DİJİTAL KÜTÜPHANE KANALI

# Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

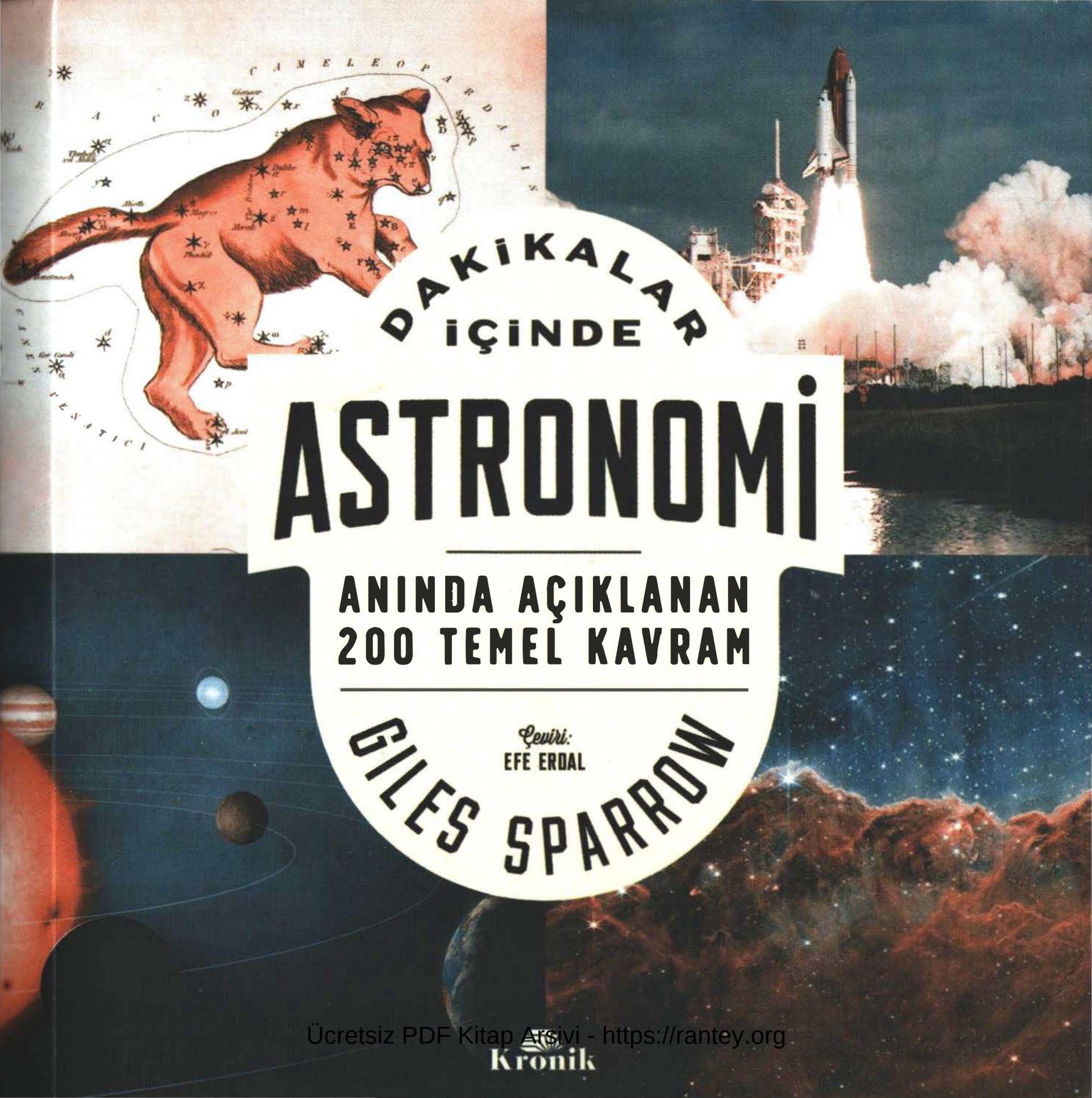
RESMİ WEB SİTEMİZ

**https://rantey.org**

Yedek ve Duyuru Kanallarımız
Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

• Telegram: https://t.me/birkitapbir

• WhatsApp Kanalımız : https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4IvMoc0Y



Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - https://rantey.org

# ASTRONOMİ
## Anında Açıklanan 200 Temel Kavram

—

GILES SPARROW

**KRONİK KİTAP: 352**
Dakikalar İçinde: 12

**YAYIN YÖNETMENİ**
Adem Koçal

**ÇEVİRİ**
Efe Erdal

**EDİTÖR**
Emre Can Ercan

**DÜZELTİ**
Aysın Önen

**KAPAK TASARIMI**
Kutan Ural

**MİZANPAJ**
Kronik Kitap

1. Baskı, Aralık 2022, İstanbul

**ISBN**
978-625-6989-04-7

**KRONİK KİTAP**
Şakayıklı Sk. N°8, Levent
İstanbul - 34330 - Türkiye
Telefon: (0212) 243 13 23
Faks: (0212) 243 13 28
kronik@kronikkitap.com

Kültür Bakanlığı Yayıncılık
Sertifika No: 49639

**www.kronikkitap.com**
**kronikkitap**

**BASKI VE CİLT**
Optimum Basım
Tevfikbey Mah. Dr. Ali Demir Cad. No: 51/1
34295 K. Çekmece / İstanbul
Telefon: (0212) 463 71 25
Matbaa Sertifika No: 41707

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

DAKİKALAR İÇİNDE

# ASTRONOMİ

## ANINDA AÇIKLANAN 200 TEMEL KAVRAM

GILES SPARROW

Çeviri:
EFE ERDAL

Kronik

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

Bu kitaptaki takımyıldız haritalarında, farklı kadir değerlerine sahip yıldızları ve diğer gök cisimlerini belirtmek için aşağıda gösterilen semboller kullanılmaktadır:




Gök bilimciler takımyıldızlardaki en parlak yıldızları belirtmek için geleneksel olarak Yunan alfabesinin aşağıda listelenen yirmi dört harfini kullanırlar, fakat bu kuralların uygulanışı kısmen tutarsızdır ve mevcut sistemin oluşumunda tarihsel rastlantılar büyük rol oynamıştır.

| | | | |
|---|---|---|---|
| α - alfa | η - eta | ν - ni | τ - tav |
| β - beta | θ - teta | ξ - ksi | υ - upsilon |
| γ - gama | ι - yota | ο - omicron | φ - fi |
| δ - delta | κ - kapa | π - pi | χ - hi |
| ε - epsilon | λ - lamda | ρ - ro | ψ - psi |
| ζ - zeta | μ - mi | σ - sigma | ω - omega |

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# İçindekiler


| | |
|---|---|
| Giriş | 6 |
| Evreni Keşfetmek | 8 |
| Güneş Sistemi | 34 |
| Takımyıldızlar | 132 |
| Yıldızların Yaşamları | 256 |
| Yıldız Ölümü | 310 |
| Galaksiler | 340 |
| Kozmoloji | 376 |
| Terimler Sözlüğü | 408 |
| İndeks | 412 |


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Giriş

Astronomi tüm bilim dalları arasında en eskisi olsa da, aynı zamanda en hızlı değişime uğrayanlardan biridir. Geceleri gökyüzünde beliren gök cisimleri yazılı tarihin öncesinden bu yana insanlarda hayranlık uyandırmıştır, ancak bu cisimlerin (ve onları yaratan, şekillendiren ve sürdüren mekanizmaların yanı sıra daha kısa ömürlü birçok fenomenin) *ne* olduklarına dair kavrayışımız çoğu durumda yalnızca son yarım asırda edindiğimiz bilgilere dayanır ve tüm bilimsel kuramlardaki değişim ve gelişmelere tabi olması kaçınılmazdır. Bunun sonucunda ortaya eşsiz, hibrit bir bilim dalı çıkar; astronomi farklı kişiler için yıldızlara dair antik bilgiler barındıran bir kaynaktan en ileri teorik ve teknolojik gelişimler içeren bir alana kadar birçok şey ifade edebilir.

Bu yüzden astronomiyi tümüyle kapsayacak iki yüz başlık seçmek zorlu bir görev sayılır. Konuyu ele alan çoğu kitap, uygulamalı gözlem kılavuzları ile betimlemeli evren rehberleri arasındaki büyük ayrıma tabidir. Her iki yaklaşım da kendi başına bu



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

kitabı baştan sona hoş bir şekilde doldurabilir ama bu serinin amacı kısa ve öz olmasına rağmen kapsamlı içerikler sunmak olduğundan, biz bu iki yaklaşımı birleştirmeyi tercih ettik.

*Dakikalar İçinde Astronomi*, bu nedenle Dünya'daki yerimizin geniş evreni kavrayışımızı nasıl şekillendirdiğine ve astronominin Dünya'dan yapılan gözlemin kısıtlamalarını aşmak için nasıl geliştiğine bakarak gezegenimizden yola çıkıyor. Ardından kendi Güneş sistemimizdeki büyük gezegenlere, onların büyük aylarına ve hakkında daha az şey bilinen büyüleyici gök cisimlerine doğru bir maceraya atılacağız.

Geniş evrene ilk olarak Dünya'nın gökyüzünü kaplayan seksen sekiz takımyıldızı ve bunların içindeki en etkileyici cisimlerin bazılarını kapsayan tanıtıcı bir rehberle giriş yapacağız. Sonrasında yıldızların yaşam döngüleri üzerinden onlara ve onlarla ilgili cisimlere ayrıntılı olarak bakacağız. Samanyolu'nu geride bırakarak galaksilerin ve büyük ölçekli evrenin diyarını keşfedecek, son olaraksa evrenin kökeni ve doğasına dair en temel sorulara cevap arayan ve tarih öncesindeki yıldız gözlemcisi atalarımıza tuhaf şekilde tanıdık gelebilecek bir bilim dalı olan kozmolojiye göz atacağız.



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Evreni Keşfetmek

İlk yıldız gözlemcileri, ne teleskoplara ne de gökyüzünü daha iyi görmelerini sağlayan diğer optik aygıtlara sahip olmalarına rağmen yıldızların pozisyonlarını hesaplamak ve gezegenlerin değişen konumlarını takip etmek için çeşitli yaratıcı aletler kullanırlardı. Bunlarla, gökyüzü olaylarını öngörmelerini sağlayan epey karmaşık gezegensel hareket modelleri geliştirmeyi başardılar. On altıncı yüzyıla gelindiğinde ölçümler öyle kesinleşti ki, Kopernikçi Güneş merkezli evren teorisine ve hatta dört yüz yıl sonra bile evreni açıklamak için kullanılan, Alman gök bilimci Johannes Kepler'in gezegensel hareket yasalarına kanıt sunacak yeterliliğe sahip oldular.

On yedinci yüzyılın başlarında teleskobun icat edilmesi astronomide yeni bir çığır açtı; evreni kavrayışımız artık insan görüşünün yetersizliğiyle sınırlı değildi. Teleskoplar ücra dünyalara ve uzaktaki yıldızlara yönelik bakışımızı keskinleştirmekle kalmadı, ayrıca yeni gezegenlerden yıldız kümelerine, yıldızlar arası gaz bulutlarından uzak galaksilere


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

kadar önceden varolduğu bilinmeyen yeni cisimlerin ilk defa gözlemlenmesine olanak sağladı. On dokuzuncu yüzyılda gök bilimciler fotoğrafçılıktan faydalandılar, bu yeni icat öncelikle teleskoplarla gördükleri şeylerin daha kesin bir kaydını tutma ve sonra (daha hassas filmlerin gelişiyle) göz merceğinden bakan bir gözlemcinin görmeyi hayal edebileceğinden çok daha fazla ışık ve detay yakalamalarına imkân tanıdı. Uzun pozlama yöntemiyle düşük ışık yakalama becerisi aynı zamanda spektroskopi tekniklerinin (bir ışık kaynağı görüntüsünün farklı renklerden oluşan bir spektruma ayrılması) ilk defa kullanılmasını sağladı. Bu, spektral "imzalar"ın bir cismin kimyasına dair sırları ortaya çıkarabildiğinin doğrulandığı çığır açan laboratuar çalışmalarıyla aynı zamana denk geldi.

Uydu gözlemevlerinin, katı hâl elektroniğinin ve bilgisayar teknolojilerinin son yıllardaki yükselişi astronomiyi bir kez daha dönüşüme uğrattı. Böylece gözlemlenebilir kozmosun sınırlarındaki uzak galaksilerden gelen fotonları tek tek saymayı ve işlemeyi içeren bir sürü yeni gözlem tekniğine kapı açılmış oldu. Gelecekte bu en eski bilim dalının yeniden değişmesi ve etrafımızı saran evrenin iç yüzüne daha fazla ışık tutması kaçınılmazdır.

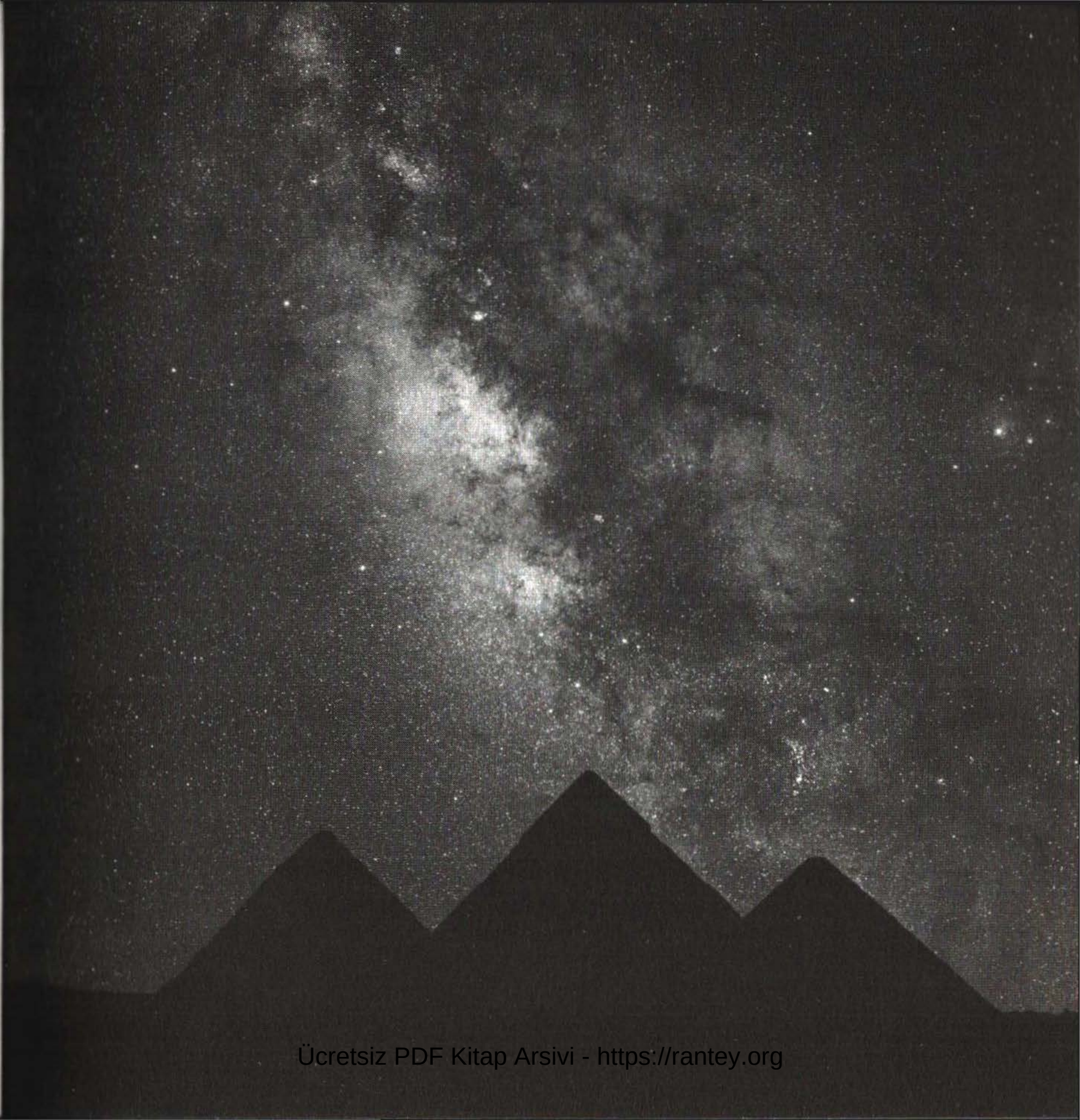


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Uzaydaki Dünya

Evrene bakışımız kaçınılmaz olarak onun içindeki yerimiz tarafından şekillenir. İlk gök bilimciler her şeyin merkezinde Dünya'nın olduğuna ve yıldızların, gezegenlerin ve diğer gök cisimlerinin onun etrafında döndüğüne inanmış olsalar da, günümüzde gerçekliğin bundan çok farklı olduğunu biliyoruz. Dünya'mız Güneş'in etrafında elips biçimindeki yörüngelerde dönen sekiz büyük gezegenden ve sayısız başka cisimden sadece biridir. Diğer yıldızlar bizden o kadar uzaktadır ki, en yakındaki bile uzayda hareket ettiğimiz sırada görünürdeki konumunu çok az değiştirir; fakat ıraklık açısı adı verilen bu ufak değişimi ölçme becerisi aslında kozmik uzaklık ölçeğimizin temel taşıdır (bkz. s. 258). Dünya'nın dönüşü sayesinde yıldızlar gökyüzünde her gün doğudan batıya hareket ediyormuş, Güneş ise, gezegenimiz yörüngesinde ilerledikçe yıldızların oluşturduğu arka plan üzerinde yavaşça doğuya doğru gidiyormuş gibi gözükür. Güneş gökyüzündeki turunu ekliptik adı verilen düzlemi takip ederek bir yılda tamamlar; tüm gezegenler de yörüngelerinde yaklaşık olarak aynı düzlemde hareket ettiklerinden, genellikle ekliptik üzerinde ya da onun yakınlarında bulunurlar.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



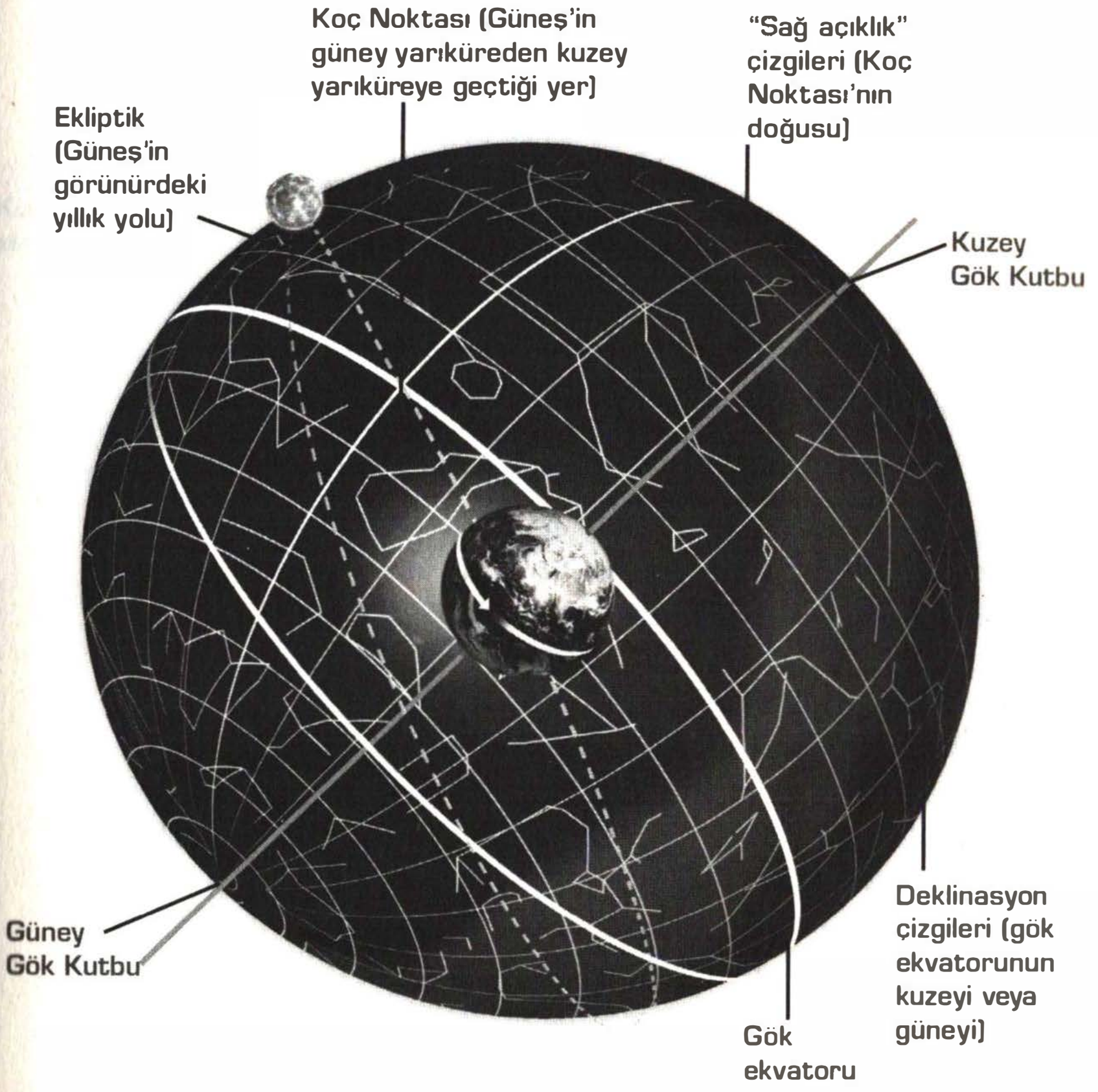
Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Gök Küresi

Dünya'nın uzayda bulunduğu konum gök bilimciler tarafından çoktan anlaşılmış olsa da, gök cisimlerinin göreceli uzaklıklarını göz ardı etmek ve Dünya'yı çevreleyen küre şeklinde bir kabuğun üzerinde rastgele bir mesafede sabit durduklarını düşünmek pratik amaçlar için kullanışlı olabilir.

Bu "gök küresi" gökyüzündeki cisimlerin pozisyonlarını ölçmek için başvurduğumuz koordinat sistemlerinin temelini oluşturur. Kuzey ve güney gök kutupları Dünya'nın kendi kutuplarının gök küresi üzerindeki izdüşümleridir; gök ekvatoru ise Dünya'nın kendi ekvatorunun tam üstündeki, gökyüzünü kuzey ve güney yarıkürelere ayıran sınır çizgisidir. Dünya'nın dönüşü gök küresinin her 23 saat, 56 dakikada bir gök kutuplarındaki sabit eksen etrafında dönmesine neden olur. Dünya'nın dönme ekseni yörünge düzlemindeki açıyla eğimli olduğu için ekliptik çizgisi (Güneş'in arka plandaki yıldızların önünde her yıl kat ettiği yol) 23,5 derecelik bir açıyla gök ekvatora doğru eğiktir ve onunla iki noktada kesişir.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



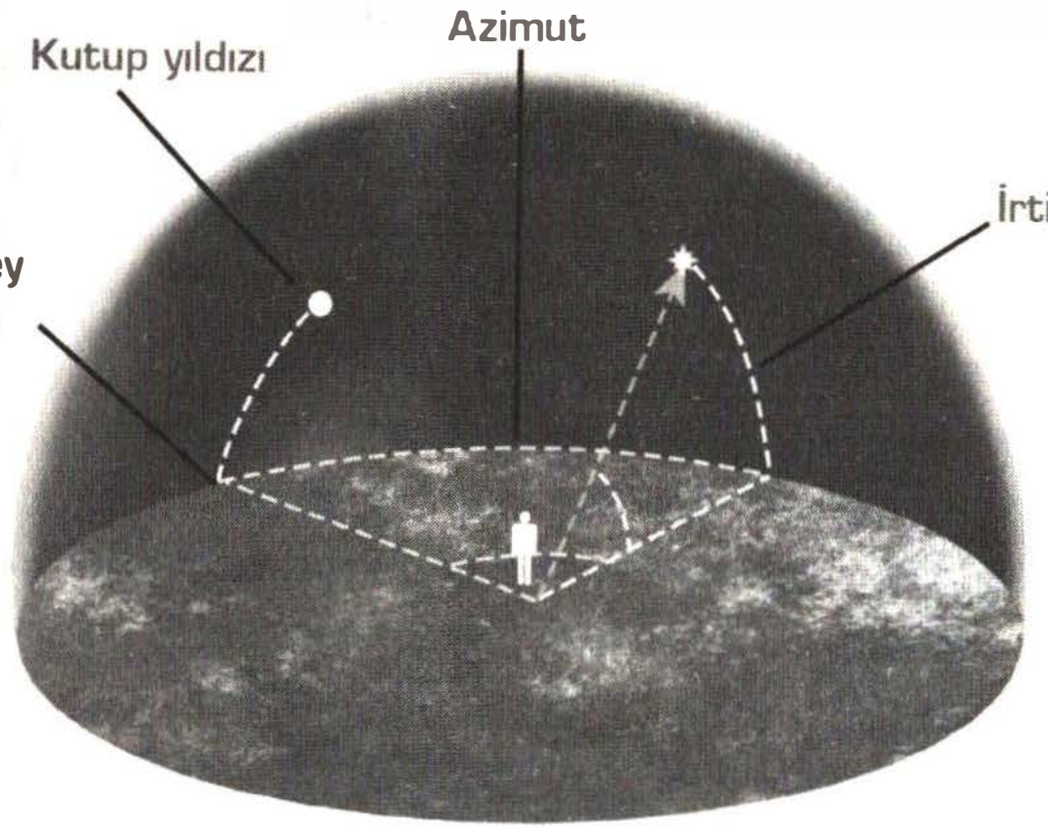

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Gökyüzü Koordinatları

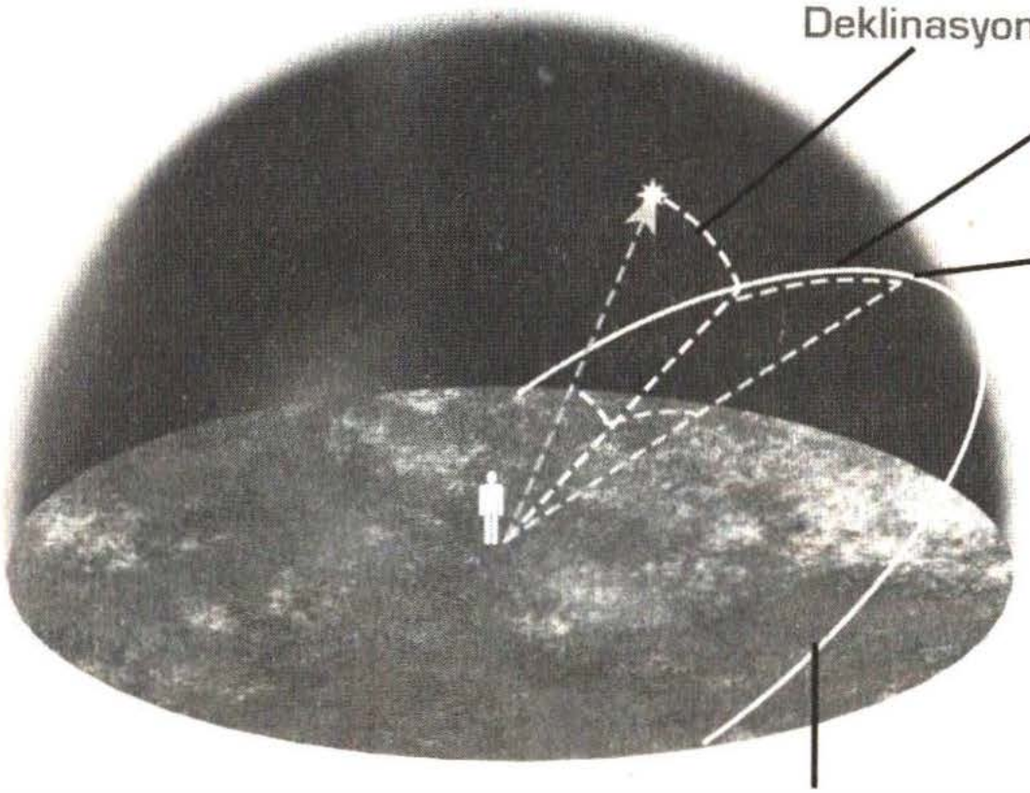
Koordinat sistemleri, gök bilimcilerin Dünya'nın gökyüzündeki cisimlerin yerlerini varsayımsal gök küresini referans alarak belirlemelerini sağlar (bkz. s. 12). En yaygın olarak kullanılan iki sistemin isimleri yatay (alt-azimut) ve ekvatoral koordinatlardır.

Yatay sistem basit olarak bir cismin irtifasının (ufuk çizgisinden açısal yüksekliği) ve azimutunun (kuzeyden başlayarak gökyüzünü saat yönünde çevreleyen bir açıyla ölçülen yönü) ölçümüdür. Ne yazık ki bu koordinatların kullanışlılığı kısıtlıdır: Gökyüzünün günlük dönüşü çoğu cismin yatay koordinatlarının sürekli değiştiği anlamına gelirken, bir yandan da aynı cismin irtifası ve azimutu konumdan konuma farklılık gösterir. Ekvatoral koordinatlar biraz daha karmaşık olsa da daha kullanışlı ve taşınabilir bir sistemdir. Bu, zaman içindeki değişimi çok yavaş olan sağ açıklık ve deklinasyon adlı (Dünya'daki enlem ve boylama benzer) özelliklerin ölçülmesiyle alakalıdır.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org




Alt-azimut sisteminde konumlar gözlemcinin ufuk hattına ve kuzey yönüne göre ölçülür.




Ekvatoral sistemde konumlar gök ekvatoru ve Koç Noktası'na göre ölçülür.

Ücretsiz PDF Kitap Arşivi - https://rantey.org

# Elektromanyetik Radyasyon

Dünya'nın ötesindeki evren hakkında bilgilerimizin büyük bir çoğunluğu uzaydan gelen radyasyonun (ısısı ne olursa olsun tüm normal maddeler tarafından kozmos boyunca yayılan elektromanyetik - EM dalgalar) incelenmesi sonucunda elde edilir. Bu dalgalar etkileşime giren elektrik ve manyetik düzensizliklerden meydana gelir ve birbirlerine dikey olarak hizalandıkları için elektrik alanındaki değişimler manyetik alanı (manyetik alanındakiler de elektrik alanını) sağlamlaştırır. Bu durum dalgaların foton adlı kendiliğinden yayılan "paketçikler" hâlinde uzayda ışık hızında (evrenin saniyede yaklaşık 300 bin km ya da 186 bin mil olan maksimum hız sınırı) hareket ederek yol almasını sağlar.

Bir cismin ısı derecesi, yaydığı radyasyonun enerjisini belirler; yüksek enerjiler yüksek frekanslara ve kısa dalga boylarına tekabül eder. Yalnızca yıldızlar gibi çok sıcak cisimler görünür ışık yayacak kadar enerjiye sahiplerdir. Daha soğuk cisimler genelde güneş ışığını yansıtarak görünür hâle gelseler de kendi başlarına görünmez radyasyon yayarlar (bkz. s. 26).


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



Bir foton ya da elektromanyetik radyasyon paketçiği, birbirlerine dik olan ve uzaydaki hareket yönlerine dik açıyla titreşen elektrik ve manyetik düzensizliklerden oluşur.

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

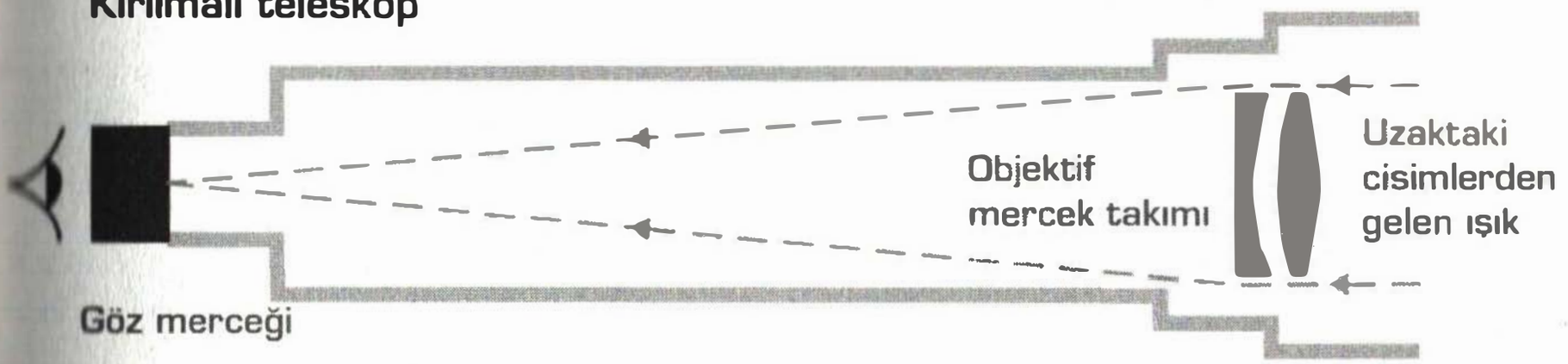
# Teleskoplar

Teleskop esasen uzaktaki cisimlerden gelen radyasyonu (çoğunlukla görünür ışığı) toplamak için geniş bir yüzey alanı kullanan ve bunu bir çeşit algılayıcı üzerinde (genellikle insan gözü) yoğunlaştıran bir cihazdır. Bunun sonucunda ortaya algılayıcının tek başına üretemeyeceği kadar parlak, yüksek çözünürlüklü ve daha detaylı bir görüntü çıkar.

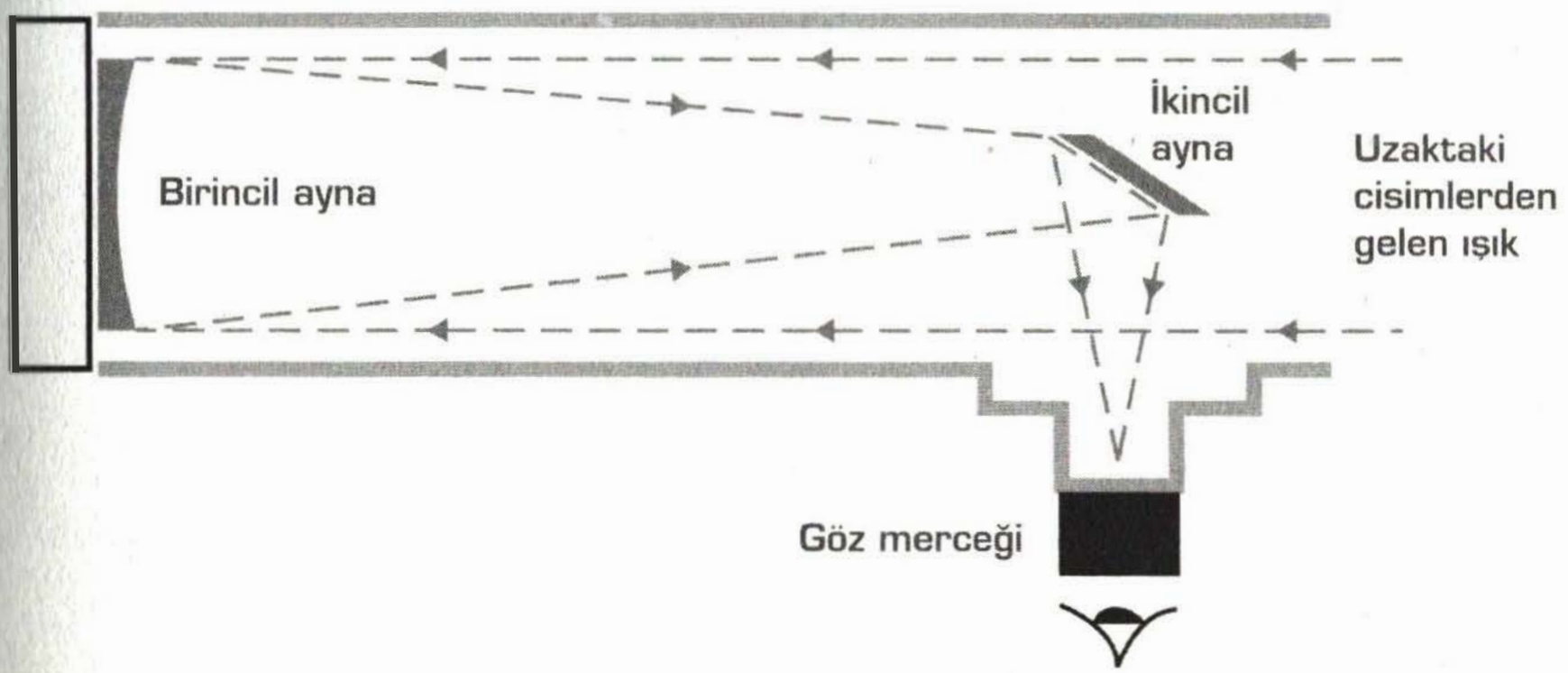
Görünür ışık teleskoplarının temel iki türü vardır: kırılmalılar ve yansıtmalılar. Kırılmalılar saydam bir "objektif mercek"ten geçen ışığı bir odak noktasına doğru kırarken, yansıtmalılar ışık ışınlarını yakınsak yörüngelerde sektirmek için içbükey bir "birincil ayna" kullanırlar. Her iki tasarım da uzaktaki cisimlerden gelen ışık ışınlarının birbirine paralel olduğu gerçeğinden faydalanır ve doğrudan gözlem yapabilmek için ikincil bir ya da bir dizi lens aracılığıyla göz merceğinde büyük bir görüntü yaratır. 1608 civarında icat edilen teleskobun ilk örnekleri ve günümüzdeki çoğu amatör alet kırılmalıdır fakat modern, profesyonel teleskopların büyük bir çoğunluğu yansıtmalıdır.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

## Kırılmalı teleskop




## Yansıtmalı teleskop (Newton tasarımı)




Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Uzaydan Gelen Haberciler

Çoğu gök bilimci evreni elektromanyetik radyasyon aracılığıyla inceler (bkz. s. 16), ancak Dünya'nın ötesindeki ortamlar hakkında bilgi sahibi olmanın başka yöntemleri de vardır. Gezegenimiz sürekli Güneş rüzgârlarının (Güneş'ten saçılan, hızlı hareket eden bir parçacık akımı) yanı sıra patlayan yıldızlar, dev kara delikler gibi cisimlerin yaydığı ve yanıltıcı isimlerine rağmen aslında çok daha hızlı hareket eden parçacıklar olan kozmik ışınların bombardımanına maruz kalmaktadır. Bu parçacıkların çoğu Dünya'nın yüzeyine ulaşmaz fakat Dünya'nın atmosferine girerken ürettikleri düşük enerjili parçacıklardan oluşan "ışın yağmurları" yeryüzündeki algılayıcılar tarafından saptanabilir.

Güneş sistemimize dair önemli bilgi kaynaklarından biri de meteorlardır. Bu katı kaya artıkları Dünya'nın atmosferine girerken yanmalarına rağmen neredeyse hiç hasar görmeden kurtulurlar ve hem Vesta (bkz. s. 60) gibi büyük asteroitlerden hem de Güneş sistemini oluşturan ham maddeden değerli örnekler sağlarlar.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



1833 yılının Kasım ayında Kuzey Amerika'da gökyüzünü kaplayan görkemli leonid meteor yağmurunu tasvir eden erken bir gravür.

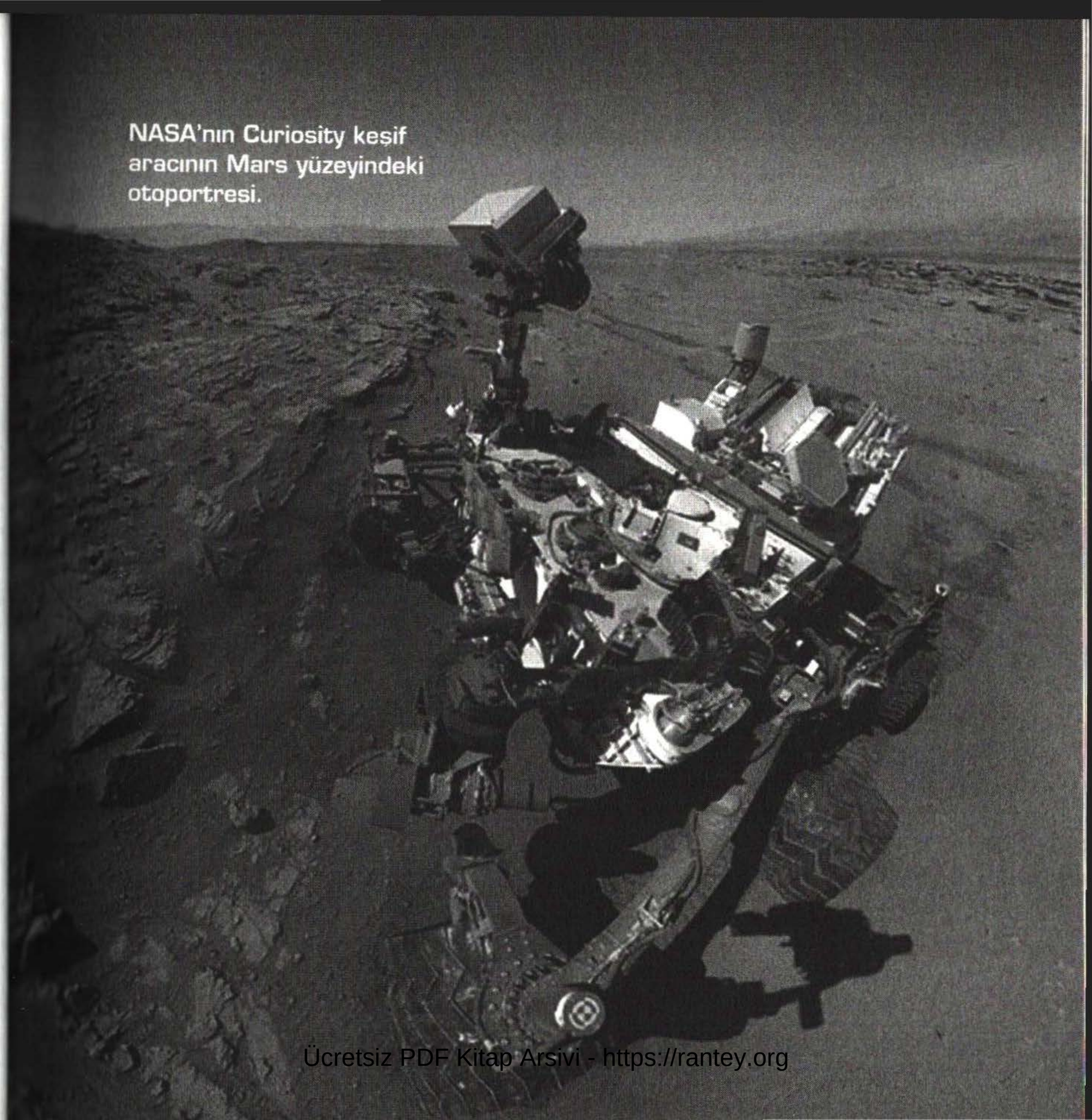
Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Uzay Sondaları

Astronomik cisimlere dair bilgi edinmenin önemli bir yolu onları ziyaret etmektir ve biz, Uzay Çağı'nın başlangıcından bu yana geçen altmış yıl içinde tam olarak bunu yaptık. Astronotlar henüz Dünya'nın Ay'ından öteye gidememiş olsalar da, robot uzay araçları Güneş sistemindeki bütün büyük gezegenlere ve bunların ötesine gittiler. Uzay sondaları Mars'ın yüzeyinde gezindiler, Venüs'ün zorlu atmosferine meydan okudular, asteroit kuşağında süzüldüler ve kuyruklu yıldızların yanında uçtular.

Sondalar yalnızca Dünya'dan asla elde edilemeyecek ölçüde detay sunan yakın plan görseller göndermekle kalmazlar, ayrıca kayalık yüzeylerin mineral bileşimleri, manyetik alanların ve gezegen içlerinin yapıları ve hatta alttaki coğrafyanın topoğrafyası gibi gezegenler arası mesafeden saptanması imkânsız özellikleri de tespit ederler. Ancak bu araçları Güneş sisteminin zorlu ortamına yollamak çok iddialı bir girişimdir ve zaman zaman başarısızlıkla sonuçlanması kaçınılmazdır.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



NASA'nın Curiosity keşif aracının Mars yüzeyindeki otoportresi.

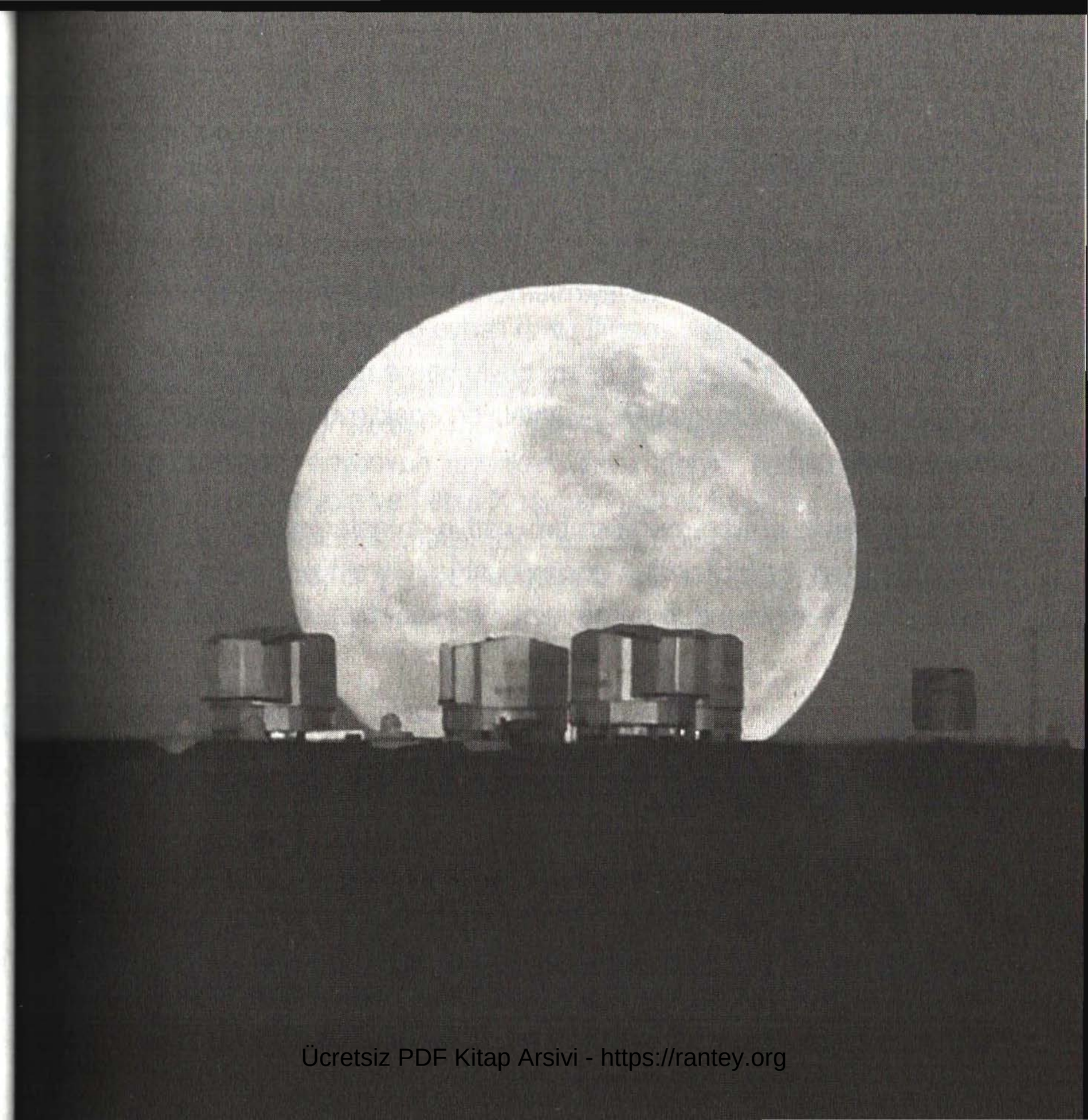
Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Modern Astronomi

Günümüzde gök bilimciler gökyüzünü incelemek için geniş bir teknoloji çeşitliliğinden faydalanırlar; bunların arasında dünya genelinde dağ zirvelerine yerleştirilmiş optik teleskoplar ve radyo sinyalleri, kızılötesi ve ultraviyole (bkz. ss. 26-33) gibi görünmeyen radyasyonları incelemek için tasarlanmış çeşitli aletler bulunur. Bilimsel araştırmacılar nadiren aletlerle direkt gözlem yaparlar; bunun yerine gökyüzündeki elektromanyetik radyasyonları çeşitli şekillerde toplayan ve analiz eden bir dizi algılayıcı kullanırlar.

Algılayıcıların yelpazesi, basit dijital CCD kameralardan algılayıcıya çarpan foton sayısını kaydederek bir cismin parlaklığını ölçen fotometrelere kadar uzanabilir. Farklı dalga boylarının değişken yoğunluklarını bulmak için bir cismin ışığını gökkuşağının renklerine ayıran spektrometreler ise uzaktaki cisimlerin kimyasal yapılarını saptamak ve uzaydaki devinimleri gibi fiziksel özelliklerini keşfetmek için kullanılır (bkz. s. 264).


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

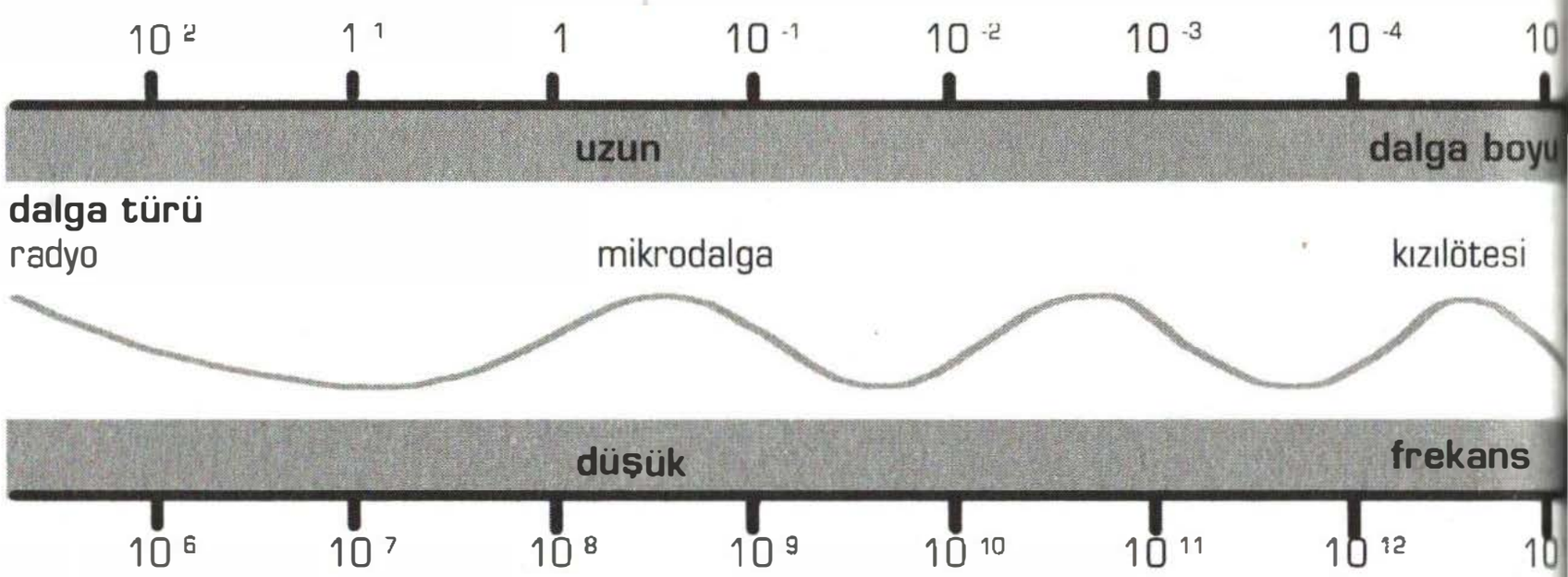


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Görünmez Evren

Geniş evreni doğrudan deneyimlememizi sağlayan görünür ışık, bir yanda düşük enerjili uzun radyo dalgalarının, diğer yandaysa yüksek enerjili, kısa dalga boylu gama ışınlarının olduğu çok daha geniş elektromanyetik radyasyon spektrumunun yalnızca ufak bir parçasıdır.

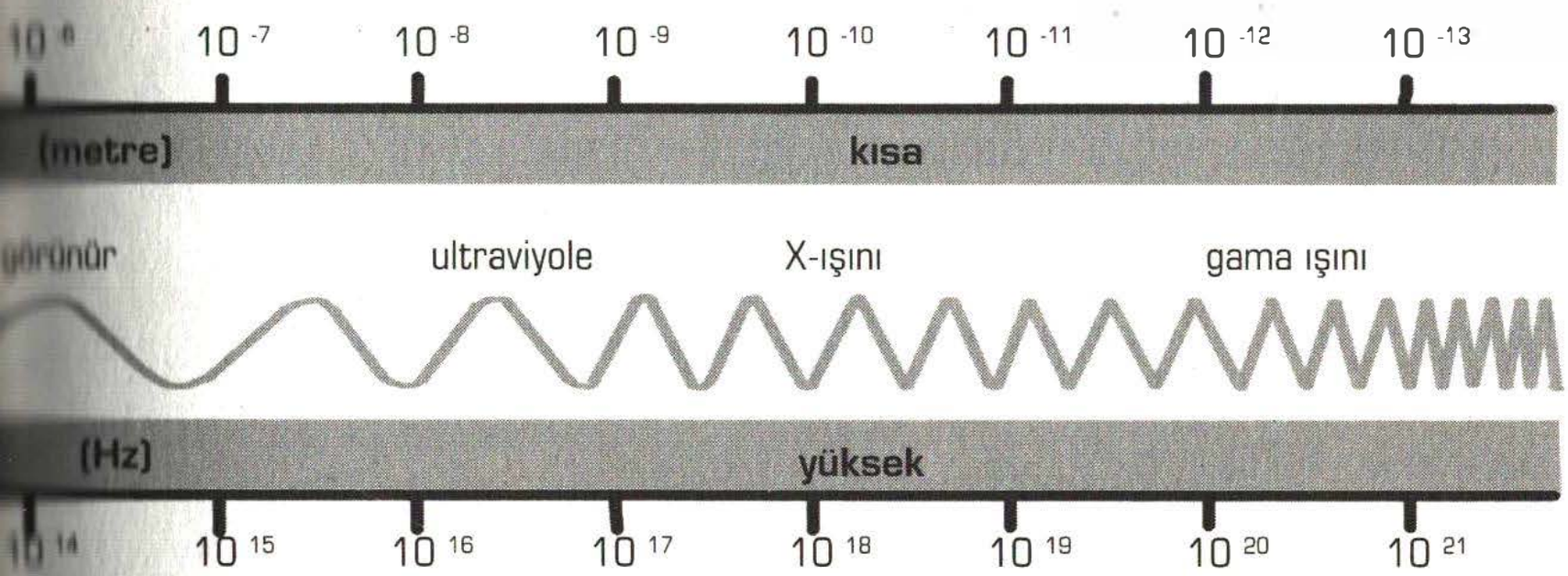
Elektromanyetik spektrumun tamamı radyo dalgalarından mikrodalgalara, kızılötesinden görünür ışığa ultraviyole radyasyona, X-ışınlarından gama ışınlarına kadar uzanır. Bahsi




Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

geçen dalga boyları milimetrelerden kilometrelere (radyo dalgalarında olduğu gibi) ve metrenin katrilyonda birine (gama ışınları için) kadar çeşitlilik gösterir. Görünür ışığın dalga boyu yaklaşık 390 nanometreden 700 nanometreye kadar çıkar (nanometre metrenin milyarda biridir).

Yıldızlar gibi astronomik cisimler geniş bir dalga boyu aralığında radyasyon yayarlar fakat yüzey sıcaklığı arttıkça dalga boyları kısalır (ve enerji yükselir). Gezegenler gibi soğuk cisimler yalnızca kızılötesinde radyasyon yayarken, sıcak olanlar radyasyonlarının çoğunu ultraviyole ve hatta X-ışınları olarak saçarlar. Bununla beraber, enerjik bulutsular (bkz. s. 262) gibi diğer süreçler ve cisimler atomik yapılarıyla bağlantılı belirli dalga boylarında radyasyon yayar ya da emerler.



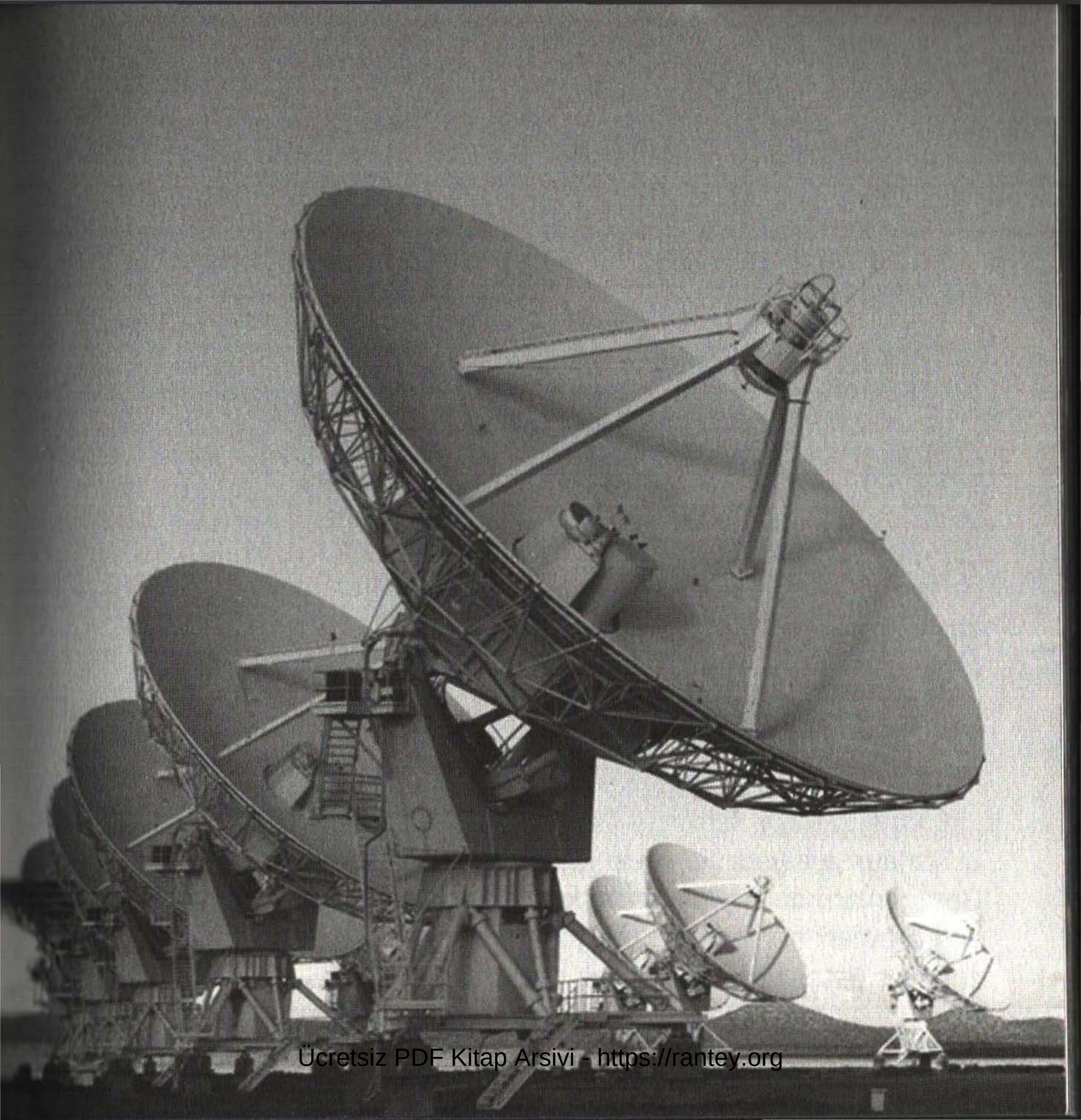

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Radyo Astronomi

Uzaydaki birçok tip radyo emisyonu atmosferden hemen hemen hiç etkilenmeden Dünya'ya ulaşır, ama dalga boylarının çok uzun olması, orta boy bir teleskop için radyo görüntülerinin çok daha düşük çözünürlüğe sahip olacağı anlamına gelir. Radyo astronomlar bu sorunu çözmek için çanak şeklinde devasa alıcılar inşa ederler. Gökyüzünü tarayan bu çanaklar radyo dalgalarını elektrik sinyallerine dönüştüren bir antene iletirler. Bazı devasa teleskopların boyutu çözünürlük sorunlarının bir kısmını telafi ederken, interferometri denen teknik birçok "sıralı" teleskoptan gelen sinyali birleştirerek daha büyük bir çanağın çözünürlüğünü taklit edebilir.

1 metre ila 1 milimetre arasındaki dalga boylarına mikrodalga denir. Bunların en kısaları daha kolay görüntülenebilir ancak Dünya atmosferindeki soğurmadan yüksek derecede zarar görürler. Dolayısıyla Büyük Patlama'dan arta kalan ışınım (bkz. s. 382) gibi mikrodalga fenomenlerini incelemek isteyen gök bilimciler uydular ya da yüksek irtifa balonları yardımıyla uzaya mikrodalga teleskopları fırlatırlar.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Kızılötesi Astronomi

Kızılötesi ya da ısı radyasyonu görünür ışıkta parlamayacak kadar soğuk olan birçok cisim tarafından yayılır, aynı zamanda Güneş'imizin ve hatta daha soğuk kırmızı ve turuncu yıldızların (bkz. s. 284 ve 312) yaydığı enerjinin önemli bir bölümünü oluştururlar. Fakat Dünya'nın atmosferindeki soğurma ve radyasyon, uzaydan gelen kızılötesi sinyallerin tespit edilmesini zorlaştırır. Hava kütlesinden (ve özellikle su buharından) yukarıya yerleştirilen dağ zirvesi teleskopları, görece yüksek enerjili yakın-kızılötesi gökyüzünü gözlemleyebilirler ancak daha soğuk olan uzak-kızılötesi sadece atmosferin tamamen dışındaki yörünge teleskopları sayesinde gözlemlenebilir. Bu teleskopların kendi kızılötesi emisyonlarını algılama eğiliminde olmaları işleri daha da zorlaştırır; bu sorun ancak ekipmanın sıvılaştırılmış gazla aşırı düşük ısılara indirilmesiyle çözülebilir. Sıvılaştırılmış gazın yavaş yavaş buharlaşmaya yatkınlaşması kızılötesi uyduların ömrünü kısıtlar. Gezegenleri, cüce yıldızları ve kozmik tozu barındıran görünmez soğuk evreni görmemizin tek yolu kızılötesinden geçtiği için, bu engeller üstesinden gelinmeye değerdir.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



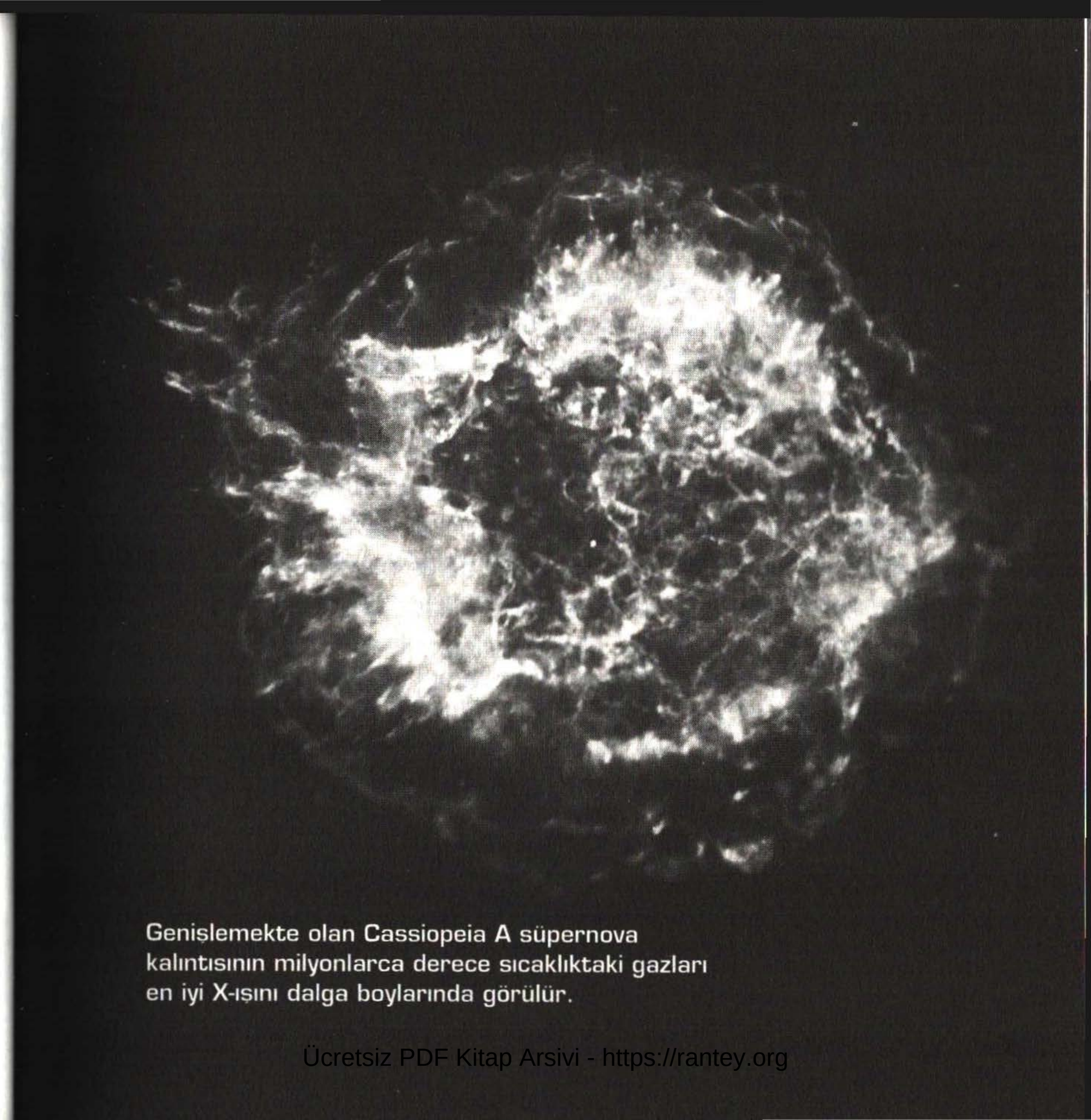
Bu iki görsel yakınlardaki Andromeda Galaksisi'ni (bkz. s. 160) görünür ışık ve kızılötesi radyasyonla göstermektedir. Sıcak yıldızlar kızılötesi görüntülemede kaybolurlar ve galaksinin soğuk, karanlık tozdan oluşan iskeleti ortaya çıkar.

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Yüksek-Enerji Astronomisi

Dalga boyu görünür ışıktan kısa, enerjisi daha yüksek olan elektromanyetik dalgalar ultraviyole radyasyon, X-ışınları ve gama ışınları olarak ayrılırlar. En sıcak yıldızların yaydığı radyasyon görünür ışığa kıyasla ultraviyolede daha fazlayken, X-ışınları kızgın gazlardan (örneğin galaksi kümelerinin içindeki ya da kara deliklerin etrafındaki) ve gama ışınları Güneş püskürtüsü, süpernovalar gibi şiddetli olaylardan yayılır. Atmosferin koruyucu etkisi bu dalgaların üç hâlinin de Dünya'nın yüzeyine ulaşmasını büyük ölçüde engellediğinden, en iyi uydulardan incelenirler. Ultraviyole teleskoplar çoğunlukla görünür ışık aletlerinin tasarımlarını takip ederler fakat X-ışınları ve gama ışınlarının enerjilerinin yüksekliği bazı sorunlar teşkil eder: Bu ışınlar çoğu yansıtıcı yüzeyin içinden geçerler ve bu yüzden onları odaklamak zordur. X-ışını teleskoplarının bazıları bu sorunu çözmek için ışınları koni şeklindeki metal yüzeylerden dar açılarda "sektirirler", ancak gama ışını teleskoplarının çalışma prensibi bilhassa gökyüzünün farklı bölümlerini tararken yüksek korumalı bir dedektörün "penceresinden" giren ışınları saymaya dayanır.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



Genişlemekte olan Cassiopeia A süpernova kalıntısının milyonlarca derece sıcaklıktaki gazları en iyi X-ışını dalga boylarında görülür.

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Güneş Sistemi

Güneş sistemimiz en geniş tanımıyla Güneş'ten her yöne 1 ışık yılı (9,5 trilyon km veya 5,9 trilyon mil) uzanarak uzayda muazzam bir yer kaplar. Uzayın bu bölgesinde Güneş'in kütle çekimi hâkimdir ve dev gezegenlerden kuyruklu yıldız tozlarının ufak parçalarına kadar birbirinden bağımsız trilyonlarca cismin yörüngesi ona bağlıdır. Bazı gök bilimciler Güneş sistemini Güneş rüzgârının (aynı zamanda heliosfer olarak da bilinir; bkz. s. 130) etkisi altındaki çok daha küçük bir bölge olarak ele alıp daha dar bir tanım yapmayı tercih ederken, kütle çekimi temelli tanım, Oort Bulutu'nda bulunan, yaşamlarına çok daha yakınında başladıkları Güneş'in etrafında hâlâ uzun, yavaş yörüngeler çizen sayısız soğuk ve ölü kuyruklu yıldızı da kapsar.

Güneş sistemi içerisindeki uzaklıklar genellikle milyonlarca hatta milyarlarca kilometre olarak ölçülür; bu sayıların günlük deneyimlerimizde hiçbir karşılığı yoktur. Bu yüzden gök bilimciler durumu basitleştirmek için Güneş sistemimizin içindeki ve dışındaki mesafelerden "astronomik birim" (AU; astronomical unit) olarak bahsederler. 1 AU, Dünya ve Güneş


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

arasındaki ortalama uzaklık olan 149,6 milyon kilometredir (93 milyon mil).

Güneş sistemindeki cisimlere dair en önemli ayrımlardan biri büyük ve cüce gezegenler arasında yapılır. Sekiz büyük gezegenin her biri, Güneş'in etrafında dönen, kütleleri hem kütle çekim tarafından yaklaşık olarak küre şekline sokulacak kadar hem de etraftaki diğer her şeyin yörüngesini bozup yakınındaki uzayı "boşaltacak" kadar büyük birer dünyadır. 2006 yılında Eris'in keşfiyle ortaya sürülen ama Ceres, Plüton ve diğerlerini de (bkz. s. 124, 62 ve 122) kapsayan bir sınıf olan "cüce gezegenler" Güneş'in etrafında dönen fakat civardaki cisimleri temizleyecek kütle çekim kuvvetine sahip olmayan küresel cisimlerdir.

Dört karasal gezegen olan Merkür, Venüs, Dünya ve Mars'ın yörüngeleri Güneş'e yakındır; gaz devleri Jüpiter ve Satürn ile buz devleri Uranüs ve Neptün'den oluşan dört dev gezegense daha uzaktan döner. Bunların çoğunun kendi uyduları (gezegenin çekim kuvveti tarafından yörüngede tutulan çeşitli boy, yapı ve kökenden cisimler) vardır ve onların hem ötesinde hem de arasında genel hatlarıyla küçük gezegenler olarak tabir edilen bir sürü ufak dünya döner. Bunlara hem karasal asteroitler hem de buzul kuyruklu yıldızlar dâhildir (bkz. s. 58 ve 120).



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Güneş Ailesi

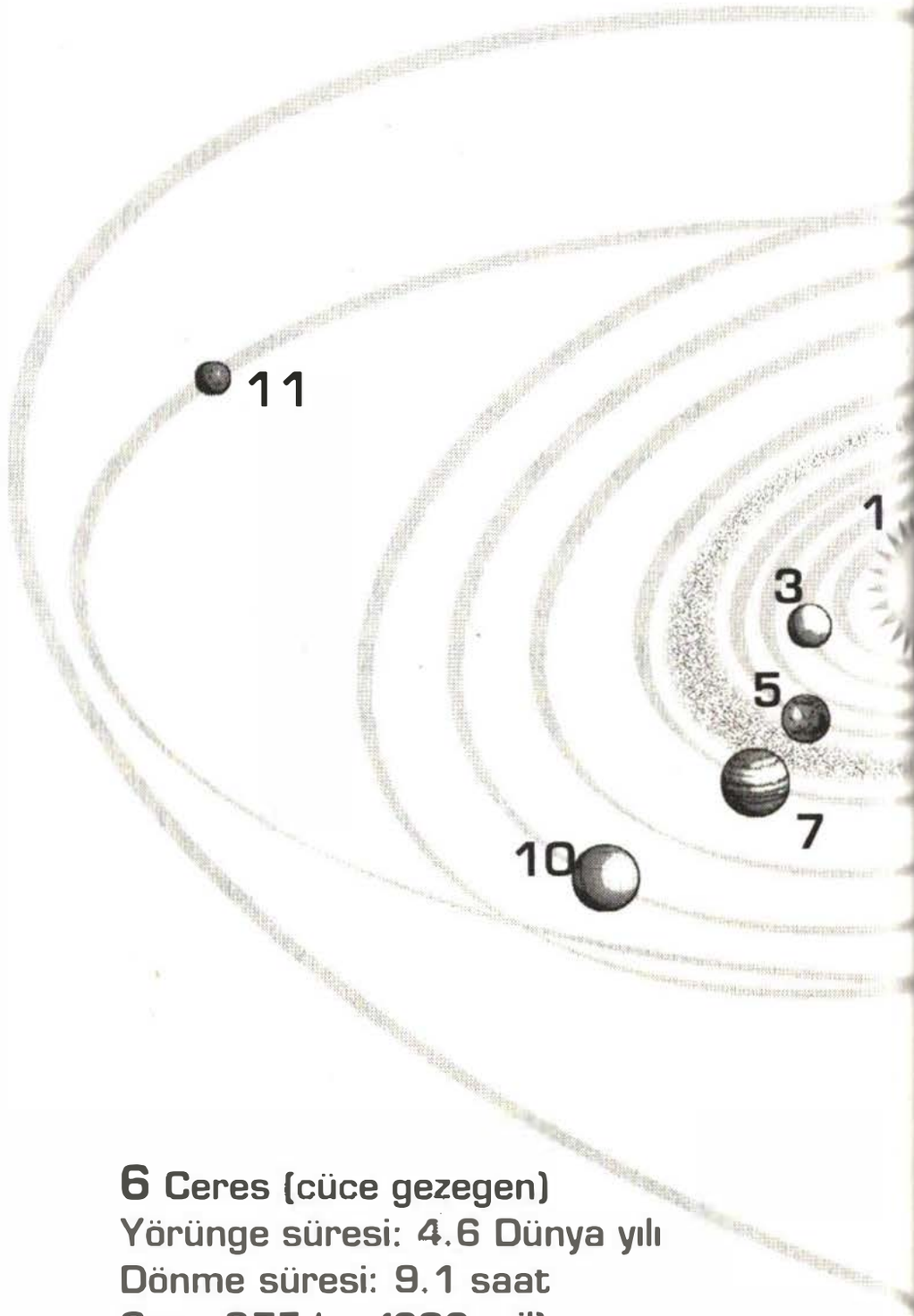
**1 Güneş**
Dönme süresi: 25-35 gün
Çapı: 1,391,700 km
(864,400 mil)

**2 Merkür**
Yörünge süresi: 88 gün
Dönme süresi: 58.6 gün
Çapı: 4,878 km (3,030 mil)

**3 Venüs**
Yörünge süresi: 224 gün
Dönme süresi: 243 gün
Çapı: 12,104 km (7,518 mil)

**4 Dünya**
Yörünge süresi: 365.25 gün
Dönme süresi: 24 saat
Çapı: 12,756 km (7,923 mil)

**5 Mars**
Yörünge süresi: 687 gün
Dönme süresi: 24.6 saat
Çapı: 6,787 km (4,216 mil)



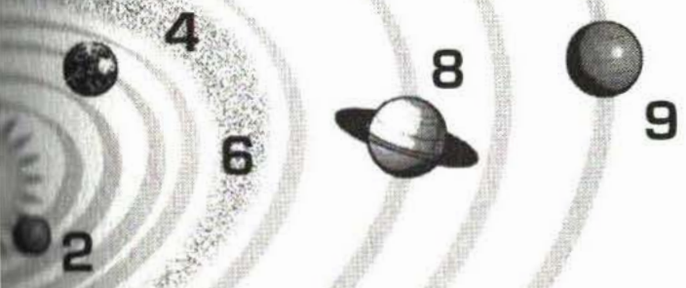

**6 Ceres (cüce gezegen)**
Yörünge süresi: 4.6 Dünya yılı
Dönme süresi: 9.1 saat
Çapı: 975 km (606 mil)



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

**7 Jüpiter**
Yörünge süresi: 11.86 Dünya yılı
Dönme süresi: 9.9 saat
Çapı: 142,800 km (88,700 mil)

**8 Satürn**
Yörünge süresi: 29.5 Dünya yılı
Dönme süresi: 10.6 saat
Çapı: 120,500 km (74,800 mil)




**9 Uranüs**
Yörünge süresi: 84.2 Dünya yılı
Dönme süresi: 17.2 saat
Çapı: 51,118 km (31,750 mil)

**10 Neptün**
Yörünge süresi: 164,8 Dünya yılı
Dönme süresi: 16,1 saat
Çapı: 49,528 km (30,762 mil)

**11 Pluton (cüce gezegen)**
Yörünge süresi: 247,7 Dünya yılı
Dönme süresi: 6,4 gün
Çapı: 2,370 km (1,470 mil)

**12 Eris (cüce gezegen)**
Yörünge süresi: 560.2 Dünya yılı
Dönme süresi: c.25.9 saat
Çapı: 2,400 km (1,490 mil)

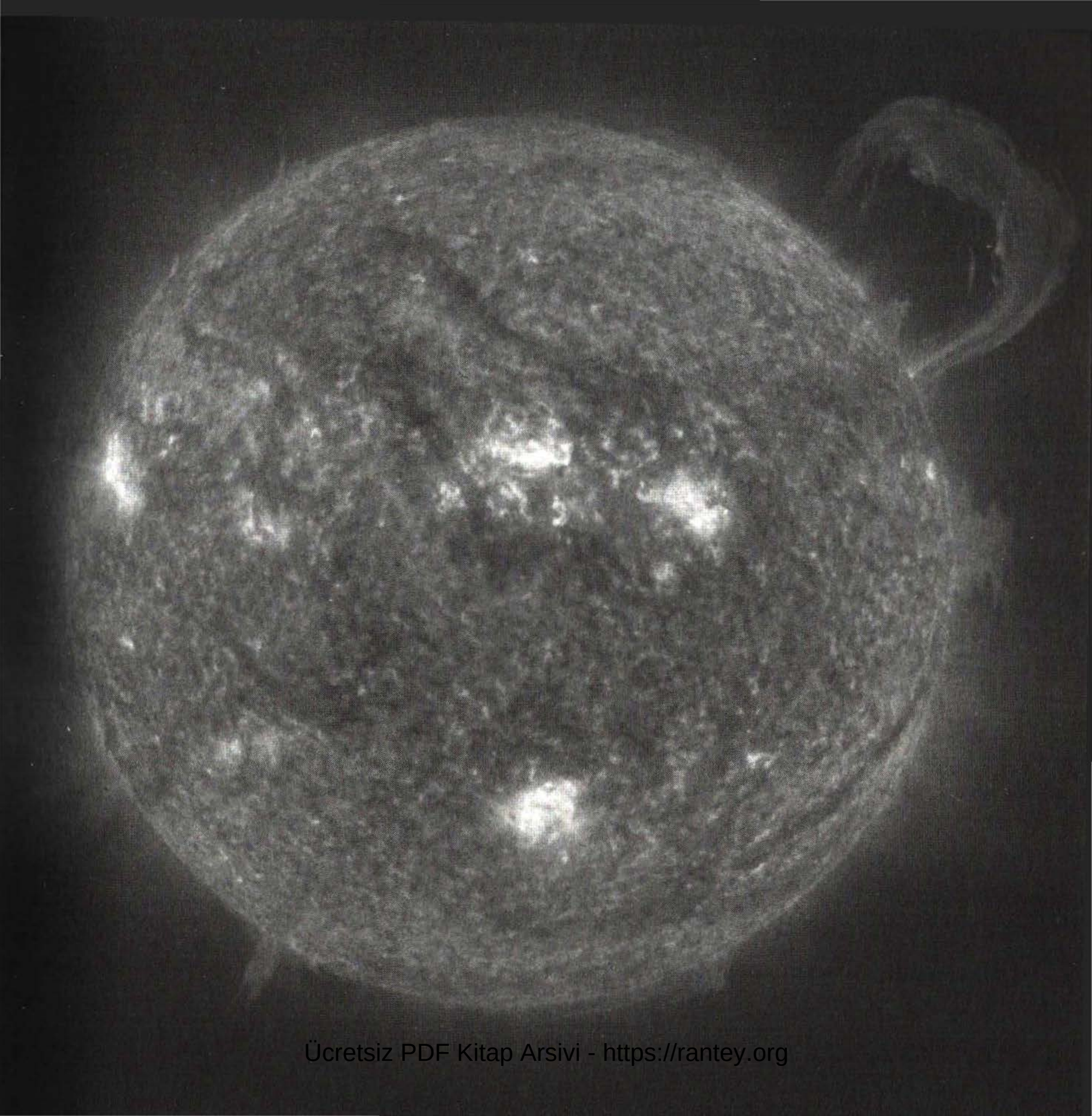
12

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Güneş

Yerel yıldızımız 1,39 milyon kilometre (863 milyon mil) çapında kızgın bir gaz topudur. Gücünü nükleer füzyondan alan Güneş'in üç katmanlı bir iç yapısı vardır (bkz. s. 272 ve 286). Güneş'in görünür yüzeyi ya da "fotosfer"i (ışık küre), sıcak gazların seyrekleştiği ve ısılarının yaklaşık 5500 °C'ye (9900 °F) düşerek saydamlaştığı kuşağı belirtir. Fakat Güneş'in seyrek atmosferi ya da koronası (taç küre) bunun çok daha dışına uzanır. Güneş sisteminde esen bir parçacık akımı olan Güneş rüzgârıyla birleştiği zaman koronanın ısısı bir milyon derecenin üzerine çıkar. Güneş'in manyetik alanı on bir yıllık "Güneş döngüsü" boyunca güç ve karmaşıklık bakımından değişkenlik gösterdiği için, dış katmanları sürekli değişim hâlindedir. Yüzeyden epey yüksekte kavis çizen manyetik ilmekler fotosferde "Güneş lekeleri" adında karanlık, soğuk bölgeler ve alt koronada "çıkıntılar" adı verilen yoğun gaz akımları meydana getirirler. Bunlar yüzeye yakın "kısa devre" yaptıklarında Güneş püskürtüsü ve koronal kütle atımı olarak bilinen büyük enerji ve parçacık akımı patlamalarına neden olurlar.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



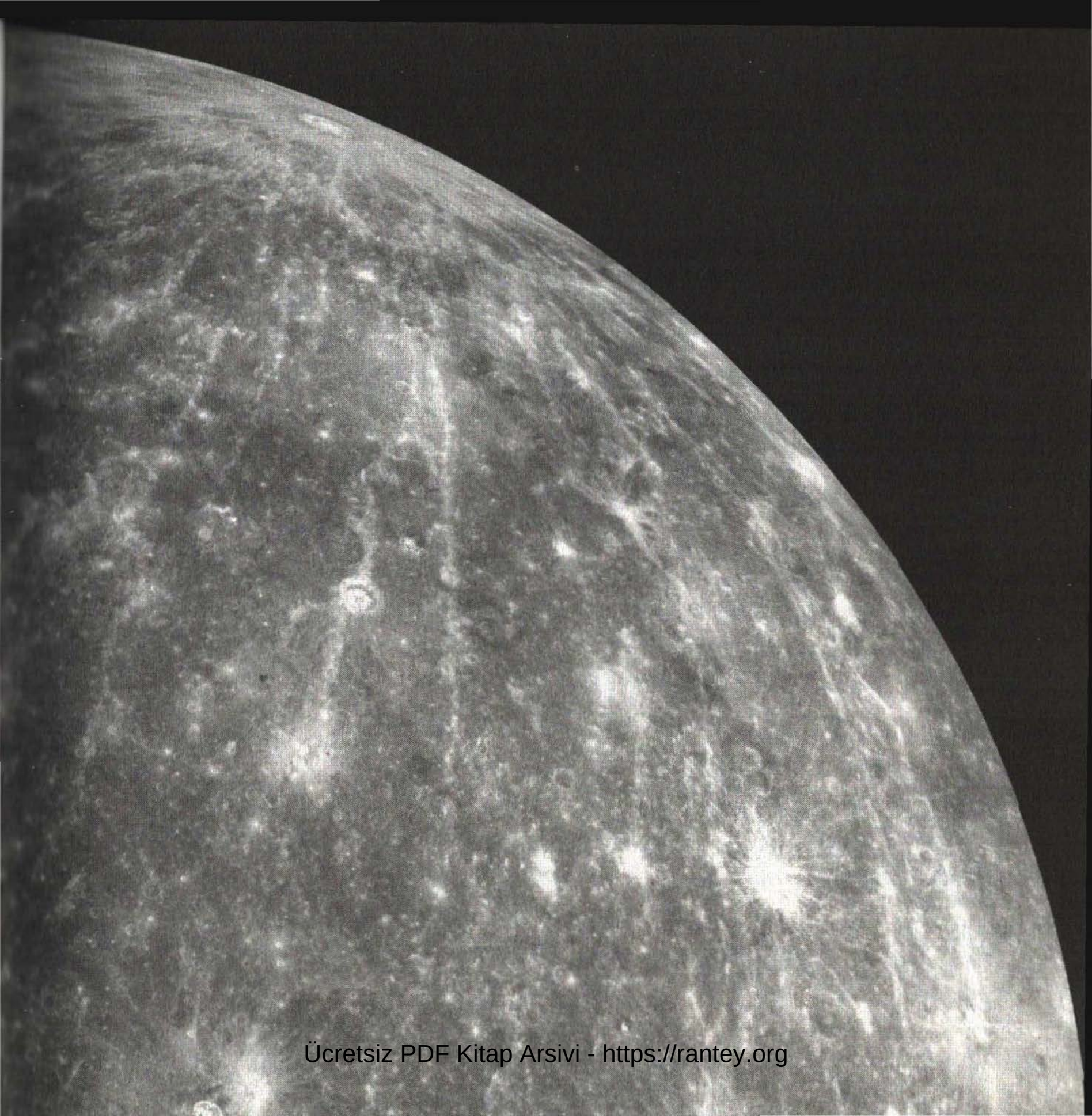
Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Merkür

Güneş'e en yakın gezegen olan Merkür aynı zamanda Dünya'nın Ay'ından sadece yüzde kırk daha geniş olan çapıyla büyük gezegenlerin en ufağıdır. Elips şeklindeki yörüngesinde Güneş'in etrafındaki turunu yalnızca seksen sekiz günde tamamlar ama güçlü gelgit etkileri yüzünden yavaşlayan ekseni etrafında dönüş süresi elli yedi gündür (bir Merkür yılının üçte ikisi). Bu da Güneş'in Merkür semalarında çok yavaş hareket ettiği anlamına gelir; gündoğumları arasında ortalama iki Merkür yılı vardır. Günlerinin uzun sürmesi, Güneş'e yakınlığı ve atmosferinin olmaması Merkür'de ısı farklılıklarının aşırı uçlarda olmasına neden olur; gün ortası 425 °C'ye (797 °F) kadar çıkan sıcaklık geceleri -195 °C'ye (-319 °F) düşer.

