

# Manyetik Kalkanlar

*Yıldızımız Güneş, Dünya'daki yaşamın kaynağı. Ancak, ona karşı yeterli koruması olmayanlara pek de konuksever davrandığı söylenemez. Çünkü, Güneş, herhangi bir canlıyı çok kısa sürede öldürebilecek dozda ışıma yapıyor. Ayrıca, saniyede 450 km hızla ilerleyen güneş rüzgârıyla, çok sayıda yüklü parçacık her yöne saçılıyor. Neyse ki bizi bu parçacıklardan koruyan doğal bir kalkanımız var: Dünya'nın manyetosferi.*

**Y**ILDIZLARARASI ya da gezegenlerarası ortam denince genellikle aklımıza boşluk gelir. Bu bir bakıma doğru; çünkü, bu ortamdaki maddenin yoğunluğu, laboratuvar ortamında yaratabileceğimiz vakumdan bile daha az. Ancak, burası, özellikle de yakın çevremiz, başlıca kaynağı Güneş olan yüksek enerjili birtakım parçacıkların etkisi altındadır. Yaşam açısından bakacak olursak, yeryüzünde yaşayan canlıların böyle bir ortamda (diğer tüm koşullar sağlansa bile) hayatta kalması olanaksız.

Güneş, elektromanyetik ışıma olarak tanımlanan radyo dalgaları, gördüğümüz ışık ve x ışını gibi ışınımın yanında, plazma olarak adlandırılan, elektronların ve iyonların (protonlar ve bazı daha ağır atom çekirdekleri) karışımından oluşan başka bir ışıma daha yapar. Sıcaklığı 100 000 Kelvin'i bulan plazmanın kaynağı, Güneş'in atmosfere,

yani taç katmanıdır. Plazmayı içeren güneş rüzgârı, saniyede yaklaşık 450 km hızla gezegenlerarası ortamda ilerler ve Güneş'ten en azından 70 astronomi birimi (1 astronomi birimi 150 milyon km olan Dünya ile Güneş arasındaki uzaklığa eşittir) uzaklara kadar ulaşabilir.

Güneş rüzgârı, Dünya'nın yörüngesine ulaştığında, sakin koşullarda, iyon ve elektron yoğunluğu,  $\text{cm}^3$ 'e beş parçacık düşecek kadardır. Bu yoğunluk, Güneş'e olan uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Güneş'in etkinliğine bağlı olarak, bu yoğunluk belli dönemlerde artar ya da azalır. Bu sıralar Güneş, her 11 yılda bir olduğu gibi, daha fazla gündemde. Uyarılar her zaman geçerli olsa da uzmanlar bu yıl Güneş'e daha fazla dikkat etmemiz gerektiğini söylüyorlar. Dünya'daki yaşamın kaynağı olsa da sanki belli dönemlerde, ne kadar zararlı da olabileceğini bize hissettirmeye çalışıyor.

Koruyucu kalkanlara sahip olsak bile, Güneş'ten gelen yüklü parçacıkların yaşantımıza olumsuz etkileri var. Bu, özellikle elektronik aygıtların yaşantımızın ayrılmaz birer parçası olduğu; uzay uçuşlarının gerçekleştirildiği son birkaç onyılda belirginleşti. Güneş'in etkinliği, radyo ve televizyon yayınlarında parazitlere, bazı elektronik aygıtların bozulmasına; elektrik şebekelerinin aşırı yüklenerek işlemez hale gelmesine yol açabiliyor. Doğal olarak, güneş rüzgârının etkisi yörüngede dolanan uydular üzerinde daha fazla. Onların atmosfer gibi bir kalkanları da yok.

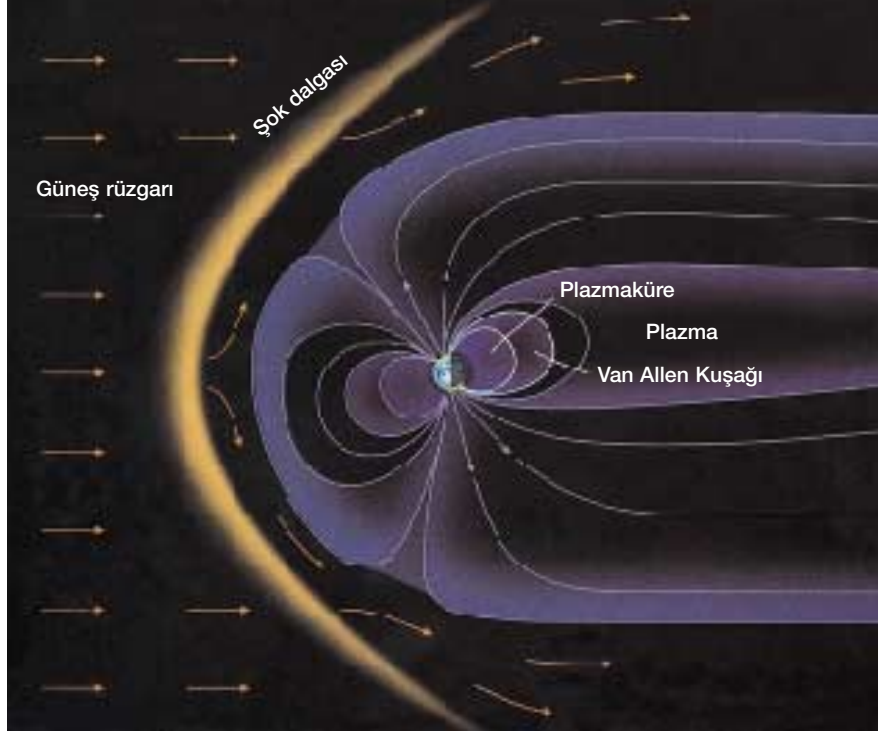
Dünya'ya ulaşan ışımanın büyük bölümü, ötekilere oranla bize çok daha yakında yer alan yıldızımız Güneş'ten kaynaklanıyor. Bunun yanında, evrendeki başka kaynaklardan, örneğin süpernovalar gibi kısa sürede çok yüksek enerjinin ortaya çıktığı patlamalar sırasında çok yüksek ener-

jili parçacıklar evrenin her yanına savrulur. Bu parçacıklar da Güneş'ten gelen parçacıklar gibi, canlılar için ciddi birer tehdit oluşturur. Ancak, bu parçacıklar yeryüzüne ulaştığında, atmosferdeki gazla etkileşime girerek enerjilerinin büyük bölümünü yitirir.

