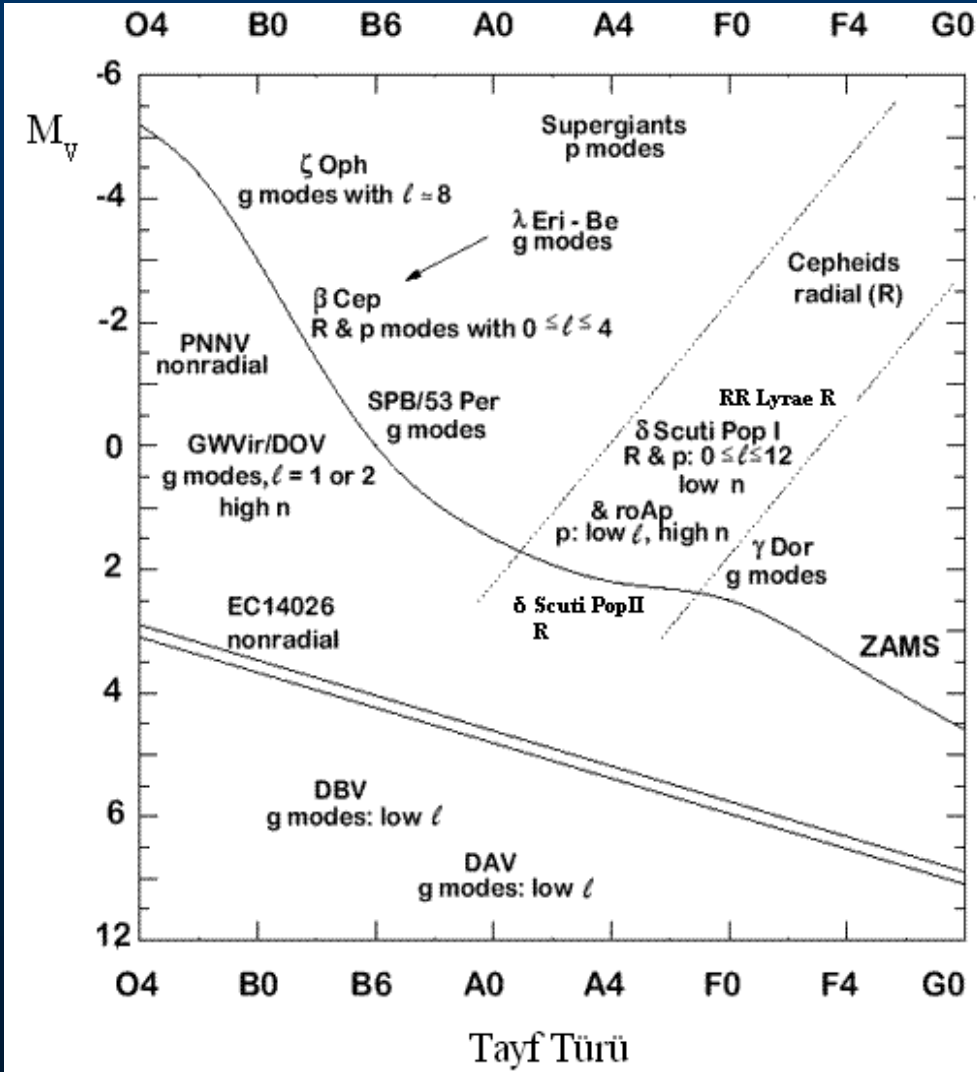


Zonklayan ift Sistemler

Esin SOYDUGAN

anakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü
anakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Ulupınar Astrofizik Gözlemevi

δ Scuti Yıldızları

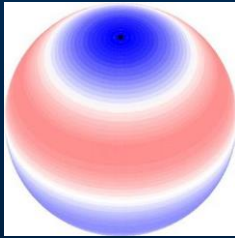


δ Scuti yıldızlarının H-R diyagramındaki konumları (Breger, 1993a).

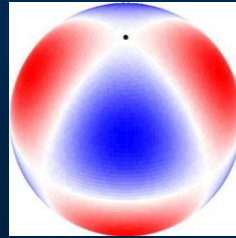
- Tayf türleri A ve ön tür-F
- Işıtma sınıfları III-V arasındadır.
- Dönemleri 20 dakika ile 6 saat (Breger, 2005).
- Parlaklıkta yüzde birkaç kadirlik değişme
- Işık değişim genlikleri 1^m den daha küçüktür ve ortalama olarak $0^m.02$ 'dir.
- Dikine hız genlikleri de 10 km/s dolayındadır.

Zonklama Türleri

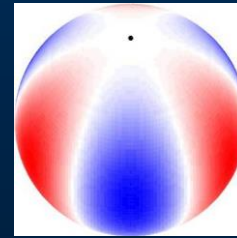
- **Çapsal zonklamada**, yıldız yarıçap doğrultusunda büzülüp genişler ve yıldız sahip olduğu küresel yapıyı korur. $l=0$
- **Çapsal olmayan zonklamalar**, çapsal zonklamadan farklı olarak küresel yapının tamamen bozulduğu ve en temel gösterim olarak $l>0$ durumundaki zonklamalardır.



$$(l,m)=(3,0)$$



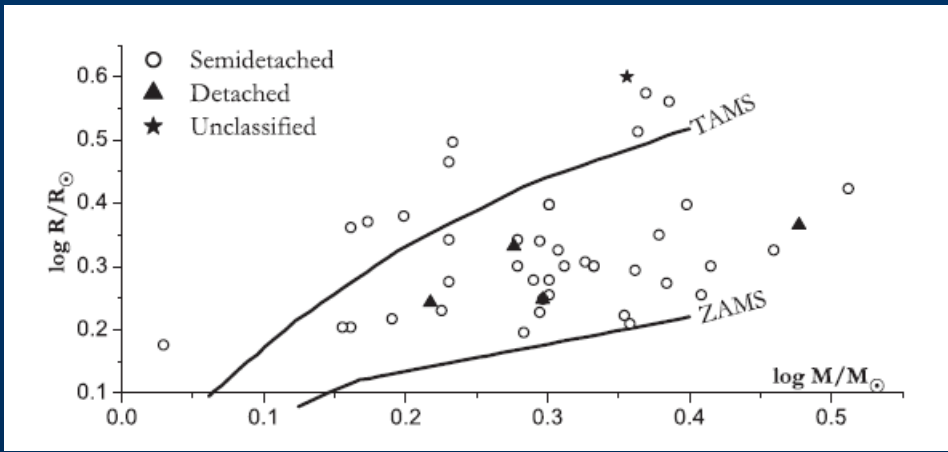
$$(l,m)=(3,2)$$



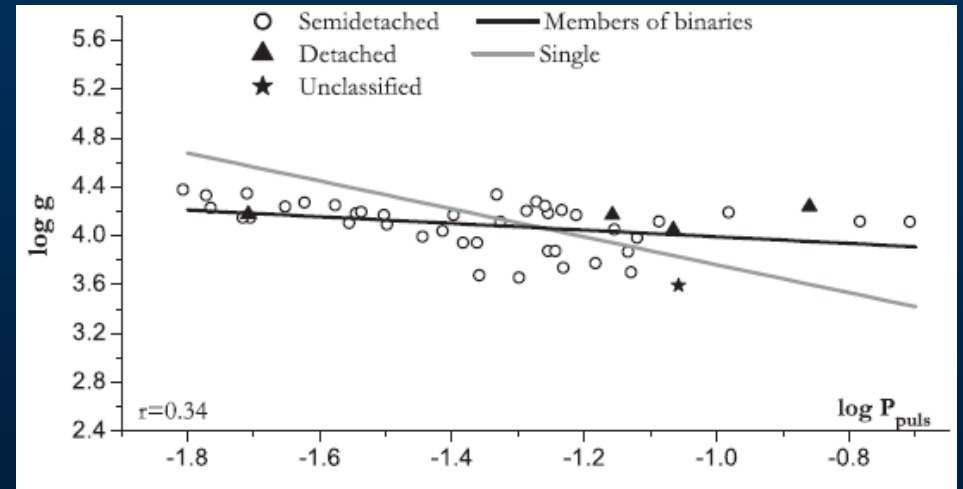
$$(l,m)=(3,3)$$

- δ Scuti yıldızları çapsal (radial) ve çapsal olmayan (non-radial), çoğunluğu p (basınç) ve/veya g (çekim) modlarıyla zonklar (Breger, 1979; Stobie ve Shobbrook, 1976; Millis, 1973; Dziembowski, 1974).

δ Scuti bileşenli çift sistemlerde zonklamaların büyük çoğunluğu çapsal olmayan zonklama türündendir.



Liakos ve ark. 2012

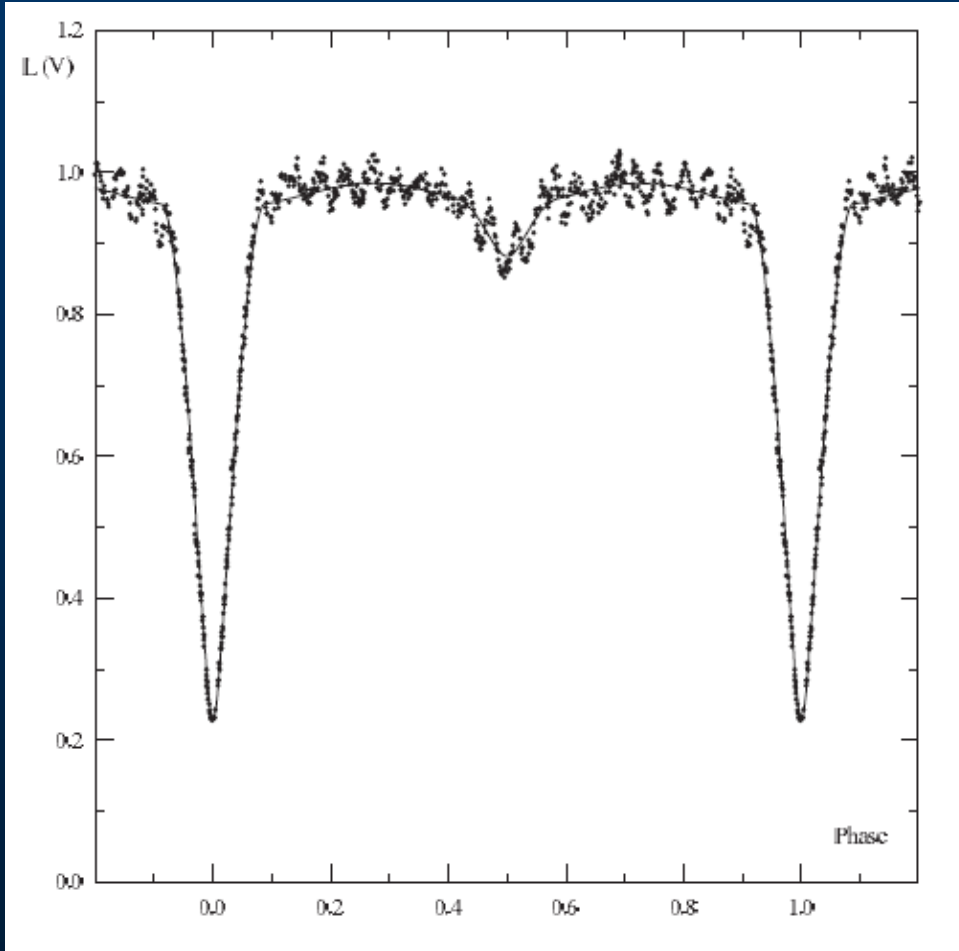


Zonklayan bileşenler anakolda iken, tek δ Scuti türü zonklama gösteren değişenlerin bazıları anakoldan daha ileri evrim durumunda olabilir.

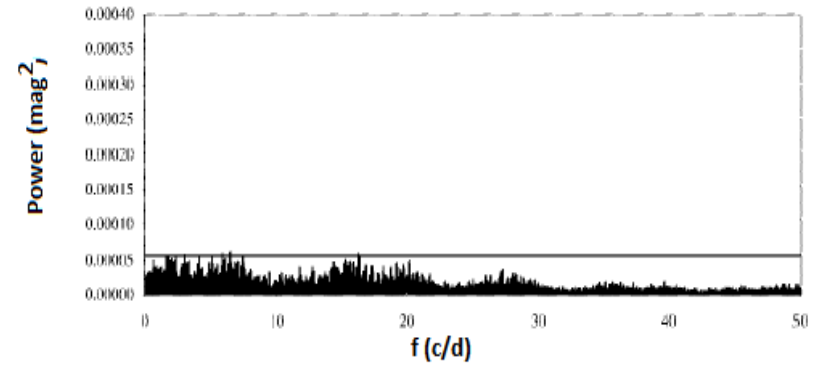
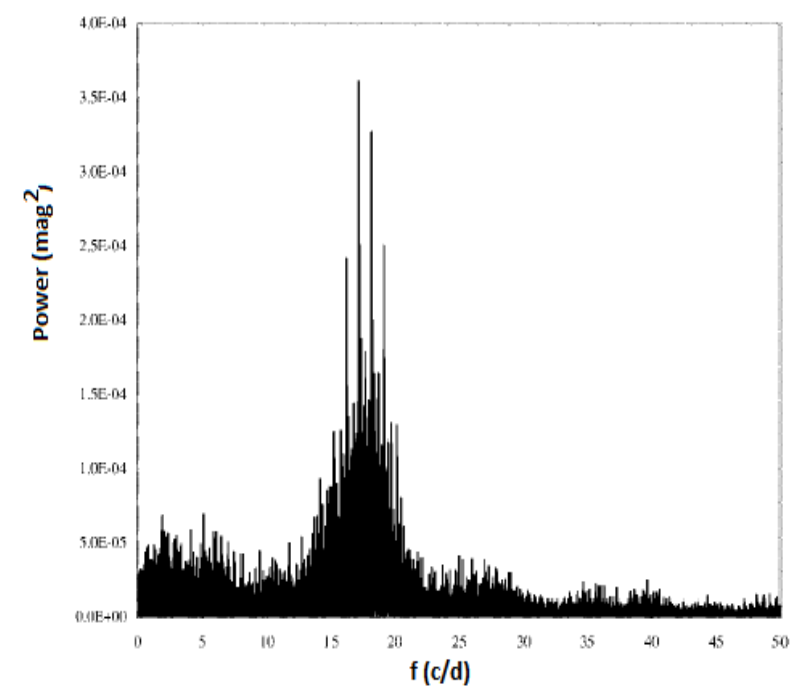
δ Scuti Türü Çift Sistemlerde İlk Çalışmalar

- İlk çalışmalar 1970 yıllarında başlamıştır (Tempesti 1971, Broglia ve Martin 1974, McNally ve Austin 1977, Jørgensen ve Gönbech 1978).
- 2000 yılına kadar zonklama kuşağında olup zonklaması bilinen üç sistem vardı. Bunlar AB Cas, RZ Cas ve Y Cam'dır.
- Mkrtichian ve ark., (2004) bu tarz sistemleri oEA olarak adlandırdı.

