



METALCE ÇOK FAKİR YILDIZLARIN YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ KIZILÖTE GÖZLEMLERİ

Melike Afşar¹, Chris Sneden², Anna Frebel³

ve

IGRINS ekibi^{2,4}

¹ Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Böl., İzmir, TÜRKİYE

² Texas University, Astronomy Dept., Austin, TX, USA

³ Kavli Ins. for Astroph. and Space Res. and Dept. of Phy., MIT, Cambridge, MA, USA

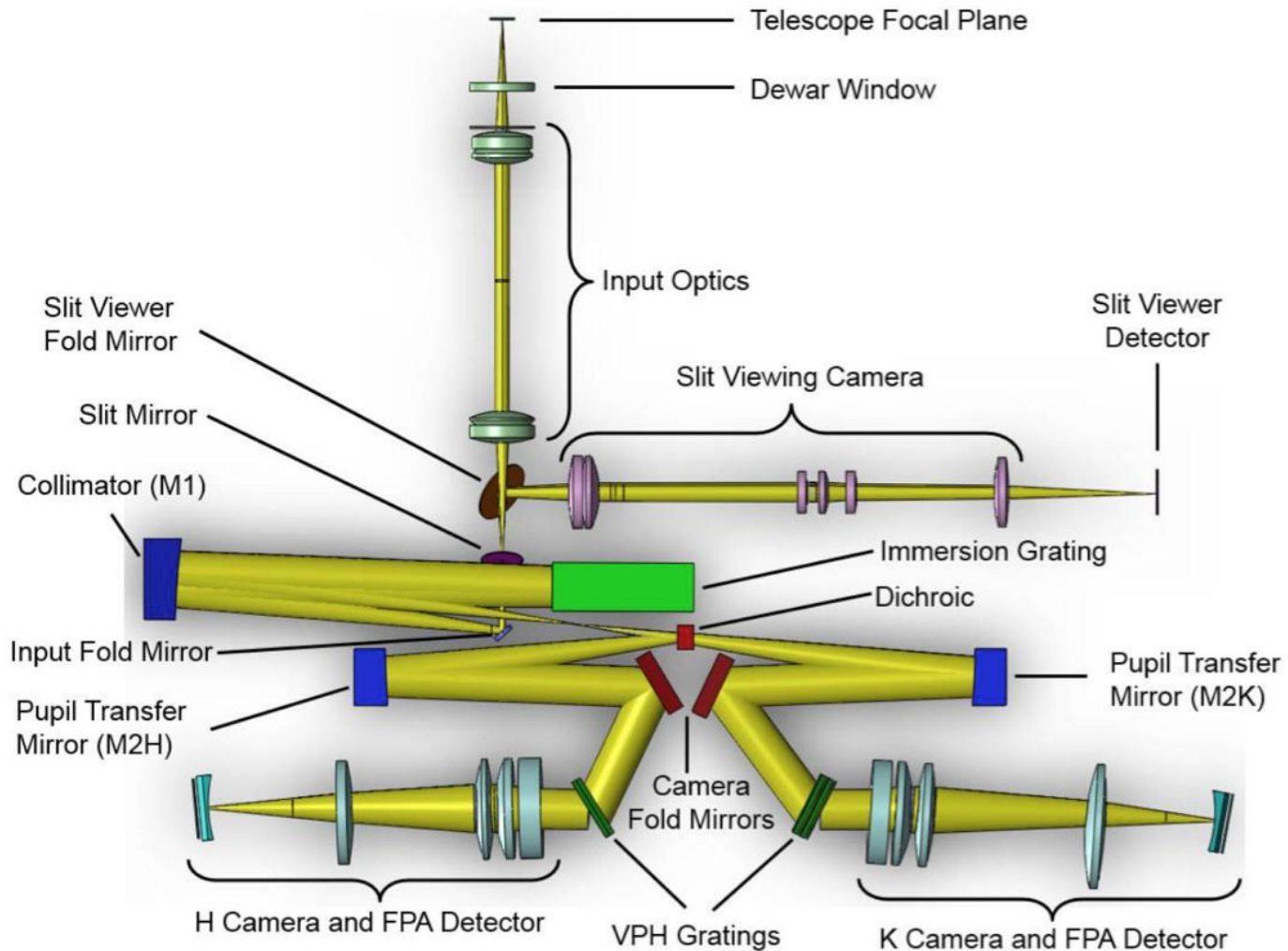
⁴ Korea Astronomy and Space Science Ins. (KASI), Daejeon, Korea; School of Space Res. (IR Lab), Kyung Hee University, Korea;
Ins. for Astrophysical Res., Boston University, Boston, MA, USA

XX. UAK, Atatürk Üniversitesi, Erzurum

06.09.2016

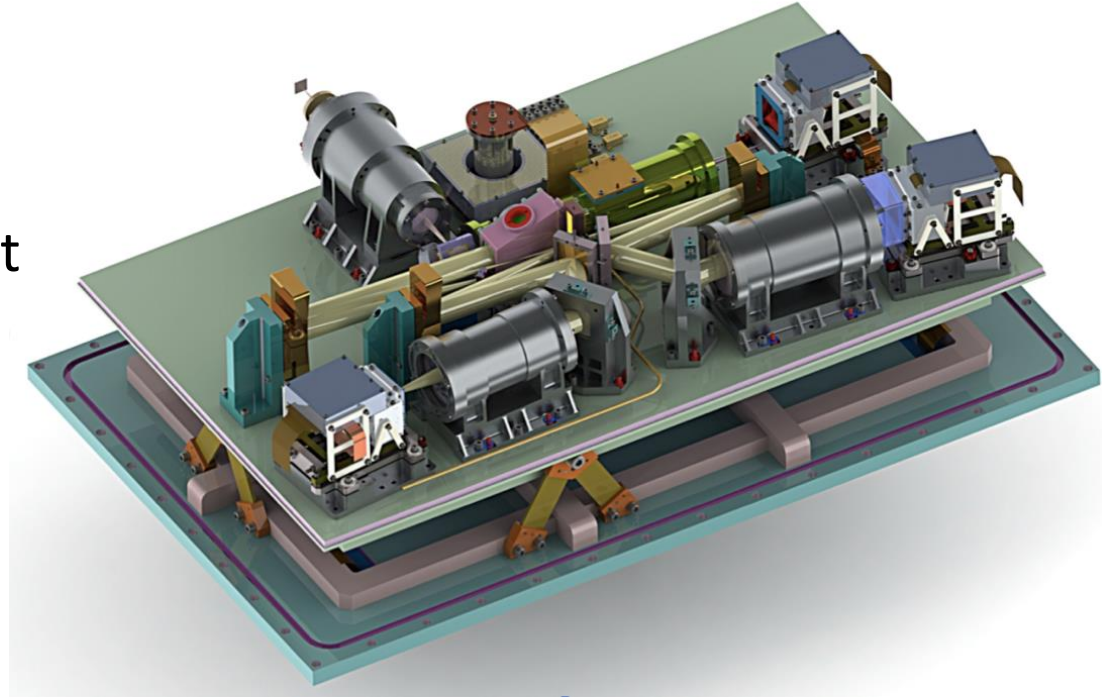
- IGRINS (Immersion GRating INfrared Spectrograph)
 - Metalce Çok Fakir Yıldızlar
 - Gözlemler ve Veri İndirgeme
 - Bolluk Analizi
 - Bulgular

Immersion GRating INfrared Spectrograph (IGRINS)



IGRINS yüksek-çözünürlüklü yakın-IR tayfçekeri:

- $R (\lambda/\Delta\lambda) \sim 45,000$
- Slit boyutu 1"x 15"
- Kararlı ve kullanımı basit



Büyük ölçekte tayfsal kavrayış:

