

Delta Scuti Türü Değişen DD UMa'nın Kimyasal Bolluk Analizi

Aslı Elmaslı Akçar^{1*}, Berahitdin Albayrak¹ ve Luca Fossati²

¹ Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100
Tandoğan, Ankara

² Department of Physics and Astronomy, Open University, Walton Hall, Milton
Keynes MK7 6AA, UK

Özet Delta Scuti türü değişen yıldız olan DD UMa'nın yüksek çözünürlüklü tayfsal verisi Okayama Astrophysical Observatory'de (Japonya) elde edildi. Bu gözlemsel veriye ek olarak, Observatoire de Haute-Provence (Fransa) ELODIE arşiv verisi de analizde kullanıldı.

DD UMa, Delta Scuti türü değişen yıldızlar içinde yüksek ekvatoryal dönme hızına ($v \sin i = 188$ km/sn) sahip olup bu nedenle tayfsal verisinde örtüşmeyen (unblended) çizgi bulunmamaktadır. Bu çalışmada, yüksek dönme hızına sahip bir yıldızın kimyasal bolluk analizi gerçekleştirilerek sonuçları literatürde az sayıda bulunan diğer Delta Scuti yıldızların kimyasal bolluk değerleri ile mukayese edildi.

1 Delta Scuti Yıldızları

Bu türden yıldızlar, H-R diyagramının kararsızlık kuşağının klasik Cepheid bölgesinde, A2-F0 V ve A3-F5 III Kurtz (2000) tayf türleri arasında konumlanan, kısa dönemli (0.33-6 saat) zonklayan değişen yıldızlardır. Delta Scuti yıldızlarının kütleleri 1.5 ile 2.5 $M_{\odot}$ ve dönme hızları ($v \sin i$) 0 ile 250 km/sn aralığındadır. Çapsal ve çapsal olmayan basınç (p) ve çekim (g) modlarında zonklama yapmaktadırlar.

Zonklama dönemleri kısa olan bu yıldızların literatürde yer alan araştırmaları, genelde fotometrik ve tayfsal olarak zonklama frekanslarının incelenmesi, gerçek frekansları ile zonklama modlarının belirlenmesi ve iç yapılarının anlaşılmasına yönelik zonklama modellerinin üretilmesinden oluşmaktadır. Delta Scuti yıldızları için üretilen zonklama modellerinin girdi parametrelerinden biri yıldızın atmosfer parametresi (etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesi) iken diğeri metal bolluğudur (Z). Bu yıldızların zonklama modellerinin güvenilirliği bir bakıma hassas atmosfer parametrelerine ve metal bolluğu değerlerine bağlıdır.

Samanyolu Gökadası'nda toplamda 803 tane (Rodriguez et al. 2000 ve Soydugan et al. 2006) ve Samayolu dışındaki galaksilerde ise toplamda 2940 tane (Matteo et al. 1998, Kaluzny et al. 2003, Soszynski 2009, DiFabrizzo et al. 2005, Kaluzny et al. 2006, Baldacci et al. 2005, Poretti et al. 2008, Greco et al. 2009, Musella et al. 2009, Moretti et al. 2009, Poleski et al. 2010) Delta Scuti türü değişen

* elmasli@ankara.edu.tr

yıldız keşfedildi. Gökadamız Delta Scuti yıldızları arasından sadece 18'inin yani % ~ 2.24 bugüne kadar detaylı bolluk analizi çalışması yapılmıştır. Delta Scuti yıldızların zonklama doğasının ve iç yapısının daha iyi anlaşılabilmesi için literatürde bu tarz çalışmaların sayısının artması gerekmektedir.

1.1 DD UMa

Literatürde ilk kez 18 UMa adıyla Allengheny Observatory'deki tayfsal çift yıldız gözlem listesinde yer almıştır (Schesinger 1914). Abt (1965) Aralık 1959-Nisan 1961 tarihleri arasında 13 gecede elde ettiği radyal hız değerlerinde bir değişim görmediğinden DD UMa'nın tayfsal bir çift değil, tek yıldız olduğunu belirtmiştir.