AB Cas



Soydugan ve ark., 2003



Çekim etkisi ve tutulmalar civarındaki değişimler elimine edilmiştir.

$$\log Q = -6.454 + \log P + 0.5 \log g + 0.1 M_{\text{bol}} + \log T_{\text{eff}}$$

$$Q = 0.036 \pm 0.006$$



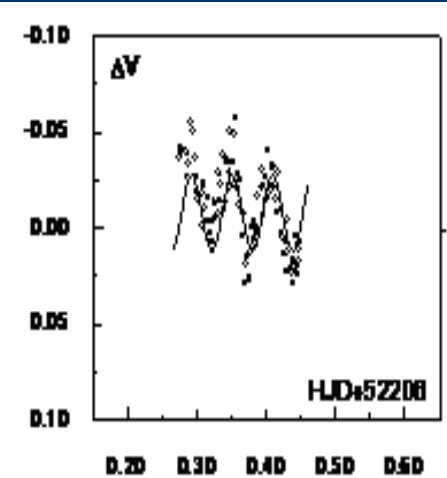
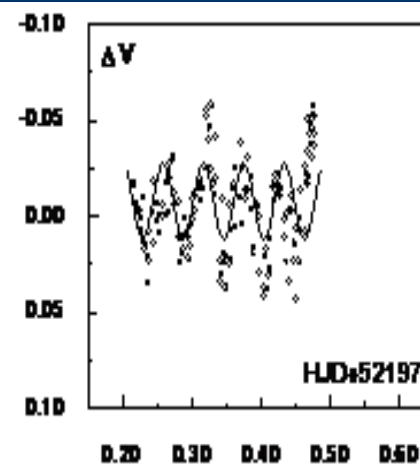
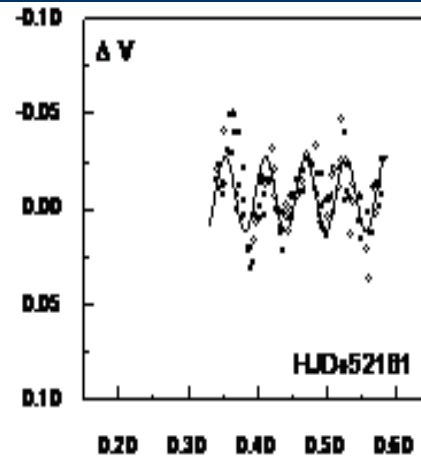
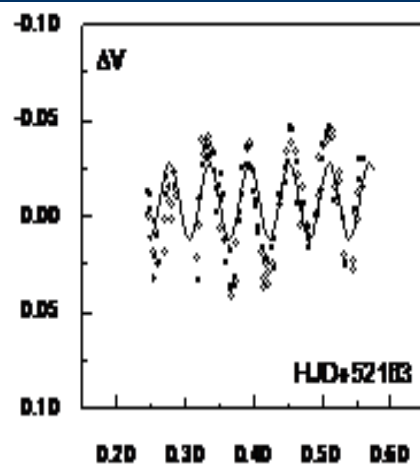
Çapsal zonklama



Tek frekans değeri $17.1566 (\pm 0.0004)$



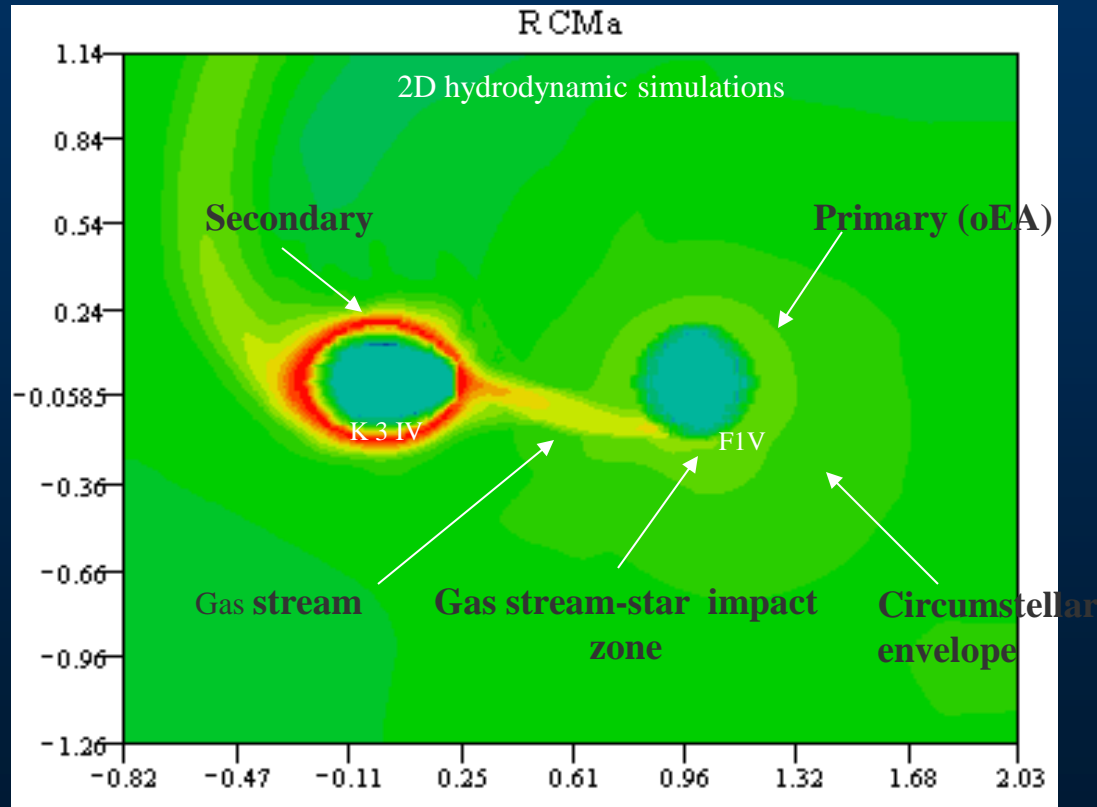
Genlik değışken ???



$$m(t) = \text{zero point} + \sum a_i \sin(2\pi f_i t + 2\pi \phi_i)$$

	B	V
Frekans	17.1564	17.1566
(cd^{-1})	$\mp .0004$	$\mp .0004$
Genlik	0.0222	0.0196
(mag)	$\mp .0010$	$\mp .0009$
Evre	0.2471	0.2904
	$\mp .0067$	∓ 0.0071

Genlik değişimi ilk defa kütle aktarımıyla açıklandı (Soydugan ve ark. 2003)



Mkrtichian ve ark. 2005

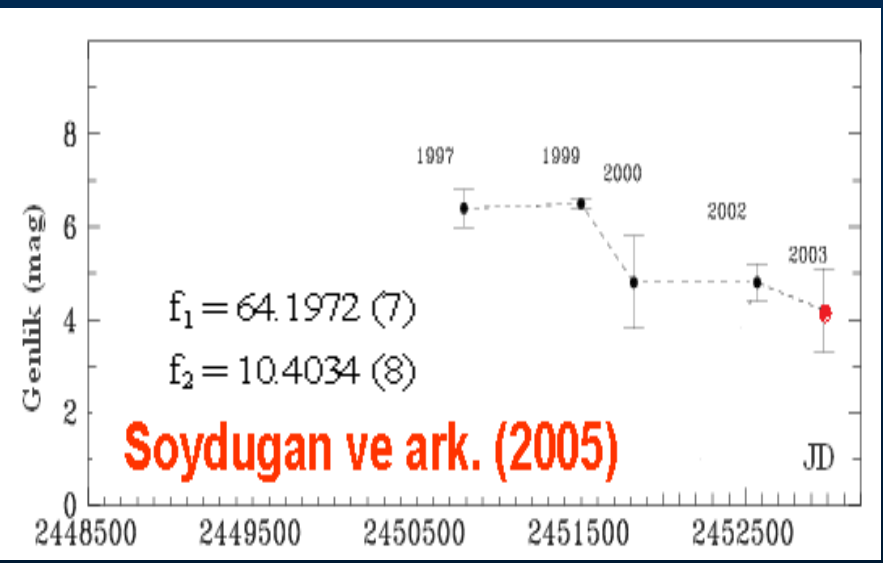
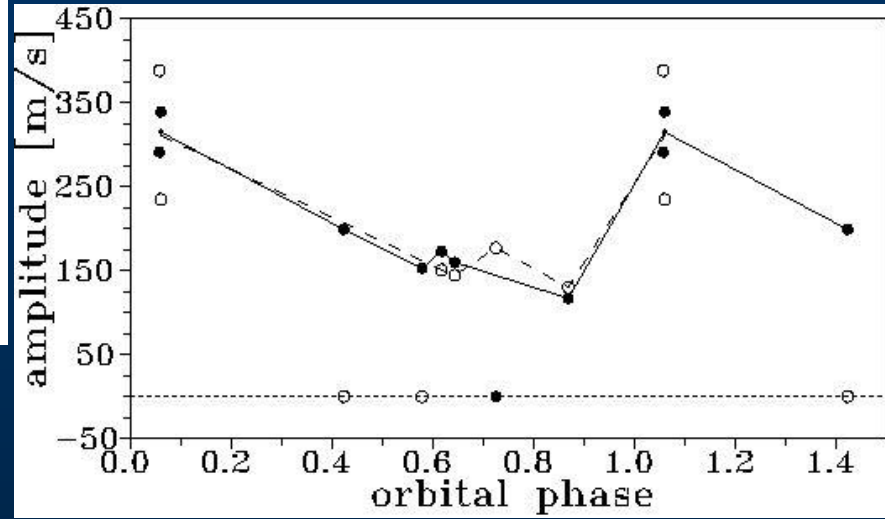
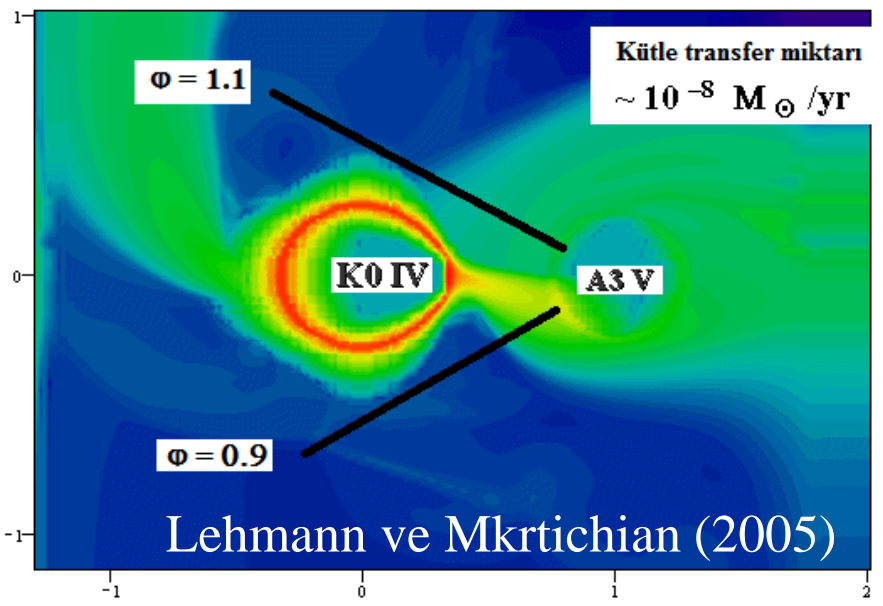
RZ Cas

- Bilinen en küçük dönemli δ Scuti türü değişen (Rodriguez ve ark., 2000).
- genliği : 0^m.015 (değişken)
dönemi : 22 dakika

Kampanya gözlemleri başlıyor...

- 1999, 2000 ve 2001 yılında üç tane kampanya gözlemi
- 2000 yılına kadar yapılan gözlemlerde 64.19 c/d'lik tek bir zonklama frekansı
- 2001 yılında tayfsal olarak yapılan gözlemlerde ise, $f_1=56.600$ c/d ve $f_2=64.189$ c/d'lik iki zonklama frekansı elde edilmiştir (Lehmann ve Mkrtichian, 2004).

Genlik değişimi ilk defa kütle aktarımıyla açıklandı (Soydugan ve ark., 2003)



$f_1 = 64.19 \text{ c/d}$ (sürekli çizgi)
 $f_2 = 56.6 \text{ c/d}$ (kesikli çizgi).

- $Q = 0^d.0117 (\pm 0.002)$ olarak bulundu.
- RZ Cas'ın baş bileşeninin, Gamarova ve ark.'nın (2003) yaptığı kuramsal çözümlere göre, $l = 2$, $|m| = 1, 2$ yüksek radyal mertebeli ($n=6$) çapsal olmayan zonklama (Soydugan ve ark, 2006a)

Güneşte: $l, m < 1000$

Yıldızlarda: $l, m < 4$

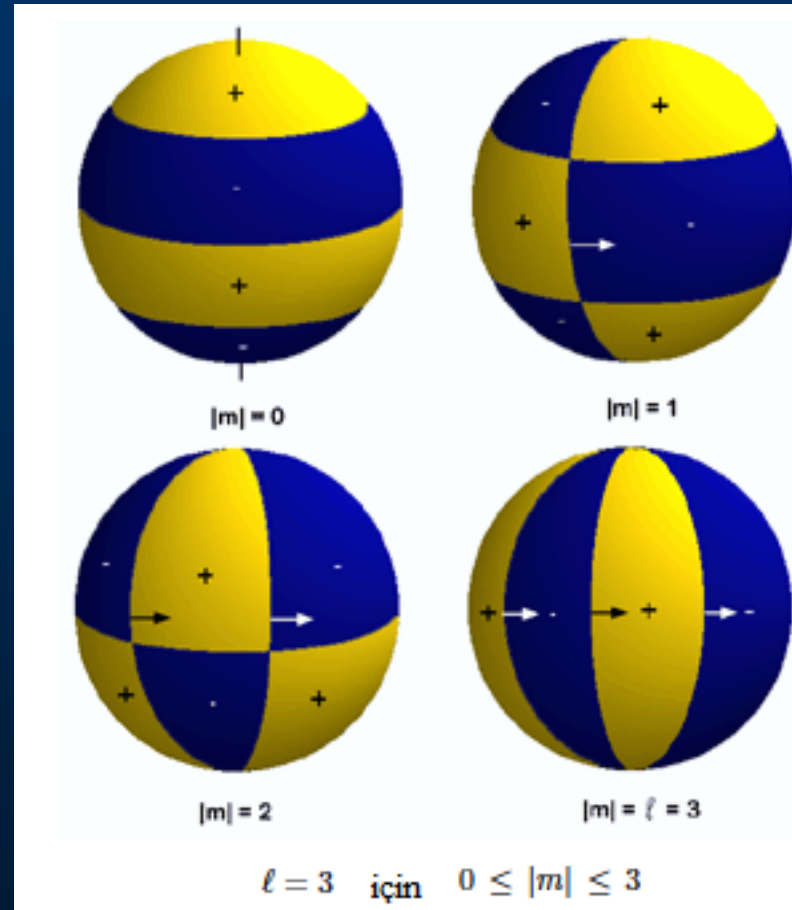
oEA Türü Sistemlerde Neden Çalışılmalı?

- Kütle toplanması, yıldızın ortalama yoğunluğunun değişimine neden olacak ve buna bağlı olarak yıldızın zonklama frekansları değişecektir.