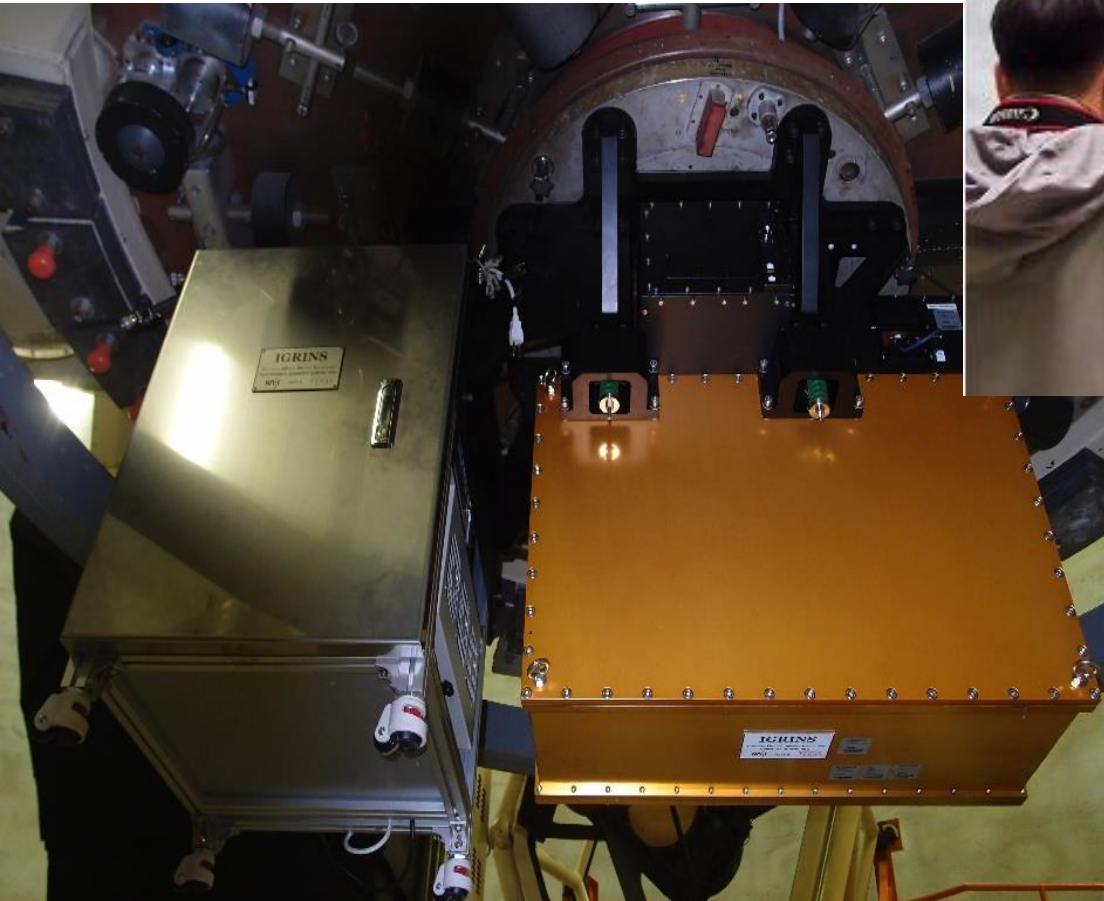
- H ve K bandında eş zamanlı gözlem (1.48–2.48 μm)
- İyi verim/duyarlılık
- Verimli gözlemler için sliti gören kamera (Slit-Viewing-Camre, SVC)
- Kullanımı basit olan indirgeme paketi (IGRINS-pipeline)

IGRINS

McDonald Gözlemevi

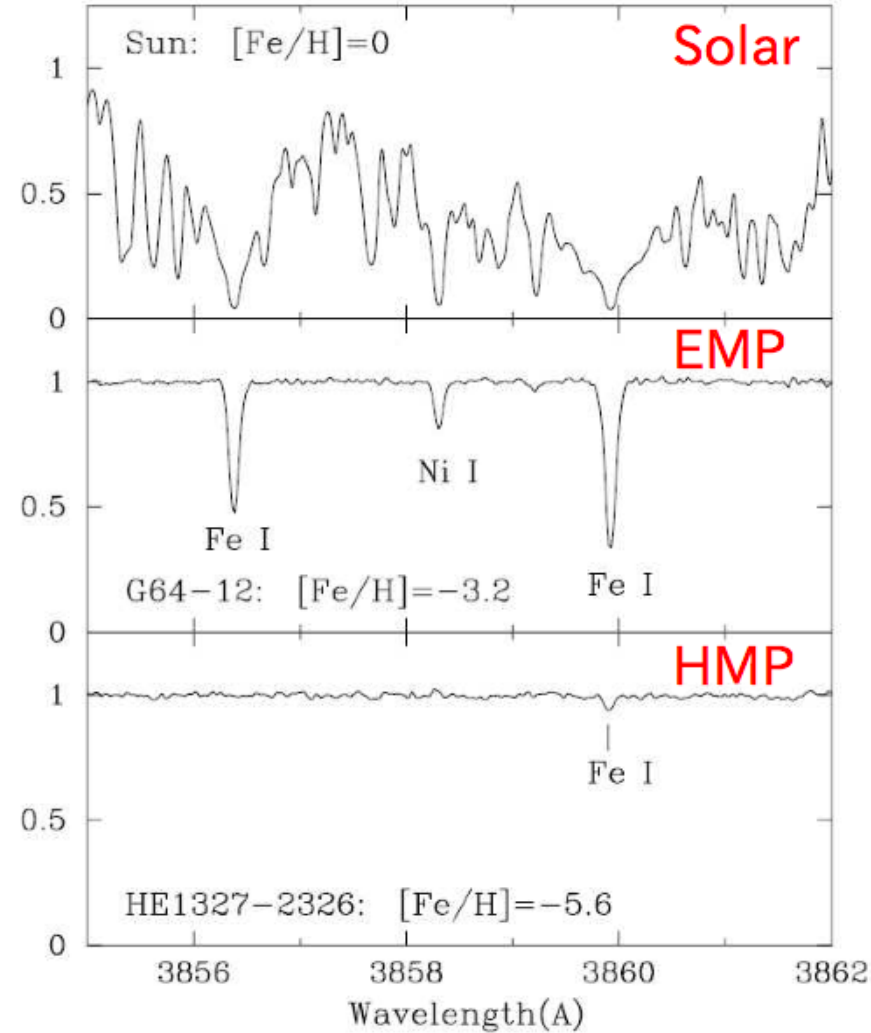
2.7m HJS Teleskobu

Cassegrain odađı



Metalce çok fakir???

- $[Fe/H] > +0.5$ Metalce aşırı zengin
- $[Fe/H] = 0.0$ Güneş metal bolluğu (solar metallicity)
- $-2.5 < [Fe/H] < -1.0$ Metalce fakir yıldızlar (metal poor)
- $[Fe/H] < -2.5$ Metalce çok fakir (extremely metal poor)
- $[Fe/H] < -5.0$ Metalce aşırı fakir (hyper metal poor)



Metalce çok fakir yıldızlar;

- ✧ Galaktik nükleosentezin başından beri var olan ve bugün bile gözlenebilen
- ✧ Atmosferlerinde erken Gökada kimyasal evriminin izlerini taşıyan
- ✧ ve Gökada kimyasal evrimini anlamamıza yardımcı olan çok güçlü araçlardır.

Onların H- ve K-bant tayflarından neler öğrenebiliriz?

- ✧ H ve K bantları pek çok nötr hafif elementin ($Z \leq 20$) çizgilerini içerir
- ✧ Metalce çok fakir yıldızların tayflarındaki çizgiler çok zayıf, IR tayfta tespit edilebilirler mi?
- ✧ Öyle ise, IR bolluklar görsel bölgeden elde edilenler ile uyumlu mu?

<u>ELEMENT</u>	<u>GÖRSEL BÖL. ÇİZ.</u>	<u>IGRINS ÇİZGİLERİ</u>
Karbon	CH 4300Å – doymuş C ₂ 5160, 5630Å – zayıf	CO – hemen her yerde
Azot	CN çoğunlukla > 8000Å	CN – H bandında güçlü
Oksijen	[O I] 6300,6363Å - ??	OH – hemen her yerde

Bunların dışında;

✧ Alpha-elementleri: Mg, Si, S ve Ca

✧ Tek-atom numaralı elementler: Na, Al, P ve K gibi

- ✧ H ve K bantlarındaki sönükleştirme çok düşük
- ✧ Kırmızı devler K bandında (V'ye göre) yaklaşık 2-3 mag daha parlak

Star	R.A. ^a (2000)	Decl. (2000)	V	H	K	Exposure (s)	S/N
HD 122563	14 02 31.85	+09 41 09.95	6.19	3.76	3.73	960	>400
HD 140283	15 43 03.10	-10 56 00.60	7.21	5.70	5.59	960	>400

- ✧ Model atmosfer parametreleri görsel bölge tayfindan elde edildi:

	T_{eff} (K)	$\log g$	ξ_t (km/s)	[Fe/H]
HD 122563	4500	0.80	2.20	-2.90
HD 140283	5650	3.40	1.70	-2.70

- ✧ Her ikisi de Halo yıldızı
- ✧ Görsel bölgede oldukça iyi çalışılmış:
 - ✧ HD 122563 (Wallerstein et al. 1963)
 - ✧ HD 140283 (Chamberlain & Aller 1951)

