

YILDIZLARDAN DIŞ MACUNUNA

FLOR

Helix Bulutsusu. Ölen bir kırmızı dev yıldızın, gezegenimsi bulutsu olarak genişleyen dış katmanları flor içeriyor.

Çevremizde rastladığımız elementler, yıldızların içinde, onların yaşam döngüsü içinde belli aşamalarda oluşurlar. Ancak, daha çok dış macunlarından ve içme sularından tanıdığımız “flor” adında bir element var ki, onun oluşum öyküsü ötekilerinkinden epeyce farklı. Floru ilginç yapan, onun oluşum biçimi. Flor, ancak özel koşullar sağlanabildiğinde oluşuyor.

Yeryüzündeki her kimyasal elementin yıldızlarda yazılmış bir öyküsü var. Atmosferin büyük oranını oluşturan ve aynı zamanda vücudumuzdaki proteinlerin temel bileşenlerinden biri olan azot, Kapella gibi, Güneş’ten biraz daha büyük kütleli yıldızların ürünü. Bu yıldızlar, ölümleri sırasında, azotu da içeren dış katmanlarını gezegenimsi bulutsu olarak püskürterek gökadeya bu elementi sağlarlar. Vazgeçemeyeceğimiz elementlerden biri olan oksijense, Antares gibi daha büyük kütleli yıldızların içinde oluşur ve süpernova patlamalarıyla uzaya saçılır. Bazı elementler, dev bir yıldızın içinde bile oluşmaz. Demir ve daha ağır elementleri oluşturabilecek enerji yalnızca süpernova patlamalarında ortaya çıkar.

Florun oluşum öyküsü ötekilerinkinden epeyce farklı. Floru ilginç ya-

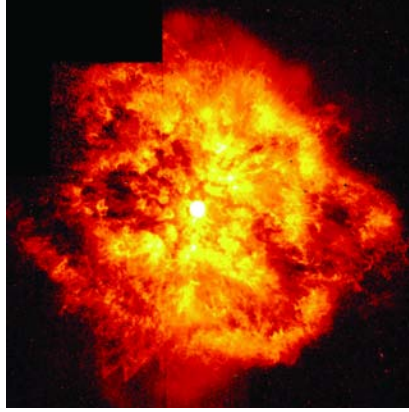
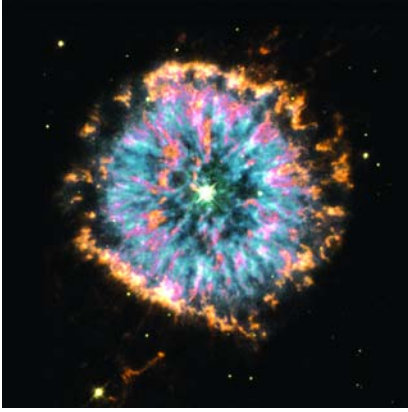
pan, onun oluşum biçimi. Flor, ancak özel koşullar sağlanabildiğinde oluşuyor. Buna yönelik ilginç düşüncelerden biri, bu elementin hayalet parçacıklar olan nötrinolar sayesinde oluşabildiğini öne sürüyor. Bir başka düşünce, florun kırmızı devler ve Wolf-Rayet adı verilen, dış katmanlarını uzaya savurmuş çok büyük kütleli mavi yıldızlarda azot oluşumu sırasında ortaya çıktığını öne sürüyor.

Flor, hem gökbilimsel hem de kimyasal bakımdan, öteki elementlerden farklı bir yerde duruyor. Her şeyden önce, az bulunan bir element. Periyodik Tablo’daki komşularına bakacak olursak, karbon, azot, oksijen ve neon, evrende çok bulunan hidrojen ve helyumdan sonra en yaygın elementler. Florsa, ilk 20’ye bile giremiyor. Yıldız tayflarını inceleyen gökbilimcilerin pek

azı flora tanıklık etmiş durumda. Gökadamız Samanyolu, yaklaşık 100 milyar yıldız içermesine karşın, bu elementi içeren sadece 100 kadar yıldız biliniyor. Bu, gökbilimcilere biraz garip görünüyor. Çünkü, bir yıldızın içinde oluşan elementler, karbon, azot, oksijen, neon, ... sıralamasıyla gidiyor. Normalde, oksijenden sonra florun gelmesi beklenirdi.

Flor, kimyacıların bakış açısına göre de farklı. Bu element o kadar hipeaktif ki, kripton ve ksenon gibi bileşik oluşturmayı hiç sevmeyen soygazlarla bile bileşikler oluşturabiliyor. Hidrojenle bir araya geldiğinde oluşturduğu hidrojen florid, o kadar güçlü bir asit ki onu koyduğunuz test tüpünü bile çözebilir.

