

Güneş'in Fiziği

Güneş Lekelerinin Manyetik Alanla İlgili Olduğunu Nereden Biliyoruz?

Güneş'ten gelen ışığın tayfına yani hangi dalga boyundaki ışıktan hangi yoğunlukta bize geliyor bilgisine baktığımızda, mordan kırmızıya gökkuşağı renklerinin sıralandığı tayfta bazı siyah çizgiler görürüz. Güneşin fotosfer tabakasında bulunan atomlar güneşin iç katmanlarından gelen ışığın belli dalgaboylarında olanlarını soğurmuş, o dalga boylarındaki ışık bi-

rin birbirine çok yakın iki veya daha fazla çizgiden oluştuğu görülür. Bu çizgilerin yarıp birkaç çizgiye ayrışmasına sebep manyetik alandır. Zira manyetik alan aynı enerji seviyesinde bulunan ancak farklı kuantum sayıları olan elektronların her biriyle farklı etkileşir. Sonuçta elektronların enerjileri farklılaşır. Manyetik alan ne kadar kuvvetli ise elektronların enerji seviyeleri arasındaki fark da o kadar fazladır. Manyetik alan ne kadar kuvvetli ise soğurma tayfındaki çizgilerin arasındaki uzaklık da o kadar çok olur. Zeeman ayrışması denen bu etkiyi, gök bilimciler Güneş lekelerinin ışık tayfına baktıklarında görebiliyor. Soğurma çizgilerinin ayrışma miktarı Güneş lekelerindeki manyetik alanın kuvvetini gösteriyor. Veriler bu bölgelerdeki manyetik alanın fotosferdeki diğer bölgelere göre 1000 kat daha kuvvetli olduğunu ve manyetik alan değerinin 1500 Gauss'a kadar çıkabildiğini ortaya koyuyor.

Zeeman Ayrışması: Siyah çizgiler güneş tayfındaki soğurma çizgileri. Güneş lekelerindeki kuvvetli manyetik alanın bir enerji seviyesini nasıl birkaç enerji seviyesine ayırdığının temsili gösterimi.

Güneşten gelen ışık tayfı güneşte bulunan elementlerin bilgisini içerdiği kadar Güneş'in manyetik alanıyla da ilgili ipucu içerir.

ze ulaşmamış ve tayfta bu kısımlar siyah çıkmıştır. Soğurma tayfındaki bu siyah çizgilere daha dikkatli bakıldığında aslında bu çizgile-

Güneş lekelerinin dışında

Güneş lekelerinde

Güneş lekelerinin dışında

Güneş'in Manyetik Alanı Nasıl Doğuyor?

Güneş'te iyonize olmuş yani elektronlarından soyutlanmış atomlar var. Çok yüksek sıcaklık sebebiyle yörüngelerine tutunamayan bu elektronlar iyonlar arasında serbestçe dolaşabiliyor. İyonlar ve serbest elektronlardan oluşan bu yapıya plazma deniyor. Bu plazma değişen elektrik ve manyetik alanlarla dolu. Her şeyden önce, serbestçe dolaşan elektronlar demek, elektrik akımı demek. Değişen elektrik akımı ise elektromanyetik yasalar gereği, çevresinde manyetik alan meydana getiriyor. Sürekli hareket halinde-

ki plazma yer değiştirdikçe manyetik alan çizgileri de Güneş materyaliyle birlikte yer değiştiriyor. Değişen manyetik alan yine yasalar gereği elektrik alan doğuruyor. Ancak Güneş'te elektrik ve manyetik alanların art arda birbirini meydana getirmesi, örneğin üzerinden elektrik akımı geçen iletken tel çevresinde meydana gelen manyetik alanın hesabı kadar kolay değil. Güneş'in akışkan yapısı ile manyetik alanın etkileşimi karmaşık, zira Güneş'te türbülanslı, kıvrılarak ilerleyen elektrik akımları söz konusu.

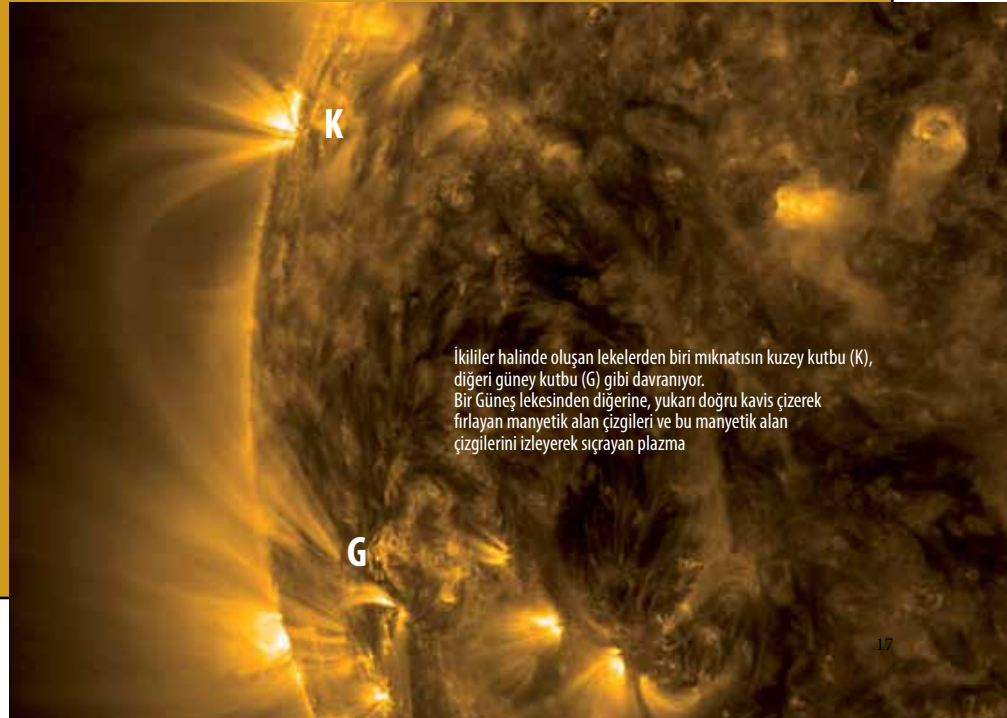
Güneş Patlamaları, Nedeni ve Dünya'ya Etkisi

