YAYIN HAKKI

Bu kitaba yazarlar olarak çok emek verdik, çok çalıştık. Resimlerin çoğunu web sayfalarından alarak türkçeleştirdik, dolayısıyla onlar halkın malı alabilirsiniz. Ama eğer kitap hoşunuza gittiyse link verin, emeklerimizi bize bırakın.

Resmi bölüm: "Astronomi ve Uzay Bilimleri Ders Kitabı"nın yayın hakları saklıdır. Bu kitaptaki bilginin, kısmen de olsa, her türlü ortamda kopyalanması, çoğaltılması ya da depolanması yazılı izne bağlıdır. Öğretmenlerimiz istemlerini ethem.derman@ankara.edu.tr adresine başvurdukları takdirde kendilerine hemen izin verilecektir

Yayın hakkının yasal sahipleri: Zeki Aslan, Cemal Aydın, Osman Demircan, Ethem Derman ve Halil Kırbıyık

TEŞEKKÜR

Bu kitap 1994 yılında basıldı ve kısa sürede tükendi. O zamanlar kitabın tasarımı ve şekilleri için iki meslektaşımız MacIntosh bilgisayarında çok emek vermişti fakat kitabın önsözünde onlara teşekkür unutulmuş. Selim O. Selam ve Birol Gürol'a yazarlar olarak verdikleri uzun süreli emek için teşekkür ediyoruz. Özellikle gök küresi çizimlerinin ne denli zor olduğu bir gerçektir. Oya işler gibi o çizimleri gerçekleştirdiler ve farklı bir bilgisayardan buraya aktardığımız için o şekillerdeki türkçe karakterler şu anda bozuk çıkmaktadır. Kitap içeriğini de bilgisayarda bu arkadaşlarımız tuttuğu için yıllar sonra webe aktarılması da yine onlar sayesinde gerçekleşmiştir, ayrıca o nedenle de teşekkür ediyoruz.

Ayrıca bu ders kitabının web tasarımını yapan ve yazıları sayfalara aktarma konusunda uzun zaman harcayan Rahşan Kalcı'ya da teşekkürü bir boç biliriz.

YAZARLARIN NOTU

Bu ders kitabının hazırlanma tarihi 1992-93 yıllarıdır. O günden bu yana yaklaık 15 yıldır gökbilimde çok gelişmeler olmuştur ve bazı değişiklikler gerçekleşmiştir. Örneğin Pluto gezegenlikten çıkarılmış ve cüce gezegen tanımı getirilmiştir. En kısa zamanda bu kitabı güncellemeye çalışacağız ve ancak o zaman bu notu web sayfasından çıkaracağız. O nedenle bu kitaptan yararlananlardan özür diliyoruz.

ÖNSÖZ

Evren, doğal lâboratuarların en büyüğü, astronomi de doğal bilimlerin ayrılmaz parçasıdır. Bilimlerin en eskisi ve özellikle uydu teknolojisi ile birlikte hızla gelişen en yenisidir. Gelişmeler, evren hakkında çok hızlı bir bilgi birikimi sağlamıştır. Hızla biriken bilgilerin değerlendirilmesi ve evrenin, uzaklık olarak daha derinliklerini ve zaman olarak da daha geçmişini öğrenme dürtüsü bu alana ilgiyi artırmaktadır.

Matematik ve fizik bilgilerini kullanmadan; evrendeki oluşumun, yapının, evrimin, doğal dengelerin güzelliğini ve inceliğini kavramak zordur. Bu kitapta konular, hem fen alanlarını hem de sosyal alanları seçmiş olan öğrencilerin kolayca izleyebilecekleri düzeyde tutulmuştur.

Kitabın birinci bölümünde: Astronomide "olmazsa olmaz" olan konum ve zaman astronomisi işlenmiştir. ‹kinci bölümde: Astronomideki gelişme, ilk insanlardan modern zamana kadar öz olarak verilmiştir. Üçüncü bölümde: Bizim yıldızımız Güneş, Güneş sistemi, Güneş sisteminin genel özellikleri, gezegenler ve Güneş sisteminin diğer üyeleri tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde: Yıldızların yaydığı ışınımdan, gözlemsel özelliklerinden ve evrimlerinden söz edilmiştir. Beşinci bölümde: Yıldız kümeleri, yıldızlararası madde, galaksiler, galaksi kümeleri, kuazarlar ve evren modelleri anlatılmıştır. Günümüzde, en önemli konulardan olan uzay çalışmaları, altıncı bölümde ele alınmıştır. Son bölüm olan yedinci bölümde: Evrende yaşam ele alınmakta, yaşamdan ne anlaşıldığı açıklandıktan sonra, başka güneş sistemleri hakkında bilgi verilmektedir. Bu bölümün son kısmında tanımlanamayan uçan cisimlerden (UFO'lar) bilimsel yaklaşımla söz edilmektedir. Kitabın sonuna: Konuların daha iyi anlaşılması için test soruları, okuma parçaları, gerekli çizelgeler ve bir sözlük eklenmiştir.

Dersi veren öğretmenin amacı: Kitabı bitirmek olmamalı, işlenen konunun iyi anlaşılması olmalıdır. Birinci bölümü işledikten sonra diğer bölümler istenilen sırada seçilebilir. Birkaç temel tanım hariç, bölümler birbirinden bağımsızdır. Öğretmen, gerektiğinde görsel ve işitsel ek malzeme, örneğin video filmleri, slaytlar kullanabilir, kullanmalıdır. Öğretmen en yakın üniversitenin astronomi ve uzay bilimleri bölümüne veya fizik bölümüne başvurursa, kendisine bu konuda yardımcı olunacağını, sorularının yanıtlanacağını unutmamalıdır.

Kitaptaki resimler, grafikler ve çizelgeler, çok sayıda değişik yabancı kaynaktan sağlanmıştır.

Temmuz 1993

Z. Aslan, C. Aydın, O. Demircan, E. Derman, H. Kırbıyık

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1: EVRENDE KONUM VE ZAMAN

1.1. Gök Küresi

1.2. Koordinat Sistemleri

1.3. Gök Cisimlerinin Görünen Hareketleri

1.4. Zaman ve Takvim

1.5. Astronomi Aletleri

BÖLÜM 2: ASTRONOMİ TARİHİ

2.1. İlk Medeniyetlerde Astronomi

2.2. İslâm Astronomisi

2.3. Avrupa'da Astronomi'nin Yeniden Gelişmesi

BÖLÜM 3: GÜNEŞ SİSTEMİ

3.1. Güneş Sistemi

3.2. Yer ve Yersel Gezegenler

3.3. Dev Gezegenler

3.4. Gezegenlerin Doğal Uyduları

3.5. Güneş Sisteminin Diğer Üyeleri

BÖLÜM 4: YILDIZLAR BİLGİSİ

4.1. Işınım Enerjisi

4.2. Bir Yıldız Olarak Güneş

4.3. Yıldızların Gözlemsel Özellikleri

4.4. Çift Yıldızlar, Yıldızların Kütleleri ve Çapları

4.5. Değişen Yıldızlar 180

4.6. Yıldızların Oluşumu ve Evrimi

4.7. Yıldız Evriminin Son Evreleri

BÖLÜM 5: GALAKSİLER VE EVREN BİLGİSİ

5.1. Yıldız Kümeleri

5.2. Yıldızlararası Madde

5.3. Galaksimiz: Samanyolu

5.4. Dış Galaksiler

5.5. Galaksi Kümeleri

5.6. Kuazarlar ve Genişleyen Evren

5.7. Evren Modelleri

BÖLÜM 6: UZAY ÇALIŞMALARI

6.1. Uzay Çalışmalarının Tarihî Gelişimi

6.2. Uzay Çalışmalarının Temel İlkeleri

6.3. Uzay Çalışmalarının Bugünü ve Geleceği

6.4. Uzay Kirlenmesi ve Uzay Yasası

BÖLÜM 7: EVRENDE YAŞAM

7.1. Yaşamın Genel Özellikleri

7.2. Başka Güneş Sistemleri

7.3. Tanımlanamayan Uçan Cisimler (UFO'lar)

KAYNAKLAR

EKLER

EVRENDE KONUM VE ZAMAN

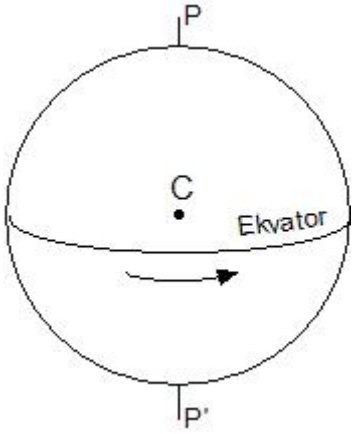
1.1 Gök Küresi

Yıldızlar ve bütün gök cisimlerini, gök kubbesi ya da gök küresi denen bir yarım kürenin iç yüzüne serpilmiş gibi görürüz. Gerçekte gök küresi dediğimiz bu küre, geometrik, düzgün bir küre değildir. İnsan gözü sınırlı uzaklıklar için karşılaştırma yapabilir, büyük uzaklıklar için bu karşılaştırma gücü biter. Gök cisimleri, bu nedenle büyük bir yarım küre üzerinde eşit uzaklıktalarmış gibi görünür, gözlemci her zaman gök küresinin merkezinde bulunur.

Gök cisimlerinin görünen hareketlerinin, gök küresi kavramına bağlı olarak incelenmesi, küresel astronomiyi oluşturur.

Şekil 1.1: Dönen bir küre. Dönmenin belirlediği ekvator ve kutuplar.

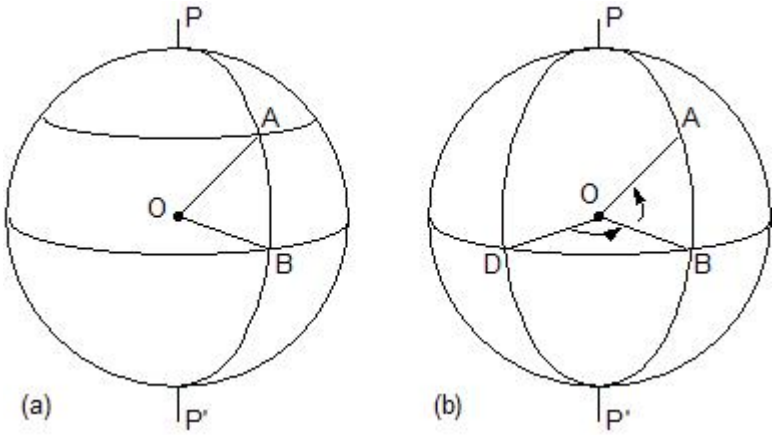
Yıldızların birbirine göre açısal uzaklıkları ile onların değişimleri, Ay, Güneş ve gezegenlerin konumları, görünen hareketleri, mevsimler, zaman hesapları, takvimler, konum gözlemlerini yanıltan olaylar ve onların düzeltilmeleri küresel astronominin konusudur.



Şekil 1.1: Dönen bir küre. Dönmenin belirlediği ekvator ve kutuplar.

.2 Koordinat Sistemleri

Düzlemde bir noktanın yerinin nasıl belirlendiğini biliyoruz. Şmdi gök küresi üzerindeki bir noktanın yerini belirlemekle işe başlayalım. Gök küresi, dönen bir küre olsun. Şekilde görüldüğü gibi bu, bir dönme ekseni gerektirir.



Şekil 1.2: (a) A noktasından geçen küçük çember ve büyük çember. (b) Temel düzleme ve keyfi seçilmiş bir D noktasına göre A noktasının yerini belirleyen iki açı: BOA ve DOB

Dönme ekseni kürenin merkezinden geçer ve gök küresini kutup noktaları denen iki noktada deler. Yer'in dönme eksenine Yer'in merkezinde dik olan bir düzlemi göz önüne alalım. Bu düzleme, ekvator düzlemi denir. Yer için ekvator düzlemi olarak isimlendirilen bu temel düzlem diğer koordinat sistemlerinin herbirinde özel isimler alır. Şekil 1.2'de görülen A noktasının yerini belirlemek isteyelim. Bunun için dönme ekseninden ve A noktasından geçen bir düzlem geçirelim. Şekil 1.2 (a)'da görüldüğü gibi bu düzlemle kürenin arakesiti, kürenin kutuplarından ve A noktasından geçen büyük bir çember yayıdır. PA yayı ile ekvatorun kesim noktası B, kürenin merkezi O olmak üzere BOA açısı, A noktasının temel düzlemden olan açısal uzaklığıdır. Yer küre için BOA açısına, A noktasının **enlemi** denir.

Şimdi, ekvator düzlemine paralel olan ve A noktasından geçen bir düzlem geçirelim (Şekil 1.2 (a)). Bu düzlemle kürenin arakesiti olan çemberin yarıçapı, temel düzlemle kürenin arakesiti olan çemberin yarıçapından küçüktür. Burada iki tanım verelim: Birincisi, "Büyük çember": Küre merkezinden geçen düzlemle kürenin arakesitine denir. Buna göre temel düzlem üzerindeki temel çember bir büyük çemberdir. PAP' yayı bir büyük çemberin yarısıdır. İkincisi, "Küçük çember": Kürenin merkezinden geçmeyen herhangi bir düzlemle kürenin arakesitine denir. Şekildeki küçük çember, temel düzleme paralel alındı .

Tekrar Şekil 1.2(a)'ya dönelim. Küçük çember üzerindeki bütün noktaların, temel düzlemden olan açısal uzaklıkları aynıdır. Yer küre için bu küçük çember üzerinde bulunan bütün noktalar aynı enleme sahiptir, deriz. A noktasının yerini tek anlamlı olarak belirleyebilmek için, bu defa bir başlangıç düzleminden itibaren ölçülen ikinci bir açıya ihtiyacımız vardır. Bunun için bir başlangıç noktası alınır. Şekil 1.2(b) deki D noktası böyle bir noktadır. Burada DOB açısı, B noktasından geçen büyük çember üzerindeki yayı temsil eder. Tekrar Yer küremize dönersek; PDP' çemberi, Greenwich'ten (İngiltere) geçen meridyeni ve DOB açısı, A noktasının boylamını temsil eder.

Çizelge 1.1: Astrononomide çok kullanılan dört kordinat sistemi.

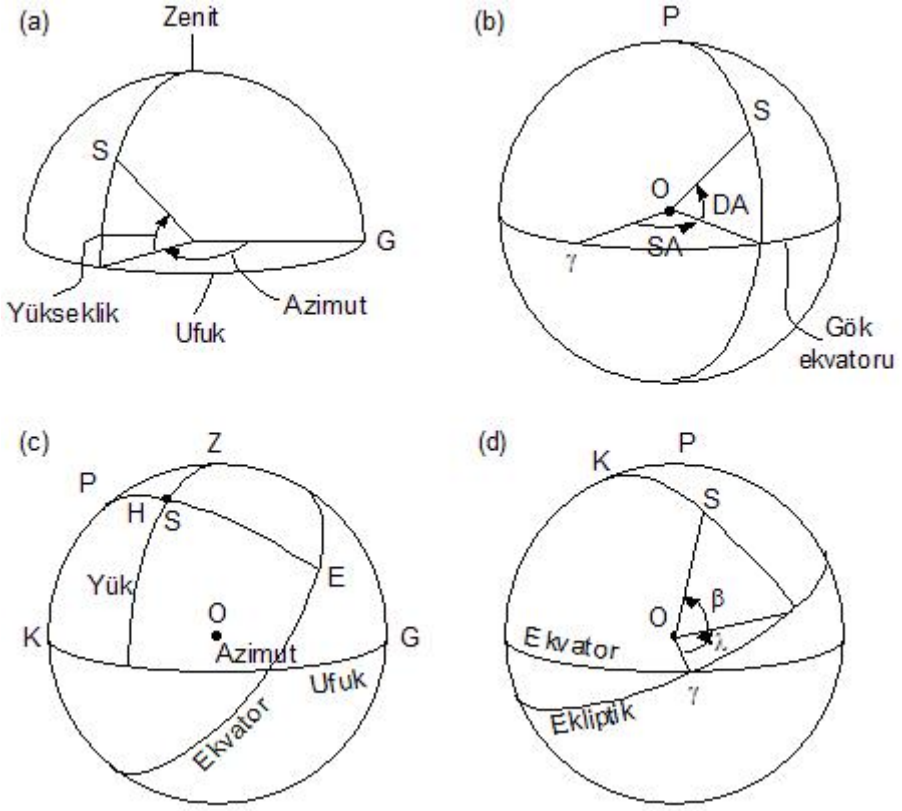
Koordinat sisteminin adı	Temel düzlem	Boylam ölçümünün temel düzlemde başlangıç noktası	Enlem, boylam adları
Ufuk	Ufuk	Güney noktası	azimut, yükseklik
Ekvator	Gök ekvatoru	© noktası	sağ açıklık, dik açıklık
Saat	Gök ekvatoru	© noktası	saat açısı, dik açıklık
Ekliptik	Ekliptik düzlemi	© noktası	ekliptik boylamı, ekliptik enlemi

Yukarıda anlatılanlardan, küre üzerindeki bir noktanın yerini belirlemek için iki açıya gereksinim olduğu anlaşılmaktadır. Bunlardan biri; noktanın temel düzlemden olan açısal uzaklık, diğeri seçilen başlangıç noktasından olan ve temel düzlem üzerinde ölçülen açısal uzaklıktır. Genel olarak koordinat sistemleri, seçilen temel düzleme göre adlandırılır. Çizelge1.1' de astronomlar tarafından en çok kullanılan dört kordinat sistemi için temel düzlem, boylam ölçümünün başlangıç noktası ve kordinatların özel isimleri not edilmiş ve bunlar Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

Yıldız Koordinatlarının Ölçümü

Gök küresinde Zenit'ten ve gök kutbundan, dolayısıyla ufuk düzleminde bulunan kuzey (K) ve Güney (G) noktalarından geçen düzlemle gök küresinin arakesitine, (O) noktasında bulunan gözlemcinin meridyeni denir (bkz Şekil 1.4 (a)).

Şekilde, gök kuzey kutbu P ile gösterilmiştir. Şekil1.4(b)'de küçük çember, bir yıldızın doğudan doğduğu, S de meridyenden geçtiği ve batı noktası (B) de battığında çizdiği görünür yayı göstermektedir. SOE açısının yıldızın dikaçıklığına eşit olduğu kolayca görülmektedir. Bu açı, meridyen dürbünüyle kolayca ölçülür. Meridyen dürbünü yalnız meridyen boyunca hareket edebilen özel bir teleskoptur. Bir yıldızın meridyende olması hâline yıldızın meridyen geçişi denir. Meridyen geçiş dürbününe; gök küresi üzerinde alınan herhangi iki nokta arasındaki açıyı, mümkün olan en iyi doğrulukla ölçebilen, derecelendirilmiş bir daire monte edilir.

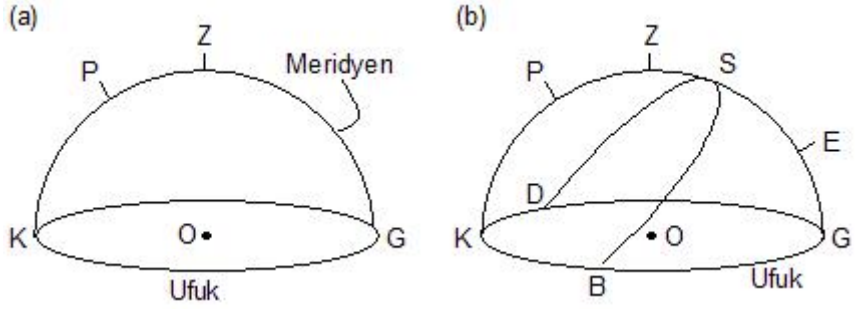


Şekil 1.3: a) Ufuk koordinat sistemi.

b) Ekvator koordinat sistemi.

c) Ekvator ve ufuk koordinat sistemleri.

d) Ekliptik ve ekvator koordinat sistemleri

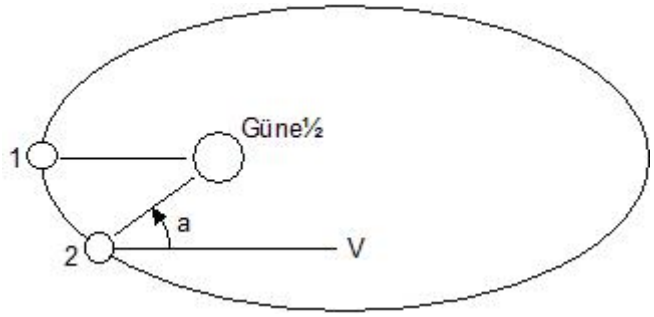


Şekil 1.4: (a) Meridyen üzerinde zenit ve kutup noktaları.

(b) S noktasında meridyeni geçmekte olan bir yıldız.

Bu dürbün, kuzey kutup noktasına yönlendirildiği zaman 90° yi, ekvatora yönlendirildiği zaman 0 (sıfır) ı gösterecek şekilde ayarlanır. Böylece yıldızın dikaçıklığı, derecelendirilmiş geçiş dairesinden doğrudan okunur.

Bir yıldızın sağaçıklığı, bir yıldız saati kullanılarak, meridyen geçiş gözlemlerinden bulunabilir. Yıldız zamanı üzerinde daha sonra durulacak ancak burada şu kadarını söyleyelim ki Yer'in güneşe göre değil bir yıldıza göre kendi ekseni etrafındaki dönmesi esas alınır. Bu saat, her gün ilkbahar noktası meridyenin üst geçişinde iken sıfırı gösterecek şekilde ayarlanır. Yer'in yörünge hareketinden dolayı, güneş günü Yer'in gerçek dönme dönemini temsil etmez (bkz. Şekil 1.5). Bir günlük hareketinde Yer, (1) konumundan (2) konumuna gelmiş ise, bir tam dönüşden sonra yüzü Güneş'e dönük bir gözlemcinin yüzü, bu defa V yönünde olacaktır. Yer, ek olarak a açısı kadar döndükten sonra gözlemcinin yüzü Güneş'e dönük olacaktır. Böylece güneş günü, Yer'in gerçek dönme döneminden daha uzun olur.



Şekil1.5: Yıldız günü, güneş gününden daha kısadır.

Yer'in gerçek dönme dönemini belirlemede, yıldızlar en uygun başvuru sistemidir. Yıldızlara göre belirlenen Yer'in dönme dönemi "yıldızgünü" olarak tanımlanır. Yıldız zamanının gök bilimciler için büyük önem taşıdığı açıktır. Eğer Yer, Güneş çevresinde 365 günde bir dolanım yaparsa, günde 360°/365= 0.98 derecelik yol alır. Aşağıdaki bağıntıları hatırlarsak;

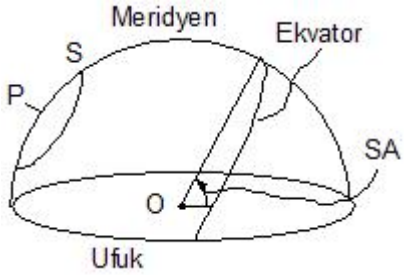
24 saat = 360 derece,

1 saat = 15 derece,

4 dakika = 1 derecedir.

Bir güneş gününün bir yıldız gününden 4 dakika daha uzun olduğu görülür. Yıldızın meridyenden geçiş anında tesbit edilen zaman yıldızın sağaçıklığıdır. Örneğin; yıldız zamanı olarak saat beş iken, ilkbahar noktası (©) meridyeni geçeli beş saat olmuştur. Sağaçıklığı beş saat olan bir yıldız ise o anda meridyendedir. Bu durum, Şekil 1.6'da gösterilmiştir. Bu yöntem, ancak çok parlak yıldızlara

uygulanabilir. Bu gözlemlerin sonuçları temel kataloglarda yayınlanır. Daha sönük yıldızların koordinatları ise fotograf plâkları kullanılarak tayin edilir.



Şekil 1.6: Yıldız meridyende iken sağaçıklığı yıldız zamanına eşittir.

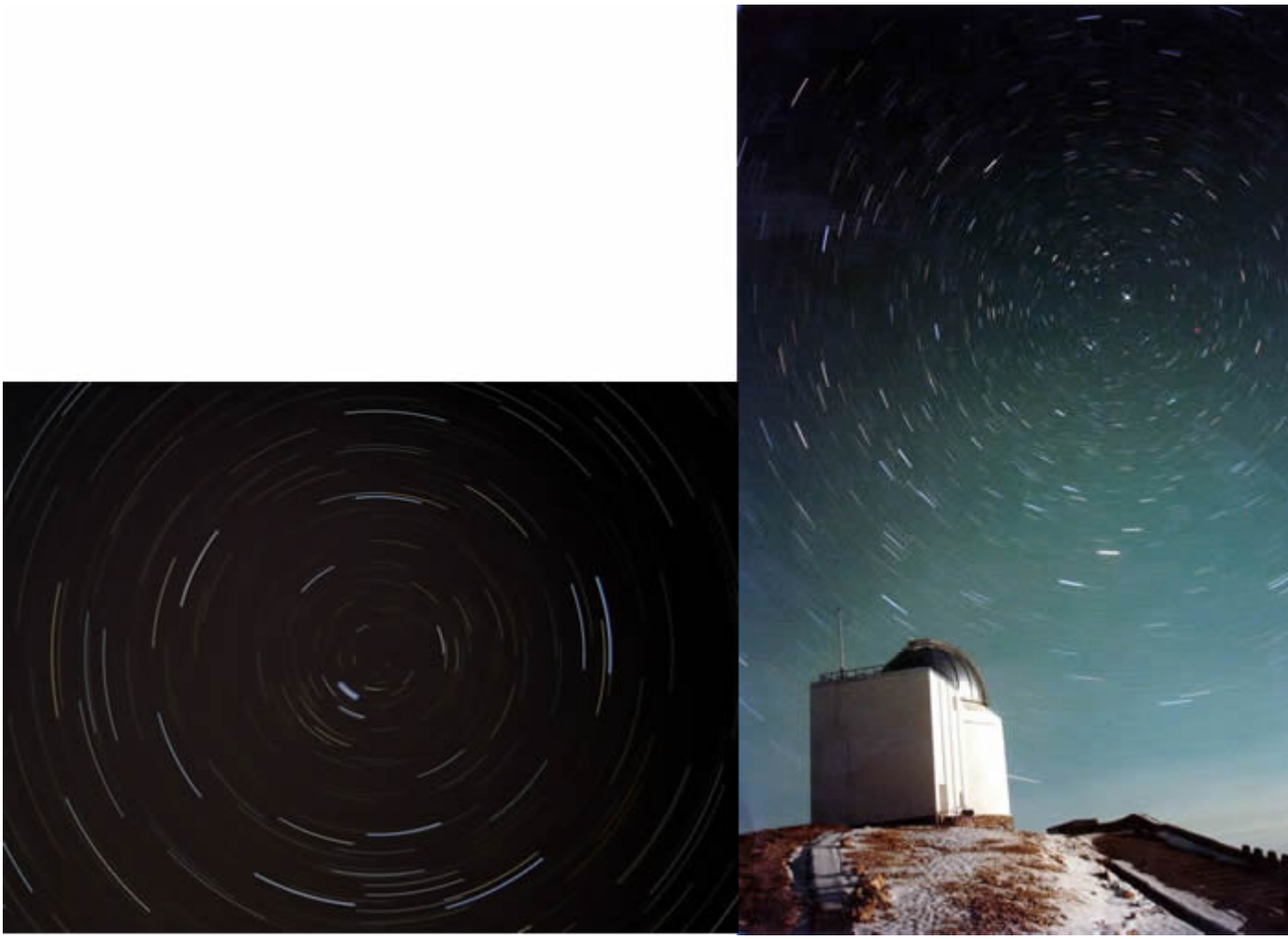
Gök Kutbunun Bulunması

Yer'in dönmesi nedeniyle gök cisimleri gök küre üzerinde hareket ediyormuş gibi görünür. Kutup yıldızı bölgesindeki günlük görünür hareket Şekil 1.7'de gösterilmiştir. Her yıldız, gök küresi üzerindeki görünür hareketi sırasında 2 kez meridyenden geçer. Ufuk yüksekliği büyük olan geçişe üst geçiş, küçük olana da alt geçiş denir. Art arda iki geçiş arasındaki süre 12 yıldız saatidir. Şekil 1.8 de bu durum üst geçiş (U) ve alt geçiş (L) ile gösterilmiştir. Doğan batan yıldızların alt geçişleri ufkun altında olduğu için görünmezler. Bazı yıldızlar daima üst ve alt geçişlerin her ikisinde de gözlenebilir. Böyle yıldızlara, batmayan yıldızlar denir. Kutup noktasının yüksekliği, yani gözlemcinin enlemi Şekil 1.8'den:

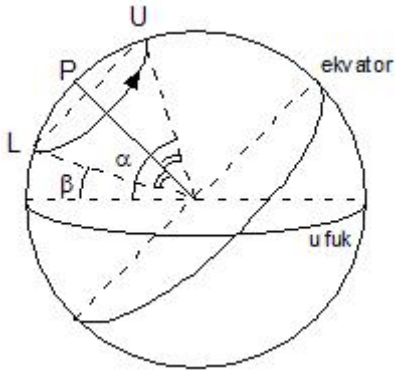
Kutup noktasının yüksekliği = ® + (⟨–®) / 2

olarak bulunur.

Pratikte problem, Yer atmosferindeki kırılmadan dolayı basit değildir. Bir yıldızdan gelen ışınlar Yer atmosferinde kırılmaya uğrayarak yıldızı bulunduğu yerden daha yukarıda gösterir. Bu nedenle yıldızın gök küresi üzerindeki gerçek yeri için kırılma düzeltmesi yapılır. Kuzey kutup noktasının yüksekliği, gözlemcinin bulunduğu enleme bağlı olarak değişir. Azimutu ise, gözlemcinin enleminden bağımsız olup sıfır derecedir.



Şekil 1.7: Kuzey kutup bölgesinde, uzun poz verilerek alınan görüntüde yıldızların izleri görülmektedir. Dünya ekseni çevresinde döndüğünde gökyüzündeki yıldızların kuzey gök kutpu çevresinde dönüyormuş gibi gözükürler. Soldaki resimde 8 saat poz verilerek alınan görüntüde yıldızların görüntü üzerindeki izlerini görmektesiniz. Kutpa yakın en parlak yıldız, kutup yıldızıdır. Sağdaki resimde ise TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinde daha az poz süresi ile çekilmiş benze görüntü yer almaktadır. Özet olarak bu yıldız izleri gök küresinin döndüğünü gösteriyor.



Şekil 1.8: Batmayan bir yıldızın, üst ve alt geçişleri

1.3 Gök Cisimlerinin Görünen Hareketleri

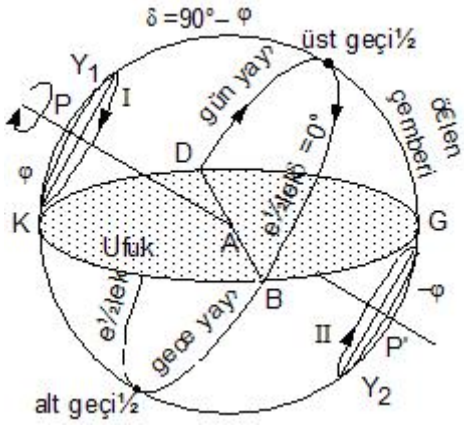
Gök olaylarına ilgi, hiç süphe yok ki insanoğlunun dünyaya gelişi ile başlamıştır. Önceleri bu olayları yalnızca gözlemiş ve izlemişler ve daha sonraları bu olayları doğuran nedenleri araştırmaya başlamışlardı. Bu olayları gözlemeye iten nedenlerin başında merak gelir. Güneş'in, Ay'ın, gezegenlerin ve yıldızların hareketleri neden farklıdır? Güneş ve Ay tutulması olayları nasıl oluşur? Bu gibi olayların açıklanması için önce onların, görünürdeki durumuyla, doğru ve kusursuz olarak gözlenip kayda geçirilmesi gerekir. Konum ve parlaklık gözlemlerinin yapılmasında gök küresi kavramının kullanılması kolaylık sağlar.

Gök yüzüne serpilmiş olan gök cisimlerinin, gök kutuplarından geçen bir eksen etrafında topluca yapmış olduğu dönme hareketine, gök cisimlerinin günlük hareketi denir. Her gün gök cisimleri Güneş gibi doğmakta, ortak bir eksen etrafında birer çember yayı çizmekte, meridyenimiz üzerinde en yüksek noktasına ulaşmakta ve sonra yeniden alçalarak batmaktadır. Güneş, Ay ve gezegenler de tüm yıldızlar gibi biraz farklılık göstermekle birlikte, bu toplu harekete katılmaktadırlar. Yüzyıllar boyu, bu hareketin Yer küre ile bir ilişkisi olmadığı, bütün gök cisimlerinin Yer çevresinde dolandığı düşüncesine inanılmıştır. On altıncı yüzyıl başlarında, G. Galile, bu görüşün doğru olmadığını, dünyanın döndüğünü söylediği için cezalandırıldı. 1851'de Fransız fizikçi L. Faucault sarkaç deneyleri ile Yer'in döndüğünü kanıtladı. Dönen ister Yer küre, isterse gök küresi olsun, bu dönmenin bir ekseni vardır. Bu eksenin yer küreyi deldiği hayalî noktalara Yer'in, göğü deldiği noktalara da göğün kutupları denir. Göğün kutuplarından biri, bizim ülkemizden de görülür ve Küçük Ayı takım yıldızının en ucunda bulunan Demir Kazık yıldızı veya Kutup yıldızı (《 CMi) olarak tanıdığımız yıldızın çok yakınında bulunur. Buna kuzey kutup, diğerine de güney kutup denir. Kuzey yarım küreden, Kutup yıldızı sabit bir yıldız olarak görülmekte ve onun yöresinde bulunan diğer yıldızlar, onun çevresinde dolanmaktadır (bkz. Şekil 1.7).

Yer merkezinde dönme eksenine dik olan düzleme, ekvator düzlemi;, bu düzlemin yer küresi ile arakesitine Yer ekvatoru; gök küresi ile arakesitine, gök ekvatoru denir. Ufuk çemberi ile gök ekvatorunun kesim noktaları, gözlemcinin doğu ve batı noktalarıdır. Günlük hareket yönünde (saat yönü) ufkun altından üstüne geçerken rastlanan kesim noktası doğu, diğeri batıdır. Buna göre ekvator üzerinde bulunan bir yıldız, o yerin gerçek doğu ve batı noktalarından doğar ve batar. Güneş yılda iki kez, 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde ekvator üzerinde bulunur ve bu tarihlerde çoğu yerde, doğu ve batı noktaları, Güneş'in bu tarihlerde doğduğu ve battığı noktalar olarak alınır. Kutuplardan ve zenitten geçen düzleme, meridyen düzlemi ve gök küresi ile arakasitine, gözlemcinin meridyeni (öğlen) denir. Bu düzlem, ufuk dairesini iki noktada keser. Bu noktalardan kuzey kutup tarafında bulunana kuzey, diğerine güney noktası denir.

Doğu, batı, kuzey, güney, zenit ve nadir noktaları, meridyen ve ufuk daireleri gözlem yerine bağlı olarak değişir. Kutup noktaları ve ekvator dairesi gözlem yerine bağlı değildir. Güneş meridyen çemberine gün ortasında, yani öğlede geldiği için buna, öğlen çemberi de denir.

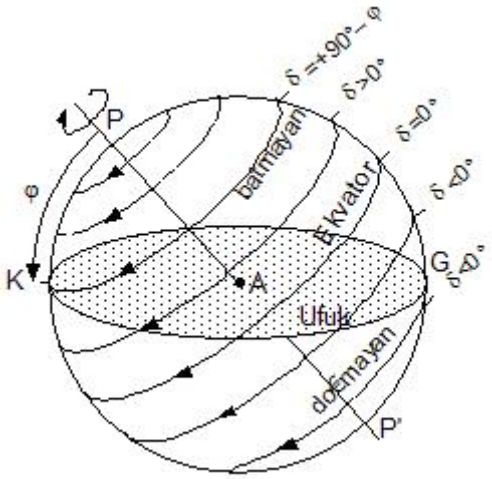
Günlük hareketin sonucu olarak yıldızların, Güneş ve Ay'ın doğup battığını söylemiştik. Günlük hareketin daha kolay anlaşılması için yer küreyi bir nokta olarak görelim, bir başka deyişle gözlemci gök küresinin merkezinde bulunsun (bkz. Şekil 1.9). Bu küre üzerine serpilmiş milyonlarca yıldızın yeri ve birbirine göre konumu kısa zaman aralığında hatta yıllarca pek değişmez. Onun için yıldızlardan söz ederken, sabit yıldızlar diye söz edilir. Günlük harekete katılan yıldızların tümünü, bir gözlemci her zaman göremez. Bu durum yıldızın gök küresi üzerinde bulunduğu yere ve gözlemcinin Yer küre üzerindeki enlemine bağlı olarak değişir. Bir gözlemciye göre kimi yıldızlar doğar–batar, kimi yıldızlar hiç batmaz, kimi yıldızlar da hiç doğmaz.



Şekil 1.9: Enlemi Π olan bir A gözlemcisi için günlük hareket. Gözlemcinin kutup yüksekliği KP = Π dir.

Günlük hareketinde, yıldızın çizdiği yörüngenin ufkun üstünde kalan parçasına, gün yayı; altında kalan parçasına da gece yayı denir. Güneş gün yayını gündüz, yıldızlar ise gün yaylarını gece çizerler. Yıldızlar, günlük hareketlerini ekvatora paralel yaylar üstünde yaparlar. Tam ekvator üzerinde bulunan bir yıldızın gün yayı, gece yayına eşit olup 12 saattir. Çünkü ekvator çemberi ile gözlemcinin ufuk çemberi, merkezden geçen düzlemler üzerinde olup birbirlerini yarıya bölerler. Buna göre ekvatorda bulunan bir yıldız, tam doğu noktasından doğar ve batı noktasından batar. Yer küre üzerinde kuzey enlemlerde bulunan bir gözlemciye göre, dikaçıklık ™ > 0 olan yıldızların gün yayı 180° den büyük, dolayısıyla görülme süreleri 12 saatten büyük olur. Böyle yıldızların doğma ve batma noktaları, ufuk düzleminde kuzey tarafa doğru kaymış olur.

Özel olarak, kuzey kutup noktasından açısal uzaklığı Π olan bir Y yıldızını göz önüne alalım. Yıldızın dikaçıklığının ™ = 90°- Π olduğu şekilden kolayca görülüyor. Yıldızın çizdiği günlük yay tamamen ufkun üstünde kalır ve ufuk düzlemine K kuzey noktasında teğet olur. Böyle yıldızlara, batmayan yıldızlar denir.



Şekil 1.10: Kuzeye gidildikce Π büyür, Π büyüdükçe doğmayan ve batmayan yıldız sayısı artar.

™ > (90°- Π) olan yıldızlar hiç batmazlar. ™ büyüdükçe yıldızların çizdiği yörüngeler, küçülerek kuzey kutbuna (P) doğru yaklaşırlar. ™ < O olan yıldızlar için durum bunun tersidir. Gün yayları 12 saatten (180°) azdır. Böyle yıldızların doğma ve batma noktaları, ufuk düzleminde güney noktasına doğru kaymış olur. Benzer tartışma, güney yarım küresi için yapılırsa, ™ = -90° + Π olan yıldızların çizdiği yaylar, tamamen ufuk düzlemi altında kalır. Buna göre ™ < (- 90 + Π) olan yıldızlar, hiç doğmazlar. Bu yıldızlar, Π enleminde bulunan bir gözlemci için doğmayan yıldızlardır.

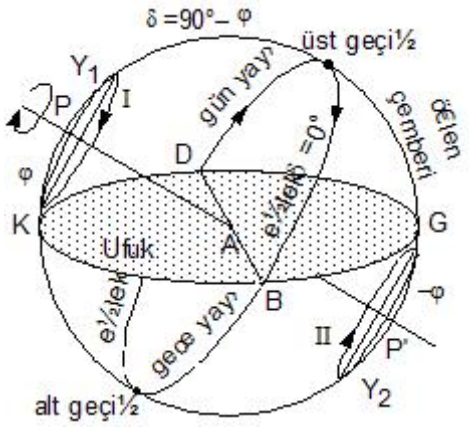
Gözlemci, ekvatordan kutuplara doğru bir gezi yaparsa durum ne olur? Bu durumda göğün dönme ekseni ve yıldızların günlük çemberleri olduğu gibi kalır, yalnız ufuk düzleminin dönme eksenine göre eğimi değişir.

Şekil 1.10 da görüldüğü gibi, gözlemci ekvatorda ise (Π = 0°) dönme ekseni, ufuk düzlemine paralel olur. Bu durumda bütün yıldızların günlük çemberleri, ufuk düzlemine diktir ve bu düzlem tarafından yarıya bölünür. Gün yayları gece yaylarına eşittir. Yıldızların görülme süreleri 12 saattir. Bütün yıldızlar doğarlar ve batarlar. Ekvatordan kuzeye doğru gidildikçe Π enlemi büyür. ™ > 0° olan yıldızların görülme süreleri 12 saatten büyük, ™ < 0° olan, yani güney yarım küredeki yıldızların görülme süreleri 12 saatten az olur. Bu yolculuk boyunca doğmayan ve batmayan yıldızların sayıları, "Π ile artar, Π'nin büyümesi ile gün ve gece yayları farkı da büyür."

Kuzey kutup noktasına varıldığında, (Π = 90°) ufuk düzlemi ekvator düzlemine paralel olur. Kuzey yarım kürede bulunan bütün yıldızlar, ufuk düzlemine paralel yaylar çizerler ve hepsi batmayan yıldızlardır. Ekvator düzlemi ufuk düzlemi ile çakıştığına göre, güney yarım kürede bulunan yıldızlar hiç bir zaman görülmezler, yani doğmayan yıldızlardır. Yer küresi üzerinde, güney kutba doğru bir gezi yapıldığında nelerin nasıl değişeceğini de siz tartışınız.

Güneşin Görünen Hareketi ve Mevsimler

Güneş, bir yıl boyunca sürekli gözlenirse, hareketinin yıldızların hareketinden iki önemli farkı olduğu anlaşılır. Birincisi, Güneş yıldızlara göre her gün yaklaşık 4 dakika doğuya doğru geriler. Böylece günde yaklaşık 1° lik yol alarak, bir yılda ekliptik (tutulum) düzleminde bulunan yörüngesini tamamlar. İkincisi, gök ekvatorunun her iki yanında belirli iki çizgi arasında, yıl boyunca gezinti yapmasıdır. Eğer Yer, Güneş çevresinde dolanmasaydı ve Güneş de diğer yıldızlar kadar uzak olsaydı, bu farklar ortaya çıkmazdı. Konunun kolay anlaşılması için 21 Mart veya 23 Eylül tarihlerinde ekvatorda bulunan ve Güneş doğmadan doğan bir yıldız alalım. Yıldızın ve Güneşin doğma saatlerini belirleyelim. Güneş, yıldızdan $1^s\ 14^d$ sonra doğmuş olsun. Gözleme devam edildiğinde; Güneş'in ikinci gün $1^s\ 18^d$, üçüncü gün $1^s\ 22^d$ daha sonra doğduğu görülür. Yukarıda sözü edilen ikinci farkın sonucu olarak, gün ve gece yaylarının uzunluğu sürekli değişir. Kuzey yarım kürede Güneş yazın gök ekvatorunun kuzeyinde ve kışın güneyinde bulunur. Yazın günler uzun, geceler kısa; kışın geceler uzun, günler kısa olur. Güney enlemlerinde bunun tersi olur. 21 Mart ve 23 Eylül tarihlerinde gece ve gündüz süreleri eşittir. Bu tarihlerde Güneş tam ekvator üzerinde bulunur. 21 Mart'tan sonra Güneş her gün biraz kuzeye doğru kayar ve bunun sonucu olarak günler de sürekli uzar. Bu uzama 22 Haziran'a kadar devam eder. Bu tarihte Güneş, ekvatora göre en büyük açısal uzaklığına erişmiştir (Şekil 1.11). Bu açı ™ = 23° 27' dır. 22 Haziran kuzey yarım kürede günlerin en uzun olduğu tarihtir. Güneş burada bir süre durakladıktan sonra güneye doğru kayarak her gün biraz daha ekvatora yaklaşırken, günler de kısalır ve ekvatora geldiğinde, yaklaşık 23 Eylül'de, gece ve gündüz süreleri yine eşit olur.



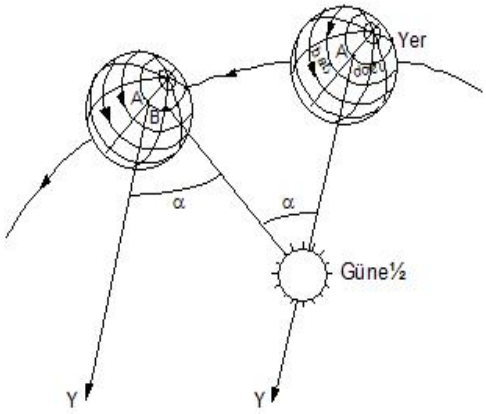
Şekil 1.11: Güneşin gök küresindeki yıllık gezintisi.

22 Haziran'da Güneşin gök küresinde bulunduğu yerden (™ = +23° 27') gök ekvatoruna paralel olarak çizilen çembere, yaz dönencesi denir. Bu dönence gün uzamasından gün kısalmasına geçişin olduğu

yerdir. Bu geçişin olduğu 22 Haziran tarihine de gün dönümü denir. 23 Eylül'den sonra güneye kayma devam eder. Güneş, 22 Aralıkta gök ekvatorundan güneye doğru en büyük açısal uzaklığa erişmiştir. Burada Güneşin dikaçıklığı ™ = - 23° 27' dır. Güneş, bu kez kış dönencesine gelmiştir ve bu da ikinci bir gün dönümüdür. 22 Aralık kuzey yarım kürede bulunanlar için en kısa, güney yarım küredekiler için en uzun gündür. Bu tarihten sonra Güneş, yine kuzeye kaymaya başlar, 21 Mart'ta yeniden ekvatora gelir. Görüldüğü gibi Güneş'in yıllık hareketinde; 21 Mart, 22 Haziran, 23 Eylül ve 22 Aralık günleri özelliği olan önemli günlerdir. Bu tarihler arasındaki sürelere, mevsim denir. Mevsimler, 21 Marttan itibaren sıra ile ilkbahar, yaz, sonbahar ve kıştır. Mevsimlerin süreleri görüldüğü gibi eşit değildir. Kuzey yarım kürede yaz mevsimi, Yer yörüngesi üzerinde enöte bölgesinde yavaş hareket ettiği için, biraz daha uzundur.

Güneşin görünür hareketi, Yer'in yörünge hareketinin yansımasıdır. Kepler yasalarından, Yer'in güneş çevresinde eliptik bir yörünge üzerinde, doğu yönünde (saat hareketinin ters yönü) dolandığı bilinir. Bu yörünge düzleminin Yer'in ekvator düzlemine göre eğimi 23° 27' dır. Yer de dönme ekseni çevresinde, batıdan doğuya doğru günde bir kez döner. Yer'in Güneş çevresindeki dolanması boyunca, Yer'in dönme ekseninin uzaydaki doğrultusu değişmez.

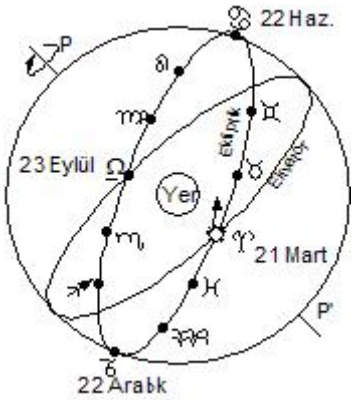
Şimdi, yukarıda sözünü ettiğimiz farklılıkları daha iyi anlayabiliyoruz. Bunlardan biri, Güneş'in günde yaklaşık 4 dk'lık doğuya doğru gerilemesi idi. Yer, yörünge hareketini yaklaşık 365 günde tamamlar. Buna göre günde yaklaşık olarak 1° (4^d) doğuya doğru ilerler. Bir t anında Güneş, A noktasında bulunan bir gözlemcinin meridyeninde bulunsun ve bu anda Güneş'in bulunduğu noktada bir de yıldız bulunsun [Güneşin yanında bir yıldız görülemeyeceği için bu bir var sayımdır. (Şekil 1.12)]. 40 gün sonraki durum ne olur? Yer doğuya doğru 〈 E 40° ilerler. Yıldız, A noktasında bulunan gözlemcinin meridyenine geldiğinde, Güneş 40° daha doğudadır. Güneşin gözlemcinin meridyenine gelmesi için Yer'in daha 40° dönmesi gerekir.



Şekil 1.12: Yer'in Güneş çevresindeki dolanımı sonucu yıldız ve Güneş günleri eşit değildir. 24 saat sonra Güneş'e giden doğrultu ile gözlemcinin meridyen doğrultusu arasında yaklaşık 1° fark olur.

İkinci özellik, Güneşin ekvatordan kuzey ve güneye doğru belirli bir aralıkta yaptığı gezinti idi. Güneş'in gök yüzündeki bu gezintisinin bir yıl boyunca belli zaman aralıklarında günün hep aynı saatlerinde ve hep aynı fotograf filmi üzerinde uygun teknik koşullarda fotografı çekilirse, Şekil 1.13 de görüldüğü gibi analemma denen kapalı bir eğri elde edilir. Bu eğri her yıl çizilirse, aynı olmadığı görülür. Bu eğriden yararlanarak herhangi bir gözlem yerindeki gün yayı uzunluğunu (Güneş'in görülme süresi), Güneş'in belli bir gün için dik açıklığını ve zaman denkleminin değerinin nasıl bulunabileceğini tartışınız. 21 Mart'ta Güneş ekvatorda bulunur. Dönme ekseni doğrultusu değişmediğine göre, Yer'in kuzey yarım küresi gittikçe Güneşe doğru daha çok yatmış olur. Böylece 21 Mart'ta, güneş ışınları ekvatora dik geldiği hâlde, Haziran'da Π = 23° 27' lık enlemlere dik gelir. 21 Mart'tan sonra kuzey enlemlerde gün yayları uzar, ışınlar gittikçe dikleşir. Havalar da bunun sonucu olarak ısınır. Mevsimlere göre sıcaklıkların artması ve azalmasını anlamak için, gün ve gece yayları ile ışınların dik ve eğik gelmesini birlikte düşünmek gerekir.

Şekil 1.13: Yaklaşık olarak haftada bir kez, aynı saatte aynı film üzerine Güneşin fotografını çekince 8 rakamına benzeyen ve adına günizi (analemma) denilen bu şekil elde edilir. Türk amatör gökyüzü fotoğrafçısı Tunç Tezel uzun çalışması sonucu elde ettiği görüntünün arka planını da 29 Mart 2006 tarihinde ülkemizden çok iyi gözlenen güneş tutulmasının Side'den çektiği fotoğrafla birleştirmiştir. Bu nedenle bu görüntüye TUTULEMMA da denilmektedir.

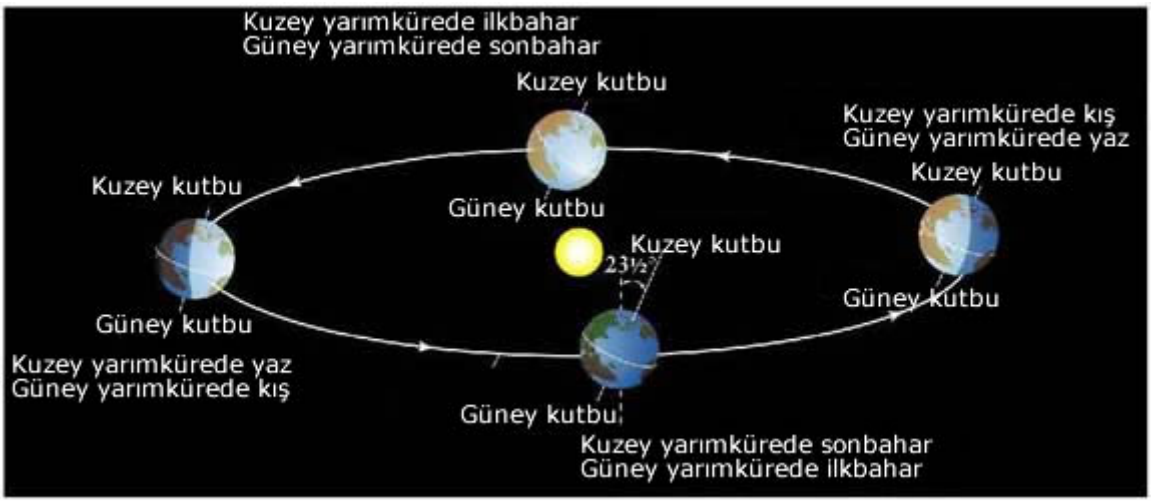


Şekil 1.14: Yıl boyunca Güneşin görünen hareketi ve burçlar. 21 Mart'ta Güneş, Balıklar burcuna girer.

Ekliptik çemberi ile ekvator çemberi birbirlerini iki noktada keser. Bunlara, ılım (ekinoks) noktaları denir. Bunlardan biri ilkbahar ılımı (21 Mart), diğeri sonbahar ılımıdır (23 Eylül). Ekvator ve ekliptik düzlemleri arasındaki açı $\sum = 23° 27'$ dir. Buna, ekliptiğin eğimi denir.

Güneş, ekliptik çemberi üzerinde ayda ortalama 29° 57' ≈ 30° lik bir yol katederek, 12 ayda bir tur atar (30°x12=360°). Eskiler, bu bölmelere burç demişler ve her birine ayrı bir ad vermişler. 21 Martta Güneş birinci burca girer ve bir ay burada ilerler, ikinci ay ikinci burç içinde ve böylece 12. ayda 12. burç içinde ilerler. M.Ö. 2000 yılında yapılan burç isimlendirilmesi bugün aynen kullanılmaktadır. O zamanlar birinci burç Koç, ikincisi Boğa (öküz), altıncısı Başak ve on ikincisi ise Balıklar'dı.

Ancak hatırlayalım ki ilkbahar noktası yılda yaklaşık olarak 50" ("=açı saniyesi) batıya doğru kayar. Bu kayma hareketinin dönemi yaklaşık 26000 yıldır. Bu olaya presesyon denir. M.Ö. 2000 yılında burçlar isimlendirilirken ilkbahar noktası Koç takım yıldızında iken; bugün Balıklar, takım yıldızına kaymış durumdadır. Presesyon hareketinden kaynaklanan bu kaymayı dikkate almadıkları için astrologların oluşturduğu horoskoplar yanlıştır.



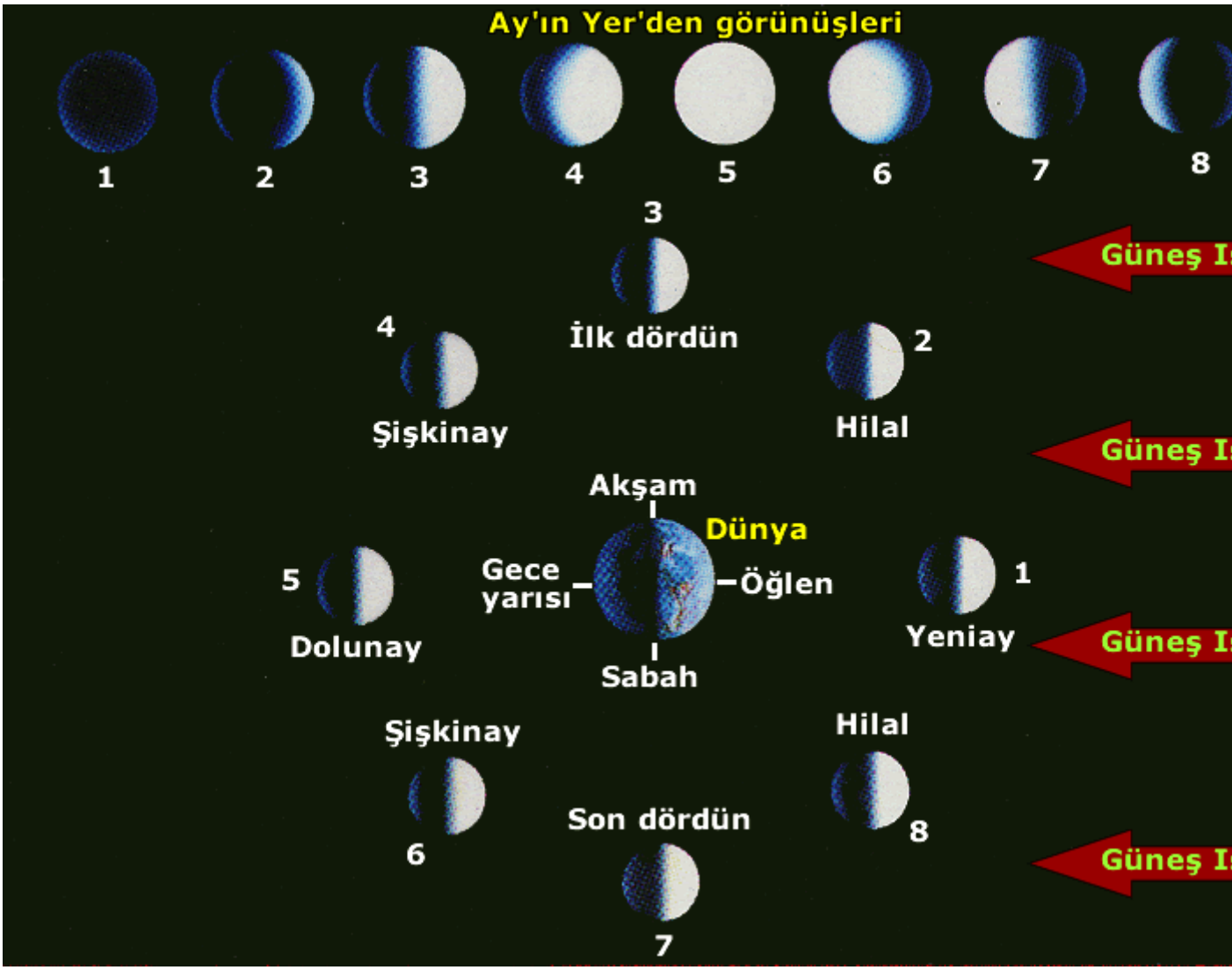
Şekil 1.15: Yer'in yörüngesi ve mevsimler. Şekilde Yer'in ekseni ve ekiptiğe göre eğimi de gösterilmiştir.

.

Ekliptik düzlemi, aslında Yer'in yörünge düzlemidir. Güneş'in görünen yeri Yer-Güneş doğrultusunun göğü deldiği noktadır. 21 Mart gün ortasında Güneş Balıklar burcunda bulunur, ancak Güneş ışınlarından dolayı yöredeki yıldızlar görülmezler. Takip eden gece yarısı (yani saat 12 iken) meridyenimizde Başak burcunu görürüz (Şekil 1.14).

Ayın Görünen Hareketi

Ayın görünen hareketinin izlenmesi Güneş'inkine göre çok daha kolaydır. Işığı zayıf olduğu, dolayısıyla yıldızlarla birlikte görülebildiği için Ay'ın, yıldızlara göre gök küresi üzerindeki yeri kolayca saptanabilir. Ay'ın günlük harekete katıldığını, yani doğup battığını hepimiz biliyoruz. Ay'ın bu günlük hareketi bir ay boyunca, her gece bir yıldıza göre izlenirse, her gün doğuya doğru 13° kaydığı görülür. Yani Ay, her gün yıldızlara göre 52 dakika daha geç doğar. Ancak bu ortalama bir değerdir. Ay'ın doğuya doğru olan bu kayma hareketi mevsimden mevsime değişir. Ay, sonbahar ılımında dolunay evresinde iken, geri kalma süresi arka arkaya bir kaç gece için 20 dakikaya kadar azalır. Ay, tam ilkbahar ılımında iken geri kalma 52 dakikadan fazla olur. Ay'ın bu hareketi, Yer çevresindeki yörünge hareketinin bir sonucudur. Burada Yer'in Güneş çevresindeki hareketinin de etkisi vardır.



Şekil 1.16: Ay'ın evreleri

Ayın Uzanımı ve Evreleri

Yer-Ay ile Yer-Güneş doğrultuları arasındaki açıya, Ay'ın uzanımı denir. Ay'ın yıldızlara göre günde ortalama 13°, Güneş'e göre ise günde 12° lik görünen bir kayma hareketi olur. Böylece Ay'ın uzanımı ve dolayısıyla Ay'ın Güneş tarafından aydınlatılan yüzünün Yer'deki gözlemciye göre durumu ay boyunca sürekli değişir.

Bu değişimin sonucu olarak, Ay'ı farklı zamanlarda farklı şekillerde görürüz. Bu şekillere Ay'ın evreleri denir. O hâlde Ay'ın evre göstermesi, Güneş'ten aldığı ışığı yansıtması ve uzanımının değişmesi ile olur. Ay ve Güneş, gök yüzünün aynı tarafında ve uzanımı 0° olduğu zaman Ay kavuşumdadır, denir ve biz, Ay'ın karanlık yüzünü görürüz. Yeniay denilen bu evreden bir gün sonra Ay, ince bir hilâl şeklinde görülür. Bunu izleyen günlerde hilâl gittikçe büyür ve bir hafta sonra Ay uzanımı 90° olur. Ay'ın Güneş ışığını alan yüzünün hemen hemen yarısı yerden görülür. İlk dördün evresi denen bu durumda Ay yarım daire şeklinde görülür. Bu evreden sonra (uzanım 90° den büyük olunca) Ay yarım daireden büyük görünmeye başlar. İlk dördün evresinden bir hafta sonra (uzanım 180°) Ay karşı kavuşum durumundadır, denir. Bu durumda Güneş'ten yansıttığı ışığın tamamı Yer'den görülür. Ay'ın bu evresine dolunay denir. Bundan sonra ışıklı yüz küçülmeye başlar ve bir hafta sonra (uzanım 270°) yeniden yarım daire şeklini alır ve Ay'ın bu evresine son dördün denir. Görünen Ay küçülmeye devam eder ve bir hafta sonra (uzanım 360°) Ay yine görülmez olur. Bu evreye de yeniay evresi denir. Son dördünü izleyen hilâl evresinde Ay, Güneş'in doğuşundan

biraz önce ufkun doğusunda görülür. Yeniayı izleyen hilâl evresi ise batı ufkunda Güneş battıktan hemen sonra görülür. Bu evrede Yer'den Ay'a yansıyan ışık nedeniyle Ay'ın karanlık yanı da belli belirsiz görülebilir. İlk dördün evresinde, Güneş battığı anda, Ay gözlem yerinin meridyeninde bulunur. Dolunayın ise hemen hemen tam Güneş batışı sırasında doğduğu görülür.

Ay ve Güneş'in bu görünen hareketleri günlük hareketin zıt yönündedir. Açık olarak görülüyor ki art arda gelen iki yeniay aynı noktada olmaz. Bir yeniay evresinden sonra Ay'ın tekrar Güneş'e kavuşması için, bir kez dolandıktan sonra yaklaşık 27° lik bir dolanma daha yapması gerekir. Bu nedenle iki aynı evre arasındaki zaman farkı olarak tanımlanan kavuşum ayı, bir yıldız ayından uzun olur. Bir kavuşum ayı 29.53059 gündür. Bir ay denilince, kavuşum ayına ait zaman anlaşılmalıdır.

Görünen hareketini ana hatları ile özetlediğimiz Ay'ın gerçek hareketlerine bir göz atacak olursak iki tür hareketinin olduğunu görürüz. Yer ve diğer gezegenlerin Güneş çevresindeki hareketleri gibi, Ay da Yer çevresinde Newton yasalarına göre, odaklarından birinde Yer bulunan çembere çok yakın bir elips yörüngede dolanır. Ayın ikinci gerçek hareketi, ekseni etrafındaki dönmesidir. Gözlemler Ay'ın hep aynı yüzünü gördüğümüzü gösteriyor. Bu da Ay'ın dönme dönemi ile yörünge döneminin eşit olduğu anlamına gelir.

Gezegenlerin Hareketleri

Güneş, Ay ve yıldızların görünen hareketlerini inceledik. Şmdi gezegenlerin görünen hareketlerini inceleyelim. Güneş yapısal olarak bir yıldızdır. Yani diğer yıldızlar gibi Güneş de kendi enerjisini kendisi üretir. Diğer yıldızlardan farklılığı bize çok yakın olması ve Yer gibi diğer gezegenlerin de Güneş çevresinde dolanmasıdır. Güneş'ten gelen ışık ışınları bize 8 dakikada ulaşırken, Güneş'ten sonra bize en yakın yıldız olan 〈 Centauri'den gelen ışınlar 4.3 yılda ulaşır. Güneş çevresinde dolanan ve altısı çok eskiden beri bilinen, dokuz büyük gezegen vardır. Bunlar Güneş'e olan uzaklıkları sırasına göre; Merkür, Venüs, Yer, Mars, Jupiter, Satürn, Uranüs, Neptün ve Plüto'dur. Ayrıca Mars ile Jüpiter gezegeni arasında, gezegenlerden daha küçük, çok sayıda küçük gezegenler vardır. Gezegenlerin hareketlerini açıklayan yasalar, on yedinci yüzyılın başında J.Kepler tarafından ortaya kondu. Kepler yasaları şu şekilde ifade edilir:

1. Bütün gezegenler, Güneş çevresinde, odaklarından birinde Güneş bulunan birer elips çizerler.

2. Gezegeni Güneş'e birleştiren yarıçap vektörü, eşit zaman aralıklarında eşit alanlar süpürür.

3. İki gezegenin Güneş'e olan ortalama uzaklıklarının küplerinin oranı, dolanma dönemlerinin kareleri oranına eşittir. Yani,

$$(a_1 / a_2)^3 = (P_1 / P_2)^2.$$

Birinci yasa, gezegenlerin Güneş'e uzaklığının sabit olmadığını; ikinci yasa, gezegen Güneş'e yakın iken daha hızlı, uzak iken daha yavaş hareket ettiğini gösterir; üçüncü yasa ise yörüngesi daha büyük olan (Güneşe daha uzak) gezegenlerin dolanma dönemlerinin de daha büyük olduğunu gösterir. Üçüncü yasanın Newton tarafından düzeltilmiş şekli,

$$a^3 / P^2 = G (M + m) / 4 \square^2$$

dir. (Bu bağıntıdan yukarıdaki 3. maddede verilen ifadeyi bulmaya çalışınız.). Gözlemlerden, gezegenin Güneş'e ortalama uzaklığı a ve dolanma dönemi P bulunabilir. Güneşin ya da gezegenin kütlelerinden birisi bilinince diğerleri bu formülden hesaplanabilir.

Çıplak gözle görülebilen gezegenler çoğu kez yıldızlarla karıştırılır. Gezegenlerle yıldızlar arasında şu belirgin farklar vardır:

1- Gezegenler gök küresinde ekliptik dairesi yakınlarında bulunurlar.

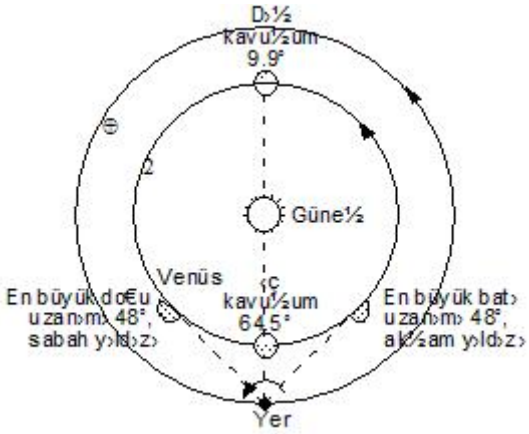
2- Yıldızların biribirlerine göre konumları değişmez. Gezegenler ise yıldızlar arasında sürekli yer değiştirir.

3- Küçük bir dürbünle bile gezegenler yuvarlak disk şeklinde görünürken yıldızlar çok büyük teleskoplarla bile nokta kaynak olarak görünürler.

4- Gezegenler de Ay gibi Güneş'ten aldığı ışığı yansıtırlar. Bu nedenle bir kısmı evreler gösterirler. Yıldızlar ise ışık kaynağıdır ve evre göstermezler.

5- Yıldızdan gelen ışık, yer atmosferinin etkisiyle titrerken gezegenlerin ışığı titremez.

Şimdi gezegenlerin görünen hareketlerini inceleyelim. Bu hareketleri daha iyi anlamak için önce bir kaç tanım verelim: Yer-Güneş ve Yer-Gezegen doğrultuları arasındaki açıya, gezegenin uzanımı denir. Uzanım 0° (sıfır derece) ise gezegen kavuşum konumunda, uzanım 90° ise gezegen çeyrek konumunda, uzanım 180° ise gezegen karşı kavuşum konumundadır. Gezegen, Güneş'e göre gözlem yerinin doğu tarafında ise gezegen doğu uzanımında, batı tarafında ise gezegen batı uzanımındadır denir. Doğu uzanımındaki gezegenler akşam Güneş battıktan sonra, batı uzanımındaki gezegenler ise sabah Güneş doğmadan gözlenebilir.



Şekil 1.17: Bir iç gezegen olarak Venüs ve evreleri. En büyük uzanımı ±48° yi aşamaz (Merkür için bu değer ±28° dir).

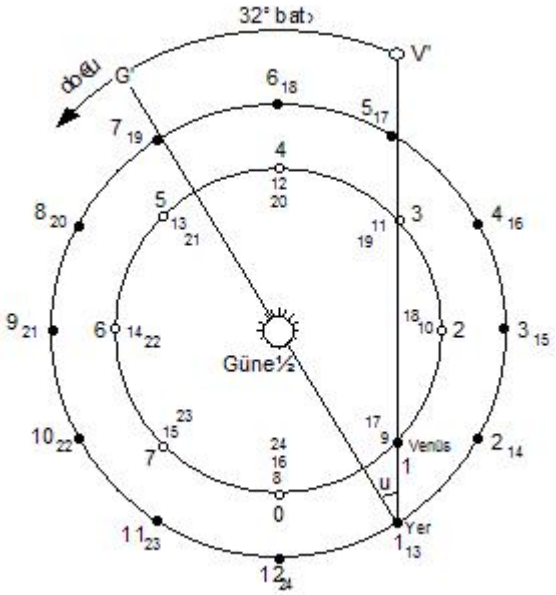
Bir gezegenin, Güneş çevresinde tam bir dolanım yapması için geçen zamana, o gezegenin yıldızıl dönemi denir; Güneş'ten bakıldığı var sayıldığında, bir gezegenin bir yıldızdan art arda iki geçişi arasındaki zaman aralığıdır.

Bir gezegenin aynı bir uzanımdan ardı ardına iki geçiş arasındaki zaman aralığına, o gezegenin kavuşum dönemi denir. Bunu,

$$t_1 - t_0 = S$$

ile gösterelim. Gezegenin ve Yer'in dolanma dönemleri P ve E alınırsa, açısal hızları, 2□ / P ve 2□ / E olur. Gezegenin Yer'e göre hareketi dikkate alınarak,

$$\left| [(t_1 - t_0)\, 2\square / E] - (t_1 - t_0)\, 2\square / P \right| = 2\square$$



Şekil 1.18: Venüs (Çoban) gezegeninin görünen hareketi. V' Venüsün ve G' Güneş'in gök yüzündeki iz düşümüdür.

veya

$$\left| (S/E) - (S/P) \right| = 1$$

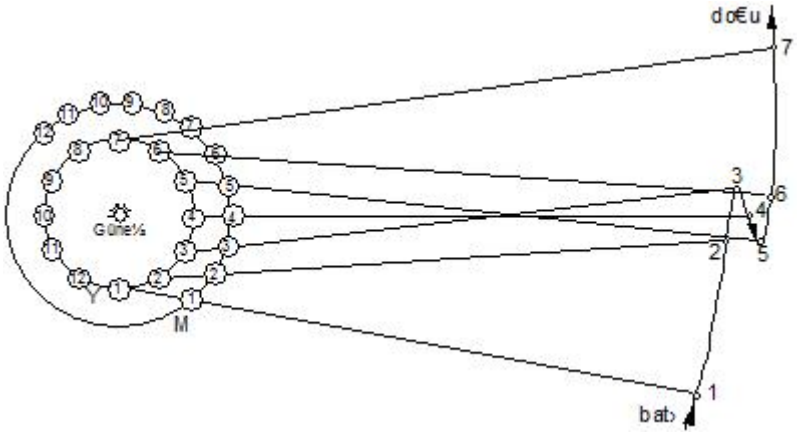
ya da her iki yanı S ye bölersek:

$$1/P = \left| (1/E) - (1/S) \right|$$

yazılabilir.

Gözlemlerle gezegenlerin kavuşum dönemi S, kolayca belirlenebilir. Yer'in dolanma dönemi de bilindiğine göre gezegenin Güneş çevresindeki gerçek dolanma dönemi bu formülden hesaplanabilir. Örneğin; Merkür ve Mars gezegenlerinin S=116 ve 780 gün olarak bilinen kavuşum dönemleri, Yerin dolanma dönemi E=365.25 gün ile beraber ilgili bağıntıda yerine konursa, Merkür'ün ve Mars'ın dolanma dönemleri sırasıyla 88 gün ve 687 gün olarak bulunur.

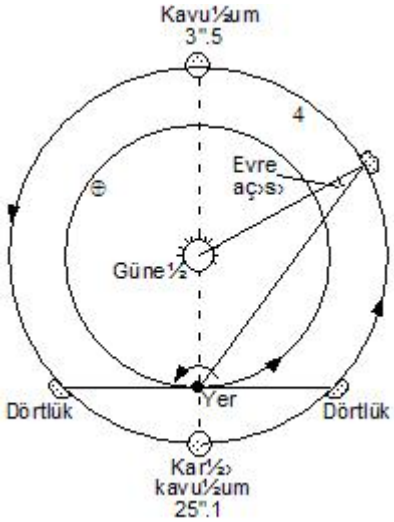
Kepler'in üçüncü yasasına göre, dolanma dönemlerinden Venüs ile Yerin yörünge yarıçapları oranının 3/4 olduğunu kolayca bulabilirsiniz. Şekil 1.18 de Güneş merkezli yarıçapları oranı 3/4 olan iki çember üzerinde Venüs'ün görünen hareketi kolayca incelenebilir. 0-0 konumu kavuşum konumudur ve Venüs'ü göremeyiz. Bir ay sonra, Yer ve Venüs, 1-1 konumundadırlar. Venüs, gök yüzünde V'de görülür. Bundan sonraki yörünge hareketini siz inceleyiniz. Venüs, 3-3 konumunda en büyük batı uzanımındadır, sabah yıldızı olarak görülür. Güneş'ten önce doğar, önce batar. 21-21 konumunda en büyük doğu uzanımında olan Venüs, Güneş'ten sonra doğar ve sonra batar, halk arasında akşam yıldızı olarak adlandırılmasının nedeni budur. En büyük batı uzanımından en büyük doğu uzanımına 18 ayda, en büyük doğu uzanımından en büyük batı uzanımına 6 ayda gelir.



Şekil 1.19: Mars gezegeninin ileri (batıdan doğuya) ve geri (doğudan batıya) hareketi görülüyor. Yer ve Mars'ın yörüngeleri üzerindeki konumları aydan aya işaretlenmiştir. 4-4 konumunda Mars Güneş'in karşıkavuşum konumundadır. Bu konumda Mars Yer'e en yakındır ve görünür hareketi geridir.

Bir dış gezegenin görünen hareketine örnek olarak, Şekil 1.19'da Mars verilmiştir.

Bir iç gezegen en büyük parlaklığa en büyük uzanım yöresinde ulaşırken, bir dış gezegen karşı kavuşumda ulaşır (bkz. Şekil 1.17 ve 1.20). Ay ve iç gezegenlerin tersine, bir dış gezegenin evresinde çok az değişim görülür ve çıplak gözle fark edilemez.



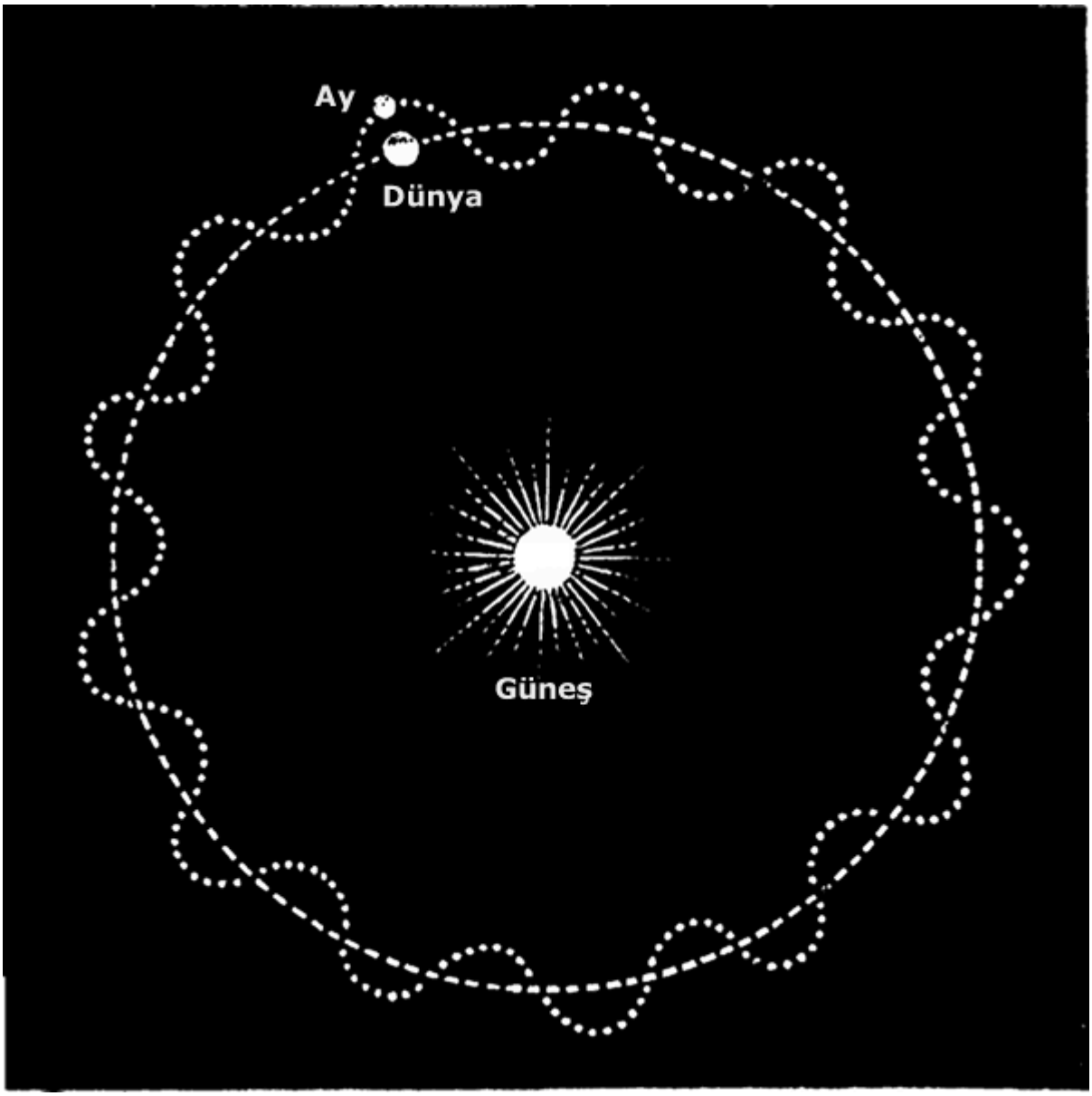
Şekil 1.20: Bir dış gezegen olarak Marsın yörüngesi ve evreleri. En büyük parlaklık ve en büyük açısal çapa karşı kavuşumda ulaşır.

Ay ve Güneş Tutulmaları

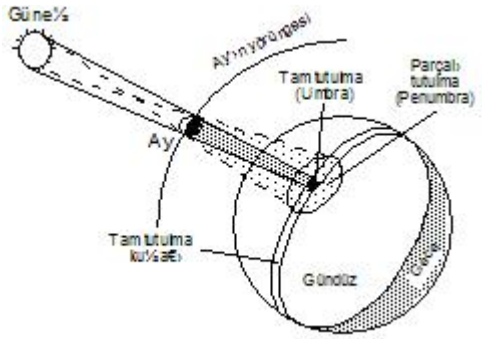
Tutulmalar çok eskiden beri bilinen gök olaylarıdır. Yer ve Ay diğer gezegenler gibi Güneş'ten aldıkları ışınları yansıtarak kendilerini gösterirler. Ay, Yer çevresinde; Yer, Ay ile birlikte Güneş çevresinde yörüngesel hareketlerini yaparken Güneş'e dönük yüzleri aydınlık, öbür yüzleri karanlıktır ve karanlık tarafta uzayda birer gölge konisi oluştururlar. Ay'ın Yer'e ilişkin gölge konisine girmesi ile Ay tutulması, Ay'ın gölge konisinin yer üzerine düşmesi ile Güneş tutulması olayı meydana gelir. Ay ve Güneş tutulmaları Ay, Güneş ve Yer'in uzayda biribirlerine göre konumlarının bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bunlardan birinin gölge konisinin diğeri üzerine düşmesi için bu üç cismin yaklaşık aynı doğrultuya gelmiş olmaları gerekir. Bu da ancak Ay'ın yeniay ve dolunay evrelerinde mümkün olur. Eğer Ay'ın yörünge düzlemi, tam olarak Yer'in yörünge düzlemi, ile çakışık olsa idi; her dolunay evresinde Ay tutulması ve her yeniay evresinde Güneş tutulması meydana gelirdi.

Fakat iki düzlem arasında yaklaşık 5° lik bir açı vardır ve tutulmalar ancak özel bazı koşulların sağlanması sonucu meydana gelir. Bu özel koşullar bugün çok iyi bilinmektedir ve gelecekte olacak Ay ve Güneş tutulmaları önceden çok duyarlı bir şekilde hesap edilebilmektedir.

Geleceğe ilişkin tutulmaların hesaplanması çok eski tarihlerden beri yapılagelmiştir. İlk olarak M.Ö. 584 yılında Thales bir Güneş tutulması zamanını önceden hesaplamıştır. Bir yılda iki ile yedi arasında tutulma gerçekleşebilir. Güneş tutulması yalnız Ay'ın gölge konisinin Yer'e değdiği bölgelerde ve zamanlarda görülür (Şekil 1.22). Ay tutulması ise tutulma esnasında Ay'ın görülebildiği her yerden izlenir. Ay tutulması olayını izleme olasılığının Güneş tutulması olayını izlemeden daha çok olduğu açıkca görülüyor.



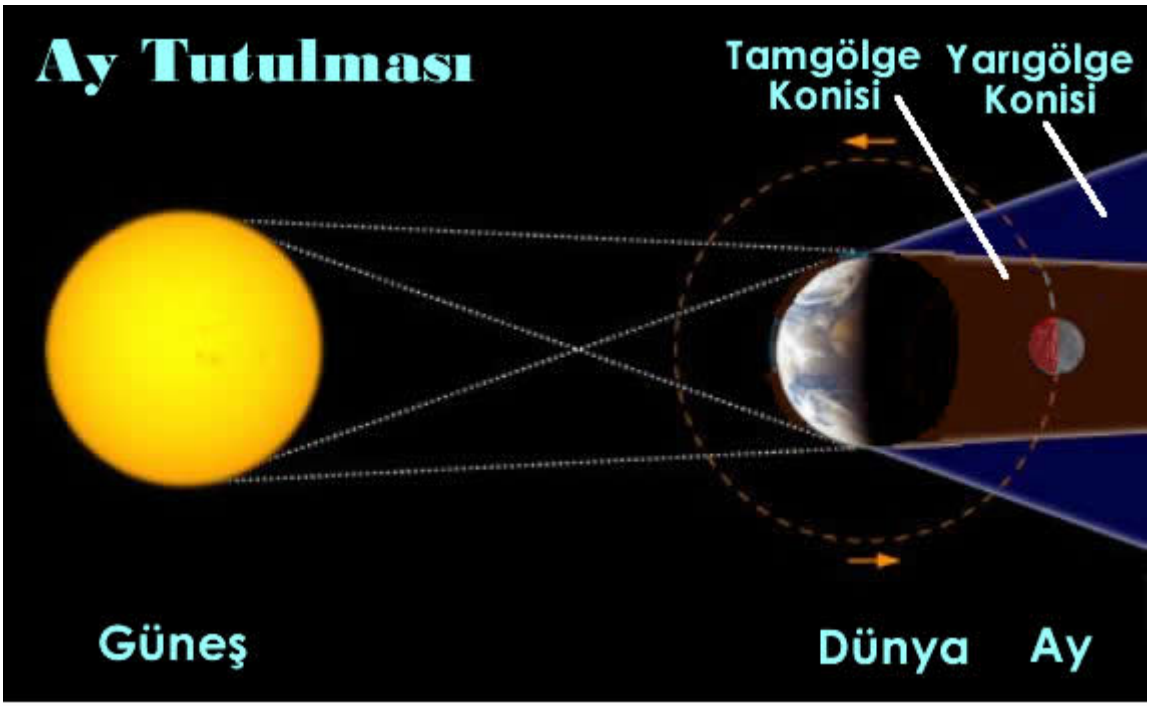
Şekil 1.21: Yer ve Ay'ın Güneş çevresindeki bir yıllık şematik hareketleri. Ay sinüsoidal bir eğri çizer.



Şekil 1.22: Güneş tutulması. Ay, Güneş diskinin önünden (batıdan doğuya doğru) geçerken tam ve yarı gölge konilerinin Yer üzerinde geçtiği bölgelerde tam Güneş tutulması ve parçalı Güneş tutulması görülür.

Tutulmalar ancak yeniay ve dolunay evrelerinin düğümler yakınında olması hâlinde meydana gelebilir. Ay ve Güneş disk biçiminde görülen küresel şekiller olduklarından tam düğüm noktalarına gelmeden de örtmeler olabilir. Ay'ın Yer çevresindeki yörünge düzlemi ile ekliptiğin kesişme noktalarına, Ay'ın düğüm noktaları denir. Ay onbeş gün aralıklarla ekliptiğin güneyinden kuzey yanına geçer. Bu noktaya, çıkış düğümü denir. 15 gün sonra ekliptiğin kuzey yanından güney yanına geçer. Bu noktaya da iniş düğümü denir. Ay'ın düğüm noktaları da sabit değildir. Ekliptik üzerinde dönemi 18.6 yıl olan bir dolanma hareketi yaparlar.

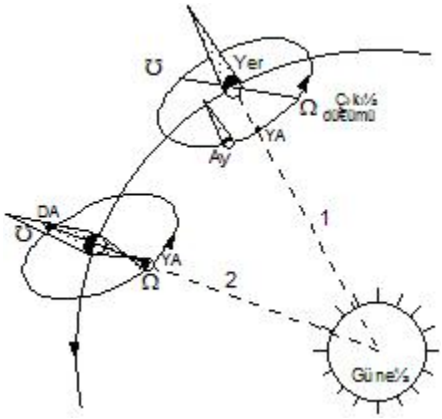
Şekil 1.24 de Yer ve Ay (2) konumunda iken bir Güneş tutulması olacaktır. Bundan 14 gün sonra, Yer'in gölge konisi iniş düğümünden çok uzaklaşmamış olacağından bu Güneş tutulmasından 14 gün sonra bir Ay tutulması olabilir. Buradan da anlaşıldığı gibi uygun koşulların gerçekleştiği durumlarda bir ayda bir kaç tutulma olabilir. Böyle bir durumda iki Güneş ve bir Ay tutulması olabilir. Güneş ve Yer'in ortak dış teğetleri çizilirse, Şekil 1.25 te görüldüğü gibi Ay, AB aralığına geldiğinde bir Güneş tutulması ve CD aralığına geldiğinde bir Ay tutulması olur. Ay yörüngesinin bu iki teğet arasında kalan parçalarından tutulma olasılıkları bulunabilir. AB yayı, CD yayından büyük olduğu için Güneş tutulması olasılığı daha çoktur. Burada düğümler çizgisinin Güneş'ten geçmesi hâlinde bir ay içinde bir kaç tutulmanın olacağını gördük. Yer, yörüngesi üzerindeki dolanımını bir yılda tamamladığına göre, böyle bir tutulmadan 6 ay sonra yine düğümler çizgisi Güneş'ten geçecek ve yine tutulmalar olacaktır. Bir önceki durumda çıkış düğümünde olan Güneş tutulması burada iniş düğümündedir. O hâlde tutulmaların olduğu bir aydan yaklaşık altı ay sonra ikinci tutulmalar beklenmelidir.



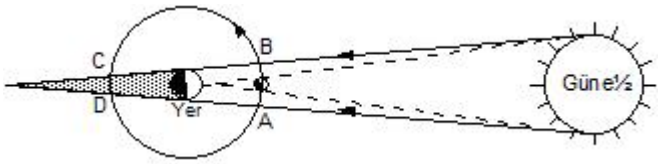
Şekil 1.23: Ay tutulması. Ay Yer'in gölge konisi içinden geçerken Yer'in gece tarafında bulunanlar bir Ay tutulması olayı izlerler. Tam gölge konisi içinde kalan bölge karanlıktır.

Ay Tutulmaları

Tam, parçalı ve gölgeli olmak üzere üç tür Ay tutulması vardır. Güneş ile Yer kürelerinin iç ve dış ortak teğetlerini çizelim (Şekil 1.23). Dış teğetlerin oluşturduğu koninin Güneş'in öbür yanında kalan " tam gölge konisi " ile iç teğetlerin oluşturduğu koni arasında kalan uzay parçası " yarı gölge konisi dir. Yarı gölge konisi içinde kalan yerler ancak Güneş'in bir kısmından ışık alabildiği için cismin parlaklığı da sönükleşir. Yer'e ilişkin tam gölge konisinin tepesi Yer'den ortalama olarak 1 382 000 km uzaktadır. Ay'ın yörüngesi, düğümler çizgisinin Güneş'ten geçmesi hâlinde gölge konisinin tabanına yakın yerinden geçer. Bu uzaklıkta, tam gölge konisinin kesit dairesinin çapı yaklaşık 2.5 Ay çapı kadardır. Ay'ın gökteki hızı yaklaşık olarak bir Ay çapı kadardır. Bu durumda, Ay'ın tam gölge konisine girmeye başlaması ile çıkması arasında 2-3 saatlik zaman geçer. Ay'ın tam tutulmada kalma süresi bir saatten daha uzun olabilir. Yer-Güneş, Yer-Ay uzaklıkları her konumda değiştiğinden bu süreler her dönem farklı olur. Ayrıca, Ay'ın yörünge hızı da sabit değildir. Bir tutulma konumunda düğümlerden biri "tam gölge konisi" nin ortasında bulunursa Ay bu gölgeye girer ve bir "tam tutulma" olur (Şekil 1.26). Eğer düğüm noktası tam gölge konisinin tam ortasında değil biraz kenarda ise Ay bu koniyi kesip geçer ve bir parçalı tutulma olur. Düğüm noktası yarı gölge konisinin içinde olursa Ay yalnız yarı gölgeden geçer.

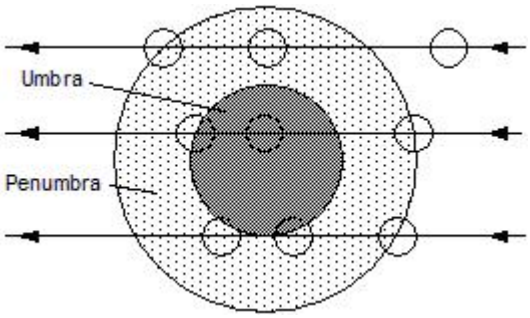


Şekil 1.24 : Şekil düzlemi, tutulma (ekliptik) düzlemidir. Ay yörünge düzlemi, tutulma düzlemine göre 5° eğiktir. (1) konumunda yeniay çıkış düğümünün berisinde olduğundan Ay'ın gölge konisi Yer'in altında kalır ve bir Güneş tutulması olmaz. (2) konumunda Güneş düğümler çizgisi üzerindedir. Güneş tutulması çıkış, Ay tutulması iniş düğümünde meydana gelir.



Şekil 1.25: Ay ve Güneş tutulması ihtimali

Buna gölgeli tutulma denir. Düğümler koni ekseninden 10° den daha uzakta olunca hiç bir tutulma gerçekleşmez. Tam Ay tutulması olduğu zaman, Ay tam karanlık olmaz. Bakır kırmızısı rengini alır. Bunun nedeni, Yer atmosferindeki kırılmadır. Yukarıdaki şekilde çizdiğimiz teğet ışınlar Yer atmosferinden geçerken kırmızı ışık maviye oranla daha az kırılır ve daha az soğurulur. Böylece Ay'ın geçtiği koni içinde bir parça kırmızı ışık bulunur. Tutulma sırasında Yer kürenin karanlık yanında Ay'ı gören her yerde Ay tutulması gözlenebilir. Yer'in gölge konisi ile Ay'ın arakesitinin çember yayı şeklinde oluşu, Yer'in yuvarlak olduğuna ilişkin bir kanıt olarak eskiler tarafından da kullanılmıştır.



Şekil 1.26: Farklı Ay tutulmaları. Bu şekil, Ay yörüngesi uzaklığında Yer'in tam ve yarı gölgesini gösteriyor. Ay'ın Yer'in gölge konisi içinden geçiş yoluna bağlı olarak farklı türdeki ay tutulmaları görülmektedir.

Güneş Tutulmaları

Tam tutulma, parçalı tutulma ve halkalı tutulma olmak üzere, üç tür Güneş tutulması vardır. Ay'ın gölge konisinin tepesi Ay'dan yaklaşık 375000 km uzakta bulunur. Ay'ın Yer yüzeyine uzaklığı 350000 km - 400000 km arasında değişir. Ay, Yer'e en yakın olduğu zaman gölge konisinin tepesi Yer'in içinde kalır. Koninin Yer küre ile arakesiti, bozulmuş bir elips şeklindedir. Genişliği en fazla 270 km olabilir. Bu, gölge konisi ile Yer kürenin arakesit çapıdır. Bu gölgenin Yer üzerindeki ilerleme hızı 30 km/dk dır. Buna göre, Yer üzerinde belli bir yerde tutulma süresi en fazla 270:30=9 dakika olur. Halkalı tutulma ise en fazla l0 dakika sürer. Yer üzerinde tam gölge konisinin içinde kalan yerlerdeki gözlemciler için Ay diski, Güneşi tam olarak örter ve bir tam Güneş tutulması olur. Yarı gölge konisi içinde kalan bölgelerde, parçalı Güneş tutulması izlenir. Ay, Yer'den çok uzak olduğu zaman tutulma konumu gerçekleşirse, koninin ancak uzantısı Yer'e ulaşabilir. Bu uzantı koni içinde kalan yerlerden, Güneş'in kenarı halka şeklinde görülür. Buna, halkalı Güneş tutulması denir. Kimi zaman halkalı başlayan bir tutulma daha sonra gölge konisinin tepesinin Yer'e değmesi ile tam Güneş tutulmasına ve onun ötesinde tekrar halkalı Güneş tutulmasına dönüşür. Bir tam Güneş tutulması anında, hava birden soğur ve gökte yıldızlar görünmeye başlar, gök koyu mavi bir renk alır.

Tutulmaların Tekrarı

Bir tutulmanın 6585 gün sonra aynı şekilde tekrar meydana geleceği Babilliler tarafından hesap edilmiştir. Bu süreye, bir "Saros dönemi" denir. Bu süre 18 yıl 11 gündür. Saros döneminin neyi ifade ettiğini daha iyi anlamak için birbirine eşit iki tutulmanın hangi koşullar altında meydana gelebileceğine

bakmak gerekir. Genel olarak bir tutulmanın olabilmesi için Ay'ın yeniay veya dolunay evresinin zamanı ile düğümlerden birinden geçme zamanı birbirine yeteri kadar yakın olmalıdır. Ay, bir düğüm noktasından geçtikten bir ejder ayı (=27.2122 gün) sonra tekrar aynı düğüm noktasından geçer. Ay, uygun bir evreden geçtikten bir kavuşum ayı (=29.5306 gün) sonra tekrar aynı evreden geçer. Örnek olarak, Ay tutulması olayını alalım: Ay tutulması dolunay evresinde ve düğümler çizgisinde olur. Ay'ın tekrar dolunay evresinde görülebilmesi için, kavuşum ayının bir tam katı kadar zamanın, Ay'ın tekrar düğümler çizgisinde bulunması için de ejder ayı süresinin bir tam katı kadar zamanın geçmesi gerekir. Ayrıca Yer ile Ay arasındaki uzaklığın göz önüne aldığımız tutulmadaki uzaklık kadar olmalıdır. Bunun için de ayrıksıl ay (=27.5545 gün) süresinin herhangi bir tam katı kadar sürenin geçmesi lâzımdır. Geçmişte meydana gelen bir tutulmanın aynen tekrarı için bu gök cisimlerinin yeniden aynı konuma gelmeleri gerektiği açıktır. Gerekli hesaplama yapılırsa, geçmesi gereken sürenin ortalama olarak: 6585.34 gün= 18 yıl, 11.3 gün olduğu bulunur. Bu ise yaklaşık olarak: 223 kavuşum ayı, 242 ejder ayı ve 239 ayrıksıl ay eder. Güneş tutulması için de Ay, yeniay evresinde olmak kaydı ile burada söylenenler geçerlidir.

Şekil 1.27: Amatör gökyüzü fotoğrafçısı Uğur İkizler'in 21 Şubat 2008 tarihinde Bursa'dan çektiği bir tam Ay tutulması. Kırmızı bakır renginde görünüşün nedeni Yer atmosferindeki kırılmadır.

Şekil 1.28: 29 Mart 2006 tarihinde ülkemizden çok iyi gözlenen güneş tutulması sırasında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi elemanlarınca çekilmiş Güneş tutulması. Güneş tutulmasında Ay, Güneş diskini örter ve Güneş koronasının izlenmesi mümkün olur.

1.4 Zaman ve Takvim

Zaman, tanımlanması en zor olan kavramlardan biridir. Tekrarlanan olaylar, özellikle; gece-gündüz, yaz-kış, doğma-batma, yeniay-dolunay gibi dönemli olaylar zaman kavramını doğurmuşlardır. Bütün olaylardan bağımsız olarak akıp giden ve bu nedenle bir boyutlu olarak tasarlanan zamanı ölçmek kolay değildir. Zamanın belirlenmesi ve ölçülmesi eskiden beri bu tür olaylarla yapılagelmiştir. Bir gün denilince akla, güneşin ardardına iki doğuşu arasındaki zaman aralığı gelir. Bir ay denilince, yeniaydan yeniaya geçen zaman anlaşılır. Görüldüğü gibi zaman ölçümü de temelde dönemli gök olaylarına dayanmaktadır. Olay ne kadar düzgün değişirse, zaman ölçümü de o kadar duyarlı yapılabilir. Zaman ölçümünde hangi dönemsel olay kullanılırsa zaman da ona göre adlandırılır. Üzerinde yaşadığımız Yer'in ekseni etrafındaki dönüşü zaman ölçümü için uygun bir olaydır. Dönme düzgün ve tekrarlama sabit sayılabilecek niteliktedir. Yer, ekseni etrafında batıdan doğuya doğru döndüğü için, biz günlük harekette gök cisimlerini doğudan batıya doğru hareket eder görürüz. Bu harekete gök cisimlerinin günlük hareketi denir. Eğer yıldızları gök küresi üzerinde sabit kabul edersek, onların günlük dönme hareketini bir zaman ölçme aracı olarak kullanabiliriz.

Yıldız Günü ve Yıldız Zamanı

Saat koordinat sisteminde bir yıldızın H saat açısının ölçülmesi bize yıldız zamanını belirleme olanağını verir. H saat açısı, yıldızın her meridyen geçişinden sonra 0° den 360° ye kadar düzgün olarak artar. Ardı ardına iki meridyen geçişi arasındaki zaman aralığına bir yıldız günü, H saat açısının belirlediği zamana yıldız zamanı denir. Bir yıldız günü 24 yıldız saati, bir yıldız saati 60 yıldız dakikası, bir yıldız dakikası 60 yıldız saniyesidir. Bir yıldızın H saat açısı, zamana ve yıldızın gök küresi üzerindeki yerine bağlı olarak değişir. Herhangi bir yıldız meridyende iken bir başkası doğma veya batma durumunda olabilir. Yıldız zamanı tanımında herhangi bir yıldız yerine, gök küresi üzerinde bir yıldız gibi hareket eden ve özellikleri çok iyi bilinen İlkbahar (Koç) noktası alınır. Böylece yıldız zamanı ilkbahar (©) noktasının saat açısı ile ölçülür. Bellli bir gözlemciye göre yıldız günü, © noktası bu gözlemcinin meridyeninde olduğu an başlar. Diğer bir deyişle: © noktasının saat açısı sıfır olduğu zaman yerel yıldız zamanı sıfır ve herhangi bir anda bu noktanın saat açısı o yerin yıldız zamanıdır. Böylece bir yıldız günü, © noktasının gözlemcinin meridyeninden ardardına iki geçişi arasındaki zaman aralığı olarak alınır. Bu noktanın hareketine paralel olarak çalışan saate, yıldız saati ve onun gösterdiği zamana, yıldız zamanı denir. Bir yerde herhangi bir andaki yıldız zamanı T, gözlenen yıldızın sağaçıklığı 〈 olmak üzere bu ikisi arasında,

T= H + 〈

bağıntısı vardır. Herhangi bir yıldız, gözlemcinin meridyeninde iken H= 0^s dir. Buna göre T = 〈 olur. O hâlde yıldız, gözlemcinin meridyenine geldiğinde onun (〈) sağaçıklığı o andaki yerel yıldız zamanını verir. Bu özellikten yararlanarak gözlem evlerinde kullanılan yıldız saatleri ayarlanır. Ya da ayarlı bir yıldız saati kullanılarak, yıldız meridyene geldiği anda, o saatin gösterdiği zaman, yıldızın sağaçıklığını verir. Böylece yıldızın sağaçıklığı yaklaşık olarak bulunabilir veya var olan değerinin doğruluğu kontrol edilebilir. © noktası gök yüzünde sabit değildir. Ekliptik boyunca batıya doğru çok yavaş bir hareketi vardır. Bunun sonucu olarak: Bir yıldız gününün uzunluğu, herhangi bir yıldızın gözlemcinin meridyeninden ardı ardına iki geçisi arasındaki zamandan ortalama olarak 1/120 saniye kadar daha kısadır. © noktasının batıya doğru olan bu kayma hareketi düzgün olmadığından bir yıldız gününün gerçek uzunluğu sabit olmayıp çok küçük bir değişim gösterir.

Güneş Zamanları

Günlük yaşantımızda kullandığımız; sabah, öğle, akşam tanımları Güneş'e göre yapılmıştır. Yıldız saati Güneş'in hareketine ayak uyduramaz ve bu nedenle yıldız zamanı günlük yaşantımız için kullanışlı değildir. Günlük yaşantımızda zaman ölçümü için Güneşin hareketini kullanmak daha uygun olur. Ancak Güneş'in görünürdeki hareketi düzgün olmadığı için bir kaç farklı zaman tanımı yapmak zorunlu hâle gelir. Görünen Güneş diskinin merkezinin H; saat açısı ile belirlenen zamana, gerçek güneş zamanı denir. Görünen güneş diskinin merkezi, gözlemcinin meridyeni üzerinde bulunduğu zaman, bu gözlemci için yerel gerçek güneş zamanı sıfır saat, yani öğle zamanıdır. Bu durumda da yıldız zamanı ile gerçek güneş zamanı arasında,

T= 〈; + H;

bağıntısı yazılabilir. Yıldız zamanı düzgün ilerler ve ona göre çalışan bir mekanik veya elektronik saati yapmak kolaydır.

Eskiler, bir çubuk gölgesinden yararlanarak yaptıkları güneş saatleri ile, yerel gerçek güneş zamanını tayin ediyorlardı. Ancak, bu oldukça kaba bir zaman tayinidir. H; in akışına ayak uyduracak bir mekanik saat yapmak oldukça zordur. Çünkü Güneş, görünen hareketinde Yer etrafında eliptik bir yörüngede hareket eder. Bu hareketin hızı günden güne değişir, ve ocak ayında, haziran ayındakine göre daha hızlıdır (Şekil 1.5). Bu durum, güneş günü uzunluğunun mevsimden mevsime değiştiği anlamına gelir. 23 Aralık'ta, Eylül'de olduğundan 51 saniye daha uzundur. Gerçek güneşin doğma-batma zamanları ile gerçek güneş günü uzunluğunun aydan aya olan bu değişiminin iki nedeni vardır. Birincisi, Güneş ekliptik dairesi boyunca hareket ederken, zaman ölçümü ekvator dairesi boyunca yapılmaktadır. Güneş'in ekliptik dairesindeki hızı düzgün bile olsa onun ekvator üzerindeki iz düşümü düzgün hareket etmez. İkincisi, Güneş'in görünen hareketinin eliptik yörünge hareketi nedeniyle düzgün olmamasıdır.

Gerçek güneş zamanının düzgün akmaması nedeniyle bir ortalama güneş kavramı geliştirilmiş ve ortalama güneşin hareketine dayalı ortalama güneş zamanının kullanılması öngörülmüştür. Ortalama güneş için şu koşulların sağlanması istenir:

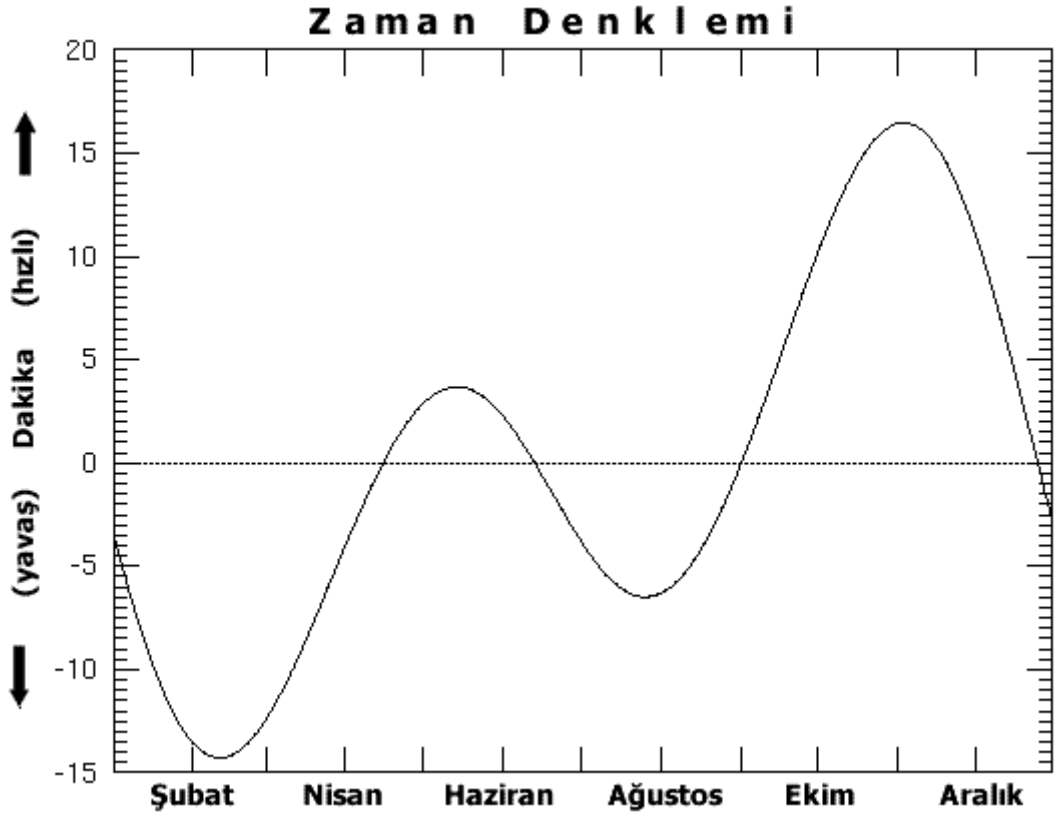
1. Ekvatorda hareket etsin.

2. Hareketi düzgün dairesel olsun.

3. Yıllık dolanımını gerçek güneşle aynı anda tamamlasın.

4. Kısa zaman aralıkları için © nın yeri sabit kabul edilsin.

Bu koşulları sağlayan ortalama güneşin H_m saat açısının belirttiği zamana, ortalama güneş zamanı denir. Bundan böyle ortalama güneş günü yerine sadece gün diyeceğiz. Gün, ortalama güneşin meridyenden ardı ardına iki geçişi arasındaki zaman olarak tanımlanır. Ortalama güneşin hızı, gerçek Güneş'in bir yıl boyunca ekliptik düzlemindeki açısal hareketinin ortalamasıdır. Bir yıl boyunca ortalama güneş gerçek güneşin gerisinde kaldığı gibi önüne de geçer. Gerçek güneşin © noktasından Mart ayında geçtikten sonraki hareketini izlersek, Haziran ayına kadar ortalama güneşe göre geride kalır; sonra, üç ay öne geçer, tekrar geri kalır ve tekrar öne geçer (Şekil 1.29). Ortalama güneş zamanı günlük hayatta işlerimizi düzenlemek için kullandığımız zamandır. Bütün ortalama güneş günlerinin uzunlukları birbirine eşittir ve bir yıldaki gerçek güneş günlerinin ortalama uzunluğu kadardır. Her hangi bir t zamanı için, gerçek güneş zamanı ile ortalama güneş zamanı arasındaki farka, zaman denklemi denir. Zamanlar saat açısı ile belirlendiğine göre zaman denklemi,



Şekil 1.29: Zaman denkleminin yıllık değişimi

$E(t) = H_; - H_m$

olarak ifade edilir. Zaman denklemi bir yıl boyunca -14.2 dakika ile +16.4 dakika arasında değişir. 1925 yılına kadar iki çeşit başlangıç tanımı kullanıldı: Biri, güneşin üst geçisini sıfır saat (0^s); diğeri 12

saat kabul ediyordu. Birincisine astronomi zamanı, diğerine sivil zamanı denilir. 1925'ten sonra, pratikte sivil zaman kabul edildi ve başlangıç alt geçiş alındı. Buna göre gerçek zaman (GZ) = $H_{;}$ $+12^s$ ve ortalama zaman, (OZ) = H_m $+12^s$ dir.

Zaman denkleminin yıllık değişim grafiği Şekil 1.29'da görülmektedir. Bir yıl için çizilen böyle bir eğri, bir kaç yıl kullanılabilir.

Bölge Zamanı

Güneş zamanının diğer önemli bir özelliği gözlemcinin bulunduğu meridyen için geçerli olmasıdır. Her meridyen için zaman farklıdır. Farklı meridyenlerde farklı zamanların kullanılması günlük hayatta önemli güçlükler doğurur. Bu güçlükleri ortadan kaldırmak için belirli bölgelerde aynı saatın kullanılması uluslararası anlayış gördü. Greenwich'ten geçen meridyen, başlangıç (sıfır) meridyeni olarak seçildi. Bu meridyenin 7°.5 doğusu ve 7°.5 batısından geçen iki meridyen arasında kalan tüm noktalarda, Greenwich yerel zamanı kullanılır. Bu zamana; batı Avrupa zamanı, Greewich zamanı, evrensel zaman ya da genel zaman denir. Greenwich başlangıç meridyeninden itibaren, eşit aralıklı, 24 tane standart meridyen ve bunlar yardımı ile de 24 tane saat dilimi tanımlandı. Buna göre komşu iki standart meridyen arasındaki açı 15° dir. Bir standart meridyenin 7.°5 sağından ve solundan geçen meridyenlerle sınırlanan bölgeye, o standart bölgeye ilişkin saat dilimi denir. Aynı saat diliminde bulunan yerler aynı ortalama güneş zamanını kullanır. Bu zamana, bölge zamanı denir. I80° boylam çemberini izleyen $+I2^s$ lik meridyene gün değişimi çizgisi denir. Bu çizginin doğusundan batısına geçişte bir gün ileriye atlanmış olur. Bir ülkenin siyasi sınırlarını aşan kısmı da aynı ülkenin bölge zamanını kullanır. Batı Avrupa ülkeleri 0^s lik standart meridyeni ve batı Avrupa saatini; orta Avrupa ülkeleri, -1^s lik standart meridyeni ve orta Avrupa saatini kullanırlar. Türkiye, -2^s lik İzmit yakınlarından geçen (30° lik doğu) standart meridyeni ve doğu Avrupa saatini kullanır. 45° lik doğu standart meridyeni Erzurum yakınlarından geçer. Türkiye'den iki standart meridyen geçmesine karşın İzmit yakınlarından geçen standart meridyen Türkiye'de kullanılan bölge zamanını belirler. Yaz aylarında ülkeler, güneş ışınlarından daha fazla yararlanmak amacıyla bölge zamanlarından bir saat ileri olan yaz saatini kullanırlar. Yaz saatine 21 Mart'ı izleyen pazar günü gece yarısı geçilir ve 23 Eylül'ü izleyen Pazar günü gece yarısı bölge zamanına geri dönülür. Türkiye yaz saati, Greenwich zamanından üç saat ileridir. Buraya kadar tanımladığımız zaman kavramları, Yer'in ekseni etrafındaki dönüşüne dayanmaktadır.

Yerin ekseni etrafındaki dönüşüne dayanmayan atom zamanından bir kaç söz edelim.

Atom Zamanı

Atom saatleri ile ölçülen zamandır. Bu saatler arasındaki fark 3000 yılda 3 saniyeden küçüktür. Uluslararası atom zamanı, bu saatlerden oluşan bir sistem üzerine kurulmuştur.

Atom saatleri atomların veya moleküllerin belirli rezonans frekanslarından yararlanarak zamanı çok büyük duyarlılıkla ölçen âletlerdir. Çoğu kez bu saatlerde Sezyum (Cs 133) atomu kullanılır. 1967'de toplanan Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler Genel Konferansı'nda saniye, sezyum 133 atomunun temel enerji düzeyinde, iki çok ince düzey arasındaki geçiş süresinin 9192651770 katına karşılık gelen zaman aralığı olarak tanımlanmıştır.

Atom zamanı, Yer'in ekseni etrafındaki dönme hızının azalmakta olduğunu göstermektedir. Yer'in Güneş çevresinde bir kez dolanması için geçen süre olarak tanımlanan bir yıl içindeki ortalama güneş saniyelerinin sayısı azalmaktadır. Atom saniyelerinin sayısı ise değişmemektedir. Atom saniyesi tanımlanırken bu iki tür saniye sayısı 1900 yılında birbirine eşit alınmış, 1980'e gelindiğinde bir yıldaki ortalama güneş saniyesi sayısının bir birim azaldığı görülmüştür.

Julien Tarihi (Julien Günü)

Gök bilimciler tarafından kullanılan özel bir gün sayımıdır. Her bir gün tam bir sayı ile, günün herhangi bir saati, günün kesri olarak bu tam sayıya eklenerek ifade edilir. M.Ö. 4713 yılı 1 Ocak başlangıç olarak seçilmiş ve ondan sonra gelen günler ardı ardına sayılarak bu sayıya eklenmiştir. Birim olarak ortalama gün, gün başlangıcı olarak gece yarısı değil gün ortası (öğle vakti) seçilmiştir. Yıllar, aylar,

günlere göre bu sayılar çizelgeler hâlinde astronomi yıllıklarında verilir. Bu sayılarla belirlenen tarihe, “Julien tarihi„ (JT) denir. İstenen bir tarih için Julien tarihi Astronomi yıllıkları kullanılarak bulunabileceği gibi, basit bir formül yardımı ile de kolayca hesaplanabilir:

JT = 2415020 + 365 x (yıl - 1900) + N + L - 0.5

Bu ifade, 1900 yılından itibaren herhangi bir tarihe karşılık gelen ve evrensel zaman EZ=0 iken Julien tarihini verir. Burada N, yılbaşından sonra geçen gün sayısı, L ise 1901 yılı ile hesaplanması istenen tarih arasındaki artık yıl sayısıdır. 2415020, 1 Ocak 1900 yılına karşılık gelen Julien günü, 0.5 miktarı ise Julien gününün gün ortasından başlatılmasından ileri gelen yarım günün ondalık karşılığıdır (Ortalama güneş günü için başlangıç gece yarısıdır.). N sayısı

N=<275M/9>-2<(M+9)/12>+I-30

formülüyle bulunabilir. Burada M ay sayısı, I ayın günüdür. <> parantezi içindeki sayının tam kısmının alınacağını ifade eder. Artık yıl için 2. terimdeki 2 çarpanı kaldırılır.

<u>Örnek 1</u>: 18 Nisan 1983 tarihine karşılık gelen Julien tarihini bulunuz.

Önce, 1983 yılı 1 Ocak'tan sonra geçen N gün sayısı, N=31+28+31+18=108 bulunur. 1901 ile 1983 yılları arasındaki artık yıl sayısı <82 /4>=20 dir. Bu değerler formülde yerlerine konularak Julien tarihi,

JT =2415020 +365 x (1983-1900) +108 + 20 - 0.5

=2445442.5

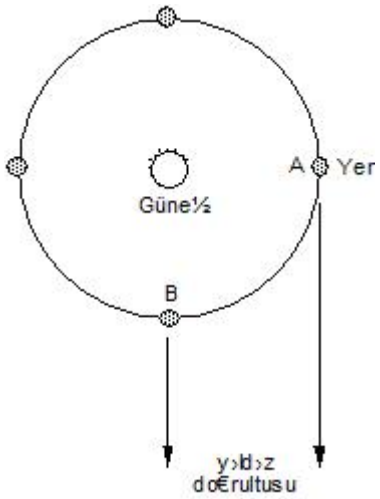
olarak bulunur.

<u>Örnek 2</u>: 18 Nisan 1984 saat 13^s 45^d iken Julien tarihini bulunuz.

1984 artık yıldır. Bir önceki örnekte izlenen yol izlenerek, N = 109, 13^s 45^d = 13.75/24 = 0.5729 gün ve JT = 2415020 + 365 x 84 + 109 + 20 - 0.5 + 0.5729 = 2445809.0729 bulunur.

Güneş Merkezli Zaman

Duyarlı zaman gerektiren gök olayları, yıl boyunca bir kaç kez gözlenecekse, Yer'in yörünge hareketi nedeniyle gözlemci-kaynak arasındaki uzaklığın ve ışığın bu uzaklığı katetme zamanının değiştiği dikkate alınmalıdır . Bir gök cisminden gelen ışık ışınları, geldiği doğrultuya bağlı olarak Yer'e, Yer'in yörüngesi üzerinde bulunabileceği bir başka noktaya göre en fazla 8 dakika daha erken veya geç ulaşır. Bu durum Şekil 1.30'da görülmektedir. Bir gök olayı, örneğin; örten bir çift yıldızın örtme olayı; Yer, yörüngesi üzerinde B de ise A da olmasından daha önce görülür. Bu durumu düzeltmek için gözlem zamanları, Güneş'te olduğu var sayılan bir gözlemciye indirgenerek verilir.



Şekil 1.30: Güneş merkezli zamanın gerekliliği.

