



*Güneş'in merkezinde üretilen enerjinin yüzeye ulaşması, bir milyon yıl alır. Bu yolculuktan geriye, yıldızımızın iç yapısını ortaya koyan küçük, gizli izler kalır. Güneş'ten her saniye taşan çok büyük miktarda enerji, yaydığı ısı ve ışıkla yerküredeki canlıların yaşamını sürdürmesini sağlar. Derinlerde, Güneş'in hidrojen yakan kalbinde üretilen bu enerji, görülür yüzeyden yayılır. Güneş'in yarıçapının binde birinden daha az bir kalınlığa sahip olsa da, yüzeyin parlaklığı, iç yapının astronomlar tarafından doğrudan gözlenmesini engeller.*

# Güneş'in Kalbine Yolculuk

**I**ÇERİYİ doğrudan görmeksizin de olsa araştırmacılar, Güneş'in nasıl enerji ürettiğini ve bu enerjinin merkezden yüzeye nasıl bir geçiş yaptığını anlamak için oldukça büyük çaba harcadılar. Neyse ki enerji Güneş'in içinde yol alırken ardında izler bırakıyor ve Güneş konusunda çalışan astronomlar da bu izleri nasıl yorumlamaları gerektiğini ve sonuçta yıldızın iç yapısı hakkında neler öğrenebileceklerini araştırıyorlar.

Enerjinin devinimini çözümlemek, öncelikle merkezden kaçan enerjinin yüzeydeki gazla ne gibi bir etkileşim yaptığını anlamayı; devinimin iç yapı hakkında verdiği bilgileri çözümlemek de bir enerji paketinin ya da fotonun Güneş'in merkezine dönerken izlediği yolu incelemeyi gerektirir.

Işık fotonları, yerinde bir nitelemeyle fotosfer olarak adlandırılmış, birkaç yüz kilometre kalınlığın-

da bir tabaka olan yüzeyden kaçar. Yakından bakıldığında fotosferin granülasyon denen ve Güneş'in yüzeyindeki gaz devinimleri sonucu oluşan tanecikli bir yapısı olduğu anlaşılır. Güneş'in yüzeyinde çapları 1 000 kilometre olan bu granüllerden yaklaşık bir milyon kadar bulunur. Fotosferin derinliği kadar bir derinliğe ulaşarak, 300 km dibe kadar inerler.

Granüller, konveksiyonun; yani maddenin devinimi ile ısı enerjisinin aktarımının sonucudur. Fotosferin hemen altında hidrojen gazının sıcaklığı olan 20 000 kelvinde atom çekirdekleri çevrelerindeki elektronları yakalayarak yüksüz duruma geçerler. Elektronların yakalanması gaz devinimlerine enerji sağlar ve granüller oluşur.

Granüllerin merkezi parlaktır; çünkü burada madde, alttaki sıcak tabakalardan yukarıya doğru hareket eder (yaklaşık 2 km/s hızla). Düzensiz bir şekilde

sahip granülün çevresinde, dibe çökmekte olmasına karşın hâlâ oldukça sıcak, koyu renkli bir madde bulunur. Bu maddenin daha koyu renkli görünmesinin nedeni, granülde bulunan 6 000 kelvinlik gazdan birkaç yüz kelvin daha soğuk olmasıdır.

Granüller üzerine yapılan gözlemler, bunların ortalama olarak 20 dakika ömürleri olduğunu ortaya koymuştur. Granüllerin gaz devinimleri gözlemlenirken,

beş dakikalık salınımlar denen bir başka olay daha farkedilir. Yüzeyin yakınındaki gaz devinimleri, basınç modları ya da p-modlar da denilen düşük frekanslı ses dalgaları yaratılır ve bunlar da yüzey parçalarının her beş dakikada bir yükselip alçalmasına yol açar.

