



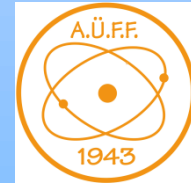
20. Ulusal Astronomi Kongresi  
9. Ulusal Astronomi Öğrenci Kongresi  
5 – 9 Eylül 2016, Atatürk Üniversitesi, Erzurum



# Soğuk Yıldızların Üst Atmosferleri için Moleküler Band Analizi



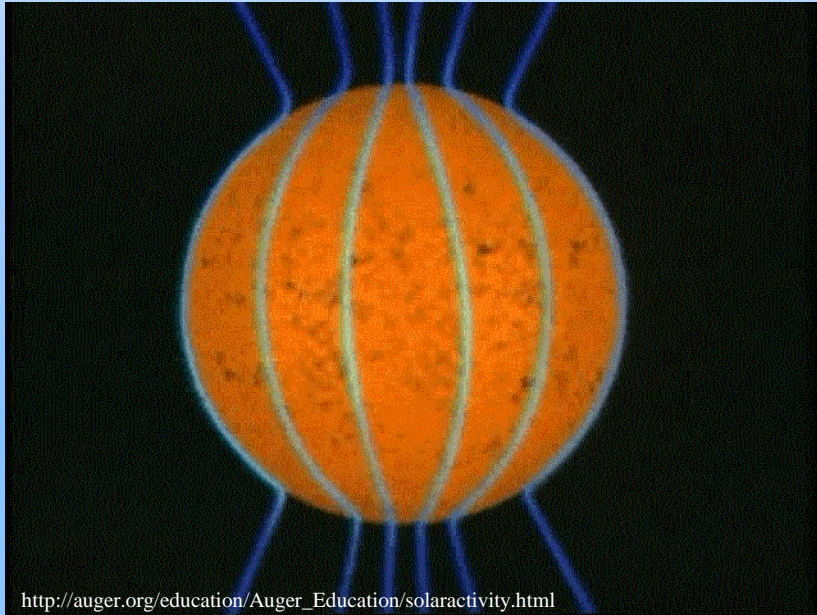
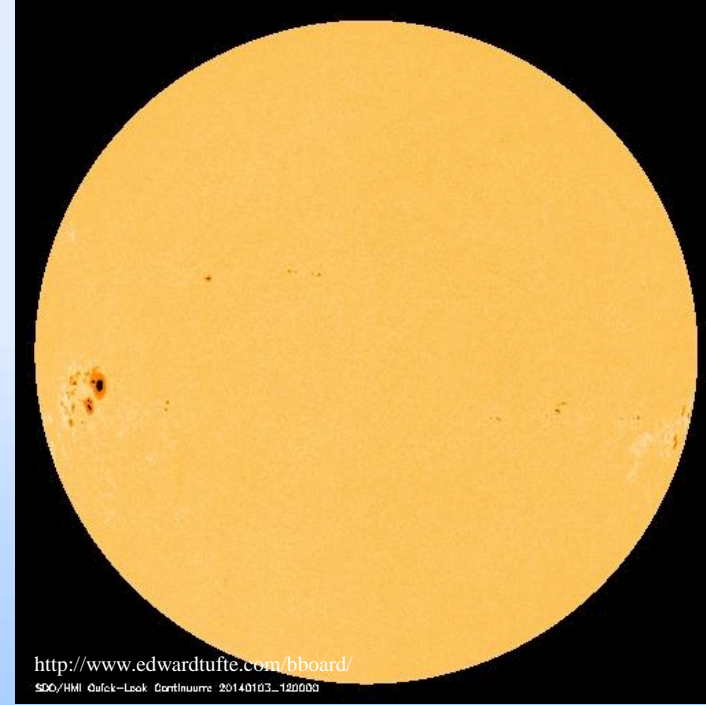
Doç.Dr. Hakan Volkan ŞENAVCI



Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay  
Bilimleri Bölümü

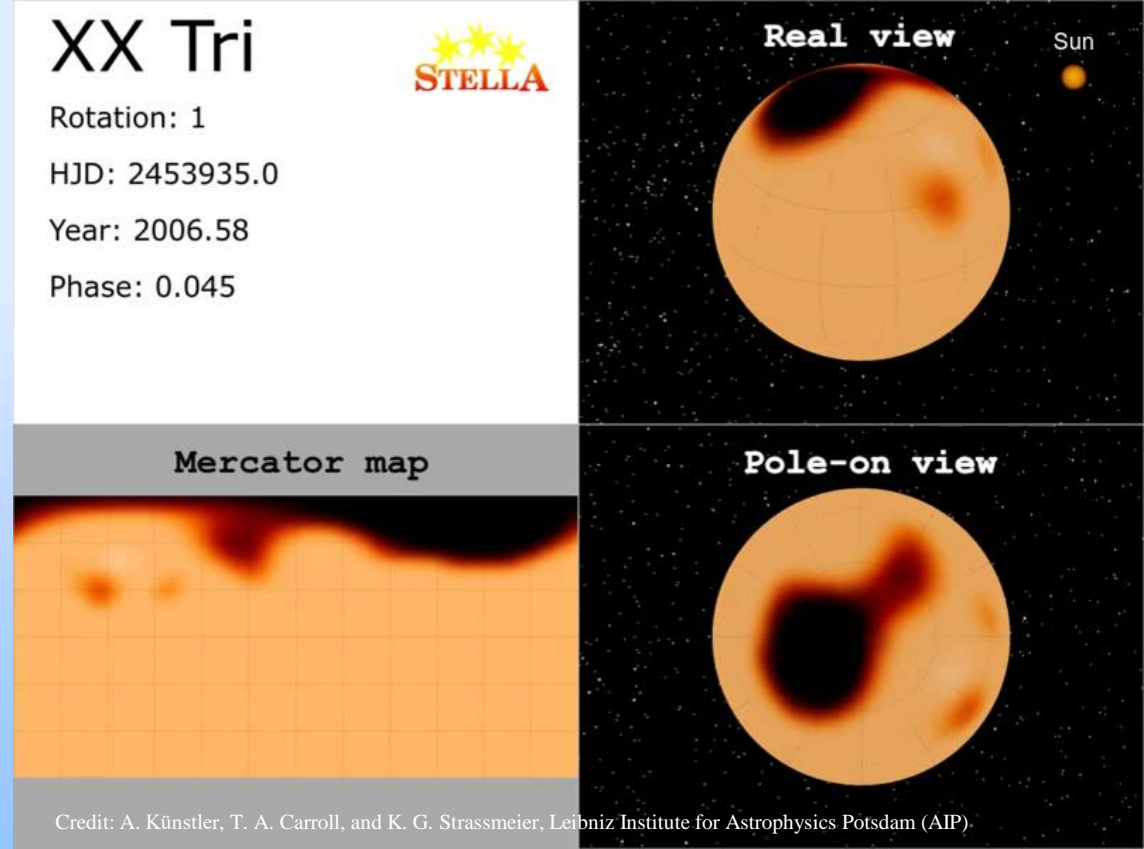
# Manyetik Aktivite

- Güneş aktivitesi → dış konvektif bölgede oluşan dönme kaynaklı türbülans hareketleri → manyetik alan → lekeler, plaj bölgeleri, kromosferik ağ...



# Manyetik Aktivite

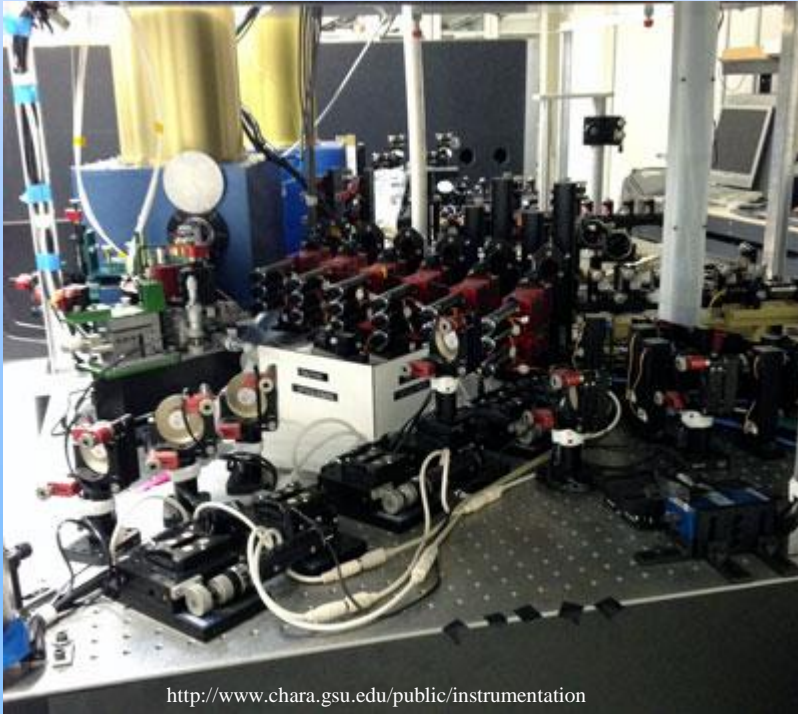
- Benzer olgular → dış konvektif katmanlara sahip soğuk yıldızlar → Güneş'te izlenen manyetik aktivitenin oluşmasına neden olan benzer bir mekanizmanın varlığı?





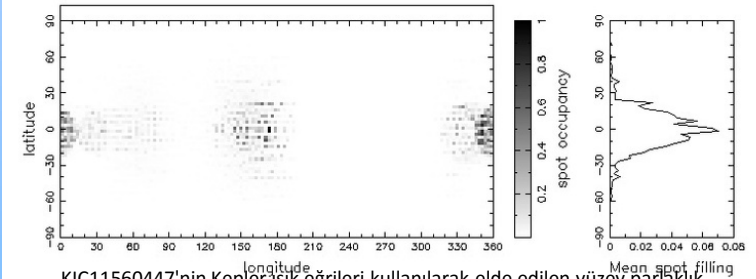
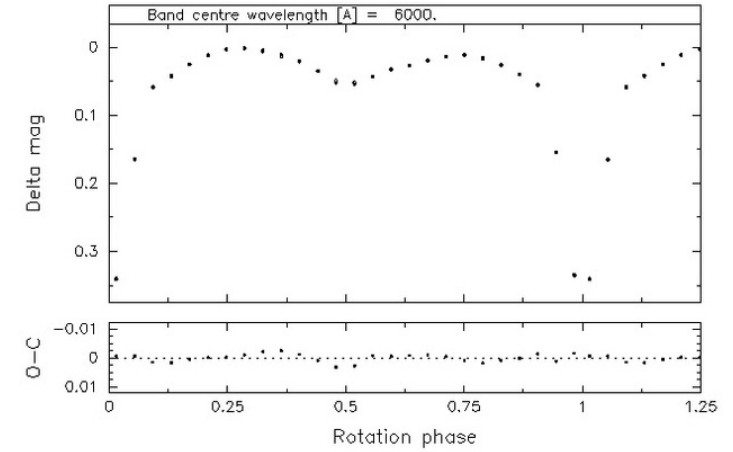
# Gelişmeler... Teknik ve Gözlem Araçları

- Gelişen teknoloji → gözlem araçlarının gelişimi → tekniklerin gelişimi



# Gelişmeler... Teknik ve Gözlem Araçları

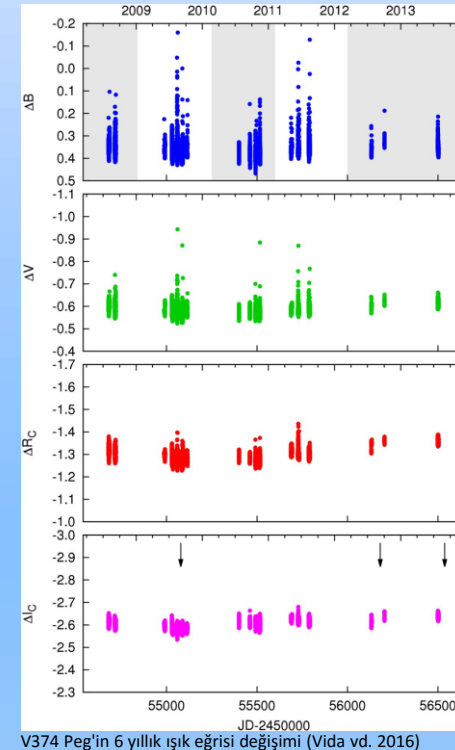
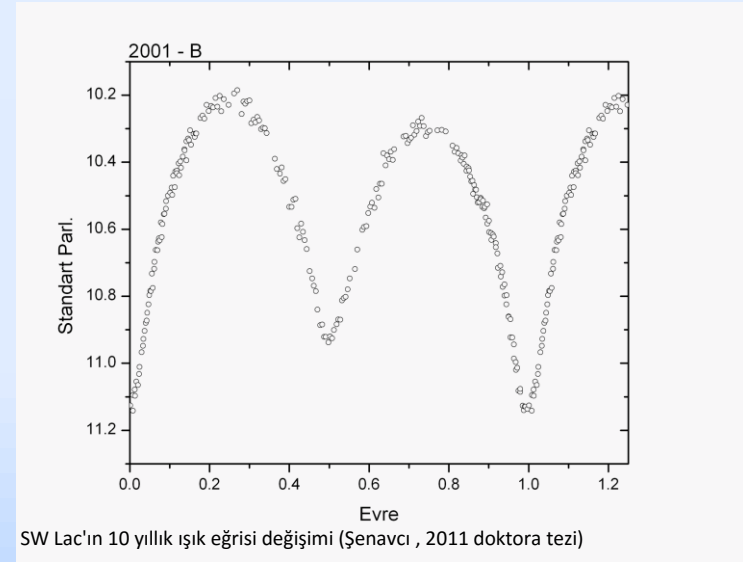
- Elektromanyetik spektrumun farklı bölgeleri → yer tabanlı ve atmosfer dışı gözlemler → fotometri, tayf, interferometri, mikromerceklenme ...



KIC11560447'nin Kepler ışık eğrileri kullanılarak elde edilen yüzey parlaklık dağılımı haritaları (Özavci vd. - yayın aşaması)

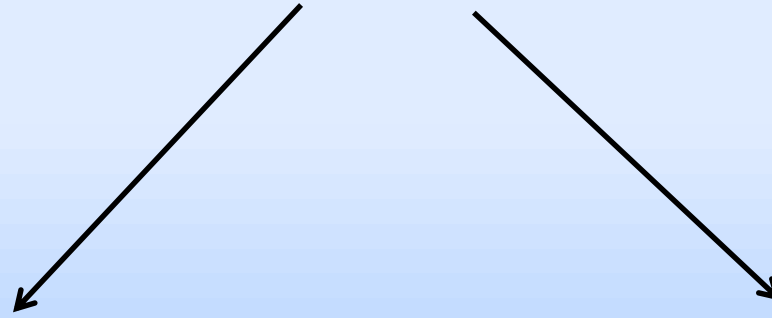
# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

- Işık Eğrisi Analizi → Bu alanda en yoğun kullanılan tekniklerden birisi
- Işık eğrisinde (tutulmalar dışı) görülen salınımlar → konum + büyüklük + kontrast
- Leke davranışının anlaşılabilmesi → zaman serisi şeklinde farklı filtrelerde elde edilmiş çok sayıda gözlem

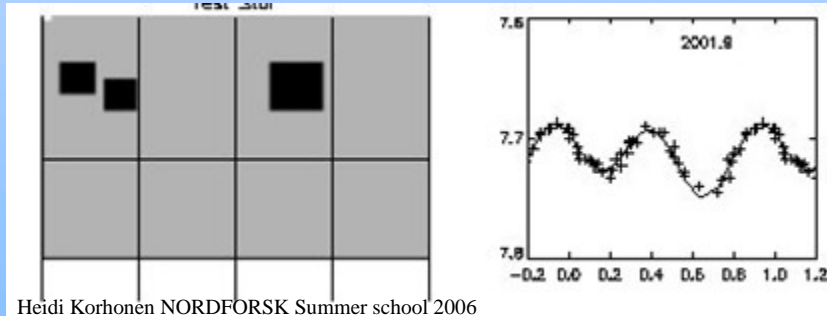


# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

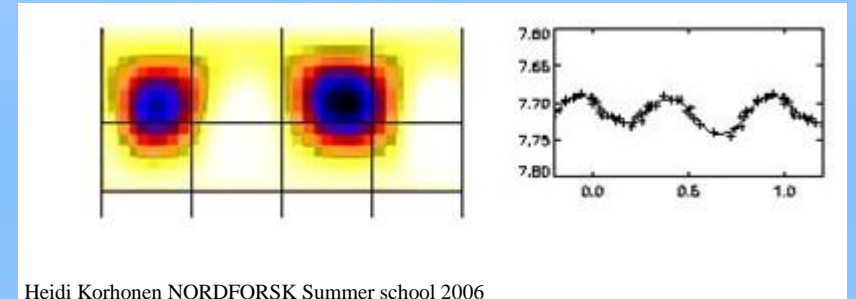
## Işık Eğrisi Analizi



Doğrudan (direct) → deneme - yanılma



Tersinden (inversion) → fotosfer + leke sıcaklığı (iki sıcaklık modeli) + lekelerin kapladığı alan (fs) → her bir pikseldeki akının ağırlıklandırılması → elde edilen yüzey haritası, lekelerin kapladığı alanların yıldız yüzeyi üzerindeki dağılımı

