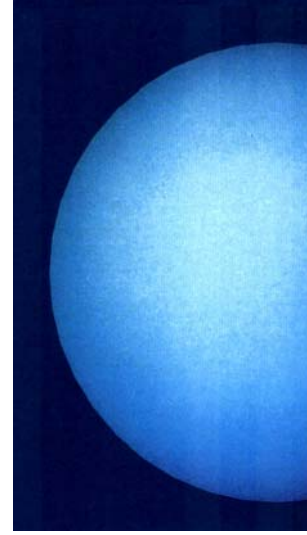


## BÖLÜM 9 Uranüs ve Neptün

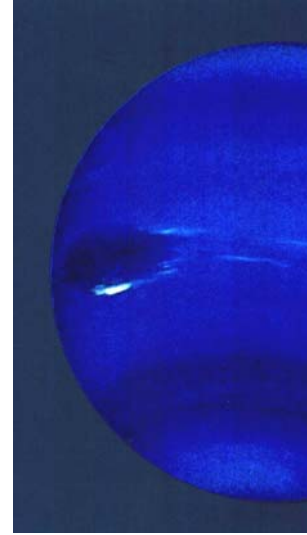
### URANÜS

Güneş'e ortalama uzaklık	19.194 AB = $2.871 \times 10^9$ km
Güneş'e en büyük uzaklık	20.017 AB = $2.995 \times 10^9$ km
Güneş'e en küçük uzaklık	18.371 AB = $2.748 \times 10^9$ km
Yörünge dışmerkezliği	0.0429
Ortalama yörünge hızı	6.83 km/sn
Yörünge (yıldızıl) dönemi	84.099 yıl
Kavuşum (sinodik) dönemi	370 gün
Dönme dönemi	16.0 saat
Ekvatorun yörüngeye eğikliği	$97.86^\circ$
Yörünge ekliptiğe eğimi	$0.77^\circ$
Ekvator çapı	$51,118 \text{ km} = 4.007 D_{\text{yer}}$
Kütle	$8.682 \times 10^{25} \text{ kg} = 14.53 M_{\text{yer}}$
Ortalama yoğunluk	$1318 \text{ kg/m}^3$
Kurtulma hızı	21.3 km/sn
Yüzey çekim ivmesi ( $Y_{\text{er}}=1$ )	0.90
Yansıtma gücü	0.56
Ortalama sıcaklık	$-218^\circ\text{C} = 55^\circ\text{K}$



### NEPTÜN

Güneş'e ortalama uzaklık	30.066 AB = $4.498 \times 10^9$ km
Güneş'e en büyük uzaklık	30.367 AB = $4.543 \times 10^9$ km
Güneş'e en küçük uzaklık	29.765 AB = $4.453 \times 10^9$ km
Yörünge dışmerkezliği	0.010
Ortalama yörünge hızı	5.5 km/sn
Yörünge (yıldızıl) dönemi	164.86 yıl
Kavuşum (sinodik) dönemi	367 gün
Dönme dönemi	16.11 saat
Ekvatorun yörüngeye eğikliği	$29.56^\circ$
Yörünge ekliptiğe eğimi	$1.77^\circ$
Ekvator çapı	$49,528 \text{ km} = 3.883 D_{\text{yer}}$
Kütle	$1.024 \times 10^{26} \text{ kg} = 17.15 M_{\text{yer}}$
Ortalama yoğunluk	$1638 \text{ kg/m}^3$
Kurtulma hızı	23.5 km/sn
Yüzey çekim ivmesi ( $Y_{\text{er}}=1$ )	1.1
Yansıtma gücü	0.51
Ortalama sıcaklık	$-218^\circ\text{C} = 55^\circ\text{K}$



## 9.1 Uranüs ve Neptün'ün Keşfi

Uranüs tamamen rastlantısal olarak 13 Mart 1781 tarihinde Alman kökenli İngiliz astronom William Herschel tarafından, kendi yaptığı teleskopla keşfedilmiştir. Herschel, bu tarihte yaptığı tarama gözlemleri sırasında, yıldız haritalarında yer almayan sönük bir cisim görmüş ve başlangıçta oldukça uzak bir kuyruklu yıldız olarak yorumlamıştır. Ancak 1781 yılı sonuna kadar sürdürdüğü gözlemleri sonucunda, bu cismin yörüngesinin çembere çok yakın ve Satürn yörüngesinin de dışında yer aldığını görmüştür. Halbuki kuyruklu yıldızların yörüngeleri oldukça basık elipslerdir ve görünür olmaya başladıkları anda Güneş'e çok yakındırlar. Herschel, bu gözlemleri sonucunda Güneş sisteminin yedinci gezegenini keşfettiğini anlamış ve Güneş sisteminin o tarihte bilinen sınırlarını 9.5 AB'den (Satürn'ün Güneş'e uzaklığı) 19.2 AB'ne (Uranüs'ün Güneş'e uzaklığı) çıkarmıştır. Aslında Uranüs, bu keşiften önce çok sayıda gözlemci tarafından görülmüş ancak sönük bir yıldız olarak yorumlanmıştır. Karşı-konum anında Yer'den bakıldığında, ancak insan gözünün alt limiti olan 6 kadire yaklaşabilen Uranüs, bu nedenle 1670-1781 tarihleri arasında oluşturulan yirmiye yakın haritada bir yıldız olarak noktalanmıştır.

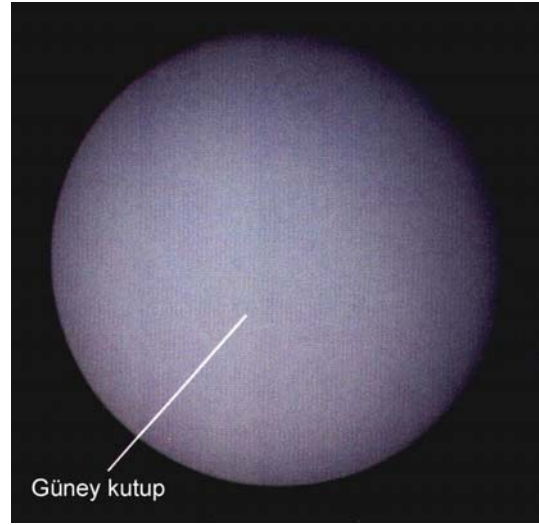
Uzun bir zaman aralığında izlendiğinde, Uranüs'ün yavaş yörünge hareketinin (Yer'den bakıldığında sabit yıldızlara göre yılda  $\sim 4^\circ$ ) bir takım tedirginlik etkileri altında kaldığı görülmüştür. 19. yüzyıl başından itibaren astronomların, Newton mekaniği kullanarak yaptıkları hesaplar, bir türlü Uranüs'ün gözlenen yörüngesine uymamıştır. 1830 yılında gezegenin gözlenen ve hesaplanan konumları arasındaki farkın 2 yay-dakikasına çıkması karşısında bilim adamları, Güneş'ten büyük uzaklıklarda Newton çekim yasasının işlemediğinden şüphe etmeye başlamışlardır.