Percy (1973) Delta Scuti yıldızlarının fotometrik ışık eğrilerini elde ederken, HR 3775 yıldızı için mukayese yıldızı olarak 18 UMa'yı kullanmıştır. Gözlemlerin analizi sonucunda mukayese yıldızının ~ 3 saat dönemli $0^m.03$ kadir genlikli değişim gösterdiğini fark edip Delta Scuti türü değişen bir yıldız olduğunu ilk kez belirtir. 1979 yılında Kholopov et al. (1978) 64. değişen yıldız isimlerdime çalışmasında 18 UMa'yı DD UMa olarak adlandırmıştır.

DD UMa'ya ilişkin ışık ölçümü ve tayfsal çalışmaların sayısı sınırlıdır. Zonklama dönemini kapsayan bir ışık eğrisi ve/veya analizi bulunmamaktadır. Tayfsal olarak ise Russell (1995)'in Delta Scuti yıldızlarının lityum bolluğu araştırmasında ve Takeda et al. (2007)'nin A türü yıldızları için Sodyum bolluğu incelemesinde yer almaktadır.

2 Gözlemler ve Analiz Yöntemi

DD UMa, Okayama Astrophysical Observatory'deki (NAOJ, Japonya) 1.88 m'lik teleskoba bağlı yüksek çözünürlüklü High Dispersion Echelle Spectrograph (HIDES) tayfçeki ile 27 Şubat-5 Mart 2009 tarihleri arasında gözlemlendi. HIDES tayfçeki ile 3830-5600 Å dalgaboyu aralığında $R=47.000$ ve S/N oranları 100 ile 350 arasında değişen veriler elde edildi. HIDES tayfsal verisini aletsel etkilerden arındırmak için IRAF programı ile bias, flat ve saçılmış ışık düzeltmesi gerçekleştirildi. Daha sonra Th-Ar lambaları ile elde edilen kalibrasyon tayfları ile gözlenen tayflara dalgaboyu kalibrasyonu yapıldı. Ardından gözlemcinin konumuna göre radyal hız düzeltmesi gerçekleştirildi. Son olarak tayfsal verisinin analize uygun hale getirilmesi için tüm tayflar IDL programı altında çalışan 'Continuum normalisation program'ı (Kochukhov 2007) ile sürekliliğe normalize edildi.

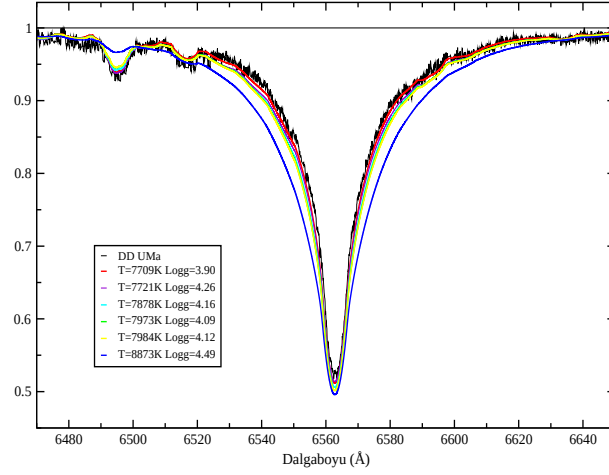
NAOJ verilerine ilave olarak, Observatoire de Haute-Provence'deki 1.93 m'lik teleskoba bağlı ELODIE tayfçeki ile daha önceden elde edilmiş DD UMa yıldızının ELODIE arşiv verisinde (<http://atlas.obs-hp.fr/elodie/>) bu çalışmada kullanıldı. ELODIE tayfçerinin dalgaboyu aralığı 3850-6800 Å ve çözünürlüğü ise $R=42.000$ 'dir. Bu verinin sürekliliğe normalizasyonu da 'Continuum normalisation program'ı ile gerçekleştirildi.

