

Temel Kavramlar

Öncelikle yıldızın nelerden oluştuğunun tanımını yapmak gerekir. Bir yıldız, çekirdeğinde termonükleer Hidrojen füzyonunun olduğu veya bir zamanlar mevcut olduğu (ölmüş yıldızlar söz konusu olduğunda), kendi kendine çekim yapan bir gök cismi olarak tanımlanabilir. Örneğin Güneş'te, evrende en bol bulunan element olan Hidrojen kabaca “ $4\ ^1\text{H} \rightarrow\ ^4\text{He} + \text{enerji}$ ” nükleer reaksiyonu yoluyla Helyuma dönüşür. Füzyon sadece yıldızların merkezi bölgelerinde mevcuttur. Çünkü egzotermik (enerji yayınlayan) reaksiyonun ateşlenebileceği minimum bir eşik sıcaklığı vardır. (Bu reaksiyon için yaklaşık 10 milyon $^{\circ}\text{K}$ civarındadır.) Yıldızların merkezindeki yüksek sıcaklıklarda protonların kinetik enerjisi, aralarındaki itici Coulumb kuvvetini yenmeye ve protonları nükleer kuvvetin hakim olacağı mesafeye getirir. Termonükleer reaksiyonlarla yayınlanan enerji $E = \Delta m\ c^2$ formülü ile verilmektedir. Bir yıldızın kütesinin çok küçük bir kısmı ömrü boyunca enerjiye dönüşecek olsa da, bu, yüzeyden yayınlanan enerjiyi telafi etmeye yeterlidir.

Yıldızlar, evrendeki soğuk molekül bulutlarının çekimsel çöküşü sonrasında oluşur. Bulut veya bulutun bir kısmı çöktüğünde, kazanılan kütleçekimsel enerjinin yaklaşık yarısı bulutun iç sıcaklığını arttırmak için kullanır ve geri kalan enerji elektromanyetik radyasyon olarak yayınlanır. Çöken bulutun kütlesi yeterliyse (Güneş kütesinin %8'inden fazla ise), merkezi sıcaklıklar, hidrojen füzyonu için gerekli eşik sıcaklığının üzerinde bir değere ulaşacak ve bu da tanımı gereği “yıldız” doğumuna yol açacaktır. Güneş kütesi $M_{\odot} \approx 1.9 \times 10^{33}$ gr. dir. Yıldızların özellikleri genellikle Güneş'e karşılık gelen değere sahip birimlerle verilir. Kütleçekimsel çöküş yıldızın merkezinde birim zaman başına üretilen nükleer enerjinin yıldızın yüzeyindeki enerji çıkışına eşit olduğu dengeye ulaşıncaya kadar devam edecektir. Yaşamının bu aşamasındaki yıldız “*anakol yıldızı*” denir.

Bir yıldız yüksek yüzey sıcaklığı sebebiyle parlar ve radyasyon yayar. Örneğin Güneş'in yüzey sıcaklığı yaklaşık $5800\ ^{\circ}\text{K}$, merkez sıcaklığı ise yaklaşık 16 milyon $^{\circ}\text{K}$ dir. Sıcaklığın, merkezden uzaklığın bir fonksiyonu olarak azalması, merkezi bölgelerden yıldız yüzeyine enerji taşınmasına neden olan doğal bir olaydır. Bir yıldız oluşturan gaz, radyasyona karşı opaklık ile karakterize edildiğinden, yıldız bakan bir gözlemci onu yalnızca “fotosfer” veya “yıldız atmosferi” olarak adlandırılan ve yıldızın yarıçapının sadece yüzde birkaçına karşılık gelen geometrik derinliğe sahip olan dış bölgelerini görebilir. Bu, sis bulutunun içine bakmaya benzer. Bir yıldızdan çıkan ışınım, dış katmanların saıcaklığına bağlıdır ve karacisim radyasyonu ile verilir.

Enerji 3 yolla taşınır: En önemlisi radyasyondur. Enerji, elektromanyetik radyasyon yıldızların merkezi bölgelerinden dışa doğru yayındığında taşınır. Opaklığın büyü olduğu bölgelerde konveksiyon enerji taşınımına hakim olur. Konveksiyon, yıldızlardaki madda hücrelerinin dikey hareketleri yoluyla enerjinin taşınmasıdır. Yıldızlarda kondüksiyon yoluyla enerji taşınımı oldukça önemsizdir.

