

Bir Süperdev Olan α Cygni (A2 Iae)'nin Atmosferi

Berahitdin ALBAYRAK¹, Cemal AYDIN¹, Dursun KOÇER², Saul J. ADELMAN³

¹A.Ü.F.F. Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan-ANKARA

²İ. Ü. Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Üniversite, 34452, İstanbul

³Physics Department, The Citadel, 171 Moultrie Street, Charleston, S.C., 29409, USA

e-mail: albayrak@astro1.science.ankara.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada, oldukça dar ve keskin soğurma çizgilerine sahip A2 Ia tayf türünden en parlak bir süperdev olan α Cygni'nin element bolluğu yeni analiz teknikleriyle ayrıntılı bir şekilde hesaplanmıştır. Öncelikle, Dominion Astrophysical Observatory (DAO)'de Reticon ve CCD detektörleri ile alınmış tayflar üzerinde yapılan çizgi tanısı sunulmuştur. Tayflar $\lambda\lambda 3830 - 5212$ Å dalgaboyu aralığında olup 2.4 \AA mm^{-1} ayırma gücüne ve 0.072 \AA çözünürlüğe sahiptir. Tüm tayflar için sinyal-gürültü oranı (S/N) ortalama 800'dir. Çizgi tanısı sonucunda belirlenen çizgilerin gözlenen ve laboratuvar dalgaboyları, çizgi genişlikleri, derinlikleri ve hangi elemente ait oldukları belirlenmiştir. Bu inceleme sonucunda; H I, He I, C I, C II, N I, N II, O I, Mg I, Mg II, Al I, Al II, Si I, Si II, S II, Ca I, Ca II, Sc II, Ti I, Ti II, V II, Cr I, Cr II, Mn I, Mn II, Fe I, Fe II, Fe III, Co II, Ni I, Ni II, Sr II, Y II, Zr II, Ba II, La II ve Eu II atom ve iyonlarının bu yıldızın atmosferinde mevcut olduğu belirlenmiştir. Bunlardan C I, N II, Si I, Fe III, Ba II ve La II çizgilerinin varlığı ilk kez bu çalışmayla tespit edilmiştir. Ayırma gücü, çözünürlük ve S/N bakımından çok daha kaliteli tayfsal verilere ilişkin bu çalışmada sunulan çizgi tanısı sonuçları, diğer A tayf türü süperdevler için yapılacak benzer çalışmalara önemli bir kaynak oluşturacaktır.

Model Atmosfer hesaplamaları Kurucz (1995)'un ATLAS9 programıyla gerçekleştirildi. Atmosfer parametreleri (T_e , $\log g$) dört farklı ölçüt dikkate alınarak belirlendi. Bunlar sırasıyla; Mg I/II ve Fe I/II'nin iyonizasyon dengesi, gözlemsel ve kuramsal H_γ profilinin karşılaştırılması ve görsel bölge için yapılmış spektrofotometrik gözlemlerdir. Bu birbirinden farklı yöntemleri kullanarak belirlenen değerlerden oluşturulan Kiel diyagramından $T_{\text{et}} = 9000 \text{ K}$ ve $\log g = 1.45$ olarak tespit edildi. Mikrotürbülans hızı; Mg I, Mg II, Si II, Ti II, Cr II, Fe I ve Fe II çizgileri için sırasıyla 3.60, 6.50, 8.50, 8.00, 11.90, 3.60 ve 10.40 km s^{-1} hesaplandı. Ayrıca, mikrotürbülansın α Cygni'nin atmosferinde derinliğe ve eşdeğer genişliğe bağlı olarak değiştiği incelenen 34 Fe II çizgisinden tespit edildi.

SYNTHE (Kurucz ve Avret 1981) programıyla üretilen sentetik tayfın gözlemler ile karşılaştırılmasından, α Cygni'nin dönme ve makrotürbülans hızı için mümkün olabilecek en iyi değerler sırasıyla $v \sin i = 25 \text{ km s}^{-1}$ ve $\xi = 14 \text{ km s}^{-1}$ olarak belirlendi. Her iki değer de daha önceki çalışmalarda hesaplananlara oldukça yakındır. Tayflara ilişkin yapılan radyal hız ölçümleri, radyal hız değişim genliği için yaklaşık 15 km s^{-1} değerini vermektedir. Bu sonuç makrotürbülans için bulduğumuz değere oldukça yakındır. Diğer taraftan α Cygni'nin makrotürbülans ve radyal hız değişim genliği için bulunan bu değerler, mevcut pulsasyonlarının toplam genliği için Lucy (1976) tarafından hesaplanan 10.44 km s^{-1} ile de uyumaktadır. Ayrıca Lucy'e göre, bu süperdevin atmosferindeki kararsızlıklar makrotürbülans olarak adlandırılan hız alanlarından kaynaklanır.

α Cygni'nin atmosferinde helyum'un Güneş'e göre 0.15 dex daha az olduğu belirlendi. Ayrıca, karbon orta düzeyde (0.34 dex) az, azot oldukça fazla (0.91 dex) ve oksijen ise hafif denilebilecek miktarda (0.25 dex) azdır. CNO elementlerinin bu sonuçları A tayf türü bir süperdev olan α Cygni'nin, yıldız evriminde ilk büyük karışım (first dredge-up) olarak adlandırılan evreyi geçirdiğini göstermektedir.

Ayrıca, α Cygni'nin atmosferinde Güneş'e göre alüminyum 0.24 dex ve kükürt 0.43 dex daha azdır. Magnezyum ve silisyum için hesaplanan bolluk değerleri Güneş ile aynıdır. Metal bolluğu (Sc hariç Ca'dan Ni'e kadar olan elementler) Güneş'e göre kıyaslandığında bu erken A tayf türü süperdevin metalce daha zengin olma eğilimi taşıdığı söylenebilir. α Cygni Sc bakımından biraz (0.22 dex) fakirdir. Ağır elementlere (Sr, Y ve Zr) ilişkin belirlenen bolluk değerleri ise Güneş'e göre (sırasıyla 0.31, 0.79 ve 0.81 dex) oldukça fazladır. Elde edilen bu kimyasal kompozisyona göre α Cygni, diğer normal Populasyon I A tayf türü süperdevlere benzerdir (bkz. Venn 1995a). Nadir toprak elementleri (Ba, La ve Eu) bakımından Güneş'e göre anlamlı sayılabilecek oranda (sırasıyla 0.75, 1.64 ve 1.97 dex) zengindir. Ayrıca bu üç elemente ilişkin bolluk hesaplaması bir A tayf türü süperdev için ilk kez bu çalışmasıyla gerçekleştirildi.

Kütle kaybı nedeniyle α Cygni'nin atmosferinde oluşan hız alanının çizgi profilleri üzerindeki etkisi araştırıldı. Bu amaç için kuvvetli çizgiler ($W_\lambda \geq 250 \text{ m\AA}$) dikkate alındı. Bu inceleme, α Cygni'nin görsel bölge tayfında bulunan tüm kuvvetli çizgilerin simetrik olduğunu göstermektedir. Böylece fotosferik çizgi profilleri, bu süperdevin atmosferinde kütle kaybı nedeniyle oluşan hız alanından ya etkilenmemektedir (asimetrik olmamakta) ya da α Cygni'nin kütle kaybı miktarı $10^{-6} M_\odot \text{ y}^{-1}$ 'den daha küçük olmalıdır.

1. α CYGNI

Galaksimizdeki en önemli yıldızlardan biridir. Öyle ki α Cygni, Samanyolu Galaksisi'nde ve diğer spiral galaksilerde gözlenen A tayf türü süperdev yıldızların bir temsilcisidir. Genel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Yayınlanmış, astrofizik yönünden önemli bir çok çalışma bu

yıldızı içerir. Bu çalışmaların en önemlilerinden biri, Groth (1961) tarafından gerçekleştirilen ve $\lambda\lambda 3076 - 8728 \text{ \AA}$ dalgaboyu aralığını kapsayan tayfsal verilerin analizidir. Groth, metalce Güneş'e göre 0.3 dex daha zengin olduğunu belirledi. Diğer bir önemli çalışma radyal hız değişimi üzerine olup Lucy (1976) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmasında Lucy, Paddock (1935)'un gözlemsel verilerini

inceleyerek değişimin birden fazla dönemlilik içerdiğini tespit etti.

Çizelge 1. α Cygni'nin bazı parametreleri

Görsel parlaklık	1.30 kadir
Mutlak parlaklık	- 8.83 kadir
Bolometrik parlaklık	- 9.04 kadir
Kütle	35 M_{\odot}
Yarıçap	185 R_{\odot}
Uzaklık	990 pc

2. α Cygni'nin Tayfsal Gözlemleri

Gözlemsel veriler, Ocak 1985 - Temmuz 1998 tarihleri arasında Dr. S. J. Adelman ile Dr. A. F. Gulliver tarafından Dominion Astrophysical Observatory (DAO)'de 1.2 m'lik teleskoba bağlı CCD ve Reticon detektörlerle alınmıştır. $\lambda\lambda 3830 - 5212$ Å dalgaboyu aralığını kapsayan bu gözlemler 43 adet 2.4 Å mm^{-1} 'lik tayftan oluşmaktadır (bkz. Çizelge 2.1). Birden fazla tayfın alındığı aynı tayfsal bölge için sinyal gürültü oranını (S/N) artırmak amacıyla "coadded" tekniği (Hill ve Adelman 1986) kullanılarak tayflar birleştirildi. Bu bölgeler için S/N oranı 900 dır. Bazı bölgeler için tek bir tayf

kullanıldı ki bu durumda S/N oranı 750 dır. Tüm tayflar için ise sinyal gürültü oranı ortalama 800 dır. Her bir tayfın dalgaboyu genişliği 67 Å olup merkezi dalgaboyları arasında 55 Å 'lık fark vardır. Dolayısıyla her tayfın sonu bir sonrakinin yaklaşık 10 Å 'lık bir kısmıyla çakışır. Bu örtüşen bölgeler arasında kozmik ışından kaynaklanan gürültüler dışında bir fark tespit edilememiştir.