2.1 Atmosfer Parametrelerinin Belirlenmesi

DD UMa yıldızının yüzey sıcaklığı ve çekim ivmesine ilişkin başlangıç değerlerini belirlemek için öncelikle fotometrik gözlemlerden yararlanıldı. Fotometrik yöntemler ile atmosfer parametrelerini belirlemek için TEMPLOGG (Rogers 1995) yazılım kodunun arayüzü kullanıldı. SIMBAD Astronomik Veri Tabanı (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>) WEB sayfası aracılığıyla DD UMa yıldızının Strömgren, Johnson ve Geneva filtreleri için hesaplanmış fotometrik gözlem değerleri alınarak TEMPLOGG programı aracılığıyla bu farklı kalibrasyonlar için ayrı ayrı atmosfer parametreleri hesaplandı. Tablo 1'de Strömgren, Johnson ve Geneva fotometrik sistemlerine ilişkin elde edilen atmosfer parametreleri listelenmiştir.

Tablo 1. Fotometrik gözlemleri esas alarak belirlenen atmosfer parametreleri

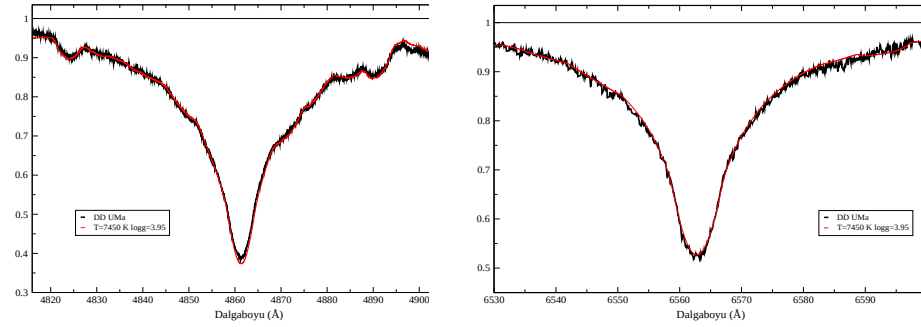
No	T (K)	Log g	Referans	Filtre	v_{mik}
1	7709	3.90	Napiwotzki (1993)	Strömgren	2.6
2	7973	4.09	Moon (1985)	Strömgren	2.6
3	7878	4.16	Balona (1984)	Strömgren	2.6
4	7984	4.12	Ribas (1997)	Strömgren	2.6
5	8873	4.49	Castelli (1998)	Strömgren	2.3
6	7602	4.21		Johnson (B-V)	2.7
7	7261	-		Johnson (V-I)	2.8
8	7721	4.26		Geneva	2.6



Şekil 1. Tablo 1'deki atmosfer parametre çiftlerine göre üretilen sentetik tayfların gözlemsel H alfa çizgisi ile uyumu

Mikrotürbülans hızı, Pace et al. (2006)'ın Delta Scuti yıldızları için belirlediği bağıntı $v_{mik} = -4.7 \log(T_e) + 20.9$ ile hesaplandı. Tablo 1'deki tüm at-

mosfer parametre çiftleri (T ve $\log g$) için LLmodels programı (Shulyak et al. 2004) yardımıyla atmosfer modelleri üretildi. Ardından IDL programında yazılan ATC.dev arayüzü ile 6400-6740 Å aralığında herbir atmosfer parametre çifti için SYNTH3 programı (Kochukhov 2007) ile sentetik tayflar oluşturuldu. Fotometrik atmosfer parametre çiftleri için üretilen sentetik tayfların gözlemsel veri ile karşılaştırılmış hali Şekil 1'de görülmektedir. Böylece, H alfa profilini temsil etmeye yakın olan sıcaklık ve $\log g$ değerleri belirlendi ve Tablo 1'de italik olarak belirtildi. Tablo 1'de italik sıcaklık ve $\log g$ değerlerinin ortalaması $T = 7811$ K ve $\log g = 4.17$ olarak hesaplandı. Bu ortalama atmosfer parametreleri ile gözlemsel H alfa profiline yapılan sentetik tayf karşılaştırması sıcaklık değerinin belirli oranda azaltılması gerekliliğini işaret etmektedir. Bu nedenle $\log g = 4.10$ sabit tutularak ($v_{mik} = 2.7$ km/sn ve $Z = 0.0$) 7750 - 7350 K sıcaklık değerleri arasında 100 K'lık gridler ile H alfa profili için atmosfer modelleri üretildi ve H alfa profilini en iyi temsil eden sıcaklığın 7450 ± 100 K olduğu belirlendi. Ardından, sıcaklık değeri sabit tutularak farklı $\log g$ değerleri ile H alfa profiline uyum arandı. İyonizasyon dengesi de dikkate alındığında DD UMa'nın atmosfer parametrelerinin $T = 7450 \pm 100$ K, $\log g = 3.95 \pm 0.1$ ($v_{mik} = 2.7$ km/sn) hesap edildi (bkz. Şekil 2).

