

ASTRONOMİ II

7. KONU: Tayfbilim

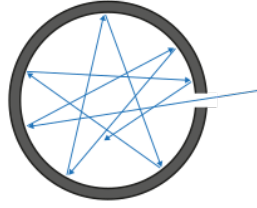
Hazırlayan: Doç. Dr. Tolgahan KILIÇOĞLU
Dikkat: Bu ders notu dersin tamamını içermez!

7. Tayfbilim

7.1 Karacisim Işınımı ve Yıldızların Renkleri

Bir karacisim (Şekil 1) aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Üzerine gelen tüm ışınımı soğurur
- Tüm dalgalıboylarında yeniden yayınlar.
- Işınım enerjisinin soğurulması cismin sıcaklığını artırır ancak bu yükselmenin bir sınırı vardır, cisim bu sınırdaki bir dengeye gelir ve soğurduğu ışınım enerjisi kadar enerji salar (yayınlar).



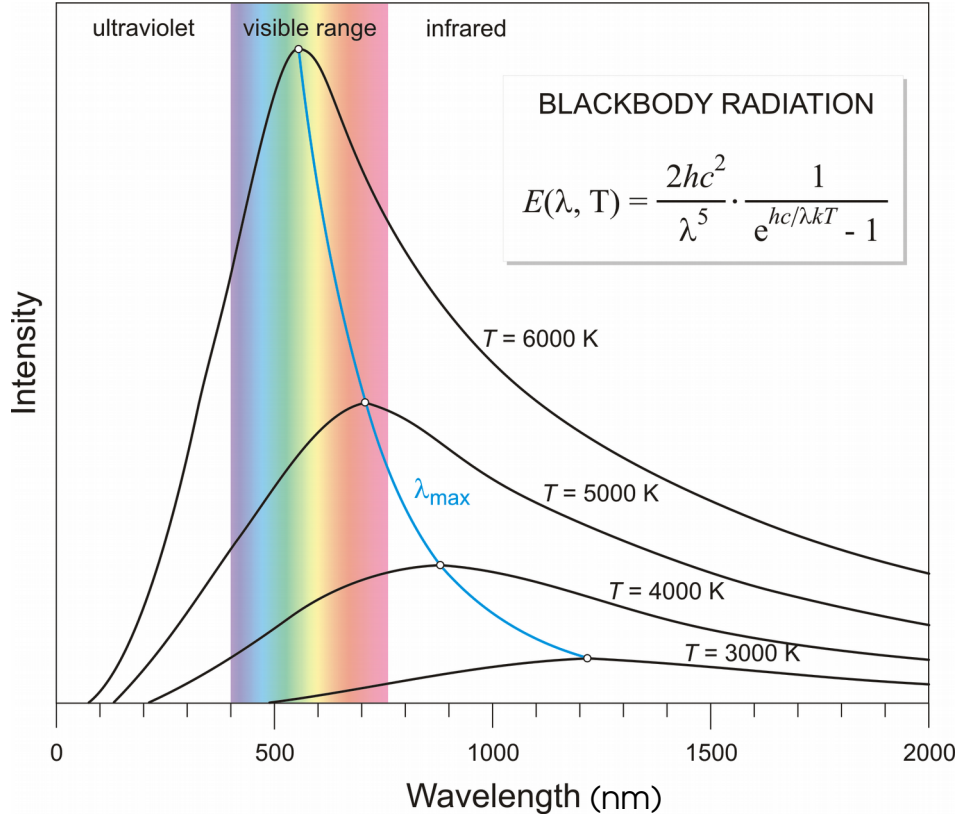
Şekil 1. Temsili bir karacisim

Yıldızlar karacisimle aynı olmasa da ona benzer şekilde ışınım yaparlar. Bu nedenle yıldız ışınımının anlaşılabilmesi için öncelikle karacisim ışınımının ne olduğu anlaşılmalıdır. Bir karacismin birim yüzeyinden yaptığı ışınımın dalgalıboyuna göre dağılımına "Planck eğrisi" denir. Şekil 5'de farklı sıcaklıktaki karacisimlerin enerji dağılımları (Planck eğrileri) gösterilmektedir.

