

YILDIZLARIN SPEKTROFOTOMETRİSİ

Lütfiye ERKUŞ*, Kutluay YÜCE*

*Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100, Tandoğan, Ankara
lutfiyye@gmail.com

Özet

Spektrofotometri, fotometrik sistemler tarafından kullanılan geniş bantların aksine, elektromanyetik tayfin geniş bir dalgaboyu aralığı boyunca, (genellikle) dar bantlar halinde yıldız ışınım akısının ölçümüdür. Yer tabanlı gözlemlerden yalnızca sınırlı bir dalgaboyu aralığı gözlenmekte ve optik spektrofotometri ise genellikle 3300 – 10000 Å aralığını kapsamaktadır. Spektrofotometri, A ve F türü yıldızların toplam enerji çıktısının önemli bir kısmını temsil etmesinin yanında Balmer düşmesi ve Paschen sürekliliğini içerdiğinden, önemli bir gözlemsel bilgi kaynağıdır. Bu çalışmada, etkin sıcaklık belirlemelerinde spektrofotometrik akılardan nasıl yararlandığı irdelenecektir. Bu poster çalışması, “Yıldızların Spektrofotometrisi” konulu Dönem Projesi (Erkuş 2012)’nin bir parçası niteliğindedir.

GİRİŞ

Spektrofotometri nedir? Spektrofotometri, klasik bir fotometrik yöntemde kullanılan band genişliklerinden daha dar bantlar kullanarak yıldız akısının ölçümüdür. Spektrofotometri görünür ışık, yakın moröte ve yakın kızılötesi (250 nm ile 2500 nm) ile ilgilendiğinden, elektromanyetik spektroskopinin genel teriminden daha özgündür, fakat zamana bağlı spektroskopik teknikleri kapsamaz. Optik spektrofotometri genellikle $\lambda\lambda 3300-10000$ Å aralığını kapsar. Spektrofotometri, dalgaboyunun fonksiyonu olarak yıldızların ışınım enerjisinin ölçümü ile ilgilendiğinden, spektroskopinin (tayfbilim) bir alt dalıdır.

Spektrofotometre nedir? ‘Spekro’ renklerin bandı, ‘foto’ ışık ve ‘metre’ de ölçüm yapabilen cihaz anlamını taşır. İsmi bütünü incelendiğinde, spektrofotometrenin bir ölçüm cihazı olduğu ve ışığın iki çeşit özelliğini karşılaştırdığı söylenebilir. Spektrofotometre; "Tayfsal Işık Ölçer" demektir. Spektrofotometrinin avantajı; bir spektrofotometrenin her dalgaboyunu ölçebilmesi ve tayfi kaydedebilmesi özelliğini taşımasıdır.

Spektrofotometrik Gözlem Tekniği Hakkında: Spektrofotometrik akılar, fotometrik gözlem teknikleriyle elde edilen spektroskopik verilerdir. Genellikle çözünürlükleri klasik tayfsal kalibrasyon veya objektif prizma spektroskopisindekilere benzerdir ve 100:1’den daha büyük sinyal-gürültü oranına (S/G) sahiptir. Bu gözlemler yalnızca gökyüzü koşulları fotometrik olduğunda denenmelidir. (Adelman 2011).

1. Spektrofotometrik Çalışmaların Astronomi’deki Önemi

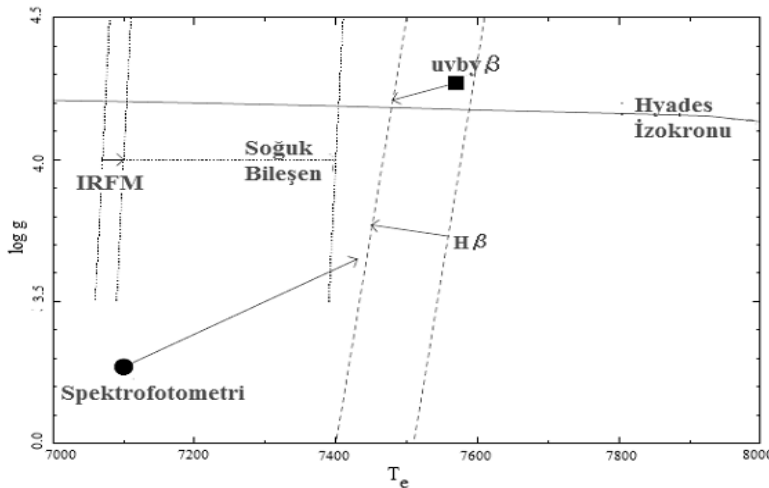
Mutlak birimlerde bir yıldız tayfi üzerinden enerji dağılımını incelemek etkin sıcaklık, yüzey çekimi, süreklilik donukluk kaynakları, element bollukları, yıldızlararası soğurma gibi konularda bilgi edinmeyi sağlar.