Işıkküre'de (fotosfer) meydana gelen patlamalarla sıcak iyonize olmuş gaz balonları Güneş yüzeyine, oradan da önündeki güneş tacını sürükleyerek ileriye doğru fırlatılıyor. Peki bu patlamaların nedeni ne? Güneş patlamalarının manyetik enerjinin aniden Güneş yüzeyinden saliverilmesiyle gerçekleştiği düşünülüyor. Güneş'in kuzey manyetik kutbundan güney manyetik kutbuna doğru uzanan bir manyetik alan çizgisi düşünün. Bunun için Güneş yüzeyini çamur gibi, manyetik alan çizgisini de bir kutuptan diğer kutba yüzey boyunca uzanan, çamurun içine saplanmış bir gitar teli gibi hayal edebilirsiniz. Güneş'in kendi eksenini etrafında ekvator da daha hızlı, kutuplarda daha yavaş döndüğünü hatırlayalım. Bu dönüşte manyetik alan çizgisi de Güneş çamuruyla birlikte sürüklenir. Manyetik alan çizgisinin ekvator da olan kısmı daha çok ilerlerken, kutuplara yakın kısmı daha az ilerler. Bükülen manyetik alan çizgileri birkaç dönüş sonunda, özellikle ekvatora yakın kısımlarda birkaç defa kendi üzerine dolanır. Bu bükülmüş ve karışmış manyetik alan çizgilerinden milyonlarca ol-

duğunu düşünürsek, manyetik alan çizgilerinin iyice dolaştığı bölgeler olduğunu hayal etmek zor değil. Güneş lekelerinin bu bölgelerde oluştuğu söyleniyor. İkililer halinde oluşan lekelerden biri mıknatısın kuzey kutbu, diğeri güney kutbu gibi davranıyor. Bir Güneş lekesinden diğerine, yukarı doğru kavis çizerek fırlayan manyetik alan çizgileri ve bu manyetik alan çizgilerini izleyerek sıçrayan plazma, Güneş parlaması olarak adlandırılıyor.

Güneş parlamalarının Güneş tacındaki atomlarla etkileşimi sonucu mor ötesi X-ışınları yayılıyor. Eğer bu parlamalar

Güneş'in Dünya'ya bakan yüzünde olursa Dünyamızdaki elektronik ve iletişim sistemleri bundan etkilenebiliyor. Bu ışınlar Dünya atmosferinin dış katmanlarındaki molekülleri iyonize ederek radyo iletişimini sekteye uğrattırıyor. Oluşan radyo dalgaları, GPS ve benzeri coğrafi sistemlerin kullandığı sinyaller için de parazit oluşturuyor. Güneş'teki hareketlilik ionosferin yoğunluğunda ani değişimlere ve ısınmaya yol açarak uyduların hareketinin ve yüksekliğinin değişmesine ve Dünya ile uydular arasındaki iletişimin kısa süreli de olsa kopmasına neden olabiliyor.



İkililer halinde oluşan lekelerden biri mıknatısın kuzey kutbu (K), diğeri güney kutbu (G) gibi davranıyor. Bir Güneş lekesinden diğerine, yukarı doğru kavis çizerek fırlayan manyetik alan çizgileri ve bu manyetik alan çizgilerini izleyerek sıçrayan plazma

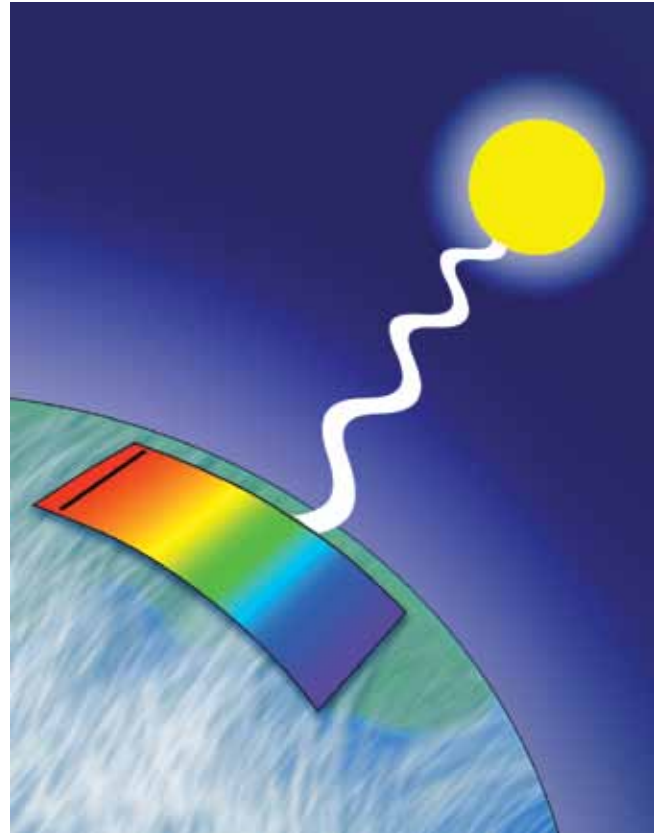
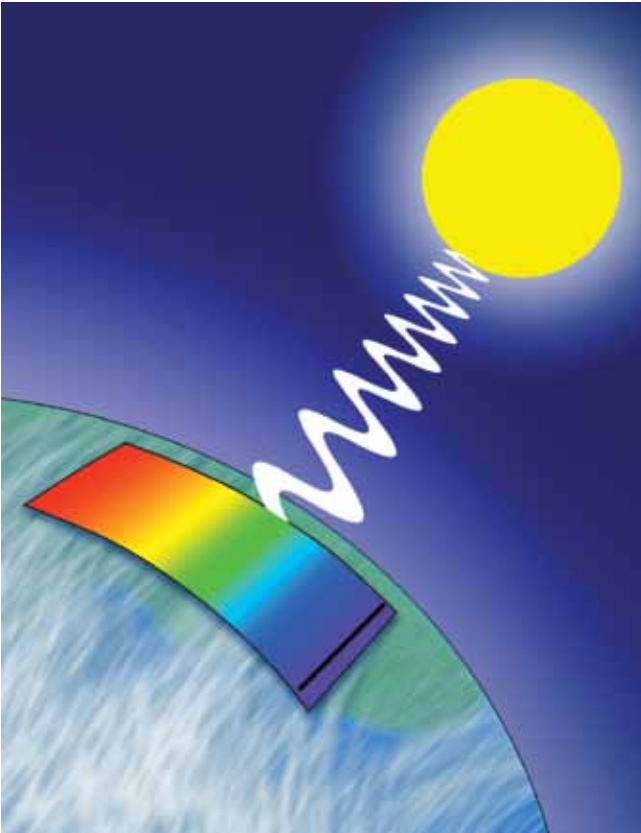
Güneş'in Kendi Etrafında Dönüşü