1843 yılında Cambridge Üniversitesi'nden yeni mezun olan John Couch Adams Uranüs'ün yörüngesinde görülen bu farklılıkları incelemeye başladı ve 1845 yılında bu etkinin, Uranüs'ten daha dışta dolanan bir gezegenin çekim etkisinden kaynaklanabileceğini söyledi. Adams ile yaklaşık aynı zamanda ünlü Fransız astronom Jean Joseph LeVerrier'de bağımsız olarak aynı sonuçları veren hesaplar yapmıştır. 1846 yılında Adams'ın önerisi Cambridge Gözlemevi'nde, Le Verrier'in önerisi ise Berlin Gözlemevi'nde test edildi ve beklenen konumlarda gerçekten bir gezegenin var olduğu

gözlendi. Bu gezegene Le Verrier'in önerisi ile Neptün adı verildi. Neptün, Yer'den gözlendiğinde oldukça sönük görünen bir gezegendir. Karşı-konum anında bile görebilmek için ufak da olsa bir teleskopa ihtiyaç vardır. Yer'deki modern ve büyük teleskoplarla bakıldığında hem Uranüs hem de Neptün sisli ve belirgin yüzey şekli göstermeyen yeşil-mavi renklere görünürler. Yer'den görünen açısal çapları, büyük uzaklıkları nedeniyle çok küçüktür. Karşı-konum anında Yer'den bakıldığında Uranüs 4" , Neptün ise 2" açısal çap altında görülmektedir.

## 9.2 Uranüs'ün Özellikleri

Voyager 2 uzay aracı Ocak 1986'da Uranüs'e yakın geçişini gerçekleştirdiğinde, bilim adamları, Uranüs atmosferindeki bulutların detaylarını görebilmeyi umut ediyorlardı. Ancak Şekil 9.1'de bir örneği görülen bu yakın plan görüntülerde, Uranüs'ün atmosferinin neredeyse pürüzsüz ve bulut içermeyen bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır. Voyager 2 verileri, Uranüs atmosferinin %82.5 oranında hidrojen ve %15.2 oranında helyumdan oluştuğunu göstermiştir. Bunlara ek olarak %2.3 metan ( $\text{CH}_4$ ) bulunmaktadır ve metanın bu bolluğu Jüpiter ve Satürn atmosferinde izlenen metan oranından 10 kat daha fazladır. Metan Güneş ışığındaki uzun dalgaboylarını daha fazla soğurma özelliğine sahiptir. Bu nedenle Uranüs'ün üst atmosfer katmanlarından yansıyan Güneş ışığı daha fazla kısa dalgaboyları içermekte ve izlenen yeşil-mavi rengi oluşturmaktadır. Uranüs'ün üst atmosfer katmanlarındaki sıcaklığın  $-218^\circ\text{C}$  olduğu belirlenmiştir. Bu sıcaklıkta amonyak ( $\text{NH}_3$ ) ve su buharı katılarak donmaktadır. Dolayısıyla uzun bir zaman önce Uranüs atmosferinde yer alan amonyak ( $\text{NH}_3$ ) ve su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) katılarak

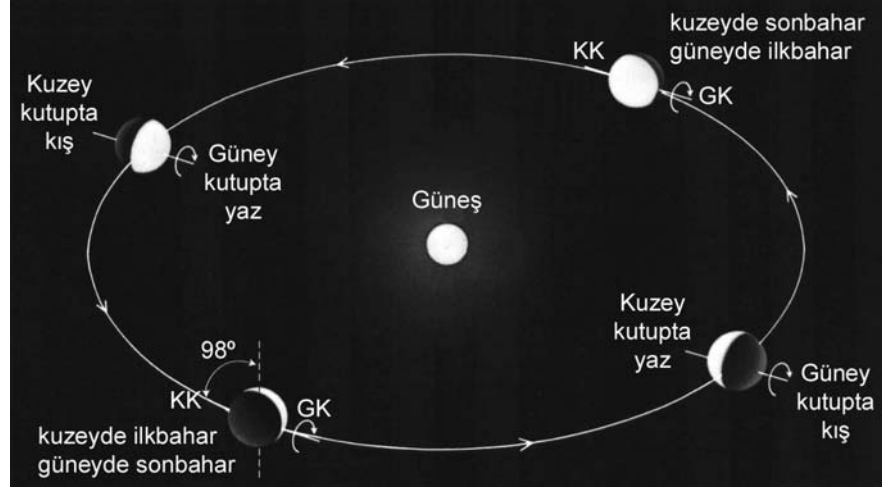


Şekil 9.1 Voyager 2'den Uranüs

iç bölgelere doğru inmiştir. Sonuç olarak bugün Uranüs atmosferinde amonyak ve su oranı yok denecek kadar azdır. Bu moleküllerin Jüpiter ve Satürn bulutlarını oluşturan ana bileşikler olduğunu hatırlayacak olursak, Uranüs atmosferinde neden bulut yapısı gözlenemediğini daha kolay anlarız. Uranüs atmosferinde bazen izlenen zayıf bulutların kökeni, yeterli basınç altında damlacıklar halinde yoğunlaşabilen metandan gelmektedir.

Voyager 2 gözlemleri, Uranüs'ün dönme ekseninin eğiminin, diğer gezegenlerden çok farklı olduğunu doğrulamıştır. İlk kez 1787 yılında Herschel, Uranüs'ün dönme ekseninin neredeyse ekliptik düzlemi içinde kaldığını keşfetmiştir. Herschel 1787 yılında keşfettiği iki uydunun, Uranüs etrafındaki hareketini izleyerek bu sonuca varmıştır. Uyduların gezegen etrafındaki yörüngelerinin, gezegenin güneş etrafındaki yörünge düzlemine neredeyse dik olduğunu görmüştür. Herschel, Jüpiter ve Satürn'ün uydularının, gezegenin ekvator düzleminde dolandıklarını dikkate alarak, Uranüs'ün dönme ekseninin yörünge düzleminde bulunması gerektiği tahmin etmiştir. Voyager 2 gözlemleriyle de doğrulanan bu durum için yapılan detaylı hesaplar, Uranüs'ün dönme ekseninin 98° lik bir eğime sahip olduğunu göstermiştir. 90° den büyük eğim açısı, Uranüs'ün eksenini etrafında retrograt yönde döndüğünün bir göstergesidir. Bilim adamları, Uranüs'te izlenen bu tuhaf eğim açısını, milyarlarca yıl önce oluşumu sırasında gerçekleşen, büyük boyutlu bir başka ön-gezegen ile çarpışmasına bağlamaktadırlar.