Bir yıldızın akı dağılımı, atmosferik parametreler ile biçimlenir. Spektrofotometri, gözlemsel akılarının üzerine model atmosfer akılarını fit ederek bu fiziksel parametrelerin

değerleri belirlemekte kullanılan bir yöntemdir. Özellikle normal yıldızlar için spektrofotometrik akı karşılaştırılması etkin sıcaklığın (T_e) sağlıklı belirlenmesine izin verir.

2. Atmosfer Parametrelerini Elde Etmekte Kullanılan Yöntemlerin Spektrofotometri Yöntemi ile Karşılaştırılması

Şekil 2.1, klasik bir Am yıldızı 63 Tau için dört farklı yöntemden elde edilerek oluşturulan Kiel Diyagramını (T_e , $\log g$) göstermektedir. İçi dolu kare Moon & Dworetzky (1985) $uvby\beta$ gridlerinden, dolu daire spektrofotometriden, kesikli çizgi $H\beta$ profili fitlerinden ve noktalı çizgi IRFM sonucundan elde edilmiş değerlere aittir. Şekilde Fotometri ve Balmer çizgileri oldukça uyumlu iken, spektrofotometri ve IRFM'den elde edilen sonuçlar çok daha sıcak değerleri göstermektedir. Katı çizgili oklar $[M/H] = +0.5$ modellerini kullanmanın etkisini gösterir. Spektrofotometri; fotometri ve Balmer çizgisiyle iyi bir uyum içerisindedir. Fakat IRFM halen önemli ölçüde düşüktür. Bununla birlikte bir soğuk bileşeni (5000 K) tanıtarak IRFM diğer yöntemlerle uyumlu hale getirilebilir (bkz. noktalı ok). Düz çizgi Schaller *et al.* (1992)'in evrimsel hesaplamalarına dayalı Hyades izokronudur. Spektrofotometriden elde edilen $\log g$ 'nin değeri fotometriden elde edilenden daha düşük olması dikkat çekicidir.



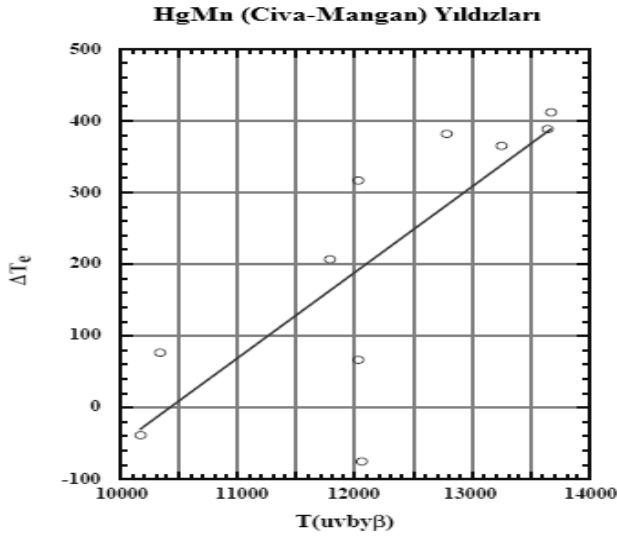
Şekil 2.1 Am yıldızı 63 Tau için (T_e , $\log g$) diyagramı (Smalley 2005)