2.1. Gözlemsel Materyalin Analizi

Tayflar, çok amaçlı bir paket program olan REDUCE (Hill ve Fisher 1986) ile ölçüldü. Her bir tayf için öncelikle süreklilik belirlendi. Sonra, eşdeğer genişliği 20 mÅ dan daha küçük olan zayıf çizgilere Rotational profil olmak üzere, diğer tüm metal çizgilerine Gauss eğrileri çakıştırıldı. Dev, alt-dev ve cüce yıldızların tayf çizgileri, bu çeşit kuramsal profiller ile iyi bir şekilde temsil edilebilir. Fakat, α Cygni'nin kuvvetli metal çizgilerinin genişlemiş kanatları ilave çakıştırmalar gerektirir. Böylece, her bir çizgi için eşdeğer genişlik, merkezi dalgaboyu, çizgi derinliği, çakıştırılan profilin genişliği belirlendi (bkz. Albayrak 1999).

Çizelge 2.1. α Cygni'nin analiz edilen tayfları ve gözlem tarihleri, S/N değerleri, ve ölçülen radyal hızları

Tayf	Julian tarihi (HJD)	Merkezi dalgaboyu (Å)	S/N	Radyal hız (km s^{-1})	Standart hata (km s^{-1})
W48927687	2448847.88366	3860	650	-4.04	1.18
W48922514	2448759.91626	3915	925	-2.48	1.02
W48922543	2448760.91398	3970	250	-2.57	1.50
W122_98_8539	2450986.73870	3970	550	-6.60	0.82
W122_98_8541	2450986.75370	3970	850	-6.42	0.82
W122_98_8543	2450986.76890	3970	625	-6.40	0.82
W122_98_8547	2450986.83280	3970	750	-6.43	0.82
W48921834	2448711.05029	4025	475	-2.23	1.46
W122_98_7183	2450966.96830	4025	500	-7.90	0.90
W122_98_7184	2450966.98000	4025	750	-8.19	0.90
W122_98_7232	2450967.95800	4025	900	-7.44	0.90
W122_98_7234	2450967.97670	4025	875	-7.61	0.90
W48892563	2447747.67640	4080	400	-7.21	0.55
W122_98_11340	2451024.75820	4080	750	-6.14	1.06
W122_98_11342	2451024.77030	4080	900	-5.41	1.06
W48904090	2448225.55567	4135	975	-6.38	1.64
W48921805	2448710.01491	4190	900	-2.63	1.20
W48892617	2447748.62990	4245	950	-7.08	1.67
W48927667	2448846.84902	4245	700	-11.51	1.67
W48921775	2448708.00087	4300	1000	-4.46	1.24
W48904016	2448222.66580	4355	850	-3.10	1.07
W48894610	2447785.56630	4410	950	+0.14	0.98
W48894503	2447831.57270	4465	750	-2.83	0.70
W48894558	2447832.56960	4520	1200	-2.87	0.68
W48901454	2448072.80101	4575	800	+3.35	1.31
W48901735	2448095.85210	4630	450	+0.58	1.10
W122_98_8741	2450992.74870	4630	450	-5.98	1.58
W122_98_8743	2450992.76120	4630	325	-5.80	1.58
W122_98_8745	2450992.77410	4630	750	-5.92	1.58
W122_98_8747	2450992.78310	4630	550	-5.60	1.58
W48913708	2448480.84004	4685	550	-0.18	1.11
W48921742	2448707.03957	4740	750	-3.98	0.66
W48927812	2448851.96527	4795	650	-3.25	0.77
W48927841	2448852.77771	4795	675	-4.48	0.77
W48927851	2448852.96967	4850	850	-2.67	0.83
W122_97_9144	2450590.98785	4905	775	-2.64	0.67
W48927917	2448855.98969	4960	1000	+0.29	1.41
W122_97_11836	2450649.98946	5015	650	-8.26	1.03
W122_97_11838	2450649.98946	5015	650	-8.24	1.03
W48901355	2448065.78950	5070	850	-1.48	1.36
W122_97_9350	2450592.98665	5070	800	-8.27	1.36
W48901361	2446066.96520	5125	725	-1.96	1.29
W48927887	2448853.96924	5180	700	-2.37	1.28

Ortalaa = -4.53 \pm 3.02

2.2. Radyal Hız Ölçümleri ve Çizgi Tanısı

Radyal hız ölçümleri için temiz (blend olmayan) çizgiler seçildi. Eğer bir tayf çizgisinin gözlenen dalgaboyu (λ_o) ve laboratuvar dalgaboyu (λ_L) ise o çizgi için radyal hız değeri; $V_R = [(\lambda_o - \lambda_L)/\lambda_L]c$ bağıntısıyla bulunur. Burada c , ışık hızıdır. Bu şekilde her tayf için bir ortalama radyal hız ve onun standart hatası hesaplanır. α Cygni'nin her bir tayfı için radyal hız değerini belirlemek amacıyla başlıca Fe II, Fe I, Ti II, Cr II, V II ve Ni II çizgileri kullanıldı. Bazı tayfların radyal hız değerleri en az beş çizgiden belirlenmesine rağmen çoğu tayf için on'dan daha fazla çizgi kullanıldı. Çizelge 2.1'de analiz edilen tayfların numaraları, Heliosantrik Jülyen günü olarak gözlem tarihleri, tayf çizgilerinin merkezi dalgaboyları, sinyal gürültü oranları, radyal hız değerleri ve bu değerlerin hataları sunulmuştur.

Bu çalışmada, 32 farklı gecede alınmış tayflardan belirlenen radyal hız değeri -4.53 ± 3.02 km s⁻¹ dir. Minimum ve maksimum radyal hız değerleri ise sırasıyla -11.51 ve 3.35 km s⁻¹

olup değişim genliği 14.86 km s⁻¹ dir (bkz. Çizelge 2.1). Radyal hız değişim genliği olarak bulunan 14.86 km s⁻¹ lık değer 14 km s⁻¹ olarak hesapladığımız makrotürbülans hızına hemen hemen eşittir. Lucy (1976), bu yıldızın atmosferindeki makrotürbülansın birden fazla (çoklu) döneme sahip radyal olmayan salınımların bir sonucu olduğunu ileri sürdü. Parthasarathy ve Lambert (1987) yaptıkları 123 radyal hız ölçümünden, değişim genliğini 14.3 km s⁻¹ olarak hesaplamışlar. Bu çalışmada ulaşılan 14.86 km s⁻¹ 'lik değişim genliği onların sonucuna da oldukça yakındır.

α Cygni'nin optik bölgede yapılan çizgi tanısında; H I, He I, C I, C II, N I, N II, O I, Mg I, Mg II, Al I, Al II, Si I, Si II, S II, Ca I, Ca II, Sc II, Ti I, Ti II, V II, Cr I, Cr II, Mn I, Mn II, Fe I, Fe II, Fe III, Co II, Ni I, Ni II, Sr II, Y II, Zr II, Ba II, La II ve Eu II atom ve iyonlarına ait çizgilerin var olduğu belirlendi. Bunlardan C I, N II, Si I, Fe III, Ba II ve La II çizgilerinin varlığı ilk kez bu çalışmayla tespit edildi (bkz. Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Farklı araştırmacılar tarafından α Cygni'nin atmosferinde var olduğu belirlenen atom ve iyonlar

Atomik tür	Buscombe (1951)	Huang ve Struve (1955)	Chadeau (1955)	Groth (1961)	Taffara (1966)	Zverko (1971)	Bu çalışma
He I	✓	...	✓	✓	✓	✓	✓
C I	✓
C II	✓ (x)	✓	✓	✓	✓
N I	✓	✓	✓	✓
N II	✓
O I	✓	✓	✓	✓
Mg I	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mg II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Al I	✓	✓	✓	✓	✓
Al II	✓ (x)	...	✓	✓ (x)	✓
Si I	✓
Si II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Si III	✓ (*)	...
S II	✓ (m)	...	✓	...
Cl II	✓ (*)	✓ (*)	...
Ar I	✓ (*)	✓ (*)	...
Ca I	✓	✓ (m)	✓	✓	✓
Ca II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sc II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ti I	✓	✓ (x)	✓ (m x)	✓
Ti II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
V II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cr I	✓	✓	...	✓	✓	✓	✓
Cr II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Mn I	✓	✓	✓	✓	✓
Mn II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fe I	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fe II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fe III	✓ (+)	...
Co II	✓	✓	✓
Ni I	✓	✓
Ni II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sr II	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Y II	✓	✓	✓	✓	✓
Zr II	✓	✓	✓	✓
Ba II	✓
La II	✓
Ce II	✓ (*)	...
Pr II	✓ (*)	✓ (*)	✓ (*)	...
Eu II	✓	...	✓	✓
Gd II	✓ (*)	...
Hf II	✓ (*)	...