Güneş'in iç yapısını incelemek için bir yöntem de, ses dalgalarının yüzey çevresinde nasıl sektiğini araştırmaktır. İçerilere doğru sıcaklık arttığından, sesin hızı da içerilere gidildikçe artar. Fotosferin altında artan ses hızı, içeri doğru devinen dalgaları tekrar yüzeye yönlendirir. Dışarı doğru devinen ses dalgaları yüzeye nüfuz edemediğinden, yüzeyden sekerek tekrar içeri doğru yol almaya başlar. Bu sekmeler arasındaki uzaklık, dalganın nüfuz ettiği derinliği verir.

Granüllerin ve ses dalgalarının yanısıra astronomlar, Güneş'in yüzeyindeki başka devinimleri de araştırıyor. Süper granüller denen, daha büyük bir granül türüdür. Süper granüller gözle görülmez; çünkü merkezle kenar arasındaki küçük sıcaklık farkı, parlaklıkta belli belirsiz bir değişime yol açar. Bunlar, yalnızca gaz devinimi gözlemleri sırasında görülür. Gaz, bu konveksiyon hücrelerinin merkezinden yavaşça yayılır (yaklaşık 0,5 km/s hızla) ve kenarlarına geldiğinde de alçalır. Yaşam süreleri yaklaşık iki gün olan süper granüller, granüllerden 30 kez daha büyüktür ve çapları 30 000 km; derinlikleri 10 000 km'dir.

Granüller gibi süper granüller de alt tabakalardan Güneş yüzeyine ısı taşınmasına yardımcı olur. Yine granüller gibi, devinime başlamaları için dışarıdan bir etki olması gerekir. Yüzeyin yaklaşık 20 000

km altında, sıcaklık 150 000 kelvine ulaşır. Bu bölgenin altında helyum çekirdeklerinin yörüngesinde elektron bulunmaz. Ancak, bu bölgede ilk elektronlarını yakalayarak süper granüllerin oluşması için gerekli itkiyi sağlarlar.

Granüllerin, süper granüllerin ve ses dalgalarının deviniminin yanısıra, yüzeydeki bir başka devinim de astronomların dikkatini çekiyor: dönme. Güneş her 27 günde, bir dönüşü tamamlar;

ancak, Güneş bir gaz topu olduğundan, dönüş hızı her noktasında aynı değildir. Yapılan gözlemler, ekvator civarındaki gazın dönüşünü 24 günde tamamladığını; oysa kutuplarda bunun 30 günden fazla sürdüğünü gösteriyor. Güneş'teki bu "diferansiyel dönme"nin nedeni, dönme ile fotosferin altındaki tabakalarda söz konusu gaz devinimlerinin etkileşimidir.

Konveksiyon kuşağı adı verilen bu tabaka, fotosferin altında 150 000 km derinliğe kadar (merkeze olan uzaklığın dörtte biri) uzanır. Güneş konusunda çalışan astronomlara göre, dev hücreler denen, yavaş devinen gaz akımları ısıyı, sıcaklığı 2 milyon kelvin olan tabakanın alt kısmından yukarıya doğru taşır. Yükselen gaz yüzeye yaklaştıkça genleşir ve soğur. Soğuyan gaz, alt kısımlara doğru alçalarak ısıtılır ve sonra yüzeye enerji taşımak için tekrar yükselir.

Güneş'in dönmesi, konveksiyon kuşağının dinamiğinde önemli bir rol oynar; granüller ve süper granüllerdeki hızlı konvektif devinimleri etkileyemeyecek denli yavaş olsa da, dev hücreler üzerindeki etkisi hayli çarpıcıdır. Dönme sonucu dev hücreler kuzeyden güneye doğru uzar; doğudan batıya doğru da daralır. Bunun sonucunda dev hücrelerin şekli, kutuplar bölgesinde iyice küçülmüş uçlarıya muzu andırır.