Adelman & Rayle (2000) Güneş bolluklu model atmosferler kullanarak bazı HgMn yıldızlarının etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmelerini belirledi. Şekil 2.2 $T(uvby\beta)$ 'nin bir fonksiyonu olarak HgMn yıldızları için fotometrik ve spektrofotometrik sıcaklıklar arasındaki etkin sıcaklık farkı (ΔT_e), en küçük kareler yöntemi ile;

$$T(uvby\beta) - T(\text{spektrofotometri}) = 209 \pm 188 \text{ K}$$

$$T([c_1]) - T(\text{spektrofotometri}) = -692 \pm 157 \text{ K}$$

olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda; $\log g$ değerinde fotometrik değerlerden ortalama 0.04 dex lik bir düşüş vardır.



Şekil 2.2 HgMn yıldızları için Strömberg fotometrisine karşılık fotometri ve spektrofotometri arasındaki sıcaklık farkının karşılaştırılması (Adelman & Rayle 2000)

3. Yıldızlar İçin Optik Spektrofotometrinin Önemi ve Avantajı

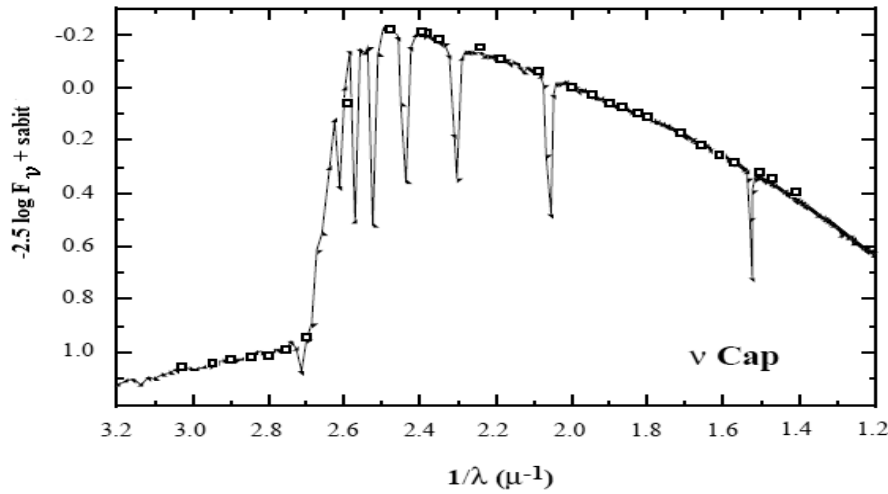
Yıldızlardan yayılan akı, atomlar ve moleküller tarafından soğurma, türbülans, konveksiyon, pulsasyon ve hidrodinamik gibi bir çok fiziksel süreçler ile şekillenir. Yüksek hassasiyetli spektrofotometrik ölçümler bu ve diğer olayların araştırılmasına izin verir. Ne yazık ki; şu an literatürde varolan optik bölge spektrofotometrik verileri oldukça düşük hassasiyetli verilerdir. 2012’de bilimsel test gözlemlerine başlanan ve yakın zamanda bilimsel gözlemlere başlanması planlanan ASTRA spektrofotometresi ile daha yüksek hassasiyette spektrofotometrik verilerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. ASTRA için planlanan bilimsel spektrofotometrik projeler aşağıdaki şekilde örneklendirilebilir (Adelman *et al.* 2007):

- A türü süperdevler: Küresellik etkileri ve pulsasyon özellikleri.
- Konveksiyon: Am, Fm ve normal A ve F türü yıldız verilerinde konveksiyon verimliliğinin belirlenmesi.
- Am Yıldızları: Genişlik, süreklilik özellikleri ve çift olma belirtileri.
- HgMn Yıldızları: Tuhaf yıldızların kimyasal bileşimleri ve çift olma belirtileri, genişlik süreklilik özellikleri.
- Manyetik CP Yıldızları: Dönen periyotlar civarındaki akı değişkenliği, değişkenlik karakteristiklerinde ikincil periyotlar ve uzun dönem değişimleri, genişlik süreklilik özellikleri, Doppler görüntüleme çalışmalarını genişletmek.
- RR Lyrae Yıldızları ve Cepheidler: Hidrodinamik belirtileri içeren pulsasyon özellikleri.
- Kızarma: MK sınıflandırmaları ile yıldızları, Yıldızlararası Kızarma Kanunu ile arındırma.
- Örtün Çiftler: Kenar kararmasını içeren yıldız parametreleri.