Not: ✓ = mevcut, m = muhtemelen mevcut, x = yanlış tanı, * = bu çalışma onun varlığını doğrulamaz, + = daha önceki tanı yanlış fakat bu çalışma ile varlığı yeniden belirlendi, ... = belirlenemedi. Ayrıca bu çalışma, Buscombe (1951), Chadeau (1955), Huang ve Struve (1955), Groth (1961), Taffara (1966) and Zverko (1971)'nin verileri sırasıyla $\lambda\lambda 3830 - 5212$, $\lambda\lambda 3308 - 4666$, $\lambda\lambda 3997 - 6456$, $\lambda\lambda 3736 - 4541$, $\lambda\lambda 3076 - 8728$, $\lambda\lambda 3783 - 4923$, ve $\lambda\lambda 3693 - 4635$ Å bölgelerini kapsar.

3. α Cygni'nin Atmosfer Analizi

3.1. Atmosfer Parametrelerinin Belirlenmesi

α Cygni'nin etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesine ilişkin literatürde yayınlanmış bir çok değer mevcuttur (bkz. Albayrak 1999). Bu değerler etkin sıcaklık için 10080 ile 7635°K arasında ve yüzey çekim ivmesi için 2.5 ile 1.0 cm s^{-1} arasındadır. Yakın bir geçmişte Venn (1995a, 1995b), 22 A tayf türü süperdevin atmosfer parametrelerini, LTE yaklaşımıyla kimyasal bolluğunu belirleyerek bu yıldızların evrim durumlarını inceledi. Fakat A tayf türü süperdevlere ilişkin yapılmış bu en kapsamlı çalışma α Cygni'yi içermez.

α Cygni'nin atmosfer parametreleri olan etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesini (T_{et} , $\log g$) belirleyebilmek için aşağıda belirtilen ölçütler kullanıldı. Bunlar:

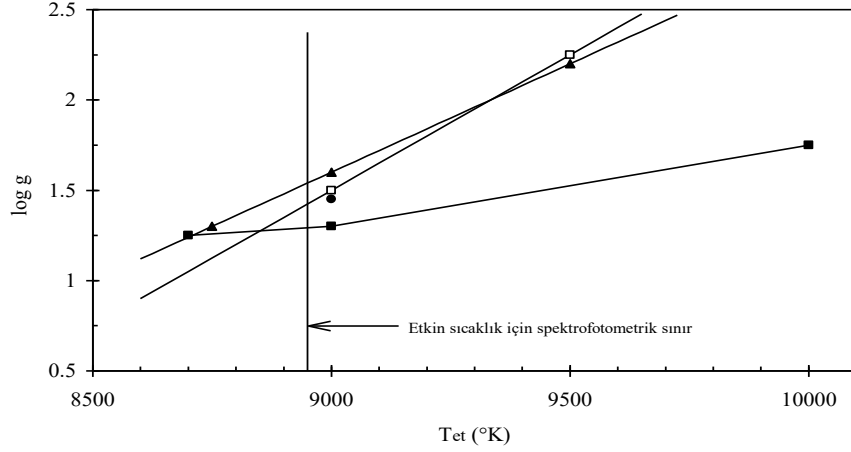
- 1- Gözlemsel ve kuramsal Balmer çizgi profillerinin (özellikle H_{γ} ve/veya H_{δ} , H_{β}) karşılaştırılması. Bu karşılaştırma işleminde, çizgi kanatlarındaki uyum dikkate alındı. Çünkü, ATLAS9 (Kurucz (1995) programının bir yardımcı programı olan ve kuramsal Balmer çizgilerinin üretildiği BALMER isimli program, NLTE (Non Local Thermodynamic Equilibrium = Yerel Termodinamik Dengeden Sapma) etkisini, dönme ve aletsel genişleme etkilerini ve ayrıca olası kütle kaybı veya diğer atmosferik değişimleri dikkate almadığından söz konusu çizgilerin merkezi bölgelerini güvenilir bir şekilde üretmemektedir. Balmer çizgilerinin kanatları sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi çiftine bağlı olup bu iki parametrenin birkaç farklı değeri için kuramsal Balmer çizgisi veya çizgileri üretilerek gözlemsel profiller ile karşılaştırılır. Bu çalışmada α Cygni için DAO Reticon dedektör ile alınmış 2.4 \AA mm^{-1} dispersiyona sahip (W48904016) H_{γ} profili kullanıldı. Model hesaplaması için ATLAS9 ve H_{γ} bölgesi için kuramsal tayf üretmek amacıyla SYNTH (Kurucz ve Avrett 1981) programları kullanıldı.
- 2- Yıldızların enerji dağılımları öncelikle etkin sıcaklıklarına ve ikinci derecede de yüzey çekim ivmelerine bağlıdır. Bu nedenle, dar bant fotometrik sistemlerin kullanılmasıyla elde edilmiş gözlemsel sürekli enerji dağılımı, kuramsal olarak üretilmiş enerji dağılımıyla karşılaştırılır. Gözlemsel enerji dağılımı, modelle üretilen enerji dağılımıyla karşılaştırılmadan önce yıldızlararası kızarma etkisinden arındırılması gerekir. Bu amaçla,

α Cygni için Schild et al. (1971) ve Alekseva et al. (1996)'ın spektrofotometrik gözlemleri kullanıldı. Bu gözlemler, birinci fotometrik standart olarak bilinen Vega'ya göre kalibre edilmiştir (Hayes-Latham 1975). Yıldızlararası sönümleme etkisinden arındırmak amacıyla Schild (1977)'in yıldızlar arası sönümleme değerleri kullanıldı.

- 3- Etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesinin belirlenmesinde kullanılan bir diğer yol "iyonizasyon dengesi" dir. Bir başka ifadeyle, bir elementin farklı iki iyonik durumu için hesaplanan bolluk değerleri birbirine eşit ise (aynı atmosfer parametrelerinin kullanılması durumunda) o element için yıldız atmosferinde iyonizasyon dengesi sağlanmaktadır. Bu amaçla birden fazla element dikkate alınabilir.

Bu çalışmada öncelikle Mg I/II çizgilerini kullandık. Ayrıca A tayf türü süperdevlerde Si I/II iyonizasyon dengesinden bulunan atmosfer parametreleri Mg I/II iyonizasyon dengesinden bulunanlarla benzerdir (Venn 1995). Böylece Si elementi, bu yıldızlar için atmosfer parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Fakat, bu çalışmada incelenen gözlemsel verilerde bu amaçla kullanılabilir temiz (unblended) Si I çizgileri bulunmamaktadır. Ayrıca, Mg I/II çizgilerinden başka Fe I ve Fe II iyonları için Fe'in iyonizasyon dengesine karşılık gelen T_{et} ve $\log g$ değerlerini araştırdık (daha fazla bilgi için bkz. Albayrak 1999).

Magnezyum iyonizasyon dengesinden ($\log \epsilon(\text{Mg I}) = \log \epsilon(\text{Mg II})$), demir iyonizasyon dengesinden ($\log \epsilon(\text{Fe I}) = \log \epsilon(\text{Fe II})$), kuramsal olarak üretilen H_{γ} profillerinin gözlemlerle karşılaştırılmasından ve spektrofotometrik gözlemlerden belirlenen enerji dağılımının kuramsal olarak üretileni ile farklı kızarma değerleri için karşılaştırılmasından belirlenen atmosfer parametreleri Şekil 3.1'de görüldüğü gibidir. T_{et} - $\log g$ veya Kiel diyagramı olarak adlandırılan bu grafik, farklı yöntemlerin kullanılmasında elde edilen değerlerden hareketle en olası atmosfer parametrelerini belirlemeye imkan vermesi bakımından çok faydalıdır. Bu diyagramda görüleceği gibi Mg iyonizasyon dengesinden belirlenen değerlerin belirttiği doğru ile Fe iyonizasyon dengesinden belirlenen değerlerin belirttiği doğrunun kesim noktasına $T_{\text{et}} = 9325 \text{ °K}$ ve $\log g = 2.0$ değerleri karşılık gelir. Diğer taraftan H_{γ} profili ve Mg iyonizasyon dengesine ilişkin bulunan sonuçlar bu diyagramda $T_{\text{et}} = 8700 \text{ °K}$ ve $\log g = 1.25$ değerlerine karşılık gelen noktada kesişirler. Ayrıca, H_{γ} profili ile Fe



Şekil 3.1. α Cygni için $T_{\text{et}} - \log g$ diyagramı (veya Kiel Diyagramı). İçi dolu üçgenler ve içi boş kareler sırasıyla Mg I/II ve Fe I/II iyonizasyon dengesinden, içi dolu kareler ise H_{γ} profili için yapılan kuramsal kıyaslardan belirlenen değerleri göstermektedir. 8950 °K deki düşey çizgi etkin sıcaklığın minimum değeri için spektrofotometrik sınırdır. En uygun model atmosfer parametreleri içi dolu daire ile gösterilmiştir

iyonizasyon dengesine karşılık gelen değerler de $T_{\text{et}} = 8800$ °K ve $\log g = 1.25$ olacak şekilde keşifindedir. Fakat spektrofotometre, etkin sıcaklığın 8950 °K den daha büyük olmasını gerektirmektedir. Çünkü 8950 °K den daha düşük etkin sıcaklık değerleri için morötesi bölgede üretilen kuramsal akı gözlenmiş akının çok altında kalmaktadır. Böylece atmosfer parametreleri olarak söz konusu yöntemlerin yakınsadığı en iyi değerler olan $T_{\text{et}} = 9000$ °K ve $\log g = 1.45$ dir. Diğer ölçütler (H_{γ} , Mg I/II ve Fe I/II iyonizasyon dengesi) dikkate alınmadan spektrofotometrik gözlemlere daha uygun bir çakıştırma yapılabilir. Bu anlamda en iyi uyum $T_{\text{et}} = 9200$ °K ve $\log g = 1.35$ değerleri için elde edilebilir. Aynı etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesine göre, küresel geometri yaklaşımını dikkate alan model atmosfer hesaplamasından belirlenecek Balmer düşmesi, paralel düzlem yaklaşımıyla hesaplanan model atmosfere karşılık gelen Balmer düşmesinden daha büyüktür (Kubat 1996). Kuramsal H_{γ} profili ve sürekli enerji dağılımının üretilmesi için gerekli model hesaplamalarında ortalama mikrotürbülans değeri olarak aşağıda tartışıldığı gibi 8 km s^{-1} kabul edildi.

