

# RV Tauri türü Post-AGB Yıldızların $\alpha$ -element Bolluk Analizleri: ATLAS9 vs TLUSTY205

Gizay Yolalan<sup>1\*</sup>, Timur Şahin<sup>1</sup>, Melek Dülger<sup>1</sup>, Ahmet Dervişoğlu<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Fen Fakültesi, Akdeniz Üniversitesi, 07058, Antalya

<sup>2</sup> Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi, Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri

<sup>3</sup> Fizik Bölümü, Fen Fakültesi, Zagreb Üniversitesi, 10000, Bijenika cesta 32, Hırvatistan

## Özet

Bu çalışma kapsamında, *HR* diyagramında Cepheid kararsızlık kuşağı ve Mira türü değişenler arasında yer alan ve tayfsal analizlerinde bazı element (e.g. Fe, Mg, Al, Ca, Ti, Si) bolluklarında beklenmedik düşüşler sergileyen RV Tau türü yıldızlar için ATLAS9 / TLUSTY modelleri yardımı ile  $\alpha$ -element (Mg, Ca, Ti, Si) bollukları hesaplanmış ve hesaplanan bu bollukların yararlanılan alternatif opasiteler (çizgi ve/veya süreklilik), atomik veri ve RTE' nin çözümü için benimsenen farklılıklardan kaynaklı olduğu düşünülen bir değişim gösterdikleri tespit edilmiştir. McDonald gözlemevi 2.1 m lik Otto Struve teleskopu ve Sandiford tayfçeriyle alınan yüksek çözünürlüklü echelle tayflar üzerinde gerçekleştirilen analizlerde, TLUSTY modelleri yardımı ile hesaplanan bolluklar, ATLAS9 modelleri kullanılarak hesaplanan bolluklara göre -0.35 dex (CE Vir; 5528 Å MgI) ile +0.30 dex (HP Lyr; 5588 Å CaI) arasında değişen değerlere sahip bir farklılık göstermektedir. Böylelikle bolluk analizinde tercih edilen model atmosfer yapısının (fiziki), literatürde RV Tauri sistemleri için gözlenen bolluk anomalilerin izahı amacıyla listelenen gaz-toz ayrışımı ve FIP etkisi gibi süreçlerin değerlendirilmesi aşamasında etkin bir rol oynayacağı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, özellikle Ca ve Mg element bolluklarında çizgi bazında en fazla değişimi gösterdiği tespit edilen iki RV Tau türü yıldız olan HP Lyr ve CE Vir yıldızlarının ön çalışma sonuçları paylaşılmıştır. Yine bu çalışma kapsamında literatürde ilk kez F, G ve K tayf türünden soğuk yıldızların tayfsal analizlerinde kullanılabilecek bir model grid oluşturulmuştur. Söz konusu grid, geniş bir sıcaklık ( $T_{eff} = 4500^{\circ}\text{K} - 10\,000^{\circ}\text{K}$ ), çekim ivmesi ( $\log g = 1.0 - 4.5 \text{ cm/sn}^2$ ) aralığında ve  $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$  için hesaplanmış ve yerel termodinamik dengede (LTE) model atmosferleri içermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** stars: AGB and post-AGB, Yıldız Tayfı

## 1 Giriş

Post-AGB evrim aşamasındaki bir yıldızın atmosferi dinamik olarak oldukça kararsızdır. Bu evrede oldukları düşünülen RV Tau yıldızları, kararsızlık kuşağı ile Mira türü değişen yıldızlar arasında bulunur. Zonklama dönemleri 30 - 150 gün arasında değişen bu yıldızlar, fotometrik ve tayfsal farklılıklarından dolayı 2 farklı şekilde guruplandırılırlar. Söz konusu bu alt guruplarda görülen farklılık; fotometrik sınıflandırmada, ortalama parlaklığı değişmeyen RV Tau türü yıldızlar RVA olarak tanımlanırken, değişenler ise RVb olarak listelenirler (Kukarkin vd. 1958). Tayfsal sınıflandırmada, tayfsal bazı farklılıklar çerçevesinde ise RV Tau yıldızları RVA, RVB ve RVC gibi alt guruplara ayrılırlar (Preston vd. 1963).