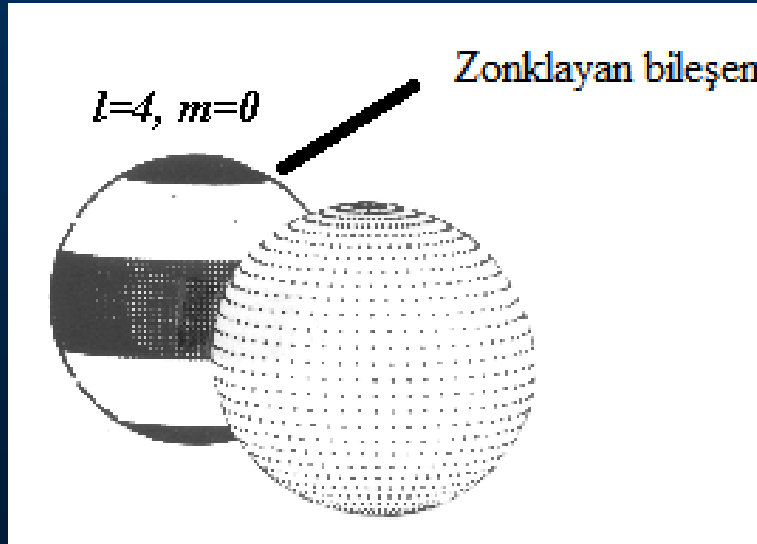
$$Q = P_{\text{pul}}(\rho/\rho_{\odot})^{1/2}$$

- $\rho \sim M/V$
- $V \sim R^3$

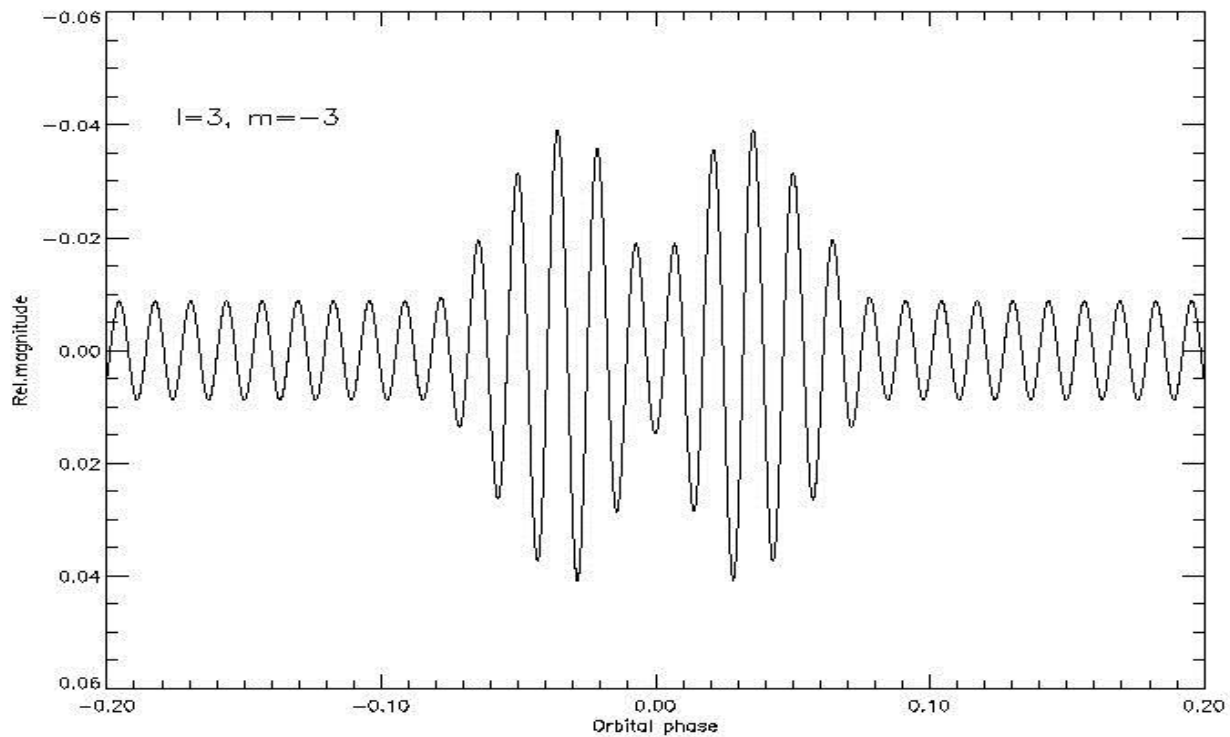
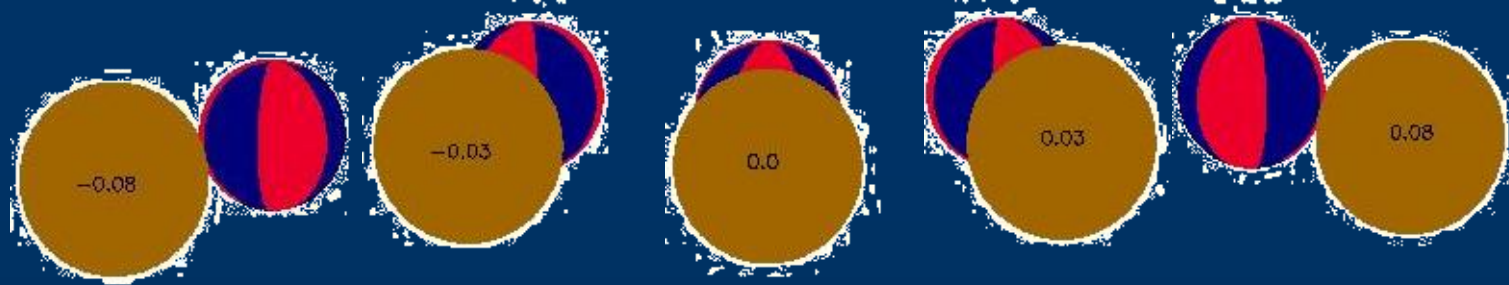
- Yıldızların iç kısmı hakkında bilgi sahibi olunur.



- Örten çiftlerde yıldız sismolojisinin yararı, Mini tutulma sırasında çapsal olmayan geometrik uzaysal filtrelemeyi kullanarak zonklama modları belirlenebilir (Nather ve Robinson, 1974; Mkrtichian ve ark., 2002b; Gamarova ve ark., 2003; Rodriguez ve ark., 2004).

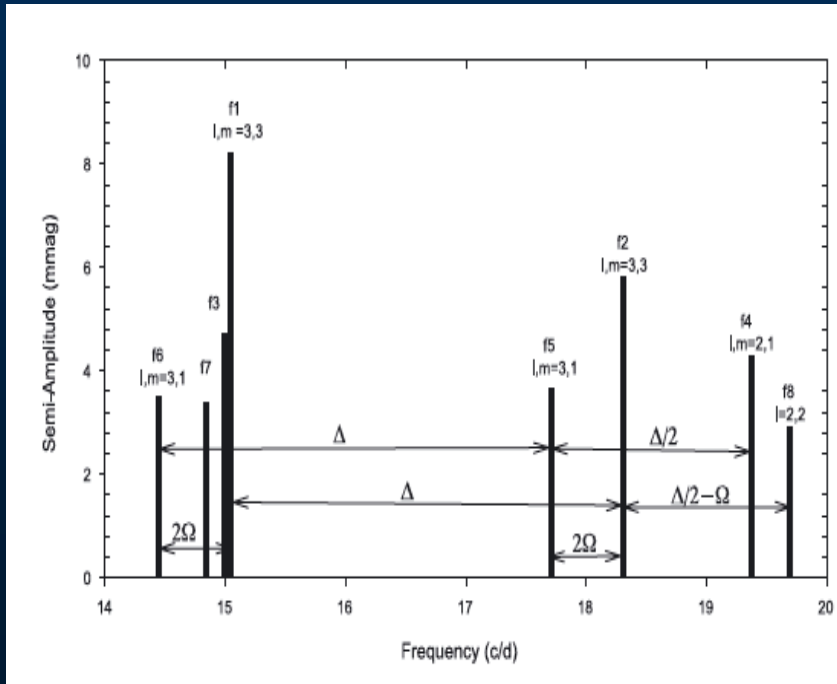


Çift sistemde, tutulma geometrisi ve zonklama quantum sayılarına (l, m, n) bağlı olarak zonklamayan bileşen zamana bağlı olarak zonklama genliğinde ve evresinde değişimler meydana getirir.



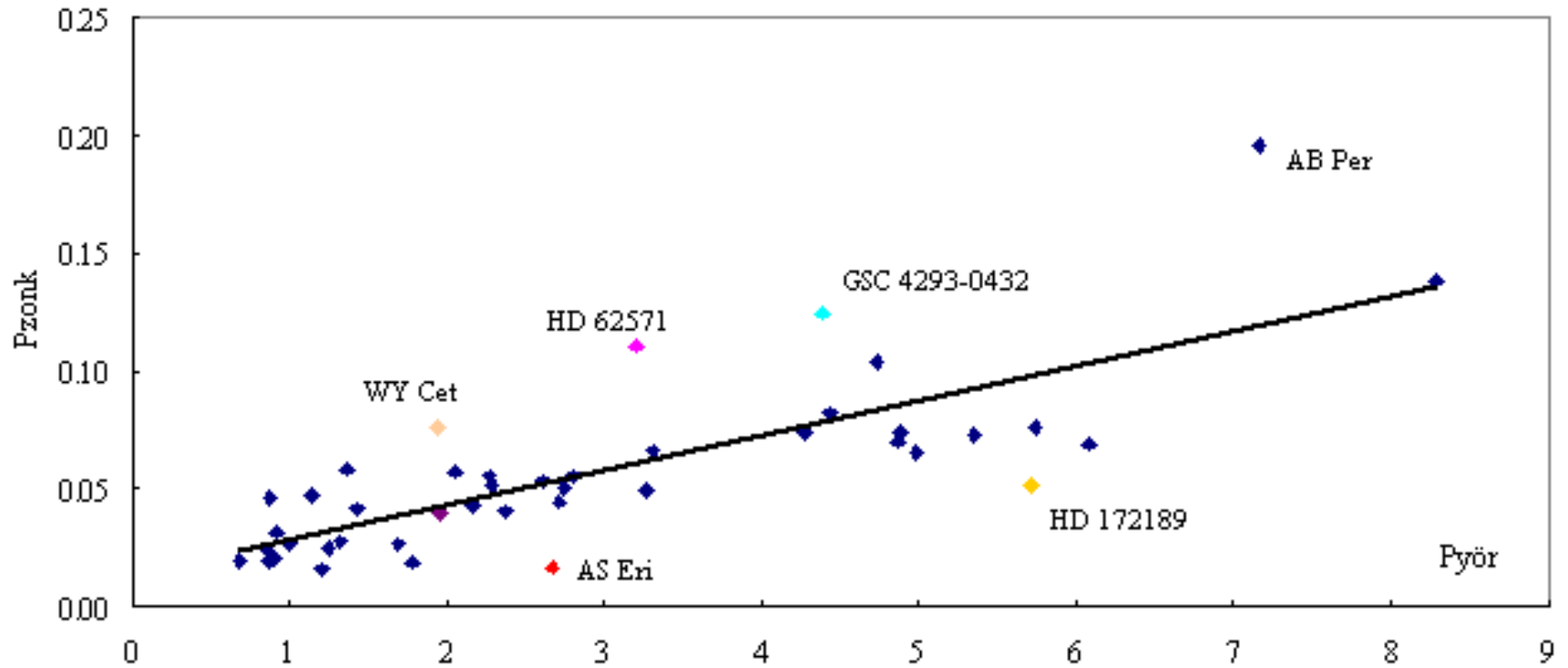
RZ Cas için Teorik model (Mkrтчian ve ark, 2005)

- Kütle aktarımı, kütle yığılması, yıldızın çevresindeki gaz zarfın zonklama modlarına etkilerinin araştırılması (Soydugan et al., 2003, 2006; Mkrtichian et al., 2005).
- Zonklayan yıldızlardaki mod yarılımları, diferansiyel dönme hakkında bize bilgi verir.



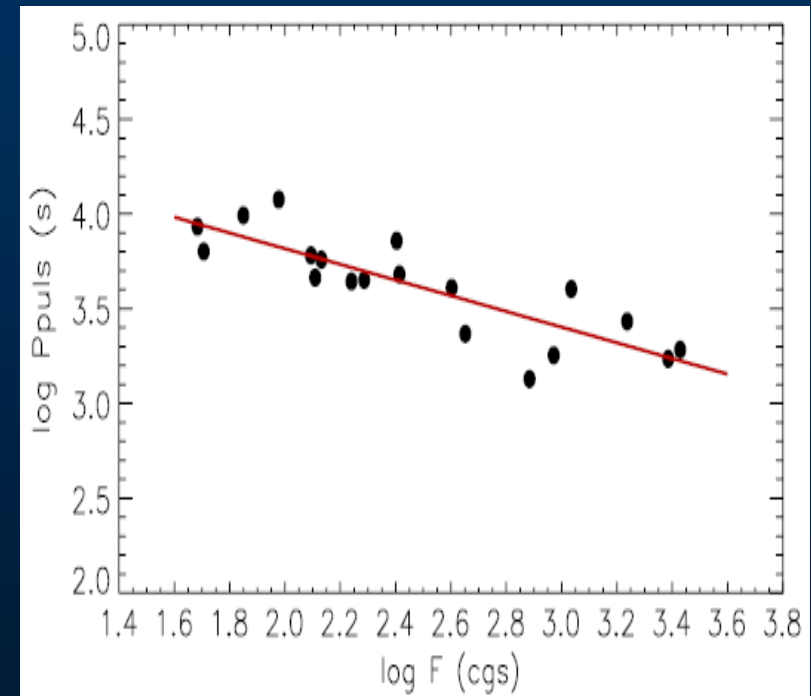
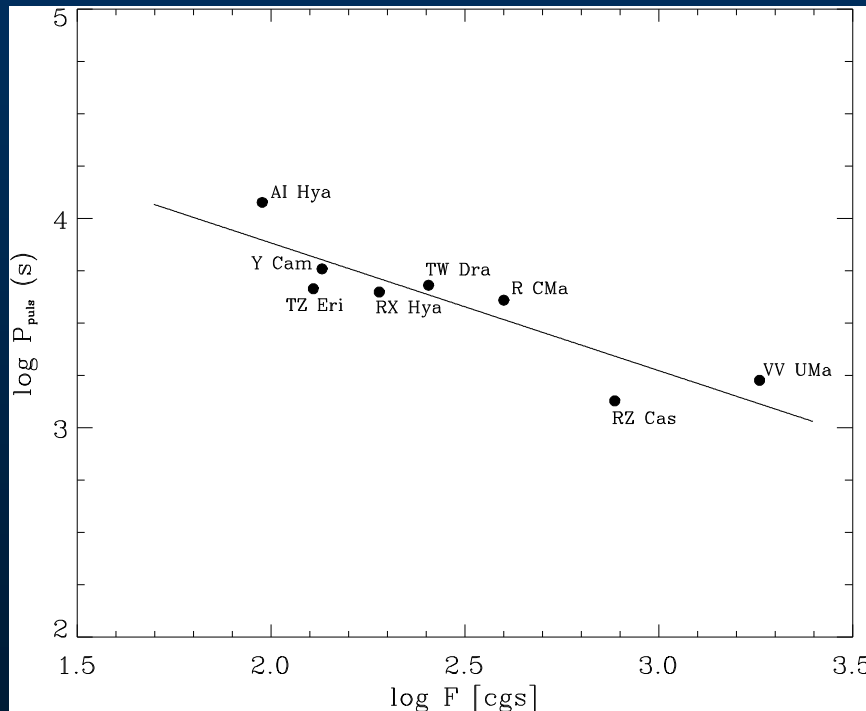
Rodriguez ve ark. 2010