Zaman Dönüşümleri

Programlanabilen küçük hesap makinası veya bir bilgisayar kullanarak, tanımlarını yaptığımız zamanlar arasında dönüşüm yapılabilir. Örneğin yıldız zamanını hesaplamak için şu formül kullanılabilir :

GYZ = G + 0.0657098232 x N + 1.0027379093 x EZ

Burada G, her yılın başında değiştirilmesi gereken bir sabittir ve yılın sıfırıncı günü (doğal olarak biten yılın son günü), EZ = 0 iken GYZ (Greenwich'in yıldız zamanı) dir. N, yılbaşından itibaren istenen tarihe kadar geçen gün sayısı, EZ saat cinsinden evrensel zamandır. Eğer hesaplama sonucu 24 saatten daha büyük bir sayı bulunursa, bundan 24 çıkarılır ve tarih olarak bir sonraki tarih alınır. G 'nin değeri her yılın başında almanaktan alınarak formülde yerine konur ve yıl boyunca kullanılır.

Zaman dönüşümleri ile ilgili örnekler:

<u>Örnek 1:</u> Türkiye Bölge Ortalama Zamanı $10^{sa}45^{dk}30^{sn}$ iken, boylamı

$\lfloor = -2^{sa}11^{dk}29^{sn}.4$ olan Ankara'da yerel ortalama zamanı nedir?

<u>Çözüm 1:</u> Türkiye bölge boylamı $\lfloor_o = -2^{sa}$ olduğuna göre,

Ankaranın yerel boylamı $\lfloor = -2^{sa}11^{dk}29^{sn}.4$

- Bölge boylamı $\lfloor_o = -2^{sa}$

Boylam farkı $\otimes\lfloor = \lfloor - \lfloor_o = -0^{sa}11^{dk}29^{sn}.4$

Yerel O.Z.= Bölge O.Z. + $\otimes\lfloor$ olduğundan,

B.O.Z.= $10^{sa}45^{dk}30^{sn}.0$

$+ \otimes\lfloor = -0^{sa}11^{dk}29^{sn}.4$

Y.O.Z.= $10^{sa}34^{dk}00^{sn}.6$

olarak bulunur.

Örnek 2: Ankara'daki Y.O.Z.=$10^{sa}34^{dk}00^{sn}$ iken Türkiye Bölge Ortalama Zamanını bulmak istersek,

Çözüm 2: B.O.Z.= Y.O.Z. - ⊗L bağıntısına göre,

Y.O.Z.= $10^{sa}34^{dk}00^{sn}.0$

- ⊗L = $\pm 0^{sa}11^{dk}29^{sn}.4$

B.O.Z.= $10^{sa}45^{dk}29^{sn}.4$

olarak bulunur.

Örnek 3: Türkiye Bölge Ortalama Zamanı $10^{sa}45^{dk}$ iken Greenwich'deki ortalama zaman (Evrensel Zaman) nedir?

Çözüm 3: Evrensel Zaman= Bölge Zamanı + Bölge Boylamı

E.O.Z.= B.O.Z. + L_o

B.O.Z.= $10^{sa}45^{dk}00^{sn}.0$

+ L_o = -2^{sa}

E.O.Z.= $8^{sa}45^{dk}00^{sn}$

olarak bulunur.

Örnek 4: Evrensel Ortalama Zamanı $14^{sa}25^{dk}00^{sn}$ iken Ankara'daki Yerel Ortalama Zamanı nedir?

Çözüm 4: İlk önce Türkiye Bölge Ortalama Zamanını bulmalıyız.

B.O.Z.= E.O.Z. - L_o

E.O.Z.= $14^{sa}25^{dk}00^{sn}.0$

- L_o = $\pm 2^{sa}$

B.O.Z.= $16^{sa}25^{dk}00^{sn}$

B.O.Z.= $16^{sa}25^{dk}00^{sn}.0$

+ ⊗L = - $0^{sa}11^{dk}29^{sn}.4$

Y.O.Z.= $16^{sa}13^{dk}30^{sn}.6$

olarak bulunur.

Takvimler

Takvim, zamanın gün, ay ya da yıl gibi uzun süreli dönemlere bölünmesi ve bu bölümlerin belirli bir düzen içinde sıralanmasına yönelik düzenlemelere denir. Takvimlerin doğuşu çok eskilere dayanır. Takvim, yaşamın her alanında büyük önem taşır. Tarımla uğraşan insanların Güneş'in yıllık hareketine ilişkin Güneş takvimleri kullandıklarını görüyoruz. Hemen tüm takvimlerin zaman birimi gündür. Gün doğal olarak bir zaman bölümüdür. Ancak yılın 7'şer günlük haftalara günün 24 saate bölünmesi yapaydır. Dönencel yıl kavuşum ayı süresinin tam katı değildir. On iki kavuşum ayı 354.36706 günde gerçekleşir. Bu süre dönencel yıldan yaklaşık 11 gün eksiktir. Öte yandan ne dönencel yıl ne de kavuşum ayı tam olarak (kalansız) günlere bölünebilir. Onun için takvimin Ay'ın evreleriyle ve mevsimlerle düzenli uyum içinde olabilmesi için belirli aralıklarla düzeltme uygulanmalıdır. Her dört yılda bir Şubat ayına bir gün eklenmesi gibi.

Ay takvimleri yanında ay-güneş takvimleri de kullanılagelmiştir. Eski Romalılar bir yılı 12 kavuşum ayı olarak, yani 354 gün almışlar. Ayrıca yılı mevsimlere bölmüşlerdir. İki yılda bir on ikinci ayın sonuna bir ay ekleyerek takvimlerine bir düzeltme uygulamışlardır. Çin'liler, Hint'liler, Eski Yunanlılar ve İbraniler de bu türden takvimler kullanmışlardır.

Bir takvimin bilimsel bir nitelik taşıması için onun kullandığı yılın uzunluğu, başlangıcı, alt bölümleri ve gün sayım düzeni bilinmelidir. Ortalama güneş gününden sonra ikinci derecede önemli zaman birimleri, ay ve yıldır. Ay ve yıl süreleri, Ay ve Güneş'in bir başlangıç noktasından art arda iki geçişleri arasındaki süredir. Seçilen başlangıç noktalarının da farklı hareketler yapması nedeniyle ay ve yıl süreleri seçilen başlangıç noktasına göre farklılık gösterir. Bu nedenle farklı adlandırılan aylar ve yıllar vardır (Çizelge 1.2).

Türkler düzeltilmiş İslâm takvimini, daha sonra 1926 yılına kadar "Osmanlı takvimi" olarak isimlendirdiğimiz Rumî takvimi kullanmışlardır. 1926 yılından bu yana Türkiye'de Milâdî takvim kullanılmaktadır.

Çizelge 1.2: Farklı yıl ve ay tanımları

Adı	Ölçümün başlangıç noktası	Süresi (gün)
Dönencel yıl (Tropikal yıl)	İlkbahar noktası	365.2422
Yıldızıl yıl (Sideral yıl)	Bir yıldız	365.2564
Ayrıksıl yıl (Anomalistik yıl)	Günberi noktası	365.2596
Ay yılı (Lunar yıl)	Yeniay	354.3671
Kavuşum (Sinodik) ay	Yeniay	29.5306
Ayrıksıl (Anomalistik) ay	Enberi noktası	27.5546
Ejder (Drakonik) ay	Çıkış düğümü	27.2122

En Çok Kullanılan Takvimler

I. Julien Takvimi

M.Ö. 45 yılında İmparator Juliüs Caesar (Jül Sezar) mevsimlere uygun düşen iyi bir takvimi İskenderiyeli gök bilimci "Sosigenes" e hazırlattı. Sosigenes, ay takvimini bırakarak yerine 365.25 gün uzunluğundaki güneş yılını temel aldı, ve aşağıdaki özellikleri sağlayan bir takvim ortaya çıktı:

1. Bir yıl P = 365.25 gündür (Julien yılı)

2. 4 ile bölünebilen yıllar 366 gün (artık yıl), bölünemeyenler (normal yıl) 365 gündür.

3. Artık yıllardaki fazla gün Şubat ayına eklenir.

4. Yılbaşı Mart yerine 1 Ocak'ta başlar. Yıl yine 12 aydır ve ayların süreleri Ocaktan başlayarak; 31, 29, 31, 30... gündür. Bu takvime Julien takvimi denmiştir.

II. Greguar Takvimi (Milâdi Takvim)

Julien takviminin de hatalı olduğu ilk bakışta görülmektedir. Çünkü dönencel yılın süresi 365.2422 gün iken Jülien yılı 365.25 gün alınmıştır. Bu fark Julien takviminin yılda ⊗P=-0.0078 gün kadar gerilemesine neden olur. Bu fark, kısa zaman aralıkları için önemsenmeyebilir; ancak, uzun zaman aralığında hesaba katılmalıdır. Örneğin bu fark 400 yılda 3.12 gün eder. Bu hata 4 yılda bir eklenen 1 gün ile büyütülmüştür. Caesar'ın koyduğu kurallara göre 400 yılda 100 artık yıl vardır. Artık yıl sayısı 3 eksik alınırsa Julien takvimi 3 gün ileri götürülmüş olur ve hata da olduça küçülmüş yani 400 yılda 0.12 güne düşmüş olur.

Böyle bir düzeltme, 1582 yılında Papa XIII. Greguar tarafından yapıldı. Hırıstiyanların kutsal günü olan Paskalya'nın belirlenmesinde güçlükler vardı. M.S. 325 yılında İznik'te toplanan Hırıstiyan ruhani meclisi paskalya günü olarak 21 Mart gününü seçmişti. O günden 1582 ye kadar 1257 yıl geçmişti. Bu süre sonunda Julien takvimi 1257 x ⊗P = -9.8046 gün E10 gün geri kalmıştır. Belirlenen düzeltme şu şekilde tüm Hırıstiyan dünyasına duyuruldu:

1. 4 Ekim 1582 den sonra gelen gün 15 Ekim 1582 olarak alınacak,

2. Son iki rakamı (00) olan yıllardan ancak 400 ile bölünebilenler artık yıl olarak alınacak.

3. Takvimin başlangıç yılı olarak İsa'nın doğum günü alınacak.

Bu düzeltmelerde belirtilen tarihe biz, “Milâdî tarih„ diyoruz. İsa'nın gerçek doğum günü ile burada verilen arasında yaklaşık dört yıllık bir fark olduğu söylenmektedir. Ancak burada önemli olan bu takvim için bir başlangıç zamanı seçilmiş olmasıdır.

Bu takvim de hatasız değildir. 400 yılda 3.12 günlük gerileme yerine 3 günlük gerileme için düzeltmeler yapılmış, 400 yılda -0.12 günlük gerileme hesaba katılmamıştır. Bu, 4000 yılda 1.2 gün eder. 4000 yılını artık yıl yerine 365 günlük normal yıl olarak alırsak bu sapma da giderilmiş olur: Greguar takvimi gönümüzde dünya ölçeğinde kullanılmakla birlikte her yerde kolayca kabul görmedi. Roma Katolik devletlerinin büyük bir bölümü bu sistemi 1587 de kabul etti. Öbür ülkeler daha sonraları bu takvime geçtiler: Almanya 1700 İngiltere 1750, Japonya 1873, Rusya 1918, Yunanistan 1923, Türkiye 1926. Günümüzde Greguar takviminin dışında kullanılan bir kaç başka takvim daha vardır. Arap ülkelerinin önemli bir bölümünde halen Hicri takvim kullanılmaktadır. Geleneksel Hint ve Yahudi takvimleri de dini amaçlarla kullanılmaktadır.

III. İslâm Takvimi (Hicrî Takvim)

Ay'ın evrelerini esas alan bir takvim olduğu için buna ay takvimi de denir. Ay yılı da günün tam katları değildir. Yıl uzunluğu bu takvimde 354 gün olarak alınmıştır. Buna "1 Istilahî yıl " denir. Bir yılda 12 ay vardır. Ay süreleri ardardına 30 ve 29 günlük uzunluklara bölünmüştür. Bu takvim için başlangıç tarihi Hazreti Muhammed'in Mekke'den Medine'ye göçtüğü gün (Hicret) M.S. 622 yılı 15 Temmuz alınmıştır. Onun için bu takvime Hicri takvim ve buna göre belirlenen tarihlere de " Hicrî tarih " denir. Hicret'ten önce (H.Ö.), Hicret'ten sonra (H.S.) deyimleri kullanılır. Ay takvimi, geçmişte günlük faaliyetlerin gece yapıldığı, Ay evrelerinin kolay izlenebildiği sıcak ülkelerde kullanılmıştır. Bugün birçok islâm ülkesinde hâlâ kullanılmaktadır.

Bu takvimde ayın günleri Ay'ın gösterdiği evrelere göre belirlenir: Ay çok ince bir hilâl hâlinde görüldüğü zaman ay başıdır. Yüksek tepelerde bekleyen gözcüler Ay'ın çok ince bir hilâl oluşunu gözleyerek ay başı gününü halka duyururlardı. Ondan sonra gelen günler ise ardardına sayılırdı.

Hicri takvimin de düzeltilmesi gerektiği açıktır, çünkü ıstılahî yıl gerçek ay yılına göre yılda ⊗P = +0.3671 gün daha uzundur. O halde Hicri takvim gerçek ay takvimine göre 30 yılda yaklaşık 11 gün ileri gider. Bunu düzeltmek için zamanın takvim yapımcıları ardardına gelen her bir 30 yıllık dönemlerin; 2, 5, 7, 10, 13, 15, 18, 21, 24, 26 ve 29 ncu yıllarını artık yıl olarak 355 gün almışlardır. Bu takvim, düzeltilmiş islâm takvimi olarak bilinir.

İslâm takviminin mevsimlerle hiç bir ilgisi olmadığı açıktır. Herhangi bir ay başı bir önceki yıla göre 11 gün (365-354) ya da 12 gün (366-354) ya da 10 gün (365 -355) geriye kayabilir.

IV. Osmanlı Takvimi (Rumi Takvim)

Julien takviminde yapılan birkaç ufak değişiklik ile oluşturulan bir takvimdir. M.S.1840 (=H.S.1256) yılında İslâm takvimi yerine bu takvim kullanılmaya başlanmıştır. Rum ülkelerinden alınma bir takvim olduğu için bununla belirlenen tarihe Rumi tarih denmiştir. Bu takvimde yıl uzunluğu 365 veya 366 gün alınarak yıl yine 12 aya bölünmüş, ay süreleri Greguar takvimdeki gibi alınmıştır. Başlangıç olarak Rumi 0 yılı Mart 0 = Milâdi 584 Mart 13 alınmıştır. Milâdi tarihten 13 gün geri olması ⊗P =-0.0078 gün/yıl- dan ileri gelmektedir.

Takvimler Arası Dönüşümler

Herhangi bir günün bir takvimdeki tarihinin başka bir takvimdeki karşıtını bulmak oldukça zordur. Değişik takvim yıllarını birbirine dönüştürmek için aşağıdaki basit ve yaklaşık formüller kullanılır.

H = M - 622 + (M - 622)/33

= R - 38 + (R - 38)/33

M = H + 622 - H/33

R = M - 584, M = R + 584

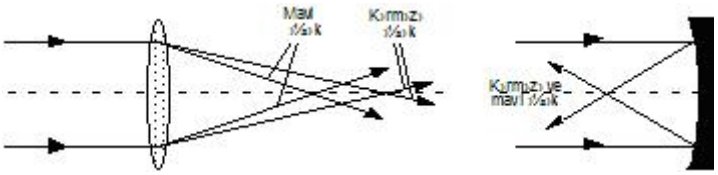
= H + 38 - H/33

Burada H Hicri, M Milâdi ve R de Rumi yılı göstermektedir. Bu yaklaşık formüllerle yapılan dönüşümler en fazla bir yıl hatalı olabilmektedir. Bu formüllere göre örnek olarak Rumi 1330 doğumlu biri, Milâdi 1914 ve Hicri 1331 doğumludur ve Milâdi 1994 yılında, yine Milâdi takvime göre 80 yaşındadır. Yıl süresi farklı olduğu için aynı kişi 1994 yılında Hicri takvime göre 82 yaşında olur

1.5 Astronomi Âletleri

Teleskoplar

Galile, teleskopuyla gök yüzüne baktığı zaman çıplak gözle görülemeyecek kadar sönük yıldızlar görebildiğini fark etti. İşte, teleskopun esas amacı budur: Işık toplama alanı büyük bir mercek ya da ayna ile, daha çok ışık toplamak ve bu ışığı odakta küçük bir alanda birleştirerek çıplak gözün gördüğünden daha parlak ve daha büyük görüntü elde etmek ve bu görüntüyü bir göz merceği ya da bir alıcı ile incelemek.

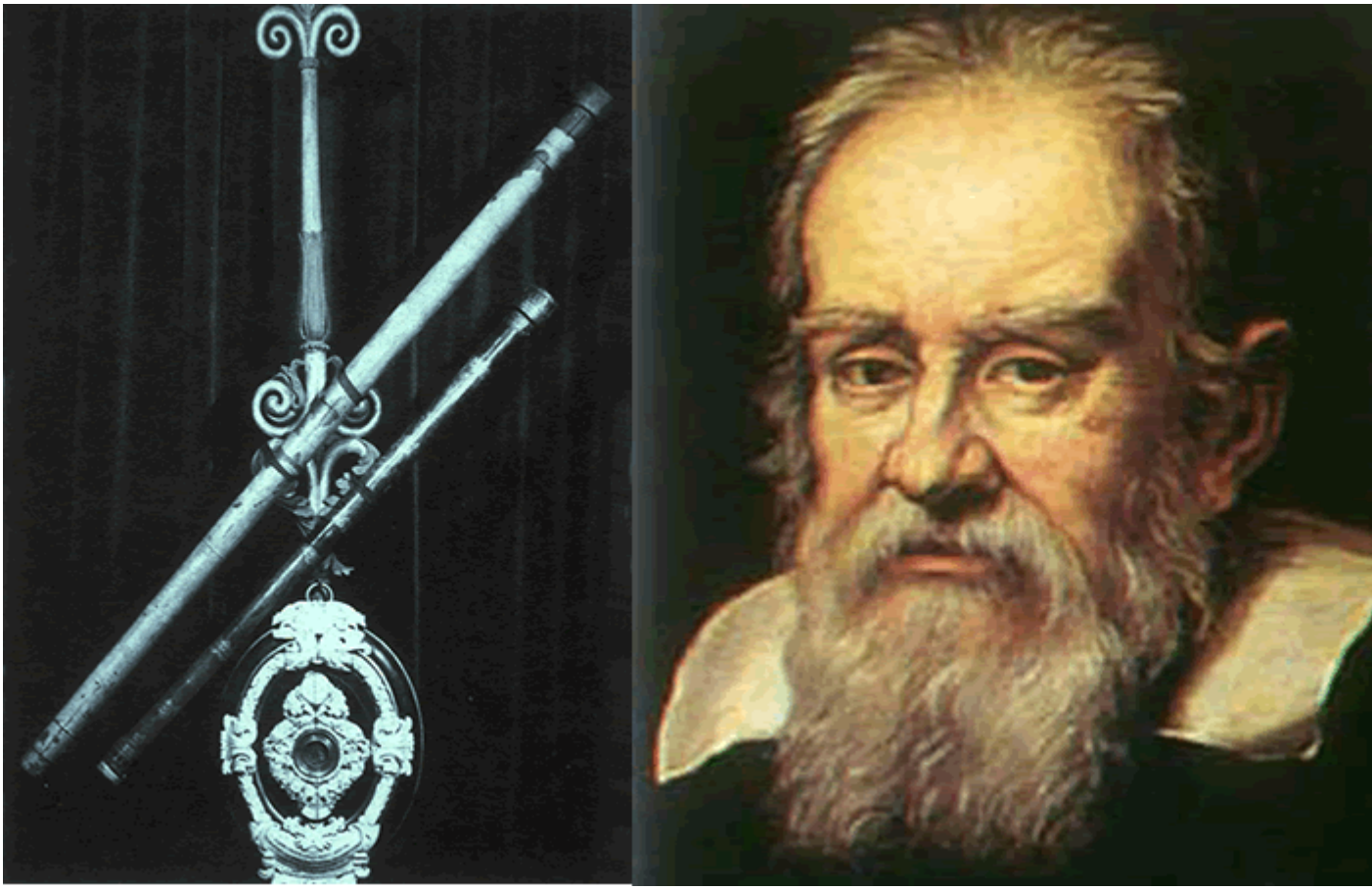


Şekil 1.31: Bir mercekli ve aynalı teleskopta farklı renkler farklı noktalarda odaklanır.

Mercekli (Kırılmalı) Teleskop

Uzaktaki ışınım kaynağından gelen paralel ışınlar telekop borusunun üst ucunda bulunan bir ince kenarlı mercek (objektif) tarafından kırılarak odak noktasına toplanır.

Mercek ile odak noktası arasındaki uzaklığa, odak uzaklığı; Ay gibi yaygın bir kaynağın net görüntüsünün oluştuğu düzleme, odak düzlemi denir. İnce kenarlı mercek ne kadar iyi yapılmış olursa olsun merceğin her noktasının odak uzaklığı aynı değildir, bu nedenle görüntü net olmaz; buna küresel sapınç denir. Ayrıca böyle bir mercek farklı renkteki ışınları, örneğin mavi ve kırmızı renkleri farklı noktalarda odaklar, buna da renk sapıncı denir. Bu nedenle bir kaç tane ince ve kalın kenarlı (bazen farklı camlardan yapılmış) mercekler üst üste birleştirilerek küresel ve renk sapınçları olabildiğince düzeltilmeye çalışılır. (Fotograf makinalarında da durum aynıdır.)



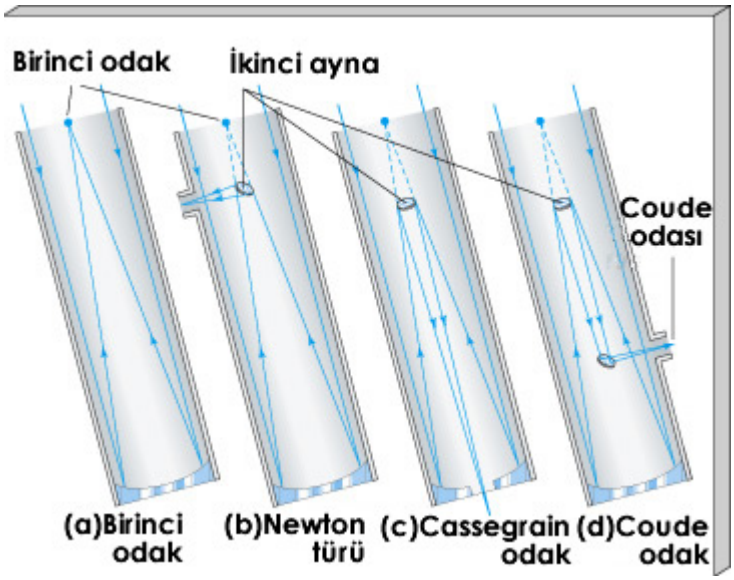
Şekil 1.32: Galile ve ilk teleskopu.

Mercek çapı büyüdükçe optik sapınçları düzeltmek daha zor ve mercek daha ağır, dolayısıyla boru ucunda kasmadan desteklemek daha güç olduğu için çapı yaklaşık 1 m den daha büyük mercekli teleskop yapılmaz.

Aynalı (Yansıtmalı) Teleskop

Mercekte renk sapıncının nedeni farklı renklerin farklı kırılmalarıdır. Isaac Newton, eğer ayna kullanılarak teleskop yapılırsa, renk sapıncının olmayacağını görmüştü. Düz ayna ışığı odaklamaz. Eğer ayna yüzeyi parabolik yapılırsa pararel gelen ışınlar odakta toplanır. Bu nedenle aynalı teleskoplarda parabolik ayna kullanılır. Aynada renk sapıncı yoktur ancak küresel sapınç, aynanın eksenine eğik gelen ışınların eksene paralel gelen ışınlarla aynı noktada odaklanmaması gibi optik sapınçlar bunda da vardır. Bu sapınçları olabildiğince düzelten aynalı teleskoplar yapılmıştır, ancak optik hatasız teleskop yapmak kuramsal olarak da olanaksızdır.

Aynalı teleskoplar, esas itibariyle göz merceğinin ya da alıcının (duyaç) konduğu yere göre farklılıklar gösteriler. Bunlar Şekil 1.33 de gösterilmiştir.

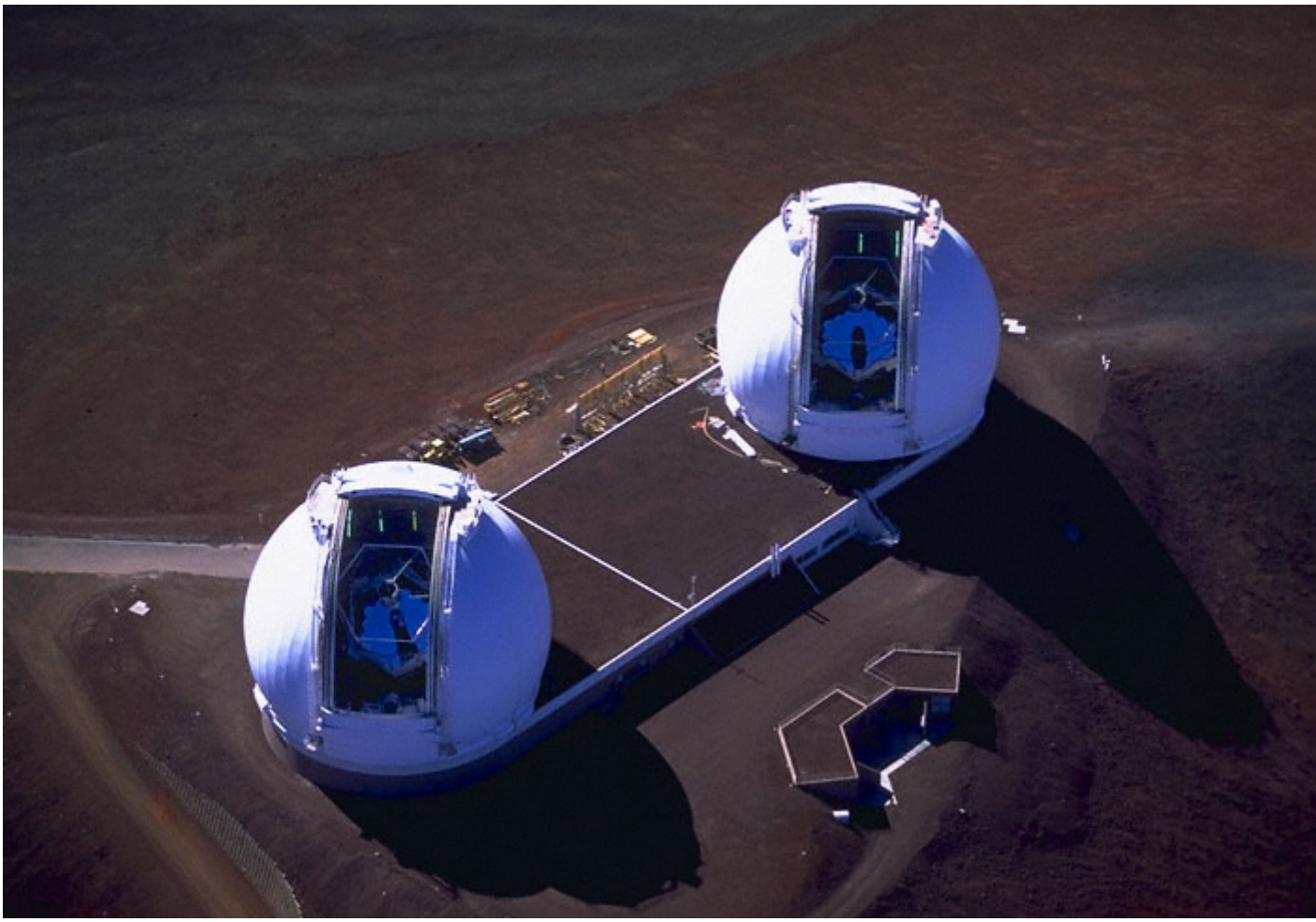


Şekil 1.33: Çok kullanılan aynalı teleskoplar: (a) birinci odak, (b) Newton, (c) Cassegrain, (d) Coudé türü teleskoplar.

Newton türü teleskopta, teleskop borusunun dibine konulan bir parabolik aynada yansıtılan ışınım, borunun tepesine yakın bir yerde odaklanır. Cismin görüntüsü burada doğrudan incelenebileceği gibi düz bir aynada yansıtılarak borunun yan tarafında açılan delikten borunun dışına alınabilir.

Cassegrain türü teleskopta parabolik bir aynada yansıyarak odak noktasına doğru giden ışınlar, küçük bir hiperbolik ayna ile tekrar yansıtılarak büyük parabolik aynanın ortasına açılan delikten teleskopun dışında odaklanır.

Coudé teleskopunda ise ışınlar, Cassegrain türü teleskoptaki iki ayna arasına konan üçüncü bir ayna ile teleskop borusunun dışında odaklanır.



Şekil 1.34: Keck teleskopunun kubbesi.

Birkaç yıl öncesine kadar büyük teleskoplar 4-5 m çapında idi. Son yıllarda 7-10 m çaplı teleskoplar plânlama ve yapım aşamasındadır. Yeni teleskopların yapımındaki amaç, daha büyük ayırma gücü ve daha sönük cisimleri görebilmektir. Bazı yeni teleskoplar şunlardır: 10 m çapında Keck teleskopu, Yer yüzünde kullanılan en büyük çaplı optik teleskoptur. Havai'de 4145 m yüksekliğinde Mauna Kea dağının tepesine kurulmuştur. Aynası, altıgen şeklinde 36 parçadan meydana gelmiş, ağırlığı 1440 kg dır. Bu küçük aynalardan herbirinin capı 1.8 m ve kalınlığı 75 mm dir. İkinci bir Keck teleskopunun yapımına başlanmıştır. Bu iki özdeş teleskop çalışmaya başladığında interferometre olarak kullanılacaktır. Bunlardan başka 8.4 m çaplı Columbus teleskopu (İtalya, Arizona Üniversitesi, Ohio Devlet Üniversitesi), 8 m çapında Magellan teleskopu (Carnegie, Johns Hopkins ve Arizona Üniversitesi), 7.5 m çaplı Japon Ulusal teleskopu ve Güney Avrupa gözlem evlerinin 4 adet 8.2 m lik teleskopları henüz yapım aşamasındadır.

Şimdi, bir teleskopun odağında oluşan görüntünün büyüklüğü, parlaklığı ve görüntüde sezilebilir ayrıntı ile ilgili birkaç tanım verelim. Bunlar ve görüntünün niteliği (kalitesi) mercek ya da aynanın açıklığına (çapına), odak uzaklığına ve optik olarak ne kadar hatasız yapıldığına bağlıdır.

Büyütme gücü

Teleskop odağında belli bir büyüklükte görüntü veren Ay, Güneş, gezegenler, yıldız kümeleri, galaksiler gibi cisimlere yaygın kaynak denir. Herhangi bir büyüklükte görüntü vermeyen yıldız gibi cisimlere, nokta kaynak denir. Yer atmosferi bazen yıldız ışığını yaysa da, Betelgeuse gibi birkaç büyük ve yakın yıldız hariç, hiçbir büyütme bir yıldızı disk olarak gösteremez. Çünkü yıldızlar çok uzaktadır.

Bir yaygın kaynağın, bir teleskopun birinci odağında oluşturulan görüntüsünün büyüklüğü teleskopun odak uzaklığına bağlıdır. Cismin gökte görünen açısal çapı radyan cinsinden α, teleskopun odak uzaklığı f ise, görüntünün çapı d = α f dır. Örneğin, dolunay'ın açısal çapı 0°.5 dir. Bunun 150 cm odak uzaklıklı bir teleskopun odağındaki görüntüsü d = (0°.5 : 57°.3)x150 cm =1.31 cm çapında olur. Bu, göz merceği olmadan odak düzlemine konan bir film üzerine çekilen dolunay fotografının büyüklüğüdür. Odak uzaklığı 2 kat artarsa görüntünün çapı da iki kat artar. O hâlde örneğin gezegenleri, uzun odak uzaklıklı teleskopla gözlemek daha iyidir.

Odakta oluşan görüntüye çıplak gözle bakmak istersek, gözümüz görüntüye yaklaştıkça, görüntünün açısal çapı büyür. Fakat normal bir göz görüntüye ancak 25 cm yaklaşabilir. Bir göz merceği (oküler) kullanılırsa göz daha yaklaştırılabilir ve görüntü de daha büyük gözükür. Bu büyüme hem teleskopun hem de okülerin odak uzaklığına bağlıdır. Objektifin (ayna ya da merceğin) odak uzaklığının, göz merceğinin odak uzaklığına oranına teleskopun büyütme gücü denir :

Büyütme gücü = objektifin odak uzaklığı / göz merceğinin odak uzaklığı,

$= f_0 / f_g$

Örneğin odak uzaklığı 150 cm olan bir teleskopta, odak uzaklığı 10 mm olan bir göz merceği kullanırsak:

Büyütme gücü = (150 x 10 mm) / 10 mm = 150

olur. Bu demektir ki yaygın bir cisim, çıplak gözle göründüğünden 150 kez daha büyük gözükür. Göz merceğini değiştirirsek büyütmeyi de değiştirmiş oluruz. Ancak yararlı büyütmenin bir sınırı vardır, bu sınırı teleskopun açıklığı (aynanın çapı) ve atmosfer koşulları belirler. Genel bir kural olarak bir teleskopun yararlı büyütme gücü sınırı, açıklığının cm biriminde değerinin 20 katı kadardır. Örneğin; açıklığı 40 cm olan bir teleskopla 800 den daha fazla büyütmenin anlamı yoktur, çünkü görüntünün kalitesi bozulur.

Görüntünün Parlaklığı

Bir nokta kaynak için, görüntünün parlaklığı teleskopun yalnız açıklığına (objektifin çapına) bağlıdır. Görüntünün parlaklığı açıklığın karesi ile artar. Örneğin aynanın ya da merceğin çapı D iki kat artırılırsa parlaklık 4 kat artar.

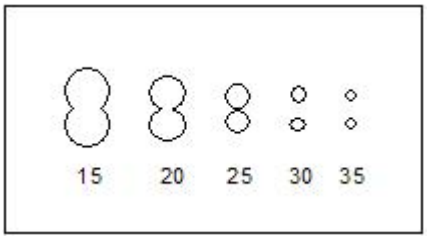
Yaygın kaynaklar için, görüntünün parlaklığı hem açıklığa hem de odak uzaklığına bağlıdır. Bunu, formül olarak:

Parlaklık = $C (D / f)^2$

şeklinde yazabiliriz. Burada D çap, f odak uzaklığı, C ise bir sabittir. Bu demektir ki yaygın kaynak için, odak uzaklıkları aynı olan teleskoplardan açıklığı daha büyük olan daha parlak görüntü verir; açıklıkları aynı olan teleskoplardan odak uzaklığı büyük olan daha sönük görüntü verir. f/D oranına teleskopun odak oranı denir. Odak oranı 10 ise aynanın ya da merceğin odak uzaklığı çapın 10 katıdır demektir. f oranı 5 olan teleskop, f oranı 10 olan teleskoptan yaklaşık 4 kat daha parlak görüntü verir. [Fotograf makinalarında objektif üstünde görülen 2.8; 4; 5.6; 8; 11; 16; 22 sayıları farklı diyaframlar için f oranlarıdır. Dikkat edilirse ardışık iki sayının oranı 2 nin kareköküdür. Bu demektir ki f oranı 4 ile çektiğiniz fotograf, poz süresi aynı ise, f oranı 5.6 ile çektiğiniz fotograftan 2 kat daha parlak olur; aynı parlaklıkta olmaları için 2.8 de poz süresini yarıya indirmeniz gerekir.]

Yukarıdaki karşılaştırmalar, odaktaki görüntüye bakmak için hep aynı duyaç (örneğin göz ya da aynı cins film ve aynı poz süresi) kullanılıyorsa doğrudur. Verilen bir teleskopta, daha iyi bir fotograf filmi ya da elektronik duyaç kullanarak görüntünün parlaklığı artırılabilir. Teleskopla baktığımızda görülmeyecek kadar sönük bir gök cismi, duyaç olarak iyi bir fotograf filmi kullanarak ve uzun poz süresi vererek çekilen fotografta kaydedilmiş olarak görülebilir. Fotografa kaydetmek için saatlerce poz süresi gerektiren bir sönük cismin, çağdaş elektronik duyaçlarla çok daha çabuk ve çok daha parlak görüntüsü elde edilebilmektedir. Bu, teleskop açıklığını (çapını) büyütmekle eş anlamlıdır.

Elektronik teknolojinin gelişmesi sonucu üretilen en iyi elektronik duyaç, elektrik yükü biriktiren ve kısaca CCD olarak bilinen cihazdır. CCD, bir kenarının uzunluğu 10 mm kadar olan ince silikon yapraktır. Üzerinde dama tahtası gibi yerleştirilmiş, resim elemanı denen ve elektronik olarak kontrol edilen yüz binlerce küçük hücre vardır. Her hücre, üzerine düşen ışık fotonu sayısıyla orantılı olarak elektron biriktirir. Bu elektronlar, hücrelerin sırasına uygun olarak boşaltılır ve CCD üzerine düşen ışığın iki boyutlu görüntüsü sayısal olarak bilgisayarda oluşturulur. Bir fotograf filmi, üzerine düşen ışığın ancak % 2-3 ünü kaydederken bir CCD'de bu oran bazı dalgaboylarında (örneğin kırmızıda) %100'e yaklaşır. Bu demektir ki duyaç olarak CCD kullanan küçük bir teleskop, büyük bir teleskop gibi davranır. Örneğin; CCD takılan 60 cm lik bir teleskopun 1 saatlik poz süresinde sönük cisimleri algılama yeteneği, aynı poz süresinde fotograf plâğı kullanan 500 cm lik bir teleskopunkine eşdeğerdir.



Şekil 1.35: Bir çift yıldızın farklı açıklıklara sahip teleskoplardaki görüntüsü (Açıklık cm cinsindendir.).

Ayırma Gücü

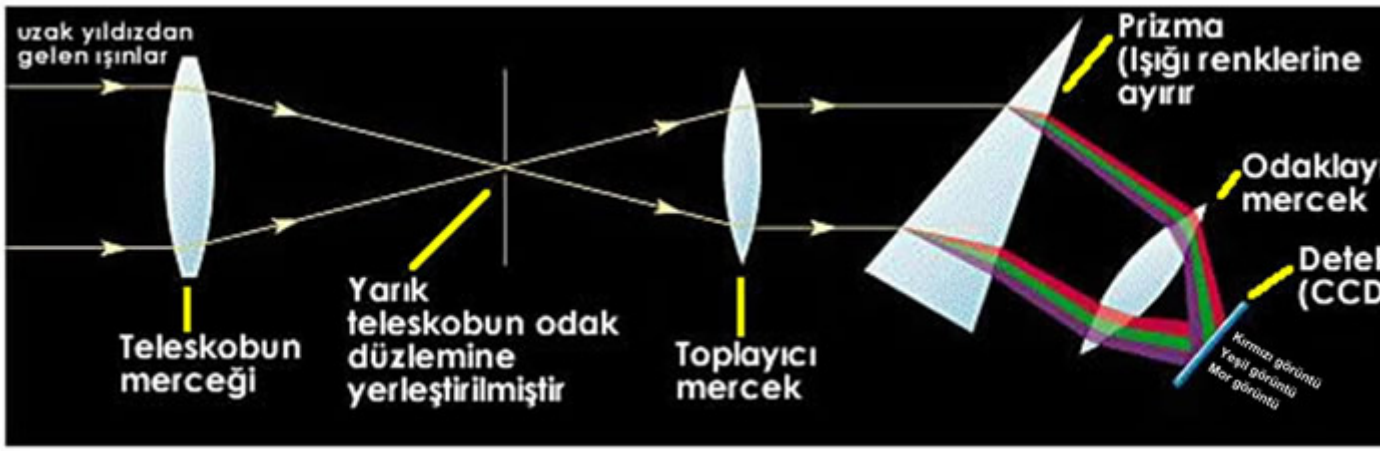
Açıklığı verilen bir teleskopta elde edilen görüntüyü büyütmenin bir sınırı vardır. Işık, farklı dalgaboyundaki elektromanyetik dalgalardan oluştuğu için, bir nokta kaynağın görüntüsü nokta şeklinde olmaz. Merkezde parlak, kenara doğru gidildikçe sönükleşen aynı merkezli bir seri halkadan ibaret bir disk şeklinde görülür. Kırınım yasaları bu diskin yarıçapını $r = 1.22 (\lambda / D) f$ şeklinde vermektedir. Yani bir nokta kaynağın teleskop odak düzlemindeki görüntüsünün yarıçapı, ışığın dalgaboyu ve objektifin odak uzaklığı ile doğru, açıklığı ile ters orantılıdır. Teleskopun ayırma gücü, gök yüzünde açı olarak ayırabileceği en küçük uzaklık olarak tanımlanır. Bu açı ne kadar küçükse ayırma gücü o kadar büyüktür. Bir başka deyişle ayırma gücü, bir teleskopun ayrıntıları görme yeteneğidir. Bu da optik olarak kusursuz bir teleskop için $1.22 (\lambda/D)$ ile verilir. Teleskopun çapı ne kadar büyük olursa ayırma gücü de o oranda büyük olur.

Örnek: Çapı 100 cm, odak uzaklığı 16 m olan bir teleskopun ayırma gücü = $1.22 \times 5 \times 10^{-5}$/100 cm = 6×10^{-7} rad = 0".l3 dir. Yani gök yüzünde aralarında 0.13 açı saniyesi uzaklık bulunan iki yıldızı çıplak gözle tek yıldız gibi görürken, teleskopla iki ayrı yıldız olarak görebiliriz. Normal bir gözün ayırma gücü 60" olduğuna göre teleskopun ayırma gücünden tam yararlanmak için 60" : 0".1 = 600 büyütmeli bir oküler kullanılmalıdır. Daha kuvvetli büyütmelerde görüntüler bulanık olur, daha küçük büyütmelerde teleskopun ayırma gücünden tam yararlanılmamış olur. Bozuk hava koşullarında bu teorik ayırma gücü büyük oranda düşer. 5 m çaplı Mount Palomar teleskopunun en iyi atmosfer koşullarındaki ayırma gücü 0".02 ye ulaşır. Ancak ideal atmosfer koşulları çok enderdir.

Boş uzaydan gelen ışık demetleri yoğun ve değişken Yer atmosferinden geçerken gelişigüzel kırılmalara ve saçılmaya uğrar. Bu demektir ki yıldız gibi bir nokta kaynak birkaç açı saniye çaplı sürekli dans eden disk gibi görülür. Buna astmosferik görüş denir. Yüksek dağ tepelerinde genellikle atmosferik görüş daha iyidir. Astronomi gözlem evlerinin yüksek dağ tepelerine kurulmasının nedeni budur. Hubble Uzay Teleskopunun Yer atmosferi dışında yörüngeye konmasının baş nedeni yine budur

Tayfçeker (Spektrograf)

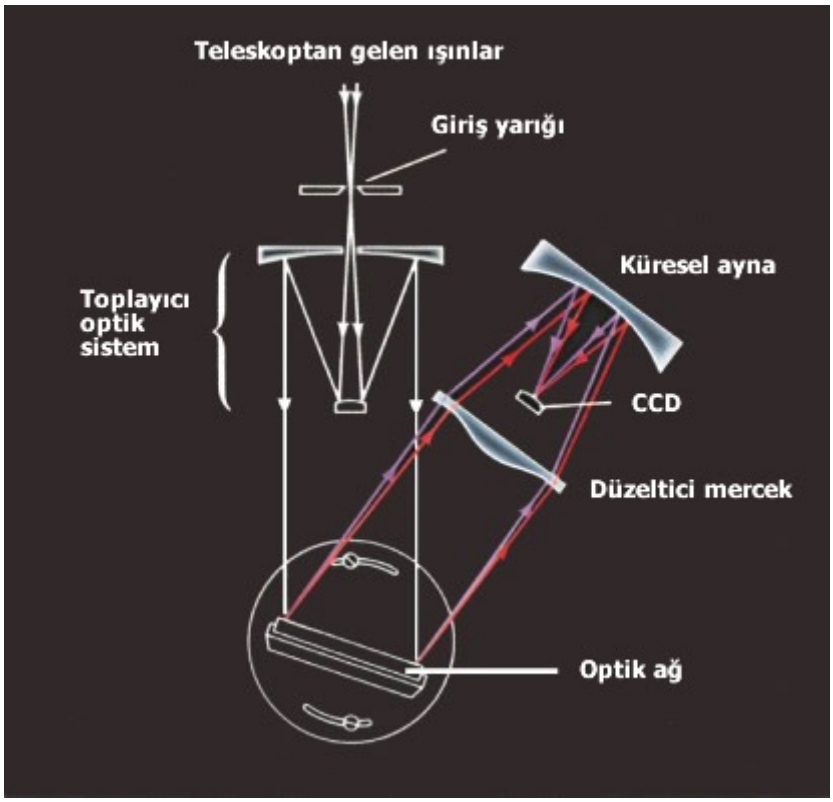
Gök cisimlerinin fotografını çekmek istersek teleskop, fotograf makinası gibi kullanılır. Işığın şiddetini (parlaklığını) ölçmek istersek teleskopun odak bölgesine ışıkölçer (fotometre) denen bir alıcı, ışığın tayfını incelemek istersek tayfçeker konur. Her üç durumda duyaç olarak CCD kullanımı yaygınlaşmaktadır. Işık sayısal sinyallere çevrilir ve bilgisayarlarla işlenir.



Şekil 1.36: Bir prizmalı tayfçeker.

Tayfçekerin ana parçası prizma veya optik ağ (kırınım ağı) dır ve buna göre isimlendirilir. Bilindiği gibi beyaz ışık bir prizmadan geçirilince kırılarak renklerine ayrışır. Bir yüzey üzerine düşürülen bu görüntüye, ışığın ya da ışık kaynağının tayfı denir. Bu kaynaktan gelen beyaz ışığın dalgaboylarına göre dağılımıdır. Optik ağlı tayfçekerlerde ışığın renklerine ayrışması bir optik ağ aracılığı ile olur. Optik ağ cam veya parlak bir metal üzerine paralel ve eşit aralıklarla çizilmiş binlerce çizgiden meydana gelmiştir. Optik ağda ne kadar çok çizgi olursa tayfçekerin ayırma gücü o kadar büyük olur. Bir mm de 400-1800 çizgi bulunur. Teleskopun odak düzleminde meydana gelen görüntü tayfçekerin yarığı üzerine gelecek şekilde tayfçeker teleskopa bağlanır. Yıldızdan gelen ışık yarıktan geçtikten sonra kolimatör denen ince kenarlı bir mercek tarafından paralel ışın demeti hâline getirilir (Şekil 1.36).

Prizmalı tayfçekerde, bu paralel ışın demeti bir üçgen prizmanın yüzeyine eğik olarak düşürülür. Prizmadan geçen ışınlar dalgaboyuna bağlı olarak kırılır. Dalga boyu ne kadar küçükse ışık o kadar çok kırılır. Bir mercek veya bir mercek sistemi ile bu ışınlar tayfçekerin odak düzleminde toplanır. Böylece odak düzleminde ışığın tayfı elde edilmiş olur. Optik ağlı tayfçekerde ise yarıktan geçtikten sonra paralel hale gelen ışın demeti optik ağ üzerinde yansır, farklı yansıma açılarına karşılık gelen tayflar elde edilir.

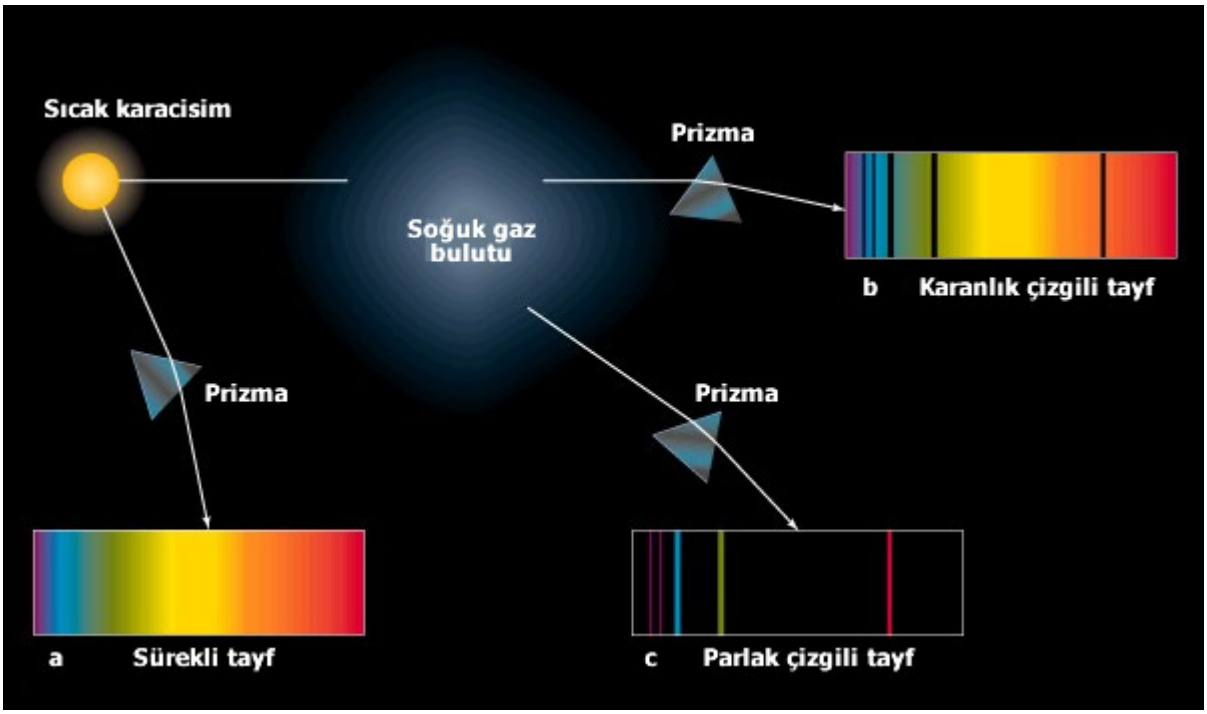


Şekil 1.37: Optik ağlı bir tayfçeker

Odak düzleminde elde edilen bu tayf bir oküler ile incelenirse aygıta spektroskop, odak düzlemine bir fotograf plâğı konularak fotografı çekilirse spektrograf (tayfçeker) denir. Yukarıda değinildiği gibi çağdaş tayfçekerlerde duyaç olarak CCD gibi sayısal duyaçlar kullanılır.

Bir kaç yıl öncesine kadar büyük teleskoplar 4-5 m çapında idi. Bu dönemde zayıf gök cisimlerinin incelenmesinde kaydedilen yeni ilerlemeler geliştirilmiş duyaç (dedektör) teknolojisi ile sağlandı. Fotograf plâğı yanında foto katlandırıcı, sayısal alıcılar ve CCD ler kullanıldı. Bunlar arasında en önemlisi kısa adı CCD olanlarıdır. Kuantum yeterliliği fotograf plâğınınkinin yüz katından daha fazladır.

Şekil 4.14 de çeşitli yıldızlara ait tayflar görülüyor. Tayflardaki dağılmayı (dispersiyonu) artırmak için bir seri prizma kullanılabilir. Dağılma tayfın 1 mm sine düşen Angström (ya da nm) sayısıdır. Birimi Å/mm dir. Angström dalga boyu ölçümünde kullanılan bir ölçü birimi olup 1 Å = 10^{-8} cm dir. Dağılma ne kadar büyük olursa tayfta ayırt edilebilen dalgaboyları farkı o kadar küçük olur. Buradan da anlaşılıyor ki tayf üzerinde herbir noktaya düşen ışınım enerjisi miktarı, dağılma ne kadar büyük olursa o kadar az olur. Yıldız gibi sönük ışınım kaynaklarının tayflarını almak için büyük teleskoplara gereksinim vardır.



Şekil 1.38: Tayf çeşitleri

Tayf Çeşitleri

Sürekli tayf: Akkor hâlde katı bir cisimden veya yüksek yoğunlukta bir gazdan gelen ışık bir üçgen prizmadan geçirilerse ışık renklerine ayrışır. Renk sırası gök kuşağında görülen düzendedir: Kırmızı, sarı, yeşil, mavi ve mor. Böylece elde edilen tayf, ışık kaynağının sürekli tayfıdır (Şekil 1.38'de sol altta).

Salma tayfı (parlak çizgili tayf): Düşük yoğunluklu (uzayda bulunan gazlar gibi) akkor hâlindeki gazlardan gelen ışık prizmadan geçirilince parlak çizgi tayfı elde edilir. Bu tayfta karanlık aralıklarla ayrılmış parlak çizgiler vardır (Şekil 1.38, orta altta).

Soğurma tayfı (karanlık çizgili tayf): Sıcak bir cisimden gelen ışık, sıcaklığı daha düşük olan bir gazdan geçtikten sonra prizmadan geçrilirse elde edilen parlak sürekli tayf üzerinde siyah çizgiler görülür. Bu çizgiler, bu gaz sıcak olduğu zaman vereceği parlak çizgilerin yerinde bulunur (Şekil 1.38, sağ üstte).

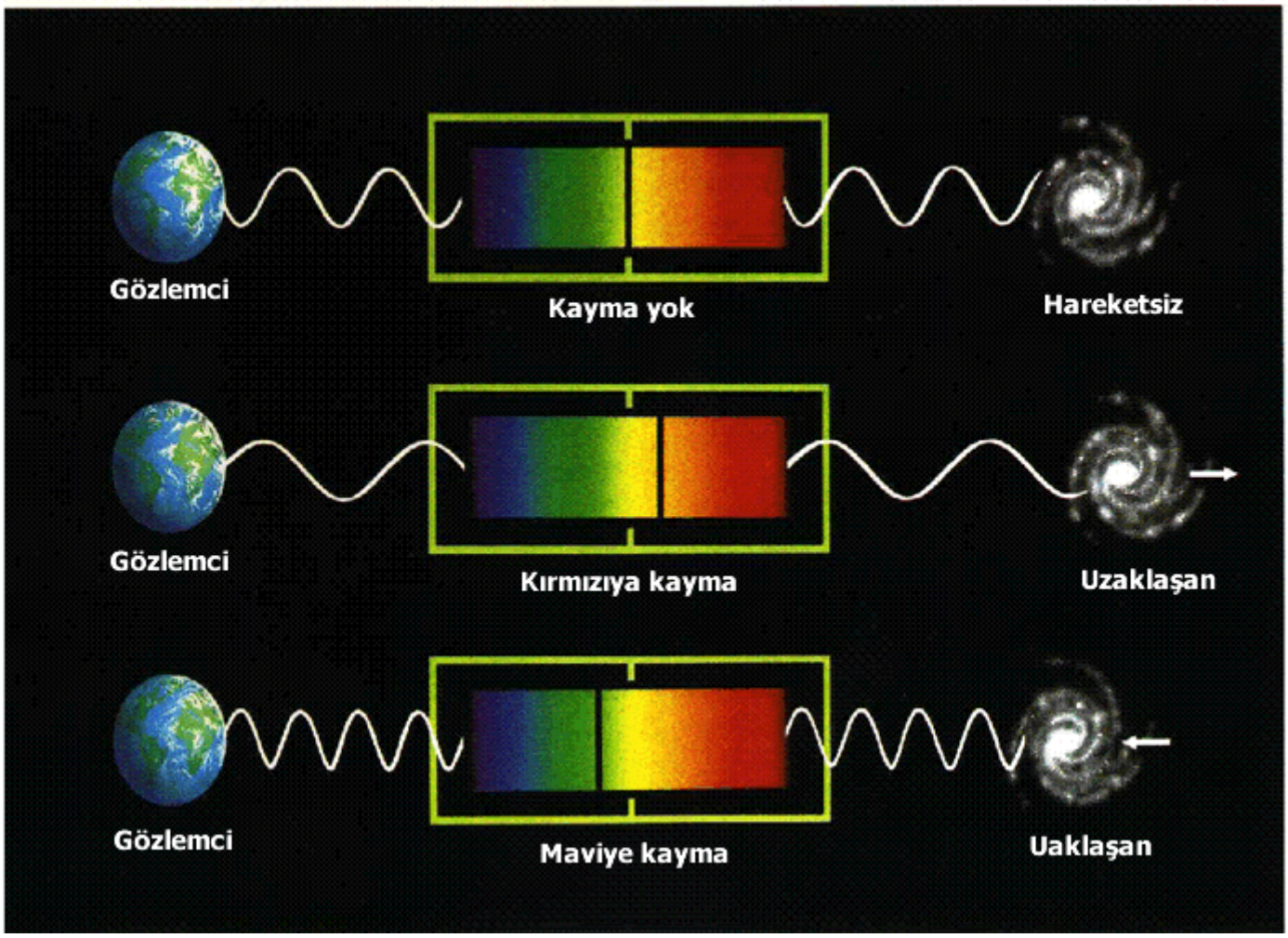
Şekil 4.14 de çeşitli yıldızlara ait, soğurma ve salma çizgileri ile kesilmiş sürekli tayflar görülmektedir. Üstteki tayflarda H©, H™ çizgileri soğurma hâlinde (siyah) iken alttakinde salma hâlinde (beyaz) oldukları görülmektedir. Tayftaki tayfsal çizgileri tanımlayabilmek için, tayfçekerin yarığı önüne yerleştirilen bir sistemle gözlem esnasında aynı fotograf plâğı üzerine lâboratuar salma çizgileri tayfı alınır. Bu karşılaştırma tayfını elde etmek için çoğunlukla; demir, helyum, neon ve argon kullanılır. Bu salma tayfındaki çizgilerin dalgaboyları lâboratuar dalgaboyları olarak bilinmektedir. Bunlardan ve dispersiyondan yararlanarak yıldıza ilişkin tayf çizgilerinin dalgaboyları hesaplanır. Çizgi tanısı kurallarından yararlanarak dalga boyları hesaplanan yıldıza ilişkin bu çizgilerin hangi elemente ait oldukları, yani yıldızda hangi elementlerin bulunduğu belirlenir. Bu çizgilerin analizinden yıldızların fiziksel özellikleri ve kimyasal yapıları incelenir. Yıldızların atmosferinde hangi elementten ne kadar bulunduğu yanında yıldızların sıcaklıkları, radyal hızları, dönme hızları, manyetik alanları, mutlak parlaklıkları v.b bulunabilir.

Doppler Kayması

Gözlemciye yaklaşmakta veya gözlemciden uzaklaşmakta olan bir ışık kaynağından gelen dalgaların dalgaboylarında bir değişme olur. Işık kaynağı gözlemcinin bakış doğrultusunda gözlemciye yaklaşıyorsa saniyede alınan dalga sayısı (frekans) artar, dalgaboyu küçülür (maviye kayma). Kaynak

gözlemciden uzaklaşıyorsa dalga sayısı azalır, dalgaboyu büyür (kırmızıya kayma). Hareket eden gözlemci de olabileceği gibi her ikisi de olabilir. Işık kaynağı ve gözlemcinin her ikisi de hareketsiz olursa dalgaların dalgaboylarında bir değişme olmaz. Böyle dalgaboylarına lâboratuar dalgaboyu denir.

Dalgaboylarındaki bu kaymadan yararlanarak gök cisminin Yer'e göre hızı km/sn cinsinden bulunabilir: Örneğin 100 km/sn lik bir hız için 5000 Å dalgaboyundaki kayma 1.7 Å olur. L lâboratuar dalgaboyu, ⊗L kayma miktarı (= gözlenen dalgaboyu - lâboratuar dalgaboyu), c ışık hızı ve v kaynağın gözlemciye göre hızı ise Doppler kayması,



Şekil 1.39: Yıldızların ve galaksilerin tayflarındaki çizgiler, onların bize doğru yaklaşmalarını ve uzaklaşmalarını açıklar. Üstteki cisim sabit olsun, hiç kayma gözlenmez. Cisim bizden uzaklaşıyorsa tayfındaki çizgiler kırmızıya doğru kayar(ortadaki şekil). Cisim bize yaklaşıyorsa tayfındaki çizgiler maviye kayar (alttaki şekil).

⊗L / L = v/c

şeklinde basit bir bağıntı olarak ifade edilir. ⊗L, (-) ise kaynak yaklaşıyor, (+) ise uzaklaşıyor demektir. Kayma miktarından yararlanarak gök cisminin radyal hızı, yani bakış doğrultusundaki hızı ve dönme hızı bulunabilir.

Optik Pencere Dışı Gözlemler

Yakın geçmişe kadar uzay hakkında bilinenlerin çoğu, Yer atmosferinin geçirdiği ve gözümüzün duyarlı olduğu dar bir ışınım penceresinden alınan ışınımdan elde ediliyordu. Bu da elektromanyetik

tayfın görsel (görünen, optik) bölgesidir. Elektromanyetik tayfın görsel bölgesi dışında evrende gözümüzle göremediğimiz daha kısa ve daha uzun dalga boylarında elektromanyetik ışıma yapan pek çok gök cismi vardır. Görsel ışıktan daha kısa dalga boyları bölgesinde morötesi ışınlar, X ışınları ve gamma ışınları yer alır. Daha uzun dalga boyları bölgesinde ise kırmızıötesi ışınları, mikrodalgalar ve radyo dalgaları yer almaktadır (Şekil 4.1).

Işınım kaynaklarının ve evrenin yapısını daha iyi anlamak için görsel bölge dışındaki diğer dalgaboylarında ışınıma duyarlı özel duyaçlar (alıcı) kullanmak gerekir. Böyle duyarlı duyaçlara ancak 20. yüzyılda kavuşuldu. Bu konuda diğer önemli bir sorun, Yer atmosferinin optik pencere dışındaki görünmeyen dalgaların çoğunu soğurarak ya da yansıtarak Yer yüzüne kadar ulaşmalarını engellemesidir. Kırmızıötesi, morötesi, X ışınları ve gamma ışınları yayan milyonlarca gök cismi ancak Yer atmosferinin dışında ve uygun duyaçlar kullanılarak algılanabilir. Bu nedenle optik pencere dışındaki kırmızı- ötesi, morötesi, X ışınları ve gamma gözlemlerine, Yer yörüngesine keşif uyduları yerleştirildikten sonra başlanabilmiştir.

Uzaydan algılanan ilk görünmeyen ışınım türü radyo dalgaları oldu. Bu başarı 1932 yılında Amerikalı mühendis Karl Jansky tarafından kaydedilmiştir. Daha sonraları II. Dünya Savaşı sırasında radar teknolojisindeki gelişmeler, savaş sonrasında gök cisimlerinin radyo gözlemlerine başarıyla uygulandı. Günümüzde gök yüzünü incelemek amacı ile irili ufaklı yüzlerce radyo teleskop anteni gök yüzüne çevrilmiş durumdadır. Bu antenlerin en büyüğü, Cornell Üniversitesi'nce işletilen Porto Rıco'daki Arecibo Radyo Gözlem Evi'ndedir. Burada yaklaşık 300 m genişliğinde doğal bir çanak vadi, yansıtıcı bir yüzey ile kaplanıp büyük bir radyo teleskop antenine dönüştürülmüştür. Yönlendirilebilir en büyük radyo teleskop, 300 m çaplı Almanların Efelsberg'deki teleskopudur.

Kırmızıötesi ışınların büyük bir kısmı Yer atmosferinde soğurulur. Bu yüzden ölçümleri, yüksek dağların tepelerine ya da yörüngeye yerleştirilen teleskoplarla yapılmaktadır. Yer yüzeyinde kırmızıötesi ışığa duyarlı olan teleskopların en önemlileri Hawai ve Kanarya adalarında bulunmaktadır.

Kırmızıötesi astronomisi, 1983'de Yer yörüngesine yerleştirilen ve kısa adı IRAS olan Kırmızıötesi Astronomisi Uydusu ile büyük bir gelişme gösterdi. Bu uydu görev yaptığı 10 ayda 250 binden fazla kırmızıötesi ışıma yapan gök cismi keşfetti.

Uzaydan gelen morötesi ışınlarının da büyük bir bölümü, Yer atmosferinin 20-30 km yüksekliklerinde bulunan ozon katmanında soğurulurlar. Bu ışığa duyarlı duyaçları taşıyan uydular 1960'lı yılların sonlarında ölçümlere başlamıştır. Uluslararası Morötesi Keşif Uydusu (IUE) 1978-1993 yılları arasında Yer çevresindeki yörüngesinde gök cisimlerin morötesi dalgaboylarında gözlemiş ve etkin bir biçimde görevini sürdürmektedir.

Gamma ve X ışınları, çok yüksek enerjili fotonlardan oluşurlar. Bunlar da Yer atmosferinin 30-40 km yüksekliklerinde bütünüyle soğurulurlar. Uydulara yerleştirilen özel X ve gamma ışın duyaçları yardımı ile algılanabilirler. Bu gözlemler, evrende meydana gelen çok yüksek enerjili olayları incelememize imkân verirler. X ışınları ilk kez 1960'larda balonlara ve roketlere yerleştirilen alıcılarla algılanabilmiştir. 1970'den sonra bir çok ülke uzayı X ışınları ile inceleyen uydular fırlatmıştır. Gamma ışınları ise büyük oranda çekirdeksel etkileşmelerin bir ürünüdür. İlk defa 1965 'lerde balonlarla daha sonraları bir bölümü askeri amaçlı olan bazı uydularla algılanmıştır.

24 Nisan 1990 tarihinde, Yer çevresindeki yörüngesine yerleştirilen Hubble Uzay Teleskopu 100 nm ile 1 mm dalgaboyları arasında gözlem yapmaktadır. Yer atmosferinin engelleyici etkileri olmadığı için ayırma gücü, Yer'deki bir teleskoptan 10-20 kat daha yüksektir. Evrenin sırlarını çözmede en etkili optik gözlemleri yapması beklenirken aynasında küresel sapınç hatası olduğu anlaşıldı. Bu hata 1993 yılı sonunda Uzay Mekiği ile gönderilecek bir ekip tarafından düzeltilmiştir. Bu hataya karşın, bugüne kadar eşi olmayan gözlemler yapmıştır.

SORULAR

1. Küre üzerinde bir noktanın yerini belirlemek için, neden iki açının bilinmesi yeterlidir?

2. Bu bölümde verilen koordinat sistemlerinden her biri için tanımlanan iki koordinatın isimlerini söyleyiniz.

3. Yıldızların, ekvator koordinat sistemindeki koordinatlarını belirlerken, meridyen dürbününü nasıl kullanırsınız?

4. Batmayan yıldız ne demektir? Batmayan yıldız sayısının, gözlemcinin enlemine bağlılığını tartışınız.

5. Batmayan bir yıldız için üst geçişte 49° 38‘ ve alt geçişte 18° 21‘ yükseklik değerleri ölçülüyor. Bu değerler kırılma ve âletsel hatalardan arındırılmış olsun. Gözlemcinin coğrafî enlemini ve yıldızın dikaçıklığını bulunuz.

6. Tam ekvatorda bulunan bir yıldız, enlemi Π olan bir yerin ufkuna ve meridyenine geldiği anda yüksekliği, azimutu ve saat açısı hangi değerleri alır? Yer atmosferinin kırılma etkisi göz önüne alınmayacaktır.

7. Her dolunay evresinde bir Ay tutulması ve her yeniay evresinde bir Güneş tutulması neden olmaz?

8. Düğümler doğrusu deyince ne anlıyoruz ve tutulmalarda neden önemlidir?

9. Ay veya Güneş tutulmalarından hangisi daha çok insan tarafından gözlenebilir, neden?

10. Tam ve yarı gölge arasındaki farkı belirtiniz?

11. Bir Ay tutulmasından üç ay sonra bir tam Güneş tutulması olabilir mi, neden?

12. Halkalı Ay tutulması neden olmaz?

13. Bir Ay tutulması esnasında Ay, Yer'in gölge konisine doğudan mı yoksa batıdan mı girer? Neden ?

14. Ay, Yer çevresindeki yörüngesinde bugünkünün tersi yönde dönse;; kavuşum ayı, yıldızıl aydan daha uzun mu yoksa kısa mı olurdu? Nedenleri ile açıklayınız.

15. Yer'in atmosferi olmasaydı bir ay tutulması nasıl görünürdü? Tartışınız.

16. Bir Ay tutulması esnasında Ay üzerinde bulunan bir gözlemci neler görür?

17. Bir yerde öğle üzeri Ay tutulması görülebilir mi?

18. Bir tam Güneş tutulması anında Ay'ın Yer'e dönük yüzünde bulunan bir kimse Yer'i nasıl görür?

19. Bir Ay tutulmasında Ay'ı ufkun üstünde gören her yerde tutulma görüldüğü hâlde bir Güneş tutulmasında Güneş'in görüldüğü her yerde tutulma görülmez, neden?

20. Bir Güneş tutulmasında, Ay'ın gölgesi önce Güneş'in doğu kenarına mı yoksa batı kenarına mı değer?

21. Günlük yaşantımızda kullandığımız zaman hangi temele dayanır?

22. Neden bir yıldız günü bir güneş gününe eşit değildir?

23. Neden bir ortalama güneş tanımı gerekmektedir?

24. Güneş zamanı ve ortalama güneş zamanlarını tanımlayınız.

25. Gerçek Güneş zamanı ile Ortalama Güneş zamanı arasındaki fark, neden bir yıl boyunca sabit değildir?

26. Duyarlı bir saat kullanarak, Yer küresi üzerinde herhangi bir yerin boylamı tayin edilebilir mi? Nasıl?

27. Neden bir dinamik zaman tanımı gereksinimi duyulmuştur.

28. Yerel yıldız zamanını bulmak için bir bilgisayar programı yazınız.

29. Julien tarihini bulmak için bir bilgisayar programı yazınız.

30. Bu gece saat $20^s\ 25^d$ de doğan bir yıldız, bir ay sonra yaklaşık olarak saat kaçta doğar?

31. 21 Mart, 22 Haziran, 22 Eylül, 21 Nisan, 21 Ekim tarihleri için öğle zamanı yaklaşık yıldız zamanını bulunuz?

32. Bir yıldız saati, güneş saatine göre 8 saatte ne kadar ileri gider?

33. Bir gözlemcinin boylamı Greenwich'e göre 75° batı ise Greenwich'te yıldız zamanı 2^s iken bu gözlemcinin yıldız zamanını bulunuz?

ASTRONOMİ TARİHİ

Astronomi en eski bilim dallarından biridir. Bu nedenle genelde bilim tarihi büyük ölçüde astronomi tarihinden oluşur. Astronomi tarih öncesi dönemlerden bu yana gelişmesi sırasında matematik, fizik gibi başka birçok bilim dallarının da gelişmesine neden olmuştur. Ay ve Güneş tutulmaları, yıldız yağmurları, gök taşı düşmesi, kuyruklu yıldız görünmesi gibi birçok ilginç olay insanların dikkatini astronomik olaylara çekmiş, bu tür olayların sistematik bir şekilde izlenip kayıtlarının tutulması ve kayıtların yorumlanarak sonuçlar çıkarılması astronominin gelişmesini sağlamıştır.

2.1 İlk Medeniyetlerde Astronomi

İlk medeniyetler daha çok ılıman bölgelerde su kenarlarında kurulmuştu. O zaman yerleşim merkezlerinin ışıklandırması bugünkü gibi fazla olmadığı için geceleri gök yüzü daha ihtişamlı ve daha güzel görünmüş olmalı. Zamanlarının büyük kısmını geceleri açık havada geçiren insanlar gök yüzündeki değişik gök cisimlerinin farkına varmışlar, kiminin fazla göz kırparken kiminin göz kırpmadığını ve bu göz kırpmayanların öbürlerinden farklı hareket ettiklerini görmüşler ve onlara gezegen demişler. Zaman zaman dikkatlerini yıldız yağmurları, kuyruklu yıldızlar, nova patlamaları ve kutup ışıması gibi olaylar ve cisimler çekmiş olmalı. Ayın ve Güneş'in gök yüzünde görünür hareketleri, zaman zaman tutulmalar göstermeleri, Ay'ın evreler oluşturması ve olayların hep dönemli görünmesi dikkatlerini çekmiş olmalı. Bir süre sonra gözledikleri gök yüzünden yararlanmayı düşünmüş olmalılar. Yıldızların konumlarını yön bulmada, Ay ve Güneş'in konumlarını ise zamanı belirlemede kullanmışlardır. İşlerini plânlayabilmek için Ay ve Güneş'in görünür hareketlerine dayalı takvimler oluşturmuşlardır. İlk medeniyetlerde astronominin gelişimini insanların merakları yanında yön bulma ve zamanı ölçme gibi iki temel gereksinmelerine borçluyuz. O zamanlar gök yüzünün düzenli gözlenmesinde bir başka neden de yıldızların tanrılarla ilgili olduğu ve yıldız hareketlerinin tanrı isteklerine birer belirteç olduğu inancıdır. Bu inanç astrolojinin doğmasına neden olmuştur. Bugünkü anlamıyla astroloji Güneş, Ay, gezegenler ve on iki burcun konumlarına bakarak insanların karakterleri, davranışları, geçmişleri ve gelecekleri hakkında bilgi verme sanatıdır. Hiçbir bilimsel dayanağı olmadığı için astroloji bilim değildir, ve bu nedenle de hiçbir gerçeklik payı yoktur. Kitabın sonunda verilen bu konudaki okuma parçasını okuyunuz.

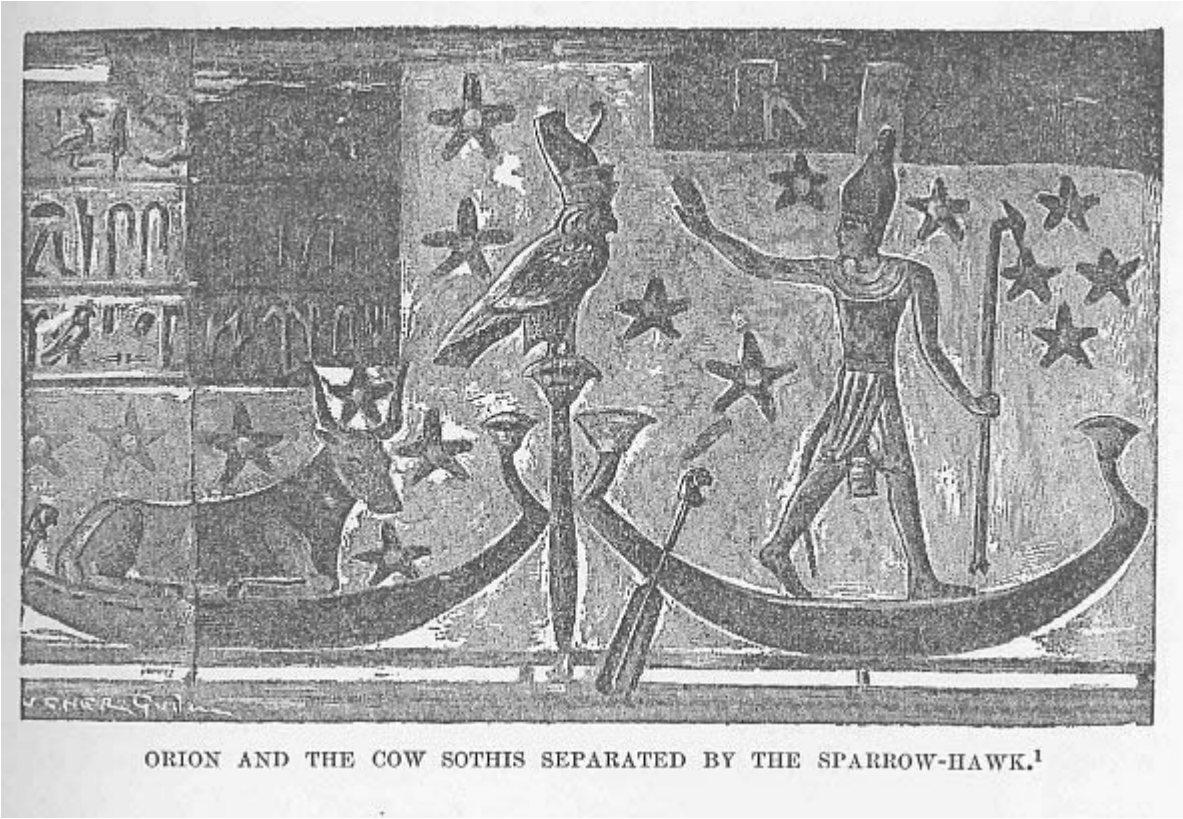
Şekil 2.1. Gezegenlerin gelecekte konumlarını (gök almanağı) içeren bir Babil tableti (British Museum).

Babilliler

Bugün Fırat ile Dicle nehirleri arasında Irak'ın bulunduğu topraklarda ilk medeniyetlerden birini kuran Babilliler, tarımla uğraşma yanında uzak doğu ile Avrupa ve Mısır arasında ticaret yapıyorlar ve bu yolla ticaret yaptıkları toplumlar arasında kültür alış verişini gerçekleştiriyorlardı. Kayıtlara göre M.Ö. 2000 yıllarında çok sayıda yıldızın konum gözlemlerini yapmışlar ve bunları kaydetmişlerdir. Sistemli gözlemler için gök yüzünü bölgelere ayırmışlar, her bölgeye yıldızların oluşturdukları hayvan veya eşya isimlerini vermişlerdir. Bu gün kullandığımız takım yıldızların yarısından fazlasını onlar oluşturmuştur. Kitabın sonundaki takımyıldızlar listesine ve gök haritasındaki yerlerine bakınız. Babilliler Merkür ve Venüs gezegenlerini çok gözlemişler, Güneş'ten olan uzanım açılarının küçük olmasından giderek onların Güneş etrafında hareket ettikleri yargısına varmışlardır. Dahası Babilliler kayıtlarında Venüs gezegenini çift hilâl sembolüyle göstermişlerdir. Buna göre Babilliler, büyük olasılıkla Venüs'ün evreler gösterdiğini biliyorlardı. Venüs'ün evreleri bugün âletsiz gözlenememektedir. Venüs'ün evreler gösterdiği kayıtlara göre ilk kez Galile tarafından M.S.1610 yılında teleskopla gözlenmiştir. Bir olasılıkla Babilliler, Venüs'ün evreler gösterdiğini mercek benzeri âletlerle Galile den 3000 yıl kadar önce gözlemişler, bunun Güneş ışığının yansımasıyla ilgili olduğunu ve Venüsün Güneş etrafında yörünge hareketi yaptığını anlamışlardı. Babilliler'e ilişkin gözlem kayıtlarının çoğu astrolojik amaçlıdır. Çok sayıda yıldız, Ay, Güneş, Merkür ve Venüs gezegenleri yanında o zaman bilinen Mars, Jüpiter ve Satürn gezegenlerinin hareketleriyle ilgili konum gözlemleri de yapılmıştır. Bu gözlemlerle gezegenlerin gök yüzünde zaman zaman oluşturdukları geri hareketleri ve kavuşum dönemleri bulunmuştur. M.Ö. 5. ve 6. yüzyıllarda Babilliler'de astronomi en üst düzeye ulaşmıştır. Uzun süre sistematik olarak gözledikleri Ay ve Güneş tutulmalarının dönemli olduğunu ve Saros dönemi olarak bilinen bu dönemin 18 yıl 10 gün olduğunu saptamışlardır. Babillilerin gözlemsel astronomiye en önemli katkıları ise M.Ö. 380 yılında tamamlanıp kayda geçirilen Ay'ın konumlarına ilişkin Kidinnu Çizelgeleri'dir. Bu çizelgeler Ay'ın yeni-Ay evresinden sonra ilk görülme zamanının hesabını da mümkün kıldığı için oldukça önemlidir. Ay'ın görünür hareketindeki düzensizlikleri de

büyük doğrulukla dikkate alan bu çizelgelerin M.Ö. 380 yılında yapılmış olması Babillilerde astronominin ne kadar ileri olduğunu göstermektedir. Babillilerin gözlemlere dayanan ileri düzeydeki astronomik bilgisi eski Yunan astronomisine temel oluşturmuştur. Babilliler astrolojinin doğup gelişmesine neden olmakla insanlığı kötü yönde etki etmişlerse de modern astronomiye yaptıkları katkılarla bilimin bu alanda temelini oluşturmuşlardır.

Şekil 2.2: Babilliler M.Ö. 2000 yıllarında yıldız gruplarını hayvanlara ve eşyalara benzeterek takımyıldızları oluşturmuşlardı. Aynı takımyıldız adları çok az değişiklikle bugünde kullanılmaktadır.



Şekil 2.3: Eski Mısır belgelerinde sopdet (sirius, akyıldız) korku tanrıçasıdır ve ne zaman güneş doğmadan az önce doğarsa Nil nehri taşıyordu ve büyük zararlara yol açıyordu. Burada Sahu (orion, avcı) tanrısı sopdet'e kendisini takip etmesini istiyor. Sopdet'in boynuzları arasındaki yıldız Akyıldızdır ve sırtındaki 3 yıldızla beraber düşünülmüştür. Orion ise 15 yıldızla gösterilirdi

Mısırlılar

Eski Yunanlılardan önce, eski Mısırlılarda astronomi pek fazla ileri değildi. Kayıtlara göre eski Mısırlılar, Ay ve Güneş tutulmalarını bile düzenli gözleyip kaydetmemişlerdi ve öyle sanılıyorki Ay ve gezegenlerin karmaşık hareketlerinden pek haberleri yoktu. Eski Mısırlı astronomlar da Babilli astronomlar gibi dine bağlı kimselerdi. Eski Mısırlı astronomların en önemli ilgileri ve belki de görevleri takvim yapmaktı. Takvim yapmadaki amaç ise tarımın düzenli yürümesi isteği, özellikle Nil nehrinin taşma zamanının önceden tahmin edilebilmesiydi. O zamanlar Nil nehrinin taşma zamanı gök yüzünün en parlak yıldızı olan Ak yıldız (Sirius)'ın doğu yönünde görünme zamanına rastlıyordu. Bu nedenle Mısırlılar takvimlerini bir dönem için Ak yıldızın görünür hareketine göre düzenlemişlerdir.

Mısırlıların geometri ve mühendislikte ne kadar ileri olduklarını yaptıkları dev yapılı piramitlerden anlıyoruz. Mısır piramitlerinde belli doğrultuların yılın belli zamanlarında gök yüzünde önemli yönleri belirlemiş olması, piramitlerin yapımında bazı astronomik amaçların da bulunduğunu göstermektedir. Eski Mısırlılar, astronomik görüş olarak suyun herşeyin kaynağı olduğuna, tanrıça Nu'nun eğilerek gök küreyi oluşturduğuna ve Samanyolu'nun ruhlar dünyasındaki Nil nehri olduğuna inanıyorlardı.

Şekil 2.4: Kayaya işlenmiş Aztek takvimi (Amerikan Doğa Tarihi Müzesi)

Çinliler

Çin'de M.Ö.2300 tarihlerinde yapılmış; Ay, Güneş tutulmaları ve kuyruklu yıldız gözlemlerinin kayıtlarına rastlanmaktadır. M.Ö. 8. yüzyıldan sonra yapılan astronomik gözlemlerin bilimsel değeri oldukça fazladır, Öyle anlaşılmaktadır ki eski Çinliler, tutulma, kuyruklu yıldız, meteor ve Güneş lekeleri gibi özel astronomik olayların gözlemlerinde oldukça beceri kazanmışlardı. Özellikle güneş lekeleri gözlemlerini nasıl yaptıkları hâlâ anlaşılmış değildir. Çünkü normal olarak güneş lekeleri bugün âletsiz gözlenememektedir. Çinliler, M.Ö. 8. yüzyıldan itibaren Güneş lekelerini düzenli olarak gözlemişler ve bu gözlemleri kaydetmişlerdir. Bazı bilim adamları, Güneş leke çevriminin maksimum dönemlerinde Güneş doğarken veya batarken (fazla parlak değilken) özel eğitim sonunda Güneş lekelerinin âletsiz gözlenebileceğini iddia etmektedir. (2000-2001 yıllarında Güneş, leke çevriminin maksimum döneminde bulunacaktır. Bu yıllarda Güneş lekelerinin âletsiz görülüp görülemeyeceğini, Güneş doğarken veya batarken deneyebilirsiniz.) Yaptıkları gözlemler oldukça duyarlı olan eski Çinliler M.Ö.100 yıllarında Ay'ın evrelerini ve bazı Ay ve Güneş tutulmalarını tahmin edebiliyorlardı. Eski Çinliler de astronomik olayları astrolojik anlamda yorumluyorlar, Yerde meydana gelen olaylarla gök olayları arasında kuvvetli ilişkiler olduğuna inanıyorlardı.

Mayalar

Orta Amerika'da medeniyet kuran Mayaların çok eski zamanlardan beri astronomik olayları gözledikleri sanılmaktadır. Örneğin, M.Ö. 3379 da oluşan bir tam Ay tutulmasının Mayalar tarafından yapılan gözlem kaydı bulunmaktadır. Birçok Maya yapıtlarında rastlanan astronomik olaylara ilişkin kayıtlar onların gelişmiş bir takvim kullandıklarını göstermektedir. Yalnız, bu kayıtların gösterdiği tarihlerle arkeolojik kayıtlardan çıkartılan tarihler uyuşmamaktadır. Henüz çözülemeyen bu çelişkide astronomik kayıtlar Maya medeniyeti için daha geri tarihler vermektedir.

Eski Yunanlılar

Babilliler tarafından yapılan duyarlı ve uzun zaman aralıklarını kapsayan astronomik gözlemler eski Yunan astronomisinin temelini oluşturmuştur. Eski Yunanlılar, astronomik olaylardan çok onların nedenleri üzerinde durmuşlar ve ilk evren modellerini oluşturmuşlardır. Bu modellerde yıldızların tanrılara ilişkin mükemmel cisimler olduğu ve mükemmel hareketler yaptıkları kabul edilmişti. Eski Yunanlıların bu mükemmel hareket dedikleri, düzgün dairesel hareket var sayımıdır. Kepler zamanına kadar astronomik düşüncenin vaz geçilmeyen bir var sayımı olarak kalmıştır.

Eski Yunanlıların bildiğimiz ilk doğa filozofu Tales'e (M.Ö. 640-546) göre Yer, suda yüzen yassı bir diskti. Tales gezegenlerin ve yıldızların hareketleri hakkında hiç yorum yapmamıştı. Tales'in çağdaşı Anaksimander (M.Ö. 611-547) ise Yer'in uzayda yüzen bir silindir olduğunu ileri sürmüştür. M.Ö. 6. yüzyılda birbirinden bağımsız iki okul oluşmuş. Bunlardan Xenophanes (Senofanes) (M.Ö. 570-500) okuluna göre Yer, düz ve sonsuz boyuttaydı. İkinci Pitagor (Pisagor) (M.Ö. 580-500) okulu daha çok gözlemlere dayanıyordu. Pitagor, Yer üzerinde yaptığı uzun yolculuklar sonunda onun küre biçimli olduğuna inanmıştı. Yer'in yuvarlak olduğuna inandıkları halde bu okuldan hiç kimse onun döndüğünü savunmamıştı. Bu okula göre 10 sayısı 1+2+3+4=10 olduğu için mükemmeldi. O zaman 9 farklı gök cismi (Yer, Ay, Güneş, beş gezegen ve sabit yıldızlar) gözleniyordu. Mükemmellik ve simetri nedeniyle bu sayı 10 olmalıydı. 10. cisim olarak Yer'in bir eşi olduğunu ileri sürdüler. Yine bu okula göre 10 farklı gök cismi Yer'in eşi tarafından örtüldüğü için hiç görünmeyen bir ateş merkezi etrafında yörünge hareketi yapmaktaydı. Bu görüşe göre Yer, ilk kez yörünge hareketi yapan bir gezegen olarak dikkate alınmıştı.

M.Ö. 467 yılında Yunanistan'a düşen demirli gök taşının Güneşten geldiğini düşünen Anaxagoras (Anaksagoras) (M.Ö. 500-428) Güneş'in yakın ve Yunanistan'ın bir parçası kadar küçük olduğunu, maddesinin de erimiş demir olduğunu düşündü; Anaxagoros'a göre Yer, düzdü; Ay'ın büyüklüğü Güneş'inki kadardı ve Ay, Güneş ışığını yansıtıyordu. Anaxagoras bu görüşleriyle cezalandırılmak istenmiş, Perikles tarafından ölümden kurtarılarak sürgüne gönderilmiştir.

Daha sonraki dönemin önemli bir okulu Plato (Eflatun)'nun (M.Ö. 427-347) adını taşır. Plato kendisi Pitagor okulundan etkilenmiş ve o okulun görüşlerini geliştirmiştir. Evrende geometrik bir düzenin varlığına inanmış ve yedi gök cismi için inandığı göreli uzaklıkları (Ay-1, Güneş-2, Venüs-3, Merkür-4, Mars-8, Jüpiter-9, Satürn-27); 1, 2, 4, 8 ve 1, 3, 9, 27 şeklindeki iki geometrik seriyle göstermiştir. Plato, Pitagor okulunun inandığı gök cisimlerini taşıyan ve görünmeyen müzikli kristal küreler kavramına da inanmış ve onu geliştirmiştir. Anlaşıldığına göre Plato, gök cisimlerinin günlük görünür hareketlerinin Yer'in dönmesinden kaynaklandığına inanmıştır.

Yaygın olan Plato (Eflatun) okulunun görüşü, Yer'in diğer bütün gök cisimlerinden farklı olduğunu ve onun evrenin merkezinde olması gerektiğini öngörüyordu. Yer merkezli evren modelini eski Yunan'da ilk kez Eudoxus (Eudoksus) (M.Ö. 408-355)'un ileri sürdüğünü görüyoruz. Eudoxus'a göre Ay, Güneş ve bilinen 5 gezegen sabit olan Yer etrafında aynı merkezli çemberlerde dolanırlar. İkincil küre (epicycle) kavramını da gezegenler kuramına sokan Eudoxus'tur. Eudoxus, geliştirdiği modelin gözlemleri tam sağlamadığını görünce, Philolaos (Filolaus)'un var saydığı görünmeyen küreler üzerinde daha küçük ve görünmeyen başka kürelerin var olabileceğini düşündü. Ona göre gezegenler bu ikincil küreler üzerinde bulunuyorlardı. Eudoxus'un evren modelinde görünmeyen toplam küre sayısı 27 dir. Daha sonradan desteklenip Galluppus, Aristo, Hipparchus (Hiparkos) ve Ptolemy (Arap dünyasında Batlamyus olarak bilinir) tarafından geliştirilen bu Yer merkezli modelde gezegenlerin karmaşık görünür hareketleri kolayca açıklanabiliyordu fakat gözlemlerin duyarlılığı arttıkça modelden olan sapmaları açıklayabilmek için ikicil küre sayısını arttırmak gerekiyordu. Endoxus'a inanan Aristo, (MÖ. 384-322) sadece filozofik nedenlerle ikincil küre sayısını 55'e çıkarmıştı. Aristo o günün bilgisine uygun kanıtlarla Eudoxus modelini inandırıcı bir şekilde savunmuştur. Yer'in yörünge hareketi yapmış olması hâlinde yıldızların paralaktik hareket yapması gerektiğini, böyle bir hareket gözlenmediği için de Yer'in merkezde durağan olması gerektiğini savunmuştur. Söz konusu paralaktik hareketin gözlenememesinin nedenini daha sonra Aristarchus (M.Ö. 310-230) açıklamıştır.

Şekil 2.5: Eski Yunanistan'da; Plato, Aristo, Hipparchus ve Batlamyus okullarının inandığı Yer merkezli evren modeli. Gezegenlerin burada gösterilmeyen ikincil çemberler (epicycle) üzerinde hareket ettiğine inanılmıştır.

Aristo, Yer'in çok büyük bir küre olduğunu iki önemli kanıtla göstermiştir. (i) Ay tutulması sırasında Yer'in Ay üzerindeki gölge sınırının geniş bir yay olması ve (ii) Yer üzerinde güneye gidildikçe yeni yıldızların görünür olması. Aristo, kutup ışıması, akan yıldız ve kuyruklu yıldızların Yer'in üst atmosferindeki olaylar olduğunu ileri sürmüştür. Aristo döneminde yaşayan Heraklit (M.Ö. 388-315) küresel Yerin bir eksen etrafında döndüğünü, evrenin sonsuz olduğunu Merkür ve Venüs'ün Güneş etrafında döndüğünü ileri sürmesine karşın Aristo'nun inandırıcı kanıtlarla süslediği filozofik görüşleri tutunmuş, yaygınlaşmış ve etkilerini Avrupa' da rönesans dönemine kadar sürdürmüştür. Aristo zamanlarında bilinen 5 gezegen (Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn), Ay ve Güneş sihirli 7 sayısını oluşturuyordu. Yer, o zaman gezegen sayılmıyor ve ona her bakımdan büyük bir ayrıcalık tanınıyordu. Yer'in etrafında 7 gök cismine ilişkin 7 görünmeyen kristal küre evreni 7 katmana ayırıyordu. Tek tanrılı dinlerin kutsal kitaplarında sık sık sözü edilen "7 kat gök" kavramı buradan gelmektedir. Haftanın 7 gün olması da aynı kaynaklıdır. Hatta müzik notalarının kaynağı da 7 katlı evren modeliyle ilgilidir. O zamanki inanışa göre 7 gök cismini taşıyan 7 büyük görünmez küre kristalden yapılmış olmalıydı ve dönerlerken çıkardıkları ses günahlarından arınmış kişilerce duyulabilmekteydi. Eski Yunan'da bu tür kişilerin duydukları sesleri taklit etmeleriyle yedi kristal

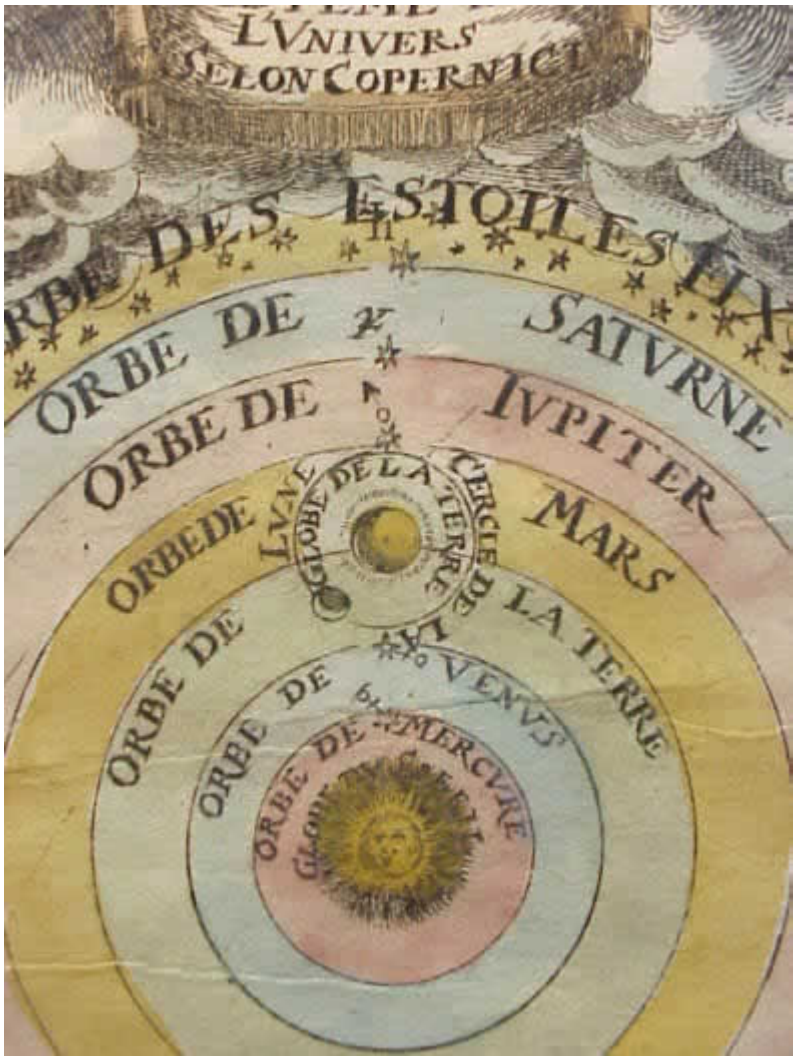
kürenin çıkardığı ses olarak yedi temel müzik notası ve ikincil kürelerin sesleriyle de bemoller, diyezler ortaya çıkmış oldu.

Aristo'dan yüzyıl kadar sonra Samos'lu Aristarchus (M.Ö. 312-230), ilk kez Güneş merkezli bir evren modeli ileri sürmüştü. Aslında Aristo da Güneş merkezli modeli tartışmış fakat yıldızların beklenen paralaktik kayması gözlenemediği için modelin doğru olmadığına karar vermiştir. Aristarchus'a göre paralaktik kayma gözlenemiyordu; çünkü yıldızları taşıyan küre o kadar büyüktü ki Yerin yörüngesi onun yanında çok küçük kalıyordu. Aristarchus tam ilk dördün evrdesinde Ay'ın uzanım açısını 87° ölçerek Ay-Yer ve Güneş'in oluşturduğu dik üçgenden Güneş uzaklığını, Ay uzaklığının 20 katı bulmuştur. Diğer taraftan Ay ve Güneş'in görünür çaplarının eşit olduğunu dikkate alarak Güneş'in Ay dan 20 kat daha büyük olması gerektiğini düşünmüştür. Burada izlenen yol doğru olduğu hâlde, açı ölçümündeki hatalar nedeniyle sonuçlar yanlıştır. Aristarchus, tutulma gözlemlerinin geometrisinden Ay ile Yer'in yarıçaplarını da karşılaştırmış ve $R_{Yer}= 3\ R_{Ay}$ bulmuştur. Aristarchus Güneş'i, büyüklüğü nedeniyle, evrenin merkezine koyup Güneş merkezli modeli savunmuş olabilir.

Ayrıca bu dönemde ilk kez Eratosthenes (M.Ö. 273-192) tarafından küre biçimli kabul edilen Yer'in yarıçapı ilginç bir yöntemle doğruya çok yakın olarak bulunmuştu. 22 Haziran günü Güneş Syene kentinin başucu noktasında bulunduğu anda, İskenderiye kentinde Güneş'in başucu uzaklığı 7.2 açı derecesi ölçülmüş, ve bu açının Syene-İskenderiye arasındaki uzaklığı gören merkez açıya eşit olduğu dikkate alınarak (bkz. Şekil 2.7),

$$S = q(rad) \times R$$

genel bağıntısında 7.2 derecelik merkez açı (q) nın radyan değeri ve bu açının gördüğü Syene-İskenderiye uzaklığı (S) yerine konarak Yer'in yarıçapı R=6405.26 km bulunmuştur. Bu, bugünkü ortalama gerçek değer 6370 km ye çok yakındır. Bu bulguyla birlikte tutulmaların geometrisinden yararlanılarak Ay ve Güneş'in uzaklıkları ve büyüklükleri tahmin edilmiştir. Güneş'in görünür hareketindeki düzensizlikler farkedilmiş, Ay'ın yörüngesiyle ekliptik çemberi arasındaki 5 açı derecesi olan açı ölçülmüştür.

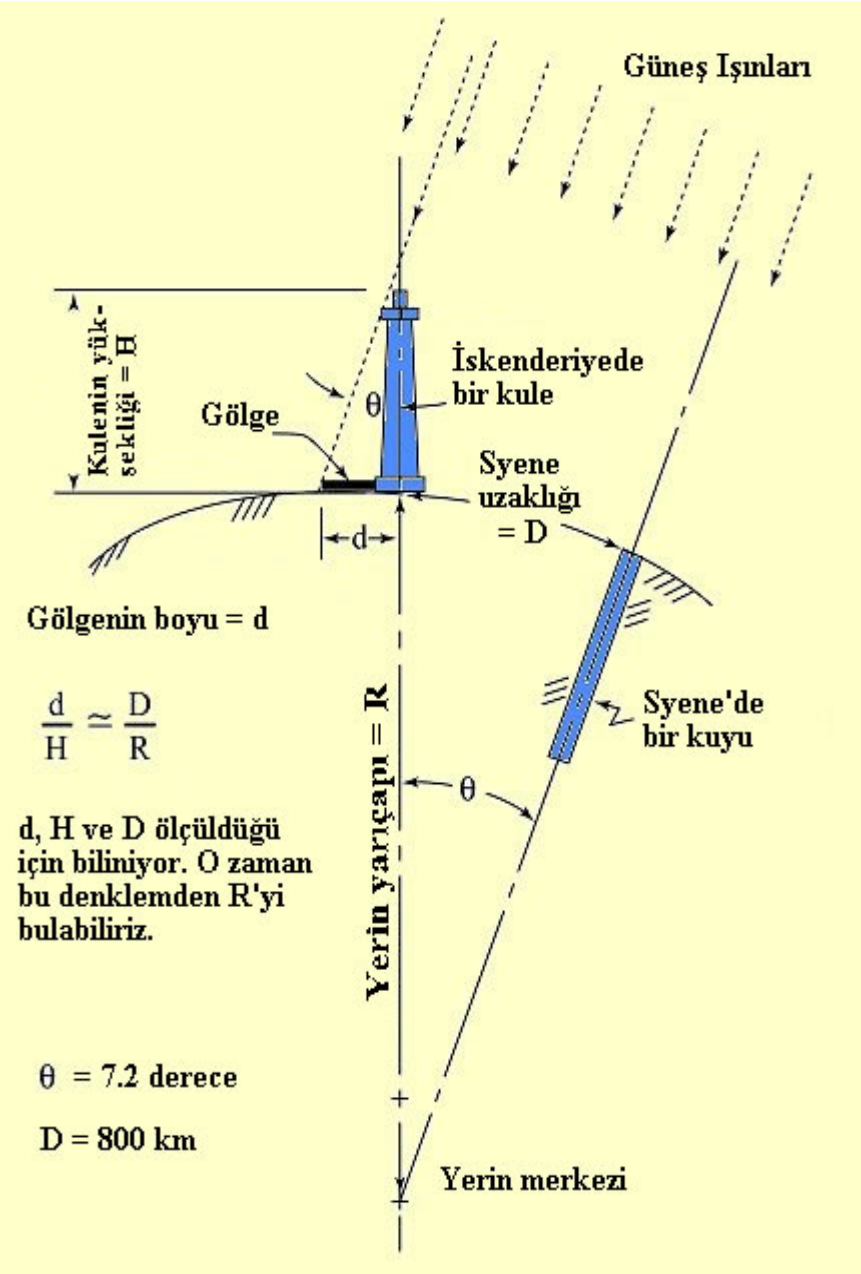


Şekil 2.6: Güneş merkezli Aristarchus evren modeli. Kopernik 17 yüzyıl sonra aynı modeli savunmuştur.

Hipparchus (M.Ö. 190-125) zamanında gezegen parlaklıklarının yıl boyunca değiştiği biliniyordu. Hipparchus buradan gezegen-Yer uzaklığının yıl boyunca değişmesi gerektiğini düşünerek Yer merkezli modelde Yer'in görünmeyen kürelerin tam merkezinde olmaması gerektiğini savunmuştur. Hipparchus, hazırladığı yıldız kataloğundaki yıldız konumlarıyla aynı yıldızların daha önceden kaydedilen konumlarını karşılaştırarak konumlarda sürekli fakat çok yavaş olan bir değişimi farketmiştir. Hipparchus'un astronomiye asıl katkısı, bugün kullanılan yıldız parlaklıklarının ölçüm sistemini geliştirmiş olmasıdır.

Daha sonra Ptolemy (M.S.100-170), evren modeli konusunda Hipparchus'u örnek alarak Yer merkezli evren modelini kabul etmiştir. Gezegenlerin kavuşum dönemlerini belirlemiş ve onların Yer'e uzaklıklarını geometrik yollarla hesaplamıştır. Ptolemy'nin astronomiye en önemli katkısı yazdığı 13 çiltlik astronomi kitabıdır. Ptolemy, Arap dünyasında Almagest olarak adlandırılan bu kitabında zamanının tüm astronomi bilgisini toplamıştır. Hipparchus'un yıldız kataloğunu da kapsayan bu kitap yüzyıllarca temel astronomi kitabı olarak kullanılmıştır. Hipparchus'un yıldız kataloğu, gözle görülebilen yıldızların o zamanki parlaklık ve koordinatlarını vermesi bakımından önemlidir. Aynı yıldızların bugünkü koordinatları Hipparchus kataloğundaki değerlerle karşılaştırılarak o yıldızların öz hareketleri ve ayrıca, varsa, çok uzun dönemli parlaklık değişimleri bulunabilmektedir.

Milattan sonra birkaç yüzyıl içinde Hristiyan'lığın hızla yayılması ve daha sonra da Roma İmparatorluğu'nun çökmesiyle Avrupa'da bilime verilen önem hemen hemen tamamen ortadan kalkmış, Aristo düşüncesinin kiliseye yerleşmesi ile de Avrupa karanlık bir döneme girmiştir.



Şekil 2.7: Erathosthenes'in yerin yarıçapını ölçmesi

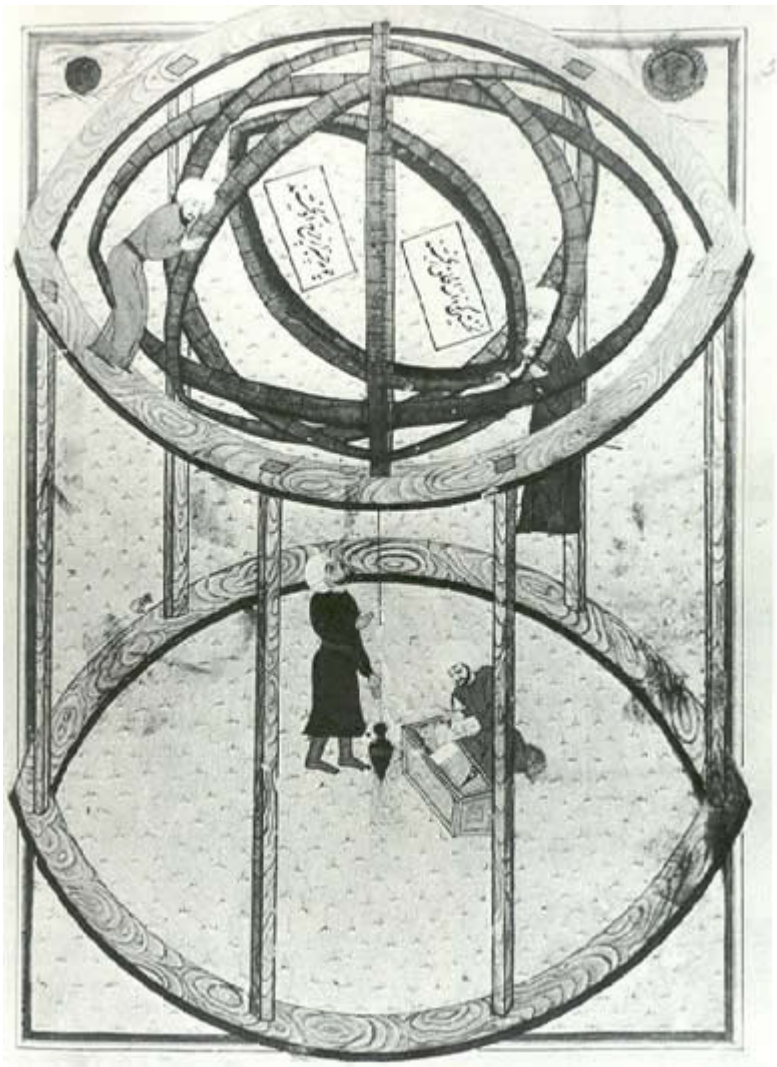
.2 İslâm Astronomisi

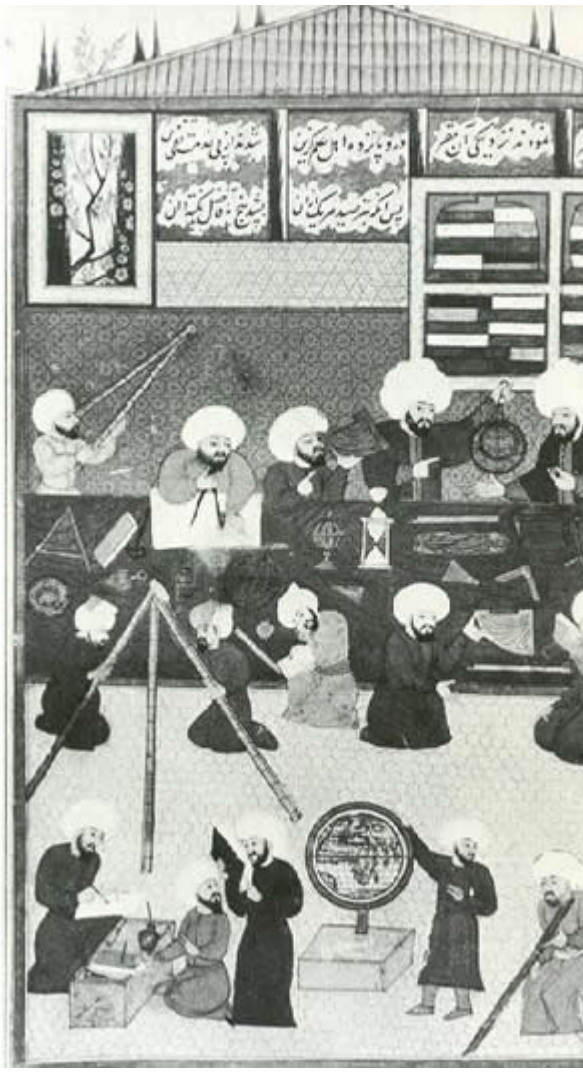
Henüz Müslümanlık ortaya çıkmadan önce Araplar, Yunan kültürünü koruyan Romalılarla temas içindeydiler. Daha o zaman var olan astronomi ilgisiyle Araplar, Roma İmparatorluğu'nun koruduğu Yunan eserlerini Lâtince'den Arapça'ya çevirmişlerdi. Müslümanlığın ilk yıllarından itibaren dini günlerin namaz ve oruç saatlerinin belirlenmesine yarayacak astronomi bilgisi islâm ülkelerinde daha da önem kazanmıştı. Kıble doğrultusunun belirlenmesi de bir bakıma astronomi bilgisi gerektiriyordu. O zaman üzerinde çalışılan astronomi konuları şunlardı: (1) Coğrafî astronomi (2) Güneş, Ay, gezegenler ve yıldızların görünür hareketlerini inceleyen konum astronomisi (ilm-ül-eflak), (3) astroloji (ilm-i ahkam-ı nücum) ve (4) zaman hesapları (ilm-ül-rukat). Doğal olarak zaman hesapları ve çoğrafi astronomi en önemliydi. Zaman hesaplarıyla uğraşanlara "Muvakkit" denirdi. Büyük camilerin çoğunda "Muvakkit"ler vardı. "Muvakkit"ler medreselerde yetiştiriliyordu. Geniş anlamıyla astronomi, İslâmiyette dinî çevrelerce pek rağbet görmezdi. Çünkü astronomi, aklî ilim olarak islâmi ilimler gibi önemli değildi. Diğer taraftan insan düşüncesi mahsulü oldukları için aklî ilimlerin hatalı ve hatta zararlı olabileceğine inanılıyordu. Bu nedenle İslâmiyette fıkıh medresesi, kelam medresesi, hadis medresesi ve sayıları az

da olsa tıp medresesi gibi bazı özel konuların öğretildiği medreseler vardı. Fakat astronomi gibi aklî ilim dedikleri özel dallarda öğretim yapan medreseler yoktu. Astronomi bilgisinin yayılması ve nesilden nesile geçmesi daha çok diğer aklî ilimlerde olduğu gibi özel ders ve kişisel çalışmalarla oluyordu. Böylece astronomlar özel ders vererek çıraklık usulüyle yeni astronomlar yetiştiriyorlardı. Genelde değer verilmeyen astronomi çalışmalarına İslâmiyette takınılan tavır her zaman ve her yerde aynı olmamıştır. Örneğin Fatih Sultan Mehmed'in İstanbul'da açtığı medreselerde, matematiğin yanında astronominin de okutulduğu bilinmektedir.

İslâm astronomları evren modeli olarak Ptolemy (Batlamyus) modelini esas kabul edip yaptıkları gözlemler sonucu bu modelde küçük değişiklikler yapmışlardı. Ay'ın hareketine dayalı bir takvim kullanmışlardır. Bu takvim İslâm Peygamberi Muhammed'in Mekke'den Medine'ye göç tarihinden başlatılmıştır. Yıldızların, Yunanlılarda kabul edildiği gibi Satürn dışında bir kürenin üzerinde olduğu inancından süphe edilmiş, onların çok daha uzakta, uzaya yayılmış büyük cisimler olduğuna inanılmıştır.

İslâm dünyasının astronomiye en önemli katkısı, ilk kez modern anlamda gözlem evlerinin kurulmuş olmasıdır. Batı dünyasında hiç sözü edilmeyen bu gelişme aslında çok önemlidir. Eski Yunanlılar, astronomik bilgiyi yeni gözlemlere gereksinme duymadan filozofik yollarla geliştirmeye çalışırken, İslâm ülkelerinde gözlem yapmanın önemi kavranmış, bu amaçla büyük gözlem evleri kurulmuştur. Bu gözlem evlerinde yeni âletler geliştirilmiş, çok sayıda astronom yetiştirilmiştir. İlk kez İslâm ülkelerinde 8. yüzyılda kurulmaya başlayan gözlem evlerinin önemi ve dünya üzerindeki sayısı o günden bu yana gittikçe artmaktadır. Bağdat'ta 5. Abbasi halifesi Harun el-Reşid (763-809) zamanında gelişmeye başlayan gözlemsel astronomi 7. halife El-Mamun (813-833) zamanında daha da fazla destek görmüştür. Dönemin büyük astronomu El-Battani (858-929) 20 yaşından başlayarak çok duyarlı gözlemler yapmıştır. Bu gözlemlerle Güneş'in görünür hareketindeki düzensizlikleri incelemiş, düğümler noktasının yılda 54".5 kaydığını göstermiş ve ekliptiğin ekvator düzlemiyle 23°35' 'lık bir açı yaptığını ölçmüştür. 880-881 ılımına (ekinoksuna) göre bir yıldız kataloğu hazırlamış ve "Yıldızlar Bilimi" adlı bir de kitap yayınlamıştır. Bu kitap sonradan 12. yüzyılda Latince ve İspanyol'caya çevrilmiştir. 10. ve 11. yüzyılda meşhur olan diğer iki İslâm astronomundan El-Sufi Şiraz'da, El-Biruni ise Mezopotamya'da yaşamıştır. Aynı dönemlerde İbn-Yunus, Mısır'da astronomi gözlemleri sürdürmüştür.





Şekil 2.8: İslâm gözlem evlerinde kullanılan bir ölçüm âleti ve çalışanlar.

1260 yılında Hulagü Han'ın desteğiyle Nasir-El-Din tarafından kurulup çalıştırılan Meraga gözlem evinin ünü İngiltere'den Çin'e kadar yayılmıştır. Nasir-El-Din'in 1274 te ölümünden sonra oğlu tarafından yönetilen ve çok sayıda astronomu barındıran Meraga gözlem evi 50 yıl kadar aktif olarak çalıştırılmıştır. 1300 yılında Meraga gözlem evini görüp inceleyen İlhanlı Hükümdarı Gazan Han (1295-1304) Tebriz yakınlarında kendisine bir türbe ile beraber cami, medrese, misafirhane, idare binaları, hamam ve bir de gözlem evi yaptırmıştır. Gazan Han gözlem evinin bütün giderleri vakıf gelirleri ile karşılanıyordu. Gazan Han bu gözlem evinde Güneş gözlemleri için yarım küre şeklinde yeni bir gözlem âleti geliştirmiş ve kullanmıştır. Vakıf gelirleriyle çalıştırılan bu gözlem evinde resmi olarak iyi plânlanmış bir astronomi öğretimi de sürdürülüyordu. 15. yüzyılın başlarında Meraga gözlem evini inceleyen Timurlenk (1369-1405)'in torunu Muhammed Turgay Uluğ Bey (1394-1449), Semerkand'ta başka bir gözlem evi kurdurmuştur. Bu gözlem evinin Uluğ Bey'den daha önce kurulmuş olduğu da sanılmaktadır. 1500 yıllarında yıkılan gözlem evinde 1460'lara kadar etkin biçimde gözlemler sürdürülmüştür. Uluğ Bey bu gözlem evindeki çalışmalarıyla büyük bir yıldız kataloğu hazırlamıştır. 1018 yıldızın parlaklık, ad ve konumlarını veren bu katalog, Uluğ Bey, Han olmadan 10 yıl önce 1437 de yayınlanmıştır. Önce Arapça yayınlanan katalog 1498 de Farsça'ya 1665 te İngilizce'ye çevrilmiştir. Ayrıca 1767 de İngiltere'de Oxford yayınları arasında 2. kez ve 1917 de de Washington'da Carnegie Enstitüsü nde basımı yapılmıştır.

Abbasi halifesi Mamün zamanında Bağdat'taki Şemma-siye ve Şam'daki Kasiyün gözlem evlerindeki astronomların grup hâlinde çalıştıkları ve birbirleriyle işbirliği yaptıkları bilinmektedir. Meraga gözlem evinde de 100 kadar öğrenci ve Nasir-üd-din-i Tusi, Cemal-üd-din-ibni-Tahir-i Buhari gibi birçok önemli astronom bulunuyordu. Semerkand gözlem evinde ise Kadı Zade ve Ali Kuşçu, Uluğ Bey ile birlikte

çalışmışlardır. Bu gözlem evi Uluğ Bey'in öldürülmesinden sonra on yıl kadar oğlu tarafından yönetilmiştir. Tebriz gözlem evinin ancak birkaç yıl çalıştırılıp Gazan Han'ın 1304 yılında ölmesinden sonra bir nedenle yıkıldığı sanılmaktadır. Burada bir önemli nokta da İslâmda büyük gözlem evlerinin hükümdarlar tarafndan kurulmuş ve desteklenmiş olmasıdır. Yalnız bütün bu gözlem evlerinin ömürleri fazla uzun olmamıştır. Bunun da nedeni İslâmiyette gözlem evine varlığının devamlı olması gerekli bir çalışma yeri olarak bakılmamış olmasıdır.

Aslında bugün eski İslâm dünyasındaki astronomi çalışmaları yeterince gün ışığına çıkarılmış değildir. Medreselerin gözlem evi niteliğinde yapılmış olması, kubbelerinin altında kuyuların bulunması astronomi gözlemleriyle ilişkili olabilir. İslâm dünyasının astronomi bilimine etkisi öylesine büyük olmuştur ki bugün parlak yıldızların bütün dünyada kullanılan isimleri genellikle Arapçadır. Örneğin; Algol, Antares, Aldebaren, Adhara, Almach, Alphard sadece A harfinde tüm dünyada kullanılan birkaç parlak yıldızın Arapça ismidir. Hâlâ kullanılan astronomik terimlerin de bir çoğu İslâm kaynaklıdır. Örneğin; zenit, nadir, azimut, almukantar v.s yine batıda turkuet yada turketum denen ve açı ölçmeye yarayan gözlem âleti, İslâm gözlem evlerinde geliştirilmiş Türk gözlem âletidir.

Şekil 2.9: İstanbul semalarında bir ay gözlenen 1577 kuyruklu yıldızı.