Bu çalışma kapsamında kullandığımız TLUSTY205 kodu (Hubeny 1988), literatürde sıklıkla sıcak yıldız atmosferlerini modellemede kullanılan hem LTE hem de non-LTE rejimde model atmosfer hesaplama kabiliyetine sahip 1D bir yıldız atmosfer kodudur ve F, G, K türü soğuk yıldız atmosferi için test edilmiştir. F, G ve K tayf türü yıldızları için gerçekleştirilecek tayfsal analizlerde opasite hesaplamalarında etkili olan konveksiyonun varlığı göz ardı edilemez. Bu nedenle her 2 kod için konveksiyon-opasite bağımlılığı, seçilen program yıldızları için detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde soğuk yıldızlar için gerçekleştirilen tayfsal analizlerde sıklıkla tercih edilen ATLAS9 kodu yardımı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

\* gzy\_07@hotmail.com

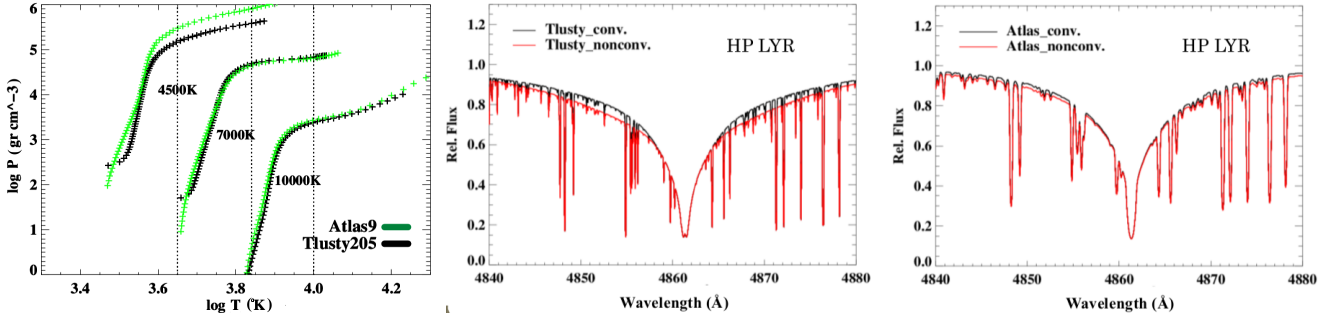
## 2 Gözlemler ve Model Atmosferler (ATLAS & TLUSTY)

Çalışma kapsamında 111T219 no' lu TUBITAK 1001 projesi kapsamında, McDonald gözlemevi' nde elde edilmiş yüksek çözünürlüklü ( $R \approx 48\,000$ ; 4850-5600Å dalgaboyu arasında) tayflar kullanılmıştır. Seçilmiş RV Tau yıldızları HP Lyr ve CE Vir için model atmosfer parametreleri nötral ve iyonize Fe çizgileri için uyarılma ve iyonizasyon dengeleri gözönüne alınarak belirlenmiştir. Buna göre HP Lyr için model parametreleri ( $T_{eff}$ ,  $\log g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ,  $V_{mic}$ ) = (6650°K, 1.60 cgs, -0.7 dex, 4.80  $\text{kms}^{-1}$ ) olarak hesaplanırken aynı parametre seti CE Vir yıldızı için (4550°K, 1.20 cgs, -0.8 dex, 3.45  $\text{kms}^{-1}$ ) olarak hesaplanmıştır.

TLUSTY, LTE koşul altında RTE çözümü için Feautrier metodunu kullanır. ATLAS9 kodunda RTE çözümü için ALI iterasyon tekniği benimsenir. Gerek ATLAS9 gerekse TLUSTY de, 1D LTE veya NLTE model hesaplamak için 2 alternatif yol izlenebilir; ilki için yeni bir model atmosfer hesabı öngörülür. Diğer yöntemde ise yeni model, daha önce oluşturulmuş bir referans model esas alınarak hesaplanır.

## 3 Bulgular ve Tartışma

Belirlenen model atmosfer parametreleri çerçevesinde konveksiyonun model parametreleri üzerine etkisini göstermek üzere  $H\beta$  çizgi kanatlarından yararlanılmıştır. Şekil 1' de HP Lyr yıldızı için TLUSTY ve ATLAS kodu yardımıyla konveksiyonun varlığında ve yokluğunda hesaplanmış sentetik normalize tayflar arasındaki, özellikle çizgi kanatlarındaki, farklılıklar açıkça görülmektedir. Çizgi kanatlarında gözlenen bu farklılıklar



Şekil 1. TLUSTY ve ATLAS kodu için sıcaklık ve basınç değişimi (sol panel). HP Lyr yıldızı için TLUSTY ve ATLAS model atmosferleri yardımıyla hesaplanmış H $\beta$  çizgi profilleri değişimi. (orta ve sağ panel).

hidrojen çizgileri esas alınarak gerçekleştirilecek model parametre tespitinde özellikle  $T_{eff}$  ve  $\log g$  parametrelerinde bazı farklılıklara yol açacaktır.