Uzay sondası araştırmaları Merkür'ün, küçük boyutuna rağmen şaşırtıcı biçimde yoğun olduğunu, manyetik alanının da zayıf olduğunu ortaya koymuştur. Kraterlerle dolu yüzeyindeki çatlak ve yarıklar gezegenin alışılmışın dışında büyüklükte bir çekirdeğe sahip olduğuna işaret eder. Bu çekirdek gezegenin erken döneminde genişleyerek kabuğunu çatlatmasına sebep olmuş ve sonradan küçülerek şimdiki boyutunu almıştır.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

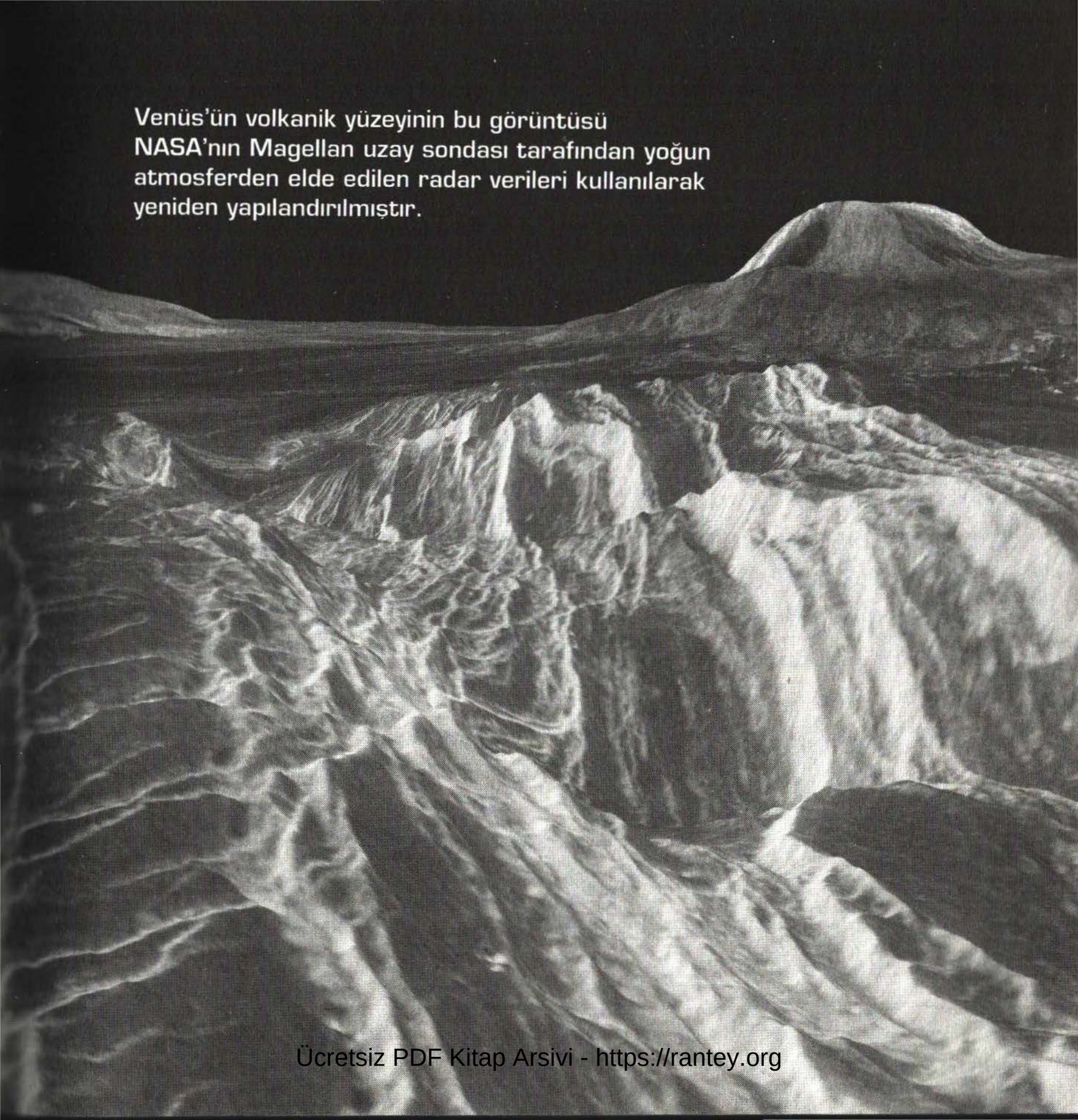


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Venüs

Adını antik güzellik tanrıçasından alan Venüs, Güneş ve Ay'dan sonra Oünya'nın gökyüzünde görülen en parlak cisimdir fakat adına bakıp aldanmamak gerekir: Güneş'e uzaklık bakımından ikinci sıradaki bu gezegen boğucu, zehirli bir atmosfere sahip cehennem gibi bir dünyadır. Atmosfer basıncı Dünya'dakinin yüz katıdır ve havadaki baskın gaz karbondioksittir. Bulutlardan yağan sülfürik asit yere ulaşmadan buharlaşır. Ekseni etrafındaki iki yüz kırk üç günlük dönüş süresi bir Venüs yılından uzun olmasına rağmen, atmosferin kaplayıcı etkisi hem gece hem de gündüz tarafında yakıcı sıcaklıkların 460 °C'nin (860 °F) altına düşmesini engeller. Oünya'ya benzerliği göz önüne alındığında bu büyük farklılıklar şaşırtıcıdır. Birçok araştırmacı bunların Venüs tarihinin başlarında atmosferdeki su kaybıyla ve bunu izleyen kaçak sera etkisiyle ilintili olduğuna inanır. Yüzeyin radar haritaları gezegenin günümüzde hâlâ devam ettiği düşünülen volkanik aktiviteler tarafından geniş ölçüde yeniden şekillendiğine işaret etse de, Oünya'nın yüzeyinde görülen çatlak tektonik levhalardan hiç iz yoktur.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



Venüs'ün volkanik yüzeyinin bu görüntüsü NASA'nın Magellan uzay sondası tarafından yoğun atmosferden elde edilen radar verileri kullanılarak yeniden yapılandırılmıştır.

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Dünya

Dünya, Güneş'e en yakın üçüncü gezegendir ve Güneş sistemindeki karasal gezegenlerin en büyüğüdür. Güneş'in etrafında yaklaşık 149,6 milyon kilometre (93 milyon mil) uzaklıkta döner; astronomik birim (AU) olarak kabul edilen bu mesafe Güneş sistemi için kullanılan uygun bir ölçektir.

Dünya'nın en belirgin özellikleri bol miktardaki yüzey suyu, tektonik levhalara ayrılmış kabuğu ve elbette yaşamın varlığıdır. Günümüzde bilim insanları tüm bu özelliklerin ve ötesinin birbiriyle bağlantılı olduğunu ve birbirlerini öngörülemeyen şekillerde etkileyerek Güneş sistemindeki en karmaşık gezegen ortamını oluşturduklarını idrak etmişlerdir. Dünya'nın boyutu onun en sıcak içyapıya sahip karasal gezegen olduğunu gösterir: Eriyik çekirdekten kayalık mantoya çıkan ısı yüzeydeki tektonik levhaların ağır bir şekilde hareket etmesine neden olur. Bu sırada Dünya'nın yerçekimi ve Güneş'e olan uzaklığı suyun hem katı hem sıvı hem de buhar hâlinde varolmasına olanak sağlar. Koşulların bu eşsiz kombinasyonu Dünya'nın jeolojik yapısını şekillendirir ve yaşamın gelişmesine fırsat tanır.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

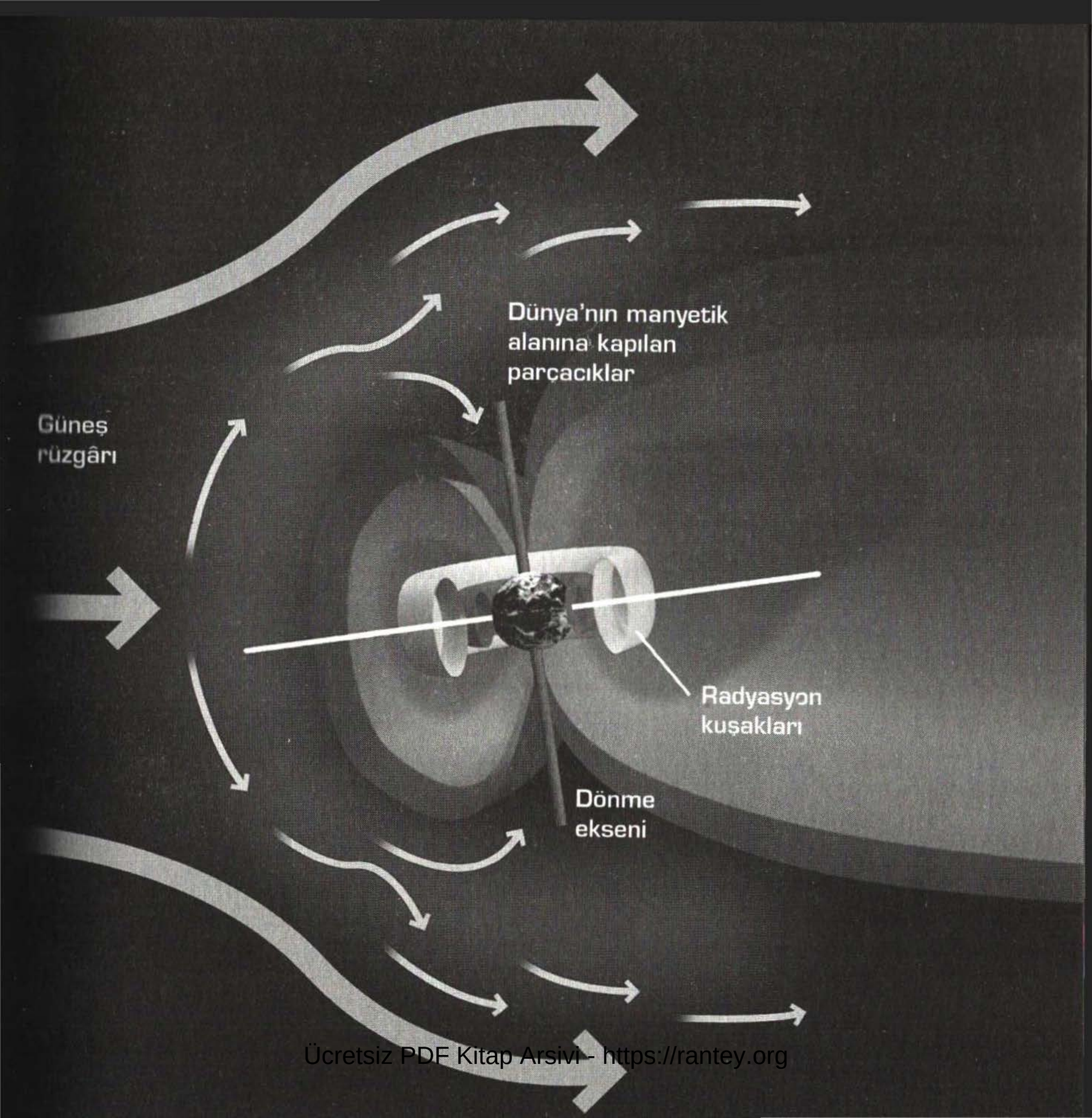

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Dünya'ya Yakın Uzay

Dünya'nın çevresindeki uzay boşluğu gezegenimizin güçlü manyetik alanının etkisindedir. Dış çekirdekteki eriyik demir girdaplarının meydana getirdiği "manyetosfer", çubuk mıknatısların etrafındaki alana benzer ve bir manyetik kutuptan çıkıp gezegenin etrafında dönerek diğer manyetik kutba girer. Manyetik kutupların yönü Dünya'nın dönme eksenine yakındır ama onu oluşturan derin akıntılar belirli aralıklarla yön değiştirerek alanın birkaç yüz bin yılda bir tersine dönmesine neden olur.

Manyetosfer gezegenimizi yüksek enerjili kozmik ışınlardan (bkz. s. 20) ve Güneş rüzgârlarındaki yüklü parçacıklardan korumada önemli bir yol oynar. Bunların çoğu bu alan tarafından başka yönlere savrulur, ancak toplanan diğer parçacıkların daha da hızlandırılması gezegenimizin etrafında radyasyon kuşakları oluşturur. Kutupların üzerindeki manyetosferden filtrelenerek inen parçacıklar üst atmosferdeki gazlarla çarpışarak kuzey ve güney ışıkları olarak bilinen parlak auroraları oluştururlar.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

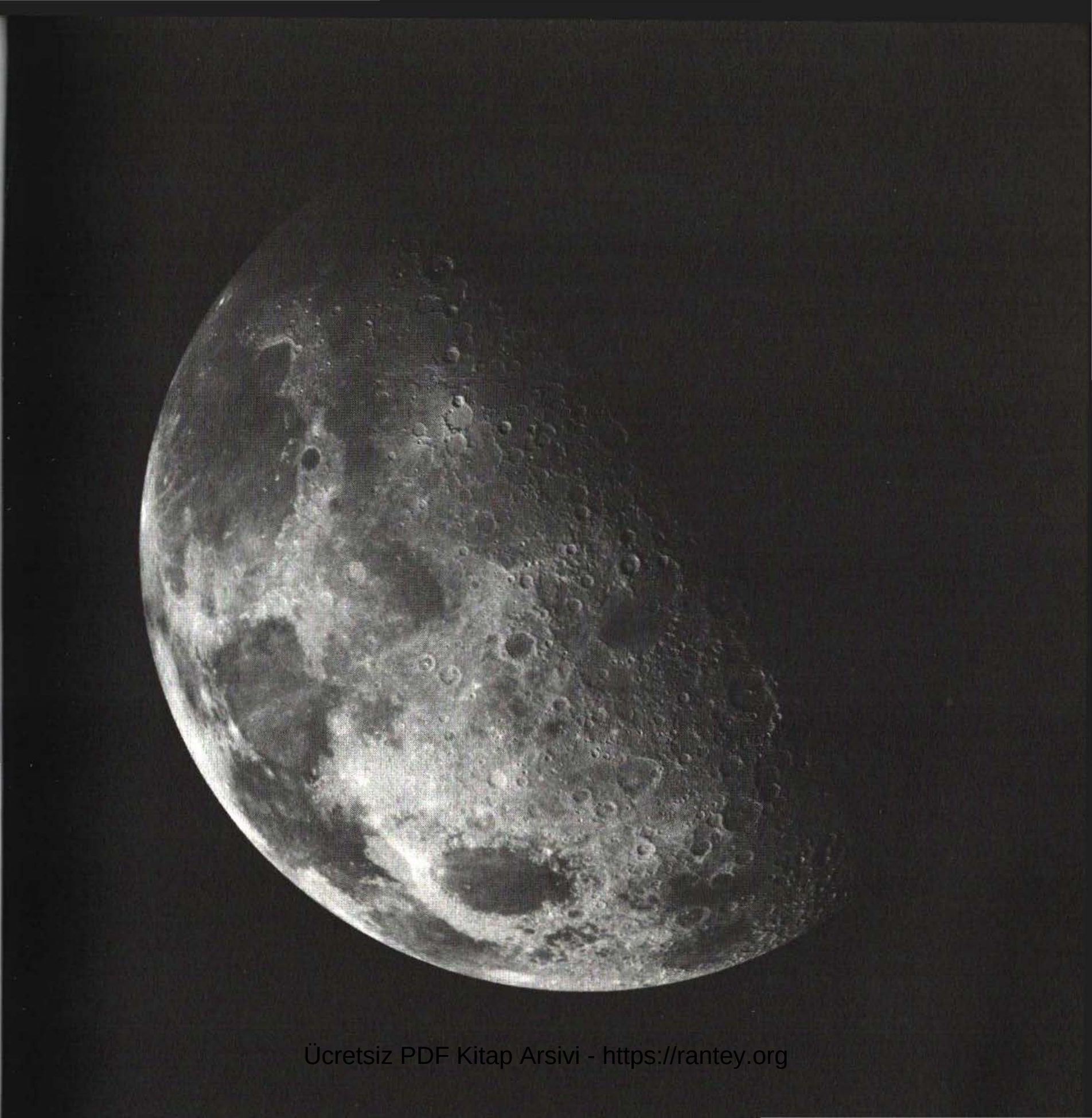



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Ay

Geceleri gökyüzündeki en belirgin cisim olan Ay, ışık alan tarafı 27,3 günlük yörünge süresi boyunca değiştiği için sürekli farklı bir görünüme sahiptir. Senkronize dönüş 27,3 günde kendi etrafında da dönen Ay'ın bir yüzünün sürekli Dünya'ya, diğer yüzünün ise sürekli diğer tarafa bakmasına neden olur. Bize yakın olan tarafı iki temel zemin hâlindedir: Aydınlık, bol kraterli yaylalar ile daha karanlık ve daha pürüzsüz olan "denizler" ya da "maria"lar. Dünya'ya dönük olmayan uzak tarafı ise neredeyse tamamen yaylalardan oluşan bir arazidir ve çok az maria'sı vardır. Denizler aslen antik lava yataklarıdır, üç milyar yıldan uzun bir süre önce Ay'ın yakın tarafındaki büyük çarpışmaların sonucunda ortaya çıkan düşük rakımlı havzaların volkanik aktiviteler tarafından doldurulmasıyla oluşmuşlardır. Buna karşın uzak tarafta deniz olmaması, oradaki kabuğun çok daha kalın olmasından (bu da gelgit etkilerinin bir sonucu olabilir; bkz. s. 50) ve bu yüzden eriyik magmanın yüzeye ulaşmakta zorlanmasından kaynaklanıyor olabilir. Maria'ları oluşturan patlamalardan beri jeolojik açıdan ölü olmasına rağmen yüzeyinde kraterler oluşmaya devam etmiştir.


Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org

# Dünya-Ay Sistemi

Dünya'nın tek uydusu olan Ay ait olduğu gezegene kıyasla o kadar büyüktür ki, Dünya ile birbirlerine hatırı sayılır ölçüde etki ederler ve bazı gök bilimciler onları etkin bir şekilde "çifte gezegen" olarak ele alır. Bu etkilerin en belirgini gelgitler olarak karşımıza çıkar: Gelgitler, her iki gök cisminin kütle çekimindeki büyük farklılıkların diğeri üzerinde hissedilmesiyle oluşan etkilerdir. Dünya'da derin okyanusların olması gelgitleri daha belirgin kılar. Ay'ın suları kendine çekmesi metrelerce yükseklikteki "gelgit kabarması"na neden olurken, gezegenin öbür tarafında biraz daha küçük bir kabarma oluşur. Dünya her gün Ay'ın altında kendi ekseni etrafında döndükçe, kıyı bölgelerinin çoğunda iki deniz yükselmesi ve alçalmasından oluşan bir döngü görülür. Dünya'nın Ay üzerindeki gelgit etkileri ise uydunun kendi ekseni etrafında dönüşünün yavaşlayarak yörünge devriyle eşleşmesi ve ayrıca Ay'ın her yıl döne döne Dünya'dan birkaç santimetre uzaklaşması olarak görülür. Günümüzde Ay, Dünya'dan uzaklığı her ay boyunca değiştiği için gelgit etkilerine az maruz kalır ve bu durum periyodik ay depremlerine neden olur.

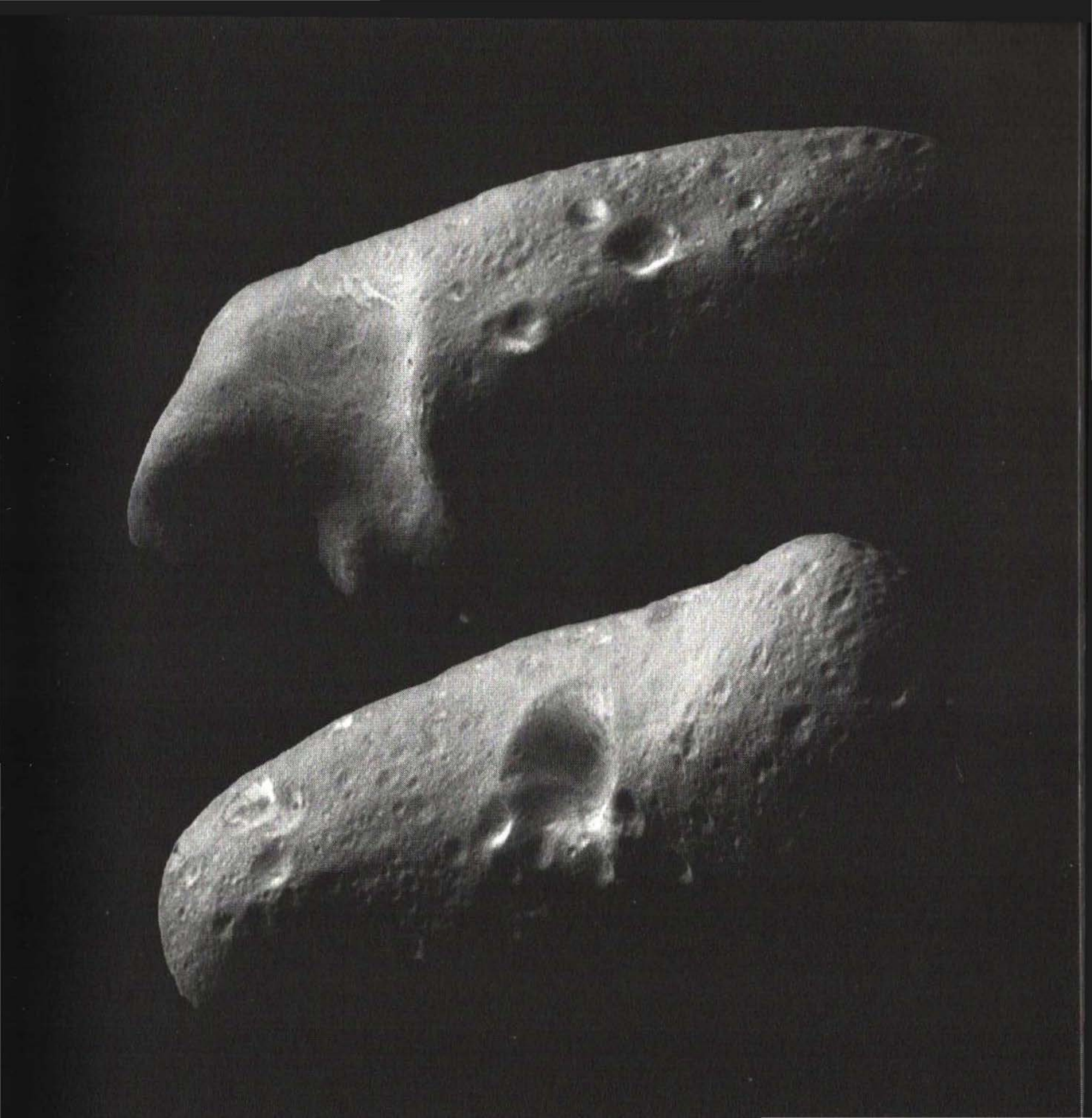

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - https://rantey.org



# Dünya'ya Yakın Cisimler

Dünya'nın etrafındaki uzay boşluğu Güneş'in etrafında kendi yörüngelerini çizen çeşitli boyutlardaki cisimlerle doludur. Bunların en büyükleri "Dünya'ya Yakın Asteroitler"dir (DYA). Bunların çoğu ana asteroit kuşaklarındaki Kirkwood boşluklarından (bkz. s. 60) iç gezegenlere yakın eliptik yörüngelere atılan karasal cisimlerdir. DYA'lar adlarını kendi türlerinin saptanan ilk örneklerinden alan dört geniş sınıfa ayrılırlar: Amor asteroitlerinin yörüngeleri Dünya'nın tamamen ötesindedir; Aritas ya da Apophele asteroitlerinin yörüngeleri tamamen Dünya'nınkinin içindedir; Apollo ve Atenler ise Dünya'nın yörüngesiyle kesişen ve sırasıyla biri 1 AU'dan uzun diğeri de kısa eksene sahip asteroitlerdir (yörüngeleri eğik olduğu için çoğu Dünya için tehdit teşkil etmez).

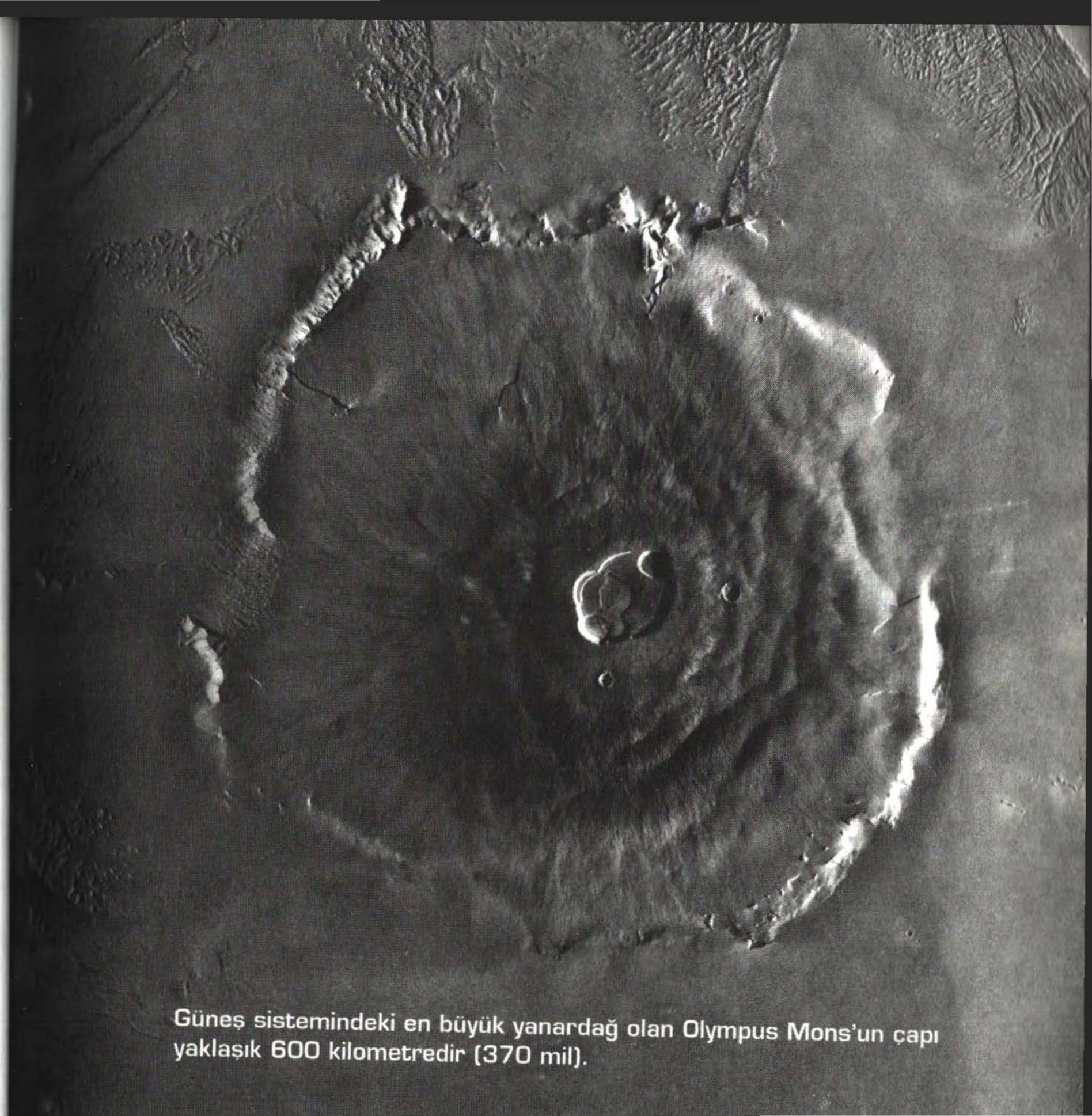
Diğer önemli Dünya'ya yakın cisimler arasında kuyruklu yıldızlar ve onların geçerken arkalarında bıraktıkları ufak buz ve toz parçalarından oluşan kalıntı akıntıları yer alır. Gezegenimizle kesişen bu kalıntı akıntıları Dünya'nın atmosferinde yanarak dönemsel yıldız kaymaları ve meteor yağmurlarını oluştururlar.



# Mars

Dünya'dan epey küçük olan meşhur Kızıl Gezegen, soğuk ve kurak bir dünya olmasına rağmen Güneş sisteminin geri kalanına kıyasla en ılımlı koşullara sahip cisimdir. Rengini yüzeyinin büyük bir kısmını kaplayan demir oksit (pas) yönünden zengin tozdan alır. Mars'ın yer kabuğunu bol kraterli güney yaylaları, geniş kuzey düzlükleri ve Güneş sistemindeki en büyük yanardağların birçoğuna ev sahipliği yapan devasa çıkıntı Tharsis Tümseği oluşturur. Dünya'daki Büyük Kanyon, Mars'ın başka bir bölgesinde bulunan Valles Marineris adlı devasa kanyon sisteminin yanında küçücük kalır.

Mars Güneş'in etrafında elips şeklinde net bir yörünge çizer (bkz. s. 36) ve Dünya'nınkine benzer bir eksen eğikliğine sahiptir. Bu da karmaşık bir mevsim yapısının oluşmasına neden olur. Atmosferi Dünya'nınkinin yalnızca binde altısı kadar basınç uygular ve korbondioksit ağırlıklıdır. Bu nedenle kışın kutuplarda geniş buz tabakaları oluşur. Fakat her iki kutup da donmuş topraklardaki devasa su buzu rezervleriyle örtülüdür ve bir zamanlar Mars'ın yüzeyinde suyun serbestçe aktığına dair birçok kanıt vardır.

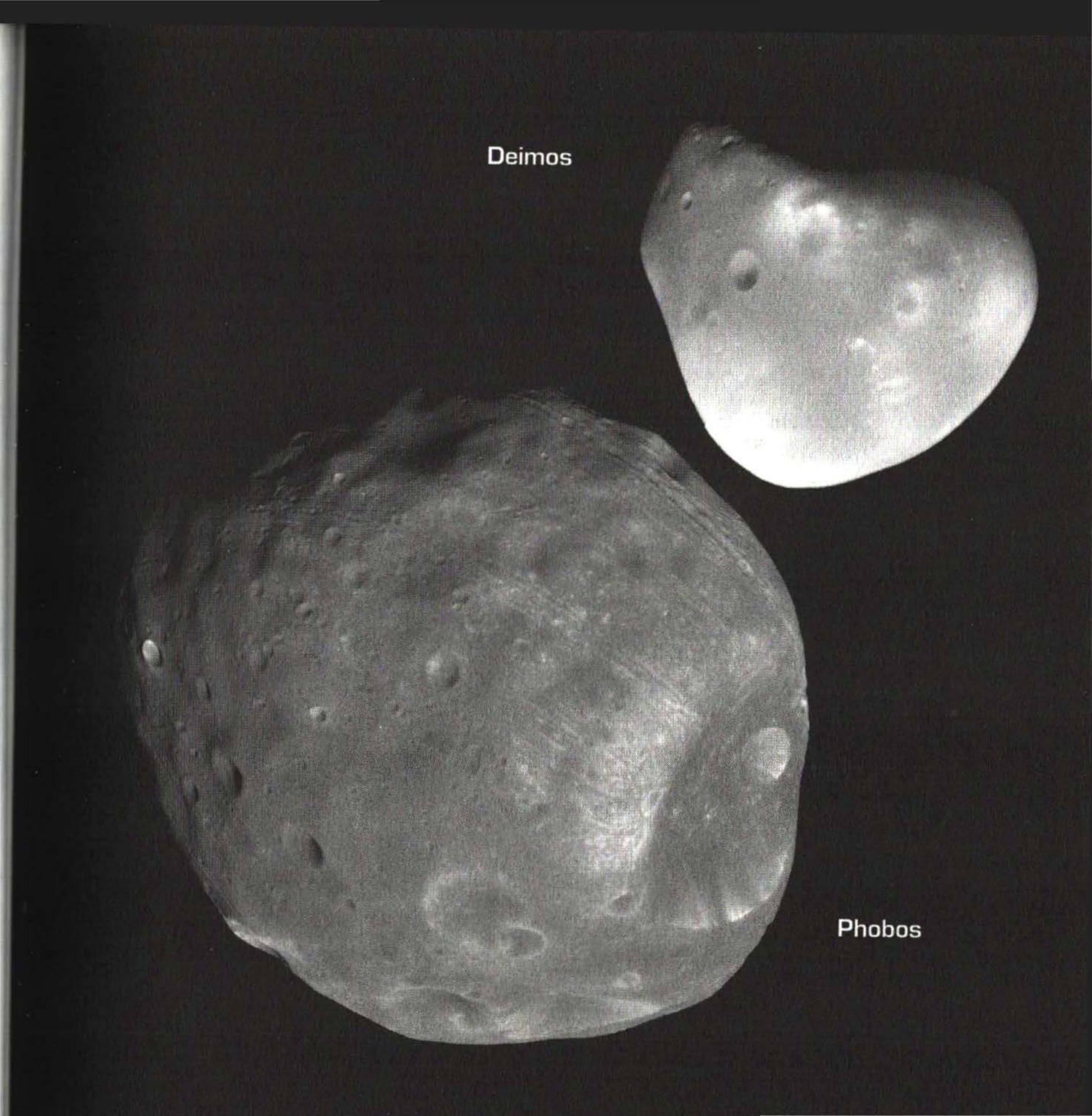


Güneş sistemindeki en büyük yanardağ olan Olympus Mons'un çapı yaklaşık 600 kilometredir (370 mil).

# Phobos ve Deimos

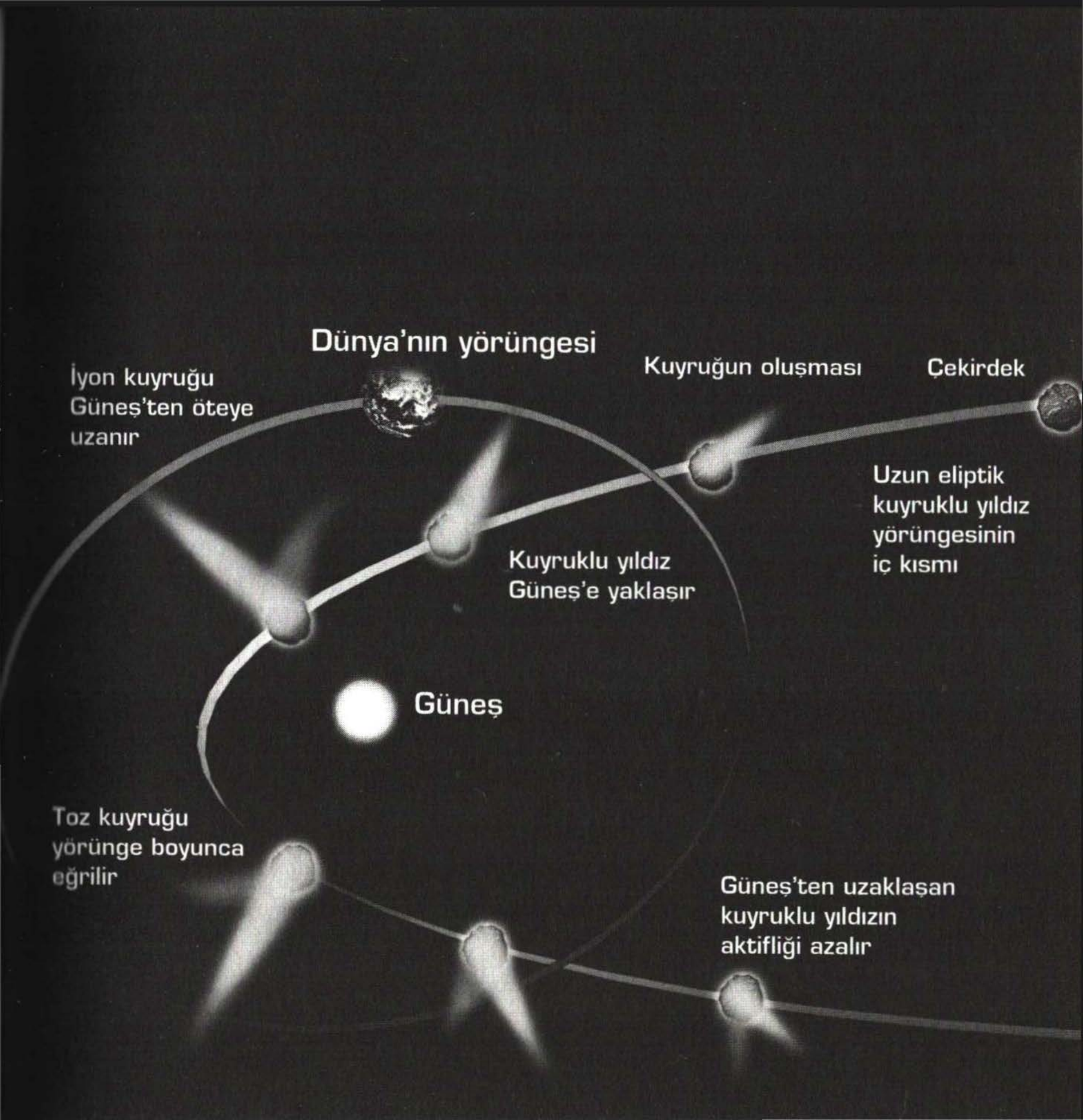
Mars'ın isimlerini Yunan savaş tanrısı Ares'in oğullarından alan iki küçük ayı vardır. Phobos 27 x 22 x 18 km (17 x 14 x 11 mil) boyutlarındadır ve bir Mars gününden daha kısa olan yörünge süresi sadece 7 saat 39 dakikadır. Merak uyandıran paralel çizgilerle kaplı yüzeyinde Stickney adlı büyük bir krater bulunur. Yörünge süresi 30 saat 19 dakika olan Deimos daha küçük ve uzaktır. Kraterlerle kaplı Phobos'un aksine, yoğun miktarda tozla kaplıymış gibi duran yüzeyi pürüzsüzdür.

Gök bilimciler önceden bu ayların Mars'ın yörüngesine takılan asteroitler olduğunu varsayıyordu, ama yakın geçmişteki hesaplamalar sadece bir tanesi için bile böyle bir olayın gerçekleşmesininbir dizi olağan dışı durumu gerekli kıldığını ortaya çıkardı. Diğer bir görüş ise, bu uyduların Dünya'nın Ay'ına benzer bir şekilde, gezegenin yüzeyinde gerçekleşen bir çarpışmadan fırlayan enkazın bütünleşmesiyle oluştukları yönündedir. Kesin olan nokta, Phobos'un gelgit etkileri yüzünden zamanla parçalanarak Mars yüzeyine yağacağıdır.


Deimos
Phobos

# Kuyruklu Yıldızlar

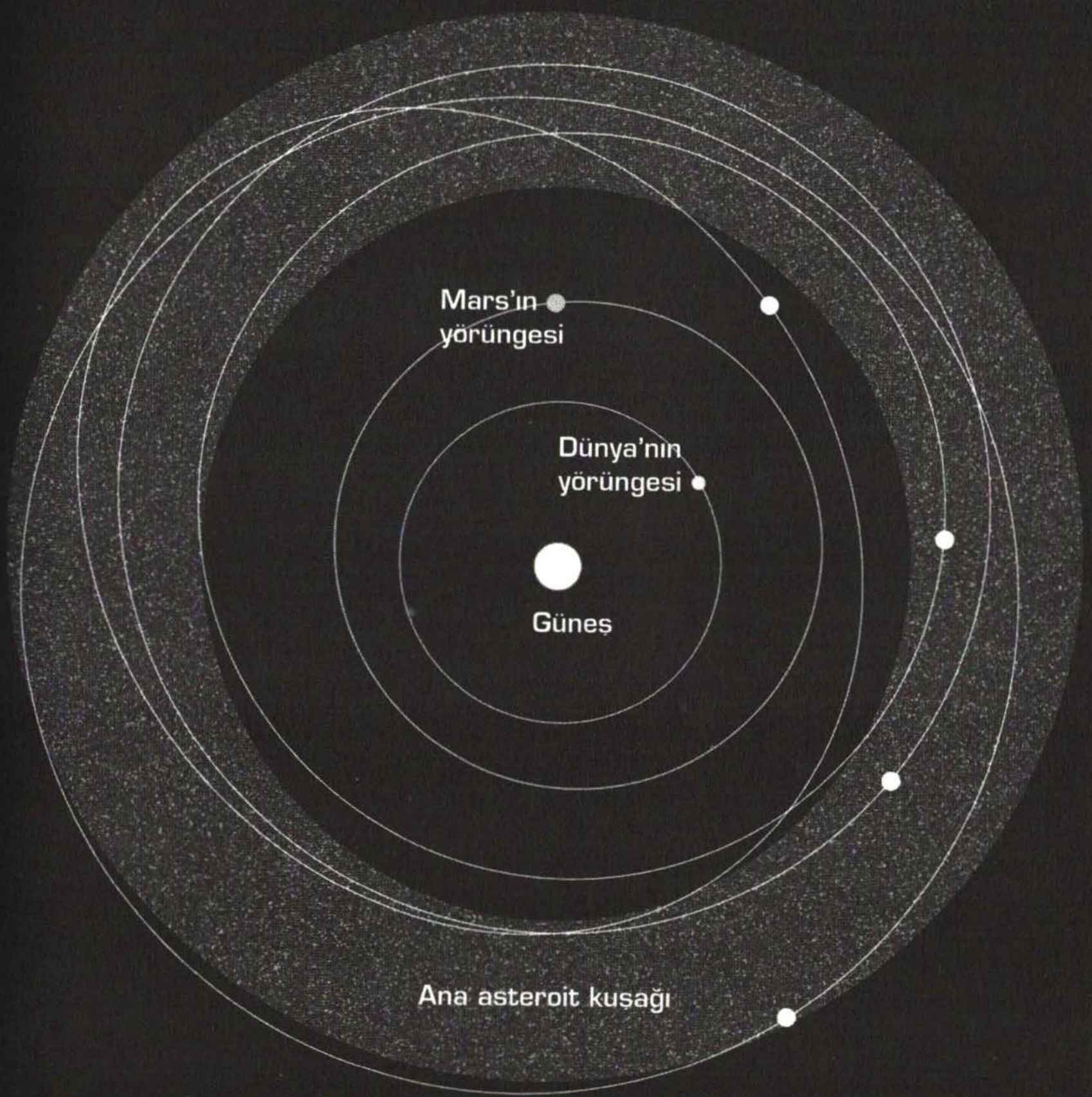
Kuyruklu yıldızlar Güneş sisteminin soğuk dış kısımlarındaki kalıntılardan oluşan buz yığınlarıdır ve ara sıra gökyüzümüzü görkemli bir şekilde ziyaret ederler. Normalde Kuiper Kuşağı ya da Oort Bulutu'nda bulunan yörüngeleri bir çarpışma ya da kütle çekimi sebebiyle bozulunca, elips şeklindeki dar yörüngelerde Güneş'e doğru kayabilirler. Bir kuyruklu yıldızın yörüngesini tamamlaması birkaç yüz, hatta bin yıl sürebilir; fakat Güneş sisteminin iç kısımlarındaki ve Güneş'in etrafındaki yolculuğu genelde sadece birkaç ay sürer. Bu "günberi geçişi" sırasında Güneş'in sıcaklığı kuyruklu yıldızın iç kısmını ısıtarak buzun buharlaşmasına ve yüzeyden püskürmesine neden olur. Bunun sonucunda katı "çekirdeğin" etrafında yalnızca birkaç kilometre genişliğinde, "kuyruklu yıldız saçı" denen devasa ama ince bir atmosfer oluşur. İyonlaşmış (elektrikle yüklü) gazlar ve Güneş rüzgârına yakalanmış tozlar radyasyon salıp yansıtarak parlar ve çekirdekten öteye doğru uçarak onun güzel görünümlü kuyruğunu oluştururlar. Güneş'in etrafında her bir dönüşü kuyruklu yıldızın buzunu biraz daha yakarak ömrünü kısaltır ve sonunda yok olmasına neden olur.


Dünya'nın yörüngesi
İyon kuyruğu
Güneş'ten öteye
uzanır
Kuyruğun oluşması
Çekirdek
Uzun eliptik
kuyruklu yıldız
yörüngesinin
iç kısmı
Kuyruklu yıldız
Güneş'e yaklaşır
Güneş
Toz kuyruğu
yörünge boyunca
eğrilir
Güneş'ten uzaklaşan
kuyruklu yıldızın
aktifliği azalır

# Ana Kuşaktaki Asteroitler

Mars ve Jüpiter'in yörüngeleri arasında Güneş sisteminin ana asteroit kuşağı bulunur: Bu, Jüpiter'in kütle çekimi etkisinin maddelerin bir araya gelerek beşinci karasal gezegeni oluşturmasını engellediği, kayalı kalıntılar içeren bir bölgedir. Burada birbirinden ayrı hâlde yörüngede dönen milyonlarca cisim olsa da, kütlelerinin toplamı Dünya'nın Ay'ının sadece yüzde dördüne yakındır. Bir zamanlar bölgeyi işgal eden kayalı kalıntıların büyük bir kısmı Güneş sisteminin erken döneminde Jüpiter ile etkileşime girerek etrafa fırlatılmışlardır. Geriye kalan asteroitlerin yaklaşık iki yüz tanesinin çapı 100 km'den (61 mil) büyüktür fakat kuşağın toplam kütlesinin yarısından fazlasını diğerlerine kıyasla büyük olan dört cisim (cüce gezegen Ceres ile 4 Vesta, 2 Pallas ve 10 Hygiea asterotileri) oluşturur.

Ana kuşaktaki asteroitler Güneş'in etrafında farklı dış merkezlikleri ve eğiklikleri olan çeşitli yörüngeler çizerler ama "Kirkwood boşlukları" denen bazı belirgin yörüngeler boştur. Burada Jupiter'in kütle çekiminin tekrar eden etkisi bir asteroidi hâlâ kuşağın dışına iterek Dünya'ya yakın bir cisme dönüştürebilir.


Mars'ın
yörüngesi
Dünya'nın
yörüngesi
Güneş
Ana asteroit kuşağı

# Ceres

950 km'lik (590 mil) çapıyla asteroit kuşağının açık ara en büyük sakini olan Ceres, 2006'dan bu yana resmî olarak bir cüce gezegen olarak sınıflandırılmaktadır. Cüce gezegen, Güneş'in etrafında bağımsız bir yörüngesi olan, küre şeklini almasını sağlayan kütle çekimi diğer cisimleri yörüngesinin etrafından uzaklaştırmaya yetmeyen cisim olarak tanımlanır.

Uzun süre büyük bir kaya parçasından başka bir şey olmadığı düşünülmüş olsa da, Ceres'in gezegen statüsünü hak ettiğini destekleyen delillerin sayısı artmaktadır. Hubble Uzay Teleskobu'ndan gelen görüntüler belirgin kızıl bir yüzeye ve yüzey suyu olduğu düşünülen parlak lekelere sahip olduğunu göstermiş, spektroskobik çalışmalar su buharı içerme potansiyeline sahip ince bir atmosferinin olduğunu ortaya koymuştur. Ceres'te beklenmedik miktarda buz bulunduğuna şüphe yoktur. Hatta bazı araştırmacılar Ceres'in yüzeyinin altında Jüpiter'in ayı Europa'dakine benzer, sıvı sudan oluşan gizli bir okyanus olduğu yönünde spekülasyonda bulunmuşlardır.



# Vesta

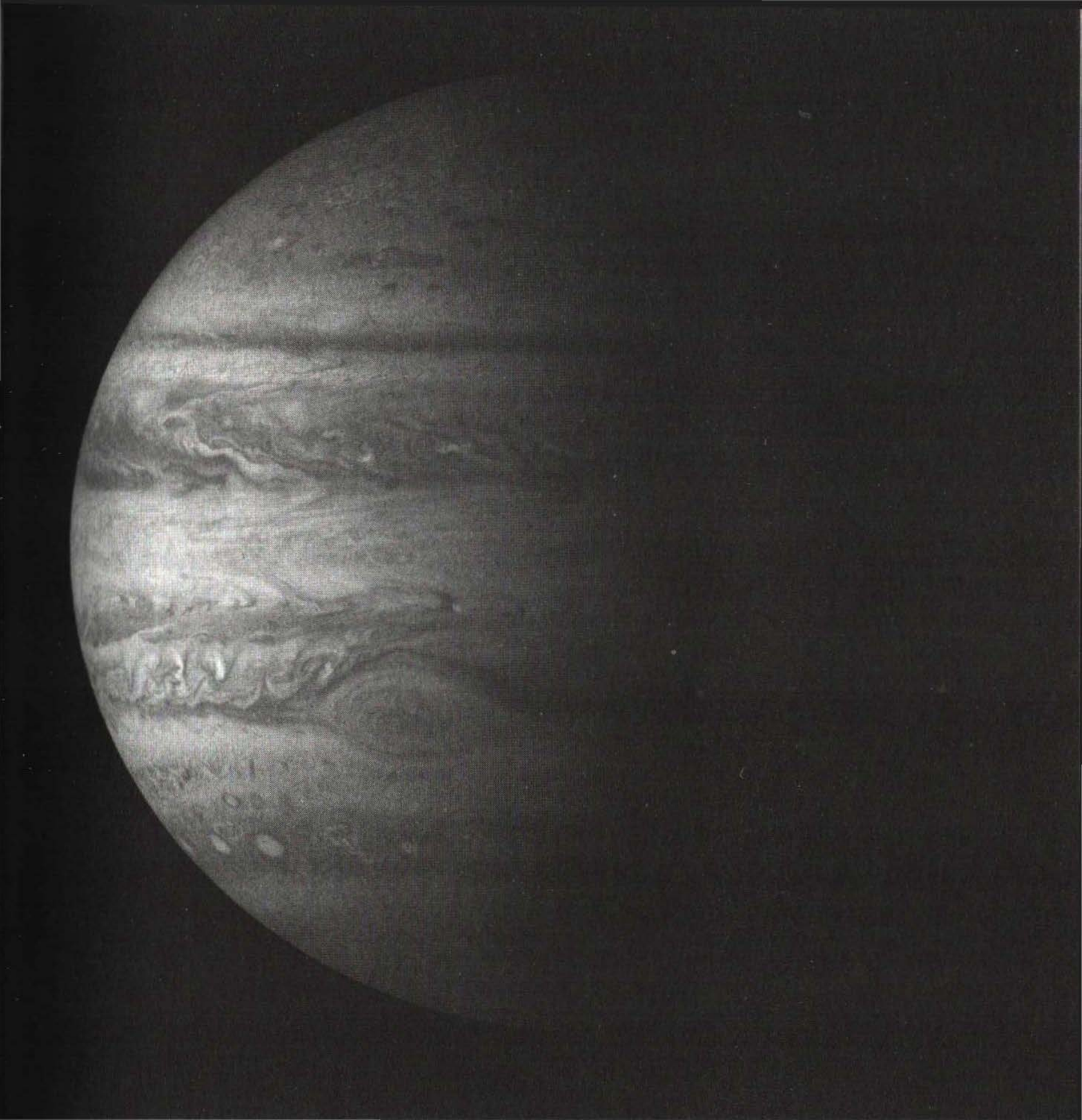
Resmî isminden de anlaşıldığı üzere Vesta keşfedilen dördüncü asteroit olsa da (1807), asteroit kuşağının en parlak üyesidir ve genelde çıplak gözle görülebilir. Genişliği 525 km'dir (326 mil) ve güney kutbunun büyük bir kısmını oyan Rheasilvia adlı devasa çarpma krateri olmasa küre şeklini alacak kadar büyük olabileceği söylenebilir.

NASA'nın Dawn (Şafak) uzay sondası tarafından bir yıl boyunca gözlemlenen Vesta'nın demirden bir çekirdeğe sahip, farklılaşmış bir iç yapısının bulunduğu ve uzak geçmişinde jeolojik açıdan aktif olduğu iddia edildi. Güneş sisteminin tarihinin başlarında Vesta benzeri birçok asteroit oluştu ama çoğu ya ana kuşağın dışına atıldı ya da çarpışmalar yüzünden parçalandı. Uzmanlar bunların iç kısımlarının çeşitli bölümlerine ait parçaların, kesin olarak Vesta'nın yer kabuğuyla ilintili olduğu sonucuna varılan bazı demir, taş ve taşlı-demir gök taşlarının Dünya'da birikmesine neden olduğuna inanıyorlar.



# Jüpiter

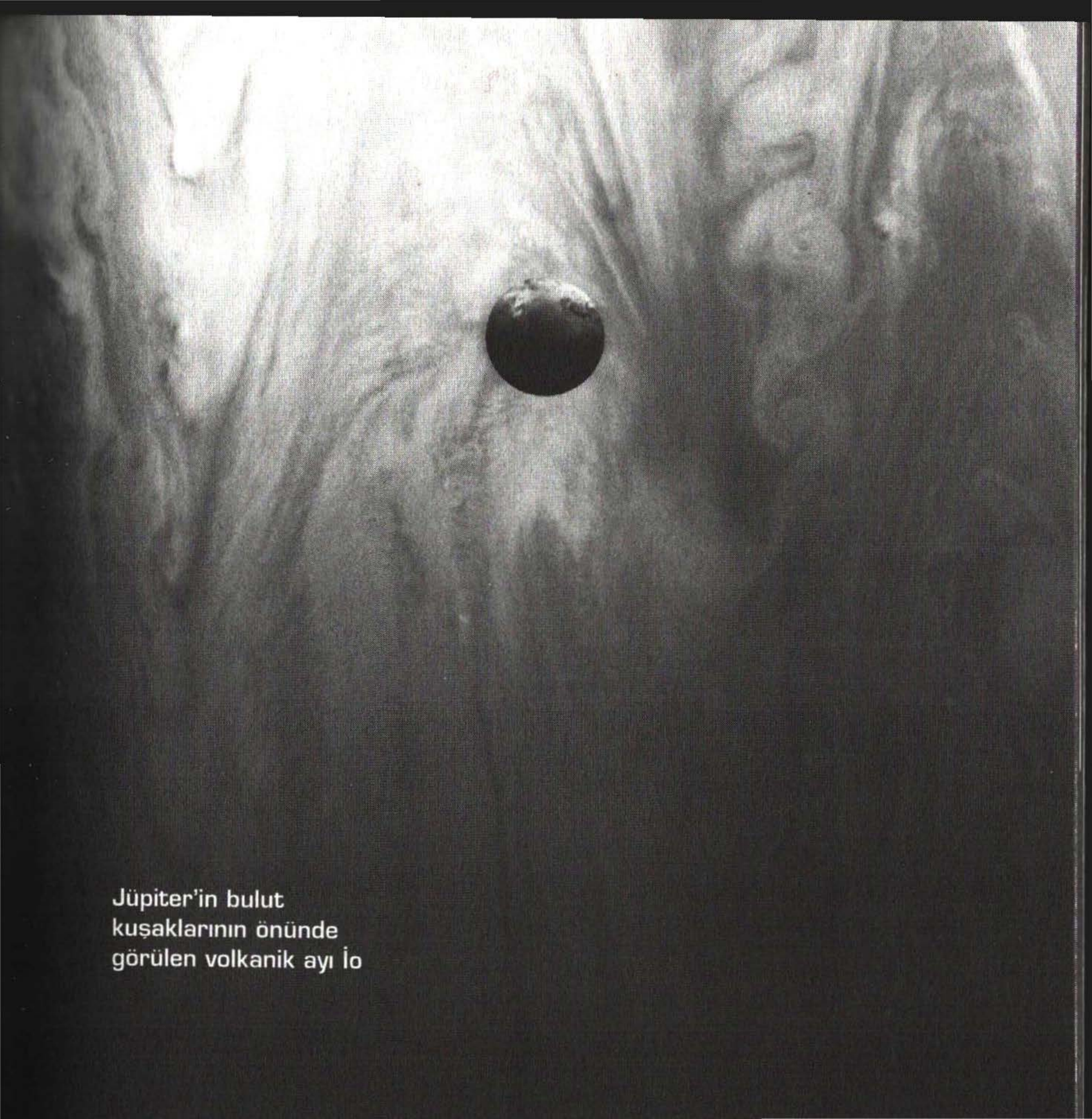
Güneş sistemindeki en büyük gezegen olan Jüpiter diğer gezegenlerin hepsini rahatça kapsayacak kadar geniştir. Yaklaşık Dünya boyutlarındaki katı çekirdeğinin etrafı yüzeyin yaklaşık 1000 km ya da 600 mil altında sıkışarak sıvı hâl almış devasa bir hidrojen gazı örtüsüyle çevrili olan Jüpiter bir gaz devi gezegenidir. Sıvı hidrojen en derinlerde atomlara ayrılarak elektrik iletebilen "sıvı metal" bir form alır. Bu tabakada girdap gibi dönen akıntılar varlığı Satürn'den bile hissedilen güçlü ve geniş bir manyetik alan yaratırken, gezegenin muazzam kütle çekimi etkisi sayesinde iç tabakalarının yavaşça yoğunlaşması Jüpiter'in Güneş'ten aldığı kadar ısı yaymasına neden olur. Fakat uzaktan bakıldığında gezegenin en dikkat çekici özelliği açık renkli "bölgeler" ve koyu "kuşaklar" diye geniş bölümlere ayrılan ekvatora paralel, renkli hava durumudur. Güney yarıkürede bulunan Büyük Kırmızı Leke adlı dev fırtına Dünya'nın iki katı büyüklüğünde bir çapa sahiptir ve yaklaşık iki asırdır devamlı gözlemlenmektedir.



# Jüpiter Sistemi

Jüpiter'in güçlü kütle çekimi alanı uzayda büyük bir bölgeye hükmeder ve gezegeni en az altmış yedi ayı kapsayan bir sistemin merkezine koyar. Bunların sekizinin Jüpiter'in oluşumundan sonra yörüngede kalan maddelerden oluştuğu düşünülen "doğal"' uydular, geri kalanının ise gezegenin oluşumundan sonraki milyarlarca yıl boyunca Jüpiter'in etrafında yörüngeye takılan ufak gezegenler olarak bilinen "düzensiz ay"lar olduğu düşünülür. Bu düzensiz ayların çoğu daha büyük öncül gezegenlerin parçalanmasıyla bağlantılı dört ana gruptan birine aittir. Bu grupların her biri orta büyüklükte bir uyduyu (Himalia, Carme, Anake ve Pasiphae) ve benzer yörüngelerdeki daha küçük cisimleri içerir.

Doğal uydular iki gruba ayrılır: dört küçük iç uydu (Metis, Adrastea, Amalthea ve Thebe) ve dört tane gezegen boyutunda "Galilei uydusu" (Io, Europa, Ganymede ve Callisto). İç ayların yüzeylerine mikrometeoritlerin çarpması sonucunda fırlayan maddeler Jüpiter'in etrafında yörünge çizerek Dünya'dan görünmeyen ince, tozdan oluşan bir halka sistemi meydana getirirler.



Jüpiter'in bulut
kuşaklarının önünde
görülen volkanik ayı İo

# İo

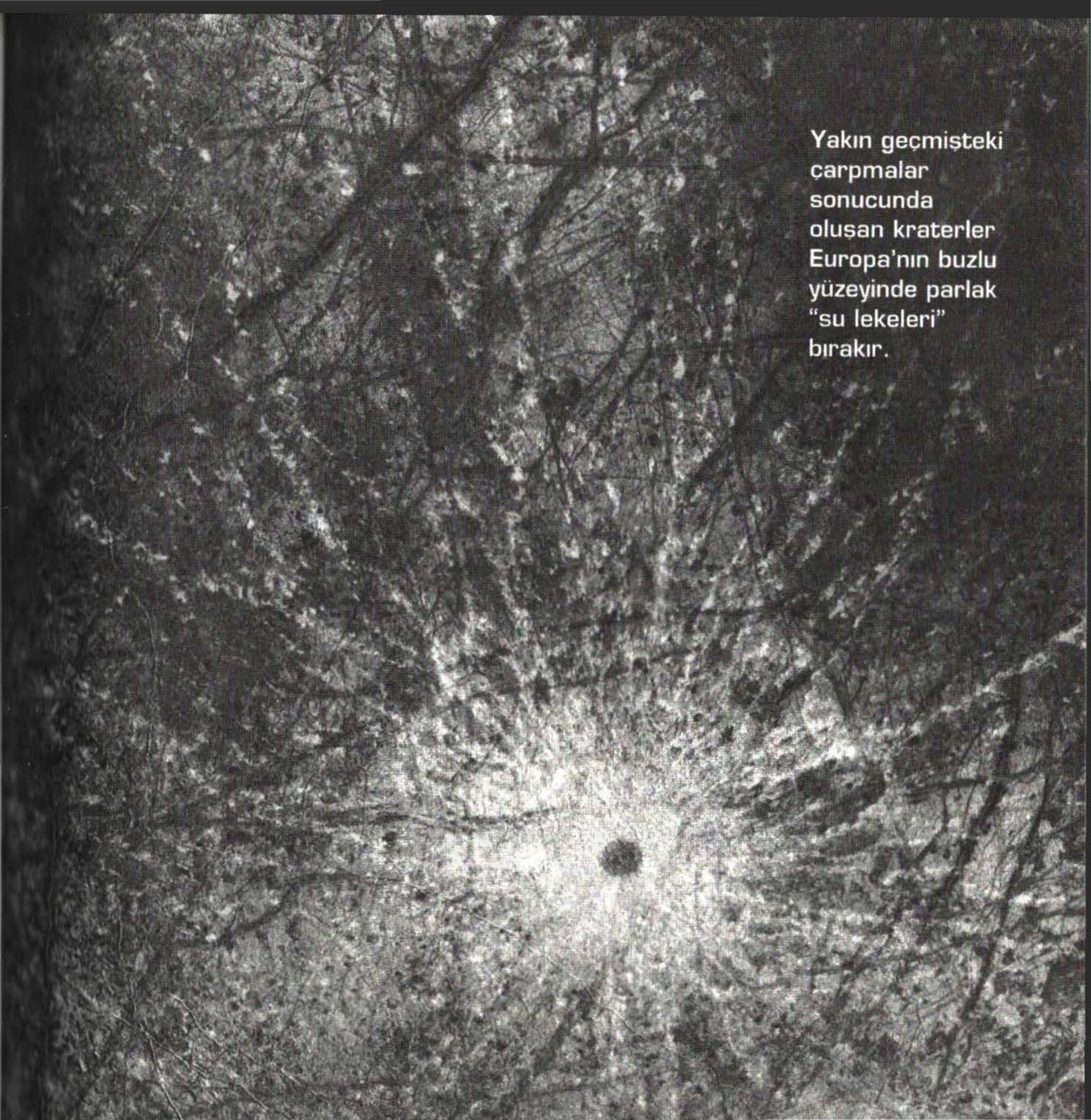
Jüpiter'in Galilei aylarından en iç kısımdaki İo, Jüpiter'in etrafında yalnızca 42,5 saatte döner ve gezegene o kadar yakındır ki, Jüpiter'in manyetik alanında sürekli tehlikeli radyasyona maruz kalır. Ayrıca bir tarafta dev gezegenin, diğer tarafta da dış komşuları Europa ve Ganymede'nin olduğu gelgit çekişmesinin ortasında kalır. Bu gelgit etkileri İo'nun bol kükürtlü kayalarının muazzam ölçüde ısınmasına neden olarak eriyik magma cepleri oluşturur ve bunların yüzeyde patlaması sonucunda İo, Güneş sisteminin volkanik olarak en aktif dünyası hâline gelir. Dev sıvı kükürt ve kükürt dioksit dumanları yüzeyden 500 kilometreye (300 mil) kadar yükseldikten sonra aşağıya düşerek etrafı kırmızı, turuncu, beyaz ve sarı kükürt bileşikleriyle kaplar. Ayın başka bir noktasında eriyik kükürt volkan ağızlarından doğrudan yeryüzüne sızarken, yüzeyde biriken maddelerin toplam ağırlığı yer kabuğunun bazı noktalarını bükerek yüksek sıradağların oluşmasına neden olur. Tüm bu faaliyetler İo'nun çukurlarla kaplı yüzeyinin sürekli evrildiği ve çok az özelliğinin birkaç on yıldan fazla sağlam kaldığı anlamına gelir.



# Europa

Galilei aylarının ikincisi ve en küçüğü Europa belki de en ilgi çekici olanıdır. Uzaktan bakıldığında Europa dikkat çekici ölçüde pürüzsüz, parlak, beyaz bir buz topu gibi görünür ama yakınlaştırılmış görüntüler soluk çapraz çizikleri ve çok az çarpma krateri olduğunu ortaya koyar. Bu özellikler Europa'nın yüzeyinin sık sık yenilendiğine işaret eder.

Europa'nın Io ve Ganymede arasındaki yörüngesi, onun da Io'yu şekillendiren gelgit ısısına maruz kalmasına neden olur, fakat çok miktarda su buzu barındırdığı için ısının farklı bir etkisi olur: Ay, kayalık çekirdek ve buzlu yer kabuğu olarak, aralarında derin bir sıvı su okyanusu bulunacak şekilde ayrılmıştır. Çekirdeğin gelgit ısısı okyanusun sıcak kalmasını sağlarken, yüzeyin esneyip çatlaması tatlı suyun ya da eriyen buzun aşağıda birikerek yükselmesine ve bazen yüzeyden yüksekte yay çizerek fışkırmasına neden olur. Deniz altı volkanlarının okyanusa kimyasallar pompaladığı düşünülen Europa, bu yönüyle belki de Güneş sisteminde yaşam için en elverişli yer olabilir.

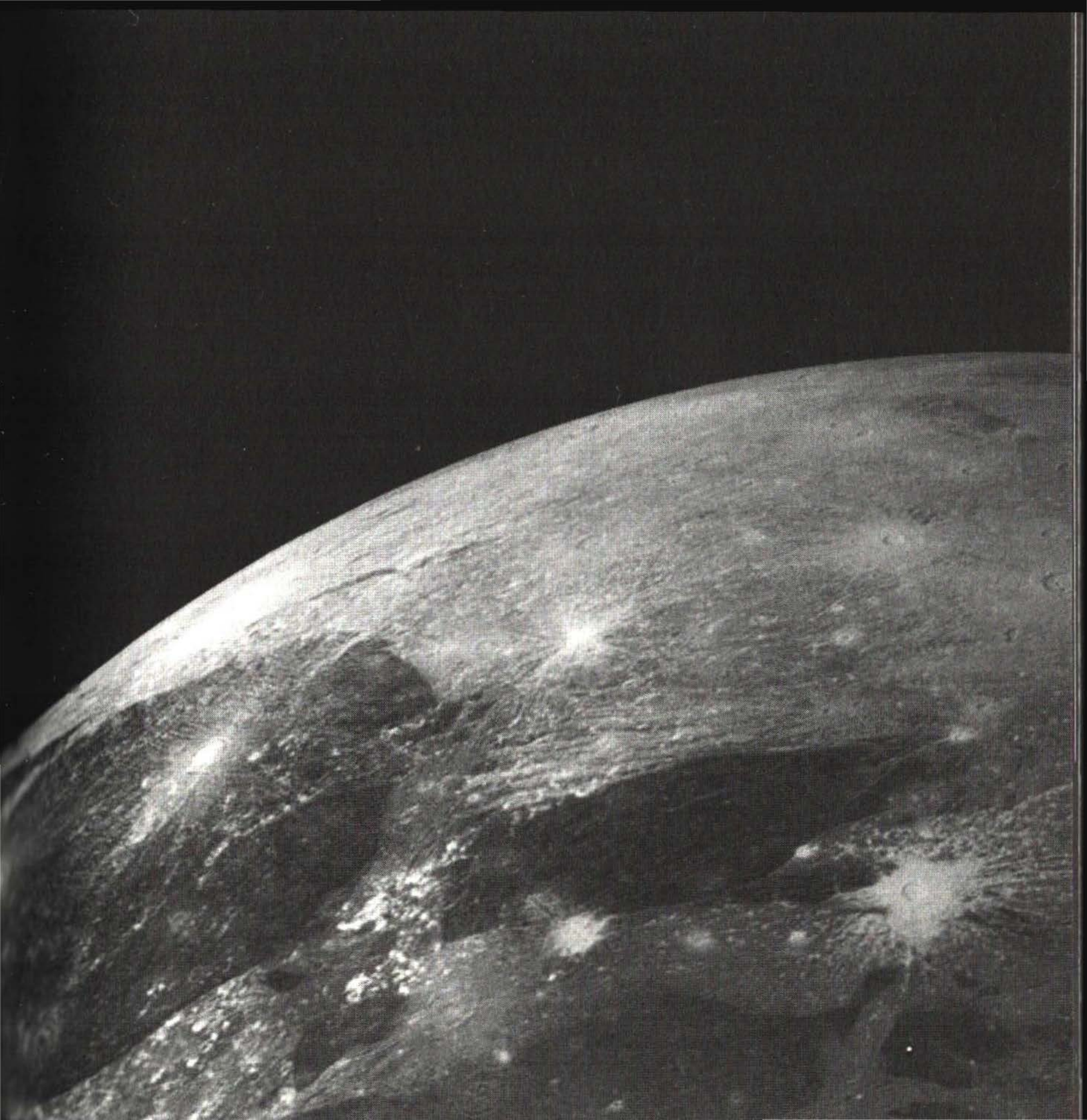


Yakın geçmişteki çarpmalar sonucunda oluşan kraterler Europa'nın buzlu yüzeyinde parlak "su lekeleri" bırakır.

# Ganymede

Güneş sistemindeki en büyük ay olan Ganymede kendine ait güçlü bir manyetik alana sahip tek uydudur ve bu özelliği hâlâ ciddi miktarda eriyik demir içeren çekirdeğini oluşturmak için tamamen ayrılmış bir iç kısma sahip olduğunu akıllara getirir. Manyetik bulgular ayrıca yüzeyin 200 km (125 mil) altında bir tuzlu su okyanusu katmanı olduğuna dikkat çeker. Bu arada kabuğunun iki tip araziye sahip alacalı bir görüntüsü vardır: Kraterlerle dolu koyu, eski bölgeler çoğunlukla paralel olarak girintiler ve çıkıntılar hâlinde oluşmuş daha az kraterli, açık renkli (ve bu yüzden daha yakın zamanda oluşmuş) alanlarla birbirinden ayrılırlar.

Bu dev ay, iç kısımlardaki komşuları Io ve Europa'nın aksine günümüzde güçlü gelgit etkilerine maruz kalmasa da bir zamanlar kaldığına dair deliller vardır. Ganymede'nin oluşumundan arta kalan ısıyla birleşen gelgit kuvvetleri Dünya'daki levha tektoniğine benzer buzlu yapıyı hareket ettirerek kabuğun daha eski ve koyu alanlarının birbirinden ayrılmasına ve boşlukları doldurmak için buralarda taze bir kaya-buz karışımının birikmesine neden olmuştur.



# Callisto

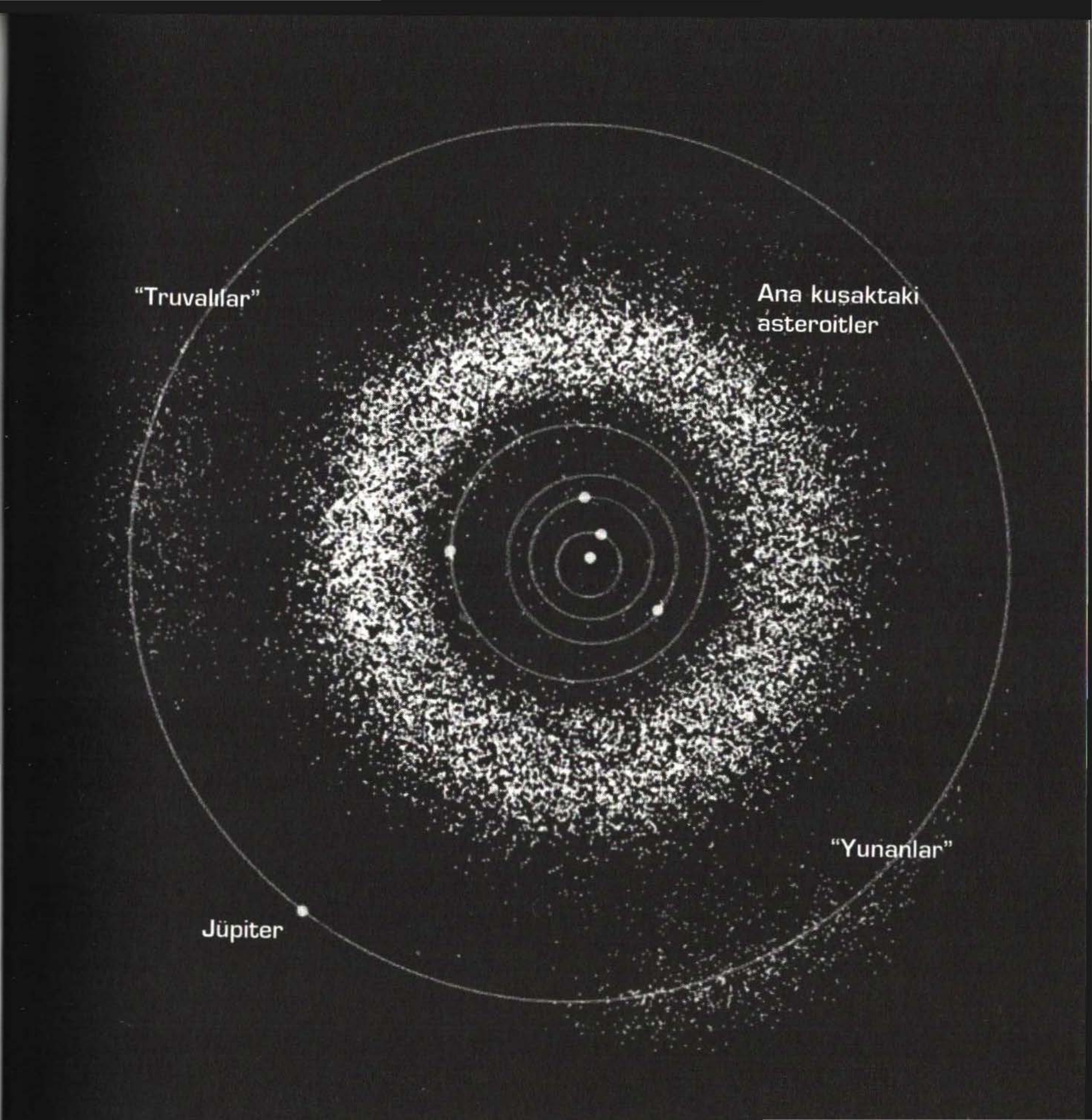
Jüpiter'in en dıştaki uydusu ve en büyük ikinci Galilei ayı olan Callisto, iç kısımdaki komşularından çok farklıdır. Karanlık yüzeyi sayısız kraterle doludur; bunların en yakın tarihlisi çevreye parlak buz ışınları püskürtmüştür. Jüpiter'den gelgitlerden etkilenmeyecek kadar uzak olan Callisto'nun iç kısmı farklı tabakalara ayrılmadığı için büyük ölçüde belirleyici özelliği olmayan bir kaya ve buz karışımı olarak kalmıştır (fakat yüzeyin derinliklerinde bir tuzlu su okyanusu katmanı olduğuna dair bulgular vardır). Bunun sonucunda ayın yüzeyi hiç yeniden şekillenmemiş, yalnızca Güneş'in tuhaf aşındırıcı gücüne ve Jüpiter'in güçlü kütle çekimine kapılan gök taşlarının devamlı bombardımanına maruz kalarak biçimlenmiştir. Güneş rüzgârındaki parçacıklar yüzeyi yavaş yavaş karartan kimyasal tepkimelere neden olurken, kaya-buz karışımdaki buzun zayıf radyasyonundan yayılan ısı tarafından süblimleştirilmesi krater duvarlarının aşınmasına ve sivri tepelerden oluşan sıradağlara dönüşmesine neden olur. Bu yüzden bazılarının Callisto'ya Güneş sistemindeki en kraterli cisim demesi şaşırtıcı değildir.



# Truvalı Asteroitler

Gök bilimciler Jüpiter'in yirminci yüzyılın başlarından itibaren yörüngesini birkaç bin (son sayıma göre yaklaşık altı bin) asteroitle paylaştığının farkındalar. Bu ufak cisimler, komşularının güçlü kütle çekiminin tehlikeli etkisinden, yörüngelerini Jüpiter'in önünde ve arkasında 60 derecelik açılar yapan kümeler hâlinde çizerek kurtulurlar. Bu Lagrange noktaları, Güneş'in etkisinin Jüpiter'inkini sıfırlayarak sabit bir yörünge oluşturduğu, kütle çekiminin "tatlı noktalarıdır" (en etkili noktaları).

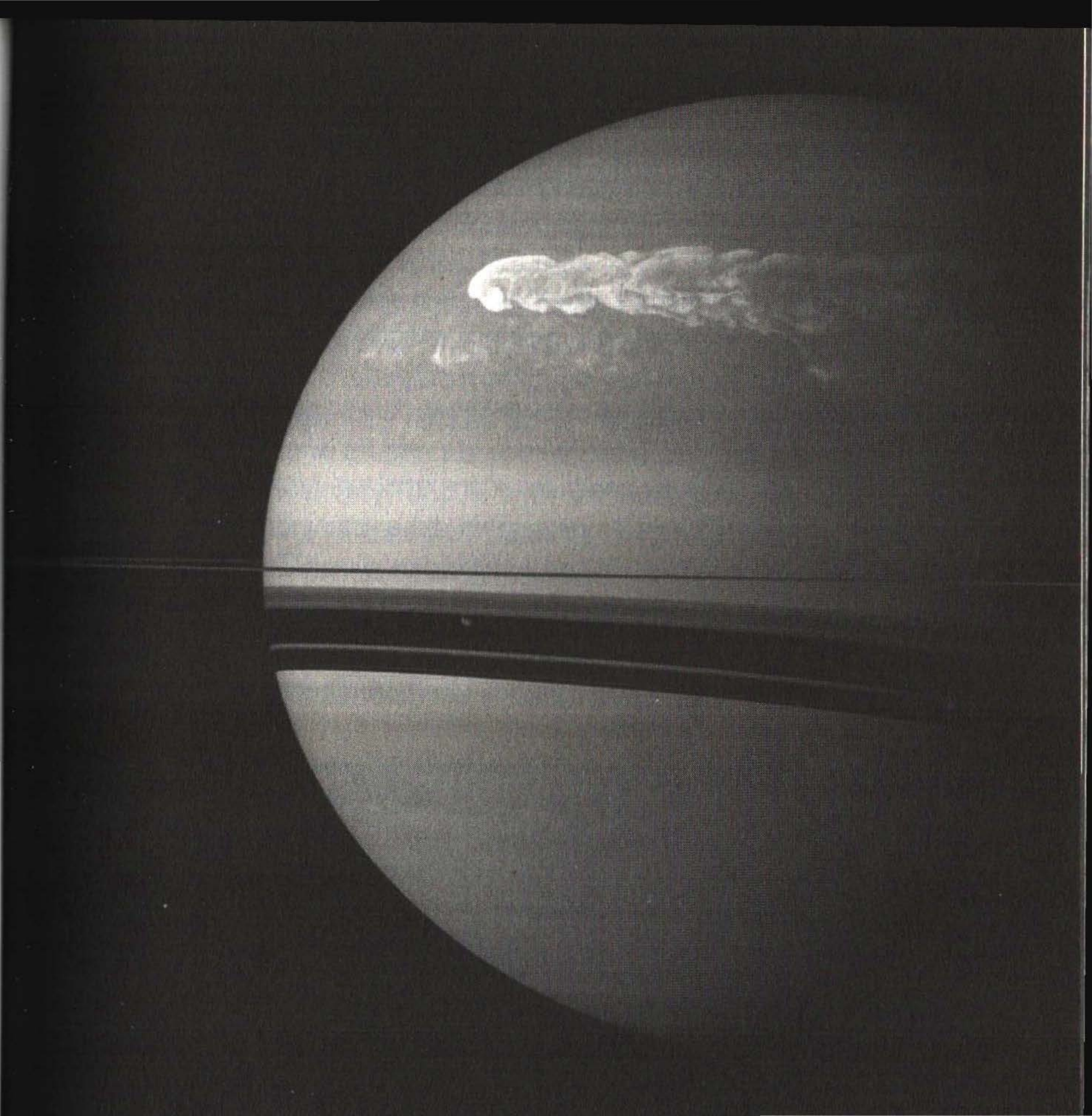
Bu iki kümedeki asteroitler isimlerini geleneksel olarak mitolojik Truva Savaşı'nın taraflarındaki askerlerden alırlar ve yarısı Yunan tarafındakileri temsil etse de toplu olarak Truvalılar diye bilinirler. Bu tür bir yörüngedeki tüm cisimler Truvalı olarak anılmaya başlandığı için Mars, Uranüs ve Neptün'ün de kendilerine ait Truvalı asteroitleri vardır. Dünya'nın ilk Truvalısı olan 2010 $TK_7$ 2011'de tanımlanmıştır. Satürn'ün ayları Tethys ve Dione de kendi yörüngelerini Truvalı uydularla paylaşırlar.