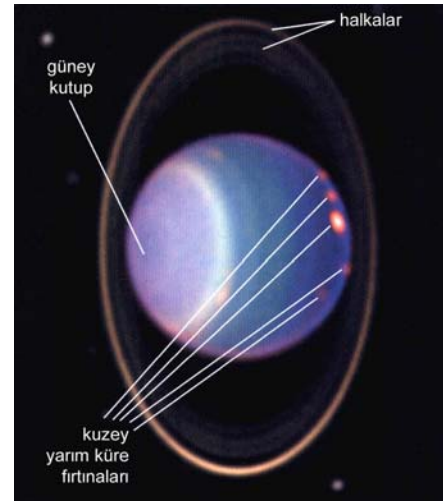
Uranüs'ün dönme ekseninin bu yüksek eğimi, 84 yıl süren yörünge dönemi boyunca, kuzey ve güney kutup noktasının ardışık olarak Güneş'e yönelmesine ve iki yarım küresinin ileri düzeyde mevsimsel etkiler altında kalmasına neden olmaktadır (Şekil 9.2). Voyager 2 yakın geçişi sırasında Uranüs'ün güney kutup noktası Güneş'e doğru yönelmiş durumdaydı. Bu tarihlerde güney kutup bölgesi yaz mevsimini yaşarken, kuzey kutup bölgesinde dondurucu bir kış mevsimi hüküm sürmekteydi. Bu tarihten sonra Uranüs'ün yörüngesinde yavaşça ilerlemesi ile kuzey yarım küresi Güneş ışığı almaya başlamıştır. Şekil 9.3'de görülen ve 1998 yılında Hubble Uzay Teleskobu'ndan elde edilen kızılöte görüntüde, kuzey yarım küre üzerine düşen Güneş ışığı arttıkça, ortaya çıkan fırtına yapıları izlenmektedir. Bu görüntü, dev gezegenlerde izlenen fırtına oluşumlarının temel enerji kaynağının Güneş ışınları olduğunu bir kez



Şekil 9.2 Uranüs'ün kutuplarının bir yörünge dönemi boyunca Güneş'e yönelimi

daha kanıtlamıştır. Kızılöte dalgaboylarında elde edilen bu görüntüde Uranüs'ün halkaları ve birkaç uydusu da görülebilmektedir. İzlenen her bir kuzey yarımküre fırtınasının boyutları 1000 km civarındadır. Sadece kızılöte dalgaboylarında görülebilen bu fırtınalar ve sönük kuşaklar, uzun zaman aralıklarında izlenmiş ve Uranüs'ün üst atmosfer katmanlarında oluşan rüzgarlar hakkında ilginç sonuçlar ortaya çıkmıştır. Uranüs'te rüzgarlar yüksek kuzey ve güney enlemlerinde sadece doğu yönünde eserken (bu yön aynı zamanda gezegenin kendi eksenini etrafındaki dönme yönüdür), ekvator civarında sadece batı yönünde esmektedir. Bu durum Jüpiter ve Satürn kuşaklarının sınırlarında izlenen ters yönlü hava akımlarından tamamen farklı bir yapıdır. Uranüs'te izlenen en yüksek rüzgar hızı 700 km/sa mertebesindedir ve ekvatorunda ölçülmüştür.

Voyager 2 geçişi sırasında çok az Güneş ışığı almakta olan ekvatorunda atmosferik sıcaklık  $-218^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Bu değer yine o tarihlerde



Şekil 9.3 Uranüs fırtınaları

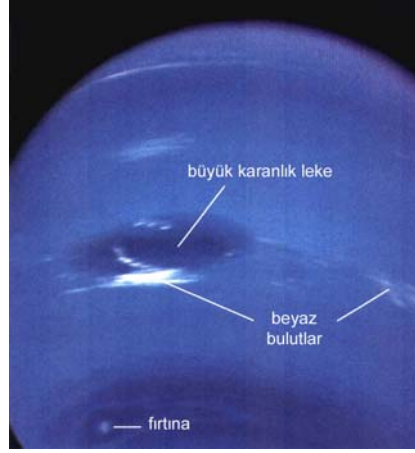
yoğun Güneş ışığı alan güney kutup noktasında ölçülen atmosferik sıcaklıktan çok farklıdır. Bilim adamları, ekvator ve kutupta izlenen sıcaklıkların neredeyse eşit olmasını, Uranüs atmosferinde oluşan hızlı karışım hareketlerine bağlamışlardır. Etkin bir ısı dağıtımına yol açan bu karışım hareketleri, Uranüs'ün bugün için izlenen pürüzsüz yüzey görüntüsüne kavuşmasını sağlamaktadır. Uranüs'ün eksenini etrafındaki dönme dönemi ortalama 16 saat civarındadır ve diferansiyel dönme göstermektedir. Voyager 2 ile yapılan manyetik alan ölçümlerinden, gezegenin iç bölgelerinin dönme dönemi ise 17.24 saat olarak bulunmuştur.

### 9.3 Neptün'ün Özellikleri

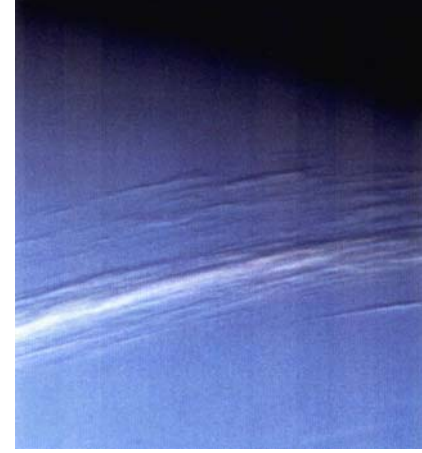
İlk bakışta Neptün, Uranüs'ün bir ikizi gibi görünmektedir. Yaklaşık olarak aynı çapa sahip olmalarına karşın, Neptün'ün kütlesi Uranüs'ten %18 daha fazladır. Neptün'ün dönme eksenini ortalama bir eğime sahiptir ve gezegenin yörünge düzlemine dik doğrultu ile  $29.5^\circ$  lik bir açı yapmaktadır. Voyager 2 aracının Ağustos 1989 daki yakın geçişi sırasında, Neptün atmosferinin, Uranüs atmosferine göre çok daha aktif olduğu görülmüştür. Bu durum, Neptün'ün iç enerjisinin Uranüs'e göre daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Voyager 2 ölçümleri, Neptün'ün atmosferik bileşiminin Uranüs'ten çok farklı olmadığını göstermiştir. %80 hidrojen, %18 helyum ve %2 oranında metan kaydedilirken, amonyak ( $\text{NH}_3$ ) ve su buharının ( $\text{H}_2\text{O}$ ) yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Metan ( $\text{CH}_4$ ), aynen Uranüs atmosferinde olduğu gibi, Neptün'ün yeşil-mavi renkte görünmesini sağlamaktadır. Neptün'ün üst atmosfer katmanlarına ait sıcaklık, aynen Uranüs'te olduğu gibi  $-218^\circ\text{C}$  civarında ölçülmüştür. Bu ölçüm sonuçları da Güneş'e Uranüs'ten daha uzak olan Neptün'ün, daha kuvvetli bir iç ısı kaynağına sahip olduğunun bir göstergesidir.

Uranüs'ten farklı olarak Neptün atmosferinde belirgin bulut yapıları izlenebilmektedir. Voyager 2 yakın geçişi sırasında izlenen en belirgin yapı Şekil 9.4'de izlenen ve "Büyük Karanlık Leke" olarak adlandırılan fırtına yapısıdır. Jüpiter'deki büyük kırmızı leke ile birçok açıdan benzerlik gösteren bir olgudur. Büyük karanlık leke içerisindeki hava akımları da saat yönünün tersi doğrultusunda hareketler yapmaktadır.



