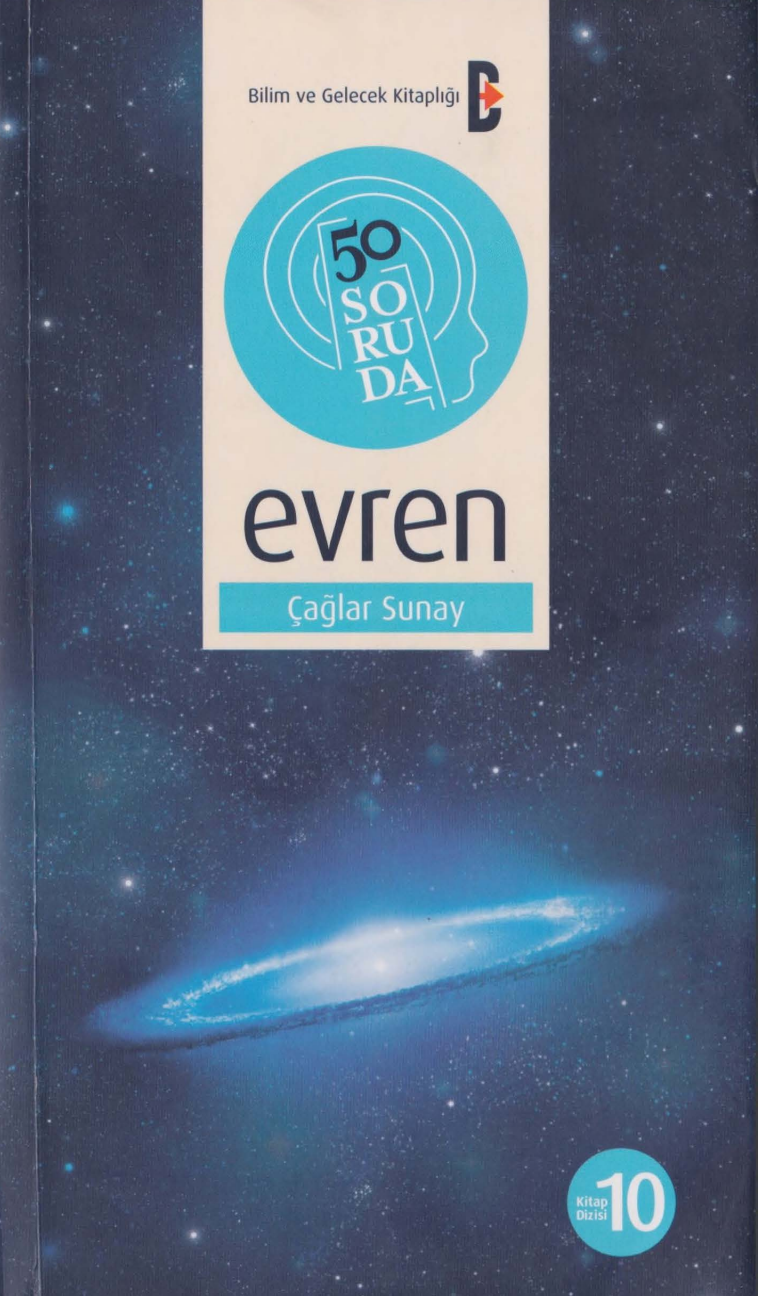
Bilim ve Gelecek Kitaplığı

50 SORUDA

evren

Çağlar Sunay



Kitap Dizisi 10

Bilim ve Gelecek Kitaplığı



Kitap Dizisi -10

Bilim ve Gelecek Kitaplığı - 23

50 Soruda Kitap Dizisi - 10
50 Soruda Evren

Çağlar Sunay

© Bu kitabın yayın hakları
7 Renk Basım Yayın ve Filmcilik Ltd. Şti.'ne aittir.

Birinci Baskı: Bilim ve Gelecek Kitaplığı, Ekim 2011

ISBN: 978-605-5888-21-3

Dizi Editörü: Nalân Mahsereci

Kapak Tasarımı: Deniz Akkol

Sayfa Tasarımı: Eren Taymaz

Baskı: Kayhan Matbaacılık
Davutpaşa Cad. Güven Sanayi Sitesi B Blok
No: 244 Topkapı - İstanbul
Tel: 0212.612 31 85

7 Renk Basım Yayın ve Filmcilik Ltd. Şti
Moda C. Zuhal Sk. No: 9/1 Kadıköy-İstanbul
Tel: 0216.349 71 72
http://www.bilimvegelecek.com.tr
e-mail: bilgi@bilimvegelecek.com.tr



evren

ÇAĞLAR SUNAY

İÇİNDEKİLER

Sunuş / Nalân Mahsereci 9

Önsöz 11

1. Bölüm
EVREN NEDİR? 13

1) Evren nedir? 13
2) Uzay nedir? 14
3) Uzay ne kadar boştur? 15
4) Bulutsu nedir? 16

2. Bölüm
GÜNEŞ SİSTEMİ 19

5) Güneş nedir? 19
6) Güneş nasıl bir yıldızdır? 22
7) Güneş lekesi nedir? 27
8) Gezegen nedir? 32
9) Güneş Sistemi gaz ve toz bulutundan mı oluştu? 38
10) Güneş nasıl oluştu? 40
11) Güneş'in sonu nasıl olacak? 43
12) Gezegenler nasıl oluştu? 48
13) Gezegenlerin temel özellikleri nelerdir? 56
14) Merkür nasıl bir gezegendir? 65
15) Venüs nasıl bir gezegendir? 71
16) Dünya nasıl bir gezegendir? 81

17) Ay nasıl bir gökcismidir? 93
18) Ay nasıl oluşmuştur? 98
19) Mars nasıl bir gezegendir? 104
20) Mars'ta yaşam var mı? 111
21) Asteroit nedir? 114
22) Jüpiter nasıl bir gezegendir? 119
23) Jüpiter'in büyük uyduları neden önemlidir? 124
24) Satürn nasıl bir gezegendir? 127
25) Güneş Sistemi'nin buz devleri nelerdir? 134
26) Cüce gezegen nedir? 140
27) Yıldız kayması nedir? 144
28) Güneş Sistemi'ni araştırmak için kaç uzay aracı gönderildi? 149

3. Bölüm
BÜYÜK ÖLÇEKLİ EVREN 157

29) Evren'de başka yaşam var mı? 157
30) Kaç gezegen var? 165
31) Kahverengi cüce nedir? 169
32) Yıldızların yaşamı nasıldır? 172
33) Yıldızlar nasıl ölür? 176
34) Karadelik nedir? 180
35) En yakın yıldızlar hangileridir? 184
36) Gökada nedir? 189
37) Samanyolu nasıl bir gökadadır? 192
38) Yerel grup nedir? 197

4. Bölüm

EVREN'İN YAPISI 201

39) Evren'in büyük ölçekli yapısı nasıldır? **201**
40) Evren'in temel özellikleri nelerdir? **204**
41) Kozmik mikrodalga arka plan ışıması nedir? **207**
42) Evren ne kadar büyüktür? **211**
43) Evren'in genişlemesi ne demektir? **214**
44) Evren kaç yaşındadır? **217**
45) Evren'deki uzaklıklar nasıl ölçülür? **219**
46) Evren'e ilişkin bilgiler nasıl elde edilir? **227**
47) Karanlık madde nedir? **233**
48) Karanlık enerji nedir? **239**
49) Evren'in içeriği nedir? **242**
50) Evren'in sonu nasıl olacak? **246**

Sunuş

Siz de yaşamışsınızdır: Doğanın enginliğiyle karşılaştığımız nadir anlarda yoğun kimi duygular, düşünceler doluşur içimize. Şehir ışıklarından uzakta, aysız bir gecede başımızı göğe kaldırdığımızda örneğin. Derin karanlığın içinde irili ufaklı, uzaklı yakınlı yıldızlar, bulutsu alanlar... Görkemli büyüklüğüyle büyüleyen ve kendimizi minicik hissettiren bir evren. Ama bununla çelişir görünen başka bir duygumuz daha vardır: Bu muazzam bütünün bir parçası olduğumuz hissi. Her ne kadar, bugün evrenin bir ürünü olduğumuz bilgisine bilim yoluyla ulaşmış olsak da evrenin bir parçası olduğumuz hissi, aynı gökyüzünü çağlar boyunca seyretmiş diğer insanlara da yabancı olmasa gerek. Belki mağarasının önünde gökyüzündeki meteor yağmurunu seyrederek heyecanlanan türümüzün ilk örneklerine bile.

İnsanoğlunun gökyüzüyle baş başa kaldığı anların esinledikleri, anlama ve bilme tutkusuna kolaylıkla dönüşebilecek güçtedir. Bu nedenle astronomi, bilime en kolay yönelten alanlardan biri gibi gelir, bana. Nitekim astronomi tarihi, büyük bir tutkuyla, geceler ve geceler boyu gökyüzünü gözlemleyen sayısız insanla doludur. Evrenle ilgili sahip olduğumuz en ufak bilgi kırıntısına bile, sayısız insanın değirmentaşını çatlatacak bir sabırla yaptıkları uzun gözlemler sonucu ve bu gözlemlerden ya gözlemleri yapanların ya da başkalarının çıkarımlar yapması ve kuramlar oluşturması yoluyla varılmıştır.

Çağlar Sunay, elinizdeki kitapta, bilimin, geçmişindeki yüzlerce yılın birikimiyle günümüzde ulaştığı tüm bilgileri süzerek, oldukça yalın bir evren portresi sunuyor. Sunay, ülkemizin sayıca oldukça az, nitelikli popüler bilim yazarlarından biri. Okuruna anlaşılır, şaşırtıcı ve keyifli bir evren gezisi vaat ediyor: Dünya'mızın yakın çevresinden başlıyor, Güneş Sistemi'ni paylaştığımız irili ufaklı tüm gökcisimlerini uzun uzun tanıtıyor; giderek anlatımını Samanyolu Galaksisi'ne ve büyük ölçekli evrene doğru genişletiyor. Çerçeveler içindeki tamamlayıcı yazılar, fotoğraflar, çizimler ve grafiklerle metnin anlaşılırlığını çok yönlü destekleyerek, dört dörtlük bir evren kılavuzu çıkarıyor ortaya. Evrenin büyüleyiciliğini ve bilim coşkusunu okuruyla paylaşmaya hazır olan bu kitabı, keyifle okuyacağınızı umuyorum.

***

Elinizde nitelikli bir örneğini tutmakta olduğunuz "50 Soruda" dizisi, bilimin ve felsefenin temel kuramlarını ve alanlarını konu edinen, Türkiyeli bilim insanlarının kaleme aldığı popüler bilim kitaplarından oluşuyor. Bu kitaplar, bilimin, anlaşılmaz, karmaşık, hayattan kopuk, soğuk, kuru ve teknolojiye indirgenmiş bir bilgi yığını olmadığını; tam tersine, evreni, doğayı, toplumu ve insanı anlamak için doğru anahtarlar sunan; bilme, öğrenme coşkusu uyandıran; en güvenilir bilgi kaynağı olduğunu ve sağlam bir düşünme yöntemi kazandırdığını gösterebilmeyi hedefliyorlar.

Bir aydınlanma hizmeti olarak tasarladığımız "50 Soruda" dizisinin 23 kitaplık listesinin tamamına ve bu kitapları edinebilmekle ilgili özel kampanya duyurularına, elinizdeki kitabın arka sayfalarından ulaşabilirsiniz.

Herkese bilim!

Nalân Mahsereci

Önsöz

Gökyüzü ve uzay, insanlar için her zaman ilgi çekici olmuştur. Gece gökyüzüne baktığımızda sanki zamanın donduğu sonsuz ve soğuk bir boşlukta parlayan binlerce yıldız görürüz. Bu manzara ezelden beri hep aynı, hiç değişmeden duruyormuş gibidir. Ama gerçekte durum hiç de öyle değildir; hatta tersine içinde bulunduğumuz evren son derece dinamik ve değişkendir.

Bu kitapta Güneş Sistemi'nin üyelerinden Evren'in yapıtaşı gökadalara, onların düzenlenişinden karanlık madde ve karanlık enerjiye kadar birçok temel konu incelenmiştir. Amaç, gökbilim ve kozmoloji konularına ilgi duyanlara temel bilgileri derli toplu bir biçimde sunmaktır. Kitabın anlatımı olabildiğince yalın ve basit tutulmaya çalışılmış, içinde birkaç temel formülden başkasına yer verilmemiştir. Bu haliyle kitap baştan sona doğru okunabileceği gibi, istenen sorulara bakılan bir başvuru kitabı olarak da kullanılabilir.

***

Bu kitabın hazırlanması sürecini birkaç kez uzatmama karşın, nezaketi hiçbir zaman elden bırakmayan değerli yayıncım Nalân Mahsereci ve Ender Helvacıoğlu'na ve de kitabın yaratım sürecindeki değerli katkılarından dolayı dostlarım Necmi Buğdaycı ile Muzaffer Özgüleş'e ve beni her zaman yürekten destekleyen eşim Hacer Sunay'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çağlar Sunay
Eylül 2011

1. Bölüm
EVREN NEDİR?

1 | Evren nedir?

Evren'in ne olduğuna ilişkin düşünce ve inançlar çok çeşitlidir. Toplumdan topluma ve tarih boyunca da değişmiştir. Bir de bilimin ortaya koyduğu, binlerce bilim insanının ortaklaşa çabasıyla yüzlerce yılda ortaya çıkarılmış bir evren resmi vardır. Buna göre Evren genellikle, "geçmişte var olmuş, bugün var olan ve gelecekte var olacak her şeyin oluşturduğu bütünlük" olarak tanımlanır. Bu "her şey"in içine bütün madde (gezegenler, yıldızlar, gökadalar ve gökadalar arası madde) ve enerji girer. Evren'in ne kadar büyük olduğu, kaç yaşında olduğu, içeriğinin ne olduğu ve sonunun nasıl olacağı gibi büyük sorulara hâlâ yoğun bir şekilde yanıt aranmaktadır.

Gökbilim gözlemlerinin son yorumlarına göre Evren'imiz 13,75±0,11 milyar yaşındadır. Yani genel kabul gören bilimsel evren modeli her şeyin 13,75 milyar yıl önce tek bir noktadan ortaya çıktığını, zamanın o anda akmaya başladığını ve o tarihten bu yana da Evren'in sü-

rekli genişlediğini ve değiştiğini söyler. Ancak büyüyen, genişleyen Evren'in bir merkezi ya da kenarları yoktur.

Genişleyen Evren'imizin bize uzak bölgeleri, yakın bölgelere göre daha hızlı genişler, bizden uzaklaşır. 2011'in başlarında keşfedilen UDFj-39546284 adlı gökada şimdiye değin keşfedilen en uzak gökadadır. Onun, Büyük Patlama'dan yalnızca 480 milyon yıl sonra yola çıkan ve 13,27 milyar yıl boyunca Evren'de yol alan ışınlarından bazıları Hubble Uzay Teleskopu'nca yakalanmıştır. Bu gökada şu anda bizden 31,7 milyar ışık yılı ötededir -ışınların yolda geçirdiği 13,27 milyar yıl boyunca Evren durmamış, genişlemiştir.

Görüşümüz içinde kalan, gözleyebildiğimiz ve hakkında bilgi edinebildiğimiz Evren bölgesine "gözlemlenebilir Evren" denir. Bu varsayımsal yapı, Dünya'nın merkezde olduğu bir küre şeklindedir. Kürenin sınırlarına yakın bölgelerden bize gelen ışıklar, 13,75 milyar yıldır yol almaktadır. Ancak o nesneler bugün 13,75 milyar ışık yılından daha uzaktır. Çünkü o kadar yıl boyunca Evren, genişlemesini sürdürmüştür. Yapılan hesaplara göre gözlemlenebilir Evren'in yarıçapı 46 milyar ışık yılıdır. Bir başka deyişle Evren'de görebildiğimiz her şey 92 milyar ışık yılı çaplı bir kürenin içinde yer alır.

2 | Uzay nedir?

Gökcisimlerinin atmosferlerinin ötesindeki bölgeye uzay denir. Bir anlamda uzay bizim için Dünya atmosferinin sona erdiği noktanın ötesidir. Ne var ki atmosferimizin bittiği ve uzayın başladığı keskin bir hat yoktur; geçiş aşamalıdır. Atmosferin yoğunluğu Dünya'dan uzaklaşıldıkça giderek azalır ve sonunda gezegenler arası uzayın madde yoğunluğuna düşer. "Atmosferin nerede bittiği, uzayın nerede başladığı" belirsizliğiyle birlikte, bilim in-

sanları arasında **karman hattı** diye bilinen ve uzayın başladığı sınır olarak kabul edilen bir yükseklik de vardır. Bu yükseklik 100 km'dir. Yani uzay Yer'den yalnızca 100 km ötededir. Ünlü gökbilimci Carl Sagan'ın dediği gibi, eğer otomobilinizi yere dik konuma getirip havada ilerleyebilseniz, yaklaşık bir saat sonra uzaya varabilirsiniz. Uzay aslında çok yakındır.

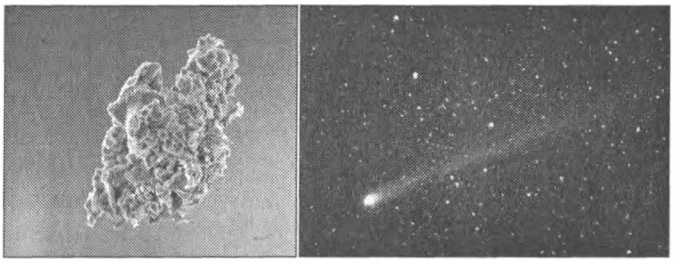
Uluslararası Uzay İstasyonu yerden 350 km yukarıda, Hubble Uzay Teleskopu 560 km yukarıda ve ilk yerli Dünya gözlem uydumuz RASAT da 700 km yukarıda dönmektedir.

3 | Uzay ne kadar boştur?

Uzayın yapısı ve içeriği bilim insanlarının merakını binlerce yıldır çekmiştir. 1900'lü yılların başından önce yaklaşık 2000 yıl boyunca uzayın, eter diye bilinen görünmez bir maddeyle dolu olduğu ve ışık dalgalarının da onun içinde ilerlediği düşünülürdü. Ancak elektromanyetik kuram ve görelilik kuramlarıyla birlikte ışığın ilerlemesi için herhangi bir ortama gereksinim olmadığı ve uzayın da "boş" olduğu anlaşıldı.

Her ne kadar mükemmel "boşluk"a en yakın ortam olsa da, uzay tümüyle boş değildir. Uzayın değişik bölgelerinde, "boş"luk düzeyi, yani bulunan madde miktarı, farklıdır. Örneğin Dünya ile Mars arasındaki uzay ile Güneş ile Akyıldız (Sirius) arasındaki uzay ya da Samanyolu ile Andromeda Gökadası arasındaki uzay, aynı boşlukta –ya da dolulukta– değildir.

Dünya'da deniz düzeyindeki havada metreküpte yaklaşık 10^{25} atom vardır. Gezegenler arası uzayda, yani Güneş Sistemi'nin sınırları içinde, metreküpte ortalama 5 ila 100 milyon (10^6-10^8) kadar atom olur. Bunun yanında kilometreküpte 1000 dolayında toz parçacığı bulunur.



Uzay tozu ya da kozmik toz birkaç molekül ile 0,1 mm arasındaki büyüklüklerdeki madde parçalarına denir. Uzay tozu bir zamanlar gökbilimciler için gözlemlerini olumsuz etkileyen bir öğeydi. Artık yıldızlar arası uzaydaki birtakım astrofiziksel süreçlerin temel etkenlerinden biri olarak ele alınıyor. Örneğin yıldızların ve gezegenlerin oluşumlarının en önemli öğelerinden biri olduğu biliniyor. Güneş Sistemi içinde de, başta Satürn olmak üzere, gaz devi dört gezegeni kuşatan halkaların yapıtaşlarından biri de uzay tozudur. Kuyrukluyıldızların kuyruklarını da uzay tozu oluşturur. Güneş Sistemi araştırmalarında kullanılan birçok uzay aracında özel geliştirilmiş uzay tozu saptama ve toplama aygıtları vardır.

Samanyolu'ndaki kütlenin büyük bölümü yıldızlarda toplanmıştır. Geri kalanı da yıldızlar arası uzaya yayılmış gaz ve toz halindedir. Yıldızlar arası uzay, gezegenler arası uzaya göre daha "boş"tur. Samanyolu'nun yıldızlar arası ortamındaki ortalama madde yoğunluğu ortalama olarak metreküpte bir milyon atomdur; yani 1 atom/cm^3. Toz yoğunluğuysa kilometreküpte 100 toz parçacığı kadardır. Bu sayılar çok küçük görünebilir, ama Samanyolu'ndaki toplam maddenin yaklaşık yüzde 10'unu gaz ve toz oluşturur. Buna, yıldızlar arası madde de denir. Madde miktarı Samanyolu'nun ötesindeki gökadalar arası uzayda çok daha azdır.

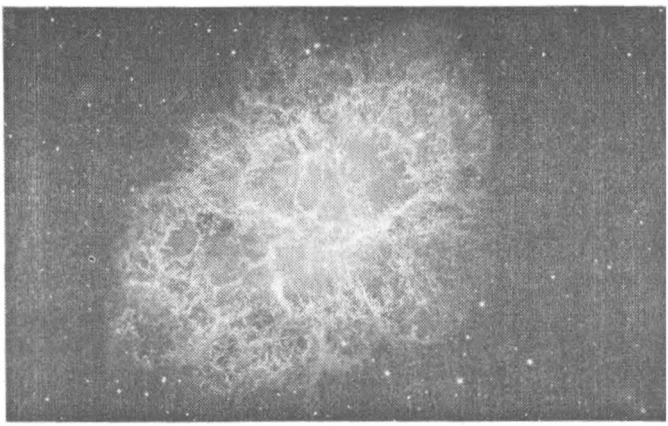
4 | Bulutsu nedir?

Samanyolu'ndaki gaz ve tozun küçük bir bölümü yıldızlar arası uzaya seyreltik ve homojen olmayan bir şekilde dağılmıştır. Büyük bölümüyse bazı bölgelerde toplanmış

olarak, dev bulutlar biçiminde bulunur. Başta hidrojen ve helyum olmak üzere, gazlardan ve kozmik tozlardan oluşan bu dev bulutlara Latince'de "bulut" anlamına gelen nebula denir. Bunlara Türkçede bulutsu diyoruz. Bulutsular antikçağın büyük bilim insanı Ptolemaios'tan (Ptolemy ya da Batlamyus olarak da bilinir) bu yana, yaklaşık 2000 yıldır biliniyor. Yıldızlardan gelen ışıkların önünü kesen karanlık bulutsuların ilk görüntüleri, teleskoplu gözlemlerde fotoğraf makinelerinin kullanılmaya başlamasıyla birlikte elde edilmiştir. Spektroskopi sayesinde de, 1900'lü yılların başında içerdikleri maddeler anlaşılmıştır. Bulutsular çok büyük hacimleri kaplayan, birkaç ışık yılından birkaç yüz ışık yılına kadar değişen çaplarda, ama yoğunlukları çok düşük olan yapılardır.

Bulutsular gökadanın her yanına dağılmıştır. Samanyolu'nun belki de en fotojenik nesneleridir. Çok değişik

Yıldız rüzgârları, gezegenimsi bulutsular ve süpernovalar gökadaların içindeki yıldızlar arası ortamı, madde açısından sürekli zenginleştirir. Yıldızların oluşumu sırasında yıldızlar arası ortamdan toplanan madde, yıldızların ölüm süreçlerinde ortama geri verilir. Yaşamları boyunca yıldızların içinde hidrojen ve helyumdan ağır elementler oluştuğundan, bu madde çevrimi sayesinde gökada içindeki ağır elementlerin miktarı artar. Bir süre sonra oluşan yeni yıldızlarda ve gezegen sistemlerinde artık bu elementler de bulunur. Aşağıda 6500 ışık yılı ötemizdeki Yengeç Bulutsusu görülüyor. 1054'te patlayan bir yıldızın kalıntısı olan, 11 ışık yılı çapındaki bulutsu, hâlâ saniyede 1500 km hızla genişliyor. Bulutsunun merkezinde, kendi ekseninde saniyede 30 kez dönen bir nötron yıldızı vardır.



şekillerde olurlar. Bu da hâlâ tatmin edici bir açıklama bulunamamış bir konudur. Gökbilimciler onlara birer numara vererek kataloglar; ama çoğunun şekillerinden kaynaklanan takma adları da vardır: Kedi Gözü Bulutsusu, Kelebek Bulutsusu, Kartal Bulutsusu, At Başı Bulutsusu vs. Bulutsular yeni yıldızların doğum yerleridir. Bununla birlikte bazı bulutsular da yıldızların ölümleri sırasında oluşur.

Yıldızlar arası ortamdaki gazların kütlesi tozun kütlesinin 100 katı kadardır. Gazın, tıpkı yıldızlarda olduğu gibi, yüzde 71'ini hidrojen, yüzde 27'sini helyum ve yüzde 2'sini de öteki elementler oluşturur. Bu hidrojen ve helyumun büyük bölümü Samanyolu'nun yaklaşık 13 milyar yıl öncesinden, oluşum döneminden kalmıştır. Küçük bölümü de yıldızlardan, yıldız rüzgârı olarak ya da ölümleri sırasındaki etkinliklerde, uzaya saçılmıştır.

Bulutsularda yer almayan ve gökadaya yayılmış olan gazlar, yıldızlardan gelen morötesi ışınlar nedeniyle iyonize olmuş, oldukça sıcak ama çok seyreltik gazlardır; yoğunlukları 0,1 atom/cm^3 kadardır.

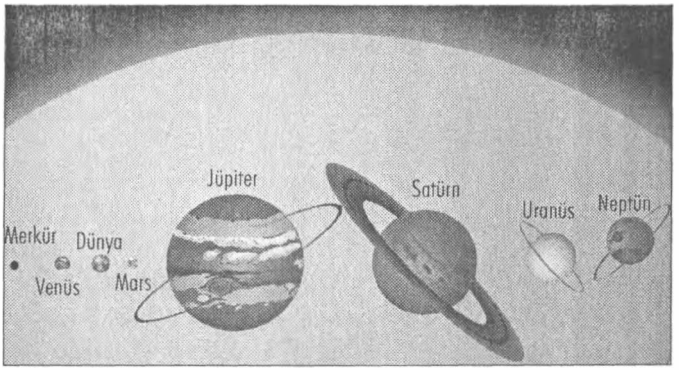
Yıldızlar arası maddeyi daha iyi tanımak ve anlamak aslında yıldız oluşumunu ve evrimini, dolayısıyla da gökada evrimini anlamayı sağlar.

2. Bölüm
GÜNEŞ SİSTEMİ

5 | Güneş nedir?

Yıldızlardan gelen ışıkları inceleyerek, içlerindeki elementleri saptamaya yarayan spektroskopun 1859'da keşfinden kısa bir süre sonra, Güneş'in de aslında bir yıldız olduğu ya da geceleri gökyüzünü dolduran bütün o nokta büyüklüğündeki ışıkların gerçekte birer Güneş olduğu anlaşıldı.

Güneş, Dünya'ya en yakın yıldızdır; ondan yaklaşık 150.000.000 km ya da yaklaşık 8 ışık dakikası uzaktadır. Gökbilimciler bu uzaklığı Astronomik Birim (AB) denen bir birim olarak kabul etmişlerdir ve onu uzaydaki küçük mesafeleri ölçmek için kullanırlar. Gezegenimiz Dünya, 4,56 milyar yaşındaki bu yıldızın çevresinde döner. Ama yalnızca Dünya değil, onunla birlikte yedi gezegen, beş cüce gezegen, gezegenlerin 160'ı aşkın uydusu, milyarlarca asteroit ve kuyrukluyıldız da döner. Bütün bu cisimler yaklaşık bir ışık yılı çaplı bir sistem oluşturur. Bu sistem, merkezdeki yıldızın adıyla anılır: Güneş Sistemi.



Güneş'in çapı 1.392.000 km (Dünya'nın çapının yaklaşık 109 katı), kütlesi 2 x 10^{30} kg (Dünya'nın kütlesinin 333.000 katı) ve ortalama yoğunluğu da 1,4 g/cm^3'tür (Dünya'nın yoğunluğunun yaklaşık dörtte biri).

Güneş Sistemi'nin en büyük cismi, sistemin yıldızı olan Güneş'tir. Sistemdeki bütün gezegenlerin, uyduların, kuyrukluyıldızların, asteroitlerin kütleleri toplamının yaklaşık 700 katı kütlesi vardır. Bir başka deyişle Güneş'in kütlesi sistemdeki toplam kütlenin yüzde 99,86'sını oluşturur. Bu dev kütlenin yarattığı kütleçekim etkisiyle Güneş, sistemdeki bütün cisimleri değişik yörüngelerde kendisine bağlı tutar.

Gezegenlerle karşılaştırıldığında, dev bir gökcismi gibi duran Güneş, Samanyolu'ndaki birçok yıldıza göre küçük bir yıldızdır. Ondan çok daha büyük yıldızlar vardır. En büyük yıldızlar Güneş'in 100 katı kütleli olur. Ama Samanyolu'ndaki yıldızların ortalama kütlesi Güneş'inkinin yarısı kadar olduğundan, kütle sıralamasında ilk yüzde 10'luk dilimde yer alır. Bir başka deyişle bu küçük kütlesine karşın Güneş, gökadamızdaki on milyarlarca yıldızdan daha kütlelidir. Bunun yanında Samanyolu'ndaki yıldızların yüzde 85'inden de daha parlaktır.

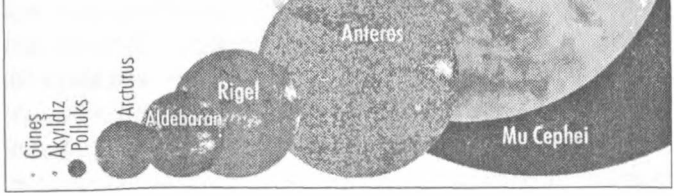
Küçük kütleli bir yıldız olması, Güneş'i uzun ömürlü yapar. Yıldızların büyüklükleriyle ömürleri ters orantılıdır. Büyük yıldızlar az, küçük yıldızlarsa çok yaşar. Yaklaşık 4,56 milyar yaşında olan Güneş'in daha 5-6 milyar yıllık ömrü vardır.

Güneş de tıpkı Dünya ve öteki gezegenler gibi kendi ekseninde döner. Ancak katı olmadığından dönüş süresi ekvatorunda (25 gün) ve kutuplarına yakın bölgelerde (36 gün) farklıdır. Güneş bulunduğu noktada hareketsizmiş gibi durur. Bu doğru değildir. Hem gezegenlerin kütleçekim etkisi nedeniyle olduğu yerde bir salınım yapar, hem de saatte 800.000 km'lik bir hızla Samanyolu içinde yol alır; tabi onunla birlikte bütün Güneş Sistemi de ilerler.

Şimdiye kadar yapılan gözlemlerde, Güneş'te 67 değişik elementin bulunduğu anlaşılmıştır. Ancak bugünkülerden daha duyarlı aygıtlarla Güneş'te çok daha az miktarlarda bulunan başka elementler de zamanla keşfedilebilir. Güneş'in çekirdek dışındaki katmanlarının kimyasal bileşimi hâlâ ilk oluştuğu dönemdeki bileşimine benzer: Yüzde 71 hidrojen, yüzde 27 helyum, yüzde 1,5 oksijen, karbon, azot ve yüzde 0,5 kadar da öteki elementler. Kuşkusuz Güneş'in çekirdeğindeki oran, orada sürekli enerji üretilirken hidrojenin helyuma dönüşmesiyle zaman içinde biraz değişmiştir. Oluşumundan bu yana Güneş'in çekirdeğindeki hidrojen oranının yüzde 35 (çekirdeğin merkezinde) ila yüzde 65'e (çekirdeğin en dış bölümlerinde) kadar gerilemiş olduğu tahmin ediliyor.

Bütün bu elementler Güneş'te gaz ya da katı halde değil, plazma halinde bulunur. Plazma, yüksek enerjili, elektrik yüklü atomlardan ve elektronlardan oluşan bir karışımdır. Bu halde elementlerin çekirdekleri ve elektronlar birbirlerine bağlanmış değillerdir. Çekirdekler ve

Samanyolu'nda Güneş'ten çok daha büyük yıldızlar vardır. Yine de bunlar sayıca azdır ve yıldızların çoğunluğunu Güneş gibi küçül yıldızlar, hatta ondan daha küçükler oluşturur.



elektronlar rasgele ve yüksek hızlarda dolaşırlar. Doğal plazma yalnızca yüksek sıcaklıklarda ya da düşük sıcaklıktaki boşlukta (vakumda) var olabilir. O nedenle maddenin bu dördüncü haline Dünya'da doğal olarak çok az rastlanır. Plazma halinde madde yalnızca yıldırımlarda, auroralarda ve çok sıcak alevlerde görülür. Öte yandan plazma, Evren'de maddenin en bol bulunduğu haldir. Çünkü parlayan bütün yıldızlar plazma halindeki maddeden oluşur. Bunun yanında hem yıldızlar arası uzayda, hem de gökadalar arası uzayda madde genellikle plazma halinde bulunur.

6 | Güneş nasıl bir yıldızdır?

Bilim insanları Evren'de 125 milyar dolayında gökada bulunduğunu tahmin ediyor. Bunlardan biri de gökadamız Samanyolu'dur. Hesaplara göre Samanyolu'nun içinde 200 milyar kadar yıldız vardır. Bu büyükçe gökadanın sarmal kollarından birinde, kenara yakın bir bölgede orta boylu (hatta küçük sayılabilecek), sıradan bir yıldız yer alır. Biz ona Güneş deriz. Güneş yüzeyinin sıcaklığı 5500°C'tır. Her ne kadar kayaları buharlaştırmaya yetecek kadar yüksek olsa da bu sıcaklık, bazı başka yıldızlarla karşılaştırıldığında pek de yüksek sayılmaz. Yüzey sıcaklığı bir yıldızın rengini belirler. 5500°C'lık yüzey sıcaklığıyla Güneş, sarı renkli bir yıldızdır. Boyutları da aslında normalden biraz daha küçük olduğu için sarı cüce diye bilinen yıldız grubuna girer.

Güneş olmasa Dünya çıplak bir kaya gibi, ıssız, çorak, karanlık ve donmuş bir gezegen olurdu. Güneş'in ışınları Dünya'nın atmosferindeki olayları ve yeryüzündeki yaşamı ayakta tutar. Eski toplumların büyük bölümü bu muazzam gücün farkına varmış ve yaşamın kaynağı olan Güneş'e tapmıştır.

Güneş'in gücü ve uzaya her an yaydığı enerji, gerçekten de muazzam boyuttadır. Eğer Güneş'in yalnızca bir saniyede uzaya yaydığı bütün enerji depolanabilseydi, bu enerji Dünya'nın bir milyon yıllık enerji gereksinimini karşılardı. Bilim insanları, Güneş'in nasıl işlediğini, uzaya yaydığı o muazzam enerjiyi nasıl ürettiğini ve gerçekte nasıl bir yapısı olduğunu yüzyılı aşkın bir süredir anlamaya, öğrenmeye, bilmeye çalışıyor.

Ancak 1930'lu yıllara değin Güneş'in gücünün nereden kaynaklandığını kimse bilememiştir. 1800'lü yılların başında, gökbilimciler onun da yeryüzündeki sıradan bir ateş gibi yandığını düşünüyorlardı. Böyle bir ateşin yakıtı da yine doğal olarak bilinen en temel yakıt olan kömür olabilirdi. Ne var ki kömür çabuk yanan bir yakıttı ve Güneş'in bütün kütlesi kömürden olsa, yalnızca 5-6 binyılda yanıp tükenmesi gerekirdi. Bu hesap da aslında o dönemde yaygın olan inanışa uygundu; çünkü insanlar o sıralarda Dünya'nın zaten yaklaşık 6000 yaşında olduğunu düşünüyorlardı.

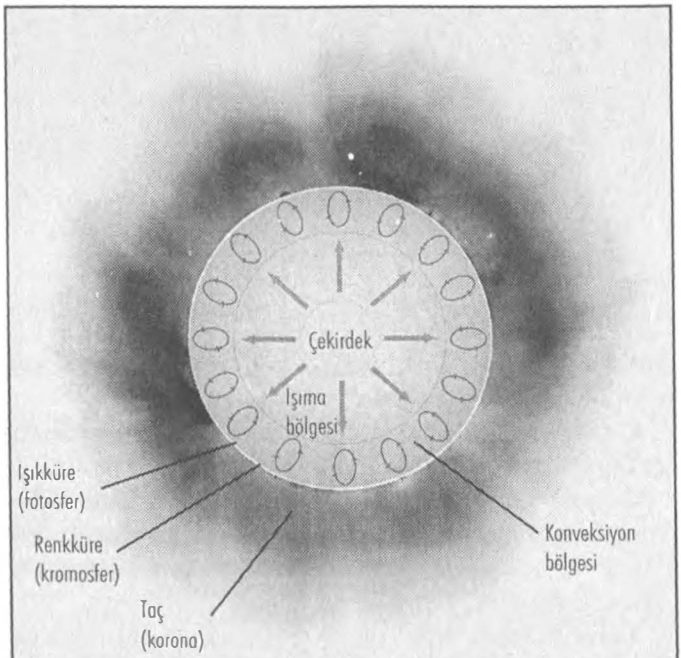
Ne var ki 1800'lü yılların ortalarında bir bilim dalı olarak yeni yeni gelişen jeoloji, dinsel kökenli bu genel yanlış inanışa karşı durmaya başladı. Kaya tabakalarını inceleyen jeologlar, Dünya'nın gerçekte çok çok daha yaşlı olması gerektiğini düşünüyorlardı. Eğer Dünya daha yaşlıysa, Güneş'in de yaşlı olması beklenirdi. O zaman Güneş'te kömürden çok daha uzun ömürlü bir yakıt kullanılıyor olmalıydı. Gökbilimcileri uzun süre uğraştıran önemli bir sorun oldu bu.

Bunu öğrenmek için bilim insanları önce Güneş'in içeriğini araştırdı. Bunu da Güneş'ten gelen ışınların tayflarını inceleyerek yaptılar. Güneş'in büyük bölümünün Evren'de en bol bulunan ve en basit element olan hidrojen olduğu anlaşıldı. İşin ilginç yanı, 1870'te Güneş'te yeryüzünde daha önce hiç rastlanmamış bir elementin de bulunduğu fark edildi. Yunan Güneş Tanrısı Helios'un adından dolayı bu yeni elemente helyum adı verildi. Belki de Güneş'in gücü bu elementlerde gizli olabilirdi.

Güneş'in yakıt gizeminin çözülebilmesi için hem atom kuramının gelişmesi, hem de Einstein'ın $E=mc^2$ formülünü bulması gerekti. Sonunda 1930'lu yıllarda Güneş'in yakıtının ne olduğunu anlaşıldı. Bu gizemli yakıt maddenin yapısında, onun derinliklerinde gizliydi. Güneş'in muazzam gücü aslında atomu bir arada tutan kuvvetlerde saklıydı.

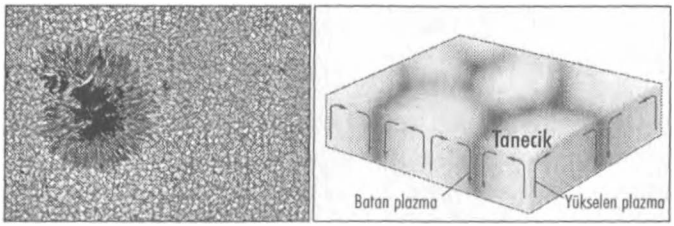
Güneş hidrojen ve helyumdan oluşan, merkezi milyonlarca derece sıcaklıkta yanan, dev bir plazma toptur. Merkezdeki çekirdek bölümü, sudan 150 kat daha yoğundur; sıcaklığı da 15 milyon derecedir. Böylesine korkunç bir sıcaklıkta ve basınç altında birbirleriyle çarpışan hidrojen çekirdekleri, füzyon tepkimesiyle kaynaşır ve helyum çekirdeklerine dönüşür. Bu çarpışma-kaynaşmayla oluşan yeni çekirdeğin kütlesi, çarpışma öncesindeki hidrojen çekirdeklerinin toplam kütlesinden çok az daha hafiftir. İşte, Güneş'in o muazzam enerjisi, bu çok küçük kütle farkından kaynaklanır. Bu küçük kütle $E=mc^2$ formülünün gösterdiği miktarda enerjiye dönüşür. Güneş'in çekirdeğinde her saniye yaklaşık 600 milyon ton hidrojenden 596 milyon ton helyum oluşur. Aradaki 4 milyon tonluk kütle de enerjiye dönüşür. Bir saniye içinde ortaya çıkan bu enerji, yaklaşık bir megatonluk bir milyar atom bombasının aynı anda patlamasıyla ortaya çıkan enerji kadardır. Bu işleyiş 4,56 milyar yıldır her saniye yinelenir.

Çekirdekte ortaya çıkan enerji, Güneş'in dev kütlesinin oluşturduğu, içe doğru, Güneş'i çökertmeye çalışan kütleçekim kuvvetini dengeler. Güneş aslında hassas bir dengede durmaktadır. Ortaya çıkan muazzam enerji fotonlarla, ışıma yoluyla dış katmanlara doğru taşınır. Ama bu taşıma Güneş'in içindeki sıra dışı yoğun ve sıcak koşullarda aşırı derecede yavaş olur. Çekirdek öylesine yoğundur ki fotonlar sürekli başka parçacıklarla çarpışır, yok olur ve yeniden oluşur. Çekirdekten konveksiyon bölgesine kadar olan yüz binlerce kilometrelik yolda, ışıma bölgesinde ilerlerken fotonların hızı saniyede yalnızca 0,1 mm (milimetre) kadardır.



Güneş'in tabakaları

Güneş'in içi birbirinden farklı özellikler taşıyan üç bölgeden oluşur. Merkezde çapı yaklaşık 170.000 km (ilk yüzde 25'lik bölüm) olan çekirdek bulunur. Güneş'in kütlesinin yarısı burada toplanmıştır. Sıcaklık merkezde 15 milyon dereceyi (kenarlarda 7 milyon derece), yoğunluk 150 g/cm³'ü ve basınç da yeryüzündekinin bir milyar katını bulur. Hidrojen atomlarının helyum atomlarına dönüşümü bu koşullar altında olur. İkinci bölge "ışıma bölgesi"dir. Yaklaşık 300.000 km kalınlığındaki (yüzde 45'lik bölüm) ışıma bölgesinin sıcaklığı, 7 milyon dereceden 2 milyon dereceye doğru azalır. Yoğunluğu da 10-0,01 g/cm³ aralığında değişir. Çekirdekte üretilen enerji, bu bölgede ışıma yoluyla yüzeye doğru taşınır. Ancak fotonların ilerlemesi çok yavaş olduğundan, bu iletim 30.000-170.000 yıl sürer. Konveksiyon bölgesi çok hareketlidir. Sıcaklığın 2 milyon dereceden 5500°C'a, yoğunluğun da 0,01 g/cm³'ten daha düşük bir düzeye indiği bu bölgede büyük konveksiyon hücreleri bulunur. Enerji plazmanın hareketiyle yüzeye iletilir. Yüzeye gelen plazma soğur ve dibe iner; sonra ısınıp yine yüzeye çıkar. Güneş'in katı bir yüzeyi yoktur. Yaklaşık 500 km kalınlıktaki yüzey bölümüne fotosfer denir. Çok etkin bir yapısı olan fotosferde 700-1000 km çapında milyonlarca "tanecik" bulunur. Bunlar konveksiyon süreciyle alttan enerji taşıyan plazmanın oluşturduğu yapılardır. Ömürleri en çok on dakika sürer; oluşup yok olurlar.



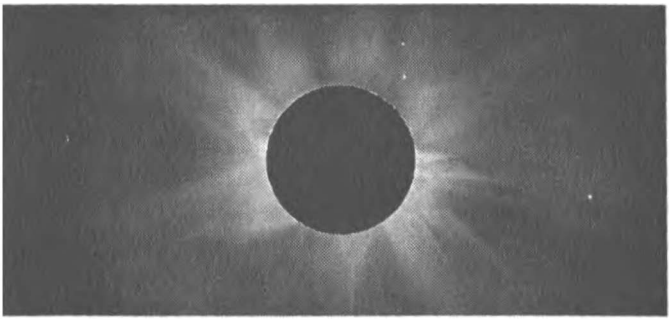
Bir güneş lekesi ve fotosferin "tanecik"li yapısı görülüyor.

Yüzeye yaklaştıkça yoğunluk azalır, fotonların hızı artar. Enerji iletiminin konveksiyonla gerçekleştiği konveksiyon bölgesi 10 günde geçilir. En sonunda yüzeye ulaşan enerji fotonlarla uzayda ışık hızıyla yayılır.

Güneş'in en dıştaki üç katmanı Güneş'in atmosferini oluşturur. Bunlardan ilki Yunanca "ışık topu" (ya da "ışık küre") anlamına gelen fotosfer, Güneş'in görünür yüzeyidir. Fotosfer yaklaşık 500 km kalınlıkta, sıcak (5500°C) ve opak bir katmandır. Güneş'in enerjisi buradan yayılır.

Yunanca "renk topu" (ya da "renk küre") anlamına gelen kromosfer, fotosferin üstünde yer alır ve 10.000 km kadar uzanır. Dünya'dan yalnızca tam güneş tutulmaları sırasında (Ay, Güneş'in parlaklığını örttüğünde) görülebilir. İçerdiği bol hidrojen nedeniyle kırmızı renktedir. Kromosferin şaşırtan yanı Güneş'ten uzaklaştıkça bu tabakanın sıcaklığının artmasıdır; 5500°C'dan 100.000°C'a kadar çıkar. Bu, bir kamp ateşinden uzaklaştıkça daha iyi ısınmak gibi oldukça garip bir durumdur. Kromosferin ortalama sıcaklığı 15.000°C'dır.

Güneş atmosferinin en üst katmanı "güneş tacı"dır. Bu katman için Latincede taç anlamına gelen "korona" sözcüğü de kullanılır. Çok sıcak ve seyreltilmiş plazmadan oluşur. Uzayda milyonlarca kilometre öteye kadar uzanır ve sıcaklığı da 1-3 milyon derece arasındadır. Tam güneş tutulmaları sırasında Güneş'in çevresinde etkileyici beyaz bir hale olarak görünür.

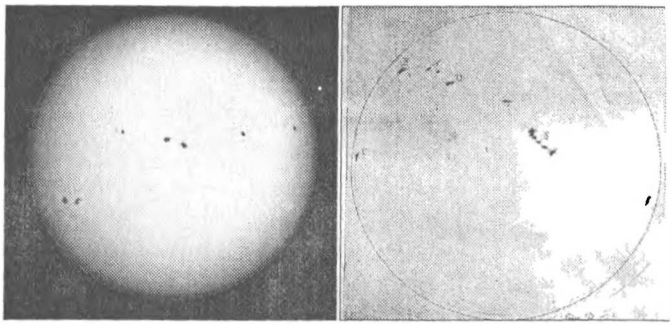


Güneş'in çevresinde milyonlarca kilometre uzanan, plazmadan "atmosfer"e korona denir. Sıcaklığı 1-3 milyon derecedir. Yukarıda görüldüğü gibi ancak "tam güneş tutulması" sırasında, Güneş'in parlaklığı Ay tarafından örtüldüğünde görülebilir.

7 | Güneş lekesi nedir?

Çıplak gözle bakıldığında Güneş, çok parlak ama dikkat çekici herhangi bir özelliği olmayan bir daire şeklinde görünür. Ne var ki Güneş dingin bir şekilde, sakin sakin yanan ve uzaya birçok dalga boyunda ışık yayan dev bir küre değildir. Tersine, hem yüzeyinde hem de atmosferinde çok garip olayların olduğu, dinamik bir gökcismidir. Yüzeyinde yaklaşık Türkiye büyüklüğünde milyonlarca kabarcık vardır. Bu kabarcıklar alttan gelen sıcak plazma nedeniyle sürekli "fokurdar". Bunun yanında atmosferinde güneş parlaması denen ve genellikle halka şeklinde olan dev bulutlar sürekli oluşur ve yok olur. Bunlar Güneş'in o bölgesindeki manyetik alan doğrultusunda ilerler ve şekil alır. Bu plazma halkaları bazen Jüpiter büyüklüğünde bir gezegeni bile içine alacak denli büyük olabilir. Zaman zaman bu bulutlar dışa doğru şiddetle patlar ve uzaya büyük miktarlarda plazma püskürtür. Güneş'in yüzeyinde gerçekleşen bütün bu olaylar belirli bir periyotta artar ve azalır.

Binlerce yıl boyunca yeryüzündeki birçok kültürde Güneş'in yaşam veren, kusursuz bir küre olduğuna ina-



Galilei, kendi geliştirdiği teleskopla Güneş'in görüntüsünü bir kâğıdın üzerine düşürmüş ve lekelerin üstünden geçerek onları ilk kez kaydetmiştir. Arka arkaya yaptığı gözlemlerle bu lekelerin aynı yönde ilerlediğini, yani aslında Güneş'in de tıpkı Dünya gibi kendi ekseninde döndüğünü fark etmiştir.

nılmıştır. Ancak yaklaşık 400 yıl önce, teleskoplu gözlemlerin başlamasıyla birlikte, bu inanış yıkılmıştır. İlk gözlemleri yapan Galileo Galilei, Güneş'in görüntüsünü kâğıt üzerine düşürmüş ve o görüntüde birtakım lekeler olduğunu görmüştür. Galilei'den bu yana Güneş lekelerinin gelişimi sürekli kaydedilir. Artık onlara ilişkin büyük bir bilgi birikimi oluştu ve bu lekelerin Güneş'teki başka olaylarla olan ilişkileri de anlaşılmaya başlandı.

Lekeler, Güneş'in yüzeyinde görülen geçici oluşumlardır. Kısa ömürlüdürler. 11 yıllık bir periyotta artar ve azalırlar. En az oldukları dönemde Güneş'in yüzeyinde hiç leke olmayabilir. Bu durum birkaç hafta ya da ay sürebilir. Sonra yeni lekeler ortaya çıkmaya başlar. Yeni lekeler, ekvatorun yaklaşık 35° kuzeyinde ve güneyinde oluşur. Genellikle çiftler halinde, hatta çiftlerden oluşan gruplar halinde ortaya çıkarlar. Durgun değildirler. Çevrelerinde sürekli bir hareket vardır ve kendileri de hareket eder, şekil değiştirirler. Zamanla sayıları artar ve ortalama enlemleri de giderek ekvatora yaklaşır. En üst düzeye ulaştıklarında sayıları 100'ü aşabilir.

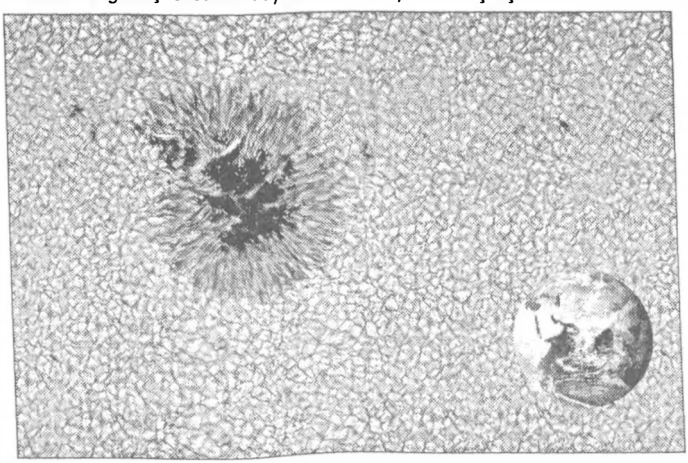
Güneş lekeleri, yaklaşık Dünya büyüklüğünde bölgelerdir. Buralarda sıcaklık, ortalama yüzey sıcaklığından 1500-2000°C daha düşüktür. Yani lekeler çevrelerine göre daha "serin"dir. Bu nedenle de daha az parlaktırlar ve bize

"siyah" görünürler; ama aslında siyah değildirler. Eğer bir güneş lekesi, Güneş'in yüzeyinden sökülüp uzaya yerleştirilebilseydi, dolunaydan 10 kat daha parlak görünürdü. Güneş lekeleri gerçekte en çok 5000 km derine kadar inen, yüzeysel oluşumlardır. Lekelerin altındaki bölgenin "serinliği" daha derinlerde ortadan kalkar.

Peki, güneş lekelerinin Dünya için ne önemi vardır? 150 milyon km uzaktan, Güneş'teki lekelerin, çevresine göre biraz daha serin olan bölgelerin, Dünya üzerinde bir etkisi olabilir mi?

Dünya'nın basit bir manyetik alanı vardır. Bir manyetik kuzey kutbu, bir de manyetik güney kutbu bulunur. Manyetik alanı da bu iki kutbun arasında oluşmuştur. Ama Güneş'te durum çok farklı ve karmaşıktır. Güneş'in de manyetik kuzey ve güney kutbu vardır. Ancak bu kutuplar sabit değildir, yaklaşık 11 yılda bir yer değiştirir. En son 2001 yılının başlarında yer değiştirmişlerdir. Aslında manyetik kutupların yer değiştirmesi yalnızca Güneş'e özgü bir durum değildir. Dünya'nın manyetik kutupları da 5000 yıl ile 50 milyon yıl arasında değişen aralıklarla yer değiştirir. Son değişim, günümüzden 740.000 yıl önce olmuştur. Bir sonraki değişimin ne zaman olacağı ise bilinmemektedir. Ancak Güneş'in manyetik kutupla-

Sıradan bir güneş lekesinin boyutlarının Dünya ile karşılaştırılması.

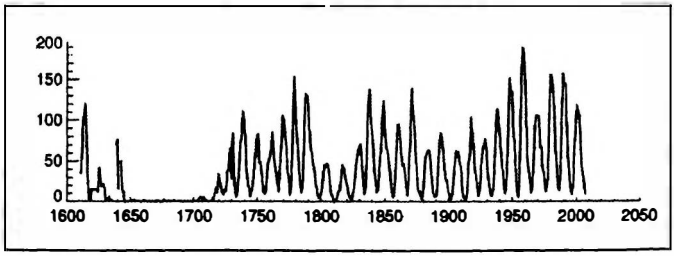


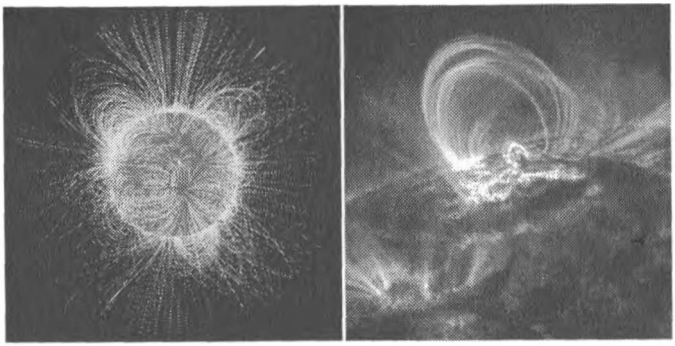
rının, Güneş'in yüzeyindeki manyetik etkinliklerin en üst düzeye çıkacağı 2012'de bir kez daha yer değiştireceği bilinmektedir.

Güneş'in manyetik alanı, yüzeyindeki etkinliklerin (güneş lekeleri, plazma püskürmeleri, patlamalar vs.) en alt düzeye indiği dönemde, Dünya'nın manyetik alanına benzer, ama ondan yüz kat daha güçlüdür. Güneş'in etkinlikleri artmaya başlayınca, manyetik alan da değişmeye, karmaşıklaşmaya başlar. Manyetik alan çizgileri Güneş yüzeyinin herhangi bir yerinden çıkıp başka bir yerinden girer. Güneş'in yüzeyinde böyle on binlerce giriş-çıkış noktası olur. Manyetik alan çizgileri kuşkusuz gözle görülmez; ama sürekli oluşan kısa süreli halka şeklindeki plazma yapılar, onları görünür kılar ve manyetik alanları açıkça gözler önüne serer (tıpkı bir kâğıdın üzerine saçılmış demir tozlarının alttaki mıknatısın manyetik alan çizgileri boyunca toplanarak onları bir anlamda görünür kılması gibi). Bu görece küçük manyetik bölgeler yaklaşık 40 saatlik dönemler içinde ortaya çıkar, yer değiştirir ve yok olur.

Gelişmiş gözlem aygıtlarıyla Güneş yüzeyinin manyetik yapısı incelenmiş ve manyetik haritası çıkartılmıştır. Bu haritadan, Güneş yüzeyinde manyetizmanın en güçlü olduğu bölgelerin aslında Güneş lekeleri olduğu ortaya çıkmıştır. Lekelerdeki manyetik alan şiddeti, yüzeyin öteki bölgelerindekinin birkaç bin katıdır. Bir başka deyişle Güneş lekeleri gerçekte manyetik alanın çok şiddetli olduğu bölgelerde ortaya çıkan yapılardır. Buralardaki manyetik enerji, Güneş'in iç bölgelerinden gelen ısının yüzeye

Teleskopla birlikte başlayan sistemli ve kayıtlı Güneş gözlemleri sayesinde, Güneş'in periyodik etkinliği açık bir şekilde anlaşılmıştır.



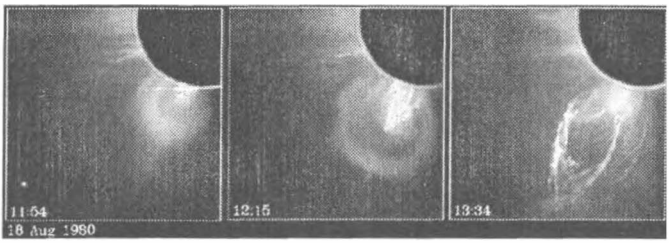


Güneş'in iki temel manyetik kutbunun yanında, yüzeyinde de binlerce manyetik kutup bulunur (solda). Manyetik alan çizgileri gözle görülmez; ama bu alan çizgileri boyunca sık sık oluşan halka şeklindeki plazma püskürmeleri, onları görünür kılar (sağda).

çıkmasını bile engelleyecek denli güçlüdür. Güneş lekelerinin çevrelerine göre daha az sıcak oluşunun bundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Güneş parlamalarının, püskürmelerin ve patlamalarının büyük bölümü, güneş lekelerinin bulunduğu bölgelerde gerçekleşir. Bir güneş lekesi manyetik enerjisini boşalttığında, ortaya Güneş Sistemi'ndeki en büyük patlama çıkar. Bu patlamalar Güneş'te depremlere yol açar. Güneş yüzeyindeki depremlerde, saatte 250.000 km hızla ilerleyen 3 km yüksekliğinde plazma dalgaları oluşabilir. Güneş'teki depremlerin Dünya için bir tehlikesi yoktur; ama bu patlamalarla uzaya çok büyük miktarlarda plazma püskürtülür. Plazmayı oluşturan yüksek enerjili atomaltı parçacıklar, bir bulut halinde saniyede yüzlerce, hatta binlerce kilometre hızla yol alır. Bu devasa püskürmelerin yönü bazen Dünya'ya doğru olur ve bulut yaklaşık iki günde gezegenimize ulaşır.

Dünya'nın kendi manyetik alanı tıpkı koruyucu bir kalkan işlevi görür ve gelen parçacıkların büyük bölümünün yeryüzüne erişmesini engeller. Güneş'ten gelen yüksek enerjili parçacıklar kutup bölgelerinde aurora ("kuzey ışıkları" ya da "güney ışıkları") denen etkileyici ışık gösterilerinin ortaya çıkmasına neden olur. Çok şiddetli patlamalardan sonra oluşan bu auroralar, alçak



18 Ağustos 1980'de kaydedilmiş bir güneş patlaması.

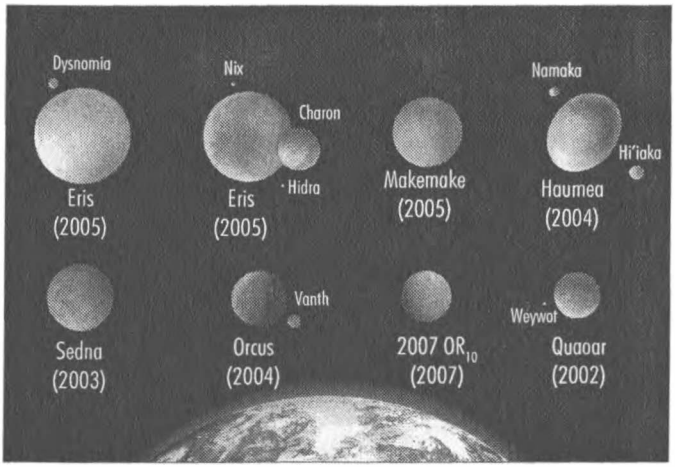
enlemlerden bile görülebilir. Ne var ki Dünya'ya gelen bu parçacıkların görsel etkisinden başka etkileri de olur. Bunlar, yörüngedeki uyduların işleyişini bozabilir, iletişim ağlarını çökertebilir, hatta elektrik şebekelerine bile zarar verebilir. Elektronik aygıtların ve sistemlerin günlük yaşamın temelini oluşturmaya başladığı son yüzyıldır böylesi büyük çaplı bir olay yaşanmış değildir. Ama yönü Dünya'ya dönük çok şiddetli bir güneş patlamasının çok büyük olumsuz etkileri olabileceği tahmin edilmektedir.

8 | Gezegen nedir?

Eski Yunanlar gökyüzünde yıldızlardan farklı hareket eden ışıklı yedi gökcismi saptamışlar ve adlarını da kendi mitolojilerinden vermişlerdi: Selene (Ay), Helios (Güneş), Hermes (Merkür), Afrodit (Venüs), Ares (Mars), Zeus (Jüpiter) ve Kronos (Satürn). Bunlara genel olarak "gezgin" anlamına gelen planet diyorlardı. Dünya, o dönemin inanışına göre Evren'in merkezi olduğundan, bir "gezgin" olarak kabul edilmiyordu. Mikolaj Kopernik'in *Göksel Kürelerin Dönüşü Üzerine* adlı kitabını yayımladığı 1543 yılına kadar da Dünya'nın bir gezegen olduğu düşünülmedi. Kopernik kitabında, Dünya'nın gerçekte Güneş'in çevresinde dönen sıradan bir gezegen olduğunu ileri sürüyordu. Ona göre Ay da gezegen değil, Dünya'nın çevresinde dönen bir gökcismiydi.

1600'lü yılların başından itibaren, teleskoplu gözlemler sayesinde, binlerce yıldan sonra ilk kez yeni gezegenler keşfedilmeye başlandı. 1781'de Uranüs keşfedildi. Mars ile Jüpiter'in arasında yer alan Asteroit Kuşağı'nın en büyük asteroidi olan Ceres, 1801'de keşfedildiğinde sekizinci gezegen olarak kabul edildi. Ertesi yıl aynı bölgede keşfedilen Pallas da dokuzuncu gezegen oluverdi. Ne var ki bu keşiflerle birlikte gökbilimcilerin kafasında birtakım sorular da oluşmaya başladı. Çünkü öteki gezegenler teleskopla bakıldığında küçük daireler şeklinde görülürken, bu son ikisi yalnızca noktasal birer ışık kaynağı gibi görünüyordu. O zaman İngiliz gökbilimci William Herschel, 1802'de, büyük gezegenlerin uydularını ve bu minik gezegenleri tanımlamak için, Yunanca "yıldız benzeri" anlamına gelen "asteroit" adının kullanılmasını önerdi. Ancak bu öneri, minik gezegenlerin sayısının 15'e ulaştığı 1851'e gelene dek kabul görmedi. 1851'de Güneş Sistemi'nde 23 gezegen bulunduğu düşünülüyordu. 1852'deyse minik gezegenlerin Herschel'in önerdiği gibi asteroit olarak sınıflandırılmasına karar verilince, gezegen sayısı birden sekize düştü; altı yıl önce, 1846'da Neptün keşfedilmişti. Bu olaydan yaklaşık 80 yıl sonra 1930'da Plüton'un bulunmasıyla gezegenlerin sayısı dokuza çıktı.

Çoğumuzun bildiği gezegen tanımı şöyledir: Bir yıldızın çevresinde dolanan, ondan gelen ışığı yansıtan ve asteroitlerden büyük olan gökcismi. Pek de kesin olmayan bu tanıma göre, 76 yıl boyunca Güneş Sistemi'nde dokuz gezegen olduğunu bildik. Gezegen tanımındaki belirsizlik, gerçekte gökbilimcileri de rahatsız ediyordu. Ama uzun bir süre ona bir alternatif de aranmadı; taa ki son 15 yılda rahatsızlıkları arttırıcı birtakım önemli keşifler yapılıncaya kadar. Bunların en önemlilerinden biri, belki de bilim insanlarını "artık yeni ve kesin bir tanım yapmamız gerek" diye zorlayanı, 2005'te Kuiper Kuşağı'nda (Neptün'ün ötesinde, buzdan oluşmuş, küçüklü büyüklü binlerce gökcisminden oluşan -tıpkı Asteroit Kuşağı gibi- yayvan bir simit şeklinde, genişçe bir kuşak) Plüton'dan daha büyük bir gökcisminin (Eris)



Bilinen en büyük trans-Neptün cisimleri ve onların uydularının Dünya'ya göre büyüklükleri görülüyor.

keşfedilmesiydi. Ya Eris, Güneş Sistemi'nin 10. Gezegeni olarak kabul edilecek ve ileriki yıllarda yapılacak yeni keşiflerle gezegen sayısı artabilecekti ya da Plüton gezegen olmaktan çıkartılacaktı.

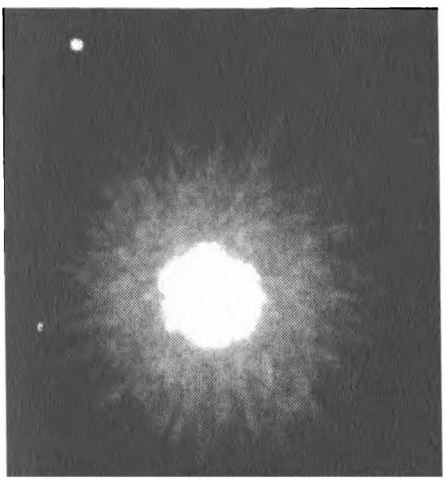
Aslında Plüton, keşfedildiği günden beri gökbilimcileı için bir huzursuzluk kaynağı olmuştu. 1900'lü yılların başında gökbilimciler Neptün'ün yörünge hareketinde birtakım düzensizliklere yol açan bir X gezegeni olması gerektiğini düşünüyor ve onu arıyorlardı. Bu nedenle 1930'da Plüton'un keşfi çok da şaşırtıcı olmadı. Keşif şaşırtıcı değildi; ama yeni gezegen biraz şaşırtıcıydı. Plüton Güneş Sistemi'nin en dışında yer alıyordu ve bir gaz dev değil de, tersine küçücük, karasal bir gezegendi. Kütles Ay'ın kütlesinin altıda biri kadardı. Yörüngesi öteki ge zegenlerinkilere göre çok daha basık bir elips şeklindey di. Plüton, bu yörünge üzerinde ilerlerken, zaman zamaı Güneş'e Neptün'den daha yakın konuma geliyordu. Ayrı ca yörünge düzlemi öteki gezegenlerin düzlemlerine göı daha büyük açılıydı.

1992'de Kuiper Kuşağı'na ait ilk gökcismi keşfedildi ğinde, gökbilimcilerin Plüton'a yönelik kuşkuları iyi ce arttı. Her geçen yıl Neptün'ün ötesinde, yörüngeleı

Plüton'unkine benzeyen küçüklü büyüklü gökcisimleri -bunlara trans-Neptün cisimleri de denir- keşfedilmeye başlandı. Ama Plüton onların hepsinden büyüktü. Ayrıca Plüton'un büyükçe bir uydusu da (Charon) vardı; gerçekte böylesi büyük uydular (bir başka örneği Ay'dır) gökbilimcilerin oluşumunu açıklamakta zorlandığı gökcisimleridir. Bir süre sonra, Kuiper Kuşağı cisimlerinin on kadarının çevresinde de bazı uyduların olduğu keşfedildi. Bu arada 2004'te çapı 1000 km kadar olan (Plüton'unkinin yarısı) Sedna bulundu. Ardından da 2005'te Plüton'dan daha büyük olan Eris keşfedildi.

Bu gelişmelerin yanında, bir başka önemli gelişme daha yaşanıyordu. Gökbilimciler ilk kez 1995'te bir yıldızın çevresinde dönen bir gezegen keşfetti. Kısa süre sonra ona, yeni gezegenler eklendi. Her geçen gün yenileri eklenmeye devam ediyor. Böylesi gezegenlerin sayısı 2011'in ortalarında 570'i aşmış durumdadır. Ne var ki bunların bazılarının yörüngeleri, Güneş Sistemi'ndeki gezegenlerinkine pek de benzemiyor.

Bir başka gelişme de, gezegen ile yıldız arasındaki ayrımı zorlayan kahverengi cücelerin keşfiydi. Büyüklükleri, gaz devi gezegenlerle en düşük kütleli yıldızların arasında yer alan gökcisimlerine kahverengi cüce denir.

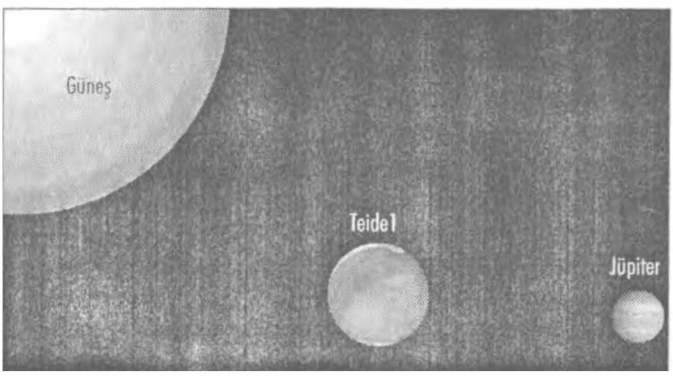


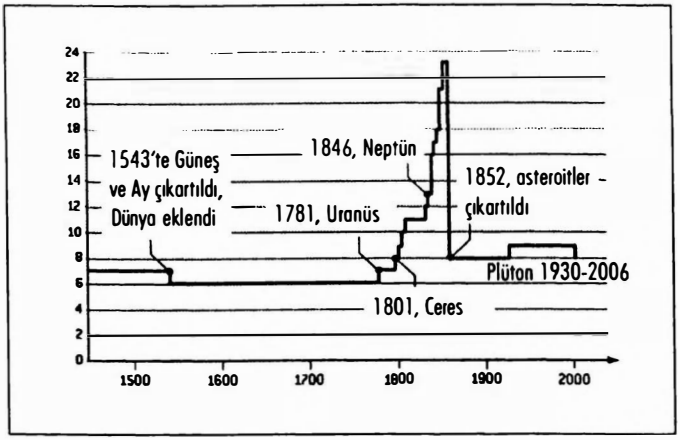
Bu, Güneş benzeri bir yıldızın çevresinde dönen bir gezegenin doğrudan elde edilmiş (kızılötesi dalga boyunda) ilk görüntüsüdür. Yıldız (adı biraz uzun ve garip: 1RXS J160929.1 210524), Güneş'ten yaklaşık 470 ışık yılı ötededir ve yalnızca birkaç milyon yaşındadır. Onun çevresinde dönen gezegenin 8 Jüpiter kütlesinde olduğu ve yıldızından 330 AB uzakta bir yörüngede döndüğü hesaplanmıştır.

Gerçekte bunların rengi kahverengi değildir; yüzey sıcaklıklarına göre koyu kırmızı ile macenta arasında değişir. Genellikle kahverengi cücelerin kütlesinin alt sınırının 13 Jüpiter kütlesi olduğu ve üst sınırın da 75-80 Jüpiter kütlesi olduğu kabul edilir. Ana kol yıldızların merkezinde gerçekleşen nükleer tepkimeler bunların merkezinde olmaz. İlk kahverengi cücenin (Teide1) 1995'te keşfinden bu yana yüzlercesi keşfedilmiştir. Bazı kahverengi cüceler bir yıldızın çevresinde döner, bazıları birbirinin çevresinde dönen ikili sistemler halinde bulunur ve bazıları da uzayda serbestçe dolaşır (Onlar da tıpkı yıldızlar gibi Samanyolu'nun merkezinin çevresinde döner). Bazı kahverengi cücelerin çevresinde dolanan gezegenler olduğu bile gözlenmiştir. NASA'nın Aralık 2009'da Dünya'dan 525 km uzakta yörüngeye yerleştirdiği WISE adlı X-ışını gözlem uydusu sayesinde Güneş Sistemi'nde daha önce gözlenemeyen asteroitler ve kuyrukluyıldızlar saptanacaktır. Bunun yanında yakın çevremizdeki kahverengi cüceler de keşfedilecektir. Gökbilimciler Samanyolu'nda yıldız sayısının yüzde 1-10'u kadar kahverengi cüce olabileceğini tahmin ediyor.

Bütün bu gözlem ve keşifler Güneş Sistemi'ne ve gökcisimlerine ilişkin algı ve anlayışımızı değiştirmiştir. Yeni anlayışımızı ortaya koyan, kesin bir gezegen tanımının

Güneş, kahverengi cüce Teide1 ve Jüpiter karşılaştırması.





Yapılan yeni keşifler ve tanımlarla birlikte gezegenlerin sayısı zaman içinde değişmiştir. Plüton'un gezegenlikten "düşürülmesi" de 2006'da gezegen tanımının yeniden yapılmasından kaynaklanır; tıpkı 1852'de olduğu gibi.

yapılması zorunlu olmuştur. Bunun üzerine Uluslararası Astronomi Birliği'nin (International Astronomy Union –IAU) Ağustos 2006'da yapılan toplantısında, yeni bir gezegen tanımı yapılmıştır. Buna göre bir gökcisminin gezegen olarak tanımlanabilmesi için üç koşulu sağlaması gerekir:

1) Güneş'in (ya da bir yıldızın) çevresinde dönüyor olması,

2) Küre şeklinde olmasını sağlayacak kadar büyük bir kütlesi olması,

3) Yörüngesi civarındaki herhangi bir cisimden daha büyük kütleli olması (yakın çevresini temizlemiş olması, yani çevresindeki küçük cisimleri, kütleçekim etkisiyle başka yörüngelere göndermiş olması).

Bu tanım evrenseldir; bir başka deyişle Güneş Sistemi'nin dışında, başka yıldızların çevresinde dönen, gezegenler için de geçerlidir.

Bu yeni tanımla Güneş Sistemi'ndeki gezegen sayısı 76 yıl sonra dokuzdan sekize düştü. Plüton, artık bir gezegen olmaktan çıktı ve Kuiper Kuşağı cisimlerinden biri oluverdi. Ama Güneş Sistemi'ndeki bazı cisimler için yeni bir tanım da yapıldı: Cüce gezegen.

9 | Güneş Sistemi gaz ve toz bulutundan mı oluştu?

Güneş Sistemi'ndeki gezegenlerin iki temel hareketi vardır. Gezegenler, hem Güneş'in çevresinde hem de kendi eksenlerinde döner. İki hareketin yönü de aynıdır: Güneş'in kendi ekseninde döndüğü yöndedir, yani sisteme yukarıdan bakıldığında, saatin tersi yönde. Bunun yanında bütün gezegenler Güneş'in çevresinde, neredeyse aynı düzlemde ilerler. Gezegenlerin yörünge düzlemlerinde yalnızca birkaç derecelik bir fark vardır.

Güneş Sistemi'nin üyelerinin her iki dönüşünün de aynı yönde oluşu, doğal olarak hepsinin aynı kökenden geldiğini, dönen tek bir yapıdan ortaya çıktıklarını düşündürür. Gerçekte bu düşünce hiç de yeni değildir; ilk dile getirilişi 18. yüzyıla kadar uzanır. İsveçli düşünür Emanuel Swedenborg tarafından 1734'te ortaya atılmıştır.

Samanyolu gibi sarmal gökadalardaki maddenin yüzde 10 kadarı gaz ve tozdan oluşur. Bunun da büyük bölümü, Güneş Sistemi'nden yüzlerce, hatta binlerce kat büyük ama şekilsiz bulutsularda bulunur. Gökadamızın değişik bölgelerinde de çok sayıda bulutsu vardır. Resimdeki Kartal Bulutsusu gibi bazılarının içlerinde yeni yıldızların doğduğu bölgeler yer alır.



