

BEYAZ CÜCELER

Alp A k o ğ l u

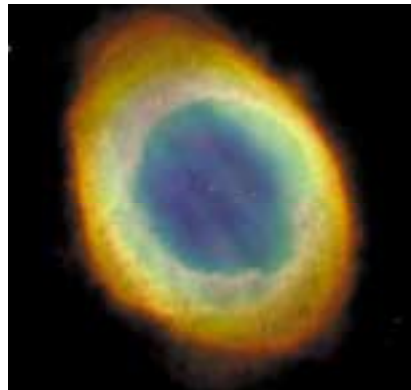
Bundan yaklaşık altı milyar yıl sonra, bir yaz günü gökyüzüne bakan biri, Güneş'i şimdi gördüğümüzden çok daha farklı görecek. Parlak ve göz alıcı Güneş'in yerinde, sönük ve eskisi gibi ısıtmayan bir beyaz cüce olacak. Doğal olarak Dünya'dan böyle bir olayı izlemek hayal olsa gerek; çünkü, bundan yaklaşık bir milyar yıl önce Güneş, yeryüzündeki tüm yaşamın silinmesine yol açacak olan kırmızı dev aşamasından geçecek.

Güneş'imizin sonuna daha milyarlarca yıl olabilir; ancak, şu anda gökadamızda sayısız denebilecek kadar çok beyaz cüce olduğu düşünülüyor. Sayıyı kesin olarak bilmek çok zor; çünkü, bu yıldız kalıntıları sönük olduklarından kolay kolay görülemiyorlar. Günümüzde bilinen beyaz cücelerin yarısından çoğu Güneş Sistemi'nden en fazla 75 ışık yılı uzaklıkta yer alıyor.

Bulunmaları zor olmakla birlikte, gökbilimciler bu ilginç yapılı ölü yıldızlara fazlaca ilgi gösteriyorlar. Bunda da haksız sayılmazlar. Çünkü, yıldızların % 98'i evrimlerinin son aşamasında beyaz cüceye dönüşüyorlar. Bu da neredeyse evrendeki tüm yıldızların ortak sonunun bir beyaz cüce olacağı anlamına geliyor. Bu yıldızların incelenmesiyle sadece beyaz cücelerin özellikleri değil, bir zamanlar dev birer nükleer reaktör olarak parlayan yıldızların geçmişi hakkında da bilgi edinilebileceği düşünülüyor. Bunu, antropologların, eski insanların fosillerine bakarak evrimin hangi aşamasında olduklarını ve ne gibi özelliklerinin bulunduğunu anlamalarına benzetmek mümkün. Beyaz cüceler, ilkel yıldızların özellikleri

ni anlatmakla kalmayıp, yıldız fizikçilerinin Dünya'daki laboratuvarlarda elde edemeyecekleri kadar yüksek basınç ve sıcaklıklar altında maddenin nasıl davrandığını inceleyebildikleri doğal birer laboratuvar olma özelliği de taşıyorlar.

Bir beyaz cüceyi gören ilk kişi, İngiliz gökbilimci William Herschel oldu. 31 Ocak 1783 tarihinde telesko-



Ölmekte olan Güneş benzeri bir yıldız, muhteşem bir gösteri sunar. Bir gezegenimsi bulutsu olarak dış katmanlarını uzaya savuran yıldızdan geriye sönük bir beyaz cüce kalır. Küçük bir teleskopla bile gözlenebilen yüzük bulutsusu (M57) yıldızımız Güneş'in geleceğine güzel bir örnek. Bulutsunun merkezinde yer alan beyaz nokta, yıldızdan geriye kalan beyaz cücedir.

