

# Güneş Sistemi Nasıl Oluştu?

*İçinde yaşadığımız Evren'i tanıma çabamız, binlerce yıldan bu yana sürüyor. Günümüzde, en modern teleskoplar sayesinde, Evren'in en uzak köşelerini, milyarlarca ışık yılı ötedeki gökadalari görebiliyoruz. Oysa, Evren'de küçücük bir nokta gibi kalan, içinde yaşadığımız Güneş Sistemimiz hâlâ gizemlerle dolu. Uzay çağının başlangıcından bu yana yapılan çalışmaların büyük bölümü, Güneş Sistemi'ni keşfetmek içindi. Bugün, gerek bu çalışmalara gerekse çevremizdeki başka olası gezegen sistemlerine bakarak Güneş Sistemimizin oluşum öyküsünü anlatabiliyoruz.*

**G**ÜNEŞ SİSTEMİ'nin bir bulutsudan oluştuğu düşüncesini, aynı zamanda bir fizikçi de olan Prusyalı filozof, Immanuel Kant ortaya attı. Kant, ilkel Evren'in ince bir gazla dolu olduğunu canlandırdı düşüncesinde. Başlangıçta homojen dağılmış bu gazda, doğal olarak zamanla bir takım kararsızlıklar ortaya çıkmalıydı. Bu kütleçekimsel kararsızlıklar, kütlelerin birbirini çekmesine, dolayısıyla da gazın belli bölgelerde toplanmaya başlamasına yol açacaktı. Peki, bu topraklar neden disk biçimini alıyordu? Kant, bunu da çözdü. Başlangıçta çok yavaş dönmekte olan gaz toprakları, sıkıştıkça hızlanıyordu. Bu, çok temel bir fizik ilkesine, momentumun korunumu ilkesine dayanır. Bu ilke, genellikle bir buz patencisi örneğiyle açıklanır: Kolları açık, kendi çevresinde dönen buz patencisi, kollarını kapadığında hızlanır. Benzer olarak, kütleçekiminin etkisiyle sıkışmaya başlayan gazlar da giderek hızlanır. Dönmenin etkisi gaz toprağının incelerek bir disk biçimini almasını sağlar. İşte, bu disklerden birisi Güneş Sistemi'mizi oluşturmuştur.

Kant'ın bu düşüncesi, daha sonra birçok gökbilimci tarafından kabul gördü; ancak, herhangi bir yıldızın çevresinde böyle bir oluşum gözlenemediği için, 1980'lere değin bu düşünce, bir varsayım olarak kaldı, kanıtlanamadı. Sonra, gökbilimciler, T Boğa türü yıldızların yaklaşık üçte birinin normalin çok üzerinde kırmızı ışınım yaydığını keşfettiler. Yıl-



Orion Bulutsusu

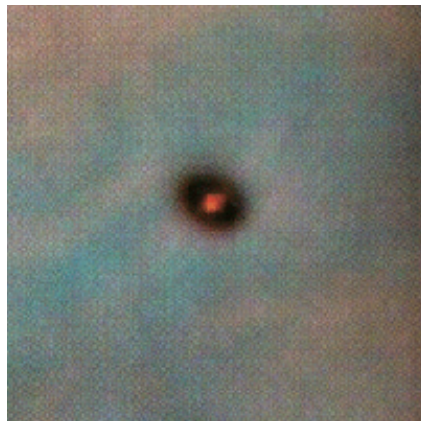
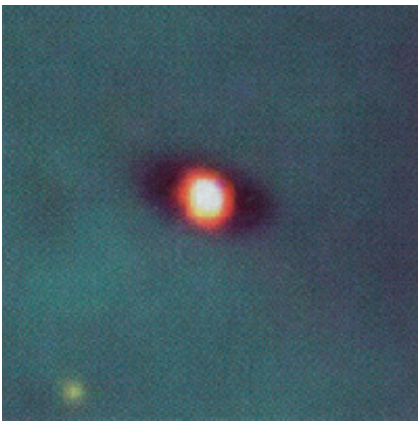
dızın etrafındaki toz bulutu, yıldızın yaydığı kısa dalgaboylu ışınımı soğuruyor; sonra daha uzun dalga boyunda, yani kırmızı ışınım ve radyo dalga boylarında ışınım yayıyordu.

Birkaç yıl sonra, gökbilimciler bazı yıldız oluşum bölgelerine radyo teleskoplarla baktıklarında yıldızların etrafındaki karanlık, toz içeren diskleri doğrudan görebildiler. Hubble Uzay Teleskopu'nun keskin gözleriyle yapılan gözlemlerde, 1600

ışık yılı uzaklıktaki Orion Bulutsusu'ndaki yıldız oluşum bölgeleri incelendi. Böylece, genç yıldızların etrafındaki gaz ve toz diskleri ilk kez görünür dalgaboyunda görüntülenmiş oldu.

## Yıldızlar ve Gezegen Sistemleri

Bugün, elimizdeki bilgilerin ışığında biliyoruz ki, Kant, büyük ölçüde doğruydular. Yıldızlar ve onları çevreleyen diskler, onun varsaydığı gibi çok büyük hacimlerdeki gaz ve tozun kütleçekimi etkisiyle sıkışmasıyla oluşuyor. Yüzyılımızın başlarından bu yana yapılan araştırmalar, yıldız oluşumu konusunda tüm gökbilimcilerce kabul gören bir model oluşturulmasını sağladı. Bu model, Kant'ın modelinden pek de farklı değil. Modele göre, yıldız oluşumu, gaz ve tozdan meydana gelen,  $\text{cm}^3$ 'e yaklaşık 10 bin gaz molekülü düşen dev bir bulutta gerçekleşir. Bu yoğunluk, Dünya atmosferiyle karşılaştırıldığında çok düşük olsa da  $\text{cm}^3$ 'e sadece birkaç

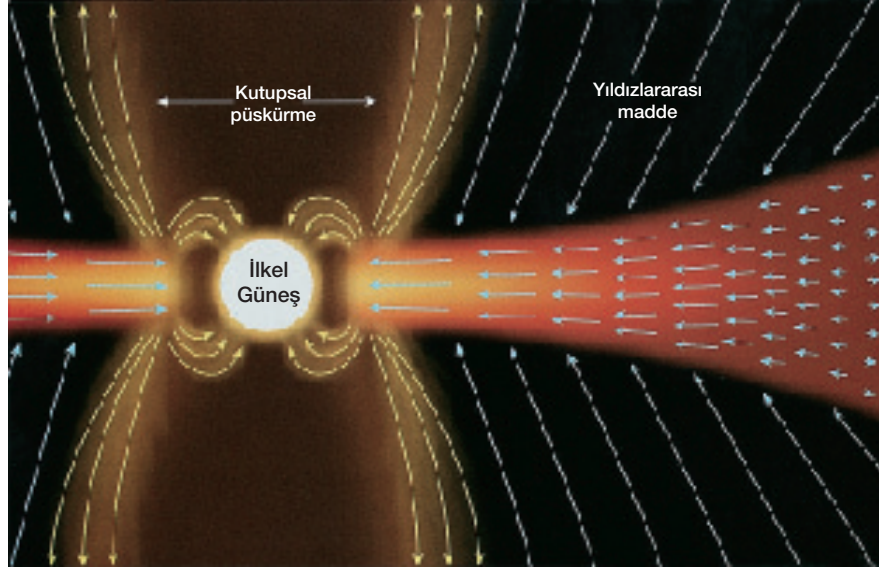


Avcı Takımı yıldızındaki Orion Bulutsusu bir "yıldız fabrikası"dır. Hubble Uzay Teleskopu, yaklaşık 150 ilkel gezegen diskini görüntülemeyi başardı. Bu görüntüler, Güneş Sistemi'nin oluşumuyla ilgili varsayımları destekliyor.