"Truvalılar"
Ana kuşaktaki asteroitler
"Yunanlar"
Jüpiter

# Satürn

Satürn eski çağlarda çıplak gözle görülebilen gezegenlerin en uzakta olanı ve Güneş sisteminin en büyük ikinci gezegenidir. Fakat Jüpiter'in hacminin neredeyse yüzde altmışına, buna karşılık kütlesinin üçte birinden azına sahiptir ve bu nedenle Güneş sisteminde yoğunluğu en az olan gezegendir (Satürn'ün yoğunluğu sudan düşüktür). Gaz, sıvı ve metalik formlarda yoğun miktarda hidrojen barındıran, çekirdeği ufak bir gaz devi olan Satürn bu yönleriyle Jüpiter'e çok benzer.

Ancak Satürn'ün dış görünüşü, Güneş'ten uzak ve yoğunluğu az olduğu için üst atmosferinin sıcaklığının düşük olması nedeniyle epey farklıdır. Bu durum yüksek irtifalardaki krem beyazı amonyak bulutlarının gezegeni sarmasına ve aşağıdaki derin bulut kuşaklarının renklerini çoğunlukla bastırmasına neden olur. Satürn'ün, Jüpiter'deki Büyük Kırmızı Leke'ye benzer eskiden kalma bir coğrafi özelliği olmasa da, kutuplarında büyük girdaplar ve kuzey yarıküresinde yazın orta enlemlerde düzenli olarak kopan devasa beyaz fırtınalar vardır.



# Satürn'ün Halkaları

Dev gezegenlerin hepsinin halka sistemleri vardır ama Satürn'ünki bunların arasında açık ara en görkemli olandır. Halkalar ilk 1610'da gözlemlenmiş fakat mahiyetleri İskoç fizikçi James Clerk Maxwell tarafından 1859'da izah edilmiştir.

Halkalar uzaktan bakıldığında geniş ilmeklere ayrılmış gibi gözükür: Bunlar parlak A ve B halkaları ile gezegenin daha yakınındaki soluk C ve D halkaları ve sairedir. Halkaları birbirinden ayıran Cassini, Encke bölümleri gibi karanlık boşluklar bulunur. Ama yakından bakıldığında halkaların çok sayıda ince halkacıklardan oluştuğu ve bunların her birinin Satürn'ün ekvatorunun üstünde dar bir



düzlemde tam daire çizen (birbirlerine çarpmamak için), birbirinden bağımsız milyonlarca halka parçacığı içerdiği anlaşılmıştır. Büyük halkaların görünüşlerindeki farklılığın sebebi içlerindeki parçacıkların boyut ve görünüşlerindeki farklılıklardır: A ve B halkalarında ev boyutundaki büyük parçalar, C boyutundaki santimetrik parçacıklar ile D ve E halkalarındaki minik tanecikler arasında değişim gösterir.

Halkaların nasıl oluştuğunu açıklamayı amaçlayan çeşitli teoriler vardır. Bunların en popüler olanlarından biri, halkaların bir kuyruklu yıldızın veya küçük, buzlu bir ayın görece yakın tarihteki parçalanması sonucu oluştukları ve zamanla aşınarak Jüpiter, Uranüs ve Neptün'ün etrafındaki halkalar gibi seyrek bir görünüşe sahip olacakları yönündedir. Fakat halkaları oluşturan maddelerin aslında çok eskiden kalma olduklarına ve canlı görünümlerini tekrar eden çarpışmalar sayesinde koruduklarına dair deliller de vardır.



# Satürn Sistemi

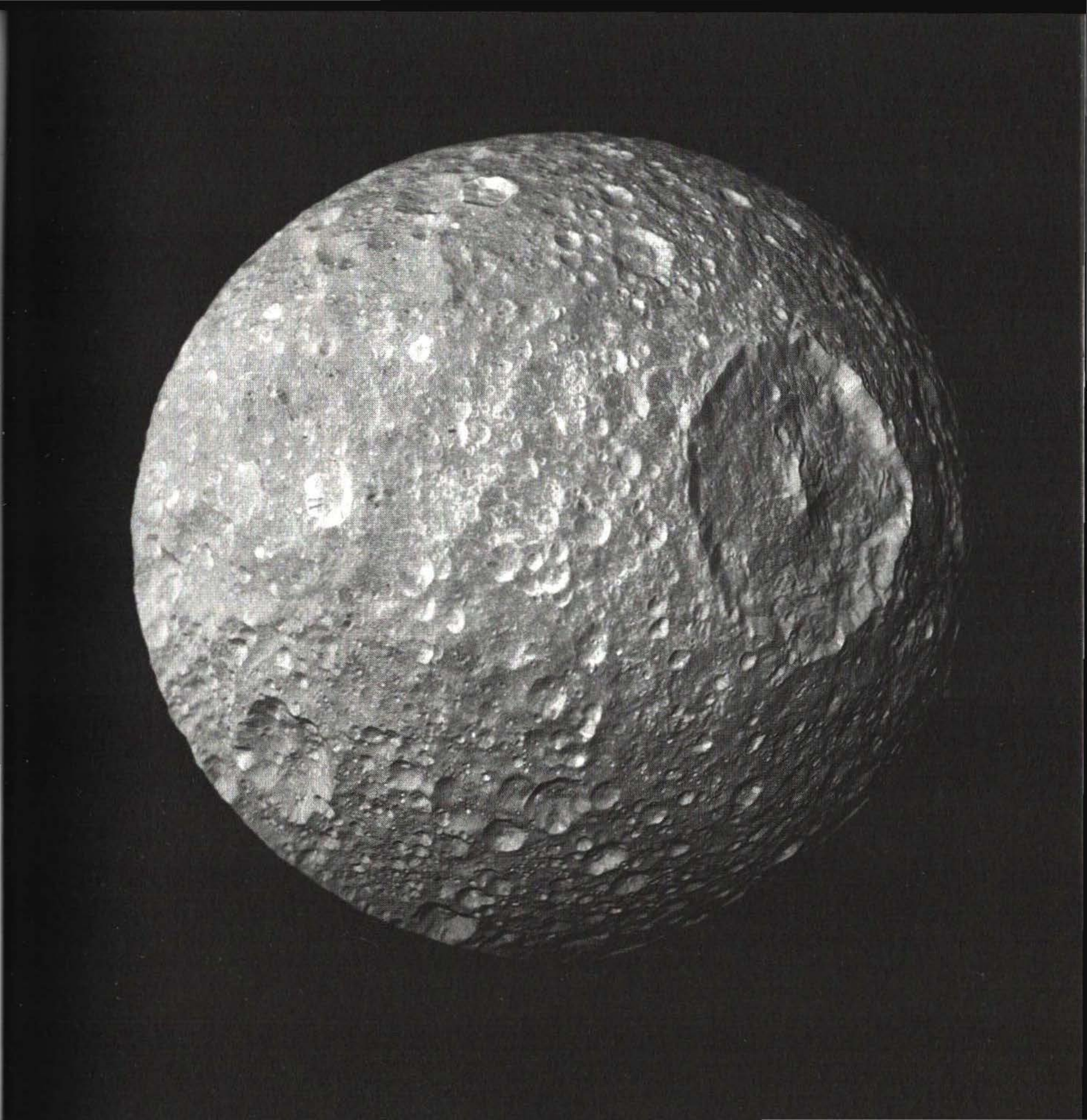
Bilinen altmış iki farklı uydusu ve halkalarının içinde veya etrafında yörünge çizen bir sürü ufak ayı olan Satürn'ün ay sistemi Jüpiter'inkiyle boy ölçüşecek seviyededir. Bilinen ayların yaklaşık kırk dördü düzensizdir. Bunlar Satürn'den uzakta gruplar hâlinde yörünge çizen ve daha büyük cisimlerin parçalanması sonucu oluştukları düşünülen asteroit veya kuyruklu yıldızlardır. Daha yakındaki diğer on sekiz uydu Satürn'ün kendi oluşumundan arta kalanlardan oluşan doğal aylardır. Bu aylar genelde Jüpiter'in Galilei aylarından daha buzludur ve boyutları birbirlerine göre daha orantısızdır. Bütün sisteme hükmeden dev uydu Titan'ın en büyük komşuları bile yanında cılız kalır. Satürn'e yakın yörünge çizen birçok ufak cisim "çoban ay" işlevi görür. Bu cisimlerin yer çekimsel etkileri halka parçacıklarını belirli yörüngelere doğru güder ve bazen çarpışmalar sonucu yüzeylerinden kopan buz parçacıklarını halkalara ekler. Bu sırada dış kısımdaki büyük ayların yer çekimsel etkileri halka sisteminde parçacıkların sabit yörünge kuramadıkları aralıklar açar.



# Mimas

Yalnızca 400 km'lik (250 mil) çapıyla Mimas, Satürn'ün büyük doğal uydularından en iç kısımda olanıdır. Kısmen yüksek oranda buz içerdiği için kendisini küre şekline sokmaya yetecek kütle çekimine sahiptir ve Güneş sistemindeki en küçük cisimdir. 130 km'lik (80 mil) Herschel kraterinin varlığından dolayı bu bol kraterli dünyanın *Yıldız Savaşları* serisindeki *Ölüm Yıldızı* uzay istasyonuna inkâr edilemez bir benzerliği vardır. Bu krater, herhangi bir çarpmanın hedef cismin bütünlüğünü tehdit etmeden olabileceği en büyük boyutu gösterir; Satürn'ün halkalarının nasıl oluştuğuna dair teorilerden biri, bunların diğerleri kadar şanslı olmayan buzul bir ayın yok olması sonucu meydana geldikleri yönündedir.

Araştırmacılar, Mimas'ın yüzeyinin genel olarak kraterlerle kaplı olmasına rağmen bölgeler arası krater yoğunluğunda farklılıklar tespit etmişlerdir. Bu da ayın erken dönemlerinde büyük olasılıkla sulu kaya-buz karışımlı "kriyovolkanik" patlamalar nedeniyle bazı bölgelerin yüzeylerinin yeniden şekillendiğine işaret eder.



# Enceladus

Satürn'ün en büyük ikinci ayı, iç komşusu Mimas'tan az daha büyüktür ama diğer yönleriyle onunla taban tabana zıttır. Enceladus'un yüzeyi parlak beyazdır ve güney kutbunun çevresindeki derin yarıklardan püsküren gayzere benzer dev buz kristali dumanları çevreye kar olarak yağarak alttaki kraterlerin görünüşünü yumuşatır. Buzun tamamı ayın kütle çekimi tarafından hapsedilmez; büyük bir miktarı kaçar ve Satürn'ün etrafında yörüngeye girerek *simit* şeklindeki soluk E halkasını oluşturur.

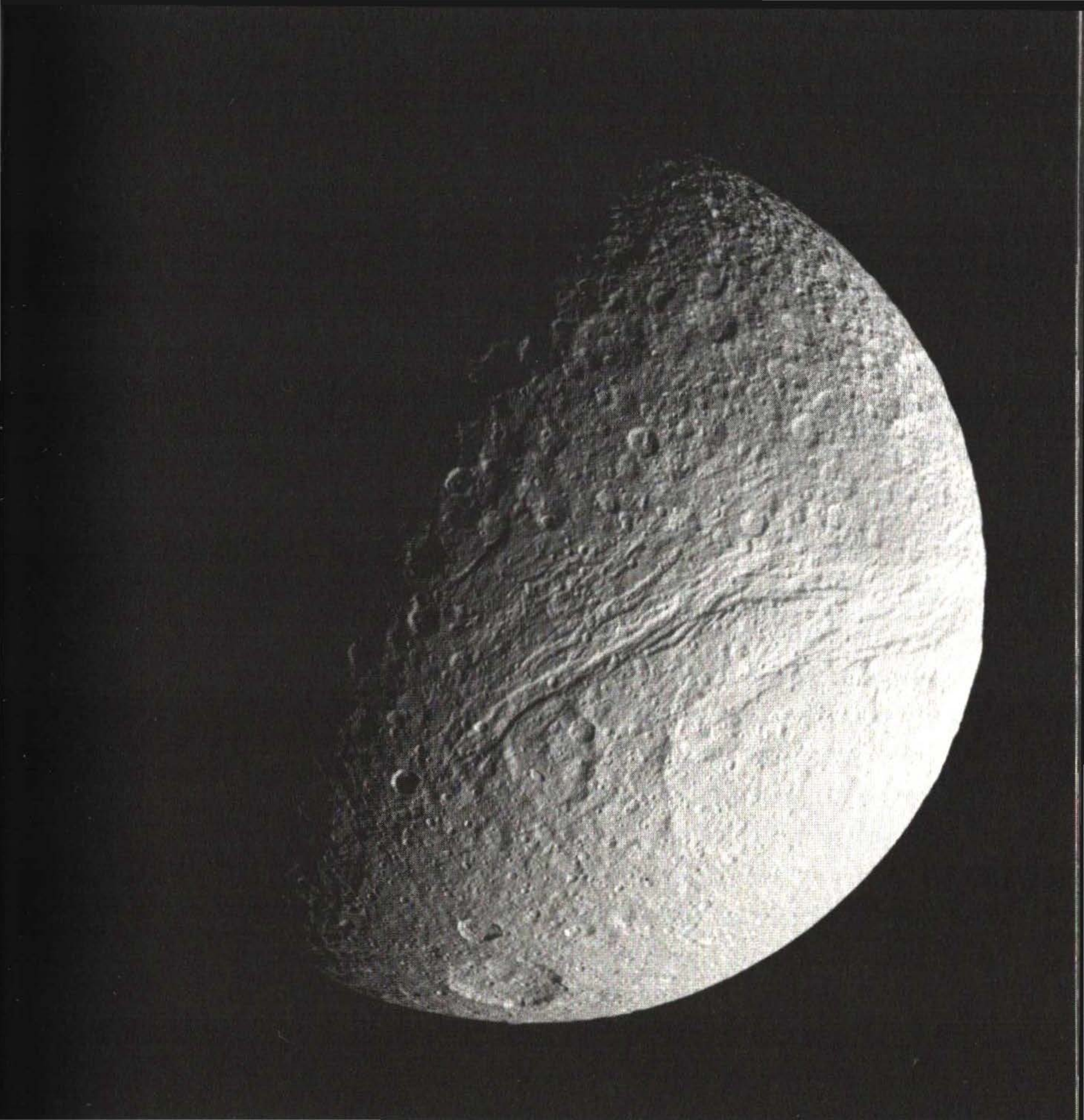
Enceladus'un yörüngesi onu Satürn ile daha büyük bir uydu olan Dione arasındaki kütle çekim savaşının ortasına koyar ve bu durum şaşırtıcı derecede karasal olan ayın iç kısmının buz ceplerini eritecek kadar ısınmasını sağlar. Su buzunun yanı sıra, "antifriz" işlevi gören ve karışımın erime noktasını düşüren amonyağın varlığı bu sürece yardımcı olur. Buna karşın Enceladus dünya dışı yaşam aramak için Güneş sistemindeki en ümit verici yerlerden biridir.



# Tethys

Tıpkı boyutları birbirine yakın olan Mimas ve Enceladus gibi Satürn'ün diğer iki büyük ayı da neredeyse ikiz sayılır. Ancak iç komşularından epeyce büyüklerdir. Ayrıca bunlara aynı yörüngeyi paylaşan bir çift Truva ayı eşlik eder (bkz. s. 78): Tethys'inkiler Telesto ve Calypso'dur.

Tethys parlak ama bol kraterlidir, birçok büyük çarpma krateri bulunur ve bunların en büyüğü Odysseus'tur. Kraterler boyutlarına rağmen son derece sığ oldukları için bu durum ayın yüzeyinin zamanla çökmüş olabileceğini akıllara getirir. Tethys'in uzak tarihinde ciddi ölçüde kriyovolkanik aktivite (amonyak yüzünden akışkan kalan sulu buz patlamaları) olduğuna dair belirtiler vardır. Ayrıca yoğunluk ölçüleri neredeyse tamamen su buzundan oluştuğunu gösterir ve ayın yüzeyinin büyük bir kısmına yayılan Ithaca Chasma adlı devasa kanyon muhtemelen gezegenin içinin giderek donması ve genleşmesi sonucu meydana gelmiştir.



# Dione

İç komşusu Tethys'ten az daha büyük olan Dione'ye yörüngesinde Helene ve Polydeuces adlı bir çift Truva uydusu eşlik eder. Dione'nin Tethys'ten çok daha yoğun olması iç kısmının daha yüksek oranda kayadan oluştuğuna işaret eder. Yüzeyindeki krater sayısındaki farklılıklar ise yer kabuğunun geçmişte büyük ölçekli kriyovolkanizmalar tarafından yeniden şekillendiğinin göstergesidir.

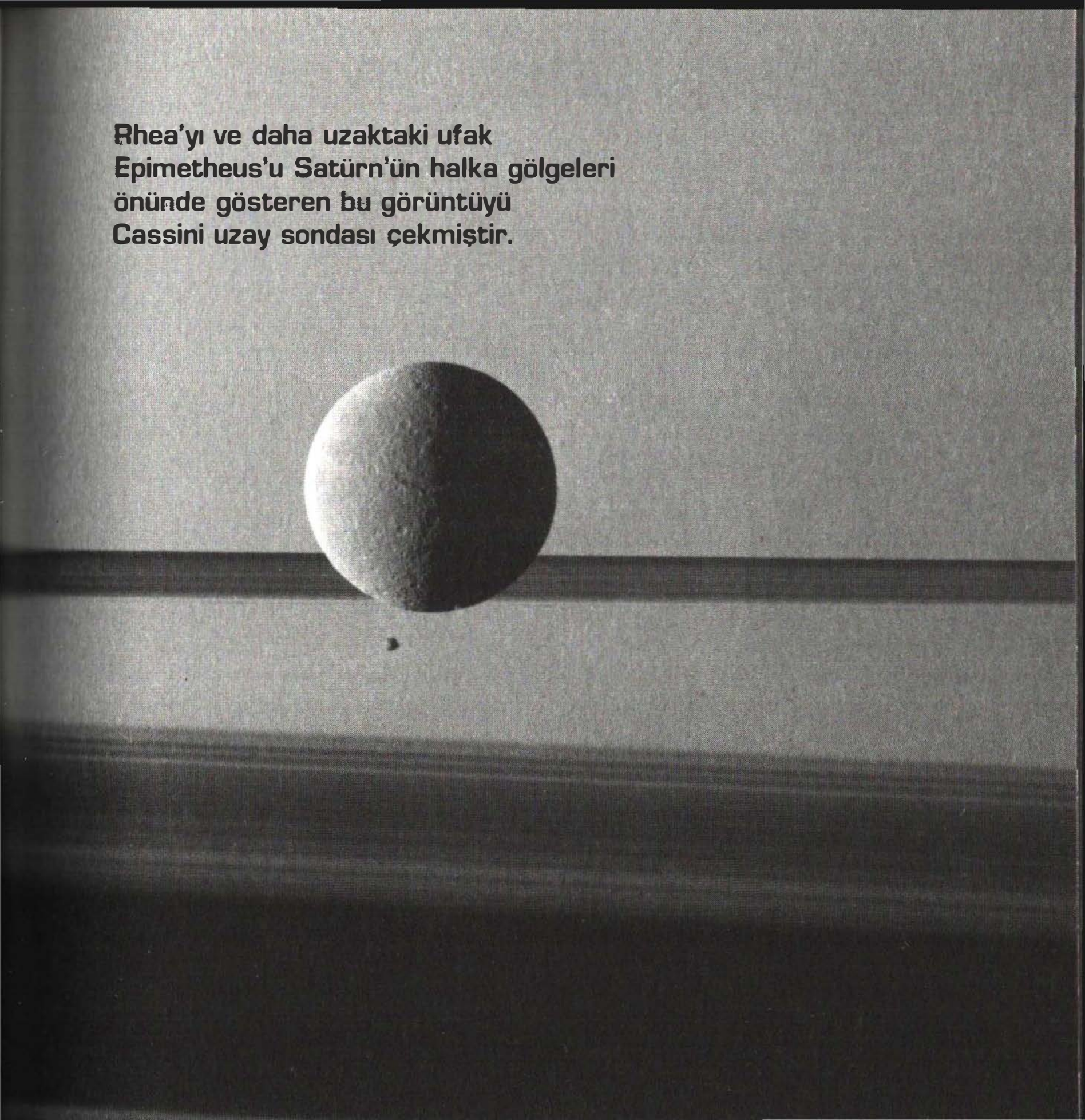
Dione'nin ön ve arka yarıküreleri arasında birçok büyük farklılık vardır; öne bakan yüzündeki kraterlerin sayısındaki yükseklik bir zamanlar (belki başka bir ayın yok oluşu sırasında ortaya çıkan) yoğun bir uzay enkazının içinden geçtiğini gösterir. Daha koyu olan arka yarıküre ise "seyrek arazi" denilen parlak, ince çizgilerle ağ görünümü oluşturacak şekilde çapraz olarak çizili gibidir. 2004'te NASA'nın Cassini sondası bu parlak çizgilerin yarıküreye yayılmış, uçuruma benzer bazı jeolojik fayların görünen pürüzsüz yüzleri olduğunu ortaya çıkarmıştır.



# Rhea

Kraterlerle kaplı ön yarıküresi ve kıvrımlı buz kayalıklarının örümcek ağına benzer bir görüntü oluşturan çapraz çizgiler çizdiği koyu arka yarıküresi gibi özellikleriyle Rhea, ilk bakışta Dione'nin büyük hâli gibidir. Aynı zamanda Satürn'ün ay sistemi içerisindeki diğer bir boyut artışını temsil eder; 1528 km'lik (949 mil) çapıyla dev uydu Titan'dan sonra en büyük aydır ve daha uzaktaki Iatepus'tan sadece biraz büyüktür.

Fakat yakından bakıldığında Rhea'ya özgü bazı özellikler göze çarpar. Kraterleri Tethys ve Dione'dekilere göre daha keskin hatlıdır. Bu da yüzeyinin göçmeye çok yatkın olmadığına işaret eder: Bir teoriye göre Rhea'nın kütlesinin ve kütle çekiminin fazlalığı buzların sıkışarak daha sert ve daha az akışkan bir hâl almasına neden olmuştur. Genel olarak oldukça çöküntülü bir görünüme sahip olmasına rağmen Rhea'nın belli bölgelerinde büyük kraterlerin olmaması, erken dönemlerindeki kriyovolkanizmaların bu kraterleri yok ettiğine ama uydunun sonra hızla donduğuna işaret ediyor.

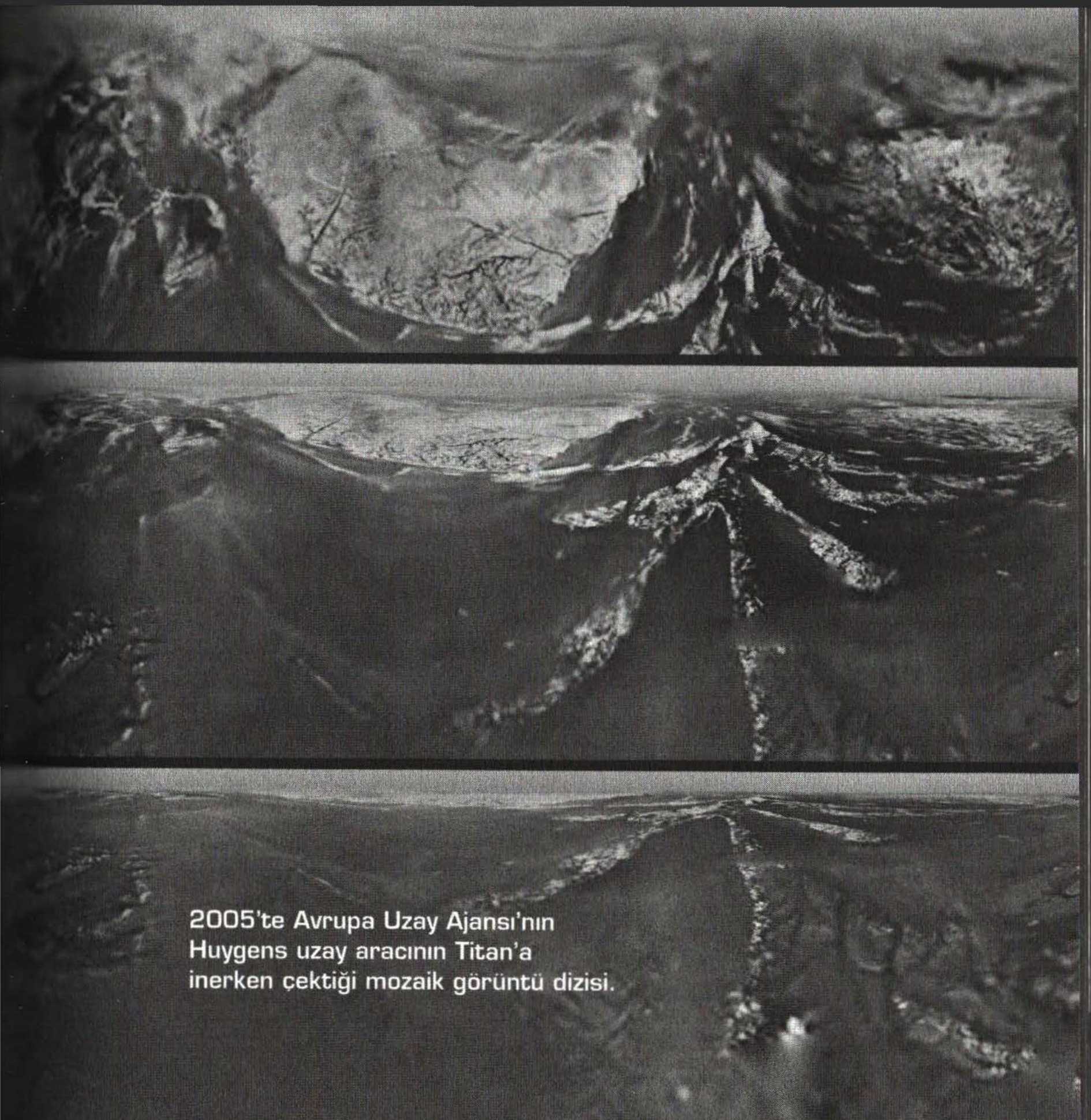


Rhea'yı ve daha uzaktaki ufak
Epimetheus'u Satürn'ün halka gölgeleri
önünde gösteren bu görüntüyü
Cassini uzay sondası çekmiştir.

# Titan

Satürn'ün azot yönünden zengin, kendine has yoğun bir atmosferle örtülü olan en büyük ayı, Güneş sistemindeki en karmaşık ve gizemli dünyalardan biridir. Turuncu metan bulutları ayın gizli özelliklerini önceki uzay sondalarından gizlemiş olsa da, NASA'nın Cassini misyonunun kızılötesi kameraları ve radar görüntüleri duman tabakasını aşmış ve kendi gezegenimizin kıtalarını ve okyanus tabanlarını andıran yüksek dağları ile alçak düzlükleri gözler önüne sermiştir. Dahası coğrafyası akan sıvı erozyonuna dair bariz izler barındırır fakat buna rağmen Titan ortalama -180 °C'lik (-292 °F) dondurucu bir yüzey ısısına sahiptir.

Titan'ın kendine has koşulları metan gibi hidrokarbon kimyasalların katı, sıvı ve gaz hâlinde varolmasına olanak tanır ve Dünya'nın su döngüsüne benzer bir "metan döngüsü" yaratır. Gaz metan, sıvı metan ve donmuş metan arasındaki geçişler suyun akışının Dünya'da yaptığı gibi yüzeyi şekillendirir. Buna ek olarak, Titan'ın her iki kutbunda da durgun sıvı metan gölleri bulunmuştur.

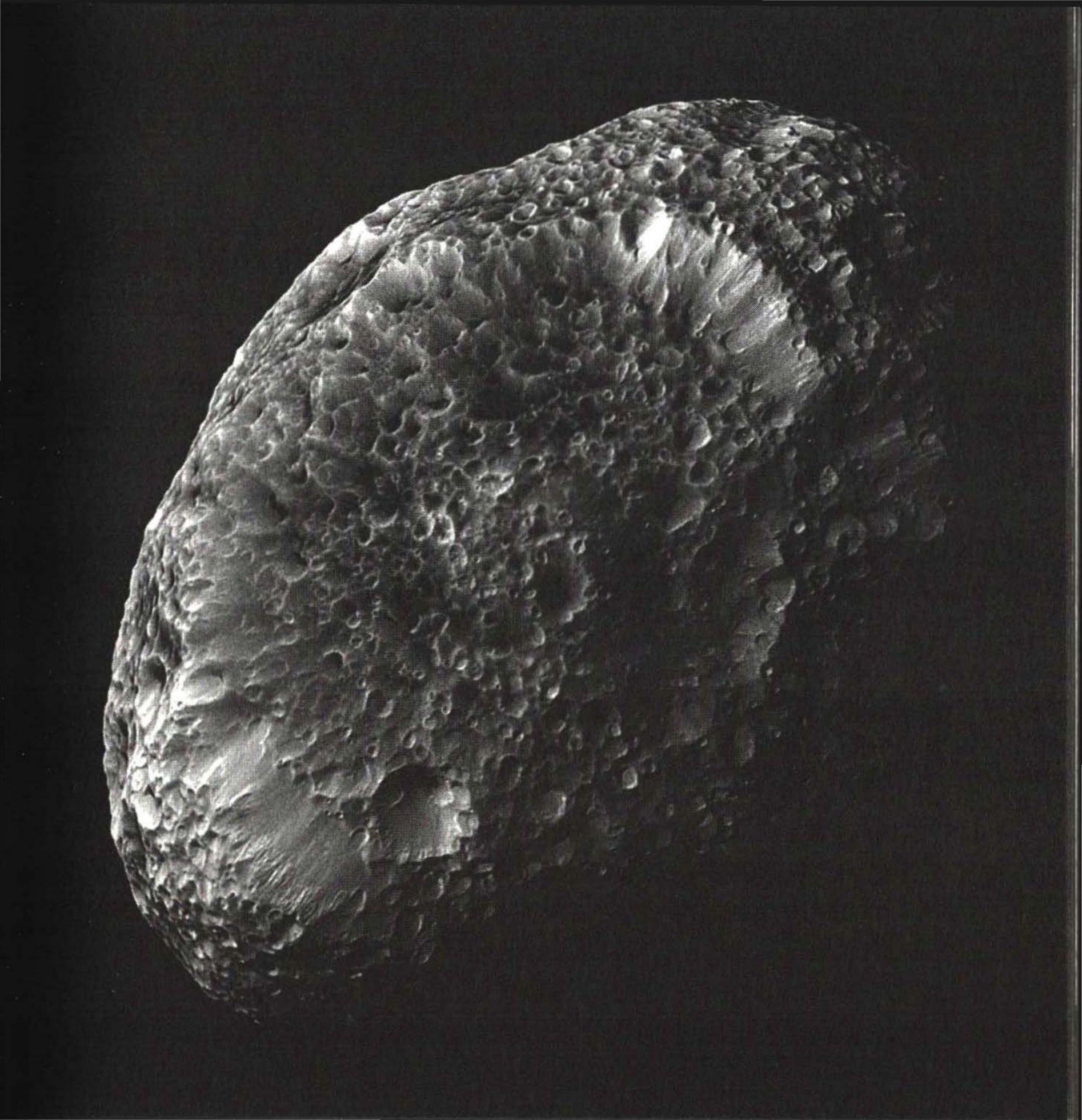


2005'te Avrupa Uzay Ajansı'nın
Huygens uzay aracının Titan'a
inerken çektiği mozaik görüntü dizisi.

# Hyperion

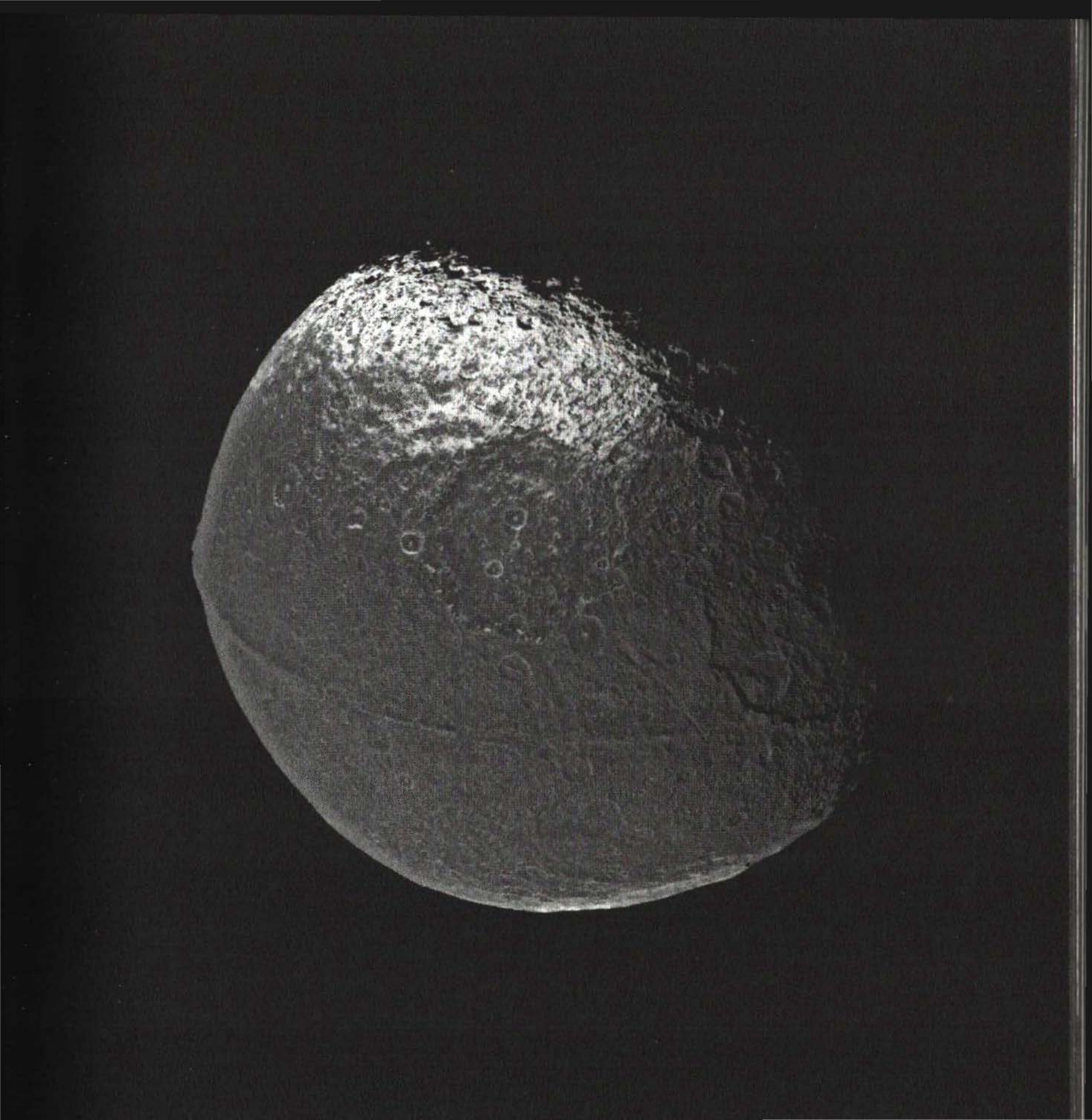
Yörüngesi Titan'ın biraz ötesinde yer alan kafa karıştırıcı bir dünya olan Hyperion, Satürn'ün uzak geçmişindeki dramatik olayları aydınlatma potansiyeli taşır. 360 km (224 mil) uzunluğundakİ Hyperion kütle çekimiyle küre şeklini alabilecek bir büyüklüğe sahip olmasına rağmen eğridir. Kendi etrafında dönüş süresi çok değişkendir ve derin çukurlar ile jilet gibi keskin yükseltilerin bulunduğu yüzeyinin sünger benzeri tuhaf bir yapısı vardır.

Bu ilginç özelliklerin oluşumuna dair en makul açıklama, Hyperion'un önceden burada yörünge çizen fakat felaketimsi bir çarpışma sonucu parçalanan daha büyük bir ayın geriye kalan parçası olduğudur. Yok olan ayın enkazı döne döne Satürn'e doğru fırlamış, o sırada Titan, Rhea ve Dione'ye çarpmış olabilir; bu da yüzeylerindeki krater dağılımını açıklar. Hatta çarpışma sonucu ortaya çıkan uçucu kimyasallar Titan'ın atmosferini zenginleştirmiş olabilir. Bunun sonucunda Hyperion'dan geriye kalan parça şimdiki öngörülemez dönüşünü kazanırken, oyuklu görüntüsünün sorumlusu muhtemelen koyu alanları aşındıran Güneş radyasyonudur.



# İapetus

Rhea ile yaklaşık aynı boyutta olan ve iki yarısı arasında ciddi bir parlaklık farkı bulunan İapetus Güneş sistemindeki en tuhaf aylardan biridir. Ayın yörüngesinde geriye doğru bakan arka yarıküresi iç aylardan Rhea ve Tethys'inkine benzer parlak, buzlu bir yüzeye sahipken, ön yarıküresi son derece karanlıktır. Gök bilimciler bu farkın "Phoebe Halkası"ndaki (bkz. s. 102) tozun ayın ön yüzünde birikmesinin yol açtığı "geri besleme döngüsü"nün bir sonucu olduğunu düşünürler. Bahsi geçen toz, yüzeyi kısmen koyulaştırarak uzaktaki Güneş'ten gelen radyasyon tarafından daha kolay ısınmasını sağlar. Böylece İapetus'un yüzeyini oluşturan kaya-buz karışımındaki buz süblimleşir ve geriye ısı soğurulumunu arttıran ve buzun daha da fazlasını uzaklaştıran koyu, tozlu bir "birikinti" kalır. Bu mekanizma iyice anlaşılmış olsa da, İapetus'un öteki düzenli Satürn aylarına kıyasla eğik yörüngesi ve doğrudan ekvatorunu çevreleyen sıra dağları gibi diğer yönleri tamamıyla açıklığa kavuşmamıştır.



# Phoebe

Satürn'ün düzensiz aylarının en iç kısımdaki üyesi olan Phoebe aynı zamanda en büyüğüdür. Ayrıca 2004'te NASA'nın Cassini uzay sondasının halkalı gezegene giderken gerçekleştirdiği yakın uçuş sayesinde hakkında en çok şey bilinenidir. Karanlık, eğri biçimli ve bol kraterli küçük bir cisim olan Phoebe'nin en uzun ekseni 219 km'dir (136 mil) ve çok daha büyük olması dışında Güneş sisteminde ziyaret edilen kuyruklu yıldızlara çok benzer. Cassini'den gelen görüntüler şüpheleri doğrulamıştır: Phoebe'nin kütle çekimine yakalanmış bir centaur (gaz devleri arasında gezinen küçük buz gezegenlerinden biri; bkz. s. 104) olduğu neredeyse kesinleşmiştir.

Phoebe, Satürn'ün etrafında eliptik, eğik ve aynı zamanda "retrograd", yani gezegenin eksen dönüşünün ve doğal aylarının tersine bir yörünge çizer. 2009'da gök bilimciler Phoebe'nin yörüngesinin etrafında geniş bir toz halkası tespit ettiler. Bu halka muhtemelen mikrometeoritlerin ayın yüzeyine yağması sonucu oluşmuştur ve iç komşusu Iapetus'un olağan dışı yüzeyiyle bağlantılıdır.



# Centaurlar

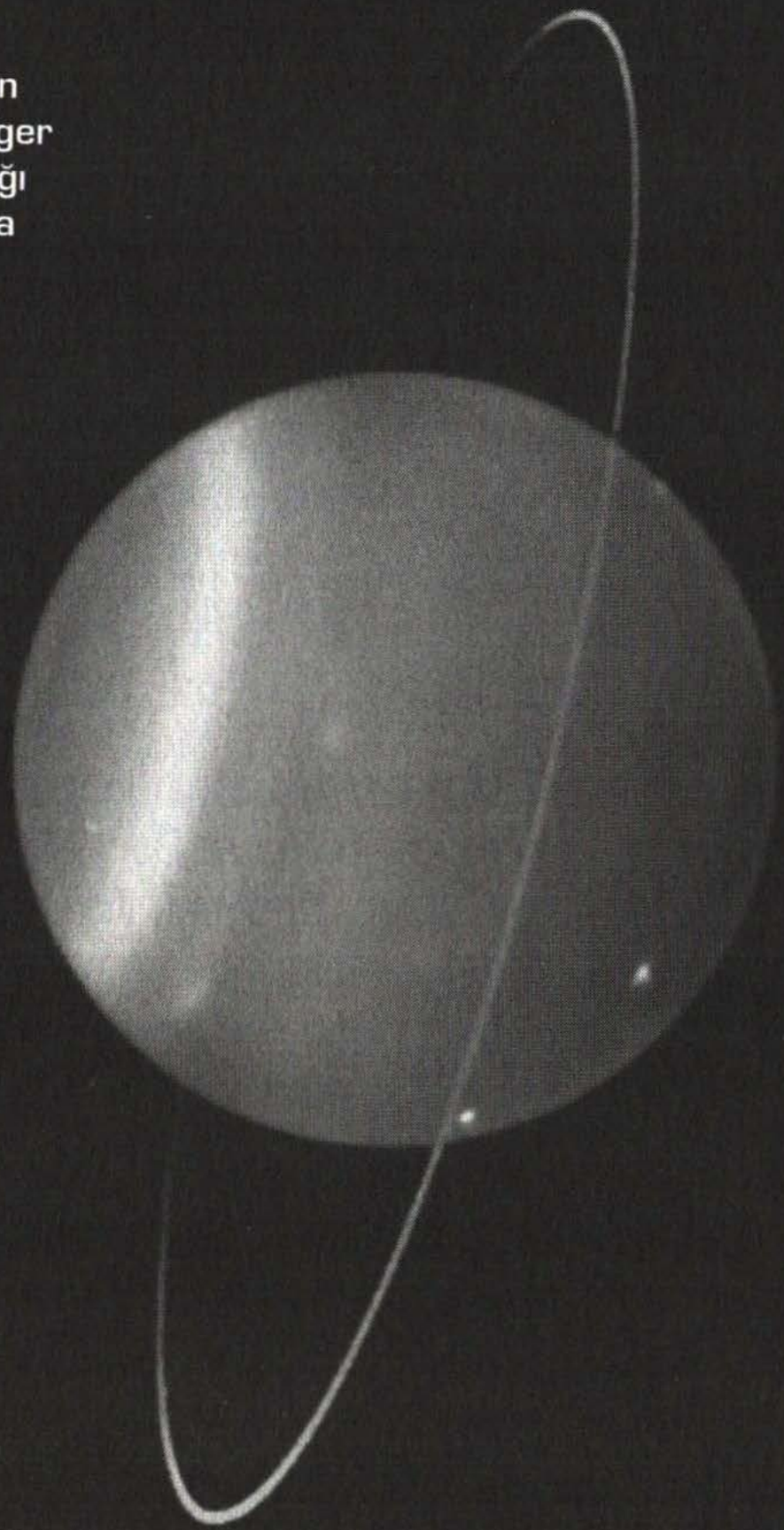
Dev gezegenlerin yörüngeleri arasındaki uzay boş değildir. Onların arasında, sabit olmayan ve milyonlarca yıl (ya da daha kısa bir süre) içinde bozulmaya yatkın elipse benzer yörüngelerde küçük buz gezegenleri dolanır. Centaurlar olarak bilinen bu cisimlerın varlığı ilk kez 1977'de küçük gezegen 2060 Chiron'un keşfedilmesinin ardından kabul edildi. Çapları 1 km'den (0,6 mil) büyük yaklaşık 44 bin cisim olduğu düşünülüyor. Dünya'dan yapılan gözlemler kırmızıdan maviye farklı yüzey renklerinin olduğunu ortaya koydu ve spektral analizler çeşitli karbon temelli organik bileşiklerin olduğunu tespit etti. Chiron gibi çeşitli centaurların Güneş'e en yakın olduklarında kuyruklu yıldız benzeri saçlar sergilediği görülürken, 260 km'lik (161 mil) genişliğiyle içlerinden en büyüğü olan Chariklo'nun kendi halka sistemi dahi vardır. Delillerin büyük çoğunluğu centaurların Kuiper Kuşağı'nın (bkz. s. 120) farklı bölümlerinde oluştuklarına ve tam bir kuyruklu yıldıza dönüşmeden önce Güneş sisteminin bu bölgesinde kısa süre bulunduklarına işaret eder.



# Uranüs

Teleskop çağında ilk keşfedilen (1781) gezegen olan Uranüs, aslında bazen çıplak gözle görülecek kadar parlaktır. Soluk mavi bir gezegendir, Jüpiter ile Satürn'den epey küçüktür ve Neptün'le ortak (bkz. s. 114), farklı bir yapıya sahiptir. Uranüs'ün en tuhaf özelliği dönme eksenindeki aşırı eğikliktir: Yörünge düzlemiyle kuzey kutbu arasında 98 derecelik bir açı bulunmaktadır. Bu da Uranüs'ün, Güneş'in etrafındaki seksen dört yıllık yörüngesi boyunca aşırı mevsimsel değişimler yaşamasına neden olur: Yüksek enlemler uzun süreler boyunca tamamen aydınlıkta ya da karanlıkta kalır ve sadece ekvatora yakın bölgeler gezegenin 17,2 saatlik dönüşüyle bağlantılı bir gece-gündüz döngüsü yaşarlar. Yaz-kış arasında görülen büyük sıcaklık farklılıkları kutuplar arasında güçlü rüzgârlar oluşturur ve bunların diğer hava sistemlerini bastırmasıyla gezegen Voyager 2'nin 1986'daki yakın geçişinde görüldüğü gibi durgun bir hâl alır. İlkbahar ve sonbaharda görülen normal havalar bulutların oluşmasını ve fırtınaların kopmasını sağlar.

Yakın tarihte Dünya'dan çekilen bu resim, Voyager 2'nin Uranüs'e yaklaştığı sırada görülmeyen hava sistemlerini ortaya koyuyor.



# Uranüs sistemi

Uranüs'ün etrafı doğrudan bakıldığında kendisine hedef merkezi görünümü veren, dar halkalardan oluşan bir sistem tarafından çevrilidir. Bu bilinen on üç halka Satürn'ün etrafındakilerden daha koyudur ve yoğun miktarda metan gibi karbon bakımından zengin kimyasalların yanı sıra su buzu içerdikleri düşünülmektedir. Halkaların çoğu aralarında görece az miktarda toz olan büyük parçacıklardan oluşur.

Halkaların arasında onları dar alanlarında tutmak için çoban görevi gören on üç küçük ay bulunur. Bunların ötesinde beş "ana ay"ı oluşturan Miranda, Ariel, Umbriel, Titania ve Oberon vardır. Umbriel hariç hepsinin geçmişlerinde ya oluşumları sırasında biriken ısının açığa çıkmasından (daha büyük boyutlu Titania ve Oberon'un durumunda) ya da gelgit kuvvetlerinden kaynaklanan kriyovolkanik yüzey yenilenmesi yaşandığına dair izler bulunur. Küçük boyutlu dokuz dış ay ise düzensiz yörüngelere takılmış kuyruklu yıldızlar ya da asteroitlerdir. Bu sistemdeki aylar isimlerini istisnai olarak mitolojiden ziyade Shakespeare ve Alexander Pope'un eserlerinden alırlar.

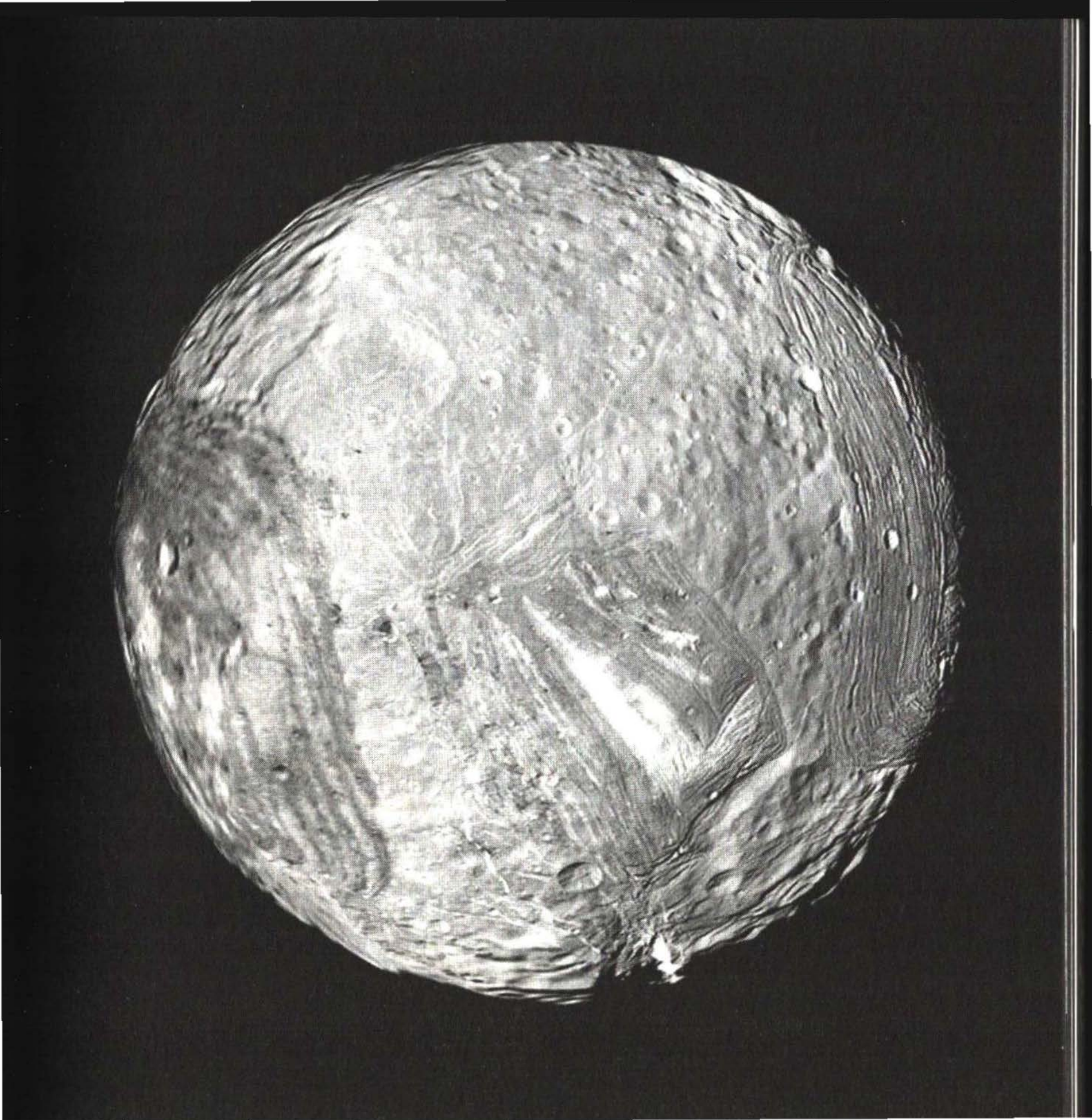


Voyager uzay sondasının çektiği bu resim ince Uranüs halka sisteminin arkasından geçen yıldızların izlerini yakalamıştır.

# Miranda

Küçücük Miranda, varlığı Uzay Çağı'ndan önce bilinen beş Uranüs ayının en içte olanıdır. Sadece yaklaşık 472 km'lik (293 mil) bir çapa sahip olan Miranda'nın oluşumundan beri çok değişmediği düşünülürken 1986'da Voyager 2 uzay sondasından gelen görüntüler, derin kanyonlar ve uçurumlarla birbirinden ayrılmış hem kraterli hem de daha pürüzsüz bir yüzeye sahip, şaşırtıcı derecede karmaşık bir dünya olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ama en etkileyici özelliği, paralel oyuklarla kaplı, zigzag şeklinde, yarış parkurunu andıran korona adlı bölgelerdir.

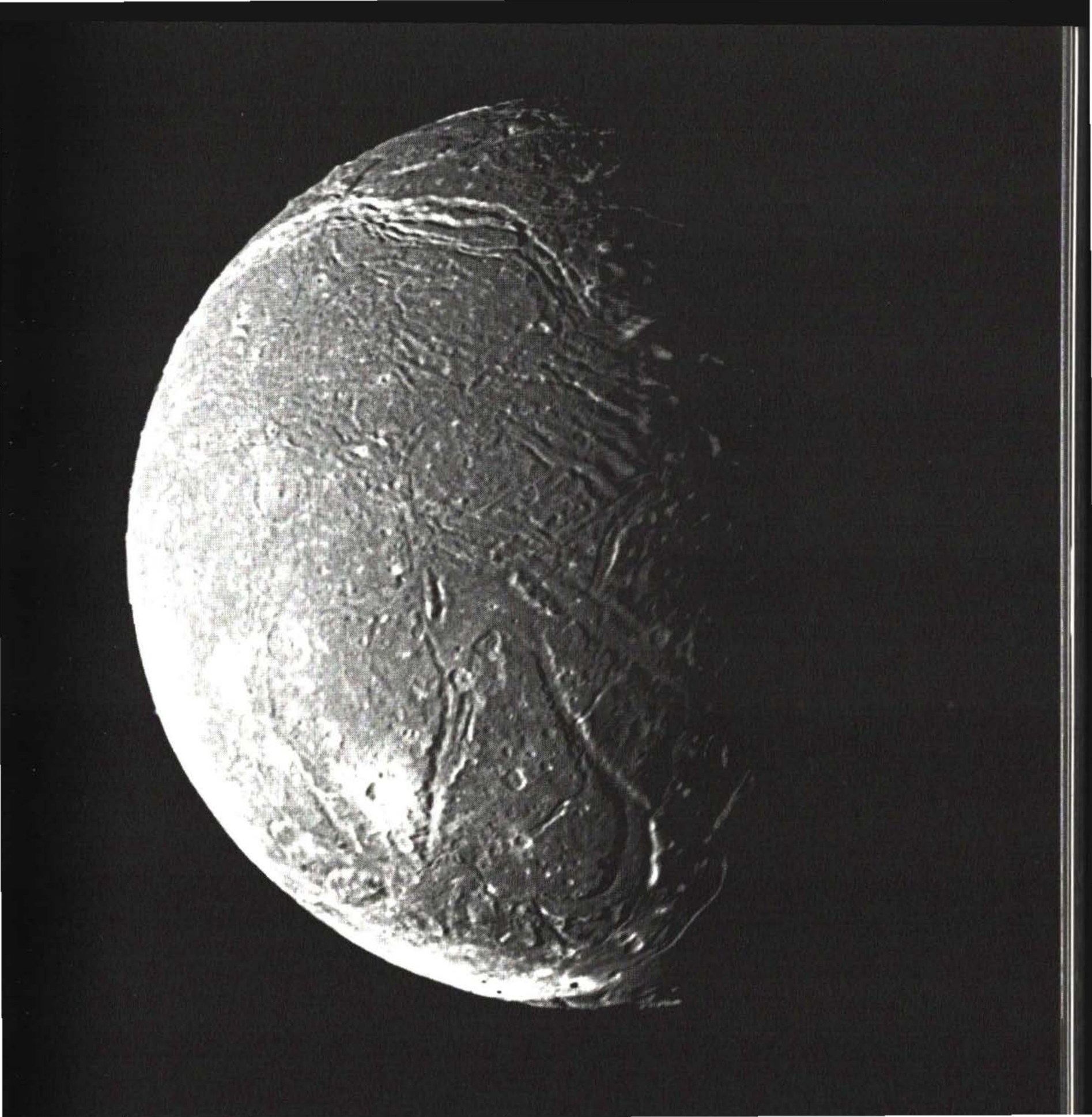
Gök bilimciler önceleri bu küçük ayın uzak geçmişinde tamamen parçalanıp sonradan yeniden birleşmiş olabileceğini düşünüyorlardı. Günümüzde, Miranda'nın şimdikinden daha tuhaf bir yörünge izlediği geçmişinde aşırı gelgitler tarafından şekillendirildiğinin daha muhtemel olduğu düşünülüyor. Gelgit ısınması ayı içeriden dışarıya doğru eritmiş, kabuğunu büyük parçalar hâlinde çökertmiş, oluşan boşlukları yeni maddeler doldurmuştur.



# Ariel

Uranüs'ün büyük aylarının ikincisi, aktif olduğu dönemde oluşan karmaşık bir araziye sahiptir. Uranüs aylarının en parlak yüzeylisi olan Ariel çoğunlukla gri bir görünüme sahiptir ama ön yarıküresinde hafif bir kırmızılık vardır. Bu durum muhtemelen gezegenin manyetosferindeki parçacıkların bombardımanına maruz kalmasının neden olduğu kimyasal değişimlerden kaynaklanır.

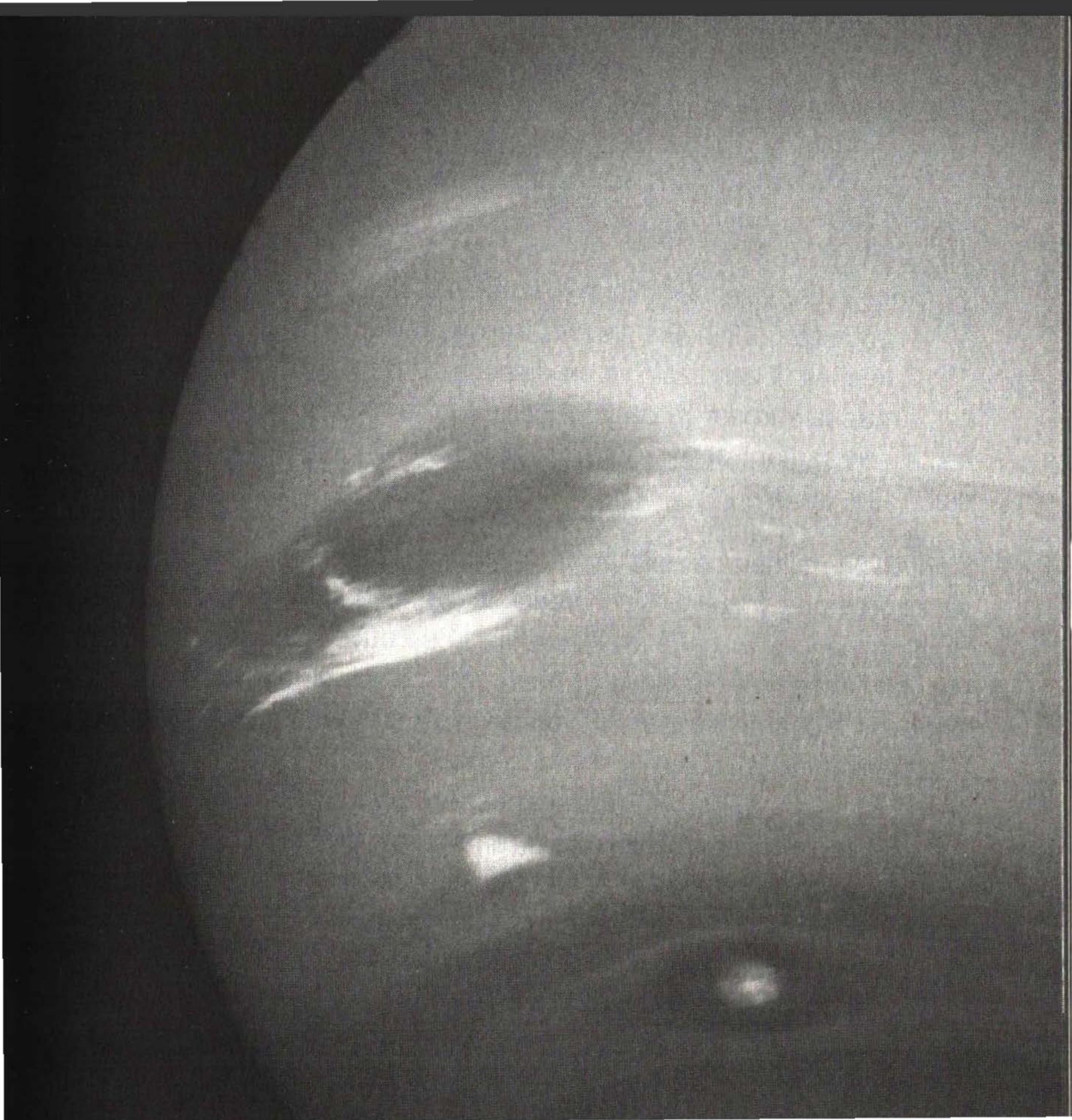
Yoğunluk ölçümleri Ariel'in eşite yakın oranda kaya-buz karışımından oluşmuş olabileceğine işaret ederken, yüzeyi kraterli yüksek araziler, daha az kratere sahip düzlükler, şeritli yükseltiler, çukurlar gibi çeşitli özelliklerdedir. Yüksek noktalarda bile genel krater miktarı, yüzeyin Güneş sisteminin oluşumundan beri çarpışmalara zemin oluşturduğu düşünülürse, beklenenden azdır. Bu da ayın erken döneminde büyük ihtimalle gelgit ısınması yüzünden buzlu kriyovolkanik aktivite sayesinde yüzey yenilenmesi yaşadığına işaret eder. Günümüzde Ariel yalnızca zayıf gelgitler yaşasa da, bir zamanlar kendisini dış ay Titania'nın etkisi altına sokan farklı bir yörünge çiziyordu.



# Neptün

Güneş sisteminin büyük gezegenlerinin en dışta olanı Neptün'dür. Uranüs'ten biraz küçük olmasına rağmen kütlesi daha büyüktür ve rengi daha koyu mavidir. Neptün de iç komşusu gibi bir "buz devi"dir; iç yapısı büyük ölçüde su, metan, amonyak gibi nispeten karmaşık kimyasalların karışımından oluşur (hepsi kimyasal bakımdan buz olarak sınıflandırılır). Bunlar, Jüpiter ve Satürn'de baskın olan hidrojen, helyum gibi hafif gazlardan daha az uçucu olan ve daha uzaktaki gezegenlerin iç kısımlarının "cıvıklaşmasını" sağlayan gazlardır. Buna rağmen bu gezegenlerin atmosferleri hidrojen ve helyum ağırlıklıdır; Güneş'ten gelen kırmızı ışığı emerek gezegenlere mavimsi renklerini veren metanı düşük bir oranda içerirler.

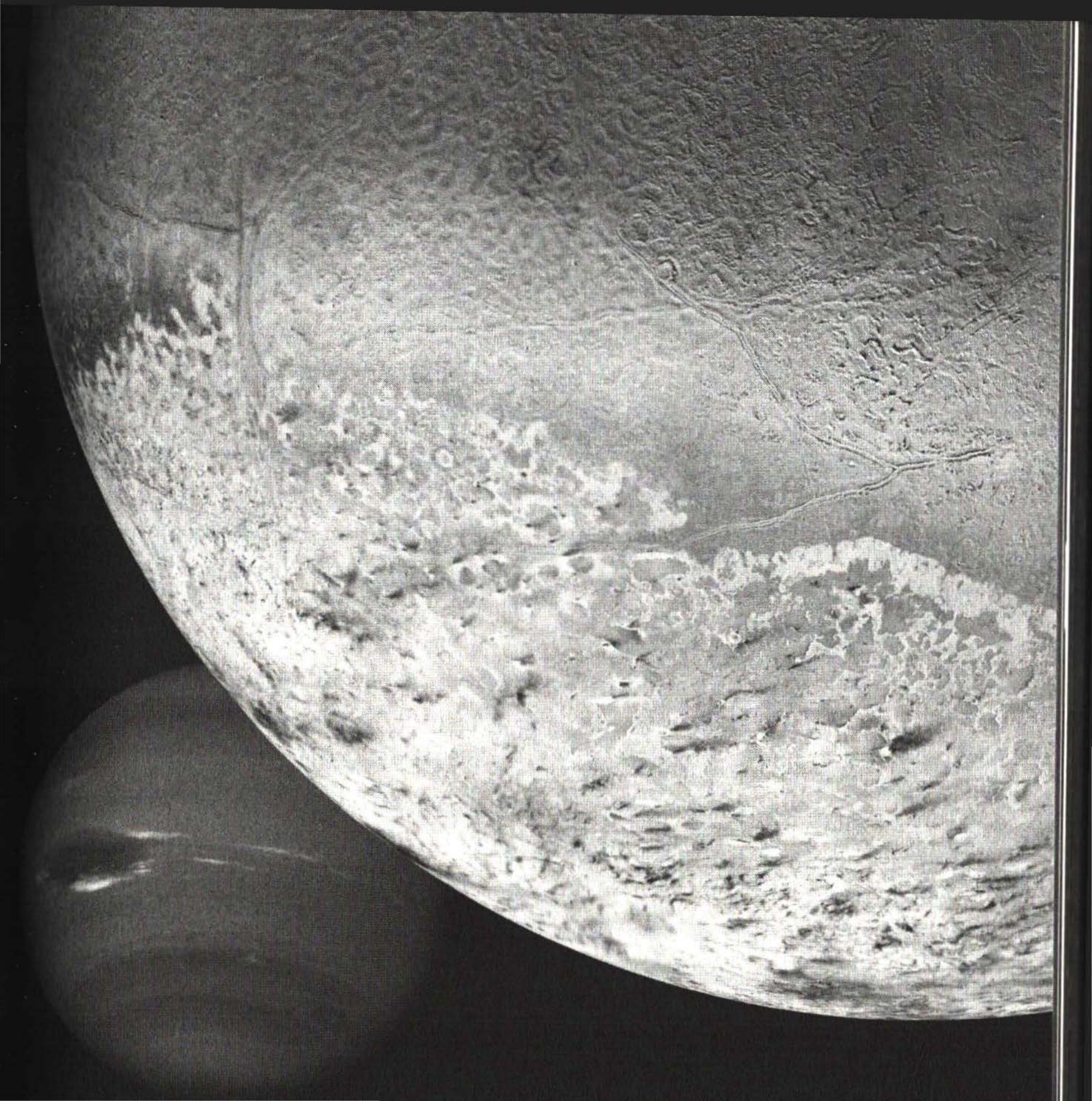
Dış Güneş sisteminin soğuk derinliklerindeki konumuna rağmen Neptün, bir gezegende görülen en hızlı rüzgârları ve karanlık noktalar olarak görünen büyük fırtınaları barındıran şaşırtıcı derecede aktif hava sistemlerine sahiptir. Tüm bu faaliyetin kaynağı Neptün'ün, Güneş'ten aldığı enerjinin 2,6 katını üreten güçlü ısı motorudur.



# Neptün Sistemi

Neptün'ün, Uranüs'ünküne benzeyen fakat boyutları daha küçük olan bir halka sistemi vardır. Halka parçacıklarının dağılımı epey düzensizdir ve en dışardaki Adams halkası beş çeşit madde kümesi ya da yayı içerir. Gözlemsel bulgular halkaların sağlam olmadığı ve birkaç yüzyıl içinde yok olacakları yönündedir.

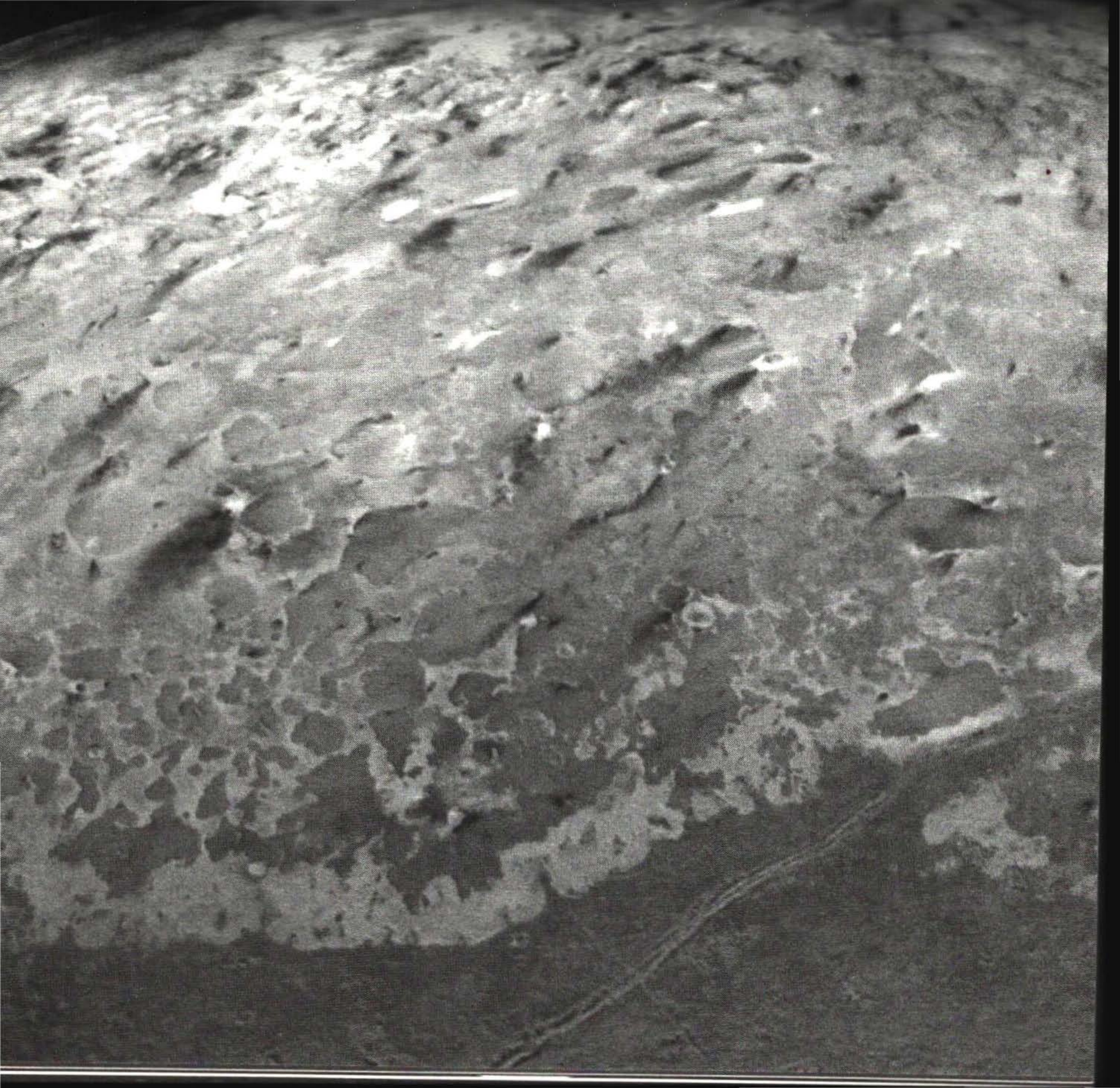
Neptün'ün, bilinen on dört ayına dâhil olan, halkaların içinde ve az ötesinde yörünge çizen yedi küçük iç uydusu vardır. Bunların, önceki kuşağa ait ilk uyduların en büyük Neptün uydusu Triton'un yörüngeye girmesi sonucu yok olmalarının ardından oluşan enkazdan meydana geldiklerine inanılır. Kütle çekimine yakalanmış bir "buz cücesi" olduğu düşünülen Triton (bkz. ss. 120-125) gezegenin dönüş yönünün tersine tam daire bir yörünge çizer. Triton'un ötesinde düzensiz yörüngelerde altı küçük ay daha bulunur. Bunların bazılarının ilk uydu sisteminin gezegene daha yakın olan üyelerine ait kalıntılar olduğu düşünülmektedir.



# Triton

Neptün'ün tek dev uydusu Triton yaklaşık -235 °C'lik (-391 °F) yüzey ısısıyla Güneş sistemindeki en soğuk yerlerden biridir. Fakat Voyager 2, 1989'daki yakın uçuşu sırasında Triton'un yüzeyinde beklenmedik faaliyetlerin gerçekleştiğini, ince atmosferine azot gazı ve toz püskürten gayzerlerin olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca ayın yüzeyi şaşırtıcı bir çeşitliliğe sahiptir: Az sayıda krater, parlak bir "güney kutup buzulu" ve batı yarıkürenin büyük bir kısmını kaplayan çukurlu "kavun arazisi".

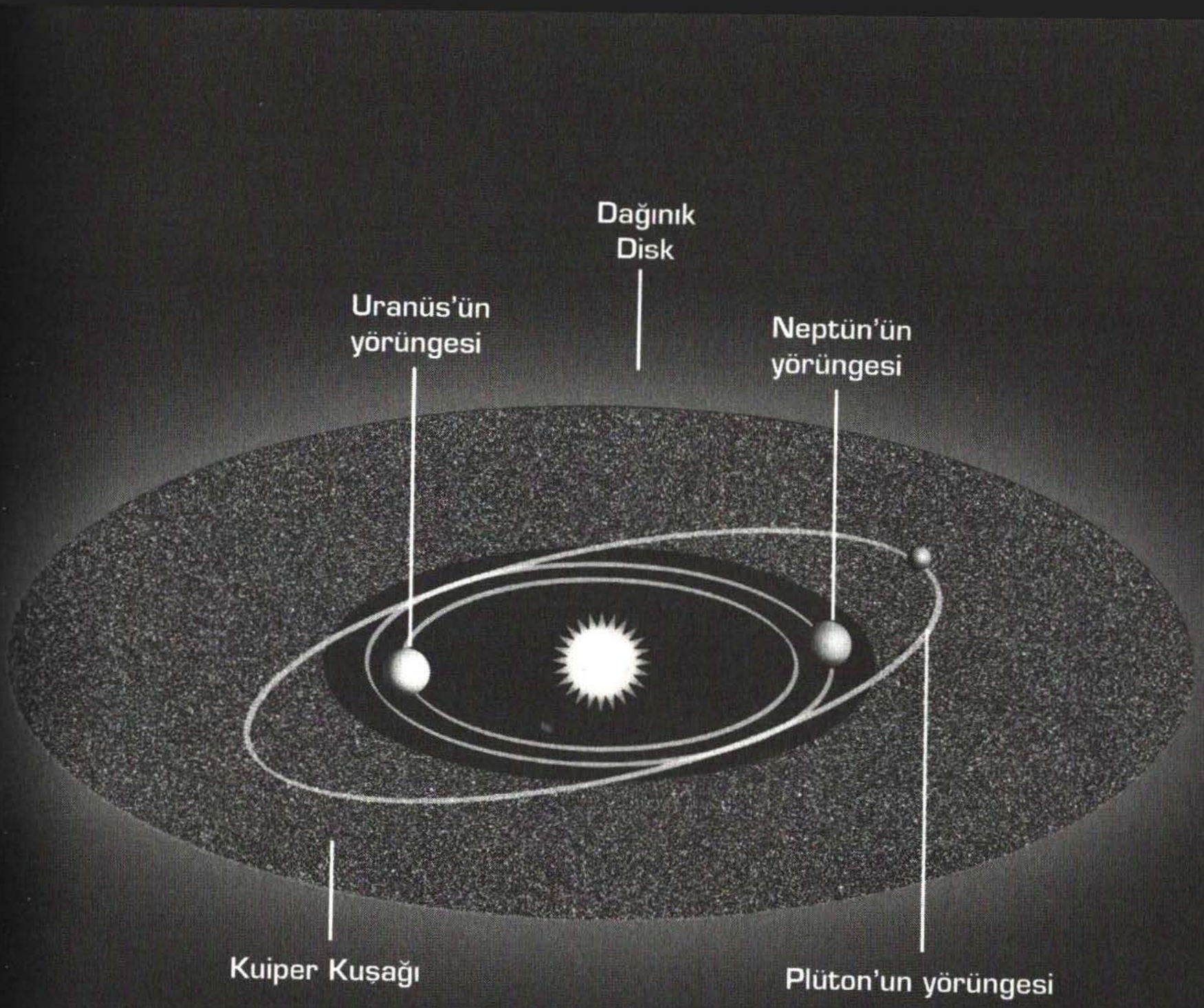
Triton'un bugünkü görünümünün geçmişiyle ilintili olduğu düşünülür. Başlarda büyük olasılıkla Kuiper Kuşağı'ndaki (bkz. s. 120) diğer cisimler gibi bağımsız bir buz cücesiyken, Neptün'le yakın temas sırasında onun yörüngesine girmiştir. Dış merkezli, ters bir yörüngeyle gelişinin ilk Neptün uydu sistemini altüst ettiği düşünülürken, maruz kaldığı muazzam gelgit kuvvetleri iç kısmını ısıtmış ve yörüngesini günümüzdeki tam daire şekline sokarken geniş çapta jeolojik aktivitelere neden olmuştur.



# Kuiper Kuşağı ve Dağınık Disk

Güneş'ten 30 ila 50 AU uzaklıkta Güneş sistemini çevreleyen Kuiper Kuşağı adlı simit şeklinde bir halka ve Dağınık Disk denen geniş bir dış hale bulunur. Her ikisi de boyutları birkaç yüz metre genişliğindeki kuyruklu yıldızlar ile genişliği birkaç bin kilometreyi bulan olgunlaşmış cüce gezegenler arasında değişen küçük, buzul dünyalara ev sahipliği yapar. Bunlar büyük ihtimalle Güneş'e daha yakın bir konumda oluşmuş ama Güneş sisteminin erken dönemlerinde dev gezegenlerin dışa doğru açılmasıyla sonradan günümüzdeki yörüngelerine itilmişlerdir. Eski gezegen Plüton ve daha yakın zamanda keşfedilen Haumea ile Makemake Kuiper Kuşağı'ndaki en büyük cisimlerdir ve benzer boyutta birçok cisim olduğu düşünülmektedir.

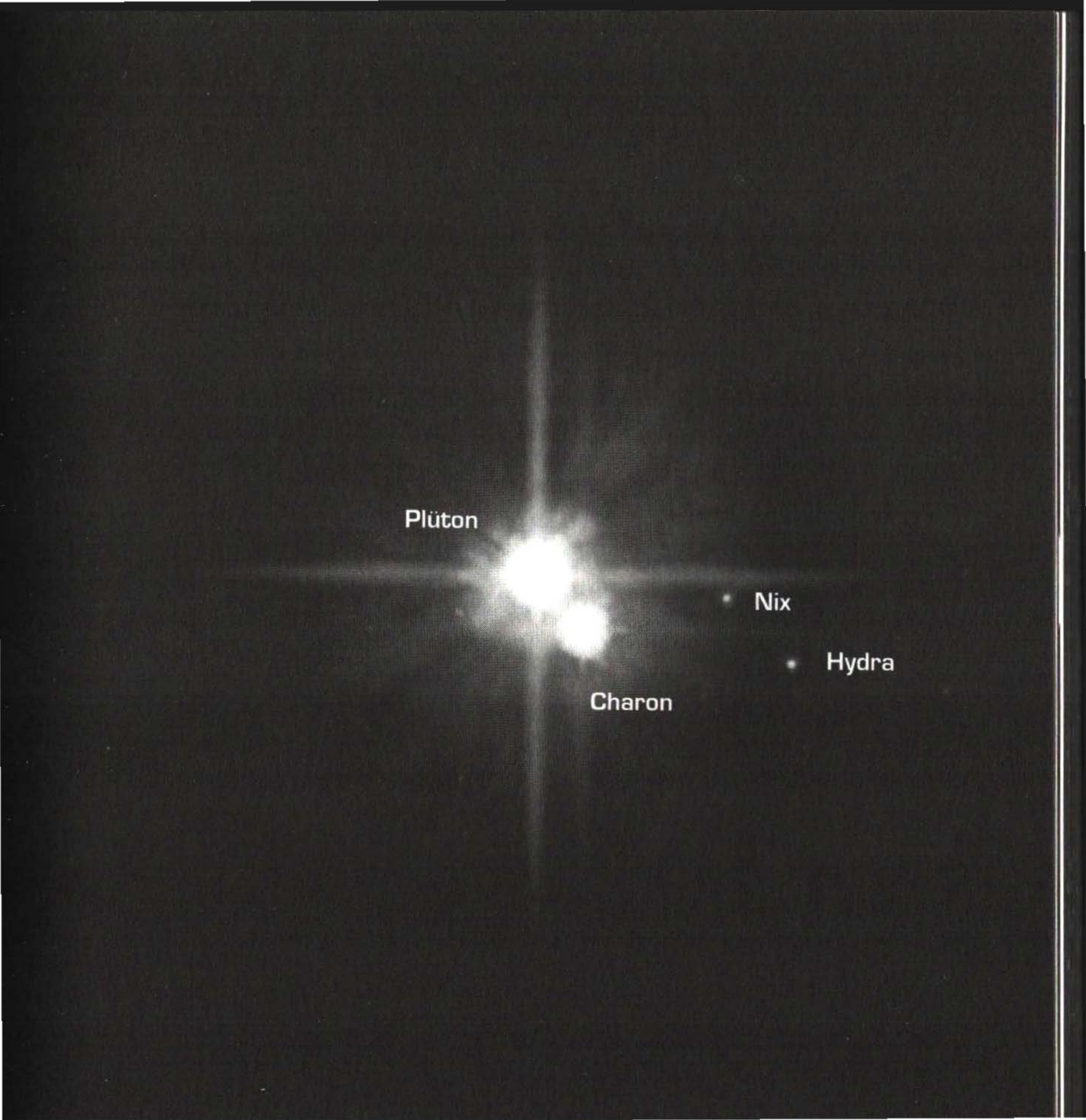
Gezegen göçünün son evresinde Neptün dönerek günümüzdeki konumuna gelmiş ve bu sırada Kuiper Kuşağı'ndaki bazı cisimlerin dağılarak Dağınık Disk'i oluşturmasına neden olmuştur. Bu bölgedeki cisimler cüce gezegen Eris de dâhil olmak üzere Güneş'ten 100 AU öteye uzanan eğik eliptik yörüngeler izlerler.


Dağınık
Disk
Uranüs'ün
yörüngesi
Neptün'ün
yörüngesi
Kuiper Kuşağı
Plüton'un yörüngesi

# Plüton

Plüton 1930'da keşfedildiğinde gök bilimciler bu küçük dünyayı başlı başına bir gezegen olarak tanımladılar. Plüton'un sadece büyük ve parlak bir Kuiper Kuşağı cismi olduğunun doğrulanması 1990'ları buldu. Nihayet Plüton 2006'da Ceres, Eris gibi cisimlerle birlikte, yeni türetilen "cüce gezegen" statüsüne indirgendi.

