


BÖLÜM 7 Jüpiter

Güneş'e ortalama uzaklık	5.203 AB = 7.783×10^8 km	
Güneş'e en büyük uzaklık	5.455 AB = 8.160×10^8 km	
Güneş'e en küçük uzaklık	4.950 AB = 7.406×10^8 km	
Yörünge dışmerkezliği	0.048	
Ortalama yörünge hızı	13.1 km/sn	
Yörünge (yıldız) dönemi	11.86 yıl	
Kavuşum (sinodik) dönemi	399 gün	
Dönme dönemi	ekvatoryal: $9^{\text{sa}}50^{\text{dk}}28^{\text{sn}}$ iç bölgeler: $9^{\text{sa}}55^{\text{dk}}29^{\text{sn}}$	
Ekvatorun yörüngeye eğikliği	3.12°	
Yörünge ekliptiğe eğimi	1.30°	
Ekvator çapı	142,984 km = 11.209 R_{yer}	
Kutup çapı	133,708 km = 10.842 R_{yer}	
Kütle	1.899×10^{27} kg = 317.8 M_{yer}	
Ortalama yoğunluk	1326 kg/m ³	
Kurtulma hızı	60.2 km/sn	
Yansıtma gücü	0.44	
Ortalama sıcaklık	(bulut tepelerinde) $-108^\circ\text{C} = 165^\circ\text{K}$	

7.1 Genel Özellikler

Jüpiter, Güneş sisteminin, Güneş'ten sonra en büyük boyutlu cisimidir. Dolayısıyla en büyük boyutlu dev gezegen olma özelliğine de sahiptir. Astronomlar, Jüpiter'in bu devasa boyutlarını (çap ve kütle) yüzyıllardan beri bilmektedirler. Bölüm 1 de verilen küçük açılar formülü yardımıyla çapının Yer çapından 11 kat daha büyük olduğunu hesaplamışlardır. Ayrıca, çevresinde dolanan 4 büyük uydusunun yörünge özelliklerini gözleyerek, 1. Bölüm'de verilen ve Newton tarafından genelleştirilmiş Kepler'in 3. yasası yardımıyla kütesini de bulmuşlardır. Yer kütesinin yaklaşık 318 katı olan Jüpiter kütesi, Güneş sistemimizdeki diğer gezegenlerin, uyduların, asteroidlerin, kuyruklu yıldızların ve meteorların toplam kütesinden 2.5 kat daha büyüktür.

Yörüngesi, Yer yörüngesinin dışında yer alan tüm gezegenler gibi Jüpiter de, Yer'den en iyi, karşı-konum zamanlarında gözlenir. Karşı-konum zamanlarında, göğün en parlak yıldızı Sirius'dan 3 kat daha parlak görülür ve açısal çapı 50 yay-saniyesi civarındadır. Jüpiter'in 11.86 yıl olan yörünge dönemi, Yer'in yörünge döneminin kabaca 12



Şekil 7.1 Voyager 1'in 30 milyon km. den aldığı Jüpiter görüntüsü

katıdır ve yörüngesi ekliptik düzlemine çok yakındır. Dolayısıyla ekliptik düzlemi boyunca görülen 12 Zodyak⁽¹⁾ takım yıldızı arasında yavaşça hareket eder ve bu hareketin hızı yaklaşık olarak yılda bir takım yıldız mertebesindedir. Jüpiter'in kavuşum dönemi 399 gündür ve buna bağlı olarak ardışık karşı-konumlar arası süre yaklaşık 13 aydır. Yer'den teleskopla bakıldığında, Jüpiter'de dikkat çeken ilk olgu ekvatoruna paralel uzanan, renkli kuşaklardır. Şekil 7.1 deki Voyager 1 görüntüsünde açıkça izlenen bu açık ve koyu renkli kuşaklar kırmızı, turuncu, kahverengi ve sarı renklerin çeşitli tonlarında görülürler. Ayrıca çeşitli renklerde görülen oval şekilli lekeler de izlenen belirgin yapılar arasındadır. Bunlardan en büyük olanı, güney yarım küresinde kırmızı turuncu renkte görülen “*Büyük Kırmızı Leke*” dir. İlk kez 1664 yılında İngiliz astronom Robert Hooke tarafından gözlenen bu olgu gezegenin dinamik atmosferinde yüzyıllarca varlığını sürdüren bir fırtınadır. Bunun yanında varlığı birkaç hafta veya ay süren daha küçük boyutlu leke benzeri yapılar da Jüpiter'in karmaşık hareketler gösteren atmosferinde izlenebilmektedir.

Jüpiter atmosferinde izlenen belirgin yapıların gözlemleriyle, gezegenin dönme dönemi hesaplanmıştır. Jüpiter'in ekvatorundaki dönme dönemi $9^{\text{sa}}50^{\text{dk}}28^{\text{sn}}$ dir. Bu değer güneş sistemindeki en hızlı dönme dönemidir. Ancak bu dev gaz kütlesi bir katı cisim gibi dönmemektedir. İtalyan astronom Cassini 1690 yılında, Jüpiter'in aydınlık ve

⁽¹⁾ *Zodyak takım yıldızları*: Koç, Boğa, İkizler, Yengeç, Aslan, Bakire, Terazi, Akrep, Yay, Teke, Kova, Balıklar

karanlık kuşakları üzerinde yaptığı gözlemlerden kutup enlemlerindeki dönme hızının, ekvatordakinden daha yavaş olduğunu göstermiştir. Jüpiter'in kutup bölgelerindeki dönme dönemi $9^{\text{sa}}55^{\text{dk}}41^{\text{sn}}$ dir. Bu şekilde enleme bağlı hız farklılığı gösteren dönme yapısına “*diferansiyel dönme*” denmektedir. Diferansiyel dönmenin varlığı, Jüpiter'in henüz katılaşmamış (en azından yüzey tabakalarının) bir gezegen olduğunun en güzel göstergesidir.

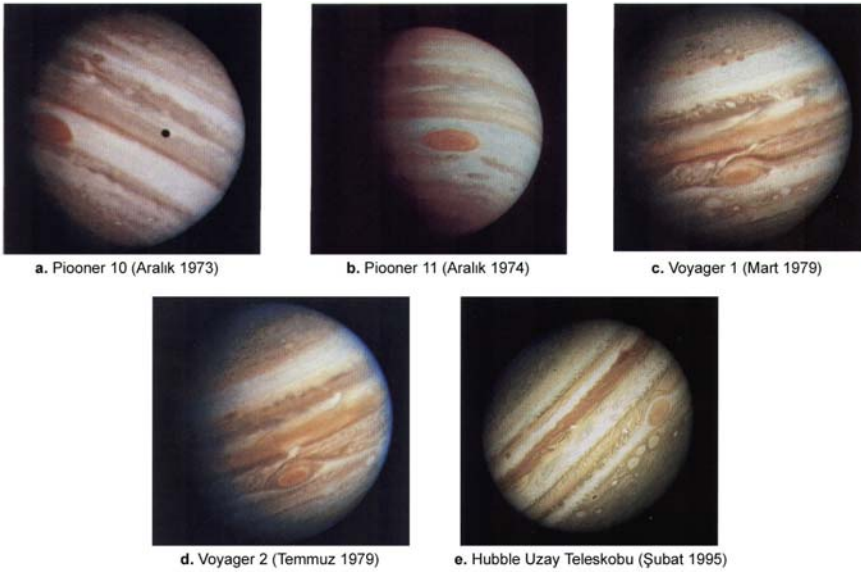
Jüpiter'in genel kimyasal bileşimi hakkındaki en önemli ipucu 1326 kg/m^3 değerindeki düşük ortalama yoğunluğundan gelmektedir. Bu değer Yer'in ortalama yoğunluğunun yalnızca dörtte biri kadardır ve gezegenin oluştuğu maddelerin, karasal gezegenleri oluşturan kayalık yapılardan oldukça farklı olması gerektiğini göstermektedir.

1930 yılında Alman astronom Rupert Wildt, Jüpiter tayfında izlenen belirgin metan (CH_4) ve amonyak (NH_3) soğurma çizgilerine dayanarak atmosferinin büyük oranda hafif gazlardan oluşması gerektiği fikrini ortaya atmış ve bileşiminin ağırlıklı olarak hidrojen ve helyumdan oluşması gerektiğini söylemiştir. Wildt'in gözlemleri, Jüpiter atmosferinde hidrojen varlığına dolaylı bir delil olmuştur. Doğrudan deliller çok daha sonra elde edilebilmiştir. Çünkü Jüpiter atmosferindeki gazlar, yansımış Güneş ışınımı tayfında görsel bölge dalga boylarında değil, morötesi dalga boylarında tayf çizgisi üretmektedir. Yer atmosferinin morötesi ışınımına geçirgen olmaması nedeniyle, Jüpiter atmosferinde hidrojen ve helyum varlığına ilişkin ilk doğrudan deliller, 1960 yılında başlayan atmosfer dışı moröte gözlemleriyle elde edilebilmiştir. 1970'lerde, Jüpiter'e ilk yakın geçiş yapan insansız uzay araçlarıyla da hidrojen ve helyum varlığını doğrulanmıştır.

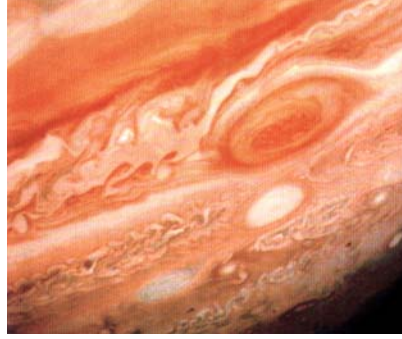
Jüpiter atmosferinin bugün için kimyasal bileşimi; %86.2 hidrojen molekülleri (H_2), %13.6 Helyum atomları (He) ve %0.2 oranında metan, amonyak, su buharı ve diğer gazlardan oluşmaktadır. Kütlece oranlar göz önüne alınırsa, Jüpiter atmosferi %75 hidrojen, %24 helyum ve %1 oranında diğer gazlardan oluşmuştur. Bu bölümün ilerleyen alt başlıklarında Jüpiter'in, ağır elementler içeren büyük kütleli bir kayalık çekirdeğe de sahip olduğunu göreceğiz. Bu durumda gezegenin bir bütün halindeki kimyasal bileşimi %71 Hidrojen, %24 Helyum ve %5 oranında diğer ağır elementler olarak karşımıza çıkmaktadır.