Gerek ATLAS9 (Kurucz 1970) gerekse TLUSTY model atmosferleri için sırasıyla MOOG-Synth (Snedden 1973) TLUSTY-Synplot arayüzleri yardımı ile MgI (5528 Å) ve CaI (5588 Å) için hesaplanan bolluklar ve çizgi bazında hesaplanan sentetik profiller Şekil 2' de sunulmaktadır.

Soğuk yıldız atmosferinde etkin olan konveksiyon, TLUSTY' de grid üretme aşamasında sıcaklık düzeltme problemi ile birlikte bir sorun teşkil eder. Bu sorun büyük ölçüde, optik derinlik ölçeğinin değiştirilmesiyle çözülmüştür. Gridin yerel termodinamik dengede (LTE)  $[Fe/H] = -1.0$  için sıcaklık ( $T_{eff} = 4500^{\circ}K - 10\ 000^{\circ}K$ ), çekim ivmesi ( $\log g = 1.0-4.5$   $cm/sn^2$ ) aralığında hesaplanmış model atmosferlerinde  $8\ 000 - 10\ 000^{\circ}K$  arasında değişen sıcaklıklara sahip model atmosferler için konveksiyon etkisinden çok, sıcaklık düzeltme probleminin baskın olduğu görülmüştür. Karşılaştığımız bu sorun yeni modelin referans bir model atmosfer kullanılarak hesaplanması yoluyla giderilmiştir. TLUSTY model atmosferinde her katman için (70 katman) hesaplanan parametre seti ( $m, \tau, T, P, \rho, n_e$ ), hesaplanan modellerin denetlenmesi amacı ile ATLAS kodu (72 katman) yardımı ile hesapladığımız parametre seti ile bir karşılaştırmaya tabi tutulmuştur. Şekil 1' de çalışma kapsamında oluşturulan model grid sınırlarında yer alan ve sırasıyla  $4500^{\circ}K$ ,  $7000^{\circ}K$  ve  $10000^{\circ}K$  sıcaklıklı ve  $\log g = 4.5$  çekim ivmesine sahip modeller için  $\log T$  vs.  $\log P$  grafikleri içerilmiştir. Buna göre  $4500^{\circ}K$  sıcaklıklı model için ATLAS ve TLUSTY model hesaplamalarında bir farklılık görülsede  $7000^{\circ}K$  ve  $10000^{\circ}K$  sıcaklıklı,  $\log g = 4.5$  çekim ivmeli modeller için model hesaplarının daha uygun olduğu görülmektedir. Bu durum ötegezegen çalışmaları için tercih edilecek model atmosfer kod seçiminin önemine vurgu yapar niteliktedir.

## Teşekkür

RV Tauri türü Post-AGB Yıldızların  $\alpha$ -element Bolluk Analizleri: ATLAS9 vs TLUSTY205 başlıklı bu kısa bildiriye en iyi kısa bildiri ödülüne layık gören Türk Astronomi Derneğine (TAD) ve UAK2018 organizasyonunda emeği olan herkese teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynaklar

Kukarkin, B. V., Parenago, P. P., Yu, N., and Kholopov, P. N.: General Catalogue of Variable Stars (2nd ed.; Moscow: Acad. Sci. USSR). (1958) 1  
 Preston, G. W., Krzeminski, W., Smak, J., and Williams, J. A.: A

Spectroscopic and Photoelectric Survey of the RV Tauri Stars. ApJ. **137** (1963) 401