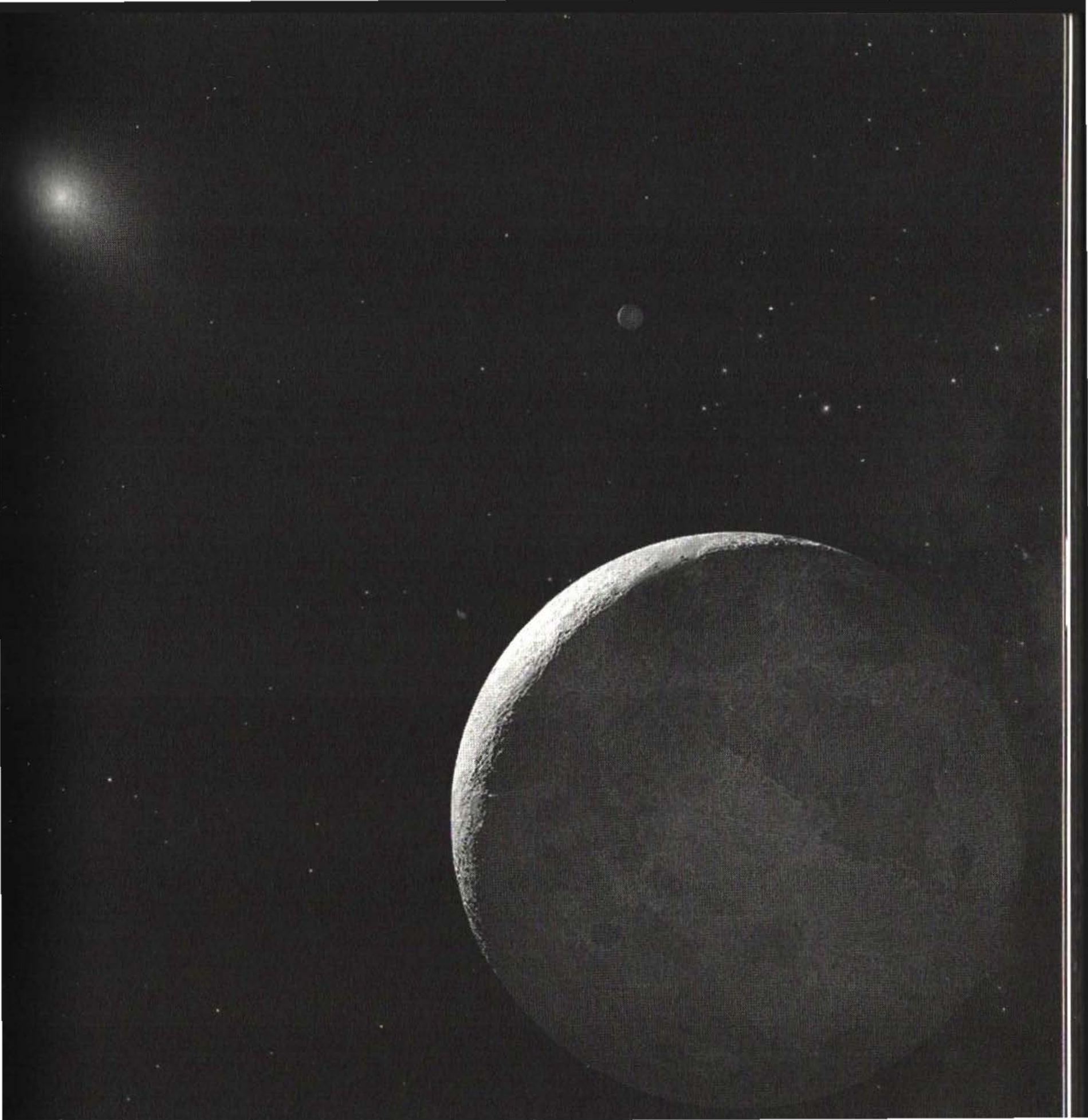
Plüton hâlâ Kuiper Kuşağı'ndaki en büyük cisimdir ve boyutu Oünya'nın Ay'ının yalnızca üçte ikisi olmasına rağmen ince bir atmosferi vardır (bu, Plüton'un Güneş'ten en uzak olduğu konumda yüzeyinde donuyor olabilir). Yüzeyi metan ve su buzuyla kaplıdır ve "tolin" denen karbon bazlı kimyasalların varlığından dolayı kırmızımsı bir renge sahiptir. Ayrıca Charon ile çok daha ufak olan Styx, Nix, Kerberos ve Hydra'yı içeren karmaşık bir uydu sistemine sahiptir. Charon, Plüton'un yarısından daha büyüktür ve gelgit kuvvetleriyle ona kilitlenmiştir; böylece iki cisim de kendi etrafında Charon'un yörünge süresinde döner ve ikisinin de bir yüzü sürekli diğerine bakar.


Plüton
Nix
Hydra
Charon

# Eris

İlk olarak 2005'te tespit edilen ve başta "Xena" [Zeyna] lakabıyla anılan Eris bilinen en büyük cüce gezegendir ve Kuiper Kuşağı'nı çevreleyen Dağınık Oisk'in bir üyesidir. Keşfi ve Plüton'dan daha büyük olduğunun fark edilmesi, Plüton'un önceki gezegen statüsünün yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır.

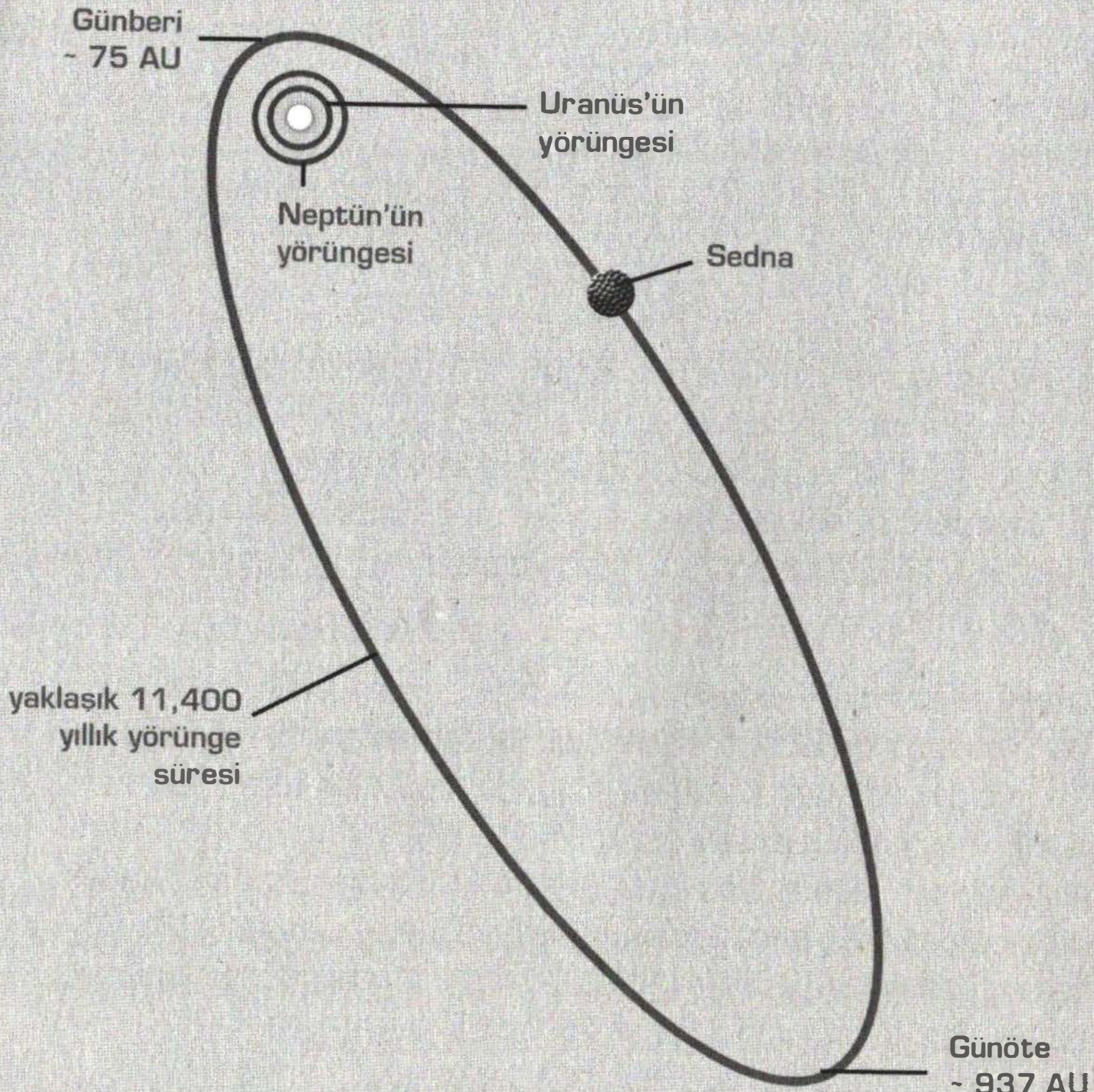
Eris, kendisini Güneş'ten 38 ila 97 AU uzaklığında taşıyan, yaklaşık beş yüz altmış yıl süren ve Güneş sistemi düzlemine 44 derecelik bir açıyla eğik, son derece eliptik bir yörüngeye sahiptir. Yüzeyi suyla ve metan buzuyla kaplı gibi gözükür ve şaşırtıcı ölçüde parlaktır; hatta Satürn'ün ayı Enceladus'tan sonra bilinen en yansıtıcı yüzeye sahip cisimdir. Eris büyük ihtimalle Plüton'dan birkaç yüz kilometre daha geniştir ama kütlesi tahmini olarak yüzde yirmi yedi daha fazladır; gök bilimcilerin kütlesini tahmin edebilme sebebi, Eris'e Güneş'in etrafındaki uzun yolculuğunda Oysnomia adlı bir uydunun eşlik ediyor olmasıdır. Keşfi şaşkınlığa ve birçok tartışmaya neden olan bu dünyanın adını Yunanların uyumsuzluk tanrıçası Eris'ten alması isabet olmuştur.



# Sedna

2003'te keşfedilen Sedna, Güneş sistemindeki günümüzde bilinen en uzak cisimdir ve Kuiper Kuşağı'ndan uzakta yörünge çizen buz cisimlerinden oluşan ve bir zamanlar varsayımsal olan "iç Oort Bulutu"nun ilk üyesidir. Keşfedildiği sırada yalnızca 75 AU uzaklıktaki günberiye (Güneş'e en yakın noktası) yakındı. En uzak noktası olan günötedeyken tahmini 937 AU kadar uzaklaşır; o kadar uzaktır ki, Güneş'in etrafında tek bir dönüşü yaklaşık 11 bin 400 yıl sürer.

Dünya merkezli teleskoplar uzaklığına rağmen Sedna'nın Mars'tan bile kızıl olduğunu ve Güneş sistemindeki en kırmızı cisim olduğunu gözler önüne sermeyi başardı. Kabuğunun Plüton gibi metan ve su buzu karışımından, bir miktar da kırmızı rengini veren karbon bazlı "tolin" kimyasallarından oluştuğu düşünülmektedir. 2014'te gök bilimcilerin benzer (ama daha küçük) bir yörüngede başka bir cisim keşfettiklerini duyurmaları küre şeklindeki Oort Bulutu'nun Güneş sistemi düzleminin yakınında içe doğru genişlediği görüşünü destekledi.


Günberi
~ 75 AU
Uranüs'ün
yörüngesi
Neptün'ün
yörüngesi
Sedna
yaklaşık 11,400
yıllık yörünge
süresi
Günöte
~ 937 AU

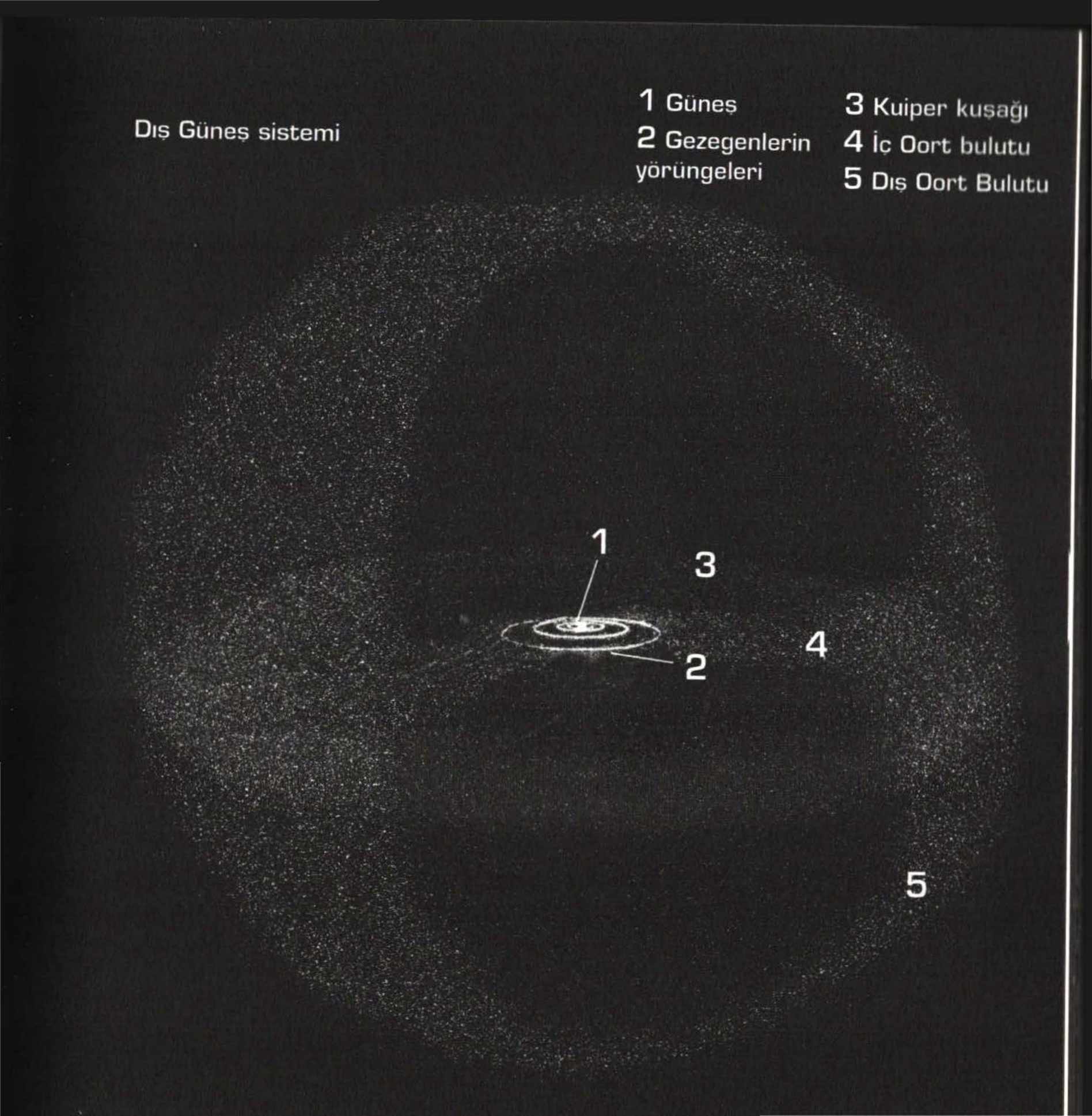
# Oort Bulutu

Aktif olmayan trilyonlarca buzul kuyruklu yıldız barındıran küre şeklindeki bu geniş hale, yaklaşık 1 ışık yılı uzaklıkta Güneş sistemimizi çevreler ve Güneş'in kütle çekim alanında hapsolmuş en uzak cisimleri içerir. Oort Bulutu Dünya'dan direkt olarak gözlemlenemez, fakat varlığı ilk olarak 1932'de Hollandalı gök bilimci Jan Oort tarafından, uzun dönemli kuyruklu yıldızların yörüngeleri, özellikle de "günöte"lerine (Güneş'ten en uzak noktalarına) ulaştıkları konumları üzerine yaptığı çalışmalarla tespit edilmiştir.

Oort Bulutu'ndaki kuyruklu yıldızlar bir zamanlar Güneş'e çok daha yakınlardı: Güneş sisteminin ilk zamanlarındaki "don sınırı"nın ötesindeki buzlu bir bölgede oluştular ve sonradan özellikle Jüpiter gibi dev gezegenlerle etkileşime geçerek uzak yörüngelere itildiler. Burada ender çarpışmalar ya da yakındaki diğer yıldızlarla yakın temaslar sonucunda oluşan gelgitler tarafından yörüngeden çıkarılıp Güneş sisteminin iç kısımlarına doğru geri itilene kadar Güneş'in etrafındaki milyon yıllık yörüngelerinde dönmeye devam ederler.

Dış Güneş sistemi

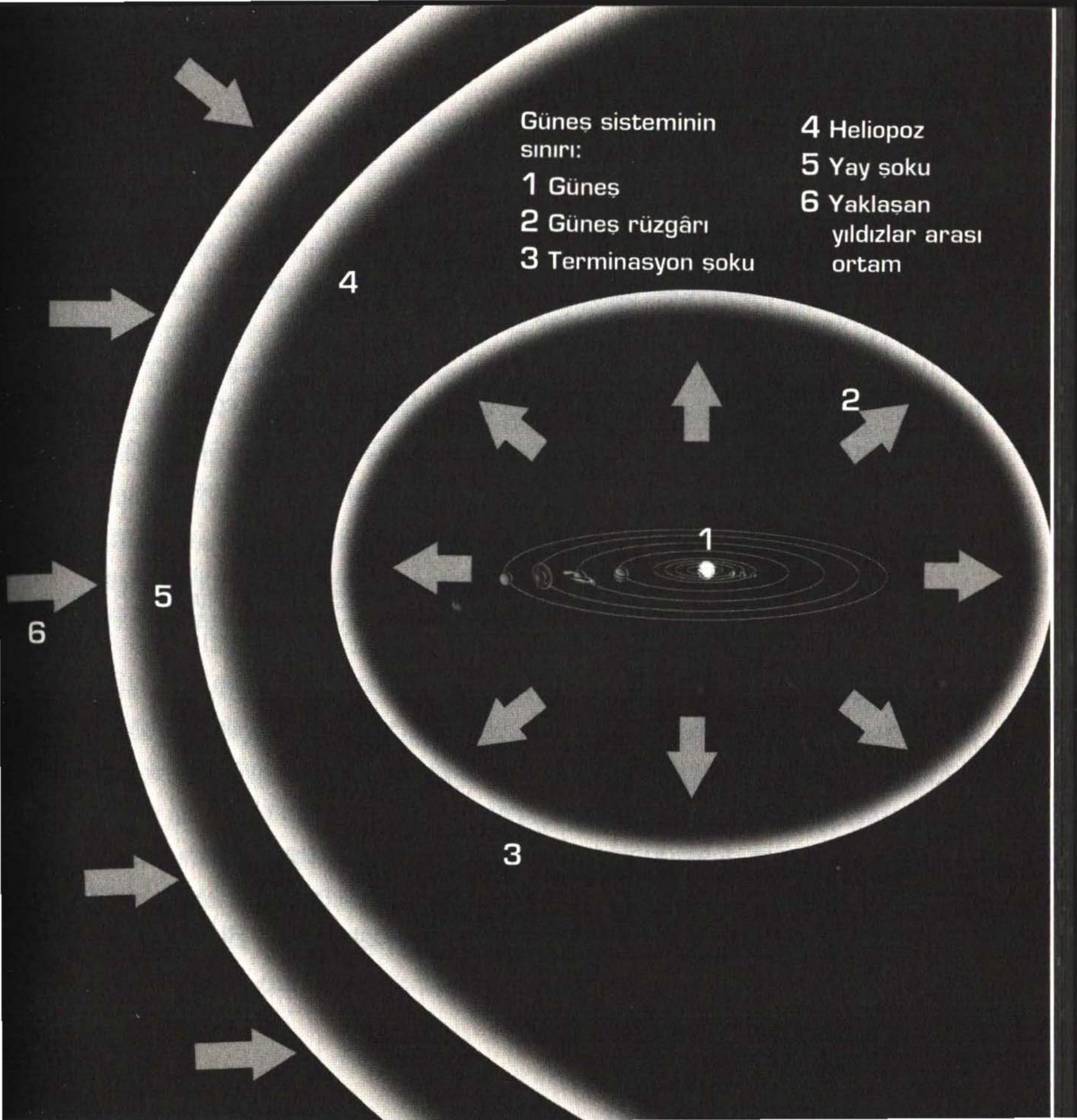
1 Güneş
2 Gezegenlerin yörüngeleri
3 Kuiper kuşağı
4 İç Oort bulutu
5 Dış Oort Bulutu



# Heliosfer

Oort Bulutu'nun Güneş'ten yaklaşık 1 ışık yılı uzaklıkta olmasına rağmen, çoğu gök bilimci Güneş sistemimizin sınırı olarak Güneş rüzgârının diğer bütün yıldızlardan gelen rüzgârlar karşısında gücünü yitirip yok olduğu daha yakın bir bölgeyi belirler. "Heliopoz" denen bu sınır Kuiper Kuşağı'yla kabaca örtüşür ve heliosfer olarak bilinen, daha yuvarlak tarafı Güneş sistemimizin evren içinde ilerlediği yönde olan yumurta şeklindeki bir uzay alanını tanımlar.

Günümüzde gezegenler arası yolculuk yapan birçok sonda görevini tamamladıktan sonra bu sınır bölgelerinde gezmektedir. Voyager 1 ve 2, Pioneer 10 ve 11 gibi misyonlar Güneş rüzgârının Güneş'ten uzaklaştıkça yavaşladığını ve "terminasyon şoku" denen noktaya ulaştığında hızının ses hızının altına düştüğünü gösteren veriler ilettiler. Buranın ötesinde, Güneş rüzgârının yıldızlar arası ortama karıştığı türbülanslı bölge, sonrasında ise tamamen kesildiği heliopoz bulunur.


Güneş sisteminin sınırı:
1 Güneş
2 Güneş rüzgârı
3 Terminasyon şoku
4 Heliopoz
5 Yay şoku
6 Yaklaşan yıldızlar arası ortam
1
2
3
4
5
6

# Takımyıldızlar

Astronominin köklü tarihi boyunca takımyıldızlara çeşitli anlamlar yüklenmiştir. Bunlar erken dönem yıldız gözlemcileri için gökyüzündeki sembolik şekillerdi ve ateş başında anlatılan hikâyelerde yer alırlardı. Sonradan astrologlar onları Güneş ve gezegenlerin içlerinden geçtiği, doğal afetlerden kişisel olaylara kadar her şeyi öngören ya da etkileyen desenler olarak gördü.

MS birinci yüzyılda Mısır kökenli Yunan gök bilimci İskenderiyeli Batlamyus bu antik gökyüzü kavrayışını kırk sekiz takımyıldızlık bir listeyle özetledi ama on altıncı yüzyıldan itibaren Avrupa'nın güney yarıküreyi keşfi ve teleskobun icadı çeşitli soru işaretleri doğurdu. Güney yarıküreden görülen yıldızlar nasıl sınıflandırılmalıydı? Yeni keşfedilen cisimler geleneksel modellerin neresine aitti? Eski takımyıldızlar arasındaki bariz "boşluklar" konusunda ne yapılmalıydı? Bunu takip eden dönemde listeye birçok yeni takımyıldız eklendi ve bu sistem Uluslararası Astronomi Birliği tarafından ancak 1930'da standartlaştırıldı.

Günümüzde gökyüzü her biri tanımlı bir alana ait seksen sekiz takımyıldıza bölünmüş hâldedir. Bu alanlardaki cisimleri tek tek tespit etmek için çeşitli sistemler kullanılır. En parlak yıldızlara farklı kaynaklardan aldıkları isimlerin yanı sıra Yunan harfleri de atanmıştır (böylece en azından teoride en parlak olan Alfa, ikinci parlak olan Beta şeklinde sınıflandırılır; bkz. s. 4). Daha sönük yıldızlar adlarını 1700'lerde İngiliz gök bilimci Royal John Flamsteed'in oluşturduğu kataloglardan alınan Flamsteed numaralarından değişen yıldızları belirten büyük harflere kadar, çeşitliliği şaşkınlık uyandıran kaynaklardan alırlar. Nebula ve galaksiler gibi yıldız olmayan "derin uzay" cisimleri kendi kataloglarındaki sayıları alırlar. Bunların en kapsamlıları Messier listesi (M) ve Yeni Genel Katalog'dur (NGC – New General Catalogue).

Gök cisimlerinin parlaklıkları ise kadir denilen karşılaştırmalı bir sistemle ölçülür. Klasik dönemde oluşturulan bu sistem aslen çıplak gözle görülen tüm yıldızları, birinci kadir en parlak olmak üzere altı kadre ayırmıştır. Astronomlar artık daha kesin bir tanım kullanıyorlar: Algılanan parlaklıktaki 100 kat artış 5,0 birimlik kadir farkına karşılık gelir. Bu durum en parlak yıldızların kadir değerlerinin negatif olması gibi garipliklere neden olsa da, ortaya sonsuza dek genişletilebilen bir sistem çıkar.

# Mevsimlere Göre Takımyıldızlar

**Kuzey dolaykutupsal takımyıldızlar**
Bu yıldız desenleri kuzey yarıküredeki çoğu gözlemciye yıl boyunca görünür.


Ursa Minor 136
Draco 138
Cepheus ve Camelopardalis 140
Cassiopeia 142
Ursa Major 146
Canes Venatici 148


**Kuzey ilkbaharı / güney sonbaharı**
Bu grupların gökyüzündeki en yüksek noktaları nisan ve haziran arasında gün batımından sonradır.


Bootes and Corona Borealis 150
Cancer 172
Leo ve Leo Minor 174
Coma Berenices 176
Virgo 178
Hydra 202
Crater, Corvus ve Sextans 204
Centaurus 206
Lupus 208
Antlia ve Pyxis 228
Vela 230
Carina 232


**Kuzey yazı / güney kışı**
Bu takımyıldızlar en iyi temmuz ve eylül arasında akşamın ilk saatlerinde görünürler.


Hercules 152
Lyra 154
Vulpecula and Sagitta 156
Cygnus 158
Libra 180
Serpens 182
Ophiuchus 184
Aquila ve Scutum 186
Delphinus ve Equuleus 188
Scorpius 210
Sagittarius 212
Norma ve Ara 238
Corona Australis 240

**Kuzey sonbaharı / güney ilkbaharı**
Bu kümedekilerin gökyüzündeki en yüksek noktaları ekim ve aralık arasında akşamlarıdır.


Andromeda ve Lacerta 160
Pisces 164
Aries ve Triangulum 166
Pegasus 190
Aquarius 192
Cetus 194
Capricornus 214
Piscis Austrinus ve Microscopium 216


**Kuzey kışı / güney yazı**
Bu desenlerin yeri en iyi ocak ve mart arasında gün batımından sonra bulunur.


Auriga ve Lynx 144
Perseus 162
Taurus 168
Gemini 170
Orion 196
Monoceros ve Canis Minor 198
Canis Major 200
Sculptor ve Fornax 218
Eridanus 220
Horologium ve Caelum 222
Lepus ve Columba 224
Puppis 226


**Güney dolaykutupsal takımyıldızlar**
Bu desenler güney yarıküredeki yıldız gözlemcilerine yıl boyu görünürler.


Crux ve Musca 234
Circinus ve Triangulum Australe 236
Telescopium ve Pavo 242
Grus ve Phoenix 244
Pictor, Dorado ve Reticulum 246
Mensa, Volans 248
Chamaeleon ve Apus 250
Indus ve Tucana 252
Hydrus ve Octans 254

# Ursa Minor (Küçük Ayı)

Ursa Minor gökyüzünde en kuzeydeki takımyıldızdır ve kuzey yarıkürenin tamamından sürekli görülür. Şekli, kendisinden daha büyük olan Büyük Ayı - Ursa Major'u andırır (bkz. s. 146) ve en parlak yıldızı Polaris ayının kuyruğunun ucuna denk gelir.

Kutup Yıldızı olarak da bilinen Polaris, Dünya'nın her gün kendi etrafında dönmesi sonucunda bütün gök küresinin dönüyormuş gibi gözüktüğü döngül noktası olan kuzey gök kutbuyla yarım dereceden daha küçük bir açı yapar. Bunun sonucu olarak gökyüzünde her gece neredeyse sabit kalır. Fakat Polaris bu yönde tamamen şans eseri bulunur ve bu sadece geçici bir hizalanmadır. Dünya'nın eksen eğikliği yönünde gerçekleşen ve "presesyon" diye bilinen yavaş yalpalama sonucunda hem kuzey hem de güney gök kutuplarının gökyüzü 25 bin 800 yıllık bir döngüde hareket eder. Polaris ise Dünya'dan yaklaşık 430 ışık yılı uzakta sarı bir üstdevdir. Bir zamanlar bir Sefe değişeni yıldızı (bkz. s. 300) olan Polaris şimdi sabit 2,0 kadir değeriyle parlamaktadır.


α
POLARIS
CEPHEUS
δ
ε
ζ
η
β
γ
URSA MINOR
DRACO

# Draco (Ejderha)

Bu büyük takımyıldız, kutup takımyıldızı Ursa Minor'un etrafında dönerek kuzey gök kutbu çevresinde ilerler. Mitolojik yarı tanrı Herakles'in yerine getirmesi gerekli olan on iki görevinden biri olarak savaştığı ejderhayı temsil eder, kahramanın kendisi de yakınlarda (bkz. s. 152), ejderhanın kafasının üzerindedir.

Draco'nun en parlak yıldızı, dünyadan yaklaşık 150 ışık yılı uzaklıkta, 2,2 kadir değerine sahip turuncu dev Etamin'dir (Gamma Draconis). Etamin ile Güneş'imiz uzayda birbirine yaklaşmaktadır; 1,5 milyon yıl içinde aralarında 28 ışık yılı kalacak mesafede birbirlerinin yanından geçecekler; bu süre zarfında Etamin, Sirius'tan daha fazla parlayarak gökyüzündeki en parlak yıldıza dönüşebilir. Arrakis (Mu Draconis) her biri 5,7 kadir değerinde sarı-beyaz yıldızlardan oluşan çekici bir çift yıldız sistemidir ve yüksek büyütme oranlı ortalama bir teleskopla ayrılabilir. Meşhur Kedi Gözü Nebulası NGC 6543 ise Dünya'dan 3600 ışık yılı uzakta yer alan, 8,1 kadir değerine sahip, göz alıcı bir gezegenimsi nebuladır.


URSA MINOR
CEPHEUS
DRACO
ε
τ
ρ
σ
χ
υ
ψ
δ
φ
λ
π
κ
ω
NGC
6543
ζ
THUBAN
ο
α
η
ξ
ARRAKIS
URSA
MAJOR
ι
ETAMIN
γ
ν
μ
θ
β
LYRA
CANES VENATICI
CORONA BOREALIS
BOOTES

# Cepheus (Kral) ve Camelopardalis (Zürafa)

Kuzey yarıkürenin göklerindeki bu iki takımyıldız gökyüzünde büyük yer kaplasa da hayli belirsizdir. Cepheus, Kraliçe Cassiopeia'nın kocası (bkz. s. 142) antik Etiyopya kralı Sefe'yi temsil eden antik bir yıldız desenidir. Camelopardalis ise gökyüzüne 1613'te Hollandalı ilahiyatçı Petrus Plancius tarafından eklenmiştir.

Kuzey Samanyolu'nun bir kısmını barındıran Cepheus, Lâl Yıldızı diye de bilinen kırmızı üstdev Mu Cephei gibi birçok meşhur değişen yıldıza ev sahipliği yapar. Mu Cephei bilinen en büyük ve parlak yıldızlardan biridir (Güneş sistemimizde olsaydı büyüklüğü Jüpiter'in yörüngesine ulaşırdı) ve 350 bin Güneş gücünde enerji yayar. Diğer bir ünlü değişen yıldız ise, 890 ışık yılı uzaktaki, kadir değeri 5,37 olup günlük düzenli döngüleri sırasında 3,6 ila 4,3 arasında değişen sarı üstdev Delta Cephei'dir. Fakat Camelopardalis'in en ilgi çekici üyesi NGC 1502 yıldız kümesine uzanan renkli yıldızlar dizisi Kemble's Cascade'dir (Kemble'ın Çağlayanı).


LYNX
URSA MAJOR
URSA MINOR
DRACO
CAMELOPARDALIS
β
α
γ
NGC 1502
CEPHEUS
κ
γ
β
θ
η
α
ι
ν
δ
μ
ε
PERSEUS
CASSIOPEIA
LACERTA

# Cassiopeia (Kraliçe)

Gökyüzündeki en dikkat çekici takımyıldızlardan biri olan Cassiopeia'nın en parlak yıldızları, kuzey gök kutbunun etrafında Büyük Ayı - Ursa Major'un karşı tarafında dönen, W şeklinde belirgin bir desen oluşturur. Bu antik küme Perseus efsanesindeki Andromeda'nın annesi olan ve güzelliğiyle övündüğü için kıskanç tanrıça Hera'nın saldırgan deniz canavarı Cetus'u üzerine saldığı kibirli kraliçeyi temsil eder.

Cassiopeia, Messier 52, Messier 103 gibi etkileyici yıldız kümelerinin de bulunduğu Kuzey Samanyolu'nun geniş bir parçasına ev sahipliği yapar. En parlak yıldızı Gamma Cassiopeiae yaklaşık 610 ışık yılı uzaklıkta, Güneş'in on katı kütleye ve 40 bin katı parlaklığa sahip, hızlı dönen, mavi-beyaz bir yıldızdır. Parlaklığı daha az olan Schedar (Alpha Cassiopeiae) Dünya'dan 230 ışık yılı uzakta ve Güneş'ten 500 kat daha parlak, sarı-turuncu bir devdir; yakınlardaki Caph (Beta Cassiopeiae) ise 54 ışık yılı uzaklıkta sarı-beyaz bir devdir.


CAMELOPARDALIS
CASSIOPEIA
CEPHEUS
PERSEUS
ANDROMEDA
ε
κ
M52
M103
γ
β
CAPH
δ
υ
ρ
η
SCHEDAR
α
λ
θ
ζ
ν
ξ
ο
π

# Auriga (Arabacı) ve Lynx (Vaşak)

Auriga'nın parlak yıldızları kışın kuzey gökyüzünde antik Charioteer (Arabacı) takımyıldızını belirgin kılar. Komşusu Lynx, Polonyalı gök bilimci Hevelius'un 1680'lerde yaptığı, muğlaklığıyla meşhur keşfidir.

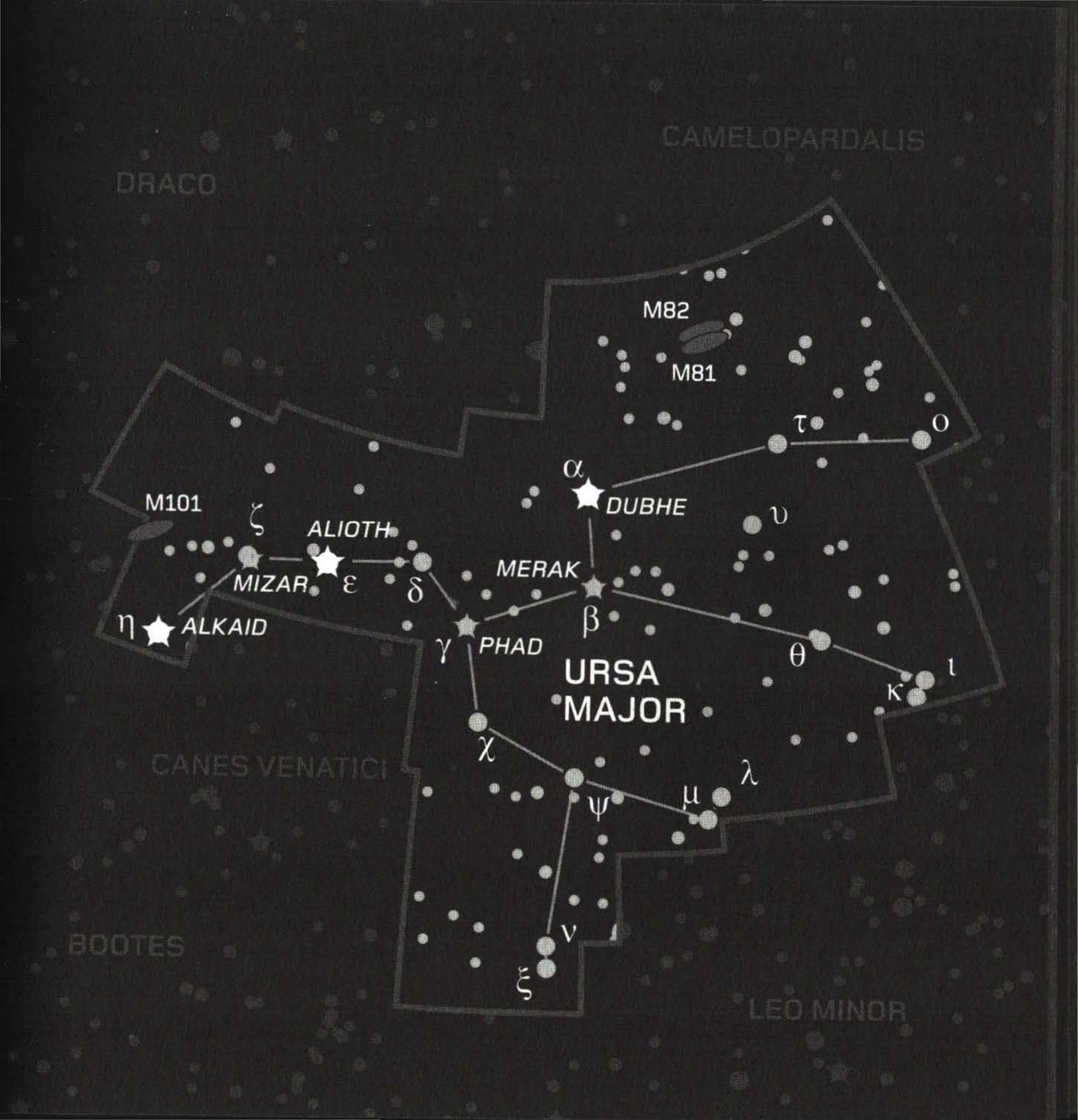
Dünya'dan yalnızca 42 ışık yılı uzakta bulunan, 0,1 kadir değerindeki Capella (Alpha Aurigae) en güçlü teleskoplarla bile ayırt edilemeyecek kadar dar bir yörünge çizen, ikiz sarı-devden oluşan bir çift yıldız sistemidir. Yakınında "Çocuklar" olarak bilinen ve bir çift keçiyi temsil eden yıldız üçgeni bulunur. Bunlardan biri olan Zeta, bir örten değişen çift yıldızdır (bkz. s. 302) ve kadir değeri her 972 günde 3,75'ten 4,0'a düşer. Kafa karıştırıcı bir sistem olan Epsilon Aurigae'nin parlaklığı her 27 yılda bir azalır ve bir yıl boyunca öyle kalır. Ayrıca yıldızlardan biri ön gezegen diskine (genç bir Güneş sistemi) sahip başka bir yıldız tarafından tutulur. Messier 36, M37 ve M38 adlı Samanyolu yıldız kümesi üçlüsü ise amatör gözlemciler için son derece ilgi çekicidir.


CAMELOPARDALIS
URSA MAJOR
LYNX
δ
CAPELLA
ε
π
α
β
ζ
η
α
AURIGA
θ
M36
M38
M37
ι
LEO MINOR
κ
χ
TAURUS
CANCER
GEMINI
ORION

# Ursa Major (Büyük Ayı)

Gökyüzündeki belki de en meşhur takımyıldız olan Büyük Ayı kuzey yarıküre göklerinin yıl boyu demirbaşıdır ve orta-güney enlemlerden de geniş ölçüde görülebilir. Ursa Major'un en parlak yedi yıldızı Saban ya da Büyük Kepçe olarak bilinen deseni oluşturur ama takımyıldızın tamamı çok daha öteye uzanır ve gökyüzündeki en parlak üçüncü takımyıldızdır. Kepçe'nin "kap" kısmının ucundaki iki parlak yıldız Dubhe ile Merak'tır ve kutup yıldızı Polaris'i gösterdikleri için İşaretçi Yıldızlar olarak da bilinirler.

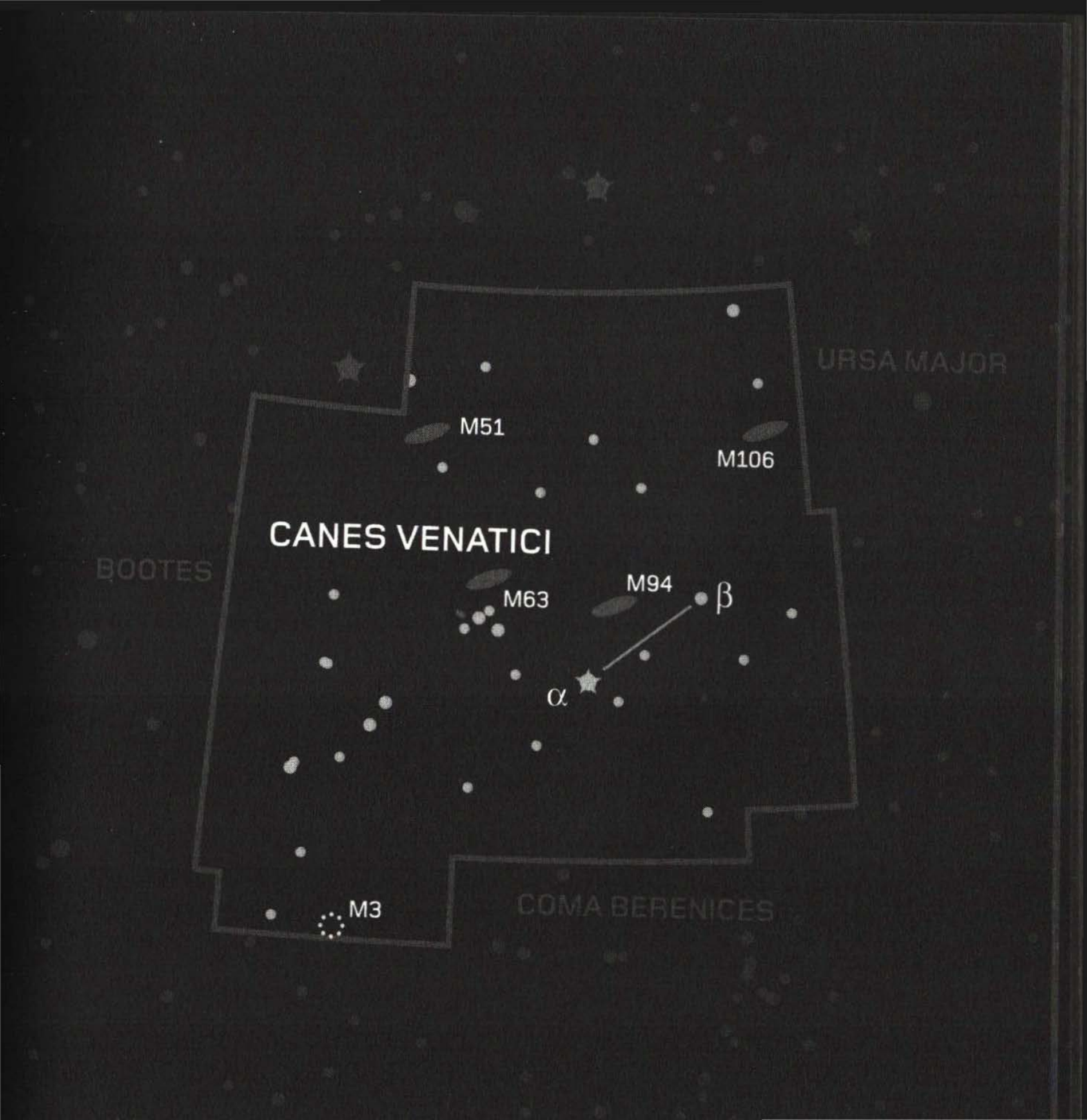
Ursa Major'u oluşturan yıldızların çoğu yaklaşık 300 milyon yıl önce aynı yıldız kümesinden çıkmışlardır ve hâlâ uzayda Dünya'dan 80 ışık yılı uzakta birlikte hareket ederler. Gözlemcilerin ilgisini çekebilecek yıldızlar arasında, aslında karmaşık bir çoklu sistem olan ayının kuyruğundaki meşhur çift yıldız Mizar ile Alcor; yakınındaki parlak sarmal galaksi Messier 81 ile onun düzensiz komşusu Puro Galaksisi (M82); Dünya'dan 27 milyon ışık yılı uzaklıkta, tam karşıdan görülen sarmal Fırıldak Galaksisi (M101) vardır.


CAMELOPARDALIS
DRACO
M82
M81
τ
ο
α
DUBHE
M101
ζ
ALIOTH
υ
MERAK
MIZAR
ε
δ
η
ALKAID
β
γ
PHAD
θ
ι
κ
URSA
MAJOR
χ
λ
CANES VENATICI
μ
ψ
ν
BOOTES
ξ
LEO MINOR

# Canes Venatici (Av Köpekleri)

Büyük Ayı'nın kuyruğunun altında kalan küçük Av Köpekleri takımyıldızı, bünyesinde önemli sayılabilecek yalnızca iki yıldız barındırsa da ilginç cisimlere ev sahipliği yapar. On yedinci yüzyılın sonlarında Johannes Hevelius tarafından bulunan bu desen, çoban Boötes'in gök kutbu etrafında Büyük ve Küçük Ayı'yı durmadan kovalayan köpeklerini temsil eder.

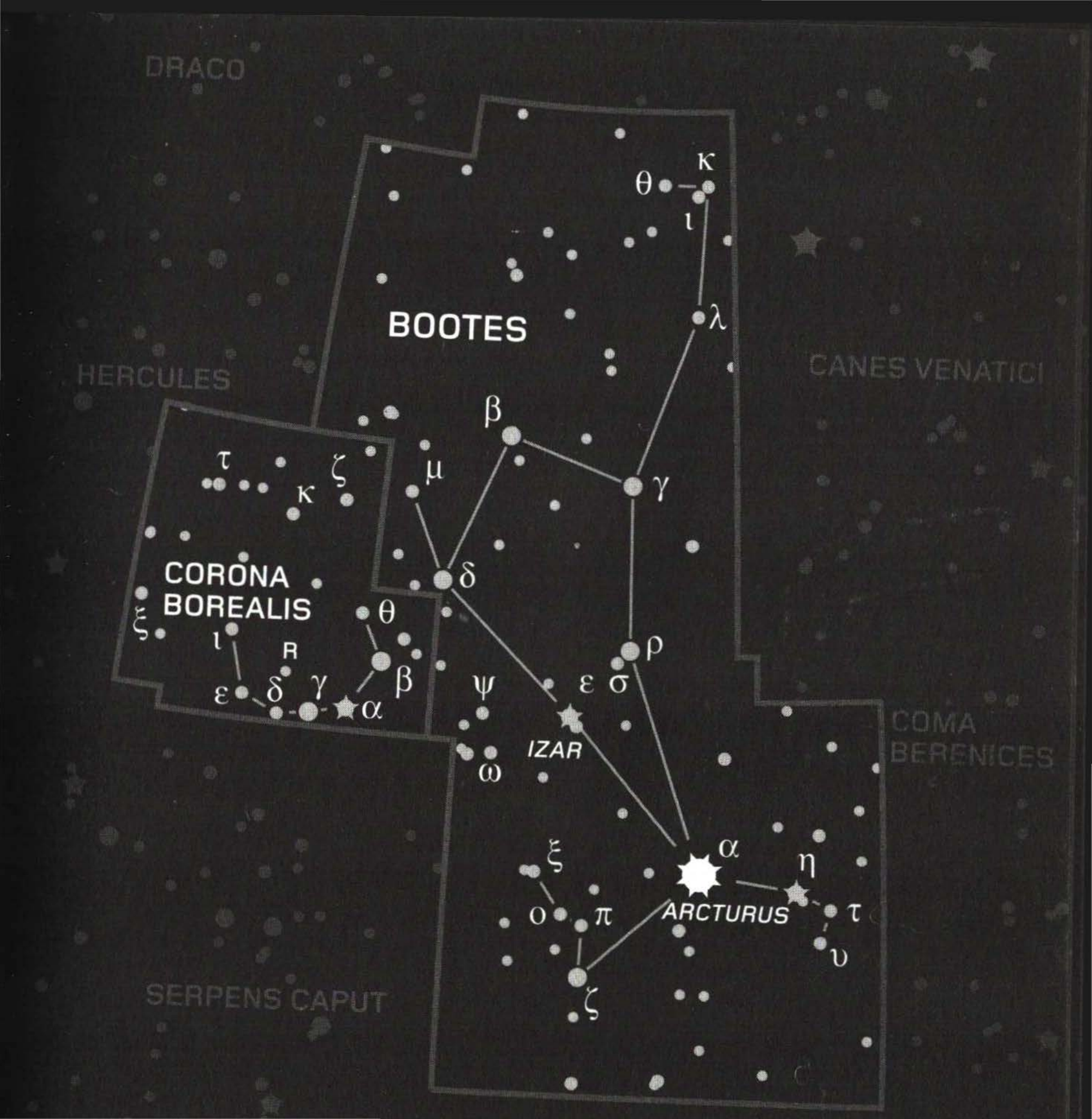
En parlak yıldız Alpha Canum Venaticorum (Cor Caroli ya da idam edilen Britanya Kralı I. Charles'ın şerefine Charles'ın Kalbi olarak da adlandırılır) dünyadan 82 ışık yılı uzakta geniş bir çift yıldız sistemidir; 2,9 ve 5,6 kadirlerindeki iki üyesi dürbünle kolayca ayırt edilebilir. Messier 3 ise kuzeydeki en iyi küresel yıldız kümelerinden biridir (bkz. s. 308); çıplak göz görüşünün hemen altında olduğu için dürbünle bulanık bir yıldız olarak tespit edilir. Takımyıldızın en çarpıcı üyesi ise Dünya'dan yaklaşık 51 milyon yıl uzakta, tam karşıdan görülen sarmal Girdap Galaksisi'dir (Messier 51).


URSA MAJOR
M51
M106
CANES VENATICI
BOOTES
M63
M94
β
α
M3
COMA BERENICES

# Boötes (Çoban) ve Corona Borealis (Kuzeytacı)

Bu iki eski takımyıldız kuzey göklerinde uzun bir uçurtma ile yıldızlardan oluşan sıkı bir yay şeklindedir. Boötes, ayıları sürüsünden kovalayan bir çobanı, Corona Borealis ise Prenses Ariadne'nin düğün tacını temsil eder. Yaklaşık 36 ışık yılı uzaklıkta ve -0,04 kadre sahip bir kırmızı dev olan Arcturus (Alfa Boötis) gökyüzündeki en parlak dördüncü yıldızdır. Izar (Epsilon Boötis) ise 150 ışık yılı uzaklığında, güzel görünümlü bir çift yıldızdır; turuncu ve mavi üyeleri ufak bir teleskopla ayırt edilebilir. Tau Boötis'in 4,5 kadirlik parlaklığı sönük kalsa da, Dünya'dan yaklaşık 51 ışık yılı uzaklıktaki başka bir yıldızın etrafında yörünge çizen ilk gezegenlerden birine ev sahipliği yapar.

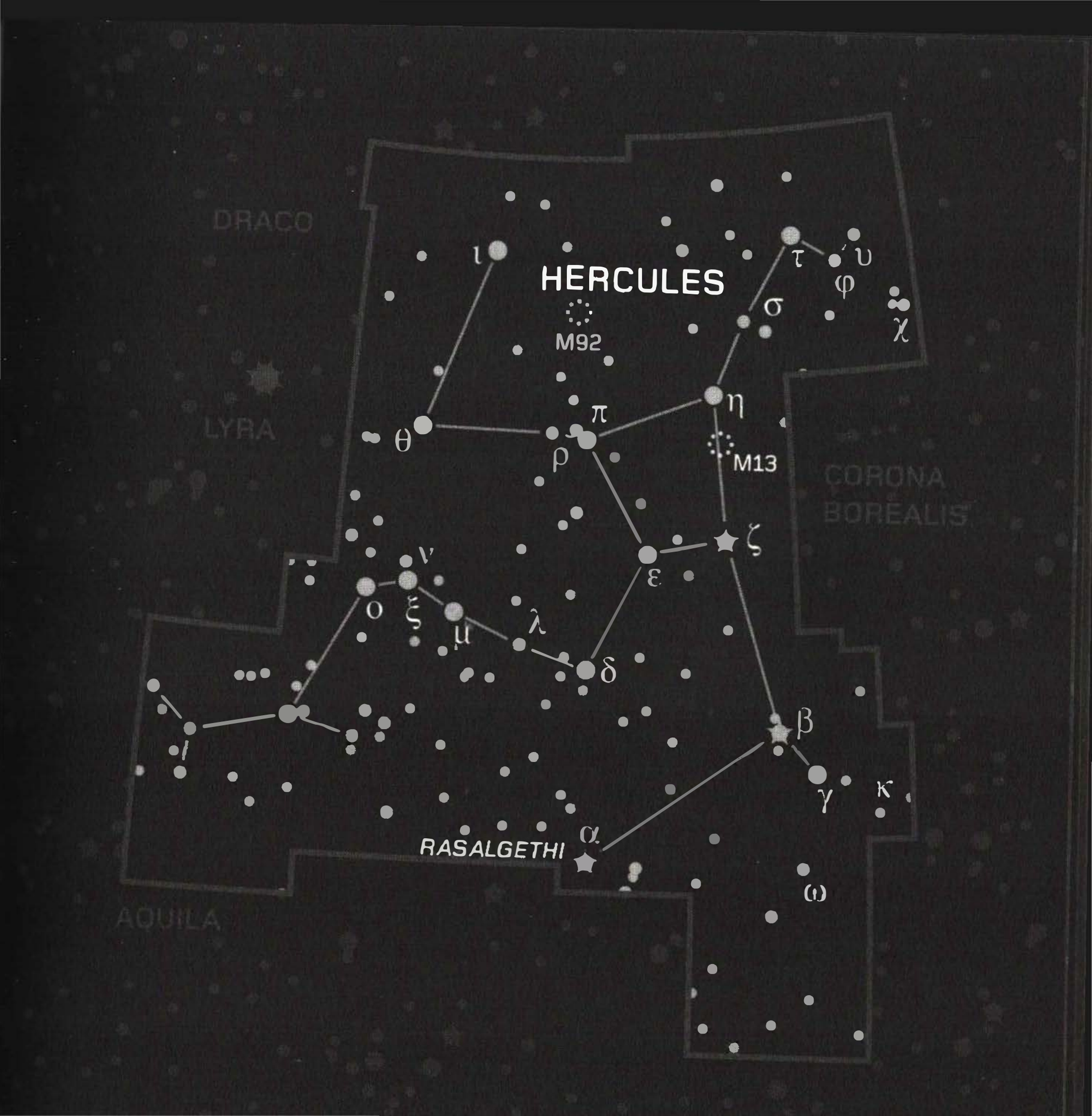
Corona Borealis iki meşhur değişen yıldızı bünyesinde barındırır: Birkaç on yılda bir parlaklığı 11 kadirden 2'ye çıkan bir tekrarlayan nova olan "Alev Yıldızı" T Coronae Borealis ve birkaç yılda bir kendi oluşturduğu devasa toz bulutunun arkasında kaldığı için 5,B'lik kadir değeri düşen, uzak bir sarı üstdev olan gizemli R Coronae Borealis.


DRACO
BOOTES
HERCULES
CANES VENATICI
CORONA BOREALIS
COMA BERENICES
SERPENS CAPUT
IZAR
ARCTURUS
κ
θ
ι
λ
β
τ
ζ
μ
γ
κ
δ
ξ
θ
ι
R
ρ
ε
δ
γ
β
ψ
ε
σ
α
ω
ξ
α
η
ο
π
τ
υ
ζ

# Hercules (Herkül)

Büyük ve dağınık bir takımyıldız olan Hercules, on iki göreviyle ünlü Yunan yarı tanrısını temsil eder. Dört yıldızdan oluşan kare şeklindeki "Kilit Taşı" Herkül'ün vücudunu temsil eder; buradan çıkan serbest yıldız zincirleriyse kollarını ve bacaklarını oluşturur. Çoğunlukla bir ayağı ejderha Draco'nun (bkz. s. 138) kafasına gelecek şekilde "baş aşağı" tasvir edilir.

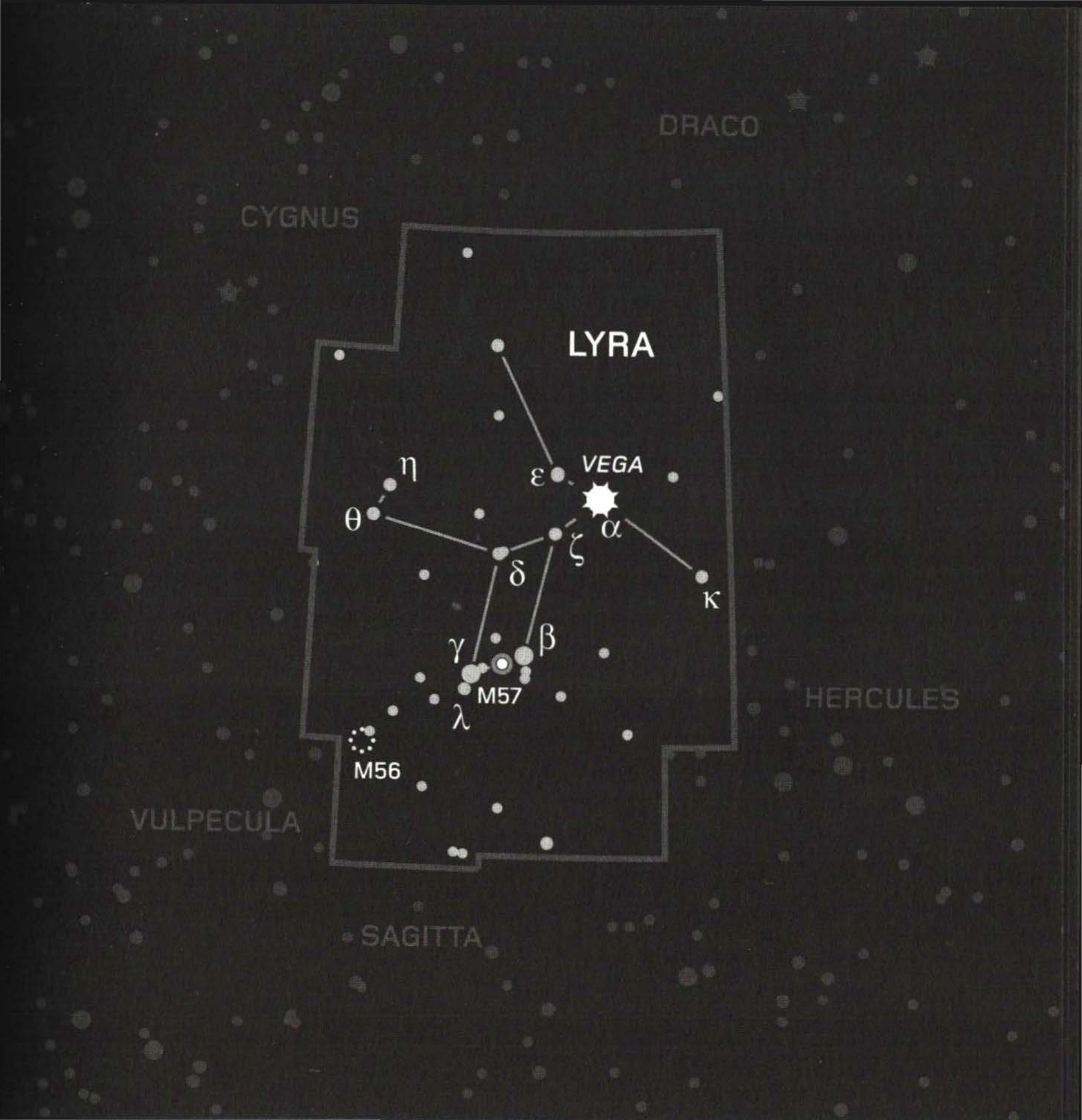
Rasalgethi (Alfa Herculis), Dünya'dan 380 ışık yılı uzakta aralıklı bir çoklu yıldızdır. En parlak ögeleri parlaklığı 2,8 ve 4,0 kadir arasında değişen tutarsız bir kırmızı dev ile 5,3 kadre sahip soluk bir sarı devdir (kendisine ait daha soluk bir sarı cüce yoldaşı vardır). Ancak Hercules'in en göz alıcı özelliği kuşkusuz kuzeydeki en güzel küresel küme olan Messier 13'tür. Yaklaşık 300 bin yıldızdan oluşan bu devasa küre Dünya'dan ortalama 25 bin ışık yılı uzaktadır ve parlaklığı çıplak göz görüşünün sınırındadır. Dürbünle flu bir küre olarak görülürken, küçük bir teleskopla yardımıyla uçlardaki yıldızlar dahi tek tek ayırt edilebilir.


HERCULES
DRACO
LYRA
CORONA BOREALIS
AQUILA
M92
M13
RASALGETHI
ι
τ
υ
φ
σ
χ
η
π
θ
ρ
ζ
ε
ν
ο
ξ
μ
λ
δ
β
γ
κ
α
ω

# Lyra (Çalgı)

Sıkışık ama belirgin bir takımyıldız olan Lyra, Yunan kahramanı Orfeus'un Ölüler Diyarı'na inerken çaldığı telli lir enstrümanının temsilidir. 0,0 kadir değerine sahip ışıltılı yıldızı Vega (Alpha Lyrae), parlak kuzey yıldızlarından oluşan "yaz üçgeni"nin bir köşesini oluşturur (diğer köşelerde Cygnus'taki Deneb ve Aquila'daki Altair vardır).

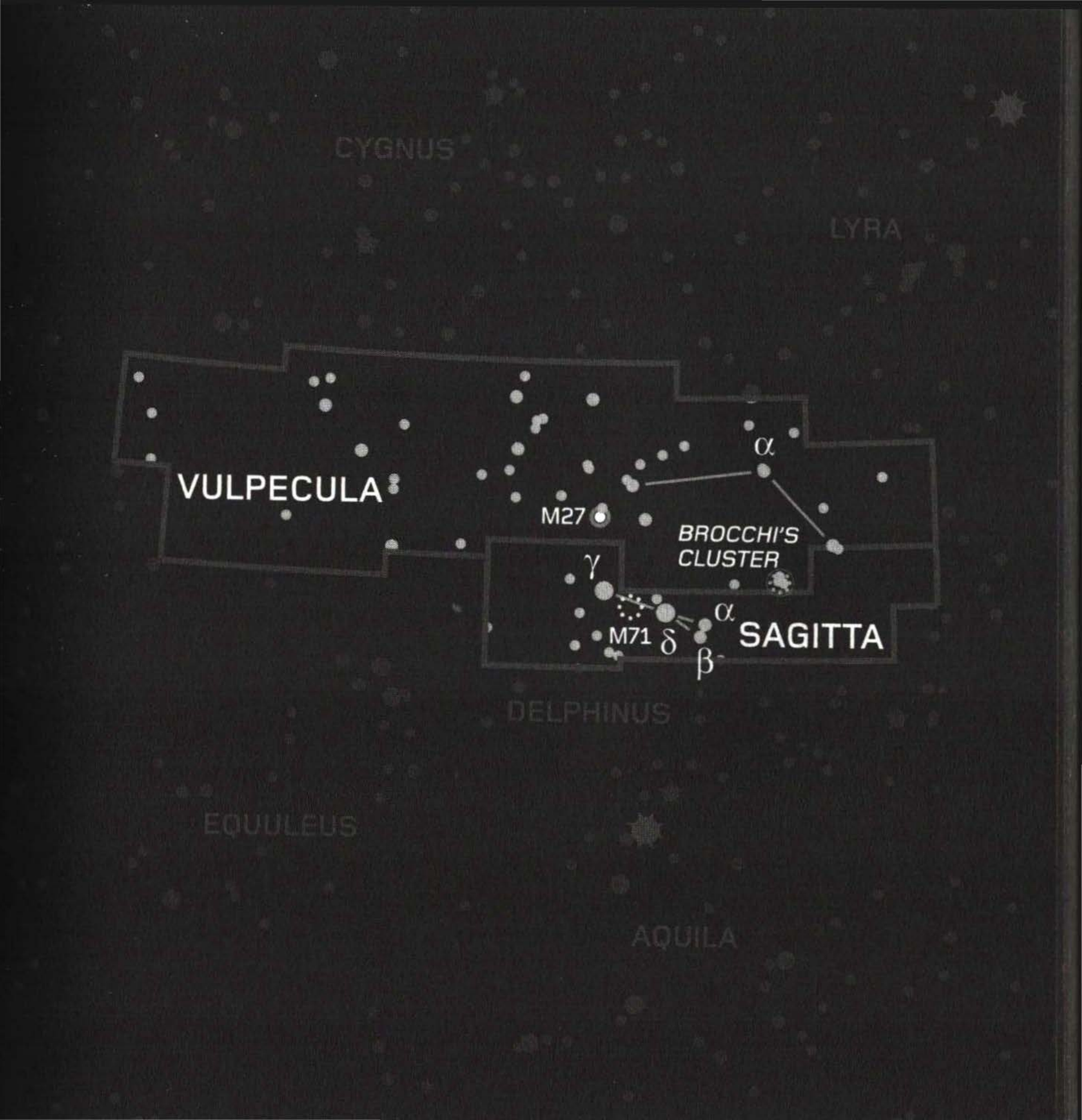
Vega, Dünya'dan 25 ışık yılı uzakta, Güneş'ten 50 kat daha parlak, genç bir beyaz yıldızdır ve etrafı bir gezegen sistemi oluşturduğu düşünülen disk biçimli bir atık halesiyle çevrelenmiştir. Halka Nebulası (Messier 57) ise bunun aksine, yaşam döngüsünün öbür ucundaki bir yıldızın yerini işaret eder: Dünya'dan 1100 ışık yılı uzaklıkta ölmekte olan Güneş benzeri bir yıldız dış katmanlarını uzaya saçarken bu parlak gezegenimsi nebulayı yaratmıştır. 9,5 kadir değerindeki Halka Nebulası ufak bir teleskopla net görülür. Ünlü "çift çift" yıldız Epsilon Lyrae'nin iki ögesi ise, dürbünle görülürken teleskopla bakıldığında yine ikiye bölünür.


DRACO
CYGNUS
LYRA
VEGA
η
ε
θ
α
ζ
δ
κ
γ
β
M57
λ
M56
HERCULES
VULPECULA
SAGITTA

# Vulpecula (Tilkicik) ve Sagitta (Okçuluk)

Cygnus'un güneyinde iki küçük takımyıldız yer alır. Bunların ilki antik çağlardan beri fark edilen, ok şeklindeki ufak ama belirgin bir takımyıldız; diğeri ise daha az belirgin olan, on yedinci yüzyılda Johannes Hevelius tarafından bulunan ve başlarda "Küçük Tilki ve Kaz" olarak bilinen takımyıldızdır. Vulpecula'ya ait iki derin uzay cismi onun en belirgin özellikleridir: Soluk yıldızlardan oluşan, askılık şeklindeki Brocchi'nin Kümesi ile gökteki en parlak gezegenimsi nebula Messier 27. Dünya'dan 1000 ışık yılı uzakta bulunan ve ölmekte olan bir yıldız tarafından saçılan bu gaz kabuğun çapı Ay'ınkinin çeyreği kadardır ve karanlıkta dürbünle görülebilir.

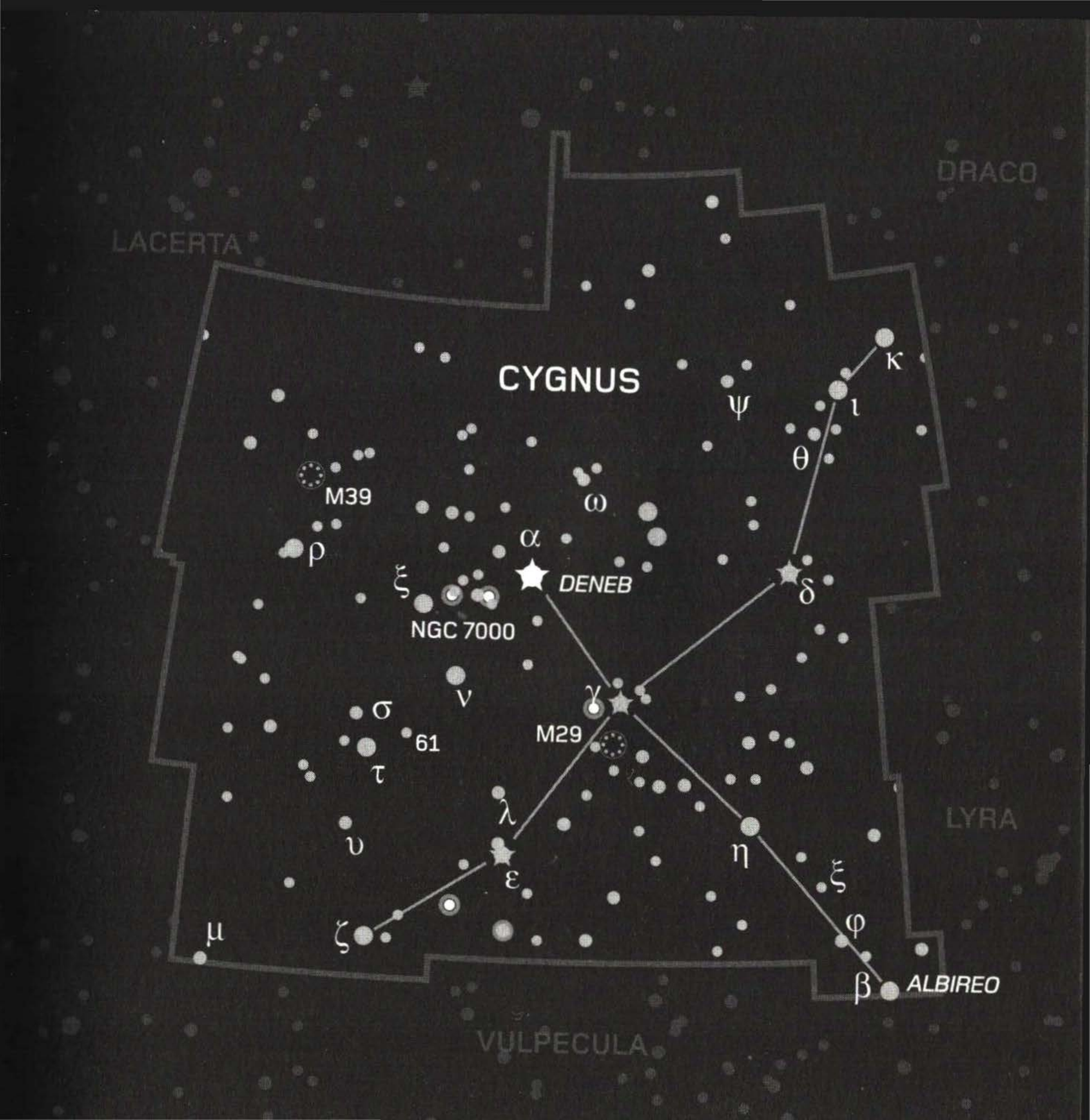
Kadir değerleri 4,4 olan ikiz sarı yıldız Alfa ve Beta Sagittae, Dünya'nın yaklaşık 470 ışık yılı uzaktaki gerçek komşularıdır. Fakat Sagitta'nın en parlak yıldızı okun ucunda duran, 175 ışık yılı uzaktaki turuncu dev Gamma Sagittae'dir. Takımyıldızın 13 bin ışık yılı uzaktaki tek Messier cismi M71, dürbünle görülebilen bir küresel yıldız kümesidir.


CYGNUS
LYRA
VULPECULA
α
M27
BROCCHI'S
CLUSTER
γ
α
M71
δ
SAGITTA
β
DELPHINUS
EQUULEUS
AQUILA

# Cygnus (Kuğu)

Parlak ve kolayca görülen bu takımyıldız Kuzey Samanyolu'nu boydan boya uçan bir kuğuyu temsil eder. Çıplak gözle bakıldığında en belirgin ögesi Cygnus Yarığı'dır; bu karanlık "boşluk" uzak yıldız bulutlarının ışığını engelleyen yakındaki bir toz bulutu tarafından oluşturulmuştur.

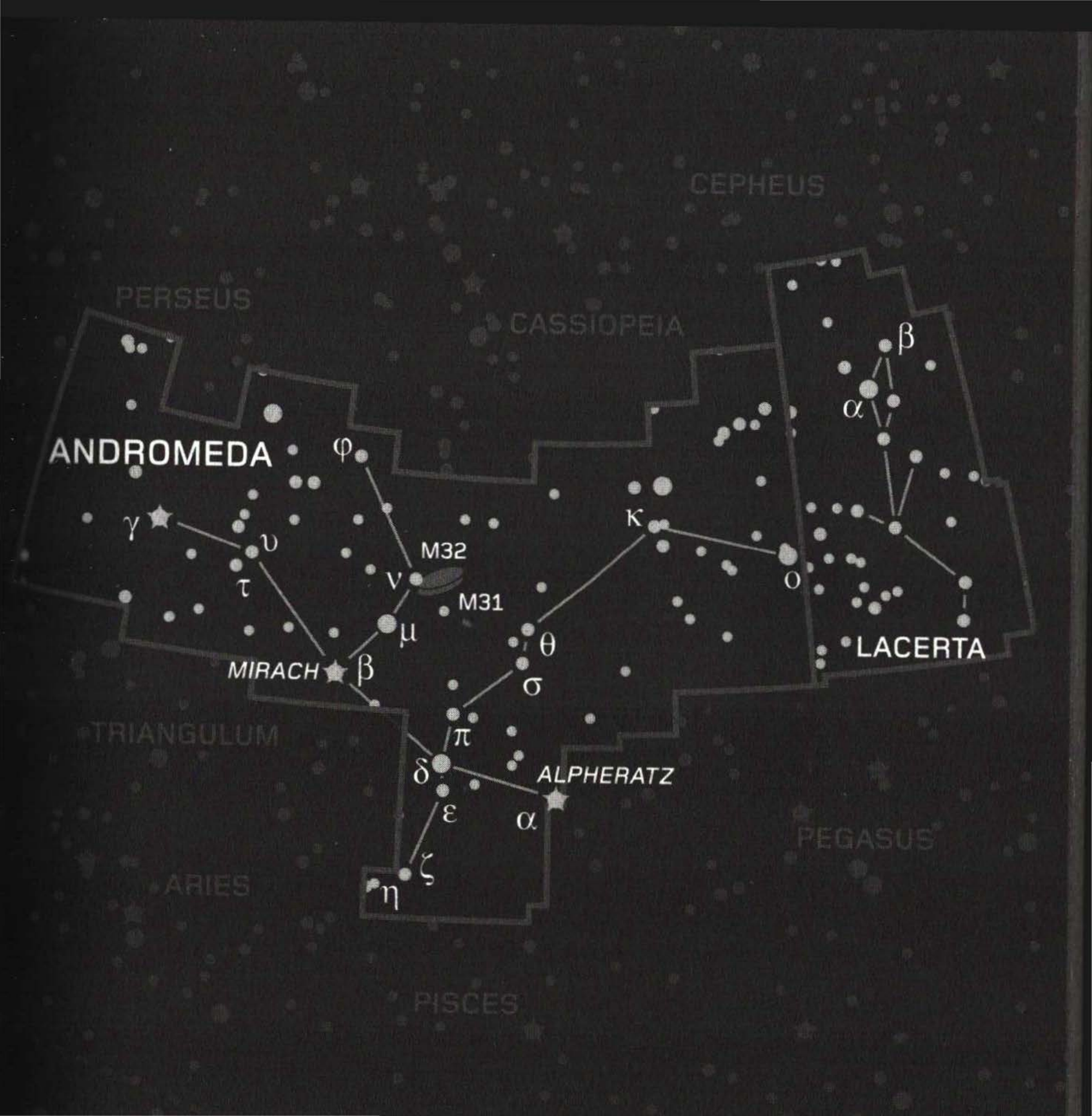
Deneb (Alfa Cyngi) 1,3 kadir değerinde parlasa da gökteki en çok ışık yayan yıldızlardan biridir; Dünya'dan 2600 ışık yılı uzaklıktadır ve Güneş'ten 160 bin kat daha parlaktır. Albireo (Beta Cygni) meşhur bir çift yıldızdır. Dürbünle bakıldığında ortaya Dünya'dan 385 ışık yılı uzaklıkta, biri 3,1, biri de 4,7 kadir değerinde sarı ve mavi bir çift yıldız çıkar. 61 Cygni daha soluk olsa da daha yakın bir çift yıldızdır. Dünya'dan yaklaşık 10,4 ışık yılı uzakta, kadirleri 5,2 ve 6,0 olan bu geniş turuncu yıldız çifti aynı zamanda uzaklıkları kesin olarak saptanmış ilk yıldızdır. Kuzey Amerika Nebulası (NGC 7000) ise gökyüzündeki en büyük salma nebulasıdır ve dürbünle ya da bir geniş alan teleskobuyla daha iyi görülür.


DRACO
LACERTA
CYGNUS
κ
ι
ψ
θ
M39
ω
α
ρ
DENEB
ξ
δ
NGC 7000
ν
γ
σ
M29
61
τ
λ
LYRA
υ
η
ε
ξ
φ
μ
ζ
β
ALBIREO
VULPECULA

# Andromeda ve Lacerta (Kertenkele)

Andromeda takımyıldızı Pegasus Karesi'nin kuzeydoğu köşesinden çıkan iki yıldız zincirinden oluşur. Kral Kepheus ve Kraliçe Kassiopeia'nın Cetus adlı canavara kurban olmaya mahkûm edilen ve Yunan kahramanı Perseus tarafından kurtarılan kızını temsil eder. Johannes Hevelius tarafından on yedinci yüzyılda keşfedilen Lacerta ise kaçan bir kertenkeledir.

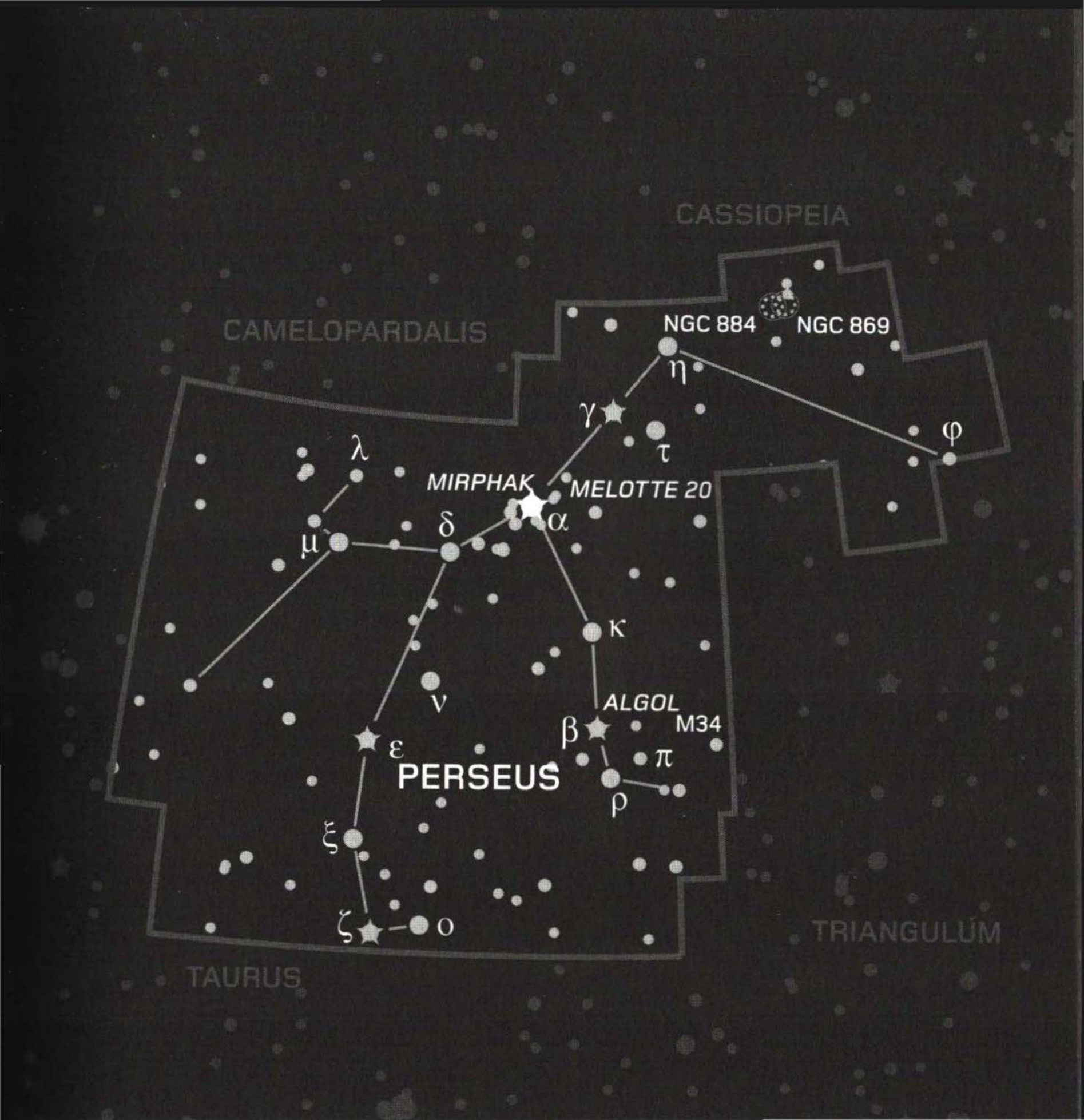
Alpheratz (Alfa Andromedae) Dünya'dan 97 ışık yılı uzakta, -2,1 kadre sahip mavi beyaz bir yıldızdır. Işığı incelendiğinde en güçlü teleskopla dahi ayırt edilemeyen bir çift yıldız sistemi olduğu ortaya çıkmıştır. Gamma Andromedae ise farklı boyut ve büyütme oranlarına sahip teleskoplarla ayırt edilebilen üç ögeye sahip, güzel görünümlü bir çoklu sistemdir. Fakat Andromeda'nın en meşhur cisimleri galaksileridir: Bunlar devasa sarmal Messier 31 (çıplak gözle görülebilen en uzak cisimdir; 3,4 kadir parlaklığındaki ışığı 2,9 milyon ışık yılı uzaktan bize ulaşır) ile onun bitişik uyduları M32 ve M110'dur.


CEPHEUS
PERSEUS
CASSIOPEIA
ANDROMEDA
φ
γ
υ
τ
M32
ν
M31
μ
MIRACH
β
κ
ο
θ
σ
β
α
LACERTA
TRIANGULUM
π
δ
ε
ALPHERATZ
α
PEGASUS
ζ
η
ARIES
PISCES

# Perseus (Kahraman)

Bu parlak ama kısmen biçimsiz kuzey takımyıldızı, Cassiopeia ve Auriga'nın arasından Samanyolu'nda iki yana uzanır. Gorgon Medusa'yı öldüren ve prenses Andromeda'yı deniz canavarı Cetus'tan kurtaran Yunan kahramanını temsil eder. Perseus, Medusa'nın kafasını sol elinde sallarken tasvir edildiği için meşhur değişen yıldız Algol (Beta Persei) gorgonun gözüne denk gelir. Bu, tutulduğu gözlenen ilk çift yıldızdır. Her 2,87 günde bir birbirlerinin etrafında dönerek parlaklığın on saatliğine 2,1'den 3,4'e düştüğü periyodik tutulmalara neden olurlar.

Mirphak (Alpha Andromedae) Dünya'dan 590 ışık yılı uzakta bir sarı üstdevdir. Etrafı devasa mavi ve beyaz yıldızlardan oluşan, Melotte 20 ya da Perseus 081 yıldız birliği olarak bilinen bir yıldız kümesiyle çevrilidir. Mirphak ile komşusu Cassiopeia'nın ortasında meşhur Çift Küme bulunur. 7000 ışık yılı uzaklıktaki NGC 869 ve NGC 884 adlı bu parlak, açık yıldız kümesi çifti dürbünle bakıldığında güzel bir görüntü oluşturur.


CASSIOPEIA
CAMELOPARDALIS
NGC 884
NGC 869
η
γ
τ
φ
λ
MIRPHAK
MELOTTE 20
δ
α
μ
κ
ν
ALGOL
M34
β
ε
π
PERSEUS
ρ
ξ
ζ
ο
TRIANGULUM
TAURUS

# Pisces (Balıklar)

Bu soluk takımyıldız, en parlak yıldızı Alpha Piscium ya da Alrescha'ya ("Kordon") bağlanmış iki balığı temsil eden dikey sayılabilecek iki yıldız dizisinden oluşur. Klasik mitolojide balıklar azılı canavar Typhon'dan kaçabilmek için şekil değiştiren Venüs ve Cupid'i temsil ederler. Alrescha aslında beyaz yıldızlarının kadirleri 4,2 ve 5,2 olan bir çift yıldız sistemidir. Dünya'dan yaklaşık 140 ışık yılı uzaktadır. Ögeleri orta dereceli bir teleskopla ayırt edilebilir. Daha soluk olan yıldızın kendisi de muhtemelen bir spektroskobik ikilidir. Zeta Piscium ise daha az parlak fakat daha geniş bir çift yıldız sistemidir; yaklaşık olarak aynı uzaklıktadır ve ögeleri 5,2 ile 6,3 kadirlerindedir.

Messier 74 göz alıcı güzellikte bir sarmal galaksidir ve belirgin bir "büyük tasarım" yapısına sahiptir. Parlaklığı 10 kadir olan bu galaksi küçük teleskoplarla görülebilse de detaylı bir görüş için daha büyük cihazlar gerekir. Dünya'dan yaklaşık 30 milyon ışık yılı uzaktaki küçük bir galaksi grubunun ortasında yer alır.