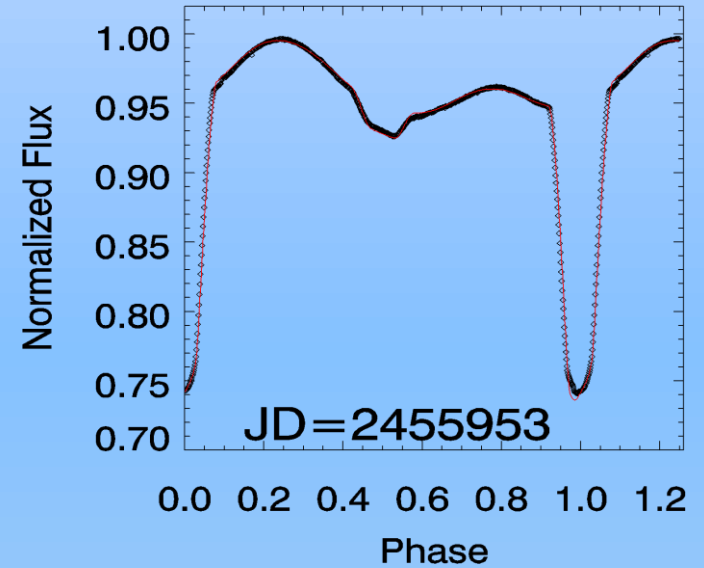
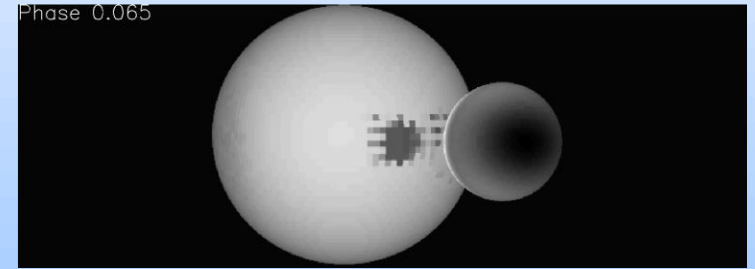
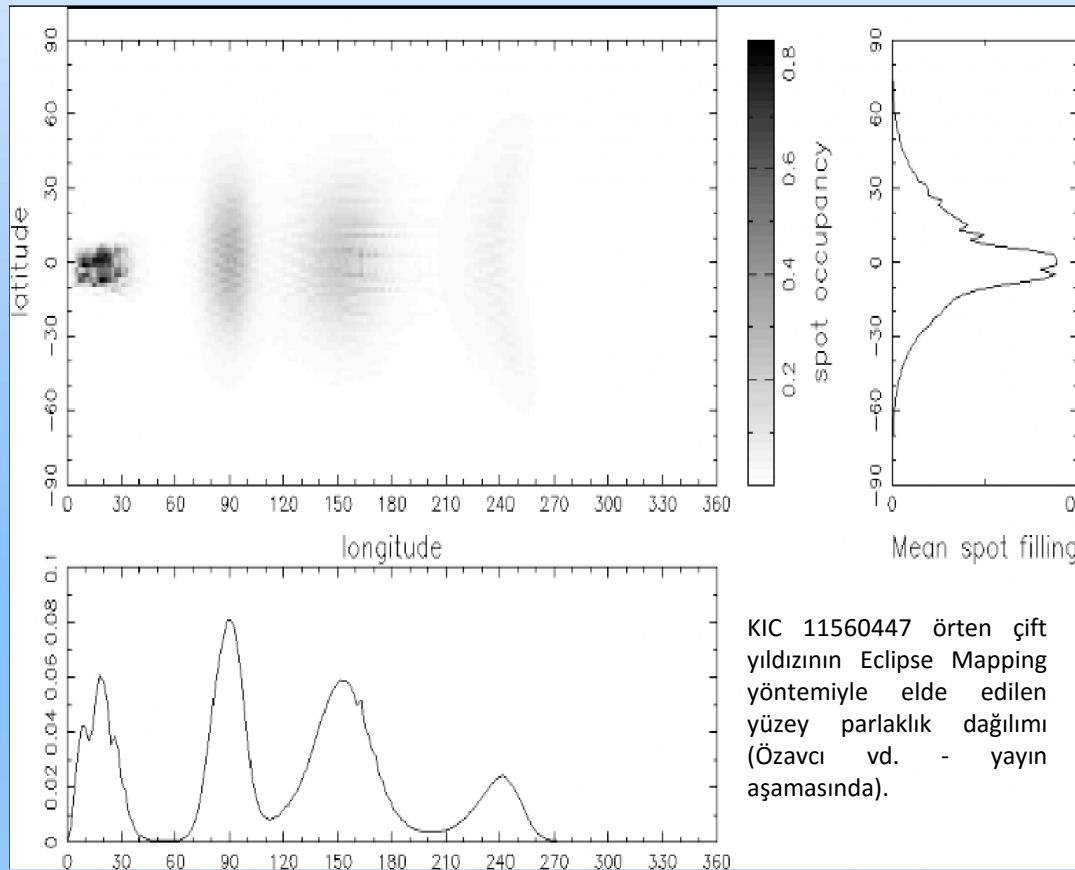


# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

## Işık Eğrisi Analizi



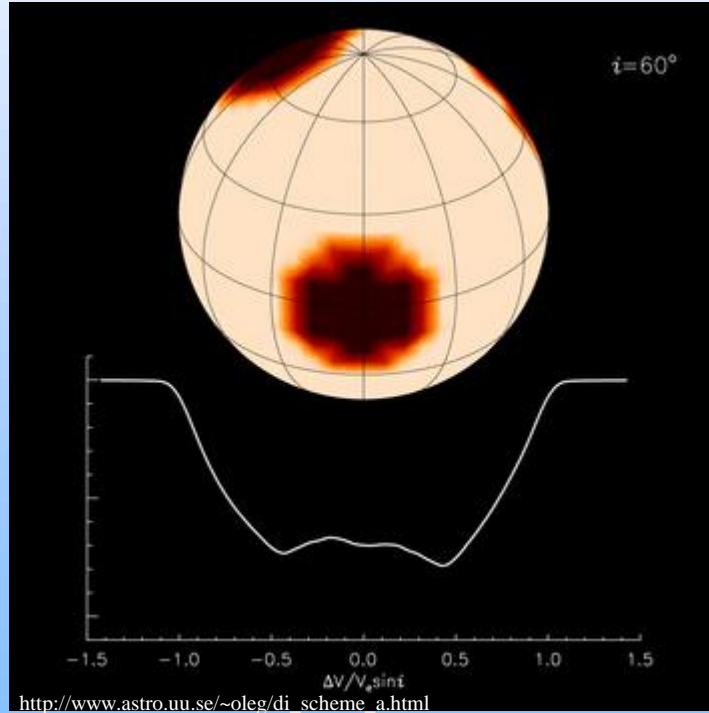
Eclipse Mapping (Tutulma Haritalaması) → çift yıldızlar için özel bir koşul altında → tutulma esnasında bir bileşenin “tarayıcı” gibi davranıp diğer bileşenin örtülen yüzeyinin detaylı incelenebilmesi → leke durumunda ışık eğrisi profilinde asimetri





# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

- Doppler Görüntüleme → çizgi profillerindeki zamana bağlı şekilsel (geometrik) değişimlerin modellenmesi → yıldızların yüzey parlaklık dağılımı
- Hörgüç yapısı → lekenin varlığı nedeniyle bulunduğu hız diliminde sürekliliğe katkıda bulunan fotonların soğurulmasından meydana gelen azalmanın bir sonucu



Boylam bilgisi → hörgüç yapının profil üzerindeki hareketi (zaman serisi gözlemler)

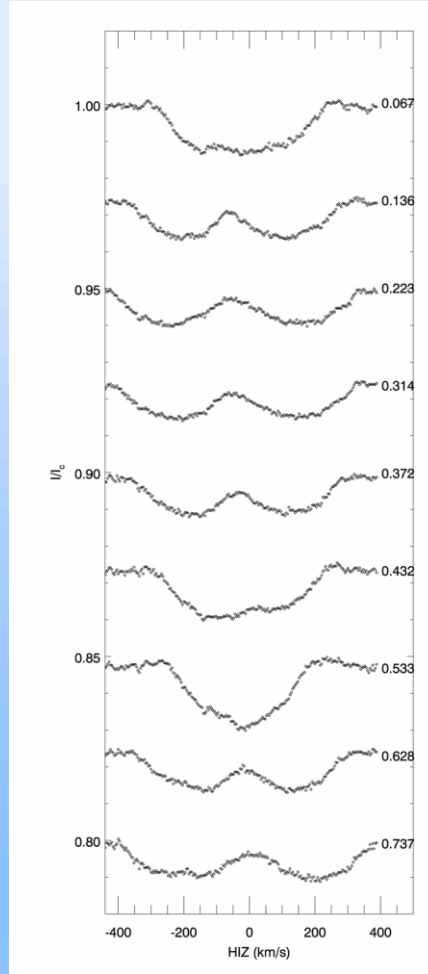
Enlem bilgisi → Ekvatora yakın leke bölgelerinin oluşturduğu hörgüç yapıların, çizgi profilleri üzerinde kapsadığı dalgaboyu aralığı daha geniş iken ekvatordan uzak lekelerin oluşturduğu hörgüç yapılar için bu aralık daha düşüktür. Kutup bölgelerine yakın lekelerin oluşturduğu hörgüç yapıları, profil merkezine yakın bölgelerde belirir ve yine yakın bölgelerde kaybolur.

Diferansiyel dönme → farklı enlemlere dağılmış lekelerin ayrı ayrı disk boyunca hareketlerinin modellenmesi

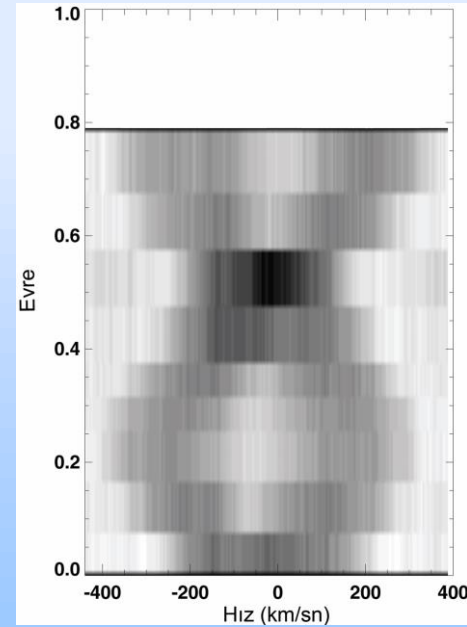
# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

- Tek veya birkaç çizgi kullanılarak asimetrinin modellenmesi → oldukça yüksek sinyal/gürültü oranına sahip tayf

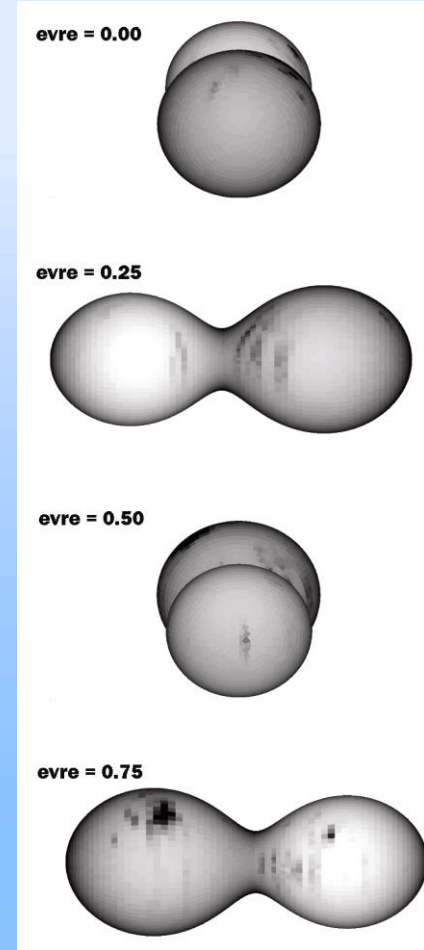
- Tüm fotosferik çizgiler, fotosferdeki parlaklık dağılımı anormalliklerinden (leke gibi) benzer şekilde etkilenirler
- Yüzlerce tayf çizgisinden eş zamanlı olarak ortalama bir profil elde edilmesi → Least Square Deconvolution – LSD (En Küçük Kareler Dekonvolüsyonu) → 1000'ler mertebesinde S/N oranları
- Tekniğin geliştirilmesi ve uygulanması → (Donati vd. 1997)



Şenavcı vd. 2011



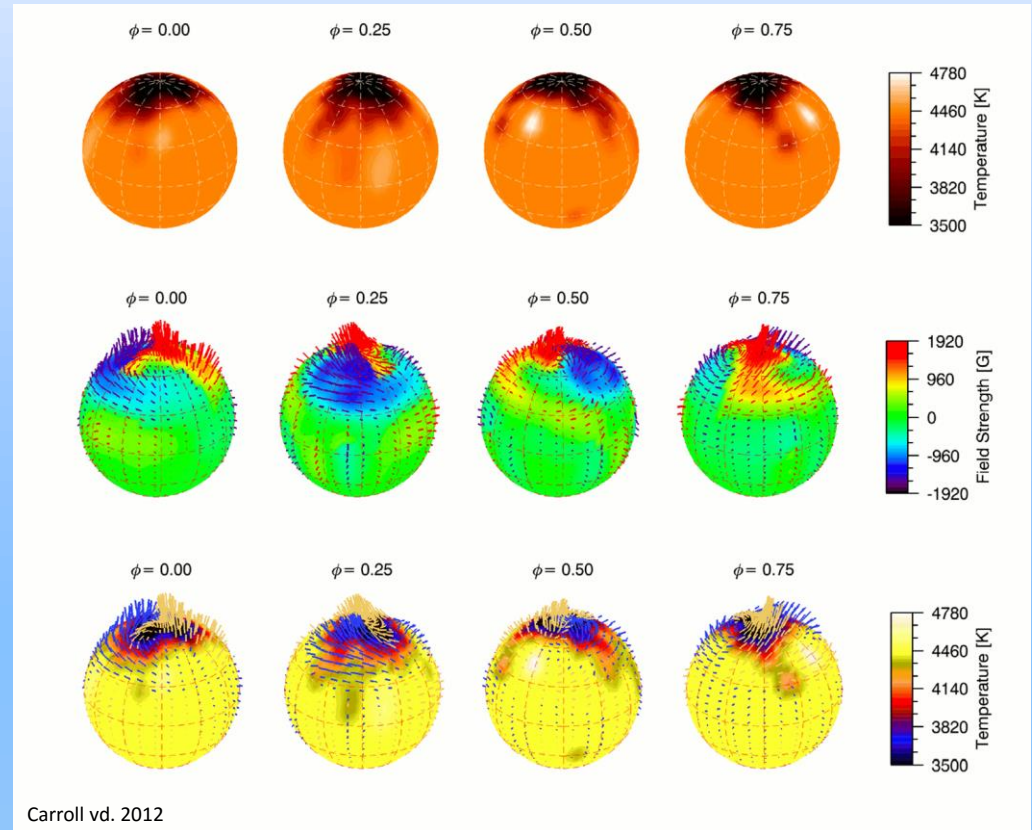
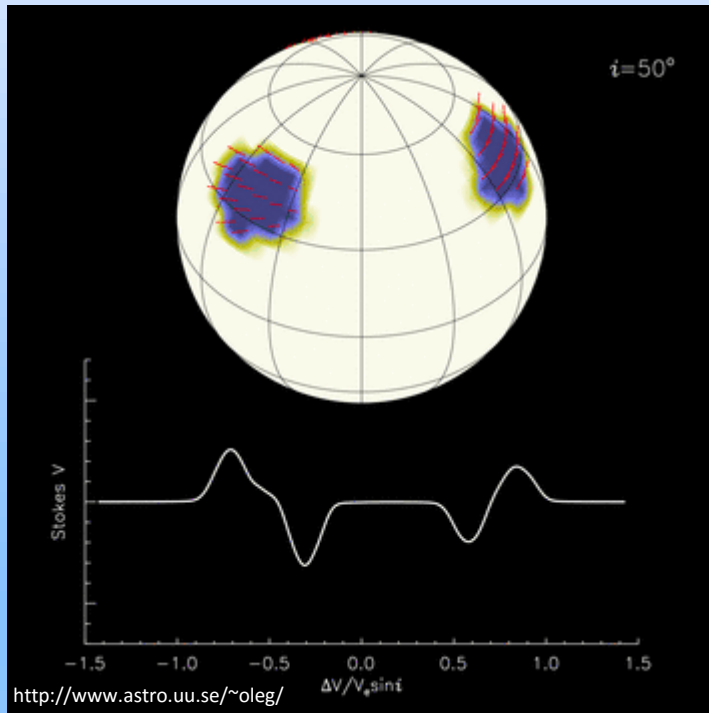
Şenavcı vd. 2011