1950'li yıllarda, Güneş'ten yeryüzüne ulaşan parçacıkların sayısında dönemsel bir değişim olduğu anlaşıldı. Yaklaşık 11 yıllık bir döngüyle Güneş'in etkinliği değişiyor. Bu değişim, yükseltilere çıktıkça daha da belirgin oluyor. Atmosferin dışına çıktığıdaysa çok belirgin oluyor. Atmosferin hemen üzerinde, etkinliğin en yüksek olduğu dönemdeki kozmik ışımaya yoğunluğu, en düşük olduğu dönemdeki yoğunluğunun iki katını aşıyor. Hatta, bu ışımaya yoğunluğu, güneş parlaması denen, Güneş'in gezegenlerarası ortama yoğun madde püskürttüğü zamanlar, birkaç yüz katına çıkabiliyor.

## Gezegenler ve Manyetik Alanları

Güneş, enerjisini çekirdeğindeki nükleer tepkimelerden sağlar. Bu enerjinin Güneş'in iletken gaz yapısında oluşturduğu çalkantılar yıldızın güçlü bir manyetik alana sahip olmasına yol açar. Güneş'in yanı sıra, gezegenler, nükleer enerji kaynaklarına sahip olmadıkları halde, manyetik alana sahipler. Bunun bir açıklaması, Güneş sisteminin oluşum aşamasına dayanıyor. Buna göre, yaklaşık 4,5 milyar yıl önce, gezegenler soğuyup katılaşmadan önce, Güneş'in güçlü manyetik alanı onları etkileyip, birer manyetik alana sahip olmalarına yol açmış olabilir. Demir gibi bazı mineraller ya da onları içeren moleküller, manyetik özellikler kazanabilir. Eğer, bir cismin içindeki bu mineraller ya da moleküllerin manyetik kutupları aynı doğrultuda yerleşmişse, cisim bir mıknatıs olur. Dışarıdan kaynaklanan manyetik etki altında bulunan böyle bir cisim, yeterli sıcaklıktaysa bu özelliği kazanabilir. Bunun için, demir içeren manyetik maddenin "Curie noktası" denen yeterli sıcaklığa ulaşması gerekir. Gezegenlerin, oluşumları sırasında, Curie noktasının çok üzerinde sıcaklıklara sahip oldukları biliniyor.



*Manyetosfer, bir gezegenin manyetik alanıyla, büyük oranda güneş rüzgarıyla gelen parçacıkların etkileşime girmesiyle oluşur. Manyetik alanın, saniyede 450 km hızla ilerleyen güneş rüzgarıyla karşılaştığı yerde yay biçiminde bir şok oluşur.*

Bir başka açıklamaysa, gezegenlerin bir "dinamo" gibi davranarak kendi manyetik alanlarını oluşturdukları yönünde. Bu kuram biraz karmaşık. Bir dinamo için gerekenler, bir manyetik alan ve bunun içinde elektriği iletebilen, dönen bir gövde. Nitekim, Güneş sistemindeki tüm gezegenler (belki Venüs hariç) ve pek çok büyük uydu bunu sağlayabilecek, yeterli dönme hızına sahip. Ayrıca, bu gök cisimlerinin çeşitli katmanları elektriği iletiyor. Bu, Dünya gibi karasal gezegenlerde ve uydularda kaya-demir karışımı ergimiş çekirdekle; Jüpiter ve Satürn'de, basınç ve sıcaklık altında metal özelliği kazanan hidrojenle; ya da Uranüs ve Neptün'de olduğu gibi, su, amonyak ve metan karışımı katmanlarla sağlanıyor.

Dinamonun çalışmasını sağlayabilecek bir başka etken, katmanlar arasındaki sıcaklık farkı. Bu sıcaklık farkının da elektriği iletebilen katmanların çalkantılı hareketini sağlayabilecek kadar olması gerekli. Manyetik alana sahip karasal gezegenlerin (Merkür, Venüs, Jüpiter'in uydusu Ganymede) dinamoları güçlerini kütleçekimi, radyoaktif elementlerin bozunması ve bazı kimyasal tepkimelerden alıyor olabilir. Dev gezegenlerse, zaten içlerindeki sıcaklığı çok iyi ko-

rumuş olduklarından, içerideki çalkantı yeterli gücü sağlıyor olabilir.

"Dinamoların nasıl çalıştığına" dair oluşturulan kuramlar genelde karmaşık. Bununla birlikte, 1955'te, Eugene Parker'ın ortaya attığı senaryo, daha anlaşılır nitelikte. Dönen bir sıvıda olduğu gibi, bir gezegenin içinde ergimiş halde bulunan madde de differansiyel dönme yapar. Yani, merkezi dış katmanlara göre daha hızlı döner. Bu şekilde hareket eden iletken madde, çekirdekteki manyetik alanı güçlendirir. Eğer bu iletken katmanlar yeterince sıcaksa ve çalkantılıysa, bu da varolan manyetik alanı güçlendirir. Böylece, bir gezegen kendi kendine dinamoyu çalıştıracak kuvveti yaratmış olur.

Bir gezegenin manyetik alanı, biraz daha karmaşık olabilmekle birlikte, basit bir çubuk mıknatısinkine benzer. Kuzey ve güney olarak adlandırılan iki kutbu vardır. Gezegenlerin manyetik kutupları, genellikle dönüş eksenine yakındır. Dünya'nın manyetik kutbuyla kuzey kutbu arasında 11°, Jüpiter'inkilerde 10°, açı vardır. Satürn'ünkilerse hemen hemen çakışmıştır. Uranüs ve Neptün, burada ötekilerden ayrılır. Eksenler arasındaki açı Uranüs'te 58,6°, Neptünde 46°'dir. Bu, iki gezegendeki dinamo-

nun biraz daha farklı çalıştığını gösteriyor.

