

YILDIZLAR GEÇİDİ

Gökyüzü uzak atalarımızın soyut düşünme becerisi kazanmalarından bu yana insanlığın temel ilgi alanlarından biri ve belki de en önde geleni. Karanlık ve berrak bir gecede gökyüzünde görebildiğimiz 7-8 bin yıldızla ilgili doğru-yanlış kavramsallaştırmalar yapmışız. Onlara, yaşamımızı etkileyen gizil güçler yakıştırmışız. Bilincimiz, bilgimiz ve gözlem araçlarımız geliştikçe, bir zamanlar “sayılamayacak kadar çok” dediğimiz bu rengarenk, ışıltılı ışıl noktaların sayıca aslında okyanusta bir damla bile oluşturmadığını fark ettik. Bunların arasındaki büyüklük küçüklük farkları öğrendik. Nasıl ortaya çıktıkları konusunda modeller geliştirdik. Birey birey ve topluca gelecekleri konusunda öngörüler oluşturduk. Tüm bunlar, ilk sayımızdan başlayarak dergimizce sizlere parçalar halinde aktarıldı. Ama zaman zaman hep birlikte belleğimizi tazelememiz, onları yeni bilgilerle güçlendirmemiz yararlı oluyor. Bu nedenle, aramıza yeni katılan kardeşlerimize giderek artacak bilgilerini üzerine rahatlıkla yerleştirebilecekleri bir taban, bütüncül bir resim sunabilmek için yıldızlara bir geçit yaptırılmak üzere dedik, doğumlarından ölümlerine kadar geçirdikleri süreci yeniden gözden geçirelim istedik. Tabii ki, en yakınımızdakinden başlayarak. Yaşam kaynağımız Güneş’ten...

150 milyon km uzaklıktan cömertçe gönderdiği ışığı ve kavurmayan ısıyla gezegenimizi üzerinde yaşanabilir kılıyor. Güneş, evrenimize dağılmış olan ve sayılarının yeryüzünün tüm plajlarındaki kum taneciklerinin toplamından daha fazla olduğuna inanılan yıldızlardan yalnızca bir tanesi. Ama yukarıda sayılan özellikleriyle pek çoğundan farklı. O halde Güneşimiz biraz daha yakından tanınmayı hak ediyor; ne dersiniz?..

Güneş, kütlesi bakımından genellikle çevrelerini kasıp kavuran devlerden, soluk ve "ılık" cücelere kadar uzanan yıldızlar yelpazesinin ortalarında yer alan bir yıldız.

Bu hiyerarşinin en tepesinde O ve B sınıfını oluşturan, çok sıcak ve parlak, dev kütleli mavi yıldızlar yer alıyor. Ama bunlar son derece ender görülen yıldızlar. Daha sonra A sınıfı beyaz ve F sınıfı sarı-beyaz yıldızlar yer alıyor. Gökbilimciler, bu dört sınıftaki yıldızların, gökadamız Samanyolu'nda bulunan 300 milyar kadar yıldızın yalnızca %1'ini oluşturduğunu hesaplıyorlar. Sıra geldi kendi yıldızımıza. Güneş, kütlesi ve sıcaklığıyla devlerle boy ölçüşemeyecek, orta büyüklükte, G sınıfı bir sarı yıldız. Ama sıradan hiç değil. Hatta Samanyolu nüfusunun yalnızca %4'ünü oluşturdukları için Güneş ve benzerleri, asiller safında yer alıyor sayılabilirler.

Daha sonra yıldız nüfusunun %15'ini meydana getiren, Güneş'ten biraz daha hafif ve soğuk "turuncu cüce"ler geliyor. En küçük, soluk ve kala-

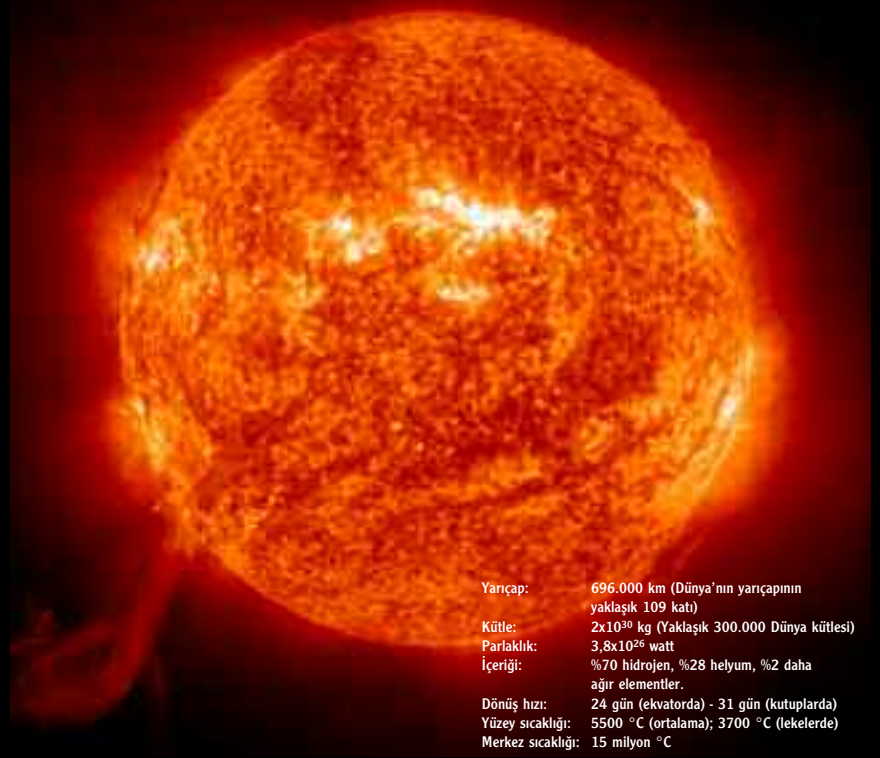
balık olanlarsa, son sıradaki "kırmızı cüceler". Bunlar, gökadamızdaki yıldızların %70'ini meydana getiriyor. Samanyolu'ndaki yıldızların geri kalanı, yani %10'uysa, aslında Güneş benzeri yıldızların ölüm artıkları olan "beyaz cüceler".

Yıldızları böylece toplu halde gördükten sonra bir tanesine (haydi yine bizim Güneş olsun), yaklaşıp içine bakalım:

Güneş, büyük kütleli merkeze doğru çökme eğiliminin, merkezde üretilen enerjiyle dengelendiği, istikrarlı bir yıldız. Yıldız, kendi ağırlığı altında büzüşme eğilimine girdiğinde, merkezinde sıcaklık artıyor ve bu da daha fazla çekirdek tepkimesi oluşmasına yol açı-

yor ve artan enerji, kütleçekim baskısını dengeliyor. Yıldızların aşağı yukarı sabit değerlerde ışımaya yaptıkları bu istikrarlı dönemlerine, oldukça teknik açıklamaları gerektirdiği için burada yer vermeyeceğimiz, evrimleriyle (yaşlanmalarıyla) ilgili bir grafik üzerinde aldıkları konum nedeniyle, "anakol evresi" deniyor. Yıldızlar, bu evreden çıktıktan sonra, ileride göreceğimiz gibi değişik biçimlerde ve sürelerde ömürlerini noktalyorlar.

