

GÜNEŞ'E NELER OLUYOR?

Sabahları kalkıp da ilk iş olarak pencereden baktığımızda, çoğunlukla farkında olmadığımız bir beklentimiz vardır: Güneş'in gülümseyen yüzünü görmek. Bize 150 milyon kilometre öteden sükunetle parladığı izlenimini veren yıldızımızın içinde kopan fırtınaları görmemizse çok zor. Ama Güneş'in de tepesinin attığı dönemler var. Bu fırtınalı dönemlerden biri de, tam şu sıralarda yaşanıyor.

GÜNEŞ'İN genellikle gülümseyen yüzüyle çizilmesi boşuna değil. Çünkü hiçbir şeyden emin olamasak, Güneş'in yarın da doğacağından emin olabiliriz. Milyarlarca yıldır yaptığı gibi. Gece gökyüzünde çıplak gözle görülebilen yaklaşık 6000 yıldızdan bize en yakın olanı, dolayısıyla da üzerinde en çok çalışma yapılanı, Güneş. Işığının bize ulaşması için geçen 8 dakikalık süreyle, bilginin elimize bayatlamadan ulaşması açısından, çok daha uzak diğer yıldızlarla karşılaştırıldığında büyük avantaj. Ancak taşıdığı

birçok "ortalama" yıldız özelliğine bakarak (sıcaklık, yaydığı ışık, büyüklük vb. bakımından), bir standart ve çıkış noktası olarak ele almaya alıştığımız bu yıldız, aslında sağı solu hiç belli olmayan bir komşu. Üstelik sürprizlerle dolu. Tepesi attığında milyar tonluk yanar gaz balonları tükürebiliyor, yüklü parçacık bulutları fıskırtabiliyor; dahası, bir haber bile vermeden Dünyamızı bir mini buzul çağına götürme potansiyeline sahip. Yıldızımızın bu tür kaprisleriyse, gökbilimin görece yeni konularından.

4,6 milyar yaşındaki Güneş'in, bün-

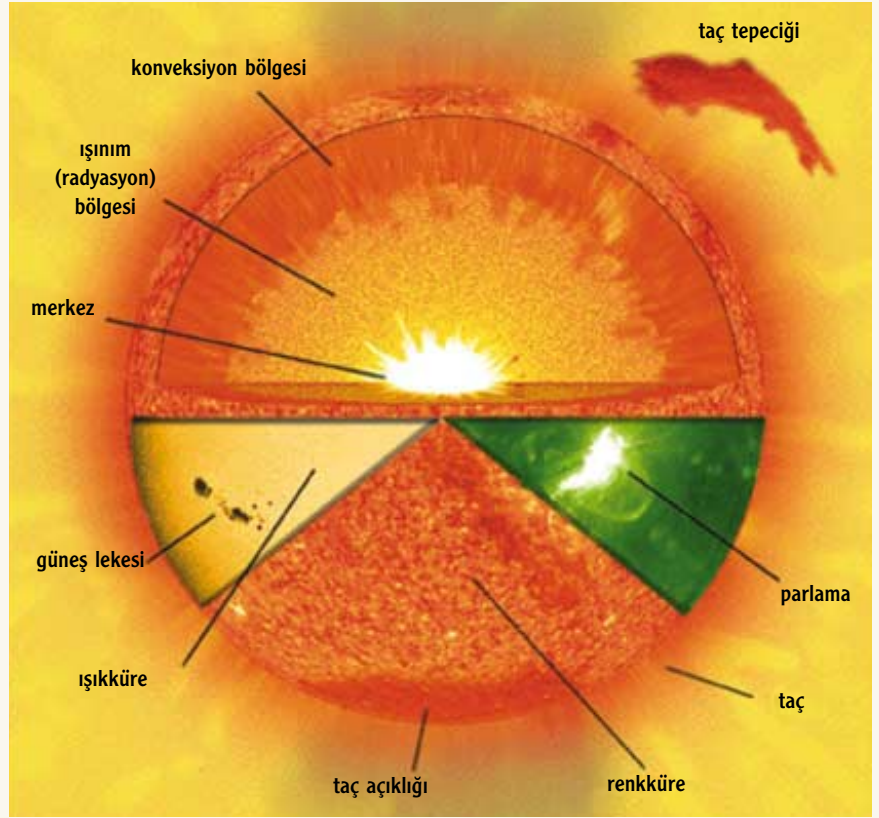
yesindeki yakıtı kullanıp tüketince, ölüp gidecek basit bir ateş topundan ibaret olmadığı artık biliniyor. Öyle olsaydı, içerdiği gazın yanıp gitmesi 3000 yıldan uzun sürmeyecekti. 19. yüzyıl gökbilimi, Güneş'in bu bitip tükenmek bilmez görünen enerji kaynağının niteliği konusunda ateşli tartışmalara sahne olmuştu. Yerbilimci ve biyologlar, yeryüzündeki jeolojik oluşumlar ve yaşamın tarihinden yola çıkarak Güneş'in en azından 300 - 400 milyon yıldır parlıyor olması gerektiğini öne sürerken, kuramsal fizikçiler de bu enerjinin, Güneş'in kendi kütle-

çekim etkisi altında çöküp ısınmasıyla üretildiğini savunuyorlar, bu da yaklaşık 20 - 30 milyon yıla karşılık geliyordu. Einstein'ın $E = mc^2$ formülü, 20. yüzyıl başlarında bu konuda bir dönüm noktası oldu: Işık hızı c'nin karesi, uygun birimlerle ifade edildiğinde çok büyük olacağından, küçücük bir kütle (m) bile, çok büyük miktarlarda enerjiye (E) karşılık gelecekti. Ancak bu denklemi barındıracak fiziksel süreç neydi, nasıl bir şeydi? Bu süreci, 15 yıl sonra İngiliz astrofizikçi Arthur Eddington tanımladı. Güneş, hidrojeni helyuma dönüştüren nükleer tepkimelere sahneydi. Bu tepkimelerle ortaya çıkan enerjiye Güneş'i milyarlarca yıl yaşatmaya yeterdi.

Günümüz verileriyle kendisine biçilen 10 milyar yıllık ömrün 4,6 milyar yılını kullanmış olduğunu düşünürsek, Güneş'in Dünya'yı daha çok uzun süre aydınlatacak olduğu kesin. 4,6 milyar yıl önce, çökmekte olan bir gaz ve toz bulutundan doğan yıldızımız, diğer yıldızlarda olduğu gibi kendi kütleçekim etkisi altında çöktükçe, basınç ve sıcaklığı da giderek artarak, sonunda merkezinde nükleer tepkimelerin başlamasına olanak verecek düzeye geldi. Güneş'in bize gülümseyen yüzünü de, işte bu tepkimelerle ürettiği sürekli enerjiyle Dünya'yı yaşam için gerekli ısı ve ışığa kavuşturan merkezine borçluyuz. Tepkimelerin bir kısmı, görünür ışık ürettiği halde, bu ışık Güneş'ten kolay kolay kaçamıyor. Çünkü Güneş'in ışık yayma konusundaki cömertliği, en dış katmanını saymazsak, bir kaya parçasınıkinden fazla değil. Bir fotonun, birbirleriyle delicesine çarpışan bir parçacıklar ve fotonlar cehennemi sayılabilecek merkezden yüzeye ulaşması, yüzbinlerce yılı bulabiliyor. Bu süre, boşluktaki hızı saniyede 300.000 km olan bir foton için 2 saniyenin az üzerinde. Fotonların bu rötörlü yolculukları, sonuçta sabit bir görünür ışık akımı üretiyor.

Güneş'in İşlevsel Anatomisi

Kütlece % 74 kadarı hidrojen, % 25 kadarı helyum, kalanı da daha ağır elementlerden oluşan Güneş, tümüyle ne katı, ne sıvı, ne de gaz. Gaz atomlarının yeterince yüksek sıcaklıklarda



iyonlaşmalarıyla oluşan ve maddenin dördüncü hali olarak tanımlanan "plazma" yapısında. Bu plazma, yüzeye yakın bölgelerde seyrek ve gazsı özellikteyken, merkeze yaklaştıkça yoğunlaşıyor.

Yapısına baktığımızda gördüğümüz tablo, merkezde üretilen enerjiyi dışarıya ulaştırmaya çalışan ve her biri bunu kendi yapısal özelliklerine göre farklı biçimde gerçekleştiren kompartmanlar.