Düşünceyi, daha sonra Immanuel Kant geliştirmiştir.

Kant'a göre uzayda yavaş yavaş dönen büyük gaz bulutları kütleçekim kuvvetinin etkisiyle giderek içlerine çöker, küçülür ve yassılaşırdı; sonunda da bir yıldız ve onun çevresinde dönen gezegenler oluşurdu. Buna benzer bir oluşum modelini, 1796'da Laplace Markisi Pierre-Simon da ileri sürmüştür. Bulutsu varsayımı olarak bilinen bu model, Güneş'in ve gezegenlerin oluşumuna yönelik ortaya atılan ilk bilimsel modeldi. Buna göre ilk başta ağır ağır dönen, dev bir gaz ve toz bulutu vardı. Bulut kütleçekim kuvvetinin etkisiyle giderek küçüldü, yoğunlaştı, hızlandı ve bir dizi aşamadan geçerek Güneş'e ve onun çevresinde dönen gezegenlere, uydulara ve Güneş Sistemi'nin bütün öteki üyelerine dönüştü. İleri sürüldüğü dönemde mantıklı ve tutarlı görünen bu modelin zamanla birçok hatalı yanı olduğu anlaşıldı. Model 20. yüzyılın başlarında gözden düştü ve terk edildi.

Daha sonra Güneş Sistemi'nin oluşumuna yönelik yeni fikirler ortaya atıldı. Örneğin, Güneş'in yakınından geçen ya da ona hafifçe çarpan bir yıldızın Güneş'ten madde koparak gezegenleri oluşturduğu ileri sürüldü. Bir başka teoriye göre de bir zamanlar Güneş bir ikili yıldız sisteminin ikinci yıldızıydı. İlk yıldız süpernova yaparak içeriğinin büyük bölümünü uzaya saçmıştı ve bu hammaddeden de Güneş'in çevresindeki gezegenler oluşmuştu. Ne var ki gerçekleşme olasılıkları düşük ya da fazlasıyla zorlama olduğu hissedilen bu kuramların hiçbiri gökbilimcilerce tam olarak benimsenmedi.

1960'lı yıllarla başlayan ve günümüze dek hızla gelişen gezegen araştırmaları sayesinde, Güneş Sistemi'nin bütün üyelerine ilişkin çok fazla veri elde edildi. Bu sayede daha önce anlaşılmayan birçok konu açıklığa kavuşmaya başladı; kuşkusuz bazı yeni ve zor sorular da ortaya çıkmadı değil. Zamanla gezegenlerin nasıl oluştuğuna ilişkin de bir model geliştirildi. Bugün yaygın kabul gören yeni model, Sovyet gökbilimci Victor S. Safronov'un 1960'lı yıllardaki çalışmalarıyla ortaya çıkmıştır. Laplace Markisi'nin 200 yıl önce ortaya attığı modeli çağrıştıran ama ayrıntılar

farklı olan bu yeni model Güneş Sistemi'nin yapısını ve üyelerinin birçok özelliğini tutarlı olarak açıklayabiliyor. Model ilk başlarda, doğal olarak yalnızca Güneş Sistemi için kullanılıyordu. Ama başka yıldızların çevresinde dönen gezegenler keşfedildikçe, evrensel bir kuram olarak görülmeye başlandı. O yıldızların ve onların gezegenlerinin de artık Güneş Sistemi'ndekine benzer bir süreçten geçerek oluştuğu düşünülüyor. Bu kuramın temelini oluşturan "güneş bulutsusu"na benzeyen bazı yapıları, artık güçlü teleskoplar sayesinde çevremizdeki birçok genç yıldızın çevresinde de görüyoruz.

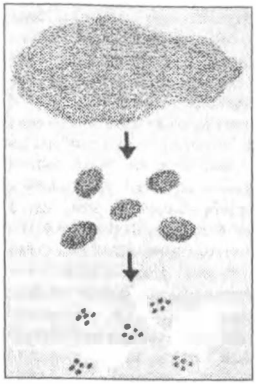
10 | Güneş nasıl oluştu?

Güneş Sistemi, içinde 200 milyar dolayında yıldızın ve yıldızların arasındaki uzayda da dev gaz ve toz bulutlarının bulunduğu büyükçe bir gökadanın içinde yer alır. Bu gaz ve toz bulutlarının büyük bölümü önceki kuşaktan bazı yıldızların kalıntılarıdır.

Günümüzden yaklaşık 4,6 milyar yıl önce Güneş Sistemi'miz de yalnızca gaz molekülleri ve toz zerreciklerinden oluşan dev bir hammadde bulutuydu. Güneş, gezegenler, kuyrukluyıldızlar, hayvanlar, bitkiler, verem bakterileri, grip virüsleri vs. hepsi bu buluttan ortaya çıkmıştır. Çapı 50-100 ışık yılı olan bulut, Samanyolu'ndaki bütün nesneler gibi gökada merkezinin çevresinde sakin bir biçimde dönüyordu. Kütlesinin büyük bölümü (yüzde 73'ü) hidrojenden oluşuyordu. Geri kalanının neredeyse tamamı helyumdu; ancak eser miktarda karbon, azot ve oksijen gibi ağır elementler ve toz parçacıkları da vardı. Sıcaklığı -250°C dolayında olan bulutun yoğunluğu santimetreküpte birkaç bin ile birkaç milyon molekül arasında değişiyordu.

Dev gaz ve toz bulutu çevreden gelen bir itme ya da çekme etkisiyle hareketlendi. (Bulut, büyükçe bir yıldızın

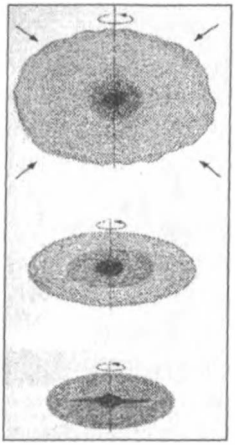
yanından geçmiş olabilir. Kütleçekim etkisiyle bulutun durgunluğu bozulmuş ve içeriğindeki moleküller hareketlenmeye başlamış olabilir. Ya da bulutun yakınlarında gerçekleşen bir süpernovanın şok dalgalarının bulutu iterek içeriğini sıkıştırması gerçekleşmiş olabilir.) Kuşkusuz bu dev bulutu harekete geçiren etmenin ne olduğu tam olarak bilinemez. Ancak bilinen şey, bunlara benzeyen tetikleyici bir etkiyle hareketlenen bulutun içeriğinin, kütleçekim kuvveti nedeniyle merkeze doğru yönelmiş ve hafif bir dönme hareketiyle birlikte içine çökmeye başlamış olduğudur.



Yüzlerce, hatta binlerce ışık yılı çaplı bir bulutsudan zamanla çok sayıda "çekirdek bulutsu" ortaya çıkar. Çekirdek bulutsular çevrelerine göre maddeleri daha büyük bir kütleçekim kuvvetiyle çekerler. Büyük olasılıkla her biri ileride bir yıldıza dönüşecektir.

Bulutun hareketlenmesiyle birlikte, Güneş'i ve Güneş Sistemi'ni oluşturan süreç de başladı. Sürecin başlamasından yaklaşık iki milyon yıl sonra bulutun birçok noktasında çevrelerinden daha yoğun olan "çekirdek" bulutlar ortaya çıktı. Bu bölgeler çevrelerine göre daha büyük bir kütleçekimiyle maddeleri kendilerine daha çok çekmeye başladı. Bunların kendi eksenlerinde, küçük de olsa bir dönme hareketi vardı. Bu dönme, çekirdek bulutlar küçüldükçe giderek hızlandı; tıpkı buz pateni yapan birinin kollarını kapadığında hızının artması gibi. Böylesi yüzlerce çekirdek buluttan bazılarından, bir süre sonra, aralarında Güneş'in de bulunacağı yıldızlar oluşacaktı.

Güneş'i oluşturacak çekirdek bulut, bu dönemde bir ışık yılının yüzde biri çapındaydı. Dönen buluttaki madde merkeze doğru çekiliyor, bulut giderek küçülüyor ve dönüş hızı da artıyordu. Bulutun merkezine doğru olan madde akışı sırasında, atomların ve moleküllerin birbirine sürtünmesi ısınmaya yol açıyordu. Merkez giderek ısınıyordu.



Çekirdek bulutsular kendi eksenlerinde dönerler ve giderek büzülür, küçülürler. Küçüldükçe de hızları ve sıcaklıkları artar.

Giderek küçülen bulutun merkezinde, Güneş'ten Plüton'a kadar olan, küre şeklinde dev bir yapı oluşmaya başladı. Merkezdeki bu kürenin kütlesi kendine çektiği maddelerle sürekli arttı. Artan kütleyle birlikte büyüyen kütleçekim kuvveti de, hem giderek daha çok maddenin çekilmesine, hem de küçülmeye yol açtı. Küçülen kürenin merkezinde yalnızca sıcaklık değil, dönme hızı ve yoğunluk da giderek arttı. Güneş önyıldız aşamasına girdi. Öngüneşin kendi ekseninde belirgin bir dönüşü vardı.

Merkezinde öngüneş bulunan gaz ve toz bulutunun geri kalan bölümü dönme hareketi nedeniyle disk şeklini aldı. Bu yapıya güneş bulutsusu denir. (Gökbilimciler günümüzde böylesi disklerle kuşatılmış birçok genç yıldız keşfetmiştir.) Güneş bulutsusunun çapı 100-200 AB ve kütlesi de yüzde 1-10 Güneş kütlesi kadardı.

Merkezindeki sıcaklık 5.000.000°C ve yüzey sıcaklığı da 4500°C dolaylarına geldiğinde, öngüneş T-Tauri denen bir evreye girdi. Kısa süren ama manyetik olarak çok etkin bu evrede, güneş rüzgârı[1] diye bilinen yeni bir etkinlik başladı. Öngüneşin küçülmesi sürerken, artık bir yandan da her saniye büyük miktarlarda elektrik yüklü atomaltı parçacık, yüksek hızlarla uzaya yayılmaya başlamıştı.

Dev gaz ve toz bulutunun hareketlenmeye başlamasından sonra geçen 40 milyon yıl içinde, öngüneşin merkezindeki sıcaklık 15.000.000°C'a ulaştı ve öngüneşin küçülmesi durdu.

1) **Güneş rüzgârı:** Güneş'in atmosferinin üst kısımlarından -güneş tacından- uzaya doğru hızla akan elektrik yüklü parçacıklara güneş rüzgârı denir. Güneş rüzgârı çoğunlukla elektron ve protonlardan oluşur. Güneş tacının sıcaklığı öylesine yüksektir ki, Güneş'in kütleçekim kuvveti, yüksek enerjili parçacıkların kaçışını engelleyemez. Güneş rüzgârının hızı saniyede 300-800 km arasında değişir.

Öngüneşin merkezindeki aşırı basınç ve sıcaklıkta hidrojen atomları iyonlaşmış haldeydi; yani elektronlar atom çekirdeklerinden (protonlarından) kopmuştu. Protonlar ve elektronlar öngüneşin merkezinde çok yüksek hızlarla rasgele dolaşıyordu. Protonlar, sık sık birbirleriyle karşı karşıya geliyor; ama mıknatısın aynı kutupları gibi birbirlerini itiyorlardı. Ancak sıcaklık 15.000.000°C'a ulaştığında, karşılaşan protonlar artık birbirlerini itemez oldu; artık çarpışıp birbirleriyle kaynaşmaya başladılar. Bu durumda iki protonlu yeni çekirdekler (helyum çekirdekleri) oluştu. Bir başka deyişle bu yüksek sıcaklıkta öngüneşin merkezindeki hidrojen atomları helyum atomlarına dönüşüyor ve dönüşüm sırasında da artan çok küçük bir kütleden, $E=mc^2$ formülünün gösterdiği, büyük bir enerji ortaya çıkıyordu. Bu nükleer tepkimelerin gerçekleşmesiyle birlikte, ilk kez öngüneşin merkezinde çok büyük miktarlarda enerji üretilmeye başlandı. Kütleçekim kuvveti nedeniyle milyonlarca yıldır sürekli küçülen öngüneşin içine çöküşü, merkezinde "yaktığı" hidrojenden sağladığı güçle durdu. Öngüneş gökbilimcilerin hidrostatik denge adını verdiği kararlı bir duruma ulaştı. Artık öngüneş bir "ana kol" yıldızına dönüşmüştü. Ana kol evresi (hidrojen yakma evresi) Güneş'in yaşamının en uzun evresidir. Güneş bir ana kol yıldızı olarak yaklaşık 4,56 milyar yıldır ilk anlarındaki durumundan çok da değişmemiş haliyle ışımasını sürdürüyor. Yaklaşık beş milyar yıl daha öyle kalacağı düşünülüyor. Ancak yaşamının sonlarına yaklaştıkça başka bazı evrelerden geçecektir.

11 | Güneş'in sonu nasıl olacak?

Evren'deki her şey gibi, Güneş'in de bir gün sonu gelecek. Aslında Güneş'in sonunun bütün aşamaları bilim insanları için uzun zamandır oldukça açık; çünkü Güneş'e

benzeyen, ama ömürlerinin farklı aşamasındaki birçok yıldızı incelemiş ve Güneş'in sonunun nasıl olacağını çok iyi anlamış durumdalar. Ancak tıpkı Güneş Sistemi'nin doğuşunda olduğu gibi, ölümündeki aşamaların sürelerine ilişkin de kesin bir tahminde bulunamıyorlar. Örneğin Güneş'in bir ana kol yıldızı olarak geçireceği süre kimilerine göre 9-10 milyar yılken, kimilerine göre de 13 milyar yıl kadar olabiliyor.

Güneş'in merkezinde hidrojenin helyuma dönüşmesi ve bu sırada da muazzam miktarda enerji ortaya çıkması yaklaşık 4,56 milyar yıldır sürüyor. En azından bir 5 milyar yıl daha bu durumun süreceği düşünülüyor. Merkezindeki yakıtının, yani hidrojenin ancak yarısını tüketen Güneş, artık orta yaşlı bir yıldızdır.

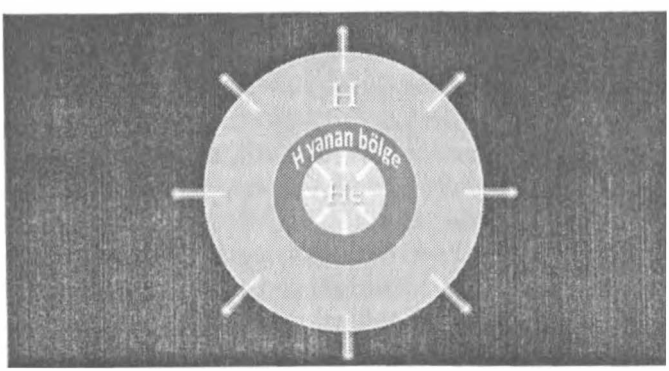
İlk oluştuğu dönemde Güneş'in çapı bugünkünden yaklaşık yüzde 10 daha kısaydı. Aynı şekilde parlaklığı da yüzde 30-40 daha azdı. Güneş'in ömrü boyunca çapı ve parlaklığı yavaş yavaş artmıştır. Bu büyüme ve parlaklık artışı hâlâ sürüyor. Önümüzdeki bir milyar yıl içinde Güneş'in parlaklığı yüzde 10 artacak; bu da yeryüzündeki sıcaklıkların 40-50 derece yükselmesine yol açacak. 3,5 milyar yıl sonraysa parlaklığı yüzde 40 daha çok olacak. Bu durumda yeryüzündeki sıcaklıklar dayanılmaz dereceleri bulacak. Dünya, bugünkü Venüs kadar sıcak bir gezegen olacak. Olasılıkla o zaman yerin binlerce metre derinliklerinde yaşayan dayanıklı birkaç bakteri türünden başka, Dünya'da hiçbir canlı olmayacak. Öyle gözüküyor ki, Dünya'da bakterilerle başlayan yaşam, bakterilerle son bulacak.

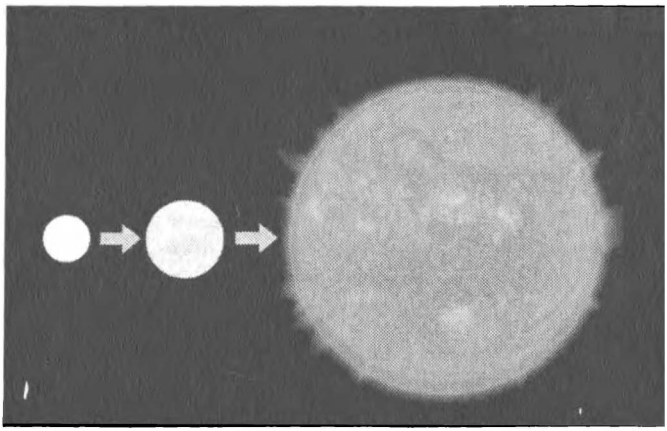
10 milyarıncı yaşgünü dolaylarında, Güneş'te köklü değişimler görülmeye başlanacak. Çünkü merkezindeki hidrojen, yani yakıtı tümüyle tükenmiş olacak. Bu da Güneş için bir anlamda sonun başlangıcı demek. Ancak Güneş'in sonu hiç de huzur dolu olmayacak. Merkezinde önceden hidrojenin kapladığı yeri, 10 milyar yıldır sürekli oluşan helyum kaplayacak. Ancak iki protonlu helyum atom çekirdekleri birbirlerini tek protonlu hidrojen çekirdeklerine göre çok daha güçlü ittiği ve hiç de bir araya gelmek istemediği için, Güneş'in merkezindeki sıcaklık onların

da nükleer tepkimeye girip enerji üretmelerine yetecek düzeyin çok altında kalıyor olacak. Bu durumda Güneş artık bir ana kol yıldızı olmaktan çıkacak; çünkü merkezindeki nükleer tepkimeler ve enerji üretimi durunca, 10 milyar yıldır koruduğu hidrostatik dengeyi yitirecek. Helyumdan oluşan çekirdek bölgesi Güneş'in dev kütleçekim kuvvetinin etkisiyle içine çökmeye başlayacak. Çekirdek küçüldükçe yoğunlaşıp iyice ısınacak. Bu sırada çekirdeği kuşatan ince bir tabakada hidrojenin helyuma dönüştüğü nükleer tepkimeler ve enerji üretimi sürecek. Çekirdeğin giderek ısınması ve onu kuşatan kabukta enerji üretilmesi nedeniyle, dışa doğru bir enerji akışı olacak ve Güneş'in dış katmanları genişlemeye başlayacak. Güneş büyüdükçe yüzey alanı da genişleyecek; böylece yüzeyi giderek soğuyacak ve rengi de turuncuya, kırmızıya doğru kayacak. Yaklaşık 600-700 milyon yıl sürecek bu aşamanın sonunda, Güneş'in çapı bugünkünden 1-2 kat daha büyük, yüzey sıcaklığı 1000°C kadar daha düşük ve dolayısıyla rengi de kırmızıya yakın olacak.

Bu aşamayı izleyen 500 milyon yıl içinde Güneş'te daha köklü bir değişim olacak: Önce boyutları küçülecek ve rengi mavileşecek, ardından da hızlı bir genişleme sürecine girecek. Çapı bugünkünün 150 katına çıkacak. Her ne kadar yüzey sıcaklığı biraz düşse ve rengi kırmızılaşsa

Dengesi bozulan Güneş'in çekirdeği içine çökerken, çekirdeği kuşatan ince bir tabakada nükleer tepkimeler sürecek ve hidrojen helyuma orada dönüştürülecek. Bu sırada Güneş'in dış bölgeleri de şişecek ve genişleyecek.

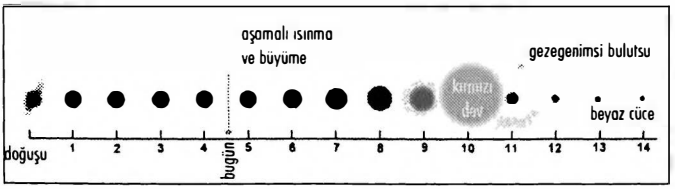




Çekirdeğinde hidrojen tükenen ve dengesini yitiren Güneş, ilk 600-700 milyon yıl içinde önce küçük çaplı bir büyüme geçirecektir. Bu sırada yüzey sıcaklığı da düşeceğinden rengi kırmızılaşacak ve bir kırmızı dev olacaktır. Çekirdeğinde helyum yakmaya başladığındaysa, rengi mavileşecek ve boyutları da küçülecektir. Ancak helyum da bittiğinde dengesini ikinci kez yitirecek ve 500 milyon yıl içinde normal çapının 150 katına çıkıp bir süper kırmızı dev olacaktır.

da olağanüstü büyümesi nedeniyle o zamanki parlaklığı bugünkünün 2000 katı olacak. Ölümünün bu aşamasında Güneş tam bir "kırmızı dev" olacak. Kırmızı dev olma sürecinde aşırı şiddetlenen güneş rüzgârı nedeniyle Güneş, kütlesinin yüzde 30-40 kadarını uzaya saçacak. Kütlesindeki bu azalma nedeniyle, Güneş'in çevresinde dönen başta gezegenler olmak üzere bütün her şey üzerindeki kütleçekim etkisi azalacak ve aradaki bağ zayıflayacak. Sistemdeki her şeyin yörüngesi Güneş'ten bir miktar uzaklaşacak. Örneğin Venüs, bugün Dünya'nın olduğu yörüngeye gelirken Dünya'da Mars'ın yörüngesine yakın bir yörüngeye kayacak.

Bir süre sonra yıldızımızın çekirdeğindeki sıcaklık 100 milyon dereceye ulaşacak ve bir başka köklü değişiklik daha yaşanacak. Bu sıcaklıkta helyum atom çekirdekleri birbirlerini iten kuvveti yenip kaynaşmaya ve karbon ile oksijen atom çekirdeklerini oluşturmaya başlayacak. Bir başka deyişle Güneş'te nükleer tepkimeler ve enerji üretimi yeniden başlayacak. Merkez bölgenin içine çökmesi



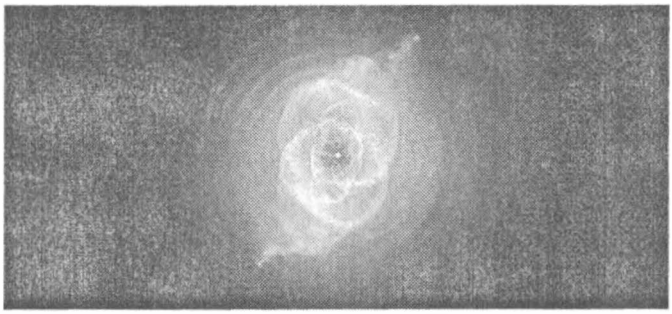
Güneş'in yaşamı (Büyüklükler ölçekli değildir)

aniden duracak. Bu kez birkaç milyon yıl gibi kısa bir sürede süreç tersine işleyecek ve yıldızımız hızla küçülerek bugünkü çapının on katı çapında bir yıldıza dönüşecek. Yeniden denge durumu sağlanacak ve Güneş bu halde bir süre daha ışıyacak.

Çekirdekteki helyumun yanması hızlı olacağından, 100 milyon yıl kadar bir süre sonra helyum tükenecek ve çekirdek karbon ve oksijenle dolacak. Merkezdeki nükleer tepkimeler yine duracak. Yıldızımız dengesini son kez yitirecek. Nükleer tepkimelerin durduğu çekirdek yine küçülmeye başlayacak ve ilk kırmızı dev aşamasındaki gibi dış katmanlar da genişleyecek. Artık karbon ve oksijenden oluşan çekirdeği saran iki kabuk olacak: İlkinde helyumu karbona ve oksijene dönüştüren nükleer tepkimeler gerçekleşirken, onu saran ikinci kabukta da hidrojenin helyuma dönüşmesi sürecek. Ama bu aşama öncekine göre çok daha hızlı tamamlanacak ve (5-6 yüz milyon yıl yerine) 20-25 milyon yıl gibi bir sürede sona erecek. Bu süre boyunca "esen" şiddetli güneş rüzgârları nedeniyle, yine büyük bir kütle yitirilecek, uzaya savrulacak. Yıldızın kütleçekim etkisi bir kez daha azalacağından gezegenlerin yörüngeleri daha da ötelere kayacak.

Sonunda Güneş'imizin çapı, bugünkünün 200 katına ulaşmış (neredeyse Dünya'nın bugünkü yörüngesine kadar genişlemiş), parlaklığı da 5000 katına çıkmış olacak. Dış katmanlarıyla merkezi arasındaki kütleçekim bağı iyice zayıflamış olacak. Dış katmanların uzaya yayılması sürecek ve 6-7 bin AB çapında bir "gezegenimsi bulutsu" oluşacak.

Merkezdeyse Dünya'nın çapının 1,5 katı çapında (ana kol yıldızı olduğundaki çapının yüzde 1'i kadar), karbon



3300 ışık yılı ötedeki Kedi Gözü Bulutsusu. Merkezdeki yıldızın şu anki kütlesi yaklaşık Güneş kütlesidir. İlk kütlesinin 5 Güneş kütlesi olduğu hesaplanmıştır. Yüzey sıcaklığı 80.000°C'tır. Saniyede 1900 km hızla esen yıldız rüzgârı nedeniyle, her saniye 20 trilyon ton kadar maddesi uzaya saçılmaktadır. Bir milyon yıl kadar sonra, bugünkü kütlesinin yüzde 30'unu yitirmiş olacaktır.

ve oksijenden oluşan, ama Güneş'in kütlesinin yarısı kütlede bir beyaz cüce kalacak. Yoğunluğu 1 ton/cm^3 ve yüzey sıcaklığı da 120.000°C dolayındaki bu beyaz cüce artık küçülmeyecek. Ama yüzey sıcaklığı zamanla düşecek.

Sonraki 100 milyar yıl içinde beyaz cücenin yüzey sıcaklığı görünür dalga boyunda ışıma yapamayacak kadar azalacak ve beyaz cüce artık hiç görülemeyen bir siyah cüce olacak. Güneş'in bu şiddetli ve çalkantılı ölüm sürecinde ayakta kalmayı başaran gezegenler varsa, artık hiç görünür ışık yaymayan Güneş'in çevresinde, bugünkünden çok farklı yörüngelerde, hepsi buzdan birer küre olarak dönmeye devam edecek.

12 | Gezegenler nasıl oluştu?

Gezegenler, onların uyduları, küçük gezegenler, asteroitler ve kuyrukluyıldızlar da gerçekte Güneş kadar yaşlıdır. Bunların büyük bölümü Güneş daha önyıldız aşamasındayken, güneş bulutsusunun içinde oluşmaya başlamıştır. Gezegenlerin oluşum süreci aslında binala-

rın yapım sürecine, onların zaman içinde yavaş yavaş ortaya çıkıp yükselmesine benzer. Bulutsudaki küçük parçalar bir araya gelerek büyük parçaları oluşturmuş; büyük parçalar da bir araya gelerek daha büyük parçaları oluşturmuştur.

Güneş Sistemi'nin oluştuğu bulutsuda hidrojen, helyum, karbon, silisyum ve oksijen boldu. Sıcaklığın 2000°C dolayında olduğu, önyıldız aşamasındaki Güneş'e (öngüneş) yakın yerlerde, ancak demir gibi ağır elementler bulunuyordu. Biraz daha ötelerde ve biraz daha az sıcak bölgelerde çok küçük kaya parçacıkları (tozları) vardı. Öngüneşten 5 AB (5 x 150.000.000 km) ve daha da ötedeyse, yani Jüpiter'in bulunduğu bölge ve ötesinde, bol miktarda buz kristali (su, amonyak, metan vs. buzları) toplanmaya başlamıştı. Gökbilimcilerin "kar hattı" dediği bu bölgede, sıcaklığın -70°C'dan daha düşük olduğu tahmin ediliyor.

İlk başlarda güneş bulutsusunda kum bulutları, demir tozları ve buz kristalleri, saniyede onlarca kilometre hızla dönüyordu. Bu dönüş sırasında düşük hızlarla birbirine çarpan buz, toz ve metal zerreleri, elektrostatik kuvvet nedeniyle birbirine bağlanıyor, yapışıyordu. Küçük parçacıklar bu şekilde giderek büyümeye başladı. Birkaç bin yıl içinde güneş bulutsusunun öngüneşe yakın bölgelerinde, tozların yanı sıra, çakıl taşı büyüklüğünde kaya ve metal parçaları, uzak bölgelerde de buz parçaları oluşmuştu. Bu parçalar sayıları giderek artan çarpışmalarla bir yandan birleşip büyüyor, bir yandan da güneş bulutsusunun ortasında daha ince bir diskte toplanıyordu.

Birkaç bin yıl içinde dağ büyüklüğünde kütleler oluştu. Bu büyüklükte cisimler yalnızca kendilerine çarpan küçük cisimlerle değil, aynı zamanda kütleçekim kuvvetinin kendilerine çektiği, etraflarındaki çok küçük, ama çok sayıda cisimle de büyüyordu. Güneş bulutsusunun oluşumundan sonraki 10.000-100.000 yıl arasında bir sürede, bulutsunun iç bölgelerinde Ay büyüklüğünde yüzlerce gökcismi oluşmuş, öngüneşin çevresinde hızlı turlar atıyordu. Gökbilimciler bunlara öngezegen der.

Ne var ki bütün öngezegenlerin büyümesi aynı hızla olmamıştır. Kar hattının ötesindeki buzlar, öngüneşe yakın bölgelerdeki metallere ve kayalara göre çok daha boldu. Buz parçacıkları daha da yapışkandı. Böyle olunca kar hattının ötesindeki gezegenleşme süreci, öngüneşe yakın bölgelerdekine göre çok daha hızlı gerçekleşti. Jüpiter ve Satürn kısa sürede oluştu. İlk başlarda kaya ve buzdan oluşan Jüpiter, büyüdükçe kütleçekim kuvvetinin etkisiyle, başta hidrojen ve helyum olmak üzere o bölgedeki gazları da hızla kendine çekip toplamaya başladı. Atmosferi ve sıvı mantosu oluştu. Çevresindeki gökcisimlerini yutarak ya da kütleçekim etkisiyle onları uzak yörüngelere fırlatarak, güneş bulutsusunun içindeki yörüngesini temizlemeye başladı. Aslında Jüpiter daha da büyüyebilirdi; ama öngüneş T-Tauri aşamasına girdi ve ürettiği güçlü güneş rüzgârı, bulutsudaki gazları Güneş Sistemi'nin dışına doğru savurdu. Bir başka deyişle ortamda Jüpiter'in büyümesini sağlayacak hammadde kalmadı. Böylece Jüpiter'in kütlesi 300 Dünya kütlesinin biraz üstünde sabitlendi. Dev gezegen oluşurken çevresinde toplanan gaz ve tozlardan tıpkı güneş bulutsusuna benzeyen, ama ondan çok daha küçük bir disk oluşmuştu. Çok kısa sürede ortaya çıkan Jüpiter, o dönemde bugünkünden çok daha sıcaktı. Bu sıcaklık nedeniyle gezegenin çapı da şimdikinden daha büyüktü. Gezegen soğudukça çapı küçüldü. Bu küçülme hâlâ sürüyor ve Jüpiter'in çapı her yıl yaklaşık 2 cm kadar küçülüyor.

Gaz devi Jüpiter'in oluşumu sırasında ve sonrasında çevresindeki öngezegenlerden bazıları ve küçüklü büyüklü milyonlarca asteroit, onun büyük kütleçekim kuvvetiyle Güneş Sistemi'nin uzak bölgelerine yollanmıştır. Bu sayede iç gezegenlere de çok daha az sayıda asteroit ve kuyrukluyıldız çarpmıştır. Yıkıcı etkisi olan büyük göktaşlarının Dünya'ya daha az çarpmış olmasının yeryüzünde yaşamın hem ortaya çıkmasında hem de geçirdiği evrimin şekillenmesinde büyük bir önemi vardır.

Güneş Sistemi'nin ikinci dev gezegeni Satürn de aslında Jüpiter'inkine benzeyen bir süreçten geçerek oluşmuştur.

Ama Jüpiter'e göre Güneş'ten iki kat daha uzaktır; buz ve kayadan çekirdeğinin oluşması çevredeki hammaddelerin görece azlığı nedeniyle daha yavaş gerçekleşmiştir. Güneş rüzgârı ortaya çıkana ve çevresindeki gazları uzaklaştırana dek, Satürn ancak şimdiki hali kadar büyüyebilmiş, Jüpiter'den oldukça küçük kalmıştır.

Jüpiter ve Satürn oluştuğunda öngüneşe yakın bölgelerdeki kayalık öngezegenler de oluşumlarını, büyümelerini sürdürüyordu. Benzer bir süreç Satürn'ün iki katından daha uzakta yer alan buzdan öngezegenler için de geçerliydi. İleride Uranüs ve Neptün olacak iki öngezegen, yaklaşık Dünya büyüklüğündeydi; buz ve kayadan oluşmuşlardı. Onlar da tıpkı Jüpiter ve Satürn'ün birkaç milyon yıl önce yaptığı gibi, başta hidrojen ve helyum olmak üzere çevredeki gazları kendilerine çekiyordu. Ne var ki sahneye biraz geç çıktıklarından kalan az miktarda gazla yetinmek zorundaydılar. Atmosferleri Jüpiter ve Satürn'ünkinden biraz farklıydı; biraz daha çok su, amonyak ve metan içeriyordu. Bu içerik farkından dolayı renkleri de açık maviydi. Bunların iç bölgelerinde amonyak, metan ve sudan oluşan birer okyanus olduğu düşünülüyor. Ancak bu okyanuslardan gezegenlerin atmosferine geçiş, Dünya'daki gibi keskin bir şekilde değil de aşamalı olmalıdır. Birçok gökbilimci bu özellikleriyle Jüpiter ve Satürn'den farklılaşan Uranüs ve Neptün'ü gaz devi olarak değil de "buz devi" olarak tanımlar.

Sonuçta Jüpiter'in yaklaşık 20'de biri büyüklüğünde iki gezegen ortaya çıktı. Yine de bunlar 15 Dünya kütlesinden daha kütleliydiler. Büyük kütleçekim alanları nedeniyle de, çevrelerindeki küçüklü büyüklü buz ve kayaları ya yuttular ya da Güneş Sistemi'nin dışlarına doğru gönderdiler.

Dört dev gezegenin böyle dış bölgelere gönderdiği küçüklü büyüklü gökcisimleri ile öngezegenler, Güneş Sistemi'nin oluşumu sırasında iki ana bölgede toplanmıştır. Bu bölgelerden ilki Kuiper Kuşağı'dır. Neptün'ün yörüngesinin ötesinde başlayan bu kuşağın cisimleri büyükçe olur ve ekliptik düzlemin çevresindeki dar bir

bantta yoğunlaşmıştır. Bunlara trans-Neptün cisimleri de denir. Kısa periyotlu kuyrukluyıldızlar bunlar arasından çıkar. Bir de çok daha ötelerde daha küçük trilyonlarca göktaşının oluşturduğu küresel bir yapı vardır. Bu göktaşları aslında uzun periyotlu kuyrukluyıldızlardır; içinde bulundukları ve çapı bir ışık yılından daha büyük küre şeklindeki yapıya Oort Bulutu denir.

Dev gezegenler oluşurken onların da çevrelerini kuşatan ve tıpkı güneş bulutsusuna benzeyen ama ondan daha küçük, gaz ve tozdan birer disk oluşmuştu. Zamanla bu disklerin içinde de bazı bölgelerde madde topaklanmaları oldu. Bu topaklar giderek büyüdü. Bunlar dev gezegenlerin çevrelerinde dönen uydulara dönüştü. Gezegenlerin Güneş'in çevresindeki yörüngelerinin tümünün neredeyse aynı düzlemde olması gibi bu uydular da kendi gezegenlerinin çevresindeki disk şeklinde bir bulutsunun içinde oluşan yörüngeleri hep aynı düzlemdeydi ve hepsi de neredeyse kusursuz birer çember şeklindeydi. Bunlar normal (düzgün) oluşmuş uydulardır. Bir de Neptün'ün uydusu Triton gibi sıra dışı uydular vardır. Sıra dışı uydular oluşumlarının bir döneminde gaz devlerinin kütleçekim alanlarına girip onlardan birinin çevresinde yörüngeye oturan öngezegenlerdir. Triton'u dışarda tutarsak, bunların büyük bölümü buz ve kayadan oluşmuş küçük uydulardır.

Devlerin uyduları da, tıpkı devlerin kendileri gibi, aynı zamanda oluşmamıştır. Jüpiter'in Galilei ayları olarak bilinen dört büyük uydusu Io, Europa, Ganymede ve Callisto ilk ortaya çıkan uydulardır. Onların ardından Satürn'ün en büyük 7-8 uydusu, sonra Uranüs'ün en büyük 5 uydusu ve en son da Neptün'ün uyduları oluşmuştur.

Kar hattının ötesinde, gezegen, uydu ve kuyrukluyıldız oluşumları neredeyse tamamlanmak üzereyken, öngüneşe yakın bölgelerde bu süreç bütün hızıyla sürüyordu. Bu bölgede karasal gezegenlerin hammaddesini oluşturan maddeler, gaz devlerini, onların uydularını ve kuyrukluyıldızları oluşturan madde kadar bol değildi. O nedenle Jüpiter ile Satürn'ün oluşumu birkaç milyon yıl, Uranüs

ile Neptün'ün oluşumu da 10 milyon yıl kadar sürmüşse, karasal gezegenlerin oluşumu onlarca milyon yıl, belki 100 milyon yıl kadar sürmüştür.

Güneş Sistemi'nin iç bölgelerinde 100.000 yıl içinde boyutları yüzlerce kilometreyi bulan yüzlerce asteroit oluşmuştu. Bunlardan bir bölümü güneş bulutsusunun öngüneşe en yakın bölgelerinde bir milyon yıl içinde neredeyse Merkür büyüklüğünde kaya ve metalden oluşan birkaç öngezegene dönüştü. Sonraki on milyon yıl içinde, şiddetli çarpışmaların ardından, geriye dört büyük öngezegen (Merkür, Venüs, Dünya ve Mars'ınkiler) kaldı. Bugünkü gezegen kütlelerinin yarısı kadar kütleleri olan bu öngezegenlerin, bugünkü hallerini alması çok uzun sürdü. Hatta Güneş'in bir ana kol yıldızı olarak yaşamına başlamasından sonra bile devam etti.

Kendi çevrelerinde gaz ve tozdan minik birer disk oluşturamadıklarından bu dört gezegenin hiç normal uydusu olamamıştır. Sonunda Venüs ile Dünya hemen hemen aynı boyutlarda iki gezegen olarak ortaya çıkmıştır. Mars onların yalnızca onda biri kadar kütleli olabilmiştir.

Gezegenlerin görece kısa süren oluşumları tamamlandıktan sonra, onları günümüzdeki durumlarına getiren evrim süreçleri başlamıştır. Gezegenlerin evriminin ilk 1,2 milyar yılı biraz şiddet dolu geçmiştir. Bu dönem gökbilimcilerin ağır bombardıman evresi diye adlandırdığı bir dönemdir. Oldukça seyrelmiş olmasına karşın, güneş bulutsusunda hâlâ küçüklü büyüklü çok sayıda asteroit yüksek hızlarla dolanıyordu. Bunlar 1,2 milyar yıl boyunca gezegenlere ve onların uydularına çarpıp durdular. Bu dönemde ne denli şiddetli çarpışmaların yaşandığını görmek için Ay'ın yüzeyine bakmak yeterlidir. Ay'da çapı yüzlerce kilometreyi bulan çok sayıda çarpma krateri vardır. 12 km derinliğinde ve 2500 km çapındaki Aitken Çanağı bütün Güneş Sistemi'ndeki en büyük çarpma kraterlerinden biridir ve kaya ve metalden oluşmuş yaklaşık 200 km çapında bir asteroidin çarpması sonucunda oluşmuştur. Aynı dönemde Dünya'ya bundan çok daha büyük birkaç asteroidin çarptığı tahmin ediliyor. Ama o dönem-

ki çarpma kraterlerinden hiçbirinin izi artık kalmamıştır. Dünya'nın tektonik ve volkanik etkinlikleri, erozyon ve günlenme, ancak 200 dolayında ve görece genç çarpma kraterinin dışında hiçbir kraterden geriye iz bırakmamıştır. Bunların en yaşlısı 2,4 milyar yaşındadır. 30'u dışında hepsi son 500 milyon yıl içinde olmuştur; çapları da 15 m ile 300 km arasında değişir. Ay'da tektonik hareketler ve atmosfer olayları olmadığından (Ay'da atmosfer yoktur) oradaki yüzey şekilleri oluştukları haliyle hiç bozulmadan günümüze kadar gelebilmiştir.

Ağır bombardıman evresinin ilk 600 milyon yılı boyunca, asteroit ve kuyrukluyıldızlarla sürekli dövülen karasal gezegenlerin ve uyduların dış kabukları soğuyup katılaşmakla eriyik durumda kalmak arasında gidip gelmiştir. Hâlâ çok sıcak olan gezegenlerde ve uydularda ağır elementler merkeze doğru akmış (çökmüş), yüzeye yakın bölgelerde ve yüzeyde hafif elementler ve bileşikler kalmıştır. Bombardımanın ilk başlarında çok yoğun ve şiddetli yaşanan çarpışmalar zamanla seyrekleşmiş ve 3,3 milyar yıl önce sona ermiştir. Kuşkusuz bu tarihten sonra da gezegenlere ve uydulara birçok asteroit ve kuyrukluyıldız çarpmıştır; ama bunlar hem sayıca çok azdır, hem de kütleleri çok küçüktür.

Bombardıman evresinin çarpışmaların seyrekleştiği son birkaç yüz milyon yıllık döneminde, karasal gezegenlerde ilk atmosferler oluşmaya başlamıştır. Gaz devleri, zaten oluşumları sırasında disk şeklindeki güneş bulutsusunun içinde ilerlerken, topladıkları hidrojen ve helyum ile atmosferlerini oluşturmuşlardır. Bunlar bugüne kadar pek değişmeden gelmiştir. Aslında küçük karasal gezegenler de, zayıf kütleçekim kuvvetleriyle güneş bulutsusundan hidrojen ve helyum toplayarak, cılız birer atmosfer oluşturmuştur. Ne var ki zayıf kütleçekim kuvvetleri, güneş rüzgârının sürekli aşındırıcı etkisi karşısında bu cılız atmosferleri tutmayı becerememiştir. İlk birkaç yüz milyon yıldan sonra bombardımanın şiddetinin giderek azalmaya başlamasıyla karasal gezegenler de soğumaya başlamıştır.

Soğuma evrelerinde karasal gezegenlerde ikinci atmos-

ferler ortaya çıkmıştır. Gezegenlerin iç bölgelerindeki gazların, volkanik etkinliklerle yüzeye çıkmasıyla oluşan bu yeni atmosferler karbonmonoksit, karbondioksit, azot ve su buharı açısından zengindi; az miktarda başka gazları da içeriyorlardı. Bombardıman sırasında çarpan kuyrukluyıldız ve asteroitler bol miktarda su getirmişlerdi. Bu ikinci atmosferler de varlıklarını birkaç yüz milyon yıl sürdürebildi. Zamanla bütün karasal gezegenlerin atmosferleri değişti. Merkür ve Ay kütleçekim kuvvetinin azlığından dolayı atmosferlerini tutamadılar ve uzaya kaçmalarını engelleyemediler. Venüs'ün atmosferi güçlü sera etkisi nedeniyle Dünya'nın atmosferinden 100 kat daha yoğun hale geldi; Mars'ın atmosferi de Dünya'nınkinin yüzde biri yoğunluğa düştü.

Dev gaz ve toz bulutunun çökmeye başlamasının üzerinden yaklaşık 40 milyon yıl geçtikten sonra Güneş ışımaya başlamış; 100 milyon yıl geçtikten sonra bütün gezegenler ve normal uydular oluşmuş; 1,3 milyar yıl geçtikten sonra da, gezegenlerin ve bazı uyduların atmosferleri de -bazıları hariç- son hallerini almaya başlamıştı. Bugünkü Güneş Sistemi ile karşılaştırıldığında, eksik kalanlar dev gezegenlerin halkaları ile bazı gezegenlerin sıra dışı uydularıydı.

Kuşkusuz en iyi bilinen halka sistemi Satürn'ünkidir. Hatta öteki gaz devlerinin de halkası olduğu genellikle bilinmez. Halkalar, bir gezegenin çevresinde, kendi yörüngesinde dönen iri kaya parçalarından küçük taşlara kadar değişik boyutlarda buzdan trilyonlarca göktaşının (döküntünün) oluşturduğu yapılardır. Gezegenlerin büyüklüğüyle karşılaştırıldığında, halkaların kalınlığı 40 katlı bir binanın yanında ancak bir kâğıdın kalınlığı kadar kalır. Dev gezegenlerin hepsinin halka sistemi vardır. Ne var ki bunların hepsi de çap, parlaklık, genişlik ve içerikleri açısından farklıdır. Halkaların büyük bölümü kendi gezegenlerinin "Roche sınırı" içinde yer alır. Bu sınır, bir gezegenin kütleçekiminin, yakınlardaki büyükçe bir asteroidi bir bütün olarak tutan kendi kütleçekimini yendiği, asteroidin gezegene yakın tarafına

uygulanan kütleçekim kuvvetinin uzak tarafına uygulanandan büyük olması nedeniyle onu parçaladığı uzaklıktır. Bir başka deyişle bu halkaların içeriğini, yanlış zamanda yanlış yerde dolaşan uyduların, asteroitlerin ve kuyrukluyıldızların parçalanmış döküntüleri oluşturur. Ancak bu halkaların ne zaman oluştuğu hâlâ tam olarak bilinememektedir.

13 | Gezegenlerin temel özellikleri nelerdir?

Gezegenlerin hepsi Güneş'in çevresindeki kendi yörüngesinde döner. Bu yörüngeleri, Güneş'in baskın kütleçekim alanıyla birlikte öteki gezegenlerin az etkili kütleçekim alanları birlikte belirler. Yörüngeleri ve gezegenlerin hareketlerini matematiksel olarak doğru bir şekilde ilk açıklayan kişi Johannes Kepler olmuştur. Kepler gezegenlerin yörünge hareketlerini gösteren ve kendi adıyla anılan üç yasa bulmuştur:

1) Gezegenler Güneş'in çevresinde elips şeklinde yörüngelerde döner. Güneş, bu elipslerin odaklarından birinde yer alır.

2) Bir gezegeni Güneş'e bağlayan varsayımsal bir doğru, gezegen yörüngesi boyunca ilerlerken eşit zaman aralıklarında eşit miktarda alanı tarar. Bir başka deyişle gezegenlerin hızı Güneş'e yaklaştıkça artar, uzaklaştıkça azalır.

3) Bir gezegenin Güneş'in çevresindeki dönüş periyodunun (Dünya'nınki bir yıldır) karesi ile Güneş'e uzaklığının kübü orantılıdır.

Kepler'in yasalarının tümü yalnızca gözlemlere, temel olarak da yıllarca asistanlığını yaptığı Tycho Brahe'nin eşsiz gözlemlerine dayanıyordu. Kepler bir matematikçi ve gökbilimciydi; gezegenlerin yörünge hareketlerine yol açan fiziksel nedenler hakkında hiçbir fikri yoktu. Gezegenlerin neden bu yörüngelerde döndüğünü açıklayan

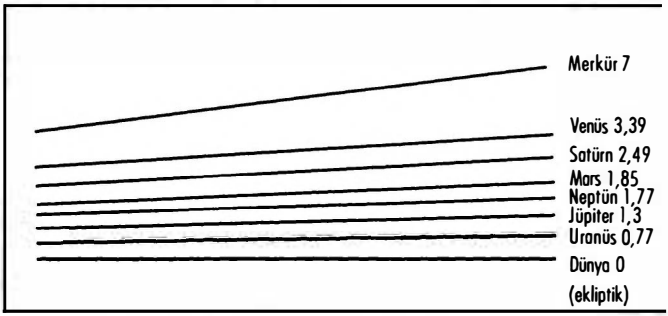
kişi Isaac Newton olmuştur. Ağaçtan yere düşen bir elmayla Ay'ı Dünya'nın çevresindeki yörüngede tutan kuvvetin aslında aynı olduğu düşüncesinden yola çıkan Newton, Evren'deki temel kuvvetlerden biri olan kütleçekim kuvvetini açıklayan ünlü yasayı bulmuştur.

Gezegen yörüngeleri basık birer elips değil de çembere yakın elipslerdir. Bu elips yörüngelerin basıklıkları birbirinden farklıdır. Venüs'ün yörüngesi neredeyse kusursuz bir çembere yakındır. Ama Güneş'e ondan daha yakın Merkür basıkça bir elips yörüngede ilerler.

Gezegenlerin Güneş'in çevresinde döndükleri yörüngeler aynı düzlem üzerinde değildir; bunların çok az da olsa birbirleriyle açı farkı vardır. Aslında bu açı farkları çok küçüktür ve neredeyse hepsi de aynı düzlemde dönüyor denebilir. Dünya'nın Güneş'in çevresinde döndüğü yörünge düzlemi -ki buna ekliptik düzlem ya da kısaca ekliptik denir- temel alınırsa, Merkür dışındaki gezegenlerin düzlemlerinin 3,5°lik bir bantta yer aldığı görülür. Dünya'nınkine en yakın yörünge düzlemi ondan yalnızca 0,75° farklı bir düzlemde dönen Uranüs'ünkidir; açısal olarak ekliptiğe en uzak yörünge düzlemi de 7° ile Merkür'ünkidir.

Bütün gezegenler aynı zamanda kendi eksenlerinde de döner. Bu dönüşleri de tıpkı Güneş'in çevresindeki ilerleyişleri gibi yine, Güneş Sistemi'ne yukarıdan bakıldığında saatin tersi yöndedir. Bu kuralı Venüs ile Uranüs bozar. Venüs, ekseninde öteki gezegenlerin tam tersi yönde döner; ki bu durumun açıklanması gökbilimcileri biraz zora sokar. Uranüs'ün ekseni de ekliptiğe neredeyse paraleldir; kuzey kutbu Güneş'e dönük bir biçimde, yani öteki gezegenlerin eksen dönüş yönlerine dik açıyla döner. Dev gezegenlerin kendi eksenlerindeki dönüşleri, karasal gezegenlere göre çok daha hızlıdır.

Eksen dönüşünün gezegenler üzerindeki temel etkisi, onları, ekvator bölgelerini şişkinleştirerek, küre şeklinden uzaklaştırmasıdır. Şişkinliğin miktarı gezegenin kendi eksenindeki dönüş hızına olduğu kadar, gezegeni oluşturan maddelerin sağlamlığına ve dayanıklılığına da bağlıdır. Ekvator bölgesindeki şişkinlik bütün gezegenler-



Gezegen düzlemlerinin ekliptik düzlemle yaptığı açılar.

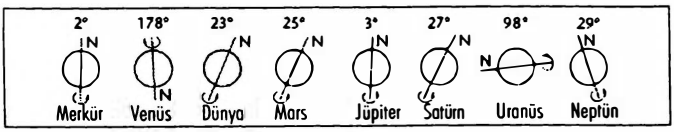
de görülür. Ama en belirgin olarak Satürn'de gözlenir. Bu dev gezegen kendi eksenindeki bir turunu yalnızca 10,5 saatte tamamlar. Dünya'nın geoid şeklinde olmasının temel nedeni de yine eksenindeki dönüşüdür.

Ay'ın Dünya'nın geoid şekli üzerindeki kütleçekim etkisi Dünya'nın ekseninin 26.000 yıllık bir periyotla dairesel bir salınım yapmasına (presesyon) yol açar. Bir başka deyişle yeryüzünden bakıldığında Kutup Yıldızı (Polaris) her zaman kuzeyi göstermemiştir ve göstermeyecektir. İklimbilimciler bu salınımın yeryüzündeki uzun dönemli iklim değişimlerinin nedenlerinden biri olabileceğini düşünmektedir.

Gezegenlerin eksenleri Güneş çevresinde döndükleri düzlemlere dik değildir. Örneğin Dünya'nın ekseninin ekliptik düzleme dik olan doğruyla 23,5°lik bir açı farkı vardır. Bu durum bütün gezegenler için geçerlidir; hepsinin ekseni de az ya da çok eğiktir. Gezegenlerde iklimlerin olmasının temel nedeni eksenlerdeki bu eğikliktir.

1960'lı yıllardan beri giderek artan uzay araçlı Güneş Sistemi araştırmaları sayesinde, gezegenlere ilişkin bilgilerimiz çok artmıştır. Öyle ki Güneş Sistemi'ndeki cisimler birer gökbilim nesnesi olmaktan çıkmış, jeofiziksel nesnelere dönüşmüşlerdir. Artık onların da birçok fiziksel özelliği, gözlemlere dayanan jeofiziksel yöntemlerle incelenmektedir.

Bir gezegen kendi kütleçekim kuvvetinin etkisi altındaki bir gökcismidir. Bir başka deyişle gezegenin kendi kütle-

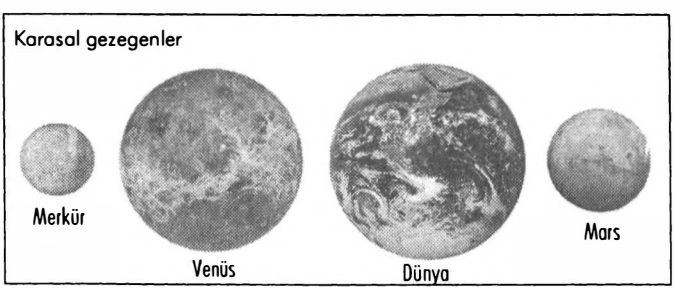


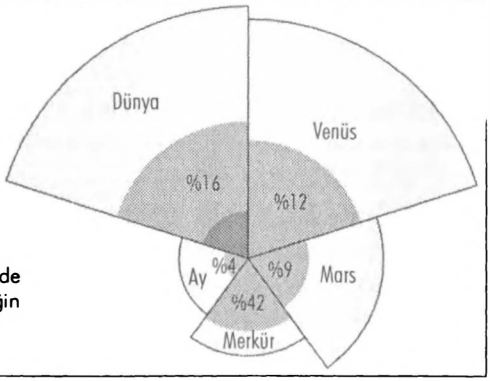
Gezegenlerin eksen doğrultuları birbirlerinden farklıdır. Kuşkusuz en garip olanlar Venüs ve Uranüs'ünkidir.

sinden kaynaklanan kütleçekim kuvveti onu içe doğru çökertmeye çalışır. Ama bu çökmeye karşı koyan, gezegenin dönmesinden, atomların dayanıklılığına ve iç enerjilerine kadar birtakım başka kuvvetler vardır. Gezegen bu kuvvetlerin dengelendiği büyüklükteki bir gökcismidir. Buna hidrostatik denge denir ve gezegenlerin küre (ya da küreye benzer) şekillerinin nedeni bu hidrostatik dengedir. Karasal gezegenlerin yüzeylerindeki (kabuklarındaki) en alçak bölgelerle en yüksek noktalar arasındaki 10-15 km'lik yükseklik farkı (Dünya için Pasifik'teki Mariana Hendeği ile Everest Tepesi arasındaki ~20 km) gezegenlerin büyüklüklerinin yanında ihmal edilebilecek kadar küçük kalır ve gezegenlerin küresel olmadıklarını göstermez.

Karasal gezegenlerin iç yapısı sismik dalgalarla incelenir. Bir gezegenin yüzeyine yerleştirilen duyarlı sismometrelerle o gezegenin iç yapısı hakkında önemli bilgiler (iç tabakaların sınırları, o tabakalardaki maddenin katı ya da sıvı halde bulunuşu vs.) elde edilir. Kuşkusuz hakkında en çok şey bilinen gezegen Dünya'dır. Ama Ay'daki, Venüs'teki ve Mars'taki depremler de kaydedilmiştir.

Karasal gezegenlerin içlerinde birer demir-nikel çekirdek bulunur. Gezegenler arasında göreli olarak en büyük demir-nikel çekirdek Merkür'ünkidir; en küçük





Karasal gezegenlerde -ve Ay'da- çekirdeğin gezegen hacmine oranı.

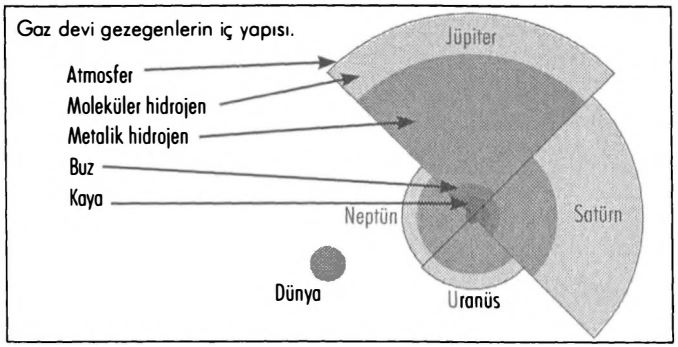
de Mars'ınkidir. Dünya'nın çekirdeği iç çekirdek ve dış çekirdek olarak iki bölümden oluşur. Dış çekirdek sıvı haldedir. İç çekirdekse katıdır. Karasal gezegenlerin ortalama yoğunlukları 3,5-5,5 g/cm^3 arasındadır.

Dev gezegenlerin iç yapısı sismik dalgalarla incelenemez; çünkü onların katı bir yüzeyi yoktur. Onun yerine çevrelerinde dolanan bir uydunun ya da uzay aracının izlediği yörüngeye bakılır ve buradan kütleçekim alanına ilişkin bilgi edinilir. Bu da gezegenin iç yapısına ilişkin bir görüş verir.

Hacimlerinin büyük bölümünü hidrojen ve helyum oluşturduğundan, dev gezegenlerin ortalama yoğunlukları oldukça düşüktür. Örneğin Satürn'ün ortalama yoğunluğu 0,7 g/cm^3'tür (Eğer su dolu dev bir kabın içine konabilseydi, Satürn batmaz, yüzerdi).

Bu dev gezegenlerin merkezlerinde, silisyum bileşiklerinden (kaya) oluşan birkaç Dünya büyüklüğünde birer çekirdek vardır. Bu çekirdek metalik hidrojen tabakasıyla kuşatılmıştır. Aşırı basınçtan dolayı hidrojen normal H_2 şeklindeki molekül yapısında değildir; atomlarına ayrılmıştır. Bu haliyle hidrojen, elektriksel olarak iletkendir. Dev gezegenlerin manyetik alanlarının kaynağının bu metalik hidrojen tabakası olduğu düşünülmektedir.

Uranüs ve Neptün'ün iç basınçları düşük olduğundan onlarda metalik hidrojen tabakası olmayabilir. Onun yerine çekirdeği buzlardan (su, metan, amonyak buzları karışımı) oluşan bir tabaka sarar.



Devlerin en üst katmanı, birkaç yüz kilometre kalınlığındaki atmosferleridir.

Gezegenlerin iç sıcaklıkları, yüzey sıcaklıklarından çok daha yüksektir. Örneğin Dünya'nın çekirdeğindeki sıcaklık 4700°C, Jüpiter'in çekirdeğindeki sıcaklık da 30.000°C kadardır. Bu ısının bir bölümü gezegenlerin oluşumlarından kalmadır. Büyük bölümü de radyoaktif elementlerin bozunması sırasında ortaya çıkar.

Gezegenlerin yüzeylerini birkaç jeolojik süreç şekillendirir. Bunlar kıta kayma hareketleri, volkanik etkinlikler, asteroit çarpmaları ve iklimdir. Gezegen yüzeylerinin yaşı bu süreçlere göre değişir. Kıta kayma hareketlerinin hâlâ sürdüğü tek gezegen Dünya'dır. Öteki karasal gezegenlerde bu hareketler ya hiç başlamamıştır ya da bir süre önce sona ermiştir. Volkanik etkinlikler günümüzde Dünya yüzeyinin şekillenmesinde ikincil önemdedir. Ancak geçmişte çok daha önemli bir rolü vardı. Günümüzde Jüpiter'in uydusu Io'da, şiddetli yanardağ patlamaları, uydunun yüzeyini sürekli değiştirmektedir. Ay'ın tersine Mars ve Venüs'te yanardağlar vardır.

Asteroitler karasal gezegenleri sürekli bombardıman eder. Ama bunun da sıklığı zaman içinde iyice azalmıştır. Giderek de azalmaktadır. Bu bombardımanın en güzel örneklerine Ay'ın ve Merkür'ün yüzeylerinde rastlanır. Dünya'nın yüzeyinde görülebilen çok az sayıda çarpma krateri vardır. Çünkü atmosferindeki hava olaylarının yol açtığı erozyon onları birkaç milyon yıl gibi jeolojik açıdan

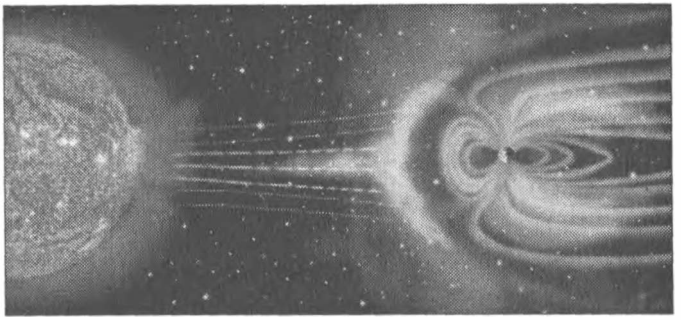
çok kısa zaman dilimlerinde ortadan kaldırır.

Aynı durum Venüs için de geçerlidir. Hatta Venüs'ün atmosferi öyle kalın ve yoğundur ki, çapı 50 m'nin altında olan göktaşları daha yüzeye ulaşamadan buharlaşır. O nedenle Venüs'teki en küçük çarpma kraterlerinin çapı 1,5 km dolayındadır. Daha küçük krater bulunmaz. Mars'ın atmosferi çok incedir. Ama Kızıl Gezegen'in yüzeyini de sık sık ortaya çıkan çok güçlü ve zaman zaman da bütün gezegeni kaplayan fırtınalar şekillendirir. Merkür dışında bütün gezegenlerin atmosferi vardır. Atmosferin içeriği, yoğunluğu ve yapısı gezegenden gezegene değişir.

Gezegenlerin çoğunda bulunan önemli bir özellik de gezegenin yapısından kaynaklanan bir manyetik alanın olmasıdır. Gezegenlerin manyetik alanları Güneş'in manyetik alanıyla sürekli etkileşim içindedir. Ancak gezegenler Güneş'ten çok uzaktır ve Güneş'in manyetik alanının gezegenlerin manyetik alanları üzerindeki etkisi önemsiz kalır. Ne var ki Güneş, gezegenlerin manyetik alanlarını asıl güneş rüzgârıyla etkiler. Uzay araçlarının gezegenlere hem yakın hem de uzak bölgelerde yaptığı manyetik alan ve güneş rüzgârı ölçümleri sayesinde, gezegenlerin manyetik alanlarına ilişkin ayrıntılı bir resim oluşmuştur.

Gezegenlerin manyetik alanları ancak gezegenden kısa bir mesafe öteye kadar etkilidir ve şeklini korur. Sonra güneş rüzgârının etkisiyle bu manyetik alanın şekli bozulur. Şekli, yan yatmış bir gözyaşı damlasını andıran bu alana manyetosfer denir. Bir gezegenin en dış sınırını o gezegenin manyetosferi oluşturur. Büyüklüğü ve şekli, gezegenin manyetik alanına ve güneş rüzgârına bağlıdır. Güneş rüzgârının Dünya dolaylarındaki hızı 400 km/s kadar ve yoğunluğu da yaklaşık 10 parçacık/cm^3'tür. Ama bu iki nicelik de Güneş'in etkinlik durumuna göre zaman içinde değişir.

Gezegenlerin manyetik alanlarının şiddeti çok değişiktir. Hatta bazılarının manyetik alanları yoktur. Ayrıca gezegenlerin eksenlerine göre manyetik alanın konumlanışı da farklıdır. Satürn'ün dönme ekseni manyetik ekseniyle çakışır, yani coğrafi kutuplarıyla manyetik kutupları üst üstedir. Dünya ile Jüpiter'de iki eksen arasında 10 derece



Dünya'nın manyetosferi Güneş'ten sürekli gelen güneş rüzgârına karşı etkili bir koruma sağlar.

kadar bir fark bulunur. Uranüs ile Neptün'deyse bu açı farkı 50 dereceye kadar çıkar.

Jüpiter'in bir manyetik alanını olduğu 1956'da -Dünya'nınki de 1958'de- fark edilmiştir. Jüpiter'in çevresinde güneş rüzgârı, Dünya çevresindekinin ancak yüzde 4'ü kadar etkilidir. Jüpiter'in kutuplarında da auroraların oluştuğu gözlenmiştir. Satürn'ün manyetik alanıysa 1979'da Pioneer 11'in ölçümleri sayesinde keşfedilmiştir. Hubble Uzay Teleskopu sayesinde de kutuplarındaki auroralar gözlenebilmiştir. Uranüs ile Neptün'ün manyetosferleri Voyager 2'nin ölçümleriyle ortaya çıkmıştır. Bu uzaklıkta güneş rüzgârının çok hafifleyen etkisi nedeniyle dev gezegenlerin kendi manyetik alanlarının manyetosferleri üzerinde daha büyük bir etkisi vardır.

Güneş Sistemi yıldızlar arası uzayda (gökadanın merkezinin çevresindeki yörüngesinde) bir bütün olarak ilerlerken, zayıf da olsa bir manyetik alanın etkisinde kalır. Güneş'in manyetik alanı ve güneş rüzgârı bu zayıf manyetik alanın etkisini daha da zayıflatır.

Ay gibi ne koruyucu bir atmosferi ne de bir manyetik alanı olan cisimlerin yüzeyleri güneş rüzgârının yıpratıcı etkisine açıktır. Öte yandan gezegenlerin büyük bölümünün hem atmosferi hem de manyetik alanı vardır.

Bir gezegenin yüzeyinin ortalama sıcaklığını belirleyen iki temel etmen vardır. Bunlardan birincisi, gezegenin Güneş'e olan uzaklığıdır. Yörüngesi Güneş'ten uzak

olan gezegenlerin ortalama yüzey sıcaklığı da düşük olur. İkinci etmen de gezegenlerin atmosferinin içeriğidir; çünkü Güneş'ten ışınlarla gelen ısının ne kadarının gezegen yüzeyinde tutulacağını atmosferin içeriği belirler. Örneğin Merkür'ün yörüngesi, Güneş'e Venüs'ünkinden daha yakındır. Bu durumda ortalama yüzey sıcaklığının daha yüksek olması beklenir. Ne var ki Merkür'ün yok denecek kadar ince bir atmosferi varken Venüs'ün çok yoğun bir atmosferi vardır. Bu yoğun atmosferin yarattığı sera etkisi nedeniyle Venüs'ün ortalama sıcaklığı 470 derecenin üstündedir. Bu yüzey sıcaklığıyla Venüs, Güneş Sistemi'nde yüzeyi en sıcak gezegendir.

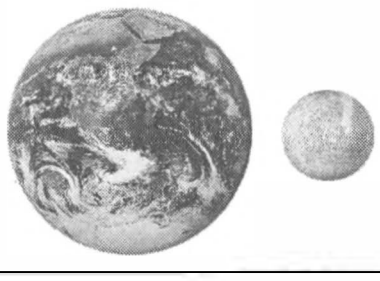
Merkür ve Venüs'ün dışında bütün gezegenlerin uyduları vardır. Geriye kalan karasal gezegenlerden Dünya'nın bir (Ay) ve Mars'ın da iki uydusu (Fobos ile Deimos) bulunur. Dev gezegenlerinse çok sayıda uydusu vardır. Bu dört gezegenin bugüne değin toplam 140 dolayında uydusu keşfedilmiştir. Gezegenlerin çevresinde dönen bütün uydular da doğal olarak gezegenlerle aynı hareket yasalarına göre kendi yörüngelerinde dönerler. Güneş Sistemi'ndeki büyük uydularla küçük uyduların büyük bölümünün kendi yörüngelerindeki ilerleyişi, gezegenlerin Güneş çevresindeki ilerleyişiyle aynı yöndedir. Bunlar normal uydulardır. Tıpkı Ay'ın Dünya'nın çevresindeki dönüşünde olduğu gibi, büyük uyduların çoğu, gezegeninin çevresinde bir turunu tamamlarken, aynı zamanda kendi ekseninde de bir tur döner. Bir başka deyişle gezegenlerinden bakıldığında bu uyduların hep aynı yüzü görünür.

Gaz devi gezegenlerinin ortak bir özelliği çevrelerinde birer halka sisteminin olmasıdır. Satürn'ün çevresindeki halkalar Galilei'den bu yana biliniyor; gerçi Galilei büyütme gücü düşük teleskobuyla onların halka sistemi olduğunu fark edememişti. Onların küçük göktaşlarının oluşturduğu halkalar olduğunu 1659'da Christiaan Huygens açıkladı. Yüzlerce yıl boyunca halka sistemlerinin yalnızca Satürn'e özgü olduğu sanıldı. Ama güçlü teleskoplar ve gönderilen uzay araçları sayesinde zamanla dört dev gezegenin de halkaları olduğu anlaşıldı.

14 | Merkür nasıl bir gezegendir?

Merkür, Güneş Sistemi'ndeki sekiz gezegenin en küçüğüdür. Antik Dönem'den beri bilinen beş gezegenden en az dikkat çekenidir. İlk kez MÖ 3000'li yıllarda Sümerlerce gözlenmiş ve MÖ 1400'lü yıllarda da Asurlu gökbilimcilerce kayıtları tutulmaya başlanmıştır. Güneş'e ortalama 58 milyon kilometre uzaklıktaki yörüngesiyle ona en yakın gezegendir. Güneş'e bu denli yakın olduğu için Dünya'dan ancak sabahları gün doğumundan hemen önce doğu ufkunda ve akşamları gün batımından hemen sonra batı ufkunda görülebilir. Yaklaşık bir saatlik bir gözlem penceresi vardır. Gezegen gökyüzünde çok hızlı ilerlediğinden ona Yunan mitolojisinde Tanrıların Habercisi Hermes'in adı verilmiştir. Roma mitolojisinde de Ticaret Tanrısı ve Tanrıların Habercisi olan Mercurius ile özdeşleştirilmiştir.

Merkür'ün yörünge düzlemi Dünya'nın yörünge düzlemiyle (ekliptik düzlem) 7 derecelik bir açı yapar. Gezegenin basık elips şeklinde bir yörüngesi vardır. Güneş'in çevresindeki bir turunu çok hızlı (saniyede 48 km –Dünya'nın dönüş hızının 1,6 katı) ve çok kısa sürede (88 dünya gününde) tamamlar. Gökyüzünde hep ufka çok yakın göründüğünden ona yönelik gözlemler atmosferdeki tozdan ve hava hareketlerinden hep olumsuz etkilenmiştir. Gezegen, ekseninde dönerken yüzeyini gözleyip yüzey şekillerinin ne kadar zaman sonra yeniden aynı noktaya geldiğini izlemek çok zordur. O nedenle



Merkür, Güneş Sistemi'nin en küçük gezegenidir; ama merkezindeki demir çekirdek hiçbir gezegende olmadığı kadar büyüktür.

uzun bir süre Merkür'ün kendi eksenindeki dönüş süresi bilinememiştir. Bazı bilim insanları da tıpkı Ay'ın Dünya çevresindeki dönüşünde olduğu gibi, Merkür'ün de Güneş çevresindeki dönüşünün kendi ekseninde dönüşüyle aynı sürede olduğunu düşünmüştür. Sonunda Doppler etkisinden yararlanılarak yapılan radar ölçümleriyle (gezegenin iki ucuna elektromanyetik dalgalar gönderip yansıyan dalgaların frekanslarındaki değişimlere bakarak) Merkür'ün kendi eksenindeki dönüşünü 58,7 günde tamamladığı anlaşılmıştır. Bu durumda iki Merkür yılında (2 x 88 dünya günü), ancak üç Merkür günü (3 x 58,7 dünya günü) olur. Bundan dolayı Merkür'de arka arkaya iki Güneş doğuşu arasında geçen süre 176 gündür. Bir başka deyişle Merkür'de 88 gün boyunca aydınlık ve sonraki 88 gün boyunca da karanlık olur.

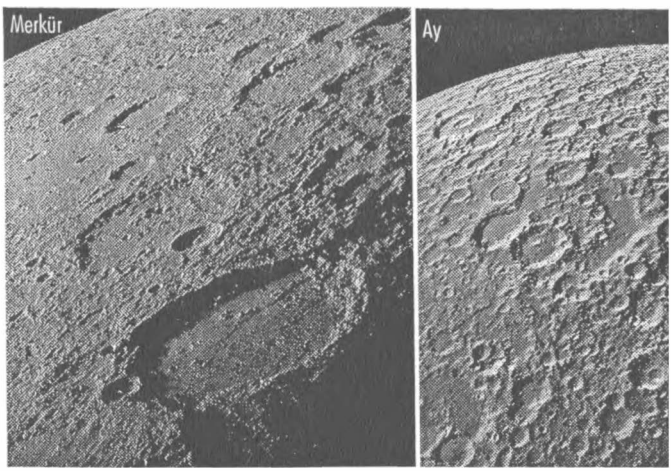
19. yüzyılda Merkür'ün yörüngesine yönelik dikkatli gözlemler yapılmasına karşın gökbilimciler, Newton hareket yasalarıyla onun yörünge hareketlerini bir türlü tam olarak açıklayamamışlardır. Bu nedenle de Güneş ile Merkür arasında bir başka gezegenin olması gerektiği ve onun kütleçekim etkisinin Merkür'ün yörüngesinde sapmalara yol açtığı düşünülmüştür. Hatta bu varsayımsal gezegene Vulkan adı verilmiştir. Halbuki ne Vulkan diye bir gezegen vardı ne de Merkür'ün hareketinde sıra dışı bir durum. Ortadaki sorun Newton yasalarının Merkür'ün yörünge hareketini açıklamada yetersiz kalışıydı. Bu durum Einstein'ın genel görelilik kuramıyla açıklığa kavuştu. Genel göreliliğe göre Merkür'ün yörüngesini, Güneş'in yakın çevresindeki uzay-zamanı eğişi belirliyordu. Bu kuramın formülleriyle 1915'te Merkür'ün yörüngesi doğru olarak öngörülebildi.

Merkür jeolojik açıdan çok uzun zamandır ölü bir gezegendir. Kabuğu kayalardan oluşan bu küçük gezegenin yüzeyi, Ay'ın yüzeyine çok benzer; dağlar, düzlükler vardır ve küçüklü büyüklü birçok kraterle kaplıdır. Gökbilimciler Merkür'ün yüzeyindeki büyük kraterlere Homer, Dickens, Renoir, Michelangelo, Bach gibi ünlü yazar, ressam ve müzisyenlerin adlarını vermiştir. Bu kraterlerden

Carolis, büyüklüğüyle dikkat çeker; çapı 1350 km'dir. Carolis, Güneş Sistemi'nde gerçekleşmiş en şiddetli çarpışmalardan birinin sonucunda (100 km çaplı bir göktaşının çarpmasıyla), yaklaşık dört milyar yıl önce oluşmuştur. Son bir milyar yılda gezegene göktaşı çarpma sıklığı çok azalmıştır. Bunun yanında Merkür'ün volkanik etkinlikleri de durmuştur. Dolayısıyla gezegenin yüzeyi neredeyse hiç değişmeden kalmıştır.

Merkür'ün çapı 4880 km'dir. Bu haliyle Ay'dan biraz daha büyük, Jüpiter'in uydusu Ganymede ve Satürn'ün uydusu Titan'dan da biraz daha küçüktür. 5,42 g/cm^3 yoğunluğuyla Merkür, Dünya'dan sonra yoğunluğu en büyük ikinci gezegendir. Hacmi küçük olan bu gezegenin kütlesinin alışılmadık büyüklüğü, merkezindeki 3600 km çaplı, büyük demir çekirdekten kaynaklanır. Öte yandan Merkür'ün yüzeyine yönelik gözlemlerde hiç demire rastlanamamıştır. Yüzeyinde hiç demir bulunmayan bir gezegenin nasıl büyük bir demir çekirdeğinin olduğu hâlâ tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Küçük ama kütleli bir gezegen olan Merkür'ün kütleçekim ivmesi, yerçekimi ivmesinin 0,37'si kadardır (Mars'ınkiyle aynıdır). Yani Dünya'da 80 kg gelen biri, Merkür'de 29,6 kg gelir.