3.1 Normal B, A ve F türü yıldızlar

Adelman *et al.* (2002) normal B ve A türü anakol bandı 48 yıldızın spektrofotometrik verilerinden yararlanarak yıldızların atmosfer parametrelerini belirledi. Çalışmalarında

konveksiyon etkisi dikkate alınmamıştır.

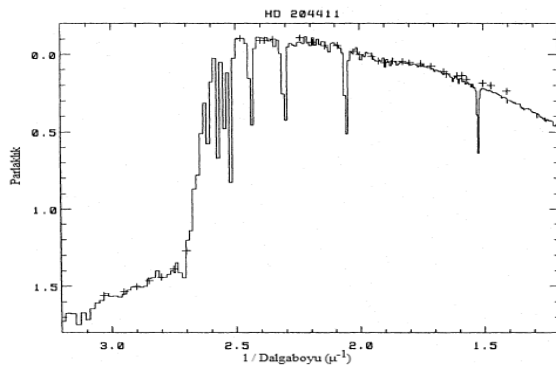


Şekil 3.1 v Cap yıldızın gözlemsel spektrofotometrik akıları ile Güneş kimyasal bileşimli ve $\xi = 0 \text{ km sn}^{-1}$, $T_e = 10250 \text{ K}$, $\log g = 4.00$ ATLAS9 modeli ile karşılaştırılması (Adelman *et al.* 2002)

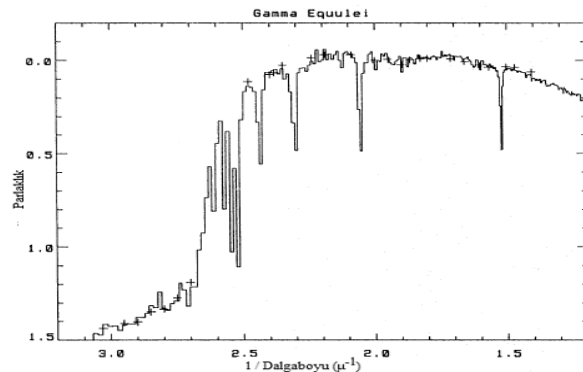
3.2. Kimyasal Tuhaf Yıldızlar

Bazı CP yıldızlarının spektrofotometri çalışmaları Adelman *et al.* (1995) ve Adelman & Rayle (2000) tarafından yapılmıştır.

Adelman *et al.* (1995) bazı kimyasal tuhaf yıldızların (HD 43819, HD 204411, HD 8441, HD 110066, γ Equ) gözlemsel ve kuramsal enerji dağılımlarını karşılaştırdı. Şekil 3.2 ve 3.3, bu yıldızlardan HD 204411 ve γ Equ'nun spektrotometrik karşılaştırılmasını gösterir. Modellerde ışınımsal difüzyon teorisine göre klasik mikrotürbülans etkisinin olmamasına rağmen, manyetik alan etkilerini kısmen hesaba katmak için mikrotürbülansın 2 km sn^{-1} değeriyle hesaplanmıştır. Bu atmosfer parametre belirlemeleri genellikle tek başına Balmer atlama bölgesi ve tek başına Paschen süreklilik bölgesi ile eşleşen ATLAS6 modellerinden elde edilen değerlerle sınırlandırılmıştır.

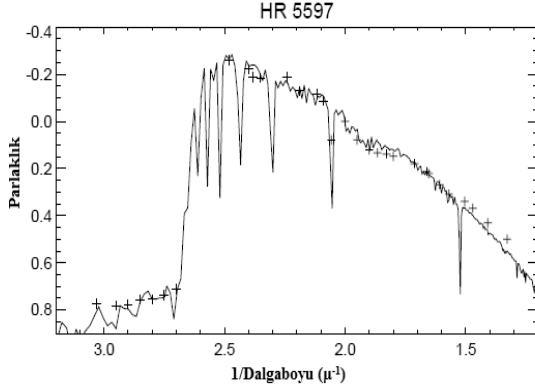


Şekil 3.2 HD 204411 yıldızının optik bölge enerji dağılımının karşılaştırılması (Adelman *et al.* 1995). ['+' sembolü gözlemsel veriler, 'katı çizgiler' +0.5 dex'lik metal bolluk artışı ve $T_e = 8400 \text{ K}$, $\log g = 3.30$, $\xi = 2 \text{ km sn}^{-1}$ için ATLAS9 modeli.]