Katı bir yapısı olmadığı, iyonize olmuş gazdan (plazmadan) oluştuğu için, Güneş'in ekvator ve kutuplardaki dönüş hızı Dünya'ninkine gibi aynı değil. Güneş kendi etrafındaki dönüşünü ekvatorunda 25,4 günde, kutuplarda ise 36 günde tamamlıyor. Yani enlem derecesi arttıkça dönüş hızı azalıyor. Diferansiyel dönüş denen bu hareketin yanı sıra dönüş hızı da Güneş'in iç kısımlarında farklılık gösteriyor, ancak Güneş çekirdeği katı bir kütle gibi dönüyor. Güneş yüzeyinin hangi hızda döndüğü fotosfer tabakasında görülen Güneş lekelerinin gözlemlenmesiyle hesaplanabiliyor.

Güneş'ten gelen ışık tayfındaki soğurma çizgilerinin kırmızıdan mora, mordan kırmızıya doğru kayması, Güneş'in bize bir yaklaşmış bir uzaklaştığını gösteriyor.

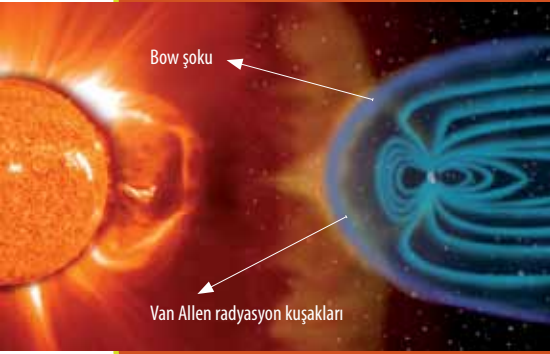
Güneş'in Kalp Atışları

Ses dalgalarının Güneş'in yüzeyinde oluşturduğu küresel titreşimler Işıkküre'deki gazların kalp atışı gibi bir dışarı bir içeri doğru gidip gelmesine, bu ise Güneş'in bize bir yaklaşıyor bir uzaklaşıyor gibi görünmesine neden oluyor. Güneş'ten gelen ışık tayfındaki soğurma çizgilerinin kırmızıdan mora, mordan kırmızıya doğru kayması bunun bir göstergesi (Bkz. "Güneş lekelerinin manyetik alanla ilgili olduğunu nereden biliyoruz?"). Doppler etkisi denen bu olayın bir benzerini günlük hayatımızda ses dalgalarıyla tecrübe ederiz. Bir ambulans bize yaklaşırken siren sesinin tizleşmesi, hareket doğrultusundaki dalga cepheleri büzüştüğü içindir. Yani dalga boyu küçüldüğü (frekansı arttığı) için sesi tiz duyarız. Bizden uzaklaşırsa ise daha pes (düşük frekansta) bir ses duyarız. Çünkü dalga yayılmış, frekansı azalmıştır. Güneş'ten gelen ışıkta ise ses dalgalarının yerini elektromanyetik dalgalar alır, ancak mantık aynıdır. Dünya'dan 1.600.000 km uzakta, Güneş'in etrafında dönmekte olan SOHO uzay aracında bulunan Michelson Doppler kamerası Güneş'in bu hareketini görüntülemeye çalışıyor.



