

# A TÜRÜ ÜST DEVLER VE SORUNLARI

Cemal Aydın

A.Ü., Fen Fakültesi,

Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

Beşevler, Ankara

## Özet

Bu yazıda aynı spektrel türden olan anakol yıldızlarına göre çok daha düşük yoğunluk ve büyük yarıçaplara sahip olan A üstdevlerinin görsel ve UV bölgesindeki gözlemsel özellikleri, fotosfer ve kütle kaybı ile ilgili olan genişleyen zarfta gözlenen spektrel değişimler ve bunlar arasındaki bağıntılar tartışılacaktır.

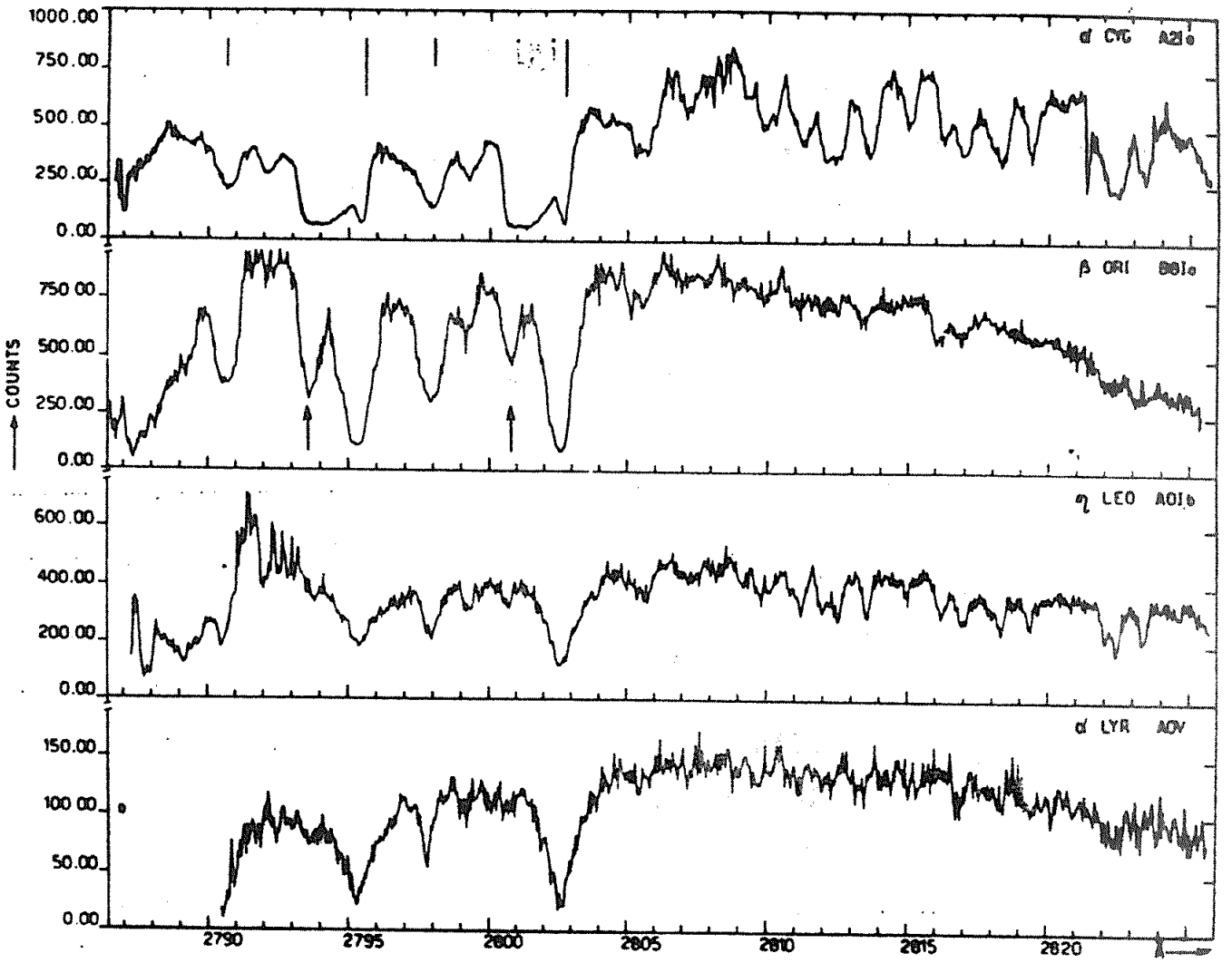
## Genel özellikleri

HR (Hertzsprung-Russell) diyagramının sağ üst bölgesinde yer alırlar. İleri spektrel tiplere doğru gidildikçe anakol ve üstdevler arasındaki farklar daha da belirginleşir. Aynı spektrel tipten oldukları halde ısınım güçleri arasındaki fark örneğin M0 spektrel tipinde yaklaşık  $10^m$  kadardır. Bu ise, ısınım gücü, yarıçap ve hacimler arasında  $L_1 = 10^4 L_2$ ,  $R_1 = 10^2 R_2$  ve  $V_1 = 10^6 V_2$  bağıntılarına karşılık gelir. Üstdevler Güneş yarıçapının birkaç yüz katı yarıçaplara sahip olmalarına karşın ortalama yoğunlukları aşırı düşüktür.

Bu yıldızlar üzerinde özellikle UV (mor ötesi) bölgede çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Bunun iki nedeni vardır. Birincisi HR diyagramında evrimin hızlı olduğu bir bölgede bulunmaları (Wolff, 1983), ikincisi Güneş komsuluğunda bu yıldızların yokluğudur. Bu yıldızlarda yıldız rüzgârlarının yapısı, kütle kaybı, ... gibi özelliklerin zamanla değişimine ilişkin sistematik çalışmalar ( $\alpha$  Cyg hariç) çok azdır. Yalnız dört A üstdev yıldızı UV bölgesinde daha ayrıntılı çalışılmıştır. Bunlar HD 21389 (A0 Iab), HD 59612 (A5 Ib),  $\eta$  Leo (A0 Ib) ve  $\alpha$  Cyg (A2 Ia, HD 197745) yıldızlarıdır. Bu yıldızlar üzerinde International Ultraviolet Explorer (IUE) ile ilk gözlemsel çalışmayı başlatan Praderie ve arkadaşları (1980) olmuştur. Bunlardan  $\eta$  Leo dışında kalan diğer üçünde kütle kaybı delilleri buldular: Mg I, Fe II, C II ve Si II rezonans çizgilerinin maviye kaymış geniş boğurma bileşenlerine sahip olduklarını tespit ettiler. Bu yıldızlar arasında en parlak olan  $\alpha$  Cyg'de bu çizgiler şekilinde görüldüğü gibi pekünyer asimmetrik bir görünüme sahiptirler. Bu özellikte profiller C II ve Si II çizgilerinde de görüldü.

Son yıllarda bu tip yıldızlar üzerindeki çalışmaların yeniden önem kazanmasının başlıca iki nedeni vardır. Bunlardan biri, spektrumun X-ışın, uzak morötesi ışını, kırmızı ötesi ışını ve radyo dalgaları bölgesinde gelişen yeni gözlem teknikleridir. Bu tekniklerle yıldızın fotosfer gözlemleri yanında, genişlemiş zari ve kütle kaybı gözlemleri de yapılabilmektedir. Diğer neden ise artık dinamik ve ısı transfer denklemlerinin birleştirilmiş çözümlerine elde edilebilmesidir.