7.2 Jüpiter Atmosferinde İzlenen Hareketler ve Genel Yapısı

Jüpiter hakkındaki detaylı bilgilerimizin çoğu, gezegene yakın geçiş yapan ve çevresinde yörüngeye oturtulan insansız uzay araçlarının gözlemlerinden elde edilmiştir. Bu araçların gözlemlerinden, Jüpiter atmosferinde son derece dinamik, büyük ve küçük ölçekli hava hareketlerinin gerçekleştiği anlaşılmıştır. Gezegene ulaşan ilk dört uzay aracı, gezegene yakın geçiş yapmışlardır. 1973’de *Pioneer 10* ve 1974’de *Pioneer 11*, Jüpiter’e yakın geçiş gerçekleştirmiş benzer iki araçtı. 1979 yılında ise diğer iki benzer araç *Voyager 1* ve *Voyager 2* yakın geçişlerini yapmışlardır. Bu araçlar, Jüpiter’in dinamik atmosferinin çok sayıda yakın plan görüntüsünü Yer’e göndermişlerdir. 1995’te *Galileo* uzay aracı gezegen çevresinde bir yörüngeye oturtulmuş ve üzerinde özel algılayıcılar bulunan bir sonda ise Jüpiter atmosferinin içine yollanmıştır. Son olarak Satürn ve halkaları üzerinde inceleme yapmak üzere yollanan “*Cassini*” uzay aracı, 2000-2001 yılları arasında Jüpiter üzerinde yakından incelemeler yapmıştır. Pioneer ve Voyager yakın geçişlerinin gerçekleştiği 4 yıl boyunca, Jüpiter atmosferinde, genel olarak yapısal değişimler izlenmezken, Büyük Kırmızı Leke’yi çevreleyen bölgelerde ciddi değişimler gözlenmiştir (Şekil 7.2). Büyük Kırmızı Leke, Pioneer yakın geçişlerinde, geniş ve açık renkli bir kuşak içinde yer alırken, Voyager



Şekil 7.2 Jüpiter kuşaklarında izlenen renk değişimleri



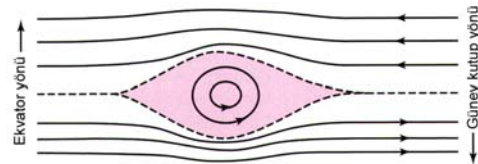
Şekil 7.3 Büyük Kırmızı Leke çevresinde oluşan türbülans hareketleri



Şekil 7.4 Büyük Kırmızı Leke'nin kızılöte görüntüsü (Galileo)

yakın geçişleri sırasında karanlık bir kuşak tarafından kuşatılmış olarak görülmüştür. 1995 yılında Hubble Uzay Teleskobu (HST) ile elde edilen görüntülerinde ise, tekrar açık renkli bir kuşak ile çevrelendiği izlenmiştir. Şekil 7.3 te, Voyager 2 ile elde edilen Büyük Kırmızı Leke bölgesinin detaylı görüntüsünde, leke ile çevresini saran kuşak arasındaki etkileşme sonucu oluşan “türbülans” hareketleri görülmektedir.

Galileo uzay aracı Büyük Kırmızı Leke'nin dikey yükseklikleri hakkında önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Şekil 7.4, 18 ayrı kızılöte Galileo görüntüsünün birleştirilmesiyle elde edilmiş Büyük Kırmızı Leke bölgesinin görüntüsüdür. Bu görüntünün oluşturulmasında, farklı yüksekliklerin, farklı kızılöte dalga boylarını yansıtma özelliği kullanılmıştır. Böylece Büyük Kırmızı Leke'nin çevresindeki bulut yapılarına göre 50 km daha yüksekte yer alan bir yüksek basınç alanı olduğu anlaşılmıştır. Büyük Kırmızı Leke'nin içerisinde ve çevresindeki bulut hareketlerinden, lekenin saatin dönme yönünün tersine döndüğü anlaşılmıştır. Ayrıca lekenin kuzeyinde hakim rüzgarların batıya, güneyinde ise doğuya doğru esmekte olduğu görülmüştür (Şekil 7.5). Bu kararlı rüzgar yapısı Jüpiter'in detaylı gözlemlerinin yapıldığı son 300 yıldan beri genel karakterini değiştirmemiştir. Yer'deki büyük ölçekli hava hareketleri, katı yüzeydeki yükseltiler ve diğer yüzey şekilleri ile etkileşerek kısa süre içerisinde dağılmaktadır. Jüpiter bulutlarının altında katı bir yüzey veya okyanuslar bulunmadığından, bu tür büyük ölçekli hava hareketleri yüzyıllarca sürebilmektedir.



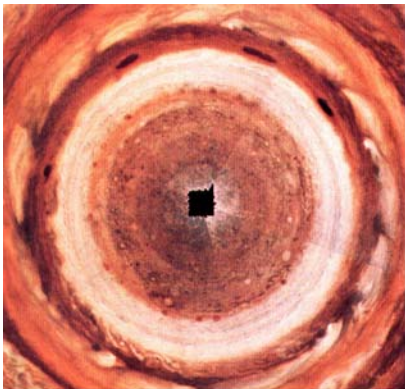
Şekil 7.5 Büyük Kırmızı Leke içerisinde ve çevresinde oluşan hareketlerin yönü

Jüpiter atmosferinde izlenen diğer bir kararlı yapı Şekil 7.3'te Büyük Kırmızı Leke'nin hemen yanında görülen "beyaz ovaler"dir. Beyaz ovalerde de bulutların hareket yönü saat yönünün tersi yöndedir ve Büyük Kırmızı Leke gibi uzun süre kalıcı yapıya sahiptirler. Beyaz ovaler daha çok güney yarım kürede gözlenmektedir. Kuzey yarım kürede ise benzer hareket yapıları gösteren

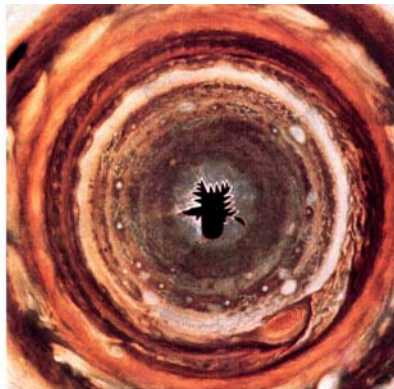
"kahverengi ovaler" hakimdir. Kahverengi ovaler Şekil 7.6 da olduğu gibi, görsel bölge dalgaboylarında koyu renkli lekeler olarak görülürken, kızılöte dalgaboylarında parlak ve açık renkli görülürler. Bu görüntü özelliğinden, kahverengi ovalerin, üst bulut katmanındaki delikler olduğu ve daha derinde yer alan sıcak bölgelerin bu açıklıklardan görüldüğü anlaşılmıştır. Beyaz ovaler ise görece olarak daha düşük sıcaklıklara sahip, yüksek bulutlar olup, daha sıcak iç bölgelerin görülmesine engel olmaktadır. Voyager, Galileo ve Cassini görüntülerinden ortaya çıkan son derece karmaşık bulut yapılarının, aslında şaşırtıcı bir düzene sahip olduğu, Şekil 7.7 deki bilgisayar ile birleştirilmiş kutup bölgeleri görüntülerinden anlaşılmıştır. Her renkli bant boyunca izlenen yapıların kararlılığı ve ovalerin neredeyse düzgün aralıklarla dağılmış olduğu bu şekillerden açıkça görülebilmektedir.



Şekil 7.6 Kahverengi oval



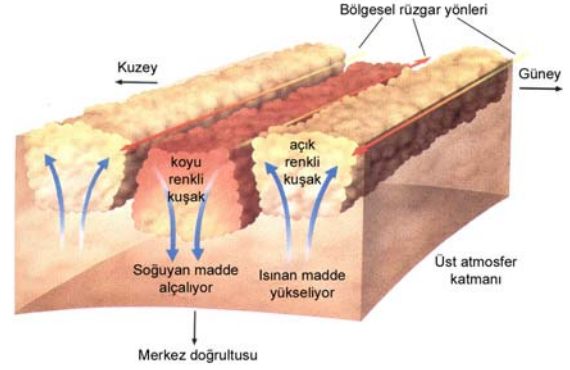
a. Kuzey yarım küre



b. Güney yarım küre

Şekil 7.7 Jüpiter'in kuzey ve güney yarım kürelerinin kutup merkezli görüntüleri

Jüpiter atmosferindeki hareketler, Güneş'ten aldığı ışınım, gezegenin iç ısı ve diferansiyel dönme ile diferansiyel dönme ile kontrol altında tutulmaktadır. 1960'lı yılların sonuna doğru, Jüpiter'in Yer'den yapılan gözlemleri önemli bir özelliği daha ortaya çıkarmıştır. Buna göre Jüpiter, kızılöte bölgede, Güneş'ten soğurduğu ışınımın iki katı ışınım



Şekil 7.8 Aydınlık ve karanlık kuşakların oluşumu

yaymaktadır. Jüpiter kütlesiyle orantılı olarak büyük bir ısı kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla oluşum zamanında, çekimsel büzülme altında kazandığı ısı enerjisini, son derece düşük bir hızla ışınım olarak geri yayınlamış ve büyük bir kısmını milyarlarca yıldan beri koruyarak halen kızılöte dalgaboylarında yayınlamaya devam etmektedir. Bu ısı enerjisi, Jüpiter atmosferinde etkin konveksiyon hareketlerinin başlamasına neden olmaktadır. Şekil 7.8 de Jüpiter'in üst atmosfer katmanlarının şematik bir kesiti görülmektedir ve konveksiyon hareketleri ile gezegenin diferansiyel dönmesinin etkileşmesi sonucu izlenen aydınlık ve karanlık kuşakların oluşumu açıklanmıştır. Buna göre ısınarak iç bölgelerden yükselen gazlar yüzeye ulaştıklarında soğurlar ve açık renkte görülürler. Buna karşılık yüzeyde soğumuş olan gazlar hızla iç bölgelere doğru geri dönerek ısınmaya başlarlar ve koyu renkte görünen bölgeler oluştururlar. Konvektif



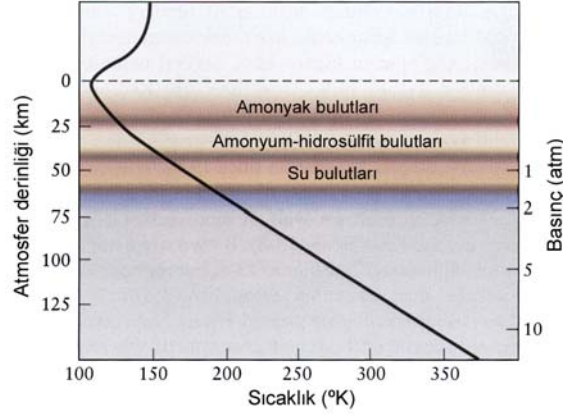
Şekil 7.9 a: Jüpiter'in kızılöte görüntüsü b: Jüpiter'in görsel bölge görüntüsü

hareketlerin, gezegenin eksenini etrafındaki hızlı dönmesi ile etkileşmesi sonucu, kuşaklar boyunca uzanan, doğu-batı doğrultulu sirkülasyon hareketleri oluşmaktadır. Jüpiter'in kuşakları boyunca esen bu yatay rüzgarların hızı, aydınlık ve karanlık görülen bölgelerin sınırlarında en yüksek değerlerine

ulaşmaktadır ve 500 km/sa hızını aşabilmektedir. Şekil 7.9 da Jüpiter'in kızılöte ve görsel bölge görüntüleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Görsel bölgede karanlık görülen kuşaklar, kızılöte bölgede daha yüksek sıcaklıkları işaret eden aydınlık alanlar olarak görülmektedir.

Yapılan tayfsal gözlemlerin, atmosferik sıcaklık ve basınç ölçümleri ile birleştirilmesi sonucunda, Jüpiter'in üst atmosfer katmanlarında 3 temel bulut yapısının var olduğu anlaşılmıştır. Şekil 7.10 da, Jüpiter'in üst atmosfer katmanına ilişkin sıcaklık ve basınç profili görülmektedir. En üstte donmuş amonyak kristallerinden oluşma 25 km kalınlığında bir bulut katmanı bulunmaktadır. Bunun altında, amonyak (NH_3) ve hidrojen sülfür (H_2S) moleküllerinin birleşmesiyle meydana gelen amonyum-hidrosülfid (NH_4SH) kristallerini içeren ikinci bir bulut katmanı yer almaktadır. En altta ise, ağırlıklı olarak donmuş su kristalleri içeren üçüncü bir bulut katmanı daha bulunmaktadır.