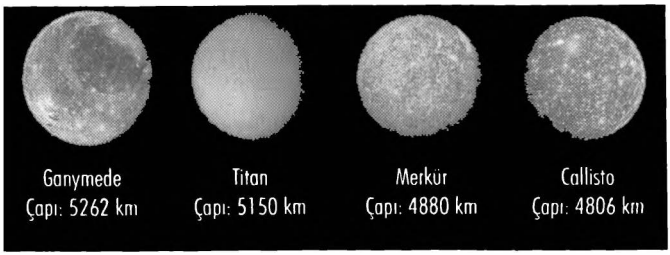
Merkür'ün yüzeyi de tıpkı Ay'ın yüzeyi gibi çarpma kraterleriyle doludur.



Bir gökcisminin atmosfer tutabilmesi iki etmene bağlıdır: sıcaklığa ve kaçış hızına (yani kütlesine). Merkür hem çok sıcaktır, hem de küçük gezegenin kütleçekim kuvveti yeterince güçlü değildir. Kısacası gezegenin, kalınca bir atmosferi sürekli olarak tutabilecek özelliği yoktur. Sıcak gaz molekülleri, kaçış hızı düşük Merkür'den kolayca uzaya kaçmıştır. Yine de gezegenin çok çok ince ve kararsız bir atmosferi vardır. Merkür'ün yüzeyindeki atmosfer basıncı Dünya'da deniz düzeyindeki basıncın ancak trilyonda biri kadardır ($\sim 10^{-9}$ milibar). Bu haliyle aslında "Merkür'ün atmosferi yoktur" demek daha doğru olur. Bu nedenle orada gökyüzü gündüzleri bile siyah görünür. Yakınlık nedeniyle Güneş de gökyüzünde Dünya'dan göründüğünden 2,5 kat daha büyük durur.

Hiç doğal uydusu bulunmayan gezegenin ekseni Dünya'nınki gibi eğik değildir, ekliptik düzleme diktir. Bunun sonucunda gezegende mevsimsel değişimler olmaz. Doğa koşulları çok serttir. Sıcaklık gezegenin aydınlık yanında 430 dereceye kadar yükselirken, karanlık yanında -170 dereceye kadar düşer. Atmosferi yok denecek kadar ince olduğundan, atmosferin sıcaklık üzerinde düzenleyici bir etkisi, ısıyı gezegene yayacak atmosfer hareketleri de yoktur. Güneş Sistemi'nde gece ile gündüz arasındaki en yüksek sıcaklık farkı Merkür'de olur.

Oldukça küçük bir gezegen olmasına karşın, Merkür'ün şaşırtıcı bir şekilde sabit ve kararlı bir manyetik alanı vardır. Bu manyetik alan, tıpkı Dünya'da olduğu gibi iki kutupludur. Ne var ki Dünya'dakinden farklı olarak Merkür'ün manyetik kutupları, coğrafi kutuplarıyla neredeyse örtüşür. Aslında Merkür'ün manyetik alanı, güneş rüzgârını çoğu zaman engelleyecek bir manyetosfer şeklindedir. Bu şekliyle de Dünya'nın manyetosferinin küçük bir kopyası gibidir. Ancak Dünya'nın manyetosferinin yüzde 1'i kadar güçlüdür. Merkür'ün manyetosferinin de tıpkı Dünya'nınki gibi dinamo etkisinden kaynaklandığı tahmin ediliyor (Dinamo etkisi, bir gezegenin demir açısından zengin, sıvı haldeki çekirdeğinin dönüşüyle oluşur).



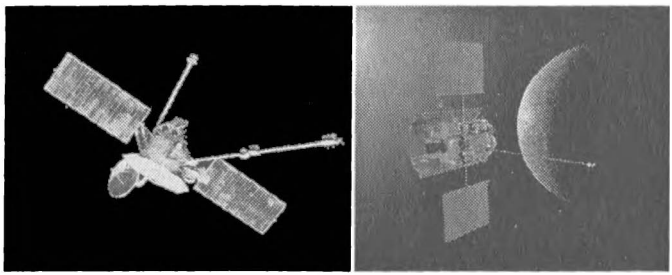
Güneş Sistemi'ndeki belli başlı büyük uydularla, Merkür'ün büyüklük olarak kıyaslanması

Oksijenin yokluğu ve aşırı sıcak oluşu nedeniyle, Merkür bitki ve hayvanların yaşaması için uygun bir yer değildir. Aslında bilim insanları Merkür'ün çetin koşullarında yalnızca bitki ya da hayvanların değil, herhangi bir yaşam biçiminin var olamayacağını düşünüyor.

Uzay araştırmaları başlayana kadar Merkür hakkında neredeyse hiçbir şey bilinmiyordu. Aslında onunla ilgili bilgilerimiz hâlâ çok azdır. Bunda gezegenin hem küçük, hem de Güneş'e yakın oluşunun etkisi vardır. Dünya'ya en yakın olduğu dönemlerde karanlık yüzü bize dönüktür. Dolun olduğundaysa Güneş'in arkasında kalır. Merkür'e yönelik teleskoplu ilk gözlemleri 1600'lü yılların başında Galiei yapmıştır. Ama onun teleskopu Merkür'ün evreleri olduğunu gösteremeyecek denli güçsüzdü. Teleskoplar giderek güçlendi ama Merkür'ü gözlemek hiç kolaylaşmadı. 18. yüzyılın sonlarına doğru, ünlü gökbilimci William Herschel sistemli olarak Merkür'ü gözledi ama pek de başarılı sonuçlar elde edemedi. Ondan sonra birkaç başarısız girişim daha oldu.

1962'de Sovyet bilim insanları ilk kez Merkür'e radar sinyalleri gönderdi ve yansıyan sinyalleri toplamayı başardı. Böylece Merkür'e yönelik radarlı gözlemler başladı. Bu gözlemlerin sonucunda, tıpkı Ay'da olduğu gibi, Merkür'ün de kutup bölgelerinde, sürekli karanlık olan bazı kraterlerde buz bulunabileceği fark edildi. Bu olası suyun kaynağı olarak da gezegene çarpan kuyrukluyıdızlar ileri sürüldü.

Merkür hakkındaki bilgilerimizin asıl kaynağı Amerikan Havacılık ve Uzay Dairesi'nin (NASA), yaklaşık 40



Merkür ile ilgili en değerli bilgiler 20. yüzyılın ikinci yarısında başlayan uzay araçlı gezegen araştırmalarıyla elde edilmiştir.

yıl önce, 1973'te Venüs ve Merkür'ü incelemek amacıyla fırlattığı Mariner 10 adlı uzay aracıdır. Mariner 10'un, gönderdiği 2000 dolayında fotoğraf sayesinde, Merkür'ün yüzeyinin ancak yüzde 45'inin haritası çıkartılabilmiştir. 1990'da Dünya yörüngesine yerleştirilen Hubble Uzay Teleskopu, Merkür'e yönelik merakımızı giderebilecek kadar güçlüydü. Ne var ki Merkür'ün Güneş'e çok yakın oluşu Hubble'daki duyarlı aygıtların Merkür gözlemi sırasında hasar görebileceğini düşündürdü. O nedenle Merkür, Hubble ile de gözlenemedi. Neyse ki NASA'nın Ağustos 2003'te Merkür'ü incelemek amacıyla fırlattığı MESSENGER adlı uzay aracından da ilk veriler gelmeye başladı. MESSENGER, Ocak 2008'de Merkür'ün 200 km yakınından geçerken daha önce hiç görülmemiş güney kutup bölgesinin fotoğraflarını çekti. Bu gezegenle ilgili asıl veri akışı, uzay aracı Mart 2011'de Merkür'ün çevresinde bir yörüngeye oturduğunda başladı.

Merkür'ün bilim insanları açısından önemi Dünya, Venüs ve Mars'ın oluştuğu süreçte ortaya çıkmış bir başka karasal gezegen olmasından kaynaklanır. Ortak yaşanmış bu sürecin sonunda Merkür'ün neden böyle yoğun bir gezegen olduğunu, Mars ve Venüs manyetik alanlarını yitirmişken Merkür'ün neden hâlâ bir manyetosferinin kaldığını, aşırı ince de olsa atmosferinin sürekli kendini nasıl yenilediğini ve Merkür'le ilgili başka gizemli konuları açıklığa kavuşturmak, onları çözmek, gezegen oluşum süreçleri konusundaki bilgileri zenginleştirmesi açısından çok değerlidir.

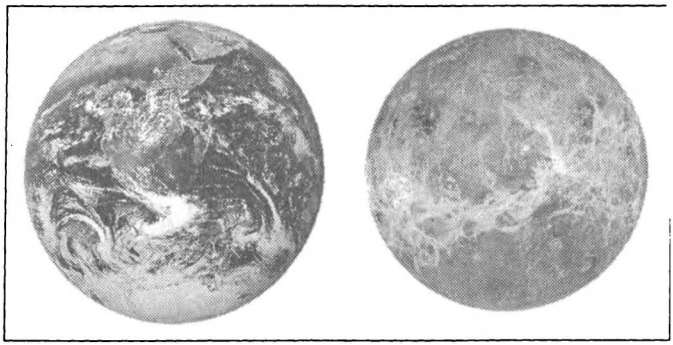
15 | Venüs nasıl bir gezegendir?

Halk arasında Akşam Yıldızı ya da Sabah Yıldızı olarak da bilinen Venüs, Güneş'e en yakın ikinci gezegendir. Adını Romalıların Aşk ve Güzellik Tanrıçası'ndan alır. Gerçekten de geceleri Venüs'ün etkileyici parlaklığı, gökyüzündeki bütün yıldızları açık ara geride bırakır. Gezegen o denli dikkat çekicidir, o kadar göze çarpar ki, sık sık UFO zannedilir. Venüs bu çekici parlaklığını atmosferindeki kalın bulut tabakasına borçludur; çünkü bulutların albedosu, yani ışığı yansıtma gücü yüksektir. Venüs'ün bulutları Güneş'ten gelen ışınların büyük bölümünü (yüzde 80'ini) yansıtır.

Tıpkı Merkür gibi, Venüs de Güneş'e Dünya'dan daha yakın bir yörüngede döner. O nedenle o da Merkür gibi gökyüzünde hep Güneş'e yakın bulunur. Güneş battıktan sonra batı ufkunda ve Güneş daha doğmadan doğu ufkunda görülebilir. Ama Venüs, Güneş'e Merkür'den daha uzak olduğu için daha uzun bir süre, beş buçuk saat kadar, gökyüzünde kalır. Bu da gözlem için oldukça yeterli bir süredir. Küçük bir teleskopla bile gözlendiğinde, Venüs'ün de Merkür ve Ay gibi zamanla görüntüsünün değiştiği, yani evreleri olduğu anlaşılır. Venüs'ün evrelerini ilk gören 1610'da Galilei olmuştur. Galilei yaptığı bu gözlemden Venüs'ün aslında Dünya'nın çevresinde değil, Güneş'in çevresinde döndüğü sonucunu çıkarmıştır. Güçlü bir teleskopla, hatta dünyanın en güçlü teleskopuyla bile bakıldığında, Venüs yalnızca parlak bir daire şeklinde görülür. Optik teleskoplarla gezegenin yüzeyine ilişkin hiçbir ipucu elde edilemez; çünkü atmosferindeki kalın bulut tabakası buna izin ver-



Venüs'ün evreleri.



Büyüklük açısından Dünya'ya en çok benzeyen gezegen Venüs'tür. Venüs, antik dönemlerden beri bilinir. MÖ 1600'lü yıllarda Babilli gökbilimcilerce ilk kayıtları tutulmuştur. Ancak binlerce yıl boyunca çıplak gözle, birkaç yüzyıldır da teleskopla gözlenen Venüs hakkında neredeyse hiçbir şey öğrenilememiştir. Çünkü yoğun bir bulut tabakası, gezegenin yüzeyini gizler.

mez. Aylar boyunca süren gözlemlerde yalnızca evreden evreye geçen gezegen görülür: hilal Venüs, yarım Venüs, şişkin Venüs, yeni Venüs, hilal Venüs...

Venüs, Güneş Sistemi'nde en içte yer alan dört karasal gezegenden ikincisi ve Dünya'ya en çok benzeyenidir. Öyle ki Dünya'nın ikizi olarak kabul edilir. Bu iki gezegen büyüklük, yoğunluk, kütleçekim kuvveti ve kimyasal bileşim açısından birbirine benzer. Venüs'ün çapı 12.104 km'dir; Dünya'nınkinden 650 km kadar küçük. Kütlesi Dünya'nın kütlesinin yüzde 81,5'i kadardır. Kütleçekim ivmesi de yerçekimi ivmesinin 0,9 katıdır. Yani Dünya'da 80 kg gelen biri, Venüs'te 72 kg gelir. Ne var ki, iki gezegen arasındaki benzerlikler bunlarla sınırlı gibidir ve aslında yakından incelendiklerinde, aralarındaki benzerliklerden daha çok farklar dikkat çeker. Bunların başında da, Venüs'ün güneş rüzgârına ve kozmik ışınlara karşı kendisini koruyacak bir manyetik alanının olmayışı gelir.

Venüs'ün elips şeklindeki yörüngesi, gezegenler arasında çembere en yakın olanıdır; neredeyse tam bir çemberdir. Gezegen, Güneş çevresindeki bir turunu 225 günde tamamlar. Ama kendi ekseninde aşırı yavaş döner; bir günü 243 dünya günüdür. Yani Venüs'te bir gün, gezegenin bir yılından uzun sürer. Birçok gezegenin kendi ekseninde

hızlı dönmesi nedeniyle ekvatorunda oluşan şişkinlik bu yavaş dönüş nedeniyle Venüs'te oluşmamıştır ve gezegenin yapısı küreye çok yakındır. Venüs'ün eksen eğimi de anormaldir: 177,4° (Dünya'nınki 23,5°dir). Bir başka deyişle Venüs, kendi ekseninde, Güneş Sistemi'ndeki bütün gezegenlerin tersi yönde, doğudan batıya doğru döner. Yani Venüs'te Güneş batıdan doğar ve doğudan batar. Gezegenin ekseninin dönüş yönünün nasıl değiştiği tam olarak bilinmiyor; ama buna milyarlarca yıl önce gerçekleşmiş şiddetli bir çarpışmanın yol açtığı düşünülüyor. Kendi eksenindeki dönüş yönüyle Güneş çevresindeki dönüş yönünün ters olması nedeniyle Venüs'te arka arkaya iki Güneş doğuşu arasında 117 gün geçer.

Venüs'te mevsimler yoktur. Bu hem yörüngesinin neredeyse çember şeklinde olmasından (gezegen Güneş'e hep aynı uzaklıktadır), hem de ekseninin yörünge düzlemine neredeyse dik olmasından kaynaklanır. Venüs yörüngesinde ilerlerken hiçbir zaman herhangi bir yarımküresi ya da kutbu belirgin bir biçimde Güneş'e dönük olmaz.

Teleskoplu ilk gözlemlerde, Venüs'ün sürekli bir bulut tabakasıyla kaplı olduğu ve yoğun bir atmosferi bulunduğu anlaşılmıştı. Buradan Venüs'ün sıcak ve nemli bir gezegen olduğu, hatta Dünya'nın yüz milyonlarca yıl önceki halini andıran, tıpkı Karbonifer'in bataklık ormanları gibi dev ormanlarla kaplı ve değişik canlı türleriyle dolu bir yer olduğu görüşü yaygınlaştı, popülerleşti. Ne var ki gezegenin çok yoğun bir atmosferi olmasının dışında, bu popüler görüşün gerçekte hiçbir doğru yanı yoktu.

Venüs'ün yüzeyden 80 km yukarıya kadar uzanan, aşırı yoğun bir atmosferi vardır. Bu atmosfer Dünya'nınkinden çok farklıdır; ama tıpkı Dünya'da olduğu gibi Venüs'te de atmosferi iki temel gaz oluşturur: Karbondioksit (yüzde 96,5) ve azot (yüzde 3,5). Atmosferin geri kalan çok küçük bölümü de eser miktarda kükürtdioksit, argon, su buharı, helyum ve neondan oluşur. Gezegende, atmosferindeki karbonu kayalarda hapsedecek, Dünya'dakine benzer bir karbon çevrimi ya da biyokütle olarak bedenlerinde tutacak canlılar yoktur.

Yüzeyden 50-70 km yukarıda bulunan ve bütün gezegeni saran bulut tabakası yaklaşık 20 km kalınlıktadır. Venüs'teki bulutlar, Dünya'dakilere pek benzemez. Dünya'daki bulutlar su buharından oluşur ve beyaz renklidir. Venüs bulutlarının rengi beyaz değildir; içeriğindeki sülfürikasit nedeniyle sarıdır. Bu nedenle gezegende yağan yağmur da su değil, sülfirikasittir ve yağmur damlaları daha yüzeye varamadan, yaklaşık 25 km yukarıda, buharlaşır. Yüzeye yakın bölgelerde rüzgârlar çok yavaştır; saatte ancak birkaç kilometre hızla eser. Ne var ki, yükseklerdeki bulut tabakasında batıya doğru çok şiddetli esen rüzgârlar vardır. Öyle ki hızları bazen saatte 350 km'yi aşan bulutlar, dört günde bir gezegeni dolanır.

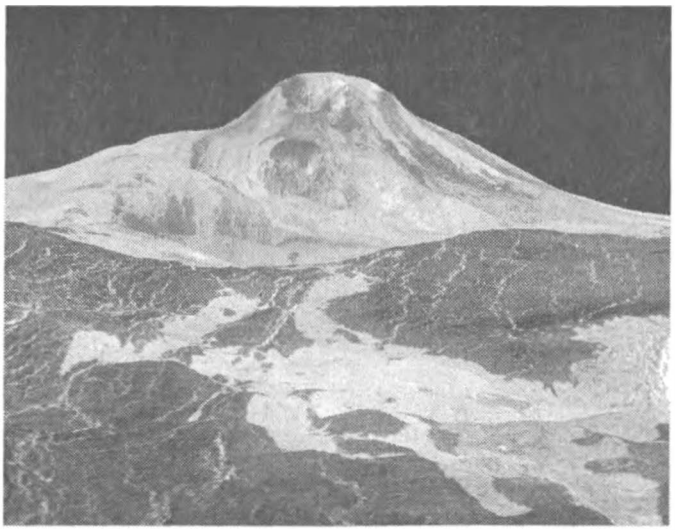
Venüs, adını Roma Aşk Tanrıçası'ndan almış olabilir, ama gezegenin yüzeyi ve atmosferi geleneksel cehennem tasvirlerini çağrıştırır. Güneş'e Merkür'den yaklaşık iki kat daha uzaktır ve gezegeni saran bulut tabakası yüzünden Merkür'ün aldığı güneş ışınlarının ancak dörtte birini alır. Bu durumda Venüs'ün aslında soğuk bir gezegen olması beklenir. Ne var ki Venüs, Güneş Sistemi'nin en sıcak gezegenidir. Kalın bulut tabakasının üstündeki sıcaklık -25 derece kadarken gezegenin yüzey sıcaklığı 470 dereceyi geçer. Bunun nedeni de sera etkisinin yol açtığı küresel ısınmadır. Venüs'ün atmosferine ulaşan güneş ışınlarının yüzde 80'i geri yansır. Bulutlardaki karbondioksit ve su buharı geri kalan güneş ışığının geçişine izin verir; ama yüzeydeki sıcak toprak ve kayalardan yayılan kızılötesi ışınların uzaya geçmesine izin vermez. Yoğun atmosferindeki karbondioksit bu ısıyı tutar. Şiddetli sera etkisi Venüs'ün sürekli sıcak kalmasına yol açar. Bulutlardan süzülen sarı-turuncu ışık yüzünden, gezegenin yüzeyi turuncu renkte görünür ve gündüzleri yeryüzünden biraz daha az aydınlık olur.

Venüs'ün ekvatoru kutuplarına göre daha çok güneş ışığı alır. Yine de bu bölgeler arasındaki sıcaklık farkı birkaç dereceyi geçmez. Aynı durum gece ile gündüz sıcaklıkları için de geçerlidir. Bulutların üstünde esen rüzgârlar ısıyı kutup bölgelerine iletir. Sonuç olarak mevsimlerin

olmadığı Venüs'te hava durumunda da hiçbir değişiklik olmaz; hep aynıdır. Sıcaklığın yanında Venüs'ün yüzeyindeki basınç da anormaldir: 92 bar. Bu, yeryüzünde deniz düzeyindeki basıcın 92 katına ya da denizin yaklaşık 1 km derinliğindeki basınca eşdeğerdir.

Dünya'da yerkabuğu büyüklü küçüklü plakalardan oluşmuştur ve bu plakalar yılda birkaç santimetrelik çok yavaş ama sürekli hareket halindedir. Bu hareketler depremlere ve yanardağ etkinliklerine yol açar. Venüs'ün kabuğuysa tek bir plakadan oluşur. Bu kabuğun yanlamasına hareketi yoktur; ama aşağı yukarı hareket eder. Bununla birlikte Venüs'te tektonik süreçlerin oluşturduğu birçok yüzey şekli yeryüzündekilerin aynıdır. Ancak Dünya'da hiç bulunmayan birtakım özgün yüzey şekilleri de vardır.

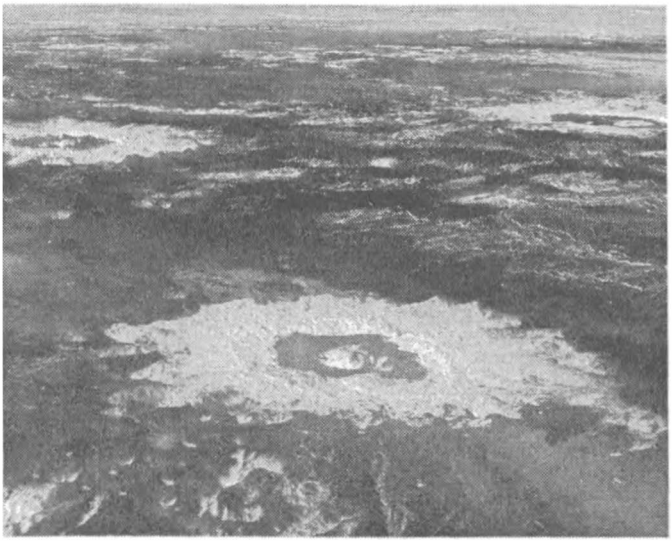
Radar görüntülerine göre, Venüs'ün bütün yüzeyi kuru ve kayalıktır. Sıcaklık yüzünden sıvı su bulunmaz. Yüzeyin yüzde 85'lik bölümü lav akıntılarının oluşturduğu alçak ve görece düz alanlarla kaplıdır. Gezegenin yüzde 60'ının yükseklik ortalaması da 500 m'nin altındadır. Biri kuzey yarımkürede biri ekvatorun hemen güneyinde ve sonuncusu da güney kutup bölgesinde olmak üzere üç yüksek düzlük alan bulunur. Bunlar "kıta" olarak düşünülür; ama ne okyanusla çevrilidirler, ne de kendilerini taşıyan bağımsız plakaları vardır. "Kıta"lar yalnızca çevrelerindeki düz alanlardan birkaç kilometre daha yüksek düz alanlardır. Yaklaşık Avustralya büyüklüğünde olan kuzeydeki "kıta"nın adı Ishtar Terra'dır (İştar'ın Ülkesi). 11 km yüksekliğiyle gezegenin en yüksek dağı Maxwell Montes (Himalayalarla karşılaştırılabilecek bir dağ sırasıdır) burada bulunur. Güney Amerika kadar büyük olan güneydeki ilk "kıta"nın adı Aphrodite Terra'dır (Afrodit'in Ülkesi). Güney kutup bölgesinde yer alan ve yaklaşık Antarkitika kadar büyük olan üçüncü "kıta"nın adı da Lada Terra'dır (Lada'nın Ülkesi). Gökbilimciler birkaç istisna dışında Venüs'teki bütün yüzey şekillerine tarihteki ve mitolojideki ünlü kadınların adlarını vermiştir; İştar Babillilerin, Afrodit Eski Yunanların ve Lada da Slavların Aşk Tanrıçalarıdır.



Maat Mons 8 km'lik yüksekliğiyle Venüs'ün en büyük yanardağıdır ve en yüksek dağlarından da biridir. Adını Mısır'ın Gerçek ve Adalet Tanrıçası Ma'at'tan alır.

Venüs'te Dünya'dakinin birkaç katı kadar yanardağ vardır. Bilim insanları gezegendeki volkanik etkinliklerin hâlâ sürdüğünü düşünüyor. 1978'de uzay araçlarının Venüs'ün atmosferinde ölçtüğü kükürtdioksit oranı 1986'daki ölçümlerin on katı kadar çıkmıştı. Bu farkın nedeninin 1978'deki ölçümden kısa bir süre önce gerçekleşen büyük bir yanardağ etkinliği ve o sırada da atmosfere salınan bol miktarda kükürtdioksit olduğu düşünülüyor.

Yanardağların yanı sıra, Venüs'ün yüzeyinde asteroit ve kuyrukluyıldızların yol açtığı ve düzgün bir dağılım gösteren 963 çarpma krateri de vardır. Ama buradaki çarpma kraterleri başka gezegenlerdekilere pek benzemez. Çünkü Venüs'te şiddetli çarpmanın etkisiyle çarpma noktasının çevresinde aşırı ısınan kayalar bir türlü soğumaz, eriyik olarak kalır ve kraterin dışına doğru çiçek deseni oluşturacak şekilde akarlar. Bu kraterlerin en büyüğü 280 km çaplı Mead'dir. Venüs'te 1,5 km'den küçük çaplı çarpma krateri yoktur. Çünkü bu çapta bir krater oluşturacak göktaşları yaklaşık 50 m çapında olur ve 50 m'den küçük



Venüs yüzeyindeki çarpma kraterlerinin yüzde 85'i iyi korunmuş durumdadır. Buradan, Venüs yüzeyinin genç olduğu ve en çok 300-600 milyon yıl önce bir yenilenme geçirdiği sonucu çıkarılır.

çaplı göktaşları da yoğun Venüs atmosferinden geçerken parçalanır, yanar ve yüzeye ulaşamaz.

Araştırmalar birkaç milyar yıl önce Venüs'ün atmosferinin Dünya atmosferine benzer bir yapıda olduğunu ortaya koyuyor. O dönemde Venüs'te de bol miktarda su bulunduğu düşünülüyor. Ne var ki o suyun yüzeyde değil de, atmosferde olduğu tahmin ediliyor. Venüs yüzeyinde göl ya da denizlerin olduğu pek düşünülmüyor. Ancak vardıysa bile, bu su da şiddetli sera etkisi nedeniyle zamanla buharlaşmış ve geride de çöl benzeri aşırı kuru bir gezegen kalmış olmalı.

Venüs, Ay'dan sonra Dünya'ya en yakın gökcismidir. Yine de en yakın olduğu dönemde bile, bize Ay'ın yaklaşık yüz katı uzaktır. Bu 41 milyon kilometrelik uzaklık aslında astronomik açıdan oldukça küçüktür. Bu nedenle Venüs, uzay araştırmaları için kolay bir hedef oluşturur. Optik teleskoplarla bulutların altı görülemez; ama ışık ışınlarının aşamadığı kalın bulut tabakasını radyo dalgaları kolayca aşar. Venüs hakkındaki ilk bilgiler de zaten radar gözlem-

leriyle elde edilmiştir. Gezegene gönderilen radyo dalgaları yoğun atmosferden ve kalın bulut tabakasından hiç zorlanmadan geçer, yüzeye çarpar ve yansıyarak Dünya'ya geri döner. Gelen radyo dalgalarından da Venüs'ün yüzey şekillerini gösteren resimler oluşturulur. Kuşkusuz daha ayrıntılı görüntüler ve veriler Venüs'ü incelemek için gönderilen uzay araçlarından elde edilmiştir.

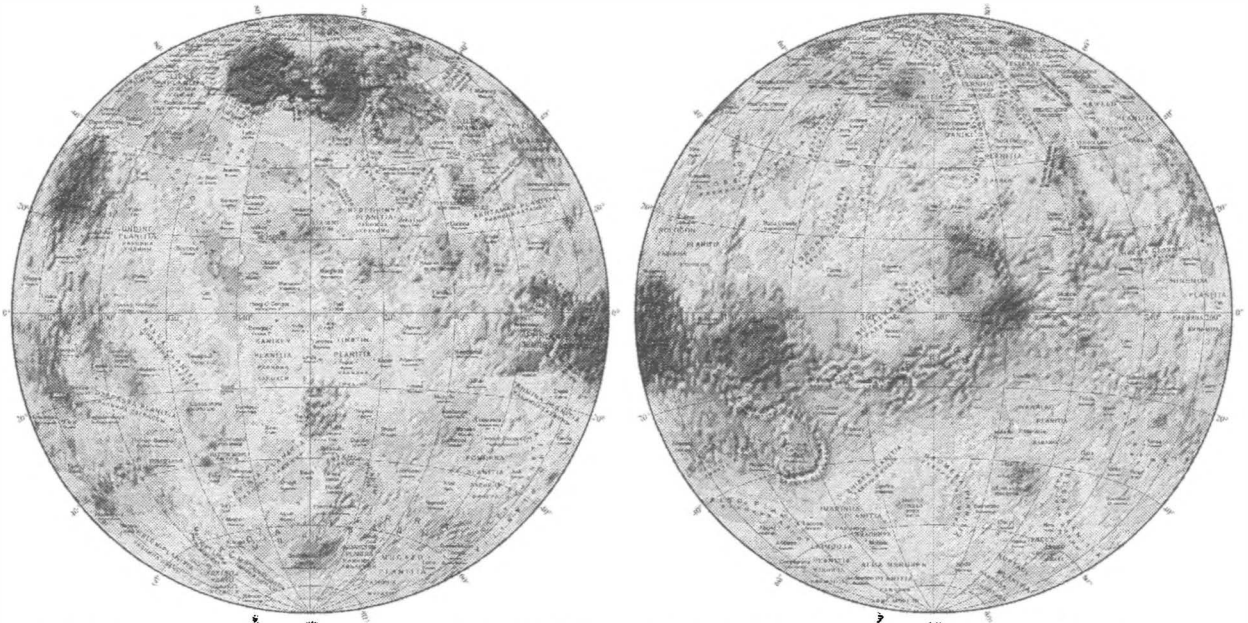
Günümüzde Venüs üzerine çalışan bilim insanlarının temel amacı Venüs'ün bu zorlu atmosfer ve yüzey koşullarının nasıl ortaya çıktığını açıklığa kavuşturmaktır. Buradan yola çıkarak da yeryüzündeki iklim değişimlerinin neden ve sonuçlarını daha iyi anlamaya çalışırlar.

Venüs en çok uzay aracı gönderilen ve en iyi incelenen birkaç gezegenden biridir. Rusya (Sovyetler Birliği) ve ABD, Venüs'e, başarıyla veri ve görüntü aktaran, toplamda 20'yi aşkın uzayı aracı göndermiştir. Venüs'ü araştırmaya yönelik ilk uzay aracını Sovyetler Birliği 1961'de fırlatmıştır; ama uzay aracıyla bağlantı kısa süre sonra kopmuştur. ABD'nin Temmuz 1962'de fırlattığı Mariner 1 ise denize düşmüştür. Ama Ağustos 1962'de fırlatılan Mariner 2, Venüs'ün 34.000 km yakınına kadar gidebilmiştir. Mariner 2, gezegen araştırmalarına yönelik ilk başarılı uzay aracıdır ve gezegen araştırmaları çağı aslında onunla başlamıştır denebilir.

Sovyetler Birliği 1961 ile 1983 arasında Venüs'e Venera serisinden 16 uzay aracı göndermiştir. Bunlardan başarılı olan bir bölümü Venüs atmosferini incelemiş ya da yüzeye (bile) inmiştir. Örneğin Venera 13, 1 Mart 1982'de yüzeye inmiş, 470 derece sıcaklığa ve 92 atmosfer basınca tam 127 dakika dayanıp toprak analizi yapmış, Dünya'ya önemli bilgiler ve yüzeyin renkli görüntülerini aktarmıştır. 1978'de ABD, Pioneer Venus adlı uzay aracını Venüs'e

Venera 13'ün çektiği az sayıda Venüs fotoğrafından birinde, uzay aracının ayakları ve Venüs toprağı görülüyor.





Mayıs 1989'da gönderilen Magellan sondası, 4,5 yıl boyunca Venüs yüzeyinin yüzde 98'inin yüksek çözünürlüklü fotoğraflarını çekmiş ve haritasını çıkartmıştır.

göndermiştir. Bu aslında bir uydu ve bir sondadan oluşan bir araçtı. Uydu Venüs'ün yörüngesine oturdu ve 14 yıl boyunca gezegenle ilgili veri gönderdi. Sonda ise aslında biri büyük, üçü küçük dört sondadan oluşuyordu. Sondalar Venüs'e düşürüldü ve düşüşleri sırasında atmosfere ilişkin veri toplandı. ABD'nin daha sonra gönderdiği Magellan adlı uzay aracıysa 1990 ile 1994 arasında Venüs'ün yörüngesinde dönerek gezegenin haritasını çıkartmıştır.

Avrupa Uzay Ajansı (ESA) Kasım 2005'te Venüs'ü incelemek ve özellikle atmosferini araştırmak için Venus Express adlı bir uzay aracı göndermiştir. Bu uzay aracı Nisan 2006'da gezegenin çevresinde (kutuptan kutba) bir yörüngeye oturmuş ve onun yapay uydusu olmuştur. Venus Express, Venüs'ün atmosferini, bulutlarını ve birtakım yüzey özelliklerini 500 gün boyunca (iki Venüs günü) ayrıntılı olarak incelemiştir. Görevini başarıyla tamamlayan uydunun görev süresi de 2012'ye kadar uzatılmıştır. Venus Express aynı zamanda Venüs'ün yörüngesinden Dünya'daki yaşamın izlerini de gözlemiştir. Bu konudaki çalışmalardan, başka yıldız sistemlerindeki Dünya benzeri gezegenleri incelemede yararlanılması planlanmaktadır.

Son olarak Japon Uzay Araştırmaları Ajansı (JAXA) Venüs'e, Mayıs 2010'da AKATSUKI adlı bir uzay aracı yolladı. AKATSUKI de tıpkı Venus Express gibi Venüs'ün yörüngesine oturdu ve onun yapay uydusu oldu. Bu uydunun amacı da gezegenin meteorolojik olaylarını daha ayrıntılı olarak araştırmak, Venüs'ten uzaya kaçan gazları incelemek, volkanik etkinliklerin hâlâ sürüp sürmediğini bulmak ve Venüs'ün yakın plan fotoğraflarını çekmektir.

Rusya da yıllardan sonra yine Venera serisinden bir uzay aracını, Venera-D'yi 2016'da Venüs'e göndermeyi planlıyor. Bu kez aynı uzay aracında bir uydu, bir yüzey aracı ve bir çift de atmosfer balonu yer alacak. Uydu, Venüs'ün çevresinde dönerken balonlar atmosferde (en az 5 gün boyunca) iki farklı yükseklikte kalacak ve yüzey aracı da Venüs'ün yüzeyinde araştırmalar yapacak. Asıl amaç yine Venüs'ün atmosferini incelemek, ama yüzey aracıyla toprak analizi ve sismik araştırmalar da yapılması planlanıyor.

16 | Dünya nasıl bir gezegendir?

Gezegenimiz Dünya, Ay'dan bakıldığında, mavi-beyaz renkli bir bilye gibi görünür. Güneş Sistemi'nin üçüncü gezegeni ve karasal gezegenlerin de en büyüğüdür. Yeterince büyük kütleli bütün gökcisimleri gibi, Dünya da kütleçekim kuvveti (yerçekimi de denir) nedeniyle küre şeklindedir. Daha doğrusu küreye yakın bir şekildedir. Kendi ekseninde bir dönüşünü 23 saat 56 dakikada tamamlayan Dünya'nın ekvatordaki hızı saatte 1650 km dolayındadır. Bu yüksek hız nedeniyle ekvator bölgesi biraz (21 km kadar) şişkindir. O nedenle Dünya'nın kutuplarında 12.713 km olan çapı, ekvatorda 12.756 km'dir. Kutupları hafif basık, ekvatoru da biraz şişkin olan Dünya'nın bu şekline geoid denir.

Dünya, Güneş'in çevresindeki yaklaşık 940 milyon kilometrelik yörüngesinde, saatte ortalama 108.000 km hızla ilerler. Yörüngesi çembere yakın bir elips şeklindedir. Güneş de bu elipsin merkezlerinden birinde yer alır. Yörüngenin üzerinde yer aldığı düzleme ekliptik düzlem (kısaca ekliptik) denir. Dünya'nın ekseni ekliptiğe dik değildir; dik ile arasında 23,5°lik bir açı vardır. Bir başka deyişle Dünya'nın ekseni, ekliptikle 66,5°lik açı yapar.

Dünya yörüngesinde ilerlerken, Güneş'e en yakın noktasına (günberi) Ocak ayında, en uzak noktasına da (günöte) Temmuz ayında ulaşır. Günberi ile günöte arasında yüzde 3'lük (5 milyon km) uzaklık farkı vardır. Bu da Dünya'nın günberi noktasındayken yüzde 7 daha çok güneş ışığı almasına yol açar. Dünya'nın zaman zaman Güneş'e yaklaşıp, zaman zaman uzaklaştığı elips şeklindeki yörüngesi, eksen eğikliğiyle birlikte Dünya'ya gelen enerji miktarının ve yeryüzünde geldiği yerin değişmesine, dolayısıyla da mevsimlerin olmasına yol açar. Mevsimlerin oluşumunda asıl belirleyici olan Dünya'nın ekseninin eğik oluşudur.

Dünya'nın yörüngesinin elips şekli Güneş Sistemi'ndeki öteki gezegenlerin, özellikle de iki dev gezegen Jüpiter

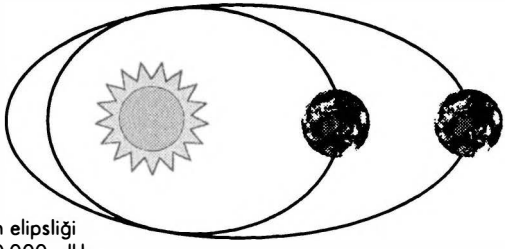
ve Satürn'ün kütleçekim kuvvetlerinden etkilenir. Elipsin basıklığı 100.000 yıllık bir periyotla değişir. Aslında değişken olan yalnızca Dünya'nın yörüngesi değildir; Dünya'nın eksen eğikliği de değişkendir. Dünya'nın ekseninde bugün 23,5° olan eğiklik 41.000 yıllık bir periyotta 22,1° ile 24,5° arasında salınır. Bunun yanında eksenin yönü de 26.000 yıllık bir periyotta yalpalar. İlk kez ünlü Sırp bilim insanı Milutin Milanković'in çalıştığı bu değişimler, onun adıyla Milanković çevrimleri olarak anılır. Bu çevrimlerin Dünya'nın ikliminde, buzul çağları gibi, uzun dönemli etkilerinin olduğu düşünülmektedir.

Milyonlarca tür canlının, yüzlerce çeşit mineralin, suyun, buzun, su buharının, atmosferdeki değişik gazların bulunduğu gezegenimizin yüzeyi gerçekten de madde çeşitliliği açısından çok zengindir. Ne var ki aynı durum yüzeyin 30-40 km altından daha aşağılarda, yani gezegenin yüzde 99'luk bölümünde, hiç de öyle değildir. Orada yalnızca sıcak, yoğun kayalar, mineraller ve metal karışımları vardır. Dünya, tıpkı bütün karasal gezegenlerde olduğu gibi, üç temel katmandan oluşmuştur: Çekirdek, manto ve kabuk. Bu katmanların içerikleri ve yapıları farklıdır; yoğunluk, sıcaklık ve basınç merkeze inildikçe artar. Çekirdek ve manto hakkındaki bilgilerimiz sismik dalgalar, manyetik alan çalışmaları ve laboratuvar deneyleri gibi dolaylı araştırma ve incelemelere dayanır. Çünkü üst manto dışında bu katmanlardan doğrudan kaya örneği elde edilemez.

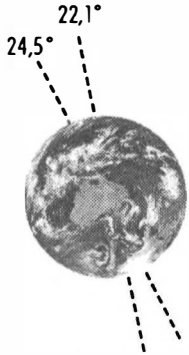
Dünya'nın merkezinde 6900 km çaplı çekirdek bulunur. Çekirdek demir ile nikelden oluşmuştur; ama yüzde 8-12 kadar başka elementler de içerir. İki farklı bölümü vardır: dış çekirdek ve iç çekirdek. Dışta kalan 2250 km kalınlığındaki erimiş, metal tabaka (dış çekirdek), katı olduğu düşünülen 2400 km çaplı bir küreyi (iç çekirdek) sarar. Dış çekirdeğin yoğunluğu 10 g/cm^3'tür. Sıcaklığı mantoya yakın bölgelerde 3500°C kadarken iç çekirdeğe yakın bölgelerde 4000°C dolayındadır. İç çekirdeğin yoğunluğuysa 12 g/cm^3'tür. Sıcaklığı da dış çekirdeğe yakın bölgelerde 4000°C dolayında, merkeze ya-

Milanković çevrimleri

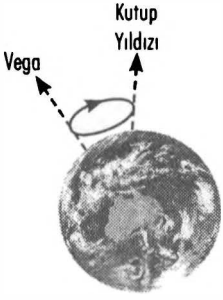
Dünya'nın Güneş çevresindeki hareketi dev gezegenlerin çekim kuvvetlerinden etkilenerek periyodik bir değişim gösterir. Bununla birlikte ekseni de iki farklı şekilde periyodik olarak değişir. Bu çevrimleri jeofizikçi Milutin Milanković 1. Dünya Savaşı sırasında hesaplamıştır.



Dünya'nın yörüngesinin elipsliği yaklaşık 100.000 yıllık bir periyotla değişir.



Dünya'nın ekseninin ekliptikle yaptığı açı 41.000 yıllık bir periyotla değişir.



Dünya'nın ekseni yaklaşık 26.000 yıllık bir periyotla yalpalar.

kın bölgelerde de 4700°C kadardır. Çekirdeğin hâlâ bu denli sıcak olmasının temel nedeni, içerdiği potasyum-40, uranyum-238, uranyum-235 ve toryum-232 gibi radyoaktif izotopların bozunması sırasında ortaya çıkan ısıdır. Bunun yanında Dünya'nın oluşumundan kalan bir ısı da vardır.

Plaka tektoniği etkinliklerinin kaynağı çekirdeğin bu ısısıdır. Dış çekirdekte elektriksel olarak iletken, sıvı haldeki demir ve nikelin hareketinin (oluşturduğu akımların) Dünya'nın dönüşüyle birlikte Dünya'nın manyetik alanını meydana getirdiği düşünülmektedir.

Çekirdeğin üstünde manto yer alır. Bu katman yoğunluğu 5,5 g/cm^3 olan yaklaşık 2990 km kalınlığındaki alt manto ve yoğunluğu 3,5 g/cm^3 olan ve kalınlığı 5-70 km arasında değişen üst manto diye iki kısımdan oluşur. Mantonun büyük bölümü demir ve magnezyum açısından zengin, yoğun kayadır. Bu katman, çarpmaların etkisiyle kırılabilir; ama basınç ve yüksek sıcaklık altında da akışkan özellik gösterir. Örneğin yıl ölçeğinde katı bir cisim gibi davranan manto, milyonlarca yıl içinde sıvı gibi davranır ve çok kıvamlı bir akışkan olarak akar. Her yıl 4-5 cm ilerler. Yerkabuğuyla mantonun en alt bölgesi arasındaki büyük sıcaklık farkı, yüksek basıncın da etkisindeki mantoda milyonlarca yıl süren konveksiyon akımlarının oluşmasına ve böylece ısı iletimine yol açar. Bu süreçte, tıpkı sıvılarda olduğu gibi, sıcak madde yükselir, soğuyan (daha ağır) madde de çöker. Litosferi oluşturan plakaların hareketinin de temelinde bu ısı iletimi yatar.

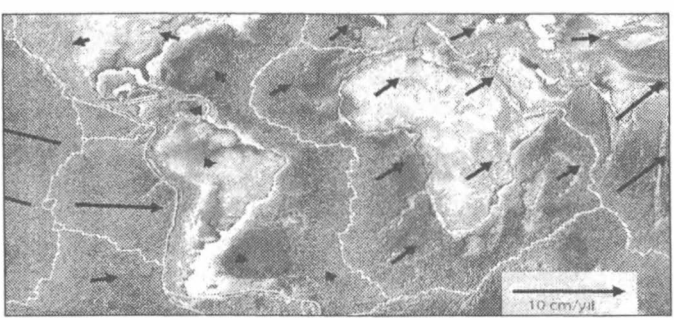
Mantonun en üst kısmıyla yerkabuğuna birlikte litosfer denir. Litosfer tek bir bütün halinde değildir. Kırılmıştır ve kırık parçalara plaka adı verilir. Yerkabuğu on milyonlarca kilometrekare büyüklüğündeki yedi büyük ve çok sayıda küçük plakadan oluşur. Bunların en büyüğü olan Pasifik Plakası 108 milyon kilometrekare genişliğindedir. Plakalar, altlarındaki mantonun yarı erimiş haldeki bölgesinin üstünde "yüzer"ler. Plakaların çoğunun üzerinde hem okyanus tabanlarının bir bölümü, hem de bazı kıtaların bir bölümü yer alır. Bazılarının üstünde de yalnızca okyanus tabanlarının bir bölümü bulunur. Kısacası okyanus tabanlarını ve kıtaları (karaları ve denizleri) bu plakalar taşır. Okyanus sırtları, yüksek sıradağlar ve yanardağlar gibi birçok yeryüzü şekli, aslında plakaların sınırları boyunca gerçekleşen bazı süreçlerin sonucunda oluşmuştur ve hâlâ da oluşmaktadır.

Günümüzde plakalardan bazıları birbirleriyle çarpışır, bazılarıysa birbirlerinden uzaklaşır ve bazı plakalar da birbirine sürtünür. Ama bunlar yılda ancak birkaç santimetreyi bulan aşırı yavaş hareketlerdir. Plakaların birbirinden uzaklaşmasının sonucunda, okyanus ortası sırtları meydana gelir ya da kıtalar ayrılır (parçalanır). 40.000 km'yi bulan ve Atlas Okyanusu'ndan başlayıp Hint Okyanusu'na kadar uzayan okyanus ortası sırtı ile Doğu Afrika Yarık Vadisi böylesi bir hareketin sonucunda oluşmuştur. Bazı plakalar da derin deniz hendeklerinde ya da dağ sıralarında birbirlerine yaklaşır ya da çarpışırlar (biri ötekinin altına girer). Himalaya dağ sistemi ve Tibet platosu, Hindistan Plakasının Avrasya Plakasına çarpmasıyla ve altına girmesiyle oluşmuştur.

Gerçekte plakaların bu hareketleri durmuş değil, hâlâ sürüyor: Atlas Okyanusu her yıl 2,5 cm kadar genişliyor, Afrika Yarık Vadisi giderek açılıyor ve Himalayalar da her yıl 5 mm kadar yükseliyor. Bu hareket belki çok az gibi görünür, ama on milyonlarca yıl içinde, yüzlerce kilometrelik bir ilerlemeye karşılık gelir.

200 milyon yıl önce yeryüzünde tek bir süper kıta vardı; Dünya'daki bütün karalar Pangea adlı bir kıtada birleşik durumdaydı. Daha sonra Pangea, plaka hareketleri yüzünden parçalandı. Zamanla kıtalar bugünkü konumlarına geldi. Dünya haritasına ilk bakışta bile aralarında 5000 km bulunan Güney Amerika ile Afrika'nın birbirlerine bakan kıyılarının bir yap-bozun iki parçası

Plakalar sabit değildir; her yıl değişik yönlerde birkaç santimetre ilerler.

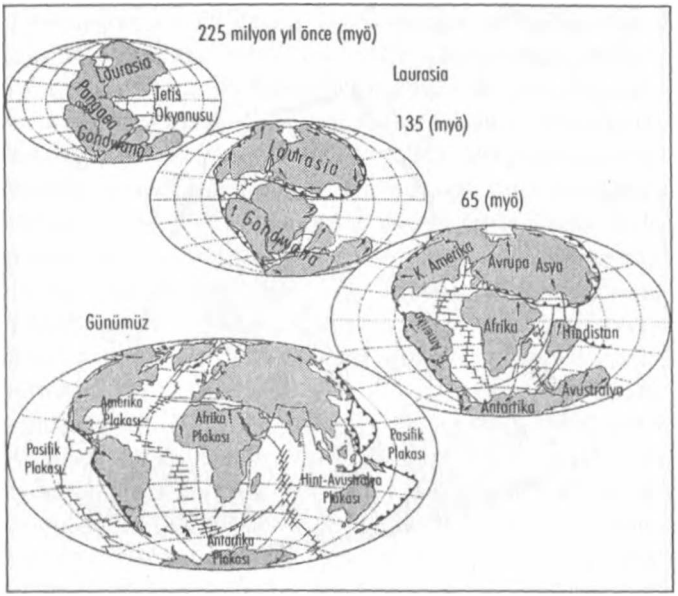


gibi birbirini tamamladığı fark edilir. Her iki kıtanın kıyı bölgelerinde de aynı tip kaya yapısı vardır; aynı bitki ve hayvan fosilleri bulunmuştur. Bu iki kıtanın birbirinden ayrılması hâlâ (her yıl birkaç santimetre) sürmektedir.

Plakaların birbirleriyle olan yavaş ama şiddetli etkileşimi, yerkabuğunu sürekli yok eder ve yeniden üretir. Dağların oluşumu, depremler ve volkanik etkinlikler, hep bu plakaların hareketleri nedeniyle olur. Dünya'nın en tehlikeli deprem bölgeleri ve en etkin yanardağları hep bu plakaların sınırlarında yer alır. Dünya'nın bu oldukça etkin tektonik yapısı, yani jeolojik açıdan canlı oluşu Güneş Sistemi'nde tektir.

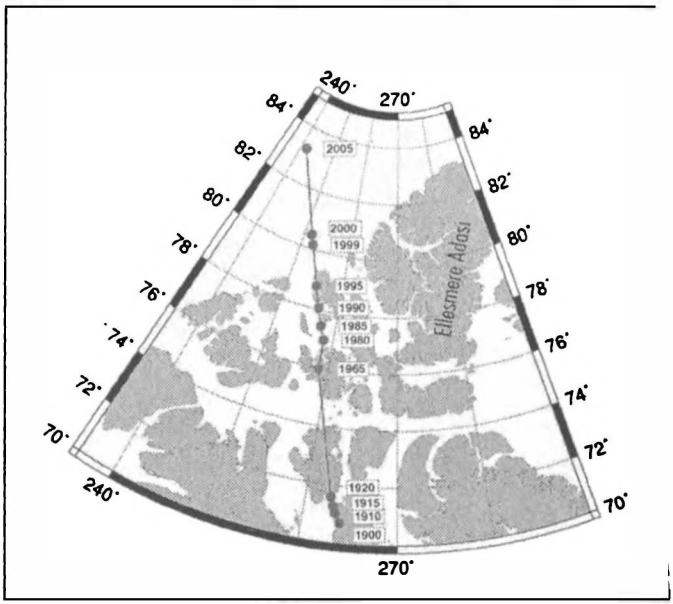
Yerkabuğu ince ve katı bir katmandır. Bazıları yaklaşık 3,96 milyar yaşında olan değişik kayalardan oluşur. Kayaların hem içerdiği mineraller hem de oluşum süreçleri (plaka hareketleri, yanardağ patlamaları, tabakalaşma ve tortulların sıkıştırması, canlılarla ve atmosferle etkileşim) farklıdır. Ama yine de büyük bölümü silisyumdioksit açısından zengindir. Yerkabuğu ortalama 35 km kalınlıktadır. Bu kalınlık okyanusların altında incelirken, kıtaların olduğu bölgelerde kalınlaşır. Okyanusların altında 0-11 km arasında, yüksek dağların olduğu bölgelerde de 0-70 km arasında değişir. Yerkabuğu granit ve bazalt gibi hafif kayalardan oluşmuştur. Hafif ve daha az yoğun granit kayalar kıtaları, daha ağır ve daha yoğun bazalt kayalar da okyanus tabanlarını oluşturmuştur. Yerkabuğunun üst kısmı bazı bölgelerde atmosferle, bazı bölgelerde hidrosferle (sularla) ve her bölgesinde de biyosferle (canlılarla) sürekli etkileşim halindedir.

Dünya'yı öteki gezegenlerden ayıran özelliklerinden biri de gerek atmosfer olayları ve iklim değişimi nedeniyle, gerekse gezegenin içindeki bazı kuvvetlerin etkisi sonucunda yüzey şekillerinin yavaş yavaş, ama sürekli olarak değişmesidir. Hava durumu ve iklim değişikleri nedeniyle kayalar aşınır, çöller büyür-küçülür, ırmak yatakları değişir, buzullar erir, deniz düzeyleri alçalır-yükselir, karaların alanı daralır-genişler, kıyılar aşınır vs. Bunlar onlarca yıl ile yüzlerce yıl gibi görece kısa



sürede gerçekleşen değişimlerdir. Bir de tektonik etkinlikler nedeniyle çok daha uzun zaman dilimlerinde, milyonlarca yılda gerçekleşen büyük değişimler vardır: Kıtaların kayması ve şekil değiştirmesi, yeni dağların ve okyanusların oluşması vs. Yeryüzündeki canlılar da hem yeryüzü şekillerinin hem de doğal koşulların değişimlerine göre uyarlanır, evrim geçirir.

Dünya'nın yaklaşık 3,5 milyar yıldır, güçlü bir manyetik alanı vardır. Bu manyetik alan sanki Dünya'nın içinde, ekseni boyunca uzanmış dev bir çubuk mıknatısın oluşturduğu manyetik alan gibi davranır. Pusulalar bu nedenle kuzey-güney doğrultusunu gösterir. Dünya'nın manyetik alan çizgileri kuzey ve güney manyetik kutuplardan çıkar. Dünya'nın içindeki dış çekirdekte sıvı haldeki demir ve nikelin hareketi kaotik bir yapıda olduğundan, Dünya'nın manyetik kutupları da gerçekte sabit değildir, sürekli hareket halindedir, yer değiştirir. Bir başka deyişle coğrafi kutuplarla çakışmazlar. Şu anda coğrafi kutuplar ile manyetik kutupların arasında 11°lik bir açı vardır.



Dünya'nın manyetik alanı sürekli hareket halindedir. 2005'te Kanada'nın kuzeyindeki Ellesmere Adası dolaylarından (82,7°K 114,4°B) yılda 55-60 km'lik bir hızla Rusya'ya doğru ilerliyordu.

Dünya'nın manyetik alanı Dünya için koruyucu bir kalkan görevi görür. Güneş rüzgârı şeklinde Dünya'ya doğru gelen yüksek hızlı ve elektriksel olarak yüklü parçacıkların Dünya'ya çarpmasını engeller. Bu parçacıkların küçük bir bölümü manyetik kutuplardan içeri girer ve yerden yaklaşık 80 km yukarıda (genellikle de 65°-72° enlemleri arasında) atmosferdeki azot ve oksijen atomlarıyla çarpışır. Bu çarpışmalar da gökyüzünde aurora denen renkli ışıkların oluşmasına yol açar.

Volkanik etkinlikler sonucunda, yeryüzünde oluşan kayaların içerdiği demir atomları lavın soğuyup katılaşması sırasında, Dünya'nın o anki manyetik alanı doğrultusunda, tıpkı birer minik pusula gibi konumlanır. Yerkabuğundaki volkanik kaya tabakaları üzerinde yapılan manyetik çalışmalar, Dünya'nın manyetik kutuplarının, 5 bin yıl ila 50 milyon yıl arasında değişen aralıklarla yer değiştirdiğini ortaya koymuştur. Bir başka deyiş-

le manyetik kuzey bazen 5000 yıl gibi jeolojik açıdan çok kısa bir süre içinde manyetik güney olmuş ve bir sonraki değişime kadar da öyle kalmıştır. Bu değişimlerin bir düzeni ya da dönemselliği yoktur. Böylesi en son değişim 740.000 yıl kadar önce gerçekleşmiştir. Değişimler sırasında manyetik alanın gücü önce sıfırlanır, sonra da ters yönde artar. Bu dönemlerde Dünya'nın, güneş rüzgârına karşı savunmasız kaldığı düşünülüyor. Güneş rüzgârının yüksek enerjili parçacıkları, canlıların genetik yapısını değiştirebilecek güçtedir. Ama yapılan araştırmalarda manyetik kutupların yer değiştirdiği dönemlerle yeryüzündeki evrim arasında bir ilişki henüz kurulamamıştır. İçinde bulunduğumuz dönemde kutupların yer değiştirme sürecine girdiği düşünülüyor. On yılda bir manyetik alan şiddetinin yüzde 1 kadar azaldığı saptanmış; manyetik kutupların ilerleyişi de hızlanmış durumda. Bu sürecin -eğer başladıysa- birkaç binyıl gibi kozmolojik açıdan çok kısa bir sürede gerçekleşeceği tahmin ediliyor.

Dünya, yüzlerce kilometre kalınlıkta ve yerden uzaklaştıkça yoğunluğu hızla azalan bir gaz tabakasıyla kuşatılmıştır. Bu tabakaya atmosfer denir. Atmosferdeki gazların bir bölümü çok eskiden olmuş volkanik etkinlikler sırasında yeraltından çıkan gazlardır. Oksijen gibi bazıları da canlılar tarafından sonradan üretilmiştir.

Güçlü yerçekimi, atmosferi oluşturan gazların uzaya kaçmasını engeller. Oksijenin bulunduğu günümüz atmosferi, Dünya'nın bir başka koruyucu kalkanıdır. Güneş'ten gelen ve yaşam için tehlikeli morötesi ışınları soğurur, sera etkisiyle yeryüzünü belli bir sıcaklıkta tutar ve gündüz ile gece arasındaki sıcaklık farkını azaltır.

Yerçekimi nedeniyle atmosferin yeryüzüne yakın bölümleri yoğundur. Yükseklik arttıkça atmosferin yoğunluğu hızla azalır. Yükseklikle birlikte sıcaklık değişir ve basınçta da belirgin bir düşüş olur. Atmosfer gerçekte hem bileşim hem de yoğunluk ve sıcaklık gibi özellikler açısından farklı katmanlardan oluşur. Ancak katman-

lar arasında belirgin sınırlar yoktur. En altta troposfer bulunur. Troposfer, kutuplarda 8 km, ekvatordaysa 16 km kalınlığındadır. Bütün atmosferin kütlesinin yüzde 75'ini içerir. Hava dediğimiz gaz karışımı (yüzde 78,09 azot, yüzde 20,95 oksijen ve yüzde 0,93 argon, yüzde 0,039 karbondioksit ve çok az miktarda da öteki gazlar) yalnızca troposferde bulunur. Öteki katmanların bileşimleri farklıdır. Troposferin en yüksek kesimlerinde sıcaklık -52°C'a kadar düşer. Hava durumu dediğimiz ve sürekli değişen sıcaklık, hava akımları (rüzgâr), nem ve yağışlar da, yalnızca troposferde olur. Yeryüzünde atmosferin ortalama sıcaklığı 14-15°C'tır.

Troposferin üstünde sırasıyla stratosfer, mezosfer ve termosfer katmanları bulunur. Stratosfer, troposferden 50 km'ye kadar olan katmandır. Güneş'ten gelen morötesi ışınları soğuran ozon tabakası burada yer alır. En yüksek kesimlerinde sıcaklık -3°C'a kadar yükselir ve basınç da deniz düzeyindeki basıncın ancak binde biri kadardır. Stratosferden başlayıp 80 km'ye kadar olan katman mezosferdir. Burada sıcaklık -93°C'a kadar düşer. Su buharı donmuş halde bulunur ve buz bulutlarını oluşturur. Buz bulutları genellikle 50°-70° enlemleri arasında, yaz aylarında ve alacakaranlıktan sonra gökyüzünde beyaz olarak görülür; ufkun altından gelen güneş ışınlarını yansıtırlar. Bu nedenle bunlara "gece parlayan" bulutlar denir. Dünya'ya düşen minik göktaşlarının büyük bölümü mezosferde yanar ve meteor oluşturur. Bu katmanda ayrıca "cin" adı verilen bir tür şimşek de görülür. Son katman olan termosfer deniz düzeyinden 600 km yukarıya kadar uzanır. Yoğunluğu çok düşüktür. Sıcaklık alt kesimlerinde aniden yükselir; üst kesimlerdeyse sıcaklık artışı aşamalı olur ve 1700°C'a kadar çıkar. Uluslararası Uzay İstasyonu'nun yörüngesi termosferde, 320 km ile 380 km arasında yer alır.

Dünya ilk atmosferini Ay'ın oluşumuna yol açan büyük çarpışma sırasında yitirmiştir. Sonra oluşan ikinci atmosfer de zaman içinde büyük oranda değişmiştir. İkinci atmosfer bugünkünden çok daha fazla karbondi-

oksit ve metan içeriyordu. Bu gazların ikisi de kızılötesi ışınları soğurduklarından etkili sera gazlarıdır. Bunların atmosferdeki varlıkları Güneş'in yüzde 30 daha az parlak olduğu o dönemde Dünya'nın sıcak kalmasını sağlamıştır. Yaşamın ortaya çıkmasıyla birlikte, atmosferin yapısı da değişmeye başlamıştır. Klorofil taşıyan mikroorganizmaların yaklaşık iki milyar yıl kadar önce atık olarak sürekli oksijen salmaları atmosferdeki oksijen oranını giderek yükseltmiştir. Oksijen sayesinde ozon (O_3) tabakası oluşmuş, bunun sonucunda canlılar için öldürücü morötesi ışınların yeryüzüne erişimi engellenmiş ve bu sayede yaşam da denizlerden karalara sıçrayabilmiştir.

Dünya'nın en belirgin özelliği yüzeyinde sıvı halde su bulunmasıdır. Yüzey alanı 510.000.000 km²'dir. Bu alanın yüzde 71'i ortalama derinliği 3,8 km olan suyla (yaklaşık 1,3 milyar km²) kaplıdır. Dünya'daki bütün suyun yüzde 97,5'i okyanuslarda, yüzde 1,7'si kutuplarda ve buzullarda, yaklaşık yüzde 0,75'i de yeraltında bulunur. Geri kalan bölümü de (yüzde 0,4 kadarı) ırmaklarda, göllerde ve atmosferdedir. Su, yeryüzünde üç halde de bulunur: katı, sıvı ve gaz.

Okyanuslardaki suyun önemli işlevlerinden biri gezegenin sıcaklığını kararlı tutmasıdır. Ama kuşkusuz en önemli işlevi, yaşamın ortaya çıkıp gelişmesi için uygun bir ortam sağlamış olmasıdır.

Su aslında Güneş Sistemi'nde oldukça bol ama genellikle buz halinde bulunur. Yüzeyinde sıvı olarak bulunduğu tek gezegen Dünya'dır. Bu durum Dünya'nın Güneş'ten "uygun" bir uzaklıkta bulunmasından kaynaklanır. Yeryüzü, suyun sıvı kalacağı kadar sıcaktır. Kuşkusuz bunda kalın atmosferimizin de rolü vardır. Atmosfer, yeryüzündeki sıcaklığı düzenleyen bir battaniye gibi davranır. Ayrıca uyguladığı basınçla suyun buharlaşmasını da belli ölçüde engeller.

Yeryüzündeki en yaşlı tortul kayalar –ki bunlar suyun bulunduğu bir süreçte oluşurlar– 3,9 milyar yaşındadır. Buradan da sıvı suyun o tarihten beri yeryüzünde olduğunu çıkartıyoruz. Ama bunun da ötesinde 4,4 milyar

yıllık zirkon denen zirkonyumsilikat kristalleri bulunmuştur. Bunların yapısındaki oksijen izotopları o dönemde bile sıvı suyun bulunduğunu göstermektedir.

Yeryüzündeki suyun büyükçe bir bölümünün uzaydan geldiği düşünülüyor. Buz içeren dev göktaşları oluşum dönemindeki Dünya'ya ve öteki gezegenlere de çarptıkça, içerdikleri suyu da boşaltıyorlardı. Kuşkusuz kimse bu göktaşlarının o dönemde ne kadar su getirdiğini bilemez. En yaygın göktaşı tipi olan kondritler ortalama yüzde 0,1 oranında su içerir.

4,5 milyar yıl önce ile 3,8 milyar yıl önce arasındaki ağır bombardıman evresinde Dünya'ya çarpan dev göktaşlarının bugün okyanusları oluşturan sudan daha çok su getirdiği tahmin ediliyor. Ama bu göktaşlarının geldiği yer pek bilinmiyor. Genel kanı onların Asteroit Kuşağı'ndan gelmiş oldukları yönünde. Buradan gelen ve küçük bir gezegen büyüklüğünde olan birkaç göktaşının Dünya'ya çarptığı düşünülüyor. Bir başka olası kaynak da, gökbilimcilerce "kirli kartopu" olarak bilinen ve buz ile tozdan oluşan kuyrukluyıldızlardır.

Dünya'yı öteki gezegenlerden ayıran bir başka özellik de yaşamdır. Sıvı halde su, yaşamın yapıtaşı olan organik moleküllerinin büyük bölümü için ideal bir çözücüdür. Onların birbirleriyle kolayca tepkimeye girmeleri için uygun bir ortamdır. Dünya'da yeşeren yaşam, tıpkı bir astronomik ya da jeolojik etken gibi yeryüzünü ve atmosferi değiştirmiştir. Atmosferin bugünkü bileşimi ilk iki milyar yıl boyunca fotosentezle sürekli oksijen üreten mikroorganizmaların eseridir. Yaşamın karalara çıkması da yine canlıların bu oksijen üretimi sayesinde olmuştur. Karaya çıkan ve hızla büyük bölümünü örten bitkiler hava durumunu ve iklimi etkileyen önemli bir öğe haline gelmiştir. Yaşam yerkabuğunun 3-4 km içinden atmosferde 10 km kadar yüksekliğe kadar olan bir bölüme yayılmış, bir anlamda Dünya gezegeniyle bütünleşmiştir.

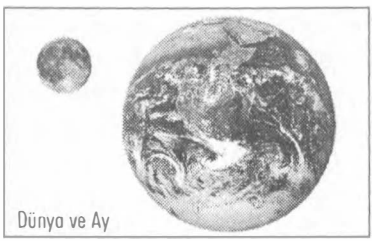
17 | Ay nasıl bir gökcismidir?

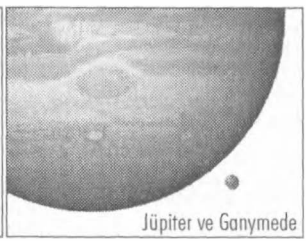
Güneş'ten sonra insanlar için en etkileyici nesne, kuşkusuz karanlık gecelerimizi aydınlatan Ay'dır. Gerçi Ay'ın kendisi bir ışık kaynağı değildir. Tıpkı gezegenler gibi, o da Güneş'ten gelen ışınları yansıtır. Yine de o gökyüzünde Güneş'ten sonraki en parlak gökcismidir ve insanlar tarih boyunca Ay'a da tıpkı Güneş'e olduğu gibi tapınmışlardır. Birçok kültürün dilinde, takviminde ve mitolojisinde Ay'ın çok önemli bir yeri olmuştur. Özellikle karanlık geceleri oldukça iyi aydınlatan dolunay, gizemli havasıyla her zaman insanları etkilemiştir.

Güneş Sistemi'nde gezegenlerin çevresinde dönen 160'ı aşkın doğal uydu vardır. Şimdilik 63 uydusuyla Jüpiter bu alanda rekoru elinde tutuyor. Satürn'ün 62, Uranüs'ün 27 ve Neptün'ün de 13 uydusu vardır. Dünya'nınsa yalnızca bir uydusu bulunur: Ay. Ama Ay büyüklük bakımından sıra dışı bir uydudur. Güneş Sistemi'nin en büyük uydusu değildir. Ondan daha büyük dört uydu vardır; ancak büyüklüğü çevresinde döndüğü gezegene en yakın olan uydudur. Bu nedenle birçok gökbilimci Dünya ile Ay'ı, gezegen-uydu ikilisi olarak değil de, hep bir "gezegen çifti" olarak görmüştür.

Çapı 3476 km olan Ay'ın kütlesi, Dünya'nın kütlesinin 81'de biri kadardır. Kütleçekimi Dünya'nınkinin altıda biridir. Yani yeryüzünde 80 kg gelen biri, Ay'da yalnızca 13,3 kg gelir.

Uydular arasında, çevresinde döndüğü gezegene göre en büyük olan uydu Ay'dır.


Dünya ve Ay


Jüpiter ve Ganymede



Ay'ın kütlesi büyüktür; ama yine de bir atmosferi tutacak kadar değildir. Yani Ay'da mavi bir gökyüzü, bulutlar ya da rüzgâr yoktur. Ayrıca sesi iletecek bir atmosfer olmadığından, Ay yüzeyinde mutlak bir sessizlik hâkimdir. Doğal uydumuzun bir manyetik alanı da yoktur. Orada pusulalar yön göstermez. Bazı bölgelerinde mıknatıslaşmış kayalar bulunmuştur. Buradan da Ay'ın bir zamanlar manyetik alanının olduğu, ama zamanla onu yitirdiği anlaşılmıştır. Ay'ın kabuğu kalsiyum açısından zengin, granit benzeri kayalardan oluşur ve kalınlığı 50-75 km arasında değişir. Ay'ın iç yapısı katmanlıdır. Kabuğun altında yaklaşık 1000 km'lik kayadan bir manto bulunur. Onun altında 100 km kadar inen, yarı eriyik halde bir "dış çekirdek" vardır. Merkeze inildikçe sıcaklık artar. Merkezde yaklaşık 1500°C sıcaklıkta "iç çekirdek" bulunur. Ay'ın yoğunluğu (3,3 g/cm^3), iç çekirdeğin merkezdeki çok küçük bir bölümünün demirden olabileceğini düşündürür.

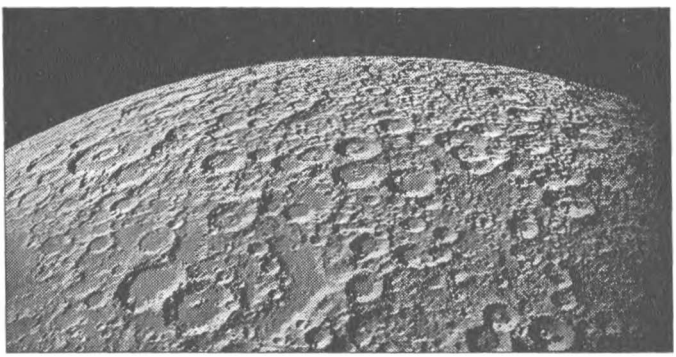
Kayaların ve toprağın gri ve kahverenginin tonlarında olduğu renksiz Ay yüzeyindeki sıcaklık gündüzleri 150°C'a kadar çıkarken, geceleri -100°C'a kadar düşer. Yüzeyde ya da yüzeyinin altında donmuş olarak su bulunmaz. Ay'daki jeolojik etkinlikler de çok önceden sona ermiştir. Sonuç olarak Ay, Dünya kadar yaşlı ama yaşamın hiçbir zaman ortaya çıkmadığı, kozmik ışınlarla sürekli yıkanan, steril bir gökcismidir.

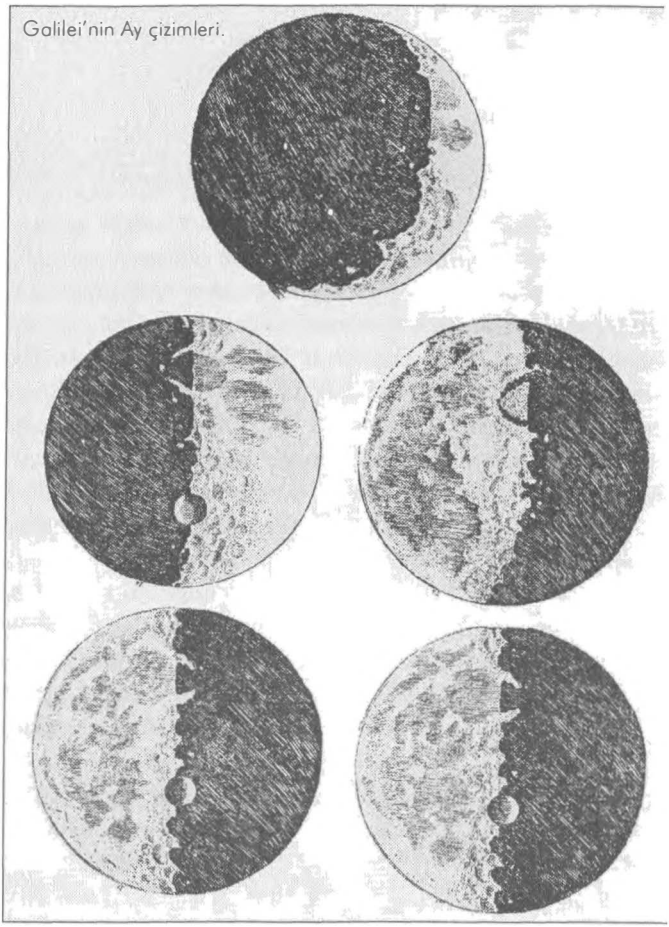
Eski Yunanlar, Ay'ın da tıpkı Dünya gibi bir yer olduğunu ve yüzeyinde karanlık görülen bölgelerin de suyla kaplı olduğunu düşünürlerdi. Bu düşünce teleskopun bulunmasından sonra Ay yüzeyinin ilk haritalarının yapıldığı 1600'lü yılların başlarına kadar ulaştı. O nedenle Ay'daki karanlık (düzlük) bölgelere bugün bile deniz (mare) ya da okyanus (ocean) denir.

Ay'ın yüzeyinde küçüklü büyüklü yüz binlerce çarpma krateri vardır. Kraterlerin yanında Ay'da lav akıntılarının oluşturduğu bazı düzlükler de bulunur. Ay yüzeyindeki lav akıntıları üç milyar yıl kadar önce sonlanmıştır. Her yanda bol miktarda bulunan çarpma kraterlerinin bu düzlük bölgelerde çok az olduğu fark edilmiştir. Buradan da Ay'ın kraterlerinin büyük bölümünün 3 milyar yıldan önce, yani ağır bombardıman evresinde oluştuğu anlaşılmıştır. Ay'daki kraterlere geçmişte yaşamış ünlü kişilerin genellikle de bilim insanlarının adları verilmiştir. Ay'da su, atmosfer ve hava olayları olmadığından erozyon da yoktur. O nedenle kraterler milyarlarca yıl boyunca korunur. Aslında Ay yüzeyine saatte 100.000 km hızla çarpan mikrometeoritlerin oluşturduğu bir erozyon vardır; ama bu, yeryüzündeki erozyondan 10.000 kez daha az etkilidir. Bu tip erozyon milyonlarca yılda ancak birkaç milimetrelik bir aşınmaya yol açar.

Ay, insanların gidebildiği tek gökcismidir. Binlerce yıl boyunca insanlar onu hep merak etmiştir: Acaba Ay nasıl oluşmuştu? Hangi maddelerden yapılmıştı? Ay da Dünya gibi bir yer miydi? Acaba üzerinde canlılar yaşıyor muydu? Bunlar gerçekte çıplak gözle Ay'a bakılarak yanıtla-

Ay'ın yüzeyinin en belirgin şekilleri olan kraterlerin çok büyük bölümü çarpma krateridir. Önceleri bunların, yanardağ püskürmeleri sonrasında çöken alanlarda oluşan volkanik kraterler olduğu düşünülüyordu. Sonra asteroit çarpmasıyla oluşan kraterler olduğu anlaşıldı. Asteroitler Ay'a genellikle saatte 72.000 km'lik bir hızla çarpar ve kendi çaplarının yaklaşık 15 katı büyüklükte dairesel kraterler oluştururlar.





nabilecek sorular değildi. 1609'da Galilei kendi yaptığı teleskopu Ay'a çevirdiğinde, bu sorulardan bazılarının yanıtları ilk kez ortaya çıktı. Her şeyden önce Ay'ın yüzeyi, yeryüzüne oldukça benziyordu. Orada da dağlar, düzlükler, vadiler, kraterler vardı. Zamanla teleskoplar gelişti ve daha da ayrıntılı görüntüler elde edildi. Ama Ay'a ilişkin yanıtlanamayan hâlâ birçok soru kaldı. Bunların yanıtlanabilmesi için Ay'a gitmekten başka yol yoktu.