Üstdevlere ilişkin yeni modeller de, bu yıldızların termodinamik dengede olan sistemler olarak ele



Şekil. 1.  $\alpha$  Cyg,  $\beta$  Ori,  $\eta$  Leo ve  $\alpha$  Lyr'in UV, BUSS spektrumları. Uzun düşey çizgiler Mg II ( $\lambda$  2795, 2802 Å) rezonans çizgilerinin laboratuvar dalga boylarını gösteriyor.  $\alpha$  Cyg'de durgun dalga boyuna karşılık gelen yerde sivri yıldızlararası soğurma bileşeni ve solunda geniş soğurma bileşeni olduğu görülmektedir. Geniş absorpsiyon bileşeni -267 km/sn kadar uzanır. Düz geniş tabanı doymuşluğunu ifade eder.  $\beta$  Ori'de Mg II, bileşenleri durgun dalga boyuna göre -190 km/sn kaymıştır.  $\eta$  Leo ve  $\alpha$  Lyr'de Mg II çizgileri simetriktir. Bu yıldızlarda kütle kaybı delili yoktur.

alınamayacağını yeniden ortaya koymuştur. Erken tip üstdev yıldızların kuvvetli rüzgârları, bu yıldızları çevreleyen yıldızlararası maddeyi etkileyebilir. Yoğun bulutlarda yıldız oluşumunu başlatmada veya sınırlamada etkin bir rol oynayabilir. Böylece büyük kütleli yıldızların, galaksilerin kimyasal bakımdan zenginleştirilmesinde önemli bir rol oynadığına inanılmaktadır. Bu yıldızların merkezlerinde çekirdek birleşmesi ile meydana gelen ağır elementler ya yıldız rüzgârları ile tedricen ya da supernova şeklindeki patlamalarıyla şiddetli bir biçimde yıldızlararası ortama yayılırlar ve yeni oluşmakta olan yıldızların yapısına girerler. A üstdevlerinin spektrumları, kütle kaybından dolayı O, B ve M üstdevlerine göre daha az değişim gösterirler. Kromosfer ve koronalarına ilişkin küçük kütle kaybı delilleri vardır. Düşük olan UV ve X-ışın akıları uydu gözlemlerini sınırlar. A üstdevleri, kütle kaybı hâlâ devam eden oldukça evrimleşmiş yıldızlardır. Bunların yapılarının, geçmiş evrimlerinin kütle kaybı hızlarının bilinmesi, galaksilerin kimyasal evrimlerinin şekillenmesinde, supernova öncesi kütle kaybının önemine ilişkin kritik bilgiler verebilir. UV çizgi profilleri, A üstdevlerinde kütle kaybı göstergesi olarak alınabilir. Bu profiller O ve B üstdevlerinkilerden biçimsel olarak çok farklıdır ve bu yıldızların UV bölgesindeki çizgilerde P Cyg profili görülmez.

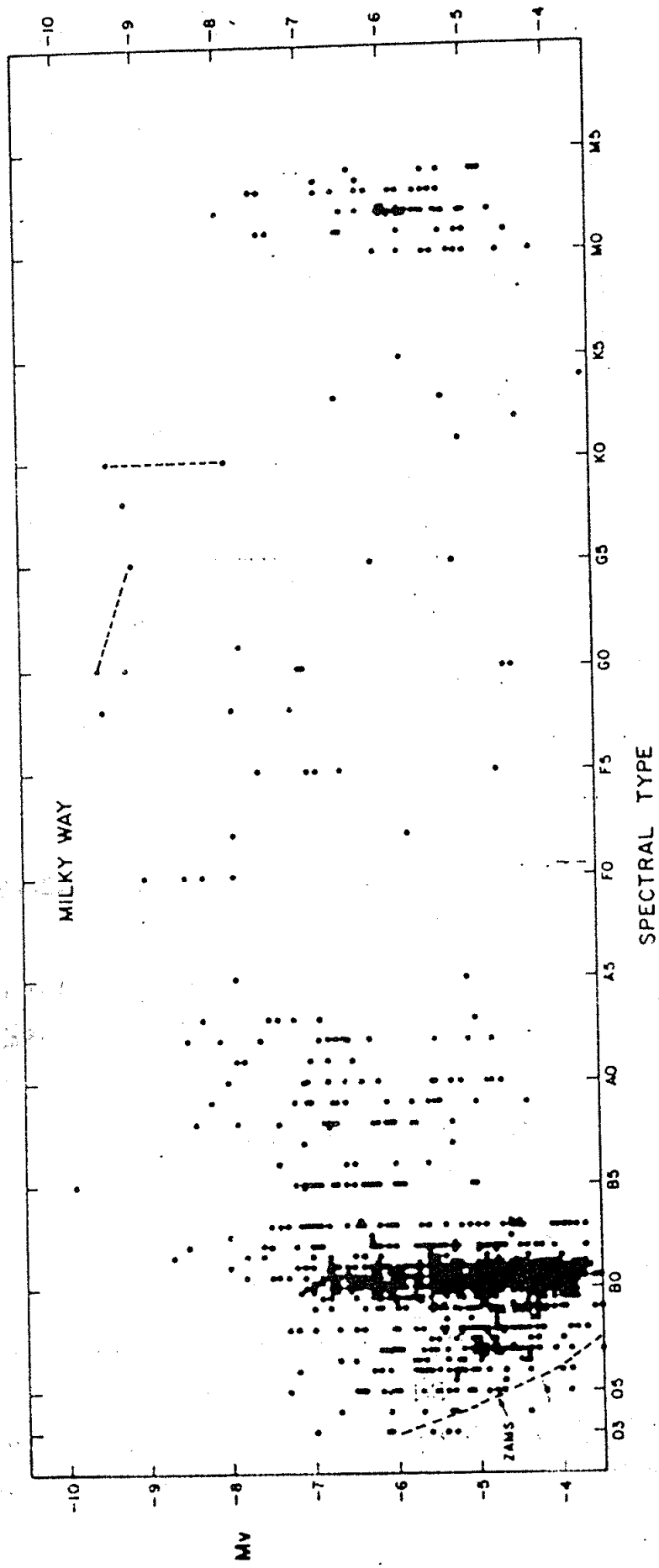
### **Etkin Sıcaklık ve Işınım gücü**

Etkin sıcaklık, mutlak akı ve yarıçapı bilinen yıldızlar için doğrudan belirlenebilir. Yarıçapı doğrudan ölçülmüş üstdev yıldız olarak yalnız  $\alpha$  Cyg vardır. Bonneau ve arkadaşları

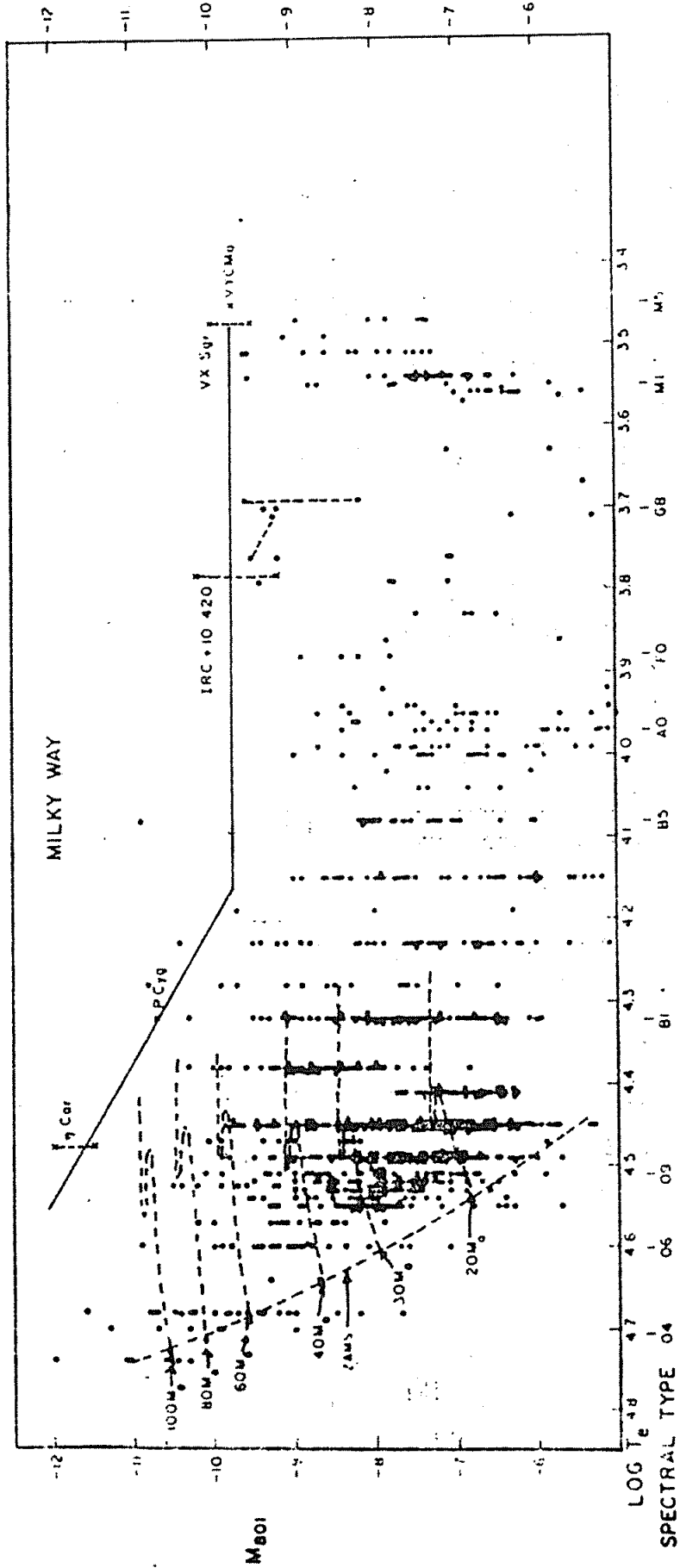
(1981) tarafından ölçülen yarıçap değeri  $R=145+45R_0$  dir. Yarıçaptaki belirsizliğin büyük bir kısmı yıldızın uzaklığındaki belirsizlikten ileri gelmektedir. Buradan yıldızın etkin sıcaklığı seçilen bolometrik düzeltmeye göre 8150 ile 8250 °K arasında bulundu. Bu yıldızlarda etkin sıcaklıkları belirlemek için Johnson (1966) yaklaştırması yanında Flower (1977)'in UV ve IR gözlemsel değerlerini de hesaba katarak bulduğu sıcaklık eşeli kullanılır.