Şenavcı vd. 2011

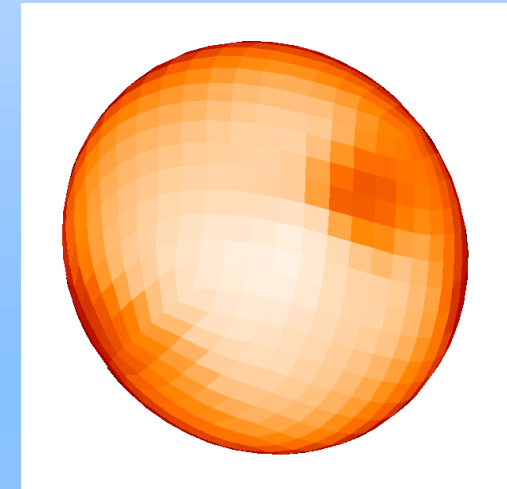
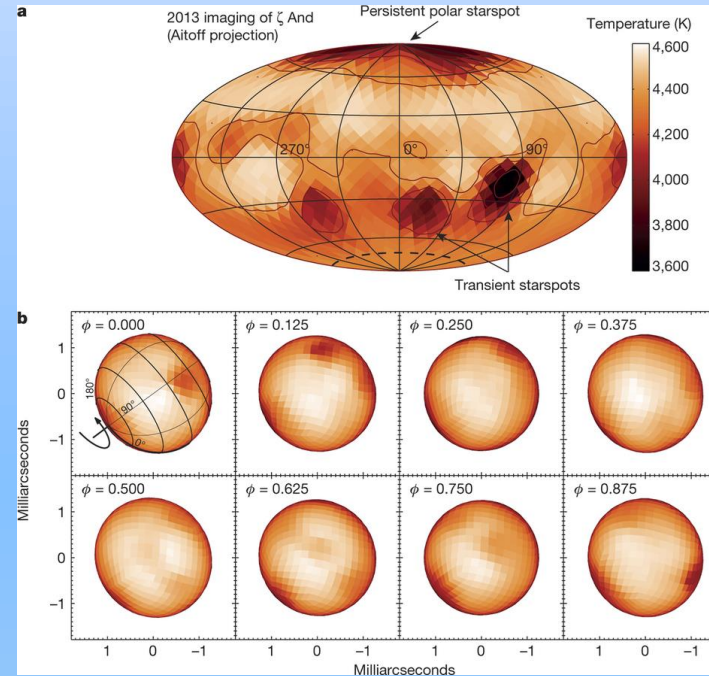
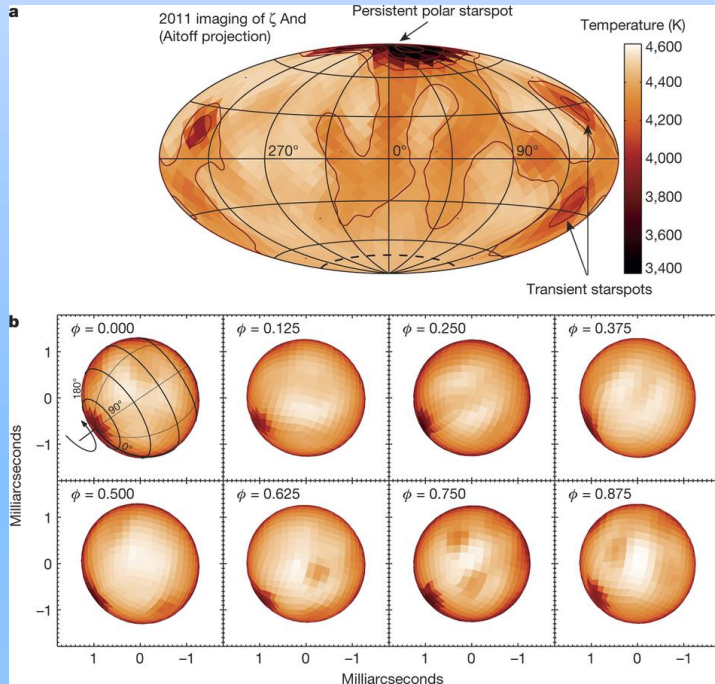
# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

- Zeeman Doppler Görüntüleme → spektropolarimetrik veriler → farklı Doppler kaymasına sahip Zeeman yarılmalarına uğramış çizgi profillerinin analizi → yıldız yüzeyindeki manyetik alan dağılımının belirlenmesi
- Atomik çizgilerde leke kaynaklı Zeeman yarılmaları oldukça düşük → LSD Tekniği → yüksek S/N



# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikler

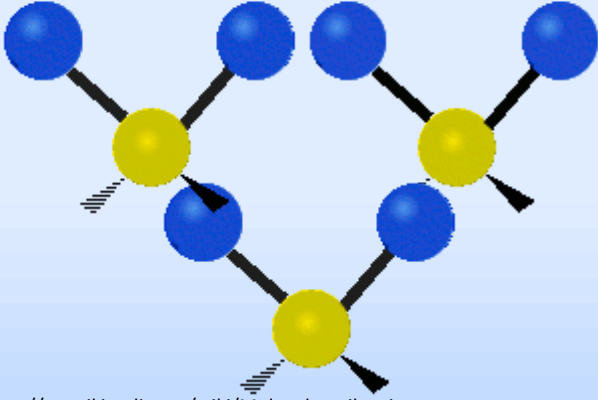
- Interferometri → güncel bir çalışma  
→ Roettenbacher vd. (2016)
- K1 tayf türünden RS Cvn türü  $\zeta$  And  
→ 1.5 – 1.8  $\mu\text{m}$  dalgaboyu aralığında yapılan gözlemleri
- “Kalıcı” bir kutup lekesi



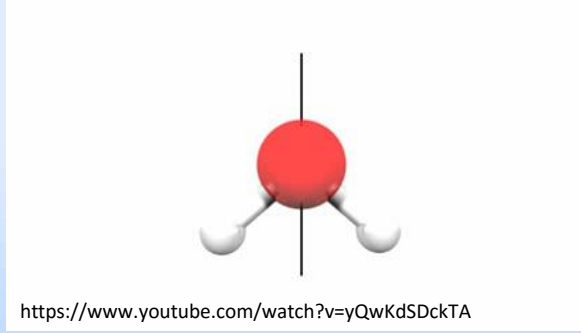


# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

- Moleküller → atmosfer sıcaklığı + bağlanma enerjisi

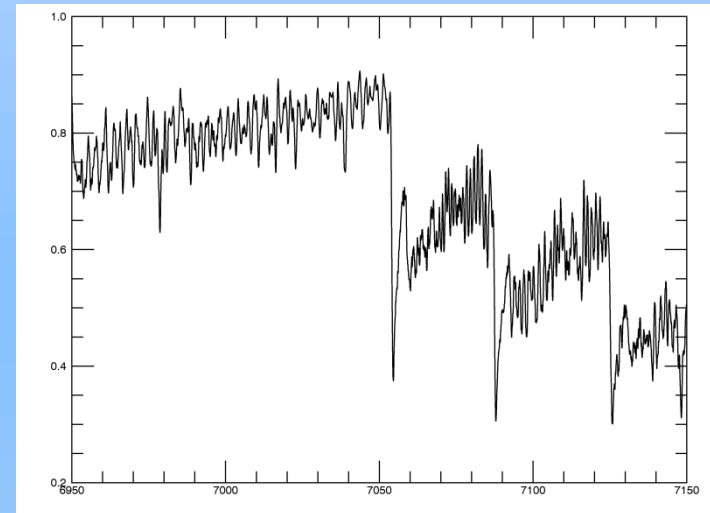
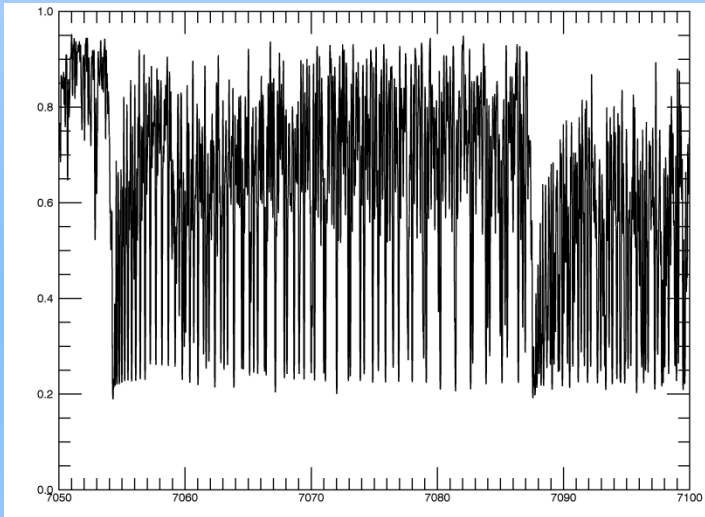
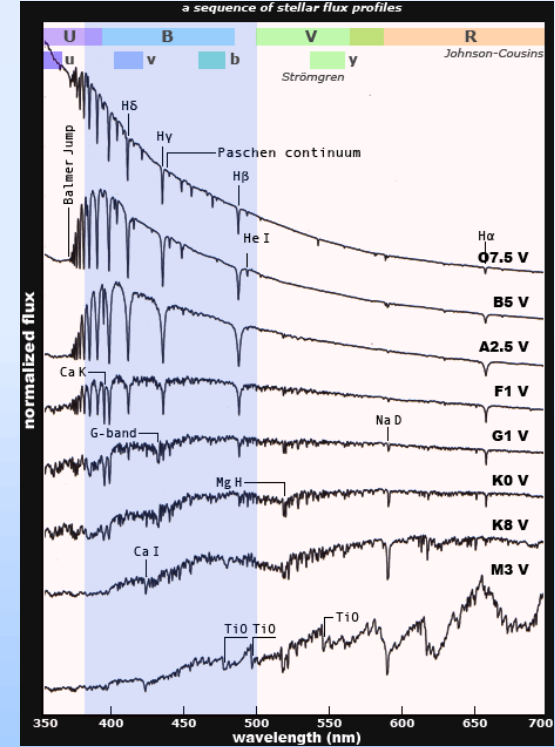


[https://en.wikipedia.org/wiki/Molecular\\_vibration](https://en.wikipedia.org/wiki/Molecular_vibration)



<https://www.youtube.com/watch?v=yQwKdSDckTA>

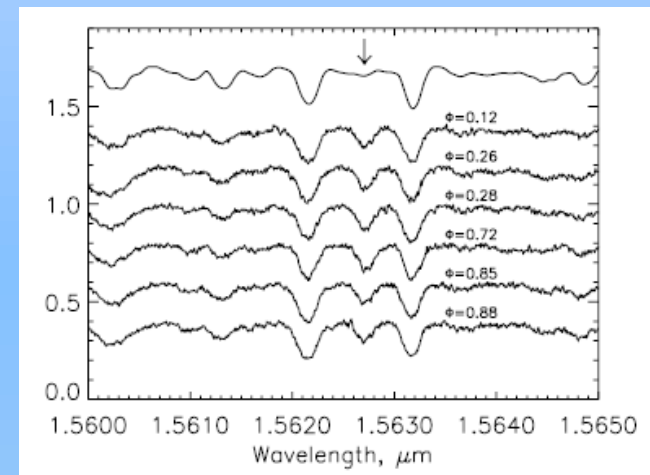
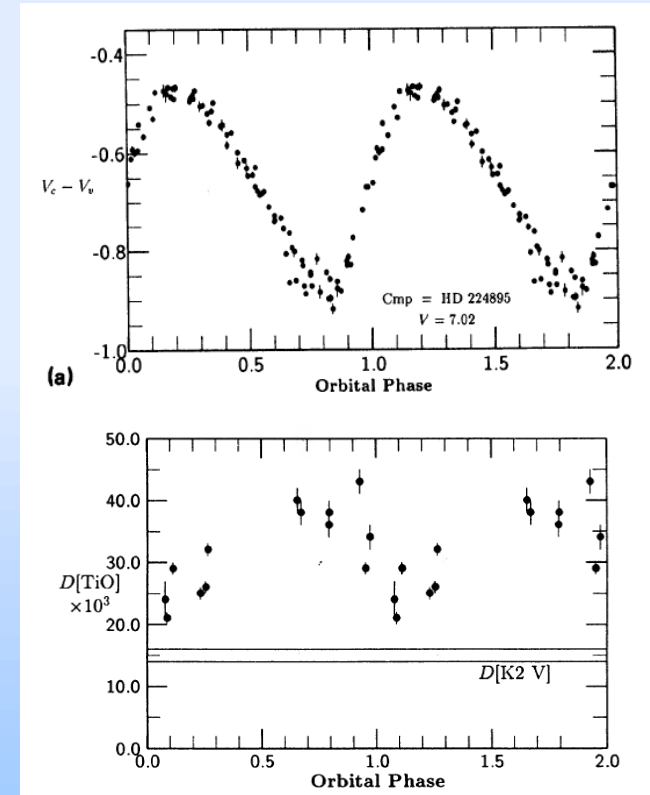
- Dönme + Titreşim → elektronik geçiş nedeniyle oluşan soğurma çizgisinin birbirinden farklı enerjilere sahip farklı çizgilere bölünmesi → Sınırlı tayfsal çözünürlük + dönme kaynaklı genişleme → Moleküler band yapıları



# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

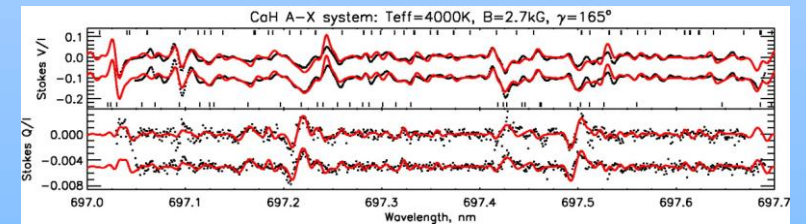
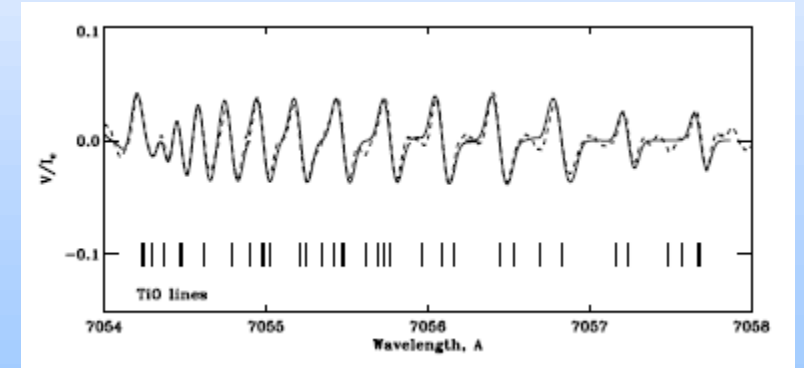
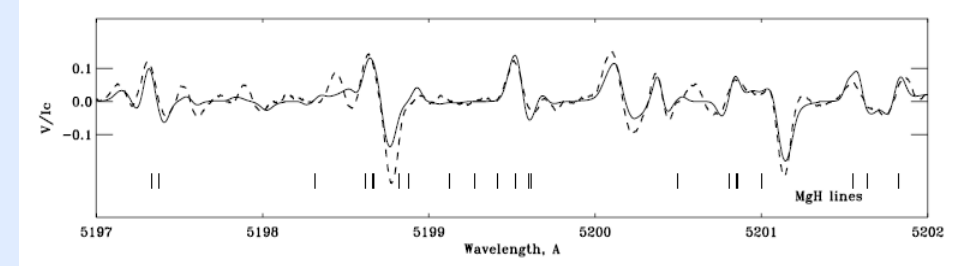
- Moleküler Band Analizi → Eğer yıldız fotosferinin etkin sıcaklığı yeterince yüksekse, tayfta görülen moleküler çizgiler sadece ve sadece soğuk lekelerin varlığının bir sonucudur.