- Pyör – Pzonk ilişkisinden zonklayan bileşenin zonklama dönemi belirlenebilir (Soydugan ve ark., 2006b).



$$P_{\text{puls}} = 0.0146(2) P_{\text{orb}} + 0.0141(8)$$

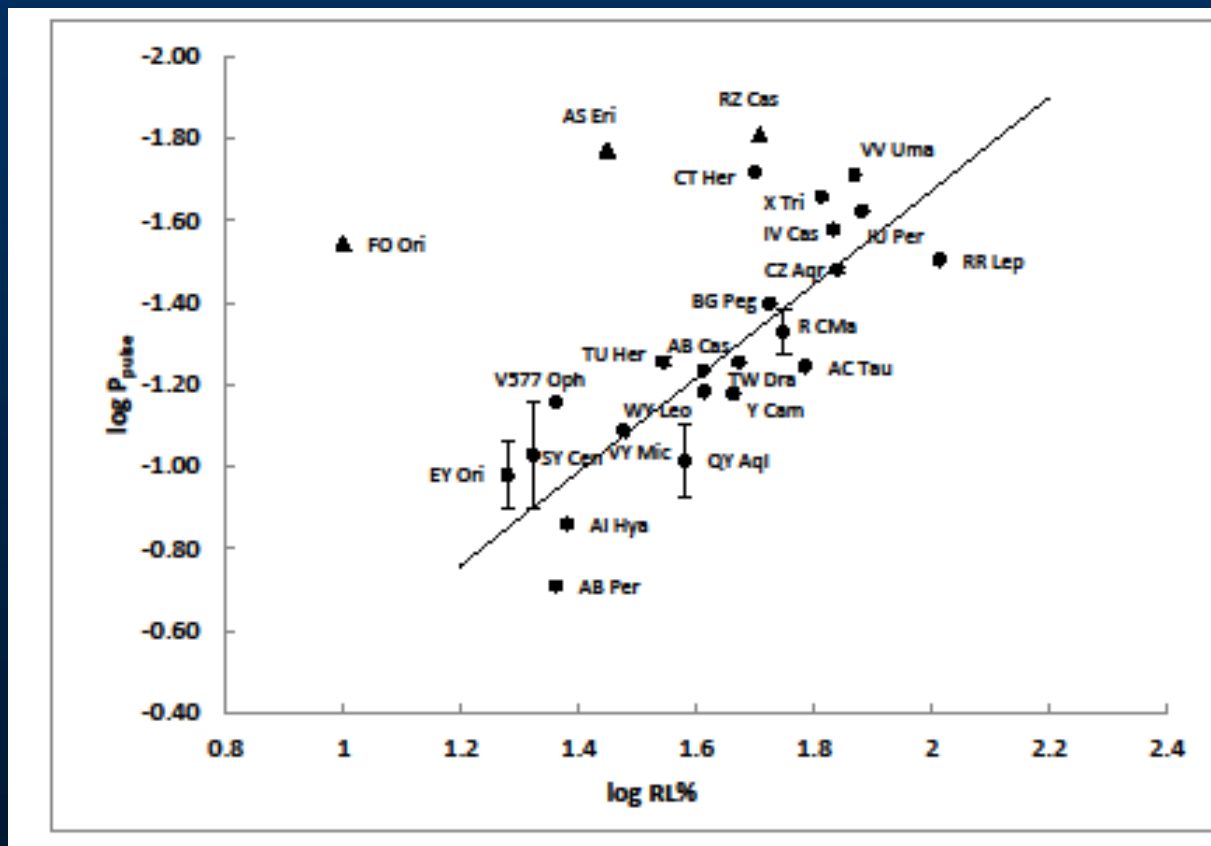
- Çift sistemin mutlak parametreleri belirlenebildiğinden $P_{zonk} - F$ (çekim kuvveti) ilişkisi irdelenebilir (Soydugan ve ark., 2006b; Soydugan ve Kaçar, 2013).



$$\log P_{puls} = -0.61(0.13) \log F + 5.1(0.3)$$

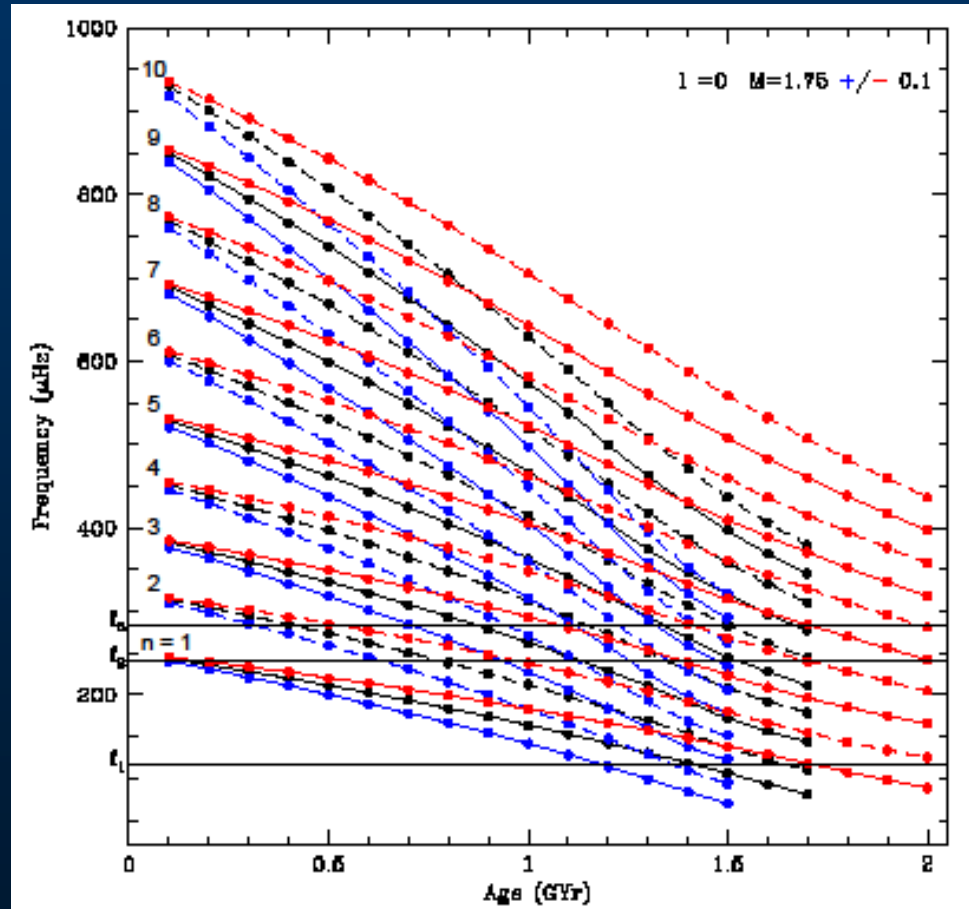
$$\log P_{puls} = -0.40(6) \log F + 4.63(0.40)$$

- Fotometrik çözümden belirlenen zonklayan bileşenin roche lobunu doldurma faktörüyle zonklama dönemi irdelenebilir (Turner, 2011).

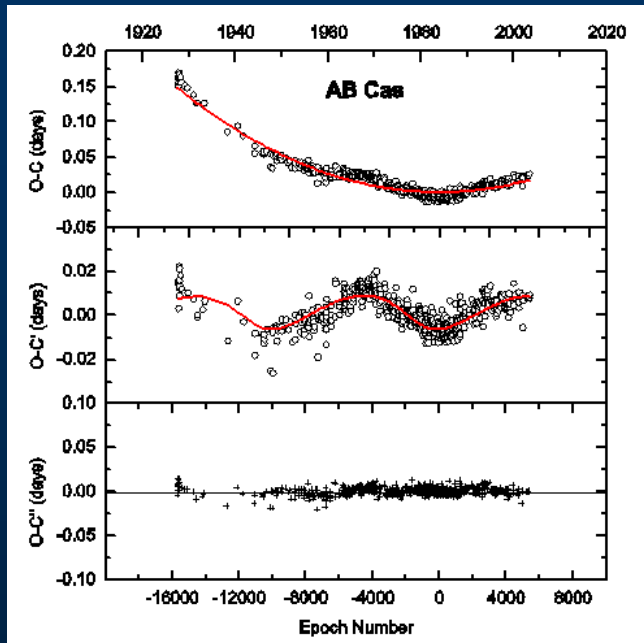


$$\log P_{pulse} = -1.15 (18) \log (RL\%) - 0.62(30)$$

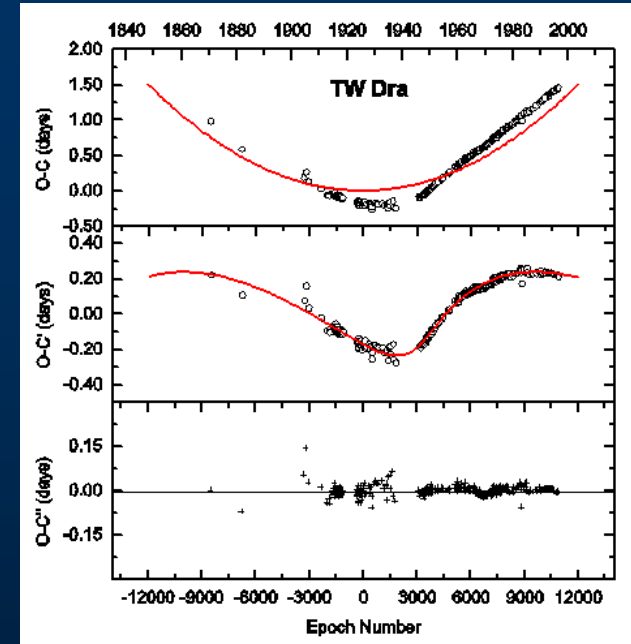
- Belirlenen kütle değeri kullanılarak yıldızın zonklama frekansı dağılımlarından farklı overtone (n) değerleri için yaş belirlenebilir (Hoffman, 2011).



■ Yörünge Dönem analizi Değişimlerine Bakılabilir



Soydugan ve ark., 2008



- $P = Q M^{-0.5} R^{1.5}$
- $R \sim M^\alpha$ $\alpha \approx 0.55$ for ZAMS stars $M > M(\text{sun})$
- $P \sim Q M^{1.5\alpha - 0.5}$
- $dP/dt \cdot 1/P = dQ/Q + 0.325 dM/dt \cdot 1/M$

oEA Türü Çift Sistemlerde Örnek İki Çalışma

■ SX Dra

198 saat gözlem

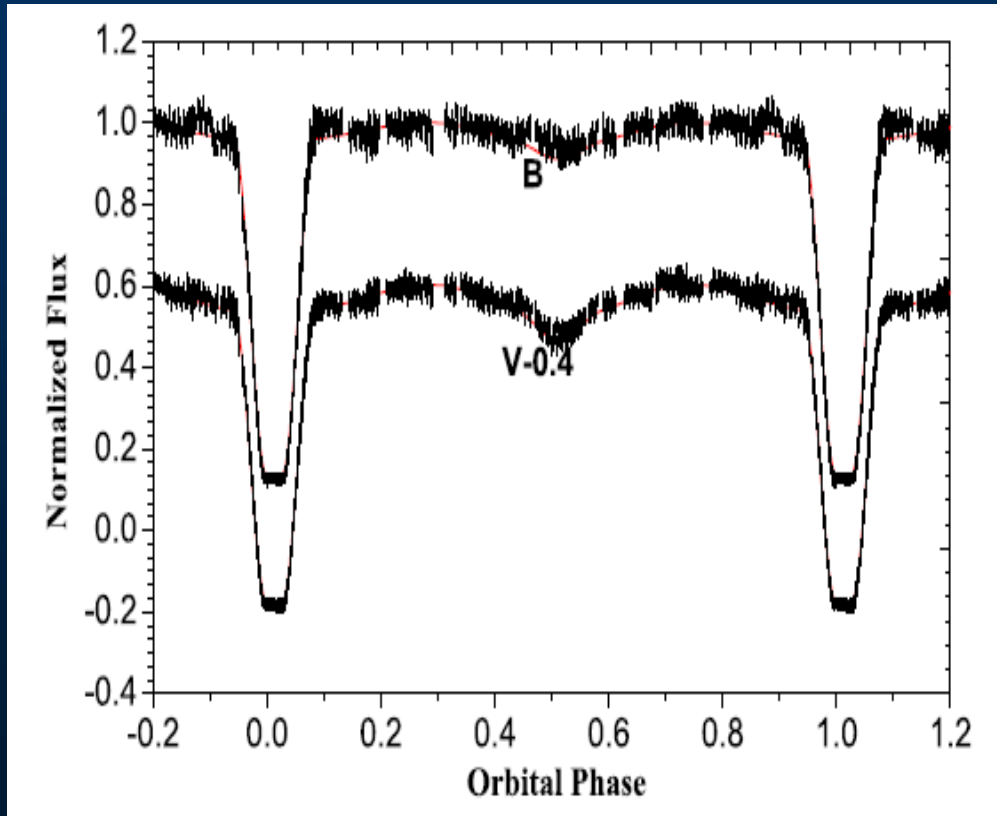
$P_{\text{yör}} = 5^{\text{g}}.169196$

$i(^{\circ})$	83.163(68)
r_1 (mean)	0.1401(5)
r_2 (mean)	0.3065(5)

