

İşlemlere" girişiyordu. Her geçen yüzyıllar ile de, daha güzel örnekleri, meydana getirebiliyordu.

Bu satırların yazarına sorarsanız, "Güneş ile Dünya Arasındaki Bilgi Alış-Verişi" sonunda, meydana gelen en ilginç olay: şu dünya yüzeyini, kendi bildiği gibi bozup düzenleyecek bir zekâ'da "İnsanoğlu'nun "Oluşması" olayıdır!...

- (1) BUDDA A. Hilmi Ömer, *Dinler Tarihi*, İstanbul 1935, Sa: 53.
- (2) DOĞRUL Ömer Rıza, *Yeryüzündeki Dinler Tarihi*, İstanbul 1958, Sa: 170 - 171.

- (3) TEVRAT, *Tekvin* (Musa'nın Birinci Kitabı), Bab. 1. İstanbul 1958, Sa: 1.
- (4) JEANS Sir James, *Fizik ve Filozofi*, Çeviren: Avni Refik Bekman, İstanbul 1950, Sa: 13 - 14.
- (5) JEANS Sir James, *Fizik ve Filozofi*, Çeviren: Avni Refik Bekman, İstanbul 1950, Sa: 16.
- (6) ROUSSEAU Pierre, *Atomlar ve Yıldızlar*, Çeviren: Talât Erben, İstanbul 1946, Sa: 79.
- (7) THIBAUD Jean, *Atomların Hayatı ve Transmutasyonları*, Çeviren: Besim Tanyel, İstanbul 1946, Sa: 5.
- (8) JEANS Sir James, *Fizik ve Filozofi*, Çeviren: Avni Refik Bekman, İstanbul 1950, Sa: 17 - 18.

ASTROFİZİKTE SON GELİŞMELER

Bengt STRÖMGREN

11 - 13 Nisan 1978 tarihinde Brüksel'de NATO Bilim Konseyi'nin kuruluşunun 20. yılı nedeniyle bir toplantı yapılmış ve memleketimizden çeşitli bilim adamları bu toplantıya katılmışlardır.

Bu simpozyumda sunulan ilginç tebliğlerden bir tanesi de Astrofizik'in en son gelişmeleriyle ilgilidir ve Kopenhag Üniversitesi ve Nordita emekli Profesörlerinden Bengt Strömgren tarafından İngilizce olarak verilmiştir. Astrofiziğin çeşitli alanlardaki en son gelişmelerini açık ve basit bir şekilde anlatan bu konuşmanın birinci kısmını oluşturan "Yıldızların Yapısı ve Evrimi" İTÜ, İnşaat Fakültesi Teknik Mekanik ve Genel Mukavemet Kürsüsü Profesörlerinden Sayın Sacit Tameroğlu tarafından Bilim ve Teknik için Türkçe'ye çevrilmiştir. Kendisine en derin teşekkürlerimizi sunarken okuyucularımıza da bu kıymetli yazıyı arka arkaya 3 sayıda yayımlayacağımızı bildiririz.

Bilim ve Teknik

1. Giriş

1908'de G. E. Hale, Astrofiziğin gelişmesinde önemli ölçüde katkıda bulunan "Yıldızların Evrimi Üzerine Araştırmalar" isimli eserini yayınladı. Hale'nin kitabının başlangıç cümlesi bugün için de önemini korumaktadır:

"Bilimsel araştırmacıların araştırma karşısındaki tutumlarının, Türlerin Kökeni (1) nin yayınlanmasından bu yana temelli bir değişiklik geçirdiğini söylemek bir abartma sayılmaz. Bu sadece biyolojik araştırmalar için değil, bir dereceye kadar, fiziksel bilimlerin alanı için de doğrudur. Önceleri, ayrı olayların incelenmesiyle yetinen ve bunlar arasındaki ilişkilere az önem veren araştırmacılar zamanla sorunu daha geniş bir açıdan ele almak zorunluluğunu hissetmişlerdir".