"Merkez" (core) bölümü, Güneş'in yakıt kazanı; tüm enerjisinin üretildiği yer. Yarıçapı, Güneş yarıçapının 1/4'ü kadar. Sıcaklığı, yaklaşık 15 milyon °C. İçerdiği malzeme de çok sıkı paketlenmiş, yani çok yoğun durumda. Böylesine yüksek sıcaklık ve yoğunluksa, nükleer tepkimelerin gerçekleşmesi için ideal koşulları sağlıyor. Yüksek ısıya maruz atomlar, yapılarını korumayıp bileşenlerine; proton, nötron ve elektronlarına parçalanıyorlar. Nöt-

ronlar, yüksüz olmaları nedeniyle çevre atomlarla fazla etkileşime girmeden, merkezden hızlı bir biçimde 'sıvı-sırken', (+) yüklü protonlarla (-) yüklü elektronlar merkezde kalıp Güneş'e enerji üretecek tepkimeleri gerçekleştiriyorlar. Yüksek sıcaklıkla fitilleri ateşlenmiş, yani gerekli ısı enerjisiyle donanmış bu kazan dairesi işçileri, sağa sola koşturup birbirleriyle çarpışmaya başlıyorlar. Tabii yüksek yoğunluklu ortam, bu işi kolaylaştırıyor. Farklı parçacıkların farklı kombinasyonlarla çarpışıp birleşmeleriyle gerçekleşen nükleer "füzyon" tepkimelerinin sonucuysa, enerji.

Güneş'in merkezinde bu şekilde ortaya çıkan enerjinin, kendini dışarı atacak yol ve yöntemlere gereksinimi var. Merkezle yüzey arasında kalan iki farklı bölge, bu enerji iletim işini iki farklı yolla gerçekleştiriyor. Güneş boyutlarında bir yıldız için, çekirdekte oluşturulan enerjiyi dışarıya doğru taşımının

en etkili yolu, ışı-nım. Nitekim, merkezin hemen üzerindeki bölge de (Güneş yarıçapının içten dışı doğru % 25'lik kısmından başlayıp % 85'lik kıs-

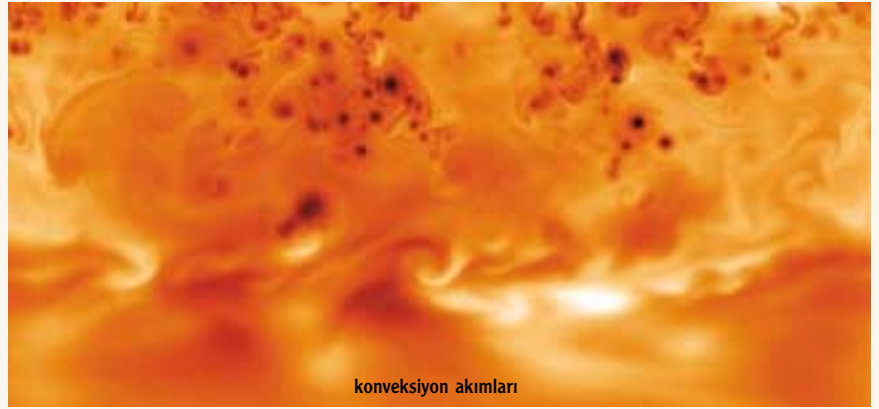
Çap	: 1.400.000 km (yaklaşık 110 Dünya çapı)
Hacim	: 1.300.000 Dünya hacmi
Kütle	: $1,99 \times 10^{33}g$
Merkezde yoğunluk	: 150 g/cm ³
En dış tabaka yoğunluğu	: 10-15 g/cm ³
Kendi çevresinde dönme süresi	: 25 gün (ekvator bölgesinde)
Dünya'ya uzaklığı	: 150.000.000 km
Merkez sıcaklığı	: 15.000.000 °C
Yüzey sıcaklığı	: 6.000 °C

Güneş'teki Element Miktarları

Element	Toplam atom ya da lyon sayısına göre %	Toplam kütleye göre %
Hidrojen	92,0	73,4
Helyum	7,8	25,0
Karbon	0,02	0,20
Nitrojen	0,008	0,09
Oksijen	0,06	0,8
Neon	0,01	0,16
Magnezyum	0,003	0,06
Silikon	0,004	0,09
Kükürt	0,002	0,05
Demir	0,003	0,14

mına kadarki bölge) "ışınım bölgesi" (radiation zone) olarak adlandırılıyor. Bu bölgenin sıcaklığı, merkeze göre daha düşük; ortalama 5 milyon °C kadar. Dolayısıyla içerdiği atomların bir kısmı parçalanmadan kalabiliyor ve enerjiyi soğurup, bir süre depolayıp, sonra da ışınlı geri salabiliyorlar. Sonuçta, ışınlı dışarıya doğrudan bir yolculuk yapmak yerine, atomdan atoma geçirilerek uzun, zikzaklı bir yol izle-

mek zorunda kalıyor. Atomlar arasında birer top gibi fırlatılan fotonlar bu şekilde, yukarıda da sözedildiği gibi, yüzeye ancak yüzbinlerce yıl sonunda ulaşabiliyorlar. Oradan oraya fırlatıldıkları yetmezmiş gibi, bir de bilimadamlarının acımasız yakıştırmalarına hedef olmuşlar: "sarhoş denizci yürüyüşü". Gökbilimciler, bu oldukça yavaş ama sağlam enerji iletim biçimini böyle nitelediriyorlar.



konveksiyon akımları

İşınım bölgesinin üzerindeki "konveksiyon bölgesi" de, Güneş yarıçapının % 85'ine karşılık gelen bölgeden başlayarak yüzeye kadar uzanıyor. Adını, üstlendiği enerji iletim biçiminden alıyor. Konveksiyon, ısı aktarımı demek. Merkezde üretilip ışınlı bölgesini aşan enerji, şimdi kendine farklı bir yol bulmak durumunda; çünkü bulunduğu bölgenin sıcaklığı ve fiziksel özellikleri yine değişti. Sıcaklık or-

Bizde de Yıldız Tozu Var!

Evrenin kimyasına ilişkin temel kuramsal çerçeve, neredeyse yarım yüzyıldır geçerliliğini koruyor. Genellemek gerekirse, en hafif elementler olan hidrojen ve helyum –çok daha az miktarlarda da döteryum ve lityum– Büyük Patlama'yı takip eden ilk birkaç dakika içinde ortaya çıktılar. Diğer bütün elementler çok daha sonraları oluştu: Görece hafif elementler, yıldızların iç kısımlarında hidrojen ve helyum çekirdeklerinin füzyonuyla (birleşmeleriyle) başlayan nükleer tepkime dizileriyle ortaya çıkarken, demirden ağır olanları farklı türden tepkimelerle oluştu. Bunlardan önemli bir kısmı da, bazı yıldızların 'ölüm patlamaları' olan süpernovalarla uzaya dağılıp, izleyen yıldız nesillerine katıldılar. Kkimyasal yapısı ve 4,6 milyar yıllık yaşına bakarak, Güneşimizin de bir ilk nesil yıldızı olmayıp, element bakımından belli aşamaya gelmiş bir bulutsudan oluştuğunu söyleyebiliyoruz. Bu elementler, yıldızlarıyla birlikte oluşan gezegenlerin, derken organik oluşumların, ve derken bizim yapımıza da katıldılar!

Yıldızların enerji kaynağı olan füzyon tepkimeleri, aynı zamanda hafif element çekirdeklerinin birleşerek daha ağırılarını oluşturdukları bir sürecin de başrol oyuncusu. Sonuç, bir taşla iki kuş: Yani bir (ya da bir dizi) tepkimeyle, hem enerji, hem element.

Evrende en bol bulunan element, hâlâ hidrojen; onu izleyen elementse helyum. Yıldızlar da, yaşam sürelerinin çoğunu hidrojen yakma aşamasında geçiriyorlar. Büyüklüğü Güneş kadar ya da ondan küçük olan yıldızlarda bunun için baskın mekanizma, "proton-proton zinciri" adı verilen tepkimeler dizisi. Bu dizileri izleyen yıldızlar hidrojen-den helyum oluşturma yoluna giderken, daha bü-

yük yıldızlar da "karbon-nitrojen-oksijen (CNO) döngüsü"nden yararlanıyorlar. Bu döngü sürecinde karbon, nitrojen ve oksijen çekirdekleri, hidrojen çekirdekleriyle (proton) birleşip bir dizi ardışık tepkime sonucu helyum üretiyorlar. Sözetlediğimiz gibi, enerjinin de açığa çıktığı bu tepkimelerde birçok yan ürün var. Element çeşitliliği, bu yan ürünlerin de birbirleriyle girdikleri tepkimeler sonucunda oluşuyor. Ancak nereye kadar? Demire kadar. Demir, enerji salan füzyon tepkimeleriyle üretilebilen en son, yani en ağır ve en kararlı element. Evrende oldukça bol bulunmasının nedeni de bu. Bu sınırdan sonra çekirdekler, füzyon tepkimelerine giremeyecek kadar ağırlaşıyor; dolayısıyla sınıra ulaşan bir yıldız, artık enerji kaybetmeye başlıyor. Ancak, bu noktada devreye giren bir başka mekanizma, demirden ağır elementlerin (altın, gümüş, kurşun, uranyum gibi) üretimini üstlenebiliyor. Mekanizma, bu elementlerin üretimini, çekirdeklerin, ortamdaki serbest nötronları 'yakaladıkları' bir tepkimeler süreciyle gerçekleştiriyor. Bu süreçte büyük çoğunlukla, demir sınırındaki yıldızın kararlılığını kaybedip, merkezinin çökmesi ardından gerçekleşen "süpernova" patlamalarının bir sonucu.