Manyetik alanların yönlerinin neden dönüş eksenleriyle çakışmadığı pek anlaşılabilir değil. Üstelik, Merkür ve Dünya'nın manyetik alanları öteki gezegenlerinkiyle ters yönde. Yani, Dünya'nın kuzey kutbu, güney manyetik kutbuna yakın. Ayrıca, Dünya'nın manyetik alanının pek çok defa yön değiştirdiğini gösteren bazı yerbilimsel ipuçları var.

## Manyetik Kalkanlar

Öteki gezegenlerin manyetik özellikleriyle ilgili kuramlar, temelde Dünya'nın manyetik alanı hakkında edindiğimiz bilgilere dayandırılıyor. Ancak, gözlemlere göre her gezegen farklı özelliklere sahip. Yine de tüm gezegenler için, basit bir "manyetosfer" tanımı yapabiliriz: "Bir gezegenin kendi manyetik alanının oluşturduğu, elektrik yüklü parçacıkları içeren katman." Manyetosferler, manyetik alanın yapısına bağlı olarak yaklaşık küresel biçimdedir.

Manyetosferlerin güneş rüzgârıyla karşılaştığı yerlerde, yay biçiminde bir şok dalgası meydana gelir. Şok dalgalarının oluşabilmesi için, bir cismin, ona doğru gelen rüzgâr içinde yayılan dalgalardan daha hızlı ilerlemesi gerekir. Böylece, güneş rüzgârı, karşısındaki manyetik kalkanı "fark edemez"; fark edemeyeceği için, çevresinden akıp gidemediği için de



*Kutup ışıkları denen etkileyici doğa olayları manyetosferdeki yüklü parçacıkların atmosferin üst katmanlarındaki gazla etkileşime girmesi sonucu, meydana gelir.*

onunla çarpışır.

Şok dalgasını geçen plazma, manyetik alanın etkisiyle ve güneş rüzgârının yarattığı basınçla, gezegenin arkasında bir kuyruk oluşturur. Dünya'nın manyetik kuyruğunun uzunluğu birkaç milyon kilometreyi bulabilmektedir. Ayrıca, plazmanın gezegene en çok yaklaştığı yer, manyetosferin Güneş'e bakan yönüdür. Çünkü burada güneş rüzgârı manyetosfer üzerinde basınç yaratır ve onu iter. Dünya için bu nokta yaklaşık 64 000 km uzaklıktadır. Bu, kalınlığı ortalama 300 km olan atmosferle karşılaştığında çok yukarıda kalır.

Bir gezegenin manyetik alanı ne kadar güçlüyse, manyetosfer de o

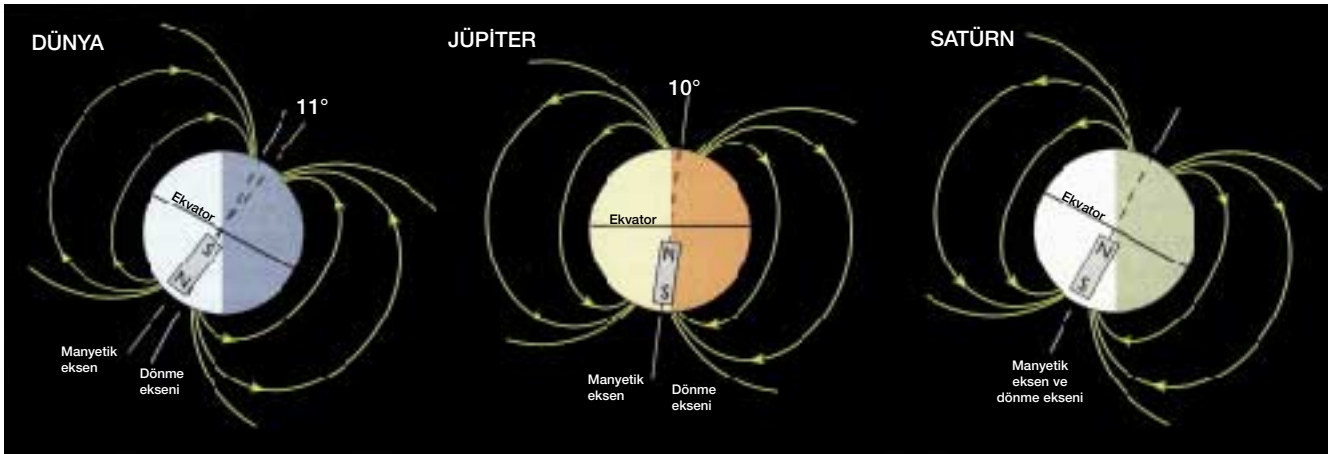
denli büyük olur. Doğal olarak, güneş rüzgârının basıncının da bunda doğrudan payı var. Örneğin, Merkür'ün manyetosferi o kadar küçük ki Dünya'nın kapladığı hacimden daha az yer kaplar. Buna karşılık, Jüpiter'in manyetosferi, en azından 1000 güneş hacmindedir.

Bir cismin yarattığı manyetik alan anlatılırken, "manyetik alan çizgilerinden" yararlanılır. Yani, alanın biçimi ve yönü gerçekte varolmayan çizgilerle gösterilir. Manyetik alanların dolaşısıyla da manyetosferlerin biçimine baktığımızda, manyetik alan çizgilerinin iki yerde, manyetik kutuplarda gezegenlere dik girdiğini görürüz. Bu, manyetik alanın yapısından kaynaklanır ve düzgün yapıdaki manyetik özellikler taşıyan tüm cisimler için geçerlidir. Manyetosferler, önemli miktarlarda plazma içerdiğinden ve kutuplarda bu plazma kısmen de olsa gezegenle buluştuğundan atmosferin üst kısımlarıyla etkileşime girer.

