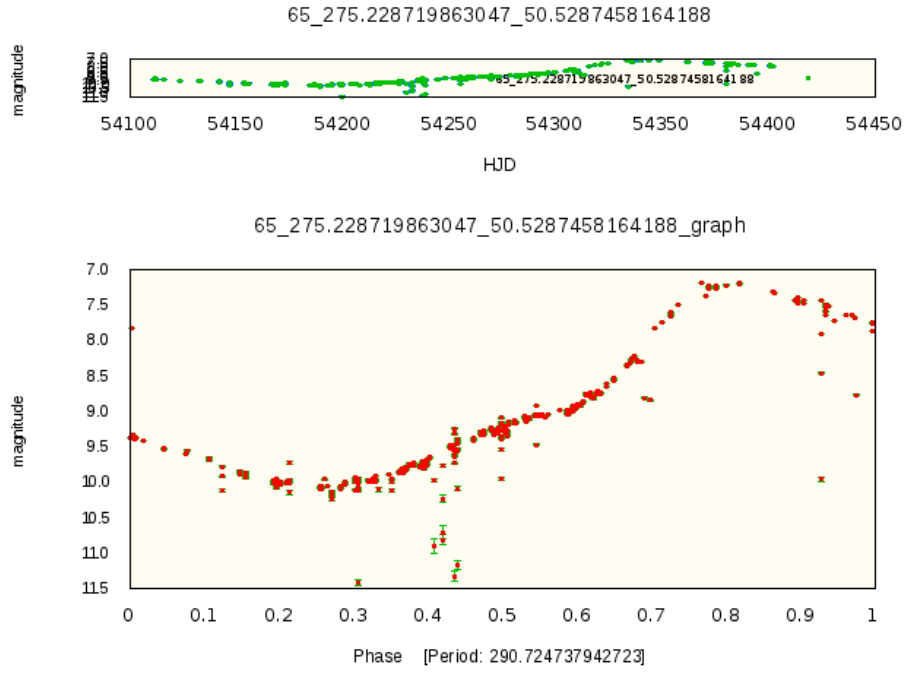
Üçüncü yıldızımız Gaia DR2 519032302210272768 yıldızımızda diğer yıldızlar gibi daha önce incelenmemiş olup bu çalışma ilk basit ışık eğrisi analizi ile dönem bulma çalışmasıdır. Yıldız belirgin şekilde çoklu döneme sahiptir, 107 günlük bir asal periyoda sahip olması yıldızı mira-yarı düzenli değişen yıldızlar sınıfına soksa da ayrıntılı çalışma yapmadan hangi sınıfa ait olduğu konusunda kesin bir şey söylenemez. Yıldızın periyod analizi Şekil 6-7’de verilmektedir.