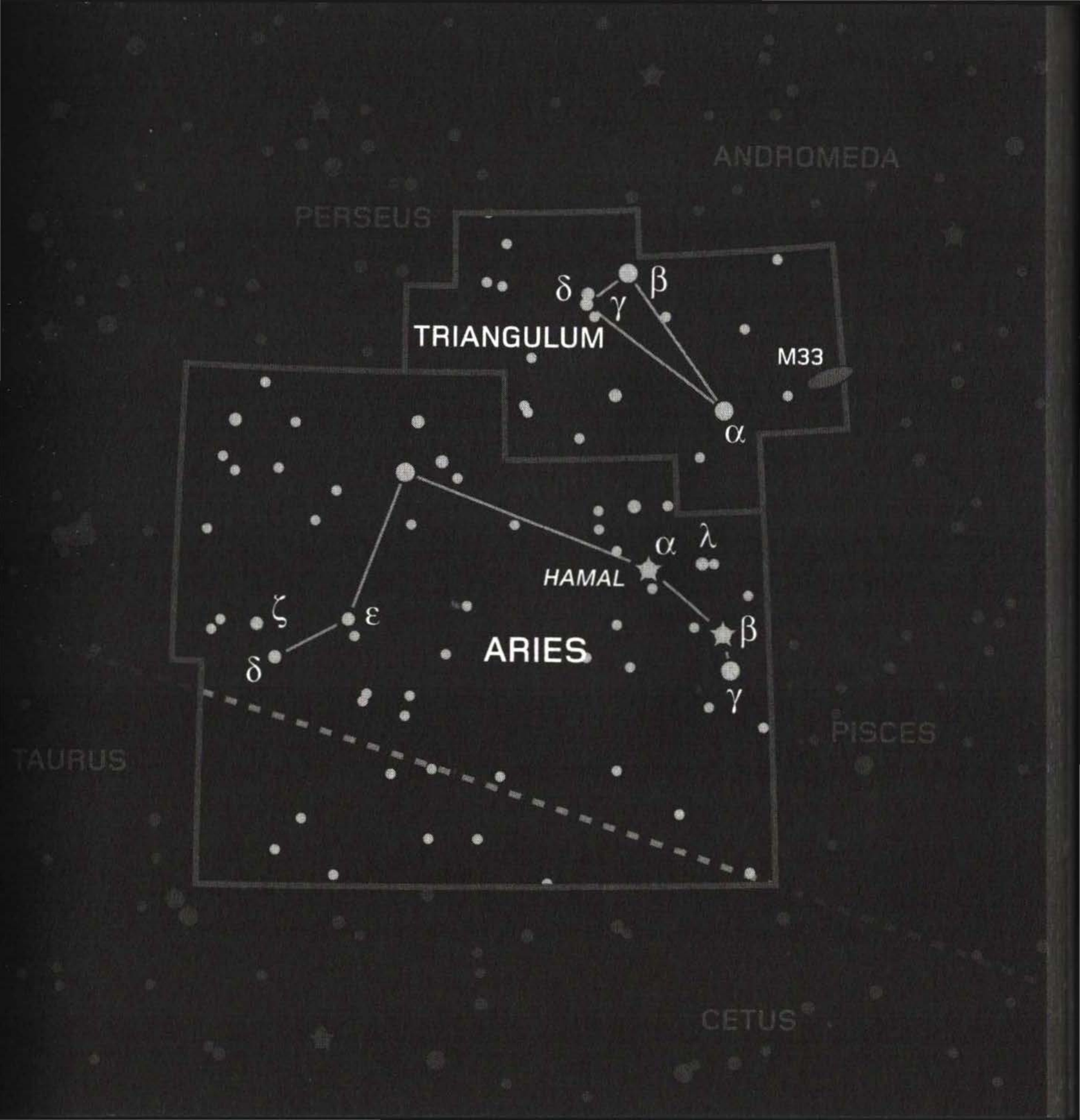

ANDROMEDA
TRIANGULUM
τ
υ
φ
χ
PEGASUS
ARIES
M74
η
PISCES
ο
ε
δ
α
ν
μ
ω
ι
θ
β
ALRESCHA
ξ
γ
λ
κ
CETUS
AQUARIUS

# Aries (Koç) ve Triangulum (Üçgen)

Zodyak kuşağı takımyıldızlarından ayırt etmesi zor olan Aries, altın postunu bulmak için Jason ve Argonotların peşine düştüğü Kolhis'in Kanatlı Koç'unu temsil eder. Yakınındaki dar üçgen antik Yunanların da dikkatini çekmiş ve onlar tarafından alfabelerindeki büyük delta harfine benzetilmiştir.

Hamal (Alfa Arietis) Dünya'dan yaklaşık 66 ışık yılı uzakta, 2,0 kadre sahip bir sarı devdir. Mesartim (Gamma Arietis) ise 200 ışık yılı uzakta yer alan, 4,8 kadre sahip ikiz beyaz ögeden oluşan göz alıcı bir çift yıldızdır. Lambda Arietis ise daha dengesiz bir çift yıldızdır; ilk beyaz yıldızın kadri -4,8 iken sarı ikincil yıldızın kadri 7,3'tür.

Triangulum'un en parlak yıldızı yaklaşık 130 ışık yılı uzakta, toplam kadri 3,0 olan bir spektroskobik ikilidir. Ancak bu küçük takımyıldızın en meşhur cismi Üçgen Galaksisi'dir (Messier 33). 2,7 ışık yılı uzaklıkta bulunup tam karşıdan görülen bu dağınık sarmal galaksi, en iyi karanlık havada dürbünle gözlemlenir.


ANDROMEDA
PERSEUS
δ
β
γ
TRIANGULUM
M33
α
α
λ
HAMAL
ζ
ε
β
δ
ARIES
γ
PISCES
TAURUS
CETUS

# Taurus (Boğa)

Taurus'un, temsil ettiği hayvana şaşırtıcı benzerliği takımyıldızlar içinde alışılmadık bir durumdur ve hücum hâlindeki bu boğayı tasvir eden 18 bin yıllık mağara resimleri bulunmuştur. Bu takımyıldızın barındırdığı birçok ilginç cisim vardır. Dünya'dan yaklaşık 150 ışık yılı uzaklıktaki, 200 kadar yıldızdan oluşan V şeklindeki Hyades yıldız kümesi bunlardan sadece biridir. En parlak yıldızı Aldebaran (Alfa Tauri) Oünya'dan bakıldığında Hyades'in önündedir. 65 ışık yılı uzaklıktaki Aldebaran ortalama kadri 0,85 olan değişen bir kırmızı devdir.

Diğer bir meşhur yıldız kümesi Pleiades ya da Yedi Kız Kardeş (Messier 45) boğanın kamburuna denk gelir; 440 ışık yılı uzaklıktadır, en az 1000 genç yıldız içerir ve çıplak gözle kolayca görülebilir. Yengeç Nebulası (Messier 1) yıldızların yaşam döngüsünün diğer ucunu temsil eder: Gökyüzündeki en belirgin süpernova kalıntısı olan -8,4 kadirlik gaz bulutu, patlayan dev bir yıldızın parçalanmış kalıntılarıdır.


TRIANGULUM
AURIGA
ALNATH
β
M45
PLEIADES
υ
M1
ι
ζ
ω
α
ALDEBARAN
HYADES
TAURUS
λ
ξ
ο
μ
ν
ORION

# Gemini (İkizler)

İkizler takımyıldızı hemen hemen eşit parlaklıktaki iki belirgin yıldızı sayesinde kolayca bulunabilir. Castor ve Pollux, adlarını Sparta kraliçesi Leda'nın Altın Post'unu bulmak için denizlere yelken açan Argo'nun mürettebatına katılan ikizlerinden alır. Takımyıldızın en parlak ikinci yıldızı olmasına rağmen Alfa Geminorum adını alan Castor'un kendisi büyüleyici bir çoklu yıldız sistemidir. Teleskoplar 51 ışık yılı uzaklıkta, soluk kırmızı bir yoldaş yıldıza sahip ikiz beyaz yıldız ortaya çıkarmış ve bunların ışığı incelendiğinde her ikisinin de birer çift yıldız olduğu anlaşılmıştır. Fakat 1,6'lık toplam kadirleri 34 ışık yılı uzaklıktaki 1,1 kadirlik tek bir sarı dev olan Pollux'un (Beta Geminorum) gerisindedir.

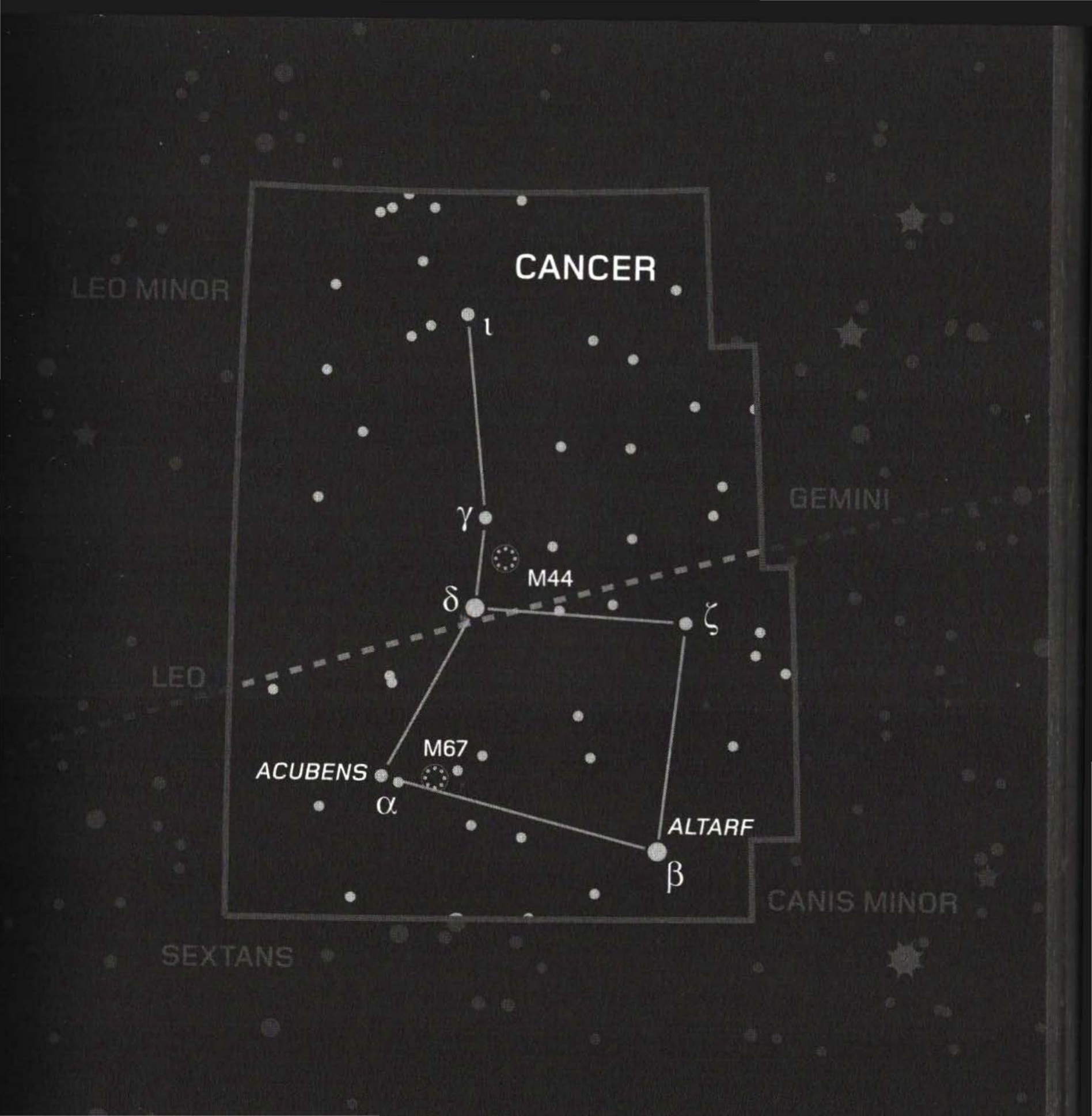
Takımyıldızın güneybatı kenarı Samanyolu'nun içinde kalır ve açık yıldız kümesi Messier 35 ve Dünya'dan 3000 ışık yılı uzaktaki gezegenimsi nebula Eskimo Nebulası (NGC 2392) gibi bazı güzel görünümlü derin uzay cisimlerine ev sahipliği yapar.


AURIGA
ο
θ
α
ρ
CASTOR
τ
χ
POLLUX
σ
β
ι
φ
υ
GEMINI
M35
ε
κ
δ
η
μ
ζ
NGC 2392
ν
λ
γ
ξ
CANCER
CANIS MINOR

# Cancer (Yengeç)

On iki Zodyak Kuşağı takımyıldızının en soluğu olan Cancer, en kolay şekilde kendinden daha parlak komşuları Gemini ve Leo'nun ortasına bakılarak bulunabilir. Su yılanı Hidra ile savaştığı sırada yarı tanrı Herakles'e saldıran ve arbedede ayaklar altında ezilen bir yengeci temsil eder.

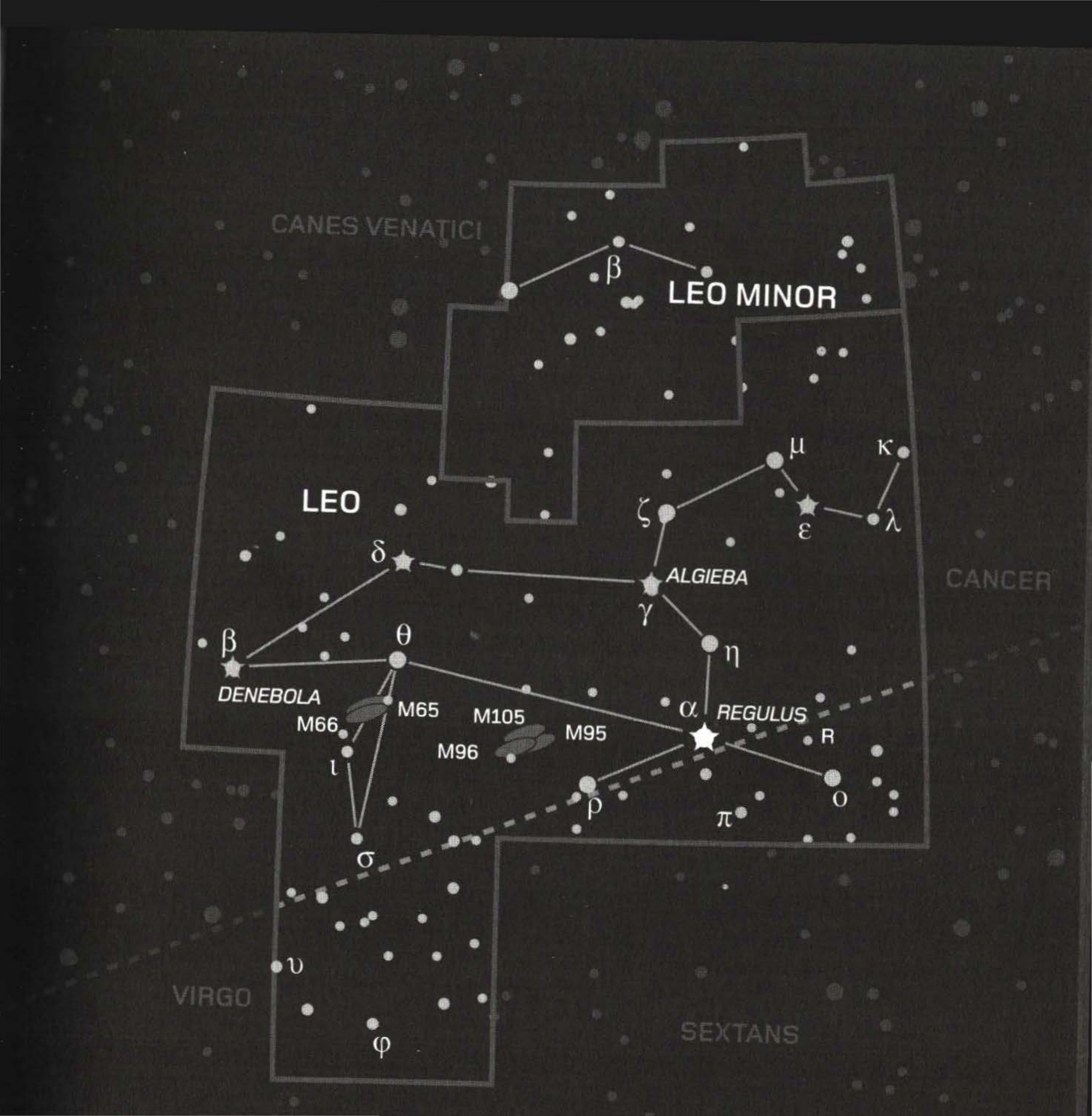
Cancer'in en parlak yıldızı turuncu dev Altarf'tır (Beta Cancri). Dünya'dan yaklaşık 290 ışık yılı uzaktaki Altarf'ın kadri 3,5'tir. Acubens (Alfa Cancri) ise yaklaşık 175 ışık yılı uzaklıkta, 4,2 kadre sahip bir beyaz yıldızdır. Cancer takımyıldızı Samanyolu'nun büyük yıldız bulutlarından uzakta olmasına rağmen iki parlak yıldız kümesine ev sahipliği yapar. Alışılmışın dışında sık olan Messier 67, kendi kütle çekimi sayesinde dört milyar yıl boyunca bir arada kalmayı başarmış antik bir açık yıldız kümesidir. Buna rağmen 3000 ışık yılı uzaklıktadır ve çıplak göz görüşünün hemen altında kalır. Arıkovanı Kümesi olarak da bilinen Messier 44 ise onun aksine yaklaşık 580 ışık uzaklıktaki genç, parlak ve çıplak gözle görülebilen bir yıldız kümesidir.


CANCER
LEO MINOR
GEMINI
LEO
CANIS MINOR
SEXTANS
ι
γ
M44
δ
ζ
M67
ACUBENS
α
ALTARF
β

# Leo (Aslan) ve Leo Minor (Küçük Aslan)

Çömelmiş bir aslana şaşırtıcı ölçüde benzeyen meşhur Leo takımyıldızı gök ekvatorunun hemen kuzeyinde yer alır. Bilinen en eski takımyıldızlardan biri olmasına karşın daha küçük ve soluk olan Leo Minor daha yakın tarihlidir ve Johannes Hevelius tarafından 1600'lerin sonlarında bulunmuştur.

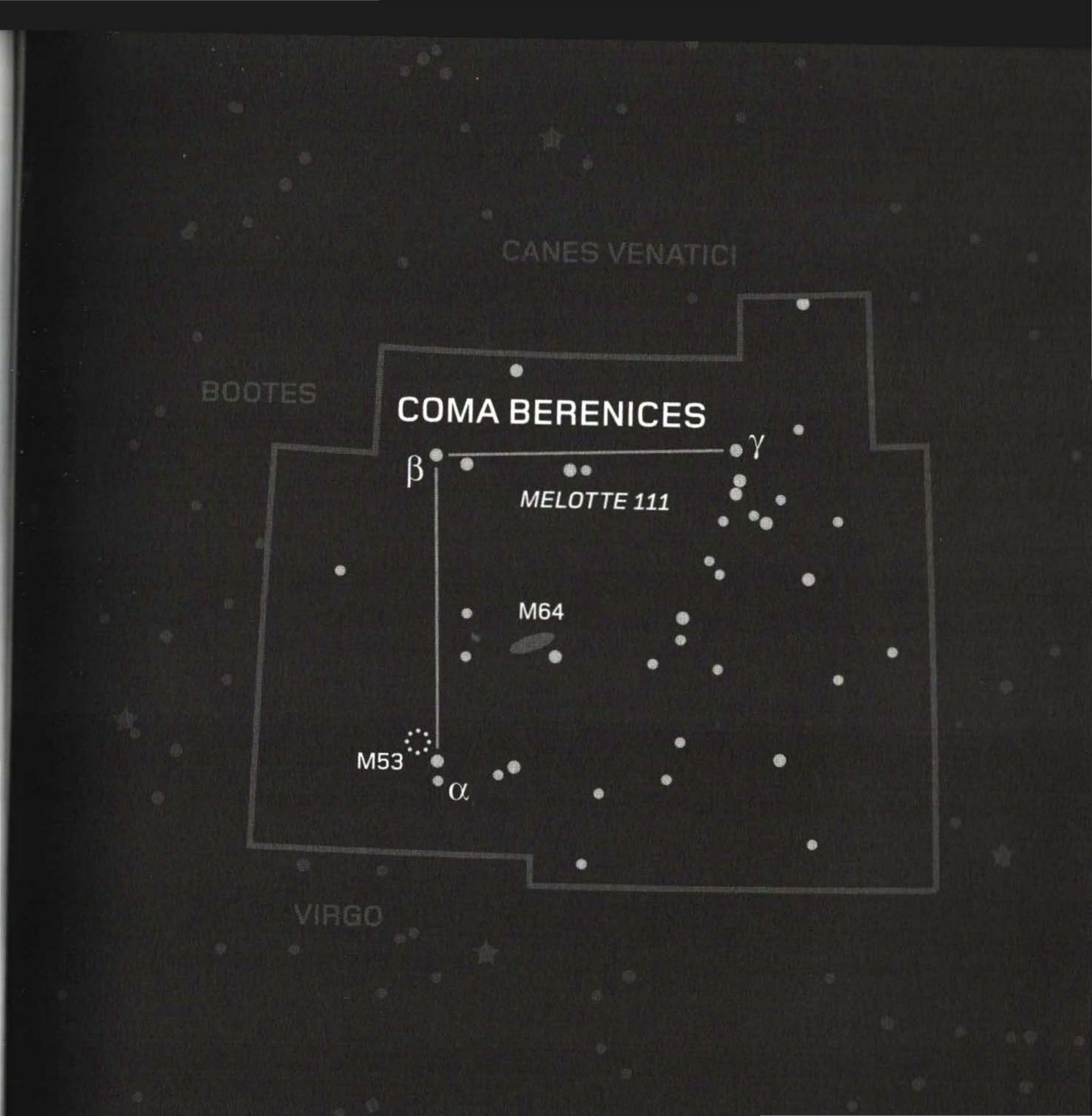
Leo'nun en parlak yıldızı Regulus (Alfa Leonis), Dünya'dan 80 ışık yılı uzakta, 1,4 kadirlik bir mavi-beyaz yıldızdır ve -7,8 kadir değerinde, dürbünle görülebilen bir yoldaşı vardır. Algieba (Gamma Leonis) ise ilgi çekici bir çift sistemdir. İki sarı devden oluşan ögeleri Dünya'dan 170 ışık yılı uzaktadır ve parlaklıkları 2,0 ve 3,2 kadirdir; küçük bir teleskopla ayırt edilebilir. Bir kırmızı dev olan R Leonis uzun dönemli bir değişendir; çoğunlukla çıplak göz görüşünün altındadır ancak her 312 günde bir 4,3'lük kadre çıkış yapar. Leo aynı zamanda iki önemli galaksi grubunu bünyesinde barındırır: Bunlar aslanın karnının altındaki Messier 95, M96 ve M105 ile arka bacağındaki M65 ve M66'dır. M105 eliptik bir yıldız topudur, diğerleri ise sarmal yapılıdır.


CANES VENATICI
β
LEO MINOR
μ
κ
LEO
ζ
ε
λ
δ
ALGIEBA
CANCER
γ
β
θ
η
DENEBOLA
M65
M66
M105
M95
M96
α
REGULUS
R
ι
ρ
o
π
σ
υ
VIRGO
φ
SEXTANS

# Coma Berenices (Berenices'in Saçı)

Ne parlak bir yıldızı ne de net bir şekli olan Coma Berenices, Boötes ile Leo arasındaki konumu ve yakınında yer alan, geceleyin çıplak gözle görülebilen en az yirmi yıldızlık Melotte 111 adlı yıldız kümesinin varlığı sayesinde kolayca bulunabilir. Bu yıldızların oluşturduğu "tutamlar" Coma'nın şimdiki adını almasına neden olmuştur. MÖ üçüncü yüzyılda yaşamış olan tarihî Mısır kraliçesi Berenice'nin lülelerine adanmıştır. Melotte 111 tam da beklendiği gibi dürbünle ya da düşük güçlü bir teleskopla güzel bir görüntü oluşturur. 56 bin ışık yılı uzaktaki Messier 53 ise -8,3 kadre sahip küresel bir yıldız kümesidir.

Coma aynı zamanda birçok galaksiye ev sahipliği yapar. Bunların birkaç tanesi Başak Kümesi'ne (bkz. s. 178) aittir fakat Coma'nın bazıları 300 milyon ışık yılı uzaklıkta bulunan ve binden fazla galaksi barındıran kendi kümeleri de vardır. Bunların çoğu sadece güçlü teleskoplarla görülebilse de, Dünya'dan yalnızca 25 milyon ışık yılı uzaklıkta bulunan, belirgin bir toz şeridine sahip, sarmal Siyah Göz Galaksisi (Messier 64) daha küçük aletlerle görülebilir.


CANES VENATICI
BOOTES
COMA BERENICES
β
γ
MELOTTE 111
M64
M53
α
VIRGO

# Virgo (Başak)

Virgo takımyıldızı bariz olarak herhangi bir şekle benzemese de, kadim zamanlardan beri gökyüzü bakiresiyle (genellikle bir hasat tanrıçasıyla) ilişkilendirilmiştir. Takımyıldızın en parlak yıldızı Spica'nın (Alfa Virginis) adı "başağın kulağı" anlamına gelir ve bu spektroskobik ikili sistem birbirleri etrafında yalnızca dört günde yörünge çizen iki parlak mavi yıldızdan oluşur. 260 ışık yılı uzaklıktaki bu ikilinin parlaklıkları 1,0 kadirdir. Porrima (Gamma Virginis) ise daha geniş bir ikilidir; Dünya'dan 32 ışık yılı uzaktaki ikiz sarı-beyaz ögeleri birbirlerinin etrafında 169 günlük yörüngeler çizer ve küçük teleskoplarla kolayca tespit edilebilir.

Virgo en çok galaksi yönünden zenginliğiyle ünlüdür; en az 1300 galaksiden oluşan, Dünya'dan yaklaşık 55 milyon ışık yılı uzakta bulunan en yakınımızdaki büyük galaksi kümesinin (Başak Kümesi) ortasında yer alır. Bu galaksiler içinde en çok dikkat çeken Messier 49 ve dev eliptik Messier 87, kümenin tam merkezinde yer alır.


BOOTES
COMA BERENICES
SERPENS CAPUT
M87
M60
M49
ε
ρ
ο
ξ
π
ν
β
σ
δ
τ
η
γ
PORRIMA
φ
ζ
VIRGO
θ
μ
ι
χ
ψ
M104
κ
α
SPICA
λ
CRATER
LIBRA
CORVUS

# Libra (Terazi)

Burçlar kuşağında bir hayvandan ziyade bir nesneyi temsil eden tek takımyıldız olan Libra önceleri komşusu Scorpius'un kıskaçları gibi ikincil bir rol üstleniyordu. Fakat Antik Roma döneminden beri batıdaki komşusu Virgo tarafından havada tutulan adalet terazisi olarak görülmektedir.

Libra'nın en parlak yıldızları hâlâ antik çağrışımlarını hatırlatan adlara sahiptirler. Alfa Librae ya da Zubenelgenubi ("Güney Kıskacı") dürbünle, hatta çıplak gözle kolayca ayırt edilebilen bir çift yıldızdır. Dünya'dan 70 ışık yılı uzaktaki, parlaklığı 2,8 kadir olan bir mavi-beyaz dev ile onun -5,2 kadirlik beyaz yoldaşından oluşur. Beta Librae ya da Zubenelschamali ("Kuzey Kıskacı") 2,6 kadir değeriyle biraz daha parlaktır ve bazı gözlemcilere yeşil gözüken nadir bir yıldız örneğidir. Ayrıca parlaklığındaki periyodik düşüşler, teyit edilmemiş bir örten ikili sistemine ait görülmeyen bir yoldaş tarafından tutulmasının sonucu olabilir. Zubenelschamali ise yaklaşık 160 ışık yılı uzaklıktadır.


OPHIUCHUS
LIBRA
VIRGO
ZUBENELSCHAMALI
δ
ε
β
γ
θ
α
ZUBENELGENUBI
ι
κ
SCORPIUS
σ
τ
υ
LUPUS

# Serpens (Yılan)

Gökyüzünde birbirinden farklı iki parçaya ayrılmış tek takımyıldız olan Serpens, dev Ophiuchus'un (bkz. s. 184) elinde kıvrılıp duran bir yılanı temsil eder ve bu hâliyle yılanın başı Serpens Caput ve kuyruğu Serpens Cauda olmak üzere ikiye ayrılır. Takımyıldızın en parlak yıldızı Unukalhai (Alfa Serpentis) yaratığın boynunu oluşturur ve Dünya'dan yaklaşık 73 ışık yılı uzaktaki, 2,6 kadre sahip bir turuncu devdir.

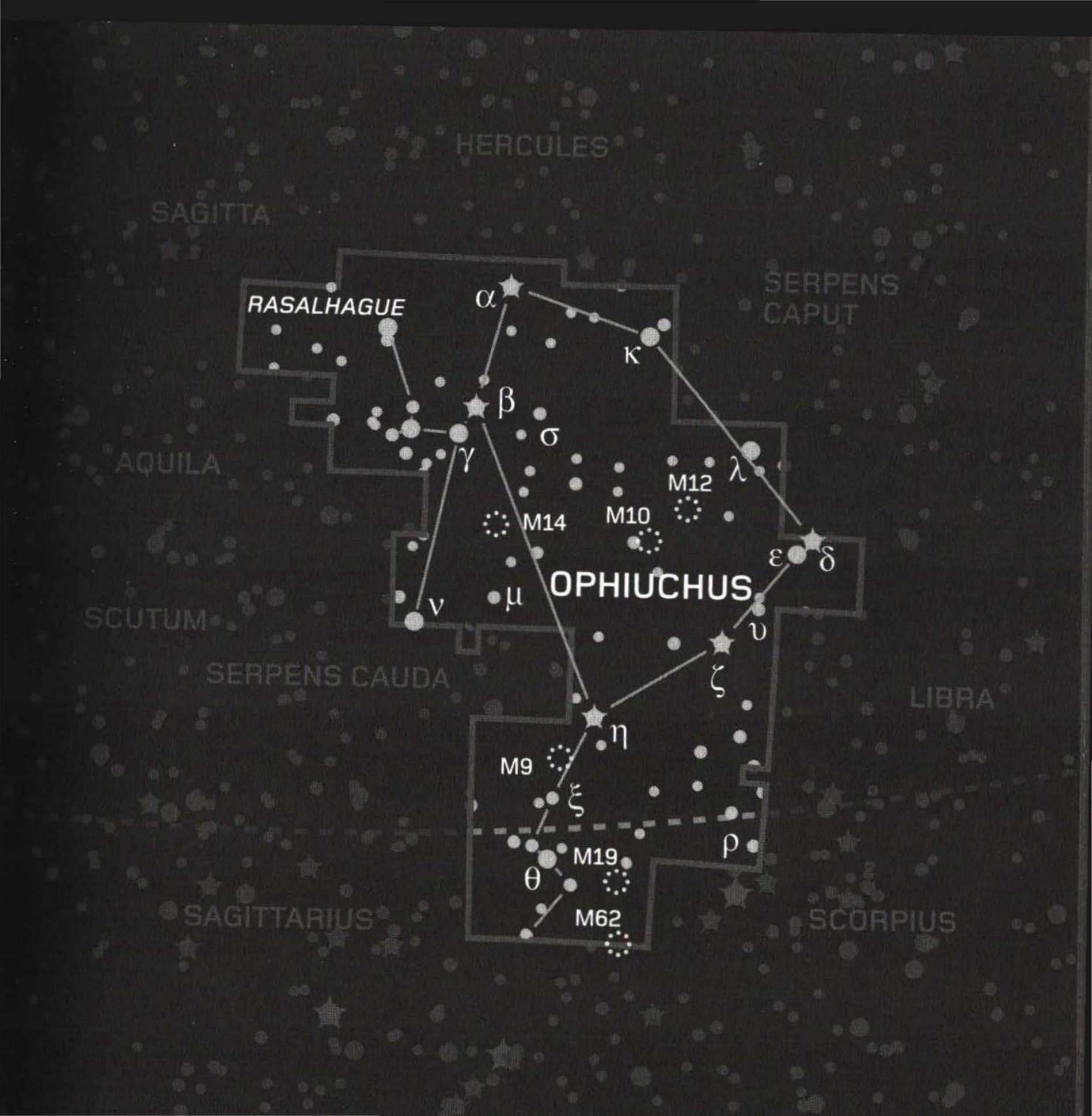
Serpens Caput'taki Messier 5 gökyüzünün bu bölgesinde bulunan birçok küresel yıldız kümesinin en parlak olanıdır. 5,6 kadirlik parlaklık değeriyle çıplak göz görüşünün tam sınırındadır. 24 bin 500 ışık yılı uzaklıkta olmasına rağmen, 170 ışık yılı genişliğindeki bu yıldız topu dürbün ya da küçük bir teleskopla bakıldığında etkileyici bir görüş sunar. Serpens Cauda'daki Messier 16, etrafı devasa Kartal Nebulası tarafından çevrili olan etkileyici bir açık kümeden oluşur. Kartal, Hubble Uzay Teleskobu'nun detaylı biçimde fotoğrafladığı yıldızların oluşmasını sağlayan bölge olan meşhur "Yaratılış Sütunları"na ev sahipliği yapar.


SERPENS CAPUT
π
ρ
ι
κ
γ
β
δ
λ
UNUKALHAI
α
ε
M5
σ
μ
SERPENS CAUDA
θ
η
ζ
OPHIUCHUS
SAGITTA
HERCULES
SCUTUM
M16
ο
ν
ξ
LIBRA
SCORPIUS

# Ophiuchus (Yılancı)

Eski zamanlardan beri kıvrılan yılan Serpens (bkz. s. 182) ile güreşen bir devi temsil eden bu büyük takımyıldız, günümüzde çoğunlukla Yunan sağlık tanrısı Asklepios ile özdeşleştirilir.

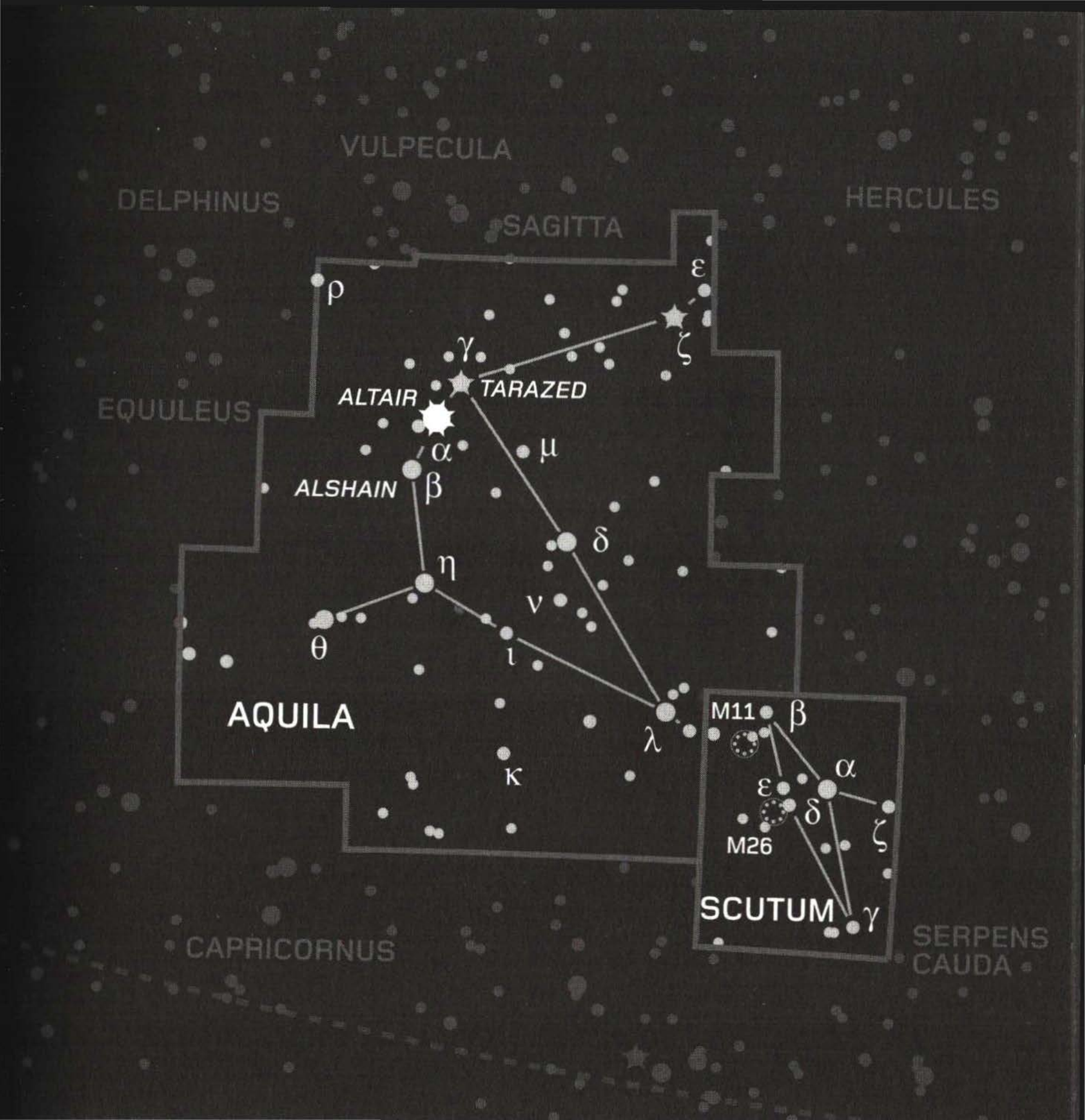
Ne yazık ki boyutuna rağmen Ophiuchus'un yıldızları soluktur ve biçimsiz bir deseni vardır. En parlak yıldızı Rasalhague (Alfa Ophiuchi) devin başına denk gelir ve Dünya'dan 50 ışık yılı uzakta yer alan, parlaklığı 2,1 kadir olan bir beyaz devdir. Rho Ophiuchi soluk fakat çekici bir çift yıldızdır. Dürbünle bakıldığında 5,0 kadre sahip başyıldızın iki soluk, geniş yoldaşıyla birlikte hâlâ üçünün de oluştuğu nebula alanının içinde gömülü olduğu görülebilir. Rho'nun 5,9 kadre sahip daha yakın ikinci ögesi ise ufak bir teleskopla görülebilir. Beta Ophiuchi'nin yakınında Barnard Yıldızı bulunur; küçük teleskoplar aracılığıyla görülebilen bu kırmızı cücenin parlaklığı -9,5 kadirdir. Gökyüzünde en hızlı hareket eden ve Alfa Centauri sisteminden sonra (bkz. s. 206) Güneş'e en yakın dördüncü yıldız olduğu için önemli bir yere sahiptir.


HERCULES
SAGITTA
SERPENS CAPUT
RASALHAGUE
α
κ
β
σ
γ
AQUILA
λ
M12
M14
M10
ε
δ
OPHIUCHUS
ν
μ
SCUTUM
υ
SERPENS CAUDA
ζ
LIBRA
η
M9
ξ
ρ
M19
θ
SAGITTARIUS
M62
SCORPIUS

# Aquila (Kartal) ve Scutum (Kalkan)

Uzun yıllar önce uçan bir kartal olarak tanımlanan Aquila, en parlak yıldızı sayesinde dikkatleri üzerine çeken küçük bir takımyıldızdır. Altair (Alfa Aquilae) kuzey yarıküredeki "yaz üçgeni"nin güney ucunu oluşturur; parlak yıldızlardan oluşan bu büyük desen Lyra'daki Vega ve Cygnus'taki Deneb ile tamamlanır. Parlaklığı 0,8 kadir olan, yalnızca 17 ışık yılı uzaklıktaki Altair Dünya'ya en yakın parlak yıldızlardan biridir. Ona Alshain ve Tarazed (sırasıyla Beta ve Gamma Aquilae) yakından eşlik eder. Bu ikilinin daha soluk olanı Alshain, Dünya'dan yaklaşık 45 ışık yılı uzakta, 3,7 kadirlik bir sarı yıldızdır. -2,7'lik Gamma ise yaklaşık 395 ışık yılı uzaktaki bir turuncu devdir.

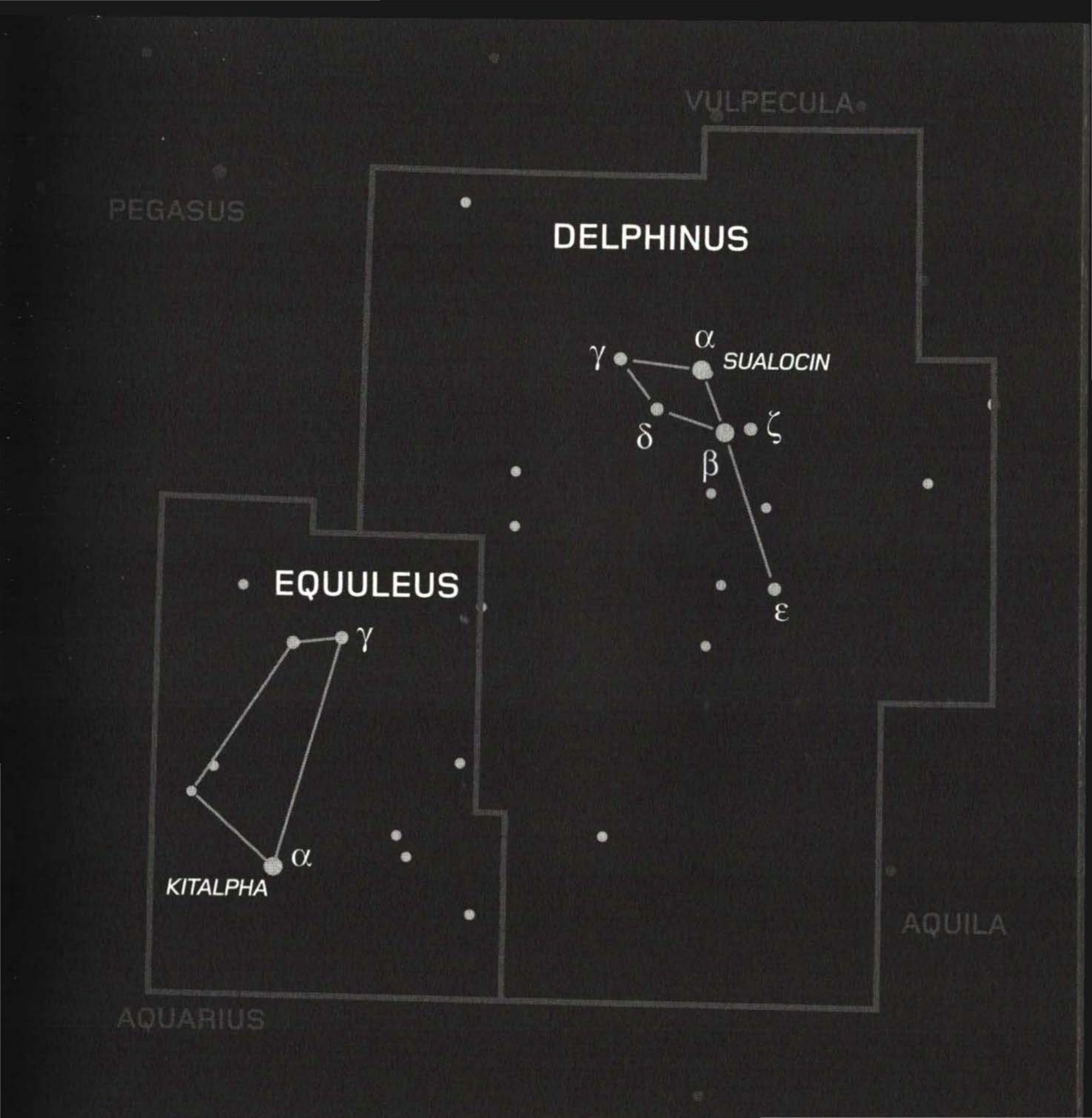
Uçurtma şeklindeki küçük takımyıldız Scutum (Kalkan), Polonyalı gök bilimci Johannes Hevelius tarafından bulunmuş ve kendisine sponsor olan Kral III. Jan Sobieski'nin onuruna Scutum Sobieski adını almıştır. Samanyolu ile kesişir ve oldukça parlak Scutum Yıldız Bulutu'na ve Vahşi Ördek (Messier 11) diye bilinen dikkat çekici bir açık yıldız kümesine ev sahipliği yapar.


VULPECULA
DELPHINUS
SAGITTA
HERCULES
EQUULEUS
ρ
ε
γ
ζ
ALTAIR
TARAZED
α
μ
ALSHAIN
β
δ
η
ν
θ
ι
AQUILA
λ
κ
M11
β
α
ε
δ
M26
ζ
SCUTUM
γ
CAPRICORNUS
SERPENS
CAUDA

# Delphinus (Yunus) ve Equuleus (Tay)

Küçük olmasına rağmen gözden kaçmayan Yunus takımyıldızı, Pegasus'un batısında yer alır ve antik Yunan müzisyen Arion'u denizde boğulmaktan kurtaran hayvanları temsil ettiği söylenir. Tay anlamına gelen Equuleus, belirginliği çok daha az bir desen olmasına rağmen, Ptolemy'nin kırk sekiz takımyıldızdan oluşan ilk listesindedir ve Pegasus'un hızlı yavrusu (ya da bazı kaynaklara göre erkek kardeşi) Celeris'i temsil eder. İlginçtir ki her iki takımyıldızın Alfa yıldızı (Delphinus'taki Sualocin ve Equuleus'taki Kitalpha) hemen hemen aynı parlaklığa sahiptir (sırasıyla 3,8 ve 3,9) ve ikisi de Dünya'dan yaklaşık 190 ışık yılı uzaktadır. Fakat Sualocin'in rengi mavi-beyazken Kitalpha bir sarı devdir.

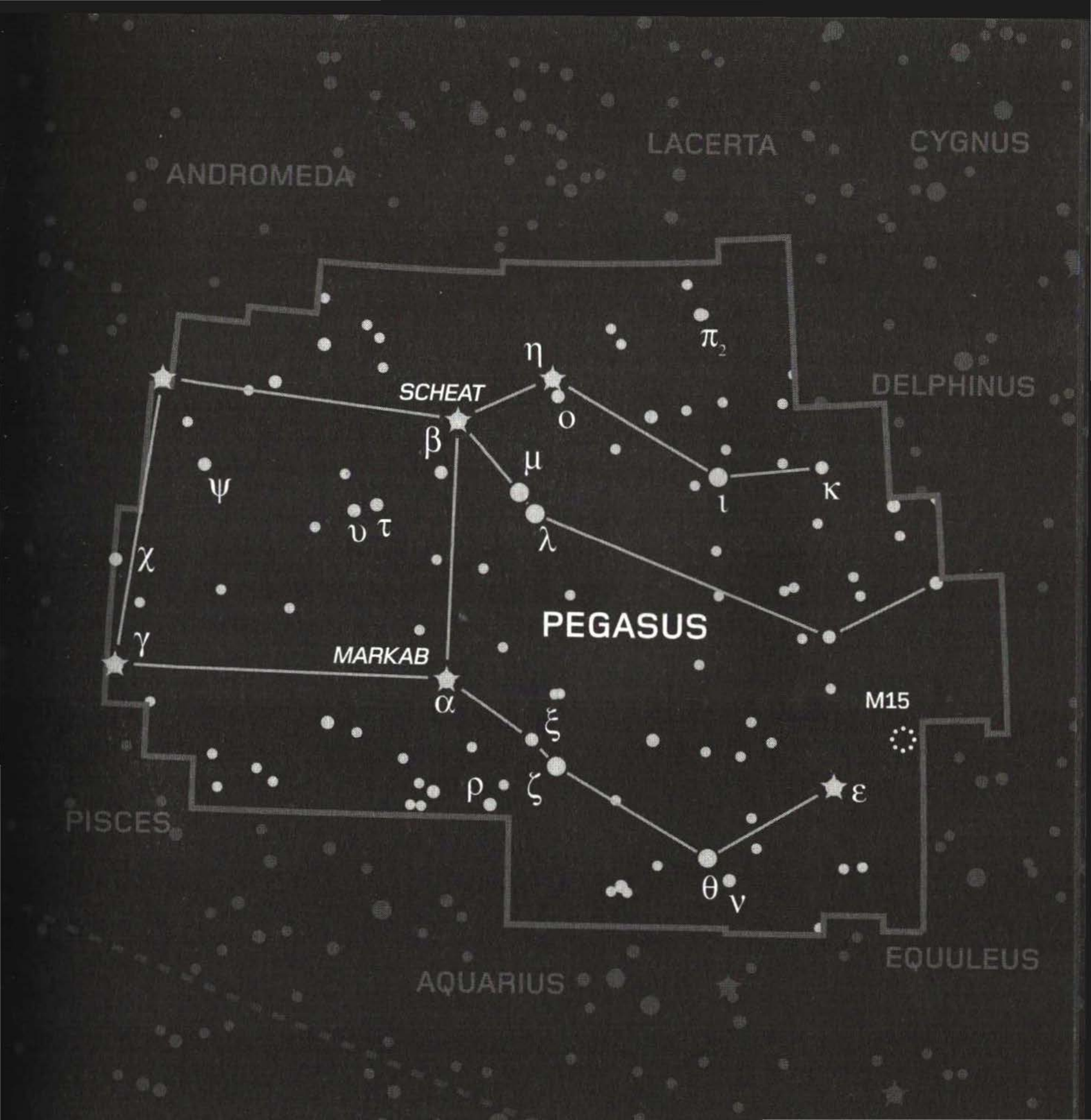
Epsilon Equulei bariz bir üçlü yıldızdır. Aslında 200 ışık yılı uzakta olan ve yalnızca büyük bir teleskopla ayırt edilebilen 5,4 kadirlik ikili bir sistemin aynı yönde bulunan fakat Dünya'ya 75 ışık yılı daha yakın -7,4 kadirlik bir yabancı yıldızla birleşmesiyle oluşmuştur.


VULPECULA
PEGASUS
DELPHINUS
α
γ
SUALOCIN
δ
ζ
β
ε
EQUULEUS
γ
α
KITALPHA
AQUILA
AQUARIUS

# Pegasus (Kanatlı At)

Pegasus gökyüzündeki en büyük takımyıldızlardan biri olsa da, aslında çıplak gözle görülen az sayıda yıldızı içeren hayli boş bir alanı kaplar. Buna rağmen (içlerinden birini komşusu Andromeda ile paylaştığı) en parlak dört yıldızının oluşturduğu bariz desen (Pegasus Karesi) sayesinde kolayca bulunabilir. Pegasus, Yunan mitolojisinde gorgon Medusa'nın kanından doğan, sonrasında kahraman Bellerophontes'in bindiği kanatlı bir attır.

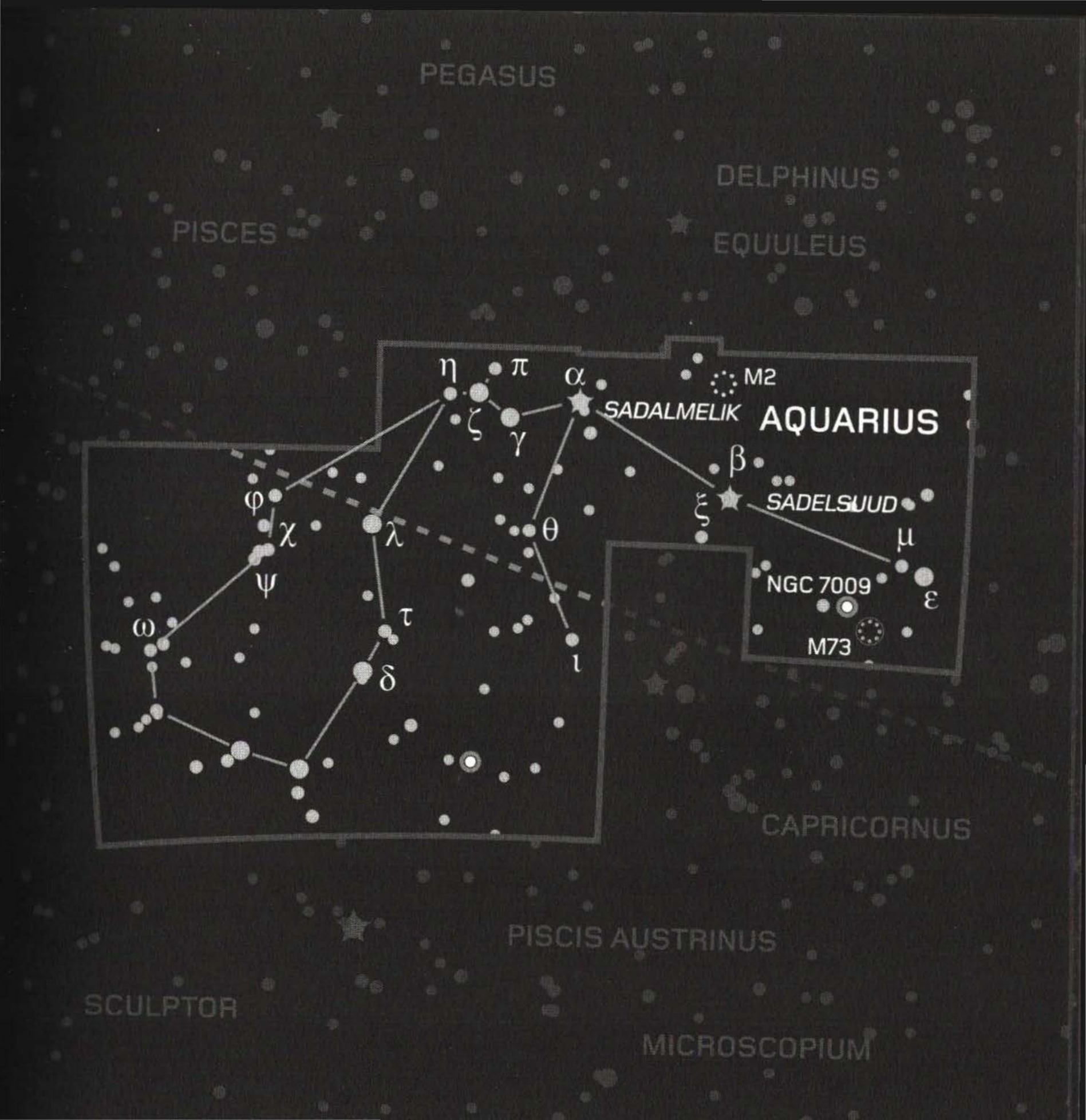
Markab (Alfa Pegasi) 140 ışık yılı uzaklıkta, sabit parlaklığı 2,5 kadir olan mavi-beyaz bir yıldızdır ve normalde takımyıldızın en parlak yıldızıdır. Dünya'dan 200 ışık yılı uzaktaki Scheat (Beta Pegasi) ise parlaklığı öngörülemeyen bir şekilde farklılık gösteren bir kırmızı devdir. Ortalama kadri genelde 2,7 olmasına rağmen zaman zaman Markab'dan daha fazla parlar ya da -2,8'lik Gamma Pegasi'den daha soluk durur. Pegasus'un derin uzay cisimleri arasında en öne çıkan Messier 15, kadiri 6,2 olan bir küresel yıldız kümesidir. Dürbünle eliptik bir ışık topu olarak kolayca görülen M15, Dünya'dan 34 bin ışık yılı uzaktadır ve yaklaşık 700 bin yıldız içerir.


ANDROMEDA
LACERTA
CYGNUS
DELPHINUS
SCHEAT
PEGASUS
MARKAB
M15
PISCES
AQUARIUS
EQUULEUS
η
π2
β
ο
μ
ψ
ι
κ
υ
τ
λ
χ
γ
α
ξ
ρ
ζ
ε
θ
ν

# Aquarius (Kova)

Bariz olmamakla birlikte, en az MÖ 2000'den beri testiden su döken bir insanla özdeşleştirilen bu takımyıldız, günümüzde çoğunlukla Olimpos Dağı tanrılarına sakilik yapan Ganimedes olarak tanımlanır. Zeta Aquarii'nin etrafında Y-şeklindeki yıldız grubu Su Kovası'dır. Zeta, Dünya'dan yaklaşık 103 ışık yılı uzaktaki güzel bir çift yıldızdır; kadirleri 4,3 ve 4,5 olan, ikiz sayılabilecek beyaz ögeleri küçük bir teleskopla kolayca ayırt edilebilir. Sadalmelik ve Sadalsuud (Alfa ve Beta Aquarii) Dünya'dan 720 ve 610 ışık yılı uzaklıklarda yer alan ve parlaklıkları 2,9 kadir olan sarı üstdevlerdir. İkisi, Epsilon Pegasi ile beraber muhtemelen aynı açık yıldız kümesinden oluştukları için galaksimizin düzlemi dışında benzer yörüngeler izlerler.

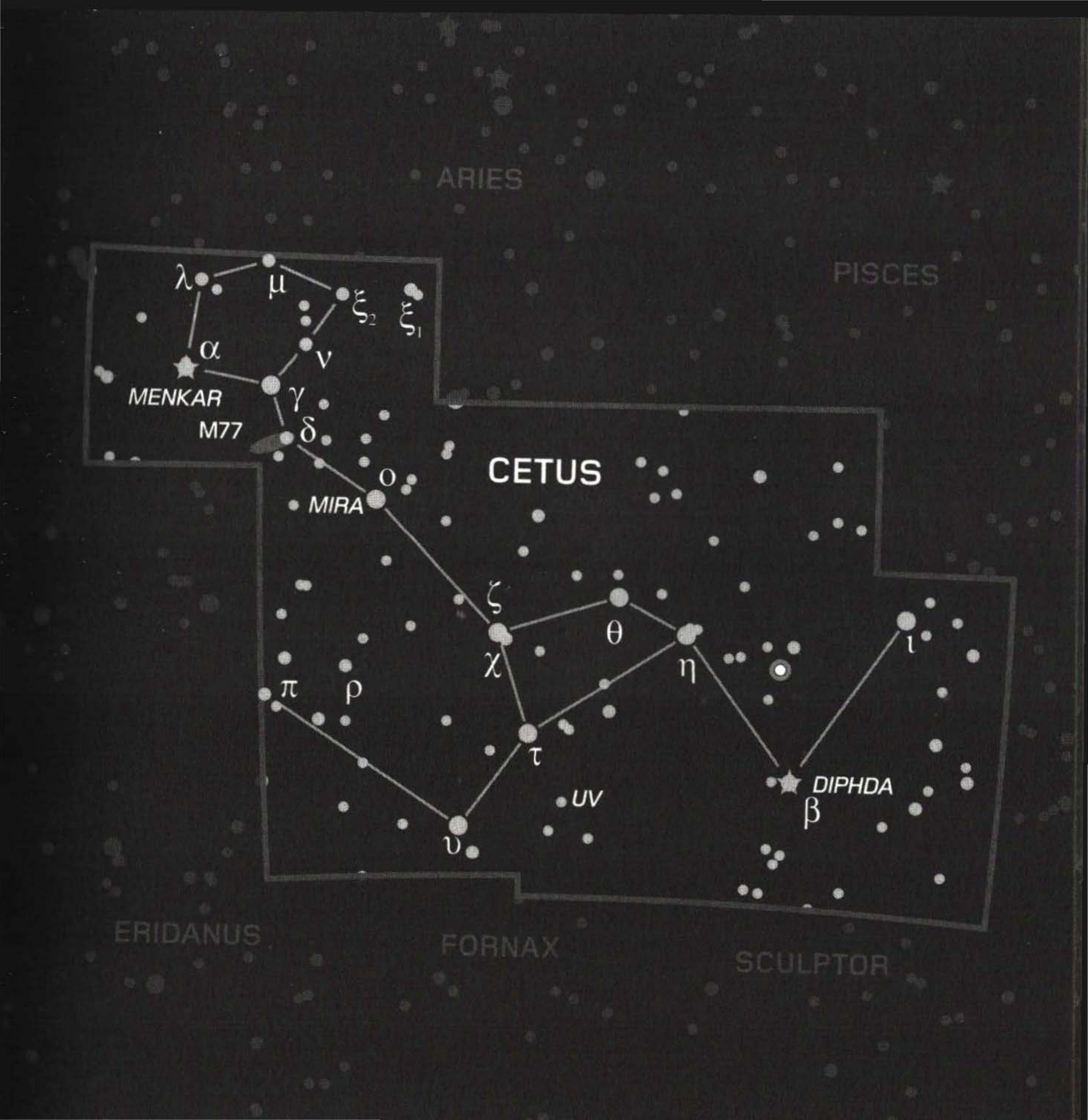
Dürbünle kolayca görülen Messier 2, kadir değeri -6,5 olan bir küresel kümedir. Yaklaşık 2400 ışık yılı uzaklıktaki NGC 7009 (Satürn Nebulası) ise -8,0 kadirlik bir gezegenimsi nebuladır ve küçük teleskoplarla hemen bulunabilir.


PEGASUS
DELPHINUS
EQUULEUS
PISCES
η
π
α
M2
SADALMELIK
AQUARIUS
ζ
γ
β
φ
ξ
SADELSUUD
χ
λ
θ
μ
ψ
NGC 7009
ε
ω
τ
M73
ι
δ
CAPRICORNUS
PISCIS AUSTRINUS
SCULPTOR
MICROSCOPIUM

# Cetus (Balina)

Cetus, adının doğru çevirisi "Balina" olsa da, antik çağlardan beri Perseus efsanesindeki Kral Kepheus ve Kraliçe Kassiopeia'nın topraklarını kasıp kavurması için gönderilen korkunç deniz canavarı Typhon'la ilişkilendirilmiştir. Cetus takımyıldızı gök ekvatorunun iki yanına uzanır ve en parlak yıldızı Mira'nın (Omicron Ceti) davranışına bağlı olarak görünüşünü büyük ölçüde değiştirebilir. İsminin anlamı "harika" olan Mira, daha 1596 yılında varlığı kabul edilen ilk değişen yıldızdır ve uzun dönemli değişenler diye bilinen sınıfın ilk örneğidir. Boyutu yaklaşık 332 günlük bir dönem boyunca "zonklayarak" değiştiği için (bkz. s. 300) parlaklığı yaklaşık 3 kadir ile minimum 10 kadir arasında yükselip düşer.

Tau Ceti, kadri 3,5 olan ve Dünya'dan yalnızca 11,9 ışık yılı uzakta yer alan, görece olarak Güneş'e benzeyen bir yıldızdır. Etrafı gezegenlerden oluşan bir enkaz diskiyle çevrilidir ve muhtemelen etrafında yörünge çizen beş gezegen vardır. UV Ceti yalnızca 8,7 ışık yılı uzaktaki bir kırmızı cüce ikilisidir ama kadri 12 olduğu için sadece büyük teleskoplarla görülür.


ARIES
PISCES
λ
μ
ξ2
ξ1
α
ν
MENKAR
γ
M77
δ
CETUS
ο
MIRA
ζ
θ
ι
χ
η
π
ρ
τ
UV
DIPHDA
β
υ
ERIDANUS
FORNAX
SCULPTOR

# Orion (Avcı)

Gökyüzünün en meşhur ve en çok tanınan takımyıldızlarından biri olan dev avcı Orion, hücuma geçen Boğa'nın karşısına dikilerek gök ekvatoru kaplar. Gökyüzündeki en parlak yıldızlardan olan kan kırmızısı Betelgeuse (Alfa Orionis) ve mavi-beyaz Rigel (Beta Orionis) sırasıyla Orion'un omzuna ve dizine denk düşer. Daha parlak olan Rigel, Dünya'dan yaklaşık 860 ışık yılı uzakta olan ve 0,1'lik kadir değeriyle parlaklığı Güneş'in 66 bin katı olan mavi bir üst devdir. Betelgeuse, kadri 0,3 ve 1,2 arasında değişen, yaklaşık 640 ışık yılı uzaktaki bir kırmızı üstdevdir.

Yaklaşık 1400 ışık yılı uzaklıktaki Orion, yıldızların oluştuğu bölgelerin Dünya'ya en yakın olanlarından birinin merkezinde yer alır. Soluk bir nebula alanı takımyıldızını kaplar ama en parlak noktası Dev Orion Nebulası'dır (Messier 42). Çıplak gözle bakıldığında Orion'un kılıcında "flu bir yıldız" olarak görülen bu karmaşık gaz ve yıldız bulutu, avcının kemerini oluşturan sıralı üç parlak yıldızın güneyine iner ve içerisinde birçok dikkat çekici çoklu yıldız sistemini barındırır.


GEMINI
ORION
TAURUS
MONOCEROS
$\chi_1$
$\chi_2$
$\xi$
$\nu$
$\mu$
$\lambda$
$\varphi$
$\alpha$
BETELGEUSE
$\gamma$
$\pi_1$
$\pi_2$
$\pi_3$
$\pi_4$
$\pi_5$
$\pi_6$
$\delta$
$\zeta$
$\varepsilon$
$\sigma$
$\eta$
M43
M42
$\tau$
$\theta$
$\kappa$
RIGEL
$\beta$

# Monoceros (Tekboynuz) ve Canis Minor (Küçük Köpek)

Orion'un hemen doğusunda Tekboynuz'un (Arap ya da İranlı gök bilimcilerin bulduğu düşünülen büyük W şekli) soluk yıldızları durur. Yakınındaki Küçük Köpek, -0,3 kadriyle gökteki en parlak yıldızlardan biri olan Procyon (Alfa Canis Minoris) sayesinde dikkatleri üzerine çekmeyi başarır. Kütlesi Güneş'inkinin 1,4, parlaklığı da yedi katı olan beyaz yıldız Procyon sadece 11,4 ışık yılı uzaklıktadır. Soluk beyaz cüce yoldaşı büyük teleskoplarla görülebilir (bkz. s. 318).

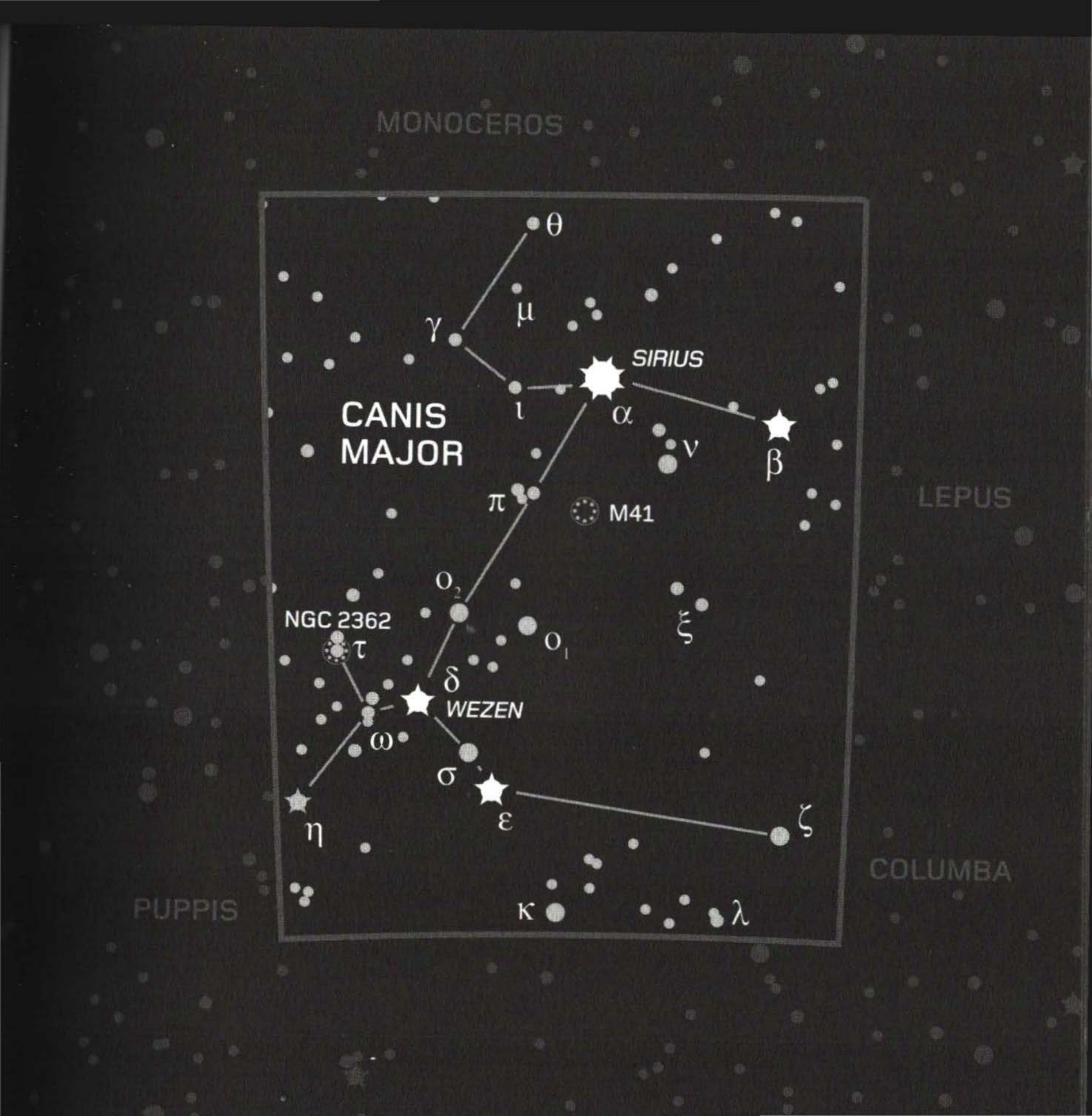
Monoceros birçok ilginç yıldız oluşum bölgesine ev sahipliği yapar. Yılbaşı Ağacı Yıldız Kümesi (NGC 2264) toplam kadri 3,9 olan, Dünya'dan yaklaşık 2400 ışık yılı uzaktaki bir açık yıldız kümesidir. Yıldızları çevresindeki gaz bulutlarını aydınlatır, bunlar da içerisinde an itibariyle yıldız oluşumunun sürdüğü karanlık bir toz sütunu hâlindeki Koni Nebulası'nı gölgeler. Yaklaşık 5500 ışık yılı uzaklıktaki NGC 2244 çıplak gözle görülebilen diğer bir kümedir; etrafı, güzel görünümlü ama saptanması zor Rozet Nebulası tarafından çevrilidir.


CANCER
GEMINI
CANIS MINOR
γ
ε
β
PROCYON
α
NGC 2264
S
ORION
ε
NGC 2244
ζ
MONOCEROS
δ
M50
β
γ
α
CANIS MAJOR
LEPUS

# Canis Major (Büyük Köpek)

Orion'un iki av köpeğinin büyük olanı, Dünya göğündeki en parlak yıldız olan -1,46 kadre sahip Sirius sayesinde kolayca bulunur. Sirius parlaklığını Dünya'ya yakınlığına borçludur. Son derece normal bir beyaz yıldız olan Sirius, Güneş'ten yirmi beş kat daha parlaktır ve yalnızca 8,6 ışık yılı uzaktadır. Ayrıca bir çift yıldızdır, ancak soluk beyaz cüce yoldaşı (bkz. s. 318) genelde daha parlak olan ana yıldızın parlaklığı tarafından gizlenir. Wezen (Delta Canis Majoris) ise Sirius'un tam zıddıdır. 1,8 kadirlik parlaklığıyla daha soluk olmasına rağmen, aslında 1800 ışık yılı uzaktadır ve Sirius'tan iki bin kat parlak bir sarı üstdevdir.

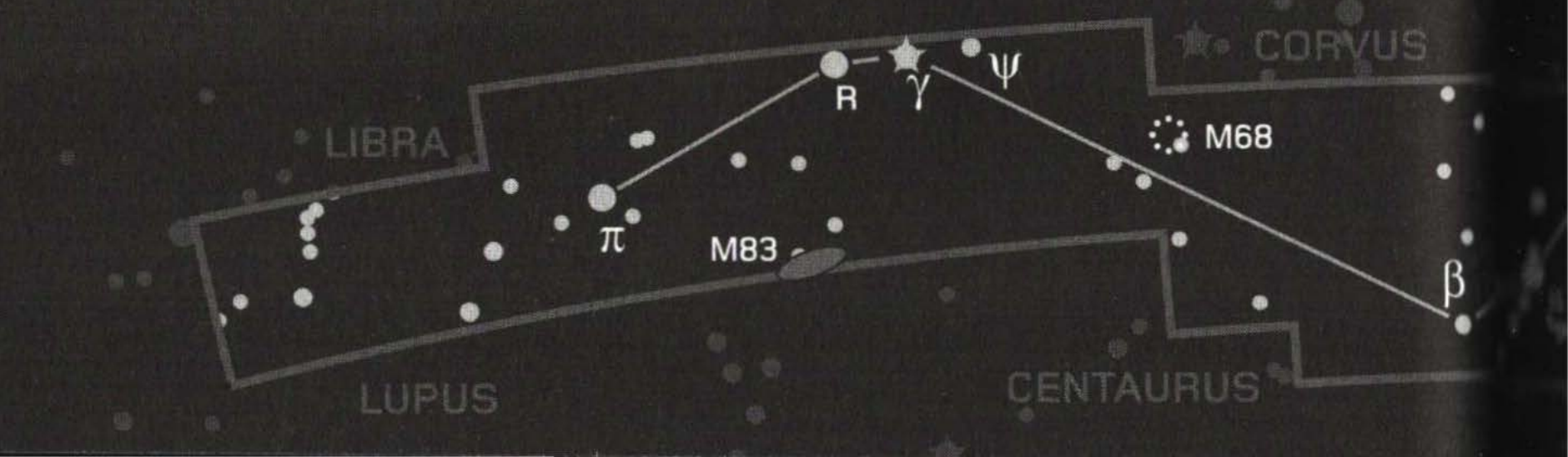
Açık yıldız kümesi Messier 41, teleskopla bakıldığında kümenin oluşumundan yaklaşık 190 milyon yıl sonra artık ömürlerinin sonuna gelmiş, yaşlı kırmızı ve turuncu devlerin ağırlıklı olduğu yüze yakın yıldızdan oluşan bir alan olarak görülür. Tau Canis Majoris Kümesi'nde (NGC 2362) ise, çok daha genç ve hayatlarının zirvesinde olan, büyük ama kısa ömürlü mavi yıldızlar çoğunluktadır.


MONOCEROS
θ
μ
γ
SIRIUS
CANIS
MAJOR
ι
α
ν
β
π
M41
LEPUS
$o_2$
NGC 2362
τ
$o_1$
ξ
δ
WEZEN
ω
σ
η
ε
ζ
COLUMBA
PUPPIS
κ
λ

# Hydra (Su Yılanı)

Gökyüzündeki en büyük ve en uzun takımyıldız olan su yılanı Hydra, gök ekvatoru boyunca Leo ve Virgo gibi daha iyi bilinen desenlerin güneyine uzanır. Kökenleri antik zamanlara dayanan Hydra, tanrı Apollo tarafından Crater (Kupa) ve Corvus (Karga) ile beraber gökyüzüne fırlatılan yılanı temsil eder.

Kadri -2,0 olan Alphard (Alfa Hydrae) Dünya'dan yaklaşık 180 ışık yılı uzakta bir kırmızı devdir ve takımyıldızın açık ara en parlak yıldızıdır. Adı "yalnız olan" anlamına gelir. Hydra'nın başının doğusunda, Monoceros ile sınırının yakınında, çıplak gözle görülebilen açık yıldız kümesi Messier 48 bulunur. Dürbünle bakıldığında yaklaşık 1500 ışık yılı uzaktaki birkaç düzine yıldızdan oluşan üçgen bir bulut olarak görülür. Hydra'nın kuyruğundaki



Messier 83 ise Güneyin Fırıldak Galaksisi diye bilinen, sadece 15 milyon ışık yılı uzakta olsa da büyük aletlerle daha iyi görülen 7,6 kadirlik bir sarmal galaksidir.

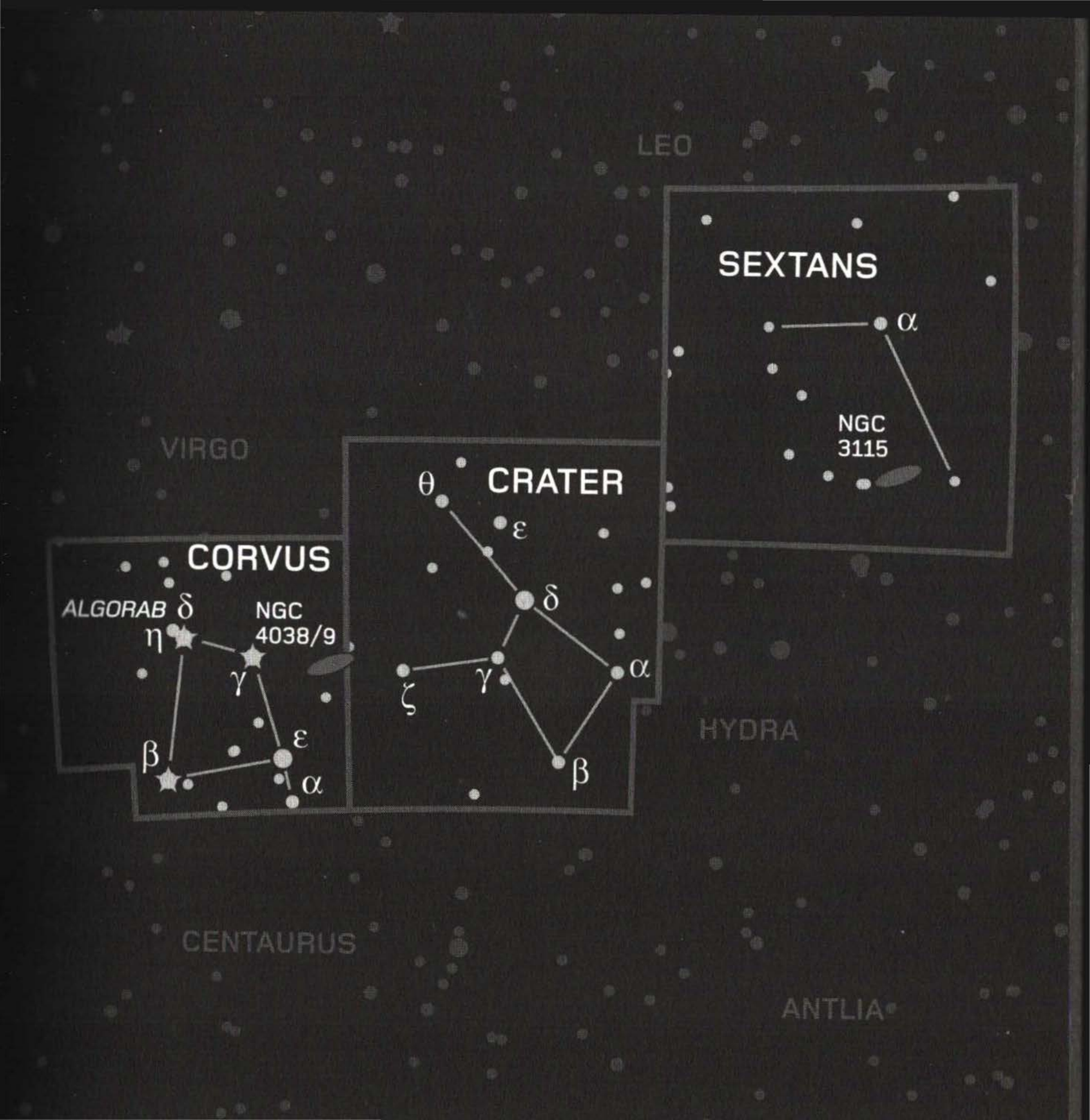
NGC 3242 "Jüpiter'in Hayaleti" diye bilinen, benzer bir kadre sahip gezegenimsi bir nebuladır. Daha toplu olduğu için küçük teleskoplarla kolayca görülebilir.



# Crater (Kupa), Corvus (Karga) ve Sextans (Altılık)

Hydra'nın güneyinde üç küçük takımyıldız vardır. Bunlardan Kupa ve Karga antik zamanlara dayanırken, Sextans, Polonyalı gök bilimci Johannes Hevelius tarafından 1687'de tanıtılmıştır. Corvus Yunan mitolojisinde Apollo'nun, kupasına kuyudan su koyması için gönderdiği uşağıdır. Karga yolda oyalanınca suçu kuyunun önünü kapayan yılana atar, bunu duyan tanrı üçünü birden öfkeyle gökyüzüne fırlatır.

Algorab (Delta Corvi) Dünya'dan yaklaşık 88 ışık yılı uzaktaki tuhaf bir çift yıldızdır. Daha parlak olan ögesi 3,0 kadirlik bir sarı beyaz yıldızdır; küçük bir teleskopla bakıldığında 8,5 kadirlik, geniş, rengi mora çalan bir yoldaşı olduğu görülür. Bu renk değişimi aralarındaki farklılıktan kaynaklanan bir göz yanılsamasıdır. NGC 4038 ile 4039 meşhur çarpışan Anten Galaksileri'dir; küçük aletlerle zar zor tespit edilirken, Hubble Uzay Teleskobu sayesinde son derece detaylı bir şekilde görüntülenirler. NGC 3115 (Spindle Galaksisi) ise yaklaşık 13 milyon ışık yılı uzaktaki merceksi bir galaksidir (bkz. s. 360).


LEO
SEXTANS
α
NGC
3115
VIRGO
θ
CRATER
ε
δ
α
γ
ζ
β
CORVUS
ALGORAB δ
η
NGC
4038/9
γ
ε
β
α
HYDRA
CENTAURUS
ANTLIA

# Centaurus (Erboğa)

Takımyıldızlar içindeki iki sentordan biri olan Centaurus (diğeri Okçu Sagittarius'tur), güney göklerinde Hydra ile Güney Haçı (Crux) arasında büyük bir yer kaplar. Meşhur Rigil Kentaurus (Alfa Centauri) bizimkine en yakın yıldız sistemidir ve tüm gökyüzündeki en parlak üçüncü yıldızdır. Küçük bir teleskopla bakıldığında parlaklığı 0,0 kadir olan, Güneş'e benzer sarı bir yıldız ile onun 1,4 kadirlik turuncu yoldaşından oluştuğu görülebilir. Üçüncü ögesi kırmızı cüce Proxima Centauri ise içlerindeki en yakın yıldızdır. Zayıf bir şekilde 11 kadirle parlayan ve Dünya'dan yalnızca 4,36 ışık yılı uzakta olan Proxima Centauri'yi küçük teleskoplarla tespit etmek zordur.

Samanyolu'nun etrafında yörünge çizen bir milyon yıldızdan oluşan, çıplak gözle kolayca görülebilen, 16 bin ışık yılı uzaktaki Omega Centauri (NGC 5139) gökyüzündeki en etkileyici küresel yıldız kümesidir. Parlaklığı 7,0 kadir olan NGC 5128, 15 milyon ışık yılı uzaktaki bir eliptik galaksidir ve ortasından geçen karanlık toz şeridi, bir zamanlar kendinden ufak sarmal bir galaksiyi yutmuş olduğu yeri gösterir.


LIBRA
CORVUS
CRATER
CENTAURUS
θ
ι
ψ
ν
κ
η
μ
NGC 5128
NGC 5139
ζ
τ
γ
σ
δ
LUPUS
ρ
ε
NORMA
π
α
HADAR
β
CRUX
RIGIL
KENTAURUS
λ
CIRCINUS
MUSCA

# Lupus (Kurt)

Parlak olduğu kadar şekilsiz olan bu takımyıldız yakındaki Centaurus'a saldıran bir kurdu temsil eder ve genelde sentorun mızrağına saplanmış hâlde tasvir edilir. Antik kökenlere sahip olmasına rağmen Orta Çağ'da kurtla özdeşleştirilmeye başlanmıştır. Önceden sadece vahşi hayvan anlamına gelen Bestia ya da Fera olarak bilinmiştir.

