

# HD 132560 Yıldızının Atmosfer Parametreleri

Ayşegül Şen<sup>1</sup>  , Mesut Yılmaz<sup>1,2</sup>  İbrahim Özavcı<sup>1</sup>  Engin Bahar<sup>1</sup>   
Hakan Volkan Şenavcı<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100 Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi (Kreiken Rasathanesi), 06837 Ankara, Türkiye

Accepted: March 27, 2025. Revised: March 27, 2025. Received: November 30, 2024.

## Özet

Bu çalışmada, Ejderha Takımyıldızı'nda bulunan ve 89 pc uzaklıkta yer alan F2 tayf türündeki HD 132560 yıldızının atmosfer parametreleri belirlendi. Yıldızın tayfsal gözlemleri, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'ndeki T40 teleskobu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve IRAF yazılımıyla veri indirgeme işlemleri yapılmıştır. Analizlerde Python tabanlı Speedysedfit ve SteParSyn paketleri kullanılarak etkin sıcaklık ( $T_{\text{eff}}$ ), yüzey çekim ivmesi ( $\log g$ ), metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) ve tayf genişleme hızı ( $V_{\text{broad}}$ ) hesaplanmıştır. Sonuçlar Gaia ve TESS veritabanlarındaki katalog değerleriyle uyumlu olup,  $[\text{Fe}/\text{H}]$  ve  $V_{\text{broad}}$  parametreleri ilk kez tayfsal olarak belirlenmiştir.

## Abstract

In this study, the atmospheric parameters of the F2 spectral type star HD 132560, located in the constellation Draco at a distance of 89 pc, were determined. Spectral observations of the star were obtained using the T40 telescope at Ankara University Kreiken Observatory, and data reduction processes were performed using the IRAF software. The Python-based Speedysedfit and SteParSyn packages were used in the analyses to calculate the effective temperature ( $T_{\text{eff}}$ ), surface gravity ( $\log g$ ), metallicity ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ), and spectral broadening velocity ( $V_{\text{broad}}$ ). The results are consistent with catalog values in the Gaia and TESS databases, and the  $[\text{Fe}/\text{H}]$  and  $V_{\text{broad}}$  parameters were determined spectroscopically for the first time.

**Anahtar Kelimeler:** fundamental parameters — atmospheres — imaging spectroscopy

## 1 Giriş

Yıldız astrofizikinde yıldız atmosferlerinin incelenmesi, yıldızların fiziksel özelliklerinin, kimyasal bileşimlerinin ve evrim süreçlerinin anlaşılması için kritik bir öneme sahiptir. Yıldız atmosferleri, yıldızın iç kısmında üretilen enerjinin serbestçe yayıldığı bölgedir ve bu enerji, gözlemlenen tayf üzerinde izler bırakır. Bu tayfsal izler, yıldızın sıcaklık, yerçekimi, kimyasal bileşimi ve dönme hızı gibi birçok önemli fiziksel özelliğini ortaya koyar.

Yıldız atmosferinin incelenmesinde temel parametrelerden biri olan etkin sıcaklık ( $T_{\text{eff}}$ ), yıldızın yüzeyinin bir kara cisim gibi yaydığı enerji ile eşdeğer bir sıcaklık olarak tanımlanır.  $T_{\text{eff}}$ , yıldızın enerji dağılımını belirler ve yıldızın spektral tipi ile doğrudan ilişkilidir. Bu parametre, yıldızın radyasyon gücünü anlamak ve iç yapısı hakkında çıkarım yapmak için temel bir rol oynar (Gray 2005).

Yüzey çekim ivmesi ( $\log g$ ), yıldızın yüzeyindeki kütleçekim kuvvetini temsil eder ve kütle-yarıçap ilişkisini anlamada önemli bir parametredir.  $\log g$  değeri, yıldızın spektrumunda basınç genişlemesi gibi etkilerle kendini gösterir ve yıldızın evrimsel durumu hakkında bilgi sağlar. Örneğin, ana kol yıldızlarında  $\log g$  değerleri tipik olarak yüksekken, dev yıldızlarda bu değer düşüktür (LeBlanc 2010).

metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ), yıldızın atmosferindeki ağır elementlerin, özellikle demir bolluğunun hidrojene oranını ifade

eder. Bu parametre, yıldızın oluşum dönemindeki kimyasal çevre koşulları hakkında bilgi verir. Yüksek metal bolluğu, yıldızın galaktik çevresinde zengin bir kimyasal ortamda oluştuğunu gösterebilirken, düşük metal bolluğu daha erken bir oluşum dönemine işaret eder. Metal bolluğu aynı zamanda yıldızın yaşı ve evrimsel durumu ile de ilişkilidir (Asplund ve diğ. 2009).