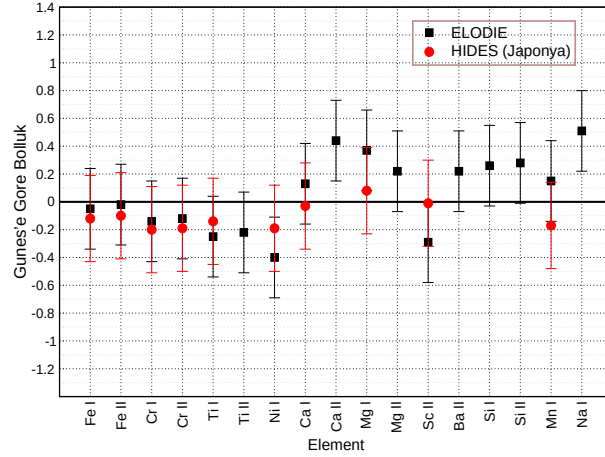


Şekil 2. Nihai atmosfer parametrelerine ($T=7450$ K ve $\log g=3.95$) göre üretilen sentetik tayfların H alfa ve H beta çizgileriyle uyumu

2.2 Kimyasal Bolluk Analizi

Öncelikle DD UMa'nın ekvatoryal izdüşüm dönme hızı ($v \sin i$) ve ortalama radyal hız (V_r) değerleri ELODIE ve HIDES tayfları için ayrı ayrı hesaplandı. $v \sin i$ ve V_r değerlerini belirleyebilmek için, IDL programında yazılan *rotateOLEGnew* programındaki 'parameter fit' komutu ile gözlemsel tayfta seçilen temiz soğurma çizgilerine (blend olmamış) sentetik tayf karşılaştırması yapıldı. ELODIE verisi için $v \sin i = 188 \pm 14$ km/sn ve $V_r = -15.28 \pm 1.86$ km/sn ve HIDES verisi için ise $v \sin i = 186 \pm 11$ km/sn ve $V_r = -16.45 \pm 3.40$ km/sn olarak belirlendi.

DD UMa gibi hızlı dönen yıldızların tayf çizgileri blend durumundadır. Bu nedenle çizgi tanısı ve seçimi sırasında çizginin çok örtüşmemiş olması, süre-



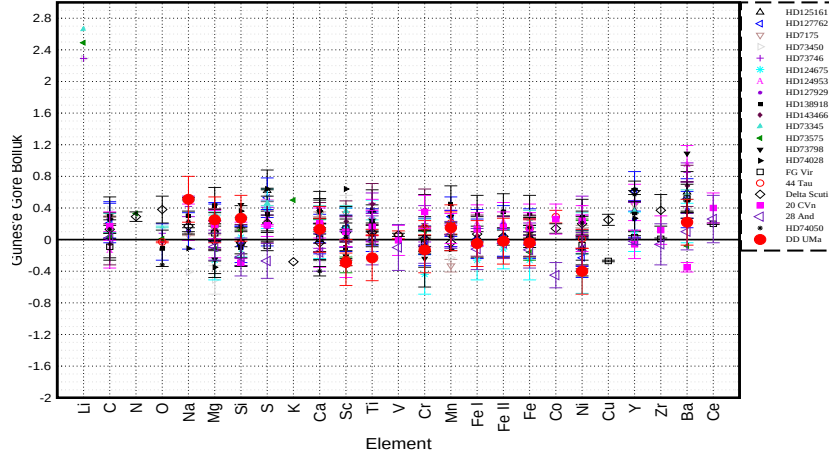
Şekil 3. DD UMa'nın HIDES ve ELODIE tayflarından hareketle ulaşılan sonuçların Güneş'e ilişkin değerlerle karşılaştırması