Teleskopun 1610'da icadından önce astronomik gözlemlerin sürdürüldüğü son İslâm gözlem evi III. Murat'ın emriyle Takiyyüddin tarafından İstanbul Tophane'de 1577 yılında kurulan İstanbul gözlem evidir. Bu gözlem evi 2 yıllık bir çalışma döneminden sonra yine III. Murat'ın emriyle topa tutularak yıkılmıştır.

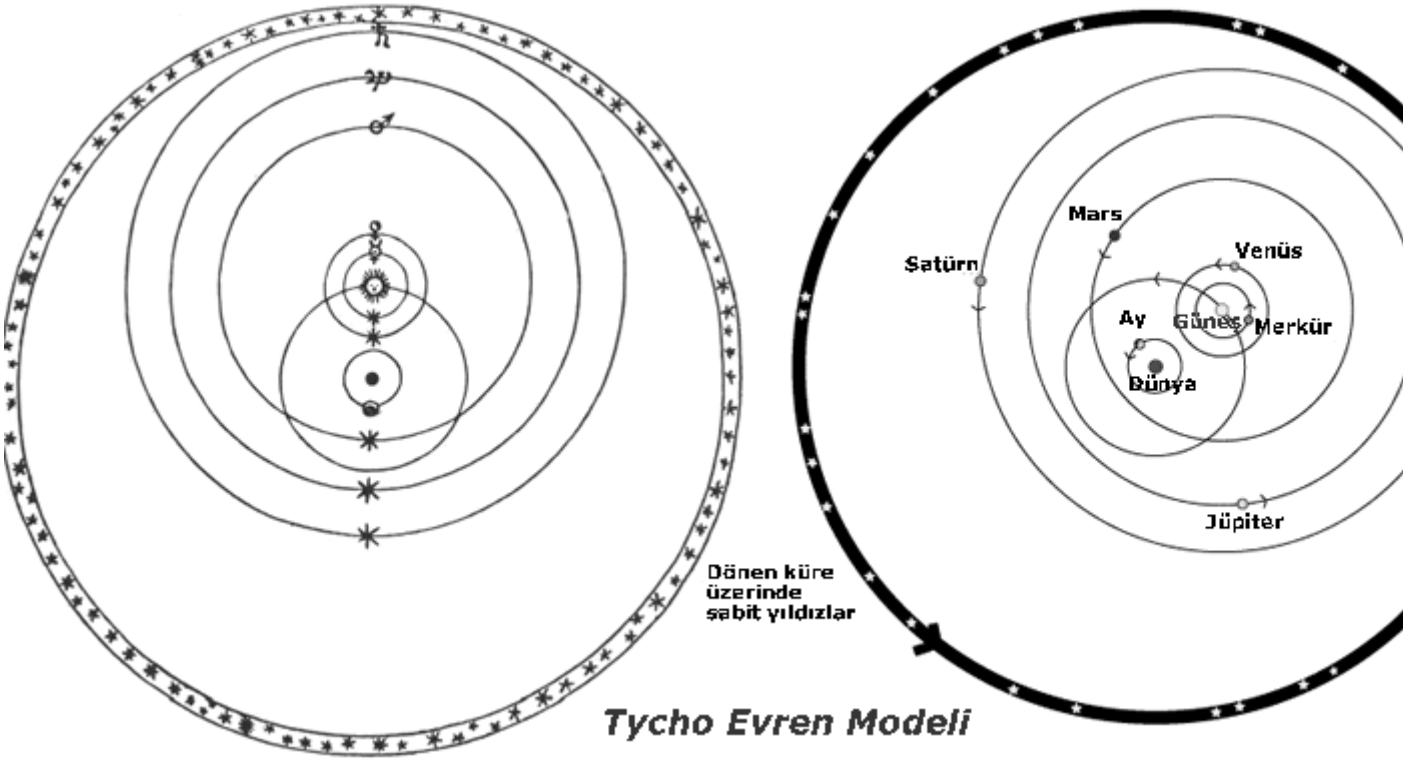
.3 Avrupa'da Astronomi'nin Yeniden Gelişmesi

İslâm dünyasında astronomi çalışmaları önemini yitirmeye başladığı sıralarda Orta Avrupa, Rönesansla beraber bilim merkezi olma yolundaydı. İslâm dünyasından alınıp tekrar Latince'ye çevrilen kitaplardan astronomi öğreniliyor ve üniversitelerde okutuluyordu. Bunun iki nedeni vardı. Birincisi, denizcilerin yön ve konum saptama ihtiyaçları; ikincisi de "Paskalya" gibi dini günlerin belirlenmesi ve daha genel anlamda takvimde yeni gözlemlerle desteklenen bir reform yapılması ihtiyacıydı.

Bu dönemde astronomide asıl gelişme gözlemsel değil fakat kuramsal olmuştur. Gözlem yapamamaktan yakınan Nicholas Copernicus (Kopernik) (1473-1543), matematiksel ve mantıkî

düşünceyle Aristarchus modelinin Güneş sistemi gözlemlerini Ptolemy modeline göre daha basit bir şekilde açıkladığından daha doğru olması gerektiğini savunmuştur (bkz. Şekil 2.6). Kopernik, Aristarchus gibi, Yer ve diğer gezegenlerin Güneş etrafında düzgün dairesel hareket yaptıklarını, ayrıca gök cisimlerinin günlük görünür haraketlerinin Yer'in dönmesinden kaynaklandığını düşünmüştür. Düzgün dairesel hareketin gözlemleri tam olarak sağlamadığını görmüş ve bu nedenle bazı gezegenler için ikincil yörüngeler öngörmüş ve Güneşin de tam merkezde olmadığı yargısına varmıştır. Ölünceye kadar yayınlamaktan çekindiği "De Revolutionibus" kitabına göre Kopernik modeli Ptolemy modelinden daha karmaşıktı; gezegenlerin 7 eliptik yörüngesini açıklayabilmek için toplam 48 tane birincil ve ikincil çember yörünge kullanılmıştı. Oysa aynı yıllarda Ptolemik model, aynı amaç için 40 çember yörünge kullanıyordu.

(1546-1601) yılları arasında yaşayan büyük astronom Tycho Brahe, iki Güneş sistemi modeli arasında doğruyu bulmanın sadece çok duyarlı gözlemlerle mümkün olduğunu belirtmiştir. Kendi kurduğu modelde (Şekil 2.10) Ay ve Güneş'in Yer etrafında, diğer gezegenlerinse Güneş etrafında düzgün dairesel haraket yaptıklarını kabul etmişti. Tycho Brahe, yaptığı duyarlı gözlemleri değerlendiremeden ölmüştür. Öğrencisi Johann Kepler (1571-1630) bu gözlemleri kullanarak önce Mars gezegeninin gözlemlerini değerlendirmiş ve Mars yörüngesinin odaklarından birinde Güneş bulunan bir elips olduğunu göstermiştir. Sonradan aynı şekilde diğer gezegen yörüngelerinin de birer elips olduğunu gösterilmiştir (bkz. Kepler kanunları). Kepler kanunlarıyla Güneş merkezli gezegenler teorisi yer merkezli Ptolemy modeline göre hem akla daha ugun geliyor hem de gözlemleri daha iyi açıklıyordu. Kepler de yıldızların Satürn yörüngesinin ötesinde dar bir bölgede yer aldıklarına inanıyordu. Bu dönemde Giordano Bruna (1548-1600) ise yıldızların sonsuz evrene dağıldıklarını düşünmüştü. Bu düşünce aslında İslâm rasathanelerinde geliştirilmiştir.

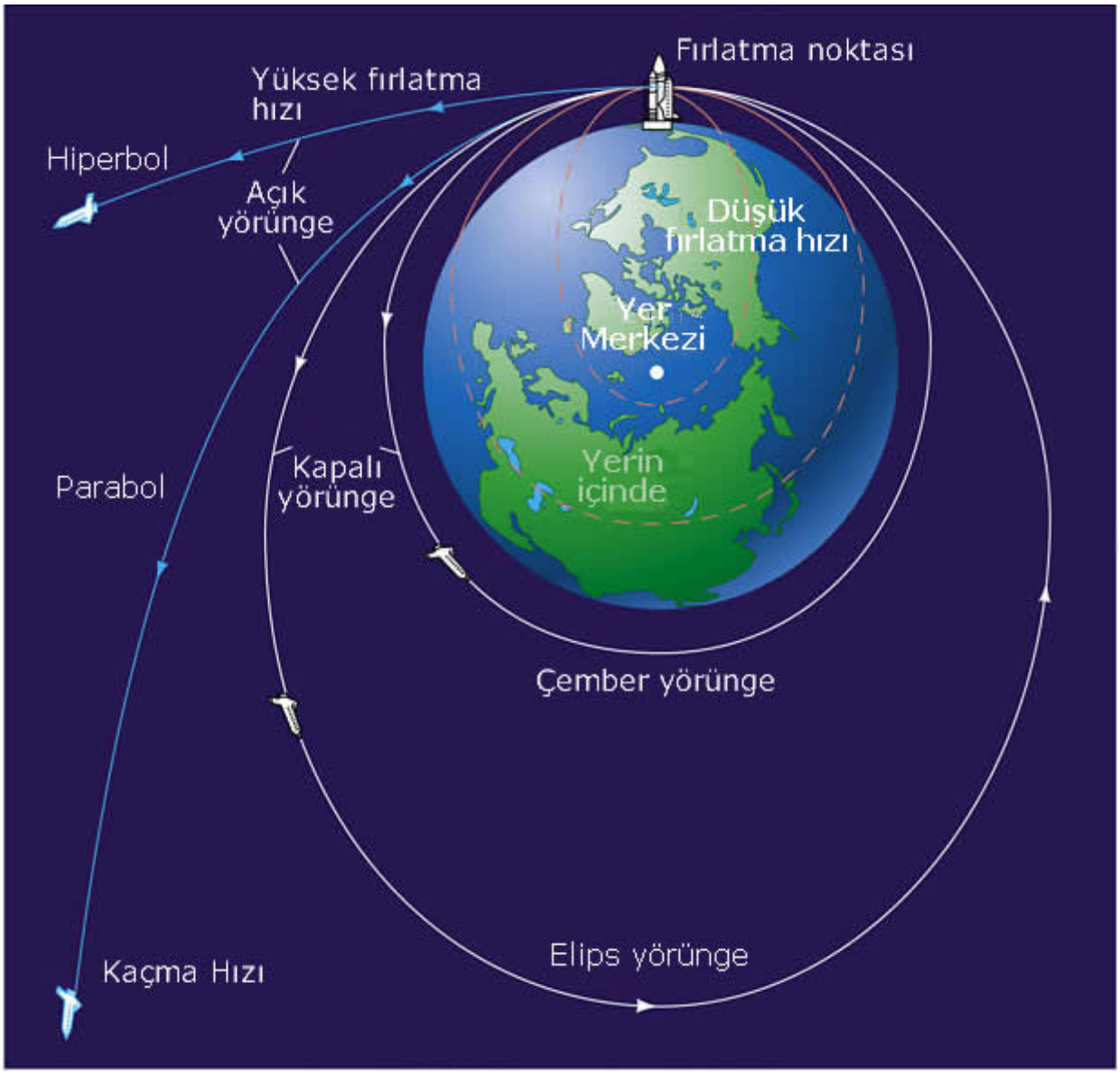


Şekil 2.10: Tycho Brahe'nin evren modeli.

Teleskopun 1610 yılında keşfedilmesiyle astronomideki gelişmeler hızlanmış ve teleskop en önemli astronomi âleti durumuna gelmiştir. Mekaniğin kurucularından Galile (1564-1642) teleskop kullanarak (1) Jüpiterin dört uydusunu keşfetmiş, (2) ilk Ay haritasını yapmış ve oradaki yüzey şekillerini isimlendirmiş, (3) Venüs gezegeninin evrelerini izlemiş, (4) Samanyolunun yıldızlardan oluştuğunu görmüş, (5) Satürn gezegeninin kenarında çıkıntılar olduğunu (bunun halka olduğunu farkedememiş) gözlemiş ve (6) Güneş lekelerinin gözlemlerinden güneşin 26 günde bir dönme hareketi yaptığını bulmuştur. Fabricius (1564-1617) tarafından Güneş lekeleri ve iki değişen yıldız aynı dönemde

keşfedilmiş, 1580 lerde ilk büyük gök haritası, Bayer (1572-1625) tarafından yayınlanmış ve aynı yıllarda Papa Gregory XIII tarafından takvimde düzeltme yapılmıştır.

Kepler ve Galile'den sonra astronomiye en büyük katkı Isac Newton (1642-1727) tarafından yapılmıştır. Kepler gezegenler kuramında, gezegenleri yörüngelerinde tutan kuvvetin Güneş'ten kaynaklandığını ve manyetik bir kuvvet olduğunu kabul etmişti. Newton, Kepler kanunlarını kullanarak bu kuvvetin her zaman gezegen-Güneş uzaklığının karesiyle ters orantılı olduğunu göstermiştir. Newton, ayrıca, bu kuvvetin Yer üzerinde bırakılan taşın yere düşmesini sağlayan, gelgit olayına neden olan kuvvetle aynı karakterde (yani iki cisim arasındaki çekim kuvveti) olduğu yargısına varmıştır. Newton evrensel çekim kuvvetiyle ilgili çalışmalarını "Philocophiae Naturalis Principia Mathematica" adlı yapıtında toplamıştır.



Şekil 2.11: Newton çekim yasasına göre yapay uydu yörüngeleri. Yukarı atılan cisim düzgün yavaşlayan hareket yapıp bir yerde durur ve sonra serbest düşme hareketiyle yere düşer. Eğik atılan cisim eğik atış hareketi yapar. İlk hız yeteri kadar artırılırsa cisim yer etrafında yörüngeye oturur. Ay, yer etrafında yörünge hareketi yapan doğal bir uydudur.

Bu dönemde daha modern teleskoplar geliştirilip ilk ve modern gözlem evleri 1670 te Paris'te, 1671 de Greenwich'te ve 1700'de de Berlin'de kurulmuştur. Bu arada zaman ölçümünde de daha hassas saatler yapılmıştır. 1672 de Cassini (1625-1712), Yer-Güneş uzaklığını bulduktan sonra 3. Kepler

yasasını kullanarak ilk kez doğru olarak Mars-Güneş uzaklığını buldu. Halley (1656-1742), Yer-Güneş uzaklığının bulunması için yeni bir yöntem kullandı. 1706'da ilk defa bir kuyruklu yıldızın yörünge öğelerini hesapladı ve onun dönemli bir kuyruklu yıldız olduğunu gördü. Böylece kuyruklu yıldızların atmosferik olaylar olmadıkları, Güneş sisteminin küçük üyeleri oldukları öğrenilmiş oldu. Kuramsal astronomide Newton'un çekim yasasını temel alan gök mekaniğinin önemi gittikçe artmaya başlamış ve Euler (1707-1783), Clairaut (1713-1765), d'Alembert (1717-1783), Lagrange (1736-1813), Laplace (1749-1827), Gauss (1777-1855) gibi çok meşhur bilim adamları gök mekaniği alanında çalışmışlardır. Gözlemsel alanda ise Güneş merkezli Güneş sistemi modelinde yıldızların var olması gereken paralaktik hareketleri (bkz. bölüm 4.3) tüm çabalara karşın gözlenemiyordu. 18. yüzyılda bu amaçla yapılan yoğun çalışmalar başka buluşlara yolaçmıştı. Ancak konum gözlemlerindeki aberasyon (ışınım sapıncı), presesyon, nütasyon ve kırınım etkileri anlaşılıp pratik yöntemlerle giderilerek gözlem duyarlığı oldukça arttırıldıktan sonra yıldızların paralaktik hareketleri ölçülebilir duruma gelmişti. İlk kez Bessel (1784-1846), 1838'de 61 Cyg yıldızının ve daha sonra aynı yıl içinde Struve (1793-1864) ve Henderson (1798-1844) 〈 Lyr (Vega) ve 〈 Cen yıldızlarının ıraklık açılarını ölçmeyi başarmıştır. Ölçümler sonunda görülmüştür ki yıldızların ıraklık açıları ve paralaktik kaymaları beklenene göre çok çok küçük, dolayısı ile yıldızlararası uzaklıklar çok çok büyüktür. Bize en yakın yıldız olan "Proxima Centauri" yıldızının bile ıraklık açısı 0.76 açı saniyesi ve buna karşılık gelen uzaklığı ise 4.3 ışık yılıdır

SORULAR

1. Çinlilerin M.Ö. 2000'li yıllarda Güneş lekelerini nasıl gözlemiş olabileceğini tartışınız.

2. Kopernik, gezegenlerin geri hareketini nasıl açıklamıştır?

3. Üç Kepler yasasını yazınız. Kepler yasaları neden önemlidir?

4. Üç Newton yasasını yazınız. Her yasaya günlük yaşamdan örnekler veriniz.

5. Neptün gezegeninin keşfi, neden Newton çekim yasasının önemli bir kanıtıdır?

6. Sayfa 263'te yer alan Ek-5 çizelgesini kullanarak gezegenlerin günlük ortalama yörünge açısal hızlarını bulup büyüklük sırasına koyunuz. Bu sıra niçin gezegenlerin Güneş'ten uzaklık sırasıyla aynıdır?

7. Babilliler Venüs gezegeninin evreler gösterdiğini nasıl saptamış olabilir? Tartışınız.

8. Küçük bir teleskopla veya dürbünle Venüs gezegenini birer hafta aralıkla gözleyip görüntünün büyüklük ve hilâl durumunu kaydediniz. Mümkünse bu işi fotograf çekerek yapabilirsiniz. Tarih sırasına göre görüntü büyüklüğünü ve evre durumunu inceleyerek Venüs'ün Yer'e yaklaştığını veya uzaklaştığını saptayınız. Venüs-Güneş, Yer-Güneş, Venüs-Yer uzaklıklarının zamanla değişimini irdeleyiniz.

9. Galile'nin astronomiye katkılarını maddeler hâlinde yazınız.

10. 15. yüzyılda Avrupa'da astronominin yeniden önem kazanmasının nedenlerini yazınız.

11. İslâm astronomisinin gelişim nedenleri nelerdir?

12. Eski Yunanlıların Yer merkezli evren modelinde Yer'in tam merkezde olmamasını gerektiren neden ne olabilir?

13. Burçlar kuşağının astronomideki önemini açıklayınız.

14. Titius-Bode yasası hakkında bilgi toplayıp yasanın önemini açıklayınız.

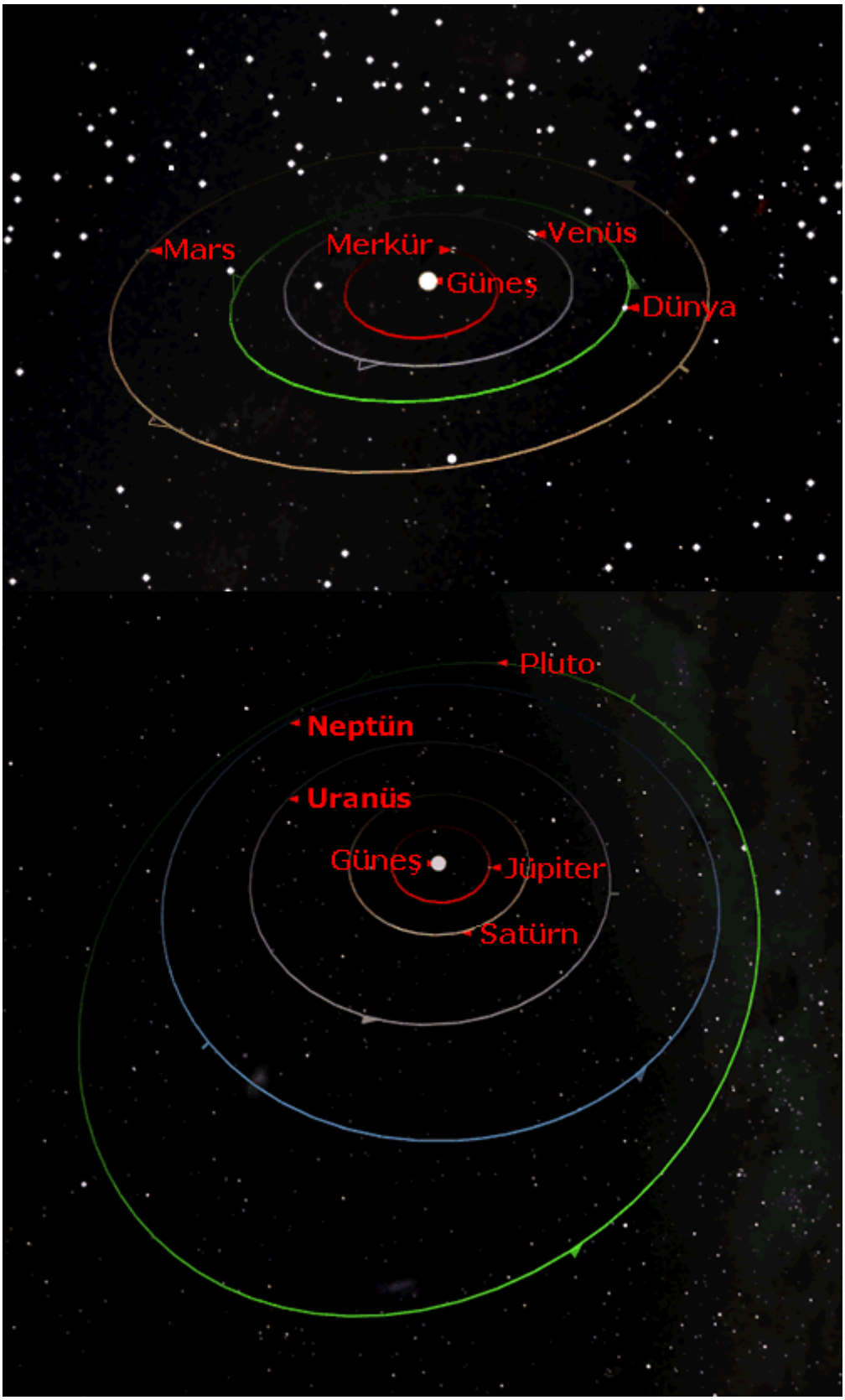
15. Tycho Brahe'nin inandığı evren modelini, Aristarchus ve Batlamyus modelleriyle karşılaştırınız.

16. Babilliler uzun süreli sistematik gözlemlerden 235 ay = 6940 gün =19 yıl olduğunu saptamışlardır. Buradan Babillilerin ay ve yıl sürelerini gün biriminde bulup bugünkü değerlerle karşılaştırınız.

GÜNEŞ SİSTEMİ

3.1 Güneş Sistemi

Güneş sistemi, Güneş, 9 büyük gezegen, bunların uyduları, kuyruklu yıldızlar, akan yıldızlar, küçük gezegenler, meteorlar ve gezegenlerarası gaz ve tozdan oluşmuş bir sistemdir. Güneş sisteminin dış sınırı Pluto yörüngesinden daha uzaklara gider. Sistemin dış sınırının Güneşten 1-2 ışık yılı ötelerde olduğu sanılmaktadır. Bu şekilde tanımlanan güneş sistemi, bilinen evren hacminin 10^{-30} 'da birini yani teleskoplarla gözlediğimiz evrenin çok küçük bir bölümünü oluşturur. Küçük olmasına karşın önemli olmasının nedeni, bizim içinde yaşıyor olmamızdır.

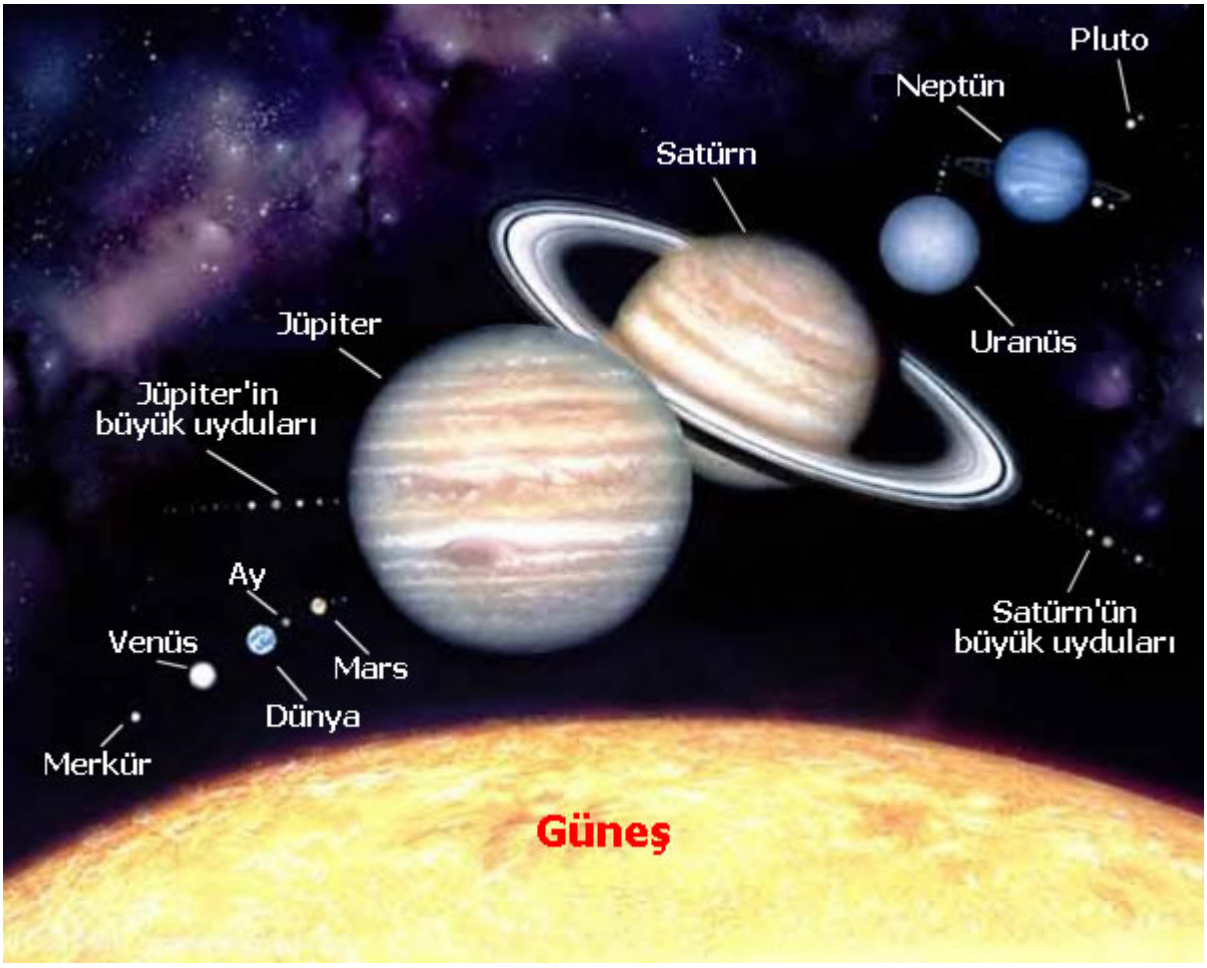


Şekil 3.1: Güneş sisteminin şematik bir gösterimi. En dıştaki gezegenler Güneş'e çok uzak olduğu için tüm gezegenleri aynı şekil içinde göstermek çok zordur. Bu nedenle eşelleri farklı iki ayrı grafik görüyorsunuz.

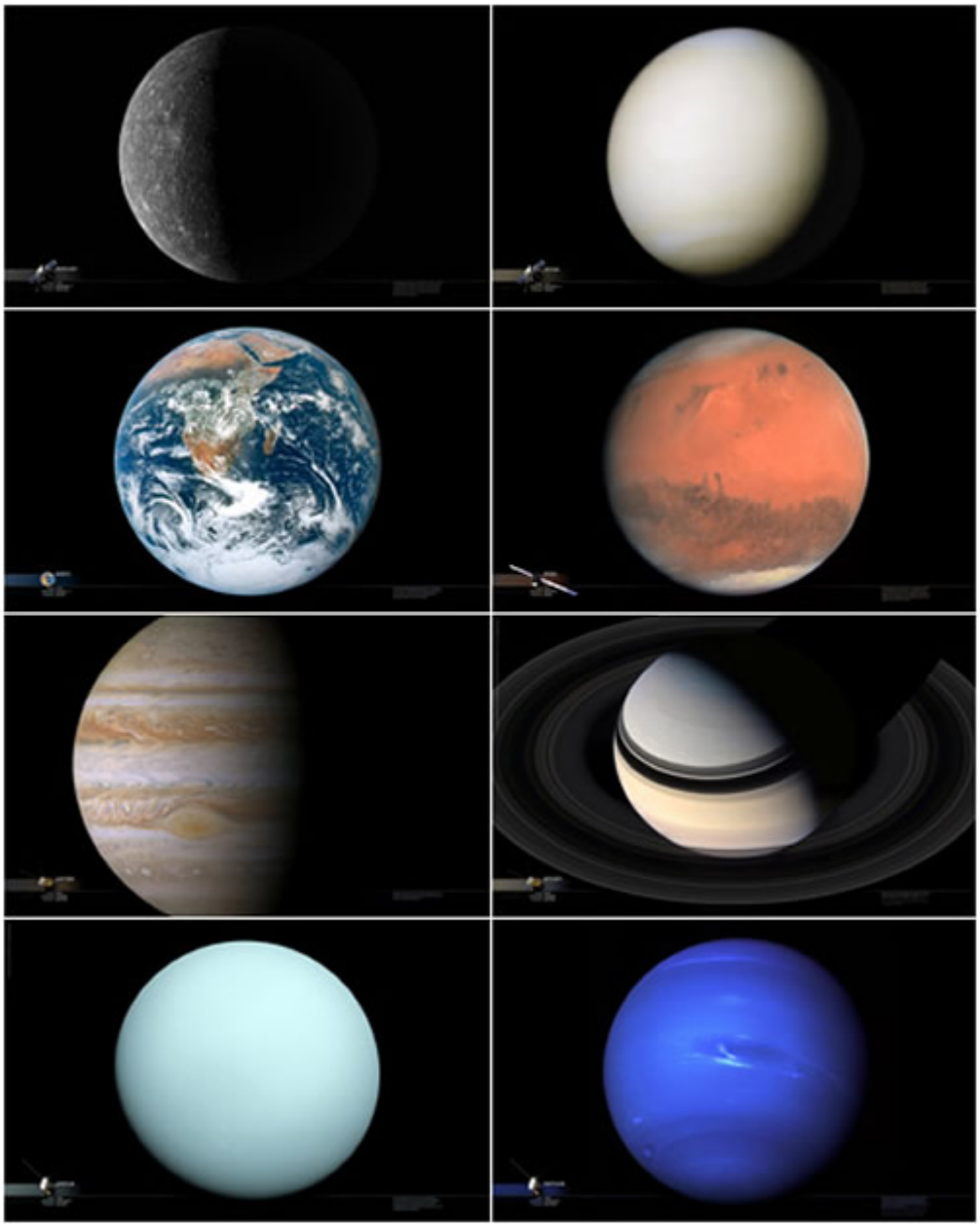
Yukarıda yapılan tanıma göre Güneş sisteminde bir çok cisim olmasına karşın, onu tamamen boş bir uzay olarak kabul edebiliriz. Bu görüşü Güneş sistemini ölçekli olarak küçülterek şöyle açıklayabiliriz. Yer küre'miz iri bir kum taneciği büyüklüğünde olsun. Bu durumda Güneş Yer küre'den 4 metre uzakta bir portakal büyüklüğünde olur. Bu küçültülmüş sistemde Ay bir toz parçası kadardır ve Yer'den 1 cm uzaklıktadır. Merkür, Venüs ve Mars kum taneciği büyüklüğünde iken Jüpiter, Güneş'ten 20 m uzakta küçük bir kiraz gibi görülür. Jüpiterden biraz daha küçük olan Satürn, bu eşelde Güneş'ten 36 m uzaktadır. Uranüs ve Neptün nohut büyüklüğünde cisimler iken en dış gezegen Pluto, ortadaki portakaldan 150 m uzakta bir toz parçası büyüklüğünde yer alır. Güneş sisteminin diğer tüm üyeleri gözle görülemeyecek derecede küçüktür. Eğer büyük bir stadyumun orta yuvarlağına portakalı ve çevresindeki bu cisimleri koyarsak, tribünde otururken portakal hariç, diğer cisimlerin hiçbirini göremezdiniz ve yanınızdaki kişiye bu saha niçin bomboş diye sorardınız.

Güneş Sisteminin Yapısı ve Genel Özellikleri

Gezegenler, Kepler ve Newton yasalarına göre Güneş etrafında elips yörüngelerde dolanırlar. Gezegen yörüngelerine ilişkin veriler; Ek 5 deki (Sayfa 263) çizelgede verilmiştir. Söz konusu çizelgenin incelenmesinden, gezegenlerin yörünge düzlemlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülür. Örneğin; Merkür ve Pluto yörüngelerinin Yer yörüngesi ile aralarındaki açı sırasıyla 7° ve 17.2° 'dir. Diğer tüm gezegenlerin yörünge düzlemleri ise Yer yörüngesi ile 3.4°'den daha küçük açılar yaparlar. Bu nedenle güneş sistemi bir disk şeklindedir. Bu diske kuzey yönünden bakıldığında tüm gezegenlerin saatin ters yönünde Güneş etrafında dolandıkları görülür. Ayrıca, yine aynı yönden bakıldığında, Venüs ve Uranüs dışında tüm gezegenler eksenleri etrafında yine saatin ters yönünde dönerler. Astronomide yörüngedeki harekete "dolanma", eksen etrafındaki harekete ise "dönme" denir.



Şekil 3.2: Fotografta, tüm gezegenlerin büyüklüklerinin Güneş'le karşılaştırılması görülmektedir. Doğal olarak fotograf yapaydır, her gök cisminin görüntüsü belirli bir eşele indirgendikten sonra aynı kareye yerleştirilmiştir.



Şekil 3.3: Değişik Güneş Sistemi üyelerinin uydu görüntüleri. Büyüklükler orantılı değildir. Üyelerin isimleri sırasıyla Venüs, Yer, Mars, Uranüs'ün uydusu Miranda, Jüpiter, Jüpiter'in uyduları Ganymede ve Io, Satürn'ün uydusu Rhea ve Neptün.

Gezegenlerin Güneş'e olan uzaklıklarını basitçe göstermek için 1766 tarihinde iki Alman bilim adamı (Titius ve Bode) bir yasa ortaya koydular. Bu yasaya göre önce bir serinin terimleri yazılıyordu.

$4, 4+(3x2^0), 4+(3x2^1), 4+(3x2^2), 4+(3x2^3), 4+(3x2^4), ...$

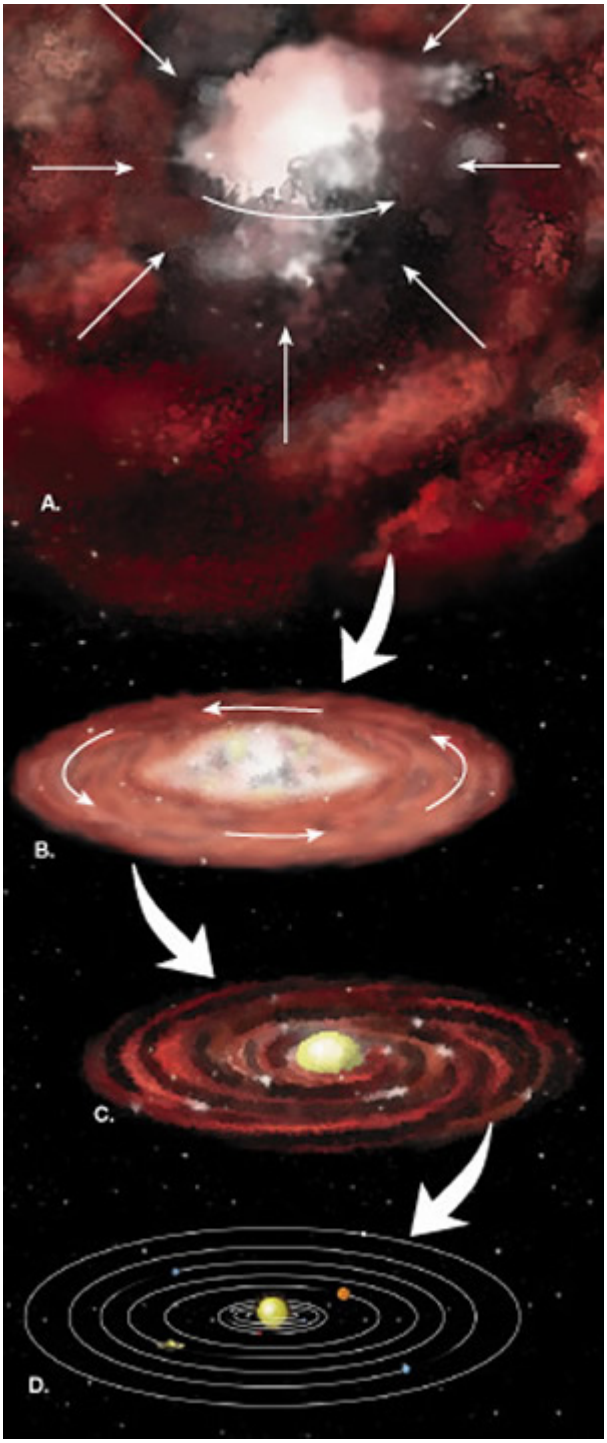
Daha sonra her terim 10 ile bölünüyordu.

0.4, 0.7, 1.0, 1.6, 2.8, 5.2, 10.0, 19.6, 38.8, 77.2 ....

Ortalama Güneş-Yer uzaklığına bir gök birimi (GB) denir ve cisimler arasındaki uzaklıkların çok büyük olduğu gök bilimde, uzaklık birimi olarak kullanılır. Bu birime göre, elde ettiğimiz sayılar bize gezegenlerin Güneş'ten olan uzaklıklarını vermektedir. Çizelge Ek 5'de bugün kesin olarak bildiğimiz ortalama gezegen-Güneş uzaklıkları verilmiştir. 2.8 GB değerine karşılık gelen boşluk dışında Titius-

Bode yasasından bulunan değerlere özellikle, Güneş'e yakın gezegenler için çok yakındır. Güneş'ten uzaklaştıkça gezegenlerin gerçek uzaklığı ile yasanın verdiği uzaklıklar arasındaki fark da büyümektedir.

Son üç yüzyıldır, pek çok gök bilimci bir dedektif gibi çalışarak güneş sisteminin kökenini öğrenmeye çalışmışlardır. İpuçlarını bulmak için sürekli gözlem yapmışlar, daha kaliteli gözlem verileri elde etmek için âletler geliştirmişlerdir. Bu çalışmalar sonucu, güneş sisteminin evrimi konusunda çeşitli modeller ileri sürülmüş, zamanla bu modellere yeni eklemeler veya bazı küçük değişiklikler yapılmıştır. Her yeni gözlemsel veri ışığında, modellere yeni düzeltmeler getirilmiştir.



Şekil 3.4: Bir toz bulutundan güneş sisteminin oluşumu görülmektedir. Yapılan bazı modellere göre bu oluşum yaklaşık 100 milyon yıl almıştır. Daha sıcak bölgede bulunan yersel gezegenler güneş

bulutsusundan kayalık materyali toplarken, soğuk bölgede oluşan dev gezegenlerin kimyasal yapısı hidrojen ve helyumdur. (a) Güneş bulutsusunun ilk durumu. (b) 50 milyon yıl sonraki ilk güneş sistemi. (c) Yaklaşık 100 milyon yıl sonra gezegenlerin oluşumu.

Bugün sonuç olarak, çok sayıda modelle karşı karşıyayız. Bunların hiçbiri evrensel kabul görmemesine karşın hiç benimsenmeyen modellerin sayısı çok azdır. Bu duruma neden, kesin bir kriterin bulunmayışıdır. Yani, yeni yapılan gözlemler sonucunda bir modeli seçip diğerlerini atma olanağımız yoktur. Modellerin çok esnek olmasından dolayı, bilim adamları yeni gözlemlerden elde ettikleri sonuçları kolaylıkla kendi modellerine uyarlıyabilmişlerdir.

Sözü edilen bu modelleri temelde dayandıkları bazı olgulara göre çeşitli kriterler altında inceleyebiliriz. Güneş ve gezegenlerin aynı zamanda yani, eş zamanlı oluşup oluşmadığını ileri süren veya bunların kozmik kimyasal bileşime (bkz. Bölüm 5) sahip yıldızlararası maddeden mi yoksa aynı maddenin yıldız merkezinde değişmesi sonucu oluşmuş yeni yıldızıl maddeden mi var olduklarını kabul eden modelleri örnek verebiliriz. Bu iki temel bilgiye göre güneş sisteminin kökeni konusunda ortaya konulan modelleri dörde ayırabiliriz.

İlk tür modellere göre Güneş ve gezegenler aynı zamanda ve kozmik madde içeren aynı bir yıldızlararası buluttan oluşmuştur. Bu modelde, yıldızlararası bulutun parçalanması, çok hızlı dönen bir gaz kütlesi oluşturmuş ve bu kütle daha sonra yassı bir disk şeklini almıştır. Bu bulutta, buharlaşamayan elementler yoğunlaşmışlar ve dönme merkezinden nispeten uzakta olan soğuk bölgelerde gezegenleri oluşturmak için yığılmışlardır. Bu arada merkezi bölge Güneş'i oluşturmak için büzülmüştür.

İkinci tür modellerde, gezegenler yıldızlararası materyal içeren bir buluttan oluşur. Fakat bu bulut daha önce oluşmuş Güneş'in, sonradan yakaladığı bir başka buluttur. Belirli evrelerde Güneş, galaksimizin sarmal kollarında bulunan yoğun gaz bulutlarının içinden geçer. Büyük çekim alanına sahip Güneş, bu gazın bir bölümünü yakalayabilir. Yakalanan bu materyal, sonradan Güneş etrafını sararak gezegenleri oluşturan bulutsuyu meydana getirdi. Bu tür modellerin değişik bir şekli de, genç Güneş'in geride hiç artık gaz bulutu bırakmadan oluştuğunu ve bu evrede kuvvetli bir manyetik alana sahip olduğunu kabul eder. Manyetik alan nedeniyle, çevresindeki Güneş ışınları ile iyonlaşmış atomları ve büyük çekim alanı sonucu da yüklü yüksüz her türlü parçacığı kendisine doğru çekmiştir. Parçacıkların bu yakalanma süreci sırasında dönen Güneş'in etrafında bir disk oluştu. Bu diskte buharlaşamayan elementler yavaş yavaş yoğunlaşarak gezegenleri oluşturdu. Bu modelin bir öncekinden farkı, yoğun gaz bulutuna gereksinme olmayışıdır.

Üçüncü tür modele göre, Güneş bir çift yıldızın bileşeni olarak oluştu. Yoldaş yıldız bazı nedenlerden dolayı sistemden ayrıldı ve ona ait maddeler uzaya dağıldı. Gazların çoğu Güneş tarafından çekildi ve önceki modellerde olduğu gibi bulutsu oluşmuş oldu. Bu modelde bulutu oluşturan maddeler yıldızıldır ve iki yıldız aynı zamanda oluştuğu için dolaylı olarak eşkökenlilik vardır.

Dördüncü gurubun kapsadığı modeller, yıldız çarpışmalarını içerir. Öneriye göre, Güneş'e çok yakın geçen bir yıldız çekimsel olarak büyük tedirginliklere neden olur. Bu tedirginlikler sonucu, Güneş'in en dış katmanları ani bir şekilde dışarı atılır. Sonunda maddeler uzaya yayılır ve Güneş etrafında bir yörüngede dönmeye başlarlar. Model, yıldızıl materyal gerektiriyor fakat Güneş ve gezegenler arasında eş kökenlilik öngörmemektedir.

Bu modellerin doğruluğunu, bazı gözlenen olgularla karşılaştırarak test edebiliriz. Son yılların en önemli astrofizik gözlemlerinden biri, ağır hidrojen (deuteryum) bolluğunun, normal hidrojen bolluğuna oranının ölçülmesidir (D/H). Bu oran, yıldızlararası ortamda ve Jüpiter atmosferinde aynıdır, Güneş atmosferinde ise çok düşüktür. Bunun açıklaması çok basittir: Deuteryum termonükleer tepkimelerde kararsız bir izotoptur. Öyle ki zaten çok az bolluğa sahip olan bu izotop, yıldızın iç yapısındaki fiziksel koşullarda tamamen yok olabilir. Gezegen materyalinin kimyasal bileşimi, yıldızlararası madde ile aynı olduğundan dört gruptan ikisini eleyebiliriz. Yani gezegenler, yıldızıl maddeden değil yıldızlararası maddeden oluşmuştur.

Uzun yarı yaşam süresine sahip radyoaktif izotopların bolluklarını ölçerek gezegenlerin yaşını duyarlı olarak saptayabiliriz. Örneğin; rubidyum-87, toryum-232 ve uranyum-238 izotoplarının yarı yaşam süreleri sırasıyla $5x10^{10}$, $2x10^{10}$ ve $4.5x10^{9}$ yıldır. Bu radyoaktif izotopları meteoritlerde, Ay kayalarında

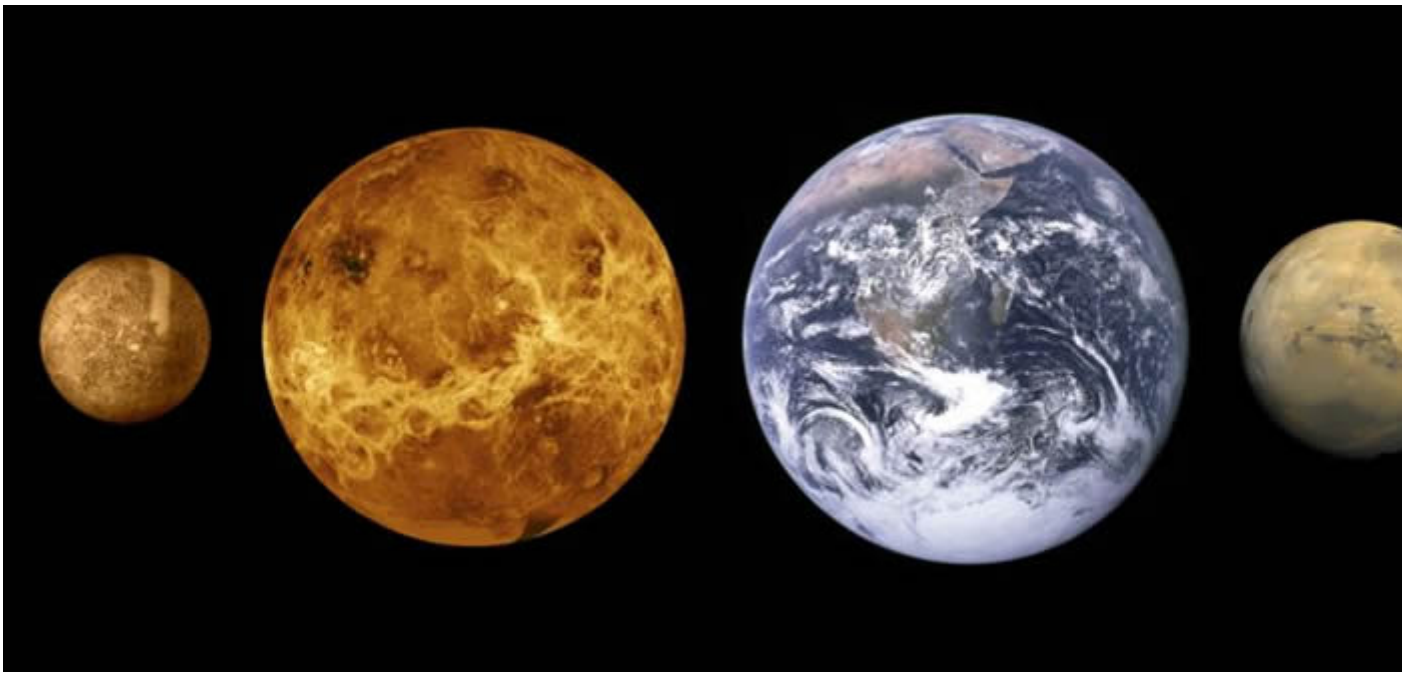
ve Yer kayalarında bulmak mümkündür. Bu ölçümler gezegenlerin 4.5 milyar yıl önce katılaştığını, yani oluştuğunu göstermektedir. Bu ölçümün hatası yaklaşık ±100 milyon yıldır. Güneş'in yaşını doğrudan ölçemeyiz. Dolaylı olarak bulmak mümkündür. Bu tür çalışmalar sonucunda da Güneş'in yaşı yaklaşık 4.5 milyar yıl bulunmaktadır. Bu, Güneş'in ve gezegenlerin eş zamanlı oluştuğu anlamına gelmektedir.

.2 Yer ve Yersel Gezegenler

Çizelge 3.1 de; gezegenlerin büyüklükleri, kütleleri ve kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında iki ayrı gruba ayrıldıkları hemen farkedilmektedir. Güneş'e yakın olan Merkür, Venüs, Yer ve Mars'a yersel gezegenler; sistemin daha dışında olan Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün'e ise dev gezegenler denir. Gerçekten de ikinci grup gezegenlerin yarıçapları ve kütleleri, yersel gezegenlere göre çok büyüktür. Pluto gezegenini, özellikleri bakımından bu iki gruptan birine koyamıyoruz. Bu iki grubu birbirinden sadece yarıçap, kütle ve kimyasal birleşimleri ayırmaz. Yoğunluk, basıklık ve uydu sayılarına baktığımızda da belirgin farklılıklar olduğunu görürüz. Bu, Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1: Yersel gezegenlerin dev gezegenlerle karşılaştırılması.

Kullanılan Kriter	**Yersel Gezegenler**	**Dev Gezegenler**
Yarıçap	Küçük	Büyük
Kütle	Küçük	Büyük
Yoğunluk	Çok	Az
Basıklık	Az	Çok
Uydu	Az veya hiç yok	Çok
Atmosfer yapıları	He, H gibi elementler serbest olarak bulunmazlar.	He, H dahil hafif ve ağır elementler serbest veya bileşikler hâlinde bulunurlar.



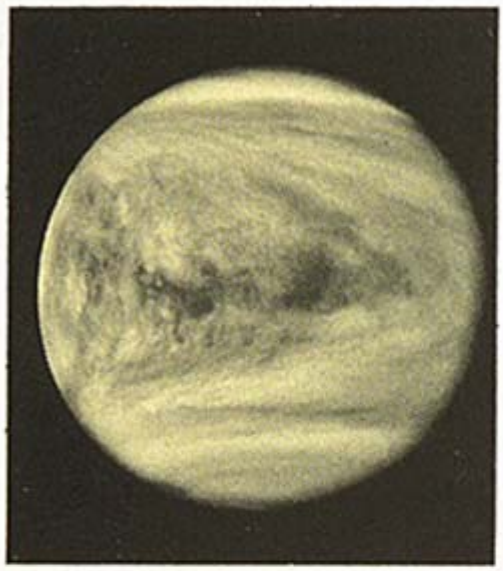
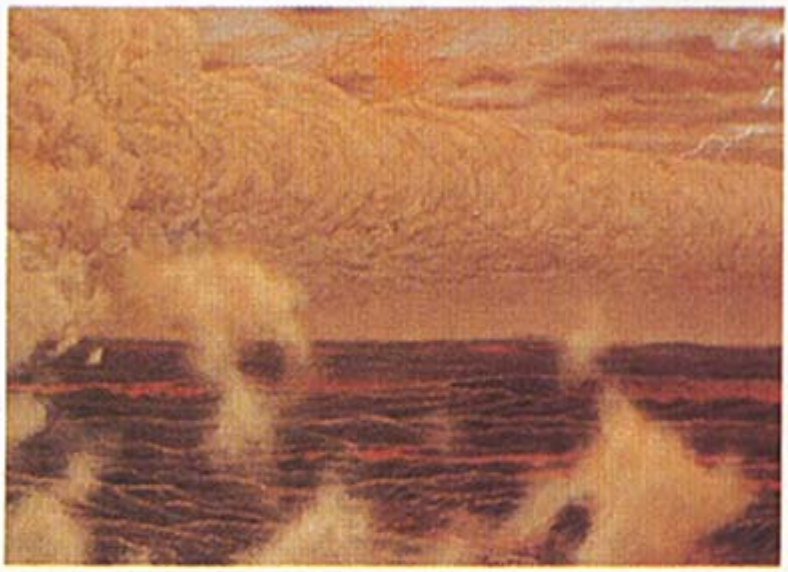
Şekil 3.5: Fotografta yersel gezegenler görülmektedir. Venüs ve Yer hemen hemen aynı büyüklük ve kütleye sahipken Mars bunların yarısı büyüklüğünde ve kütlesi de çok azdır. Merkür'ün Mars'dan çok küçük olduğuna dikkat edelim.

Yersel gezegenlerin kimyasal yapıları, kayasal materyal ve demirdir. Bu nedenle hemen hemen tamamen gazdan oluşmuş dev gezegenlere göre ortalama yoğunlukları yaklaşık üç kez daha fazladır.

Belirgin bir yüzeyleri vardır, bu nedenle Merkür dışında diğer iki yersel gezegenin yüzeylerine uzay aracı indirilerek onları inceleme olanağı doğmuştur.

Gezegenlerin kütlelerini Newton yasalarını kullanarak duyarlı saptamanın birçok yöntemi vardır. Bu yöntemlerden en önemlisi uydu yörüngelerinin saptanmasıdır. Eğer gezegenin uydusu yok ise ona gönderilen bir uzay aracının gezegen çevresindeki yörüngesinden veya uydu gezegene yakın geçiş yapıyorsa, gezegenin o yapay uyduya uyguladığı çekimsel kuvvetten bulunur. Bir küçük gezegen, eğer büyük bir gezegenin yanından geçerken yörüngesindeki değişimler gözlenmişse aynı matematiksel yöntemle gezegenin kütlesi duyarlı olarak bulunur.

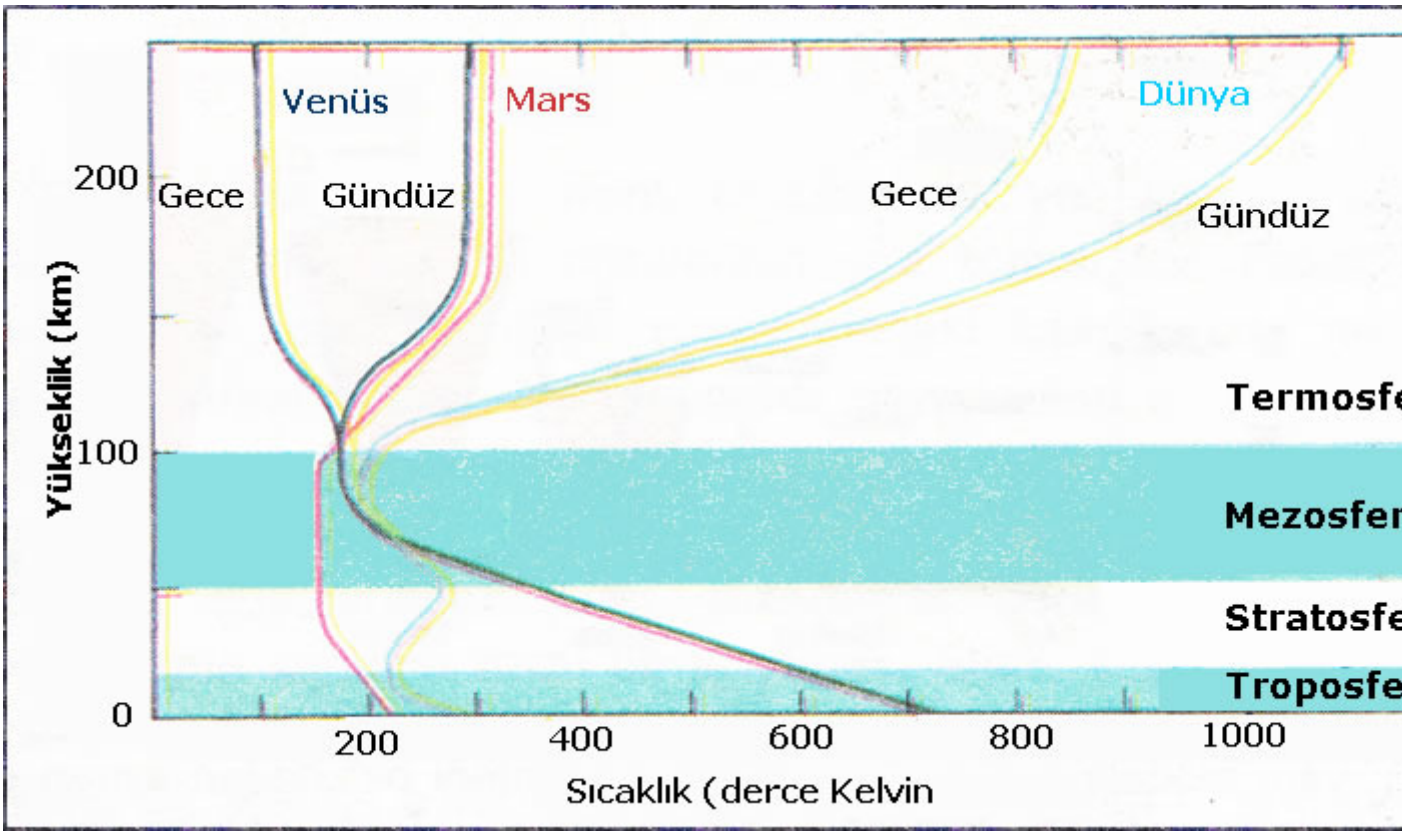
Yersel gezegenler içinde belirgin bir atmosferi olmayan sadece Merkür'dür. Venüs, çok yoğun bir atmosfere dolayısıyla kalın bulutlara sahip olduğundan yüzeyini görmek olanaksızdır. Mars'ın atmosferi ise Yer atmosferine göre daha az yoğundur. Gezegenler, atmosferlerinden uzaya madde kaybederler. Bu olaya, buharlaşma süreci denir. Buharlaşma, atmosfer sıcaklığı yüksek ve yüzey çekimi düşük olan gezegenlerde çok daha etkindir. Gezegenlerin yüzey sıcaklıkları, Güneş'ten yüzeylerine gelen enerjiye bağlıdır. Bu nedenle Güneş'e yakın olan gezegenlerin yüzey sıcaklıkları, uzaktaki gezegenlere göre daha yüksektir. Merkür, küçük kütlesinden dolayı yüzey çekim ivmesi az ve sıcaklığı yüksek olduğundan atmosferini tutamamıştır. Venüs, Yer ve Mars yine atmosfer sıcaklıklarının yüksek olmasından dolayı hafif gazlarını tutamamış ve uzaya kaybetmiştir. Örneğin hidrojen gazı, yersel gezegenlerde %1'in çok altında bulunurken, Jüpiter atmosferinin %90'nını oluşturur.

Şekil 3.6: Tüm yersel gezegenlerin uzaydan görünüşü ve onların yüzeyleri görülmektedir.

Atmosfere sahip yersel gezegenler; Venüs, Yer ve Mars Güneş'ten aldıkları enerjiye göre hesaplanan ortalama yüzey sıcaklıklıkları, gözlenen sıcaklıklardan daha düşüktür. Sera etkisinden kaynaklanan bu fark ortalama olarak; Venüs'te 500°C, Yer'de 35°C ve Mars'ta 5°C'dir. Sera etkisi, Güneş'ten gelen enerjinin gezegen atmosferinde tutulmasıdır. Atmosferde soğurulan enerji dışarı kolayca kaçamaz, dolayısıyla sıcaklık hızla artar. Sera etkisinin büyük olması gezegen atmosferinin yoğunluğuna ve içinde bulundurduğu CO_2'in miktarına bağlıdır.

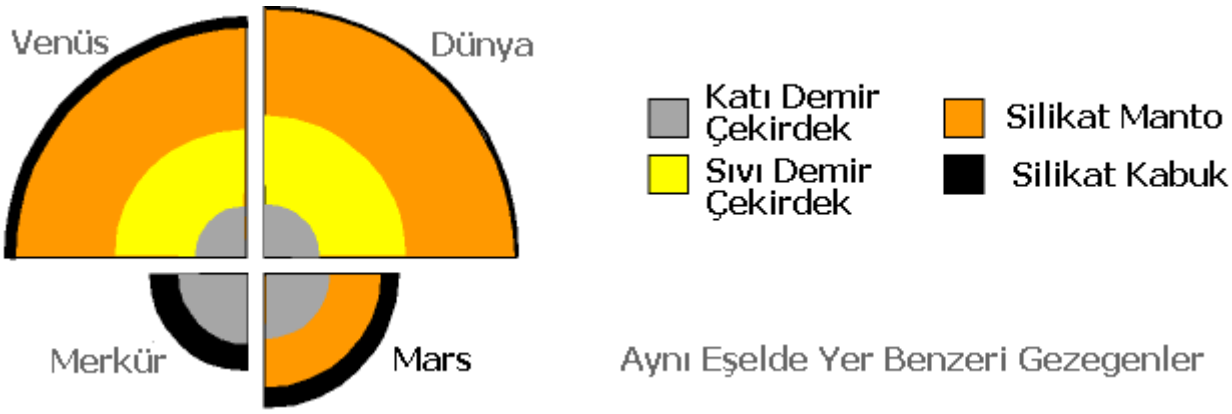
Mevsimler, birim yüzeye gelen enerjinin değişmesinden kaynaklanır. Atmosfer hareketleri iklimi yumuşatır. Atmosfer hareketleri olmasaydı iklim çok sert olurdu. Hiç atmosfer yoksa, gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı büyük olur. Merkür'ün belirgin bir atmosferi olmadığı için Güneş'e bakan yüzü ile bakmayan yüzü (gece-gündüz) arasındaki sıcaklık farkı 500-600°C kadardır. Dünyada atmosfer olmasaydı gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkı 80-90°C olurdu. Ay ve Merkür'de belirgin bir atmosfer olmadığını biliyoruz. Hava olmadığından yüzeyinde sıvı su da bulunduramaz, çünkü basınç olmadığından su hemen buharlaşır. Bu nedenle eğer bir zamanlar bu gök cisimlerinin yüzeylerinde su bulunmuş olsa bile hemen buharlaşmıştır ve kütlesel çekim kuvvetleri küçük olduğundan, diğer gazlarla birlikte uzaya kaçmıştır.



Şekil 3.7: Venüs, Yer ve Mars atmosferlerinde yükseklik ile sıcaklıklık değişiminin karşılaştırılması. Sıcaklık değişimlerinin olduğu bölgeler atmosfer katmanlarının sınırlarını belirler. Örneğin; sıcaklık Yer yüzeyinden yukarı çıktıkça düşer fakat yaklaşık 18. km'de tekrar artmaya başlar. İşte bu ilk katmana Troposfer adı verilir. Stratosfer, Mezosfer ve Termosfer atmosferin diğer katmanlarıdır. Şekil dikkatli incelendiğinde, bazı gezegen atmosferlerinde bu dört katmanın hepsinin de var olmadığını görüyoruz.

Gezegenlerde yüzey şekillerinin zamanla değişimi üç nedenden kaynaklanır: Aşınma, bombardıman süreci ve volkanik süreç. Meteorolojik aşınma ile arazinin düzleşmesi için yeterli yoğunluğa sahip bir atmosfer gerekir. Göktaşlarının çarpması sonucu yüzeyde krater açılırken kraterden dışarı çıkan materyel krater yöresine dağılarak arazinin değişimine neden olabilir. Eğer atmosfer yoksa yüzeyde krater yoğunluğu fazla olacaktır. Yine aynı nedenle meteorolojik etmenlerle oluşacak aşınma da az olmayacaktır.

Deprem sırasında meydana gelen dalgaların sismograf kayıtları, gezegenin iç yapısı hakkında bilgi verir. Bu dalgalar; P (birincil), S (ikincil) ve L (uzun) dalgaları olmak üzere üç türlüdür. S dalgaları sıvı ortamlarda hareket edemez, eğer bu dalga bir sıvı ortamdan geçiyorsa bunu sismograflar kaydedemez. Yeryüzü'nün her tarafına dağılmış sismografların yardımıyla yapılan ölçümlerle gezegen çekirdeğinin sıvı olup olmadığı anlaşılabilmektedir. Yine aynı amaçla Ay ve Mars'a sismograflar yerleştirilmiştir. Fakat Ay'da depremlerin az olması, Mars'ta ise rüzgâr etkinliğinin fazla olması nedeniyle kesin sonuçlara tam olarak ulaşılamamıştır.



Şekil 3.8: Çeşitli gözlemler sonucunda yapılan yersel gezegenlerin ve Ay'ın iç yapı modelleri. Kabuk, manto ve çekirdeği birbirinden ayıran en temel özellik onların kimyasal birleşimleridir. Tüm yersel gezegenlerde kabuğun ne denli ince olduğu görülmektedir.

Gezegenin kimyasal yapısını oluşturmada onun ortalama yoğunluğu bize önemli bilgi sağlar. Doğru bir model yapabilmek için her materyalden uygun oranda alınmalıdır. Örneğin; gezegenin yüzeyi silikatlardan oluşmuş ise ve biz tüm iç yapı da silikattır dersek, hata yaparız, çünkü bu materyalin yoğunluğu düşüktür. Ortalama yoğunluğu tutturabilmek için modelimize demir, nikel gibi ağır materyaller koymamız gerekecektir. Ortalama yoğunluğu çeşitli materyallerle sağlamak mümkündür. Bu noktada güneş sisteminin oluştuğu Güneş bulutsusunun kimyasal yapısı bize yardım edebilir. Örneğin demir ve çinko aynı yoğunluğa sahiptir, fakat Güneş bulutsusunda demirin bolluğu çinkoya göre daha fazla olduğu için, gezegenin merkezinde de demir daha çoktur, diyebiliriz.

Çizelge 3.2: Gezegenlerde bol olarak bulunan materyallerin belirli fizilksel koşullarda yoğunlukları.

Materyal	**Yoğunluk** (p=1 bar T=0°C)
Su	0.998 gr/cm^3
Granit	2.600
Basalt	2.900
Demir Sülfür (FeS)	4.840
Demir Oksit (FeO)	5.700
Demir	7.900
Nikel	8.900

Yer

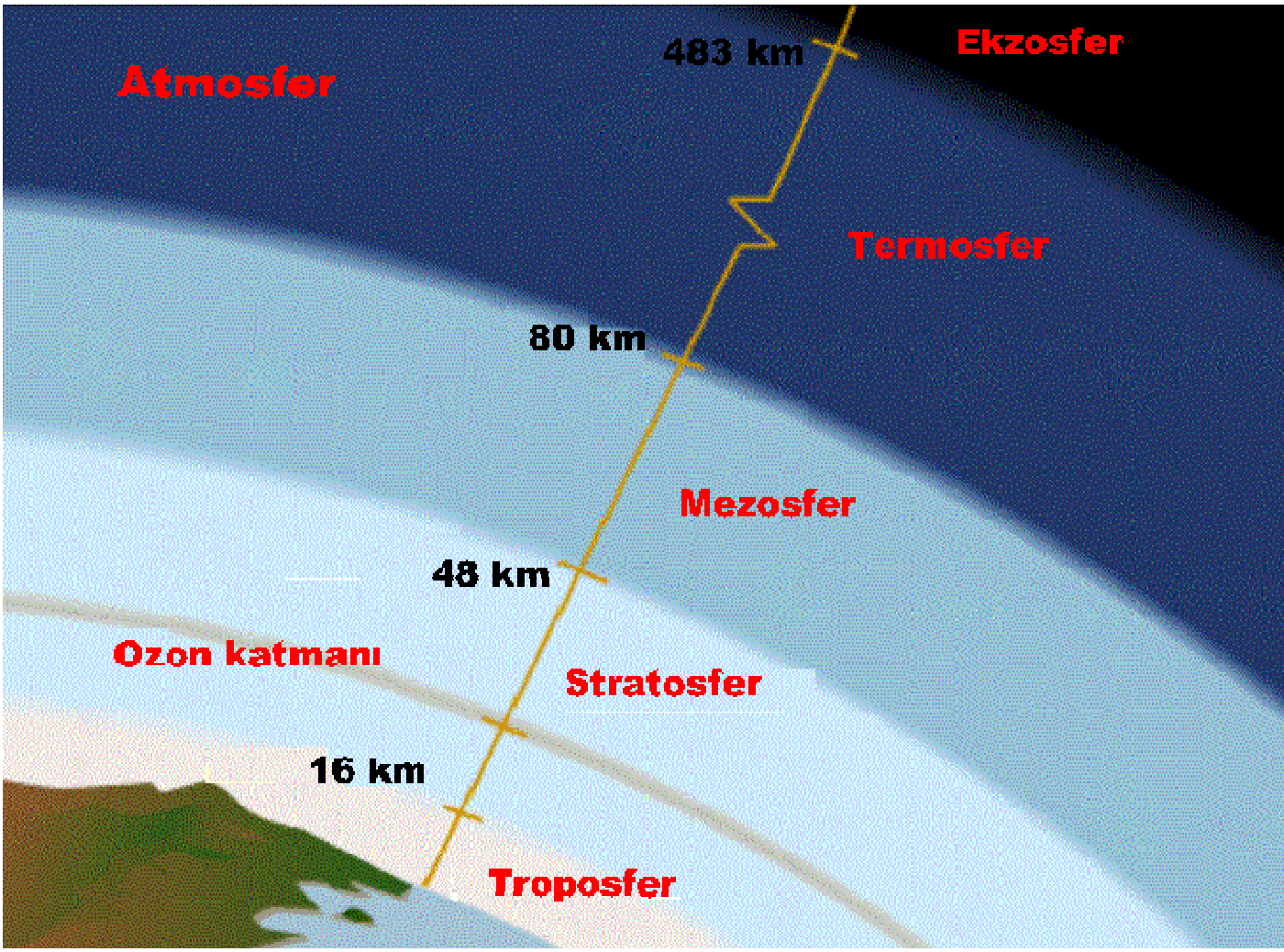
Yer konusunun gök bilim kitaplarında yer alması birçok kişiyi şaşırtmaktadır. Çünkü bu yer bilimlerinin ana konusudur. Fakat ayağımızın altındaki toprağın diğer gezegen yüzeylerindeki toprağın da iyi bir örneği olduğunu göz önüne alırsak, Yer dışındaki gezegenleri analiz etmenin en iyi yolu, üstünde yaşadığımız gezegeni iyi bilmekten geçer. Örneğin; Ay yüzeyine ayak basıldığında ayaklarının altında ne tür bir materyal olacağını insanoğlu çok düşünmüştü. Tüm gezegenler beraber oluştu, fakat her gezegenin; bugün kendine özgü bir iç yapısı, iklimi, yüzey yapısı vardır. Bu ise onların her birinin farklı

bir evrim geçirdiğini ortaya koyar. "Hangi koşullar gezegenlerin bu şekilde evrimleşmesine neden olmuştur?" sorusuna burada girmeyeceğiz, yalnız bugünkü durumu öğrenmeye çalışacağız.

Atmosferde basınç, yükseklikle çok hızlı bir şekilde düşer. Atmosfer kütlesinin yaklaşık %90'nı ilk 16 km yüksekliğin içinde bulunur. Bu, havanın yüzeye iyice çökmüş olması demektir. Atmosfer, sıcaklığın değiştiği katmanlar sınır olmak üzere, 4 bölgeye ayrılır (Şekil 3.7).

Şekil 3.9: Uzaydan Yer'in görünüşü

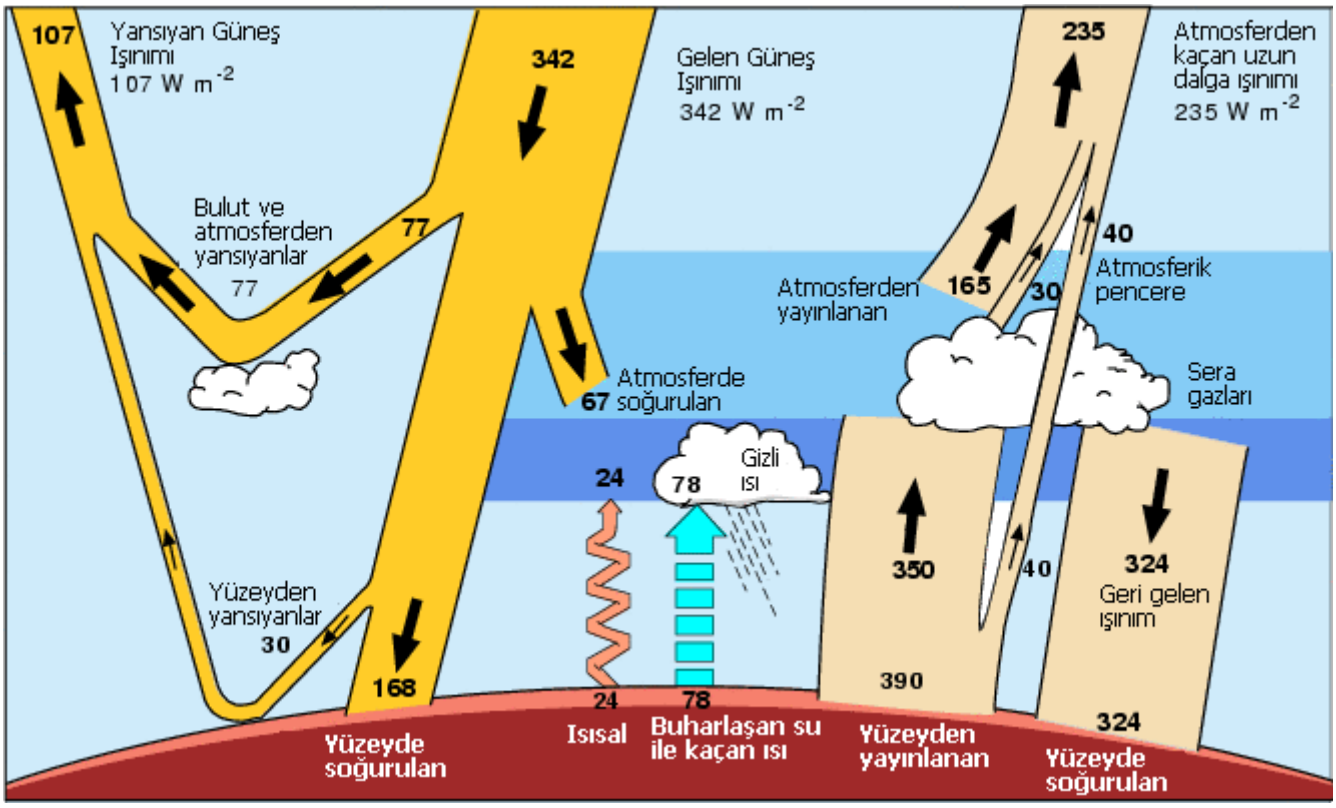
Troposferde iki türlü sıcaklık kaybı vardır. Birincisi, yüzeydeki suyun buharlaşıp yükselmesi sonucu oluşur, diğeri ise kırmızıöte ışınım yapmasından kaynaklanır. Stratosferde sıcaklığın artma nedeni, ozon (O_3) katmanının burada bulunmasıdır. Bu katman, Güneş'ten gelen toplam enerjinin %13 ünü soğurduğundan kinetik sıcaklık artar.



Şekil 3.10: Yer atmosferinin katmanları.

Yer'in iç yapısını öğrenmek diğer gezegenlerin evrimi konusunda bize ipuçları verir. Deprem dalgalarının incelenmesi, Yer'in iç yapısı konusunda bize en önemli bulguyu, yani Yer'in sıvı bir çekirdeğe sahip olduğunu göstermiştir. Bu bilgilerden hareketle Yer'in iç yapısının bir modeli oluşturulabilir. Böyle bir modelde kimyasal yapı, sıcaklık ve yoğunluğun derinlikle nasıl değiştiği verilir. Unutulmaması gereken bir nokta da tüm değişimlerin derinlikle olması, yatay konumda herhangi bir değişimin olmamasıdır. Böyle modellere küresel simetrik model denir.

Yer, çekirdek, manto ve kabuk olmak üzere üç bölümden oluşmuştur. Yer'in çekirdeği demir ve nikelden oluşmuştur. Manto, silikat (Si ve O içeren bileşikler) ve SiO_4, SiO_3 gibi çeşitli oksitlerden meydana gelmiştir. Kabuk, mantonun hemen üzerinde bulunur ve silikattan oluşmuştur. Söz konusu silikatlar ve oksitler içerisinde en çok bulunan Magnezyum elementidir. Kabuk, kimyasal yapısında en çok değişim gösteren katmandır. Manto ve kabuk her noktasında katıdır. Fakat katılık derecesi değişir. Bir maddenin katılığı onun plâstiklik derecesi ile ölçülür. Eğer çekiçle bir metale vurursanız onda sürekli kalan bir bozulma meydana getirirsiniz. Eğer metalin plâstikliği fazla ise, böyle bir bozulmayı çok daha rahat gerçekleştirebilirsiniz. Örneğin; alüminyum, demirden çok daha fazla plâstiktir. Fakat herhangi bir maddenin plâstiklik derecesi sıcaklık ile artar. Mantonun alt katmanlarının plâstiklik derecesi yüksektir, yani katı-sıvı arasıdır. Mantonun üst ve kabuğun alt bölgesi ise plâstiklik derecesi az, yani katı durumuna daha yakındır. Çekirdekteki kimyasal farklılık da onun, iç katı çekirdek ve onu saran sıvı çekirdek diye iki bölüm oluşturmasına neden olur.



Şekil 3.11: Güneş ışınlarının Yer ve Yer atmosferi ile etkileşmesi. Yer'e gelen Güneş enerjisinin yaklaşık üçte biri uzaya geri yansıtılır.

Küresel simetri var sayımı ilk bakışta anlamsız gibi gelir. Himalaya dağlarını, okyanus çukurlarını düşündüğümüzde küresel simetri yokmuş izlenimine kapılırız. Fakat Yer yüzeyindeki yükseklik değişimleri yarıçapın binde 3'ü kadardır, bu nedenle yüzey şekillerinin değişimi aslında çok küçük sayılmalıdır.

Yer küre'nin kimyasal yapısını incelemek için maden ocaklarından ve derin mağaralardan alınan materyaller kullanılır. Ayrıca yanardağlar gibi doğal süreçler, Yer yüzeyinden 100 km aşağıdan bize örnek taşırlar. Yer'in kimyasal birleşimi konusunda diğer bilgiler, ortalama yoğunluktan bulunabilir. Bu, toplam kütlenin, toplam hacime bölünmesi ile elde edilir. Dünyanın ortalama yoğunluğu 5.52 gr/cm^3'dür. Yoğunluğa en çok etki eden fiziksel büyüklük basınçtır. Derinlere indikçe basınç artar

Ay

Uzaydaki en yakın komşumuz ve dünyamızın tek doğal uydusu olan Ay, insanoğlunun Güneş'ten sonra en çok ilgisini çeken gök cismidir. Küçük bir teleskopla dahi, yüzeydeki birçok ayrıntıyı görmek olasıdır. Uzay yolculuklarında ilk hedef Ay olmuştur, nedeni de oraya gitmenin Venüs ve Mars'a gitmekten çok daha kolay olmasıdır. Herşeye karşın Ay'da su ve atmosfer bulunmadığından bir yaşamın oluşması ve süregelmesi olanaksızdır. Uzay teknolojisi sayesinde üzerine ayak basılan Ay'a, yine insanoğlu 2000 yıllarında diğer gök cisimlerine gitmek için bir üs kurmayı plânlamaktadır.

Şekil 3.12: Ay’dan Yer’in görünüşü.

Ay, en parlak olduğu dolunay evresinde dahi Güneş parlaklığının 400 000 de biri kadar parlaktır. Eğer tüm görünen gök yüzü dolunaylar ile kaplı olsaydı yine de meydana gelecek parlaklık Güneş parlaklığının 50 de biri kadar olurdu. Ayın parlaklığı, yansıttığı Güneş ışığı ile meydana gelir. Ay'ın yansıtma gücü, yani aklık derecesi 0.07’dir yani Ay, yüzeyine düşen ışınların %93'ünü soğurur sadece %7'sini yansıtır.

Ay'ın çekim ivmesi küçük olduğundan atmosferini tutamamıştır. Bu nedenle gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkı büyüktür. Yer atmosferi, gündüz Güneş 'ten gelen ısıyı bir battaniye gibi koruyarak, gece-gündüz büyük sıcaklık farkına meydan vermez.

Ay'a küçük bir teleskopla baktığımızda veya fotoğraflarını incelediğimizde hemen kraterleri, dağlık bölgeleri ve denizleri görürüz. Deniz adı verilen bölgeler diğer bölgelere göre düz, geniş ve karanlık alanlardır. Yüzeyin yaklaşık %25'ini denizler, geri kalan %75'ini ise parlak dağlık bölgeler oluşturmaktadır. Rüzgârlar denizi” adı verilen bölgenin hemen yanında bulunan Appennine dağlarının yüksekliği 5500 metre kadardır.

Şekil 3.13: Ay’ın bize bakan yüzeyi ile arka tarafının ne denli farklı olduğunu göstermektedir. Bize bakan yüzeyde bol miktarda deniz varken arka tarafın yüzeyi ise kraterlerle kaplıdır. Buradan Ay’ın bize bakan yüzündeki kabuğun ince olduğunu ve geçmişte volkanik etkinliklerin bu yüzeyde meydana geldiğini anlıyoruz.

Kraterler, Ay'ın hemen hemen her tarafında, hem dağlık bölgelerde hem de denizlerde bulunmaktadır. Birçok kraterin tam ortasında merkezi çıkıntılar vardır. Çapı 150 km'den büyük kraterler olduğu gibi çok küçükleri de bulunmaktadır. Bazen birkaç kraterin iç içe olduğu görülmektedir. Kraterlerin, göktaşlarının Ay yüzeyine çarpması sonucu mu yoksa volkanik kökenli mi olduğu tartışılmıştır. Fakat kraterlerin Ay yüzeyinde düzensiz olarak dağılmaları bunların Volkanik kökenli olmadıklarının bir göstergesidir. Ay yüzeyinde bir zamanlar yanardağlar olduğuna ilişkin belirtiler de vardır. Küçük kubbe şeklindeki tepelerin görünüşleri Yer yüzeyinde görülen volkanik kökenli dağlara benzemektedir. Yine bazı kraterler düzensiz olarak dağılmayıp bir kraterler zinciri oluşturmaktadır. Bunların da volkanik kökenli olduğu sanılmaktadır. Son olarak da ara sıra gözlendiği bildirilen gaz bulutları veya kırmızı ışımalar, yine yanardağ etkinliğinin bir sonucu olabilir. Fakat Ay kraterlerinin büyük çoğunluğu çarpışma sonucu olmuştur.

Şekil 3.14: Apollo 16 astronotlarının Ay'dan getirdiği bir kaya parçası görülmektedir. Kayanın yapısı incelendiğinde Ay yüzeyindeki kayaların gök taşı çarpmaları ile nasıl bir değişim geçirdiği anlaşılmaktadır.

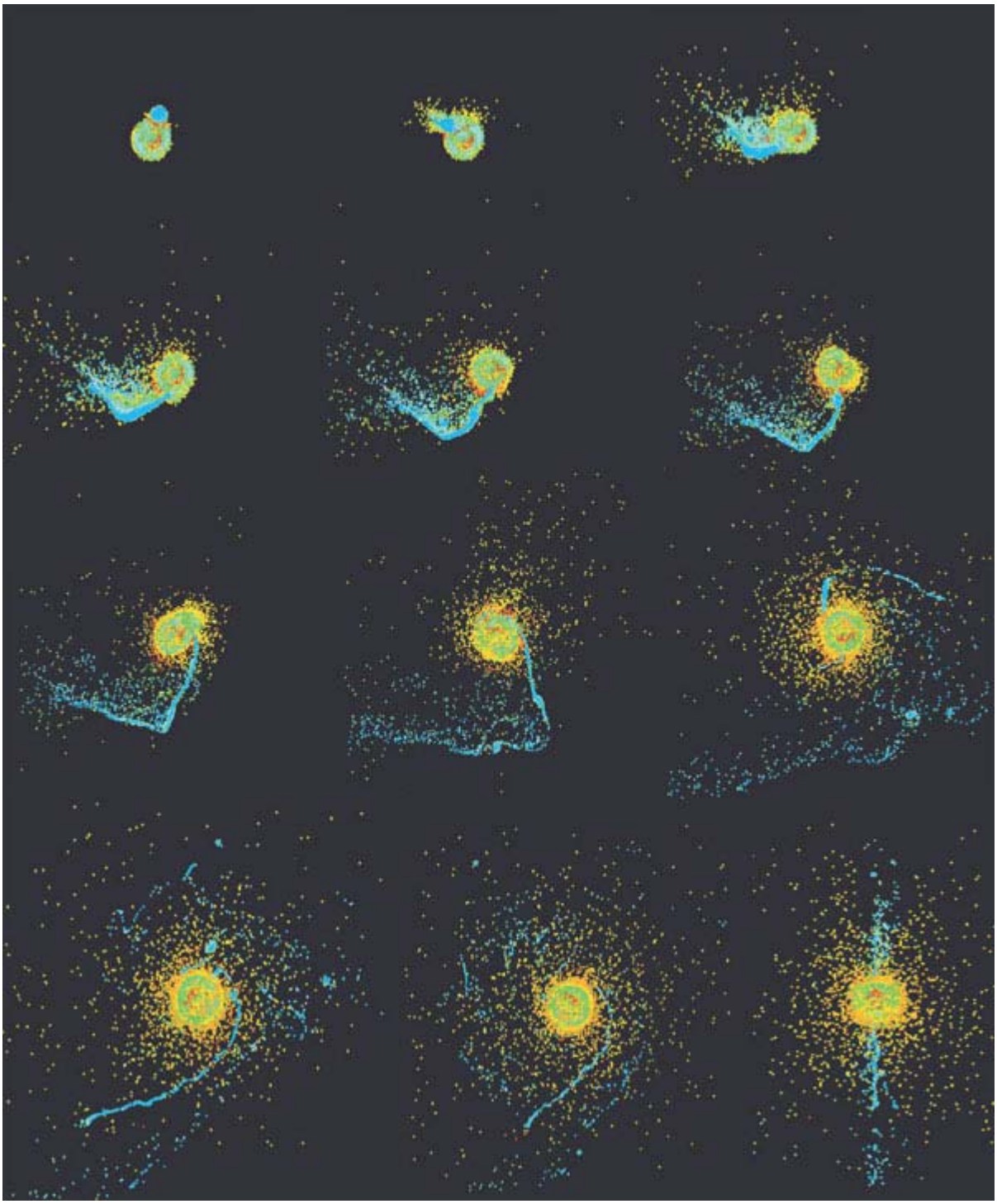
Ay'daki kayaların Yer yüzünde görülen kayalardan bir farkı yoktur. Ay denizlerindeki kayaların çoğu lav gibi erimiş materyalin soğuması sonucu oluşmuş, bazalt türü kayalardır. Yüksek bölgelerdeki kayalar ise yine erimiş materyalden fakat daha farklı fiziksel koşullar altında ve daha uzun süren bir soğuma sürecinde oluşmuşlardır. Astronotların getirdiği Ay toprağı örneklerinde çok az toz bulunmakta, gerisi çakıl taşı büyüklüğünde parçacıklardan oluşmaktaydı. Bunların, gök taşı yüzeye çarptığında yüksek ısıyla eriyip dışarı fırlatılan materyalin soğuması sonucu oluştuğu anlaşılmıştır. Tüm kaya ve topraklarda ergime noktası düşük elementlerin bolluğu Yer'dekilere göre çok azdır. Bununla beraber; kalsiyum, aliminyum ve titanyum gibi ergime noktası yüksek olan elementler, Yer'e kıyasla Ay'da daha fazla bulunmaktadır. Yer'de çok az miktarda olan titanyum elementi, bazı Ay kayalarında %10 miktarındadır. Ayrıca yine Yer'de çok az olan uranyum, toryum ve nadir elementlerin bolluğu da Ay'da fazladır. Ay kayalarının bir diğer özelliği de onları meydana getiren minerallerin içinde herhangi bir su izine rastlanmamasıdır.

Ay yüzeyindeki olguların tarihini saptamanın bir yolu göz önüne alınan bölgedeki kraterleri saymaktır. Eğer kraterleri meydana getiren olayların uzun bir süre devam ettiğini ve kuvvetli bir erozyon olmadığını var sayarsak hangi bölgede daha çok krater varsa o bölge diğerlerinden daha eski zamanda oluşmuştur, diyebiliriz. Ay denizleri gibi düz bölgeler dağlık ve kraterli bölgelere oranla daha yakın zamanda meydana gelmiştir. Çünkü, yüzey volkanik lavlar ile kaplanması sonucu düzleşmiştir. Astronotların getirdiği Ay toprağının lâboratuarda incelenmesi ile onların oluşum tarihi saptandı. En yaşlı kaya parçasının 4.4 milyar yıl (My) önce, en genç kayanın ise 3.1 My önce oluştuğu saptandı. Dağlık ve deniz bölgelerinden getirilen kayaların yaşları arasında belirgin bir fark bulundu. Dağlık bölgedeki kayalar 3.9 ile 4.4 My yaşlarında iken deniz bölgesi kayalar 3.1 ile 3.8 My yaşlarındadır. Dağlık bölgede bulunan kayaların çoğunun 3.95 My önce bir değişime uğradığı da saptandı. O tarihte bu kayalar eriyerek tekrar oluşmuştu. Bu ancak büyük bir olay sonucu olabilirdi. Belki de o tarihlerde, "Fırtınalar Denizi" nin tabanını oluşturan büyük bir kraterin meydana gelmesini sağlayan çok büyük bir çarpışma meydana gelmişti.

Yapılan gözlemlere dayanarak Ay tarihi konusunda bugün şöyle bir yargıya varabiliriz. Ay 4.6 My önce oluştu ve oluştuktan 200 milyon yıl sonraya kadar yüzey erimiş hâlde bulunuyordu. Ay'ın kendi özgün sıcaklığı ya da gök taşı çarpmaları sonucu meydana çıkan sıcaklık, yüzeyi o duruma getirmiş olabilir. Daha sonra yüzey tamamen soğudu. 4.2 My önceden 3.9 My önceye dek gök taşı bombardımanları, bugün gördüğümüz kraterleri meydana getirdi. Yaklaşık 3.8 My önce Ay'ın iç sıcaklığı yeter derecede artarak volkanik etkinlikler başladı. Ay yüzeyinde akan lavlar ilk bombardımanlar sonucu oluştu, geniş krater tabanlarını doldurdu. Bu noktaya kadar Ay ve Yer aynı gelişim tarihini izledi. Fakat, yaklaşık 3 My önce Ay'daki volkanik etkinlik bitmiş olmasına karşın Yer küre'de şu anda dahi yanardağlar lav püskürtmektedir. Ay iç sıcaklığını, atmosferi olmadığından dolayı, çok çabuk tüketmiş ve kalın bir kabuk oluşmuştur.

Yer-Ay sisteminde, Yer'in tedirginlik etkisi daha büyük olduğu için bugün, Ay'ın ekseni çevresindeki dönmesi, Yer çevresindeki dolanma dönemi ile aynıdır. Yer küre'nin ekseni etrafındaki dönmesinin yavaşladığı bugün gözlenebiliyor. Bu yavaşlama yılda 1.5×10^{-5} saniyedir. Organizmaların yıllık ve günlük büyüme şekillerinden yararlanarak, fosiller incelendiğinde bundan 3.8 My önce, bir Yer yılının 400 gün, ve bir günün de 22 saat olduğu bulunmuştur. Gelecekte hem Dünya, hem de Ay birbirlerinin etrafında eş zamanlı dolanacaklar; dolanma ve dönme dönemlerinin 55 gün olacağı hesaplanmaktadır.

İnsanoğlu Ay'a ayak basmadan önce, onun her tarafı aynı kimyasal bileşimde olan basit bir cisim olduğu sanılıyordu. Fakat bugün; onun metalden oluşmuş bir çekirdeği, silisyumca zengin bir mantosu ve yüzeyinde bol miktarda hafif element içeren bir kabuğu olduğunu biliyoruz. Ay'ın bize bakan yüzeyinde kabuğun kalınlığı 65 km, arka tarafında ise bunun yaklaşık iki katı kalınlıktadır. Bu asimetri her iki yüzeyin farklı görünüşlerini açıklamaktadır.



Şekil 3.15: Süper bilgisayarlar yardımı ile yapılan benzetimle, çarpma kuramı sonucu Ay'ın nasıl oluştuğu görülmektedir. Sol üstteki ilk resim çarpmadan 18 dakika sonrasını, son resim ise çarpmadan 23 saat sonrasını göstermektedir. Son resim diğerlerinden farklı olarak parçacıkların yörünge düzlemi boyunca gösterilmiştir. Bu benzetimde çarpma sonucu hem manto hem de çekirdekten materyal fırlamaktadır, fakat demir gibi daha ağır materyeller Yer'e geri dönerken kayalık materyaller ise Ay'ı oluşturmaktadır.

Apollo astronotları Ay yüzeyinde dört farklı bölgeye sismograflar yerleştirdiler. Bu âletler yardımıyla her yıl meydana gelen binlerce zayıf Ay depremleri saptanmaktadır. Ay'daki deprem dalgaları üç nedenden kaynaklanır. Birincisi gök taşlarının ve uzay araçlarının yüzeye çarpması, ikincisi iç yapı, sonuncusu ise yaklaşık 300 ile 800 km arasındaki derinlikten kaynaklanan, büyük olasılıkla Yer tedirginliğinin neden olduğu depremler. Yer'deki tüm deprem kaynaklarının derinliği, 0 ile 100 km

arasındadır ve bunlardan normal bir tanesinin üreteceği sismik enerji, Ay'daki tüm depremlerin ortaya çıkaracağı toplam sismik enerjiden daha fazladır. Deprem bakımından Ay'ın sakin olması artık onda volkanik bir etkinliğin kalmadığını gösterir.

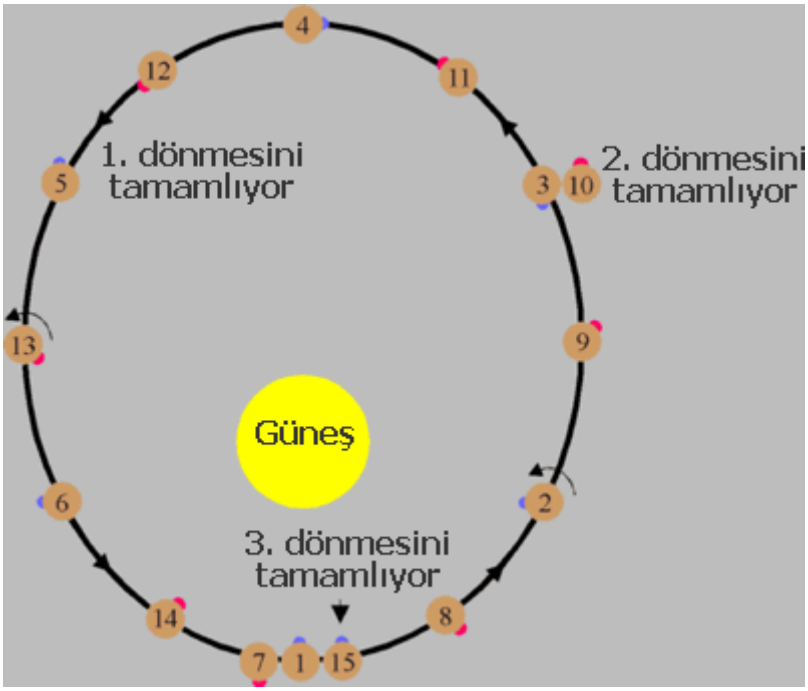
Ay'ın içyapısı da Yer gibi farklı katmanlar gösterir. Dış kabuktan sonra gelen manto 1200 km kadar derine uzanır ve yoğunluğu kabuğa göre biraz daha fazladır. Bunun altında ise çapı 1000 km olan çekirdek bulunur. Dış kabuk ve mantonun katı olmasına karşın 1000°K'e varan sıcaklığıyla çekirdeğin yarı erimiş olduğu söylenebilir. Ay çekirdeği bol miktarda demir ve nikel içermediğinden, Ay'ın ortalama yoğunluğu Yer'e göre daha azdır.

"Ay, nasıl ve nerede oluştu?" sorusu bilim tarihi boyunca merak uyandırmıştır. 1898 yılında fizikçi George Darwin, Ay'ın, Yer küre genç ve ekseni etrafında hızla dönen bir gezegen iken merkezkaç kuvvetiyle Yer'den koptuğunu ileri sürmüştür. Bu düşünce parçalanma kuramı olarak bilinir. Darwin'e göre Pasifik Okyanusunun bulunduğu bölge, Ay'ın koptuğu bölgedir. Son zamanlarda Darwin kuramının bir değişik şekli önerildi. Buna göre Ay, genç ve hızla dönen Yer küre'nin ekvatorundan çıkan gazlardan meydana gelmiştir. Bu hızla, dönen bisiklet tekerleğinden fırlayan çamura benzer. Hızla dönen ve o zamanlar gazdan oluşmuş Yer küre'nin ekvatorundan fırlayan gazlar Ay'ı oluşturmuştur. Bu modelin bir benzerinde de Ay'ı oluşturan materyal, büyük bir gök cisminin Yer'e çarpması sonucu Yer'den fırlatılmıştır ("Çarpma kuramı"). Üçüncü bir kuram ise yıldız ve gezegenlerin gaz bulutlarının yoğunlaşması sonucu oluştuğu düşüncesine dayanır. "Çift Gezegen Kuramı" olarak bilinen bu kurama göre Ay ve Yer Güneş bulutsusundaki iki komşu gaz halkasından çift gezegen olarak beraberce oluştu. Dördüncü ve en son ileri sürülen bir kurama göre de Ay, Dünya'dan bağımsız güneş sisteminin başka bir yöresinde küçük bir gezegen olarak meydana geldi ve yörüngesinde hareket ederken, bir gün Yer'in yakınından geçerken, onun çekim kuvveti ile yakalandı ve uydusu oldu. Bu düşünce de "Yakalanma kuramı" olarak bilinir.

Ay'ın çok yakından incelenmesi dahi onun kökeni konusundaki soruları açıklığa kavuşturmadı. Bu konu, bilim adamlarınca çözülmesi gereken bir giz olarak ortada durmaktadır.

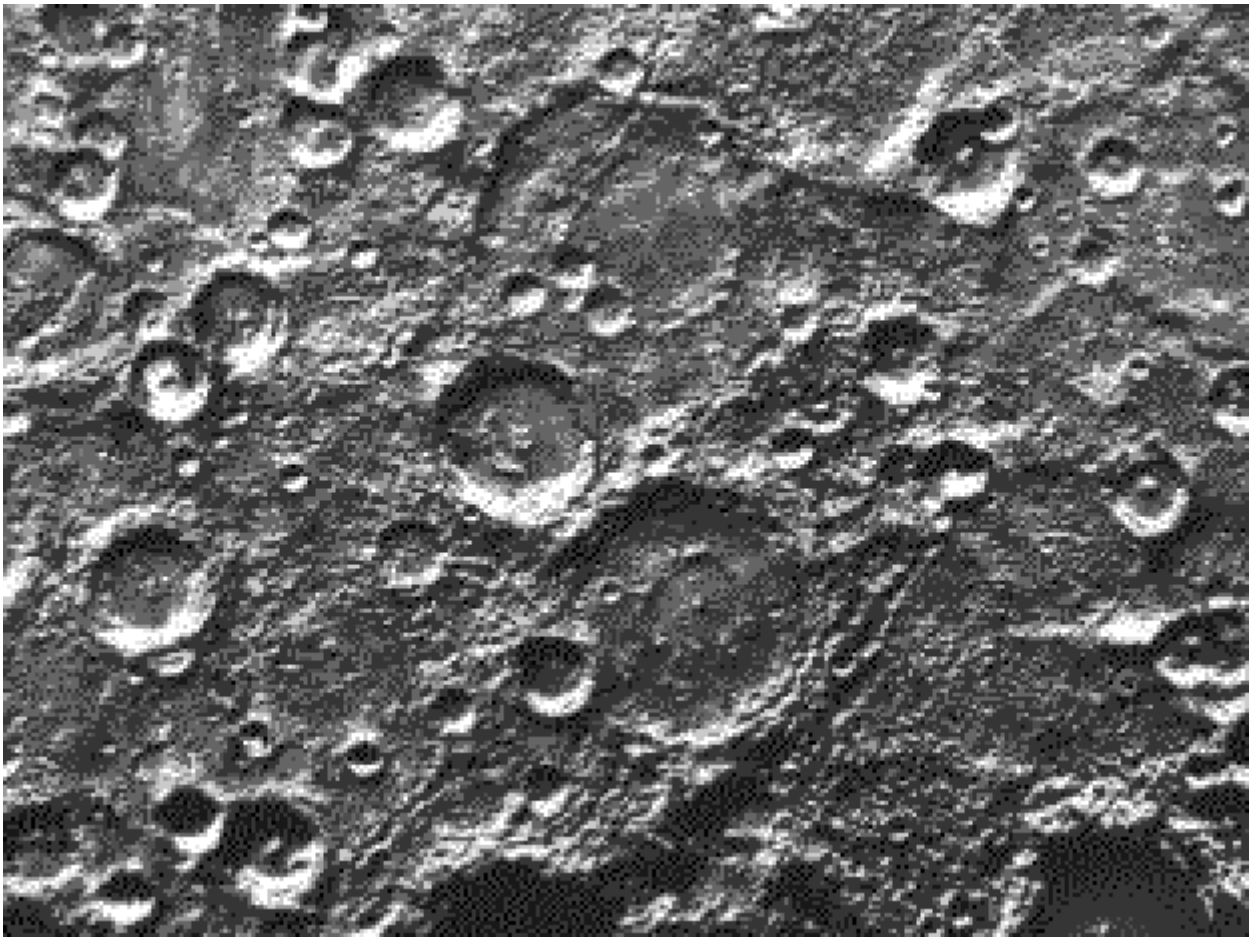
Merkür

Merkür Güneş'e en yakın gezegendir ve Güneş'ten olan maksimum uzanımı 28° den fazla olmaz. Merkür gezegenini, bu küçük uzanımdan dolayı, Yer'den görmek zordur. En iyi görülme zamanı batı uzanımında iken Güneş doğmadan en çok 2 saat önce, doğu uzanımında Güneş battıktan en çok 2 saat sonradır. Merkür, eski Romalılarda haber götüren tanrının adıdır. Haberci çok hızlı olduğundan görülmez.



Şekil 3.16: Bir Merkür günü, iki Merkür yılına eşittir. (1) konumunda mavi renkle gösterilen gözlemci, Güneşi tam tepesinde görür. (4) konumundaki gözlemci için artık güneş batmak üzeredir. Bu durumda daha Merkür gününün dörtte biri geçmiştir. (7) konumundan itibaren gözlemci kırmızı renkte görülmekte çünkü Merkür bir yılını tamamlamış ve ikinci turuna başlamıştır. Bu durumda gözlemci için geceyarısıdır ve günün sadece yarısı geçmiştir. (11) konumunda gözlemci, sabahleyin güneşi doğarken görmektedir. (15) konumu ise (1) konumu ile aynıdır ve tam bir Merkür günü bitmiş olur. Bu durumda ise gezegen yörüngesinde iki kez dolanmıştır.

On dokuzuncu yüzyılın ilk yarısında yüzey şekilleriyle ilgili az sayıdaki gözlemden, Merkür'ün ekseni etrafında dönmesi yanlış anlaşılmış ve bu hareketin dönemi bir gün bulunmuştur. Bu sonuç, Merkür'ün yavaş dönmesinden dolayı, hemen hemen hep aynı yüzey şekillerinin gözlenmesinden çıkarılmıştı. Bu gözlemler, bir günlük dönmeye de çok uzun zamanlı dönmeye de uygundu. Bununla beraber bu yanlış sonucun düzeltilmesi 1965 yılına kadar yapılamadı. Daha sonra ikinci bir hataya düşülerek Merkür'ün de Ay gibi dönme döneminin dolanma dönemine (88 gün) eşit olduğu ileri sürüldü. Radar astronomisi yardımıyla dönme döneminin 88 gün değil, ancak 60 gün yöresinde olması gerektiği bulunmuştur. Sonunda Merkür'ün dönme döneminin hiçbir şüpheye yer vermeksizin 58.64 gün olduğu bulundu. Merkür'e 1974 yılında Mariner 10 uzay aracı gönderildi. Mariner 10 gözlemleri de bu dönmenin doğruluğunu gösterdi.



Şekil 3.17: Mariner 10 uzay aracının Merkür yüzeyinden 55000 km yükseklikte iken fotografını çektiği yaklaşık 460 km genişliğinde bir yüzey parçası. Gezegenin kuzey yarım küresinde olan bu alanda çok miktarda krater ve kraterler arası düzlükler görülmektedir.

Merkür'ün yüzey sıcaklığı gezegenin yaptığı ısısal ışınımıyla saptanır. En sıcak yer ekvatordur ve sıcaklık 700°K kadardır. Gece yarım küresinde sıcaklık 100°K'e kadar düşer.

Mariner 10 şimdiye kadar Merkür'ü ziyaret eden ilk ve son uzay aracıdır. Mariner 10, 3 Kasım 1973'te fırlatıldı. 29 Mart 1974 de Merkür'e yakın geçiş yaptı. Mariner 10'un Güneş etrafındaki yörüngesi her

88 günde Merkür'ün yakınından geçecek şekilde ayarlanmıştı. Gözlem verilerini birinci ve ikinci yakın geçişleri sırasında yolladı. Uzay aracının yörüngesini düzeltmeye yakıtı yetmediğinden daha sonraki yakın geçişlerini yapamadı. Merkür yüzeyinin yaklaşık 1 km ayırma güçlü fotografları, Mariner 10'un televizyon kamerası tarafından çekildi ve dünyaya gönderildi.

Merkür'ün küçük kütlesini göz önüne alarak yapısını sıkıştıracak çekim kuvvetinin az olduğunu söyleyebiliriz. Dolayısıyla bulunan ortalama yoğunluğun büyüklüğü şaşırtıcıdır. Bu nedenle Merkür gezegeninde ağır ve yoğun elementlerin bolluğunun daha fazla olduğunu anlamaktayız. Eğer Merkür'ün büyük bir demir çekirdeği ve silikat mantosu varsa, o zaman çekirdek, kütlenin %80 kadarını ve hacim olarak da %40 ını kapsar.

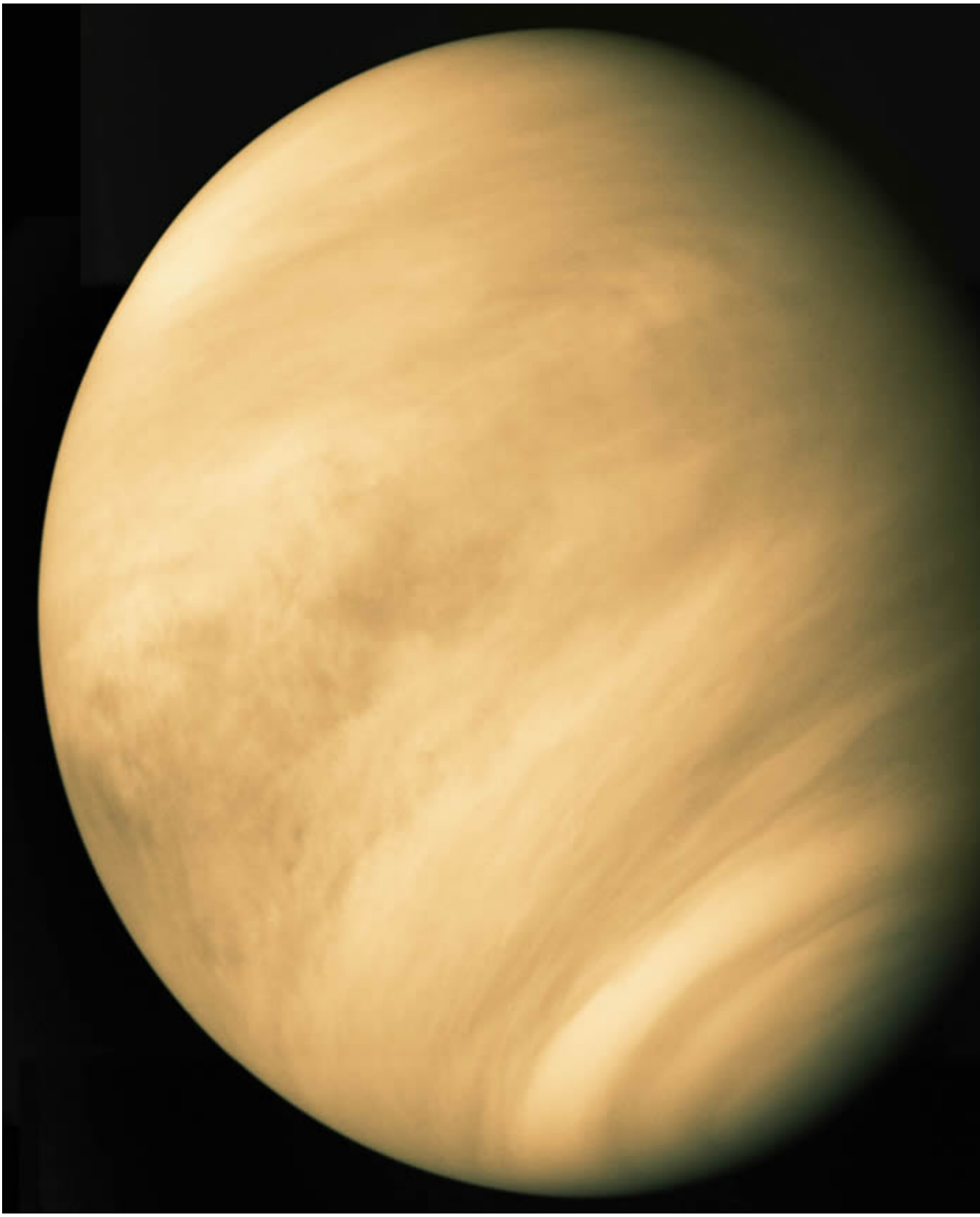
Göktaşlarının çarpmasıyla açılan kraterler yüzeye hakimdir. Bu şaşırtıcı değildir. Merkür'ün boyutunun küçük, dolayısıyla, jeolojik etkinliğinin az olması ve önemli bir atmosferin bulunmaması nedeniyle yüzeyi aşındıracak bir olay yoktur. Çok az sayıda volkanik kökenli krater vardır. Merkür yüzeyi de Ay yüzeyi gibi iki bölümde incelenir. “Yoğun kraterli arazi” toplam yüzeyin %80 ni, “düz arazi” ise %20 sini kapsar. Yoğun kraterli arazi de kendi içinde ikiye ayrılır: Birincisi, kraterlerin sayısal yoğunluklarının maksimum olduğu bölgeler, ikincisi ise daha az yoğunlukta kraterli arazi yapısıdır. İkinci tür bölgelerde çapı 20-30 km veya daha büyük kraterler birbirinden iyice ayrılmış durumdadır ve bunların arasındaki araziye “kraterarası düzlük” denir. Yoğun kraterli arazi yapısı, bize yüzeyin hem bombardımana uğramış hem de sonradan tekrar oluştuğunu göstermesi bakımından önemlidir. Bu iki süreç, arkası arkasına bir kez değil bir kaç kez tekrarlamış da olabilir.

Merkür'ün yüzeyinde çeşitli gazların sadece izleri vardır dolayısıyla atmosferik kütlesi çok düşüktür. Bu atmosfer, Güneş rüzgârından gezegenin yakalamayı başardığı parçacıklar ve bir de yüzey maddelerinde bulunan belirli izotopların radyoaktif parçalanması sonucu açığa çıkan gazlardan oluşmuştur.

Venüs

Venüs, Güneş ve Ay'dan sonra gök yüzünün en parlak gök cismidir. Bir iç gezegen olduğundan Güneş’ten fazla ayrılamaz. Bu nedenle Güneş battıktan biraz sonra batıda ya da Güneş doğmadan biraz önce doğuda görülür. İnsanoğlu onu tarihte iki ayrı gök cismi olarak tanımlamış, sabah yıldızı ve akşam yıldızı olarak adlandırmıştır. Ayrıca ülkemizde çoban yıldızı olarak da bilinmektedir. En parlak olduğu anda Yer’e bakan yüzeyinin %30'u aydınlıktır yani hilâl şeklinde gözükür. Yörüngesindeki konumuna göre Ay gibi çeşitli evreler gösterir. Venüs adı eski Romalılarda inanılan aşk tanrıçasının adıdır. Her ne kadar gök yüzünde çok güzel bir aşk tanrıçası gibi gözüküyorsa da, gezegen yüzeyi gerçek bir cehennemdir.

Yer’den ve ABD’nin Voyager-Venüs, Sovyetler Birliği’nin Venera uydularıyla optik, radar ve radyo dalgalarında yapılan gözlemlerden, Venüs'ün bulutlarla kaplı bir gezegen olduğu anlaşıldı. Bulutlar beyaz renkte ve nadiren sarı renkte görülür. Venüs gözlemlerinden ilk ortaya çıkan sonuç bulutların varlığı, dolayısıyla bir atmosferin olmasıydı. Venüs’ün aklık derecesi bulutlarından dolayı yüksek olduğundan, üzerine düşen ışığın çoğunu uzaya geri yansıtır. Bu nedenle uzaya saçılan ışınım, Venüs bulutları ve onların altındaki atmosfer katmanları hakkında herhangi bir bilgi taşımaz. Uzay araçları gönderilinceye kadar Venüs bulutlarının kimyasal birleşimleri bilinmiyordu. Bununla beraber, 1960'lı yıllarda yapılan araştırmalarda, bulutların üst katmanında CO_2 miktarının Yer atmosferindeki miktarın, 1000 katı olduğu anlaşıldı. Yine, Yer’den yapılan gözlemler sonucu bir miktar CO ve su buharı olduğu anlaşıldı.

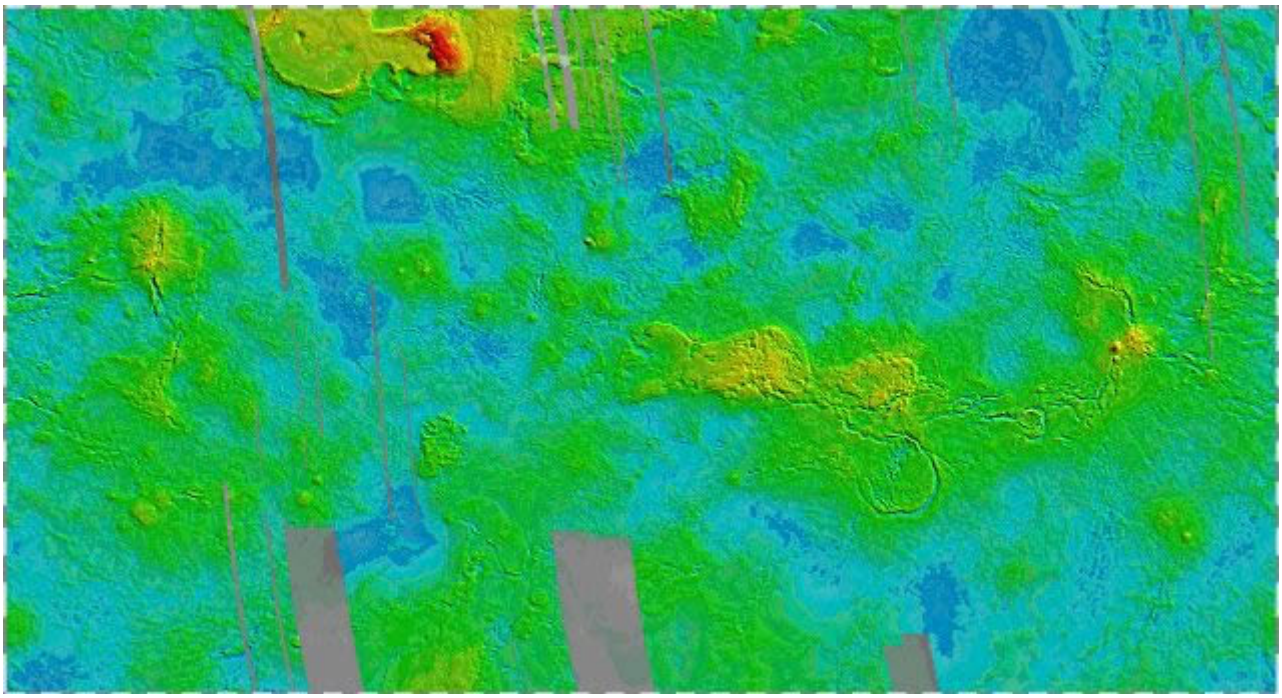


Şekil 3.18: 1974 yılında Mariner-10 uzay aracı ile çekilen bu fotograf, Venüs bulutlarının ne denli yoğun olduğunu gözler önüne sermektedir. Yer yüzündeki bulutlar su zerreciklerinden meydana gelmişken Venüs bulutları, yoğun sülfirik asitten meydana gelmiştir. Kükürtün kaynağı olarak

yüzeyinde bulunduğu tahmin edilen yanardağlar gösterilmektedir. Bu yoğun bulutlar, gezegende sera etkisinin büyük, dolayısıyla yüzey sıcaklığının Merkür'den daha yüksek (750°K) olmasına neden olur.

Bulutlar arkasından ilk bilgi, 1956 yılında yapılan bir araştırma sonucu geldi. Venüs'ün 10 mm'den daha uzun radyo dalgaboylarında ışınım yaydığı anlaşıldı. Bu ise, ışınım salan bölgenin sıcaklığının 670°K olduğunu gösteriyordu. Bu dalgaboyundaki radyo dalgaları atmosferi kolayca geçebildiğinden, bu sıcaklığın Venüs yüzeyine ait olduğu ileri sürüldü. Böylece bulutların altı ve yüzey bölgeleri, Yer ve Mars'a göre Venüs'te çok sıcaktı. Bu yüzey sıcaklığının yüksek olması, sera etkisinden kaynaklanmaktadır.

Ek 5'teki (Sayfa 263) çizelge incelendiğinde, dönme döneminin başında eksi işareti olduğu göze çarpar. Bu gezegenin, diğer gezegenlere göre ters yönde döndüğünü gösterir. Dönmenin ters olması, eksen eğiminin 90° den büyük olması ile de belirtilir. Bugün Venüs'ün niçin ters döndüğü tam olarak bilinmiyor, fakat bulutların hızlı hareketi sürekli olarak ters hareketi besliyor ve ivmelendiriyor olabilir. Zayıf da olsa bir başka olasılık, Venüs oluştuktan kısa bir zaman sonra çok büyük bir gök cisminin ona çarparak dönme yönünü değiştirdiğidir.



Şekil 3.19: Venüs yüzeyinin topografik görünüşü. Öncü Venüs uzay aracında bulunan radar gözlem verilerinden yararlanarak bilgisayarda üretilmiş bu fotografta açık mavi bölgeler sıfır yüzeyini, koyu mavi bölgeler çukurları, yeşil ve sarı renkli bölgeler ise yükseltileri gösterirken kırmızı renkli bölge Venüs'ün en yüksek tepesini göstermektedir.