molekülün düştüğü yıldızlararası ortamdan çok daha yoğundur. Bulut, başlangıçta soğuk (10-50 kelvin), çalkantılı ve manyetik alanların etkisi altındadır. Rasgele oluşan topaklanmalar, kütleçekimsel sıkışmayı başlatabilecek, uygun bölgelerdir. Avcı'daki Orion Bulutsusu, bu türden bir bulutsuya gösterilebilecek en iyi örneklerden biridir.

Kütleçekimiyle, çekirdekte giderek daha fazla madde birikir. Çekirdek büyüdükçe, çevredeki madde artan bir hızla çekirdeğe toplanır. Sıkışmanın etkisiyle basınç, basınca bağlı olarak da sıcaklık yükselir. Dönmenin etkisi tabloyu biraz karmaşıklaştırır. Başlangıçta çalkantıların etkisiyle çok yavaş dönen bulutsudaki madde, bir merkezde yoğunlaşmaya başlayınca açısal hız kazanmaya başlar. Çekirdeğe düşen maddenin bir bölümü, daha önceden bir açısal momentuma sahip olduğundan, doğrudan buraya düşmez; çekirdeğin çevresinde yörüngeye girer. Kuzey ve güney yarıkürelere düşen maddenin dönme düzlemine dik olan momentum bileşenleri birbirini götürceğinden, onlar da bu ekvator düzleminde dönen maddeye katılırlar.

Yıldızın oluşabilmesi için, çekirdeğe daha fazla madde düşmesi gerekir. Çekirdeğin çevresindeki diskin ona yakın bölümündeki madde, çekirdeğe düşerek onun büyümesini sağlar. Kalan madde, bu çekirdeğin çevresinde dönmeyi sürdürür. Çe-



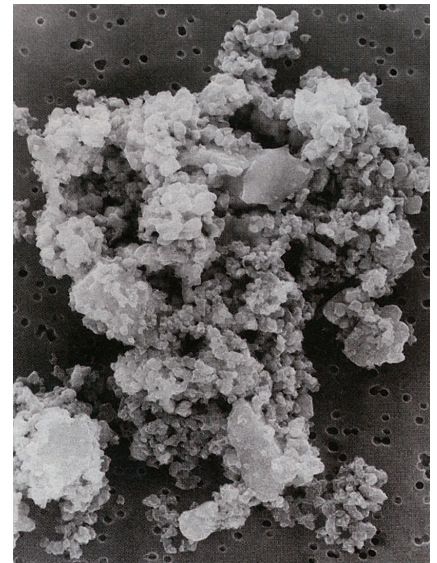
Çekirdeğin çevresindeki diskin ona yakın bölümündeki madde, çekirdeğe düşerek onun büyümesini sağlar. Kalan madde, bu çekirdeğin çevresinde dönmeyi sürdürür.

kirdeğin çevresinde dönmekte olan diskin kütlesi, çekirdeğin kütesinin yaklaşık üçte birini aşmaya başladığında kütleçekimsel olarak kararsız hale gelir. Kararsızlık sonucu, dönme momentumu azalan madde çekirdeğe düşer; sonra denge yeniden sağlanır. Oluşumları süresince, yıldızların bu türden bir dizi kararsızlık yaşadıkları tahmin ediliyor.

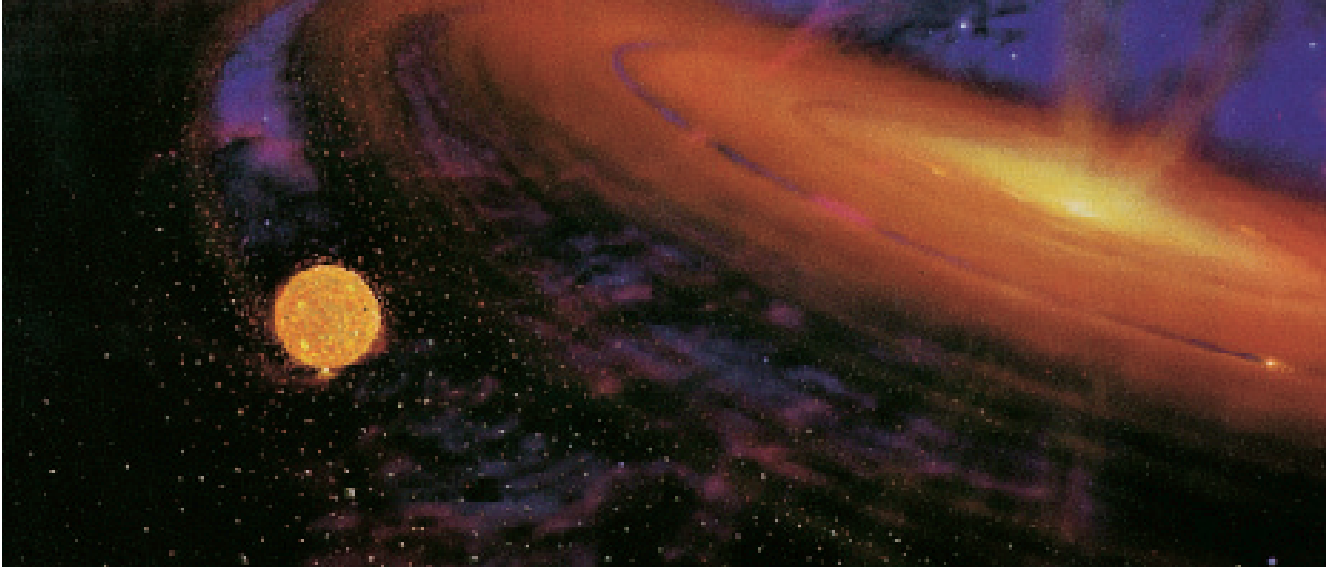
Uzunca bir süre kâğıt üzerinde kalan bu kuramlar, gerçekle karşılaştırıldıklarında doğru oldukları ortaya çıkıyor. Sıkışmanın erken dönemlerinde, ilkel yıldızlar, onları oluşturan toz ve gaz karışımı bulutun içinde yer alırlar. Ancak, bu sadece kızılötesi ve radyo dalgaboylarında gözlene-

bilir. Nitekim, radyo teleskoplar, bu cisimlerden kaynaklanan ve zıt yönlere püsküren "rüzgâr"lara rastladılar. Kutupların yakınılarından püsküren bu rüzgârlara, çekirdeği besleyen maddenin yol açtığı düşünülüyor. Bir yıldızın bu aşamaya ulaşması yaklaşık bir milyon yılda oluyor.