Bunun için 1960'lı yılların gelmesini beklemek gerekecekti. 1957'de Sovyetler Birliği'nin Sputnik I'i uzaya

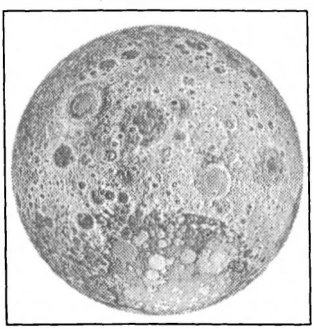
göndermesiyle ABD ile SSCB arasında başlayan uzay yarışının bir ayağını da Ay'a gitmek oluşturuyordu. Ay yarışı yaklaşık 10 yıl sürdü. Bu kısa sürede toplam 40 dolayında uzay aracı Ay'a gönderildi. Bunların bir bölümü başarısız oldu; uzayda kayboldu ya da Ay'a çakıldı. Bir bölümünün amacı yalnızca Ay'ın yüzeyine inmek, hatta Ay'a düşmekti. Bir bölümü Ay'ın çevresinde bir yörüngeye girip Ay'ı inceledi, görüntüledi; küçük bir bölümü de Ay'a insan taşıdı.

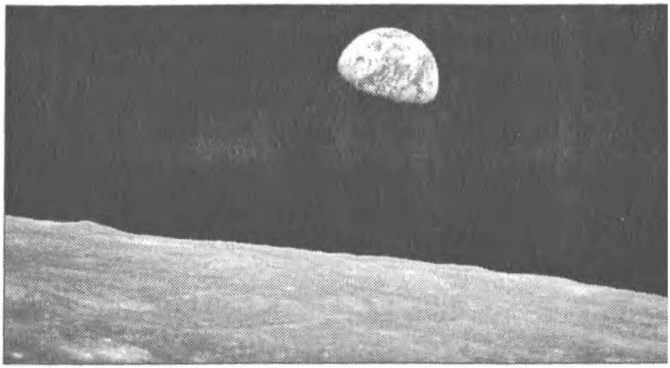
İki ülkenin Ay projelerinde toplam 400.000 dolayında insan çalıştı ve bugünün parasıyla 150-200 milyar dolar harcandı. Sonunda yarışı ABD kazandı. 16 Temmuz 1969'da Apollo 11 uzay aracı, dev Saturn V roketlerinden biriyle uzaya fırlatıldı. Dört gün sonra 20 Temmuz'da ABD'li astronot Neil Armstrong Ay'a ayak bastı.

Sonraki üç yıl içinde Ay'a beş kez daha insan gönderildi. Toplam 12 insan Ay yüzeyinde yürüdü ve orada çeşitli bilimsel araştırmalar yaptı. Neil Armstrong ve Edwin Aldrin, Ay'ın yüzeyinde yalnızca birkaç yüz metre çaplı bir bölgede 2,5 saat kadar kalmıştı. Sonraki görevlerde gidenler, beraberlerinde getirdikleri Ay arabalarıyla kilometrelerce öteye gitti ve onlarca saat Ay yüzeyinde çalıştı.

On yıllık yoğun çabanın sonunda Ay'a ulaşılmıştı; ama Ay'ın boş, havasız, susuz, soğuk ve cansız bir yer olduğunun anlaşılması, insanların binlerce yıldır kurguladıkları gizemli ve romantik düşlerin boşa çıkmasına, kısacası biraz düş kırıklığına yol açtı. Kuşkusuz bilim insanları için durum biraz farklıydı. Onlar

İlk kez Sovyetler Birliği'nin Lunik 3 sondası, Ekim 1959'da Ay'ın arkasına geçerek Dünya'ya o yüzün de görüntülerini göndermiştir. O günden sonra insanlı ya da insansız birçok uzay aracı Ay'ın bütün yüzeyinin fotoğraflarını çekmiş, haritasını çıkartmıştır. Ay'ın arka yüzüyle ön yüzü arasındaki belki de tek fark, "deniz" diye adlandırılan büyük düzlüklerin arka yüzde bulunmamasıdır.





1968'de Apollo 8 ile üç astronot Ay'a inmedi; ama ilk kez bir başka gökcisminin yörüngesine girip onu inceledi. Uzay aracının Ay'ın çevresindeki 4. turu sırasında, astronotlar daha önce hiçbir insanın görmediği bir görüntüyle karşı karşıya kaldılar: Ufukta yavaş yavaş Dünya doğuyordu.

hem Ay'a ilişkin sorularının bir bölümüne yanıt buldular, hem de yepyeni ve çok geniş bir araştırma dalı açtılar: Uzay araçlarıyla gezegen araştırmaları. Ay yarışı sayesinde Ay ile ilgili bilgiler hızla arttı; uydumuzla ilgili yanlış inanış ve düşünceler yerlerini şaşırtıcı bilimsel gerçeklere bıraktı.

18 | Ay nasıl oluşmuştur?

Ay'ın birkaç bölgesine altı kez insan göndermek ve oradan 380 kg kaya örneği getirmekle doğal olarak Ay hakkında merak edilen her şey yanıtlanamadı. Hatta Ay hakkında bilinmek istenen en önemli konu olan, Ay'ın nasıl oluştuğu bile çözülemedi.

O dönemde Ay'ın oluşumuna ilişkin iki temel teori vardı. Birinci teoriye göre Ay da tıpkı Dünya gibi Güneş Sistemi'nin oluşumu sırasında gaz ve toz bulutundan, bugün bulunduğu yerinde oluşmuştu. İkinci teoriye göre de Ay başıboş gezen bir gökcismiyken, Dünya'nın kütleçekim alanına girmiş ve bugünkü yörüngesine oturmuştu.

Bir başka deyişle Dünya, Ay'ı kapıp uydusu yapmıştı!

Ay'dan getirilen kayalar Ay'ın oluşumuna yönelik bu teorilerin sınanmasını sağlayacaktı; hangisinin doğru olduğu ortaya çıkacaktı. Ne var ki gelen kayalar, iki teoriyi de ne tam destekledi ne de tam olarak çürüttü. Bu kayalar Dünya'dakilerden biraz farklıydılar. Öyleyse Dünya'dakilerle aynı süreçlerden geçerek oluşmuş olamazlardı. Ayrıca Ay da Dünya ile aynı şekilde, onunla benzer bir süreçten geçerek oluşmuş olsaydı; tıpkı onunki gibi büyükçe bir demirden çekirdeği olması gerekirdi; ama yoktu. Öte yandan Ay kayaları meteoritlerden farklıydılar ve Dünya'daki kayalarla da birçok ortak yönleri vardı. O zaman Ay ile Dünya'nın ortak bir geçmişi de olması gerekiyordu. Zaten Dünya'nın, yakından geçmekte olan Ay kadar büyük bir gökcismini yolundan çevirip de kendi çevresinde dönmeye zorlayacak bir kütlesi yoktu.

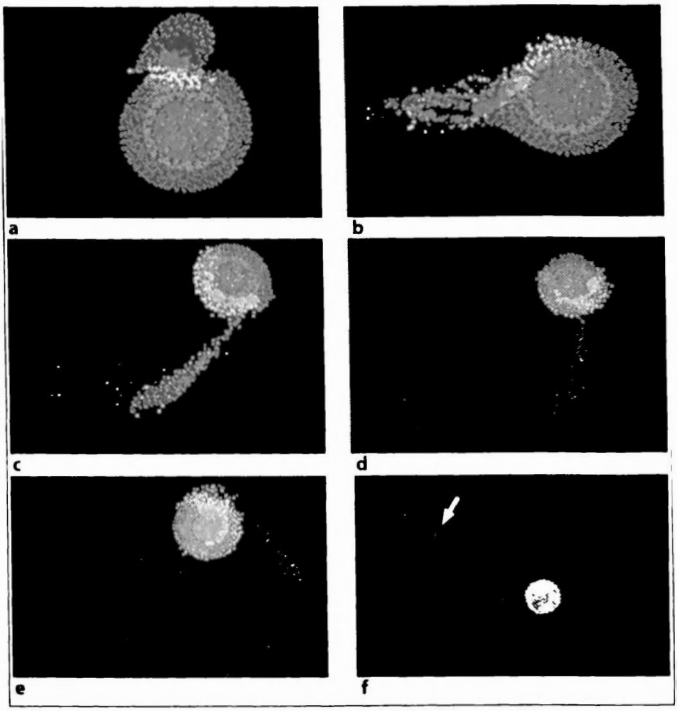
Ayrıca Apollo astronotlarının getirdiği kayalar ve toprak, Ay'ın oluşumundan kısa bir süre sonra tümüyle eriyik halde ve lavla kaplı olması gerektiğini ortaya koyuyordu. Ne var ki Ay kadar küçük bir gökcisminin yüzeyi doğal olarak hiçbir zaman böylesine ısınmış olamazdı. Ay'dan gelen kayalar sayesinde, Ay'ın kökeninin gizemi çözülememiş, hatta tersine gizem biraz daha derinleşmişti. Ay'ın Dünya kadar yaşlı olduğu, Ay'da hiç su bulunmadığı, oradaki kayaların Dünya'nın mantosundaki kayalara benzediği, çok az demir içerdiği ve bir zamanlar Ay'ın yüzeyinin tümüyle eriyik olduğu anlaşılmış oldu. Sanki Ay ile Dünya aynı süreçlerden geçerek oluşmuştu; ama sonra Ay çok ısınmış, erimişti ve demir çekirdeğini de bir şekilde yitirmişti.

1970'li yılların başında, Güneş Sistemi'nin ilk dönemlerinde oluşumları sırasında, kısa sürelerde hızla büyüyen gökcisimleri arasında şiddetli çarpışmaların gerçekte çok sık yaşandığı ortaya çıktı. Gezegen sistemlerinin oluşum süreçlerinde, öngezegenlerin ve dev asteroitlerin birbirleriyle çarpışmasının olağan bir olay olduğu, hatta sürecin önemli bir parçası olduğu anlaşıldı. Bu bilgi Güneş Sistemi'ne yönelik birçok teorinin gözden geçirilmesine yol açtı.

O dönemde William Hartmann adlı bir gezegenbilimci NASA'da Ay kraterlerinin haritalarının çıkartılması işiyle uğraşıyordu. Bir yandan da aklına takılan birtakım sorulara yanıt arıyordu. Ay'daki çok büyük kraterlere çok büyük asteroitler yol açmıştı. Peki, bu çarpışmaların en büyükleri nasıl olmuş olabilirdi? Acaba gezegen büyüklüğünde gökcisimleri hiç çarpışmış mıydı? Çarpışmışsa, çarpışmanın ne tür sonuçları olmuştu? Hartmann, bu sorulara yanıt ararken Ay'ın oluşumuyla ilgili "Korkunç Çarpışma Teorisi" adını verdiği bir teori geliştirdi. Teorisini de 1974'te duyurdu.

Hartmann'ın teorisine göre, yaklaşık Mars büyüklüğünde Orpheus adı verilen bir öngezegen, Dünya'nın oluşumundan yaklaşık 50 milyon yıl sonra Dünya'ya çarpmıştı. Çarpışmanın şiddetiyle Dünya'nın mantosunun büyük bölümü uzaya savrulmuştu. Çarpan öngezegenin ağır elementleri Dünya'da kalmış, onun çekirdeğiyle birleşmiş, hafif olanlarsa uzaya saçılmıştı. Uzaya saçılan maddeler kütleçekim etkisiyle kısa sürede toplanarak bir araya gelmişti. Çarpışmadan çok değil birkaç yüzyıl sonra, Dünya'dan yalnızca 25.000 km ötede büyükçe bir doğal uydu oluşmuştu: Ay. O dönemde Ay, Dünya'ya bu kadar yakın olduğundan Dünya'dan çok büyük, bugünkünün 15 katı görünüyordu.

İlk başta birçok gökbilimcinin önemsemediği bu teori, sonraki on yıl boyunca giderek yandaş kazandı; çünkü Ay hakkında bilinen ve bir arada anlamlandırılması güç görünen birçok bilgiyle uyuşuyordu. Günümüzde Ay'ın oluşumuna yönelik genel kabul gören teori de budur. Teori genel kabul görmeye başladığı sıralarda, Güneş Sistemi'ni araştırmak için gönderilen uzay sondalarından gelen veriler bu tür şiddetli çarpışmaların yalnızca Ay ile sınırlı olmadığını ortaya çıkartmıştır. Uranüs'ün uydusu Miranda'nın "yamalı" yapısı, onun da bir zamanlar parçalanmış ve sonra yeniden birleşmiş bir gökcismi olduğunu gösterir. Satürn'ün -ve öteki dev gezegenlerin- halkalarını oluşturan maddelerin de aslında bir zamanlar bazı uyduların parçalanmasıyla ortaya çıkan döküntülerden oluştuğu düşünülüyor. Yalnız-



Bilgisayar canlandırmalarına göre Dünya'ya çarpan gökcismının (kimi gökbilimciler onu Theia olarak adlandırır) yaklaşık 45°'lık bir açıyla ve saatte 15.000 km'den düşük bir hızla Dünya'ya çarpmış olması gerekir.

ca uydularda değil, Güneş Sistemi'nde bazı gezegenlerde de geçmişte yaşanmış çok şiddetli bir çarpışmanın izlerini görmek mümkündür. Örneğin Venüs'ün, kendi eksenindeki dönüş yönü bütün gezegenlerin döndüğü yönün tam tersidir. Benzer bir şekilde Uranüs'ün kendi eksenindeki dönüşü de 90° yatıktır. Bu gezegenlerdeki böylesi sıra dışı özelliklere bir zamanlar başlarından geçen korkunç çarpışmaların yol açtığı düşünülmektedir.

Ay, günümüzde Dünya'dan ortalama 384.000 km uzaktadır. Dünya'nın çevresindeki 2,4 milyon kilometrelik yörüngesini saniyede ortalama 1 km'lik bir hızla, 27,3 günde tamamlar. Yörünge düzlemi, Dünya'nın Güneş çevresindeki yörünge düzlemine göre 5,145° eğiktir. Eksen eğimi de 1,5° kadardır.

Ay'ın Dünya çevresindeki yörüngesi çembere yakın bir elipstir. O nedenle zaman zaman Dünya'ya yakınlaşır, zaman zaman da uzaklaşır. Dünya çevresindeki bir turunu ve kendi eksenindeki bir dönüşünü aynı sürede tamamlar: 27,3 gün. Bu iki sürenin eşit olmasına senkron dönüş denir.

Senkron dönüş nedeniyle, Dünya'dan bakıldığında Ay'ın hep aynı yüzü görülür. Ay'ın yörünge düzleminin ekliptikle 5° kadar farklı oluşu ve Dünya'ya zaman zaman yakınlaşıp uzaklaşması nedeniyle, aslında Ay'ın değişik zamanlarda görülen bölgeleri Ay yüzeyinin yüzde 59'u kadardır.

İlk oluştuğu dönemde Ay'ın kendi ekseninde dönüşü bugünkünden çok daha hızlıydı ve Dünya'dan bakıldığında her yanı görülüyordu; gerçi o dönemde yeryüzünde değil insan, hiçbir canlı yoktu. Dünya'nın kütleçekim kuvvetinin Ay'da yol açtığı gelgit etkisi Ay'ın dönüş hızının zamanla düşerek bugünkü değerine inmesine yol açtı. Yani Ay'ın dönüşünün bu hızda sabitlenmesi rastlantı değildir. Dünya'nın kütleçekim kuvvetinin Ay'da oluşturduğu gelgit etkisinin bu konumdayken en az olmasından kaynaklanır.

Ay'ın Dünya'ya hep aynı yüzünün dönük olması, yalnızca Dünya-Ay ikilisinde görülmez. Aslında bu durum Güneş Sistemi'ndeki bütün gezegenlerde ve onların büyük uydularında böyledir. Bir başka deyişle Jüpiter'in (8), Satürn'ün (15), Uranüs'ün (5) ve Neptün'ün (2) hatta 2006'da gezegen liginden düşen Plüton'un en büyük uydusunun hep aynı yüzleri gezegenlerine dönüktür. Kendi eksenlerinde dönüş süreleri bilinmeyen daha 27 uydunun da senkron dönüşleri olduğu tahmin edilmektedir.

Dünya'nın kütleçekim kuvveti nedeniyle Ay'da ortaya çıkan gelgit etkisi gibi Ay'ın kütleçekim kuvveti de Dünya'da bir gelgit etkisine yol açar. Yeryüzündeki gelgitlerin temel sorumlusu Ay'dır. Gerçi Güneş'in kütleçekiminin de bunda biraz etkisi vardır; ama asıl etkili olan, Ay'ın kütleçekimidir.

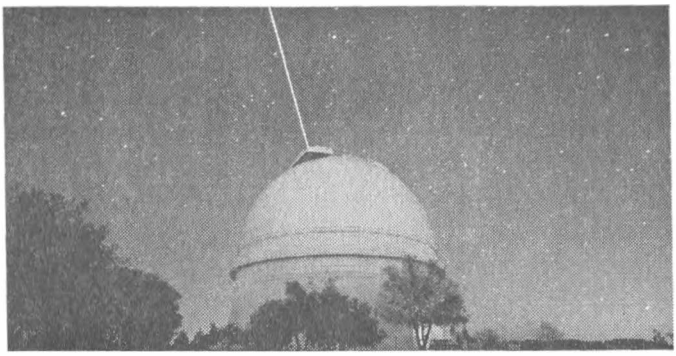
Ay'ın Dünya'da oluşturduğu gelgit etkisi de Dünya'nın kendi eksenindeki dönüşünü yavaşlatır; her yüz binyılda bir saniye kadar. Bundan 4,5 milyar yıl önce, ilk oluştuğu dönemde, Dünya'nın bir günü yaklaşık 8 saatti. O zaman-

lar Ay da Dünya'ya yalnızca 25.000 km kadar uzaktı. Bu uzaklıktaki Ay'ın, Dünya üzerindeki etkisi çok daha güçlüydü. Ama Ay zamanla Dünya'dan uzaklaştı; kütleçekim etkisi de giderek azaldı. Yine de Ay'ın yol açtığı yavaşlamanın sonucunda Dünya, günümüzde kendi ekseninde bir dönüşünü 23 saat 56 dakikada tamamlar oldu.

Ay yüzeyinde gündüz ile gece arasında 250°C'a varan sıcaklık farkları olur. Ama bu durum güney ve kuzey kutup bölgelerindeki bazı derin kraterlerin tabanı için geçerli değildir. Çünkü buralar yıl boyunca karanlık kalır ve sıcaklık da -250°C'a kadar düşer. Çarpan kuyrukluyıldızların getirdiği suyun bu bölgelerde buz halinde bulunma olasılığı vardır. Bilim insanları bu olasılığın uzun zamandır farkında. Ne var ki 1972'den beri Ay'a hiçbir araştırma sondası gönderilmediğinden, bu durumun araştırılması mümkün olmadı.

Ancak 1994'te, Apollo 17'den 22 yıl sonra, NASA, Clementine adlı bir uzay aracını Ay'a gönderdi. Ay'ın yörüngesine giren Clementine, iki ay boyunca uydumuzun kutuplarını radarla taradı ve herkesi şaşırtan veriler elde etti. Ay'ın yüzeyine gönderdiği radar dalgaları bazı alanlarda

Ay'a giden astronotlar, Ay'ın yüzeyine yansıtıcı bir levha (bir tür ayna) yerleştirrmiştir. Yansıtıcının yerleştirildiği günden bugüne dek, her akşam Teksas'taki McDonald Gözlemevi'nden Ay'a lazer ışınları gönderilir. Yansıtıcıya çarpan ışınlar gözlemevindeki algılayıcılara geri döner. Işınların Ay'a gidip gelme süresi çok duyarlı bir şekilde ölçülür. Yaklaşık 40 yıldır yapılan bu gözlem ve hesapların sonucunda, Ay'ın hâlâ Dünya'dan yılda 3,8 cm uzaklaştığı ortaya çıkmıştır.



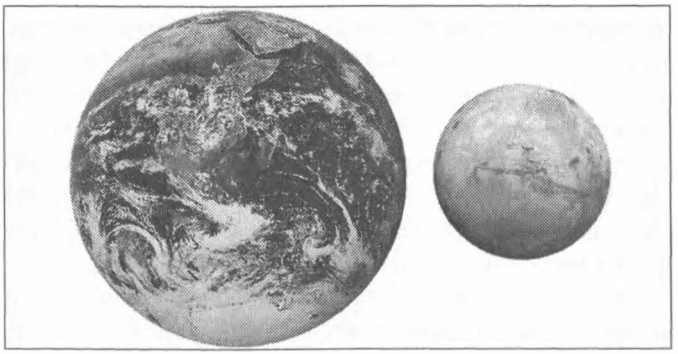
tıpkı buzlu bir yüzeye çarpıyormuşçasına yansıyordu. Birden Ay'ın kutup bölgelerindeki bazı kraterlerin tabanlarında su bulunma olasılığı güç kazandı. Bu durum her şeyi değiştirdi.

2004'ten bu yana da Japonya'nın, Çin'in, Hindistan'ın ve ABD'nin uzay araçları, Ay'ın çevresinde değişik yörüngelere oturdu ve doğal uydumuz yeniden incelenmeye başlandı. NASA'da 40 yıl aradan sonra yeniden Ay'a yolculuk planları yapılmaya başlandı. Ama planlar artık öncekilerden farklı olarak giden astronotların uzun süre kalacağı daimi bir üsse yönelik yapılıyor. Bunun yanında Çinli bilim insanları 2020'ye kadar Ay'a insan göndermeyi planlıyor. Ayrıca bazı özel girişimcilerin de Ay'ın yörüngesine turist götürüp geri getirmeye yönelik planları var.

19 | Mars nasıl bir gezegendir?

Gece gökyüzünde saptanması en kolay gezegenlerden biri Mars'tır. Birkaç gece izlendiğinde, arka plandaki yıldızlara göre hareket ettiği kolayca fark edilen bu büyükçe kırmızı nokta, tarih boyunca insanların hep ilgisini çekmiştir. Romalılar kan rengindeki bu "gezen yıldız"a, Savaş Tanrıları Mars'ın adını vermiştir. Dünya'dan oldukça küçük olan bu gezegenin kırmızı görüntüsünün aslında basit bir nedeni vardır: Toprağında bolca bulunan demiroksit, yani pas. 20. yüzyılda bilimkurgu edebiyatı ve sinema, Mars'ın insanların gözündeki özel konumunu daha da pekiştirmiştir.

Mars'ın yalnızca çok güçlü teleskoplarla görülebilen, iki küçük uydusu vardır: Fobos (korku) ve Deimos (dehşet). 1877'de keşfedilen uydulardan Fobos 7,7 saatte bir gezegenin çevresinde döner. Deimos da bir turunu 1,3 günde tamamlar. Her iki uydunun da üzerlerinde değişik büyüklüklerde çarpma kraterleri bulunur. Fobos ile



Karasal gezegenlerin sonuncusu olan Mars'ın çapı Dünya'nınkinin yarısı kadardır: ekvatorda 6792 km. Hacmi, Dünya hacminin yüzde 15'i kadarken, kütlesi Dünya'nın kütlesinin yüzde 11'i kadardır. Yani yoğunluğu daha düşüktür. Ayrıca kütlesi küçük olduğundan kütleçekim kuvveti de düşüktür; Dünya yüzeyinde 80 kg gelen biri, Mars'ta 30,4 kg gelir.

Deimos'un bir zamanlar yakalanmış iki asteroit olduğu düşünülüyordu. Ancak son zamanlarda çok şiddetli bir çarpma sonucu Mars'tan kopmuş olabilecekleri düşüncesini destekleyen kanıtlar arttı.

Güneş Sistemi'nin dördüncü gezegeni olan Mars, Güneş'ten ortalama 1,5 AB (228 milyon kilometre) uzaktır. Yörüngesi biraz basık bir elips şeklinde olduğundan Güneş'e olan uzaklığı 208 ile 248 milyon kilometre arasında değişir. Bilim insanlarının "sol" adını verdiği bir Mars günü de 24 saat 40 dakikadır. Yani bir Dünya gününden yalnızca 44 dakika daha uzun...

Gezegen, Güneş çevresindeki bir turunu 687 günde (Dünya günü) tamamlar. Dünya'nınkine çok yakın olan eksen eğimi (24°), Mars'ta da tıpkı Dünya'da olduğu gibi mevsimlerin olmasını sağlar. Ancak Kızıl Gezegen'in kendisini kararlı bir yapıda tutacak Ay gibi büyük bir uydusu olmadığından, ekseninin büyük bir salınımı vardır: Beş milyon yılda bir kutupları Güneş'e doğru 45° kadar eğilir.

Mars'ın kuzey yarımküresinde yaz mevsimi Dünya'da olduğu gibi gezegen Güneş'e en uzak olduğunda gerçekleşir. Mars'ın gece-gündüz düzeni ve mevsimleri Dünya'nınkilere benzer. Güneş'e Dünya'dan daha uzak

olduğundan Mars, Dünya'ya göre daha soğuk bir gezegendir. Yazın ekvatora yakın bölgelerde sıcaklık ancak 0°C civarında olur. Ortalama yüzey sıcaklığıysa -60°C'tır; Antarktika'da tipik bir kış günü kadar. Aslında Mars, o yörüngede olması gerektiğinden daha soğuktur; çünkü Güneş'ten gelen ısıyı tutacak ve gezegene dağıtacak kalın bir atmosferi yoktur (Dünya'nın atmosferi sayesinde yeryüzünün ortalama sıcaklığı 15°C kadardır).

Mars'ın ince atmosferinin yüzde 95'i karbondioksit, yüzde 2-3'ü azot, yüzde 1-2'si argon, yüzde 0,1-0,4'ü oksijendir. Geri kalan bölümünü de eser miktarda su buharı ve başka gazlar oluşturur. Atmosferde asılı kırmızı toz parçacıkları nedeniyle Mars'ın gökyüzü gündüzleri pembemsi, güneş batarken de soluk mavi renkli (sanki Dünya'dakinin tam tersi gibi) olur. Dünya'dan göründüğünden dört kat küçük görünen Güneş, Mars ufkunda battıktan sonra gökyüzünde iki küçük ay, Fobos ve Deimos belirir.

Atmosferi çok ince olan Mars'ın yüzeyindeki atmosfer basıncı da çok düşüktür: 7-8 milibar (Dünya'da deniz düzeyinde yaklaşık 1 bar'dır). Dünya'dakinin yüzde 1' i kadar olan yüzeydeki basınç, sıvı su moleküllerinin kolayca gaz haline geçmesini engelleyemez. Atmosferi ince olmasına karşın, zaman zaman Mars'ta çok şiddetli rüzgârlar eser. Bunlar yüzeydeki tozları ve toprağı havalandırır ve kısa sürede fırtınaya dönüşür. Yaklaşık üç yılda bir de bölgesel olarak başlayan bir fırtına büyüyerek gezegeni tümüyle kaplayan küresel bir fırtınaya dönüşür. Bu durumda Mars'ın yüzeyi aylarca görünmez olur.

Mars'ı bilim insanları için özel bir gezegen yapan asıl özelliği, yüzeyinin yeryüzüne çok benziyor oluşudur. Mars'ın alanı yeryüzündeki karaların toplamı kadardır; yaklaşık 150 milyon kilometrekare. Yüz milyonlarca belki de milyarlarca yıldan beri hiç yağış almayan Mars yüzeyi, Dünya'daki en kuru çölden daha kurudur. Ancak yüzeyinde bir zamanlar akarsuların oluşturduğu vadiler hâlâ durur. Bu vadilerin yanı sıra, yanardağlar, ovalar, kraterler, kurumuş göl tabanları gibi yeryüzünde görmeye alıştığımız daha birçok yüzey şekli de vardır.

Gezegenin kuzey yarımküresi güney yarımküresine göre birkaç kilometre daha alçaktır. Bu da bir zamanlar kuzey yarımkürenin büyük bölümünü kaplayan bir okyanus olabileceğini düşündürür. Yüzeyinin yüzde 60'ı ağır bombardıman evresinden kalma kraterlerle kaplıdır. Kuzey yarımküredeki Hellas Plantia adlı çarpışma krateri, 10.600 km'ye 8500 km boyutlarıyla Güneş Sistemi'ndeki en büyük kraterlerden biridir. Gezegenin en derin noktası da Hellas Plantia'nın merkezidir ve ortalama yükseklikten 7 km kadar aşağıda yer alır. Bu çukurun yaklaşık 4 milyar yıl önce, Plüton büyüklüğünde bir öngezegenin Mars'a çarpması sonucunda oluştuğu tahmin ediliyor.

Dünya'dan oldukça küçük bir gezegen olmasına karşın, Güneş Sistemi'ndeki en büyük kanyon sistemi ve dağ Mars'ın yüzeyinde bulunur: Mariner Vadisi (Vallis Marineris) ve Olimpus Dağı (Olympus Mons). Mariner Vadisi yaklaşık 5000 km uzunluğunda, 600 km genişliğinde ve 6 km derinliğindeki dev bir vadinin çevresinde yer alan küçüklü büyüklü birçok yarık vadiden oluşan dev bir kanyon sistemidir. Ancak bu görkemli yüzey şeklinin nasıl oluştuğu hâlâ tam olarak açıklanabilmiş değildir.

Gezegenin kütleçekimi düşük olduğundan, Mars'ın yüzeyindeki dağlar kendi üzerlerine çökmeden yeryüzündekinden daha çok yükselebilmiştir. 600 km'lik

Mars'ın artık etkin olmayan yanardağı Olympus Mons, Everest'ten yaklaşık üç kat daha yüksektir.



taban çapı ve yaklaşık 25 km'lik yüksekliğiyle Güneş Sistemi'ndeki en yüksek dağ olan Olimpus Yanardağı, Mars'ın kuzey yarımküresinde yer alır. Günümüzde Mars'ta etkin hiçbir yanardağ yoktur. Mars'taki volkanik etkinliklerin 100 milyon yıl kadar önce durduğu tahmin edilmektedir.

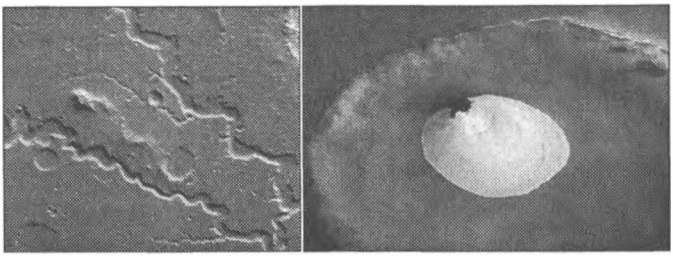
Mars'ın kabuğu kuzey yarımkürede ortalama 35 km, güney yarımkürede de 80 km kalınlıktadır. Ancak bu kabuk Dünya'daki gibi plakalardan oluşan kırıklı bir yapıda değildir, tek parçadır ve hareket etmez. Kabuğun altında Dünya'nınkinden daha az sıcak, daha kalın ve hareketsiz bir manto tabakasının da olduğu tahmin ediliyor.

Kabuğun en yaşlı bazı bölümlerindeki mıknatıslanmış kayalar, Mars'ın bir zamanlar (dört milyar yıl kadar önce) eriyik halde demirden bir çekirdeği olduğunu ve bunun da ürettiği bir manyetik alanın bulunduğunu gösteriyor. Ne var ki şu anda her ikisi de yok; tıpkı Ay'da olduğu gibi Mars'ta da yön bulmak için pusula bir işe yaramaz.

Mars'ın kutup takkeleri beyazdır. Çünkü kutup takkelerinde buz vardır; ama bu, su buzu değildir. Kurubuz da denilen karbondioksit buzudur. İklimsel nedenlerle iki yılda bir kutuplardaki buz örtüleri geri çekilir, küçülür; sonra yeniden toplanır, büyür, genişler. Yaklaşık 20 yıldır Mars'ın çevresinde değişik zamanlarda dönen insan yapımı çok sayıda uydu, gezegenin kutuplarındaki karbondioksit buzunun altında su buzu da bulunduğunun işaretlerini yakalamıştır. Örneğin Mars Odyssey adlı uzay aracı, 2002'de Mars'ın güney kutbuna yakın bir bölgede geniş bir alanın altında bol miktarda hidrojen olduğunu keşfetmiştir. Bu hidrojenin yüzeyin altında donmuş haldeki suda (H_2O) bulunduğu düşünülmektedir.

Mars ve Dünya 4,56 milyar yıl önceki aynı gaz ve toz bulutunun -benzer- içeriğinden oluşmuştur. Oluşumlarından sonraki bir milyar boyunca iki gezegen de asteroit ve kuyrukluyıldız bombardımanına maruz kalmıştır. Bu sayede ikisine de uzaydan bol miktarda su gelmiştir.

Ancak bugün Mars'ın iki kutbundaki su buzunun erimesinin sonucunda, gezegenin bütün yüzeyini ancak



Mars'ın yörüngesinde dönen uyduların gönderdiği fotoğraf ve verilerden çok şey öğreniyoruz. Örneğin Mars'ın yüzey şekilleri bir zamanlar bol miktarda sıvı su bulunduğunu gösteriyor. Bu suyun bir bölümü kutup bölgelerindeki kraterlerin güneş ışığı görmeyen bölümlerinde günümüze dek buz olarak kalmıştır.

11 m derinlikte bir suyun kaplayacağı tahmin ediliyor. Dünya'nın yüzde 71'ini kaplayan okyanus ve denizlerin ortalama 3600 m derinlikte olduğu düşünülürse, bu miktarın gerçekte çok az olduğu anlaşılır.

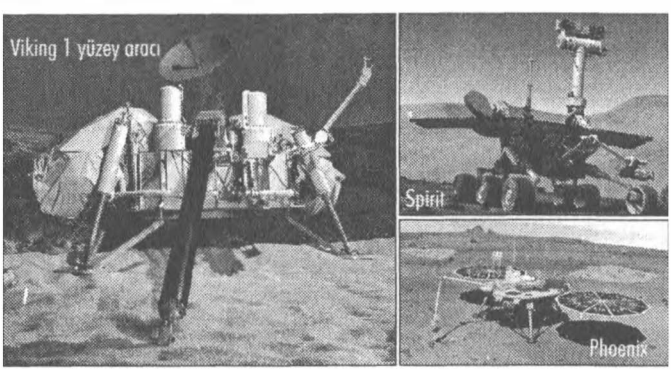
Bununla birlikte Mars yüzeyinin geçmişte bugünkünden çok farklı olduğu da ortadadır. Bir zamanlar yüzeyinde göller ve ırmaklar oluşturacak kadar bol miktarda su vardı. Buradan da o zamanlar Mars'ın kalınca bir atmosferi olduğu sonucu çıkıyor. Öyleyse yaşam Mars'ta da ortaya çıkmış olabilir mi? Yeryüzünde Dünya'nın oluşumundan çok değil, yalnızca 800 milyon yıl kadar sonra ortaya çıkmıştı. Acaba ne olmuştu da, Mars o durumdan bugünkü duruma gelmişti? Bütün o sular ve atmosfer nereye gitmişti? Acaba Mars'ta yaşam gerçekten de ortaya çıkmış mıydı? Eğer çıktıysa acaba gezegenin derinliklerine çekilmiş olabilir miydi?

Kızıl Gezegen'in, oluşumundan bir milyar yıl kadar sonra manyetik alanını yitirmiş olduğu tahmin ediliyor. Mars manyetik olarak savunmasız kalınca, güneş rüzgârı bu küçük gezegenin atmosferini savurmuş, uzaya "üflemiş" olabilir. Ya da gezegende Dünya'dakinin tersine işleyen bir sera etkisi yaşanmış olabilir. Soğuyan gezegende kutup takkelerinde biriken karbondoksit buzları artmıştır. Atmosferde karbondioksit azalınca sera etkisi hafiflemiş ve bunun sonucunda da gezegen biraz daha soğumuştur. Bu durum kutuplarda daha çok kurubuz toplanmasına,

yani atmosferden daha çok karbondioksit çekilmesine yol açmıştır. Bu kısırdöngünün sonunda, Mars bugünkü kuru ve soğuk haline gelmiştir.

Kızıl Gezegen 1610'dan beri sürekli gelişen teleskoplarla hep gözlendi. Ama Mars'a ilişkin en temel ve önemli bilgiler, doğrudan gezegene gönderilen uzay araçlarıyla elde edilmiştir. 1960'lı yıllardan beri Mars'a çok sayıda uzay aracı gönderilmiştir. 1964'te Mars'ın yakınından geçen Mariner 4 adlı uzay sondası, gezegenin ilk yakın plan fotoğraflarını çekmiştir. Bu fotoğraflar sayesinde ilk kez insanlar düş gücünden uzak, çıplak Mars gerçeğiyle karşılaştılar. Mars da tıpkı Ay gibi bir yüzeyi olan, soğuk ve ıssız bir gezegendi. Altı yıl sonra gönderilen Mariner 9, Mars'ın ilk yapay uydusu oldu. Onun çektiği çok daha ayrıntılı fotoğraflarla Mars'ın haritası çıkartıldı. Dünya'dakilere benzeyen yüzey şekilleri olduğu görüldü; böylece Ay ile Dünya arasında bir yer olarak düşünülmeye başlandı. Mariner 9'dan altı yıl sonra gönderilen Viking I ve Viking II uzay araçları, biri yörünge aracı biri de yüzey aracı olmak üzere ikişer uzay aracından oluşuyordu. Viking I ve Viking II'nin yüzey araçları, Temmuz 1976'da ve Eylül 1976'da- Mars'ın değişik bölgelerine indiler. Yörünge araçlarıysa Mars'ın uydusu oldular.

Mars ile Dünya 26 ayda bir birbirine en yakın konuma gelir. Mars'a gönderilecek uzay araçları da hep bu dönemlerde fırlatılır. Yolculuk yaklaşık 7 ay sürer. Aşağıda, Mars yüzeyine inip inceleme yapan üç uzay aracı görülüyor.



Viking uzay araçları Mars'a yaşam aramaya gitmişti. Yüzeye indikleri yerde sabit duran bu uzay araçlarında, aslında çok gelişmiş birer kimya laboratuvarı vardı. Araçlardan uzanan robot kollar, çevrelerindeki toprağı kazdı ve topladıkları örnekler üzerinde çeşitli deneyler yaptılar. Ne yazık ki toprağın üst kısmında hiçbir yaşam izine rastlanamadı.

Vikinglerden 20 yıl sonra, 1997'de Pathfinder adlı bir yüzey aracı gönderildi. Bu yürüyebilen bir araçtı. Sonra 2004'te Spirit ve Opportunity adlı hareketli yüzey araçları gönderildi. Bu üç yüzey aracı da kayalarda ve yüzey şekillerinde geçmiş dönemlerde Mars yüzeyinde su olduğuna yönelik çok sayıda güçlü kanıt bulmuştur. Son olarak da 2008'de Phoenix adlı bir uzay aracı gönderildi. Sabit yüzey istasyonu olan Phoenix yaptığı incelemelerde su buzunun yanı sıra, yüzeyde yaşamın ortaya çıkması için önemli birtakım kimyasal maddeler daha bulmuştur. Ne var ki şu ana değin yaşayan herhangi bir canlıya ya da fosile rastlanmamıştır.

Bugün üç Amerikan uydusu Mars Odyssey, Mars Express ve Mars Reconnaissance Orbiter, Mars'ın çevresinde dönmekte ve onu izleyerek Dünya'ya sürekli veri göndermektedir.

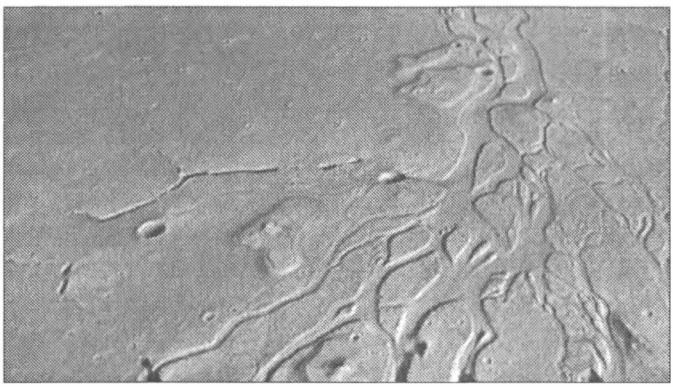
20 | Mars'ta yaşam var mı?

Günümüzde Mars'ın yüzey koşulları, canlıların yaşaması için uygun değildir. Sıcaklık ortalama -60°C dolayındadır. Çok ince olan atmosferin yüzde 95'i karbondioksit, yüzde 0,1-0,4'ü oksijendir. Yüzeydeki basınç da yeryüzündekinin yüzde biri kadardır. Yoğun bir atmosferi olmadığından, gezegen sürekli öldürücü kozmik ışınların etkisi altındadır. Ama belki de en önemlisi Mars'ın yüzeyi Dünya'daki en kuru çölden daha kurudur; hem de

birkaç milyar yıldır. Ne yazık ki bu koşullar altında yüzeyde sürekli olarak sıvı halde su bulunamaz. Bu haliyle en dayanıklı bakterilerin bile Mars'ın yüzeyinde yaşaması olanaksızdır.

Ancak gerek gezegenin yüzeyinde görülen, gerekse araştırmalarla ortaya çıkartılan birçok çarpıcı olgu da geçmişte Mars'ın yüzeyinde bol miktarda su olduğunu hatta yoğun bir atmosferi bulunduğunu da ortaya koymuştur. 1970'li yıllardan bu yana Mars'ın yüzeyine -üçü hareket edebilen- altı uzay aracı inmiş ve çok başarılı araştırmalar yapmışlardır. Bunun yanında son 20 yıldır Mars'ın çevresinde sürekli çalışan en az bir gözlem uydusu bulunmaktadır. Hem yüzey araçlarının hem de yörüngedeki uyduların bütün çabalarına rağmen, Mars'ın yüzeyinde hiçbir canlı izine ya da fosiline rastlanamamıştır. Ancak Dünya'da bile bazı sıra dışı koşullarda (okyanus tabanlarındaki bacalardan çıkan yüz dereceden daha sıcak sularda, Antarktika'da -50 dereceden düşük sıcaklıkta kayaların içinde, asit ya da baz düzeyi aşırı yüksek ortamlarda, yerin birkaç kilometre altındaki sıcak kayaların içinde vs.) yaşayan bakterileri göz önüne alınca, benzer ya da biraz daha dayanıklı birtakım mikroorganizmaların Mars'ta hâlâ yaşıyor olduğunu düşünmek pek de yersiz sayılmaz. Zaten Dünya dışı yaşam araştırması yapan bilim

Mars'ın yüzeyindeki kurumuş ırmak ve göl yatakları, bir zamanlar yüzeyde bol miktarda sıvı su bulunduğunu gösteriyor.



insanlarının birçoğu da Mars'ta bazı mikroorganizmaların olumsuz yüzey koşullarından uzak, kimyasal yolla enerji sorununu çözmüş, yeterli suyun bulunduğu yalıtılmış bazı nişlerde yaşadığını düşünme eğilimindedir.

ALH84001

Yeryüzünde bugüne değin 50.000'i aşkın meteorit bulunmuştur. Bunların çok büyük bölümü Asteroit Kuşağı'ndan, küçük bir bölümü Ay'dan ve 97 tanesi de Mars'tan gelmiştir. Mars'taki şiddetli bir yanardağ patlaması ya da gezegene bir asteroit çarpması sonucunda uzaya fırlamış olduğu düşünülen kayalar, uzun bir süre uzayda yolculuk ettikten sonra Dünya'ya düşmüştür. Bunlar arasında 1984'te Antarktika'da bulunan ve ALH84001 kodlu meteoritin ayrı bir önemi vardır. Büyükçe bir patates boyutlarında ve yaklaşık 1,9 kg ağırlığındaki bu kaya, 4,5 milyar yaşındadır; 16 milyon yıl önce Mars'tan ayrılmış ve 13.000 yıl önce de Dünya'ya düşmüştür. Elektron mikroskobuyla yapılan incelemeler sırasında, içinde bir mikroorganizma fosiline benzeyen 380 nanometre boyunda bir yapı olduğu görülmüştür. Bu yapı 1996'da bilim dünyasına ve kamuoyuna duyurulduğunda, büyük bir ilgi toplamıştı. Ancak bir süre sonra bazı bilim insanlarının bu tür yapıların biyolojik kökenli olması gerekmediği ve birtakım doğal kimyasal süreçlerin sonucunda da oluşabileceğini ileri sürmesiyle birlikte, tartışmalar kapanmamıştır ama ilk heyecan yatışmıştır. Bu bulgu, Mars'ın derin geçmişindeki yaşamın varlığını kanıtlamak için yetersizdir. Zaten kayanın içindeki yapının, eğer bir bakteri fosiliyse, kaya Dünya'ya düştükten sonra içine yerleşen bir bakteriye ait olma olasılığı da vardır.

İnsanların Mars'ta yaşayan mikroorganizma arayışları daha uzun süre devam edeceğe benziyor. Büyük olasılıkla bu konudaki açık yanıtı 2030'lu yıllarda Kızıl Gezegen'e gidecek ilk insanlar verecek. Eğer Mars'ta birtakım canlı mikroorganizmalar bulunursa, yapılacak olan ilk şey, tıpkı bizim gibi DNA temelli canlılar olup olmadıklarını incelemek olacaktır. Eğer DNA taşıyorlarsa, bu kez yaşamın



ALH84001 kodlu meteoritin içinde nanobakteri fosillerini andıran yapılar görülmüştür.

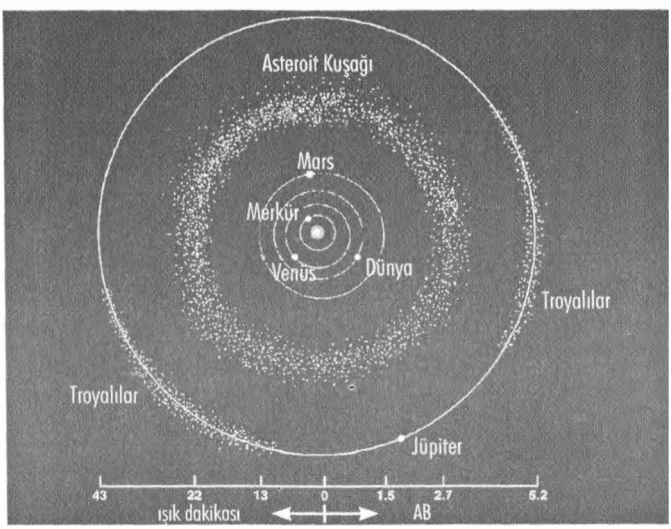
acaba Dünya'da ortaya çıkıp buradan mı Mars'a geldiği, yoksa Mars'ta doğup oradan mı Dünya'ya geldiği araştırılmaya başlanacaktır. Ama DNA taşımayan, yani farklı kökenden canlılar bulunursa, o zaman da yaşamın, maddenin Evren'de değişik biçimlerde kendini gösteren yaygın bir biçimi olduğu düşünülmeye başlanacaktır.

21 | Asteroit nedir?

Asteroitler Güneş Sistemi'nin oluşumundan beri vardır. Daha doğrusu onun bir parçası olarak oluşmuşlardır. Dünya'nın ve Güneş Sistemi'nin oluşumuna, ilk dönem tarihine ve yapısına ilişkin çok önemli bilgiler içerirler. Birçok gökbilimci onları o dönemden kalan fosiller olarak görür. Ne var ki 19. yüzyılın başına kadar kimse onların varlığından haberdar olamamıştır. Çünkü asteroitler o döneme kadar olan en gelişmiş teleskoplarla bile görülemeyecek denli küçüktür. Görülen ilk asteroit Ceres, 1801'de keşfedildiğinde 8. gezegen olduğu düşünülmüş-

tü. Ardından Pallas keşfedildi ve o da 9. gezegen oluverdi. Ne var ki aynı bölgede keşfedilen gezegenlerin giderek artması gökbilimcileri kuşkuya düşürdü. Her yıl bu "minik gezegenler"den birkaç tane keşfedilmeye başlayınca, 1821'de gezegenlikten asteroitliğe düşürüldüler. 19. yüzyılın sonuna gelindiğinde, keşfedilmiş 464 asteroit vardı. 20. yüzyılın sonunda bu sayı 100.000'i geçti. 2010'daysa 400.000'in üzerinde asteroit keşfedilmiş durumdaydı. Günümüzde her ay yaklaşık 5000 yeni asteroit keşfediliyor.

Asteroitler Güneş Sistemi'nin hemen her yanına dağılmış durumdadır. Ancak yüzde 90'ı Mars ile Jüpiter'in yörüngeleri arasında yer alır. Yörüngeleri 2,3-3,3 AB aralığında değişir. Bazısının basık, bazısının da çembere yakın elips şeklinde yörüngeleri vardır. Tıpkı minik birer gezegen gibi Güneş'in çevresinde gezegenlerle aynı yönde dönerler. Asteroitlerin yoğun olarak bulunduğu bu bölgeye Asteroit Kuşağı denir. Asteroitler çok değişik büyüklüklerde ve başlarından geçen şiddetli çarpışmalar nedeniyle de garip şekillerde olur. Bazıları yüzlerce kilometre, bazıları da yalnızca birkaç metre çapındadır (Bunlara meteoroit de denir). Asteroitlerin büyüklükleriyle sayıları arasında ters bir ilişki vardır. Çapları küçüldükçe sayıları



çok artar. Örneğin çapı 1 km'den büyük en az 750.000 asteroit olduğu tahmin edilmektedir. Çapı 100 km'den büyük asteroit sayısı 200'den biraz fazladır. Öte yandan teleskoplarla görülemeyecek denli küçük, çapı yalnızca birkaç metre olan asteroitlerdense milyarlarca olduğu tahmin ediliyor.

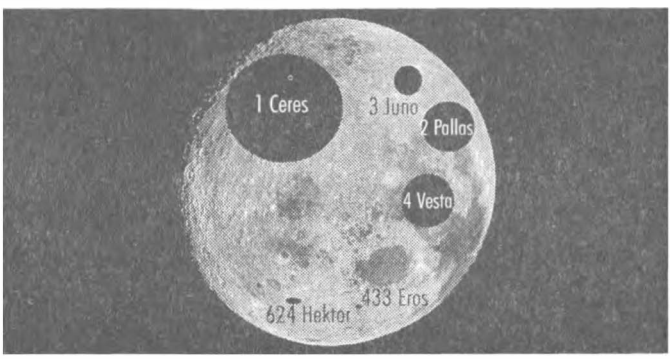
Eskiden bu asteroitlerin çok şiddetli bir çarpışma sonucunda parçalanmış bir gezegenin kalıntıları olduğu düşünülürdü. Artık tam tersi bir sürecin ürünü oldukları düşünülüyor. Yani asteroitler güneş bulutsusundan artakalan, bir türlü birleşip bir gezegen oluşturmayı başaramamış dökküntülerdir.

Çaplarına Göre Asteroidlerin Sayısı								
100m	500m	1km	5km	10km	100km	300km	500km	900mk
25.000.000	2.000.000	750.000	90.000	10.000	200	5	3	1

Bütün asteroitler Asteroit Kuşağı'nda yer almaz. Örneğin asteroitlerin bir bölümü Jüpiter ile aynı yörüngeyi paylaşır ve Jüpiter'i 60° geriden izler; bir bölümü de dev gezegenin 60° önünden gider. Bunlara Troyalılar denir. 3000'i Jüpiter'in önünde, 1500'ü de gerisinde ilerleyen 4500 dolayında Troyalı saptanmıştır. Neptün'ün yörüngesinde yedi ve Mars'ın yörüngesinde de dört Troyalı benzeri asteroit keşfedilmiştir.

Güneş Sistemi'nin her yerine dağılmış halde bulunan asteroitlerin sayıları ve büyüklükleri tam olarak

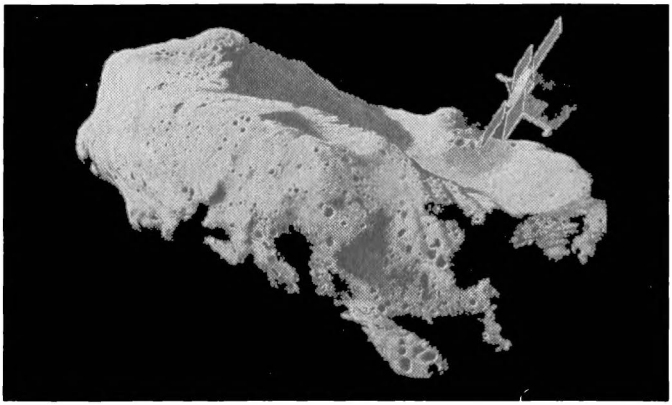
Yapılan hesaplara göre Asteroit Kuşağı'ndaki bütün asteroitlerin toplam kütlesi Ay'ın kütlesinden küçüktür.





Asteroit kuşağı yalnızca Güneş Sistemi'ne özgü bir yapı olmayabilir. Gökbilimciler 2005'te Spitzer Uzay Teleskopu ile 41 ışık yılı uzakta HD69830 adlı bir yıldızın çevresinde Neptün büyüklüğünde üç gezegen ve bir asteroit kuşağı olduğu düşünülen büyükçe bir yapı keşfettiler. Güneş'in kütlesinin yüzde 86'sı kadar kütlesi olan HD69830, 7 milyar yaşında bir yıldızdır. Burada eldeki verilere göre çizilmiş HD69830 sistemi görülüyor.

bilinmemektedir. Asteroitler Güneş Sistemi'nin geçmişi hakkında önemli bilgiler içermenin yanı sıra, Dünya'nın geleceğini belirleme gücünü de taşırlar. Olacağını öngörebileceğimiz yegâne doğal felaket asteroit çarpmasıdır. 6 Ekim 2008'de sıradan gökyüzü gözlemleri sırasında 2008TC3 adı verilen küçük bir asteroidin hızla Dünya'ya yaklaşmakta olduğu fark edilmişti. Değişik yerlerdeki 27 amatör ve profesyonel gözlemcinin gönderdiği bilgiler doğrultusunda yapılan hesaplar asteroidin 19 saat içinde Dünya'ya çarpacağını gösteriyordu. Çapı 2-5 m olan 2008TC3, atmosfere saatte 45.000 km'lik bir hızla girdi ve Sudan'daki Nubye Çölü'nde yerden yaklaşık 35 km yukarıda patladı. Meteosat8 adlı meteoroloji uydusu patlamayı kaydetti. Bu olay, önceden fark edilen ve izlenebilen ilk asteroit çarpmasıdır. O nedenle bizim için belki de önem taşıyan asıl asteroitler, yörüngeleri Dünya'ya yakın olan büyükçe asteroitlerdir. Bunlara Dünya'ya Yakın Asteroitler (DYA) denir. Mayıs 2010 itibariyle çapı 50 m ile 32 km arasında değişen 7075 DYA saptanmış



NEAR adlı uzay sondası, 433 Eros adlı DYA'nın bir yıl boyunca içeriğini, şeklini, kütle dağılımını ve manyetik alanını incelemek üzere 1996'da fırlatılmıştı. Çok başarılı olan sonda, görevinin sonunda asteroide indirildi.

durumdadır. Bunlardan 900 kadarının çapı 1 km'den büyüktür. Bu asteroitlerden bazılarının yörüngesi Dünya'nın Güneş'in çevresindeki yörüngesiyle kesişir. Saptanmış bu asteroitler sürekli izlenir. Yapılan hesaplara göre, önümüzdeki yüzyıl içinde bunlardan herhangi birinin Dünya'ya çarpma olasılığı yoktur. Ne var ki, çapı 1 km'nin üzerinde henüz keşfedilmemiş birçok asteroidin de Dünya'nın yakın çevresinde dolandığı tahmin edilmektedir.

Asıl hedefi Jüpiter olan bir asteroidin ilk yakın plan fotoğraflarını Galileo uzay aracı Ekim 1991'de çekmiştir. Gaspra adı verilen ve 18 km x 10,5 km boyutlarındaki bu asteroit gerçekte küçük bir asteroittir.

Dünya'daki tektonik ve volkanik etkinlikler, yeryüzünün yüz milyonlarca yıllık zaman dilimlerinde yenilenmesine; yeni kaya tabakalarının oluşmasına, eskilerinin de ortadan kalkmasına yol açar. Günümüzde yeryüzünde Dünya'nın oluşum döneminden kalan hiçbir kaya yoktur. Bulunan en eski kayalar yaklaşık 4 milyar yaşındadır. Öte yandan asteroitler Güneş Sistemi'nin oluşumundan kalmış nesnelerdir. Çok önemli bilgiler içerirler. Ama onlardaki bu bilgileri elde etmek ciddi bir sorundur. Çoğunun yalnızca var olduğu ve büyüklüğü bilinir. Son 15 yılda as-

teroitlere yönelik uzay araçlı birçok araştırma yapılmıştır. Galileo uzay aracı Jüpiter'e giderken 1991'de ve 1993'te, Cassini uzay aracı da Satürn'e giderken 2000'de bazı asteroitleri gözleme şansı yakalamıştır. Şubat 1996'da fırlatılan NEAR adlı uzay sondası 243 Mathilde ve 433 Eros adlı iki asteroidi ziyaret etti. Mathilde'nin yakınından geçen NEAR, bir yıl kadar Eros'un uydusu oldu ve onun 35 km uzağında bir yörüngede dönerek onunla ilgili sürekli veri ve fotoğraf gönderdi. Görevinin sonunda da o asteroide düşürüldü. Japon Havacılık ve Uzay Araştırmaları Ajansı'nın (JAXA) Mayıs 2003'te fırlattığı Hayabusa adlı uzay sondası Kasım 2005'te 25143 Itokawa adlı asteroide indi; toprak ve kaya örnekleri toplayıp Haziran 2010'da Dünya'ya getirdi. NASA'nın Eylül 2007'de fırlattığı Dawn adlı uzay aracının hedefiyse Asteroit Kuşağı'nın iki büyük üyesi Vesta ve Ceres'tir. Temmuz 2011'de Vesta'ya ulaştı ve incelemeye başladı. Dawn, 2015'te de Ceres'i inceleyecek. NASA'nın, 2025'te bir DYA'ya insan indirme planları da bulunuyor.

22 | Jüpiter nasıl bir gezegendir?

Dev gezegenler karasal gezegenlerden çok farklıdır. Her şeyden önce bunların hacimleri ve kütleleri çok büyüktür. Yoğunlukları karasal gezegenlerinkilere göre çok düşüktür. Çünkü ağırlıklı olarak hidrojen ve helyumdan oluşurlar; bu nedenle "gaz devleri" olarak da bilinirler. İçeriklerinin bileşimi, Evren'in bileşimini anımsatır ve Güneş'in içeriğine çok yakındır. Hacim ve kütlelerinin büyüklüğüne karşın, şaşırtıcı bir şekilde kendi eksenlerindeki dönüşleri çok hızlıdır. Dev gezegenler Güneş'ten çok uzaktır ve çok sayıda uyduları vardır. Bunlar arasında en büyüğü, aynı zamanda Güneş Sistemi'nin de en büyük gezegeni olan Jüpiter'dir.



Jüpiter, Güneş Sistemi'nin en büyük gezegenidir. Çapı 143.000 km'dir. Yoğunluğu 1,33 g/cm³ olan dev gezegenin Güneş'e ortalama uzaklığı 778.500.000 km'dir. Yörüngesindeki bir turunu 11,9 yılda tamamlar.

Beşinci gezegen Jüpiter, gece gökyüzünde Ay ve Venüs'ten sonra en parlak cisimdir. Jüpiter'in parlaklığı büyüklüğünden kaynaklanır. Gezegen, adını Roma mitolojisindeki Tanrıların Kralından alır. Yörüngesi Güneş'ten 5 AB uzakta olan dev Jüpiter'in içine 1400 Dünya rahatlıkla sığabilir. Kütlesi de 318 Dünya kütlesi kadardır. Bir başka deyişle geri kalan 7 gezegenin toplam kütlesinin 2,5 katı kadar kütlesi vardır. Bu dev kütlenin yarattığı güçlü kütleçekim kuvveti nedeniyle yeryüzünde 80 kg gelen biri Jüpiter'de 187 kg gelir. Jüpiter'in içeriğinin neredeyse tamamını iki element oluşturur: hidrojen (yüzde 86,1) ve helyum (yüzde 13,8). Eser miktarda su, metan ve amonyak da bulunur. Jüpiter'in kendi ekseninde dönüşü hızlıdır. Bu hızlı dönüş nedeniyle gezegen, tıpkı Dünya gibi ama ondan daha belirgin olarak, tam bir küre şeklinde değildir. Ekvatoru oldukça şişkin, kutupları da basıktır.

Birçok gökbilimci Jüpiter'i Güneş Sistemi'nin elektrikli süpürgesine benzetir. Güçlü kütleçekim alanı nedeniyle, küçük asteroit ve kuyrukluyıldızlar hep Jüpiter'e yönelir. Shoemaker Levy 9 kuyrukluyıldızının Temmuz 1994'te ve bir asteroitin de Temmuz 2009'da Jüpiter'e çarpması -ki çarptığı sonradan fark edilmiş-, bunun yaşanmış en yakın örnekleridir.

Eğer Güneş Sistemi'nde Jüpiter olmasaydı, bütün gezegenlere çok daha fazla asteroit ve kuyrukluyıldız çarpardı. Bu da yeryüzündeki yaşamın çok farklı şekillenmesi-



Shoemaker Levy 9 kuyrukluyıldızı Mart 1993'te gözlemlenmiş ve Temmuz 1994'te Jüpiter'e çarpmıştır. Bu çarpışma teleskoplu gözlemlerin yapıldığı 400 yıldır gözlenen ilk çarpışmadır. Jüpiter'in muazzam kütleçekim kuvveti nedeniyle kuyrukluyıldız parçalanıp 21 parçaya ayrılmıştır. Parçaların gezegene çarptığı bölgede oluşan 12.000 km çaplı karartı aylarca kalmıştır.

ne yol açardı. Jüpiter güçlü kütleçekim alanı nedeniyle, aslında Dünya'daki yaşamın bir anlamda koruyuculuğunu yapmıştır.

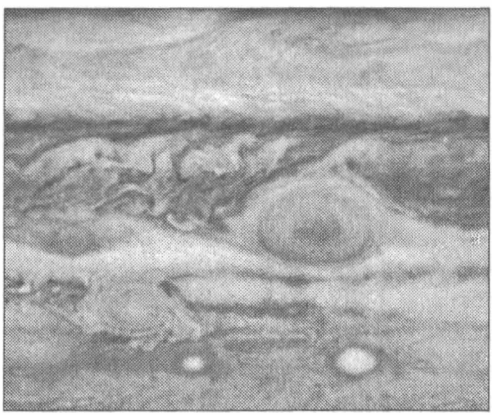
Jüpiter'in iç yapısına ilişkin elde ayrıntılı veriler yoktur. Kayadan olduğu tahmin edilen (ama asıl içeriği şimdilik bilinemeyen) ve 12-45 Dünya kütlesinde bir çekirdeği vardır. Bu çekirdeğin 30.000°C sıcaklıkta olduğu tahmin ediliyor. Merkezindeki bu ısı kaynağı nedeniyle Jüpiter, Güneş'ten kendisine ulaşan ısının iki katı kadarını uzaya yayar. Jüpiter ilk oluştuğunda çapı bugünkünün iki katı kadardı. Ama gezegen yaklaşık 4,5 milyar yıldır her yıl 2 cm kadar küçülür. Bu küçülme de gezegenin büyük miktarda ısı üretmesine yol açar.

Merkezdeki çekirdeği saran çok yoğun bir hidrojen tabakası vardır. Normal koşullarda hidrojen metal değildir; ısıyı ve elektriği iletmez. Ne var ki Jüpiter'deki bu tabakada aşırı sıcak ve çok yüksek basınç koşullarında, hidrojen çekirdekleri elektronlarından ayrışmış olarak, tıpkı bir iyon çorbası gibi bulunur. Burada hidrojen, metal özellikleri gösterir; ısıyı ve elektriği iletir. Yeryüzündeki laboratuvarlarda hidrojen o hale getirilemez. Ancak Jüpiter'in devasa kütlesinin yol açtığı muazzam iç basıncın ve sıcaklığın altında hidrojen böyle davranır. Hidrojenin bu haline metalik hidrojen denir. Metalik hidrojen tabakasının üstünde, yüksek basınç altında sıvı hidrojenden oluşan sıcak bir okyanus bulunur. Yaklaşık 20.000 km derinliği olan bu sıvı hidrojen okyanusunun

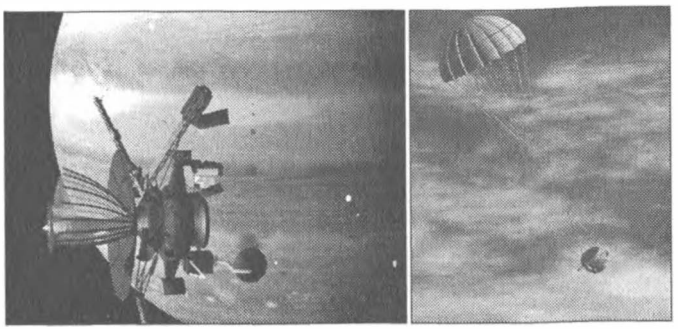
da üzerinde, metan ve amonyak gibi başka gazların da bulunduğu atmosfer yer alır.

Dünya'da gazdan atmosfer ile sıvı okyanuslar ve katı karalar arasında keskin sınırlar vardır. Birinden diğerine geçiş keskin olur. Ama Jüpiter'de böyle sınırlar yoktur. Sıvı haldeki hidrojenden gaz halindeki atmosfere geçiş aşamalıdır.

Güneş Sistemi'ndeki en kalın atmosfer doğal olarak Jüpiter'inkidir. Gezegenin yüzeyi ile uzay ortamı arasında yaklaşık 5000 km kalınlıktaki atmosfer yer alır. Dünya'dan bakıldığında görülen, atmosferin üst tabakasındaki renkli bulut kuşaklarıdır. Jüpiter'in atmosferine ilişkin bilgiler 1995'te Galileo uzay aracından gezegene bırakılan atmosfer sondasıyla elde edilmiştir. Atmosferin üst tabakalarında saatteki hızları 500 km'yi bulan rüzgârlar eser. Alt tabakalardaki rüzgâr hızı saatte 1500 km'yi bulur. Bulut tabakasında değişik enlemlerde birbirlerine ters yönde esen şiddetli rüzgârlar nedeniyle kuşaklar bulunur. Jüpiter, Dünya'ya göre Güneş'e 5 kat daha uzaktır; yani Dünya'ya gelenin 25'te biri kadar Güneş enerjisi alır. Ama Jüpiter'deki fırtınalar Dünya'dakilerden çok daha şiddetli olur. Örneğin Jüpiter'in görünen en ünlü şekli, içine birkaç Dünya'nın sığabileceği büyüklükteki Büyük Kırmızı Benek'tir. Bu aslında ilk kez 350 yıl önce Giovanni Cassini tarafından gözlemlenmiş; ama belki çok daha önce oluş-



Jüpiter'de en dikkat çekici şekil Büyük Kırmızı Benek olarak bilinen dev fırtına sistemidir. Sürekli dönen bu sistem bir turunu altı günde tamamlar. Rengi ve büyüklüğü değişkendir. Nasıl oluştuğu ya da işleyiş mekanizması hâlâ tam olarak anlaşılamamıştır.

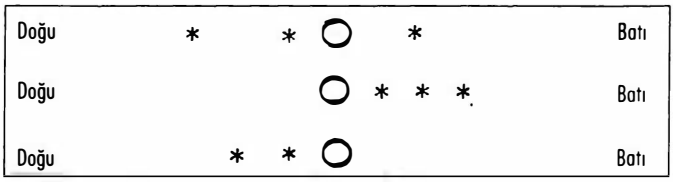


Ekim 1989'da fırlatılan Galileo uzay aracı, Jüpiter'e Aralık 1995'te vardı. Sekiz yıl boyunca Jüpiter'i ve onun uydularını inceledi. Jüpiter'in atmosferine bir sonda gönderdi. Galileo, 2003'te 14 yıllık serüveninin sonuna geldi; o da tıpkı atmosfer sondası gibi Jüpiter'e düşürüldü ve Jüpiter'in atmosferinde buhar oldu.

muş dev bir fırtına sistemidir. Jüpiter'in atmosferinde bu denli büyük olmasa da daha birçok beyaz ya da turuncu renkli büyük fırtına sistemi bulunur. Bu dev fırtınaların temel nedeni Jüpiter'in ürettiği ısıdır. Atmosferin sonlanıp Jüpiter yüzeyinin başladığı yer, basıncın 1 atmosfere ulaştığı düzey kabul edilir. Ama bu düzeyde Jüpiter'in yüzeyinde ayak basacak bir kara yoktur. Jüpiter'in "yüzeyi" gazdandır; ama bu gaz yoğun ve opaktır.

Jüpiter'in çok güçlü bir manyetik alanı vardır. Bu alanın, gezegenin eksenindeki çok hızlı dönüşü sırasında metalik hidrojen tabakasındaki hareketlerden kaynaklandığı düşünülüyor. Bu manyetik alan Güneş rüzgârıyla şekillendirilir. Ortaya çıkan garip şekilli manyetosfer o kadar büyük ve uzundur ki Satürn'e kadar uzanır.

Jüpiter ve uyduları aslında başlı başına bir sistem oluşturur. Dev gezegenin dördü büyük olmak üzere 63 uydusu vardır. En büyük dört uydusunu 1610'da Galilei keşfetmiştir; bu nedenle onlara Galileo Ayları da denir. 7 Ocak 1610'da Galileo, teleskopuyla Jüpiter'e baktığında, çevresinde duran dört parlak nokta gördü; önce bunların yıldız olduğunu düşündü. Sonraki geceler Jüpiter'i gözlediğinde, bu noktaların yer değiştirdiğini fark etti. Noktalar Jüpiter'in çevresinde dönüyordu. Bu gözlem, o dönemde Dünya'nın Evren'in merkezi olduğu ve gökyüzündeki



Galileo'nun 1610'da yaptığı gökyüzü gözlemleri sırasında çizdiği Jüpiter ve dört büyük uydusu.

her şeyin yalnızca Dünya'nın çevresinde döndüğü görüşünü yıkan önemli kanıtlardan biri olmuştur. Jüpiter'in şimdilik bilinen 59 uydusu daha vardır. Bunlar, çapları 1-250 km arasında değişen çok küçük uydulardır. Belki çapı birkaç kilometre olan ve keşfedilmeyi bekleyen daha yüzlerce uydusu olabilir.

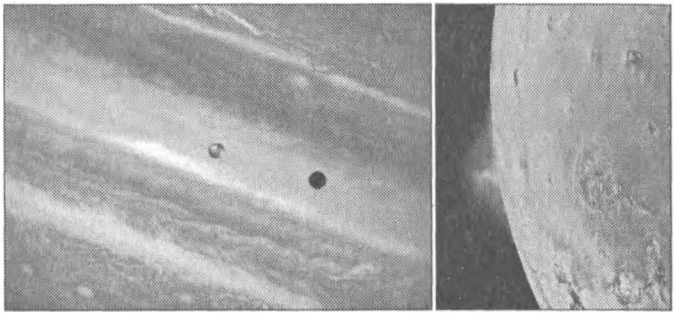
Jüpiter'in bir de bütün gaz devlerinde olan çok ince bir halka sistemi vardır. Halkayı oluşturan parçacıklar milimetreden küçük boyutlardadır.

Jüpiter'e yönelik bakış açımızı değiştiren şey, uzay araçlı araştırmalar olmuştur. İlk çarpıcı bilgileri Voyager I ve Voyager II uzay araçları göndermiştir. Onlardan yaklaşık 20 yıl sonra gönderilen Galileo uzay aracıysa, hem Jüpiter hem de onun uyduları hakkındaki bilgilerde çok büyük bir artış sağlamış, yalnızca Jüpiter sistemine değil, tüm Güneş Sistemi'ne bakış açımızda bir devrim yaratmıştır.

23 | Jüpiter'in büyük uyduları neden önemlidir?

Galileo Ayları Io, Europa, Ganymede ve Callisto oldukça büyüktür. Ganymede Merkür'den büyüktür; Io, Europa ve Callisto da Ay'dan büyüktür. Eğer bu uydular Jüpiter'in değil de Güneş'in çevresinde dönüyor olsaydı, onlara gezegen dememiz gerekirdi.

Galileo Ayları'nın her birinin sıra dışı birtakım özellikleri vardır. Jüpiter'e en yakın uydu Io, turuncu renklidir. Kendi eksenindeki dönüşüyle Jüpiter'in çevresindeki

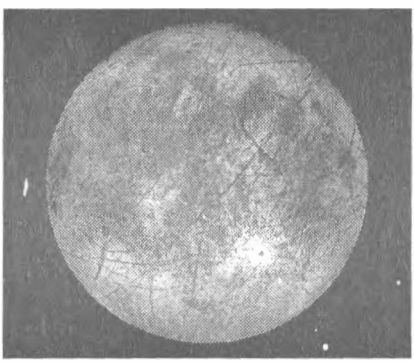


Jüpiter'in uyduları gezegene göre çok küçük kalır. Bu uydular arasında en büyüklerinden Io, volkanik olarak çok etkindir. Üstte solda Io ve Jüpiter'e düşen gölgesi, sağda ise Io'nun yanardağlarından birinin püskürürken çekilmiş fotoğrafı görülüyor.

dönüşünü aynı sürede, 1,8 günde tamamlar. Bu nedenle tıpkı Ay gibi, gezegenine sürekli aynı yüzü dönük olur. 5 Mart 1979'da Voyager I, bu uyduya yaklaşıp fotoğrafını çektiğinde, Io'nun çok şaşırtıcı bir özelliği ortaya çıkmıştır: Io'da püsküren yanardağlar vardır. Yaklaşık 20 yıl sonra Jüpiter sisteminde 8 yıl inceleme yapan Galileo uzay aracı, Io'da 300'ü aşkın etkin yanardağ saptamıştır. Io'nun kükürtdioksitten oluşan ince bir atmosferi, yüzeyinde de dev kalderalar ve lav gölleri vardır. Kütleçekimi az olduğundan, Dünya'dakilerden çok daha yüksek olan (bazıları 16 km'yi bulan) yanardağlardan 300 km yükseğe kadar duman ve gaz püskürür. Bu püskürmeler Hubble Uzay Teleskopu'yla bile gözlenebilir. Io, bütün Güneş Sistemi'nde volkanik olarak en etkin gökcismidir. İçi eriyik haldedir. Bunun nedeni de Jüpiter'in muazzam kütleçekim kuvvetidir. Io'nun çember değil de biraz basık bir elips şeklinde olan yörüngesi nedeniyle, bu güçlü kütleçekim kuvveti, yörüngesi gezegene çok yakın olan Io'nun üzerinde bir gelgit etkisi yaratır. Bu etki de uydunun içindeki maddelerin her tur sırasında zaman zaman sıkışmasına, zaman zaman da gevşemesine yol açar. Io, Jüpiter'e en yakın konumdayken (42 saatte bir) tıpkı sıkıştırılan bir balon gibi, ekvatoru 100 m kadar şişkinleşir ve kutupları basıklaşır. Bu durum uydunun içindeki maddelerin sürekli sürtünmesine ve ısı üretmesine yol açar. Bu ısı da

kabuğun altındaki kayaların eriyik halde kalmasını sağlar. Yanardağların yakın çevresinin dışında Io'nun ortalama yüzey sıcaklığı -150°C kadar soğuktur.

İkinci yakın uydu Europa'nın girintisi çıkıntısı olmayan, neredeyse pürüzsüz buzdan bir yüzeyi vardır. Yüzey sıcaklığı -160°C kadardır. Ama bu yüzeyde de yüzlerce çatlak ve kırık bulunur. Bu haliyle yeryüzündeki donmuş göllerin yüzeyini andırır. İlk bakışta yaşam için uygun bir yer değilmiş gibi görünür. Ama gerçekte hiç de öyle değildir; Jüpiter'in güçlü kütleçekim kuvveti, bu uydunun da iç kısımlarının ısınmasına yol açar. Bu nedenle yüzeydeki buzdan tabakanın ancak 10-20 km kalınlığında olduğu, onun altındaysa yaklaşık 100 km derinliğinde tuzlu sudan bir okyanusun bulunduğu tahmin ediliyor. Eğer öyleyse, Europa'da Dünya'dakinin iki katı kadar su var demektir. Bu sıra dışı durum da Europa'yı çok özel bir konuma yükseltir. Çünkü su demek yaşam olasılığı demektir. Europa, bilim insanlarının gözünde Güneş Sistemi'nde yaşamın bulunma olasılığı en yüksek gökcisimlerinin başında geliyor. Kalın buz tabakası sayesinde tehlikeli kozmik ışınlardan korunan ve ancak Dünya'daki okyanuslar kadar soğuk olan bu karanlık okyanusta, yaşamın ortaya çıkmış olma olasılığının çok yüksek olduğu düşünülüyor. Hatta bazı bilim insanları Europa'nın okyanus tabanında tıpkı Dünya'dakilere benzeyen hidrotermal bacaların bile olabileceğini tahmin ediyorlar.