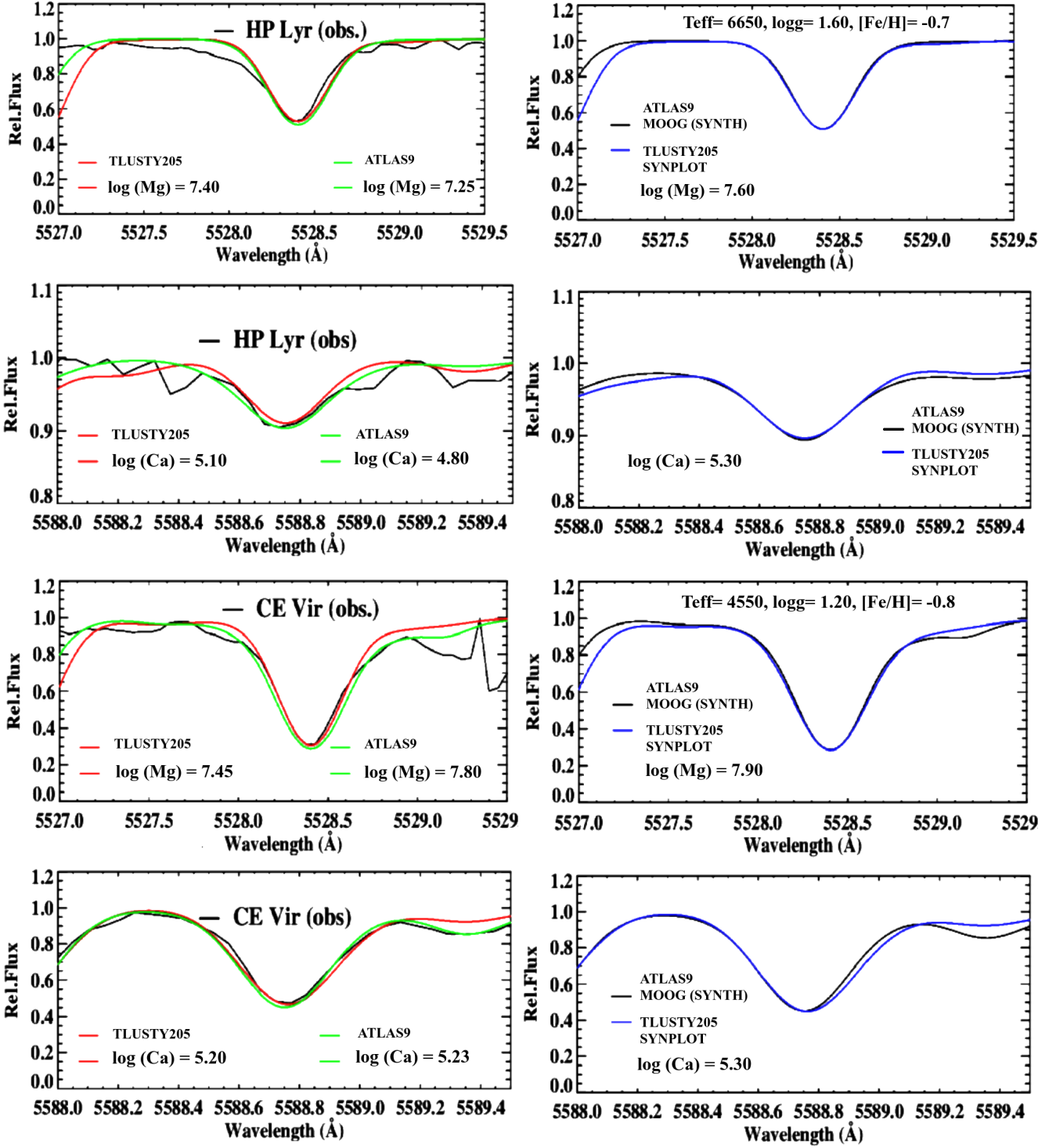
Snedden, C.: Ph.D. thesis, Univ. Texas, Austin (1973) 1

Hubeny, I.: A computer program for calculating non-LTE model stellar atmospheres. Computer Physics Communications. **52** (1988) 103–132

Kurucz, R. L.: ATLAS A Computer Program For Calculating Model Stellar Atmospheres. Research in Space Science SAO Special Report. **309** (1970) 1

## Erişim:

O45-1740: UAK-2018 Program — UAK Bildiri — Turkish J.A&A.



Şekil 2. Sol panel, program yıldızları HP Lyr ve CE Vir için aynı grafiklerde belirtilen bolluk değerleri için hesaplanan sentetik çizgi profillerini, sağ panel ise her iki yıldız için hesaplanan model atmosfer parametreleri çerçevesinde ATLAS9 model atmosferi ve MOOG-SYNTH arayüzü ile hesaplanmış sentetik çizgi profillerine TLUSTY-SYNPLOTT arayüzü ile gerçekleştirilen fitleri göstermektedir.