Spektrofotometrik gözlemlerin kullanılması, sıcaklığın iyi bir şekilde belirlenmesine olanak sağlar. Fakat, bu gözlemlerin yıldızla ilişkin yıldızlararası kızarma miktarına göre düzeltilmesi gerekir. Çünkü söz konusu etki, gözlenmiş enerji dağılımını ve etkin sıcaklık değerini önemli sayılabilecek bir oranda etkiler. Spektrofotometrik gözlemlere yapılan çakıştırmalar E (B-V)'nin 0.04'ten daha büyük olması gerektiğini göstermektedir. E(B-V) 0.09'a yaklaştıkça 9000 °K den uzaklaşmaktadır. Kızarma değeri olarak en iyi çakıştırmanın elde edildiği E(B-V) = 0.05

kabul edildi. Bu değer fotometrenin belirlediği sınırlar içersindedir (bkz. Albayrak 1999).

α Cygni'nin gözlemsel enerji dağılımı (Schild et al. 1971) ile $T_{\text{et}} = 9000$ ° K, $\log g = 1.45$ için hesaplanan kuramsal enerji dağılımının bir karşılaştırılması ve ayrıca gözlenmiş H_{γ} profili ile kabul edilen model atmosfere göre üretilen kuramsal profilin uyumu Albayrak (1999)'da verilmiştir.

3.2. Bolluk Analizi

3.2.1. Mikrotürbülans

Mikrotürbülans hızı tayf çizgilerinin şeklini etkiler (bkz. Albayrak 1999). Bir elementin bolluğu, o elemente ait tayf çizgilerinin eşdeğer genişlik ölçümlerinden hesaplandığı için bolluk değeri de mikrotürbülansa bağlı olarak değişir. WIDTH9 (Kurucz 1995) programıyla, elementin gözlenmiş tayfta bulunan çizgilerinin ölçülmüş eşdeğer genişliklerinden çeşitli mikrotürbülans hızları kullanarak o element için farklı bolluk değerleri hesaplanır. Hesap edilen bolluklar arasında eşdeğer genişliğe bağlılığın bulunmadığı veya minimum olduğu dağılıma ait mikrotürbülans değeri o element için sonuç mikrotürbülans hızı olarak kabul edilir. Böylece, Mg I için 7 çizgiden 3.60 km s^{-1} , Mg II için 9 çizgiden 6.50 km s^{-1} , Si II için 12 çizgiden 8.50 km s^{-1} , Ti II için 70 çizgiden 8.00 km s^{-1} , Cr II için 49 çizgiden 11.90 km s^{-1} , Fe I için 118 çizgiden 3.60 km s^{-1} ve Fe II için 155 çizgiden 10.40 km s^{-1} olarak belirlendi (bkz. Çizelge 3.1). Görüldüğü gibi nötr ve bir kez iyonize olmuş Mg ve Fe çizgileri için bulunan mikrotürbülans hızları farklılık göstermektedir. Bir başka önemli sonuç, α Cygni'nin atmosferinde mikrotürbülans hızının

elementlere göre farklı olmalıdır. Ayrıca, Mg I ve Fe I çizgileri diğer atom ve iyonlara göre daha küçük mikrotürbülans hızları verdi. Bu farklı mikrotürbülans atmosferdeki hız gradyentinin bir göstergesidir. Benzer sonuçlar Rosendhal (1970) ve Aydın (1972) tarafından diğer süperdevler için bulundu. Böylece, α Cygni'nin atmosferinde mikrotürbülans hızı optik derinliğe göre sabit olmayabilir.

Çizelge 3.1. α Cygni'nin atmosferinde bulunan bazı atom ve iyonlar için belirlenen mikrotürbülans hızları

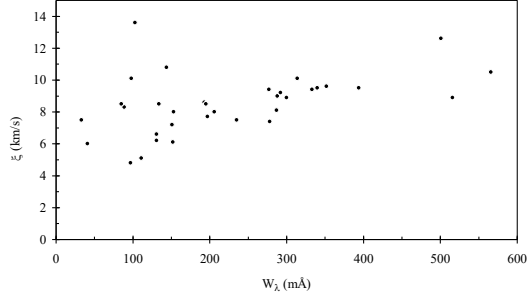
Atomik tür	Kullanılan çizgi sayısı	ξ (km s ⁻¹)
Mg I	7	3.60 ± 0.1
Mg II	9	6.50 ± 0.1
Si II	12	8.50 ± 0.2
Ti II	70	8.00 ± 0.1
Cr II	49	11.9 ± 0.3
Fe I	118	3.60 ± 0.2
Fe II	155	10.40 ± 0.2

Çizelge 3.1'den de görüldüğü gibi α Cygni'nin atmosferinde Mg I, Mg II, Si II, Ti II, Cr II, Fe I ve Fe II çizgilerinden, çizgi oluşum bölgesi boyunca ortalama mikrotürbülans hızı 7.5 km s⁻¹ dir. Bu nedenle, model atmosfer hesabında donukluğun belirlenmesi için derinlikten bağımsız mikrotürbülans hızı için ortalama bir değer olarak 8 km s⁻¹ alındı. Çünkü ATLAS9 programı, model atmosfer hesabında mikrotürbülans hızı için girdi parametreleri olarak 0, 2, 4 ve 8 km s⁻¹ değerlerinden birini kabul etmektedir. Ayrıca, bu çizelgede olmayan diğer bütün atom ve iyonların bolluk hesaplamaları için de mikrotürbülans hızı 7 km s⁻¹ olarak kabul edildi.

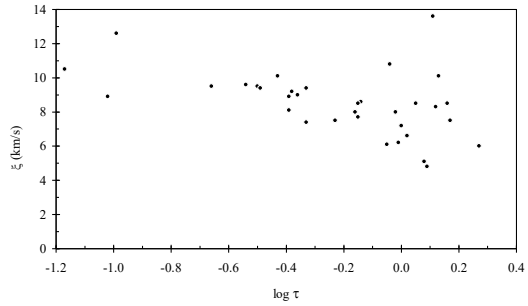
İlk kez Rosendhal (1970), α Cygni'nin atmosferinde mikrotürbülansın derinliğe bağlı olarak değiştiğini belirledi. Bu yönde en son çalışma Samedov (1993) tarafından yapıldı Samedov da optik derinliğe bağlı olarak mikrotürbülans hızının değiştiğini tespit etti. Ancak, Boer et al. (1988), $-4 < \log \tau < -1$ aralığında mikrotürbülans hızının sabit ve ortalama 10.3 km s⁻¹ olduğunu hesapladı.

Mikrotürbülans hızının atmosferde derinliğe bağlı değişimini araştırmak için sadece Fe II çizgileri kullanıldı. α Cygni'nin tayfında Fe II çizgileri diğer elementlerin çizgilerine göre sayıca daha çoktur. $\log gf$ değerleri Fuhr, Martin ve Wiese (1988) tarafından daha duyarlı biçimde belirlenmiş blend olmayan 34 Fe II çizgisinin her biri için ayrı ayrı mikrotürbülans hızları ve bu çizgilerin atmosfer içersindeki ortalama oluşum derinlikleri hesaplandı (bkz. Albayrak 1999). Şekil 3.2 ve 3.3'de, seçilen Fe II çizgileri için belirlenmiş mikrotürbülans hızlarının eşdeğer genişlik ve optik derinlikle değişimi verilmiştir. Şekil 3.2 ve 3.3'den de görüldüğü gibi, bu yıldızın

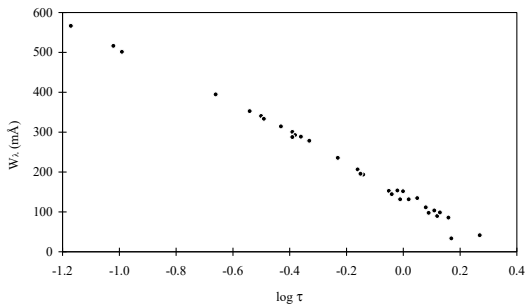
atmosferinde mikrotürbülans hızı optik derinliğe ve eşdeğer genişliğe bağlı olarak farklılık gösterme eğilimindedir. Ayrıca, aynı çizgiler için eşdeğer genişliğin optik derinliğe bağlılığı da Şekil 3.4'de verildi. Kuvvetli çizgiler daha büyük mikrotürbülans hızları içerir (bkz. Şekil 3.2). Böylece, α Cygni'nin atmosferinde mikrotürbülans hızı hem elemente göre farklılık gösterirken hem de aynı elementin farklı iyonları için farklıdır. Ayrıca, optik derinliğe bağlı olarak da değişir (bkz. Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Fe II çizgileri için eşdeğer genişliğin fonksiyonu olarak mikrotürbülans hızlarının değişimi



Şekil 3.3. Fe II çizgileri için optik derinliğin fonksiyonu olarak mikrotürbülans hızlarının değişimi



Şekil 3.4. Fe II çizgileri için optik derinliğin fonksiyonu olarak eşdeğer genişliğin değişimi

3.2.2 Element bollukları

Helyum ve metal bolluğunu hesaplamak için sırasıyla SYNSPEC (Hubeny et al. 1994) ve WIDTH9 (Kurucz 1995) programları kullanıldı. Helyum/Hidrojen (He/H) oranının belirlenmesi,

yıldız evrimi ve kozmolojide olduğu gibi bir yıldızın kimyasal bolluk analizinde de önemlidir. Helyum bolluğunu belirlemek için blend olmayan sekiz He I çizgisi seçildi. Diğer He I çizgileri ya çok zayıf ya da çok temiz (unblended) değildir. Program SYNSPEC ile değişik He/H oranı için söz konusu sekiz He çizgisi kuramsal olarak hesaplandı. Gözlemsel ve kuramsal He çizgileri karşılaştırılmadan önce her bir kuramsal He çizgisi, aletsel ve yıldızın dönmesinden ileri gelen genişlemeler için düzeltildi. Gözlemsel ve kuramsal çizgiler arasındaki uyumun en iyi olduğu He/H değerlerinden $He/H = 0.071 \pm 0.008$ olarak belirlendi (bkz. Çizelge 3.2). Diğer elementler için WIDTH9 (Kurucz 1995) programıyla hesaplanan bolluklar Çizelge 3.3'de verilmiştir. Bu çizelgede, her bir atom ve ya iyon için belirlenmiş ortalama kimyasal bolluk sonuçları hidrojen bolluğu cinsinde ($\log N/N_H$) ifade edilmiştir.