Elli yıl sonra, burada gözönüne alınacak olan 1958 - 78 döneminin başlangıcında Astrofizikteki

araştırmalar, gök cisimlerinin milyonlarca ve milyarlarca yıl süren evrimi problemlerinin çözümüne ve bu tür cisimlerin bugün artık gözlenebilen özelliklerinin bulunmasına ilişkin amaç ve hedefine gerçekten yönelmiş bulunmaktadır.

G. E. Hale'nin kitabının yayımlandığı yıllarda, yıldızların özelliklerine ilişkin olarak bu dönemde elde edilen bulguların biraraya getirilmesi ile, yıldızların evrimi üzerindeki araştırmalarda önemli ilerlemeler kaydedilmişti. Bunu izleyen yirmi yıl içerisinde E. Hertzsprung, H. N. Russell ve A. S. Eddington'un çalışmaları ile bu konuda büyük gelişmeler olmuştur. Yıldızların evrimi problemlerini anlamaya çalışan astrofizikçilerin durumu, verilen bir dönemde, bir ormanda çalışan ve gözlediği delil ve tanıları biraraya getirerek büyüme ve gelişmenin açıklanmasını

yapmayı amaçlayan bir botanikçinin durumuna benzetilebilir.

Elli yıl sonra, yıldızların evrimi ile ilgilenen astrofizikçiler bugün daha etkin ve güçlü araçlara sahiptir. Bu işi artık hesap yoluyla, yıldızların iç kısımlarında zamanla ortaya çıkan kimyasal ve fiziksel değişikliklerin saptanması ile ve bu tür değişikliklerin tüm yapıda ve yıldızın gözlenen görüntüsünde ortaya çıkaracağı sonuçların araştırılması yolu ile izlemek mümkün olmaktadır. Galaksimizdeki yıldızlararası maddenin özellikleri optik ve radyoastronomi teknikleri kullanılarak ortaya çıkarılmış ve yıldızlar ile yıldızlararası maddenin karşılıklı etkileri incelenmiştir. Bizim galaksimiz ile komşu galaksilerin yapısı ve evrimi üzerinde de araştırmalar yapılmıştır.

Aşağıdaki bölümlerde 1958 - 78 döneminde Astrofiziğin bazı alanlarındaki ilerlemeler göz önüne alınacaktır. Bunlar arasında galaksimizin astrofiziği ve onun temel bileşenleri olan yıldızlar ile yıldızlararası madde üzerinde önemle durulacak ve güneş sistemi kısaca ele alındıktan sonra galaksi dışındaki Astrofizik ana hatları ile açıklanacaktır.