Bizi Koruyan Kalkanımız: Magnetosfer

Güneş patlamalarıyla birlikte ya da onlardan bağımsız oluşabilen iki Güneş olayı daha var: Güneş tacı kütle atılımları ve Güneş fırtınaları. Aniden gelişen şiddetli



patlamalarla Güneş tacında oluşan deliklerden proton, elektron, helyum çekirdeği gibi parçacıklar saniyede 1000 km gibi bir hızla fırlayarak Dünyamıza kadar geliyor. Güneş tacı kütle atılımı denen bu olay Güneş fırtınalarına da eşlik edebiliyor. Güneş fırtınaları aslında Dünya atmosferinde yüksek basınçtan alçak basınca doğru oluşan hava akımlarına benziyor. Güneş tacı ile örneğin Dünyamıza yakın bir nokta arasında büyük bir basınç farkı varsa Güneş'ten Dünyamıza doğru bir akım meydana geliyor. Bu akımın içinde ışınlarla birlikte yüksek enerjili parçacıklar da taşınıyor. Güneş fırtınalarının etkisi Uranüs'e ve Neptün'e kadar ulaşabiliyor. Bu fırtınaların süreleri birkaç dakika ile birkaç saat arasında değişse de Dünya'nın manyetik alanı (magnetosfer) ve atmosferi haftalarca fırtınanın etkisi altında kalabiliyor. Fırtına Dünyamıza ulaştığında, küremizi bir balon gibi saran magnetosferle Güneş'in manyetik alan

çizgileri birleşiyor. Magnetosfer şekil değiştiriyor, basıklaşıyor, sarsılıyor ve titreşiyor. Uzmanların jeomanyetik fırtına dedikleri bu şekil değişimi öylece kalmıyor. Esnek bir kalkan gibi olan magnetosfer kısa sürede eski halini alıyor. Bow şoku denen şok dalgası meydana gelirken, Dünyamızın yakınındaki Van Allen radyasyon kuşaklarındaki manyetik kuvvetle çekilen yüksek enerji parçacıklar manyetik alan çizgileri boyunca ilerliyor. Zaman zaman atmosferimize kutuplardan giren bu parçacıklar Dünyanın manyetik alan çizgileri boyunca ilerliyor ve yolu üzerindeki parçacıklarla çarpışarak ışımaya neden oluyor. Aurora olarak da adlandırılan bu doğa olayına daha çok kutuplara yakın ülkelerde rastlanıyor. Dünya'nın manyetik alanında meydana gelen ani değişimler, elektrik hatlarında akım indükleyerek transformörün manyetik çekirdeğinin yanması gibi ciddi sonuçlar da doğurabiliyor.

Bir Çan Gibi Çınlayan Güneş



Titreşen bir çan yüzeyinde ses dalgalarından dolayı oluşan desenlere benzer şekilde Güneş yüzeyinde de belli titreşim modlarına özgü desenler oluşur.

Su altında meydana gelen bir patlama nasıl hem suyun yukarı doğru sıçramasına hem de su yüzeyinde dalgalanmaya neden

oluyorsa, Güneş'teki patlamalar da Güneş'i sarsıyor ve yüzeyinde küresel titreşimlere neden oluyor. Ancak Güneş'teki patlamalar Güneş'in içinde değil, Güneş'in dış katmanı olan ışık küre'de meydana geliyor. Güneş'teki ses dalgalarını ışık küre'deki patlamalardan kaynaklanan sese indirgeyemeyiz. Zira Güneş'in iç katmanlarında, özellikle ışık küre'nin hemen altındaki ısı taşınım katmanındaki hareketlilik de yüzeyde dalgalanmaya neden olur. Jeologların Dünya'nın iç yapısını anlamak için deprem ve sarsıntılardan yararlanması gibi, heliosismologlar da Güneş yüzeyindeki dalgalanmayı inceleyerek Güneş'in iç yapısını anlamaya çalışıyor.

İç oyuk, kapalı bir ortamda ilerleyen dalgalar ortamın sınırlarından yansır. Güneş'in çekirdeği ile yüzeyi arasındaki yoğunluk farkı çok yüksek olduğu için Güneş de ses dalgaları için bir kovuk gibi davranır. Güneş çekirdeğine doğru ilerleyen dalga çekirdek-

ten yansır, yansıyan dalga ilerleyen dalgayla üst üste binerek duran bir dalga meydana getirir ve Güneş'in içinde bir çan varmışçasına çınlamasına neden olur. Titreşen bir çan, bir davul, ince bir metal plakaya çok dikkatli bakarsak ses dalgalarının yüzeyde oluşturduğu desenleri görebiliriz. Benzer şekilde Güneş yüzeyinde de belli modlara özgü değişik desenler oluşur. Tabii ki Güneş'teki ses dalgaları diyapazonun çıkardığı ses gibi tek bir frekansta değil. İnsan sesindeki, bir müzik aletindeki gibi, birkaç frekanstaki ses dalgasının üst üste binmesiyle oluşan harmonik bir ses dalgası. Bizden 150 milyon km uzakta bulunan Güneş ile aramızda bulunan uzay boşluğu nedeniyle Güneş'in çınlamasını duyamıyoruz. Ancak araştırmacılar titreşimleri hızlarını on binlerce kez artırarak ve 40 günlük bir titreşimi birkaç saniyeye sıkıştırarak onları duyabileceğimiz düzeye getiriyor.

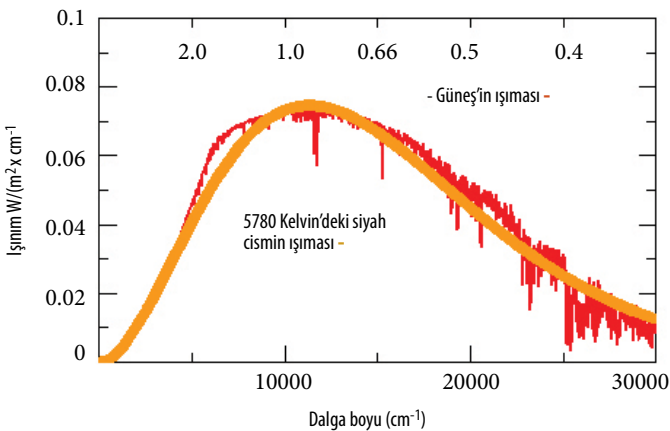
Güneş Katı mı, Gaz mı?