Çizgi genişleme hızı ( $V_{\text{broad}}$ ), yıldızın tayfındaki çizgilerin genişliğini belirleyen önemli bir parametredir ve yıldızın rotasyonu, mikrotürbülans ve makrotürbülans gibi etkilerin sonucudur.

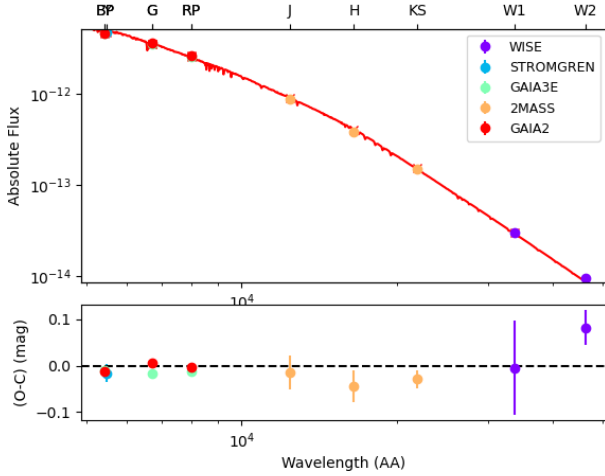
$$V_{\text{broad}} = \sqrt{V_{\text{sini}}^2 + V_{\text{türb}}^2} \quad (1)$$

Özellikle hızlı dönen yıldızlarda çizgiler genişler ve profil analizleri daha karmaşık hale gelir (Gray 2005).

F-tipi yıldızlar, galaktik kimyasal evrimde önemli bir role sahiptir. Bu yıldızlar, özellikle 1.2 ile 1.6 güneş kütlesi aralığında yer alır ve asimptotik dev kol (AGB) evresinde karbon, azot ve s-process elementleri gibi ağır elementleri üreterek yıldızlararası ortama geri kazandırır (Karakas & Lattanzio 2014). Galaktik diskte, genç ve orta yaşlı F-tipi yıldızlar, yıldız oluşum bölgelerinin kimyasal bileşimini zenginleştirirken (Chiappini ve diğ. 2001); galaktik halo ve küresel kümelerdeki yaşlı F-tipi yıldızlar, galaksinin erken kimyasal evrimine dair ipuçları sunar (Freeman & Bland-Hawthorn 2002). F-tipi yıldızlar, hem hafif hem de ağır elementlerin galaktik ölçekte dağılımını sağlayarak, galaksimizin kimyasal tarihini şekillendiren kritik bir köprü görevi görür.

Bu çalışmada, HD 132560 (HIP 73175, TYC 3867-

\* aaysegulsenn@gmail.com



Şekil 1. HD 132560 yıldızının speedyfit paketi ile oluşturulan tayfsal enerji dağılım (SED) grafiği (Model: pc;  $\chi^2=779.86$ ).

815-1, Gaia DR3 1613623306212264576) yıldızının atmosfer parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yıldızın daha önce detaylı bir tayfsal analizi yapılmamıştır. Bu yıldız Ejderha takımyıldızı bölgesinde, 89 pc (Gaia Collaboration ve diğ. 2021) uzaklıkta bulunmaktadır. Görünür parlaklığı V bandında 7.22 (Høg ve diğ. 2000) kadir olan HD132560 yıldızı F2 tayf türündendir. Yıldızın atmosferik parametrelerinin belirlenmesi, hem yıldızın fiziksel özelliklerini daha iyi anlamamızı sağlayacak hem de evrimsel durumu hakkında değerli bilgiler sunacaktır. Bu bağlamda, HD 132560 yıldızı, yıldız astrofiziğinde atmosfer modellemesi ve tayfsal analiz çalışmaları için önemli bir örnek teşkil etmektedir. Çalışma sonuçları, yıldızın yapısı ve evrimi hakkında yeni bilgiler sunarak geniş bir astrofiziksel bağlamda değerlendirilecektir.