Yıldız doğana, yani termonükleer tepkimeleri (hidrojenin helyuma dönüşmesi) başlatana kadar, yaklaşık 10 milyon yıl daha bu aşamada kalır. Yeterli kütle toplanınca, basıncın etkisiyle yıldızın merkezi çok ısınır (10 milyon kelvin) ve termonükleer tepkimeler başlar. Parlamaya başlayan yıldız, çevresine güçlü bir ışınım yayıyor. Bu ışınımın basıncı, özellikle



Solda: 1852'de Romanya'ya düşen bir kondritin ince kesiti. Kondritler, kondrül denen küresel biçimli küçük parçaların bir araya gelmesiyle oluşmuşlardır. Fotoğrafta görülen en büyük kondrül yaklaşık 3 mm çapındadır. Sağda: Yıldızlararası ortamda bulunan toz tanelerinden birinin elektron mikroskopuyla çekilmiş görüntüsü.



*Güneş Sistemi'ni oluşturan diskin içerdiği gaz ve toz, birkaç bin yılda bir araya gelerek küçük gezegenimsileri oluşturur. Daha sonra, birkaç milyon yıllık bir süreçte bu gezegenimsiler birleşerek gezegenleri oluştururlar.*

de morötesi ışınım, yıldızın çevresindeki maddenin önemli bir bölümünün yıldızlararası ortama dağılmasına yol açar. Geriye kalan, önceki oranla az miktardaki madde, gezegenleri oluşturmak üzere bir araya gelebilir.

## Güneş Bulutsusu

Güneş Sistemi'ni oluşturan madde, çok büyük oranda 12-16 milyar yıl önce gerçekleşen Büyük Patlama'nın ürünü olan hidrojen ve helyumdan meydana gelmişti. Bugün, Evren'e baktığımızda, bazı elementlerin çok, bazılarının ise pek az miktarlarda bulunduğunu görüyoruz. En yaygın element hidrojen, tüm gökadalardan ve yıldızların dörtte üçünü oluşturuyor. İkinci baskın element olan helyumla birlikte hidrojen, Evren'deki maddenin %98'ini oluşturuyor. Öteki tüm elementler sadece %2 oranında bulunuyorlar.

Yaşamlarının sonlarına doğru, yıldızlar, içerdikleri maddenin önemli bir bölümünü uzaya savururlar. Savrulan madde, küçük kütleli yıldızlarda olduğu gibi, yalnızca dış katmanlar olabilir. Büyük kütleli yıldızdaysa, yıldızın çekirdeği dışında kalan tüm katmanları süpernova denen çok büyük bir patlamayla uzaya sav-

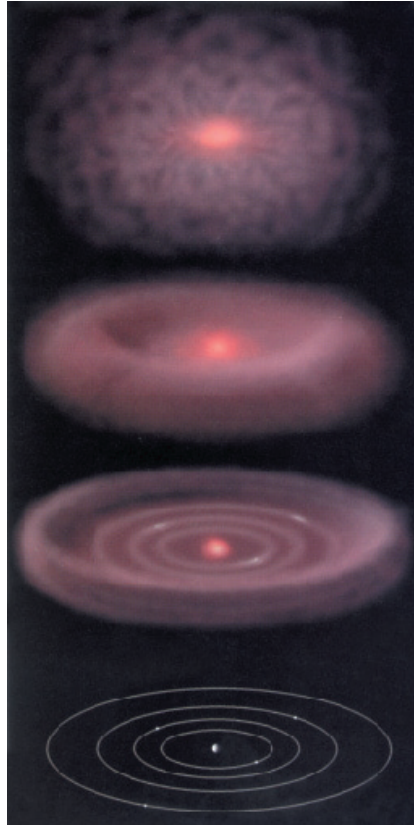
**Özetle, bir gezegen sisteminin oluşumu. Yıldızlar ve onları çevreleyen diskler, çok büyük hacimlerdeki gaz ve tozun kütleçekimi etkisiyle sıkışmasıyla oluşur. Daha sonra, bu disk topaklaşarak Güneş ve gezegenleri oluşturur.**

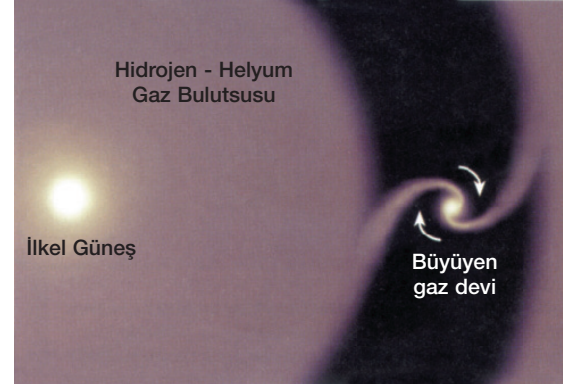
rulur. Her iki durumda da, yıldızlararası ortamda ve bulutsularda bulunan gazlar ağır elementlerce zenginleştirilmiş olur. Yeni yıldızlar, bu elementleri içeren gazlardan oluştuğunda gezegenleri, uydularını asteroitleri ve kuyruklu yıldızları oluşturacak hammaddeye sahip olurlar. Büyük Patlama'dan sonra hidrojenin yaklaşık binde biri oranda bulunan öteki elementler, o andan Güneş'in oluşumuna (4,5 milyar yıl öncesine)

değin geçen yaklaşık 10 milyar yıllık sürede başka yıldızlarda "pişirildiler".

Yıldızlar, yaşam süreleri boyunca, nükleer tepkimelerle değişik elementleri oluştururlar. Örneğin, gezegenlerin yapısında bolca bulunan karbon, azot, oksijen, silisyum ve demir gibi elementler, bir yıldızın içinde üretilir. Buna karşılık, demirden ağır olan elementlerin oluşumu çok büyük miktarda enerji gerektirir; yıldızın içindeki enerji bunu sağlayamaz. Bu enerji, ancak süpernova patlamalarında ortaya çıkar.