1993 yılının Mart ayında profesyonel astronomlar Eugene ve Carolyn Shoemaker, amatör meslektaşları David Levy ile birlikte ilginç bir kuyruklu yıldız keşfetmişlerdir. Shoemaker-Levy 9 (SL-9) olarak adlandırılan bu kuyruklu yıldız Jüpiter'in yakınından geçerken, gezegenin çekimsel tedirginlik etkileri altında 23 küçük parçaya bölünmüştür. Şekil 7.11'de görülen Shoemaker-Levy 9 kuyruklu yıldızının parçalanma sonrası görüntüsü, 1994'ün Mayıs ayı içinde Hubble Uzay Teleskobu

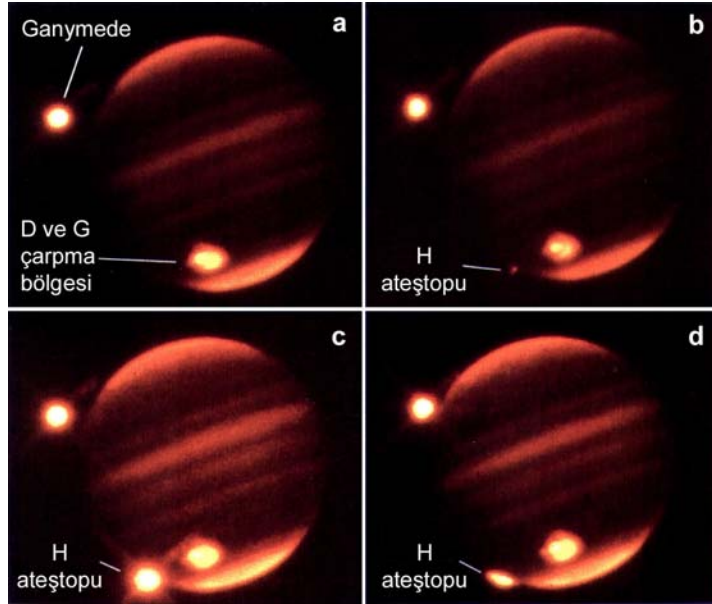


Şekil 7.10 Jüpiter atmosferinin sıcaklık ve basınç profili



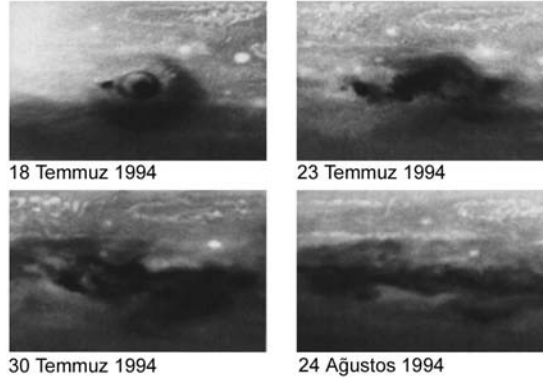
Şekil 7.11 Shoemaker-Levy 9 kuyruklu yıldızının parçaları

tarafından alınmıştır. Bu parçalar yörüngelerinin enberi noktasında, Güneş'e yakın geçişlerini tamamlayarak yollarına devam etmişler ve 16 Temmuz - 22 Temmuz 1994 tarihleri arasında Jüpiter'in atmosferine düşmüşlerdir. Boyutları 1 km'yi geçmeyen parçaların çarpışma öncesi hızları, Jüpiter'in yüksek çekim etkisi altında 60 km/sn gibi yüksek değerlere ulaşmıştır. En büyük parçanın çarpması ile açığa çıkan enerji 600 milyon megaton TNT'nin ürettiği enerjiye denktir. Bu enerji, Yer'de bilinen tüm nükleer silahların üretebileceği yıkıcı enerjinin binlerce katıdır. Tüm çarpışmalar, ilgili tarihte Jüpiter'in, Yer'den görülemeyen tarafında gerçekleşmiştir. Ancak gezegenin hızlı dönmesi sayesinde çarpma bölgeleri, çarpışmalardan birkaç dakika sonra Yer'den görülebilir konumlara gelmiştir. Şekil 7.12 de İspanya'daki Calar Alto Gözlemevi'nin 3.5 metrelik teleskobu ile kızılöte dalgaboylarında elde edilen sekizinci parçanın (H



Şekil 7.12 SL-9 kuyruklu yıldızının H parçasının Jüpiter'e çarpması ile oluşan ateş topu

harfi ile kodlanan) atmosfere giriş aşamalarına ilişkin görüntüler izlenmektedir. Astronomlar bu çarpışmalarla oluşan “ateş topları”nın tayfsal gözlemlerinden, atmosferik bileşim hakkında doğrudan ölçümler yapabilmeyi umut ediyorlardı. Çarpışma ile oluşan şok dalgaları, çarpan



Şekil 7.13 Jüpiter atmosferinin sıcaklık ve basınç profili

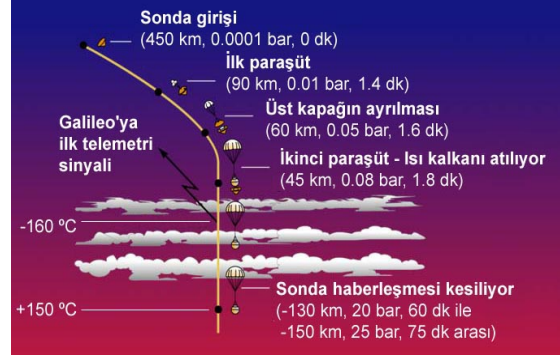
kuyruklu yıldız parçalarını hızla buharlaştırarak atmosferdeki gazlarla karıştırmış ve Şekil 7.13 deki Hubble Uzay Teleskobu görüntülerindeki gibi haftalarca izlenebilen artıklar oluşturmuşlardır. Ateş toplarının elde edilen tayfları son derece karmaşık yapılar içermekteydi. Bu durum çarpan kuyruklu yıldızın kimyasal bileşiminin ve atmosferde ulaşabildiği derinliğin bilinmemesinden kaynaklanmaktaydı. Örneğin, büyük parçaların çarpması ile oluşan ateş toplarının tayfinda kuvvetli kükürt çizgileri gözlenmiştir. Bu durum, kuyruklu yıldız parçasının amonyum-hidrosülfid (NH_4SH) bulutlarına kadar ulaşarak, buradaki molekülleri parçalaması sonucu açığa çıkan kükürt atomlarının yüzeye doğru fırlatılması ile oluşabileceği gibi, kuyruklu yıldız parçasının kendi bileşiminde yer alan kükürtçe zengin bileşiklerin parçalanmasıyla da açığa çıkmış olabilir ve düşen kuyruklu yıldız parçasının atmosfer içinde büyük derinliklere inmiş olmasını gerektirmez.

Şekil 7.14 de görünen Galileo uzay aracı, Jüpiter ve 4 büyük uydusunu incelemek üzere 1995 yılında gezegen etrafında bir yörüngeye oturtulmuştur. Bu aracın en büyük özelliği, Jüpiter atmosferi içine bırakılacak bir sonda taşımasıydı. Bu sonda, 7 Aralık 1995 tarihinde Jüpiter ekvatorunun hemen



Şekil 7.14 Galileo uzay aracı

kuzeyindeki bir noktadan, gezegenin atmosferine girerek çeşitli ölçümler yapmış ve topladığı bilgileri, yörüngedeki Galileo aracına iletmiştir (Şekil 7.15). Paraşütlerle inişi yavaşlatılan sonda, Jüpiter'in üst bulut katmanının 200 km altına kadar veri göndermeye



Şekil 7.15 Galileo sondasının Jüpiter atmosferine girişi

devam edebilmiştir. Bu derinlik civarındaki atmosferik basınç (24 atm) ve sıcaklık (150 °C) değerleri, sondanın daha fazla çalışmasına izin vermemiştir. Sonda üzerinde yer alan farklı alıcılara önemli bulgular elde edilmiştir. Radyo alıcıları ile yapılan gözlemler sonucunda, Jüpiter atmosferindeki şimşeklerin Yer'deki kadar sık oluşmadığı ancak çok daha büyük enerjiler taşıdığı anlaşılmıştır. Şekil 7.16 da şematik olarak açıklanan "doppler deneyi" ile, Jüpiter atmosferinin derinliklerinde esen rüzgarların daha büyük hızlara sahip olduğu (650 km/sa) görülmüş ve Jüpiter rüzgarlarını doğuran enerji kaynağının, gezegenin kendi iç ısısı olduğu kanıtlanmıştır. Eğer rüzgarlar, Yer'de olduğu gibi sadece Güneş ışınları ile harekete geçiriliyor olsaydı, artan derinlikle rüzgar hızlarının azalması gerekirdi. Galileo sondası ile yapılması amaçlanan temel gözlemlerden biri de, bulut katmanları ve bileşimlerinin doğrudan belirlenmesine yöneliktir. Bu gözlemler NH_3 ve NH_4SH bulutlarının gerçekten beklenen bileşim ve boyutlarda olduğunu göstermiştir. Ancak en derinde yer alan su kristallerinden oluşma bulutların varlığına ilişkin hiç bir ize rastlanmamıştır. Bu durum, sondanın giriş bölgesinin bir "sıcak leke" olduğu ve su bulutlarının bu bölgede dağılmış olabilecekleri şeklinde yorumlanmıştır. Sonda giriş bölgesinin Yer'den yapılan kızılöte gözlemlerinin, yüksek sıcaklıklar göstermesi bu fikri destekler niteliktedir.



Şekil 7.16 Galileo sondası ile doppler deneyi

Galileo sondası, Jüpiter atmosferi içindeki kısa yolculuğu süresince kimyasal bileşimin de doğrudan ölçümlerini yapmıştır. Bu ölçümlere göre, görelî hidrojen ve helyum bolluğunun, Güneş'teki ile aynı olduğu gözlenmiştir. Bunun yanısıra karbon, azot ve kükürt gibi ağır elementlerin de kayda değer görelî bolluklara sahip olduğu kesinlik kazanmıştır. Jüpiter'in ağır elementler açısından gösterdiği bu zenginlik oluşumundan bu yana, kütle çekimiyle yakalayıp üzerine düşürdüğü bol miktardaki gezegenler arası artık cisimlerden kaynaklanmaktadır. Bunlara en son örnek SL-9 kuyruklu yıldızdır.

Galileo sondasının, Jüpiter atmosferinde sürpriz sayılabilecek diğer önemli bir bulgusu, Helyum gibi birer asal gaz olan, Argon (Ar), Kripton (Kr) ve Zenon (Xe) elementlerinin, Güneş'tekinden 3 kat daha yüksek bolluk değerlerine sahip olmalarıdır. Jüpiter'deki bu gazların kaynağı, yalnızca Güneş sistemini meydana getiren Güneş bulutsusu olsaydı, izlenen bolluk değerlerinin Güneş'teki ile aynı olması gerekirdi. Bu durumda Argon, Kripton ve Zenon bolluğunda görülen fazlalığın, aynı Karbon, Azot ve Kükürt bolluğunda izlenen fazlalıkları sağlayan katı gezegenimsilerle sağlanmış olabileceği akla gelmektedir. Ancak, Jüpiter'in Güneş'e olan uzaklığı dikkate alındığında, oluşum anındaki güneş bulutsusu sıcaklığının bu bölgelerde Argon, Zenon ve Kripton'un katılaşmasına engel olacak kadar yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır. Jüpiter'de izlenen bu artık asal gaz bolluğu, bugün için büyük ölçüde kabul gören bir teori ile açıklanmaya çalışılmaktadır ve halen cevaplanmayı bekleyen önemli bir sorudur. Bu teoriye göre Jüpiter'in Güneş'ten çok daha büyük uzaklıklardaki soğuk bölgelerde, yeterince katılaşmış Ar, Xe, Kr içeren gezegenimsilerden oluştuğu kabul edilmektedir. Zamanla Güneş ve diğer sistem üyeleri ile çekimsel olarak etkileşen bu gezegen, yörüngesini evrimleştirerek daraltmış ve bugünkü Güneş'e daha yakın kararlı yörüngesine oturmuştur.