Kütle ve yoğunluk benzerliğinden dolayı Venüs'ün iç yapısının Dünya ile aynı olduğu ileri sürülmektedir. Merkezinde demir-nikel karışımı bir çekirdek, onu saran yoğun silikat ve oksitlerden oluşmuş bir manto ve daha az yoğun kayalardan oluşmuş bir kabuk vardır. Venüs'ün Yer kadar jeolojik etkinliğe sahip olmadığını biliyoruz. Bu gözlemden hareketle Venüs iç yapısının demir çekirdeğine kadar soğuk olduğu sonucu çıkmaktadır.

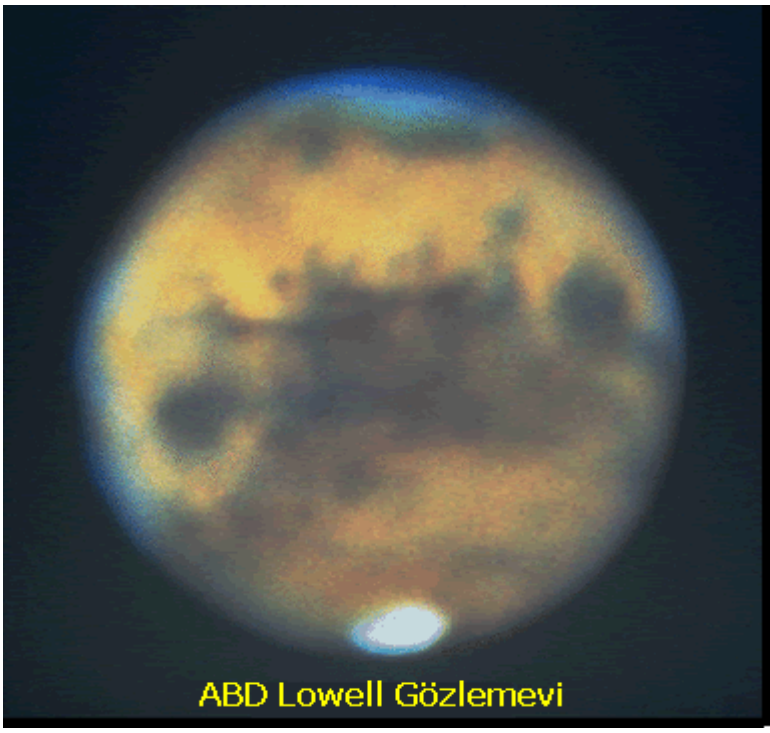
ABD'nin Venüs etrafında yörüngeye yerleştirdiği "Voyager-Venüs" uzay aracı, taşıdığı radar âletleriyle gezegenin %93'nün haritasını çıkardı. Radar tekniği ile yüzeyde çapı 30 km olan olgular birbirinden ancak ayrılabilmektedir, yani ayırma gücü, yüzeyde 30 km'ye karşıt gelmektedir. Yükseklik olarak ise ancak 200 metrelik fark birbirinden ayrı algılanabilmektedir. Yüzey katıdır. Yüzeydeki bir çok olguya yine mitolojiden ve önemli bilim adamlarından isimler verilmiştir. Örneğin; Ishtar bölgesindeki yüksek dağlara James Clark Maxwell adına "Maxwell Dağları" adı verilmiştir. Maxwell dağları Ishtar bölgesinin doğusunda 12 km yükseklikte ve gezegenin en yüksek olgusu özelliğine sahiptir. Yer yüzünün en

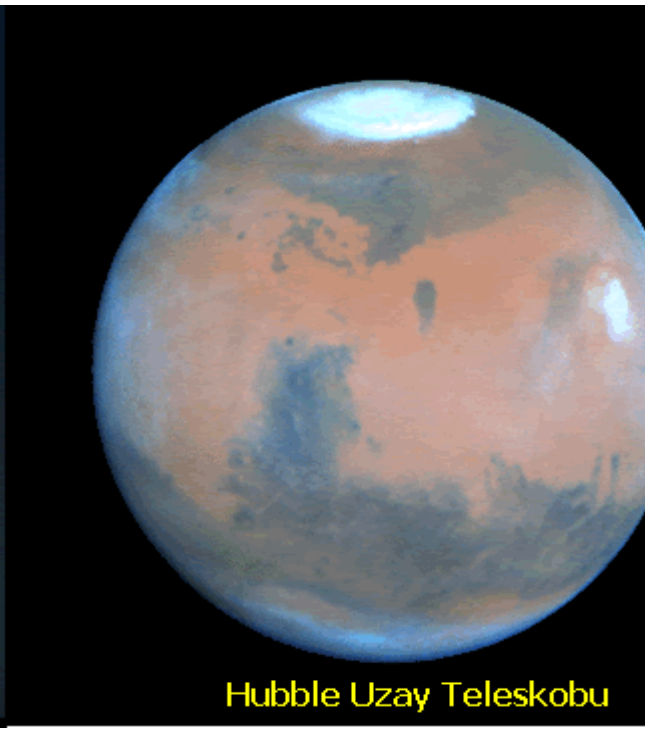
yüksek tepesi Everest tepesini (8848 m) göz önüne aldığımızda, Maxwell dağlarının üçte bir oranında daha yüksek olduğunu görürüz.

Venüs atmosferinin kimyasal birleşiminde: %96 CO_2, %3.5 N_2, %0.015 SO_2 ve %0.01 H_2O bulunur. Bunlara ek olarak çok az miktarda diğer elementler de vardır. Venüs atmosferinin yoğunluğu Yer atmosferine göre çok fazladır. Yüzeyde 730°K olan sıcaklık 70 km yükseklikte 200°K'e düşer. Atmosferde bir ana bulut ve bunun alt ve üst bölgelerinde de ince bulutlar yer alır. Yüzeyden 30 km yüksekliğe kadar bulut yoktur ve çok temizdir. Yer atmosferinde bulutların 3-4 km yükseklikte olduklarını göz önüne alırsak, Venüs bulutlarının ne denli yüksek olduklarını anlayabiliriz. Venüs bulutlarının hafifçe sarı renkte gözükmelerinin nedeni, kükürt tozu içermelerindendir. Atmosferdeki bazı karanlık bölgelerin ayrıntılı çalışmalarından, bulutların üzerindeki atmosferin Venüs etrafında doğu-batı doğrultusunda hareket etttikleri ve yaklaşık 4-5 günde Venüs'ü bir kez dolandıkları ortaya çıkmaktadır. Ekvator bölgesinde, 60 km yüksekte rüzgârın hızı yaklaşık 100 m/sn'dir. Yükseklik azaldıkça rüzgâr hızının da gittikçe düştüğü, yüzeyde yaklaşık 1m/sn'ye indiği saptandı. Yükseklikle rüzgâr hızının artması, hareket enerjisinin konveksiyon ile atmosferin üst bölgelerine taşınmasının sonucu olabilir.

Yer'in ikiz kardeşi denilen Venüs'ün atmosferinde niçin su yoktur, o kuru olarak mı oluştu, yoksa oluştuktan sonra mı kurudu? Su, Güneş'in morötesi ışınları ile ayrışmış, bu ayrışma sonunda meydana çıkan hidrojen daha sonra atmosferden uzaya kaçmış olabilir. Bununla beraber atmosferin üst katmanlarındaki sıcaklık bugün 300°K'dir ve hidrojenin ısısal kaçabilmesi için bu düşük bir kinetik sıcaklıktır. Bilindiği gibi sıcaklık yükseldikçe parçacıkların hızı da yükselir ve atmosferden kaçması da kolaylaşır.Fakat atmosferin fiziksel koşulları geçmişte farklı olabilir. Yapılan araştırmalardan geçmişte Venüs'te daha fazla hidrojen olduğunu anlıyoruz. Bazı kuramsal hesaplar, sera etkisinin şimdi Yer yüzünde bulunan suyu kısa zaman aralığında uzaya kaçırabileceğini göstermektedir. Fakat hidrojenin uzaya kaçma mekanizması nasıl olursa olsun, ortaya çıkması gereken oksijen Venüs atmosferinde bulunamamıştır. Son yıllarda Venüs'e gönderilen Magellan uzay aracı bize, Venüs'ü biraz daha yakından tanıma olanağını vermiştir. Magellan, Venüs yüzeyinin çok ayrıntılı bir haritasını çıkarmıştır.

Venüs yüzeyinde normal olarak çok ince şekilde yağan sülfirik asit yağmurları vardır ve bazan yükseklerde çakan şimşeklerle bu asit yağmuru biraz daha hızlandırılmaktadır. Şimşekler dışında Venüs'te hava, yer ve zamana bağlı olarak bir değişim göstermez. Yüzey kayalık çöl şeklindedir, orada burada kükürt bileşikli birikimler göze çarpar. Dağlar, büyük vadiler, çarpma kraterleri ve bazıları etkinliklerini sürdüren yanardağlar vardır.


ABD Lowell Gözlemevi


Hubble Uzay Teleskobu

Şekil 3.20: 1988 yılında Mars, Yer'e çok yakın iken Lowell gözlemevinden CCD ile çekilen soldaki görüntü, o tarihe kadar alınan en iyi fotoğraf olmuştur. Sağdaki görüntü ise Hubble Uzay Teleskobu ile alınmıştır. Hariki fotoğrafta görülen beyaz bölgeler, Mars'ın kutup başlığıdır.

Venüs'ten yıldızlı gök yüzü görünmez. Çok yüksekteki bulutlar yıldızların görülmesini engeller. Bu bulutlar her 116.8 Yer gününde bir parlaklaşır ve kararır. Bulutların ötesini gözlemek ancak radyo gözlemleriyle mümkündür

Mars

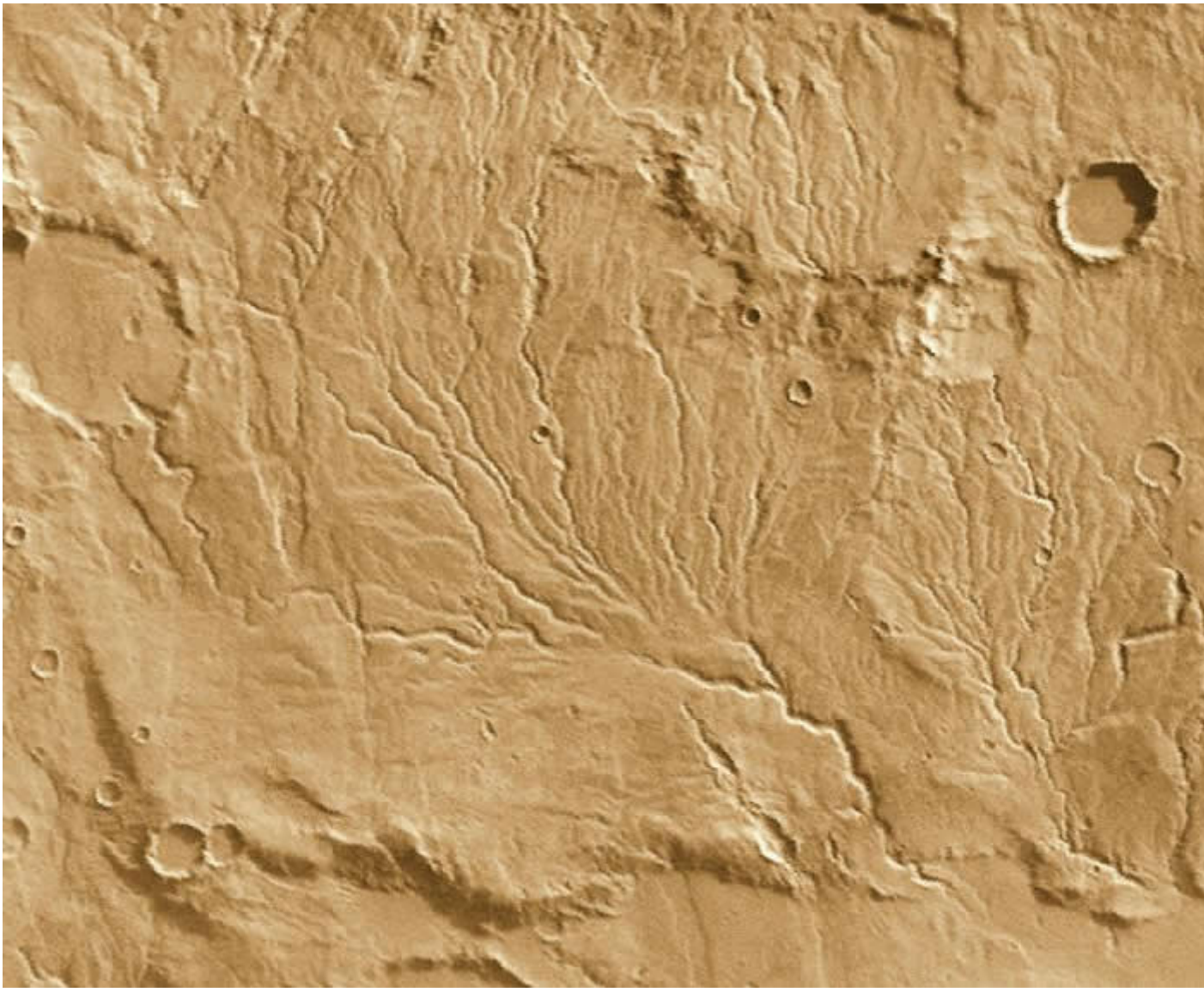
Karşı konumda yörünge dışmerkezliğinin büyük olmasından dolayı Mars-Yer uzaklığı sabit değildir. Bu uzaklık 55 ile 102 milyon km arasında değişir. En kısa uzaklığın meydana geldiği karşı konumlarda Mars'ın bize daha parlak ve daha büyük görüneceği açıktır. 1877 yılında Mars, Dünya'ya çok yakındı. Üzerinde görülen karanlık bölgenin deniz, aydınlık bölgenin de kıtalar olduğuna inanılıyordu. Birkaç gök bilimci ise karanlık bölgenin bitki örtüsü olduğunu savunuyorlardı. Mars'ın kutup başlığının olduğu çok önceden biliniyordu. Kutup başlığındaki mevsimsel değişmeler Mars'ın ekseninin 24° eğiminden kaynaklanır. Daha 1877'de Mars'ın atmosfere sahip olduğu anlaşılmıştı, çünkü atmosfer olmasaydı kutup başlıkları olmazdı.

1809 yılında ilk kez sarı Mars bulutları gözlendi. Atmosfer olunca da Mars'ta yaşam olması düşüncesi ortaya çıktı. 5 Eylül 1877 günü, bilim adamları Yer'den Mars'a haber göndermeye çalışıyorlardı. İşte bu sıralarda Mars'ı gözleyen Schiaparelli, mercekli teleskopu ile Mars haritasını çıkardı. Bu harita o zamana kadar yapılmışların en iyisiydi. Schiaparelli yaptığı bu haritada, Mars yüzeyinde parlak kırmızı alanlarda gördüğü birbirini kesen yaklaşık 40 ince çizgisel yapı gösterdi ve bunlara kanal adını verdi. İnsanlar tarafından açılmış su yolu anlamına gelen bu kelime gözlenen olguları tanımlamak için kullanılmıştı, fakat daha sonra bu tanımlama yorum oldu ve herkes Mars'ta yaşam olduğuna inandı. Bu yaşamın, kanal açacak kadar zeki bir yaşam olduğu sanılıyordu. 1877'den itibaren çok sıcak bir tartışma başladı. Bilim adamlarının bir bölümü kanal yok, bir bölümü ise bunlar kanal değil diyordu. Schiaparelli ölümüne az bir zaman kalıncaya kadar karanlık alanların deniz, kanalların su kanalı olduğuna inanıyordu. Bu sırada Wells gibi bilim-kurgu yazarları da Mars'ın bu özelliğinden hareketle yayınladıkları yapıtlarla ortalığı iyice karıştırdılar. Bu öykü, uzay çağına kadar böyle devam etti. Nihayet Mars'a giden uzay sondalarının gönderdiği fotoğraflardan bugün onun yüzeyinde kanal veya benzeri bir olgunun olmadığını kesin olarak biliyoruz. İnsanoğlu Mars'ta birşeyler görmek istiyordu, işte bu nedenle zeki yaşam, teleskopun göz merceğindeydi, Mars'ta değil.

Gezegenlerin çoğunda dağların yüksekliğini vermek için bir sıfır yüzeyi seçmek gereklidir. Bir sıvının yüzeyi hidrostatik denge hâlindedir, işte bu nedenle Yeryüzünde deniz seviyesi sıfır yüzeyi olarak seçilmiştir. Mars'ta okyanuslar olmadığından 0 yükseklik olarak atmosfer basıncı 6 milibar olan yüzey seçilmiştir. Gerçek yüzey basıncı 2-12 milibar arasında değişir. Çukur olan yerler 12 milibar, yüksek olan yerler ise 2 milibar değerinde basınca sahiptir.

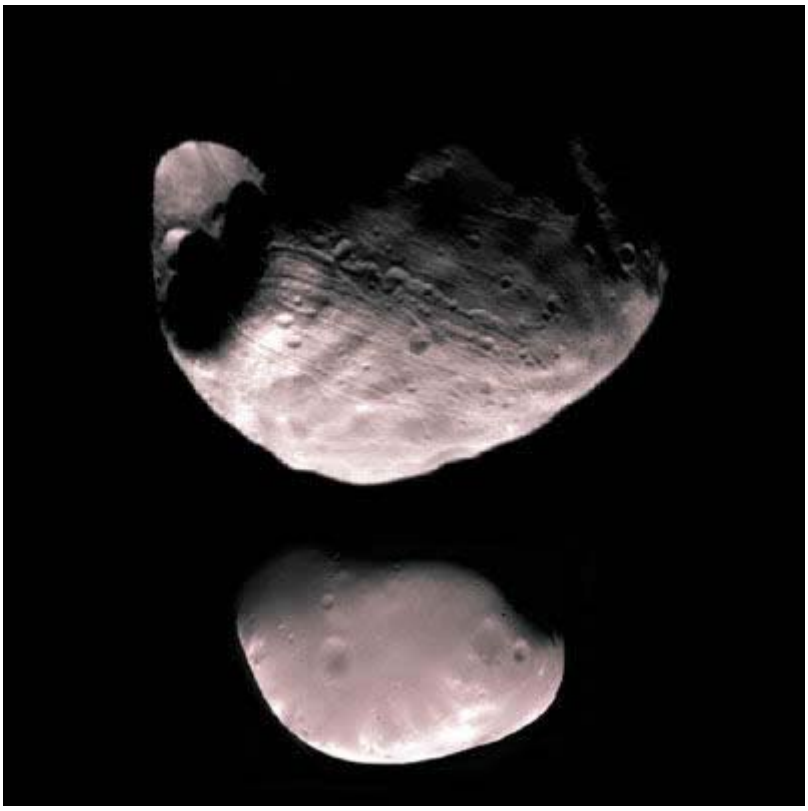
Mars'ta tam bir küresel simetri hakim değildir. Mars'ı ekvatora yakın bir çizgi ile ikiye böldüğümüzde bu çizginin güneyinde kalan bölgenin ortalama yüksekliği kuzeydekine göre daha fazladır. Bunun en önemli nedenlerinden biri Mars'ın düşük yoğunlukta bir kabuğa (mantodan daha düşük bir yoğunluk) sahip olduğu ve bu kabuğun kalınlığının güneyde daha fazla olmasıdır.

Mars yüzeyinde Dünya'ya göre çok büyük yanardağlar vardır. En önemli dört yanardağ birbirlerine çok yakındır ve hemen hemen hepsinin yüksekliği 27 km civarındadır. Bu dağlar Mars'ın en yüksek dağlarıdır. İçlerinde en büyüğünün adı "Olympus Mars"dır. Bu aynı zamanda güneş sisteminin de bilinen en büyük dağıdır. Mars yüzeyinde bunlardan başka çok miktarda lav püskürten değişik boyutlarda yanardağlar vardır.



Şekil 3.21: Mars yüzeyinde eski kurumuş bir göl yatağı. Bu fotografta katmanlaşmış tortul yapı ve ince derelerin daha büyük su yatakları ile buluştukları görülmektedir. Bu bulgular sağ alt bölgenin kurumuş bir göl olduğu düşüncesini kuvvetlendirmektedir.

Mars yüzeyinde çarpışma sonucu oluşmuş çok sayıda krater bulunur. Bununla birlikte bu kraterler güney yarım kürede, kuzeye göre çok daha fazladır. Bu iki yarım küre arasında ikinci büyük farklılıktır. Yanardağ bölgesinde krater yoğunluğu en aza inmektedir. Bu ise yanardağın genç olduğunu gösterir. Kutup bölgelerinde kraterlerin sayısı azdır. Kraterlerin görünmemesinin başka bir nedeni de, rüzgârın etkisi ile tozların kraterleri doldurmasıdır.



Şekil 3.22: Mars’ın iki uydusunun görüntülerini aynı karede görmektesiniz. Üst taraftaki Phobos, altta görülen Deimos’tan daha büyüktür, fakat her ikisi de birer kaya parçasını andırmaktadır. Her iki uydu da üzerlerine düşen Güneş ışığının sadece yüzde birkaçını geri yansıtırlar ve bu nedenle birçok küçük gezegenden daha karanlıktır. Bu uyduların Mars ile beraber oluşmadığı gezegenin onları uzaydan yakaladığı görüşü benimsenmektedir.

Mars yüzeyinde karanlık bölgelerin arasında görülen parlak yerler ince tozdan oluşmuştur. Yüzeydeki rüzgâr bu tozları sürekli taşır. Bu parlak tozların altında bulunan karanlık materyal boyut bakımından büyük olup rüzgârla taşınmaz. Bu kurala tek karşıt gelen kutup başlıklarını tasma gibi saran kum tepeleridir. Mars üzerindeki sarı bulutlar, aslında bu ince tozları içinde bulunduran bulutlardır. Sarı bulutlar genellikle parlak materyal içerirler. Parlak materyal, demirin oksitlenmesi ile oluşmaktadır. Mars'ta gök yüzü genelde kırmızı gözükür. Mars atmosferinde yüzeyden 60 km yükseklikte CO_2 bulutları, 50 km yükseklikte toz bulutları, 25 km yükseklikte ise küçük buz kristallerinden oluşan su bulutları vardır.

Mars’taki kutup başlıkları, sonbahardan itibaren oluşmaya başlar. Tüm kış boyunca başlıklar büyür. Bahardan itibaren bunların kapladığı alan küçülür. Büyüme sırasında orta enlemlere kadar gelebilir. Genellikle CO_2 buzundan oluşmuştur, içerisinde bir miktar da su buzu vardır. CO_2 buzu mevsimi gelip eridiğinde, kutup başlıkları küçülür ama tamamen yok olmaz. Geriye kalanın su buzu olduğu sanılıyor. Çünkü yaz aylarındaki sıcaklıkta CO_2 buz hâlinde kalamaz, sadece H_2O buz hâlinde kalabilir.

Mars atmosferinin kimyasal birleşimi şöyledir: %95 CO_2, %2.7 N_2, %1.6 Ar, %0.13 O, %0.07 CO ve %0.03 H_2O. Mars yüzeyinin ortalama sıcaklığı 218K'dir. Bu nedenle atmosferde az miktarda bulunan su katı hâlde ya yüzeyde ya da yüzeyin altında bulunur. Mars yüzeyinde ince uzun olgular vardır. Bunların genellikle yüzey altında buz hâlinde duran suyun erimesi ve akması ile oluştuğu ileri sürülmektedir. Bu olguların hacmi, Mars'ta şu anda bulunan su hacmının 1000 katıdır. O hâlde, bir zamanlar Mars'ta su vardı diyebiliriz. Su, Mars'ın yüzeyinde buharlaşmadan duramaz, çünkü Mars atmosferinde basınç çok küçüktür. Bazı eski kuramlar, Mars'ın yakın tarihinde atmosferinin yoğun olduğunu, dolayısıyla suyun rahatça aktığını ileri sürerler.

Viking konduları, Mars yüzeyinde bir takım deneyler yaptı. Bu deneyler sonucunda bize benzeyen karbon yapılı bir yaşam olmadığı ortaya çıktı. Mars'ın tüm yüzeyinin ayrıntılı fotografları elde edildi. Ama bunların hiçbirinde yaşam izi yoktu. Ancak bu konuda son söz henüz söylenmemiştir.

1877 yılında iki küçük uydusu keşfedildi. Bunlar çok küçük uydulardır. Mars çevresindeki yörüngelerininin dış merkezliği küçüktür ve yörünge eğimleri de Mars'ın ekvator düzlemine göre azdır. Yarı büyük eksen uzunlukları da küçüktür. Bu nedenle Phobos, Mars yüzeyinden 6000 km yukarıda bulunur ve yüksek enlemlerden onu görmek olası değildir. Uzay çağına kadar bu uydular hakkında hiç bilgimiz yoktu. Viking 2 adlı uzay aracı ile alınan fotograflardan her iki uydu yüzeyinin de kraterlerle kaplı olduğu görüldü (Şekil 3.22).

3.2 Dev Gezegenler

Mars'ın dışındaki dört büyük gezegen dev gezegenler grubunu oluşturur. Ek 5'i (Sayfa 263) yakından incelediğimiz zaman sırasıyla; Jüpiter, Satürn, Uranüs ve Neptün gezegenlerinin kütle ve yarıçaplarının yersel gezegenlere göre çok büyük olduğunu görürüz. Dev gezegenlerin diğer bir özelliği ise yoğunlukları yersel gezegenlere göre düşüktür. Dev gezegenlerin ortalama yoğunluğu 1.34 gr/cm^3'dür.

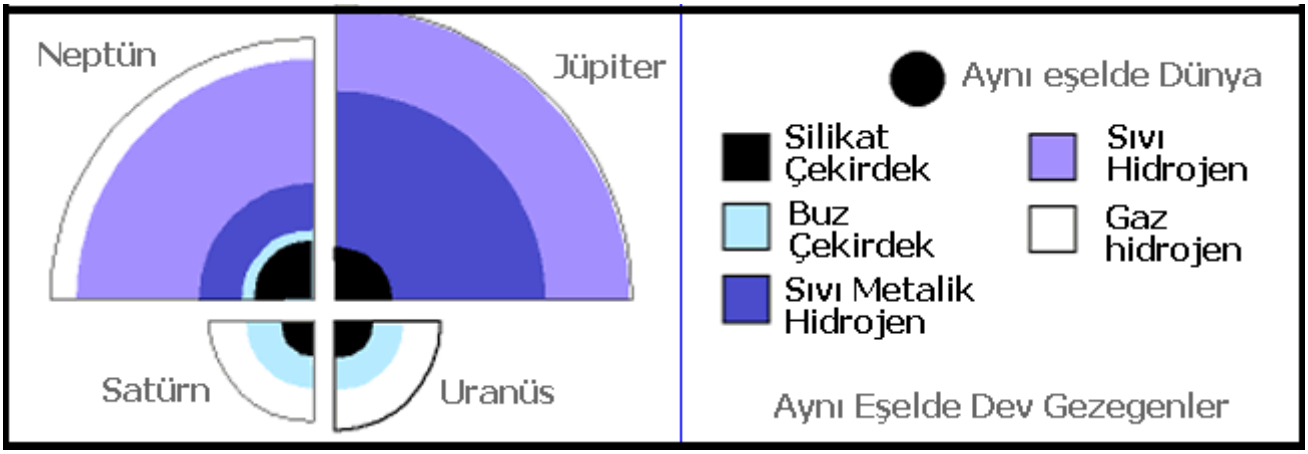
Dev gezegenlerin atmosferlerinin kimyasal bileşimi, Güneş'e benzer. Gezgin (Voyager) uzay aracı bu dev gezegenlerin atmosferlerinde çok çeşitli moleküller olduğunu buldu. Aşağıdaki çizelgede Jüpiter ve Satürn'ün kimyasal birleşimi Güneş'in kimyasal birleşimi ile karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 3.3: Dev gezegenlerin atmosferinde ve Güneş'te en çok bulunan moleküllerin bolluğu. Bolluklar toplam moleküllerin yüzdesi olarak verilmiştir. Çizelge, evrende en çok bulunan on elementten altısını içermekte, geriye kalan silikon, magnezyum ve demirin dev gezegenlerin çekirdeğinde olduğuna inanılmaktadır. Boşluklar o gezegenlerde söz konusu molekülün henüz gözlenmediğini ifade etmektedir.

Molekül	Güneş	Jüpiter	Satürn	Uranüs
H_2	85	90	97	83
He	15	10	3	15
H_2O	0.11	0.0001	---	---
CH_4	0.06	0.2	0.2	2
NH_3	0.016	0.03	0.03	---
H_2S	0.003	---	---	---

Hidrojen, dev gezegenlerin kütlesinin çoğunu oluşturmaktadır. Bu gezegenlerin içinde hidrojenin davranışını incelemek çok önemlidir. İç bölgelerde sıcaklık atmosfere göre daha yüksektir. Böylece yüzeyden merkeze doğru giderken sıcaklık ve basıncın artacağı açıktır. Bu nedenle derinlere gittikçe gaz hâlindeki moleküler hidrojen (H_2), gittikçe yoğunlaşır. Hidrojenin yoğunluğu öyle bir düzeye gelir ki artık bu bir gazın değil, sıvının özelliklerini taşır. Bu nedenle Jüpiter'in içlerine girdiğimizde herhangi bir yüzey ile karşılaşmayız fakat aşağılara indikçe kendimizi bir okyanusun ortasında buluruz. Okyanustaki hidrojenin katı bir yüzeyi olup olmadığı yine de merak edilmektedir. Yüksek basınçta molekülü meydana getiren hidrojen atomları, birbirlerine bağlı oldukları kadar komşu moleküllerin atomlarına da bağlı olmaktadırlar. Bu basınçta hidrojen molekülleri parçalanır. Daha da derinlere inildiğinde basınç o denli artar ki her hidrojen atomunda çekirdek etrafında dolanan elektron aynı zamanda komşu atomunda çekirdeği tarafından da etkilenir ve atomlar da parçalanır. Bu durumda hidrojen, atom çekirdekleri arasında hareket eden elektron gazından oluşmuştur. Metallere özgü bu özelliği, gösterdikleri için, bu durumdaki hidrojen "metalik hidrojen" olarak bilinir. Metalik hidrojenin en önemli özelliği, metallerde olduğu gibi yüksek elektrik iletkenliğine sahip olmasıdır.

Hidrojen ve helyumdan oluşmuş büyük bir kütleye sahip bir gezegenin iç yapısı için iki temel ısı kaynağı vardır. Birincisi, gezegenin oluşum anından geriye kalan ısıdır. İç yapıdaki ikinci enerji kaynağı olarak, "çekimsel ayrılma" olayı ileri sürülmektedir. Hidrojenden daha ağır olan helyum elementinin, çekim kuvveti ile merkeze doğru hareketi sonucu oluşan kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu bu ısı açığa cıkar.

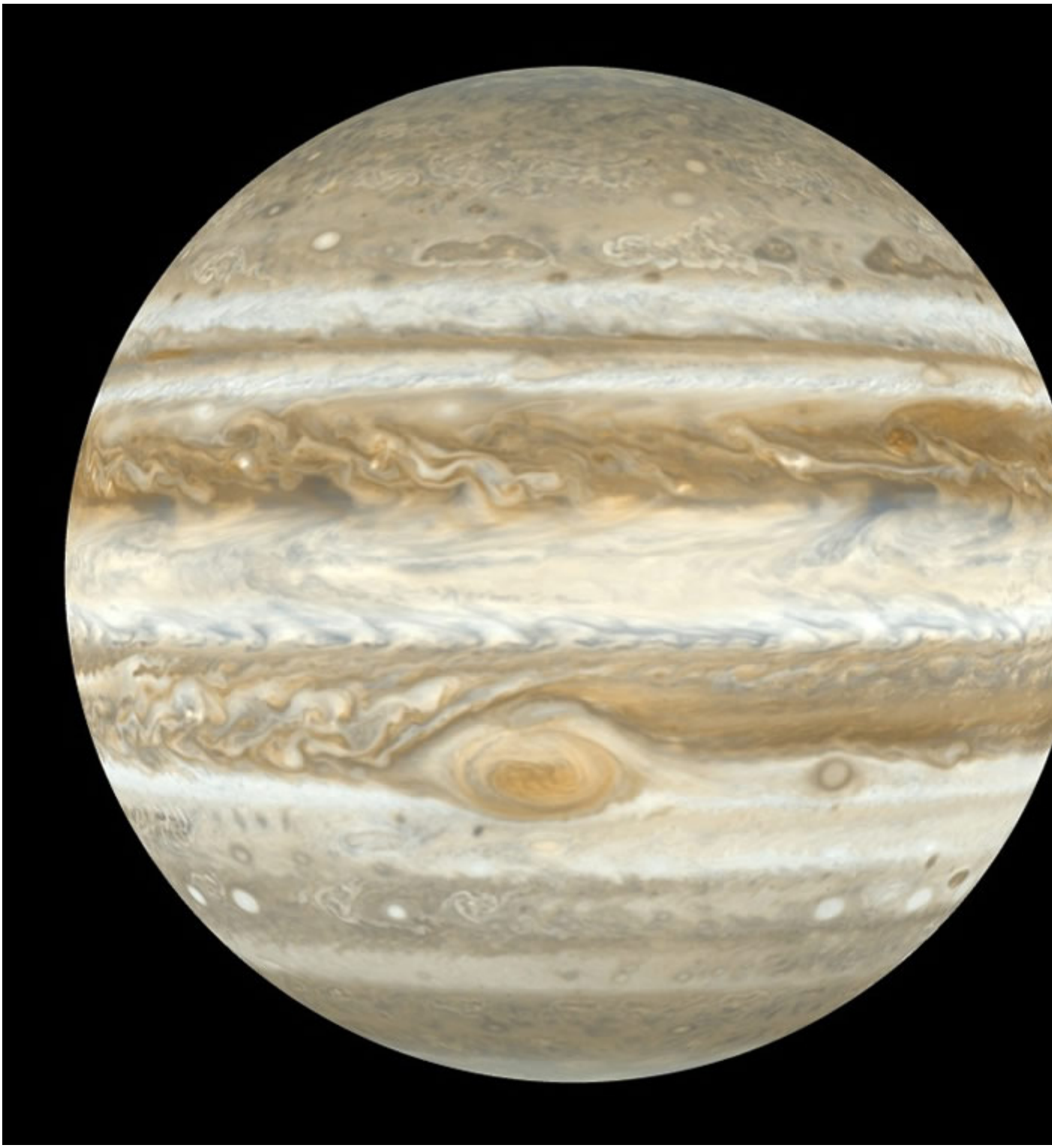


Şekil 3.23: Dev gezegenlerin iç yapısının şematik gösterimi. Jüpiter ve Satürn'ün merkezinde bulunan kayalık çekirdek, Uranüs ve Neptün kadar bir kütlede olabilir.

Jüpiter

Yersel gezegenlere hiç benzemeyen Jüpiter, gök yüzünün Güneş, Ay ve Venüs'ten sonra en parlak cismidir. Çok seyrek olarak bazen Mars da gök yüzünde Jüpiter'den daha parlak görülebilir. Yörüngesinde çok yavaş hareket etmesinden ve parlak olmasından dolayı, Romalılar bu gezegene, tanrıların kralı olan Jüpiter adını vermişlerdir.

Uzay araçlarının çektiği Jüpiter fotoğraflarının ayırma gücü Yer'deki teleskoplarla alınanlardan 500 kez daha iyidir. Böyle olmasına karşın yüzeydeki büyük ölçekli şekiller son 100-150 yıldır Yer'den kolayca gözlenmiş ve onların çok az değiştiği anlaşılmıştır. Ayrıca yüzeyin bandlar hâlindeki yapısı, band sınırları ve yüzeyin görünen rengi, son 100 yıldır hiç değişmemiştir. Son 100 yıldır yapılan gözlemlerden, gezegenin etrafını saran zengin renklere sahip bulutların sadece üst bölgelerini incelediğimiz ortaya çıkmıştır. Bantların ekvatora paralel oldukları anlaşılmıştır. Parlak bandlara "bölge", karanlık olanları ise "kuşak" adı verilir. 40° enlemden daha yukarılarda bandlaşma kaybolmaya başlar ve kutup bölgelerinde ortadan kalkar.



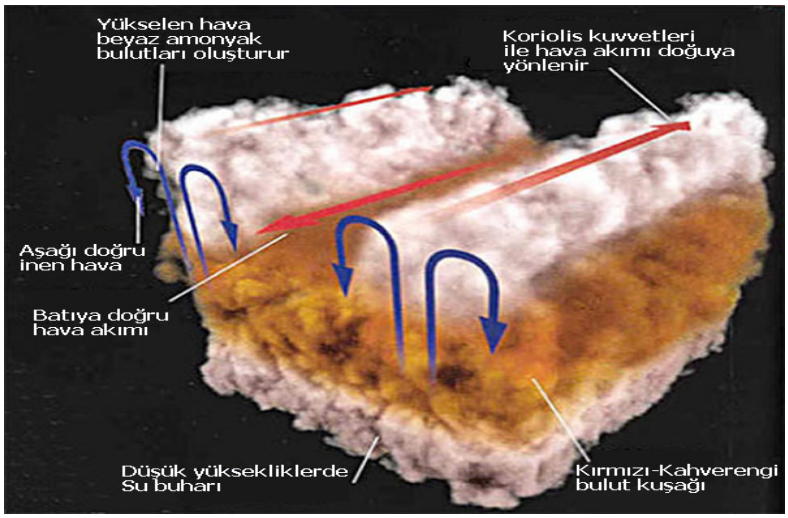
Şekil 3.24: Jüpiter'in uzay sondası ile yakından alınmış bir görüntüsü. Yüzeydeki büyük leke ilk bakışta göze çarpmaktadır.

Jüpiter yüzeyinde "leke" adı verilen oval şekilli yapılar, çeşitli boyut ve renktedir. Küçük ölçekli olgular sürekli değildir, zamanla yok olurlar. Bu ilginç olguların içinde en büyüğü "Büyük kırmızı leke"dir (BKL) ve en uzun yaşayanıdır. Bu leke 4-5 dünya büyüklüğündedir ve boyutu 25000x13000 km dolayındadır. İlk kez 1664 yılında gözlenen bu olgu, o günden bu yana aynı enlemdedir, fakat boyutları değişmiştir. En büyük boyutuna 100 yıl önce ulaşmış ve o zaman 40000x13000 km olmuştur. Büyük oval lekeleri, hatta büyük kırmızı lekeyi birer anafor olarak göz önüne almak ilginç olacaktır. Fakat onların yaşam

süreleri kuramsal hesaplanan yaşam sürelerinden çok uzun olduğu için birer anafordur diyemiyoruz. Yer atmosferindeki anaforlar ile karşılaştırdığımızda Yer'deki anaforlarda atmosferik hareket enerjisinin çok küçük bir bölümü bulunurken, Jüpiter anaforlarındaki enerji çok büyüktür. Bunun nedeni de Jüpiter de büyük iç enerji kaynaklarının olmasıdır.

Jüpiter bulutları, kuzey yarım küreden saat yönünde hareket ederler. Lekelerin en küçüklerinin de dönerek hareket ettiklerini gösterir belirtiler vardır. Voyager 1 'in gönderdiği fotoğraflardan çok sayıda olgunun rüzgâr hızları bulunmuştur. Kuzey-güney rüzgârları doğu-batı rüzgârları ile karşılaştırıldığında çok zayıf oldukları görülür. Rüzgâr hızlarının Voyager 1 ve 2'nin yakın geçişleri arasındaki zaman aralığında değişmediği görülmüştür. Her iki yarım küredeki band şekillerinde belirgin farklar olmasına karşın rüzgâr hızları arasında hemen hemen fark yoktur.

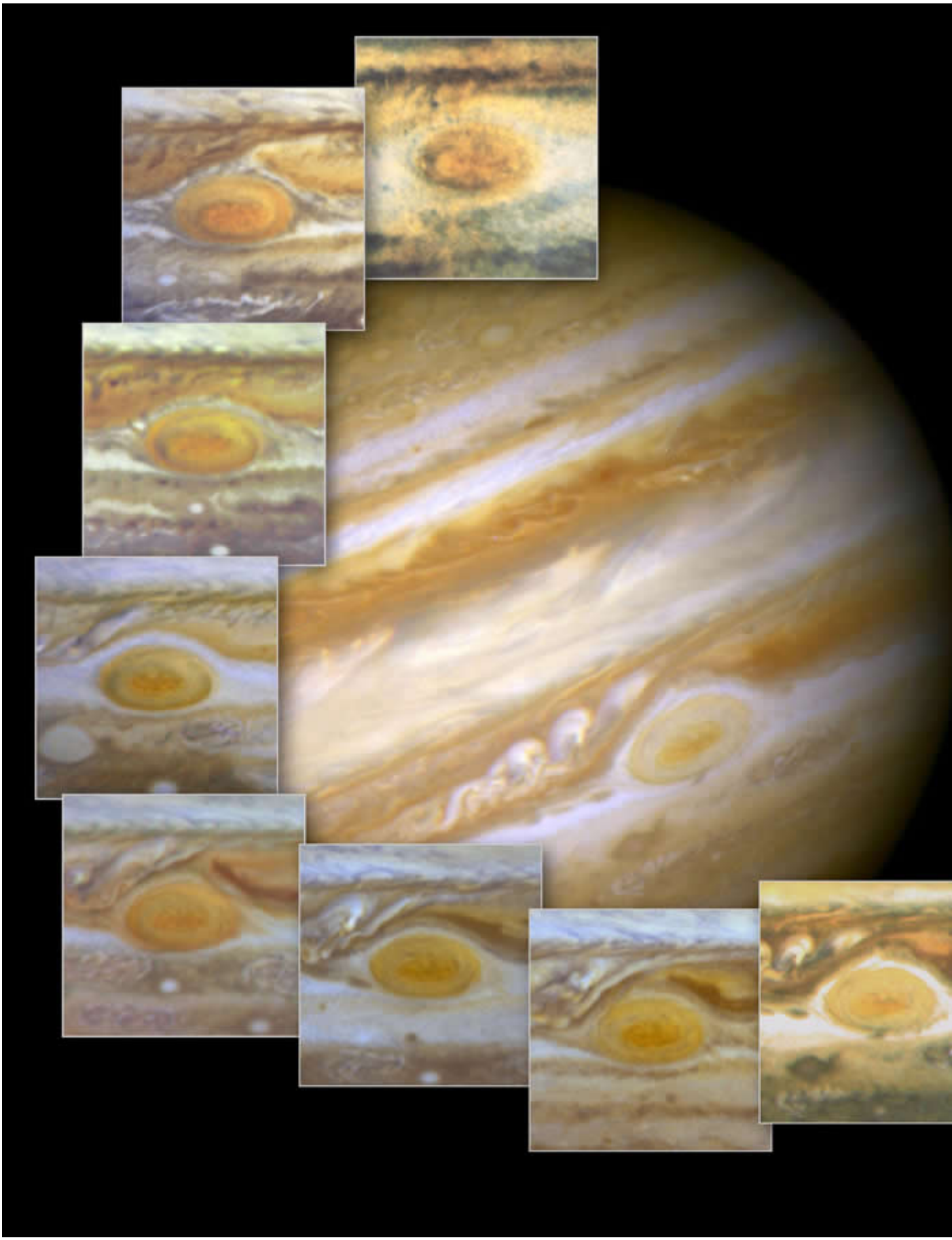
Jüpiter atmosferinin bugün bilinen kimyasal birleşimi şöyledir: %90 H_2, %10 He, %0.07 CH_4, %0.02 NH_3, %0.00001 H_2O ve diğer bazı gazlar. Hidrojen, helyum ve metan, bulut bölgelerindeki fiziksel koşullarda yoğunlaşarak bulut parçacıkları oluşturamazlar. Gözlem yanılgıları içinde bulunan bu göreceli kimyasal yapı, Güneş'te bulunan ile hemen hemen aynıdır.



Şekil 3.25: Jüpiter'in band yapısındaki parlak "bölge"ler ve karanlık "kuşak"lar yükselen ve alçalan gaz kolonları olarak yorumlanabilir. Coriolis kuvvetleri parlak bir bandın ekvator tarafındaki kenarının doğu yönünde, kutup tarafındaki kenarının ise batı yönünde hareket etmesini sağlar.

Jüpiter atmosferinde basınç ve sıcaklıklar, çeşitli teknikler kullanarak, uzay araçları tarafından saptanmıştır. Basıncı 1 bar olan yüzey, sıfır yüzeyi olarak seçilmiştir. 0.2 barın altında kalan atmosferde yukarı doğru ısı aktarımının ısısal konveksiyonla olduğu ve atmosferin derinlerinde çok kuvvetli ısı kaynakları olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu kaynaklardan biri de Güneş ışınımının çok az bir bölümünün atmosferin alt katmanlarına süzülerek ulaşmasıdır.

Jüpiter atmosferinde bulutların oluşmasına; amonyak, su ve amonyum hidrosülfit neden olurlar. Her üç tür bulut da donmuş parçacıklar içerir. Bulutlar, sıcaklığın yükseklik ile azalmasından dolayı keskin bir şekilde belirgindir. Aynı nedenle herhangi bir bulut parçacığı aşağı doğru hareket ettiğinde hemen buharlaşır. Troposferdeki konveksiyon, bulut parçacıklarını tabandan yukarı doğru yükseltir; bu yükseklikte sıcaklık düştüğünden buharlaşmazlar. Böylece bulutlar, geniş bir kalınlığa sahip olur, hatta konveksiyonun zayıfladığı troposferin üst sınırlarına kadar uzanabilirler.

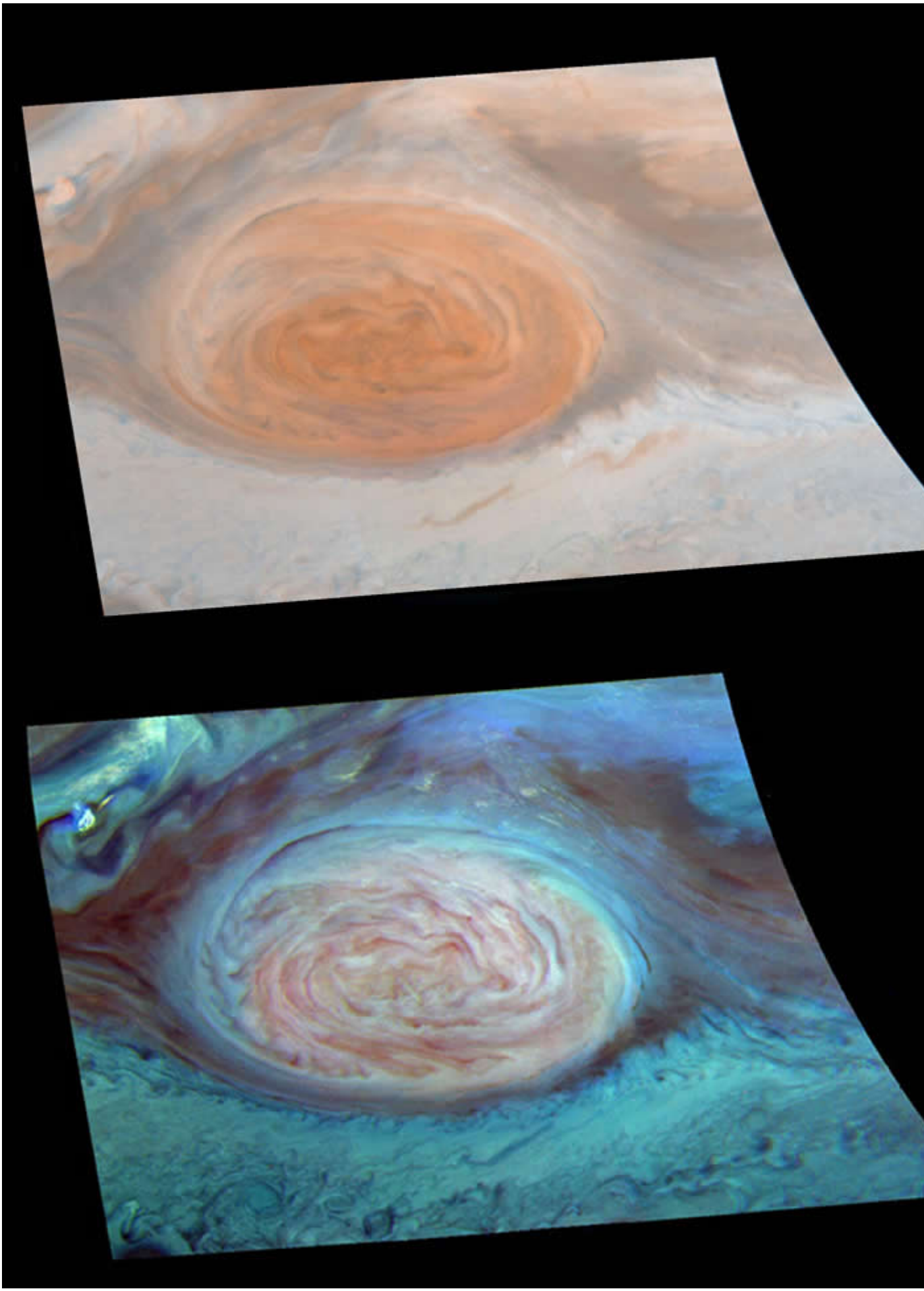


Şekil 3.26:Hubble Uzay teleskobunun 1992-96 yılları arasında 5 yıl süresince Büyük Kırmızı Lekenin renk, şekil ve boyutunun nasıl değiştiği görülmektedir..

Jüpiter, Güneş'ten soğurduğu enerjinin 1.5 ile 2.5 kez fazlasını uzaya ışınım olarak salar. Bu ek enerjiyi açıklamak için Jüpiter'e fazladan enerji girmesi gerekmektedir. Jüpiter, çok güçlü bir ısı kaynağına sahiptir; iç yapısında bulunmakta olan bu ısı kaynağı, ışınım fazlalığından da sorumludur. Yapılan Jüpiter iç yapı modelleri, hemen hemen tamamen hidrojenden oluşmaktadır. Atmosfer ile çekirdek arasında herhangi bir sınır yoktur. Merkezde kayadan meydana gelmiş bir çekirdek olabilir. İç bölgeler çok sıcaktır.

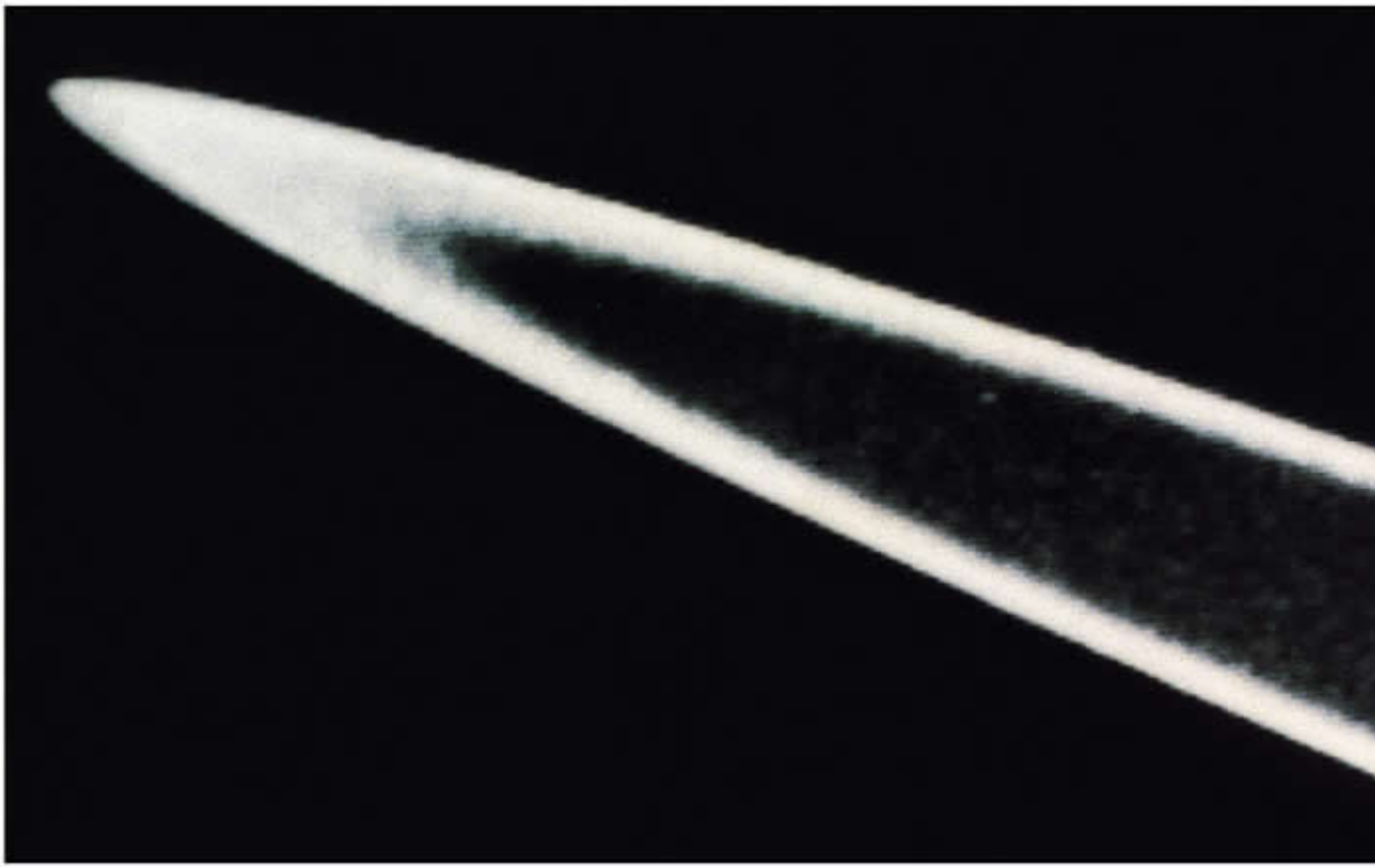
Satürn

Güneş sistemimizde büyüklüğüyle ve sahip olduğu halka sistemiyle dikkati çeken bir gezegendir. Satürn, Jüpiter'den fazla küçük değildir. Diğer özellikler bakımından da her iki gezegen birbirine çok benzer. Fakat birer sistem olarak ele aldığımızda Jüpiter ve Satürn sistemlerinin birbirinden farklı olduğunu görürüz. Örneğin; Satürn görülmeye değer geniş bir halka sistemine sahiptir. Güneş'e olan uzaklığının çok büyük olmasından dolayı yörüngesinde Jüpiter'e göre daha yavaş hareket eder. Bu özelliklerinden dolayı mitolojideki çiftçilerin tanrısının adını almıştır.



Şekil 3.27: Büyük Kırmızı Leke’nin ayrıntılı bir fotografını ve aynı görüntünün bilgisayarda renkleri daha da kuvvetlendirilerek elde edilmiş şeklini görüyorsunuz. Üstteki doğal görüntü, Galileo uzay aracı tarafından 26 Haziran 1996 tarihinde çekilmiştir.

Satürn'de rüzgâr şiddeti Jüpiter'e göre daha kuvvetlidir. Satürn ve Jüpiter atmosferleri arasında büyük benzerlikler vardır. Jüpiter ve Satürn'e baktığımızda birbirine yakın özellikler görürüz. Fakat Satürn bulutlarının özellikleri daha az belirgindir. Batı'dan doğu'ya doğru esen rüzgârların hızı ekvatorda maksimuma yani 800 m/sn’ye ulaşır. Bölgesel fışkırmalar olarak kabul edilen akıntıların yıllar boyu enlemsel konumlarını korudukları gözlenmiştir.

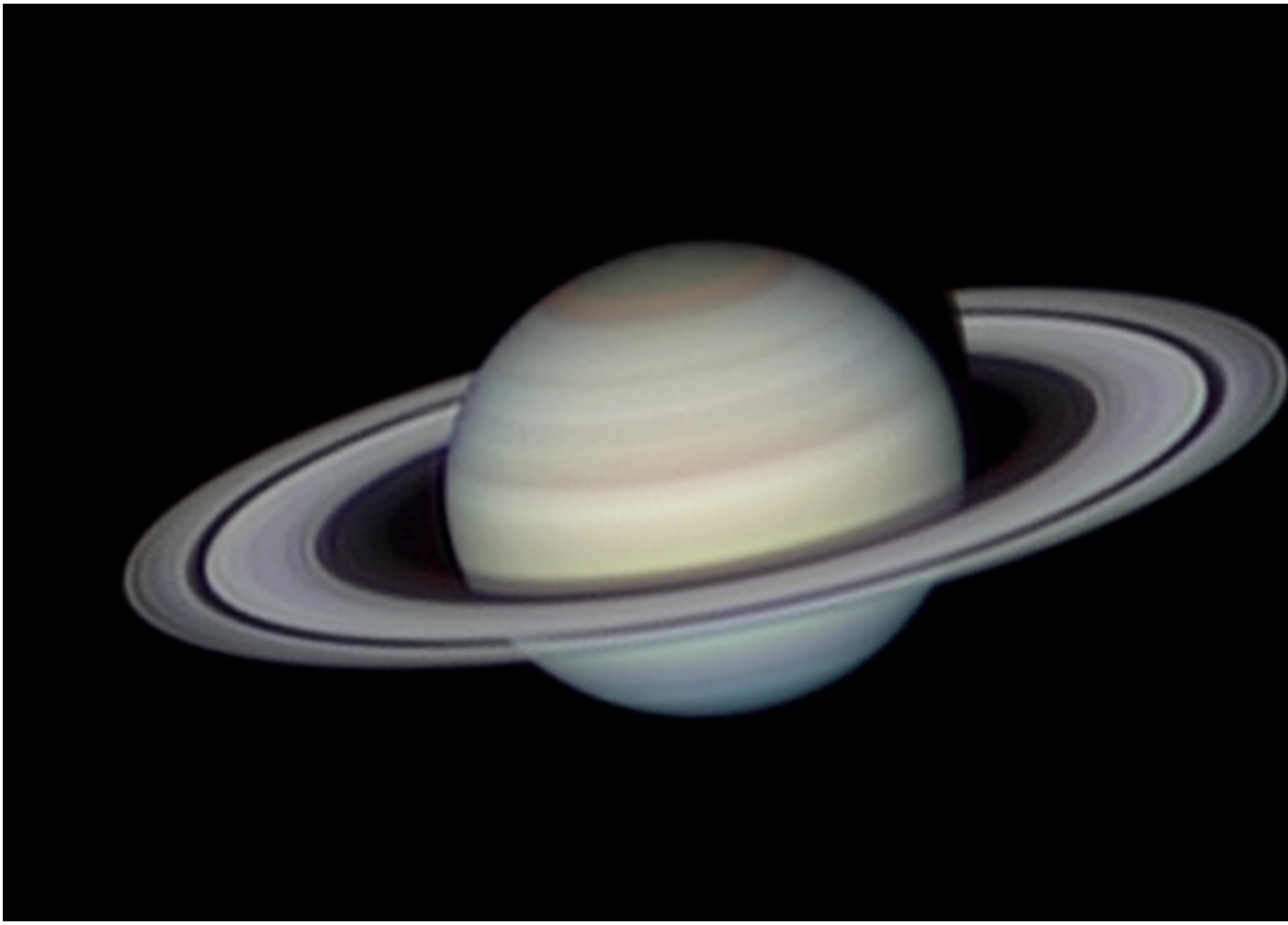


Şekil 3.28: Voyager 2 uzay aracının çektiği Jüpiter’in sönük halkasının bir bölümü görülmektedir. Halka, gezegene uydularından daha yakındır. Parlak kısmının genişliği 6000 km dir ve küçük kaya parçalarından oluştuğu sanılmaktadır.

Satürn atmosferinde bulutlar Troposfer'de yer almışlardır. Üstteki amonyak bulutlarından daha alt bölgeleri göremeyiz. İçerden dışarı doğru çıkan enerji, gazı döndürmeye zorlar, işte bu nedenle büyük ölçekli olgular ortaya çıkar. Bunlar Yeryüzü’nde görülen anaforlara benzerler. Bulutların hiçbiri renkli değildir. Satürn atmosferinde gördüğümüz renklere henüz tanısını yapamadığımız bazı moleküller neden olmaktadır. Jüpiter'de olduğu gibi Satürn atmosferinin altında da katı bir yüzeyin olup olmadığı bilinmemektedir. Satürn'deki sıcaklık düşüktür, çünkü gezegen, Güneş'ten çok uzaktadır. Dönme ekseni eğik olduğu için mevsimsel değişimler beklenmektedir, fakat atmosfer çok büyük olduğu için normal değişimlere hemen ayak uyduramaz. Boylam, gün ve mevsimlere göre bir ortalama alınacak olursa sıcaklık farkı gözlenmemektedir. Eğer ısı transferi bulutların üst kısımlarında olsaydı belirgin bir sıcaklık değişimi görülecekti. Bunun olmaması atmosferdeki ısı taşınmasının daha derin bölgelerde olduğunu göstermektedir.

Satürn’ün ortalama yoğunluğunu (bkz. Ek 6, Sayfa 264) göz önüne alırsak onun büyük bir bölümünün gaz olduğunu görürüz. Suyun yoğunluğunun 1 olduğunu düşünürsek, Satürn’ün ne denli az yoğunluğa sahip olduğunu anlayabiliriz.

Satürn'ün iç yapı modeli de hemen hemen Jüpiter'inki gibidir. Satürn'ün zayıf çekiminden dolayı iç basıncı daha düşüktür. Bundan dolayı metalik hidrojene geçiş Jüpiter'e oranla daha derinlerde olur. Dolayısıyla moleküler hidrojenden oluşmuş mantosu oldukça kalındır.

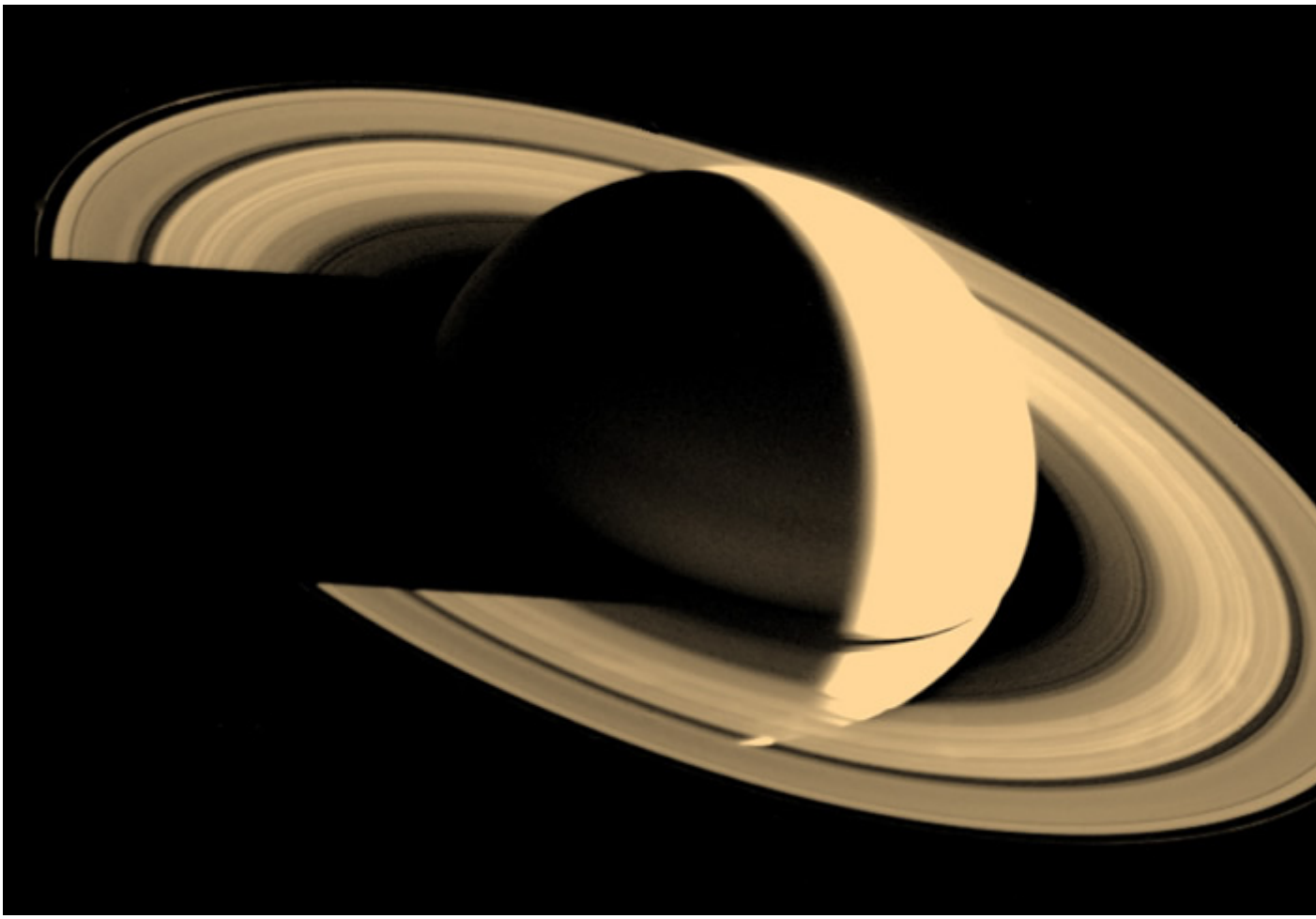


Şekil 3.29: Yer'den Satürn'ün görünüşü. Bu fotograf amatör gökyüzü fotoğrafçısı Damian Peach tarafından 35cm çaplı bir teleskopla çekilmiştir. Atmosferdeki bölge ve kuşaklar ile halkadaki Cassini boşluğu hemen dikkati çekmektedir.

Satürn soğurduğundan daha çok enerji yayınlar. Başlangıçta bütün gezegenleri sıcak kabul etmiştik. Gezegen zamanla soğuduğu için büzülür. Gezegenlerde bu güne kadar olan enerji kaybı çeşitli yöntemlerle hesaplanabilir ve sonuçlar günümüz gözlemleri ile karşılaştırılır. İşte böyle bir karşılaştırma yapıldığında, Jüpiter için yapılan hesaplamalarda bir uyum elde edilmesine karşın Satürn için bu söz konusu değildir. Gözlenen iç ısı hesaplanandan daha büyük çıkmaktadır. Buna göre ya Satürn, Jüpiter'in yarı yaşında (ki mümkün değil) ya da Satürn'ün soğuma ve büzülmenin yanında bir başka enerji kaynağı vardır.

Yer'den teleskopla gözlendiğinde halka yapısı gösteren tek gezegen Satürn'dür. Diğer dev gezegenlerin de halka yapısı vardır, fakat yoğunluğu az olan bu halkaları Yer'den gözlemek çok güçtür. Satürn'de halka sistemi gezegenin merkezinden 80000 km uzaklıkta başlar, 136000 km uzaklığa kadar devam eder. Halkanın farklı bölgeleri farklı parlaklıkta görünür. Dış parlak bölge A halkası olarak bilinir ve onun iç kısmında karanlık olan Cassini boşluğu vardır. Cassini boşluğundan sonra en parlak olan orta halka, B halkası olarak adlandırılır. Bunun altında ise sönük C halkası yer alır. Uzay sondaları Satürn'ün fotoğraflarını çektiğinde onun etrafında on binlerce halka olduğu anlaşılmıştır. Yer'den yapılan gözlemlerde boşluk olduğu sanılan bölgelerde de halka parçacıkları ile dolu olduğu görülmüştür. Bu bölgeler daha az yoğun olduğu için Yer'den parlak olarak gözlenemiyor. Halka, milyarlarca küçük parçacıktan meydana gelmiştir. Bu parçacıklar o kadar küçüktür ki ne

Yer’den ne de uzay sondalarının çektiği fotograflardan ayrı ayrı görülemez. Halkayı oluşturan bu parçacıkların su buzu ile kaplı olduğu yapılan tayfsal çalışmalardan anlaşılmıştır.

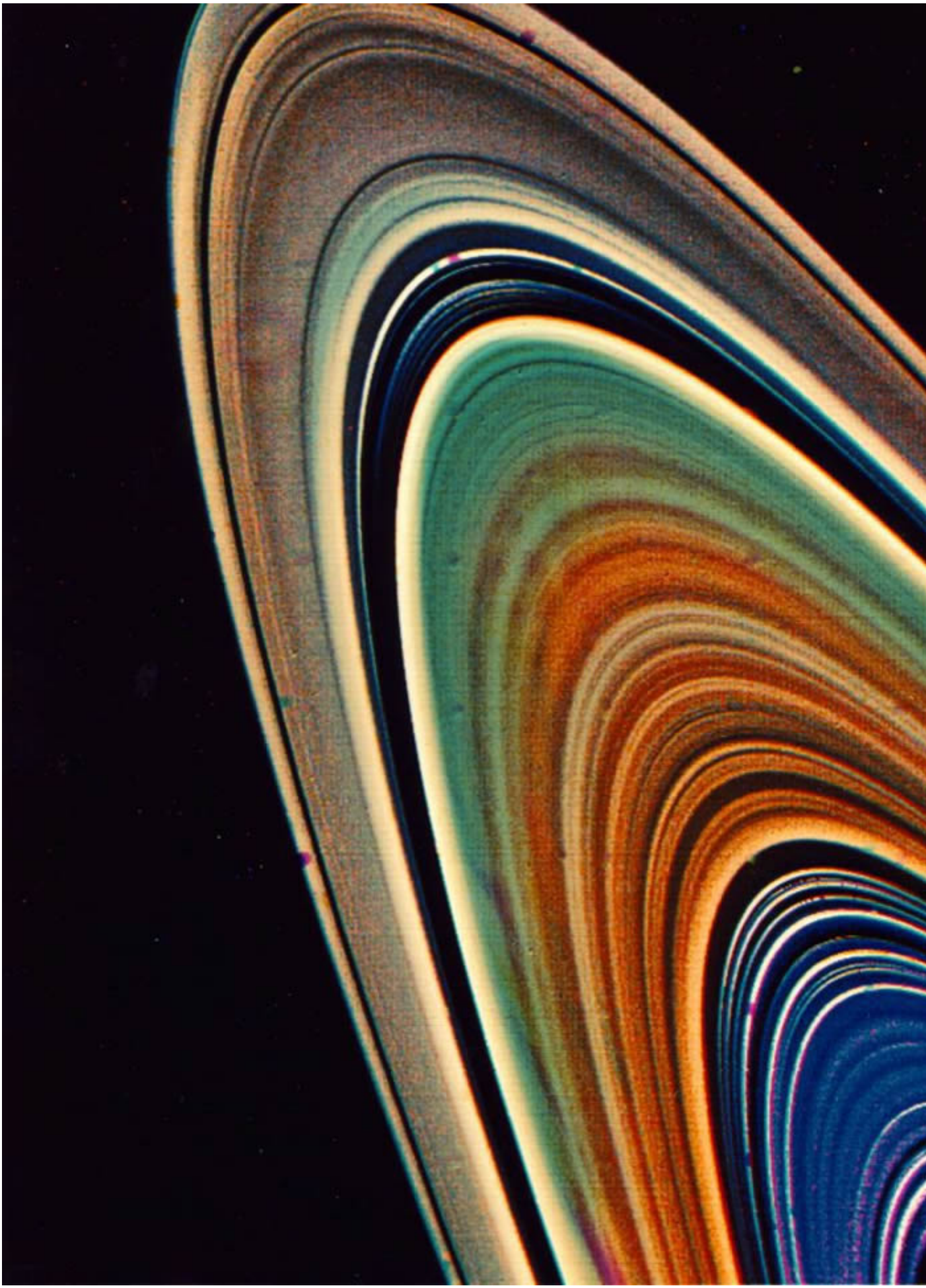


Şekil 3.30: Voyager 1 uzay aracı, gezegene yakın geçişini yaparak ondan uzaklaşırken beş milyon km uzaktan çektiği bir fotograf. Satürn’ün hilâl şeklindeki böyle bir görüntüsünü Yer’den çekmek imkânsızdır. Halkaların ayrıntısı ve onun gezegenin üstüne düşen gölgesini inceleyerek Güneş, Yer ve uzay aracının konumunu bulabilirsiniz.

Uranüs

Uranüs, 1781 yılında İngiliz astronom William Herschel tarafından bulundu. Mitolojide Uranüs, Satürn'ün babasıdır ve Olimpos'un ilk hükümdarıdır. Uranüs'ün bir önemi de bilinen tarih içinde ilk bulunan gezegen olmasıdır. Güneş'e uzaklığı, Satürn uzaklığının iki katı olduğundan, gezegenin görünen parlaklığı, âletsiz görme sınırındadır. Dolayısıyla çok iyi gözlem koşullarında ve çok iyi görebilen kişiler tarafından çıplak gözle ancak farkedilebilir. İşte bu nedenle Uranüs’ün bulunması teleskopların keşfini beklemiştir.

Uranüs küçük bir teleskopla bakıldığında dahi kolayca görülür. Özellikle teleskopun büyütme gücü arttırıldığında, gezegen arka fondaki yıldızlardan tamamen farklı gözükür, çünkü nokta bir kaynak değil bir disk şeklindedir. Herschel, Uranüs'ü kendi yaptığı 15.7 cm'lik aynalı bir teleskopla keşfetti. Herschel 1787 yılında Uranüs'ün iki uydusunu da keşfetti. Bu uydulara, Titania ve Oberon isimleri verildi. 1851 yılında bulunan diğer iki uydusuna ise Ariel ve Umbriel adları verilmiştir. Bu isimler, Shakespeare'in yapıtlarındaki peri isimleridir. 1948 yılında bulunan beşinci Uranüs uydusuna Miranda adı verildi.



Şekil 3.31: Voyager 2 tarafından çekilmiş Satürn halkasının ayrıntılı görüntüsü. Halkalardaki ayrıntıyı görebilmek için bilgisayarda renkler biraz daha belirginleştirilmiştir. Halkaların bu farklı renklerini bilim adamları tam olarak açıklayamamaktadır.

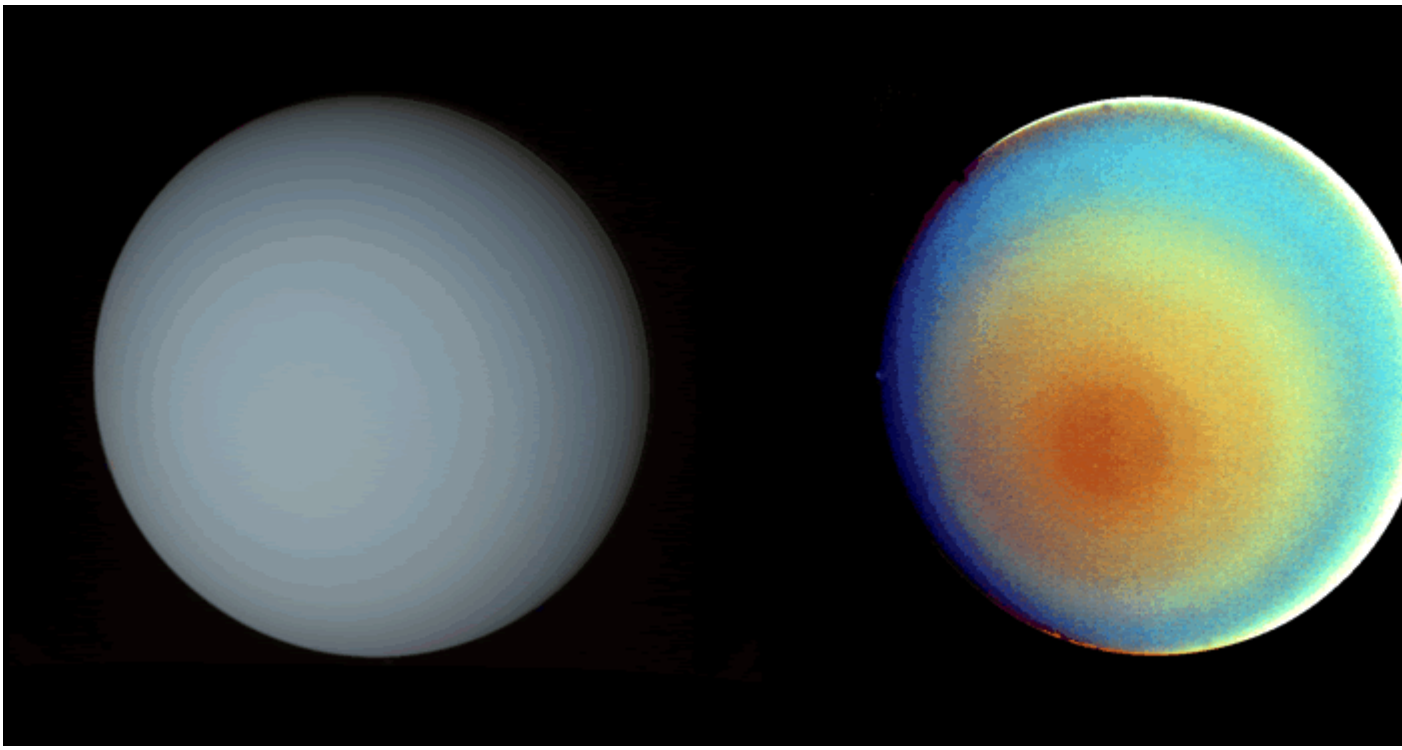
Jüpiter ve Satürn'de yakın uydular ve halka ekvator düzleminde bulunur. Buradan hareketle Uranüs uydularının yörüngelerini incelediğimizde, Uranüs'ün dönme ekseninin eğimininin 98° yöresinde olduğu görülür. Dönme ekseninin bu büyük eğimi daha sonraları yapılan tayfsal çalışmalarla da kanıtlanmış, özellikle Voyager 2 uzay sondasının 1986 yılında gezegenin yakınından geçerken aldığı fotograflarda da görülmüştür. Bu fazla eğime nasıl bir olayın neden olduğu kesin olarak bilinmemektedir. Özgün olarak küçük bir eğimle Güneş etrafında dolanan Uranüs'e eğer Yer büyüklüğünde bir cisim eğik olarak çarpmış ise bugünkü gözlenen duruma gelebileceği modellerle gösterilebilmektedir. Böyle bir olayın yakın zamanda meydana gelmiş olması olanaksızdır, fakat güneş sisteminin ilk zamanlarında gezegenler çevresinde bol miktarda madde vardı ve böyle bir çarpışmanın olasılığı fazlaydı.

Yapılan değişik gözlemlerden Uranüs'ün kalın bir atmosferi olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Görsel bölgede gezegeni incelediğimizde sadece bulutların üstünü görürüz. Eğer Uranüs'ün yüzeyi varsa, bulutlar olmasa dahi kalın atmosferden dolayı biz bu yüzeyi göremeyiz. Atmosfer, başlıca molekül hâlindeki hidrojenden meydana gelmiştir. Gözlenen atmosferin %85'i hidrojen geri kalanı ise hemen hemen helyumdan oluşmuştur. Bu kimyasal yapı; Satürn, Jüpiter ve Güneş'deki ile aynıdır. Metan ve karbonun atmosferde var olduğu kesin olarak gözlenmiştir.

Troposferde sıcaklık çok düşüktür ve bu sıcaklıkta metan yoğunlaşarak bulut parçacıkları oluşmaktadır. Atmosferin üst katmanlarında gözlenen sisin, mikron büyüklüğündeki parçacıklardan meydana geldiği sanılmaktadır. Bununla beraber kimyasal bileşimi bilinmemektedir. Ya bu yüksekliklerde yoğunlaşan metan ya da Güneş'in moröte ışınları ile oluşan bazı yeni moleküller, söz konusu sisin yapısını oluşturabilir.

Görsel dalgaboylarında, Yer'e dönük olan kutup bölgesi, diğer bölgelere göre daha parlak gözükmektedir. Yine bu kutup bölgesi kırmızıötesi bölgede daha parlak görülmektedir. Bu durum, kutuplardan çıkan sıcak gazların yükseldiği ve kutuplardan uzaklaştıkça tekrar aşağıya doğru yöneldiği şeklinde yorumlanmaktadır. Uranüs'de mevsimsel değişim, dönme ekseninin büyük eğiminden dolayı diğer gezegenlere oranla çok farklıdır.

Gezgin 2 uzay sondası; Uranüs'ün ışınımı, manyetik alanı, halkaları ve uyduları hakkında çok şey keşfetmiştir. Fakat çok ince olan halkaları görüntülemede birçok zorluklar meydana çıkmıştır. Uranüs'ün yüzeyi, aracın kameraları ile görüntülendiğinde, herhangi belirgin bir olguya rastlanmadı, fakat bulutlar görülüyordu ve bunların hareketleri incelenerek rüzgâr hızları bulundu. Orta enlemlerde yönleri gezegenin dönme yönü ile aynı olan bulut hızlarının saniyede 50 ile 150 metre arasında olduğu saptandı. Bu hız, gezegenin ekseni etrafındaki dönme hızından daha düşüktür. Bu ise, ekvator bölgesindeki rüzgârın yönünün ters olduğunu gösterir.



Şekil 3.32: Voyager 2 Uranüs'ün ilk fotoğraflarını 1986 yılında gönderdiğinde bilim adamları çok şaşırdılar, çünkü yüzeyinde belirgin bir olgu yoktu. Sol tarafta ilk çekilen fotoğraflardan biri görülmektedir. Sağ tarafta ise bu fotoğraflar daha sonra ayrıntıları görebilmek amacıyla bilgisayarda renkler belirginleştirilmiştir. Turuncu renkte görülen bölge Uranüs'ün kutup bölgesidir.

Gezgin 2'deki gözlem aygıtları, gezegenin sıcaklığını ve aklık derecesini de duyarlılıkla ölçtü. İç yapıdan kaynaklanan ısı az da olsa yüzeyden kaybolmaz. İç yapıdan gelen ısı, konveksiyondan ötürü atmosferik hareketlere neden olur. Uranüs'de yayınlanan enerjinin tamamı Güneş'ten soğurulan enerji olduğu için, yüzeyde bu tür atmosferik hareket görülmemektedir.

Uranüs'ün iç yapısında bulunan buzun, hidrojen ve helyumlu bileşiklerle beraber karışmış bir şekilde olduğu tahmin edilmektedir. Toplam kütlenin %25'i ile %70'i arasında bir bölümünün buz olduğu ileri sürülmektedir. Kayalık materyal ise toplam kütlenin %15 ile %50'sini kapsar. Eger buz yüzdesi fazla ise kayalık materyal azdır. Ayrıca kayalık materyalin gezegenin çekirdek bölgesinde toplanmış olması mümkündür.

1977 yılında Uranüs'ün bir yıldızı örtmesi sırasında yapılan gözlemlerden, gezegenin halkaları keşfedildi. Gezegen yıldızı örtmeden önce ve sonra yıldızın ışığında değişimler gözlenmişti. Yapılan bu gözlemlerden halkanın boyutları öğrenilmişti. Fakat bu ince ve belki de değişir bir yapıya sahip halkanın birçok özellikleri, Gezgin 2'nin gezegeni ziyaretine kadar bilinmiyordu. Uzay sondası, bu halkayı ilk kez görüntüledi ve bilinen halkanın dışındaki iki halkayı daha keşfetti.

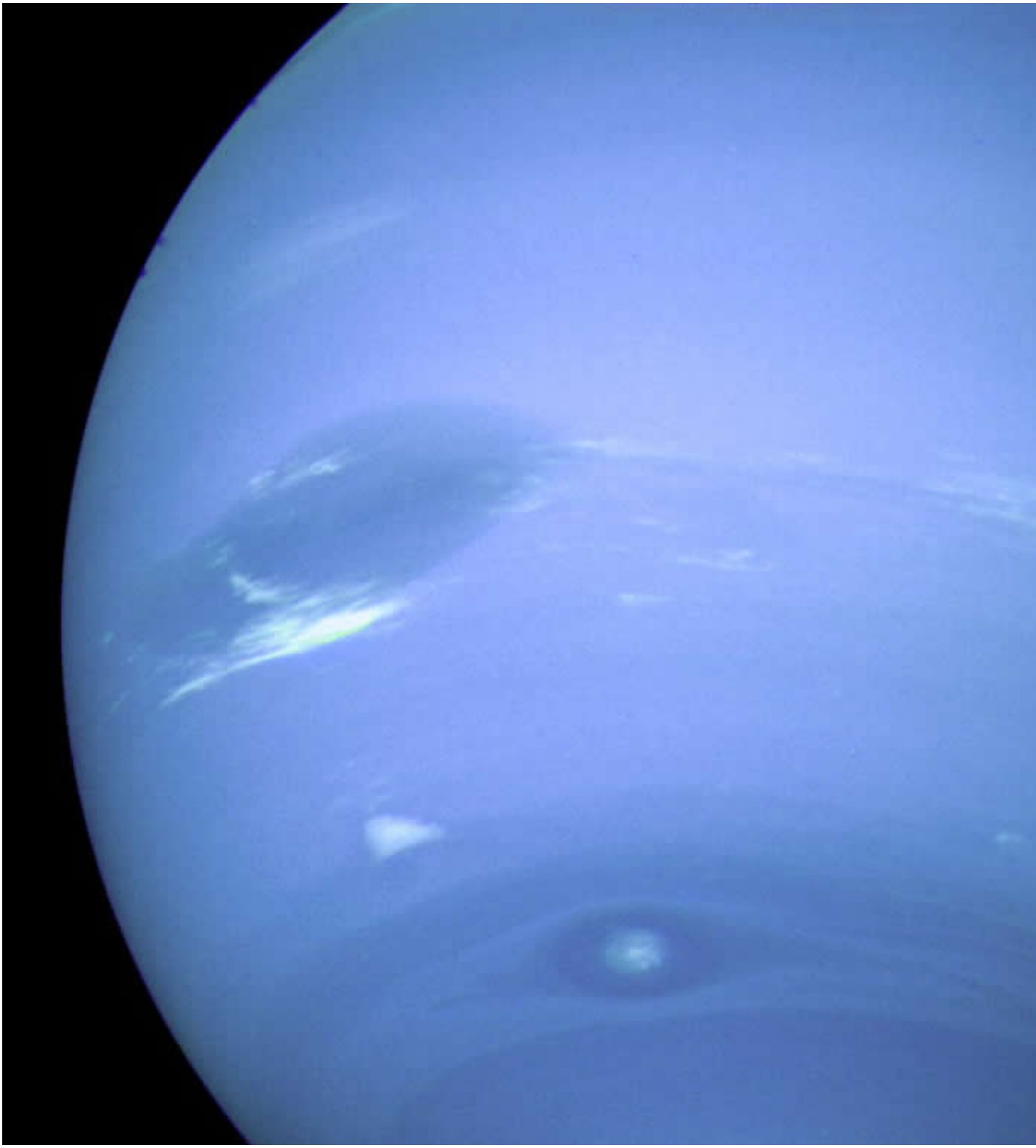
Uranüs'ün halkaları çok karanlıktır ve üzerine düşen ışığın sadece %5'ini yansıtır. Buradan da halkayı oluşturan materyalin kirli su buzu olduğu anlaşılmaktadır. Aslında parlak olan su buzunun karanlık gözükmesine neden, içerisinde metan bulundurmasıdır. Uranüs'ün halkası çok dardır. Satürn halkasının genişliği binlerce km iken Uranüs'ün halkası 10 km genişliğindedir. Son bulunan halkaların çok ince toz parçacıklarından oluştuğu da yine radyo gözlemlerinden anlaşılmıştır.

Neptün

Neptün'ün keşif öyküsü, Uranüs'ün bulunması ile başlar. Uranüs bulunmadan çok önce iki astronomun onu gördükleri, fakat yıldız sandıkları ortaya çıktı. 1690 ve 1756 yıllarında yapılan bu iki gözlemle birlikte Uranüs'un yörüngesi çok daha duyarlı hesap edildi. Gözlemlerle kuramsal hesapların uyuşması 1820 yılına dek sürdü. O yıl Uranüs'ün son kırk yılda yapılmış konum gözlemleri birikmişti. Ayrıca

1781'den önce yıldız sanılarak yapılan konum gözlemlerinin sayısı da 17'yi bulmuştu. Bu gözlemlerden hesaplanan yörünge elamanlarından hareketle bulunan Uranüs'ün konumu gözlenen konumu ile çakışmıyordu. Yapılan hesaplarda Jüpiter ve Satürn gezegenlerinin tedirginlik kuvvetleri göz önüne alındığına göre, bu farkın nereden kaynaklandığı sorusu yanıtsız kalıyordu. Bu sorunun çözülmesi için bir çok öneri ortaya atılıyordu. Bunların içinde Newton'un çekim yasasının Satürn'den daha uzaklarda çalışmadığı gibi saçma görüşler dahi vardı. Diğer bir görüş ise bir İngiliz amatör astronomdan gelmişti. Güneş sisteminin Uranüs dışında daha bilinmeyen bazı gezegenleri vardı. Safça ortaya atılan bu görüş, daha sonra yine bir İngiliz olan matematikçi John Couch Adams tarafından ele alındı. 1845 yılında Titius-Bode yasasına göre 38.4 GB uzaklıktaki bir gezegenin, Uranüs sorununu çözebileceğini matematik olarak gösterdi. Fakat Adams'ın çalışmaları İngiltere'de pek ilgi görmedi.

1846 yılında Fransız Le Verrier, Uranüs dışında ve ona etki eden gezegenin kütlesini ve yörünge elemanlarını hesapladı ve böyle bir gezegenin belirli bir tarihte gök yüzünde hangi konumda görülebileceğini belirledi. Le Verrier'in Almanya'daki Berlin Gözlem Evi'ne yazdığı mektup üzerine, buradaki 23 cm'lik teleskopla, 23 Eylül 1846 günü bilinmeyen gezegen araştırılmaya başlandı. Önerilen bölgede bir disk görme amacı ile yapılan çalışmalar başarılı olmadı. Daha sonra, yine gök atlaslarında olmayan nokta kaynak bulma şeklinde araştırmaya devam edildi. İki Alman astronom bölgedeki tüm yıldızları teker teker denetlemeye başladılar. Nihayet gök atlasında olmayan bir yıldız buldular. Bu, söylenen konumdan sadece 55 yay dakikası uzaklıkdaydı. O gök cismini, o gün, batıncaya dek gözlediler. Onun aranan gezegen olup olmadığından pek emin değildiler. Ertesi günü o cismin arka fondaki yıldızlara göre yer değiştirmiş olduğunu ve saatte 3 yay saniyelik bu değişimin matematikçilerin önerdikleri ile eşdeğer olduğunu gördüler.

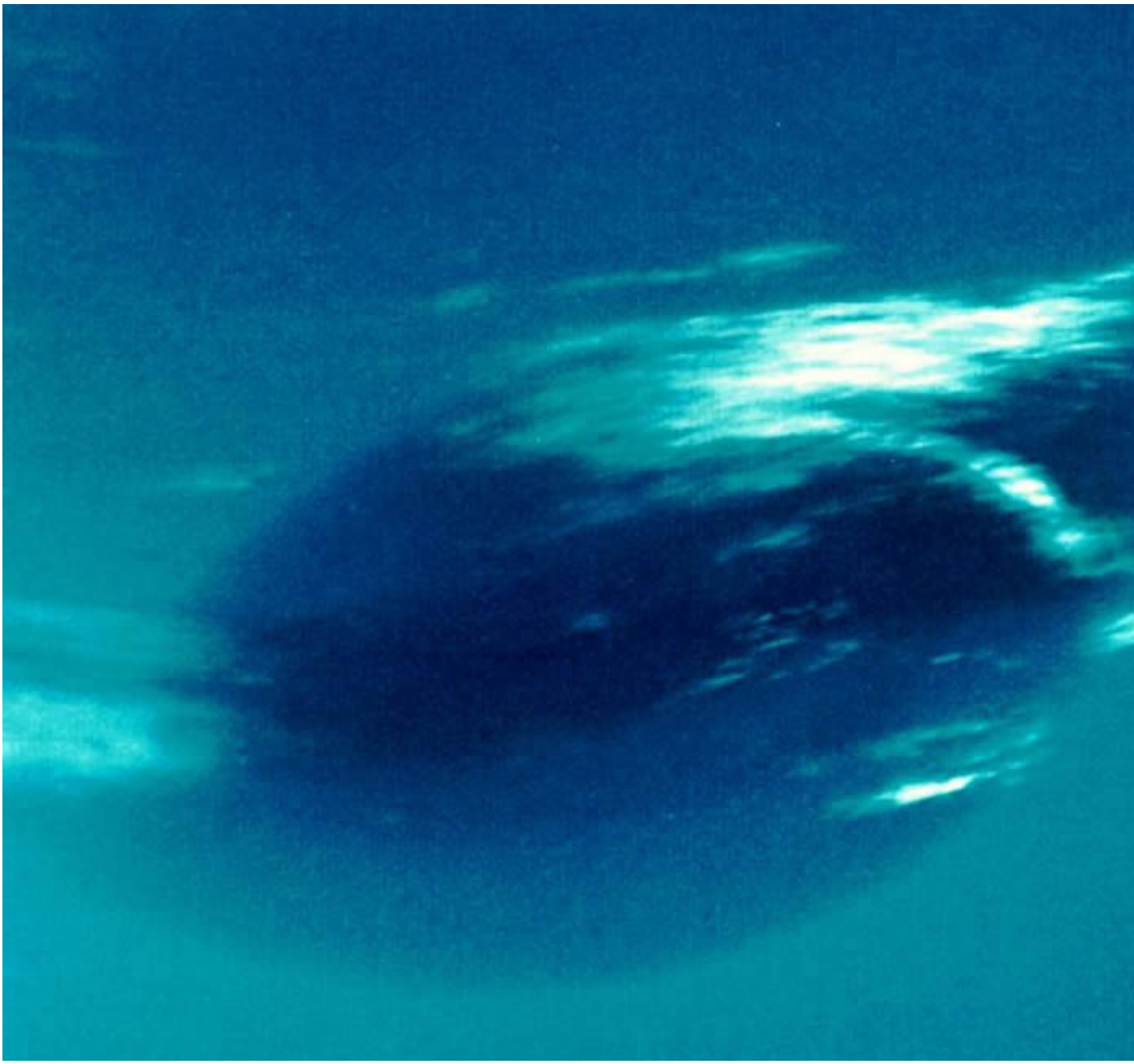


Şekil 3.33: Voyager 2 uzay aracının çektiği bu fotografta, Neptün'ün güney yarım küresi görülmektedir. Fotografın ortasına yakın bölgede görülen Büyük Karanlık Leke hemen hemen Yer büyüklüğündedir. Lekenin altında beyaz renkli bulut kolayca görülmektedir.

Neptün ismi bulunmadan birkaç ay önce belirlenmişti. Bu Satürn'ün oğlu ve okyanus diplerinin hükümdarı Neptün idi. Öykünün sonunda Le Verrier ve Adams'ın, gezegenin kuramsal keşfini beraberce gerçekleştirdikleri kabul edildi. Bu gezegenin asıl kâşifi ise matematik bilimidir. Mekanik ve elektronik bilgisayarların olmadığı bir çağda, çok az gözlemle ve çok büyük yanılgılı gözlemleri

kullanarak Adams ve Le Verrier, sadece Newton'un çekim yasasına dayanarak bir gezegenin varlığını tahmin ettiler ve hemen hemen doğru bir konumu önererek gezegenin keşfine ön ayak oldular.

Neptün 'ün yörüngesi duyarlı olarak hesaplandıktan sonra, böyle bir kütlenin Uranüs'ün hareketindeki düzensizliklerin nedeni olup olmadığına bakıldı. Matematikçilerin hesapladıkları tedirginlik kuvveti gerçekten Neptün'ün uyguladığı tedirginlik ile gözlem hataları için de aynı çıktı. Ayrıca bu denetlemeler, Neptün'ün kütlesinin de duyarlı olarak bulunmasını sağladı.



Şekil 3.34: Büyük Karanlık Leke'nin ayrıntılı bir görüntüsü. Üstünde bulunan bulut incelendiğinde, lekenin saatin ters yönünde döndüğü anlaşılmaktadır.

Voyager 2, daha Neptün'e gelmeden kameraları ile aldığı fotograflardan gezegenin yüzeyinde beş büyük lekenin varlığını saptadı. Bunlardan üç tanesi parlak, iki tanesi ise karanlıktı. Büyük karanlık olgu (BKO), iki karanlık lekeden büyük olanıdır. Lekenin büyüklüğü 12000 x 8000 km yöresindedir ve eğer gezegenine göre boyutunu kıyaslarsak, Jüpiter'deki BKL ile aynı göreceli büyüklüğe sahiptir. Uzun yaşam süresine sahip bu iki olgu, birçok bakımdan birbirlerine benzemektedirler. Örneğin, her

ikisi de saatin ters yönünde dönmekte ve yine her ikisi de 20° güney enlemlerindedir. Voyager 2 aracı, Neptün'ün kendi ekseni etrafında 7 dolanması boyunca BKO'yu sürekli gözledi. Bu zaman aralığı içinde lekenin şeklinde küçük değişimler saptadı.

BKO'nun hemen yanında ona, S1 olarak adlandılan parlak bir leke eşlik etmektedir. Bu parlak bulut BKO'nun güneyinde yer almaktaydı ve daha önce de Yer'den yapılan gözlemlerle incelenmişti. S1 de BKO gibi zamanla şeklini değiştirmektedir. Büyümekte, küçülmekte, doğuya ve batıya doğru hareket etmektedir. Her ne kadar bu parlak lekeden yeni bulutlar oluşup ondan uzaklaşıyorlarsa da, o sürekli olarak BKO'nun güneyindeki konumunu korumaktadır. Bilim adamları S1 ve diğer beyaz bulutların çok yükseklerde olduğuna inanmaktadırlar. Neptün'ün metanca zengin hidrojen atmosferinde rüzgâr esmeye başlayınca, atmosfer gazları yükselirler. Bu yükselme, özellikle bir karanlık olgu yöresinde olur. Yeterli yüksekliğe çıkınca, fiziksel koşullar gereği, metan yoğunlaşarak beyaz bulutları oluştururlar. Böylece bulut, rüzgâr lekenin üzerinde estiği sürece sabit kalır. Bulutların yaşam süreleri kısa olduğu için onların hareketlerinin hızları ölçülememiştir.

Neptün'ün dönme dönemi 18 saat yöresinde iken, iç bölgeleri çok daha hızlı, yaklaşık 16 saatte bir döner. Bu nedenle BKO ve S1 saniyede 325 metre hızla batıya doğru hareket eder. BKO güneyinde S2 lekesi yer alır. Bu leke Neptün etrafında 16 saatte bir döner. Bu bulutun da atmosferde sıcak ve derin olan bir bölgenin üzerinde oluştuğuna inanılmaktadır.

Neptün atmosferi de sis parçacıklarından oluşmuştur. Sis parçacıkları kötü birer ışınım salıcıdır, fakat Güneş ışınımını çok iyi soğururlar. Neptün atmosferinde iç yapıdan gelen ısı, Uranüs'e göre daha fazladır. Güneş'ten soğurduğu enerjinin 2-3 kat fazlasını uzaya yayar. Bu ışınım fazlalığının olması, onun Uranüs'e göre daha sıcak bir çekirdeği olduğu şeklinde yorumlanır.

Neptün'ün ortalama yoğunluğu Uranüs'ün ortalama yoğunluğundan daha büyüktür. Yoğunluğun fazla olması çekim etkisinin fazla olmasından, dolayısıyla daha da sıkışmış bir materyalin olmasından kaynaklanmaktadır. Bu farklı sıkışma, yapıyı oluşturan kimyasal bileşiklerdeki farklılıktan ortaya çıkmaktadır. Neptün'ün çekirdeği kayalık materyalden oluşmuştur. Çekirdeği saran mantosu buzuldandır. Buz'un toplam kütleye oranı %50 ile %80 arasında, kayalık materyalin toplam kütleye oranı ise %10 ile %35 arasındadır. Eğer buz oranı büyük ise kayalık oranı küçüktür. Kayalık materyalin çekirdekte toplanmış olması da büyük olasılıktır. Bu iç yapı modelini Uranüs ile karşılaştırdığımızda, Neptün'de buz ve kayalık materyalin toplam kütleye oranının daha fazla olduğunu görürüz. Ayrıca hidrojen ve helyumun toplam kütleye oranı ise Neptün'de daha azdır. Bu ise Neptün'ün ortalama yoğunluğunun fazla olmasından kaynaklanır.

Voyager 2, Neptün'e yaklaştıkça bilim adamları, yay parçası şeklinde bir halka yapısı görmeyi umuyorlardı. Çünkü daha önce Yer'den yapılan, gezegenin yıldız örtmesi gözlemlerinde, simetrik bir halka yapısı olmadığı bulunmuştu. İlk alınan fotoğraflarda bu düşünce desteklendi. Bununla beraber, uzay aracı, Neptün'e yaklaştıkça uzun poz süreli fotoğraflarda halkanın yay parçası şeklinde olmayıp bütün olduğu fakat bazı bölgelerinin çok daha parlak olduğu anlaşıldı. Neptün'de toplam dört tane halka vardır. En dıştaki halkada farklı parlak yay parçaları kolayca görülmektedir. Üçüncü yaygın halkanın genişliği 2500 km yöresindedir. Dıştaki iki keskin halka 1984N4 ve 1989N3 uydularının yörüngelerine çok yakındır. Bilim adamları bu uyduların halka parçacıklarını, bulundukları yörüngede tutmaya yaradıklarını gösterebiliyorlar, fakat halkanın bazı bölgelerinde yoğunluğun nasıl diğer bölgelere göre daha farklı olduğunu açıklayamamaktadırlar.

Pluto

Neptün öyküsünün benzeri Pluto'nun keşfinde de tekrarlandı. O zamanlar yeni bulunan Neptün'ün hesaplanan konumu ile gözlenen konumu çakışmadığı için 1905 yılında gök bilimciler dokuzuncu gezegeni araştırmaya başladılar. 1930 yılında C. Tombaugh gök yüzünde küçük hareketli bir cisim buldu. Yörüngesi saptandığında Güneş'ten 39 GB uzaklıkta olduğu anlaşıldı. Bulunan bu gezegene Yer altı dünyası tanrısı Pluto'nun adı verildi. Pluto, bizim doğal uydumuz Ay'dan biraz daha küçüktür, bu açıdan normal bir gezegene benzememektedir. Yer'den yapılan tayfsal gözlemlerden ince metan gazından oluşmuş bir atmosferi olduğu anlaşılmıştır. Bu atmosfer, Güneş'in Pluto'yu ısıtması sonucu buharlaşan materyalden kaynaklanır.

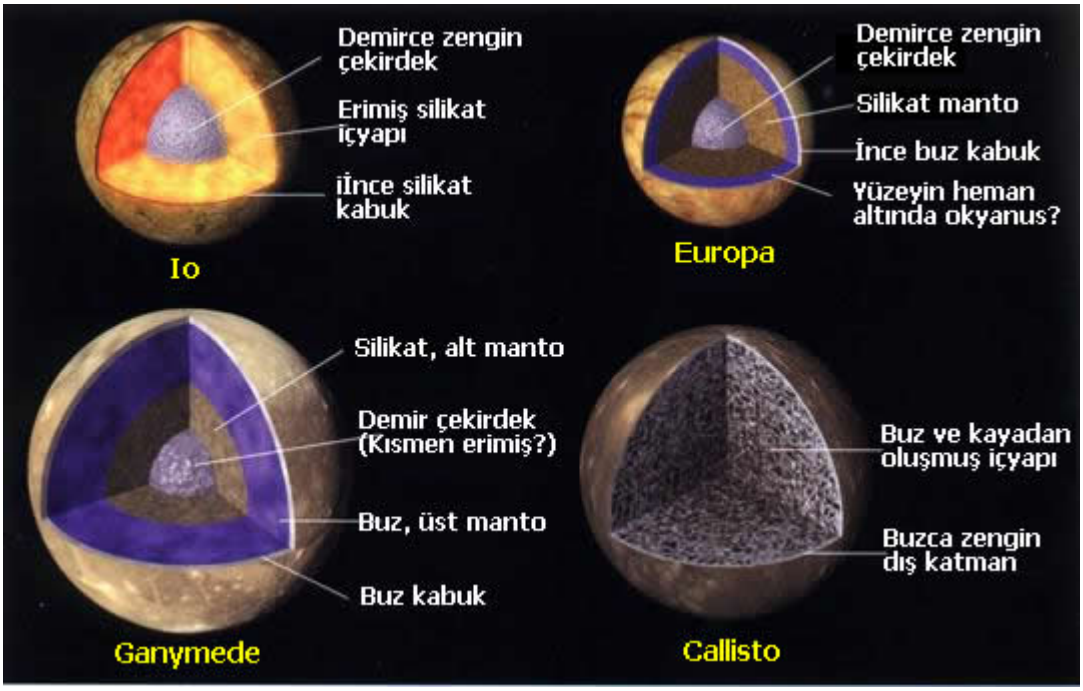
Pluto, gezegenler içinde en büyük yörünge eğimine ve en büyük dış merkezlik değerine sahip gezegendir. Yörünge dış merkezliği büyük olduğu için yörünge şekli çok basık bir elipstir. Bu nedenle Pluto, bazan Neptün yörüngesinin içlerine girer. Örneğin, 1979 yılında Neptün yörüngesini kesmişti, 1999 yılına kadar Güneş'e Neptün'den daha yakın olacaktır. Bu ilginç yörünge parametrelerinden dolayı bazı gök bilimciler Pluto'yu gerçek bir gezegen olarak göz önüne almazlar.

1978 yılında gök bilimciler onun bir uyduya sahip olduğunu buldular. Uydu gezegenin yarı büyüklüğündeydi ve bu oran uydu-gezegen çiftlerinde karşılaşılanlar arasında en büyük olanıydı. Uyduya yine mitolojiden kaynaklanan bir isim olan Charon adı verildi. Bu uydu, gezegen yöresinde her 6.39 günde bir dönmektedir. Pluto'nun dönme dönemi aynı olduğu için her iki cisim her zaman birbirlerine aynı yüzlerini göstermektedir. Uydu, gezegene çok yakın olduğundan, eğer Pluto gezegenin uyduya bakan yüzeyinden göğe bakarsanız; Charon, görülen gök yüzünün yarısını kaplamaktadır. 1988 yılında yapılan bir yıldız örtme gözlemi sonucunda Charon'nun da gezegeni gibi ince bir atmosfere sahip olduğu bulunmuştur.

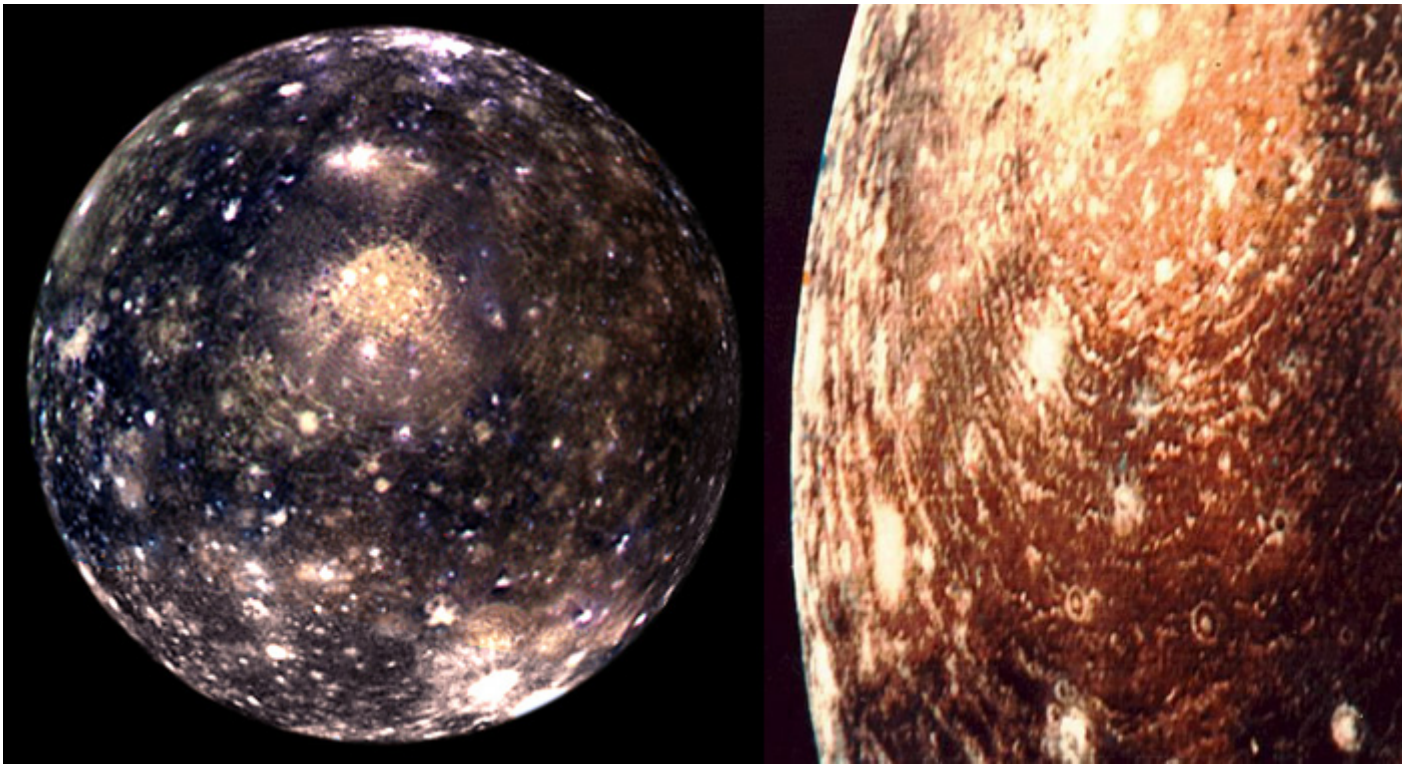
Bazı astronomlar, Pluto-Charon çiftinin zamanında Neptün'ün uyduları olduğunu ve bir çarpışma sonucu Neptün'den ayrıldığını ileri sürerler. Bu tez, tam olarak kanıtlanmamıştır fakat, Neptün uydularının ilginç hareketlerini bir dereceye kadar açıklamaktadır.

.4 Gezegenlerin Doğal Uyduları

Çizelge 3.4 yakından incelendiğinde, yersel gezegenlerin uydu sayısı bakımından ne denli fakir olduğu görülmektedir. Gerçekten Merkür ve Venüs gezegenlerinin uyduları yoktur. Bunun yanında Yer, bir tane büyük; Mars ise iki tane çok küçük uyduya sahiptir. Ay'ı, Yer konusunu incelerken ayrıntılı görmüştük. Mars'ın iki uydusu ise iki büyük kayayı andırmakta ve onları da Mars konusunda incelemiştik. Dev gezegenlerin doğal uydularının genel özellikleri de aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.35: Galile uydularının ortalama yoğunluklarından ve uzay araçlarının gönderdiği verilerden çıkartılan muhtemel iç yapıları.



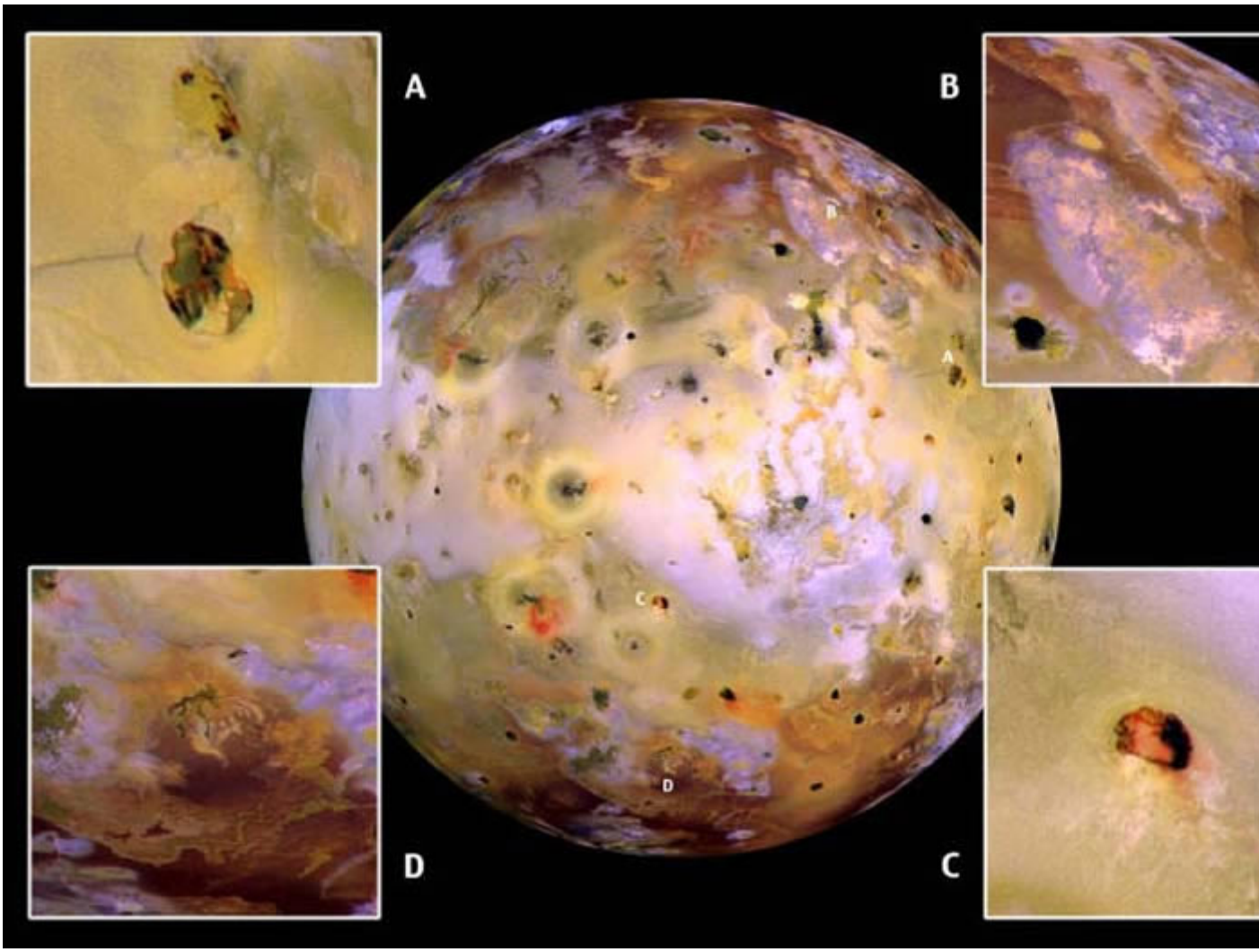
Şekil 3.36: En dıştaki Galile uydusu hemen hemen Merkür ile aynı büyüklüktedir. Callisto'nun buz yüzeyinde çok sayıda krater görmek mümkündür. Jüpiter'e gönderilen Galiele uzay aracının çektiği bu fotoğraflardan soldaki tüm uyduyu, sağdaki ise yüzeyin ayrıntılarını görmek mümkün. Yüzeyde, iç içe geçmiş sönük halkalar, büyük bir çarpışma sonucu buz kabukta meydana gelmiş bir tür kırılmaları göstermektedir.

enden uzaklığı (km)	Yörünge dönemi (Gün)	Yörünge eğimi (derece)	Yörünge dış merkezliği	Yarıç
0	27.322	18.3-28.6	0.05	1.738
	0.319	1.0	0.01	14x 1
	1.263	0.9-2.7	0.00	8x 6
0	0.295	(0)	0.00	(20)
0	0.298	(0)	(0)	12x8
0	0.498	0.4	0.00	135x7
0	0.675	(0.8)	0.01	(50)

0	1.769	0.04	0.00	1.815
0	3.551	0.47	0.01	1.569
000	7.155	0.19	0.00	2.631
000	16.689	0.28	0.01	2.400
000	238.72	27	0.15	(8)
000	250.57	28	0.16	(90)
000	259.22	29	0.11	(20)
000	259.65	28	0.21	(40)
.000	631	147	0.17	(15)
.000	692	163	0.21	(22)
000	735	147	0.38	(35)
000	758	153	0.28	(20)
0	0.602	(0)	(0)	20 x 1
0	0.613	(0)	0.00	70 x 4
0	0.629	(0)	(0)	55 x 3
2	0.694	0.34	0.01	70 x 5
2	0.695	0.14	0.01	110x
0	0.942	1.53	0.02	195
0	1.370	0.02	0.00	250
0	1.888	1.09	0.00	525
0	1.888	(0)	(0)	(12)
0	1.888	(0)	(0)	15x 1
0	2.737	0.02	0.00	560
0	2.739	0.2	0.01	18x 1
0	4.518	0.35	0.00	765
360	15.945	0.33	0.03	2.575
000	21.277	0.43	0.10	175x
300	79.331	14.72	0.03	720
000	550.48	175.3	0.16	110
	0.35	(0.14)	(0)	(15)
	0.376	(0.09)	(0.01)	(15)
	0.435	(0.16)	(0)	(20)
	0.464	(0.04)	(0)	(35)
	0.474	(0.16)	(0)	(30)
	0.493	(0.06)	(0)	(40)
	0.513	(0.09)	(0)	(55)
	0.558	(0.28)	(0)	(30)
	0.624	(0.03)	(0)	(35)
	0.762	(0.31)	(0)	75
0	1.414	3.40	0.00	235
0	2.520	0.00	0.00	580
0	4.144	0.00	0.00	585
0	8.706	0.00	0.00	790
0	13.463	0.00	0.00	760
	0.296	(0)	(0)	(25)

	0.312	(4.5)	(0)	(40)
	0.333	(0)	(0)	(90)
	0.429	(0)	(0)	(75)
	0.554	(0)	(0)	(95)
0	1.121	(0)	(0)	(200)
0	5.877	157	0.00	1.350
400	360.16	29	0.75	(170)
	6.387	98.8	0.00	595

Jüpiter uyduları: Jüpiter'i teleskoptan ilk kez Galile 1610 yılında incelediğinde, dört büyük uydusunu hemen keşfetti. O uydulara, bu nedenle "Galile uyduları" denir. Jüpiter'den uzaklıkları sırasına göre; Io, Europa, Ganymede ve Callisto, mitolojideki Jüpiter'in eşlerinin isimlerini almışlardır. Şu anda bu dev gezegenin dört değil tam 16 uydusu olduğunu biliyoruz. Son bulunan uyduların tamamı, boyutça Galile uydularından daha küçüktür. Yörünge özelliklerini göz önünde bulundurduğumuzda, Jüpiter'in uydularını üç bölümde inceleyebiliriz. Ana gezegene en yakın grup 8 uydudan oluşur ve Galile uyduları da bu grubun üyeleridir. Bu grubun üyelerinin hepsi yörünge üzerinde doğru yönde hareket eder, yörüngeleri çembere çok yakın ve Jüpiter'in ekvator düzlemindedir. Ortanca grup uyduların yörüngeleri çemberden iyice ayrılır ve yörünge düzlemlerinin eğikliği büyüktür. En dış grubun yörüngeleri ise iyice basık elips şeklinde ve yörünge hareketleri ters yöndedir.