Aslında Güneş'in demirden olduğunu, yüzeyinin katı olduğunu iddia eden bilim insanları da var. Ancak Büyük Patlama'dan hemen sonra oluşan ilk iki elementin hidrojen ve helyum olduğunu, güneş sistemlerini oluşturan dönen gaz bulutlarını düşündüğümüzde Güneş'in gazlardan oluştuğu fikri daha cazip geliyor. Zaten bilim insanları arasında da Güneş'in gazlardan oluştuğunu öne süren Güneş modeli en

çok kabul gören model. Bu modelle Güneş'in yarıçapından yüzey sıcaklığına kadar birçok bilgi de hesaplanabiliyor. Güneş'in iç katmanlarından yüzeye doğru ilerleyen sismik dalgalar da bu modeli destekliyor. Güneş'ten gelen elektromanyetik dalga tayfını inceleyerek Güneş yüzeyinde hangi elementlerin olduğunu bulabiliyoruz. Veriler evrende en yaygın bulunan hidrojenin ve helyumun Güneşimizde de bol miktarda bulunduğunu ortaya koyuyor. Dörtte üçü hidrojen, dörtte birine yakın kısmı ise helyumdan oluşan Güneşimizde çok az miktarda da olsa oksijen, neon, karbon, demir gibi daha ağır elementler de var. Tabii bu oranlar Güneş çekirdeğinde hidrojenin helyuma çevrimi nedeniyle çok yavaş da olsa değişiyor.

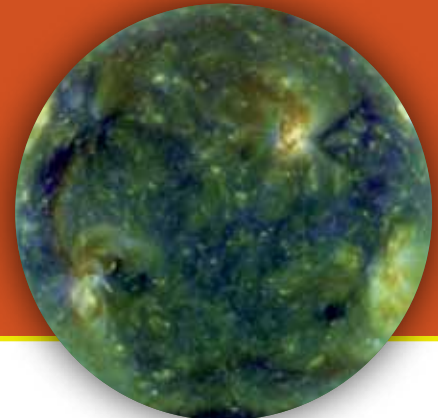
Güneş Siyah Cisim mi?

Güneş'ten gelen elektromanyetik dalgaların dalga boyuna göre dağılımına (ışık tayfı) baktığımızda, Güneş hangi dalga boyu ışıktan ne oranda yayıyor bilgisini elde ederiz. Aslında Güneş, merkezinde meydana gelen termonükleer tepkimeler sonucu oluşan enerjinin çok da dışarı çıkmadığı, elektromanyetik dalgaların Güneş maddesiyle çarpışıp yansarak gerisin geri döndüğü, sonra tekrar tekrar Güneş maddesiyle etkileştiği için içerde hapsedildiği bir cisim. Benzer bir durum her tarafı kapalı siyah bir kutuda da gerçekleşir. Fizikte siyah cisim olarak adlandırılan böyle bir cisim, ısıtıldığında sıcaklığına bağlı olarak dışarı ışınım yayar. Güneş'ten yayılan elektromanyetik dalga tayfı gerçekten de siyah cisim ışınımına benzer. Ancak ısı iletimi ve taşınımı sonucunda Işıkküre'ye ulaşan elektromanyetik dalgaların belli dalga boyunda olanları burada bulunan atomlar tarafından soğurulduğu için, ışık tayfı siyah cisim ışımasından ufak farklılıklar gösterir. Soğurulan dalga boylarına denk gelen yerler yenmiş gibidir.



Sarı Renk Güneş'in Sıcaklığı Hakkında Bize Ne İpucu Veriyor?

Güneş'in görebildiğimiz kısmı olan Işıkküre'de sarı rengi daha baskın görüyoruz. Güneş'in sarı rengini ve siyah cisim ışımasını kullanarak, Işıkküre'nin sıcaklığını yaklaşık olarak hesaplayabiliriz. Bunun için bilmemiz gereken sarı rengin dalga boyu ve Wien yer değiştirme yasası olarak bilinen kısa bir formül. Bu formül herhangi bir siyah cismin sıcaklığını, cisimden en yoğun olarak yayılan ışınımın dalga boyuyla ilişkilendiriyor. Bir diğer deyişle, bir siyah cisimden en çok hangi dalga boyunda ışık yayımlandığını biliyorsak o cismin sıcaklığını da bulabiliyoruz. Güneş'i sarı gördüğümüzden hareketle Güneş'ten en çok 500 nanometre (10^{-9} m) dalga boyu dalgaların yayımlandığını söyleyebiliriz. Wien sabitini 500 nm'ye böldüğümüzde elde ettiğimiz değer 6000 Kelvin. Bu değer çok daha ince hesaplanan 5800 Kelvin değerine hayli yakın.

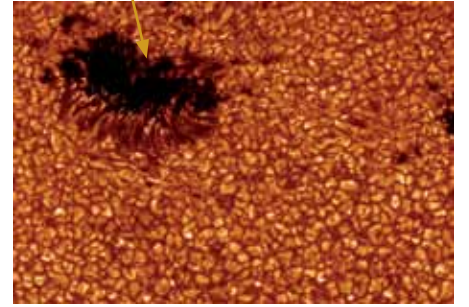
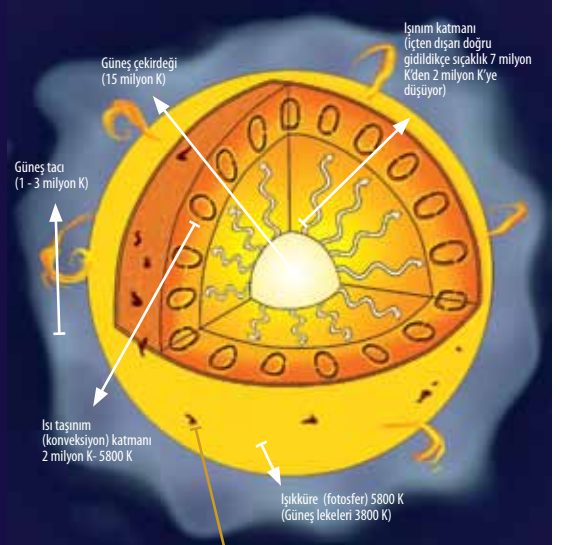


Güneş Lekeleri Neden Işıkküre'deki Diğer Bölgelere Göre Daha Soğuk? Leke Sayısının Fazla Olduğu Dönemlerde Güneş'in Dünyamızı Daha Çok Isıttığı Söyleniyor. Bu Bir Çelişki Değil Mi?