Alpha Lupi (Kakkab) Dünya'dan 550 ışık yılı uzaktaki bir mavi devdir; kadir değeri 2,3'tür ve "Scorpius-Centaurus Topluluğu"nun bir üyesidir. Mavi ve beyaz yıldızlardan oluşan bu grup birçok takımyıldıza yayılır ve yaklaşık 20 milyon yıl önce oluşan ve o zamandan beri yakınlarındaki uzaya serpilen bir açık yıldız kümesinin en parlak üyelerini temsil eder. Mu Lupi ise Dünya'dan 290 ışık yılı uzakta, 4,3 kadir parlaklığında ilgi çekici bir çoklu yıldızdır. Küçük teleskoplarla görülebilen 7,2 kadirlik bir yoldaşı vardır; büyük gözlem aletleriyse ana mavi-beyaz yıldızı, Güneş'ten yetmiş kat daha parlak olan ve birbirine çok benzeyen iki ögeye ayırır.


SCORPIUS
LUPUS
HYDRA
χ
ψ
φ
η
δ
γ
β
ο
τ
ε
μ
KAKKAB
α
ι
π
ν
ρ
CENTAURUS
NORMA
ζ
ARA

# Scorpius (Akrep)

Parlak Scorpius gökyüzündeki en eski takımyıldızlardan biridir fakat akrebin uzayan kıskaçları artık Libra'nın terazisini oluşturacak şekilde atanmıştır. Akrebin bedeni, kafasına denk gelen parlak kırmızı Antares'ten (Alfa Scorpii) iğnesine denk gelen parlak mavi Shaula'ya (Lambda Scorpii) doğru kıvrılır. Güneş sistemimizi neredeyse Jüpiter'in yörüngesine kadar kaplayacak derecede büyük olan, soğuk ama parlak kırmızı üstdev Antares, bilinen en aşırı yıldızlardan biridir. Ortalama 1,0 kadirde düzensiz bir şekilde zonklar ve genelde parlaklığının yanında sönen 5,5 kadirlik bir yoldaşı vardır.

Acrab (Beta Scorpii) daha cazip bir gruptur. Parlaklıkları 2,6 ve 4,9 kadir olan, küçük bir teleskopla kolayca ayırt edilebilen bir çift mavi yıldızdan ve kadri 10 olan daha soluk bir yıldızdan oluşur. Jabbah (Nu Scorpii) ise dört ögesi olan bir "çift çift" yıldızdır. Dünya'dan 800 ışık yılı uzaktaki Messier 7 çıplak gözle görülebilen bir açık kümedir; 7200 ışık yılı uzaktaki Messier 4 ise 5,6 kadriyle çıplak göz görüşü sınırındadır.


OPHIUCHUS
SERPENS CAUDA
SAGITTARIUS
LIBRA
LUPUS
CORONA AUSTRALIS
NORMA
SCORPIUS
ψ
ξ
ν
β ACRAB
JABBAH
M80
δ
σ
ANTARES
M4
α
π
τ
ρ
M6
M7
SHAULA
ε
μ
λ
κ
ι
ζ
θ
η

# Sagittarius (Yay)

Genellikle ok ve yay donanmış bir sentor (yarı insan, yarı at) olarak betimlenen Sagittarius günümüzde parlak Samanyolu'ndaki yıldız bulutlarının ağzından duman gibi tüttüğü bir çaydanlığa benzer. Sagittarius gökyüzünün en zengin kısımlarından birinde, galaksimizin merkezine doğru konumlanır (bkz. s. 346) ve birçok parlak nebulaya ev sahipliği yapar. Bunlardan en parlak olan, -6,0 kadre sahip Deniz Kulağı Nebulası (Messier 8) parlak gazlardan oluşur ve çıplak gözle görülebilen bir yıldız kümesi içerir. Yakınında ışığı emen toz şeritleriyle üç kısma ayrılmış güzel görünümlü Üç Boğumlu Nebula (M20) ve zarif Kuğu ya da Omega Nebulası (M17) vardır. Parlaklığı 5,1 kadir olan Messier 22 ise birçok küresel küme arasında en parlak olandır.

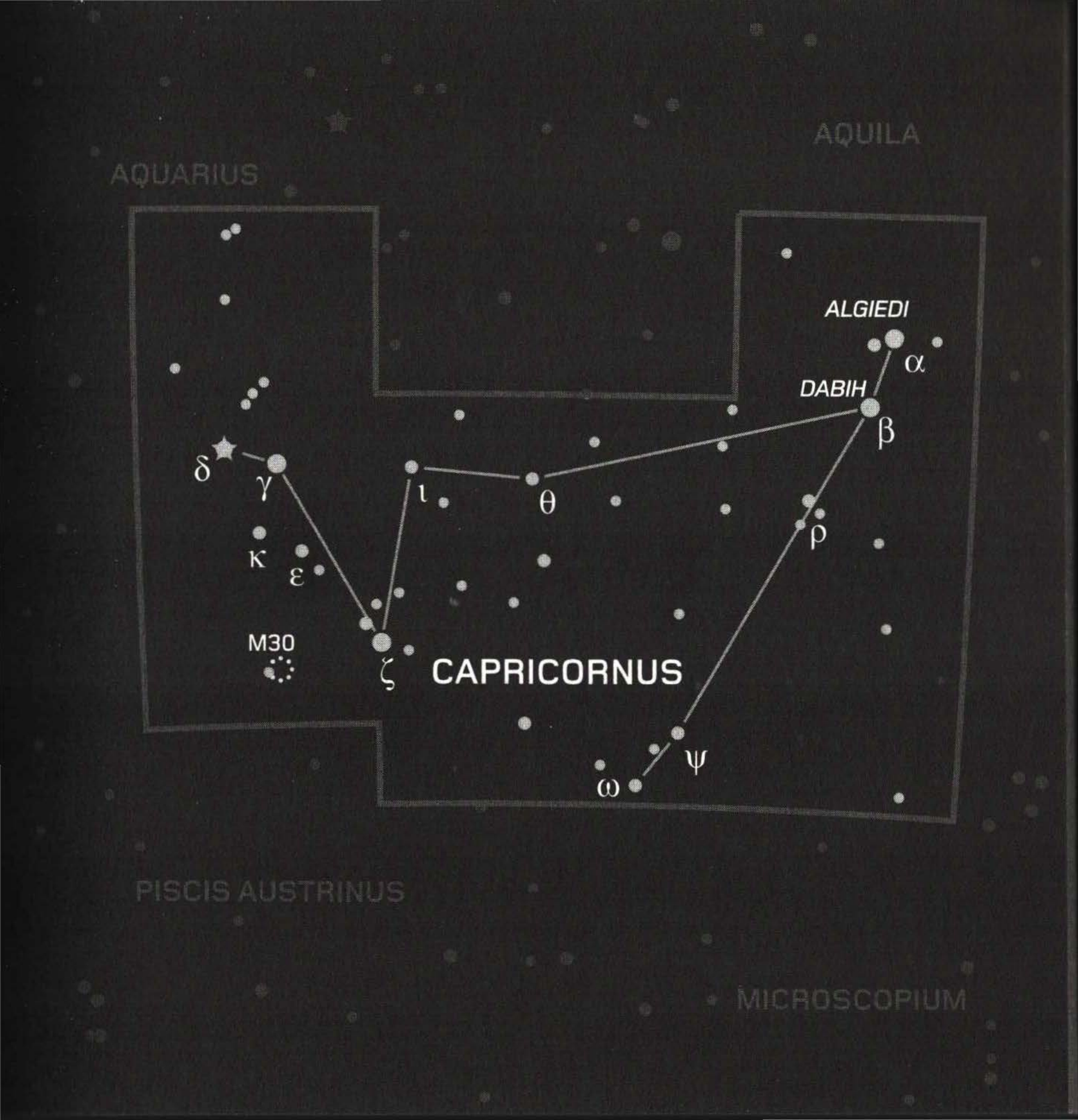
Takımyıldızın en parlak yıldızı, Güneş'e benzeyen bir yoldaşı olan, 1,8 kadre sahip ve 145 ışık yılı uzaklıktaki Kaus Australis'tir (Epsilon Sagittarii). Arkab (Beta Sagittarii) ise ögeleri 380 ve 140 ışık yılı uzaklıkta olan bir görüş-çizgisi çiftidir (bunlar Dünya'dan bakıldığında olduklarından daha yakın görünürler).


SCUTUM
SERPENS CAUDA
υ
ρ
π
ξ
ο
M17
M18
M24
M23
M25
μ
M21
M20
M75
M22
M28
M8
σ
λ
ω
τ
φ
ζ
M55
M54
M69
δ
γ
M70
SAGITTARIUS
KAUS AUSTRALIS
ε
θ
η
CORONA AUSTRALIS
α
ι
β
ARKAB
TELESCOPIUM

# Capricornus (Oğlak)

Yıldızları soluk ve deseni muğlak olabilir, ancak arkeolojik deliller bu merak uyandıran Deniz Keçisi takımyıldızının en eski yıldız desenlerinden biri olduğuna işaret eder. Oğlak bedenli ve balık kuyruklu bu hibrit şekle en az 4000 yıl öncesine ait Babil ve Asur sanat eserlerinde rastlanmıştır.

Algiedi (Alfa Capricorni), görüş-çizgisi çifti ile fiziksel ikili yıldızların ilginç bir kombinasyonudur. Çoğu kişi Dünya'dan 108 ve 635 ışık yılı uzakta, 3,6 ve 4,2 kadre sahip sarı yıldızlardan oluşan iki ana ögesini çıplak gözle görebilir, fakat küçük bir teleskopla bakıldığında her iki yıldızın kendine ait soluk birer yoldaşı olduğu görülür. Dabih (Beta Capricorni) ise bunlardan farklı olarak 330 ışık yılı uzaklıktaki gerçek bir dörtlü yıldızdır ama iki ögeden fazlasını ayırt etmek için büyük bir teleskop gerekir. Messier 30, yaklaşık 26 bin ışık yılı uzakta yer alan ve toplam kadri 7,2 olan küresel bir yıldız kümesidir; en iyi küçük ya da orta boy aletlerle görülür.


AQUILA
AQUARIUS
ALGIEDI
α
DABIH
β
δ
γ
ι
θ
ρ
κ
ε
M30
ζ
CAPRICORNUS
ψ
ω
PISCIS AUSTRINUS
MICROSCOPIUM

# Piscis Austrinus (Güneybalığı) ve Microscopium (Mikroskop)

Parlak Fomalhaut (Alfa Piscis Austrini) dikkatleri normalde soluk bir desen olan Güneybalığı'nın üzerine çeker ve muhtemelen bu belirsiz yıldız grubunun antik çağlarda neden fark edildiğini açıklar. Komşusu Microscopium ise, kendisinin aksine, çok daha sonraları Fransız gök bilimci Nicolas-Louis de Lacaille tarafından 1750'lerde keşfedilmiştir. Parlaklığı 1,2 kadir olan Fomalhaut, Dünya'dan yalnızca 25 ışık yılı uzakta bulunan genç bir beyaz yıldızdır. Kızılötesi çalışmalar ve Hubble Uzay Teleskobu'ndan gelen görüntüler etrafının tozlu, gezegen oluşturan maddelerden oluşan simit şeklinde bir halkayla sarılı olduğunu gösterir. Kadri -4,3 olan Beta Piscis Austrini yaklaşık 148 ışık yılı uzaktaki bir beyaz yıldızdır ve küçük bir teleskopla görülebilen -7,7 kadre sahip ikili bir yoldaşı vardır.

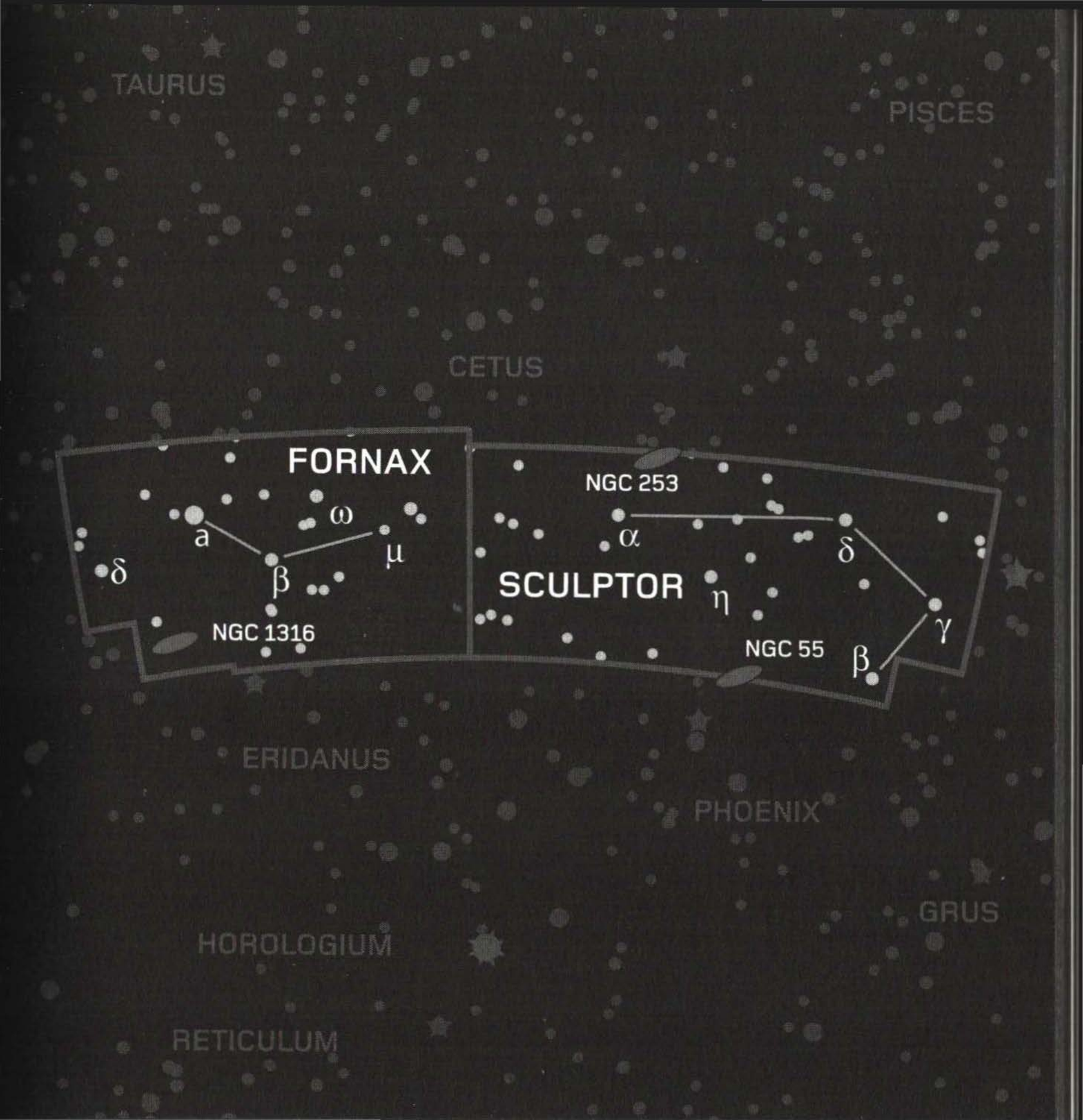
AU Microscopii 32 ışık yılı uzaktaki bir kırmızı cücedir. Normalde 8,7 olan kadri zayıf kalsa da, yüzeyinde büyük yıldız parlamaları olduğu için ara sıra parlaklığı büyük ölçüde artar.


AQUARIUS
CAPRICORNUS
PISCIS AUSTRINUS
α
ε
FOMALHAUT
τ
ι
δ
γ
β
μ
υ
AU
MICROSCOPIUM
ε
γ
α
θ
SCULPTOR
GRUS
TELESCOPIUM

# Sculptor (Heykeltıraş) ve Fornax (Ocak)

Fransız gök bilimci Nicolas-Louis de Lacaille tarafından on sekizinci yüzyılda keşfedilen bu iki belirsiz takımyıldız, Cetus'un güneyinde kalır ve temsil ettikleri söylenen cisimlere hiç benzemez. Yıldızlar soluk ve sıradandır; bölgenin dikkat çekici ana unsurları daha uzaktadır. Sculptor (Heykeltıraş) bünyesinde kendi Yerel Grup'umuzun (bkz. s. 352) ötesindeki en yakın galaksi grubunu barındırırken, Fornax daha uzaktaki düzinelerce etkileyici galaksi kümesine ev sahipliği yapar.

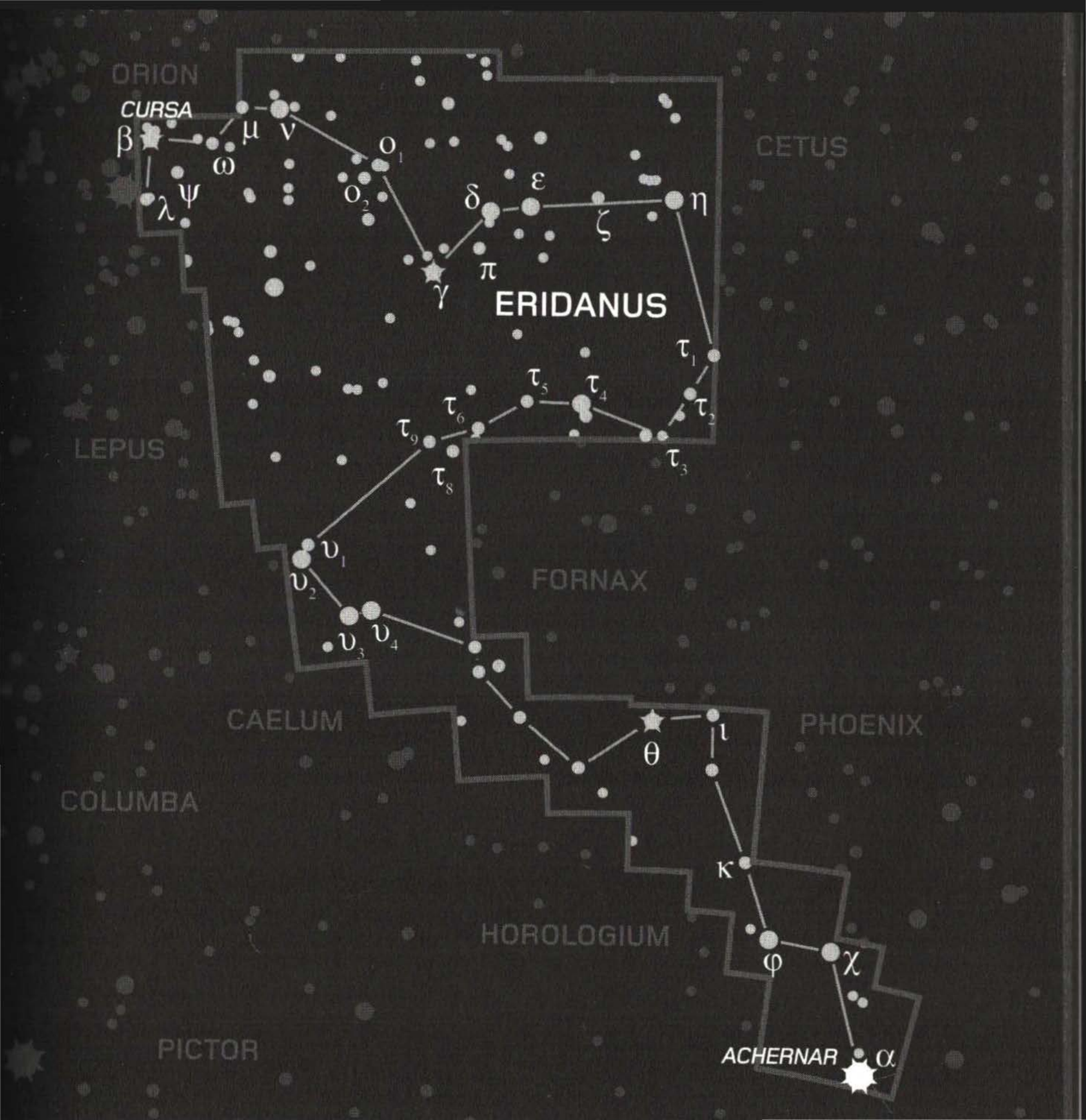
Sculptor'un en parlak yıldızı Gümüş Para (NGC 253), kadir değeri 7,1 olan ve Dünya'dan yaklaşık 10 milyon ışık yılı uzaklıkta yer alan, yandan görülen bir sarmal galaksidir. Bir dürbün ya da küçük bir teleskopla kolayca saptanabilir. Yakınlardaki NGC 55, belli belirsiz sarmal yapı izleri taşıyan düzensiz bir galaksidir. 7 milyon ışık yılı uzaklığıyla bize daha yakındır fakat kadri 8,8 olduğu için daha soluktur. Fornax (Ocak) Kümesi'nin en parlak üyesi 70 milyon ışık yılı uzaklıktaki, parlaklığı 9,4 kadir olan NGC 1316 alışılmışın dışında bir merceksi galaksidir.


TAURUS
PISCES
CETUS
FORNAX
ω
a
μ
δ
β
NGC 1316
NGC 253
α
δ
SCULPTOR
η
γ
NGC 55
β
ERIDANUS
PHOENIX
GRUS
HOROLOGIUM
RETICULUM

# Eridanus (Irmak)

Gökyüzünün büyük ırmağı, Orion'un ayağından güneye doğru uzanır. Yıldızlarının çoğu soluk ve izini sürmek zor olsa da, -2,8 kadirlik Cursa (Beta Eridani) kendisinin kuzey ucuna yakındır. Güney ucundaki 0,5 kadirlik Achernar (Alfa Eridani) ise gökyüzündeki en parlak yıldızlardan biridir.

Omicron Eridani bu takımyıldızın en merak uyandıran yıldızlarından biridir: Yakın aralıklı bir görüş-açısı çifti olan Omicron Eridani'nin daha soluk olan ögesi (Omicron 2; kadir 4,4) kendi içinde bir çoklu yıldız sistemidir. Küçük bir teleskopla görülebilen -9,5 kadirlik yoldaşı Dünya'dan yaklaşık 16,5 ışık yılı uzaktaki Güneş benzeri bir yıldızın sönmüş kalıntısıdır. Gökyüzünün en kolay görülebilen beyaz cücesidir. Daha büyük bir aletle bakıldığında 11,2 kadirlik kırmızı cüce bir yoldaşı daha olduğu görülür. Epsilon Eridani ise Güneş'e benzer en yakın yıldızlardan biridir. Parlaklığı 3,4 kadir, Dünya'dan uzaklığı da yaklaşık 10,5 ışık yılıdır ve etrafında yörünge çizen en az bir tane gezegen vardır.


ORION
CURSA
β
μ
ν
ω
ο1
ο2
ψ
λ
δ
ε
ζ
η
π
γ
CETUS
ERIDANUS
τ1
τ5
τ4
τ2
τ6
τ9
τ3
τ8
LEPUS
υ1
υ2
FORNAX
υ3
υ4
CAELUM
θ
ι
PHOENIX
COLUMBA
κ
HOROLOGIUM
φ
χ
PICTOR
ACHERNAR
α

# Caelum (Çelikkalem) ve Horologium (Saat)

Gökyüzü ırmağı Eridanus'un güneydoğu sınırı boyunca Fransız gök bilimci Nicolas-Louis de Lacaille tarafından 1750'lerde bulunan üç belirsiz takımyıldız uzanır. Temsil ettikleri söylenen Heykeltıraşın Çelikkalem'i ile Sarkaçlı Saat'e benzerlikleri azdır.

Horologium'un dikkate değer iki derin uzay cismi vardır. Bunlardan parlaklığı 11,1 kadir olan, 30 milyon ışık yılı uzaklıktaki çubuklu sarmal galaksi NGC 1512, en iyi orta boyutta bir teleskopla görülebilir. NGC 1261 ise 54 bin ışık yılı uzaklıktaki, -8,4 kadirlik bir küresel kümedir. Takımyıldızın en ilginç yıldızı R Horologii çoğunlukla 14 kadirle parlayan ancak her 407 günde bir kadri 4,0'a çıkan uzun dönemli bir zonklayan değişendir. Alpha Caeli bir çift yıldız sistemidir. Daha parlak olan yıldızın kadri 4,4'tür ve ona normalde kadir değeri 9,8 olan, fakat parlak patlamalara yatkın bir kırmızı cüce eşlik eder. Dünya'dan yaklaşık 185 ışık yılı uzaktaki Gamma Caeli, diğer bir çift yıldızdır. Kadri 4,6'dır ve 8,1 kadirlik bir yoldaşı vardır.


FORNAX
CAELUM
$\gamma_1$
COLUMBA
ERIDANUS
$\alpha$
$\alpha$
$\delta$
NGC 1512
HOROLOGIUM
R
NGC 1261
PICTOR
DORADO
RETICULUM
$\lambda$
$\nu$
$\beta$
HYDRUS

# Lepus (Tavşan) ve Columba (Güvercin)

Orion'un güneyinde orta parlaklıkta iki takımyıldız bulunur. Antik Yunan'a ait bir yıldız deseni olan Lepus, avcının ayağının dibine çömelmiş bir tavşanı temsil eder. Columba büyük olasılıkla Hollandalı seyrüseferciler Pieter Dirkszoon Keyser ve Frederick de Houtman tarafından on altıncı yüzyılın sonlarında keşfedilmiştir.

Arneb (Alfa Leporis) nadir bir beyaz üstdevdir. Güneş'ten 30 bin kat daha parlaktır, 2200 ışık yılı uzaklıktadır ve 2,6 kadre sahiptir. R Leporis ("Hind'in Kızıl Yıldızı") gökyüzündeki en soğuk ve kırmızı yıldızlardan biridir. 820 ışık yılı uzaktaki bu kırmızı dev, 430 günlük bir süre boyunca 5,5 ila 11,7 kadir arasında zonklayarak parlar. Phact (Alfa Columbae), parlaklığı Arneb'e benzeyen ama 530 ışık yılı uzaklığıyla Güneş sistemimize daha yakın olan mavi-beyaz bir yıldızdır. Lepus'taki Messier 79, Dünya'dan yaklaşık 42 bin ışık yılı uzakta, 7,7 kadre sahip bir küresel yıldız kümesidir: Gökyüzünde izlediği yol, görece yakın bir geçmişte Samanyolu etrafında yörüngeye çekilmiş olabileceğine işaret eder.


MONOCEROS
η
ζ
α
ARNEB
μ
R
LEPUS
δ
β
γ
ε
M79
CANIS MAJOR
ERIDANUS
COLUMBA
α
λ
PHACT
δ
κ
γ
β
ε
ξ
η
PUPPIS
CAELUM

# Puppis (Pupa)

Bu büyük ve parlak takımyıldız, Carina ve Vela ile birlikte büyük Argo gemisini oluşturan üçlüden en kuzeyde olandır. Altın Post'u bulmak için yola koyulan Jason ve argonotların kullandığı geminin kıçını temsil eder. Bu üç takımyıldız önceden bir bütün olarak ele alındıkları için parlak yıldızlarının göstergesi olan Yunan harfleri aralarında paylaşılmıştır. Dolayısıyla takımyıldızın en parlak yıldızı Naos'a Zeta Puppis denilmiştir. Bilinen en sıcak ve en parlak yıldızlardan biri olan Naos'un yüzey sıcaklığı 42.000 °C'dir (75.600 °F) ve yaydığı toplam enerji (büyük ölçüde ultraviyoledir) Güneş'inkinden 750 bin kat fazladır. 1400 ışık yılı uzaktadır ve parlaklığı 2,2 kadirdir.

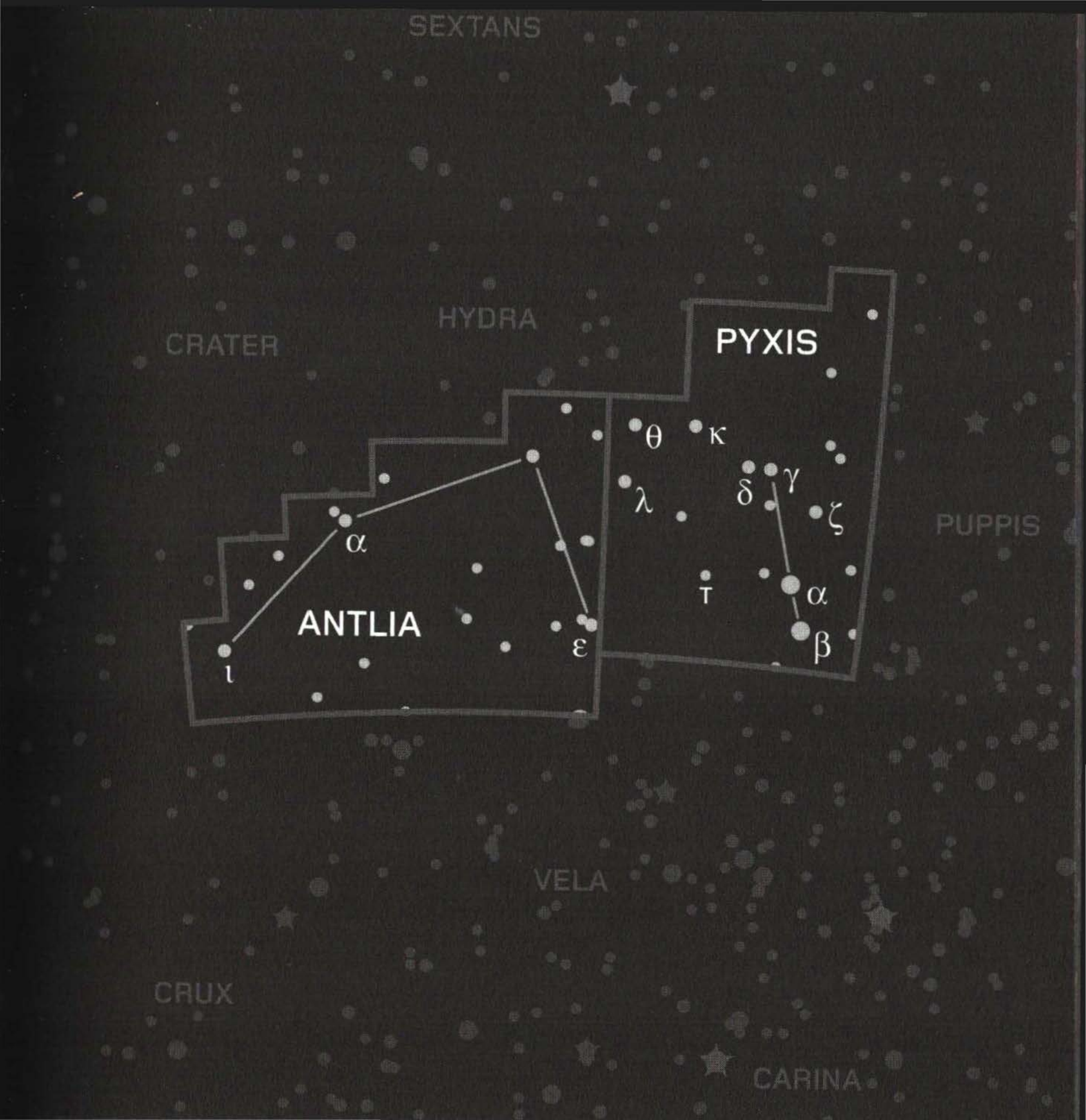
Konumu Samanyolu'nun parlak bir kısmında bulunan Puppis, bu sayede Messier 46 başta olmak üzere açık yıldız kümeleri açısından epey zengindir. Küçük bir teleskopla bakıldığında, 5400 ışık yılı uzaklıktaki M46'nın, toplam kadirleri 6,0 olan 150 ayrı yıldızdan oluştuğu görülebilir.


MONOCEROS
M47
M46
LEPUS
M93
ρ
PYXIS
CANIS MAJOR
ξ
π
ζ
NAOS
COLUMBA
PUPPIS
σ
ν
τ
VELA
CARINA
PICTOR

# Antlia (Pompa) ve Pyxis (Kumpas)

Kuzeyde Hydra'nın yılan gibi kıvrımlı gövdesi ve güneyde Vela'nın parlak yıldızları arasında kalan bu az bilinen iki takımyıldız, 1750'lerde güney yarıkürenin boş kalan yerlerinin çoğunu dolduran Fransız gök bilimci Nicolas-Louis de Lacaille tarafından bulunmuştur. Fakat ne yazık ki barındırdıkları ilgi çekici cisim sayısı azdır.

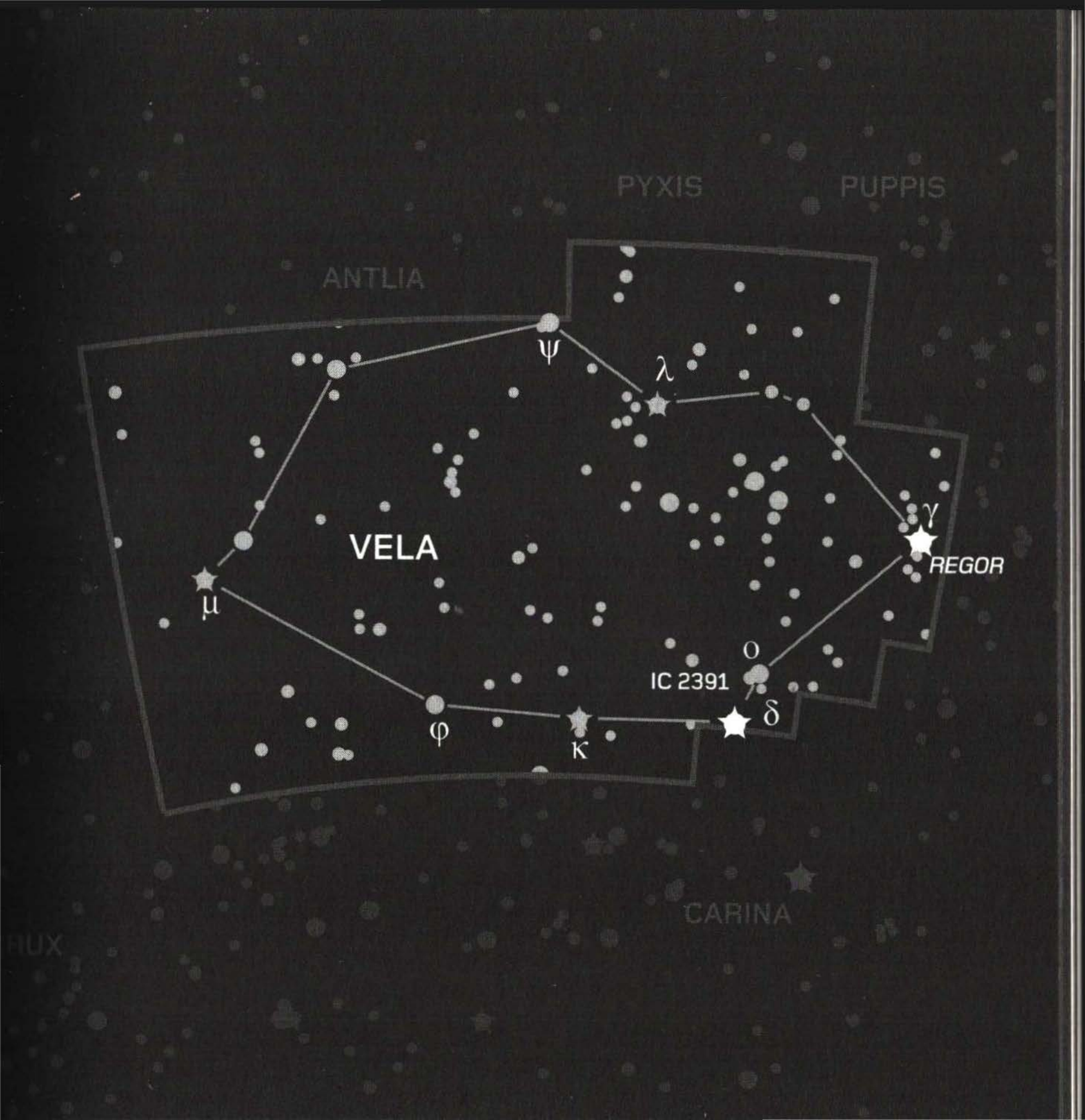
Kadir değeri -5,7 olan Zeta Antliae'ye dürbünle bakıldığında, Dünya'dan aşağı yukarı aynı uzaklıkta olan (372 ve 374 ışık yılı), neredeyse özdeş iki beyaz yıldızdan oluştuğu görülür. Uzaydaki yakınlıklarına rağmen kütle çekimiyle birbirlerine bağlı oldukları düşünülmemektedir; hatta küçük bir teleskopla bakıldığında batıdaki ögenin kendi içinde bir çift yıldız olduğu görülür. T Pyxidis ise 13,B'lik kadri normalde amatör teleskopların menzili dışında kalan, yaklaşık 6000 ışık yılı uzaktaki tekrarlayan bir nova sistemidir (bkz. s. 336). Parlaklığı, her yirmi ila otuz yılda bir gerçekleşen patlamalar sırasında dürbünle ve hatta çıplak gözle görülebilecek kadar artar.


SEXTANS
HYDRA
CRATER
PYXIS
PUPPIS
ANTLIA
θ
κ
λ
δ
γ
ζ
α
τ
α
β
ε
ι
VELA
CRUX
CARINA

# Vela (Yelken)

Büyük gökyüzü gemisi Argo'nun yelkeni, parlak yıldızlarıyla Güney Samanyolu'nda geniş bir çerçeve çizen bir sekizgenden meydana gelir. En parlak yıldızı Regor (Gamma Velorum), Dünya'dan yaklaşık 1200 ışık yılı uzakta, başyıldızı 1,8 kadir olan karmaşık bir çoklu yıldız sistemidir. Teleskopla bakıldığında kadirleri 4,3, 8,5 ve 9,4 olan başka ögelerinin de bulunduğu ve en soluklarının kendi içinde bir çift yıldız olduğu görülebilir. Başyıldız ise diğer bir spektroskobik ikilidir. Sıcak mavi bir yıldız ile onun etrafında yörünge çizen daha sıcak bir "Wolf-Rayet" yıldızından oluşur. Bir zamanlar canavar yıldız olan bu yıldız, kütlesinin büyük bir kısmını püskürttüğü için iç tabakaları açıkta kalır.

Karmaşık yapılı diğer bir çoklu yıldız da 80 ışık yılı uzaklıktaki Delta Velorum'dur. En parlak bileşeni -2,0 kadirlik tutulan bir örten ikilidir ve parlaklığı her 45 günde 0,4 kadir azalır. IC 2391 ise kadir değeri -3,2 olan Omicron Velorum adlı yıldızın etrafındaki güzel görünümlü bir açık yıldız kümesidir ve 580 ışık yılı uzaklıktadır.


PYXIS
PUPPIS
ANTLIA
ψ
λ
γ
VELA
REGOR
μ
o
IC 2391
δ
φ
κ
CARINA

# Carina (Karina)

Büyük Argo gemisinin en parlak bölümü omurgasıdır ve gökyüzündeki en parlak ikinci yıldız Canopus (Alfa Carinae) sayesinde kolayca bulunabilir. Parlaklığı 0,7 kadir olan bu sarı-beyaz üstdev, Dünya'dan 315 ışık yılı uzaktadır ve Güneş'ten yaklaşık 15 bin kat parlaktır.

Carina ayrıca gökyüzündeki en ilgi çekici yıldız-oluşturan nebula olan NGC 3372'ye ev sahipliği yapar. Bu nebulanın Samanyolu'nda kapladığı alan dolunayın çapının dört katıdır ve toplam kadri 1,0'dır. Büyüklüğü sayesinde, çeşitli parlak yıldız toplulukları ile Anahtar Deliği Nebulası denen karanlık bir toz şeridi gibi dikkate değer birçok özellik içerir. Bunlardan en etkileyicisi çift kutuplu Homunculus Nebulası'dır ve tam merkezinde ögelerinden birinin kütlesi 120 Güneş'e eşdeğer olan muhteşem çift yıldız Eta Carinae gömülüdür. Carina'nın başka bir yerinde Dilek Kuyusu (NGC 3532) ve Güney Ülker (IC 2602) diye bilinen iki parlak yıldız kümesi vardır.


ANTLIA
COLUMBA
VELA
χ
α
CANOPUS
NGC 3532
NGC 3372
ι
ε
CARINA
PICTOR
IC 2602
θ
υ
DORADO
VOLANS
ω
β
CRUX
MUSCA
MENSA
CHAMAELEON

# Crux (Güney Haçı) ve Musca (Sinek)

Meşhur Güney Haçı gökyüzündeki en küçük takımyıldız olmakla birlikte en parlaklardan biridir. Antik Yunanların Centaurus'un parçası olarak gördüğü bu takımyıldız günümüzdeki kimliğini on altıncı yüzyıldaki seyrüsefercilere borçludur. Güneyinde Crux'la aşağı yukarı aynı zamanda keşfedilen ve önceden sinekten ziyade arı olarak görülen Musca bulunur.

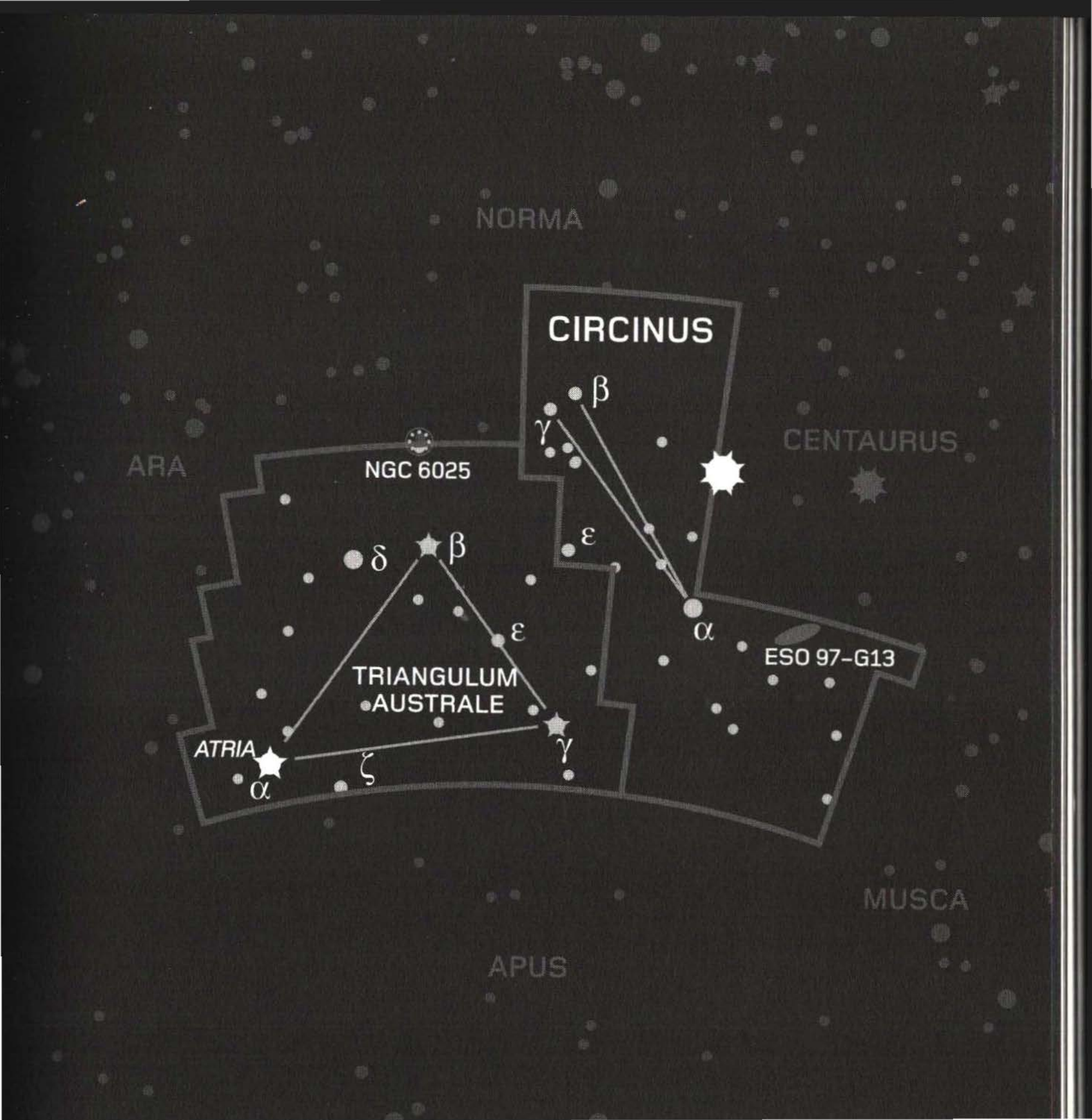
Haçın güney ucundaki Acrux (Alfa Crucis) 0,8 kadre sahip güzel görünümlü bir mavi-beyaz çift yıldızdır ve 320 ışık yılı uzaklıktaki ögeleri küçük bir teleskopla rahatça ayırt edilebilir. Diğer bir çift yıldız ise Theta Muscae'dir. Yıldızlarını 10 bin ışık yılı uzaklıktan gördüğümüz için soluk kalan 5,7'lik kadri aslında daha parlaktır. Dünya'dan 88 ışık yılı uzaktaki Gamma Crucis, mavi-beyaz komşularıyla dikkat çekici bir karşıtlık oluşturan -1,6 kadirlik bir kırmızı devdir. Crux'un bir köşesinde Kömür Çuvalı denen sık, karanlık bir nebula ve çıplak gözle görülebilen renkli yıldız topluluğu Mücevher Kutusu (NGC 4755) vardır.


CENTAURUS
γ
β
δ
NGC 4755
ε
CRUX
ACRUX
α
θ
θ
η
λ
μ
η
β
ε
α
δ
γ
MUSCA
CIRCINUS
CHAMAELEON

# Circinus (Pergel) ve Triangulum Australe (Güney Üçgeni)

Bu iki takımyıldıza ait en parlak yıldızlar farklı şekillerde üçgenler oluştururlar. Uzun ve ince Circinus, on sekizinci yüzyıl kâşifi Lacaille'e bir sürveyan pergelini anımsatmıştır. Güney Üçgeni'nin geniş eşkenar şekli eski seyrüsefercilerin gözüne daha kolay görünmüş olacak ki, ilk olarak on altıncı yüzyılın sonlarında kayda geçirilmiştir.

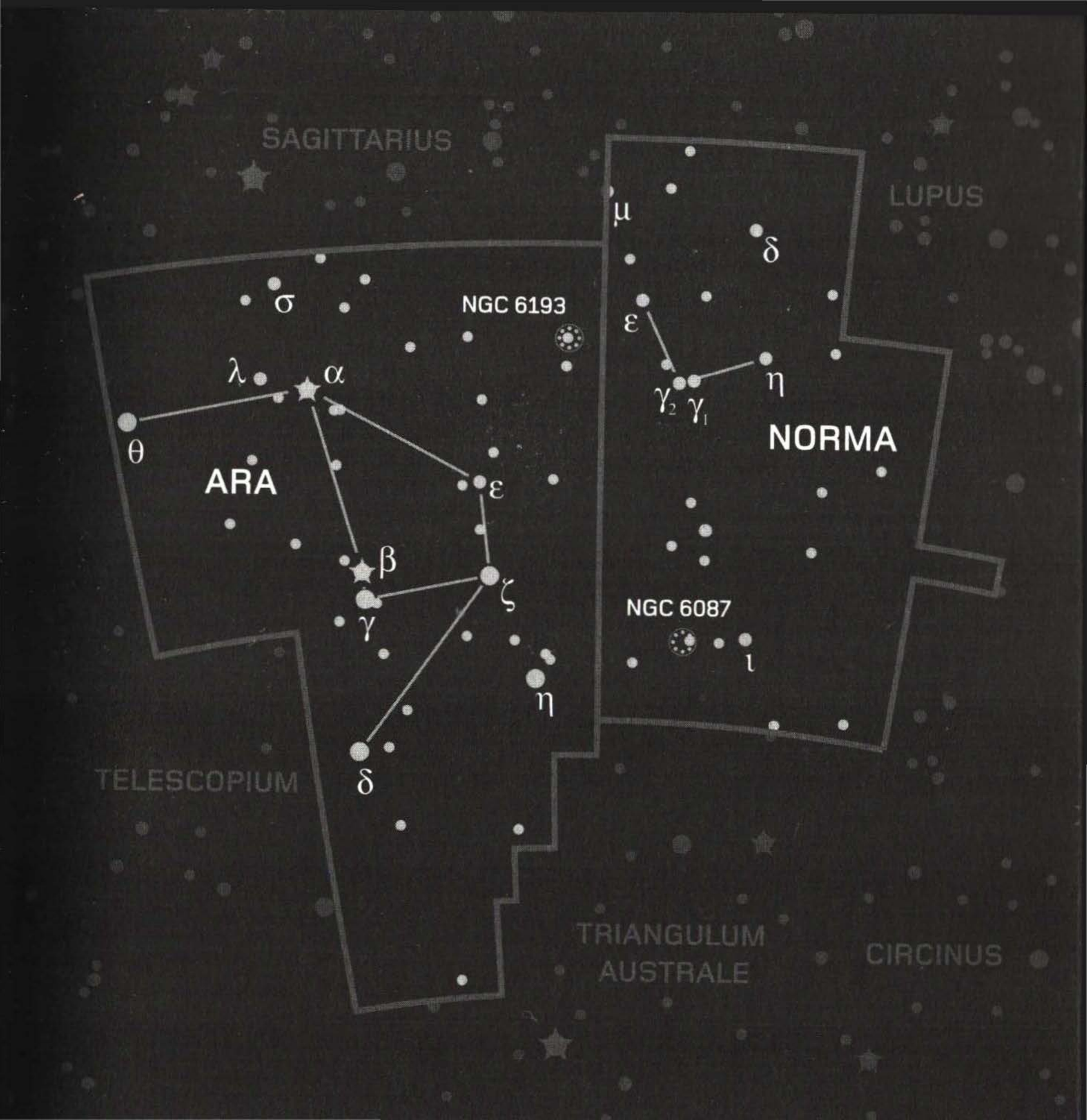
Dünya'dan kabaca 415 ışık yılı uzaktaki Atria (Alfa Trianguli Australe), kadri 1,9 olan bir turuncu devdir. İsimsiz Alpha Circini ise 53 ışık yılı uzaklıktaki bir çift yıldızdır. Beyaz başyıldızı (kadir 3,2) teleskopla görülebilen turuncu bir cüce yoldaşa sahiptir. NGC 6025 diye de bilinen Lambda Circini tek bir yıldız değil, açık bir yıldız kümesidir. Bu -5,1'lik "flu yıldız" dürbünle bakıldığında otuzdan fazla yıldızdan oluşan 2700 ışık yılı uzaklıktaki bir kümeye ayrışır. Samanyolu'nun Cirnicus'tan geçen yıldız bulutları, ESO 97-G13'ün (Pergel Galaksisi) önünü kapatır. Sadece 13 ışık yılı uzaklıktaki bu etkin galaksi 1970'lerde keşfedilmiştir.


NORMA
CIRCINUS
β
γ
CENTAURUS
ARA
NGC 6025
δ
β
ε
ε
α
ESO 97-G13
TRIANGULUM
AUSTRALE
ATRIA
γ
α
ζ
MUSCA
APUS

# Norma (Cetvel) ve Ara (Sunak)

Scorpius'un güneyindeki Ara takımyıldızı belli belirsiz olmasına rağmen keşfedilen ilk 48 klasik takımyıldızdan biridir. Komşusu Norma ise ondan farklı olarak 1750'lerde Nicolas-Louis de Lacaille tarafından boşluk doldurmak için bulunan sıradan takımyıldızlardan biridir.

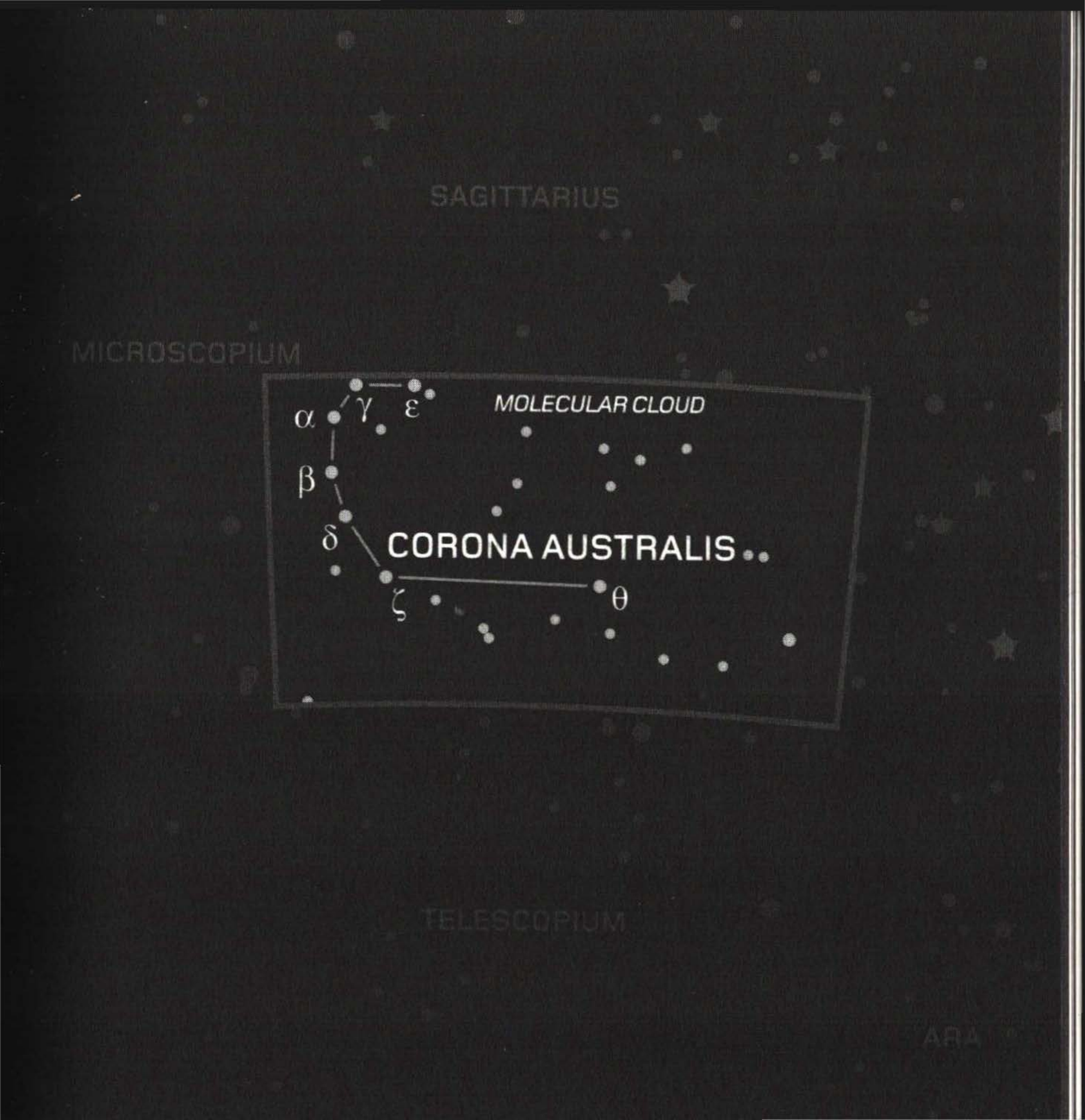
Gamma Normae, kadirleri 4,0 ile 5,0 ve Dünya'ya uzaklıkları çok farklı olan bir görüş-çizgisi çiftidir. Daha soluk olan sarı üstdev 1500 ışık yılı, daha normal olan parlak sarı dev ise 130 ışık yılı uzaktadır. NGC 6087 toplam kadri 5,6 olan küçük bir açık yıldız kümesidir. Dürbünle bakıldığında yaklaşık kırk yıldızın başka bir sarı üstdevin (S Normae diye adlandırılan bir Sefe değişeni; bkz. s. 300) merkezinde toplandığı görülür. Ara'nın sınırındaki NGC 6193 ise biraz daha parlak bir yıldız kümesidir. İki düzineden fazla elemanıyla, yakındaki NGC 6188 nebulası menşeli parlak mavi ve beyaz yıldızlardan oluşan geniş "O81 Birliği"nin merkezine denk gelir.


SAGITTARIUS
LUPUS
μ
δ
σ
NGC 6193
ε
λ
α
η
γ2
γ1
θ
NORMA
ARA
ε
β
ζ
NGC 6087
γ
ι
η
δ
TELESCOPIUM
TRIANGULUM
AUSTRALE
CIRCINUS

# Corona Australis (Güney Tacı)

Corona Borealis'in mukabili olan (bkz. s. 150) Güney Tacı, çaydanlığa benzeyen Sagittarius'un güneyinde ve Scorpius'un iğnesinin doğusunda kavis çizen soluk yıldızlardan oluşur. Şekli Corona Australis kadar kusursuz olmasa da karanlıkta epey belirgindir. Yunanlar onu şarap tanrısı Dionysos'un taktığı taça benzetmişlerdir.

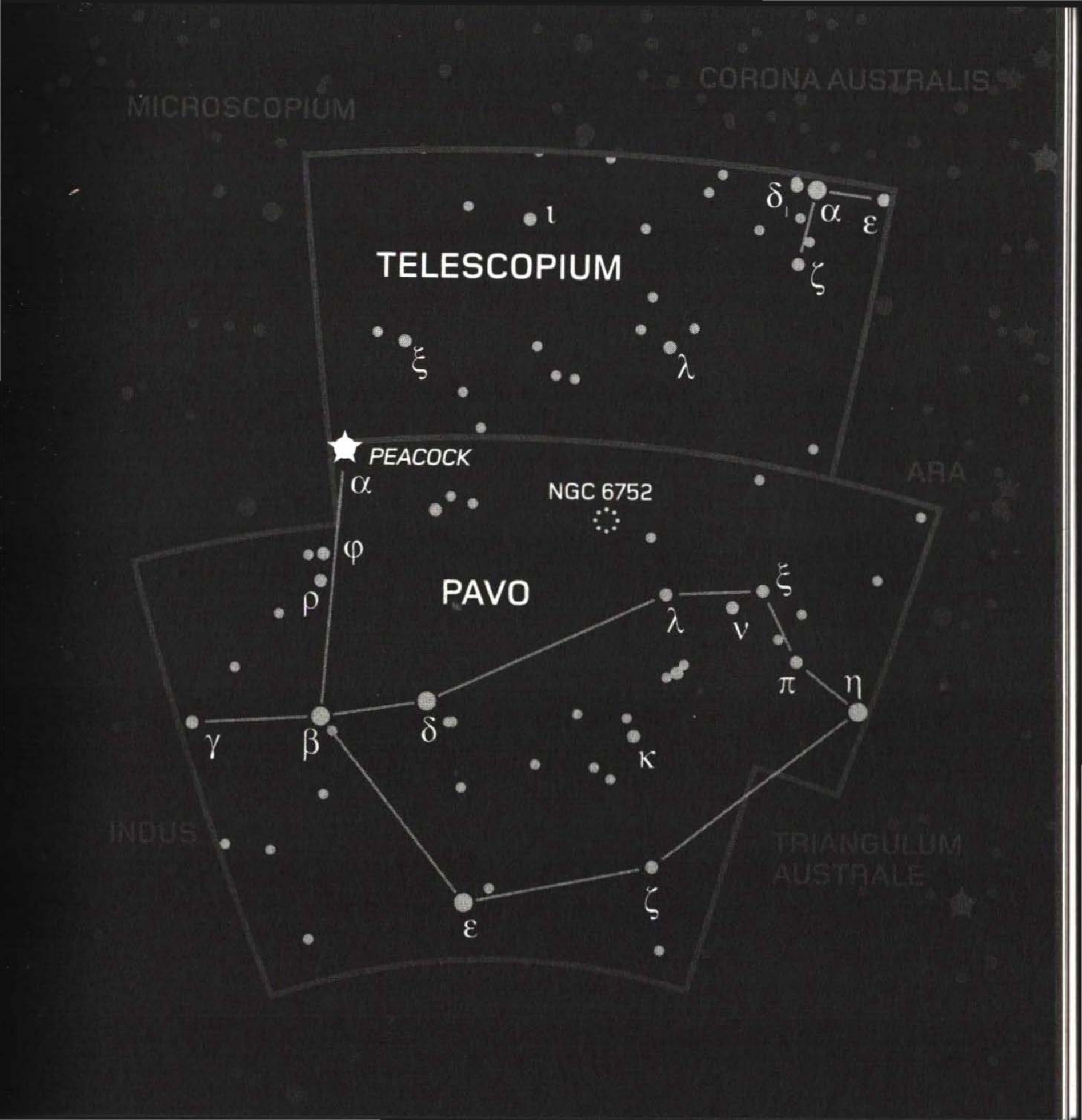
Takımyıldızın en parlak yıldızları olan Alfa ve Beta Coronae Australis'in ikisinin de kadir değeri 4,1'dir. Alfa, Dünya'dan 140 ışık yılı uzakta bir beyaz yıldız, Beta ise 510 ışık yılı uzakta bir sarı devdir. Gamma, küçük bir teleskopla kolayca eş değer iki sarı yıldız olarak ayırt edilebilen güzel görünümlü bir çift yıldızdır. Takımyıldızın kuzey kısımlarına Dünya'ya en yakın yıldız oluşum bölgelerinden biri olan Corona Australis Molekül Bulutu hâkimdir. Parlak salma nebulası yerine ağırlıklı olarak karanlık ve toz dolu bulutlardan oluştuğu için ne yazık yalnızca 430 ışık yılı uzakta olmasına rağmen belli belirsizdir.


SAGITTARIUS
MICROSCOPIUM
α
γ
ε
β
δ
ζ
θ
MOLECULAR CLOUD
CORONA AUSTRALIS
TELESCOPIUM
ARA

# Pavo (Tavus) ve Telescopium (Dürbün)

Parlaklığı az olan bu iki takımyıldızın kökeni, gök küresinin güneyini bölümlere ayıran iki farklı geleneğe dayanır. 1590'ların ortalarında ticaret seferi yaparken gökyüzünün en güneyini detaylı bir şekilde gözlemleyen Hollandalı seyrüseferciler Pieter Dirkszoon Keyser ve Frederick de Houtman'ın gözlemlerine göre Pavo "Güney Kuşları"ndan biridir. Nicolas-Louis de Lacaille'in 1750'lerde gökyüzüne sonradan eklediği on dört takımyıldızdan biri olan Telescopium ise belki de en belirsiz takımyıldızdır.

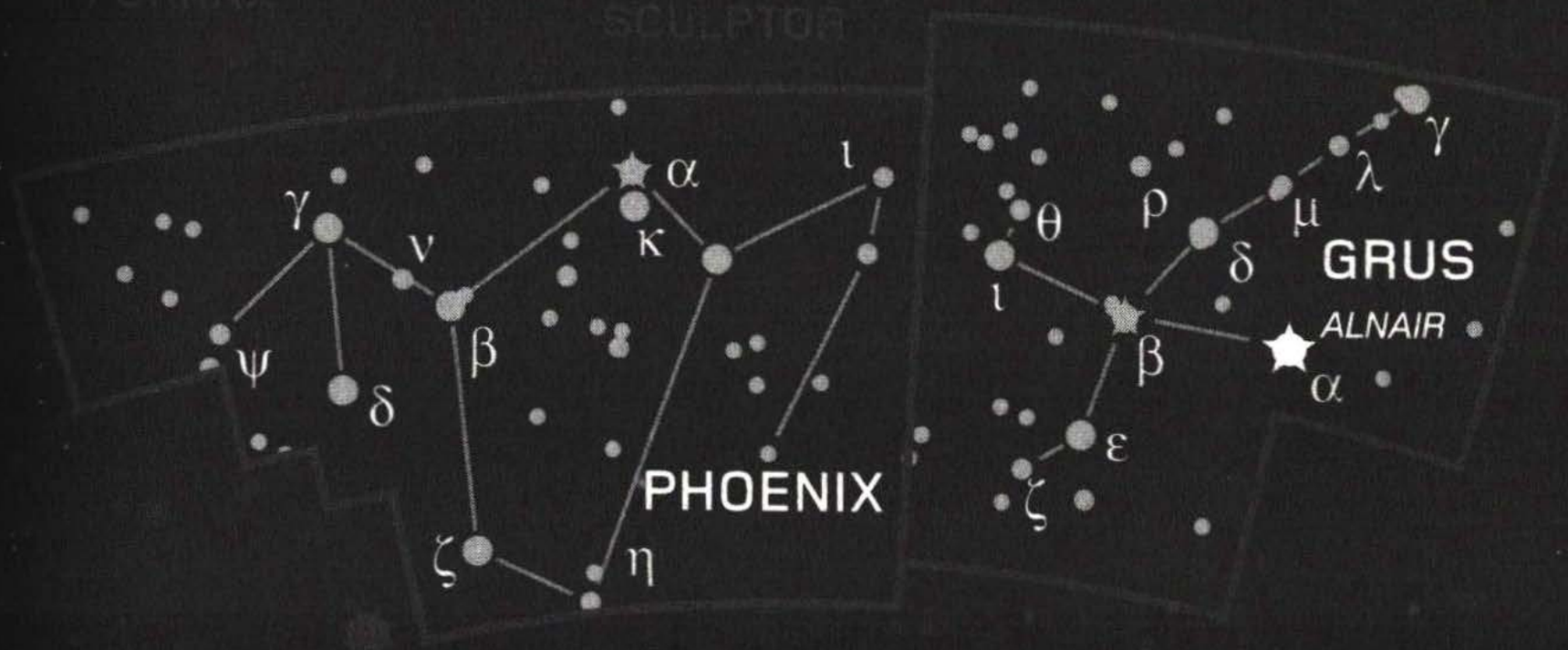
Dünya'dan 183 ışık yılı uzaklıktaki Tavus Kuşu (Alfa Pavonis) -1,9 kadirlik bir mavi devdir ve spektroskobik gözlemler aslen sıkışık bir çift yıldız olduğunu ortaya koyar. Kappa Pavoni, 540 ışık yılı uzakta parlak bir Sefe değişenidir (bkz. s. 300) ve parlaklığı 9,1 günlük döngülerde 3,9 ve 4,8 arasında zonklar. Yine Pavo'da bulunan NGC 6752 güzel görünümlü bir küresel kümedir. 5,4'lük kadriyle gökyüzündeki en parlak üçüncü kümedir ve herhangi bir optik aletle bakıldığında güzel gözlemlenir.


CORONA AUSTRALIS
MICROSCOPIUM
TELESCOPIUM
ι
δ1
α
ε
ζ
ξ
λ
PEACOCK
α
NGC 6752
ARA
φ
ρ
PAVO
ξ
λ
ν
π
η
γ
β
δ
κ
INDUS
TRIANGULUM AUSTRALE
ε
ζ

# Grus (Turna) ve Phoenix (Anka)

Bu iki gökyüzü kuşunu bulmak için Piscis Austrinus'taki parlak yıldız Fomalhaut'un güneyine bakmak yeter. Grus'un hem orta parlaklıkta en az birkaç tane yıldızı hem de uzanan boynunu temsil eden belirgin diyagonal bir yıldız zinciri vardır. Parlaklığı daha az olan Phoenix mitolojik kuşun açılmış kanatlarını temsil ettiği söylenen geniş bir şekle sahiptir. İkisi de, Hollandalı seyrüseferciler Keyser ve de Houtman'ın on altıncı yüzyılın sonlarındaki gözlemleri sonucunda bulunmuştur.

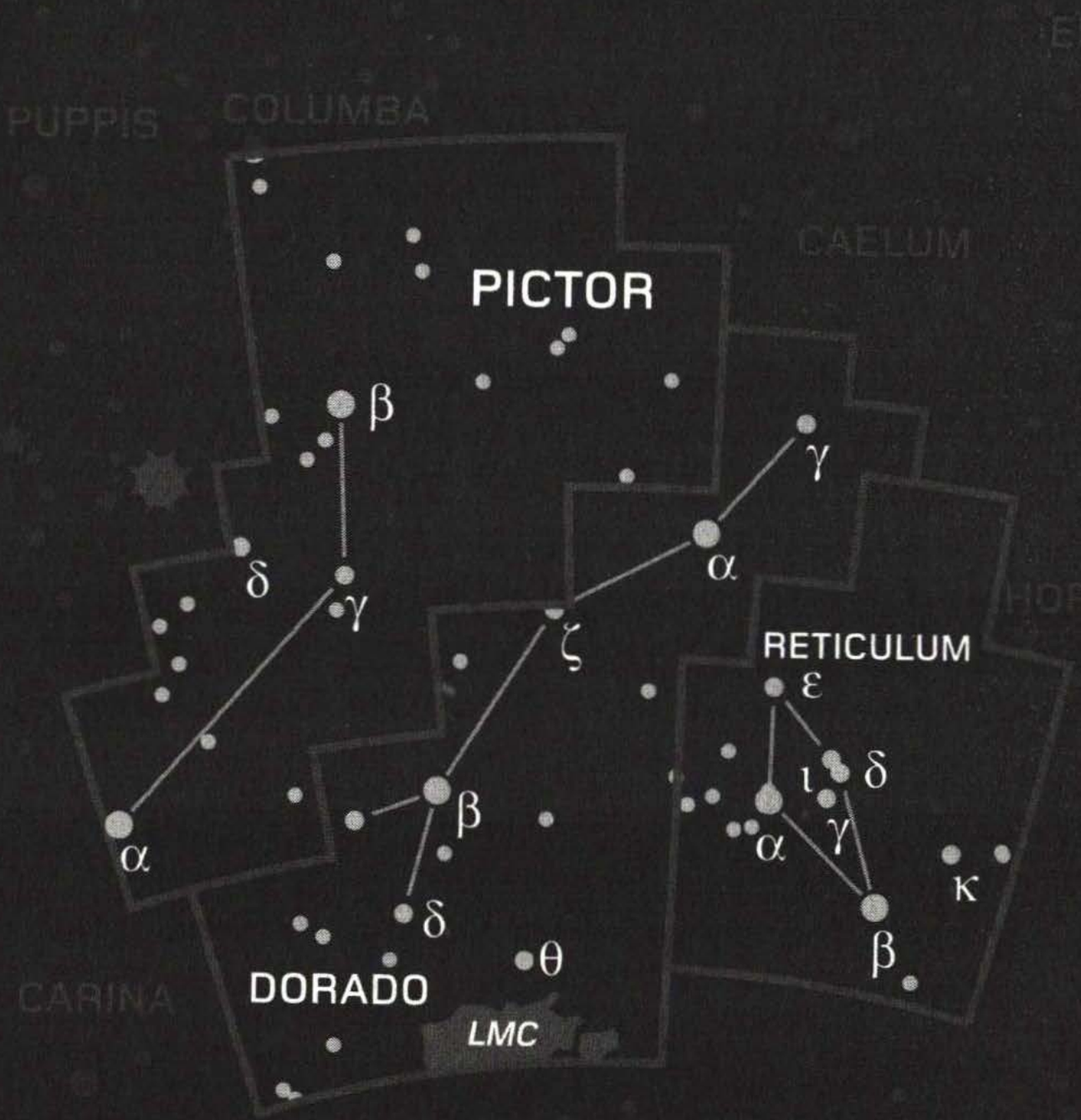
Çıplak gözle görülebilen bir çift yıldız olan Delta Gruis aslında görüş-çizgisi etkisinden ibarettir; kadirleri 4,0 ve 4,1 olan bu sarı ve kırmızı devler gökyüzünde aynı yönde bulunsalar da uzaklıkları 150 ve 420 ışık yılıdır. Zeta Phoenicis dört yıldıza sahip gerçek bir çoklu yıldızdır; en parlak elemanı kadri her kırk saatte bir 3,9'dan 4,4'e düşen bir örten ikilidir. Küçük bir teleskopla bakıldığında 6,9 kadre sahip üçüncü bir öge tespit edilebilir, fakat daha soluk ve başyıldıza daha yakın olan dördüncü elemanı görmek için daha büyük bir alet gerekir.


α
ι
γ
κ
ν
β
ψ
δ
PHOENIX
ζ
η
γ
λ
θ
ρ
μ
δ
GRUS
ALNAIR
ι
β
α
ε
ζ

# Dorado (Kılıçbalığı), Pictor (Ressam) ve Reticulum (Retikül)

Adını Doğu Hint Adaları'nda *mahi-mahi* denen balıktan alan Dorado takımyıldızı gökyüzüne Hollandalı seyrüseferciler Keyser ve de Houtman tarafından on altıncı yüzyılın sonlarında, muhtemelen yerli folklor temel alınarak eklenmiştir. İki yanında 1750'lerde Nicolas-Louise de Lacaille tarafından keşfedilen komşuları Şövale ve Retikül (optik aletlerde rastlanan özel bir ölçüm işareti) bulunur.

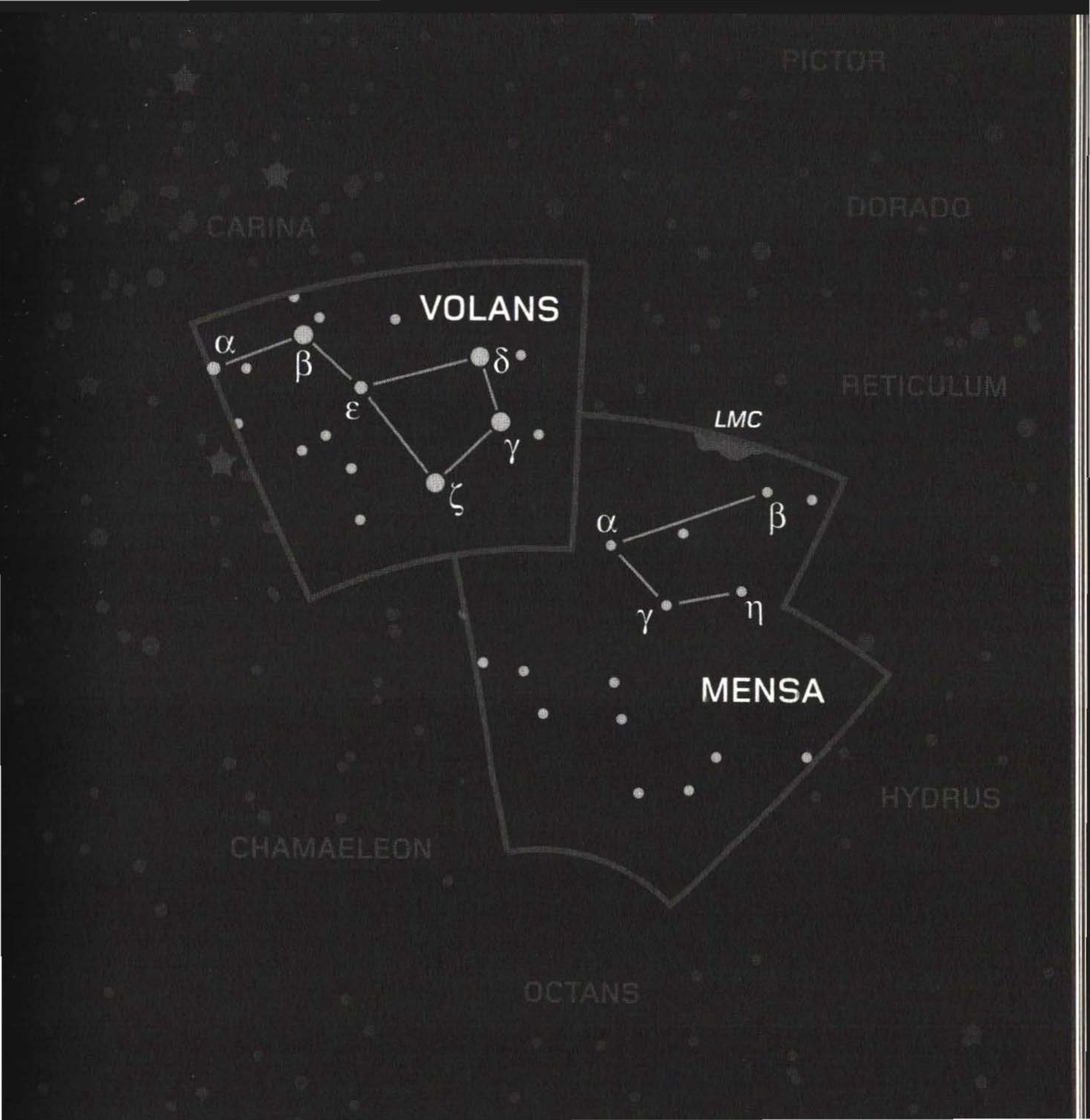
Kadri -3,9 olan Beta Pictoris, Dünya'dan 63 ışık yılı uzaktaki sıradan bir beyaz yıldızdır. Kızılötesi teleskoplar sayesinde etrafında gezegen oluşturan maddeden bir disk olduğu keşfedilmiştir. Fakat bölgenin gözlemciler için en cezbedici noktası, galaksimizin etrafında yörünge çizen uydu galaksi Büyük Macellan Bulutu'dur (bkz. s. 350). 160 bin ışık yılı mesafesiyle ilk bakışta Samanyolu'nun güneydeki Dorado'dan komşusu Mensa'ya uzanan ayrı bir bölgesi gibi görünür. Dürbün ya da teleskopla bakıldığında birbirinden ayrı özellikleri belli olur. Bunlardan en etkileyicisi, kozmik çevremizdeki en büyük yıldız oluşturan nebula olan Tarantula Nebulası'dır (NGC 2070).


ERIDANUS
PUPPIS
COLUMBA
CAELUM
PICTOR
β
γ
α
δ
γ
ζ
HOROLOGIUM
RETICULUM
ε
ι
δ
α
γ
κ
β
β
α
δ
θ
DORADO
CARINA
LMC
HYDRUS
VOLANS
MENSA

# Mensa (Masa) ve Volans (Uçan Balık)

Resmî adı "masa" anlamına gelse de en güneydeki küçük Mensa takımyıldızı, adını coğrafi bir özellikten alan tek yıldız grubu olması bakımından benzersizdir. 1750'lerde Fransız gök bilimci Nicolas-Louis de Lacaille tarafından keşfedilen Mensa'ya ilk başta yıldızlarının oluşturduğu dörtgenle Afrika'daki Masa Dağı arasındaki benzerlikten dolayı Mons Mensae adı verilmiştir. Dorado'dan uzanan Büyük Macellan Bulutu "dağ"ın yassı zirvesinde sisli bir leke oluşturur. Volans'ın yakınlarında ise on altıncı yüzyılın sonlarında Hollandalı seyrüseferciler tarafından gökyüzüne dâhil edilen birçok gruptan bir tanesi vardır.

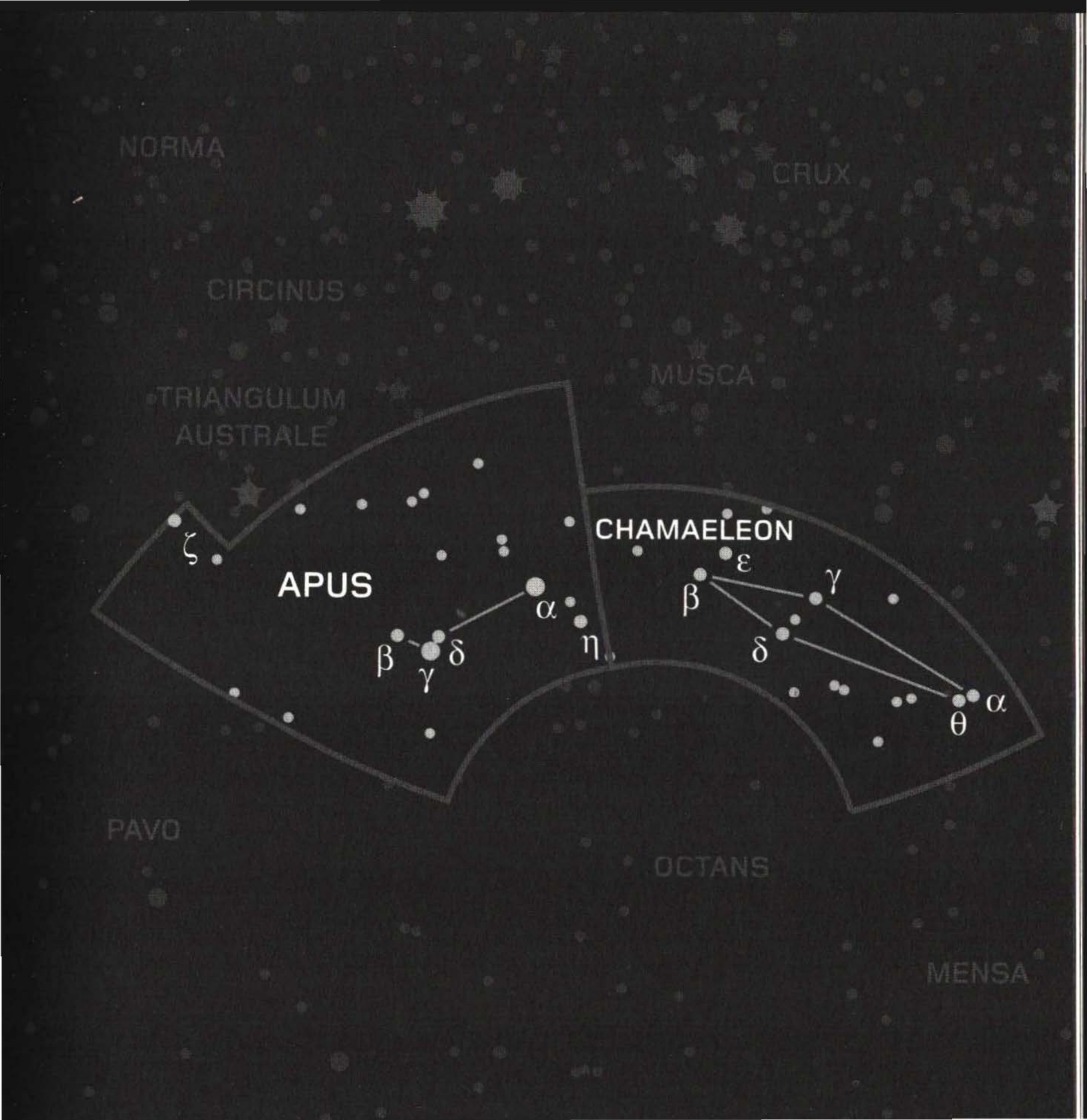
Alfa Mensae Güneş'e benzerliği dışında pek bir özelliği olmayan, 5,1 kadirlik sıradan bir yıldızdır. Dünya'dan 33 ışık yılı uzaktadır ve tahmini kütlesi Güneş'in yüzde doksanı, parlaklığı ise yüzde sekseni kadardır. 150 ışık yılı uzaklıktaki Gamma Volantis ise küçük teleskoplarla görülebilen güzel bir çift yıldızdır. Kadri -3,8 olan turuncu bir dev ile onun 5,7 kadirlik beyaz yoldaşından oluşur.


PICTOR
DORADO
CARINA
VOLANS
α
β
δ
ε
γ
ζ
RETICULUM
LMC
α
β
γ
η
MENSA
HYDRUS
CHAMAELEON
OCTANS

# Chamaeleon (Bukalemun) ve Apus (Cennet Kuşu)

Parlak Carina, Crux ve Centaurus yıldızları ile güney gök kutbunun boş bölgeleri arasında kalan bu iki soluk takımyıldız, ilk olarak gök bilimci Petrus Plancius tarafından on altıncı yüzyılın sonlarında kayda geçirilmiştir. Ancak adlarını Hollandalı seyrüseferciler Pieter Dirkszoon Keyser ve Frederick de Houtman takmıştır.