7.3 Jüpiter'in İç Yapısı

SL-9 kuyruklu yıldız ve Galileo sondası, Jüpiter atmosferinde ancak birkaç yüz kilometre ilerleyebilmiş ve kısıtlı derinliklerden doğrudan ölçümler alabilmemize olanak tanımışlardır. Bu durumda gezegenin daha derinlerdeki iç yapısını öğrenebilmek için dolaylı yöntemlerden yararlanmak zorundayız. Jüpiter'in ideal küreden sapsız

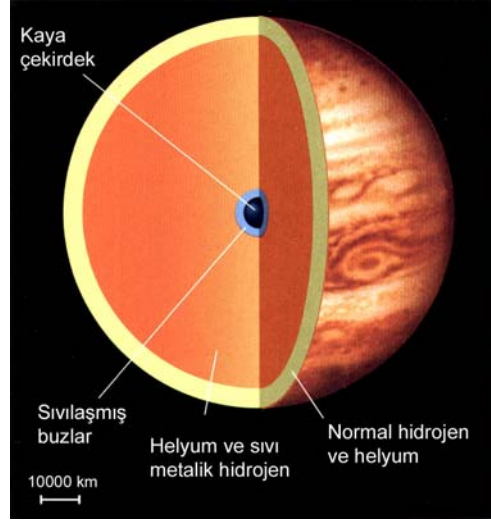
biçimi bu konuda en önemli dolaylı delilleri bize sunmaktadır. Jüpiter'in dönmeden dolayı basırlık değeri % 6.5 dur (Bu değeri, 142,984 km olan ekvator çapının, 133,708 km olan kutup çapına oranıdır). Bir gezegenin basırlık değeri, kütesinin iç yapısı boyunca nasıl dağıldığına önemli bir delildir ve teorik iç yapı modelleriyle test edilmesine olanak sağlar. Bugüne dek yapılan modellerden en tutarlısı, Jüpiter'in kütlece % 2.6 sından oluşma yoğun ve kayalık bir çekirdeğe sahip olduğunu önermektedir. Bu çekirdek Yer çapından biraz küçüktür (11000 km) ancak içerdığı kütle Yer kütesinin 8 katıdır. Merkez basıncının 70 milyon atm olduğu düşünülmektedir. Bu çekirdek 3000 km kalınlıklı yarı-akışkan bir tabaka ile sarılmıştır ve ağırlıklı olarak kökeni buzlu gezegenimsilerden gelen H₂O, NH₃, CH₄ ve bunların oluşturduğu diğer bileşikleri içermektedir.

Gezegenin basırlığı kayalık çekirdeği hakkında bilgi verebilirken, bulutlardan oluşma dış atmosfer katmanı ile çekirdeği arasındaki hacimde mevcut madde hakkında bilgi verememekteyiz. Bu katmanın içeriği hakkındaki bilgilerimiz, Jüpiter'in radyo bölgede yapılan gözlemlerinden gelmektedir. Jüpiter'den gözlenen radyo dalgaları, hidrojen zengin bu katmanda elektrik akımlarının oluştuğunu göstermektedir. Jüpiter'den algılanan radyo ışınımının küçük bir bölümü "ısısal ışınım" kaynaklıdır. Geri kalanı ise "ısısal olmayan" ışınım ile üretilmektedir. Bu ışınımın kaynağı, güçlü manyetik alan etkisi ile belirli yörüngelerde hareket etmeye zorlanan serbest elektronların yüksek hareket hızları altında (ışık hızına yakın) yayınladığı enerjiden gelmektedir ve "sinkrotron ışınımı" olarak adlandırılmaktadır. Bu ışınımın dalga boyu desimetre (10 cm) mertebesindedir. Bu gözlem, Jüpiter'in güçlü bir manyetik alana sahip olduğunu göstermiştir. Pioneer ve Voyager gözlemleri güçlü manyetik alan varlığını, doğrudan ölçümlerle kanıtlamıştır ve şiddeti Yer'in manyetik alan şiddetinin 14 katıdır. Yer'in manyetik alanının, iç katmanlarındaki elektrik iletkenliğine sahip sıvı maddelerde oluşan karışım hareketleriyle üretildiğini biliyoruz. Bu durum aynen Jüpiter'de de geçerli olmalıdır. Ancak Yer'den farklı olarak, Jüpiter'de sıvı halde bulunan madde, hidrojenin egzotik bir formudur ve sıvı bir metal gibi davranmaktadır.

Bir elektron ve bir protondan oluşma hidrojen atomları, çok yüksek basınç altında birbirlerine yaklaştığında, elektron alış-verişinde bulunurlar. Jüpiter'in yüksek basınç altındaki bölgelerinde, bu elektronların hareket yönleri, gezegenin dönmesi ve

konvektif hareketleriyle kontrol edilmektedir ve elektrik akımları üretmektedir. Bu hareketler, üzerinden elektrik akımı geçen bir bakır teldeki elektronların hareketine benzer. Böylece yüksek basınç altında Jüpiter'in derinliklerinde yer alan hidrojen bir metal gibi davranmaktadır ve "sıvı metalik hidrojen" olarak adlandırılmaktadır. Laboratuvar deneyleri, 1.4 milyon atm değerindeki basınç altında

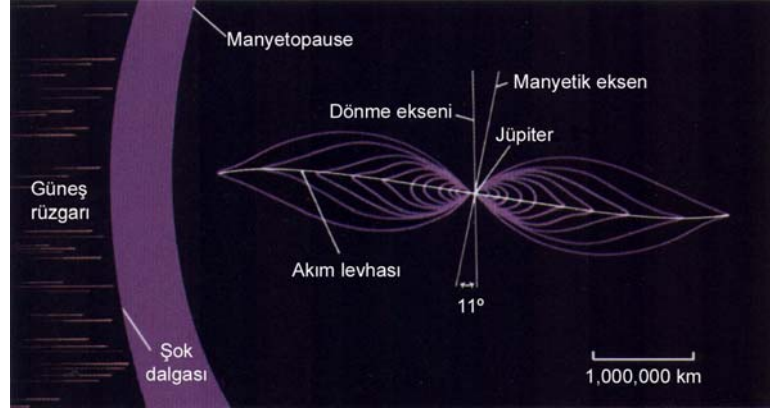
hidrojenin sıvı metal haline geldiğini göstermiştir. Jüpiter üzerine yapılan son çalışmalar, bu koşulların bulut katmanının 7000 km altında oluşmaya başladığını göstermektedir. Buna göre Şekil 7.17 de şematik olarak görülen Jüpiter'in iç yapısı genel olarak 4 ana katmandan oluşmaktadır. 11000 km çapında kayalık katı bir çekirdek, kabaca 3000 km kalınlıklı sıvılaştırılmış buzul maddeleri içeren bir katmanla sarılıdır. Bunu 56000 km kalınlıklı, helyum ve metalik hidrojen içeren en büyük katman takip etmektedir. En dışta ise olağan hidrojen ve helyum içeren 7000 km kalınlıklı bir katman bulunmaktadır. Bu katmanın en dıştaki 100-200 km kalınlıklı bölgesi, farklı renklerde izlemekte olduğumuz bulut tabakalarını içermektedir.



Şekil 7.17 Jüpiter'in iç yapısı

7.4 Jüpiter'in Manyetik Alanı

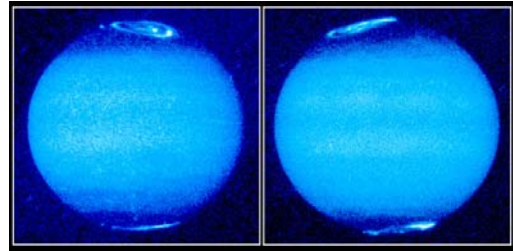
Jüpiter'in güçlü manyetik alanı, gezegeni çevreleyen büyük boyutlu bir manyetosfer oluşturmaktadır. Pioneer, Voyager ve Galileo uzay araçlarında bulunan manyetometreler ve yüklü parçacık algılayıcıları ile boyutları belirlenen bu manyetosferi görebilme yeteneğimiz olsaydı, Yer'den bakıldığında gökyüzünde dolunaydan 16 kat daha büyük bir alan kapladığını görecektik. Şekil 7.18 de Jüpiter manyetosferinin genel yapısı görülmektedir. Manyetosferin boyutları, Güneş rüzgarında



Şekil 7.18 Jüpiter'in manyetosferi

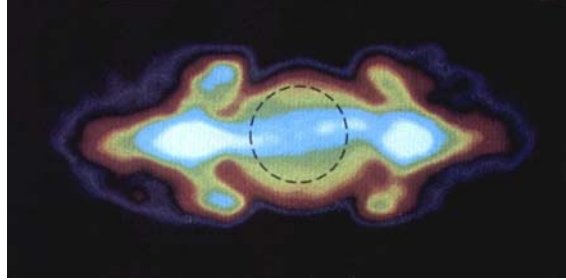
izlenen dalgalanmalara bağlı olarak değişim göstermektedir ve bazen minimum boyutlarının iki katına kadar genişleyebilmektedir. Güneş rüzgarı tarafında, gezegenden 3-7 milyon km'ye kadar uzanırken, bunun aksi tarafında 1 milyar km'ye kadar erişebilmektedir (yani Satürn yörüngesini geçebilmektedir).

Jüpiter manyetosferinin iç bölgelerinde, gezegen tarafından yakalanan yüklü parçacıklarla oluşturulmuş, Van Allen kuşakları benzeri ışınım kuşakları bulunmaktadır. Jüpiter'in ışınım kuşaklarında hapsettiği yüklü parçacık sayısı, manyetik alan şiddetine bağlı olarak, Yer'in Van Allen kuşaklarındaki parçacık sayısından çok daha fazladır. Jüpiter'in hızlı dönmesi ile basıklaşmış ve manyetik ekvator düzlemi boyunca uzamış şekiller alan bu kuşaklara "akım levhası" denmektedir. Akım levhası, eksen etrafında dönen bir balerin eteğinde görülen dalgalanma hareketlerine benzer hareketler yapmaktadır. Jüpiter'in manyetik eksenini ile dönme eksenini arasında 11° lik bir açı vardır ve manyetik kutup yönleri ile coğrafi kutup yönleri zıttır. Jüpiter manyetik alanı tarafından yakalanan yüklü parçacıkların kutup bölgelerine indirilmesiyle, Yer'dekine benzer kutup ışınımları (auroralar) oluşmaktadır (Şekil 7.19) Galileo uzay aracı gözlemleri, Jüpiter'deki kutup ışınımlarının bulut tepelerinden 300-600 km yüksekte oluştuklarını göstermiştir.



Şekil 7.19 Jüpiter'de kutup ışınımları

Şekil 3.20 de Jüpiter manyetosferinin en yoğun bölgesindeki yüklü parçacıkların yapmakta olduğu dekametrik radyo ışınım karakteri görülmektedir. Sonradan renklendirilmiş bu görüntüde açık renkli

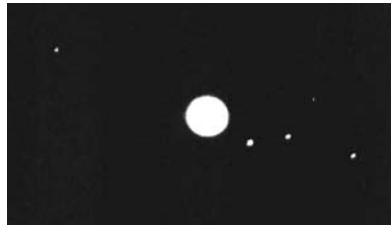


Şekil 7.20 Jüpiter'in dekametrik radyo ışınımı

alanlar daha kuvvetli ışınımı, koyu renkliler ise daha zayıf ışınımı temsil etmektedir. Gezegenin konumu ve boyutları kesikli çizgiyle çizilmiş bir çember olarak gösterilmiştir. Bu ışınım $9^{\text{sa}}55^{\text{dk}}30^{\text{sn}}$ lik bir dönemle çevrimli bir değişim göstermektedir. Jüpiter'in eksenine etrafında dönmesi sonucu akım levhasının farklı açılar altında görülmesi sonucu bu değişim ortaya çıkmaktadır. Bir gezegenin manyetik alanının üretilmekte olduğu bölgeye kilitli olması nedeniyle bu değişime ait dönem, Jüpiter'in iç katmanlarının dönme dönemini yansıtmaktadır. Böylelikle Jüpiter'in iç kısımlarındaki dönme hızının ekvatorundaki atmosferik ($9^{\text{sa}}50^{\text{dk}}28^{\text{sn}}$) dönmeden biraz daha yavaş kutuplarındaki dönme süresine ($9^{\text{sa}}55^{\text{dk}}41^{\text{sn}}$) ise neredeyse eşit olduğu anlaşılmıştır.