Bir yıldız, çekirdeğindeki Hidrojeni Helyuma dönüştürerek yaşamına başlar. Zaman geçtikçe yıldızın çekirdeğindeki Hidrojen bolluğu azalacak ve sonunda bu nükleer sürecin yakıtı olan Hidrojenin tamamı tükenecektir. Hidrojen Helyuma dönüştükçe yıldızın yapısı yeniden şekillenir. Çekirdek büzülür ve merkezi sıcaklığın artmasına sebep olur. Ta ki yıldızın başlangıç kütesine bağlı olarak Helyumun 3α reaksiyonu yoluyla Karbon üretmeye başlamasına kadar... ($3\ ^4\text{He} \rightarrow\ ^{12}\text{C} + \text{enerji}$)bu sırada yıldızın dış bölgeleri genişler. Yıldız “kırmızı dev” e dönüşür. Bir yıldızın nihai kaderi başlangıçtaki kütesine bağlıdır. Beyaz cüceye mi, nötron yıldızına mı, karadeliğe mi dönüşeceğini belirler. Büyük yıldızlar evrimlerinin farklı aşamalarında bir dizi nükleer reaksiyonlar meydana getirecektir. Bu yıldızlardaki termonükleer reaksiyonlar karbon, oksijen, silikon v.b. gibi demire kadar çeşitli elementlerin oluşumuna sebep olur. Bu sürece “nükleosentez” denir. Big-bang teorisinden de bilindiği gibi evrenin başlangıcında sadece Hidrojen, Helyum ve eser miktarda

Lityum oluşmuştur. Diğer elementlerin oluşumu yıldızlarda gerçekleşir. Bu nedenle yıldızlar, Helyumdan daha ağır tüm atomları üreten, “evrenin üretim fabrikaları” olarak görülebilir. Astronomide Helyumdan daha ağır elementlere “metal”, kütleinin metallere oluşan kısmına “metalisite” denir. Güneş’in dış katmanlarının metalisitesi yaklaşık $Z = 0.0169$ dur. Güneş yüzeyindeki Hidrojen (X) ve Helyumun (Y) kütle oranı $X = 0.7346$ ve $Y = 0.2485$ tir. (dolayısıyla $X + Y + Z = 1$). Dünya’da bulunan tüm ağır elementler yıldızlarda yaratıldı ve yıldızlar daha sonra süpernova şeklinde patlayarak bu zenginleştirilmiş maddeyi uzaya fırlattı. Bu zenginleştirilmiş maddenin bir kısmı Güneş ve Dünya’nın yaratıldığı bulutta bulunmaktaydı. Yıldızlardaki elementlerin yaradılışı olmadan yaşam imkansız olurdu. Bu nedenle yıldız varlığımızın temelidir ve evrenin ana yapı taşları olarak kabul edilirler.

Karacisim Radyasyonu

Günlük hayatta bir cismi gözlemlerken algılanan şey onun yansıttığı ışıktır. Örneğin, kırmızı bir nesneye baktığınızda onun kırmızı olmasının sebebi, nesnenin yansıtılan kırmızı dışındaki tüm renkleri absorbe etmesidir. Güneş ışığında, yada ampül ışığında elektromanyetik sapektrumun görünür bölgesindeki tüm renkler mevcuttur. Üzerine düşen ışığın çoğunu yansıtacağından sıcak havalarda beyaz renkli kıyafet giymek tercih edilir. Siyah cisimler gelen görünür ışığın çoğunu absorblar.

Tanım olarak karacisim, üzerine düşen tüm radyasyonu absorblayan fiziksel bir varlıktır. Bir karacisimden yayınlanan radyasyon, onun termal enerjisinden kaynaklanmaktadır. Alman fizikçi Max Planck (1858 – 1947), T sıcaklığına sahip bir karacismin Planck fonksiyonuyla $B(T)$ karakterize edilen sürekli spektrum yaydığını göstermiştir. Karacisim radyasyonu, şeklinden ve yapıldığı maddeden tamamen bağımsız olarak sadece sıcaklığa bağlıdır.

Karacisim radyasyonu çeperleri üzerine gelen bütün radyasyonu absorblayan kapalı bir oyukta yada kutuda meydana getirilebilir. Bu kutunun içi ile çeperleri aynı sıcaklıktadır, denegededir. Çeperler aldıkları bütün enerjiyi yayınlar. Bu radyasyon enerjisi, sürekli olarak çeperlerin atomlarının termal enerjisine ve radyasyona dönüştüğünden karacisim radyasyonu *termal radyasyon* olarak da adlandırılır. Karacisim radyasyonunun spektrumu sürekli spektrumdur.