puyla gözlem yapan Herschel, bir ikili yıldız olan 40 Eri B adlı yıldızı inceliyordu. Herschel, bu yıldızı sönük, koyu renkli ilginç bir yıldız olarak tanımlamıştı. Herschel'in yıldızı, o tarihten 127 yıl sonrasına değin ilgi çekmedi. 1910 yılında, tayföçerli gözlemler 40 Eri B'nin sıcaklığının Güneş'in sıcaklığından daha yüksek olduğunu ortaya koydu. O sıralar, bunun gibi iki yıldız daha gözlemlendi. Ancak, bu yıldızlarla ilgili alışıldık olmayan şey, bu kadar sönük olmak için Dünya'ya fazla yakın olmalarıydı. Yani, bu gök cisimleri, normal bir yıldız büyüklüğünde olsalardı, çok daha parlak görünmeleri gerekirdi. 1914 yılına gelindiğinde, olayın gizemi çözülmüştü. Bu gök cisimleri bu kadar sönük durduklarına göre, bir yıldızın oranla çok daha küçük, yaklaşık Dünya büyüklüğünde, yani Güneş'in çapının 100'de biri çapa sahip olmalıydılar. Böylece, bu gök cisimlerine beyaz cüce adı yakıştırıldı.

O zamanlar, beyaz cüceler gerçek birer bilmeceydi. Güneş büyüklüğündeki bir yıldızın hacmini Dünya'nın hacmine indirgeyince, ortaya inanılması güç yoğunluklar çıkıyordu. Bu yoğunluktaki bir cisim kendi kütle çekimine

nasıl dayanabilirdi? Böyle bir gökcismini nasıl bir etki oluşturabilirdi? Günümüzde bu sorulara yanıt verebiliyoruz.

Bir yıldızın yaşamı süresince, yıldızın içerdiği madde birbirine zıt yönlü iki kuvvetin etkisi altındadır. Bunlardan birisi, maddeyi birbirine doğru çeken, yani yıldızı çökmeye zorlayan kütleçekimidir. Buna zıt yönlü olan kuvvetse, yıldızdaki nükleer tepkimelerin yan ürünü olarak ortaya çıkan yüksek sıcaklığın ısıttığı gazın basıncıdır. Bu iki kuvvet dengelendiğinde, yıldız kararlı bir şekilde parlamayı sürdürür.

Ne var ki, yıldızın nükleer yakıtı sınırlıdır. Yakılan hidrojen helyuma dönüşür. Ve hidrojen azalıp çekirdekteki helyum arttığında, çekirdeğin yoğunluğu da artar. Merkezdeki kütleçekiminin gaz basıncına baskın hale gelmesiyle de yıldızın çekirdeği çökmeye başlar. Basıncı iyice artan hidrojen yakan katman, çok hızlı bir yanma sürecine girer ve bu hızlı tepkimenin ortaya çıkardığı ışınım basıncı, yıldızın dış katmanlarının genişlemesine yol açar. Yıldız o kadar genişler ki, çapı eski çapının yüz katını geçer. Bu, kırmızı dev aşamasıdır. Genişleyen gaz soğuduğu için, sıcaklığı düşer ve kırmızı görünür. Buna karşılık, yüzey alanı da çok arttığından, yıldız eskisine oranla yaklaşık 1000 kat daha fazla ışıma yapar.

Bu arada sıkışan çekirdek, helyumun tepkimeye girerek karbon oluşturmaya başlamasına yol açar. Bu süreçte, yıldız hemen hemen eski büyüklüğüne döner. Karbon çekirdeğin üzerindeki katmanlar, ışınım basıncının etkisiyle genişlediğinde yıldız yeniden bir kırmızı dev olur. Çekirdek çöktüğünde bu sefer dış katmanların bir bölümü serbest kalır ve genişleyerek bir gezegenimsi bulutsu oluşturur. Artık nükleer yakıtı tükenmiş olan çekirdek iyice çökerek bir beyaz cüce halini alır.

Beyaz cüceler çok yoğun gökcisimleridir. Yıldızın artakalanının kütleçekimi, gaz basıncına baskın gelecek kadar güçlüdür. Yıldızın daha fazla çökmesini önleyen, elektronların "Pauli dışlama ilkesi" denen özelliğidir. Buna göre, iki elektron aynı kuantum durumunu paylaşamaz. Bir başka deyişle, bir beyaz cücenin kütleçekimi, elektron basıncı nedeniyle maddenin daha