Güneş komşuluğunda A üstdev yıldızı olmadığı gibi, hiçbiri için güvenilir paralaks değeri yoktur. En iyi mutlak parlaklık tahminleri küme veya öymek yıldızları için yapılmaktadır. Bunların uzaklıkları Z-AMC (süper yaş anakol) 'dan elde edilmektedir. Mutlak parlaklık taymininde OI'in  $\lambda 7774 \text{ \AA}$  çizgisinin kriter olarak kullanılması gibi (Pansons, 1964; Osmer, 1972) bir çok ikinci derece kalibrasyon tekniği Bouw ve Pansons (1971) tarafından tartışıldı. E. Snehhal (1974) Si II'nin  $\lambda 6347$  ve  $6371 \text{ \AA}$  çizgilerinin siddet ölçümlerinden  $\pm 0.5$  kadar duyarlılıkta B9-A2 üstdevlerinin mutlak parlaklıklarının elde edilebileceğini gösterdi.

Şekil.2 de Galaksimizdeki üstdev ve O tipi yıldızların HR diyagramları görülmektedir. Birkaç tetiana dışında spektrumun görsel bölgesinde en parlak yıldızlar geç B ve erken A üstdevleridir. (Underhill ve Doazan, 1982). Limit parlaklık yaklaşık olarak  $M_v = -8^{m.5}$  dir. Aynı genel karakteristikler Büyük Macellan Bulutu (LMC)nda görüldü. Ancak burada A üstdevlerinin sayısı bizim Galaksimizdekilerden daha çoktur (Humphreys, 1979). Şekil.3 aynı yıldızları mutlak görsel parlaklık yerine bolometrik ordinatta gösteriyor. Bu diyagramda O tipi yıldızlar (çok büyük bolometrik düzeltmeler gerektirdiklerinden) önceki şekle göre A üstdevlerinden daha



Şekil.2. Galaksimizdeki üstdev yıldızların gözelemlenmiş H-R diyagramı.



Şekil.3. Galaksimizdeki üstdev yıldızlar ve teorik H-R diyagramı. ZAMS'in ve kütle kaybı hesaba kâullarak çizilen evrim çizgilerinin konumu işaretlenmiştir. Sürekli çizgi üstdevlerin parlıklıklarının yaklaşık üst sınırını göstermektedir.

parlıktırlar. Kütle kaybı hesaba katılarak çizilen evrim çizgileri aynı şekil üzerinde yer almıştır. (Chiosi ve arkadaşları, 1978) A üstdev yıldızlarının çekirdekte hidrojen yakma bölgesinden daha ileri evrelerde buldukları görülmektedir. Çekirdekte helyum yakma evresinde olabilirler. Ancak evrimin bu geç evresinin fiziki iyi bilinmemektedir. Yapılan modeller başarısız olmuştur. Modellerin başarısızlığına iyi bir örnek erken B tipi yıldızlar HR diyagramında iyi bir yığılma gösterirken, teorinin bu yıldızların çok az sayıda olması gerektiğini vermesidir. Modellere göre bu yıldızlar, kabukta hidrojen yakma ve sağa doğru hızla evrimleşme evresinde olmalıdır. O tipi yıldızların bolometrik parlaklığına yakın parlaklıklı A tipi üstdevlerin yokluğu genelde muhtemelen daha önceki evrim evrelerinde katastrofik (felaket getiren) kütle kaybına bağlanır (Humphreys ve Davidson, 1979).

### **En parlak A tipi Üstdevleri**

Bizim Galaksimizde olduğu gibi, diğer dış galaksilerde de genel olarak en parlak yıldızlar B ve A spektrali tipindedir. Bu yıldızlara büyük önem verilmesinin iki nedeni vardır. Birincisi diğer tekniklerin yetersiz olduğu yakın süper galaksilerin uzaklık tayininde bu "Super parlak" A tipi yıldızlar uzaklık ölçüğü olarak kullanılabilir. İkincisi, böyle süper parlak yıldızların spektral çalışmalarını diğer galaksilerdeki süper yıldızların evrimi ve atmosferindeki fiziksel süreçlerin bizim Galaksimizdekiler gibi olup olmadığını belirlemede kullanılabilir.



Bizim Galaksimizde super parlak A tipi yıldızlar için iyi bir örnek HD 160529 (A2 Ia<sup>+</sup>)'dır. Bu yıldız Wolff ve arkadaşları (1974) tarafından oldukça ayrıntılı olarak çalışıldı. Böylece en parlak yıldızların kararsızlık yakınlığında olmaları beklendi. Gerçekten bu yıldızın radyal hızı, renk ve parlaklığında büyük değişimler gözlemlendi. Fotometrik genlik y'de 0.17 ve (U-V)'de 0.18 olarak bulundu. Büyük değişimler gün mertebesinde olan zaman ölçeğinde görülmektedir. Henüz daha kısa zaman aralıklı değişimleri araştırmak için uygun gözlemler yapılamadı. Radyal hızın değişim genliği 40 km/sn'dir. Ayrıca Fe II, Ti II ve Cr II çizgilerinde 42 km/sn kadar yüksek hız farkı olan yarımalar bulundu. Balmer serisinin ilk çizgilerinin radyal hızlarının daha negatif olduğu görüldü. Bu durum, yıldız atmosferindeki bir hız gradiyenti nedeniyle olabileceği gibi, Balmer serisinin ilk çizgilerinde emisyon nedeniyle görece olarak daha büyük bir bozulmanın bu çizgilere yansımaları sonucu da olabilir. H<sub>α</sub> ve H<sub>β</sub>'de kuvvetli emisyon vardır. Metzlik çizgilerden elde edilen hızlar eksitasyon potansiyeline ve dolayısıyla atmosferin derinliğine bağlıdır. Atmosferin daha derinliklerinde oluştuğu düşünülen daha yüksek eksitasyon potansiyelli çizgilerin, daha düşük hız genlikleri sahip oldukları görülmektedir.