## 2 Gözlemler ve Veri İndirgeme

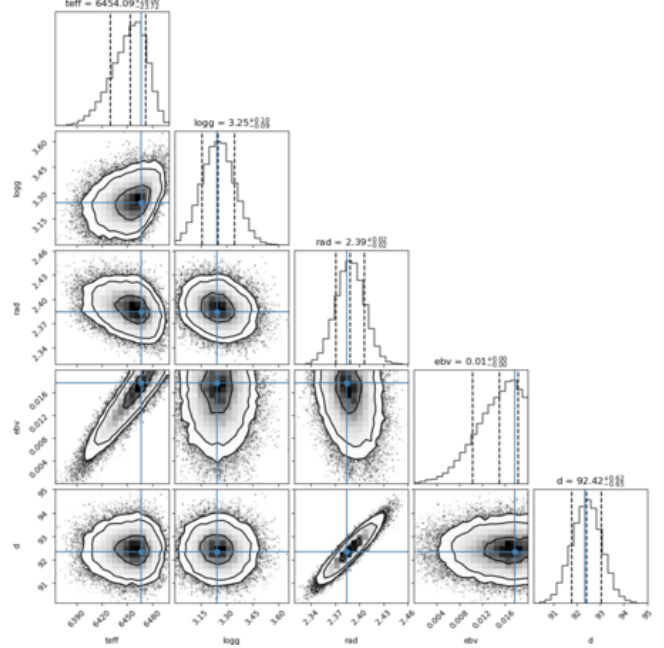
HD 132560 yıldızının tayf gözlemleri, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan 40 cm açıklığa sahip T40 teleskobu ile 2019 yılında gerçekleştirilmiştir. 5 adet poz alınmış olup her birinin poz süresi 1800 saniyedir. Teleskop odak düzleminde 4340-7400 Å dalgaboyu aralığında ve  $R=13500$  çözünürlükte gözlem yapabilen bir eşel tayfçeker kullanılmıştır. Veri indirgeme işlemleri IRAF (IRAF Community 2024) yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler; ön indirgeme (bias, dark ve flat-field düzeltmeleri), arındırma (saçılmış ışık ve eşel basamak belirleme), dalgaboyu kalibrasyonu (Th-Ar lambası kullanılarak) ve sinyal gürültü iyileştirmesi (tayfları birleştirme) adımlarını içermektedir.

Bu süreç sonunda, HD 132560 yıldızına ait yüksek kaliteli ( $S/N=123.92$ ), kalibre edilmiş bir tayf elde edildi. Bu veri, yıldızın atmosfer parametrelerinin ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $V_{\text{broad}}$  ve  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) belirlenmesinde kullanıldı.

## 3 Analiz Yöntemleri

HD 132560 yıldızının atmosfer parametrelerini belirlemek amacıyla iki farklı analiz paketi kullanıldı. Bunlar Python tabanlı SpeedyFit (Developers 2024) ve SteParSyn (Tabernero ve diğ. 2022) paketleridir.

SpeedyFit, yıldızların fotometrik verilerine dayalı olarak tayfsal enerji dağılımı (SED) fitleri gerçekleştiren bir pakettir.

