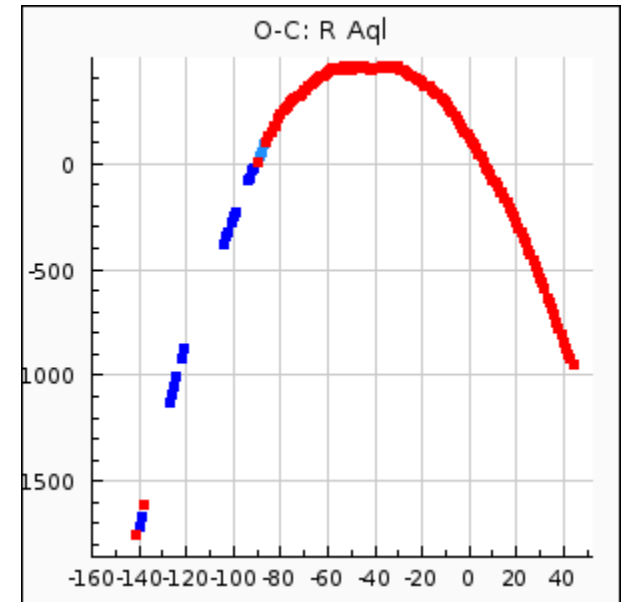
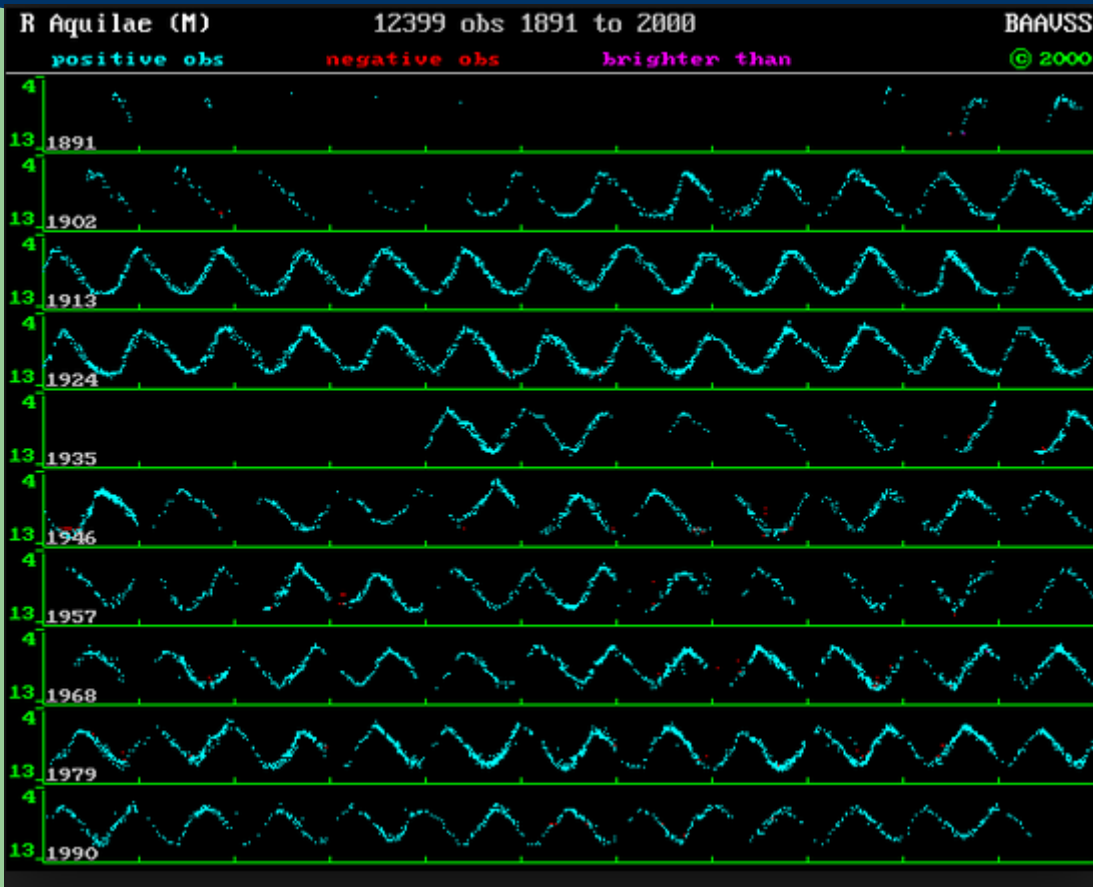


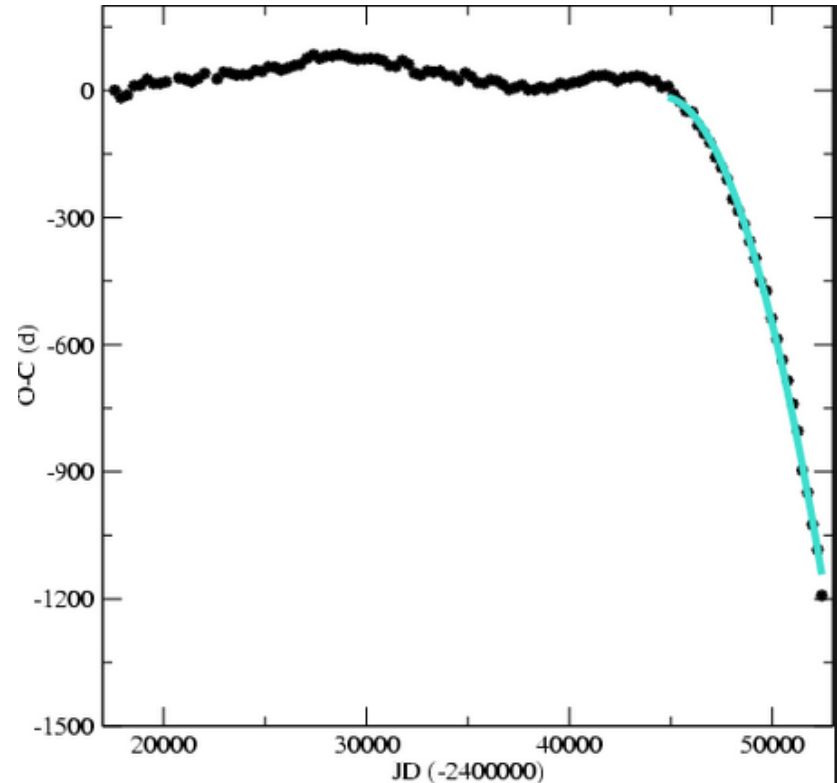
Dönem Değişimleri

- Birkaç on yıllık sürelerde görülen dönem değişimleri oldukça ilgi çeken bir konudur. R Aql ve R Hya bu tür değişim gösteren yıldızlardan sadece ikisidir.
- 1856 yılında keşfedildiğinde R Aql'nın dönemi 348 gün civarında idi. Geçen 120 yıllık sürede dönemi 284 gün'e düşmüştür. Bu değişim halen devam etmektedir.
- Schneller (1965) daha sonra R Aql için;
 $P_E = 348^{0.980} - 0^{0.554202} \times E + 0^{0.000552309} \times E^2$
şeklinde bir ifade vermiştir. E^2 li terimin olmaması durumunda yıldızın döneminin sıfıra gideceği görülebilir ki bu mümkün değildir. Bu ifadenin türevi alındığında ışık eğrisinin mutlak minimumu $P=210^9$ de, $E=502$ için bulunur. Bu ise ilk belirlenen epok değerinden 400 yıl sonrasına karşılık gelir ve tabii 2250 yılına.
- Doğal olarak bu tür bir denklem ancak örnek olarak verilebilir, uzun bir zaman aralığı için gerçekçi bir sonuç vermesi çok güçtür.

R Aql. Işık eğrisi ve dönem değişimi



T UMi Mira türü değişen (Dönem Değişimi)

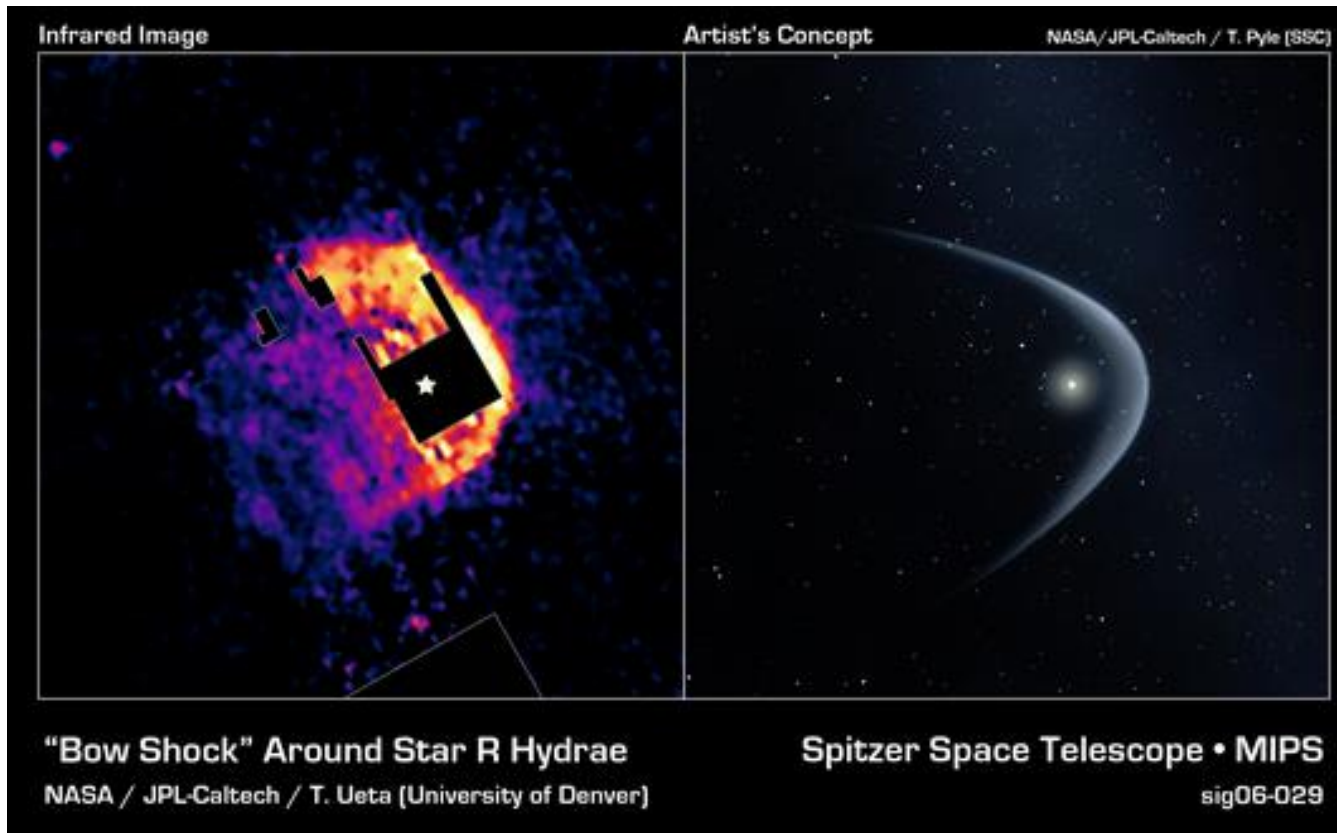


...devam

- *R Hya* örneğinde görsel parlaklığı 4 kadire ulaşabilmektedir. 1704 yılından beri değişen olduğu bilinmektedir ve çok az düzensiz değişimler göstermiştir. Dönemi 500^g civarındaydı. 1903 ile 1962 yılları arasındaki 55 adet maksimum zamanından gözlemsel olarak ortalama dönemin 400^g.055 olduğu hesaplanmıştır. Eğer tüm gözlemsel veriler 4 ana gruba ayrılırsa aşağıdaki değerler bulunur:

- 1903-1923	P=405 gün
- 1923-1935	415
- 1935-1941	400
- 1941-1962	386
- Prager, dönem değişiminin süreklilik göstermediğini belirtmiştir. Muhtemelen kesikli (zaman zaman) dönem değişimleri meydana gelmektedir. *R Hya* temel olarak normal Mira yıldızlarından bu dönem atlamalarının boyutları dışında bir farklılık göstermemektedir. *T Cep*'te benzer bir özelliğe sahiptir.
- ?? Wood ve Zarro(1981), Mira türü değişen yıldızlarında dönem değişimine neden olabilecek olayın *Helium-Flaş*'ı olabileceğini önermiştir.