Bu yıldız olarak HD 160529 gibi bir yıldızda yerel termodinamik denge (LTE) ve büyüme eğrisi analizinin geçerliliği sınırlıdır. Böyle olmakla birlikte bu yöntem uygulanarak eksitasyon sıcaklığı 7500 °K ve mikrotürbülans hız değişimi 7-14 km/sn aralığında bulundu.  $\tau=0.1$  optik derinliğine bu sıcaklık uygulanarak  $T_e=6600$  °K ve  $\log g=1$  bulundu (Wolff ve arkadaşları, 1974). Wolff ve arkadaşları bu yıldızın diğer karakteristik özelliklerini de araştırdılar.

açıklanabileceğini gösterdiler. Böyle bir hız alanı mekanik denge denklemini ve dolayısıyla atmosferin gaz basıncını değiştirecektir. Elektron basıncı, gaz basıncı ve sıcaklığa bağlı olduğundan iyonlaşma durumu da bu hız alanı tarafından değiştirilecektir. Benzer olaylar Balmer süreksizliğindeki değişimlerden de sorumlu olabilir (Groth, 1972). Fotosferik hız alanları, ısımasal olmayan ısıtma kaynağı ile beslenebilir. Wolff ve arkadaşları, fotosferik Ti II, Fe II ve Cr II soğurma çizgilerinde görülen çizgi yarılması ile Fe II salma çizgilerinin (6599 Å, 6432 ve 6516 Å) şiddetleri arasında bir bağıntıya dikkat çektiler. Bu bağıntı, çizgi bölünmesi ile kendini gösteren hız alanının artmasından dolayı, artan enerji fazlalığını yansıtabilir. Bu, salmanın genişlemiş zarfı değil, fotosfer yoresinde ortaya çıktığını gösterir. Ancak burada kinetik enerjiyi eksitasyon enerjisine çeviren mekanizma, bu mekanizmanın yeterliliği, bu nedenle elde edilen sıcaklık artımı gibi ışın fiziğinde hâlâ bilinmeyenler vardır.

Feast ve arkadaşları (1960), Macellan bulutlarındaki super parlak yıldızların ilk incelemesini yaptılar. LMC'da bir düzine kadar  $M_V < -8^m.0$  parlaklığında A üstdevi vardır. (Humphreys ve Davidson, 1979). Galaksimiz dışında, bilinen en büyük mutlak görsel parlaklıklı yıldız LMC'da HD 33579 (A3 Ia<sup>+</sup>)'dir. Parlaklığı  $M_V = -9^m.8$  'dir. (Humphreys, 1979). SMC'nin en parlak yıldızı  $M_V = -9^m.3$  olan HD 7583'tür. Spektroskopik yöntemlerle elde edilen  $T_e$  ve Log g değerleri bu yıldızlardan herbiri için 25  $M_\odot$  vermektedir.

## Kütle Kaybı

Çok parlak O, B ve A yıldızlarında kütle kaybı daima vardır. İlk kez Morton (1967) tarafından gözlemsel olarak onaylandı. Morton çok parlak yıldızların UV spektrumlarındaki rezonans çizgilerinin durgun konumlarına göre 1000 km/sn veya daha çok yer değiştirmiş olduklarını buldu. Bu değer yıldızın fotosferik kaçma hızını çok aştığından madde yıldızdan kaçar. Daha sonraki uydu verileri bu sonucu desteklemektedir (Snow ve Morton, 1976).

Kütle kaybının bulunmasında kullanılan çeşitli gözlemsel teknikler vardır. Doğrudan ölçümlerle kütle kaybı bulunabildiği gibi, fotosfer ve fotosfer yakınındaki katmanların büyüme veya genişleme ölçümlerinden de dolaylı olarak bulunabilir. Kütle kaybı  $\dot{M}$ , yıldızın ışınım gücü, yarıçapı, kütle ve metal bolluğunun fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Temel bağıntı

$$\dot{M} = \alpha L^{\beta} M^{\gamma} R^{\delta}$$

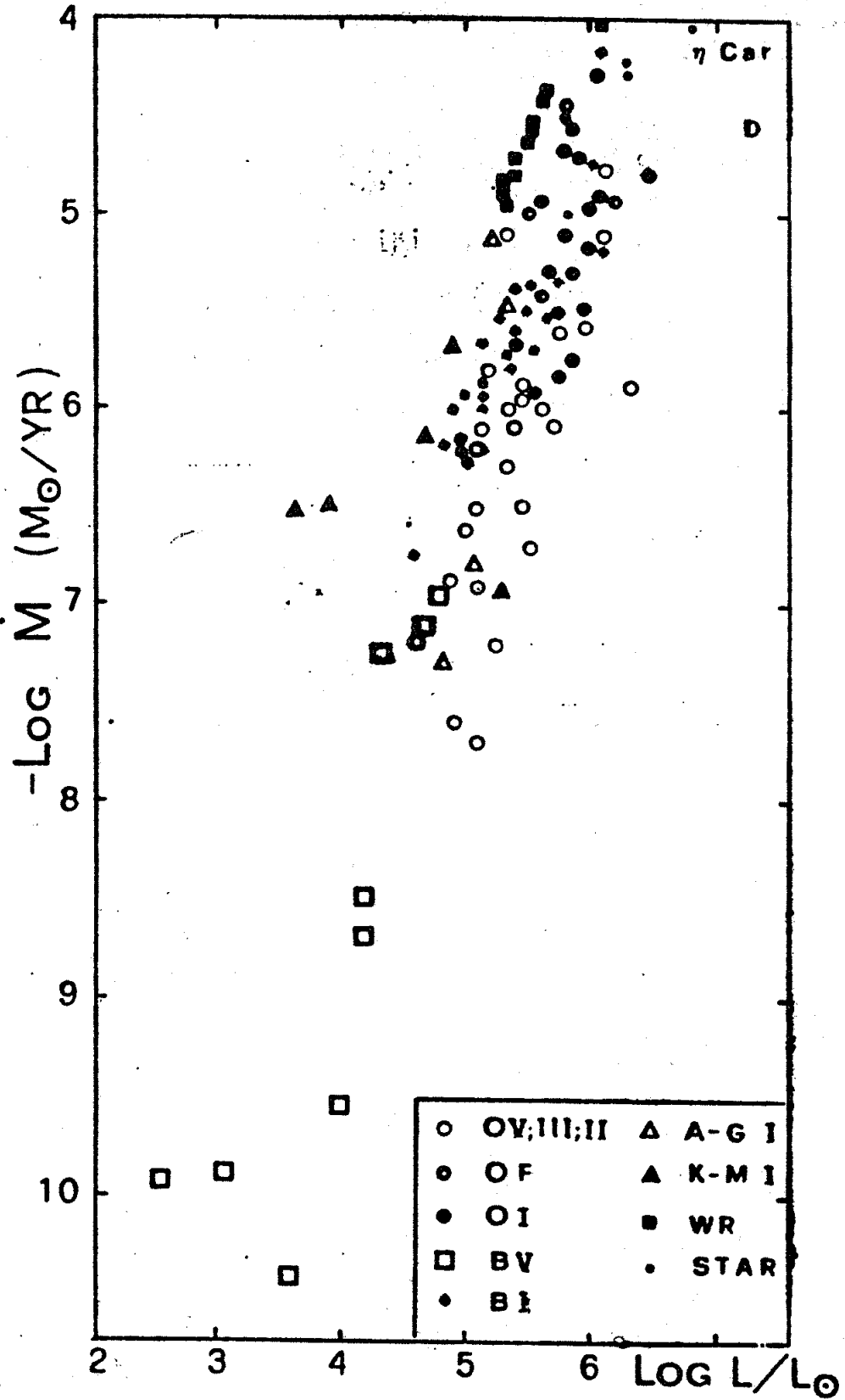
şekindedir. Şekil.4'de görüldüğü gibi  $L$ 'ye bağımlık daha fazladır. Kütle kaybeden yıldızların evrimi ve bu konudaki literatür için Chiosi (1986)'ye başvurulabilir.

Kütle kaybının görsel bölgede iki önemli belirtici vardır. (Hutchings, 1970)

1.  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$  ve He I'in  $\lambda 5676$  çizgisinin emsivonda olması.

Geniş emisyon genel olarak genişleyen atmosferi temsil edebilir. Bu donen ve (veya) genişleyen atmosfere delil olarak alınabilir. Çizgi profilleri, yıldız zarfına büyüklüğü yoğunluğu ve hız alanı gibi faktörlere bağlıdır.