7.5 Galileo Uyduları

Jüpiter'in, etrafında dolanan uydulara sahip olduğu, 1610 yılında Galileo'nun dört büyük uydusunu keşfetmesi ile ortaya çıkmıştır. Genel olarak "*Galileo uyduları*" olarak adlandırılan bu dört uyduya, Romalıların gök ve hava tanrısı Jüpiter'in mitolojik aşklarının isimleri verilmiştir. Jüpiter'e olan uzaklık sırasına göre Io, Europa, Ganymede ve Callisto adını alan bu uydular, yerden bir teleskopla incelendiğinde, Şekil 7.21 deki gibi küçük birer nokta ışık kaynağı olarak görülürler. Belirli bir süre incelendiklerinde, 4 uydunun da Jüpiter'in ekvator düzlemine



Şekil 7.21 Küçük bir teleskoptan Jüpiter ve Galileo uydularının görünümü



Şekil 7.22 Galileo uydularının karşılaştırmalı boyutları ve bazı fiziksel büyüklükleri

çok yakın yörüngelerde hareket ettikleri gözlenir. Jüpiter'in ekvator düzleminin ekliptik düzlemine çok yakın olması nedeniyle, Yer'den bakıldığında, bu uyduları daima gezegenin doğu-batı doğrultusunda, bir düz çizgi boyunca hareket ettiklerini görürüz. Yörünge dönemleri görece olarak kısadır ve 1.8 gün ile 16.7 gün arasındadır. Böylece birkaç gün içerisinde, hatta bir gece boyunca yer değiştirmeleri gözlenebilir.

Her bir galileo uydusu aslında çıplak gözle izlenebilecek parlaklığa sahiptir. Ancak Yer'den bakıldığında, Jüpiter'den gösterdikleri açısal ayrıklıkların çok küçük olması (Callisto en fazla 10 yay-dakikası) nedeniyle, Jüpiter'in yüksek parlaklığı altında görülemezler. Görünen açısal ayrıklığı arttırabilecek ufak bir teleskop veya dürbünle, Galileo uydularını izlemek mümkündür (Şekil 7.21).

Galileo uydularının parlaklıkları, Jüpiter etrafındaki yörünge hareketleri boyunca ufak değişimler göstermektedir. Bu değişim, uyduların eksenleri etrafında dönmeleri sonucu, yüzeylerindeki aydınlık ve karanlık yapıların görüş alanına girip çıkmasından kaynaklanmaktadır. Galileo uydularının parlaklık değişimlerine ilişkin bir çevrimleri, tam olarak bir yörünge dönemi süresinde tamamlanmaktadır. Bu özellik tüm Galileo uydularının eş-dönmeyle sahip olduklarının bir göstergesidir. Jüpiter'in yüksek çekim etkisi, Galileo uydularını eş-dönme yapmaya zorlamaktadır.

Tüm Galileo uyduları, Jüpiter ile 1-e-1 dönme-dolanma kitlenmesine sahip iken, Io, Europa ve Ganymede kendi aralarında yörünge dönemleri açısından ilginç oranlar göstermektedir. Ganymede Jüpiter etrafındaki bir turunu 7.155 günde tamamlarken, Europa bu sürede yörüngesi üzerinde 2 tur, Io ise 4 tur atmaktadır. Böylece Io, Europa ve Ganymede'in yörünge dönemleri arasında 1:2:4 gibi bir oran söz konusudur. Bu üç uydunun yörünge dönemleri arasındaki ilişki, birbirlerine uyguladıkları çekim etkilerinden kaynaklanmaktadır. Şekil 7.22 de verilen boyutlardan da anlaşılacağı gibi bu üç uydunun birbirlerine son derece yakın konumlarda bulunabilmektedir. Örneğin Io ve Europa'nın birbirlerine en yakın oldukları anda, aralarındaki uzaklık Yer-Ay uzaklığının 2/3 si kadar olmaktadır. Bu yaklaşma, Io'nun her iki tam yörünge turunda bir gerçekleşmektedir ve iki uydunun arasındaki çekim kuvvetlerinin ritmik olarak değişmesine neden olmaktadır. Bu ritmik değişim Io, Europa ve Ganymede'in yörünge dönemleri arasındaki basit oranların korunmasını sağlamaktadır. Callisto görel olarak daha büyük bir yörüngeye sahiptir ve diğer Galileo uyduları üzerine uyguladığı çekim kuvvetleri oldukça zayıftır. Bu nedenle Callisto ile diğer Galileo uydularının yörünge dönemleri arasında basit oranlar bulunmamaktadır.

Galileo uydularının yörünge düzlemlerinin kabaca ekliptik düzleminde bulunması nedeniyle uydular, yörünge hareketleri boyunca Jüpiter'in önünden ve arkasından geçerler. Uydunun, Jüpiter ile aramızda yer alması halinde bir geçiş (transit) gerçekleşir ve uydunun gölgesi gezegen üzerine düşer (Şekil 7.2a). Uydunun Jüpiter'in arkasında yer aldığı durumlarda ise bir tutulma veya örtülme gerçekleşebilmektedir. Tutulma anında uydunun Jüpiter'in gölge konisi içine girip çıkmaktadır. Örtülme durumunda ise uydunun Jüpiter tarafından tamamen kapatılmaktadır. İnsansız uzay araçlarının ölçümlerinden önce, Galileo uydularının çapları tutulma ve örtülme sürelerinden bulunmuştur. Ayrıca her altı yılda bir Jüpiter, yörüngesinin düğüm noktaları civarında yer alırken, Yer'den yapılan gözlemlerde Galileo uydularının birbirini örtmesini de gözlemek mümkün olmaktadır. Bu gözlemlerden de uyduların çapları hassas olarak bulunmuştur.

Galileo uyduları hakkındaki detaylı bilgilerimiz, Jüpiter'e yakın geçiş yapan (Pioneer 1: 1973, Pioneer 2: 1974, Voyager 1 ve 2: 1979) veya çevresinde yörüngeye oturtulan (Galileo: 1995) insansız uzay araçlarının gözlemlerinden elde edilmiştir. Şekil

7.23 de Voyager 1 aracının Jüpiter'e yaklaşırken 20 milyon km uzaklıktan çektiği görüntüde Io ve Europa açıkça görülebilmektedir. Uyduların çekim etkileri, bu uzay araçlarının olağan yörüngelerinden sapmalar göstermesine neden olmaktadır. Ölçülen bu sapma değerlerinden uyduların kütleleri büyük bir

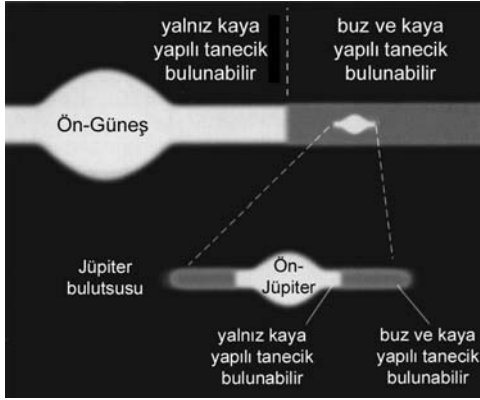


Şekil 7.23 Voyager 1'den Io ve Europa

duyarlılıkla hesaplanmıştır. Elde edilen kütle değerleri ve yakın plan görüntülerinden elde edilen çapları ile uyduların ortalama yoğunlukları oldukça duyarlı hesaplanabilmiştir. Bu bilgiler bize Galileo uydularının iç yapısı ve kimyasal bileşimleri hakkında önemli ip uçları vermiştir. Bu incelemeler sonucunda, Ganymede'in Güneş sisteminde yer alan en büyük kütleli uydu olduğu ortaya çıkmıştır. Kütleleri, Ay kütlelerinin 2 katından biraz fazladır. Galileo uydularının en düşük kütlelisi Europa'dır ve kütleleri Ay kütlelerinin 2/3 si kadardır. Şekil 7.22 de verilen değerlerden de görülebileceği gibi Ganymede ve Callisto, Io ve Europa'ya oranla daha düşük ortalama yoğunluklara sahiptir. Ganymede ve Callisto'nun düşük ortalama yoğunluk değerleri, yalnızca kayalardan oluşmadıklarını, daha düşük yoğunluklu su buzunu veya diğer buzları da önemli miktarlarda içerdiklerini göstermektedir. Callisto ve Ganymede gibi büyük boyutlu uydularda iç basınç, su buzunun en az kayalık yapılar kadar katı bir hal almasını sağlayacak ölçüde yüksektir. Buna karşılık Io ve Europa'nın gösterdiği yüksek ortalama yoğunluk değerleri, daha çok kayalık yapılardan oluştuklarına delil sayılmaktadır.

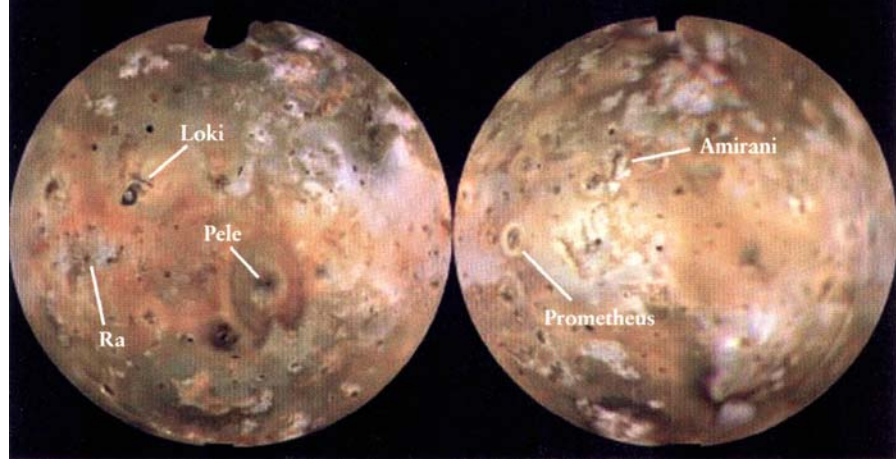
Europa için 1. Bölüm'de, Şekil 1.6 da verilen yansımış güneş ışığı tayfının, Güneş sistemi cisimlerinin yüzey ve atmosfer bileşimlerinin elde edilmesinde önemli bir araç olduğunu göstermiştik. Europa, Ganymede ve Callisto kızılöte tayflarında su buzuna ait belirgin soğurma yapıları göstermektedir. Europa'nın yüksek ortalama yoğunluk değerini göz önünde bulundurarak, su buzunun büyük ölçüde yüzey tabakalarda toplandığını söyleyebiliriz. Galileo uyduları arasında yalnızca Io, su buzunun varlığına hiç bir delil göstermemektedir.