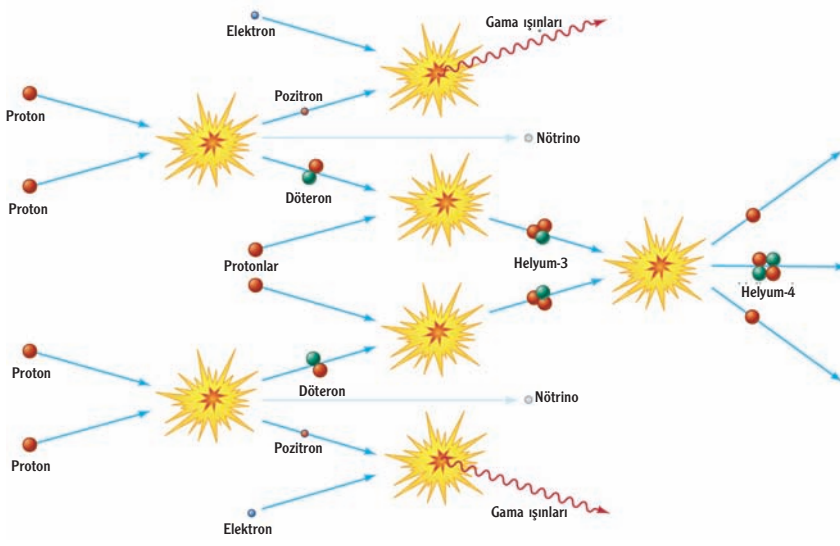
Yukarıda saydığımız sınıflardan tüm yıldızlar, 10^{56} - 10^{58} atomdan oluşmuş küresel yapılar. Atomların çok büyük çoğunluğu hidrojen ve helyum. Yıldız, farklı katmanlardan oluşuyor. En az 10 milyon derece sıcaklıktaki merkezde (Güneş'te 15 milyon derece) yıldız enerjisini sağlayan termonükleer çekirdek tepkimeleri meydana geliyor. Yıldızların, merkezleri olsun, ara katmanları ya da yüzeyleri olsun, çok sıcak olduğundan atomlar "iyonize" oluyorlar ve maddenin "plazma" denen bir durumunda bulunuyorlar. Yani, + elektrik yüklü atom çekirdeğinin etrafında dolağan - yüklü elektronların tümünü ya da bir kısmını (merkezde tümünü) yitirmiş durumdalar. En hafif element olan hidrojen atomu, + yüklü bir proton ve - yüklü bir elektrondan oluşur. Yıldızın, sıcaklığı nedeniyle tüm hidrojen atomları elektronlarını yitirmiş oldukları için, hidrojen yalnızca çekirdek, yani, + yüklü protonlar halinde bulunur. İşte Güneş'in merkezinde bu hidrojen çekirdekleri birleşerek, ikinci en hafif element olan helyum çekirdeklerini meydana getirirler.



Yarıçap:	696.000 km (Dünya'nın yarıçapının yaklaşık 109 katı)
Kütle:	2×10^{30} kg (Yaklaşık 300.000 Dünya kütlesi)
Parlaklık:	$3,8 \times 10^{26}$ watt
İçeriği:	%70 hidrojen, %28 helyum, %2 daha ağır elementler.
Dönüş hızı:	24 gün (ekvator) - 31 gün (kutuplarda)
Yüzey sıcaklığı:	5500 °C (ortalama); 3700 °C (lekelerde)
Merkez sıcaklığı:	15 milyon °C

Yıldız Kütlelerinin Karşılaştırılması





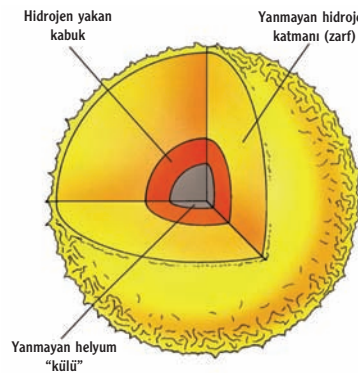
Bu tepkime şöyle gerçekleşir: Önce iki proton yüksek hızda çarpışırlar. Protonlardan biri, pozitron denen ve elektronun tersi, yani + elektrik yükü taşıyan antimaddesi ile, nötrino denen; 0'a yakın kütleli, başka maddelerle neredeyse hiç etkileşmeyen bir parçacık salarak elektrik yükü taşımayan nötron adlı bir parçacığa dönüşür. Hidrojenin daha ağır bir izotopu (protona ilaveten bir de nötron taşıdığı için) olan döteryumun çekirdeğinden başka bir şey olmayan bu proton-nötron çiftine "döteron" (döteryum çekirdeği) adı verilir. Bu döteron, ortamda vızır vızır giden bir başka protonla çarpışıp yakaladığında, helyumun hafif izotopu (yani proton sayısı aynı, nötron sayısı farklı) olan helyum-3'e dönüşür. Helyum-3, başka bir helyum-3 çekirdeğiyle çarpıştırdıysa, iki proton ve iki nötrondan oluşan ve kararlı (kolay bozunmayan) helyum-4 çekirdeği ortaya çıkar. Tepkime sonunda iki proton serbest kalıp ortama karışır.

Kimyasal tepkimelerde atomların ve moleküllerin elektronları birbirleriyle etkileşime girerek farklı enerji düzeylerine göre yeni düzenler alırlar. Yeni düzendeki enerji düzeyi, eskisinden daha düşükse enerji salınır. Bu tepkimelere egzotermik tepkime denir. Atom çekirdekleri söz konusu olduğunda da aynı durum geçerli. Öteki atom çekirdekleriyle etkileşime girip başlangıçtakinden daha düşük enerjili (birbirine daha sıkı bağlanmış) düzenler oluşturduklarında enerji açığa çıkıyor. Helyum çekirdeği, başlangıçtaki dört ayrı protondan daha sıkı bağlanmış durumda. Dolayısıyla enerji salımı söz konusu. Helyum çekirdeğinin kütlesi, tepkimenin başlangıcındaki dört protonun toplam kütesinden daha küçük. Anlaşıyor ki, tepkimede dört protonun toplam kütesinin %0.7 kadarı kinetik enerjiye (ısıya) çevrilmiş.