Sürpriz Elementler, Sürpriz Bulgular

Gökbilimcilerin, yıldız kimyası ve element oluşumuna ilişkin ipuçları elde etmek üzere farklı yaş ve farklı konumdaki yıldızlar üzerinde yaptıkları incelemeler, şu sıralara kadar gökadamız Samanyolu'yla sınırlıydı. Gökadamız yıldızlarının tarihiyse, olasılıkla çok çok eski. Yakınımızda olanlar, atmosferlerinde öncül-gökadanın kimyasal yapısına ait iz-

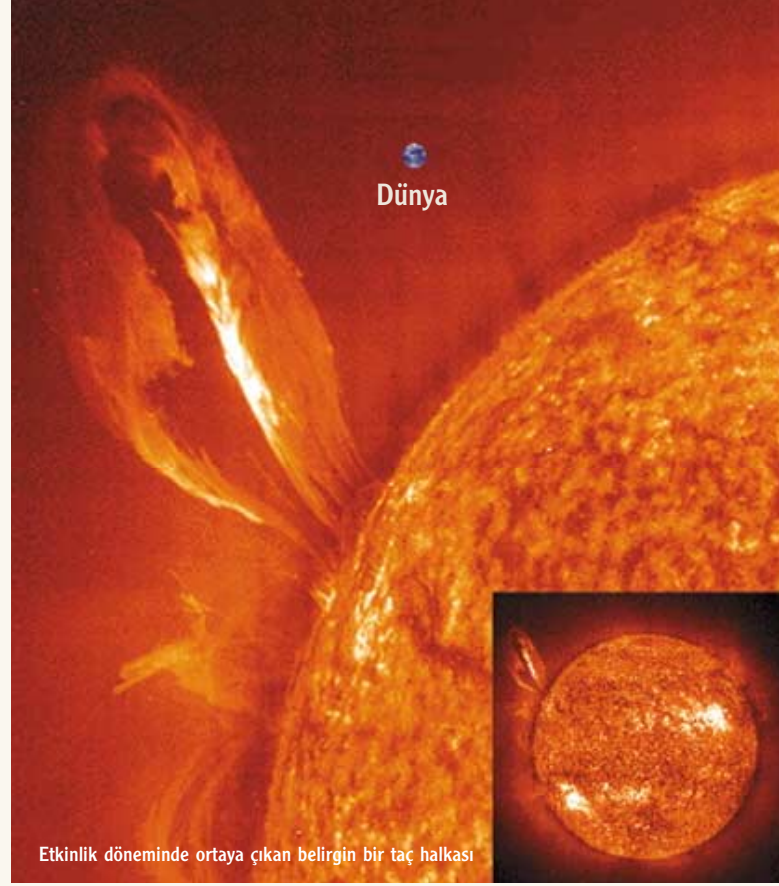
ler taşıyorlar. Tıpkı Dünya tarihinde yok olup gitmiş bir döneme ait canlı fosilleri gibi. Evrende varolduğu düşünülen en az 200 milyar gökadanın biri olan Samanyolu ve içerdiği yıldız nüfusunun, gökada kimyasal evrimiyle ilgili olarak sunduğu veriler de, ister istemez sınırlı kalıyor. Ancak, teknolojik gelişmelerle gökbilimciler artık kimyasal element bolluğuna ilişkin çalışmalarını Samanyolu dışına taşıyabilmeye başlamış durumdadır.

Bu konuda çok yeni bir gelişme, geçtiğimiz Temmuz ayında Nature dergisinde yayımlanan bir makaleyle duyuruldu. Gelişme, çok uzakta ve yaklaşık 2 milyar yaşında olduğu saptanmış bir gökadamındaki element bolluğu üzerine. Bu da bizi 13,7 milyar yaşındaki evrenin oldukça erken zamanlarına, 1 ya da 2 milyar yaşında olduğu dönemlere götürüyor. (Bu tür ölçüm ve uzaklık belirlemeleri, "kızıla kayma" adı verilen bir değişkenden yararlanılarak yapılıyor. Kızıla kayma derecesi, bir cisimden salınan ışığın dalgaboyunun, evrenin genişlemesine bağlı olarak ne kadar arttığının bir göstergesi. Sonuçta yeni bulunan gökada, bize bugünkü durumuyla değil, 12 milyar yıl önceki durumuyla görünüyor. Bu gökada, aslında fosil avcılarının arayıp da bulamadıkları bir fırsat!) Asıl ilginç, gökadamda çinko ve germanyum gibi ağır elementler de dahil olmak üzere, 25 kadar elementin gözlenmesi. Bizim gökadamızda, bu yaşındaki yıldızların içerdiği kimyasal element çeşitliliği, çok daha az. Yeni gökadamdaki bu element bolluğu, gökadamdaki büyük kütleli yıldızların patlayıp gökada ortamını zenginleştirdiklerini gösteriyor. Yani sözü edilen gökadamdaki yıldızlar, Büyük Patlama'dan yalnızca 2 milyar yıl sonra, patlamadan 9 milyar yıl sonra oluşmuş Güneş'in kimyasal bileşimine sahip oluyorlar. Tüm bunlar, Büyük Patlama'dan kısa süre sonra oluşan gökadalarda, yıldız oluşumunun başlaması ve element üretimi süreçlerinin, epey hızlı olduğuna işaret ediyor.

talaması 2 milyon °C civarında. Bu sıcaklık, atomların enerji soğurmasına hâlâ yetiyor olsa da, ellerinden bırakmaları için pek elverişli değil. Bu nedenle ısınlı iletim hızı, ciddi biçimde düşüyor. İmdada yetişen bu yeni iletim biçimindeyse, ısınlı bölgesi bitimi ve konveksiyon bölgesi başlangıcındaki görece sıcak maddenin yükselerek, daha 'soğuk' malzemenin tabana çökmesi sözkonusu. Bölge bitimine ulaşan sıcak madde, yeniden 'serinleyerek' aşağı çöküyor, çökünce yeniden ısınıyor, ısınınca yeniden yükseliyor vs. Bu döngünün oluşturduğu dikey enerji iletimi, ısınlı iletime kıyasla çok daha dolaysız ve hızlı. Enerjinin bu yolla bölgenin sonuna ulaştırılması, bir haftadan biraz uzun.

Buradan Güneş 'yüzeyi' olarak betimlenen bölgeye "ışık küre"ye (fotosfer) geliyoruz. Güneş bir gaz topu olduğu için, aslında yüzeyi de yok. Ancak Güneş'e baktığımızda, ötesinde gazların birden yoğunlaşarak saydamlığını neredeyse tümüyle yitirdiği, yaklaşık 500 km kalınlıkta bir sınır bölgesi var. Bir yüzey olarak algıladığımız

bu bölge, aynı zamanda Güneş'e bir filtreyle baktığımızda gördüğümüz disk; bir tür hayali yüzey. İçerdiği gazın yoğunluğu da öyle düşük ki, Dünya'nın deniz düzeyindeki atmosfer basıncının 10 binde 1'ine karşılık geliyor. Işıkkürenin bir özelliği de, filtreli bir teleskopla bakıldığında, alttaki konveksiyon bölgesinin oluşturduğu izler (granülasyon). Yüzeyi hücrelere böldüğü izlenimini veren bu desenin yaratıcıları, konveksiyon bölgesinin sürekli inip çıkardığı durumdaki baloncukları. Enerji, ışık küre içinde de ısınlı yoluyla iletiliyor; çünkü burada bulunan gazın yoğunluğu, atomların enerji soğurup



Etkinlik döneminde ortaya çıkan belirgin bir taç halkası

sonra da salmalarına elverecek ölçüde ince. Güneş'ten aldığımız ışığın büyük bölümü de, ışık kürenin bu atomlardan salınan enerji biçiminde.

Güneş'e ait gazlar, ışık kürenin çok ötesine kadar uzanıyor. Güneş atmosferinin 'tabanı' sayılan ışık kürenin hemen üzerindeki bölgeye "renk küre" (kromosfer). Yaklaşık 2000 kilometre kalınlığındaki bu tabakada enerji, yine ısınlı iletiliyor. Hidrojen atomları ışık küredeki enerjiyi soğurarak, çoğunu hidrojen-alfa ışığı olarak bilinen kırmızı ışık halinde yayıyorlar. Bu durumda renk küreyi görmenin en iyi yolu, Güneş'in diğer bütün dalgaboylarındaki ışığını devre dışı bırakan filtrelerden yararlanan teleskoplar kullanmak. Tam Güneş tutulması da, bu ince kırmızımsı tabakanın görülmesine olanak sağlıyor. Renk kürenin bir özelliği de sürekli biçim değiştiren, tırtıklı yapıdaki dış yüzü. Bu tırtıklı yapıları, binlerce kilometre yukarıya fırlayıp sonra inen alevlere benzetmek mümkün.