Şekil 9.4 Neptün bulutları ve Büyük Karanlık Leke



Şekil 9.5 Neptün bulutlarından bir detay

Ancak bu fırtınanın yaşam süresi, Jüpiter'de izlenen sürelerden daha kısadır. 1994 yılında Hubble Uzay Teleskobu ile elde edilen görüntülerde, büyük karanlık lekenin yok olduğu gözlenmiştir. 1995 yılında ise yeni bir fırtına bölgesinin ortaya çıktığı belirlenmiştir. Voyager 2 gözlemleri, Neptün atmosferinde belirgin beyaz renkli bulutların varlığını da ortaya çıkarmıştır. Bu bulutlar, yüksek rüzgar hızları ile üst atmosfer katmanlarına taşınan ve hızla donan metan buzu kristalleri tarafından üretilmektedir. Şekil 9.5'teki Voyager görüntüsünde, bu yüksek bulutların daha derin katmanlar üzerindeki gölgesi açıkça izlenebilmektedir.

Neptün, Güneş'ten aldığı ışınım miktarından daha fazlasını yayınlamaktadır. Bu durum Neptün'ün halen büzülme aşamasında olduğunu göstermektedir. Ürettiği fazladan iç ısı sayesinde, atmosferi ile iç kısımları arasında konveksiyon hareketleri oluşmakta ve atmosferinde izlediğimiz bulutların ve açık/koyu renkli kuşakların oluşmasını sağlamaktadır. Uranüs'te durum farklıdır, Güneş'ten aldığı ışınım neredeyse denk bir ışınım yapmaktadır. Dolayısıyla ek bir iç ısı kaynağı bulunmamaktadır. İç bölgelerle, atmosfer arasında belirgin konveksiyon hareketleri bulunmadığından, yüzeyinde kuşaklar ve bulutlar da oluşmamaktadır. Şekil 9.6'da Hubble Uzay Teleskobu ile elde edilen Neptün görüntüsünde, farklı tonlardaki kuşak yapıları ve yüksek bulutlar açıkça izlenebilmektedir. Aynen Jüpiter'de olduğu gibi, açık

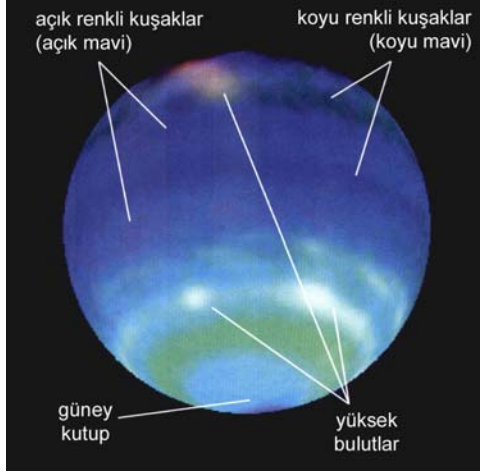
renkli kuşaklar atmosferde yükselen maddelerin, koyu renkli kuşaklar ise alçalan maddelerin bulunduğu bölgelere karşılık gelmektedir.

#### 9.4 Uranüs ve Neptün'ün İç Yapısı

İlk bakışta Uranüs ve Neptün, sırasıyla Jüpiter ve Satürn'ün daha küçük çapa ve kütleyle sahip benzer türevleri gibi görünmektedir. Önceki

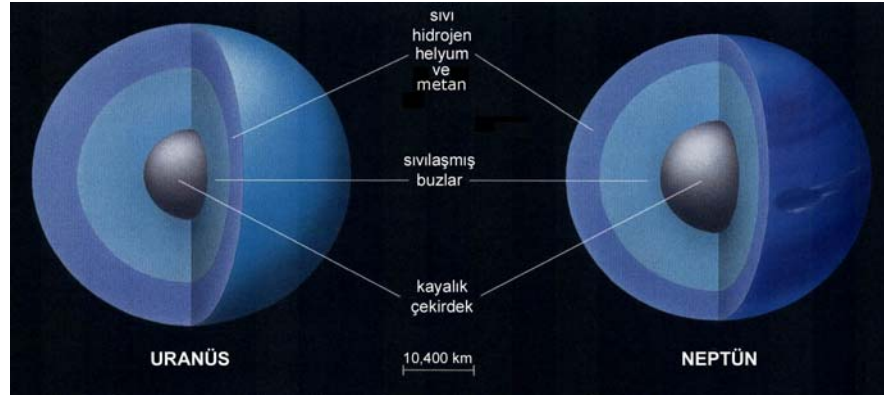
bölümlerde Jüpiter ve Satürn'ün kimyasal bileşimlerinin kabaca Güneş'e çok benzediğini görmüştük. Ancak Uranüs ve Neptün'ün ortalama yoğunluk değerleri (sırasıyla 1320 ve 1640 kg/m<sup>3</sup>) Jüpiter ve Satürn'e oranla beklenenden daha fazladır. Bu sonucu Uranüs ve Neptün'ün daha fazla ağır element içerdiği şeklinde yorumlayabiliriz.

Dev gezegenlerin oluştuğu bölgede, oluşum zamanlarında daha fazla hidrojen ve helyum bulunduğunu biliyoruz. Bu koşullar altında Uranüs ve Neptün'ün daha düşük hidrojen ve helyuma karşı daha fazla ağır element bolluğu göstermeleri beklenmeyen bir sonuçtur. Dev gezegenlerin, oluşumlarını iki temel aşamada tamamladıklarına ilişkin belirgin delillere sahibiz. Buna göre ilk aşamada gezegenimsilerin ve buzların birleşmesiyle büyük boyutlu kayalık çekirdeklerini oluşturmuşlardır. İkinci aşamada ise, katı kayalık çekirdeklerinin yüksek çekim etkisiyle çevrelerindeki hidrojen ve helyum gibi hafif gazları yakalayarak üst katmanlarını oluşturmuşlardır. Ayrıca Güneş sistemini oluşturan bulutsunun dış bölgelerine gidildikçe parçacık yoğunluğunun azaldığı büyük ölçüde kabul gören bir yaklaşımdır. Ancak yapılan hesaplamalar, Uranüs ve Neptün'ün çekirdek boyutlarının, Jüpiter ve Satürn çekirdekleri ile karşılaştırılabilir boyutta olduğunu ortaya koymaktadır. Bu koşullar altında önerilen bir teoriye göre Uranüs ve Neptün'ün ilk oluşum aşamaları, Jüpiter ve Satürn'e oranla daha uzun sürmüştür. Çevredeki parçacık sayısının düşük olması sonucu uzun zaman alan çekirdek oluşumu süresince, çevrelerindeki hidrojen ve helyumun önemli bir miktarı yıldızlararası ortama