Vogt (1979)	K2 tayf türünden II Peg (HD224085) → TiO ve VO şiddet ölçümleri → leke sıcaklığı ~ 3100 K (M6 tayf türü)
Huenemoerder vd. (1989)	TiO bandının evreye bağlı şiddet değişimi → fotometrik minimumda şiddeti en yüksek
Huenemoerder & Ramsey (1987)	aktif yıldızın 8860 Å'daki TiO bandını "sakin" fotosferi aktif olmadığı bilinen bir yıldızın tayfı, "lekeli" fotosferi ise örneğin M tayf türünden bir yıldızın tayfı ile sentezlenerek modellenmesi → lekelerin yüzeyde kapladığı alanların belirlenebilmesi
Neff vd. (1995) ve O'Neal vd. (1996)	8860 Å'daki TiO bandına ek olarak 7055 Å dalgaboyundaki TiO moleküler bandını da kullanarak lekelerin kapladığı alan (fs) ve sıcaklıklarına (Ts) ilişkin daha detaylı sonuçlar
O'Neal & Neff (1997) ve O'Neal vd. (2001)	1.5 µm'deki OH molekülü soğurmasının aktivite duyarlılığı → TiO molekülüne göre en büyük avantajı, TiO molekülünün 4000 K ve daha düşük sıcaklıklarda gözlenebilmesiyken OH molekülünün 5000 K ve daha düşük sıcaklıklarda gözlenebilmesidir.



# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

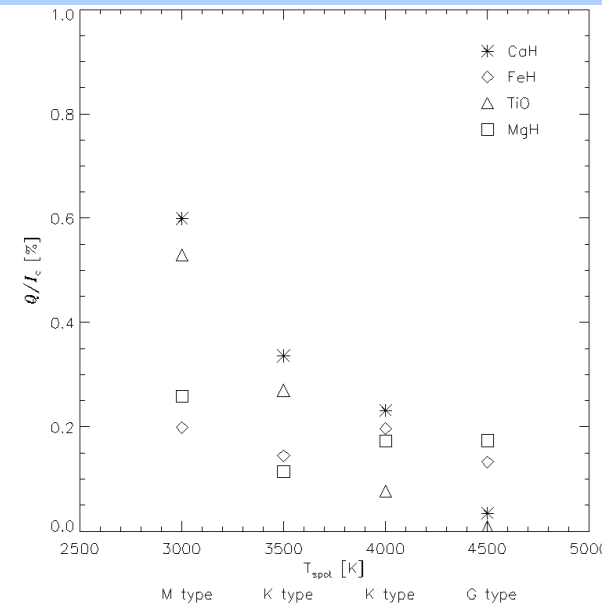
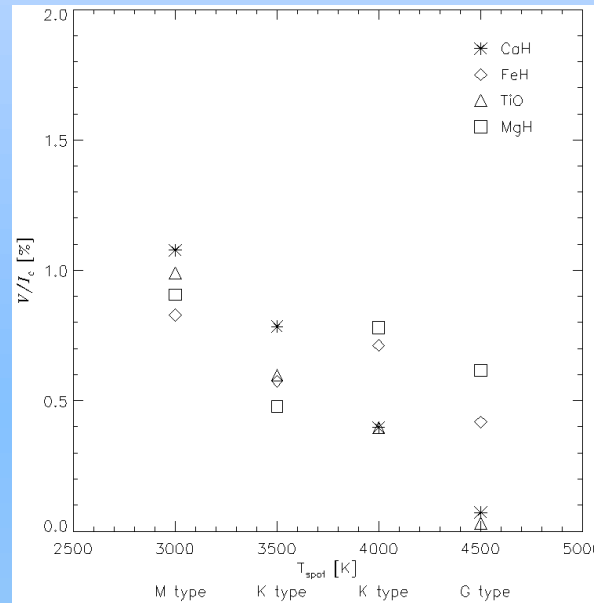
Berdyugina vd. (2000)	Güneş leke bölgelerinin spektropolarimetrik gözlemleri → MgH molekülünün manyetik aktiviteye duyarlılığı
Valenti & Johns-Krull (2001)	FeH molekülünün manyetik aktiviteye duyarlılığı
Berdyugina vd. (2002)	Güneş leke bölgelerinin spektropolarimetrik gözlemleri → 7055 Å'daki TiO çizgileriyle diğer tekniklerle ayırt edilemeyen lekelerin manyetik alan şiddetlerinin ölçümü
Berdyugina vd. (2006)	Güneş leke bölgelerinin spektropolarimetrik gözlemleri → CaH molekülünün manyetik aktiviteye duyarlılığı



# Gelişmeler... Gözlem ve Analiz Teknikleri

- Afram & Berdyugina (2015) → G-K-M cüce yıldızları lekenin kapladığı alan parametresinin %10 olduğu farklı leke sıcaklık ve alan parametreleri kullanarak ürettikleri sentetik profillerle, TiO, MgH, CaH ve FeH moleküllerinin aktivite duyarlılığını test eden detaylı bir çalışma → 4 molekülün farklı sıcaklıklarda farklı duyarlılıklara sahip!

Spectral type	$T_{\text{spot}}/T_{\text{spot}}$	Minimum residual intensity				Maximum Stokes $V/I_c$ [%]				Maximum Stokes $Q/I_c$ [%]			
		TiO	MgH	CaH	FeH	TiO	MgH	CaH	FeH	TiO	MgH	CaH	FeH
M	3500 K/2800 K	0.702	0.671	0.661	0.688	0.707	0.758	0.730	0.704	0.410	0.153	0.414	0.166
	3500 K/3000 K	0.705	0.667	0.660	0.692	0.988	1.016	1.078	0.829	0.529	0.218	0.599	0.199
	3800 K/3000 K	0.800	0.690	0.771	0.723	0.659	0.602	0.712	0.623	0.352	0.125	0.395	0.150
	4000 K/3000 K	0.866	0.701	0.830	0.741	0.498	0.404	0.535	0.513	0.266	0.084	0.297	0.123
	4000 K/3500 K	0.860	0.692	0.829	0.746	1.086	1.058	1.436	0.877	0.491	0.226	0.616	0.222
K	4200 K/3500 K	0.919	0.715	0.884	0.774	0.833	0.724	1.096	0.729	0.376	0.155	0.470	0.184
	4500 K/3500 K	0.970	0.806	0.957	0.871	0.600	0.461	0.784	0.576	0.270	0.100	0.336	0.145
	4500 K/3800 K	0.969	0.800	0.954	0.871	0.693	0.790	0.750	0.790	0.211	0.170	0.395	0.204
	4800 K/3800 K	0.981	0.912	0.978	0.946	0.534	0.560	0.575	0.651	0.162	0.121	0.303	0.168
	4800 K/4000 K	0.984	0.906	0.978	0.945	0.461	0.816	0.464	0.798	0.090	0.170	0.268	0.221
	5000 K/3800 K	0.984	0.954	0.983	0.969	0.459	0.458	0.492	0.580	0.139	0.100	0.260	0.149
	5000 K/4000 K	0.987	0.948	0.983	0.968	0.397	0.670	0.398	0.712	0.077	0.140	0.231	0.197
5000 K/4200 K	0.992	0.941	0.985	0.967	0.248	0.912	0.283	0.804	0.040	0.176	0.168	0.237	
G	5500 K/3800 K	0.989	0.987	0.989	0.987	0.334	0.302	0.356	0.456	0.101	0.066	0.189	0.117
	5500 K/4200 K	0.994	0.978	0.990	0.985	0.182	0.608	0.206	0.634	0.030	0.118	0.123	0.187
	5500 K/4500 K	0.999	0.977	0.996	0.989	0.035	0.580	0.085	0.471	0.010	0.182	0.041	0.149
	5800 K/3800 K	0.990	0.992	0.991	0.989	0.285	0.245	0.302	0.403	0.086	0.054	0.161	0.104
	5800 K/4200 K	0.995	0.984	0.991	0.987	0.156	0.494	0.175	0.562	0.026	0.096	0.105	0.166
	5800 K/4500 K	0.999	0.983	0.997	0.992	0.030	0.473	0.073	0.419	0.009	0.148	0.034	0.133
	6000 K/3800 K	0.991	0.993	0.991	0.990	0.258	0.215	0.273	0.374	0.077	0.048	0.145	0.096
	6000 K/4200 K	0.995	0.986	0.992	0.989	0.141	0.435	0.159	0.522	0.023	0.085	0.095	0.154
6000 K/4500 K	0.999	0.986	0.997	0.992	0.028	0.418	0.067	0.389	0.008	0.130	0.031	0.123	
6000 K/4800 K	1.000	0.992	0.999	0.997	0.003	0.208	0.017	0.174	0.002	0.081	0.008	0.057	

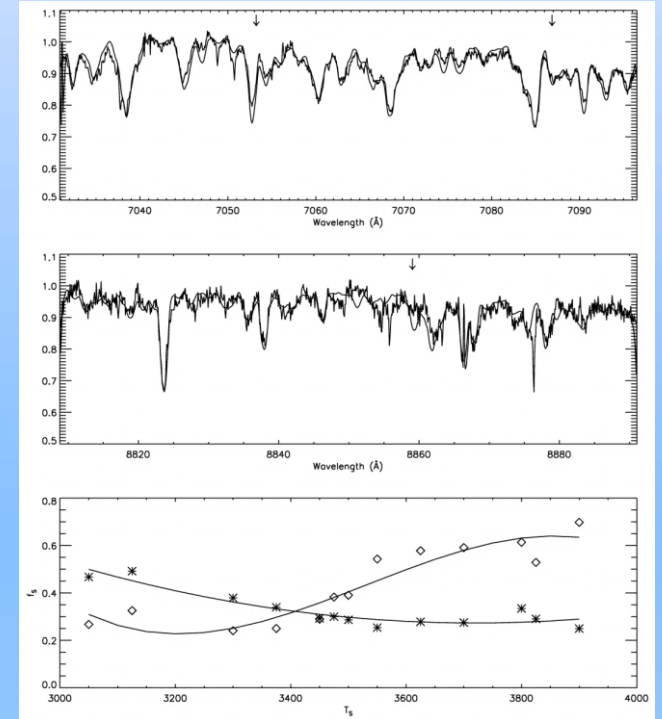




# TiO Bandı Analizi

- Huenemoerder & Ramsey (1987) tarafından ortaya atılan ve daha sonra Neff vd. (1995) ile O'Neal vd. (1996) tarafından geliştirilen teknik, 7055 Å ve 8860 Å bölgelerindeki TiO moleküler bandlarının derinliğinin eş zamanlı olarak modellenmesiyle leklerin kapladığı alan ( $f_s$ ) ve leke sıcaklığı ( $T_s$ ) parametrelerinin belirlenmesine dayanmaktadır.
- Aktif olmadığı bilinen G ve K türü yıldızların gözlemsel tayfı → lekesiz (sakin) fotosfer
- M türü yıldızların gözlemsel tayfı → leke

• Gözlemler → McDonald  
Gözlemevi 2.1m Otto Struve  
Teleskobu + Sandiford Eşel  
Tayfçekeri



# TiO Bandı Analizi

- XX Tri: Strassmeier (1999) →  $T_s=3450$  K,  $f_s=\%11$

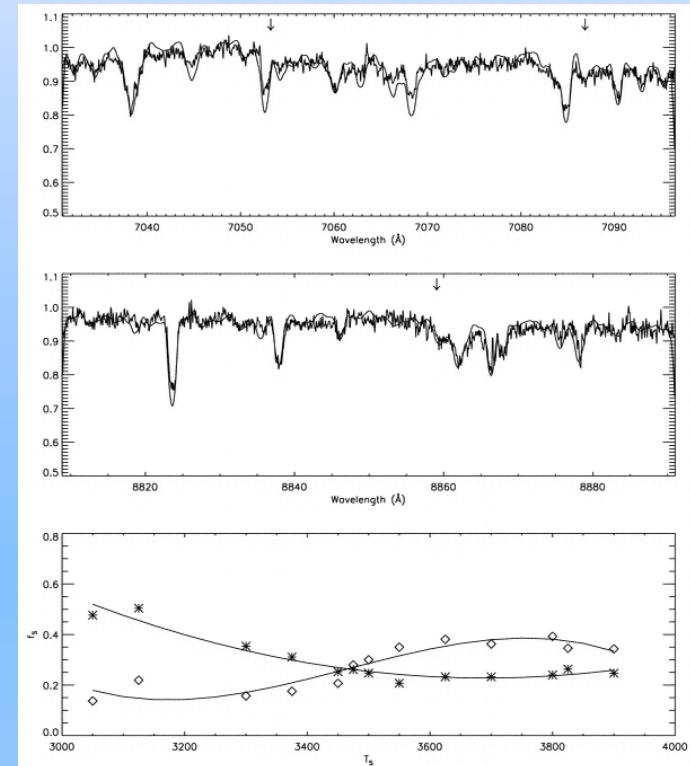
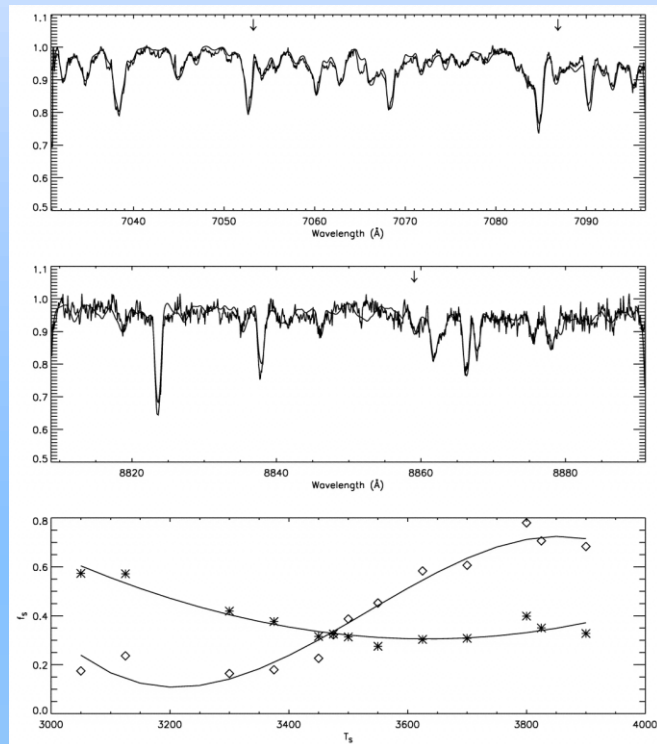
O'Neal vd. (2004) →  $T_s=3425$  K,  $f_s=\%31 - 35$

- DM UMa: Hatzes vd. (1995) →  $T_s=3300$  K, Kimble vd. (1981) →  $f_s=\%16 - 33$

O'Neal vd. (2004) →  $T_s=3475$  K,  $f_s=\%28 - 42$

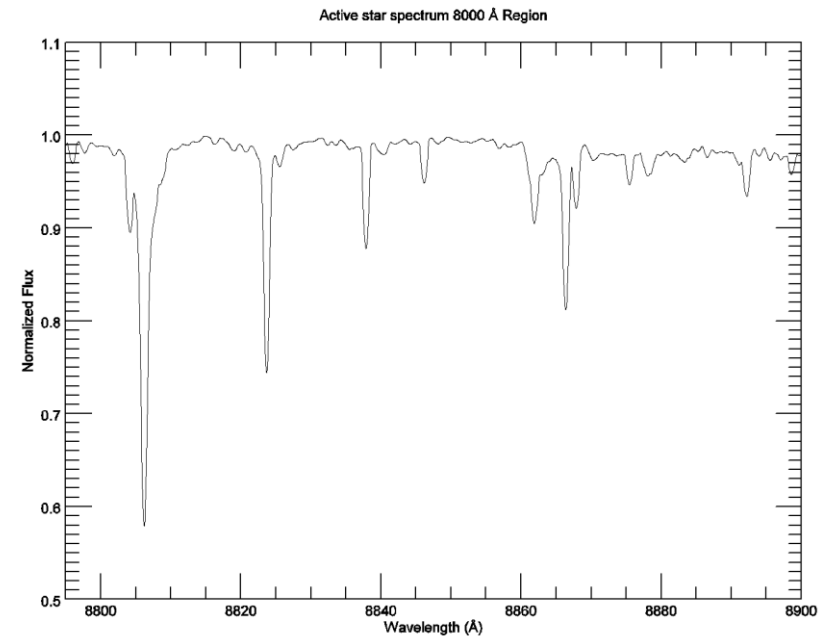
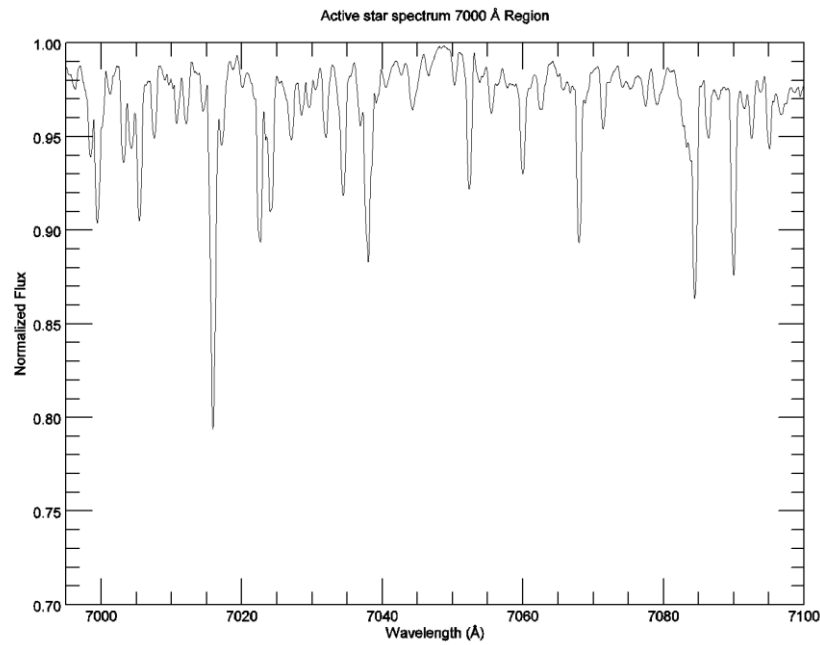
- HU Vir: Strassmeier (1994) →  $T_s=3500 - 4000$  K,  $f_s=\%10$