Sıranın sonunda, Güneş atmosferi olarak betimlenebilecek "taç" (korona) kısmı var. Parıltısı ışık küreninkine kıyasla çok daha düşük olan bu bölgeyi, çıplak gözle yine ancak Güneş tutulması sırasında görebiliyoruz. Taç'ı görmenin bir yolu da, Güneş diskini perdeleyen özel bir aygıt olan koronagraftan yararlanmak.

Taç kısmı, birçok ilginç özellik gösteriyor. Bunlardan biri, normalde Gü-

Yıldızların Sınıflandırılması

Aşağıda, birçok temel yıldız tipi görülüyor. Bunlardan çoğu "anakol yıldızları" grubunda. Güneş'in de içinde bulunduğu ve kütlelerine göre farklı sınıflara ayrılan bu yıldızların hepsi, enerjilerini hidrojen yakıp helyum oluşturmak yoluyla sağlıyorlar. Yıldızların kütleleri, yüzeylerinin sıcaklığını, dolayısıyla da rengini belirliyor. Güneşimiz, G sınıfı sarı bir yıldız. O ve B sınıfı dev, sıcak yıldızlar mavimsi; A sınıfı beyaz; Güneş'ten biraz büyük F sınıfı sarı-beyaz; Güneş'ten daha küçük olan K ve M sınıfı yıldızların renkleri de, sırasıyla turuncu ve kırmızı. Yine birçok yıldız, ömürlerinin % 90'ını anakol yıldızı olarak geçiriyor. Hidrojen yakıtlarını tükettiklerindeyse, dış katmanları büyük ölçüde genişliyor ve "devlere" dönüşüyorlar. Birkaç milyon yıl sonra atılan bu dış katmanlar, ortada 'bozulmuş' bir merkez kısmı, bazı durumlarda da karadelik bırakıyor.

ANA KOL YILDIZLARI

Tayfa Göre Sınıflar:	O	B	A	F	G	K	M
Sıcaklık:	40 000 K	20 000 K	8500 K	6500 K	5700 K	4500 K	3200 K
Yarıçap (Güneş=1):	10	5	1.7	1.3	1.0	0.8	0.3
Kütle (Güneş=1):	50	10	2.0	1.5	1.0	0.7	0.2
Parlaklık (Güneş=1):	100 000	1000	20	4	1.0	0.2	0.01
Yaşam Süresi (milyon yıl):	10	100	1000	5000	10 000	50 000	100 000
Bolluk: % 0.00001	% 0.05	% 0.3	% 1.5	% 4	% 9	% 80	

DEV YILDIZLAR

Yaşam sürelerinin sonuna yakın, küçük kütleli yıldızlar

BEYAZ CÜCELER

Çökmüş bir yıldızın ölmekte olan kalıntısı

SÜPERDEV YILDIZLAR

Yaşam sürelerinin sonuna yakın, büyük kütleli yıldızlar

Tayfa Göre Sınıflar:	F,G,K ya da M
Sıcaklık:	3000 - 10 000 K
Yarıçap (Güneş=1):	10 - 50
Kütle (Güneş=1):	1 - 5
Parlaklık (Güneş=1):	50 - 1000
Yaşam Süresi (milyon yıl):	1000
Bolluk:	% 0.5

Tayfa Göre Sınıflar:	D
Sıcaklık:	50 000 K'den az
Yarıçap (Güneş=1):	0.01'den az
Kütle (Güneş=1):	1.4'den az
Parlaklık (Güneş=1):	0.01'den az
Yaşam Süresi (milyon yıl):	-
Bolluk:	% 5

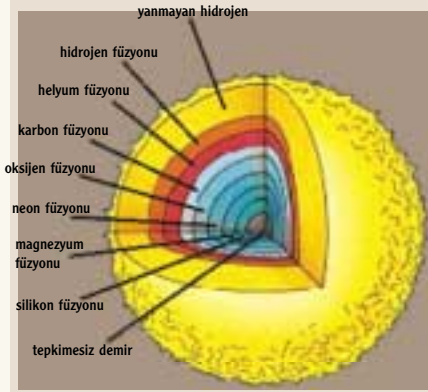
Tayfa Göre Sınıflar:	O,B,A,F,G,K ya da M
Sıcaklık:	4000 - 40 000 K
Yarıçap (Güneş=1):	30 - 500
Kütle (Güneş=1):	10 - 70
Parlaklık (Güneş=1):	30 000 - 1 000 000
Yaşam Süresi (milyon yıl):	10
Bolluk:	% 0.0001

*1K = -272 °C

Yıldızların Yaşam Döngüsü

Yıldızlar, gaz ve toz bulutlarının kütleçekim etkisi altında çökmesi sonucu oluşuyorlar. Bu bulutlar yeterince büyüğe, merkez bölgedeki sıcaklık ve basınç, nükleer tepkimelerin başlamasına izin verecek ölçüde artarak, hidrojeni helyuma dönüştürüyor... ve yeni bir yıldız doğuyor!

Bir yıldızın kaderini belirleyen, basitçe söylemek gerekirse, aslında tümüyle basınç ve kütleçekim kuvveti arasındaki bitmez tükenmez çekişme. Yıldızın enerji üretiminde kullandığı tepkimeler, onu aynı zamanda kendi kütleçekim etkisi altında çökmekten kurtaran bir kendini koruma yöntemi. Yararlandığı enerji biçimi, yıldızı belli bir noktaya getirirken, o noktadan sonra kendini belli etmeye başlayan çekişme, yıldızın kararlılığını bozarak, onu başka bir enerji üretim



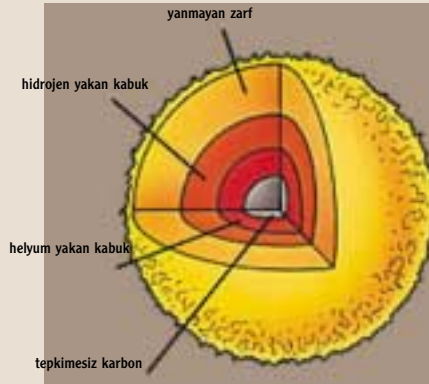
biçimi bulmaya zorluyor. Sonuçta yıldız yaşam döngüsündeki her aşama, farklı bir enerji üretim yöntemiyle işaretlenmiş durumda. Bu aşamalar şöyle:

Anakol aşaması: Bu, yıldızların, ömürlerinin çoğunu içinde geçirdikleri kararlı aşamaya verilen ad. Bu aşamadaki bir yıldız, görece basit bir yapıya sahip. Basınç ve kütleçekim kuvvetleri birbiriyle dengede; yıldız kararlı durumda ve merkezi de hidrojeni helyuma dönüştürecek nükleer tepkimelere elverecek ölçüde sıcak. Yıldız, merkezindeki hidrojeni tepkimelerde kullanıp helyum ürettikçe merkezdeki helyum miktarı giderek artacak ve sonuçta merkez, tümüyle helyumla dolmuş olacak. Öyleyse işler değişmeye başladı...

Anakol dönemi sonrası: Artık yıldız, iki farklı kimyasal bölgeye sahip: helyumdan bir merkez, hidrojenen bir zarf. Hidrojen kadar alçakgönüllü olmayan helyumun, nükleer tepkimelere girmek için koşulları var; daha fazla sıcaklık istiyor. Ona bu lüksü tanımayan merkez bölgesi, bunun bedelini de ödemek zorunda. Enerji üretim sistemi aksayan yıldızın merkezi, destekten yoksun kalarak sıkışmaya başlıyor, sıkıştıkça da ısınıyor. Bu ısı, merkezin hemen üstündeki bir hidrojen katmanına geçerek, ona yeniden füzyon tepkimelerine girme olanağı sağlıyor. Merkez sıkıştıkça ısınmaya devam eden hidrojenen kabuğun hem parlaklığı hem de basıncı artıyor. Artık yıldızın dengesi iyice bozuldu. Kütleçekim kuvvetinin basınca üstün geldiği merkez bölümü, çevreleyen hidrojen kabuğun uyguladığı basıncın etkisiyle daha da sıkışıyor. Merkezden aldığı ısıyla

sıcaklığı giderek artarak yanmakta olan kabuksa, yıldızın dış kısımlarına basınç uygulayacak duruma geliyor. Genişleyen bu dış katmanların sıcaklığı düşüyor. Bu dengesizlik, yine yeni bir enerji mekanizması bulunana kadar sürecek. Yıldız artık bir "kırmızı dev" durumunda.

Dev yıldız aşaması: Merkez sıcaklığı 100 milyon °C'ye ulaşmış durumda. Bu, helyumun füzyon tepkimeleriyle karbona dönüşebileceği sıcaklık sınırı. Kırmızı dev aşamasında geçirilen süre, ana kol döneminde geçirilen sürenin onda biri kadar. Şimdi, "Biz de Yıldız Tozuyuz!" ve "Yıldızlarda Enerji Üretimi" başlıkları altında açıkladığımız CNO döngüsü devreye girip, yeni enerji üretim sistemi olarak duruma el koyuyor.