Europa'nın çiziklerle (derin yarıklar) dolu buzdan yüzeyinin ancak 10-20 km kalınlığında olduğu düşünülüyor. Buz tabakasının altında da yaklaşık 100 km derinliğinde tuzlu sudan bir okyanusun bulunduğu tahmin ediliyor. Bu da Europa'yı Güneş Sistemi'nde yaşamın bulunma olasılığı en yüksek yerlerinden biri yapıyor.

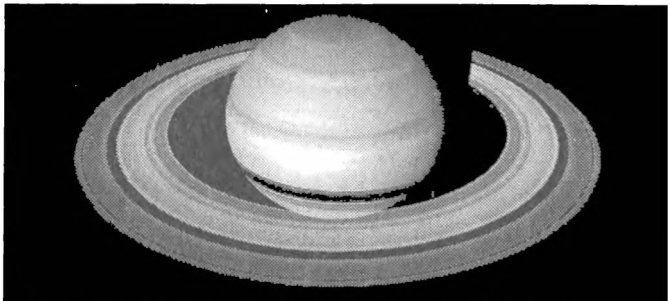
Jüpiter'in üçüncü büyük uydusu, Güneş Sistemi'nin de en büyük uydusu olan Ganymede'dir. Bu uydunun yüzeyinde 2-4 milyar yaşında çarpma kraterleri vardır. Uyduda çok fazla tektonik etkinlik ya da erozyon olmadığı için bu kraterler milyarlarca yıldır korunabilmiştir. Ay'ın beş katı kadar büyük olan bu uydunun da içi büyük olasılıkla sıcaktır ve eriyik bir tabakası vardır. Çünkü zayıf da olsa bir manyetik alanı bulunur.

Callisto, dört büyük uydu arasında Jüpiter'e en uzak olanıdır. Yüzeyi nerdeyse tümüyle kraterlerle kaplıdır. Bunlar ağır bombardıman döneminde oluşmuş kraterlerdir ve hiç bozulmadan günümüze kadar korunmuşlardır. En yakın uydu Io'nun yüzeyi volkanik etkinliklerle içindeki magmanın yüzeye çıkmasıyla sürekli yenilenirken, Callisto'nun yüzeyi 4 milyar yıldır hiç değişmemiştir.

24 | Satürn nasıl bir gezegendir?

Güneş Sistemi'nin ikinci büyük gezegeni olan Satürn, gece gökyüzünde çıplak gözle fark edilebilen son gezegendir. Bu nedenle tarihöncesi dönemden beri insanlar tarafından bilinir. Teleskoplu gözlemlerde hiçbir gezegen güzellikte onunla yarışamaz. Güneş Sistemi'nin kuşkusuz en fotojenik gezegenidir. Uzay araçlarından gelen her Satürn fotoğrafı sanki bir kartpostal gibidir.

Satürn'e ilişkin bilgilerimizin neredeyse tümünü 1997'de fırlatılan Cassini adlı uzay aracıyla elde ettik. Cassini de tıpkı Galileo ve Voyager 2 gibi Güneş Sistemi hakkındaki bilgilerimizi çok arttıran, düşüncelerimizde devrim yaratan ve yeni kuramların ortaya atılmasını sağlayan uzay araçlarından biridir. Cassini, yedi yıl süren 1,4 milyar kilometrelik bir yolculuktan sonra Satürn sistemine ulaşmıştır.



Güneş Sistemi'nin en fotojenik gezegeni hiç kuşkusuz Satürn'dür.

Satürn, Güneş'e, Jüpiter'den yaklaşık iki kat daha uzaktır. Çapı, Dünya'nın çapının neredeyse 10 katıdır. Bu da onu hacim olarak Dünya'nın 765 katı büyük yapar. Tıpkı Jüpiter gibi o da bir gaz devidir. Ne var ki kütlesi yalnızca 95 Dünya kütlesi kadardır. Sonuç olarak 0,69 g/cm^3 yoğunlukla Güneş Sistemi'nin yoğunluğu en düşük gezegenidir.

Satürn'ün iç yapısı, Jüpiter'in iç yapısına benzer. Ancak ondan biraz daha küçük olduğundan metalik hidrojen tabakası o kadar kalın değildir. Tıpkı Jüpiter gibi Satürn'ün de merkezinde 10-20 Dünya büyüklüğünde, ama Dünya'dan daha yoğun, katı bir çekirdek olduğu düşünülmektedir. Satürn, Jüpiter'den daha soğuktur. Hem Güneş'ten daha uzak olduğu için daha az enerji alır, hem de ürettiği iç ısısı Jüpiter'den daha düşüktür. Ama atmosferinde oluşan rüzgârlar ve jet akımları Jüpiter'inkilere benzer, hatta onlardan daha hızlıdır. Ekvatorda esen rüzgârların hızı saatte 1500 km'yi bulur.

Gezegenin yüzeyi Jüpiter'inki kadar renkli değildir. Bulut tabakasının üstünde hidrojen, amonyak ve metandan oluşan bir sis tabakası sürekli bulunduğundan dev gezegen hep sarımsı görünür. Satürn'ün atmosferinde de tıpkı Jüpiter'in atmosferinde olduğu gibi bulut kuşakları vardır. Bulutların üstündeki sıcaklık ortalama -180°C kadardır.

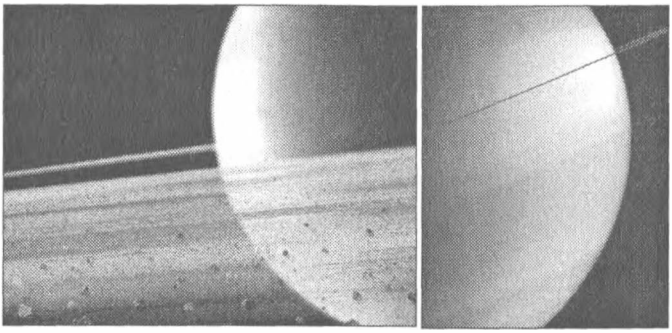
Atmosferinde tıpkı Jüpiter'dekilere benzeyen; ama daha küçük boyutlu, yine de Dünya'dakilerin yüzlerce katı büyüklükte fırtınalar olur. Jüpiter'dekilerden farklı olarak Satürn'deki fırtınaların yapısı yeryüzündekilere

benzer (Başka gezegenlerdeki fırtınaları incelemek, onları araştırmak yeryüzünde gerçekleşen fırtınaları daha iyi anlamamıza yardımcı olur). Ancak bu fırtınaların güçlerini nereden aldığı hâlâ tam olarak bilinememektedir.

Satürn'ün de bir manyetik alanı vardır. Bu alanının varlığı Pioneer 11 uzay aracının 1979'da gezegenin yakınından geçişi sırasında anlaşılmıştır. Güneş rüzgârının şekillendirmesiyle büyük bir balon şeklini alan bu manyetik alan (yani manyetosfer) Satürn'e yakın bütün gökcisimlerini etkiler. Ancak Jüpiter'in güçlü manyetosferinin neredeyse 20'de biri gücündedir; basıncın 1 atmosfer olduğu yükseklikteyse yaklaşık Dünya'nınki kadardır. Satürn'ün manyetosferiyle etkileşen Güneş rüzgârı, gezegenin kutuplarında auroraların oluşmasına yol açar. Dünya'dakinden farklı olarak Satürn'ün manyetik kutupları gezegenin ekseniyle neredeyse tam örtüşür.

Hiç kuşkusuz Satürn'ün en dikkat çekici özelliği halkalarıdır. Gezegenin ekvator düzleminde yer alan bu halkalar küçük bir teleskopla bile görülebilir. Onları ilk gören kişi Galilei olmuştur. Ama Galilei'nin teleskopu çok güçsüz olduğundan, o, gördüklerinin halka olduğunu anlayamamıştır. Ondan 45 yıl sonra Christian Huygens halkaları görmüş ve bir bütün olmayıp birçok bölümden oluştuklarını fark etmiştir. Halkalar uzaktan, tek parça katı diskler gibi görünür. Gerçekten de uzun bir süre onların katı birer cisim olduğu düşünülmüştür. Ancak 1857'de James Clerck Maxwell halkaların çok küçük parçalardan oluştuğunu kanıtlamıştır. Halkalar trilyonlarca küçük parçadan oluşur. Bu küçük parçalar su buzundandır. Boyutları milimetrenin binde birinden 10-15 m'ye kadar değişir. Genellikle santimetre ya da metre ölçeğindedirler. Halkaları oluşturan parçalar, Satürn'ün çevresinde saatte ortalama 30.000-60.000 km hızla döner. Bu dönüşler sırasında sürekli birbirleriyle çarpışa çarpışa ufalanmışlardır ve ufalanmaya devam ederler.

Halka sisteminin genişliği Satürn'ün yarıçapı kadardır: 60.000 km (Dev gezegenden halkaların ucuna kadar olan aralığa her iki yanda da beşer Dünya sığar). Hal-



Satürn'ün çevresinde çok geniş bir disk oluşturan halkalar, gerçekte 100 m'den daha incedir ve Satürn'ün yanında çok ince bir şerit gibi kalırlar.

kaların kalınlığıysa şaşırtıcı derecede küçüktür: Yalnızca 100 m. Böylesine büyük çaplı, ama aynı zamanda bu denli de ince bir sistemi göz önünde canlandırmak için çapı 1,2 km olan (ama kalınlığı aynı kalan) bir müzik CD'si düşünebilirsiniz. Halkalardaki madde miktarı da gerçekte çok azdır. Bütün parçalar, parçacıklar toplanabilseydi; çapı ancak 600 km (İstanbul'dan Antalya'ya kadar olan) buzdan bir küre oluştururlardı. Halkalardaki parçaların, bir türlü oluşamamış bir uydu ya da Satürn'e çok yaklaşmış bir kuyrukluyıldızın döküntüleri olduğu düşünülmektedir.

Her gezegenin çevresinde, gezegenin kütlesine göre değişen uzaklıkta, Roche sınırı diye bilinen bir sınır vardır. Bu sınırda ve sınırın altında, gezegenin kütleçekimi nedeniyle oluşan gelgit kuvvetleri öyle büyük olur ki, çevredeki parçacıkların bir araya gelip bir bütün oluşturmasını engeller. Satürn'ün halkaları, bu dev gezegenin Roche sınırının içinde yer alır.

Bazı gökbilimcilere göre halkalar, Satürn'ün oluşumu sırasında 4,56 milyar yıl önce oluşmuştur. Ancak halkalar Satürn ile birlikte oluşmuş olsaydı, onların çoktan ortadan kalkmış olması gerekirdi. Çünkü halkaları oluşturan parçacıklar sürekli ve yüksek hızlarla birbiriyle çarpışır. Bu çarpışmaların sonucunda da ya Satürn'e düşerler ya da uzaya kaçarlar. Ne var ki halkalar hâlâ yerinde duruyor. Belki şimdilik bilinemeyen bir etki nedeniyle oradadırlar;

belki de Satürn kadar yaşlı değil de gençtirler. Örneğin yalnızca birkaç yüz milyon yıllıktırlar ve yok olma süreçlerinin başında olabilirler. Gerçekten de birçok gökbilimci halkaların sonradan oluştuğunu düşünmektedir. Ama ne zaman oluştukları hakkında pek net öngörüler yoktur. Benzer bir şekilde birkaç yüz milyon yıl içinde halkaları oluşturan küçük parçaların, sürekli birbirleriyle çarpışmalarının sonucunda çok küçülecekleri ve Satürn'e düşecekleri ya da uzaya fırlatılacakları düşünülmektedir.

Bir başka olasılık da parçacıkların ufalanıp yok olma sürecine, bir de şimdilik bilinmeyen bir yenilenme sürecinin eşlik ediyor olmasıdır. Yani çevreden gelen küçüklü büyüklü asteroit ve kuyrukluyıldızlar parçalanarak halkalara sürekli yeni malzeme sağlıyor olabilir.

Satürn, büyüklüğü ve sıra dışı halka sistemiyle gerçekten de etkileyici bir gezegendir. Aslında onun uyduları da onun kadar ilginç ve etkileyicidir. 62 uydusuyla Satürn de tıpkı Jüpiter gibi başlı başına bir sistemdir. Uydularının büyük bölümü buzdandır. 13'ünün çapı 50 km'den büyüktür. Geri kalan 49 uydu arasında 1 km çaplı olanlar bile vardır. Yörüngesi saptanmış 62 uydudan başka yüzlerce minik uydusu daha olduğu tahmin ediliyor. Uyduların 24'ü düzgün, sıradan (Satürn ile birlikte oluşmuş) uydulardır. Yörüngeleri ve hareketleri incelendiğinde, geri kalan 38 uydunun yakalanmış asteroitler olduğu düşünülmektedir.

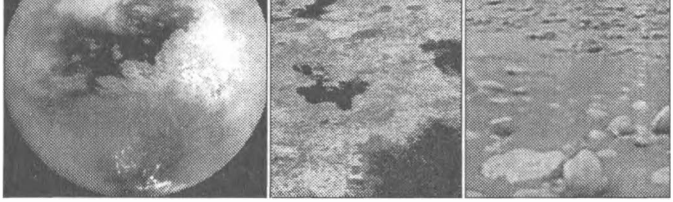
Satürn'ün uyduları arasında en ilginç olanı kuşkusuz Titan'dır. Aslında Güneş Sistemi'ndeki büyük uyduların hepsi de birbirinden farklı özellikler taşıyan sıra dışı uydulardır ve hepsi de çok ilginçtir. Satürn'ün en büyük, Güneş Sistemi'nin de ikinci büyük uydusu olan Titan (Ay'dan yüzde 50 daha büyüktür) yoğun bir atmosferi olan tek uydudur. Ayrıca yüzeyinde Dünya'dan başka sıvı olduğu bilinen ikinci gökcismidir. Titan'dan gelen ışıkların spektrumlarından, uydunun azot ağırlıklı bir atmosferi olduğu uzun zamandır biliniyor. Uzay araçlarının gözlemlerine göre, atmosferinde yüzde 98,4 oranında azot ve metan bulunur. Güneş Sistemi'nde Dünya'dan başka azot

ağırlıklı kalın bir atmosferi olan tek gökcismi Titan'dır. Uydunun yüzey basıncı da yeryüzündekine çok yakındır: 1,5-2 atmosfer.

Temel hedeflerinden biri Titan'ı incelemek olan Cassini uzay aracı, uyduyu değişik dalga boylarında gözlemlemiştir. Kalın bulut ve sis tabakasını geçemeyen görünür ışık ışınlarına karşın, kızılötesi ışınlarla ve radyo dalgalarıyla yapılan gözlemlerin sonucunda, Titan yüzeyinin haritası çıkartılmıştır. Ay'dan başka Güneş Sistemi'nde özel olarak incelenen ve bir uzay sondası gönderilerek araştırılan ikinci uydu Titan'dır.

14 Ocak 2005'te Cassini'den ayrılan Huygens adlı sonda Titan'a indirildi. İniş sırasında bir yandan atmosfer incelendi, bir yandan da fotoğraflar çekildi. Çekilen fotoğraflar ırmak benzeri yapıların yanı sıra, kıyı şeridine benzeyen oluşumların ve bulutların olduğunu ortaya koydu. Huygens paraşütleri sayesinde yüzeye yumuşak bir iniş gerçekleştirdi. Titan yüzeyinin yeryüzüne çok benzediği anlaşıldı. Tıpkı Dünya'da olduğu gibi Titan'ın yüzeyinde de dağlar, vadiler, düzlükler hatta çöllerde görülen dev kumullar vardı. Ama belki hepsinden de önemlisi Titan'ın yoğun ve Dünya'nın oluşumundan kısa bir süre sonra oluşan ikinci atmosferine (ilki Ay'ın oluşumu sırasında yok olmuştu) benzeyen bir atmosferinin oluşuydu. Ne var ki Dünya'nın ilk dönemlerindeki koşullarla günü-

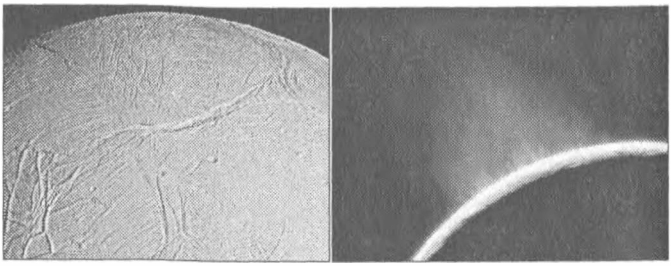
Titan'ın Güneş Sistemi'nde özel bir yeri var: Çevresinde kalınca bir atmosferi olan ve yüzeyinde sıvı bulunan tek gökcismi. Dünya'da suyun oynadığı rolü, Titan'da metan oynuyor ve yüzeyi şekillendiriyor. Bu haliyle Titan, Güneş Sistemi'nde yaşamın ortaya çıkmış olabileceği en güçlü adaylardan biridir.



müz Titan'ının koşulları arasında önemli bir de fark vardı: yüzey sıcaklığı. Güneş'ten 1,4 milyar kilometre uzak olan Titan'ın yüzeyinde sıvı halde su bulunamaz. Çünkü ortalama sıcaklık -180°C kadardır. Ancak Titan'ın kalın atmosferi tıpkı Dünya ve Venüs'te olduğu gibi sera etkisi yaratır ve yüzey sıcaklığının olması gerekenden yüksek olmasına yol açar. Gerçekten de Titan bulunduğu konuma göre çevresindeki cisimlerden daha sıcaktır. Uydunun yüzey şekillerini yeryüzündekiler gibi oyup şekillendiren sıvı, su değil metandır. Cassini ve Huygens'ten alınan verilere göre, Titan'da metan yağmurları yağıyor, metan ırmakları akıyor ve bu ırmaklar da metan göllerine dökülüyor olmalıdır. Bu durum da bilim insanlarına, sıvı metanın içinde bir tür yaşamın ortaya çıkmış olabileceğini düşündürmektedir.

NASA ve ESA, Titan'ı incelemek ve olası yaşam biçimlerini araştırmak için 2020'de bir uzay aracı göndermeyi planlıyor. Bu uzay aracında Titan'ın çevresinde yörüngeye girecek bir uydu, göllerden birine dalacak bir sonda ve atmosferde dolaşacak bir balon yer alacak.

Cassini görevinin en etkileyici gözlemlerinden bazıları da Satürn'ün bir başka uydusu Enceladus'a yönelik olanlardı. Enceladus yaklaşık 500 km çapında büyükçe bir uydudur. Gerek Voyager 2'nin gerekse Cassini'nin gönderdiği fotoğraflara göre, Enceladus'un albedosu yüksekti; yüzeyinde az sayıda krater vardı, yani yüzeyi gençti. Ama Cassini 2005'te Enceladus'ta daha önce hiç bilinmeyen, sıra dışı bir volkanik etkinlik gözlemledi. Yüzeyi buzdan olan uydunun güney yarımküresindeki bir bölgede, yüzeyden binlerce kilometre yükseğe gaz püskürmeleri oluyordu. Yüzlerce yanardağ (belki gayzer demek daha doğru olur) lav yerine gaz ve buz parçaları püskürtüyordu. Analizlerin sonucunda püskürtülen gazın su buharı olduğu ortaya çıktı. Cassini'yi yönlendiren ekip, uzay aracını Enceladus'a yöneltti. Uydunun 25 km kadar üstünden geçen Cassini, gayzerlerden püsküren maddelerin içinde azot, metan, amonyak ve başka bazı organik maddeler olduğunu gözlemledi. Enceladus'ta herhangi bir jeolojik etkinlik yoktu. Ancak bu minik uyduda yaşam için gereken



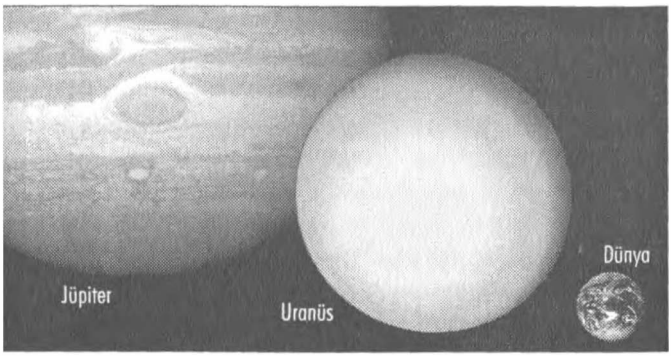
Satürn'ün altıncı büyük uydusu olan Enceladus'un çapı yalnızca 500 km ve yüzey alanı da yaklaşık Türkiye kadardır. Yüzeyi buzla kaplı Enceladus'un güney kutup bölgesinde su buharı ve azot püsküren gayzerler keşfedilince, jeolojik olarak etkin ve yaşam barındırma olasılığı da yüksek bir gökcismi olduğu anlaşılmıştır.

hemen her şey bulunuyordu: enerji kaynağı, su, azot ve organik maddeler. Bu gözlemden sonra Enceladus, Güneş Sistemi'ndeki yaşam araştırması yapılacak gökcisimleri listesinin başlarında bir yer ediniverdi.

Enceladus'un iç bölgelerinde sıcak magma bulunmasının nedeninin, tıpkı Io'nun Jüpiter'in gelgit kuvvetlerinin etkisinde kalması gibi, Enceladus'un da Satürn'ün güçlü gelgit kuvvetlerinin etkisinde kalması olduğu düşünülüyor. Bilim insanlarının planlarını yapmaya başladıkları şeylerden biri de bir gün Satürn'e gönderilecek bir uzay aracının Enceladus'a bir sonda bırakması; bu sondanın yüzeydeki buzu delerek sıvı su rezervuarlarından birine ulaşması ve orada yaşamın izlerini araştırmasıdır. Suyun olduğu yerde mikroorganizma düzeyinde yaşamın bulunma olasılığı hep vardır. Ayrıca Enceladus'un buz tabakası Europa'nın buz tabakasından çok daha incedir.

25 | Güneş Sistemi'nin buz devleri nelerdir?

Voyager 2, Eylül 1981'de Satürn sisteminden ayrıldı ve saatte 60.000 km'lik bir hızla -uzayda her gün yaklaşık 1,5 milyon kilometre yol alarak- 4 yıl 5 ay süren bir yolcu-



luktan sonra, Ocak 1986'da Uranüs'e ulaştı. Uranüs Güneş Sistemi'nin üçüncü büyük gezegenidir. Adını Yunan mitolojisindeki Gökyüzü Tanrısından alır. Bu, teleskopla keşfedilen ilk gezegendir. Aslında Uranüs, açık bir gökyüzünde çıplak gözle görülebilir; ancak çok yavaş ilerlediğinden bir gezegen olduğu hiç fark edilememiştir. Teleskopla bakıldığında soluk mavimsi yeşil bir daire şeklinde görünür. Uranüs'ü ünlü gökbilimci William Herschel 1781'de keşfetmiştir. Gezegenin Güneş'e uzaklığı 19 AB kadardır -yani Dünya'nın Güneş'e uzaklığının 19 katı. Kendi eksenindeki dönüşünü 17,25 saatte tamamlayan gezegen, Güneş'in çevresindeki bir turunu da 84 yılda tamamlar. Bir başka deyişle bir Uranüs yılı 84 Dünya yılıdır.

Voyager 2 yakınından geçene kadar Uranüs hakkında çok az şey biliniyordu. Her ne kadar Uranüs'ün hem hacmi hem de kütlesi Jüpiter ve Satürn'e göre oldukça küçük olsa da, 63 Dünya hacmi ve 14,5 Dünya kütlesiyle o, yine de dev bir gezegendir. Uranüs'ün oluşumu kendinden önceki devlere göre daha yavaş olmuştur. Bu durum Uranüs'ün iç yapısının da öteki dev gezegenlerden biraz farklı olmasına yol açmıştır. Uranüs, öngüneşin T-tauri aşamasına girmesinden önceki dönemde, çevresindeki gaz ve toz bulutundan pek de fazla hidrojen ve helyum toplayamamıştır. Jüpiter ve Satürn'den farklı olarak bu iki temel element Uranüs'ün kütlesinin ancak yüzde 5-15'ini oluşturur; kütlesinin yüzde 60-75'i buzdan ve yüzde 20-25'i de kayadan oluşur. Gökbilimciler bu yapı-

sal farktan dolayı Uranüs'ü zaman zaman "buz devi" diye de nitelendirir.

Jüpiter ve Satürn'ün tersine Uranüs'ün yoğunluğu yüksektir. Çünkü gezegenin iç bölgeleri yalnızca hidrojen ve helyumdan değil, su, metan ve amonyak gibi çeşitli ve görece ağır maddelerden oluşur. En içteki kayadan çekirdeğin çevresinde sudan bir tabaka vardır. Onu da saran hidrojen ve helyumdan oluşan bir manto bulunur. Bu yapı bir gaz tabakasıyla kuşatılmıştır. Bütün dev gezegenlerde olduğu gibi Uranüs'te de ayak basılabilecek, katı bir yüzey yoktur. Uranüs'ün atmosferi Jüpiter ve Satürn'ünki gibi hareketli değildir. Renkli bulut kuşakları da yoktur. Uranüs'ün atmosferi Güneş Sistemi'nin en soğuğudur; atmosferin üst kesimlerinde sıcaklık -215°C'a kadar düşer. Zaman zaman bu soğuk atmosferde saatteki hızı 600 km'yi aşan fırtınalar olur. İlk iki gaz devi Güneş'ten aldıkları ısıdan daha fazlasını uzaya yayar. Üretilen ısı nedeniyle de bu iki dev gezegenin atmosferlerinde şiddetli olaylar yaşanır. Ne var ki Uranüs'te durum çok farklıdır. Gezegenin iç ısı kaynağı bir nedenle durmuştur. İlginç yapıları olan Jüpiter ve Satürn'den sonra Uranüs, bilim insanlarında biraz hayal kırıklığı yaratmıştır. Kalın atmosferinin altında ne olduğuna ilişkin neredeyse hiçbir bilgi elde edilememiştir.

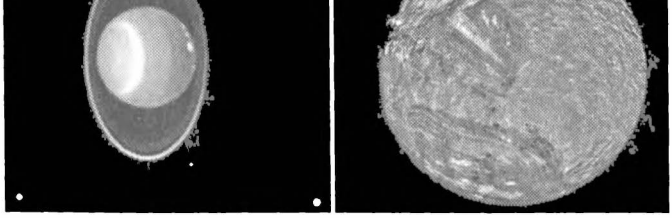
Yalnız bu gezegeni öteki gezegenlerden farklı kılan ilginç bir özellik vardır: Uranüs'ün eksen eğimi 98°dir. Yani ekseni neredeyse yörünge düzlemine paraleldir. Bu nedenle bir kutbu yaklaşık 21 yıl boyunca aydınlık olur; sonra yavaş yavaş karanlık döneme girer ve 21 yıl boyunca da karanlık kalır. Gezegenin ekseninin bu sıra dışı eğiminin nedeni hâlâ tam olarak anlaşılamamıştır. Bunu açıklamak için en çok benimsenen görüş, gezegenin oluşumundan kısa bir süre sonra başından çok şiddetli bir çarpışmanın geçmiş olduğudur.

Uranüs'ün de güçlü bir manyetik alanı vardır. Buna, iç bölgelerindeki buzdan tabakanın içindeki akımların yol açtığı tahmin ediliyor. Uranüs'ün manyetik kutupları ile coğrafi kutupları arasında 60° fark vardır.

Bu sıra dışı durgunluktaki dev gezegenin uyduları pek de kendisi gibi değildir. Bilinen 27 uydunun adları Shakespeare ve Alexander Pope'un eserlerindeki karakterlerden seçilmiştir. Çapı 450 km'den büyük beş uydusu Miranda, Ariel, Umbriel, Titania ve Oberon'dur. En büyük uydusu Miranda, sanki değişik bölümleri farklı gökcisimlerinden gelmiş gibi görünür. Uzak geçmişte büyük bir çarpışma geçirmiş ve bu çarpışmada parçalanan uydu.kütleçekim kuvvetinin etkisiyle bir süre sonra yeniden toparlanmış gibidir. Ancak kopan parçalar, ilk konumlarından farklı yerlere -hem de bazıları tersyüz olmuş şekilde- yapışmış gibi görünür.

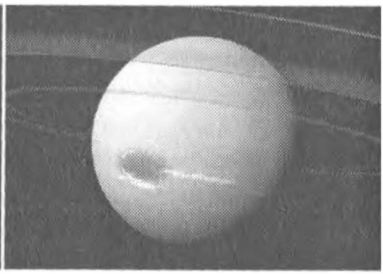
18. yüzyılın sonlarında keşfedilen Uranüs'ün yörüngesi, 19. yüzyılın başlarında hesaplanmıştı. Ancak Uranüs zaman zaman yörüngesinde olması gerektiği yerlerde olmuyordu. Gökbilimciler bu duruma, o zaman henüz keşfedilmemiş bir başka gezegenin kütleçekim etkisinin yol açıyor olabileceğini düşündüler. Sonra da bu varsayımsal gezegenin olası yörüngesini hesapladılar. Böylece o yörünge üzerinde gözlemlere başlandı. Gerçekten de 1846'da Johann Galle tarafından yeni bir gezegen keşfedildi. Gezegenin gerçek yörüngesi, daha önceden hesaplanan yörüngeden yalnızca 1° uzaktı. Neptün'ün keşfi Newton'ın kütleçekim yasalarının büyük bir başarısı olarak görüldü; çünkü yörünge hesapları o yasalara göre yapılmıştı. Bu yeni gezegene Roma mitolojisinde Satürn'ün oğullarından biri olan Deniz Tanrısının adı verildi.

Uranüs'ün en ilginç yanları, neredeyse ekliptiğe paralel olan ekseni ile parçalanmış da sonra yeniden birleşmiş gibi duran büyük uydusu Miranda'dır.





Neptün'ün çapı Dünya'nın çapının yaklaşık dört katı, hacmi de 60 katıdır.



Neptün'ün aslında bir fırtına sistemi olan Büyük Koyu Lekesi, Voyager 2 tarafından gözlemlenmişti.

Neptün, Güneş Sistemi'nin son gezegenidir. Teleskop olmadan görülme olasılığı yoktur. Güneş'e ortalama uzaklığı 30 AB'dir. Bu nedenle Neptün'den Güneş, Dünya'dan göründüğünden yaklaşık 900 kat daha soluk (ancak parlayan bir nokta kadar) görünür. Böylesine geniş bir yörüngesi olan dev gezegen, Güneş'in çevresindeki bir turunu 165 yılda tamamlar.

Voyager 2, Uranüs'ten ayrıldıktan 3,5 yıl kadar sonra Neptün'e ulaşabilmiştir. Böylece Neptün hakkında ilk kez bilgi sahibi olma şansı, keşfinden 143 yıl sonra yakalanmıştır. Büyüklük ve yapı açısından Uranüs'ün ikiz kardeşi olarak görülür. Çapı Dünya'nın çapının yaklaşık 4 katıdır; Uranüs'ünkinden yüzde 3 daha küçüktür. Bu da onu hacmen Dünya'nın yaklaşık 60 katı büyük yapar. Ne var ki bütün dev gezegenler gibi, Neptün de kendi ekseninde çok hızlı döner. Kendi ekseninde bir dönüşünü 16 saat 7 dakikada tamamlar. Ekseni 29° eğiktir.

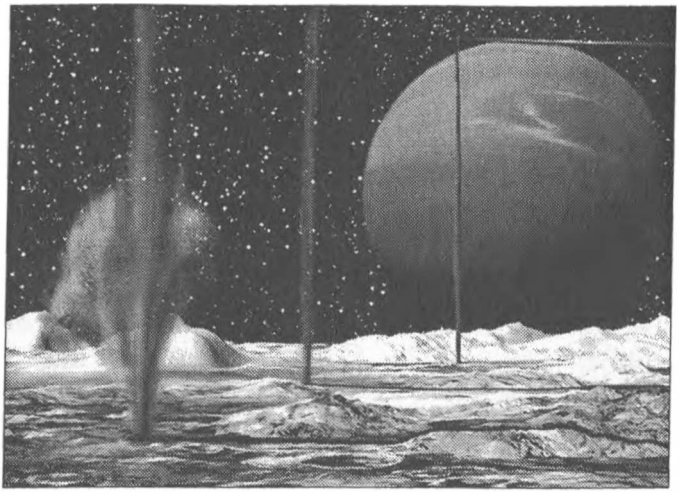
Güneş Sistemi'nin son gezegeni Neptün'e yönelik kızılötesi gözlemler, gezegenin iç bölgelerinin sıcak ve konvektif olduğunu ortaya koymuştur. Gezegenin iç yapısı aslında Uranüs'ünkine benzer; ancak Neptün'de onda bulunmayan bir "iç ısı kaynağı" vardır. Gezegenin büyük manyetik alanının kaynağının da sıcak ve sıvı haldeki iç bölgelerinin hareketi olduğu düşünülür. Neptün'ün manyetik alanı, Dünya'nınkinin yaklaşık 25 katı daha güçlüdür. Manyetik kutupları da dönüş ekseniyle yaklaşık 50°lik açı yapar. Neptün'ün merkezinde, 16.000 km

çapında kayadan –belki de buzdan– küçük bir çekirdek bulunduğu düşünülüyor.[2] Bu çekirdeği sıvı su ve metandan bir tabaka kuşatır. Atmosferinde hidrojen, helyum, etan ve metan bulunur. Gezegenin tabakaları arasında, Dünya'da olduğu gibi, keskin geçişler yoktur.

Neptün, Uranüs'e göre Güneş'ten 1,5 milyar km daha uzaktır. Buna karşın atmosferi çok daha hareketlidir. İç ısı kaynağı nedeniyle, atmosferinde şiddetli fırtınalar olur. Bu fırtınalarda rüzgâr hızı zaman zaman saatte 2200 km'yi bile aşar. Neptün, Güneş Sistemi'nin en rüzgârlı gezegenidir. Bazen atmosferinde Jüpiter'dekilere benzeyen koyu ve büyük lekeler oluşur. Voyager 2 bunlardan yaklaşık Dünya büyüklüğünde olan birini 1989'da gözlemlemiştir. Ancak 1994'te Neptün'e çevrilen Hubble Uzay Teleskopu, bu lekeyi görememiştir. Birer fırtına sistemi olan bu büyük, koyu lekeler hızlı bir şekilde oluşur, birkaç yıl varlığını sürdürür ve sonra yine kısa bir sürede yok olurlar. Bunların oluşumları hakkında elimizde çok az bilgi vardır.

Bütün dev gezegenlerde olduğu gibi, Neptün'de de bir halka sistemi vardır. Ancak Satürn'ün geniş ve parlak buzdan halkalarına karşılık, Neptün'ün halkaları da tıpkı Uranüs'ün halkaları gibi zayıf ve koyu renklidir. Uydularından biri diğerlerine göre büyüktür. Bilinen 13 doğal uydusu arasında büyük olanı Triton'dur. Çapı 2707 km olan Triton'un çoğunluğu azot olan ve içinde metan da bulunan çok ince bir atmosferi vardır. Triton, Neptün'ün çevresinde, böyle büyük bir uydudan beklenmeyecek şekilde, ters yönde döner. Bu nedenle Triton çok büyük olasılıkla Neptün ile birlikte oluşmamış, çok sonraları Neptün tarafından kapılmıştır. Triton -235°C'lık yüzey sıcaklığıyla Güneş Sistemi'ndeki en soğuk gökcismidir. Triton'da tıpkı Enceladus'un su buharı püsküren gayzerlerine benzeyen, ama su buharı yerine 15 km kadar yükseğe azot püskürten gayzerler vardır. Bunların püskürttüğü azot, bu yükseklikte çok hızlı esen bir jet akımına kapılır ve yatay ilerler.

2) Gaz devlerinin iç yapılarına, hele hele merkezlerindeki ağır elementlerden oluştuğu düşünülen çekirdeklerine yönelik bilgiler çok azdır. Daha doğrusu eldeki verilerin tümü de dolaylı gözlemlere dayanır.



Triton'da 15 km kadar yükseğe azot püskürten gayzerler vardır.

Neptün sisteminin gözlenmesiyle birlikte, Voyager 2'nin tarihsel görevinin çok büyük bir bölümü tamamlanmıştır. Asteroit Kuşağı'nın ötesindeki dev gezegenler olan Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün'e uğrayan uzay aracı, bu gezegenler ve Güneş Sistemi hakkında ufuk açıcı bilgiler ve fotoğraflar göndermiştir. Voyager 2, şu anda Dünya'dan 17,4 milyar kilometre ötede Güneş Sistemi'nin sınırlarından çıkmış, yıldızlararası uzayda yolculuğuna devam ediyor. Plütonyum 238'in bozunmasından elde edilen termikelektrik enerjisinin en az 2020'ye kadar yeteceği hesaplanıyor ve o tarihten sonra Voyager 2'den sinyal alınamayacağı düşünülüyor.

26 | Cüce gezegen nedir?

21. yüzyılın ilk beş yılında Güneş Sistemi'nde gerçekleştirilen bazı keşifler bilim insanlarını "gezegen" tanımını gözden geçirmeye zorlamıştır. 2006'da toplanan Uluslara-

rası Astronomi Birliği'nce de bazı yeni tanımlar yapılmıştır. Buna göre bir gökcisminin gezegen olabilmesi için üç temel ölçütü sağlaması gerekmektedir:

1) Güneş'in (ya da bir başka yıldızın) çevresinde dönüyor olmalıdır.

2) Küresel bir yapısı olacak denli kütlesi büyük olmalıdır.

3) Yakın çevresini "temizlemiş" olmalıdır.

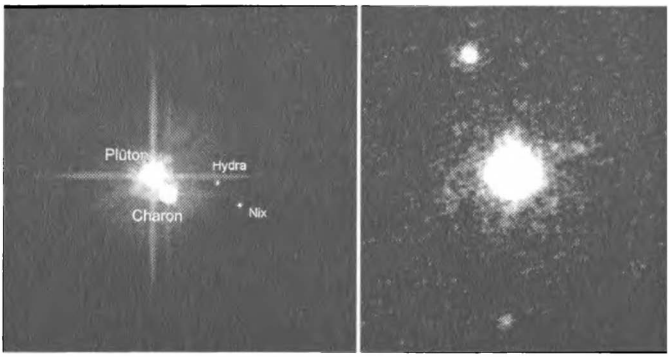
Burada "temizlemiş olmak"tan anlaşılan şey, bulunduğu bölgede -yörüngesi civarında- kütleçekimsel olarak egemen olması, yani yakın çevresinde kendisine yakın büyüklükte başka gökcisimlerinin olmamasıdır.

Bir gökcisminin cüce gezegen olabilmesi için ise, yukarıdaki koşullardan ilk ikisini sağlaması yeterlidir. Ancak bunlara ek olarak herhangi bir gökcisminin uydusu olmaması da gerekir. Cüce gezegenlerin kütlesinin alt ve üst sınırları tanımlanmamıştır. Alt sınırı "küresel yapı"yı sağlayacak olan hidrostatik denge belirler. Ne var ki hidrostatik denge de gökcisminin içeriğine bağlıdır.

Güneş Sistemi'nde şimdilik 5 cüce gezegen bulunuyor: Ceres (çapı 975 km), Plüton (çapı 2300 km), Eris (çapı 2400-2600 km arasında), Haumea (çapı 1050-1400 km arasında) ve MakeMake (çapı 1300-1900 km arasında). Ancak Kuiper Kuşağı olarak bilinen bölgede, henüz gözlemlenmemiş 40-200 arasında cüce gezegen olabileceği tahmin ediliyor. Hatta ileride Kuiper Kuşağı'nın ötesi de incelenebildiğinde, bu sayının 2000'e kadar çıkabileceği düşünülüyor.

20. yüzyılın başlarında keşfedilen Plüton 2006'ya kadar gezegen kabul ediliyordu. En uzak ve en küçük gezegen oydu. Güneş'ten Dünya'ya 8 dakika 20 saniyede gelen güneş ışınları Dünya'nın yüzde 0,6'sı kadar büyük olan Plüton'a 5 saatten uzun bir sürede ancak ulaşır. Plüton artık bir cüce gezegen olarak kabul ediliyor. Güneş'e 5,9 milyar kilometre uzaktaki bu cüce gezegenin dört uydusu vardır: Charon, Nix, Hydra ve S/2011P1.

İkinci cüce gezegen Ceres 1801'de -bugün Asteroit Kuşağı olarak bilinen bölgede- keşfedilmiş ve ilk önce ge-



Solda Plüton ve üç uydusu ile sağda Haumea ve iki uydusu görülüyor.

zegen olarak sınıflandırılmıştır. Ancak o bölgede sürekli yeni ve küçük gökcisimlerinin keşfedilmesi gökbilimcileri rahatsız etmiştir. Sonunda yeni bulunanlarla birlikte gezegen sayısı 20'yi aşınca Ceres ve son bulunan "minik" gezegenler 1822'de gezegenlikten çıkartılmış ve o zaman için yeni kabul edilen "asteroit" sınıfına sokulmuştur. 2006'da yapılan cüce gezegen tanımına uyduğu için de artık bir kez daha kategori değiştirmiş ve cüce gezegen olarak sınıflandırılmaya başlanmıştır.

Güneş Sistemi'nin üçüncü cüce gezegeni Eris'tir. İlk kez Ocak 2005'te gözlemlenen Eris, Plüton'dan daha büyüktür. Şimdilik en büyük ve en uzak cüce gezegen olan Eris'in, Dysnomia adlı bir uydusu vardır. Eris, Güneş'in çevresindeki bir turunu 557 yılda tamamlar. 2010'da Güneş'e en uzak konumunda yer almıştır (97,5 AB).

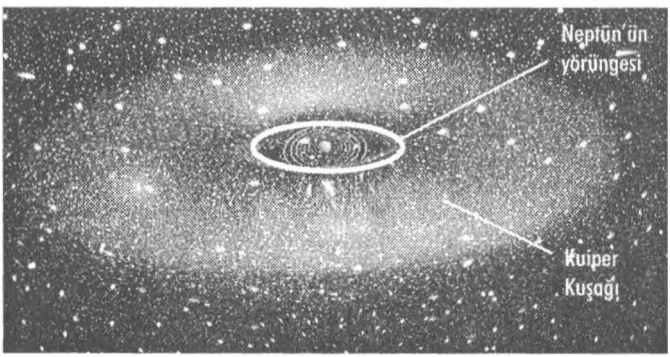
Dördüncü cüce gezegen Haumea, tıpkı Plüton gibi, Kuiper Kuşağı'ndaki cüce gezegenlerden biridir. Kuiper Kuşağı, Asteroit Kuşağı'na benzeyen bir kuşaktır. Yapılan hesap ve tahminlere göre, içinde binlerce gökcismi bulunur. Böyle bir kuşağın var olması gerektiği 1930'lu yıllardan beri zaman zaman ileri sürülmüştür. Ne var ki "kuşak" 1951'de konuyla ilgili bir makale yayımlayan Gerard P. Kuiper'ın adıyla anılır: Halbuki kendisi günümüzde böyle bir kuşağın kalmadığını düşünüyordu. 1990'lı yıllara kadar böyle bir kuşağın varlığını gösteren hiçbir gökcismi saptanamamıştır. Sonunda 1990'lı yılla-

rın başında ilk Kuiper Kuşağı cismi görüldü. Sonra keşiflerin arkası kesilmedi ve Kuiper Kuşağı'nın varlığı kesin olarak kanıtlandı. Burası, Güneş'e 30-55 AB uzaklıkta (4,5-7,5 milyar km aralığında) simit şeklinde bir bölgedir. Asteroit Kuşağı'ndan yaklaşık 20 kat daha geniştir ve gökcisimlerinin toplam kütlesi de 20-200 kat daha büyüktür. Tıpkı Asteroit Kuşağı gibi Güneş Sistemi'nin oluşumundan kalan "küçük" döküntüleri içerir. Ancak bu kuşaktaki gökcisimleri asteroitlerden daha büyüktür ve yapıları da daha çok kuyrukluyıldızların yapısını andırır: Buzdandırlar. Gökbilimciler bu bölgede çapı 100 km'nin üstünde 70.000'i aşkın gökcismi olduğunu tahmin ediyor. Ne var ki hepsinin toplam kütlesi Dünya'nın ancak onda biri kadardır.

Tıpkı Plüton gibi bir başka cüce gezegen Haumea da bu kuşağın bir üyesidir. Haumea 2004'te keşfedilmiştir. Hi'iaka ve Namaka adlı iki uydusu vardır. Haumea'nın yörüngesi Güneş'ten ortalama 43 AB uzaklıktadır. Güneş'in çevresindeki bir turunu 283 yılda tamamlar.

Mart 2005'te keşfedilen ve bir Kuiper Kuşağı cismi olan MakeMake sonuncu cüce gezegendir. Hiç uydusu yoktur. MakeMake'nin yörüngesi Güneş'ten ortalama 52 AB uzaklıktadır. Bu cüce gezegen Güneş'in çevresindeki bir turunu 310 yılda tamamlar.

Beyaz şeritle gösterilen Neptün'ün yörüngesinden sonra başlayan, 30-55 AB aralığında yer alan, simit şeklindeki bölgeye Kuiper Kuşağı denir.



27 | Yıldız kayması nedir?

Gökyüzünün açık olduğu bir gece, ışık kirliliğinin de olmadığı bir yerde, gökyüzünde yıldız kayması görme olasılığınız yüksektir. Halk arasında "akan yıldız" ya da "kayan yıldız" diye adlandırılan bu ışık gösterisine bilim insanları meteor der. Meteorların oluşmasına yol açanlar, yıldızlar değildir. Aslında meteor uzayda değil, atmosferde -yerden 75 km ile 100 km arası yükseklikte- gerçekleşen bir ışık olayıdır. Her gün Dünya'ya bin tonun üzerinde uzay tozu ve minik göktaşı "dökülür". Bunların, çapı 10 m'ye kadar olanlarına meteoroit denir. Meteoroitler, asteroit ya da kuyrukluyıldızlardan kopan parçalardır. Bunların arasında birkaç milimetre ile birkaç santimetre çapında olanlar, saatte 10.000 km ile 70.000 km arasında bir hızla atmosfere girip renkli ve çok parlak ışıklar çıkararak "yanar" ve buharlaşırlar. Atmosferin bir parçası

Her yıl 12-13 Ağustos tarihlerinde Perseid meteor yağmuru en üst düzeye çıkar. Bu gecelerde ışık kirliliğinin olmadığı bölgelerde, saatte ortalama 50 kayan yıldız görmek olasıdır. Perseid meteor yağmuruna Swift-Tuttle kuyrukluyıldızının geride bıraktığı döküntüler yol açar. Lewis Swift ve Horace Tuttle tarafından, birbirlerinden bağımsız olarak, 1862'de keşfedilen bu kuyrukluyıldızın periyodu 135 yıldır.





Kuyrukluyıldızların kuyrukları her zaman Güneş'in tersi yönde uzar. Kuyrukluyıldızlar Ortaçağ Avrupası'nda uğursuz olayların habercisi olarak görülürdü.

olurlar. Geceleri "yıldız kayması" olarak gördüklerimiz, işte bu parlamalardır. Meteoroitlerin içerdiği maddelerin türüne göre meteorun rengi değişir. Eğer atmosfere giren meteoroit daha büyükse, yanma süresi -yani gökyüzünde görünme süresi- daha uzun olur ve daha parlak görünür. Boyutları metrelerle ölçülenler, kütlelerinin büyük bölümünü atmosferde yitirmelerine karşın, yeryüzüne ulaşabilir. Bunlar da genellikle okyanuslara ya da insan yerleşiminin olmadığı boş alanlara düşer.[3] Yeryüzüne her gün düşen binlerce minik meteoridin arasında ortalama bir tane 40 cm çapında meteorit olur; yeryüzüne ulaşabilen meteoroitlere meteorit denir. Yılda ortalama bir tane 4 m çapında ve yüzyılda bir de 20 m çapında meteorit Dünya'ya çarpar. Yeryüzüne düşen -çarpan- göktaşlarının büyüklükleriyle düşme sıklıkları ters orantılıdır. Çapı 300 m'den büyük asteroitlerden her 2 milyon yılda bir tane Dünya'ya çarpar ve çapı yaklaşık 5 km'lik bir krater oluşturmanın yanı sıra, düştüğü bölgede (yüz binlerce kilometrekarelik bir alanda) bölgesel bir yıkıma yol açar.

Yılın belli gecelerinde yıldız kayması sayısında artış olur. Bunlar Ay'ın ve ışık kirliliğinin olmadığı yerlerden izlendiğinde, gerçekten de çok etkileyici görüntüler sunar. Bu olaylara meteor yağmuru denir. Böyle gecelerde saatte ortalama 20-100 kayan yıldız görebilirsiniz. Bunun nedeni, o

3) İnsan yerleşimleri Dünya yüzeyinde yüzde 5'ten daha az yer kapladığı için, istatistiksel olarak meteoritler çoğunlukla bu alanların dışına düşer.

sırada Dünya'nın uzayın meteoroitlerle dolu bir bölgesinden geçiyor olmasıdır. Meteoroitlerle dolu bölgeler, aslında bir zamanlar bazı kuyrukluyıldızların geçtiği ve kuyruklarındaki döküntüleri geride bıraktığı yörüngelerdir.

Gökbilimciler kuyrukluyıldızlara "kirli kartopları" da der. Çünkü bir kuyrukluyıldızın büyük bölümünü buz ve küçük kaya parçaları, taşlar ve toz oluşturur. Kuyrukluyıldız, yörüngesinin Güneş'e uzak bölgelerindeyken bu içerik, donmuş bir halde birbirine sıkı şekilde bağlı durur. Kuyrukluyıldız Güneş'e yaklaştıkça buz erir ve buharlaşır. Kuyrukluyıldızı oluşturan madde artık gevşek bir şekilde bir aradadır. Zamanla küçük taşlar ve tozlar da gazlarla birlikte ana kütleden geride kalır ve kuyrukluyıldızın milyonlarca kilometre uzunluktaki kuyruğunu oluşturur. Kuyruktaki bu parçalardan bir bölümü kuyrukluyıldızla bağını koparıp yörünge üzerinde kalır. Böylece tıpkı gezegenler ve kuyrukluyıldızlar gibi bu döküntüler de Güneş'in çevresinde dönmeye başlar. Ne zaman Dünya, döküntülerle kaplı bu yörüngelerden birinin içinden geçse, o gün Dünya'ya her zamankinden daha çok sayıda meteoroit düşer! Yani daha çok kayan yıldız görülür. Eğer kuyrukluyıldız birkaç ay ya da birkaç yıl gibi kısa bir süre önce geçmişse, arkasında bol miktarda yeni döküntü bırakmış olur. Dünya böylesi bir yörüngenin içinden geçerken meteor sayısında sıra dışı bir artış olur. Bu özel gecelerde, saatte binlerce yıldız kayması gözlemlenebilir. Bu olaya meteor fırtınası denir.

Meteor yağmurları

Yılın belli günlerinde (gecelerinde) olan meteor yağmurlarının sayısı 70'in üzerindedir. Bunlar arasında en çok "kayan yıldız" görülen bazıları şunlardır:

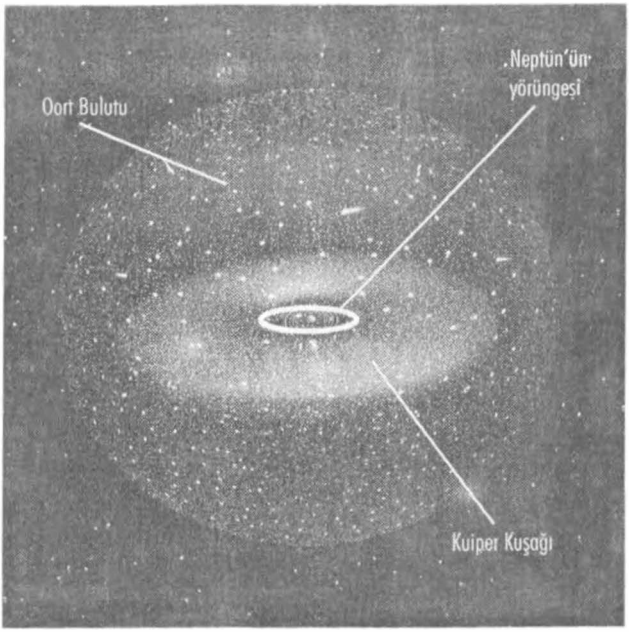
Kuadrantidler	1-5 Ocak
Liridler	15-28 Nisan
Eta Akuaridler	19 Nisan-28 Mayıs
Perseidler	17 Temmuz-24 Ağustos
Orionidler	2 Ekim-7 Kasım
Leonidler	14-21 Kasım
Geminidler	12-16 Aralık

Kayan yıldızlar kadar sık olmasa da, birkaç yılda bir Güneş Sistemi'nin iç bölgelerine giren kuyrukluyıldızlar da geceleri gökyüzünde etkileyici bir görüntü oluşturur, hem de uzun bir süre. Küçük çekirdeklerinin çevresi yaklaşık 100.000 km çaplı parlak bir gaz ve toz bulutuyla kaplanır. Kuyrukluyıldız büyükse, arkasında (Güneş'in tersi yönde) milyonlarca, hatta on milyonlarca kilometre uzunluğunda parlak bir kuyruk oluşur. Bu kuyruk hep Güneş'e ters yönde olur; çünkü güneş rüzgârı dağınık haldeki bu hafif maddeleri sürekli Güneş'in tersi yöne doğru "üfürür". Böylesi kuyrukluyıldızlar geceleri gökyüzünde çok daha güzel görünür. Kuyrukluyıldızlar içeriklerinin büyük bölümünün buz, taş, toz ve gaz olmasıyla ve bunların birbirine gevşek bir biçimde bağlanmasıyla asteroitlerden ayrılır.

Güneş Sistemi'nde milyonlarca kuyrukluyıldız vardır. Şu ana değin ancak 900 kadarının yörüngesi saptanabilmiştir. Bunların 200 kadarı periyodiktir. Kısa periyotlu kuyrukluyıldızların -yani periyodu 20 yıldan kısa olanların- birçoğunun periyodu yedi yıl dolayındadır. Kuiper Kuşağı'ndan geldikleri tahmin edilen bu kuyrukluyıldızların Güneş'in çevresindeki yörüngesi Jüpiter'e kadardır ve gezegenlerle aynı yönde olur. Zaten Jüpiter'in kütleçekim etkisi nedeniyle bu bölgede hapsolmuşlardır. Bu kuyrukluyıldızların büyük bir bölümü kısa yörüngelerinde dolaşırken sürekli madde yitirir (yörüngesinde bırakır), küçülür ve yok olur. Küçük bir bölümü de Jüpiter'in kütleçekim etkisiyle Güneş Sistemi'nin uzak bölgelerine gönderilir. Orta periyotlu -periyodu 20 ile 200 yıl arasında olan- ve uzun periyotlu -periyodu 200 yıldan uzun- kuyrukluyıldızların Oort Bulutu'ndan geldikleri tahmin edilmektedir. Bunların yörünge düzlemleri ekliptikle büyük açılar yapabilir.

Dünya'nın gelişiminde kuyrukluyıldızların büyük önemi olmuştur. Birçok gökbilimci yeryüzündeki suyun büyük bir bölümünün Dünya'ya çarpan kuyrukluyıldızlar tarafından getirildiğini düşünmektedir. Ayrıca yaşamın ortaya çıkmasında büyük rolü olduğu düşünülen organik maddelerin bir bölümünün de yine kuyrukluyıldızlarla geldiği düşünülür.

Oort Bulutu



Neptün'ün ötesinde yer alan simit şeklindeki Kuiper Kuşağı'nda küçüklü büyüklü bir milyar dolayında gökcismi bulunduğu tahmin ediliyor. Bunların büyük bölümü yörüngelerinde kararlı bir şekilde dönseler de bazen aralarından biri, gaz devi gezegenlerden birinin kütleçekim etkisiyle yörüngesinden sapar. Çok basık bir elips şeklindeki yeni bir yörüngeye girer ve kısa periyotlu bir kuyrukluyıldız oluverir. Güneş Sistemi'nin içlerine doğru yol almaya başlar.

Uzun periyotlu kuyrukluyıldızların kaynağı olarak görülen bölgeyse Kuiper Kuşağı'nın da ötesinde yer alan ve onu kuşatan Oort Bulutu'dur. Oort Bulutu'nun küresel bir yapısı vardır; yani onu oluşturan gökcisimleri Güneş'in çevresinde -ekliptik gibi belli bir düzlemin dolaylarında değil de- küresel bir dağılım gösterir. Sınırları tam olarak bilinmese de 50.000 AB uzaklığa kadar uzandığı tahmin edilmektedir. Oort Bulutu'nun içerdiği 1 km'den büyük çaplı trilyonlarca gökcisminin de toplam kütlesinin yaklaşık beş Dünya kütlesi kadar olduğu düşünülmektedir. Yukarıdaki resimde -resme sığabilmesi için- Oort Bulutu'nun çapı binde bir oranında küçültülmüştür.

28 | Güneş Sistemi'ni araştırmak için kaç uzay aracı gönderildi?

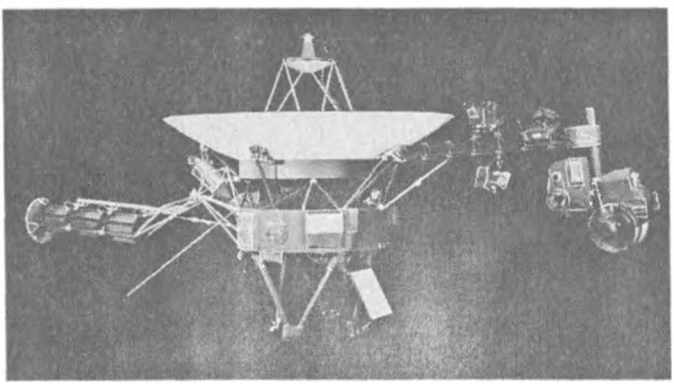
1959'da Sovyet uzay sondası Luna 3'ün Ay'ın daha önce hiç görülmemiş arka yüzünün fotoğraflarını çekip Dünya'ya göndermesiyle birlikte, uzay araçlarıyla Güneş Sistemi'nin araştırılması çağı başlamış oldu. 50 yılda Güneş Sistemi'nin değişik köşelerine 200'e yakın uzay aracı gönderdik. Bütün gezegenleri, önemli uyduları, birçok asteroit ve kuyrukluyıldızı özel aygıtlarla yüklü bu uzay araçlarıyla inceledik. Ay'ın ve karasal gezegenlerin yüzey haritalarını çıkarttık. Ay'a, Mars'a, Venüs'e ve Satürn'ün uydusu Titan'a araçlar indirdik.

Her ne kadar insanlı görevler Dünya'ya yakın yörüngelerle sınırlı kalsa da son 30 yılda Güneş'e ve gezegenlere yönelik uzay araçlı araştırmalar sayesinde Güneş Sistemi'ne ilişkin bilimsel birikim muazzam bir artış gösterdi.

Güneş

1990'lı yıllara kadar Güneş'e yönelik sekizi başarılı dokuz uzay aracı Güneş'in çevresinde değişik yörüngelere oturtulmuştu. 1990'lı yıllardan günümüze kadarsa, Güneş'i incelemek için yedi uzay aracı daha fırlatıldı. Bunların hep-

Voyager 1 ve Voyager 2 ikiz uzay araçlarıdır. Ağustos ve Eylül 1977'de fırlatılmışlardır. Gönderdikleri sarsıcı fotoğraf ve verilerle Güneş Sistemi'ne ve Evren'e bakış açımızı kökten değiştirmiştir.



si de başarılı olmuştur. Onlar sayesinde Güneş'in yapısına ve güneş patlamalarına ilişkin ayrıntılı bilgiler elde edilmiştir. 2015'te NASA ve ESA (Avrupa Uzay Ajansı), Güneş'i incelemek için birer uzay aracı daha göndermeyi planlamaktadır.

Merkür

Güneş'e en yakın gezegen Merkür, en az araştırılan gezegenlerden biridir. 1974'te NASA tarafından fırlatılan Mariner 10'dan sonra yalnızca 2008'de yine NASA'nın gönderdiği Messenger uzay aracıyla incelenmiştir. Messenger hâlâ Merkür'ün çevresinde dönüyor ve bu küçük gezegeni inceliyor. Bu uzay aracı Mart 2011'de Merkür'ün yörüngesine girmiştir. Japonya Uzay Ajansı JAXA ile ESA'nın ortaklaşa geliştirdikleri BepiColombo adlı uzay aracının da 2014'te Merkür'e gönderilmesi planlanıyor.

Venüs

Gezegenler arasında insanların en çok ilgisini çekenlerden biri Venüs olmuştur. Boyutları nedeniyle Dünya'nın ikiz kardeşi gibidir. Ancak yüzey koşulları tam bir cehennemi andırır. 1961 ile 1990 yılları arasında ABD ve SSCB bu sıcak gezegeni incelemek amacıyla 38 uzay aracı göndermiştir. Bunlardan ancak 20'si geriye başarıyla veri gönderebilmiştir. 1990'dan sonra NASA, ESA ve JAXA'ya ait altı uzay aracı Venüs'ü incelemiştir. Şu anda ESA'nın Venüs Express adlı bir uzay aracı, gezegenin çevresinde, onun bir yapay uydusu olarak dönüyor ve Dünya'ya bu sıcak gezegen hakkında sürekli veri gönderiyor. Rusya'nın uzay ajansı RFSA ve NASA 2013'te Venüs'e birer uzay aracı göndermeyi planlıyorlar.

Dünya

Uzay araçlarıyla incelenen gezegenlerden biri de Dünya'dır. Değişik ülkelerin uzay ajansları askeri amaçlı, küresel konumlamaya ve iletişime yönelik uydularının dışında, bugüne değin bilimsel ya da ticari amaçlı olarak 110 dolayında Dünya gözlem uydusu fırlatmıştır.

Ay

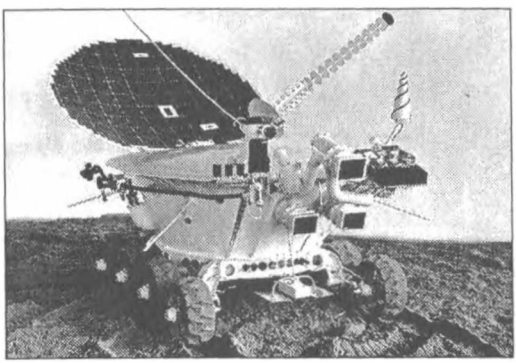
Dünya'yı saymazsak, bütün gökcisimleri arasında en çok uzay aracı gönderilen ve incelenen gökcismi kuşkusuz Ay'dır. Uzay çalışmalarının başladığı 1950'li yıllarda Ay'ı hedefleyen ve dördü dışında hepsi de başarısız olan 14 uzay aracı fırlatılmıştı. Bunlardan Luna 1 (SSCB -Ocak 1959) Ay'a ilk yakın uçuşu (6000 km) gerçekleştirmiştir. Ardından ABD'nin Pioneer 4'ü (Mart 1959) Ay'ın 60.000 km yakınından (!) geçmiştir. Luna 2 (Eylül 1959) Ay'a düşürülen, Luna 3 de (Ekim 1959) Ay'ın karanlık yüzünün fotoğraflarını çeken ilk uzay araçları olmuştur.

ABD ile SSCB arasında Ay yarışının yaşandığı 1960'lı yıllarda, Apollo 11'in yüzey aracı Kartal'ın Ay'a inişine kadar, değişik amaçlarla Ay'ı hedefleyen 50 uzay aracı fırlatılmıştır. Bunlardan ancak 26'sı amacına ulaşabilmiştir. Bu amaçlar;

- Ay'ın yakınından geçip onun fotoğraflarını çekme,
- Ay'ın çevresinde yörüngeye girme,
- Ay'a düşme,
- Ay'a inme,
- Uzaktan kumandayla Ay yüzeyinde ilerleme,
- Ay'dan taş, toprak örneği toplayıp yeryüzüne getirme

şeklinde değişiyordu.

1970'ten 1976'ya kadar Ay'a gitmesi için 5'i insanlı 19 uzay aracı daha fırlatıldı. Bunlardan biri insanlı uzay aracı (Apollo 13) olmak üzere, üçü dışında hepsi başarılı oldu.



Luna 17 ile Ay'a gönderilen Lunokhod 1 yüzey aracı, Kasım 1970'den Ekim 1971'e kadar Ay yüzeyini, uzaktan kumandayla inceleyip yeryüzüne veri ve fotoğraf göndermişti.

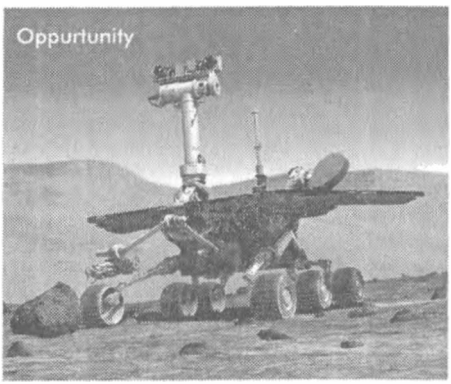
SSCB, Ay'a insan gönderemedi ama Ay'a gönderdiği robot uzay araçları Ay'ın yüzeyinde araştırmalar yaptı; tıpkı günümüzde NASA'nın Mars'taki yüzey araçları gibi. Hatta üç uzay aracı Luna 16, Luna 20 ve Luna 24 Ay'a indi ve topladığı 320 gram Ay toprağını Dünya'ya getirdi.

Ay, 1990'lı yıllarla birlikte bir kez daha çekici bir gökcismi haline geldi. Bu kez onu hedefleyen ülkeler arasına Japonya, AB, Hindistan ve Çin de katıldı. 1990'dan bugüne değin dokuzu yörünge aracı olmak üzere 12 uzay aracı Ay'a gönderildi. Şu anda ABD'nin Lunar Reconnaissance Orbiter ve Çin'in Cheng'e 2 adlı uzay araçları Ay'ın çevresinde dönüyor ve Dünya'ya uydusu hakkında ayrıntılı veri aktarıyorlar.

2015'e kadar Ay'a ABD iki, Rusya, Çin, Japonya ve Hindistan da birer uzay aracı göndermeyi planlıyor. Bunlardan başka bir de Rusya-Hindistan ortak yapımı bir uzay aracı 2013'te fırlatılacak. Bu araçta Ay yüzeyinde dolaşacak bir robot araç da bulunacak.

Mars

Boyutları açısından Dünya'ya en benzeyen gezegen Venüs'tür ama daha küçük olmasına karşın yüzey koşulları açısından yeryüzüne en yakın olan da Mars'tır. O nedenle uzay aracı gönderilerek en çok incelenen gezegen de Mars olmuştur. Bugüne değin Mars'a toplam 41 uzay aracı gönderilmiştir. Bunların bazıları yalnızca Mars'ın ya-



NASA, 1997'de Mars yüzeyini incelemek için Sojourner adlı bir yüzey robotu gönderdi. Çok başarılı olan bu görevden sonra 2004'te ikiz yüzey araçları Spirit ve Opportunity gönderildi. Bu yüzey araçlarından Opportunity, 2004'ten bu yana çalışmalarını sürdürüyor.

kınından geçmiş ve fotoğraflarını çekmiştir; bazıları (18'i) gezegenin yörüngesine girip yıllarca onun uydusu olmuş ve çok değerli bilgiler göndermiştir. Bazı uzay araçlarıysa Mars'ın yüzeyine inmiştir (6 araç) ve Mars'ın yüzeyine, yapısına ilişkin bilgilerin yanı sıra, Kızıl Gezegen'de yaşam olup olmadığına ilişkin veriler de göndermişlerdir (Şu ana değin yaşama ilişkin herhangi bir ize rastlanamamıştır). Bugünlerde Mars'ın yüzeyinde bir ve çevresinde de üç uzay aracı Dünya'ya veri göndermeyi sürdürüyor.

Asteroitler

Asteroit Kuşağı'ndaki asteroitlere yönelik uzay araçlı araştırmalarının tarihi çok eskilere uzanmaz. Bu alanda araştırmalar 1990'lı yıllarda başlamıştır. İlk olarak 1991'de NASA'nın Jüpiter'e gönderdiği Galileo adlı uzay aracı, Güneş Sistemi'nin iç bölgelerinde yer alan gezegenlerin kütleçekim alanlarından yararlanarak hız kazanmak için yol alırken, Asteroit Kuşağı'nın yakınlarından da geçmişti. O geçişi sırasında büyük asteroitlerden 951 Gaspra'nın 1600 km öteden fotoğraflarını çekmişti. Böylece ilk kez bir asteroitin yakın plan görüntüleri elde edilmiştir. Daha sonra Galileo 1993'te 243 Ida'nın 240.000 km yakınından geçerken onun da fotoğraflarını çekmiştir. Daha sonra NASA'nın NEAR Shoemaker, DeepSpace1, Stardust ve New Horizons uzay araçlarıyla ESA'nın Rosetta ve JAXA'nın Hayabusa uzay araçları asteroitleri yakından gözlemiştir. Hatta Hayabusa, sıra dışı bir iş yaparak, 25143 Itokawa adlı asteroitten örnek toplayarak Temmuz 2010'da Dünya'ya getirmiştir.

NASA, bu bölgede yer alan ama artık bir cüce gezegen olan Ceres'in çevresinde yörüngeye girecek bir uzay aracını 2015'te fırlatmayı planlıyor.

Jüpiter

Güneş Sistemi'nin en büyük gezegeni Jüpiter, Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 2, Cassini ve New Horizons uzay araçlarıyla incelenmiştir. Ancak Jüpiter'e ve onun sıra dışı uydularına yönelik asıl araştırmayı 1989'da fırlatılan ve

1995 ile 2003 tarihleri arasında Jüpiter sisteminde değişik yörüngelerde kalan 2,3 tonluk Galileo uzay aracı yapmıştır. NASA, 2011'de Juno adlı uzay aracını Jüpiter'i incelemek amacıyla fırlatacaktır. Juno'nun Jüpiter'in yörüngesine 2016'da girmesi bekleniyor.

Satürn

Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 2 uzay araçları Jüpiter'i inceledikten sonra yollarına devam etmiş ve Satürn'ü de gözlemlemiştir. Ancak Voyagerlar gerçekte birden çok gezegeni, ilk kez incelemeyi amaçlayan uzay araçlarıydı.

Satürn'ü asıl araştıran ve çok değerli bilgiler elde eden uzay aracı Cassini'dir. Titan'a bıraktığı Huygens adlı sonda, uydunun hem atmosferini hem de yüzeyini incelemiştir. Huygens, Dünya'dan başka bir gezegenin uydusuna inen ilk uzay aracıdır.

Buz devleri

Uranüs ve Neptün yalnızca Voyager 2 tarafından incelenmiştir. Ocak 2006'da fırlatılan New Horizons adlı uzay aracının 2015'te Plüton'a varması bekleniyor. Artık bir cüce gezegen kabul edilen Plüton'u ve onun uydularını inceleyecek olan New Horizons daha sonra Kuiper Kuşağı cisimlerini gözlemlemek üzere yoluna devam edecek.

1985'ten bu yana kuyrukluyıldızlar da uzay araçlarıyla yakından inceleniyor. Ünlü kuyrukluyıldız Halley'in 1986'da Güneş'e yakın geçişi sırasında onu gözlemlemek için altı uzay aracı fırlatıldı. Halley'den başka başta Encke, Wild, Tempel-Tuttle olmak üzere 15 kuyrukluyıldız uzay araçlarıyla yakından incelenmiştir.

Uzun bir süre Güneş Sistemi'nin değişik gezegen, uydu ve başka gökcisimlerini inceleyen Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 1 ve Voyager 2 uzay araçları, uzayda değişik yönlerde ilerlemelerini sürdürüyor. 1972 ve 1973'te fırlatılan Pioneerlarla, bu uzay araçlarındaki enerji kaynaklarının tükenmesi nedeniyle, iletişim kesildi. 1977'de birer ay arayla fırlatılan Voyagerlarla ise iletişimin 2020'ye değin sürmesi bekleniyor. Bu dört uzay aracı gezegenlere yöne-

lik gözlemlerini yaptıktan sonra Güneş Sistemi'nin dışına doğru -farklı yönlerde- ilerlemeyi sürdürecekler. Voyager 1 şu sıralar Güneş'ten 116 AB, yani 17,4 milyar kilometre uzakta yoluna devam ediyor. Voyager 2 ise Güneş'ten 95,2 AB, yani 14,2 milyar kilometre uzakta yoluna devam ediyor. Şu sıralar Plüton'a doğru yol alan New Horizons da tıpkı Voyagerlar ve Pioneerlar gibi Güneş Sistemi'nin dışına doğru ilerleyişini sürdürecek.

Güneş Sitemi'ne yönelik uzaydan yapılan araştırma ve gözlemler yalnızca uzay araçlarıyla sınırlı değil, bir de çok değerli bilgi kaynağı olan uzay teleskopları var. Bunlar arasında en iyi bilineni kuşkusuz 1990'da yörüngeye yerleştirilen Hubble Uzay Teleskopu'dur. Çeşitli dalgaboylarındaki ışıklarla (gamma ışınlarıyla, X - ışınlarıyla, morötesi ışıkla, görünür ışıkla, kızılötesi ışınlarla, mikrodalgalarla ve radyo dalgalarıyla) çalışan 79 uzay teleskopu değişik tarihlerde Dünya'nın ya da Güneş'in çevresinde yörüngeye yerleştirilmiştir. Güneş Sistemi ve Evren'e yönelik araştırmalarda bunlardan çok yararlanılmıştır. Bu teleskopların 37'si halen değişik yörüngelerde çalışmasını sürdürüyor. Önümüzdeki 10 yıl içinde de 15 yeni ve güçlü uzay teleskopunun daha fırlatılması planlanıyor.

3. Bölüm
BÜYÜK ÖLÇEKLİ EVREN

29 | Evren'de başka yaşam var mı?

400 yıldır teleskoplarla, 80 yıldır radyoteleskoplarla ve yaklaşık 50 yıldır da uzay araçlarıyla yakınımızdaki-uzağımızdaki Evren köşelerini araştırıyor, inceliyoruz. Dünya'ya Evren'e ve yaşama bakışımızı değiştiren çok şey öğrendik; ancak hâlâ en merak ettiğimiz konulardan birini açıklığa kavuşturamadık: Acaba Evren'de Dünya'dan başka bir yerde yaşam var mı?

Evren'de yaşam araştırmaları temelde iki koldan ilerliyor. Birinci kolda Güneş Sistemi'nde başka bir gezegende ya da uyduda, belki de bir asteroitte, mikroorganizma ya da daha üst düzey canlıların varlığına yönelik araştırmalar yer alıyor. İkinci koldaysa Evren'in herhangi bir köşesinde kendileriyle iletişim kurabileceğimiz kadar akıllı canlılardan gelecek radyodalgalarını yakalamaya yönelik araştırmalar bulunuyor.