Şekil 9.6 Neptün'ün renkli kuşakları

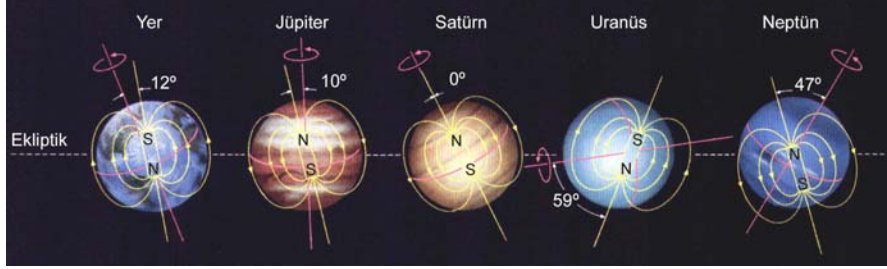




Şekil 9.7 Uranüs ve Neptün'ün iç yapıları

kaçmıştır. Sonuç olarak Uranüs ve Neptün çevrelerinden daha az hidrojen ve helyum yakalayabilmiştir. Ancak bu teorinin açıklamakta zorluk çektiği önemli bir ayrıntı bulunmaktadır. Eğer Uranüs ve Neptün, bugünkü izlenen konumlarında oluşmuşlarsa, bu uzaklıklardaki seyrek maddeden bugünkü kütlelerine ulaşabilmeleri için geçmesi gereken süre, Güneş sisteminin yaşını geçmektedir. Bu sorun, Uranüs ve Neptün'ün Güneş bulutsusunun daha iç bölgelerinde oluştukları varsayımı ile aşılabilmektedir. Bu koşulu dikkate alan diğer bir teoriye göre, Uranüs ve Neptün, Güneş'ten sırasıyla 4 AB ve 10 AB uzaklıklarda oluşmaya başlamışlardır. Bu uzaklıklarda yeterince büyük çekirdeklerini oluşturarak ilk aşamayı geçmişler ancak ikinci aşamalarını tamamlayamadan, ön-Jüpiter ön-Satürn'ün birleşik çekim etkisiyle bugünkü izlenen daha geniş yörüngelerine çıkarılmışlardır. Yeni yörüngeleri civarındaki düşük parçacık yoğunluğu nedeniyle yeterince hidrojen ve helyum yakalayamamışlar ve gelişimlerini sona erdirmişlerdir.

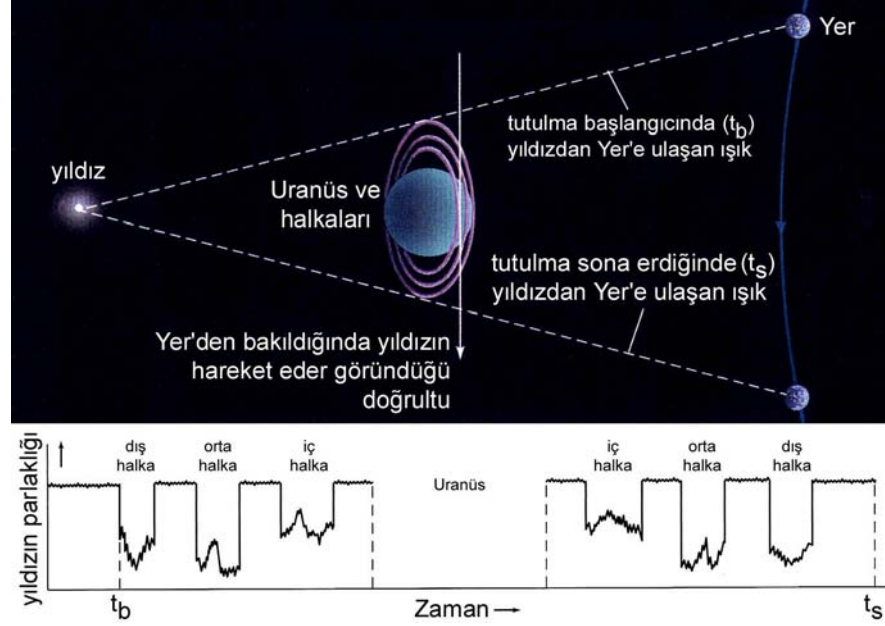
Şekil 9.7'de Uranüs ve Neptün'ün karşılaştırmalı iç yapı modelleri görülmektedir. Her iki gezegenin de kabaca Yer hacminde ancak Yer'den daha büyük kütleyle sahip kayalık çekirdekleri bulunmaktadır. Her iki gezegenin kayalık çekirdeği sıvılaştırılmış su ve amonyak buzu içeren bir manto ile sarılıdır. Her iki gezegenin dış katmanı ise büyük oranda sıvılaştırılmış hidrojen, helyum ve düşük oranda sıvı metan içerir. Uranüs ve Neptün'deki bu katman, Jüpiter ve Satürn'dekine oranla daha sığdır ve yeterli basınç üretilmediğinden metalik yapılu sıvı hidrojen oluşumu gerçekleşmemiştir.



Şekil 9.8 İleri düzeyde manyetik alana sahip 5 gezegenin iki kutuplu manyetik alan karakteristiklerinin karşılaştırması

### 9.5 Uranüs ve Neptün'ün Manyetik Alanı

Uranüs ve Neptün'ün manyetik alanlarının Voyager 2 manyetometreleriyle yapılan ölçümleri, manyetosferlerindeki yüklü parçacıkların radyo gözlemleri ile birleştirildiğinde şaşırtıcı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Her iki gezegenin de manyetik eksenleri, dönme eksenleri ile çok büyük açılar yapmaktadır. Şekil 9.8'den de görüleceği gibi Yer, Jüpiter ve Satürn için  $12^\circ$  den daha büyük olmayan bu açı Uranüs'te  $59^\circ$ , Neptün'de ise  $47^\circ$  dir. Ayrıca manyetik merkezleri kütle merkezleri ile çakışık değildir ve büyük sapmalar göstermektedir. Manyetik karakterlerindeki bu beklenmedik yapıların bir zamanlar karşı karşıya kaldıkları büyük boyutlu çarpışmalarla oluştuğu düşünülmektedir. Uranüs'ün dönme eksenini eğiminde izlenen sıradışı açının kökeni de bu varsayımına dayandırılmaktadır. Bir başka teoriye göre her iki gezegenin de manyetik polaritelerini değiştirme aşamasında oldukları düşünülmektedir. Yer'in uzak geçmişinde manyetik polaritesini birkaç kez değiştirdiğine dair elimizdeki kanıtlardan hareketle bu varsayım yapılmaktadır. Manyetik polarite değişimi sırasındaki kararsızlıklar Uranüs ve Neptün'de izlenen tuhaf manyetik alan yönelimini doğurabilecek niteliktedir. Uranüs ve Neptün içerdikleri hidrojeni metalik karaktere ulaştırabilecek iç basınca sahip değildir. Bu koşul altında her iki gezegende de manyetik alanın sıvılaşmış buzlar içeren manto katmanında üretildiği düşünülmektedir. Bu katmandaki yüksek basınç altında elektronlarını kaybeden amonyağın, ortamın elektrik iletkenliğini arttırdığı varsayılmaktadır. Bu şekilde yüklü parçacık içeren mantoda gerçekleşen akışkan hareketleri gözlenen manyetik alanı üretmektedir.