Peki ama bir şey unutmamak mı? Biliyoruz ki aynı elektrik yükü taşıyan parçacıklar birbirlerini iterler. O halde +

yüklü protonlar nasıl oluyor da birbirlerine yapışıyorlar? Yapışmayı sağlayan, protonları oluşturan kuark adlı temel parçacıkların yanısıra yine proton içinde bulunan gluon adlı parçacıkların taşıdığı "şiddetli çekirdek kuvveti" adlı kuvvet. Bu, dört temel doğa kuvveti içinde en güçlü olanı. Ancak erimi çok kısa. Bir atom çekirdeğinin çapını geçemiyor. Dolayısıyla bir protonun ötekini yakalayabilmesi için bir kere ortamda çok fazla proton bulunması, bir başka deyişle ortamın çok sıkışık, çok yoğun olması gerekiyor. Bir başka zorunlu koşul da, protonların aralarındaki elektrostatik itmeyi yenebilecek kadar birbirlerine sokulabilmeleri için kinetik enerjilerinin çok yüksek olması. İşte Güneş'in merkezindeki yoğunluk ve 15 milyon derecelik sıcaklık hidrojen çekirdeklerinin (protonların) birleşerek helyum çekirdeklerini oluşturmaları için gerekli koşulları sağlıyor. Yine de Güneş'in merkezinde iki protonun aralarındaki itmeyi yenerek birleşebilmeleri, ortalama 100.000 yılda bir gerçekleşen bir olasılık. Ama Güneş merkezinde o kadar çok hidrojen çekirdeği var ki, yıldızımız her saniye 600 milyon ton hidrojeni helyuma dönüştürerek, kendisini milyarlarca yıl istikrarlı bir denge içinde tutacak enerjiyi üretebiliyor!..

Galiba yine bir şey unuttuk! Hani iki proton ilk kez birleşip biri nötrona dönüşürken, elektronun antimaddesi olan bir

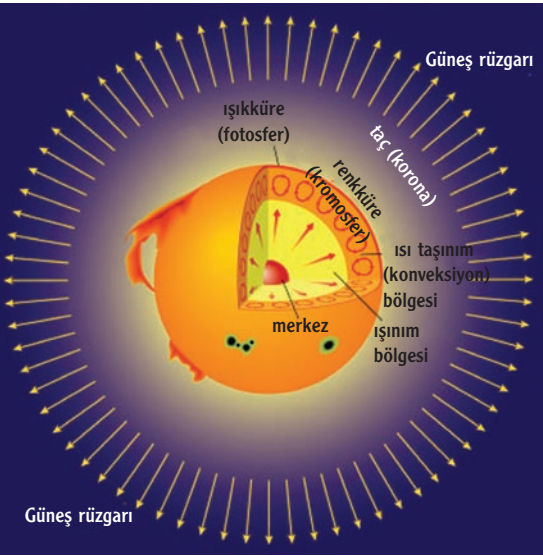


pozitron ile, bir de nötrino denen bir "hayalet" parçacık salıyordu. Bu nötrinolar, sıfıra yakın kütleleriyle ışığına yakın bir hızla yıldızın içinden kaçıp uzayda hemen hemen hiçbir şeyden etkilenmeksizin yollarına devam ederler. Bir nötrino, yoluna 1 ışık yılı (yaklaşık 10 trilyon km) kalınlığındaki bir kurşun blok çıksa bile hiç bir şey olmamışçasına içinden geçip gider. Tabii Dünyamız da, üzerinde yaşayan bizler de Güneş'ten çıkan nötrinolar için bir engel oluşturmuyoruz. Güneş kaynaklı nötrino akısı öylesine yoğun ki, gezegenimizin (ve bizlerin) her santimetre karesinden saniyede 60 milyar nötrino geçip gidiyor.

Nötrinoyla birlikte nötrona dönüşen protondan çıkan pozitron, ne yazık ki fazla uzun ömürlü olamıyor. Madde ile antimadde karşılaştıklarında birbirlerini yok ettiklerinden pozitron da, ortamdaki serbest elektronlardan biriyle karşılaştığında, her iki parçacık bir gama ışımasıyla yok oluyor. Gama ışınları da ortamdaki çekirdeklerce soğurulup yeniden salına salına, bir oraya, bir buraya saparak enerjilerini büyük ölçüde yitiriyorlar ve 1 milyon yıl sonra Güneş'in ışık küre (fotosfer) denen katmanına ulaştıklarında çoğu morötesi ve optik (bizim gözlerimizin algılayabildiği görünür ışık) dalga boylarında elektromanyetik ışınım olarak uzaya yayılıyorlar.

Yıldızlarda merkezde oluşan enerji iki farklı mekanizmayla dış katmanlara iletiliyor. Bunlardan birincisi ışınım. Yani çekirdek tepkimelerinde ortaya çıkan fotonların, enerjilerini yoğun ortamdaki (1 cm³= 10kg) gaza aktarmaları yoluyla. Güneş'te merkezi çevreleyen böyle geniş bir bölge var. İkinci mekanizmayla, ısı taşınımı (konveksiyon). Işınım bölgesini çevreleyen bir katmanda meydana gelen bu süreçte, tıpkı ocağın üzerindeki çaydanlıkta kaynayan suda olduğu gibi ısınan gaz yüzeye doğru yükselirken soğuyan kütle aşağıya iniyor ve bu dolaşım sayesinde ısı ağır ağır yüzeye taşınıyor. Böylece Güneş'in merkezinde 15 milyon derece sıcaklık, yüzeye gelindiğinde ortalama 5.500 dereceye inmiş oluyor.

Güneş plazma halinde sıcak bir gaz topu olarak betimlenebileceğinden, üzerinde katı bir "yüzey" yok. Bunun yerine atmosferinin en altında yalnızca 100 km kalınlığında, ışık küre (fotosfer) denen bir tabaka bulunur. Bu tabakanın sıcaklığı, yukarıda değindiğimiz gibi ortalama 5.500 °C.



Ancak üzerinde manyetik alanların sıcak gazı hapsedmesiyle oluşan görece daha soğuk (yaklaşık 4200 °C bölgeler var. Buralarda iç katmanlardan kaynaklanan manyetik alan, dipten ısı taşınımını baskılıyor ve çevredeki sıcak plazmanın “leke”nin içine akmasını engelliyor. Dolayısıyla buralarda ısı, fotosferin geri kalanına göre biraz daha soğuk oluyor ve leke koyu noktacıklar olarak ortaya çıkıyor. Tipik olarak bu lekeler fotosferde birkaç gün süreyle kalıp sonra yok oluyorlar. Ancak, en büyük lekeler varlıklarını haftalarca sürdürebiliyorlar.

Lekelerin konumlarını inceleyerek Güneş'in yaklaşık 27 günde bir kendi çevresinde döndüğünü biliyoruz. Ancak Güneş katı değil, büyük bir gaz topu olduğundan bu dönüş hızı sabit değil. Ekvator bölgesi bir turu 24 günde tamamlarken, kutup bölgelerinde bir tur yaklaşık 31 gün alıyor. Güneş lekeleri 11 yıllık bir döngü içinde çoğalıp azalıyorlar. Bu döngünün Güneş'in işte bu değişken dönüş hızıyla ilgili olabileceği düşünülüyor.