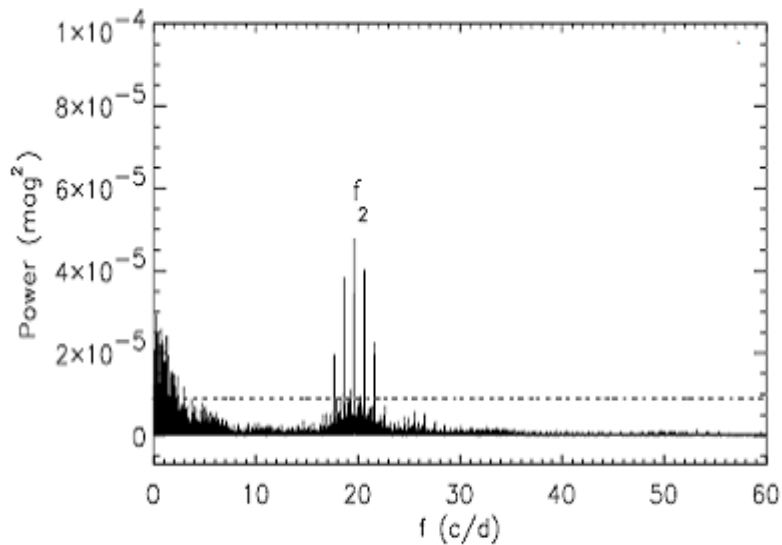
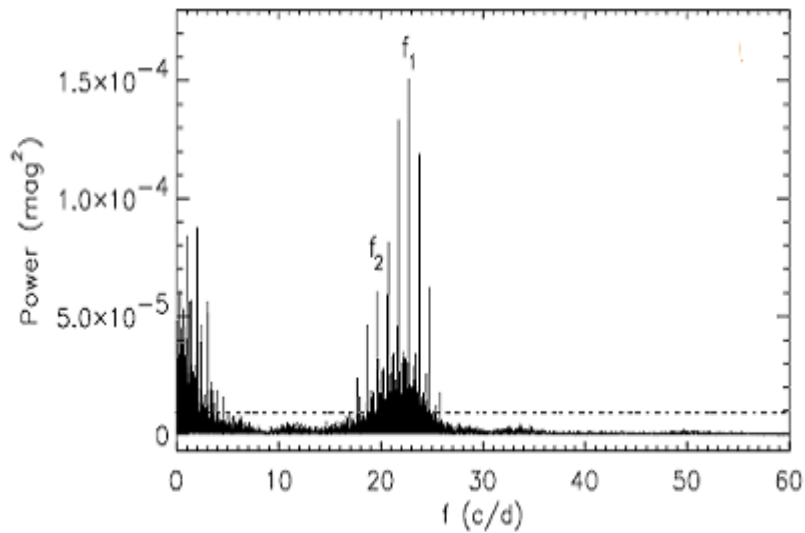
Kütle aktarma hızı

$$2.12 \times 10^{-7} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$$

$P_{\text{yör}} > 4$ gün 13. sistem



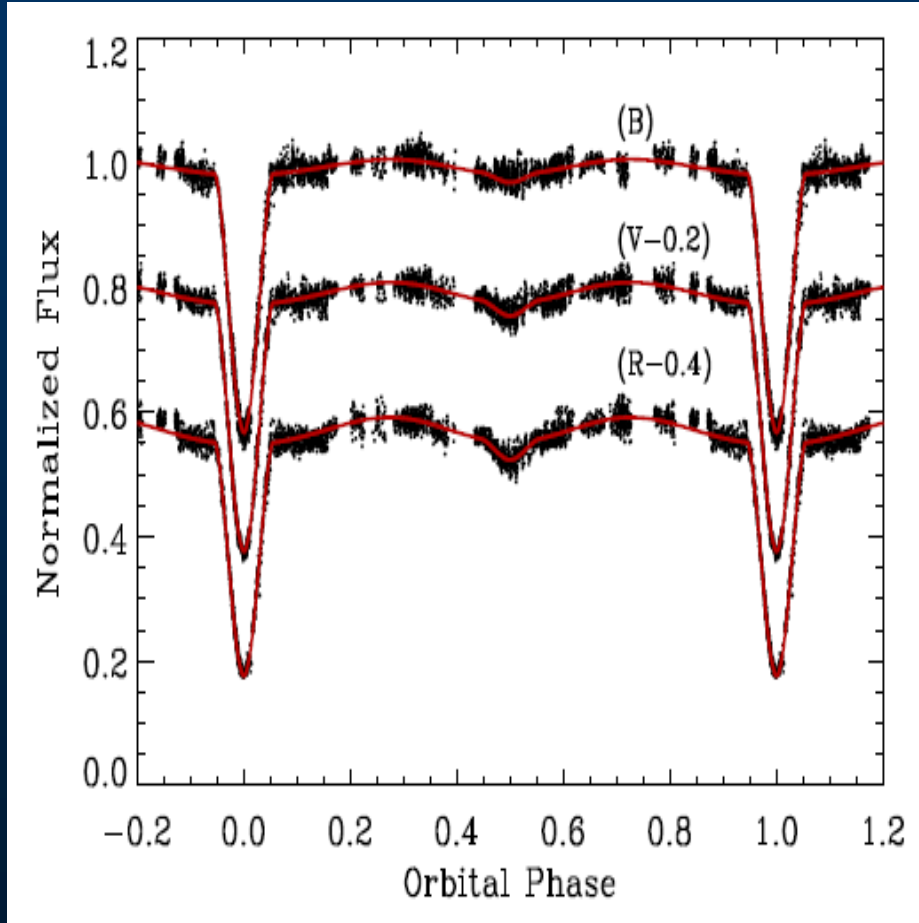
Soydugan ve Kaçar, 2013



Filter	Frequency (c/d) ⁻¹	Semi-amplitude (mag)	Phase (rad)	S/N
<i>B</i>	22.7423(1)	0.0173(4)	0.0539(36)	24.1
	19.6346(1)	0.0095(4)	0.0824(64)	12.6
<i>V</i>	22.7423(1)	0.0118(3)	0.0618(37)	20.1
	19.6346(1)	0.0072(3)	0.0929(60)	12.9

$f_1 = 22.7423 \text{ c/d} \rightarrow l = 3$
 $f_2 = 19.6346 \text{ c/d} \rightarrow l = 1 \text{ veya } 2$

■ IO UMa



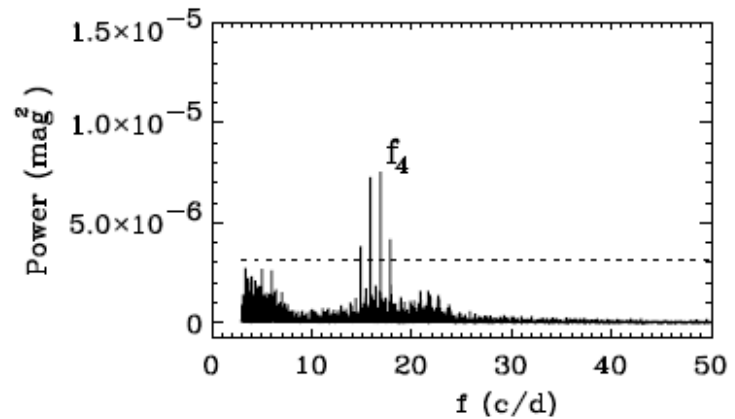
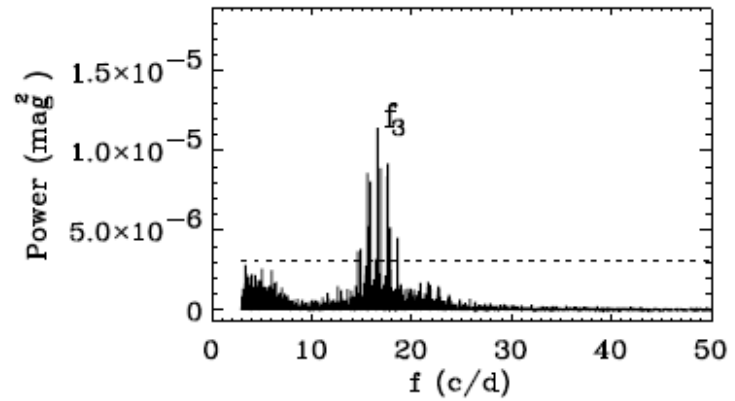
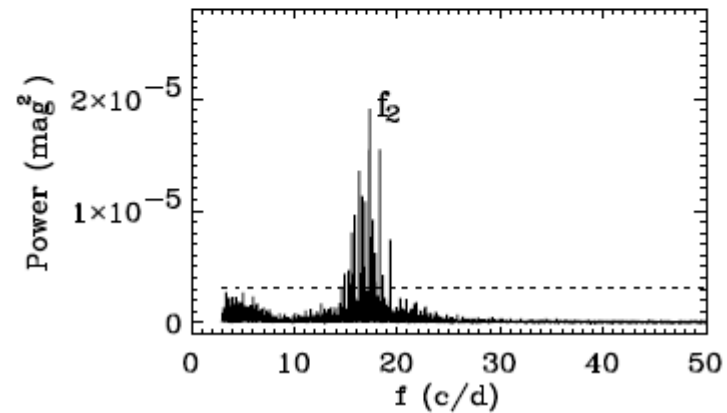
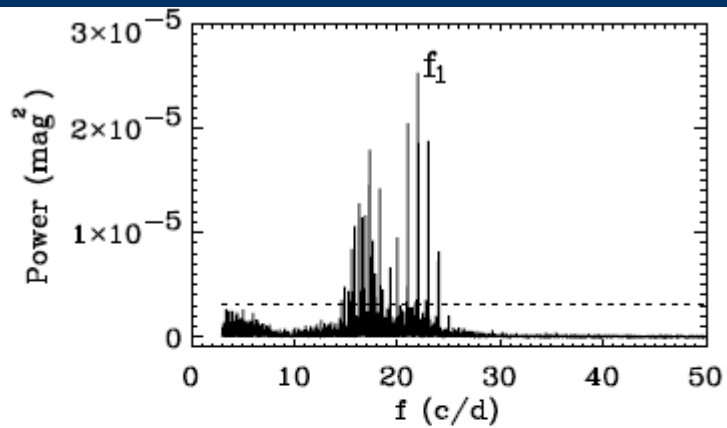
Soydugan ve ark. 2014