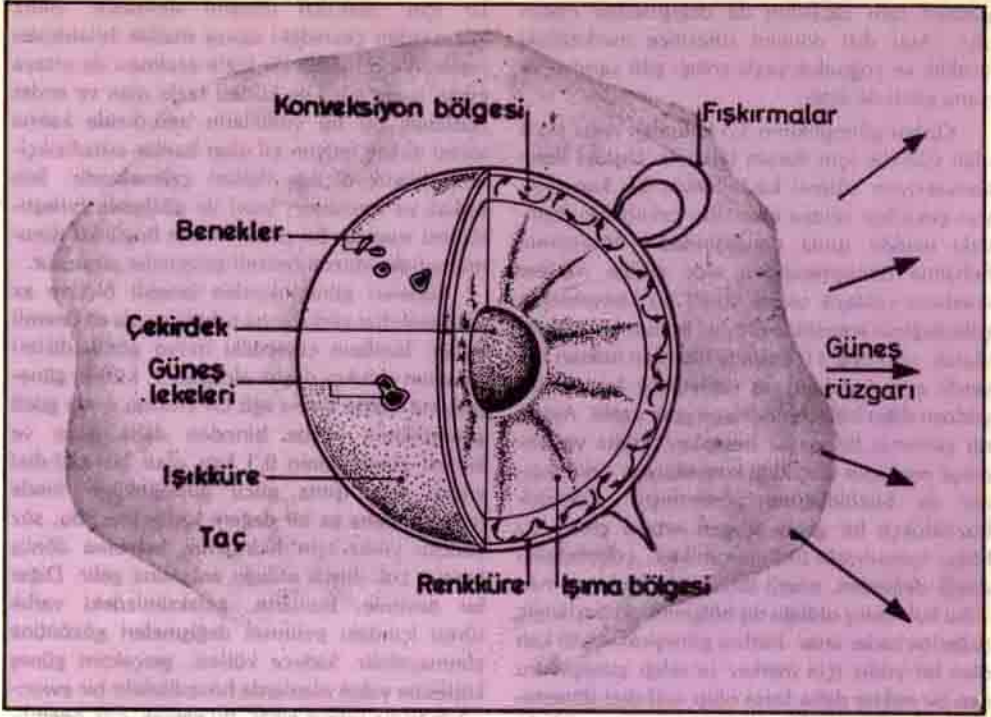
2. Yıldızların Yapısı ve Evrimi

Yoğun, parlak ve erken-tip yıldızlar bir saniyede çevrelerindeki uzaya o kadar çok enerji yayarlar ki, parlak bir yıldız olarak bunların ömürlerinin 100 milyon yıldan daha az olacağı sonucu kesinlikle söylenebilir. Bu sonuca yıldızın ürettiği işe yarar nükleer enerji ile bir saniyede yaydığı enerjiyi karşılaştırarak kolayca varabiliriz. Öte yandan galaksimizin yaşı, içinde yer alan en eski yıldızın yaşından elde edilen sonuca göre 10 milyar yıl kadar olup galaksimizdeki genel koşullar son 100 milyon yılda çok az değişikliğe uğramıştır. Buna göre yoğun, parlak erken-tip yıldızların, galaksimizin yıldızlararası maddesinin dışında şu anda gözlenen koşulların ve özelliklerin geçerli olduğu bir dönemde oluştuğu sonucuna varılabilir.

Bazı galaksi kümelerinde parlak, yoğun ve erken-tip yıldızların, daha az yoğun ve daha az parlak olan geç dönem yıldızlar arasında yer aldığı gözlenmiştir. Bir kümede yer alan yıldızların yaşlarının yaklaşık olarak aynı olmasından hareketle, bugün gözlenen koşullar altında yıldızlararası madde dışında oluşan yıldızların, kütleleri güneşinkinin 50 katı ile 0,1 katı arasında ve olasılıkla 0,01 güneş kütlesine kadar uzanan bütün aralığı kapsayacak kadar yaygın olduğu sonucu çıkarılabilir. Yıldızlararası madde dışında oluşan yıldızlara ilişkin sorunlara bölüm 3 ve 5'te yeniden dönülecektir.

Burada, sıkışmalarının erken dönemlerinden geçerek hidrostatığe benzer bir denge içine giren donuk, yıldızimsi kütlelerden oluşan gök cisimlerinin evrimini ele alacağız. Ayrıntılı araştırmalar, evrimlerinin bu dönemlerinde yıldızın sıcaklığının çok düşük olduğunu ve sezilebilir bir nükleer enerjinin ortaya çıkmadığını göstermiştir. Yıldızlar büzülür ve bu nedenle çekim enerjisi serbest kalır. Büzülmenin hızı, ortaya çıkan çekim enerjisine eşit miktarda enerjinin ışıma yolu ile çevreye aktarılmasını dengeleyecek büyüklüktedir. Yıldızın içerisindeki enerji iletimi konveksiyon akımları ile olur. Bu süreçte konveksiyon bölgesi, atmosferden başlayarak, her yönden merkeze doğru ilerler ve bunun sonunda iç bölgelerdeki yıldız maddesi tam olarak karışır, böylece, evrimin daha önceki sürecinden homojen olmayan bir dağılım gelse bile, sonunda kimyasal olarak homojen dağılmış bir yıldız elde edilir. Bu dönemde kütlesi güneşinkine eşit bir yıldızın yüzey sıcaklığı yaklaşık 3000°'dir. Hidrostatığe benzer bir büzülmenin başlangıcında ışıma gücü, güneşin şu andaki ışıma gücünden 100 kat fazladır, böyle bir yıldız kırmızı dev adını alır. Oldukça kısa bir süre, yaklaşık, 1 milyon yıl içerisinde bu güç şimdiki güneşin ışıma gücünün birkaç katı düzeyine inerken yüzey sıcaklığı, güneşinkinden çok farklı olmayan, 5000°'ye kadar artar. Yaklaşık 30 milyon yıl sonra merkez bölgesinin sıcaklığı birkaç milyon dereceye yükselir, bu ise nükleer enerjinin ortaya çıkması için yeterlidir. Bu durumda yıldız iç yapısını, ışıma yolu ile kaybettiği enerjiyi merkez bölgesindeki hidrojenin helyuma dönüşmesi ile ortaya çıkacak nükleer enerjiden tam olarak karşılayacak şekilde, yeniden düzenler. Burada artık çekim büzülmesi söz konusu değildir. Yıldız, böylece evriminin asırlarca sürecek olan kararlı bir durumuna, yani asal-dizi adı verilen döneme girer. Yeniden düzenleme dönemi bir 30 milyon yıl daha sürer. Asal dizi döneminden önceki dönem süresi, asal dizide geçireceği sürenin yüzde birinden daha azdır.