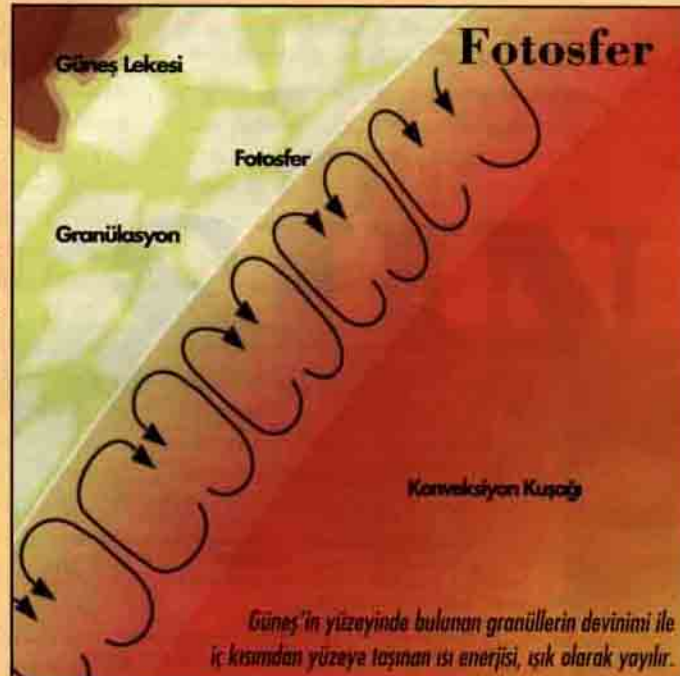
Bu hücrelerdeki yatay akış, doğu-batı yönündedir.

Ne var ki Güneş'in batı-doğu yönündeki dönmesi, doğu yönündeki akışları ekvatora doğru çevirir. Bu devinim de dönmeye katılır ve ekvatorial bölgeleri hızlandırarak ortalama daha hızlı dönmelerine yol açar. Batı yönündeki akışlar kutuplara yönelerek dönmeye ters bir devinim oluşturduklarından, kutup bölgelerinde dönüş hızı daha düşüktür.

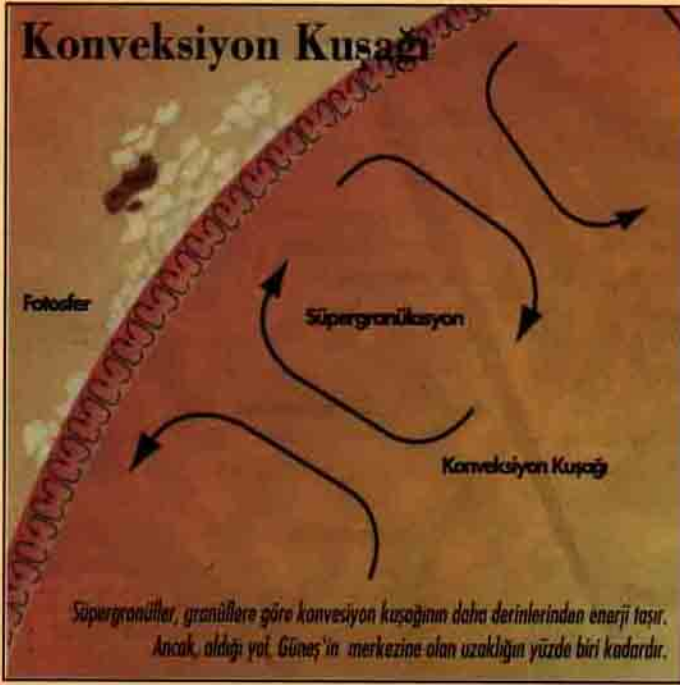
Konveksiyon kuşağındaki gaz devinimleri, Güneş'in manyetik alanlarını da kontrol eder. Bu durumun en iyi bilinen sonucu, koyu renkli güneş lekeleridir. 11 yıllık bir döngü sırasında güneş lekeleri sayıca artar ve yavaşça kutuplardan alt bölgelere doğru iner.