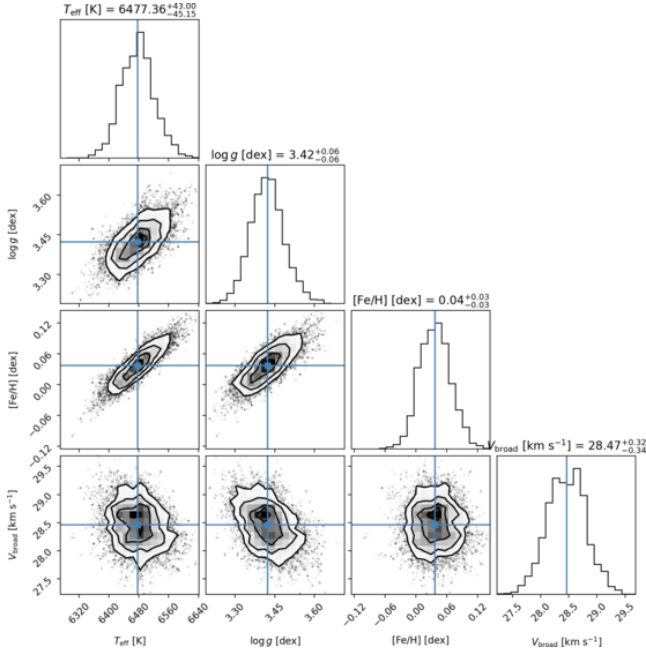


Şekil 2. SpeedyFit ile HD 132560 için elde edilen köşe grafiği verilmiştir. Grafikte dikey ve yatay çizgilerin kesiştiği noktalar parametre uzayında olasılığı en yüksek olan değerleri göstermektedir.

Bu yazılım, Kurucz model atmosfer verilerini (Kurucz 1979) kullanarak, gözlemlenen fotometrik verilerle en iyi uyumu sağlayan model atmosferi belirler. Analiz sürecinde, aday yıldız için literatürde mevcut olan WISE, STROMGREN, GAIA3E, 2MASS ve GAIA2 veritabanlarındaki tüm fotometrik parlaklık ölçümleri kullanıldı. Analizde başlangıç parametreleri olarak uzaklık değerleri GAIA ve TESS veritabanından alınırken kızarma değeri Schlegel, Finkbeiner ve Davis (SFD) (Schlegel ve diğ. 1998) toz haritası kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan fitin  $\chi^2$  değeri 779.86 olarak verilmiştir. Şekil 1'de SpeedyFit paketinin yukarıda açıklanan fotometrik verileri kullanarak oluşturduğu tayfsal enerji dağılım grafiği görülmektedir.

SpeedyFit, yıldız atmosfer parametrelerini optimize etmek için Markov Zinciri Monte Carlo (MCMC) yöntemini kullanır. Bu yöntem, olasılık dağılımlarını örnekleyerek parametrelerin en olası değerlerini belirler ve parametre uzayında rastgele örnekler alarak her bir örneğin olasılığını hesaplar. Bu süreç, parametrelerin olasılık dağılımlarını oluştururken gözlemlerle en iyi uyumu sağlayan model atmosferin seçilmesine olanak tanır. SpeedyFit, özellikle yıldızın fotometrik verileri üzerinde çalışarak tayfsal enerji dağılımı fiti yapar ve bu sayede başlangıç parametrelerinin güvenilir bir şekilde belirlenmesini sağlar. HD 132560 yıldızı için gerçekleştirilen analizde, fotometrik veriler Gaia ve TESS veritabanlarından alınmış; uzaklık ve kızarma gibi parametreler başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır. Şekil 2, SpeedyFit ile elde edilen köşe grafiğini ve olasılık dağılımlarını göstermektedir.

Bu çalışmada kullanılan diğer bir paket ise SteParSyn yazılımıdır. SteParSyn, FGKM türü yıldızların atmosfer parametrelerini belirlemek amacıyla geliştirilmiş bir Python tabanlı araçtır. Yazılım, MARCS (Gustafsson ve diğ. 2008) model atmosferlerini temel alır ve gözlemlenen tayf verilerini sentetik tayflarla karşılaştırarak atmosfer parametrelerini belirler. SteParSyn çizgi listelerinde sadece Fel ve Fell



**Şekil 3.** HD 132560 yıldızının SteParSyn ile elde edilen  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$  ve  $V_{\text{broad}}$  parametrelerinin köşe grafiği verilmiştir. Grafikte dikey ve yatay çizgilerin kesiştiği noktalar parametre uzayında olasılığı en yüksek olan değerleri göstermektedir.