Kütlesi güneşinkinden daha fazla olan yıldızların büzülme sürecinde geçireceği evrim, benzer bir modeli izler. Bununla birlikte kütlesi güneşinkinin dört katı olan bir yıldızın büzülme süresi 10 kat daha kısadır. Diğer yandan kütlesi güneşinkinin 0,1 katı olan bir yıldızın büzülme süresi ise güneşin büzülme süresinin 10 katı kadardır, fakat bu süre asal dizide kalma süresinden hâlâ çok kısadır. Kütlesi güneşinkinin 0,07 katından daha az olan yıldızların merkez sıcaklığı, nükleer tepkimelerin oluşturduğu belirgin bir enerji boşalması sağlayacak yeterli düzeye ulaşamadı-



Resim: Örnek bir yıldız olarak güneşin iç yapısını ve çeşitli bölgelerini gösteren şematik resim.

ğından yıldızın uzaya gönderdiği ışınımın hızı da çok düşük kalır ve bu nedenle yıldız büzülmesini çok yavaş olarak sürdürür.

Şimdi yıldız evriminin, önemli olan asal dizi dönemine dönelim. 1958'lerde asal-dizi yıldızlarının yapısal ve evrimlerine ilişkin problemler iyice anlaşılmış olup bunu izleyen on yılda, yıldızların içerisinde yer alan maddenin fiziksel özelliklerinin daha iyi incelenmesi ve seçilmiş birkaç yıldız kütlesi için evren dizilerinin bilgisayarlar kullanılarak bütün ayrıntıları ile hesaplanması sonunda, bu dönem içerisinde evren ve iç yapının nicelik bakımından tanımlanması mümkün olmuştur.

Kütlesi, yaklaşık güneşinki kadar olan yıldızların bir dış konveksiyon bölgeleri vardır. Bu bölgenin derinliği atmosferin en dibinden başlayarak güneş yarıçapının ondabirine eşit bir değere kadar iner. Bu bölgenin içindeki madde ışına bakımından dengededir yani, enerji iletimi fotonlar yardımıyla olmakta ve bir sıcaklık artışı ile birlikte bir ışına şebeke akışı dışarı doğru taşınmaktadır. Şimdiki güneşte yoğunluk 100 gram cm^3 mertebesinde olup merkez sıcaklığı ise 15 milyon derecedir. Madde, şiddetli iyonize olmuş bir plazma şeklinde olup bu plazma,

yoğunluğunun fazlalığı nedeniyle tam gaz'a benzer bir davranış gösterir. Enerji, hidrojenin helyuma dönüşümü ile üretilir. Bu, pratik olarak, yarıçapı güneşinkinin beşte biri olan bir merkezsel küre içerisinde sınırlanmıştır. Enerjinin üretildiği bu çekirdeğin dışında sıcaklık 7 milyon derecenin altında olup bu değer belirli bir nükleer enerji boşalmasını sağlamak için gerekli nükleer tepkime hızını veremeyecek kadar düşüktür.