$P_{\text{yör}} = 5^{\text{d}}.52$

ÇOMÜ Gözleminde
40 gece

Gerostathopoulion Gözleminde 44
gece

**EW Boo, DY Aqr ve BG Peg
örten çift yıldız sistemlerinden
sonra ÇOMÜ de zonklaması
keşfedilen bir sistem**



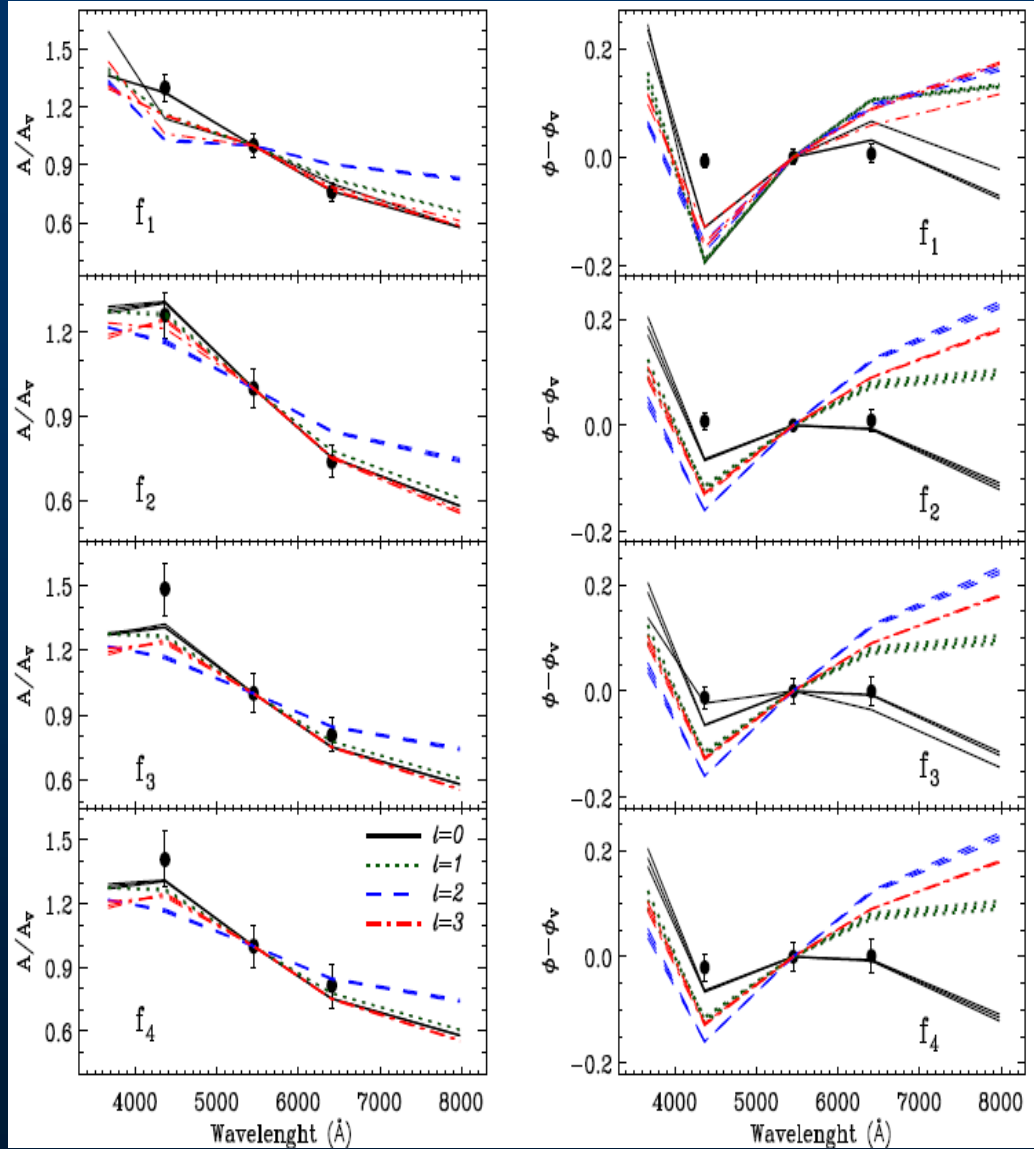
Frequency
 $(\text{c/d})^{-1}$

$$f_1 = 22.0148 \pm 0.0001$$

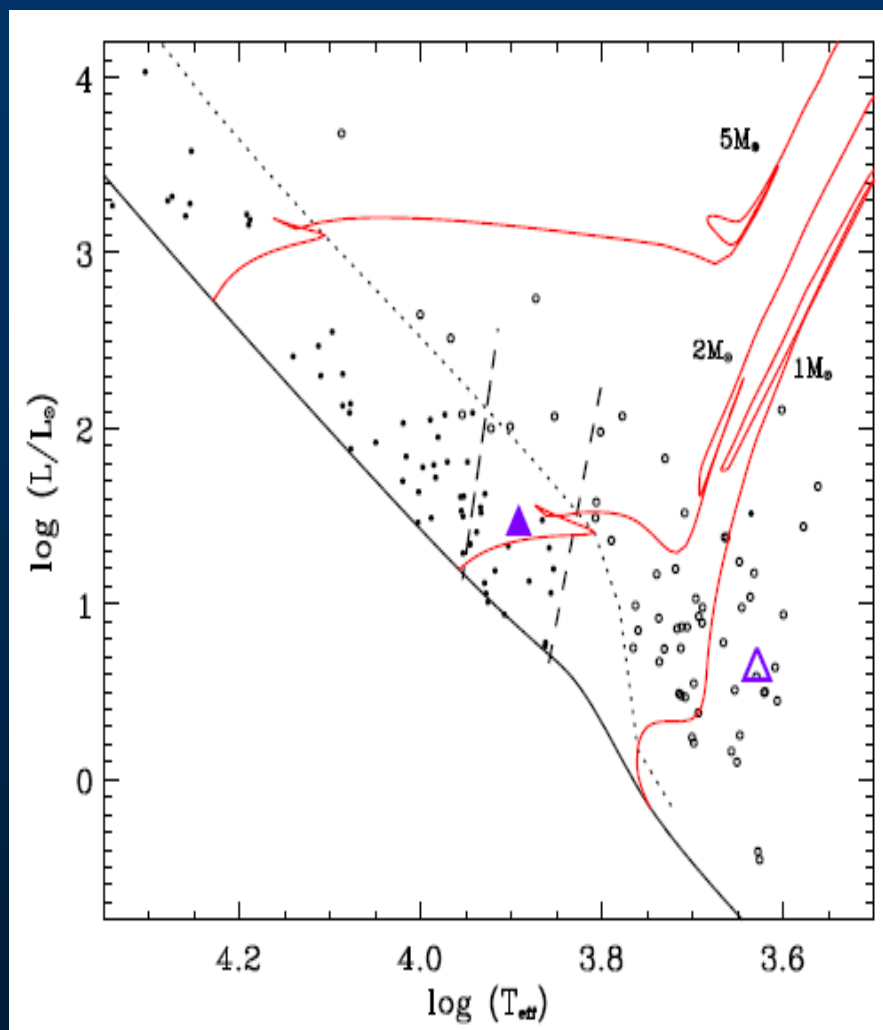
$$f_2 = 17.3052 \pm 0.0002$$

$$f_3 = 16.5982 \pm 0.0002$$

$$f_4 = 16.8806 \pm 0.0002$$

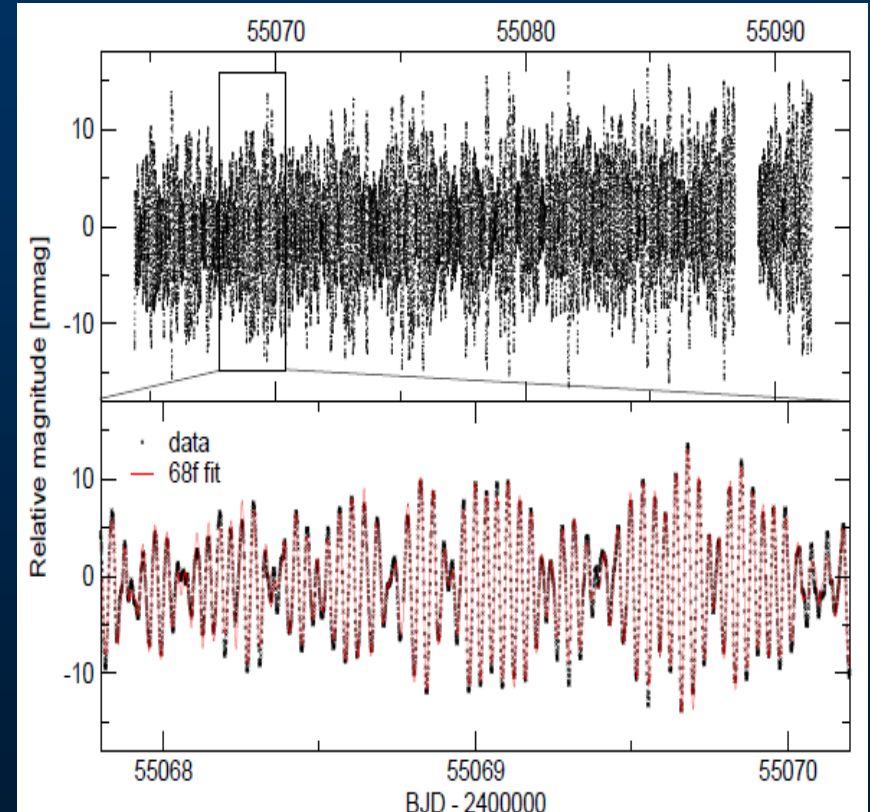
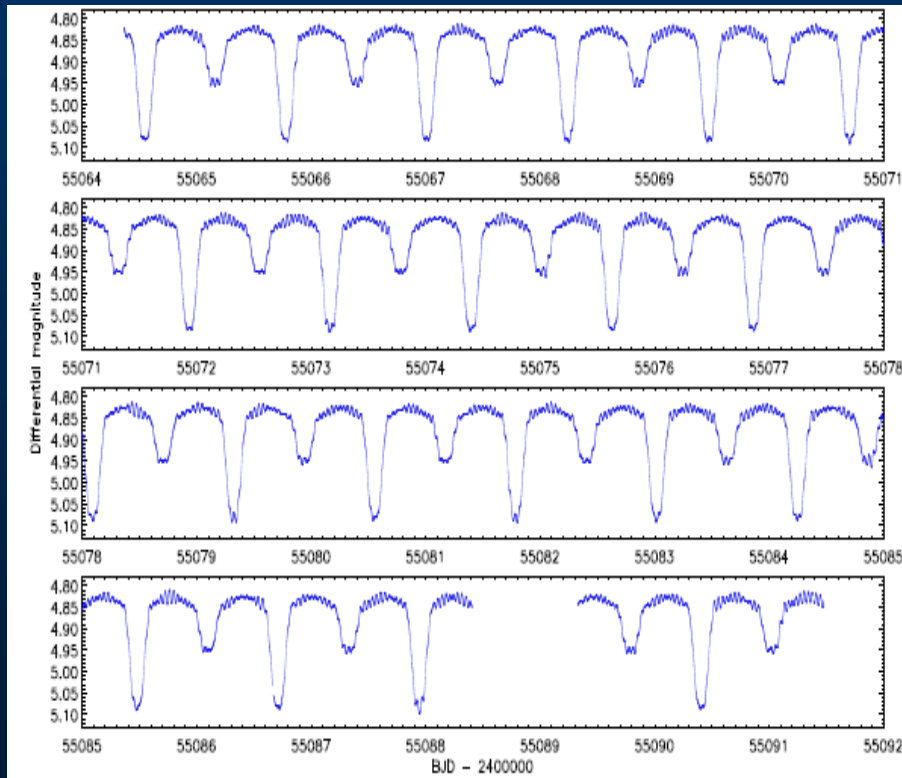


Zonklayan bilşene ilişkin tüm modlar çapsal zonklama gösteriyor.



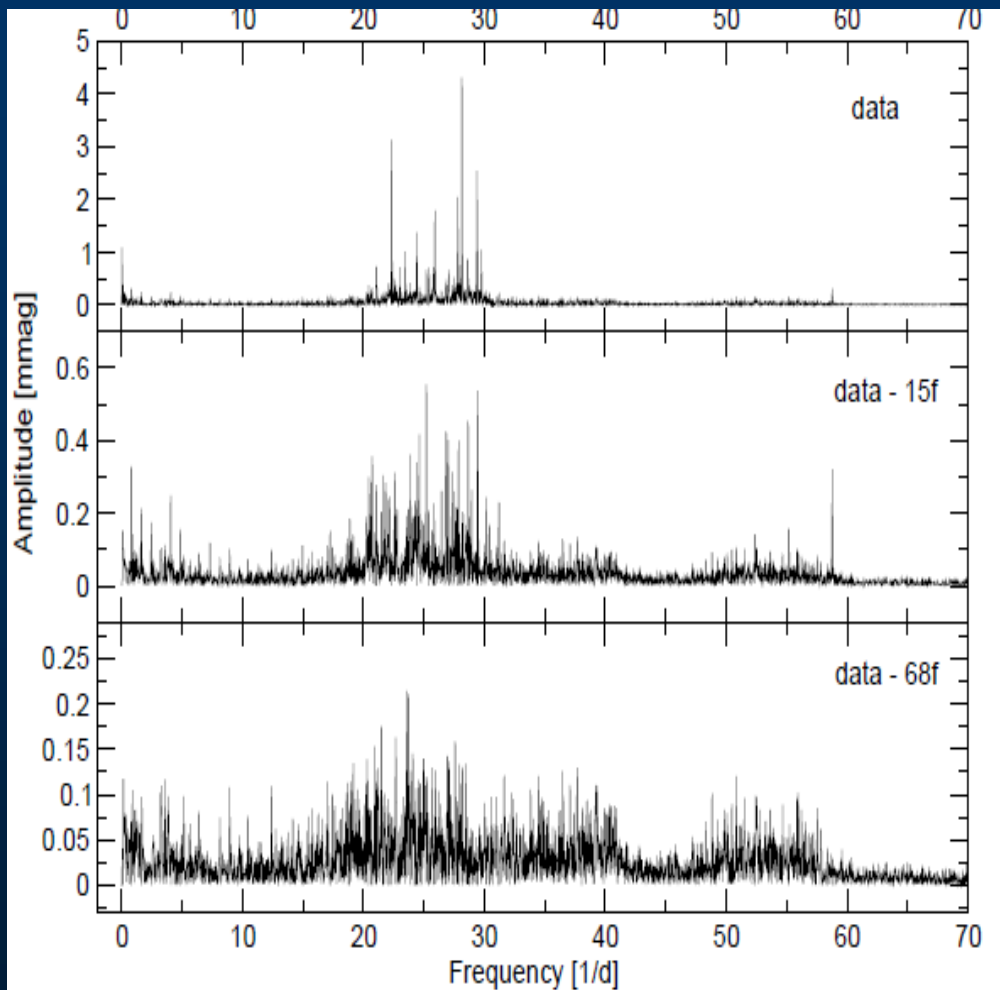
Kepler Uydu Gözlemleri

■ KIC 10661783



Southworth ve ark. 2011

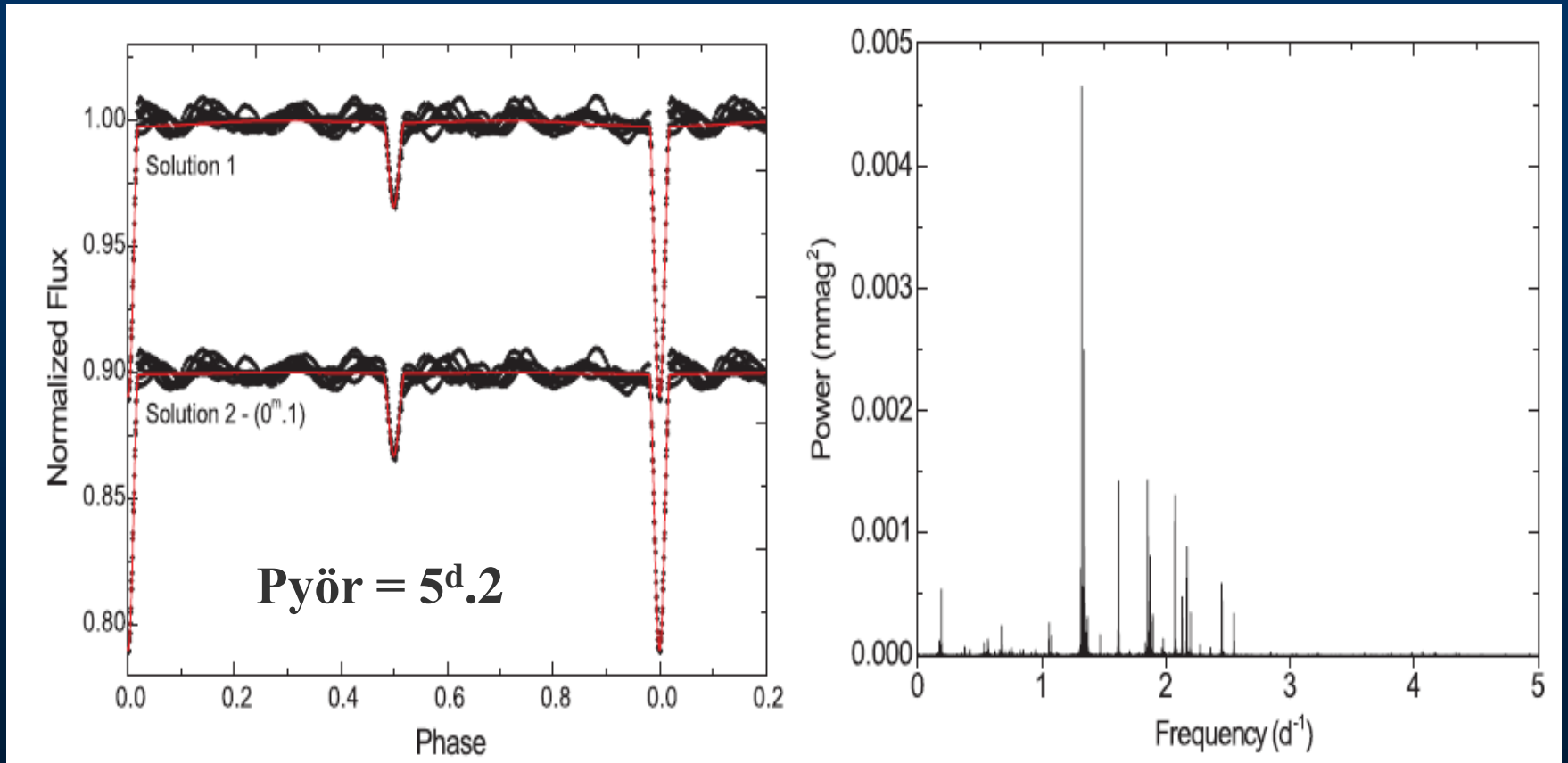
Pyör = 1^d.2



Designation	Frequency (d^{-1})	Amplitude (mmag)	Phase (rad)	S/N
f_1	28.135	4.163 (8)	2.114 (2)	98.7
f_2	22.341	3.114 (8)	1.351 (3)	64.4
f_3	29.383	2.396 (8)	1.306 (4)	59.2
f_4	25.902	1.745 (8)	2.906 (5)	32.7
f_5	27.810	1.716 (8)	1.899 (5)	39.2
f_6	24.408	1.366 (8)	1.156 (7)	26.7
f_7	0.0166	1.157 (8)	1.108 (23)	31.5
f_8	29.759	1.022 (8)	2.901 (8)	27.0
f_9	23.462	0.972 (8)	1.465 (9)	19.5
f_{10}	28.622	0.839 (8)	1.143 (10)	18.8
f_{11}	21.078	0.754 (8)	2.591 (11)	16.4
f_{12}	25.433	0.656 (8)	2.155 (13)	12.6
-				
-				
f_{17}	28.788	0.181 (8)	1.411 (48)	4.0
f_{18}	30.403	0.158 (8)	1.620 (53)	4.0
$f_{19} = f_1 + f_{14}$	55.189	0.154 (8)	2.162 (54)	4.8
$f_{20} = 6j_{orb}$	4.968	0.157 (8)	2.269 (53)	5.6
f_{21}	0.392	0.166 (8)	0.197 (55)	4.5
f_{22}	17.236	0.155 (8)	2.313 (54)	4.2
$f_{23} = f_4 + f_{35}$	52.395	0.153 (8)	2.590 (55)	4.0
f_{24}	31.159	0.153 (8)	2.085 (71)	4.0
$f_{25} = 9j_{orb}$	7.306	0.129 (8)	1.628 (64)	5.6
f_{26}	14.965	0.116 (8)	1.960 (72)	4.2
f_{27}	12.402	0.103 (8)	0.208 (77)	4.6
$f_{28} = 11f_{orb}$	8.955	0.108 (8)	1.555 (78)	5.7