Fotosfer yakından incelendiğinde her tarafının yaklaşık 1000 km çaplı, “granül” denen, ortaları parlak, kenarları koyu yapılarla kaplı olduğu görülüyor. Bunlar az önce ışınım bölgesinin üzerinde yer aldığı açıkladığımız bölgedeki ısı taşınım hücrelerinin tepe noktaları. Bu hücreler içinde derinlerden alınan sıcak plazma yüzeyde granülün ortasındaki parlak alanda yüzeye varıyor, çevreye yayılarak soğuyor ve granülleri çevreleyen koyu bölgelerden yeniden dibine dalıyor. Fotosferde bu küçük granüller 35.000 km çaplı “süper granüller” halinde daha büyük yapılar oluşturuyor. Fotosfer diskinin kenarlarına doğru “fakula” denen küçük parlak bölgeler de izleniyor. Bunlar da güneş lekelerini oluşturan manyetik alanlardan çok daha küçük ve sıkışık manyetik alanlarca meydana getiriliyor.

İşık küre ya da fotosferin üzerinde 10.000 km kalınlığında renkküre (kromosfer) adlı bir başka katman bulunuyor. Bu katmanın sıcaklığı yaklaşık 10.000 derece kadar. İçindeki hidrojen atomlarının elektronlarının 3. enerji düzeyinden 2. enerji düzeyine geçerken yaydıkları ışık parçacıkları (foton) nedeniyle kırmızı renkli.

Güneş atmosferinin en dışındaysa, yüksek derecede iyonlaşmış gazdan oluşan taç (korona) tabakası bulunuyor. Manyetik alanların karmaşık etkileşimle-



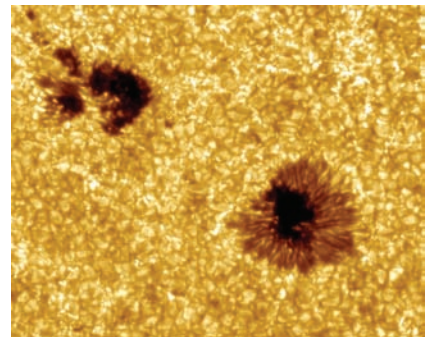
Merkezdeki tepkimelerde ortaya çıkan gama ışınları ortamdaki çekirdeklere çarpıp sürekli saçılarak 1 milyon yıl sonra görünür ışık ve morötesi ışık olarak fotosfere ulaşıyor ve oradan da düz bir hat boyunca uzaya yayılıyor.

ri sonucu bu tabakadaki gazın sıcaklığı 2 milyon dereceyi geçiyor.

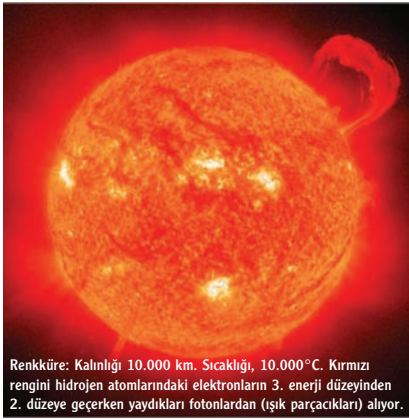
Güneş'in ve öteki yıldızların kütlelerinin baskısını dengelemek için enerjilerini nasıl ve nerede ürettiklerini gördük: Temel olarak yıldızların merkez bölgelerindeki hidrojen çekirdeklerini birleştirip daha ağır çekirdekler üreterek. Gökbilimciler arasında yaygın bir alışkanlık, bu süreçle, alıştığımız fosil yakıt tüketim döngüsü arasında benzeşim kurmak. Dolayısıyla merkezde enerji üreten çekirdek tepkimeleri, popüler gökbilim dilinde “yakma”, daha ağır elementlere dönüştürülen hafif çekirdekler de “yakıt” olarak adlandırılıyor.

Peki yıldızlarda bu istikrarlı denge ne kadar sürüyor? Bu da tümüyle kütlelerine bağlı. Burada kolayca akılda tutulabilecek kural şu. Bir yıldızın kütlesi ne kadar büyük olursa, ömrü de o kadar kısa oluyor. Nedeni, daha büyük kütlelerinin baskısını dengeleyebilmek için, daha çok “yakıt” tüketiyor. Yani, merkezindeki hidrojen stoku çok daha fazla olmasına karşılık, ayakta kalabilmek için daha fazla enerji üretmek zorunda; bunun içinde yakıtını çok daha büyük miktarlarda “yakıp”, tüketiyor.

Güneş'in ışık küre (fotosfer) tabakası, her biri yaklaşık 1000 km çaplı “granül” denen hücrelerle kaplı. Bunlar, yıldızın derinliklerinden “yüzeye” ısı taşıyan konveksiyon hücrelerinin tepeleri. Derinden gelen manyetik alanların etkisiyle oluşan güneş lekeleri ise çevrelerinden yaklaşık 1500 °C daha soğuk olan bölgeler.



İşık küre: Güneş'in görünen “yüzeyi”. Kalınlığı 100 km. Güneş atmosferinin en alt tabakası. Sıcaklığı 5500 °C



Renkküre: Kalınlığı 10.000 km. Sıcaklığı, 10.000°C. Kırmızı rengini hidrojen atomlarındaki elektronların 3. enerji düzeyinden 2. düzeye geçerken yaydıkları fotonlardan (ışık parçacıkları) alıyor.



Taç tabakası: Geniş, seyrek zarf. Sıcaklığı, 1-2 milyon °C arasında. Yoğun X-ışınları üretiyor. Yapısını ve sıcaklığını manyetik alanlardan aldığı düşünülüyor.

Örneğin, başta gördüğümüz sınıflandırmaya dönelim ve Güneşimizi ele alalım. Güneş kütlede bir yıldız bu kararlı dönemini 10 milyar yıl kadar koruyabiliyor.

Güneşimizin 10 katı kütlede bir mavi dev yıldızsa, yakıtını ancak 20 milyon yıl idare edebiliyor. Öteki uçta, kütleleri Güneş'in onda biri kadar olan bir kırmızı cüce yıldızın kararlı ömrü ise 6-10 trilyon yıl kadar olabiliyor.