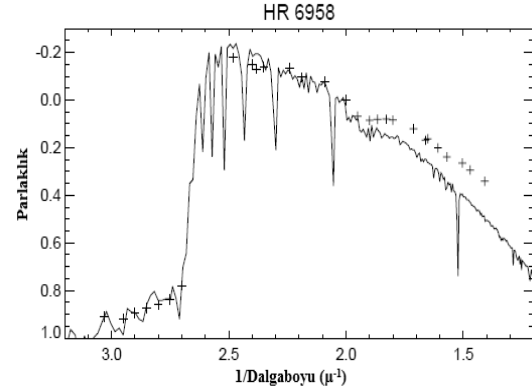


Şekil 3.3 γ Equ yıldızının optik bölge enerji dağılımının karşılaştırılması (Adelman *et al.* 1995): '+' sembolü gözlemsel veriler, 'katı çizgiler' +0.5 dex'lik metal bolluk artışı ve $T_e = 7700 \text{ K}$, $\log g = 4.20$, $\xi = 2 \text{ km sn}^{-1}$ için ATLAS9 modeli.]

Adelman & Rayle (2000) 17 adet manyetik özellikli kimyasal tuhaf yıldızların spektrofotometri yöntemi ile etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivme değerlerini belirledi. İki yıldızın gözlemsel ve kuramsal optik bölge sürekli enerji dağılım karşılaştırmaları Şekil 3.4 ve 3.5'te görülmektedir. HR 5597 yıldızı için gözlemsel veri ve kuramsal fitin oldukça uyumlu olduğu görülür.



Şekil 3.4 manyetik CP yıldızının gözlenen enerji dağılımlarının ATLAS9 model atmosferler ile karşılaştırılması (Adelman & Rayle 2000). [HR 5597, $T_e = 11000$ K, $\log g = 3.90$, $\log Z = +1.0$, $\xi = 8$ km s^{-1} model akıları ile temsil edilmiştir.]



Şekil 3.5 manyetik CP yıldızının gözlenen enerji dağılımlarının ATLAS9 model atmosferler ile karşılaştırılması (Adelman & Rayle 2000). [HR 6958, $T_e = 10750$ K, $\log g = 3.50$, $\log Z = +1.5$, $\xi = 8$ km s^{-1} model akıları ile temsil edilmiştir.]

4. Spektrofotometrik Kataloglar

Spektrofotometrik kataloglar, çeşitli tarayıcılar kullanılarak özel dalga boyu aralıkları için spektrofotometrik gözlem yöntemleri ile elde edilen gözlemsel yıldız akılarını bir araya getirmek amacıyla oluşturulmuştur.

4.1. Breger (1976a) spektrofotometrik kataloğu: Yıldızların $\lambda\lambda 3200-12000$ Å tayfsal aralığındaki spektrofotometrik ölçümlerin 937 setini içerir. Veriler, bazı yayınlanmamış kaynaklar ile birlikte literatürden derlenmiş ve Vega birincil standart yıldız olarak bir uniform mutlak kalibrasyona dönüştürülmüştür.

4.2 Ardeberg & Virdefors (1980) spektrofotometrik kataloğu: 3300-11000 Å tayfsal aralığında fotoelektrik spektrofotometriyi temel alan 356 yıldız için yıldız enerji dağılımının 378 setinin listesini verir.

4.3 Gunn & Stryker (1983) spektrofotometrik kataloğu: Tayf türleri ve ışınım sınıflarının tam bir aralığını içeren 175 yıldızın spektrofotometrik verilerine yer verilmiştir. Oke çok kanallı tarayıcı, $3130 < \lambda < 10800$ Å dalga boyu bölgesi üzerindeki enerji dağılımını elde etmekte kullanılmıştır.