Bir atom fizikçisine göreyse, flor kırılkan bir element. Birçok başka ele-

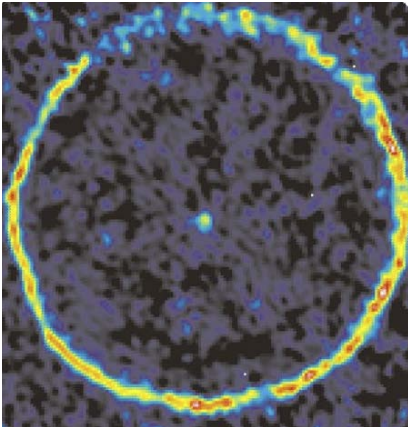


NGC 6751 gezegenimsi bulutsusunun merkezindeki (solda) ve WR124 (sağda) adlı Wolf-Rayet yıldızlarının, önemli miktarda floru bu tür püskürmelerle uzaya saçtığı düşünülüyor.

mentin aksine, flor sadece bir kararlı izotopa sahip: flor-19. Bir yıldız, normalde elementleri oluşturan fabrika gibidir. Ne var ki, bu fabrikalarda oluşturulan az miktardaki flor, bir yandan da bozulur. Bunun başlıca sorumlusu, baskın elementler olan hidrojen ve helyum. Sıcaklığın yüksek olduğu yıldızın iç katmanlarında, hidrojen atomu çekirdekleri (protonlar), flurun oksijen ve helyuma bölünmesine yol açar. Helyum çekirdekleri ise, floru neona dönüştürür. Bu koşullar altında, az da olsa evrende flurun bulunuyor oluşu, onun bambaşka bir oluşum sürecinden geçtiğini gösteriyor.

Süpernovalar

1988'de, California Üniversitesi'nden Stan E. Woosley ve Washington Üniversitesi'nden Wick C. Haxton, flurun oluşumuna yönelik bir varsayımda bulundular. Flurun varlığının süpernova patlamalarıyla açıklanabileceğini ö-



TT Cygni karbon yıldızı. Bu yıldızlar, kütlelerinin önemli bir bölümünü "yıldız rüzgarı" olarak püskürtürler ve yıldızlararası ortamı bazı elementlerce (flor da dahil) zenginleştirirler.

ne sürdüler. Bu yaklaşıma göre flor, süpernova parlamaları sayesinde henüz başka elementlerin saldırısına uğramadan uzaya savrulur ve paçayı kurttırıyor. 2002'de yayımlanan bir makalede Woosley ve çalışma arkadaşları, bir süpernova patlaması sırasında ortaya çıkan nötrinoların evrendeki flurun büyük bölümünün oluşumunda etkili olduğu öne sürdüler. Eğer durum böyleyse, dış macununuzdaki flor, neredeyse her şeyin içinden geçebilen bu hayalet parçacıklar olmadan oluşamıyor demektir.

Güneş'ten kaynaklanan nötrinoların trilyonlarcası, neredeyse hiçbir etkileşime girmeden her saniye vücudumuzdan geçer. Bu doz bizim için zararsızdır. Ancak, bir süpernova patlaması sırasında ortaya çıkan nötrinolar, yüksek enerjileri ve ortamın yüksek yoğunluğu nedeniyle çok daha kolay etkileşime girerler. Buradaki nötrinoların yaklaşık 200'de biri, yeni oluşmuş nötron yıldızının çevresindeki maddeyle etkileşir. Antares gibi bir yıldız süpernova olduğunda, yaklaşık 10^{58} nötrino, patlayan yıldızdan çevreye yayılır. Böyle bir yıldız süpernova olduğunda, Güneş kadar yakınımızda olsaydı, sadece nötrinolar bile bizi öldürmeye yeterdi.

Woosley ve Haxton'a göre, bu tür bir etkileşim, flurun oluşmasını sağlıyor. Patlamadan önce yıldız, önemli miktarda 10 protonu 10 nötronu olan Neon-20 üretiyor. Patlama sırasında, nötrinolar neon katmanına ulaştıklarında, bazıları neon çekirdekleriyle çarpışıyor ve çekirdekten bir proton ya da nötron kopartıyor. Neon-20, bir proton kaybettiğinde flor-19'a; bir nötron kaybettiğindeyse neon-19'a dönüşü-

yor. Radyoaktif olan neon-19, bozunarak flor-19'a dönüşüyor. Her iki biçimde de flor oluşuyor. Ne var ki, şimdiye kadar kimse bir süpernova patlamasında ya da süpernova kalıntısında flurun izine rastlamadı. O nedenle bu varsayım henüz kanıtlanmış değil.