Manyetik alanlar birçok şekilde lastik bant gibi davranırlar. Uzayabilir, bükülebilir ve kıvrılabilir, kendi üzerlerine katlanarak güçlenebilirler. Diferansiyel dönme Güneş'in manyetik alanını uzatır ve makaraya sarılı sicim gibi yıldızın üzerine sarar. Böylece alan öylesine güçlenir ki, çevreleyen gazı aşır dış kısımlara çıkmaya çalışır ve sonunda da dev bir su yılanının parçaları gibi yüzeye ulaşır. Yüzeydeki manyetik alan ısı akışını durdurarak daha soğuk güneş lekelerinin oluşmasına yol açar.

Konveksiyon kuşağının altında, merkeze olan uzaklığın yüzde 25'inden yüzde 90'ına değin uzanan ışınım kuşağı yer alır. İsminden de anlaşılacağı gibi enerji, ışınım kuşağından ışınım ile, enerji fotonları olarak taşınır. Sıcaklık, konveksiyon kuşağı yakınında 2 milyon kelvin, kuşağın altında 10 milyon kelvin olmak



Güneş'in yüzeyinde bulunan granüllerin devinimi ile iç kısımdan yüzeye taşınan ısı enerjisi, ışık olarak yayılır.



üzere yavaş yavaş artar. Bu tabaka boyunca gaz, hidrojen, helyum ve daha ağır elementlerin çekirdeklerini bütünüyle elektronsuz olarak barındırabilecek kadar yüksek bir sıcaklığa sahiptir.

Sıcaklığın bazı ağır çekirdeklerin elektron yakalamasına elverişli olduğu yerde, konveksiyon ve ışınım kuşakları arasında bir sınır oluşur. Bu, fotonların gaz içinden geçmesini zorlaştırır; çünkü; atomlar, ışığı, kendi başlarına çekirdek ve elektronların yapabileceğinden daha etkin bir şekilde emer ve yayar. Artan ışık emme yetisi, bir diğer deyişle opaklık, ışınımın bir kısmını tutarak sıcaklığın yükselmesine neden olur. Atomların ısı tutma konusundaki kapasiteleri de elektronsuz çekirdeklerden daha fazladır. Bu iki etki, yani artan opaklık ve ısı kapasitesi nedeniyle gaz devinimleri, enerji aktarımı konusunda ışınımın daha etkindir. Böylelikle bu noktadan sonra ısı konveksiyonla taşınır; oysa iç kısımda hakim olan ışınımdır.

Tüm enerjinin kaynağı, Güneş'in çekirdeğindeki nükleer ateştir. Merkezde 15 milyon kelvine ulaşan sıcaklık ve burada mevcut basınç nedeniyle gazın yoğunluğu, kurşunun ya da altının yoğunluğunun 10 katı kadardır. Bu koşullar, hidrojen çekirdeklerinin kaynaşarak helyum oluşturmalarına ve X ışını formunda enerji açığa çıkmasına neden olur. Bu nükleer tepkimeler, Güneş'in, Jupiter gezegenininkine yakın bir hacme sahip olan, en içteki yüzde 10'luk kısmında yer alır.

Bu noktada, enerjinin, kaynağından, uzaya yayıldığı yüzeye kadar izlediği yol özetlenebilir. Hidrojen füzyonu ile üretilen X ışınları, çekirdek çevresinde bir milimetreden az yol aldıktan sonra bir atom tarafından emilerek tekrar ışınımaya uğrar. Işık Güneş'in yüzeyinden yerküreye olan 150 milyon km'lik yolu, 8 dakikadan biraz daha uzun bir sürede alır. Aynı süre içinde Güneş'in iç kısmındaki bir X ışını yalnızca 1 santimetre ilerler.

Çekirdekten yola çıkan X ışınları, daha sonra ışınım kuşağını dolaşarak ilerler. Enerji yukarı çıktığı sürece daha fazla miktarda gazı ısıtmak zorundadır; böylece ışınım kuşağındaki sıcaklık düşer. Bu süre içinde fotonlar ışınım ve konveksiyon kuşaklarının kesiştiği yere varır; gazın daha uzun dalga boylarında tekrar ışınımaya uğrattığı enerji yine X ışını formundadır.