Işıkküre'nin sıcaklığı 5800 Kelvin iken Güneş lekelerinin sıcaklığı 3800 Kelvin kadar. Varlığını sadece birkaç gün sürdürebilen Güneş lekelerinin yanı sıra çapı 70.000 km'yi bulan Güneş lekeleri fotosfer üzerinde haftalarca hareket ediyor. Güneş lekelerinin neden diğer bölgelere göre daha soğuk olduğu tam olarak bilinmiyor. Yaygın görüşe göre bunun nedeni ısı taşınım (konveksiyon) katmanındaki, ısının taşın-

masını engelleyen yoğun manyetik alan bölgeleri. Güneş'te iç katmanlardan daha soğuk olan dış katmanlara doğru bir ısı iletimi var. Güneş çekirdeğinin hemen dışındaki ışınım katmanında bu iletim ışık fotonlarının bir emilip bir yayılması ile olurken, ısı bir sonraki konveksiyon katmanında akışkan içindeki akımlar vasıtasıyla taşınıyor. Ancak bu taşınım manyetik alan çizgilerinin düğümlendiği noktalarda engelleniyor. Isının dışarıya çıkamadığı bu noktaları biz Güneş lekesi olarak görüyoruz. Haliyle sıcaklıkları da daha düşük oluyor.

Güneş lekelerinin hemen etrafındaki faculae denen parlak beneklerin sıcaklığı ise Güneş lekelerinin aksinelışıkküre'deki diğer bölgelere kıyasla daha yüksek. Çünkü Güneş lekelerinden dışarı çıkamayan ısı, lekelerin etrafından dolanıyor. İşte bu parlak benekler nedeniyle Güneş lekelerinin fazla olduğu zamanlarda Güneş'ten ısı çıkışı daha çok yani normal zamanlardakine kıyasla yaklaşık % 0,1 daha fazla oluyor. 1645-1715 tarihleri arasındaki 11 yıllık süreçte sadece birkaç Güneş lekesi görülmüş. Maunder Minimum denen, Güneş'teki hareketliliğin çok az olduğu bu dönem ilginç bir şekilde Dünya'da özellikle de Avrupa'da kaydedilen en düşük sıcaklıklara, tarihte küçük buzul çağına denk geliyor.



Güneş'in Kütlesi ve Hareketi

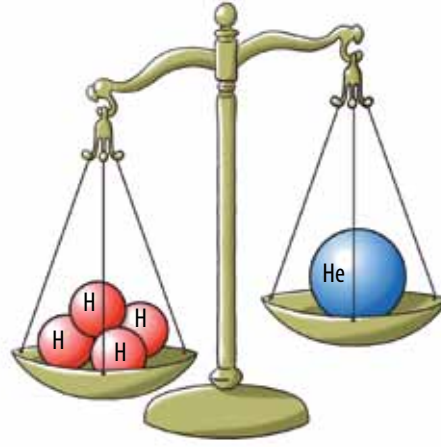
Newton'un hareket yasaları (kütleçekim yasasıyla birlikte) Güneş'in kütlesini, Güneş'in etrafında dönen herhangi bir gezegenin Güneşe olan uzaklığı ve periyodu (Güneş'in etrafında bir dönüş süresi) ile ilişkilendiriyor. Bu ilişkiden Güneş'in kütlesi hesaplanabiliyor. Buna göre Güneşimiz 2×10^{30} kg. Yani $2 \times$ milyon \times trilyon \times trilyon kilogram. Yani Dünya'nın kütlesinin 333.000 katı. Güneş Sistemi'nin toplam kütlesinin % 99'unu barın-

dırdığı için, Güneş Sistemi'nin kütle merkezi Güneş'in hemen yanında. Aslında Güneş'in yarıçapının hemen dışında. Bu nedenle Güneş hafif hafif yalpalıyor ve Güneş Sistemi'ndeki Güneş dahil tüm cisimler kütle merkezi etrafında dönüyor. Yine de yapılan birçok hesapta Güneş'i sabit, gezegenleri onun etrafında dönüyor kabul etmek ve bu yaklaşımla problemleri çözmek işlem kolaylığı sağlıyor ve doğru sonuca ulaştırıyor.



Güneş Çekirdeğindeki Bir Işık Fotonunun Dünyamıza Ulaşması Yüz Binlerce Yıl Alıyor. O Zaman Güneş'in Çekirdeğinde Hala Nükleer Tepkimelerin Devam Ettiğini Nereden Biliyoruz?