R Hya



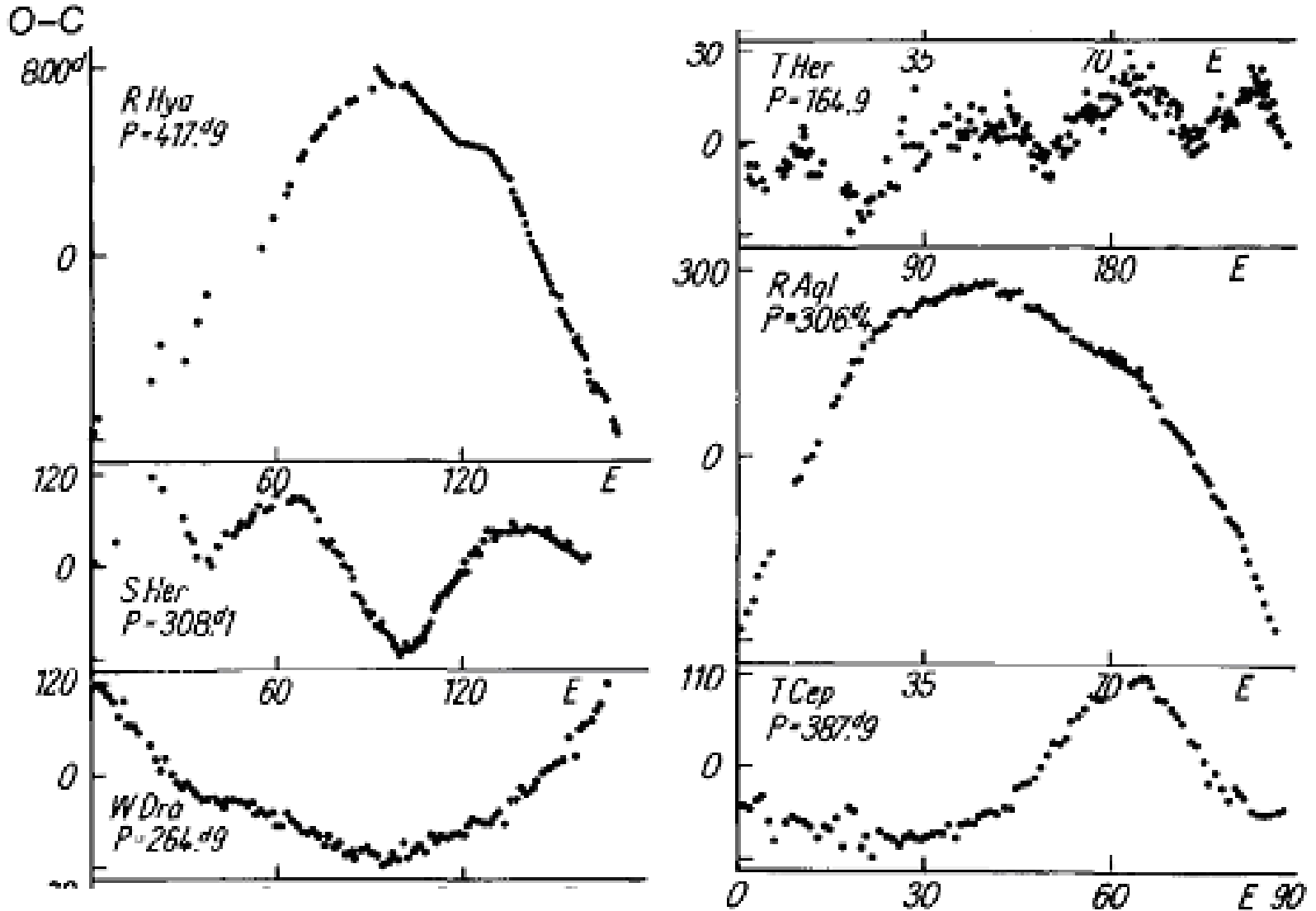
Dönem Değişimi - Genel

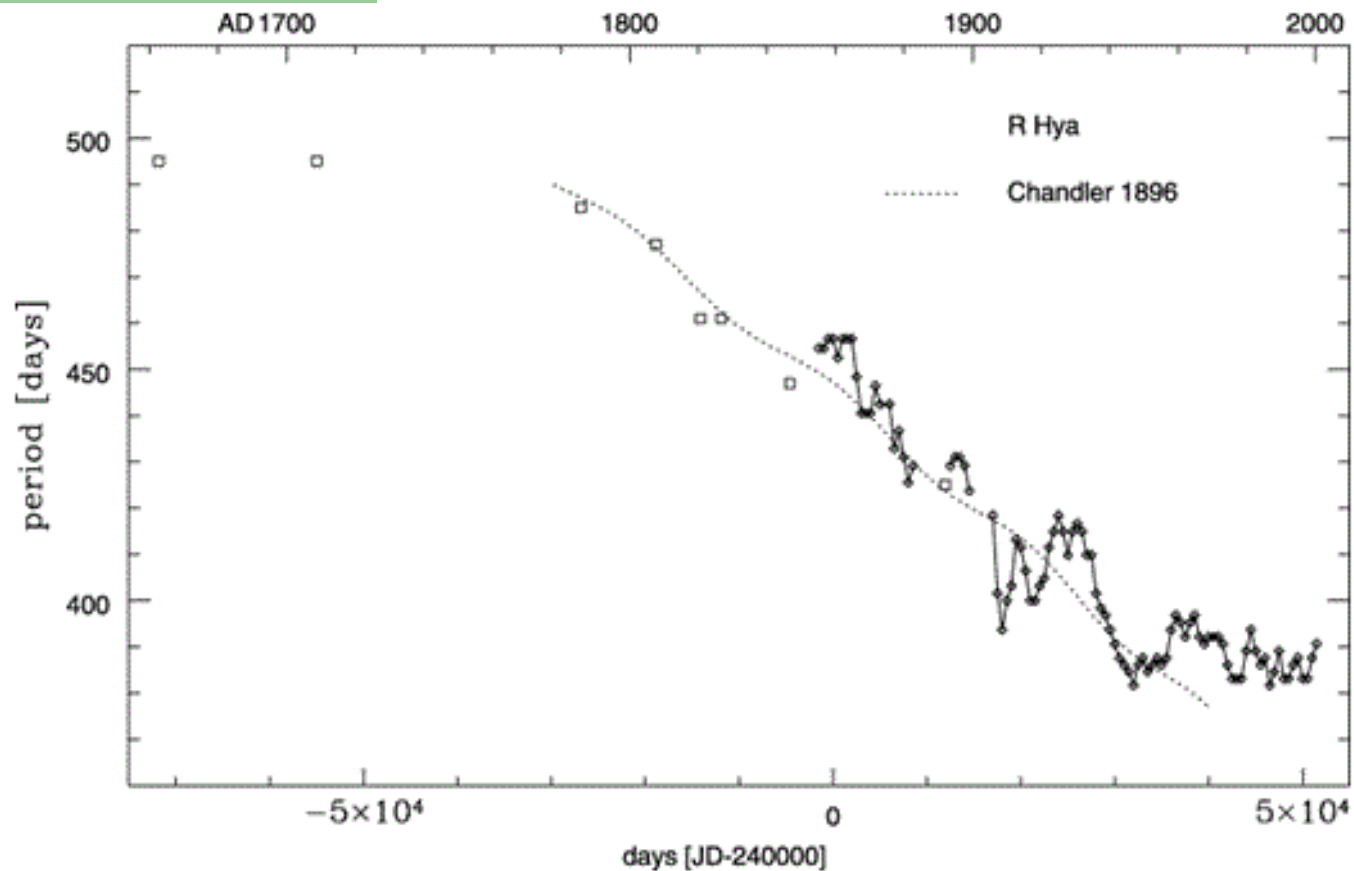
- Uzun bir zaman aralığı için sabit döneme sahip bir Mira yıldızının bulunması son derece zordur. Bazı durumlarda O-C diyagramları çok büyük değişimler gösterir.
- Uzun zaman aralığında ışık eğrisinin maksimumu ortalama bir dönem değerine göre daha erken yada daha geç gerçekleşmektedir (Şekil 26). Bu değişimleri açıklayabilmek için ilgili formüllere periyodik terimler (sinüslü terimler) ilave edilir ve fark kareleri toplamının önemli derecede küçülmesi sağlanır.
- Bu durum temel olarak yıldızın parlaklığının yıldız içlerinde periyodik süreçler ile kontrol edildiği düşüncesiyle, ki zonklayan yıldızlarda bu durum vardır, kullanılır. Bir örnek olarak Guthnick'in o Cet için vermiş olduğu ışık elemanı gösterilebilir;
- $M=2415574.96 + 331^d.69126 * E + 9^d.5 \text{ Sin}(1^\circ.4 * E + 245^\circ.8) + 11^d.5 \text{ Sin}(3^\circ.85 * E + 124^\circ.1) + 17^d.5 \text{ Sin}(4^\circ.56 * E + 307^\circ.2) + 12^d.3 \text{ Sin}(9^\circ.12 * E + 71^\circ.8)$
(E: çevrim sayısı, epok.)

...devam

- Bu yapıdaki formüller kullanılarak dönemdeki değişimler mükemmel şekilde temsil edilebilmektedir. Fakat eğer temel hipotez doğru ise gelecekte çok uzun zaman sonraları için ışık eğrilerine ilişkin maksimum zamanları iyi bir şekilde hesaplanabilir.
- Sürekliliğe sahip herhangi bir değişim – (O-C) değişimi gibi – istenilen derecede trigonometrik serilerin toplamı şeklinde ifade edilebildiği bilinmektedir (Fourier Serisi). Fakat çok sayıda O-C eğrisi incelendiğinde çoğu durumda değişimlerin parça parça doğrular ile temsil edilebildiği de görülür.
- Fiziksel açıdan bakıldığında bu durumun anlamı düzensiz olarak dönemin kendisinin aniden değişim gösterdiğidir. Bu değişimlerin zamanları kestirilememektedir.

Şekil 26. Farklı Mira yıldızları için O-C değişimleri





[View large](#)

[Download slide](#)

The period evolution of R Hya between 1662 and 2001. The first point is uncertain; the period is well determined from 1704 onwards. Extrapolation of the linear decline suggests that the decline began around 1770. The dotted line is the fit proposed by Chandler (1896).