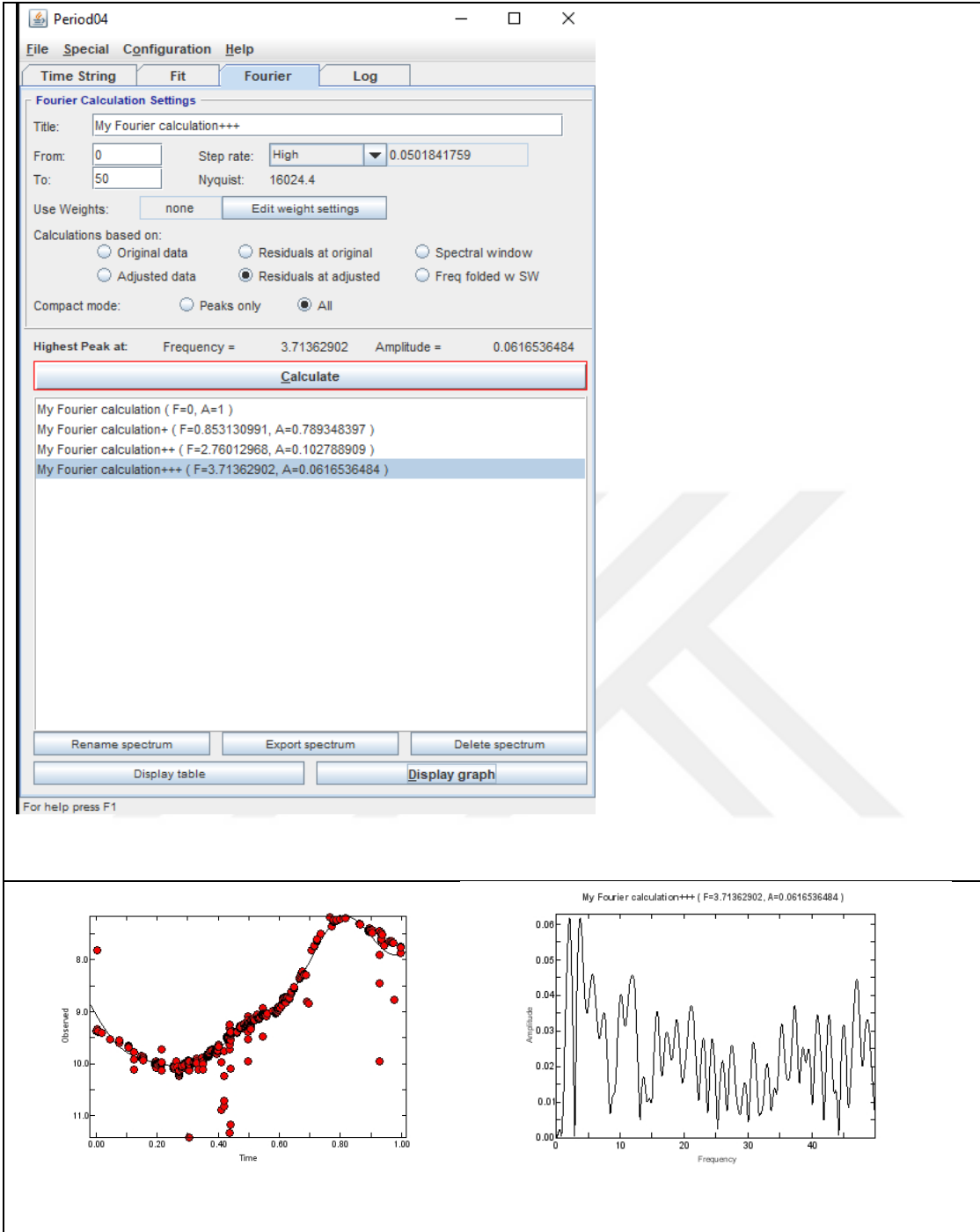
Şekil 6-7: Gaia DR2 519032302210272768 analizi

Dördüncü yıldızımız olan IRC +50278 Simbad da Mira değişeni olarak sınıflandırılmıştır. Daha önce başka kataloglar tarafından da alınmış bir yıldızdır ancak diğer yıldızlar gibi

detaylı çalışması yapılmamıştır (Stephenson, 1986). Bizim bulduğumuz 290 günlük periyot değeri bununla uyumludur(Şekil 6-9).