Güneş rüzgârının içerdiği plazma, protonlar (H<sup>+</sup>), yaklaşık %4 oranında alfa parçacıkları (He<sup>++</sup>), ve bazı daha ağır elementlerin (oksijen ve azot gibi) iyonlaşmış hallerini bulundurur. Yer atmosferinin ve bazı öteki gezegenlerin iyonosfer olarak adlandırılan üst katmanları da benzer bileşimdedir.

## Dünya'nın Kalkanı

Manyetik alan ve manyetosfer, doğrudan gözlenemese de, onun atmosferdeki ve yeryüzündeki etkisi zaman zaman kendini gösterir. Ku-

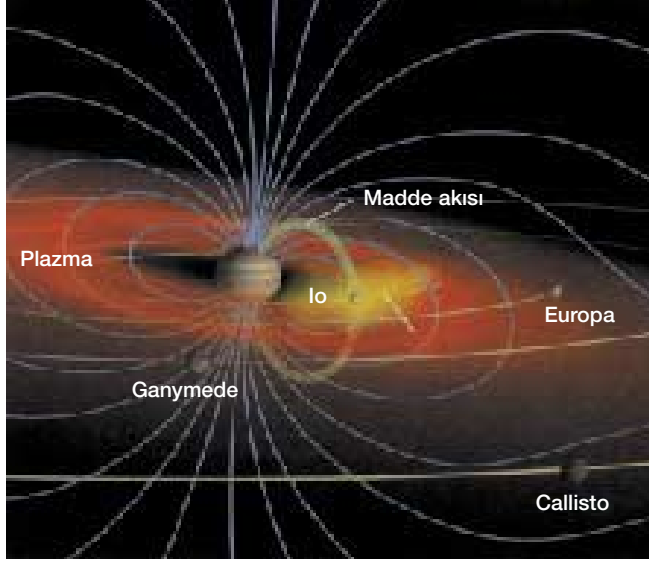


*Satürn'ün aksine Dünya ve Jüpiter'in manyetik eksenleri dönme eksenleriyle çakışmaz.*

tuplara yakın yerlerde gözlenen kutup ışıkları ya da "aurora"lar, manyetik alanın ve manyetosferin varlığını gösteren en belirgin ipuçlarıdır. Kutup ışıklarının, manyetik alana yakalanmış elektronların kutup bölgelerinde atmosferle etkileşime girmesiyle oluştuğu varsayımını ortaya atan ilk bilim adamı, Norveçli fizikçi Olaf Bernhard Birkeland oldu. Birkeland, bu elektronların kaynağının Güneş olabileceğini de düşünmüştü. Güneş'in enerji kaynağının ne olduğunun bile bilinmediği o zamanlar için gayet isabetli bir varsayım idi bu.

1907'de, Carl Stormer adlı bilim adamı, elektrik yüklü parçacıkların manyetik alan içinde hapsedilebileceğini kuramsal olarak gösterdi. Herhangi bir durgun manyetik alan içerisindeki parçacıkların üzerindeki kuvvetler, onların manyetik alanın içinde yay biçimli yollar izlemelerine neden oluyordu.

Uzaya çıkan ilk uydulardan Explorer 1 ve 3 uydularının basit algılayıcılarıyla yapılan gözlemlerde, 1958 yılında James Van Allen ve öğrencileri, Dünya'nın çevresini saran, elektrik yüklü bölgeyi gözlemeyi başardılar. Daha sonraki gözlemlerde, parçacıkların temelde iki ayrı bölgede yakalandığı keşfedildi. Bunlar, biri içte, biri de dışta Dünya'yı saran iki kuşakta yoğunlaşmıştı. Bu kuşaklara, Van Allen Radyasyon Kuşakları dendi. Bu kuşaklardan Dünya'ya yakın olanı, yerden yaklaşık 6300 km uzağa kadar



*Dev gezegen Jüpiter'in manyetosferi de devasa boyutlardadır. Gezegenin dört büyük uydusundan gezegene en yakın olanı Io, manyetosfer üzerinde etkiye sahiptir.*

ulaşılıyor. İkinci kuşaksa, çok daha dışta yer alıyor.

Radyasyon kuşaklarındaki parçacıkların bir kaynağı da kozmik parçacıkların ve Güneş'ten gelen yüksek enerjili parçacıkların atmosferin üst katmanlarından koparttığı nötronlardır. Böylece, uzaya savrulan parçacıkların küçük bir bölümü elektronlara ve protonlara ayrışır. Bu parçacıkları manyetik alan hemen yakalar. Parçacıkların manyetosferde ne kadar kalacakları buldukları bölgedeki manyetik alanın kuvvetine bağlıdır. Manyetik alan kuvveti, Dünya'ya yakınlaştıkça artar. Yüksek enerjili protonlar, Dünya'ya yakın konumlarda yaklaşık on yıl süresinde barınabilir. Atmosferden gelen az miktarda proton, burada uzun süreler kalabilmesi sayesinde birikerek önemli miktarlara ulaşır.

## Manyetik Dev: Jüpiter

1955 yılında, Jüpiter'in düzensiz radyo dalgaları patlamaları yaydığı gözlemlendi. 22,2 megahertz frekanslı yayın, sıcak bir cismin yaydığı ışımadan daha farklıydı. Kısa bir süre sonra da yine ısı olmayan fakat daha yüksek frekanslı ışımaya keşfedildi. Bu ışımaya zaman içinde kayda değer bir değişim göstermiyordu. 1959 yılında, Frank Drake ve Hein Hvatum adlı iki bilim adamı, bu ışımaların kaynağının Jüpiter'in