...devam

- Sterne (1934) bu tartıřmaya sűrpriz bir aıklama getirmiř ve deęiřen yıldızlarda gűrűlen dűnem deęiřiminin gerek olmadığını, bunun “**hataların űst űste binmesinden**” kaynaklanabileceęini belirtmiřtir. Bunun için tavla zarı kullanılarak deęiřen yıldızların gűsterdikleri O-C deęiřimine benzer deęiřimlerin yaratılabileceęini gűstermiřtir.
- Yıldızların parlaklıęındaki deęiřim, zonklama gibi mekanik sűreler tarafından kontrol ediliyorsa bu durumda dűnem deęiřimi gűstermelerini de beklemek olasıdır. Bunun anlamı O-C diyagramlarında gűrűlen deęiřimlerin hataların űst űste binmesinden deęil, gerçekten dűnem deęiřiminden kaynaklandıęıdır.
- Dűnem deęiřiminin gerçekleřtięi yegane yıldızlar Mira tűrű deęiřenler deęildir. Bunların arasında yarı-dűzenli deęiřenler ve hatta űrten deęiřen yıldızlar da bulunur.

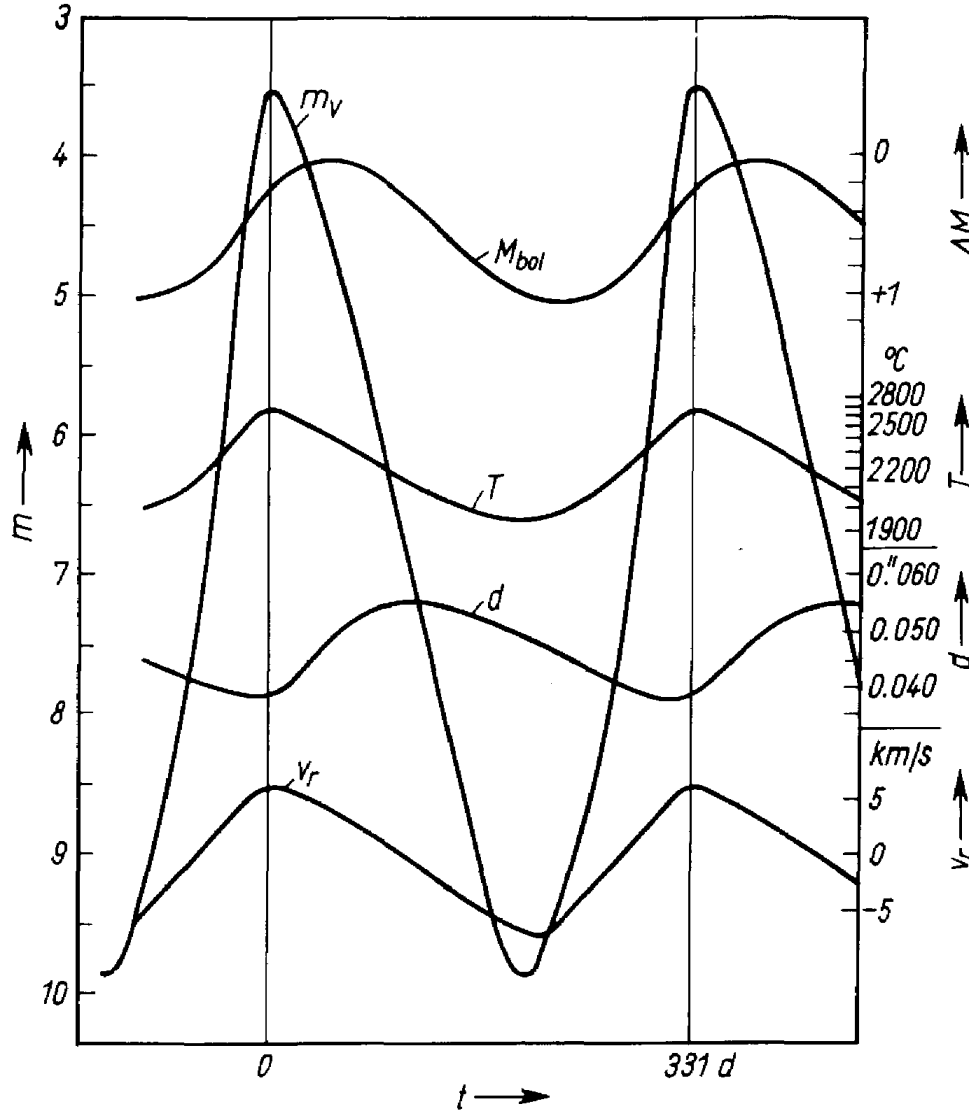
Fiziksel Özellikleri

- Mira türü değişen yıldızların kütlelerinin Güneş kütlesi boyutlarında olduğu söylenebilir. Mira'nın maksimum çapa sahip olduğu an, minimum parlaklığa sahip olduğu zamana karşılık gelir. Farklı kaynaklar yarıçap değeri için 174 ile 600 R_{\odot} arasında değerler vermektedirler.
- Buradan yıldızın ve diğer Mira türü değişen yıldızların aslında ortalama yoğunluklarının son derece düşük olduğu söylenebilir. Mira türü değişen yıldızların çapları, ışınım güçlerinin incelenmesi ile belirlenir.
- Bu tür yıldızların çaplarındaki değişim ortalama olarak %18 civarındadır ve bu değer bir miktar δ Cephei yıldızlarındaki değişim düzeyine benzemektedir.

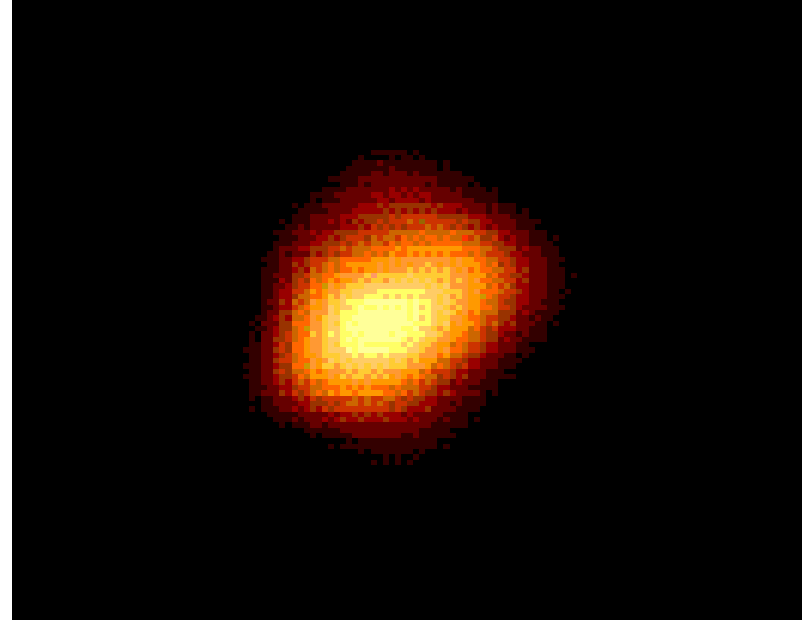
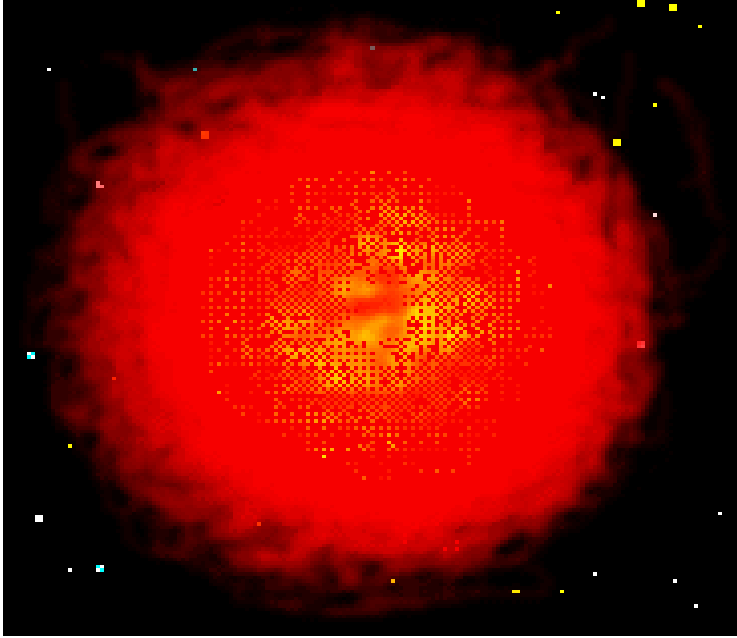
...devam

- Şekil 27'de Miranın yani o Ceti'nin görsel ve bolometrik parlaklığı, sıcaklık, çap ve dikine hız eğrisinin değişimi gösterilmiştir.
- Burada görülebilen en önemli özellik yıldızın görsel parlaklığının 6^m 'den fazla değişmesine rağmen, bolometrik parlaklık değişiminin çok daha küçük olmasıdır. Bu tür yıldızlarda TiO-ZrO gibi soğurma bandlarının S tayf türlerinde olması, diğer türlerinde ise karbon bileşiklerinin bulunması parlaklık değişiminde etkin rol oynadığı bilinmektedir.
- 2300 K etkin sıcaklığına sahip yıldızın toplam ışınımının %96 dan fazlası $\lambda > 7600 \text{ \AA}$ kırmızıöte bölgede salınır. 1800 K sıcaklıktaki yıldızlarda ise yaklaşık %99'u bu bölgede salınır. Sıcaklıkta küçük bir artma yıldızın daha kısa dalgaboylarında enerji salmasına ve dolayısıyla da optik bölgede daha parlak görülmesine yol açar.

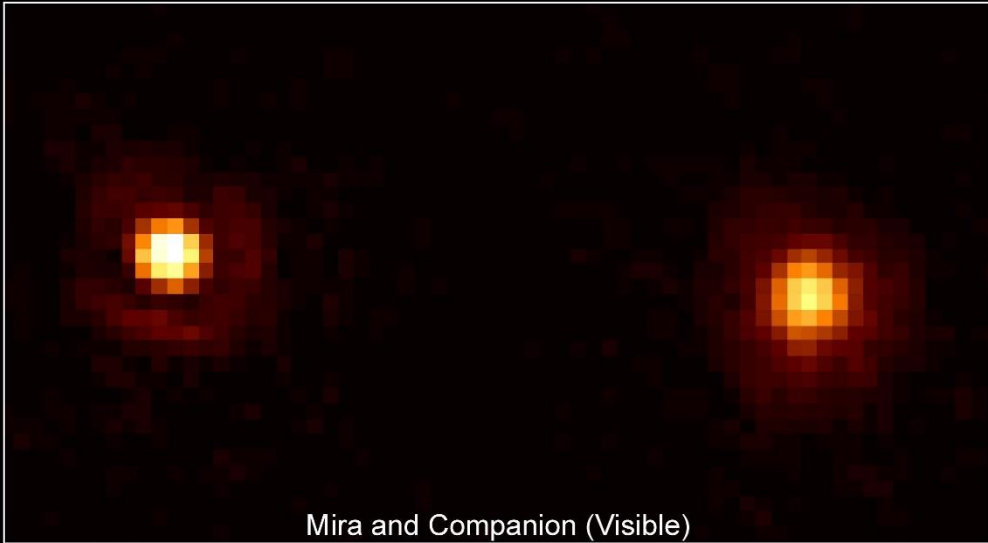
Şekil 27. Mira Ceti yıldızının zamana göre parlaklık, sıcaklık, çap ve dikine hız değişimi.