Dünyadaki ilk televizyon yayını 1936'da yapılan Berlin Olimpiyatları ile birlikte Almanya'da başlamıştı. O günden

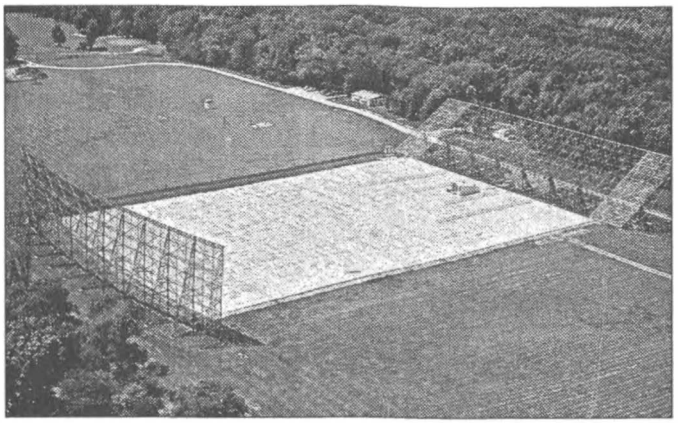


bu yana Evren'e radyodalgalarıyla kendimizle ilgili sürekli görüntüler gönderiyoruz. Uzayda ışık hızıyla ilerleyen bu dalgalar şu anda 75 ışık yılı çaplı bir küre içindeki bütün yıldızlara ve onların -varsa- gezegenlerine ulaşmış durumdadır. Eğer oralarda bizimki gibi bir teknoloji geliştirmiş canlılar yaşıyorsa, bu yayınları yakalayabilir ve bize yanıt verebilirler. Aynı şekilde bizim de Evren'in herhangi bir köşesinde yaşayan zeki canlıların gönderdiği iletileri yakalama şansımız var. Tek yapmamız gereken uygun ve güçlü kulaklarla (radyoteleskoplar) uzayı dinlemek. Bu işi 25 yıldır yapan bir kurum da zaten var: SETI Enstitüsü.

1984'te kurulan SETI Enstitüsü[4] Evren'de yaşamın kökenini, doğasını ve yaygınlığını anlayıp açıklamaya çalışan, kâr amacı gütmeyen bir organizasyon, devlet desteği almayan bir kuruluştur. Eskiden büyük teleskoplarla her yıl belli ve sınırlı zamanlarda SETI çalışmaları yürütülüyordu. Ama artık ATA var.

ATA (Alan Telescope Array - Alan Teleskop Dizisi), 1997'de Kaliforniya'daki SETI Enstitüsü'nde ortaya atılan bir fikir üzerine geliştirilen bir birleşik teleskop projesidir. Bilgisayar ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler sayesinde çok sayıda küçük teleskoptan oluşan ATA Projesi'nin amacı 2020'de bir hektarlık bir alanda (100 m x 100 m) her biri 6,1 m çaplı, aynı doğrultuda 350 küçük teleskoptan oluşan birleşik bir teleskop yapmaktır; bütün

4) SETI, Dünya dışı zeki canlılar araştırması anlamına gelen İngilizce "Search for Extraterrestrial Intelligence" sözcüklerinin kısaltmasıdır.



1963'te ABD'de Ohio Devlet Üniversitesi'nde 80 dönümlük bir arazide Kraus-tarzı bir büyük radyoteleskop kuruldu. Büyük Kulak adı verilen bu radyoteleskopla ilk ve sürekli SETI çalışması başlatıldı. Çalışmalar yandaki golf sahasını büyütmek için radyoteleskopun söküldüğü 1995 yılına kadar sürdürüldü.

teleskoplar aynı anda, aynı yöne hareket edecek biçimde tasarlanmıştır. Bu birleşik teleskop 100 m çaplı büyük bir teleskop gibi çalışacak. Amacı karanlık madde ve karanlık enerji araştırmaları için Samanyolu dışındaki 250.000 radyo kaynağını incelemek, SETI araştırmaları için gökadamızdaki 1.000.000 yıldızı incelemek ve karadelik taraması yapmak. ATA sayesinde yıl boyu sürekli araştırma yapılacak. 2007'de 42 teleskopluk ilk aşaması tamamlandı ve çalışmalara başlandı. Ne yazık ki parasal sorunlar nedeniyle Nisan 2011'de çalışmalar askıya alındı.

ATA şimdiye kadar yapılmış en pahalı ama en yoğun "uzaylı" arama girişimidir. Bu konumunu, SKA çalışmaya başlayana dek koruyacak. SKA da (Square Kilometer Array - Bir Kilometrekare Dizisi) tıpkı ATA gibi çok sayıda küçük teleskoptan oluşacak başka bir radyoteleskop projesidir. Bir kilometrekarelik bir alanı kaplayacak olan SKA'nın yapımına 2016'da başlanacak ve ilk gözlemler de 2019'da başlayacaktır. 20 ülkenin katılımıyla gerçekleştirilecek dev teleskopla, SETI'nin yanı sıra, gökada oluşum ve evrimi, karanlık madde ve karanlık enerji ve kozmik manyetizma konularında araştırmalar yürütülecektir.

Samanyolu'nda kaç zeki uygarlık olduğunu bilemiyoruz. Ancak bilimsel birtakım öngörülere ve olasılıklara dayanan bir "tahmin formülü"müz var. 1961'de gökbilimci Frank Drake, Samanyolu'nda iletişim kurabileceğimiz zeki uygarlık sayısını veren bir denklem üretti. Artık Drake denklemi diye anılan bu denklemin çarpanlarını birtakım olasılıklar oluşturuyordu.

Drake denklemi Evren'in tarihi, Güneş Sistemi'nin tarihi ve yeryüzünde yaşama ilişkin bilgilerimize dayanan bir denklemdir. Denklemde zeki uygarlıkların var olmasını sağlayacak bütün değişkenlere yer verilmiştir. Denklemdeki yalnızca bir değişken hakkında fikrimiz vardır; ama geri kalan altı değişkene ilişkin herhangi bir şey bilmiyoruz. Böyle olunca da o değişkenlere çok geniş bir yelpazede olasılık verilebiliyor. Sonuç olarak da Drake denkleminin sonuçları birbirinden çok farklı çıkabiliyor. Yine de her yıl yüzlerce bilim insanı bu denklem üzerinden tahmin yürütmeyi sürdüregelmiştir.

Bu eşitlikte çıkacak sonuç, eşitlikteki değişkenlerin alacağı olasılık değerlerine göre değişir. Denklemin mucidi ve SETI'nin eski başkanı Drake, 1961'de kendi olasılık oranlarına dayanarak yaptığı hesapla Samanyolu'nda 10.000 zeki uygarlık olması gerektiği sonucuna ulaştı. (Evren'de 125 milyar dolayında gökada olduğu düşünülürse, bütün Evren'de iletişim kurabileceğimiz zeki uygar-

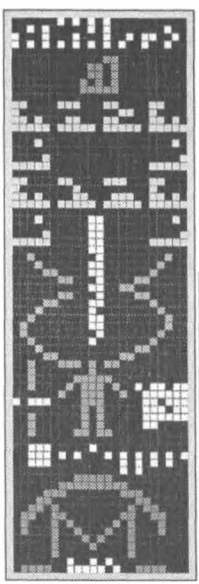
Evrende zeki yaşam olasılığını veren formül

$N = R \times f_p \times f_c \times n_e \times f_l \times f_i \times L$

N = Samanyolu'nda iletişim kurabileceğimiz uygarlıkların sayısı
R = Samanyolu'nda her yıl doğan yıldız sayısı
f_p = gezegeni olan yıldızların oranı
f_c = yaşamın ortaya çıkabileceği gezegen/uydu oranı
n_e = yörüngesi yaşanabilir bölgede olan gezegen/uydu oranı
f_l = zeki canlıların ortaya çıkabileceği gezegen oranı
f_i = iletişim kurulabilecek teknoloji geliştirmiş olanların oranı
L = uygarlığın yaşam süresi

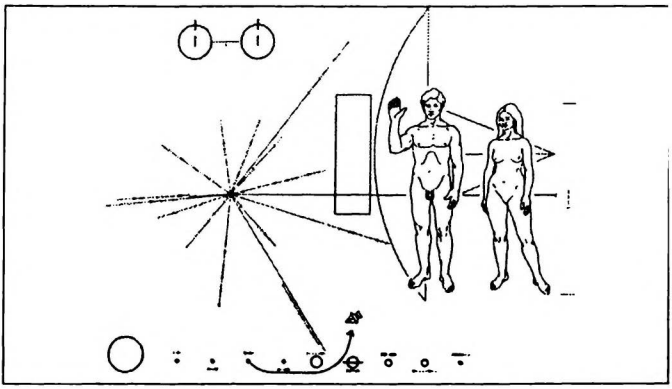
lık sayısı 10.000 x 125.000.000.000 = 1,25 x 10^{15} olur.)

Drake'in hesabından 30 yıl sonra, 51Pegasi'nin çevresinde dönen ilk ötegezegen keşfedildi. Bu gezegenin kütlesi Jüpiter'inkinin yarısı kadardı; ama yıldızına çok yakın olduğundan bir yılı ancak 4 gündü. Yüzey sıcaklığı da 1000°C'ın üzerindeydi. 51Pegasi'den sonra her yıl neredeyse yüzlerce yeni gezegen bulunmaya başlandı. Gerçi uzun bir süre bulunanların hiçbiri yaşamı destekleyecek koşulları taşımıyordu. Gezegenleri bulma çabalarının ilk 10 yılında hep Jüpiter büyüklüğünde ya da daha büyük, sıcak ve yıldızına yakın olduğu için hızlı dönen gezegenler bulundu. Ne var ki, daha o dönemde bile gökbilimciler, Samanyolu'nda Dünya benzeri milyonlarca gezegen olduğundan emindiler; yalnızca keşfedilmeyi bekliyorlardı. 2007'de 5 Dünya kütlesinde bir gezegen keşfedildi: Gliese581c. 20 ışık yılı ötedeki Gliese581c, bir anlamda ikinci Dünya'ydı; büyüklüğündeki benzerlikten başka yıldızından uzaklığı da yaşamı destekleyecek bölgenin içinde kalıyordu. Drake denkleminde bir değişkene ilişkin iyi bir fikrimiz oluşmaya başladı. 2008'de aynı yıldı-



1974'te 305 m çaplı Arecibo radyoteleskopuyla 24.000 ışık yılı ötedeki M13 yıldız kümesine çok güçlü bir ileti gönderildi. Zeki bir canlı, ikili düzende yazılı ve içeriğinde insan bedeni, DNA, Güneş Sistemi ve Arecibo çanağı bulunan iletiden, hakkımızda birçok şey öğrenebilir (Gerçi ileti gönderilmeden önce bir grup bilim insanına verilmiş ve ondan ne anladıkları sorulduğunda, pek çözememişler! Belli ki iletinin bizden biraz daha zeki canlıların eline geçmesi bekleniyor).



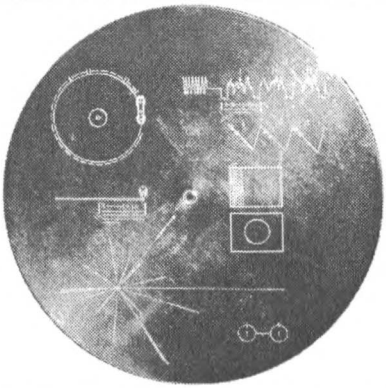


Radyodalgalarıyla gönderilen iletiden başka, 1970'li yıllarda Güneş Sistemi'nin dört köşesine ve oradan da yıldızlararası uzaya gönderilen Pioneer 10, Pioneer 11, Voyager 1 ve Voyager 2 uzay araçlarına birer altın plak kondu. Bunlarda da bizimle ve Dünya'nın konumuyla ilgili temel bilgiler yer alıyordu. Pioneerlara konan altın plak görülüyor.

zın çevresinde dönen bir başka süper Dünya keşfedildi: Gliese581d. Gerçi yaşanabilir kuşağın ötesinde kalıyordu ama sera etkisi gerçekleşmişse bunun da yüzeyi sıvı su bulunması için yeteri kadar ılık olabilirdi.

Bugünse keşfedilen 598 gezegenden 68'i Dünya'ya benziyor. Bunlardan 54'ü de yıldızlarına yaşam için uygun koşulların oluşabileceği uzaklıktaki yörüngelerde dönüyor. Dünya'da yaşamın ne zaman ve hangi koşullarda ortaya çıktığına bakarak, bu gezegenlerin ve ileride saptanacak daha binlercesinin birçoğunda ilkel yaşam biçimlerinin var olduğunu düşünmek pek de yanlış olmaz.

Uzaylı arama çabalarımızdan bir bölümü, bizimle iletişim kurabilecek zeki canlılara yöneliktir. Öteki bölümüyse özellikle yakın çevremizde, yani Güneş Sistemi'nde en ilkel canlı türlerini bulmaya yönelik olanıdır. Astrobiyologlar gezegenlerde, uydularda, hatta asteroit ve kuyrukluyıldızlarda olası mikroorganizmaları araştırmak için önce yeryüzünün uç koşulları olan birtakım ortamlarda yaşayan mikroorganizmaları inceliyor. Böylece uzayda canlı ararken nerelere bakmaları gerektiğini ortaya çıkartıyorlar. Ekstramofiller denen bu grubun üyesi bazı siyanobakteriler, yeryüzünde alışılmışın dışında zorlu bazı



Voyager uzay araçlarına konan altın plak.

fiziksel ve kimyasal koşullarda (aşırı tuzlu, aşırı sıcak ya da soğuk, aşırı asitli ya da bazlı vs.) yaşıyor. Antarktika'da kayaların 1-2 cm içinde, yerin birkaç kilometre altındaki kayalarda, ABD'deki Yellowstone Parkı'ndaki asitli sıcak sularda, okyanus tabanlarındaki sıcak su bacalarında 100°C'ı aşan sularda yaşayan, bir insanı öldürebilecek dozda radyasyonun 100 katına dayanıklı bakteriler var. Astrobiyologlar zaman zaman bunlardan bazılarını uzaya gönderip orada da yaşamlarını sürdürüp sürdüremediklerini araştırıyor.

Dünya oluştuğunda önceleri yüzeyi kızgın eriyik kayalarla kaplıydı. Sonra yağmurlarla birlikte okyanuslar oluştu. Ama her ikisi de steril ortamlardı. Okyanuslar organik madde açısından çok yoksuldu. Öte yandan gezegenler arası uzay organik madde açısından çok zengindir. Ve uzay yalnızca 100 km yukarısıdır.

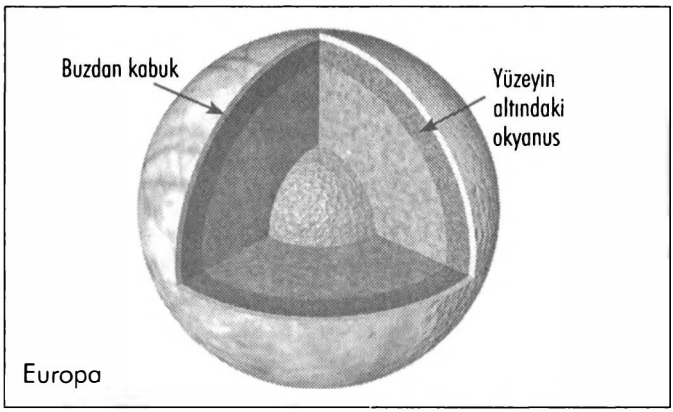
Oluşumundan bu yana giderek azalan sıklıkta değişik boyutlarda asteroit ve kuyrukluyıldızlar gezegenimize çarpar. Dinozorları ve onlarla birlikte yeryüzündeki tüm canlı türlerinin yüzde 70'ini yok eden 10 km'lik asteroit gibi göktaşları, yaklaşık her yüz milyon yılda bir ortaya çıkar. Bununla birlikte birkaç santimetre büyüklüğünde olanlar ve daha küçükleri her gün yaklaşık bin tonu bulacak şekilde -tıpkı yağmur gibi- Dünya'ya çarpar. Bu göktaşları Güneş Sistemi'nin oluşum döneminden yani 4,56

milyar yıl öncesinden kalan antik yapılardır. Bol miktarda organik madde içeren bu göktaşları Güneş Sistemi'nin oluşum dönemlerinde Dünya'ya çok sık çarpıyordu. Beraberlerinde de bol miktarda su ve organik madde taşıyorlardı. Uzayda dolaşan organik maddelerin yeryüzünde yaşamın ortaya çıkmasında büyük bir rolü olabilir.

Yeryüzünde yaşamın ortaya çıkmasına elverişli koşulların düzelmesi yaklaşık 800 milyon yıl aldı. Ondan sonraki ilk 100 milyon yıl içinde yaşamın ortaya çıktığını gösteren kimyasal fosil kanıtları var. Buradan, eğer uygun koşullar olursa, yaşamın ortaya çıkmasının o kadar da zor olmadığı anlaşılıyor. Aynı durum kuşkusuz başka gezegenler ve onların uyduları için de geçerlidir. Gezegenler arasında, uzak geçmişte bildiğimiz anlamda yaşamı destekleyebilecek olan Mars ve Venüs vardır. Uydulardansa Io, Europa, Enceladus ve Titan bugün bile yaşamın bulunma olasılığı yüksek yerlerdir.

Jüpiter'in bu büyük uyduları gezegenlerine yakın yörüngelerde döndüğünden çok güçlü kütleçekim etkisi nedeniyle içleri sıcak, ama yüzeyleri buzla kaplı, olasılıkla buz tabakasının altında birer okyanus barındıran uydulardır.

Europa belki de Güneş Sistemi'nde yaşam bulma olasılığımızın en yüksek olduğu yerdir. Dünya'dan sonra en büyük ikinci okyanusun -4 milyar yıldır yüzeydeki buz



tabakasının altında kalan bir okyanusun- bu uyduda bulunduğuna yönelik kanıtlar giderek artıyor. Dünya'da suyun olduğu her yerde mutlaka canlılarla karşılaşıldığı için, eğer Europa'da bir yeraltı okyanusu varsa, çok çeşitli canlıların da var olacağına kesin gözüyle bakılıyor. Europa'daki okyanusta yeryüzünde hiç olmayan bitki ve hayvanlar evrim geçirmiş olabilir. NASA on yıl içinde Europa'ya inecek bir uzay aracı üzerinde çalışıyor. Bu araç uyduya indikten sonra, birkaç kilometre kalınlığındaki buzu delip aşağıdaki okyanusa ulaşacak ve onu incelemeye başlayacak.

Jüpiter'in bir başka uydusu Callisto'da da bir yeraltı okyanusu var gibi görünüyor. Belki de Güneş Sistemi'nin uzak bölgelerindeki büyük uydularda, yeraltı okyanusları standart bir durumdur.Titan'daysa su yerine metan bazlı bir yaşam çıkmış olabilir.

Bu yerler, bildiğimiz anlamda yaşamın doğmuş olabileceği yerlerdir. Ne var ki, oralara da gitmek o kadar zordur ki... Ayrıca gidildiğinde oradaki yaşamı bulmak da kolay değildir. Örneğin 35 yıldır Mars'a onlarca uzay aracı gönderildi. Bunlardan altısı yüzeye başarıyla indi ve yıllarca araştırdı; ama canlı izine ya da fosiline rastlayamadı.

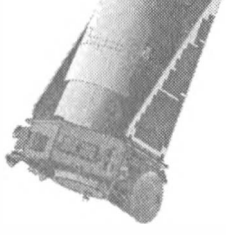
30 | Kaç gezegen var?

Güneş Sistemi'mizde sekiz gezegen vardır. Çok kısa bir süre öncesine değin gezegenlerin oluşumuna ve evrimine ilişkin geliştirilen kuram yalnızca bu sekiz gezegene yönelik gözlemlere ve onlar hakkında toplanmış bilgilere dayanıyordu. Buradan yola çıkılarak, başka yıldızların çevresinde dönen gezegen sistemlerinin de -eğer varsalar- benzer bir oluşum ve gelişim izlemesi gerektiği düşünülüyordu. Örneğin bu kurama göre, gezegenler yıldızlarına çok yakın bölgelerde oluşamazdı. Ayrıca yıldızdan çok

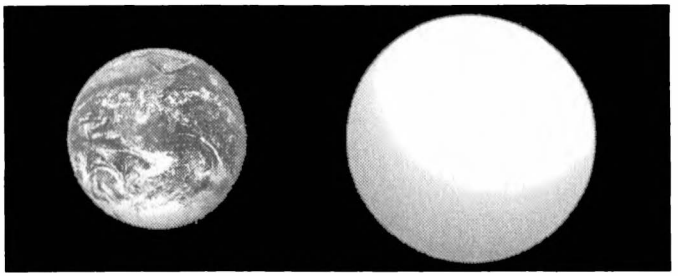
uzak bölgelerde de gezegen gruplaşmaları olamazdı; yani Güneş Sistemi'nde böyleydi, o zaman varsa başka sistemlerde de böyle olmalıydı.

1990'lı yılların başında ilk kez Güneş'ten başka yıldızların çevresinde dönen gezegenler keşfedilmeye başlandı. Bu keşiflerle birlikte gezegen sistemlerinin oluşum ve evrimlerine ilişkin yerleşik düşünceler de altüst oldu. Örneğin gözlemler Jüpiter büyüklüğünde hatta daha büyük bazı gezegenlerin kendi yıldızlarına Merkür'ün Güneş'e olan uzaklığından daha yakın yörüngelerde bulunduğunu ve çok hızlı döndüklerini gösterdi. Güneş Sistemi dışında bulunan bu gezegenler (bunlara ötegezegenler de deniyor) istisna olmaktan çıktılar; neredeyse standart durum oldular. Bunun sonucunda Güneş Sistemi'mizdeki gezegenlerin durumunun aslında genel bir "gezegen oluşumu ve evrimi" kuramına hiç de temel oluşturamayacağı anlaşıldı. Hatta bugüne değin bulunan 600 dolayında gezegen ve onların kendi yıldızlarıyla olan ilişkileri göz önüne alındığında, Güneş Sistemi'nin biraz sıra dışı özellikler taşıdığı ortaya çıktı.

16. yüzyılda Kopernik'in Güneş-merkezli evren kuramının ateşli savunucusu İtalyan düşünür Giordano Bruno, geceleri gökyüzünde görünen yıldızların da aslında çevrelerinde gezegenlerin döndüğü birer Güneş olduğunu ileri sürmüştü ve Kilise tarafından sapkınlıkla suçlanıp yakılmıştı. 18. yüzyılda böyle bir olasılıktan Newton da söz etmiştir. O dönemlerde birçok gökbilimcinin aklına yatan bu düşüncenin gerçek olduğunu kanıtlamak çok



Mart 2009'da yörüngeye yerleştirilen Kepler Uzay Teleskopu (KUT) için 3,5 yıllık bir çalışma süresi öngörülüyor. Kepler sürekli aynı bölgeye bakacak ve 150.000 ana kol yıldızını inceleyecek. Çok gelişmiş bir teleskop olan Kepler'den şimdiye kadar gelen verilere göre Samanyolu'nda yaşamın ortaya çıkmasına elverişli gezegen sayısı 100 milyon dolayında olabilir.



KUT'un Ocak 2011'de keşfettiği ötegezegen Kepler 10b ile Dünya'nın karşılaştırması görülüyor. Hacmen Dünya'dan 2,7 kat ve kütle olarak da 4,6 kat büyük olan bu yeni gezegen 560 ışık yılı ötedeki Kepler-10 yıldızının çevresinde keşfedilmiştir. Kepler-10 da yaklaşık Güneş büyüklüğünde ve 12 milyar yaşında bir yıldızdır.

zordu. 19. yüzyıl boyunca başka yıldızların çevresinde, ne yazık ki çok yetersiz teleskoplarla gezegen arayan birçok gökbilimci hüsrana uğramıştır. Bu durum 20. yüzyılın ortalarına dek sürmüştür.

Ötegezegenlerden ilki 1992'de keşfedildi. Hem de bu gezegen sıradan bir ana kol yıldızının değil, bir nötron yıldızının çevresinde dönüyordu -nötron yıldızları, büyük kütleli yıldızların süpernova yaparak malzemelerini uzaya saçmasının ardından geride kalan ve neredeyse tümüyle nötronlardan oluşan büyük kütleli ama çok küçük hacimli gökcisimleridir. Bir ana kol yıldızının çevresinde dönen ilk gezegense 1995'te saptandı. O tarihlerden günümüze dek hem bu tür gezegenleri arama/bulma yöntemleri artti ve gelişti, hem de gözlem ve veri değerlendirme aygıtlarının teknolojisi çok ilerledi.

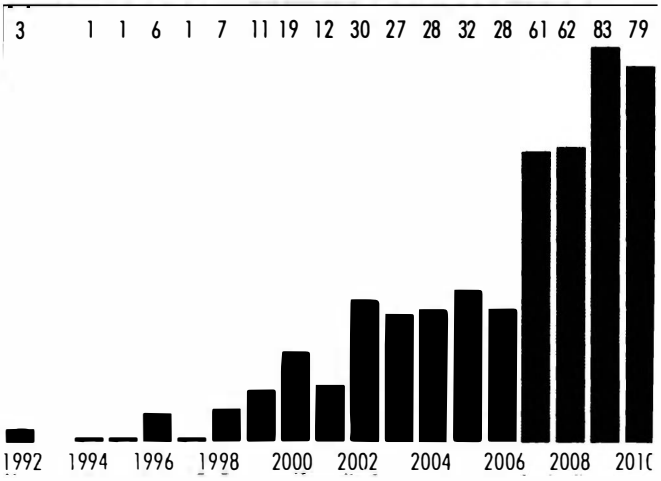
2011 sonlarında başka yıldızların çevresinde dönen 598 gezegen saptanmış durumdaydı. Yaklaşık 20 yıldır keşfedilen gezegenlerin büyük bölümü Jüpiter'e benzeyen büyük gezegenlerdir. Dünya kütlesinden ancak birkaç kat büyük olan çok az sayıda gezegen keşfedilebilmiştir. Bu durum aslında gözlem ve inceleme aygıtlarımızın duyarlılık düzeyiyle ilgilidir. Daha küçük gezegenleri keşfetmek için çok daha duyarlı aygıtlar gerekir. Teknolojik olarak gelişen aygıtlarla birlikte yıldızların çevresinde bulunan küçük gezegenlerin sayısı da artmaya başladı. Bilim insan-

larının öngörüleri, saptanması güç olan küçük gezegenle rin, gelişen teknoloji sayesinde, zamanla dev gezegenler sayıca geçeceği yönündedir.

ESA ile Fransız Uzay Ajansı'nın (CNES) birlikte ge liştirip fırlattığı COROT, amacı ötegezegenleri bulma olan bir uzay teleskopudur. İlk gözlemini Ocak 2007'd yapmıştır. Günümüze değin 4500 ışık yıllık bir çevrede başka yıldızların çevresinde dönen ve Güneş Sistemi'miz benzeyen 14 gezegen sistemi keşfetmiştir. NASA da başk yıldızların çevresinde dönen ve Dünya'ya benzeyen ge zegenleri keşfetmek amacıyla bir uzay teleskopu geliştir miştir: Kepler Uzay Teleskopu. Çok gelişmiş bir telesko olan Kepler, Mart 2009'da yörüngeye yerleştirildi. 2011'i başına kadar 997 yıldızın çevresinde dönen 1235 gezege adayı gökcismi saptamıştı. Bunların arasında 68'i Düny boyutlarındaydı ve 54'ü de yıldızlarının çevresindeki "ya şamın ortaya çıkabileceği" diskin içinde yer alıyordu. So bulgulara göre gezegeni olan yıldızların yüzde 20'sind birden çok gezegen bulunuyor ve yüzde 6'sının çevresin de de Dünya benzeri gezegenler var.

Yavaş yavaş ortaya çıkan "büyük resim", yıldızları çoğunun çevresinde gezegen sistemlerinin bulunduğun

Şimdiye kadar keşfedilen ötegezegenlerin yıllara göre dağılımı.





Evren akıl almaz derecede büyüktür; onunla ilgili sayılar da öyle. Samanyolu'nda 200 milyar (200.000.000.000) dolayında yıldız bulunuyor. Evren'de de yaklaşık 125 milyar dolayında gökada olduğu hesaplanmış durumda. Buradan yola çıkarak yapılan kaba bir hesapla Evren'de 10^{22} (200 milyar x 125 milyar) yıldız olduğu kolayca görülür. Her 100 yıldızdan birinin çevresinde Güneş Sistemi benzeri bir gezegen sisteminin bulunduğu kabul edilsin, ki artık bu oranın çok daha yüksek olduğu düşünülüyor; o zaman Evren'de yaklaşık 10^{20} gezegen sistemi olduğu görülür. Evren'in 13,8 milyar yaşında olduğu ve Güneş Sistemi benzeri gezegen sistemlerinin de zaman içinde eşit aralıklarla oluştuğu kabul edilirse; bir başka deyişle 10^{20} gezegen sisteminin 13,8 milyar yıl içinde eşit zaman aralıklarıyla doğduğu varsayılırsa -bazıları çok genç, bazıları da çok yaşlı olacaktır- yapılacak basit bir hesapla her saat yaklaşık bir milyon Güneş Sistemi'nin oluştuğu ortaya çıkar. Şöyle de düşünebiliriz: 40 yaşına gelmiş birinin yaşamı boyunca Evren'in değişik köşelerinde 700 milyar Güneş Sistemi oluşmuştur.

gösteriyor. Yaklaşık 200 milyar yıldızın yer aldığı gökadamız Samanyolu'nda belli ki bir o kadar da gezegen var. Hatta gezegen sayısı yıldız sayısından bile çok olabilir; çünkü yıldızların çevresinde dönen gezegenlerden başka yıldızlar arası uzayda başıboş dolaşan ve saptanması çok güç olan gezegenler de var.

31 | Kahverengi cüce nedir?

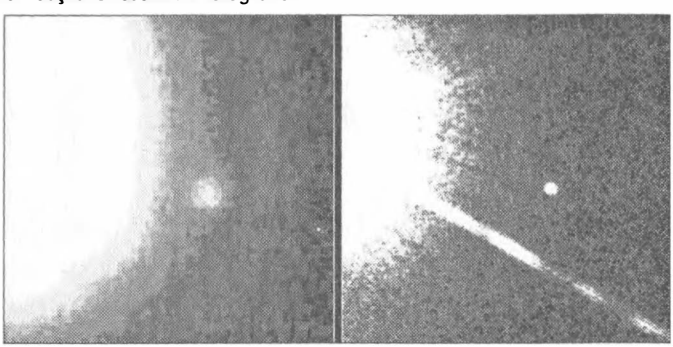
1990'lı yılların ortasından itibaren Evren'e ilişkin bildiklerimiz ve bakış açımız çok değişti. Yıldız ve gezegen sistemi oluşumu sürecinde hemen her kütlede gökcisminin ortaya çıkabildiğini artık biliyoruz. Bunlar 100 Güneş

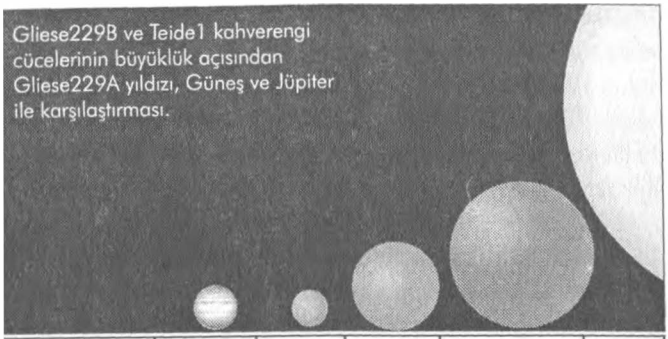
kütlesindeki büyük ana kol yıldızlarından Merkür küçüklüğündeki gezegenlere kadar değişiyor. Bu geniş yelpazede küçük ve sönük yıldızlar, gaz devi gezegenler ve Dünya benzeri gezegenler de bulunuyor. Bir de büyüklükleri, gaz devi gezegenlerle en küçük yıldızların arasında yer alan kahverengi cüce denen gökcisimleri var. Kahverengi cücelerin kütlesinin alt sınırının 13 Jüpiter kütlesi ve üst sınırın da 75-80 Jüpiter kütlesi olduğu kabul ediliyor. Gerçekte bu gökcisimlerinin rengi kahverengi değildir; yüzey sıcaklıklarına göre koyu kırmızı ile macenta arasında değişir. Varlıkları 1960'lı yıllarda öngörüldüğünde, onlara "kara yıldız" ya da "kızılötesi yıldız" deniyordu.

Kahverengi cüceler, yıldız olacak şekilde gelişirken bilinmeyen bir nedenle merkezlerindeki nükleer tepkimeler duran ve sonra gezegen özellikleri ön plana çıkan gökcisimleridir. Bunlar yıldızlara göre küçük, gezegenlere göre de oldukça büyük kütleli olur. Yüzeyleri sıcaktır, ama yıldızlar gibi parlamaz ve ışık yaymazlar. Görünür ışıktan çok kızılötesi ışın yayarlar. O nedenle oldukça sönüktürler. Hem küçük (yıldızlara göre) hem de sönük oluşlarından dolayı, kahverengi cücelerin uzayda saptanması da çok zordur.

1980'li yılların ikinci yarısından itibaren aranmaya başlanan kahverengi cücelerin ilki ancak 1995'te gözlemle-

Solda, ABD Kaliforniya'daki Palomar Gözlemevi'nden Ekim 1994'te çekilmiş olan, Gliese229B'nin keşfedildiği fotoğraf görülüyor. Sağdaki fotoğraf da Hubble Uzay Teleskopu tarafından Kasım 1995'te çekilmiş bir başka Gliese229B fotoğrafıdır.





Gliese229B ve Teide1 kahverengi cücelerinin büyüklük açısından Gliese229A yıldızı, Güneş ve Jüpiter ile karşılaştırması.

Adı	Jüpiter	Gliese229B	Teide1	Gliese229	Güneş
Tipi	gezegen	k. cüce	k.cüce	yıldız	yıldız
Kütlesi (Jüpiterin kütlesi)	1	30-40	55	300	1000
Yarıçapı (km)	71.500	65.000	150.000	250.000	696.000
Yüzey sıcaklığı (°C)	-170	750	2350	3150	5500

nebilmiştir. Keşfedilen ilk kahverengi cüce Teide1, yaklaşık Jüpiter büyüklüğünde ama 55 Jüpiter kütlesindeydi; oldukça yoğun bir gökcismi. 400 ışık yılı ötedeki Teide1 herhangi bir yıldızın çevresinde dönmeyen, yalıtılmış bir kahverengi cüceydi. (Aslında bu ilk keşif sıra dışı bir örnekle yapılmış.) Tıpkı yıldızlar gibi o da Samanyolu'nun merkezinin çevresinde dönüyordu. Teide1'in keşfinden bu yana yüzlerce kahverengi cüce keşfedildi. Ancak bu kahverengi cüceler arasında, böyle uzayda serbest dolaşanların sayısı şimdilik bir elin parmaklarını geçmez. 1995'te Güneş'ten 19 ışık yılı ötedeki Gliese229 adlı, küçük bir ana kol yıldızının çevresinde dönen bir başka kahverengi cüce (Gliese229B) daha keşfedilmiştir. Böylece kahverengi cüceler varsayımsal gökcisimleri olmaktan çıkmış, temel gökbilim konularından biri olmuştur.

Bazı kahverengi cüceler bir yıldızın çevresinde dönerler, bazıları birbirinin çevresinde dönen ikili sistemler halinde bulunurlar ve bazıları da uzayda serbestçe dolaşırlar. 2004'te keşfedilen 2M1207 adlı kahverengi cücenin çevresinde dönen bir gezegen olduğu saptanınca, bazı kahverengi cücelerin kendi gezegenleri, hatta gezegen sistemleri bile olabileceği de anlaşılmıştır.

Önceleri kahverengi cücelerin ender rastlanan gökcisimlerinden oldukları düşünülüyordu. Ama bugüne değin (2011 sonlarında) 625'in üzerinde kahverengi cüce keşfedilmiş durumdadır. Gökbilimciler sürekli yenilerini keşfediyor, onları aramak ve bulmak için de yeni yöntemler geliştiriyorlar. Ayrıca gözlem ve analiz aygıtlarının teknolojisi de hızla ilerliyor. NASA'nın Aralık 2009'da Dünya'dan 525 km uzakta yörüngeye yerleştirdiği WISE adlı X-ışını gözlem uydusu sayesinde Güneş Sistemi'nde daha önce gözlenemeyen asteroitler ve kuyrukluyıldızların yanı sıra, yakın çevremizdeki kahverengi cüceler de aranıyor. Gökbilimciler Samanyolu'nda yıldız sayısının yüzde 1-10'u kadar (2-20 milyar arasında) kahverengi cüce olabileceğini tahmin ediyor.

32 | Yıldızların yaşamı nasıldır?

Gökyüzüne bakıldığında, bütün yıldızlar sanki dev bir kürenin üzerine yerleşmiş gibi görünür. Halbuki hepsi de farklı uzaklıklarda ve büyüklüklerdedir. Bazılarının farklı parlaklık ve renkte olduğuysa, aslında ilk bakışta bile dikkat çeker. Yaklaşık 2100 yıl önce Eski Yunanlı düşünür Hipparkos, 850'den çok yıldızın yerini saptamış ve onların görünür parlaklığını da belirlemişti. Hipparkos yıldızları, en parlak olanlara 1 değeri vererek, 1'den 6'ya kadar sıralamıştı. Günümüzde yıldızlar, parlaklıklarına göre hâlâ bu sıralama temel alınarak sıralanır.

Geceleri gökyüzünde gördüğümüz yıldızların "görünür parlaklığı" iki şeye bağlıdır: O yıldızların gerçek (mutlak) parlaklığına ve bize olan uzaklıklarına. Yıldızlar çok uzaktır. Öyle uzaktırlar ki, en güçlü teleskoplarla bile yalnızca ışık yayan büyük birer nokta şeklinde görülebilirler. Yüzeylerine ilişkin şimdiye kadar en ufak bir görüntü elde edilememiştir. Böylesine sınırlı koşullarda gökbilimciler

de yıldızların yapısını anlamak ve doğasını çözmek için çeşitli yöntemler ve bilimsel modeller geliştirmiştir. Bunlar yalnızca o yıldızlardan gelen ışıklara dayanan yöntem ve modellerdir. Basit bir ışık ışını, kaynağına ilişkin çok fazla bilgi içerir. Yıldızların büyüklükleri, onların parlaklık ve yüzey sıcaklıklarından, yüzey sıcaklıkları da tayflarından yararlanılarak hesaplanır. Bir yıldızın kütlesi, yıldızın neredeyse bütün özelliklerini; yarıçapını, parlaklığını, yüzey sıcaklığını vs. belirler.

Yıldızların rengi, yüzey sıcaklıklarına bağlıdır. Tıpkı ısıtılan bir demirin önce kızarması, sonra sararması ve en sonunda da akkor hale gelip beyaz ışık yayması gibi, yıldızlarda da yüzey sıcaklığı rengi belirler. En sıcak yıldızlar mavimsi beyaz renkte olur. Bunların yüzey sıcaklıkları 7000°C ile 40.000°C arasında değişir. Yüzey sıcaklığı en düşük yıldızlar turuncu, sarı ve kırmızı renkte olurlar. Sarı renkli Güneş de gerçekte yüzey sıcaklığı görece düşük (5500°C), küçük kütleli bir yıldızdır.

Yıldızların parlaklık ve sıcaklık bilgilerinin bir arada yer aldığı ve gökbilimcilerin yaklaşık yüzyıldır kullandığı çok önemli bir araç vardır: Hertzsprung-Russell Şeması. Bu şemayı, Danimarkalı kimyacı ve gökbilimci Ejnar Hertzsprung ile Amerikalı gökbilimci Henry N. Russell 1910'da geliştirmiştir. Şemada yıldızların yüzey sıcaklıkları ve renkleriyle parlaklıkları arasındaki ilişki gösterilir. Hertzsprung-Russell Şeması ya da kısaca H-R Şeması diye anılan bu şemaya bakarak, parlaklığı ve rengi bilinen bir yıldızın yaşamının hangi evresinde olduğu anlaşılabilir.

H-R Şeması, onlarca yıl boyunca yapılan gözlemlerden edinilen bilgilerle oluşturulmuştur. Gözlenen ve incelenen yıldızlar şemaya yerleştirildikçe, yıldızların aslında şemanın her yerinde bulunmadığı ama belli bazı bölgelerde toplandığı fark edilmiştir. Bu bölgelerden en çok yıldız barındıranı, sağ alt köşeden başlayıp sol üst köşeye doğru çıkan kavisli bir hattır. Bu hatta "ana kol" denir. Yıldızların yüzde 95'i ana kol üzerindedir ya da yaygın deyişle onlar birer ana kol yıldızıdır. Ana koldaki yıldızların yüzey sıcaklıkları yüksekse, parlaklıklarının da yüksek olduğu görülür.

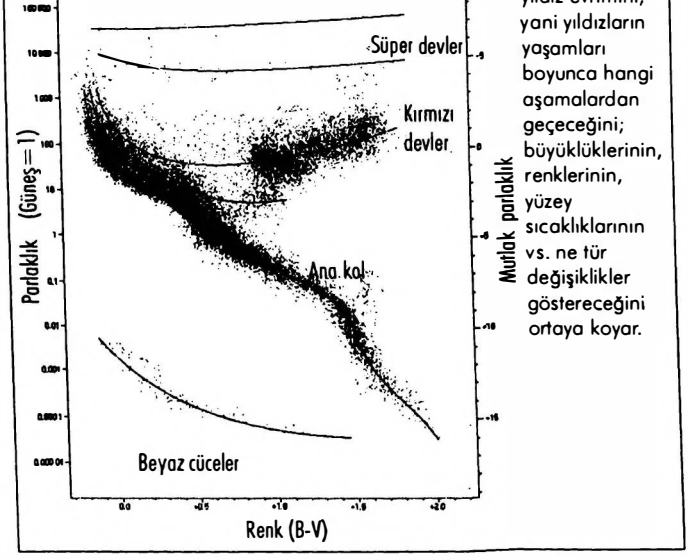
Şemanın bir başka bölgesindeki, ana kolun sağ üstündeki yıldızların yüzey sıcaklıkları düşüktür. Buna karşın çok da parlaktırlar; çünkü bunlar aslında ana koldan çıkmış, yaşamlarının son evresinde olduklarından hacimleri büyümüş dev yıldızlar ile süper dev yıldızlardır. Öte yandan ana kolun sol altındaki bölgede de yüzey sıcaklıkları yüksek olmasına karşın, parlaklıkları düşük olan yıldızlar bulunur. Bunlar da beyaz cüce denen çok küçük yıldızlardır. Beyaz cüceler yaklaşık Dünya büyüklüğünde olurlar; yani küçük bir yıldız olan Güneş'in milyonda biri kadar. Bu şemadan anlaşılan şey, yıldızların gerçekte her parlaklık ve sıcaklıkta olmadığıdır. Yıldızların iç yapısındaki bazı fiziksel etkenler, onları yalnızca belli sıcaklık-parlaklık kombinasyonlarında var olabilecek şekilde sınırlar.

Yıldızlar, insanlar için binlerce yıl boyunca gizemli nesneler olarak kalmıştır. Onların gizemi ancak fizikte büyük atılımların yaşandığı 19. yüzyıl sonlarında çözülmeye başlanmıştır. Bir yıldızın en temel özelliği uzaya enerji yayıyor olmasıdır. Bütün yıldızların içeriğinin yüzde 98'inden çoğunu Evren'in doğuşu sırasında oluşmuş iki element, hidrojen ve helyum oluşturur. Geri kalan elementlerse yıldızın çekirdeğinde oluşur. Bir bölümü de daha önce yaşamış yıldızların içindeki nükleer tepkimelerde oluşup yıldızın ölümüyle birlikte uzaya yayılmış elementlerdir.

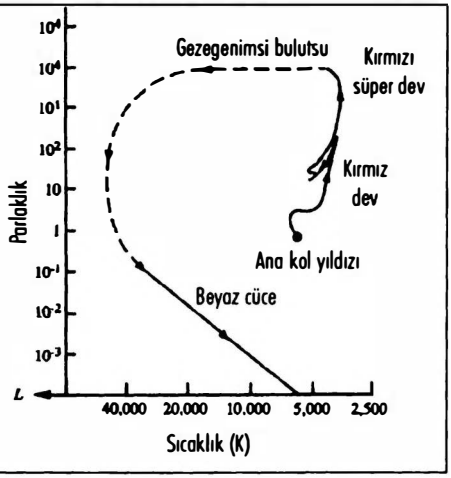
Yaklaşık 150 yıllık gözlemlerin ve incelemelerin sonucunda, yıldızların doğum ve ölüm süreçleri, nasıl bir yaşam sürdükleri ve yaşamları boyunca hangi aşamalardan geçtikleri oldukça iyi anlaşılmıştır. Bu evrimi gösteren bir model oluşturulmuştur. Buna göre yıldızlar gökada içindeki devasa gaz ve toz bulutlarının kendi içine çökmesiyle birkaç milyon yılda oluşur. Ancak içine çöken böyle bir bulutsunun yıldız olabilmesi için, kütlesinin belli bir büyüklüğün üzerinde olması gerekir. Bu da Güneş kütlesinin yaklaşık yüzde 8,5'i kadardır. Kütlesi bundan daha küçük gökcisimlerinde merkezde yeterince ısı olmadığında nükleer tepkimeler başlayamaz. Yeterli kütlesi olan ve kütleçekim kuvvetiyle sürekli küçülen ve dönüş hızı artan bir bulutsu, küçüldükçe ısınır ve yoğunlaşır. Bu sırada şekli

de bir diski andırmaya başlar. Merkezinde madde birikimi artar, sıcaklık ve basınç yükselir. Sonunda merkezdeki sıcaklık nükleer tepkimelerin başlayacağı düzeye erişir.

Merkezdeki bu yüksek sıcaklık ve basınç ortamında maddeyi oluşturan elektron ve protonlar birbirlerinden kopmuş bir şekilde ve çok yüksek hızlarda dolaşır. Bu sırada 4 proton, yani hidrojen çekirdeği çarpışarak bir helyum çekirdeği (yeni bir element) oluşturur. Ancak helyum çekirdeği dört protonun toplam kütlesinden daha hafiftir. Aradaki çok küçük kütle farkı (yüzde 0,7'lik bir fark), tepkime sırasında çok büyük bir enerjiye dönüşür. Ortaya çıkan muazzam enerji, yıldızın içinde yavaş yavaş dışa doğru ilerler. Yüzeye varınca da uzaya ışık olarak yayılır. Yıldız artık doğmuş ve ışımaya başlamıştır. Yıldızların ışımaya başladıkları andan ölüm belirtileri göstermeye başladıkları ana kadar süren kararlı dönemlerine, "ana kol" dönemi denir. Bir başka deyişle yıldız bu dönemde H-R Şeması'ndaki ana kolda yer alır.



H-R Şeması yıldız evrimini, yani yıldızların yaşamları boyunca hangi aşamalardan geçeceğini; büyüklüklerinin, renklerinin, yüzey sıcaklıklarının vs. ne tür değişiklikler göstereceğini ortaya koyar.



Güneş kütlesindeki bir yıldızın yaşamı boyunca H-R Şeması'nda izleyeceği yol görülüyor. Güneş'imiz sonunda bir beyaz cüce olacaktır.

Yıldızın merkezinde ortaya çıkan enerjinin oluşturduğu dışa doğru basınç, yıldızın dev kütlesinin merkeze doğru çökmesini durdurur. Kuşkusuz dışa doğru basıncı oluşturan enerji, yıldızın merkezinden dışa doğru yayılır ve sonra da yoluna uzayda devam eder; yani kaybolur. Ama giden enerjinin yerini dolduran enerji yıldızın merkezindeki nükleer tepkimelerle sürekli yaratılır. Yani sürekli yeni enerji üretilir, ta ki merkezdeki yakıt tükenene kadar...

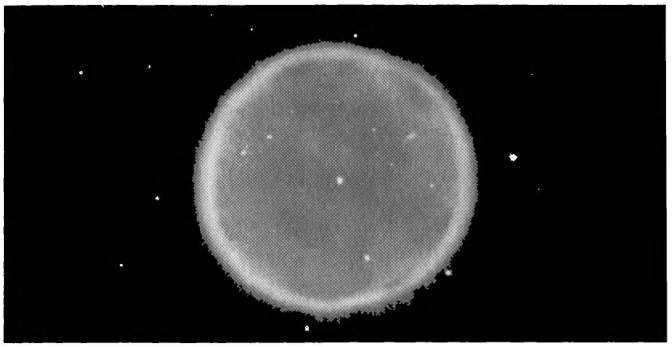
33 | Yıldızlar nasıl ölür?

Sekiz Güneş kütlesinden küçük yıldızlar "küçük yıldız", ötekiler de "büyük yıldız" olarak tanımlanır. Küçük kütleli yıldızlarda merkezdeki yakıt, yani hidrojen tükenince, helyum "yakılmaya" başlanır. Bu andan itibaren yıldız bir ana kol yıldızı olmaktan çıkar. Artık ömrünün son aşamasına gelmiştir. Bu yeni süreçte, merkezde üretilen enerji ve oluşan basınç, yıldızın içine çökmesi için çalışan kütleçekim kuvvetini dengelemenin ötesine geçer. Bunun

sonucunda merkezden uzak bölgelerde (zayıf bir kütleçekimle yıldıza bağlı olan) maddeler hızla uzaya doğru genişlemeye başlar. Yıldız sanki ikiye bölünmüş gibidir: Merkezde ışıyan ve küçülen "çekirdek", ve uzaya doğru giderek genişleyen üst katmanlar vardır. Yıldız bir dizi aşamadan geçtikten sonra bir "kırmızı dev" olur; öylesine büyür ki, yarıçapı 2-3 AB kadar olabilir. Bu hızlı genişleme sürer ve zamanla yıldızın dış katmanları uzaya yayılır. Yıldızın artık geri dönüşü olmayan bir şekilde uzaya yayılan bölümüne "gezegenimsi bulutsu" denir. Bu sırada yıldızın çekirdeği de bir süre daha içine çöker. Merkezin içine çöküşü sona erdiğinde, geriye çok küçük ama çok da yoğun; örneğin Güneş kütlesinde ama Dünya büyüklüğünde bir yıldız kalır. Bu tür yıldızlara beyaz cüce denir. Beyaz cücelerin kütlesi 0,2-1,3 Güneş kütlesi arasında olur. Böylesi büyük bir kütlenin Dünya kadar küçük bir hacme sığması nedeniyle, beyaz cücelerin yoğunlukları çok çok yüksektir; ~1 ton/cm³ kadar, yani suyun bir milyon katı. Samanyolu'ndaki yıldızların yüzde 95'i küçük yıldızlardır ve sonunda birer beyaz cüce olacaklardır. Beyaz cücelerin kendi enerji kaynakları olmadığından yüzey sıcaklıkları ve parlaklıkları zamanla azalır ve renkleri değişir. Bunlar emekliye ayrılmış yıldızlar gibidir. Artık etkin değillerdir. Sahip oldukları enerjiyi uzaya yayarlar. Bu enerji de giderek azalır ve beyaz cüceler milyarlarca yıl içinde kararır. Güneş'e en yakın 100 yıldızdan sekizi beyaz cücedir.



Yaklaşık 150 ışık yılı ötemizdeki beyaz cüce IK Pegasi B (solda) ile Güneş'in (sağda) büyüklüklerinin karşılaştırılması.



Gezegenimsi bulutsu adı, keşfedildikleri 18. yüzyılda teleskopların yetersizliğinden dolayı görünüşlerinin dev gezegenlere benzetilmesinden gelir -1784'te William Herschel baktığı bir bulutsunun görünüşünü Uranüs'e benzetip bu adı vermiştir. Gezegenimsi bulutsular sayesinde, yıldızları oluşturan madde yıldızlar arası ortama geri döner. Bu fotoğrafta, yaklaşık 6800 ışık yılı ötedeki Abell39 gezegenimsi bulutsu görülüyor. Merkezdeki beyaz cücenin kütlesi 0,4 Güneş kütlesi kadardır. Kütlesinin geri kalanını neredeyse kusursuz bir küre (5 ışık yılı çaplı) şeklinde uzaya yaymıştır.

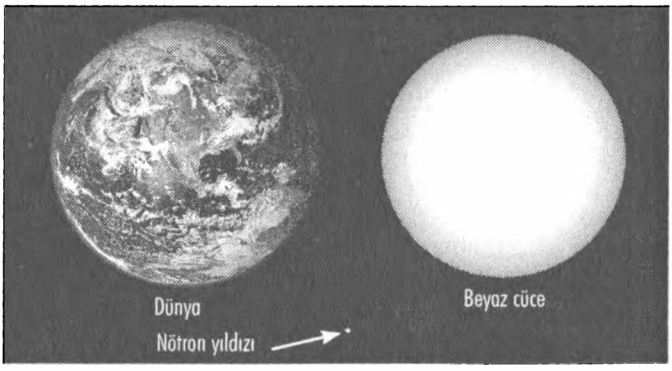
Büyük kütleli yıldızların sonu, küçüklere göre oldukça farklı ve şiddetli olur. En büyük ana kol yıldızları yaklaşık 100 Güneş kütlesindedir. Böyle yıldızlarda yıldızı oluşturan maddeyi yıldızın merkezine doğru çeken kütleçekim kuvveti de büyüktür. Dolayısıyla yıldızın merkezindeki sıcaklık ve basınç da daha büyük olur ve nükleer tepkimeler daha hızlı gerçekleşir. Yani daha çok hidrojen helyuma dönüşür ve daha çok enerji ortaya çıkar. Bunun sonucunda merkezden dışa doğru olan basınç da daha büyük olur. Yıldız daha büyük bir kütleçekim kuvvetiyle ona karşı koyan daha büyük bir basıncın dengesindedir. Ancak bu durumu sağlamak ve sürdürmek için merkezde daha çok madde dönüştürülür, bir anlamda "yakıt" daha hızlı tüketilir. Bu tür büyük kütleli yıldızların yüzey sıcaklıkları yüksek ve parlaklıkları büyük olur; ama çok hızlı da yakıt tükettiklerinden ömürleri kısadır. Güneş'ten on kat daha kütleli bir yıldızın ömrü Güneş'inkinin neredeyse binde biri kadardır.

Merkezdeki yakıt tükenince, yeni elementlerin yakıt olarak kullanılması süreci başlar ve bu süreç demire kadar devam eder. Merkezde demirden bir çekirdek oluştuktan sonra süreç durur. Yıldızı hidrostatik dengede tutan güç

son kez kesilince, merkez hızla kendi içine çökmeye başlar. Kısa süren bu aşamanın sonunda yıldız süpernova denen korkunç bir patlamayla içeriğinin büyük bölümünü uzaya saçar. Bu patlama sırasında patlamanın enerjisiyle demirden daha ağır elementler oluşur ve uzaya yayılır. Patlamada yayılan ışık bir gökadanın yaydığı ışığa yakındır. Aslında bir süpernovada uzaya yayılan enerjinin ancak on binde biri görünür ışık şeklinde olur.

Eğer yıldızın ilk kütlesi 8-20 Güneş kütlesi arasındaysa, süpernovadan sonra merkezdeki çekirdekten geriye çok çok küçük bir yıldız kalır. Bu sıra dışı yıldızın neredeyse bütün kütlesi nötronlardan oluştuğu için buna nötron yıldızı denir. Bunlar gerçekte yıldız değildir. Kendi ekseninde çok hızlı (saniyede onlarca kez) dönen nötron yıldızları beyaz cücelerden de yoğun gökcisimleridir. Aşırı sıcak ve aşırı derecede de manyetiktirler. Tipik bir nötron yıldızının kütlesi 1,3-2 Güneş kütlesi arasında olur. Çapı da yalnızca 12 km kadardır. Nötron yıldızlarının yoğunlukları 10^{20} ton/cm^3 düzeyindedir.

Evren'deki en şiddetli patlamalardan biri süpernovalardır. Büyükçe bir gökadada, sürekli ışık yayan yüz milyar dolayında yıldız bulunur. Bir yıldız süpernova yaptığında ortaya çıkan enerji, böyle bir gökadadaki yıldızların toplam parlaklığına yakın bir parlaklığa ulaşır. Milyarlarca ışık yılı öteden görülebilir. Bu nedenle uzak gökadaların uzaklıklarının hesaplanmasında, süpernovalardan (belli bir türünden) yararlanılır. Bu fotoğraflarda Samanyolu'ndan 108 milyon ışık yılı ötedeki NGC4526 gökadasındaki bir süpernova görülüyor. SN1994D adı verilen süpernovanın parlaklığı neredeyse gökadanın merkezi kadar.



Bir beyaz cüce, bir nötron yıldızı ve Dünya'nın büyüklük karşılaştırması.

Eğer ölmekte olan yıldızın ilk kütlesi 20 Güneş kütlesinden daha büyükse, bu kez süpernova sırasında merkezdeki çekirdek nötron yıldızına dönüşmez. Yoğunluğu çok daha yüksek bir gökcismi ortaya çıkar: karadelik.

34 | Karadelik nedir?

Evren'de her şeyin birbirini çekmesine neden olan kuvvete evrensel kütleçekim kuvveti denir. Bu kuvvet sayesinde, Samanyolu'ndaki yüz milyarlarca yıldız bir arada durur, Güneş'in ve gezegenlerin bütünlüğü (onları oluşturan maddelerin birbirine bağlı kalması) korunur, gezegenler Güneş'in çevresinde döner ve yörüngelerinde kalırlar ve biz de Dünya'nın yüzeyinde dururuz. Yüzlerce yıl boyunca bilim insanları bu gizemli kuvvetin etkisini ve gücünü araştırmıştır. Ama Albert Einstein'a kadar kimse onun nedenini açıklayamamıştır. Einstein'ın açıklaması da oldukça şaşırtıcıdır. Ona göre kütleçekim, nesneleri birbirine çeken bir kuvvet değildir; o yalnızca uzay-zamanın yapısından kaynaklanan bir sonuçtur. Çünkü nesneler Evren'in geometrisine şekil verir ve Evren'in geometrisi de nesneleri birbirine iter.

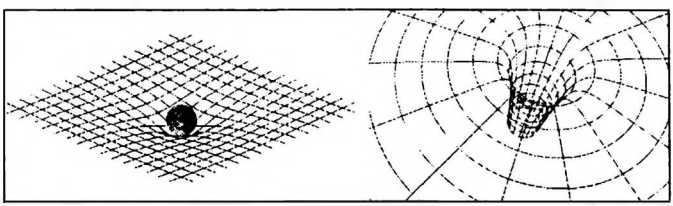
Einstein'in genel görelilik kuramı, Evren'e bakışımızı tümüyle değiştirmiş, onu daha iyi algılamamızı sağlamıştır. Ne var ki bu güçlü kuram sayesinde, aynı zamanda o ana değin hiçbir bilim insanının düşünemeyeceği kadar garip bir nesnenin de Evren'de var olabileceği fark edilmiştir. Kütlesi çok büyük ama hacmi de çok küçük olan bir nesne, Einstein'ın uzay-zaman diye adlandırdığı Evren'in geometrik yapısını aşırı miktarda eğebilir. Bunun fark edildiği ilk dönemlerde böylesi "kuramsal" bölgelere karadelik adı verilmiştir.

Gerçekten de karadelikler kütleçekim kuvvetinin aşırı hissedildiği yerlerdir. Onlar büyük kütleli yıldızların öldükten sonra aldıkları haldir: Yıldızın içerdiği maddelerin büyük bölümü süpernovayla birlikte uzaya dağılırken geride birkaç Güneş kütlesinde bir karadelik kalır.

Karadelikler de tıpkı gezegenler ve yıldızlar gibi kendi eksenlerinde döner. Kuşkusuz pratik olarak hiçbir zaman bir karadeliğin içinde ne olduğu bilinemeyecek. Ancak onların varlığını öngören kurama göre, bir karadeliğin merkezinde uzay-zamanda bir delik açılmış gibidir. Dolayısıyla uzay-zamanın dışında bir bölgedir ve orada kütleçekim kuvveti, uzay ve zamandan söz edilemez. Böyle bir noktaya fizikte "tekillik" denir. Tekillik, bilim insanlarının ne düşünmeleri gerektiğini pek de bilemedikleri bir konudur.

Yeryüzünde havaya fırlatılan bir taş yükselir, yükselir, bir noktaya geldiğinde durur ve sonra düşmeye başlar. Taş, yukarı doğru ne kadar hızlı fırlatılırsa, o kadar yükseğe

Bütün nesneler uzay-zamanı eğer. Uzay-zamandaki eğiklik, gökcisimleri onların yakınından geçerken izledikleri yolun, sanki bir kütleçekim kuvvetiyle çekiliyormuşçasına sapmasına yol açar. Karadelikler uzay-zamanı aşırı eğer; çünkü bütün kütleleri tek bir noktada toplanmış gibidir.



çıkar ve sonra düşer. Taşın, Dünya'nın kütleçekim kuvvetinin (ki biz buna yerçekimi diyoruz) etkisinden kurtulup uzayda ilerleyişini sürdürmesi, yani geri düşmemesi için saniyede yaklaşık 11,2 km'lik (saatte 40.000 km) bir hızla yukarı doğru fırlatılması gerekir. Bir gökcisminin kütleçekim kuvvetinden kurtulmak için gereken hıza "kaçış hızı" denir. Üzerinde durulan gezegenin ya da gökcisminin kütlesi büyüdükçe, ondan "kaçış hızı" da artar. Örneğin Güneş'in kütleçekim etkisinden kurtulup onun yüzeyinden uzaya kaçabilmek için saatte 2,2 milyon kilometrelik bir hıza ulaşılması gerekir. Bu durum karadelikler için de geçerlidir. Bir karadeliğe yaklaşıldıkça uzay-zamanın eğikliği artar. Bir başka deyişle kütleçekim etkisi daha çok hissedilir. Dolayısıyla bulunulan noktadan geri dönmek için daha yüksek hızlarla kaçmak gerekir. Ancak her karadeliğin kütlesine bağlı olarak değişen öyle bir uzaklık vardır ki, karadeliği küre şeklinde kuşatan bir sınırdır bu, o noktadaki bir nesne artık Evren'deki en yüksek hız olan ışık hızına bile ulaşsa, karadeliğe düşmekten kendini kurtaramaz. Bu uzaklığa "olay ufku" denir. 10 Güneş kütlesindeki bir yıldız, karadeliğe dönüştüğünde, yaklaşık 30 km çapında bir olay ufku olur.

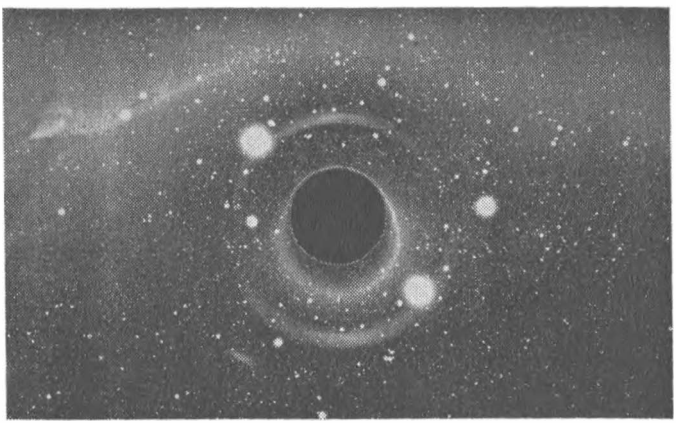
Olay ufkunun ötesinde uzay-zamanın yapısı normaldir; daha doğrusu olay ufkundan uzaklaştıkça uzay-zamanın eğikliği azalır, normalleşir. Bir başka deyişle karadelikler aslında çevrelerindeki her şeyi yutan dev canavarlar değildir. Eğer Güneş Sistemi'nin merkezinde Güneş'in yerinde aynı kütlede bir karadelik olsaydı, Güneş Sistemi'nin üyeleri, bu değişikliğin hiç de farkında olmadan merkezdeki nesnenin çevresindeki yörüngelerinde dönüşlerini sürdürürlerdi. Karadeliklerin "korkunçluk"ları yakın çevreleri için geçerlidir.

Kaçış hızı, ışık hızı olacak denli büyük kütleli nesnelerin var olabileceği düşüncesini ilk kez yerbilimci John Michell 1783'te ileri sürmüştü. 1796'da Laplace Markisi Pierre-Simon da yazdığı kitabında aynı görüşe yer verdi. Ne var ki bu tür "kara yıldız"lar, 1800'lü yıllarda bilim gündeminde hiç yer almadı. 20. yüzyılın başında

Einstein'ın geliştirdiği genel görelilik kuramı, Evren'de bu tür nesnelerin bulunabileceğini öngörüyordu. 1916'da Karl Schwarzschild bunu fark etti. Yine de izleyen 50 yıl boyunca karadelikler hep kuramsal nesneler olarak ele alındı. Ne var ki yine kuramsal nesneler olduğu düşünülen nötron yıldızlarının ilk örnekleri 1960'lı yılların ikinci yarısında keşfedilmeye başlanınca, karadeliklerin de gerçek olabileceği gündeme geldi. Hiç kimse bir karadelik görmemişti ve göremeyecekti. Ama zamanla üzerinde görüş birliğine varılan dolaylı kanıtlar, karadeliklerin varlığını ortaya koydu.

Gökbilimciler uzun bir süre radyoteleskoplu gözlemlerin sonuçlarına dayanarak gökadaların merkezlerinde de büyük birer karadelik olabileceğini düşündüler. Sonra bunun doğru olup olmadığını kanıtlamak için en yakın örneği, Samanyolu'nun merkezini, özel teleskoplarla gözlemeye başladılar. Yıllar süren gözlemlerin sonucunda elde edilen verilere göre, Samanyolu'nun merkezinde yaklaşık dört milyon Güneş kütlesinde bir süper karadelik olduğunu anlaşıldı. Samanyolu'nda yer alan bütün yıldızlar

Normal (süper kütleli olmayan) karadelikleri uzayın karanlığında saptamak olağanüstü zordur; çünkü hem çok çok küçük, hem de "kara"dırlar. Hiçbir ışık yaymadıkları gibi, kendilerine gelen ışıkları da yansıtmazlar. Yine de onları "görmenin" bir yolu vardır. Karadelikler başka maddelerle etkileşime girdiklerinde (yani onları yutarken) maddeler olay ufkuna yaklaştıkça çok ısınır ve böylece belli dalgaboylarında ışık yayarlar.



-bunlara Güneş de dahildir- gökadamızın merkezindeki bu süper karadeliğin çevresinde dönmektedir.

Artık neredeyse bütün gökadaların merkezinde birer süper kütleli karadelik olduğu düşünülüyor. Yapılan gözlemlere göre, bu karadeliklerin kütlelerinin de gökadanın toplam kütlesinin binde biri dolayında olduğu ve gökadaların hem oluşumunda hem de gelişiminde önemli roller oynadıkları tahmin ediliyor.

Süper kütleli karadeliklerin yanı sıra, bütün gökadalarda milyonlarca "normal" karadelik bulunduğu da kabul ediliyor. Karadeliklerin gerçek nesneler olduğu düşüncesinin ilk çıktığı dönemlerde, bilim insanları arasında onların ender rastlanan, sıra dışı yapılar olduğu ve hiç açıklanamayacakları kanısı egemendi. Artık yaygın olan düşünce, karadeliklerin Evren'in en temel öğelerinden olduğu ve onun gelişimini de önemli şekilde etkiliyor olabileceğidir.

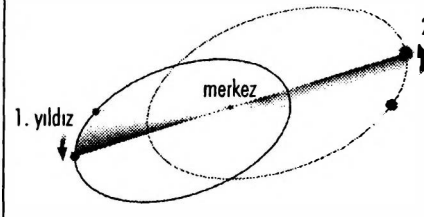
35 | En yakın yıldızlar hangileridir?

Evren'deki nesnelerin kütleleri, uzaklıkları, hızları ve sayıları kavrama yetimizin sınırlarını zorlayacak, hatta aşacak kadar büyüktür. Basit bir örnek olarak Dünya ile Güneş arasındaki uzaklığı ele alabiliriz: 150.000.000 km. Ağzımızdan kolayca çıkıveren, rahatça söylediğimiz ya da basitçe yazıverdiğimiz bu uzaklık, Dünya'nın çevresinin yaklaşık 4000 katıdır. Saatte 1000 km (ses hızının yüzde 80'i) hızla uçan bir uçak Dünya'nın çevresini tam 40 saatte dolaşır; Güneş'e ulaşmasıysa hiç durmaksızın uçarak 17 yıl sürer. Oysa Güneş'ten çıkan bir ışık ışının Dünya'ya varması için yalnızca 500 saniye (8 dakika 20 saniye) yeterlidir. Bir başka deyişle Güneş, Dünya'ya 500 ışık saniyesi uzaktadır. Güneş dışındaki en yakın yıldızlarınsa bize uzaklığı birkaç ışık yılıdır. Yani Güneş'ten en az 270.000 kat daha uzaktırlar.

Yıldızlar arası uzaklıklar gerçekten de algılamamızı zorlayacak kadar büyüktür. Dünya'dan Güneş'e durmaksızın 17 yılda giden uçağın en yakın yıldıza ulaşması 4,5 milyon yıl sürecektir. İnsan yapımı en hızlı araçlar, 1974 ve 1976'da Güneş'i incelemek için fırlatılan Helios A ve Helios B uzay araçlarıdır. Bunların hızı Güneş'in çevresinde dönerlerken saatte 250.000 km'yi (ışık hızının 4300'de biri) bulmuştur. Uçaktan tam 250 kat hızlı ilerleyen böyle bir uzay aracıyla en yakın yıldıza gitmek bile 18.000 yıl sürecektir. Buradan, mekânsal olarak uzayda yalıtılmış, ücra bir bölgede yer aldığımız sonucuna varabiliriz. Ne var ki bu durum, yalnızca Güneş için geçerli değildir. Samanyolu'ndaki yıldızlar arası uzaklıklar, ortalama 5-10 ışık yılıdır. Bir başka deyişle bütün yıldızlar, ortalamada birbirleriyle benzer uzaklıktadır.

On ışık yılı yarıçaplı bir küre içinde Güneş'in çevresinde yalnızca 11 yıldız vardır. 50 ışık yılı yarıçaplı bir kürenin içindeyse 1400 dolayında yıldız sisteminde yaklaşık 2000 yıldız bulunur. Samanyolu'nda Güneş gibi yalnız yıldızlar azdır. Yıldızların çoğu genellikle ikili, bazen üçlü ya da daha çoklu yıldız sistemleri şeklinde olur. Bu 2000 yıldızdan 64'ü Güneş'e benzeyen yıldızlardır. 100 ışık yılı yarıçaplı bir kürenin içindeyse, Güneş benzeri 512 yıldız bulunur. Bu yıldızların çevresinde, aralarında Dünya benzeri gezegenlerin olduğu gezegen sistemleri bulunma olasılığı vardır. Son 18 yılda keşfedilen ve hemen hepsi en az Jüpiter kütlesinde olan ötegezegenlerden 29'u Güneş'i kuşatan 50 ışık yılı yarıçaplı kürenin içindeki 8 yıldızın çevresinde dönmektedir. Aynı şekilde 100 ışık yılı yarıçaplı kürenin içindeki 19 yıldızın çevresinde de 54 gezegen keşfedilmiştir.

Güneş'e en yakın yıldız 4,24 ışık yılı (yaklaşık 40 trilyon kilometre) ötedeki Proxima Centauri'dir; kısaca Proxima da denir. 1915'te keşfedilen Proxima, 0,12 Güneş kütlesinde, yüzey sıcaklığı 3000°C dolayında olan bir kırmızı cücedir ve çıplak gözle görülemez. Kendisinden 13.000 AB (0,2 ışık yılı) ötedeki Alfa Centauri A ve B ikili yıldız sisteminin çevresinde döner. Bu, üç yıldız Alfa Centauri sistemi (üçlü yıldız sistemi) olarak ele alınır. Ama



Samanyolu'nda yıldızların önemli bir bölümü ikili yıldız sistemi şeklinde bulunur. Bu ikili yıldız sistemlerinde yıldızlar genellikle bir merkezin çevresinde döner.

bir olasılık Proxima, öteki iki yıldızın çevresindeki bir yörüngede olmayıp yıldızlar arası uzayda ilerlerken bu iki yıldızın kütleçekimsel etkisiyle geçici bir süre için onlara yakınlaşmış olabilir. Çok yakın bir yıldız olduğundan oldukça iyi incelenen Proxima'nın çekirdeğindeki hidrojeni çok yavaş tükettiği ve bu nedenle dört trilyon yıl kadar daha ana kol yıldızı olarak kalacağı tahmin ediliyor. Son 30.000 yıldır Güneş'e en yakın yıldız olan Proxima 33.000 yıl kadar daha bu özelliğini sürdürecek. O tarihten sonra, şu anda 10,3 ışık yılı uzakta olan ama hızla Güneş'e yaklaşan, Ross 248 bize en yakın yıldız olacak.

Güneş'e en yakın ikinci yıldız Alfa Centauri sistemidir (α Cen A ve α Cen B) ve çıplak göze tek bir yıldızmış gibi görünür. Bu iki yıldız Güneş'e 4,37 ışık yılı uzaktadır. Birbirlerine uzaklıkları 80 yıllık bir periyot içinde 11 AB ile 36 AB arasında değişir. Yaklaşık 1,1 Güneş kütlesindeki α Cen A ve 0,9 Güneş kütlesindeki α Cen B, Güneş'ten 300 milyon yıl kadar daha yaşlı iki yıldızdır. Yapılan gözlemler bu yıldızların çevresinde Jüpiter kütlesinden büyük gezegenler bulunmadığını göstermiştir. Dünya büyüklüğündeki gezegenleriyse saptamak şimdilik olanaksızdır.

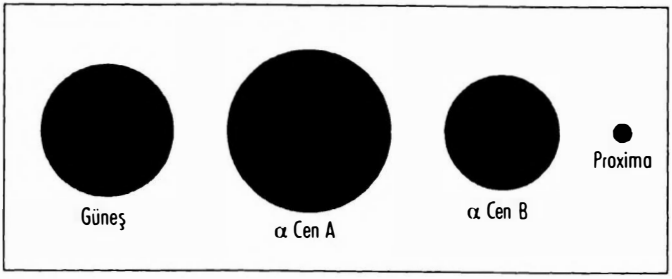
Barnard yıldızı 5,9 ışık yılı uzaklığıyla Güneş'e en yakın dördüncü yıldızdır. Küçük kütleli (0,17 Güneş kütlesinde) bir kırmızı cücedir. Çıplak gözle görülemez. 7-12 milyar yaşında olduğu tahmin edilmektedir. Bu haliyle Samanyolu'ndaki en yaşlı yıldızlardan biridir. Yapılan tüm gözlemlere karşın, çevresinde herhangi bir gezegen saptanamamıştır. Eğer varsa, bunlar Jüpiter'den daha küçük kütleli gezegenler olmalıdır.

Yıldız	Uzaklığı (ışık yılı)	Kütlesi (Güneş kütlesi)	Yaşı (milyar yıl)	Saptanan gezegen sayısı
Gliese878	15	0,334	4,893	4
Gliese581	20	0,311	4,326	4
81 Virginis	28	0,954	8,960	3
56 Canori	40	1,026	5,543	5
HD69830	41	0,856	7,446	3
HD40307	42	0,752	1,198	3
Upsilon Andromedae	44	1,010	3,781	4
47 Ursae Majoris	46	1,029	7,434	3
Mu Arae	51	1,077	6,413	4
HD113538	52	0,698	1,278	2
Gliese777	52	1,037	12,110	2
HD128311	54	0,804	0,394	2
14 Herculis	57	0,902	0,706	2
83 Leonis B	59	0,777	4,486	2
HD217107	65	1,019	7,320	2
HD60532	83	1,444	2,671	2
23 Librae	85	1,047	7,322	2
HD181433	87	0,777	8,974	3
HD82943	90	1,175	3,080	2

Güneş'in çevresindeki 100 ışık yılı yarıçaplı kürenin içinde keşfedilen gezegen sistemli yıldızlar ve onların bazı temel özellikleri.

7,8 ışık yılı uzaktaki Wolf 359, Güneş'e en yakın beşinci yıldızdır. Bir kırmızı cüce olan Wolf 359 ancak büyükçe bir teleskopla görülebilir. 0,09 Güneş kütlesindeki bu yıldızın çapı Jüpiter'in çapının 1,5 katıdır. Bu haliyle Wolf 359, yıldız olmanın en alt sınırındadır. Çok genç bir yıldızdır. Yaşının 100-350 milyon arasında olduğu tahmin ediliyor.