liliğinin iyi ölçülmüş ve çizgi parametrelerinin iyi tanımlanmış olmasına dikkat edildi. Çizgi seçimi için IDL programında Kochukhov (2007) tarafından geliştirilmiş *rotateMG* programı kullanıldı. Klasik kimyasal bolluk analizinde kullanılan eşdeğer genişlik ölçümü yardımıyla bolluk hesaplama yöntemi, çok hızlı dönen yıldızların tayfında, çizgi örtüşmesinin hat safhaya ulaşması nedeniyle, geçerliliğini yitirmektedir. Blend durumdaki çizgilerin kimyasal bolluk analizini gerçekleştirmek için atmosfer parametreleri iyi belirlenen gözlemsel veriye yönelik Sythn3 (Kochukhov 2007) programı ile sentetik modeller üretildi. Lispan programı (Stütz et al. 2006) ile seçilen belirli bir elementin tüm çizgilerine, sentetik tayf çıkartması yapılarak ilgili atomik türün bolluk değeri hesaplandı. DD UMa için her iki tayfçekerin gözlemsel verisinden ilgili atomik tür için hesaplanan bolluk değerleri Tablo 2'de verildi. Şekil 3'de ise her iki tayfçeker ile elde edilen bolluk değerlerinin Güneş'e göre farkı görülmektedir. Böylece her iki tayfçeker ile elde edilen gözlemsel veriye ilişkin ulaşılan sonuç değerlerinin uyum içinde olup DD UMa yıldızının Güneş benzeri kimyasal kompozisyona sahip olabileceği tespit edildi.

3 Sonuç

DD UMa için metal bolluğu $Z = 0.013 \pm 0.003$ dex olarak ($Z_{\odot} = 0.0122$, Asplund et al. 2005) hesaplandı. Şekil 3 ve Z değeri dikkate alındığında DD UMa yıldızının Güneş benzeri bir yıldız olduğu söylenebilir.

Literatürde 18 tane Delta Scuti yıldızının detaylı kimyasal bolluk analiz sonuçları bulunmaktadır (Yushchenko et al. 2005, Mittermayer & Weiss 2003, Adelman et al. 2000, Zima et al. 2007, Bruntt et al. 2008, Fossati et al. 2008a, Fossati et al. 2008b, Kılıçoğlu 2008). DD UMa'nın kimyasal bolluk analizi sonuçları



Şekil 4. Kimyasal bolluk analizi yapılmış tüm Delta Scuti yıldızlarının Güneş ile bir karşılaştırması

diğer Delta Scuti yıldızları ile Şekil 4’de karşılaştırıldı. Böylece Delta Scuti yıldızlarının bolluk değerleri ve hataları da dikkate alındığından bu yıldızların Güneş benzeri bolluk dağılımına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 2. DD Uma için hesaplanan element/iyon bolluk değerleri

ELODIE Bolluk Hata #				HIDES Bolluk Hata #			
Fe I	-4.64	0.23	24	Fe I	-4.71	0.16	21
Fe II	-4.61	0.13	8	Fe II	-4.69	0.26	4
Cr I	-6.54	0.16	5	Cr I	-6.6	0.2	2
Cr II	-6.52	0.18	2	Cr II	-6.59	0.32	3
Ti I	-7.39	0.24	3	Ti I	-7.28	0.35	5
Ti II	-7.36	0.37	5				
Ni I	-6.21	0.12	7	Ni I	-6	-	1
Ca I	-5.60	0.39	10	Ca I	-5.76	0.01	2
Ca II	-5.29	-	1				
Mg I	-4.14	-	1	Mg I	-4.43	-	1
Mg II	-4.29	0.58	3				
Sc II	-9.28	0.32	4	Sc II	-9	-	1
Ba II	-9.65	0.45	3				
Si I	-4.27	-	1				
Si II	-4.25	0.07	3				
Mn I	-6.50	0.06	3	Mn I	-6.82	0.14	2
Na I	-5.36	0.14	2				