Beyaz cüceler sıcak olmalarına karşın, küçüklükleri nedeniyle kolay gözlenemezler. Yaklaşık 7000 ışık yılı ötede yer alan M4 küresel kümesindeki beyaz cüceler, gökada düzlemi dışında yer aldıklarından optik teleskoplarla gözlenebiliyorlar.

fazla sıkışmasını engeller. Bu basınçta beyaz cücenin içindeki madde denge durumuna ulaşır. Bu, hiç de küçümse-necek bir basınç değildir. Bir beyaz cücenin yoğunluğu suyun yoğunluğunun yaklaşık bir milyon katıdır. Yeryüzündeki hiçbir madde bu kadar yoğun olamaz. Bir karşılaştırma yaparsak, yeryüzündeki en ağır element olan saf iridyumun yoğunluğu suyunkinin sadece 22,65'idir. Altıninki yaklaşık 19,3; demirinkiyse 7,9'dur.

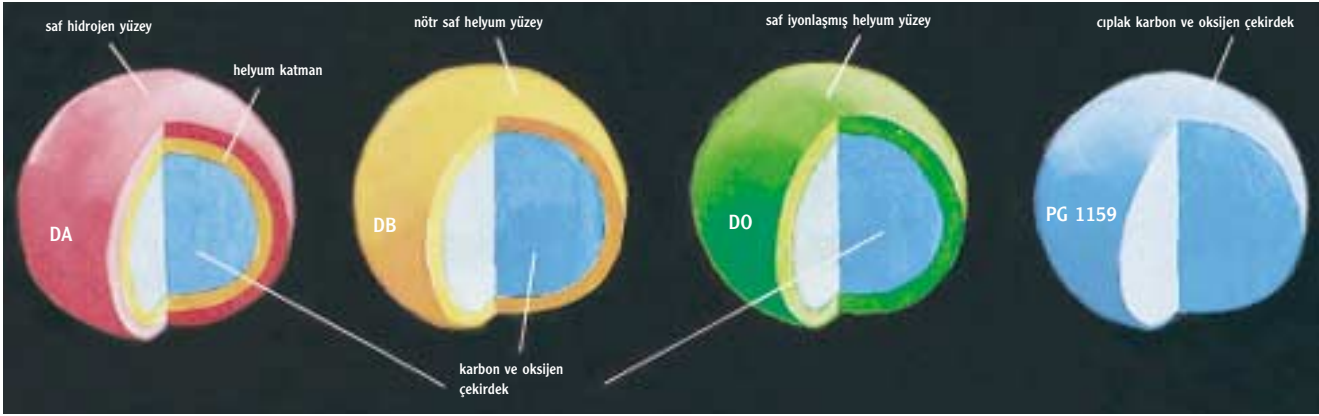
Tüm beyaz cüceler yapısı aynı olmamakla birlikte, genellikle üç katmandan oluşurlar. Bunlardan en içte olanında oksijen ve karbon, ortada ince bir katman halinde helyum ve dışta yine ince bir katman halinde hidrojen bulunur. Beyaz cüceler yapılarındaki farklılıklarsa, onların daha önceki aşamalarda birbirlerinden biraz farklı evrim süreçleri yaşadıklarını gösteriyor.

Beyaz cüceler hakkındaki bilgilerimiz, onların yaydıkları ışımaya dayanıyor. Peki, herhangi bir enerji kaynağı olmayan beyaz cüceler, nasıl bu kadar uzun süre sıcak kalabiliyor? 1952'de, gök fizikçisi Leon Mestel, bu enerjinin, yıldızın füzyon yaptığı zamanların mirası olduğunu göstermişti. Mestel'in modeli, ısıtılmış bir demir parçasının soğuk bir ortamda çevresine ısı yaymasını örnek alıyordu. Ancak, böyle bir demir parçası, herhangi bir yalıtkanla sarılmazsa çabucak soğuyacaktır. Eğer beyaz cüceler de bir yalıtkanla çevrili değillerse, gerçekte olduğundan çok daha çabuk soğumaları bekle-

nir. Ancak, durum böyle olmadığına göre, içlerindeki ısının uzaya yayılmasını yavaşlatan bir mekanizma olmalı. Beyaz cücenin dış katmanlarının yalıtkan işlevi gördüğü düşüncesinin hareket noktası da bu.