Yıldızların Evrimi

Güneşimiz olsun, kendisinden büyükler ya da küçükler, hep aynı biçimde doğuyorlar. Evrenin her tarafı binlerce, bazen milyonlarca Güneş kütlede soğuk hidrojen moleküllerinden oluşmuş bulutlarla dolu. Bu bulut, içinde ortaya çıkan dalgalanmalar, örneğin yakınlarda bir süpernova patlamasının şok dalgaları nedeniyle dengesini yitiriyor ve herbiri kendi üzerine çökmeye başlayan parçalara ayrılıyor. Parçalanma giderek artıyor ve her biri çok sayıda yıldız adayı toprak içeren, kendi çevresinde dönmeye başlayan bölgeler ortaya çıkıyor. Çöken bölgelerde gazın üstüste yığılması sonucu merkezdeki sıcaklık artıyor, ayrıca bir buz patencisi kollarını kapadığında dönüşü nasıl hızlanıyorsa, çöken bölgedeki gaz ve toz da bir disk halinde dönmeye başlıyor. Merkezdeki toprak içindeki çökerek yoğunlaşan gaz ve tozun sıcaklığı bir eşik değeri aşınca (en az 10 milyon derece) merkezinde çekirdek tepkimeleri başlıyor ve çöküş merkezde üretilen enerjiyle dengeleniyor. Bu arada merkezdeki toprağın çevresindeki gaz ve toz diski içinde de önce toz taneciklerinin, daha sonra da oluşan daha büyük parçaların giderek birleşmesi sonucu gezegenler de



Yıldızlar dev moleküler hidrojen bulutlarında oluşuyorlar. Hubble Uzay Teleskopu'na Kartal Bulutsusu'ndan alınan görüntüde kırmızı noktacıkların her biri bizim Güneş Sistemimizden daha geniş bir alanı kapsıyor. Yıldızlar, bulutun kenarlarında izlenen parmağimsi uzantıların uçlarında oluşuyor. Geri plandaki parlak mavi genç yıldızlardan yayılan şiddetli morötesi ışınım bulutları dağıtıyor.

ortaya çıkmış oluyor. Yıldız, sonunda güçlü bir rüzgarla disk içinde arta kalan gazı ve tozu uzaya süpürüyor ve bir Güneş sistemi ortaya çıkmış oluyor.

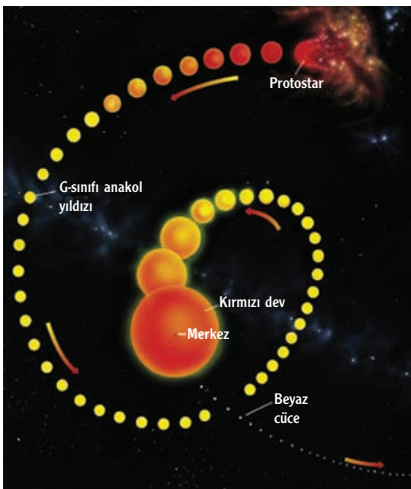
Yıldız oluşum süreci ana hatlarıyla böyle olmakla birlikte, büyük kütleli mavi yıldızların yaydığı ışınım ve rüzgarları çok güçlü olduğundan çevrelerindeki diski hemen dağıtıyorlar ve gezegen oluşumuna olanak tanımıyorlar.

Kısa Süren Görkem

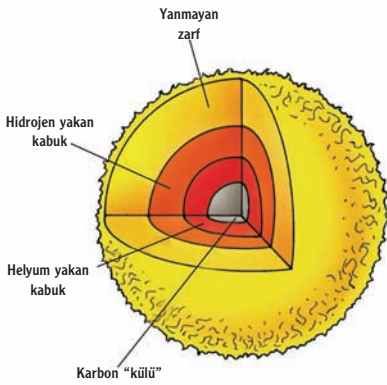
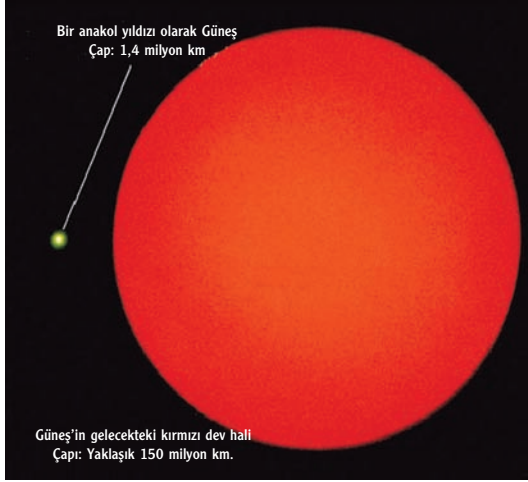
Büyüğüyle, küçüğüyle yıldızların aynı biçimde doğduklarını gördük. Ama dev yıldızlarla, Güneş ve daha küçüklerinin evrimleri ve özellikle sonları oldukça farklı. Önce Güneş'i ele alalım: Yıldızımız, 10 milyar yıllık ömrünün aşağı yarısını, (4,6 milyar yıl) tamamlamış bulunuyor. Geri kalanının da sonuna yaklaştığında artık merkezdeki "yakıtı" da bitmiş olacak. Merkezindeki hidrojen çekirdeklerini birleştirerek, yani "yaka-

rak" daha ağır olan helyuma çevirmiş olacak. Yine yakıt benzetmesinden yola çıkarak gökbilimciler bu sentezlenmiş daha ağır çekirdekleri, henüz onlar da "yanmadıkları" için "kül" olarak betimliyorlar. Ör: helyum külü, oksijen külü, karbon külü vb.

Güneş ya da birkaç kez daha fazla kütleyle sahip benzerlerinde merkezdeki "yakıt" tükenip hidrojen füzyonu sona erdiğinde, helyum "külü" ile dolmuş merkez büzüşür ve ısınır. Merkezin artan ısı nedeniyle merkezin dışında bir hidrojen katmanı "yanmaya" başlar ve yıldız genişler. Bu da yıldızın dış katmanlarını merkezden uzaklaştırır ve böylece kütleçekimden daha az etkilenmeye başlayan dış katmanlar, enerji üretimindeki artıştan daha büyük bir hızla genişler, soğurlar ve anakol evresinde olduklarından daha kırmızı bir renk alırlar. Yıldız artık bir "kırmızı dev" olmuştur. Gökbilimciler, Güneş'in kırmızı dev aşamasına geldiğinde çapının yaklaşık 100 kat artacağını he-



Dev moleküler bulutların çöken parçacıkları gaz ve toz diskleri halinde yoğunlaşıyor ve diskin merkezinde Güneş öncülü (protostar) oluşmaya başlıyor. Gezegenler de disk içindeki gaz, toz ve buz parçacıklarının birleşmesiyle ortaya çıkıyor.



saplıyorlar. Böyle olunca da daha yakınındaki Merkür ve Venüs gezegenlerini yutacak olan Güneş, Dünya'nın yakınlarına gelmiş olacak. Ama artan rüzgarı nedeniyle kütlelerinin bir kısmını yitireceğinden kütleçekimi de bir miktar azalacak, ve dolayısıyla Dünyamız bu yaklaşan devden biraz uzaklaşmış olacak. Sonunda kırmızı dev haline gelmiş Güneş'in Dünya'yı da içine alıp alamayacağı belli değil; ama kesin olan, zaten o zamana kadar artan sıcaklıkla sularını, okyanuslarını çoktan yitirmiş olan gezegenimizde yaşamadan eser kalmamış olacağı.

Merkez çevresindeki kabuk içindeki hidrojen füzyonu sürdükçe, ortaya çıkan helyum, zaten helyumla dolmuş olan merkeze dolmaya devam eder, merkezin daha fazla sıkışmasına ve ısınmasına neden olur. Bu da merkez çevresindeki hidrojen füzyonunu daha da hızlandırır ve sonunda merkezdeki sıcaklık, bu kez helyum çekirdeklerini füzyona sokacak kadar artar. Helyum füzyonuyla serbest kalan enerji merkezi genişletir (ve ısını azaltır), dolayısıyla da merkezi çevreleyen katmanlardaki hidrojen füzyonu da yavaşlar ve yıldız, tam olarak anakol evresindeki çapına kadar olmasa bile yeniden büzülür, yüzey sıcaklığı yeniden yükselir.