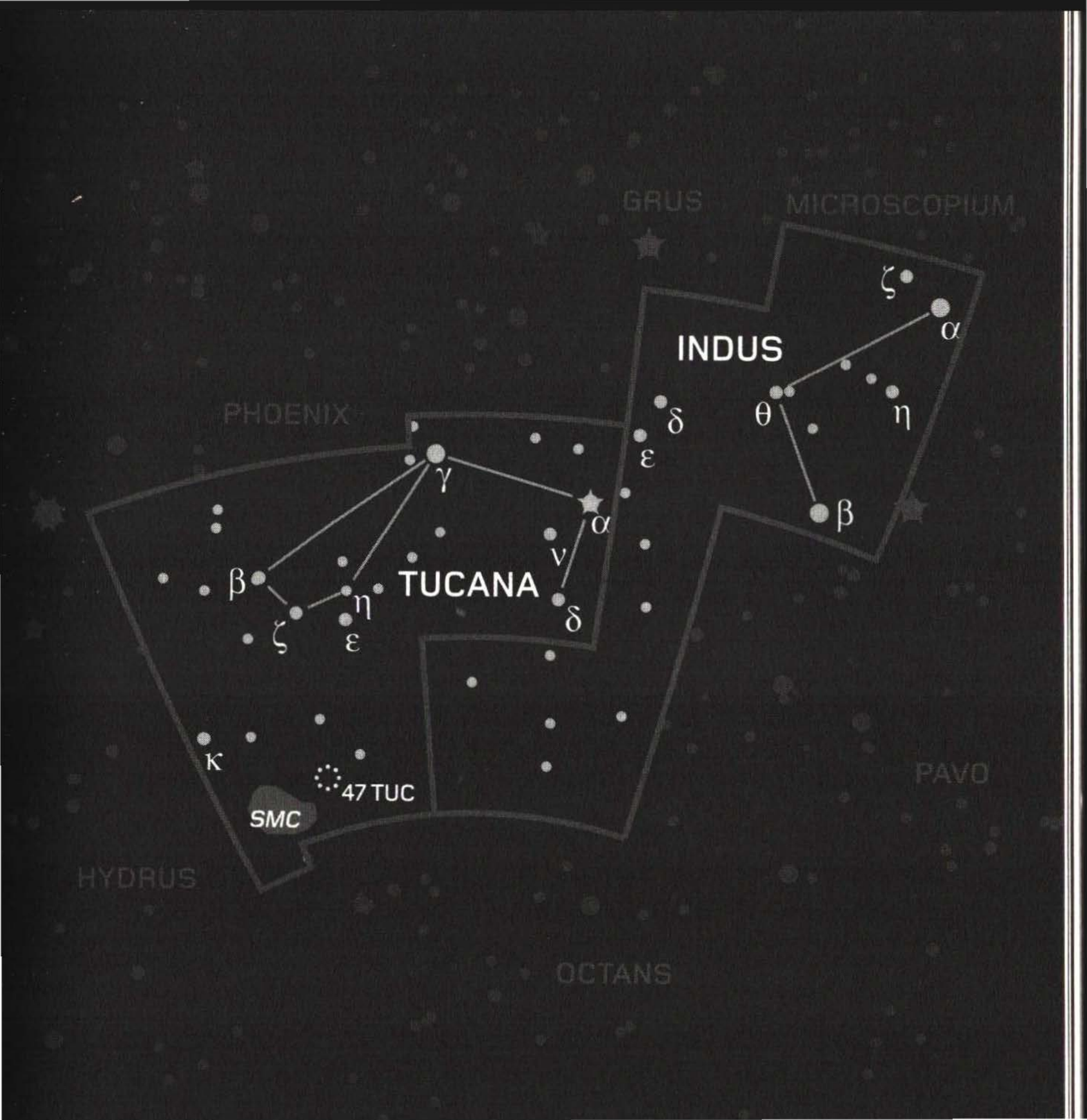
Delta Chamaeleontis, ögeleri bir dürbünle kolayca ayırt edilen bir görüş çizgisi çiftidir. Daha parlak olan mavi-beyaz altdev, Dünya'dan 780 ışık yılı uzaktadır ve 4,4 kadre sahiptir. Daha soluk olan ise 350 ışık yılı uzaklıkta, çözülemeyen bir çift turuncu devdir ve toplam parlaklığı 5,5 kadirdir. Tesadüfen Delta Apodis de bir çift yıldızdır fakat bu iki yıldız (kadirleri 4,7 ve 5,3 olan turuncu devler) birbirine kütle çekim etkisiyle bağlıdır. 310 ışık yılı uzaklıkta olmalarına rağmen araları o kadar açıktır ki, bir dürbünle, hatta çıplak gözle kolayca ayırt edilebilirler.


NORMA
CRUX
CIRCINUS
MUSCA
TRIANGULUM AUSTRALE
CHAMAELEON
APUS
ζ
ε
γ
β
α
β
δ
η
γ
δ
α
θ
PAVO
OCTANS
MENSA

# Indus (Hint) ve Tucana (Tukan)

Çoğu kez tüylü başlıklı bir Amerikan Yerlisi olarak temsil edilen soluk Indus takımyıldızı büyük ihtimalle Hollandalı seyrüseferciler Keyser ve de Houtman tarafından 1590'larda ziyaret edilen Güneydoğu Asya adalarının bir yerlisini temsil eder. İkili, yakında bulunan ve biraz daha parlak olan Tokan'a da adını vermiştir.

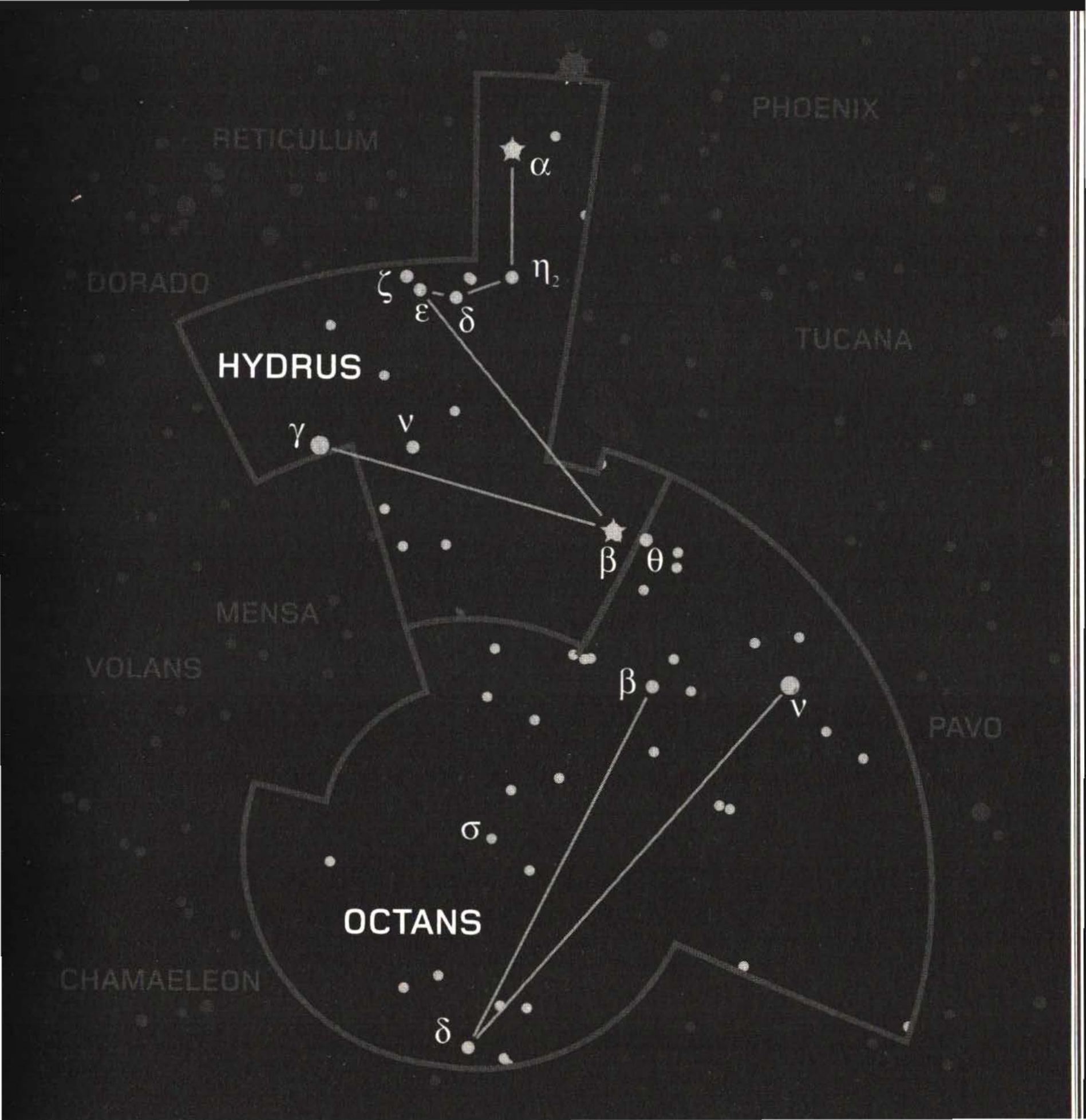
Indus'ta görülebilecek tek şey Dünya'dan 11,2 ışık yılı uzakta yer alan Güneş benzeri bir yıldız olan -4,7 kadirlik Epsilon İndi ve onun, kütlesi Jüpiter'inkinin kırk beş katı olan "kahverengi cüce" yoldaşıdır. Tucana ise 210 bin ışık yılı uzakta, Samanyolu'nun etrafında yörünge çizen (bkz. s. 358), güzel görünümlü, küçük, düzensiz galaksi Küçük Macellan Bulutu'na ev sahipliği yapar. Dürbün ya da küçük bir teleskopla bakıldığında içerisindeki birçok ilginç özellik ortaya çıkar. Yakınındaki küresel yıldız kümesi 47 Tucanae'nin Dünya'ya mesafesi yalnızca 17 bin ışık yılıdır. Genişliğinin sadece 120 ışık yılı olmasına rağmen belki de yarım milyon yıldızla dolu olan 47 Tucanae, çıplak gözle bakıldığında 4,9 kadirlik flu bir "yıldız" olarak görünür.


GRUS
MICROSCOPIUM
INDUS
ζ
α
θ
η
δ
ε
β
PHOENIX
γ
α
ν
TUCANA
β
η
ζ
ε
δ
κ
47 TUC
SMC
PAVO
HYDRUS
OCTANS

# Hydrus (Küçük Su Yılanı) ve Octans (Sekizlik)

Güney gök kutbunun etrafındaki bölge, kuzey gök kutbunun parlak takımyıldızlarının aksine ne dikkat çekici bir özelliğe ne de parlak bir "kutup yıldızı"na sahiptir. On altıncı yüzyılın sonlarında Hollandalı seyrüseferciler tarafından bulunan Küçük Su Yılanı (gök ekvatorundaki devasa Hydra ile karıştırmayınız) Eridanus'taki Achernar'ın altından güney yönünde kutba doğru kıvrılır. Gök kutbunu işaretleyen belirsiz Octant ise Nicolas-Louis de Lacaille'in keşfidir.

Takımyıldızın zıt köşelerinde bulunan Alfa ve Beta Hydri'nin parlaklıkları neredeyse eşittir: sırasıyla 2,9 ve 2,8 kadir. Beyaz yıldız Alfa, Dünya'dan 70 ışık yılı uzakta, orta parlıklığa sahip, kutba en yakın yıldız olan Beta ise yalnızca 24 ışık yılı uzaktadır ve kırmızı deve evrilmekte olan bir sarı "altdev"dir (bkz. s. 312). Çıplak gözle görülebilenler arasında kutba en yakın yıldız ise (yaklaşık 1 derece uzaktaki) -5,4 kadirlik Sigma Octantis'tir.


PHOENIX
RETICULUM
α
η2
ζ
ε
δ
DORADO
TUCANA
HYDRUS
γ
ν
β
θ
MENSA
VOLANS
β
ν
PAVO
σ
OCTANS
CHAMAELEON
δ

# Yıldızların Yaşamları

Çekirdeklerinde nükleer füzyon idame ettirecek kadar yoğunlaşan ve ısınan devasa gaz topları olan yıldızlar evrendeki en önemli cisimlerdir. Görünür ışık gibi tüm yüksek enerjili radyasyon biçimlerinin esas kaynağı olan yıldızlar ayrıca evrenin hafif ham maddelerini (bkz. s. 394) tıpkı bedenlerimizi oluşturanlara benzer ağır ve daha karmaşık elementlere dönüştürürler.

Gözleri iyi gören biri geceleri açık havada her seferinde yaklaşık üç bin yıldız görür. Yıldızlar arasındaki iki temel fark kendini hemen belli eder. Bunlar parlaklık ("görünen kadir") ve renk ("spektrum tipi") farklılıklarıdır. Bu gibi farklılıklar yıldızların yapısal özelliklerindeki çeşitliliği yansıtır. Ancak, çıplak gözle görülen yıldızların uzaklıkları birkaç ışık yılı ile binlerce ışık yılı arasında farklılık gösterdiğinden, gökyüzündeki en parlak yıldızın gerçekte en parlak olduğu yanılgısına kapılmamalıyız.

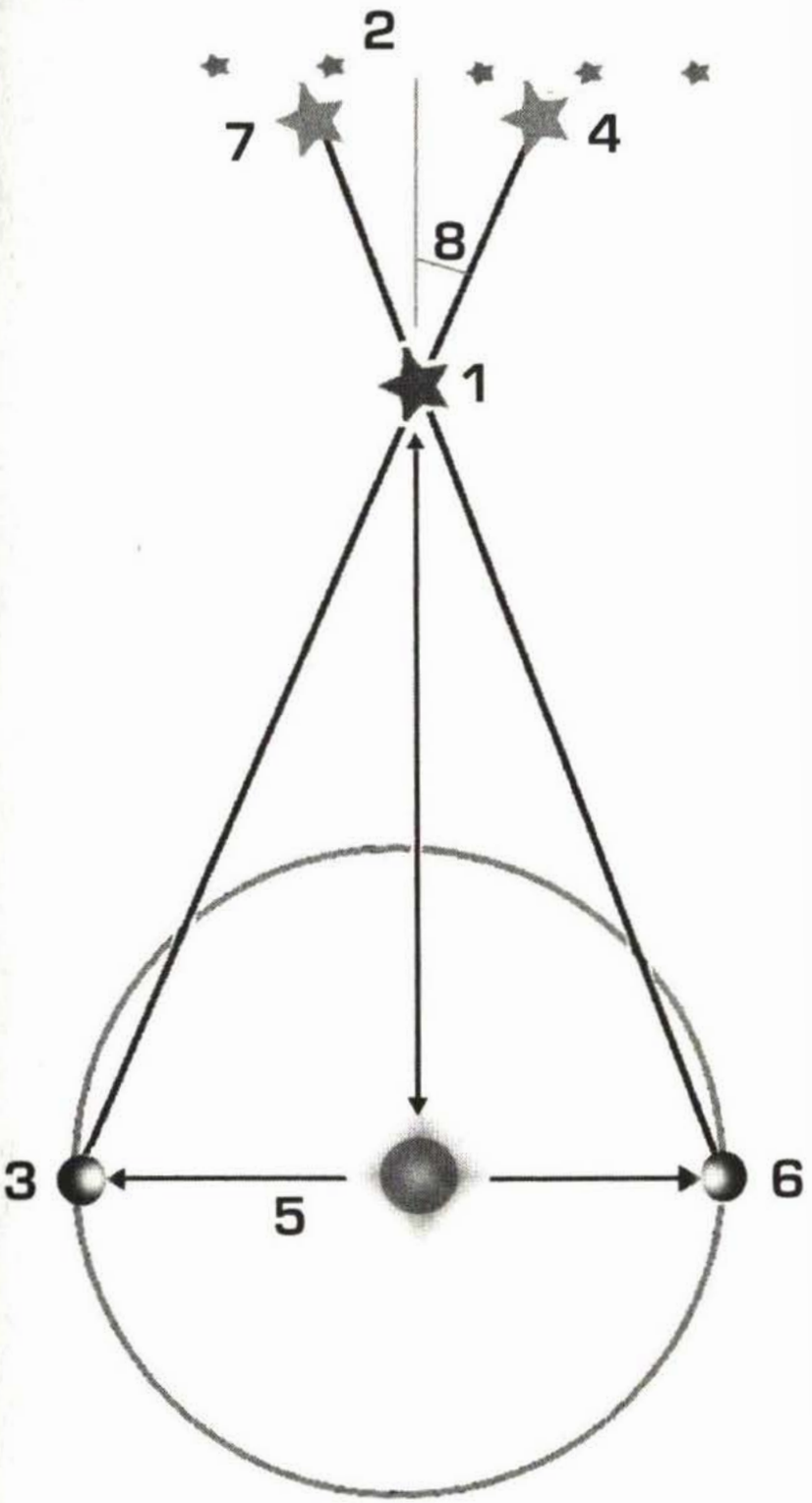
Gökyüzümüzde çıplak gözle görülebilen yıldızların oluşturduğu küme bu gibi faktörlerden kaçınılmaz olarak etkilenir ve kesinlikle galaksimizin yıldız popülasyonunun tümünü temsil etmez. Parlaklığı yüksek dev yıldızlar çok nadir olmalarına rağmen parlaklıkları sayesinde uzak mesafelerden kolayca seçilirler. Daha soluk cüce yıldızların sayısı ise daha fazladır. Ancak yalnızca Dünya'ya yakın birkaçı çıplak gözle görülebilir. Yirminci yüzyılın başlarında yıldız özelliklerinin gerçek dağılımını anlama çabaları, günümüzde yıldızların evrimini kavrayışımızda anahtar rolü oynayan Hertzsprung-Russell diyagramının oluşturulmasını sağladı (bkz. s. 268).

Yıldızların yaşam döngüsü dengesiz bir gençlik, uzun süren bir orta yaş, şişkin bir yaşlılık ve sakin ya da gösterişli bir ölümden oluşur. Tam bir döngü yıldızın kimyasal bileşimine ve kütlesine bağlı olarak bambaşka sürelerde gerçekleşebilir. Güneş'imiz gibi yıldızlar 10 milyar yıldır dengeli bir şekilde dururken, daha büyük olan birkaçı tüm yakıtını sadece birkaç milyon yılda (Güneş'in yaşam süresinin belki de binde biri) tüketebilir. Diğer aşırı uçtaysa, Güneş'in kütlesinin yarısına sahip cüce yıldızlar güçsüz bir şekilde parlamalarına rağmen evrenin şimdiki yaşından bile çok daha uzun süre değişmeden kalırlar.

# Yıldızların Uzaklığı

Yıldızların ve diğer gök cisimlerinin özelliklerini saptamada karşılaşılan en temel zorluk belki de uzaklıklarını kesin olarak ölçebilmektir. Bir yıldızın uzaklığının bilgisi görünen kadriyle (Oünya'dan görülen parlaklığı) birleşince, o yıldızın diğer fiziksel özelliklerine ulaşmanın anahtarı olan esas enerji miktarını ya da parlaklığını ortaya çıkarabilir.

Uzaklıklarını belirlemek için diğer yıldızlara gidemediğimiz için gök bilimciler başka tekniklere başvurur. Dünya kendi yörüngesinin bir tarafından diğerine hareket ettikçe yakındaki yıldızların yönündeki küçük değişimleri ölçen paralaks (ıraklık) yöntemi bu teknikler içinde en kesin sonucu verendir. Modern uydular Dünya'dan yüzlerce, hatta binlerce ışık yılı uzaktaki cisimlerin ufak paralaks değişimlerini ölçebilir. Gerçek parlaklıklar belirlendiğinde diğer ilişkiler netleşir ve gök bilimcilerin paralaks yöntemini doğrudan kullanamayacakları kadar uzaktaki cisimlerin uzaklık ve parlaklıklarını tahmin etmelerini sağlayan "yaklaşık hesap"lar ortaya çıkar.




## Yıldızların uzaklıklarını ölçmek için kullanılan paralaks yöntemi

**1** Güneş sistemine yakın olan, ön plandaki yıldız

**2** Arka plandaki uzak yıldızlar

**3** İlk ölçüm anında Dünya

**4** Yıldızın ilk ölçümdeki belirgin konumu

**5** Dünya'nın yörüngesinin aralarında 300 milyon km (186 milyon mil) olan karşıt tarafları

**6** Dünya'nın altı ay sonraki ikinci ölçümü

**7** Yıldızın ikinci ölçümdeki belirgin konumu

**8** "Paralaks açısı" Dünya'nın ön plandaki yıldıza olan uzaklığını gösteriyor

# Yıldızın Rengi ve Parlaklığı

Geceleri gökyüzündeki yıldızlar parlaklık ve renk olmak üzere iki açıdan çeşitlilik gösterirler. Yıldızların uzaklıklarını ölçme becerimiz gerçek parlaklıklarının, yani aydınlatma güçlerinin Dünya'dan görünen kadirleri kadar çeşitlilik gösterdiğini doğrular. Bazı yıldızların parlaklıkları Güneş'ten on bin kat daha azken, bazıları milyonlarca kat daha fazladır.

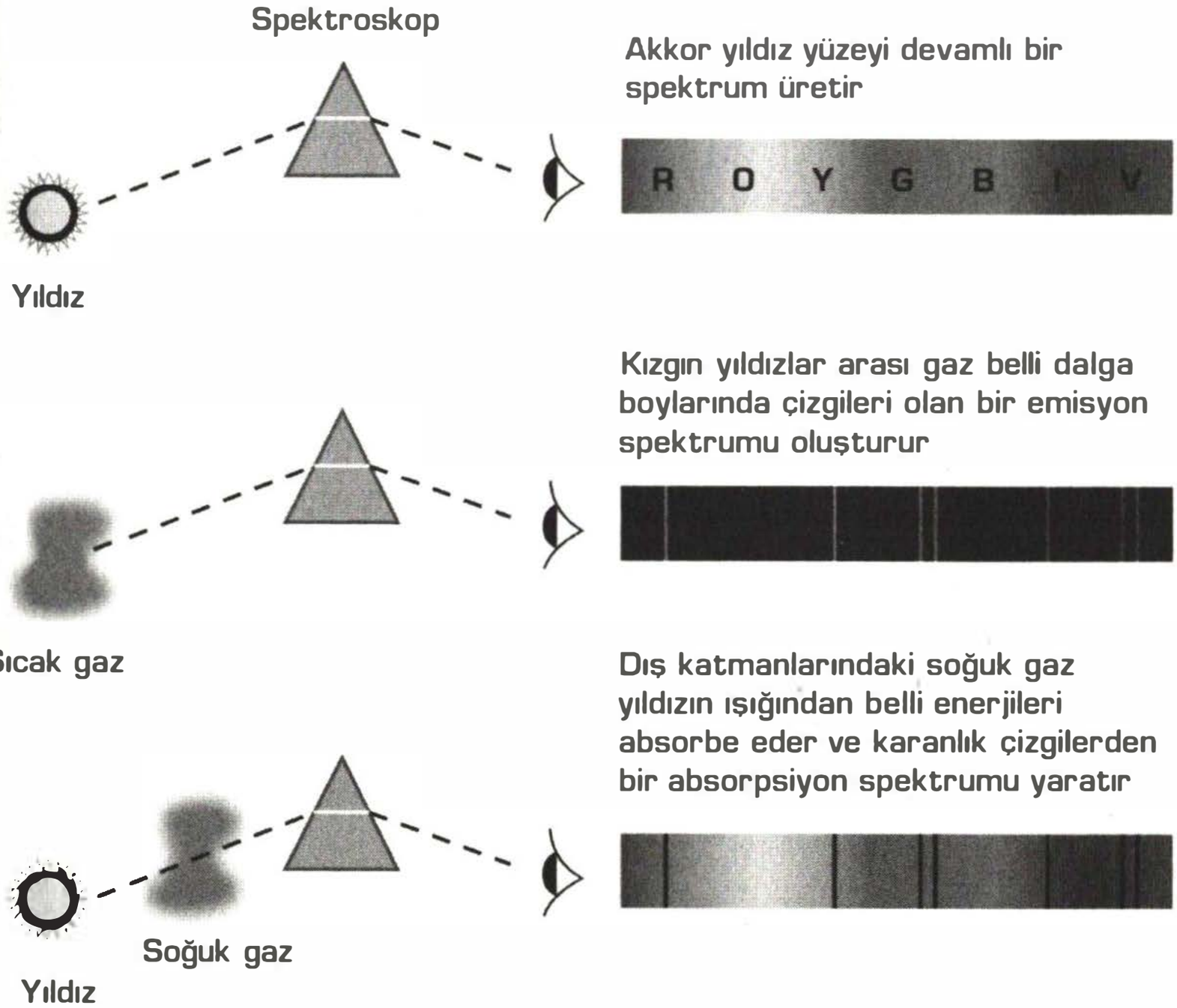
Renk ise bir yıldızın yüzey sıcaklığının göstergesidir. Güneş gibi sarı yıldızların yüzey sıcaklığı yaklaşık 5800 °C'dir (9900 °F); turuncu ve kırmızı yıldızlar çok daha soğuk, beyaz ve mavi yıldızlar ise çok daha sıcaktır. Bir yıldızın sıcaklığı yüzeyinin her bir biriminden geçen enerjinin göstergesi olduğu için, eşit parlaklığa sahip biri soğuk kırmızı diğeri de sıcak mavi olan iki yıldızdan soğuk kırmızı olanın çok daha küçük olduğu sonucu çıkar. Böylece sınırlı bir yüzey alanından çıkan enerjinin ısıtma etkisi çok daha büyük olur. Bu nedenle bir yıldızın rengi ve parlaklığı büyüklüğünü ortaya çıkarabilir.


GÜNEŞ sarı cüce
KIRMIZI VE
TURUNCU CÜCELER
BETELGEUSE
kırmızı üstdev
POLLUX
sarı dev
SIRIUS beyaz anakol yıldızı
RIGEL
mavi dev
ALDEBARAN
turuncu dev

# Yıldızın Kimyası

Yıldızlar renklerini, ürettikleri enerjinin yüzey sıcaklığından etkilenen farklı dalga boylarında kesin bir şekilde dağıtılmasından alırlar. Fakat yıldızlardan ve diğer gök cisimlerinden gelen ışık spektroskopi teknikleriyle (bkz. s. 24) yakından incelendiğinde kimyasal yapılarıyla ilgili derin sırlar ortaya çıkar.

Astronomik spektrumlar genellikle iki şekilde karşımıza çıkar. Yıldızların açığa çıkardığı absorpsiyon spektrumlarındaki gökkuşağına benzer ışık sürekliliklerinden çaprazlama geçen karanlık dar çizgiler ışığın belli dalga boylarında soğurulduğunun göstergesidir. Diğer olaylar ise belli enerjilerde yayılan birkaç parlak çizgi dışında çoğunlukla karanlık olan emisyon spektrumunu gösterir. Her iki spektrum türü de enerji soğurulumu ya da yayımı yapmak için iç yapılarını değiştiren belirli atom ve moleküllerin varlığını ortaya koyar. Bunlar cisimlerin bileşimlerini incelemek için kimyasal "parmak izi" görevi görürler ve bu cisimlerin ışıklarını etkileyen araya giren maddelerin varlığını da açığa çıkarırlar.

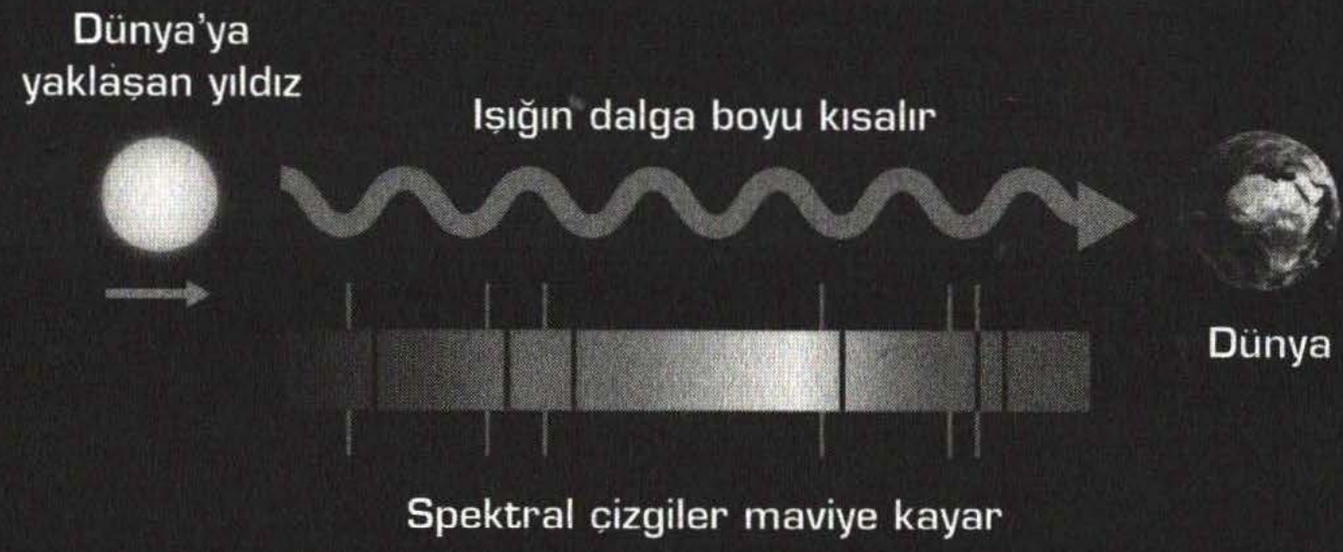

Spektroskop
Akkor yıldız yüzeyi devamlı bir spektrum üretir
R O Y G B I V
Yıldız
Kızgın yıldızlar arası gaz belli dalga boylarında çizgileri olan bir emisyon spektrumu oluşturur
Sıcak gaz
Dış katmanlarındaki soğuk gaz yıldızın ışığından belli enerjileri absorbe eder ve karanlık çizgilerden bir absorpsiyon spektrumu yaratır
Soğuk gaz
Yıldız

# Yıldız Hareketleri

Uzayda en hızlı hareket eden yıldızlar dışındaki hareketleri tespit etmek son model güçlü teleskoplarla dahi zordur. Hatta dikkat çekici şekilde hareket eden bu yıldızların yalnızca gökyüzündeki yanal hareketleri görünür. Fakat yıldız spektrumlarının içindeki belirgin absorpsiyon çizgileri (bkz. s. 282) başka bir yöne doğru bir hareket daha gösterir.

Bir yıldız Dünya'ya doğru ileri veya geri dairesel bir hareket yaptığında, ışığında Doppler kayması olur. Bu aynı zamanda yanımızdan geçen sirenlerin ses dalgalarındaki perde değişimine neden olan etkiyle aynıdır. Dünya'ya doğru hareket cisimlerin ışık dalgaları sıkışırken, uzaklaşan kaynaklardan gelenler uzar. Böylece ortaya "maviye kayma" ve "kırmızıya kayma" denen etkiler çıkar. Doppler kaymaları bir yıldızın tüm ışığını eşit derece etkiler fakat gök bilimciler olması gereken pozisyondan azıcık sapan spektral çizgilerin belirli paternlerini tespit edebilirlerse, bu, yıldızın dairesel hareketini ortaya çıkarabilir. Örneğin yıldızın çift sistem içerisindeki yörünge süresi ve hızı (bkz. s. 298) bulunabilir.


Dünya'dan
uzaklaşan yıldız
Işığın dalga boyu uzar
Dünya
Spektral çizgiler kırmızıya kayar

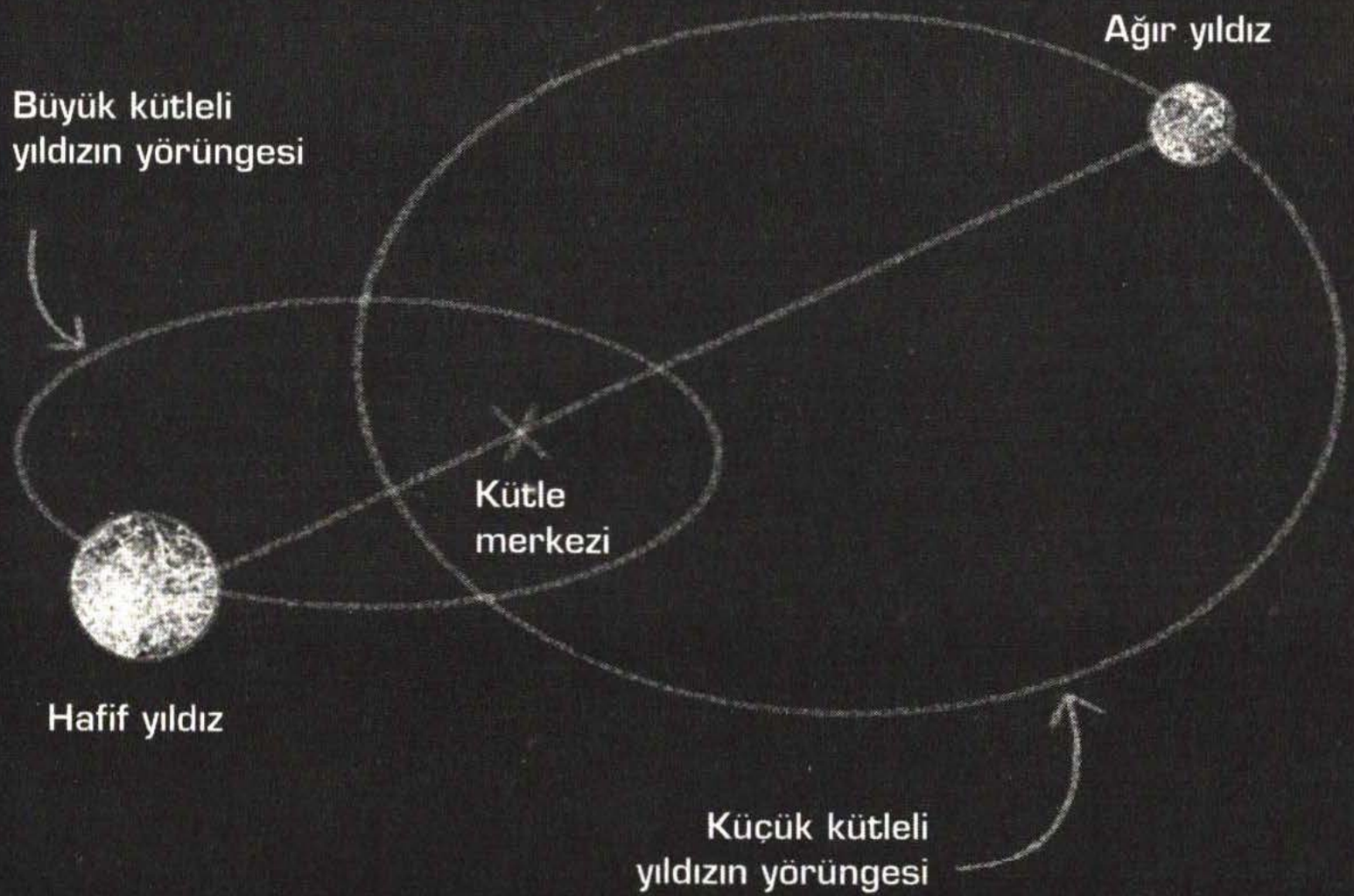

Dünya'ya
yaklaşan yıldız
Işığın dalga boyu kısalır
Dünya
Spektral çizgiler maviye kayar

# Yıldız Kütle Ölçümü

En önemli yıldız özelliklerinden biri kütledir. Bir yıldızın içerisindeki maddenin miktarı, yanmaya hazır hâldeki hidrojenin miktarını ve -çekirdekteki basınç ve sıcaklığı kontrol altında tutarak- o yakıtla hangi hızda yanacağını, böylece de yıldızın ömrü ile parlaklığını belirler.

Bir yıldızın kütlesini ölçmenin en doğrudan yolu basit yörünge mekaniği kanunlarıdır. İkili ya da çoklu yıldız sistemlerinde yıldızların yörünge süreleri (bkz. s. 298) sistemin kütle merkezine yakınlıklarını ve dolayısıyla göreli kütlelerini ortaya koyar. Daha ağır yıldızlar hafif olanlara kıyasla kütle merkezine daha yakın küçük yörüngeler çizerler. Bir çift yıldız sisteminin kesin boyutları ve yönünün bilinmesi mevcut yıldızların mutlak kütlelerinin hesaplanmasına olanak sağlar, fakat pratikte ölçüler sınırlı olduğu için gök bilimciler yalnızca göreli kütleleri tahmin edebilirler. Yine de bu, yıldızların kütlesi ve parlaklığı arasındaki önemli bağlantıları ortaya çıkarmaya yeter.

Çift yıldız sistemdeki yörüngelerin boyutları yıldızlarının göreli kütlelerini göstererek, kütlenin diğer yıldız özelliklerini etkileme şekillerini karşılaştırma imkânı tanır.



# Hertzsprung-Russell Diyagramı

İsveçli Ejnar Hertzsprung ve Amerikalı Henry Norris Russell tarafından 1911 civarında bağımsız olarak geliştirilen Hertzsprung-Russell (H-R) diyagramı yıldızların evrimini anlamamızda anahtar rolü oynar. Yıldızların yerlerini renklerine ya da yüzey sıcaklıklarına ve parlaklıklarına göre belirleyen bu diyagram, dağılımlarında net bir kalıp olduğunu açığa çıkarır. Yıldızların büyük bir çoğunluğu soğuk, soluk yıldızlarla (kırmızı cüceler) sıcak, parlak yıldızları (mavi devler) birbirine bağlayan "anakol" adlı diyagonal bir kuşağın üzerindedir. Sayıları görece daha az olan bazı yıldızlar diyagramın diğer kısmını kaplarlar; bunlara soluk ama sıcak beyaz cüceler, soğuk ama parlak kırmızı devler ve tüm renklerden oluşan aşırı parlak bir üstdev yıldız kuşağı dâhildir. Anakolun bu denli baskın olması yıldızların yaşamlarının çoğunu burada geçirdiğini gösterir. Devler ve üstdevler çok parlak oldukları için uzun mesafelerden bile görülür ve bu yüzden gökyüzünde özellikle dikkat çekerler, fakat en yakın yıldız komşularımıza yönelik ölçümlere bakıldığında, cüce yıldızların çok daha yaygın olduğu görülür.

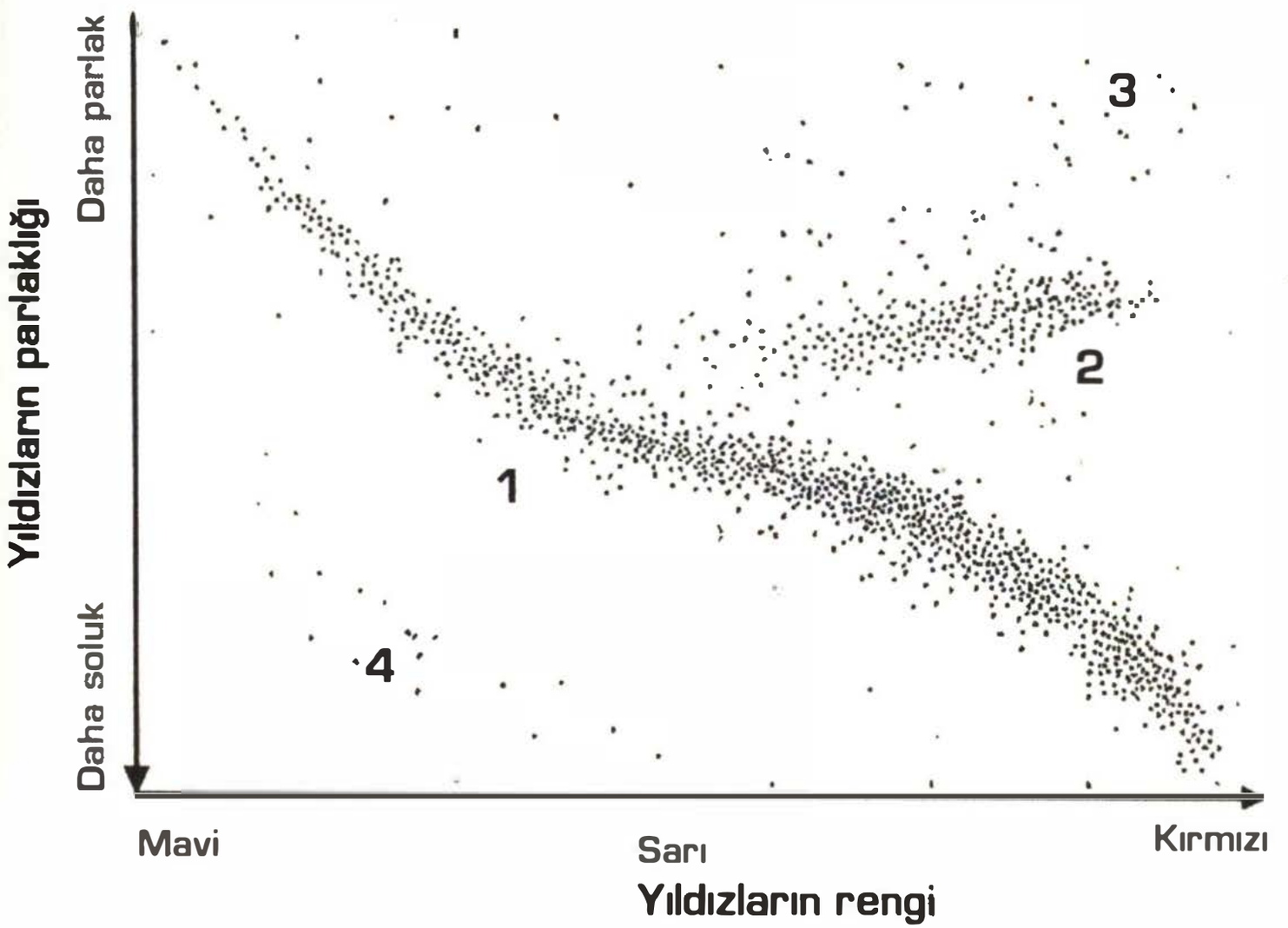
## Hertzsprung-Russell diyagramındaki yıldız sınıfları

**1** Çekirdeklerinde hidrojen yakan anakol yıldızları; çizgi üzerindeki konumu yıldızın kütlesine bağlıdır.

**2** Kırmızı ve turuncu devler yaşamlarının sonuna yaklaşan, genişleyen parlak yıldızlardır.

**3** En büyük kütleye sahip yıldızlar yaşlandıkça şişerek üstdevlere dönüşürler.

**4** Beyaz cüceler, Güneş benzeri yıldızların tamamen yanmalarının ardından geriye kalan sıcak ama soluk çekirdekleridir.



# H-R Diyagramı Nasıl Yorumlanır?

Meşhur Hertzsprung–Russell diyagramına (bkz. s. 268) getirilen ilk yorumlardan biri, yaşamları boyunca anakol üzerinde ilerleyen yıldızların ya ısınıp parlaklıklarının arttığı ya da soğuyarak soluklaştıkları yönündeydi. Fakat 1924'te İngiliz gök bilimci Arthur Stanley Eddington çift yıldız sistemlerindeki farklı kütlelere sahip yıldızları inceleyerek yıldızların büyük bir çoğunluğunda kütle ile parlaklığın birbiriyle yakından ilişkili olduğunu ortaya koydu. Onlarca Güneş kütlesine sahip yıldızlar milyonlarca kat parlak ve sıcak, kütlesi Güneş'inkinden çok daha küçük olan yıldızlar ise binlerce kat soluk ve soğuk olabilir.

Eddington aynı zamanda yıldızların nükleer füzyonla parladığını (bkz. ss. 272-275) ve bu sayede yaşamları boyunca kütlelerini koruduklarını iddia eden ilk kişidir. Bu nedenle yaşamlarının büyük kısmında çoğu yıldızın anakol üzerindeki yeri aşağı yukarı aynı kalır ve ancak çekirdeklerindeki yakıt tükenip genişlemeye başladıklarında ve parlaklıkları artarak kırmızı devlere dönüştüklerinde (bkz. s. 312) yerleri değişir.

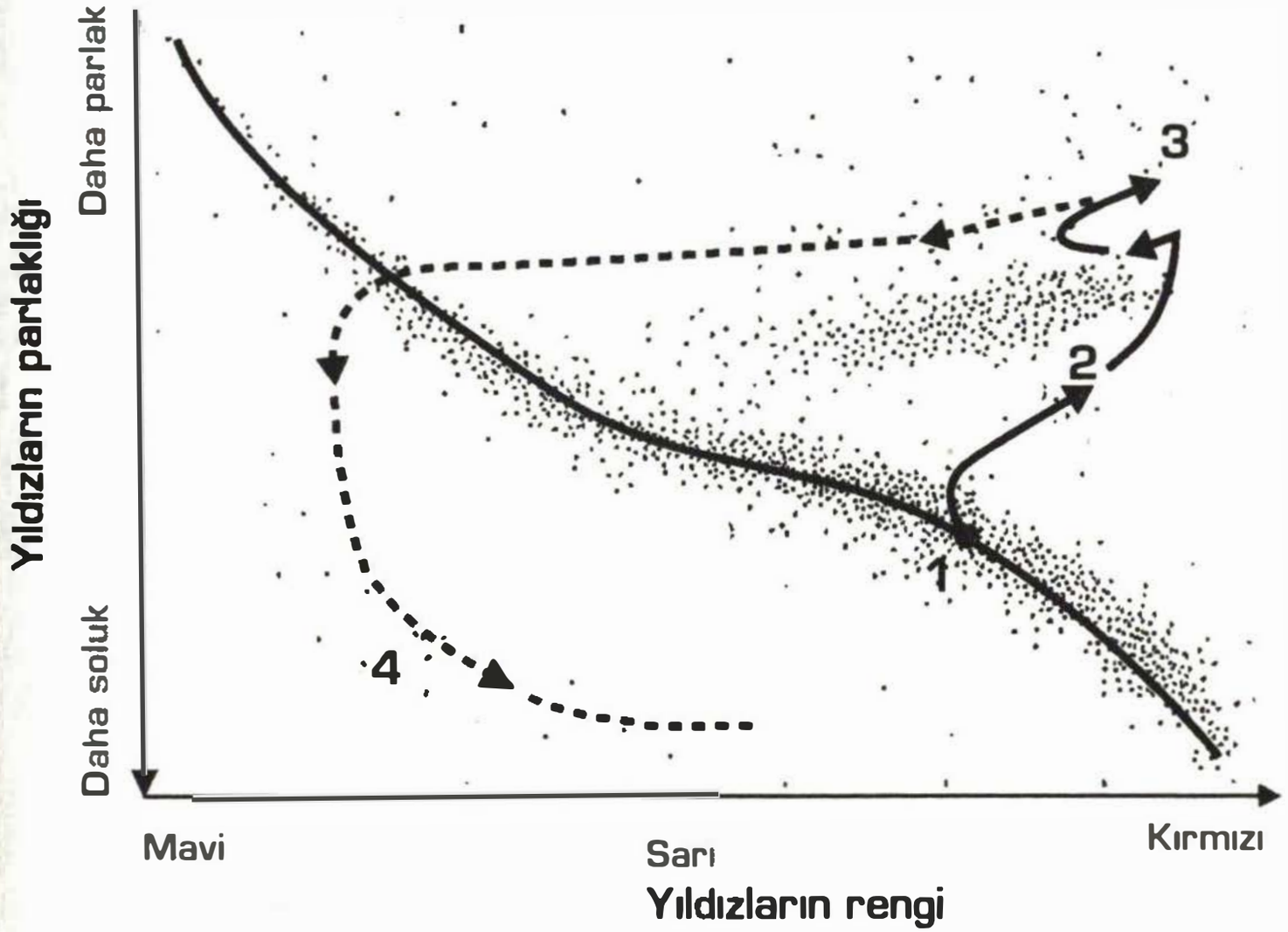
## Güneş benzeri bir yıldızın evrimi

1 Yaşamının büyük bir kısmında yıldızın anakol üzerindeki yerini kütlesi belirler.

2 Çekirdeğindeki hidrojen tükenen yıldız genişler, parlaklaşır ve soğuyarak bir kırmızı dev hâlini alır.

3 Çekirdeğindeki helyumu yakan yıldız küçük bir "dönüş" yapar ve bu tükenince tekrar genişler.

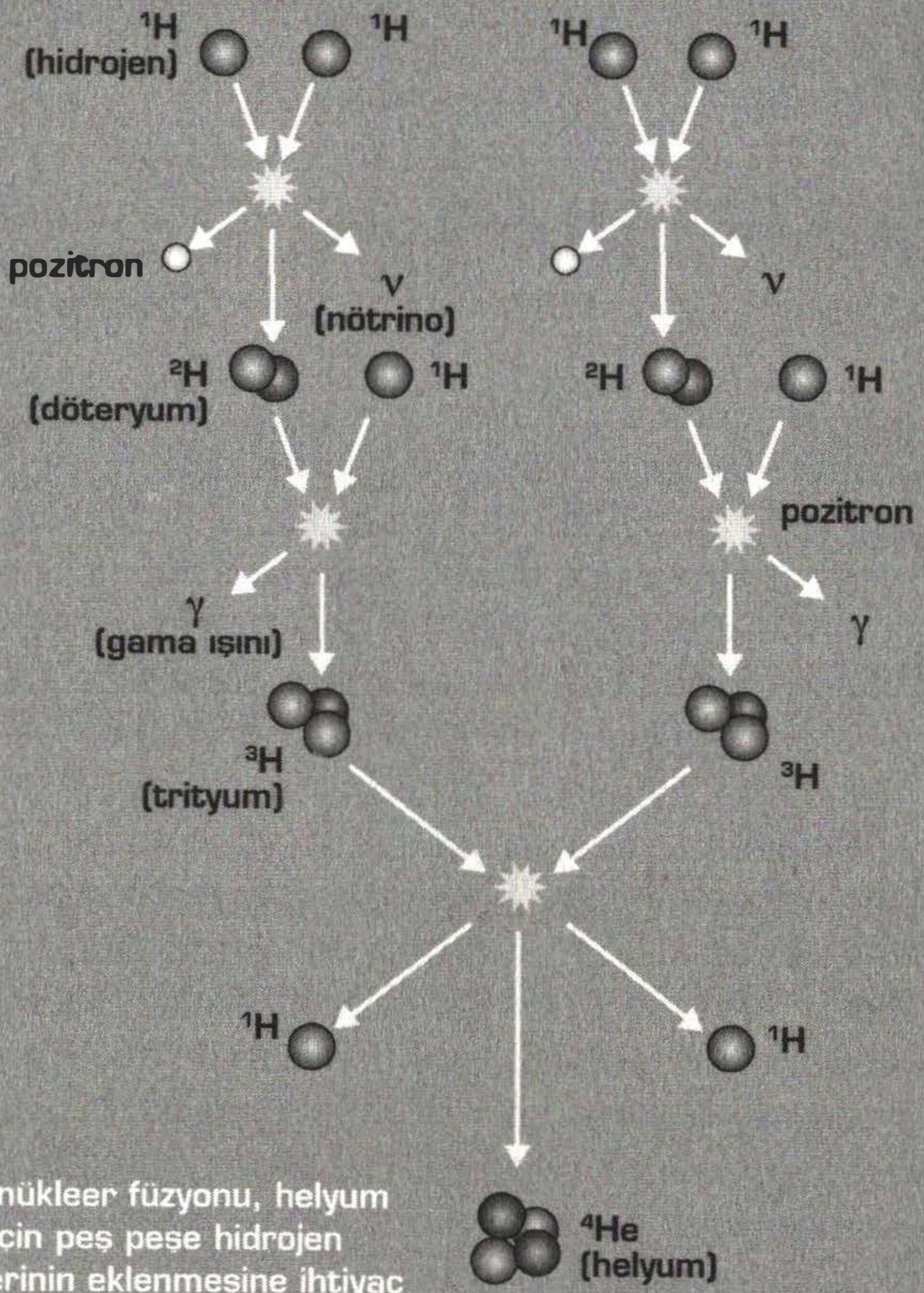
4 Nihayet dış katmanlarını döken yıldızdan geriye soluk ve sönük hâldeki sıcak çekirdeği, yani beyaz cüce kalır.



# Nükleer Füzyon: PP Zincir Reaksiyonu

Yıldızlar yaşamlarının çoğunu çekirdeklerindeki hidrojeni (evrendeki en hafif ve çok bulunan element) nükleer füzyonla helyuma (ikinci en hafif ve en çok bulunan element) dönüştürüp enerji üreterek geçirirler. Bu işlem sıcaklığa, basınca ve diğer elementlerin varlığına bağlı olarak ya proton-proton ("PP") zincir reaksiyonu ya da karbon-azot-oksijen ("KAO") döngüsü vasıtasıyla gerçekleşir (bkz. s. 274).

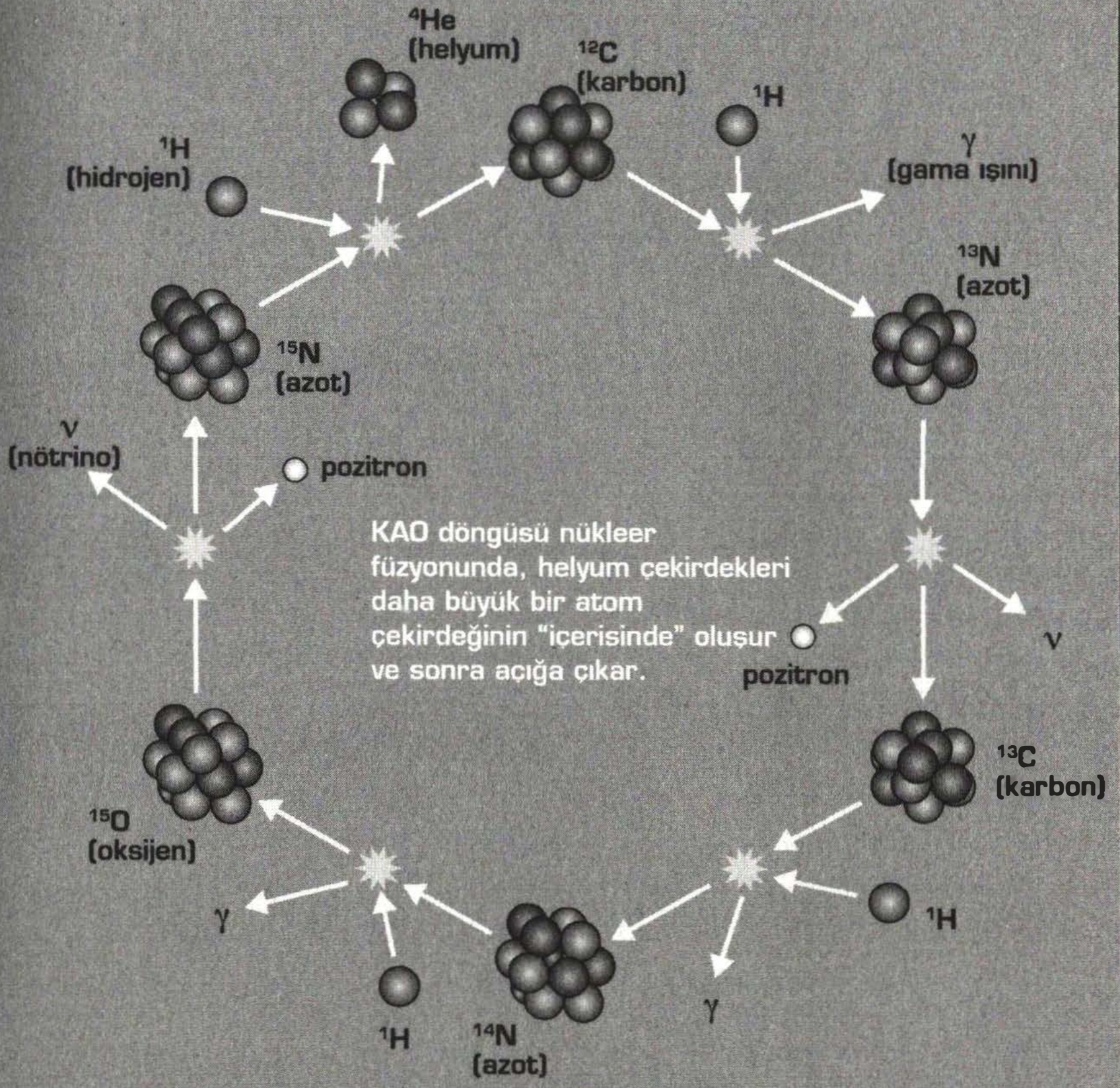
Güneş gibi küçük kütleli yıldızlarda PP zincir reaksiyonu ağır basar. Bu işlem, protonların (yalın hidrojen çekirdekleri) daha ağır atomik çekirdekler üretmek için çarpışması ve birleşmesini gerektirir. Protonlar işlem sırasında anında yüksüz nötronlara dönüşerek nötrino denen ufacık, neredeyse kütlesiz parçacıklar yayarlar. Bunun sonucunda ortaya çıkan helyum çekirdeğinin kütlesi, oluşmasını sağlayan dört hidrojen çekirdeğinden biraz daha küçüktür ve artan kısmı gama ışını hâlinde enerji olarak atılır. Yıldızın içini ısıtan bu ışınlar yavaşça yüzeye doğru çıkarken düşük enerjili radyasyona dönüşürler.




PP zincir nükleer füzyonu, helyum üretmek için peş peşe hidrojen çekirdeklerinin eklenmesine ihtiyaç duyar.

# Nükleer Füzyon: KAO Döngüsü

Güneş'ten çok daha büyük yıldızların çekirdeklerindeki yüksek ısı ve basınçlar, düşük dereceli basit "PP zinciri"ne baskın gelen ikinci bir nükleer füzyon sürecine neden olur. KAO döngüsü, yıldız çekirdeğinde az sayıda karbon çekirdeklerinin bulunmasına dayalıdır. Bu da yalnızca önceki nesil yıldızlardan kalan maddeleri kayda değer ölçüde içeren yıldızlarda (bkz. s. 326) gerçekleşebileceği anlamına gelir. Karbonla kaynaşan protonlar daha ağır elementler olan azot ve oksijenin çekirdeklerini oluşturur ve sonradan eklenen protonlar çekirdeğin parçalanmasına neden olarak helyum ve değiştirilmemiş karbon salarlar. KAO döngüsü, daha hızlı helyum üretmek için hidrojeni kaynaştırdığı için PP zincirinin rastlantısal çarpışmalarından çok daha etkilidir. Yüksek sıcaklık ve basınçlarda etkisi daha da artar ve en büyük yıldızların soluk akrabalarından milyonlarca kat fazla enerji püskürtmesini sağlar. Bu durumun olumsuz yönü, çekirdeklerindeki yakıtı evrimlerini büyük ölçüde etkileyecek şekilde çok kısa bir süre zarfında harcamalarıdır.


$^{4}He$
(helyum)
$^{12}C$
(karbon)
$^{1}H$
(hidrojen)
$^{1}H$
γ
(gama ışını)
$^{13}N$
(azot)
$^{15}N$
(azot)
ν
(nötrino)
pozitron
KAO döngüsü nükleer füzyonunda, helyum çekirdekleri daha büyük bir atom çekirdeğinin "içerisinde" oluşur ve sonra açığa çıkar.
pozitron
ν
$^{13}C$
(karbon)
$^{15}O$
(oksijen)
γ
$^{1}H$
$^{1}H$
$^{14}N$
(azot)
γ

# Yıldızlar Arası Madde

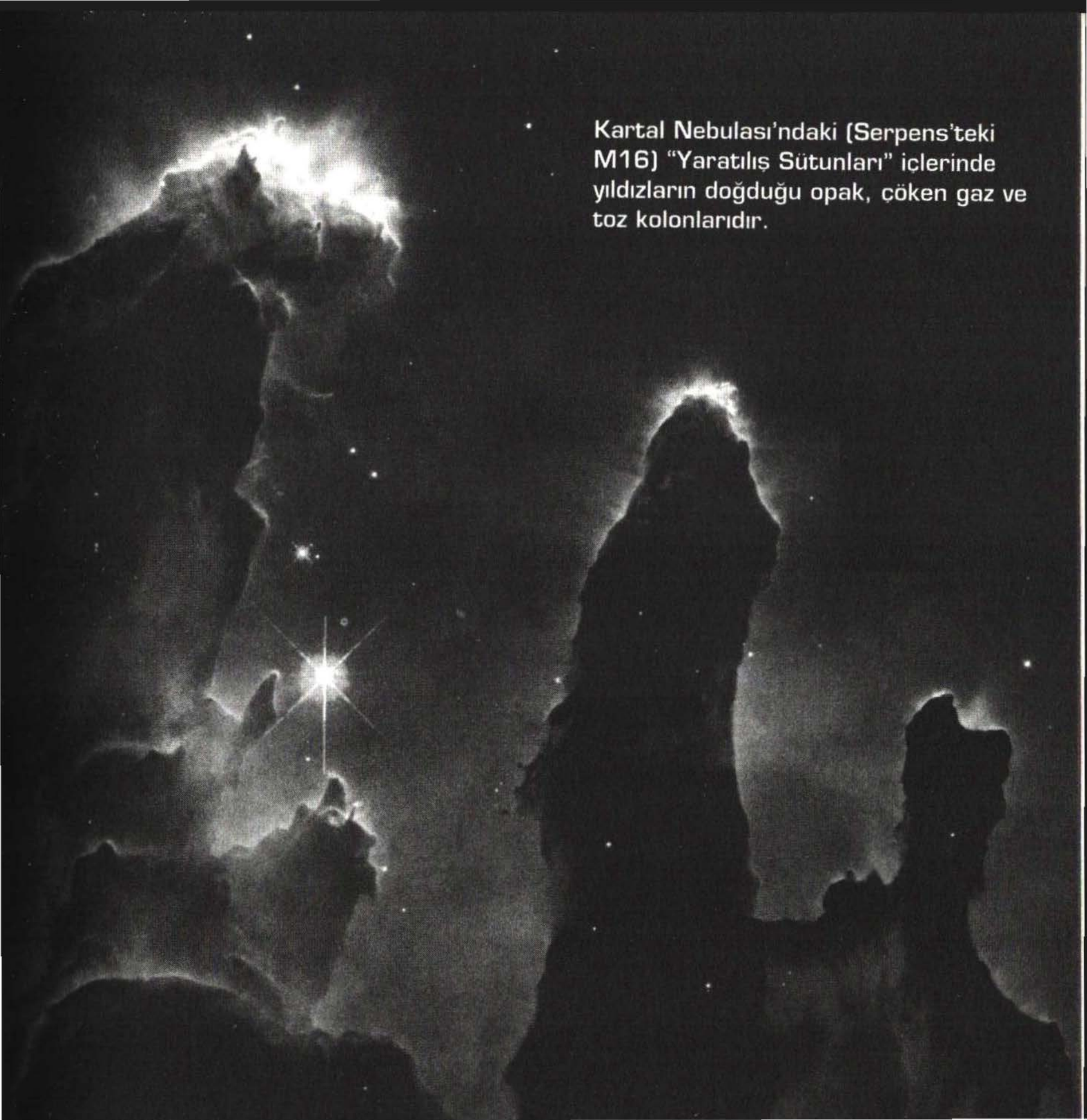
Yıldızların arasındaki uzay ne kendi galaksimizde ne de diğerlerinde boştur; yıldızlar arası maddeden yayılan gaz ve tozla doludur. Bunlar bazı noktalarda nebula denen yoğun bulutlar hâlini alır ve üç şekilde kendilerini belli ederler. Karanlık nebulalar daha parlak nebulaların ya da yıldız bulutlarının önünde silüet olarak görülen, ışığı emen tozlu bulutlardır. Yansı nebulalar, yakınlarındaki yıldızların ışığını yansıtarak ya da yayarak parlarlar; aydınlanmalarını sağlayan süreç gündüzleri güneş ışığını yayarak Dünya'nın gökyüzünün mavi olmasını sağlayana benzer olduğu için bu nebulalar çoğunlukla mavimsi bir renge sahiplerdir. Son olarak salma nebulaları, atomları ve molekülleri yakınlardaki yıldızlardan gelen yüksek enerjili ultraviyole ışınlar tarafından uyarılıp sonra görünür ışık yayarak uyarılmamış hâllerine geri döndükleri için belli dalga boylarında parlayan floresan bulutlardır. Salma nebulaları kimyasal bileşimlerine bağlı olarak farklı renkler sergileseler de hidrojen ağırlıklı ve yıldız oluşumuyla ilişkili büyük çoğunluğun belirgin, pembemsi bir tonu vardır.



Orion'daki meşhur Atbaşı Nebulası daha uzaktaki salma nebulası önünde silüet hâlinde beliren karanlık bir toz sütunudur.

# Yıldız Oluşumu

Yıldızlar dış etkilerin yıldızlar arası maddeden oluşan yoğun bulutların çöküşünü tetiklemesiyle doğar. Bu süreç yakındaki bir süpernovadan gelen bir şok dalgasıyla (bkz. s. 324), daha yaşlı bir yıldızla yakınlaşma sonucunda oluşan bir gelgitle ya da bir "sarmal yoğunluk dalgası"ndan geçişle başlar (bkz. s. 334). Çoğu zaman bunun sonucunda ortaya yaklaşık on iki ışık yılı uzunluğunda yoğun, opak bir yıldız doğum kolonu ya da sütunu çıkar; bunların içinde belirgin öbekler hâlinde bulunan çöken maddelerin ("önyıldızlar") kütle çekimleri, zamanla çevreden kendilerine doğru daha fazla madde çekecek kadar artar. Genellikle bu tip bulutların kendi etraflarında az da olsa gelişigüzel bir şekilde döndükleri görülür ve önyıldız büyüyüp maddeleri merkezine doğru çektikçe açısal momentum korunması sayesinde daha hızlı dönerek düzleşir ve merkezi şişik, dönen bir disk hâlini alır. Önyıldızın çekirdeği yoğunlaşmaya ve ısınmaya devam eder ve nihayet çekirdeğinde nükleer füzyon gerçekleşecek kadar ısındığında bir yıldız hâlini alır.

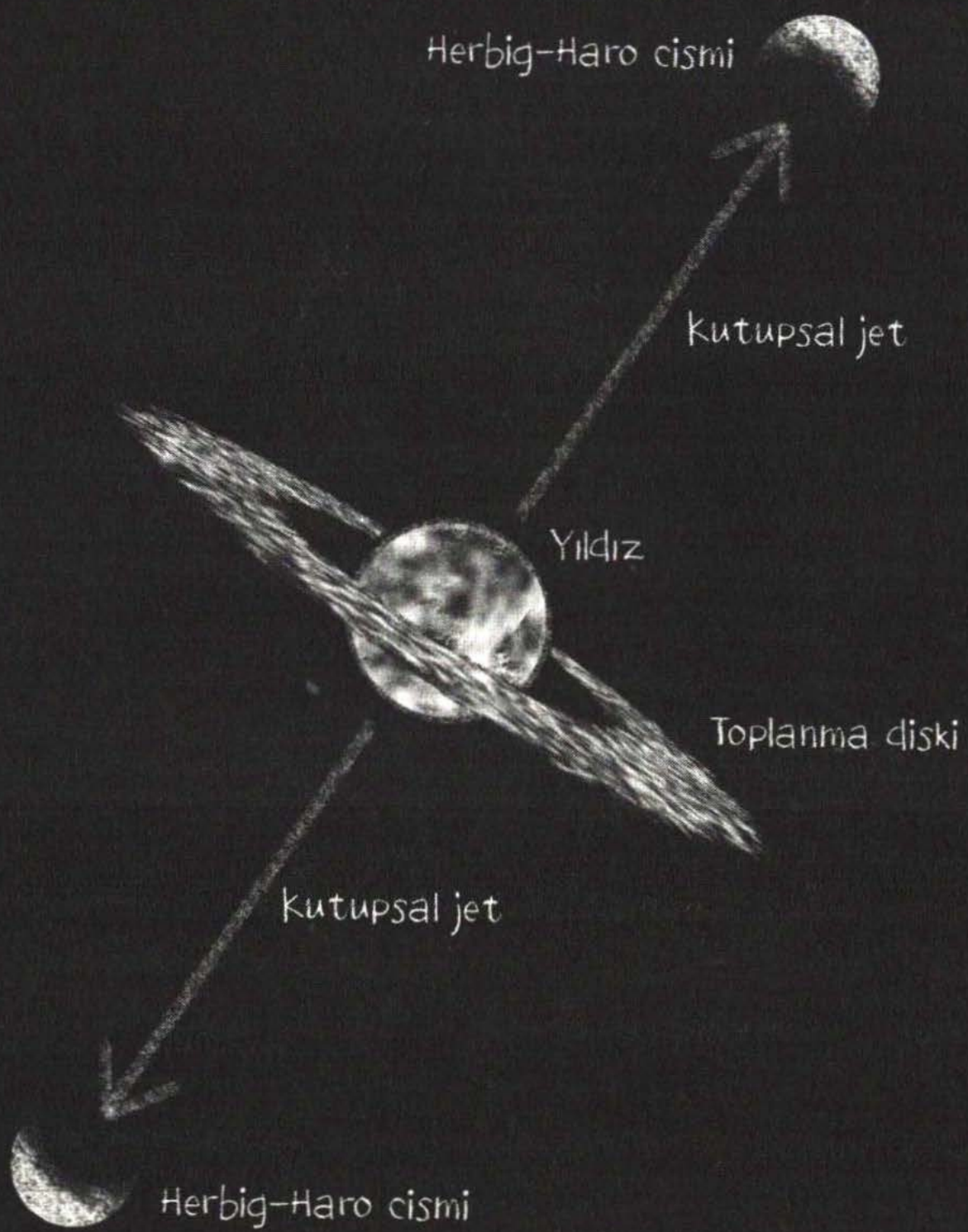


Kartal Nebulası'ndaki (Serpens'teki M16) "Yaratılış Sütunları" içlerinde yıldızların doğduğu opak, çöken gaz ve toz kolonlarıdır.

# Genç Yıldızlar

Yıldızların evrimleri sırasında "anakol" grubuna geçmeleri zaman alır. Milyonlarca yıl boyunca büzülürken, önce kütle çekimsel çökmenin yarattığı ısıyla ışık saçarlar; çekirdeklerindeki ısı ve yoğunluğun artması nükleer füzyon başlamadan bile parlamalarına neden olur. Bu aşamada ani patlamalara yatkın olurlar. Bu tür küçük kütleli yıldızlara T Tauri yıldızları denirken, daha büyük kütleli bebek yıldızlar Herbig Ae/Be yıldızları olarak adlandırılır.

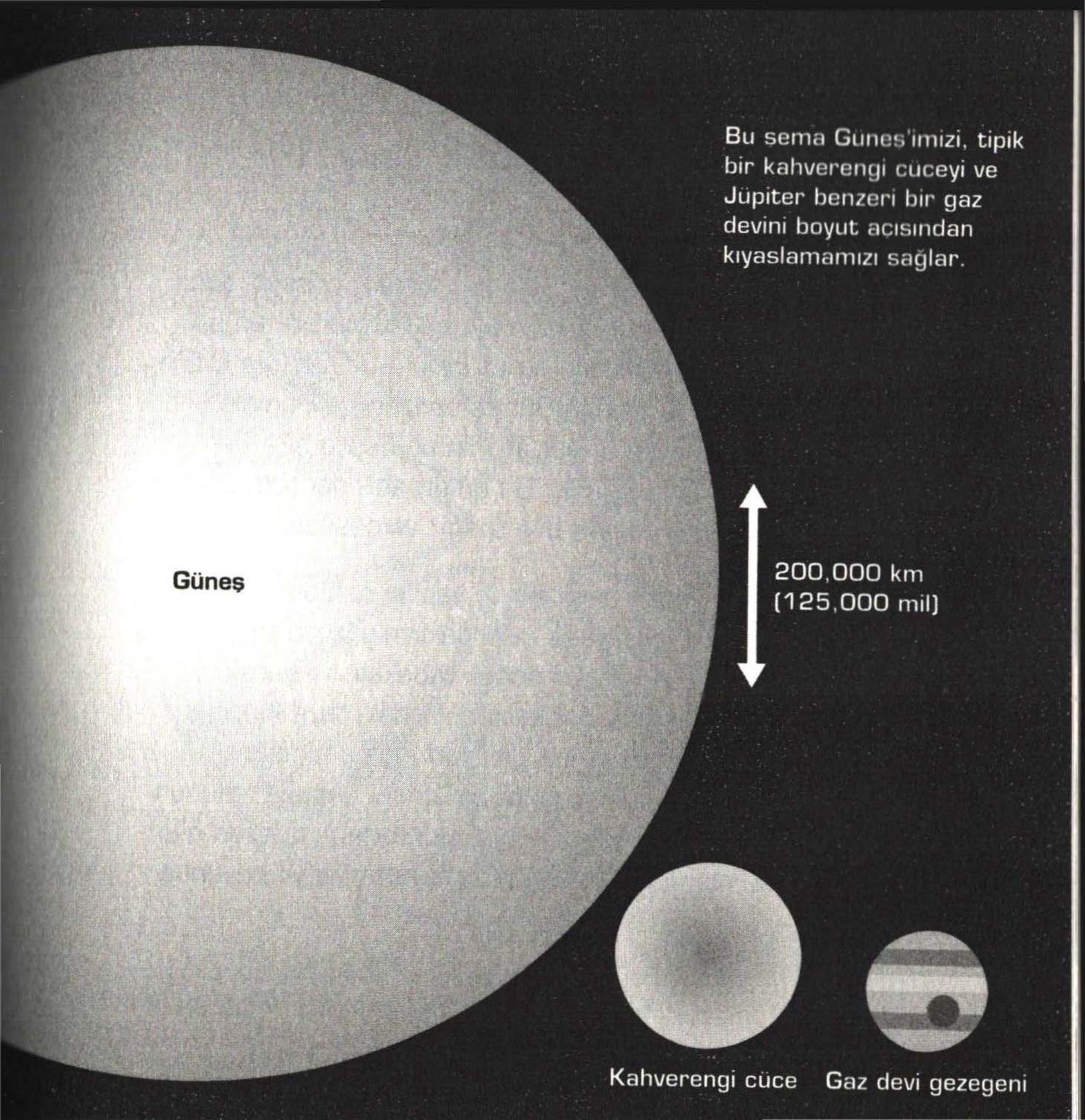
Yıldızlar küçülüp yoğunlaştıkça, çevrelerinden daha çok madde çekmeye başlarlar. Böylece dönerek yıldıza doğru inen basık bir "toplanma diski" oluşur ve hızlı hareket eden gaz "çift kutuplu çıkış" denen olayla diskin altından ve üstünden atılır. Uzunlukları en az bir ışık yılını bulan gaz jetleri, yıldızlar arasındaki gaza temas edince dışarı doğru saçılarak mermi şeklindeki şok dalgalarına dönüşürler. Bunlara "Herbig-Haro cismi" denir.


Herbig-Haro cismi
Kutupsal jet
Yıldız
Toplanma diski
Kutupsal jet
Herbig-Haro cismi

# Kahverengi Cüceler

Geçtiğimiz yirmi otuz yılda güçlü Dünya ve uzay merkezli teleskoplar kullanan gök bilimciler önceden dikkatlerinden kaçan yeni bir yıldız türü keşfettiler. Kahverengi cüceler, gerçek yıldızlarla aynı şekilde oluşmalarına rağmen çekirdeklerinde hidrojen füzyonunu tetikleyecek kütleye sahip değillerdir. Bunun yerine enerjilerinin büyük bir kısmını kütle çekimsel çökme ve döteryum (normal hidrojenden çok daha kolay ergiyen bir tür hidrojen ya da nadir bir "izotop") yoluyla kızılötesi olarak yayarlar.

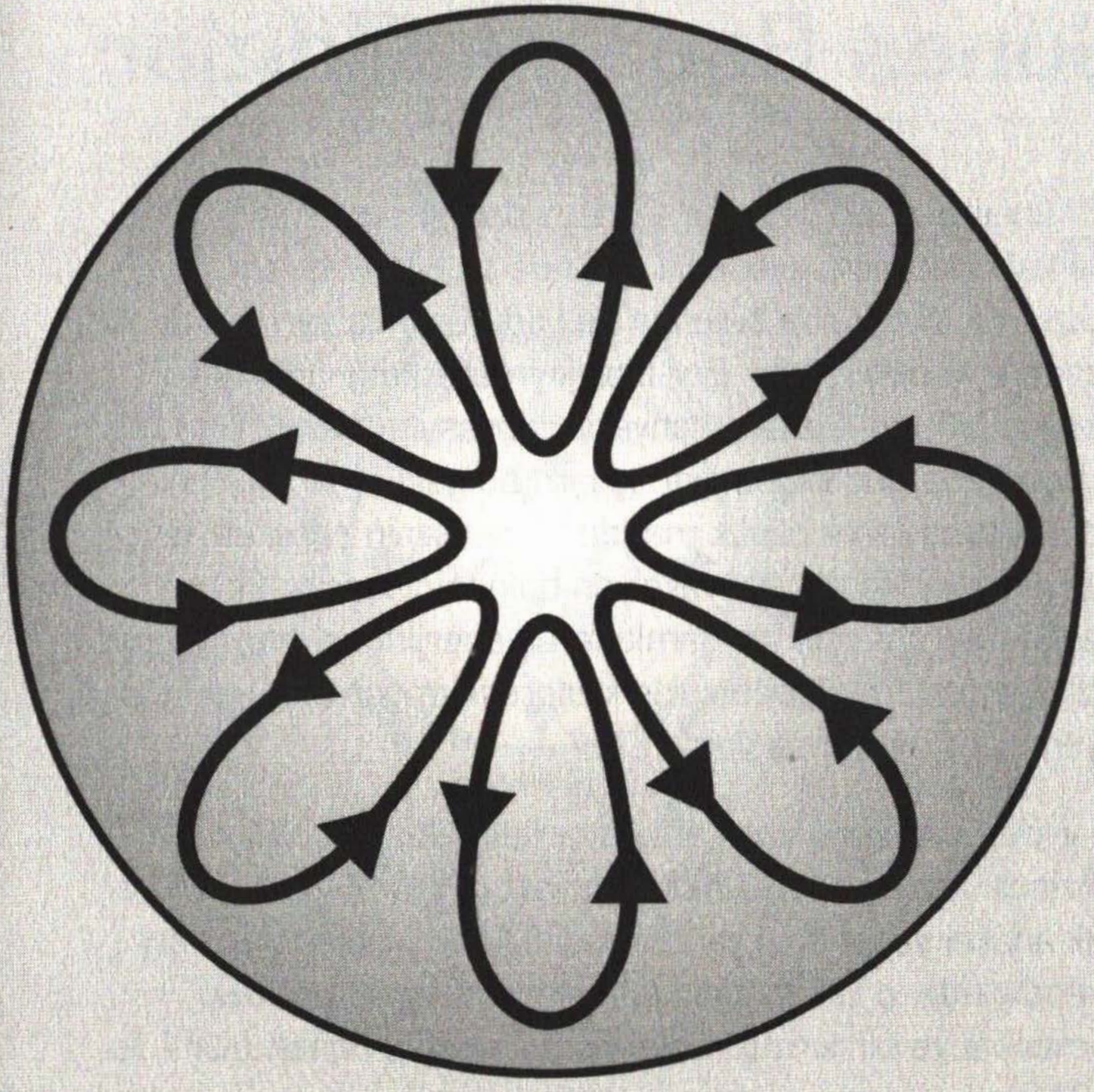
Kahverengi cücelerin üst kütle limiti 0,07 Güneş'e veya 75 Jüpiter'e karşılık gelir. Bunu aşınca kırmızı cüceye dönüşürler (bkz. s. 284). Alt kütle limitinin tanımı daha belirsizdir ve dev gezegenler ile küçük kahverengi cüceler arasındaki sınır muğlaktır. Kahverengi cüceler kütleleri ne olursa olsun tuhaf bir biçimde her zaman Jüpiter'le aşağı yukarı aynı çapa sahiplerdir. Kızılötesi ölçümlere göre yakınımızdaki galakside bolca bulunurlar ve hatta bazılarının etraflarında yörünge çizen kendi gezegenleri bile vardır.


Bu şema Güneş'imizi, tipik bir kahverengi cüceyi ve Jüpiter benzeri bir gaz devini boyut açısından kıyaslamamızı sağlar.
Güneş
200,000 km
(125,000 mil)
Kahverengi cüce
Gaz devi gezegeni

# Kırmızı Cüceler

Olgunlaşmış yıldızların en küçüğü olan kırmızı cüceler aynı zamanda Samanyolu'nun dörtte üçünü oluşturan, en sık görülen yıldızlardandır. Kütleleri Güneş'inkinin 0,075'i ile 0,5'i arasında değişir ve bunu aşınca Güneş benzeri davranışlar gösterirler. Parlaklıkları ise Güneş'inkinin on beşte biri ila yaklaşık on binde biri arasındadır. Bu onları son derece soluk ve Güneş sistemimizin çevresinde bile tespit etmesi zor kılar.

Kırmızı cüceler son derece basit bir iç yapıya sahiplerdir. Enerji büyük ölçekli konveksiyonla çekirdekten yüzeye taşınır (sıcak madde genişler ve üstteki soğuk tabakaları aşarak yükselir). Bu işlem sırasında üst katmanlardaki taze hidrojen çekirdeği sürekli yeniler ve Güneş gibi yıldızlarda bir süre sonra tükenmeye neden olan helyum birikimini engeller. Bunun sonucunda kırmızı cücelerin ömrü şaşırtıcı derecede uzun olur; öyle ki, neredeyse hiç değişmeden yüz milyarlarca yıl boyunca parlarlar.

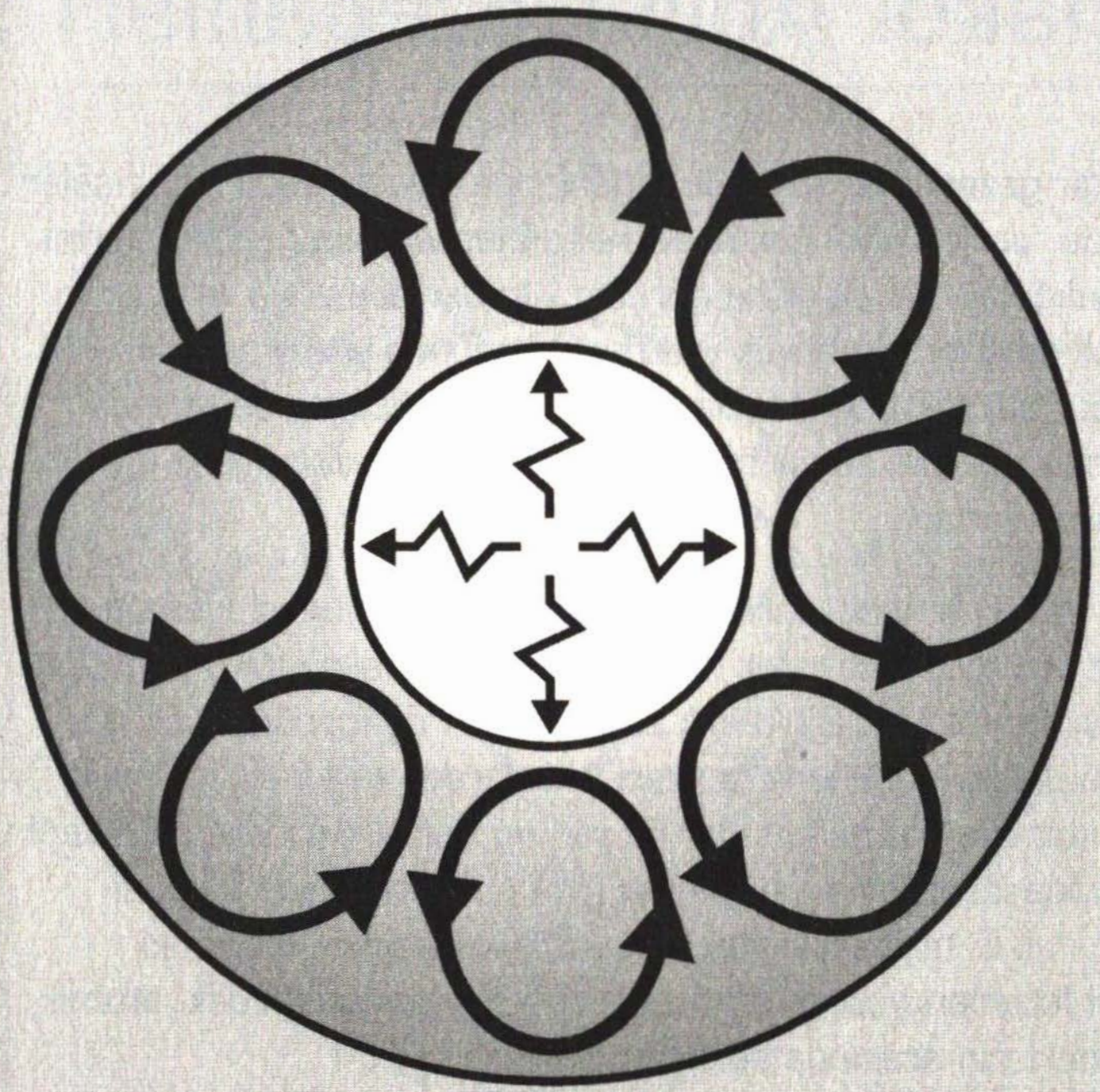


Kırmızı cüceler gibi küçük kütleli yıldızlarda
konveksiyon yıldızın bütün iç kısmında gerçekleşir.