Bu bilgilerin ışığı altında Jüpiter ve çevresindeki uyduların, minyatür bir Güneş sistemi gibi oluştuğu ve evrimleştiği ortaya çıkmaktadır. 1. Bölüm’de gezegenlerin Güneş bulutsusundaki toz, gaz ve buzların bir araya gelip sıkışması ile oluştuklarını görmüştük. Ön-güneşin sıcaklığı, bugünkü karasal gezegenlerin bulunduğu



Şekil 7.24 Galileo uydularının oluşumu

Güneş bulutsusu bölgelerinde, buz ve hafif gazların varlığını sürdürmesine izin vermemektedir. Bu nedenle bulutsunun ön-güneşe yakın iç bölgelerinde, yalnızca yoğun ve kaya yapılı tozların sıkışması ile bugünkü karasal gezegenler oluşabilmiştir. Ancak daha dış bölgelerde toz parçacıklarının üzerini kaplayacak şekilde, su ve amonyak buzu varlığını sürdürebilmiş ve dev gezegenlerin ana yapısının oluşmasında büyük katkılarda bulunmuşlardır. Sonuç olarak iç bölgelerdekenden daha büyük kütleli ön-gezegenlerin oluşmasını sağlamışlardır. Büyük boyutlu bu ön-gezegenler, sahip oldukları yüksek kütle çekim etkisi ile çevrelerindeki hidrojen ve helyum gibi hafif gazları da yakalayıp bugünkü dev gezegenleri oluşturmuşlardır. Şekil 7.24 den görüleceği gibi bu oluşum mekanizmasının küçük ölçekli bir türevi aynen Jüpiter’in oluştuğu bölgede de işlemiştir. Oluşum anındaki ön-Jüpiter, Kelvin-Helmholtz büzülmesi sırasında önemli miktarda ısı enerjisi yayınlamıştır. Böylece bugünkü Io ve Europa’nın bulunduğu “*Jüpiter Bulutsusu*” bölgelerinde, buz yapılar buharlaşarak dış bölgelere itilmişler ve ağırlıklı olarak kaya yapılı maddeler yoğunlaşarak bu iki uyduyu oluşturmuşlardır. Buna karşılık Ganymede ve Callisto’nun bulunduğu dış bölgelerde buzlar, kaya yapılı maddelerle beraber varlıklarını sürdürebilmiş ve bu bölgede oluşan uyduların yapı taşları arasında yer almışlardır. Böylece Jüpiter’in oluşum süreci boyunca iki farklı Galileo uydusu grubu ortaya çıkmıştır. Bu durum Jüpiter’den uzaklaştıkça uydunun ortalama yoğunluklarının azalması özelliğiyle de kendini açıkça göstermektedir. Galileo uydularının farklı ortalama yoğunluk değerleri, onların genel jeolojik evrimlerini de etkilemiştir.



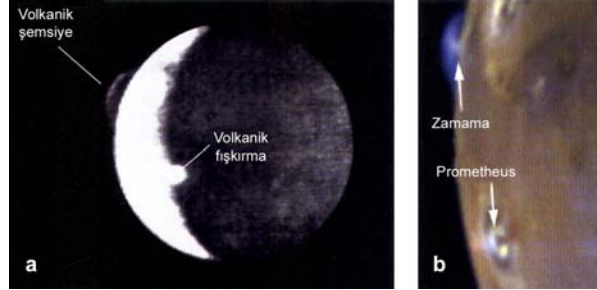
Şekil 7.25 Io'nun iki farklı yarım küresine ait birleştirilmiş Voyager görüntüleri

7.5.1 Io

Voyager uzay araçlarının Jüpiter'e yakın geçişi öncesinde Io'nun, aynı Ay gibi, jeolojik açıdan ölü, yüzeyi kraterlerle kaplı bir uydu olduğu tahmin ediliyordu. Ancak 5 Haziran 1979'da Voyager 1'in 21000 km uzaklıktan elde ettiği ilk Io görüntülerinin Yer'e ulaşması ile durumun beklenenden çok farklı olduğu görülmüştür (Şekil 7.25). Bu görüntülerde yüzeyde hiç çarpma kraterine rastlanmazken, bunların yerine karmaşık şekilli çukurlar ve farklı parlak renkte alanlar bulunduğu görülmüştür. İlk incelemeler sonucunda Io'nun görünen yüzey şekillerinin, ileri düzeyde volkanik etkinlik ile meydana geldiği ortaya çıkmıştır.

Jüpiter'in uyguladığı tedirginlik kuvvetleri etkisiyle Io küresel şekilden sapmıştır. Ancak bu şekil bozulması sabit bir yapıya sahip değildir. Io yörüngesi üzerinde hareket ederken Europa ve Ganymede'e belli oranda yaklaşıp uzaklaştığından, onların çekim etkilerini de ritmik olarak değişen şiddette üzerinde hisseder. Hatırlanacak olursa bu ritmik çekim etkisi Io Europa ve Ganymede'in yörünge dönemleri arasında 1:2:4 oranının kurulmasını sağlamaktaydı. Böylece eliptik bir yörüngede dönmeye zorlanan Io'nun Jüpiter'e olan uzaklığı da dönemli olarak değişmektedir. Uzaklığın dönemli değişim göstermesi, Jüpiter'in Io üzerine uyguladığı

tedirginlik kuvvetlerinin de dönemli olarak değişmesine neden olmaktadır ve sonuçta Io, bir yörünge dönemi boyunca lastik top gibi sürekli sıkışıp, genişleyerek dönemli bir şekil değişimi



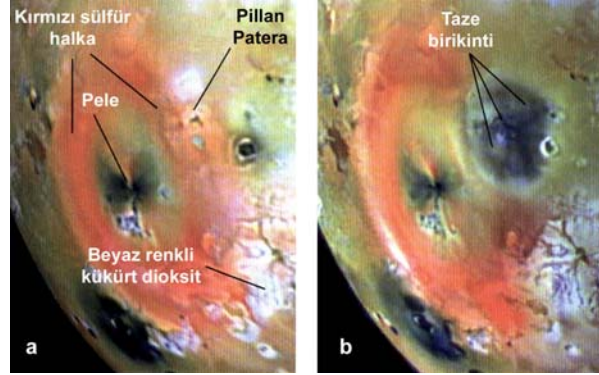
Şekil 7.26 Io'da izlenen volkanik şemsiyeler (a: Voyager 1, b: Galileo)

göstermek zorunda kalmaktadır. Bu değişken tedirginlik etkisi Io'nun iç bölgelerinin ısıtılmasını ve tekrarlayan karakterde şiddetli volkanik etkinlik göstermesine neden olmaktadır. Şekil 7.26a, Io yüzeyinde aktif volkanların varlığına ilişkin ilk doğrudan gözlemdir ve Voyager 1 uzay aracı tarafından elde edilmiştir. Görünen diskin kenarına yakın bir volkandan oluşan püskürmenin oluşturduğu "Volkanik şemsiye" açıkça izlenebilmektedir. Bu yapıların Şekil 7.26b deki daha detaylı Galileo görüntülerinin de incelenmesi sonucu, volkanik şemsiye yüksekliklerinin 70-280 km'ye kadar ulaşabildiği görülmüştür. Püsküren maddenin bu yüksekliklere ulaşabilmesi için volkanik çıkış noktasından 300-1000 m/sn hızla ayrılması gerektiği hesaplanmıştır. Yer'deki en etkin volkanlarda bu değer 100 m/sn yöresindedir. Bu değerler Io'daki volkanik süreçlerin Yer'dekine göre farklı olduğunu göstermektedir.

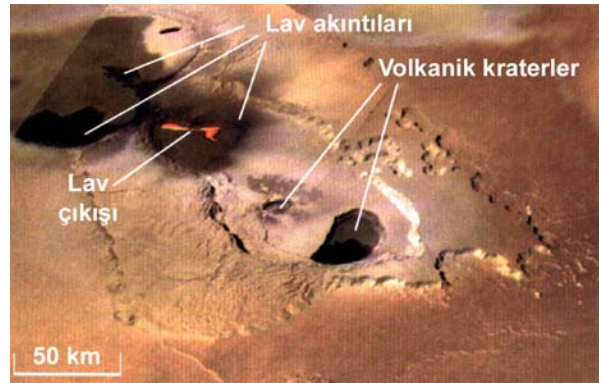
Io'nun etkin volkanizmasına diğer bir delil, Voyager 1 aracının kızılöte tayfçekerini ile alınan verilerden gelmektedir. Io'nun volkanik şemsiyelerinde bol miktarda kükürt ve kükürtdioksit bulunduğu gözlenmiştir. Kükürtdioksit Io'nun daha çok yüzeyinde donuk halde ve yüzeyinin hemen altında birkaç km derinlikte erimiş halde bulunmaktadır. Bu özellik, Io'da izlenen volkanik şemsiyelerin olağan volkanik patlamalar yerine, Yer'de izlenen ve "gayzer" adı verilen sıcak su suharı çıkışlarına benzer süreçlerle oluştuğunu göstermektedir. Sıkışma ve genişleme sonucu yüzey altı tabakalarında oluşan ani ısınma ile buharlaşan SO₂, yüksek basınç altında patlayarak, yüzeyde zayıf bulduğu noktalardan dışarı çıkmaktadır.

Io yüzeyinde izlenen çok renkli yapı, volkanik etkinlikler sonrası şemsiyelerden yüzeye geri düşen kükürtdioksit ve kükürlü bileşiklerden kaynaklanmaktadır. Kükürt

normal koşullarda parlak sarı renktedir ve Io yüzeyinde izlenen baskın rengi oluşturmaktadır. Isıtılmış kükürtün aniden soğutulması halinde turuncu, kırmızı ve siyah renkler aldığı görülür. Bu ise Io'nun etkin volkanlarının çevresinde baskın olarak izlenen renklerdir (Şekil 7.27 a ve b). Beyaz renkte görülen yüzey birikintileri ise SO_2 buzudur. Volkanlardan sıcak gaz halinde çıkan SO_2 ani olarak vakumlanmış soğuk ortamla karşılaşınca buz kristalleri halinde yoğunlaşmakta ve yüzeye



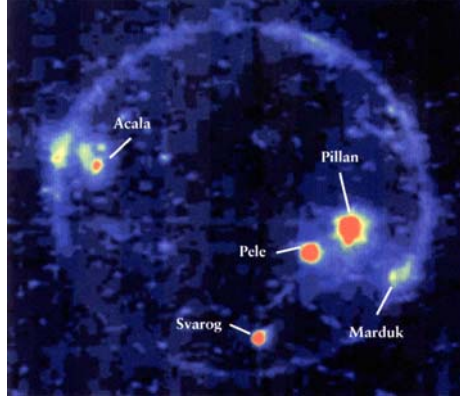
Şekil 7.27 Io yüzeyinde farklı renklere sahip volkanik yapılar



Şekil 7.28 Io volkanlarından lav çıkışı ve akıntıları

geri yağmaktadır. Volkanik şemsiyelerin merkezinde yer alan siyah renkli lekeler, volkanik çıkış noktalarıdır ve çevresi koyu renkli lav akıntıları ile sarılmıştır. Siyah lekeler tüm Io yüzeyine dağılmıştır ve toplam yüzeyin % 5'ini kaplamaktadır. Şekil 7.28'de Galileo aracı ile elde edilen yakın plan etkin volkan görüntülerinde, içleri koyu renkli lav akıntıları ile doldurulmuş volkanik kraterler (kalderalar) ve kırmızı renkte büyük boyutlu lav akıntıları gözlenmiştir. Böylelikle Io'nun volkanik etkinliğinin sadece gayzer benzeri volkanik şemsiyelerle kalmayıp, lav çıkışları da gösterdiği anlaşılmıştır. Etkin volkanların Galileo tarafından yapılan kızılöte gözlemleri (Şekil 7.29) lav akıntılarında ait sıcaklıkların 1450-1750 °C arasında olduğunu göstermektedir. Yapılan incelemeler lav akıntılarındaki baskın kimyasal bileşimin magnezyum (Mg) ve demir (F) olduğunu ve iç bölge sıcaklıklarının oldukça büyük olduğunu göstermiştir.