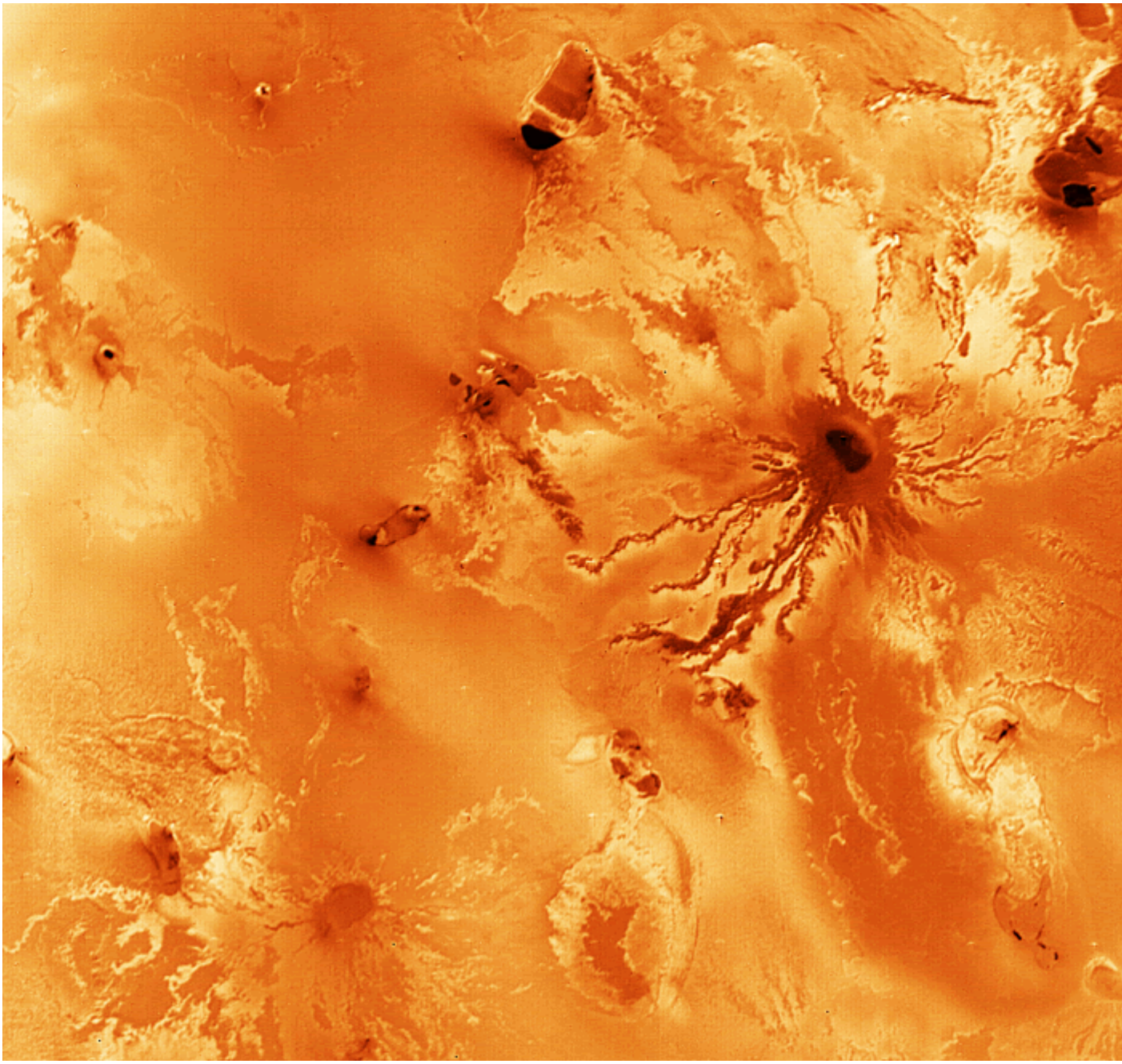
Şekil 3.37: Galileo uzay aracının çektiği Io’nun bu fotografrında birçok volkanik yanardağları görebilirsiniz. Küçük görüntülerde ise sadece dört tanesinin ayrıntıları görülmektedir. Siyah renkli yanardağdan çıkan lavların etrafına nasıl aktığı anlaşılmaktadır. Diğer karanlık olgular da aynı şekilde birer yanardağdır.

Dört Galile uydusundan hiçbirinde belirgin bir atmosfer bulunmamaktadır ve hepsi de Jüpiter'e göre kilitlenmiş yörüngelerde dolanmaktadırlar. Yer yüzünden yapılan tayfsal çalışmalarla, Io hariç diğer üç uydu da bol miktarda su buzu saptanmıştır. En dıştaki Galile uydusu olan Callisto'nun yüzeyi yoğun şekilde kraterlerle kaplıdır. Kraterlerin yapısı onların çarpışma sonucu oluştuğunu göstermektedir ve yüzey kayalarla değil su buzu ile kaplıdır. Callisto'nun yüzeyi buzla kaplı olmasına karşın çok karanlıktır.

Ganymeda'nın yüzeyinin bazı bölümleri Callisto kadar kraterli ve karanlıktır, fakat yüzeyinin geri kalanı daha az kraterli, daha az karanlıktır. Yüzeyde birbirine paralel veya sarmal şekilde çizgiler gözükür. Bu durum, Ganymeda'nın yüzeyinin Callisto'dan çok sonra yenilendiğini gösterir. Bu iki uydu hemen hemen aynı kütle ve yoğunluğa sahip olmasına karşın farklı yüzey şekillerine, Jüpiter'den olan farklı uzaklıkları neden olmuş olabilir fakat neden henüz bilinmemektedir.

Europa'nın yüzeyi belirgin bir şekilde düzdür. Çok az çarpışma krateri vardır. 300-400 metre yüksekliğinde birkaç kilometre genişliğinde çok sayıda alçak dağ silsileleri yüzeyi kaplamaktadır. Ayrıca, yüzlerce kilometre boyunda çok sayıda karanlık şeritler gözükür, fakat bunların yüksekliği ve derinliği önemsenmeyecek kadar azdır. Bu dağ silsileleri ve karanlık şeritler yüzeydeki ince buzun altında bulunan su okyanusunun donması ile açıklanabilir. Yüzeyde karanlık şeritler arasındaki özgün buzun yüksek aklık derecesi onun çok saf olmasından kaynaklanır. Donma aynı zamanda yüzeydeki

buzu kıvırarak alçak dağ silsileleri de meydana getirmektedir. Çarpışma kraterlerinin azlığını sıvı okyanusun varlığı doğal olarak açıklamaktadır. Böyle bir okyanusun varlığını sürdüren iç ısı, radyoaktif parçalanmalardan kaynaklanmaktadır. Europa'nın yoğunluğu yeter derecede silikat bulunduracak kadar yüksektir ve ısıyı üretmek için yeterli radyoaktif izotop bulundurur. Bazı gök bilimciler Europa'da yaşam olabileceğini ileri sürdüler. Voyager 1 ve 2'nin verilerini inceleyen araştırmacılar, Ay büyüklüğündeki uydunun yüzeyini kaplayan buzun kalınlığının 5 km yöresinde olduğunu ve buzun altında geniş okyanuslar olabileceğini düşünüyorlar. Bu buzun altında birtakım bitkilerin kolayca yaşayabileceği ve yaşamlarını sürdürebilecekleri kanıtlandı. Antartika'da da sürekli buzların altında yaşayan küçük bakteriler ve tek hücreli bitkiler vardır. Bu bitkiler fotosentez olayını buz kristalinden geçerek gelen Güneş ışınları ile yapabilmektedirler.



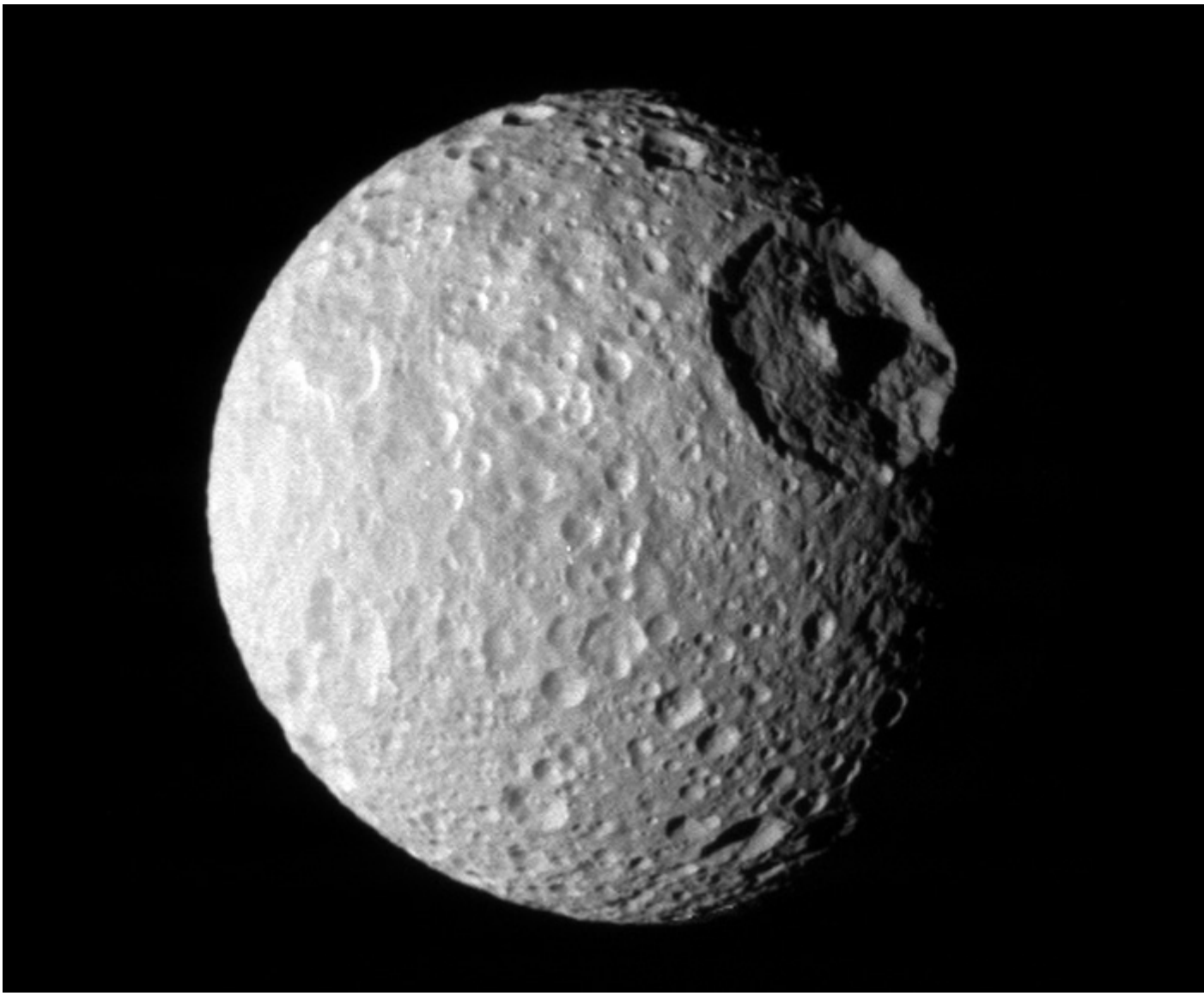
Şekil 3.38: Io üzerinde Ra-Patera adlı bir volkanik merkezin ayrıntılı görüntüsü. Çevrede hiç çarpışma krateri görülmemektedir. Karanlık yanardağdan çıkan lavların akarken yaptıkları nehir benzeri görüntüler dikkati çekmektedir. Fotografın üst bölgesindeki küçük karanlık lekeler de birer yanardağdır.

Io'nun yüzeyi, Jüpiterin diğer üç uydusundan farklıdır. Yüzeyde çarpışma krateri gözükmez ve gözlenen tüm olgular volkanik kökenlidir. Güneş sisteminde volkanik etkinlik gösteren yegâne uydudur. Yüzeyde çok sayıda yanardağ olduğu ve etkinliklerini sürdürdükleri uzay sondalarının çektikleri fotograflardan anlaşılmaktadır. Ne su ne de diğer tür buzlardan hiçbiri Io yüzeyinde bulunmaz. Eğer bir zamanlar yüzey buzlarla kaplı ise de volkanik etkinliğin gösterdiği iç ısı bunları buharlaştırıp yok etmiş olmalıdır. Yüzeyde, kükürt (S) ve kükürtdioksit (SO_2) bol miktarda bulunur ve Io'nun yüzeyinin renkli görünmesine neden olurlar. Bu sülfürlü bileşiklerin çoğunun yanardağlardan çıktığı kesindir. Volkanik etkinliğin sürüp gitmesine Jüpiter'in uyguladığı tedirginlik hareketleri neden olmaktadır.

Satürn uyduları: 1651 yılında Huyghens Satürn'ün bir uydusunu keşfetti. Adını mitolojide Uranüs ve Gaia'nın dev çocuğundan alan Titan büyük bir uydudur. Titan güneş sisteminde yoğun atmosfere sahip tek uydu olması ona ayrı bir önem kazandırır. Voyager ziyaretlerinden önce Yer'den yapılan gözlemlerle atmosferinde metan ve yoğun bulutlar olduğu bulundu. Fakat bir çok özelliği tam olarak bilinmiyordu. Yer atmosfer kütlesinden daha fazla atmosferik kütleye ve Yer yüzü basıncından daha fazla yüzey basıncına sahip olduğunu biliyoruz. Yer atmosferi 50-60 km de biterken Titan atmosferi 600 km ye kadar uzanır. 1980 yılından önce atmosferinin büyük bir bölümünün metandan oluştuğu sanılıyordu. Daha sonra Voyager, Titan'ın yapısında % 90-99 oranında azot (N_2) buldu. Böylece Titan uydusunun diğer bir özelliği de ortaya çıktı. Atmosferinde bol miktarda azot molekülünü bulunduran, Yer haricinde tek gök cisimdir. Bununla beraber Yer'de bulunan diğer gaz bileşenleri Titan'da az olup bunların yerini metan gibi hidrojen bakımından zengin moleküller almıştır. İç yapısı %45 su buzu, %35 kayalık materyal içerir. Yüzeyinde 100 km kalınlığında buz olduğu tahmin ediliyor. Voyager ile alınan fotograflarda, Titan bulutlarında parlaklık farkı gözlendi. Ayrıca kuzey yarım küre güney yarım küreden daha karanlıktır. Bunun nedeni tam olarak bilinmiyor.

Uzay araçları Satürn'ü ziyaret etmeden önce sadece yedi uydusu biliniyordu. Bugün 17 uydusu olduğunu biliyoruz. Titan dışında geri kalan altısı 400-1500 km çapları arasında olup benzer özellikler gösterir. Yer'den yapılan tayfsal gözlemlerle bu uydularda egemen materyalin su buzu olduğu bulunmuştur. Bu uyduların yörüngeleri doğru yönde, çember ve Satürn'ün ekvator düzlemindedir. Son bulunan 10 tanesi ise küçüktür ve çoğu gezegenlerarası ortamda yakalanmış küçük gezegenler ve uydu çarpışmalarından ortaya çıkmış parçalardır.

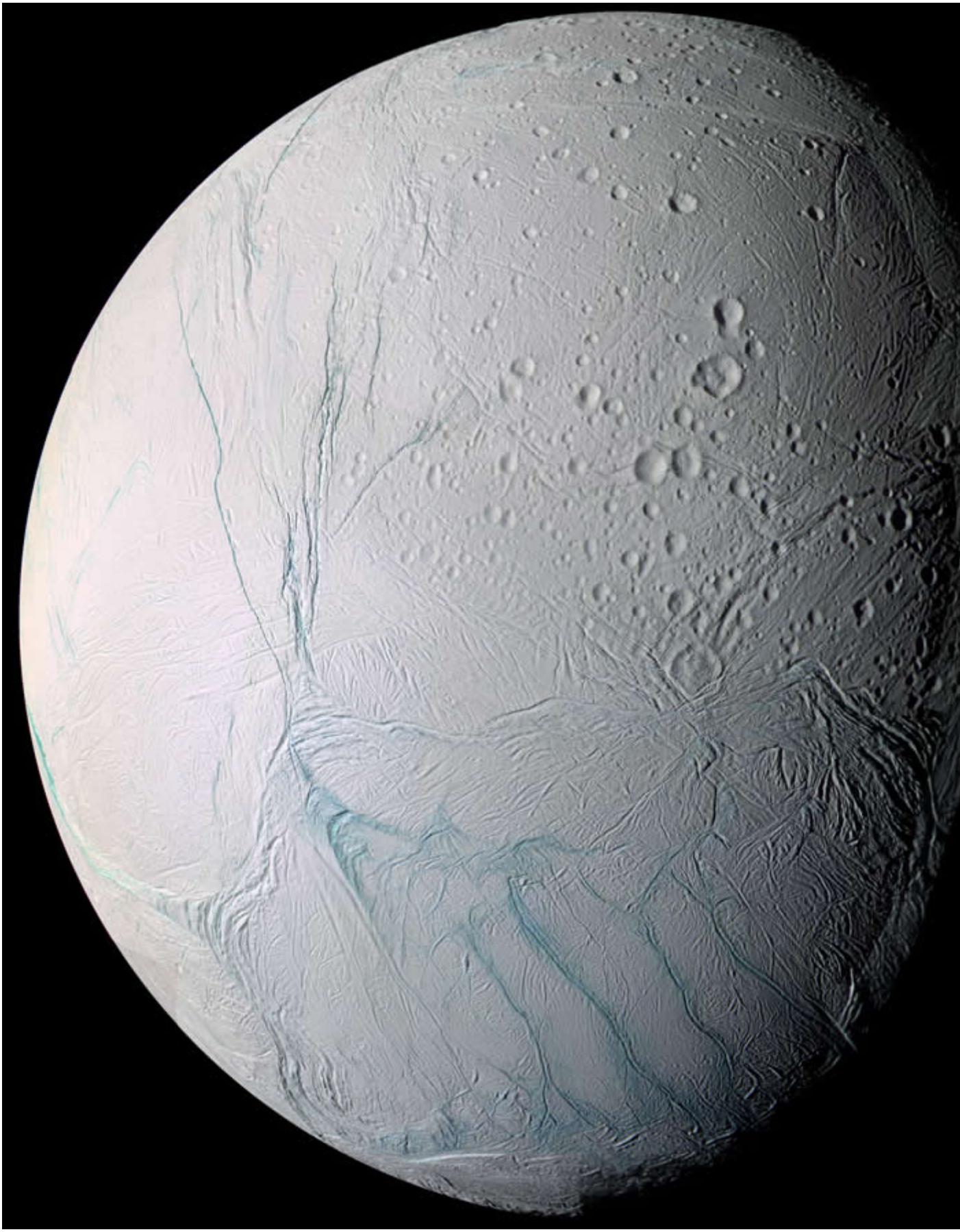
Mimas yüzeyinde en önemli özellik, Arthur isimli bir kraterin bulunmasıdır. Bu kraterin çapı 130 km, derinliği 10 km ve merkezindeki çıkıntının yüksekliği ise 6 km'dir. Uydu çapının 1/3 büyüklüğüne sahip bu kraterin oluşması için büyük bir cismin çarpmış olması gerekir. Yüzeyde bu dev kraterin dışında küçüklü büyüklü birçok krater vardır. Uydu, hemen hemen buzdan oluşmasına karşın kraterlerin görünüşü Ay kraterlerine benzemektedir. Yüzeyde kraterlere ek olarak 100 km uzunluğunda, 10 km genişliğinde ve 1-2 km derinliğinde çatlaklar vardır. Bunların da çarpışma sonucu oluştuğu ileri sürülmektedir.



Şekil 3.39: Satürn’ün orta büyüklükteki altı uydusundan en küçüğü ve en içteki uydusu Mimas’tır. 400 km çapa sahip uydunun yüzeyinde çapı 130 km olan büyük bir krater bulunmaktadır. Bu fotograf 2005 yılında Cassini uzay aracı ile çekilmiştir.

Enceladus’un yüzey yapısı diğer buzul uydulardan çok farklıdır. Herşeyden önce yüzeyi çok parlak ve üstüne düşen ışığın %90 nını geri yansıtmaktadır. Bu aklık derecesine ulaşmak için, yeni oluşmuş saf buza gereksinim vardır, toz ve kayalar olmaması gerekir. Bu uydu ayrıca diğerlerinden daha soğuktur. Satürn’ün bir halkasının yapı taşlarının Enceladus'tan taşındığına inanılmaktadır. Voyager ile alınan fotograflarda yüzeyde kanala benzer yapılar görüldü, bu ise bir zamanlar yüzeyde sıvının hareket ettiğini göstermektedir.

Tethys de yüzeyinde bol miktarda krater bulunduran bir uydudur. Bu ise yüzey yaşının eski olduğunu gösterir. Kraterlerden birinin çapı 400 km dir ve adı Odysseus'dur. Arthur'dan büyük olan bu krater onun kadar keskin yapılı değildir. Yüzeyin yarısından fazlasını dolanan 2000 km uzunluğunda 100 km genişliğinde ve birkaç km derinliğinde büyük bir vadi yapısı görülmektedir. Bunun bir çarpma sonucu oluşmuş çatlak olabileceği ileri sürülmektedir.



Şekil 3.40: Enceladus’un yüzeyinde görülen bu çizgilerin akan buz ile oluştuğu ileri sürülmektedir. Bu bölgelerde krater yoğunluğu düşüktür, onun için çok yeni oluşmuş bir yüzey yapısı vardır, diyebiliriz. Bu fotoğraf 2005 yılında Cassini uzay aracı tarafından çekilmiştir. Çektiği anda Enceladus'un güney kutup bölgesinin üstünde ve 270 km uzaklıktaydı.

Phoebe haricinde diğer uydular Satürn'e yakın bir düzlemde hareket ederler. Phoebe'nin yörünge düzleminin eğimi 90°'yi geçer. Buradan yörünge hareketinin ters olduğu sonucu çıkar. Bu durum onun sonradan Satürn'ün çekim etkisiyle yakalandığı düşüncesini destekler.

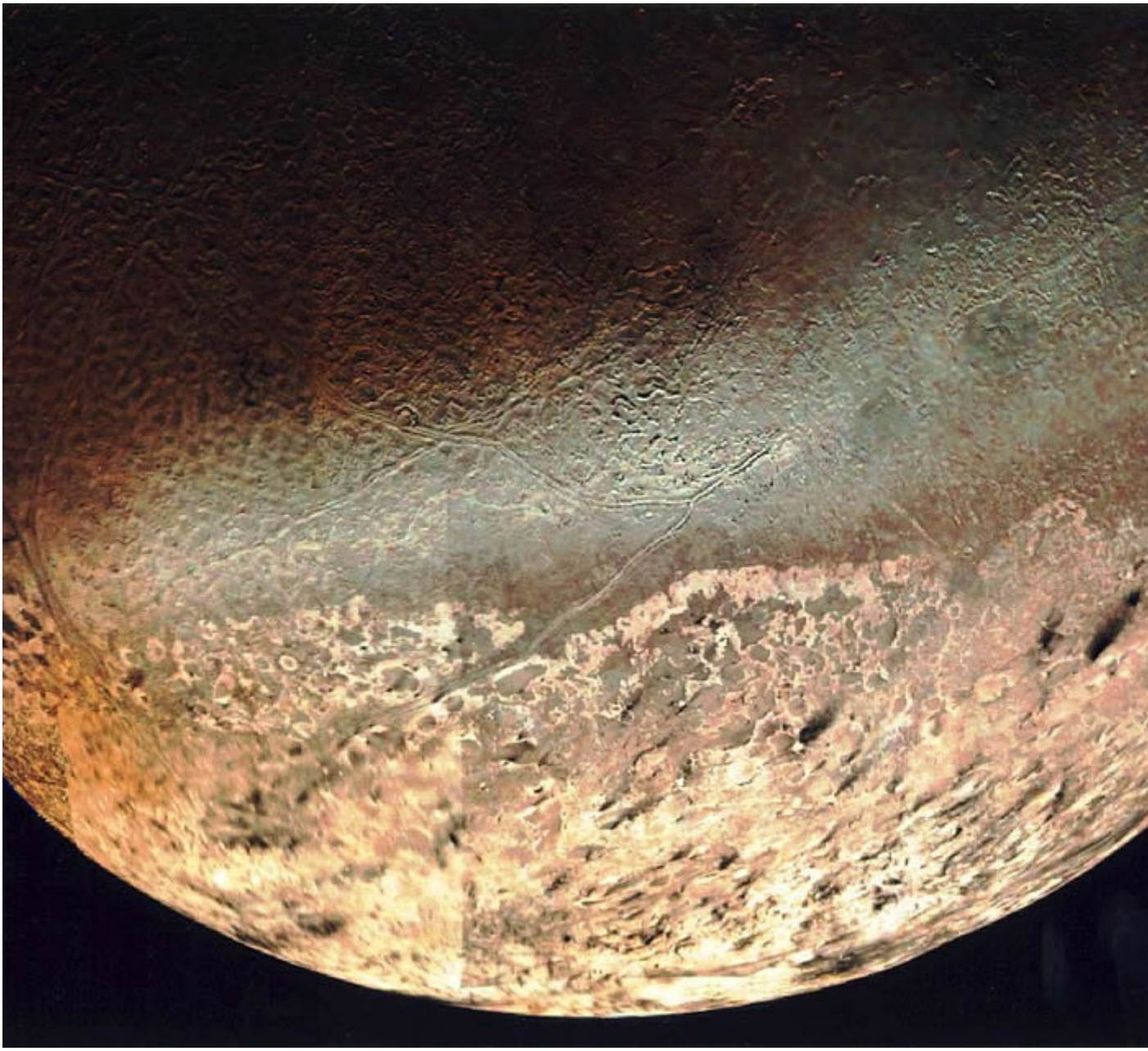
Uranüs uyduları: Voyager uzay sondasının ziyaretinden önce bilinen beş uydunun da yüzeyinde su buzu olduğu, Yer yüzünden yapılan tayfsal çalışmalardan anlaşılmıştır. Elektromanyetik tayfın kırmızıötesi bölgesine düşen su buzuna ait çizgiler, Umbriel'de daha az belirgindir ve bu uyduda su buzunun, ya başka bileşiklerle beraber ya da yüzeyinin çok az bir bölümünü kapladığı şeklinde yorumlanmaktadır. İçlerinde en büyük olanı Titania'dır. Beş uydu içinde en küçüğü ise 160 km ile Miranda'dır. Uydular, yarı yarıya buz ve kayalık materyalden oluşur ve bu nedenle de yoğunlukları 1.5 ve 2 gr/cm^3 arasındadır. Hiç birinin atmosferi yoktur. Beş uydunun da yörüngeleri aynı bir düzlem içindedir ve bu düzlem, gezegenin ekvator düzlemine yakındır. Ana gezegene yakınlıkları göz önüne alındığında, uyduların uzaydan yakalanmış cisimler olmadığı anlaşılır. Uranüs'ün ince halkası da aynı düzlemdedir.

Voyager 2, Uranüs'ün 10 yeni uydusunu buldu. Bunların tümü, daha önce Yer’den keşfedilmiş 5 uydudan daha iç bölgelerde, yani Uranüs’e daha yakındır. Ayrıca yeni bulunan bu 10 uydunun tamamının, daha önce bulunan 5 uydudan daha küçük ve daha karanlık oldukları anlaşıldı. Uranüs'ün beş büyük uydusu; Titanya, Oberon, Umbriel, Ariel ve Miranda'nın Voyager 2 den çekilen fotoğraflarında, yüzeylerinin çatlaklarla örtülü olduğu görülmüştür. Bu ise bize, bu küçük uydularda beklenmeyen tektonik etkinliğin var olduğunu göstermektedir. Tektonik hareket bilindiği gibi gezegen kabuğundaki hareketlerdir ve sadece büyük gezegenlerde gözlenebilir. Bu harekete, iç ısının, konveksiyon ile yukarı doğru aktarımı neden olur. Uranüs uydularında, belki tedirginlik kuvvetleri belki de çarpışma sonucu ortaya çıkan kuvvetler yüzeyde etkinliğini sürdürmektedir.

Şekil 3.41: Uranüs’ün beş büyük uydusunun fotoğrafı görülmektedir. Umbriel, üste parlak gözüken krater hariç genelde karanlık gözükür. Titania, Uranüs’ün en büyük uydusudur ve üstünde görülen nehir yatağına benzer vadinin uzunluğu 1500 km kadardır. Oberon’nun yüzeyinde ise bol miktarda krater vardır.

Neptün uyduları: Neptün'ün ilk uydusu 1846 yılında keşfedildi ve bu uyduya Triton adı verildi. İkinci Neptün uydusu 1949 yılında bulundu ve Nereid adı verildi. Triton ve Nereid mitolojide Neptün'ün muhafızlarıydı. Voyager 2, Neptün'de de birçok yeni uydu buldu ve Neptün'den çok uzakta bir yörüngede dolaşan Nereid uydusunun da fotografını çekmeyi başardı. Nereid, Güneş sistemi içinde dış merkezliği en büyük olan uydu olarak bilinir. Triton'un yörüngesi ise çemberdir.

Neptün sisteminde Voyager 2 için en ilginç cisim Triton uydusu oldu. Beyaz renkte bir yapıya sahip olan bu uydu, donmuş azottan oluşan kutup başlıklarına sahipti. Yüzey yapısı o denli karmaşıktı ki çekilen fotograflardan hemen bir yorum yapma olanağı olmamıştır. Uydunun güney kutbu buzla kaplı bir bölgedir ve aklık derecesi %100'e yakındır. Yüzeyindeki sıcaklık, azotun donma sıcaklığının çok altındadır. Sadece ekvatora yakın bölgelerde aklık derecesi %50 yöresindedir. Uydu yüzeyinde, buzul yanardağların varlığına ilişkin belirtiler vardır. Daha çok kuzey yarım küresinde görülen bu soğuk yanardağlarda iç yapıdan çıkan materyal göl oluşturmuştur.

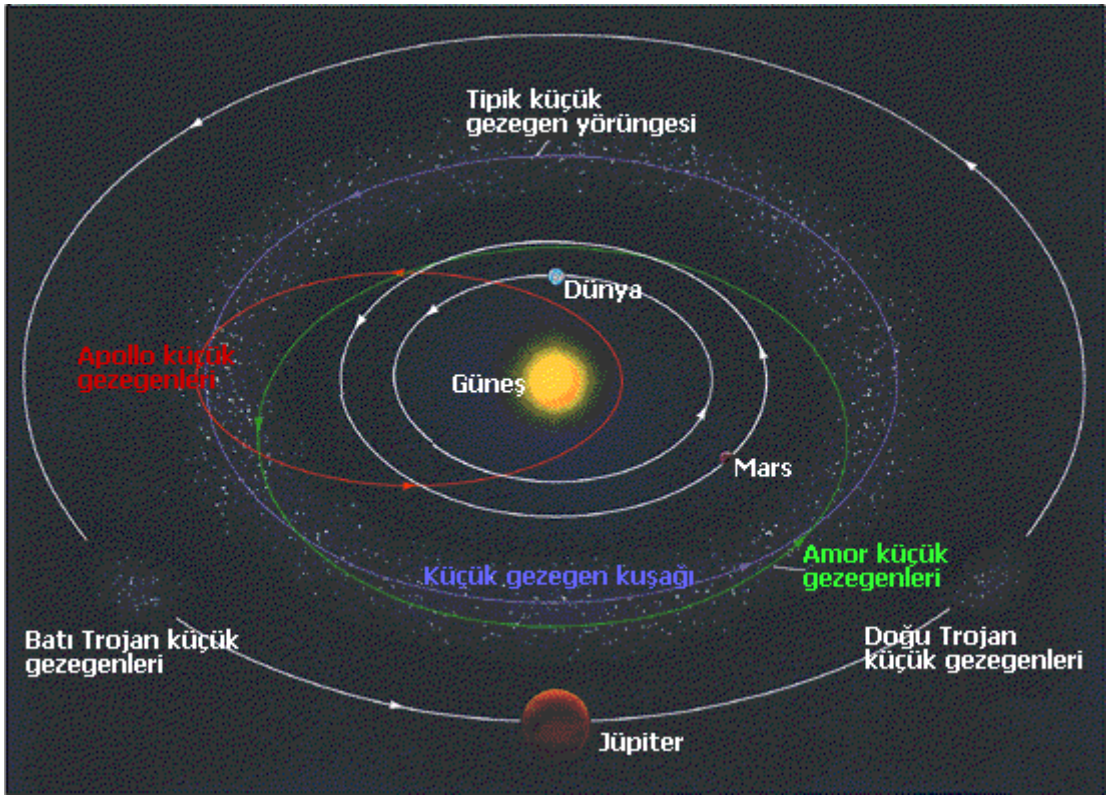


Şekil 3.42: Neptün'ün en büyük uydusu Triton'un bu görüntüsünü oluşturmak için 14 fotograf birleştirilmiştir. Alt tarafta uydunun parlak güney kutup bölgesi, üst tarafta ise ekvator bölgesi yer almaktadır. 1989 yılında Voyager 2 tarafından çekilmiştir.

Yeni bulunan uydulara; bulunduğu yılı, gezegenini ve bulunma sırasını gösteren bir kod adı verilir. Yörünge özellikleri tam olarak saptandıktan sonra bir komisyon onlara isim verir. Yeni bulunan uyduların en dış yörüngede olanına 1989N1 adı verildi; bu uydunun yüzeyi karanlıktır. Uydunun yüzeyi kraterlerle kaplıdır. İçeri doğru yeni bulunan ikinci uydu (1989N2), küresel bir yapıda değildir ve 1989N1'in yarı büyüklüğündedir. Yüzeyinde çapları, 30 ile 50 km arasında değişen kraterler vardır. 1989N3 ve 1989N4'ün her ikisi de gezegenin birer halkasının içerisinde bulunurlar. 1989N4 ise parlak yay parçalarına sahip halkanın içindedir. Yeni bulunan uydular içerisinde sadece 1989N6 yörünge eğimi bakımından diğerlerinden farklıdır. Hepsi hemen hemen gezegenin ekvator düzleminde bulunurken, 1989N6'nın yörüngesi bu düzlemle 4.5 derecelik bir açı yapar. Triton ise 20 derecelik bir eğime sahiptir.

3.5 Güneş Sisteminin Diğer Üyeleri

Güneş sistemimizi oluşturan büyük gezegenleri ve uydularını gördük. Bu gezegenlerin arasındaki uzayın tamamen boş olduğunu düşünmek yanlıştır. Bu boşlukta sistemin küçük üyeleri olan kuyruklu yıldızlar, küçük gezegenler ve gök taşları ile beraber gaz ve toz parçacıkları bulunur. Küçük üyelerin toplam kütleleri Ay'ın kütlesi yöresindedir. Bu küçük cisimlerin incelenmesi gök bilimcilere güneş sisteminin oluşumu konusunda ip uçları verdiği için çok önemlidir.



Şekil 3.43: Mars ile Jüpiter arasında yer alan küçük gezegenler kuşağı. Bu şematik resimde farklı gruptaki küçük gezegenlerin yörüngeleri gösterilmiştir.

Küçük Gezegenler

Küçük gezegenler çok küçük oldukları için çıplak gözle geceleyin gök yüzünde görülemezler. 1800 yıllarına kadar insanoğlu bunların varlığından habersizdi. 1781 yılında Uranüs keşfedildiğinde, Titius-Bode yasasının doğruluğu iyice kanıtlanmış oldu. Bu nedenle zamanın gök bilimcileri, Güneş'ten 2.8 GB uzaklıktaki kayıp gezegeni aramaya başladılar. 1801 yılında bu araştırma sonuca ulaştı ve tam 2.8 GB uzaklığında Ceres adı verilen bir gezegen bulundu. 1802 ve 1807 yılları arasında gezegen benzeri üç küçük cisim daha keşfedildi. Bunların Güneş'e olan uzaklıkları 2.3 ile 2.8 GB arasındaydı. Çapları küçük olduğu için bunlara küçük gezegen adı verildi. 1890 yılına gelindiğinde, küçük gezegenlerin sayısı 300'ü bulmuştu. Bunlara keşif sıra numarası verilir, yörüngesi saptandıktan sonra ise keşfeden

kişi ona bir isim verir. Örneğin; 1 Ceres, 2 Pallas, 4 Vesta gibi. İçlerinde bir tanesinin adı da Ankara'dır. Bugün yörüngesi bilinenlerin sayısı 2000'den fazladır ve 100000 tanesi keşfedilmeyi beklemektedir. En büyükleri 1 Ceres'dir ve çapı 1020 km yöresindedir. Büyük olanları hariç, diğerleri küre değil düzensiz bir şekle sahiptirler.

Küçük gezegenlerin çoğu, Mars ve Jüpiter gezegenleri arasındaki bölgede bulunur ve büyük gezegenler gibi Güneş etrafında bir yörüngede dolanırlar. Çok az sayıda olan bazıları da bu bölgenin dışında bulunurlar ve bunların basık elips yörüngeleri Merkür yörüngesini keser. Dolayısıyla bunların Yer'e çarpma olasılıkları vardır. Bu tür yörüngeye sahip olanlara, Apollo küçük gezegenleri adı verilir. Apollo, Icarus ve Eros bunlara örnektir. Bugün bilinen Apollo küçük gezegenlerinin sayısı 15'ten fazladır ve dünyamıza çarpma olasılığı olduğundan dolayı bunların yörüngelerini gök bilimciler dikkatle incelerler. Bu türlerin kökeni olarak ya büyük kütleli Jüpiter gezegeninin tedirginlik etkisi ile ilk yörüngelerinden çıkarılmış küçük gezegenler veya ölü kuyruklu yıldız çekirdeği oldukları ileri sürülmektedir.

Küçük gezegenlerin diğer bir türü de Jüpiter yörüngesinde dolanırlar. Bunlar Jüpiter'in 60° arkasında ve 60° önünde yer alırlar. Bu noktalara gök biliminde Lagrange noktaları denir ve bunlardan birinde 45 tane küçük gezegen bulunmuştur. Trojan adı verilen bu türün üyeleri içinde bugüne kadar bilinen en büyüğünün adı Hektor'dur. 300 km uzunluğunda ve 100 km genişliğinde, yumurtamsı bir cisimdir. Bunların Jüpiter yörüngesinde oluştukları ileri sürülmektedir.

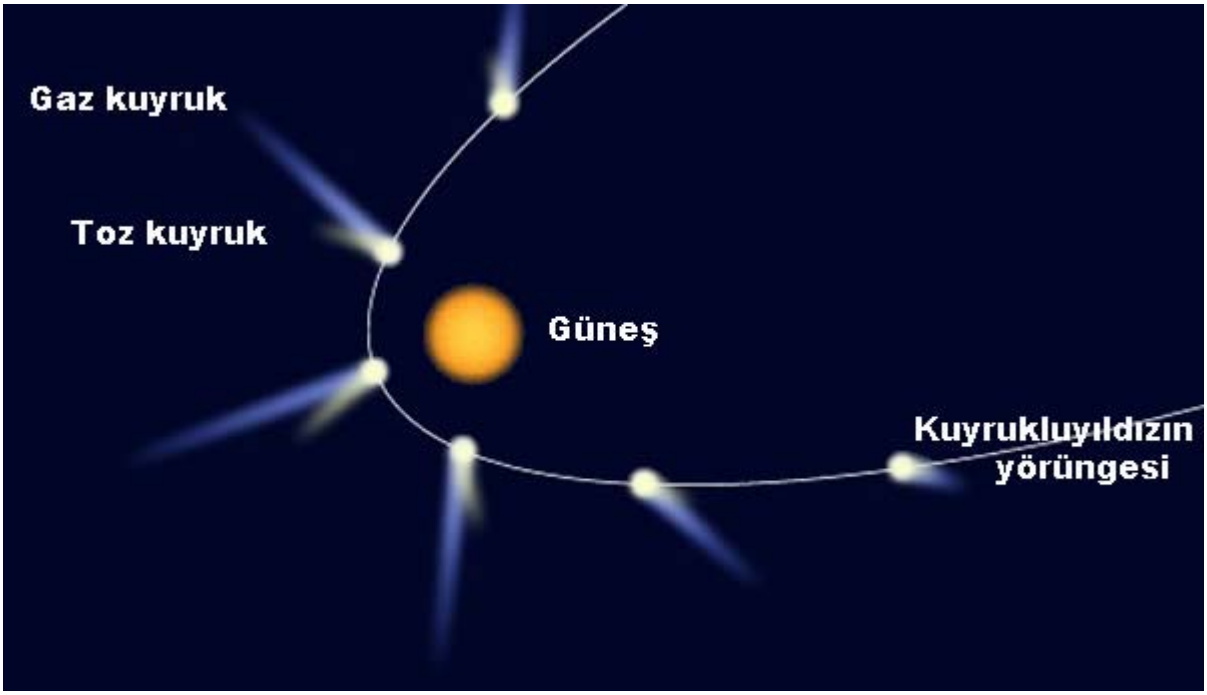
Son olarak Jüpiter dışında da küçük gezegenler bulunmaya başlanmıştır. Bunlardan ilki olan 2060 Chiron, 1977 yılında keşfedilmiştir. Güneş etrafındaki yörüngesi, Satürn yörüngesi ile Uranüs yörüngesi arasında yer alır.Keşfedildiğinde gök bilimciler onuncu gezegen olduğunu ileri sürdüler, fakat özellikleri saptandığında onun küçük gezegen olduğu anlaşıldı. Yapısının kirli buzdan oluştuğu sanılmakta ve bu nedenle eğer birgün Satürn'ün tedirginlik etkisi ile Güneş'e yakın bir yörüngeye geçerse, gök yüzünü süsleyen büyük bir kuyruklu yıldız olur. Çapının 300 km yöresinde olduğu tahmin edilmektedir. Son yıllarda bu türden iki küçük gezegen daha bulundu.

Küçük gezegenlerin tayfları incelenerek yapıları anlaşılmaya çalışılmıştır. 2.8 GB uzaklığında bulunanların çoğu, demir ve kayadan oluşmuştur. Bazılarının yüzeyinde içinde su barındıran mineraller vardır. 4 Vesta'nın yüzeyi ise bazaltik lavlarla kaplıdır. Daha dış bölgelerde bulunan küçük gezegenlerin yüzeyi ise, su ve karbonca zengin bir materyal ile kaplıdır. Bu nedenle bunların güneş ışığını yansıtma yüzdeleri, yani aklık dereceleri küçüktür. Jüpiter yöresindeki küçük gezegenlerin kaya ve buzdan oluştukları ileri sürülmektedir. Apollo türünün üyelerinin yapısı ise yukarıda anlatılanların tam bir karışımıdır. Apollo türü küçük gezegenlerde, metal ve mineraller bol miktarda bulunduğundan ve Yer'e çok yakın geçtiklerinden dolayı, bunlardan insanoğlunun nasıl yararlanacağı konusunda uzay merkezlerinde uzun zamandır plânlar yapılmaktadır. Bir diğer konu da bunların yüzeyine inmek ve kalkmak için Ay'dakinden çok daha az enerji gerekeceğidir: Uzay istasyonu faaliyete geçtiğinde, saf nikel ve demir içeren bir Apollo küçük gezegeninde madencilik yaparak, gerekli materyali Yer'den taşımaya göre çok daha ekonomik elde etmek mümkün olacaktır.

Kuyruklu Yıldızlar

Gök yüzünün en görkemli küçük cisimleri kuyruklu yıldızlardır. Yörüngelerinde hareket ederken güneş sisteminin iç bölgelerine ve özellikle Yer'e yaklaştıklarında uzun kuyrukları, gök yüzünün büyük bir bölümünü kapsar. Dikkatli incelendiğinde, arka plândaki yıldızlara göre hareketli olduğu hemen anlaşılır. Ne yazık ki böyle görkemli görünen kuyruklu yıldızların sayısı çok çok azdır. Sönük olanların sayısı ise fazladır ve sadece teleskoplarla gözlenebilir. Kuyruklu yıldızlar, güneş sisteminin dışından bir hiperbolik yani açık bir yörünge izleyerek Güneş'e çok değişik yönlerden yaklaşırlar, yani yörüngelerinin ekliptik düzleminde olma koşulu yoktur. Bunlara aniden görünen cisimler denilir, ne zaman ortaya çıkacakları bilinmez. Bir bölümü de güneş sistemine bu şekilde girdikten sonra büyük gezegenlerin çekim etkisi ile yörüngelerini değiştirerek kapalı elips yörüngelerde dolaşmaya başlarlar ve güneş sisteminin içinde kalırlar. Bunlara da dönemsel kuyruklu yıldızlar denir ve bir daha ne zaman görünecekleri kesin olarak bilinir. Dönemsel kuyruklu yıldızların en güzel örneği Halley'dir. Kayıtlı ilk gözlemi İ.Ö. 467 yılında yapılan Halley, son kez 1986 yılında gözlendi. İngiliz gök bilimci Edmund Halley onun 1682 yılında yapılan gözlemlerini inceledi ve yaklaşık her 76 yılda bir gözüken bu görkemli cismin aynı kuyruklu yıldız olduğunu kanıtladı. Bu nedenle ona Halley kuyruklu yıldızı adı verildi.

Bugün kuyruklu yıldızlara, onu keşfedenin (Enke ky.) veya keşfedenlerin (İkeya-Seki ky.) adları verilmektedir. Amatör gök bilimcilerin en çok uğraş verdiği bir araştırma alanıdır. Yılda yaklaşık 20-30 ky. keşfedilmektedir. Bu keşiflerde amatör gök bilimcilerin katkısı oldukça fazladır. Aşağıda açıklandığı gibi bu tür cisimler Güneş'e yaklaştıkça parlaklıkları arttığından, amatör gök bilimciler bir kuyruklu yıldız keşfedebilmek için, sabahleyin Güneş doğmadan önce doğu, akşam vakti Güneş battıktan sonra ise batı ufkunu uzun süre dürbünle tararlar. Bu zor gözlem tekniğinin yanında ayrıca bilgiye de gereksinim vardır. Taradıkları bölgelerdeki bulutsuları (yıldızlararası bulutlar) ezbere bilmeleri gerekir, çünkü bunların görünüşü kuyruklu yıldızların görünüşü ile hemen hemen aynıdır.



Şekil 3.44: Bir kuyruklu yıldızın Güneş yöresindeki yörüngesi, bu yörüngede kuyruğun büyüklüğü ve konumu görülmektedir.Kuyruğun konumuna etki eden faktör güneş rüzgârı ve onun ışınım basıncıdır.

Bir kuyruklu yıldızın fotografı çekildiğinde onun parlak bir baş bölgesi ve bu bölgenin içinde bir çekirdeği olduğu ve son olarak da sönük bir kuyruğu olduğu görülür. Kuyruk her zaman Güneş'in aksi yönünde uzanır. Örneğin, Güneş battıktan sonra batı ufkunda bir kuyruklu yıldız görürseniz onun kuyruğu gök yüzüne doğrudur. Çıplak gözle kuyruk kısa gözükmesine karşın teleskopla bakıldığında veya fotografı çekildiğinde onun çıplak gözle görülenden daha uzun olduğu anlaşılır. Çekirdek, bu cismin tek katı olan bölgesidir ve boyutu 1-20 km arasındadır. Yapılan ayrıntılı araştırmalardan, çekirdeğin kirli buzdan, yani toz ve buz karışımından oluştuğu bulunmuştur. Baş ve kuyruk bölgesi ise gaz ve tozdan oluşmuştur. Kuyruklu yıldız Güneş'e yaklaştıkça Güneş ışınları çekirdeği ısıtır ve buz buharlaşmaya başlar ve buharlaşan gazlar serbest kalan tozlarla birlikte çekirdeği sarar. Güneş ışınlarının ışınım basıncı ile bu gaz ve tozlar, doğal olarak Güneş'in aksi yönünde sürüklenmeye başlar ve kuyruğu oluşturur. Bu nedenle kuyruklu yıldız Güneş'e yaklaştıkça kuyruğu büyür, uzaklaştıkça kuyruk yavaş yavaş küçülür.

Şekil 3.45: 8 Mart 1986 tarihinde Halley kuyruklu yıldızının çekilmiş fotografı. Burada Halley'in gaz (ince düz olan) ve toz kuyrukları ayrı ayrı görülmektedir.

Kuyruklu yıldızların güneş sistemi düzlemine çok değişik açılarda geldiği daha önce belirtilmişti. Yörüngelerinin bu özelliğinden, onların Güneş sistemini saran uzayda disk benzeri değil de küresel bir hacimden geldiklerini söyleyebiliriz. 1950 yılında Hollandalı bilim adamı Jan Oort, o zamana kadar gözlenen kuyruklu yıldız yörüngelerini inceleyerek bu küresel kuşağın Güneş'ten 50000 GB uzaklıkta yer aldığını ileri sürdü. Milyonlarca kuyruklu yıldızın bulunduğu bu kuşağa Oort bulutu adı verildi. Güneş sisteminden çok uzakta olan bu bölgede yer alan kuyruklu yıldızlara, Güneş'in uyguladığı çekim kuvveti kadar diğer yakın yıldızların uyguladığı çekim kuvveti de önem kazanır. Bulutta meydana gelen tedirginlikler sonucu kuşaktan ayrılan kuyruklu yıldızın güneş sistemine gelerek geri kuşağa dönmesi yaklaşık 30 milyon yıl alır. Bunlara uzun dönemli kuyruklu yıldızlar diyoruz. Uzun dönemliler eğer yörüngelerinde hareket ederken Jüpiter'in yeteri kadar yakınından geçerlerse onun çekim etkisiyle yörüngeleri değişir ve artık güneş sistemi içinde dolanmaya başlarlar. Bunlara da kısa dönemli kuyruklu yıldızlar denir. Bunların içinde en kısa döneme sahip olan Encke (3.3 yıl), bilinen en uzun döneme sahip olan Rigollet (151 yıl) ve en meşhur olanı ise Halley (76 yıl) kuyruklu yıldızıdır. Halley'in 1986 ziyareti sırasında Giotto uzay aracı, ilk kez bir kuyruklu yıldızın çekirdeğinin ayrıntılı fotograflarını çekmeyi başardı. Kısa dönemli kuyruklu yıldızlar Güneş'e her yaklaştıklarında buharlaşma süreci ile önemli ölçüde kütle kaybederler. Bu nedenle dönemli bir kuyruklu yıldız bir gün ölebilir. Halley'in son gelişi çok sönük oldu ve Güneş'ten uzaklaşırken iyice parçalandığı dolayısıyla bir daha yani 2062 yılı ziyaretini yapamayacağı ileri sürülmektedir.

Akan Yıldızlar

Güneş sistemi içinde çok değişik yörüngelerde dolaşan her türlü kaya parçasına gök taşı denir. Örneğin; ölen bir kuyruklu yıldızın katı küçük çekirdeği, yine kuyruklu yıldızdan parçalanma süreci sırasında açığa çıkmış toz parçacıkları ve parçalanmış Apollo türü küçük gezegen artıkları. Boyutları 10 km çaplı kaya parçalarından başlar, 1 mikron büyüklüğündeki toz parçalarına kadar değişir. Gök taşlarının büyük olanlarının kökeni küçük gezegenler, küçük olanların kökeni ise kuyruklu yıldızlardır.

Eğer uzayda bol miktarda bulunan bu gök taşlarının yörüngeleri Yer yörüngesi ile kesişirse, gök taşı büyük bir hızla (12-72 km/sn) Yer atmosferine girer. Meydana gelen sürtünme ile gök taşı ısınır ve ışık saçmaya başlar. Bu olaya, akan (kayan) yıldız adı verilir. Özellikle açık yaz gecelerinde her insanın gördüğü hatta niyet tuttuğu bu olayın aslında uzaydaki yıldızlarla bir ilişkisi yoktur, bu olay bize çok yakın bir konumda, Yer atmosferinde meydana gelir.

Yer'den yaklaşık 120 km yukarıda ışık saçmaya başlayan gök taşlarının çoğu 60 km yukarıda yanıp biter. Bunlar boyutları çok küçük olanlardır. Eğer gök taşı yeteri kadar büyükse Yer yüzüne kadar ulaşabilir. Böyle büyük olanlar gök yüzünde çok daha fazla ışık saçtığı için bunlara ateş topu adı da verilir. Yer'e ulaşan gök taşlarının sayısı çok azdır. Yılda 2-3 tane tuğla büyüklüğünde gök taşı bulunmaktadır. 1972 yılında ağırlığı yaklaşık 1000 ton olan bir gök taşı Yer atmosferine hafifçe değerek yoluna devam etti. Eğer bu gök taşı dünyamıza çarpsaydı, bir nükleer bombanın patlamasına eş bir enerji açığa çıkardı ve birçok canlının ölümüne neden olabilirdi. Yer tarihinde böyle büyük çarpışmalar olmuştur ve bu çarpışmalar sonucu oluşan kraterlerden bazıları hâlâ şekillerini korumaktadır. Bunlardan bir tanesi ABD'nin Arizona eyaletindedir ve çapı 1200 metredir. Bu krateri meydana getiren çarpışmanın yaklaşık 2500 yıl önce olduğunu ve diğer birtakım bilimsel bulgular altında, böyle büyük çarpışmaların çok seyrek olduğunu söyleyebiliriz.

Şekil 3.46: Küçük bir parçacık Yer atmosferine girdiğinde biz akan yıldız görürüz. Akan yıldızların fotoğrafını çekebilmek için uzun poz süresi vermek gerekir. O zaman da dünya döndüğü için yıldızlar kısa çizgiler halinde çıkar. Burada yıldız görüntülerini kesen uzun düz çizgiler ise akan yıldızları göstermektedir.

Yer'e ulaşabilen gök taşları yandığı için siyahtır ve atmosferde gazla sürtünmesinden dolayı da yüzeyi cilalanmış gibi düzdür. Kimyasal bileşimleri ve yapıları birbirinden farklıdır. Bu bakımdan onları üçe ayırabiliriz: 1) Demirli gök taşlarının yapılarında bol miktarda demir ve demir birleşenleri vardır. Bunlar; %91 demir, %8'i nikel, ve az miktarda da kobalt ve silikat içerirler. Parçalanıp incelendiklerinde Yer'deki kayalara benzemediği ve kristalleşmiş olduğu görülür. 2) Taş ve demirli göktaşlarında ise metal ve SiO hemen hemen aynı orandadır. Bazılarında olivin adı verilen magnezyumlu birleşikler de vardır. 3) Taşımsı gök taşları ise yersel kayalara çok benzerler. Kimyasal birleşimleri; %42 oksijen, %20 silisyum, %16 magnezyum ve %16'sı da demirdir. Bugüne kadar ele geçen gök taşlarının %93'nün taşımsı, ancak %5'inin demirli olduğu görülmüştür. Demirli gök taşları daha dayanıklı olduğu için doğada bulunan gök taşlarının çoğu bu türdendir. Radyoaktif izotoplardan hareketle yapılan yaş tayinlerinden gök taşlarının 1-4 milyar yıllık oldukları yani güneş sistemimiz ile aynı yaşta oldukları,

bulunmuştur. Bu nedenle uzun yıllar yapılarını koruyan bu küçük cisimlerin incelenmesi ile güneş sisteminin başlangıçtaki koşulları hakkında ve nasıl oluştuğu konusunda bazı ip uçları elde edilebilir.

Şekil 3.47: Yeryüzüne kadar ulaşan bir gök taşının açtığı krater. 2500 yıl önce oluşan Arizona krateri bunlara çok güzel bir örnektir. Çapı 1.2 km ve derinliği 200 metredir.

Yılın belirli gecelerinde akan yıldızların sayısı çoğalır. Bu olaya da akan yıldız yağmuru adı verilir. Eğer her akan yıldızın ışığının gök yüzünde yıldızlara göre izlediği yol, bir gök atlası üzerine çizilirse, tüm bu yolların bir noktada kesiştiği görülür. Yani o gece, tüm gök taşlarının gök yüzünde bir noktadan

geliyormuş izlenimini verir. Bu noktaya saçılma noktası denir. Aslında hepsi birbirine paralel yörünge izleyen gök taşları atmosfere girmektedir. O geceki akan yıldız yağmuru bu saçılma noktasının bulunduğu takımyıldızın adı ile anılır. Örneğin; Perseid, Leonid akan yıldız yağmuru gibi. Akan yıldızların yörüngeleri incelendiğinde, onların kısa dönemli kuyruklu yıldızların yörüngeleri ile hemen hemen çakıştığı anlaşılmıştır. Kuyruklu yıldızdan buharlaşma süreci ile ayrılan toz parçacıkları kuyruklu yıldızın yörüngesinde dolanmaya devam ederler. Yer yörüngesi ile kuyruklu yıldız yörüngesi kesiştiğinde de bu toz parçacıkları atmosferimize girerek akan yıldız yağmurlarını oluştururlar. Bu nedenle bazı akan yıldız yağmurları da o yörüngeyi paylaşan kuyruklu yıldızın adı ile anılır; örneğin, Bielid akan yıldız yağmuru gibi. Bazı önemli akan yıldız yağmurları ve meydana geldikleri yaklaşık tarihler, Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5: Önemli akan yıldız yağmurlarının tarihleri ve bir saatteki maksimum sayıları.

Akan yıldız yağmurunun adı	Tarihi	Saatte akan yıldız sayısı
Quadrantids	4 Ocak	110
Lyrids	22 Nisan	12
Eta Aquarids	5 Mayıs	20
Delta Aquarids	27-28 Haziran	35
Perseides	12 Ağustos	68
Orionids	21 Ekim	30
Taurids	8 Kasım	12
Leonids	17 Kasım	10
Geminids	14 Aralık	58

SORULAR

1. Dünya büyüklüğünde bir gezegen oluşturmak için kaç tane küçük gezegene gereksinmeniz var, merak ettiniz mi? Bir küçük gezegenin çapını 120 km, Yer yarıçapını da 12000 km alarak merakınızı gideriniz.

2. Bu akşam, bulunduğunuz yerde eğer hava açıksa, gök yüzüne bakın. Gezegenleri görebilir misiniz, onları yıldızlardan ayırt edebilir misiniz? Eğer gök yüzünde Ay varsa, yaklaşık olarak Güneş'in doğduğu ve battığı noktaları Ay'la birleştiren yarım çember yöresine bakın. Bildiğiniz gibi bu, ekliptik düzlemidir. Tüm gezegenler bu düzleme yakın hareket ederler. Burada gördüğünüz parlak bir cismin gezegen olup olmadığını anlamanız için ekteki gök haritalarına bakın. Eğer gök haritasında yoksa bu, bir gezegen demektir. Bulgunuzdan emin olabilmeniz için bazı bilimsel dergilerde yayınlanan, o aya ilişkin gök haritalarını da inceleyebilirsiniz. Unutmayın, gök haritalarını incelemek, kent haritalarını incelemek kadar ilginçtir.

3. Okulunuzun veya bir arkadaşınızın teleskopu varsa, bu teleskopla Jüpiter'i inceleyiniz. Bu gözlemi gerçekleştirmek için, teleskopunuzun çapı 10 cm veya daha büyük olması gerekir. İkinci olarak da sizlerin büyük bir sabıra sahip olmanız gerekir. Önünüze bir defter, kalem alarak Jüpiter'in yüzeyinde gördüğünüz her şeyi resimlemeye çalışın. Kuşakları ve bölgeleri görebiliyor musunuz? Hangi bölgeler daha parlaktır? Jüpiter'in güney yarım küresinde olan mı yoksa kuzey yarım küresinde olan mı? Büyük Kırmızı Leke'yi (BKL) görebildiniz mi? Uydularını da işaretlediniz mi? Yaklaşık bir saat sonra uyduların konumlarını defterinize tekrar işaretleyiniz. Bir fark gördünüz mü?

4. Aynı teleskopla Satürn'ü inceleyiniz ve halkasının görünüşünü defterinize not ediniz. Halkanın size göre kaç derece eğik olduğunu tahmin edebilir misiniz? Halkadaki Cassini boşluğunu görebiliyor musunuz? Yaklaşık 1 sene sonra aynı gözlemi tekrarlayınız, halkanın eğiminde bir fark görebilir misiniz, niçin? Satürn yüzeyindeki olguları da defterinize işaretlediniz mi? Orada da bölgeler ve kuşaklar var mı?

5. Kolunuzda bugün kullandığınız bir saat ile sizi önce Merkür, sonra sırasıyla Venüs ve Mars yüzeyine bıraksak (yaşayabileceğiniz çevre koşulları içinde); orada bir günün ve bir yılın ne kadar sürdüğünü söyleyebilir misiniz? Yer yüzünde ortalama insan ömrü 65 yıl iken; bu, hangi gezegenlerde daha az, hangilerinde daha fazladır? En uzun geceler ve en kısa geceler hangi gezegendedir?

6. Çapı 15 cm veya daha büyük ve büyütmesi de 250 yöresinde olan bir teleskopla Mars gezegenini karşı konumda iken incelersek, yüzeyinde herhangi bir ayrıntı görebilir miyiz? Kutup başlıkları küçük parlak görünüşleri ile ilk göze batan olgulardır. Herhangi bir karanlık olgu görebiliyor musunuz? Bu gözlemi birkaç gün tekrarlayınız ve saptadığınız farkları tartışınız.

7. Gezegenler içinde Yer küre'ye en çok yaklaşan gezegen hangisidir? Bu sorunu çözmek için defterinize güneş sisteminin bir modelini çiziniz. Tüm gezegenlerin Güneş etrafındaki yörüngelerini, Ek-6'daki (Sayfa 264) çizelgede yer alan verileri kullanarak göstermeye çalışınız.

YILDIZLAR BİLGİSİ

4.1 Işınım Enerjisi

Yıldızlara gidemeyiz; sadece, onlardan gelen ışınımı teleskopların yardımıyla gözleyebilir ve çözümleyebiliriz. Teleskopun çalışma ilkesini anlamak için önce, ışınımın doğasına bir göz atalım:

Işık, genellikle titreşen elektromanyetik dalga olarak düşünülür; bu, suda ilerleyen dalgaya benzetilebilir. Bir sakin göle bir taş bırakıldığı zaman yayılan bir dalga katarı oluştuğunu biliriz; su molekülleri yaklaşık aynı yerde yükselip alçalırlar. Işık, aşağı yukarı ya da ileri-geri titreşen yüklü parçacıklar tarafından üretilebilir, fakat bir yerden başka bir yere parçacıkların hareketi ile iletilemez. Çünkü ışığın boşlukta, yani parçacıkların olmadığı yerde yayıldığını biliyoruz.

Küçük, durgun, yüklü bir cisim alalım. Bu yüklü cismin etrafındaki uzayı etki bölgesi olarak düşünebiliriz, buna "alan" denir. Eğer bir başka yüklü parçacık (test parçacığı) bu alana konursa sabit bir kuvvet duyar. Eğer bu iki parçacığın yükleri aynı cins ise test parçacığı itici kuvvet duyacaktır, zıt yüklü iseler test parçacığı çekici kuvvet duyacaktır. Eğer birinci parçacık bir nokta etrafında (ileri-geri) titreşime bırakılırsa test parçacığı değişen bir alan duyacak ve tepkisini titreşmekle belli edecektir.

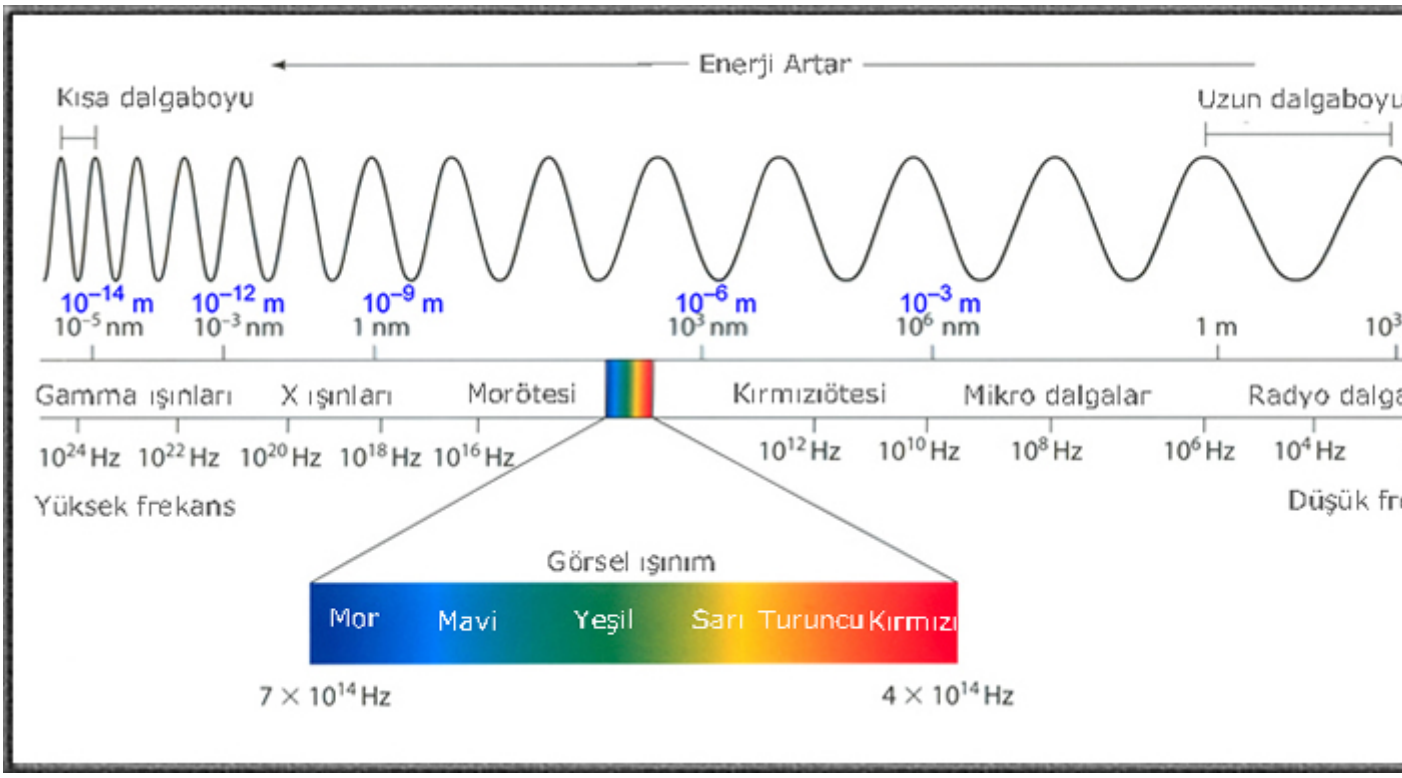
Böylece bir parçacığın titreşimi, arada hiçbir madde olmadan, diğer parçacığa aktarılabilir. Bu, ışığın boşlukta nasıl yayıldığının eksik modelidir. Modeli tamamlamak için şunu bilmeliyiz ki değişen elektrik alanına, değişen manyetik alan eşlik eder. Değişen manyetik alanı zihninizde canlandırmak için şu deneyi yapın, bir elinizle bir çubuk mıknatıs tutun ve yakınına bir pusula koyun. Şimdi mıknatısı sağa-sola döndürün, pusula ibresinin buna tepki olarak yaptığı hareketten değişen manyetik alan yarattığınız sonucunu çıkarırsınız. Burada, titreşen mıknatıs, arada hiç madde olmasa da, pusulayı etkileyecektir. Böylece ışığın tamamlanmış modelini elde etmiş oluyoruz: Işığı, titreşen bir yük tarafından aynı anda yaratılan değişen elektrik ve değişen manyetik alanın ürettiği elektromanyetik tedirginlik olarak tasarlıyoruz.

Tüm optik etkilerden elektrik bileşen sorumlu olduğu için ve manyetik alan daima değişen elektrik alana eşlik edeceğinden, ışıktan söz ederken yalnız elektrik bileşenden söz edeceğiz.

Her türlü elektromanyetik tedirginlik ya da elektromanyetik dalga, boş uzayda saniyede yaklaşık 300000 km hızla yayılır: Bir ışık demeti 1 saniyede Yer çevresini 8 kez dolanır, Ay'a 1.3 saniyede ulaşır. Işık hızı evrende ulaşılabilecek en büyük hızdır.

Herhangi bir dalga iki bağımsız kemiyet ile temsil edilir: dalga boyu (λ) ve frekans (f). Dalga boyu, elektromanyetik alanın tam bir titreşimi süresince (yüklü parçacığın ileri-geri hareket periyodu) elektromanyetik dalganın uzayda kat ettiği yol; frekans (f), herhangi bir noktadan bir saniyede geçen dalga (uzunluğu λ olan dalga) sayısıdır. λ'nın birimi metre (m), f'nin birimi hertz (Hz) dir (1Hz=1 tireşim/saniye). Kolayca anlaşılacağı gibi bu iki sayının çarpımı yayılma hızını verir: $\lambda \cdot f = c$. Gözümüzün duyarlı olduğu ışık dalgalarının bir dalgaboyu aralığı (tayfı) vardır. Kırmızı ışığın dalgaboyu 7×10^{-5}cm

=700 nm dir (1nm=10^{-9} m) . Dalga boyu kısaldıkça renkler kırmızıdan turuncu, sarı, yeşil, mavi ve mor'a doğru değişir.



Şekil 4.1: Elektromanyetik ışınım tayfı.

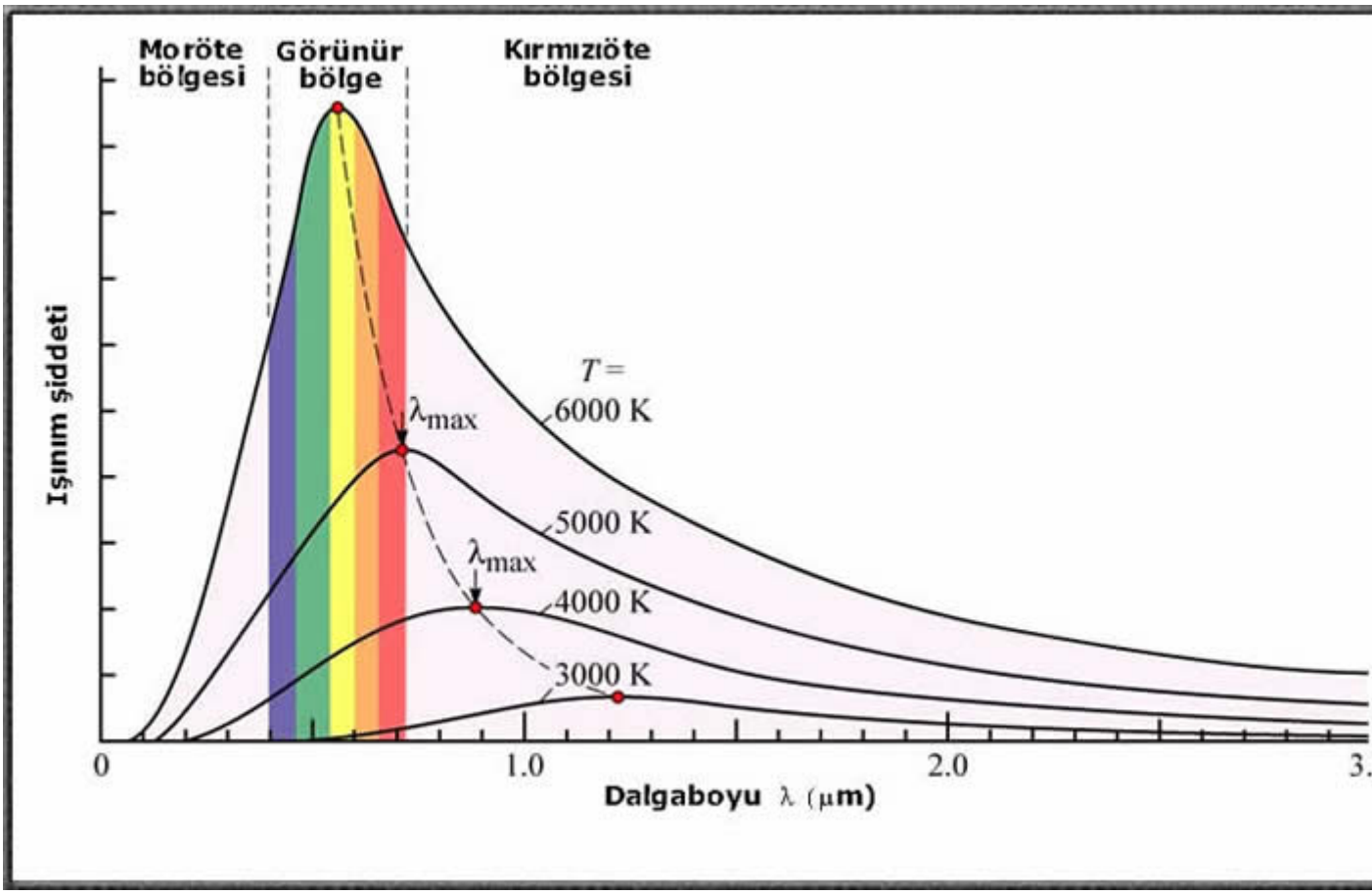
Doğa, dalga boylarını bu sayılarla sınırlamıyor. Tüm elektromanyetik tayfta en büyük dalga boyunun en küçük dalga boyuna oranı 10^{15} den fazladır. Farklı bölgeler farklı adlarla anılırlar; görsel yani optik bölge algıladığımız renkleri içerir; mor ötesi, x-ışınları, ©-ışınları daha kısa dalgaboylu; kırmızıötesi ve radyo bölgeleri uzun dalgaboyludur. Dalgaboyları radyoda km'leri bulur. Boşlukta bunların hepsi c hızı ile hareket eder. Gök cisimleri tüm elektromanyetik tayfta ışınım gönderirler; bu nedenle bu cisimlerdeki fiziksel olayları anlayabilmek için tüm dalga boylarını gözleyebilmemiz gerekir.

Işığın (Elektromanyetik ışınıma-alışkanlıktan-kısaca ışık diyeceğiz.) dalga olarak açıklanması yetersiz kalmaktadır. Deneyler göstermiştir ki kimi durumlarda ışık dalga gibi değil, parçacık gibi davranır. Yukarıda açıklanan dalga özelliğini de taşıyan böyle bir parçacığa foton denir. Evrende enerji, bir noktadan başka bir noktaya esas olarak ışık ile taşınır (kozmik parçacıklar hariç). Bir fotonun taşıdığı enerji, o fotonun frekansına bağlıdır ve E = hf ile verilir, burada h bir evrensel sabittir (Planck sabiti). ©-ışını fotonları, radyo fotonlarından 10^{15} katı daha fazla enerji taşırlar, radyo yayınlarının insan sağlığına zarar vermemelerinin, ya da mor ötesi ve gama ışınlarının zararlı olmalarının nedeni budur. Tek bir fotonun taşıdığı enerji miktarı oldukça küçüktür. Örneğin; sarı ışık için λ = 550 nm dir, dolayısıyla f = c/λ =5×10^{14}Hz, h=6.6×10^{-34} J.s olduğuna göre E nin değeri ancak 3×10^{-19} J kadar olur (J = Joule enerji birimi). 100 watt'lık sodyum lâmbası saniyede 100 Joule enerji yaydığına göre kabaca saniyede çevreye 10^{20} gibi çok büyük sayıda foton salıyor demektir.

Çevremizde gördüğümüz cisimlerin renkleri kendi yaydıkları (lâmbalar gibi) ya da yansıttıkları (masa, ağaç, ayna gibi) ışığın dalga boyu aralığının göstergesidir. Bir portakal turuncu gözükür, çünkü üzerine düşen güneş ışığının -ki gözün duyarlı olduğu tüm renkleri içerir- yalnız turuncu olanını yansıtır. Bir beyaz gelinlik tüm renkleri yansıttığı için beyaz görünür! Kömür, üzerine düşen ışığı yansıtmadığı fakat soğurduğu için siyah gözükür. Üzerine düşen tüm ışınımı soğuran cisimlere, bu nedenle karacisim denir. Işınım enerjisinin soğurulması, cismin sıcaklığını yükseltir. Ancak sıcaklık yükselmesi sonsuza kadar süremez. Cisim en sonunda bir dengeye ulaşmalı ve ne kadar ışınım enerjisi soğurduysa o kadar ışınım enerjisi salmalıdır. Sinop'ta Karakum denen bir kumsal vardır, kumları karadır; normal kumsalda çıplak ayakla gezilebilirken Karakum'da, çok sıcak olduğu için, bu olanaksızdır; Karakum

yüksek sıcaklıkta dengeye gelmiştir. Bu durumdaki cisme "Işınımla dengededir." ya da "Işımasal dengededir." denir.

Bir karacismin saldığı ışınım enerjisi, dalgaboyunun sürekli bir fonksiyonudur; yani bütün renkler vardır ve bir renkten diğerine geçiş süreklidir, arada boşluklar, kesiklikler, iniş-çıkışlar yoktur. Buna, karacisim eğrisi, ya da karacisim tayfı (spektrumu) denir. Dalgaboyu arttıkça salınan ışınım enerjisi önce çok çabuk artarak maksimuma ulaşır, sonra yavaş yavaş sıfıra kadar düşer. Daha yüksek sıcaklıktaki bir karacisim eğrisinin biçimi de aynıdır fakat eğri daha kısa dalgaboyunda maksimuma ulaşır ve maksimum değeri daha büyüktür (Şekil 4.2). Her sıcaklıkta ışınım salınır. Birkaç °K (yani -273 C olarak bilinen mutlak sıfırın birkaç derece üstünde) sıcaklığındaki karacisim yalnız radyo bölgede ışıma yapar. T sıcaklığı, birkaç yüz °K ise hem radyoda hem de kırmızıötesi bölgede ışıma yapar fakat insan gözü cismi yine göremez. T=1000°K yöresinde görsel (optik) bölgede ışıma yapmaya başlar. Cismin sıcaklığı arttıkça kısa dalgaboyunda salınan ışık miktarı, uzun dalgaboylarına göre daha çok artar; bu demektir ki ısıtılmakta olan bir demir çubuğun önce ısısını hissederiz (mikrodalga ve kırmızı ötesi), sonra rengi kırmızı daha sonra turuncu olur. Işınım enerjisinin en büyük olduğu dalgaboyu, Wien yasası diye bilinen şu ifade ile verilir:



Şekil 4.2: Çeşitli sıcaklıklarda karacisim eğrileri.

$T\lambda_{max}$ (nm) = 2.9×10^6

Yine kuramsal hesaplar ve deneyler gösteriyor ki bir karacismin $1m^2$ lik yüzeyinden 1 saniyede çıkan ışınım miktarı (yüzey akısı) sıcaklığın dördüncü kuvveti ile orantılıdır. Bu watt/m^2 birimlerinde,

$F = \sigma T^4$

şeklinde yazılır, buna Stefan-Boltzmann yasası denir. Burada σ orantı katsayıdır ve deneylerle bulunmuştur. Sıcaklığı bir karacismin sıcaklığının 2 katı olan bir başka karacisim birim alan başına 2^4 =

16 kat daha çok ışınım salar ve dolayısıyla 16 kat daha parlak olur. Bir karacismin saldığı toplam ışınım, yüzey alanı ile yüzey akısının çarpımına eşit olacaktır; buna, ışınım gücü denir. Eğer cisim R yarıçaplı küre ise alanı $4\square R^2$ dir. O zaman ışınım gücü,

$L = 4\square R^2 \ \int T^4$

olur. Bu, astrofizik'te çok önemli bağıntılardan biridir; L, R ve T den herhangi ikisi bilinince üçüncüsü bu formülden hesaplanabilir.

Eğer kaynak karacisim değilse yukarıdaki bağıntı geçerli değildir. Bunun ayrıntılarına burada girilmeyecektir

4.2 Bir Yıldız Olarak Güneş

Isı ve ışık kaynağımız olan Güneş, kendi enerjisini kendi içinde üreten orta büyüklükte bir yıldızdır. Yaşamın devamı güneş enerjisine ve Yer'in Güneş'ten uzaklığının buna çok uygun olmasına bağlıdır.

Yer atmosferi dışında birim alana bütün dalgaboylarında düşen Güneş enerjisi S =1368 watt/m^2 ölçülmüştür. Buna güneş sabiti denir. Çeşitli yöntemlerle yapılan ölçümler, Yer'in Güneş'ten ortalama uzaklığı için r = 1.GB = 1.495×10^{11} m vermektedir.Bu uzaklığı ışık hızına böler ve çıkan saniye sayısını dakikaya çevirirsek görürüz ki Güneş'in ışığı Yer'e 8.3 dakikada ulaşır.Güneş her yöne ışınım saldığına göre, Güneş'ten bir saniyede çıkan toplam ışınım 8.3 dakika sonra yarıçapı 1 GB olan küre yüzeyine ulaşmıştır. O hâlde, bu küre yüzeyindeki toplam güneş enerjisi, Güneş'in 8.3 dakika önce bir saniye içinde saldığı toplam enerjiye eşit olmalıdır. Böylece, kürenin yüzey alanı $4\square r^2$ olduğuna göre, Güneş'in birim zamanda (bir saniyede) saldığı enerji, yani ışınım gücü,

$L_\odot = S4\square r^2 = (1368 \text{ W/m})(4\square)(1.495 \times 10^{11})^2 = 3.8 \times 10^{26}$ W

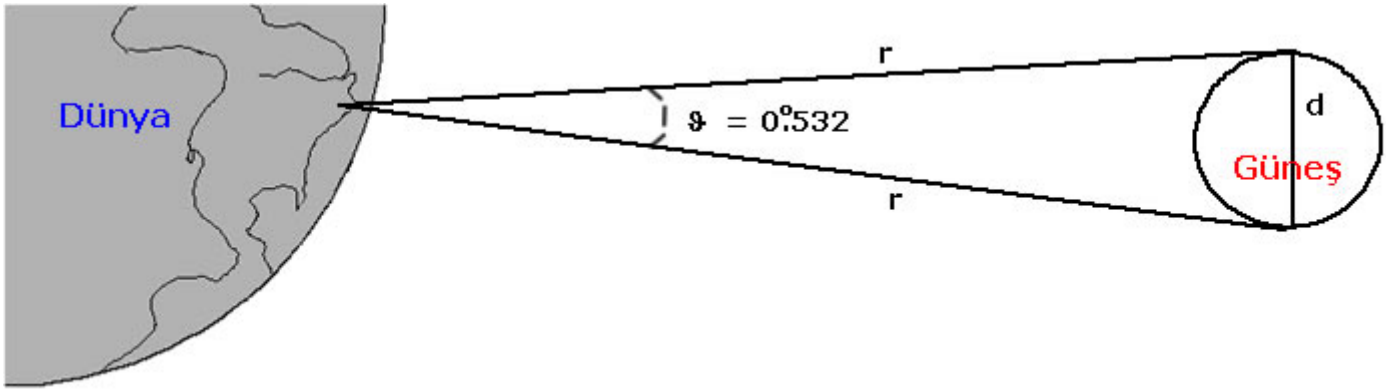
olmalıdır. Bu büyük bir enerjidir. Yer üzerine bunun milyarda birinden daha azı düşmektedir.

Yıldızlar çok uzak olduğu için ışık noktası gibi görünürler, halbuki Güneş yakın olduğundan disk gibi ve belli bir açı altında görülür. Bu açıyı her zaman ölçebiliriz. Güneş'in bize uzaklığını bildiğimizden basit bir geometri Güneş'in çapını verir (Şekil 4.3). ϑ açısı küçük olduğundan geometri bağıntısı şöyle yazılabilir:

$d = r \cdot \vartheta = 1.495 \times 10^{11} \times 0.532 \times \square / 180$

= 1392000 km

R =\F(1,2) d = 696000 km bulunur.



Şekil 4.3: Güneş çapının hesaplanması

Kepler'in üçüncü yasası yardımı ile Güneşin kütlesi için $M_{\odot}=2x10^{30}$ kg bulunmuştur, yani Güneş Yer'den yaklaşık 300000 kez daha kütlelidir. Kütle ve hacimden ortalama yoğunluk 1.4 g/cm^3 bulunur. Bu, Güneş'in katı olduğu anlamına gelmez. Güneş, sıcaklık ve basıncın belli koşulları altında, kütle çekimi ile dengede olan kararlı bir gaz küresidir.

Güneşin Enerji Kaynağı

Güneş yüzeyinden salınan enerjinin $4x10^{26}$ watt olduğunu gördük. Bu müthiş enerjinin kaynağı, Güneş'in merkezinde, hidrojen bombasına benzeyen fakat denetim altında işleyen çekirdek tepkimeleridir. Bu tepkimelerde atomlar kaynaşır, daha ağır elementler oluşur.Bu arada açığa çıkan enerji, Güneş'in-yıldızlarda yıldızın-yüzeyinden uzaya salınır.

Güneş merkezinde sıcaklık 15 milyon °K ve basıncı 1 milyar atmosferdir (1 atmosfer = deniz seviyesindeki atmosfer basıncı). Bu merkez bölgeye, bundan böyle özek diyeceğiz. Özekteki "yakıt" hidrojendir. Hidrojen evrende en basit ve en bol olan elementtir.

Olağan koşullarda iki artı yük birbirini iter. Güneş özeğinde yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında protonlar birbirine öyle yaklaşabilirler ki güçlü çekirdek kuvveti elektrostatik itme kuvvetini yener ve iki proton birbirine kenetlenir, böylece yeni bir izotop ya da element oluşur. Güneş'in özeğinde meydana gelen proton-proton zinciri adı verilen tepkimelerin özeti :

4H │ He + E

olur. Burada, H hidrojen atomunun çekirdeğini (proton), He helyum atomunun çekirdeğini, E de açığa çıkan enerjiyi göstermektedir. Görüleceği gibi, 4 tane hidrojen atom çekirdeği birleşip bir helyum atomu çekirdeği oluşturmaktadır. Bir helyum çekirdeğinin kütlesi 4 tane hidrojenin kütlesinden 0.029 akb kadar daha azdır. (akb = atom kütle birimi = ^{12}C atomunun kütlesinin 12 de biri = $1.66x10^{-27}$ kg). Bu kütle artığı Einstein'in $E=mc^2$ formülüne göre ışık enerjisine dönüşür. Burada c ışık hızı, m ise ışığa dönüşen kütledir. Sayıları yerine koyalım:

$E = 0.029 \text{ akb } x1.66x10^{-27} \text{ kg/akb } x (3x10^8)^2 = 4x10^{-12}$ joule

4 tane hidrojenden bu kadar enerji elde edildiğine göre Güneş'in yüzeyinden salınan $4x10^{26}$ watt'lık enerjiyi karşılamak için saniyede 4.5 milyon ton kütle harcandığını kolayca hesaplayabilirsiniz. Fakat Güneş'in içini ve içindeki atomları görmeden, gök bilimciler ve fizikçilerin, bu enerji kaynağını bulmaları öyle kolay olmadı. Güneş bu tempoda 5 milyar yıl daha özekte hidrojen yakabilir. Bu enerji üretimi 15 milyon kelvinlik özek sıcaklığında başlıyor ve sürdürülüyor. Sıcaklık dışa doğru azaldığından özek dışında enerji üretimi yoktur. Beş milyar yıl sonra Güneşin özekteki yakıtı helyum olacaktır.

Güneş'in İç Yapısı

Güneş enerjisinin üretildiği bölge, çekirdek tepkimelerinin yer aldığı özek bölgesidir (Şekil 4.4). Bu enerji dış katmanlara taşınmakta, oradan da uzaya yayılmaktadır. Gök bilimciler, Güneşte - ve yıldızlarda - enerjinin esas olarak ışınımla ve konveksiyonla (kütle hareketiyle) taşındığına inanırlar. Özek bölgesini çevreleyen ve enerjinin ışınım yoluyla taşındığı bölgeye, ışımasal bölge denir. Özekte üretilen bir foton, Güneş'in yüzeyine bir doğru boyunca ulaşamaz, fakat yıldız maddesi ile çarpışır, saçılır, soğurulur ve yeniden salınır. Hesaplar gösteriyor ki tek bir fotonun yüzeye ulaşması bir milyon yıl almaktadır, yani bizim şimdi gözlediğimiz güneş ışığı, özekte bundan bir milyon yıl önce üretilmişti. Bu nedenle biz Güneş'in özeğini değil fotonların en son salındığı dış katmanları görüyoruz.

Şekil 4.4: Güneşin katmanları.

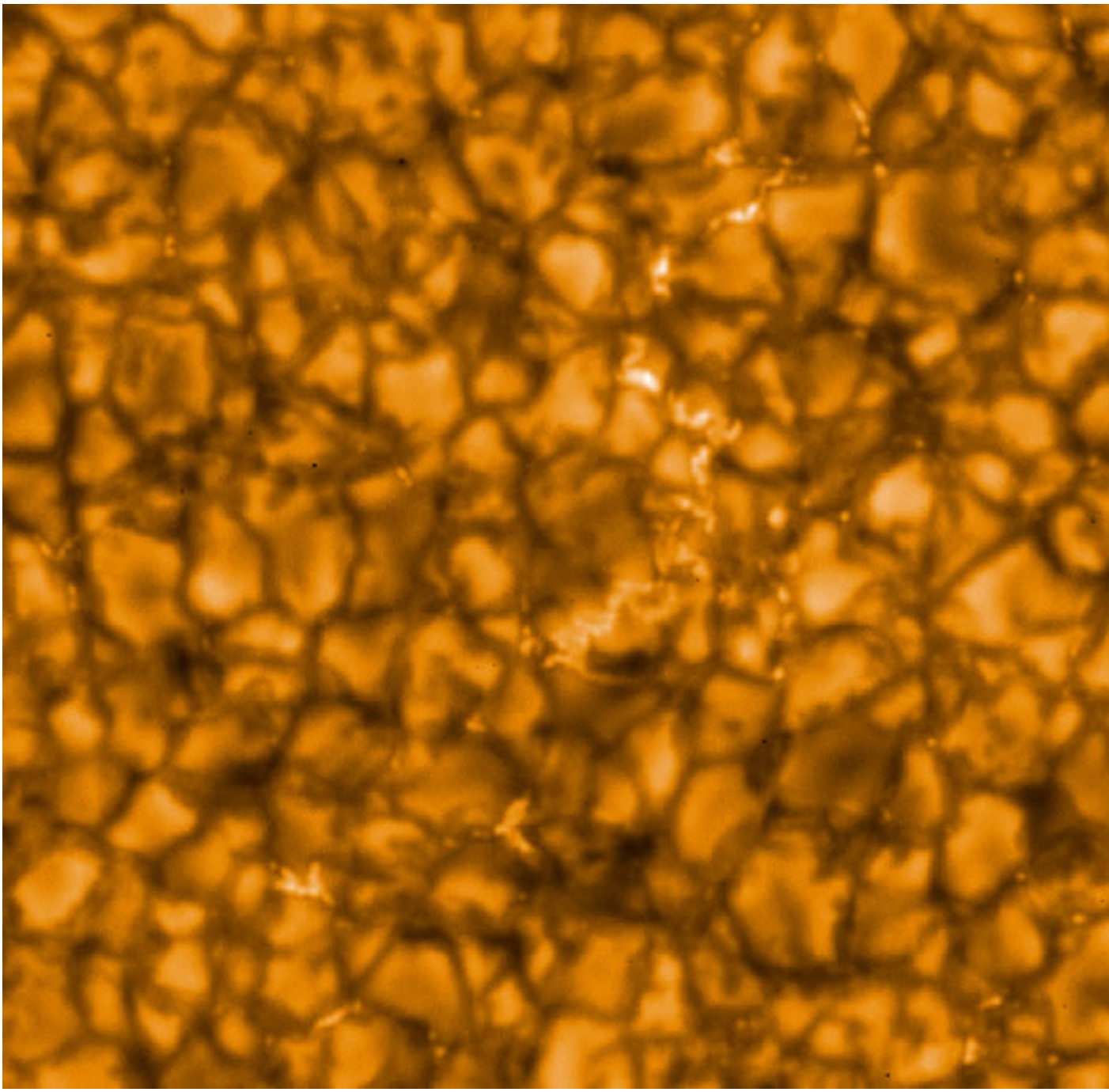
Işımasal bölgeyi çevreleyen bir sonraki katman konvektif zarftır. Burada enerji, katmandaki maddenin hareketi ile taşınır: Sıcak gazlar yükselip taşıdığı enerjiyi ışık küreye bırakır, soğur ve geri dökülüp yeniden ısınır. Bir odadaki radyatör ya da sobanın ısıttığı hava yükselir, tavan düzeyinde yayılır,

soğuyup odanın öteki tarafından aşağı çöker; oluşan bu dolaşım, konveksiyondur. Güneş'in ışımasal bölgesinden gelen büyük miktarlardaki enerjiyi taşıyabilmek için konveksiyon hareketi çok belirgin olmalıdır.

Bu hareket, beyaz ışıkta çekilen Güneş fotografında belli olmaktadır; yüzey lekeli görünümdedir, buna "bulgurlanma" denir. (Şekil 4.5). Parlak lekeler yükselen gaz sütunlarını, karanlık kısımlar çökmekte olan soğumuş gazları temsil etmektedir. Konvektif hücreler, birkaç yüz km genişliğinde ve derinliğindedir.

Güneş'in Atmosferi

Güneş atmosferi, Güneş'in en dış katmanlarıdır. Konvektif zarfın, güneş ışığını doğrudan aldığımız üst kısmına ışık küre denir. Güneş tayfı, birkaç km kalınlığındaki ışık kürenin kimyasal bileşimini verir. Beyaz ışıkta (filtresiz) çekilen fotografta görülen "kenar kararması" (Şekil 4.6) yüzeyden içe doğru sıcaklığın arttığının kanıtıdır: Güneş katı disk değil, bir gaz küresidir. Kenara doğru baktığımızda bakış doğrultumuz daha sığ, soğuk ve dolayısıyla daha az ışınım salan katmandan geçer. Görülen disk her yerde eşit parlaklıkta değil, kenara doğru kararır. Kararmanın miktarı sıcaklığın derinlikle değişmesini verir.

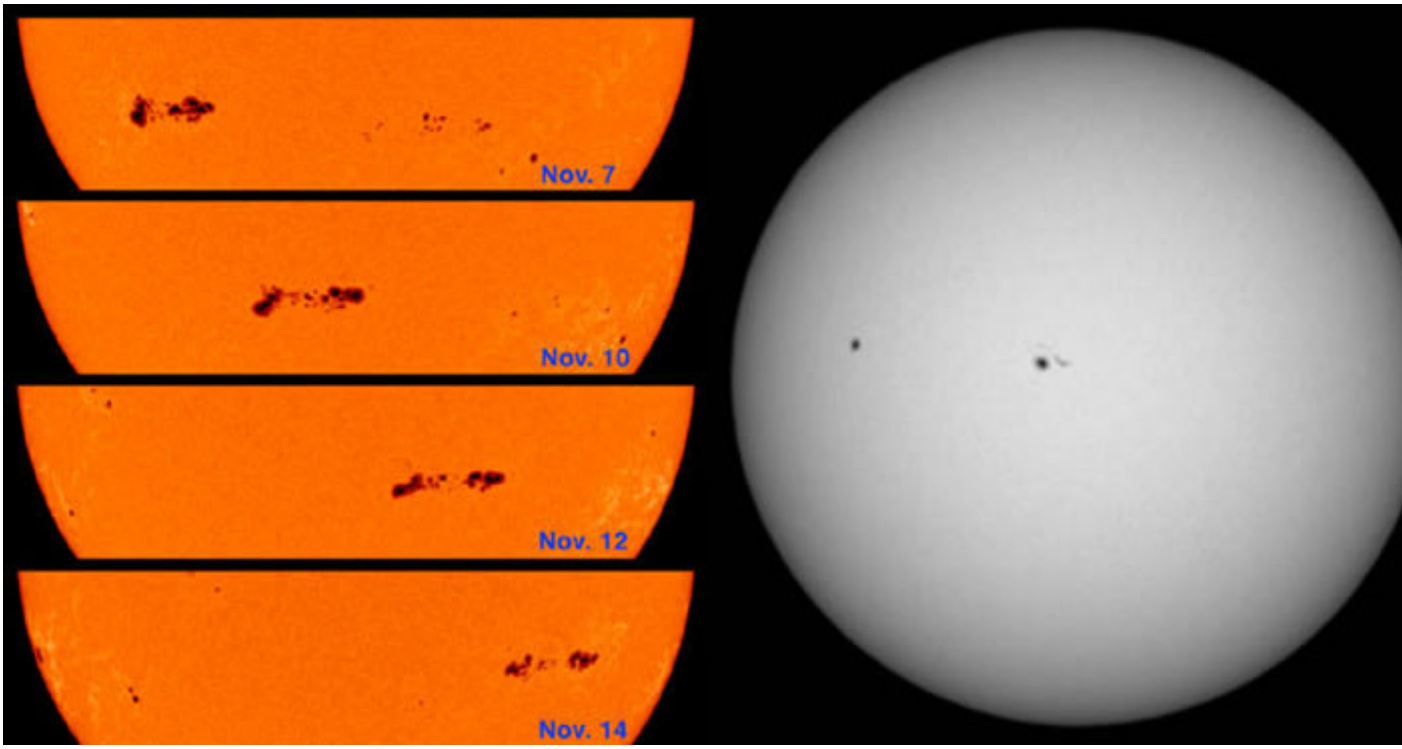


Şekil 4.5: Güneş yüzeyinde bulgurlanma. Enerji konvektif yol ile taşındığından her hücrenin içindeki açık renk alan içeriden dışarıya çıkan bölgeyi, hücrelerin kenarındaki daha karanlık kısımlar ise yüzeyden içeri giden daha soğuk gazı göstermektedir.

Güneş atmosferinin ikinci katmanı, renk küre (kromosfer)dir. Kalınlığı yaklaşık 6000 km kadardır. İyi bir raslantı olarak Ay ile Güneş'in açısal çapları aynıdır; belli koşullarda tam Güneş tutulmasında Ay, Güneş'in çok parlak olan ışık küresini tam olarak örter ve Ay diskinin çevresinde ilginç bir ışık halkası gözükür. Bu ışık halkasını oluşturan çoğunlukla hidrojen gazıdır. Hidrojene ek olarak renk kürede; sodyum, kalsiyum, magnezyum ve helyum vardır.

Güneş atmosferinin üçüncü katmanı, yine tam Güneş tutulması sırasında görülen ve renk küreyi çevreleyen taç katmanı (korona) dır. (Şekil 4.7). Renk küre ve taç katmanı özel âletler olmaksızın normal gün ışığında görülmez, çünkü ışık kürenin yanında çok sönük kalırlar. Renk küre ve taç katmanını gözlemek için gök bilimciler artık tam güneş tutulmasını beklemezler. Teleskop odağında

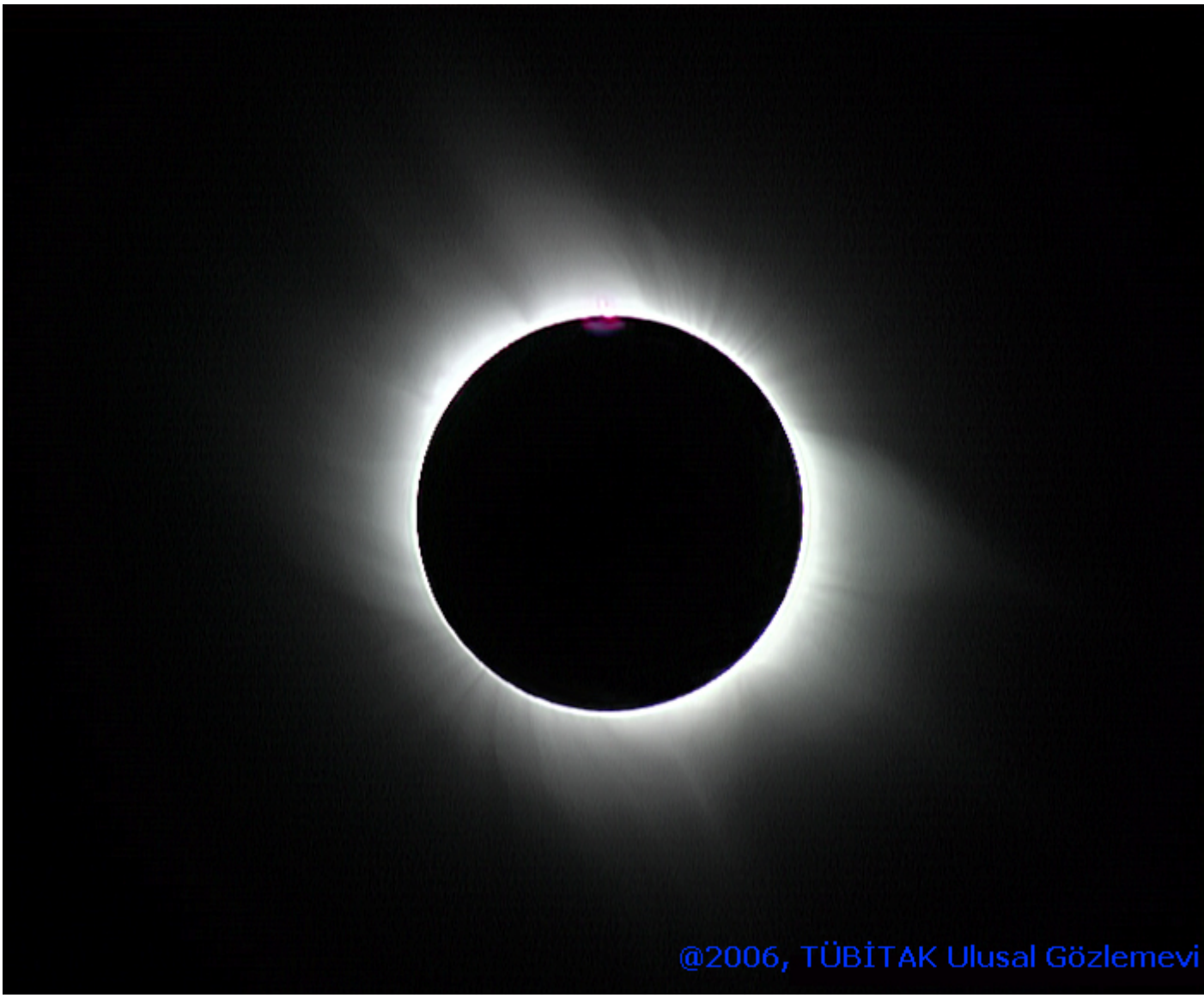
Güneş diskini yapay olarak kapatıp renk küre ve taç katmanını izleyebilmektedirler. Bu çalışmalar taç katmanının düzgün yapıda olmadığını, zamanla değiştiğini, onbinlerce - hatta yüzbinlerce- km yukarılara uzandığını göstermektedir.



Şekil 4.6: Soldaki resim lekelerin yedi günlük süre içinde Güneş'in ne kadar döndüğünü, sağdaki resimde ise beyaz ışıkta görülen kenar kararmasını göstermektedir.

Renk küre ve taç katmanında sıcaklık değişimi beklenilenin tersidir. Işıkkürede sıcaklık dışa doğru azalır, renk kürenin dibinde 4200°K (kelvin)'e kadar düşer. Bundan sonra sıcaklık yükselmeye başlar, renk kürenin önemli bir kısmında sıcaklık 7000°K kadardır. Renk küre ile taç katmanı arasında olan ve geçiş bölgesi denen bölgede, sıcaklık birden bir milyon dereceye kadar yükselir, taç katmanında ortalama sıcaklık 2 milyon °K kadardır.

Bu kadar yüksek sıcaklıklarda σT^4 den beklenen yüksek ışınım gücü gözlenmemektedir. Bunun nedeni renk küre ve taç katmanının çok düşük yoğunlukta olmalarıdır. Orada anlamlı miktarda ışınım üretecek kadar gaz yoktur. Yüksek sıcaklık, gaz atomlarının yüksek enerjilerini ve yüksek hızlarını temsil eder. Böyle sıcaklığa kinetik sıcaklık denir.



Şekil 4.7: Güneş tutulması ve taç katmanı.

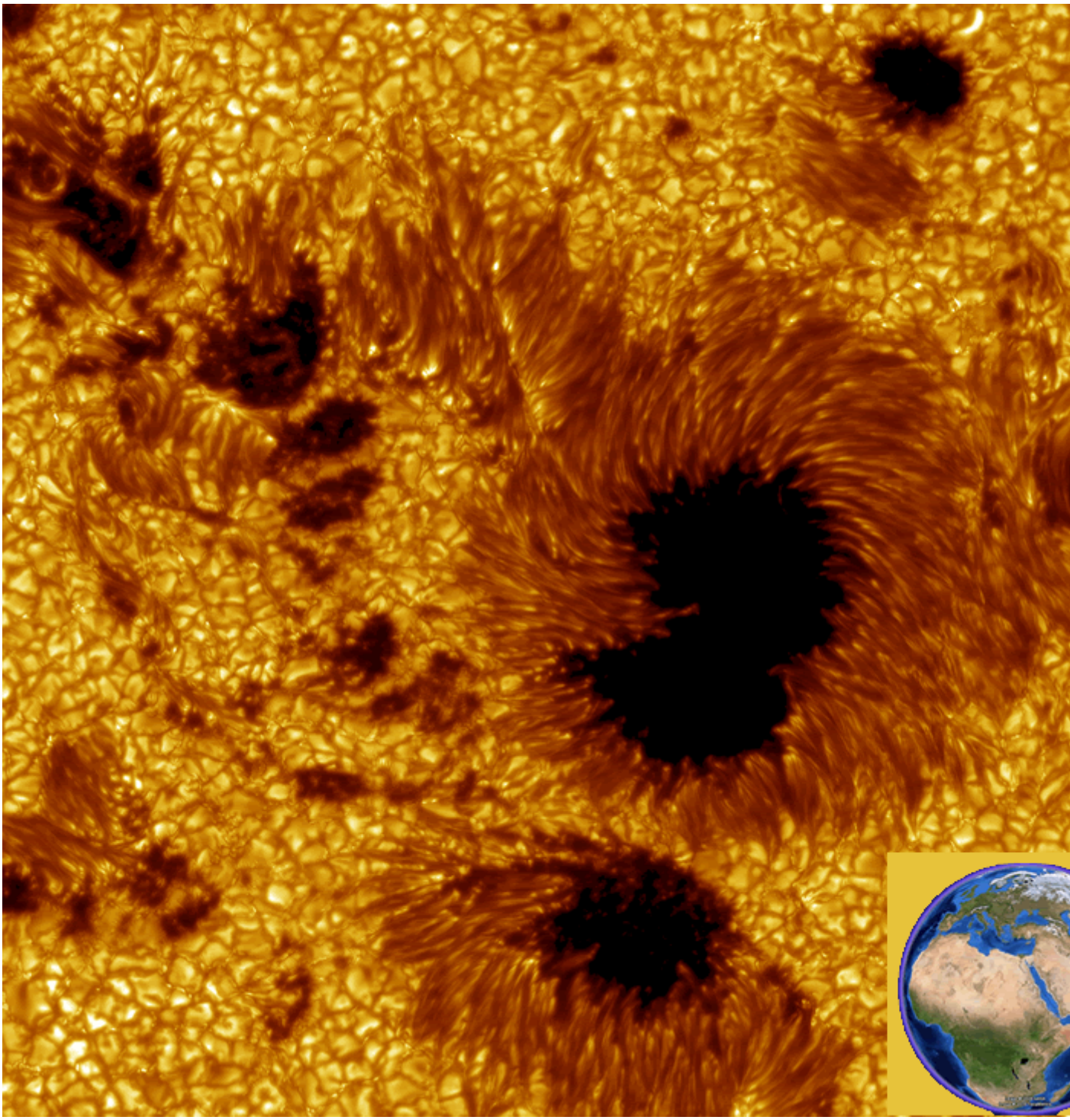
Güneşin en dış katmanları (ışık küre ve taç) elektromanyetik olayların bir sonucudur. Seyrek renk küre ve taç katmanı gazları, ışık küreden çıkan ve sonra yine ışık küreye dönen büyük ilmekler oluşturan manyetik alanlar tarafından tutulur ve taşınan manyetik enerji ile ısıtılırlar.

Güneşin Manyetik Etkinlikleri

Galile, 1610 da basit teleskopuyla Güneş'e baktığı zaman (Gözünü kör etmemek için her hâlde önlem almıştır.), o güne kadarki inanışın tersine, yüzeyin kusursuz değil, siyah lekelerle kaplı olduğunu keşfetti. Bunların bir kısmı beyaz ışık fotografında görülebilir (Şekil 4.6). Beyaz alanlarla da çevrili olan bu güneş lekeleri çoğunlukla ikişerli olarak ortaya çıkar ve gruplar hâlinde kümeleşirler (Şekil 4.8). Kimi ancak sezilebilir, kimileri Yer'den daha büyük boyutlara ulaşır, ender olarak bazıları çıplak gözle de görülebilirler Bunun için siyah cam kullanılmalıdır. Bir leke umbra denilen daha derinde siyah bir özek ve onu çevreleyen grimsi bir çevreden oluşur; penumbra denilen grimsi çevre, fotosfere doğru eğimlidir ve koyu, açık çizgiler sergiler. Umbra aslında siyah olmaktan uzaktır, fakat 4500°K sıcaklığında olduğundan 5800°K den daha yüksek sıcaklıktaki çevresine göre koyu gözükür. Önce çok küçük gözlenen leke grubu zamanla gelişir, büyüklüğüne bağlı olarak birkaç günden birkaç aya kadar yaşayabilir. Güneş lekeleri, güneşle birlikte döndüklerinden, Güneş'in döndüğünü çok iyi gösterirler. (Şekil 4.6)'dan, onlardan Güneş'in katı cisim gibi dönmediğini, anlıyoruz. Ekvator bölgesi 25 günde bir

döner, bu yavaşlayarak kutuplarda yaklaşık 34 günü bulur. Böylece Güneş, enleme göre diferansiyel dönme gösterir.

Güneş lekelerinin sayısı ortalama 11 yıllık bir çevrimle artıp azalır. Yeni lekeler, ekvatorun yaklaşık 35° kuzeyinde ve güneyinde ortaya çıkar, zamanla sayıları artar ve ortalama enlemleri ekvatora yaklaşır. Leke sayısı maksimumda iken herhangi bir anda 100 den fazla leke görülebilir. Minimumda ekvatorun 5° güney ve kuzeyinde ancak birkaç tane leke görülür. Bu, yaklaşık 11 yılda bir tekrarlanır.



Şekil 4.8: Güneş yüzeyinde bir leke grubu. Lekelerin ne denli büyük olduğunu göstermek için dünyanın büyüklüğü de resimde gösterilmiştir. Bazı büyük lekeler 3-4 Dünya boyutunda olabilir.

Güneş lekelerinin manyetik alanlarla ilgili olduğu anlaşılmıştır. Çeşitli tekniklerle yapılan gözlemler, Güneş'te güçlü manyetik alanların var olduğunu göstermiştir; leke yakınlarında şiddetleri, Yer'in manyetik alanının 3000 katına ulaşabilmektedir. Alan çizgileri, bir leke çiftinin birinden çıkıp ilmek oluşturarak diğerine girerler. Büyük olasılıkla lekeleri güçlü manyetik alanlar üretir. Bu bağlamda güneş lekeleri manyetik ilmeklerin ışık küredeki kesitleridir. Büyük manyetik ilmekler ışık küreden 400000 km yükseklere kadar uzanırlar. Güneşin üst atmosfer katmanlarını bu manyetik ilmekler kontrol eder. Leke çevriminin maksimumu sırasında büyük leke bölgelerinin üst kısımlarında ani ışık parlamaları gözlenir; bunlara, güneş parlamaları denir. Ender durumlarda bir parlama Yer büyüklüğüne ulaşabilir ve birkaç saat sürebilir. Güneş'in X-ışını görüntüleri, böyle parlamaların yüksek taç katmanında, etkin lekeli bölgelerin yukarısında manyetik alanların birleştiği noktalarda meydana geldiğini göstermektedir. Güneş patlamaları sırasında müthiş bir enerji açığa çıkar ve sıcaklık bölgesel olarak 20 milyon kelvine ulaşabilir. Bu olay, elektronları ışık hızının 1/3 üne kadar ivmelendirebilir ve X-ışınları üretir, bu X-ışınları aşağıda renk küreye çarpar ve optik olarak görülen parlamalara neden olur. Renk küre maddesinin (plazma) bir kısmı taç katmanına müthiş bir şiddetle geri fırlatılır. Taç katmanının yüksek sıcaklığını besleyen, bu manyetik enerji girdisi ve sayısız minik parlamaların -Güneş sakinken bile- ürettiği enerjidir.

Şekil 4.9: Güneşte görülen bir prominans.

Bir başka etkinlik göstergesi, prominans denen gaz uzantılarıdır; bunlar etkin bölgelerin (lekelerin) yukarısında, taç katmanından yoğuşan soğuk gaz sütunlarıdır (Şekil 4.9.). Kimisi sakindir, yüz binlerce km uzunluğunda olabilir; orada günlerce, haftalarca asılı kalabilir; kimisi aşağıya ışık küreye akarken; kimisi de patlayıp taç katmanı gazını önüne katarak Güneş'ten uzaklaştırıp uzaya yayar. Güneş sürekli değişken, şaşırtıcı ve onsuz olamıyacağımız bir varlıktır. Güneş'in manyetik etkinliği enlemsel manyetik ilmeklerin büyüklüğüne ve çokluğuna bağlıdır. Bu oluşumların varlığı ve değişimi ise dinamo modeli denen bir modelle açıklanır. Güneşte manyetik dinamonun verimi, yani Güneş etkinliği, temelde konvektif katmanla diferansiyel dönmenin oldukça karmaşık olan etkileşmesine bağlıdır .

Güneş Rüzgârı ve Etkileri

Güneş'in; ışık, radyo ve X-ışınları gibi her yöne elektromanyetik tedirginlikler gönderdiğini belirttik. Olay yalnız bu değildir. Güneş'ten her yöne sürekli parçacıklar akısı da vardır; bunlar çoğunlukla elektronlar ve protonlardır. Güneşin taç katmanından bu şekilde uzaya sürekli madde kaybı vardır. Buna güneş rüzgârı denir. Bunun etkisini kuyruklu yıldızlarda görüyoruz: Güneş rüzgârı nedeniyle kuyruklu yıldızların kuyruğu hep Güneş'ten öteye doğru uzanır.

Uydularla yapılan gözlemler göstermiştir ki Yer yakınlarında 1 cm^3 den ortalama 10 kadar proton ve elektron geçer; ortalama hızları 400 km/s kadardır. Bir bakıma biz Güneş taç katmanının dış uzantıları içindeyiz. Güneş yakınlarında taç katmanı kuvvetli ve kapalı manyetik alanlar tarafından tutulur ve plâzmanın kaçması engellenir. Kaçan güneş rüzgârı genellikle X-ışını fotograflarında belirgin olan taç katmanı deliklerinden, yani açık manyetik alan çizgileri boyunca çıkar. Bu rüzgârın hızı değişkendir ve Güneş'in manyetik çevrimine bağlıdır.

Güneş rüzgârı ayrıca Yer'in manyetik alanını da rüzgâr yönünde şok dalgası biçiminde sıkıştırır; deniz hız motorunun önündeki suda oluşturduğu ve iki yandan arkaya uzanan dalga gibi. Bu dalga sınırları içinde yüklü parçacıklar manyetik olarak, Van Allen kuşakları denen iki bölgede hapsedilirler. Güneş rüzgârının basıncı sonucu Yer'in arka tarafında 100 Yer yarıçapını aşan uzunluklarda manyetik kuyruk oluşur. Güneş sisteminde manyetik alanı olan bütün gezegenler Güneş rüzgârından etkilenir. Güneş'in etkisi, rüzgârın yıldızlararası gaza girdiği yerde son bulur. Bu sınırın nerede olduğunu henüz bilmiyoruz. Güneş sisteminden farklı yönlerde çıkan üç uzay gemisi; Pioneer II, Voyager 1 ve Voyager 2 bunu bulmak için görevlidir. Bunlar gerçek dış uzaya, yani yıldızlararası uzaya belki de ancak 2020 yılında ulaşacaklardır.

Güneş'in manyetik etkinliğinin ve Güneş rüzgârının Yer üzerinde başka önemli etkileri de vardır. Taç katmanında büyük bir parlama olduğu zaman, özellikle Güneş leke maksimumu sırasında, artan güneş rüzgârı şiddeti yaklaşık iki gün sonra Yer'e ulaşır, Yer'in manyetik alanlarını sıkıştırır ve kutup akım halkalarına büyük miktarlarda yeni enerji bırakır. Bu güçlü elektrik akımı üst atmosferdeki havayı iyonlaştırır. Elektronlarla havanın aynı atom ve moleküllerinin yeniden birleşmesi "kutup ışığı" (güneyde ve kuzeyde) denen ışık gösterisi biçiminde göğü aydınlatır. Böyle "manyetik fırtınaların" radyo haberleşmelerini etkilediği, zaman zaman elektrik hatlarında arızalara neden oldukları bilinmektedir.

Güneş etkinliğinin daha uzun vadeli etkileri vardır. 1645-1715 arasında Güneş'te hemen hemen hiç leke görülmemiştir. Buna, olayı ortaya çıkaranın adıyla Maunder minimumu denir. Bu dönemde özellikle Avrupa'da çok ağır kışlar yaşanmıştır; buna kimileri "küçük buz çağı" demektedir. O hâlde bu sürede Güneş'ten daha az enerji gelmiştir. Ağaç halkalarındaki izotop bolluğu da Maunder minimumunu kanıtlamakta ve bu minimuma benzer 12 kadar dönemin yaşandığını göstermektedir. Açıkça Güneş etkinliği ile Yer iklimi yakından ilişkilidir, fakat bu ilişkinin ayrıntıları iyi bilinmemektedir.