Foton konveksiyon kuşağına girdiğinde, çevreyi saran gazı ısıtır. Ancak, enerjiyi tekrar ışınımaya uğratmaktansa, gaz, beraberinde ısı enerjisini de taşıyarak yükselir. Söz konusu devinim, ısıyı yüzeye taşımaya çalışan dev hücrelerin rol aldığı daha büyük bir oyunun parçasıdır.

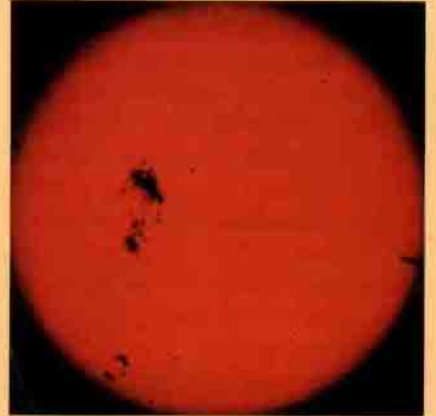
Yüzeyden 20 000 km ötede, düşen sıcaklık, atomların oluşmasına ve daha küçük süper granüllerin ısının büyük bir kısmını taşımaya neden olur. Yüzeye yaklaştıkça, granüller (süper granüllerden daha fazla) etkindir ve ısıyı yüzeye taşır. Fotosferin soğuk ve yoğunluğu düşük gazı saydamlaşarak, çekirdek içinde bir milyon yıl önce üretilmiş X ışını enerjisini görünür ışık halinde uzaya salar.

On yıllardır Güneş'in yapısına ilişkin kavrayış bu şekildedir ve diğer yıldızları anlayabilmek için bir temel oluşturuyordu. Bu modelin temelde doğru olduğu konusunda kuşku yok; ancak, araştırmacılar modeli, Güneş'in manyetik alanını betimleyen teorilerle birleştirmeye çalıştıklarında sorunlar ortaya çıkıyor.

Güneş konusunda çalışan astronomlar, yıldızın manyetik aktivite döngüsünün davranışını açıklayabilmek amacıyla iki grup teori geliştirdiler. Birinci grup,

dev hücrelerin manyetik alanları nasıl büküp katladığı konusunda varsayımlarda bulunur ve diferansiyel dönmenin, aktivite döngüsünün gözlenen davranışını doğrulayabilmek için Güneş'in yarıçapıyla nasıl bir değişim göstermesi gerektiğini araştırır. Bu teoriler, Güneş'in dönme oranının konveksiyon kuşağından içeriye doğru artması gerektiği sonucuna varır. Aksi halde, güneş lekeleri, gözlemlendiği gibi, 11 yıllık güneş lekeleri döngüsü süresince ekvatora doğru taşınmazdı.

Güneş'in iç yapısı ve dinamiği ile ilgili ikinci grup teoriler, konvektif devinimlerin diferansiyel dönme oluşturduğunu varsayar. Bu teorilere göre dönme oranı konveksiyon kuşağından içeri doğru düşer. Konveksiyonu ve diferansiyel dönmeyi içsel olarak tutarlı bir şekilde ifade ediyor olmalarına karşın bu modeller, gözlenen manyetik davranış ile - aktivite döngüsü boyunca güneş lekeleri ekvatora değil, kutuplara doğru taşınırlar - tutarlı değildir. Her iki grup teori de, 11 yıl olması gereken güneş lekeleri döngülerini bir - iki yıl varsayarak kısaltma eğilimindedir.



Temel sorun, konvektif devinimlerin, manyetik alanları konveksiyon kuşağı çevresinde hareketlendirme konusunda oldukça etkin görünmesidir. Daha iyi teorilere olan gereksinimin yanında, dev hücre konveksiyonu ve içsel diferansiyel dönme oranı gözlemleri, Güneş'in iç yapısı hakkında daha üst düzey bir kavrayış sağlama konusunda çok daha yararlı olacaktır. Opak fotosfer nedeniyle bu özellikleri gösteren doğrudan görüntüler elde etmek olanaksızdır; ancak, astronomların, yüzeyin altını incelemek için jeologlardan öğrendikleri bir yöntem işe yarayabilir.