Çizelge 3.2. α Cygni için hesaplanan He/H değerleri

Çizgi (λ , Å)	He/H
4009	0.06
4026	0.06
4120	0.07
4169	0.08
4437	0.07
4471	0.08
4713	0.07
4921	0.08
Ortalama = 0.071 ± 0.008	

Çizelge 3.3. α Cygni için belirlenen bollukların ($\log N/N_H$) Güneş'e ilişkin değerlerle karşılaştırılması

Element	Çizgi sayısı	α Cygni	Güneş (*)	[x] (**)
He I	8	-1.15 ± 0.01	(-1.00)	-0.15
C I	3	-3.79 ± 0.20	-3.45	-0.34
C II	1	-3.06	-3.45	+0.39
N I	5	-3.12 ± 0.28	-4.03	+0.91
N II	2	-3.69 ± 0.28	-4.03	+0.34
O I	4	-3.37 ± 0.30	-3.12	-0.25
Mg I	7	-4.31 ± 0.26	-4.42	+0.11
Mg II	9	-4.49 ± 0.14	-4.42	-0.07
Al I	2	-5.75 ± 0.13	-5.53	-0.22
Al II	1	-5.79	-5.53	-0.26
Si II	12	-4.60 ± 0.21	-4.45	-0.15
S II	10	-5.10 ± 0.25	-4.67	-0.43
Ca II	1	-5.21	-5.64	+0.43
Sc II	3	-9.05 ± 0.18	-8.83	-0.22
Ti II	70	-7.00 ± 0.23	-6.98	-0.02
V II	21	-7.88 ± 0.28	-8.00	+0.12
Cr I	6	-5.94 ± 0.19	-6.33	+0.39
Cr II	49	-6.28 ± 0.29	-6.33	+0.05
Mn I	1	-6.64	-6.61	-0.03
Mn II	22	-6.40 ± 0.27	-6.61	+0.21
Fe I	118	-4.26 ± 0.30	-4.50	+0.24
Fe II	155	-4.43 ± 0.27	-4.50	+0.07
Fe III	1	-5.08	-4.50	-0.58
Ni I	4	-5.52 ± 0.21	-5.75	+0.23
Ni II	4	-5.76 ± 0.08	-5.75	-0.01
Sr II	2	-8.72 ± 0.09	-9.03	+0.31
Y II	5	-8.97 ± 0.22	-9.76	+0.79
Zr II	12	-8.59 ± 0.20	-9.40	+0.81
Ba II	1	-9.12	-9.87	+0.75
La II	1	-9.19	-10.83	+1.64
Eu II	1	-9.52	-11.49	+1.97

(*) Güneş için bolluk değerleri Grevesse, Noels ve Sauval (1996)'dan alındı
(**) $[x] = \log \epsilon(x)_* - \log \epsilon(x)_\odot$

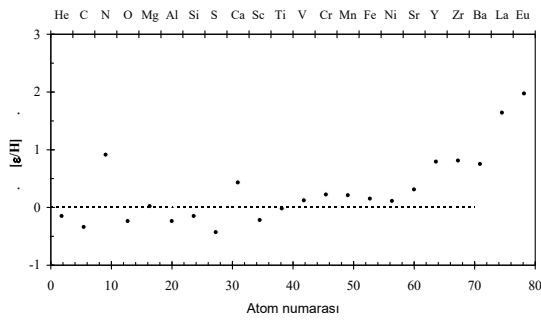
Mg I ve Mg II den belirlenen bolluklar kendi aralarında oldukça iyi bir uyum göstermektedir (bkz. Çizelge 3.3). Bu durum, Fe I ve Fe II için bulduğumuz bolluklar için de geçerlidir. Her iki elementin nötr ve bir kez iyonize olmuş çizgileri için belirlenen bolluklar arasındaki fark (0.17 dex) hata sınırları içindedir. Her iki element de atmosfer parametrelerin belirlenmesinde iyonizasyon dengesi için kullanıldı. Böylece, $\log \epsilon$ (Mg I) $\sim \log \epsilon$ (Mg II) ve $\log \epsilon$ (Fe I) $\sim \log \epsilon$ (Fe II) olarak elde edilmesi tamamen kabul edilen model atmosfer parametrelerinin bir sonucudur. α Cygni'nin tayfında C, N, Al, Cr, Mn ve Ni elementlerinin birden fazla iyon (hem nötr ve hem de iyonize olmuş) durumlarına ilişkin çizgiler bulunmamaktadır. Fakat bu elementler için iyonizasyon dengesi, atmosfer parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmadı.

Sadece bir C II çizgisinden bulunan karbon bolluğu üç C I çizgisinden bulunandan oldukça farklıdır. Ayrıca, N I ve N II çizgilerinden hesaplanan azot bollukları da birbiriyle uyuşmamaktadır. Beş N I çizgisinin her biri için bulunan sonuç bir diğeri için belirlenene çok yakındır. Öte yandan iki N II çizgisinden bulunan sonuçlar birbirinden oldukça farklıdır. Yani N I çizgilerinin verdiği bolluklar arasındaki uyum N II'nin bu iki çizgisine ilişkin bulunan sonuçlar arasında görülmemektedir. Ayrıca, N I çizgilerinden bulunan azot bolluğu N II çizgilerinden bulunandan 0.57 dex daha fazladır. Böylece, N I/II α Cygni'nin atmosferinde iyonizasyon dengesinden oldukça uzak gözükmektedir. Alüminyum bolluğu Al I ve Al II çizgilerinden hesaplandı. Bir Al II çizgisinden bulunan bolluk iki Al I çizgisinden bulunana oldukça yakındır. Cr I çizgilerinden bulunan krom bolluğu Cr II çizgilerinden bulunandan yaklaşık 0.34 dex daha fazladır. Mn I ve Mn II çizgilerinden hesaplanan mangan bollukları da farklılık göstermektedir. Mn I'den bulunan bolluk için tek bir çizgi kullanıldı. Elde edilen bolluk değeri Mn II çizgilerinden bulunan bolluk değerleri aralığındadır. Nikel bolluğu için Ni I ve Ni II'nin dörder çizgisi kullanıldı. Bu elementin her iki iyon durumundan elde edilen bolluklar hata sınırları içinde aynıdır. Böylece Al ve Ni elementleri Mg ve Fe elementleri gibi α Cygni'nin atmosferinde iyonizasyon dengesindedir.

Karbon, azot, oksijen (CNO), kükürt, kalsiyum, yitrium, stronsiyum, zirkonyum, baryum, lantan ve öropyum elementleri Güneş'e göre sırasıyla -0.34, +0.91, -0.25, -0.43, +0.43, +0.31, +0.79, +0.81, +0.75, +1.64 ve 1.97 dex kadar farklıdır. Bu sonuçlar α Cygni'de azot bolluğunun Güneş'e göre önemli oranda fazla olduğunu gösterir. Karbon ve oksijen bakımından

Güneş'e göre biraz fakirdir. Alüminyum bolluğu, orta düzeyde denecek kadar (~ 0.24 dex) az iken kükürt oldukça düşüktür (~ 0.43 dex). Diğer hafif elementlere (Mg ve Si) ilişkin belirlenen bolluklar, Güneş'e ilişkin değerlerden pek farklı değildir. Bu iki element için belirlenen bolluk değerleri hata sınırları içerisinde Güneş'tekiyle aynıdır (bkz. Çizelge 3.3). Genel olarak α Cygni, Sc hariç metal bolluğu bakımından (Ca'dan Ni'e kadar olan elementler) Güneş'e göre daha zengin olma eğilimindedir. Skandiyum, Güneş'e göre biraz daha azdır. Tek bir çizgiden (Ca II $\lambda 3933$ Å) belirlenen Ca bolluğu Güneş'e göre oldukça fazladır. Ayrıca, bu analizde Mn I ve Fe III çizgilerinden hesaplanan bolluklar için birer çizgi kullanıldı. Elde edilen sonuçlar her iki elementin diğer iyon durumlarından bulunan bolluk değerlerinden daha düşüktür. Bu durumda Mn I ve Fe III çizgilerinden bulunan bollukları dikkate almazsak Mn ve Fe, α Cygni'de Güneş'e göre biraz fazladır. Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe ve Ni için bulunan bolluk sonuçları Güneş'e ilişkin değerlerden sırasıyla -0.22 , -0.02 , $+0.12$, $+0.22$, $+0.21$, $+0.15$ ve $+0.11$ dex farklıdır.