2. Radyal hızın eklestasyon potansiyeline bağlılığı veya Balmer seri çizgileri boyunca düzenli artış.

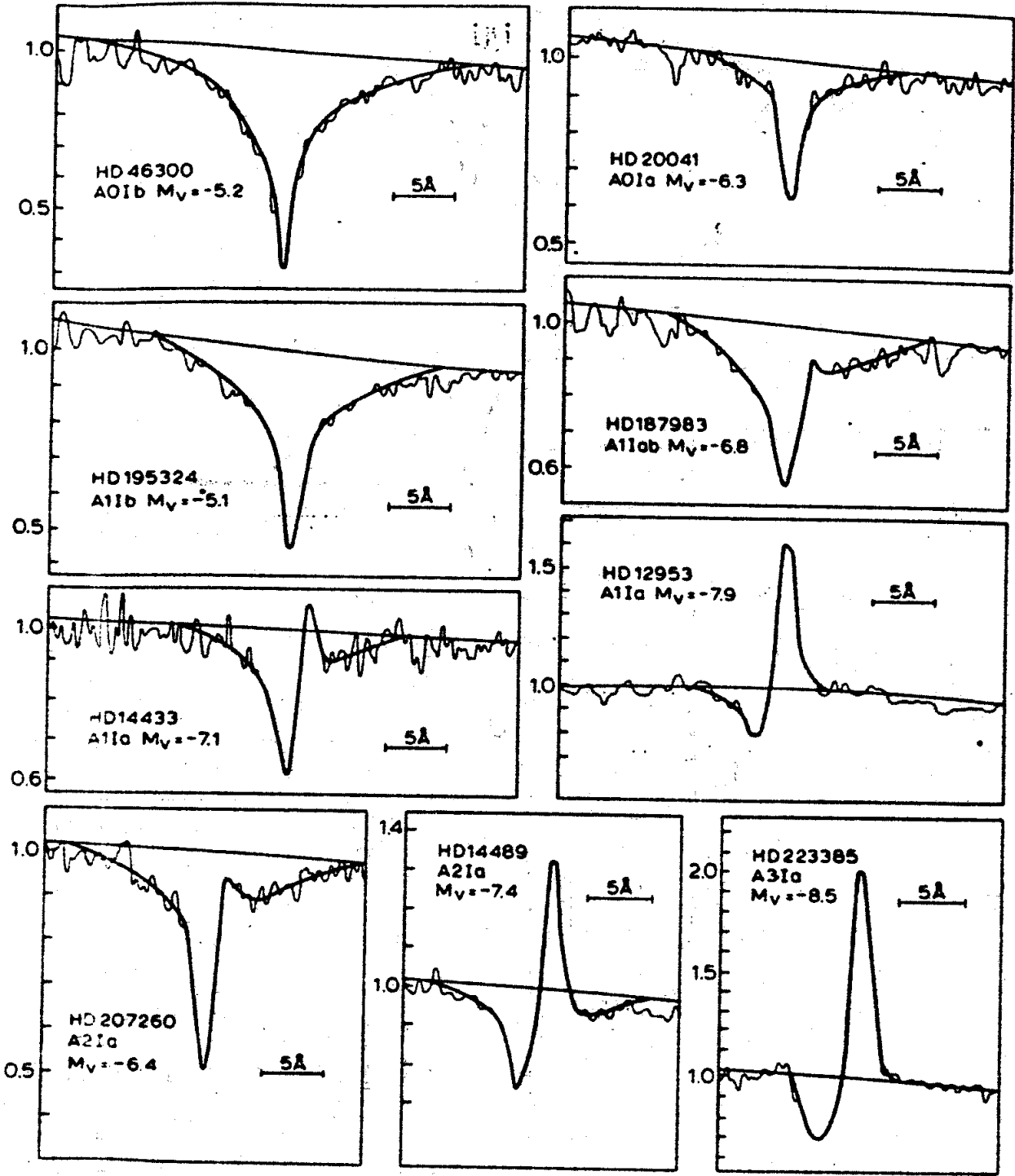


Şekil. 4. Kütle kaybı, ışınım gücü ve etkin sıcaklığı bilinen yıldızlar için kütle kaybı ile ışınım gücü arasındaki bağıntı.

Yıldız yüzeyi yakınında LTE en azından yaklaşık olarak sağlanıyorsa, fotosferin üstüne doğru yüksekliğin artması ile sıcaklığın ve dolayısıyla eksitasyonun azalacağı beklenir. Bu durumda bir hız gradiyenti ortaya çıkabilir. Böylece radyal hız ile eksitasyon potansiyeli arasında sistematik bir bağıntı bulunabilir. Balmer serisi durumunda, daha kuvvetli çizgi daha düşük yoğunluklu ortamda doyar ve böylece Balmer serisinin ilk çizgileri atmosferin en dış bölgelerindeki hız alanlarını temsil eder. Ancak bu belirteçler cinsinden kütle kaybı ifade edilirken çok dikkat edilmelidir. Bu yıldızlarda  $H_{\alpha}$  çok kuvvetli fakat M, E üstdev yıldızlarından daha azdır. Kütle kaybı olmayan yıldızlarda da hız gradiyenti olabilir. Kütle kaybının en iyi belirteci UV bölgesindeki rezonans çizgilerinin çok kuvvetli yer değiştirmesidir. Bu bölgede gözlemler uydularla (Copernicus ve IUE) yapılabildiği için ancak önemli çalışmalar son yıllarda yapılabildi.

Parlak yıldızların  $H_{\alpha}$  salması, O9-A5 spektrel aralığında, Rosendhal tarafından incelendi. Şekil 5'de A üstdev yıldızlara ilişkin  $H_{\alpha}$  profilleri yer almaktadır. Görüldüğü gibi ışınım gücünün artması ile  $H_{\alpha}$  soğurması önce zayıflamakta sonra kırmızı kanatta meydana gelen bir kıvrım ile daha da incelmektedir. Daha yüksek ışınım güçlü yıldızlarda kırmızı kanatta sürekli spektrum seviyesinin üstünde salma bileşeninin olduğu görülüyor. En parlak üstdevlerde salma soğurmadan daha etkindir. B8-A5 spektrel aralığında  $M_V = -6^m.8$  ile  $-7^m.0$  veya  $M_B = -7^m.0$  ile  $-7^m.6$ 'dan daha sönük olan yıldızlarda  $H_{\alpha}$  salması kaybolur.

Rosendhal (1973-b) A üstdevlerinde hız gradiyentini de araştırdı. Metalik iyon ve özellikle  $H_{\alpha}$  ile kırmızı bölgedeki diğer çizgilerin radyal hızları arasında büyük farklar olacağını



Şekil 5. A Üstdevlerinin  $H\alpha$  profilleri (Rosendhal, 1973 b).

buldu:  $H_{\alpha}$ 'nın radyal hızları  $M_{bol}=-7^{m.0}$  için 10 km/sn,  $M_{bol}=-8^{m.5}$  için 50 km/sn kadar daha negatiftir. Rosendhal bu hız farklarını yıldızın atmosferindeki akımlara bağıladı. Erken tip yıldızların çoğunda, spektrumun kırmızı ötesi ve radyo bölgesinde aşırı salmalar görüldü. Bunlar yıldızın yüzeyinden oldukça uzaktaki plazmada serbest-serbest geçişlerle açıklandı. Bu salmalar da bu yıldızların çevresinde geniş bir gaz kütesinin varlığını gösterir.

IUE gözlemleri yapılmış tüm A tipi üstdevleri üzerinde yapılan bir çalışmada bu yıldızlar, rüzgâr ve kütle kaybı gösteren çok parlak ve bu belirtileri göstermeyen daha az parlak yıldızlar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır (Talavera ve Gomez de Castro, 1987). Birinci grupta olanlar, Mg II, Fe II, Si II ve C II rezonans çizgileri, kısa dalga boyuna doğru değişen bileşenli asimetric çizgilerdir. Bunlar için bulunan terminal hızı yaklaşık olarak -250 km/sn'dir. İkinci gruptaki yıldızlarda bu çizgiler simetriktir. Fe II çizgilerine ilişkin bileşenlerin hızı ve terminal hızı değişmeden kalır. Bu çalışmada kaçma hızının artmasına karşılık terminal hızının azaldığı bulundu. Aynı araştırmacılar daha sonra (1987), listelerinde bulunan IUE gözlemleri yapılmış bir grup yıldızın yeni IUE gözlemlerini yaparak eski ve yeni spektrumları karşılaştırdılar. Bu karşılaştırmada az parlak bir yıldız olan HD 21389 (A0 lab)'nın 1986 ve 1978 spektrumlarındaki Mg II rezonans çizgilerinde değişimler buldular. Bunlar çok parlak yıldızlara göre çok yavaş değişimlerdir.