Bugün, Güneş Sistemi'ni oluşturan bulutsudan geriye pek bir şey kalmadı. Bu maddenin bir bölümü gezegenleri, asteroitleri ya da kuyruklu yıldızları oluşturdu. Kalanını, ya Güneş yuttu ya da güneş ışınlarının yarattığı basınçla yıldızlararası ortama itildi bunlar. Ancak, bulutsudan kalan maddenin korunduğu çok iyi yerler var: Kuyruklu yıldızlar. Bu gök cisimleri, küçük olmaları ve çoğu zaman Güneş'ten çok uzakta yer almaları sayesinde, oluştukları andaki maddeyi bozulmamış halde saklıyorlar. Henüz, bir kuyruklu yıldız doğrudan inceleme fırsatı olmadı; ancak, onlardan kopup gelen bazı parçalar laboratuvarlarda incelenebiliyor. Gezegenleri, göktaşlarını ve kuyruklu yıldızları oluşturan diskten artakalan parçacıkların bir bölümü, atmosferin üst katmanlarından özel uçaklarla toplanabiliyor. Bir elektron mikroskopuyla incelendiklerinde, bu parçacıkların bazı minerallerden





Gezegenler, oluşumlarının ilk aşamalarında, ilkel bir Güneş'in etrafında dönen kayasal ve buzdan gezegenimsilerin bir araya gelmesiyle oluştu. Oluşumlarının ileriki aşamalarında, gaz devleri, sistemi oluşturan bulutsudaki gazı yutarak büyüdüler.

ve organik bileşiklerden oluştuğları görülüyor. Kozmik toz parçalarının çoğu hemen hemen aynı büyüklükte, 0,1 mikron çapındadır. Bu toz parçaları, 4,5 milyar yıl önce, Güneş Sistemi'ni oluşturan bulutsudan arta kalmıştır.

Gezegenler oluşmadan önce, Güneş'i çevreleyen disk, merkeze, yani Güneş'e yakın yerlerde çok sıcak; kenarlardaysa çok soğuktu. Çünkü, Güneş'in güçlü ışınımı, bulutsunun ona yakın katmanlarının çok ısınmasına yol açıyordu. Bunun yanı sıra, Güneş'in kütleçekimi sayesinde, diskin merkezine yakın katmanları, daha yoğun ve kalındı. Bu bölgelerdeki sıcaklık, gezegenlerin oluşumu sırasında, suyun buz halinde katılaşmasını engelliyordu. Burada yoğunlaşan maddenin çoğu, silikatlardan ve öteki ağır minerallerden oluşuyordu. İşte bu mineraller, karasal gezegenleri oluşturdular.

Sıcaklık, diskin kenarlarına doğru ilerledikçe düşüyordu. Burada, su katı halde bulunabiliyordu. Su ve gaz moleküllerini içeren "kar taneleri" de dev gezegenleri oluşturdu. En dışta yer alan en soğuk bölgede yoğunlaşan madde, tamamıyla katı haldeydi ve çok dağınık halde bulunduğundan bir gezegeni oluşturabilecek topraklanmayı sağlayamadı. Bunun yerine, çok sayıda, gezegenlere oranla küçük gezegenimsi göktaşları oluştu. Bu göktaşları, yani kuyruklu yıldız çekirdeklerinin bulunduğu bölgeye Kuiper Kuşağı deniyor. Güneş'i çevreleyen diskin topraklaşarak gezegenleri, göktaşlarını ve kuyruklu yıldızları oluşturması, Güneş'in yaşam süreciyle karşılaştırdığımızda çok kısa bir süre, sadece 10 milyon yıl aldı.

## Karasal Gezegenler

Karasal (kayasal) gezegenlerin, sadece, bulutsudaki toz parçacıklarının bir araya gelerek oluştuğunu söylemek pek yeterli olmaz. İç Güneş Sistemi'nde, günümüze değin kalmış göktaşları büyük oranda kondritlerden oluşur. Kondritlerin büyük bölümü, asteroidlerin çarpışmasıyla gezegenlerarası boşluğa saçılan parçalardır. Kondritler, kondrül denen küresel biçimli küçük parçacıkların bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Kondrüler, başlangıçta 1500-1900 kelvin'i bulan sıcaklıklarda oluştu. Soğuyarak katılaştıklarında, onları şimdi gördüğümüz gibi, bir araya gelmemişlerdi; damla biçimleriyle Güneş'in çevresinde dönüyorlardı.

Yüz yılı aşan bir süre önce, mikroskopuyla göktaşlarını inceleyen Henry Clifton Sorby adlı bir bilim adamı, kondritlerin, yağmur damla-

sına benzeyen camsı parçacıkların bir araya gelerek oluşturduğu taşlar olduğunu söyledi. Sorby, aynı zamanda, bu göktaşlarının gezegenlerin oluşumundan artakalan madde olduklarını da öne sürdü. O zaman için oldukça iyi bir yaklaşımdı bu.

Daha sonra, kondrülleri laboratuvar fırınlarında yapma deneyleri gösterdi ki bunların göktaşlarındaki özelliklerini kazanmaları için, bir saatten kısa sürede soğumaları gerekiyor. Bu, kondrüllerin bulutsunun merkezi yakınlarındaki yüksek sıcaklıkta eridiği düşüncesinin doğru olmadığını gösteriyor. Çünkü, bu bölgede, bir saat gibi kısa bir sürede soğumaları olası değil. Bu, ancak, diskin iç bölgelerinin, birtakım yüksek enerjili olaylarla daha dışarıda kalan katmanları etkilemesiyle açıklanabilir. Bu tür yüksek enerjili atmaların doğası hakkında pek bir şey bilinmiyor; aslında, gerçek olup olamayacakları da...

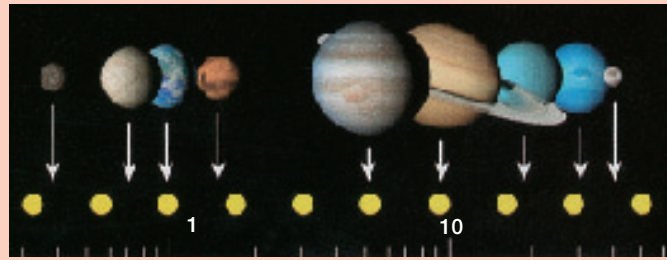
## Bode "Yasası"