Ağır elementler sınıflamasında yer alan Sr, Y ve Zr için hesaplanan bolluklar, Güneş'ten sırasıyla 0.31 , 0.79 , ve 0.81 dex oranında daha fazladır. Ba, La ve Eu için bolluklar birer çizgiden belirlendi. Baryum Güneş'e göre 0.75 dex kadar fazla iken lantan ve öropyum elementleri Güneş'tekinden altı kat daha boldur. Bir A tayf türü süperdev için bu üç elemente ilişkin bolluk hesabı ilk kez bu çalışmada yapıldı. α Cygni için hesapladığımız kimyasal bolluklar ile Güneş'e ilişkin değerler arasındaki farklar ayrıca grafiksel olarak Şekil 3.5'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. α Cygni için hesaplanan bollukların Güneş'ten olan farklılıkları

3.3. Makrotürbülans ve Dönme Hızı

Dönme hızının bir ilk tahmini değeri, Mg II $\lambda 4481$ çizgisi bölgesinde bulunan ve blend olmayan çizgilere REDUCE (Hill ve Fisher 1986) programıyla yapılan çakıştırmalardan 26.7 km s^{-1} olarak belirlendi (bkz. Albayrak 1999). Eşdeğer

genişlikleri $8 - 14 \text{ mÅ}$ arasında olan yeterince zayıf bu çizgiler üzerindeki mikrotürbülans, makrotürbülans ve diğer atomik çizgi genişleme etkileri çok azdır. Daha kuvvetli çizgiler ise mikrotürbülans ve makrotürbülans hızlarının belirlenmesinde kullanıldı.

Makrotürbülans hızını belirleyebilmek ve yukarıda bahsedildiği gibi seçilmiş metal çizgilerine yapılan kuramsal profil çakıştırmalarından 26.7 km s^{-1} olarak tahmin edilen dönme hızının gerçek değerini bulabilmek için, SYNTHE (Kurucz & Avrett 1981) programıyla $\lambda\lambda 4490 - 4550$ Å dalga boyu aralığında sentetik tayf üretildi. Ancak, öncelikle atmosfer dinamiğinin bu iki önemli parametresinin farklı değerlerine göre çizgi profillerinin nasıl etkilendiğini tespit edebilmek amacıyla $\lambda\lambda 4500 - 4540$ Å bölgesi için sentetik tayf oluşturuldu (bkz. Albayrak 1999). Çünkü, incelenen tayflarda kuvvetli çizgilerin en fazla bulunduğu dalgaboyu aralığı bu bölgedir. Ayrıca, aynı dalgaboyu aralığı için üretilen tayftaki çizgilerin farklı mikrotürbülans hızlarına göre değişimleri de belirlendi (bkz. Albayrak 1999). Dönme hızının artmasıyla çizgi profilleri daha sıkı olmaktadır. Çizginin şekli değişirken eşdeğer genişliği aynı kalmaktadır. Ayrıca, dönme hızının artmasıyla çizgiler, biçim olarak Gaussian profilden Rotational profile dönüşmekte ve birbirlerini örtmektedir (blendlik artmakta). Dönme hızının çok büyük olması durumunda ise çizgiler sürekliliğe karışmaktadır (bkz. Albayrak 1999).

Dönme etkisinde olduğu gibi mikrotürbülans ve makrotürbülansın artmasıyla çizgilerin birbirini örtmesi de artmaktadır. Mikrotürbülans ve makrotürbülans hızları büyüdükçe çizgi merkezleri keskinleşmekte ve kanatlar genişlemektedir. Ancak bu değişimlere rağmen çizgi hala Gauss profili biçimindedir. Halbuki dönme etkisi çizginin şeklini belirgin bir biçimde değiştirir. Öyle ki dönmenin artmasıyla çizgi merkezi düzleşir. Makrotürbülans, mikrotürbülansa nazaran çizgi profiline boyunu daha fazla etkiler. Böylece yıldız atmosfer dinamiğini belirleyen parametrelerin çizgi profilleri üzerindeki etkileri ayrıntılı bir şekilde tespit edildi (bkz. Albayrak 1999).

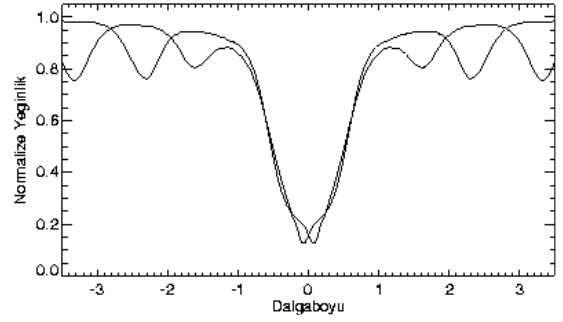
$\lambda\lambda 3830 - 5212$ Å bölgesindeki gözlemsel tayf ile en iyi uyumu sağlayacak sentetik tayfi elde edinceye kadar serbest girdi parametreleri olarak kabul edilen makrotürbülans ve dönme hızı değerleri değiştirildi. Çakıştırılma yapılan gözlemsel tayf için % 3.5 oranında saçılmış ışık düzeltmesi yapıldı (Gulliver, Hill ve Adelman 1996). Eş zamanlı olarak belirlenen en iyi değerler, dönme hızı ($v \sin i$) için 25 km s^{-1} ve makrotürbülans hızı için 14 km s^{-1} dir. Böylece

belirlenen dönme hızı, Abt ve Morrell (1995)'ın 30 km s^{-1} olarak buldukları değere çok yakındır. Ayrıca belirlenen makrotürbülans hızı da De Jager et al. (1984) tarafından hesaplanan 14.2 km s^{-1} ve Boer et al. (1988)'in buldukları 14 km s^{-1} ile aynıdır. $\lambda\lambda 3827 - 5212 \text{ \AA}$ bölgesi için üretilen sentetik tayfin gözlemlerle karşılaştırılmasındaki uyumu gösteren birkaç örnek şekil oluşturuldu (bkz. Albayrak 1999).

3.4. Çizgi Asimetrisi

Yıldız atmosferindeki hız alanlarını belirleyebilmek ve bu hız alanları hakkında bilgi edinebilmek için tayf çizgilerinin asimetrik yapısı oldukça önemlidir. Bir tayf çizgisinin simetrik olup olmadığının belirlenmesi, çizgi profilinin kendi üzerine ters çevrilmesiyle mümkündür. Bu şekilde ele alınan çizginin simetrik olup olmadığı kolayca belirlenebilir. Lamers ve Achmad (1994), içlerinde α Cygni'nin de bulunduğu O-F tayf türü aralığında bulunan süperdev yıldızlarda, kütle kaybının tayf çizgileri üzerindeki etkisini de incelediler. Çalışmalarının bir sonucu olarak, büyük orandaki kütle kaybı bu yıldızların atmosferlerinde bir hız alanı meydana getirir. Oluşan bu hız alanının çizgi şeklini etkileyebileceğini ileri sürdüler. Kuvvetli çizgiler atmosferde daha yüksek (yüzeye yakın) katmanlarda oluştuğundan, kütle kaybı nedeniyle atmosferde oluşabilecek hız alanına daha duyarlı olacaklardır. α Cygni için kütle kayıp miktarı, Scuderi et al. (1992) tarafından yaklaşık $4 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$ olarak verilmektedir. Son bir çalışmada Achmad et al. (1997), A, F ve G süperdev yıldızları için model atmosfer yöntemiyle kütle kayıp değerlerini belirlediler. α Cygni için kütle kaybının $1.5 \times 10^{-6} M_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$ olduğunu tespit ettiler. Buldukları sonuçlar göstermektedir ki α Cygni diğer süperdevlere göre daha büyük miktarda kütle kaybetmektedir. Ayrıca Achmad et al. (1997), bir yıldızda kütle kayıp oranı $10^{-6} M_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$ dan daha büyük ise atmosferde oluşacak hız alanı, kuvvetli çizgilerle birlikte daha zayıf çizgileri de etkileyebileceğini ileri sürdüler. Bir başka ifadeyle, eşdeğer genişliği $\sim 200 \text{ m\AA}$ 'dan daha küçük çizgilerin de asimetrik olabileceğini savunmaktadırlar.

Bu çalışmada α Cygni'nin, eşdeğer genişlikleri 250 m\AA 'dan daha büyük temiz çizgilerinin asimetrik olup olmadıkları araştırıldı. Bu amaç için seçilen 26 çizgi IDL programı ile kendi üzerlerine ters çevrilip simetrik olup olmadığına bakıldı. α Cygni'nin blend olmayan tüm kuvvetli çizgileri simetriktir. Böylece, ya bu yıldızda kütle kaybı $10^{-6} M_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$ dan daha küçüktür



Şekil 3.6. Asimetrik olup olmadığını belirlemek amacıyla kendi üzerine ters çevrilmiş Ca II K ($\lambda 3933$) çizgi profili. Çizgi merkezi yakınında görülen oluşum yıldızlararası ortamdan kaynaklanan soğurmadır

ya da çizgi profilleri, kütle kaybı nedeniyle atmosferinde oluşan hız alanının bir sonucu olarak asimetrik olmamaktadır. Bu çalışmadaki gözlemsel sonuçlara dayanarak Lamers ve Achmad (1994), ve Achmad et al. (1997) in önerileri tekrar ele alınarak üzerinde çalışma yapılması sözkonusu farklılığın aydınlanmasını sağlayacaktır. Şekil 3.6'da, bu amaçla seçilen 26 çizgi içersinde eşdeğer genişliği en büyük olan ($W_{\lambda} = 1256 \text{ m\AA}$) Ca II K ($\lambda 3933$) çizgisinin simetrik olduğu gösterilmiştir. Diğer çizgilere ilişkin benzer şekiller Albayrak (1999)'da verilmiştir.