4.4 Adelman et al. (1989) spektrofotometrik kataloğu: Dönen ağ tarayıcılar ile yapılan yıldızların spektrofotometrik ölçümlerinin bilgisayarlar tarafından okunabilir bir kataloğunun varlığını göstermek için hazırlanmıştır. Bu kataloktaki verilere, ADC, NSSDC/WDC-A-R&S ve CDS veritabanlarından da ulaşılabilir.

4.5 Glushneva *et al.*(1998) spektrofotometrik kataloğu: Katalog, Sternberg Enstitüsünün gözlemlerini temel alarak oluşturulmuştur. 50 Å'lık adımlar ile $\lambda\lambda 3200-7600$ Å aralığında 900 yıldızın ve $\lambda\lambda 6000-10800$ Å aralığında 250 yıldızın enerji dağılımına ait gözlemsel verileri içerir.

5. SONUÇ

- Optik bölge yıldız spektrofotometrisi, filtre fotometrisinden çok daha hassas bir bilimsel çalışma alanıdır.
- Yıldız astrofizğinde, güvenilir/hassas spektrofotometri gelecekteki bilimsel gelişmeler için ve gökadalara evrimini anlamamızda kritik önem taşır.
- Bu yöntem yıldız değişkenliğini çalışmak için mükemmel bir araçtır. Filtre fotometrisinden çok daha fazla noktaya sahip olunur.
- Manyetik özellikli CP yıldız tayflarının değişkenliği için Doppler görüntüleme teknikleri ile birleştirilebilir. Cepheid türü yıldızlarda şok dalgaları gibi dinamik etkiler için kanıt görülmelidir.
- Gözlenen akıllar ve Balmer çizgi profilleri ile model tahminlerinin karşılaştırılması, atmosfer derinliğine bağlı element bolluklarını içeren modelleri denetlemekte mükemmel bir yoldur.

Yıldız astrofizğinde hassas/güvenilir/doğru spektrofotometri, gelecekteki bilimsel gelişmelerde, gökadalara evrimini ve evrenin hikayesini anlamamızın kalbinde kritik önem taşır. Spektrofotometri Güneş Sistemini, bulutsuları, yıldız kümelerini ve gökadalara çalışmakta da önemli bir teknik olabilir. (Adelman 2011).

Kaynaklar

- Adelman, S. J., 2011, *Astrophysics and Space Science Library*, 373, 189.
- Adelman, S. J., Pyper, D. M., Shore, S. N., White, R. E., Warren, W. H. Jr, 1989. *A & AS* 81, no. 2, 221-223.
- Adelman, S. J., Pyper, D. M., Lopez-Garcia, Z., and Caliskan, H., 1995. *A&A*, 296, 467.
- Adelman, S. J., Pintado, O. I., Nieva, M. F., Rayle, K. E., Sanders, S. E., 2002, *A&A*, 392, 1031-1037.
- Adelman, S. J., Gulliver, A.F., Smalley, B., Pazder, J. S., Younger, P. F., Boyd, L. J., Epan, D., Younger, T., 2007, *ASP Conference Series*, 364, 255.
- Adelman, S. J., and Rayle, K. E., 2000, *A&A*, 355, 308-314.
- Ardeberg, A. and Virdefors, B., 1980. *A & AS*, 40, 307-318.
- Breger, M. 1976a., *APJ*, 32, 7.
- Glushneva, I. N., Doroshenko, V. T., Fetisova, T. S., Khruzina, T. S., Kolotilov, E. A., Mossakovskaya, L. V., Ovchinnikov, S. L., Voloshina, I. B., 1998, *VizieR On-line Data Catalog: III/208*.
- Gunn, J. E., and Stryker, L. L., 1983 *APJ*, 52, 121-153.
- Moon, T.T. and Dworetzky, M.M., 1985, *MNRAS*, 217, 305-315.
- Schaller, G., Schaerer, D., Meynet, G., Maeder, A., 1992, *A&AS*, 96, 269-331.