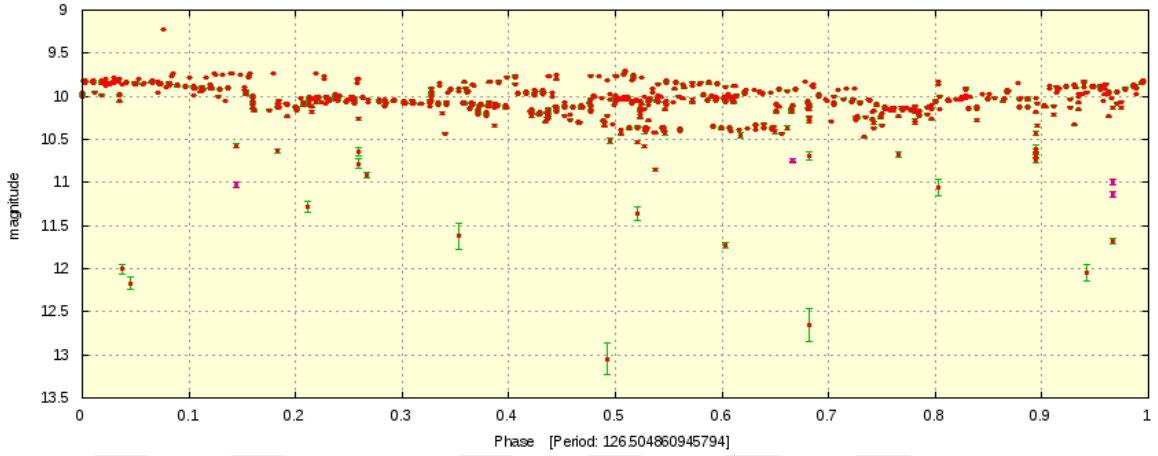
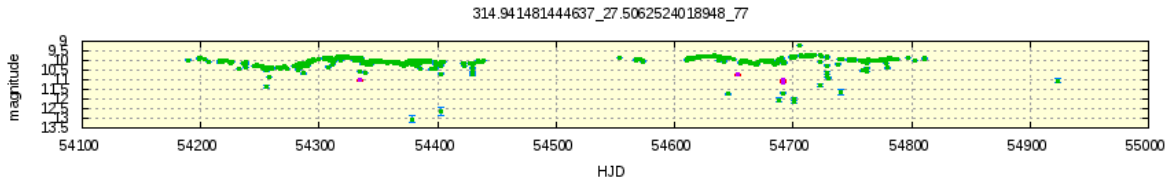


Şekil 6-8: IRC +50278 ışık eğrisi



Şekil 6-9: IRC +50278 yıldızının dönemsel analizi

Çalışmamızın son yıldızı IRAS 20575+2718 ilk olarak Wozniak'ın kuzey yarıküredeki kırmızı değişenleri belirlemek için yaptığı çalışmada anılmış ama detaylı bir analizi



Period04

File Special Configuration Help

Time String Fit Fourier Log

Fourier Calculation Settings

Title: My Fourier calculation++

From: 0 Step rate: High 0.0502583278

To: 50 Nyquist: 2932.53

Use Weights: none Edit weight settings

Calculations based on:

- Original data
- Residuals at original
- Spectral window
- Adjusted data
- Residuals at adjusted
- Freq folded w SW