Merkezdeki helyum "yakıtı" da tükennince, artık karbon ve oksijenle dolmuş olan sıcak merkezin çevresindeki bir kabuk içinde füzyon tepkimeleri devam eder, ve yıldız, bir önceki süreci bir daha, ama daha hızlı biçimde yaşamaya başlar.

Helyum "yakan" tepkimelerin ısıya son derece duyarlı olmaları, yıldızın büyük ölçüde kararsızlaşmasına yol açar ve yukarıda anlatılan genişleme ve büzülmeler, şiddetli "zonklamalar" biçimini alır. Bu zonklamalar da yıldızın dış katmanlarına, uzaya saçılmalarına yetecek kadar kinetik enerji aşılar ve kırmızı dev aşamasında zaten önemli ölçüde kütle yitirmiş olan yıldız, dış katmanlarını bir "gezegenimsi" bulutsu halinde yavaşça uzaya salar ve Dünyamız boyutlarına kadar sıkışmış sıcak merkez açığa çıkar. Burada Dünyamız boyutlarına kadar sıkışmanın ne anlama geldiğini biraz açalım: Güneş, 300.000 Dünya kütlelerinde bir yıldız. Güneş benzeri yıldızların merkezleri de tipik olarak 0,6 Güneş kütlelerinde oluyorlar. Demek ki Dünya ölçülerine kadar sıkışmış bir beyaz cüce aslında Dünyamızın kütlelerinin 180.000 katını içeriyor!. Açığa çıkan sıkışmış merkezden (beyaz cüce) yayılan ışınlama parlayıp bizler için nefes kesici güzellikte görüntüler oluşturan gezegenimsi bulutsular, birkaç bin yıl içinde dağılır, yüzbinlerce derece sıcaklıktaki beyaz cüce de milyarlarca yıl süren bir soğuma sürecinin ardından artık görünemeyen bir "kara cüce"ye dönüşür.

Devlerin Ölümü...

Büyük kütleli yıldızlarda merkez zaten ötekilere göre büyük olduğundan, içindeki hidrojen yakıtı tükeneip de çevresindeki kabukta yanmaya başladığında, merkezdeki helyumun "ateşlenmesi", yani füzyona başlaması daha erken gerçekleşir. Bunlar da genişleyip soğumaya başladıklarında, daha küçük yıldızlardaki kadar parlaklık artışı olmaz. Ama bunlar zaten başlangıçta küçüklere göre çok daha parlak olduklarından, sonuçta Güneş benzeri yıldızların oluşturduğu "kırmızı dev"lerden hâlâ daha parlak olurlar. Bu evreye gelmiş yıldızlara "kırmızı süperdevler" denir.

Kütlesi Güneş kütlelerinin sekiz katı ve üstünde olan yıldızlar yaşamlarına O ve B sınıfı anakol yıldızları olarak başlarlar. Merkezdeki hidrojen yakıtı tükendiğinde, merkezi çevreleyen bir kabukta

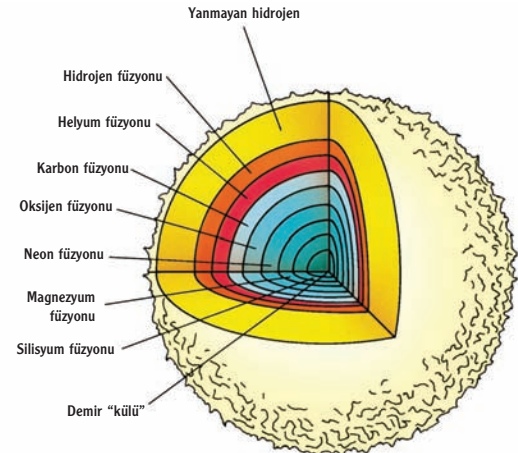
hidrojen yakmaya başlar, yıldız genişler ve bir süperdev haline gelir. Kısa süre sonra merkezi dolduran helyum da ateşlenir ve helyum çekirdekleri kaynaşarak karbon ve oksijene dönüşürler. Merkezdeki helyum tükendiğinde, helyum füzyonu merkezi çevreleyen katmanda sürer. Isınan merkezde bu kez karbon yanmaya başlayarak neon ve magnezyuma dönüşür. Bu arada merkez çevresindeki üstüste katmanlarda hidrojen ve helyum yanmaya devam etmektedir.

Çok geçmeden yıldız neonu yakmaya başlayarak oksijen ve magnezyuma, daha sonra oksijeni yakarak silisyum ve kükürte, ve nihayet silisyum ve kükürtü yakarak demire ve benzer kütleli elementlere dönüştürür.

Bu noktada yıldız bir soğanı andırmaktadır. En dış katmanda hidrojen, onun altındaki bir katmanda helyum, daha altta karbon, onun altında neon, onun da altında oksijen ve nihayet merkezde silisyum ve kükürt yanmaktadır.

Ancak, silisyum ve kükürt yanışı fazla uzun sürmez. Örneğin, 20 Güneş kütlelerindeki bir yıldız, merkezindeki silisyum ve kükürtü yalnızca iki gün süreyle yakabilir. Sonra şov sona erer. Ama nasıl bir son?!

Silisyum ve kükürt çekirdeklerinin füzyonuyla sentezlenip merkezi dolduran demir yanmaz. Çünkü zaten en sıkı bağlanmış çekirdek olduğundan, daha sıkı bağlanma düzenlerine geçip egzotermik tepkimeyle enerji üretemez. Aksine, çekirdeklerin birleşmesi için endotermik bir tepkime, yani dışarıdan enerji sağlanması gerekir. Merkezi demirle dolan yıldız, artık füzyon tepkimesi üretilip muazzam kütle baskısını dengeleyemez ve merkez kendi üzerine çöker ve yıldızın kütlelerine bağlı olarak ya bir nötron yıldızı, ya da bir karadeliğe dönüşür.





1Q54 yılında meydana geldiği düşünülen bir süpernova patlamasının artığı olan ünlü “Yengeç Bulutsusu” Turuncu renkli iplikli yapılar yıldızın param parça olmuş artıkları ve büyük ölçüde hidrojen yapı. Bulutsunun derinliklerindeki patlama ürünü nötron yıldızının güçlü manyetik alanında ışık hızının yakınına kadar hızlanan elektronlar, görüntünün ortalarındaki mavi renkten sorumlu. Görüntüdeki renkler, patlamayla uzaya saçılan farklı elementlere işaret ediyor. Bulutsunun dış kısımlarındaki ipliklerdeki mavi renk oksijen atomlarını, yeşil iyonlaşmış kükürtü ve kırmızı da çifte iyonlaşmış oksijeni gösteriyor.