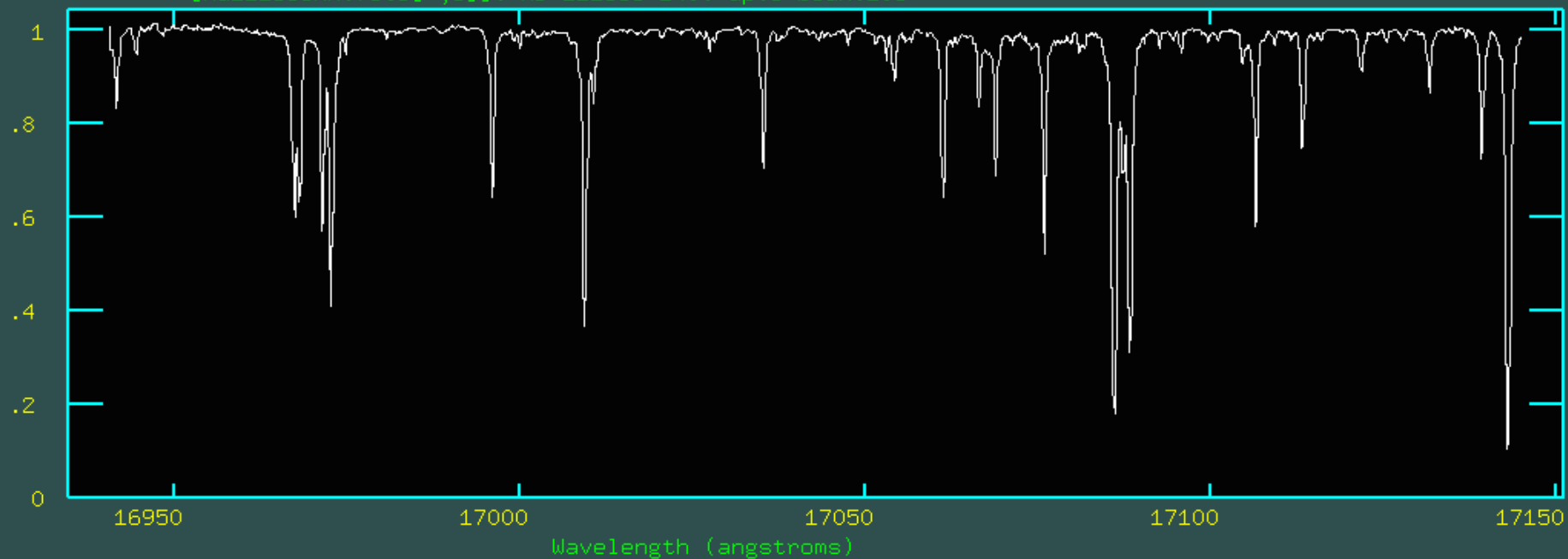
IGRINS Gözlemleri

- ✧ 2.7m HJS Teleskobu, McDonald Gözlemevi, Mayıs 2014
- ✧ H- ve K-bandında
 - ✧ eş zamanlı, 1.48–2.48 μm (14800–24800 \AA)
(bantlar arasında 0.01 μm (100 \AA) kadar boşluk)
- ✧ Kalibrasyon için ThAr ve Gökyüzü (OH salma çizgileri)
- ✧ Atmosferik (telluric) çizgi düzeltmesi için sıcak yıldız
(A ya da B tayf türünde, hızlı dönen)

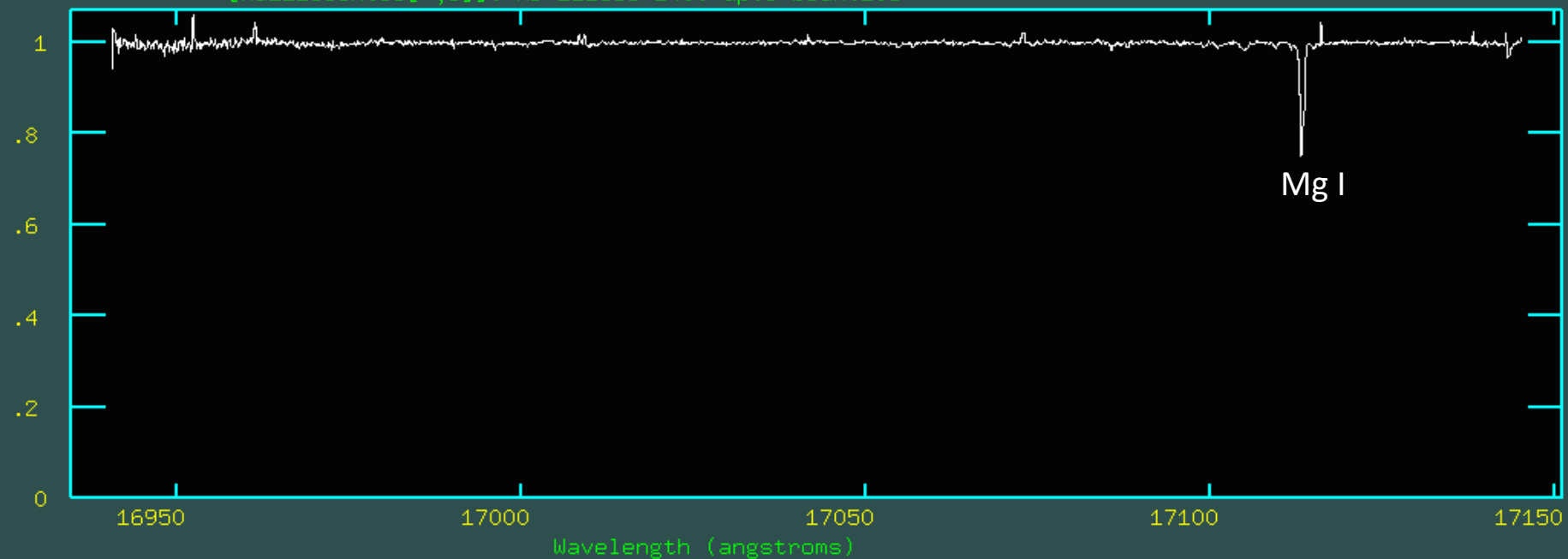
Veri İndirgeme

- ✧ IGRINS indirgeme paketi (IGRINS pipeline ver.2, <https://github.com/igrins/plp>)
- ✧ H- bandında 23, K-bandında 21 echelle dizisi
- ✧ Normalizasyon işlemi (IRAF-*continuum*)
- ✧ Atmosferik soğurma çizgileri için düzeltme (IRAF-*telluric*)
(Su buharı ve CO₂ soğurma çizgileri)

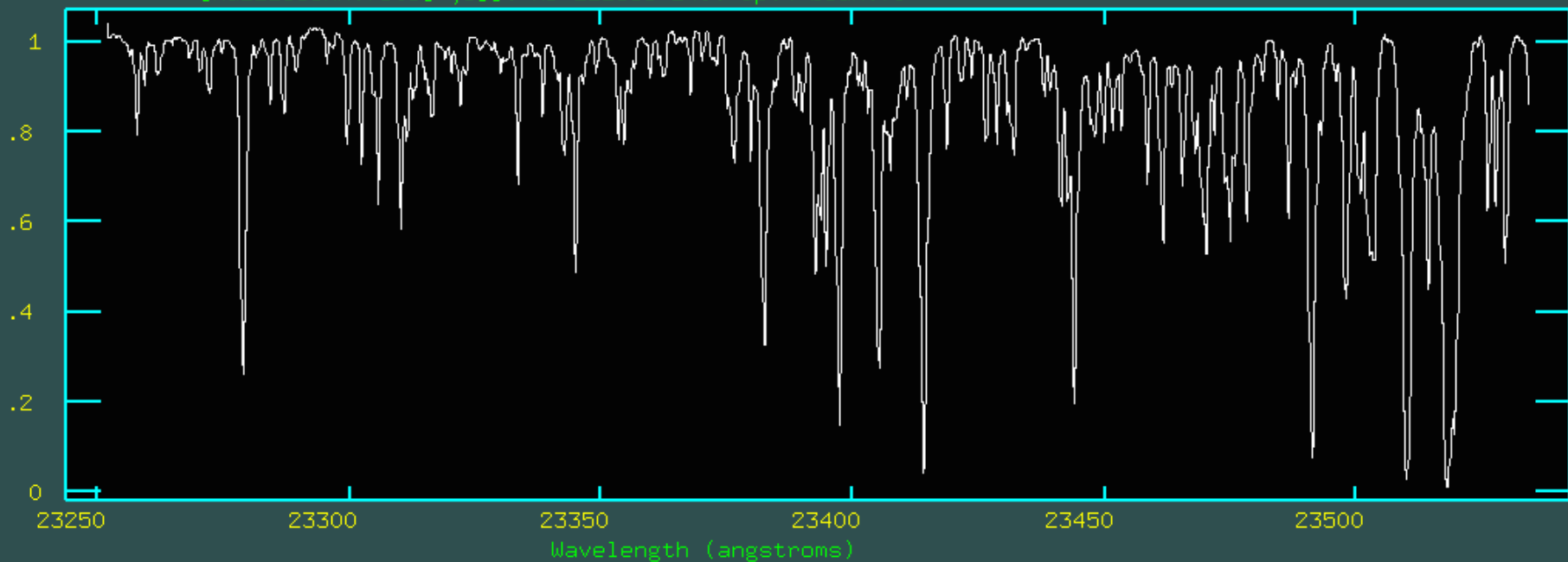
NDAO/IRAF V2.16 melikeafsar@Melikes-Air.local Wed 10:10:19 01-Oct-2014
[hd122563Hn.fits[*],6]: HD 122563 240. ap:6 beam:106