Bu arada, ortaya şöyle bir tablo çıktı: Bir yıldız, hidrojen yakıtını tükettince, baskın durumda kalan kütleçekim kuvvetine direnemeyerek, bir önceki aşamanın ürünü yakıt olarak kullanmasına izin verecek merkez sıcaklığına ulaşana kadar sıkışıyor.

Kütleleri Güneş kadar ya da daha küçük olan yıldızların anakol evresinden sonraki evrimi şöyle gelişiyor: Yıldız, merkezdeki hidrojeni tümüyle helyuma dönüştürdüğünde, yani merkezde yalnız helyum çekirdekleri kaldığında, merkez büzüşmeye başlıyor ve artan sıcaklığı nedeniyle, merkezin hemen üzerindeki bir katmandaki hidrojen yanmaya (helyum sentezine) başlıyor. Bu tepkimelerin oluşturduğu basınç nedeniyle, yıldızın dış katmanları şişmeye başlıyor ve yıldız "kırmızı dev" aşamasına giriyor. Bizim Güneşimiz birkaç milyar yıl sonra bu aşamaya geldiğinde, Dünyamızı ve belki de Mars'ı içine alacak kadar genişleyecek. Öykümüze devam edelim... Şişen yıldız soğuyor ve yeniden büzüşmeye başlıyor. Büzüşme, merkezi yeniden ısıtıyor ve çevresindeki hidrojen füzyonunun da etkisiyle, merkezdeki sıcaklık, helyum atomlarının birleşerek bir dizi tepkime sonucu karbon ve oksijen oluşturmaya başlamasına yol açıyor. Birkaç kez tekrarlanan bu genişleme ve büzüşme döngüsünün sonunda, yıldızın hidrojenen oluşan dış zarfı, gide-

rek güçlenen yıldız rüzgarının etkisiyle yavaşça uzaya dağılıyor ve artık tümüyle karbon ve oksijenden oluşmuş ve Dünyamızı boyutlarına kadar sıkışmış sıcak merkez açığa çıkıyor. Artık görkemli yıldızımız, birkaç milyon yıl içinde soğuyup görünmez olacak bir "beyaz cüce".

Güneş'ten birkaç kat daha kütleli yıldızlardaysa son, daha görkemli; ama aynı zamanda çok daha yakın. Bu yıldızlarda bir kere merkezdeki hidrojenin helyuma dönüşmesi, çok daha dolaylı ve karmaşık bir süreçle gerçekleşiyor. CNO döngüsü denen bu süreç tamamlandığıdaysa, yıldız anakol evresinden çıkıp bir "süperdev" haline geliyor. Bundan sonraki şişme-büzülme döngüsü, çok daha hızlı ve dramatik biçimde gelişiyor. Yeni oluşan her ürün, bir öncekinden ağır olacağı için de, her aşamada daha yüksek sıcaklığa gereksinim duyuluyor. Sonuçta yıldızın içi, birbiri ardından yanmaya başlayan, soğan gibi katmanlara bölünüyor. Bu şekilde, büyük kütleli yıldızlar giderek kısalıp sonunda dakikalar, hatta saniyeler mertebesine inen sürelerle karbon, oksijen, neon, sodyum, magnezyum, silikon, kükürt vb. dizisini izleyerek, ve demire kadar "yanıyorlar".

Demir sınırına gelen bir yıldızsa, artık elveda demeye başlayabilir. Nükleer tepkimeleri sonlandırmış yıldızın merkezi, kütleçekimin muazzam baskısına dayanamayarak çöküyor. Başlangıç kütlelerine bağlı olarak, çöken merkezi bekleyen iki son var: Merkez, ya 10-12 kilometre çapında bir küreye sıkışıp, elektronlarıyla birleşen protonların oluşturduğu nötronlardan yapılmış, bir çay kaşığı kadar kütlesi milyonlarca ton ağırlığında bir "nötron yıldızı" haline geliyor; ya da kütleçekimin baskısına hiçbir şey direnemiyor ve yıldız, sonsuz küçüklükte bir karadelik haline geliyor.

Bu arada, büyük roller üstlenecek olan dış katmanları da unutmuş değiliz: Merkezin çökmesiyle oluşan muazzam şiddette bir şok dalgası, dış katmanlara çarparak, bunları bir süpernova patlamasıyla uzaya saçıyor. Bu katmanlardaki hidrojen ve yıldızın evrimi sırasında daha önce oluşmuş elementler, bu şok dalgasıyla gelen basınç ve nötron bombardımanıyla demirden daha ağır elementlere (uranyum, kurşun, altın, vb) dönüşüyorlar. Uzaya saçılan bu elementler, yıldızlararası boşluktaki gaz ve toz bulutlarını "zenginleştirerek" yeni yıldızların ve gezegenlerin ve üzerindeki canlıların tohumlarını atıyorlar.



Bir süpernova patlaması

neş'in iç kısımlarından dışarıya doğru düşme eğilimi gösteren sıcaklığın, burada birden 2 milyon °C'ye kadar fırlaması. Bu ani sıcaklık artışının kanıtlarından biri, salınan elektromanyetik ışınım ve yüksek derecede iyonlaşmış atomların varlığı. Bu tür atomların oluşmasıysa, sıcaklığın milyon derece düzeylerine bağlı. Bu yüksek sıcaklığın bir nedeninin, Güneş'in manyetik alanıyla ilgili olabileceği düşünülüyor; ancak nedenler hâlâ tam anlamıyla aydınlatılabilmiş değil. Amerikan Havacılık ve Uzay Ajansı NASA ve Avrupa Uzay Ajansı ESA, yürütmekte oldukları birçok projeye, şu sıralarda bu sorulara kesin yanıtlar aramaktalar.

Bu bölümden salınan enerji, çok farklı dalgaboylarında: Uzun dalgaboylu radyo dalgalarından, kısa dalgaboylu X-ışınlarına kadar. Burası, Güneş'in X-ışını yayını yapabilmesine izin verecek sıcaklıktaki tek bölge. Dünya atmosferine giremeyen bu ışınları görüntülemekse, ancak uzay teleskoplarıyla mümkün.

Taç kısmının önemli bir özelliği de, Güneş'in manyetik alanının etkisiyle yer yer farklı şekillere girebilmesi. Bunlar, Güneş'in etkinliğiyle ilgili olarak bize önemli bilgiler sağlayan ipuçları.

Manyetik Alan ve Etkileri

Dünya gibi derli toplu karasal bir yapı olmak varken, gerçek bir yüzeyden bile yoksun bir gaz topu olmanın, başka ilginç sonuçları da olacak elbet. Sözgelimi, Dünya kendi eksenini çevresinde yekpare bir şekilde döndüğü halde, Güneş bu dönüşü parça parça gerçekleştiriyor: Ekvator bölgesi dönüşünü 26 günde tamamlarken, kutuplar için bu süre 30 gün. Yetmezmiş gibi, dışarıdan içe doğru da fark var; merkez ve ışınım bölgesi, dönüşlerini tek-vücut halinde 28 günde tamamlıyorlar. Gökbilimciler, dönüş süresi bakımından iç ve dış tabakalar arasındaki bu farkın, Güneş'in manyetik alanını oluşturduğu görüşündeler. Elektrik akımlarının, iletken durumdaki sıcak gazlar arasından geçerken oluşturdukları manyetik alan çizgileri iç bölgeleri aşır, ışık küreyi de delip geçerken Güneş'i güney ve kuzey kutupları



Güneş rüzgarının etkisiyle oluşan sihirli renk ve ışık oyunu, aurora

olan bir mıknatıs haline getiriyorlar; manyetik alanı Dünya'nındakinden 100 kat daha güçlü bir mıknatıs.

Öyle görünüyor ki, Güneş etkinliklerinin birçoğu, bu manyetik alanın etkisiyle ortaya çıkmakta. Yine önemli bir bölümüyse, kendilerini taç kısmında belli ediyor. Bunlardan "güneş rüzgarı" olarak bilinen bir tanesi, taç kısmındaki parçacıkların, Güneş'in yıldızlararası boşluğa uzanan manyetik alan çizgileri boyunca akması sonucu oluşuyor. 400 km/sn hızla ilerleyen elektron ve protonlar, 'rüzgarın' Dünya atmosferine yaklaştığı kimi zamanlarda gezegenimizin manyetik alanı tarafından hapsedilip atmosfere doğru çekiliyorlar. Atmosferdeki atomların bu yüksek enerjili parçacıklarla etkileşime girerek, enerjilerini soğurup sonra da renkli ışık olarak geri salmaları, kimi zaman muhteşem bir renk ve ışık dansı olarak bizlere yansıyor. Kuzey yarımkürede gerçekleştiğinde "Aurora borealis" adını alan bu Dünya-Güneş ortak yapımı gösteri, gökyüzüne bakıp tanık olunabilecek, belki de en sihirli olay.