Flurun Gözlenmesi

1992 yılında üç gökbilimci, süpernovalarda değil ama çok sayıda kırmızı-dev yıldızda floru gözlediklerini açıkladılar. Brüksel Üniversitesi'nden Alain Jorissen, iki Amerikalı meslektaşının bunu gözlemleriyle doğruladıklarını bilmeden bir kuram geliştirdi. Jorissen, kuramını geliştirirken, Teksas Üniversitesi'nden David L. Lambert ve Verne V. Smith, dev yıldızlardaki başka elementleri incelerken hidrojen floridin izine rastladılar. Bu zamana kadar, flor yalnızca Güneş, Venüs, Betelgeuse, yıldızlararası ortam, kozmik ışınım, bir karbon yıldızı ve bir-iki gezegenimsi bulutsuda gözlenmişti. Ondan sonra, gökbilimciler 70 civarında dev yıldızda bu elementi gözlediler.

Bu yıldızların bazıları, K ve M tayf türünde olan soğuk yıldızlardı. Çoban Takımyıldızı'ndaki Arkturus ve Andromeda'daki Miraç gibi. Bu tür yıldızların çoğunda, Güneş'te olduğu kadar flor gözleniyordu. Ancak, gökbilimciler karbon yıldızlarını daha dikkatli incelediklerinde, öykü tümüyle değişti. Bu yıldızlar, Güneş'e göre çok daha fazla (yaklaşık 65 kat) flor içeriyordu. Bu da karbon yıldızlarının floru kendilerinin üretebildiği anlamına geliyordu.

Buna göre flor, iki farklı çekirdek tepkimesinden güç alan dev yıldızlarda oluşuyor olabilirdi. Bu katmanlardan biri, hidrojenin birleşerek helyuma dönüştüğü katman. Burada, karbon, oksijen ve azot, katalizör görevi yaparak, hidrojenin helyuma dönüşmesini sağlar. İkinci tepkimeyse, yıldızın merkezinde helyumun karbona dönüşmesi. Ne var ki, karbon çekirdeğin üzerindeki katmanda meydana gelen helyum tepkimeleri kararsızdır. Helyum tepkimeye girdiğinde çok yüksek miktarda enerji ortaya çıkar. Bu tepkimeye "helyum kabuk parlaması" deniyor. Bu enerjinin yarattığı basınç, katmanın hızla genişlemesine neden olur. Tepkime sona erdiğindeyse, yıldızın dış katma-



Flor, yeryüzünde çeşitli bileşikler içinde bulunur. Kalsiyum florit, bunlardan biridir ve değişik renklerde mineraller oluşturur.

nındaki çalkantılar nedeniyle çekirdekteki karbon, yıldızın yüzeyine kadar taşınır. Bu tür yıldızlara “karbon yıldızı” deniyor.

Benzer bir mekanizma, floru da yüzeye taşır. Yıldızda oluşan azotla karışmış helyum, kabuk parlaması sırasında azotun flor-19’a dönüşmesine yol açar. Normalde, helyum çekirdeklerinin bulunduğu sıcak bir ortamda florun varlığını sürdürmesi olanaksız olurdu. Ancak, böylesine çalkantılı bir ortamda oluşan flor, kolayca yıldızın dış katmanlarına yükselir ve bu aşamada ölen yıldız, flor bakımından zengin dış katmanlarını savurarak gezegenimsi bulutsu oluşturur.

Gözlemler, florun en büyük yıldızlarda değil, daha küçük, 4 güneş kütlelerinin altındaki kütleyle sahip yıldızlarda daha çok bulunduğunu gösteriyor. Bunun nedeni, çok yüksek sıcaklıkların da florun değişmesine yol açması. Zaten gezegenimsi bulutsularda gözlenen flor da bu kütle bağımlılığını doğruluyor. Daha küçük kütleli yıldızların ölümüyle oluşmuş gezegenimsi bulutlar daha çok flor içeriyor.

Rüzgarla Gelen Flor

Cenevre Üniversitesi’nden Georges Meynet ve Brüksel Üniversitesi’nden Marcel Arnould, flor arayanların kırmızı yıldızlar yerine mavi olanlarına bakmalarını öneriyor. Wolf-Rayet yıldızları olarak bilinen mavi dev yıldızlar, yaklaşık 40 güneş kütlelerindeki dev yıldızların değişim geçirmesiyle oluşuyor. Normalde, büyük kütleli bir yıldız, evriminin ileri aşamalarında bir kırmızı deve dönüşür. Bunun nedeni, çekirdekteki tepkimelerin sonucu ortaya çıkan enerjinin yarattığı basıncın dıştaki hidrojen katmanını şişirmesidir. Ancak, 40 güneş kütleli bir dev yıldız, o kadar şiddetli parlar ki, içeriden gelen ışıının basıncı, yıldızın dış katmanlarını uzaya iter. Sonuçta, geriye yüzeyin altındaki katmanda bulunan elementlerin açığa çıktığı bir Wolf-Rayett yıldızı kalır.