Güneş çekirdeğinde meydana gelen termonükleer tepkimeler sırasında oluşan X-ışınları ve gama ışınları Güneş çekirdeği çok yoğun olduğu için ortamdaki parçacıklarla çarpışa çarpışa enerjilerini kaybediyor. Güneş'in katmanlarını, plazmadaki çekirdeklerle etkileşime geçip Güneş'in yüzeyine varan ışığın dalga boyu, görünür ışık seviyesine kadar iniyor. Bir ışık fotonunun Güneş merkezinden yüzeye olan seyahati bu yüzden yaklaşık 200.000 yıl sürerken, ışığın Güneş yüzeyinden Dünyamıza ulaşması sadece 8 dakika alıyor. Haliyle bize ulaşan ışık aslında yüz binlerce yıl öncesindeki nükleer tepkimelerin bir yan ürünü ve bize Güneş'in çekirdeğinde nükleer füzyonun şu anda da devam ettiğinin garantisini vermiyor. Ancak bu konuda bir başka güvencemiz var: Nötrinolar. Nükleer füzyon sırasında oluşan nötrinolar, ışığın aksine, Güneş maddeyle ne elektromanyetik kuvvet ne güçlü nükleer kuvvet ne de kütleçekim kuvveti vasıtasıyla etkileştiği için hızlı bir şekilde yüzeye, oradan da bize ulaşıyorlar ve halen her an milyarlarcası Dünyamızdan geçiyor.



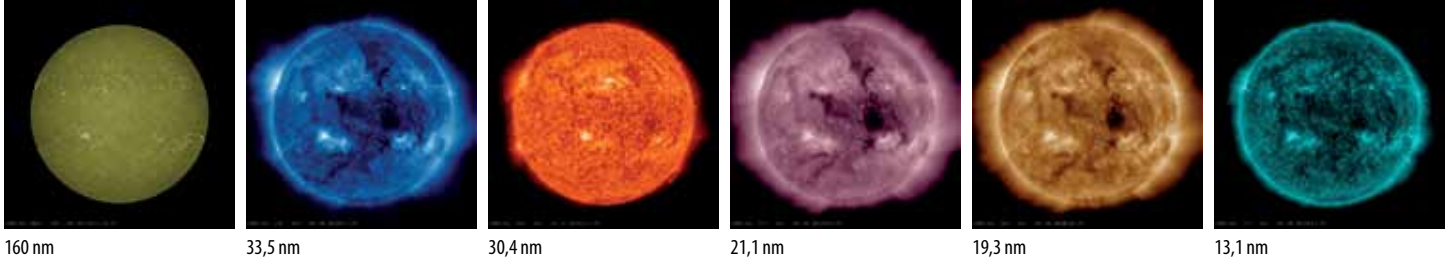
Güneş'in Enerjisi

Yüzyıllar boyunca sadece fizikçiler değil biyologlar ve jeologlar başta olmak üzere birçok bilim insanı, Dünya'yı ve Dünya'daki yaşam koşullarını sorgulayan herkes Güneş'in yaşıyla ilgilenmiş. Bu soru Güneş'in enerjisiyle doğrudan ilgili. Günümüzde Güneş'in enerjisinin kütesinden doğduğunu bildiğimiz için Güneş'in şimdiki kütesinden ve birim zamanda bu kütle ne kadarını enerjiye çevirdiğinden hareketle yaşını hesaplayabiliyoruz. Güneş ömrünü yarlamış. Neyse ki ömrü çok uzun ve daha 4,6 milyar yılı var.

Lord Kelvin, Hermann von Helmholtz gibi fizikçiler 1800'lerde Güneş'in enerjisini kütleçekim enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek sağladığını düşünmüşler. Hesaplar Güneş'in ömrünü 30 milyon yıl olarak vermiş. Charles Darwin başta olmak üzere birçok biyolog bu hesaba karşı çksa da bu konuda fizikçilerin söz sahibi olduğunu kabullendiklerinden olsa gerek çok da ısrarcı olmamışlar. 1890'larda keşfedilen radyoaktif parçacıkların ardından enerjinin Güneş'teki radyoaktif parçacıkların ışımasını yoluyla üretildiği düşünülmüş. Güneş'te bol miktarda radyoaktif parçacığın olmayışı çözümün radyoaktivite olmadığını söylüyor. Ancak Güneş'te bol miktarda hidrojen var. 1905'te Einstein'ın özel görelilik kura-

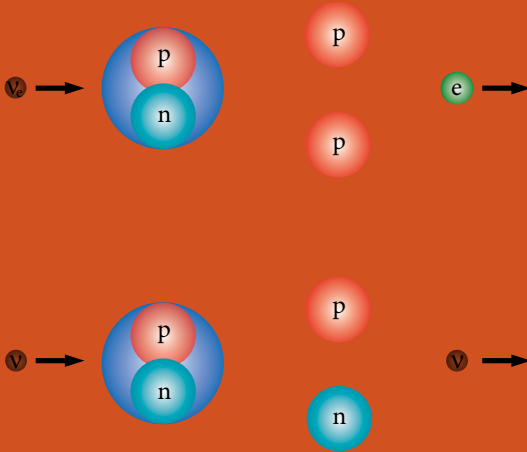
mını geliştirirken bulduğu $E=mc^2$ formülü, kütle (m) enerji (E) arasındaki ilişkiyi gösteriyor. Bu ilişkinin Güneş'in enerjisini açıklamak için nasıl kullanılabileceği 1920'lere kadar netlik kazanmamış. F. W. Aston, 1920'de 4 hidrojen (H) atomunun bir helyum (He) atomundan % 0,7 daha hafif olduğunu belirlemiş ve ardından ünlü İngiliz gökbilimci Arthur Eddington bilim camiasına, hidrojen çekirdekleri birleşerek helyum çekirdeğine dönüşürse aradaki kütle farkının Güneş'in devam edegelen enerjisini açıklayabileceğini duyurmuş. Bu fikrin kabulünü kolaylaştıran en büyük etkenlerden biri Güneş'in merkezindeki sıcaklık, diğeri ise tam da o zamanlarda geliştirilen kuantum mekaniği. Klasik fiziğe göre hepsi artı elektrik yüklü olan protonların (hidrojen çekirdeklerinin) birbirini itmesi gerekiyor. Ancak kuantum mekaniğine göre bu parçacıklar birbirini itse de aynı noktada bulunma olasılıkları var. Üstelik Güneş çekirdeğindeki çok yüksek sıcaklık bu olasılığı artırıyor. Kuantum mekaniği böylelikle protonların birleşmesine yani füzyon olayına olanak sağlıyor. Tepkimeye göre 4 hidrojen çekirdeği birleşerek bir helyum çekirdeğine dönüşüyor. Bu sırada iki tane e^+ (artı yüklü elektron), iki tane ν^e (elektron tipi nötrino) ve enerji açığa çıkıyor.

