

Kırmızı Devler, Beyaz Cüceler

Yıldızlar evrende anahtar bir rol oynar; enerji açığa çıkarır ve bir çok element üretirler. Onları da birer canlı varlık olarak düşünecek olursak, yıldızlar da bizim gibi yaşar ve ölürlür.

KISA yaz gecelerinde güney yönünde görünen Antares'in yakınlarındayız. Kırmızı renkli Antares, 400 milyon km'yi aşan çapıyla dev bir yıldız. Bu devasa büyüklüğü nedeniyle ortalama yoğunluğu çok düşük. Eski bir bombardıman uçağının pervanesi olanca gücüyle dönüp dursa dahî, yüzünüze hiçbir esinti vurmaz.

Yıldızın üzerinde, güneştekilere benzer bir takım koyu lekeler var. Dolayısıyla zaman zaman yıldızın üzerinde bu bölgelerde plazma fırtınaları oluyor. Antares'in yüzeyinden binlerce km yukarıya yükselen sıcak madde, bir süre sonra tekrar yıldızın üzerine düşüyor.

Bugün bir kırmızı dev olan Antares'le güneşimiz aynı kaderi paylaşıyorlar. "G" grubu bir yıldız olan güneşimiz de yaklaşık 5 milyar yıl sonra bir kırmızı deve, ardından da beyaz cüceye dönüşecek...

Dünyamız bazı bakımlardan eşsizdir. Üzerinde hayat olan tek gezegen olmadığını düşünsek de, evrimin gelişigüzelliği nedeniyle, üzerinde insan yaşayan tek gezegen olduğu için bir benzeri yoktur. Geçmişte yerküreye daha da özel bir anlam yükleniyor ve dünya gibi kutsal bir gezegenin başkaca bir statüde olması düşün-

cesi akıldan bile geçirilemiyordu. Bu yüzden Kopernik, dünyamızın güneşin çevresinde dönen bir gezegen olduğunu gösteren güneş sistemi teorisine ait el yazması kopyaları 1505'te gizlice yayınlamak zorunda kaldı.

Güneşin evrenin merkezi olduğu düşüncesine sarılan insanlar, bu kez de güneş sistemimizin muhteşemliğiyle avunmak istediler. Ancak kısa süre içinde, güneşin de çok özel bir yıldız olmadığı çıktı ortaya. 1572'de, astronominin temellerinin atılmakta olduğu zamanlarda görülen bir nova, insanlara acı gelen bu gerçeğin habercilerinden biriydi. Bunun bir göz yanılması olduğu da düşünülemezdi; çünkü otuz iki yıl içinde iki nova patlaması daha dünyadan çıplak gözle gözlenmişti (1596 ve 1604 yıllarında).

Yıldızların belirleyici özelliklerini tanımlamaya yönelik çalışmaların yer aldığı süreç içinde bilimadamları, zaman zaman akıllara durgunluk veren şeylerle karşılaştılar. Güneşimizin bazı diğer yıldızlara kıyasla oldukça küçük bir yıldız olduğu gerçeğini kabullenmek birçoğuna zor geldi. Yıldız ömrü konusuna girdiklerinde ise söz konusu rakamları algılamakta güçlük çektiler.

Her ne kadar apayrı kavramlar gibi görünse de, yıldızlar da biz insanlar gibi doğmakta ve



ölmekteydiler. Üstelik güneşimiz için bu iki eşik arasında geçecek olan süre, yıldızlar açısından pek öyle uzun bile değildir. Yaklaşık beş milyar yıl sonra güneş şişmeye, zonklamaya başlayacak ve bir Kırmızı Dev'e dönüşecektir.

Kırmızı Devler

Gökyüzünde iki tür kırmızı yıldız vardır. Bunlardan bazıları çok sönük (kırmızı cüce), diğerleri ise çok parlaktır (kırmızı dev). Kırmızı cücenin yüzeyi nisbeten soğuk olduğundan, rengi kırmızıdır; oysa güneşimiz, renginin beyaz olmasına neden olan bir sıcaklığa sahiptir (yaklaşık 5800 K). Kırmızı cüccelerin yüzey sıcaklıkları 2000 K civarındadır; dolayısıyla da yüzey birimi başına nisbeten az ışık yaymaları beklenir. Sönük yıldız sayıldıkları için de pek ilginç bir yanırları yoktur. Bu noktada çok daha parlak olan kırmızı yıldızları nasıl açıklayabiliriz?