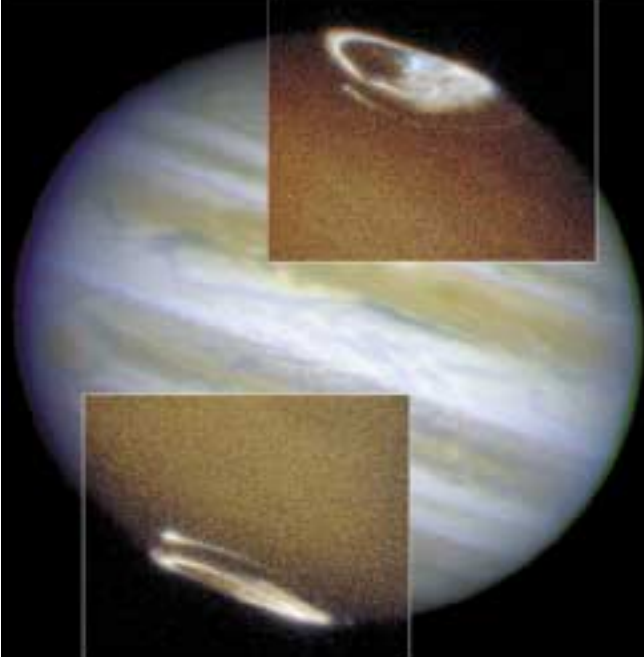
manyetik alanında yakalanmış, ışık hızına yakın hızlarla hareket eden parçacıklar olduğunu dile getirdi.

Jüpiter'den kaynaklan güçlü radyo ışınması, öteki bilim adamlarının da ilgisini çekti. Gözler Jüpiter'e çevrildi. Ancak, yerden yapılan gözlemler pek yeterli olmadı. 1973 ve 1974 yıllarında arka arkaya Jüpiter'e ulaşan Pioneer 10 ve 11 uzay araçları, Dünya'daki benzerinden çok daha güçlü bir manyetik alanla ve burada yakalanmış, çok hızlı hareket eden yüksek enerjili elektronlarla karşılaştı. Böyle bir bölgede ne bir canlılığın yaşaması, ne de iyi korunmamış bir uzay aracının sağlam kalması pek olası değil. Nitekim, her iki uzay aracı da birtakım sorunlarla karşılaştı. Pek çok transistör yandı, araçların görüntü kalitesi bozuldu. Araçların burada etkisi altında kaldığı radyasyon seviyesi, bir insan için ölümcül olan dozun yaklaşık bin katıydı.

Jüpiter'in manyetosferinin biçimi Dünya'ninkine oldukça benzer; ancak, boyutları onunkinin yaklaşık 1200 katı. Eğer, Jüpiter'in manyetosferini çıplak gözle görebilseniz, gökyüzünde dolunayın kapladığı alandan daha fazlasını kaplayacaktı. Voyager uzay araçlarının yaptığı ölçümler sonucu, gezegenin manyetik kuyruğunun Satürn'ün yörüngesinin ötesine uzandığı keşfedildi. Yani, Jüpiter'in manyetik kuyruğu yaklaşık 650 milyon km uzunlukta. Jüpiter'in manyetosferinin bu denli büyük olmasının

*Kutup ışıklarının uzaydan görünüşü.*





**Jüpiter ve Satürn'ün üst atmosferiyle etkileşime giren elektronlar, Dünya'dakine benzer kutup ışıklarının oluşmasına yol açar. Hubble Uzay Teleskopu'nun 1997'de morötesi dalgaboyunda çektiği bu görüntülerde kutup ışıkları açıkça görünüyor.**

nedenleri, hem onun Dünya'dan çok daha güçlü bir manyetik alana sahip olması (yaklaşık 20 000 kat) hem de buradaki güneş rüzgârı yoğunluğunun Dünya yakınındakinin %4'ü kadar olmasıdır.

Bu basit özelliklerden öte, Jüpiter'in manyetosferinin bazı kendine has özellikleri var. Manyetik alanın en zayıf olduğu bölge olan manyetik ekvatorlardan içeri sızan plazma, manyetik alanı şişirir. Jüpiter, ekseninde hızlı dönen bir gezegen olduğu için, yakınındaki plazmanın da dönmesine yol açar. Böylece, dönmeye başlayan plazma gezegenin çevresinde bir disk halini alır.

Jüpiter'in dört büyük uydusundan gezegene en yakın olanı Io, gezegenin manyetosferi üzerinde etkiye sahip. 1964 yılında, gökbilimciler, Jüpiter'den kaynaklanan radyo ışınımında, Io'nun yörüngesindeki konumuna bağlı olarak bazı değişiklikler olduğunu fark ettiler. 1970'lerde, yerden yapılan gözlemlerle, Io'nun sodyum atomları içeren bir katmanla kaplı olduğu; ayrıca, yörüngesinde de önemli miktarlarda kükürt iyonları bulunduğu fark edildi. Voyager 1 uzay aracı, 1971'de Jüpiter'e ulaştığında, Io'dan kaynaklanan plazmayı inceledi ve burada  $1 \text{ cm}^3$ 'de sıcaklığı 1 000 000 Kelvin'i bulan binlerce iyon ve elektronun bulunduğunu belirledi. Bu, hiç de azımsanacak bir yoğunluk değildi.

Bu plazmayı oluşturan kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ) iyonlarının kaynağı da kısa süre sonra bulundu. Io, volkanik bakımdan etkin bir uyduydu. Bu nedenle, çok büyük oranda kükürt dioksit içeren bir atmosferi vardı. İşte bu atmosfer, Jüpiter'in manyetosferindeki plazma kütlelerini saniyede yaklaşık bir ton kükürt dioksitle besliyordu.

Io, bu gözlemlerden sonra, ilgi odağı haline geldi. Bu nedenle, Jüpiter ve dört büyük uydusunu inceleme göreviyle gönderilen Galileo uzay aracının ana görevlerinden biri Io'ya yapılacak bir yakın geçiştir. Aralık 1995'te Jüpiter'e ulaşan uzay aracı, Io'nun 900

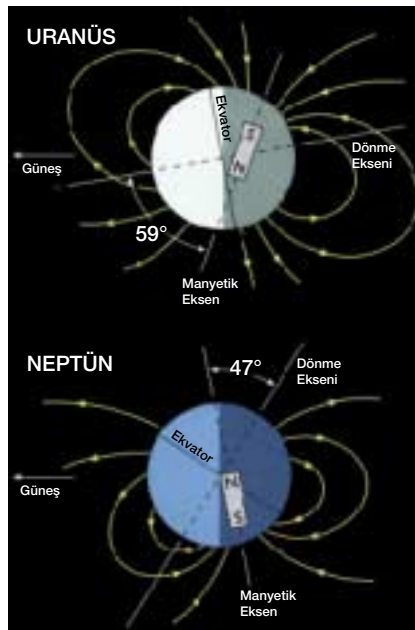
km yakınından geçti. Bu sırada manyetosferdeki plazmanın da içinden geçen uzay aracı, manyetometresiyle ölçümler yaptı. Hala, Io ve manyetosferdeki plazma arasındaki ilişkide hala bazı soru işaretleri var. Ancak, Io ve Jüpiter'in elektrodinamik olarak birbirleriyle ilişkide oldukları ortada. Jüpiter'den alınan radyo ışınımını da büyük oranda Io tetikliyor.