Planck eğrisinin matematiksel ifadesi aşağıdaki şekildedir:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kt} - 1}$$

Burada B_{λ} karacismin birim yüzeyinden birim zamanda birim dalgalıboyunda salınan enerji, λ dalgalıboyu, T karacismin sıcaklığı, h Planck sabiti, c ışık hızı ve k Boltzmann sabitidir.



Şekil 5. Dört farklı sıcaklığa sahip karacismin tayfı (Planck eğrileri)

Planck eğrisinin altında kalan alan karacismin birim yüzeyinden yaydığı toplam enerji olup aşağıdaki basit ifade ile hesaplanır:

$$S = \sigma T^4 \quad (\text{Stefan-Boltzmann Kanunu})$$

Burada σ Stefan-Boltzmann sabiti, T karacismin sıcaklığı ve S ise ışınım salma gücüdür. Görüldüğü üzere bir karacismin yaydığı ışınım sıcaklığının 4. kuvveti ile orantılı olarak değişmektedir.

Planck eğrisine ilişkin bir diğer önemli nokta ise eğrinin maksimumuna denk gelen dalgaboyudur (eğrinin tepe noktasının x eksenini kestiği yer). Bu dalgaboyu aşağıdaki basit ifade ile hesaplanır:

$$\lambda_{maks.} [\text{\AA}] = \frac{2.898 \times 10^7}{T} \quad (\text{Wien yer değiştirme yasası})$$

Görüldüğü üzere bir karacisim ısındıkça en fazla ışık yaydığı dalgaboyu kısa dalgaboylarına (yani maviye) doğru kaymaktadır. Eğer yıldızların karacisim gibi ışınım yaptığını varsayarsak buradan önemli bir sonuca ulaşırız: **soğuk yıldızların renkleri kırmızımsı sıcak yıldızların renkleri ise mavimsi olmalıdır.**

Soru: Güneş'in yüzeyinin (fotosferinin) sıcaklığı 5780 K'dir. Güneş'in en fazla ışınım yaptığı dalgaboyu karacisim yaklaşımı altında kaç Å olmalıdır? Bu durumda Güneş'in rengi hakkında ne söyleyebilirsiniz?

Cevap:

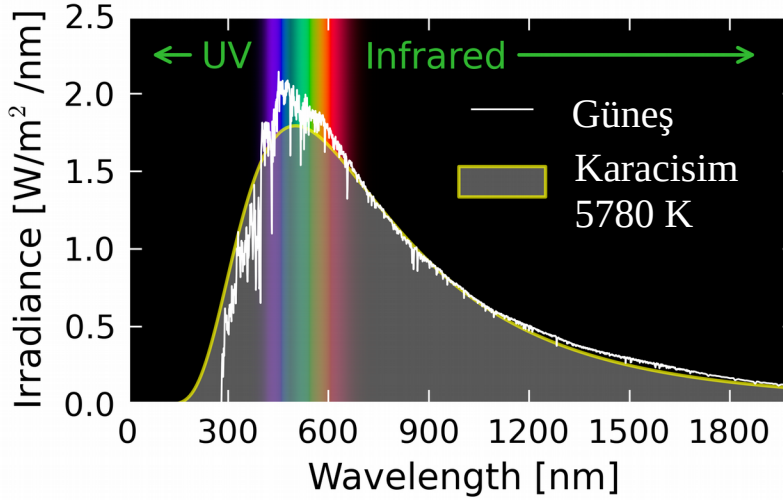
$$\lambda_{maks.} = \frac{2.898 \times 10^7}{T} = \frac{2.898 \times 10^7}{5780} \approx 5000 \text{ Å}$$

olmalıdır. İnsan gözünün 3600 – 7200 Å aralığını görebildiğini söylemiştik. Burada 3600 Å mor sınırı, 7200 Å ise kırmızı sınırı vermektedir. 5000 Å ise kabaca sarı renge denk gelmektedir.

Not: Yıldızlar mor, yeşil ve cam göbeği renklerinde görülmezler. Örneğin dalgaboyu mor renge karşılık gelen bir yıldız oldukça mavimsi görülür.