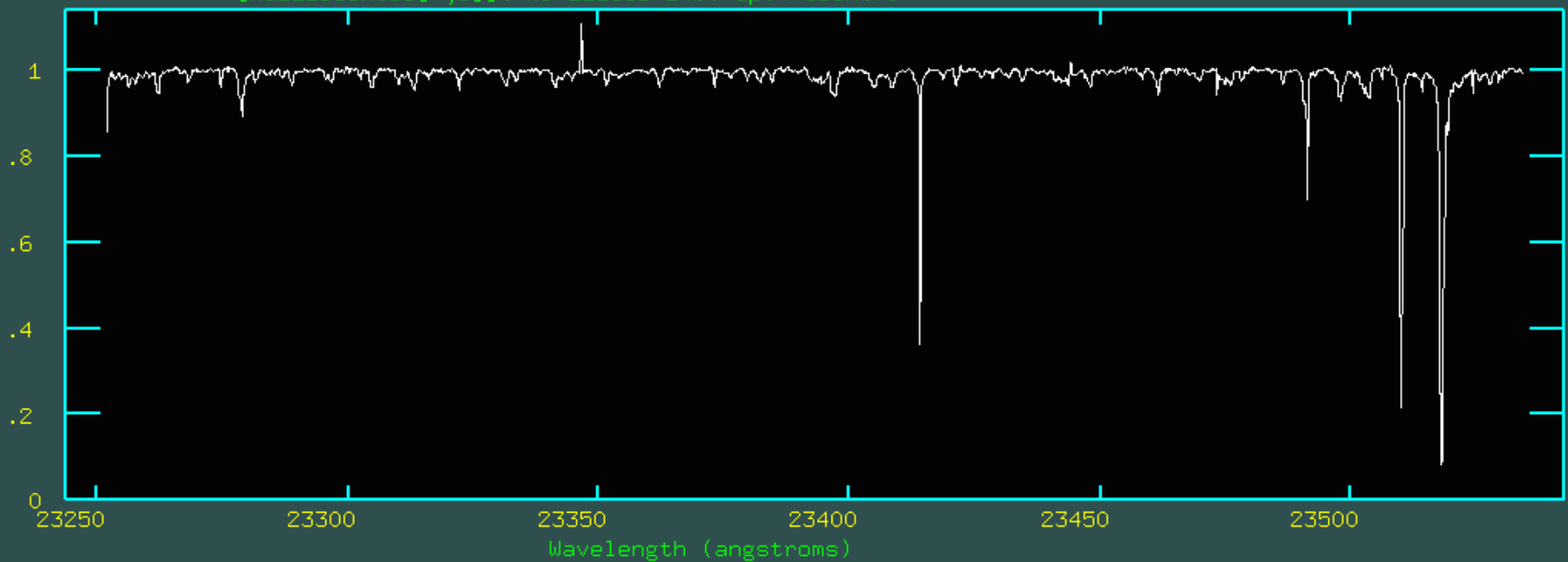
NDAO/IRAF V2.16 melikeafsar@Melikes-Air.local Wed 10:12:00 01-Oct-2014
[hd122563Htel[*],6]: HD 122563 240. ap:6 beam:106

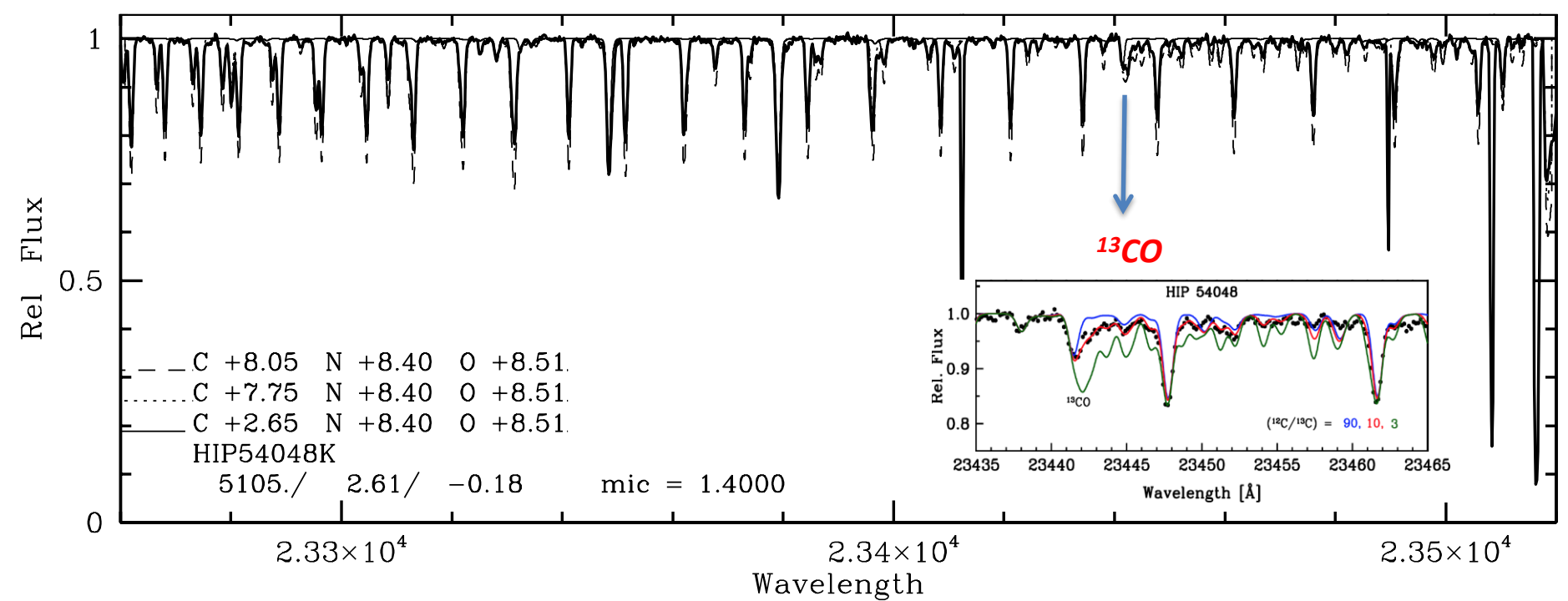


NOAO/IRAF V2.16 melikeafsar@Melikes-Air.local Wed 10:16:36 01-Oct-2014
[hd122563Kn.fits[*],3]: HD 122563 240. ap:4 beam:79

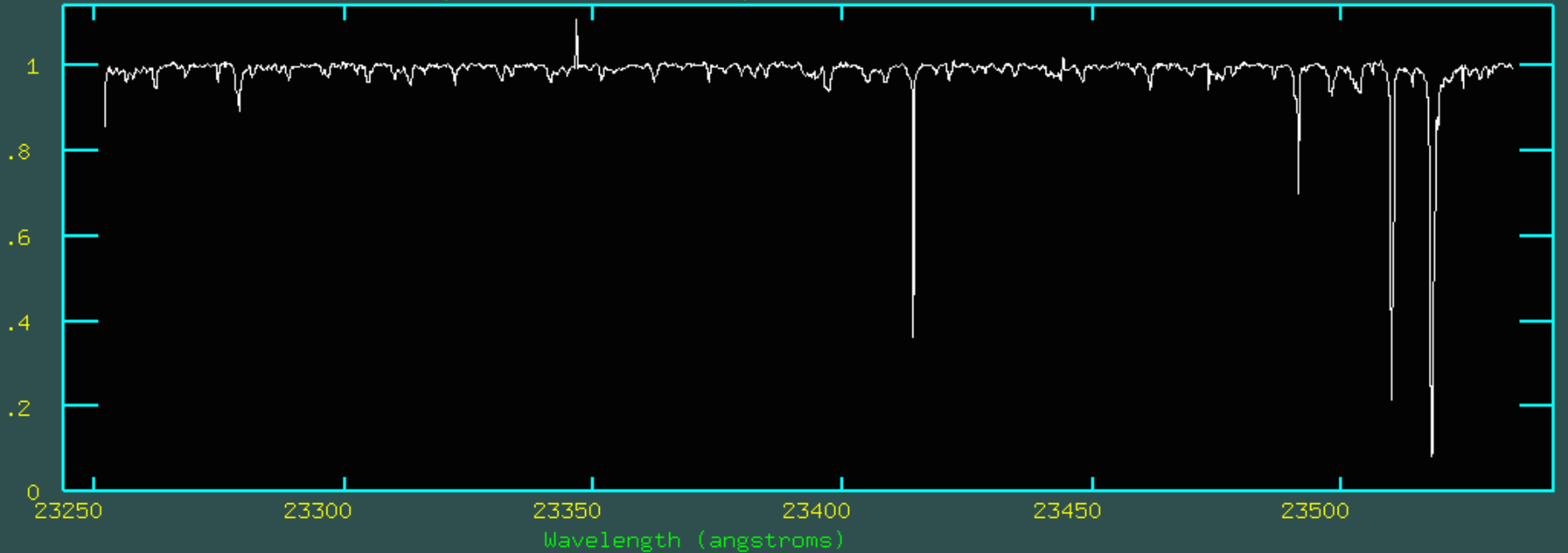


NOAO/IRAF V2.16 melikeafsar@Melikes-Air.local Wed 10:15:34 01-Oct-2014
[hd122563Ktel[*],3]: HD 122563 240. ap:4 beam:79