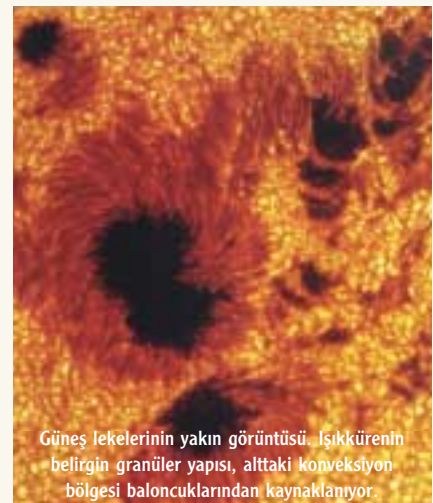
Taç bölgesindeki serbest elektronlar için hayat, aslında oldukça eğlenceli. Manyetik alan çizgileri hangi yönde ortaya çıkarsa, onlar da buldukları bu yeni patikada koşuşturup dansetmeye bayılıyorlar. Bu arada, taç bölgesi de değişik görünümlere kavuşuyor. Kimi zaman daha derinlerde ortaya çıkıp Güneş'e geri dönen bir 'ilmek' çizen manyetik alan, parçacıkları bu yönde harekete geçirip taç üzerindeki halkalı

ya da tümsekli görünümü ortaya çıkarabiliyor. Bunlar bazen, manyetik alandaki ani değişimlere bağlı olarak, patlamalarla da oluşabiliyorlar.

Etkin Dönem Habercisi: Güneş Lekeleri

Manyetik alanın göze görülür etkilerinin en uzun zamandır (2000 yıl öncesinden beri) bilinen örneklerinden biri, "güneş lekeleri". Büyüklükleri değişken olmakla birlikte (en büyüklerinin çapı, yaklaşık 50.000 km kadar), ortalama olarak birer Dünya boyutundaki bu lekelerin bir kısmını çıplak gözle görmek mümkün. Işıkküre üzerinde küçük, karanlık alanlar olarak seçilmelerinin nedeni, gerçekten koyu olmaları değil, üzerinde yer aldıkları ışık küreden daha düşük sıcaklığa sahip olmaları. Bunun da nedeni, yine kuvvetli manyetik alanlar. Lekeler, güçlü manyetik alan bölgelerinde ortaya çıkıyor. Bu bölgelerin görece soğuk olmasının nedeni, manyetik kuvvetlerin, alt tabakadaki konveksiyon bölgesinde bulunan sıcak gazların yukarıya çıkmasını güçleştirmeleri. Genellikle gruplar halinde ortaya çıkan lekelerin ömrü, birkaç saatten birkaç aya kadar değişiyor.

Güneş lekelerinin asıl önemi, belirli bölgelerde ve belirli aralıklarla artıp azalan sayılarının, Güneş'in etkin bir dönemde olup olmadığına dair en büyük ipucunu sağlıyor olmaları. Manyetik etkinliğin çok olduğu dönemler, doğal olarak lekelerin de sayılarının arttığı dönemlere karşılık geliyor. Bu dönemlerde, bizim neşeli taç parçacıkları



Güneş lekelerinin yakın görüntüsü. Işıkkürenin belirgin granüler yapısı, alttaki konveksiyon bölgesi baloncuklarından kaynaklanıyor.

ları, bir yandan aurora romantizmiyle göz boyamaya çalışırken, bir yandan da şiddete yönelmiş manyetik alanın buyruklarının kölesi durumundalar. Sonuç, X-ışını yayını, taç tepelik ve halkaları, Güneş rüzgarları, manyetik fırtınalar, patlama ve parlamalarda ciddi biçimde artış. Güneş lekelerindeki azalma dönemleri, Güneş'in de görece sakin ve huzurlu olduğu bir dönem.

Galileo'nun zamanından beri gözlemlenmekte olan Güneş lekelerinin, bir başka deyişle Güneş etkin dönemlerinin yaklaşık 11 yılda bir sayıca artıp, sonra yeniden düşüşe geçtikleri saptanmış durumda. Son etkin dö-

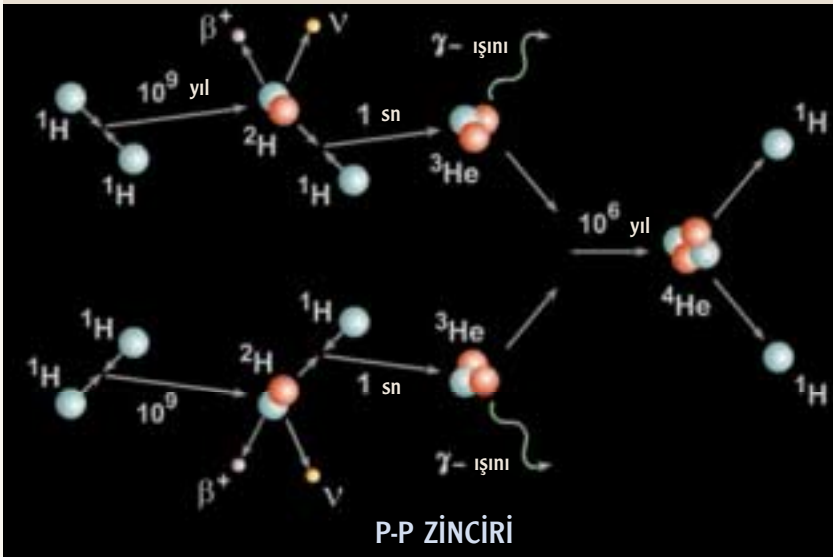
min de 1991-1992 yıllarına rastladığı düşünülürse...

Son Patlamalar

Görünen o ki, şu sıralarda tam da fırtınanın göbeğindeyiz! 4 Kasım 2003'te şimdiye kadar kaydedilen belki de en şiddetli Güneş parlaması gerçekleşti. SOHO'nun (1995'te başlatılan NASA-ESA ortak projesi - Güneş ve Heliosfer Gözlemevi) şiddetli morötesi kamerasıyla yakalanan görüntü, parlamanın, Güneş diskinin hemen kenarından bir patlama şeklinde gerçekleştiğini gösteriyor. Parlamayla ilişkili olarak

gelişen "taç kütle püskürmeleri"nin (coronal mass ejection - CME) hızıyla saniyede 2300 kilometreydi (saatte 8,2 milyon kilometre). Parlama kaynaklı yumuşak X-ışını ve şiddetli morötesi yayını, patlamadan sonra yalnızca birkaç dakika içinde kısıdalga radyo yayınlarında kesintilere neden oldu. Parlamayla ilişkili olarak gelişen CME'lerin etkileriniyse, püskürmenin yönüne bağlı olarak hafif bir sıyrıkla atlattık. (Parlamaya ilişkin kısa bir video görüntüsünü http://dev.space.com/scienceastronomy/xtr_e_flare_031105.html adresinde izleyebilirsiniz.) 4 Kasım tarihli parlama, aslında

Yıldızlarda Enerji Üretimi, P-P Zinciri ve CNO Döngüleri



P-P ZİNCİRİ

Güneş benzeri yıldızlar hakkında bildiklerimizden yola çıkarak, iki farklı enerji kaynakları olduğunu söyleyebiliriz: kütleçekimsel büzülme (contraction), ve termonükleer tepkimeler. Her ikisi de enerji üretimi bakımından, bir yıldızın yaşamı boyunca önemli roller üstleniyorlar. Ancak yıldızın kararlı durumda uzun süre kalması, büyük ölçüde nükleer tepkimelere bağlı. Hem fisyon (çekirdek parçalanması) hem de füzyon (çekirdek birleşmesi) tepkimeleri, Einstein'ın $E = mc^2$ denklemiyle öngördüğü gibi, kütle enerjiye çevirme özelliğine sahip. Ancak işe hafif elementlerle başlayan yıldızlarda fisyon tepkimeleri başlamadığından, enerjiyi füzyonla elde etmek çok daha elverişli.

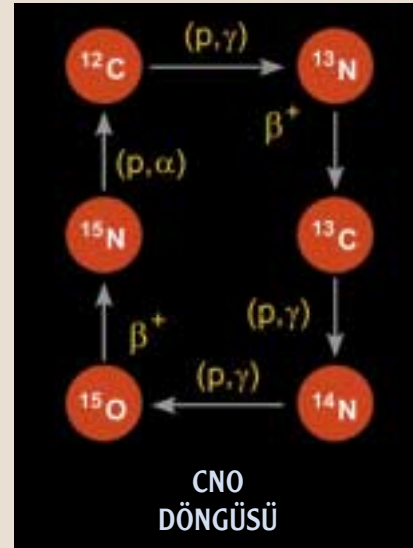
Yine "Biz de Yıldız Tozu Var!" yazımıza dönmek gerekirse, yıldızlarda hem element, hem enerji üretimine katkıda bulunan iki temel tepkime zinciri var. Proton-Proton (P-P) zinciri ve Karbon-Nitrojen-Oksijen döngüsü (CNO). Her ikisinde de hidrojenin füzyon tepkimeleriyle helyuma dönüşmesi söz konusu. Ancak farklı araçlardan yararlanıyorlar. Kütle Güneş'inki kadar ya da ondan küçük olan yıldızlar P-P zincirini yeğlerken, kütlece daha büyük olanlar, büyük ölçüde CNO döngü-

sünden yararlanıyorlar.