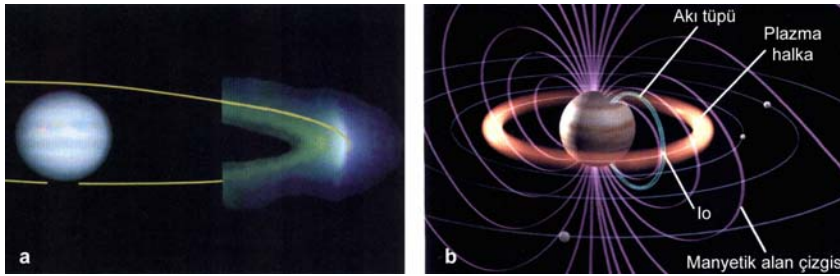
Io yüzeyinde 300'e yakın etkin volkan bulunmaktadır. Her biri ortalama olarak saniyede 10,000 ton madde püskürtmektedir. Volkanlar bir bütün olarak yılda 10^{13} ton maddeyi yüzeye çıkartmaktadır. Bu madde miktarı, tüm uydu yüzeyini 100 yıl içerisinde 1 metre kalınlıklı bir tabaka ile kaplamaya yeterlidir. Böylelikle çarpma kraterleri oluşmuş olsa bile kısa sürede volkanik etkinliklerle silinmiş olmalıdır. İleri düzeydeki bu volkanik etkinliği ile Io son derece genç bir yüzeye sahiptir ve Güneş sisteminin en sıradışı cisimidir.



Şekil 7.29 Io'nun kızılöte görüntüsü (Galileo)

Bu bilgilerin ışığı altında Io için oluşturulan iç yapı modellerine göre 100 km kalınlıklı kayalık bir kabuğun, 800 km kalınlıklı sıvı bir manto üzerinde bulunduğu düşünülmektedir. Tedirginlik etkileri altında ileri düzeyde ısınmış ve erimiş bir iç yapıya sahip olan Io'da da kimyasal farklılaşmanın gerçekleşmiş olması beklenmektedir. Galileo ölçümlerinden elde edilen basıncılaşma değerleri ile Io'nun çekirdek boyutları da tahmin edilmiştir. Buna göre 900 km yarıçaplı, demir (F) ve demirsülfürden (FeS) oluşma katı bir çekirdeğe sahiptir.

Io volkanlarından çıkan maddenin büyük bir çoğunluğu, uydunun yüzeyine geri inerken, bir kısmı da Jüpiter'in güçlü manyetik alanının etkisi ile manyetosferin bir parçası haline gelmektedir. Jüpiter manyetosferinde yer alan yüklü parçacıklar, Io yüzeyinde ve volkanik şemsiyelerindeki maddenin atomlarıyla çarpışarak iyonlaşmasına



Şekil 7.30 a: Io Torus b: Jüpiter'in görsel bölge görüntüsü

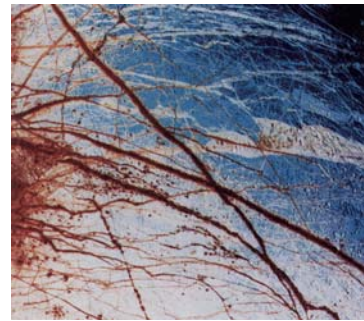
ve Io'dan ayrılarak Jüpiter etrafında bir yörüngeye oturmalarına neden olmaktadır. Bu yörünge tam olarak Io'nun yörüngesi ile çakışmaktadır ve kızılöte dalgaboylarında Jüpiter'i saran simit şeklinde bir halka (torus) olarak görünmektedir (Şekil 7.30a). Bu yapı "Io Torus" olarak adlandırılmaktadır. Jüpiter'in manyetik alanı, gezegen içerisinde üretildiği bölgenin hızı ile dönmektedir. Bu manyetik alan Io üzerinden büyük bir hız ile geçmektedir. Böylece uydu içerisinde 400,000 volta yakın elektrik üretmekte ve 5 milyon amperlik bir elektrik akımının Io boyunca akmasına neden olmaktadır. Bu akım, Şekil 7.29b de gösterildiği gibi Io ve Jüpiter'i birbirine bağlayan dev bir akı tüpü boyunca akmaktadır. Akı tüpünün Jüpiter yüzeyine dokunduğu noktalarda Aurora oluşumlarının daha kuvvetli olduğu gözlenmektedir. Io'yu boydan boya kateden elektrik akımı, uyduda zayıf bir manyetik alanın oluşmasını da sağlamaktadır.

7.5.2 Europa

Jüpiter'e uzaklık sırasına göre ikinci Galileo uydusu olan Europa Güneş sisteminin en pürüzsüz yüzeyine sahip cisimdir. Yüzey şekillerinin yüksekliği birkaç yüz metreyi geçmemektedir (Şekil 7.31). Yüzeyinde neredeyse hiç krater bulunmamaktadır. Yüzeyde izlenen hakim yapılar Şekil 7.32'deki Galileo görüntüsünde detayları izlenen şeritler ve çatlaklardır. Io gibi Europa'da sadece boyutlarına bakıldığında jeolojik olarak etkinliği sona ermiş olması beklenen ancak bu kuralı bozan bir cisimdir. Voyager 1 ve 2 araçları Europa'ya yeterince yakın geçiş yapamamıştır. Dolayısıyla Europa hakkındaki detaylı bilgilerimizin çoğu Galileo gözlemlerinden gelmektedir. Uzay araçlarıyla yapılan ziyaretler öncesinde, Yer'den yapılan tayfsal



Şekil 7.31 Galileo'dan Europa

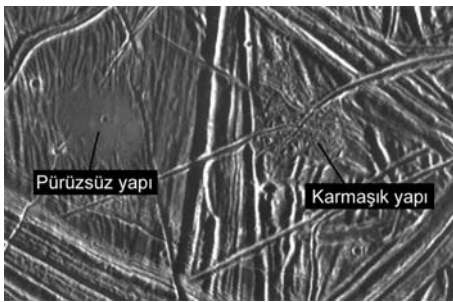


Şekil 7.32 Europa'dan bir yüzey detayı

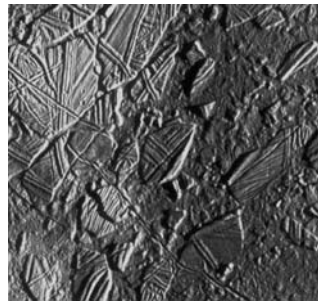
gözlemlerle, Europa yüzeyinin hemen hemen tamamının donmuş su ile kaplı olduğu biliniyordu (Şekil 1.6). Galileo'nun kızılöte tayfçekerleri ile elde edilen gözlemler, bu yapının saf su buzunu üzerinde, ince taneli dağınık su kristallerinden oluştuğunu göstermiştir. Şekil 7.31 ve 7.32 de izlenen karanlık şeritler ve alanlar, meteorik çarpışma artıklarının ve tabandaki kayalık maddelerin yüzey buzları ile karışması sonucu oluşmuştur.

Europa'nın pürüzsüz buz yüzeyi, uydunun sahip olduğu suyun düzenli bir şekilde yüzeye taşındığını göstermektedir. Böylelikle yüzey üzerinde çok az sayıda çarpma krateri gözlenmektedir. Europa bu açıdan bakıldığında su ve buz etkileşmesi ile kontrol edilen ilginç bir levha tektoniği yapısına sahiptir. Europa'nın ortalama yoğunluk değeri, uydunun % 85-90 oranında kayalık maddelerden , % 10-15 oranında ise su buzundan oluştuğunu göstermektedir. Buzun büyük oranda yüzeyde izleniyor olması, kayalık yapıların iç bölgelerde toplanmış olmasını gerektirmektedir.

Europa kendi iç ısısını oluşturmak ve koruyabilmek için yeterli bir büyüklüğe sahip değildir. Dolayısıyla yüzeyden kraterleri silen ve taze suyu yüzeye çıkaran jeolojik süreçlerin gücü yine Jüpiter'in uyguladığı tedirginlik etkilerinden gelmektedir. Europa'nın, Io ve Ganymede ile çekimsel etkileşmesi, ritmik olarak esnemesine neden olmaktadır. Ancak ritmik şekil bozulmasının şiddeti Io'daki kadar yüksek değildir. Ritmik şekil bozulması, yüzey buzunu üzerinde izlenen kırık ve çatlak yapılarını oluşturmaktadır ve ürettiği iç ısı ile taze suyu çatlaklardan yüzeye taşımaktadır. Yüzeyde oluşan hareketlerin karmaşıklığı Şekil 7.33 deki 13x18 km boyutlarındaki detaylı görüntülerde açıkça kendini göstermektedir. Şekil 7.34 de ise tedirginlik etkileri altında belli yönlerde gerilen buz yapılarının, daha sonra tektonik etkilerle parçalanarak



Şekil 7.33 Europa'nın buzlu yüzey detayı



Şekil 7.34 Europa buzulları

birkaç km boyutlu buzullar halinde rastgele hareketler yapması ve tekrar donması sonucu oluşmuş karmaşık yüzey yapıları görülmektedir. Bu yapılar, buzulların altında tüm uyduyu kaplayan sıvı bir katmanın varlığını gerektirmektedir. Bugün için elde edilen detaylı delillerle, bu sıvı katmanın su içeren bir okyanus olduğu düşünülmektedir.

Europa'nın genel yapısı ve boyutları, kendi manyetik alanını üretmesine izin vermemektedir. Ancak Europa, Jüpiter'in manyetosferi içinde hareket ettikçe, zayıf ancak ölçülebilir bir manyetik alan üretmektedir. Bu manyetik alanın şiddeti ve yönü, yörünge karakterine göre değişim göstermektedir ve Europa'nın kendisi tarafından üretilmediğini açıkça göstermektedir. Bu gözlemin açıklanabilmesi için en mantıklı varsayım minerallerce zenginleşmiş ve elektrik iletkenliği artmış bir buz altı okyanus (sıvı) katmanının varlığıdır.

Europa'ya ait çeşitli gözlemsel bulguların biraraya getirilmesi ile oluşturulan iç yapı modeline göre, uydunun en dışta 100-200 km kalınlıklı bir buz ve su katmanı ile kaplıdır. En içte 600 km yarıçaplı demir bir çekirdek ve bunu saran kayalık bir manto katmanı vardır. Europa, oksijenden oluşma son derece ince bir atmosfere sahiptir. Bu atmosfer, Jüpiter'in manyetosferinde bulunan yüklü parçacıkların, uydunun yüzeyindeki su moleküllerini parçalaması sonucu açığa çıkan oksijen atomları ile oluşturulmaktadır. Açığa çıkan hidrojen ise uydunun yüzeyinden uzaya kaçmaktadır.

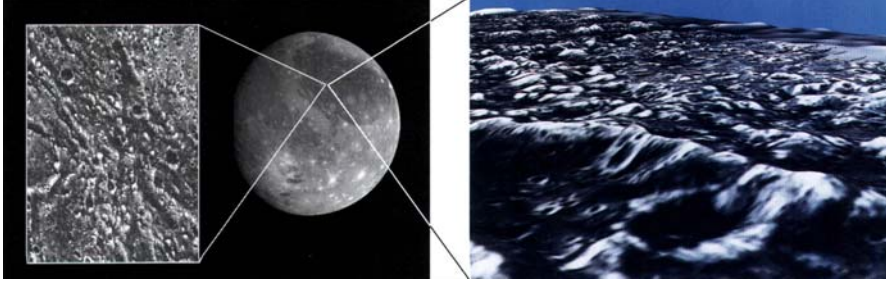
Sıcak bir yüzeyaltı okyanusun varlığı doğrudan kanıtlanırsa Europa, Yer'den sonra Güneş sisteminde sıvı su barındıran ikinci cisim olma özelliğini kazanacaktır ve en azından mikro-organizma düzeyinde yaşam barındırabilecek en önemli adaylar arasına girecektir.