4. α Cygni'nin Evrim Durumu

A tayf türü süperdev yıldızların evrim evreleri, atmosferlerinde bulunan CNO elementlerinin bolluklarından belirlenebilir. Eğer büyük kütleli bir yıldız ($> 10 M_{\odot}$), H-R diyagramında anakoldan kırmızı devler bölgesine doğru hızla evrimleşirse, hidrojenin yandığı iç katmanları ile gözlenebilen dış katmanları arasında yıldız maddesini karıştıran derin konvektif bir bölge geliştirir. Büyük ölçekli bu karışım "first dredge-up" olarak bilinir (Becker ve Iben 1979). Bu yıldızlarda hidrojen yanması anakolda CNO çevrimiyle gerçekleşir. Yıldızın merkezi bölgesinde meydana gelen bu üçlü çevrim sonucunda hidrojen helyuma dönüşürken katalizör görevi gören karbon, azot ve oksijenin toplam bollukları sabit kalmak üzere karbon ve oksijen azalır (oksijen, karbon'a nispeten daha düşük bir oranda azalır), azot artar. İç katmanlardaki bu kimyasal yapı, "first dredge-up" ile yıldızın gözlenebilir katmanlarına (atmosferine) taşınır.

Alternatif senaryoya göre bu yıldızlar H-R diyagramında kırmızı devler bölgesine gitmeden helyum yanmasını başlatabilirler. Böylece, anakoldan mavi devler bölgesine evrimleşirler. Bu senaryoda, yıldızın helyumu tutuşturmasından

sonra dış katmanlarının genişlemesini durduracak (ısısal dengede kalarak) mekanizmalar geliştirdiği düşünülmektedir. Merkezde helyum yanmaya başladığı zaman bir A tayf türü süperdev olarak yıldız kararlıdır. Bu durumda, dış ve iç katmanlar arasında büyük ölçekli bir karışım (first dredge-up) gerçekleşmeyecektir. Bu yıldızlar kırmızıdev evresinden geçerek evrimleşmişlerse, onların atmosferine ilişkin belirlenen CNO “first dredge-up” bolluk sonuçlarını andırır.

α Cygni için belirlediğimiz karbon, azot ve oksijen bollukları Güneş’e ilişkin değerlerden farklıdır. Karbon bolluğu 0.34 dex az, azot 0.91 dex fazla (N I çizgilerinden hesaplanan) ve oksijen bolluğu da 0.25 dex kadar daha azdır. Bu bolluk sonuçları α Cygni’nin “first dredge-up” aşamasını geçirdiğini işaret eder. Eğer bu sonuçlar CNO çevriminin bir yansıması ise toplam CNO bolluğunun, çevrim öncesi bolluk değerlerine göre sabit olmalıdır. Bu çalışmada, α Cygni için $\log \varepsilon(\text{N}) = \log \varepsilon(\text{N I})$ kabul ederek $[(\text{C}+\text{N}+\text{O})/\text{Fe}] = -0.02$ bulduk. Analizden kaynaklanan belirsizlikler dahilinde ulaşılan bu değer (-0.02) her üç elementin CNO çevrimi başlangıcındaki bolluklarının değişmediğini göstermektedir.

Diğer taraftan erken A tayf türü yıldızlar olan HR 4049 (A0 Ib), σ Cyg (B9 Iab) ve ξ^1 (AO II) için CNO analizleri sırasıyla Lambert et al. (1988), Ivanova ve Lyubimkov (1988), ve Tomkin ve Lambert (1994) tarafından yapıldı. Her üç çalışmada da bu yıldızlar için belirlenen CNO bolluklarının, büyük karışım evresinin etkilerini taşıdığı görülmektedir. Ayrıca, Lennon ve Dufton (1986), HD 148379 (B1.5 Ia) ve HD 157038 (B3 Ia) yıldızlarına ilişkin yaptıkları çalışmalarla HD 157038 süperdevlerinin büyük ölçekli karışım (first dredge-up) evresini geçirecek evrimleştiğini belirlediler.

Venn (1995a, b), A0 - F0 tayf türü ve Ia - II ışınım sınıfı aralığında bulunan 22 süperdev yıldızın metal, karbon, azot ve oksijen bolluklarını belirledi. Fakat her iki çalışma da α Cygni’yi içermez. Venn (1995b), CNO elementleri için hesapladığı NLTE düzeltmelerinden hareketle bu yıldızların büyük karışım evresini geçirmediklerini önerdi. Bir başka ifadeyle A tayf türü süperdevleri kırmızı dev olmaksızın anakoldan doğrudan mavi devler bölgesine evrimleştiğini ileri sürdü. Fakat, bu sıcak yıldızlarda “bor” (B) elementinin bolluğu, onların evrim durumlarını belirleyebilmek bakımından bir diğer önemli testir. Eğer bu element, yıldızların atmosferinde bolluk olarak sıfır ise bu durum yüzey katmanlar ile daha derin katmanlar arasında meydana gelen büyük ölçekli bir karışımın gerçekleştiğini gösterir. Çünkü daha sıcak katmanlar taşınan bor elementi, oralarda yakılmıştır. Venn et al. (1996), iki erken A tayf

türü süperdev olan 13 Mon (A0 Ib) ve η Leo (A0 Ib) yıldızlarının IUE tayflarında B II $\lambda 1362 \text{ \AA}$ çizgisini incelediler. Her iki yıldız için bor bolluğunu sırasıyla $\log \varepsilon(\text{B}) = 0.5 \pm 0.3$ ve 0.0 ± 0.5 olarak hesapladılar. Bu sonuçlar bu yıldızların atmosferlerinde B’un tüketilmiş olduğunu göstermektedir. Böylece, A tayf türü süperdevlerin büyük karışım evresini geçirmiş olabilecekleri akla daha yakın gelmektedir. Bu son çalışmanın bulguları Venn (1995b)’in sonuçları ile uyusmamaktadır. Çünkü Venn (1995b), A tayf türü süperdev yıldızların kırmızı dev evresini geçirmeden mavi dev olabileceklerini ileri sürdüğü çalışmada η Leo ve 13 Mon yıldızlarını da incelemiştir. Oysa bu iki yıldız ile birlikte HD 13476 (A3 Iab) süperdev yıldızının CNO bolluklarını belirlediği daha önceki bir çalışmada (Venn 1993) elde ettiği sonuçlar, bu yıldızların büyük karışımın evresini gerçekleştirdiğini gösterir.

5. Sonuçlar

- 1- Öncelikle, α Cygni’nin $\lambda\lambda 3830 - 5212 \text{ \AA}$ bölgesinin çizgi tanısı yapıldı. Ayırmagücü ve S/N oranı bakımından çok kaliteli olan bu tayflardaki çizgi tanısı, diğer A tayf türü süperdevler için önemli bir kaynak oluşturacaktır (bkz. Albayrak 1999).
- 2- Mevcut tayfların incelenmesinden; H I, He I, C I, C II, N I, N II, O I, Mg I, Mg II, Al I, Al II, Si I, Si II, S II, Ca I, Ca II, Sc II, Ti I, Ti II, V II, Cr I, Cr II, Mn I, Mn II, Fe I, Fe II, Fe II, Co II, Ni I, Ni II, Sr II, Y II, Zr II, Ba II, La II ve Eu II atom ve iyonlarının α Cygni’nin atmosferinde bulunduğu belirlendi. Ayrıca C I, N II, Si I, Fe III, Ba II, ve La II’nin de mevcut olduğu ilk kez bu çalışmada ortaya kondu.
- 3- Radyal hız ölçümlerinden maksimum ve minimum değerler olarak $+3.35$ ve -11.51 kms^{-1} bulundu. Bu değerler radyal hız değişim genliği için 14.86 kms^{-1} vermektedir. Bu değer, bu çalışmada 14 kms^{-1} olarak belirlenen makrotürbülans hızı ile iyi uyusmaktadır. Erken A tayf türünden Ia ışınım sınıfındaki süperdevlerin karakteristik bir özelliği olarak α Cygni (Abt 1957), çoklu döneme sahip radyal olmayan pulsasyonlar nedeniyle (Lucy 1976) yarı-dönemli radyal hız değişimleri gösterir (Paddock 1935).
- 4- α Cygni’nin dönme hızı ($v \sin i$) değeri olarak 25 kms^{-1} bulduk. Abt ve Morrell (1995) tarafından belirlenen değer $v \sin i = 30 \text{ kms}^{-1}$ dir. Son bir çalışmada Verdugo et al. (1999) dönme hız değerini 43 kms^{-1} olarak

hesapladılar. Ancak bu değer makrotürbülans hız değerini de içermektedir. Bir başka ifadeyle bu 43 km s^{-1} lik değer bizim belirlediğimiz 14 km s^{-1} lik makrotürbülans hızı ile 25 km s^{-1} lik dönme hızının her ikisinin toplamına karşılık gelir. Bu çalışmada Verdugo et al. (1999)'dan farklı olarak, çizgi genişlemesi üzerinde makrotürbülansın etkisi de hesap edililerek dönme ve makrotürbülans hızları ayrı ayrı bulundu.