Soğuk bir yıldızın parlak olabilmesi için yüzeyinin çok geniş olması ve kütesinin de bizim güneşimizden büyük olması gerekir. Parlak kırmızı yıldızların çapı muhtemelen güneşimizin çapının yüzlerce katı kadardır

ve bunlara Kırmızı Devler adı verilir. İkizlerevi olarak bilinen Betelgeuse ve Akrep Yüreği olarak bilinen Antares, kırmızı devlere iki örnektir. Peki kırmızı bir dev nasıl oluşur?

Milyonlarca hatta milyarlarca yıllık bir süreç içinde, yıldızın merkezindeki hidrojen ağır ağır tüketilir ve füzyon tepkimesi sonucu hidrojen, kendisinden daha yoğun olan helyuma dönüşerek yıldızın merkezinde toplanır. Merkezde oluşan helyum küresinin çevresindeki kabukta hidrojen füzyonu olayı sürmektedir. Ancak asıl önemli olan merkezdeki helyum küresidir.

Yıldızın merkezindeki helyum yoğunlaştıkça, helyum küresi katarlı biçimde daha da küçülür, yoğunlaşır ve sıcaklığı artar. Sonunda yeterli ısı ve basınç oluşur ve bu etkiler "helyum füzyonu"nu başlatır. Helyum çekirdekleri birleşerek bu kez daha karmaşık kar-

bon, azot ve oksijen çekirdeklerini oluştururlar.

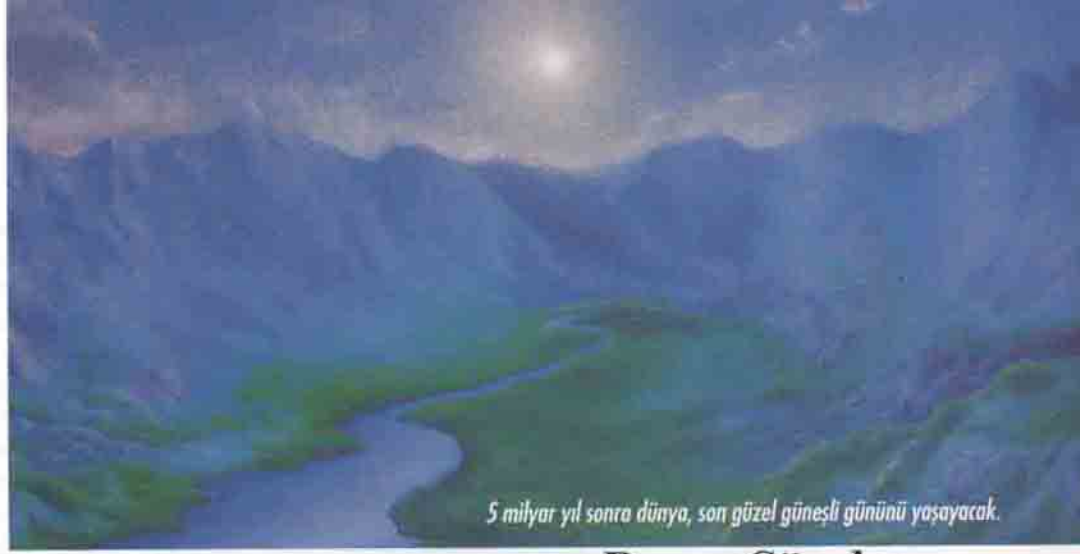
Bu işlem sırasında yıldızın iç sıcaklığı oldukça artar ve dış katmanlar genişlemeye başlar. Dış tabakalar genişledikçe yıldız soğur ancak yüzeyin büyük oranda genişlemesi, bu sıcaklık azalmasını telafi eder. Eğer yıldızın çapı 100 katı artarsa yüzey alanı 100 x 100 ya da 10.000 kez artmış olur. Bu nedenle böyle bir yıldızın soğuk yüzeyli olmasına karşın ışınlı, normal bir yıldızın yaydığından daha fazladır.