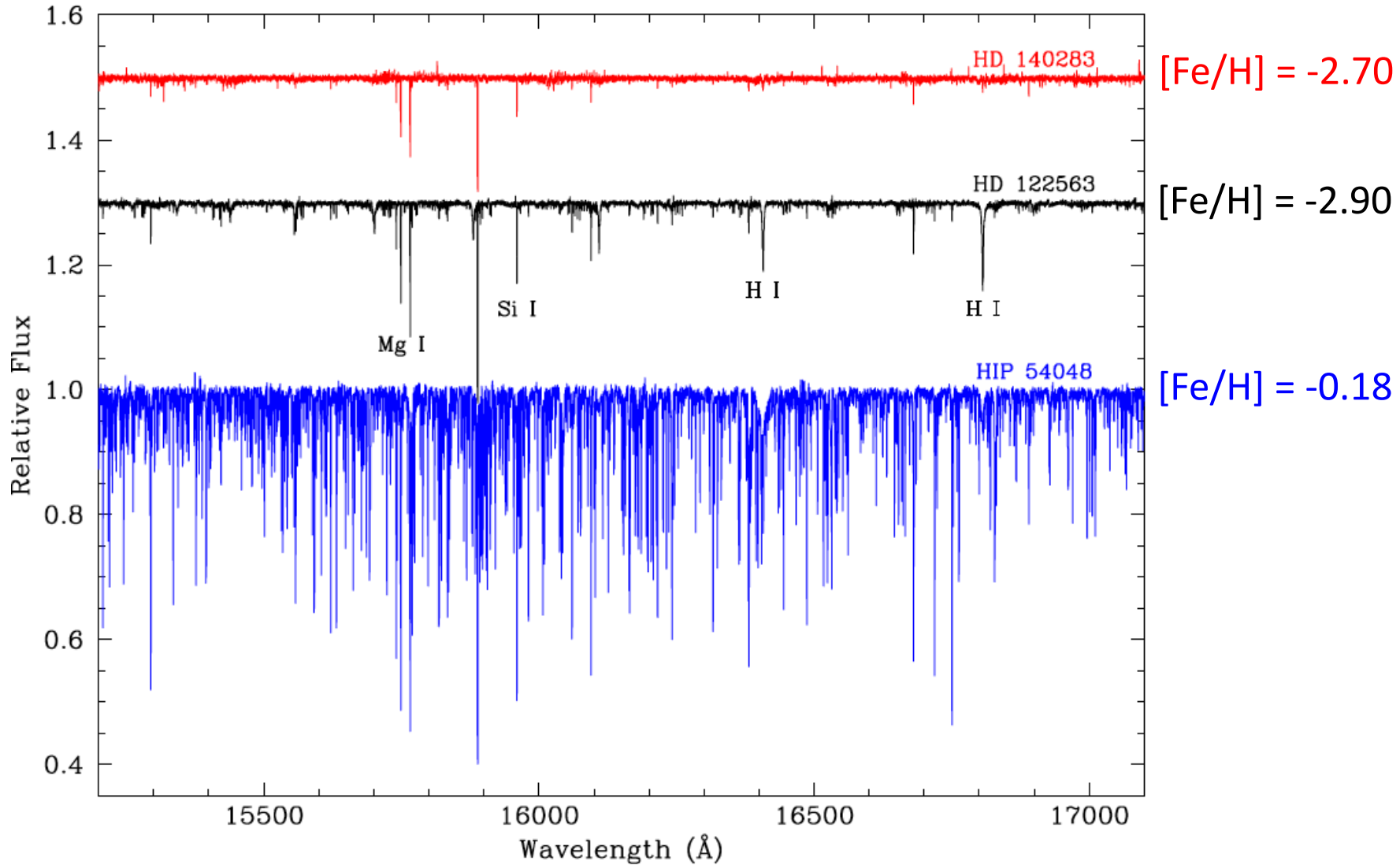


NOAO/IRAF V2.16 melikeafsar@Melikes-Air.local Wed 10:15:34 01-Oct-2014
 [hd122563ktel[*],3]]: HD 122563 240. ap:4 beam:79

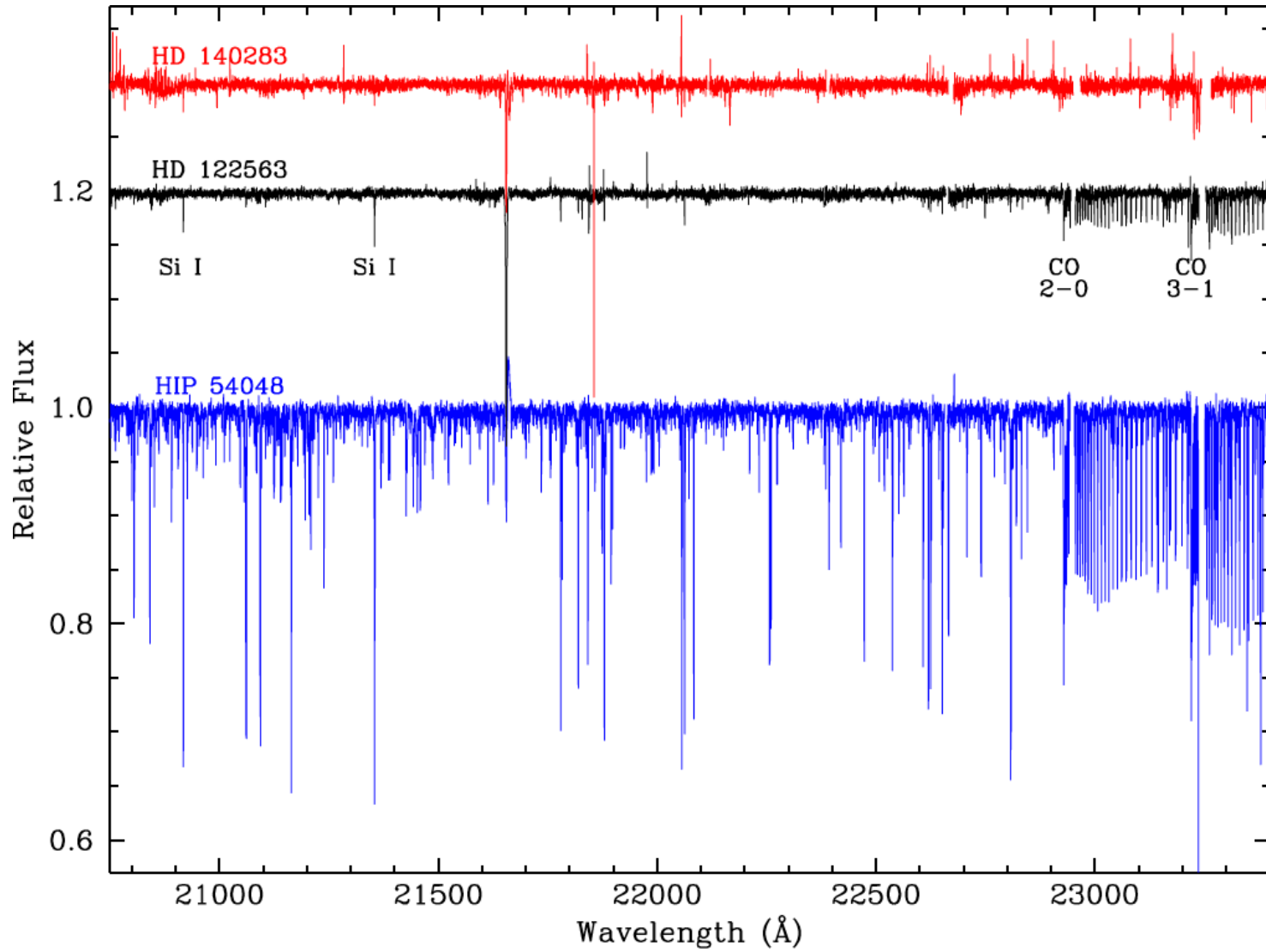


✧ Analize hazırlık: Tüm echelle dizilerinin birleştirilmesi

H-bandı



K-bandı



MOOG ile Bolluk Analizi

- ✧ Çizgi listelerinin hazırlanması:
 - ✧ CO çizgileri (Kurucz 2011)
 - ✧ CN ve OH çizgileri, lab. (Snedden et al. 2014 ve Brooke et al. 2016)
 - ✧ Diğer çizgiler NIST Atomic Database (http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html)
- ✧ Ca çizgileri için osilatör şiddetleri “ters güneş analizi” ile belirlendi.
 - ✧ Yüksek çözünürlüklü IR-Güneş tayfı (Wallace & Livingston 2003)
 - ✧ Yüksek çözünürlüklü IR-Arcturus tayfı (Hinkle & Wallace 2005)
- ✧ Tüm analizler için sentetik tayf analizi yöntemi kullanıldı!