Altıncı yıldız Lelande 21185 de çıplak gözle görülemeyecek denli sönük bir kırmızı cücedir. 8,26 ışık yılı ötede ve 0,46 Güneş kütlesindedir. Yaşının 5-10 milyar yıl arasında olduğu düşünülüyor. Güneş Sistemi dışındaki ilk gezegenlerin keşfedilmeye başlandığı 1990'lı yılların ikinci yarısında, birkaç gezegenden oluşan bir gezegen sistemi



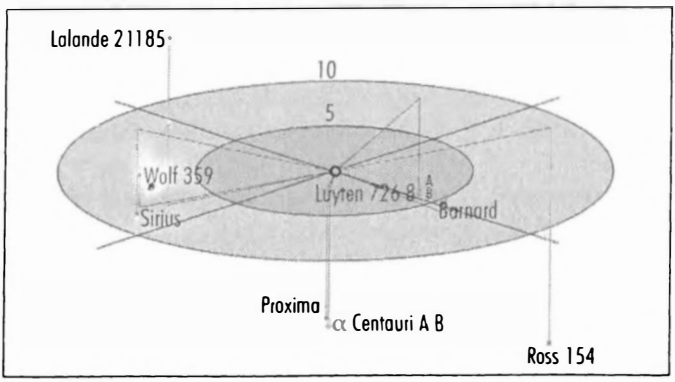
Güneş ve ona en yakın üç yıldızın büyüklük karşılaştırması.

olabileceği ileri sürülmüştü. Ancak bu sav hâlâ kanıtlanamamıştır.

Sirius (Akyıldız) gökyüzündeki en parlak yıldızdır. Aslında biri Güneş kütlesinde, öteki de Güneş'in 2 katı kütlede iki yıldızdan oluşan bir ikili yıldız sistemidir. Daha küçük kütleli olan Sirius B, bir beyaz cücedir; orijinal halinin Güneş'in 5 katı kütlede olduğu tahmin ediliyor. İki yıldızın arasındaki uzaklık 50 yıllık bir periyotta 8 AB ile 31 AB arasında değişir. Sirius sistemi yaklaşık 200-300 milyon yaşındadır ve Güneş'ten 8,6 ışık yılı uzaktadır.

Luyten 726-8, aynı zamanda Gliese 65 olarak da bilinen ikili bir yıldız sistemidir. Luyten 726-8A ve Luyten 726-8B, Güneş'e 8,7 ışık yılı uzaktadır. Bunlar birbirinin çevresinde 26,5 yılda bir dönen 0,1 Güneş kütlesinde iki

Güneş'e 10 ışık yılından daha yakın yıldızlar.



kırmızı cücedir. Yaklaşık 31.500 yıl sonra bu ikili, şu anki komşuları Epsilon Eridani'ye bir ışık yılı kadar yakınlaşacak ve büyük olasılıkla onun Oort Bulutu'nun içine girecektir. Bu sırada da uzun periyotlu kuyrukluyıldızların Epsilon Eridani'ye doğru harekete geçmesine yol açacaklardır. Bu yakınlık 4500 yıl boyunca sürecektir.

Güneş'in çevresindeki 10 ışık yılı yarıçaplı kürenin içinde yer alan son yıldız, Ross 154'tür. Bu, bize 9,7 ışık yılı uzakta bir kırmızı cücedir. Çıplak gözle görülemeyecek denli sönüktür. 0,17 Güneş kütlesinde olan Ross 154, bir milyar yaşından daha gençtir. 150.000 yıl içinde Güneş'e yakınlaşarak aradaki uzaklığı 6,1 ışık yılına düşüreceği hesaplanmıştır.

36 | Gökada nedir?

Gökadalar çok büyük yapılardır ve gökbilimcilerce Evren'in yapıtaşı olarak kabul edilirler. Bir gökadada yıldızlar, bu yıldızlardan birçoğunun çevresinde dönen gezegen sistemleri, gaz ve tozdan oluşan yıldızlar arası madde ve şimdilik hakkında çok az şey bilinen; ama aslında çok önemli bir öğe olan karanlık madde bulunur. Gökadalar büyüklüklerine göre birkaç milyon ile birkaç trilyon arasında yıldız içerebilirler. Gözlem verileri bütün gökadaların olmasa da çoğunun merkezinde süper kütleli bir karadeliğin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Gökadanın içerdiği maddeler de bu karadeliklerin çevresinde döner. Yıldız yoğunluğu gökadaların kenarlarına gidildikçe azalır. Görünen Evren'de 125 milyarın üstünde gökada olduğu tahmin ediliyor.

Gökadalar da tıpkı yıldızlar gibi değişik büyüklüklerde ve parlaklıklarda olur. Yıldızlardan farklı olarak şekilleri de değişik olabilir. En küçük gökadalar büyükçe bir yıldız kümesi kadardır ve birkaç milyon yıldız içerir. Çapları

100 ışık yılı kadar küçük olabilir. En büyük gökadalarda trilyonlarca yıldız vardır. Bazılarının çapı 6 milyon ışık yılı kadar olabilir. Bu, aslında birçok küçük gökada kümesi kadar büyük bir yapıdır.

Gökadalar en temelde görünüşlerine göre üç grupta sınıflandırılırlar: elips gökadalar, sarmal gökadalar ve düzensiz gökadalar. Sarmal gökadalar da kendi içinde normal sarmal ve çubuklu sarmal olmak üzere iki gruba ayrılır. Güneş'in de içinde bulunduğu Samanyolu, çubuklu sarmal bir gökadadır. Evren'deki gökadaların neredeyse yarısı sarmaldır. Özellikle sarmal kollarda yoğun bir yıldız oluşumu sürer ve bu nedenle sarmal kollar mavimsi görünür. Elips gökadalar çok az toz içerir ve yıldız oluşumunun varlığını gösteren izlerden yoksundur. Renkleri de genellikle kırmızı ağırlıkta olur.

İlk büyük teleskoplarla gözlemlendiğinde gökadaların aslında Güneş'ten çok da uzak olmayan güzel şekilli bulutsular oldukları düşünülmüştü. 1750'de Thomas Wright Samanyolu'nun gerçekte yıldızlardan oluşan disk şeklinde bir yapı olduğunu ve görünen bazı bulutsuların da aslında kendi başlarına birer Samanyolu olabileceğini ileri sürdü. 1755'te Immanuel Kant da bu uzak bulutsuları "ada evren"ler olarak tanımladı. 1900'lü yılların başına kadar bu bulutsulardan yüzlercesi, çeşitli yıldız kataloglarında yerlerini aldı. 1912'de Vesto Slipher ve 1917'de de Heber D. Curtis disk şeklindeki bu bulutsuların gerçekte Samanyolu içinde olmaması gerektiğini ileri sürdüler.

Edwin Hubble 1922-1923 yıllarında döneminin en güçlü teleskopuyla yaptığı gözlemlerde Andromeda Bulutsusu'nun gerçek uzaklığını saptadı. Andromeda'nın da aralarında olduğu sarmal birçok bulutsunun gerçekte Samanyolu'nun dışında ve çok ötesinde olduğunu ve hepsinin de başlı başına birer gökada olduğunu ortaya koydu.

Çok büyük olmayan bir ölçekte bakıldığında, gökadaların Evren'e düzenli bir şekilde dağılmadığı görülür. Gökada çiftleri, birkaç gökadadan oluşan küçük gruplar, kümeler ve süper kümeler gibi değişik büyüklüklerde gruplar halinde bulunurlar. Bu tür gruplardaki gökadaların ara-

sında genellikle birkaç milyon ışık yılı uzaklık olur.

En az 50 gökadadan oluşan gruplara "küme" denir. Samanyolu'nun da içinde yer aldığı küçük grubun adı Yerel Grup'tur. Yerel Grup'ta Samanyolu'ndan başka iki büyük sarmal gökada daha (M31 ve M33) vardır. Geri kalanlar hep cüce gökadalardır. Gökada süper kümeleriyse onlarca küme içeren, on milyonlarca ışık yılı yarıçaplı dev yapılardır. Evren'e çok daha büyük bir ölçekte bakıldığında, bütün kümelerin ve süper kümelerin, aralarında büyük boşluklar bulunan ipliksi bir doku oluşturduğu ve her yanda eşit yoğunlukta (belli bir hacim içinde aynı sayıda) oldukları görülür.

Gökadaların üç temel hareketi vardır. Birincisi yakınlarındaki gökadaların ve gökada kümelerinin kütleçekim etkisiyle bölgesel olarak yaptıkları harekettir. Kümelerde grup içi kütleçekim etkileşimleri gökadaları birbirlerine yaklaştırabilir, hatta çarpıştırabilir. Bunun yanında gökadaların büyük bir bölümü kendi ekseninde döner. Bu iki hareket görece yavaş hareketlerdir ve ortalama olarak saniyede birkaç yüz kilometrelik hızlarda olurlar. Bunlar

Andromeda ya da öteki adıyla M31, yaklaşık 2,5 milyon ışık yılı ötede, 200.000 ışık yılı çapında ve kütlesi Samanyolu'nun 1,5 katı olan büyük bir gökadadır. Samanyolu ve Andromeda saniyede yaklaşık 100 km'lik bir hızla birbirlerine yaklaşmaktadır; bu hızla 3 milyar yıl sonra birleşmeleri beklenmektedir.



gökadaların uzayın içinde yaptıkları hareketlerdir. Gökadaların, Evren'in genişlemesinden kaynaklanan üçüncü hareketiyse çok hızlıdır. Bunda gökadalar uzayla birlikte hareket eder. Uzay genişledikçe içindeki gökadaları da beraberinde taşır. Sonuç olarak bütün gökadalar, uzaklıklarıyla orantılı olarak birbirlerinden uzaklaşır. Bu durum herhangi bir kümede yer almayan bağımsız gökadalar için geçerlidir. Bir küme içinde yer alan gökadalar Evren'in genişlemesinden etkilenmez ve küme içinde değişik yönlerde hareket edebilirler. Bununla birlikte küme, bir bütün olarak Evren'in genişlemesi yönünde ilerler.

Evren'in ilk dönemlerinde Evren daha küçükken ve gökadalar da birbirlerine daha yakınken, gökadalar arası etkileşim daha büyüktü. Gözlemler, birçok büyük gökadanın bir zamanlar ayrı gökadalar olan iki ya da daha çok küçük gökadanın birleşmesiyle bugünkü büyüklüğüne ve şekline kavuştuğunu düşündürüyor.

Gökada kümelerinin kızılötesi teleskoplarla incelenmesi sonucunda, kümelerdeki gökadaların arasında (yani küme içi gökadalar arası uzayda) kümenin toplam kütlesinin yüzde 10 kadarını gazların oluşturduğu ortaya çıkmıştır. Bir başka deyişle tıpkı gökadaların içinde olduğu gibi dışında da dev gaz bulutları vardır. Bunlar hidrojen iyonlarından oluşur. Bunun yanında gökadalar arası uzayda toz bulutları da vardır. Samanyolu'nun 10 milyon ışık yılı çevresindeki uzayda dört büyük toz bulutu saptanmıştır.

37 | Samanyolu nasıl bir gökadadır?

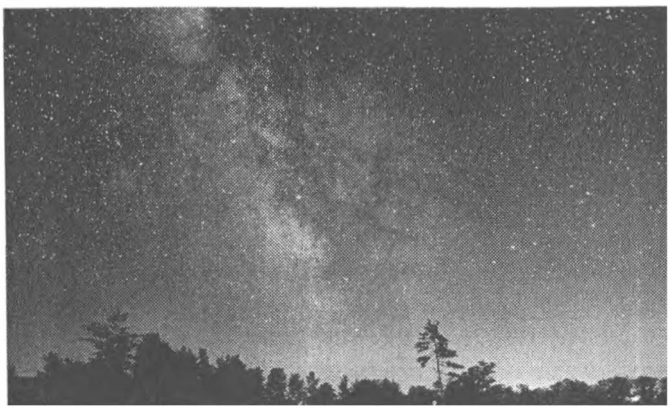
Işık kirliliğinin olmadığı bir yerden gece gökyüzüne bakıldığında, tıpkı beyaz bir tül gibi bir ufuktan ötekine gökyüzünü kapladığı görülen şey aslında Güneş Sistemi'nin de içinde bulunduğu Samanyolu gökadasının bir bölümünden başka bir şey değildir. O yalnızca, gö-

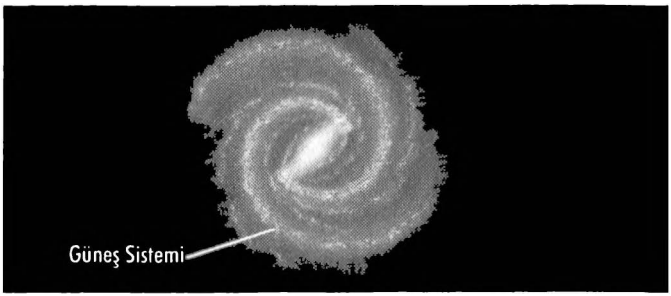
kadanın merkezine bizden birkaç bin ışık yılı daha yakın olan sarmal kollardan birindeki milyarlarca yıldızın oluşturduğu bir görüntüdür. Aslında bulunduğumuz noktadan Samanyolu'nun merkezine doğru baktığımızda, gökadamızın şekline ilişkin pek bir bilgi elde edemeyiz. Çünkü bu, sanki madeni bir paraya yandan bakmak gibidir. Ne var ki Samanyolu'nun dışına çıkıp ona bakma olanağımız da yoktur. (35 yıl önce fırlatılan Voyagerlar daha yeni Güneş Sistemi'nin dışına çıkabilmiştir.)

Samanyolu çok büyük bir yapıdır. Eğer Güneş Sistemi'nin bir CD büyüklüğünde olduğu düşünülürse, Samanyolu'nun büyüklüğünün Dünya kadar olduğunu düşünmek gerekir.

Samanyolu yukarıdan bakıldığında, sarmal yapılı bir diske benzer. Çapı yaklaşık 100.000 ışık yılı ve kalınlığı da yalnızca birkaç bin ışık yılıdır. Samanyolu'nda kaç yıldız olduğu tam olarak bilinemiyor; ancak 100-400 milyar arasında olduğu hesaplanıyor. Genellikle de 200 milyar yıldız olduğu söyleniyor. Başka yıldızların çevresindeki gezegenlere yönelik yapılan son keşiflerden sonra, Samanyolu'ndaki yıldızların çevresinde dönen 50 milyar

Samanyolu'na yönelik teleskoplu ilk gözlemleri, gökyüzündeki daha başka birçok nesneyi gözleyen Galilei 1609'da yapmıştır. Galilei gece gökyüzünde görünen tül benzeri yapının aslında çok sayıda yıldızdan oluştuğunu fark etmişti. Daha önceleri onun gazdan bir bulut olabileceği düşünülüyordu.

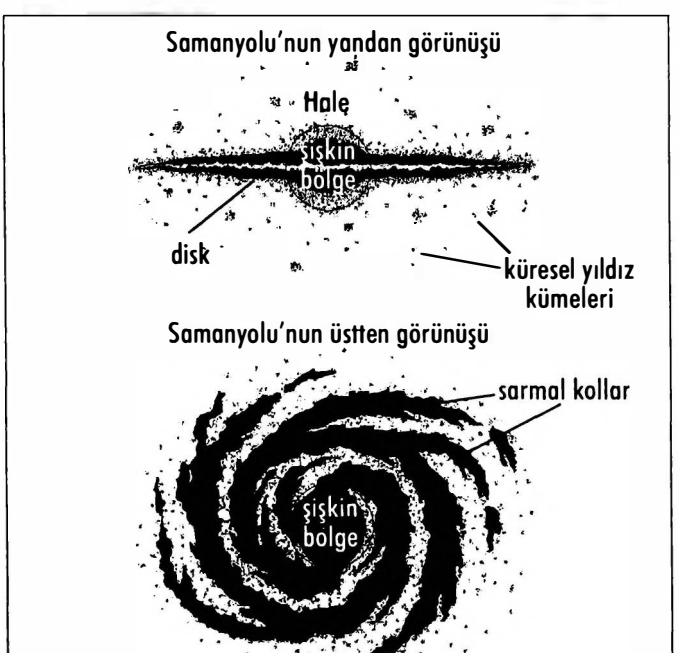




Samanyolu'nun yukarıdan bakıldığında neye benzediğini bilemeyiz. Ancak yüzlerce yıldır yapılan gözlemler sayesinde, gökadamıza ilişkin büyük bir bilgi birikimimiz oluşmuş durumdadır. Ayrıca güçlü bilgisayarlarımız var. Bunların yanında binlerce gökadanın görüntüsüne sahibiz. Dolayısıyla yukarıda görüldüğü gibi, Samanyolu'nun nasıl bir şekli olduğunu tahmin etmek aslında o kadar da zor değildir.

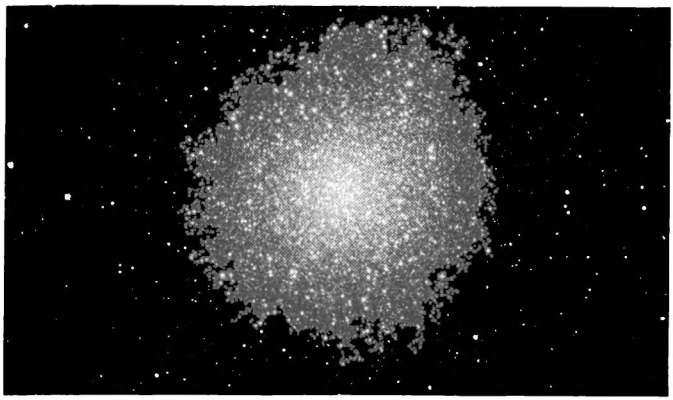
dolayında gezegen bulunduğu ve bunların da 500 milyonunun (yüzde 1'inin) yörüngesinin kendi yıldızının çevresindeki yaşamın ortaya çıkabileceği bölgede yer aldığı tahmin ediliyor.

Gökadamızın ortasında, yıldızların yoğun olarak bulunduğu, yaklaşık 12.000 ışık yılı çapında küresel bir şişkinlik vardır. Burada genellikle yaşlı, sarı ve turuncu renkli yıldızlar bulunur. Yaşı saptanabilen en yaşlı yıldız 13,2 milyar yaşındadır. Buradan da Samanyolu'nun 13,2 milyar yaşından daha genç olamayacağı ve Büyük Patlama'dan yaklaşık 600 milyon yıl sonra oluştuğu sonucuna varılmıştır. Bir de "hale" denen yaklaşık 130.000 ışık yılı çapında bir başka yapı vardır ve Samanyolu'nu kuşatır. Halede binlerce küresel yıldız kümesi bulunur; küresel yıldız kümeleri yıldızların yoğun olarak bulunduğu bölgelerdir ve yüz binlerce yıldızdan oluşurlar. Bunlara ek olarak Samanyolu'nun çevresinde gökada tacı ya da "karanlık hale" denen ve karanlık maddeden oluşan bir başka küresel yapı daha bulunur. Bu, Samanyolu'nun en büyük ve en gizemli öğesidir. Merkezden 100.000 ışık yılı ötede başladığı sanılan gökada tacının, 300.000 ışık yılı öteye kadar uzandığı ve Samanyolu'ndaki bilinen maddelerin (bütün yıldızlar, gaz ve toz) kütlesinin yaklaşık on katı kadar kütleli olduğu hesaplanmıştır.



Samanyolu'nun ilginç bir başka öğesi de merkezinde bulunan süper kütleli karadeliktir. Yaklaşık dört milyon Güneş kütlesinde olan bu dev yapı, kendi ekseninde 1.1 dakikada bir döner. Samanyolu da (yani gökada içindeki her şey) dev bir tekerlek gibi merkezdeki bu süper kütleli karadeliğin çevresinde döner. Hem de çok yüksek hızlarda... Yıldızların dönüş hızı saniyede 200-240 km arasındadır. Güneş ve onunla birlikte bütün Güneş Sistemi de bu hızla (210-240 km/s) ilerler. Güneş'in gökada içindeki yörüngesi çembere yakın bir elips şeklindedir ve Güneş bu yörüngedeki bir turunu 200-250 milyon yılda tamamlar. Güneş Sistemi'nin 4,56 milyar yaşında olduğu düşünülürse, yaşamı boyunca yaklaşık 20 kez bu turu tamamladığı anlaşılır. Yaşamının sonuna kadar da 20 kez daha dönecektir.

Yüksek hızlı bu dönüş sırasında kütleçekimsel olarak birbirlerini etkileyen/rahatsız eden yıldızların yönleri

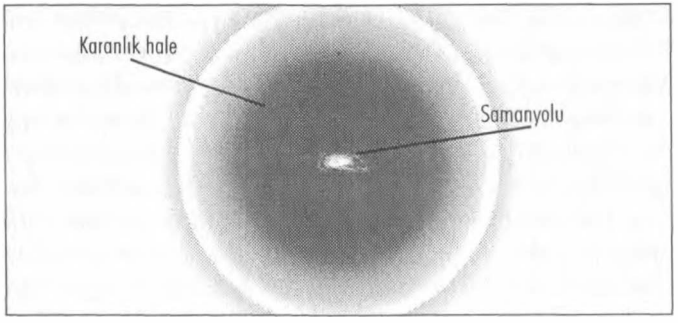


Herkül ya da M13 olarak da bilinen küresel yıldız kümesi yaklaşık 25.000 ışık yılı uzaklıktadır. Edmond Halley'in 1714'te keşfettiği bu yıldız kümesinin çapı 145 ışık yılıdır. M13'te birkaç yüz bin yıldız bulunur.

değişir. Bazı yıldızlar gökada dışına fırlatılır. Bazıları da süper kütleli karadeliğe düşer. Yıldızlar küresel yıldız kümelerinde, açık yıldız kümelerinde ya da küçük bir bölümü de tıpkı Güneş gibi bağımsız olarak bulunur.

Samanyolu'nda yıldızlardan başka gaz ve tozdan oluşan ve bazıları binlerce ışık yılı genişliğinde bulutsular da vardır. Bunlar kütleçekimsel olarak kararsızdır ve zamanla içlerine çökerek yeni yıldızların oluşmasını sağlarlar. Gökadamızda sürekli yeni yıldızlar oluşur; oluşumlarının değişik aşamasında milyonlarca yıldız vardır. Samanyolu'nun oluşumunun ilk dönemlerinde yılda birkaç yüz olan yeni yıldız doğumu, günümüzde yılda 5-6'ya kadar düşmüştür. Samanyolu oldukça kalabalık ve dinamik bir yerdir. Öncelikle değişik büyüklük ve parlaklıklarda yaklaşık 200 milyar yıldız vardır, bu yıldızlardan bazılarının çevresinde gezegen sistemleri bulunur, kahverengi cüceler vardır, ölmüş yıldızların kalıntıları olan beyaz cüceler ve nötron yıldızları vardır, karadelikler vardır ve bütün bu nesnelerden yayılan her dalga boyunda ışık vardır.

Bir zamanlar Evren'in merkezinde olduğumuza inanılırdı. Artık biliyoruz ki, kendi gökadamızın bile merkezinde değiliz. Hatta merkezden oldukça uzaktayız. Gerçekte bu uzaklığı ölçmek o kadar kolay değildir. En son



Samanyolu'nu kuşatan ve gökada tacı ya da karanlık hale denen karanlık maddenin küresel bir yapısı olduğu ve normal maddenin kütlesinin yaklaşık 10 katı kadar kütlesi olduğu tahmin ediliyor.

çalışmalara göre, merkezin 25.000-28.000 ışık yılı arasında bir uzaklıkta olduğumuz ortaya çıkmıştır.

Samanyolu'nun sarmal kolları hem yıldız açısından, hem de gaz ve toz açısından zengindir. Buralar yeni yıldızların doğdukları bölgelerdir. O nedenle de mavi, beyaz renkli genç yıldızlar çoktur. Ancak Samanyolu'nun sarmal kollarını gösteren çizimler (haritalar) çok değişkendir. Çünkü bu kolların şekli ve hatta sayısı da hâlâ tartışmalıdır. Birçok kaynakta dört ana kolu ve iki de küçük kolu olduğu ileri sürülür. Ana kolların adları Norma, Scutum-Crux, Sagittarius ve Perseus'tur. Güneş Sistemi bu ana kollardan Sagittarius ile Perseus arasında yaklaşık 3500 ışık yılı genişliğinde ve 10.000 ışık yılı uzunluğundaki Orion Spur'da (Orion Kolu, Orion-Cygnus Kolu ya da Bölgesel Kol olarak da bilinir) yer alır.

38 | Yerel grup nedir?

Samanyolu'nun sınırlarının dışına çıkıldığında engin bir boşlukla karşılaşılır. Burası artık gökadaların egemenliğindeki büyük ölçekli Evren'dir. En uzak gökadalar milyarlarca ışık yılı ötededir. En yakın olanlarsa Samanyolu'nun

uydusu olan cüce gökadalardır; hatta bunlardan biri, gökadamızla birleşme (çarpışma) sürecindedir. Gökadalar durağan yapılar değildir; tersine saniyede yüzlerce kilometrelik hızlarla yol alan, dev kütleli, kendi eksenlerinde dönen dinamik yapılardır. Kütleçekimsel olarak başka gökadalarla bir arada bulunur, gruplar oluştururlar. Birçok gökadadan oluşan bu tür yapıların küçük olanlarına gökada grubu, büyük olanlarına da gökada kümesi denir. Gökada grubuyla gökada kümesi arasındaki ayrım çok açık değildir; ama genellikle kümelerdeki gökada sayısı 50'nin üzerinde olur.

Gökada kümeleri büyüklük ve içerik açısından değişiklik gösterir ve 50-1000 arasında gökada içerirler. Çapları 6,5-30 milyon ışık yılı arasında değişir ve genellikle 25 milyon ışık yılı kadar olur. Kümeler arası uzaklıklar da ortalama 30 milyon ışık yılı kadardır.

Kümelerdeki gökadalar kütleçekim etkisiyle bir arada bulunur ve küme içinde değişik yönlerde hareket ederler. Bazen birbirleriyle çarpışır ve birleşerek yeni, büyük bir gökada oluştururlar. Ancak küme bir bütün olarak tek yönde ilerler. Kümelerdeki gökadaların toplam kütlesi kümenin yaklaşık yüzde 1'i kadardır. Küme içinde gökadalar arasındaki milyonlarca ışık yılını bulan engin boşluklarda büyük bölümü iyonlaşmış hidrojen ve helyumdan oluşan aşırı yüksek sıcaklıklarda (10-100 milyon derece arasında) dev gaz bulutları olur. Ancak yoğunlukları çok düşüktür -1000 cm^3'te ancak bir parçacık. Bunların kütlesi kümenin toplam kütlesinin yaklaşık yüzde 9'unu oluşturur. Kümelerin üçüncü ve belki de en önemli, ama hakkında en az şey bilinen öğesi karanlık maddedir. Kümelerin içerdiği maddenin (atomlardan oluşan, bildiğimiz maddelerin) toplam kütlesinin yaklaşık on katı kadar karanlık madde bulunduğu hesaplanmıştır. Bir başka deyişle kümelerin toplam kütlesinin yüzde 90'ını karanlık madde oluşturur.

Evren'in bu bölgesinde Samanyolu'nun da aralarında bulunduğu 46 gökadalık gruba Yerel Grup denir. Bu adı ilk kez Edwin Hubble kullanmıştır. Ancak onun gözlemle-

diği Yerel Grup'ta yalnızca 12 gökada bulunuyordu. Yerel Grup'un üye sayısı değişkendir ve yakın çevremizde keşfedilen yeni gökadalarla zamanla artar. Yaklaşık 6 milyon ışık yılı çaplı bir kürenin içine dağılmış Yerel Grup'taki en büyük üç gökada Andromeda (M31), Samanyolu ve Triangulum (M33) sarmal gökadalarıdır. Andromeda ve Triangulum, Samanyolu'na farklı yönlerde yaklaşık 2,5 milyon ışık yılı uzaklıktadır. Öteki 43 gökada, cüce gökadalardır ve çoğu büyük gökadaların çevresinde toplanmıştır.

Samanyolu'nun ve Andromeda'nın 15 dolayında uydusu vardır. Triangulum gökadasınınsa tek bir uydusu bulunur. Yerel Grup'taki öteki küçük gökadalar bağımsız gökadalardır.

Uzun yıllar boyunca Samanyolu'na en yakın gökadanın Büyük Macellan Bulutu olduğu düşünüldü. Ne var ki çok sönük olduğundan ancak 1994'te keşfedilebilen Yay Cüce Gökadasının gerçekte Samanyolu'nun merkezinden yalnızca 52.000 ışık yılı uzakta olduğu anlaşıldı. Çapı 10.000 ışık yılı olan Yay Cücesinde, bir milyar dolayında yıldız bulunduğu tahmin ediliyor. Yay Cücesinin "en yakın olma" özelliği ancak 10 yıl kadar sürdü. Çünkü 2004'te gökbilimciler Samanyolu'nun merkezine 42.000 ışık yılı uzaklıktaki Büyük Köpek Cüce Gökadasını keşfettiler. Bu cüce gökadada da yaklaşık bir milyar yıldız bulunduğu düşünülüyor. Büyük Köpek Cücesinin Samanyolu tarafından yapısının bozulmaya (parçalanmaya) başlandığı ve bir süre sonra da içeriğinin Samanyolu ile bütünleşeceği öngörülüyor.

Evren'deki en büyük yapılar gökada kümeleri değildir; gökada süper kümeleridir. Bunlar komşu gökada kümelerinin kütleçekimsel olarak birbirine bağlı olduğu, zincir ya da yaprak şeklindeki dev yapılardır. Örneğin halkalarından birini Yerel Grup'un oluşturduğu, zinciri andıran bir yapı, Yerel Grup'u 52 milyon ışık yılı ötedeki Başak (Virgo) Kümesine bağlar. 1300'ü aşkın gökadadan oluşan büyük Başak Kümesi, Yerel Süper Küme ya da Başak Süper Kümesi olarak bilinen, yaklaşık 200 milyon ışık yılı

çapındaki süper kümenin merkezinde yer alır. Gökadalar küme içinde dağınık bir görünüm sergileyebilir. Ancak bu durum kümeler için geçerli değildir. Gökada kümeleri, içinde yer aldıkları süper kümedeki öteki gökada kümelerine yakın bulunur; büyük ölçekte bakıldığında, sanki birbirlerine dokunuyormuş gibidirler.

4. Bölüm
EVREN'İN YAPISI

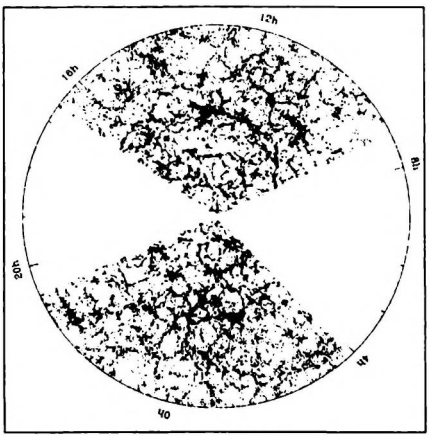
39 | Evren'in büyük ölçekli yapısı nasıldır?

Yüzyıl önce Evren'in büyük ölçekte neye benzediğine ilişkin hiçbir bilgimiz ve fikrimiz yoktu. Karşıt bazı görüşler olmasına karşın, Evren'in yalnızca Samanyolu'ndaki milyarlarca durağan yıldızdan ibaret olduğu düşünülüyordu. Bugünse elimizde o günkinden çok farklı, olabildiğince ayrıntılı, güzel ve çok büyük bir "resim" var. Artık Evren'de gökadamızdan başka 125 milyarı aşkın gökada olduğunu, maddenin ve varlığından yeni haberdar olduğumuz karanlık maddenin bu gökadalarda yoğunlaştığını, gökadaların arasında büyük boşluklar bulunduğunu, bununla birlikte gökadaların da gerçekte gruplar ve süper gruplar oluşturduğunu biliyoruz. Gökadaların hem içinde hem de dışında Evren'in çok dinamik bir yapısı olduğunu, gökcisimlerinin çok yüksek hızlarla devindiğini ve Evren'imizin artan bir hızla da genişliyor olduğunu da öğrendik. Artık Evren'in gerçek boyutlarına, yapısına, başlangıcına ve hatta sonuna ilişkin bilimsel ve tutar-

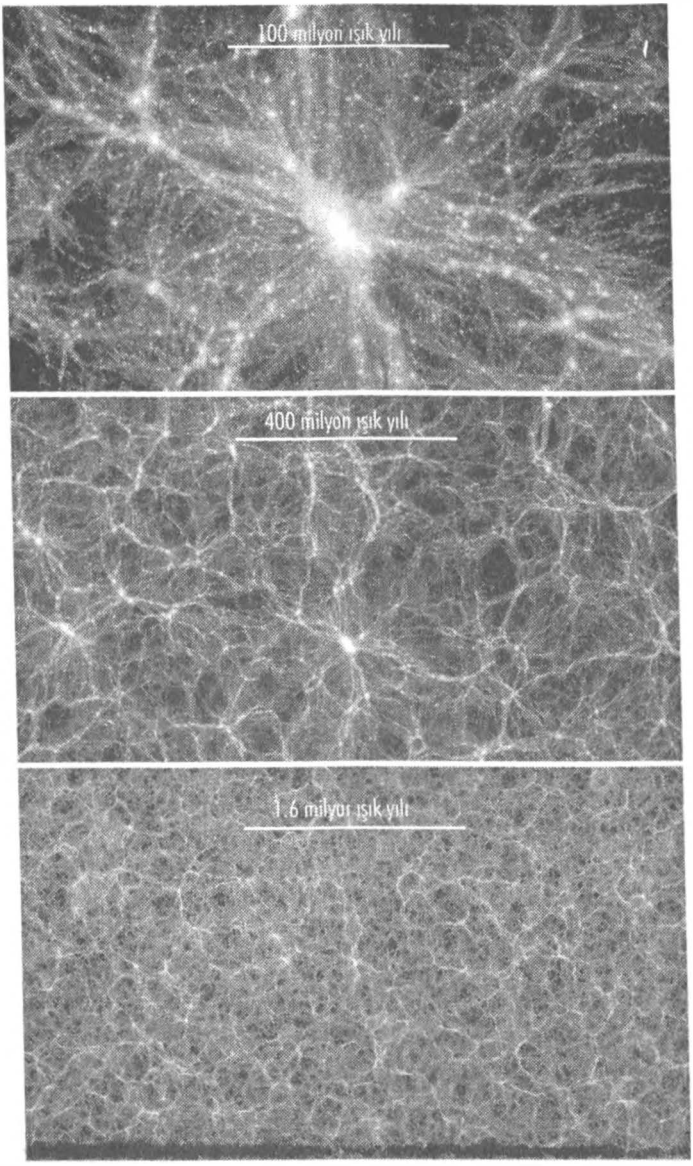
lı düşünce ve öngörülerimiz var. Her geçen gün gelişen teleskoplar ve başka gözlem aygıtları sayesinde kapsamlı gözlem projeleri yürütülüyor. Böylece eldeki Evren modeli sürekli daha açık, daha ayrıntılı olarak yenileniyor, iyileştiriliyor.

Günümüz kozmolojisinin önemli çalışma alanlarından biri Evren'in büyük ölçekli yapısıdır; yani gökadaların, gökada kümelerinin ve süper kümelerin oluşumları ve evrimleridir. Bilim insanlarının yaklaşık 80 yılda oluşturduğu model, Evren'de hiyerarşik bir yapılanma bulunduğunu ortaya koyuyor. Buna göre önce en küçük nesneler, Evren'in yapıtaşı olan gökadalardır. Bunlar gruplaşarak gökada kümelerini oluşturmuş ve kümeler de bir araya gelerek süper kümeleri oluşturmuştur. Süper kümelerin oluşumları hâlâ sürmektedir.

Evren'in yapısına ilişkin bu tür modeller yaratmanın bir yöntemi, sürekli gelişen ve çeşitlenen teleskoplarla gökadaları ve gökada kümelerini gözlemek ve incelemektir. Böylece en küçük öğesi gökadalar olan üç boyutlu bir Evren haritası çıkartılabilir. Bu konudaki en kapsamlı çalışma ABD'de New Mexico'daki Apache Point Gözlemevi'nde 2,5 m'lik bir teleskopla sürdürülüyor. 2000'de başlayan gözlemlerin sonucunda, kullanılan birtakım özel aygıtlar sayesinde, 930.000 gökadanın konumu ve hareketi belir-



Son 30 yılda gökadaların Evren'deki dağılımlarını ve hareketlerini saptamak için bazı büyük araştırma projeleri gerçekleştirildi. Bunlardan en büyüğü 2000-2005 arasında yürütülen Sloan Digital Sky Survey'dir. Bu projede saptanan gökadaların yerleştirildiği harita görülüyor. Haritada her nokta bir gökadaya karşılık gelir. Haritanın merkezinde Samanyolu var ve çemberin çapı da 2 milyar ışık yılıdır.



Max Planck Astrofizik Enstitüsü'nün bilgisayar canlandırmasında, birkaç milyar ışık yıllık bir ölçekte milyonlarca gökada kümesi ve süper küme ipliksi bir yapıda (sanki birbirine bağlıymış gibi-) görülüyor. Gökadalardan oluşan ipliksi dokunun arasında engin boşluklar vardır.

lenmiş ve haritası çıkartılmıştır. Aynı gözlemevinde benzer bir çalışma Samanyolu'ndaki 240.000 yıldız için yapılmış ve gökadamızın yapısı, oluşumu ve evrimine ilişkin ayrıntılı veriler elde edilmiştir.

Evren'in yapısı konusunda çalışmanın bir başka yöntemi de, süper bilgisayarlar kullanarak birtakım canlandırmalar yapmaktır. Böylesi süper bilgisayar canlandırmalarında elde edilen görüntüler (Evren'in değişik dönemlerindeki gökada dağılımlarını gösteren görüntüler) gözlemlerde elde edilen gerçek görüntülere oldukça benzer. Gökada kümeleri ve süper kümelerin oluşturduğu ipliksi yapılar ve onların arasında kalan "boşluk"lar kolayca görülür.

Süper kümeler 200 milyon ışık yılı genişlikte Evren bölgelerini kaplayacak kadar büyük olabilir. Bunlar kütleçekim kuvveti nedeniyle birbirine komşu duran, bir anlamda birbirine dokunan, onlarca hatta yüzlerce gökada kümesinin oluşturduğu zincir ya da yaprağı andıran yapılardır. Süper kümelerin kuşattığı boşluklarsa, hemen hemen küresel yapılardır ve ortalama 200 milyon ışık yılı çapındadırlar. Bu boşluklardaki madde yoğunluğu gökadalar arası uzaydakinin onda biri kadardır...

40 | Evren'in temel özellikleri nelerdir?

Evren'in temel özellikleri izotropik (eşyönlü) ve homojen oluşu ve evrim geçirmesidir. Yalnız bu evrim, biyolojik anlamda bildiğimiz evrimden farklıdır ve daha çok zaman içinde farklılaşmayı, gelişmeyi anlatır. Evren dinamiktir ve başlangıcından bu yana sürekli bir değişim içinde olmuştur. Başlangıçta akıl almaz sıcak dönemlerden geçmiş, giderek soğumuştur. Bu soğuma hâlâ sürmektedir; çünkü Evren genişler. İlk dönemlerinden bu yana Evren'in içeriği de değişmiştir. Evren'in ilk dönemlerinde ne gökadalar ne de yıldızlar vardı. Başlangıçta Evren'de yalnızca hidro-

jen, helyum ve eser miktarda da lityum ve berilyum bulunuyordu; hatta daha da öncesinde bunlar da yoktu, Evren aşırı sıcak bir temel parçacık çorbası halindeydi. Ama zamanla soğudu seyrekleşti ve yıldızlar ile gökadalar oluştu; yıldızların içinde oluşan elementler, yıldızların ölümü sırasında uzaya yayıldı. Gökadaların ve yeni oluşan yıldızların madde içeriği değişti, çeşitlendi. Zamanla gökadalar da değişim geçirdi. Bunun yanında Evren genişledikçe gökada kümelerinin arası giderek açıldı, Evren'in yoğunluğu düştü. Yaşamı boyunca Evren'in genişleme hızı da değişti; önce artarken bir dönem yavaşladı sonra yine hızlandı; günümüzde hızla genişlemesini sürdürüyor. Kısacası Evren, Büyük Patlama anından günümüze değin büyük bir "evrim" geçirdi ve bu evrim hâlâ sürüyor.

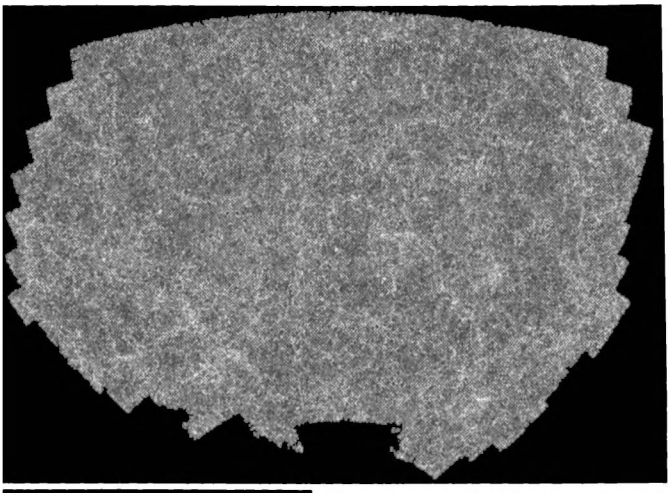
Evren'in ikinci temel özelliği izotropik oluşudur; yani Evren her yönde aynı görünür. Aslında Evren'in bu temel özelliği ilk bakışta biraz kafa karıştırıcı gibi görünür. Çünkü yeryüzünde, Güneş Sistemi'nde ve gökadalar arası uzayda değişik yönlere baktığımızda farklı görüntülerle karşılaşırız. Örneğin Samanyolu izotropik değildir. Bir merkezi vardır, kenarları ve kolları vardır. Yıldızlar homojen olmayan bir dağılım gösterirler. Hangi noktasından bakılırsa, o noktaya özgü bir görüntüyle karşılaşılır. Aynı durum Samanyolu'nun yakın çevresi için de geçerlidir. Gökadaların toplandığı bölgeler -gökada kümeleri- vardır ve bu gruplaşmaların arasında büyük boşluklar bulunur. Değişik yönlere bakıldığında hiç de birbirine benzer olmayan örüntülerle karşılaşılır. Çünkü Evren'in izotropik olma özelliği küçük ölçeklerde fark edilemez; onun büyük ölçekli yapısı için geçerlidir. Küçük ölçeklerde değişik yönlerde farklı gökcisimlerinin değişik düzeylerde öbeklenmeleri görülür.

Evren'in izotropikliğini anlamak için ona çok büyük ölçekte -200 milyon ışık yılından büyük- bakmak gerekir. En güçlü teleskoplarla yapılan gözlemler, Evren'in her yönde aynı göründüğünü ortaya koymuştur. Ne kadar derine (uzağa) bakılırsa, Evren'in bütün yönlerde o kadar benzer bir görüntüsü olduğu görülür.

Evren'in bir başka temel özelliği de her bölgesinin, her köşesinin benzer oluşudur; yani özellikle farklı bir bölgesi yoktur. Bir başka deyişle Evren homojendir. Bu özellik de yine büyük ölçekli Evren için geçerlidir. Küçük ölçeklerde Evren hiç de homojen değildir. Gökadaların ve gökada kümelerinin milyonlarca ışık yıllık kenarları olan küpler içindeki dağılımları bile benzerlik göstermez. Bir başka deyişle küçük ölçekte eş büyüklükteki küplerin içinde belirgin biçimde farklı miktarda gökada bulunur ve bunlar farklı örüntüler oluşturur. Ancak ölçek iyice büyüdüğünde görünüm homojenleşir.

Evren'in homojen ve izotropik olduğu kozmoloji ilkesi adlı bir ilkeyle ortaya konur. Buna göre Evren'deki gökadaların yoğunlukları Evren'in her köşesinde aynıdır; konuma ya da yöne bağlı olarak değişmez. Evren'deki her yer birbirine eşittir; hiçbir özel yer, bölge yoktur. Evren'in farklı bir bölgesi yoktur. Einstein bunu 1931'de "... Evren'de her yer birbirinin benzeridir..." diyerek özetlemiştir. Kozmoloji ilkesi aslında Evren'in bir merkezinin ve kenarlarının olmadığını -eğer olsaydı kenar bölgeler ile orta bölgeler arasında farklar olurdu- ve Büyük Patlama'nın gerçekleştiği özel bir yerin (merkezin) bulunmadığını gösterir. Kozmoloji ilkesinin doğruluğunu gösteren en güçlü kanıtlardan biri Evren'in ilk dönemlerinden kalan görüntüsü olan "kozmik mikrodalga arka plan ışıması"dır.

İzotropi, homojenlik ve genişlemeyi akılda canlandırabilmek için Mark Whittle'ın yaptığı bir benzetmeye başvurmada yarar var: "Çok büyük bir ormanda olduğunuzu düşünün. Çevrenizdeki ağaçların her biri bir gökadaya karşılık gelsin. Çevrenize baktığınızda her yönde aynı örüntüyü görürsünüz -izotropi. Herhangi bir yönde saatlerce yürüyün. Orman ve ağaçlar aynıdır; yani homojendir. Bu çok büyük ormanın bir gezegenin bütün yüzeyini kapladığını düşünün. Hangi yönde ne kadar yürürseniz yürüyün, ormanın yani gezegenin bir kenarına gelemezsiniz; çünkü yoktur. Buna karşın ormanın yani gezegenin yüzeyinin belli bir alanı vardır; sonsuz değildir. Aynı şekilde ormanda



Evren'in küçük bir bölümünde (yanda) bir milyar ışık yılı uzaklık için yapılan bu taramada, iki milyon gökadada birer nokta olarak görülüyor. Bu, herhangi bir bölgesinde dikkat çekici bir boşluk ya da gruplaşma olmayan, pürüzsüz (izotropik) bir görüntüdür.

"merkez" olacak, diğerlerinden farklı herhangi bir yer de yoktur. Her yer birbirine eşittir. Bu varsayımsal gezegenin zamanla şiştiğini düşünün. Bu da Evren'in genişlemesine karşılık gelir. Her ağaç, yani her gökada birbirinden uzaklaşır. Ağaçların özellikle uzaklaştığı bir ağaç yoktur; bütün ağaçlar birbirlerinden uzaklaşır."

41 | Kozmik mikrodalga arka plan ışıması nedir?

Evren'in sıcaklığının Evren'in büyüklüğüyle doğrudan ilişkisi vardır. Evren büyüdüğünde, onun içinde serbest dolaşan fotonların enerjileri de düşer, dalga boyları uzar. Bir başka deyişle genişleyen Evren, içindeki fotonların dalga boylarını uzatır, enerjilerinin azalmasına neden olur.

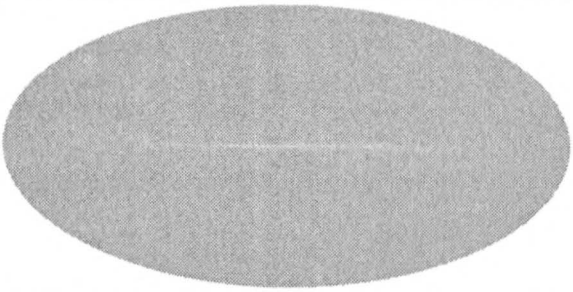
Büyük Patlama anından sonraki 380.000 yıl boyunca Evren, plazma halindeydi: Aşırı sıcak ve yoğun bir madde-enerji çorbası gibiydi. Evren'de sanki yoğun ve parlayan bir sis vardı: Evren opaktı. Bu durum fotonların serbestçe ilerlemesine olanak vermiyordu. Ama o andan sonra Evren'in ortalama sıcaklığı 3000 K'in altına düştü. Elektronlar protonlarca yakalanmaya ve ilk atomlar oluşmaya başladı. Plazma hali sona erdi; sis dağıldı, Evren saydamlaştı ve fotonlar da rahatça ilerleyebildiler. O günlerde yüksek enerjilerle yola çıkan bazı fotonlar 13,75 milyar yıl boyunca soğuyan ve genişleyen Evren'de enerjilerinin büyük bölümünü yitirdiler ve elektromanyetik tayfın görünür bölümünden önce kızılötesi bölümüne, sonra da mikrodalga bölümüne düştüler. Enerjileri iyice azaldı ve dalga boyları büyüdü.

Bu ışıma bugün Dünya'dan mikrodalga şeklinde Evren'in her yanından gelen bir arka plan (fon) ışıması olarak algılanıyor. Zaten adı da buradan geliyor: Kozmik mikrodalga arka plan ışıması.

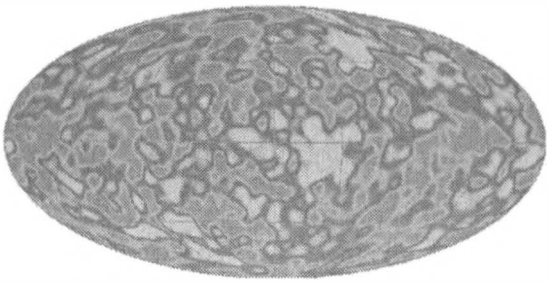
Kozmik mikrodalga arka plan ışıması Büyük Patlama'nın en güçlü kanıtlarından biridir; ondan arta kalan ışımadır; bu nedenle ona "fosil ışıma" da denir. Böyle bir şeyin var olması gerektiği 1948'de George Gamow ve çalışma arkadaşları Ralph Alpher ile Robert Herman'ın yayımladığı bir makalede ortaya atılmıştı. Gamow ve arkadaşları Büyük Patlama'dan milyarlarca yıl sonra Evren'i kaplayan ~5 K'lik bir ışıma olması gerektiğini hesaplamışlardı.

Ancak o dönemde Büyük Patlama kuramı Evren'i açıklayan tek kuram olarak görülmüyordu; Evren'in yapısını ve gelişimini açıkladığı ileri sürülen bazı başka kuramlar da vardı. Bu nedenle o dönemde Evren'e yayılmış bir mikrodalga ışıma konusu bilim insanlarına pek ilgi çekici gelmedi. Ayrıca mikrodalga araştırmaları da daha çok yeni başlamıştı. Sonuç olarak Gamow ve arkadaşlarının ortaya attığı bu konuda araştırma yapılmadı.

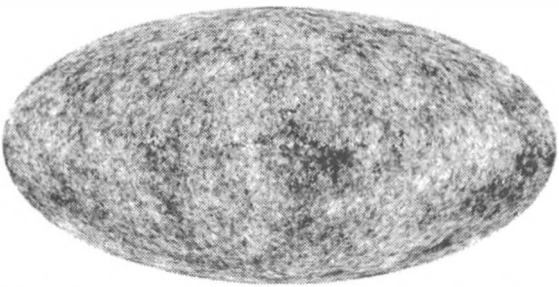
1964'te uydu haberleşmesi ve birtakım radyoastronomi deneyleri yapmaya çalışan -fakat radyoteleskoplarına Evren'in her yanından gelen hafif bir gürültüden kur-



1964'te gözlenen kozmik mikrodalga arka plan ışıması haritası.



COBE'nin gözlediği kozmik mikrodalga arka plan ışıması haritası.



WMAP'in gözlediği kozmik mikrodalga arka plan ışıması haritası.

Kozmik mikrodalga arka plan ışımasını ölçmek için, yer gözlemleri, balonlu gözlemler, uzaydan yapılan gözlemler ve bunların çeşitli kombinasyonlarını içeren birçok deney yapılmıştır. Bunlardan en önemlisi COBE uydusuyla yapılan ve kozmik mikrodalga arka plandaki sıcaklık anizotropilerinin saptandığı deneydir. WMAP uydusunun verileriyle oluşturulan kozmik mikrodalga arka plan haritası da bugüne kadar elde edilenlerin en iyisidir.

tulmayı bir türlü başaramayan- radyoastronomlar Arno Penzias ve Robert Wilson, Bell Laboratuvarları'nın New Jersey'deki güçlü radyoteleskopuyla bu ışımayı yanlışlıkla keşfettiler. Büyük Patlama'ya ilişkin en güçlü kanıtı keşfettikleri için 1978'de Nobel Fizik Ödülü'nü aldılar. Penzias ile Wilson yaptıkları ölçümlerde kozmik mikrodalga arka plan ışımasının ya da kısaca Evren'in sıcaklığının 2,725 K olduğunu bulmuşlardı. Gamow ve çalışma arkadaşları, 25 yıl önce, temel atom fiziği yasalarından yola çıkarak Evren'deki en büyük ölçekteki olguya, daha doğrusu onun 13,75 milyar yıllık bir sürecinin sonundaki değerine ilişkin bir tahminde bulunmuşlar ve yalnızca ~2,3 K yanılmışlardı. Bu keşif sayesinde Büyük Patlama kuramı, öteki kuramlara göre yerini çok sağlamlaştırdı ve zamanla Evren'i açıklayan tek kuram haline geldi.

Kozmik mikrodalga arka plan ışıması ilk keşfedildiğinde, aygıtların duyarlıkları onu Evren'in her yanında aynı olarak algılayabilecek düzeydeydi. Kasım 1989'da fırlatılan ve Yer'den 900 km yukarıda bir yörüngeye oturtulan COBE uydusundaki çok duyarlı aygıtlarla kozmik mikrodalga arka plan ışıması yeniden incelendi. Işımanın aslında o kadar da pürüzsüz (her yanda tümüyle aynı) olmadığı ortaya çıktı. Gerçekte Evren'in bugünkü topaklanmış yapısından yola çıkılarak zaten uzak geçmişte de böyle olması gerektiği düşünülüyordu. Yüz binde bir duyarlılıkla Evren'in ilk dönemlerindeki bu sıcaklık farkları gözlemlendi; o dönemde de Evren homojen ve izotropikti. Elde edilen verilere göre Evren'in Büyük Patlama'dan 380.000 yıl sonraki haritası çıkartıldı. Bu harita Evren'in o dönemdeki farklı yoğunlukta olan, sıcak ve soğuk bölgelerini gösteriyordu. COBE ekibi bu ikonik haritaya Evren'in bebeklik fotoğrafı adını verdi. Kozmik mikrodalga arka plan ışımasındaki çok çok küçük bu yoğunluk farklarına, Büyük Patlama anından sonraki 10^{-36} saniyede başlayıp 10^{-33} ile 10^{-32} saniye arasında sona eren ve Evren'in hacminin 10^{78} kat büyüdüğü şişme (enflasyon) evresindeki kuantum dalgalanmalarının yol açtığı düşünülüyor.

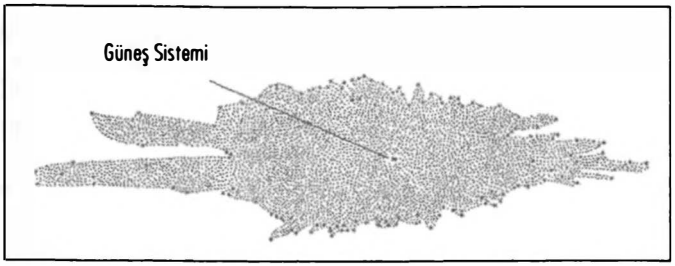
Bu haritada aslında günümüz Evren'inin o dönemde atılmış tohumları görülüyordu. Evren'e şekil veren kütleçekim kuvveti sayesinde, ileride, o yüz binde bir daha yoğun olan gölgelerde, ilk yıldızlar ve gökadalar oluşacaktı. Gerçekten de çok değil yaklaşık 500 milyon yıl sonra, bunlar oluşmaya başladı.

42 | Evren ne kadar büyüktür?

1838'de Alman gökbilimci Friedrich Bessel yakın yıldızlardan bazılarının uzaklığını ilk kez doğru ölçene kadar Evren'in ne kadar büyük olduğuna ilişkin hiç kimsenin bir fikri yoktu. Bessel, 61Cygni adlı yıldızın 0,31 saniyelik bir paralaksı olduğunu (artık 0,287 saniye olduğunu biliyoruz) ölçtü ve yaptığı hesaba göre 61Cygni'nin 93 trilyon kilometreden, yani 10 ışık yılından biraz daha uzak olduğunu buldu. Böylece geceleri gökyüzünde nokta kadar gördüğümüz yıldızların bize ve birbirlerine olan uzaklığı hakkında ilk kez bir fikrimiz oldu. 20. yüzyılın başlarına kadar da Evren'in yalnızca Samanyolu'ndaki milyarlarca yıldızdan oluştuğu ve durgun olduğu düşünüldü.

Hubble 1923'te Andromeda Bulutsusu'nun Samanyolu'nun içinde yer alamayacak kadar uzakta olduğunu keşfedince, bir gecede Evren'imizin boyutları trilyonlarca kat büyüyüverdi. Andromeda da tıpkı Samanyolu gibi başlı başına bir gökadaydı ve milyarlarca yıldızdan oluşuyordu. Aslında sarmal bulutsu sanılan yapıların hepsi uzak birer gökadaydı ve Evren'de onlardan milyarlarca vardı.

21. yüzyıla geldik ve aradan yaklaşık yüzyıl geçmesine karşın, gökbilimciler Evren'in tam olarak ne kadar büyük olduğunu hâlâ bilemiyor; belki de hiç bilemeyecekler. Sonsuz büyük olma olasılığı var ama, bilim insanları sonlu bir büyüklüğü olduğunu düşünme eğilimindeler.

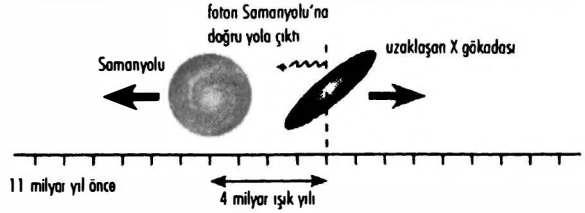


William Herschel'in 1785'te yaptığı bu "Samanyolu haritası". Çok uzun bir süre Evren'in yalnızca Samanyolu'ndan ibaret olduğu düşünülmüştür.

Her ne kadar Evren'in bir sınırı yoksa ve sonsuz büyüklükte olabilirse de, bizim hakkında bilgi sahibi olabildiğimiz (gelen ışıklar sayesinde gözleyebildiğimiz) sınırlı bir Evren bölgesi vardır. Buna "gözlemlenebilir Evren" denir. Gözlemlenebilir Evren, merkezinde Dünya'nın bulunduğu dev bir balon gibi düşünülebilir. Bunun içinde ışıklarının bize ulaşması 13,75 milyar yıldan daha kısa süren bütün gökadalar yer alır. Bu da Evren'in var olduğu -ilk ışıkların yola çıktığı- süredir.

Evren'in sürekli genişliyor olması, "uzaklık" olgusunu, özellikle uzak nesneler için oldukça karmaşıklaştırır. Gökbilimciler büyük uzaklıkları anlatmak için genellikle ışığın yolculuk ettiği süreyi kullanırlar. Bu da ışığın, kaynağını terk ettiği anla bize ulaştığı an arasında geçen zamandır. Ama ışığın yolculuğu sırasında Evren genişlemiştir; yol almakta olan ışığın hem önündeki hem de arkasındaki Evren. Bir başka deyişle o bize doğru gelirken Evren'in genişlemesi nedeniyle aramızdaki uzaklık bir miktar artmıştır. O nedenle ışık, nesneyi terk edip bize doğru yola çıktığı anda, bizimle ışık kaynağının arasındaki uzaklık, ışık gözümüze geldiği andaki uzaklıktan daha kısadır -geçmişte. Bununla birlikte ışık kaynağının şu anki konumu da gönderdiği ışığın, ışık hızıyla aldığından daha da uzaktır. Çünkü o da gönderdiği ışık bize doğru ilerlerken olduğu yerde sabit kalmamış, Evren genişlediği için ters yönde ilerlemiştir.

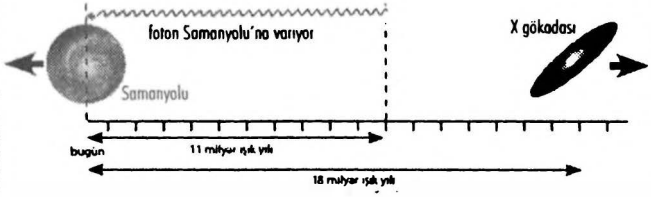
Bu hesaplama yöntemiyle gözlemlenebilir Evren'in büyüklüğü hesaplanmıştır. Işığı 13,7 milyar yıl önce yola



On bir milyar yıl önce X gökadasından çıkan bir ışık fotonu Samanyolu'na doğru ilerlemeye başlamıştır. O dönemde iki gökada arasındaki uzaklık yalnızca 4 milyar ışık yılıdır.



Altı milyar yıl sonra foton hâlâ Samanyolu'na varamamıştır; çünkü o yol alırken Evren genişlemiş ve ulaşmaya çalıştığı Samanyolu ondan uzaklaşmıştır.



Foton Samanyolu'na ulaşmış ve Dünya'daki bir gözlemci de X gökadasını 11 milyar ışık yılı ötede görmüştür. Ancak foton Samanyolu'na doğru ilerlerken Evren'in genişlemesi nedeniyle X gökadası Samanyolu'ndan daha da uzaklaşmıştır. Fotonun gözlemcinin gözüne ulaştığı anda X gökadasıyla Samanyolu'nun arasındaki uzaklık 18 milyar ışık yılına çıkmıştır.

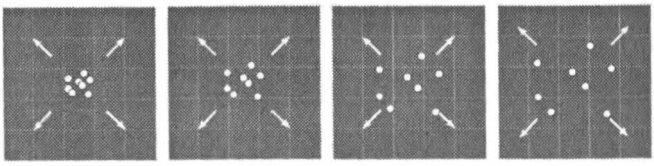
çıkmış ve gözümüze ulaştığını düşündüğümüz bir nesnenin şu anki uzaklığı 46 milyar ışık yılıdır. Bir başka deyişle gözlemlenebilir Evren'in (balonun) yarıçapı 46 milyar ışık yılıdır. Dolayısıyla gördüğümüz bütün gökadalar gerçekte (şu anda) 92 milyar ışık yılı çapı olan bir kürenin içinde yer almaktadır. Ama en uzağı bize 13,7 milyar ışık yılı ötedeymiş gibi görünür.

43 | Evren'in genişlemesi ne demektir?

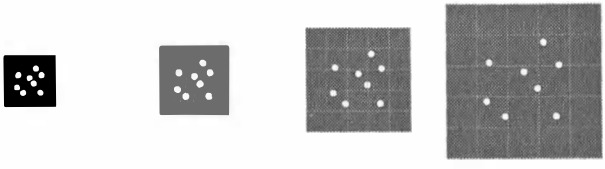
1929'da feşfedilen Evren'in genişliyor olduğu gerçeği, insanın kendi kökenine ilişkin (nereden geliyoruz?) en önemli keşiflerden biridir. Evren'in genişlemesi Büyük Patlama modelinin temelini oluşturur; onun çıkış noktasıdır. Peki, Evren'in genişlemesi ne demektir? Evren neyin içinde genişler? Evren'in genişlemesi Güneş Sistemi'nin, hatta Dünya'nın da genişliyor, büyüyor olduğu anlamına gelir mi?

Genişleme, gerçekte iyi bildiğimiz bir kavramdır. Bir ülkenin sınırlarının genişlemesini ya da bir petrol tankerinden sızan petrolün kirlettiği alanın genişlemesini kolayca anlar ve aklımızda canlandırabiliriz. Ülkenin ve deniz yüzeyindeki petrolün sınırları (kenarları) ve bir merkezi vardır. Bu sınırların ötesinde de genişlenebilecek bir bölge bulunur. Ancak Evren'in genişlemesi bildiğimiz şekilde olmaz. Bunun nedeni aslında Evren'in kendisinin, bildiğimiz şeylere pek benzemiyor oluşudur. Örneğin Evren'in bir merkezi ya da onu kuşatan sınırları yoktur. Bununla birlikte, Evren'in dışında da genişleyeceği bir bölge yoktur. Daha doğrusu Evren'in dışı diye bir yer bulunmaz. Bütün gökadalardaki ve gökadalar arası uzaydaki madde, enerji, karanlık madde ve karanlık enerji hep Evren'in içindedir. Bir merkezi ve sınırları bulunmayan Evrenimiz de sürekli ve artan bir hızla büyür, genişler.

Evren'de hangi uzak gökadaya bakarsak bakalım, onun bizden uzaklaştığını görürüz. Ancak daha yakın olanlar daha yavaş uzaklaşırken, uzaktakiler daha hızlı ve en uzaktakiler de en hızlı uzaklaşır. Bu durumun bazı istisnaları vardır. Yerel Grup gibi gökada gruplarındaki ya da kümelerdeki gökadalar birbirlerine kütleçekimsel olarak bağlıdır. Grup içinde değişik yönlerde ilerleyebilirler. Gökadaların küme içindeki bu tür hareketleri Evren'in düzgün genişlemesinden "sapma"lar olarak görülür. Bir



Bu çizimlerde, belli bir hacmin içinde gerçekleşen konvansiyonel bir patlama modellenmiştir. Büyük Patlama ile başlayan Evren'in genişlemesi bu şekilde olmaz.

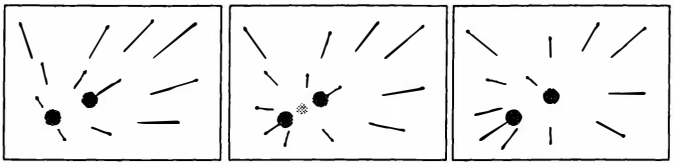


Bu çizimlerde, içerdiği her şeyle birlikte genişleyen Evren görülüyor. Genişleme bir merkezden dışa doğru değil, her yerde aynı şekilde oluyor. Evren'in dışındaysa hiçbir şey yok.

başka deyişle küme içindeki kütleçekim etkileri Evren'in genişlemesine karşı işler. Aynı durum gökadaların içindeki madde için de geçerlidir. Yani gökadalardaki kütleçekim etkisi Evren'in genişlemesine karşı durur ve hiçbir gökada genişlemez.

Bütün gökadaların bizden uzaklaşıyormuş gibi görünmesi garip bir durumdur. Sanki Samanyolu Evren'in merkezindeymiş ve bütün gökadalar ondan kaçıyormuş izlenimi uyandırır. Bir de eğer zamanı geri alabilsek, tüm gökadalar Samanyolu'nda buluşacakmış gibi gelir. Bir başka deyişle Evren'in merkezindeymişiz duygusuna kapılırız. Ne var ki, durum hiç de öyle değildir. Bu tümüyle bir yanılsamadır.

Konvansiyonel patlamalarda patlamanın bir merkezi olur. Merkeze yaklaştıkça madde yoğunluğu, sıcaklık ve basınç artar. Merkezden uzaklaştıkça maddelerin saçıldığı hacim büyür, madde yoğunluğu ve sıcaklık düşer. Büyük Patlama'yla başlayan Evren'in genişlemesi, konvansiyonel patlamanın bu betimlemesine uymaz; çok farklıdır. Büyük ölçekte Evren'de herhangi bir bölgede madde yoğunlaşması gözlenmez, Evren homojendir.



Gökadaların birbirinden uzaklaşma hızı uzaklıkla birlikte artar. Bu ilişkiye Hubble Yasası denir. Bu garip durum Samanyolu sanki Evren'in merkeziymiş gibi, hatta Büyük Patlama, Samanyolu'nda olmuş da o nedenle bütün gökadalar bizden uzaklaşıyormuş gibi bir fikre kapılmamıza yol açabilir. Ama durum böyle değildir. Çünkü bütün gökadalardan bakıldığında, aynı görüntüyle karşılaşılır. Yukarıdaki ilk resimde A gökadasından bakıldığında sanki öteki bütün gökadalar bizden uzaklaşıyormuş gibi görülür. Şimdi Evren'e baktığımız noktayı ikinci gökadaya doğru kaydıralım; ikinci resimde iki gökadanın ortasından bakılıyor. Orta noktada yine bütün gökadaları bizden uzaklaşıyormuş gibi görürüz. Sonunda B gökadasına gelelim ve oradan öteki gökadalara bakalım. Yine aynı şeyi görürüz: Bütün gökadaların bizden uzaklaştığını.

Evren'in sıcaklığı da her yönde aynıdır (şimdilik 2,7 K). Yani Evren'in bir merkezi ve sınırları yoktur. Evren her yönde aynıdır.

Bu nedenle Samanyolu'nun Evren'in merkezindeymiş gibi algılanması bir yanılsamadır. Gerçekte hangi gökadadan öteki gökadalara bakılsa aynı manzarayla karşılaşılır: Bütün gökadalar uzaklaşıyor görünür. Gökadaların birbirlerinden uzaklaşıyor olması bir balonun üzerine tutturulmuş kâğıttan minik gökadaların balonun (bu örnekte iki boyutlu bir evrene karşılık gelir) şişirilmesiyle birlikte, birbirlerinden uzaklaşmasına benzer.

Genişleyen Evren kuramına göre, gerçekte Evren bir boşluğun ya da uzayın içinde genişliyor değildir. Kendisi genişler. Evren'in dışında hiçbir şey yoktur; Evren'in dışı diye bir şey yoktur. Gökadalar da gerçekte Evren'de büyük hızlarla ilerlemez. Onlar aslında uzayda durur, ancak aralarındaki uzay genişler ve uzaklık Evren'in genişlemesinden dolayı artar. Bu durum, fırında kabaran bir üzümlü kekin üzümlerinin kendileri hareket ettiği için değil de, kek kabardığı için birbirlerinden uzaklaşmasına benzetilebilir.

44 | Evren kaç yaşındadır?

Çok değil 20 yıl önce Evren'in yaşının 10-20 milyar arasında olduğu söylenirdi. Çünkü Büyük Patlama'nın gerçekleştiği tarih ancak bu düzeyde bir kesinlikle hesaplanabiliyordu. 1990'lı yılların sonunda kesinlik biraz daha arttı ve 12-15 milyar aralığına gelindi. Ocak 2003'ten bu yana Evren'in yaşının kaç olduğundan neredeyse eminiz. Bu çok değerli veriyi Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası'na (WMAP) borçluyuz. Onun taşıdığı aygıtların mikrodalga ışımasındaki sıcaklık değişimlerine dayanarak çıkarttığı Evren haritası sayesinde, Evren'in yalnızca yaşına değil, genişleme hızına, hatta temel içeriklerine ilişkin de oldukça duyarlı veriler elde edilmiştir.

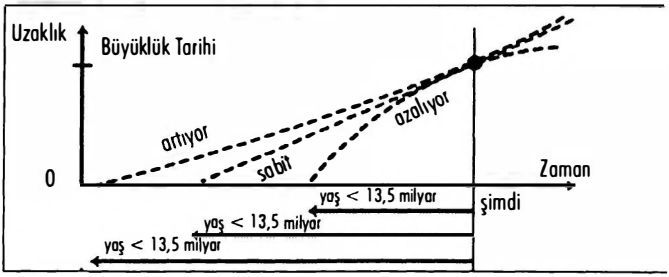
Evrenimizin genişlediğinin yaklaşık 90 yıldır farkındayız. Artık genişleme hızını da oldukça "kesin" biliyoruz. Evren'in bugünkü genişleme hızını geçmişe yönelik kullanarak, Büyük Patlama'nın günümüzden ne kadar zaman önce olduğunu hesaplayabiliyoruz. Gökbilimciler Evren'in genişleme hızını Hubble Değişkeni (eskiden Hubble Sabiti denirdi) diye adlandırdıkları bir sayıyla anlatırlar.

Hubble Değişkeni, gökadaların uzaklıklarıyla hızları arasındaki ilişkiyi ortaya koyar ve H_0 simgesiyle gösterilir.

$$\text{genişleme hızı} = H_0 \times \text{uzaklık}$$

Evren'in genişleme hızı zaman içinde değişmiştir. O nedenle H_0'daki sıfır, değişkenin günümüzdeki değerini göstermek için kullanılır. Değişkenin değerini belirlemek oldukça zordur; çünkü gökadalar arası uzaklıkların ölçümüne dayanır. Gökadalar arası uzaklıkları duyarlı bir şekilde ölçmek de gerçekten zor bir iştir.

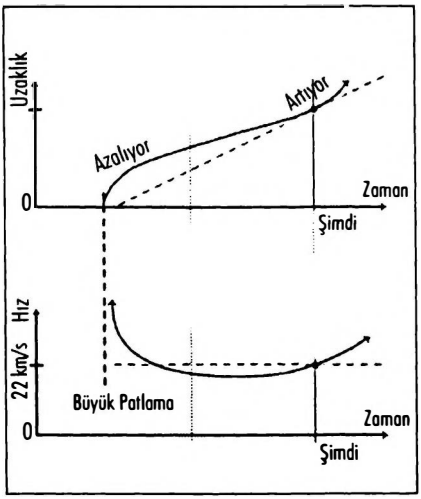
Edwin Hubble'ın kendi gözlemlerine dayanarak bulduğu ilk değer 150 km/s/milyon ışık yılıydı. 1994'te Hubble Uzay Teleskopu'nun, yakın bir gökadaya yönelik gözlemleri sonucunda 24,5 km/s/milyon ışık yılı olduğu



Yukarıdaki grafikte gökadalar arası uzaklıkların artışının -Evren'in genişleme hızının- zamanla değişimi görülüyor. Genişleme sabit bir hızla (22 km/s/milyon ışık yılı) olsaydı, Evren'in yaşı 13,5 milyar olacaktı; eğer geçmişten azalarak gelip, azalarak devam etseydi, o zaman Evren'in yaşının 13,5 milyardan küçük olması gerekecekti; eğer artarak gelip, artmaya devam etseydi, o zaman da 13,5 milyardan daha yaşlı olması gerekirdi. Ne var ki bu üç senaryo da gerçekleşmemiştir. Gerçekleşen durum genişleme hızının belli dönemlerde arttığı belli dönemlerde de azaldığı karma bir durumdur.

hesaplanmıştı. En son gözlemler doğrultusunda Hubble Değişkeni'nin 22±2 km/s/milyon ışık yılı olduğu kabul ediliyor. Bu şu anlama gelir: On milyon ışık yılı ötedeki bir gökada, bizden saniyede 220 km'lik bir hızla uzaklaşır; 20 milyon ışık yılı ötedeki bir gökadaysa saniyede 440 km'lik bir hızla uzaklaşır; 300 milyon ışık yılı ötedeki bir gökada da saniyede 6600 km'lik bir hızla uzaklaşır. Hubble Değişkeni'nden yararlanarak yapılan basit hesapla (Hubble Değişkeni'nin tersi, doğrudan Evren'in -kabacayaşını verir), Evren'deki her şeyin tek bir noktada toplandığı anın, yani Büyük Patlama anının günümüzden 13,5 milyar yıl önce gerçekleştiği sonucuna ulaşılır. Bir başka deyişle Evren'imiz 13,5 milyar yaşındadır.

Ancak bu hesap, büyük bir ön kabul ile birlikte yapılmıştır. O da Evren'in genişleme hızının Evren'in başlangıcından bu yana hep aynı olduğu ön kabulüdür. Halbuki Evren'in genişleme hızı zamanla değişmiş olabilir, ki gerçekten de değişmiştir. Gökbilimciler Evren'in geçmişte bir dönem çok hızlı genişlediğini, sonra bu hızın yavaşlayıp bugünkü düzeyinin de altına indiğini ve sonra yeniden arttığını bulmuşlardır. Geçmişte Evren'in genişleme hızının düşük ve yüksek olduğu dönemlerin aslında bir-



Alttaki grafikte Evren'in genişleme hızının zaman içindeki değişimi görülürken üstteki grafikte de buna karşılık gelen uzaklık artışı görülüyor. Buna göre bugün 22 km/s/milyon ışık yılı olan Evren'in genişleme hızı, gelecekte daha da artacak ve gökadalar birbirlerinden daha hızlı uzaklaşacak. 1999'da ortaya çıkan bu olgu aslında bilim insanlarının çoğunun karşılaşmayı hiç beklemediği bir olguydu. Onlar Evren'in genişlemesinin süreceğini, ama genişleme hızının ya azalacağını ya da sabit kalacağını bulmayı umuyorlardı.

birine yakın uzunlukta olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuçta yapılan hesaplara göre Büyük Patlama'nın günümüzden 13,75±0,11 milyar yıl önce olduğu anlaşılmıştır. Bir başka deyişle Evren'imizin yaşı 13,75 milyardır.

45 | Evren'deki uzaklıklar nasıl ölçülür?

Evren'deki uzaklıkları olabildiğince kesin bilmenin büyük önemi vardır. Çünkü uzaklıkları doğru bilmek yalnızca Evren'in ne kadar büyük olduğunu değil, aynı zamanda onun birtakım temel özelliklerini de anlamamızı sağlar. Her şeyden önce, bu sayede onun genişleme hızını ve yaşını doğru biliriz. Ayrıca uzaklıklar Evren'de ne kadar geçmişe baktığımızı da söyler.