7.2 Yıldızların Tayfları

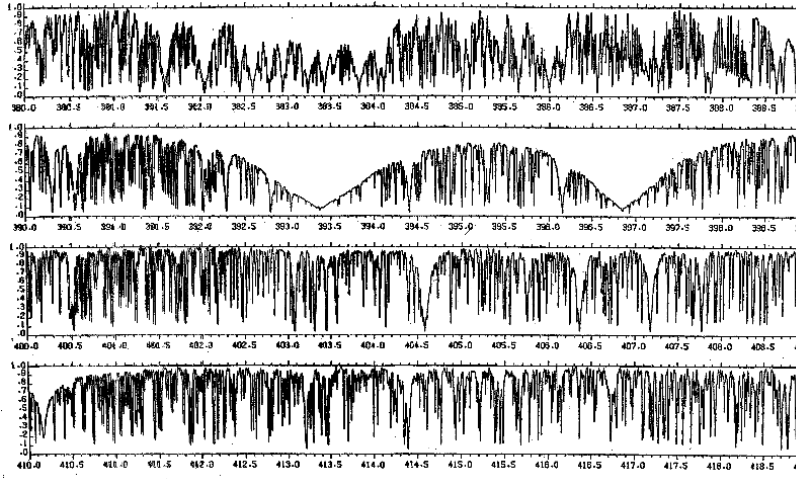
Teleskopların odağına prizma benzeri ışığı renklerine ayıran düzenekler takılarak yıldızların tayfları elde edilebilir. Şekil 6'da teorik karacisim tayfı (Planck eğrisi) ile beraber Güneş'in gözlenen tayfı gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde Güneş'in gerçekten karacisime benzer şekilde ışınım yaptığı ancak bazı önemli farklılıkların olduğu görülmektedir. Bunlardan ilki kısa dalgaboylarında Güneş'in tayfında görülen basamak görünümlü şiddetli enerji düşmeleridir. Bir diğeri ise Güneş'in tayfında açıkça görülen "soğurma çizgileridir".



Şekil 6. Karacisim tayfı ile Güneş'in tayfının karşılaştırılması

Şekil 7'de Güneş'in yüksek çözünürlüklü bir tayfı gösterilmektedir. Güneş'in tayfına daha detaylı baktığımızda üzerinde binlerce çizgi olduğu görülür. Bu çizgiler Güneş'in atmosferinde yer alan elementler tarafından oluşturulur. Güneş'in tayfında iki tür çizginin olduğu görülmektedir.

Bunlardan biri çok ince gözükten çizgiler, bir diğeri ise oldukça geniş ve şiddetli görülen çizgilerdir. Güneş'in tayfında oldukça geniş gözükten çizgilerin başlıcaları hidrojenin Balmer serisi çizgileri ve kalsiyumun H ve K çizgileridir. İnce çizgiler ise diğere elementlerden gelmektedir. Güneş'in kimyasal kompozisyonunda atom numarası 1 ile 94 arasındaki tüm elementler bulunmaktadır. Ancak burada tekrar hatırlatmak gerekirse, Güneş'in %73'ü hidrojen, %25'i helyum ve %2'si ise diğere elementlerden oluşmaktadır. Güneş'te helyum çok bol olduğu halde hiç çizgisi görülmezken, %0.04'ten az boluğa sahip kalsiyumun çizgileri hidrojen kadar şiddetlidir. Bunun temel nedeni çizgilerin şiddetlerinin maddenin miktarından ziyade yıldızın sıcaklığına ve yüzeyindeki basınca da son derece bağlı olmasıdır.