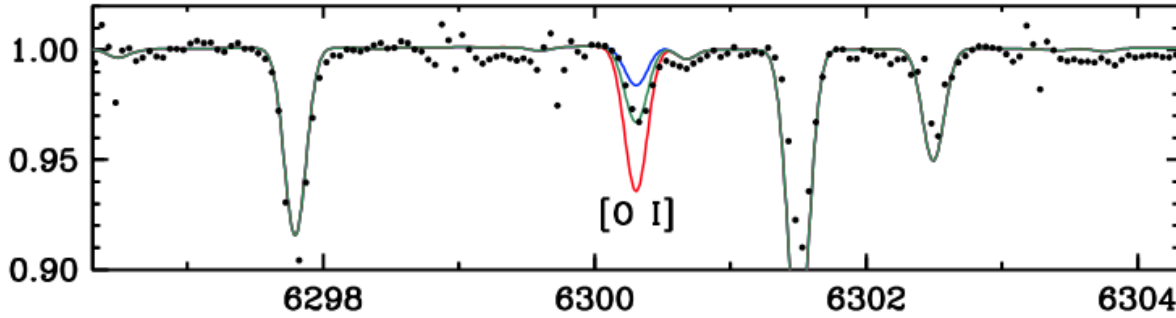
H B		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #b0c4de; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>Big Bang</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #90ee90; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>Large stars</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #ffcc99; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>Super-novae</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 5px;"> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #add8e6; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>Cosmic rays</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #ffff00; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>Small stars</p> </div> <div style="text-align: center;"> <div style="background-color: #e6b0ff; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>Man-made</p> </div> </div> </div> </div>																He B														
Li C	Be C																	B C	C S L	N S L	O S L	F L	Ne S L									
Na L	Mg L																	Al \$ L	Si \$ L	P L	S S L	Cl L	Ar L									
K L	Ca L	Sc L	Ti \$ L	V \$ L	Cr L	Mn L	Fe \$ L	Co \$	Ni \$	Cu L	Zn L	Ga \$	Ge \$	As L	Se \$	Br \$	Kr \$															
Rb \$	Sr L	Y L	Zr L	Nb L	Mo \$ L	Tc L	Ru \$ L	Rh \$	Pd \$ L	Ag \$ L	Cd \$ L	In \$ L	Sn \$ L	Sb \$	Te \$	I \$	Xe \$															
Cs \$	Ba L																	Hf \$ L	Ta \$ L	W \$ L	Re \$	Os \$	Ir \$	Pt \$	Au \$	Hg \$ L	Tl \$ L	Pb \$	Bi \$	Po \$	At \$	Rn \$
Fr \$	Ra \$																	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border-left: 1px solid gray; border-right: 1px solid gray; padding: 0 5px;"> <div style="background-color: #90ee90; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>La L</p> </div> <div style="border-right: 1px solid gray; padding: 0 5px;"> <div style="background-color: #90ee90; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> <p>Ce L</p> </div> </div>														Lu \$
																		Ac \$	Th \$	Pa \$	U \$	Np \$	Pu \$	Am M	Cm M	Bk M	Cf M	Es M	Fm M	Md M	No M	Lr M

Bolluk tanımları:

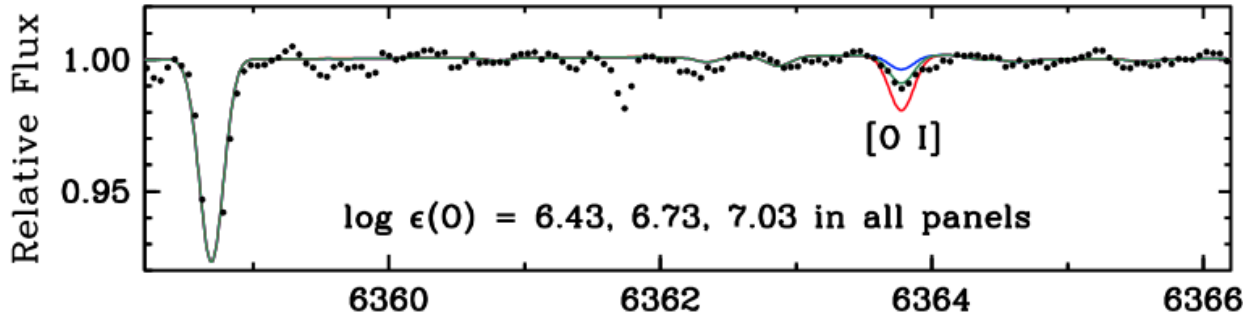
✧ $\log \varepsilon(X) = \log_{10}(N_X/N_H) + 12$ ("X ve Y" herhangi iki element)