P-P zincirinin ana kolunda gerçekleşen tepkimeler:

1. İki 1-kütleli hidrojen izotopu (^1H), füzyon sonucunda birleşerek bir 2-kütleli hidrojen izotopu (döteryum - ^2H) oluşturur ve aynı zamanda bir beta bozunmasıyla (β^+), bir pozitron ve bir nötrino (ν) yayınlar. Beta bozunması, çekirdeğin bir pozitron ve bir nötrino, ya da bir elektron ve bir antinötrino yayınladığı bir süreç.
2. ^2H , bir başka ^1H ile tepkimeye girerek helyum-3 (^3He) ve bir gama ışını (γ) oluşturur.
3. İlk iki aşamaların gerçekleştiği farklı bir tepkimede oluşmuş iki ^3He izotopu, birbirleriyle tepkimeye girerek bir helyum-4 (^4H) çekirdeği ve iki proton oluştururlar.

Net sonuç, hidrojenin helyuma dönüştürülmesi. Çıkan enerji, ortaya çıkan parçacıklara kinetik enerji sağlarken, bir yandan da gama ışını üretimi söz konusu. Ortalama bir yıldız için, tek bir hidrojen çekirdeğinin, bir başka hidrojen çekirdeğiyle tepkimeye girip zinciri başlatması için beklemesi gereken süre, yaklaşık 1 milyar yıl!



CNO DÖNGÜSÜ

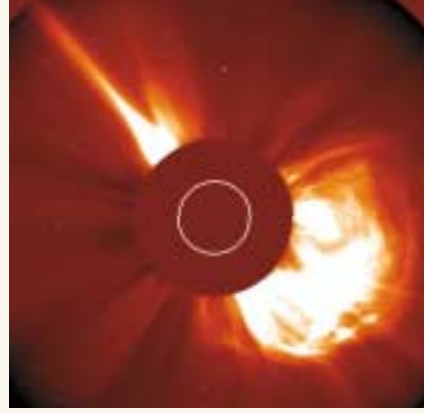
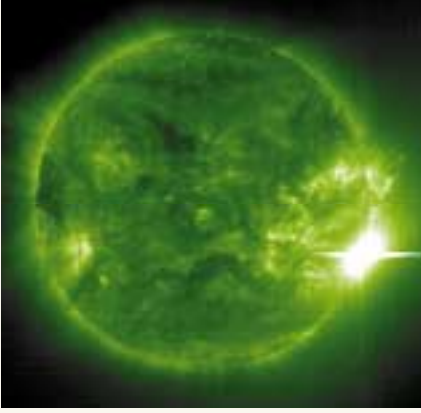
CNO döngüsü tepkimeleri:

Eğer bir yıldızda hidrojen ve helyumun yanı sıra, çok az miktarda da olsa karbon (C), nitrojen (N) ve oksijen (O) gibi iyonlar varsa, bunlar da birbirleriyle bir dizi tepkimeye girebilir:

1. ^{12}C , bir proton (p) yakalar ve bir gama ışını (γ) bırakarak, ^{13}N oluşturur.
2. ^{13}N , kararlı olmadığı için beta bozunmasına uğrayarak ^{13}C 'ye dönüşür.
3. ^{13}C , bir proton yakalar ve bir gama ışını (γ) yayınlamaya ^{14}N oluşturur.
4. ^{14}N , bir proton daha yakalar ve bir gama ışını (γ) yayınlamaya ^{15}O oluşturur.
5. ^{15}O , beta bozunmasına uğrayarak ^{15}N 'ye dönüşür.
6. ^{15}N , bir proton yakalayarak bir alfa parçacığı (α), yani bir He çekirdeği yayınlar.

*Şekildeki (a,b) gösterimi, çekirdeğin a parçacığını yakalayıp b parçasını saldırdığını simgeliyor.

Net sonuç, yine hidrojenin helyuma dönüştürülmesi. Döngüyü başlatmak için gerekli karbon, tepkimelerce tüketilmiyor; çünkü son aşama yeniden bir ^{12}C çekirdeği oluşturuyor.



SOHO'nun görüntülediği son 4 Kasım parlaması (solda), parlamadan sonra ortaya çıkan CME (ortada) ve geçtiğimiz Ekim ve Kasım aylarında yaşanan son parlamaların sorumlusu Güneş lekesi grubu - 486

Ekim ayı sonlarında başlayan bir üst düzeyde etkinlik döneminin kapsamındaki dev parlamalar silsilesinin bir devamı olarak gerçekleşti. 19 Ekim'de, Güneş'in doğu bölgesinde beliren dev boyutlardaki bir Güneş lekeli üçlüsünün ilki ortaya çıktı. Sonradan "Bölge 486" adı verilen bu üçlü bölgesi, şu ana kadar gözlenmiş en büyük Güneş lekeli grubunu içine alıyor. 28 Ekim'de gerçekleşen ilk parlamayı takip eden birkaç dakika içinde, Dünya çevresinde dolanan bazı izleme uyduları, yüksek enerjili ışınım algıladılar. 24 saat sonraysa, parlamayı izleyen bir kütle püskürmesi Dünya'ya ulaşarak, manyetik alanda hızlı değişikliklere (manyetik fırtınaya), sonuçta da özellikle iletişim sistemlerinde büyük aksamalara neden oldu.

Güneş yüzeyinde gerçekleşen en şiddetli olaylar, ani patlamalarla ortaya çıkan "Güneş parlamaları." Genelde birkaç dakika süren parlamalar, milyonlarca hidrojen bombasının enerjisine eşit miktarda enerji açığa çıkarıyorlar. Güneş etkinliğinin üst düzeyde olduğu dönemlerde sayı ve şiddetleri de artıyor. Parlama sırasında sıcaklığı 10 milyon °C'yi bulabilen madde, görünür ışığın yanı sıra büyük miktarda morötesi ışık ve X-ışını da yayıyor. İçeriği, çoğunlukla hızları 1000 km/sn'yi bulan proton ve elektronlardan oluşmuş maddenin "taç kütle püskürmesi" (CME) biçiminde fırlatılması da, parlamayla ilişkili ve onu genellikle izleyen bir olay. Bu püskürme güneş rüzgarında, Dünya dahil Güneş Sistemi'nin çoğunu etkisi altına alan patlamalar oluşturuyor. Dünya'ya doğru 'tükürülen' ve hedefine genellikle 2-3 günde ulaşan bir CME, Dünya manyetik ala-

nında bir tür kargaşa yaratarak yayın ve güç kesintilerine neden olabilecek manyetik fırtınalara; ya da uydularda kısa-devrelere yol açabiliyorlar.

Güneş parlamaları, X-ışını dalga boylarındaki parlaklıklarına göre sınıflandırılıyor. Üç büyük gruptan "X" grubundakiler, en şiddetli olanları. Genellikle radyo yayınlarında kesintilere

Güneş'ten Bir Parça 'Koparmak'

Önümüzdeki yılın Eylül ayında iki helikopter, çok ilginç bir görevi yerine getirmek üzere havalanacak. Görevin hedefi, Güneş'ten küçük bir parça ele geçirmek! Şansı yaver giderse, helikopterlerden biri, uzay aracından bırakılan ve içinde güneş rüzgarından bir örnek bulunan kapsülü yakalayacak.

Bu, NASA'nın Genesis projesi için harika bir final! Ağustos 2001'de fırlatılan Genesis, Güneş'e doğru 1,5 milyon kilometrelik yolculuğuna başlayarak, hedef bölgeye üç ay sonra ulaştı. O zamandan beri elmas, altın, silikon ve safir gibi malzemelerden oluşan düzeneklerin yardımıyla, güneş rüzgarı içinde yolculuk yapan neon, argon, demir vb. atomlarını hapsetme uğraşında. Bu şekilde toplanacak Güneş malzemesinin 10-20 mikrogram (birkaç tuz tanesinin ağırlığı kadar) olması bekleniyor. Araç, uzaya döndükten sonra örnekleri içeren bir kapsülü atmosfere bırakacak. ABD'nin Utah eyaletindeki çöllere doğru inişe geçecek ve paraşütlerle 18 km/saat hızla yavaşlatılacak olan kapsül, helikopterlerden biri tarafından yakalanacak. Çalışmanın hedefi, beklenebileceği gibi Güneş yüzeyinin kimyasal bileşimiyle ilişkili kesin ölçümler yapabilmek. Beklentiyse, bu bileşimin başlangıçta tüm yıldız sistemini oluşturan gaz ve toz bulutunun bileşimiyle uyumlu olması. Bu şekilde, bulutun, bugün görebildiğimiz gezegen ve uydulardan oluşan büyüleyici çeşitlilikteki koleksiyona nasıl dönüştüğü hakkında daha fazla bilgi sahibi olabileceğiz.

ve atmosferin üst kısımlarında uzun süreli ısınım fırtınalarına yol açıyorlar. "M" grubu parlamalar, orta büyüklükte. Daha çok Dünya'nın kutup bölgelerini etkileyen kısa süreli radyo yayını kesintilerine neden oluyorlar. Bunları küçük ölçekli ısınım fırtınaları izleyebiliyor. Dünya üzerinde pek de farkedilebilir etkileri olmayan "C" grubu parlamalarsa, oldukça küçük parlamalardan oluşuyor.