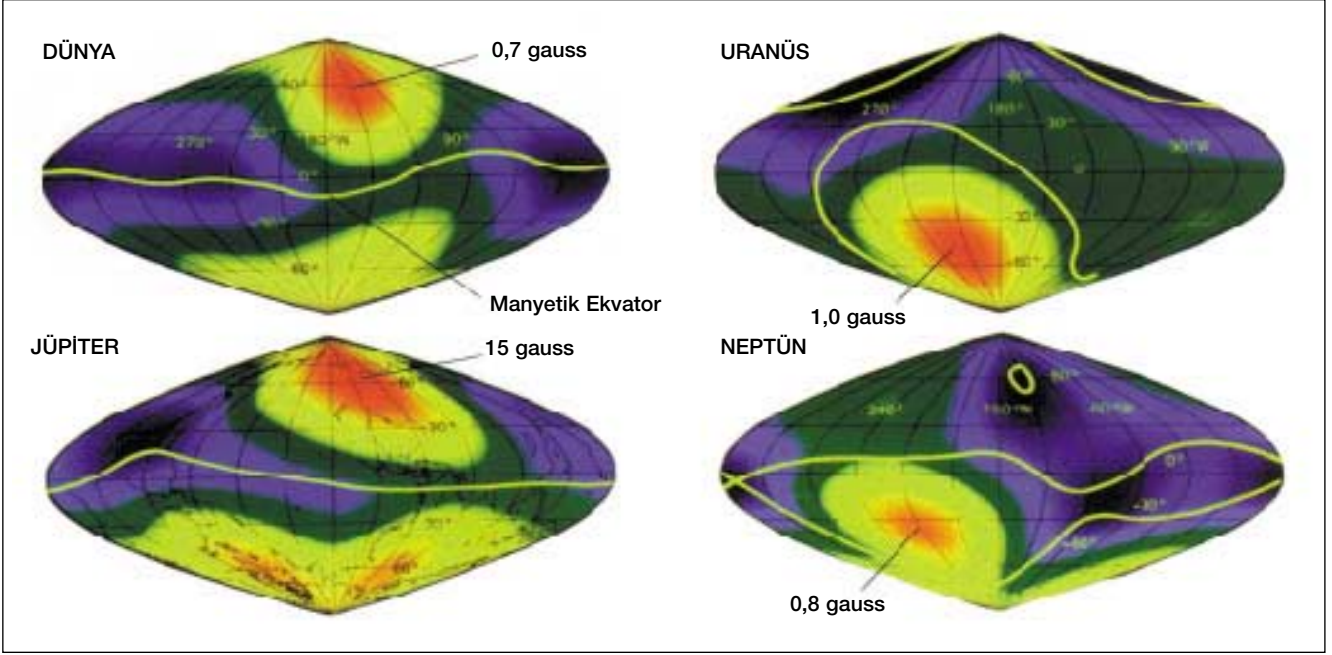
## Satürn'deki Simetri

Jüpiter'deki durumun aksine, Pioneer 11 uzay aracının Satürn'e ulaşmasından önce gezegenin manyetik alanı hakkında hiçbir şey bilinmiyordu. Yer'deki radyoteleskoplarla yapılan gözlemlere göre manyetosferin varlığına dair herhangi bir kanıt bulunamamıştı.

Satürn'ün manyetosferinin keşfi, 1979 yılında, Pioneer 11'in gezegene 1,44 milyon km ötedeki yay biçimli şok dalgasını keşfiyle oldu. Şok dalgasını geçen uzay aracı, yoğun manyetosferin içine daldı. Ancak, halka sisteminin dış kenarına ulaştığında, ölçülen yüklü parçacık yoğunluğunda, bıçakla kesilmiş gibi, büyük bir azalma oldu. Bu, beklenmedik bir

**Öteki gezegenlerin aksine, Uranüs ve Neptün'ün kutup eksenleriyle dönme eksenleri arasında büyük açı vardır. Bu, manyetik alanı yaratan dinamonun çalışma biçimi üzerine varsayımlara ters düşüyor.**





Dünya, Jüpiter, Uranüs ve Neptün'ün manyetik alanları, farklı şiddettedir. Dünya ve Jüpiter'in yüzeylerindeki manyetik alan şiddeti, çok düzgün dağılmış olmasa da Uranüs ve Neptün'ününe göre çok daha düzgündür.

olay değildi. İnce, ancak böylesine yoğun bir halka sistemi, buradaki parçacıkları emerek kendi bünyesine katıyordu.

Pioneer 11'i izleyen Voyager uzay araçları, birbiri ardına, Kasım 1980 ve Ağustos 1981'de Satürn'e ulaştı. Araçların ölçümleri sonucu, Satürn'ün manyetik alan kuvvetinin Dünya'nınkinin yaklaşık 600 katı olduğu ortaya çıktı. Bu, Jüpiter'inkine göre çok düşük; ancak, Dünya'ninkine karşılaştırıldığında hiç de az değil. İki dev gezegenin manyetosferleri birbirine büyük benzerlik gösteriyor. Bir kere, ikisinde de plazmanın ana kaynağı uydular. İkisinde de, dönmenin ve kütleçekiminin etkisiyle plazma disk biçimini almış. Aralarındaki en belirgin farksa, Satürn'deki halkaların neden olduğu, plazmasız bir katman.