O'Neal vd. (1998) →  $T_s=3440$  K,  $f_s=\%44$



# TiO Bandı Analizi

- Aktif yıldız tayfı

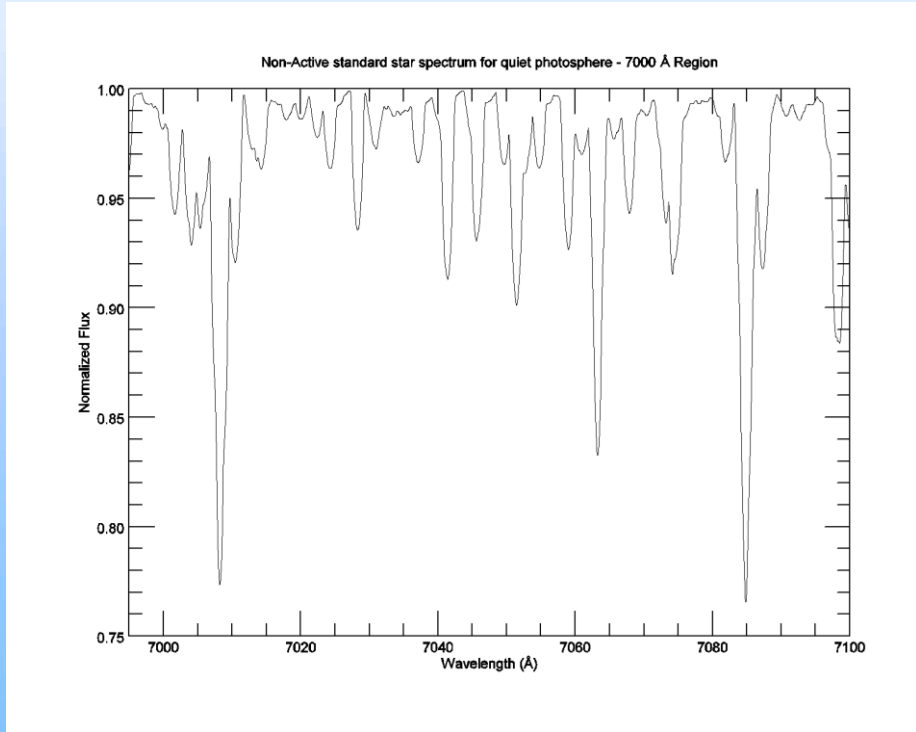


# TiO Bandı Analizi

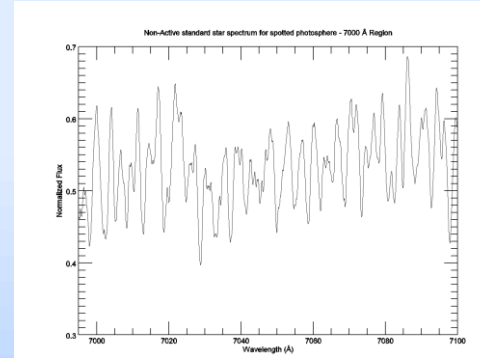
- Farklı tayf türü ve ışınım sınıflarından aktif olmadığı bilinen yıldız tayfları

Sakin Fotosfer  
(G-K Türü)

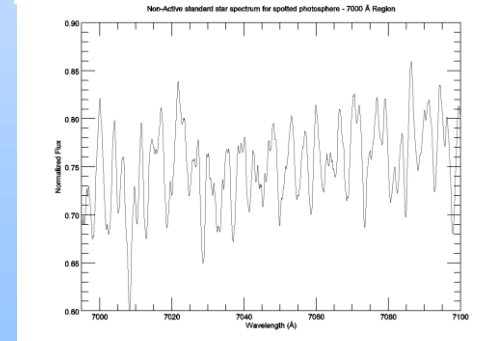
Lekli Fotosfer  
(M Türü)



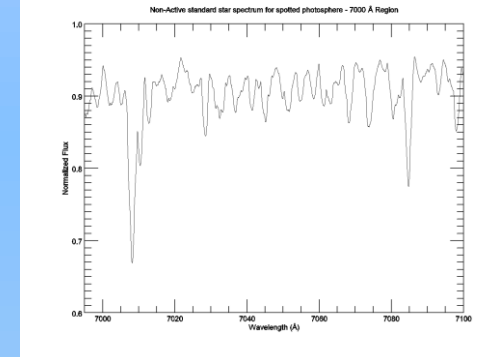
$T_{\text{eff}}=5300$



$T_{\text{eff}}=3100$



$T_{\text{eff}}=3500$



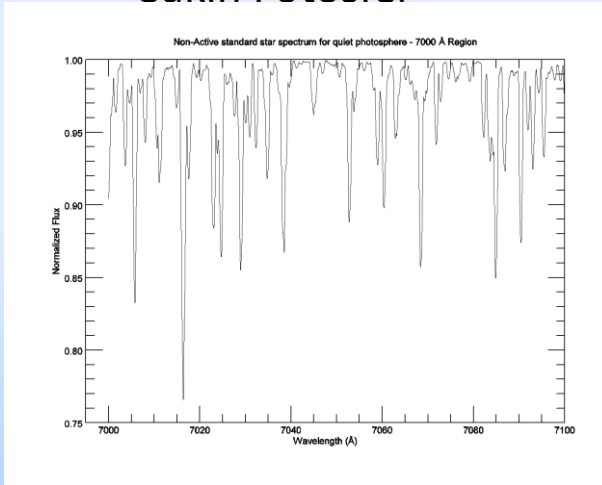
$T_{\text{eff}}=3900$



# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

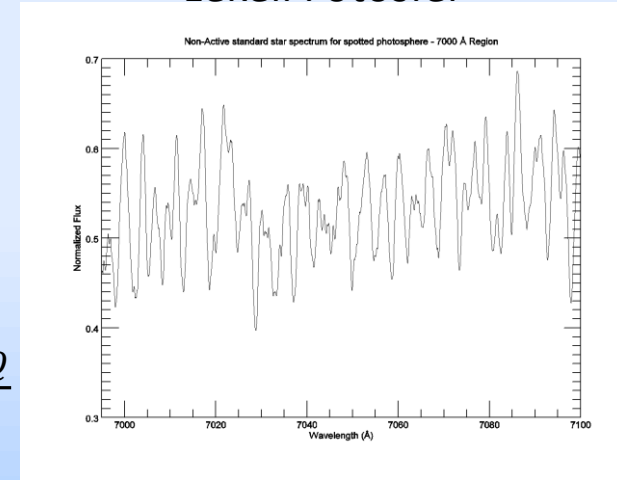
Sakin Fotosfer



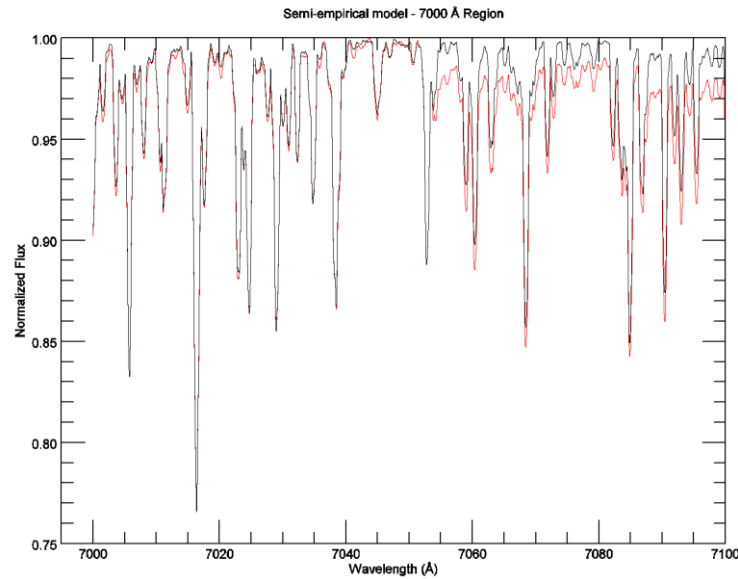
+

$$F_{tot} = \frac{f_s R_\lambda F_s + (1 - f_s) F_Q}{f_s R_\lambda + (1 - f_s)}$$

Lekli Fotosfer



=



# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

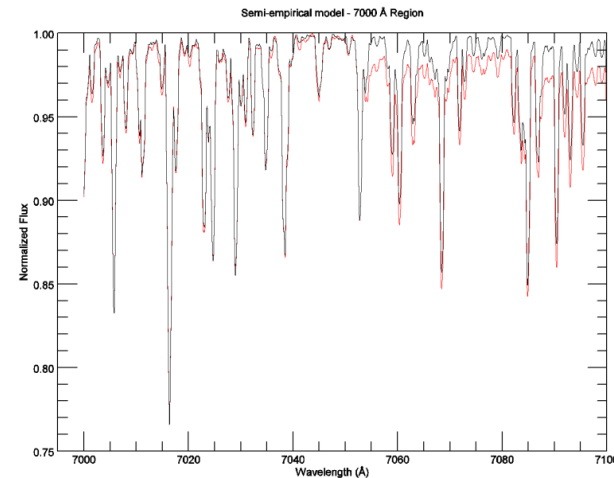
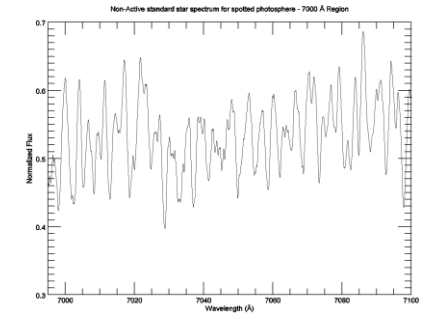
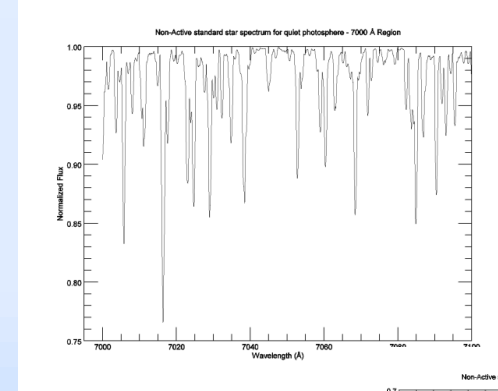
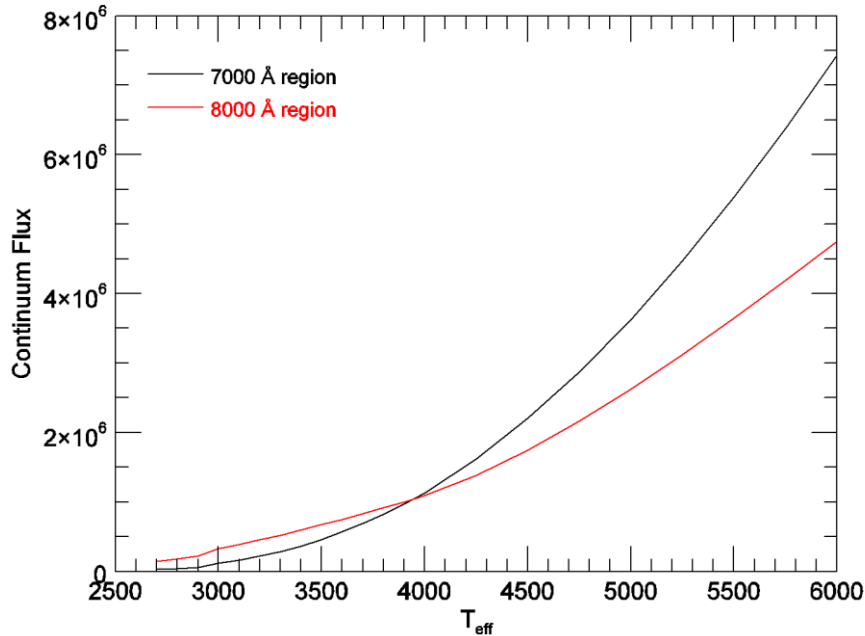
$F_S \rightarrow$  Yıldızın lekeli fotosfer modeli için kullanılan tayf

$F_Q \rightarrow$  Yıldızın sakin fotosfer modeli için kullanılan tayf

$f_s \rightarrow$  lekelerin kapladığı alan (spot filling factor)

$R_\lambda \rightarrow$  Kullanılan tayfların süreklilik akı oranı

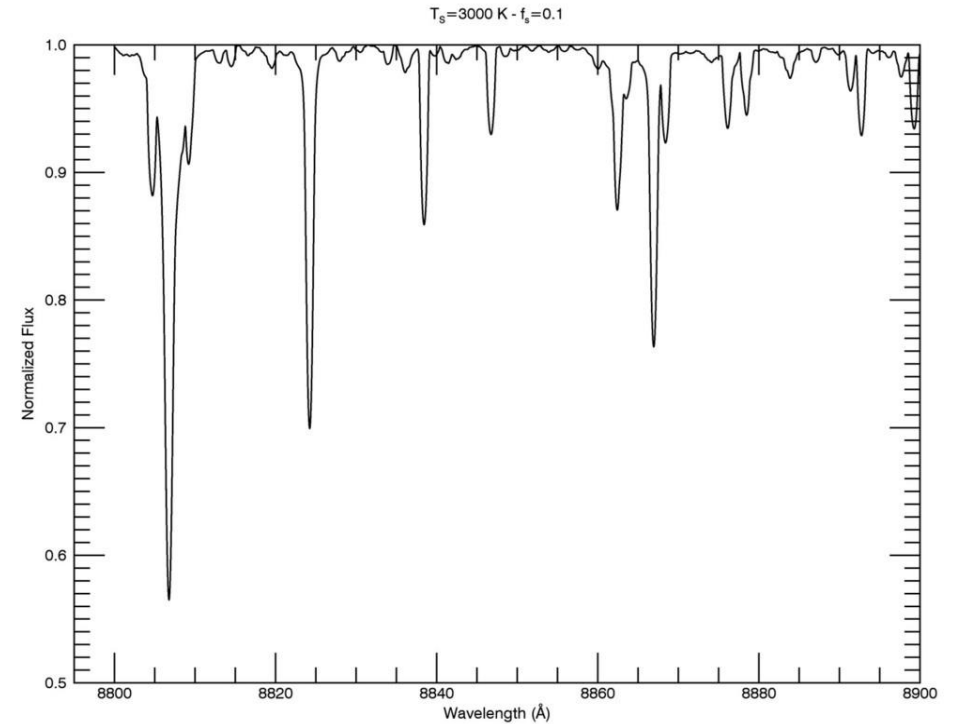
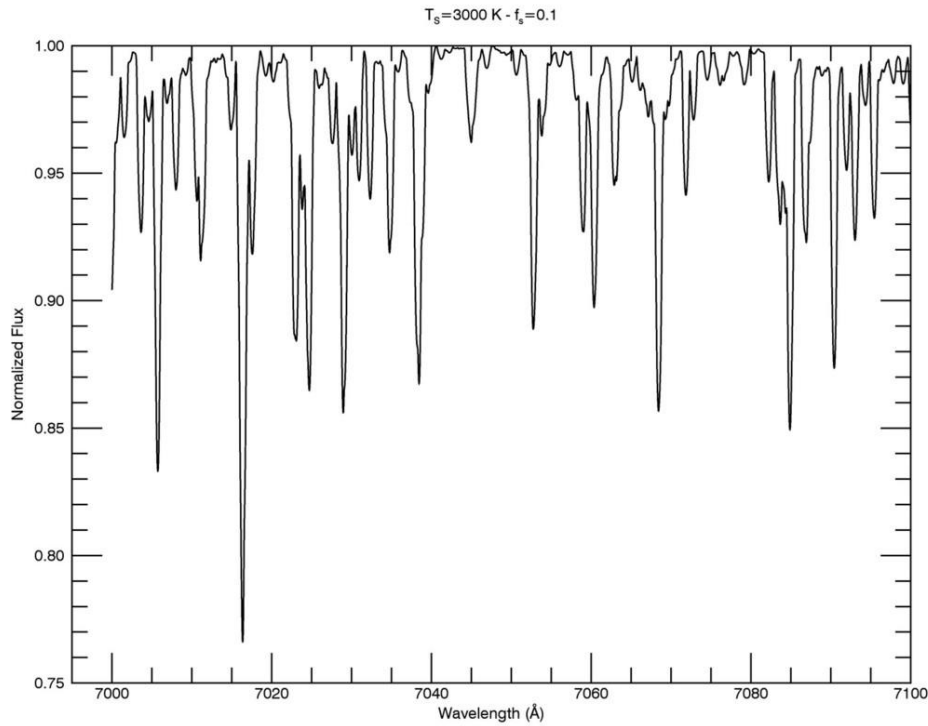
$$F_{tot} = \frac{f_s R_\lambda F_S + (1 - f_s) F_Q}{f_s R_\lambda + (1 - f_s)}$$



# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

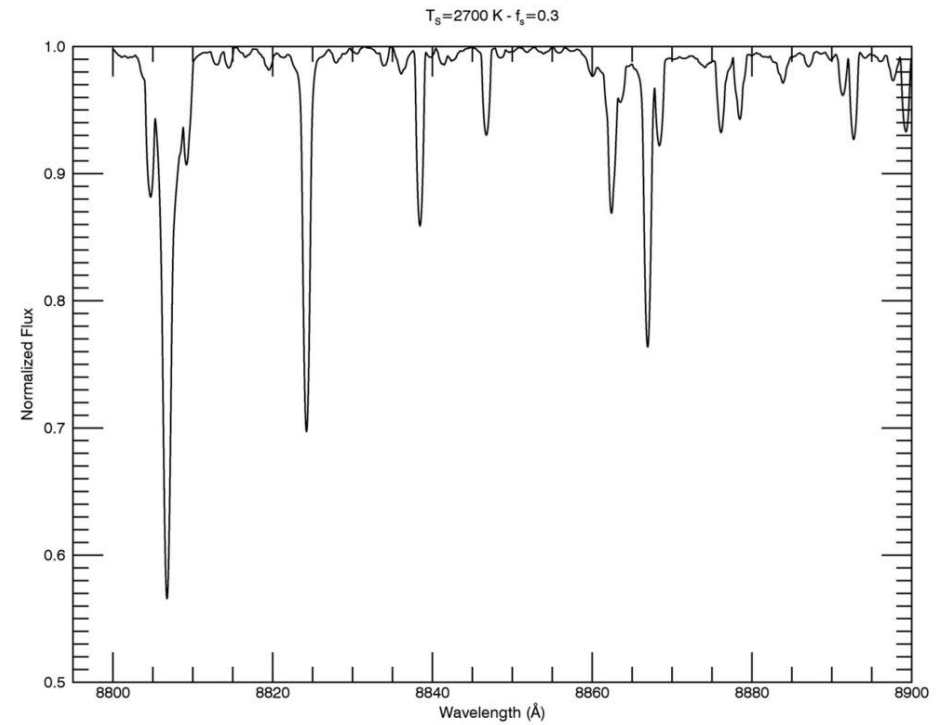
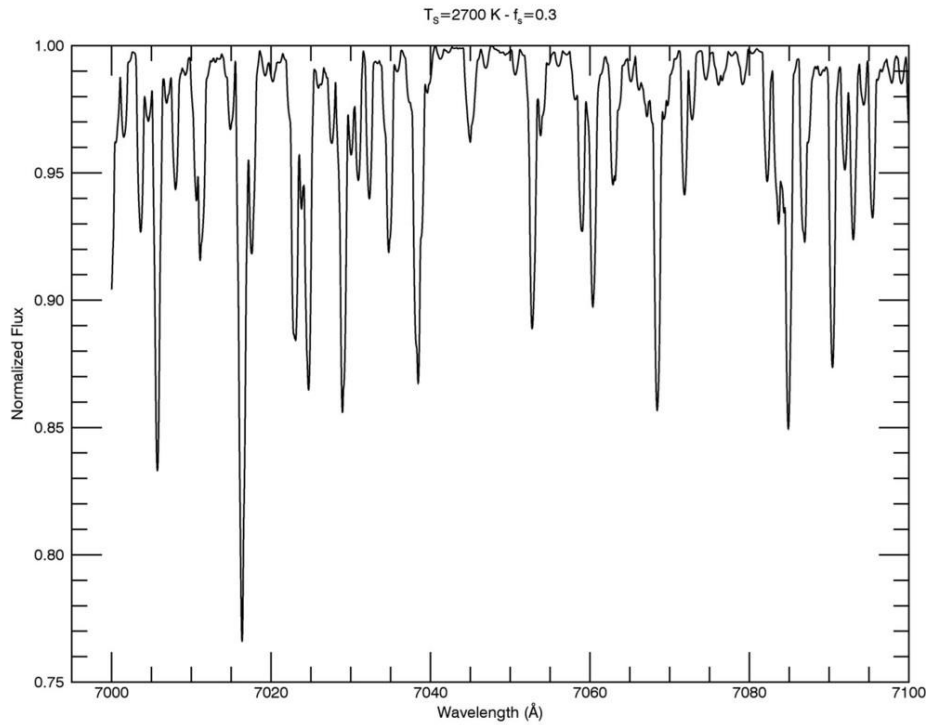
TiO molekülünün lekelerin kapladığı alan ( $f_s$ ) parametresine göre değişimi



# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

TiO molekülünün leke sıcaklığı ( $T_s$ ) parametresine göre değişimi





# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

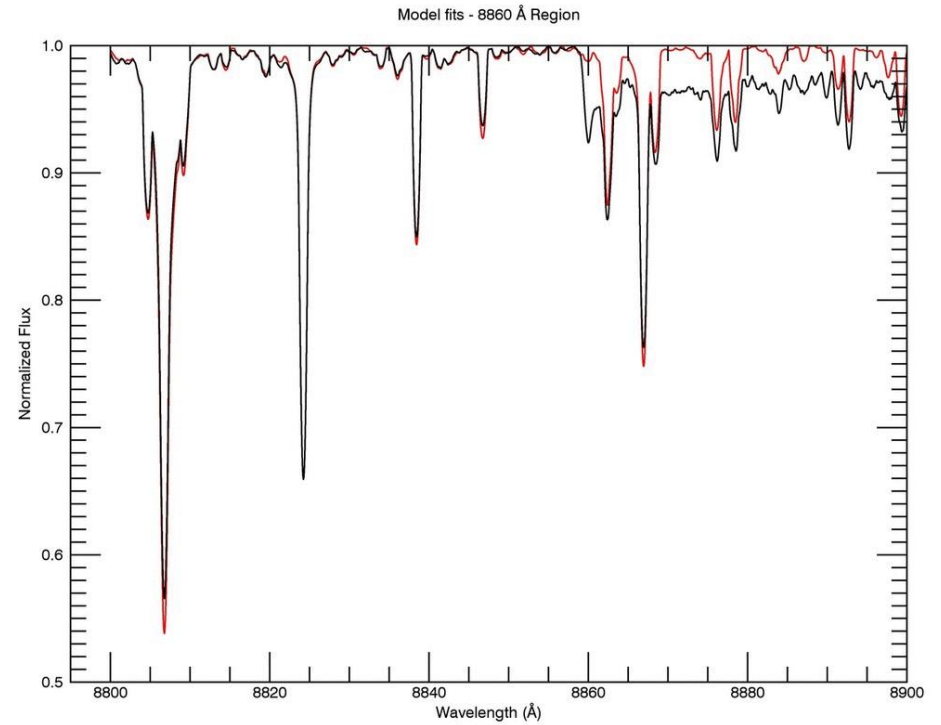
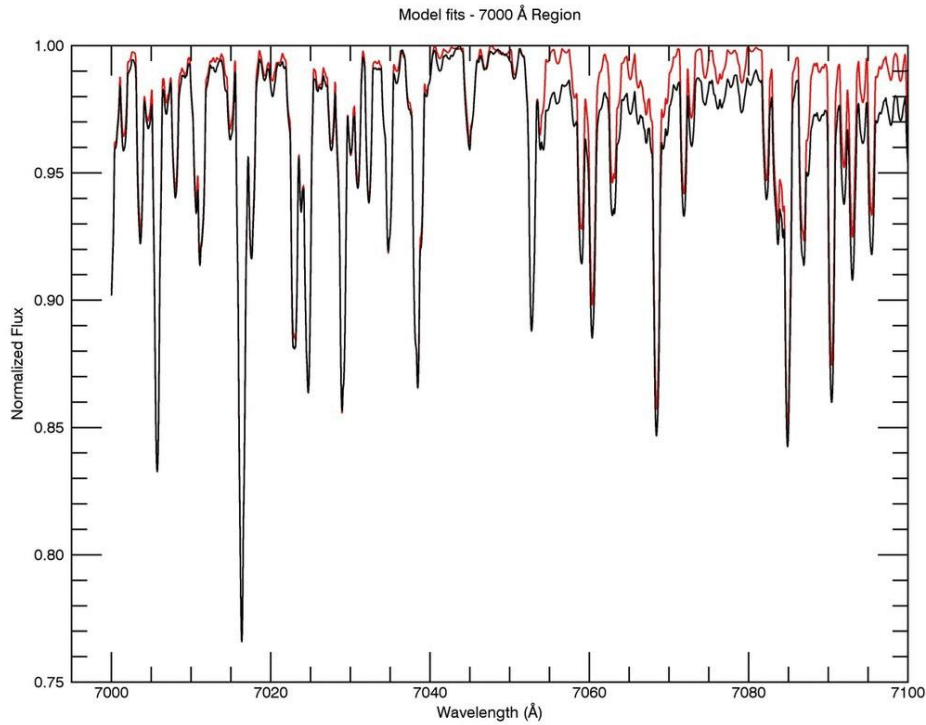
Amaç: Her  $T_s$  leke sıcaklığı için gözlemsel tayfla en iyi uyum gösteren  $f_s$  değerini elde etmek.

$$F_{tot} = \frac{f_s R_\lambda F_S + (1 - f_s) F_Q}{f_s R_\lambda + (1 - f_s)}$$

$F_s (T_s) \rightarrow$  Yıldızın lekeli fotosfer modeli için kullanılan tayf  $\rightarrow$

Serbest Parametre

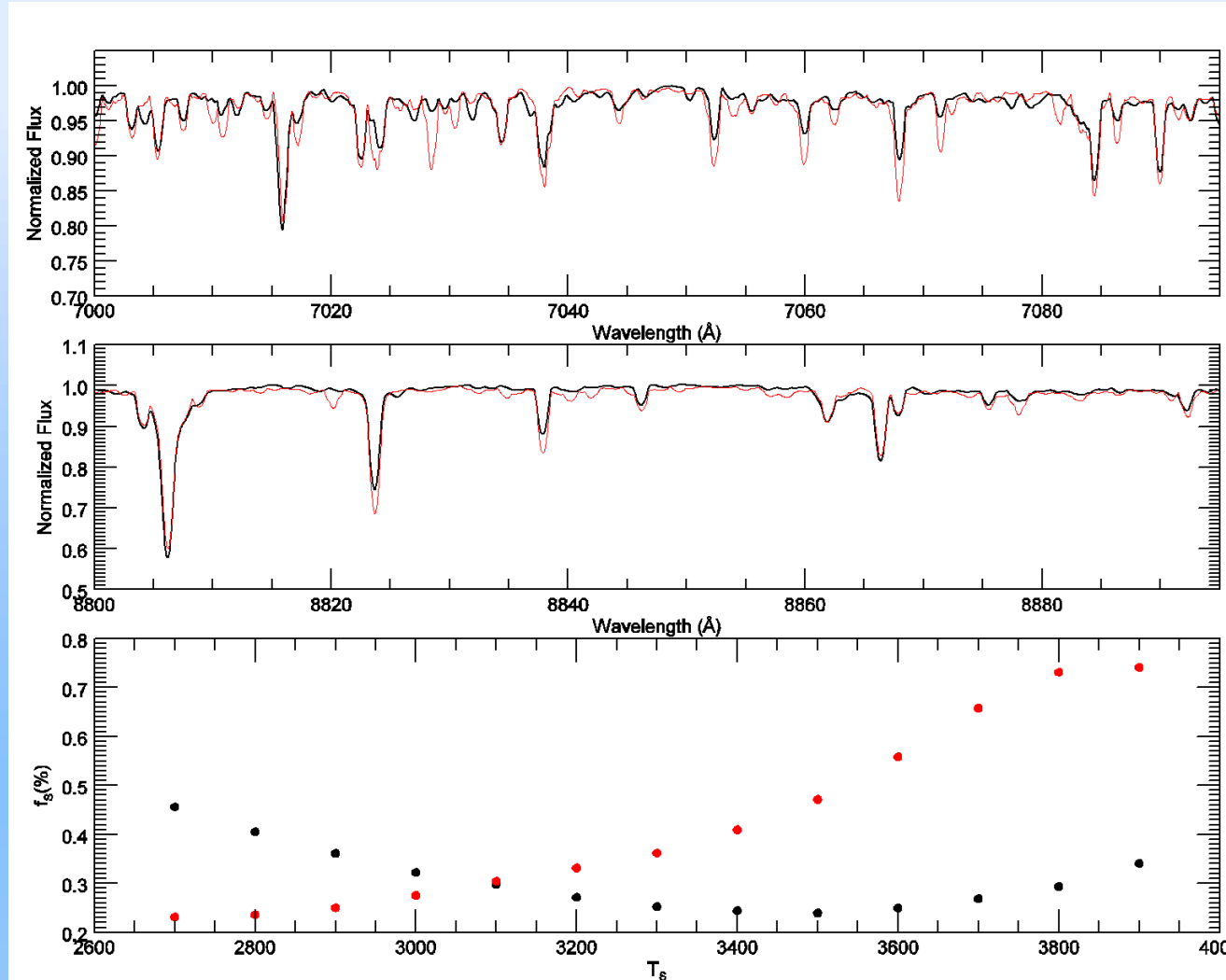
$f_s \rightarrow$  lekelerin kapladığı alan (spot filling factor)  $\rightarrow$  Serbest Parametre



# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

En küçük kareler yöntemi kullanılarak her  $T_s$  leke sıcaklığı için gözlemsel tayfla en iyi uyum gösteren  $f_s$  değerinin elde edilmesi.



# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

Yakın zamana kadar teknikte kullanılan standart yıldızlar → “gerçek” yıldızlar

Gerçek yıldızların model olarak kullanılması → gözlemsel / fiziksel parametrelere ilişkin hatalar



TABLE 3  
PROPERTIES OF COMPARISON STARS

Name	HD	HR	Sp. Type	$V$	$(B-V)$	$(R-I)$	$(V-K)$	$T_{\text{eff}}$
Subgiant and Giant Comparison Stars								
1 Gem .....	41116	2134	G5 III	4.2	0.82	0.45	2.02	5175
BD +34°1524.....	53329	2660	G8 IV	5.6	0.91	...	...	5050
10 LMi.....	82635	3800	G8 III	4.6	0.92	0.46	...	5025
$\epsilon$ Vir.....	113226	4932	G8 III	2.8	0.94	0.45	2.04	5025
$\kappa$ Gem.....	62345	2985	G8 III	3.6	0.93	0.45	2.11	5000
BD +04°4434.....	194013	7794	G8 III-IV	5.3	0.97	0.50	...	4900
$\delta$ Aur.....	40035	2077	K0 III	3.7	0.99	0.51	2.26	4850
$\kappa$ CrB.....	142091	5901	K1 IV	4.8	1.00	0.49	...	4850
BD -20°2936.....	82734	3808	K0 IV	5.0	1.02	...	2.27	4825
$\delta$ Ari.....	19787	951	K2 III	4.4	1.03	0.51	2.29	4800
$\sigma$ Col.....	34642	1743	K0 IV	4.8	1.00	0.55	2.36	4800
$\beta$ Lac.....	212496	8538	G8.5 III	4.4	1.01	0.57	2.37	4775
$\gamma$ Cep.....	222404	8974	K1 IV	3.2	1.03	0.51	2.29	4775
52 Cyg.....	197912	7942	G9.5 III	4.2	1.06	0.53	2.33	4750
$\gamma^2$ Del.....	197964	7948	K1 IV	4.3	1.04	0.48	2.45	4700
$\theta$ Cet.....	8512	402	K0 III	3.6	1.06	0.56	2.41	4700
$\delta$ Cnc.....	74442	3461	K0 III	3.9	1.08	0.54	2.43	4675
$\chi$ Gem.....	66216	3149	K2 III	4.9	1.12	...	...	4600
58 Leo.....	95345	4291	K1 III	4.9	1.16	0.56	...	4525
$\kappa$ Lyr.....	168775	6872	K2 IV	4.3	1.17	0.55	2.60	4500
$\sigma$ Hya.....	73471	3418	K1 III	4.4	1.21	0.56	2.64	4450
$\kappa$ Leo.....	81146	3731	K2 III	4.5	1.23	0.63	2.78	4375
$\rho$ Boo.....	127665	5429	K3 III	3.6	1.30	0.65	2.93	4275
$\nu$ UMa.....	98262	4377	K3 III	3.5	1.40	0.70	3.18	4125
$\beta$ Cnc.....	69267	3249	K4 III	3.5	1.48	0.78	3.40	4025
$\alpha$ Lyn.....	80493	3705	K7 III	3.2	1.55	0.90	3.74	3900
68 Vir.....	116870	5064	K5 III	5.3	1.52	0.87	3.68	3875
$\mu$ UMa.....	89758	4069	M0 III	3.1	1.59	0.96	3.93	3825
$\kappa$ Ser.....	141477	5879	M0.5 III	4.1	1.62	0.98	4.06	3800
2 Peg.....	204724	8225	M1 III	4.6	1.62	1.09	...	3800
DU Lyn.....	62647	2999	M3 III	5.2	1.58	...	4.29	3700
82 Vir.....	119149	5150	M1.5 III	5.0	1.63	1.16	4.36	3705
$\beta$ Peg.....	217906	8775	M2.5 III	2.4	1.67	1.32	4.66	3625
$\delta$ Vir.....	112300	4910	M3 III	3.4	1.58	1.33	4.61	3625
54 Eri.....	29755	1496	M3 III	4.4	1.61	1.38	4.70	3600
$\mu$ Gem.....	44478	2286	M3-4 III	2.9	1.64	1.38	4.74	3600
$\tau^4$ Eri.....	20720	1003	M3-4 III	3.7	1.62	1.46	4.87	3575
TV Psc.....	2411	103	M3 III	5.1	1.65	1.54	5.19	3550
BY Boo.....	123657	5299	M4.5 III	5.3	1.59	1.66	5.62	3500
$\phi$ Lyr.....	175588	7139	M4 III	4.3	1.68	1.63	5.63	3500
FS Com.....	113866	4949	M5 III	5.6	1.59	1.81	5.85	3475
R Lyr.....	175865	7157	M5 III	4.2	1.59	1.91	6.12	3450
VY Leo.....	94750	4267	M5.5 III	5.8	1.45	2.09	6.50	3375
RZ Ari.....	18191	867	M6 III	5.9	1.47	2.17	6.98	3300
S Lep.....	41698	2156	M6 III	6.8	1.63	2.37	7.30	3125
R Hya.....	117287	5080	M7 III	6.4	1.60	2.42	7.60	3050
Dwarf Comparison Stars								
Sun .....	...	...	G2 V	...	0.65	...	...	5800
$\kappa$ Cet.....	20630	996	G5 V	4.8	0.68	0.36	...	5600
61 UMa.....	101501	4496	G8 V	5.3	0.74	0.36	1.74	5550
70 Vir.....	117176	5072	G4 V	5.0	0.71	0.39	1.74	5550
$\sigma^2$ Eri.....	26965	1325	K1 V	4.4	0.82	0.45	2.03	5175
BD +21°1528.....	54563	2692	G9 V	6.9	0.89	...	...	5100
$\epsilon$ Eri.....	22049	1084	K2 V	3.7	0.88	0.47	2.03	5050
$\gamma$ Lep B.....	38392	1982	K2 V	6.2	0.94	...	...	4950
GI 105A.....	16160	753	K3 V	5.8	0.97	0.53	2.38	4775
BD -05°1123.....	32147	1614	K3 V	6.2	1.03	0.49	...	4750
GI 570A.....	131977	5568	K4 V	5.7	1.11	0.54	2.65	4575
61 Cyg A.....	201091	8085	K5 V	5.2	1.17	0.65	2.83	4325
61 Cyg B.....	201092	8086	K7 V	6.0	1.37	0.83	3.30	3850
GI 488.....	111631	...	M0 V	8.5	1.40	0.90	3.63	3700
GI 570B.....	131976	5568B	M1 V	8.1	1.50	1.18	4.15	3600

O'Neal vd. 2004

# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

Çözüm → Model Atmosferler

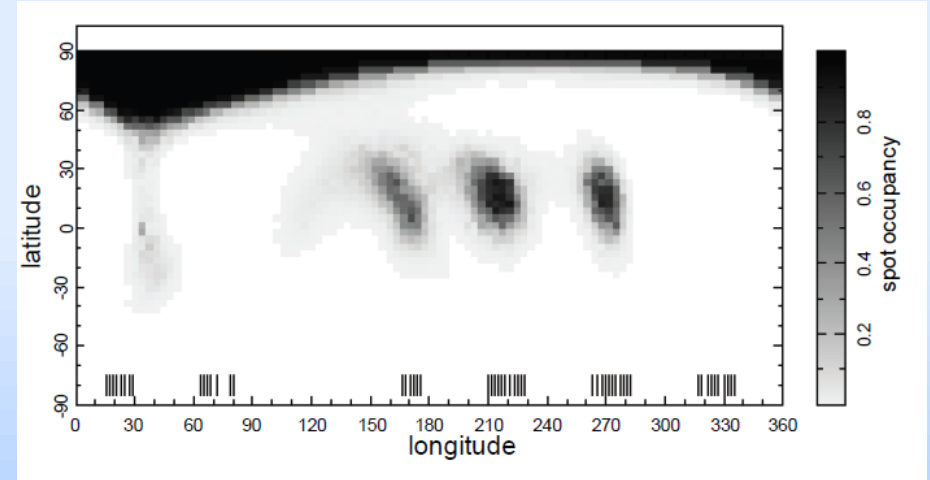
DoTS kodu + ATLAS9 Atmosfer Modeli → II Peg'in 54 zaman serisi yüksek çözünürlüklü tayfları → Eş zamanlı Doppler Görüntüleme + TiO bandı analizleri

Zorluk → ATLAS9'un düşük sıcaklıklarda çözüme yakınsayamaması

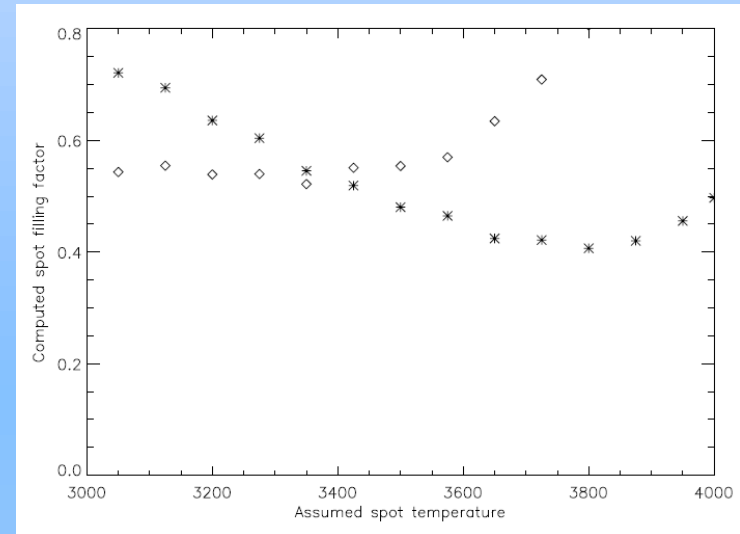
DI →  $f_s \sim \%6$

TiO →  $f_s \sim \%50 - 60$

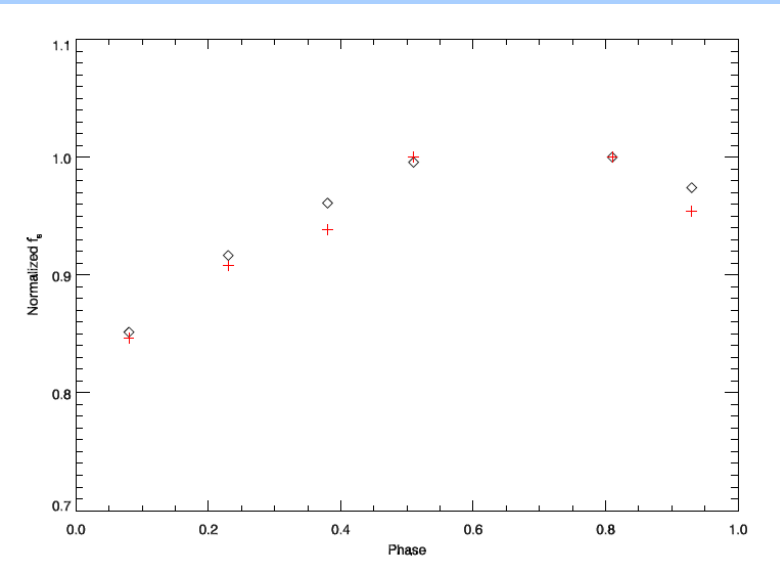
Her iki teknikten elde edilen  $f_s$  parametresinin evreye bağlı değişimi?



Şenavcı vd. 2014



Şenavcı vd. 2014



Şenavcı vd. 2014

# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

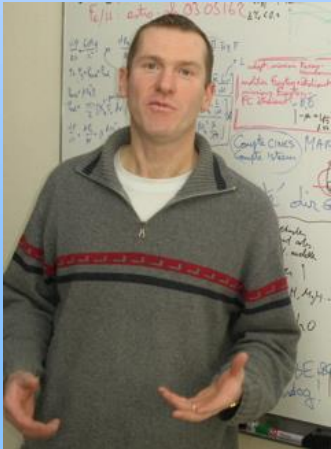
Düşük sıcaklıklara “duyarlı” atmosfer modelleri → PHOENIX ve MARCS → 2700 K sıcaklığa kadar elde edilebilen sentetik tayf → güncel TiO band çizgi listesi



Prof. Dr. France Allard  
(Lyon Üniversitesi)

PHOENIX ve MARCS atmosfer modellerini kullanan yeni bir IDL kodu:

- Aktif yıldızın ve sentetik tayfın normalizasyonu
- Aktif yıldızın dönme hızına göre model tayf çizgilerinin genişletilmesi
- Aktif yıldız tayf çizgilerinin Doppler kaymasına göre Çapraz – Korelasyon yöntemi ile sentetik tayflara hız düzeltmesi
- Levenberg – Marquardt algoritması kullanarak her  $T_s$  değerine karşılık en iyi  $f_s$  değerinin belirlenmesi



Prof. Dr. Bertrand Plez  
(Montpellier Üniversitesi)

```
IDL - /home/hvs/Desktop/MARCS_vrot/itomarsauto15df.pro - IDL
File Edit Source Project Macros Run Window Help
New Pro New Project Open Save Cut Copy Paste Undo Redo Back Forward
Compile Run Stop In Over Out SMAINS Call Stack Reset
Proj... Outl... Vari...
itomarsauto15df.pro
tquiet7 = tphotd1(nsno)
flux_q7=allphotd1_7(*,nsno)
;-----adjust vrot of model-----
wave7=stdwave7
c=300000
centwave7=(min(wave7) + max(wave7))/2
piksel7=findgen(n_elements(wave7))
disp7=poly_fit(piksel7, wave7, 1)
vrad7=(disp7(1)/centwave7)*c
lsf7=lsf_rotate(vrad7, vrot, velgrid=vel)
flux_qbr7=convol(flux_q7, lsf7, /center, /edge_truncate, /NORMALIZE)
ftotalzero7=flux_qbr7
obspec7=flux7
wavespec7=wav7
@:line norm_wave7,ftotalzero7,ftotalzero7,normal
;-----End of adjust vrot of model-----
IDL Console Command History Problems Current Directory: /root
IDL Version 8.5 (Linux x86_64 m64). (c) 2015, Exelis Visual Information Solutions, Inc., a subsidiary of Harris Corporation.
Installation number: 5500226-2.
Licensed for use by: Jeodigital
IDL>
```



# TiO Bandı Analizi

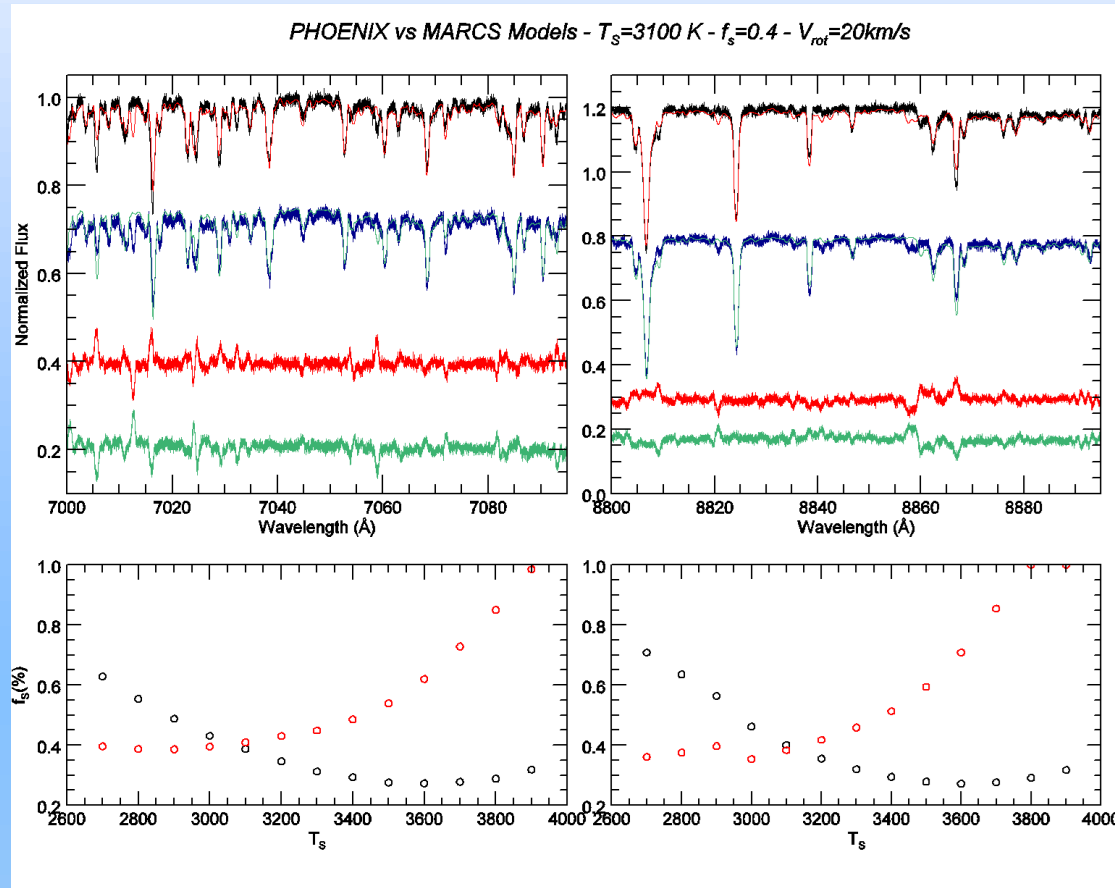
- Teknik...