Yerküre üzerinde sismologlar, gezegenimizin iç yapısını incelemek için depremler sonucu yayılan sismik dalgaları (başka bir deyişle kayalar boyunca ilerleyen ses dalgaları) kullanırlar. Fotosferdeki

ses dalgalarının özelliklerini ölçümlemek yoluyla helyosismologlar da Güneş'in iç yapısını ve devinimlerini belirleyebilirler.

Konveksiyon ile üretilen ses dalgaları Güneş'in içinde tutulur ve bir titreşim örüntüsü oluşturur. Astronomlar, farklı dalgaların hızlarını ölçümlemek yoluyla, farklı tabakaların sıcaklığını belirleyebilirler; çünkü ses hızının artışı, sıcaklık artışı ile doğru orantılıdır. Aynı şekilde, birbirine zıt yatay yönlerde devinen dalgaların hızlarındaki farkı ölçümlemek yoluyla, içsel devinimler konusunda da sonuca varabilirler.

Yüzeyin altını "görebilmek" için gözlemciler, dalgaların (yüzey üzerindeki örüntü) hem yapısını hem de periyodlarını -dalgalarda, iki tepe noktası arasında geçen süre- kesin olarak belirlemelidirler. Bunun için yüksek uzamsal çözünürlükle, Güneş'i hemen hemen sürekli olarak -haftalar boyu dakikada bir kez olmak üzere- görüntülemek gerekir.

İlk başlarda yapılan dalga gözlemlerinden bazı sonuçlar elde edilmişti. Ölçümlere göre konveksiyon kuşağının tabanı, teoriler 150 000 km varsaymasına karşı, 200 000 km derinlikte bulunuyor. Diğer dalga ölçümleri de, teorilerle tutarlı olarak, konveksiyon kuşağının kütlelerinin yüzde 24'ünü helyumun oluşturduğunu gösteriyor.

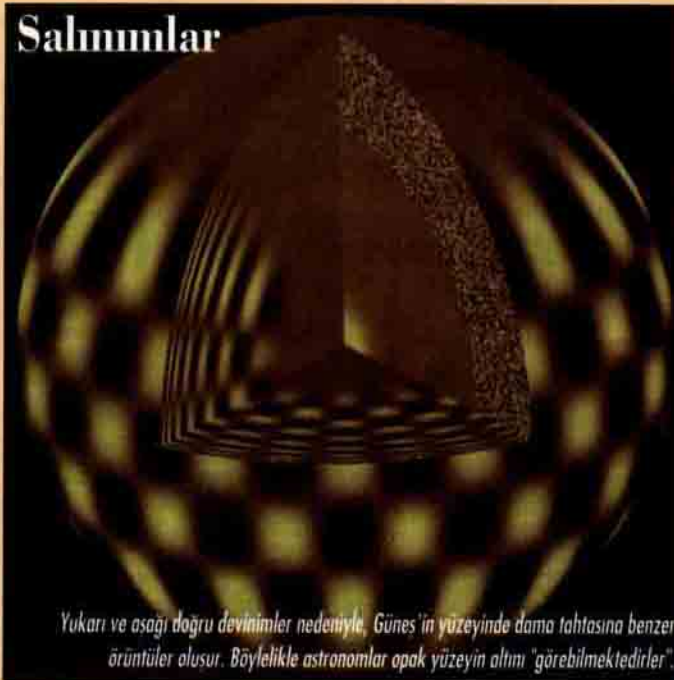
Elde edilen bulgular, yüzeydeki diferansiyel dönmenin konveksiyon kuşağı boyunca sabit olduğu yönünde. Bu durumda, Güneş'in aktivite döngüsü teorileriyle bir çelişki ortaya çıkıyor. Işınım ve konveksiyon kuşakları arasındaki geçiş tabakasında diferansiyel dönme yavaş yavaş kaybolur. Işınım kuşağındaki gaz, sert bir yapı olan Yerküre gibi, aynı oranda bir dönme yapar.