Wright ve Barlow (1975) (Panagia ve Felli, 1975'e bakınız) v hızı ile genişleyen hidrojen gazından oluşmuş homojen bir küreden kütle kaybının

$$\dot{M}=0.095 \mu Z^{-1}(\gamma g_{\nu})^{-1/2} v S_{\nu}^{3/4} D^{3/2} v^{-1/2} M_{\odot}/\text{yıl}$$

bağıntısı ile verilebileceğini gösterdiler. Burada  $v$  km/sn,  $S_{\nu}$  serbest-serbest salmadan dolayı  $\nu$  frekansındaki akı,  $D$  kpc cinsinden yıldızın uzaklığı,  $\mu$  gazın ortalama atom ağırlığı,  $Z$  herbir iyonun ortalama yükü,  $\gamma$  iyon başına ortalama elektron sayısı,  $g_{\nu}$   $\nu$  frekansındaki Gaunt faktörünün değeridir.

Gözlem sonuçları özellikle O ve B yıldızları için modellerle oldukça iyi temsil edilebilmektedir. Bu modellerde madde akımı, yıldızın fotosferi yakınında düşük hızlarla başlar ve bir maksimum hıza,  $v_{\infty}$  (terminal hızı), ulaşmaya kadar dışa doğru ivmelenir.  $v_{\infty}$ 'un değeri kısa dalga boyuna doğru kaymış UV çizgilerinin mavi kanatlarından belirlenir.

Radyo (serbest-serbest) salması, yıldız zarfının oldukça uzağında madde akış hızının terminal hıza ulaştığı yerde meydana gelir. Abott ve arkadaşları (1980)  $\alpha$  Cyg için  $\lambda=6$  cm'de 0.4 mJy akı değerini buldular. Bu ise  $2.5 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$ 'dan daha küçük bir kütle kaybına karşılık gelir. Daha yeni gözlemlerin kullanılması ile bu sınır  $1.5 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$  olarak bulundu. Bu sonuç, eğer yıldızın yarıçapı doğru tayin edilmiş ise, en dış katmanlara doğru rüzgârın hızı azalıyorsa ve hidrojen çoğunlukla iyonlaşmış ise doğrudur.

Prensip olarak aynı yöntem, serbest-serbest salmanın kırmızı ötesi ölçümlerinden kütle kaybı oranını bulmak için kullanılabilir. Kırmızı öte ölçümlerinden tayin edilen kütle kaybı değerinin doğruluğu sınırlıdır.  $\alpha$  Cyg için Barlow ve Cohen (1977)

$\dot{M}=6.9 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$  değerini buldular. Bu değer radyo gözlemlerinden bulunan üst sınır değerinden daha büyüktür.



M değerleri  $H_{\alpha}$  salması ve UV soğurma çizgi modellerinden de bulunabilir.  $\alpha$  Cyg için böyle modeller Kunarsz ve Praderie (1981) ile Kunarsz ve Morrison (1982) tarafından yapıldı. Bu yöntemle  $\alpha$  Cyg için bulunan kütle kaybı  $1.5 \times 10^{-9} M_{\odot}/\text{yıl}$  ile  $4 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$  aralığındadır.

**Cetvel. 1:** A tipi üstdev yıldız için bulunan kütle kaybı değerleri.

Yıldız	Sp Tip	Gözlemsel Veriler	$\dot{M}$ ( $10^{-6} M_{\odot}/\text{yıl}$ )	Kaynak
HR 1040	A0 Ia	IR artığı	0.42	Barlow ve Cohen (1977)
		UV izgileri	0.01	Praderie ve arks. (1980)
$\eta$ Leo	A0 Ib	IR artığı	0.047	Barlow ve Cohen (1977)
		UV izgileri	<0.001	Praderie ve arks. (1980)
			0.0003	Kondo ve arks. (1976)
HR 12953	A1 Ia	IR artığı	0.80	Barlow ve Cohen (1977)
$\theta$ Per	A2 Ia	IR artığı	0.52	Barlow ve Cohen (1977)
$\alpha$ Cyg	A2 Ia	IR artığı	0.69	Barlow ve Cohen (1977)
		UV izgileri	0.11	Lamers ve arks. (1978)
		Radyo Sal.	0.01-0.07	Praderie ve arks. (1980)
		UV izgileri	0.003-0.15	Kunarsz, Praderie (1981)
		UV izgileri	0.001-0.005	Hensberg ve arks. (1982)
		$H_{\alpha}$	0.17-0.40	Kunarsz, Morrison (1981)
HR 2874	A5 Ib		0.003	Praderie ve arks. (1980)

Cetvel.1'de bir kaç A tipi üstdev yıldız için bulunan kütle kaybı değerleri verilmektedir. Aynı bir yıldız için farklı yöntemler kullanılarak elde edilen değerlerin çok farklı oluğu yıldız ruzęolarını anlamadaki eksikliğimizi göstermektedir.

A üstdevlerinde kütle kaybı değerleri, erken B tipi üstdevlerinden bir on kat daha azdır. A üstdevlerinde dışa doğru madde akışını sağlayan mekanizmanın ne olduğu kesin olarak bilinmiyor. Işınım basıncı, madde akışının hızlanmasında bir rol oynar fakat radyal olmayan pulsasyonlar ve yıldız içindeki diğer kütle hareketleri rüzgârın başlamasında önemli rol oynayabilir (Lucy, 1975).

### Fotosferik Değişimler

A üstdevlerinde değişimler aşırı karmaşıktır. Değişim zamanları saatten yıllara kadar uzanır. Bu değişimler ya fotosferde ya da kütle kaybı ile ilişkili olan genişlemiş zarfta ortaya çıkabilir. Değişen kemiyetler : ışınım gücü, radyal hız, çizgi şiddeti ve şeklidir. Değişimler yarı-periyodik olduğundan değişim karakterinin belirlenmesi çok uzun zaman aralığında yapılmış çok miktarda gözlemleri gerektirir. Eğer değişen her bir kemiyetin bir diğeri ile aralarında bir bağıntı olup olmadığı araştırılmak istenirse, eşzamanlı gözlemlere gerek vardır. Bu alanda yapılmış iyi çalışmalar orta zaman ölçeğindedir. Radyal hız değişimine ilişkin Abt (1957)'in ilk çalışması özel önem taşır. A ve F spektral aralığında dokuz üstdev yıldızın birbirini izleyen gecelerde 30 gece gözlemlerini yaptı. Bu yıldızların herbirinin 4 ile 30 gün aralığında periyodu ve 4 ile 10 km/sn aralığında genlik değişimi gösterdiklerini buldu.

Üstdevlerde genel olarak fotometrik değişimler de görülmektedir. Periyot ve genliğin yıldız özellikleri ile ilişkileri Burki ve arkadaşları (1978) ve Maeder (1980) tarafından

özetlendi. A üstdevlerinde parlaklık değişiminin genliği 0.03-0.05 kadir aralığında olup ışınım gücünün artması ile artmaktadır. Yarı-periyodik değişimler için tipik periyotlar bulunabilir. A üstdevleri için periyotlar 10 ile 100 gün aralığındadır. Değişimin bir türü ile diğerleri arasında çok az şey biliniyor. Genellikle eşzamanlı spektroskopik ve fotometrik gözlemler yoktur. Çeşitli spektrel özellikler arasında bazı bağıntılar bulundu. Örneğin Rosendhal ve Wegner (1970) iki A üstdevinde büyüme eğrilerinden çıkarılan mikrotürbülans ile radyal hız değişimleri arasında kuvvetli bir bağıntı buldular. Böylece büyük ve küçük ölçekli kütle hareketlerinin birlikte olduğunu gösterdiler.  $\alpha$  Cyg'nin farklı metalik çizgilerinin ve hidrojenin Balmer serisi çizgilerinin radyal hız değişimleri kendi aralarında karşılaştırıldı (Inoue, 1979). Radyal hızların elementten elemente farklı olduğu bulundu ve bunun çizgi oluşum derinliğine bağlı olabileceği ileri sürüldü. Bu ölçümler atmosferin farklı katmanlarındaki pulsasyon karakteristiklerinin ortaya çıkarılması için kullanılabilir.