Satürn'ün halkaları, bir yandan o bölgedeki plazmayı soğururken, bir yandan da gezegenin manyetosferindeki plazmaya kaynak oluşturuyor. Halkaların içerdiği suyun ayrışmasıyla, oksijen iyonları ortaya çıkıyor. Hubble Uzay Teleskopu'yla yapılan gözlemlerde, halka sisteminin 30 000 km üzerinde ve altında yoğun OH<sup>-</sup> bulutlarına rastlandı. Bu bulutun oluşabilmesi için, saniyede 170 kg suya gereksinim var. Satürn'ün manyetosferindeki atomların çoğu, yüklü atomlar değil. Satürn, bu özelliğiyle öteki gezegenlerden ayrılıyor.

Satürn'ün bir başka plazma kaynağıysa en büyük uydusu Titan. Manyetosferin dış kısımlarında kalan yörüngesinde dolanan Titan, büyük oranda azottan oluşan atmosferinin bir bölümünü Satürn'ün manyetosferine bağlıyor.

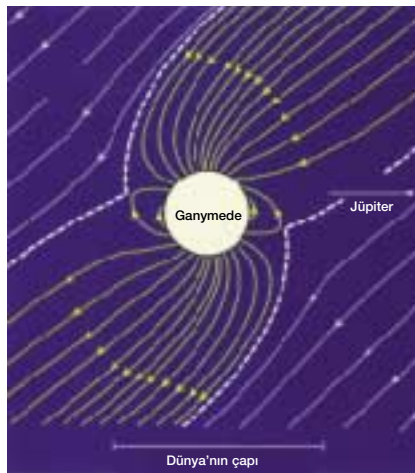
## Aykırı Olanlar

Voyager 2 uzay aracı, Ocak 1986'da Uranüs'e ulaştı. Bu tarihe değin, akıllardaki soru işaretlerinden biri, dönüş eksenini yörüngesiyle neredeyse 90° açı yapan bu gezegenin Dünya, Jüpiter ve Satürn'deki gibi

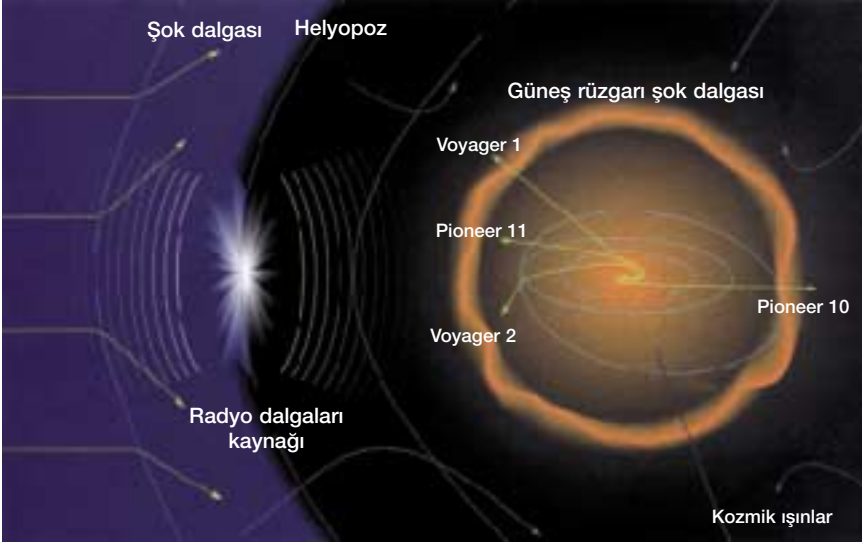
düzgün manyetik alana sahip olup olmadığını. Çünkü, eğer öteki gezegenlerde olduğu gibi, Uranüs'te de manyetik eksenle dönme eksenini birbiriyle küçük bir açı yapıyorsa, manyetik kutuplardan birisi hemen hemen Güneş'e doğrulmuş demektir. Bu da manyetosferin çok ilginç bir biçim almasına yol açabilirdi. Ancak, Voyager 2'nin ölçümleri, hevesle ilginç bir şeylerle karşılaşmayı bekleyen bilim adamlarını hayal kırıklığına uğrattı. Ölçümler, manyetik eksenle dönme ekseninin beklenmedik derecede büyük bir açı yaptığını gösteriyordu: 59°. Gezegenin manyetik alan kuvvetiye beklendiği gibiydi.

Uranüs'te, Satürn'de de olduğu gibi, manyetosferdeki parçacıkları baskın olarak uydulardan gelen madde sağlıyor. Satürn'ünki kadar olmasa da ince halka sistemi, buradaki parçacıkları kontrol altında tutuyor. Ancak, manyetik alan ekseninin uyduların dönme eksenine yaptığı büyük açı, uydular ve manyetik alan arasında karmaşık bir ilişkiye neden oluyor.

Uranüs'ün manyetik kuyruğu, Dünya'ninkine benzerlik gösteriyor. Manyetik ekvatorundaki plazma, yaklaşık 250 000 km uzuyor. Ancak, gezegenin manyetosferi, parçacık bakımından pek de zengin değil. Uydular küçük ve bir atmosferden yoksun olduklarından madde sağlayamıyorlar. Uranüs manyetosferi, çok büyük



Güneş sisteminin en büyük uydusu Ganymede'in bir manyetik alanının olduğu Galileo uzay aracı sayesinde 1996'da keşfedildi. Jüpiter'in güçlü manyetik alanı içinde kalan uydunun manyetik alanı bundan fazlasıyla etkileniyor.



Güneş rüzgârının, Güneş'ten yaklaşık 100 astronomi birimi ötede etkisini yitirerek, helyopoz (heliopause) olarak adlandırılan bölgede kozmik ışınmayla karşılaşarak sonlandığı düşünülüyor. Voyager uzay araçlarının bu bölgeye ulaşmasıyla durum netlik kazanacak.

oranda proton içeriyor. Oksijen gibi daha ağır iyonların bulunmayışı, uydulardan buraya önemli sayılabilecek bir madde akışının olmadığını gösteriyor.