Yıldızın Ölümü

Helyum füzyonunda, toplam olarak hidrojen füzyonundan daha fazla enerji ortaya çıkar. Bu nedenle helyumun yanıp tükenmesi, hidrojenin tükenmesinden daha az sürede olur. Helyum füzyonu sonunda ortaya çıkan ürünler, daha başka füzyon işlemlerine yol açar; ancak helyum füzyonundan ortaya çıkan enerji, hidrojen füzyonundakinin yaklaşık yirmide biri kadardır. Buna karşın kırmızı dev, çok büyük miktarda enerji yaymayı sürdürür. Bir yıldızın yaşam süresi açısından bu, kırmızı dev formuna geçiş aşamasının çok uzun olmaması anlamına gelir. İnsan ömrü açısından düşündüğümüzde bu süre, bir iki milyon yıl kadardır. Bu nedenle gökyüzünde görülebilen kırmızı devlerin sayısı çok azdır. Gökadadaki yıldızlardan yalnızca yüzde 1'i kırmızı devdir. Bundan bir çıkarım yapacak olursak, gökadedada yalnızca 2.5 milyar kırmızı devin bu-

Bir süpernova patlaması sonucu oluşan Helix Bulutsusu... Ortadaki yıldız bir boyaz cücedir.





5 milyar yıl sonra dünya, son güzel güneşli gününü yaşayacak.

İlindiği sonucuna varırız. Bu arada şunu da belirtmek yararlı olacaktır: Bizimle gözlenen yıldız arasında 1 mikron çapında parçacıklardan oluşan toz bulutları olmasaydı çok uzaktaki kırmızı devleri görmek daha kolay olurdu; oysa biz yalnızca gökadamın bizim tarafımızda kalanlarından bir bölümünü görebilmekteyiz. Çoğu yıldız ise ya henüz kırmızı dev olma aşamasına erişmemiş ya da bu aşamanın ötesine geçmiş bulunmaktadır.

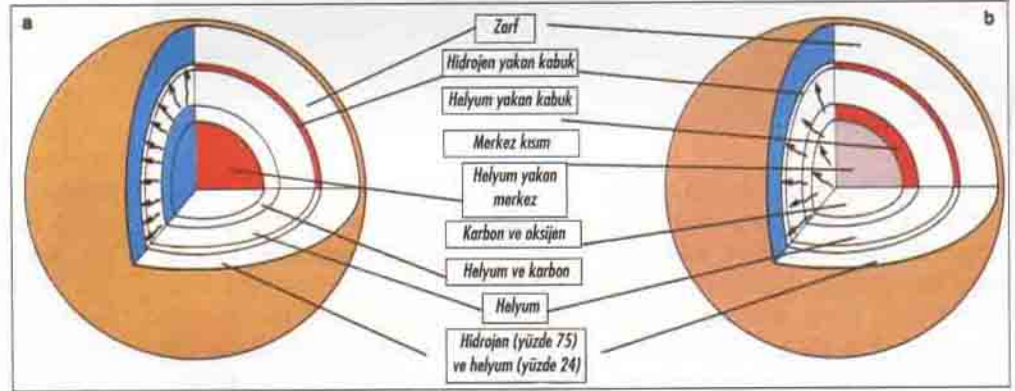
Sonunda ne olursa olsun nükleer ateş söner ve yıldız kendi çekimi karşısında genişlemiş durumda tutan basınç azalır. Bu durumda yıldız 1 saniye gibi kısa bir süre içinde çöker. Çökme sonucu iç kısımda oluşan şok dalgası, yıldızın yüzeyine doğru ilerler ve dış katmanların uzaya dağılmasına neden olur. Bu patlama sonucu 10^{52} erg kadar bir enerji açığa çıkar (süpernova patlaması). Çöken yıldızın çevresini genişleyen küre şeklinde gaz ve tozlar sarar. Bu aşamada yeryüzünden de görülebilen yıldız, kırmızı dev evresini tamamlamıştır ve başka bir evreye geçer.

Kırmızı dev evresinin ardından bir yıldızın evrimi, onun kaderini belirleyen temel unsura, yıldızın kütlesine bağlıdır.

Bu evrenin; yani kırmızı dev aşamasının ardından yıldız, kütlesine bağlı olarak, bir beyaz cüce, nötron yıldızı ya da kara delik haline gelecektir.