✧ $[X/Y] = \log_{10}(N_X/N_Y)_\star - \log_{10}(N_X/N_Y)_\odot$

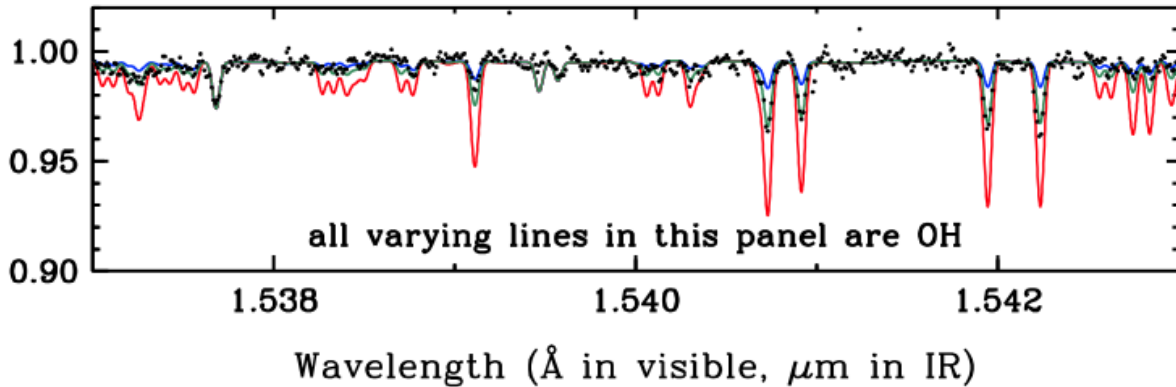
HD 122563: CNO grubu



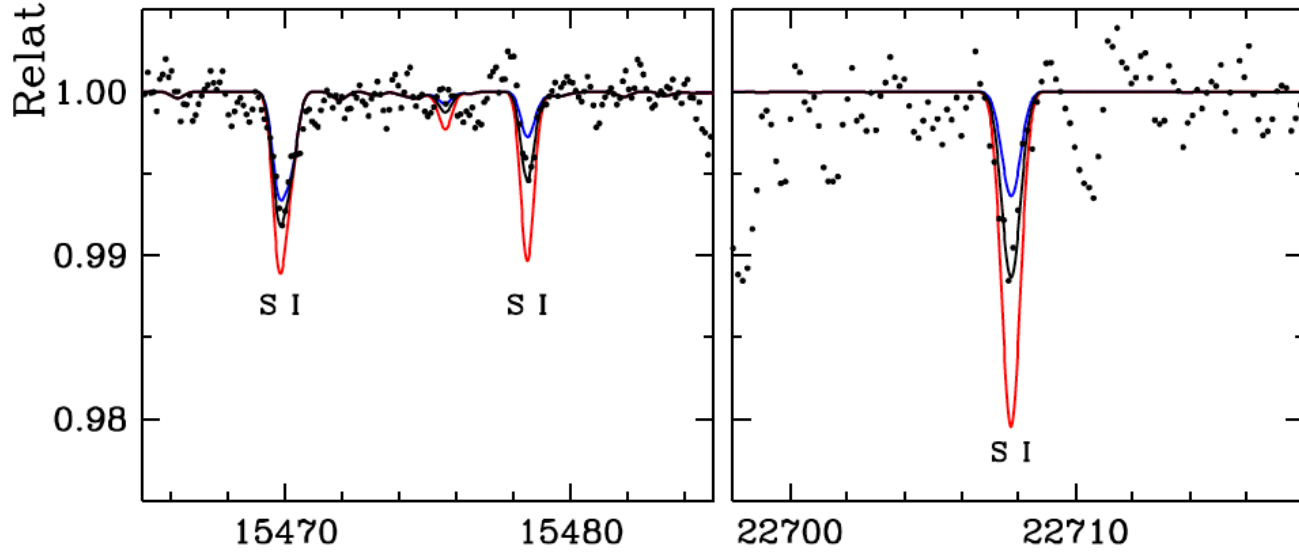
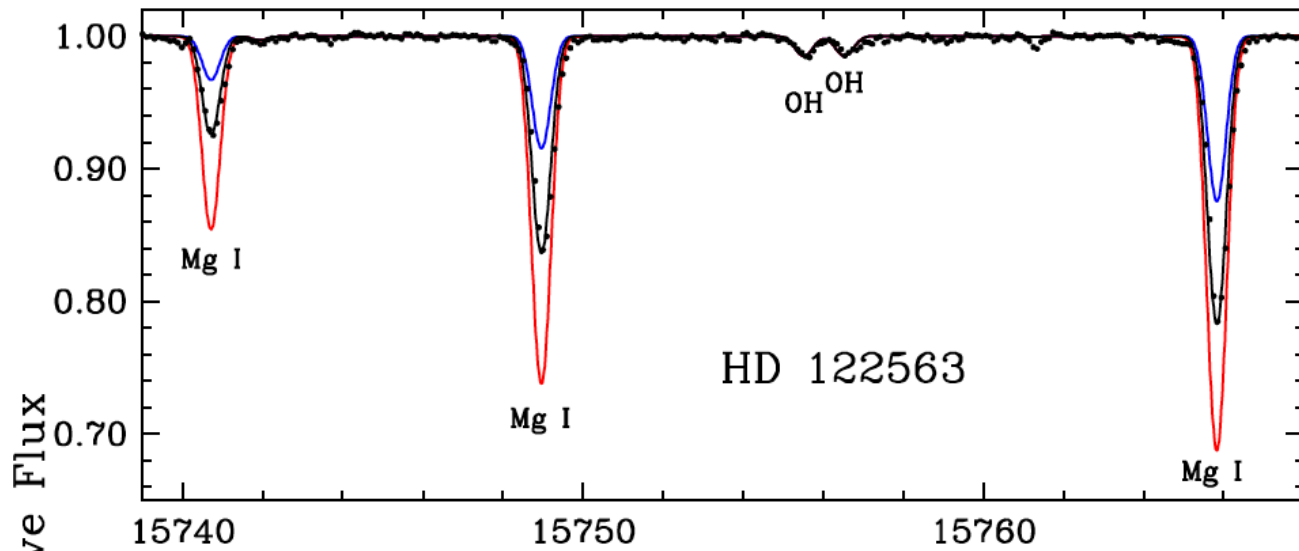
Yasaklanmış [O I] 6300 Å
çizgisi



Yasaklanmış Yasaklanmış
[O I] 6363 Å çizgisi, çok
zayıf



IGRINS tayfı, H-bandında
gözlenen OH bantları,
ÇOK SAYIDA!



Wavelength (Å)

Afşar et al. 2016

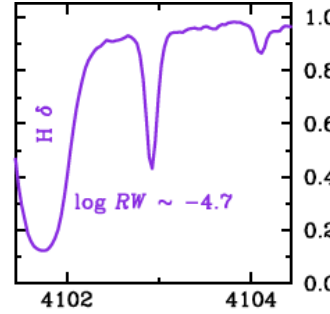
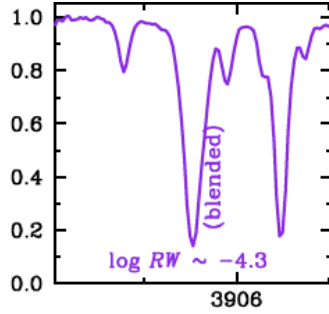
- ✧ HD 122563 tayfında tespit edilebilen diğer çizgiler:
 - ✧ Na, Mg, Al, Si, S ve Ca
 - ✧ CN çok zayıf

- ✧ HD 140283 ~1100 K daha sıcak!
 - ✧ OH, CO ve CN moleküler çizgileri tespit edilemiyor

- ✧ HD 140283 tayfında tespit edilebilen diğer çizgiler:
 - ✧ Mg, Al ve Si

- ✧ Metalce çok fakir yıldızlarda görsel bölgede Si çizgileri çok az!

HD 122563



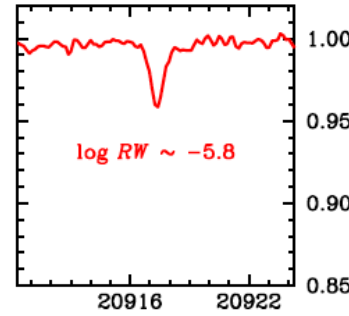
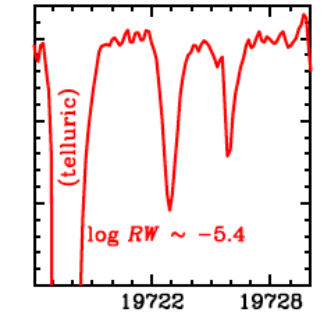
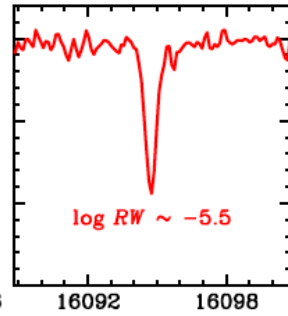
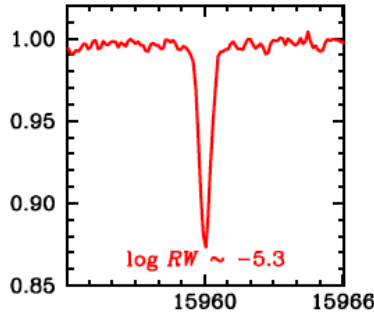
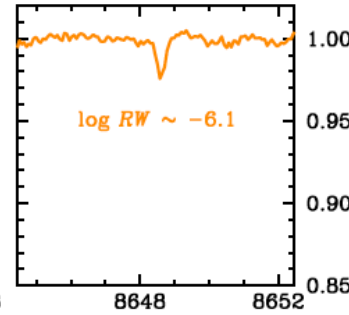
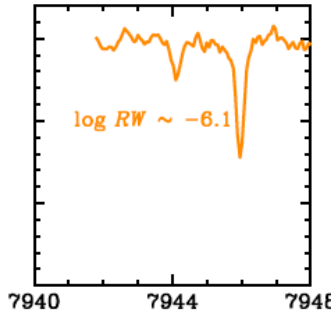
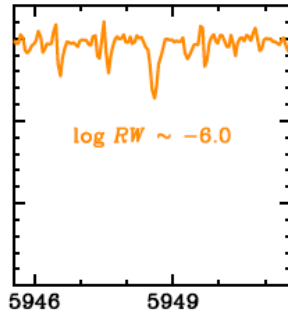
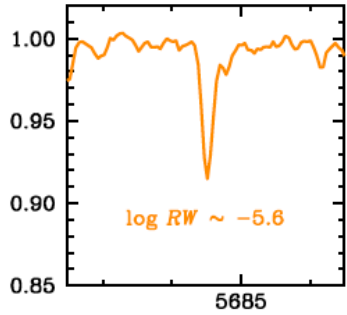
Si I lines

HD 122563 için
görsel ve IR
bölgelerdeki Si
çizgileri

Görsel bölgede
daha zayıf

IR bölgede
daha kuvvetli,
daha güvenilir
bolluklar

Relative Flux



Wavelength (Å)

$\log RW = \log (EW/\lambda)$

Örneğin $\log (RW) = -6$ ise;