Asal-dizi dönemi süresince enerjinin üretildiği merkez bölgesindeki hidrojen miktarı azalırken, buna karşılık helyum miktarında bir artma görülür. Bu bölgede konveksiyon nedeniyle bir madde karışması olmadığından, bağıl hidrojen ve helyum miktarlarında konveksiyonun sebep olduğu bir değişiklik söz konusu olmaz yani, kimyasal bileşiminde bağıl hidrojen miktarının merkezde en az olduğu bir değişiklik ortaya çıkar. Güneş evriminin bugünkü dönemine karşılık yaşı $4,5 \times 10^9$ yıldır. Dış kısımlarındaki hidrojen miktarı, pratik olarak ilk değeriye eşit olup tüm kütesinin yüzde 70'inden biraz fazladır. Buna karşılık merkezde ise hidrojen miktarı ilk değerinin yarısına düşmüş, helyum miktarı ise artmıştır. Hidrojen ve helyum miktarlarındaki değişiklikler

güneşin tüm yapısının da değişmesine neden olur. Asal dizi dönemi süresince merkezdeki sıcaklık ve yoğunluk yaşla arttığı gibi yarıçap ve ışımaya gücü de artar.

Kütlesi güneşinkinin 1,5 katından daha fazla olan yıldızlar için durum farklıdır. Dıştaki derin konveksiyon bölgesi kaybolurken bir konveksiyon çekirdeği ortaya çıkar. Bu çekirdeğin dışındaki madde ışıma dengesindedir. Hidrojenin helyuma dönüştürülmesinde elde edilen nükleer enerjinin yaklaşık olarak tümü bu konveksiyon çekirdeğinin içerisinde oluşur. Bunun bir sonucu olarak, çekirdeğin içerisinde hidrojen miktarı her yerde aynı kalırken yaş ilerledikçe bu miktar, yıldızın diğer bölgelerine göre azalır. Ayrıntılı yardımcı bilgisayar hesapları, yıldız yaşlandıkça enerjinin üretildiği konveksiyon çekirdeğinin de büyüdüğünü göstermiştir. Çekirdek büyüdüğü bir geçiş bölgesi ortaya çıkar. Bu bölge içerisindeki hidrojen miktarı çekirdekteki düşük değerden, enerji üretiminin hiçbir zaman vuku bulmamış olduğu dış bölgelerdeki başlangıç değerine kadar artar. Kütlesi güneşinkinin 10 katı olan bir yıldız için merkez sıcaklığı güneşinkinden bir miktar daha fazla olup asal-dizi döneminin başlangıcında 30 milyon derece civarındadır ve bu yıldızın yaşı ile bir ölçüde artar. Öte yandan merkezdeki yoğunluk güneşinkine göre bir merteye düşüktür ve asal-dizi dönemi süresince yaşlanma ile birlikte hafifçe artar. Hidrojenin helyuma dönüştürülmesiyle elde edilen enerji üretiminin hızı, sıcaklıkla, çok şiddetli olarak artar ve bu özellik, söz konusu durumda enerji üretiminin 10.000 kat artması için sıcaklığın iki misline çıkmasının (15 milyondan 30 milyon dereceye) niçin yeterli olduğunu açıklar. Asal-dizi dönemi süresince ve ilgili tüm kütle dağılımı için merkez bölgesinde üretilen toplam enerji, yıldızın ışımaya gücüne yani, yıldızın çevresindeki uzaya birim zamanda gönderdiği ışımaya enerjisine eşittir. Kütlesi daha fazla olan yıldızlarda bu ışımaya gücü de daha yüksek olacağından —bu, yaklaşık olarak kütle dördüncü kuvveti ile orantılıdır— hidrojenin helyuma dönüşme hızı daha da artar, bu ise, kütleli fazla olan bir yıldız için asal-dizide kalma süresinin güneştipindeki bir yıldızinkine göre çok daha kısa olacağı anlamına gelir.