Bir karacisim tarafından yayınlanan enerji dağılımı 2 yasaya öncülük eder. Birincisi **Stefan – Boltzmann Yasası**. T sıcaklığındaki karacisimde birim alan başına üretilen toplam enerjiyi verir.

$$F = \int_0^{\infty} F_{\nu} d\nu = \int_0^{\infty} \pi B_{\nu} d\nu = \sigma T^4$$

Bu, bir karacisimde enerji çıkışının sıcaklıkla çok hızlı bir şekilde arttığını göstermektedir. Sıcaklığı çok yüksek olan bir karacismin, daha soğuk olana göre tüm dalgalarda daha fazla enerji yaydığına dikkat edilmelidir. Bir yıldız karacisime benzediği için yüksek yüzey sıcaklığına sahip büyük kütleli bir yıldız, daha düşük yüzey sıcaklığına sahip olan düşük kütleli bir yıldızdan çok daha fazla enerji yayınlayacaktır. Büyük yıldızlar, yüksek parlaklıklarını muhafaza edebilmek için daha fazla enerji üretirler. Yani nükleer reaksiyonlarla Hidrojenlerini daha hızlı yakarlar. Hidrojenlerini daha hızlı tüketirler. Bu sebeple büyük yıldızların ömrü küçük olanlardan daha kısa olacaktır (Bu daha yüksek nükleer yanma oranı daha yüksek merkezi sıcaklıklardan kaynaklanmaktadır).

İkinci yasa B_{λ} fonksiyonunun maksimum olduğu maksimum dalgalı boyunun (λ_{\max}) sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiğidir.

$$\lambda_{\max} T = 0.2898 \text{ }^{\circ}\text{Kcm}$$

Bu denkleme **Wienn Yasası** denir. Bu, neden daha sıcak karacisimlerin (veya yıldızların) mavi, daha soğuk olanların ise kırmızı olduğunu açıklar. Örneğin bir demirci ateşe bir demir parçası koyduğunda demir önce kırmızı renkte parlamaya başlar. Daha sonra ısındıkça beyaz ve maviye döner. Demir parçası oda sıcaklığındayken, enerji dağılımının maksimumu kızılötesi bölgede bulunduğundan neredeyse hiç görünür ışık yaymaz. Ormanda bir kişi kaybolduğunda kızılötesi dedektörlerle arama yapılır. İnsan vücudu yaklaşık 310 ⁰K (37 ⁰C) sıcaklığa sahiptir ve çevre sıcaklığı ortalama 293 ⁰K (20 ⁰C) sıcaklıktadır. İnsan vücudu çevreye göre daha fazla kızılötesi radyasyon yayacaktır.

SERA ETKİSİ : Yeryüzünün ortalama sıcaklığı, Genes'ten aldığı enerji miktarına ve uzaya yayınlamış olduğu enerji miktarına göre değişir. Yer atmosferi elektromanyetik spektrumun görünür bölgesine karşı transparanttır. Güneş yüzeyinin sıcaklığı yaklaşık 5800 ⁰K olduğunda spektrumun maksimumu görünür bölgededir ve dolayısıyla enerjinin çoğu yer atmosferini geçerek yeryüzüne ulaşır. Yeryüzünün sıcaklığı yaklaşık 290 ⁰K dir ve kızılötesi radyasyon yayar. Bazı moleküller (H₂O, CO₂ gibi) kızılötesi radyasyonu absorblayabilir ve böylece bir miktar ısı tutarlar. Fosil yakıtların (kömür, petrol v.s.) yakılması ile atmosferdeki kirleticilerin (çoğunlukla CO₂) miktarı artar. Sera gazları olarak adlandırılan bu gazların artması atmosferin kızılötesi radyasyona karşı opaklığını artırarak uzaya yayınlanan enerji miktarını azaltır. Bu süreç Dünya sıcaklığında bir miktar artışa sebep olur. Buna **“Sera etkisi”** denir. Beklenen ufak sıcaklık artışlarının bile önemli olumsuz ekolojik etkilere sebep olacağı açıktır.