- 5- Atmosfer parametrelerinden etkin sıcaklık (T_{et}) ve yüzey çekim ivmesi ($\log g$) farklı dört yöntem ile elde edilen sonuçların yakınsadığı $T_{\text{et}} = 9000 \text{ °K}$ ve $\log g = 1.45$ en iyi değerler olarak belirlendi. Bu yöntemler, Mg I/II ve Fe I/II iyonizasyon dengesi, gözlenmiş sürekli akı ve H_{γ} profillerinin kuramsal olarak ATLAS9 ile hesaplanan değerleri ile karşılaştırılmasına dayanmaktadır.
- 6- Mikrotürbülans hız değerleri olarak Mg I, Mg II, Si II, Ti II, Cr II, Fe I ve Fe II çizgileri için sırasıyla 3.6, 6.5, 8.5, 8.0, 11.9, 3.6 ve 10.4 km s^{-1} bulundu. Bu sonuçlara göre nötr ve bir kez iyonize olmuş Mg ve Fe çizgileri farklı mikrotürbülans hızları vermektedir. Ayrıca, mikrotürbülans hızı elemente göre farklılık göstermektedir ki bu sonuç Aydın (1972)'ın verdiği sonuçlarla uyum içersindedir. Ayrıca Fe II çizgilerine ilişkin yapılan inceleme, mikrotürbülansın α Cygni'nin atmosferinde derinliğin fonksiyonu olarak değiştiğini göstermektedir.
- 7- α Cygni'nin atmosferine ilişkin elde ettiğimiz kimyasal yapı aynı tayf türünden diğer süperdevler için bulunmuş sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Hesaplarımız bu yıldızda helyum'un Güneş'e göre 0.15 dex kadar daha az olduğunu göstermektedir. Bu sonuca göre α Cygni A tayf türünden normal bir süperdevdir (bkz. Humphreys et al. 1991). Diğer elementlere gelince, azot 0.63 dex fazla, karbon ve oksijen sırasıyla 0.34 ve 0.25 dex kadar azdır. Bu üç elemente ilişkin bolluk sonuçları göstermektedir ki bu süperdev yıldız, evrimi sürecinde ilk büyük karışım "first dredge-up" olarak isimlendirilen etkileşimini geçirmiştir. Bu sonucun doğruluğunu denetlemek amacıyla söz konusu üç element için belirlediğimiz bolluk değerlerinin demir bolluğuna göre karşılaştırdık ve $[(C+N+O)/Fe]=-0.02$ olarak bulduk. Bu sonuç da ilk büyük karışım etkilişiminin gerçekleştiğini destekler. Ayrıca çok yakın bir geçmişte Venn et al. (1996), iki erken A tayf türü süperdev olan 13 Mon ve η

Leo için "bor" elementinin bolluğunu sıfır olarak belirlediler. Venn et al.'ın ulaştığı sonuç da bu yıldızların ilk büyük karışım evresini geçirdiğini gösterir. Alüminyum ve kükürt'e ilişkin hesaplanan bolluklar Güneş'e göre daha az iken magnezyum ve silisyum bollukları Güneş'tekine yakındır. Metal bolluğu (Ca'dan Ni'e kadar olan elementler) Güneş'e göre biraz fazladır. Bu sonuçlar, diğer A tayf türü süperdevler için belirlenmiş metal bolluğuyla çelişmez (Venn 1995a). Ağır elementlerden stronsiyum, yitrium ve zirkonyum, α Cygni'nin atmosferinde Güneş'e göre oldukça bol iken baryum, lantan ve örüpyum bakımından zengin sayılabilir. Yine ilk kez bu çalışmayla A tayf türü bir süperdev için yitrium, baryum ve lantan elementlerinin atmosfer bollukları belirlendi.

- 8- α Cygni için bilinen kütle kaybının, eşdeğer genişliği 250 mÅ ve daha büyük tapy çizgileri üzerindeki etkisi incelendi. Lamers ve Achmad (1994), α Cygni'yi de içeren O-F tayf türü arasındaki süperdevlere için yaptıkları çalışmada, kütle kaybı sonucunda atmosferde oluşan hız alanının, bu yıldızlarda tayf çizgilerini etkileyeceğini ve bu etki nedeniyle kuvvetli çizgilerin asimetric olacağı sonucuna vardılar. Yüksek kaliteli blend olmayan tayf çizgilerine dayandırdığımız bu inceleme göstermektedir ki bu yıldızın bütün kuvvetli çizgileri simetrikdir. Bu sonuç, Lamers ve Achmad (1994) ve ayrıca Achmad et al. (1997)'ın ulaştıkları sonuçların doğruluğunu desteklememektedir. Başka bir ifadeyle α Cygni'nin çizgi profilleri atmosferinde kütle kaybı nedeniyle oluşan hız alanından ya etkilenmemekte (asimetric olmamakta) ya da bu süperdev için kütle kaybı $10^{-6} M_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$ dan daha küçük olmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK Bütünleştirilmiş Doktora Burs Programı (BDP) kapsamında sağlanan destekle gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Abt H.A., Morrell N.I., 1995, *ApJS*, **99**, 135.
 Achmad L., Lamers H.J.G.L.M., Pasquini L., 1997, *A&A*, **320**, 196.
 Albayrak B., 1999, *Doktora Tezi*, A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
 Alekseva, G.A., Arkharov, A.A., Galkin, V.D., Hagen-Thorn E.I., Nikanorova I.N., Novikov

- V.V., Novopashenny V.B., Pakhomov V.P., Ruban E.V., Shchegolev D.E., 1996, *Baltic Astronomy*, **5**, 603.
- Aydin C., 1972, *A&A*, **19**, 369.
- Becker S.A., Iben I.Jr., 1979, *ApJ*, **232**, 831.
- Boer B., De Jager C., Nieuwenhuijzen H., 1988, *A&A*, **195**, 218.
- Buscombe W., 1951, *ApJ*, **114**, 73.
- De Jager C., Mulder P.S., Kondo Y., 1984, *A&A*, **141**, 304.
- Fuhr J.R., Martin G.A., Wiese W.L., 1988, *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **17**, Suppl. 4.
- Grevesse N., Noels A., Sauval, A.J., 1996, (eds. S.S. Holt, G. Sonneborn) in "Proceedings of the sixth (6th) annual October Astrophysics Conference in College Park", *ASP Conf.Ser.*, **Vol: 99**, p.117.
- Groth H.G., 1961, *ZfA*, **51**, 206.
- Gulliver A.F., Hill G., Adelman S.J., 1996, (eds. S.J. Adelman, F. Kupka, W.W. Weiss), in "M.A.S.S. Model Atmospheres and Spectrum Synthesis", *ASP Conf.Ser.*, **Vol: 108**, p.232
- Hayes D.S. Latham D.W., 1975, *ApJ*, **197**, 593.
- Hill G., Adelman S.J., 1986, (eds. C.R. Cowley et al.) in "Upper Main Sequence Stars with Anomalous Abundances", Reidel, Dordrecht - Holland, p.209.
- Hill G., Fisher W.A., 1986, *PDAO*, **16**, No.13.
- Huang S.-S., Struve O., 1955, *ApJ*, **121**, 84.
- Hubeny I., Lanz T., Jeffery C.S., 1994, *Daresbury Lab. New. Anal. Astron. Spectra*, **No.20**, p.30.
- Humphreys R.M., Kudritzki R.P., Groth H.G., 1991, *A&A*, **245**, 593.
- Ivanova Z.K., Lyubimkov L.S., 1988, *Izv. Krym. Astrofiz. Obs.*, **79**, 49.
- Kubat J., 1996, (eds. S.J. Adelman, F. Kupka, W.W. Weiss), in "M.A.S.S. Model Atmospheres and Spectrum Synthesis", *ASP Conf.Ser.*, **Vol: 108**, p.165.
- Kurucz R.L., Avrett E.H., 1981, *Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep.*, 391.
- Kurucz R.L., 1995, (eds. S.J. Adelman, W.L. Wiese) in "Astrophysical Applications of Powerful New Databases", *ASP Conf.Ser.*, **Vol: 78**, p.205.
- Lambert D.L., Hinkle K.H., Luck R.E., 1988, *ApJ*, **333**, 917.
- Lamers H.J.G.L.M., Achmad L., 1994, *A&A*, **291**, 856.
- Lennon D.J., Dufton D.L., 1986, *A&A*, **155**, 79.
- Paddock G.F., 1935, *Lick Obs. Bull.*, **17**, 49.
- Parthasarathy M., Lambert D.L., 1987, *Ap&AJ*, **8**, 51.
- Rosendhal J.D., 1970, *ApJ*, **160**, 627.
- Samedov Z.A., 1993, *Astron. Zh.*, **70**, 82.
- Schild R., Peterson D.M., Oke J.B., 1971, *ApJ*, **166**, 95.
- Schild R.E. 1977, *AJ*, **82**, 337.
- Scuderi S., Bonanno G., Di Benedetto R., Spadara D., Panagia N., 1992, *ApJ*, **392**, 201.
- Taffara N.S., 1966, *MSAI*, **37**, 401.
- Tomkin J., Lambert D.L., 1994, *PASP*, **106**, 365.
- Venn K.M., 1993, *ApJ*, **416**, 316.
- Venn K.M., 1995a, *ApJS*, **99**, 659.
- Venn K.M., 1995b, *ApJ*, **449**, 839.
- Venn K.M., Lambert D.L., Lemke M., 1996, *A&A*, **307**, 849.
- Verdugo E., Talevera A., 1994, (eds. L.A.Balona et al.) in "Pulsation, Rotation and Mass Loss in Early-type Stars", Reidel, Dordrecht, p.538.
- Zverko J., 1971, *BAC*, **22**, 49.