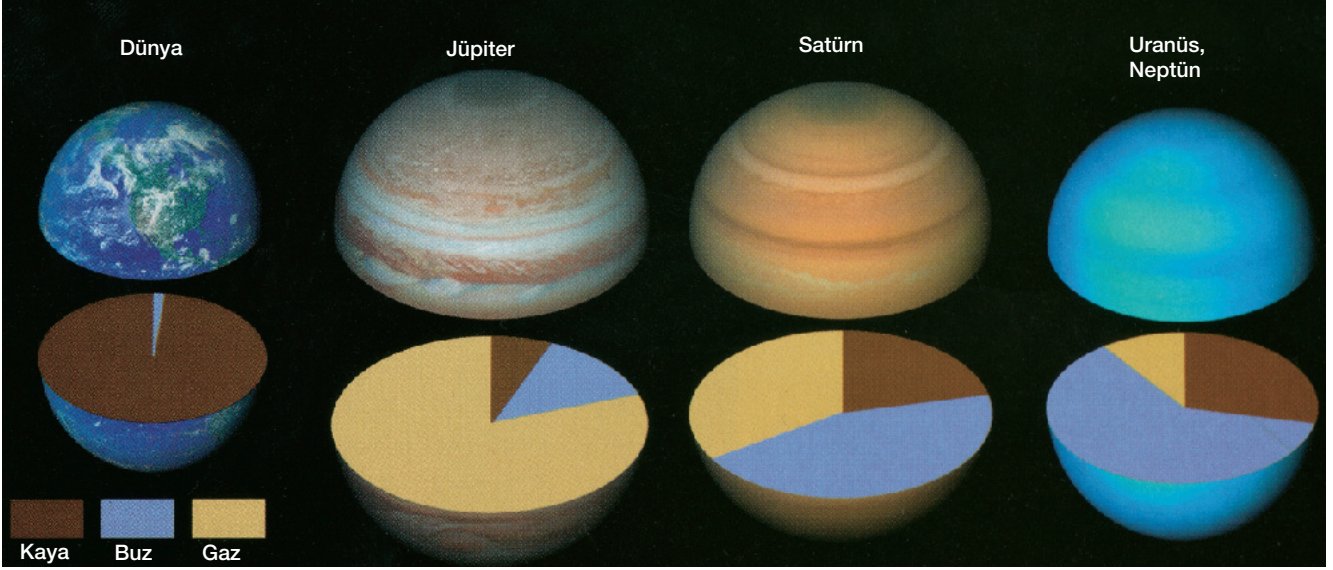
Her ne kadar, bu yasanın adı Bode Yasası olarak bilinse de, aslında Johann Titus adlı bir fizikçi ve matematikçi tarafından 1766 yılında bulunmuştur. Bu yasa, daha sonra, 1772'de Bode tarafından, yeniden ele alınmış ve bu nedenle onun adıyla tanınmıştır.

Bode yasası, gezegenlerin Güneş'e uzaklıklarının hesaplanabileceği basit bir formüle dayanır. Formülde uzaklıklar, astronomi birimiyle (ab) ifade edilir. (Bir astronomi birimi,

Dünya'nın Güneş'e uzaklığıdır. Yaklaşık 150 milyon km.) Bode yasasına göre, 0, 3, 6, 12, 24, ..., (3x2n) serisindeki sayılardan herbiri Güneş'e olan uzaklıklarına göre, bir gezegene denk gelir. Yani 0 Merkür'e, 3 Venüs'e, 6 Dünya'ya .... Gezegenin uzaklığını bulmak için, bu seriden o gezegene denk gelen sayıya dört eklenir. Bulunan sonuç 10'a bölündüğünde gezegenin uzaklığı astronomi birimi cinsinden bulunur. Örneğin, Merkür'ün uzaklığı (0+4)/10=0,4, Dünya'nın uzaklığı (6+4)/10 astronomi birimi olarak bulunur.

Aşağıdaki çizimde, logaritmik ölçekte gezegenlerin Güneş'e gerçek uzaklıkları ve Bode formülüyle hesaplanan uzaklıkları karşılaştırılmaktadır. Mars ve Jüpiter arasındaki nokta asteroid kuşağına denk geliyor.





Dev gezegenlerin bileşimleri, karasal gezegenlerle karşılaştırıldığında buz ve gaz bakımından çok daha zengindir. Buna karşılık, karasal gezegenler çok düşük oranda gaz ve buz içerirler; yapıları çok büyük oranda kayasalıdır.

Kondrüller ve toz parçalarının nasıl olup da bir araya gelerek kondritleri oluşturmaya başladığı pek de iyi anlaşılmış değildir. Çünkü, bu küçük cisimler arasındaki kütleçekimi, birbirlerine yapışmalarını sağlayacak kadar güçlü olamaz. Saniyede bir metrelik hızla çarpışan parçacıklar, birbirlerine Van der Waals çekiminin (elektrostatik yüklerin neden olduğu kısa menzilli kuvvet) etkisiyle yapışabilirler. Ancak, sadece Van der Waals kuvvetleri, bulutsunun çalkantılı ortamında çarpışarak birleşen bu parçacıkları bir arada tutamaz. Nasıl olduğu tam olarak anlaşılmış olmasa da herkes, gezegenlerin bir şekilde bu parçacıkların birleşmesiyle oluştu-

ğundan emin. Bu topaklanmalar sonucu, birkaç cm çapa ulaşan parçalar, artık ortamdaki çalkantılardan daha az etkilenirler.

Yörüngede dolanan katı bir cisim, (bir parça kondrit gibi) Güneş'in kütleçekimi sayesinde dengede kalır. Ancak ortamda bir miktar gaz varsa, bu gaz, cismin hızının azalmasına ve sarmal bir yol izleyerek Güneş'e doğru yaklaşmasını sağlar. Yani, cisim, çapı giderek küçülen bir yörünge izler. Merkeze doğru ilerleyen kondrit parçaları, buralarda birikirler ve bir araya gelerek büyürler. Bu tür bir cisim, yaklaşık bir kilometrelik çapa ulaştınca, artık gaz direnci onun üzerindeki etkisini kaybetmeye başlar ve

cisim hemen hemen sabit bir yörüngede kalır. Yaklaşık bu boyuta ulaşan gök cisimlerine "gezegenimsi" denir.

Yeni oluşmakta olan bir gezegen sisteminde, benzer boyutlarda çok sayıda gezegenimsi bulunur. Yörüngeleri, birbirlerine göre az ya da çok farklı olacağından, birbirlerinden farklı hızlarda hareket ederler. Birbirlerine yakın yörüngede olanlar, yakın hızlarla hareket ederler ve kütleçekimleri birbirlerini etkiler. Kütleçekimi, yörüngelerde küçük sapmalara neden olur ve bu da çarpışmalara yol açabilir. Eğer çarpışma yeterince yavaş gerçekleşirse, iki kütle birleşir ve daha büyük bir gezegenimsi ortaya çıkar. Çarpışmalar sürdükçe cisim

## 10. Gezegen

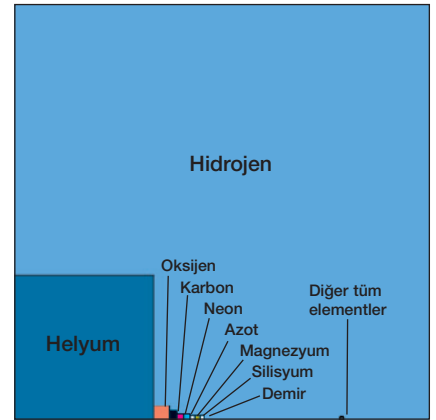
Bilindiği kadarıyla, Güneş Sistemi'nde dokuz gezegen vardır. Bazı bilim adamları, 10. gezegenin ya da Gezegen X'in keşfedilmek üzere beklediğini düşünüyorlar. 1781'de, Güneş Sistemi'nin boyutlarını yaklaşık iki katına çıkararak bir keşif yapıldı; Uranüs'ü keşfedildi. 1800'lü yıllara gelindiğinde, gökbilimciler, Uranüs'ten sonra bir gezegen daha bulunması gerektiği kanısına varmışlardı. Çünkü, Uranüs'ün yörüngesinde küçük bir sapma vardı. 1841'de Neptün'ün keşfi Uranüs'ün yörüngesindeki sapmayı açıklamada yeterli olmadı. Bu nedenle, Gezegen X için aramalar sürdürüldü.