çizgilerini kullanır. Bu çizgilerin genişliği ve derinliği gibi tayfsal özelliklere odaklanarak, gözlemsel tayflara sentetik tayf fiti yapar ve en uygun atmosfer parametrelerini ortaya çıkarır. SteParSyn de optimizasyon sürecinde MCMC yönteminden yararlanır. Bu çalışmada, SpeedyFit ile elde edilen fotometrik sonuçlar, SteParSyn için başlangıç parametreleri olarak kullanılmıştır. Böylece, SteParSyn hem gözlemlenen tayf verilerini hem de fotometrik başlangıç değerlerini kullanarak HD 132560 yıldızının atmosfer parametrelerini daha hassas bir şekilde hesaplamıştır. Şekil 3'de HD 132560 yıldızının SteParSyn paketi ile elde edilen köşe grafiği verilmiştir. Sonuç olarak, bu iki yöntem bir arada kullanılarak yıldızın atmosfer parametreleri, gözlemler ve teorik modellerle tutarlı bir şekilde belirlenmiştir.

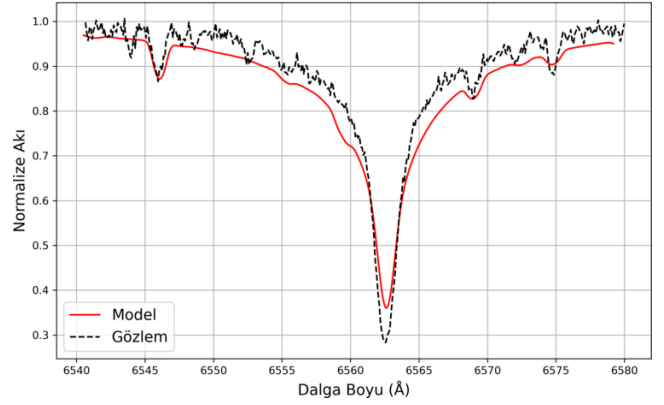
#### 4 Sonuçlar ve Tartışma

HD 132560 yıldızının atmosfer parametreleri elde edilmiş ve Gaia ile TESS veritabanlarındaki katalog değerleri ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 1). Elde edilen etkin sıcaklık ( $T_{\text{eff}}$ ) ve yüzey çekim ivmesi ( $\log g$ ) değerleri Gaia ve TESS katalog değerleri ile uyumlu bulunmuştur. (Kervella, Pierre ve diğ. 2019) çalışması fotometrik verilere dayanan kinematik bir çalışma olduğu için oradaki  $\log g$  değeri tayf verileriyle elde edilen  $\log g$  değerinden farklı çıkmıştır. Bu çalışmada ilk defa HD 132560 yıldızının metal bolluğu ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) oranı ve çizgi genişleme hızı  $V_{\text{broad}}$  parametreleri tayfsal olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, yıldızın fiziksel özellikleri ve atmosfer yapısı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. HD 132560 yıldızı, evrim aşamasının belirlenmesi açısından ilginç bir aday olarak değerlendirilmektedir ve sonraki çalışmalarda HR diyagramında konumlandırılarak yıldızın evrimsel geçişine dair bilgi sunulması hedeflenmektedir.

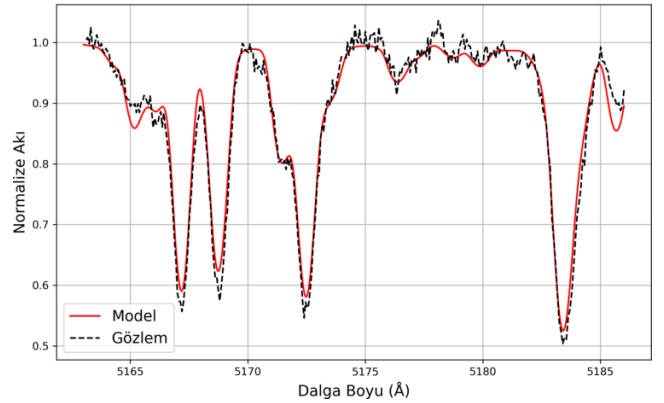
Şekil 4 ve 5'de gözlemsel tayf ile model tayfın