Gün veya haftadan çok daha uzun veya kısa zaman ölçekli değişimlere ait çok sınırlı da olsa veriler vardır. Bazı çok parlak A üstdev yıldızın (HD 160529, HD 37836 ve S Doradur) saat mertebesinde değiştiği bilinmektedir (Appenzeller, 1974; Sterken, 1976).  $\delta$  Cas (A3 Ia) yıldızının 25 yüksek dispersiyonlu spektrumu Aydın (1979) tarafından çalışıldı. Kısa zaman aralıklı spektrel değişimlere ve aralarındaki bağıntılara bakıldı. Eşdeğer genişlik, mikrotürbülans ve radyal hız değişimleri arasında bir bağıntı olduğu bulundu. Radyal hız ve türbülans hızlarında bir saat gibi kısa zaman aralığında bile zamanla hızlı bir değişim görüldü. Hidrojenin Balmer serisi çizgileri hafif fakat en kuvvetli Fe II çizgileri aşırı bir şekilde

asimetriktir. En kuvvetli Fe II çizgilerinin asimetriklik miktarları ile Log gf değerleri, çizgi laboratuvar şiddetleri ile eşdeğer genişlikler arasında bir bağlantı bulundu. Nötr ve iyonize Fe çizgilerinin radyal hızları arasında farklar vardır. H $\alpha$  ve H $\beta$  diğer hidrojen çizgilerine ve metalik çizgilere göre daha negatif radyal hızı sahiptir. Mikrotürbülans hızları farklı elementler için farklıdır ve aralarında

$V(\text{Fe II}) > V(\text{Ti II, Cr II}) > V(\text{Fe I})$  şeklinde bir eşitsizlik vardır.

### **Dönme ve Diğer Çizgi Genişletme Kaynakları:**

Üstdev yıldızların atmosferlerindeki hız alanları oldukça karmaşıktır. Çizgi genişlemesine katkıda bulunan olaylardan biri de dönme olabilir. Kütle kaybı genişleyen atmosferin bir devamı olarak alınabilir. Buna göre bir derinlik-genişleme hızı bağlantısı ve bunun çizgi genişlemesini etkilemesi beklenir. Bunun sonucunda hem asimetrik profil hem de kaymış profil meydana gelebilir. Ayrıca atmosferdeki türbülans da çizgi şeklini değiştirebilir. Yıldız atmosferlerinde iki tür türbülansdan söz edilir: Eğer türbülans elementinin büyüklüğü, fotonun ortalama serbest yolundan daha küçük ise mikrotürbülans, daha büyük ise makrotürbülans hız alanı olarak isimlendirilir. Mikrotürbülans, büyüme eğrisinin Doppler parametresinde bir artış sağlayarak kendini gösterebilir. Makrotürbülans ise çizgi genişliğini değiştirir ancak eşdeğer genişliği değiştirmez.

Rosendhal (1970 a) A üstdev yıldızlarında dönme ve makrotürbülans nedeniyle çizgi genişlemesini araştırdı. Doppler genişlemesinin kaynağı yalnız dönme olsaydı o zaman bazı yıldızlar hemen hemen dönme eksenini boyunca görülür ve ince

çizgili olurdu. Atmosferdeki kütle hareketleri anlamı genişletme etkeni değildir. Rosendhal bu çalışmasında en ince çizgili bir yıldızın kutuplar doğrusu boyunca görüldüğünü ve böyle çizgi genişliğinin tamamıyla makrotürbülans nedeniyle olduğunu ve diğer tüm A üstdevlerini de karakterize ettiğini varsaydı. Böylece bulduğu tipik dönme hızı  $\sim 13$  km/sn'dir. Buradan Rosendhal türbülansın çizgi genişlemede etkin bir kaynak olduğunu fakat dönmesinde kesinlikle etkin olduğu sonucuna vardı.

Genel olarak mikrotürbülans metalik iyonlar için gözlenen ve teorik büyüme eğrisinin karşılaştırılmasından bulunur. Bir çok A üstdevinin spektrali analizi Rosendhal (1970 b) ve Aydın (1972) tarafından yapıldı. Her iki araştırmacı yıldızdan yıldıza, elementten elemente ve aynı bir yıldızın farklı zamanlardaki değişimleri ile mikrotürbülans için 5 ile 15 km/sn arasında değerler buldular. Rosendhal incelediği yıldızdan ikisinde mikrotürbülans ve radyal hızlar arasında bağlantı buldu. Aydın ise çalıştığı altı yıldızdan yalnız birinde benzer bir bağlantı buldu. Görüldüğü gibi değişik ölçekli farklı hareketler birbiri ile yakından ilişkilidir. Radyal hızlar büyük ölçekli hareketleri yansıtırken mikrotürbülans çok daha küçük ölçekli hareketleri yansıtabilir. Aydın mikrotürbülansın artışının göcü ile arttığını buldu.

Bu tartışmada mikro ve makro türbülans hızlarının yalnız çizgi genişlik ve siddetlerini karakterize eden parametreler oldukları görülmüyor. Bunların gerçek fotosferik hız alanının tanımmasını sağlayıp sağlamayacağı kuşkuludur. Çizgi bilmelerini sağlıklı ölçebilen elektronik dedektörlerin kullanılması ile elde edilen profillerin Fourier analizi ile hız

alanlarını belirleme çalışmaları yapıldı. Çizgilerin profilleri eşdeğer genişliklerinden daha çok bilgi verir.

Genişleyen bir atmosferde minimum şiddetli soğurmanın konumu, artan çizgi şiddeti monoton olarak daha da kısa dalga boyuna doğru kayar. Daha uzaklarda doymuş olan daha kuvvetli çizgiler, daha büyük akış hızları gösterir. Hız gradiyenti çizgi biçimini bozar. Özellikle daha zayıf çizgiler daha yüksek frekanslara doğru çarpılır. Tersine olarak kuvvetli çizgiler etkin biçimde geniş bir hız aralığının üstünde soğurulur ve simetrik olma eğilimindedir.

Özet olarak A üstdevlerinin atmosferlerinde ısısal olmayan hareketler için kanıt vardır. Büyüme eğrisinin biçimi, çizgi genişliği gibi, bazı hareketleri karakterize eden parametreler dönme, makro ve mikrotürbülans gibi terimlerle ifade edilirler.

### Üstdevlerin Çözülmemiş Problemleri

Bu yıldızlarda, en azından en parlak olanlarında kütle kaybı kesin olduğundan, şimdiye kadar kaydedilen ilerlemelere rağmen evrimlerine ve atmosferlerine ilişkin bir kaç önemli soru cevapsız kalır. Burada bu yıldızların evrimlerine ilişkin çok az şey söylendi, HR diyagramındaki yerleri teorik modellerle karşılaştırılmadı. Bunun nedeni bu konuda çok az şey bilinmesidir. Kütle kaybeden kütleli yıldızların evrim çizgileri, bu yıldızlarda hidrojen yanmasının  $\log T_e = 4.4$  veya daha yukarda sona erdiğini göstermektedir. Bu sıcaklık A üstdevlerini oldukça aşar, böylece bu yıldızların evrimlerinde anakol evresini geçtikleri ve helyum yakma evresinde oldukları kabul edilir (Brunish ve Truran, 1962)

Genç galaktik kümelerin üstdev gözlemleri ile teorik evrim çizgilerinin karşılaştırılmasından üstdevlerin %40'ının anakol bandı dışına düştüğünü buldular. Modele göre hesaplanan yaşam sürelerinden beklenen sayı %8'dir. Buradan anakol evresinin A spektral tipine kadar uzanabileceği ileri sürülmektedir (Meylan ve Maeder, 1982).

Bu sonuç pek çok araştırmacının ileri sürdüğü teorik anakol bandının çok dar olduğu görüşünü destekler. Tek başına kütle kaybının hesaba katılması, teorik anakol bandını yeteri kadar genişletemez. Kararsız akımlar yüzünden ek karıştırmalar, konvektif fışkırmalar veya meridional akımlar da anakol bandını genişletebilir. Kuşvetli rüzgârlar yıldız yarıçapını da artırabilir. Bunun sonucu olarak  $T_e$  azalabilir ve anakol bandını genişletebilir. Buradan da anlaşılacağı gibi A üstdevlerine ilişkin cevapsız kalan ilk soru bu yıldızların evrimin hangi evresinde olduklarıdır.