Şekil 9.9 Uranüs halkalarının varlığını ortaya çıkaran “yıldız örtmesi” olayı

## 9.6 Uranüs ve Neptün’ün Halkaları

Uranüs’ün halkaları gezegenin kendisi gibi rastlantısal olarak keşfedilmiştir. 10 Mart 1977 tarihinde Yer’den bakıldığında, Uranüs sönük bir yıldızın önünden geçecekti. Bu olay Hint Okyanusu’ndaki bir konumdan izlenebilecekti. Cornell Üniversitesi’nden James L. Elliot başkanlığında bir ekip Uranüs’ün duyarlı çapının belirlenmesi ve bazı atmosferik özelliklerinin ortaya konması amacıyla “yıldız örtmesi” adı verilen bu olayı gözlemeye karar vermiştir. NASA’ya ait bir uçak ve üzerine monte edilmiş bir teleskop kullanan bu ekip, yıldızın Uranüs tarafından örtülmeden önce ve sonrasında bir dizi ek ışık kayıpları gösterdiğini izlemişlerdir (Şekil 9.9). Bu ilginç rastlantı sonucu Uranüs’ün çevresinde üç temel halkadan oluşan bir halka sistemine sahip olduğu anlaşılmıştır. Satürn halkalarından farklı olarak bu halkalar daha karanlık ve incedir. Çoğu 10 km’den daha geniş olmayan iç içe geçmiş halkacıklardan oluşmaktadır. Uranüs halkasının içerdiği parçacık boyutları 0.1-10 metre arasındadır ve kömür parçaları kadar düşük yansıtma gücüne sahiptir. Bu nedenle çok düşük oranda Güneş ışığı yansıtmaktadırlar.

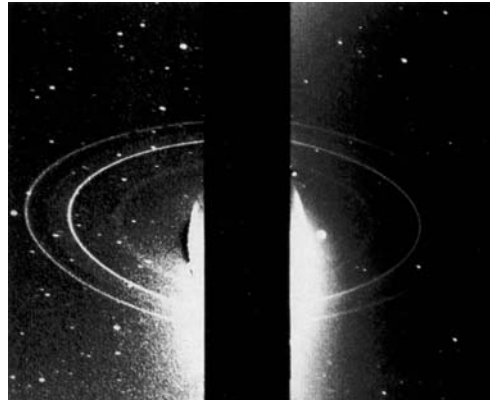
Şekil 9.10'da Uranüs halkalarının Voyager 2 ile çekilmiş karanlık yüzüne ait görüntüsü izlenmektedir. Bu görüntüde oldukça küçük boyutlu halka parçacıklarının yarattığı ışık saçılması etkisi izlenmektedir. Tüm halkalar gezegenin merkezinden iki Uranüs yarıçapı mesafeden



Şekil 9.10 Uranüs halkalarının karanlık yüzü

daha içeride yer almaktadır. Bu uzaklık gezegenin Roche limitinden daha içindedir. Birçok ince halkada izlenen sarmal yapılar, Satürn'ün F halkasında izlenen yapılarla benzerdir ve "çoban uyduları" tarafından oluşturuldukları düşünülmektedir. Voyager 2 gözlemlerinden ancak iki tane çoban uydusunun varlığı tespit edilebilmiştir. Geri kalanların oldukça küçük ve sönük oldukları düşünülmektedir.

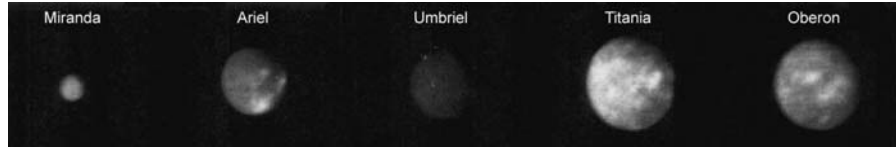
Neptün de aynı Uranüs'te olduğu gibi bir dizi sönük halka sistemiyle sarılıdır. Neptün'ün de halkalarının varlığı yıldız örtmesi gözlemlerinden bulunmuştur. Şekil 9.11'de Voyager 2'nin Neptün halkalarına ilişkin ilk gözlemi izlenmektedir. Bu görüntüden de izlenebileceği gibi 2 ana halka yapısının yanısıra daha içte üçüncü ve sönük bir halka daha bulunmaktadır. Yapılan ölçümler Neptün halkalarında yer alan parçacıkların  $1 \mu\text{m}$  ( $10^{-6}$  m) ile 10 m arasında olduğunu göstermiştir. Her iki gezegenin halka bölgelerindeki sıcaklık metanın buz halinde, halka parçacıkları üzerinde yoğunlaşmasına izin verecek ölçüdedir. Ancak buna rağmen düşük yansımaya gücü göstermektedirler. Bilim adamları bu olayları her iki gezegenin manyetosferi tarafından yakalanan serbest elektronların halka buzları ile



Şekil 9.11 Neptün halkalarının ilk gözlemi (Voyager 2)

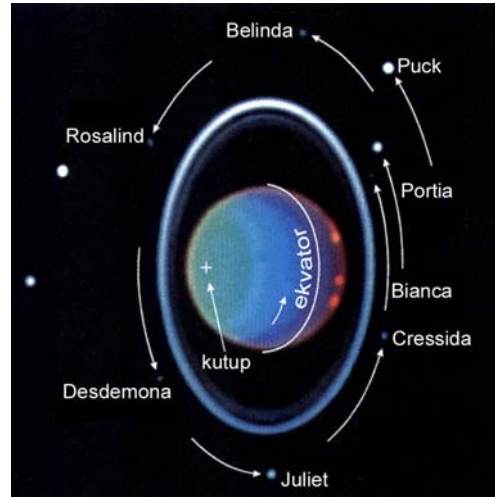
etkileşmesine bağlamaktadır. Bu teoriye göre yakalanan elektronlar metan buzlarına büyük hızla çarparak farklı karbonlu bileşiklerin açığa çıkmasına neden olmaktadır. Kömürün yansıtma gücü değerine sahip bu bileşikler açığa çıkarılan sürece “ışınım kararması” adı verilmektedir. Sonuç olarak her iki gezegenin de halkaları son derece düşük yansıtma gücü değerlerine sahiptir.

### 9.7 Uranüs ve Neptün’ün Uyduları



Şekil 9.12 Uranüs’ün Voyager 2 yakın geçişinden önce bilinen uyduları

Voyager 2’nin 1986 yılındaki yakın geçişi öncesinde Uranüs’ün yalnızca 5 adet orta boyutlu uydusunun (Miranda, Ariel, Umbriel, Titania ve Oberon) varlığı biliniyordu (Şekil 9.12). Çapları 1600 km (Titania ve Oberon) ile 500 km (Miranda) arasındadır.  $1500 \text{ kg/m}^3$  civarındaki ortalama yoğunluk değerleri, buz-kaya karışımından oluştuklarının göstergesidir. Voyager 2 uzay aracıyla, Uranüs çevresinde dolanan ve çoğunun çapı 160 km den küçük 10 uydunun daha varlığı tespit edilmiştir. Gelişen gözlem araçları teknolojisi ile 1997-2003 yılları arasında, Yer’den yapılan Uranüs gözlemleriyle 12 uydusu daha keşfedilmiştir. Böylelikle Uranüs’ün 2003 yılı sonuna kadar bilinen uydusu sayısı 27 ye yükselmiştir. Şekil 9.13’deki kızılöte Hubble Uzay Teleskobu görüntüsünde, Voyager 2 ile keşfedilen 10 uydudan 8 tanesi gezegen etrafındaki halka ile beraber izlenmektedir. Uyduları işaret eden okların boyutları, 90



Şekil 9.13 Uranüs’ün bazı uyduları (HUT)

dakika süreyle yörüngeleri üzerinde aldıkları yola eşittir. Tablo 9.1’de 2003 yılı sonuna kadar keşfedilmiş Uranüs uydularının bazı özellikleri listelenmiştir.