Kod ve model atmosferlerin testi

1. MARCS ve PHOENIX uyumluluk testi  $\rightarrow T_q=5000\text{ K}$ ,  $T_s=3100\text{ K}$ ,  $f_s=0.4$

PHOENIX  $\rightarrow$  sentetik aktif yıldız tayfı + gürültü  $\rightarrow$  MARCS ile modelleme

MARCS  $\rightarrow$  sentetik aktif yıldız tayfı + gürültü  $\rightarrow$  PHOENIX ile modelleme

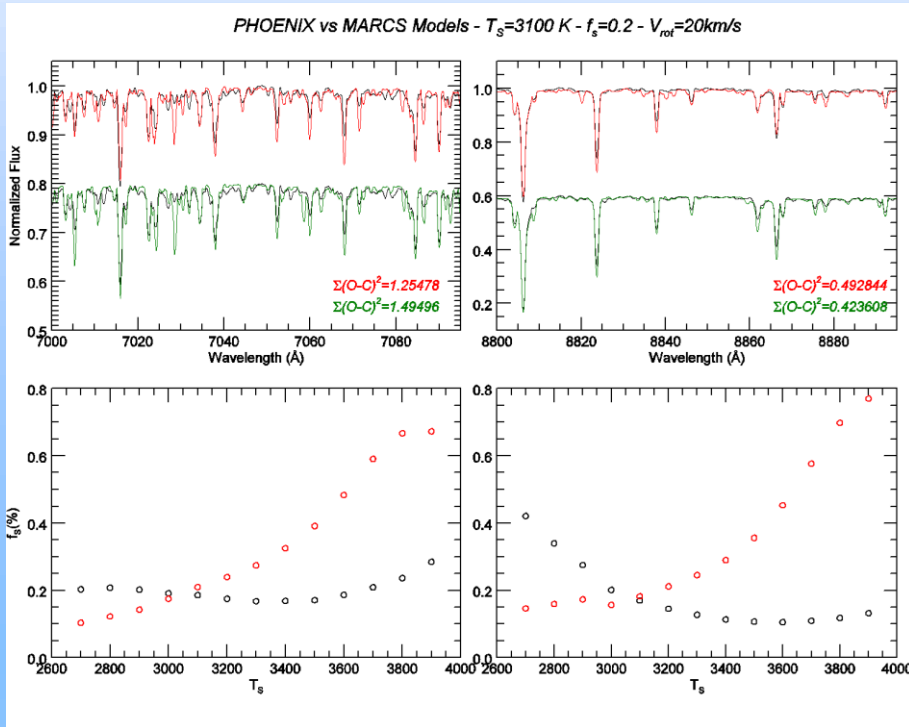


# TiO Bandı Analizi

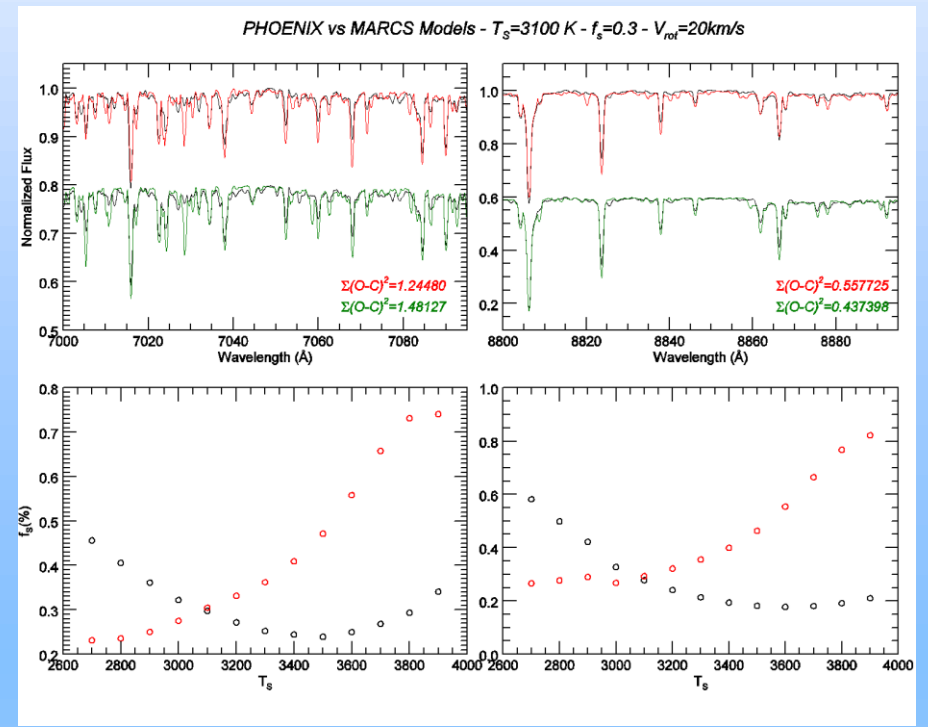
- Teknik...

Kod ve model atmosferlerin testi

2. HD100623 (K0V -  $T_{\text{eff}} = 5300$  K) ve HD34055 (M6V -  $T_{\text{eff}} = 3100$  K) UVES tayfları → farklı  $f_s$  (0.2 – 0.3 – 0.5) ve dönme hızı (20 – 30 km/sn) değerlerinde sentetik aktif yıldız tayfları



Şenavcı vd. 2016

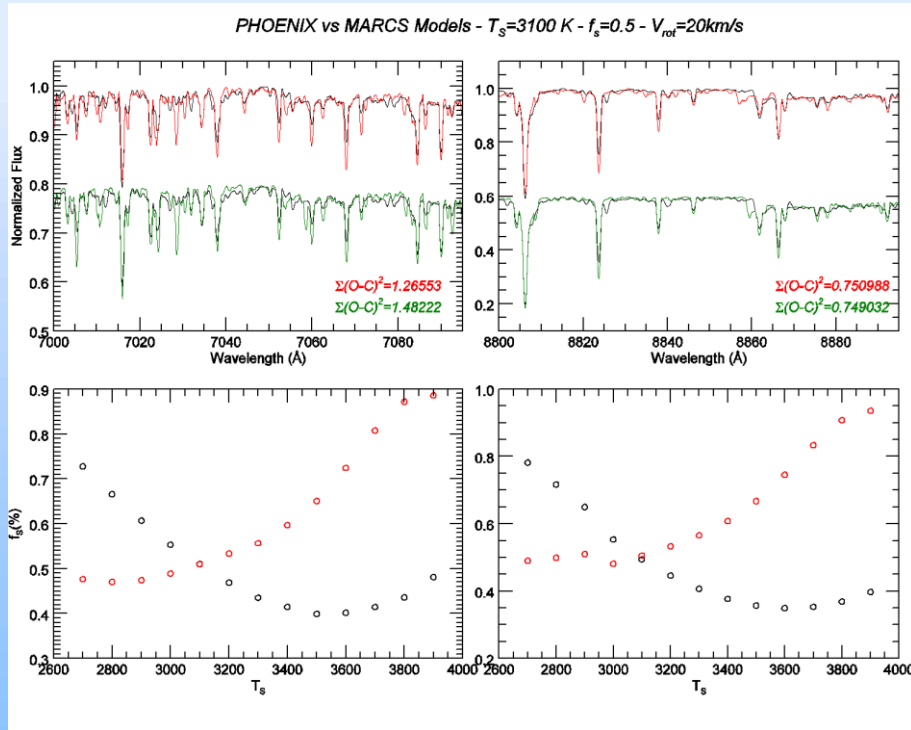


Şenavcı vd. 2016

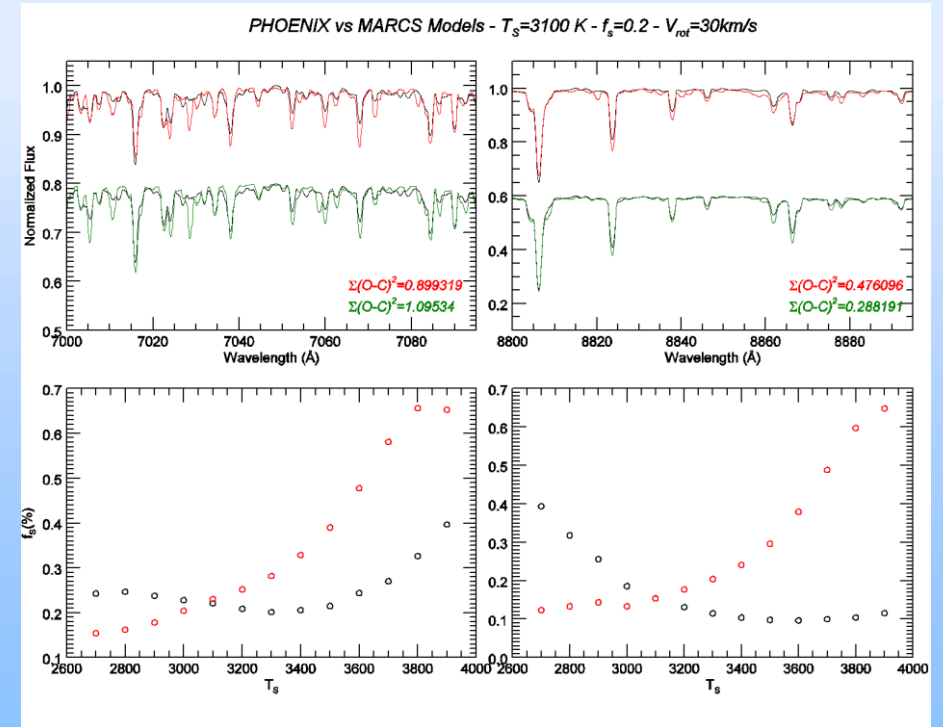
# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

Kod ve model atmosferlerin testi



Şenavcı vd. 2016

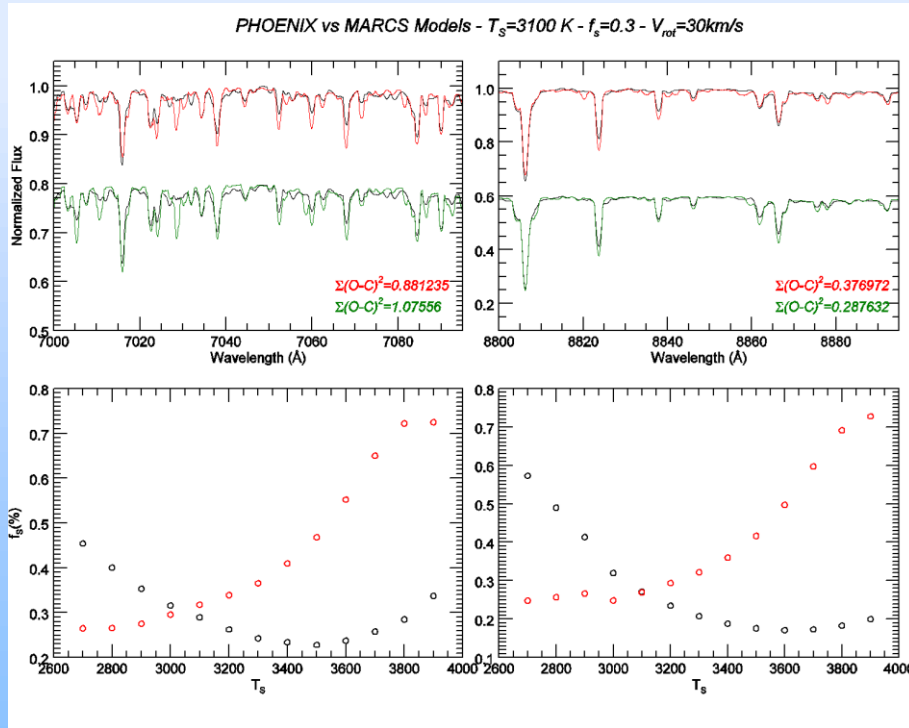


Şenavcı vd. 2016

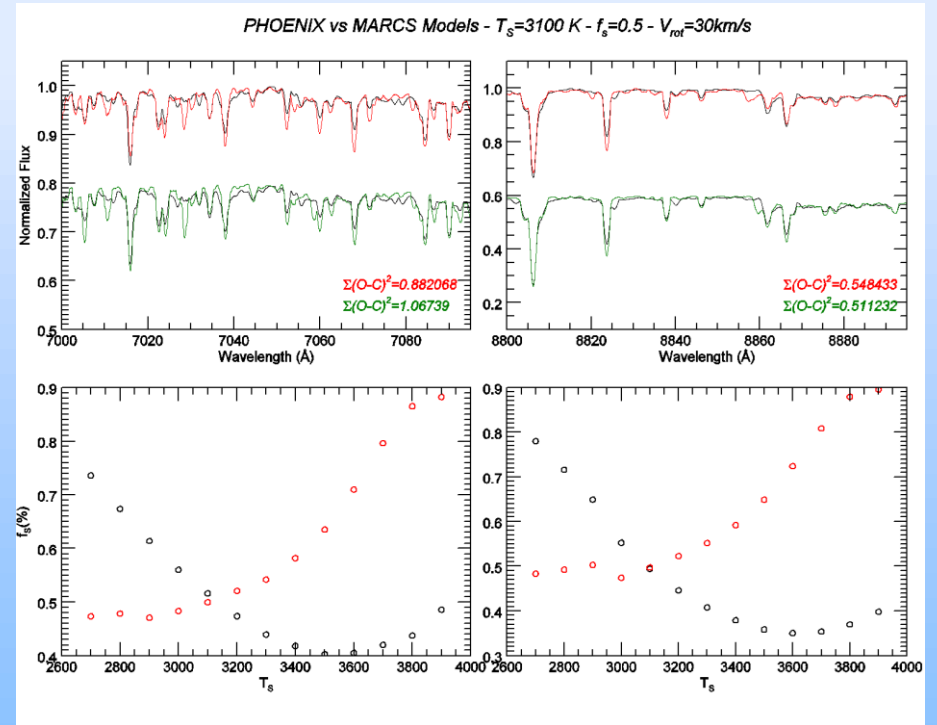
# TiO Bandı Analizi

- Teknik...

Kod ve model atmosferlerin testi



Şenavcı vd. 2016



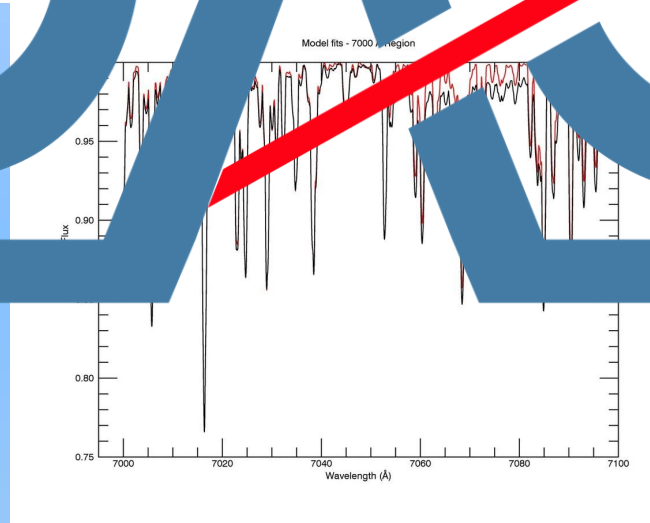
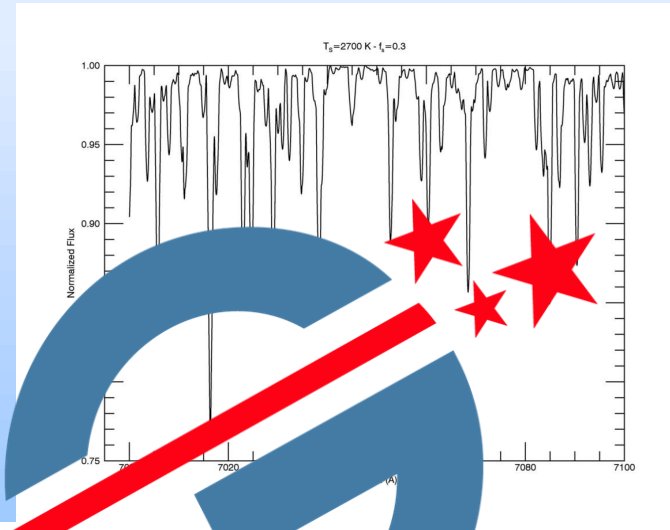
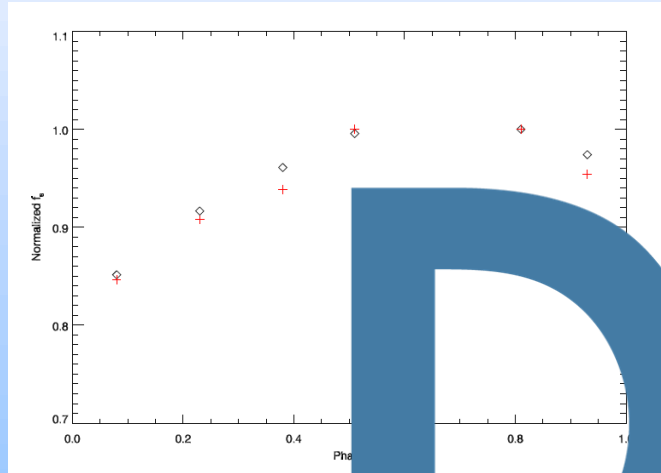
Şenavcı vd. 2016

Sonuç → PHOENIX ve MARCS atmosfer modelleri TiO bandı analizleri için uygun  
Gözlemsel tayflar kullanılarak üretilen yarı – sentetik tayflara yapılan modeller  
ile elde edilen  $T_s$  ve  $f_s$  parametreleri doğru

# TiO Bandı Analizi

- Bir sonraki aşama...

Elimizdeki farklı türden aktif yıldızlara ilişkin elde ettiğimiz yüksek çözünürlüklü tayflara eş zamanlı Doppler Görüntüleme ve TiO bandı analizleri → Her iki teknikten elde edilen  $f_s$  parametresinin boylamsal değişiminin incelenmesi → Farklı teknikler kullanılarak yıldızların manyetik aktivite doğalarının daha da net anlaşılması





# TEŞEKKÜRLER...

Bu çalışma **TÜBİTAK 1001 – 115F033** nolu proje tarafından desteklenmektedir.

[hvsenavci@ankara.edu.tr](mailto:hvsenavci@ankara.edu.tr)