1930'da, Amiral gökbilimci Clyde Tombaugh, çekilmiş binlerce fotoğrafı inceleyen dokuzuncu gezegen olan Plüton'u keşfetti. Ancak, Plüton, Dünya'ninkinin sadece yüzde biri kütlesiyle, Uranüs üzerinde önemli bir etkiye sahip olamazdı.

Peki, Hubble Uzay Teleskopu gibi çok

güçlü teleskoplarla gökyüzüne baktığımız günümüzde, eğer varsa bu gezegeni neden göremiyoruz? Varsayımlardan biri, bu gezegenin Güneş'e çok uzakta yer aldığı için güneş ışığının çok azını yansıtması. Bu gezegenin bugüne kadar keşfedilememesinin bir nedeni de, aslında gökbilimcilerin nereye bakacaklarını bilememeleridir. Göz ardı etmek gerekir ki, Plüton'un keşfindeki en büyük etken Clyde Tombaugh'un yoğun çabalarıdır. Binlerce fotoğraf plakasının üzerindeki yüzlerce noktayı birbiriyle karşılaştırarak bir sonuç elde etmek küçümsenecek bir çaba değil.

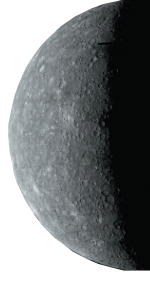
Uranüs'ün yörüngesindeki küçük sapmalara bakılarak, 10 gezegenin yeri saptanmaya çalışılıyor; ancak, bu hesaplardaki hata payı çok büyük. Yapılan bazı hesaplar, bu gezegenin günümüzde Akrep Takımyıldızı sınırları içinde kaldığını gösteriyor. Bu bölge, Samanyolu düzlemine denk geldiğinden, buradaki yıldız yoğunluğu içinde bir gezegen aramak, samanlıktaki iğne aramaya benziyor.



Evren'de yıldızlar, gezegenler ve öteki küçük gök cisimlerinin yanında, onların hammadde olan yıldızlararası madde bolca bulunur. Bir ton yıldızlararası madde, 984 kg hidrojen ve helyum, 11 kg çeşitli buzlar, 4 kg kaya ve 1 kg'nin altında metal içerir.

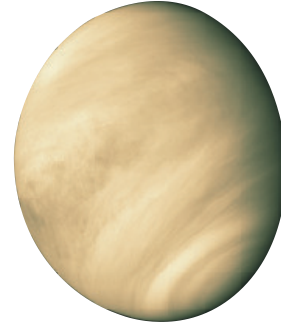
## Güneş

Çap: 1 391 020 km  
(1019 Dünya çapı)  
Kütle:  $1,989 \times 10^{33}$  g  
Yoğunluk:  $1,409$  g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 25,4 gün  
(ekvatorda)  
Sıcaklık: Merkezde 15 557 000 K  
Fotosferde 5780 K  
Koronada 2 milyon-3 milyon K



## Merkür

Çap: 4880 km  
Kütle:  $3,302 \times 10^{26}$  g  
Yoğunluk:  $5,43$  g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 58,65 gün  
Güneş'ten uzaklık: 0,3871 ab



## Venüs

Çap: 12 104 km  
Kütle:  $4,865 \times 10^{27}$  g  
Yoğunluk:  $5,20$  g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 243 gün  
Güneş'ten uzaklık: 0,7233 ab

büyür. Eğer, çarpışma hızlı gerçekleşirse, her iki cisim de dağılıbilir.

Bilim adamları, bir sistemdeki gezegen oluşumunun ne kadar süreceğini, bilgisayar yardımıyla hesaplamaya çalışıyorlar. Yaptıkları hesaba göre, gezegenimsiler oluşuktan yaklaşık 20 bin yıl sonra Ay boyutunda yüzlerce cisim ortaya çıkıyor. Gezegenlerin hemen hemen tam boyutlarına ulaşmalarıysa yaklaşık 10 milyon yıl alıyor. Kalan gezegenimsilerse sonraki 10 milyon yıl içerisinde gezegenlerce yutuluyor. Bu çarpışmalar nedeniyle, gezegenler oluşumlarının ilk dönemlerinde sürekli etkin kalıyorlar.

## Asteroid Kuşağı

Karasal gezegenlerle dev gezegenler arasındaki bölgede Asteroid Kuşağı yer alır. Burada, bir gezegen olarak nitelendirilebilecek kadar büyük bir gök cisimi yoktur; kuşağın toplam kütle, Ay'inkinden küçüktür.

Güneş Sistemi'ndeki gezegenlerin dağılımına baktığımızda, bir düzen olduğu fark edilir. Her gezegenin yörüngesi, bir içtekenden %75 geniştir. Bu düzene göre, Asteroid Kuşağı'nın yerinde de bir gezegen olması gerekirdi. Peki, bu gezegene ne oldu? Bu konuda kesin bir kanıt olamamakla birlikte, bazı gezegenbilimcilere göre, bir zamanlar burada oluşmakta olan bir gezegen Jüpiter'in çok güçlü kütleçekiminin etkisiyle parçalandı. Ya da, buradaki gezegenimsiler hiçbir zaman bir araya gelerek gezegen oluşturamadılar.

Kuşakta bulunan asteroidlerin toplam kütlelerinin az olması, Jüpiter'in ya da birbirlerinin kütleçekimlerinin etkisiyle yörüngelerinden çıktığı düşüncesini destekliyor. Yörüngeden ayrılan cisimler, ya Güneş'in çevresinde başka bir yörüngeye oturuyorlar ya da Güneş ya da dev gezegenler tarafından yutuluyorlar. Zaman zaman, karasal gezegenlerle de çarpışabiliyorlar.