Beyaz Cüceler

Kütlesi, güneşin kütlesinin 1.4 (Chandrasekhar kütle limiti: Bu kütleden daha fazla kütlesi olan yıldızlar beyaz cüce olamazlar) katı kadar olan yıldızlarda, kırmızı dev evresinin hemen ardından elektronlar dejenerasyonu olmaya başlar (evrimi sırasında yıldız



Bir kırmızı devin içi. a) Başlangıçta enerjisi merkezdeki helyumun yanmasından ve daha dışarda hidrojenin yandığı bir kabuktan gelir. b) Daha sonra helyum, hareketsiz merkez kısmının çevresindeki bir kabukta yanar. Enerji, radyasyonla (oklarla gösterilen) ya da konveksiyonla (mavi renk ile gösterilen) aktarılır.

Kırmızı Dev Evresinin Sonu

Nilgün Kızıloğlu
ODTÜ Fizik Bölümü

Güneş ve benzer kütleyle sahip yıldızlar hidrojeni yakarak helyum oluşturduktan sonra kırmızı dev olurlar. Daha sonra helyumun yanarak karbona dönüşmesiyle yıldızın iç kısmı ısınır ve çökerken dış kısmı genişler. Sonunda, merkezi sıcaklık 600-700 milyon K'e ulaşır. Karbonun yanarak magnezyuma dönüşmesi, daha sonra oksijenin yanarak kükürt ve silikon oluşturmaya sonucu yıldızın iç sıcaklığı artar. Sıcaklık 3.5 milyar K olduğunda yıldızın merkezi kısmında demir oluşur. Demir reaksiyonlarının başlaması ile dış katmanlar mer-

keze doğru çökmeye başlar; çünkü demir reaksiyonları ortamdaki enerji emen reaksiyonlardır. Çökme sonucu yıldızın merkezi kısmı çok ısınır ve çökme durur. Basınç çok büyük olması, elektronların ve protonların birleşerek serbest nötronlar oluşturmasını sağlar. Bu arada nötrinolar da oluşur. Nötrinolar çökmekte olan katmanları iter ve şok dalgası meydana gelir. Dış katmanlar uzaya doğru itildikçe serbest olan nötronlar tekrar atom çekirdeğini oluşturur. Daha fazla sayıda nötron çekirdeğe yerleştikçe demirden daha ağır elementler teşkil eder. Kırmızı dev evresinin sonunda meydana gelen bu şiddetli patlama, "Süpernova patlaması"dır. Bu patlama sonunda yıldızın merkezi kısmı bir nötron yıldızı oluştururken, itilen dış katmanlar, bir süpernova kalıntısı teşkil eder.

Yazımızın konusu olan 5 milyar yıllık güneşimiz, bir 5 milyar yıl daha parlamaya devam edecek. Bu sürenin sonunda güneş, iç kısımdaki hidrojenin hepsini tüketecek ve takip eden 500 milyon yıl içinde dünyamızın sıcaklığı 800 K'e yükselecek. Okyanuslar kaynayacak, kurşun eriyecek ve yaşam duracak. Güneş, gökyüzünde şu andaki çapının 30 katı büyüklüğünde kırmızı bir küre olarak görünecek. Bu, güneşimizin kırmızı dev evresidir. Daha sonra güneşin çapı küçüldükçe ışınımı azalacak ve dünyamızdaki su tekrar okyanusları oluşturacak ve sonra donacak. Güneş sonuçta, çapı dünyanın çapına eşdeğer bir beyaz cüce olacak. Parlaklığı ise şimdiki parlaklığının 1/1000 değerine düşecek. Dünyanın sıcaklığı ise Neptün gezegeninin şu andaki sıcaklığına eşdeğer olacak.



Güneşimizin ölümü. Sonunda güneş, bir kırmızı dev halini alacak.

kütle kaybına uğrarsa, yıldızın orijinal kütlesi bu kritik değerden çok daha büyük olabilir). Dejenerasyon basıncını sağlayan elektronları ile birlikte yıldız, bu denge durumunda sonsuza dek varlığını sürdürebilir. Yıldız soğusa bile bu dejenerasyon basıncının sağladığı destek sabit kalır. Böyle bir yıldızın yarıçapı kabaca yeryüzününkine eşdeğerdir. Boyutlarının bunca küçük olması ise, böyle cüce bir yıldızın içindeki maddenin yoğunluğunun inanılmaz derecede büyük olması anlamına gelir. Bu yoğunluk, sıradan katı ve sıvıların yoğunluğunun yaklaşık bir milyon katı kadardır. Yeryüzü üzerinde tartıldığında bu maddenin bir çay kaşığı kadarının 1 ton geleceği söylenebilir.