Nitekim, yapılan bütün incelemeler sonunda X28 adı verilen 4 Kasım parlamasının, şimdiye kadarkilerden çok daha şiddetli olduğu doğrulandı. Tabii bu sonuç, uyduların, parlamaları algılama becerisini kazandığı 1970'lerin ortalarından başlayarak alınan kayıtları hesaba katıyor. Gökbilimcilere göre, Güneş'in bu fırtınalı döneminde, parlamaların bu sonuncusuyla kalacağını söylemek olanaksız. Belki de, yazıyı okuduğunuz şu sıralarda yeni bir şiddetli CME, Dünya'yı etkilemiş olacak!

... Ve Son Çarpıcı Bulgular

Tüm bu gelişmelere bağlı olarak, şu sıralar uydu ve güç ağı sorumlularının gözleri, Colorado'da bulunan ABD Uzay Çevre Merkezi'nin yayımladığı "Güneş Hava Tahminleri" raporlarına çevrilmiş durumda. Merkez, hem yeryüzündeki, hem de yörünge üzerindeki Güneş teleskoplarından aldığı verileri toplayarak, Güneş'in Dünya yönüne attığı her plazma topunu web'de duyuruyor. Uydu sorumluları, verilere bakarak, gerektiğinde uydu için birincil önemde olmayan tüm sistemleri kapatabiliyorlar. Aynı şekilde,



1995'te başlatılan NASA - ESA ortak projesi, Güneş ve Heliosfer Gözlemevi SOHO



elektrik ağlarının bir kısmı yalıtılarak, büyük çaplı kararma ve kesintilerin önüne de geçilebiliyor.

Güneş'le ilgili olarak edindiğimiz son bilgilerin en önemli kaynakları, geçtiğimiz on yılın uzay projeleri. Bu konuda, Ağustos 1991'de uzaya gönderilen Japon X-ışını uydusu Yohkoh'un ("güneş ışıını") elde ettiği çarpıcı görüntülere çok şey borçluyuz. Ancak, Aralık 2001'de bir tam tutulmanın gazabına uğrayan araç denetimden çıkarak, ne yazık ki devreden de çıkmak zorunda kaldı. Neyse ki, daha önce sözünü ettiğimiz SOHO projesi, bu konudaki bir başka umut kaynağı. SOHO, Güneş'i sürekli gözleyebilecek donanımıyla, Güneş titreşimlerini kaydetmekten (sismik dalgaların Dünya'nın iç yapısı hakkında bilgi vermesine benzer şekilde, heliosismoloji adı verilen teknik de Güneş'in iç bölgelerindeki türbülansın yarattığı ses dalgalarıyla oluşan titreşimlerden yararlanarak, Güneş'in durumuyla ilgili bilgiler veriyor), taç gözlemleri ya da güneş rüzgarı parçacıklarının incelenmesine kadar elinden herşey gelen, oldukça marifetli bir uzay gözlemevi.

1990'da başlatılan, NASA ve ESA'nın bir başka ortak projesi Ulysses de, Güneş araştırmalarında anahtar roldeki bir başka proje. Güneş'in, etkinlik döneminin zirvesindeyken ilk kez olarak üç boyutta masaya yatırıldığı çok yeni bir araştırmanın görüntü kameramanlığını da bu araç yapmış durumda. Son derece önemli olduğuna işaret edilen bulguların ortaya çıktığı araştırmanın sonuçlarıysa henüz çok yakın bir geçmişte, *Science* dergi-

sinin 14 Kasım 2003 sayısında yayımlandı. Ulysses'in bu misyondaki başarısı büyük ölçüde, Güneş'in kutupları üzerinden yol almasını sağlayan yörüngesinden kaynaklanıyor. Çünkü bu yörünge, gökbilimcilere Güneş'e bütün açılardan bakma olanağı sağlıyor. Bunu yapabilen başka bir uzay aracı yok. Uluslararası boyuttaki araştırmanın ekip üyelerinden biri ve New Jersey Teknoloji Enstitüsü'nde tanınmış bir fizik araştırmacısı olan Louis Lanzerotti, son etkin dönemi kapsayan araştırmaları sırasında, çok sayıda CME ve güneş rüzgarı incelemesi yapma olanağı bulduklarını söylüyor. Yeni bulgulardan önemli iki tanesi şunlar:

- Ulysses verileri, güneş rüzgarının taç kısmındaki 'deliklerden' köken aldığını, ve asıl önemlisi, hızının taç kısmının sıcaklığıyla ters orantılı olduğunu gösteriyor. Lanzerotti, bunun tümüyle beklenmedik bir sonuç olduğunu ve kuramcılarının tam tersini önermiş olduklarını söylüyor. Araştırmacıya göre, şimdi Güneş ve güneş rüzgarına ilişkin bütün modeller, yeniden gözden geçirilmek zorunda.

- İkinci sürpriz, Güneş manyetik alanının, Güneş'in dönüş eksenine dik olan bir 'mıknatıs' kaynaklanıyor görünmesi. Şu ana kadar, mıknatısın Dünya'da olduğu gibi, dönme eksenine paralel olduğu düşünülüyordu. Güneş etkinliğinin zirvesini yaşadığı dönemde, Güneş'in kutup bölgesi manyetik alanları yön değiştiriyor ve bunun sonucu olarak, içeriye doğru olan alanlar dışarıya, dışarıya doğru olan alanlar da içeriye dönüyor. Ulysses bulguları, Güneş'in manyetik kutuplarının

bu ters dönüş sırasında, kutup bölgeleri yerine ekvatora yakın bir yerleşime girdiklerini göstermiş durumda.

Lanzerotti, sonuçlara ilişkin olarak şunları söylüyor: "Güneş'in manyetik alanının son derece dinamik ve değişken olduğunun farkındaydık. Ancak yeni bulgular gösteriyor ki, bu konuda katedilecek yol, uzun. Çünkü henüz hiç kimse, manyetik alanın tam olarak nasıl oluştuğunu ve neden bu şekilde değişme gösterdiğini bilmiyor."

Araştırmalar Nereye Gidiyor?

Bu çok yönlü bilinmeyenler denizinin ortasında, araştırmaların gündemlerine aldıkları bazı öncelikler de var:

- Taç bölgesinin sıcaklığı sorunu: Güneş'in yakıt kazanı merkezinde olduğu halde, en dıştaki taç bölgesi, neden beklenmedik ölçüde sıcak?

- Güneş yüzeyindeki değişiklikler, Dünya iklimini nereye kadar etkileyebiliyor? Dünya'da son yüzyıl içinde 0,6 °C kadar artmış olan ortalama yüzey sıcaklığında bizim payımız ne kadar, Güneş'in payı ne kadar?

- Uzun dönemde Güneş'i ne tür bir gelecek bekliyor? Boyutça ortalama bir yıldız sayıldığına göre, bu boyuttaki yıldızlarla aynı kaderi mi paylaşacak? Durum buysa, Güneş'in merkezi de öteki yıldızlarda olduğu gibi çökecek ısınırken, dış katmanlar genişleyip soğuyacak ve bir "kırmızı dev"e dönüşerek yerküremizi 'yutacak'.

Tüm bunların yaklaşık 5 milyar sonra gerçekleşecek olması, bundan çok daha önce kendi kendimizi yok etmiş olacağımız olasılığının farkında olan bizler için ne derecede 'rahatlatıcı'? Onu göremeyecek olsak da Güneş'in hep orada, içinde kopan fırtınalara rağmen gülümseyerek kalacağını bilmek, daha iyi olmaz mıydı?

Zeynep Tozar

Kaynaklar

- Cowan, J. "Elements of Surprise" *Nature*, 1 Mayıs 2003
Muir, H. "Celestial Fire" *New Scientist*, 21 Haziran 2003
Pettini, M. "Distant Elements of Surprise" *Physics in Action*, Temmuz 2003
Smith, EJ, Marsden, A. Lanzerotti. "The Sun and Heliosphere at Solar Maximum" *Science*, 14 Kasım 2003
Venkatesan, A. "We Are Stardust: Synthesis of the Elements Essential for Life" <http://www.scienceintegration.org/Stardust.pdf>
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>
http://observe.arc.nasa.gov/nasa/stellardeath/stellardeath_intro.html
<http://solarphysics.montana.edu/YPPOP/Spotlight/Tour/tour02.html>