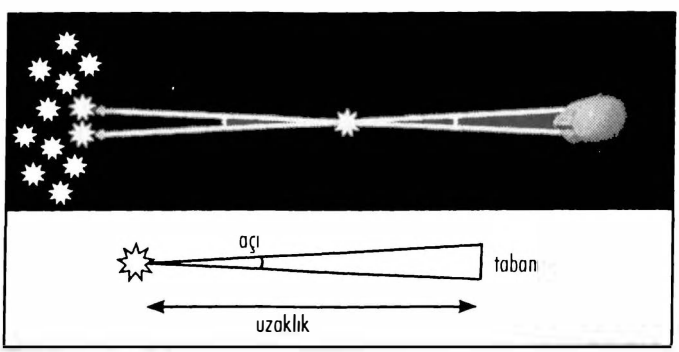
Evren'de uzaklıklar ışık yılı birimiyle ölçülür. Bir ışık yılı çok büyük bir uzunluktur; yaklaşık 9,4 trilyon kilometreye karşılık gelir. Evren'deki uzaklıklar da onlarca, yüzlerce, hatta milyonlarca ışık yılı düzeyindedir. Acaba bu kadar kolay yazılan, ama gerçekte bu kadar büyük olan

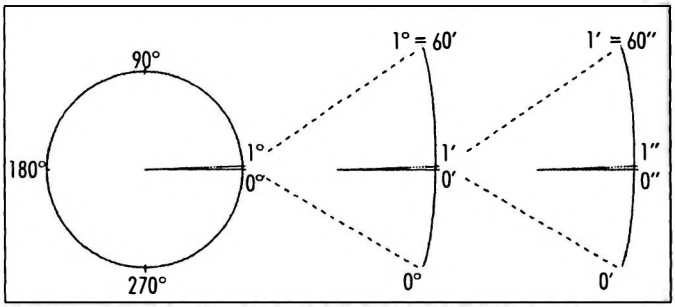
uzaklıkları nasıl ölçüyoruz? Gece gökyüzünde yalnızca küçük birer ışık noktası olarak görünen yıldızların uzaklığını nasıl hesaplıyoruz?

Evren'de uzaklıklar ölçülürken tek bir yöntem kullanılmaz. Yakın gökcisimlerinin uzaklıklarını ölçerken kullanılan yöntemler ayrıdır, uzak gökcisimlerinin uzaklıklarını ölçerken kullanılan yöntemler ayrıdır. Bazı gökcisimlerinin uzaklıklarıysa hem yakın hem de uzak ölçümlerde kullanılan yöntemlerle bulunabilir. O zaman uzak gökcisimlerinin uzaklıklarını ölçerken kullanılan yöntem, yakın ölçme yöntemiyle kalibre edilmiş olur. O da daha uzak gökcisimlerinin ölçümünde kullanılan yöntemlerin kalibrasyonunda kullanılır. Böylece birbirlerinin kesinliğine dayanan yöntemlerden oluşan bir "uzaklık merdiveni" ortaya çıkar. Bu merdivenin en alt basamağında en yakın gökcisimlerinin uzaklıklarını ölçmede kullanılan paralaks ya da üçgenleme yöntemi bulunur.

Paralaks yöntemi

Kolunuzu öne uzatın ve başparmağınıza önce sol gözünüzü kapatıp sağ gözünüzle bakın; sonra tersini yapın. İki bakışınızda başparmağınızı arka plandaki nesnelere göre farklı noktalarda görürsünüz. Parmağınızı gözünüze yaklaştırdığınızda, bu iki nokta arasındaki uzaklık açılır, parmağınızı uzaklaştırdığınızda açıklık kapanır. Elinizde çok küçük tabanlı (göz açıklığınız), çok uzun bir yüksekliği olan (kolunuz) ve çok dar açılı bir üçgen vardır.

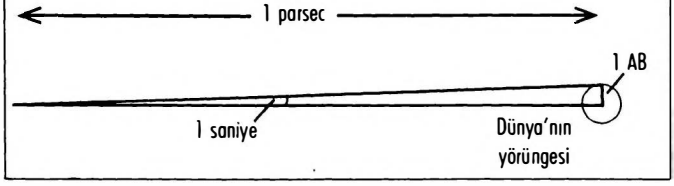


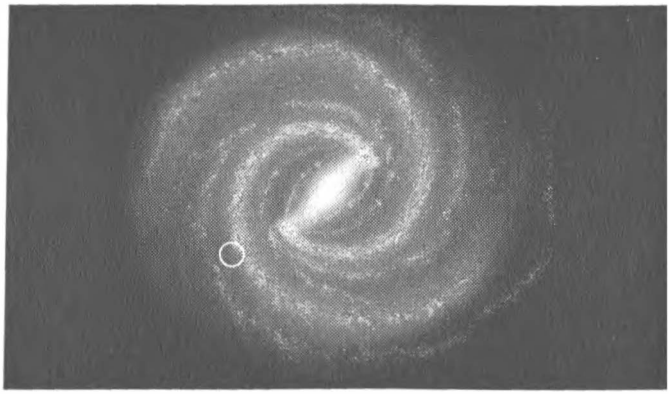


Bir çemberin 360'da birine bir derece diyoruz. Bir derecenin 60'da biri dakikadır. Bir dakikanın 60'da biri de, yani bir derecenin 3600'de biri bir saniyedir.

Lise geometrisine dayanarak, bunlardan ikisi bilindiğinde, üçüncü hesaplanabilir. Yakın yıldızların uzaklığı işte, bu basit yöntemle hesaplanır. Üçgene taban olarak Dünya'nın Güneş'e uzaklığının iki katı (yörünge üzerinde altı ay arayla bulunduğu konumların arasındaki uzaklık) kullanılır: 2 AB. Arkadaki yıldızlara göre yakın bir yıldız belirlenir. Dünya, Güneş'in çevresinde dönerken altı ay aralıklı, Güneş'e göre simetrik iki noktadan yıldıza bakılır ve arka plandaki yıldızlara göre değişen görüntülerinin arasındaki açı belirlenir. Dünya'nın iki konumu arasındaki 2 AB'lik uzaklıktan ve bu aşırı küçük açıdan yararlanılarak, çok çok dar açılı üçgenin yüksekliği (yani Güneş'e olan uzaklığı) hesaplanır. Bu, kuramsal olarak son derece basit olmasına karşın, uygulaması çok zor bir yöntemdir.

Gökbilimcilerin ışık yılını kullanmak yerine genellikle yeğledikleri bir başka uzaklık birimi vardır: parsec (pc). Bu terim paralaks ve arcsecond (saniye) sözcüklerinin birleşiminden oluşan İngilizce bir kısaltmadır: par-sec. Bir parsec, tabanı 1 AB ve açısı da bir saniye olan üçgenin yüksekliğine (yani yıldızın uzaklığına) karşılık gelir ve 3,26 ışık yılıdır. 1 parsec=3,26 ışık yılı = ~30 trilyon kilometre.





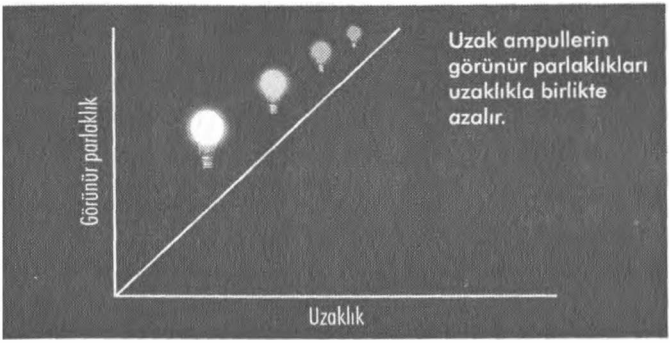
En duyarlı aygıtlarla bile paralaks yöntemiyle uzaklıklarını hesaplayabileceğimiz yıldızlar (her ne kadar sayıları milyonları bulsa da), gökadamızın ancak küçük bir bölgesini oluşturur. Daha uzak yıldızların uzaklıklarını hesaplayacak başka yöntemler gerekir.

Çünkü çok küçük açıların büyük duyarlılıkla ölçülmesini gerektirir.

1838'de Alman matematikçi ve gökbilimci Friedrich Bessel dönemin en duyarlı gözlem aygıtlarını son derece özenle kullanarak ilk paralaks ölçümlerini yapmıştı. Böylece en yakın yıldızların da birkaç ışık yılı ötede olduğu ortaya çıkmıştı.

Uzaydaki uzak gökcisimlerinin paralaks açılarını bulmak çok ince bir iştir. Ancak bu iş için de çok duyarlı bazı aygıtlar geliştirilmiştir. Atmosferin olumsuz etkilerine karşın, yeryüzünden yapılan ölçümlerde, bir saniyenin yüzde biri büyüklüğündeki açılar ölçülebilmektedir. Atmosferin üstüne çıkıldığındaysa bu duyarlılık daha da artar. 1990'lı yıllarda ESA'nın Hipparcos adlı gözlem uydusu 1000 parsec çapındaki bir kürede 120.000 yıldızın paralaks açısını saniyenin binde biri duyarlılıkla ölçmüştür. 2012'de fırlatılacak olan Gaea adlı uyduysa, bir milyar yıldızı (gökadamızın yüzde birini) inceleyecek ve bir saniyenin 20 milyonda biri duyarlılıkta ölçümler yapacaktır.

Uzaklık merdiveninin bundan sonraki basamakları, gökcisimlerinin uzaklıklarının, parlaklıklarına göre belirlenmesine dayanır. Birbirinin aynı, 100 Watt'lık beş ampulü birbirlerinden üçer metre arayla bir hizada dizelim. Gece



olunca ampulleri yakalım. Bize uzak olan ampullerin uzaklıkla orantılı olarak parlaklıklarının da azaldığını hemen fark ederiz. Ampullerin gerçek (mutlak) parlaklıklarını bildiğimiz ve görünür parlaklıklarını da ölçebildiğimiz sürece, yine basit bir denklemle uzaklıklarını hesaplayabiliriz.

$$\text{Görünür parlaklık} = \text{mutlak parlaklık} / 4\pi d^2$$

Bir yıldızın 10 parsec öteden algılanan parlaklığı o yıldızın mutlak parlaklığıdır. Gökbilimciler mutlak parlaklıklarını bildikleri yıldızları "standart ışık kaynağı" olarak kullanır. Aslında uzak gökcisimlerinin uzaklıklarının hesaplanmasında da bu yaklaşım kullanılır; ancak yararlanılan standart ışık kaynakları, uzaklığa göre değişir

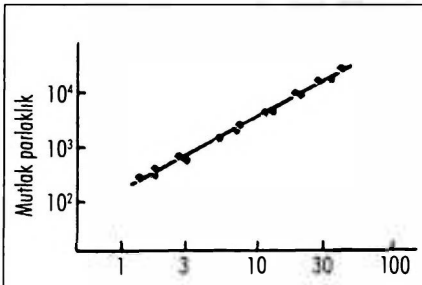
Sefeit değişkenleri yöntemi

Çıplak gözle gece gökyüzüne baktığımızda, yıldızların parlaklıkları hep aynıymış, hiç değişmiyormuş gibi gelir. Halbuki bir dürbün ya da küçük bir teleskopla yapılan gözlemlerde, yıldızlardan bazılarının parlaklıklarının periyodik olarak değiştiği hemen fark edilebilir. Parlaklığı değişen yıldızlardan en ünlüsü 1700'lü yılların sonunda keşfedilen, 891 ışık yılı ötedeki Delta Sefeus'tur ve kendi adıyla "sefeitler" (ya da "sefeit değişkenleri") olarak anılan bir grup oluşturur. Bunlar yaşamlarının son evresine girmiş, kararsızlaşmış ve düzenli aralıklarla (periyodik olarak) küçülüp büyüyen, bir anlamda "zonklayan" yıldızlardır. Küçülüp büyüme dönemlerinde doğal olarak parlaklıkları da değişir. 1908'de bu yıldızların parlaklık-

larıyla değişim periyotları arasında bir ilişki olduğu fark edilmiştir: Parlak olanlar yavaş yavaş değişir, periyotları uzundur; sönük olanlarsa hızlı değişim gösterir, periyotları kısadır. Bu çok değerli bilgi sayesinde uzak yıldızların uzaklıklarını da ölçmek kolaylaşmıştır.

Paralaks yöntemi kullanılarak yakındaki sefeitlerden bazılarının gerçek uzaklıkları saptanmış ve bu yeni yöntemin kalibrasyonu yapılmıştır. Sefeitler çok güçlü yıldızlardır. Güneş'ten ortalama olarak 100-1000 kat daha güçlüdürler. Örneğin Kutup Yıldızı (Polaris) 4 günlük periyotta parlaklığı yüzde 10 değişen bir sefeittir. Sefeitler çok uzaktan görülebilir. Samanyolu'nun komşusu olan gökadalardaki sefeitleri saptamak hiç zor değildir. Zaten Edwin Hubble da ünlü çalışmasında Andromeda'nın Samanyolu'nun içindeki bir bulutsu olamayacak kadar uzakta yer aldığını sefeitlerden yararlanarak ortaya çıkartmıştır. Bu yöntemin zor yanlarından biri, yıldızlar arası ortamdaki tozun etkilerinin üstesinden gelmektir. Toz, yıldızın görünür parlaklığının daha az algılanmasına yol açar. Ama farklı dalga boylarındaki ışıklarla yapılan gözlemler sayesinde bu sorun giderilir.

Hubble Uzay Teleskopu'nun (HUT) temel görevlerinden biri, yakın gökadalardaki sefeitleri bulup uzaklıklarını hesaplamaktı. Onun sayesinde sefeitlerin görülebilme uzaklığı 10 kat arttı; yani 1000 kat daha büyük bir hacimdeki sefeitler görülebilir oldu. 1999'da sonlandırılan bu görevde HUT, 65 milyon ışık yılı içindeki 18 gökadada 800 sefeit saptayıp uzaklıklarını ölçmüştür. Uzaklıkla-



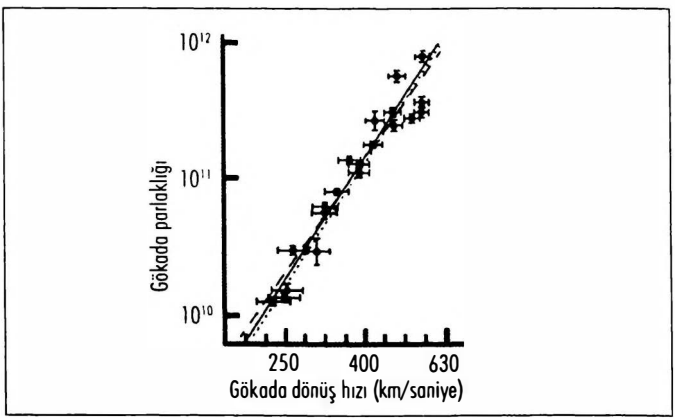
Uzaktaki bir sefeidin parlaklığının hangi periyotta değiştiğini gözlemlemek kolaydır. Periyodu bilinen sefeidin mutlak parlaklığı grafikten çıkartılır. Gözlem sırasında o sefeidin görünür parlaklığı da ölçülür. Denklem sayesinde yıldızın uzaklığı bulunur.

rı oldukça duyarlı bir şekilde hesaplanan bu 18 gökada, uzaklık merdiveninde bir üst basamakta yer alan yöntemin kalibrasyonunda kullanılmıştır.

Tully-Fischer yöntemi

Brent Tully ve Rick Fischer'in geliştirdiği ve Tully-Fischer Yöntemi olarak bilinen uzaklık hesabı, gökadaların mutlak parlaklıklarıyla kendi eksenlerindeki dönüş hızları arasındaki ilişkiye dayanır. Büyük ve parlak gökadalar daha hızlı dönerken, küçük ve sönük gökadalar daha yavaş döner. Doppler etkisi kullanılarak gökadanın dönüş hızını saptamak kolaydır. O hızdaki bir gökadanın mutlak parlaklığı grafikten çıkartılır. Gözlem sırasında gökadanın görünür parlaklığı zaten elde edilir. Basit denklemimiz sayesinde çok uzak gökadaların uzaklıkları da kolayca hesaplanır.

Ne var ki Tully-Fischer yöntemiyle ancak birkaç yüz milyon ışık yılı içindeki gökadaların uzaklıkları doğru hesaplanabilmektedir. Kuşkusuz bunlar çok büyük uzaklıklardır; ancak gözlemlenebilir Evren'in 13,7 milyar ışık yıllık yarıçapı göz önüne alındığında, ilk binde birlik hacimden bile küçük bir bölge içinde kaldıkları görülür. Gerçekten uzak, örneğin 10 milyar ışık yılı ötedeki gökadaların uzaklıklarını ölçmek için muazzam parlaklıkta ve mutlak parlaklığını bildiğimiz yeni standart ışık kaynaklarından yararlanmak gerekir.



Ia tipi süpernovalar

Yaklaşık 20 yıl boyunca yürütülen araştırmaların sonunda böyle bir ışık kaynağı bulunmuştur: Ia tipi süpernovalar ya da beyaz cüce süpernovaları. Bu tip süpernovalar eşsiz bir ışık kaynağıdır; milyarlarca ışık yılı öteden görülebilirler. Birkaç gün boyunca çok parlak kalırlar, sonra birkaç ay içinde yavaş yavaş sönükleşirler. Zor olan şey, çok uzak gökadalarda gerçekleşen Ia tipi süpernovaları yakalayabilmektir. Bu amaçla büyük teleskoplar bazen günler boyunca Evren'in belli bir köşesine odaklanır ve sürekli fotoğraf çeker. Çekilen fotoğraf bir öncekiyle karşılaştırılır. Eğer aynılarsa, süpernova olmamış demektir. Eğer sonraki fotoğrafta ek bir ışık kaynağı görülürse, o zaman bir süpernova yakalanmış demektir. Hemen o ışığın tayfı incelenir ve parlaklık değişim grafiği çıkartılır. Eğer Ia tipi süpernovaysa uzaklık ölçümünde kullanılır.

Evren'deki uzaklıkların ölçümü kozmoloji açısından çok önemlidir. Uzaklıklar içinde yaşadığımız Evren'in

Ia tipi süpernovalar, yıldızlarından biri beyaz cüce olan ikili yıldız sistemlerinde görülür. Büyük kütleli yıldızdan beyaz cüceye madde aktarımı olur. Beyaz cüce giderek büyür; ama bu büyümenin fiziksel bir üst sınırı vardır. 1,4 Güneş kütlesine ulaşan beyaz cüce iç dengesini yitirir ve çok parlak bir süpernovayla bütün malzemesini uzaya yayar; geride ne bir nötron yıldızı ne de bir karadelik kalır. Bu tür süpernovalara Ia tipi süpernova denir. Ia tipi süpernovalar standart ışık kaynağı olmaya çok uygundur. Çünkü parlaklıklarının doruğundayken hepsi de neredeyse aynı miktarda ışık yayar.



en temel özelliklerini bize söyler. Ama uzaklık ölçmek hiç de kolay değildir. Bu yöntemlerin geliştirilmesi ve uzaklık merdiveninin kurulması yüzyılı bulmuştur. Ölçünı duyarlılığı da sürekli arttırılmıştır. Çok değil 20 yıl önce, ölçülen uzaklıklardaki hata payı yüzde 50'ler düzeyindeydi; Evren'in yaşı için 10-20 milyar arasında deniyordu. Günümüzde Hipparkos astrometri uydusu gibı yüksek teknolojili gözlem aygıtları sayesinde bu oran yüzde 5-10 arasına çekilmiştir. Uzaklık ölçmek için yeni yöntem arayışları sürüyor. Yeni yöntemler geliştirildikçe eskileri yeniden sınanıyor ve kalibre ediliyor. Her geçen gün Evren'deki uzaklıklar daha kesin olarak hesaplanıyor. Üzerinde çalışılan bazı yöntemlerle on yıl içinde yüzde 2'lik hata payına inilmesi bekleniyor.

46 | Evren'e ilişkin bilgiler nasıl elde edilir?

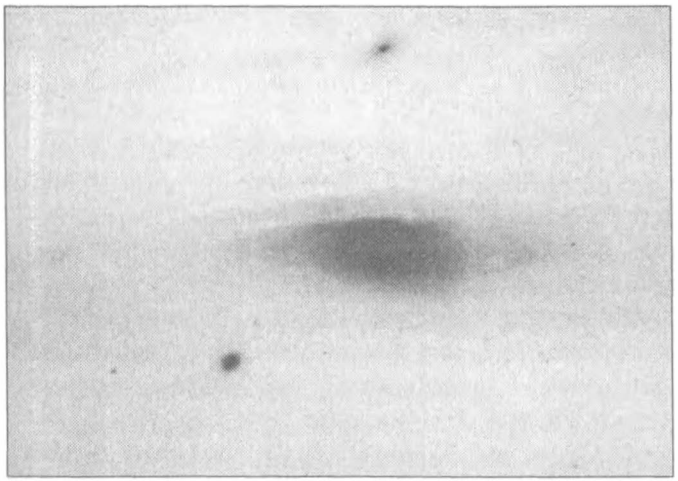
Gökbilim, en eski bilim dallarından biridir. Onu öteki bilim dallarından ayıran önemli bir yanı vardır. Öteki bilim dallarında birtakım nesneler alınıp incelenir, analiz edilir, bazı testlerden geçirilir ve üzerlerinde deneyler yapılır. Ne var ki gökbilimde durum böyle değildir. Gökbilimciler yüzlerce, binlerce hatta milyonlarca ışık yılı ötedeki nesnelerle, yıldızlarla, gökadalarla, bulutsularla uğraşır, onları gözler ve inceler. Çok az birkaç istisna, Dünya'ya düşen göktaşları, Ay'dan getirilen kayalar ve 25143 Itokawa adlı asteroitten getirilen kaya örnekleri dışında, Evren'deki herhangi bir nesnenin en küçük bir parçası bile elde yoktur. Gökbilimciler araştırmalarında yalnızca gökcisimlerinden çıkıp Dünya'ya ulaşan ışıklardan yararlanır. Yıldızların, gökadaların yapılarına ilişkin bütün bilgiyi bu az miktardaki ışığı analiz ederek, o ışığın taşıdığı bilgileri ortaya çıkararak elde ederler. Yıldız ışıklarını toplamak için de teleskopları kullanırlar.

1900'lü yılların başında, dönemin ünlü gökbilimcisi George Ellery Hale "Evren'e bakan gözlerimiz, yani teleskoplarımız ne denli büyük olursa, o denli net ve keskin bir görüşümüz olur" demişti. Hale iyi bir gökbilimci olmanın yanında, ikna yeteneği yüksek bir girişimciydi. Kurduğu güçlü bağlantılar sayesinde Kaliforniya'daki Wilson Dağı'na bir gözlemevi yaptırmış ve buraya 1917'de dünyanın en büyük (ayna çapı 2,5 m olan) teleskopunu kurdurmuştu. Hale haklıydı. Gözlemevinde 1919'da çalışmaya başlayan Edwin Hubble 1922-1923 yıllarında yaptığı gözlemlerle, teleskopun ilk ışığını görmesinden yalnızca beş yıl sonra, Evren'e bakışımızı tümüyle değiştirdi. O günden sonra da giderek büyük teleskoplar yapılmaya başlandı.

Teleskop mercekleri gerçekte 13. yüzyıldan beri var olan gözlük merceklerinden türemiştir. İlk teleskopu tam olarak kimin geliştirdiği bilinemese de bu onur Hollandalı Hans Lippershey'e verilir. Ama onu gökbilimin temel aygıtı haline getiren kuşkusuz Galileo olmuştur. Merceklerden oluşan basit ilk teleskoplardan yaklaşık 60 yıl sonra ışık toplama parçası olarak mercek yerine aynanın kullanıldığı ilk yansıtmalı teleskopu Newton 1668'de yapmıştır. 1850'de metal aynaların yerini cam aynalar almıştır.

1839'da keşfedilen fotoğrafın 1880'li yıllarda teleskoplarda kullanılması gökbilim açısından tam bir devrim olmuştur. Çünkü bu sayede teleskop, gözlenen cisimleri kaydeden ve sonra yeniden inceleme olanağı tanıyan bir alete dönüşmüştür. Ayrıca etki alanı da genişlemiştir. Uzun pozlama süreleri sayesinde gözle hiçbir zaman görülemeyecek denli sönük cisimler de artık görülebilir, saptanabilir olmuştur.

Gökbilimciler sürekli olarak Evren'in daha net görüntülerini elde etmeye çalışmıştır. Daha büyük teleskop aynaları demek, gökcisimlerinden gelen ışıkların daha çoğunun toplanabilmesi, yani daha net, daha parlak görüntü elde edilmesi demektir. Ancak atmosferin içinde hareketli birçok katman vardır, sürekli hava hareketleri, türbülanslar olur. Bunlar uzaydan gelen ışıkları etkiler ve



Fotoğrafın teleskopla birleşmesi modern gökbilimin, bir başka deyişle Hubble'ın büyük keşfinin yolunu açmıştır. Hubble'ın incelediği Andromeda fotoğraflarından biri görülüyor. Beyaz zemin üzerinde siyah noktalar daha kolay seçildiğinden gökbilimciler "negatif"ler üzerinde çalışırdı.

gökcisimlerinin teleskoplardaki görüntülerini bulanıklaştırır. Onlarca yıl bu sorunun üstesinden gelinememiştir. Bu nedenle de büyük teleskop yapımına ara verilmiştir. Onun yerine, eldeki teleskopların veriminin yükseltilmesine, gelen ışıkları daha iyi toplayabilecek, değerlendirebilecek aygıtların geliştirilmesine çalışılmıştır. Bu alanda da büyük başarılar sağlanmıştır; elektronik devrimi gökbilimde de devrime yol açmıştır. Fotoğraf plakalarının yerine, elektronik kayıt aygıtları kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar plakalara göre aşırı duyarlı ve çok üstündür. 1990'lı yıllarda yıldızlardan gelen ışığın yüzde 80-90'ından yararlanabilen CCD'ler (charged coupled device -düşen ışığı elektrik gerilimine çeviren, ışığa çok duyarlı foto diyotlardan oluşan aygıt) geliştirilince, uzun bir aradan sonra yeniden büyük teleskop yapımına başlanmıştır.

Atmosferin yer merkezli teleskoplar üzerinde birçok olumsuz etkisi vardır. Örneğin yer merkezli teleskoplarla elektromanyetik tayfın yalnızca görünebilir ışık bölümü ile radyodalgalarının belli bir bölümü ancak gözlemlenebilir. Çünkü öteki bütün dalga boylarındaki ışınların yeryü-

Işık

Elektrik Eski Yunan'dan beri bilinir. Eski Yunanlar yün kumaşlara sürttüklerinde, bazı nesneleri kendine çeken ve kıvılcım çıkartan kehribara "elektron" diyorlardı. Manyetizmayı da Çinliler 1100'lü yıllardan beri biliyordu; pusulanın kullanıldığı ilk Çin gemileri bu yıllarda denizlere açılmıştı. Ama doğanın bu iki gizemli olgusu arasında bir ilişki olduğu 1820'de Hans Christian Ørsted'in bir ders sırasında rastlantı eseri elektrik akımının manyetizmayı etkilediğini keşfetmesine kadar anlaşılamadı.

1860'lı yıllar boyunca James Clerck Maxwell elektrikle manyetizma arasındaki bu ilişki üzerine çalıştı. Bir süre sonra bu iki olgunun aslında tek bir olgu olduğunu buldu: Elektromanyetizma. Sonra elektrik yüklerinin birbirini nasıl ittiğini/çektiğini, manyetik kutupların tek başlarına olamayacağını (hep çiftler halinde olduklarını), manyetizmadaki değişimin elektrik üreteceğini ve elektriksel değişimin de manyetik alan oluşturacağını dört zarif formülle gösteriverdi. Bunun yanında elektromanyetik enerjinin uzayda dalgalar halinde yayıldığını keşfetti. Daha da ileri giderek bu dalgaların hangi hızla ilerlediğini buldu. Hesapları sonucunda ulaştığı hız onu oldukça şaşırttı; çünkü elektromanyetik dalgalar boşlukta ışık hızıyla ilerliyordu, yani saniyede 300.000 km. Böylece Maxwell'in elektrik ve manyetizma çalışmalarının bir sonucu olarak ışığın do aslında bir elektromanyetik dalga olduğu anlaşıldı.

Işık sözcüğüyle aslında bütün elektromanyetik dalgalar anlatılır. Bunların yalnızca küçük bir bölümü elektromanyetik tayfın küçük bir aralığındaki görünür ışıktır. Eğer elektromanyetik tayf 2500 km uzunluğunda bir film şeridi olsaydı, bunun ancak bir koresi görünür ışığa karşılık gelirdi. Görünür ışık gerçekte birçok renk içerir: kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi ve mor. Her rengin farklı bir frekansı vardır. En düşük frekanslı olanı kırmızı ışık (430 pHz –saniyede 430 trilyon titreşim) ve en yüksek frekanslı olanı da mor ışıktır (760 pHz –saniyede 760 trilyon titreşim). Bu frekans aralığının dışındaki ışıkları göremeyiz. Kırmızı ışığın frekansından daha düşük frekanslı ışığa kızılötesi ışık denir. Bunlar düşük enerjili ışıklardır. Bütün cisimler sıcaklıklarına bağlı olarak kızılötesi ışık yayar. Her sıcaklığın kendine özgü kızılötesi ışığı vardır. Mor ışığın frekansından büyük frekanslı ışığa morötesi ışık denir. Bunlar yüksek enerjili ışıklardır. Canlıların hücreleri için tehlikelidirler. Güneş'in morötesi ışık yayımı çok güçlüdür. Stratosferde (atmosferin 15-50 km arasındaki bölümü) bulunan ozon (O_3) tabakası bu ışıkları soğurur ve çok büyük bölümünün yeryüzüne ulaşmosını engeller. Elektromanyetik tayfın en yüksek frekanslı, doloyısıyla en yüksek enerjili ve en tehlikeli ışıkları gomma ışınlarıdır. Bazı radyoaktif maddelerin yanı sıra, bazı gökadalarda gamma ışını yayan doğal kaynaklar vardır.

züne ulaşması atmosferdeki bazı moleküllerce engellenir. Örneğin morötesi ışınların büyük bölümü ozon tabakasındaki ozon (O_3) moleküllerince tutulur. Kızılötesi ışınların bir bölümünü de atmosferdeki su buharı engeller.

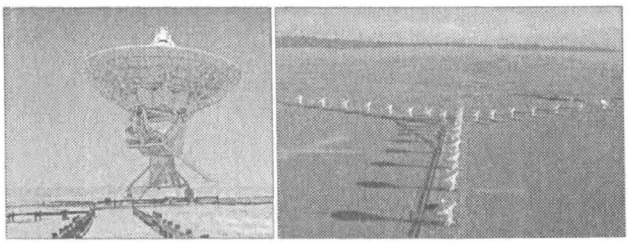
Bu nedenle daha 1920'li yıllarda, Alman gökbilimci Hermann Oberth tarafından uzay teleskopları gündeme getirilmiştir. 1970'li yılların başından günümüze kadar çeşitli dalgaboylarında gözlem yapan 90 dolayında uzay teleskopu değişik yörüngelere yerleştirilmiştir. Bunlar arasında kuşkusuz en popüler olanı 1990'da fırlatılan Hubble Uzay Teleskopu'dur. Bu teleskoplardan gelen eşsiz veriler sayesinde, gökbilim son 25 yılda altın çağını yaşamıştır.

Yıldızların ışıkları yalnızca onları bize göstermekle kalmaz. O ışıkların içinde çok daha başka ve çok değerli bilgiler de vardır. Bu bilgilerin bir bölümünün ortaya çıkartılması için ışıkların bir prizmadan geçirilmesi ve tay-

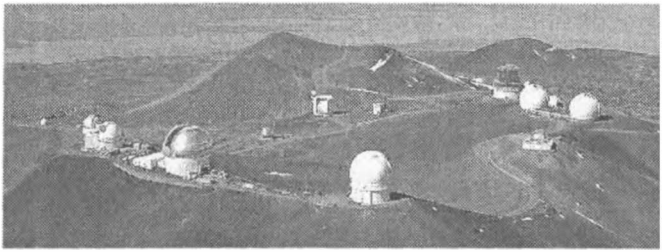
Radyoastronomi

Yeryüzünde, yaklaşık 3,8 milyar yıllık evrim sürecinde, insanın ve hayvanların gözleri yalnızca görünür ışığı algılayacak şekilde uyarlanmıştır. Ancak Dünya'ya gelen ışıklar yalnızca görünür ışık değildir. Uzaydan, özellikle de Güneş'ten her dalga boyunda ışık gelir. Bunlar değişik aygıtlarla algılanabilir. Bu tür aygıtlar da geçen yüzyılın başında yapılmaya başlanmıştır. Örneğin radyo ve televizyon antenleri radyodalgalarını algılar. Aynı şekilde radyoteleskoplar da uzaydan gelen radyodalgalarını algılar.

Uzayın radyoteleskoplarla gözlenmesi 1930'lu yıllarda başlamıştır. Çok sayıda, küçük radyoteleskopla elde edilen görüntülerin tek bir büyük radyoteleskoptan elde edilenle eşdeğer olduğunun anlaşıldığı 1940'lı yıllardan sonra radyoastronomi hızla gelişmiştir. Büyük radyoteleskop kompleksleri kurulmuştur.



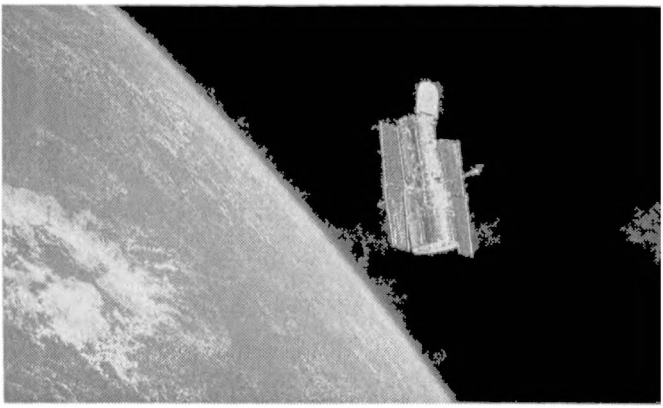
New Mexico'da 1980'de çalışmaya başlayan VLA (Very Large Array -Çok Büyük Dizi) 25 m çaplı, 27 adet büyük teleskoptan oluşur.

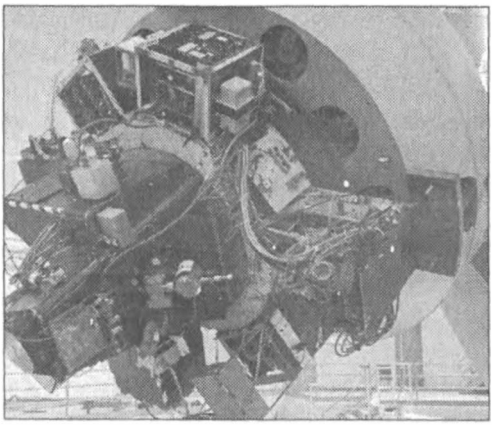


Bütün güçlü teleskoplar dünyanın en kuru havalı, ışık kirliliğinden ve atmosferin olumsuz etkilerinden en az etkilenilen yerlerine kurulur. Yukarıda, Hawai'deki Mauna Kea Yanardağı'na kurulmuş çok sayıda gözlemevi görülüyor.

fın incelenmesi gerekir. Tayf incelemelerinin sonucunda yıldızların içerdiği elementler, yüzey sıcaklıkları, hang hızla yakıtlarını tükettikleri ve hangi hızla hareket ettik leri gibi birçok bilgiye ulaşılabilir. Çok uzun zamandı gökyüzü gözlemleri, teleskoplardan bakılarak yapılmıyor Teleskopların arkasına değişik elektronik aygıtlar bağla nıyor ve gökcisimlerinden gelen ışıklardaki bilgiler orta ya çıkartılıyor, toplanıyor; bilgisayar ekranlarına ve sabi disklerine aktarılıyor.

Atmosferin olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılmasının en iyi, ama pahalı yolu, uzay teleskopları kullanmaktır. Uzay teleskoplarıyla birlikte yeni bir çağ başlamıştır. Hubble Uzay Teleskopu 1990'da yörüngeye yerleştirildiğinde, kısa süren bir şaşılık döneminden sonra, gökbilimi derinden etkileyecek ve yer merkezli hiçbir teleskopla elde edilemeyecek birçok fotoğraf çekmiştir.





Gözlemler artık doğrudan teleskoptan bakılarak yapılmıyor. Onun yerine teleskopun topladığı ışıklar değişik amaçlı fotometreler, spektroğraflar ve değişik dalga boylarında çalışan kameralara yönlendiriliyor.

47 | Karanlık madde nedir?

1970'li yıllarda ilk güçlü bilgisayarlar ortaya çıktığında, gökbilimde de onlardan yararlanılmaya başlandı. Bilgisayarlara bazı evrensel yasa ve ilkelerle birlikte, Samanyolu'nun içeriği de girilip birtakım bilimsel canlandırmalar yapıldı. Ancak sonuçlar biraz garipti; çünkü canlandırmalara göre Samanyolu'nun kısa sürede parçalanıp dağılması gerekiyordu. Gökadamızı bir arada tutabilmek için göründüğünden daha çok kütleye gereksinim vardı. Ne var ki, gözlemlere göre Samanyolu'nda öyle fazladan bir kütle de yoktu. Öte yandan bilgisayar canlandırmaları ne derse desin, Samanyolu da olduğu yerde parçalanmadan dönüyordu. Bilim insanlarının karşısında bir türlü gözlemleyemedikleri ama var olması gerektiğini fark ettikleri bir şey çıkmıştı. Bu gözlenemeyen maddeye "karanlık madde" adını verdiler. Yalnızca gökadaların bütünlüklerini koruması değil, gökadaların kümeler içindeki hareketleri de ancak hesapların içine karanlık madde girince anlamlı hale gelebiliyordu.

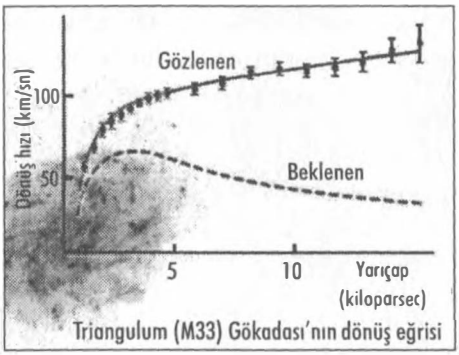
Gerçekte bu durumun farkına ilk kez 1970'li yıllarda değil, ondan yaklaşık 40 yıl önce varılmıştı. 1933'te Fritz Zwicky adlı bir gökbilimci karanlık madde düşüncesine,

kuramsal olarak ya da birtakım bilgisayar canlandırmalarının sonucunda değil (zaten o zaman bilgisayar yoktu), gökadaların hareketlerini teleskopla inceleyerek ulaşmıştı. Zwicky 300 milyon ışık yılı ötede, binden çok gökadadan oluşan Coma kümesindeki gökadaların hareketlerini inceliyordu. Gökadaların, onları bir arada tutan kütleçekim kuvvetine göre çok hızlı hareket ettiklerini fark etmişti. Aslında birçoğu değişik yönlerde ilerleyip, bir anlamda fırlayıp kümeden çıkmış olmalıydı; ama öyle değildi. Zwicky ortada ciddi bir kütleçekim etkisi olan ama kendisi bir türlü teleskopla görülemeyen, büyük bir şey olduğunu anladı. Bunu da bilim dünyasına duyurdu. Ancak onun bu fikri o dönemde hiç kimseye çekici gelmedi.

Karanlık madde, 1970'li yılların başında James Peebles ve Jeremiah Ostriker adlı iki fizikçinin daha ilgisini çekti ve onun üzerine çalışmaya başladılar. 1974'te yayımladıkları bir makaleyle, gökadaların karanlık madde olmadan var olamayacağını duyurdular. Ama karanlık madde düşüncesi biraz spekülatif bulundu ve bilim dünyasınca yine kabul görmedi.

Gezegenlerin Güneş'in çevresindeki dönüş hızları, Güneş'ten uzaklaştıkça azalır. Güneş'in çevresinde en hızlı dönen gezegen Merkür'dür (saatte 170.000 km); en yavaş dönense Neptün (saatte 19.500 km). Bu, Güneş'in kütleçekim etkisinin uzaklıkla birlikte azalmasının bir sonucudur. Fizik yasaları Evren'in her yanında aynıdır. Gezegenlerin Güneş'in çevresinde dönüşünün benzeri, başka yıldızların çevresinde dönen ötegezegenlerde ya da Samanyolu'nun merkezindeki dev karadeliğin çevresinde dönen yıldızlarda da görülür; görülmelidir.

1970'li yılların başında, gökadaların dönüşleri üzerine çalışan Vera Rubin adlı gökbilimci, en yakın büyük gökada olan Andromeda'yı gözlüyordu. Andromeda'yı oluşturan bütün yıldızlar ve bulutsular ortadaki şişkin bölgenin çevresinde döner; tıpkı Güneş Sistemi'nde her şeyin Güneş'in çevresinde dönmesi gibi. Rubin, iki yıl boyunca gökadanın kenar bölgelerindeki 90 kadar yıldızın hızını hesapladı. Ancak hiç beklenmedik bir durumla karşılaştı.



Gökadanın merkezinden uzaklaştıkça, yıldızların gökada çevresindeki dönüş hızlarının düşmesi gerekirken (kesikli çizgi), böyle bir düşmenin olmadığı, kenarlardaki yıldızların da iç bölgelerdeki yıldızlar kadar hızlı ilerlediği (normal çizgi) gözlendi.

Merkezden uzak yıldızlar, merkezdeki yıldızlara göre hiç de yavaş değillerdi; onlarla aynı hızda (saniyede 250 km) dönüyorlardı; ki bu, evrensel kütleçekim yasasına ters bir durumdu. İleriki yıllarda gözlenen bütün gökadalarda aynı durumla karşılaşıldı. Gökadalarla ilgili bilinenlerde bir eksiklik (açıklanması gereken bir eksiklik) vardı. Andromeda'nın kenar bölgelerindeki yıldızlar öyle hızlı dönüyorlardı ki, gökadanın kütleçekiminin onları tutabilmesi, onların uzaya savrulmasını engelleyebilmesi olanaksızdı. Ama yıldızların da bir yere gittiği yoktu. Onları kütleçekimsel olarak yörüngelerinde tutan büyük ve "görünmeyen" bir kütle vardı. Bu kütle, Ostriker ve Peebles'ın -ve onlarca yıl önce de Zwicky'nin- karanlık madde dediği kütleydi. İki ünlü fizikçinin pek kabul görmeyen görüşü, gözlemden gelen güçlü bir kanıtla birleşince, ortada yeni ve gizemli bir şeyin olduğu hemen anlaşıldı. Kısa bir süre sonra birkaç yüz milyar yıldızdan oluştuğu bilinen Samanyolu'nun bile yaklaşık 800 milyar yıldızlık bir kütleçekim etkisi olduğunun farkına varıldı.

Bilim insanları yaklaşık 40 yıldır Evren'deki bu görülemeyen ama kütleçekim etkisi hissedilebilen maddeyi arıyor. Son yıllarda gökbilimcileri ve fizikçileri giderek daha çok uğraştıran konulardan biri bu oldu. Dünya'nın değişik yerlerinde birçok ekip çeşitli yöntemlerle karanlık maddeyi ortaya çıkarmaya çalışıyor.

Karanlık madde, öncelikle adı üzerinde karanlıktır. Görebildiğimiz yıldızlar, gezegenler, bulutsular ve göka-

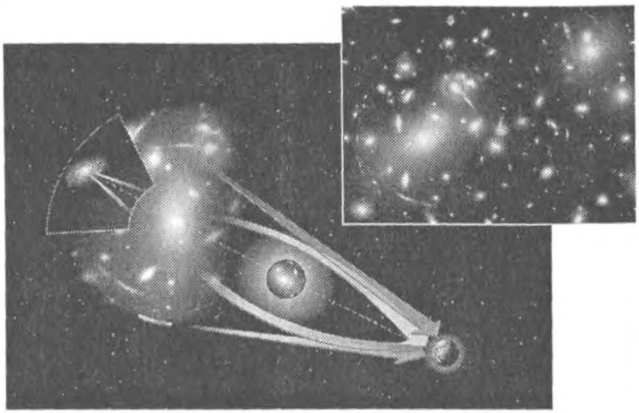
dalar gibi değildir. Elektromanyetik ışıma yapmaz ve gelen ışımayı da soğurmaz ya da yansıtmaz. Bir başka deyişle elektromanyetik kuvvetle hiçbir şekilde etkileşmez. Bu durumda da bildiğimiz anlamda atomlardan oluşuyor olamaz. Bununla birlikte, atomlardan oluşan maddeyle kütleçekim kuvveti üzerinden etkileşir. Yani madde ve karanlık madde birbirini çeker...

İlk başlarda karanlık maddenin atomlardan oluşan, normal maddeden (baryonik madde) yapılmış ama çok sönük oldukları için göremediğimiz gökcisimlerinden (karadelikler, nötron yıldızları, süper kütleli karadelikler, kahverengi cüceler vs.) oluştuğu düşünülmüştü. Bunlara MACHO (Massive Compact Halo Object -büyük kütleli, yoğun hale nesneleri) denir. MACHO'ların hepsinin varlığı biliniyor ve gözlenmeleri de çok zor. Ne var ki gözlemler, bunların hepsinin toplam kütlesinin karanlık maddenin yarattığı kütleçekim etkisini yaratmaktan çok uzak olduğunu ortaya koymuş durumda.

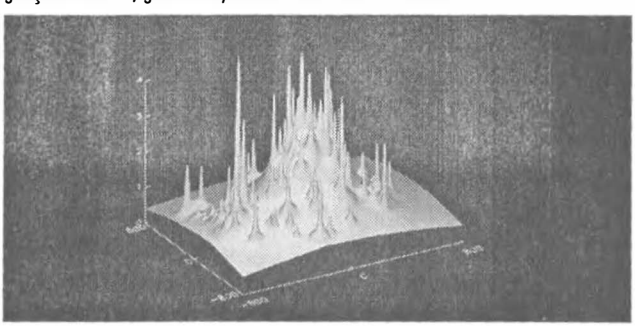
Karanlık maddeye ikinci aday da WIMP'lerdir (Weakly Interacting Massive Particles -zayıf etkileşimli büyük kütleli parçacıklar). Bunlar bildiğimiz atomaltı parçacıklardan farklı, henüz keşfedilmemiş (varsayımsal) parçacıklardır. Zayıf bir etkileşimleri vardır; bildiğimiz maddenin içinden geçerler. Aslında buna uygun bir aday olarak bir zamanlar nötrino görülmüştü. Nötrino 20. yüzyılın başında kuramsal olarak "icat edilmiş"; ama sonra varlığı keşfedilmiş bir atomaltı parçacıktır. Elektriksel olarak yüksüz ve kütlesizdir. Daha doğrusu uzun süre kütlesiz olduğu sanılmıştır. 1998'de nötrinoların çok küçük de olsa bir kütlesi olduğu anlaşılmıştır. Gökbilimciler uzun zamandır Evren'deki toplam nötrino miktarını biliyorlar. Ne yazık ki nötrinolar da karanlık maddenin oluşturduğu kütleçekim etkilerini yaratacak denli çok değil.

Yüzyıldır bulunan hiçbir parçacık, karanlık maddeyi oluşturduğu düşünülen parçacığın tarifine tam olarak uymuyor. Gerçi fizikçilerin nötrinolardan başka bir de nötralino ve aksiyon gibi varsayımsal iki adayı daha var ama bunların varlığı henüz kanıtlanabilmiş değil.

Karanlık maddenin "gözlenmesi"



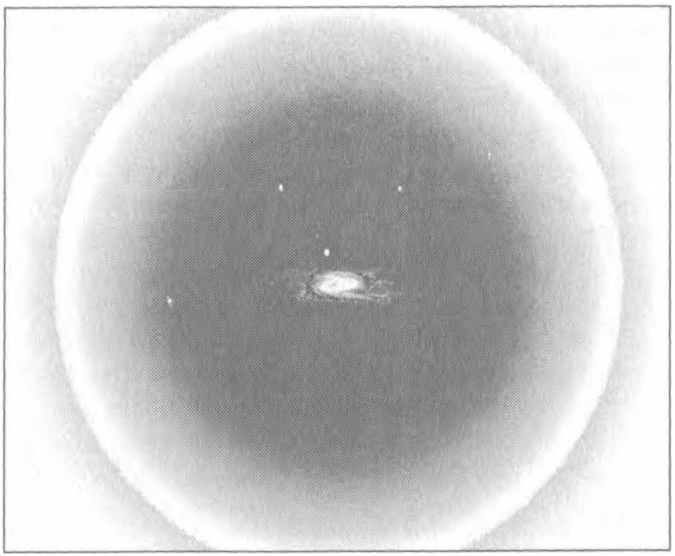
Karanlık maddenin varlığı, dolaylı yoldan birkaç yöntemle anlaşılmıştır. Bunlardan biri de kütleçekimsel mercek yöntemidir. Çok uzak gökadalardan Samanyolu'na doğru yola çıkan ışıklar, aradaki maddelerin kütleçekim kuvvetinden etkilenir. O maddelerin çevresinden tek bir yoldan değil de birkaç yoldan geçerek Dünya'ya ulaşırlar. Bu görüntüde ortadaki gökadaların çevresinde eğilmiş gibi görünen, sanki birleştirilirlerse bir çember oluşturacakmış gibi duran ışıklar, aslında tek bir gökadanın ışıklarıdır. Bu ışıklar ortadaki kütle tarafından bükülmüş, deforme edilmiştir. Uzun yıllardır bu konuda çalışan bilim insanları bu örüntüde gelen ışıkların aslında nasıl bir gökadadan geldiğini ortaya koyabilir. Ancak yapılan hesapların sonucunda, ortadaki gökadaların kütlesinin böylesi bir deformasyon için yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Yapılan bilgisayar canlandırmaları sonucunda, aradaki kütlenin dağılımını gösteren üç boyutlu bir grafik elde edilmiştir. Bu grafikte sivri çıkıntıların her biri bir gökadaya karşılık gelir. Ortadaki geniş kabarıklıksa, gözlenemeyen karanlık maddenin kütlesidir.



Karanlık maddenin ne olduğu hâlâ bilinemiyor. Ama onun hakkında bilinen bazı başka şeyler de var. Örneğin karanlık madde de tıpkı baryonik madde gibi topaklı bir yapı gösteriyor. Yani Evren'in her yanına düzgün dağılmamış. Gökadaları kuşatan ve gökadaların baryonik madde kütlesinin yaklaşık on katı büyüklükte bir karanlık maddenin olduğu biliniyor. Bunlar gökadaları, baryonik madde gibi disk şeklinde değil de bir küre gibi kaplıyor. Ayrıca karanlık maddenin yalnızca gökadalarda değil, Evren'deki hiyerarşinin her düzeyinde, baryonik maddeden daha çok olduğu da biliniyor.

Uzun zamandır karanlık maddenin Evren'in temel yapılarından biri olduğu kabul ediliyor. Peki, bu karanlık maddenin Evren'in evriminde nasıl bir rolü olmuş olabilir? Kozmik mikrodalga arka plan ışımasından Evren'in ilk dönemlerinin son derece düzgün, pürüzsüz olduğu, ama yine de çok çok küçük de olsa bazı yoğunluk farkları içerdiği biliniyor. Bu küçük farkların kütleçekim kuvvetinin etkisiyle giderek büyüdüğü ve Evren'in bu-

Yapılan ayrıntılı incelemelerden sonra, karanlık maddenin gökadaları tıpkı madde gibi disk biçiminde değil de küre şeklinde sardığı anlaşılmıştır.



günkü çok topaklı (bazı bölgeleri boşken, gökadaların bulunduğu bazı bölgeleri madde açısından aşırı yoğun) yapısına dönüşmesinde, temel rolü oynadığı düşünülüyor. Ancak bu dönüşümün hızı eğer ortamda karanlık madde olmasaydı bu denli yüksek olamayacaktı. Bilim insanlarına göre karanlık maddenin bulunmadığı bir Evren'de hâlâ tek bir yıldız ya da gökada oluşmuş olamazdı. Olasılıkla da hiç olamayacaktı. Karanlık maddenin Evren'in bugünkü halini almasında büyük bir rolü olduğuna inanılıyor.

1990'lı yılların ortasında Evren'deki madde miktarı net olarak hesaplandı. Evren'in yüzde 4,6'sı bildiğimiz baryonik maddeden oluşuyordu. Bu durumda geri kalan yüzde 95'i de karanlık maddeden oluşuyor olmalıydı. Ne var ki hesaplar, Evren'deki karanlık maddenin Evren'in içeriğinin yalnızca yüzde 22,7'sini oluşturduğunu ortaya koydu. O zaman Evren'in yüzde 72,6'sını oluşturan daha başka bir şey olmalıydı. Bir başka deyişle Evren'in içeriğinin dörtte üçlük bölümünü henüz bilmiyorduk.

48 | Karanlık enerji nedir?

Hubble'ın Evren'in genişliyor olduğunu keşfetmesinden bu yana bütün gökbilimciler, Evren'in genişleme hızının, içerdiği maddenin kütleçekim etkisi nedeniyle, yavaşlaması gerektiğini düşünme eğiliminde olmuştur. Bu nedenle 1998 ve 1999 yıllarında, birbirinden bağımsız çalışan iki ekip (Saul Perlmutter ve Brian Schimidt'in liderliğindeki) Evren'in genişleme hızının arttığını keşfettiğinde, gökbilim dünyasında büyük bir şaşkınlık yaşanmıştı. Uzak gökadalardaki süpernovalar üzerinden yapılan hesaplara dayanan bu bulgu, daha sonra iki farklı ekip tarafından başka gelişmiş aygıtlarla yinelendi ve aynı sonuca ulaşıldı: Evren giderek daha hızlı geniş-

liyordu. Gözlemler Evren'in genişlemesine yol açan bir "enerji"nin varlığına işaret ediyordu. Peki, ama neydi bu enerji?

Bu sorunun en net yanıtı: "Bilmiyoruz"dur. Gerçekten de karanlık enerji karşısındaki bilgisizliğimiz, karanlık madde karşısındaki bilgisizliğimizden bile daha büyüktür. Onun hakkında neredeyse hiçbir şey bilinmiyor. Karanlık enerjiye ilişkin bilinen temel iki olgu şunlardır:

1) Evren'de düzgün bir dağılımı var. Her yerde hemen hemen aynı yoğunlukta bulunuyor.

2) Evren'in genişlemesiyle birlikte yoğunluğu azalmıyor, sabit kalıyor.

Tıpkı karanlık madde gibi karanlık enerji de görünmezdir. Ancak karanlık enerjinin kütleçekim etkisi Evren'in içine çökmesini desteklemez; tersine genişlemesini destekler, onun genişleme hızını arttırır. Bir başka deyişle karanlık enerji kütleçekime ters yönde işleyen, nesneleri birbirinden uzaklaştıran bir kütle-itim kuvveti gibidir.

Elimizde şimdilik karanlık enerjiye ilişkin geliştirilen birbirinden farklı, şu "olası" kuramlardan -düşünceler de denebilir- başka bir şey yok:

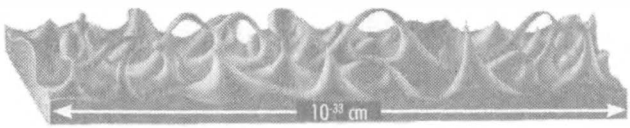
1) Karanlık enerji, şiddeti çok düşük, homojen dağılım gösteren ve uzayın kendisiyle ilişkili bir tür enerjidir. Buna "vakum enerjisi" denir.

2) Karanlık enerji, vakum enerjisinden biraz farklı olarak zamana ve konuma göre değişen bir tür enerji olabilir. Buna "beşinci element" denir.

3) Aslında karanlık enerji diye bir şey yoktur; kütleçekim kuvvetinin kendi eksikliğinden kaynaklanan ama farkına varamadığımız bir durumla karşı karşıya olabiliriz.

Bu düşünceler arasında, bilim insanları tarafından en tutulanı şimdilik "vakum enerjisi kuramı"dır. Boşlukta hiçbir şey bulunmadığını, zaten bunun için boşluk dendiğini biliriz. Ancak günümüz fiziği "boşluk" olgusuna biraz farklı bakıyor. Buna göre bizim "boş" dediğimiz uzayda, birtakım atomaltı parçacıklar ve karşı parçacıklar sürekli oluşup yok olur. Bunlar yeni bir dizi parçacık değildir; tersine hepsi de bildiğimiz parçacıklardır: fotonlar,

Tümüyle boş uzayda aslında atomaltı parçacık ve karşı parçacıkların sürekli oluşup yok olduğu ve bu etkinliğin de çok çok zayıf olsa da bir "basınç" yarattığı düşünülüyor.



elektronlar, pozitronlar vs. Bu süreç çok çok zayıf da olsa, bir basınç yaratır. Çok çok zayıf olmasına karşın, Evren'in engin büyüklüğüne dağılmış olduğundan, çok etkili bir kuvvet olarak karşımıza çıkar.

Peki, acaba tıpkı karanlık madde gibi karanlık enerjinin de Evren'imizin şekillenmesinde bir rolü olmuş mudur? Son yapılan gözlemlere göre, ilk dokuz milyar yıl boyunca Evren'in genişleme hızının giderek yavaşladığı, ama günümüzden yaklaşık beş milyar yıl kadar önce yeniden artmaya başladığı ortaya çıkmıştır. İlk dokuz milyar yıl boyunca, Evren'in genişleme hızının yavaşlıyor oluşu gökadaların birbirlerine daha yakın olduğu dönemlerde, kütleçekim kuvvetinin daha güçlü hissedilmesinden kaynaklanır. Aynı zamanda Evren küçükken gökadalar arası boşluk, yani karanlık enerjinin kaynağı da küçüktü. Bir başka deyişle hem vakum enerjisinin kaynağı küçüktü, hem de onun tersi yönde işleyen kütleçekim kuvveti daha etkiliydi. Ancak Evren genişledikçe, bu denge değişmeye başladı: Kütleçekim kuvvetinin etkisi azalırken vakum enerjisi giderek güçlendi. Yaklaşık beş milyar yıl önceki bir "eşik anı"ndan sonra Evren'in genişleme hızı artmaya başladı. Bundan böyle Evren'imize asıl şekil veren güç karanlık enerji oldu. Şu anki resme göre Evren'imiz, eğer bilinmeyen bir nedenle günün birinde ters bir etki ortaya çıkmazsa, genişlemesini artan bir hızla sonsuza dek sürdürecek.

49 | Evren'in içeriği nedir?

Antik Yunan'da her şeyin toprak, hava, ateş ve suyun, yani dört temel elementin değişik oranlarda birleşiminden oluştuğuna inanılırdı. Bu düşünce kuşkusuz doğru değildi; ama altında yatan temel yaklaşım doğruydu. Gerçekten de çevremizdeki her şey belli sayıdaki temel öğeden, onların değişik oranlardaki birleşimlerinden oluşur. Biz bu temel öğelere "element" (kimyasal element) diyoruz. Doğada 94 element bulunur. Her elementin kendine özgü bir atomu vardır. En güçlü mikroskoplarla bile görülemeyecek denli küçük olan atomlar, merkezde proton ve nötron denen parçacıklardan oluşan bir çekirdek ve onun çevresinde dolanan çok daha küçük elektronlardan meydana gelir.

Ancak bilim insanları bu alanda biraz daha ileri gitmiş, maddenin yapısında bir tabaka daha derine inmiş ve atomu oluşturan parçacıkların da aslında daha küçük birtakım "temel" parçacıklardan (kuarklar) oluştuğunu keşfetmişlerdir. Artık elimizde bir dizi temel parçacık var. Bunlar değişik kuvvetlerin etkisiyle çeşitli şekillerde bir araya geliyor ve bizleri oluşturan, sıradan maddeyi yapıyor. Bütün elementler kuarklar ve elektronlardan, çevremizdeki her şey de elementlerden oluşuyor. Bilim insanları temelinde kuarkların ve elektronların olduğu -bildiğimiz- maddeye baryonik madde diyor.

Evren'e baktığımızda tümü de baryonik maddeden oluşan gökadaları, gaz ve toz bulutlarını, yıldızları, gezegenleri vs. görürüz. O nedenle Evren'de neler var diye sorulduğunda kısaca yıldızlar, gezegenler, gökadalar vs. deriz. Ne var ki Evren'de yalnızca baryonik madde bulunmaz. Peki, Evren'de neler bulunur? Evren'in içeriği nedir? Ya da Evren'i oluşturan şeyler nelerdir?

Evren'in beş temel içeriği vardır:

- Baryonik madde,
- Işık (bütün elektromanyetik dalgalar),
- Nötrinolar,

- Karanlık madde,
- Karanlık enerji

Her ne kadar Evren'in beş temel içeriği olsa da bunlar aslında kütle-enerji denen olgunun farklı biçimleridir. Einstein'ın $E=mc^2$ eşitliği her türlü enerjinin ve maddenin birbirine dönüştürülebileceği ve gerçekte aynı "şey" olduğunu ortaya koyar. Kütle de enerji de kütleçekimsel bir etki oluşturur. Buradan maddenin aslında enerjinin çok çok yoğun ve kararlı bir hali olduğu düşünülebilir.

Baryonik madde

Biz tümüyle atomların egemen olduğu bir dünyada yaşıyoruz. Bizler ve çevremizdeki her şey atomlardan oluşmuştur. Günümüz Evren'inde baryonik maddenin neredeyse tamamı yıldızlarda, yıldızların arasındaki ve gökadaların arasındaki sıcak gaz bulutlarında, plazma halinde toplanmıştır. Baryonik maddenin ancak yüzde 0,01'lik (on binde birlik) bölümü Evren'in yeterince serin yerlerinde atomlar halindedir. Atomların birleşerek büyük moleküller oluşturabileceği yerlerse, bazı yıldızların çevresinde belli uzaklıkta dolanan gezegenlerdir. Bu açıdan bakıldığında -ve bütün Evren göz önüne alındığında- aslında çok ender bulunan bir bölgede yaşadığımız anlaşılır. Evren'deki toplam baryonik madde miktarı 10^{51} kg ya da 10^{21} Güneş kütlesi kadardır. Ne var ki bu miktar, Evren'in içeriğinin ancak yüzde 4,6'sını oluşturur.

Işık

Evren'de her dalga boyunda ışık vardır. Hesaplara göre Evren'de ortalama 1 m^3'te 400 milyon foton bulunur. Bu da her protona ya da elektrona karşılık, yaklaşık 1,5 milyar foton demektir. Ne var ki ışık, Evren'in içeriğinin ancak yüzde 0,005'ini oluşturur.

Nötrino

Nötrinolar foton benzeri parçacıklardır. Neredeyse hiç kütleleri yoktur. Işık hızına çok yakın hızlarla ilerlerler. Ama fotonlardan farklı bir yanları vardır: Baryonik mad-

deyle çok seyrek etkileşirler. Her saniye Güneş'ten çıkan trilyonlarca nötrino bedenimizden geçip gider, tıpkı bir sis tabakasında ilerleyen kurşunlar gibi, ama hiçbiri bir etkileşime girmez. Nötrinoların varlığı 1930'da Wolfgang Pauli tarafından kuramsal olarak ileri sürülmüştü. Gerçekten de var oldukları 1956'da gözlemsel olarak kanıtlandı ve gözlemi yapan Frederick Reines'e 1995'te (40 yıl sonra) Nobel Fizik Ödülü verildi. Nötrinoların gözlenmesi çok zordur. Gözlenebilmeleri için yeraltına çok büyük laboratuvarlar kurulması gerekir. Yıldızların ürettiklerinden başka, Büyük Patlama sırasında da çok büyük miktarda nötrino oluşmuştur. Onlar hâlâ Evren'imizdedir. Tıpkı fotonların kozmik mikrodalga arka plan ışıması gibi, aslında Büyük Patlama nötrinolarının da kozmik nötrino arka planı vardır. Ama bu nötrinoların da tıpkı fotonlar gibi enerjileri çok azalmıştır ve saptanmaları çok güçtür.

Karanlık madde ve karanlık enerji

Karanlık madde ve karanlık enerji bilim insanları için hâlâ çok gizemli yapılardır. İkisi birlikte Evren'in içeriğinin yüzde 95'lik bölümünü oluşturur. Karanlık maddeye yönelik en iyi tahmin, onun Büyük Patlama sırasında oluşmuş, birkaç proton kütlesinde nötrinoya benzer atomaltı bir parçacık olduğu yönündedir. Çünkü karanlık madde parçacıkları da tıpkı nötrinolar gibi baryonik maddeyle etkileşime girmezler. Bu nedenle saptanmaları da çok zordur. Dünya'da karanlık madde parçacıklarını saptamaya çalışan birkaç ekip var. Yapılan hesaplara göre, Evren'de baryonik madde kütlesinin yaklaşık 6 katı kadar karanlık madde bulunuyor. Yeryüzünde de yaklaşık 1 kg kadar karanlık madde bulunduğu düşünülüyor.

Karanlık enerjiyse, varlığı çok değil, daha 1998'de ortaya çıkmış bir olgudur. Tıpkı karanlık madde gibi onun da ne olduğu henüz bilinmiyor; hatta hakkında hiçbir şey bilinmiyor bile denebilir. Onun da varlığı dolaylı yoldan yine kütleçekimsel etkilerden anlaşılmıştır. Ancak ka-

ranlık enerjinin yarattığı kütleçekim etkisinin bildiğimiz kütleçekim kuvvetine ters yönde işlediği ve Evren'in genişleme hızını arttırdığı düşünülüyor. Karanlık enerjinin, uzayın (boşluğun) kendisiyle ilgili çok çok çok küçük bir enerji olduğu tahmin ediliyor. O nedenle de zaman zaman "vakum enerjisi" olarak da adlandırılıyor. Bu enerjinin kütle cinsinden yoğunluğu 5 hidrojen atomu/m^3 kadardır. Ama bu enerjinin Evren'in her yanında olduğu göz önüne alındığında, Evren'in yüzde 73'ünün karanlık enerjiden oluştuğu ortaya çıkar.

Evren'in tümü düşünüldüğünde, Evren'in ortalama yoğunluğu ortalama 5,8 hidrojen atomu/m^3 kadardır. Bu yoğunluk, Dünya büyüklüğünde bir hacmin içinde yalnızca 1 kum tanesinin bulunmasına karşılık gelir. Buradan da Evren'in gerçekte aşırı derecede boş olduğu ortaya çıkar. Bu yoğunluğun Evren'i oluşturan temel öğeler arasındaki dağılımı şöyledir:

karanlık enerji	yüzde 72,6
karanlık madde	yüzde 22,7
baryonik madde	yüzde 4,6
ışık	yüzde 0,005
nötrinolar	yüzde 0,0034

Bu oranlar Evren'in tarihi boyunca aynı kalmamış, zamanla değişmiştir. Baryonik madde ve karanlık madde miktarı artmadığından, maddesel yoğunluk Evren genişledikçe sürekli azalmıştır. Bunun yanında karanlık enerji uzayla ilişkili olduğundan Evren'in genişlemesi onun miktarını arttırmıştır; ama yoğunluğu hep sabit kalmıştır. Yaklaşık 5 milyar yıl önce madde ve karanlık enerji yoğunluklarının aynı olduğu düşünülüyor. Daha önceyse -yaklaşık 9 milyar yıl boyunca- Evren'de madde egemendi. Hatta Evren'in ilk dönemlerinde karanlık enerji yok gibiydi. Nötrinoların ve fotonların yoğunlukları da Evren'in genişlemesiyle birlikte sürekli düşmüştür ve düşmektedir. Ayrıca Evren'in genişlemesi nedeniyle kızıla kaymaları bunların enerjisini de sürekli azaltır. Dolayısıyla yoğunlukları madde yoğunluğundan biraz daha hızlı düşer. Büyük Patlama'dan 60.000 yıl sonrasına kadar ışığın ege-

men olduğu düşünülüyor. Sonra ışık yerini maddeye bırakmıştır. Dokuz milyar yıl kadar sonra da karanlık enerji Evren'in işleyişinde de egemen olmuştur.

50 | Evren'in sonu nasıl olacak?

Yaklaşık 80 yıldır Evren'in genişlediği biliniyor. Uzun bir süre boyunca Evren'in içerdiği madde miktarına bağlı olarak bu genişlemenin zamanla yavaşlayabileceği, ama durmayacağı ya da durup tersine dönebileceği (tıpkı havaya atılan bir taşın hızının giderek azalması, bir noktada durması ve sonra geriye hareket etmesi gibi) düşünülüyordu. Bu durumda Evren'in sonu için olası iki senaryo yazılmıştı. Birinci senaryoya göre Evren'in içerdiği madde miktarı yeterince çoktu ve onun genişlemesini durdurup geriye çevirecek, Evren giderek küçülecek, yoğunlaşacak, ısınacak ve tıpkı doğumunda bir tekillikten çıktığı gibi yine bir tekillikte yok olacaktı. Bu senaryoya Büyük Çökme denir. İkinci senaryoya göre de Evren'in içerdiği madde miktarı onun genişlemesini durdurmaya yetmeyecek ve Evren'de giderek genişleyecek, yoğunluğu düşecek ve soğuyacaktı. Buna da büyük donma denir.

Uzun bir süre Evren'deki maddelerin kütleçekim kuvvetiyle bir "fren" etkisi yaratacağı ve Evren'in genişleme hızını yavaşlatacağı düşünüldü. Ne var ki yapılan tüm gözlemlere ve hesaplamalara karşın, Evren'de onun genişlemesini yavaşlatacak kadar büyük miktarda madde bulunamadı. Hatta tersine 1998'de birbirinden bağımsız iki ekibin süpernovalar üzerine yaptığı çalışmalarda Evren'in genişleme hızının giderek arttığı ortaya çıktı. Bu hızlanmaya hangi etkinin yol açtığı bilinmediğinden ona "karanlık enerji" dendi; buradaki "karanlık" sıfatı, o enerji hakkında hiçbir şey bilinmeyişinden dolayı verilmiştir.

Evren'in sonu senaryolarından hangisinin gerçekleşeceği Evren'in içeriğinin yüzde 73'ünü oluşturan ve hakkında neredeyse hiçbir şey bilinmeyen karanlık enerjinin doğasına bağlıdır. Eğer karanlık enerji son beş milyar yıldır olduğu gibi Evren'in genişleme hızını arttıracak yönde "davranırsa", Evren'in sonu büyük donma senaryosundaki gibi olacaktır.

Buna göre üç milyar yıl sonra Samanyolu ile Andromeda gökadaları birleşecek ve daha büyük bir gökada oluşturacaktır. 100 milyar yıl sonra Yerel Grup'taki bütün gökadalar kütleçekim kuvvetinin etkisiyle tek bir gökadada toplanacaktır. Aynı durum bütün öteki gökada kümelerinde de yaşanacaktır. Karanlık enerjinin Evren'i genişletmesi yüzünden iki trilyon yıl sonra Yerel Grup'un içinde olduğu Yerel Süper Küme'deki gökadaların dışında hiçbir gökada görülemeyecektir; bizden hem çok uzaklaşmış olacaklardır hem de uzaklaşma hızları ışık hızını aşmış olacaktır.[5] Yüz trilyon yıl içinde bütün yıldızlar ölecek ve yeni yıldızları oluşturmak için yeterli hammadde olmayacağından yıldız oluşumu duracaktır; yeni yıldızlar oluşmayacaktır. Evren'de kütlesi en büyük cisimler olarak karadelikler, nötron yıldızları, beyaz cüceler ve kahverengi cüceler kalacaktır. Toplam madde kütlesinin yüzde 90'ını iyice sönükleşmiş (siyahlaşmış) ya da sönükleşmekte olan beyaz cüceler oluşturacaktır. Sonunda hepsi de birer siyah cüceye dönüşecektir. Son yıldızların da sönmesinden sonra Samanyolu -ve Evren'in her yanı- karanlığa bürünecektir. Ancak zaman zaman beyaz cücelerden bazıları çevreden topladıkları maddeyle 1,4 Güneş kütlelik sınırı aşıp Ia tipi süpernova yapacak ve kısa bir süre için yakın çevresini aydınlatacaktır. Yine ender olarak bir kahverengi cüce bir beyaz cüceyle çarpışacak ve bir kırmızı cüce yıldızı oluşturacaktır. Bu sayede yakın çevresini 10 trilyon yıl kadar daha aydınlatabilecektir. 10^{27} yıl sonra gökadalardaki bütün madde merkezde dev karadeliklerde toplanacaktır. 10^{40} yıl sonra, kurama göre, protonlar

5) Evren'deki en yüksek hız ışık hızıdır, ama Evren'in kendisi ışık hızından daha hızlı genişleyebilir.

ve nötronlar bozunacak, daha basit atomaltı parçacıklara dönüşecektir; böylece Evren'de yalnızca karadelikler kalacaktır. Bu sırada Evren'in ortalama sıcaklığı 10^{-20} derece olacaktır; neredeyse "mutlak sıfır". Ancak karadelikler de sonsuza dek var olamayacaklardır. Yine kurama göre 10^{98} yıl sonra bütün karadelikler "buharlaşmış" olacaktır. Bilim insanlarının çoğunun benimsediği "son" budur.

Bir de 2003'te ortaya atılan büyük parçalanma kuramı vardır. Buna göre karanlık enerjinin şiddeti zamanla artacaktır. 20 milyar yıl kadar sonra, en zayıf kuvvet olan kütleçekim kuvvetini yenecektir. Bunun sonucunda birbirine kütleçekim kuvvetiyle bağlı duran bütün yapılar sırayla dağılacaktır. Önce gökada kümeleri dağılacak, sonra gökadalar parçalanacak, ardından da Güneş Sistemi gibi gezegen sistemleri ayrışacaktır. Son noktada yıldızlar ve gezegenler patlayacaktır. Karanlık enerji şiddetini daha da arttırıp elektromanyetik kuvveti de yenecektir. Böylece moleküller ve atomlar ayrışacaktır. Son olarak karanlık enerji atomun içindeki kuvvetlere de baskın gelecek ve onları da parçalayacaktır.

Birbirinden ürkütücü bu olası "son"ların hepsi de elimizdeki kuramlara dayanılarak üretilmiştir. Söz konusu zaman dilimleri Büyük Patlama'dan günümüze kadar olan muazzam sürenin trilyonlarca katıdır. Kuramlarımızın bu denli uzun zaman dilimleri (10^{27} yıl, 10^{40} yıl, 10^{98} yıl!) için geçerli öngörülerde bulunacak kadar "sağlam" olup olmayacağı ya da yerlerini başka kuramlara bırakmayacağı belli değildir. Ancak karanlık enerjinin Evren üzerindeki etkisinde bir değişiklik olmazsa, bütün gökadaları yalıtılmış bir sonun beklediği kesindir.

50 SORUDA

evren

Çağlar Sunay

Ülkemizin az sayıdaki nitelikli popüler bilim yazarlarından Çağlar Sunay, "50 Soruda" dizisinin onuncu kitabı olan 50 Soruda Evren'de, bilimin geçmişindeki yüzlerce yılın birikimiyle günümüze dek ulaştığı tüm bilgileri süzerek, oldukça yalın bir evren portresi çıkarıyor. Yazarın Güneş Sistemi'nin üyelerinden, Evren'in yapıtaşı gökadalara, onların düzenlenişinden, karanlık madde ve karanlık enerjiye kadar birçok temel konuyu neredeyse hiçbir formüle başvurmadan olabildiğince basit anlatırken ele aldığı kimi sorular şöyle:

Evren nedir? Uzay ne kadar boştur? Güneş nasıl oluştu? Güneş'in sonu nasıl olacak? Gezegenler nasıl oluştu? Ay Dünya'dan mı koptu? Güneş Sistemi'ni oluşturan gezegenlerin özellikleri neler? Evren'de başka yaşam var mı? Karadelik nedir? Dünyamıza en yakın yıldızlar hangisidir? Yıldız kayması nedir? Dünya'ya yaşamı tehdit edecek büyük bir göktaşı çarpma olasılığı nedir? Uzayı araştırmak için bugüne kadar insanlık kaç uzay aracı gönderebildi? Evren'in yapısı nasıldır? Evren ne kadar büyüktür? Evren kaç yaşındadır? Evren'de uzaklıklar nasıl ölçülür? Karanlık madde nedir? Karanlık enerji nedir? Evren'in içeriği nedir? Evren'in sonu nasıl gelecek?



Bilim ve Gelecek Kitaplığı

ISBN 978-605-5888-21-3

9 786055 888213