Compact mode: Peaks only All

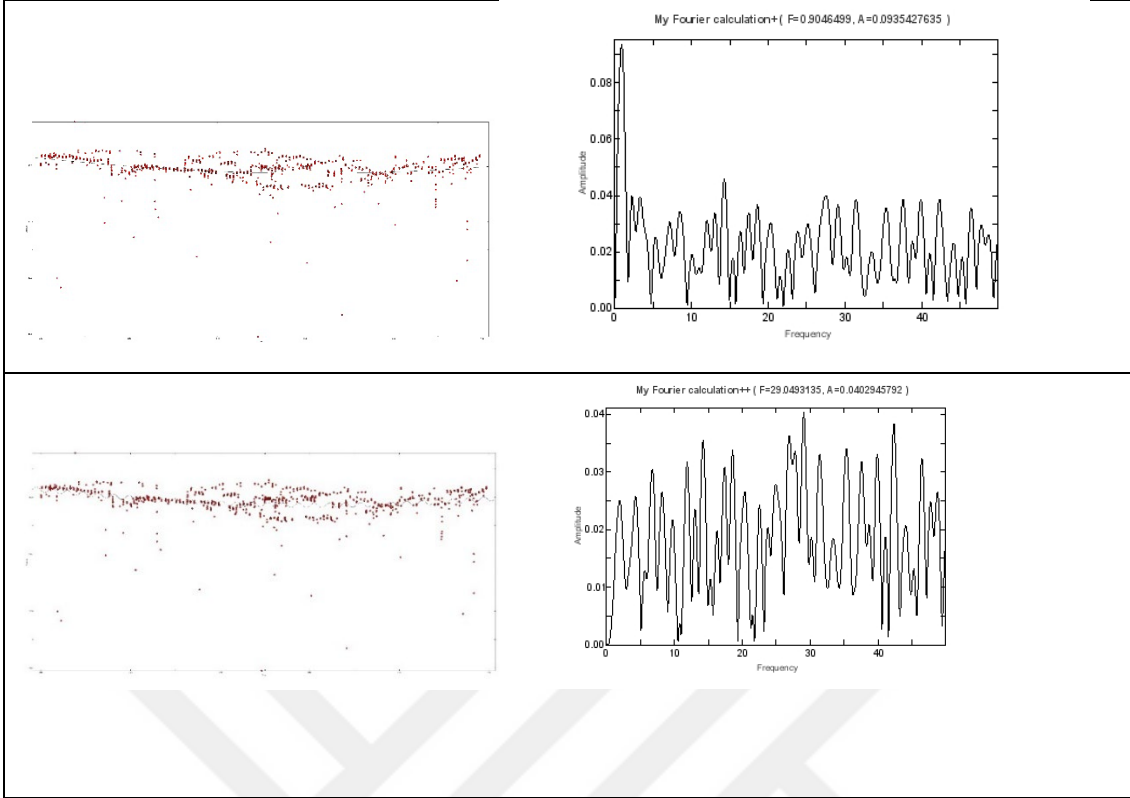
Highest Peak at: Frequency = 29.0493135 Amplitude = 0.0402945792

Calculate

My Fourier calculation (F=0, A=1)
 My Fourier calculation+ (F=0.9046499, A=0.0935427635)
 My Fourier calculation++ (F=29.0493135, A=0.0402945792)

Rename spectrum Export spectrum Delete spectrum

Display table Display graph



Şekil 6-10: IRAS 20575+2718 çoklu dönem analizi

yapılmamıştır (Wozniak P.R., 2004). Yıldız Simbad'a uzun dönemli değişen olarak nitelendirilmiştir bizim bulduğumuz periyot değeri de bununla uyumludur. Çoklu frekans analiz sonuçlarımız Şekil 6-10 da verilmektedir. Bu yıldızda da Fourier analizini 3. Adımda kestik, her ne kadar yıldız analize devam ettikçe çoklu periyotlar çıkartsa da eğrinin zarfına olan fit, çok küçük değerlere gitmekte olduğundan doğru sonuç üretmemektedir. Bu yıldızımız bizim analizimize göre belirgin şekilde çoklu frekansa sahip değildir.

Çalışmamızda ROTSE III'de teleskobun verilerinden faydalanarak çoklu periyot analizi yaptık. Ele aldığımız yıldızların zonklama yaptığı ve zonklama periyotlarının yarı düzenli yıldızların dönem aralıklarına uygun düştüğü görülmüştür. Literatürde Mira türü değişenler ile yarı düzenli değişenlerin evrimsel açıdan birbirini izleyen süreçler olduğu konusunda birçok çalışma vardır (Judge, 1991) ancak ikna edici bir açıklama henüz getirilememiştir.

Bazı SRV yıldızları nispeten büyük genlikli düzenli periyotlar sergilemektedirler. Bu yıldızlar SRa olarak sınıflandırılırken bazıları değişen aralıklarda oldukça düzensiz ve işte tamam periyodu budur demek zorlandığımız değişimler göstermektedir. Bu tip yıldızlar ise SRb yıldızları olarak sınıflandırılır. Bunlara ek olarak yarı düzenli süper devler (SRc) ve

sarı yarı düzenli değişenler (SRd) sınıfları da vardır. Bahsettiğimiz son sınıfında RV Tauri yıldızları ile yakın ilişkili oldukları düşünölmektedir.