**Tablo 9.1** Uranüs’ün 2003 yılı sonuna kadar bilinen 27 uydusunun fiziksel özellikleri

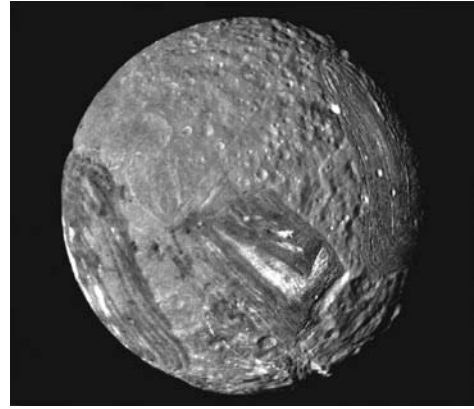
Uydu Adı	Uranüs merkezine uzaklık (km)	Yörünge dönemi (gün)	Çap (km)	Ortalama yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Cordelia	49,800	0.335	40	-
Ophelia	53,800	0.376	42	-
Bianca	59,200	0.435	51	-
Cressida	61,800	0.464	80	-
Desdemona	62,700	0.474	64	-
Juliet	64,400	0.493	93	-
Portia	66,100	0.513	135	-
Rosalind	69,900	0.558	72	-
2003 U2	74,800	0.000	10	-
Belinda	75,300	0.624	80	-
1986 U10	76,420	0.638	20	-
Puck	86,000	0.762	162	-
2003 U1	97,734	0.000	10	-
Miranda	129,900	1.41	471	1200
Ariel	190,900	2.52	1158	1670
Umbriel	266,000	4.14	1169	1400
Titania	436,300	8.71	1578	1710
Oberon	583,500	13.46	1522	1630
2001 U3	4,276,000	266.6	12	-
Caliban	7,231,000	579.7 <sup>R</sup>	98	-
Stephano	8,004,000	677.4 <sup>R</sup>	20	-
Trinculo	8,504,000	759.0 <sup>R</sup>	10	-
Sycorax	12,179,000	1288.3 <sup>R</sup>	190	-
2003 U3	14,345,000	1694.8 <sup>R</sup>	11	-
Prospero	16,256,000	1977.3 <sup>R</sup>	30	-
Setebos	17,418,000	2234.8 <sup>R</sup>	30	-
2001 U2	20,901,000	2823.4 <sup>R</sup>	12	-

<sup>R</sup> : Retrograt yörünge hareketi, Ortalama yoğunluğu listelenmeyen uyduların kütleleri henüz bilinmemektedir.

Uranüs uyduları son derece karanlık cisimlerdir. Halkalarının düşük yansıtma gücü için önerilen “ışınım kararması” mekanizmasının, uydularında izlenen karanlık yüzeylerde de aynı etkiyi yarattığı düşünülmektedir. Umbriel, Güneş sisteminde bilinen en düşük yansıtma gücüne sahip uydudur. Bu uydulara, Shakespeare’in oyunlarında

yarattığı ruh ve hayalet karakterlerinin isimleri verilmiştir. Umbriel ve Oberon'un yüzeyleri çok sayıda çarpma krateriyle kaplıdır ve jeolojik olarak ölü cisimlerdir. Buna karşılık Ariel ve Titania'nın yüzeylerinde izlenen çatlaklar ve sıvılaştırmış buzların yüzeyde oluşturduğu pürüzsüz yapılar, bir zamanlara buz volkanizması benzeri süreçleri geçirdiklerini göstermektedir. Her ne kadar günümüzde Uranüs'ün en büyük 5 uydusunun yörünge dönemleri arasında basit oranlar izlenmiyor olsa da, bir zamanlar bu oranların var olduğu ve hem kendi iç ısıları hem de tedirginlik ısıtması etkileri altında kalarak buz volkanizması etkinlikleri gösterdikleri düşünülmektedir.

Kendine özgü yapısı ile Miranda, diğer uydulardan belirgin bir şekilde farklılık göstermektedir. 470 km çapa sahip bu uydunun yüzeyinin büyük bir kısmı çok sayıda çarpma krateri ile kaplıdır ve oluşumundan beri bu bölgelerin ciddi değişiklikler geçirmediğini göstermektedir. Ancak geri kalan yüzey alanları son derece genç yapıları işaret eden, paralel uzantılı çatlaklar ve vadilerle kaplı bölgelere ayrılmıştır (Şekil 9.14). İlk



Şekil 9.14 Miranda'nın iki karakterli yüzeyi

zamanlarda kabul gören bir teoriye göre, Miranda bir kaç büyük boyutlu çarpışma ile parçalanarak dağılmış ve bu parçaların tekrar bir araya gelmesiyle bugün izlenen tuhaf yüzey yapısına kavuşmuştur. Ancak Miranda'nın yakın zamanlı detaylı jeolojik analizleri günümüzde kabul gören bambaşka bir senaryoyu geçerli kılmaktadır. Bu senaryoya göre Miranda'nın yörünge dönemi bir zamanlar, kendisinden daha büyük kütleyle sahip Umbriel veya Ariel ile basit oranlara sahipti. Tedirginlik ısıtması yaratan bu süreç boyunca Miranda'nın iç bölgeleri erimiş ve daha yoğun kayalar içeren yüzey bölgeleri, bloklar halinde iç bölgelere doğru çökerken, yüzeye daha düşük yoğunluklu buzlar yükselmiştir. Bu süreç devam ederken Miranda'nın yörünge hareketinin diğer uydularla gösterdiği basit oranlar bozulmuş ve "yüzey yenilenmesi" tamamlanmadan bugün izlenen çift karakterli yüzey yapısı sabitlenmiştir.

1989'daki Voyager 2 yakın geçişi öncesinde Neptün'ün sadece iki uydusunun varlığı biliniyordu; Triton ve Nereid. Voyager 2 keşifleri ile bu sayı sekize yükselmiştir ve hepsi de isimlerini su ile ilişkili mitolojik nesnelere almışlardır (Neptün ise adını antik Roma'nın deniz tanrısından almıştır). 2003 yılı sonuna gelindiğinde ise Neptün'ün bilinen uydusu sayısı 13'e yükselmiştir. Tablo 9.2'de uyduların bazı fiziksel özellikleri liste halinde verilmiştir. Bu uyduların çoğu, haklarında kısıtlı bilgiye sahip olduğumuz buzlu ufak cisimlerdir. Uranüs'ün küçük boyutlu uyduları ile benzer özelliklere sahip oldukları düşünülmektedir.