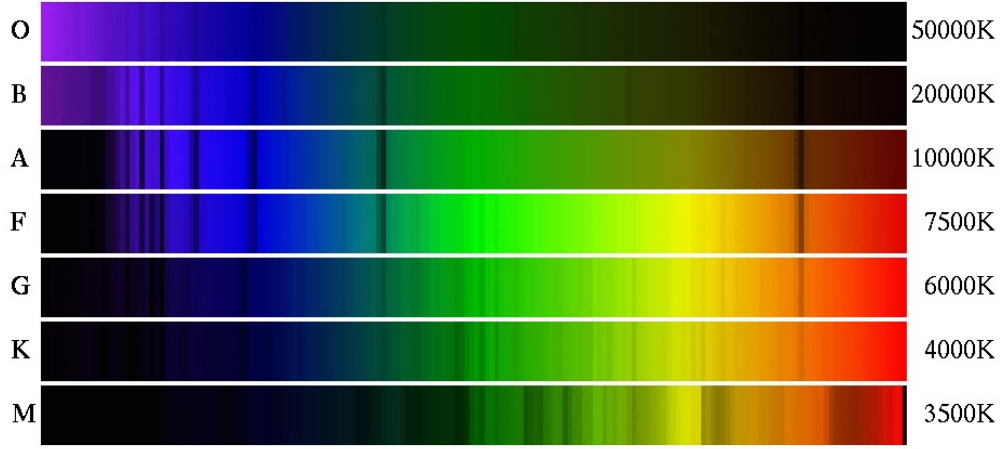
Şekil 7. Güneş'in yüksek çözünürlüklü tayfının küçük bir bölümü

Yıldız tayflarından hangi bilgiler elde edilir?

- Yıldızın sıcaklığı
- Yıldızın yarıçapı
- Yıldızların yüzeyinde elementlerin hangi miktarlarda bulunduğu
- Yıldızın bize hangi hızla yaklaştığı/uzaklaştığı
- Yıldızın hangi hızla döndüğü
- Yıldızın yaşı
- Yıldızın evrim durumu
- Yıldızın çift yıldız olup olmadığı
- Yıldızın yüzeyindeki aktivitelerin yapısı hakkında bilgiler (örn. lekeler)
- vb...

Şimdi birkaç basit örnekle yıldız tayflarını biraz daha anlamaya çalışalım.

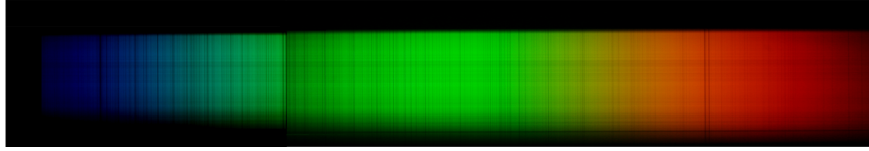
Örnek 1. Şekil 8'de farklı sıcaklıktaki yıldızların tayfları verilmektedir. Tayfları inceleyerek farklılıkları bulunuz.



Şekil 8. Farklı sıcaklıktaki yıldızların tayfları

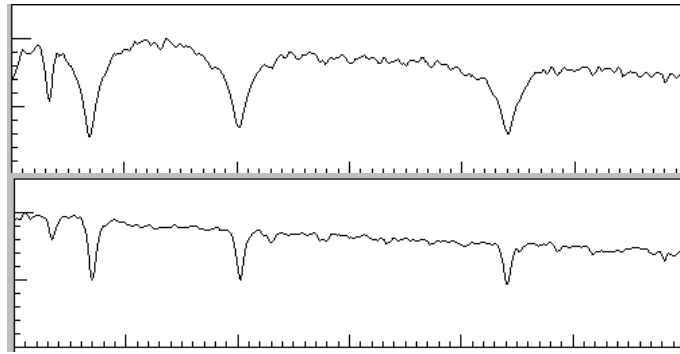
Kaynak: <https://www.astro.umd.edu/~ssm/ASTR220/OBAFGKM.html>

Buna göre aşağıda tayfı verilen yıldızın sıcaklığını tahmin ediniz.



Kaynak: <https://www.bu.edu/astronomy/undergraduate/astronomy-department-facilities/astronomy-department-solar-telescope/>

Örnek 2. Şekil 9'da aynı sıcaklıkta iki yıldızın hidrojen çizgileri gösterilmektedir. Bu yıldızlardan hangisinin yarıçapı diğerinden daha büyüktür?



Şekil 9. Farklı yarıçapa sahip iki yıldızın tayfındaki hidrojen çizgileri

Hidrojen çizgileri atomlar arasındaki etkileşimler arttıkça genişler. Dev yıldızların yarıçapları büyük olduğundan yüzeylerindeki basınç cüce yıldızlara göre daha azdır. Böylece dev yıldızların yüzeylerinde hidrojen atomları arasında daha az etkileşim olur ve çizgiler cüce yıldızlarınkine göre daha ince görülür.