Muhtemelen bütün üstdevlerin ışınım gücü ve radyal hızları değişmektedir. Değişim genliği, ışınım gücünün artması ile artmaktadır ve hata sınırları içinde bütün üstdevler için böyledir. Değişimler, en iyi halde bile yarı-düzenli olduğundan, değişim nedenleri bilinmemektedir. Uzun zaman devam ettirilmesi gereken sürekli gözlemlerle cevaplandırılacak soruların sayısı az değildir.

Bu değişimler, atmosferik hız alanlarının değişimine ilişkin neler söyleyebilir?

Radyal olmayan pulsasyonlarla ilgili olabilen kararlı değişim frekansları için belirti var mı? Eğer böyle ise pulsasyondan atmosfer yapısına ilişkin hangi sonucu çıkarabiliriz?

Gözlemlerle elde edilen çizgi genişlemesinin ne kadarı radyal olmayan pulsasyondan ileri gelir?

Fotosferik hız alanları ile,  $H_{\alpha}$  salması, UV soğurma özellikleri ve kırmızı ötesi artık ölçümlerinden elde edilen kütle kaybı arasında bir bağıntı var mı?

Bugün için böyle bir programı gerçekleştirmek bu sorulara cevap vermeye yetecek kadar eşzamanlı gözlemler yapmak üzere teleskoplarda zaman bulmak imkansız gibi görünüyor.

Yine de bir çok astrofizik problemi uzun zaman aralığına yayılan gözlemlerle çözülebilir. A üstdevlerinde madde akımı ve kütle kaybını belirten bir çok delil vardır. Fakat maalesef yalnız en parlak A üstdevi olan  $\alpha$  Cyg için  $H_{\alpha}$  ve UV çizgi profillerini, radyo ve kırmızı ötesi artık değerlerini biliyoruz. Ancak ölçümler eşzamanlı değil ve kırmızı ötesi artığı tartışmalıdır. Uzay teleskoplarının kullanıma girişi ile yıldız rüzgarlarının ölümlerinin, daha çok sayıda diğer A üstdevleri için yapılacağı, sıcaklık ve ışınım gücüne olan bağıntısının belirleneceği ve madde akımında görülen zamanla değişimin araştırılacağı bekleniyor. Matematik tekniklere dayalı modeller A üstdevlerinde yıldız rüzgarlarının daha erken spektral bölgelerden daha yavaş olduğunu göstermektedir.  $\alpha$  Cyg için farklı spektral özelliklere göre yapılan modellerin verdiği kütle kaybı gözlem sonuçları ile uyusmamaktadır. Model yapımında yeni kütle kaybına katkısı olan tüm mekanizmaları dikkate alması gereklidir.

Bu yıldızların problemlerinin çözümünde uzun zaman aralığına yayılmış çok yoğun ve eşzamanlı gözlemlere gerek vardır.



## Kaynaklar

- Abott, D.C., Biegging, J. H., Churchwell, E., and Casinelli, J.P., 1980, *Astrophys. J.*, 238, 196.
- Abt, H. A., 1957, *Astrophys. J.*, 126, 138.
- Appenzeller, I., 1974, *Astron. Astrophys.*, 32, 469.
- Aydin, C., 1972, *Astron. Astrophys.*, 19, 369.
- Aydin, C., 1979, *Astrophys. and Space Sci.*, 64, 481.
- Barlow, M.J., and Cohen, M., 1977, *Astrophys. J.*, 213, 737.
- Boer, B., de Jager, C., Nieuwenhuijzen, H., 1988, *Astron. Astrophys.*, 195, 218.
- Bonneau, D., Kocchlin, L., Oneto, J. L., and Vakili, F., 1981, *Astron. Astrophys.*, 103, 28.
- Eduw, G. D., and Pansons, S. D., 1971, in *Colloquium on Supergiant- Stars*, ed: M Hack (Trieste Osservatorio Astronomico Trieste), pp 22.
- Brunish, W. M., and Truran, J. W., 1962, *Astrophys. J.*, 256, 247.
- Burki, G., Maeder, A., and Rufener, F., 1978, *Astron. Astrophys.*, 65, 363.
- Chiosi, C., Nasi, E., and Sreenivasan, S. R., 1978, *Astron. Astrophys.*, 63, 103.
- Chiosi, C., 1986, *Astron. Astrophys.*, 24, 329.
- Ebbet, D., 1978, *Astrophys. J.*, 224, 185.
- Feast, M. W., Thackeray, A. D., and Wesselink, A. J., 1960, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 121, 337.
- Flower, P. J., 1977, *Astron. Astrophys.*, 54, 31.
- Groth, H. G., 1972, *Astron. Astrophys.*, 21, 337.
- Hersberge, H., Lamers, H. J. G., de Loore, C., and Bruhweiler, F. C., 1982, *Astron. Astrophys.*, 106, 137.

- Humphreys, R. M., 1979, *Astrophys. J. Suppl.*, 39, 389.
- Humphreys, R. M., and Davidson, K., 1979, *Astrophys. J.*, 232, 409.
- Hutchings, J. B., 1970, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 147, 161.
- Inoue, M., 1979, *Pub. Astron. Soc. Japan*, 31, 11.
- Johnson, H. L., 1966, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 4, 193.
- Kondo, Y., Morgan, T. H., and Modisette, J. L., 1975, *Astrophys. J. (Letters)*, 198, L 37.
- Kunarsz, P. B., and Praderie, F., 1981, *Astrophys. J.*, 247, 949.
- Kunarsz, P. B., and Morrison, N. D., 1982, *Astrophys. J.*, 263, 226.
- Lamers, H. J. G. L. M., Stalio, R., and Kondo, Y., 1978, *Astrophys. J.*, 223, 207.
- Lucy, L. B., 1976, *Astrophys. J.*, 206, 499.
- Meylan, G., and Maeder, A., 1982, *Astron. Astrophys.*, 108, 148.
- Maeder, A., 1980, *Astron. Astrophys.*, 90, 311.
- Morton, D. C., 1967, *Astrophys. J.*, 147, 1017.
- Osmer, P. S., 1972, *Astrophys. J.*, 171, 393.
- Panagia, A. E., and Felli, M., 1975, *Astron. Astrophys.*, 39, 1.
- Pansons, S. B., 1964, *Astrophys. J.*, 140, 853.
- Praderie, F., Talavera, A., and Lamens, H. J., 1980, *Astron. Astrophys.*, 86, 271.
- Rosendhal, J. D., 1970 a, *Astrophys. J.*, 159, 107.
- Rosendhal, J. D., 1970 b, *Astrophys. J.*, 162, 547.
- Rosendhal, J. D., and Wagner, G., 1970, *Astrophys. J.*, 162, 547.
- Rosendhal, J. D., 1972, *Astrophys. J.*, 178, 707.
- Rosendhal, J. D., 1973 b, *Astrophys. J.*, 186, 909.
- Rosendhal, J. D., 1974, *Astrophys. J.*, 187, 261.
- Snow, T. P., and Morton, D. C., 1976, *Astrophys. J. Suppl.*, 32, 429.

- Sterken, C., 1976, *Astron. Astrophys.*, 47, 453.
- Talavera, A., Gomez de Castro, A. I., 1987, *Astron. Astrophys.*, 181, 300.
- Talavera, A., Gomez de Castro, A. I., 1987, *Publ. of the Astr. Inst. of the Czechoslovak Academy of Sciences*, Publ. No. 70, 207.
- Underhill, A. B., and Doazan, V., 1982, *B Stars with and without Emission Lines*, NASA SP-456 (Washington:NASA, and Paris: CNRS).
- Wolff, S. C., 1983, *The A-Stars: Problems and Perspectives*, Ed. NASA SP-463.
- Wolff, S. C., and Wolff, R. J., 1974, *Astrophys. J.*, 194, 65.
- Wright, A. E., and Barlow, M. J., 1975, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 170, 41.