Güneş'in değişik dalga boylarındaki ışıkla görüntülenmiş resimleri. En solda görünür ışıkla filtrelenmiş kamerayla Güneş'i görüyoruz. Yüzezi düz ve sadece bir tane Güneş lekelesi var. NASA, Güneş Dinamiği Gözlemevi (Solar Dynamics Observatory-SDO) tarafından çekilmiş Mayıs 2011 tarihli bu fotoğraf Güneş'in şu sıralar çok sakin olduğunu gösteriyor. Kamerada kullanılan ışığın dalga boyunun küçüldüğü fotoğraflara baktığımızda Güneş'in yüzeyindeki hareketlilik belirginleşiyor. Morötesi ve X-ışınlarıyla görüntülenen, Güneş Tacı (korona) görünür hale geliyor. (nm=nanometre= 10^{-9} metre)



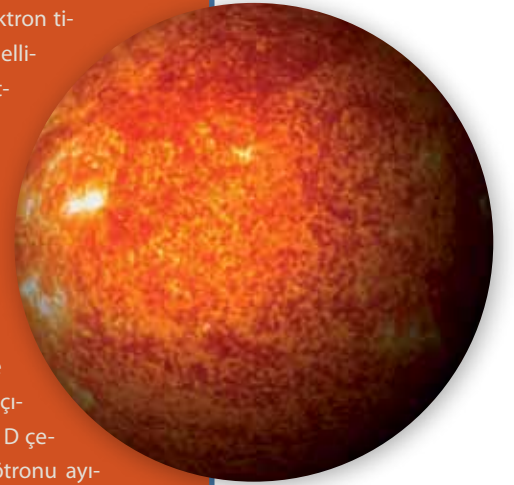
Güneş Nötrino Problemi

Standart Güneş Modeli Güneş çekirdeğinde 4 hidrojenin birleşerek helyum oluşturması sırasında ortaya çıkan nötrinoların sayısı hakkında öngöründe bulunuyor. Ancak bu öngörü 20. yüzyılda yapılan nötrino deneylerinde gözlemlenen hiçbir sonuçla örtüşmüyor. Gözlemler hep beklenen değer altında çıkıyor. Yıllarca çözilemeyen Güneş nötrino probleminin kaynağı nihayet 2001 yılında anlaşılıyor.



Yukarıdaki resimde, ağır su tankına Güneş'ten gelen elektron tipi nötrino (ν_e), döteryum çekirdeğine çarparak nötronu (n) protona (p) dönüştürüyor. Bu sırada bir elektron (e) çıkıyor. Aşağıdaki resimde herhangi bir nötrino (ν_e , ν_{μ} veya ν_{τ}) döteryum çekirdeğiyle etkileşip proton ve nötronu ayırarak yoluna devam edebiliyor.

Kanada'daki Sunbury Nötrino Yeraltı Gözlemevi'nin verileri Standard Güneş Modeli'yle uyuyor. Bu gözlemindeki deney düzeneğinin diğerlerinden farkı sadece elektron tipi nötrinoya değil müon ve tau tipi nötrinolarla da hassas olması. Aslında üç tip nötrino var, ama Güneş'ten bize sadece elektron tipi nötrino geliyor. Bu yüzden tasarlanan deneyler genelde elektron tipi nötrinoların sayısını belirlemeye odaklanıyor ve diğer nötrino tiplerine hassas düzenekler kurma ihtiyacı hissedilmiyor. Ama bu da değişik tipteki bu nötrinoların birbirine dönüşebileceğinin göz ardı edilmesi anlamına geliyor. Aslında bu göz yumuşta haklılar. Zira parçacık fiziğinin Standard Modeli'ne göre nötrinoların kütlesi yok ve kütsüz olma hali nötrinoların birbirine, örneğin muon tipi bir nötrinonun elektron tipi bir nötrinoya dönüşmesini engelliyor. Sunbury Gözlemevi'nde nötrinoları tespit etmek için ağır su kullanılıyor. Ağır su molekülleri H₂O değil, D₂O. Döteryum (D) çekirdeğinde bir proton ve bir nötron bulunuyor. Ağır su tankına Güneş'ten gelen elektron tipi nötrino, nötrona çarparak onu protona dönüştürüyor ve bu sırada çekirdekten elektron saçılıyor. Ancak her üç tip nötrino da D çekirdeğiyle etkileşip proton ve nötronu ayırarak yoluna devam edebiliyor. Tüm nötrino tiplerine hassas böyle bir deneyde, ağır suyla etkileşimleri sayesinde belirlenen tüm nötrinolar, kuramdakini tutuyor. Bu da nötrinoların birbirine dönüşebildiğini gösteriyor. Bu sonuçtan sonra kuramcılar nötrinoların çok küçük de olsa bir kütlesi olması gerektiğinden hareketle yeni kuramlar üretmeye başlıyor..



Kaynaklar

<http://solar-center.stanford.edu/about/>
<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>
http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/articles/fusion/
<http://curious.astro.cornell.edu/sun.php>