Lüminozite (ışınım gücü) : Bir yıldızın Lüminozitesi, yüzeyinden yayınlanan ışıınım gücü olarak tanımlanır ve erg/s birimiyle verilir. Lüminozite bir yıldızın içi ile ilgili kendine özgü bir değerdir ve gözlemciye olan uzaklığına veya görüş doğrultusuna bağlı değildir. Eğer bir yıldızın lüminozitesi L ise, r uzaklığındaki lüminozitesi de L'/r²'dir. Lüminoziteyi elde etmek için elektromanyetik spektrumun tamamında yıldızın tüm yüzeyinden yayınlanan radyasyonun bulunması gerekir.

Bir cismin lüminozitesinden söz edildiğinde anlaşılan şey *bolometrik lüminozite*dir. Fakat farklı dalgaboylarında gözlemler, farklı teknikler, farklı türde teleskoplar ve bazı dalgaboylarında gözlemlerin yer atmosferi dışından gözlem yapma gerekliliği sebebiyle bu büyüklüğü kolayca bulmak mümkün değildir. Bir cismin parlaklığını farklı dalgaboylarında belirlemek gerekir. Örneğin; süpernova kalıntısı CasA'nın radyo bölgesindeki lüminozitesi L_{radyo} = 3 x 10³⁵ ergs⁻¹ , X-ışın bölgesindeki lüminozitesi L_{x-ışın} = 3 x 10³⁶ ergs⁻¹ dir. Bolometrik lüminozite ise bu değerlere ek bantlardan gelen parlaklıkların toplamıdır. Kaynak spektrumu hangi dalgaboyu bantlarının ve hangi proseslerin enerji çıkışında en önemli olduğunu anlamak açısından önemlidir. Spektrumun zayıf sürekliliği veya çok zayıf sepkrel çizgiler bile astronomik bir cisimde meydana gelen süreçler hakkında önemli ipuçları verir ve kaynağın tam olarak anlaşılması için önemlidir.

Güneş'in V bandındaki parlaklığı bolometrik parlaklığının %93'ünü temsil eder. Lüminozite kaynağın temel parametresidir ve enerji ile doğrudan ilişkilidir. Fakat doğrudan ölçülebilen bir nicelik değildir ve diğer ölçülebilen niceliklerden türetilmesi gerekir.

Akı ve akı yoğunluğu : Bir kaynağın akısı, f (ergs⁻¹cm⁻²) birim zamanda birim alandan geçen ışıınım enerjisidir. Akı yoğunluğu (f_{ν} , ergs⁻¹cm⁻²Hz⁻¹ veya f_{λ} , ergs⁻¹cm⁻²cm⁻¹) sırasıyla frekans veya dalgaboyu biriminde sepkrel bant genişliği başına akıdır.

Bir kaynağın lüminozitesi L, akısından bulunabilir.

$$L = \int f dA = 4\pi r^2 f$$

burada r kaynağın merkezinden akının belirlendiği konuma olan uzaklıktır. $4\pi r^2$, üretilen fotonların her yöne veya izotropik olarak kaçabileceği kaynaklar için geçerlidir. Bu fotonlar dışarıya doğru yayılırken hayali kürelerin yüzeylerinden geçerler. Akının azalması sadece kürenin geometrisinden kaynaklanmaktadır. Eğer yayılan tüm ışık ışınları paralel ise, el yapımı bir lazer ışının akısı r ile sabit olacaktır.

Yıldızlar için astrofiziksel akı F yıldız yüzeyindeki akı olarak tanımlanır.

$$L_* = 4\pi R_*^2 F = 4\pi r^2 f$$

$$f = (R_* / r)^2 F$$

L_* , yıldızın lüminozitesi ve R_* yıldızın yarıçapıdır.

Dünya – Güneş uzaklığındaki akı ki buna *Güneş Sabiti* denir. $S_0 = 1.367 \times 10^6 \text{ ergs}^{-1}\text{cm}^{-2}$ dir. Güneş sabiti yeryüzündeki iklimi ve yaşamı yöneten bir akı değeri olduğundan büyük önem taşır. Modern uydu verileri, Güneş sabitinin aslında değiştiğini ortaya koyuyor. Yer tabanlı ölçümler bu değişimi tespit edememiştir. Çünkü bu değişim, yer atmosferi için yapılan düzeltmelerin büyüklüğü göz önüne alındığında oldukça küçüktür.

Şiddet, Spesifik Şiddet, Ortalama Şiddet: Şiddet I ($\text{ergs}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{Sr}^{-1}$) birim zamanda birim alandan birim katı açısına giren ışınlam enerjisidir. Spesifik şiddet ($I_\nu \text{ ergs}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{Hz}^{-1}\text{Sr}^{-1}$ veya $I_\lambda \text{ ergs}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{cm}^{-1}\text{Sr}^{-1}$) birim spektral bant genişliği başına (sırasıyla frekans veya dalgaboyu) birim zamanda birim alandan birim katı açısına giren ışınlam enerjisidir.