Y Cam da sadece 8 frekans değeri (Rodriguez ve ark. 2010)

■ KIC 10486425



Kahraman ve Soyduğan 2013

120 anlamlı frekans değeri

δ Scuti Türü Zonklama Gösteren Çift Sistemler

No	Name	V_{max} (mag)	P_{orb} (d)	P_{puls} (d)	A_{puls}^a (mag)	Reference
1	DY Aqr	10.51	2.1597	0.0428	0.013 (V)	1
2	EW Boo	10.27	0.906336	0.0208	0.02 (V)	2
3	Y Cam	10.50	3.3057	0.0665	0.0318(V)	3
4	TY Cap	10.30	1.4234	0.0413	0.052 (V)	4
5	R CMa	5.70	1.1359	0.0471	0.0088 (B)	3
6	RZ Cas	6.26	1.1953	0.0156	0.013 (V)	3
7	AB Cas	10.17	1.3669	0.0583	0.0392(V)	3
8	IV Cas	11.20	0.9985	0.0265	0.01 (V)	3
9	WY Cet	9.60	1.9397	0.0758	0.028 (V)	4
10	V346 Cyg	11.80	2.7433	0.0502	0.03 (V)	3
11	V469 Cyg	12.80	1.3125	0.0278	0.02 (V)	3
12	TW Dra	8.00	2.8069	0.0556	0.0042 (V)	3
13	TZ Dra	9.60	0.8660	0.0194	-	3
14	TZ Eri	9.80	2.6062	0.0534	-	3
15	AS Eri	8.29	2.6641	0.0169	0.0134 (V)	3
16	TU Her	10.88	2.2669	0.0556	0.008 (V)	3
17	BO Her	10.80	4.2731	0.0745	0.008 (V)	5
18	CT Her	10.60	1.7864	0.0192	0.03 (B)	3
19	EF Her	11.00	4.7299	0.1042	0.068 (B)	3
20	RX Hya	8.90	2.2817	0.0516	0.014 (B)	3
21	AI Hya	9.35	8.2897	0.1380	0.02 (B)	3
22	Y Leo	10.09	1.68610897	0.0270	0.008 (V)	6
23	WY Leo	11.00	4.98578	0.065562	0.011 (V)	7
24	RR Lep	9.98	0.91543	0.031382	0.005 (V)	7
25	VY Mic	9.47	4.436373	0.0817	0.039 (V)	8
26	V577 Oph	10.98	6.0791	0.0695	0.0289 (V)	3
27	V2365 Oph	8.859	4.86560	0.0700	0.05 (V)	9
28	MX Pav	11.35	5.730835	0.0756	0.154 (V)	8
29	BG Peg	11.39	1.952443	0.0391	0.045 (V)	1, 10
30	AB Per	10.40	7.1603	0.1958	0.02 (B)	3
31	IU Per	10.50	0.8570	0.0238	0.02 (B)	3
32	AO Ser	10.70	0.8793	0.0465	0.02 (B)	3
33	AC Tau	10.50	2.0434	0.057035	0.006 (V)	7
34	IZ Tel	12.06	4.880219	0.0738	0.092 (V)	8
35	VV UMa	10.13	0.6874	0.0195	0.015 (B)	3
36	GSC 4550-1408	11.26	1.2383832	0.0250	0.04 (B)	11
37	GSC 3889-0202	10.60 (R)	2.71066	0.0441	0.05 (V)	12
38	GSC 4588-0883	11.32	3.25855	0.0493	0.015 (R)	13
39	GSC 4293-0432	10.567	4.38440	0.125	0.04 (V)	14
40	HD 172189	8.85	5.7020	0.0510	0.05 (V)	3
41	HD 62571	8.73	3.208647	0.1105	0.10 (V)	8
42	HIP 7666	9.69	2.3723	0.0409	0.02 (V)	3
43	UNSW-V-500	12.52	5.3504751	0.0734	0.35 (V)	15
44	SX Dra	10.411	5.169196	0.0455	0.04 (V)	16

← δ Scuti bileşenli örten çift sistemler (Soydugan, ve ark., 2011)

Bilinen δ Scuti bileşenli Örten çift sistemlerin sayısı : 44

Ayrık sistemlerin sayısı : 4

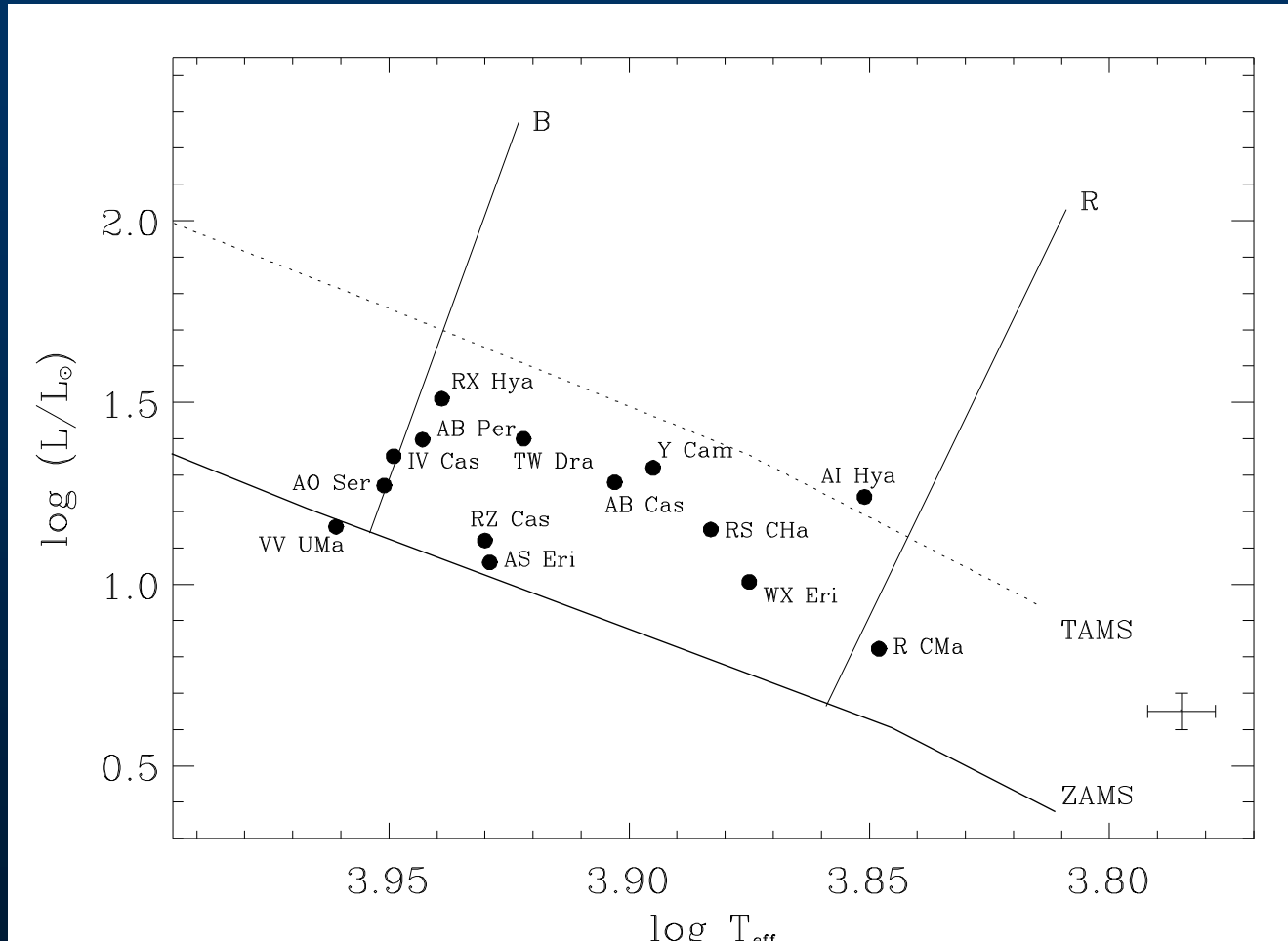
Yarı-ayrık sistemlerin sayısı : 38

Türü belirlenemeyen : 1

44 (Soydugan ve ark. 2011)

60 (Soydugan ve ark. 2015)

Sistemlerin kararsızlık kuşağındaki dağılımları



Örten Çift sistemin kararsızlık kuşağındaki dağılımları (Soydugan ve ark., 2006b)

Çift Yıldızlarda δ Scuti Türü Zonklama Göstermeye Aday Olan Ayrık ve Yarı-Ayrık Sistemler

Toplam 71 Ayrık sistem,
baş bileşen : 30, yoldaş bileşen : 17 ve her iki bileşen : 24.

Toplam 90 Yarı-ayrık sistem.

Ayrık sistemler Malkov (1993), Brancewicz and Dworak (1980),
Andersen (1991)'den seçildi.

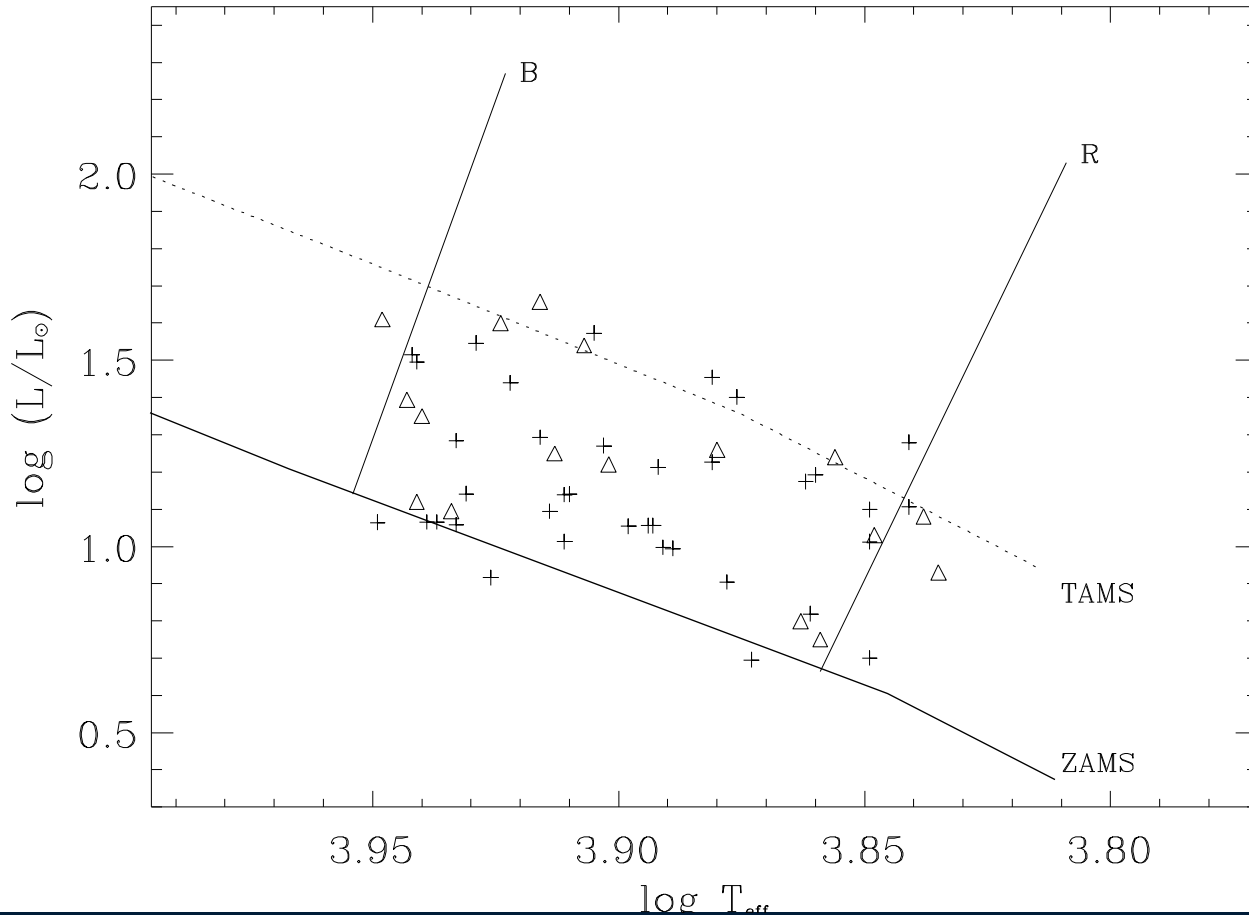
Yarı-ayrık sistemler; Budding et al. (2004)'den seçildi.