## Dev Gezegenler

Güneş bulutsusunun dış katmanları, iç katmanların aksine suyun katı halde bulunabilmesine olanak tanımıştı. Bu ikinci bölgede, kar taneleri, iç bölgelere oranla 10 kez fazlaydı. Gaz moleküllerinin bu bölgede çok daha fazla olması nedeniyle, kuşkusuz burada oluşacak gezegenlerin kimyasal bileşimleri de karasal gezegenlerden çok farklı olmalıydı. Suyun ana bileşenlerinden oksijen Güneş Sistemi'nde magnezyum, silisyum ve demir gibi karasal gezegenleri oluşturan elementlerden çok daha fazladır. Bu da dev gezegenlerde bol miktarlarda su bulunması gerektiğini düşündürüyor.

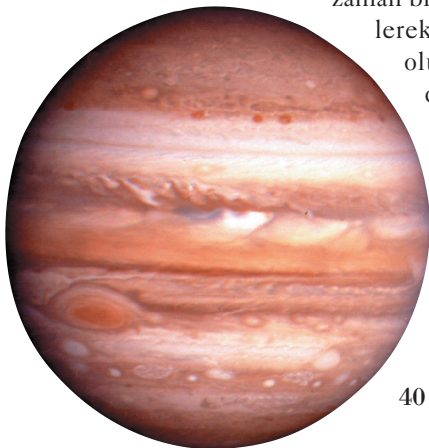
Ne var ki, en büyük gezegenler Jüpiter ve Satürn, beklendiği gibi ağırlıklı olarak sudan değil, büyük oranda hidrojen ve helyumdan oluşuyor. Yani, bu gezegenlerin bileşimi, Güneş'inkiyle benzerlik gösteriyor. Jüpiter ve Satürn'ün bileşimleri, saf hidrojen ve helyumdan oluşmuş kar taneleri sayesinde oluşmuş olamaz. Çünkü, gezegen-

lerin oluşumları sırasında, ortam bu gazların yoğunlaşabilmesi için fazla sıcaktı. Jüpiter ve Satürn, kütlelerinin önemli bir bölümünü, doğrudan bulutsudan almış olmalı. Yani, karasal gezegenler gibi, toz ve buzdan oluşmuş çekirdekleri, yeterli kütleyle ulaştığında, bulutsudaki gazı kütleçekimleriyle toplamış olabilirler.

Jüpiter ve Satürn'ün hidrojen ve helyum ağırlıklı bileşimlerine karşılık, Uranüs ve Neptün çoğunlukla katı halde bulunabilen gazlardan oluşur: Su, amonyak ve metan. Ayrıca, dış katmanlarda hidrojen ve helyum bulunur. Gezegenlerin çekirdeği ise kaya ve demirden oluşur.

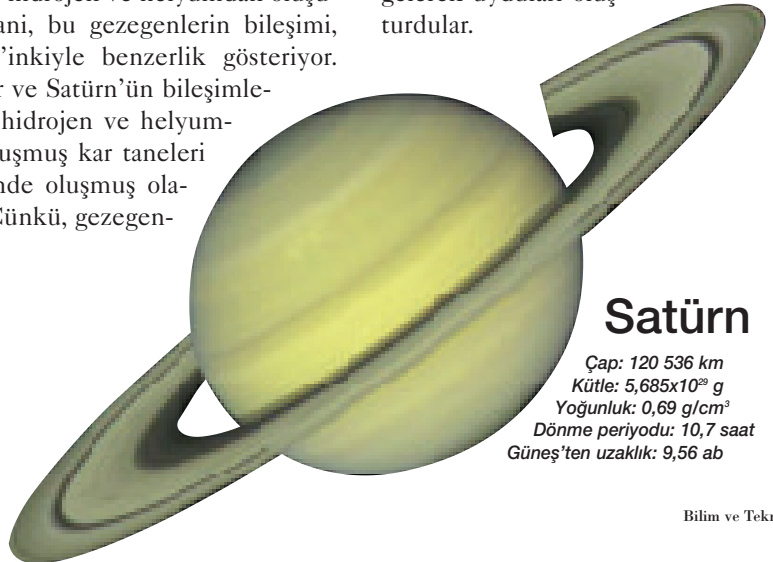
## Uydular

Uyduların oluşumuyla ilgili en popüler modellerden birisi şöyle: Dev gezegenler, yoğunlaşmanın etkisiyle başlangıçta çok sıcaktı. Sıcaklığın etkisiyle, günümüzdekine oranla çok daha geniştiler. Zamanla soğuduklarında küçüldüler. Oluşum aşamalarının sonlarına doğru, gezegenleri oluşturan gaz ve tozun artakalanı onların çevrelerinde dönmeyi sürdürüyordu. Zamanla, gazın büyük bölümü ya gezegenlerce yutuldu ya da dağıldı. Kalan toz ve bir miktar gaz, küçük bir Güneş Sistemi gibi, bir araya gelerek uyduları oluşturdu.



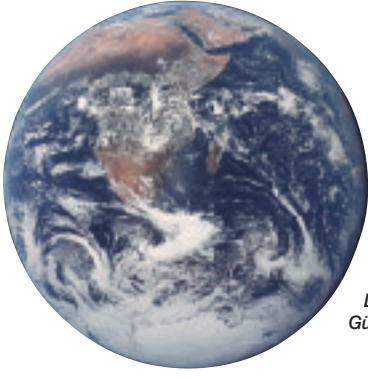
## Jüpiter

Çap: 142 984 km  
Kütle:  $1898 \times 10^{30}$  g  
Yoğunluk:  $1,33$  g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 9,9 saat  
Güneş'ten uzaklık: 5,20 ab



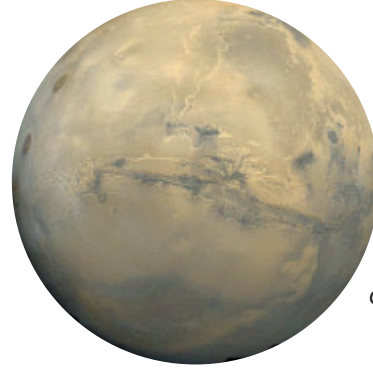
## Satürn

Çap: 120 536 km  
Kütle:  $5,685 \times 10^{29}$  g  
Yoğunluk:  $0,69$  g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 10,7 saat  
Güneş'ten uzaklık: 9,56 ab



## Dünya

Çap: 12 756 km  
Kütle:  $5,974 \times 10^{27}$  g  
Yoğunluk: 5,974 g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 23,9 saat  
Güneş'ten uzaklık: 1,00 ab



## Mars

Çap: 6792 km  
Kütle:  $6,419 \times 10^{26}$  g  
Yoğunluk: 3,91 g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 24,6 saat  
Güneş'ten uzaklık: 1,52 ab

Uyduların çoğu yukarıda söz ettiğimiz biçimde oluşmuş olsa da, bazı uyduların gezegenler tarafından sonradan yakalanmış oldukları düşünülüyor. Bu uydular ya çok elips biçimli yörüngelerde dolanıyorlar ya da dönme düzlemleri farklı. Bu uydular arasında, Phoebe, Triton ve pek çok küçük uydu var. Mars'ın uyduları Phobos ve Deimos da öyle.