Ancak bu felaketsel sonları açıklama-
dan önce, sürecin bazı istisnalarına baka-
lim: 40 Güneş kütlelerinin üzerinde kütle-
ye sahip, çok parlak ve dolayısıyla çok
hızlı rüzgarlara sahip olan yıldızlar, mer-
kezlerindeki tepkimelerden kaynaklanan
ışınım basıncı nedeniyle öylesine hızlı
kütle yitirirler ki, daha şişip kırmızı sü-
perdevler haline gelmeden önce dış kat-
manlarını kaybederler. Böyle olunca da
son derece yüksek yüzey sıcaklıklarına
sahip olurlar ve anakol evresinden çıktık-
tan sonra dahi mavi-beyaz renklerini ko-
rurlar. Bir yıldızın sahip olabileceği kütle-
nin üst sınırı, 120 Güneş kütlelerini geç-
mez. Çünkü güçlü ışınım, yıldızın “zarf”
denen dış katmanlarını uzaya savurur.

Görece düşük kütleli yıldızlar, nor-
mal olarak dış katmanlarını böyle hızlı
biçimde yitirmezler; ama onların da kır-
mızı dev ya da kırmızı süperdev olmasını
engellenen istisnai durumlar var. Güneş
benzeri yıldız, bir ikili yıldız sisteminde-
se ve eş yıldız yeterince yakındaysa, yıldız-
ımız anakol evresinden çıkıp bir kırmızı
dev olmak üzere şişmeye başladığında,
eş yıldız dış katmanlarındaki gazı çalma-
ya başlar ve sonuçta yıldızımız zarfını
kaybeder. Ya da yıldızın kendi çevresin-
deki dönüşü öylesine hızlıdır ki, ısı taşı-
nımı (konveksiyon) merkezden yüzeye
kadar uzanır ve gazın sürekli ve etkin bi-
çimde karışması sonucu merkez ve zarf,
ayrı katmanlar olmaktan çıkarılır.

Şimdi normal kurala geri dönelim ve
büyük kütleli yıldızlarda ardışık füzyon
süreci demir senteziyle noktalandığında
ne olduğuna yeniden bakalım:

Eğer yıldızın merkezinin kütlesi,
Hint asıllı Amerikalı gökbilimci Subrah-
manyam Chandrasekhar tarafından belir-
lendiği için “Chandrasekhar limiti” de-
nen 1,4 Güneş kütlelerinin üzerindeyse
“Pauli dışlama ilkesi” nedeniyle, aynı
enerji düzeyinde belli sayının üzerinde
elektron bulunamamasından kaynaklan-
an “elektron dejenerasyon basıncı”,
merkezdeki kütlelin basıncını dengele-
yemez ve merkez aniden çöker. Eğer yıl-
dızın orijinal kütlesi 8 Güneş kütlelerinin
üzerindeyse, elektronlar, demir çekirdek-
lerinin içindeki protonlarla birleşir ve so-
nuçta Güneşimizden daha büyük kütleyle
sahip olan merkez, nötronlardan yapı-
lı, ve yine Pauli dışlama ilkesiyle bu kez
nötron dejenerasyon basıncı nedeniyle
daha fazla sıkışamayan, hemen hemen
tümüyle nötronlardan oluşan, demir
atomlarından (ve eğer daha sonra yaka-
lamışsa başka bazı atomlardan) oluşan
çok ince bir kabukla çevrili, yalnızca 20
km çaplı bir küreye dönüşür. İçindeki
maddenin bir çay kaşığı kadarının 1 mil-
yar ton çektiği bu küreye nötron yıldızı
denir.

Bu noktada yine olayların normal
akışını ağır çekimde izleyelim:

Merkezin çöküşü, çok yoğun bir nö-
trino çıkışına yol açar. Nötrinoların nor-
malde maddeyle son derece ender etki-
leştiklerini görmüştük. Ancak, çökmekte
olan merkezde madde öylesine yoğunlaş-
mıştır ki, son derece enerjik olan bu nö-
trinolar birçok çekirdeği parçalayarak
nötronlar da dahil olmak üzere çekirde-
ği oluşturan parçacıkların serbest kalma-

sına yol açar. Enerjilerinin bir kısmını bu
yolla yitiren nötrinolar, bir kısmını da ısı
ve kinetik enerjiye çevirirler. Böylece
merkezin çöküşü süreci içinde geri te-
pen bir kısım maddenin oluşturduğu şok
dalgasını güçlendirirler. Bu arada çök-
menin merkezi yakınlarındaki en yoğun
bölgelerde serbest kalan protonların
elektron yakalaması sonucu yeni nötron-
lar da oluşur. Çöküşten geriye tepen
maddenin bir bölümü bu nötronlarca
bombardıman edilir ve içindeki bazı çe-
kirdekler bu nötronlardan bir kısmını yu-
tararak uranyum (ve muhtemelen ötesinde-
ki) radyoaktif elementler de dahil olmak
üzere demirden ağır elementlerin büyük
kısmını oluşturur. Aslında Güneş benze-
ri yıldızlar da kırmızı dev aşamasına gel-
diklerinde, daha önceki tepkimelerle or-
taya çıkmış nötronları kullanarak demir-
den ağır elementleri zarflarında üretirler.
Ama bunlar hem miktar olarak süperno-
valarda üretilen ağır elementlerin çok ge-
risindedir, hem de bazı farklı izotop özel-
likleri sergilerler.

Örneğin bu ağır elementlerin Güneş
Sistemi’ndeki bolluk ve özelliklerini ince-
leyen gökbilimciler, sistemdeki ağır ele-
ment ve izotopların hem süpernova pat-
lamalarından, hem de kırmızı dev yıldız-
ların zarflarından kaynaklanmış olduğu-
nu belirlemişler.

Çöküş sürecine geri dönelim:

Merkezin çöküşüyle geri tepen mad-
deye transfer edilen enerji, demirden da-
ha ağır elementleri oluşturmakla kalmaz,
bunları kaçış hızının çok daha ötesine
kadar ivmelendirir ve yıldızın dış kat-
manlarının bir süpernova patlamasıyla
uzaya saçılmasına yol açar.