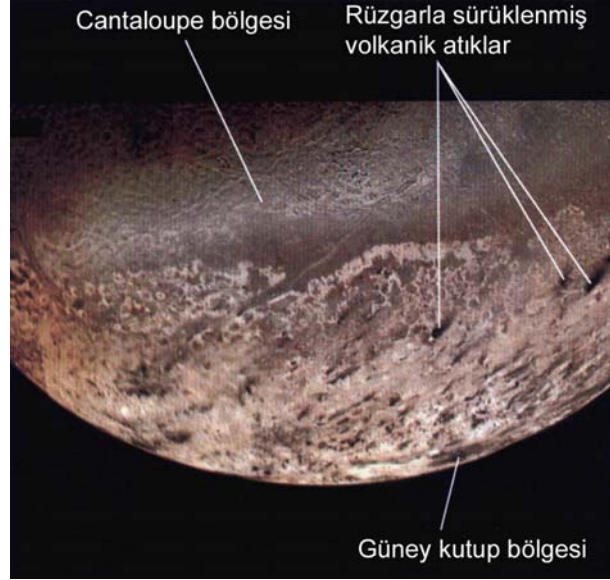
**Tablo 9.2** Neptün'ün 2003 yılı sonuna kadar bilinen 13 uydusunun fiziksel özellikleri

Uydu Adı	Uranüs merkezine uzaklık (km)	Yörünge dönemi (gün)	Çap (km)	Ortalama yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
Naiad	48,200	0.294	58	-
Thalassa	50,100	0.311	80	-
Despina	52,500	0.335	148	-
Galatea	62,000	0.429	158	-
Larissa	73,500	0.555	192	-
Proteus	117,600	1.122	416	-
Triton	354,800	5.88 <sup>R</sup>	2706	2054
Nereid	5,513,400	360.1	340	-
2002 N1	15,686,000	1874.8	60	-
2002 N2	22,337,190	2925.6	38	-
2002 N3	22,613,200	2980.4	38	-
2003 N1	46,738,000	9136.1	38	-
2002 N4	47,279,670	9007.1	60	-

<sup>R</sup>: Retrograt yörünge hareketi, Ortalama yoğunluğu listelenmeyen uyduların kütleleri henüz bilinmemektedir.

Neptün'ün en büyük uydusu Triton diğer uydulardan belirgin farklılıklar göstermektedir. Yörünge hareketi retrograt yöndedir ve yörüngesi Neptün'ün ekvator düzlemiyle 23° gibi oldukça büyük bir açı yapmaktadır. Jüpiter ve Satürn'ün bazı dış uydularına benzer olarak, Triton'un da Neptün tarafından asteroid kuşağından yakalandığı düşünülmektedir. 2706 km çapı ile, güneş sisteminin asteroid kökenli uyduları arasında, en büyük olanıdır. Şekil 9.15 de Triton'un buzlarla kaplı, yüksek yansıtma gücüne sahip yüzeyine ilişkin Voyager 2 görüntüsü izlenmektedir. Çarpma krateri sayısının düşük olması, yakın geçmişindeki tektonik aktivitelerin bir belirteçidir. Dolayısıyla yüzey yaşı oldukça düşüktür. Donmuş geniş göl alanlarını andıran yapılar,





Şekil 9.15 Neptün'ün uydusu Triton'un yüzey detayları

bir zamanlar buz volkanizmasının son derece etkin olduğuna işaretler. Ayrıca Europa ve Ganymede'in yüzeyinde görülen benzer uzun çatlak yapıları bulunmaktadır. Şekil 9.15'in üst taraflarında izlenen buruşuk yüzey yapısı sadece Triton'a özgüdür ve bir kavunun yüzeyini andırmaktadır (Cantaloupe bölgesi). Voyager 2 aracıyla izlenen koyu renkli madde çıkışlarına ait volkanik şemsiye yapıları, Triton'un iç bölgelerinin halen sıcak olduğunun bir delilidir. Bu görüntüden şemsiyelerin yüzeyden olan yükseklikleri 8 km olarak ölçülmüş ve izlenen volkanik etkinliklerin Yer'deki gayzer çıkışları ile aynı mekanizmaya sahip olduğu tespit edilmiştir. Triton'un yüzey sıcaklığı  $-235^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Bu değer bugüne kadar uzay araçları tarafından, güneş sistemi üyeleri için ölçülen en düşük yüzey sıcaklığı değeridir. Bu sıcaklık değerinde azot (N) katılarak buz haline gelebilmektedir. Triton yüzeyinden alınan yansımış Güneş ışığı tayfında azot (N) ve metan ( $\text{CH}_4$ ) buzunun yarattığı soğurma yapıları görülmektedir. Triton'un yüzeyindeki sıcaklık ve basınç koşulları altında azot buzları belirli oranda süblümleşerek buharlaşabilmektedir. Voyager 2 aracı, Triton'un son derece düşük yoğunluklu ve temel olarak azottan oluşma bir atmosfere sahip olduğunu doğrulamıştır. Bu atmosfer yüzeyde  $1.6 \times 10^{-5}$  atm gibi çok düşük bir basınç yaratmasına rağmen

oldukça dinamikdir ve oluşturduğu sabit rüzgarların etkisiyle, gayzerlerden fişkıran koyu renkli maddeleri çıkış noktasından 150 km uzağa sürükleyebilmektedir.

Triton'un Neptün üzerinde oluşturduğu çekimsel tedirginlik etkisi, Neptün'ün Triton'a bakan yüzünde ve bunun zıt tarafında gel-git şişkinlikleri oluşturmaktadır. Hatırlanacak olursa, Yer-Ay arasındaki benzer etkileşme (bkz. Bölüm 3.2), Yer'in okyanuslarında gel-git kabarmaları oluşturmakta ve bu kabartılar Ay üzerinde ek bir çekim etkisi yaratarak, Ay'ın düzenli olarak spiral bir yörünge boyunca Yer'den uzaklaşmasına neden olmaktadır. Neptün'de oluşan şişkinliklerin benzer etkisi altında kalan Triton'un spiral yörüngesi, retrograt hareketten dolayı dışa doğru değil içe doğrudur. Şu andaki yaklaşma oranı ile Triton'un 100 milyon yıl sonra Neptün'ün Roche limitinin içine gireceği ve parçalanarak yeni bir halka sistemi oluşturacağı tahmin edilmektedir.

Voyager 2 yakın geçişi öncesinde varlığı bilinen diğer uydu Nereid, Yer'den yapılan gözlemlerle 1949 yılında keşfedilmiştir. Prograt yönde yörünge hareketi yapmasına rağmen Güneş sisteminde bilinen en basık yörüngeye sahip uydudur. Bir yörünge dönemi boyunca Neptün'e olan uzaklığı  $1.4 \times 10^6$  ile  $9.7 \times 10^6$  km arasında değişmektedir. Nereid'in bir zamanlar çember olan yörüngesinin, yakalandıktan sonra Triton ve Neptün tarafından oluşturulan ortak çekim alanı altında basık bir elipse dönüştürüldüğü düşünülmektedir.