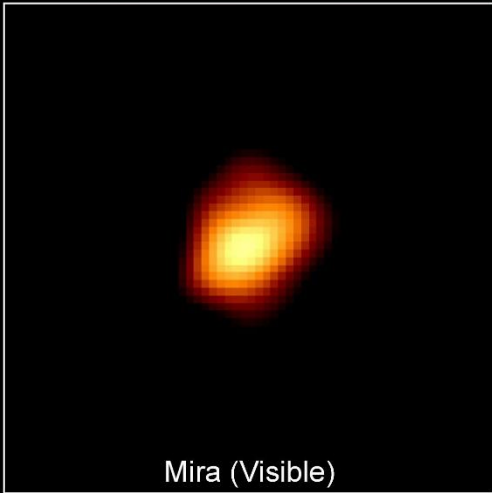
Mira Türü Değişen Yıldız



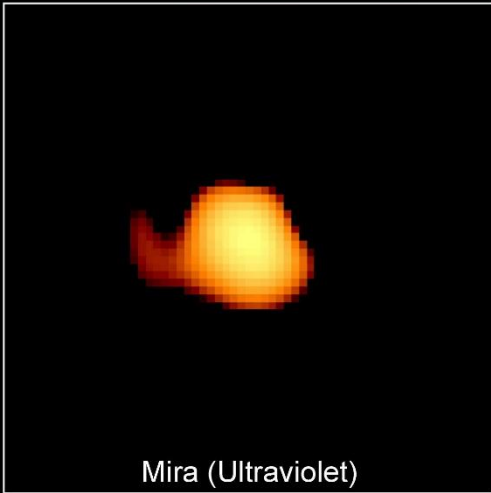
Mira'nın Yüzey Görüntüsü



Mira and Companion (Visible)



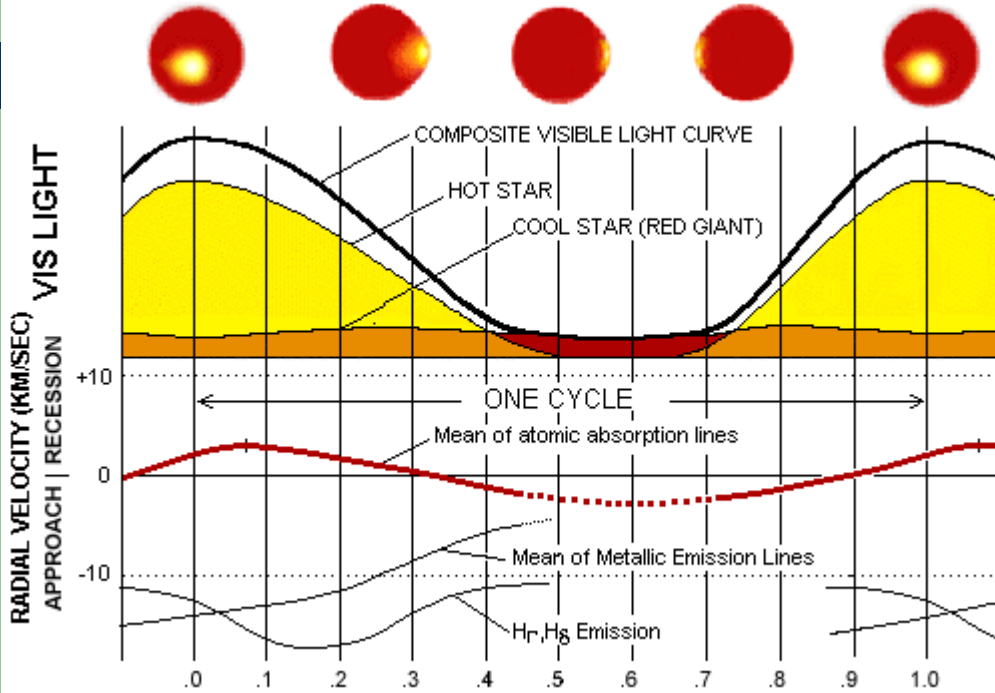
Mira (Visible)



Mira (Ultraviolet)

Mira • Omicron Ceti
Hubble Space Telescope • FOC

Tipik Mira türü bir değişenin ışık ve dikine hız eğrisi değişimi



Merril'in düşüncesine göre Mira'lar gerçekte bileşenleri birbirine çok yakın olan çift yıldızlardır. Baş bileşenin tipik kırmızı bir dev yıldız olduğu ve atmosferinin (tersinir katmanın içinde veya altında) içerisinde sıcak anakol bileşeninin yörüngesel hareket ettiği düşünülebilir. Bu model ile Mira türü değişen yıldızlarında karşılaştığımız teorik güçlüklerin başarılı bir şekilde açıklaması mümkün olabilmektedir.

...devam

- Mira türü ve yarı-düzenli değişenler ile düzensiz değişen yıldızların kırmızıöte bölge (680-3400 nm) gözlemlerinden, **kırmızı dev ve süperdev yıldızların ve özellikle Mira türü değişen yıldızların çevrelerinde genişlemiş kabuk bulunduğunu ve büyük kütle kayıplarının yıldız rüzgarlarıyla gerçekleştiği ortaya çıkarılmıştır.**
- Önemli derecede kütle kayıplarının bulunduğu ayrıca düşük kütleli yıldızların ileri evrim safhalarında (beyaz cüceler) genç yıldız kümelerinde (Hyades ve hatta Pleiades) de bulunmuştur.
- Bu yıldız kümelerinde ancak büyük kütleli yıldızlar anakoldan ayrılacaklarından, mevcut beyaz cüce yıldızlarının varlığı yıldızların çok yüksek miktarda kütle kaybetmeleri ile açıklanabilmektedir.

...devam

- Kırmızı değişenlerde yıldızlararası maddenin ve kütle kaybının bulunduğu çeşitli şekillerde anlaşılabilir;
 - Yüksek ayırma güçlü tayflarında düşük eksitasyon düzeyine sahip **metalik çizgilerin merkezi bölgesinin mora kaymış olması**. Bu durum fotosferin üst kısımlarında soğuk bir gazın 5-25 km/sn hızla genişlediğini gösterir.
 - **Kırmızıöte bölgede toz salmasına** ilişkin yapıların gözlenmesi (9.7 ve 18 μm de silikat bandı), 11.2 μm 'de silikon karpit, R, N ve C yıldızlarında karbon tozun varlığı. Mira yıldızlarındaki kırmızıöte artık ısıtılan yıldızlararası kabuğun ısısal salması nedeniyle olduğu bilinmektedir.
 - Bazı Mira ve M tür süperdev yıldızlarında **genişleyen yıldızlararası kabuğun** bulunduğu OH, H₂O ve SiO moleküllerine ait mikrodalga bölgede yayınlanan maser salmasının bulunması, şeklinde belirtilebilir.

...devam

- Kabuğun genişlemesi ve Mira türü yıldızlarda kütle kaybetme miktarlarının incelemesi Reimers (1977) ve diğer bazı araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir kaçında ise zönklama ile kütle kaybı arasında bir ilişkinin bulunduğu belirtilmiştir.
- Reimers (1975, 1977) kütle kaybetme miktarı ile kütle M ve ışınımgücü L arasında geç tayf türünden yıldızlar için bulduğu deneysel bağıntı;

$$\dot{M} = -A \frac{LR}{M}$$

şeklindedir.

- Burada $A=4 \times 10^{-13} M_{\odot} \text{yıl}^{-1}$ dir.
- Diğer taraftan Willson (1981)'a göre bu tür yıldızlarda kütle kaybının 10^{-5} ile $2 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{yıl}^{-1}$ olduğu hesaplanmıştır.

Kütle kayıp miktarları

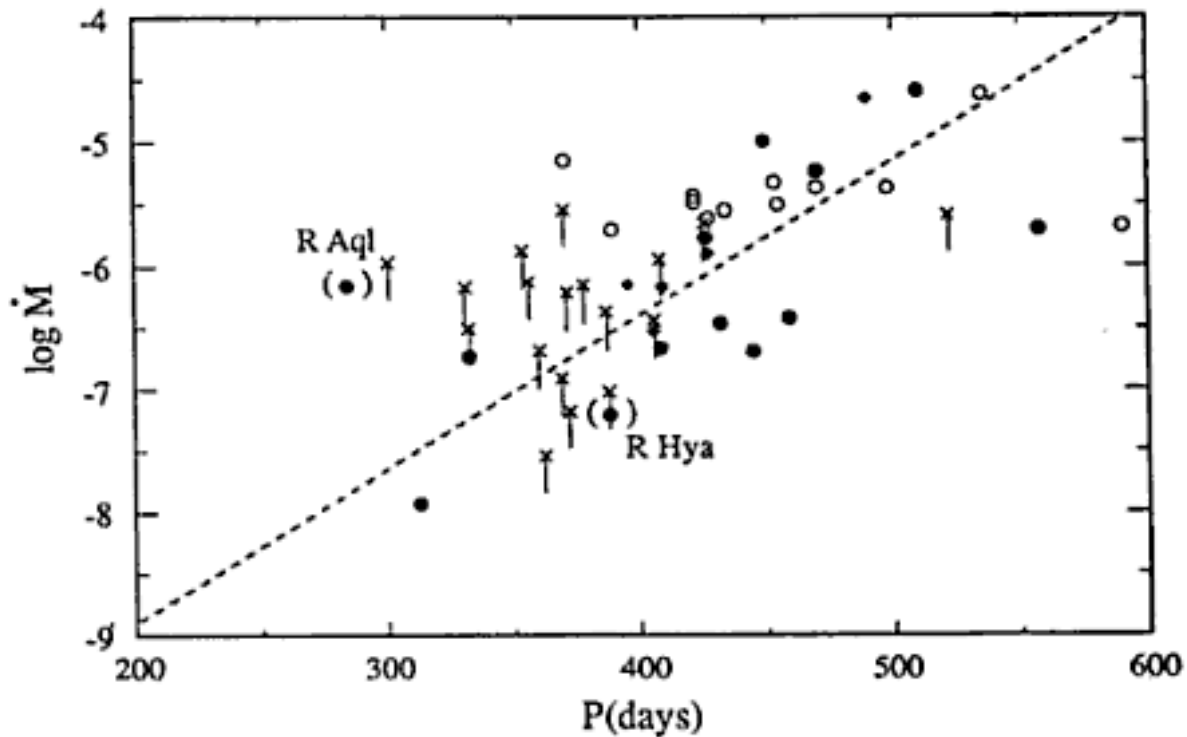


Figure 5. Mass loss rate \dot{M} ($M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) plotted against **period** for Mira variables. Solid circles: M stars; diamonds: S stars; open circles: C stars. The dashed line is the fit to the M and S star data given in the text. The crosses are upper limits.