7.5.3 Ganymede

Io ve Europa'nın aksine Ganymede ve Callisto'nun yüzeyleri çarpma kraterleri ile kaplıdır. Ancak Ay'daki kraterlerden farklı olarak içleri buzlarla doldurulmuştur. Ganymede, Güneş sisteminin en büyük uydusudur ve Merkür'den de daha büyük boyutlara



Şekil 7.35 Ganymede (Galileo)

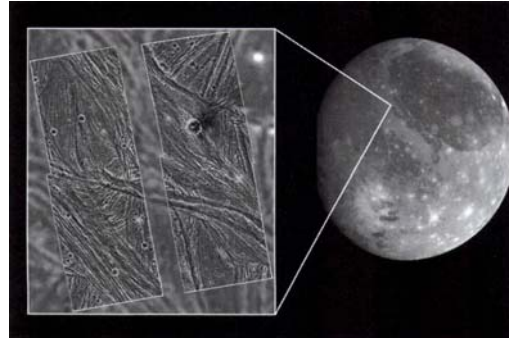


Şekil 7.36 Ganymede'nin karanlık görünen bölgelerine bir örnek: Galileo bölgesi.

sahiptir. Şekil 7.35'deki Galileo görüntüsünde, Ganymede'in Jüpiter'e bakmayan yüzü görülmektedir ve aynen Ay'da olduğu gibi karanlık ve aydınlık yüzey yapıları göstermektedir. Ay'da karanlık görünen denizler, açık renkli görünen yükseltilerden daha genç yüzey yapılarıdır. Ganymede'de ise durum tam tersidir. Çok sayıda çarpma krateri içeren karanlık alanlar, aydınlık ve daha az kraterleşmiş bölgelere oranla daha yaşlıdır. Şekil 7.36'da "Galileo Bölgesi" olarak adlandırılan geniş karanlık bölgeden elde edilmiş detaylar görülmektedir. İzlenen yüksek kraterleşme oranı, yüzey yaşının milyarlarca yıl olduğunu göstermektedir. Ayrıca yüzeyin dalgalı yapısı, bir zamanlar gerçekleşen tektonik hareketlerin izini taşımaktadır.

Şekil 7.37'de görülen aydınlık bölge detaylarında ise düşük kraterleşme oranı ve yüzey gerilmeleri ile oluşmuş şeritler izlenmektedir. Detayların yer aldığı karede üst üste bindirilmiş iki görüntüden düşük çözünürlüklü olanı Voyager 1'e, yüksek çözünürlükte olanı ise Galileo uzay aracına aittir. Aydınlık renkli şeritler, yüzeyin tektonik gerilmeler altında esnediğinin açık işaretleridir.

Galileo ölçümleri sonucu Ganymede'in, Merkür'den daha şiddetli bir manyetik alana sahip olduğu bulunmuştur. Bu bulgu, Ganymede'in iç yapısında akışkan bir tabakanın var olmasını gerektirmektedir. Bu ise uydunun halen önemli bir iç ısıya sahip olduğu anlamına



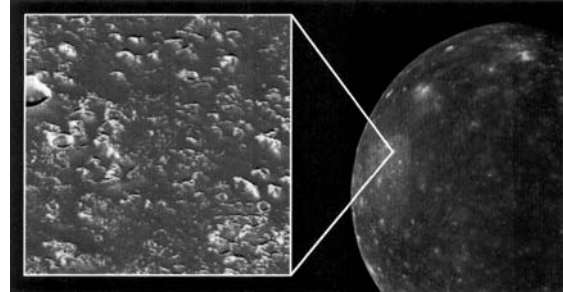
Şekil 7.37 Ganymede'de aydınlık bölgeler

gelmektedir. Böylece Ganymede’de kimyasal farklılaşma gerçekleşmiş olmalıdır. Bu durumu doğrulayan Galileo uzay aracı ölçümlerinden sonra Ganymede’in iç yapısı hakkında bilgiler detaylı olarak ortaya çıkmıştır. Buna göre 500 km yarıçaplı demir bir çekirdek, kayalık bir manto ile sarılıdır. Bunun üzerinde 800 km kalınlıkta buzlu bir kabuk katmanı bulunmaktadır.

7.5.4 Callisto

Callisto, diğer Galileo uyduları arasında, buzlu yüzeyinde en fazla kraterleşmeye sahip uydudur. (Şekil 7.38) Albedosu son derece düşüktür ve oldukça karanlık bir yüzeye sahiptir. Voyager görüntüleri, Callisto yüzeyinin hiç bir zaman jeolojik süreçlerle yenilenmediği fikrini ortaya çıkarmıştır. Yörünge döneminin, diğer Galileo uyduları ile basit oranlar göstermemesi, Jüpiter’in tedirginlik etkileri altında kalmadığının bir göstergesidir. Bu bilgilerin ışığı altında, Callisto’nun jeolojik açıdan ölü olduğu düşünülmüştür. Ancak Galileo uzay aracının yüksek çözünürlüklü görüntüleri, Callisto’nun geçmişinin bu derece basit olmadığını göstermiştir. Callisto yüzeyinde çok sayıda büyük boyutlu krater yer alırken, çapı 1 km nin altında olan krater sayısı oldukça düşüktür. Aynı oranda meteor çarpmasına uğramış Ganymede’de çok sayıda bulunan küçük kraterlere karşılık, Callisto’da küçük çaplı kraterlerin bulunmayışı, yüzeyden bir şekilde silinmiş olmaları anlamına gelmektedir. Bu durumun hangi koşullarla sağlandığı henüz bilinmemektedir. Diğer şaşırtıcı bir sonuç ise, buzlu yüzeyinin koyu renkli bir toz örtüsü ile kaplı olmasıdır. Bu toz maddesinin nereden geldiği de cevaplanmayı bekleyen sorular arasında bulunmaktadır.

Callisto üzerindeki ilginç bulgulardan bir diğeri ise, Europa’daki gibi, etki altında (Jüpiter manyetosferinin indüklemesi ile) oluşturulmuş zayıf bir manyetik alana sahip olmasıdır. Callisto’nun



Şekil 7.38 Callisto yüzeyindeki kraterler



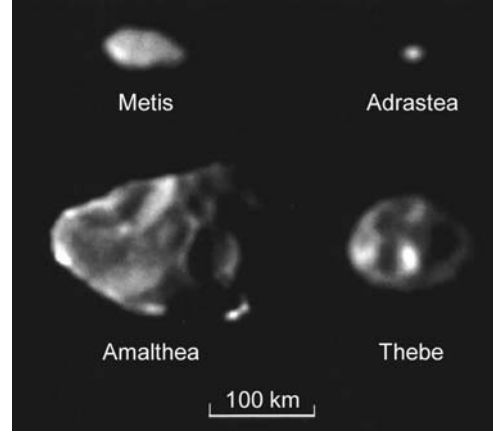
Şekil 7.39 Galileo uydularının iç yapıları

manyetik alanı, yörünge hareketi boyunca manyetosferin değişik bölgelerinden geçmesi sonucu değişim göstermektedir ve uydudan üretilmediğine işaret etmektedir. Bu durumda Callisto'nun da elektrik iletkenliği yüksek bir katmanı olmalıdır. Bir modele göre bu katman aynen Europa'daki gibi yüzey buzunu altında 10 km derinliğinde bir okyanustur. Ancak Jüpiter tedirginliği altında iç ısı üretilmediğinden bu sıvı katmanın sadece sudan oluşması imkansızdır. Bu durum için önerilen bir açıklama, Callisto okyanusunun su ve antifriz etkisi yaratan amonyak (NH_3) karışımından oluşmasıdır. Callisto'nun Galileo aracı üzerine uyguladığı çekim etkilerinden, iç yapısında kimyasal farklılaşmanın oluşmadığına dair deliller ortaya çıkmıştır. Ancak Callisto için elimizde olan bilgiler, iç yapı modeli hakkında çok kaba tahminler yapmamıza izin verebilecek ölçüdedir.

7.6 Diğer Uydular ve Toz Halka

Voyager gözlemleri Jüpiter etrafında daha küçük boyutlu uyduların ve bir halkanın da varlığını ortaya koymuştur. Bugün için Galileo uydularının dışında Jüpiter'in bilinen 57 ufak uydusu daha vardır. Bunlardan 12'si 2000 yılı içinde, 33'ü ise 2001-2003 yılları arasında keşfedilmiştir. Ufak uydulardan en içte yer alan 4 uydudan Şekil 7.40'da görülmektedir ve yörüngeleri, Io'nun yörüngesinden daha içeridedir. Şekilden de görüleceği gibi, asteroit biçimli yapılar göstermektedir. En büyüğü olan Amalthea 270x150 km boyutlarındadır ve Mars'ın benzer yapılı uydularından 10 kat daha

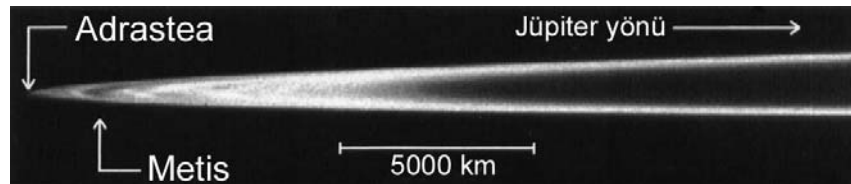
büyüktür. Amalthea belirgin bir kırmızı renge sahiptir ve yüzeyi kükürt ile kaplıdır. Jüpiter manyetosferinin, Io yüzeyinden ve volkanlarından sökerek taşıdığı kükürt Amalthea yüzeyine de indirilmiştir. Amalthea 1892'de Yer'den yapılan gözlemlerle keşfedilmiştir. Ancak daha küçük boyutlu Metis,Adrastea ve Thebe ancak Voyager 1 ve 2 yakın geçişleri sırasında 1979 yılında bulunmuştur.



Şekil 7.40 Jüpiter'in dört iç uydusu

Voyager 1 ve 2'nin oldukça ilginç bir diğer keşfi Jüpiter'in Şekil 7.41'de görülen ince bir halkaya sahip olmasıdır. Bu halka $1\mu\text{m} = 10^{-6}$ m boyutlu silikat parçalarından oluşmuştur ve çok az güneş ışığı yansıttığından Yer'den görülemez. Halkanın kökeni, Io'dan daha içeride yer alan 4 uyduda oluşan meteor çarpışmalarıdır.

Halka parçaları, 4 iç uydu ve 4 Galileo uydusu Jüpiter etrafında prograd yönde ve Jüpiter'in ekvator düzlemine çok yakın yörüngelerde dolanırlar. Dolayısıyla Jüpiter bulutsusundan oluştukları açıkça söylenebilir. Ancak geriye kalan birçok küçük uydunun yörünge düzlemleri, Jüpiter'in ekvator düzlemi ile çakışmamaktadır. Üstelik bunlardan en dışta yer alanları Jüpiter etrafında retrograd yönde dolanmaktadır. Gösterdikleri yörünge özelliklerine dayanarak, bu uyduların Jüpiter tarafından Asteroid kuşağından çekildiği ve çevresinde yörüngeye oturtulduğu düşünülmektedir. Yapılan hesaplar, Jüpiter'in retrograd yörüngeye uydu yakalamasının, prograd yörüngeye oranla daha büyük olasılığa sahip olduğunu göstermiştir.



Şekil 7.41 Jüpiter'in halkası