Mestel'in beyaz cücelerinin nasıl soğuduğuna ilişkin yaklaşımı mantıklıydı; ancak, bunun yanında hesaba katmadığı iki önemli nokta, beyaz cücelerinin davranışında karmaşıklığa yol açıyordu. Bunlardan birincisi, nötrino salması. Nötrinolar, çok küçük, neredeyse kütsüz denebilecek ve beyaz cücelerde çok miktarda oluşan parçacıklardır. Bir beyaz cüce uzaya nötrino salması yaptıkça onlarla birlikte bir miktar enerji yaymış olur. Gözlemler, bir beyaz cücenin ilk zamanlarında yaydığı ışıktan çok daha fazla nötrino yaydığını gösteriyor. Bu da Mestel'in öne sürdüğü ısı salmasından daha büyük miktarda enerjinin uzaya dağılması; yani gökcisminin onun sandığından çok daha hızlı soğuması gerektiği anlamına geliyor.

İkinci etkiyse kristalleşme. Bir beyaz cüce gibi tümüyle iyonlaşmış bir ortamda, eksi yüklü bir elektron bulutu ve artı yüklü çekirdekler birbirlerini nötrleştirirler. Ancak, beyaz cücenin biraz daha soğuduğu dönemde, yoğunluk artar ve yük dengesi bozulur. İyonlar arasındaki bağlar güçlendikçe, yıldızdaki madde dev bir kristalle dönüşmeye başlar. Bu durumda, ısı yıldızın içinden dışına doğru daha iyi bir şekilde iletilir ve beyaz cüce daha büyük bir hızla soğur.



Beyaz cüceler, çekirdeklerinin üzerindeki katmanlara göre sınıflandırılırlar. Bu katmanların bileşimi, tayföçerli gözlemlerle saptanabiliyor.

Bir cisim ne kadar sıcaksa, o kadar hızlı soğur; ancak soğudukça bu hız azalır. Bu durumda, gözlenen beyaz cücelerin çoğunun, tayfın daha soğuk bölgesinde olmaları beklenir. Çünkü, ömürlerinin çoğu, daha soğuk olarak geçer. Bu gerçekten de böyledir. Ancak, belli bir sıcaklığın altında, beyaz cücelerin sayısında ani bir düşüş görülür. Bunun nedeniyse, beyaz cücelerin daha fazla soğumak için yeterli zamanlarının olmayışdır. Yani, gökadamızdaki ilk yıldızların beyaz cüce olduktan sonra, ancak bu kadar soğuyabildikleri görülüyor. Bundan yola çıkarak yapılan bazı hesaplamalarla gökadamızın yaşının $9,3 \pm 1,5$ milyar yıl olduğu ortaya çıkıyor.

Beyaz cüceler -ve öteki yıldızlar hakkında bildiklerimizin tümünü, ışıklarına bakarak öğreniyoruz. Bu ışık onların sadece kimyası hakkında bilgi sağlamakla kalmayıp, içlerinde meydana gelen sismik olaylar gibi başka olayları da anlatıyor. Pek çok yıldız, atma benzeri sismik etkinlik gösterir. Güneş de bunlardan biri. Gök fizikçileri, bu atmaları "dinleyerek" yıldızların içlerinde neler olup bittiğini anlayabilirler.

Beyaz cücelerin atmaları normal yıldızlarınkinden farklıdır. Beyaz cücenin içinde meydana gelen sıcaklık ve basınç değişimleri, yüzeyine de yansır. Bu da yıldızın ışığında değişimlere yol açar. Yıldızın parlaklık değişimleri, yeryüzünden ışıkölçerler yardımıyla saptanabilir. Bu ölçümler, yıldızın kütlesi, dönme hızı, soğuma ve çökme hızı, bileşimi ve manyetik alan kuvveti gibi önemli bilgileri sağlar. Yani, beyaz cücelerin ışık ölçümleri, onların herşeyini ortaya koyan bir fotoğraf gibidir.