Yeni anlaşılmaya başlanan bir başka etki de, Yer çevresinde yörüngeye yerleştirilen yapay uydular üzerindeki etkidir. Güneş etkinliğinin etkisi öyle büyük olmuştur ki Yer atmosferi genişlemiş ve sürtünme sonucu Sky Lab uzay istasyonu yere düşmüştür. Daha sonra fırlatılan Hubble Uzay Teleskopu bu yüzden daha yüksek yörüngeye oturtulmuştur

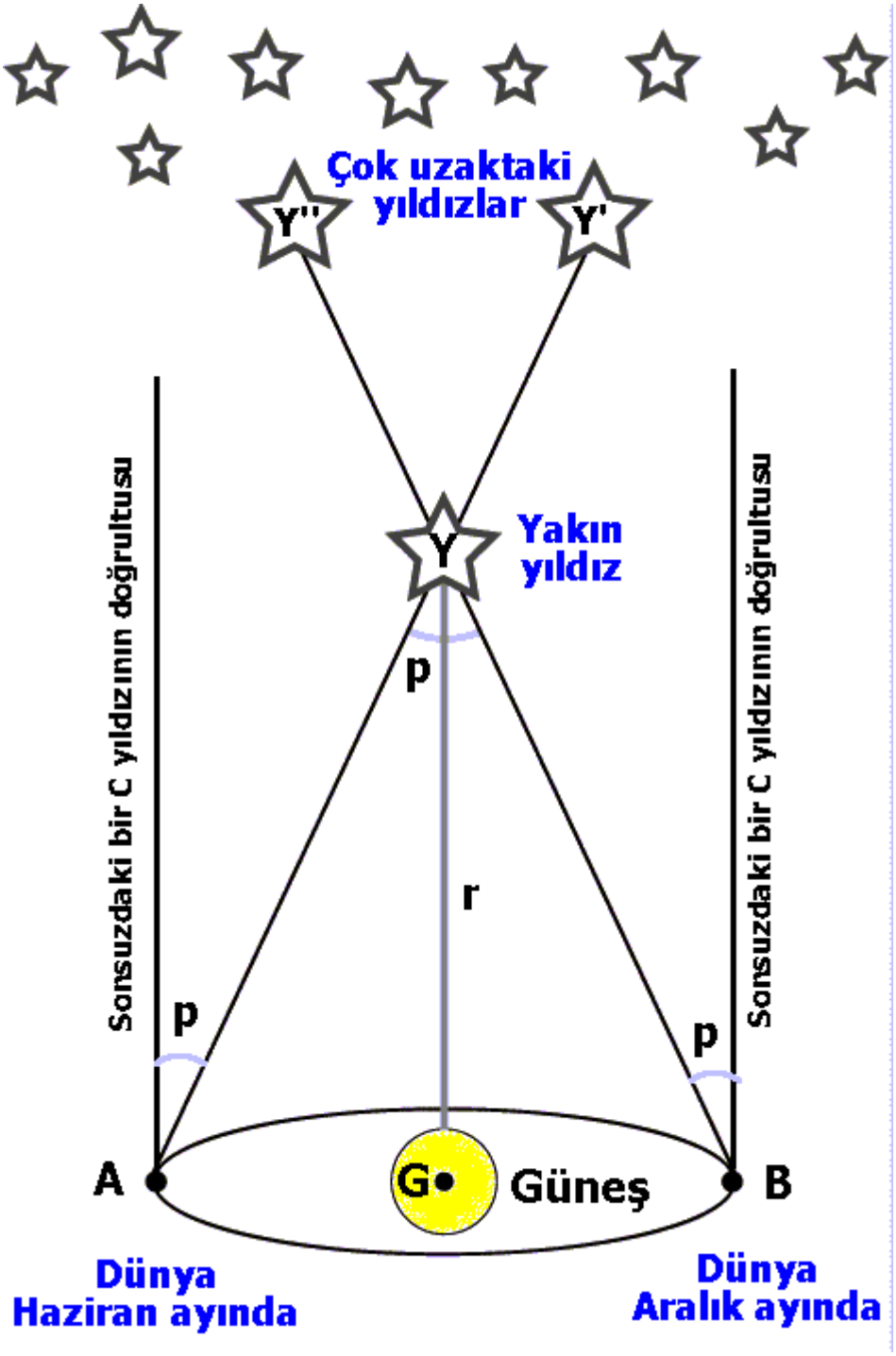
.3 Yıldızların Gözlemsel Özellikleri

Yıldızların Uzaklıkları

Yıldızların bize uzaklıkları birbirinden çok farklıdır. Onların büyüklük gibi, toplam ışınımgücü gibi gerçek özelliklerini bulabilmek için önce uzaklıklarını bilmeliyiz. Şimdi en azından yakın yıldızların uzaklıklarının nasıl bulunduğunu görelim:

İşaret parmağınızı gözlerinizden 30 cm kadar uzakta tutunuz ve parmağınızın ucuna önce bir gözünüzle sonra diğer gözünüzle bakınız. Çok uzaktaki cisimlere göre parmağınızın ucunun belli bir açı kadar yer değiştirdiğini görürsünüz. Parmağınızı uzaklaştırdıkça yer değiştirme açısı da küçülür. Şimdi aynı işi çok uzaktaki bir cisimle yapınız; yer değişme olmadığını göreceksiniz. Yer değiştirme açısı, cismin gözünüzden uzaklığının bir ölçüsüdür.

Bu ilke genişletilerek, yıldızların uzaklığının bulunmasında kullanılır. Yer'in Güneş çevresindeki yörüngesini ve bu yörünge düzlemi içinde bir Y yıldızı ele alalım (Şekli 4.10), (Yıldız, Yer'in yörünge düzlemi içinde değilse ekliptik enleme bağlı formüller bunu hesaba katar.) Yer A konumunda iken Y yıldızı AY' doğrultusunda görülür. Altı ay sonra Yer B konumuna geldiği zaman aynı Y yıldızı bu kez BY" doğrultusunda görülür. Bir yıl sonra Y yine Y' doğrultusunda olacaktır. Güneşe çok uzak yıldızların yer değiştirmesi o kadar küçüktür ki A dan, G den ya da B den bakıldığında doğrultuları pek değişmez. Bu durumda XAY' ya da Y"BX' açısı ölçülebilir. Bu açı aynı zamanda AYG=p açısına eşittir. Bu açıya, Y yıldızının Güneş merkezli ıraklık açısı (paralaks) denir. Yani ıraklık açısı Yer -Güneş uzaklığını yıldızdan gören açıdır. AYG üçgeninde p açısı ve AG uzunluğu (Yer-Güneş uzaklığı) bilindiğine göre geometrik yöntemlerle,



Şekil 4.10: Güneş merkezli ıraklık açısı. Y yıldızı, Yer A da iken Y' doğrultusunda, B de iken Y" doğrultusunda görülür.

yıldızın GY uzaklığı hesaplanabilir. Yıldızlar için p açısı her zaman 1 açı saniyesinden küçüktür. 1 saniyelik açı baş parmağınızın genişliğini 4 km uzaktan gören açıya eşittir. Böyle küçük açılı üçgenlerin çözümü daha da kolaydır. Yıldızlar için p açısı öyle küçüktür ki merkezi Y, yarıçapı yıldızın uzaklığı r ye eşit olan dairede, p yi gören yayın uzunluğunu Yer-Güneş uzaklığı AG ye eşit alabiliriz (Şekil 4.10). Bir dairede iki ayrı yay parçalarının uzunluklarının oranı, bu yayları gören merkez açılarının oranına eşittir. Dairenin çevresi 2□r ve bu çevreyi gören merkez açı 360° olduğuna göre (BG/2□r)=(p°/360°) yazılabilir. p küçük olduğu için açı saniyesi cinsinden ifade etmek âdet olmuştur. O zaman 360° yi de açı saniyesi cinsinden, yazmalıyız:

\F(AG,2□r) = \F(p",360x60x60)

r = \F(206 265 x AG,p")

AG = 1 GB (gök birimi) olduğuna göre, GB cinsinden,

r = \F(206 265 ,p") GB

olur (" simgesi, açı saniyesi demektir). Astronomide 206265 GB uzunluğuna, 1 parsek denir ve kısaca pc yazılır. O zaman pc cinsinden r, basitçe r = 1/p parsek olur. O halde parsek, Yer-Güneş uzaklığını 1 açı saniyesi altında gören yıldızın uzaklığıdır, o da 206265 GB'ne eşittir. Kullanılan bir başka uzaklık birimi ışık yılıdır, bu ışığın bir yılda aldığı yoldur. 1 parsek = 3.26 ışık yılı olduğunu kolayca gösterebilirsiniz.

Dikkat edilirse, yıldızın uzaklığı (r) ne kadar büyükse ıraklık açısı (p) o kadar küçüktür. Bize en yakın yıldızın (Proxima Centauri) ıraklık açısı p = 0".75 dir; bu uzaklık için r = 1/0.75 = 1.33 parsek = 4.3 ışık yılı verir. Yani şu anda yıldızdan aldığımız ışık, 4.3 yıl önceki ışıktır.

Iraklık açılarının ölçülmesi çok zordur ve yıllar süren gözlemler gerektirir. Böyle küçük açıların ölçülmesine ölçü hataları karışmaktadır. Ölçülebilen en küçük açı 0".01 kadardır, bu 100 pc demektir. Bu yüzden 100 pc den daha ötedeki uzaklıklar için bu yöntem yararsızdır. Yer atmosferi dışından bakıldığında, atmosferin yıldız ışığını dağıtıcı özelliği ortadan kalktığı için (kıpraşma olmadığı için), daha küçük ıraklık açıları ölçülebilmektedir. Bu nedenle çok sayıda yıldızın ıraklık açısını ölçmek için yörüngeye uydu teleskoplar yerleştirilmiştir. Bu teleskoplarla 500 pc e kadar yıldız uzaklıkları ölçülebilmektedir. Halbuki gökte gördüğümüz yıldızların çoğu binlerce parsek ya da ışık yılı ötededirler. Samanyolunun çapı 100000 ışık yılı uzunluğundadır, diğer galaksiler ise milyonlarca, milyarlarca ışık yılı uzaktadır. Bütün bu uzaklıkları bulmada ıraklık açısına ayarlanan başka yöntemler kullanılır; bunların üzerinde durmayacağız.

Yıldızların Hareketleri

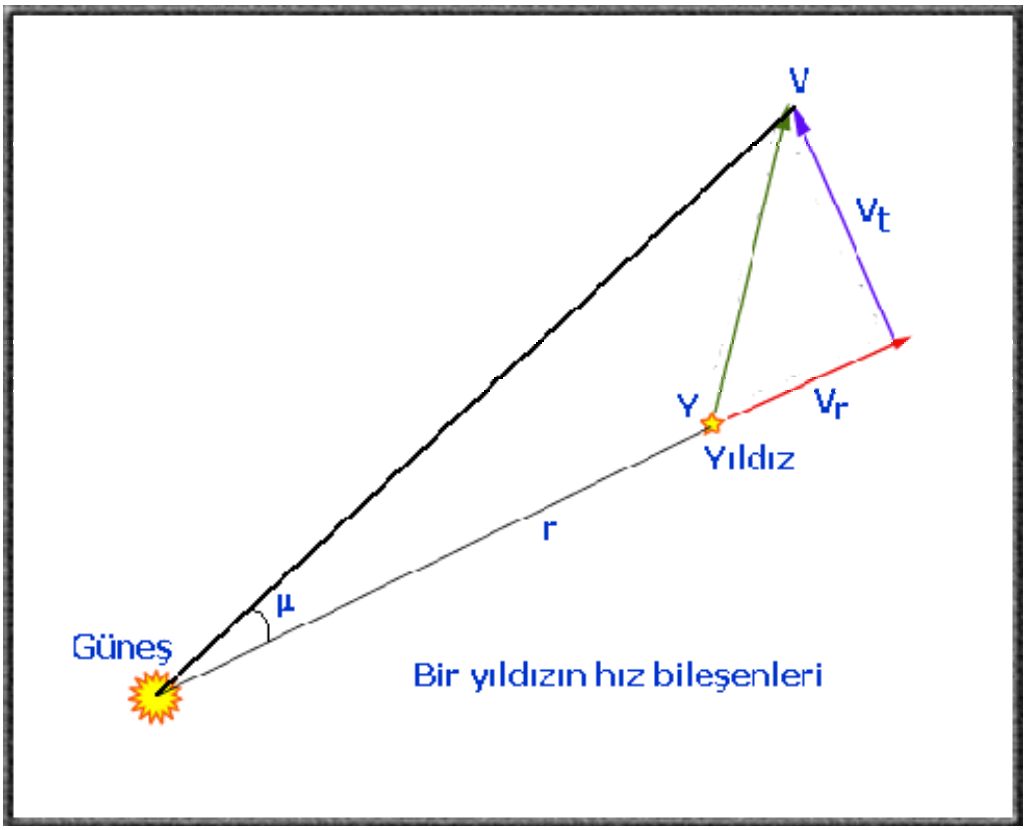
İçinde bulunduğumuz Samanyolu galaksisi çalkantılı, dönen bir kütledir. Güneş dahil bütün yıldızlar Samanyolu merkezi çevresinde müthiş hızlarla dolanırlar. Örneğin; yıldızların aşağıda anlatacağımız yöntemlerle ve başka yollarla hesaplanan uzay hızlarından, Güneş'in Samanyolu çevresinde yaklaşık 220 km/s hızla dolandığı bulunmuştur. Yıldızların yörüngeleri az ya da çok birbirlerinden farklıdır. Bizim yıldızımız Güneş'ten onları izlediğimizde, kimilerinin birbirine yaklaştığını, kimilerinin birbirinden uzaklaştığını görmeliyiz. Aynı şekilde kimisi bize yaklaşmalı, kimisi uzaklaşmalıdır.

Bir yıldızın Güneş'e göre hareketini, gökte uçan bir uçağın yerde duran bir gözlemciye göre hareketine benzetebiliriz. Uçak, genel olarak gözlemcinin bakış doğrultusuna eğik bir çizgi boyunca hareket eder. Bu hareketi, bir başka deyişle uçağın hızını, iki bileşene ayırabiliriz: Bakış doğrultusundaki hız ve bakış doğrutusuna dik doğrultudaki hız. Birincisine radyal hız, ikincisine teğetsel hız denir. Teğetsel hız, uçağın gökte görüldüğü doğrultunun, yani görüldüğü açının değişmesine neden olur. Uçak yakınsa, bu açı çabuk değişir ve uçak hızla geçer, uçak uzaksa uçağın (aynı zaman içinde) kat ettiği açı küçük olduğundan, uçağın yer değiştirdiği ilk bakışta sezilmeyebilir bile.

Yıldızlarda da ilke tam olarak aynıdır. Teğetsel hızın neden olduğu birim zamandaki açısal yer değiştirmeye, öz hareket denir.Yıldızın öz hareketi ∫ ve uzaklığı r ölçüldükten sonra teğetsel hızı V_t, basit trigonometriden hesaplanabilir (Şekil 4.11). ∫ ile V_t arasında,

V_t= 4.74 ∫ r = 4.74 \F(∫,p)

bağıntısı vardır; burada uzaklık r parsek biriminde, öz hareket ∫ ve ıraklık açısı p açı saniyesi birimindedirler. 4.74 sayısı, sonucu km/s birimine çeviren katsayıdır.

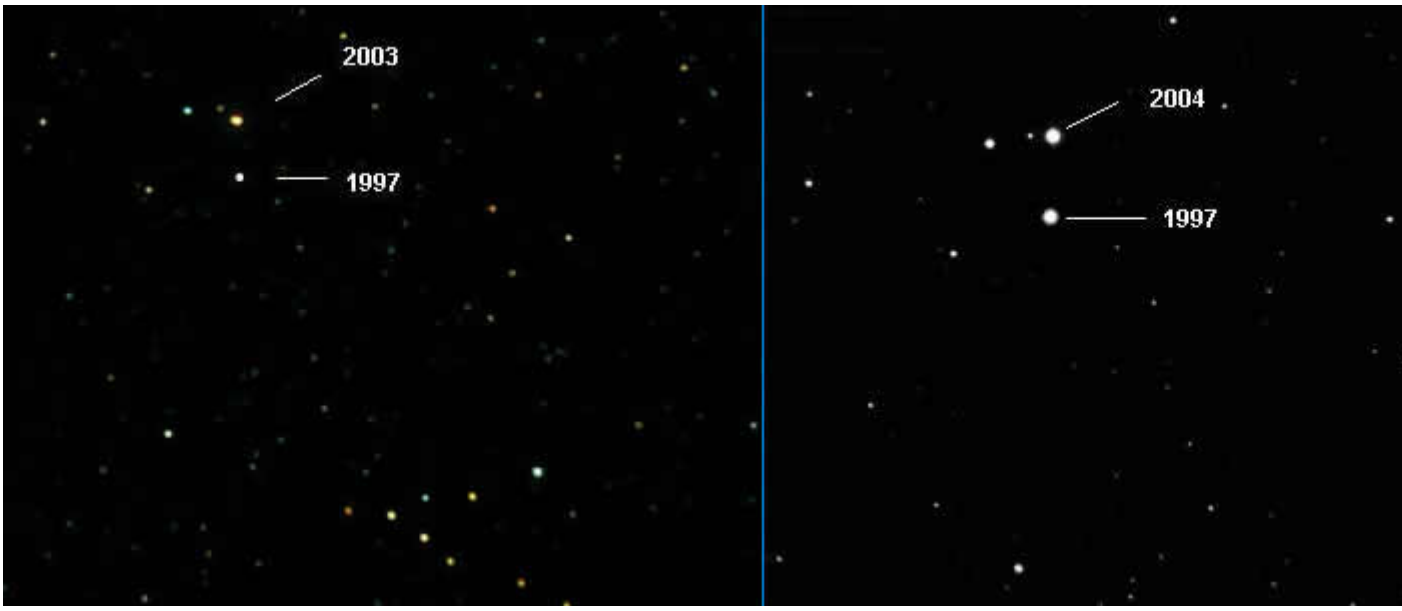


Şekil 4.11: Bir yıldızın güneşe göre hız bileşenleri: ⌈ öz hareket, V_t teğetsel hız, V_r radyal (görüş doğrultusundaki) hız: V ise toplam hızdır.

Yıldızın radyal hızı V_r Doppler fomülünden bulunur (bkz. kesim 1.5). V_r ve V_t bilinince yıldızın Güneş'e göre uzay hızının büyüklüğü ve yönü, üçgende, dik açı bağıntılarından hesaplanabilir:

V\S(2,)=V\S(2,t)+V\S(2,r)

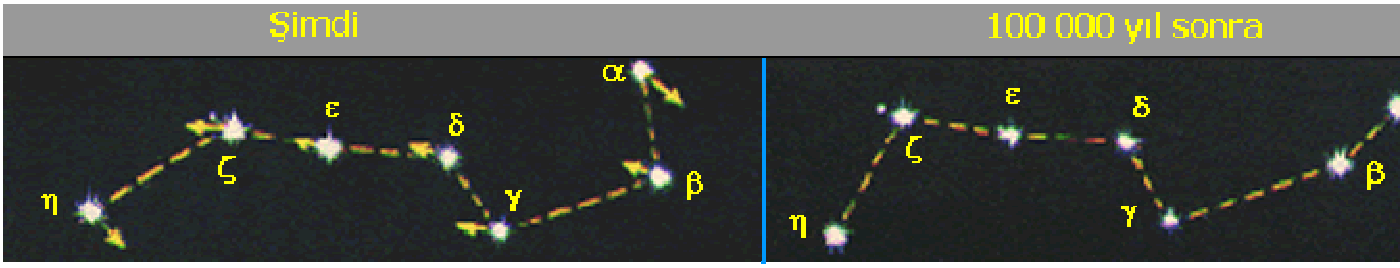
Öz hareket, yıldızın sağaçıklık ve dikaçıklığında değişmeye neden olduğundan, ilke olarak ölçülmesi kolaydır, fakat öz hareketler çok küçük olduklarından ölçülebilir büyüklüklere ulaşmaları için yıllarca beklemek, ölçtükten sonra da aradan geçen yıla bölmek gerekir. 10 yıl içinde 2".5 kayma gösteren bir yıldızın öz hareketi = 2".5/10 = 0".25 /yıldır. Öz hareketin varlığını ilk kez 1718 de Edmund Halley (şu kuyruklu yıldıza adını veren gök bilimci) keşfetti. Bugüne kadar on binlerce yıldızın öz hareketi ölçülmüştür. 300 den biraz fazlasının öz hareketi 1".0 /yıl dan büyüktür. Uzaklıklar büyük olduğu için bu öz hareketlerin çoğu yılda onda bir hatta yüzde bir açı saniyesinden küçüktür. En büyük öz hareket Barnard yıldızı adında bir yıldıza aittir: 10".25 /yıl; bu yıldız bize en yakın ikinci yıldızdır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: Barnard yıldızının öz hareketi. 1997 ile 2003 ve 2004 yılları arasında ne kadar yer değiştirdiğini göstermektedir. Bir yılda dahi ne kadar yer değiştirdiğini farkedebilirsiniz.

Yıldızların Parlaklıkları

Yıldızları incelemede bilinmesi gerekenlerin başında onların parlaklıkları gelir. M.Ö. İkinci yüzyılda Hipparchus (Hiparkus) çıplak gözle görebildiği yıldızların parlaklıklarını kadir aralıkları denen beş aralığa böldü; en parlak yıldızı 1 inci kadir, en sönük yıldızı 6 ıncı kadir olarak sınıfladı. Yıldızların gökteki konumlarını ve parlaklıklarını içeren ilk gerçek kataloğu hazırladı. Örneğin Büyük Ayı'nın yıldızlarının çoğu ve kutup yıldızı 2. kadirden, Küçük Ayı'nın tavasının sapındakiler 4. kadirden, tavasının en sönüğü 5. kadirdendir. ("Kadir birimi„ rakamın üzerine yazılan m harfi ile gösterilir. Örneğin, 2^m ikinci kadir; 3^m,6 üç onda altıncı kadir demektir. Bugün 5^m ve 6^m yıldızları Ay'sız, iyice karanlık bir gecede görebilmek için şehrin ışıklarından uzaklaşmak gerekir.) Bugün, teleskoplar sayesinde, 6^m den daha sönük milyarlarca yıldız olduğunu biliyoruz. Bunların parlaklıkları, Hipparchus ölçeğini de koruyarak, fakat kişinin göz yeteneğine bağlı olmayan, iyi tanımlanmış çağdaş âletlerle ölçülen sayısal kadir sınıfına dayandırılmıştır. Birkaç örnek Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.13: 100000 yıl sonra Büyük Ayı takım yıldızı sağdaki şekli alacaktır.

Çizelge 4.1: Kadir ölçeğinde bazı görünür parlaklıklar.

Güneş	$-26^m.5$
Dolunay	$-12^m.5$
Venüs (en parlak)	$-4^m.4$
Sirius	$-1^m.4$
Rigel	$0^m.0$

Aldebaran	$+1^m.0$
Kutup yıldızı	$+2^m.0$
Çıplak gözle görme sınırı	$+6^m.0$
Gemici dürbünü görme sınırı	$+9^m.0$
15 cm çaplı teleskopla görme sınırı	$+13^m.0$
5 m çaplı teleskopla fotografik görme sınırı	$+24^m.0$
En büyük teleskopla fotografik görme sınırı	$+29^m.0$

Yıldız parlaklıklarını ölçmek için temelde iki çeşit çağdaş yöntem vardır: Birincisi 19. yüzyıl sonlarında başlayan ve bugün çok daha duyarlı hâle getirilen fotograf çekme yöntemidir. Bir yıldızın görünen parlaklığı, fotograf filmi (genellikle cam) üzerinde oluşturduğu görüntünün büyüklüğünden bulunabilir. Parlak bir yıldızın film üzerindeki görüntüsü sönük yıldızın görüntüsünden daha büyük olur (Şekil 4.12). Bunlar "fotografik ışık ölçer" diye bilinen âletlerle ölçülürler. Büyük teleskoplarla ya da daha uzun poz süresi ile çekilen fotograflarla daha sönük yıldızlar kaydedilebilir.

Daha duyarlı ikinci yöntem "fotoelektrik ışık ölçümü" yöntemidir. Işık fotonları ışığa duyarlı bir yüzeye düştükleri zaman, yüzeyden elektron koparırlar. Ne kadar çok foton düşerse o kadar çok elektron koparılır. Bu elektronlar bir iletken telle toplanırsa elektrik akımı oluşur. Bu akımın şiddeti, ışığa duyarlı yüzeye düşen ışığın şiddetinin bir ölçüsüdür. Teleskop, ışığı (parlaklığı) ölçülecek yıldıza yönlendirilir, teleskopun topladığı ışık "fotokatlandırıcı" denen bir aygıtın duyarlı yüzeyine düşürülür. Fotokatlandırıcıda oluşan küçük akım bir yükselteçle ölçülebilir düzeye yükseltilir. Elektronik teknolojisinin son yıllardaki gelişmesi sonucu bu yöntem, TV görüntüsü çekmeye benzer biçimde, fotograf çekiminde de kullanılmaktadır.

19. yüzyıl gök bilimcileri, birinci kadirden yıldızların altıncı kadirden yıldızlara göre 100 kat daha parlak olduğunu buldular. Kadir farkı 5 iken parlaklık oranının 100 olması demek, kadir farkı 1 iken parlaklık oranının 2.512 olması demektir. Çünkü,

(2.512) (2.512) (2.512) (2.512) (2.512) = 100

Bir yıldız diğerinden 2^m kadir daha parlaktır demek, (2.5) (2.5) = 6.3 kere daha parlaktır demektir. Kadir farkı ile parlaklık oranı arasındaki ilişki kesin matematiksel formülle ifade edilebilir: Eğer a yıldızının ölçülen ışık şiddeti L_a, b yıldızının ölçülen ışık şiddeti L_b ve bunlara karşılık gelen kadir değerleri, m_a ve m_b ise, aradaki bağıntı şudur :

$\backslash F(L_a,L_b) = 10^{0.4(mb-ma)}$

m_b-m_a=5 iken L_a/L_b=100 olduğunu kolayca kanıtlayabilirsiniz. Bu ifadenin en çok kullanılan biçimi ve matematiksel eş değeri şöyledir:

m_b-m_a=2.5 log$\backslash F(L_a,L_b)$

a yıldızı standard olarak seçilirse, yukarıdaki yöntemlerle ölçülen L_b den m_b hesaplanır, böylece bütün yıldızların kadirleri standart yıldıza (ya da yıldızlara) ayarlanmış olur.

Bu şekilde tanımlanan matematiksel kadir sınıfına göre, Hipparchus'un 1. kadir sınıfına koyduğu yıldızlardan bir kısmı, aslında sıfırıncı kadirden ya da daha parlaktır. Bugün en büyük teleskoplarla 29 uncu kadire kadar yıldızları kaydetmek (ölçmek) mümkündür. 29 ncu kadirden bir yıldız; 1 nci kadirden bir yıldızdan yaklaşık 160 milyar kere daha sönük, gözün görme sınırı olan 6 ncı kadirden 1,6 milyar kere daha sönüktür.

Salt Parlaklıklar

Bir kürenin yüzeyine serpilmiş gibi gözüken yıldızların aslında çok farklı uzaklıklarda olduklarını gördük. Yerden gözle ya da çağdaş teleskoplarla ölçülen parlaklık, görünen parlaklık (m) dir. Yıldızların gerçek ışınım güçlerini bulmak için, m yi uzaklığın etkisinden kurtarmamız gerekir.

Bir ışık kaynağının görünen parlaklığı, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değişir; örneğin, uzaklığı iki katına çıkarsa bize ulaşan ışık miktarı dört kat azalır. (Çünkü, bir nokta kaynaktan çıkıp bir koni içinde yayılan ışık, koninin eksenine dik kesitinin alanı gittikçe büyüdüğünden, gittikçe daha büyük alana yayılır; iki alanın oranı, bu alanların koninin köşesine olan uzaklıklarının kareleri oranına eşittir.) O hâlde yıldızların gerçek parlaklıklarını karşılaştırabilmek için hepsini aynı uzaklığa indirgemeliyiz.Yıldızların hepsini 10 parsek ya da 32.6 ışık yılı uzaklığa yerleştirdiğimizi ve parlaklıklarını yeniden ölçtüğümüzü düşünelim. Bu şekilde bulunan kadir değerlerine salt (mutlak) parlaklık denir. Örneğin 100 pc ötede bir yıldızın görünen parlaklığı 6. kadir olsun. Bunu 10 pc uzaklığa getirebilseydik 100pc/10pc = 10 ve 10^2 = 100 olduğundan parlaklığı 100 kat yani 5 kadir artardı ve salt parlaklığı +1 olurdu. Eğer bir yıldızın uzaklığı biliniyorsa, salt parlaklık şu formülden kolayca hesaplanır :

$$M = m + 5 - 5 \log r$$

Burada; M salt parlaklık, m ölçülen görünen parlaklık, r ise pc biriminde uzaklıktır. Bu, astronominin temel formüllerinden biridir.

Bütün yıldızları 10 pc yarıçaplı küre yüzeyine yerleştirebilseydik gök yüzü çok farklı görünürdü : Güneşin bizden uzaklığı r = 1GB = 1/206265 pc ve görünen parlaklığı m = $-26^m.74$ olduğuna göre, yukarıdaki formül M = $+4^m.83$ verir; bu durumda Güneşin çıplak gözle görülmesi çok zor olurdu. Uzaklığı $7^m.2$ pc olan Vega yıldızı yaklaşık yine aynı kadirde, yani Güneş'ten 50 kez daha parlak olurdu. Kuğu takım yıldızında Deneb için m = 1.25, r = 500 pc dir. Bunu 10 pc uzaklığa getirince, M = $-7^m.2$ olur: Vega'dan 1400 kez, Güneş'ten 65000 kez daha parlak. En parlak yıldızlar için M = -10^m olduğu ve uzaydaki sayılarının çok az olduğu anlaşılmıştır. Bize en yakın yıldız Proxima Centauri için, m = 11, r = 1.3 pc dir. Bu M = $15^m.5$ verir, yani parlaklığı 60 kez azalır ve Güneşten 18000 kere daha sönük olduğu anlaşılır.Yıldızların salt parlaklıkları 30^m den daha büyük aralığı kapsar.

Yıldızların Renkleri ve Sıcaklıkları

Açık bir gecede ve karanlık bir yerde yıldızları inceleyenler, yıldızların çeşitli renkler sergilediklerini bilirler. Örneğin; Avcı (Orion) takım yıldızında Betelgöz ve Akrep (Scorpius) takım yıldızında Antares kırmızı, Arabacı (Auriga) takım yıldızında Capella ve Güneş sarımsı, Çalgıcı (Lyra) takım yıldızında Vega ve Büyük Köpek (Canis Major) takım yıldızında Sirius beyazdır. Bu renkler yıldızların sıcaklıklarının göstergesidir.

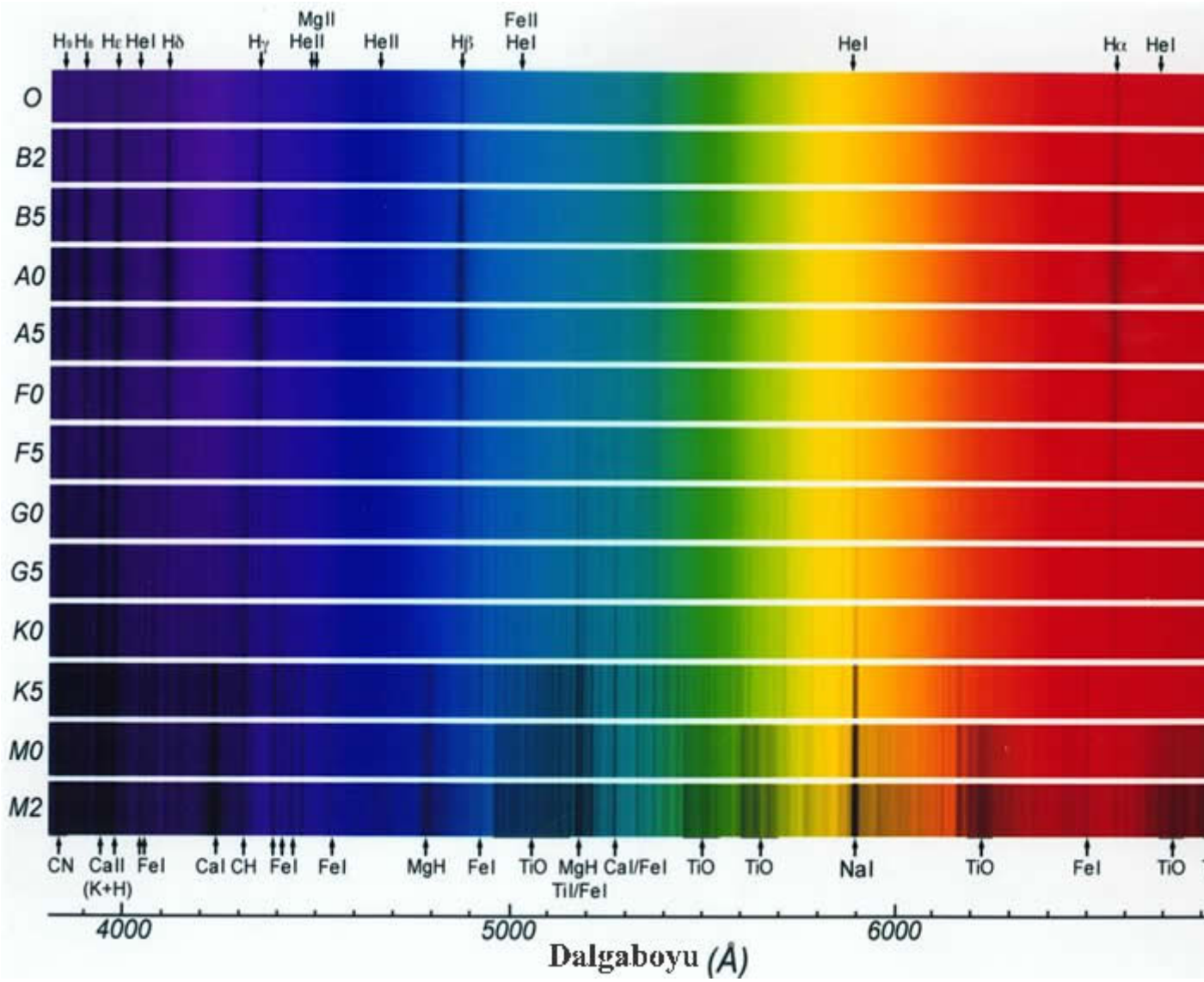
Yıldızlar yaklaşık olarak ideal bir karacisim gibi ışıma yaparlar. (bkz kesim 4.1). Merkezde üretilen ışınım, Güneş'te olduğu gibi, yüzeye ardışık soğurulma ve yeniden salınma ile ulaşır. Dolayısıyla dış atmosferden çıkan ve bizim gözlediğimiz ışınım ışık küre (ince yüzey katmanı) tarafından soğrulup yeniden salınan ışınımdır, yani bu dış katman oldukça iyi bir karacisim gibi davranır. Bu demektir ki yıldızların renkleri, Wien yasası nedeniyle, onların yüzey sıcaklıklarının bir göstergesidir: Kırmızı yıldızlar 3000°K yöresinde olup soğukturlar; sarı renkte olanlar 6000°K, beyazlar 10000°K, mavi yıldızlar 20000°K kadardır.

Yıldızın bütün dalga boylarında saldığı toplam ışınıma, bolometrik ışınım gücü (L_{bol}); buna karşılık gelen kadir değerine, bolometrik kadir (M_{bol}) denir. Yer atmosferi dalgaboylarının çoğunu geçirmediği için M_{bol} gözlenemez. Ayrıca, teknik nedenlerle de gök bilimciler bir yıldızın parlaklığını sınırlı dalgaboyu aralıklarında gözlerler. Örneğin; sarıya duyarlı film kullanılır ya da sarı süzgeçten geçirilen ışık (gözün en duyarlı olduğu bölge) ölçülürse görsel kadir elde edilir. Gözün gördüğü kadir'e en yakın kadir budur. Eğer maviye duyarlı fotograf filmleri kullanılırsa ya da mavi süzgeçten geçen ışık ölçülürse mavi kadir bulunur. İlk ölçülen yıldız parlaklıkları (19. yüzyıl sonlarında) bunlardır. Sonra gök bilimciler kadir sistemini kısa dalgaboyunda mora ve uzun dalgaboylarında kırmızıötesine kadar genişlettiler.

İki kadir arasındaki farka, renk ölçeği denir. Kadir cinsinden görsel (sarı) parlaklığı V, mavi parlaklığı B ile gösterirsek, renk ölçeği (B-V) yıldızın yüzey sıcaklığına bağlı olur. Dolayısıyla yıldızın rengi ve

uzaklığı (aradaki ilişki belirlendikten sonra) B-V den bulunabilir. Yıldızın sıcaklığı biliniyorsa, V den görsel salt parlaklık M_v; B den mavi salt parlaklık M_b hesaplanabilir.

Yıldızların çoğu için Yer atmosferinin kestiği ışınım miktarı çok değildir. Uydularla yapılan gözlemler yardımıyla bu ölçülürse, Yer yüzeyinden yapılan kadir ölçümleri düzeltilerek m_{bol} bulunabilir. Yıldızın uzaklığı ölçülmüşse M_{bol} ve dolayısıyla toplam ışınım gücü L hesaplanabilir. $L = 4\square R^2 \sigma T^4$ bağıntısından da yarıçap biliniyorsa sıcaklık, sıcaklık biliniyorsa yarıçap bulunabilir. Şimdi bunu Güneş'e uygulayıp yüzey sıcaklığını bulalım: Kesim 4.2 de Güneş'in ışınım gücünü $L = 3.8 \times 10^{26}$ watt, yarıçapını $R = 7 \times 10^8$ m bulmuştuk. Bunları yukarıda yerlerine koyarsak, $T^4 = L/4\square R^2 \sigma = 0.11 \times 10^{16}$ ve iki defa arka arkaya karakök alırsak (dördüncü derceden kök), T = 5780°K bulunur. Buna, güneşin etkin sıcaklığı denir.



Şekil 4.14: Tayf sıralamasını gösteren bir örnek dizi. Hidrojenin soğurma (siyah) çizgilerinin A dan B ye ve A dan G ye doğru gittikçe zayıfladığına dikkat ediniz. Diğer bazı elementlere ait çizgilerin hangi tür yıldızda kuvvetli veya zayıf olduğunu incelemeniz gerekir..

Yıldızların Sınıflandırılmaları

Newton, Güneş ışığının prizma ile renklerine ayrıştırılabileceğini göstermişti. Daha sonra 19. yüzyıl başlarında, önce ince bir yarıktan sonra da prizmadan geçirilen güneş ışığında karanlık boşluklar olduğu anlaşıldı. Bunlara, bugün, soğurma çizgileri denir. Alman Fraunhofer, 1815'e kadar Güneş'te 300 den fazla soğurma çizgisinin dalgaboyunu listeledi. Sonradan yapılan lâboratuar deneyleri, bu

çizgilerin farklı elementlerin atomlarından kaynaklandığını gösterdi. 19. yüzyıl gök bilimcileri spektroskop denen âletle yıldızlara baktıklarında, çeşitli spektrumla karşılaştılar; çoğu Güneş'in spektrumundan farklı gözüküyordu.

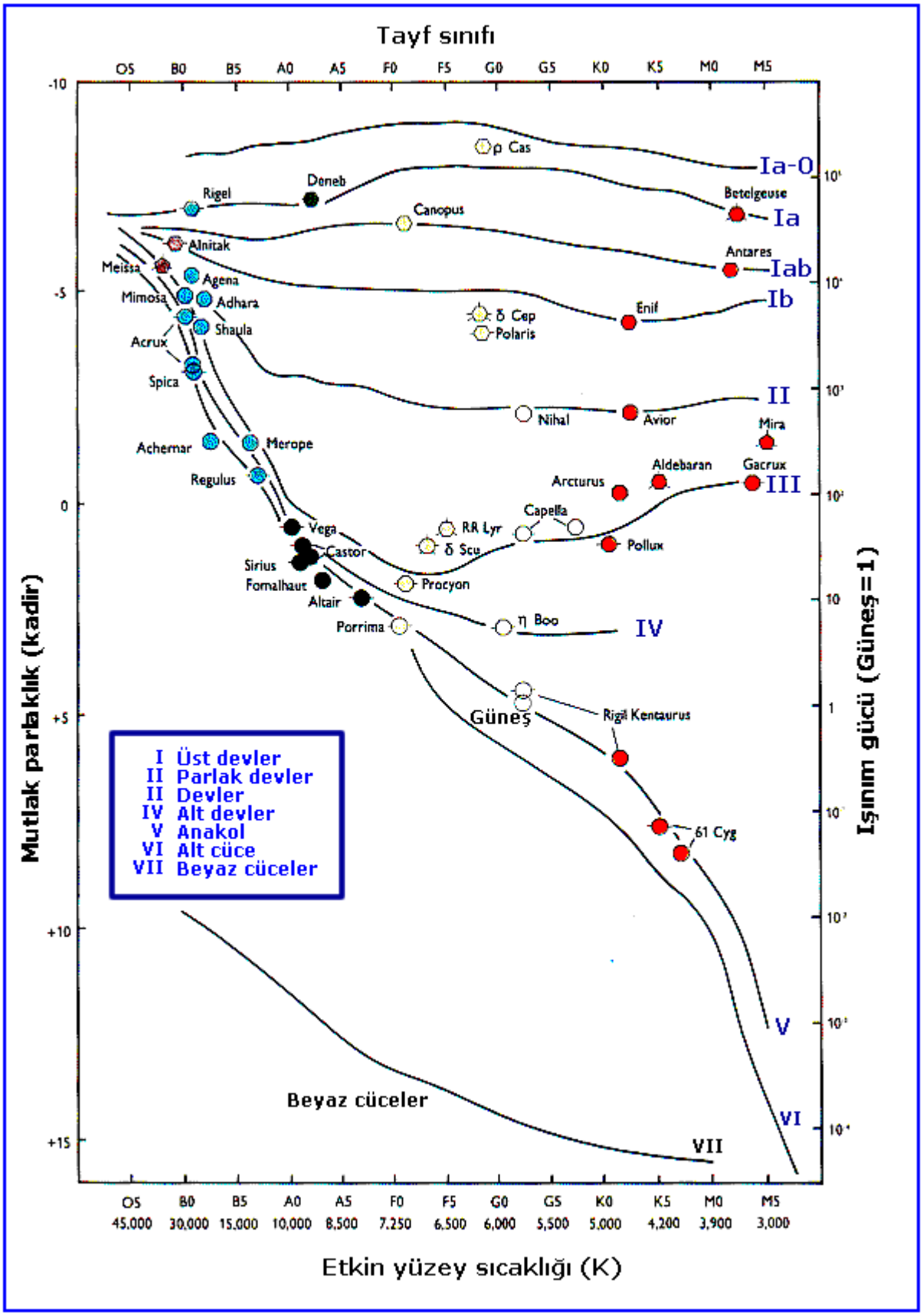
Benzerlikleri ve farklılıkları anlamak için yıldızların tayfları sınıflara ayrıldı. 1890'lara kadar Harward Gözlemevi'nde geliştirilen sınıflama bugün hâlâ kullanılmaktadır. Tayf başlangıçta hidrojen (H) çizgilerinin şiddetine göre sınıflandı. En kuvvetli olanlara A, sonra B, C.... O'ya kadar. Daha sonra C, D, ... gibi bazı harflere gerek olmadığı anlaşıldı, geriye ABFGKMO sıralaması kaldı (hidrojen sıralaması). Tayfta (Ca, Fe, TiO gibi) diğer element ve molekül çizgileri de göz önünde bulundurarak yeniden sıralama yapılınca, OBAFGKM dizisi ortaya çıktı. Bunun bir sıcaklık ve dolayısıyla bir renk sıralaması olduğu anlaşıldı: O, B mavi; M kırmızımsı. Daha sonraki çalışmalar bunun kaba bir sınıflandırma olduğunu gösterdi ve her sınıf 10 alt sınıfa bölündü: B1, B2, B3,.....B9; A0, A1, A2, ... gibi . Bugün bu sınıflama kullanılmaktadır. bu sınıflamada Güneş G2 sınıfındandır.

Çizelge 4.2: Yıldızların renk ve sıcaklıkları.

Tayf	Renk	Renk ölçeği (kadir)	Etkin sıcaklık (°K)	Örnek yıldız
O	mavi	- 0.3	28000-50000	∑ Ori
B	mavi - beyaz	- 0.2	10000-28000	Rigel
A	beyaz	0.0	7000-10000	Vega
F	sarı - beyaz	0.3	6000- 7400	Procyon
G	sarı	0.7	4900- 6000	Güneş
K	turuncu	1.2	3500- 4900	Arcturus
M	kırmızı	1.5	2000- 3500	Betelgeuse

Bu sınıfların fiziksel açıklaması ancak 1920 lerden sonra, atomun yapısı anlaşılınca yapılabildi. Sürekli (dalgaboyuna göre boşlukları olmayan) bir ışık kaynağından ya da sıcak bir karacisimden çıkan ışınım, soğuk ve daha az yoğun bir gazın içinden geçince, soğurma spektrumu elde edilir (bkz. Şekil 1.46). Yıldızın iç kısmındaki sıcak ve yoğun gazdan gelen ışınım daha soğuk ve daha az yoğun atmosferden geçerken, atmosfer içinde hangi çeşit atom varsa, o atomlar tarafından belli dalgaboylarında seçici olarak soğurulur, böylece o dalga boylarında ışınım enerjisi azalır, işte bunlar soğurma çizgileridir. M tipi gibi soğuk yıldızların atmosferlerinde elementlerin nötr atomları ve moleküller vardır, soğurma çizgileri de bunların parmak izleridirler. Daha sıcak yıldızlarda ağır elementler, ve en sıcak yıldızlarda hidrojen iyonlaştığı için soğurma çizgileri de onların parmak izlerini taşır.

19. yüzyıl başlarında, Danimarkalı E. Hertzsprung ve Amerikalı M.R. Russell tarafından yıldızların sıcaklıkları ile toplam ışınım güçleri arasında önemli bir ilişki bulundu. Uzaklığı bilinen yıldızların salt parlaklıkları tayf sınıfına karşı noktalanınca yıldızların belli kollarda toplandığı görüldü (Şekil 4.15). Buna Hertzsprung - Russell ya da kısaca HR diyagramı denir. Bugün tanınan kollar, adlarıyla birlikte şekilde gösterilmiştir. (Dikey eksende parlaklığın yukarı doğru arttığına dikkat ediniz.) Yıldızların çoğu ana kol diye adlandırılan kol üstünde bulunur, bunlara cüceler de denir. Ana kol üstünde M tipinden O tipine doğru sıcaklık, yarıçap ve kütle artar. Işınım güçlerindeki artış da $L = 4\square R^2 \sigma T^4$ karacisim formülüne oldukça iyi uymaktadır. Dev ve üstdevler, adlarından anlaşılacağı gibi, aynı sıcaklıktaki ana kol (cüce) yıldızlarına göre çok büyük olan yıldızlardır. Örneğin; M tipi δ Cephei için yarıçap 11.8 GB dir, yani Satürn'ün yörünge yarıçapından daha büyüktür.



Şekil 4.15: HR diyagramı.

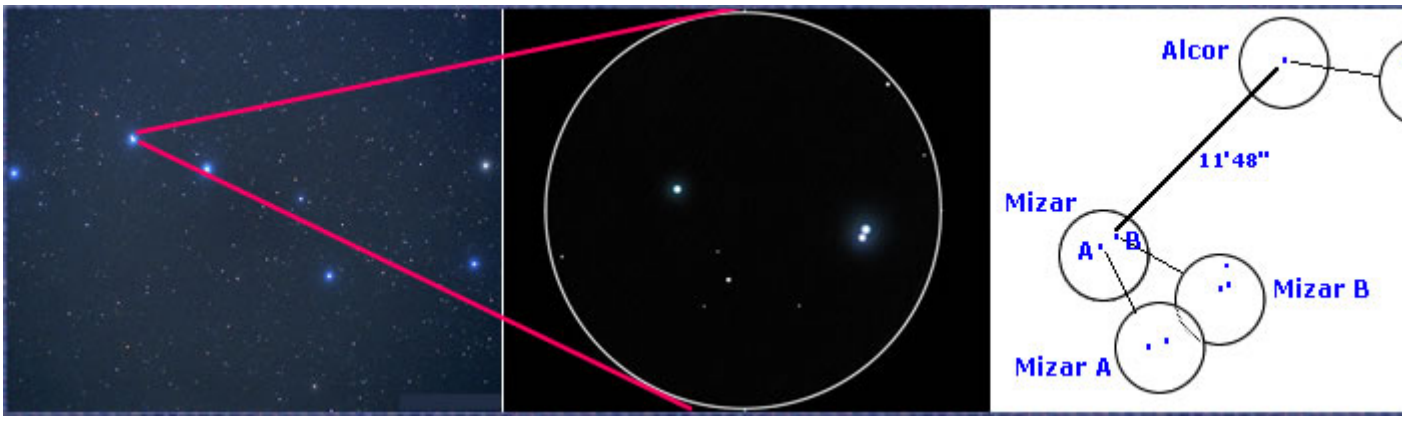
4 Çift Yıldızlar; Yıldızların Kütleleri ve Çapları

Çıplak gözle göğü, açık ve temiz bir gecede incelediğimiz zaman, yıldızların çoğunun tek olduğunu, az sayıda yıldızın çift denebilecek kadar birbirlerine yakın olduğunu görürüz. Halbuki teleskoplarla yıllarca süren gözlemler göstermiştir ki yıldızların en az yarısı ikili (çift), üçlü ya da çoklu dizgelerdir. Örneğin; bize en yakın yıldız Proxima Centauri üçlü bir dizgenin üyesidir. Uzaklıkları çok farklı fakat raslantı sonucu aynı doğrultuda hizalandıkları için çift görünenler gerçek çift yıldız değillerdir; onlara, optik çift yıldız denir.

Gerçek çift ya da çoklu dizgeler Newton yasalarına göre birbirlerine kütlesel çekimle bağlıdırlar, ortak kütle merkezi etrafında yörüngelerde dolanırlar (Güneş sistemi gibi).

Görsel Çift Yıldızlar

Birbirlerine kütlesel çekimle bağlı ve çıplak gözle ya da teleskopla çift olarak görülen yıldızlara görsel çift yıldız denir. Büyük Ayı takım yıldızındaki Mizar gibi (Şekil 4.16).

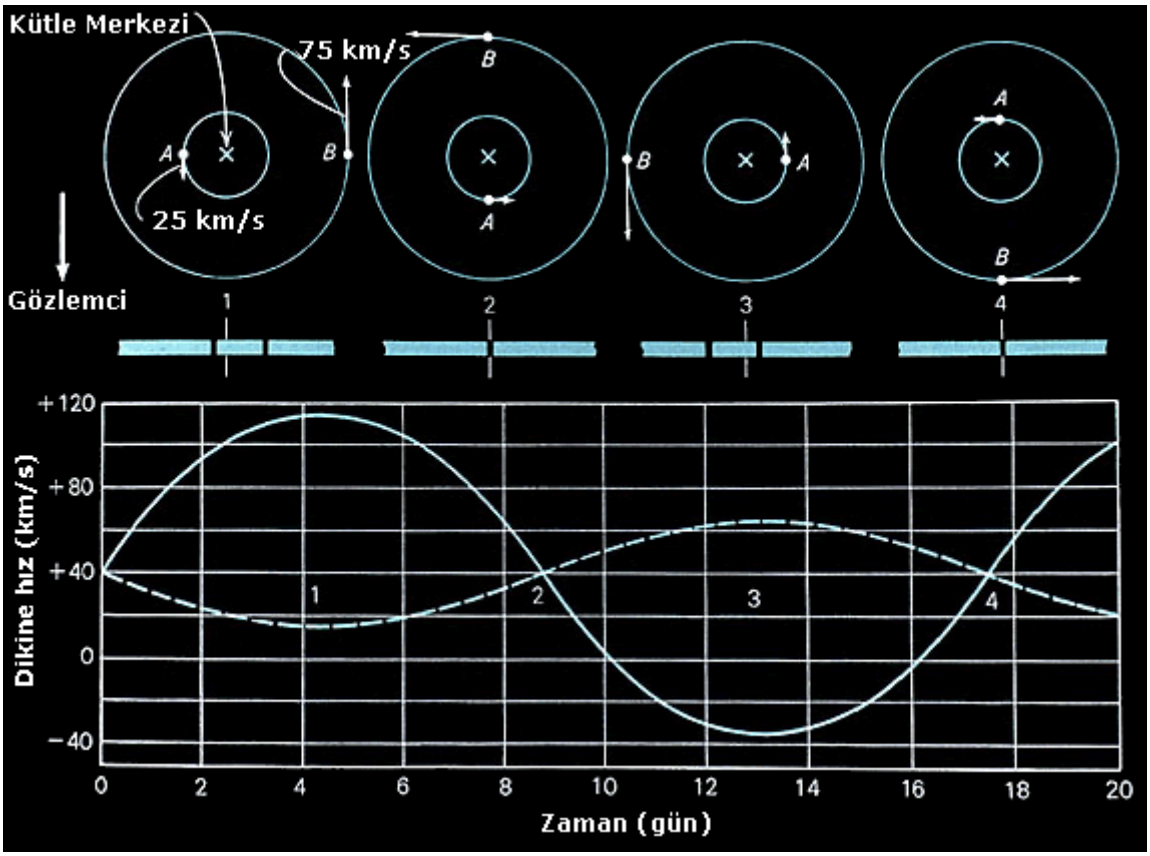


Şekil 4.16: Büyük Ayı takım yıldızında Mizar ve Alkor optik çift, Mizar görsel çift, Mizar A ve Mizar B ayrı ayrı birer tayfsal çifttir.

Tayfsal Çift Yıldızlar

İki yıldız birbirine çok yakınsa teleskopla bile ayrıştırılamaz, tek yıldız gibi görülür. Fakat tayfları yardımıyla çift olduğu anlaşılabilir: Ortak kütle merkezi etrafında dolanan, A ve B iki yıldız olsun. Şekil 4.17 de (a) ve (c) durumunda tayf çizgilerilerindeki Doppler kayması aynıdır. (b) ve (d) durumlarında yıldızların biri bize (gözlemciye) yaklaşırken diğeri uzaklaşıyor. Uzaklaşan yıldızın tayf çizgisi daha uzun dalgaboylu, yaklaşanınki daha kısa dalgaboylu olacak, dolayısıyla yanyana iki çizgi gözükecektir.

Yeteri kadar uzun bir zaman aralığında gözlendiğinde bazen tek, bazen çift çizgi görülüyorsa ve çizgiler dönemsel (periyodik) olarak yer değiştiriyorsa; o zaman, yıldızın çift olduğunu anlarız. Böyle yıldızlara, tayfsal çift yıldız denir (Şekil 4.16, 4.17).



Şekil 4.17: Tayfsal çift yıldız. A ve B yıldızları ortak kütle merkezi (KM) çevresinde dolanırlar. Tayf çizgilerinde, (a) ve (c) de kayma yok; (b) ve (d) de kayma en büyük.

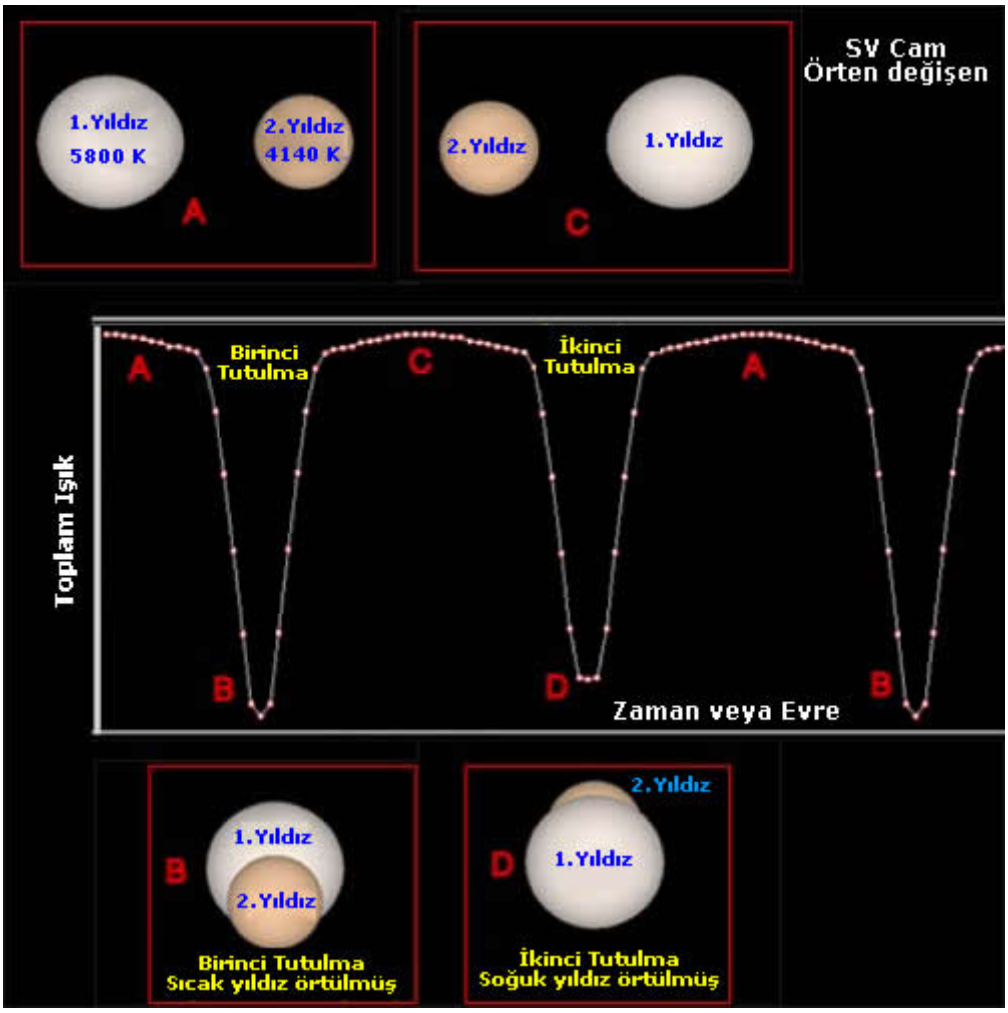
Örten Çift Yıldızlar

Kimi çift yıldızların yörünge düzlemleri ya tam olarak ya da yaklaşık olarak bakış doğrultumuzla çakışır. O zaman çiftin bileşenleri yörünge hareketi yaparken, sıra ile birbirlerinin önünden geçer ve ötekinin ışığını engeller. Bunlara, örten çift yıldızlar denir. Bileşenlerden biri örtülünce bize ulaşan toplam ışık azalır. Gelen ışığı zamana karşı noktalarsak, Şekil 4.18 deki gibi bir eğri elde ederiz.

Yıldızlardan biri büyük, diğeri küçük olsun ve küçük yıldız daha sıcak olsun. Küçük yıldız ok yönünde dolansın. Küçük yıldız ab ya da ce arasında iken toplam ışığı görürüz. bc ya da ef arasında ise daha az ışık alırız. b'c' arasında soğuk ve büyük yıldızın bir kısmı, e'f' arasında ise küçük ve sıcak yıldızın tamamı örtülür. Sıcak yıldızın birim alanından çıkan ışık daha çok olduğundan e' f ' arasında aldığımız ışık en az olur.

Eğer çiftin yörünge düzlemi bakış doğrultusuna biraz eğik ise b'c' arasında ya da e'f' arasında tam örtme olmayabilir. O zaman ışık eğrisinde b'c' ve e'f' düz kısımları kısalır, noktaya dönüşür. Bu demektir ki ışık eğrisinden yörüngenin ne kadar eğik olduğu hesaplanabilir.

Gerçek ışık eğrileri bu kadar düzgün olmayabilir. Kimi çift yıldızlarda bileşenlerden birinin ışığı ötekinin üzerinden yansıyarak bize gelir; kiminde Güneş'teki gibi belirgin kenar kararması olur; kiminde de bileşenler birbirlerine çok yakın olduklarından kütle çekimi nedeniyle şekilleri bozulur, "armutlaşırlar". Bu ve benzeri nedenlerle Şekil 4.18 de verilen ışık eğrisindeki köşeler yuvarlaklaşır, düz kısımlar düz olmayabilir.



Şekil 4.18: Bir örten çift yıldızın ışık eğrisi.

Şekil 4.15: HR diyagramı.

Yıldızların Kütleleri

Bir yıldızın tüm özelliklerini onun kütlesi belirler; örneğin ışınım gücü, sıcaklığı, yarıçapı, ömrü ve hatta "ölüm" biçimi kütlesinin fonksiyonudur. Bizden uzakta olan, bir kantara koyup tartamayacağımız yıldızların kütlelerini nasıl buluruz?

Ay, Yer çevresinde dolanır; Jüpiter'in çok sayıda uydusu Jüpiter'in çevreside çok farklı yörüngelerde dolanır. Gezegenler Güneş çevresinde dolanır. Bunların hepsi Newton tarafından kuramsal temele oturtulan Kepler yasalarına uyarlar. Kepler yasaları kullanılarak Güneş sisteminde kütleler nasıl bulunuyorsa (Bölüm 1) yıldızlarda da temel ilke aynıdır: Bir yıldızın kütlesini bulabilmemiz için o yıldızın bir çift yıldız dizgesi içinde olması gerekir.

Newton tarafından düzeltilen Kepler'in üçüncü yasası: M_1 ve M_2 kütlelerini Güneş kütlesi cinsinden, bileşenler arasındaki uzaklık a yı GB cinsinden, dolanma dönemi P'yi de yıl cinsinden yazarsak şöyle olur:

$M_1+M_2 = \backslash F(a^3,P^2)$ (1)

Kimi görsel çift yıldızlar yeteri kadar uzun süre gözlenirse birleşenlerden birinin öteki etrafındaki dolanma süresi (gökte tekrar aynı konuma gelmesi için geçen süre), P, bulunabilir. Eğer uzaklığı (örneğin ıraklık açısı yöntemiyle) biliniyorsa, bileşenler arasındaki gözlenebilir açısal uzaklıktan, a da hesaplanabilir. Böylece yukarıdaki formül toplam kütleyi verir.

İki yıldız ortak bir kütle merkezi çevresinde dolanır. Herhangi bir anda iki yıldızı birleştiren doğru ortak kütle merkezinden geçer. Herbirinin ortak kütle merkezine olan uzaklığı, kütlesinin büyüklüğüne bağlıdır. Bileşenlerin kütle merkezine uzaklıkları, a_1 ve a_2 ise $M_1a_1=M_2a_2$ bağıntısı geçerlidir. Teleskop içinde görülen çevredeki yıldızlar başvuru olarak seçilerek, (ya da sağaçıklık ve dikaçıklık ölçülerek) dikkatli gözlemlerle kütle merkezi belirlenebilir. Bu, a_1 ve a_2 yi dolayısıyla kütle oranını verir: (a da $a_1+a_2=a$ dan bulunur).

\F(M_1,M_2) = \F(a_2,a_1) (2)

Böylece, 1 ve 2 denklemlerinin ortak çözümüyle kütleler ayrı ayrı belirlenir. Örneğin; Sirius AB sisteminde P = 50 yıl, a = 20 GB, $a_2 = 2.2a_1$ gözlenmiştir. Bunlar, (1) ve (2) de yerlerine konursa, M_1 = 2.2 ve M_2 = 1.0 bulunur.

Tayfsal çift yıldızlarda kütleleri ayrı ayrı bulamayız, çünkü yörüngenin bakış doğrultusuna ne kadar eğik olduğu belli değildir. Yalnız kütlelerin oranı bulunabilir. Eğer tayfsal çift yıldız hem de örten ise (çok karşılaşılan durum) o zaman hem eğim hem de (uzaklık biliniyorsa) a hesaplanabilir. P ise ışık eğrisinden ya da "radyal hız eğrisinden" bulunur. Böylece kütleler, ayrı ayrı bulunabilir.

Yıldızların Yarıçapları

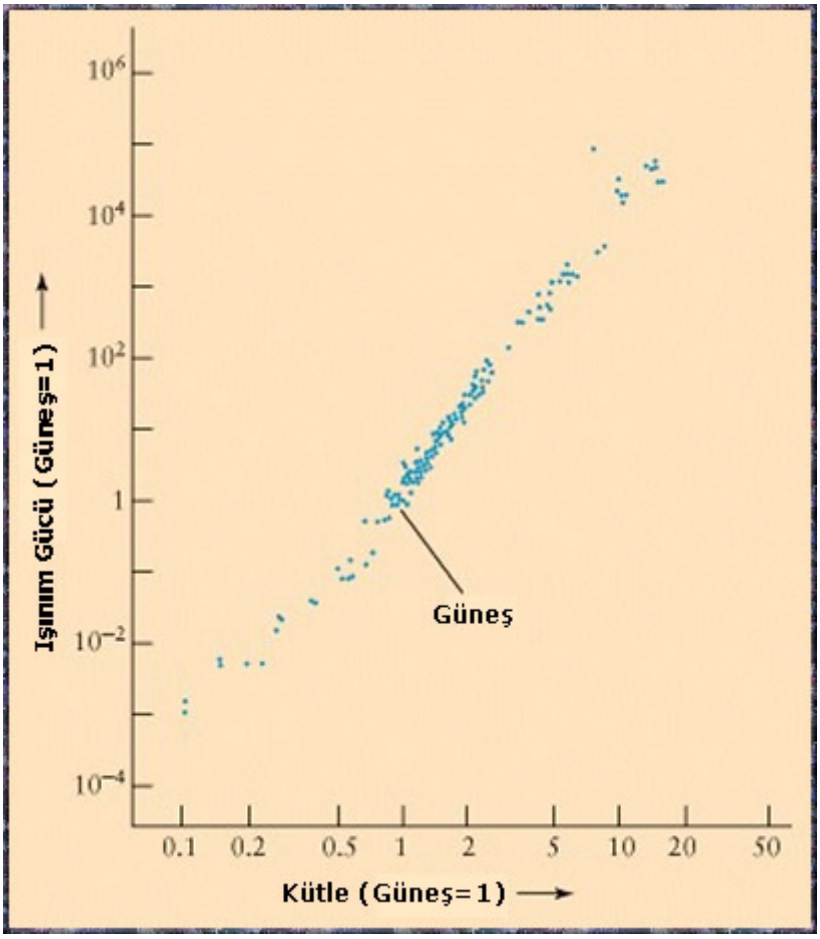
Bir yıldızın yarıçapı doğrudan iki yolla ölçülebilir:

(1) Açısal çaptan: Yıldızın çapını Yer'den gören açı ölçülebilir. Uzaklığı da belli ise bu, yıldızın yarıçapını kolayca hesaplamamızı sağlar. Bu yöntem ancak açısal çapı ölçülecek kadar bize yakın olan 10-15 yıldız için geçerlidir. Yıldızların çoğu uzak olduklarından nokta gibi gözükürler.

(2) Örten çift yıldızlardan: Örten çift yıldızların ışık eğrileri ve tutulma süreleri her zaman gözlenebilir. Şekil 4.18 de gösterilen sistemde ve eğride bb' ve ee' arasında geçen süre; küçük yıldızın yarıçapına, yörünge hızına ve yörünge eğikliğine bağlıdır. b'c' ve e'f' arasında geçen süre de yine; yörünge hızına, yörünge eğikliğine ve büyük yıldızın yarıçapına bağlıdır. Yörünge eğikliğini ışık eğrisinden buluruz. Bunun tayfsal gözlemlerle birleştirilmesi hem yörünge hızını hem de iki bileşen arasındaki uzaklık a yı verir. Işık eğrisinden her zaman R_1/a ve R_2/a bulunabilir. Böylece yıldızların, R_1 ve R_2 yarıçapları ayrı ayrı bulunmuş olur.

Kütle Parlaklık Bağıntısı

Yıllarca süren binlerce gözlem ve ölçüm sonucunda biriken bilgiler, yıldızlar fiziğinin en temel bağıntılarından birini vermiştir: Bu bağıntı, ana kol yıldızları için kütle ile parlaklık (ışınım gücü) arasındaki bağıntıdır.



Şekil 4.19: Kütle parlaklık bağıntısı.

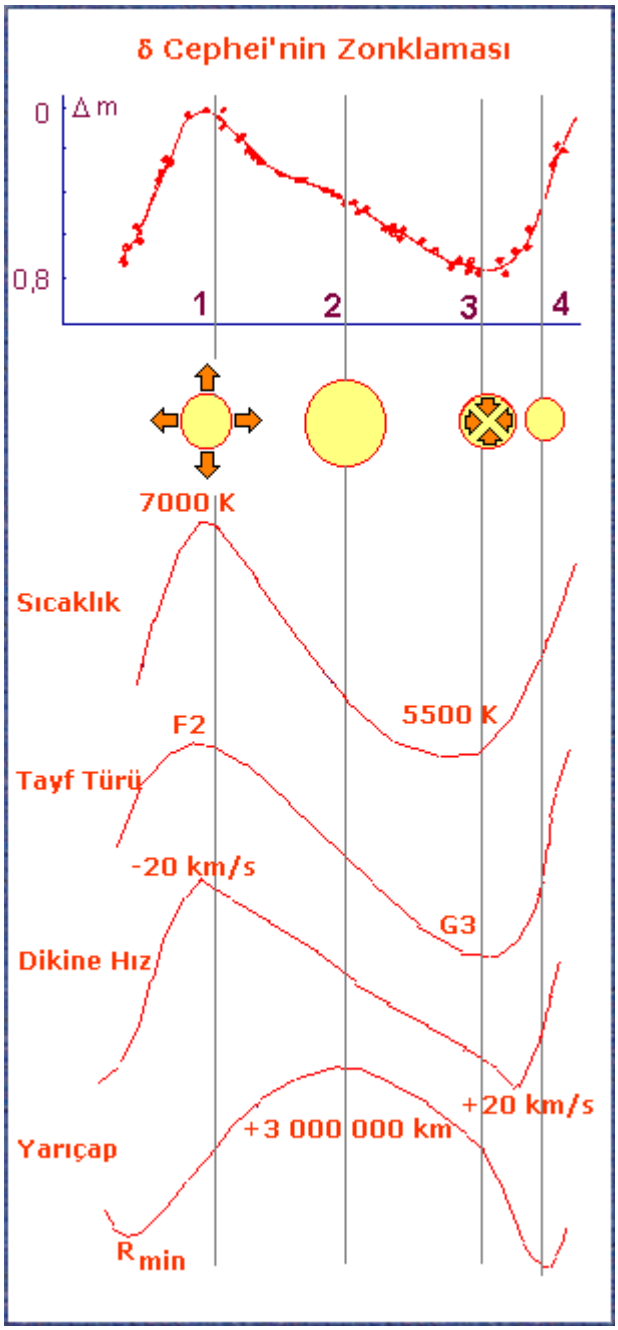
Yıldızın kütlesi büyüdükçe salt bolometrik parlaklık da artmaktadır. Küçük kütleli yıldızların salt parlaklıkları da küçüktür. Akyıldız'ın (Sirius A) kütlesi Güneş'in kütlesinin 2.2 katıdır ve parlaklığı 20 kat fazladır. Ayrıca parlaklık arttıkça yarıçap da artmakdadır. O hâlde ana kol boyunca yıldızların sıralanması; sıcaklık, yarıçap, renk ve kütle sıralanmasıdır. Güneş ortalara yakın bir yerdedir. Gözlenen en hafif yıldızın kütlesi 0.08 $M_\odot$ dir. En ağırları 40 - 50 $M_\odot$ kadardır. Sayı olarak küçük kütleli yıldızlar çok, büyük kütleliler ise azdır; doğa tercihini küçük kütlelilerden yana kullanmaktadır.

Devlerin kütleleri kabaca 1 - 6 $M_\odot$ arasındadır. Süper devler 10 $M_\odot$ ve daha büyük kütleli olabilir. Beyaz cüceler şaşırtıcı sonuç vermiştir: Çoğunun kütlesi 0.6 $M_\odot$ kadardır. Sirius B nin kütlesi (Yukarıdaki örnekte bulmuştuk.) 1 $M_\odot$ dir. Halbuki yarıçapı, Yer yarıçapı kadardır. Buradan yoğunluğu hesaplanırsa 1 ton/cm^3 bulunur (bkz kısım 4.7).

5 Değişen Yıldızlar

Bunlar, ışınım güçleri yani parlaklıkları zamanla değişen yıldızlardır; kiminin değişimi gelişigüzel, kiminin düzenlidir. Parlaklık dikey eksen, zaman yatay eksen olmak üzere çizilen grafiğe, ışık eğrisi denir. Işık eğrisinin biçimi değişen yıldızın çeşidini belirler.

Sefeidler: Adını değişen olarak ilk keşfedilen Cepheus takım yıldızında 3. kadir yıldız ™ Cephei den alır. Parlaklığı hemen hemen 1 kadir değişir. Bu, ışınım gücünde 2 kat değişim demektir. Işık eğrisi her 5.4 günde bir düzenli olarak kendini tekrar eder. Kutup yıldızı dört günde bir 0.1 kadir değişen bir başka sefeiddir. Sefeidlerin dönemleri genel olarak 1 gün ile 70 gün arasındadır. Dönemi bir günden küçük olan sefeidler RR Lyrae yıldızları adıyla bilinirler.



Şekil 4.20: ™ Cephei yıldızının parlaklık, radyal hız, yarıçap ve sıcaklık değişimi.

Sefeidler zonklayan, yani büzülüp genişleyen üstdev ya da dev yıldızlardır. Örneğin; ™ Cephei'nin yarıçapı % 6 değişir; bu, R = 60 $R_{\odot}$ olduğundan, 2.4 milyon km lik değişim demektir. Işınım değişiminin nedeni hem bu yarıçap değişimi hem de sıcaklık değişimidir (Şekil 4.20). Bugün binlerce sefeid değişeni bilinmektedir. Bunlar astronomide en önemli gök cisimleri arasındadırlar, çünkü uzaklık göstergesi olarak kullanılırlar.

Sefeidlerin ışınım değişim peryotları (dönemleri) arttıkça (ortalama) parlaklıkları da artar. 1912 de keşfedilen bu bağıntıya, sefeidlerin dönem-parlaklık bağıntısı denir. Bu bağıntı astronomide çok önemli uzaklık bulma yöntemi oluşturmuştur. Bir galaksi içinde bir sefeid varsa onun ışık eğrisi, ışık eğrisinden ortalama parlaklığı m ve peryodu P bulunur. Peryot - parlaklık bağıntısı salt parlaklık M yi verir. M = m + 5 - 5 log r bağıntısından da uzaklık r hesaplanır. Bu yolla, milyonlarca ışık yılı ötedeki galaksilerin uzaklıkları bulunmuştur.

Bir başka değişen yıldız çeşidi Mira Ceti yıldızlarıdır; bunlara, "uzun dönemli değişen yıldızlar"da denir. En iyi bilinen örneği Mira'nın kendisidir (0 Ceti). Mira en parlak iken görünen kadiri 3 ile 5 arasında (Çıplak gözle görülebilir.), en sönük iken 8 ile 10 kadir arasındadır. M tipi kırmızı dev olan Mira 330 günlük bir dönemle zonklar, yarıçapı % 50, parlaklığı 7 kadir kadar değişir; bu ışınım gücünde 600 kat değişme demektir. Binlerce Mira (uzun dönemli değişen yıldız) bilinmektedir. Hepsi de M tipinde ya da daha kırmızı (R, N, S ile gösterilen tayf türünden) devlerdir. Dönemleri 100 gün ile birkaç yıl arasındadır. Bir başka değişen yıldız grubu, yarı düzenli değişen yıldızlardır. Bunlar; M, R, S, N, tayf türünden soğuk yıldızlardır. Kararlı ışık eğrileri yoktur, dönemleri de karasızdır; ortalama bir "çevrim" den söz edilebilir. Bu çevrim 20 günden birkaç yıla kadardır. Parlaklıkları 0 - 1 kadirden 3 - 4 kadir'e kadar değişebilir.

Soğuk (M ve daha soğuk) yıldızların bir kısmı tamamen düzensiz değişen yıldızlardır. Değişme nedeni karmaşık zonklama sayılmaktadır. Bir başka düzensiz değişen yıldızlar, T Tauri diye bilinen genç yıldızlardır; çevrelerinde yaygın bulutsular bulunur. Bunların değişme nedeni zonklama değildir, çevrelerinde ve atmosferlerindeki değişimlerdir. Aslında $L = 4\square R^2 \int T^4$ bağıntısına göre yarıçapında ve/veya sıcaklığında hissedilir değişim gösteren tüm yıldızlar, değişen yıldız sayılabilir.

Novalar: Nova (yeni yıldız)lar, beklenmedik bir anda birden parlayan (bazen gözle görülmediği hâlde görülecek kadar parlak hâle gelen), ışık şiddetini belkide binlerce kat arttıran yıldızlardır. Patlama birkaç saat içinde olur, sonra haftalar, aylar, belki de yıllar sonra hemen hemen eski düzeyine ulaşır. Sonra bu patlama tekrarlanabilir. Patlamada, kütlesinin on binde birinden az bir kısmını genişleyen kabuk olarak dışarıya atar. Örneğin; 1918 de patlayan Nova Aquilae parlaklığını + 5 den - 8 kadir'e (13 kadir) artırdı, attığı gazın hızı 1700 km/s ye ulaştığı gözlendi. Gözlemler novaların, bileşenlerden birisi beyaz cüce olan çift yıldız olduklarını göstermektedir; diğer yıldız bir kırmızı devdir ve atmosferi genişlemektedir. Genişleyen maddenin bir kısmı beyaz cücenin kütle çekimi alanına girer ve beyaz cüce üzerine dökülür. Hidrojenini daha önce tüketmiş olan beyaz cüce, yeni toplanan ve hidrojence zengin gazı yeterince biriktirince, yüzeyde çekirdek tepkimeleri başlar, ısınan gaz patlamalı olarak atılır, sonunda beyaz cüce eski durumuna döner. İşlem tekrarlanabilir.

Süpernovalar: Kasım 1572'de Tycho Brahe, çevresindeki yıldızlardan çok parlak yeni bir yıldız gördü ve onun parlaklığının kaydını tuttu. Parlaklığı - 4 kadire ulaştı, Venüs'ten daha parlak idi ve gündüz görülebiliyordu. 100 gün sonra Vega parlaklığına düştü, Mart 1574'te gözden tamamen kayboldu. Benzer bir olayı Kepler kaydetti. Kepler'in süpernova'sı Ekim 1604 de patladı, -2.5 kadire ulaştı, 1605 kışında da görülmez oldu. Kendi galaksimizde en son gözlenen süpernova budur. Diğer galaksilerde, gözlenen süpernovaların en parlak anında hemen hemen galaksilerin toplam parlaklığına denk parlaklığa ulaştıkları görüldü. Bunların gerçek doğası ancak 1930'lardan sonra anlaşılmaya başladı. Süpernova olayı, yıldızın yaşamının sonuna yaklaşırken patlayıp tümüyle yok olması olayıdır, bu sırada 10 milyar Güneş'e denk enerji açığa çıkmaktadır. Bunlardan birisi, Vega'nın uzaklığında (25 ışık yılı ötede) patlasaydı 100 tane dolunay parlaklığında olurdu. Bugüne kadar, patlama öncesinde ve patlama sonrasında iyi gözlenen tek süpernova 1987'de 160000 ışık yılı ötede, Büyük Macellan Bulutu'nda patlayan süpernovadır. Bunun gözlemleri hâlâ sürdürülmektedir; gözlenen özellikleri ağır elementlerin yıldızlarda üretildiğini, patlayan maddenin yüksek hızlarla uzaya yayıldığını savunan kuramlarla uyuşmaktadır.

6 Yıldızların Oluşumu ve Evrimi

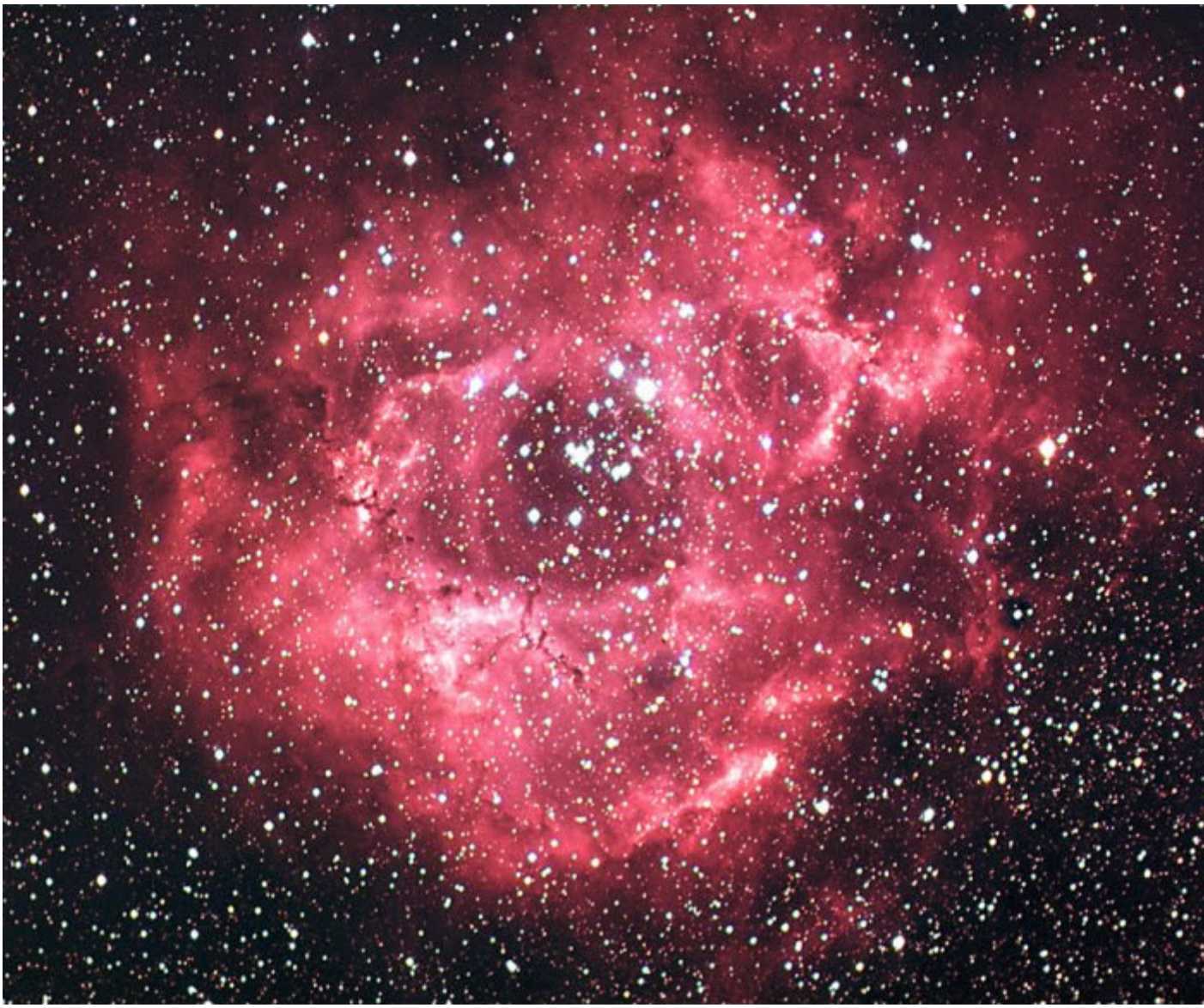
Acaba yıldızlar, örneğin insanlar gibi, doğar, yaşar ve ölürler mi? Jeolojik kanıtlardan Yer küre'nin yaşının 4.5 milyar yıl olduğunu biliyoruz. Demek ki bizim yıldızımız Güneş, en az 4.5 milyar yıldır, Yer küre'ye ışık veriyor. Insan ömrü ya da bilimsel kayıtların tutulduğu zaman aralığı, bunun yanında çok kısa olduğuna göre yukarıdaki soruyu nasıl yanıtlayacağız? Yeni doğmuş yıldızları tanıyabilir miyiz? Cüce yıldızlar mı önce ortaya çıktı, devler mi ? Nasıl bileceğiz?

Bugün bu soruların yanıtlarını oldukça iyi biliyoruz. Bir yıldıza, doğumundan ölümüne kadar elbette tanık olmamız olanaksızdır, fakat yıldızları yaş sıralamasına koyabiliriz. Bir benzetme yapalım: Diyelim ki insanları hiç bilmeyen bir akıllı uzaylı, bir kaç saatliğine Dünyamızı ziyaret ediyor. İyi bir gözlemci olan bu uzaylı bir okul bahçesinde oynayan çocukları, emekliyenleri, annesinin bakımı altında olanları izleyebilir; hatta bir doğum evini görebilir. Bastonla dolaşan yaşlılara, hatta ölüm olayına (özellikle Türkiye'de kara yolu trafiğini incelediyse) tanık olabilir. Bu bilgilerden insanın yaş sıralamasını çıkarabilir.

Gök bilimcinin yıldızlara ilişkin yaklaşımı bundan farklı değildir. Yıldızların oluşumu (doğumu), evrimi (gelişmesi) ve ölümüne ilişkin fiziksel olayların ayrıntılarını tam olarak bilmiyoruz, fakat temel konu iyi anlaşılmıştır.

Yıldızların Oluşumu

Samanyolu'nda çıplak gözle ya da optik teleskoplarla bakıldığında ya da en iyisi fotograf çekildiğinde, çok sayıda yıldızsız karanlık bölgeler, yaygın parlak bulutsular içinde düzensiz dağılmış karanlık kesimler, karanlık çizgiler görülür (Şekil 4.21). Kimi parlak bulutsuların içinde ya da üzerine iz düşürülmüş görülen, çok küçük karanlık lekeler vardır; bunlara, yumru diyelim.



Şekil 4.21: Rosette bulutsusu ve içinde ya da üzerine iz düşürülmüş karanlık yumrular, karanlık çizgiler.

Eğer kımızıötesi ışıkta bakarsak, bu karanlık bulutların yıldızlarla dolu olduğunu görüyoruz. Bu yıldızlar çok genç yıldızlardır. Bulutlar da onların doğum evleridir. Yeni oluşmakta olan bu yıldızların ışığını çevredeki toz engellediği için bu yıldız fabrikaları ancak kırmızıötesi ve radyo gözlemlerle incelenebilir.

Yıldızlar, çoğunlukla hidrojen moleküllerinden (H_2) olan yıldızlararası gaz ve toz bulutlarının kendi kütle çekimi altında büzülmesi ile oluşur. Kimi dev bulutlar büyük kütleli yıldızları, 5-20 yıldız içeren yıldız

öbeklerini, sıcak O yıldızı topluluklarını oluşturur; daha küçük bulutlar, Güneş gibi daha az kütleli yıldızları oluşturur. Hatta her kütleden yıldız içeren bir küme, çoklu ya da çift yıldızlar, belki de tek yıldızlar bir bulutun eseri olabilirler. Bulutların neden birbirinden farklı davrandığı iyi bilinmiyor; yıldız oluşumunun ayrıntıları da çok iyi belirlenmiş değildir.

Yıldız oluşumunda ilk adım kendi kütle çekimi altında dağılmadan durabilen yıldızlararası bulutların, örneğin yumruların oluşumudur, bunun nasıl olduğu pek bilinmiyor. Oluşum nedeni her ne ise, birkaç yüz, hatta birkaç bin Güneş kütlesine eş değer madde içeren, çapı 10-20 ışık yılı olan böyle bir bulut kendi kütle çekimi altında bir arada dengede tutulur; tümüyle çökmesini iç hareketler, dönme, belki de zayıf manyetik alan önler. (Yer atmosferinin uzaya kaçmadan ya da Yer yüzeyine çökmeden durması gibi.) Fakat kimi bulutlarda kütlesel çekim üstün gelir, soğuk (10-100°K) gaz ve toz bulutu kendi içine doğru çökmeye başlar. Çökme önce serbest düşme şeklindedir, yani yoğunluk az olduğu için, bulut çökerken içindeki parçacıklar çarpışmaz, dolayısıyla iç basınç sıfırdır. Çöken bulut, içinde daha sıkışık bölge oluşturur, bu sıkışık kısma yine özek diyelim. Burada önemli bir sorun var: Bulutlarda çok küçük de olsa, dönme hareketleri vardır. Bulut büzüldükçe açısal momentumunu korumak için, gittikçe daha hızlı dönmek zorundadır (Buz patencinin hızlı dönmesi için kollarını kapatması gibi.) Eğer bu hızlanmayı frenleyecek bir şey yoksa yıldız adayı, yıldız olmadan çok önce parçalanır. Frenleyicilerden birisi bulutu boydan boya geçen ve çevredeki yıldızlararası gaza bağlayan manyetik alandır. Bu alanlar boyunca bir kısım madde dışarıya doğru taşınır ve dönme enerjisinin (açısal momentumunun) bir kısmını birlikte götürür. İkincisi, büzülen bulut iki ya da daha fazla parçaya bölünür; böylece dönme hareketi birbiri çevresinde yörüngede dolanma hareketine dönüşür. Belki de çift yıldızlar, çoklu yıldızlar bu şekilde oluşmaktadır.

Şimdi Güneş ve Güneş benzeri yıldızların oluşumunu inceleyelim: Yoğun özek çökmeye önce merkezden başlar, dışa doğru gelişir. Merkezde çökme daha hızlı olduğu, ve çöken tüm madde daha küçük hacımda toplandığı için, parçacıklar çarpışmaya başlar ve özekte hidrostatik denge oluşur. Zaman ilerledikçe özek çevreden kütle çekimi ile madde toplar. Böylece merkezde bir önyıldız (yıldız adayı) oluşmaktadır. Bu önyıldız birkaç yüz bin yıl içerisinde gerçek yıldız boyutlarına ulaşır. Madde çöktükçe kütlesel çekim (potansiyel) enerjisi çarpışmalarla parçacıkların gelişi güzel kinetik enerjilerine dönüşür; bu, sıcaklığın yükselmesi demektir. Sıcaklığı yükselen gaz, kırmızı ötesinde ışınım salmaya başlar. Hesaplar gösteriyor ki kütlesel çekim enerjisinin % 50 si ısı enerjisine, diğer % 50 si de ışınım enerjisine dönüşür. Büzülme devam ettikçe merkezdeki sıcaklık yükselir. Aynı zamanda, çevreden toplanan maddenin bir kısmı, hızlı dönmenin bir sonucu olarak önyıldızın ekvator çevresinde bir disk oluşturur. Belki de bu diskten sonunda gezegenler oluşmaktadır.

Bilinmeyen nedenlerle ön yıldız, sonunda yıldız rüzgârı geliştirir; bu önyıldız üzerine madde toplanmasını durdurduğu gibi, çevredeki donuk (iyi geçirgen olmayan) maddeyi uzaklaştırır. Radyo teleskoplarla ve kırmızı ötesi dalgaboylarında yapılan gözlemler, bu yıldız rüzgârının iki kutuplu olduğunu göstermektedir. Madde çoğunlukla diskin kutuplarından zıt yönlerde atılmaktadır. Sonunda çevredeki madde temizlenince ya da gezegen tipi cisimlere dönüşünce, daha önce yalnız radyo bölgesinde ve kırmızı ötesinde gözlenebilen önyıldız optik bölgede de görünür duruma gelir. Daha önce sözünü ettiğimiz T Tauri yıldızları bu aşamadaki genç yıldızlardır. Çökmekte olan ana kol öncesi yıldızın özek sıcaklığı yeteri kadar yükselince, hidrojeni yakıp helyuma dönüştüren çekirdek tepkimeleri başlar. Özekte üretilen çekirdek (nükleer) enerjisi yıldızın çökmesini durdurur. Artık o bir ana kol yıldızıdır. Yıldızlararası buluttan ana kol yıldızı oluncaya kadar toplam birkaç on milyon yıl geçmiştir. Bu genç yıldız doğum yerinden uzaklaşacak, bir cüce (ana kol) yıldız olarak milyarlarca yıl Samanyolu merkezi çevresinde dolanacaktır.

Orta kütleli yıldızlar (8 Güneş kütlesine kadar) benzer biçimde oluşurlar. Yüksek kütleli yıldızlar ise uzaya hem iki kutuplu madde fışkırtırlar hem de saldıkları çok şiddetli ışınım ile yıldızlararası maddeyi uzağa sürüklerler. Bu, çevredeki bulutları sıkıştırıp zincirleme yıldız oluşumuna neden olabilir. Gruplar hâlinde görülen parlak O, B yıldızları belki de bu şekilde oluşmuştur. Bunların toplam yaşam süreleri öyle kısadır ki doğum yerlerinden çok uzaklaşmadan yaşamları son bulur. Bu nedenle de yıldız fabrikalarının yerlerini en iyi gösteren bu yıldızlardır.

Kütlesi 0.08 güneş kütlesinden küçük önyıldızların merkez sıcaklığı hiç bir zaman hidrojeni helyuma dönüştürecek değere ulaşamaz ve soğuyarak görünmez olurlar. Galaksiler, gözlenmesi zor olan bu tür nesnelerle dolu olabilir.

Yıldızların Evrimi

Yıldızların enerji kaynakları sınırlıdır. Bu demektir ki kimi uzun yaşar kimi kısa, fakat hepsinin bir sonu vardır.

Bir yıldızın çökmesi durduğu ve yüzeyden saldığı ışınımı merkezinde hidrojeni yakıp helyuma dönüştürerek karşılamaya başladığı zaman, artık o ana kol yıldızı olmuştur. Yıldızlar yaşam sürelerinin yaklaşık % 90'ını ana kol çevresinde geçirirler; bu arada yavaş yavaş evrimleşirler, yaşlanırlar. Bu evreyi, insanların gençlik ve yetişkinlik çağına benzetebiliriz. İhtiyarlık kısa sürelidir, arkasından ölüm çabuk gelir.

Gözlemler göstermiştir ki yıldızların atmosferlerinin kimyasal bileşimleri hemen hemen hepsinde aynıdır: Yaklaşık her 100 atomun 90'ı hidrojen,10'u helyumdur. Diğer elementler çok az miktardadır; helyumdan daha ağır elementlerin toplam kütlesi, yıldız kütlesinin % 3 ünden fazla değildir. Yıldızlar fiziğinde Vogt-Russell teoremi diye bir teorem vardır. Buna göre, yıldızın bütün özelliklerini kütlesi ve kimyasal yapısı belirler. Kimyasal yapıları yaklaşık aynı olduğuna göre, bir yıldızın; iç yapısını, büyüklüğünü, sıcaklığını, ışınım gücünü, evrimini, ömrünü ve geleceğini yalnız kütlesi belirler. Yıldızları gelecekleri açısından -sınırlar çok kesin olmamakla birlikte- şu üç gruba ayırabiliriz:

a) Kütlesi 0.08 - 0.8 $M_{;}$ arasında olanlar. Bunlar, ana kolda 10 milyon yıldan daha uzun yaşarlar; şimdiye kadar oluşanların hepsi hâlâ ana koldadır. Toplam cücelerin, yani ana kol yıldızlarının % 90' ını oluştururlar. Geleceğin kırmızı devleri, beyaz cüceleridirler.

b) Kütlesi 0.8 - 8 $M_{;}$ arasında olanlar. Güneşin de içinde olduğu bu grup, toplam cücelerin % 10'unu oluşturur. Geleceğin kırmızı devleri, sefeidleri, Mira yıldızları, novaları ve beyaz cüceleridirler.

c) 8 -120 $M_{;}$ arasında olanlar. Toplam sayının ancak % 1'i kadardırlar. Geleceğin üst devleri, sefeidleri, süpernovaları, nötron yıldızları, karadelikleri (?) dirler. Yani geleceğin en görkemli olaylarını bu yıldızlar oluşturacaktır. Ayrıca belirtmek gerekir ki şimdiye kadar kütlesi 60 M_0 den daha büyük hiç bir yıldız gözlenememiştir.

Bir Yıldızın Ömrü

Cebinde çok parası olan savurgan bir kişi, parası az fakat tutumlu başka birine göre daha erken "sıfırı tüketir ". Bir yıldızın toplam enerji kaynağı (cebindeki parası) onun kütlesi, bu enerjiyi harcama hızı ise ışınım gücü, yani bir saniyede saldığı enerji miktarıdır. O hâlde kütlesinin ışınım gücüne bölümü, yıldızın ömrünü vermelidir. Çift yıldız gözlemlerinden bir yıldızın kütlesi ile ışınım gücü arasında $L = CM^n$ şeklinde bir bağıntı olduğunu grafik olarak görmüştük; burada C bir sabit, n ise, yukarıdaki gruplara bağlı olarak, 2.5 ile 4.0 arasında bir sayıdır. Kolaylık olsun diye n = 3 alalım ve yukarıdaki gruplara ait tipik yıldız ömürlerini Güneş'in ömrü ile karşılaştıralım:

Bir yıldızın ömrü, $t_* \langle$ \F(M_*,L_*) = \F(M_*,CM\S(3,*)) = \F(1,CM\S(2,*))

Güneş'in ömrü, $t_{;} \langle$ \F($M_{;}$,$L_{;}$) = \F($M_{;}$,CM\S(3,$_{;}$)) = \F(1,CM\S(2,$_{;}$))

Bunları taraf tarafa bölersek, orantı katsayısı sadeleşir:

\F(t_*,$t_{;}$) = \B\bc\[(\F($M_{;}$,M_*))^2 ya da t_* = \B\bc\[(\F($M_{;}$,M_*))^2 $t_{;}$

Demek ki yıldızın kütlesi büyüdükçe ömrü küçülmektedir. Güneşin ömrü $t_{;}$=10 milyar yıl hesaplanmaktadır. Demek ki tayf türü M olan bir kırmızı cücenin ömrü bir trilyon yıl kadardır, bu ise galaksinin şu andaki yaşının çok üstündedir. Bu nedenle (a) grubundaki yıldızların tümü hâlâ ana koldadır; dolayısıyla geleceklerinin ne olacağının örneği gözlenmemiştir. Öte yandan (c) grubundaki bir sıcak O cücesi, bir kaç milyon yılda ömrünün sonuna gelmektedir. Yer yüzündeki dinazorların yok olduğu tarihten beri birçok O yıldızı gelmiş ve gitmiştir.

Şimdi, ikinci grup içinde olan Güneş'in evriminin ayrıntılarına bakalım ve biraz geleceğimizi öğrenelim:

Özekteki hidrojenin hemen hemen tümü (tüm yıldızın yaklaşık % 10'u) helyuma dönüştüğü zaman ana kol evresi son bulur. 1 güneş kütleli yıldızlar için bu süre yaklaşık 10 milyar yıldır. Bu süre içinde özek sıcaklığı yavaş yavaş artar ve yıldız çok az genişler. Bu, enerji üretimini dolayısıyla ışınım gücünü artırır. Güneş 5 milyar yıl yaşında olduğuna göre, ana kol evriminin yarısındadır. 5 milyar yıl sonra H-R diyagramındaki yeri, Şekil 4.22 (a) da B noktası olacaktır. Enerji üretimi durunca, özek dış katmanların ağırlığını taşıyamaz ve çöker, özeği çevreleyen bir kabukta hidrojen yanması başlar. Çöken özek ısınır, hidrojeni yakan kabuğun sıcaklığını, dolayısıyla enerji üretimini artırır. Artan enerji üretimi üst katmanları ısıtır ve genişlemesine neden olur. Yarıçap artar, yüzey sıcaklığı düşer. Yıldız artık kırmızı dev olmuştur, (Şekil 4.22 (a) C-D arası). İç yapısı ana kol yıldızınınkinden çok farklıdır. Maddenin çoğu merkezde toplanmış, atmosfer genişlemiştir. Özek büzüldükçe sıcaklığı da yükselmeyi sürdürür, yaklaşık 100 milyon dereceye ulaşınca helyum patlamalı bir şekilde ateşlenir (Şekil 22 (a) da D noktası) ve

3He │ C + E

şeklinde özetlenebilecek tepkimelerle karbona dönüşmeye başlar. Burada E yine açığa çıkan enerjiyi gösterir. Bu şekilde üretilen karbon çekirdeklerinin bir kısmı He çekirdeği ile birleşip oksijene dönüşür. Helyum ateşlenmesi önce hidrojen yakan kabuğu söndürür; yıldızın parlaklığı biraz azalır, yarıçapı küçülür, fakat kabukta hidrojen yanması yeniden başlar (Şekil 4.22 (a), E noktası yöresi). Özekte helyum tükenince, yanmayı özek çevresindeki kabukta sürdürür. Böylece iç kabukta He, dış kabukta H yanar, C-O özeği çöker. Kabukta enerji üretimi üst katmanların genişlemesine neden olur (Şekil 4.22 (a), F). Genişleme nedeniyle hidrojen yakan kabuk dışa doğru sürüklenir, soğur ve söner. Helyum miktarı azalınca enerji üretimi düşer; önceki H kabuğu çöker ve yeniden ateşlenir. Böylece hâlâ çökmekte olan C-O özeğinin çevresinde taze He birikir. Bu yeni He kabuğu, derinde gömülü nükleer bomba gibi yeniden ateşlenir, dış katman genişler. Olay yaklaşık her birkaç yüz bin yılda bir tekrarlanır. Bu patlamalar yıldızın daha kısa sürelerle zonklamasına, yani yarıçapın ve parlaklığın değişmesine neden olur. Artık yıldız değişen bir kırmızı devdir. Mira değişen yıldızlarının bu evrede olduğu kabul edilmektedir (Şekil 4.22 (a), G çevresi). Işınımları, 100 gün ile 5 yılı aşan dönemlerle, %20-50 arasında değişir.

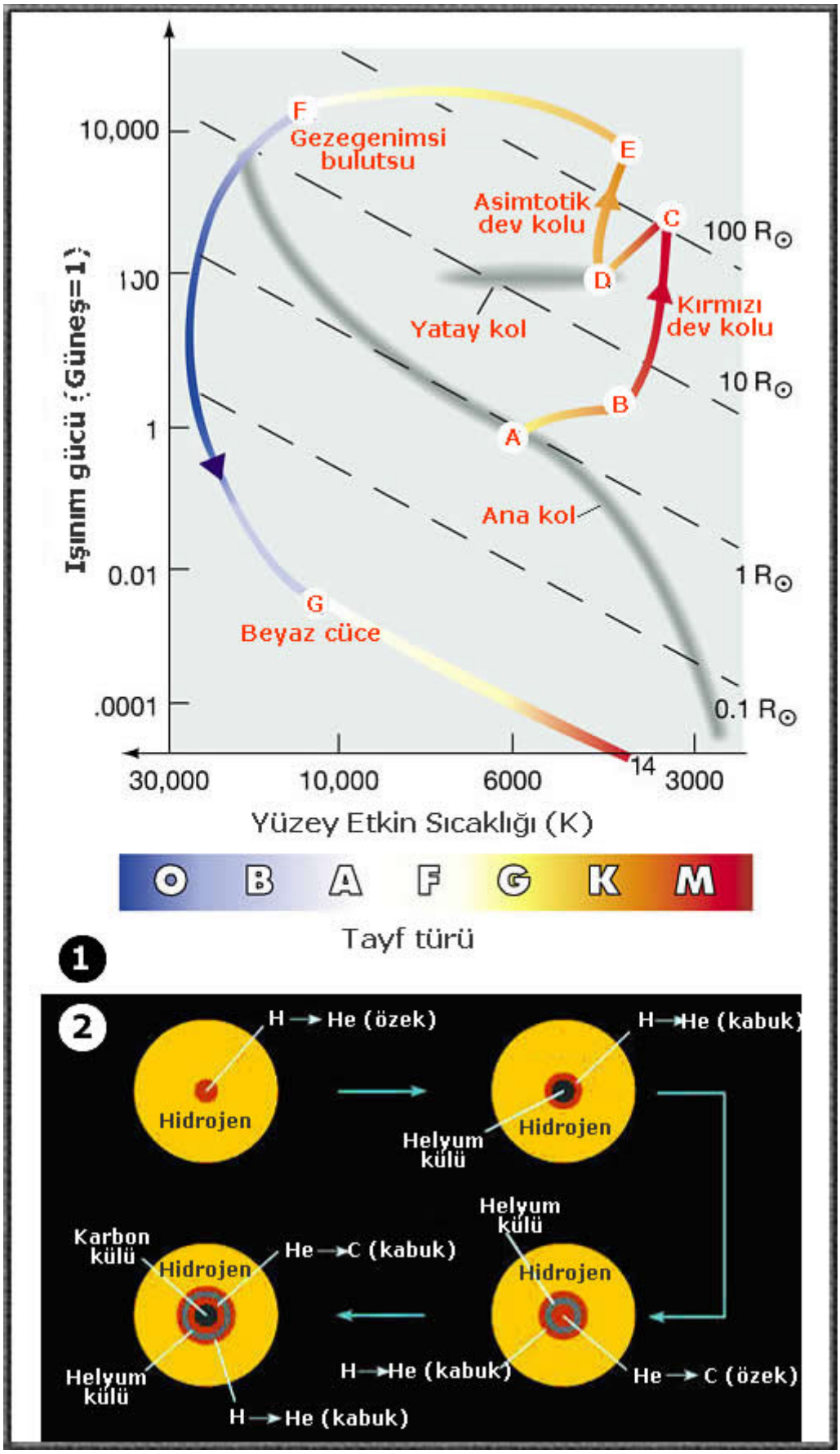
Kırmızı dev evresinde yıldız, büyük miktarlarda kütle kaybeder; buna zonklamanın oluşturduğu şok dalgaları neden olur. Birkaç bin yıl içinde yıldız atmosferini tümden kaybeder, sıcak özek açığa çıkar. Bu sıcak özeğin çevresinde genişleyen bir kabuk oluşur. Buna gezegenimsi bulutsu denir. Sıcak özek, bulutsunun merkez yıldızıdır (Şekil 5.6). Bulutsu genişlemeyi sürdürür ve zamanla yıldızlararası ortama karışır.

Güneş kütlesinde bir yıldız, kütlesinin yaklaşık % 35 ini uzaya atar. Geriye kalan C-O özeği dejenere (yoz) maddedir, yani daha fazla büzülmez ve sıcaklığını yükseltmez. Bu nedenle karbon yanmasını başlatamaz. Yaklaşık yüzbin yıl içinde karbon-oksijen beyaz cücesi olur. Enerji kaynağı olmadığı için de birkaç milyar yıl içinde soğuyup bir kara cüce olur.

Bütün bunlar Dünya için ne anlama gelir? 5 milyar yıl sonra, yani Güneş hidrojenini tüketince, parlaklığı 2 kat, yarıçapı % 75 artmış olacak. Bu demektir ki 2 milyar yıl sonra artık kış olmayacak. Yüksek ısı denizlerde buharlaşmayı artıracak, atmosferde su buharı artacak, sıcaklık daha da yükselecek, aşırı bir sera etkisi gelişecek. Güneşin morötesi ışınımı su moleküllerini parçalayacak ve hidrojen uzaya kaçacak. Bu böyle olmasa bile, Güneş ana kol evriminin sonuna gelince Yer'de sıcaklık o kadar yüksek olacak ki yaşam çoktan yok olmuş olacak (Eğer insanlık ozon tabakasını delerek; suları, havayı kirleterek bu işi daha önce yapmadıysa!). Güneş kırmızı dev olunca yarıçapı 1 GB'ni biraz aşacak; Yer kırmızı devin dış atmosferi içerisinde kalacak. Sürtünme ve buharlaşma Yer yörüngesini gittikçe daha çok küçültecek ve birkaç yüzyıl içinde Yer, Güneş'in içine batacaktır. Fakat hemen korkmayın, buna daha milyarlarca yıl var. Belki o zamana kadar insanlık; "Batan gemiden kaçmasını ve kendisine bir başka 'ada' bulmasını öğrenmiş olur."

0.08 - 0.8 $M_\odot$ (a grubu) aralığının alt sınırına yakın yıldızların merkez sıcaklığı yeteri kadar yükselemez ve helyumu ateşleyip karbon üretemezler. Böyle yıldızlar, evrimleri sonunda çoğunlukla helyumdan oluşan beyaz cüce olurlar. Üst sınırına yakın olanlar ise yukarıdaki gibi C-O beyaz cücesi olurlar. Ayırım hangi kütlede olur iyi bilinmemektedir.

Güneş'ten daha büyük kütleli yıldızların evriminde de ayrıntıda farklar vardır. Örneğin; kütlesi 5 $M_\odot$ olan bir yıldız, kırmızı dev evresinden önce ve sonra olmak üzere en az iki kez sefeid olur. Sefeid ve özellikle kırmızı dev evresinde kütlesinin çoğunu helyum yanması sırasında uzaya atar. Geriye kalan "soyulmuş" yıldızın kütlesi 1.4 $M_\odot$ den küçük ise, gezegenimsi bulutsu evresinden geçip C-O beyaz cücesi olur. Kalan kütle daha büyük ise, kütlenin büyüklüğüne göre, önce karbon yanıp oksijen, neon, sodyum ve magnezyum gibi elementler oluşur, sonra bunlar yanıp demir grubu elementler oluşur. Bundan sonrası ise süpernova patlamasıdır.


10,000
100
1
0.01
.0001
Işınım gücü (Güneş=1)
F
Gezegenimsi bulutsu
E
Asimtotik dev kolu
C
100 R⊙
D
Yatay kol
Kırmızı dev kolu
10 R⊙
B
A
Ana kol
1 R⊙
G
Beyaz cüce
0.1 R⊙
30,000
10,000
6000
14
3000
Yüzey Etkin Sıcaklığı (K)
O B A F G K M
Tayf türü
1
2
H → He (özek)
Hidrojen
H → He (kabuk)
Helyum külü
Hidrojen
Karbon külü
He → C (kabuk)
Hidrojen
Helyum külü
Helyum külü
Hidrojen
H → He (kabuk)
He → C (özek)
H → He (kabuk)

Şekil 4.22: Güneş kütlesinde bir yıldızın H-R diyagramındaki evrimi üstteki şekilde ve bu evrim sırasında hangi yakıtları yakarak yaşamını sürdürdüğü alttaki şekilde görülmektedir.

.7 Yıldız Evriminin Son Evreleri

Gaz yasalarından bildiğimiz gibi, bir kapalı hacim içindeki gazın sıcaklığı ya da yoğunluğu artarsa, kabın duvarlarına gazın uyguladığı basınç da artar. Örneğin; bir araba lâstiğini şişkin tutan içindeki gazın (havanın) basıncıdır. Yıldızlararası (gaz ve toz karışımı) bulut bir yolunu bulup kendi kütle çekimi altına girdikten sonra bütün yaşamı, kendini küçük bir hacime sıkıştırmaya çalışan özkütle çekimi ile ona karşı koymaya çalışan gaz basıncı arasındaki savaşla geçer. (Burada, öz kütle çekiminin gazın duvarı gibi davrandığını unutmayalım.) Buraya kadar, ön yıldız oluşumunu, yıldızların gençlik ve yetişkinlik (ana kol) dönemlerini inceleyip onları ölüm sınırına kadar getirdik. Şimdi de yıldızları ölüme götüren olayların sonuçlarını ve yıldız "cesetlerini" inceleyelim:

Gök bilimciler, yıldızların dört çeşit sonu olduğuna inanırlar; bırakılan kalıntıya göre bunlar şunlardır:

i. Hiç bir kalıntı yok. Çok güçlü bir patlama ile yıldız maddesi tümüyle dağılabilir ve yıldızlararası ortama karışabilir.

ii. Beyaz cüceler

iii. Nötron yıldızları

iv. Karadelikler

Bir yıldızın bunlardan hangisi ile son bulacağını, ölüm aşamasına geldiği andaki kütlesi belirler. Bu kütle ana kol kütlesinden azdır, çünkü kırmızı dev iken, gezegenimsi bulutsu aşamasında ya da süpernova patlaması sırasında aşırı kütle kaybı vardır. Kalıntı cesetlerin kütleleri ise şöyledir: Beyaz cüceler için $M < 1.4\ M_\odot$, nötron yıldızları için $1.4\ M_\odot < M < 3\ M_\odot$ ve karadelikler için $M > 3\ M_\odot$. Nötron yıldızları ile karadelikleri ayıran $3\ M_\odot$ lik sınır çok kesin değildir.

Beyaz Cüceler

Beyaz cüceler, kırmızı devlerden oluşur; nasıl oluştuğu yıldızın kütlesine bağlıdır. Güneş gibi bir yıldızda, özekteki sıcaklık karbonu yakacak kadar yükselemez. Yükselen sıcaklık ancak kabuk yanmasını hızlandırır ve tüm kabuk atılır, yıldız gezegenimsi bulutsu oluşturur. Açığa çıkan kalıntı bir sıcak beyaz cücedir. Daha küçük kütleli yıldızlar, helyum beyaz cücesi olur, çünkü merkezinde sıcaklık helyumu yakıp karbona dönüştürecek kadar yükselemez. Bunlar kabuk atıp gezegenimsi bulutsu olmadan da, yıldız rüzgârı ile kütle kaybederek, beyaz cüce olabilirler. Daha büyük kütleli yıldızlar, eğer çift yıldız bileşeni iseler, fazla kütleyi kırmızı dev evresinde komşusuna aktararak da beyaz cüce olabilirler. Gerçekten birçok beyaz cüce, çift yıldızlar içinde bulunur. Sıcak beyaz cüceler, enerji kaynakları olmadığı için, soğuyarak karacüce olarak "gözden kaybolurlar".

İlk gözlenen beyaz cüce çift yıldız, Akyıldız'ın (Sirius) bileşenidir. Bugüne kadar gözlenen çok sayıda beyaz cüce, yukarıda söylediğimiz özellikleri sağlarlar. Bir güneş kütlesinde bir beyaz cüce, ancak Yer küre'miz büyüklüğündedir. Bu, ortalama yoğunluğunun 10^6 g/cm^3 olması demektir. Küçük bir yarıçapa sığan bu yoğunluktaki bir beyaz cüceyi özkütle çekimine karşı dengede tutan nedir? Beyaz cüce maddesi o kadar sıkışıktır ki elektronlar artık belli bir ortama bağlı değildir, yüksek hızlarla özgürce hareket ederler. Kütle çekimine karşı koyan bu elektron gazının basıncıdır.

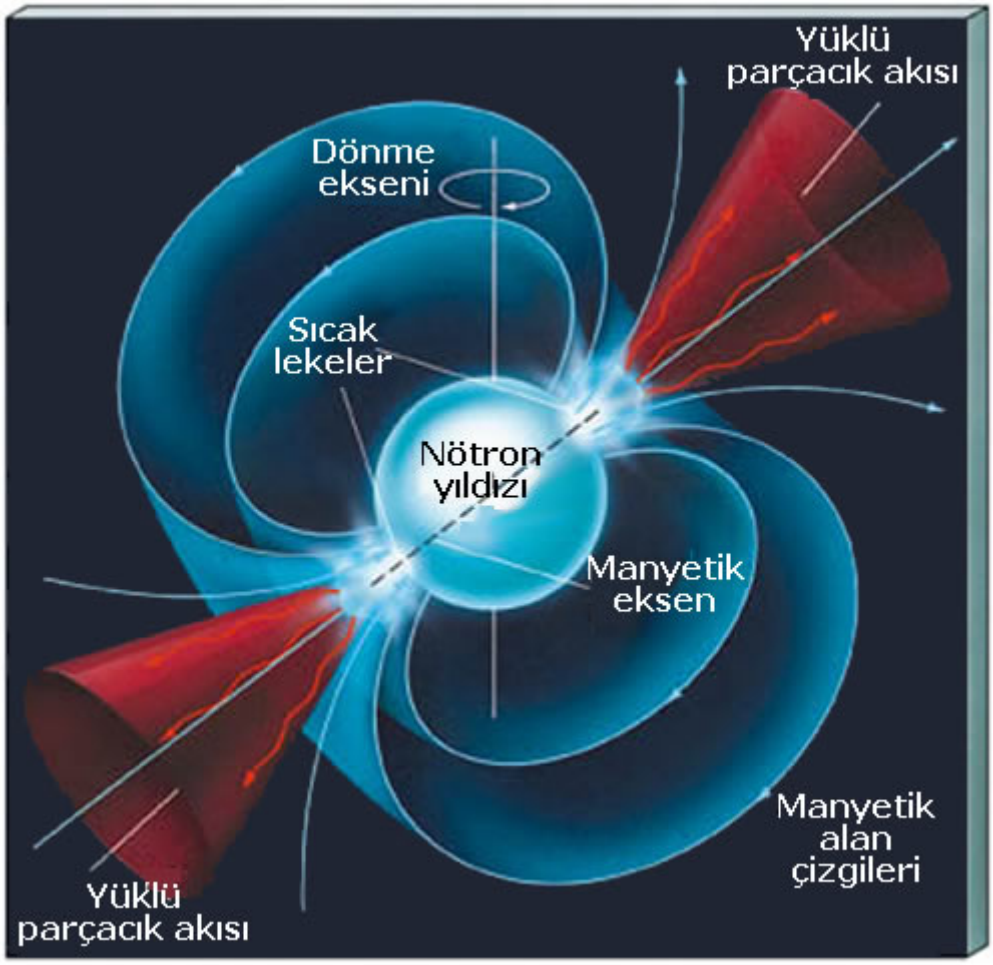
Nötron Yıldızları

Büzülen yıldız özeğinin kütlesi $1.4\ M_\odot$ den büyükse elektron gazı, çok büyük olan kütle çekimine karşı koyamaz. Çökme sürer, yoğunluk o kadar artar ki atomların çekirdeklerindeki protonlarla elektronlar birleşip nötrona dönüşürler. Artık bu bir yoz (dejenere) gazdır, yıldızın kütle çekimini dengeleyen basıncı oluşturur. Tipik bir nötron yıldızının yarıçapı 10 km, kütlesi $1.4\ M_\odot$ kadardır. Bu ortalama yoğunluk için 10^{14} g/cm^3 verir. Yani bir küp şeker büyüklüğündeki nötron yıldızı maddesi, Dünyamıza getirilirse 100 milyon ton çeker.

Gözlenen Nötron Yıldızları: Atarcalar

1967 de İngiltere'de iki gök bilimci, Bell ve Hewish, 1.33730113 saniye aralıklarla radyo sinyali gönderen bir cisim keşfettiler (Hiçbir mekanik saat bu kadar hassas zaman tutamaz. Ne olduğu bilinmeyen nesneye "küçük yeşil adam" adı konulmuştu!). Hemen arkasından yenileri keşfedildi ve bir de ad kondu: pulsar (atarca). Bugün bilinen sayıları 500'ü aşan atarcaların birkaç tanesi optik dalga boylarında ışınım salmaktadır. Peryotları yani iki sinyal arasındaki zaman farkı 1 milisaniye (0.001 saniye) ile 4 saniye arasındadır. Peryodu milisaniye mertebesinde olanlara, "milisaniye" atarcaları denir.

Bugün, atarcaların çok yüksek manyetik alanlı (10^{12} gauss), çok hızlı dönen nötron yıldızları oldukları kabul edilmektedir. Dönme ekseni ile manyetik eksen arasında belli bir açı vardır. Işınım, manyetik kutuplardan ve manyetik eksen doğrultusunda yayıldığı için gözlemci, atarcayı ancak manyetik eksen kendisine doğru yöneldiği zaman görebilir; aynı deniz fenerinde olduğu gibi. Bu yüzden atarca modeline, deniz feneri modeli denir (Şekil 4.23). Atarca manyetik eksen doğrultusunda enerji kaybettiği için, dönmesi zamanla yavaşlamaktadır.



Şekil 4.23: Bir nötron yıldızının deniz feneri modeli. Hızla dönen nötron yıldızı manyetik eksen boyunca ışıma yapar; manyetik eksen dönme eksenine eğiktir. Manyetik eksen doğrultusunda bakan bir gözlemci bir dönemsel ışınım pulsu görür.

Nötron yıldızlarının, süpernova patlamalarının kalıntıları, bir başka deyişle çöken yıldız özeği olduklarına inanılmaktadır. Süpernova kalıntıları içinde atarcalar bulunmuştur. 1054 yılında Çinlilerin görüp kaydettiği süpernovanın kalıntısı, bugün Yengeç bulutsusu olarak bilinmektedir (Şekil 5.7). Bu bulutsunun içinde, her dalga boyunda 0.033 saniye ara ile ışınım pulsları salan, bir başka deyişle saniyede 30 kere dönen bir atarca vardır. PSR 1937 + 214 olarak bilinen bir başka atarca, saniyede 642 kere dönmektedir.