Belirli bir dalgaboyundaki şiddet, bir katı açının ölçülebilmesi koşuluyla ölçülebilir. Eğer bir kaynağın açısız büyüklüğü farkedilemeyecek kadar küçükse veya uzaktaysa o zaman şiddet belirlenemez. Şiddet ve spesifik şiddet uzaklıktan bağımsızdır. Örneğin Güneş'in küçük, ölçülebilir bir katı açı yaptığı herhangi bir kaynaktan bakıldığında $I_0 = F_0 / \pi = 2.01 \times 10^{10} \text{ ergs}^{-1}\text{cm}^{-2}\text{Sr}^{-1}$ e sahiptir. Fakat I 'nin uzaklıkla değişmediği genel bir durumdur ve büyük açılara da uygulanır. Bu çok önemli bir sonuçtur çünkü I 'nin ölçümü, kaynağın bazı özelliklerinin, uzaklığını bilmeye gerek kalmadan belirlenmesine olanak verir.

Tüm yönlerden gelen $I_\nu(x, \theta) d\omega$ dağılımları toplanıp, küre üzerinden integre edilmiş katı açığa bölünürse ortalama şiddet (J) elde edilir.

Enerji Yoğunluğu : Enerji yoğunluğu U (ergcm^{-3}) birim hacim başına ışınlam enerjisidir. Spesifik enerji yoğunluğu birim bant genişliği başına enerji yoğunluğudur. (U_ν veya U_λ)

İzotropik radyasyon alanında $J = I$ dır. Gerçekte radyasyon alanları izotropik değildir. Yıldızların merkezinde veya 2.7°K lik kozmik mikrodalga background radyasyonu gözönüne alındığında izotropikliğe yaklaşılr. İzotropik olmayan bir radyasyon alanında I uzaklıkla sabit olsa da J uzaklıkla değişir.

Radyasyon Basıncı : Radyasyonun momentum akısıdır (birim alan başına fotonların momentum transfer hızı). Aynı zamanda birim alana radyasyonun dik doğrultuda uyguladığı kuvvet olarak da düşünülebilir.

Görünen Kadir : Görünen kadir ve buna karşılık gelen akı yoğunluğu, Yer atmosferi üzerinde ölçülen, veya eşdeğer olarak, yeryüzeyinden ölçülen atmosferik etkilerden düzeltilmiş değerlerdir.

$$m_{\lambda} - m_{\lambda 0} = -2.5 \log (f_{\lambda} / f_{\lambda 0})$$

$$m_v - m_{v0} = -2.5 \log (f_v / f_{v0})$$

Buradaki alt indis “0” bir standart kalibratörü temsil eder. m_{λ} ve m_v bazı dalgalıboylarındaki görünen kadirlerdir ve f_{λ} ve f_v aynı dalgalıboylarındaki akı yoğunluklarıdır. Bu sistem rölatif bir sistemdir. İlgili yıldızın kadiri yukarıdaki denklem aracılığıyla aynı dalgalıboyundaki diğeri bir yıldızın kadiri ile ilişkilendirilir.

Mutlak Kadir : Akı yoğunlukları $1/r^2$ ile azaldığından, yıldızlar arasındaki görünen kadir ölçümleri, yıldızların uzaklıkları dikkate alınmadan, yıldızlara ait özelliklerin karşılaştırılmasını yapmaz. Bu sebeple mutlak kadir, ya bolometrik kadir (M_{bol}) ya da bazı dalgalıboylarında (M_v , M_B gibi) gösterilmiştir. Bir yıldızın mutlak kadiri yıldızın 10 pc uzağına yerleştirilmesi durumunda ölçülecek olan kadirdir.

$$m - M = -2.5 \log (f / f_{10pc}) = -5 + 5 \log d_{pc}$$

benzer şekilde,

$$M - M_{\odot} = -2.5 \log (L / L_{\odot})$$

buluruz. Referans yıldızı olarak Güneş’i kullandığımız bu denklemdeki kadirler bolometrik kadirlerdir.

Yukarıda bazı kavramlar özetlenmiştir. Dersler sırasında tüm kavramlar ve ilgili bağıntılar çıkarılmıştır. Dönemin başından itibaren işlenen konuların hepsi arasınav konusudur.