Beyaz cücelerin atmaları, normal yıldızlarınkinden çok daha karmaşıktır ve bir döngünün tamamlanması haftalar, hatta aylar sürebilir. Beyaz cüceleri anlayabilmek için, döngünün tümünü izlemek gerekir. Kesintisiz gözlem yapabilmek için bir teleskop yeterli olmaz. Bu nedenle, dünyanın birçok yerinde bulunan gözlemevlerinde yürütülen gözlemlerin eşgüdümünde gerçekleştirilmesi gerekir. Bunun için oluşturulan bir gözlemevi ağı var. Çin, Hindistan, Polonya, Kanarya Adaları, Brezilya, Şili ve ABD'deki gözlemevlerinde, seçilen yıldızların gözlemleri sıralı ve kesintisiz bir şekilde gerçekleştiriliyor. Yeryüzündeki bir gözlem noktasında yıldız battığında, ya da gözlem koşulları uygun olmadığında, sıradaki gözlemevi gözlemi sürdürüyor. Bu teleskop ağına, WET (Whole Earth Telescope, Tüm Dünya Teleskopu) adı verilmiş. Elde edilen verilerse birleştirilerek araştırmacılara sunuluyor.

WET'in ilk başarısı, PG 1159-035 adlı yıldızın gözlemleri sonucu 1989'da elde edildi. Gözlem sayesinde, yıldızın kütlesi ve dönme hızı duyarlı bir şekilde saptanabildi. Sonuçların, kuramsal olarak ortaya atılanlarla çakıştığı görüldü. WET ekibinin yaptığı en ilginç gözlemlerden biriye, büyük kütleli bir beyaz cüce olan BPM 37093'e ait. Bu yıldız o kadar büyük ki, karbon ve oksijenden oluşan iç katmanının tümüyle kristal yapıda olduğu sanılıyor. Bu karbon, doğal olarak bildiğimiz karbondan ve el-mastan çok daha yoğun. Bir çay kaşığı kadarı yaklaşık 1 ton kütleyle sahip.

Beyaz cücelerin yapısının anlaşılması, karanlık madde sorununa da ışık tutacak gibi görünüyor. Gökbi-

limciler, gökadamızın görüldüğünden 10 kat daha fazla madde içerdiğini saptadılar. Bu görünmeyen gizemli madde, evrendeki maddenin % 90'dan fazlasını oluşturuyor. Bu maddenin yapısı bilinmiyor, ancak büyük oranda sıradan maddeden oluştuğu sanılıyor.

Gökadamızdaki karanlık maddenin kütlece yaklaşık yarısının beyaz cücelerden oluştuğu yönünde ipuçları var. Çünkü, burada yaklaşık 0,5 güneş kütlelerinde cisimlerin olduğu gözlemlendi. Bunların beyaz cücelerden başka bir şey olması pek olası değil. Eğer bu tahmin doğruysa, gökadamızdaki beyaz cücelerin sayısı yıldız sayısının beş katı kadar demektir. Bir başka görüşse, beyaz cücelerin gökadanın halesinin tümünde değil, gökadanın çevresinde kalın bir disk halinde bulunduğu yönünde. Eğer bu görüş doğruysa, beyaz cüceler, gökadamızdaki karanlık maddenin sadece % 4'ünü oluşturuyor demektir.

Gökadamızdaki karanlık maddenin önemli oranının yaşlı beyaz cücelerden oluştuğuna dair bir başka ipuçuyca, Hubble derin uzay görüntüsüne ait. Bu görüntünün üst bölümünde, ne olduğu anlaşılamayan çok sayıda sönük cisim var. Eğer bu varsayımlar kanıtlanırsa, karanlık madde sorunu büyük oranda çözülmüş olacak. Öyle görünüyor ki beyaz cücelerin taşıdığı önemin tek nedeni, Güneş'imizin sonunu bize anlatmaları değil. Tüm gökadamızda, hatta evrende çok önemli bir role sahip oldukları da ortada.

Kaynaklar
Kawaler S.D., Dahlstrom M., White Dwarf Stars, American Scientist, Kasım-Aralık 2000.
<http://oposite.stsci.edu/pubinfo/nebulae.html>
<http://wet.iitap.iastate.edu/>