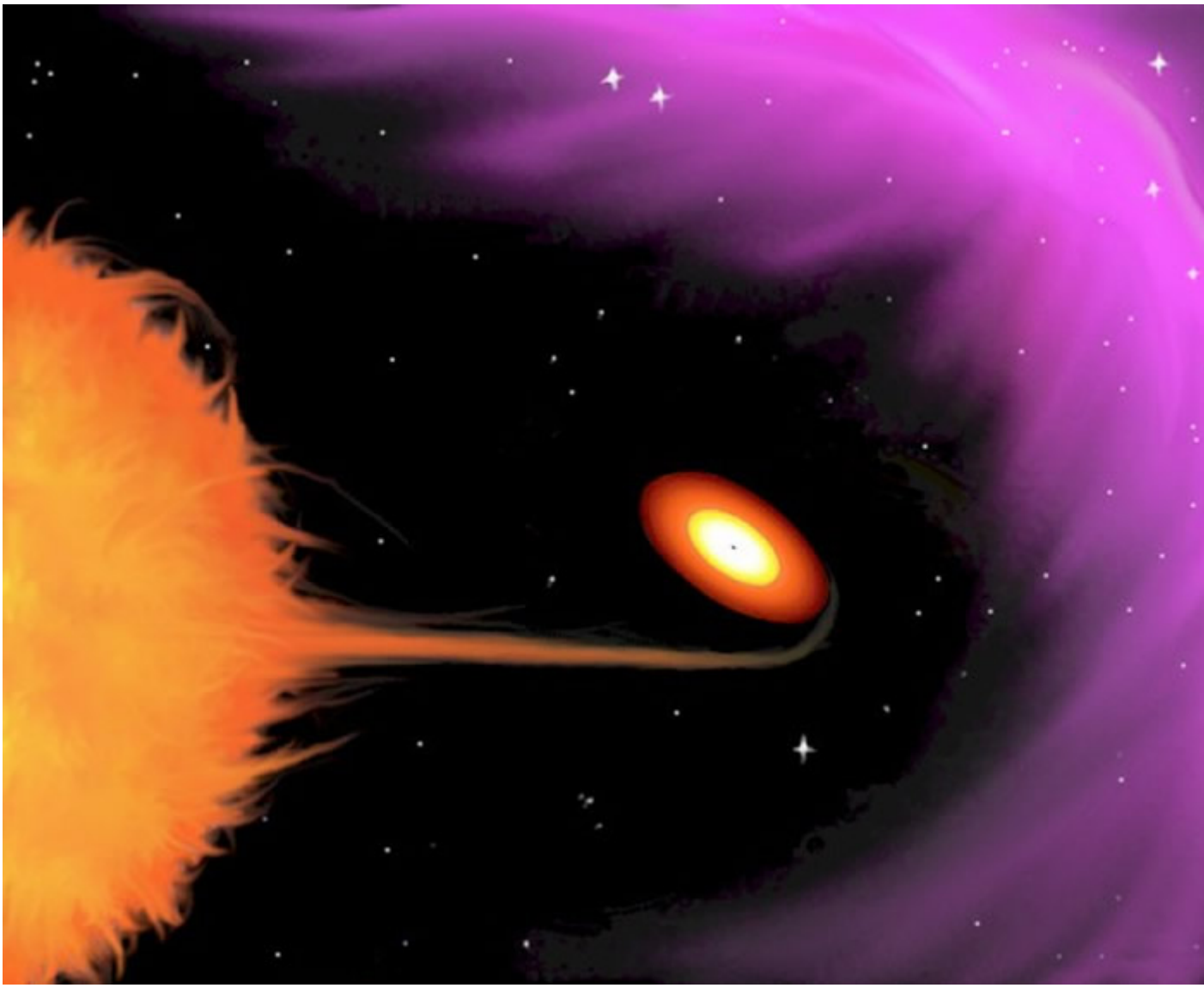
Kara Delikler

Bütün nükleer enerjisini tüketmiş ve çökmekte olan bir yıldız özeğinde, nötron gazının basıncı kütle çekimini dengelemeye yetmez ise ne olur? Fizik gösteriyor ki süpernova patlamasından geriye kalan özek kütlesi eğer yaklaşık 3 $M_\odot$ den büyükse, onun çökmesini durduracak fizikte bilinen hiçbir kuvvet yoktur. Hacım gittikçe küçülür, yoğunluk artar, öyle bir yarıçapa ulaşır ki ışık dahil hiçbir madde artık bu cismin kütle çekimini yenip onu terkedemez. Bildiğimiz Fizik yasaları bu yarıçapın içerisinde geçersizdir.

Şekil 4.24: Bir süpernova kalıntısı, Cygnus Loop. Kalıntının dairesel yapıda olduğuna dikkat ediniz. Bu, yayılmanın geçmişte bir noktadan başladığının delilidir. Yayılan gazın şok dalgası yıldızlararası ortamla etkilenince bu görüntü ortaya çıkmaktadır.

Kütlesi M olan bir kara deliğin yarıçapı $R=2GM/c^2$ dir. Burada G, evrensel çekim sabiti, c ışık hızıdır. Buna Schwarzschild (şwarzşild) yarıçapı denir. Güneş için Schwarzschild yarıçapı 3 km dir. Bu,

yoğunluğun 10^{16} g/cm^3 olması, yani 1 cm^3 karadelik maddesinin (Yer yüzeyinde) 10 milyar ton gelmesi demektir! Yarıçapı Schwarzschild yarıçapına eşit küre yüzeyine, olay ufku denir. Olay ufku yakınlarında uzay-zaman ikilisi karmaşık bir yapı sergiler. Bunu anlamak için şu düş yolculuğunu yapalım: Güneş'in yerinde 10 Güneş kütlesinde bir karadelik olsun, bunun olay ufku yarıçapı 30 km dir. Yer'i de bir uzay gemisi kabul edelim. Diyelim elinizde bir saat ve bir de lâzer lâmbası ile gemiden karadeliğe doğru atladınız; amacınız, karadeliğe yaklaştıkça gemi kaptanına sinyal göndermektir. Karadeliğe doğru düşerken uzun süre birşey olmaz. Gökteki takım yıldızlarını tanırsınız. Karadeliğe yaklaştıkça takım yıldızlarının yerinin değiştiğini, şeklinin bozulduğunu farkedersiniz. Kendinizi batıyor hissedersiniz. Daha yaklaştıkça karadeliğin ayağınıza uyguladığı kütle çekimi, başınıza uyguladığından farklı olacağından sizi ip gibi uzatacaktır. Olay ufkuna yaklaşık 3000 km kala da sizi parçalara ayıracaktır! Eğer parçalanmadan olay ufkunun 15 km yakınına kadar gidebilseydiniz, tam ileri baktığınızda ensenizi görürdünüz, çünkü ensenizden çıkan fotonlar karadelik çevresini dolanıp gözünüze ulaşırdı. Eğer aşağıya karadeliğe bakarsanız hiç bir şey göremezsiniz, çünkü karadeliği ışık bile terkedemez.



Şekil 4.25: Çevresinden madde toplayan bir karadelik modeli.

Olay ufkunu geçince yeni bir şey olmaz, sınır işaretli değildir! Fakat bir milisaniye sonra hacminiz sıfıra düşer, yok oldunuz demektir. Fakat sizin yok olduğunuzu uzay gemisi kaptanı göremez. Ona göre, siz olay ufkuna yaklaştıkça düşmeniz gittikçe yavaşlar; olay ufkunu geçerken gönderdiğiniz lâzer sinyalinin uzay gemisine ulaşması sonsuz zaman alır, kırmızıya kayma da sonsuz olur.

Karadeliklerin Gözlenmesi

Bütün bunlar Einstein'in genel görelilik kuramından çıkarılmıştır. Peki bir karadelik gerçekten varsa ve biz onu doğrudan göremiyeceğimize göre, onun varlığını gözlemlerle nasıl anlarız? Bunun tek yolu bir karadeliği olay ufku yakınındaki maddeyi yutarken yakalamaktır! Buna en iyi aday da X- ışını salan çift yıldızlardır. Karadeliğin çevresinde dolanan bir kırmızı dev olsun. Bunun uzaya attığı madde, karadeliğin kuvvetli çekimi ile sarmal hareket yaparak karadelik etrafında bir disk oluşturur (Şekil 4.25). Dökülen madde, çok yüksek hızlı olduğu için, disk maddesi ile etkileşmesi sonucu ortam sıcaklığı milyonlarca derece olabilir. Bu sıcaklıkta madde X- ışını salar. Cygnus X-1 olarak bilinen X-ışını kaynağındaki görülen yıldız, kütlesi 3 güneş kütlesinden büyük görülmeyen bir nesne etrafında dolanmaktadır. Hubble uzay teleskopuyla yapılan çok duyarlı gözlemler, birçok dış galaksinin merkezinde, aşırı kütleli karadelik olabileceğini göstermektedir. Örneğin; Andromeda galaksisinin uydusu M32 galaksisinde, bir milyon Güneş kütlesini aşan karadeliğin varlığını gösteren bulgular gözlenmiştir.

SORULAR

1. Bir yıldız olarak Güneş'i, bir gezegenden ayıran fiziksel özellikler nelerdir?

2. Güneş bir katı cisim gibi mi döner? Açıklayınız?

3. Güneş'in katmanlarını tartışınız.

4. Bir Güneş hacmine kaç tane yer sığar?

5. Güneş lekeleri yardımıyla Güneş'in dönmesi nasıl bulunur?

6. Her saniye, Güneş kütlesinin ne kadarı enerjiye çevrilmektedir? Aynı tempoda bugüne kadar (5 milyar yıl) ne kadar kütle enerjiye dönüşmüştür?

7. Güneş sabiti nedir?

8. Güneş rüzgârını oluşturan parçacıklar içinde nelerin bulunduğunu araştırınız?

9. Trigonometrik uzaklık açısı yöntemi ile hangi uzaklığa kadar yıldız uzaklıkları bulunabilir?

10. Uzaklık açısı 0.25 açı saniyesi olan bir yıldızın uzaklığını:

a) Parsek biriminde, b) GB biriminde ve c) km biriminde hesaplayınız.

11. Hangi hareket, takım yıldızların şeklini zamanla değiştirir?

12. Işıkta Doppler etkisini ve bu etkinin yıldızların bakış doğrultumuzdaki hızlarını bulmada nasıl kullanıldığını araştırınız.

13. Bir yıldızın Yer'den (ya da Güneş sisteminden) gözlenen uzay hızı neden gerçek uzay hızı değildir?

14. Logaritma fonksiyonunu araştırınız.

15. -2. kadirden bir yıldız, +3. kadirden bir yıldıza göre, kaç kere daha parlaktır?

16. Güneşin parlaklığı yerden gözlenince -26.5 kadirdir. Pluto'dan hangi kadirde gözlenir?

17. Bir yıldızın sıcaklığı 3000°K'den 6000°K ye kadar değişirse yarıçapı aynı kaldığında ışınım gücü ne kadar değişir?

18. Sefeidler neden iyi bir uzaklık göstergesidirler?

19. Şekil 4.18 deki gibi bir örten çift yıldızın ışık eğrisinden bileşenlerin yarıçapları oranı bulunabilir. Bunun nasıl olabileceğini tartışınız.

20. Spektroskopik (tayfsal) çift yıldız nedir?

21. H-R diyagramı size ne ifade ediyor, tartışınız.

22. Bir ana kol yıldızı, enerjisini nasıl karşılar?

23. Evrim sırasında bir yıldızın H-R diyagramında yeri değişir, bu uzaydaki yerinin değişmesi demek değildir. H-R diyagramındaki yer değiştirme ne anlama gelir?

24. Kütlesi 0.1; 1; 2; 10; 25 $M_{\odot}$ olan yıldızların ömürlerini Güneş'in ömrü ile karşılaştırın.

25. Soğuk bir gaz+toz bulutu büzülünce sıcaklığı nasıl yükselir? Isı enerjisine dönüşen enerji çeşidi nedir?

26. Elementlerin yıldızların içinde üretildiğine inanıyoruz. Demirden daha ağır elementler nasıl oluşuyor? Fizik öğretmenlerine de danışarak araştırınız?

27. Beyaz cüce, nötron yıldızı ve karadelik yoğunluklarını karşılaştırınız.

28. Bir karadelik nasıl tanınabilir?

GALAKSİLER VE EVREN BİLGİSİ

Daha önceki bölümlerde Güneş Sistemi ve yıldızların genel özelliklerini gördük. Bu bölümde yıldız kümelerini ve yıldızlararası maddeyi tanıdıktan sonra Galaksimiz Saman Yolu'ndan sözedeceğiz. İçinde milyarlarca yıldız barındıran Saman Yolu'nun basitçe yapı ve özelliklerini inceleyeceğiz. Diğer galaksiler ve galaksi kümelerini vereceğiz; ufkumuzu biraz daha genişleterek evrenin dış sınırlarında gözlenen kuazarlar ve evrensel genişlemeye değineceğiz. Bu bölümde son olarak Evren modellerinden söz edeceğiz.

5.1 Yıldız Kümeleri

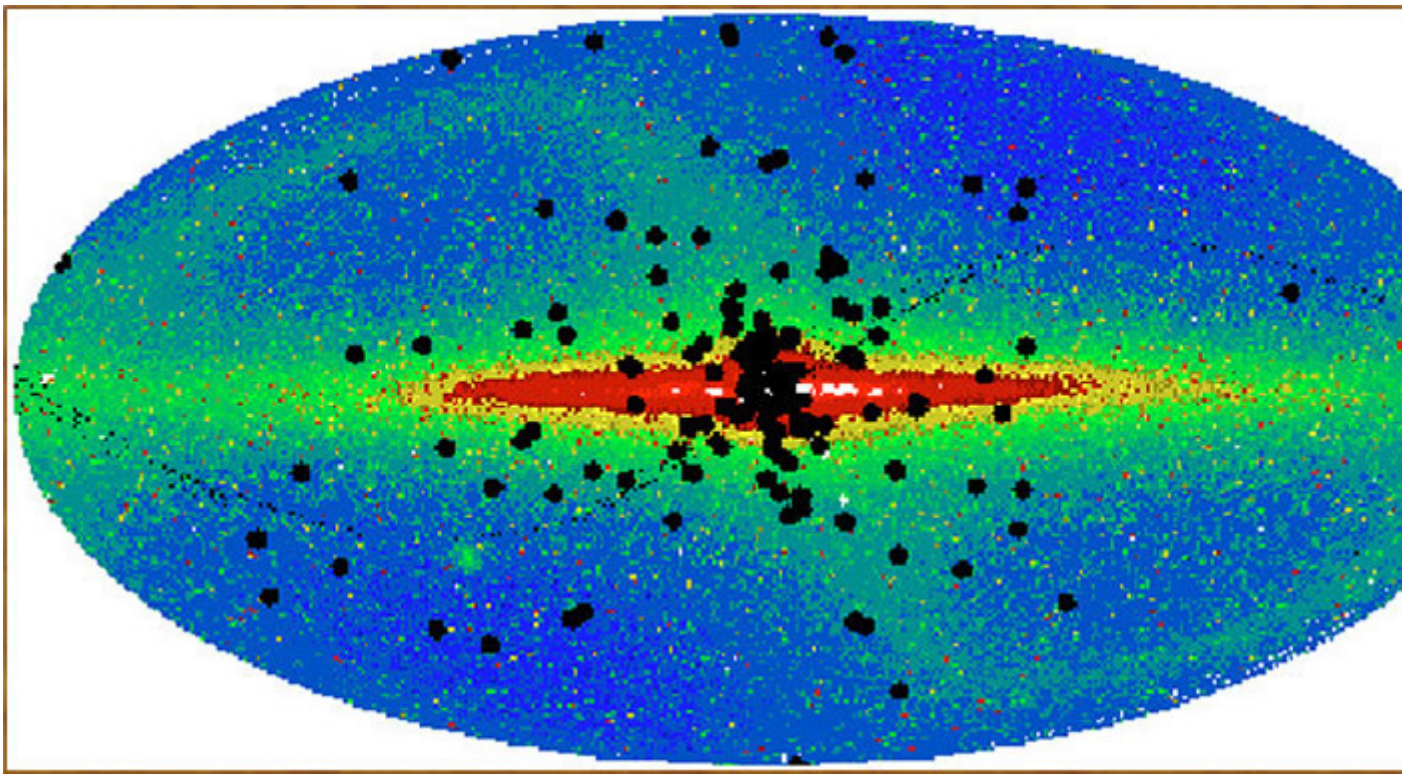
Saman Yolu içinde yıldızlar tek, çift ya da birkaç yıldızlı sistemler olarak bulundukları gibi çoklu sistemler olarak da bulunurlar; bunlara, yıldız kümeleri denir. Bir yıldız kümesi, fiziksel olarak birbirlerine çekimsel bağlılıkları olan yıldızlar grubu olarak tanımlanabilir. Küme içindeki yıldızların uzaydaki hareketleri incelendiğinde; aynı hızla, aynı yönde ve belli bir noktaya doğru hareket ettikleri görülür. Yıldızların bu özellikleri kümeye ait olup olmadıklarını belirler. İki tür yıldız kümesi vardır. Açık ve küresel yıldız kümesi.

Şekil 5.1: Ülker kümesi bir açık kümedir (fotograf:Palomar).

Şekil 5.2: Herkül takım yıldızında, M13 küresel kümesi (fotograf:Flagstaff).

a) Açık yıldız kümesi: Yıldızların kümelenmesi bir merkez etrafında değildir ve dağınıktır. Çekimsel bağlılıkları gevşektir. Böyle kümelere, açık kümeler denir. Açık yıldız kümelerinde; genç yıldızlar, gaz ve toz bulunur. Bu kümelerde yaklaşık 100 ile 10 000 arasında yıldız vardır. Öküz (Taurus) takım yıldızı içindeki Ülker, ve yine Öküz takım yıldızı içindeki Hyades bu gruba birer örnektir (Şekil 5.1). Bu kümeler çıplak gözle görülebilir. Ülker kümesi 250 den fazla yıldız içermekle beraber, ancak 6 - 7 tanesi çıplak gözle görülebilecek kadar parlaktır. Ülker açık kümesinin çapı 40 ışık yılı kadardır. (Işık, kümenin bir ucundan diğer ucuna 40 yılda gitmektedir.) Açık yıldız kümeleri galaksi düzleminde, genellikle sarmal kolların içinde veya yakınında bulunurlar.

b) Küresel yıldız kümesi: Kümelenmeleri küre şeklini andıran çok büyük ve sıkışık olan yıldız kümelerine, küresel yıldız kümesi denir. Küresel yıldız kümelerinde yaşlı yıldızlar bulunur, ve bu kümelerde 10 000 ile 1 000 000 arasında yıldız vardır (Şekil 5.2). Güneş komşuluğunda küresel küme yoktur, çoğu galaksi düzleminden uzaktadır. Galaksimizin merkezi etrafında küresel bir dağılım gösterirler (Şekil 5.3).



Şekil 5.3: Saman Yolu çekirdeği etrafında 146 küresel kümenin dağılımı.

2 Yıldızlararası Madde

Uzay boşluğu sanılan yıldızlararası ortamda madde vardır; ancak, bu maddenin yoğunluğu yıldızlardaki yoğunluktan milyonlarca kez daha azdır. Yıldızlararası madde, gaz ve toz parçacıklarından oluşur. Örneğin, 1 cm^3 lük yıldızlararası uzayda ortalama olarak bir atom ve 1 km^3 lük uzayda ise 25-50 arasında küçük parcacık bulunur; buna karşın, Yer'de, deniz seviyesinde, 1 cm^3 lük hacimde milyarlarca molekül bulunmaktadır.

Yıldızlararası ortamdaki maddenin içeriğine biraz daha ayrıntılı bakıldığında aşağıdaki elemanlardan oluştuğu görülür:

a) Sıcaklığı 10-10 000°K arasında olan ve soğuk madde olarak kabul edilen nötr ya da iyonlaşmış gaz, moleküller ve toz parcacıkları, ışınım gücü yüksek, sıcak yıldızlar, uzaya yaydıkları enerji ile, çevrelerindeki gazın sıcaklığını yükseltirler ve gazı iyonlaştırırlar. Gözlenen iyonlaşmalardan, ortamdaki sıcaklığın 10 000°K civarında olduğu sonucu çıkarılmaktadır. Yıldızlararası ortamda enerjisi veya sıcaklığı daha fazla olan başka madde olduğundan; sıcaklığı 10 000°K'e kadar olan maddeye soğuk madde denilmektedir.

b) Enerjisi veya sıcaklığı çok daha yüksek olan ve kozmik ışınlar denilen atom çekirdekleri,

c) Bildiğimiz Röntgen ışınları, morötesi ışınlar ve genel olarak elektromanyetik ışınlar,

d) Çok yüksek enerjili ve nötrino denilen, Büyük-Patlama (Big-Bang) sonucu ortaya çıkan ve yıldızların evrimleri süresinde salınan parçacıklar,

e) Manyetik alan.

1944 yılında Hollanda'lı Van de Hulst, hidrojen atomunun 21 cm de bir radyo dalgası yaydığını ve bunun gözlenebileceğini öngörmüştür. Yıldızlararası ortamda en bol hidrojen olduğu için söz konusu buluş oldukça önemlidir. Daha da önemlisi radyo dalgaları yıldızlararası ortamdaki kozmik tozlardan

etkilenmemektedir veya kozmik tozlar tarafından soğurulmamaktadır. Böylece çok uzaklardaki gök cisimlerinden gelen radyo yayınları gözlenebilmiştir. Optik astronomiye göre radyo astronominin gücü, radyo dalgalarının bu özelliğinden kaynaklanmaktadır.

1945 yılında 2. Dünya Savaşı bittikten sonra bilim adamları sivil görevlerine döndü. Savaş süresince bilimsel birikimler ve teknolojik gelişmeler oldu. Bu birikim radyo astronominin hızla gelişmesini sağladı. Radyo teleskoplar gelişti. Böylece yıldızlararası maddenin yapısının ayrıntılı olarak incelenmesi kolaylaştı. Galaksimizdeki nötr hidrojen gazının dağılım haritası çıkarıldı. Yıldızlararası ortamda soğuk bölgelerde ve hidrojen atomu gibi radyo yayını yapan birçok molekül keşfedildi. Bugün yıldızlararası ortamda canlıların yapısında bulunan organik maddeleri içeren 45 ten fazla molekül gözlenmiştir. Bunlardan bazıları; su buharı, formik asit, metil alkol, formaldehid ve hidrojen siyanürdür. Bu moleküllerin çoğu 1970 li yıllardan sonra gözlenmiştir.

Bulutsular (Nebulae, Tekil: Nebula)

Yukarıda söz edilen yıldızlararası ortamdaki gaz ve toz yer yer (yoğunluğu 10 cm^{-3} ile 10^6 cm^{-3} arasında değişen) birikintiler oluşturur. Bunlara, bulut ya da bulutsu (nebula) denir. Bulutsular Saman Yolu içinde görüldüğü gibi, başka galaksiler içinde de gözlenmektedirler. Optik olarak parlak görünenleri olduğu gibi, karanlık görünenleri de vardır. Ancak, içerdikleri madde aynıdır. Farkları, içlerinde ışık kaynağının olup olmamasındadır. Son tahminlere göre yıldızlararası maddenin % 99'u gaz ve geriye kalan % 1'i de küçük toz parçacıklarından ibarettir. Yıldızlararası ortamda gaz ve toz beraberce bulunurlar. Ancak, kütle olarak gazın toza oranı 100'e 1 gibidir. Yıldızlararası ortamda, temelde hidrojen, ve bir miktar helyum, karbon, azot, oksijen, neon, demir ve bunun gibi elementler bulunmaktadır. Bu kimyasal yapı genç yıldızların yapısını andırmaktadır. Böylece yıldızların, yıldızlararası gaz ve toz bulutlarından oluştuğu anlaşılmaktadır. Yıldızlararası ortamda çeşitli boyut ve kütlelerde bulutsuya rastlanmaktadır. Örneğin, boyutları 0.1 ışık yılı ile 35 ışık yılı arasında olan toz bulutları gözlenmektedir. Buna karşın dev molekül bulutlarından da söz etmek gerekir. İsminden de anlaşılacağı gibi molekül bulutları içinde hem çeşit hem de sayı bakımından daha çok molekül bulunmaktadır. Molekül bulutları karanlık bulutsulardan hem daha yoğun hem daha sıcak hem de hacim olarak daha büyüktür, genellikle ışınım yayan bulutsuların yakınında bulunurlar. Bulutsuların kütleleri tipik olarak 60-100 güneş kütlesi aralığında olmakla beraber daha küçük ve daha büyük olanları da vardır.

Şekil 5.4: Orion (Avcı)'daki Büyük bulutsu bir Parlak bulutsudur

Birkaç farklı tipte bulutsu vardır:

Parlak bulutsular: Yakınında çok sıcak bir yıldızın veya birden fazla yıldızın aydınlattığı ve bunun sonucu ışık saçan bulutsular, parlak bulutsular olarak adlandırılır. Kimi parlak bulutsular yalnız aydınlatan yıldızın ışığını yansıtırlar; bunlara, bazen yansıma bulutları da denir. Çoğunda ise aydınlatan sıcak yıldızın yaydığı yüksek enerjili ışınlar bulutsu içindeki hidrojen gazı tarafından soğurulur ve daha sonra H_α olarak tekrar salınırlar. Bu nedenle bu tip bulutsulara, bazan salma bulutsuları da denir. Güneşin de içinde bulunduğu "Orion" sarmal kolu içinde bulunan Orion takım yıldızındaki Büyük bulutsu bu tipe bir örnektir (Şekil 5.4).

Karanlık bulutsular: Saman Yolu'nun teleskoplarla fotografı çekildiğinde yer yer karanlık bölgeler dikkati çeker. Seksen veya doksan yıl önce ilk gözlendiklerinde, bu bölgelerin birkaç yıldızın bulunduğu delikler olduğu sanılmıştı. Ancak, şimdi biliyoruz ki karanlık görünen bu görüntüler büyük gaz ve toz bulutlarıdır. Daha uzaktaki gök cisimlerinden gelen ışığı engellerler ve geçirmezler, bu sebeple karanlık görünürler. Bu tip bulutsuların arkasında kalan bölgelerdeki gök cisimlerini görmemiz olası değildir. Yine Orion takım yıldızı içinde bulunan Atbaşı Bulutsusu bu gruba iyi bir örnektir (Şekil 5.5).

Şekil 5.5: Orion: Atbaşı karanlık bulutsu

Şekil 5.6: Çalgı takım yıldızında Yüzük bulutsusu

Gezegenimsi bulutlar: Bazı yıldızlar yaşamlarının belli bir evresinde patlama gösterirler ve dış katmanlarındaki maddeyi uzaya atarlar. Uzaya atılan madde yıldızın etrafında ve çekim alanı içinde kalır. Bunu soğanın dışındaki birkaç katmanın göbek kısmından ayrılması gibi düşünebiliriz. Ayrılan ve kabuk şeklindeki bulutsu dışa doğru yavaş yavaş genişler. Bunlar, merkezi yıldız etrafında kabuk oluştururlar. Esasen gezegenlerle hiçbir ilgileri yoktur. Ancak görünüşü, teleskoplarla bakıldığında gezegenlerin görünüşünü andırdığı için bu adla anılmaktadırlar. Çalgı (Lyra) takım yıldızı içindeki Yüzük bulutsusu bu tipe güzel bir örnek oluşturur (Şekil 5.6).

Şekil 5.7: Boğa takım yıldızında Yengeç bulutsusu

Süpernova kalıntıları: Boğa takım yıldızı içindeki Yengeç bulutsusu buna en güzel örnektir (Şekil 5.7). Belli bir kütleye sahip olan yıldızlar, yaşamlarının belli bir evresinde şiddetli bir patlama geçirirler. Kütlelerinin yarısından fazlasını uzaya atarlar. Geriye, sıkı, ekseni etrafında milisaniyelik dönme periyodu olan ve bugün nötron yıldızı olduğunu bildiğimiz atarca (pulsar) kalır. Atılan gaz kütlesi merkezdeki yıldız etrafında yavaş yavaş genişleyen bulutsuyu oluşturur. Yengeç bulutsusu böyle oluşmuş bir bulutsudur. Onu oluşturan patlamayı Çinliler 1054 yılında gözlemiş ve gündüz ikinci bir güneş gibi bir süre izlemişlerdir, çünkü patlama sonucunda yıldız parlaklığını milyon kez artırmaktadır.

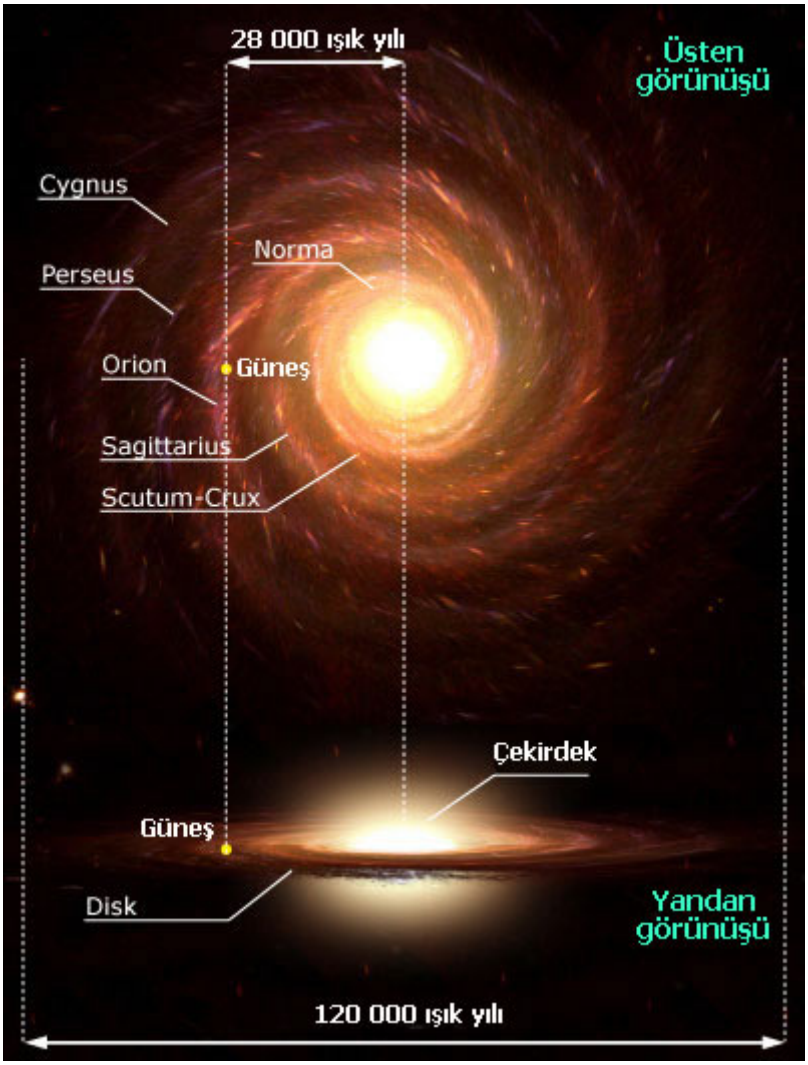
Benzer bir oluşum 1987 yılında Büyük Macellan Bulutu içinde de gözlenmiştir. Ancak bu süpernova çok uzak (yaklaşık 160000 ışık yılı) olduğu için gündüz görülememiş, güney enlemlerden geceleri gözlenebilmiştir

3 Galaksimiz: Saman Yolu

Ormana girdiğimizde tek tek ağaçları görürüz ve ormanın şeklini anlayamayız. Benzer şekilde; içinde bulunduğumuz için Galaksimizin tamamını görebilmemiz mümkün değildir. Ancak galaksilerin fotografını çekebiliriz. Bir önceki bölümde söz edilen 21 cm lik hidrojen radyo dalgası gözlemleriyle madde dağılımı incelendikten sonra Galaksimizin onlara benzediği anlaşılmıştır.

Gece gök yüzüne baktığımızda görünen; gök küreyi yaklaşık olarak büyük daire boyunca saran parlak ve yaygın ışık bandına, Saman Yolu denir. İngilizce'de Sütlü Yol anlamında "Milky Way" olarak bilinmektedir.

Saman Yolu'na üstten ya da yandan bakabildiğimizi var sayalım. Yandan bakıldığında kurbağa yutmuş yılanı andırır, üstten bakıldığında ise sarmal kolları açık olarak görülür (Şekil 5.8) ve yassı bir cep saatine benzer. Şekil tamamen temsilidir, ölçülere uygun çizilmemiştir.



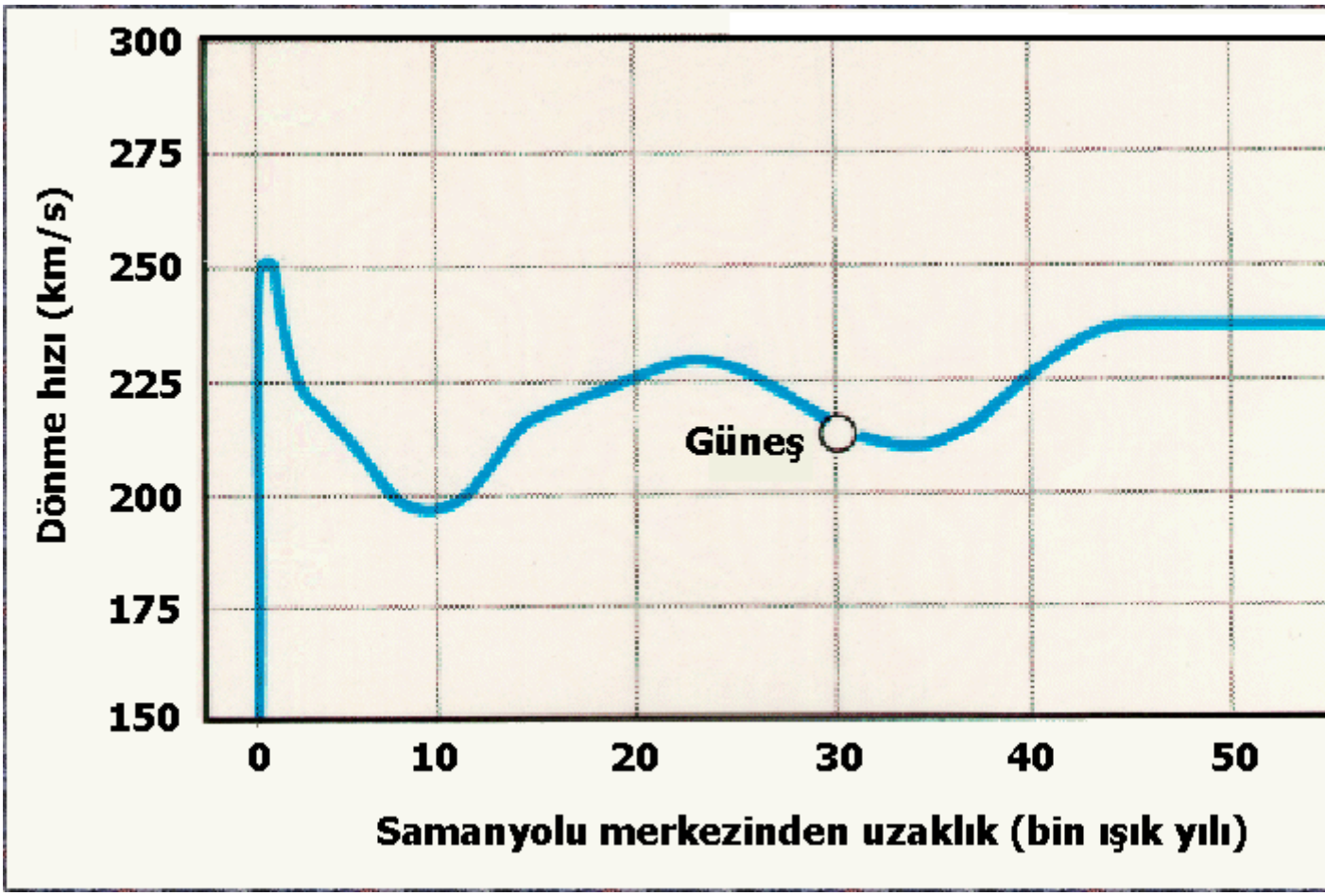
Şekil 5.8: Saman Yolu'nun temsili görünüşü.

Saman Yolu'nun AB çapı yaklaşık 100 bin ışık yılı uzunluğundadır. (Bir ışık yılı, 300000 km/sn hızla hareket eden ışığın bir yılda aldığı yoldur.) O merkezli şişliğin CD kalınlığı ise 15 bin ışık yılıdır. Güneş,

Saman Yolu merkezine yaklaşık 30 bin ışık yılı uzaklıkta, ve Saman Yolu düzleminin 26 ışık yılı kuzeyindedir (Şekil 5.8).

Şekil 5.8 de görülen sarmal kollarda;gaz, toz, molekül bulutları, genç yıldızlar ve açık kümeler bulunur. Yaşlı yıldızlar ve küresel kümeler ise Saman Yolu merkezi etrafında daha küresel bir dağılım gösterir.

Saman Yolu'nun Dönmesi



Şekil 5.9: Saman Yolu merkezinden değişik uzaklıklarda yörünge hızları. (Saman Yolu farklı dönme eğrisi)

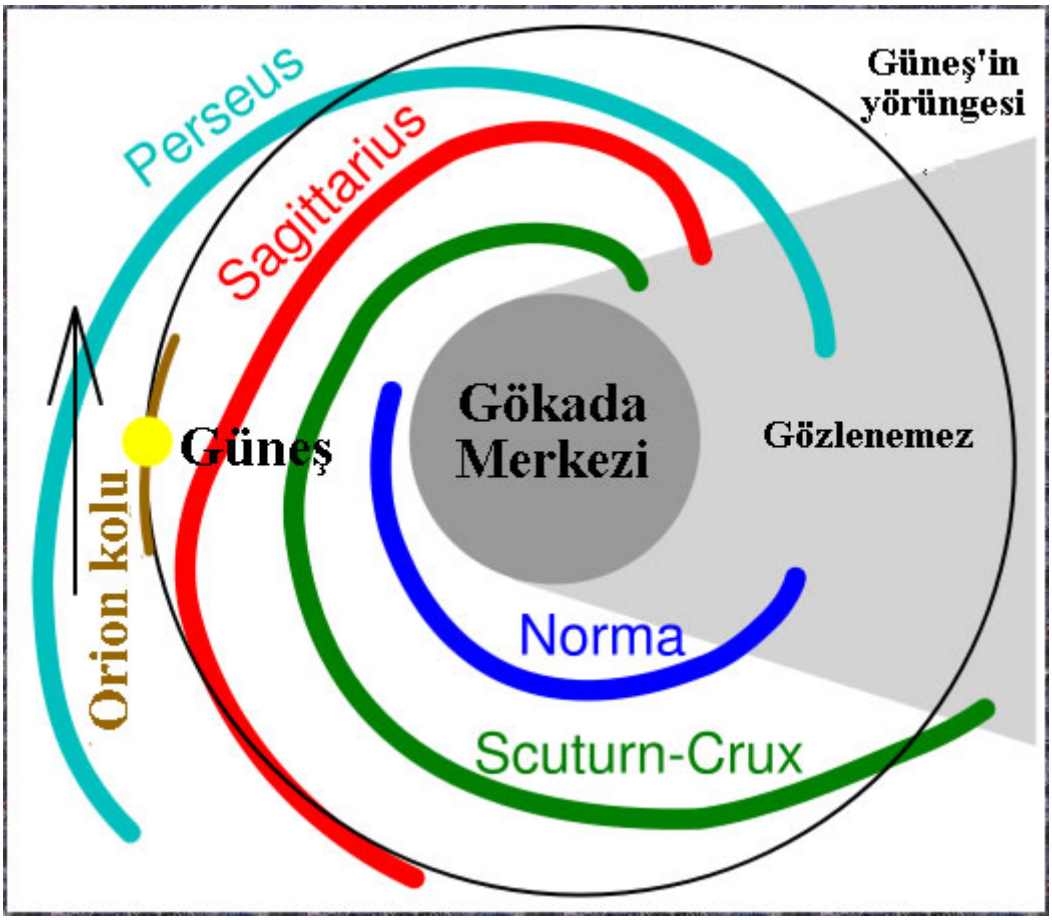
Araştırmalar, Saman Yolu'nun merkeze yakın iç kısmının katı bir cisim gibi döndüğünü göstermiştir. İç kısımdan uzaklaştıkça, merkezden dışarıya doğru yörünge hızları artar ve güneşin bulunduğu yere (Şekil 5.8 de G noktası) gelmeden önce veya güneş dairesi civarında hız değişimi yön değiştirir. Bu noktadan sonra yörünge hızları uzaklıkla ters olarak değişir;hızlarda yavaşlama görülür (Şekil 5.9). Yörünge hızlarının merkezden dışarıya doğru Şekil 5.9 da görüldüğü gibi değişmesi, Saman Yolu'nun CD ekseni etrafında farklı (diferansiyel) dönmesi olarak tanımlanır.

İkinci Dünya Savaşından sonra radyo teleskopların gelişmesi ve hidrojen atomunun 21 cm dalga boyunda radyo ışınımı yaydığının keşfedilmesi Saman Yolu'nun dönmesinin ayrıntılı gözlenmesini mümkün kılmıştır. Doppler kaymasından yararlanarak, 21 cm radyo yayını yapan hidrojen bulutlarının dönme hızları bulunmuş ve farklı dönmenin olduğu belirlenmiştir. Zaten üstten görünüşünün verdiği izlenim, sarmal kollar ve şeklinin basıklığı da bunu anlatmaktadır.

Güneşin Saman Yolu merkezi etrafında dolanma hızı yaklaşık 220 km/sn dir. Böylece Güneş sistemi, merkez etrafındaki bir dolanmayı yaklaşık 200 milyon yılda tamamlar.

Optik ve radyo gözlemleri Saman Yolu'nun 3 ana sarmal kolunun olduğunu göstermiştir. En içte Sagittarius, daha sonra Orion ve en dışta Perseus sarmal kolu bulunmaktadır. Güneş sistemimiz Orion sarmal kolu içinde yer almaktadır (Şekil 5.10).

Güneş komşuluğunda gözlenen dönme hareketinden ve Saman Yolu merkezine olan uzaklıktan yararlanarak, Saman Yolu'nun kütlesini hesap etmek mümkün olmuştur. Buna göre Galaksimiz, Saman Yolu'nun kütlesi 100 milyar Güneş kütlesine eşdeğerdir. Bu demektir ki Saman Yolu yaklaşık 100 milyar yıldız içermektedir.



Şekil 5.10: Saman Yolu'nun 3 ana sarmal kolunun güneş komşuluğundaki gösterimi

.4 Dış Galaksiler

Immanuel Kant ve Thomas Wright gibi filozoflar, milyonlarca yıldızdan oluşan Saman Yolu'nun dışında, bağımsız sistemlerin varlığını tartışmışlardı. Gerçekten de bugün böyle olduğu gözlemsel olarak gösterilmiştir. Teleskop ve fotografın gelişmesinden sonra çok sayıda bulutsu keşfedildi. Bunların, önceleri; Saman Yolu içinde olduğu sanılmıştı, fakat sonradan çoğunun Saman Yolu içinde değil dışında, daha uzakta ve milyarlarca yıldız içeren birer sistem olduğu anlaşıldı. Bunu, ilk kez 1924 yılında Edwin Hubble gösterdi. E. Hubble Andromeda (Şekil 5.11) galaksisini gözledi ve uzaklığını, içindeki sefeid türü değişen yıldızlar yardımıyla ölçerek Saman Yolu'nun dışında olduğunu kanıtladı. Bugün Andromeda galaksisinin bize 2 milyon ışık yılı uzaklıkta, buna karşın Saman Yolu galaksisinin çapının yalnız 100 000 ışık yılı olduğunu biliyoruz. Bunu, başka galaksilerin keşfi izledi. Böylece evrende, Galaksimizin dışında, benzer ve benzer olmayan başka galaksilerin var olduğu keşfedilmiş oldu.

Şekil 5.11: Andromeda galaksisi (Saman Yolu'na benzeyen, bazen ikizi denen galaksi).

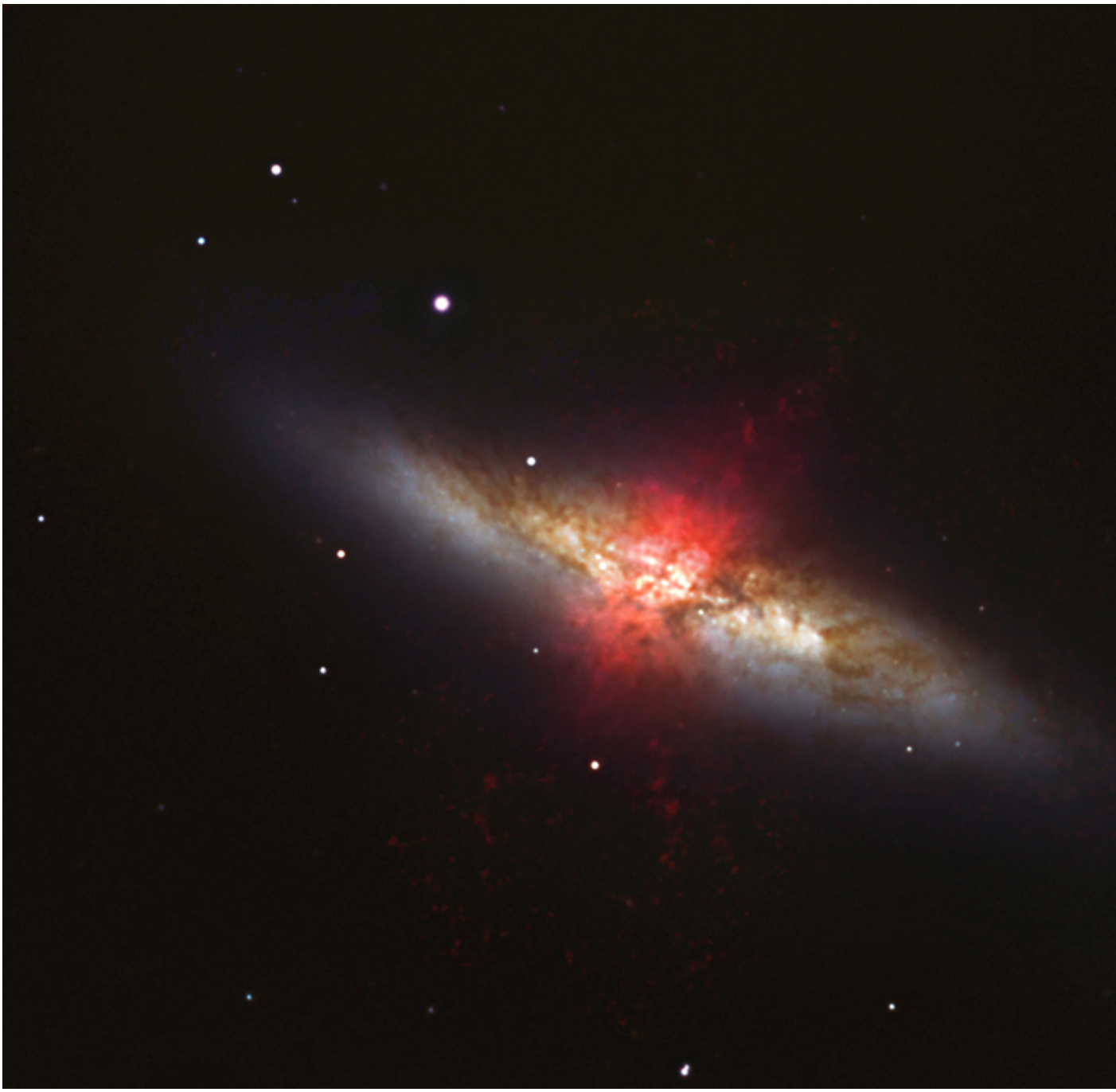
Galaksi Türleri

Şekil bakımından üç tür galaksi vardır:Sarmal kollu galaksiler, eliptik galaksiler ve belli bir şekli olmayan, düzensiz galaksiler (Şekil 5.12, 5.13, 5.14). Sarmal kollu galaksilerin kütleleri 1 milyar ile 200 milyar güneş kütlesi büyüklüğündedir. Bu galaksilerde, özellikle sarmal kollarda, gaz ve toz bulunmaktadır. Bu bölgelerde yeni yıldızların oluştuğu bilinmektedir. Eliptik galaksilerin kütlesi 1 milyon ile 10 trilyon güneş kütlesi büyüklüğündedir. Eliptik galaksilerin içinde hiç toz yok, fakat çok az gaz vardır. Bu nedenle yeni yıldız oluşumları gözlenmemektedir. Düzensiz galaksilerin kütlesi ise 100 milyon ile 30 milyar güneş kütlesi arasında değişmektedir. Düzensiz galaksilerde gaz çoktur.

Şekil 5.12: Sarmal kollu bir galaksi (M51, Canes Venatici takım yıldızı içinde).

Şekil 5.13: M60 adlı eliptik bir galaksi. Spiral kollara sahip NGC4647 galaksisi ile birlikte bir çift oluşturuyorlar

Galaksimiz (Saman Yolu) ve Andromeda sarmal kollu galaksilere tipik örnektir. Büyük Macellan Bulutu ve Küçük Macellan Bulutu ise düzensiz galaksiler için tipik örnektirler.



Şekil 5.14: M82, düzensiz veya şekilsiz bir galaksi.

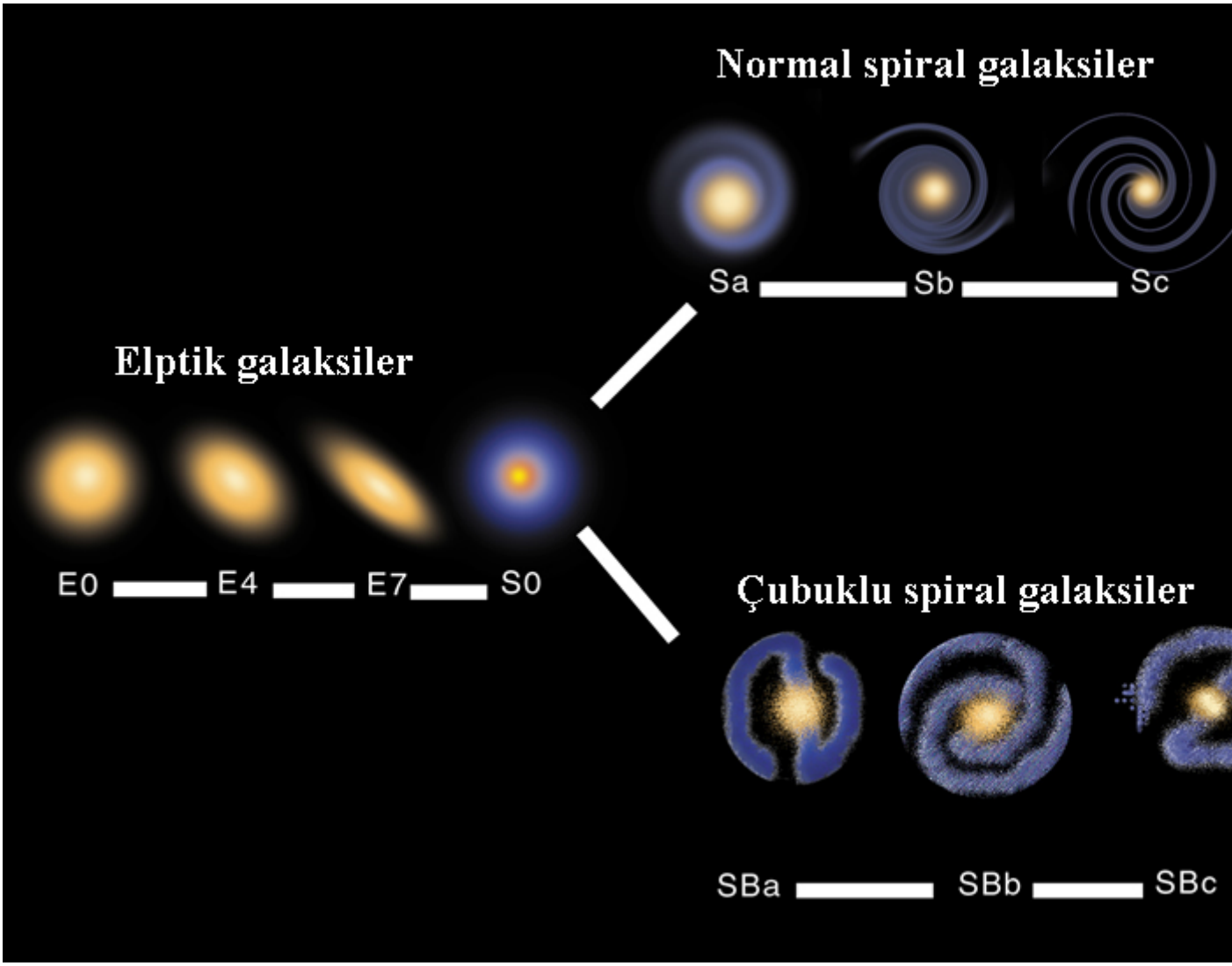
Galaksilerde Hubble Sınıflaması

Kendi ismiyle anılan sınıflandırmayı Hubble 1920'li yıllarda tanımladı. Galaksilerin sınıflandırılması, çatala benzer bir şekil üzerinde üç ana grupta dizi hâlinde gösterilir. Eliptik galaksiler basıklık derecesine göre sıralanmıştır. Sarmal kollu galaksiler ise sarmal ve çubuklu sarmal galaksiler olarak ayrılır (Şekil 5.15). Dördüncü grubu da düzensiz galaksiler oluşturmaktadır. Galaksilerin daha ayrıntılı sınıflandırılmaları için kitabın arkasındaki okuma parçasını okuyunuz.

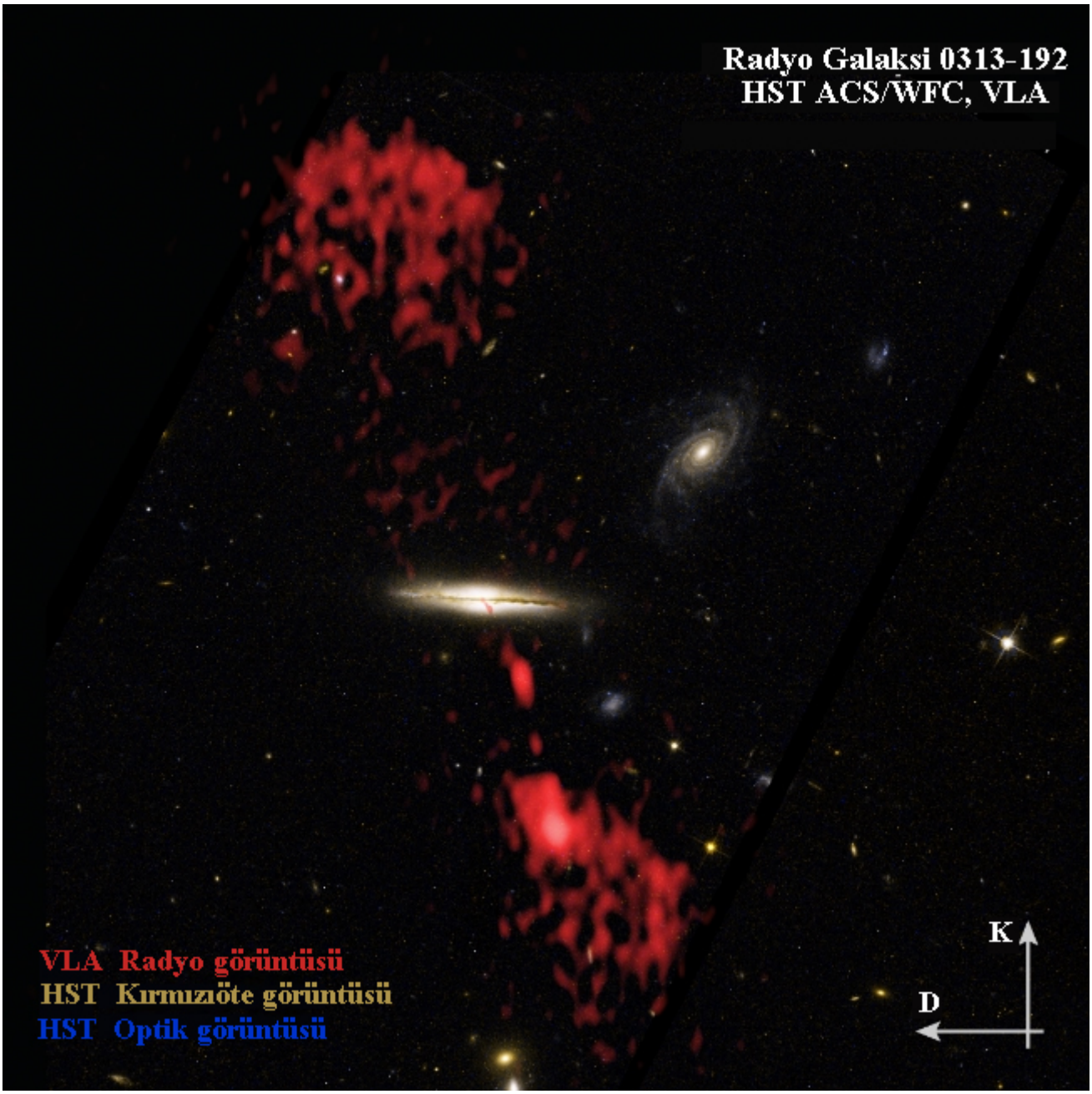
Radyo Galaksiler

İkinci Dünya Savaş'ında radar, yoğun olarak kullanıldı. Bunun sonucu 1950'li yıllarda radyo teleskoplar gelişti. Kısım 5.2 de anlatıldığı gibi 1944'te hidrojen atomunun radyo dalgası yayacağı öngörülmüştü.

Bunun gözlemlerle keşfi ve hidrojen atomunun evrenin her yerinde bol miktarda var olması yeni bir çağ başlattı. Radyo teleskoplarla evrenin çok uzak bölgeleri de kolayca gözlenir oldu. Birçok radyo ışınımı yayan kaynak gözlendi. Bunların galaksi oldukları anlaşıldı. Böylece yüzyılımızın ikinci yarısının başlarında tek radyo galaksiler ve radyo galaksi grupları gözlenmiş ve kataloglar düzenlenmiştir.



Şekil 5.15: Hubble çatal diyagramı.



Şekil 5.16:Bir çift radyo galaksisinin optik bir galaksi ile ilişkisini göstermektedir

Radyo ışınımı yayan galaksiler; eliptik, sarmal veya düzensiz türde olabilir. Bazı hâllerde optik olarak tek bir nesne görülürken, aynı bölgeden iki ayrı merkezden radyo ışınımının geldiği belirlenmiştir. Modern interferometrelerle yapılan ayrıntılı radyo gözlemleri, radyo galaksilerin birçoğunda radyo yayını yapan büyük bulutların, merkezdeki optik galaksiye göre simetrik konumda olduğunu göstermiştir. Radyo galaksilerin bu şekilde çift yapı göstermeleri merkezdeki optik galakside meydana gelen şiddetli patlamaların sonucu oluştukları izlenimini vermektedir. Böylece radyo yayını yapan bulutların ortak bir çıkış noktası vardır ve birbirleriyle fizikî bağlantıları mevcuttur (Şekil 5.16).

5 Galaksi Kümeleri

100 milyar yıldızın oluşturduğu sistem olan Saman Yolu'nun yakın komşuluğunda 30'u aşkın küçüklü büyüklü galaksi vardır. Bunlara, Yerel Grup denir. Çekimsel olarak birbirine bağlı olan Yerel Grup üyeleri arasında Küçük Macellan Bulutu, Büyük Macellan Bulutu ve Andromeda gibi bildiğimiz galaksiler vardır. Büyük Macellan Bulutu bize 160 000 ışık yılı uzaklıkta ve en yakın Yerel Grup

üyesidir. Messier kataloğunda M33 olarak bilinen galaksi ise bilinen en uzak Yerel Grup üyelerinden biridir. (Uzaklığı yaklaşık 2 400 000 ışık yılıdır.)

Büyük ve Küçük Macellan Bulutları'nın düzensiz tür olduklarını söylemiştik. Bunlar Saman Yolu'nun uydu galaksileri olarak bilinir. İleride göreceğimiz gibi her şey, hareket hâlindedir. Yerel Grupta da galaksiler birbirine göre hareket hâlindedir. Örneğin; Andromeda bize doğru 300 km/sn lik hızla yaklaşmakta, Büyük Macellan Bulutu ve Küçük Macellan Bulutu sırasıyla 300 km/sn ve 170 km/sn lik hızla bizden uzaklaşmaktadır. Andromeda'nın ve bir kısım diğer Yerel Grup üyelerinin hareketleri grup içinde yerel hareketlerdir. Bu nedenle evrenin genişlemesiyle ilgili genel gözlemleri desteklemezler.

3,25 milyon ışık yılı uzaklıktan sonra, galaksi sayısında ani bir düşüş görülmektedir. Bu uzaklıktan sonra mutlak anlamda olmasa bile bir boşluk vardır. Daha sonra, Yerel Gruba benzer pek çok galaksi kümeleri gözlenmektedir. Galaksi kümelerinin üye sayıları birbirinden oldukça farklıdır. Bin ve daha fazla üyeli kümelerin varlığı bilinmektedir. Örneğin; Yerel Kümeye en yakın olan Virgo galaksi kümesi içinde binlerce galaksi vardır. Bu kümeler, içinde görüldükleri takım yıldıza göre isimlendirilmişlerdir.

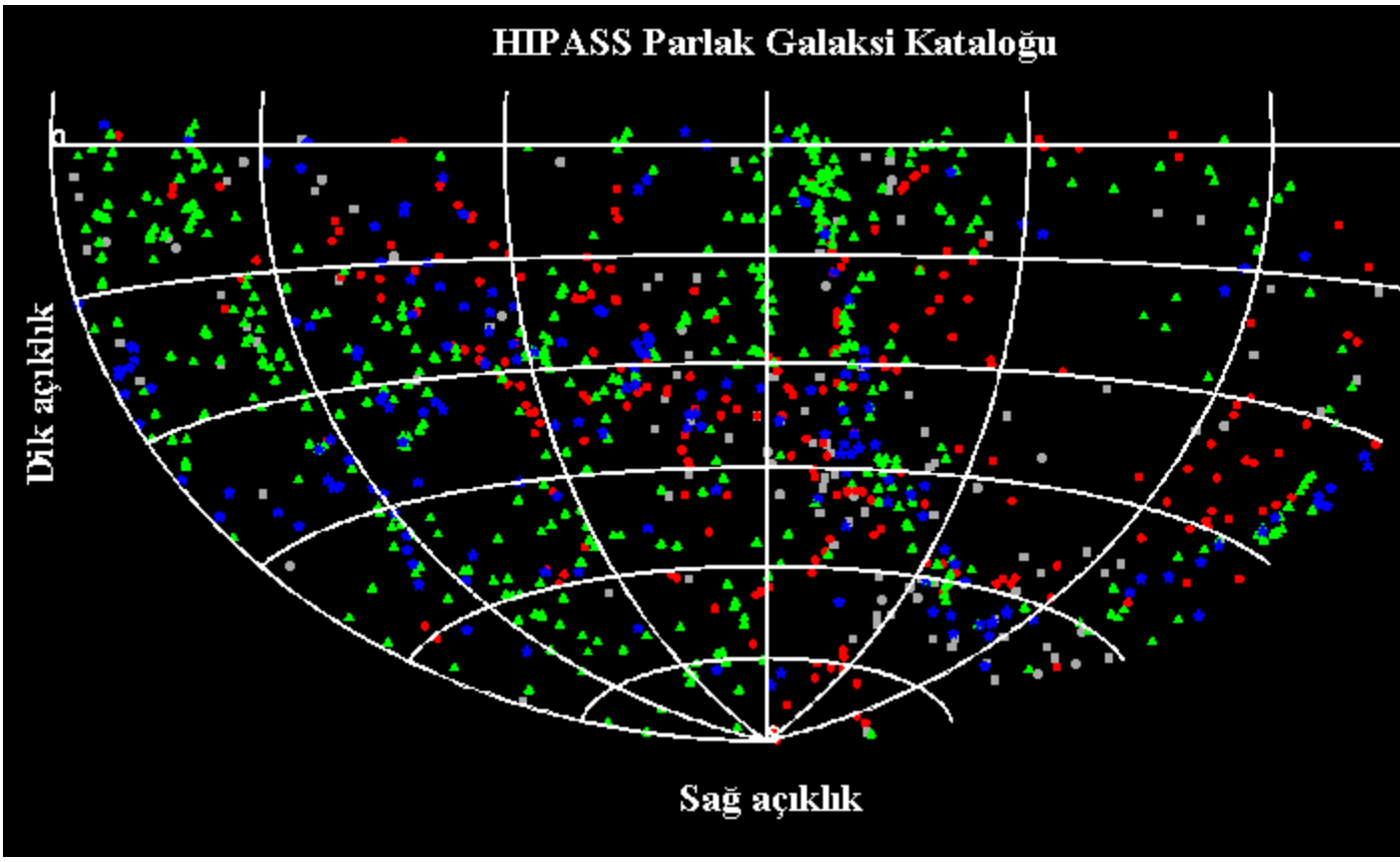
250 milyon ışık yılı uzaklık içinde birkaç galaksi kümesi vardır. Bunlardan, bize en yakın olan Virgo kümesi yaklaşık 36 milyon ışık yılı uzaklıkta ve 7 milyon ışık yılı çapındadır. Bu kümeler içindeki galaksilerin biçimlerini açık bir şekilde görebiliriz, çünkü bu uzaklık astronomi ölçülerinde fazla değildir (Şekil 5.17). Göreceli olarak yakın kabul edebileceğimiz bu kümelerin ötesinde, üye sayısı bakımından daha zengin kümeler bulunmaktadır. Uzaklıktan dolayı, bu kümelerdeki galaksilerin şekillerini seçemeyiz, onlar leke gibi ya da yıldız gibi nokta şeklinde görünürler (Şekil 5.18).

Yerel Grup'ta olduğu gibi diğer galaksi kümelerinde de galaksiler arasındaki uzaklık çok çok büyüktür. Yıldızlararasındakine benzer, galaksiler arasında da gaz ve toz parçacıkları bulunmaktadır. Ancak bu maddenin yoğunluğu o kadar azdır ki, galaksilerarasındaki ortam Yer'de elde edilebilecek boşluktan milyonlarca kez daha boşluktur. Böylece evrenin önemli bir kısmının boş uzay olduğu söylenebilir, fakat evrenin yapısını bu boşluk değil, galaksi veya galaksi kümelerinde bulunan madde belirler.

Şekil 5.17: Leo takım yıldızı içinde bir yakın galaksi kümesi.

Şekil 5.18: Corona Borealis takım yıldızı içinde bir uzak galaksi kümesi

Galaksilerin kümelenmelerinden, evrende çeşitli boyutlarda yapının var olduğu anlaşılmaktadır. Bu yapının kökenini anlamak çağdaş kozmolojinin en başta gelen sorunlarından birisidir. Bugün biliyoruz ki evrende galaksi kümelerinden de büyük çapta yapılar vardır. Harvard Astrofizik Merkezinin parlak galaksilerle ilgili yaptığı araştırma, galaksilerin ve galaksi kümelerinin boyutlarından da büyük sistematik bir yapı olduğunu göstermiştir. Söz konusu yapıda galaksiler bir sicim üzerine dizilmiş gibi görünmekte ve dağılımlarında oldukça büyük boşluklar göze çarpmaktadır (Şekil 5.19).



Şekil 5.19: Ekvatoryal koordinat sisteminde parlak 1000 galaksilerin dağılımı: Burada, mavi semboller hızları <1000 km/s; yeşil semboller uzaklaşma hızları 1000 ile 2000 km/sn; kırmızı sembolle gösterilenlerin uzaklaşma hızları 2000 ile 3000 km/sn; gri sembolle gösterilenlerin hızları ise 3000 km/sn'den büyüktür. Galaksilerin dağılımındaki yapı ve yer yer boşluklar veya delikler dikkat çekicidir

.6 Kuazarlar ve Genişleyen Evren

Kuazarlar

Konumları çok iyi bilinen bazı radyo kaynaklarının gözlendikleri yerlerde optik galaksi bulunamamıştır. Bununla beraber, bazı hâllerde radyo kaynağı ile aynı konumda olan sönük, yıldızımsı nesnelerin fotografı çekilmiştir. Böyle bir nesne ilk kez 1960 yılında 3C48 numaralı radyo kaynağının bulunduğu yerde keşfedilmiştir. Bu keşfi T. Matthews ve A. Sandage Amerikan Astronomi Derneği'nin 107 nci toplantısında aynı yıl açıklamışlardır. Cambridge kataloğuna göre 3C48 olarak bilinen bu ilk nesneden sonra, 1963 te 3C273 ve 1967 ye gelindiğinde 150'nin üzerinde benzer nesne gözlenmiştir. Bir yıldız gibi küçük göründüğünden bunlara "yıldızımsı nesne" (quasi-stellar object=quasar) adı verilmiştir.

Kuazarlar şimdiye kadar gözlenebilen en uzak cisimlerdir. Evrenin gözlenebilir en uç sınırlarındadırlar. Hem optik hem de radyo bandında müthiş enerji yayarlar. Tipik bir kuazarın yaydığı enerji, Güneş'in enerjisinden 10 trilyon kez daha fazladır. Bu enerji patlama şeklinde yayılmaktadır. Böyle bir enerjiyi tek başına uzaya yayabilen bir cismin kütlesinin çok büyük olması gerekir ki bunun da Güneş'in bir milyar katı civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu nedenle kuazarların galaksi çekirdekleri olabileceği düşünülmektedir.

3C273 isimli radyo kaynağı araştırıldığında, kuazarın tayfı alınabilecek kadar parlak olduğu belirlenmiştir. Bu belirlemeden sonra kuazarların yüksek kırmızıya kayma gösterdikleri keşfi yapılmıştır. (Kırmızıya kayma, ışık yayan kaynağın gözlemciden göreceli olarak uzaklaşması sonucu söz konusu kaynaktan gelen fotonların daha düşük enerjilere veya daha düşük frekanslara olan kaymasıdır.) Eğer bu Doppler kaymasından kaynaklanıyor ise 3C273 bizden ışık hızının % 16 sı bir hızla uzaklaşmaktadır. Benzer şekilde 3C48 kuazarının da bizden, ışık hızının % 37 si kadar bir hızla

uzaklaştığı bulunmuştur. Galaksilerde bu kadar yüksek uzaklaşma hızı gözlenmemektedir. Uzaklaşma hızlarından, bize olan uzaklıkları Hubble yasası (Daha sonra açıklanacak...) yolu ile tayin edilebilmektedir.

1965 yılında yapılan radyo gözlemleri 3C273'ün radyo ışınımı akı yoğunluğunu, 3 yılda % 40 artırdığını göstermiştir. Bu gözlemler kuazarlarda zaman zaman radyo patlamaları olduğuna işarettir. 3C273, radyo yayını şiddetinde değişkenlik gösteren en aktif kuazarlar arasındadır. Bu tür değişken kuazarlar, optik bandta da değişkenlik göstermektedir.

Radyo frekanslarındaki müthiş aktivite, kuazarların çekirdeğinden periyodik olarak yüksek enerjili elektron bulutlarının atılması ile açıklanabilir. Bununla beraber elektron bulutlarının çekirdekten dışarıya atılmasını sağlayan mekanizmayı besleyen enerji kaynağının ne olduğu tam olarak bilinmemektedir. Kuazarlardaki bu büyük enerji gereksinmesinin, merkezdeki büyük kütleli kara deliklerin çekimi sonucu merkeze düşen maddenin ortaya çıkardığı çekim enerjisi ile karşılandığı düşünülmektedir.

Daha önce, 3C48 ve 3C273 ün yüksek kırmızıya kayma gösterdiklerinden söz edilmişti. Genel olarak kuazarlar, yüksek kırmızıya kayma göstermektedir. Birçok kuazarda kırmızıya kayma miktarının 2 ve daha yüksek olduğu bulundu. Burada kırmızıya kayma miktarı, ışık hızına yakın bir hızla hareket eden kaynaktan bize gelen ışığın dalga boyundaki farklılaşmanın, kaynaktan yayıldığı andaki dalga boyuna oranının ölçüsüdür (=⊗⎿/⎿; ⊗⎿= dalga boyundaki farklılaşma, ⎿= ışığın kaynaktan çıktığı andaki dalga boyu). Bu da kuazarların bizden uzaklaşma hızlarının ışık hızının %80 yöresinde olduğunu gösterir.

Yüksek kırmızıya kayma veya hızlarla ilgili başka açıklamalar önerilmiş ise de, kuazarların bizden uzaklaşma hızları tüm uzak galaksilerin uzaklaşmalarına neden olan evrenin genişlemesinden kaynaklandığı yaygın kabul görmüştür. Bu demektir ki kuazarlar çok uzakta, evrenin en uç noktalarında bulunmalıdırlar. Bize gelen ışık zaman içinde yol katettiğinden, uzağa bakmak, veya uzağı görmek demek, geçmişe bakmak veya geçmişi görmek demektir. Bu nedenle kuazarlar evrenin çok erken dönemine ait bilgileri bize göndermektedir. Bununla beraber bu evreyi incelemek için henüz yeterli veriye sahip değiliz.

Genişleyen Evren

Bizden yaklaşık 15 milyar ışık yılı uzaklıktaki gök cisimlerinin uzaklık ölçümleri yapılabilmektedir. Uzaklık ölçümündeki bu sınır teknolojinin koyduğu bir sınırdır.

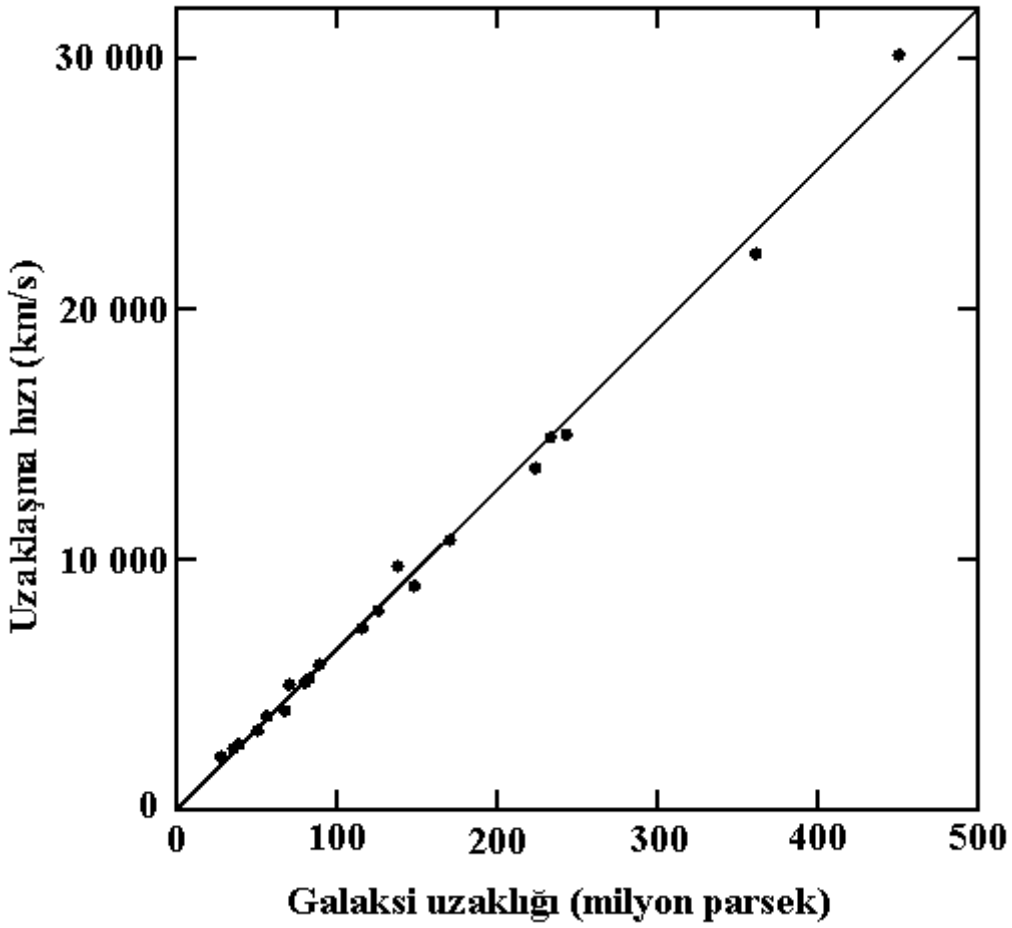
Uzak galaksiler gözlendiğinde bizden uzaklaştıkları görülmektedir. Bu gözlemler ilk kez Hubble ve Lundmark tarafından 1920'lerde yapıldı. Aynı yıllarda Hubble, ABD'de Mount Wilson Gözlem Evi'nde yaptığı çalışmalarında birçok galaksinin uzaklıklarını tayin etti. Aynı galaksilerin uzaklaşma hızlarını da ölçtü. Ölçümlerini yaptığı 45 kadar galaksinin hızlarını uzaklıklarına karşı bir grafikte noktaladı. Bu grafiğin bir doğru olduğunu gördü ve hız ile uzaklık arasında aşağıdaki bağıntıyı elde etti:

$V = H \cdot d$

Burada V, galaksinin bizden uzaklaşma hızı, d uzaklığıdır. H ise söz konusu grafikteki doğrunun eğimidir ve Hubble sabiti olarak bilinir. H sabitinin

yaklaşık değeri 17 km/sn/milyon ışık yılıdır. Bu demektir ki uzaklık 1 milyon ışık yılı artınca hız 17 km/sn artar. V-d arasındaki bu bağıntı evrenin genişlediğini gösteren meşhur Hubble yasasıdır. Bu yasaya göre başka galaksi kümelerinde bir cisim bizden ne kadar uzakta ise küme ile beraber o kadar büyük hızla bizden uzaklaşmaktadır. Bir önceki kısımda kuazarların çok uzaklarda gözlendiğini söyledik. Büyük hızlarla bizden uzaklaştıklarını da belirttik. Bu sonuçlar da Hubble yasasına uymaktadır.

Hubble'ın galaksi veya galaksi kümeleri için V-d grafiği Şekil 5.20 de görülmektedir. Yerel Grup dışındaki galaksilerin uzaklıkları ve galaksilerde gözlenen kırmızıya kayma miktarları (hızları) arasındaki ilişki, Şekil 5.21 de verilmiştir.



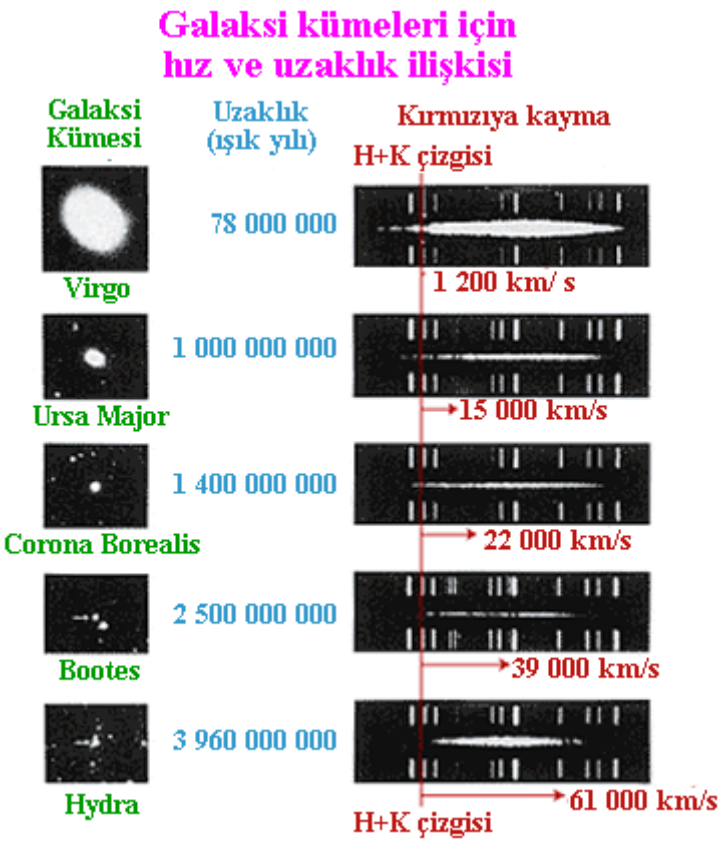
Şekil 5.20: Hubble'ın, galaksi kümeleri için çizdiği hız ve uzaklık bağıntısını veren bir grafik.

7 Evren Modelleri

Evren modellerinin ayrıntılarına geçmeden önce, evrenin bize nasıl göründüğünü özetleyelim. Gözlemlerden hareketle evrenin geçmişini anlamaya ve evrenin geleceğinin ne olabileceğini modellerle açıklamaya çalışalım:

Son 25-30 yıl içinde evreni anlamamızda gerçek bir devrim yaşandı. Gözlem teknikleri gelişti. Radyo, milimetre, kırmızı ötesi, mor ötesi, X-ışını ve gama ışını dalga boylarında gözlemler yapılabilir hâle geldi. Yer üzerinden olduğu kadar, uzaydan da gözlemler yapıldı. Yeni geliştirilen alıcılar, detektörler ve çok hızlı bilgisayarlar astronomide baş döndürücü gelişmelere neden oldu. Bu gelişmeler, evrenin anlaşılmasına önemli katkılar yaptı. Bu arada fizikte de benzer gelişmeler oldu ve bu bilgiler de evrenin anlaşılmasına katkılarda bulundu.

Öncelikle, evrenin şu andaki içeriğinin ne olduğundan başlamakta yarar var. Önce, bildiğimiz maddeyi sayalım. Bildiğimiz madde ile yıldızlar, gaz ve toz kastediliyor. Bunlar optik gözlemlerle saptanan maddeyi temsil etmektedir. Söz konusu maddenin, sıcaklığı 3000 ile 30 000°K arasındaki maddedir ki bu sıcaklıklar kara cisim sıcaklıklarıdır. Evrendeki maddenin çoğu bu hâldedir.



Şekil 5. 21: Saman Yolu dışındaki galaksiler için kırmızıya kayma(hız) ve uzaklık arasındaki bağıntı. Kırmızıya kaymalar Doppler formülüne göre hız olarak ifade edilmiştir. Oklar, kalsiyumun H ve K çizgilerindeki kırmızıya kaymayı göstermektedir.

Yıldızlar, gaz ve toz, galaksileri oluştururlar. Bunlar belki de başlangıç koşullarının farklı olması nedeniyle farklı oluşmuştur. Galaksiler evrenin temel taşlarıdır. Tek başına bulunan galaksiler azdır, daha çok gruplar hâlinde bulunurlar. Daha önce de söz edildiği gibi galaksi kümelerinden de büyük yapıların varlığı söz konusudur. Bununla beraber, gök yüzünde yeterli büyüklükteki alanlarda ortalama alınırsa, içerdiği madde miktarı bakımından evren her yönde aynı görülmektedir. Buna, evrenin eşyönlülük özelliği denir.

Evrenin ikinci bileşeni ışınımdır. Kozmoloji için en önemli olanı bunun kara cisim bileşenidir. Einstein'ın $E = mc^2$ denklemini kullanarak kütle karşılığını bulduğumuzda, bilinen normal madde yoğunluğundan 1000 kez daha küçük olduğu görülür. Başka bir deyişle, evrendeki ışınımın yoğunluğu normal madde yoğunluğunun binde biri kadardır.

Mikrodalga arka-alan ışınımının (Büyük Patlama ile evrene yayıldığı düşünülen ve evrenin her yerinde gözlenen ışınım ki yayıldığı zamanın izlerini taşımaktadır ve bu bakımdan çok önemlidir.) ilginç iki özelliği vardır:Birincisi her yönde aynı şiddette gözlenmesi, eş yönlü olması; ikincisi ise bu ışınımın 2.7°K'lik bir kara cisim ışınımı olmasıdır. Bu astronomide rastlanabilecek en iyi bir kara cisim ışıması olarak düşünülebilir. Önemi, evrende belli bir zamanda, madde ile ışınımın aynı sıcaklıkta dengede olmuş olduğudur.

Son olarak, evrenin üçüncü bileşeni normal olmayan maddedir. Bunu ikiye ayırabiliriz: Relativistik plâzma ve manyetik alan (karanlık veya saklı madde). Bunlardan, ikinci kategorideki madde üzerinde biraz durmak istiyoruz. Galaksi veya galaksi kümeleri gibi büyük sistemlerin yaydıkları ışınımdan hareketle, sistemin dinamiğinden bulunan madde miktarı açıklanamamaktadır. Galaksi kümeleri için böyle bir durum uzun yıllar bilinmekteydi, ancak son yıllarda aynı şeyin büyük galaksiler için de geçerli olduğu bulunmuştur. Böylece, evrende göremediğimiz bir maddenin varlığı söz konusudur. Görünmeyen bu madde ışınım yaymayan yıldızlararası gezegenler, çok küçük kütleli yıldızlar, ağır

nötrinolar, bilinmeyen ve zayıf etkileşen temel parçacıklar, küçük kara delikler, büyük kara delikler, süper kara delikler vb. olabilir. Bilim ve tekniğin gelişmesiyle ileride bunların bir kısmı gözlenebilir ve bir kısmı için de dolaylı kanıtlar bulunabilir. Önceleri bu maddeye, kayıp madde deniliyordu; ancak, bu kulanımının yanlış olduğu açıktır, çünkü bu madde kayıp değil, evrende bir yerlerde bulunmaktadır, fakat biz onu henüz göremiyoruz.

Özetle, bugün itibariyle astronomi ve kozmoloji hakkında bildiklerimiz şunlardır:

(i) Yıldızlar ve yıldız evriminin temel fiziği,

(ii) Yıldızların dev molekül bulutları içindeki yoğun gazlardan oluştuğu,

(iii) Yıldızlararası maddenin değişik fazlarda olduğu, maddenin yıldızlarda değişime uğradıktan sonra yıldızlararası ortama atıldığı,

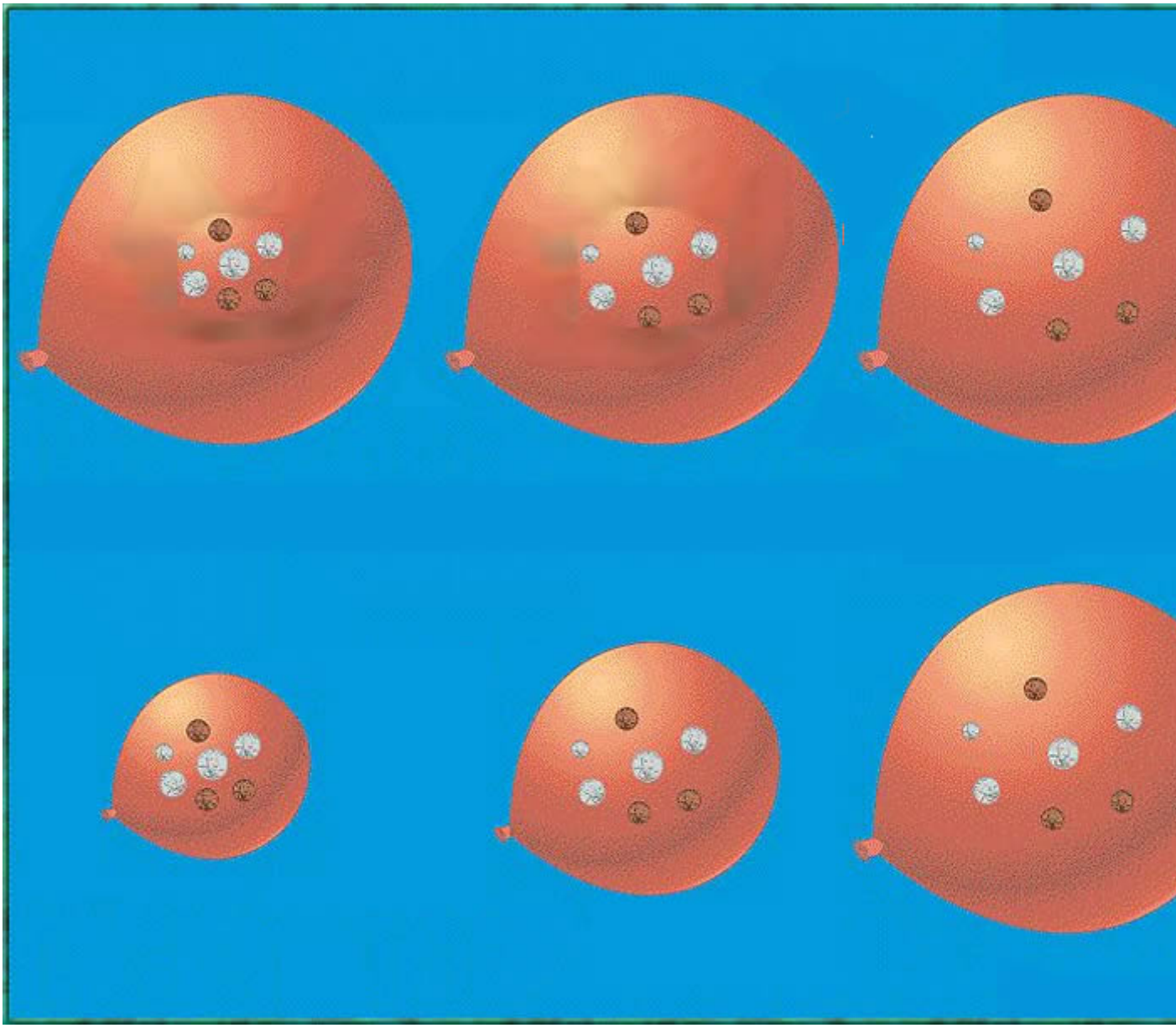
(iv) Galaksilerin, evrenin temel taşları olduğu,

(v) Galaksilerdeki yüksek enerji olaylarının çekirdeklerindeki aktivitelerle, belki de orada bulunan karadeliklerle ilgili olduğu,

(vi) Sıcak Büyük Patlama modelinin evreni en iyi açıklayan model olduğu.

Büyük Patlama Modeli

Bilinen durumu böylece özetledikten sonra, geçmişi ele alalım: Evreni geçmişte inceleyebiliriz, çünkü ışık belirli bir hızla hareket etmektedir. Ancak, gözlediğimiz olayların olduğu evreyi, evren için bir model kurmadan inceleyemeyiz. 1965 yılında mikro dalga arka-fon ışınımının keşfinden beri evren için kabul edilen standart model, sıcak büyük patlama modelidir.



Şekil 5.22: Birçok astronomi kitabı, büyük patlama kozmolojisini ve evrenin genişlemesini, üzerinde galaksilerin nokta şeklinde gösterildiği bir balonun şişirilmesi olayı ile açıklar. Genişlerken, galaksiler uzaydaki konumlarını değiştirmezlerse bu gösterim doğrudur. Uzayın kendisi genişlemektedir ve galaksiler birbirlerine göre konumlarını değiştirmeksizin bu genişlemeye katılmaktadır.

Büyük patlama modelinin dinamiği, iki gerçek ve bir var sayım üzerine kurulmuştur. Evren büyük ölçekte eş yönlüdür. 2.7°K'lik Mikro dalga arka-fon ışınımının gözlenmesi bunu doğrulamaktadır. İkinci gerçek ise, evren bugün düzgün olarak genişlemektedir. Bu gerçekte Hubble'ın galaksileri gözleyerek, galaksilerin bizden uzaklaşma hızları ile uzaklıkları arasında bulduğu lineer bağıntı ile doğrulanmıştır. Söz edilen iki gerçek bize galaksi sistemlerinin düzgün bir hızla birbirlerinden uzaklaştıklarını söylemektedir (Şekil 5.22). O hâlde evren, eş yönlü ve düzgün olarak genişlemektedir. Modeli tamamlamak için var sayımımız ise kozmolojik ilkedir. Bu ilke Yerin evrende özel bir konumda olmadığını söylemektedir. Başka bir deyişle evrenin herhangibir yerindeki gözlemci de bizim gördüklerimizi aynen görür.

Evrenin dinamiğini çekim kuvveti belirlemektedir. Çekim kuvveti evrende en etkin uzun-mesafe kuvvetidir. Evrendeki maddenin oluşturduğu çekim kuvveti evrensel genişlemeyi yavaşlatır. Böylece, evrenin sonunu bugünkü yavaşlama hızı belirler. Yavaşlama hızının ne kadar büyük olduğu sorusu; bugün evrende, genişlemenin yavaşlamasına neden olan maddenin ne kadar olduğu sorusu ile eş

anlamlıdır. Evrendeki genişlemenin yavaşlama hızını veya evrenin ortalama kütle yoğunluğunu ölçerek, bazı modellerle, evrenin geçmişini ve geleceğini belirleyebiliriz. Eğer modelimiz doğru ise her iki ölçümün de aynı sonucu vermesi gerekir.

Büyük patlama modelleri, boyutsuz yavaşlama hızı parametresi, q, ve yine boyutsuz kütle yoğunluğu parametresi, $\wedge$ ile karekterize edilirler. Evrenin şimdiki zamanını "0" alt indisi ile gösterirsek, kuramsal olarak $q_o=(1/2)\wedge_o$ dır. Bu parametrelerin kritik değerleri $q_o=1/2$ ve $\wedge_o=1$ dir. Eğer q_o, kritik değeri 1/2 den; $\wedge_o$ kritik değeri 1 den büyük ise evrende, genişlemeyi belirli bir zaman içinde tamamen durduracak kadar yeterli madde var demektir. Genişleme durduktan sonra hareket ters dönecek, ve evren büzülmeye başlayarak, tekrar sıcak ve yoğun olan uzay-zaman tekil noktasına dönecektir. Bu durumda tekrar büyük patlama olacak ve evren kendisini tekrarlayacaktır (salınım yapan büyük patlama modeli). Eğer q_o ve $\wedge_o$ kritik değerlerinden küçük ise, evrendeki genişleme durmayacak; evren sürekli genişleyecektir. Parametrelerin kritik değerleri ise evrenin sonsuza kadar genişleyerek orada durmasına karşı gelmektedir. Salınım yapan model kapalı evren modeli, ve sonsuza genişleyen modeller de açık evren modelleri olarak tanımlanmaktadırlar.

Evrenin ortalama yoğunluğunun veya yavaşlama hızının ölçülmesi, astronomide en zor gözlemlerden birisidir. Galaksilerin ışık yayan veya görünen kısımlarındaki kütle miktarından, yoğunluk parametresi $\wedge_o$ için bir alt limit bulabiliriz. Bu değer 0.01 civarındadır. Ancak görmediğimiz, saklı kütle veya karanlık kütleyi de hesaba katmalıyız ki o zaman $\wedge_o = 0.1$ olabilir. Maddenin bilinmeyen başka şekillerde de olabileceğini düşünürsek $\wedge_o$ değeri daha büyük olmalıdır. Diğer yandan galaksi kümelerinin hareketlerinin gözlenmesiyle elde edilen değeri 0.1 ile 0.2 arasındadır. 1986 yılında gerçekleşen Kırmızı Ötesi Astronomi Uydusu (IRAS) gözlemlerinin yorumlanmasıyla $\wedge_o$'ın 0.5-0.8 değerlerine çıkabileceği önerilmiştir.

Bugün gözlemsel olarak belirlenen yoğunluklar açık evren modelini öngörmekte ise de, yoğunluk parametresinin değerinde genel bir artış görülmektedir. Evrendeki görünmeyen madde miktarı da dikkate alınırsa, $\wedge_o$'ın kritik değeri aşması olasıdır. Böylece, hem kapalı hem de açık evren modelleri eşit olasılıkta görünmektedir. Belki de bekle gör demek daha doğru olur.

Şimdi bir de kozmolojide zaman ve uzaklık ölçümüne bakalım: Daha önceki bölümlerde (kısım 5.6) söz edildiği gibi en iyi uzaklık ölçümü, galaksilerin bizden uzaklaşma hızlarından kaynaklanan kırmızıya kayma ile yapılır (Söz konusu hızlar ışık hızından küçük ise, kırmızıya kaymayı şu şekilde ifade edebiliriz; kırmızıya kayma = $z = \otimes L/L = v/c$, veya $v = cz$; burada v = galaksinin uzaklaşma hızı, c = ışık hızı, $\otimes L$ = dalga boyundaki kayma miktarı, L = gözlenen ışığın dalga boyu.) Hareket eden kaynağın hızı ışık hızına yakın ise z ve v bağıntısında relativistik düzeltme yapılmalıdır. Bu düzeltme yapılırsa z, bir veya birden büyük olduğunda galaksinin hızı v, ışık hızı c'den büyük çıkmayacaktır. Kırmızıya kayma miktarı, gözlenen ışığın galaksiden çıktığı anda galaksilerin birbirlerine göre ne kadar uzaklıkta olduklarının bir ölçüsüdür.

Daha önce söz edilen modeller yardımıyla kırmızıya kaymayı zamanla ilişkilendirebiliriz. q_o ve $\wedge_o$'ın belli değerleri için (örneğin, kritik değerleri olan 1/2 ve 1 için) kırmızıya kayma, z, ye karşı zaman grafiği çizilebilir. Gözlenen kırmızıya kayma miktarı grafikte işaretlenir. Buna karşı gelen zaman veya ışığın kaynaktan çıktığı andaki evrenin yaşı bulunur. Normal galaksilerde gözlenen kırmızıya kayma 0.5 civarındadır. Çok parlak, dev eliptik galaksilerde 1 veya daha büyük değerler gözlenmektedir. Ancak, en büyük kırmızıya kayma kuazarlarda gözlenmektedir ve yaklaşık 4 civarındadır. Bu demektir ki, evrenin en uç sınırlarındaki cisimler kuazarlardır, ve bizden uzaklaşma hızları çok büyüktür. Başka bir deyişle, evrenin çok erken evreleri hakkında bilgi gönderiyorlar demektir. z = 4 değeri, kuazarların, evrenin yaşının, şimdiki yaşının yaklaşık beşte biri olduğu zaman hakkında bilgi gönderdiklerini gösterir. Böyle olduğu, yukarıda söz edilen kırmızıya kayma-zaman grafiğinden bulunur. Gözlemler Hubble sabitinin ölçülmesiyle, evrenin bugünkü yaşını yaklaşık 18-20 milyar yıl vermektedir.

z = 4 ten daha uzakta veya zaman olarak daha erken dönemde görülebilen başka cisim yoktur. Evrenin z = 4 ten önceki evresini anlayabilmek için Büyük Patlama evren modellerinin ısısal evrimine ayrıntılı bakmak gerekir.

Büyük Patlama modelinde t = 0 zamanı uzay ve zamanda tekilliği ifade eder. t = 0 anında maddenin kapladığı uzay da boyutsuzdur. t = 0 zamanı civarında, evrende temel parçacıklar ve ışınım vardır.

Ortamın sıcaklığı bir trilyon derece büyüklüğündedir. Evren genişlediği için giderek soğur. Sıcaklık bir milyon dereceye düştüğünde temel parçacıklar hafif çekirdekleri oluşturmaya başlarlar. Hidrojen atomunun çekirdeği proton zaten vardı, sonra helyum, deteryum ve biraz da lityum oluşur. Bu süreç ilk birkaç dakika içinde bitmiştir. Yapılan hesaplara göre, Büyük Patlamanın bu evresinde kütle olarak %25 helyum üretilmiştir. Bugün uzayda gözlediğimiz helyum miktarı da bu kadardır.

Yukarıda söz edilen temel parçacıkların etkileşmeleri ile ilgili süreçler evrenin yaşı 1 saniye ile 15 dakika arasında iken yaşanmıştır. Bu süreçlerde ortaya çıkan kimyasal yapının bugün gözlediğimiz yapıya uygun olması; kullandığımız fiziğin, bugünden geriye giderek evrenin yaşının 1 saniye olduğu zamana kadar doğru olduğunu gösterir.

Böylece sıcak büyük patlama modelini destekleyen, birbirinden bağımsız 3 bulgu vardır. Birincisi, evrenin eş yönlü genişlemesi; ikincisi, hafif elementlerin sentezi ve üçüncüsü 2.7°K'lik mikrodalga arka-alan tayfının kara cisim tayfı olmasıdır

SORULAR

1. Özellikleri itibariyle açık yıldız kümeleri ile kapalı yıldız kümelerini karşılaştırınız.

2. Yıldızlararası ortamda keşfedilen çok atomlu moleküllere hergün yenileri eklenmektedir. Bulunduğunuz yerdeki üniversitelerden yararlanarak veya ilgili araştırmacılarla haberleşerek keşfedilen molekülleri güncel hâle getiriniz. Uzayda organik moleküllerin varlığının sonuçlarını tartışınız.

3. Gök yüzü açık ve mevsim uygun ise (Kitabın arkasındaki atlastan yararlanınız.) geceleyin çıplak gözle görebildiğiniz, örneğin "Orion" bulutsusunu, açık küme olan "Ülker" takım yıldızını belirleyiniz. Saman Yolu'nu anlatıldığı gibi görebiliyor musunuz?

4. Güneşin Saman Yolu merkezi etrafında dolanma hızı 220 km/sn ise, bir dolanma sonucu katettiği yolu hesap ediniz.

5. Bilindiği gibi ikinci Dünya Savaşı sırasında, astrofizik bilgileri çok kullanılmıştır. Güneş'teki patlamalardan savaşta yararlanılmıştır. Diğer yandan gelişen savaş teknolojisi ve hidrojen atomunun 21 cm dalga boyunda ışınım yaymasının bulunmasından sonra radyoteleskoplar gelişmiş ve 1950 li yıllardan sonra radyo astronomide hızlı bir atılım olmuştur. Bilim ve teknolojinin etkileşmesine iyi bir örnek teşkil eden bu konuyu araştırıp inceleyiniz.

6. Sarmal bir galaksi içinde yaşadığımızı nasıl anlarız? Sarmal kolların nerede olduğunu gözlemlerle nasıl anlarız?

7. Galaksi çeşitlerini, şekil ve içerik bakımından karşılaştırınız.

8. Kuazarların bizden çok büyük hızlarla uzaklaştıkları bilinmektedir. Başka bir deyişle kuazarların kırmızıya kaymaları çok büyüktür. Öyleyse kuazarlardan gelen ışık, zaman olarak Evrenin erken dönemlerinden bilgi taşımaktadır. Kuazarların çok büyük değerdeki kırmızıya kayma gözlemlerini yorumlamaya çalışınız?

9. Genişleyen Evren modelini anlayabilmek için bir balonun üzerine galaksileri temsil eden noktalar koyup yavaş yavaş şişirmek gerekir. Noktalar arasındaki uzaklıklar balon şiştikçe artacaktır. Ancak noktaların veya galaksilerin birbirlerine göre konumları değişmeyecektir. Böyle bir deneyle Evrenin nasıl genişlediği hakkında fikir edinmeye çalışınız.

10. Büyük patlama kozmoloji kuramını destekleyen gözlem ve bulguları tartışınız. Büyük patlama salınım modelinin gerçekleşebilmesi için ne olması gerekmektedir?

11. Evrenin yaklaşık boyutunu (yarıçapını) bulmak için en basit yol, en uzak galaksinin bizden ışık hızı ile uzaklaştığını varsayalım. Hubble sabitinin tersi yaklaşık 20 milyar yıl ise evrenin yarıçapı nedir?

12. Güneşin Galaksi merkezine olan uzaklığı 10000 pc ve merkez etrafında dolanma dönemi 100000 yıl olsaydı Galaksinin, kütlesi ne olurdu?

UZAY ÇALIŞMALARI

Uzay çalışmaları Yer atmosferinin dışından insanlı ve insansız uzay araçlarıyla yürütülen araştırmalardır. Daha çok gelişmiş ülkelerin yürüttüğü uzay araştırmalarının genel amacı; temel bilimlerin ve teknolojinin de itici gücü ile uzayda doğal olayların ölçülmesi, bilinmeyenin araştırılması, bilginin genişletilmesi, Yer dışında insanlığa yararlı olabilecek kaynakların bulunmasıdır. Genel itici güçler arasında ulusal itibar, ulusal güvenlik, bilimsel merak sayılabilir. Özel amaçlar ise yer altı ve yer üstü kaynaklarının bulunup incelenmesi, denizlerden yararlanma, meteoroloji (hava tahminleri), iletişim (haberleşme) ve enerji gibi sorunlara yer atmosferi dışından yanıt aramaktır.

6.1 Uzay Çalışmalarının Tarihî Gelişimi

Uçma ve uzaya çıkma fikri çok eskidir. İranlıların, Hintlilerin ve Çinlilerin efsaneleri uçan adamlarla doludur. Atmosfer varlığının kanatlı uçuşlar için gerekli olduğu, atmosfer olmazsa kanatlı uçmanın mümkün olmadığı çok sonra ancak 16. yüzyılda öğrenilmiştir. Örneğin; Ay'a kadar kanat takıp uçmak öncelikle arada atmosfer olmasını gerektirir. Halbuki yer atmosferinin kalınlığı Ay uzaklığının ancak on binde birini kapsar. 17. yüzyılda Ay'a yolculuk üzerine bilim kurgu hikâyeleri yazılmaya başlanmıştır. Bunlardan bazıları roket kullanımını da öngürüyordu. Çünkü o zamanlar roket denebilecek âletler savaşlarda kullanılıyordu. İlk roket muhtemelen 13. yüzyıl başlarında Çinliler tarafından keşfedilmiştir. 1232 de Çinlilerin bir savaşta yakıtı barut olan roketler kullandığı bilinmektedir. Barut yakıtlı ilk roketlerin yapımı Avrupada da öğrenildikten sonra roketlerin askerî amaçlarla savaşlarda kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu arada zamanla barut yakıtlı roketlerin güçleri menzilleri, ağırlıkları ve hedefe ulaşımda güvenilirlikleri oldukça geliştirildi. İkinci Dünya Harbi'ne kadar roketler sadece patlayıcı maddeleri uzak hedeflere fırlatma amacıyla kullanıldı. Ancak bu arada, roketlerin başka amaçlarla da örneğin, uzay uçuşlarında kullanılabileceği öğrenilmişti. 19. ve 20. yüzyıllarda gerçekleşen teknolojik ilerlemeler sonunda, bir çok kimse roketlerle Ay'a gidilebileceğine inanmaya başlamıştır. Rusyada N.I.Kibalchich (1853-1881) insan taşıyan roketlerin yapılabileceğini savunmuş ve 1890'da Alman H. Ganswindt (1856-1934) bu düşünceyi daha da geliştirerek roketlerle yönlendirilebilen insanlı uzay araçlarının yapılabileceğini göstermeye çalışmıştır. 1898 de Rus K.Tsiolkovsky (1857-1935) roket operasyonunun matematiksel formülleri üzerine ilk çalışmasını tamamlamış, roketlerde katı yakıt yerine sıvı yakıt kullanımının gerekliliği üzerinde durmuştur. Sıvı yakıtla daha fazla güç elde edildiğini ve bu gücün daha kolay kontrol edilebildiğini göstermiştir. Tsiolkovsky daha sonraki çalışmalarıyla çok kademeli roket kavramını geliştirmiştir. Ancak Tsiolkovsky kuramcı olduğu için düşüncelerini deneme evresine sokamamıştır. Tsiolkovsky'nin sıvı yakıtlı roket önerisini ilk kez Amerikalı bilim adamı R.H.Goddard (1882-1945) 1926'da uygulamaya sokmuştur. Diğer taraftan Almanyada H.Oberth 1917'de sıvı yakıtlı askerî amaçlı roket yapımının projelerini doktora tezi olarak tamamlamış, ancak tez uygun bulunmayarak 1922'de geri çevrilmiştir. Daha sonra Oberth'in, roketleri temel alan uzay uçuşları üzerine yazdığı bilimsel kitaplar hâlâ önemini yitirmemiştir. Oberth'in çalışmalarından esinlenerek Avrupa'da ilk sıvı yakıtlı roket denemesini 1931 de Alman J.Winkler (1897-1947) yapmıştır. 1927'de kurulan Alman Uzay Uçuşları Derneği de sıvı yakıtlı roket denemelerine başlamıştır. Bu denemeleri yapanlardan biri de o zaman çok genç olan W. Von Braun (1912-1977) dur. Almanya'da roket çalışmaları 1932'de ordu tarafından ele alınmış, 1937 'de bir deneme istasyonu kurulmuş ve sonra bu istasyonda V-2 roketleri geliştirilmiştir. Bir tonluk savaş başlığı taşıyan bu sıvı yakıtlı roketler, bugünkülerin öncüsü olarak savaşların gidişini değiştirdi ve Dünya'nın uzay çağına girişinde önemli bir rol oynadılar.

İkinci Dünya Savaşı sonunda Alman roket uzmanları, başta Von Braun olmak üzere Amerikan ordusuna teslim olup çalışmalarına Amerika'da devam ettiler. Savaştan hemen sonra Amerikan hava kuvvetleri; Atlas, Titan ve Thor gibi güçlü roketler geliştirirken Rus roket uzmanları (Örneğin; F.Tsander, S.Korolev, V.Glushko ve M.Tikhonravov) Tsiolkovsiky'nin bulgularını izleyerek kısa zamanda Atlantik'i bile geçebilecek güçte roketler geliştirdiler. 1950'de uluslararası Astronotik Federasyonu kurulmuş, yıllık toplantılarında uzay uçuşu problemleri tartışılmış, uzay uçuşu için gerekli teknolojiye ulaşıldığında önce âletli ardından insanlı uzay araçlarının Dünya yörüngesine sokulması düşünülmüş, sonraki hedefler; Ay, Venüs, Mars ve diğer yakın gezegenler olarak belirlenmiştir. Uygulamalar zengin ülkeler tarafından yapılabilmiş, l955'lerde Rusya'da ve Amerika'da uzay uçuş programları plânlanarak uygulama aşamasına girilmiştir. Ruslar ilk kıtalararası roketi 1957

Ağustos'unda fırlattılar. Rusya'da bu güçlü roketler aynı yılın 4 Ekim günü ilk yapay uydu Sputnik 1'i Dünya yörüngesine oturtmak için kullanıldı. Böylece çok kademeli roketler uzay uçuşlarında uygulamaya sokulmuş ve uzay çağı başlamıştır. Sovyetler güçlü çok kademeli roketlerine sürekli yeni kademeler ekleyerek, Vostok ve Soyuz gibi insanlı ve insansız uzay araçlarının fırlatılmasında yararlanmışlardır. Sovyetler hemen birincinin ardından 3 Kasım 1957'de Sputnik 2 yi içinde Laika adlı bir köpekle birlikte Yer yörüngesine oturturken ABD, aynı yıl Vanguard uzay aracının fırlatılmasında başarısız olmuş ve sonra 31 Ocak 1958'de ilk başarılı uzay aracını (Explorer 1) fırlatmıştır.

Amerika'da Redstone ve Uno roketlerinden sonra Von Braun ekibi, insanlı uzay uçuşları için çok kademeli Satürn roketini geliştirdiler. Apollo projesi için geliştirilen o zaman Dünya'nın en güçlü roketi Satürn V ilk kez 1967 de uygulamaya sokuldu. Sovyetler Satürn V in yarı gücünde Proton roketini geliştirmişlerdi. Proton roketi insanlı Ay yolculukları için geliştirilmiştir. 1968'de Apollo projesiyle ilk insanlı Ay yolculuğundan sonra Ruslar insanlı Ay projesini iptal edip Proton roketini insansız uzay uçuşları için kulanmışlardır. Daha sonra Ruslar, Satürn V ten çok daha güçlü dev bir roket, yaptılar. Bu roket Ay yolculuklarında ve dev bir uzay istasyonunun Dünya yörüngesine oturtulması için kullanıldı. Bu roket, 10 tonluk kütleyi Dünya yörüngesine oturtacak, 60 tonluk kütleyi Ay'a gönderebilecek güçtedir. Raporlara göre üç kademeli olan bu dev roket, 1968-1972 yıllarında kaza geçirdiği için Ruslar daha sonra Energia adlı daha güçlü yeni bir roket sistemi geliştirmişlerdir.

Şekil 6.1: Rusların 2. nesil Mir uzay istasyonu.

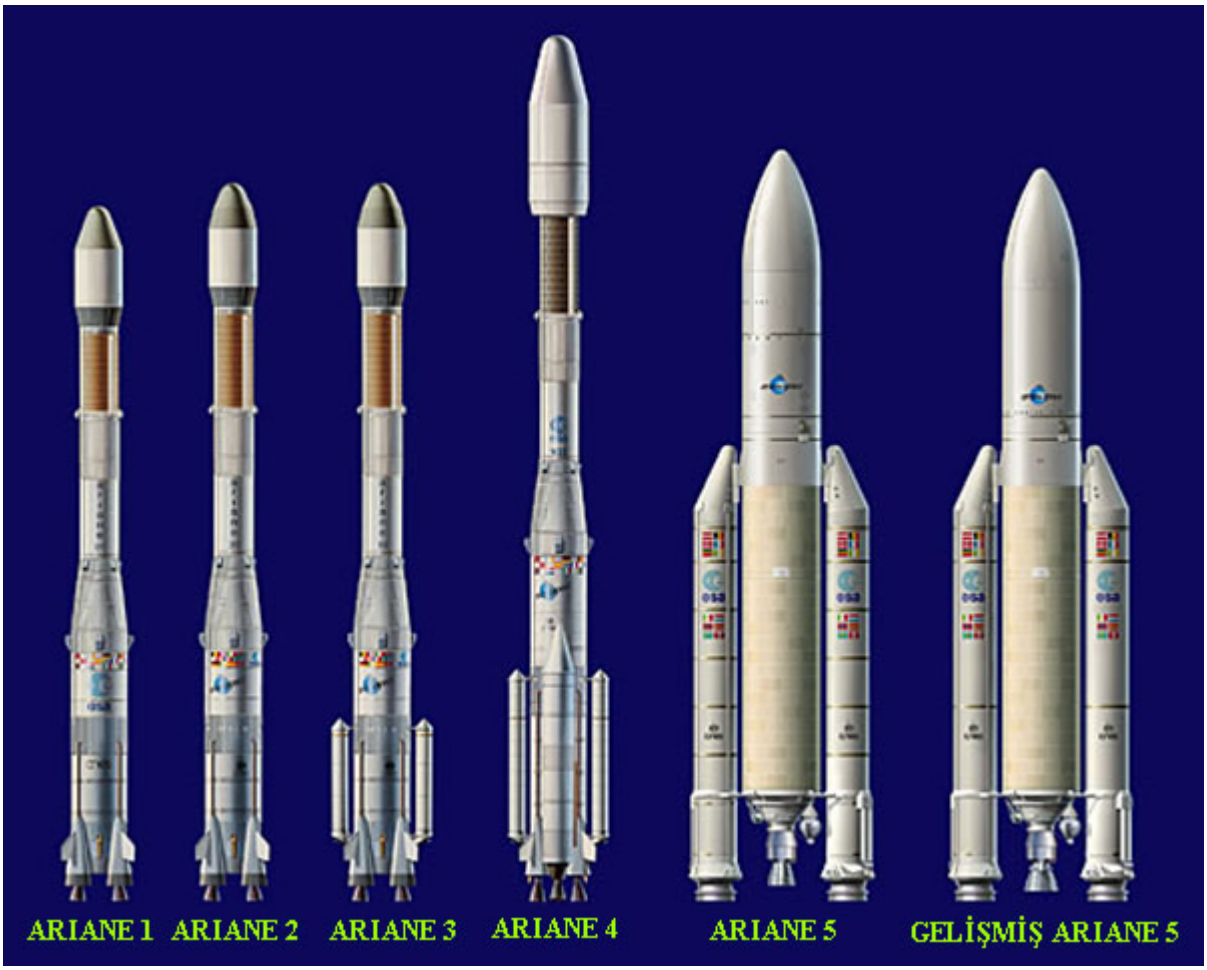
Roketlerdeki itici gücün kaynağı roket motorlarında oluşturulan sıcak gazın hızla dışarı atılmasından doğan tepkidir. Newton'un üçüncü yasasına göre her etkiye zıt yönlü bir tepki kuvveti oluşur. Roketlerde roket motorlarından hızla püskürülen gaz, rokete zıt yönlü bir hareket sağlar. Roketlerde bu itici gücü daha iyi anlamak için şişirilmiş bir balonu, ağzını bağlamadan havaya bırakın, balonun sönerken çıkardığı havanın itme gücüyle zıt yönde hızla hareket ettiğini göreceksiniz. Roketler sıvı veya katı bir yakıtın yanında ateşleyci olarak ayrıca oksijen taşırlar. Yakıt ve oksijen ayrı ayrı tanklarda depolanır ve pompalama sistemiyle belli oranlarda yanma odasına püskürtülür. Yanma odasında oluşturulan küçük bir kıvılcım reaksiyonu başlatır. Ortaya çıkan sıcak gaz büyük bir basınçla dışarı püskürtülerek zıt yönünde etki-tepki prensibine göre hareket sağlanır. Hareketin hızı, roketin kütlesi yanında püskürtülen gazın ilk hızına ve birim zamanda püskürtülen gazın kütlesine bağlıdır. Birim zamanda püskürtülen yakıt kütlesi arttırılarak çok büyük kütleli roketler uzaya fırlatılabilir. Ancak bu durumda, uçuş boyunca fazla yakıt gerekeceğinden, büyük kütleli roketlerin fırlatılmasında yakıt depolarının büyük olması yanında, püskürtülen gazın ilk hızı da arttıralarak daha fazla tepki kuvveti sağlanır. Roketleri jet motorlarından ayıran tek özellik, jet motorlarında oksijen tankı bulunmamasıdır. Jet motorları oksijeni atmosferden alırlar. Ancak bu nedenle jetler sadece oksijeni bol olan alt atmosfer katmanlarında uçabilirler. Roketlerse atmosferin üst katmanlarında hatta boşlukta da etki-tepki prensibine göre hareketlerini sürdürebilirler.

United States
NASA
A

Şekil 6.2: ABD'de NASA'nın geliştirip kullandığı uzay mekiklerinden biri.

1980'li yıllara gelinirken hem ABD'de hem Rusya'da uzay mekigi denen ve tekrar tekrar kullanılabilen uzay araçları geliştirildi. Uzay mekikleri güçlü roketlerle uzaya fırlatılmakta, Dünya etrafındaki yakın uzayda görevlerini yaptıktan sonra tekrar kullanım için tıpkı bir uçak gibi yer yüzüne inebilmektedir. 1980'li yılların başında ABD tarafından uygulamaya sokulan uzay mekikleri birbirine bağlı üç roketle hareket ettirilmekte, yakıt olarak ayrı tanklarda sıvı hidrojen ve sıvı oksijen kullanılmaktadır. Ek olarak yanlarda iki tane katı yakıtlı roket bulunmaktadır. Mekik, Yer çekiminden yavaş yavaş kurtuldukça kademeli olarak işi biten yakıt depolarını okyanus üstlerinde boşluğa bırakmaktadır. Ayrıca, mekiklerin kendi üzerlerinde küçük yapılı manevra roketleri bulunmaktadır. Bugün için roket yakıtları büyük hacimli ve ağır kimyasal yakıtlardır. Özellikle büyük kütlelerin uzaya fırlatılmasında kullanılan roket yakıtları çok fazla olması gerektiğinden, fırlatma işi mühendislik açısından oldukça zorlaşmakta hatta tehlikeli olmaktadır. Bu bakımdan geleceğin roketleri için başka yakıt türleri düşünülmektedir. Yeni düşüncelerden birisi iyon roketi veya elektrik roketidir. Düşünceye göre ağır bir elementin, örneğin; sezyumun atomları tamamen iyonize oluncaya kadar ısıtılacak ve oluşan çok sayıda yüklü parçacık (plâzma) güçlü bir elektrik alanıyla hızlandırılıp uzaya püskürtülecek. Etki tepki prensibine göre de roket zıt yönde hızlanacaktır. Hesaplara göre iyon roketlerinde itme gücü çok fazla olmamakta ancak çok az yakıtla roket uzun süre ivmeli bir hareket yapabileceği için büyük hızlara ulaşacaktır. İyon roketlerinin ilk fırlatma sırasında yakıt kütleleri de az olduğundan bu roketlerle yer çekiminin daha kolay yenileceği sanılmaktadır. Henüz büyük iyon roketleri devreye girmemiş olmasına karşın uzayda küçük iyon roketlerinin denemeleri başarıyla yürütülmektedir.