Yıldız rüzgarı nedeniyle genişleme

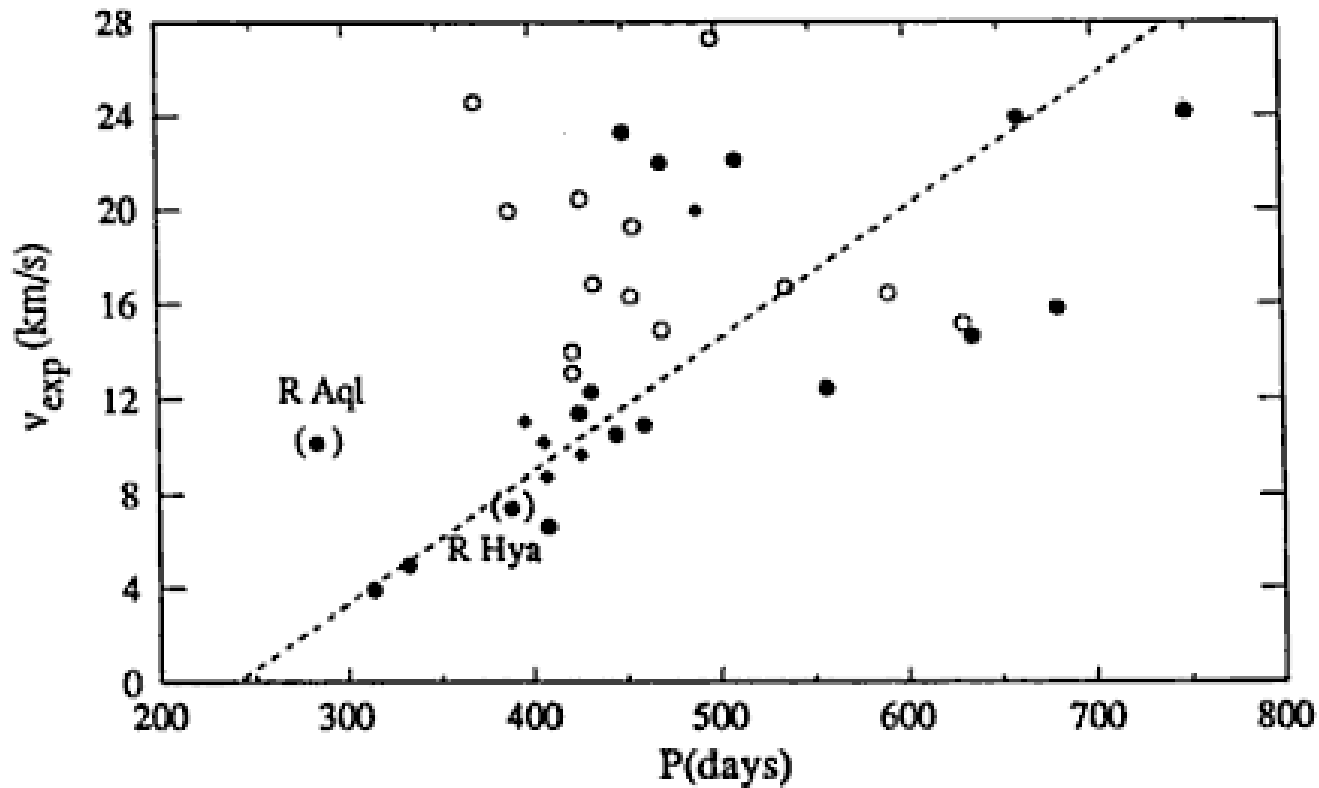
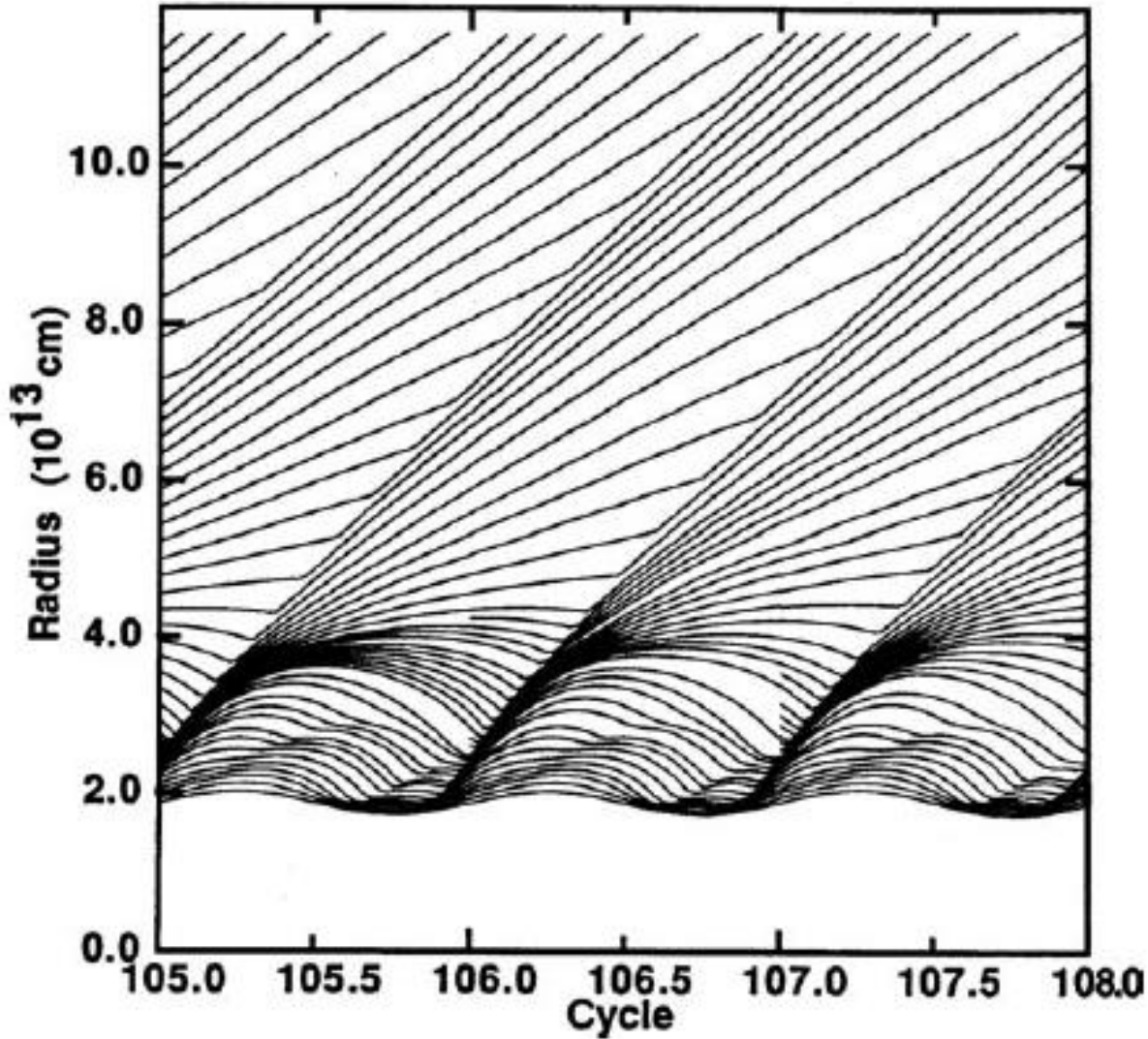


Figure 6. The stellar wind expansion velocity plotted against **period** for Mira variables. The dashed line is the fit given in the text. Symbols are as in Figure 5.



- Miraların atmosferinde seçilmiş olan katmanların yarıçap değerlerinin zamana göre değişimi (sürekli çizgiler), Bowen (1988) teorik modeli ile elde edilmiştir. Yarıçap değeri, yıldızın merkezinden uzaklık olarak kullanılmıştır. En düşük katman fotosferdir. Yıldızda zonklama meydana geldiğinden genişler ve büzülür. Dış katmanların yıldızdan atıldığı ve bu nedenle kütle kaybettiğine dikkat ediniz (Bowen, 1988).

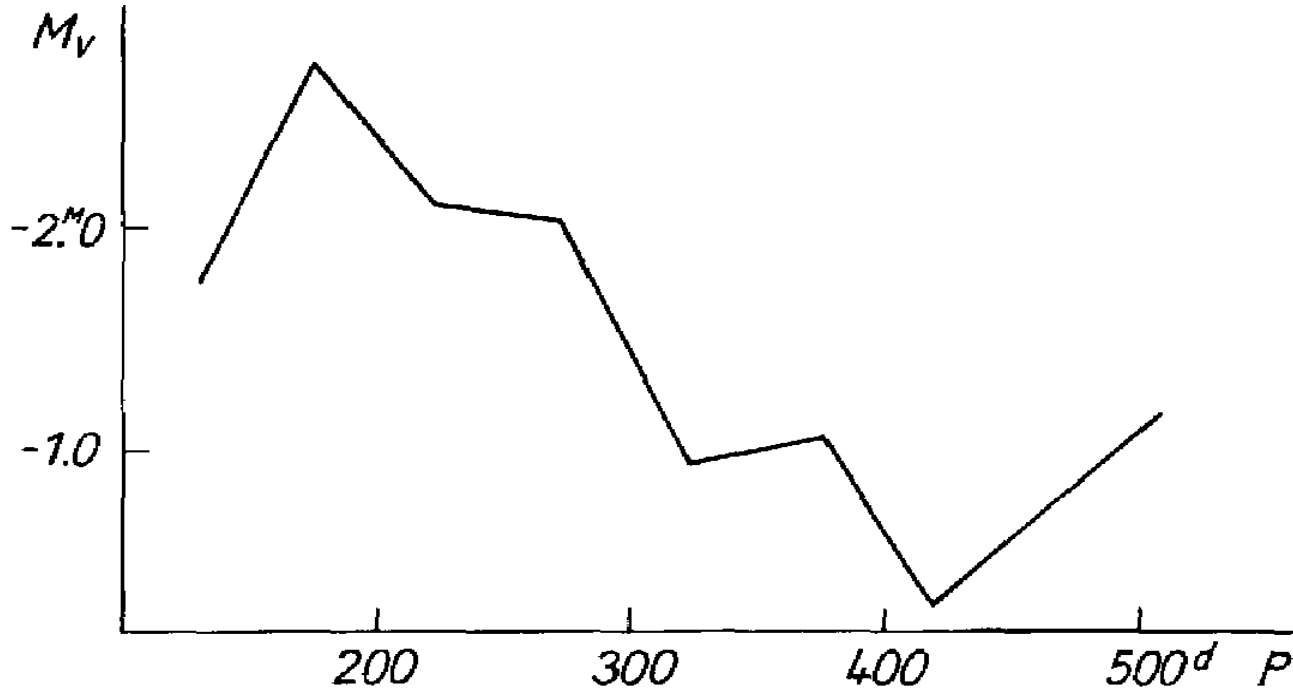
...devam

- Mira türü değişen yıldızların mutlak görsel parlaklıkları 0^m ile -3^m arasında değişmektedir. Az sayıda da olsa C ve Se alt sınıflarında $M_v = -1.4$ ile -1.6 arasında değiştii bilinmektedir.
- Bolometrik ve kırmızıöte mutlak parlaklıkları için dönem-ışınım gücü bağıntısı Tablo 23'de özet olarak verilmiştir.
- Celis (1981) dönem, tayf türü ve görsel ışınım gücü arasında üç boyutlu bir bağıntı vermiştir.
 - P-Sp- M_v ilişkisinden Mira türü yıldızların çok iyi bir uzaklık göstergesi olduğu ve Galaksinin yapısının incelenmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Tablo 23. Mira türü yıldızlar için dönem-ışınım gücü bağıntısı.