Kaynaklar

- Abt H.A: The Frequency of Binaries among Normal A-Type Stars. *ApJS* **11** (1965) 429
- Adelman, S.J., Çalışkan, H., Koçer, D., Çay, I.H., Gökmen, T.H.: Elemental abundance analyses with DAO spectrograms - XXIII. The superficially normal stars 28 And (A7III) and 99 Her (F7V). *MNRAS* **316** (2000) 514
- Asplund, M., Grevesse, N., Sauval, A. J.: The Solar Chemical Composition. *ASPC* **336** (2005) 25
- Baldacci, L., Rizzi, L., Clementini, G., Held, E. V.: Variable stars in the dwarf irregular galaxy NGC 6822: The photometric catalogue. *A&A* **431**(2005) 1189-1201
- Balona L.A., Shobrook R.R.: A re-calibration of the luminosities of early-type stars - Its effect on the Cepheid luminosity scale. *MNRAS* **211** (1984) 375
- Bruntt, H., De Cat, P., Aerts, C.: A spectroscopic study of southern (candidate) γ Doradus stars. II. Detailed abundance analysis and fundamental parameters. *A&A* **478** (2008) 487
- Castelli, F.: Broad-Band Photometry from Kurucz's Models. *MmSAI* **69** (1998) 165-174
- Di Fabrizio, L., Clementini, G., Maio, M., Bragaglia, A., Carretta, E., Gratton, R., Montegriffo, P., Zoccali, M.: Variable stars in the bar of the Large Magellanic Cloud: The photometric catalogue. *A&A* **430**, (2005) 603-628
- Fossati, L., Kolenberg, K., Reegen, P., Weiss, W.: Abundance Analysis of Seven Delta Scuti Stars. *A&A* **485** (2008a) 257-265
- Fossati, L., Bagnulo, S., Landstreet, J., Wade, G., Kochukhov, O., Monier, R., Weiss, W., Gebran, M.: The Effect of Rotation on the Abundances of the Chemical Elements of the A-type Stars in the Praesepe Cluster. *A&A* **483** (2008b) 891-902
- Greco, C., Clementini, G., Catelan, M., Held, E.V., Poretti, E., Gullieuszik, M., Maio, M., Rest, A., DeLee, N., Smith, H.A., Pritzl, B. J.: Variable Stars in the Fornax dSph Galaxy. III. The Globular Cluster Fornax 5. *ApJ* **701** (2009) 1323-1335
- Kurtz, D. W.: Pulsation of Chemically Peculiar and Pre-Main Sequence Stars in the Delta Scuti Instability Strip. *ASPC* **210** (2000) 287-308
- Ribas, I., Jordi, C., Torra, J., Gimenez, A.: Biparametric calibrations of stellar mass, radius and surface gravity using uvby-Hbeta photometry. *A&A* **327** (1997) 207-214
- Rodriguez, E., Lopez-Gonzalez, M. J., Lopez de Coca, P.: A revised catalogue of delta Sct stars. *A&AS* **144**, (2000) 469-474
- Kaluzny, J., Rucinski, S.M.: Open Cluster LW 55 in the Large Magellanic Cloud. *AJ* **126**, (2003) 237-246
- Kaluzny, J., Mochnacki, S., Rucinski, S.M.: Variable Stars in the Large Magellanic Cloud: Discovery of Extragalactic W UMa Binaries. *AJ* **131** (2006) 407-413
- Kholopov, P. N., Kukarkina, N. P., Perova, N. B.: 64th Name-List of Variable Stars. *IBVS* **1581** (1978)
- Kılıçoğlu, T.: Düşük Genlikli δ Scuti Yıldızı 20 CVn'nin Element Bolluk Çalışması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (2008)
- Kochukhov, O.: Spectrum synthesis for magnetic, chemically stratified stellar atmospheres. *Physics of Magnetic Stars* (2007) **109**, 11
- Kurucz, R.: Kurucz CD-ROM, No. 13 (1993)
- Mateo, M., Hurley-Keller, D., Nemec, J.: Dwarf Cepheids in the Carina Dwarf Spheroidal Galaxy. *AJ* **115**, (1998) 1856-1868
- Mittermayer, P., Weiss, W. W.: Atmospheric properties and abundances of the delta Scuti star FG Virginis. *A&A* **407** (2003) 1097