Bu gözlemler, astronomların, manyetik döngünün kaynağının, geçiş tabakasının gaz devinimleri olduğunu düşünmesine yol açtı. Manyetik alanların doğası da, bu görüşü destekleyen unsurlardan biri. Konveksiyon kuşağı içinde manyetik bir alan ortaya çıkarırsa, kuşak boyunca hızla yükselecek ve alan üzerinde konvektif devinimlerin gerçekleşmesi için çok az zaman kalacaktır. Öte yandan geçiş tabakasına takılan manyetik alanlar diferansiyel dönme tarafın-

dan uzatılacak ve bölgeye yukarıdan nüfuz eden konvektif akışlar tarafından da bükülüp katlanacaktır. Bu yaklaşımdan yola çıkan teorisyenler, aktivite döngüsünü aynen ifade eden bir model bulabilmek için çabalarını artırdılar.

Bu yeni model alanında sağlanan ilerlemeler, Güneş dalgalarını ve salınımları gözlemek için verilen çabaların bir sonucu olabilir. Birçok gözlemede, hava koşullarının uygun olması durumunda birkaç gün boyunca ve günde yalnızca 10 - 12 saat gözlem yapmak olanaklıdır. Astronomlar Güney Kutbu'ndan Güneş'i aralıksız olarak birkaç gün; ancak, tüm yıl boyunca yalnızca birkaç hafta gözleyebilirler.

Arizona, Tucson'da bulunan National Solar Observatory (Ulusal Güneş Gözlemevi), gözlem süresini artırmak amacıyla, salınımları ölçümleyecek altı eş aracı devreye sokuyor. Global Oscillation Network Group (Küresel Salınım Ağı Grubu)'u oluşturacak olan araçlar, dünya üzerinde altı farklı noktadan gözlem yapmak için kullanılacak. Bu gözlemleri ağı üç yıl boyunca Güneş salınımları ile ilgili olarak sürekli gözlem olanağı sağlayacak.



Dev hücreler, konveksiyon kuşağının altından yüzeye ısı taşır. Çekirdekten konveksiyon kuşağına enerji taşıyan da, ışık fotonlarıdır.

## Salınımlar

Yukarı ve aşağı doğru devinimler nedeniyle, Güneş'in yüzeyinde dama tahtasına benzer örüntüler oluşur. Böylelikle astronomlar apak yüzeyin altını "görebilmektedirler".

## Işınım Kuşağı

NASA ve Avrupa Uzay Ajansı, Solar and Heliospheric Observatory, kısaca SOHO (Güneş ve Helyosfer Gözlemevi) programıyla benzer bir aracı 1995 yazında uzaya göndermeyi planlıyor. İki ay boyunca, GONG'a göre daha yüksek bir çözünürlükle sürekli gözlem sağlayacak olan araç için Yerküre atmosferinin yol açtığı görüntü bozuklukları da söz konusu olmayacak. Sonraki on ay boyunca da daha düşük uzamsal çözünürlükle gözleme devam ederek aynı süreci iki yıl daha tekrarlayacak.

GONG ve SOHO'dan elde edilen veriler birlikte değerlendirilerek Güneş'in iç yapısı ve dinamiği hakkında yeni bilgiler elde edilmeye çalışılacak. Yeni gözlemler özellikle ışınım ve konveksiyon kuşakları arasındaki bölgenin yapısı ve buradaki devinimlerin araştırılması konusunda yararlı olacak. 20 yıl boyunca Güneş konusunda araştırma yapan astronomlar, konveksiyon kuşağındaki dev hücrelerin de sırtını böylelikle çözebilirler belki. Elde edilen bulgular ne yönde olursa olsun, 1998 yılında yıldızımızın iç yapısı hakkında öğreneceklerimizin, bugün bildiklerimizden oldukça farklı bir tablo çizeceği kesin görünüyor.

David H. Hathaway  
Astronomy, Ocak 1995  
Çeviri: Miyase Göktepeli