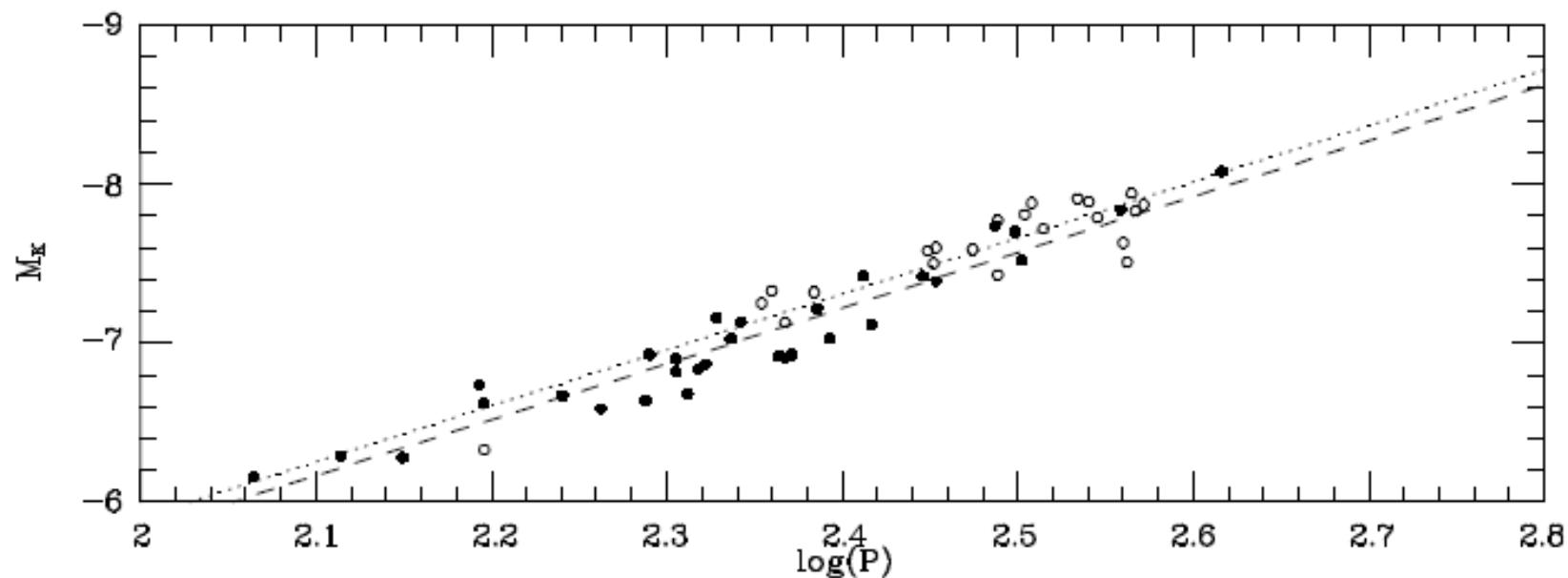
P	M_V	M_J	M_H	M_K	M_L
91 ^d –149 ^d	– 1.6	– 3.4	– 4.2	– 4.4	– 4.8
150–199	– 3.0	– 5.8	– 6.6	– 7.0	– 7.4
200–249	– 1.8	– 5.7	– 6.5	– 6.9	– 7.3
250–299	– 1.6	– 6.0	– 6.8	– 7.3	– 7.7
300–349	– 1.3	– 5.6	– 6.5	– 6.9	– 7.4
350–399	– 0.8	– 5.7	– 6.6	– 7.1	– 7.7
400–612	– 1.0	– 5.7	– 6.5	– 6.8	– 7.3

Şekil 28. M tayf türünden Mira yıldızları için bulunan dönem-ışınım gücü bağıntısı. M_V yıldız maksimumda iken ortalama görsel mutlak parlaklık değeridir.

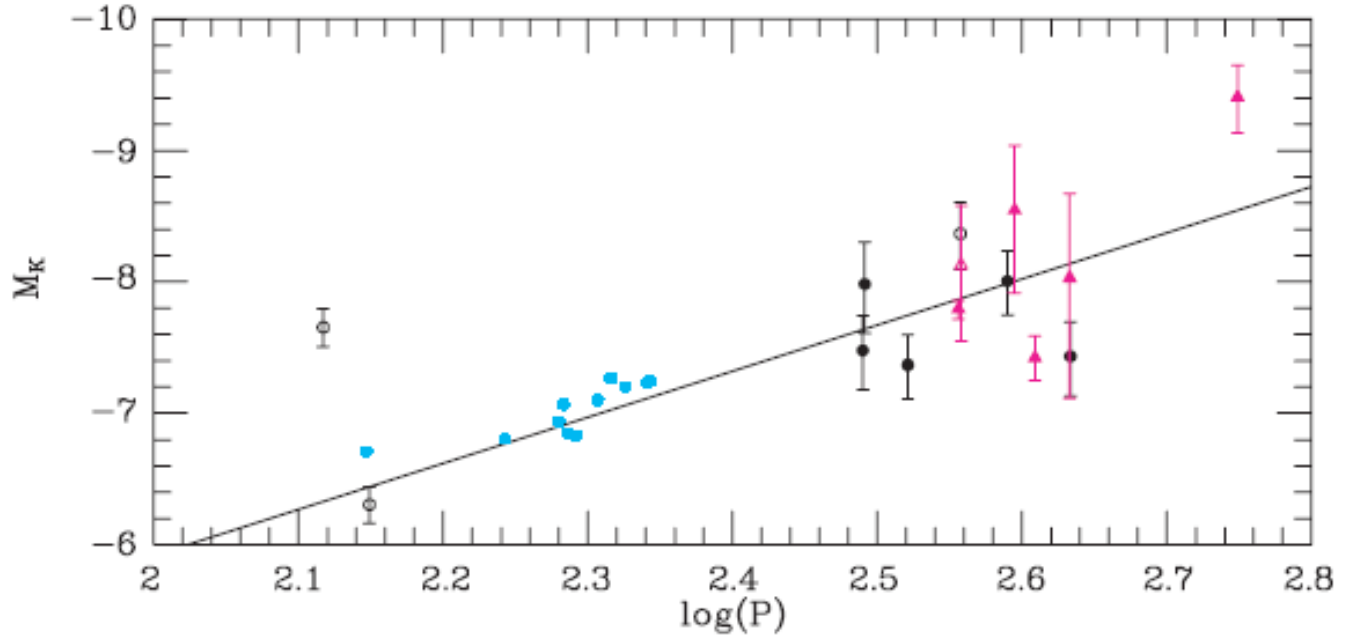


typ	No.	σ	ρ	$\delta + (m - M)_{LMC}$	δ
O-	31	0.14	-3.51 ± 0.20	11.241 ± 0.026	-7.15 ± 0.06
C-	22	0.15	-3.52 ± 0.36	11.149 ± 0.047	-7.24 ± 0.07
all	53	0.15	-3.69 ± 0.16	11.206 ± 0.020	-7.18 ± 0.05

$$M_K = \rho[\log P - 2.38] + \delta.$$



- LMC için bulunan P-L bağıntısı. Açık daireler C'de zengin, koyu noktalar ise O'ce zengin Mira'lara aittir ve iki ayrı fit yapılmıştır (2008).



Şekil. Uzaklıkları iyi belirlenmiş AGB değişenleri için oluşturulmuş Dönem-Parlaklık bağıntısı. İçi dolu semboller Mira'ları ve açık semboller SR değişenlerini göstermektedir. Hata barı bulunmayan noktalar ise küresel kümelerde bulunan Mira değişenlerini, hata barı ile gösterilmiş yuvarlak semboller, yüksek S/N oranına sahip Hipparcos gözlemlerine aittir. Üçgenler ise VLBI paralaks değerlerinden bulunan verilerdir.

Fit denklemi: $M_K = -3.51[\log P - 2.38] - 7.25$

Parlaklık Değişim Nedeni

- Mira türü değişen yıldızlarda zonklamanın olduğu kesin olarak bilinmektedir ve Q zonklama sabiti 0.096 civarındadır.
- Bu tür değişenlerde dış katmanlar özellikle görsel bölge ışınımına geçirgen davranır. Karbon parçacıklarının değişiminden kaynaklanan bu etki yıldızlararası sönmülemde önemli bir rol oynar.
- Karbon parçacıkları nedeniyle yıldız atmosferi sönmüşmekte ve dönemli olarak zonklama tarafından kontrol edilmektedir. Bu katmanlar tarafından soğurulan ışınım, daha uzun dalgaboylarında ısı enerjisi olarak tekrar yayınlanır. Bu durum bolometrik parlaklıktaki küçük genlikli değişimi açıklamaktadır.
- Maksimum ışınım, yıldızın en küçük boyuta ulaştığında gerçekleşmektedir. Bu evrede yıldızın dış katmanlarındaki yoğunluk maksimum durumdadır. Soğurucu katmanlara ilişkin parçacıkların yok olması için çeşitli kabullerin yapılması gerekmektedir.

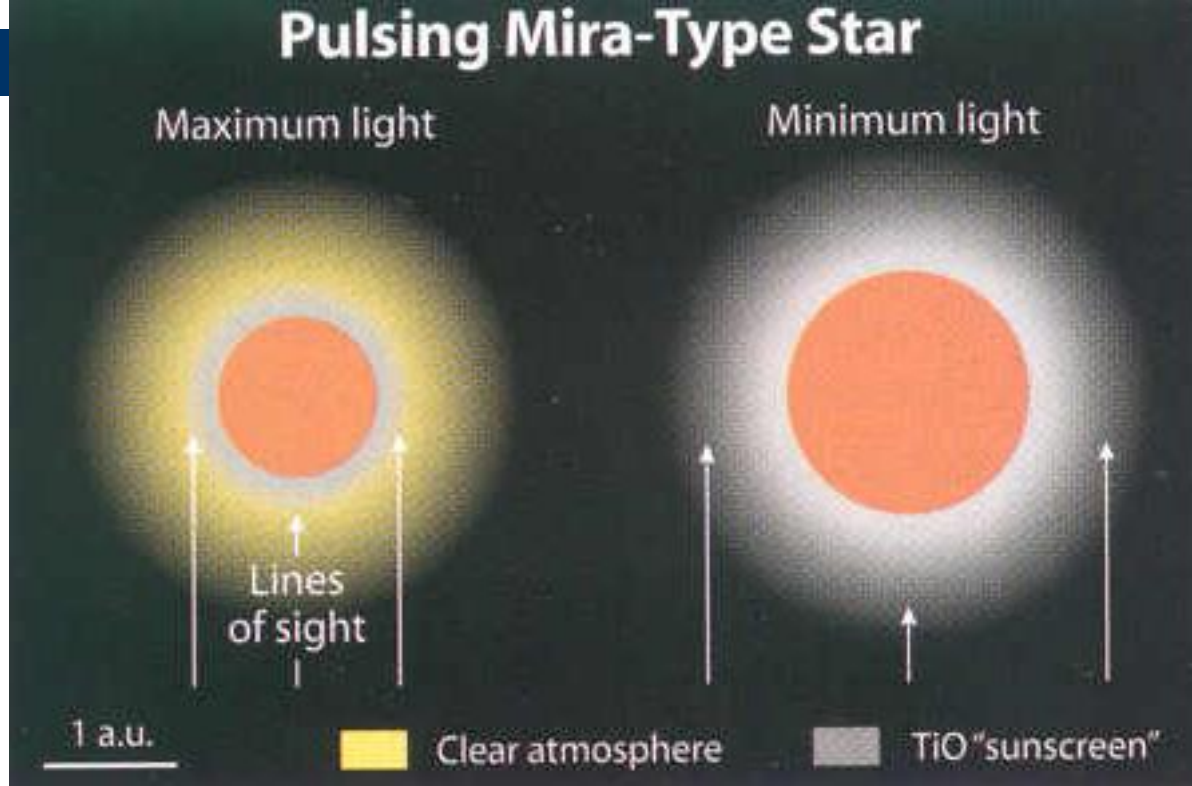
...devam

- Süperdevler doğal kararsızlık kuşağına yakın konumda bulunurlar ve bu bölgeye ilişkin fiziksel nedenlerden dolayı yıldızın iç kısımlarından gelen ışınımdaki küçük değişimler, yıldızın dış kısımlarında büyük değişimlere neden olduğu kabul edilir. Bu durum yarı-düzenli ve düzensiz değişen süperdev yıldızları olan α Ori ve α Her için doğru olduğu gösterilmiştir.
- Stebbins ve Huffer (1930) tayf türleri M0-M6 arasında olan ve değişen olduğu bilinmeyen 190 yıldızı fotoelektrik yöntemle gözlemine yapmış ve bu yıldızların 1/3 ünün 0.1 kadir ve üstünde değişim gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Buradan hareketle kırmızı dev yıldızların büyük olasılıkla sabit bir parlaklığa sahip olamayacaklarını belirtmişlerdir. Eğer bu düşünce doğru ise bu tür yıldızlar için değişim normal bir durum olarak kabul edilmelidir.
- Araştırmalar sonucunda yıldızı çevreleyen grafit parçacıklarının yıldızın dış kısımlarında soğurmayı değiştirecek ölçüde olduğu ve zonklamanın gerçekleştiği dönemlerde sıcaklığın artarak parçacıkların tekrar buharlaşmasına yol açtığı anlaşılmıştır.