Aslında, Uranüs'ün, eğik dönüşüyle ve manyetik alanıyla karmaşık bir manyetosfere sahip olduğu ortada. Ancak, yapılabilen incelemeler çok az. Voyager 2'nin gezegenin yakınından geçişi çok çabuk olduğundan, daha fazla inceleme yapılamadı.

Voyager 2, Neptün'e Ağustos 1989'da ulaştı. Uzay aracı, bu gezegende de güçlü bir manyetik alan ölçtü. Neptün'ün manyetik ekseninin eğikliği de Uranüs'ünkine yakın değerdedir. Dönme eksenleriyle 47° açı yapıyor. Uzay aracı, gezegene ulaştığında, Neptün'ün kuzey yarıküresi, kış mevsiminin ortasındaydı. Manyetik eksenin dönme eksenine yaptığı açı nedeniyle, gezegenin 16 günlük her dönüşünde, güneş rüzgârının doğrultusunun manyetik eksenle yaptığı açı, 20° ile 114° arasında değişiyordu. Açı 90° olduğunda gayet simetrik yapıda olan manyetosferin biçimi, açı değiştiğince bozuluyordu.

Manyetosferin geometrisindeki bu dramatik değişimler, burada yakalanmış plazmanın durumunu kestirmeyi güçleştiriyor. Neptün'ün ünlü uydusu Triton, manyetosferin içinde yer alıyor. Bu uyduda, her saniye yaklaşık  $10^{25}$  azot iyonunu ( $N^+$ ) manyetosfere kaptırıyor. Voyager 2'nin saptadığı  $N^+$  iyonları, manyetosferdeki plaz-

manın, uydunun atmosferiyle çarpışarak, buradaki azot atomlarını iyonize edip koparmasıyla ortaya çıktı büyük olasılıkla.

## Küçük Dünyalar

1974'ten önce sadece büyük gezegenlerin manyetik alana sahip olabileceği sanılıyordu. Çünkü, küçük gök cisimlerinin, içlerindeki sıcaklığı kaybedince, manyetik alanlarını da kaybettikleri düşünülüyordu. Güneş sistemindeki küçük gezegenimsilerden önce Merkür, sonra da Jüpiter'in uydusu (aynı zamanda da Güneş sisteminin en büyük uydusu) Ganymede'nin manyetik alana sahip olduğu keşfedildi.

1974 ve 1975 yıllarında, Mariner 10 uzay aracı, Merkür'e üç başarılı yakın geçiş gerçekleştirdi. Bunlar, gezegenin ilk yakın gözlemleri idi. Ölçümler, gezegende zayıf (Dünya'nınkinin 1400'de biri) bir manyetik alanın varlığını gösterdi. Bu, jeofizikçilerin sandığının aksine katı kabuğun altında gezegenin hala ergimiş katmanlara sahip olduğunun bir göstergesiydi.

Galileo projesinin en şaşırtıcı keşiflerinden biri de Ganymede'nin manyetik alanının keşfi oldu. Bu keşfin bu kadar ilgi çekmesinin nedeni, Jüpiter'in devasa manyetosferinin içinde bir manyetosfer daha olması. Manyetosfer içinde manyetosfer, ilk kez burada bilim adamlarının karşısına çıktı.

Jüpiter'in manyetosferindeki plazma, güneş rüzgârı kadar hızlı hareket etmediği için, Ganymede'nin manyetosferi bir şok dalgasına yol açmıyordu. Zaten, Jüpiter'in güçlü manyetik alanı içinde, Ganymede'nin manyetik alan çizgileri de -iç kısımdakiler dışında- kapalı değil büyük olasılıkla. Bu da uydunun plazmayı manyetik alanında hapsedemeyeceği anlamını taşıyor. Galileo, Ganymede'nin manyetik kutuplarının üzerinden geçerken, proton akımına rastladı. Protonlar, büyük olasılıkla Ganymede'nin yüzeyindeki buzdan kaynaklanıyor.

## Rüzgârın Bittiği Yer

Güneş rüzgârının, Güneş'ten yaklaşık 100 astronomi birimi ötede etkisini yitirerek, helyopoz (heliopause) olarak adlandırılan bölgede kozmik ışınmayla karşılaşarak sonlandığı düşünülüyor. Ocak 1995'e kadar Dünya'ya veri gönderen Pioneer 11, bu konuda oldukça önemli bilgiler sağladı. Pioneer 11, artık çalışamaz hale geldiğinde 42 astronomi birimi öteye gidebilmişti. Pioneer 10 ise, şimdi yaklaşık 70 astronomi birimi uzaklıkta ve hala kozmik ışınmayla ilgili önemli veriler sağlıyor. Voyager 1 ve 2 uzay araçlarıysa, 1988'in ortalarında 70 ve 55 astronomi birimi uzaklığa ulaştılar. İki uzay aracı da yılda yaklaşık 3 astronomi birimi yol kat ediyor.

Helyopoz'un varlığına dair ilk belirtiler, 1991'de Voyager uzay araçlarının algılanan radyo ışınmalarıydı. O tarihten bu yana, uzay araçlarına ulaşan radyo ışınmalarının yardımıyla helyopoz üzerine çeşitli gözlemler yapıldı. Bu gözlemlere göre helyopozun uzaklığının Güneş'in etkinliğine bağlı olarak, birkaç on astronomi birimi değişiklik gösterdiği biliniyor. Ne yazık ki, bu kadar uzaktan, daha fazla bilgi edinmek biraz zor. Neyse ki, Voyager uzay araçları hala çalışıyor ve bu bölge hakkında ayrıntılı bilgi, uzay araçları buraya ulaştığında elde edilecek.

Alp Akoğlu

Kaynaklar:  
Beatty, K.J., Petersen C.C., Chaikin, A., The New Solar System, Sky Publishing Corporation, 1999  
Buttnyk, K., Anatomy of an Aurora, Sky & Telescope, Mart 2000  
<http://www.gsfc.nasa.gov>