Kütlesi, güneşinkinin 10 - 15 katı olan yıldızlar için evrim ve yapı problemleri çok daha karmaşık olmakta, özellikle konveksiyon çekirdeği ile başlangıçtaki kimyasal bileşimin değişmediği dış tabaka arasındaki geçiş bölgesi açısından bir zorluk ortaya çıkmaktadır. Bundan başka kütleli güneşinkinin 20 katı veya daha fazla olan yıldız-

lar için, asal-dizi dönemi süresince, yıldız yüzeyinden çevredeki uzaya madde fırlatılması nedeni ile hissedilir bir kütle azalması da ortaya çıkar. Işıma gücü ve kütlesi fazla olan ve ender rastlanan bu tip yıldızların asal-dizide kalma süresi birkaç milyon yıl olup bunlar astrofizikçilerin büyük ölçüde ilgisini çekmektedir. Son birkaç yıl içerisinde, teori ile gözlemin birleştirilmesi sonucu, bu problemlerin bugünkü durumuna bakışımızda önemli gelişmeler olmuştur.

Kütleleri güneşinkinden önemli ölçüde az olan asal-dizi yıldızlarına baktığımızda en önemli bulgu, bunların çevredeki uzaya gönderdikleri ışımaya gücünün düşük olduğudur. Kütlesi güneşinkinin dörtte birine eşit bir yıldızın ışımaya gücü güneşinkinin yüzde birinden daha azdır ve kütlesi güneşinkinin 0,1 katı olan bir asal-dizi yıldız için ışımaya gücü güneşinkinin binde birinden daha az bir değere kadar iner. Bu, söz konusu yıldız için hidrojenin helyuma dönüş hızının çok düşük olduğu anlamına gelir. Diğer bir deyimle, bunların, galaksimizdeki varlık süresi içindeki evrimsel değişimleri gözönüne alınmayabilir. Sadece kütleli, gerçekleşen güneş kütlelerine yakın olanlarda hissedilebilir bir evrimsel değişim ortaya çıkar. Bu gerçek, çok önemlidir çünkü, asal-dizi yıldızlarının çoğunluğu güneşinkinden oldukça küçük kütlelere sahiptir. Bu husus, bu bölümün içerisinde tekrar incelenecektir.

Kütlesi güneşinkinin 0,7 katından daha fazla olup asal-dizide yer alan tüm yıldızlarda, galaksimizin yaşına (10 - 15 × 10⁹ yıl) eşit bir dönem süresi boyunca, yıldız içerisinde enerji üretimi için sıcaklığın yeterli olduğu ve nükleer tepkimelerin yer aldığı kısımlarda, bağlı hidrojen miktarı sürekli olarak azalır. Bütün bu yıldızlar, bu dönem süresince, öyle bir noktaya erişeceklerdir ki, yeter ölçüde sıcak ve kullanılabilir durumda olan nükleer yakıt bitmiş olacaktır. Kütleli fazla olmanın sürecin daha hızlı olmasını gerektirir: kütleli güneşinkinin 2 katından fazla olanlar için bu süre 1 milyar yıl, 5 katından fazla olanlar için 100 milyon yıl ve 10 katından fazla olanlar için 20 milyon yıl içerisinde olur.

Bunun ortaya çıktığı dönem, yıldızın evriminde kritik bir noktayı işaretleyecektir. Bu, asal-dizi döneminin sonudur. İç yapıda şiddetli değişiklikler ortaya çıkar ve yıldız yavaş yavaş ışımaya gücü fazla, yüzey sıcaklığı nispeten düşük ve yarıçapı büyük olan bir kırmızı dev haline alır.

(1) C. Darwin'in tanınmış eseri (Türkçesi, Onur Yayınları), Çevirenin notu.

Çeviren: Prof. Dr. Sacit TAMEROĞLU
(Devamu Gelecek Sayıda)