Büyük kütleli yıldızların ömrünü nok-
talayan süpernova patlamaları üç çeşittir:
Tip Ib, Tip Ic ve Tip II. Bunların her üçü-
nün de temel özelliği, çevreye bol miktarda
oksijen saçmaları. Yıldızın anakol evre-
si ve sonrasında merkez dışındaki kat-
manlarda biriktirdikleri oksijen süperno-
va patlamalarıyla uzaya saçılır. Gerçi şişe-
rek kırmızı dev haline gelen Güneş benze-
ri yıldızlar şişmiş zarflarından uzaya oksijen
bırakırlar; ama gökadamızdaki oksijenin
temel kaynağı, süpernova patlamaları
olarak bilinir. Örneğin, 1987 yılında Sa-
manyolu’nun uydularından Büyük Magel-
lan Bulutu’nda patlayan Tip II süpernova,
o gökadayı 1,6 Güneş kütlelerinde oksijen
aşılırdı. Buna karşılık gökadayı verdiği
demir miktarıysa 0.075 Güneş kütleli. Ya-
ni 75 oksijen atomuna karşılık yalnızca 1

demir atomu! Bunun nedeni, yıldızın ömrü boyunca (daha doğrusu ömrünün sonunda) biriktirdiği demirin büyük kısmının çöken merkezle bir karadeliğe ya da nötron yıldızına dönüşmesi, çevreye ancak dış katmanlara dağılmış olan az miktarda demirin saçılması. Ama evrendeki demirin çok daha temel bir kaynağı var ki, onu da az sonra göreceğiz.

Özetleyecek olursak Tip Ib, Tip Ic ve Tip II süpernovaların başlıca özellikleri, bol miktarda oksijen saçmaları. Peki ama aralarındaki farklar ne? Tip Ib ve Ic'nin ayırt edici özellikleri, patlama enkazlarında hidrojene rastlanmaması. Yani, bu türden süpernovaları oluşturan yıldızlar, ömürlerinin sonuna yaklaşırken merkez çevresindeki hidrojen katmanlarını şiddetli rüzgarlarıyla uzaya püskürmüş, ya da bir ikili sistem içinde eş yıldızlarına kaptırmış olmalı. Tip II süpernovaların tayflarındaysa bol miktarda hidrojen çizgilerine rastlanıyor. Demek ki, bunlar, hidrojen zarflarını korumuşlar.

Cüce Dediyssek...

Elbet dikkatinizi çekmiştir: Tip Ib, dedik, Tip Ic dedik... Peki Tip Ia yok mu? Var, ama hepsinden çok farklı.

Şimdiye kadar saydığımız üç süpernova türü de, büyük kütleli yıldızların birkaç milyon yıldan, 20-30 milyon yıla kadar değişen kısa ömürlerini noktala-yan patlamalar.

Tip Ia ise Güneş benzeri yıldızların, sıradışı bir ölüm artışı. Dolayısıyla milyarlarca yıl süren bir sürecin ardından, özel koşulların gerçekleşmesiyle meydana geliyorlar.

Hatırlayalım: Güneş benzeri bir yıldız, merkezdeki hidrojen yakıtını yaklaşık 10 milyar yıl sonunda tükettiğinde şişip kırmızı dev aşamasına geçiyor ve



Güneş benzeri bir yıldızın ölüm artışı olan bir beyaz küce, şişmeye başlayan eş yıldızından çaldığı gazla kütlelerini 1,4 Güneş kütlelerine çıkardığında Tip Ia süpernova olarak patlıyor ve ardışık bozunmalardan sonra uzaya büyük miktarda demir salıyor.

“zonklama” biçimli bir kaç ardışık şişme-büzüşme döngüsünün ardından, dış katmanlarını yavaşça uzaya salıyor. 0.6 Güneş kütlelerinde, Dünyamız boyutlarına kadar sıkışmış sıcak merkezi açığa çıkıyor ve bir “beyaz küce” olarak milyarlarca yıl içinde yavaş yavaş soğuyup görünmez oluyordu.

Şimdi bu sürecin birbirinin oldukça yakınında dolanan iki eş yıldızdan oluşan bir ikili sistemde gerçekleştiğini varsayalım (ki, Samanyolu'nda ikili sistemlerin tek yıldızlardan daha çok olduğu düşünülüyor). Diyelim yıldızlardan biri, yukarıdaki senaryodaki durakları izleyerek ömrünü tamamladı ve beyaz küceye dönüştü. Bir süre sonra sıra eş yıldızına geldi ve onun şişip genişleyen katmanlarından beyaz küceye gaz transferi başladı. Başlangıçta tipik olarak 0,6 Güneş kütlelerinde olan beyaz kücenin kütlesi bu yolla artmaya başladı ve uzun bir süre sonra Chandrasekhar limitini, yani, 1,4 Güneş kütlelerini aştı. İşte bu noktada, zincirleme termonükleer tepkimeler sonucu yıldız kararsız hale geliyor ve öteki süpernova türlerinden çok daha şiddetli ve parlak bir patlamayla, tümüyle yok oluyor. Hatırlayacağımız gibi beyaz küce orijinal yıldızın karbon ve oksijenle dolmuş olan merkezidi. Tip Ia süpernovasıyla merkezdeki madde ve üzerine yağıp bi-

rikmiş olan hidrojenin tümü, önce kararsız (radyoaktif) bir çekirdek olan nikel-56'ya, onun da radyoaktif bozunmasıyla yine kararsız olan kobalt-56'ya ve onun da bozunmasıyla kararlı demir-56'ya dönüşüyor. İşte binalarımızın kolonlarındaki, araçlarımızın yapısındaki, hatta kanımızdaki demirin temel kaynağı.

Tip Ia süpernovaları gökbilim için çok değerli birer araç haline getiren bir özellikleri de “standart ışık kaynağı” olmaları. Nedeni, öteki süpernova türlerinin tersine hep aynı kütledeki (1,4 Güneş kütleli) bir cismin patlayışının söz konusu olması. Böyle olunca da patlamanın şiddeti ve parlaklığı hemen hemen aynı. Dolayısıyla gökbilimciler, milyarlarca ışık yılı uzaklıktaki gökadalarda bile izlenebilen Tip Ia patlamalarının ışığının değerinden, içinde patladığı gökadanın uzaklığını sağlıklı biçimde hesaplayabiliyorlar.

Şimdi yeniden sonun başlangıcına, yani dev yıldızın merkezinin demirle dolup tepkimelerin durduğu noktaya dönelim. Eğer orijinal yıldız 30 Güneş kütlelerinden fazlaysa, merkezdeki çöküşü, nötronların dejenere basıncı bile durduramaz ve merkez sonsuz yoğunlukta, matematiksel bir noktaya, bir karadeliğe dönüşür. Tam olarak bilinmemekle birlikte, karadelik oluşumu için merkezin 2-3 Güneş kütlelerinden daha az kütleli olmaması gerektiği düşünülüyor. Karadeliklerin kütleçekimi öylesine güçlü ki, kendisine “olay ufku” denen bir eşikten daha çok yaklaşan hiçbir madde, hatta ışık parçaları olan fotonlar bile bir daha dışarı çıkamayıp deliğe sürükleniyor ve yok oluyorlar.

Karadelikleri de ilerideki bir yazımızla ayrıntılı biçimde yeniden ele alacağız.

Derleyen: Raşit Gürdilek

Kaynaklar:
Croswell, K., The Alchemy of The Heavens, USA,1996
<http://www.astro.psu.edu/users/saez/Class/class.html>
<http://cse.ssl.berkeley.edu/bmendez/ay10/2002/notes/lec12.html>
<http://imagine.gsfc.nasa.gov/index.html>
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/surface.shtml>
http://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_evolution