- Moon, T. T., Dworetzky, M. M.: Grids for the determination of effective temperature and surface gravity of B, A and F stars using uvby-beta photometry. *MNRAS* **217** (1985) 305
- Moretti, M.I., Dall'Ora, M., Ripepi, V., Clementini, G., Di Fabrizio, L., Smith, H.A., DeLee, N., Kuehn, C., Catelan, M., Marconi, M., Musella, I., Beers, T.C., Kinemuchi, K.: The Leo IV Dwarf Spheroidal Galaxy: Color-Magnitude Diagram and Pulsating Stars. *AJ* **699** (2009) L125-L129
- Musella, I., Ripepi, V., Clementini, G., Dall'Ora, Ma., Kinemuchi, K., Fabrizio, L., Greco, C., Marconi, M., Smith, Horace A., Radovich, M., Beers, T.C.: Pulsating Variable Stars in the Coma Berenices Dwarf Spheroidal Galaxy. *AJ* **69** (2009) L83-L87
- Napiwotzki, R., Schönberner, D., Wenske, V.: On the determination of effective temperature and surface gravity of B, A, and F stars using Stromgren UBVY beta photometry. **268** *A&A* (1993) 653
- Pace, G., Recio-Blanco, A., Piotto, G., Momany, Y.: Abundance anomalies in hot horizontal branch stars of the Galactic globular cluster NGC 2808. *A&A* **452** (2006) 493-501
- Percy, J. R.: A Search for Delta Scuti Stars. *JRASC* **67** (1973) 139
- Poleski, R., Soszyński, I., Udalski, A., Szymański, M. K., Kubiak, M., Pietrzyński, G., Wyrzykowski, L., Szewczyk, O., Ulaczyk, K.: The Optical Gravitational Lensing Experiment. The OGLE-III Catalog of Variable Stars. VI. Delta Scuti Stars in the Large Magellanic Cloud. *AcA* **60** (2010) 1-16
- Poretti, E., Clementini, G., Held, E.V., Greco, C., Mateo, M., Dell'Arciprete, L., Rizzi, L., Gullieuszik, M., Maio, M., Variable Stars in the Fornax dSph Galaxy. II. Pulsating Stars below the Horizontal Branch. *ApJ* **685**(2008) 947-957
- Rogers, N. Y.: The OPAL Opacity Code: New Results Comm. *Astroseismology* (1995) 78
- Russell, S. C.: Lithium Abundances in delta Scuti Stars and Their Relationship with the Lithium Dip. *ApJ* **451** (1995) 747
- Schesinger, F. Spectroscopic Binaries under Investigation at Different Institutions. *ApJ* **39** (1914) 264
- Shulyak, D., Tsymbal, V., Ryabchikova, T., Stütz, Ch., Weiss, W. W.. Line-by-line opacity stellar model atmospheres. *A&A* **428** (2004) 993-1000
- Soszyński, I., Udalski, A., Szymanski, M. K., Kubiak, M., Pietrzyski, G., Wyrzykowski, Szewczyk, O., Ulaczyk, K., Poleski, R.: The Optical Gravitational Lensing Experiment. The OGLE-III Catalog of Variable Stars. III. RR Lyrae Stars in the Large Magellanic Cloud. *AcA* **59** (2009) 1-18
- Soydugan, E., Soydugan, F., Demircan, O., İbanoğlu, C.: A catalogue of close binaries located in the δ Scuti region of the Cepheid instability strip. *MNRAS* **370** (2006) 2013-2024
- Stütz, Ch., Bagnulo, S., Jehin, E., Ledoux, C., Cabanac, R., Melo, C., Smoker, J. V.: Abundance analysis of 5 early-type stars in the young open cluster IC 2391. *A&A* **451** (2006) 285-291
- Takeda, Y., Kawanomoto, S., Honda, S., Ando, H., Sakurai, T.: Behavior of Li abundances in solar-analog stars. Evidence for line-width dependence. *A&A* **468** (2007) 663-677
- Yushchenko, A., Gopka, V., Kim, Chulhee,; Musaev, F., Kang, Y. W., Kovtyukh, V., Soubiran, C.: The chemical composition of δ Scuti. *MNRAS* **359** (2005) 865-873
- Zima, W., Lehmann, H., Stütz, Ch., Ilyin, I. V., Breger, M.: High-resolution spectroscopy of the δ Scuti star 44 Tauri: photospheric element abundances and mode identification. *A&A* **471** (2007) 237- 245