Bir zamanlar kırmızı devin merkezini oluşturan bu yıldız, gözle görülür bir ışık kaynağı oluşturacak sıcaklığa sahip olduğundan "beyaz cüce" olarak adlandırılır. İç kısmında hiç enerji üretimi olmadığı için de ya-

vaş yavaş soğur ve sonunda bir "kara cüce"ye dönüşür. Beyaz cüceler, çaplarının daha küçük olması nedeniyle birçok yıldızdan daha az parlaklığa sahiptirler ancak yüzey sıcaklıkları onlarınkiyle benzerdir. Bir çiftyıldız olan Akyıldız (Sirius) yıldızının Akyıldız B bileşeni, beyaz cücelere bir örnektir.

Güneşin Geleceği

Güneşimiz yaşamına, olasılıkla, kendi çekimi altında çökmüş büyük bir gaz bulutu olarak başladı ve merkezinde nükleer füzyon tepkimeleri başladığında da çöküş durdu. 10 Milyar yıl boyunca hidrojenin helyuma çevrilme işlemi sürecek; bu süre sonunda merkezi hidrojen kaynağı tükenmiş olacak. İşte bu andan sonra güneş genişleyecek, soğuyacak ve bir kırmızı dev haline gelecek. Sonraki birkaç yüz milyon yıl içinde ise parlaklığı, bugünkünün 1000 katına ula-

şacak ve bu da yerküre-deki hayatın sonu olacak! Parlaklık artışının yanı sıra, yüzey sıcaklığı, bugünkü değeri olan 5800 K'den 3000 K'ye düşecek. Tüm bu süreçlerin sonucunda güneş artık sarı değil; koyu kırmızı renkli bir yıldız olacak. Yarıçapı, bugünkünün 100 katına ulaşacak olan

güneş, kendisinden 83 güneş çapı uzaklıkta, yörüngesi çevresinde dönmekte olan Merkür'ü de yutacak. 215 güneş çapı uzaklıkta olan yerküreye de, bu uzaklığın yarısı kadar daha yaklaşacak. Hiç şüphe yok ki bu, görülmeye değer bir manzara olacaktır.

Bu ilk genişleme süreci içerisinde güneşimiz, kütlesinin yaklaşık yüzde 20'sini kaybedecek ve bu evre, merkezdeki bir helyum parlaması ile son bulacak. Güneşin parlaklığı, mevcut enerji üretiminin 80 katı kadar altına düşmesi nedeniyle azalacak. Bu noktadan sonraki 150 milyon yıl süresince, hidrojen yakan bir kabukla çevrili merkezi kısmın içerisinde helyumu karbona (ve oksijene) dönüştürecek.

Merkezi helyum kaynağı tükenildiği anda güneşimiz, tekrar genişlemeye başlayacak. Sürmekte olan yüzey kütle kaybı, içeride kalan karbonun büyük bir kısmı dışarıya ulaşmadan önce son bulacak. Yaşamının sonlarına iyice yaklaştığında güneş, zonklamaya başlayacak; parlaklığı ve yarıçapında sürekli artıp azalmalar söz konusu olacak. Yıldızın iç kısmı çökerken dış katmanlar genişleyecek ve dış zarf çok geniş olacak. Böylece ortasında beyaz cüce olan bir gezegen bulutsusu oluşacak. Beyaz cüceden gelen UV ve X-ışını radyasyonu beyaz cüceyi çevreleyen halkanın (dış zarf) parlamasına neden olacak. Bu halka, 10-50 km/s hızla genişleyerek 20 000 yıl kadar sonra uzayda dağılarak kaybolduğunda, kütlesi güneşin kütlesinin 1/10'u kadar olan bulutsunun parlaması da son bulmuş olacaktır.

Miyase Göktepeli

Kaynaklar:
Asimov Isaac, Patlayan Güneşler (Üstnovaların taşıdığı gizler), İstanbul, 1989.
Fath, Edward A., Elements of Astronomy, 1975.
NASA, Our Prodigal Sun, 1982.
Zelik Michael, Astronomy, 1986.

Samanyolu'nun yıldız oluşum bölgeleri. Karanlık bölgeler, yıldız evriminin ilk aşaması olan karanlık bulutsulardır.