SRa yıldızları ile 2.5kadirde daha küçük genlikli ışık değişimleri ile Mira değişenlerinden ayrılırlar ama bu iki uzun dönemli değişen tipi arasında genlikler açısından kesin bir sınır yoktur. Burada incelediğimiz gibi çoklu ve değişken periyoda sahip yıldızları kesin Mira yada SRV olarak sınıflandırmak çok doğru olmaz. Kesin ayırım için daha detaylı uzun süreli gözlemlere ihtiyaç vardır.

Bu teleskobun gözlemlerinin filtresiz olması, göz önüne aldığımız yıldızların ışık eğrilerinin detaylı çalışılarak yıldızın kütle-yarıçap-yörünge elemanları gibi parametrelerinin bulunmasına uygun değildir. Bu yıldızların filtreli gözlemlerinin yapılması hatta mümkün olursa spektrumları alınarak yıldız parametrelerinin bulunmasına ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

AAVSO Types of Variable Stars: A Guide for Beginners [Çevrimiçi] // AAVSO. - -. -
<https://www.aavso.org/types-of-variables-guide-for-beginners>.

Andre Ch. Traite D'Astronomie Stellare [Kitap]. - Paris : Observatoire de Lyon, 1899.

Bartelmann Matthias The Dark Universe [Dergi] // Review of Modern Physics. - 2010.

Bessell Michael S. Standard Photometric Systems [Dergi] // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. - 2005. - s. 43;293–336.

Böhm-Vitense E. Introduction to stellar Astrophysics [Kitap]. - Cambridge : Cambridge University Press, 1989.

Carroll B.W. ve Ostie D.A. An introduction to modern Astrophysics [Kitap]. - [basım yeri bilinmiyor] : Pearson Yayıncılık, 2007.

de Boer K.S. W. Seggewiss Stars and Stellar Evolution [Kitap]. - Cedex France : EDP sciences, 2008.

Henden Arne common [Çevrimiçi] // AAVSO. - 1987. -
https://www.aavso.org/vsots_ugem.

Hoffleit Dorrit History of the discovery of mira stars [Dergi] // JAAVSO. - 1997. - s. 115-136.

Judge Philip G. The Mira/Semi-Regular Connection II [Dergi] // IAU proposal. - 1991. - s. 3984J.

Kaitchuck A.A.Henden R.H Astronomical Photometry [Kitap]. - Richmond : Willmann - Bell Inc., 1990.

Karakas A. Nucleosynthesis of Low and Intermediate-mass [Konferans] // Principles and Perspectives in Cosmochemistry. - India : Springer Verlag, 2008.

Kazarovets E.V. Samus N.N., Durlevich O.V. , Revised Version of the New Catalogue of Suspected Variable Stars, NSV Release 2 [Dergi] // Astronomy Reports. - 2022. - s. 555-560.

Kjeldsen H. ve Bedding T. R. Amplitudes of stellar oscillations:the implications for asteroseismology [Dergi] // Astronomy and Astrophysics. - 1995. - s. Vol. 293, p.87-106 .

Kule Darth Black-body radiation [Çevrimiçi] // wikimedia.org. - 2010. - https://en.wikipedia.org/wiki/Black-body_radiation.

Maciel J.W Introduction to stellar structure [Kitap]. - [basım yeri bilinmiyor] : Springer Praxis, 1999.

Mattei J A. Foster G. Hurwitz A.L Classification of Red variables [Dergi] // ESAASP. - 1997. - s. 402.

Mauro M. P. Di A review on Asteroseismology [Konferans] // Frontier Research in Astrophysics — II. - Mondello (palermo) : [yazarı bilinmiyor], 2017.