Bu elementlerden biri, azot-14’tür. Yıldız, helyumdan oluşan çekirdeğini yakmaya başladığında, azotun bir bölümü kırmızı devlerde olduğu gibi flora dönüşür. Normalde, oluşan bu flor,

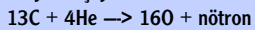
helyum tepkimeleri sonucu ortaya çıkan nötrinolarla bombardıman edilerek neona dönüştürdü. Ancak bir Wolf-Rayet yıldızında, florun geleceği daha iyi olabilir. Burada yıldızın rüzgarı imdada yetişiyor. Yıldız rüzgarı, yeni oluşan floru helyumun elinden kurtararak uzaya üfler. Bir Wolf-Rayet yıldızının, Güneş’in içerdiği florun 70 katına sahip olduğu düşünülüyor. Bu da onların florun temel kaynağı olduklarını düşündürüyor. Ne var ki, henüz herhangi bir Wolf-Rayet yıldızında flor gözlenmiş değil.

Gökbilimciler, yukarıda sözünü ettiğimiz üç olasılıktan hangisinin (süpernovalar, kırmızı devler ve Wolf-Rayet yıldızları) florun asıl kaynağı olduğunu bulabilmek için çeşitli çalışmalar yapıyorlar. Samanyolu’ndaki florun asıl kaynağının büyük kütleli yıldızlar olduğu düşüncesindeler. Çünkü, ancak bu yıldızlar çok miktarda nötrino-yu neon çekirdekleriyle çarpıştırıp flor yapabiliyorlar. Yine büyük kütleli yıldızlar olan Wolf-Rayet yıldızlarında meydana gelen nükleer tepkimeler de bunda etkili olabilir. Kırmızı devler de floru oluşturuyor ancak Wolf-Rayet yıldızlarından daha az ilgi topluyorlar. Sonuçta, araştırmalar gösteriyor ki, nötrinolar maddeyle etkileşime girmeseydi ve en parlak yıldızlar dış katmanlarını üflemelelerdi, gökadamızdaki ve dolayısıyla dış macunumuzdaki florun çoğu oluşamayacaktı.

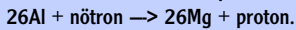
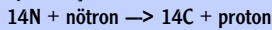
Alp Akoğlu

Kırmızı Devlerde ve Wolf-Rayet Yıldızlarında Flor

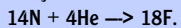
Flor, kırmızı devler ve Wolf-Rayet yıldızlarında meydana gelen nükleer tepkimelerde oluşuyor. Bunun için birden fazla nükleer tepkime gerekiyor ve bu tepkimeler çok da kolay gerçekleşmiyor. Tepkimeler, Karbon 13’ün Helyum-4’le tepkimeye girmesiyle başlıyor.



Nötron, azotla ya da alüminyumla tepkimeye girer ve karbon-14 ya da Magnezyum-26 ve serbest proton çıkar:



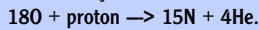
Azot-14 ile helyum-4 tepkimeye girerek flor-18’i oluşturur.



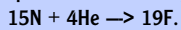
Flor-18 kararsız bir element olduğundan bozunur ve oksijen izotopu olan oksijen-18’e dönüşür



Proton burada devreye girerek Oksijen-18’in azot-15’e dönüşmesine neden olur.



Azot-15, helyum’la birleşerek florun kararlı izotopu olan flor-19’u oluşturur.



Bu tepkimeler bir kırmızı devde meydana geliyorsa, helyum parlaması sırasında flor yıldızın yüzeyine ulaşır ve buradaki görece soğuk ortam, onu helyum ya da protonlarla tepkimeye girmekten kurtarır.

Benzer bir tepkimeler dizisi, Wolf-Rayett yıldızlarında da gerçekleşir. Bu yıldızların, helyum yakmaya başladıklarında flor ürettikleri düşünülüyor. Bu sırada, yıldızın güçlü rüzgarı elementi henüz helyumla tepkimeye girmeden uzaya üfler.

Kaynaklar
Croswell, K., Fluorine, An Elementary Mystery, Sky & Telescope, Eylül 2003
Renda A., Fenner Y., Gibson B.K., On the Origin of Fluorine in the Milky Way, The Journal of the Royal Astronomical Society, 9 Temmuz 2004
Woosley, S. E., Heger, A., and Weaver, T. A., 2002. The Evolution and Explosion of Massive Stars. Reviews of Modern Physics, 74, 1015
<http://www.astro.su.se/aar99/node13.html>