Evrimsel Durumları

- Model hesaplamalarından Mira türü yıldızların HR diyagramında asimptotik devler kolunda bulunan yaklaşık bir güneş kütleli yıldızlar olduğunu göstermektedir. Daha öncede belirtildiği gibi kabuklarından önemli miktarda madde kaybedilmektedir.
- Güneş komşuluğundaki Mira yıldızlarının gözlenen dönem dağılımlarından, zonklama teorisine göre yıldızların evrimine ve kütle kaybına dayanak bu tür cisimlerin sonraki evrelerinde **beyaz cüce** yada **gezegenimsi bulutsu** olabilecekleri sonucuna ulaşılmıştır.
- Beyaz cüce türü yıldızlar için teorik olarak hesaplanan frekans dağılımı ve düşük kütleli anakol yıldızlarının ($\sim 1M_{\odot}$) evrimlerinin sonlarına doğru Mira türü değişen yıldızları olacaklarını göstermektedir. Büyük kütleli yıldızlar (birkaç M_{\odot}) Mira evresinden bu teoriye göre geçmeyeceklerdir.
- S, R, N ve C tayf türünden değişen yıldızlar için teoride güçlükler bulunmaktadır ve halen çok iyi anlaşılabilmiş değildir. Bazı araştırmacılara göre bu yıldızlar kısa süren yıldız evriminin bir neticesi olarak iç katmanların hızlı karışımı nedeniyle materyallerini yüzeye taşıdıkları ve sonradan meydana gelen kütle kayıpları ile yıldızın iç kısımlarının yıldız yüzeyi haline gelmesi sonucu oluşan cisimler oldukları kabul edilmektedir.

Özet: Mira Türü Değişenler

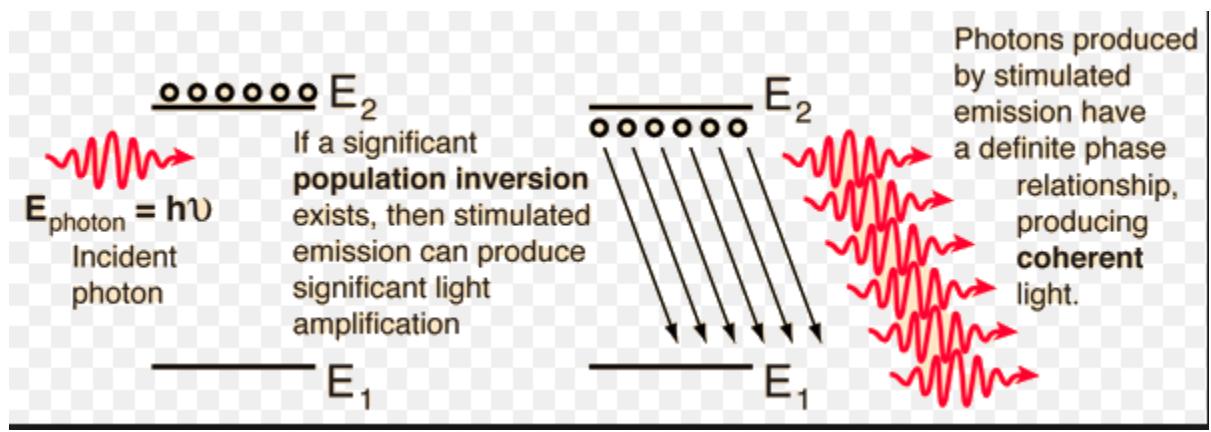


- Ke, Me, Se veya Ce (moleküler bandlara sahip) tayf türünden soğuk dev yıldızlardır ve 80 ile 1000 gün arasında dönemlerde zonklama yaparlar.
- Parlaklıkları 2.5 ile 11 kadir arasında değişebilmektedir. Mira yıldızları ayrıca uzun dönemli değişen yıldızlar olarak da bilinmektedir ve prototipi Mira (Omicron Ceti) yıldızının kendisidir. İyi bilinen diğer üyesi ise R Leonis yıldızdır.

- Büyük parlaklık değişimi göstermeleri ve farklı türden özellikleri nedeniyle Miralar kolaylıkla tanınabilmekte ve sınıflandırılabilir. HR diyagramında asimptotik devler kolunun yüksek ışınım güçlü yıldızların buldukları bölgede, yarı-düzenli değişen yıldızlar ile birlikte yer alırlar.
- Miralar, Güneş benzeri kütleye sahiptirler fakat çok daha büyük boyutlu yıldızlardır. Çok zayıf çekim güçleri nedeniyle dış katmanları üzerindeki çekimsel etkisi yüksek değildir ve uzaya kolaylıkla madde kaçabilmektedir.
- Güçlü yıldız rüzgarları nedeniyle yılda 10^{-7} ile 10^{-6} Güneş kütlelerinde maddeyi uzaya atarlar. Atılan bu materyal yıldızı saran bir kabuk şekline dönüşür.
- Mira evresinde yıldızların kütle kaybetme miktarı birkaç milyon yıl süresinde, yıldızın evrimleşerek bir gezegenimsi bulutsu tarafından sarılan bir beyaz cüce olmasına kadar devam eder. Güneşimizin kendisi gelecekteki birkaç milyar yıl sonra Mira türü bir yıldız olacağı tahmin edilmektedir.

MASER

- Maser terimi “microwave amplification by stimulated emission of radiation” un kısaltmasıdır. Atomların dışarıdan uyarılması sonucunda, saldıkları ışınımın genliği yükseltilmiş elektromanyetik dalga olarak gözlenmesi durumudur.



The maser mechanism

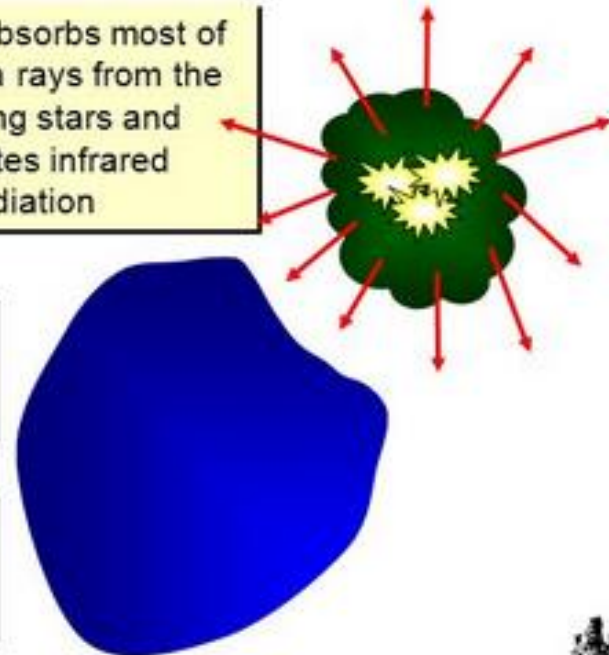
In our galaxy, masers are most often observed in starbirth regions of molecular clouds, and near old stars that are evolving from a red giant to a planetary nebula.

Let's have look at the emission mechanism for a water maser in a starbirth region.

The dust absorbs most of the gamma rays from the hot young stars and reradiates infrared radiation

A molecular cloud of H_2O is found close to a newly-forming hot OB star (or group of stars) in a cocoon of dust.

The H_2O molecules are irradiated with some of the infrared photons



Yarı-Düzenli Değişenler

- Yarı-düzenli değişen yıldızlar, orta ve geç tayf türünden dev veya süperdev yıldızlardır ve ışık eğrilerinde dönemlilik görülmesine rağmen değişik nedenlerle dönemliliği bozulan yıldızlardır.
- Dönemleri 20 günden başlamakta ve 2000 gün'e kadar uzanmaktadır.
- Işık eğrileri ise birbirinden çok farklı yapılarda olabilmekte ve çevrimden çevrime değişime sahip olan yıldızlardır.
- Genlik olarak yüzde bir kadirde birkaç kadire kadar değişik değerlere sahiplerdir (genellikle V bandında 1-2 kadir kadardır).

Alt Sınıfları

- **SRa:** Tayf türleri (M, C, S veya Me, Ce, Se) olan dev yıldızlardır ve kısmen dönemlilik gösterirler. Küçük genlikli, V bandında 2.5 kadirden daha küçük olan yıldızlardır. Z Aquarii bu sınıf için örnek gösterilebilir. Dönemleri 35-1200 gün arasında, ışık eğrilerinde hem genlik hem de biçim değişimi gözlenir. Bu yıldızlardan bazıları sadece ışık değişim genlikleri daha küçük olduğundan Mira'lardan farklı olarak sınıflandırılmışlardır. Ve overton modunda zonklamayan Mira değişenleri olarak ifade edilirler. Miralar temel modda zonklama gösteren cisimlerdir.
- **SRb:** Tayf türleri (M, C, S veya Me, Ce, Se) olan dev yıldızlardır, dönemlilikleri çok net değildir (ortalama çevrimleri 20 ile 2300 gün arasındadır) veya dönemlilik gösteren bir dönemin ardından düzensiz parlaklık değişimi gösterirler. RR Coronae Borealis ve AF Cygni bu türlere örnek olarak gösterilebilir. Bu türden yıldızlar için ortalama bir dönemden bahsedilebilir. Bazı durumlarda eşzamanlı olarak iki veya daha fazla dönemli ışık değişimi gösterirler.

- **SRc:** Tayf türleri (M, C, S veya Me, Ce, Se) olan süperdev yıldızlardır ve genlikleri 1 kadir yöresinde, dönemleri ise 30 gün ile birkaç bin gün arasında olan değişenlerdir.
 - mu Cephei ve Betelgeuse bu sınıfın parlak örnekleridir.
- **SRd:** F, G veya K tayf türünden dev ve süperdev yıldızlardır. Zaman zaman tayflarında salma çizgisi görülebilmektedir. Parlaklık değişim genlikleri 0.1 ile 4 kadir arasında olabilmekte ve dönemleri ise 30 ile 1100 gün arasındadır.
 - SX Herculis ve SV Ursae Majoris bu sınıfın örnekleridir. M13 Küresel kümesinde 11.95 ile 12.25 kadir arasında parlaklığa sahip bir düzine kadar kırmızı değişen bulunmaktadır ve dönemleri ise 43 gün (V24) ile 97 gün (V43) arasında değişmektedir.