Geleceğin roketleri için diğer bir düşünce nükleer güçten yararlanmaktır. Nükleer denizaltılarda olduğu gibi bir reaktörden alınan atomik güçle bir sıvı, örneğin; sıvı hidrojen veya su, sıcak gaz hâline dünüştürülüp uzaya püskürtülerek rokete zıt yönde hız verecektir. Daha da önemli bir düşünce yıldızların merkez bölgelerinde var olan nükleer enerji üretim mekanizmalarının roketlerde uygulanmasıdır. Bilindiği gibi yıldızların merkezlerinde dört hidrojen çekirdeği, yüksek sıcaklık ve basınç altında birleşip bir helyum çekirdeğine dönüşmekte ve çok büyük bir nükleer enerji açığa çıkmaktadır. Gök yüzünde yıldızlar çok uzak oldukları hâlde bu nükleer enerjinin çok büyük olması nedeniyle parlamaktadırlar. Gelecekte roketlerde böyle bir enerji üretim mekanizması çalıştırılabilirse, evrende en bol madde hidrojen olduğuna göre roket yıldızlararası maddeden aldığı hidrojeni enerjiye dönüştürerek yıldızlararası yolculuk yapabilecektir. Bugüne kadar roketler, insanoğlunun Ay'a gitmek gibi eski bir tutkusunu gerçekleştirmede çok önemli bir rol oynamıştır. Güneş sisteminin içinde ve bunun da ötesinde insansız uzay araştırmalarının yapılabilmesini mümkün hâle getirmiş ve uzayla ilgili bilgilerin hızla gelişmesini sağlamıştır. Yarının gelişmiş roketleriyle diğer Güneş sistemlerine ulaşma tutkusu da gerçekleşebilecektir. Bugün kademeli roketlerle gerçekleştirilen başarılı uzay uçuş projeleri, proje adlarıyla (örneğin Apollo projesi) bilinmektedir. Sovyetlerin en başarılı uzay uçuş projeleri sırasıyla; Sputnik, Vostok, Voskhod, Soyuz ve Venera projeleridir. Önemli ABD uzay uçuş projeleri ise; Vanguard, Pioneer, Mercury, Apollo, Gemini ve Voyager projeleridir. Ayrıca ilk uluslararası uçuş projesi olan Apollo-Soyuz test projesi 15-24 Temmuz 1975'te gerçekleştirilmiştir. Rusya ve ABD'den sonra gelişmiş Batı Avrupa ülkeleri, Çin, Japonya, Kanada, Hindistan, Brezilya ve Avustralya gibi birçok ülke uzay araştırmalarında önemli adımlar atmıştır. Ancak uzay araştırmaları çok pahalı bir uğraş olduğundan, Rusya ve ABD dışındaki çalışmalar insansız küçük projelerle sınırlı kalmıştır. ABD'deki uzay araştırmalarını Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi-NASA yürütmektedir. İlk 20 yılda NASA sivil ve askerî amaçlar için 90 trilyon dolar harcamıştır, yarım milyondan fazla insan çalıştırmaktadır. Rusya'da bu işi Bilimler Akademisi ve bu kuruma bağlı Kozmik Araştırmalar Enstitüsü yürütmektedir. Uzay araştırmalarında üçüncü güç 1964'te Avrupa Uzay Araştırmaları Organizasyonu-ESRO olarak kurulup 1975'te Avrupa Uzay Ajansı-ESA ya dönüşen Avrupa ortaklığıdır. Bugün ESA; Belçika, Danimarka, Fransa, Almanya, İtalya, Hollanda, İspanya, İsviçre ve İngiltere'den oluşmaktadır.



Şekil 6.3: Avrupa Uzay Ajansı (ESA) nın geliştirdiği çok kademeli roketler.

2 Uzay Çalışmalarında Temel İlkeler

Uzay çalışmaları uzay araçlarıyla yer atmosferinin dışından yapıldığı için uygulamada bir dizi zorluklar vardır. Bu zorluklar belli ilkeler uygulanarak aşılır. Öncelikle uzay aracını Yer atmosferinin dışına belli bir yüksekliğe kadar çıkarmak gerekir. Bunun için kademeli roketler kullanılır. Kalkışta roketin uzay aracına vereceği ivme, 9.8 m/sn^2 olan yer çekimi ivmesinden çok daha büyük olması gerekir. Kademeli roketler kullanıldıkça boşalan tanklar atılır ve araç hafifler. Diğer taraftan araç yükseldikçe yer çekimi etkisi de azaldığından ivmelenme kolaylaşır. Aracın atmosfer dışında Yer çevresinde dolanacağı yörüngesine oturabilmesi için en az 8 km/s hıza ulaşması, Yeri terkedip gezegenler arası ortama çıkabilmesi için bu hızın en az 10 km/s olması gerekir. İvmelenmenin üst sınırını uzay aracının gövdesine ve içindeki âletlere zarar vermeden dayanabileceği hız sınırı belirler. Ayrıca insanlı uçuşlarda, insanın, araç içindeki konumuna göre katlanabileceği ivmenin yüzeyde yer çekimi ivmesinin 8-10 katından fazla olmaması gerektiği anlaşılmıştır.

Uzayda sadece kütle çekimi etkisinde bulunan bir uzay aracının hareketi 17. yüzyıldan beri bilinen Kepler ve Newton yasaları ile bellidir. Bir uzay aracını Yer yörüngesine oturtmak için gerekli minimum hız, bu yasalara göre V^2 (dairesel) = (g.R) dir. Burada R Yer yarıçapı, g ise yüzey çekim ivmesidir. Yüzeye yatay fırlatış 7.9 km/sn lik hız ister (Ay'da 1.68 km/sn). Ancak dağlar, atmosfer, vb. nedenlerle yatay dairesel fırlatış pratik değildir. Dolayısıyla uzay aracı önce yerden belli bir yüksekliğe çıkartılmalıdır. O zaman dairesel yörünge hızı,

$V^2_{dairesel}$ = **F**(g.R^2,r)

olur, burada r = R + (uydunun yerden yüksekliği) dir. Bu minimum hıza ek hızlar dairesel yörüngeyi eliptik yörüngeye çevirir. Ek hız arttıkça yörüngenin enöte noktası uzaklaşır, sonunda yörünge parabol

olur, yani uydu Yer'den kaçar. Bu kaçma hızı için, $V^2_{kaçma} = 2.V^2_{dairesel}$. Eğer $V>V_{kaçma}$ olursa yörünge hiperbol olur.

Yer'e dik olarak fırlatılan uydu istenilen yükseklikte yörünge hızına yaklaştığında hareketi Yer yüzeyine paralel olacak şekilde yavaş yavaş eğilir. Bu aşamada merkezkaç kuvveti yer çekimi kuvvetine eşitlenmiş olur ve böylece araç Yer çevresinde dolanmaya başlar, 200 km yükseklikte yörünge hızı 8 km/sn komşuluğundadır. Bu yükseklikte hava yoğunluğu çok düşük olduğu için, aerodinamik yavaşlatma (sürtünme) çok küçüktür ve uydu uzun süre yörüngede kalabilir. Araç yörüngeye oturtulurken Yer'in dönme hızından da yararlanılmak istenirse, aracın hareket yönü doğu olarak seçilir. Bu durumda tıpkı hızla giden bir trenden gidiş yönünde atılan bir cismin hızının, trenin hızı ile atış hızının toplamına eşit olduğu gibi; aracın yörünge hızı da yerin dönme hızı (ekvatorda 0.46 km/sn) ile roket itmesinin verdiği hızın toplamına eşit olur. Böylece Yer'in dönme hızından yararlanarak daha az enerji harcanmış olur. Bu nedenle yapay uydu fırlatmaları hangi yükseklikten olursa olsun doğuya doğru yapılır.

Uydunun Dünya çevresindeki yörünge dönemi 200 km yükseklikte 90 dakikadır. Yer'den yükseklik arttıkça yörünge hızı azalır, dönem artar. Örneğin; 1730 km de yörünge hızı 7.0 km /sn ve dönem 2 saattir. 35900 km de ise hız 3.1 km /sn ve dönem 24 saattir. Bu süre yerin dönme süresine eşit olduğu için, yörüngesi ekvatora paralel olan böyle bir uydu Yer'den "sabit" duruyormuş gibi gözükür. Böyle "eş dönemli" uyduların iletişimde ve meteorolojide özel değeri vardır. Yer'in doğal uydusu Ay ise Yer'den 386000 km uzakta aşağı yukarı 1.0 km/sn hızla dolanır ve dönemi yaklaşık 28 gündür.

Tüm bu söylenenler dairesel yörüngeler için doğrudur. En beri noktasında hızı azaltarak ya da en ötede hızı artırarak eliptik yörüngeler dairesel yapılabilir.

Eğer uydu, kuzey ya da güney doğrultusunda fırlatılırsa, kutupsal yörünge elde edilir. Bu durumda Yer, ekseni çevresinde döndükçe uydu da atmosfer dışında meridyen çemberleri çizmiş olur.

Ay'a ya da diğer gezegenlere araç göndermek için iyi bir zamanlama, iyi bir yönlendirme ve iyi bir hız denetimi gerekir. Çünkü Güneş sisteminin diğer üyeleri sürekli hareket hâlindedir ve uzayda bir noktaya etkiyen toplam çekim kuvveti sürekli değişmektedir. Uçuş yolunu, yerinde ve zamanında düzeltmek için roket gücü kullanılır. Örneğin; Venüs çevresine bir yapay uydu yerleştirmek için, uydunun hızı Venüs'ün Güneş çevresindeki hızına eşit hıza ulaşmalıdır. Eğer yalnız yakınından geçecekse tam eşitlik gerekmez. En az enerji gerektiren uçuş yoluna, "geçiş yörüngesi" denir ve gezegenlerin değişen konumları göz önüne alınarak hesaplanır.

Uzay araçları görevlerine göre, yörüngede birkaç saat ya da yıllarca kalabilirler. Uzay ortamında görevlerin yürütülebilmesi için öncelikle güç kaynağına gereksinme vardır. Bu güç pillerden, Güneş ya da atom enerjisinden sağlanabilir.

Yer'deki izleme istasyonları ile uydu arasındaki iletişim radyo ve TV ile yapılır. Uydunun alıcı ve verici antenleri ile izleyici antenler biribirini tam görmelidir. Uydular sürekli bağlantıda olmayabilirler.

Bir uydu, uzayda kendi üç ekseninden biri ya da hepsi çevresinde dönebilir. Dönmeyi dengelemek için çeşitli yöntemler kullanılır ve aracın her zaman aynı yönde durması, jiroskoplarla sağlanır. Yöneltme ise, araçtaki alıcı aygıtları; Güneş, gezegen ya da bir yıldız gibi gözlenecek cisme tam olarak doğrultmak için gereklidir. Ayrıca Yer'e bilgi gönderirken, verici Yer'e doğru çevrilmelidir.

Uzay aracı; aşırı sıcak, soğuk, X-ışınları, mikrometeorlar, vb. etkilerden korunmalıdır. Aracın iç kısmı, elektrikli aygıtların çıkardığı ısı ya da Güneş ısısı nedeniyle çok ısınabilir. Güneş ısısını eşit dağıtmak için uydu döndürülebilir ya da yansıtıcılar kullanılabilir. İnsanlı uzay araçlarında Yer'deki koşullara yakın bir ortam sağlanması gerekir. Bunun için astronotlar çok özel elbiseler kullanma durumundadırlar.

Araçtaki roketlerin ne zaman ateşleneceği, yörüngenin ne zaman değiştirileceği, uzaktan kumanda ile Yer istasyonundan yürütülür.Bunun için araçta güdüm donanımı bulunmalıdır. Ay'a, gezegenlere gidişlerde ve yumuşak inişlerde güdüm donanımı oldukça önemlidir.

Uydunun denetimi ve yönetimi ile ilgili hesaplar uydudan alınan verilere dayanarak, izleme istasyonunda yapıldığı gibi uydulara gittikçe daha karmaşık özel amaçlı bilgiler konmaktadır.

Şekil 6.4: Uzay araçlarını izlemede kullanılan bir yer istasyonu.

İnsanlı ya da insansız uzay araçlarının geri dönmesinde, frenleme roketleri kullanılır. Saatte birkaç yüz km lik hız azalması aracın yere doğru inmesini sağlar. Yer atmosferinin aerodinamik frenleme etkisinden de yararlanılır. Böylece araç gittikçe artan bir eğimle yere doğru yönelir. Ancak hava molekülleri ile sürtünmeden ileri gelen çabuk şiddetli ısınma, eğer gerekli önlem alınmazsa, aracın akkorlaşıp yanmasına neden olur. Özel olarak hazırlanmış plâstik koruyucu madde erir, buharlaşır ve böylece dış gövdenin ısısını alır. Bu koruyucu altındaki yalıtkan tabaka ise aracın içini katlanılabilir ısı düzeyinde tutar.

Başarılı dönüş için atmosfere giriş açısı çok önemlidir. Yerin ufkuna göre bu açı 5 ile 7 derece arasında tutulur. Atmosfere giriş hızlı olduğundan (Apollo Komuta Modülünün hızı yaklaşık 40000 km/saat idi.), açı çok düşük ise araç atmosferden sekip uzaya gider; açı çok fazla ise yani iniş dik ise, ısı koruyucu tabakası yüksek ısıya, astronotlar ve araç da yüksek g ye (ivmeye) dayanamaz. ABD araçları paraşütle denize iner, helikopter ve gemilerle kurtarılır. Bazen küçük uzay araçları uçakla havada yakalanarak kurtarılır. Sovyet astronatları (kozmonot) paraşütle karaya inmektedir. Ay gibi atmosfersiz cisimlere, hava frenlemesi olmadığından, yumuşak inişler roketlerle yapılır. Yüzeye yakınlık radarla belirlenir. Venüs ve Mars gibi atmosferli cisimlere geçmişte yumuşak inişler yapıldı, hava frenlemesinden (ve paraşütten) yararlanıldı. Mars atmosferi ince olduğundan atmosferik frenleme yetersiz kalmaktadır. Venüs atmosferi kalın ve yüzeyi çok sıcak olduğundan, bu ısıya dayanıklı malzeme kullanmak gerekmektedir.

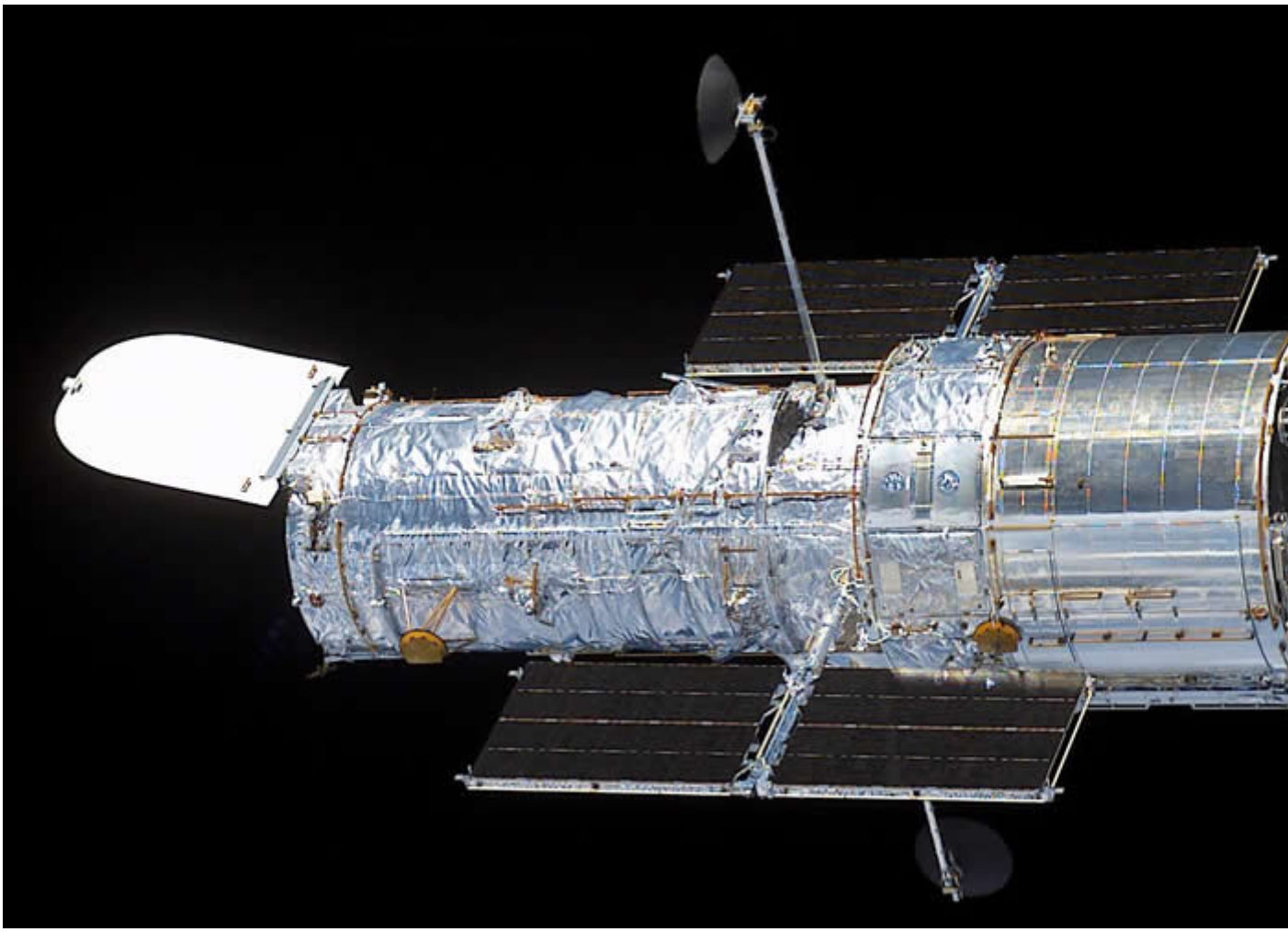
.3 Uzay Çalışmalarının Bugünü ve Geleceği

Uzay araştırmalarını beş ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar: (1) bilimsel amaçlı programlar, (2) haberleşme pogramları, (3) Yer'i gözleme amaçlı programlar, (4) uzay taşımacılığı programları, (5) uzay istasyonu kurma programlarıdır. Özellikle ABD ve Rusya'nın Dünya'yı gözleme programları daha çok askeri amaçlıdır. On üç üyesi olan Avrupa Uzay Ajansı ESA'nın uzay araştırma programlarında ise askerî amaçlı hiçbir uzay çalışmasına yer verilmemektedir. Bu bakımdan NASA'nın askerî amaçlı deneyleri NASA ve ESA'nın ortak geliştirdiği uzay araştırmalarında sorun olmaktadıdr. NASA'nın ESA, Kanada ve Japonya ile ortaklaşa kuracağı uzay istasyonu bu yüzden yıllardır kurulamamıştır. Bilimsel amaçlı uzay araştırmaları plâzma fiziği, astrofizik gibi bilim dallarında temel bilginin gelişimini sağlayan, evrendeki fiziksel olayların anlaşılmasına ışık tutan, ancak ülkelerin ekonomisine hemen doğrudan katkısı olmayan uzun vadede kârlı yatırımlardır. Çünkü temel bilimlerdeki bilgi birikimi, toplum sorunlarının çözümünde ilk başvurulan kaynaktır. Haberleşme ve Dünya'yı gözleme amaçlı uzay çalışmaları araştırmadan çok, doğrudan hizmet çalışmalarıdır. Haberleşme uyduları kıtalar arası telsiz-telefon görüşmelerini etkin bir şekilde mümkün kıldığı gibi, radyo ve televizyon yayınlarının uzak mesafelere aktarılmasını sağlarlar. Dünya'yı gözleme amaçlı uzay çalışmaları ise, askerî ve meteorolojik gözlemler yanında; tarım, madencilik ve çevre amaçlı gözlem programlarını da içerir. Verimli ve verimsiz toprakların dağılımı, toprağın çoraklaşması, çölleşme, orman alanlarının dağılımı ve değişimi, suların kirlenmesi, volkanik aktivite, ozon tabakasındaki değişimler gibi insanlığı doğrudan ilgilendiren konulardaki incelemeler yapay uydularla Dünya dışından etkin biçimde yapılabilmektedir. Haberleşme ve Dünya'yı gözleme amaçlı uzay çalışmalarına yatırılan paralar ülkelerin ekonomisine çok kısa sürede katlanarak geri dönmektedir. Bu bakımdan, birçok ülke uzay çalışmalarına haberleşme ve Dünya'yı gözleme uydularıyla başlamaktadır.

Şekil 6.5: ESA, NASA, Kanada ve Japonyanın beraber geliştirdikleri uzay istasyonu "Freedom" un temsili görünüşü.

Uzay taşımacılığı ve uzay istasyonu kurma programları diğer uzay araştırmalarına zemin hazırlayan alt yapı çalışmalarıdır. Uzay araştırmalarına giren ve uzun vadede bu çalışmaları geliştirmeyi amaçlayan her ülke bu iki alana yatırım yapmaktadır. Uzay taşımacılığı programları uzay rampaları ve değişik güçte ve yapıdaki roketlerin yanında tekrar tekrar kullanabilme olanağı sağlayan uzay mekiği yapım programlarını içerir. Uzay mekiklerinin geliştirilmesi uzay araştırmalarına yapılan yatırımların kısıtlanması sonucu az yatırımla daha çok çalışma yürütme amaçlanarak yapılmıştır. NASA 1986 daki "Challenger" kazasından sonra uzay mekiği programını durdurmuş ve ancak bir dizi güvenlik tedbirleriyle ilgili değişiklikten sonra 1988'de yeniden başlatmıştır. Bu durum hem NASA'nın hem de ESA'nın uzay araştırması programlarında istenmeyen ertelemelere ve gecikmelere neden olmuştur.Rusya da 1980'li yılların ortalarında "Buran" adlı bir uzay mekiği geliştirip deneme uçuşlarını yapmış, ancak her nedense aktif uygulamaya sokamamıştır. ESA'da uzaya 4.5'ton yük taşıyabilecek "Hermes" adlı küçük bir uzay mekiğinin yapımına üç yıl önce başlamıştır. Hermes'in 1997'den sonra göreve başlaması plânlanmaktadır. Bu arada, ESA uzay taşımacılığı ve uzay istasyonu kurma programı için Ariana-5 adlı çok güçlü bir roket sistemi geliştirmekte; "Mikrogravity", "Eurecea" ve "Columbus" adlı çok amaçlı deney modüllerinin yapımını sürdürmektedir. Columbus deney modülü, ESA'nın; NASA, Canada ve Japonya ile beraber geliştirdikleri "Freedom" adlı uzay istasyonunun bir parçasıdır. NASA'nın askeri amaçlı kullanmak istemesi ve parasal kısıtlamalar nedeniyle istasyonun yapımı tekrar tekrar ertelenmiştir. Freedom'un ancak 90'lı yılların sonunda Yer etrafında yörüngeye parça parça götürülüp orada monte edilmesi beklenmektedir. Dünya ile Freedom arasındaki taşıma işini Hermes, NASA'nın uzay mekikleriyle beraber gerçekleştirecektir. ESA son yıllarda, Dünya'yı gözleme programına hız vermiştir. Bugün ESA'nın 10 uydusu Yer'i gözlemektedir. ESA'nın bu programlarında harcanan paraların en az % 90'ının üye ülke ekonomilerine birkaç yıl içinde geri dönmesi öngörülmektedir.

Bilimsel amaçlı uzay çalışması programlarına gelince, özellikle NASA'nın bu programları için bütçesi gitttikçe kısılmaktadır. Bunun nedeni 1990 yılında Hipparcos adlı astrometri uydusunun istenen yörüngeye oturtulamaması ve yine 1990 yılında çalışmaya başlatılan Hubble Uzay Teleskopu'nun temel aynasında optik bir yanılgının ortaya çıkmasıdır. İstenen düzeyde olmasa da bu iki uzay aracı çok yeni bilimsel veriler üretmektedir. 1990'lı yılların bilimsel amaçlı uzay araştırmalarında en büyük başarıları sırasıyla: a) Magellan uzay aracıyla Venüs yüzeyinin çok duyarlı haritalanması, b) Rosat X-ışın teleskopuyla gök yüzünün önceki gözlemlere göre l00 kat daha duyarlı taranması, c) GRO gama ışını uydusu ile tüm gök yüzünün gama ışınlarında taranması, d) Ulysses uydusuyla Güneş'in manyetik kutuplarının ve gezegenlerarası gaz ve tozun incelenmeye başlanmasıdır. Bu arada Jüpiter ve uydularının ayrıntılı incelenmesi için 1989 da fırlatılan Galile uydusu, Şubat 1990'da Venüs'ün, Aralık 1990'da da tekrar Yer'in yakınından geçtikten sonra Jüpiter'e doğru yoluna devam etmektedir. Bu uydu, Aralık 1995'de Jüpiter'e ulaşacaktir. Kasım 1989'dan beri evreni kırmızıötesi ışınlarıyla inceleyen COBE'nin gözlemsel verileri büyük patlama kuramını desteklemektedir. 1978'den beri morötesi dalgaboylarında çok başarılı gözlemler yapan ve çoktandır durması beklenen IUE uydusunun, 1994 yılı sonuna kadar çalışacağı sanılmaktadır. Bu uydunun gözlemleri, ülkemizdeki astronomlar tarafından da birçok araştırma ve tez projelerinde değerlendirilmektedir. Hipparcos astrometri uydusunun da 1994 yılı ortalarında çalışmasını durdurması beklenmektedir. Bir grup Türk astronomunun bu uyduda da bir gözlemsel projesi bulunmaktadır. Hubble Uzay Teleskopu'nun ömrü daha çok uzundur. l993 yılı sonunda bu teleskopun uzay mekiğiyle yörüngede onarımı yapılmıştır. Güneş'in kutup bölgesini incelemek amacıyla ESA ve NASA ortaklığıyla Ekim 1990 da fırlatılan Ulysses uzay aracı, yaklaşık 60000 km/sn'lik hızla fırlatıştan sadece yedi saat sonra, Ay yörüngesini geçmiş ve Galile uydusundan bir yıl sonra fırlatıldığı hâlde, hızı ve izlediği yol nedeniyle Galile'den dört yıl önce1992'de Jüpiter'e ulaşıp onun çekim etkisiyle ekliptik düzlemi dışına çıkıp Güneş'e yönelmiştir. Haziran 1994'te Güneş'in güney kutbundan, Şubat 1995'te ekvator bölgesinden ve Haziran 1995'te de kuzey kutbundan geçerek görevini sürdürmektedir. Yolculuğu sırasında Güneş'in manyetik alanı, Güneş rüzgârı ve gezegenlerarası gaz ve toz ölçümleri yapacak, ancak kamerası olmadığı için hiçbir fotograf göndermeyecektir.



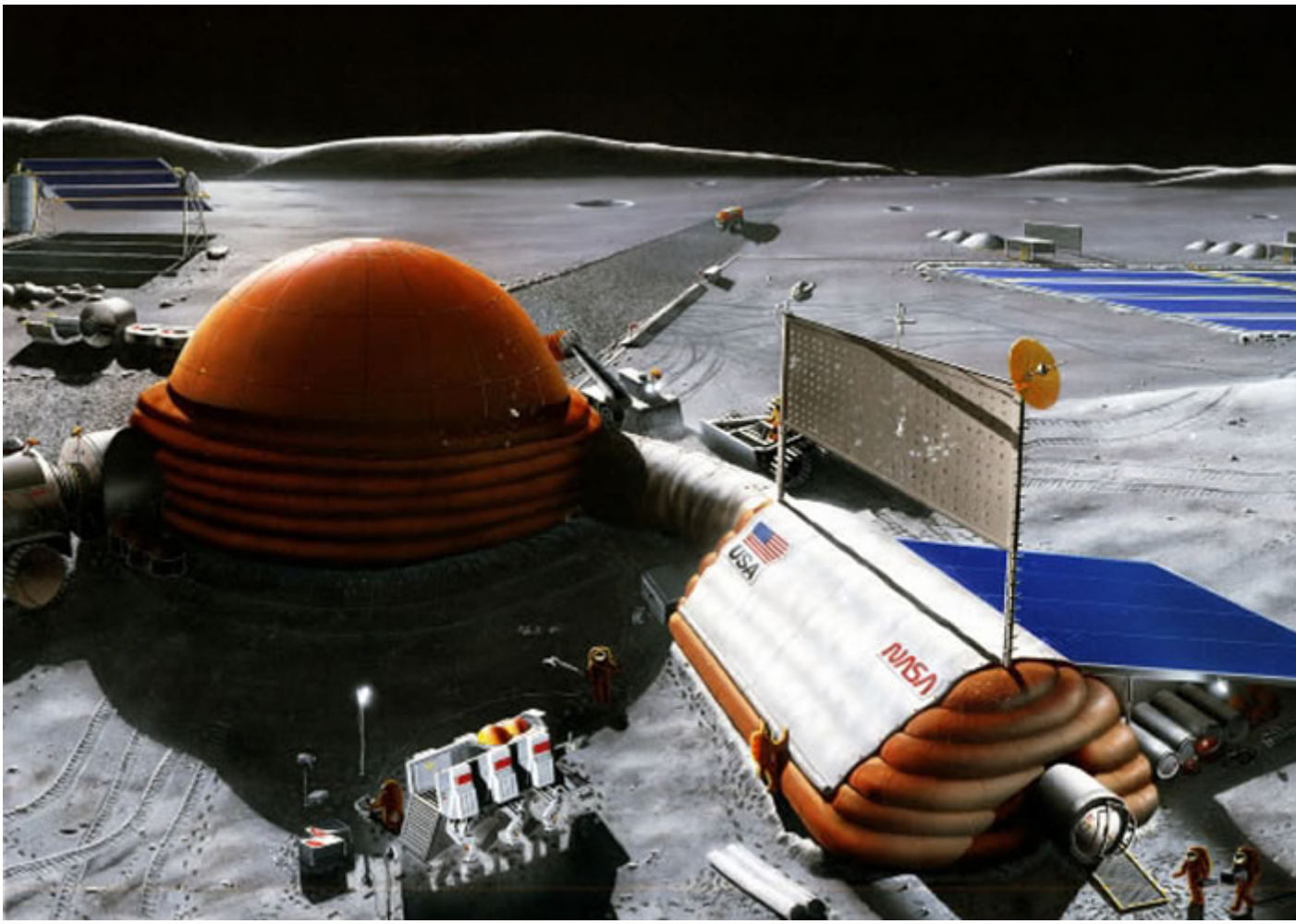
Şekil 6.6: Hubble uzay teleskopu.

1986'da Halley kuyruklu yıldızının çok yakınından geçerek birkaç uzay aracı tarafından yerinde incelenmesindeki başarı sonrasında NASA CRAF uzay aracıyla Hestia ve Tempel-2 asteroitlerine gitmeyi plânlamaktadır. ESA ise Halley kuyruklu yıldızının içinden geçen GIOTTO uzay aracını, 1992 yılında Grigg-Skjellerup adlı kuyruklu yıldızına yöneltti. Bu araştırmalar güneş sisteminin oluşumu ve evrimi hakkında yeni bilgiler verecektir. Bu arada 90'lı yılların sonlarında Ay üslerinin kurulması, Mars'a insansız 1-2 uzay aracı gönderilmesi, oradan toprak örnekleri getirilmesi, hatta 2000'li yılların başlarında Mars'a insanlı yolculukların yapılması ve Mars üslerinin kurulması plânlanmaktadır. Bu üslerde yaşama koşullarını oluşturma ve geliştirme çalışmaları şimdiden başlatılmıştır. ABD 'de Dünya'dan tamamen yalıtılmış BIOS-2 adlı geniş bir ortamda bu tür deneyler yapılmaktadır. Yaşamı Ay'a ve Mars'a taşıma çalışmalarına Japonya da büyük bir hızla başlamıştır. Japonlar, 2030 dan önce Mars üssünü kuracaklarını bildirmektedir.

Sovyetler Birliği'nin dağılmasından sonra, ilk kez bu ülkenin başlattığı uzay çalışmalarının geleceği oldukça karanlık görünmektedir. Sovyetler Birliği yıllardır kendi uzay istasyonlarındaki uygulamalı çalışmalara ağırlık vermiştir. 1985'ten buyana ikinci nesil 20 tonluk oldukça geliştirilmiş Mir Uzay İstasyonu'nu etkin şekilde kullanmaktadırlar. Tıp, biyoloji, tarım ve teknoloji gibi konulardaki uygulama deneyleri yanında Mir İstasyonu'na bilimsel amaçlı çalışan gözlem aygıtları da yerleştirilebilmektedir. Son birkaç yıldır Rusya, uzay çalışmalarında da batıya açılma, ortak çalışmalara girme politikası uygulamış; Fransa, İngiltere, İskandinav ülkeleriyle ortak deney programları oluşturmuş; hatta Suriye, Bulgaristan, Afganistan, Avusturya, Malezya ve Irak'la da bu yönde anlaşmalar yapmıştır.

Şekil 6.7: ESA'nın Yer'le Freedom uzay istasyonu arasındaki ulaşımı sağlamak amacıyla geliştirmekte olduğu uzay mekiği HERMES.

1990'lı yılların başlarında Sovyetler, uzay çalışmalarında birkaç başarısızlık da yaşamıştır: Mars'a gönderilen iki Phobos uzay aracıyla irtibat kaybedilmiş, yani araçlar uzayda kaybolmuş ve her nedense Buran adlı yeni uzay mekiği kullanılamamıştır. Sovyetler, geleceğe yönelik uzay çalışmaları olarak Energia-Buran kompleksi olarak fırlatma sistemlerini yenilemeyi ve 20' şer tonluk dört parçadan oluşacak dev bir uzay istasyonunun yapımını plânlamaktadırlar. Ayrıca Sovyetler 1990'lı yılların ikinci yarısında Dünya yörüngesine x ve gama ışını teleskopları ve interferometre olarak kullanmak için 10 m çaplı radyo teleskopları yerleştirmeyi plânlamaktadır. 1992 yılına girmeden Sovyetler Birliği'nin dağılmış olması nedeniyle uzay çalışmalarını her ne kadar olumsuz etkilemiş olsada önceden plânlanan programları uygulamaya konmaktadır.



Şekil 6.8: 1990'lı yılların sonunda kurulması plânlanan Ay üssünün temsili görünüşü.

Gelişmekte olan hatta geri kalmış ülkeler, gelişmiş ülkelerin uzay çalışması programlarına birer ikişer katılarak bir ucundan uzay araştırmalarına başlamaktadır. Özellikle Birleşik Devletler Topluluğu son birkaç yıllık uzay araştırmaları politikası birçok ülkeye bu fırsatı vermiştir. Uzay araştırmaları ileri teknoloji gerektirir. Bir ülkenin uzay araştırmalarına başlaması o ülkede birçok sanayi kolunun gerektirdiği ileri teknolojinin hızla gelişmesini sağlar. Uzay çalışmalarında parasal zorlukları aşabilmek, araştırmalardan maksimum yararı sağlayabilmek ve aynı çalışmaları boşuna tekrar etmemek için NASA ve ESA da artık mümkün olduğunca yaygın bir uluslararası işbirliğini yararlı görmektedir ve projelerin her aşamasındaki gelişmeler ilgili Türk bilim adamlarına da gönderilmektedir.

Uzay çalışmaları, 1993 yılında ülkemizde de öncelikli bilim ve teknoloji alanları içine alınmış ve "Ulusal Gözlem Evi" kurulmasına karar verildikten sonra TÜRKSAT haberleşme, bilimsel ve yer uydu gözleme sisteminin gerçekleştirilmesi ve Türk Uzay Ajansı'nın kurulmasına olanak sağlanması için Fransız Aerospatiale firmasıyla bir anlaşma imzalanmıştır. İlk TÜRKSAT haberleşme uydusu, TÜRKSAT−1A 24 Ocak 1994 günü ESA'nın Ariane-4 roketiyle fırlatılmış ve fırlatılıştan 12 dakika sonra 3. kademe roketin ateşlenmesinde ortaya çıkan bir arıza nedeniyle düşmüştür. TÜRKSAT-1B 'nin yörüngeye oturtulup hizmet vermeye başlaması Ağustos 1994'te gerçekleşmiştir. 1996 ortalarında TÜRKSAT−1C'nin yörüngeye oturtulması plânlanmaktadır. Ayrıca ülkemiz, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) kanalıyla Rusya'nın 1996'da atacağı Spectrum-X-Gamma uydusunun uluslararası gözlem işbirliğine katılmaya karar vermiştir. Bu gelişmelerle, gelecek 4-5 yıl içinde olanaklar değerlendirilebilirse ülkemiz de uzay araştırmalarına girmiş olacaktır.

.4 Uzay Kirlenmesi ve Uzay Yasası

Uzay Kirlenmesi

Daha 30 - 40 yıl önce denizlerin ve atmosferin insan eliyle kirletilebileceğine ihtimal verilmiyordu. Yer yüzünden sonra, büyük yerleşim merkezleri yöresindeki atmosfer ve denizler insan eliyle kirletildi; sonra bu kirlenme yüzeyde okyanuslara, atmosferde ise ozon katmanının, kutup bölgelerinde delinmesine kadar yayıldı. Bu bakımdan insanoğlu, günlük yaşamını kolaylaştıracak yönde teknolojiyi hızla geliştirirken çevreyi kirleterek geleceğini tehlikeye atmaktadır.

1957'de uzay araştırmalarının başlamasından bu yana Yer çevresindeki uzayın da hızla kirletilerek kritik bir noktaya doğru gidildiğini belirtmek gerekir. Uzay kirliliğini oluşturan çöpler, boş yakıt tankları, yapay uydu parçaları ve görevini tamamlamış işe yaramayan yapay uydulardır. Yer etrafında eliptik yörüngelerde dolanan bu çöpler çok yüksek hızlara sahiptir. Kuzey Amerika Hava Komutanlığı (NORA) Yer çevresinde dolanan bu cisimleri radar ve optik teleskoplarla gözetim altında tutmakta ve kataloglamaktadır. Bugün için 7000 kadar çöp kataloglanmıştır. Toplanması oldukça zor ve pahalı olan uzay çöplerinin sayısı hızla artmaktadır. Fazla yüksekte olmayan büyük parçalar atmosferin sürtünme etkisiyle frenlenip yere düşmeden yanmakta ve bazı kişiler tarafından UFO olarak saptanmaktadır. Uzay çöplerinin yoğunluğu son 30 yılda 10000 kat artmıştır. Çöp yoğunluğu bugünkü değerin 10-100 katına ulaştığında parçalar arası çarpışmalar kritik bir değere ulaşacak, çarpışmalar sonucu, parçalar ufalanarak Yer etrafında yoğun bir zarf oluşturacaktır. Uzay araştırmaları için büyük tehlikeler oluşturan uzay kirlenmesi, bu hızla devam ederse gelecek yüzyılda uzay araştırmaları için en önemli sorunlardan biri olacak ve ciddi önlemler almayı gerektirecektir. Uzay araştırmalarını önde götüren gelişmiş ülkelerin sorumlu olduğu uzay kirlenmesine, şimdiden çözüm bulunması gerekmektedir.

Uzay Yasası

Uzayın barışçı amaçlarla kullanımını düzenleyen uluslararası bir yasa, Birleşmiş Milletler genel kurullarında 1961 ve 1963 yıllarında kabul edilmiştir. Düzenlenmesinde okyanusların ve Antartika'nın barışçı amaçlarla kullanımı için oluşturulan uluslararası yasanın örnek alındığı uzay yasası, uzayda uluslararası işbirliğini öngörür. Uzayda nükleer denemeler bu yasayla yasaklanmıştır. Her ulus, uzayda barışçıl etkinlikleri için eşit haklara sahiptir. Yine uzay istasyonlarına ve gök cisimlerine nükleer silâh yerleştirilmesi ve oralarda askerî üsler kurulması bu yasayla yasaklanmıştır. Zor durumda kalan uzay adamlarına hangi ulustan olursa olsun uzayda yardım edileceği kabul edilmiştir. Yasa ayrıca, ülkelerin kendi uzay araçları tarafından uzayda ve Yer yüzeyinde verdikleri ve verecekleri zararlar için sorumlu tutulacaklarını belirtmektedir.

SORULAR

1. Uzay araştırmalarının amaçlarını açıklayınız.

2. Uzay araştırmalarının yararları nelerdir?

3. Momentumun korunumu ilkesini kullanarak bir roketin itme gücünü formülleştiriniz.

4. Pervaneli uçaklar uzayda neden yol alamaz?

5. Yapay uyduların hızlarını bulmada Kepler yasalarını nasıl uygularsınız?

6. Astronomik gözlemleri uzaydan yapmanın avantajları nelerdir?

7. Bazı gök cisimlerinin yaydığı; morötesi, x ve gama ışınımları Yer yüzünden neden gözlenemez?

8. Apollo projesinin amacını ve sonuçlarını yazınız.

9. Uzay araştırmalarında uzay mekiklerinin önemini belirtiniz. Kullanılan ve yapımı plânlanan uzay mekikleri hakkında bilgi toplayınız.

10. Uzay istasyonları ne işe yarar? Ay ve Yer, birer uzay istasyonu sayılabilir mi?

11. Uzay kirlenmesi nasıl önlenebilir? Tartışınız.

EVRENDE YAŞAM

Yaşam nedir? Neden varlıkları canlı ve cansız diye ikiye ayırıyoruz? Yanıtın bir bölümü canlı varlıkların kendi kendilerini yenileyebilme özelliğine sahip olmasıdır. Bu özellik canlılık için gerekli fakat yeterli değildir. Çünkü kristaller de uygun eriyiklerde ve uygun sıcaklıklarda kendi kendilerini üretebilirler, yenilenebilirler. Bizim canlı dediğimiz varlıklar-memeliler, balıklar, böcekler, sürüngenler, bitkiler, mikroorganizmalar-doğarlar, çevreyle etkileşirler, büyürler, çoğalırlar ve ölürler. Yer yüzünde çok farklı canlı türleri vardır. Örneğin balinalar 30 m boya, 130 ton ağırlığa ulaşırken, virüsler milimetrenin iki binde biri boyutundadır. Bitkiler de milimetrenin üç binde biri olan alglerden, boyları 100 m yi aşan dev ağaçlara kadar çok geniş bir boyut aralığına dağılmışlardır. Tüm bu canlılar Dünya üzerinde -70 °C deki donmuş bölgelerden +70 °C deki sıcak su kaynaklarına kadar çok farklı fiziksel koşullar altında yaşarlar. Yine de bu fiziksel koşullar astronomik açıdan ender bulunan sınırlı ve dar koşullardır.

Bu kadar çok sayıda canlı türü nasıl ortaya çıkmıştır? Yer yüzünde canlı türlerinin gelişim tarihi, bilim adamlarını uzun süre uğraştırmıştır. Bu uğraşlar, tüm canlı türlerinin daha basit türlerden geliştiğini ortaya koyan bir evrim işleminin varlığını ortaya koymuştur. Kuşkusuz evrimin uzun zaman ölçeğinde hâlâ bilinmeyen noktaları çoktur, ancak evrimin varlığı ve hâlâ sürmekte olduğu konusunda kuşku yoktur. Yer yüzü üzerinde jeolojik olarak geniş bir zamana ve alana yayılmış olan canlı türleri üzerine yapılmış olan çalışmalar, evrimin varlığını açıkça göstermektedir. Yer yüzü dışında başka bir yerde yaşam belirtisine henüz rastlanmadığı için, bu bölümde sadece yer yüzünde bildiğimiz yaşamın özellikleri üzerinde duracağız.

7.1 Yaşamın Genel Özellikleri

Yaşamın yer yüzündeki uzun tarihi, değişik çağlara ilişkin kayaların içinde bulunan fosillerle incelenir. Fosiller çok eski canlı türlerinden bir kısmının taş hâline gelmiş kalıntılarıdır. İçinde en eski fosilleri taşıyan kayalara, kambriyen adı verilmiştir. Kambriyen fosil kayıtlarında hiçbir kara yaşamının izine rastlanmaz. En eski kambriyen kayalarının yaşı 600 milyon yıl bulunmuştur. Bu sayı çok uzun bir dönemi ifade ediyor olsa da Dünya'nın yaşıyla kıyaslandığında, en eski fosillerin bile göreceli olarak son zamanlarda oluştuğu anlamına gelir. Diş, kemik, kabuk gibi sert kısımları olmayan canlıların fosil oluşturmayacağı anlaşıldıktan sonra Dünya'nın daha uzak geçmişinde de canlıların yaşamış olabileceği düşünüldü ve 1950'li yıllarda Süperior gölü yakınlarında koloniler hâlinde deniz yosunlarının izleri bulundu. 2 milyar yaşındaki bu deniz yosunları hücresel yaşamın en basit şekilleriydi. Bunlar bakterilere çok benzese de aradaki fark deniz yosunlarının klorofil içerirken, bakterilerin klorofil içermemesidir. 1977 yılında en yaşlı mikrofosiller Güney Afrika'da bulunmuştur. Burada ilginç olan, bulunan fosiller ne kadar uzak geçmişe ait ise o kadar basit yapıya sahip olmasıdır. Örneğin en yaşlı mikrofosillerde hücre çekirdeği bile belirgin değildir. Zaman geçtikçe canlı türleri daha karmaşık organizmalar içermektedir. Yani yaşam tek hücreli basit canlılardan çok hücreli karmaşık organizmalara evrimleşmiştir. Yaşamın ilk kez nasıl oluştuğunu kesin bilmiyoruz. Dünya'nın atmosferi ve/veya okyanusları içinde bulunan rast gele basit moleküller o zamanki uygun koşullarda birleşerek daha karmaşık molekülleri oluşturmuş olmalı. İlk zamanlar yerin atmosferinde çok az serbest oksijen olduğu sanılmaktadır. Bu olumlu bir şeydi, çünkü, canlıların yapısında bulunan molekülleri oluşturan elementler, oksijenin serbest olması durumunda, onunla birleşebileceği için karmaşık moleküller oluşmayabilirdi. Ayrıca, serbest oksijen olmaksızın, Yer atmosferi Güneş'ten gelen morötesi ışınımın hemen hemen tümünü geçirecek ve bu ışınımın enerjisi, daha karmaşık moleküllerin oluşmasına yardımcı olacaktır. İlk zamanlarda yer yüzünde cansız maddeden tek hücreli canlıların oluşması için dört koşul gerekliydi:

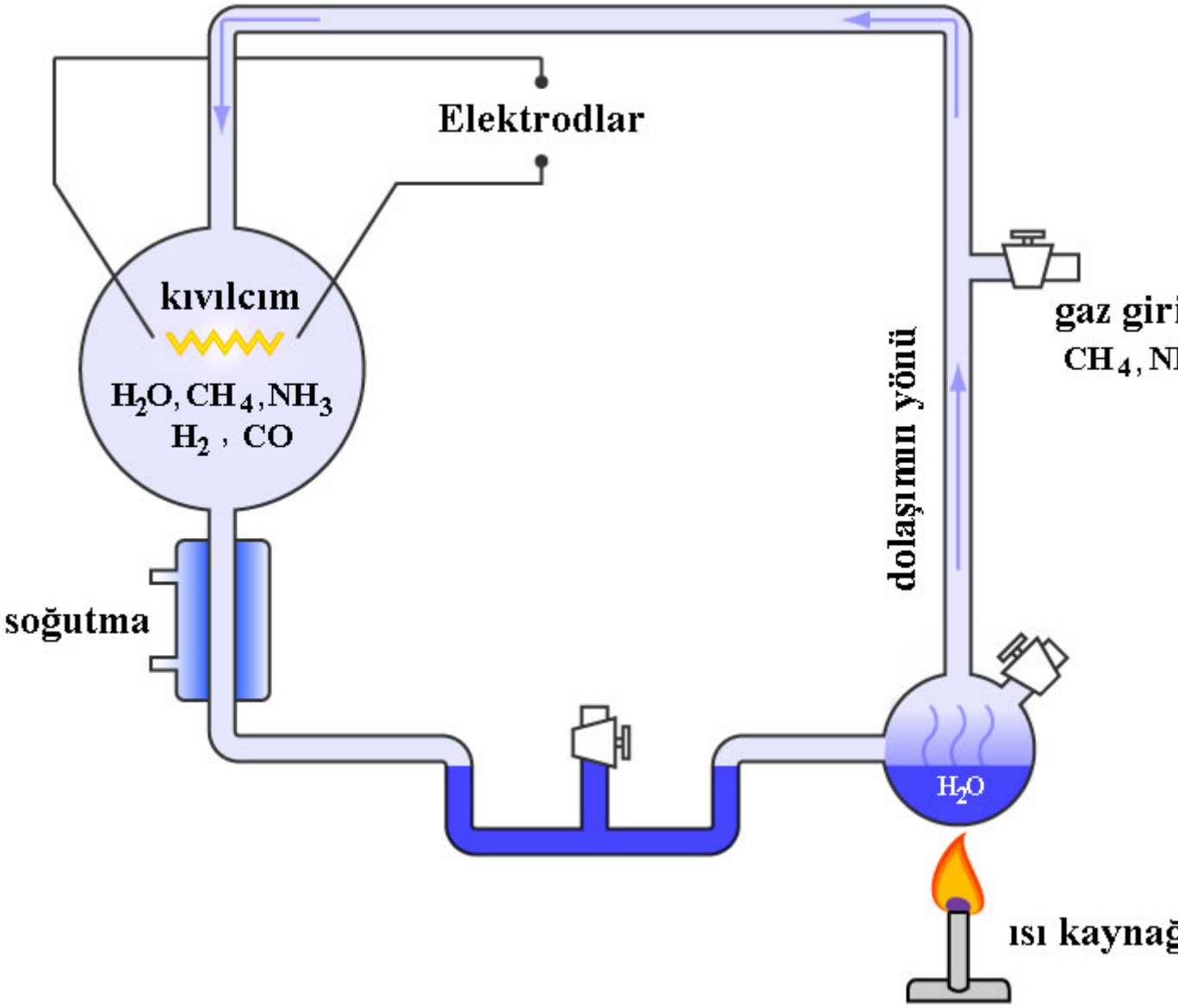
1) Aminoasitler ve şekerler gibi organik moleküllerin oluşması.

2) Bu moleküllerin protein ve nükleik asitlere dönüşmesi.

3) Protein ve nükleik asit moleküllerinin o zamanın ılık okyanuslarında hücreye benzer damlacıklar oluşturması.

4) Bu damlacıkların içlerinde onların kendi kendilerini yenilemelerini sağlayacak olan DNA (deoksiribonükleik asit) ve RNA (ribonükleik asit) moleküllerinin varlığıyla basit canlı hücreleri oluşturmaları.

Canlı hücreler bir kez oluşup ortaya çıktıktan sonra su molekülünü parçalamak için güneş enerjisi kullanabilir ve glikoz yapmak için atmosferde bulunan karbondioksit molekülünü yakalayabilirlerdi. Açığa çıkan oksijeni atmosfere vererek yerin atmosferini şimdi olduğu gibi serbest oksijen içerir duruma getirebilirlerdi. 1950'li yılların ortalarında Şikago Üniversitesi'nden Stanley Miller ve Harold Urey elektrik girişi olan kapalı bir deney aygıtına; hidrojen (H_2), metan (CH_4), amonyak (NH_3) ve su buharı (H_2O) gibi yerin ilk atmosfer koşullarında var olduğu sanılan gazlar koydular. Bu karışıma, elektrik akımıyla oluşturulan yapay yıldırımlar gönderdiler. Bir hafta süren deneyden sonra karışım suda ayrıştırıldığında, aminoasitlerin oluştuğu görüldü. Diğer bilim adamları deneyi, enerji kaynağı olarak morötesi ışınları kullanarak ve karışımın oranlarını değiştirerek yenilediler ve sonuç olarak farklı oranlarda aminoasit oluşturdular. Benzer deneylerle; Cyril Ponnaperuma ve Walter Fox nükleik asitlerin yapı blokları olan nükleoitleri, bazı proteinleri ve bunların suda oluşturduğu hücreye benzer damlacıkları elde ettiler.



Şekil 7.1: Miller-Urey deneyi.

Bu deneylerle ulaşılan sonuçlar, yaşam yönünde oldukça büyük ilerlemeler olduğu hâlde, en ilkel şekilde bile olsa, yaşam denilen olgudan henüz oldukça uzaktı. Karmaşık moleküllerin canlılık olgusunu nasıl kazandığı hâlâ bilinmemektedir. Ancak deneyler, lâboratuarda az miktarda karışımla kısa süre içinde yapılmaktadır. Oysa okyanuslar dolusu "ilkel çorba" nın milyonlarca yıl etkisi altında kaldığı koşullarla 3,5 milyar yıl önce ilkel hücrelerin oluştuğunu ve zamanla bu ilkel yapıların daha

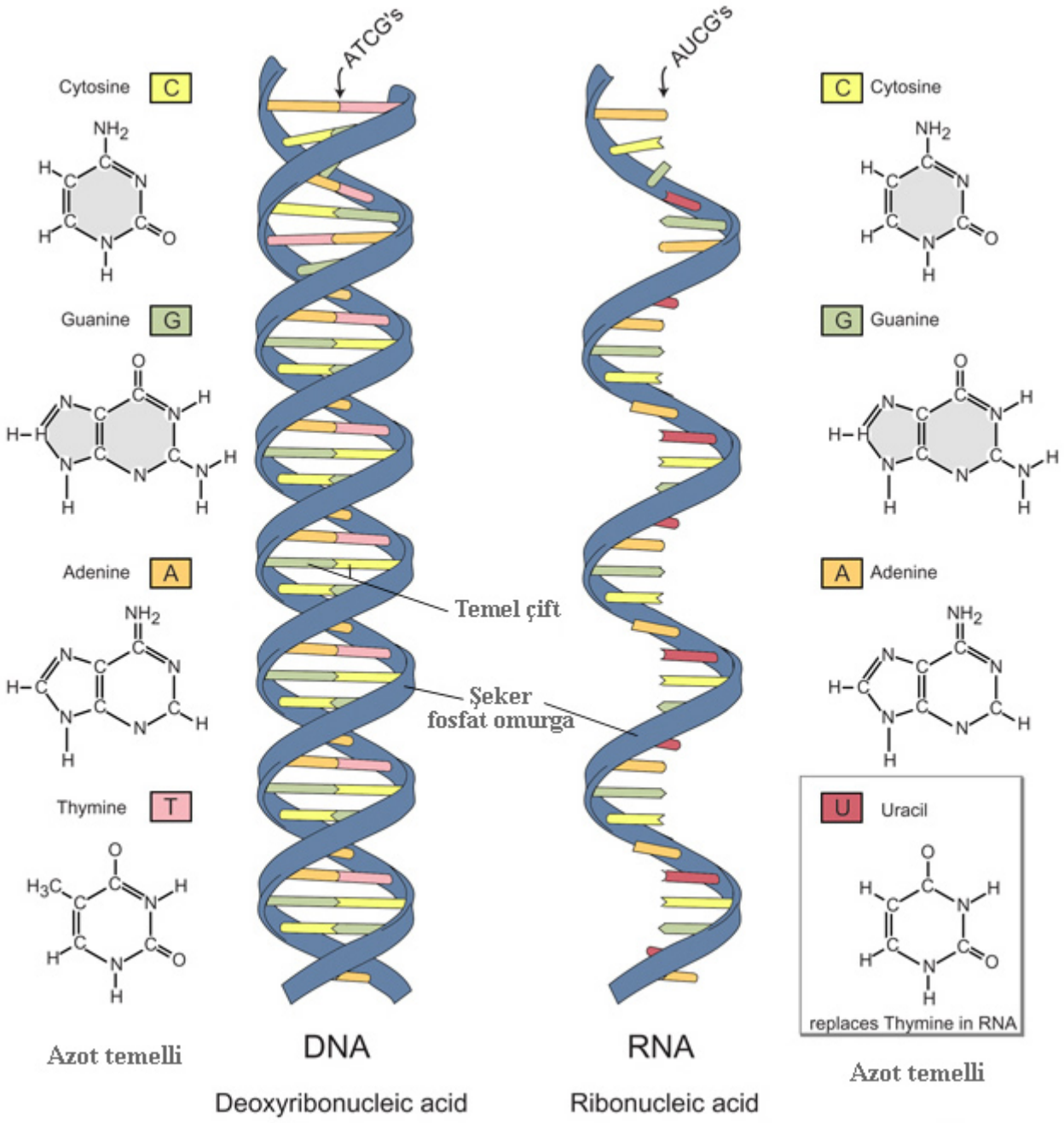
karmaşık organizmalara evrimleştiğini düşün-mek her hâlde güç olmayacaktır. Mikrofosil araştırmalarına göre yer yüzünde yaşamın ilk kez 3.5 milyar yıl önce tek hücreli canlılar olarak ılık okyanuslarda oluştuğu ve sonra yaklaşık 2.5 milyar yıl boyunca okyanuslarda evrimleşip geliştiği ve daha sonraki yaklaşık 500 milyon yıllık süreyi de karalarda geçirdiği anlaşılmaktadır. Çok uzun bir süre (225 milyon ile 65 milyon yıl önce) karalarda en çok rastlanan canlılar dinazor denen kabuklu ve boynuzlu sürüngenlerdi, 65 milyon yıl önce diğer birçok canlı türüyle birlikte kısa sürede ortadan silindiler. Bu canlıların kısa sürede yok olmasına neyin neden olduğu kesin olarak bilinmemektedir.

Dünya'daki tüm canlı türlerinin temel yapı taşı olan aminoasit ve nükleikasit moleküllerinin oluşturduğu zincirler, karbon atomunun sağladığı bağlarla mümkün olmaktadır. Karbon atomu evrende hidrojene göre çok az bulunmasına karşın, yine de ençok bulunan elementlerden biridir. Fazla kimyasal bağ oluşturabilen elementlerden biri de silikondur. Bu nedenle bazı bilim adamları evrenin bir yerlerinde silikon atomunu temel alan canlıların da var olabileceğini ileri sürmektedirler. Kimyasal olarak silikon atomlarını temel alan molekül zincirleri, karbonunkiler kadar uzun ve karmaşık değildir.

Şekil 7.2: 65 milyon yıl önce bir asteroid Yer'e çarparak dinozorların toplu ölümüne neden olmuş olabilir. Bu durumu canlandıran temsili resim (New Solar System).

Şekil 7.3: Evrenin bir yerlerinde başka elementleri temel alan oldukça farklı yapıda canlılarda olabilir.

Diğer taraftan büyük patlama olayını temel alan evren modellerine göre, büyük patlama olayıyla sadece ve sadece hidrojen ve helyum elementleri oluşmaktadır. Diğer elementler, ancak büyük kütleli yıldızların merkezlerinde nükleer reaksiyonlarla üretilip; yıldız rüzgârları, nova olayları ve daha çok süpernova patlamalarıyla çevreye yayılmaktadır. Dünyamızda ve Güneş sisteminin diğer üyelerinde, ağır elementler bol miktarda bulunduğuna göre Güneş ve Güneş sistemi büyük olasılıkla süpernova artıklarından oluşmuştur. Güneş bu nedenle en azından ikinci nesil bir yıldızdır. Bu bakımdan biz canlılar bir anlamda varlığımızı galaksinin uzak geçmişinde oluşan bir süpernova patlamasına borçluyuz. Sadece hidrojen ve helyumdan oluşan birinci nesil yıldızlardan Dünya benzeri gezegenlerin ve canlı varlıkların oluşamayacağı açıktır. Canlıların yapı taşı olan aminoasit ve nükleikasit gibi karmaşık moleküllerin hatta ilkel canlıların plâzma olmayan soğuk yıldızlararası bulutlarda oluşabileceği ve Dünya gibi uygun ortamlara yayılmış olabileceği de ileri sürülmektedir. Söz konusu karmaşık moleküllerin oluşumu zor olmadığına göre, yaşam gerçekten Dünya'nın dışında başka yerlerde de oluşmuş ve gelişmiş olabilir.

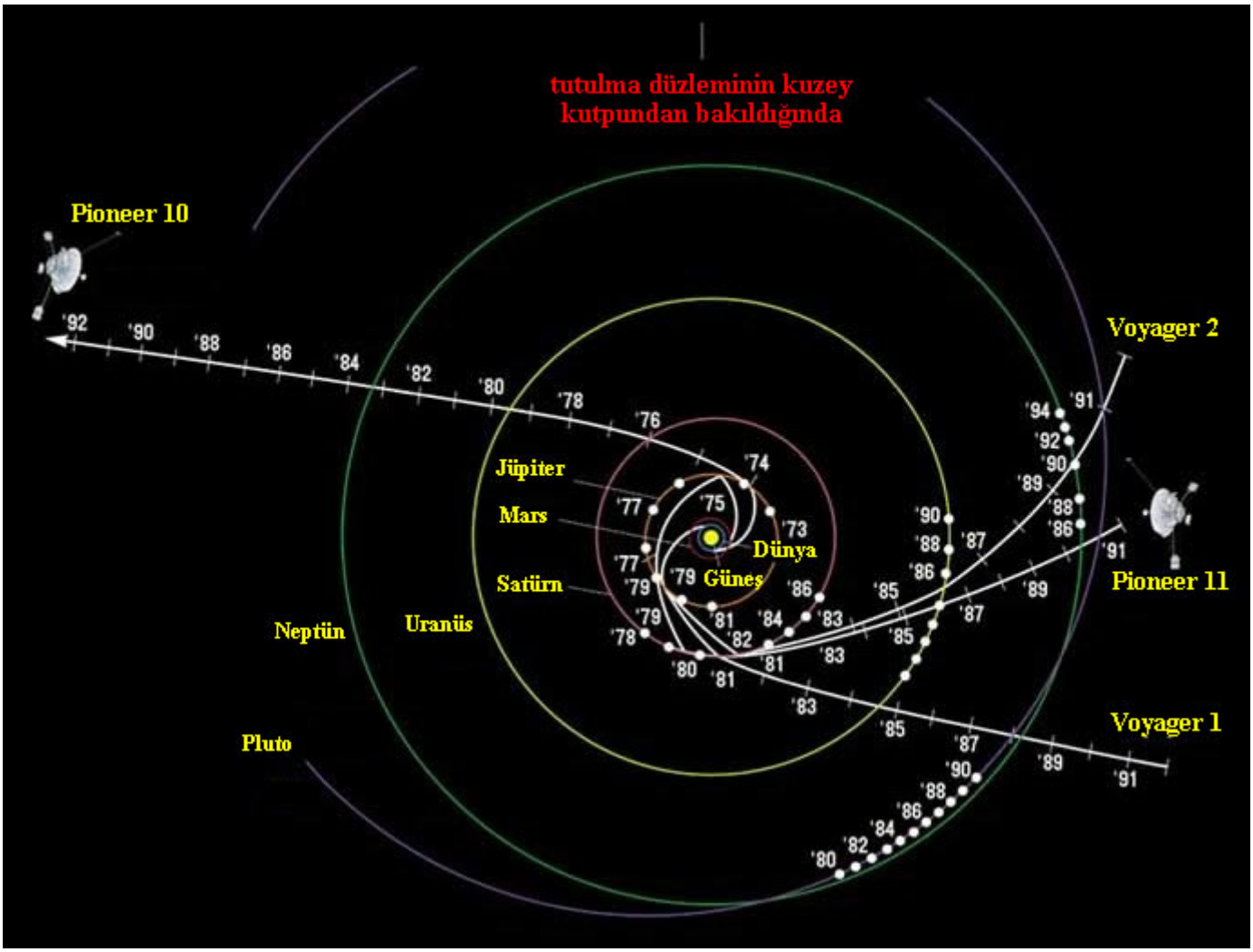


Şekil 7.4: Dünyadaki canlıların temel yapı taşı, ikili sarmal oluşturan DNA ve RNA molekülleri.

.2 Başka Güneş Sistemleri

Evrende sayılamayacak kadar galaksi ve her galakside de sayılamayacak kadar gök cismi vardır. Galaksilerdeki belli başlı gök cisimleri yıldızlar ve gezegenlerdir. Aradaki fark: Gezegenlerin yıldızlara göre çok daha küçük, soğuk ve belirgin görsel ışınım yaymamış olmalarıdır. Güneş sisteminin en büyük kütleli gezegeni Jüpiter'in kütlesi, Güneş kütlesinin sadece binde biri kadardır. Dünya'nın kütlesi ise Jüpiter kütlesinin üç yüzde biridir. Evrende sayılamayacak kadar gök cismi olduğu hâlde Dünya'dan başka bir yerde yaşam belirtilerine henüz rastlanmamıştır. Bu bakımdan yaşam hakkındaki bilgilerimiz sadece Dünya'daki gözlemlerimize dayalıdır. Dünya'daki tüm canlı türlerinin yapı taşları kompleks moleküllerdir. Bu moleküller varlıklarını evrende ancak yıldızlardan uzak, soğuk bölgelerde koruyabilirler. Güneş sistemi içinde Dünya'dan başka ancak dev gezegenlerin atmosferleri içindeki belli bölgelerde koşulların yaşam için uygun olabileceği düşünülmektedir. Güneş sistemi dışında yaşam aranacaksa, önce Güneş benzeri yıldızların etrafındaki gezegenlerin saptanması gerekmektedir. İlginçtir ki birçok yıldızın etrafında gezegenin varlığından süphe edildiği hâlde henüz Güneş sistemi dışında hiçbir gezegenin varlığı gözlemsel olarak kesinlik kazanmamıştır. Bunun temel nedeni gözlemsel zorluktur. Daha önce, Güneş sisteminde dış gezegenlerin bile ne kadar zor saptandığını gördük. Bu zorluk iki temel nedenden kaynaklanmaktadır: (1) Gezegenler görsel ışınım yaymayan karanlık cisimlerdir. Ancak merkezdeki yıldızdan aldıkları ışınımı yansıtırlar. Bu da dev gezegenler için bile merkezdeki yıldızın toplam ışınımının milyonda birini geçmez. (2) yıldızlar çok uzaktadır. (En yakın yıldız bile Ay'a göre 100 milyon kat daha uzaktadır. Bu konuda ekteki çizelgeye bkz.) Başka yıldızların etrafında gezegen varlığı dolaylı yollardan saptanır. Bu tekniklerin hemen hepsi, var olması beklenen gezegenin merkez yıldıza uygulayacağı çekim kuvvetinin etkisinin bir şekilde gözlemsel olarak saptanmasına dayanır. Bu tekniklerin uygulanması sonucu birçok yıldızın etrafında gezegen varlığı iddia edilmiş fakat çoğu kanıtlanamamıştır. 1937 den başlayarak Van de Kamp, Gatewood ve Harrington'un uzun yıllar yürüttüğü gözlemler, Barnard yıldızı ve Epsilon Eridani yıldızı gibi bazı yakın yıldızların etrafında gezegenler olabileceğini gösterdi. Yakın geçmişte bize 85 ışık yılından daha yakın 123 Güneş benzeri yıldız tayfsal olarak incelendi. Sonuç olarak %57 sinin görünmeyen yıldız bileşeni olduğu, kalanın altıda (veya beşte) birinde gezegenlerin olabileceği anlaşıldı, fakat hiçbiri için kesin kanıt henüz bulunamadı. Bir başka çalışmada en iyi gözlemsel olanaklar kullanılarak 15'e yakın yıldızın yılda 6 kez dikine hızları ölçülmeye başlandı. Campbell ve grubunun 1981 den bu yana yürüttüğü bu duyarlı gözlemlerden Gamma Cephei yıldızının etrafında dolanan Jüpiter benzeri bir veya iki gezegen bulunabileceği saptandı. Benzer yolla Latham ve arkadaşları da HD114762 yıldızının etrafında büyük kütleli (10-20 Jüpiter kütlesine eşdeğer) bir gezegen olabileceğini gösterdiler. Bu bulgu, Cochran ve arkadaşları tarafından da kanıtlandı. Yakın yıldızlarda gezegen arama çalışmaları büyük teleskoplarla, özellikle elektromonyetik ışınımın kırmızıöte bölgesinde yoğun bir şekilde yürütülmektedir. Kırmızıöte Astronomi Uydusu (IRAS)'nun atmosfer dışı gözlemleriyle; HL Tau, R Mon, Beta Pic gibi pek çok genç yıldızın etrafında gaz-toz diskleri olduğu saptanmıştır. Bu disklerde, zamanla gezegen sistemleri oluşacağı sanılmaktadır.

Aslında diğer yıldızların etrafında gezegen olmaması için hiçbir geçerli neden bulunmamaktadır. Galaksimizde yüz milyar kadar yıldız varken, Güneş, ayrıcalıklı çok özel bir yıldız olamaz. Galaksimizde Güneş benzeri çok sıcak ve çok soğuk olmayan yıldızların sayısı üç milyar kadardır. Bunlardan iki milyarında gezegen sistemleri olduğunu ve onda birinde yaşama uygun gezegenler bulunduğunu var saysak bile yine de yaşama elverişli gezegenleri olabilecek 200 milyon kadar yıldız bulunması gerekir. Bu sayı bile galaksimizde yalnız olmadığımız konusunda bir fikir verebilir. Bu sayı tahmin edilebilecek minimum sayıdır. Çift ve çoklu yıldız sistemlerinin etrafında da uygun yörüngelerde yaşam için elverişli gezegenlerin bulunmaması için hiçbir neden yoktur. Bu basit istatistiğe göre bulunduğumuz yerden 20 ışık yılı uzaklık içinde yaşam barındıran bir iki gezegenin bulunması gerekir. Yıldızlar arası uzaklıklar o kadar fazladır ki bırakın o canlılarla iletişim kurmayı, gezegenlerin varlığı bile bugüne kadar gözlemsel olarak saptanamamıştır. Aslında iletişim kurabilmek için oralarda canlı bulunması yetmez. Bizim gibi zeki canlıların bulunması gerekir. Çünkü insanoğlu henüz deniz yosunları, bitkiler, böcekler gibi canlılarla iletişim kuramıyor. İlletişim kurmak istediğimiz dünya dışı zeki canlıların da yıldızlar arası iletişimde bulunabilecek teknolojiyi kurmuş olmaları gerekir. İyimser tahminlere göre Güneş'ten birkaç yüz ışık yılı uzaklık içinde teknolojik olarak çok ilerlemiş uygarlıkların var olması gerekmektedir.



Şekil 7.5: Farklı yönlerde Güneş sistemini terkeden Pioneer 10, 11 ve Voyager 1, 2 uzay araçları (New Solar System).

Belki bu uygarlıklardan birinin eline geçer ümidiyle 1973 ve1974 yıllarında fırlatılan Pioneer 10 ve 11 uzay araçlarına, Dünya'yı tanıtan metal plâketler yerleştirildi. 1977 yılında fırlatılan Voyager 1 ve 2 uzay araçlarına ise aynı ümitle iki saat süren ses kayıtları, kodlanmış fotograflar ve 116 ilginç slâyt yerleştirildi. Bu uzay araçları şimdi, Güneş sisteminin dışında sonsuz boşlukta büyük bir hızla yol almaktadır.

Şekil 7.6: Dünyanın en büyük sabit radyo teleskopu: Arecibo. Puerto Rico'da dağlar arasında kurulmuştur.

İnsanlığın kurduğu teknoloji henüz yıldızlara gidebilecek düzeyde değildir. Bugünkü teknoloji ile yakın yıldızlara yolculuk nesiller boyu zaman alır. Bu bakımdan ancak iyi plânlanmış uzay gemileriyle aileler, bu tür yolculukları yeni nesillerle devam ettirebilir. Burada hatırlayalım ki Güneş'in ana kol yaşamı henüz yarısındadır ve Dünya'da bugünkü teknolojinin kurulduğu süre kayıtlı tarihe göre çok kısadır. Buna göre yıldızlararası yolculuğu gerçekleştirebilecek teknolojiyi geliştirmek için daha çok zamanımız var. Bu konuda şimdiden önemli düşünceler geliştirilmiştir. (Uzay araştırmaları tarihine bkz.) Aslında diğer dünyalara gitme çabası yerine önce iletişim kurma çabası gösterilmelidir. Elektromanyetik tayfın radyo bölgesi dünya dışı uygarlıklarla iletişim kurmak için en uygun bölgedir. Eğer dünya dışı zeki canlılar amaçlı olarak uzaya mesajler gönderiyorsa özel frekanslar seçmiş olmalılar. En dikkati çeken uygun frekans bölgesinin Hidrojen atomunun ve Hidroksil molekülünün mikrodalga salma çizgileri bölgesi olduğu anlaşılmaktadır. Bu frekans bölgesi gürültüden uzak ve Dünya atmosferindeki su buharı soğurmasından en az etkilenen bölgedir.

Şekil 7.7: Radyo teleskop anten dizisi adı "çok büyük dizi" (Very Large Array, VLA).

Astronomlar, radyo bölgede en çok 21 cm dalgaboyunda (1420 MHz frekansında) gözlem yapmaktadır. Nötr hidrojenin bu dalgaboyunda yaydığı ışınımla galaksideki hidrojen dağılımı incelenmektedir. Hidrojen evrende en bol olan element olduğuna göre, dünya dışı uygarlıklar iletişimde bu dalgaboyunu seçmiş olabilirler. Galaksimizde iletişim kurabilecek sadece birkaç uygarlık olsa bile bugün insanlık radyo bölgede gönderilecek sinyalleri yakalayabilecek düzeydedir. Bu yönde geliştirilen en ilginç proje "Cyclops" projesidir. Bu projeye göre her biri 100 m çapında düşünülen uygun şekilde dizilmiş 1000-2500 tane teleskop belli dalgaboylarında galaksiyi tarayacaktır. Böyle bir anten dizisi galaksinin her yerinden sinyal alabilecek güçtedir. Ancak parasal nedenle böyle bir projenin yakın gelecekte desteklenmesi mümkün değildir. Bugün NASA, çok daha küçük boyuttaki SETI projesini desteklemektedir. 1992 yılında uygulamaya sokulan bu projeyle Dünya'dan 25 parsek (82 ışık yılı) uzaklık içinde Güneş benzeri 800 yıldız, 1998 yılına kadar dönüşümlü olarak 1000-3000 MHz frekans aralığında izlenecek ayrıca biraz daha düşük duyarlıkla 1000-10000 MHz frekans aralığında tüm gök yüzü taranacaktır. Bu projede, hâli hazırda var olan büyük radyo teleskoplar (Çapları 45-300 m arasında olanlar.) kullanılmaktadır. Dünya dışı uygarlıklardan bir mesajin algılanması insanlık tarihinin en büyük olayı olacaktır.

İnsanoğlunun var olduğuna inandığı dünya dışı uygarlıklara ulaşma olasılığı hem bugün hem de gelecekte yıldızlararası uzaklıkların çok fazla olması nedeniyle oldukça zayıftır. Aynı nedenle dünya dışı uygarlıkların da gelip Dünya'yı ziyaret etme olasılığı oldukça zayıftır. Böyle bir ziyaretin olasılığı Dünya üzerinde kuzey kutbunda var sayılan bir incirçekirdeği üzerindeki özel bir bakterinin kalkıp güney kutbunda var sayılan başka bir incir çekirdeği üzerindeki başka özel bir bakteriyi ziyaret edebilmesi olasılığından daha fazla değildir.

.3 Tanımlanamayan Uçan Cisimler (UFO'lar)

Birçok kimsenin başka dünyalardan geldiğine inandığı, belirlenemeyen uçan cisimlerin varlığı, dünyanın değişik yerlerinde sık sık rapor edilmektedir. Bilir kişilerin incelemesinden sonra rapor edilen uçan dairelerden çoğunun; aslında uçak, parlak yıldız veya gezegen (genelikle Venüs gezegeni), meteor, yapay uydu, araştırma balonu, büyük kuş veya kuş sürüsü ve atmosferik olaylar oldukları.görülmektedir. Raporlara göre uçan dairelerin tabak şeklinde veya uzunca bir yapıda oldukları söylenmektedir. Bazılarının geceleri çok parlak oldukları, hızlı hareket ettikleri ifade edilmektedir. Bunlardan bir kısmı aynalardan yansımayla kasıtlı olarak yaratılan görüntülerdir. Gürüntülerin zig zag çizen hızlı hareketi, aynanın hareketiyle kolayca sağlanmaktadır. Bazı uçan dairelerin inişleri, içlerinden garip yaratıkların çıktığı, hatta rapor edenleri alıp bir süre tutsak ettikleri, yer yüzüne inen uçan dairelerin çevrede güçlü elektrik ve manyetik alan oluşturdukları ve her türlü âletin çalışmasını durdurdukları ifade edilmektedir. İncelenen bu durumlardan çoğunun, rapor edenlerin hayal ürünü olduğu anlaşılmıştır. Diğer bir kısmının da fiziksel olarak açıklanabilen normal cisim veya olaylar olduğu görülmüştür. Şimdilik bilinenlerle açıklanamayan uçan daire raporları sınıflanıp kaydedilmektedir. Bir çok bilim adamına göre başka dünyalardan gelen uçan daire yoktur ve tüm uçan daire raporlarının doğal açıklamaları vardır. 1949-1969 arasında ortaya çıkan uçan daire raporlarını inceleyen meşhur fizikçi Edward Condon'a göre durum böyledir. Her şeye karşın bugün de bazı bilim adamları açıklanamayan uçan daire raporlarına dayanarak, bunlardan en azından bazılarının üstün medeniyete sahip başka dünyalardan gelebileceklerine inanmaktadır.

Şekil 7.8: Bir UFO fotografı. UFO'lar eğik tutulan iki müzik plâğının orta deliklerini görüntüsü olarak elde edilmiş, arka fon sonradan eklenmiştir.

Bugün bilinenlerle açıklanamayan uçan daireler için en tutarlı görüşler: (i) ender oluşan atmosfer olayları veya yapay uydu parçaları, (ii) bazı insanlarda hayalle karışık algılama bozuklukları şeklinde yorumlanmaktadır. Özellikle şiddetli fırtınalardan sonra ilginç top gibi parlak bulutların oluştuğu bilinmektedir. Diğer taraftan Orta Çağlarda, eğitilmiş birçok kişinin bile gök yüzünde kanlı kılıçlar, altın haçlar, ejderhalar gördüğü kaydedilmektedir. Bugün bu tür şeyler görünmemekte, fakat hareketli disk biçimli cisimler görünmektedir. Bu görüşlere karşın en azından bazı uçan dairelerin iz bıraktıkları, alan etkileri oluşturdukları ve buna göre hayal değil, fakat fiziksel cisimler olmaları gerektiği bilinmektedir. Uçan dairelerin diğer dünyalardan gelen ziyaretciler olabileceğini gösteren hiçbir inandırıcı tutarlı kanıt bulunmamaktadır.

SORULAR

1. Miller-Urey deneyinin özetleyip, sonucunu açıklayınız.

2. Bir yıldız etrafındaki gezegenin kütlesi, yıldız kütlesinin onda biri olsa yıldızın uzaydaki öz hareketi nasıl olur?

3. Bir yıldızın gezegene sahip olması öz hareketinin büyük olmasını gerektirir mi?

4. Barnard yıldızının etrafında gezegen olabileceğini gösteren kanıtı tartışınız?

5. Var olduğuna inanılan dünya dışı uygarlıkları ziyaret etmenin neden mümkün olmadığını tartışınız?

6. UFO'lar neden dünya dışı uygarlıklardan gelmiş olamaz. Kanıtlarınızı maddeler hâlinde sıralayınız?

7. Çevre kirliliğinin Dünya'daki yaşama etkisini tartışınız?

Test Soruları I

1. Dikaçıklığı +10° olan yıldız hangi enlemlerde batmayan bir yıldızdır?

a) $\Pi<40°$ b) $\Pi>40°$ c) $\Pi<50°$ d) $\Pi>80°$ e) $\Pi<86°$

2. Bir gözlem yerinde ilkbahar noktası alt geçişte ve Güneş doğmak üzere olduğu zaman Güneşin ekliptik enlemi ve ekliptik boylamı ne olmalıdır?

a) 90°, 0° b) 180°, 90° c) 180°, 23°.5 d) 270°, 0° e) 270°, 23°.5

3. 30° Batı boylamındaki bir şehirde, bölge zamanıyla saat 17.50'de içilen çay, Greenwich zamanıyla saat kaçta içilmiş demektir?

a) 15.00 b) 16.00 c) 19.00 d) 20.00 e) 22.00

4. Enlemi 35° Kuzey olan bir yerde, minimum ufuk yüksekliği 10° olan batmayan bir yıldızın minimum zenit uzaklığı ne kadardır?

a) 65° b) 55° c) 45° d) 30° e)25°

5. 45° Kuzey enleminde minimum ufuk yüksekliği 10° olan batmayan bir yıldızın maksimum ufuk yüksekliğini bulunuz?

a) 80° b) 55° c) 45° d) 35° e)25°

6. Ortalama Güneşin gözlemcinin meridyeninden art arda iki üstgeçişi arasındaki süreye ne denir?

a) Yıldız günü b) Gerçek güneş günü c) Tutulum günü d) Ay günü e) Bayram günü

7. Kuzey enlemlerinde en uzun mevsim hangisidir?

a) İlkbahar b) Yaz c) Kış d) Sonbahar e) Yaz ve Kış

8. Yılın hangi ayında, Güneşin görünür çapı en büyük olur?

a) Temmuz b) Aralık c) Ocak d) Eylül e) Şubat

9. Bulunduğunuz yerde kutup yıldızı zenitten 35° uzakta olsa enleminiz ne olur?

a) 35° b) 55° c) 78°.5 d) 90°-35°+23°.5 e) 60°-35°+23°.5

10. Ekvatorda kutup yıldızının ufuk yüksekliği ne kadardır?

a) 0° b) 40° c) 60° d) 90°-23°.5 e) 90°

11. İlkdördün evresindeki Ay'ın Güneş batarken saat açısı kaç olur?

a) 3^{sa} b) 6^{sa} c) 12^{sa} d) 18^{sa} e) 20^{sa}

12. Bir uydunun yörünge dönemini iki katına çıkarmak için yörünge yarıçapını kaç kat artırmak gerekir?

a) 1.6 b) 2^3 c) 2.8 d) $(4.4)^{1/2}$ e) $4^{1/3}$

13. İki cisim arasındaki uzaklığı iki kat artırsak aralarındaki çekim kuvveti ne olur?

a) İki kat olur. b) Dörtte bire iner. c) Yarıya iner. d) Dört kat artar. e) Değişmez.

14. A yıldızı B yıldızına göre iki kat uzakta ise A'nın paralaksı

a) B'ninkinin yarısıdır. b) B'ninkiyle aynıdır.

c) B'ninkinin iki katıdır. d) B'ninkinin dört katıdır. e) B'ninkinin dörtte biridir.

15. Bir parçacık dairesel bir yörüngede 40km/sn hızla bir saatte bir tur atmaktadır. Yörüngenin yarıçapı ne kadardır?

a) 40000/□ km b) 72000 km c) 72000/□ km d) 36000 km e) 40000 km

16. Yer'den Ay'ı son dördün evresinde gördüğümüzde, Ay'dan yeri hangi evrede görürüz?

a) Yeni Yer b) İlk dördün c) Son dördün d) Dolun yer e) Hilâl

17. Akan yıldız yağmuru oluşumunun nedeni:

a) Yerin küçük gezegen kuşağına girmesidir.

b) Güneşin küçük gezegen kuşağına girmesidir.

c) Küçük parçacıkların Ay'a çarpmasıdır.

d) Yerin bir kuyruklu yıldız yörüngesinden geçmesidir.

e) Bir uzay aracının Yer atmosferine girmesidir.

18. Yanardağlı uydusu olan gezegen hangisidir?

a) Mars b) Venüs c) Pluto d) Jüpiter e) Satürn

19. Aşağıdakilerden hangisi Yerin dönme hareketiyle ilgili değildir?

a) Güneşin kenar kararması

b) Yer üstünde "Coriolis" etkisi

c) Faucault sarkacının salınım düzlemindeki değişim

d) Yıldız ışığının aberasyonu

e) Yıldızların yer değiştirmesi

20. Bir iç gezegenin sinodik dönemi 3 yıl ise, sideral dönemi kaç yıl olur?

a) 2/3 b) 4/3 c) 3/4 d) 5.2 e) 3/5

21. Güneş'ten ortalama uzaklığı 3 GB olan küçük gezegenin yörünge dönemi kaç yıl olur?

a) 4 b) **\R**(,3) c) **\R**(3,27) d) **\R**(3,9) e) **\R**(,27)

22. Yerde Güneş sabiti ~2 cal $cm^{-2}dak^{-1}$ dir. Güneş'e ortalama uzaklığı 0.7 GB olan Venüs'te Güneş sabiti aynı birimlerde ne olur?

a) 4□$(0.7)^2$/2 b) 2/0.49 c) **\F**(4,3) □$(0.7)^3$/2 d) 54.6 e) 60

23. Görünür çapı 100", uzaklığı 2 GB olan küresel cismin yarıçapı kaç GB olur?

a) **\F**(□,180 x36) b) **\F**(50 □,180 x360) c) **\F**(100 □,180 x360) d) **\F**(50 □,180 x3600) e) 2

24. Güneşte manyetik etkinlik maksimuma ulaştığında leke bölgesinin ortalama enlemi nedir?

a) ±5° b) ±10° c) ±15° d) ±20° e) ±30°

25. Yer atmosferi hangi ışınları en çok geçirir?

a) X-ışınları b) Morötesi c) Kırmızıötesi d) Radyo e) Gama ışınları

26. Yüzey sıcaklığı 10000K olan bir yıldız, 5000K olan bir başka yıldızdan birim alan başına kaç kat daha çok ışınım salar?

a) 2 b) 4 c) 10 d) 36 e) 81

27. Iraklık açısı 0".125 olan bir yıldızın uzaklığı kaç parsektir?

a) 8 b) 12.5 c) 80 d) 125 e) 800

28. Güneş'in yüzeyinden salınan ışınımın kaynağı nedir?

a) Helyum yanması b) Kütlesel çekim enerjisi c) Petrol enerjisi d) Hidrojen yanması e) Karbon yanması

29. Hangisi Güneş'in katmanı değildir?

a) Renkküre b) Işıkküre c)Stratosfer d) Taçküre e) Konvektif katman

30. Güneş'in gözlenen akısı 350 Watt/m^2 dir. Güneş bugünküne göre 10 kat daha uzakta olsaydı, gözlenen akısı aynı birimlerde ne olurdu?

a) 3.5 b) 35 c) 87.5 d) 350 e) 350

Test Soruları II

1. Enlemi 40° Kuzey olan yerler için doğan ve batan yıldızların dikaçıklık aralığı nedir?

a) -40°<™<40° b) ™>40° c) -50°<™<50° d) ™>50° e) ™>60°

2. Enlemi 40° Kuzey olan yerler için batmayan yıldızların dikaçıklığı nedir?

a) ™≥50° b) ™≤50° c) ™≥40° d) ™≥30° e) ™<10°

3. Dikaçıklığı +66°.5 olan yıldız, hangi enlemlerde hiç batmaz?

a) ∏<23°.5 b) ∏>66°.5 c) ∏<-66°.5 d) ∏>23°.5 e) ∏<10°

4. Ankara'da (∏≈40° Kuzey) hiç doğmayan yıldızların dikaçıklığı ne olur?

a) ™<-50° b) ™>50° c) ™<-40° d) ™>-40° e) ™>90°

5. 30° Kuzey enleminde Güneş'in minimum zenit yüksekliğinin 7° ölçüldüğü bir günde dikaçıklığı ne olmalıdır?

a) 5° b) 10° c) 15° d) 20° e)23°

6. Bir gözlem yerinde, ilkbahar noktası alt geçişte ve Güneş doğmak üzere olduğu zaman yerel yıldız zamanı nedir?

a) 6^{sa} b) 12^{sa} c) 18^{sa} d) 9^{sa} e) 24^{sa}

7. Ortalama Güneşin ilkbahar noktasından art arda iki geçişi arasındaki süreye ne denir?

a) Yıldızıl yıl b) Galaktik yıl c) Tropikal yıl d) Tutulum yılı e) Sinodik yıl

8. Gün ölçümü ortalama güneş'in saat açısı kaç olduğunda başlar?

a) 0^{sa} b) 12^{sa} c) 18^{sa} d) 20^{sa} e) 23^{sa}

9. Güney yarımkürede en uzun mevsim hangisidir?

a) ‹lkbahar b) Yaz c) Sonbahar d) Kış e) Yaz ve Kış

10. Yılın hangi ayında güneşin görünür çapı en küçük olur?

a) Temmuz b) Aralık c) Ocak d) Eylül e) fiubat

11. Ekvatorda bulunan bir gözlemciye göre kutup yıldızının zenit uzaklığı ne kadardır?

a) 0° b) 90° c) 45° d) 60° e) 30°

12. Gece yarısı doğan Ay'ın evresi ne olmalıdır?

a) Yeniay b) ‹lk dördün c) Dolun ay d) Son dördün e) Hilâl

13. Bir uydunun yörünge dönemini yarısına indirmek için, yörünge yarıçapını kaç kat küçültmek gerekir?

a) **\R**(,3) b) $4^{1/3}$ c) 4^{-3} d) $4^{-1/3}$ e) $3^{-1/3}$

14. ‹ki cisim arasındaki uzaklığı yarıya indirsek aralarındaki çekim kuvveti ne olur?

a) ‹ki katı olur. b) Dörtte bire iner. c) Yarıya iner. d) Dört kat artar. e) Değişmez.

15. Bir parçacık dairesel bir yörüngede 10 km/sn hızla 100 sn'de bir tur atmaktadır. Yörüngenin yarıçapı ne kadardır?

a) 500/□ m b) 6283 m c) 1000*□ m d) 1000 m e)**\F**(500000m,□)

16. Ay'ın farklı evreler göstermesinde, aşağıdakilerden hangisi etkindir?

a) Ay'ın Yer etrafında dönmesi.

b) Yer'in Güneş etrafında dönmesi.

c) Yer'in dönme ekseninin eğik olması.

d) Yer yörüngesinin eliptik olması.

17. Yer'den Ay'ı dolunay evresinde gördüğümüzde, Ay'dan yeri hangi evrede görürüz?

a) Yeni yer b) ‹lk dördün c) Son dördün d) Dolun yer e) Hilâl

18. Akan yıldız yağmuru, günün hangi saatinde daha yoğun görünür?

a) 4.00 b) 12.00 c) 18.00 d) 20.00 e) 24.00

19. Atmosfere sahip olan uydu hangisidir?

a) Nereid b) Callisto c) Titan d) Pallas e) Europa

20. Yer atmosferinde, yüksek enerjili Güneş ışınlarını en çok soğuran molekül hangisidir?

a) CH_4 b) CO_2 c) O_3 d) H_2O e) N_2

21. Aşağıdakilerden hangisi, Yer'in Güneş etrafındaki yörünge hareketiyle ilgili değildir?

a) Yıldız ışığı aberasyonu.

b) Faucault sarkacının salınım düzlemindeki değişim.

c) Paralaktik kayma.

d) Dopler kayması.

e) Yıldızların yıllık yer değiştirmesi.

22. Mars'tan Yeri'n sinodik dönemi kaç yıl gözlenir? (Mars'ın sideral dönemini 2 yıl alınız.)

a) 1 b) 2 c) 3 d) 4 e) 5

23. Güneş'ten ortalama uzaklığı 2 GB olan küçük gezegenin yörünge dönemi kaç yıl olur?

a) 4 b) **\R**(3,8) d) 2**\R**(,2) d **\R**(,2) e) **\R**(3,2)

24. Yerde Güneş sabiti ~2 cal $cm^{-2}dak^{-1}$ dir. Güneş'e ortalama uzaklığı 1.5 GB olan Marsta Güneş sabiti aynı birimlerde ne olur?

a) $(1.5)^3/4$ b) $2/(1.5)^2$ c) 2□$(1.5)^2$ d) 4□$(1.5)^2/3$ e) 4

25. Görünür çapı 10", uzaklığı 0.5 GB olan küresel cismin yarıçapı kaç GB olur?

a) **\F**(0.5 □,3600x180) b) **\F**(5 □,180x3600) c) **\F**(0.5 180 □,3600) d) **\F**(5 □,1800x360) e) 0.5

26. Güneş'te aktif bölgeler, çevrim boyunca ekvatora doğru kayar. Bu kayma, yılda ortalama kaç derecedir?

a) 7 b) 1 c) 3 d) 10 e) 15

27. Uzaklığı 100 pc, görünen parlaklığı 8.7 kadir olan bir yıldızın salt parlaklığı nedir?

a) +13.7 b) +3.7 c) -3.7 d) +5.7 e) +8.7

28. Aralarındaki uzaklık 5 GB, dolanma dönemleri (peryodu) 5 yıl olan bir çift yıldızın, Güneş kütlesi cinsinden toplam kütlesi nedir?

a) 10 b) 5 c) 25 d) 2.5 e) 2

29. Hangisi yanlıştır?

Bir O cücesi bir M cücesinden:

a) Daha mavidir.

b) Daha büyüktür.

c) Daha kütlelidir.

d) Daha sıcaktır.

e) Spektrumda daha çok soğurma çizgisi vardır.

30. Hangisi yıldızların son evrelerini gösterir?

a) Gezegenimsi bulutsu b) Beyaz cüce c) Nötron yıldızı d) Süper nova e)Hepsi

Yıldızların Adlandırılması

Babilliler, Sümerler gibi eski Mezapotamya halkları ve daha sonra Eski Yunanlılar, yıldızların oluşturduğu şekillere adlar koyarak takım yıldızları oluşturmuşlardır. Bugün 88 takımyıldız bilinmektedir.

Bazı takım yıldızların içinde elliden fazla parlak yıldız, yüzyıllar öncesinden verilmiş adlar taşırlar, bunların çoğu Arap kökenlidir; Vega, Rigel, Aldebaran, Algol, ... gibi. Sirius ve Capella Yunan ve Latin kökenlidir [Kimi tek isimler, kimi açıklamaların kısaltılmışıdır. Örneğin; Betelgeuse (ortadakinin omuz altı), Deneb (kuşun kuyruğu) gibi]. Uranometria (1603) adlı yıldız atlasında Bayer, takım yıldızlarında en parlak yıldızları Yunan alfabesinin küçük harfleri ile gösterdi. Bu sistem bugün de kullanılmaktadır. Genel olarak harfler parlaklık sırasına göre verilmiştir; Yunan harfleri yetmediğinde Roma harfleri kullanılmıştır. Bayer sisteminde bir yıldızın adı, takım yıldızın adının önüne bir harf getirilerek ve mülkiyet eki konarak verilir. Örneğin; 〈 Draconis, Draco (ejderha) takım yıldızının en parlağı. Takım yıldızında birkaç yıldız aynı parlaklıkta ise genelde ismini aldığı mitolojik yaratığın baş kısmından başlayarak, harflendirme sıra ile yapılmıştır. Örneğin; birbirinden çok farklı olmayan Büyük Ayı takım yıldızının yıldızları sıra ile harflendirilmiştir. Bugün de kullanılan bir başka adlandırma sistemi Flamsteed'in Historia Coelestia (1729) da kullandığı sayı sistemidir. Burada takım yıldızındaki yıldızlar batıdan doğuya doğru numaralandırılmışlardır, böylece çok sayıda yıldız numaralanabilmiştir. Örnek: 61 Cygni. Çağdaş atlaslarda, çoğunlukla gideceği yere kadar Bayer harfleri, daha sönüklerinde Flamsteed numaraları kullanılır. Önemli özel adlar da belirtilir. Bu şekilde ancak çıplak gözle görülebilen birkaç bin yıldız adlandırılabilmiştir. Çağdaş kataloglarda yıldızlar, sağaçıklık ya da her dikaçıklık şeridi içinde sağaçıklık sırasına göre sıralanırlar ve bu sıra numarası onun adı olur. Henry Draper kataloğunda HD 86590 gibi.

Amatör astronomların da ilgilendiği değişen yıldızların ayrı bir adlandırma sistemleri vardır. Değişen yıldızın Bayer harfi varsa ayrıca özel ad verilmez. Örneğin; ™ Cephei, ® Lyrae. Bunların dışında bir takım yıldızında keşfedilen değişen yıldızlara keşif sırasına göre, Lâtin alfabesinde R'den başlıyarak şu sırada harfler verilir; R, S, T, U, V, W, X, Y, Z; RR, RS, ... , ZZ; AA, AB, ... , AZ; BB, BC, ... , BZ v.s. (J atlanır). Bu dizi QQ, ... , QZ ile biter. (Çünkü RR önceden kullanılmıştı.) Bu şekilde 334 değişen yıldız adlandırılabilir. Bundan sonra keşfedilenler; V335, V336, ... şeklinde V (Variable=Değişen) harfinin yanına sıra numarası verilerek adlandırılır. Bu sistemde bir değişen yıldızın adı, ilgili takım yıldızın adının ya da kısaltılmış adının önüne bu harfler ya da sayılar getirilerek verilir. Örneğin; U Cep, RR Lyr, V471 Tau gibi...

Takım Yıldızlar

	Latince Adı	Kısa Adı	Türkçe Adı		Latince Adı	Kısa Adı	Türkçe Adı
1	Andromeda	And	Andromeda	45	Lacerta	Lae	Kertenkele
2	Antlia	Ant	Pompa	46	Leo	Leo	Arslan
3	Apus	Aps	Cennet kuşu	47	Leo Minor	LMi	Küçük arslan
4	Aquarius	Aqr	Saka	48	Lepus	Lep	Tavşan
5	Aquila	Aql	Kartal	49	Libra	Lib	Terazi
6	Aries	Ari	Koç	50	Lupus	Lup	Kurt
7	Ara	Ara	Sunak	51	Lynx	Lyn	Vaşak
8	Auriga	Aur	Arabacı	52	Lyra	Lyr	Çalgı
9	Bootes	Boo	Çoban	53	Mensa	Men	Masa
10	Caelum	Cae	Çelik kalem	54	Microscopium	Mic	Mikroskop
11	Camelopardalis	Cam	Zürafa	55	Monoceros	Mon	Tekboynuz
12	Cancer	Cnc	Yengeç	56	Musca	Mus	Sinek
13	Canes Venatici	CVn	Av köpekleri	57	Norma	Nor	Cetvel
14	Canis Major	CMa	Büyük köpek	58	Octans	Oct	Sekizlik
15	Canis Minor	CMi	Küçük köpek	59	Ophiuchus	Oph	Yılancı
16	Capricornus	Cap	Teke	60	Orion	Ori	Orion
17	Carina	Car	Karina	61	Pavo	Pav	Tavus
18	Cassiopeia	Cas	Koltuk	62	Pegasus	Peg	Kanatlı at
19	Centaurus	Cen	Erboğa	63	Phoenix	Phe	Anka
20	Cepheus	Cep	Sefe	64	Perseus	Per	Perse
21	Cetus	Cet	Balina	65	Pictor	Pic	Ressam

22	Chamaeleon	Cha	Bukalemun	66	Pisces	Psc	Balıklar
23	Circinus	Cir	Pergel	67	Piscis Austrinus	PsA	Güney balığı
24	Columba	Col	Güvercin	68	Puppis	Pup	Pupa
25	Coma Berenices	Com	Berenisin saçı	69	Phyxis	Pyx	Kumpas
26	Corona Australis	CrA	Güney tacı	70	Reticulum	Ret	Ağcık
27	Corona Borealis	CrB	Kuzey tacı	71	Sagitta	Sge	Ok
28	Corvus	Crv	Karga	72	Sagittarius	Sgr	Nişancı
29	Crater	Crt	Kupa	73	Scorpius	Sco	Akrep
30	Crux	Cru	Güney haçı	74	Sculptor	Scl	Yontar
31	Cygnus	Cyg	Kuğu	75	Scutum	Sct	Kalkan
32	Delphinus	Del	Yunus	76	Serpens	Ser	Yılan
33	Dorado	Dor	Kılıç balığı	77	Sextans	Sex	Altılık
34	Draco	Dra	Ejderha	78	Taurus	Tau	Öküz
35	Equuleus	Equ	Tay	79	Telescopium	Tel	Dürbün
36	Eridanus	Eri	Irmak	80	Triangulum	Tri	Üçgen
37	Fornax	For	Ocak	81	Triangulum Australe	TrA	Güney üçgeni
38	Gemini	Gem	İkizler	82	Tucana	Tuc	Tukan
39	Grus	Gru	Turna	83	Ursa Major	UMa	Büyük Ayı
40	Hercules	Her	Herkül	84	Ursa Minor	UMi	Küçük Ayı
41	Horologium	Hor	Saat	85	Vela	Vel	Yelken
42	Hydra	Hya	Su yılanı	86	Virgo	Vir	Bakire
43	Hydrus	Hyi	Küçük su yılanı	87	Volans	Vol	Uçan balık
44	İndus	İnd	Hintli	88	Vulpecule	Vul	Tilkicik

BİRİMLER

Astronomik birim (Gök birimi, GB): AU = 1.496×10^{11} m

Parsek: pc = 206265 AU = 3.26 ly = 3.086×10^{16} m

Işık Yılı: ly = 6.324×10^{4} AU = 0.307 pc = 9.46×10^{15} m

Yıldız Yılı: 1yr = 365.26 gün = 3.16×10^{7} s

Yer'in Kütlesi: $M_H = 5.98 \times 10^{24}$ kg

Yer'in Ekvator yarıçapı: $R_H = 6378$ km

Yer'in Yörünge hızı: $V_H = 30$ km/s

Güneş'in Kütlesi: $M_; = 1.99 \times 10^{30}$ kg

Güneş'in yarıçapı: $R_; = 6.96 \times 10^{5}$ km

Güneş'in ışınım gücü: $L_; = 3.90 \times 10^{26}$ W

Güneş'in etkin sıcaklığı: $T_{eff} = 5780$ K

Ay'ın Kütlesi: $M_M = 7.3 \times 10^{2}$ kg = 0.0123 M_H

Ay'ın yarıçapı: $R_M = 1738$ km = 0.273 R_H

Ay Yörüngesinin yarıçapı: $d_M = 3.84 \times 10^{5}$ km

Yıldızıl Ay: $P_M = 27.3$ gün

Sinodik Ay: = 29.5 gün

Güneş'in galaksi merkezinden uzaklığı: $R_{;}$ = 8.5 kpc

Güneş'in galaksi merkezine nazaran hızı: $V_{;}$ = 220 km/s

Galaksinin Çapı: R_{Gal} = 120 kpc

Galaksinin Kütlesi: $M_{Gal} = 7 \times 10^{11}$ $M_{;}$

Fizik ve Matematik Sabitleri

Işık hızı: $c = 3.00 \times 10^{8}$ m/s

Çekim sabiti: $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N m^2/kg^2

Planck sabiti: $h = 6.623 \times 10^{-34}$ joule s

Boltzman sabiti: $k = 1.38 \times 10^{-23}$ joule/K

Rydberg sabiti: $R = 1.097 \times 10^{7}$ /m

Stefan-Boltzman sabiti: ∫ = 5.67×10^{-8} W/m^2K^{-4}

Wien Yasası sabiti: $\lambda_{max}T = 2.898 \times 10^{7}$ Å K

Hidrojen Atomunun kütlesi: $m_H = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

Elektron'un kütlesi: $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg

Elektron'un yükü: $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C

Elektron volt: 1 eV = 1.602×10^{-19} J

eV'un dalgaboyu karşılığı: 1 eV │ 1.24×10^{4} Å

□ = 3.1416

e = 2.7183

$Log_{10}e$ = 0.4343

BİRİMLER

Astronomik birim (Gök birimi, GB): AU = 1.496×10^{11} m

Parsek: pc = 206265 AU = 3.26 ly = 3.086×10^{16} m

Işık Yılı: ly = 6.324×10^{4} AU = 0.307 pc = 9.46×10^{15} m

Yıldız Yılı: 1yr = 365.26 gün = 3.16×10^{7} s

Yer'in Kütlesi: $M_H = 5.98 \times 10^{24}$ kg

Yer'in Ekvator yarıçapı: R_H = 6378 km

Yer'in Yörünge hızı: V_H = 30 km/s

Güneş'in Kütlesi: $M_;$ = 1.99 x 10^{30} kg

Güneş'in yarıçapı: $R_;$ = 6.96 x 10^5 km

Güneş'in ışınım gücü: $L_;$ = 3.90 x 10^{26} W

Güneş'in etkin sıcaklığı: T_{eff} = 5780 K

Ay'ın Kütlesi: M_M = 7.3 x 10^2 kg = 0.0123 M_H

Ay'ın yarıçapı: R_M = 1738 km = 0.273 R_H

Ay Yörüngesinin yarıçapı: d_M = 3.84 x 10^5 km

Yıldızıl Ay: P_M = 27.3 gün

Sinodik Ay: = 29.5 gün

Güneş'in galaksi merkezinden uzaklığı: $R_;$ = 8.5 kpc

Güneş'in galaksi merkezine nazaran hızı: $V_;$ = 220 km/s

Galaksinin Çapı: R_{Gal} = 120 kpc

Galaksinin Kütlesi: M_{Gal} = 7 x 10^{11} $M_;$

Fizik ve Matematik Sabitleri

Işık hızı: c = 3.00 x 10^8 m/s

Çekim sabiti: G = 6.67 x 10^{-11} N m^2/kg^2

Planck sabiti: h = 6.623 x 10^{-34} joule s

Boltzman sabiti: k = 1.38 x 10^{-23} joule/K

Rydberg sabiti: R = 1.097 x 10^7 /m

Stefan-Boltzman sabiti: ∫ = 5.67 x 10^{-8} W/m^2K^{-4}

Wien Yasası sabiti: $L_{max}T$ = 2.898 x 10^7 Å K

Hidrojen Atomunun kütlesi: m_H = 1.67 x 10^{-27} kg

Elektron'un kütlesi: m_e = 9.11 x 10^{-31} kg

Elektron'un yükü: e = 1.60 x 10^{-19} C

Elektron volt: 1 eV = 1.602 x 10^{-19} J

eV'un dalgaboyu karşılığı: 1 eV │ 1.24 x 10^4 Å

□ = 3.1416

e = 2.7183

$Log_{10}e$ = 0.4343

2008-2020 Yılları Arasında Meydana Gelecek Ay ve Güneş Tutulmaları

2008_2020 Tarihleri arasında Meydana Gelecek Güneş Tutulmaları

Tarih	Yer	Tutulmanın Türü	Zamanı	
01 Ağustos 2008	Kanada, Sibirya, Moğolistan, Çin	Tam Tutulma	10:22:12	0
26 Ocak 2009	Hindistan, Sumatra, Borneo	Halkalı Tutulma	07:59:45	0
22 Temmuz 2009	Hindistan, Nepal, Çin, Pasifik	Tam Tutulma	02:36:25	0
15 Ocak 2010	Afrika, Hindistan, Malimar, Çin	Halkalı Tutulma	07:07:39	1
11 Temmuz 2010	Pasifik, Doğu Adaları., Şili, Arjantina	Tam Tutulma	19:34:38	0
04 Ocak 2011	Avrupa, Afrika, Asya	Parçalı Tutulma	08:51:42	
01 Haziran 2011	Asya'nın doğusu, K. Amerika'nın kuzeyi	Parçalı Tutulma	21:17:18	
01 Temmuz 2011	Hint Okyanusunun Güneyi	Parçalı Tutulma	08:39:30	
25 Kasım 2011	Afrikanın güneti, Antartika ve Tazmanya	Parçalı Tutulma	06:21:24	
20 Mayıs 2012	Çin, Japonya, Pasifik ve Kuzey Amerika	Halkalı Tutulma	23:53:53	0
13 Kasım 2012	Avusturalya, Pasifik'in güneyi ve Güney Amerika	Tam Tutulma	22:12:55	0
10 Mayıs 2013	Avusturalyanın Kuzeyi, Pasifik'in merkezi	Halkalı Tutulma	00:26:20	0
13 Kasım 2013	Amerikanın doğusu, Avrupanın doğusu ve Afrika	Halkalı Tutulma	12:47:36	0
29 Nisan 2014	Hindistanın doğusu, Avusturalya ve Antartika	Halkalı Tutulma	06:04:32	
23 Ekim 2014	Pasifiğin kuzeyi ve Kuzey Amerika	Parçalı Tutulma	21:45:39	
20 Mart 2015	İzlanda, Avrupa, Afrikanın Kuzeyi ve Asyanın Kuzeyi	Tam Tutulma	09:46:47	0
13 Eylül 2015	Afrikanın Doğusu, Hindistanın Doğusu ve Antartika	Parçalı Tutulma	06:55:19	
9 Mart 2016	Asyanın doğusu, Sumatra, Bornea, Sulawesi, Pasific	Tam Tutulma	01:58:19	0
1 Eylül 2016	Atlantik, Afrika, Hindistan, Madagaskar	Halkalı Tutulma	09:08:02	0
26 Şubat 2017	Pasific, Chile, Arjantin, Atlantik, Afrika	Halkalı Tutulma	14:54:32	0
21 Ağustos 2017	Pasifik'in kuzeyi, Atlantik'in güneyi, Amerika	Tam Tutulma	18:26:40	0
15 Şubat 2018	Antartika, Amerika 'nın güneyi	Parçalı Tutulma	20:52:33	
13 Temmuz 2018	Avusturalyanın güneyi	Parçalı Tutulma	03:02:16	
11 Ağustos 2018	Avrupanın kuzeyi, Asyanın Kuzey Duğusu	Parçalı Tutulma	09:47:28	
6 Ocak 2019	Asyanın Kuzey Duğusu, Pasifiğin kuzeyi	Parçalı Tutulma	01:42:38	
2 Haziran 2019	Pasifiğin güneyi, Chile, Arjantin	Tam Tutulma	19:24:07	0
26 Aralık 2019	Sudi Arabistan, Hindistan,Sumatra, Bornea	Halkalı Tutulma	05:18:53	0
21 Haziran 2020	Afrika, Asyanın Güneyi, Çin, pasifik	Halkalı Tutulma	06:41:15	0
14 Aralık 2020	Pasifiğin güneyi, Chile, Arjantin, Atlantiğin güneyi	Halkalı Tutulma	16:14:39	0

2008_2020 Tarihleri arasında Meydana Gelecek Ay Tutulmaları			
Tarih	**Yer**	**Tutulmanın Türü**	
16 Ağustos 2008	Amerikanın Güneyi, Asya, Afrika, Avrupa	Parçalı Tutulma	
9 Şubat 2009	Avrupanın doğusu,Asya, Avusturalya, Pasifik	Yarı gölgeli Tutulma	
7 Temmuz 2009	Avusturalya, Pasifik, Amerika	Yarı gölgeli Tutulma	
6 Ağustos 2009	Amerika, Avrupa, Afrika, Asyanın batısı	Yarı gölgeli Tutulma	
31 Aralık 2009	Avrupa, Afrika, Asya, Avusturalya	Parçalı Tutulma	01
26 Haziran 2010	Asyanın doğusu, Avusturalya, Pasifik, Amerikanın batısı	Parçalı Tutulma	02
21 Aralık 2010	Asyanın doğusu, Avusturalya, Pasifik, Amerika, Avrupa	tam Tutulma	03
15 Haziran 2011	Güney Amerika, Avrupa, Asya, Avusturalya, Afrika	Tam Tutulma	03
10 Aralık 2011	Güney Afrika, Avrupa, Asya, Avusturalya, Pasifik	Tam Tutulma	03
4 Haziran 2012	Asya, Avusturalya, Pasifik, Amerika	Parçalı Tutulma	02
28 Kasım 2012	Avrupa, Güney Afrika, Asya, Avusturalya, Pasifik	Yarı gölgeli Tutulma	
25 Nisan 2013	Avrupa, Afrika, Asya, Avusturalya	Parçalı Tutulma	00
25 Mayıs 2013	Amerika, Afrika	Yarı gölgeli Tutulma	
18 Ekim 2013	Amerika, Afrika, Avrupa ve Asya	Yarı gölgeli Tutulma	
15 Nisan 2014	Amerika, Avusturalya, Pasifik	Tam Tutulma	03
8 Ekim 2014	Amerika, Avusturalya, Pasifik, Asya	Tam Tutulma	03
4 Nisan 2015	Amerika, Avusturalya, Pasifik, Asya	Tam Tutulma	03
28 Eylül 2015	Amerika, Avusturalya, Pasifiğin doğusu, Asyanın batısı, Afrika	Tam Tutulma	03
23 Mart 2016	Batı Amerika, Avusturalya, Pasifik, Asya	Yarı gölgeli Tutulma	
18 Ağustos 2016	Amerika, Avusturalya, Pasifik	Yarı gölgeli Tutulma	
16 Eylül 2016	Avrupa, Afrika, Asya, Avusturalya, Pasifiğin batısı	Yarı gölgeli Tutulma	
11 Şubat 2017	Amerika, Avrupa, Afrika, Asya	Yarı gölgeli Tutulma	
7 Ağustos 2017	Avrupa, Afrika, Asya, Avusturalya	Parçalı Tutulma	01
31 Ocak 2018	Asya, Avusturalya, Pasifik, Amrikanın kuzey batısı	Tam Tutulma	03
27 Temmuz 2018	Güney Amerika, Avrupa, Afrika, Asya, Avusturalya	Tam Tutulma	03
21 Ocak 2019	Pasifik, Amerika, Avrupa, Afrika	Tam Tutulma	03
16 Temmuz 2019	Güney Amerika, Avrupa, Afrika, Asya, Avusturalya	Parçalı Tutulma	02
10 Ocak 2020	Avrupa, Afrika, Avusturalya, Asya	Yarı gölgeli Tutulma	
5 Haziran 2020	Avrupa, Afrika, Avusturalya, Asya	Yarı gölgeli Tutulma	
5 Temmuz 2020	Amerika, Güney batı Avrupa, Afrika	Yarı gölgeli Tutulma	
30 Kasım 2020	Asya, Avusturalya,Pasifik, Amerika	Yarı gölgeli Tutulma	

BAZI İSLÂM ASTRONOMLARI

Habeş El-Hâsib (770-864)

Merv'li ve büyük bir olasılıkla Türk olan Habeş El-Hâsib astronomi bilginlerindendir. Üç zîç düzenlemiştir. Bunlardan biri, Hind astronomisinden esinlenerek hazırlanan "El-zîç meshebi'l Sindhind'tir."

İkincisi, El-Zîç-el mümtahan (yani kendinden önce yapılmış astronomik gözlemler denetlenerek düzenlenen Zîç) dır. Üçüncüsü de bunların kısaltılmış bir özetidir.

XI. yüzyılın ünlü bilgini Bîrûnî'nin zamanında hâlâ değerini koruduğu anlaşılan bu eserlerden başka, Habeş-El Hâsp'in usturlâb üzerine, Yıldızların boyutları ile ilgili ve küresel astronomi konusunda eserleri bulunduğu bilinmektedir.

El-Kindî (? - 873)

Halife El-Me'mûn döneminde yetişerek, değişik konularda yüzlerce eser yazıp, hürmet ve itibâr kazanan El-Kindî, ilk müslüman filozof olarak tanınmaktadır.

Özellikle sayılar teorisi, küresel astronomi, Öklid geometrisi, yıldız gözlemleri ve aynalar üzerine kitap yazmıştır. Doğum tarihi bilinmeyen El-Kindî 873 yılında ölmüştür. Eserleri Lâtinceye, hatta yaşayan batı dillerine çevrilmiş ve yayınlanmıştır.

Sabit bin Kurra (821-894 veya 901)

Harran'lı Sabit bin Kurra Eski Yunanca yazılmış matematik ve astronomi eserlerinin çevirilerini yaparak ün kazanmış bir bilgindir. Öklid, Apollon ve Batlamyus'un Geometri ve Astronomi ile ilgili eserlerinin çevirisi, yorumu ve düzeltmeleri ile ilgili yüze yakın çalışması vardır. Bu çalışmalar Ay ve Güneş tutulmaları, zaman ölçümü, konik kesitleri, gözlem yöntemleri, cebir problemlerini geometrik yollarla çizme konularını içermektedir. Yaşadığı dönemdeki ziçlerle, Batlamyus ziçi arasındaki farklar üzerine de bir çalışması vardır. Arşimet'in eserleri ile de yakından ilgilenen Sabit bin Kurra, mekaniğin değişik konuları üzerine de çalışmalar yapmıştır.

Fergani

Türkistan'ın bir bölgesi olan Fergana'da yetişmiş öz bir Türk emirinin oğlu olan bu ünlü astronom, Batı bilim dünyası literatüründe Alfarganus diye ün kazanmıştır. Astronomi adlı kitabının hemen bütün Orta Çağ boyunca doğuda olduğu kadar batıda da etkisi büyük olmuştur. Doğum ve ölüm tarihleri bilinmemekte, sadece (861)'de henüz hayatta olduğu anlaşılmaktadır. Eserleri Lâtince ve İbranice'ye çevrilmiş, astronomi kitabının asıl metni ile Lâtince çevirisi Batı'da 1493, 1537, 1546, 1590 ve 1669'da tekrar tekrar basılarak yayınlanmıştır.

Fergani tarafından verilen astronomik ölçüler ve gezegenlerin uzaklıkları ile boyutları hakkındaki bilgiler Kopernik dönemine gelinceye kadar hemen hiç bir değişikliğe uğramadan kullanılmıştır.

El-Bettani (858-929)

Eserlerinin Lâtinceye çevirilerinde Albatagnius veya Albatagni diye anılan El-Bettani, Harran bölgesinde doğmuştur. Rakka şehrinde kendi imkânlarıyla bir Rasathane yaptırmış ve burada uzun süre önemli gözlemlerde bulunarak astronomiye büyük katkıları olmuştur. Bir süre Hilâfet ve Bilim merkezi Bağdat'a da gitmiş, bilimsel temaslarda bulunmuştur. El-Bettani büyük bir doğrulukla ekliptiğin (tutulum dairesinin) eğimini, dönencel yıl süresini ve mevsimleri büyük bir doğrulukla belirlemiştir. Güneş'in görünür hareketini incelemiş, görünür çapının zamanla değiştiğini göstermiştir. Yeniay'ın görülebilirlik şartlarını belirleyici yeni ve çok duyarlı bir görüş oluşturmuştur. Ay ve Güneş tutulmaları ile ilgili gözlemleri, Ay yörünge hareketinde uzun süreli değişimler olduğunu göstermiştir. El-Bettani ayrıca küresel trigonometri problemlerinin çözümü için yeni yöntemler geliştirmiştir. Bu bilgiler Batı'da XV. yüzyılın bilimsel uyanış devri çalışmalarına rehber olmuştur.

El-Bettani'nin yüzyıllar boyunca itibarda tutulan "Ziç"inin Lâtince çevirisi, önce 1537'de ve düzeltilmiş şekli XX. yüzyıl başlarında Arapça aslıyla birlikte yayınlanmıştır.

Ebü'l-Vefa (940-997/8)

Horasan'da-Nişabur ile Herat arasındaki Buzcan (veya Bozcan) adlı kentte doğmuş, Bağdat'ta ölmüştür. Orta Çağ'da -Doğu'da- yetişen matematikçi astronomların en büyüklerinden olan Ebü'l-Vefa, Birüni'nin ifadesine göre, küresel astronomide ve gözlem yöntemlerinde önemli gelişmeler sağlamıştır. Abbasi hükümdarı fierefüddün Devle'nin Bağdat'ta saray bahçesinde kurduğu rasathanede çalışmıştır.

Ay'ın hareketlerini incelemiş, birçok matematik kitabı yanında bir de Batlamyus'un "Almagest" kitabına benzer orijinal bir astronomi kitabı yazmıştır.