**Çizelge 1.** HD 132560 yıldızına ait elde edilen atmosfer parametreleri.

| Parametre              | Değer            | Birim              | Veritabanı      |
|------------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| $T_{\text{eff}}$       | $6477 \pm 45$    | K                  | 6393 (Gaia)     |
| $\log g$               | $3.42 \pm 0.06$  | dex                | 3.69 (TESS)     |
|                        |                  |                    | 3.84 (Gaia)     |
|                        |                  |                    | 4.52 (Kervella) |
| $[\text{Fe}/\text{H}]$ | $0.04 \pm 0.03$  | dex                | -               |
| $V_{\text{broad}}$     | $28.47 \pm 0.34$ | $\text{km s}^{-1}$ | 21.45 (Gaia)    |



**Şekil 4.** HD 132560 yıldızının gözlemlenen tayfı ile modelin  $H\alpha$  çizgisi etrafında karşılaştırılması.



**Şekil 5.** HD 132560 yıldızının gözlemlenen tayfı ile modelin MgIb triplet çizgileri etrafında karşılaştırılması.

karşılaştırılması verilmektedir. Model ile gözlemsel tayf birbirleriyle uyumaktadır, bu da modelden elde edilen atmosfer parametrelerinin güvenilirliğini artırmaktadır.

Parametrelerin belirsizlerinin en önemli nedenleri gözlemlenen tayfın çözünürlüğü ( $R=13500$ ) ve sinyal bölü gürültü ( $S/N=123.92$ ) oranıdır. Daha iyi gözlem şartlarında ve daha yüksek çözünürlüklü tayfçeker ile daha kaliteli ve belirsizliği az olan değerler elde edilebilir. Bunlara ek olarak tayfların analizi sırasında sürekliliği belirlerken yapılan düzeltmeler de belirsizliğe katkı sağlamıştır.

Bu parametrelerin, yıldızın genel astrofiziksel özellikleri ile tutarlı olduğu ve Gaia ile TESS verileriyle uyum gösterdiği gözlemlenmiştir. Özellikle ilk kez tayfsal ölçümü yapılan

[Fe/H] değeri, yıldızın kimyasal zenginliği hakkında önemli bilgi sunmakta ve bu zenginliğin yıldızın oluşum bölgesindeki kimyasal bileşim ile uyumlu olduğu değerlendirilmektedir.

#### Teşekkür

Bu araştırmadaki veriler Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezindeki (Kreiken Rasathanesi) T40 teleskobuyla 19B.T40.03 numaralı proje kapsamında elde edildi. Bu çalışma için WISE, STROMGREN, GAIA3E, 2MASS ve GAIA2 veri kaynakları kullanıldı.

#### Kaynaklar

- Asplund M., Grevesse N., Sauval A. J., Scott P., 2009, *ARA&A*, 47, 481
- Chiappini C., Matteucci F., Romano D., 2001, *The Astrophysical Journal*, 554, 1044
- Developers S., 2024, SpeedyFit Documentation, <https://speedyfit.readthedocs.io/en/latest/>
- Freeman K., Bland-Hawthorn J., 2002, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 40, 487–537
- Gaia Collaboration e. a., 2021, *A&A*, 649, A1
- Gray D. F., 2005, *The Observation and Analysis of Stellar Photospheres*, 3 edn. Cambridge University Press
- Gustafsson B., Edvardsson B., Eriksson K., Jørgensen U. G., Nordlund Å., Plez B., 2008, *A&A*, 486, 951
- Høg E., ve diğ., 2000, *A&A*, 355, L27, *ADS*
- IRAF Community 2024, IRAF: Image Reduction and Analysis Facility, <https://iraf-community.github.io/>
- Karakas A. I., Lattanzio J. C., 2014, *Publ. Astron. Soc. Australia*, 31, e030
- Kervella, Pierre Arenou, Frédéric Mignard, François Thévenin, Frédéric 2019, *A&A*, 623, A72
- Kurucz R. L., 1979, *ApJS*, 40, 1
- LeBlanc F., 2010, *An Introduction to Stellar Astrophysics*. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication
- Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M., 1998, *ApJ*, 500, 525
- Tabernero H. M., Marfil E., Montes D., González Hernández J. I., 2022, *A&A*, 657, A66

#### Access:

M25-0337: *Turkish J.A&A* — Vol.6, Issue 3.