Kırmızı süperdev (SRc) değişenleri

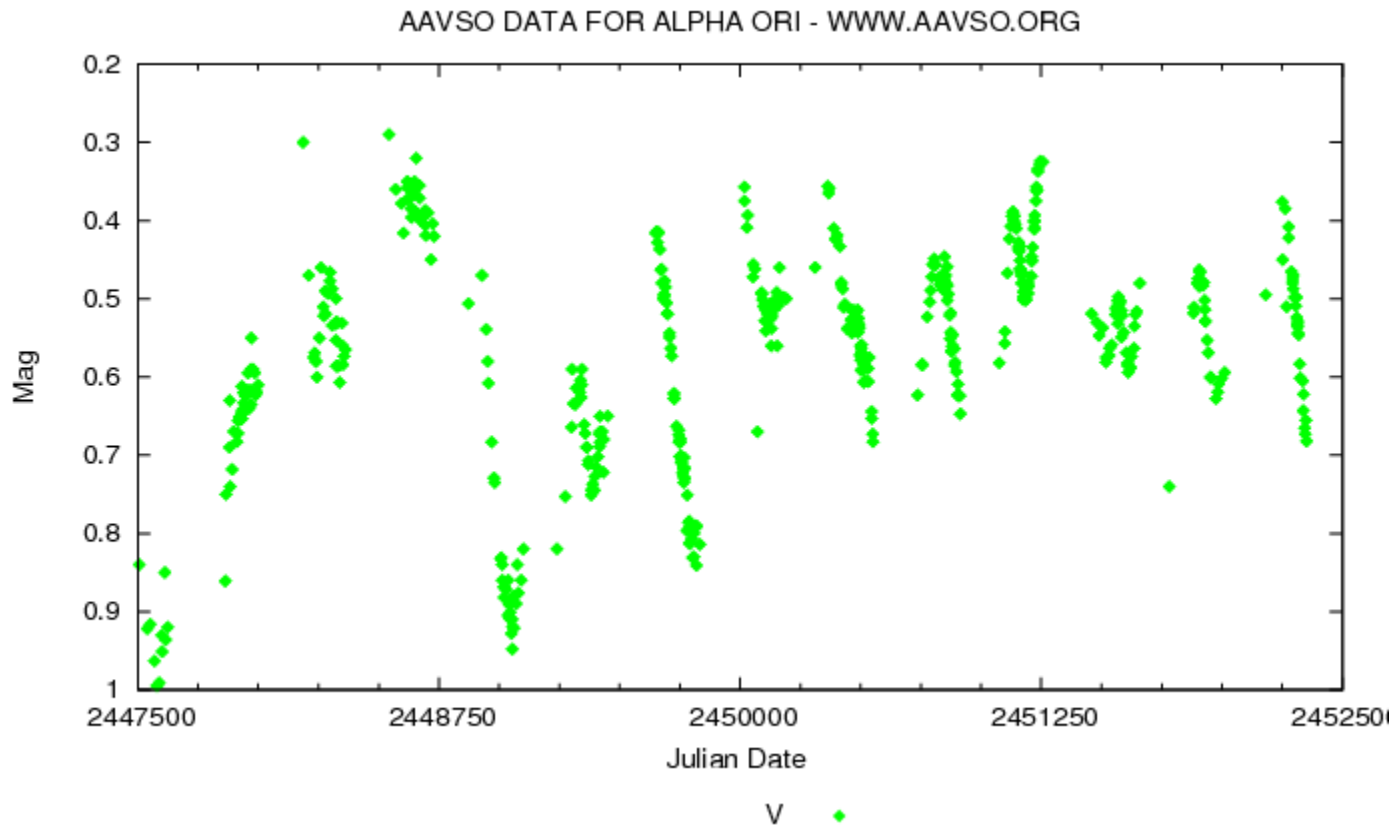
- Mira türü değişenlerden oldukça farklı olan bir grup yıldızdır. Bunlar daha büyük kütleli, genç, ekstrem Pop I yıldızlarıdır.
 - Çoğu kırmızı dev yıldızının daha küçük kütleli, yaşlı ve disk Pop I yıldızı veya Pop II yıldızı olduğunu biliyoruz.
- GCVS'de 50'den fazla SRc değişeni listelenmiş olmasına rağmen sadece iki düzinesi iyi bir şekilde incelenebilmiştir.
- En iyi bilinen örneği Betelgeuse (α Orionis) ve μ Cephei'dir. Aslında neredeyse bütün kırmızı süperdev yıldızları değişen yıldızdır. Çok yüksek ışınım gücüne sahip olmaları onların başka galaksilerde de gözlenebilmesine neden olurlar.

Popülasyon I ve II Yıldızları

TABLE 15-1
Stellar Populations

	Population I		Population II	
	<i>Extreme</i>	<i>Intermediate</i>	<i>Intermediate</i>	<i>Extreme</i>
Location	Spiral arms	Disk	Nuclear bulge	Halo
Metals (%)	3	1.6	0.8	Less than 0.8
Shape of orbit	Circular	Slightly elliptical	Moderately elliptical	Highly elliptical
Average age (yr)	100 million and younger	0.2–10 billion	2–10 billion	10–13 billion

Betelgeuse (α Ori) (SRc)



- V bandında genlik değişimleri 5 kadire kadar ulaşabilmektedir ve daha yüksek ışınımgücünden olanlarda daha da büyük genlikler ile karşılaşmaktadır.
- Değişimleri yarı-düzenli yapıdadır, fakat karakteristik zaman ölçekleri 250-1000 gün arasındadır.
- Dönemleri yıldızın ışınımgücü ile korelasyon halindedir ve bu durum zaten zonklayan yıldızlar için beklenen bir sonuçtur. Richard Stothers'in SRC değişenlerinin zonklama yaptığını ortaya koymasının hemen ardından Stothers ve Leung (1971) yarı-teorik bir bağıntı bulmuşlardır,

$$M_{bol} = -7.20 \log P + 12.8$$

- Feat ve ark. (1981) Magellan Bulutlarında bulunan SRc değişenlerini kırmızıöte bölgede (ki maksimum akıları bu dalgaboylarında yayınlanmaktadır) gözlemleyerek, kızarma, soğurma, metallilik ve çift yapıllık gibi parametrelerin en az olmasını sağlayarak aşağıdaki bağintıyı bulmuşlardır;

$$M_{bol} = -8.6 \log P + 16.4$$

- Bu ifade Stothers ve Leung tarafından verilen ifadeye çok benzerdir. Bu türden yıldızlarda ayrıca uzun zamanlı değişimler de bulunur. Başlangıçta bu değişimin yıldızın dönmesi sonucu ortaya çıktığı düşünölmüőtür ve bunda yıldızın dış katmanlarında bulunan parlak ve karanlık konveksiyon hücrelerinin yeterince büyük ve yeterli sayıda olmasına dayandırılmıőtır. Bu nedenle de dönen değişen yıldızlar olarak sınıflandırılmışlardır.

- Son gözlemler ve teorik incelemelerden konveksiyon hücrelerinin daha küçük ve daha az sayıda olduğu ve bu nedenle dönme sonucu, gözlenen değişimin açıklanamayacağı anlaşılmıştır.
- “uzun” ve “kısa” dönemli değişimlerin temel ve ilk overton zonklamalar ile açıklanabilmesi mümkün olmasına rağmen, oranları alındığında değerlerin çok büyük çıktığı görülür.
- Teorik zonklama modları bu türden ekstrem yıldızlar için çok net değildir. Diğer tür zonklayan yıldızlarda da uzun ikinci dönemler bulunduğunu ve bunların nedeninin kesin açıklamasının henüz yapılamadığını belirtmek gerekir.

- Bu tür değişen yıldızları anlayabilmek için uzun zaman ölçeklerine dağılmış sistematik gözlemlere ihtiyaç duyulur. Bazı yıldızlar için geçmişe ait görsel gözlemler, ve/veya fotoğrafik gökyüzü taramaları görüntüleri bulunmaktadır ve bu gözlemler baskın dönemlerin bulunması amacıyla kullanılabilir. Bu sayede uzun ikincil dönemlerin yapısı ve düzensiz değişimlerin nedeni muhtemelen anlaşılabilir.
- Bir başka konu ise SRc değişenleri ile Lc türü değişenler arasındaki bağlantıdır. (Lc türü değişenler düzensiz değişim gösteren kırmızı süperdev yıldızlarıdır). SRc ve Lc değişenleri gerçekte tayfın bir bölgesinde daha önemli davranırken, bir başka bölgesinde daha düzensiz davranışlar gösterirler.

- SRc değişenleri M1-M4 tayf türünden süperdev yıldızlardır ve sıcaklıkları 3000-5000 K arasında, mutlak parlaklıkları (galaktik yıldız kümeleri ve asasyonlardaki üyelerinden) -5 ile -7 kadir arasında, bolometrik parlaklıkları -7 ile -9 kadir arasında olan yıldızlardır.
- Bu yıldızlar bilinen en yüksek ışınım gücüne sahip cisimlerdir. Kütleleri başlangıçta 15 ile 30 güneş kütlesi ölçüsünde, fakat evrimleri sırasında önemli bir miktarda kütle kaybederek tipik olarak 5 ile 20 M_{\odot} kütle değerlerine ulaşan yıldızlardır.
- En parlak M süperdev yıldızların mutlak parlaklıkları oldukça uniform yapıya sahiptirler: -8.0 ± 0.2 kadir, buldukları galaksinin türüne veya özelliklerine çok az veya hiç bağımlılık göstermezler ve bu nedenle de uzaklık belirlenmesinde kullanılırlar. Bu yöntemin güvenilirliği, azda olsa göstermiş oldukları küçük değişimler nedeniyle etkilenmektedir.

- Betelgeuse'e ek olarak bir başka ünlü zonklayan kırmızı süperdev yıldız μ Cephei'dir. Son derece kırmızı olan bu yıldız William Herschel tarafından “**garnet (lâl taşı) yıldızı**” olarak adlandırılmıştır. Değişen olduğu 1848 yılında John Russel Hind tarafından keşfedilmiştir.
- 1848 yılından günümüze kadar gerçekleştirilen gözlemlerin analizinden, 850 ve 4400 gün'lük dönemler bulunmuştur. AAVSO gözlemcilerinden birisi bu yıldızı 60 yıl boyunca gözlemiştir.
- Betelgeuse gibi her yıl Dünya kütlesi ölçüsünde maddeyi, gaz ve toz olarak yıldız rüzgarları nedeniyle kaybetmektedir. Yıldızı çevreleyen gaz ve toz bir kabuk oluşturmuştur ve buradan binlerce yıl süren kütle kaybının gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

- Son zamanlarda Kiss ve ark. (2006) SRc değişenleri hakkında kapsamlı bir çalışma yapmıştır. alışmalarında 48 adet yıldız için ortalama olarak 60 yıllık gözlem zamanına dağılmış verileri kullanılmıştır.
 - Kısa dönemli zonklama yanında bu yıldızların üçte birinde ikincil uzun dönemli değişime sahip oldukları,
 - Ayrıca dönemlerinde olan düzensizliklerin, yıldızın dış kısımlarında bulunan konveksiyon hücreleri nedeniyle gerçekleştiği sonuçlarına ulaşmışlardır.

İlginizi çekebilecek linkler

- <http://www.martin-nicholson.info/kepler/kepler.htm>
 - http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/main/index.html
-
- Bir sonraki konumuz Patlayan Değişen Yıldızlar...