Motz Lloyd Duveen Annetta Essentials of Astronomy [Kitap]. - [basım yeri bilinmiyor] : Columbia University Press, 1966.

Mowlavi N. vd., Gaia Data Release 2 The first Gaia catalogue of long-period variable candidates [Dergi] // Astronomy and Astrophysics. - 2018. - s. A&A 618, A58.

NASA Compass and Scale Image of Cepheid Variable V1 in M31 [Çevrimiçi] // HUBBLE site. - 2011. - <https://hubblesite.org/contents/media/images/2011/15/2849-Image.html?news=true>.

NASA Kepler-16 [Çevrimiçi] // Wikipedia. - -. - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light_curve_of_binary_star_Kepler-16.jpg.

Palen Stacy E. Theory and Problems of Astronomy [Kitap]. - [basım yeri bilinmiyor] : McGraw-Hill, 2002.

Percy John R. Understanding variable stars [Kitap]. - New York : Cambiridge University press, 2007.

Percy R Polano S. Pulsation Modes in M Giants [Konferans] // A Half Century of Stellar Pulsation Interpretations ASP Conference Series V.135. - 1998.

Pols O.R. Stellar ,structure and avolution [Kitap]. - [basım yeri bilinmiyor] : Astronomical Institute Utrecht, 2011.

RURSUS derivative work: Rursus (talk)Stellar_evolutionary_tracks-en.PNG: *derivative work: G.A.SStellar_evolutionary_tracks.gif: Jesusmaiz - Stellar_evolutionary_tracks-en.PNG, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4259209>

[Çevrimiçi]Wikipedia. 2008. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Stellar_evolutionary_tracks-en.svg.

Samanyolu ekspresi [Çevrimiçi] // Samanyolu ekxpresi. - -. - <http://samanyoluekspresi.blogspot.com/2016/12/astrofizik-notlarm-4-lektromanyetik.html>.

Schwarzenberg-Czerny A. Accuracy of period determination [Dergi] // Mon.Not.R. Ast.Soc.. - 1991. - s. 198-206.

Schweitzer Emile Association Française des Observateurs d'Etoiles Variables. Translated by Vialle, Jacques. [Rapor]. - [basım yeri bilinmiyor] : The names and catalogues of variable stars <https://cdsarc.u-strasbg.fr/foev/var/edenom.htx>, 2023.

Smart W.M. Text Book on Spherical Astronomy [Kitap]. - LONDON : Cambiridge University , 1949.space.com [Çevrimiçi] // space.com. - -. - <https://www.space.com/15396-variable-stars.html>.

Stephenson C. B. Late M stars found in hemispheric survey [Dergi] // The Astrophysical Journal. - 1986. - s. 301:927-937.

Tübitak Ulusal Gözlemevi TUG Tübitak Ulusal ROTSE IIId [Çevrimiçi] // TUG Tübitak Ulusal Gözlemevi. - -. - <https://tug.tubitak.gov.tr/en/teleskoplar/rotse-iii-d-telescope>.

Wood P. AGB Stars (The MACHO Collaboration) [Konferans] // IAU Symp. 191. - Montpellier, Fransa : [yazarı bilinmiyor], 1998.

Wozniak P.R. Williams S.J., vd Identifiying red variables in the northern sky variability survey [Dergi] // The Astronomical Journal. - 2004. - s. 128:2965–2976.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Yasemin Şahin

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans: 2010, İnönü Üniversitesi, Eğitim Fakültesi-Fen Bilgisi Öğretmenliği

MESLEKİ DENEYİM:

2010-2014: Nesrin Mehmet Abar Ortaokulu, Şahinbey/Gaziantep

2014-2016: Yaylak Ortaokulu, Bozova/Şanlıurfa

2016-2020: Güzelşehir Şehit Mahmut Tekke Ortaokulu, Karaköprü/Şanlıurfa

2020-2023: Şehit Öğretmen Sait Korkmaz Ortaokulu, Yüreğir/Adana