5mÅ @ 5000Å

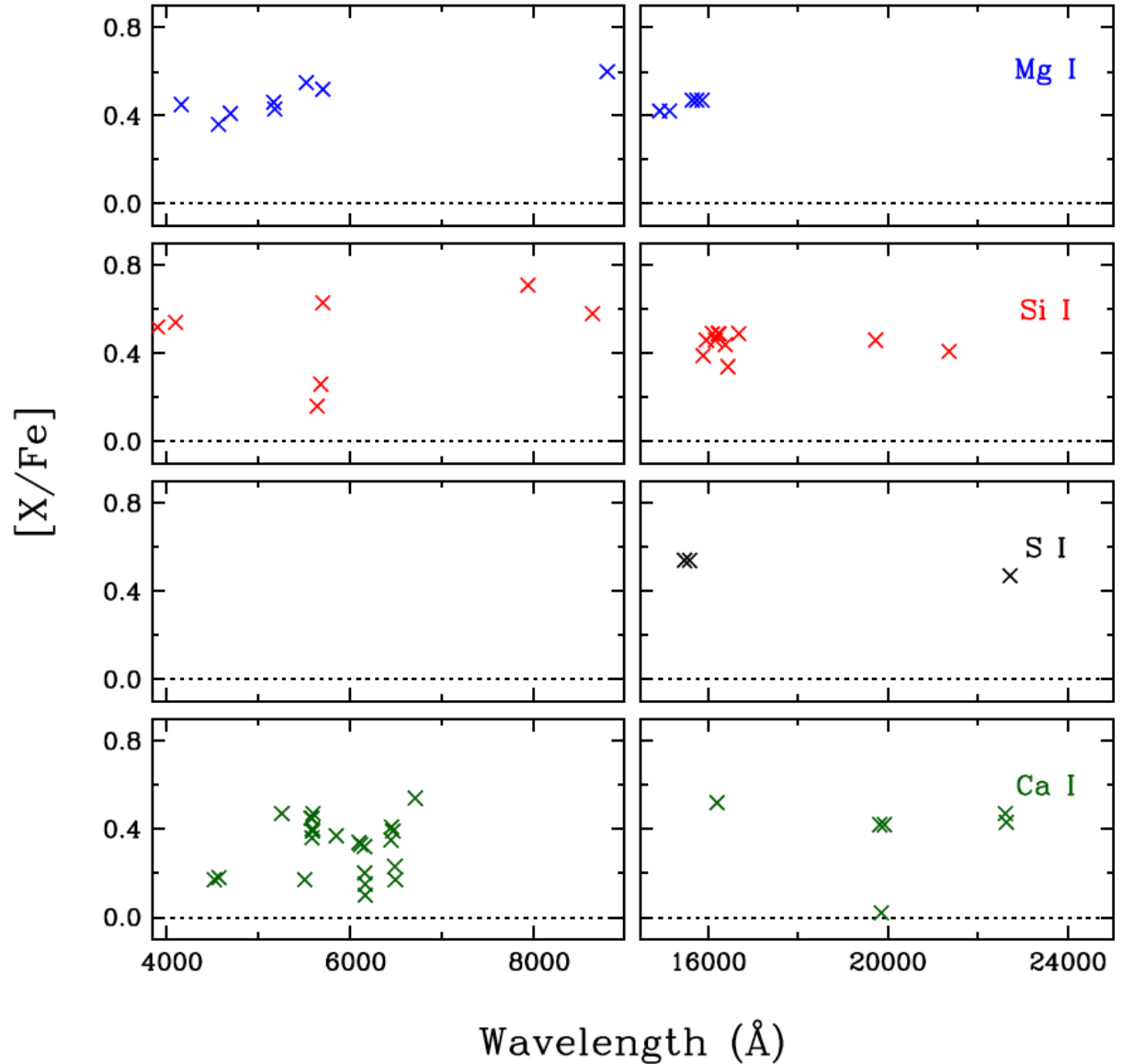
20mÅ @ 20000Å (2μm)

HD 122563

IGRINS ile daha
güvenilir alfa
elementleri

Sülfürü görsel bölgeden
elde etmek mümkün
değil

HD 140283 benzer
sonuçlar vermekte
ancak daha sıcak
olduğu için çizgi sayısı
çok az

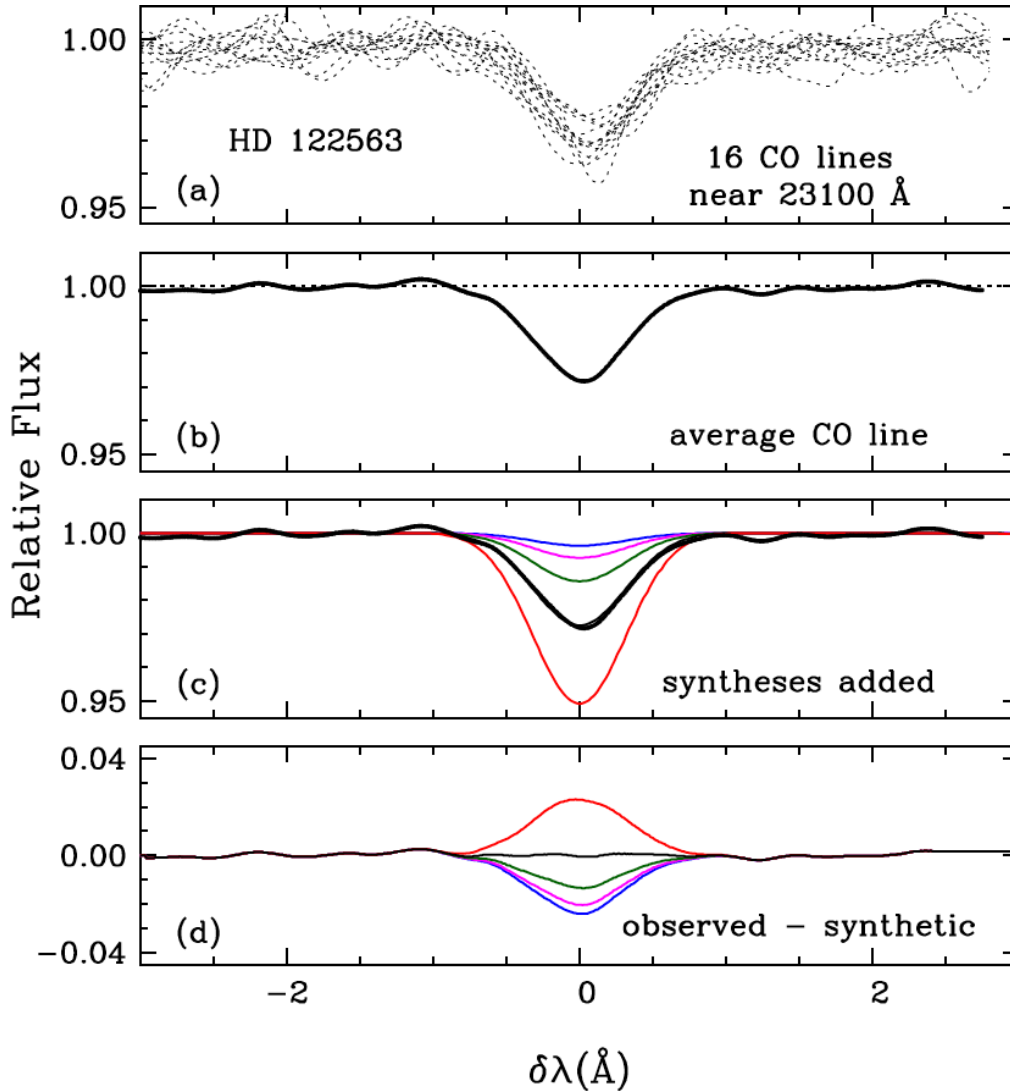


Element Bollukları

Species	[X/Fe]	σ	Num	[X/Fe]	σ	Num
	122563	122563	122563	140283	140283	140283
CH-vis	-0.28	0.03	CH-band	...	...	...
CO-IR	-0.15	0.06	38	...	...	...
[O I]-vis	0.78	0.02	2	...	...	...
OH-IR	0.92	0.06	51	...	...	...
Na I-vis	0.09	0.16	4	0.11	0.16	2
Na I-IR	-0.11	0.18	2	...	...	...
Mg I-VIS	0.47	0.08	8	0.26	0.06	7
Mg I-IR	0.45	0.03	5	0.27	0.11	6
Al I-vis	-0.70	...	1	-0.99	...	1
Al I-IR	-0.04	0.06	4	-0.29	0.00	2
Si I-vis	0.49	0.20	7	0.51	0.20	3
Si I-IR	0.45	0.05	11	0.33	0.05	9
S I-vis	...	...	...	...	...	...
S I-IR	0.52	0.04	3	...	...	...
Ca I-vis	0.32	0.13	23	0.36	0.09	14
Ca I-IR	0.38	0.18	6	...	...	...
Ti I-vis	0.12	0.09	38	0.27	0.07	13
Ti II-vis	0.29	0.07	39	0.34	0.08	19

Afşar et al. 2016

Gözlenebilir en düşük metal bolluğu???



CO çizgilerinin basit ortalaması

Ortalama CO

Sentetik tayf karşılaştırması:

Kırmızı 0.3 dex daha fazla

Yeşil 0.3, Pembe 0.6,

Mavi 0.9 dex daha az!

Ulaşılabilir $[\text{Fe}/\text{H}] \sim -4$
(S/N ~ 1000)