Zonklamalar için aday ayırık sistemler

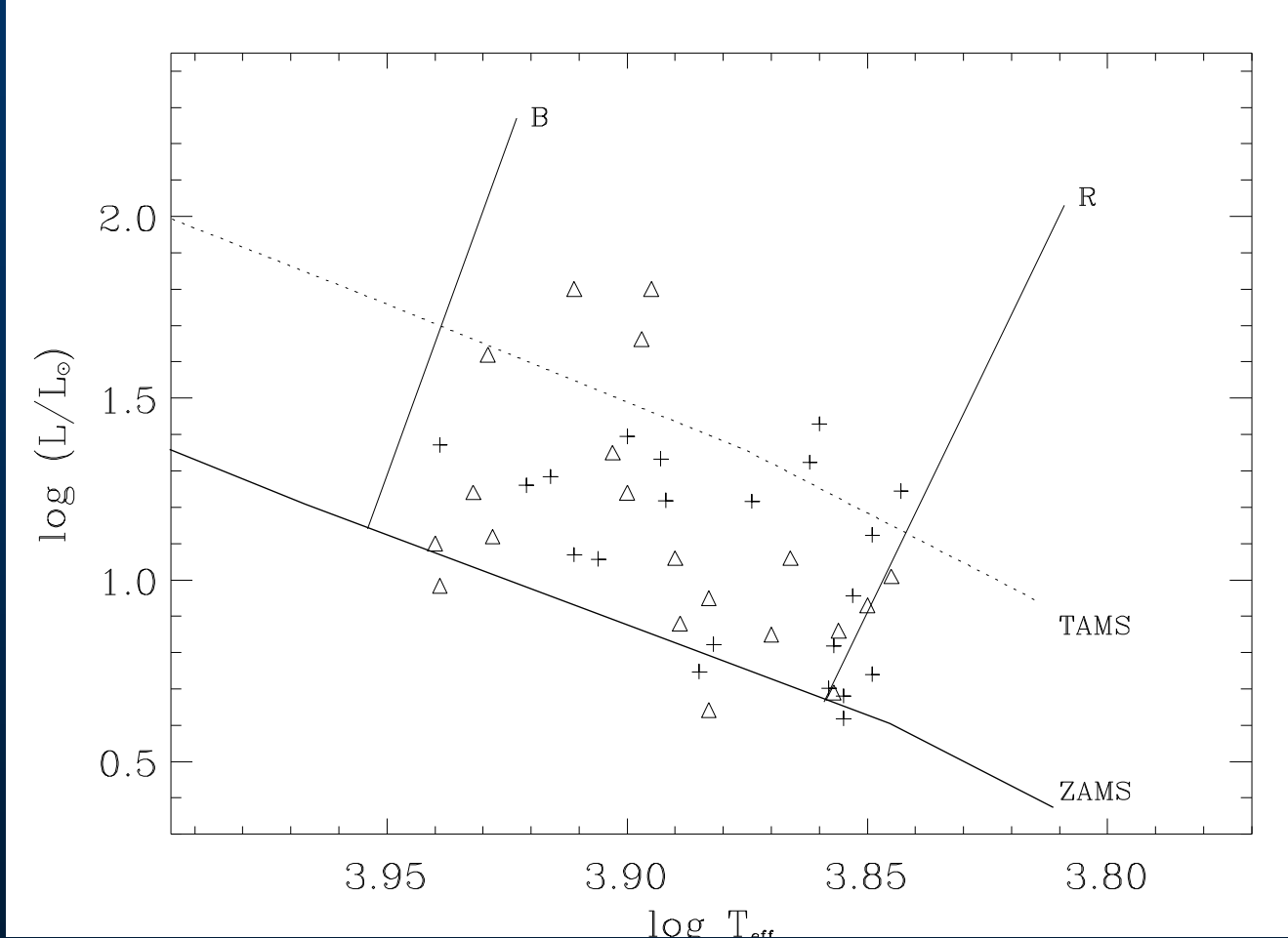
Name	C	Sp.	Max ^c (mag)	P _{orb} (days)	M ₁ [M _☉]	M ₂ [M _☉]	R ₁ [R _☉]	R ₂ [R _☉]	L ₁ [L _☉]	L ₂ [L _☉]	T ₁ (K)	T ₂ (K)	Ref.
CZ And	p,s	A6+	12.40 (B)	2.7172	2.42	2.04	1.76	1.35	9.87	5.58	7750	7670	1
CD Aqr	s		10.80 (V)	4.8378	2.22	1.52	3.19	1.49	46.84	6.63	8490	7620	1,2
V409 Aql	p	F5	11.50 (B)	2.0494	1.58	1.42	3.04	3.23	19.00	17.59	6940	6610	1
V602 Aql	p,s	A2+	11.90 (B)	3.0126	2.78	1.71	2.47	2.45	31.24	13.28	8730	7060	1,2
V805 Aql*	p,s	A2+A9	7.59 (V)	2.4082	2.11	1.63	2.11	1.75	17.78	7.24	8185	7178	1,2,3
SZ Ari	p	F0	11.30 (V)	1.7175	1.46	1.04	2.46	0.82	14.94	0.43	7270	5210	1
WW Aur*	p,s	A5m+A7m	5.821 (V)	2.5250	1.99	1.80	1.88	1.88	13.80	11.48	8128	7762	2,4
CG Aur	p,s	A7+	12.10 (B)	1.8049	2.22	1.53	1.75	1.45	9.93	5.02	7780	7210	1
UW Boo	p	F0+	10.40 (B)	1.0047	1.48	1.08	1.51	1.03	5.01	1.33	7060	6120	1,2

Zonklamalar için aday yarı-ayırık sistemler

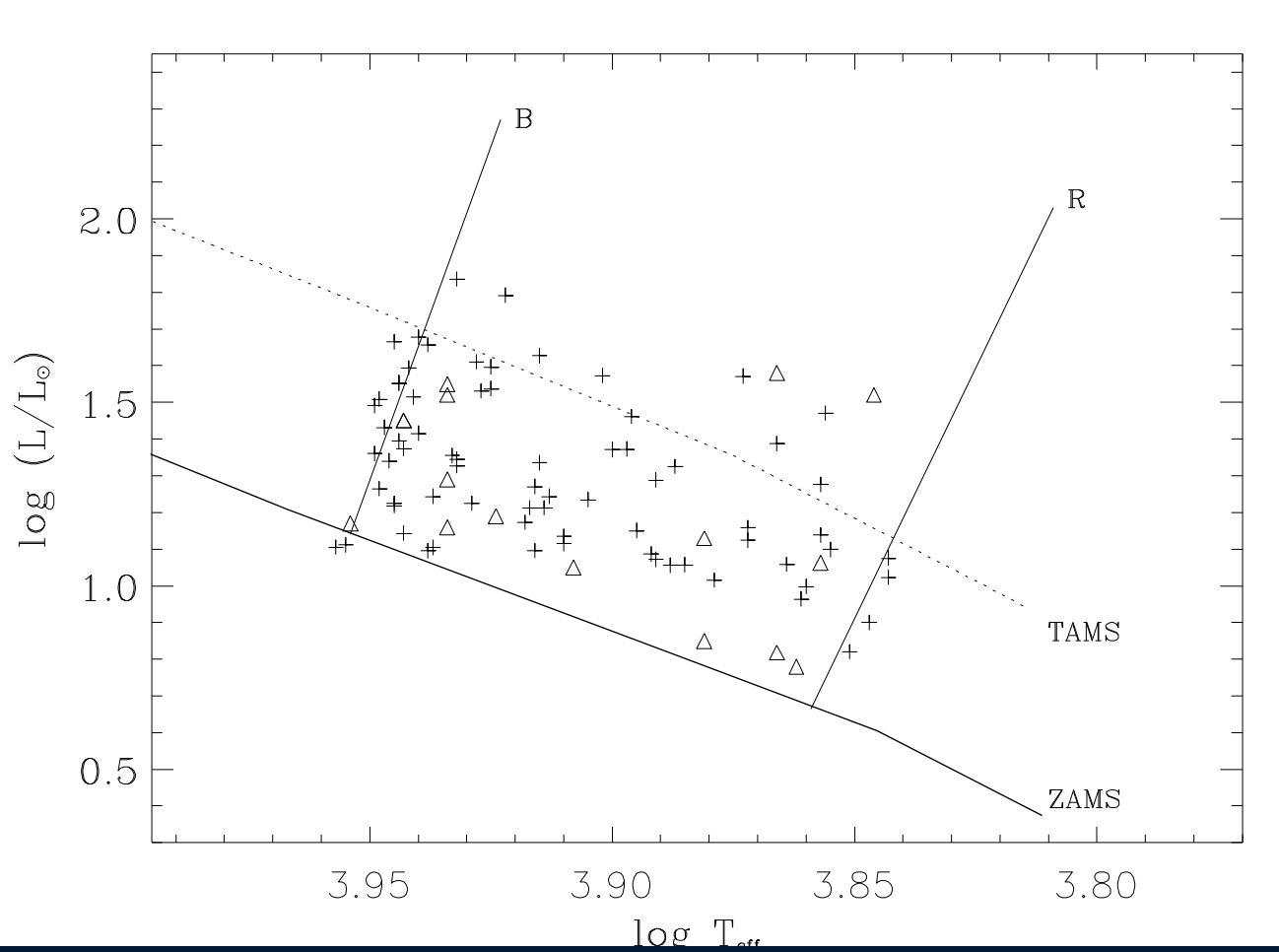
Name	C	Sp.	Max ^c (mag)	P _{orb} (days)	M ₁ [M _☉]	M ₂ [M _☉]	R ₁ [R _☉]	R ₂ [R _☉]	L ₁ [L _☉]	L ₂ [L _☉]	T ₁ (K)	T ₂ (K)	Ref.
TW And*	p	F0V	9.12 (V)	4.1228	1.68	0.32	2.19	3.37	11.55	3.14	7188	4184	1
CP And	p	A5	11.20 (V)	3.6089	2.14	1.34	2.56	3.44	23.47	14.66	7938	6087	1
RY Aqr*	p	A8	8.86 (V)	1.9666	1.27	0.26	1.28	1.79	7.08	1.23	7600	4550	2,3
CZ Aqr	p	A5p	11.10 (V)	0.8628	2.96	1.48	1.91	2.00	11.79	4.25	7780	5860	4
YZ Aql	p	A3	10.90 (V)	4.6725	3.13	2.56	3.20	6.64	42.35	10.32	8228	4013	1
QY Aql*	p	F0g	12 (V)	7.2296	1.70	0.60	3.90	4.90	33.11	7.41	7009	4301	1
SS Cam	p	F5V	10.09 (V)	3.1268	1.72	2.28	2.79	8.15	18.86	36.26	7199	4960	1
TY Cap	p	A5	10.30 (V)	1.4235	2.50	2.06	2.89	2.57	28.92	1.19	7871	3759	1
CV Car*	p	A3	10.40 (V)	14.4149	2.50	0.80	2.30	11.10	28.18	48.98	8766	4582	1
IS Cas	p	A2	11.60 (B)	1.8415	2.76	1.64	2.50	2.06	32.66	32.66	8724	9611	1



Ayrık sistemlerin 54 baş bileşenin kararsızlık kuşağındaki dağılımları. Üçgenler daha duyarlı dataya karşılık gelmektedir (Soydugan ve ark., 2006).

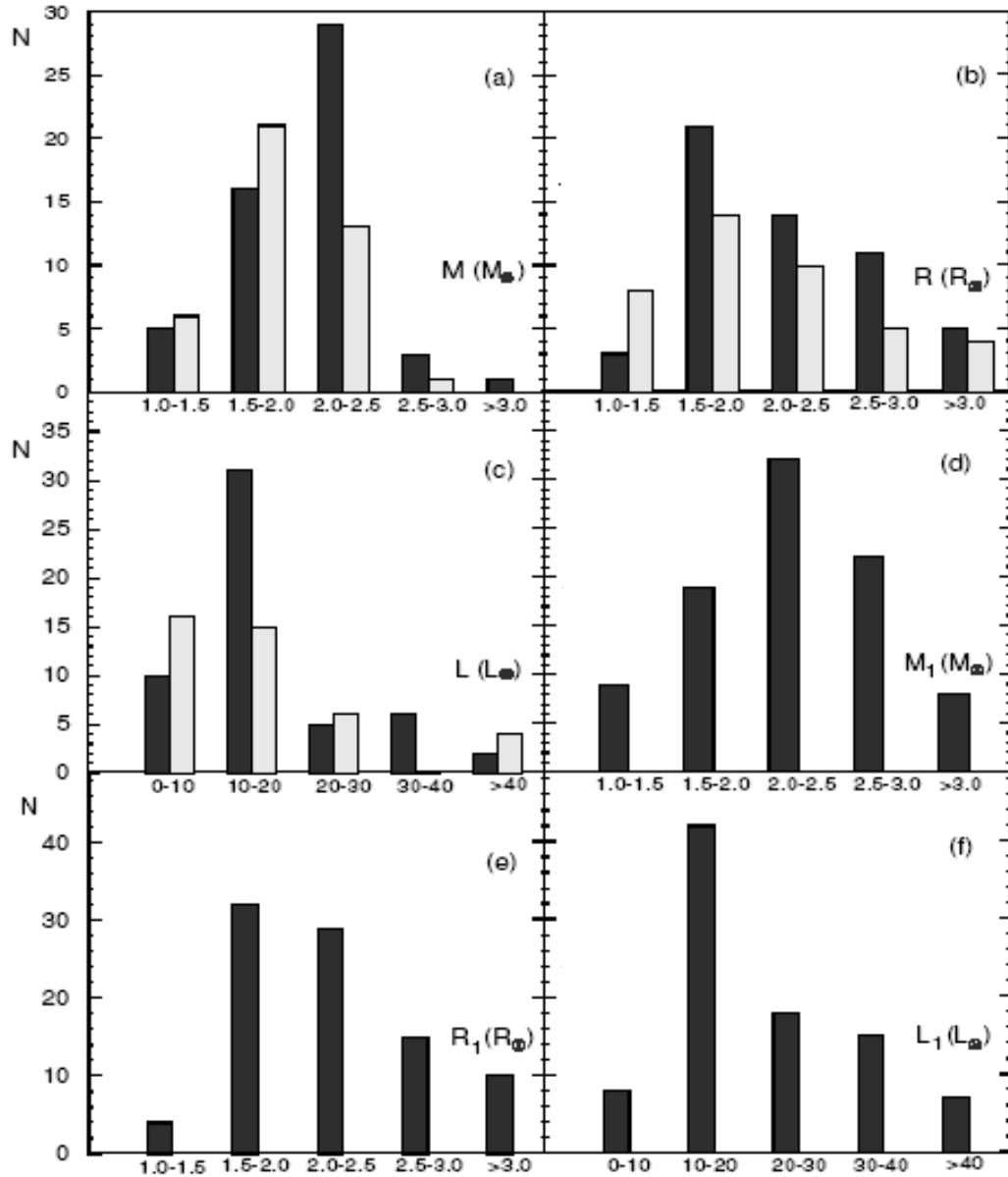


Ayrık sistemlerin 41 yoldaş bileşenlerinin kararsızlık kuşağındaki dağılımları. Üçgenler daha duyarlı veriye karşılık gelmektedir (Soydugan ve ark., 2006).



Yarı-ayrık sistemlerin 90 baş bileşeninin kararsızlık kuşağındaki dağılımları. Üçgenler daha duyarlı veriye karşılık gelmektedir (Soydugan ve ark., 2006b).

İstatistiksel Dağılım ve Sonuçlar



a),b),c) ayırık sistemlere,
← d),e),f) yarı-ayırık sistemlere
karşılık gelir.

- 1) Baş bileşenlerin %50 sinden daha fazlası $2.0-2.5 M_{\odot}$
- 2) Yoldaş bileşenlerin %51 $1.5-2.0 M_{\odot}$ arasındadır.
- 3) Hem baş hem de yoldaş bileşen için yarıçap dağılımı $1.5-2.0 R_{\odot}$ arasında maksimumdur.
- 4) Baş bileşenin ışıltma dağılımının %57'si $10-20 L_{\odot}$ arasındadır.
- 5) Yarı ayırık sistemler içinde kütle dağılımının büyük bir kısmı $2.0-2.5 M_{\odot}$ arasındadır.
- 6) Yarı ayırık sistemlerin %68'nin yarıçap dağılımı $1.5-2.5 R_{\odot}$ arasındadır.
- 7) Işıltma dağılımı ayırık sistemlerin baş ve yoldaş bileşenlerinin dağılımıyla aynı yerde $10-20 L_{\odot}$ arasında maximum dağılım gösterir.

- Zonklayan bileşenlerin %80'i 2 saatten daha kısa zonklama dönemlerine sahiptir.
Tek δ Scuti yıldızlarının zonklama dönemlerinin %68'i 1.2-3.6 saat arasında yer alır.
- Yörünge dönemi arttıkça zonklama dönemi de artmaktadır. Zonklama dönemi yörünge döneminin %2 kadardır.
- İkinci yıldızın zonklayan yıldızın yüzeyine uyguladığı çekim kuvveti arttıkça zonklama dönemi küçülmektedir.
- Zonklayan yıldızın Roche Lobunu doldurma faktörü arttıkça zonklama dönemi küçülmektedir.

- Kütle aktarımı zonklayan bileşenin zonklama parametrelerini etkilemektedir.
- ÇOMÜ de en son 122 cm lik teleskopla keşfedilen zonklayan bileşenli çift sistemden sonra 5 tane literatüre zonklayan yıldız kazandırılmıştır.
- Uydu gözlemleri bizi daha duyarlı sonuçlara götürecektir.

Teşekkürler....