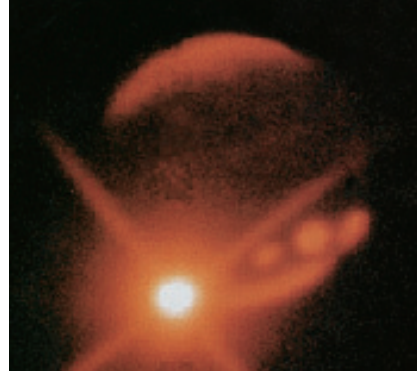
Bizim doğal uydumuz Ay'ın oluşumu başlı başına bir öykü. Ay'ın oluşumu üzerine ortaya konan en iyi varsayım, onun Dünya'ya çarpan bir gezegenimsi tarafından koparıldığı şeklinde. Çarpışma, Dünya'dan önemli miktarda erimiş kaya ve gazı kopararak, çevresine dağıttı. Bu maddenin bir bölümü Dünya'ya geri düşerken, bir bölümü de uzaya saçıldı. Roche sınırı denen ve Dünya'nın yüzeyine yaklaşık 10 bin km'den uzakta kalan cisimler, yörüngeye girdiler ve topaklaşmaya başladılar. (Roche sınırı altında kalan cisimler, gezegenin güçlü kütleçekimi etkisinden dolayı bir araya gelemezler.) Zamanla, parçalar bir araya geldi ve Ay oluştu.

## Kuyruklu Yıldızlar

"Güneş Sistemi nerede bitiyor" sorusuna verilen geleneksel cevap, Plüton'un yörüngesidir genellikle. Buna karşın, günümüzde biliyoruz ki, Güneş Sistemi'nin sınırları çok daha ötelere gidiyor. Günümüzden yaklaşık 50 yıl önce, Kenneth Edgeworth ve Gerard

Kuiper, birbirlerinden bağımsız ola-

rak, Plüton'un yörüngesi civarında, gezegenleri oluşturan maddeden artakalan bir kuşak bulunması gerektiğini öngördüler. Nitekim, son yıllarda yapılan teleskoplu gözlemler, bu cisimlerin varlığını kanıtladı. Bu kuşakta, her biri yaklaşık bir kilometre ya da daha büyük çaplı, 200 milyon gökcsimi olduğunu hesapladı. Kuiper Kuşağı olarak adlandırılan bu kuşak,



*Dev gezegenler, günümüzde bile Güneş Sistemi'nin oluştuğu dönemden artakalan maddeyi yutmayı sürdürüyorlar. 1994'te Jüpiter'e çarpan Shoemaker-Levy Kuyruklu Yıldızı bunun güzel bir örneğidir.*

Plüton ve uydusu Charon'u da içeriyor. Büyük olasılıkla Neptün'ün uydusu Triton da bir zamanlar bu kuşağın üyesiydi. Triton ve bu iki uydu, bu kuşağın en büyük üyeleri olmalı.

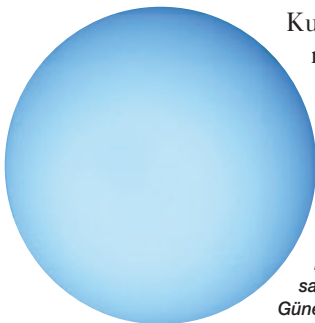
Kuşaktaki gökcsimlerinin yörüngelerinden çıkıp iç Güneş Sistemi'ne yönelmelerini sağlayan etki kendi aralarındaki çarpışmaların yarattığı kararsızlıklardır. Kısa dönemli kuyruklu yıldızlar, büyük olasılıkla Ku-

iper Kuşağından gelirler. Uzun dönemli kuyruklu yıldızların geldiği başka bir bölge daha olmalı. 1950 yılında, gökbilimci Jan Hendrick Oort, bu cisimlerin kaynağıyla ilgili bir varsayım ortaya attı. Oort'a göre, uzun dönemli kuyruklu yıldızlar, Güneş'i küresel biçimde çevreleyen bir bölgeden geliyorlardı. Oort Bulutu olarak adlandırılan bu bölge hiç görülmediyse de, yakınlarımıza gelen uzun dönemli kuyruklu yıldızların yörüngelerine baktığımızda, bizi oraya götürüyor.

Oort Bulutu'nun oluşumu şöyle anlatılıyor: Dev gezegenler, özellikle de Jüpiter, yakınlarından geçen gezegenimsileri çok basık yörüngelere yerleştirir. Hatta bazen bu cisimler, Güneş'in çekim kuvvetinden kurtularak bir daha dönmek üzere yıldızlararası ortama gönderilirler. Ancak, büyük bir kısmı, Güneş'in çekim etkisinden kurtulamaz ve basık, elips biçimli yörüngelerinde dönerler. Güneş'ten uzak olduklarında, hızları da azaldığından, zamanlarının büyük bölümünü, yörüngelerinin uzak yarısında, yani Oort Bulutu'nda geçirirler. Oort Bulutu'nun dış sınırının yarıçapı, yani Güneş'e uzaklığı yaklaşık bir ışık yılıdır. İşte, bu uzaklıktan sonra, Güneş Sistemi'nin bittiğini; yıldızlararası ortamın başladığını söyleyebiliriz.

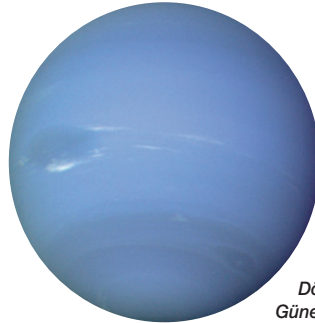
Alp Akoğlu

**Kaynaklar**  
Beatty, J.K., Charkin, A., Petersen, C.C., The New Solar System, Sky Publishing Corporation, 1999  
Dupuis, D., Engelbert, P., The Handy Space Answer Book, Visible Ink Press, 1998  
Wood, J.A., Forging The Planets, Sky & Telescope, January 1999  
Kaufmann W.J., Discovering The Universe, W.H. Freeman & Company, New York, 1992



## Uranüs

Çap: 51 118 km  
Kütle:  $8,683 \times 10^{26}$  g  
Yoğunluk: 1,318 g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 17,24 saat  
Güneş'ten uzaklık: 19,21 ab



## Neptün

Çap: 49 552 km  
Kütle:  $1,024 \times 10^{26}$  g  
Yoğunluk: 1,638 g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 16,11 saat  
Güneş'ten uzaklık: 30,11 ab



## Plüton

Çap: 2300 km  
Kütle:  $1,32 \times 10^{22}$  g  
Yoğunluk: 2,0 g/cm<sup>3</sup>  
Dönme periyodu: 6,38 gün  
Güneş'ten uzaklık: 39,54 ab