# Güneş Benzeri Yıldızlar

Güneş benzeri yıldızlar, Güneş'i detaylı olarak inceleme kabiliyetimiz sayesinde belki de en iyi anlaşılan yıldızlardır. Anakolda bulunan bu yıldızların üç ayrı katmandan oluşan iç yapısı vardır: Bu, enerjinin üretildiği çekirdeği, enerjinin yüzeye elektromanyetik radyasyon olarak iletildiği ve bu sırada güç kaybettiği "ışınım bölgesi"ni ve enerjinin toplu ısınmayla ve büyük madde kümelerinin hareketiyle yüzeye taşındığı üst konveksiyon bölgesini içerir. Yıldızın maddesi fotosferde saydamlaşarak enerjinin elektromanyetik radyasyon olarak (çoğunlukla kızılötesi ve görünür ışık) uzaya yayılmasına imkân sağlar.

Bu yıldızların ömrü uzun ama sınırlıdır. Güneş çoğunlukla PP zincir reaksiyonuyla hidrojen yaktığı tahminen 10 milyar yıllık anakol yaşamının yarısındadır. Ana hidrojen depoları tükendiğinde iç yapısındaki değişimler yıldızın parlayıp şişmesine ve bir kırmızı deve dönüşmesine neden olur (bkz. s. 312).

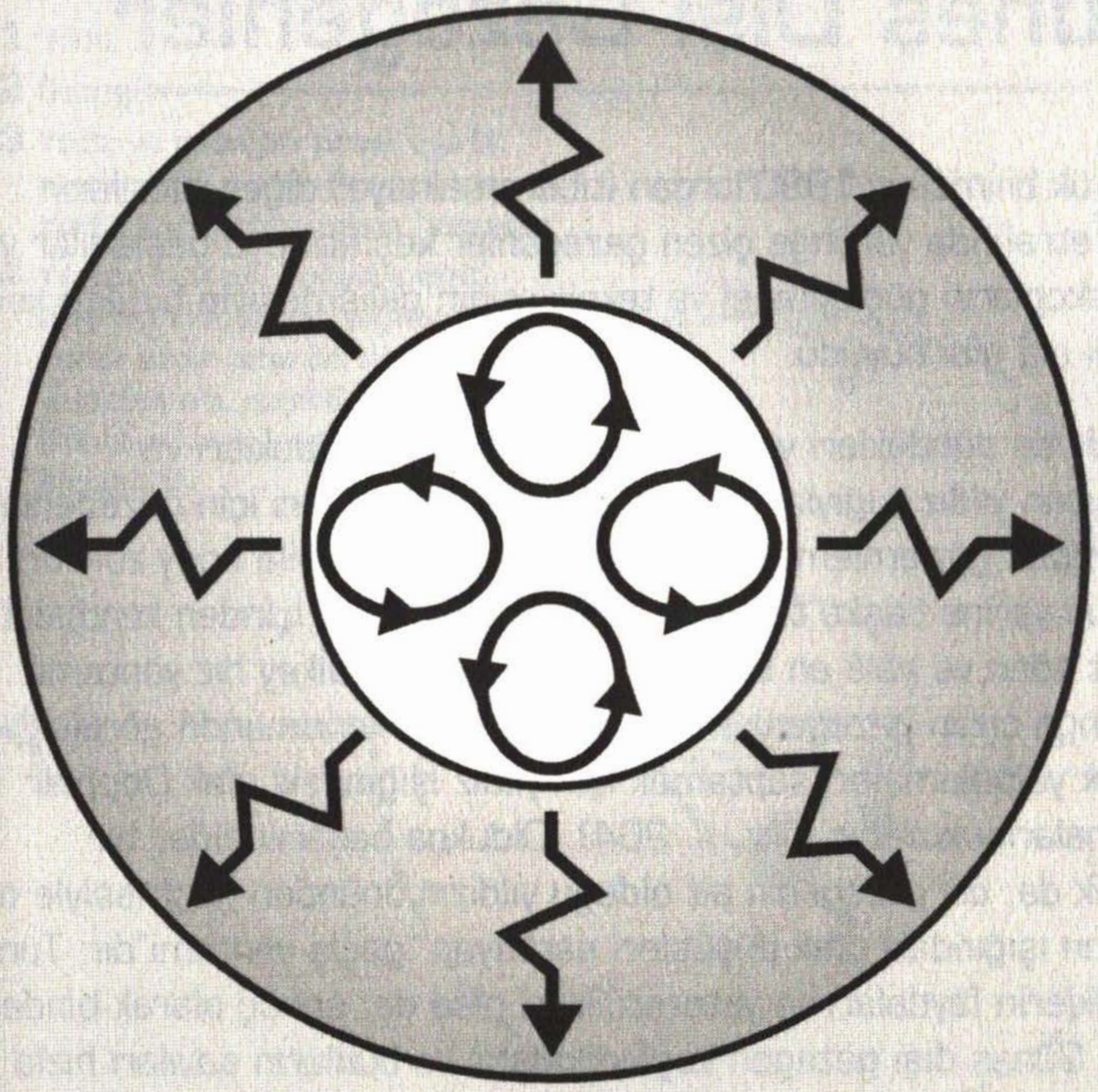


Güneş gibi orta kütleli yıldızlarda radyasyon, konveksiyon üst katmanlara ulaşmadan enerjiyi çekirdekten uzaklaştırır.

# Anakol Ağır Gezegenleri

Ağır gezegenler evrende diğerlerine kıyasla nadir bulunsalar da, parlaklıkları çok uzak mesafelerden bile görünmelerini sağladığı için çıplak gözle görülen yıldızlar arasında iyi temsil edilirler. En büyük yıldızların çoğunun yüzey sıcaklığı o kadar yüksektir ki, renkleri mavi-beyaz gözükse de aslında radyasyonlarının büyük bir kısmını görünmez ultraviyole ışınları olarak yayarlar.

Mavi devler birincil olarak, sadece birkaç milyon yıl içerisinde muazzam miktarda yakıt harcamalarını sağlayan KAO döngüsü sayesinde (bkz. s. 274) ışık saçarlar. Bu döngünün sıcaklığa olan hassasiyeti Güneş benzeri yıldızlardan farklı bir iç yapıya sahip olmalarına neden olur ve yıldızın derinliklerinde, çekirdeğin etrafında konveksiyon hücreleri üretir. Konveksiyon bölgesi sıcak, "sisli" bir radyasyon bölgesiyle kaplıdır ve buradaki enerji fotonları yüzeye çıkmaya çalışırken yoğun hâldeki atomik çekirdeklerin arasında sekerler.



**Büyük kütleli bir mavi yıldızda konveksiyon enerjiyi çekirdekten uzaklaştırır ama belli bir seviyeye gelindiğinde radyasyon transferi görevi devralır.**

# Güneş Dışı Gezegenler

Gök bilimciler 1990'lardan itibaren nihayet diğer yıldızların etrafında yörünge çizen gezegenler keşfetmeye başladılar ve teleskopların güçlenmesi ve tekniklerinin gelişmesiyle birlikte keşif oranı çığ gibi büyüdü.

Etrafında döndükleri yıldıza kıyasla çok küçük oldukları ve yansıyan yıldız ışığıyla zayıf bir şekilde parladıkları için gezegenleri doğrudan gözlemlemek en büyük teleskoplarla bile epey zordur. Bunun yerine başka teknikler kullanılır. Bunların içinden kendisini ispat eden ve hâlâ en başarılı metot sayılan "dikey hız yöntemi" yörünge çizen gezegenler yüzünden yıldızın konumunda görülen küçük yalpalamaları saptamak için yıldız ışığındaki ufak Doppler kaymalarını kullanır (bkz. s. 264). Oldukça başarılı diğer bir teknik de, bir gezegenin ait olduğu yıldızın önünden geçmesiyle o yıldızın ışığındaki ufak düşüşleri saptayan "geçiş yöntemi"dir. Tüm tekniklerin faydaları ve yetersizlikleri olsa da, sonuç olarak binden fazla Güneş dışı gezegen keşfedilmiştir ve bunların sayıları hızla artmaya devam eder.

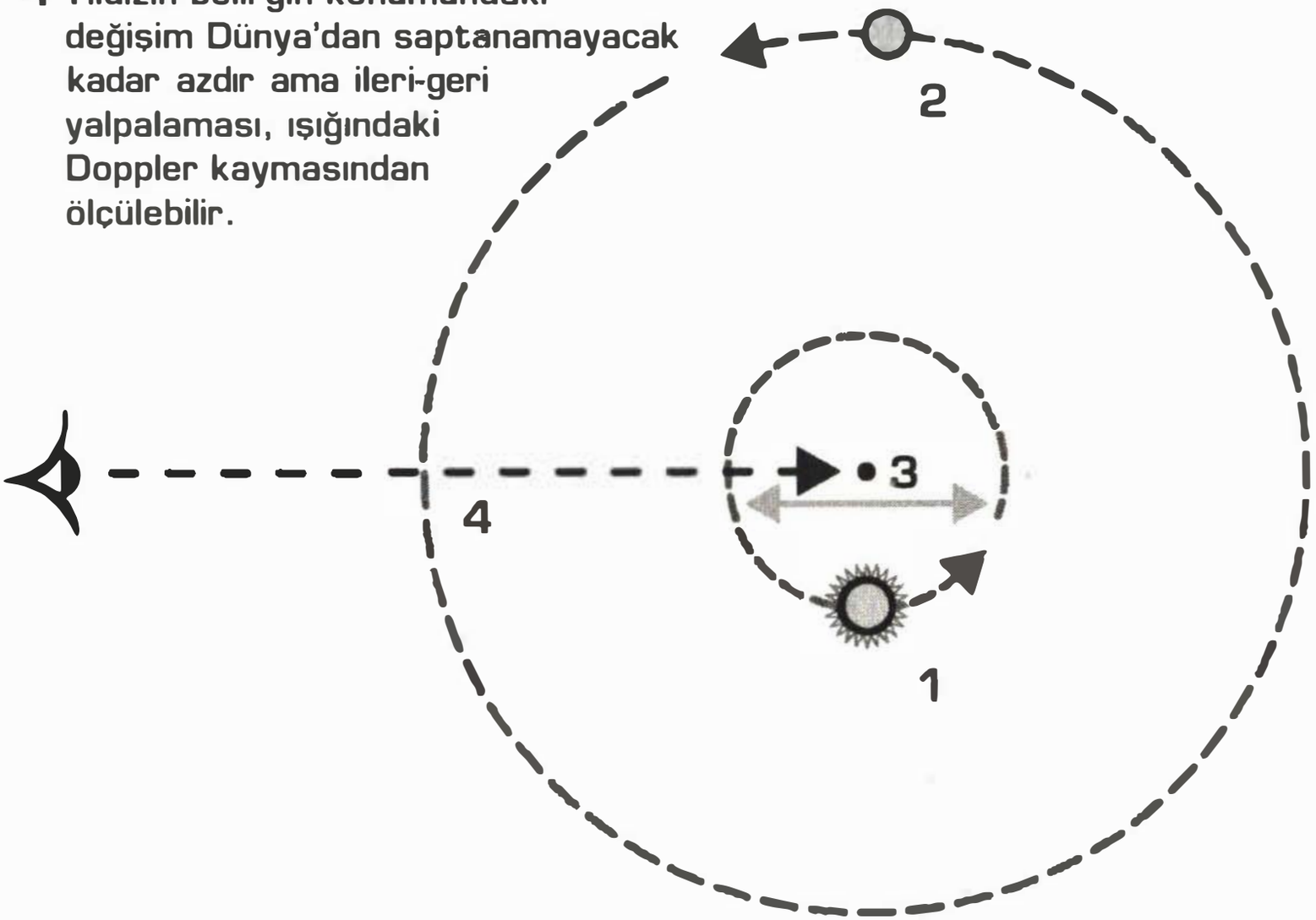
## Dikey hız yöntemi

**1** Yıldız

**2** Gezegen

**3** Yıldız ve gezegen ortak ağırlık merkezinin etrafında yörünge çizdiği için yıldız uzayda "yalpalar".

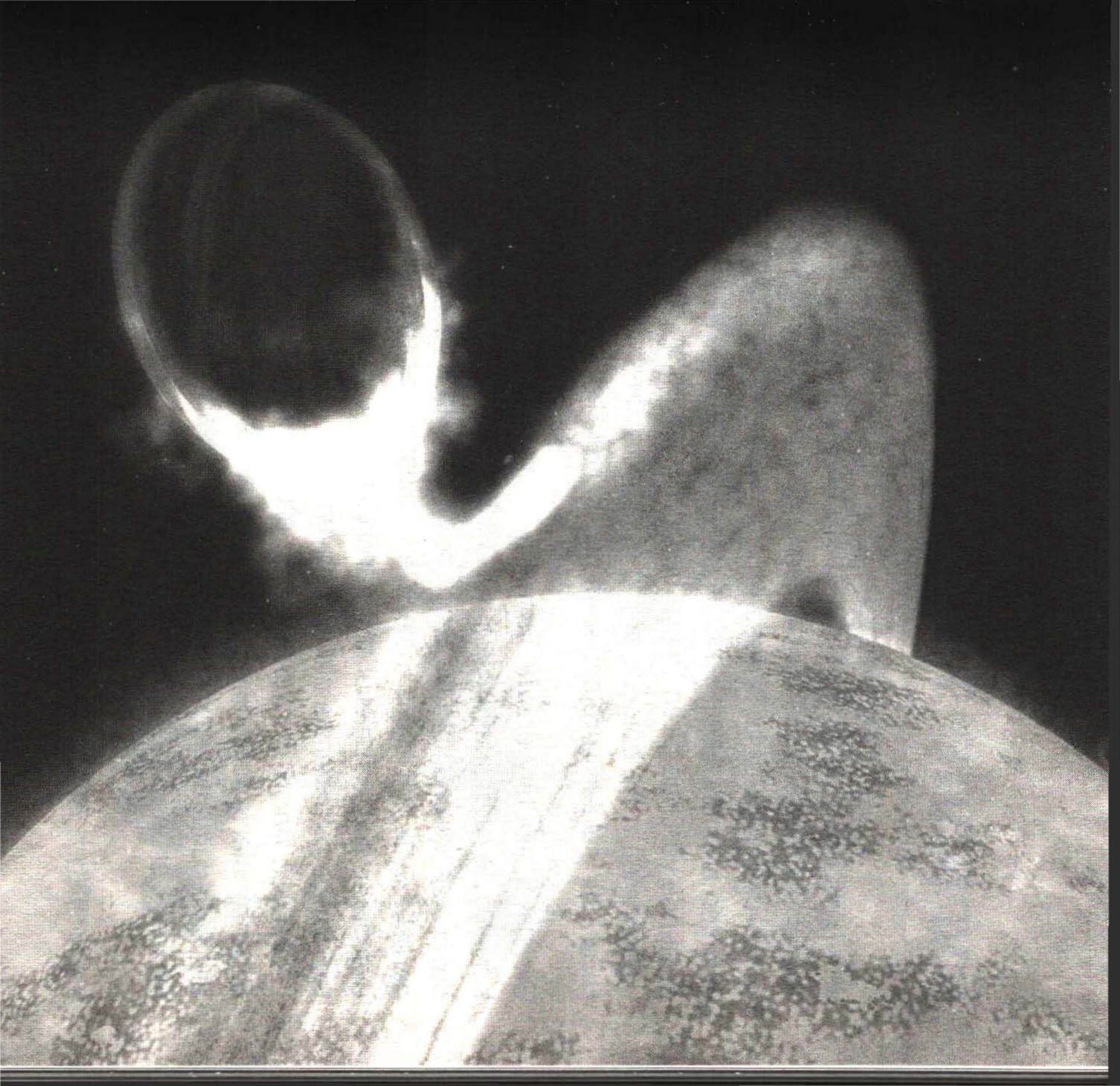
**4** Yıldızın belirgin konumundaki değişim Dünya'dan saptanamayacak kadar azdır ama ileri-geri yalpalaması, ışığındaki Doppler kaymasından ölçülebilir.



# Gezegenlerin Türleri

İlk Güneş dışı gezegenlerin keşfi görünüşte düzenli olan Güneş sistemimizin bir kaide değil, istisna olduğunu fark etmemizi sağladı. Günümüzde tamamen yeni birçok gezegen sınıfı tespit edilmiştir. Muhtemelen bunların en önemlisi yıldızlarının etrafında birkaç günde, hatta birkaç saatte yörünge çizen dev gezegenler olan "sıcak Jüpiter"lerdir. Bu tip gezegenler bir yıldıza bu kadar yakın oluşmuş olamayacakları için, zamanla içe doğru çekilmiş ve muhtemelen yanlarından geçtikleri iç gezegenlerin yörüngelerini bozmuşturlar. Birçok sıcak Jüpiter'in atmosferinin büyük ölçüde buharlaşarak yok olduğu görülür ve hatta bazılarının geçmişte yıldızlarıyla çarpıştığına dair belirtiler vardır.

Güneş sistemimizin alışılmış kanunlarının dışındaki diğer istisnalar arasında son derece eliptik yörüngelere sahip gezegenler ve bizdeki karasal gezegenlerden çok daha büyük, katı "dev Dünya"lar vardır. Çift yıldız sistemlerinin etrafında sabit yörüngeler çizen gezegenler de keşfedilmiştir.

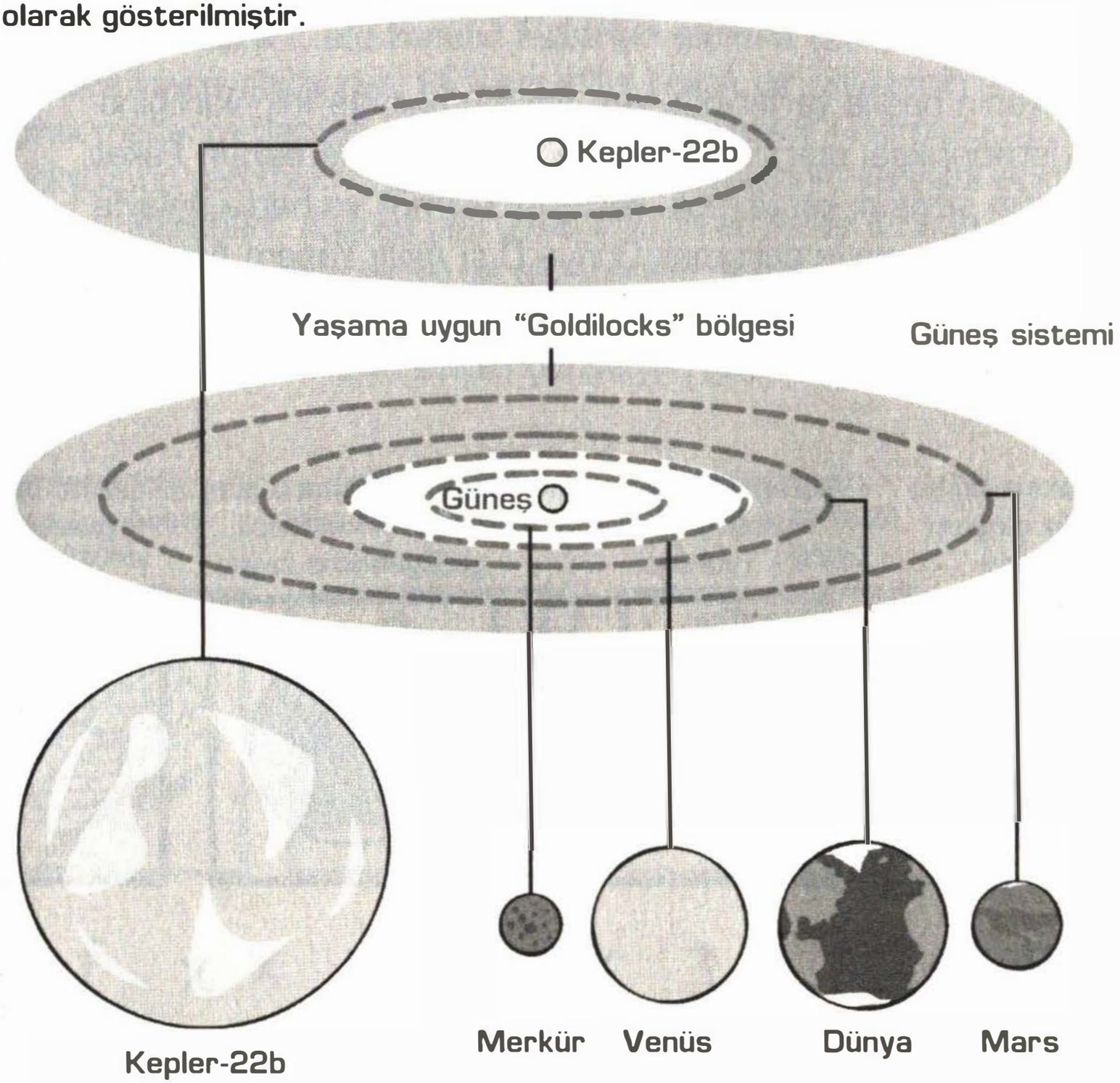


# Evrende Yaşam

Güneş dışı gezegenlerin varlığı akıllara bu dünyaların yaşama elverişli olup olmadığı sorusunu getirir. "Astrobiyoloji" bilimi henüz yeni olsa da yaşama elverişlilik potansiyeline sahip gezegen arayışı, "Goldilocks" bölgesindeki uzun ömürlü yıldızların etrafında yörünge çizen Dünya benzeri gezegenleri tespit etmeye odaklanmıştır. Bu bölgede suyun gezegen yüzeyinde sıvı hâlinde kararlı bir şekilde varolabileceği düşünülmektedir.

Evrenin başka bir yerinde, yaşamın karbon temelli "organik" kimyaya dayandığını ve sıvı suyun varlığına ihtiyaç duyduğunu düşünmek için sağlam nedenler bulunur: Karbon, yaşam için gerekli büyük, karmaşık moleküllerin oluşumu açısından özellikle uygundur; su ise moleküllerin hareket etmelerine ve kimyasal tepkimeye girmelerine olanak tanıyan en iyi ve en muhtemel çözücüdür. Ancak Dünya'daki zorlu ortamlarda "ekstremofil" organizmaların keşfedilmesi, Jüpiter ve Satürn'ün bazı aylarında sıvı su olduğuna dair bulgularla birlikte yaşamın beklenmedik yerlerde ortaya çıkabileceğini göstermiştir.

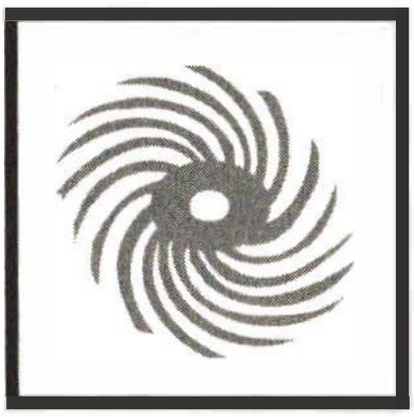
Yaşamın oluşmasına uygun bir yörüngeye sahip gezegenlerden ilk keşfedilen Kepler-22b, Güneş sistemimizin iç gezegenleriyle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



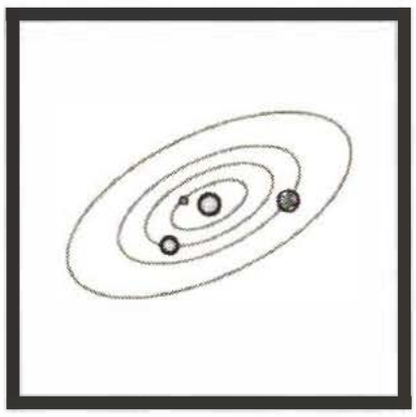
# Dünya Dışı Zekâ

Evrenin başka yerlerinde zeki yaşam biçimlerinin varlığına istatistiksel olarak neredeyse kesin gözüyle bakılır. Fakat bunların sayısını kestirmek, yerlerini bulmak ve hatta onlarla iletişime geçmeye çalışmak Dünya Dışı Akıllı Yaşam Araştırması (SETI) programında görevli gök bilimciler için büyük zorluklar teşkil eder.

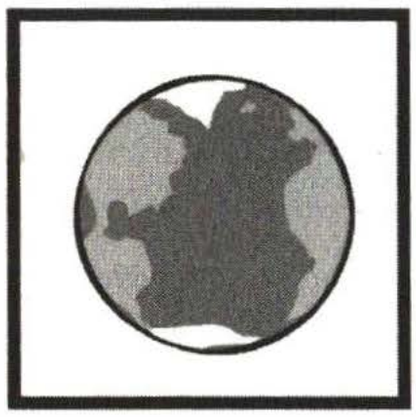
**Galaksimizdeki yıldız oluşum oranı**



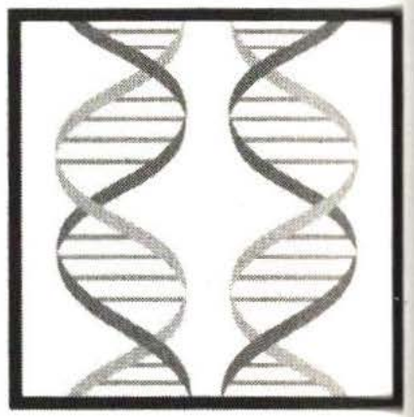
**Gezegen sistemlerine sahip yıldızların yüzdesi**



**Sistem başına düşen yaşama elverişli gezegenlerin sayısı**



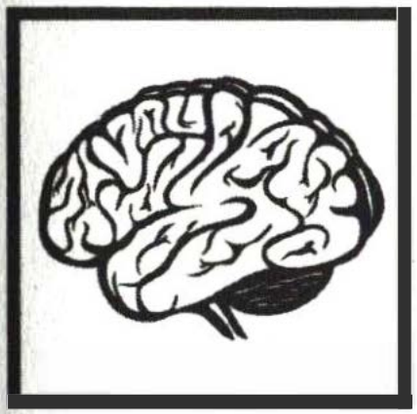
**Yaşam barındıran gezegenlerin yüzdesi**



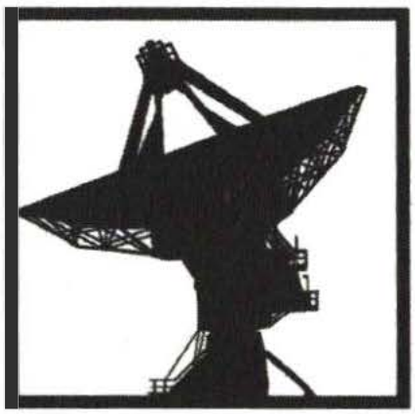
$$R_* \times f_p \times n_e \times f_l$$

Drake denklemi (aşağıda), galaksimizdeki "iletişim kuran medeniyetler"in sayısını hesaplamak için potansiyel bir yöntem sunar. Fakat elimizde buna uygun tek bir medeniyet örneği olduğu için (kendimizinki), söz konusu faktörleri şimdilik çok kısıtlı bir şekilde kavrayabiliyoruz. SETI'nin daha pratik girişimlerinin arasında uzak medeniyetlerden gelen zayıf radyo sinyallerini bulmak için gökyüzünü taramak ve gelişmiş yaşam biçimlerinin varlığını açığa vuran "işaretleri" (Güneş dışı gezegenlerin atmosferlerinde hava kirletici yapay maddeler ya da gezegensel ölçekte yapay yapılar gibi) aramak vardır. Bugüne dek, evrene Dünya'ya dair bilgiler barındıran tek bir radyo sinyali gönderme girişiminde bulunuldu.

**Evrilerek zeki yaşama geçme yüzdesi**



**Zeki yaşamın teknoloji geliştirme yüzdesi**



**İletişim kuran türlerin ortalama yaşam süresi**



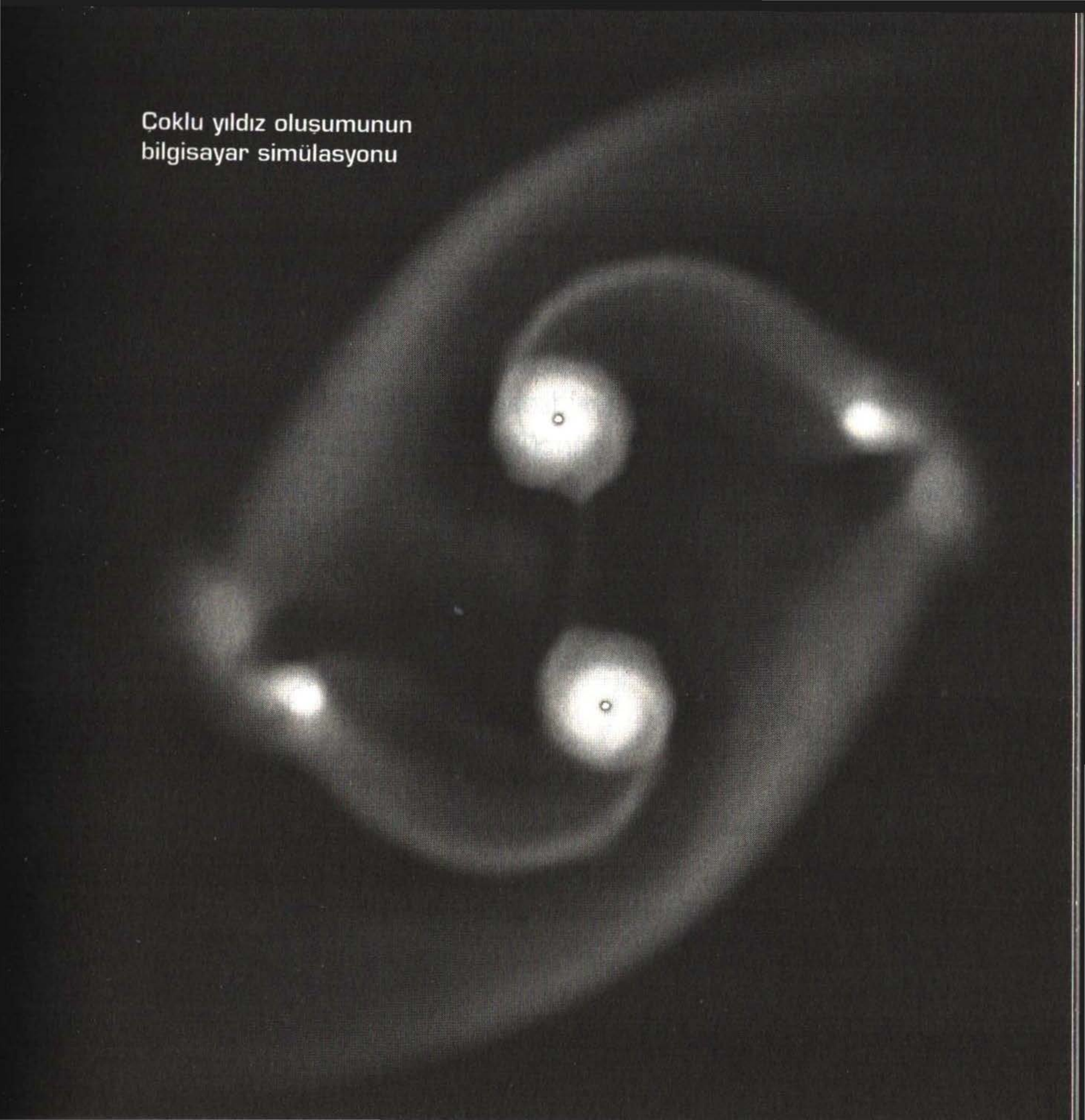

**= Tespit edilebilir medeniyetlerin sayısı**

$$x \quad f_i \quad x \quad f_c \quad x \quad L$$

# Çoklu Yıldızlar

Samanyolu'ndaki yıldızların önemli bir çoğunluğu yıldız oluşumu süreçleri sonucu doğal bir şekilde ortaya çıkan çift ya da çoklu yıldız sistemlerine aittir. Yıldızların birbirlerinin etrafında yörünge çizmesi birkaç saatten milyonlarca yıla kadar sürebilir ve kütle, boyut ve parlaklık konusunda büyük değişiklikler gösterebilirler. Bu sistemlerin ögeleri bazen bir teleskopla kolayca ayırt edilse de, dar yörünge çizen uzak yıldızların asıl özellikleri ancak spektrumlarının, özellikle yörünge hareketlerinin neden olduğu Doppler kaymalarının (bkz. s. 264) incelenmesi sonucunda kendilerini belli eder. Bu sistemlere spektroskobik ikililer denir.

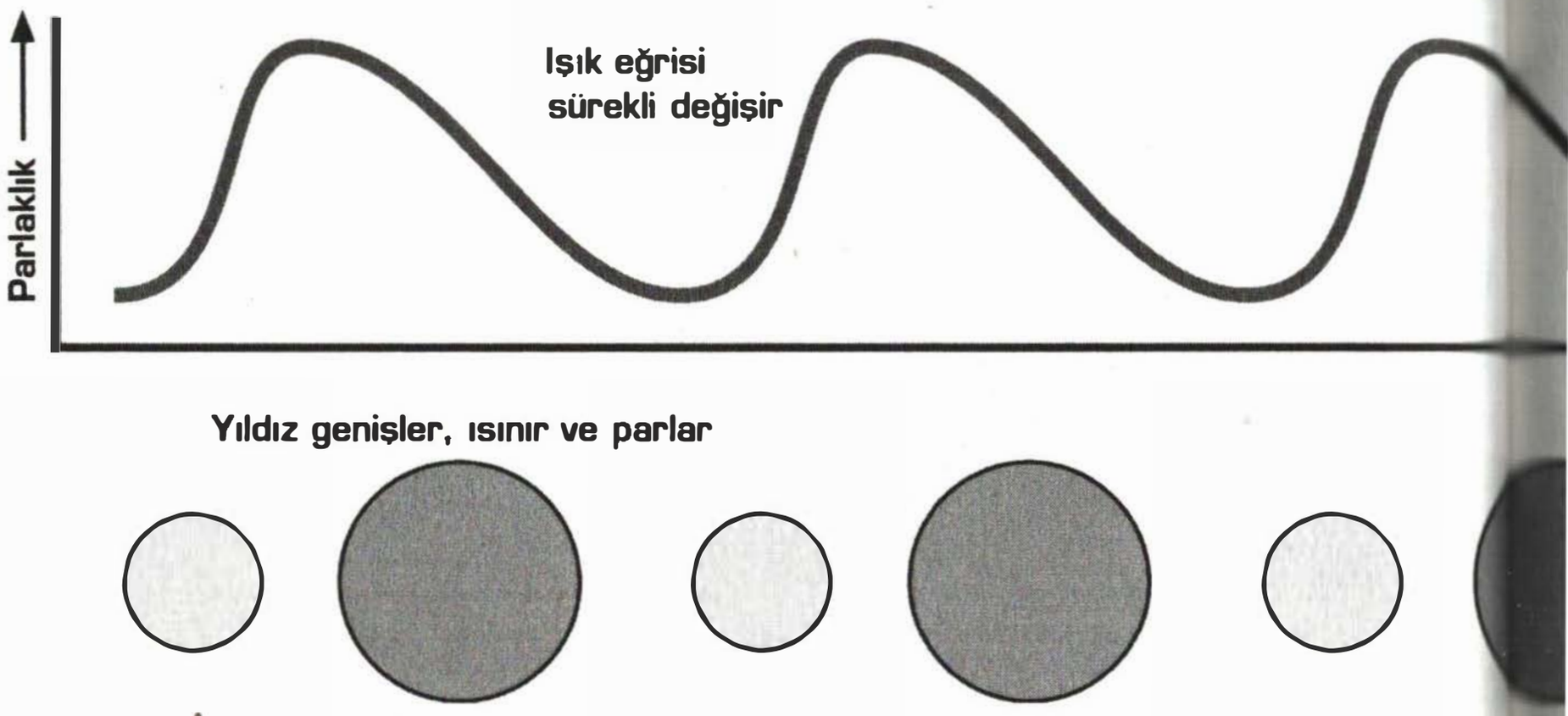
Çiftler ve çoklular yıldızlara dair önemli özellikleri açığa vururlar. Her bir yıldızın ortak "kütle merkezi" etrafında çizdiği yörüngenin boyutu göreceli kütlelerinin direkt olarak belirlenmesini sağlar; kütlesi daha az olan yıldızlar daha geniş yörüngeler çizerler. Ayrıca çoklu sistemler yıldız parlaklığı gibi özelliklerin doğrudan mukayese edilmesine olanak tanır çünkü ışığın yıldızlar arası toz tarafından soğurulması ve uzaklık bütün yıldızları eşit oranda etkiler.



Çoklu yıldız oluşumunun
bilgisayar simülasyonu

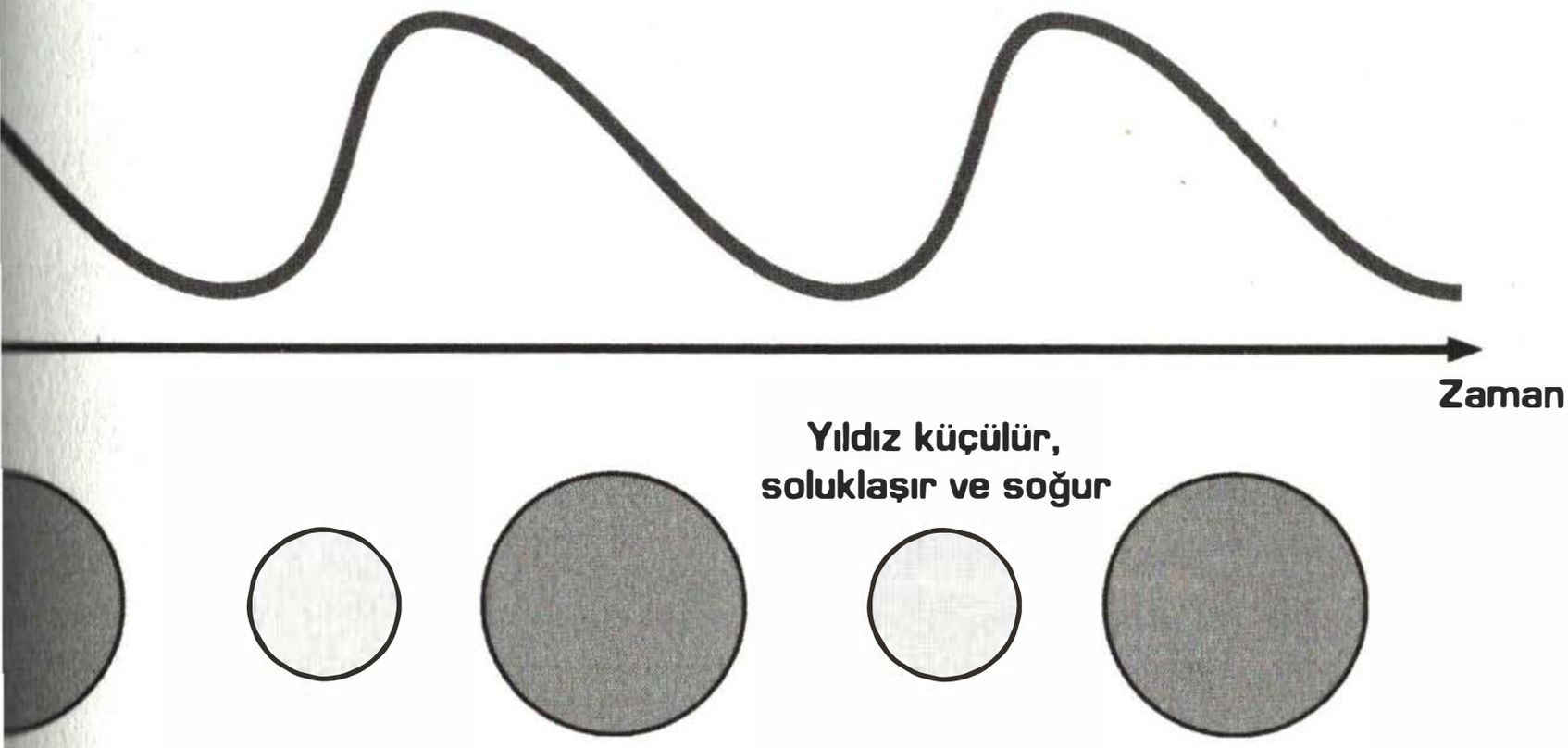
# Zonklayan Değişenler

Yıldızların şaşırtıcı derecede büyük bir kısmı Dünya'dan görünen kadirleri bakımından çeşitlilik gösterir. Bazen bunun sebebi bu yıldızların aslında ikili sistem olmalarıdır (bkz. s. 298 ve 302) fakat değişen yıldızların çoğunun enerji üretimi gerçekten değişir; bazılarının döngüleri saat kadar düzenliyken, diğerlerininki sinir bozucu şekilde öngörülemez bir hâldedir. Çoğu durumda parlaklıktaki bu değişim fiziksel boyuttaki



değişime paralel gider. Bunun belki de en meşhur örnekleri Mira gibi uzun dönemli kırmızı dev değişenler (bkz. s. 194) ve sarı üstdev Sefelerdir (bkz. s. 140).

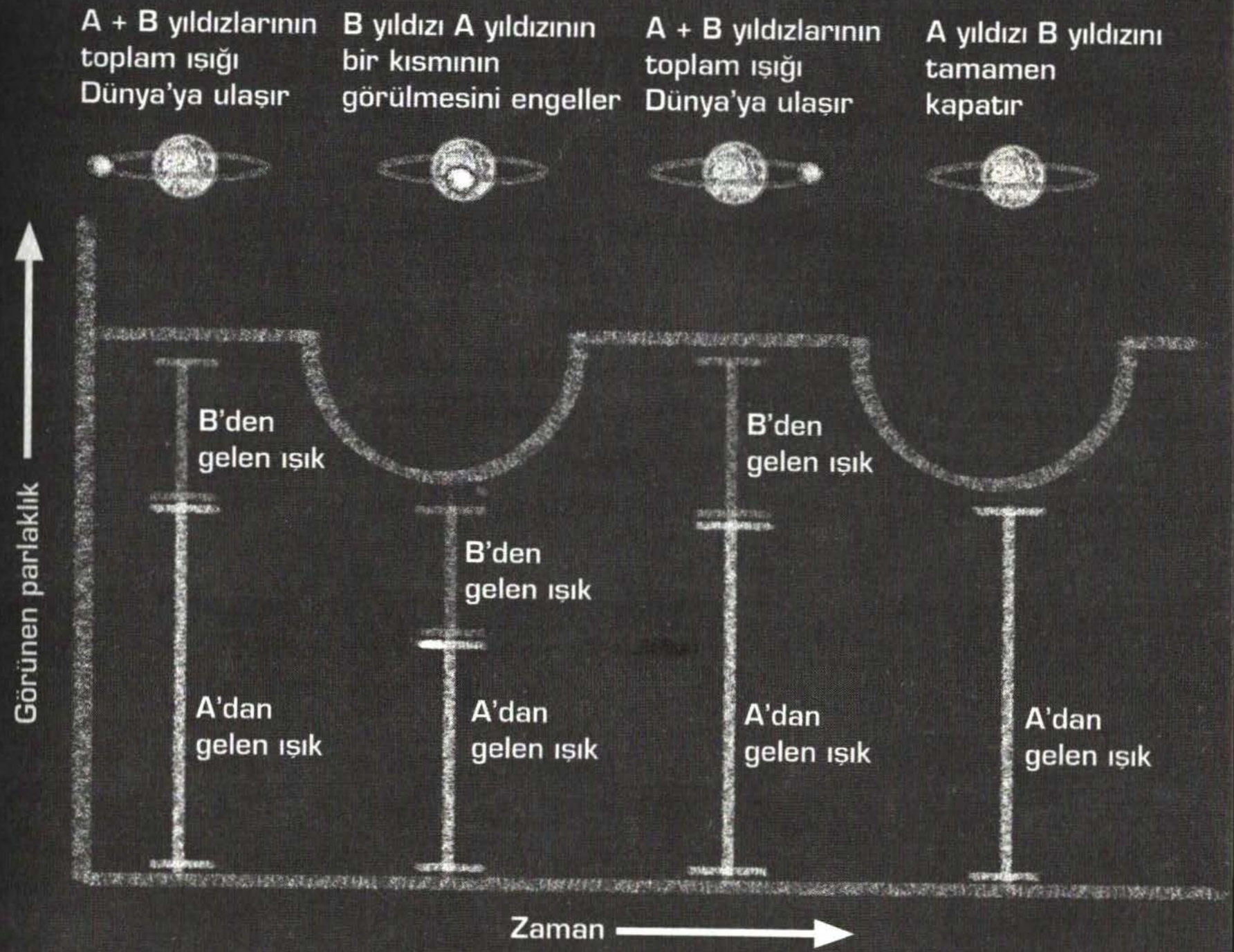
Zonklamalar yıldızın yaşam döngüsünün çeşitli aşamalarında oluşabilir ama çoğu aynı temel geri bildirim mekanizmasıyla ilişkilidir: Yıldızın içinde yükselen sıcaklıklar parlamasına neden olurken, kaçan radyasonun kuvveti onu genişlemeye zorlar. Bu durum yıldızın içinin soğumasına ve parlaklığının azalarak daralmasına yol açar. Bu da iç sıcaklığı arttırır ve döngünün tekrarlanmasına neden olur.



# Örten (Tutulan) İkililer

Nadir durumlarda çift yıldızların Dünya'dan bakıldığında toplam ışıklarının belirli aralıklarla değişmesine neden olan yakın ilişkileri vardır. Bu durumlardan en yaygın olanına "örten değişen" denir ve iki yıldız yörüngesinin rastlantı eseri hizalanarak Dünya'dan bakıldığında her yörüngede bir kere olmak üzere birbirlerinin önünden ve arkasından geçiyormuş gibi gözükmesini ifade eder.

Tutulmaya sebep olmak için yıldızların en güçlü teleskopla bile tek bir cisimmiş gibi gözükecek kadar yakın olması şarttır. İki yıldızın toplam ışığı sisteme her bir tutulmanın büyük bir kısmında sabit bir parlaklık kazandırır ve bir yıldızın ötekinin önünden geçerken ışığının çoğunu engellemesiyle parlaklıkta ani bir düşüş görülür. Örten yıldızlar nadiren eşit parlaklıkta olduğundan, genellikle soluk yıldızın daha parlak olanın önünden geçtiği daha derin bir "ana tutulma" ve durumun tersine döndüğü görece daha sığ olan (bazen farkedilmeyen) ikincil bir tutulma görülür.


A + B yıldızlarının toplam ışığı Dünya'ya ulaşır
B yıldızı A yıldızının bir kısmının görülmesini engeller
A + B yıldızlarının toplam ışığı Dünya'ya ulaşır
A yıldızı B yıldızını tamamen kapatır
Görünen parlaklık
B'den gelen ışık
B'den gelen ışık
B'den gelen ışık
A'dan gelen ışık
A'dan gelen ışık
A'dan gelen ışık
A'dan gelen ışık
Zaman

# Asimetrik ve Patlayan Değişenler

Zonklayan ve örten türlere ek olarak (bkz. s. 300 ve 302) başka birkaç değişen yıldız türü vardır. Dönen değişenlerin eksenleri etrafında dönerken çeşitli sebeplerden dolayı parlaklıkları değişir. Bazı yıldızların belirgin asimetrik işaretleri vardır. Bu koyu "yıldız lekeleri" Güneş'imizin lekelerinden çok daha büyüktür ve Dünya'ya dönük olduğu sırada yıldızın toplam ışığını değiştirecek kadar geniştir. Birbirine yakın ikili sistemlerdeki yıldızlar ise birbirlerinin biçimini bozarak yörüngelerinde ilerlerken Dünya'ya farklı yüzey alanlarını gösterebilirler. Yoğun manyetik alanlar da bir yıldızın farklı yönlere farklı miktarlarda radyasyon yaymasına neden olabilir.

Patlayan değişenler aniden infilak etmeye yatkın dengesiz yıldızlardır. Bunlar büyük parıltılar yayınca birden aydınlanan düşük kütleli kırmızı cüce "parıltılı yıldızlar" ve Eta Carinae (bkz. s. 322) benzeri "mavi ışık değişenleri" gibi farklı türleri içerirler. En şiddetli nova ve süpernova patlamalarına (bkz. s. 336, 324 ve 338) "kataklizmik değişenler" denir.



# Açık Yıldız Kümeleri

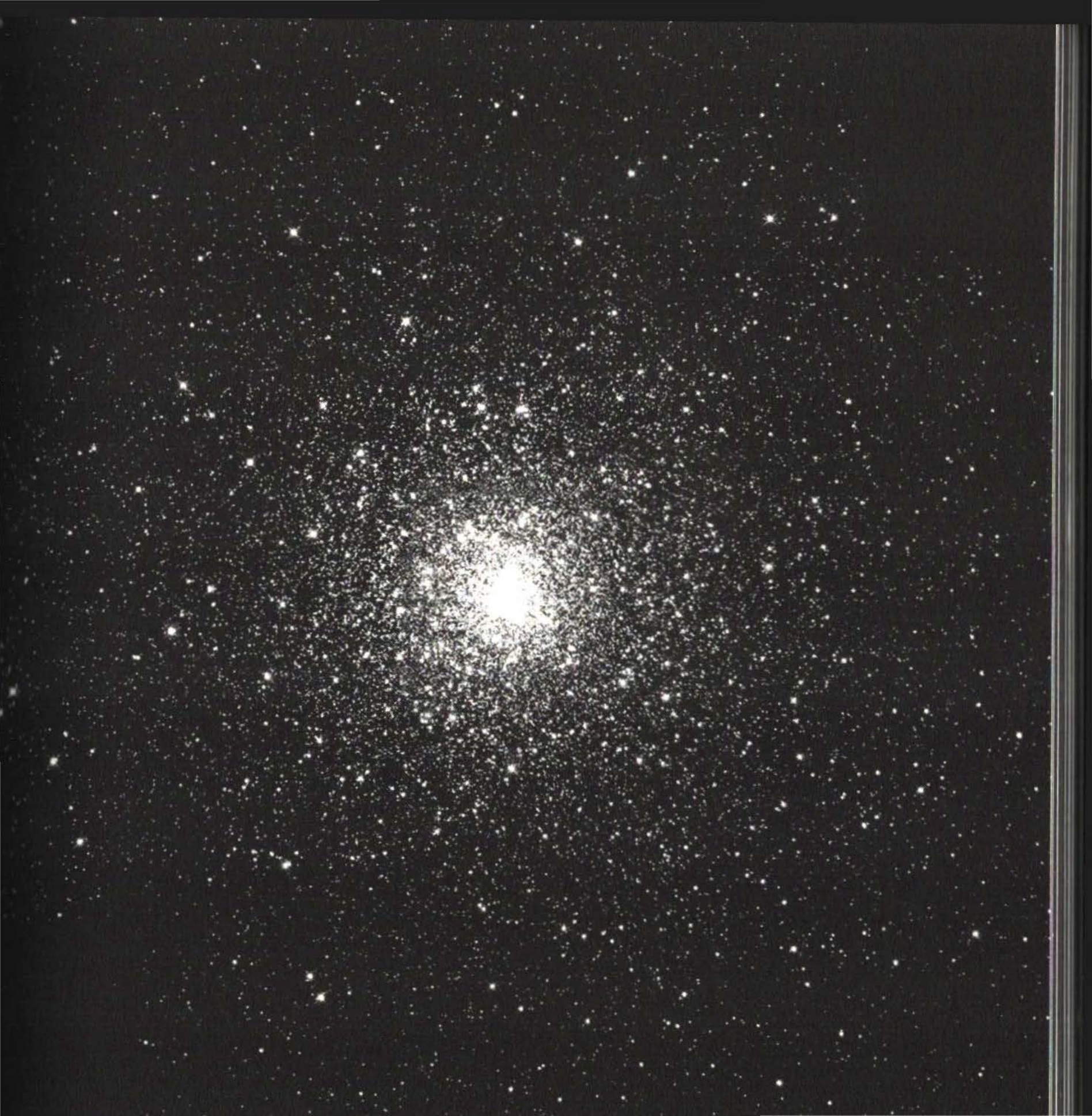
Yıldızlar görece kısa zaman dilimlerinde çok sayıda oluştukları için yıldız doğumu nebulalarından açık kümeler denen gruplar hâlinde çıkarlar. Yıldız miktarları birkaç düzine ile birkaç yüz yıldız arasında değişen bu görece dağınık yıldız kümeleri genelde onlarca milyon yıl boyunca birbirlerinden uzaklaşırlar (fakat bazen "hareket hâlindeki" bir grupta orta yaşlı yıldızların aynı kökene ait olduklarını tespit edebiliriz; bkz. s. 146). Bir kümedeki tüm yıldızlar aynı yaşa ve uzaklığa sahip olduğu ve benzer maddelerden oluştuğu için, kümeler farklı yıldızların izlediği evrimsel çizgileri faydalı bir şekilde doğrudan karşılaştırmamıza olanak sağlar.

Açık kümelerin çoğu çok genç olduğu için, bunların içinde yaşam süreleri yalnızca birkaç milyon yıl olan, komşularından uzaklaşamadan yakıtlarını tüketerek sönmeye yatkın parlak mavi ve beyaz yıldızlar daha baskındır. Parlak yıldızların böyle yoğun hâlde bir arada olması, açık yıldızların galaksilerin sarmal kollarının içleri gibi (bkz. s. 344) çok uzak mesafelerden kolayca görülebilmesini sağlar.



# Küresel Kümeler

Yaklaşık 100 ışık yılı genişliğindeki bir alanda yüz binlerce yıldız içeren büyük toplar olan küresel kümeler daha yaygın olan açık kümelerden çok farklıdırlar (bkz. s. 306). Bunlar galaksimizde farklı bölgelerde bulunurlar; ya galaksi merkezinin yakınında ya da yassı galaksi diskimizin üstünde ve altındaki hale bölgesindedirler. Yakın geçmişte oluşan yıldızları içeren açık kümeler çoğunlukla kısa ömürlü mavi ve beyaz yıldızlardan meydana gelirken, küresel kümeler çok daha eskiden kalmalar. Sahip oldukları tüm ağır yıldızlar çoktan yaşlanıp ölmüş ve arkalarında yalnızca düşük kütleli kırmızı ve sarı yıldızlar bırakmışlardır (kümelerin merkezlerindeki nadir "mavi başıboşlar"ın sıkışık yıldızların çarpışıp kaynaşması sonucunda oluştuğu düşünülmektedir). Aslına bakılırsa küresel kümeler o kadar eskidir ki, galaksi merkezindeki yıldızlarla beraber kendi kimyasal bileşimleri ve yaşam döngüleri olan belirgin bir "yıldız öbeği" oluştururlar (bkz. s. 342). Bunların kendi galaksimizi yaratan galaktik birleşme süreçleri sırasında oluştukları ve hâlâ diğerlerinin evrimine şekil verdikleri düşünülmektedir (bkz. s. 362).



# Yıldız Ölümü

Her bir yıldız yaşamının çoğunu "anakol" yıldız evriminin iyi bilinen kanunlarına uygun olarak (bkz. s. 270) çekirdeğindeki hidrojeni devamlı helyuma dönüştürerek geçirir. Fakat yıldızlar yaşam döngülerinin son evrelerinde, ana hidrojen kaynaklarının tükenmesi ve parlamaya devam etmek için başka bir yerde enerji üretmek zorunda kalmaları nedeniyle, kütlelerine bağlı olarak farklı şekillerde davranış sergilerler.

Tüm yıldızlar çekirdeklerinin etrafındaki yakıtı yakmaya başladıklarında parlayıp şişerek kırmızı devlere dönüşürler; fakat bunun ne kadar sürdürülebileceği-ve sonrasında ne olacağı- tamamen kütlelerine bağlıdır. Güneş gibi bir yıldızın hidrojen yakma safhasının helyum yan ürünlerini kaynaştırma becerisi, dış katmanları kısa ömürlü ama güzel görünümlü bir gezegenimsi nebulada saçılmadan önce yıldıza nispeten kısa bir süre kazandırır. Ardından helyum füzyonunun karbon, azot ve oksijen ürünleriyle dolu olan tükenmiş hâldeki çekirdek, gezegen boyutlarında, akkor ama yavaşça soğuyan bir beyaz cüce yıldız olarak uzayda açığa çıkar.

Daha büyük yıldızların sonu daha görkemli olur. Bir yıldız ne kadar ağırsa, çekirdeğindeki yakıtı yakma süresi de o kadar uzun olur ve kaynaştırdığı yan ürünler bir önceki füzyon üretiminden daha ağırdır. Kütleleri Güneş'in sekiz katından fazla olan yıldızlar küçük ama aşırı yoğun demir bir çekirdek yaratarak nihayetinde bu zincirin son halkasına ulaşırlar. Füzyon süreci bu safhadan sonra devam edemez ve çekirdeğin aniden "söndürülmesi" süpernova denen muhteşem sonuçlar doğurur. Yıldızın dış katmanları birden içeri çöker ve çekirdekten seken şok dalgası yıkıcı bir patlamaya neden olur.

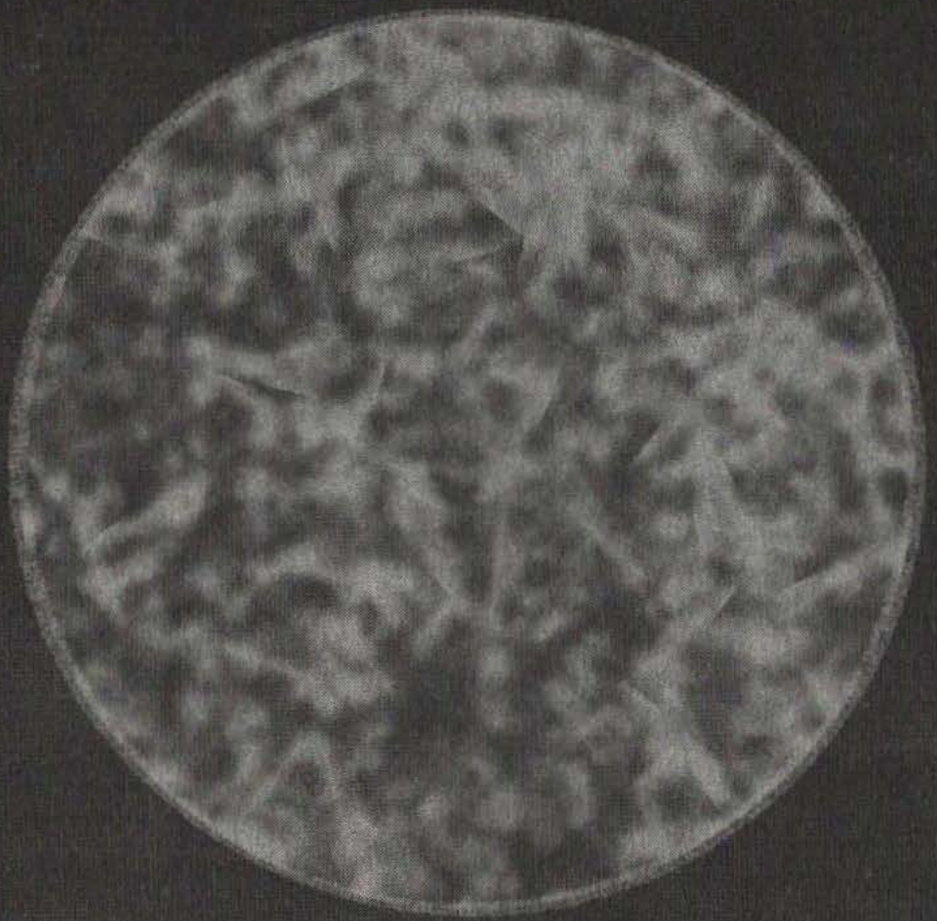
Dev yıldız geriye kalan bütün yakıtını birkaç hafta içinde tükettiği için, bu tür süpernovalar kısa süreliğine koca bir galaksiden çok daha fazla parlayabilirler. Geride de yeni nesil yıldızların oluşumuna katkı sağlayacak ağır elementler yönünden zengin, parlak bir gaz örtüsü ve şehir büyüklüğünde bir nötron yıldıza ya da yeteri kadar kütleye sahipse yıldız kütleli bir kara deliğe dönüşebilecek (bkz. s. 328 ve 332) çökük bir yıldız çekirdeği bırakırlar. Bu cisimleri tespit etmenin en kolay yolu ikili yıldız sistemleri içindeki diğer yıldızların üzerinde bulunan ve bazen çarpıcı sonuçlara yol açabilen etkilerine bakmaktır (bkz. ss. 334-339).

# Kırmızı Devler

Yıldızlar yaşamlarının sonlarına doğru parlaklıklarının muazzam ölçüde arttığı ve iç kısımlarından kaçan radyasyonun yarattığı basıncın yıldızın dış katmanlarını balon gibi şişirdiği bir veya birden fazla kırmızı dev safhasından geçerler. Açığa çıkan yüzey alanın büyümesi parlaklık artışını "geçince" yıldız soğur ve parlaklığının çok daha artmasına rağmen kırmızılaşır.

Kırmızı dev safhası yıldızın çekirdeğindeki yakıt kaynağını (ömrünün ilk safhasında hidrojen, sonra helyum ve daha ağır elementler) tüketmesiyle başlar. Çekirdekten çıkan enerji azalırken, dış katmanlar çekirdeğin etrafındaki ince kabuk kendi nükleer füzyonunu sürdürebilecek kadar ısınıp yoğunlaşana dek çökerler. Hatta bu kabuğun sıcaklığı çekirdek sıcaklığını bile geçerek nükleer füzyonun çok daha hızlı ilerlemesine neden olur ve yıldızın parlaklığını belki bin kat arttırır. Kabukta füzyon başladığında üretilen enerji yıldızın üst katmanlarının artan radyasyonla yeniden dışarı atıldığı sırada bile tepkimeyi sürdürebilir.

Antares
(kırmızı üstdev)



Güneş
(anakol
yıldız)



Sıcaklık:
5,500 °C
(9,900 °F)

Arcturus
(turuncu dev)



Sıcaklık:
4,000 °C
(7,200 °F)

Sıcaklık:
3,100 °C
(5,600 °F)

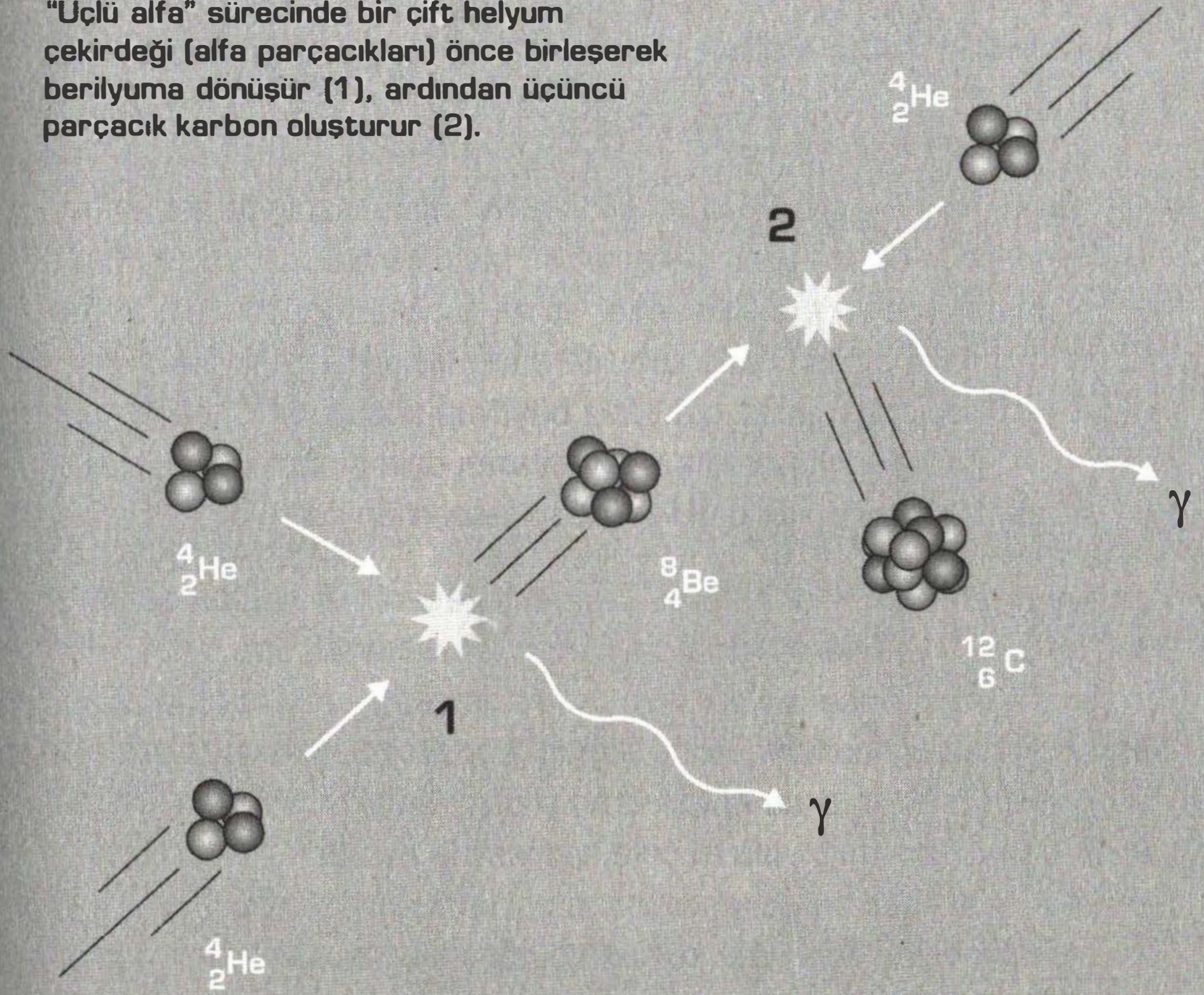
Kırmızı devler ve üstdevler Güneş gibi yıldızlardan çok daha parlak olsalar da boyutlarının büyüklüğü yüzey sıcaklıklarının daha düşük olmasına neden olur.

# Helyum Yakımı

Kütlesi Güneş'inki kadar veya daha fazla olan bir yıldız şişerek bir kırmızı deve dönüşürken, hidrojeni tükenen ve artık helyum çekirdekleriyle dolu hâle gelen çekirdeği büzülür. Bir süre sonra sıcaklıklar helyum füzyonunun gerçekleşebileceği kadar aşırı noktalara yükselir (100 milyon °C ya da 200 milyon °F). "Üçlü alfa süreci" diye bilinen bir mekanizma karbon üretmek için üç helyum çekirdeğini birleştirir, bazen oksijen üretmek için onlara dördüncü çekirdek de katılır.

Helyum füzyonu "helyum parlaması" denen bir olayla hızla çekirdeğe yayılır ama bu parlamanın sonuçları başta görülmez. Ne var ki zamanla çekirdeğin parlaklığının aniden artması etrafındaki katmanların genişleyip soğumasına, üst katmanlardaki hidrojen füzyonunun yavaşlamasına ve beklenenin aksine yıldızın soluklaşıp küçülmesine neden olur. Ölen yıldızın geçirdiği "asimptotik dev" safhası diye bilinen bu evre nispeten kısa sürer. Çekirdekteki helyum tükenince kabuk yanmaya devam eder ve yıldız şişerek yeniden bir kırmızı deve dönüşür.

"Üçlü alfa" sürecinde bir çift helyum çekirdeği (alfa parçacıkları) önce birleşerek berilyuma dönüşür (1), ardından üçüncü parçacık karbon oluşturur (2).



# Gezegenimsi Nebulalar

Güneş benzeri düşük kütleli yıldızların her biri eninde sonunda çekirdeğinde hiç yakıt yakamadığı bir noktaya gelir. Sonuç olarak ortada çekirdeği tükenmiş, etrafı füzyonun devam etmekte olduğu bir veya birden fazla kabukla sarılı bir yıldız kalır. Bu kabuklar dışa doğru açıldıkça yıldız büyüyüp küçülerek daha da dengesizleşir ve sonunda dış katmanlarını öyle şiddetli püskürtür ki, katmanlar yıldızın kütle çekiminden tamamen kurtulur.

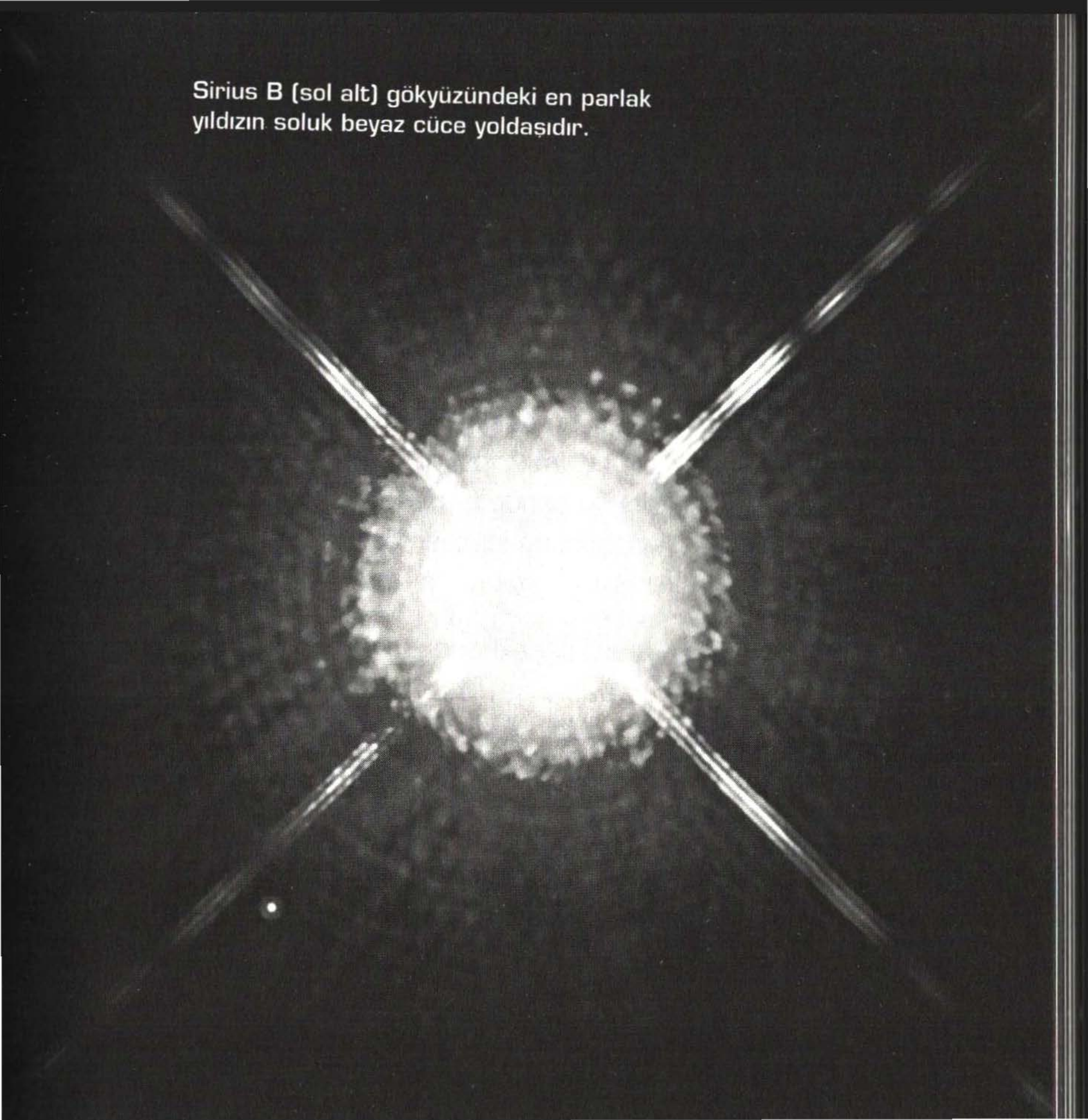
Ortaya çıkan kozmik duman halkasına gezegenimsi nebula denir. Bunlar çeşitli şekillere sahip olabilirler; en yaygınları sade bir küre ya da çok daha önceden atılmış, yavaş hareket eden maddelerden oluşan yoğun bir halkanın orta kısmını daralttığı bir kum saatidir. Genişleyen madde önce soğur ama yıldızın sıcak iç katmanları açığa çıkınca atomları ultraviyole radyasyon tarafından harekete geçirilir ve bu durum görünür ışıkta parlamasına sebep olur. Gezegenimsi nebulalar astronomik açıdan kısa süreli olaylardır, yalnızca on binlerce yıl parladıktan sonra dağılırlar ve işlenmiş gazları yıldızlar arası maddeyi zenginleştirir.



# Beyaz Cüceler

Bir beyaz cüce, Güneş benzeri bir yıldızın, dış katmanlarını silkip atmasından ve çekirdeğinin etrafındaki kabuklarda nükleer füzyonun azalıp bitmesinden sonra açığa çıkan çekirdeğidir. Çekirdeğini içeriden destekleyecek hiçbir enerjisi olmadığı için çökerek yaklaşık Dünya boyutlarında bir helyum, karbon, azot ve oksijen topuna dönüşür. Bunun sonucunda başlarda yüzey sıcaklıkları 200 bin °C'yi (360 bin °F) bulsa da, beyaz cüceler çok sönüklerdir ve tespit edilmeleri epey zordur. Gökyüzündeki en parlak yıldızın soluk yoldaşı Sirius B gibi, çoğunlukla diğer yıldızlar üzerlerindeki etkileri sayesinde yerlerini belli ederler. Beyaz cüceler zamanla soğuyup soluklaşır ve varsayımsal olarak görünmez "kara cüceler"e dönüşürler.

Beyaz cüceler, içlerindeki atomaltı parçacıklar arasındaki itme kuvveti tarafından daha fazla çökmeleri engellenen "dejenere" yıldızlardır. Bu durum tuhaf davranışlar sergilemelerine neden olur. Beyaz cücelerin kütleleri ne kadar büyükse, boyutları o kadar küçüktür ve bu da bu tip cisimlerin kütlelerinin bir üst sınırı olduğu anlamına gelir (bkz. s. 328).

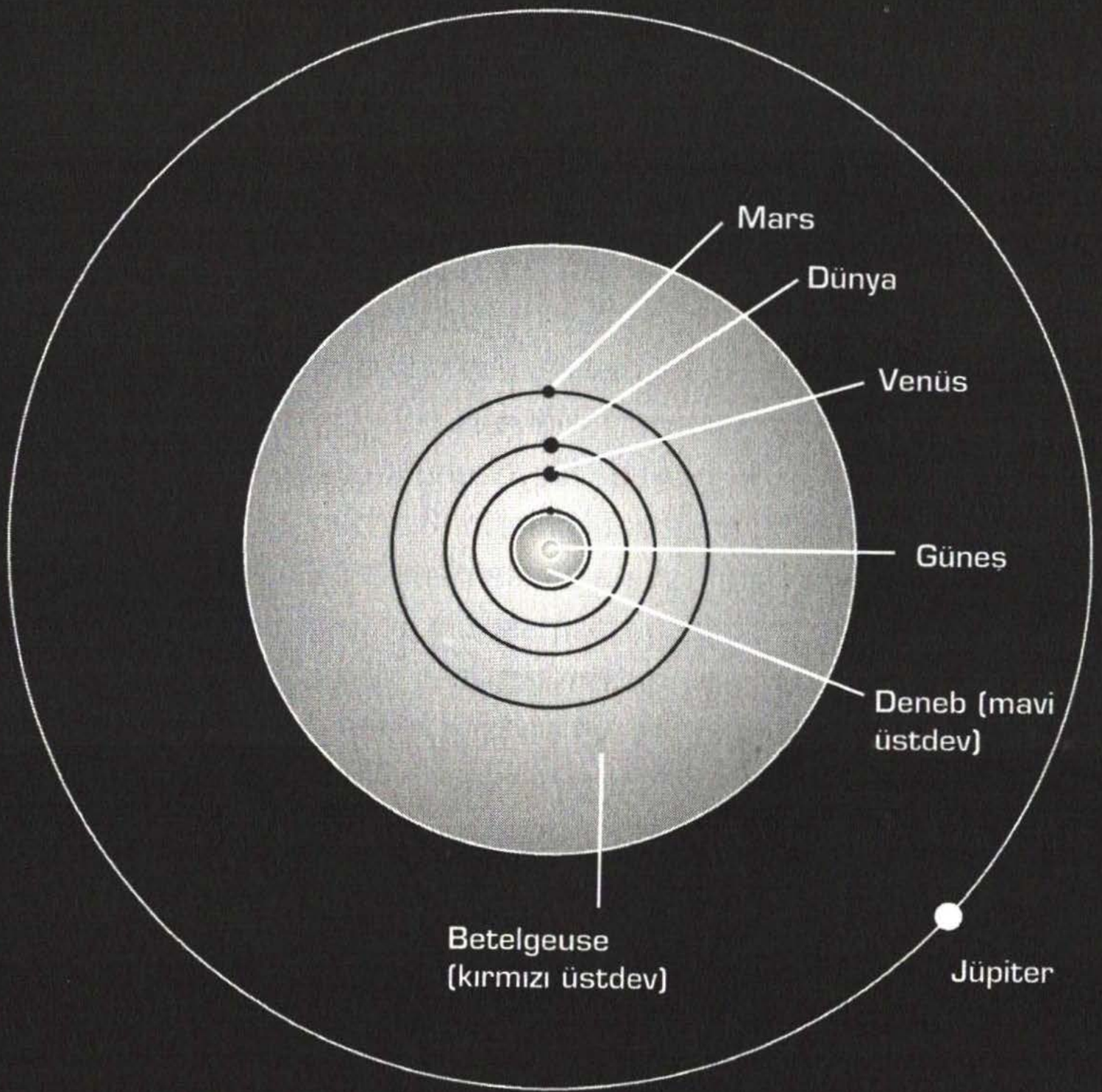


Sirius B (sol alt) gökyüzündeki en parlak yıldızın soluk beyaz cüce yoldaşıdır.

# Üstdevler

Evrendeki en büyük yıldızlar üstdevlerdir. Bunların kütleleri Güneş'inkinden onlarca, parlaklıkları ise yüz binlerce, hatta milyonlarca kat fazladır. Çekirdeklerinden dalgalar hâlinde yayılan devasa radyasyon basıncına rağmen bu canavarımsı yıldızların kütle çekimi toplu hâlde kalmalarını sağlayacak kadar yüksektir. Bu sebeple üstdevler çeşitli renklere sahip olur ve Hertzsprung-Russell diyagramının üst kısmında geniş yatay bir şerit oluştururlar (bkz. s. 268).

Kütle çekimi ile radyasyon arasındaki dengenin bir sonucu olarak daha toplu hâldeki mavi ve beyaz üstdevlerin oluşturduğu güçlü yıldız rüzgârları, kütlelerini Güneş benzeri daha sakin yıldızlardan milyonlarca kat hızlı saçmalarına neden olur. Böylece kısa yaşamları boyunca birkaç Güneş kütlesine eş miktarda madde saçarlar ve dış katmanları uzaya püskürtülünce ortaya çıkan sıcak iç kısımları "Wolf-Rayet"ler denen belirgin yıldız sınıfını oluşturur.

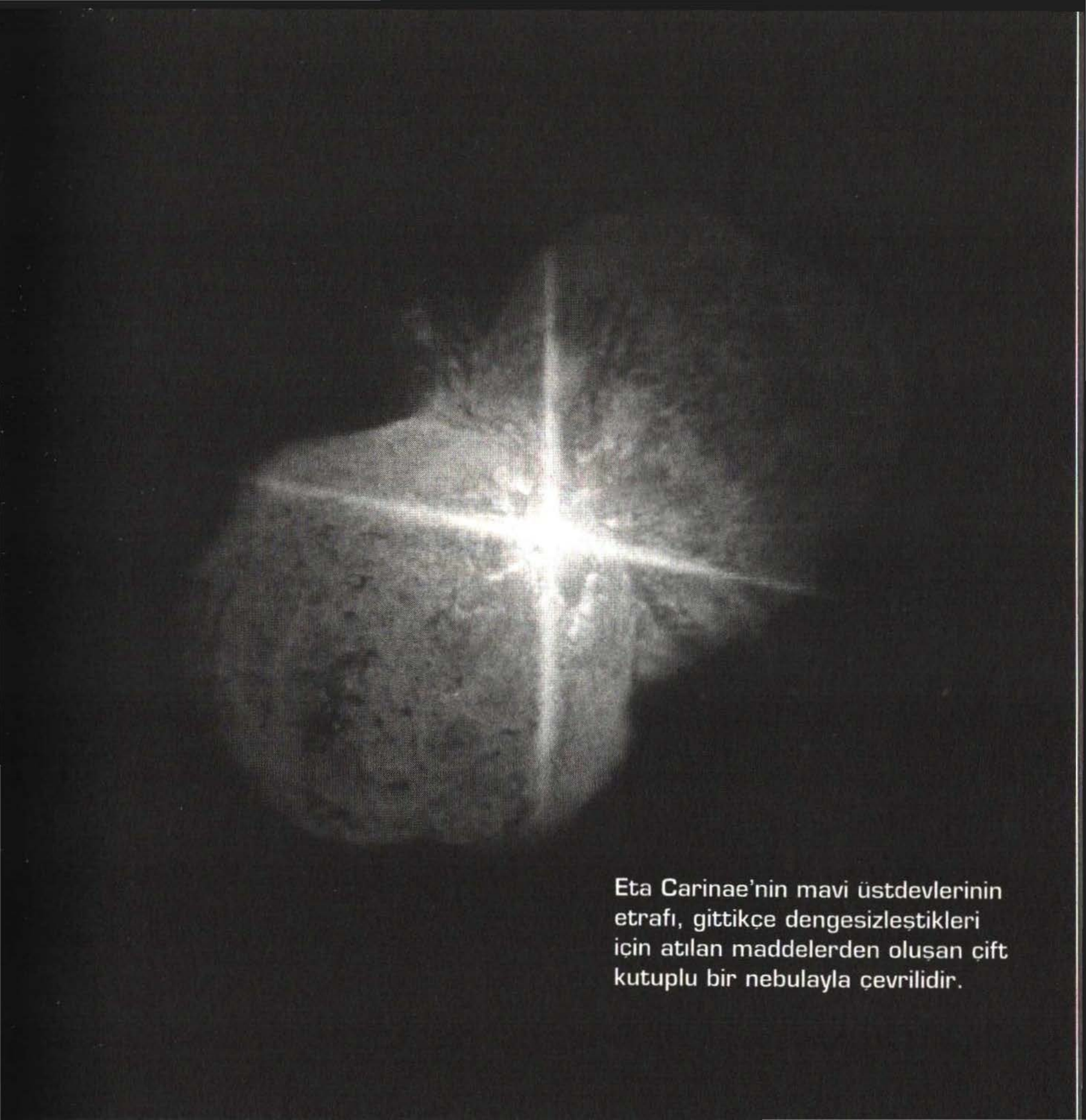



Bu şematik tablo üstdevlerin Güneş sistemimize kıyasla boyutlarını gösterir.

# Süpernova Adayları

Yaşamlarının son evrelerine giren büyük kütleli yıldızlar gittikçe dengesizleşir ve son kez şiddetli bir şekilde infilak etmeden önce az çok bütün hâlde kurtuldukları muazzam patlamalara yatkın olur. Üstdevlerin ve onların akrabalarının büyük kütleleri, Güneş benzeri yıldızların becerebileceğinden daha ağır elementlerin nükleer füzyonunu kaldırabilmelerini sağlar ve helyum füzyonunun ürünlerini (karbon, azot ve oksijen) neon, sülfür, demir gibi daha ağır elementlere dönüştürür. Ama çekirdekteki her bir füzyon tepkimesi bir öncekinden daha az etkili olur ve kısa bir süre devam ettikten sonra çekirdeğin dışına yayılır. Bunun sonucunda ortaya soğanınkilere benzeyen bir dizi füzyon katmanının etrafını çevreleyen derin bir dış hidrojen katmanına sahip, çekirdeği gitgide yoğunlaşan bir yıldız çıkar.

Belki de en meşhur ve çok incelenen süpernova adayı, en son 1840'lardaki "sahte süpernova olayı"nda görkemli bir şekilde patlayan Carina takımyıldızındaki devasa bir çift sistem olan Eta Carinae'dir.

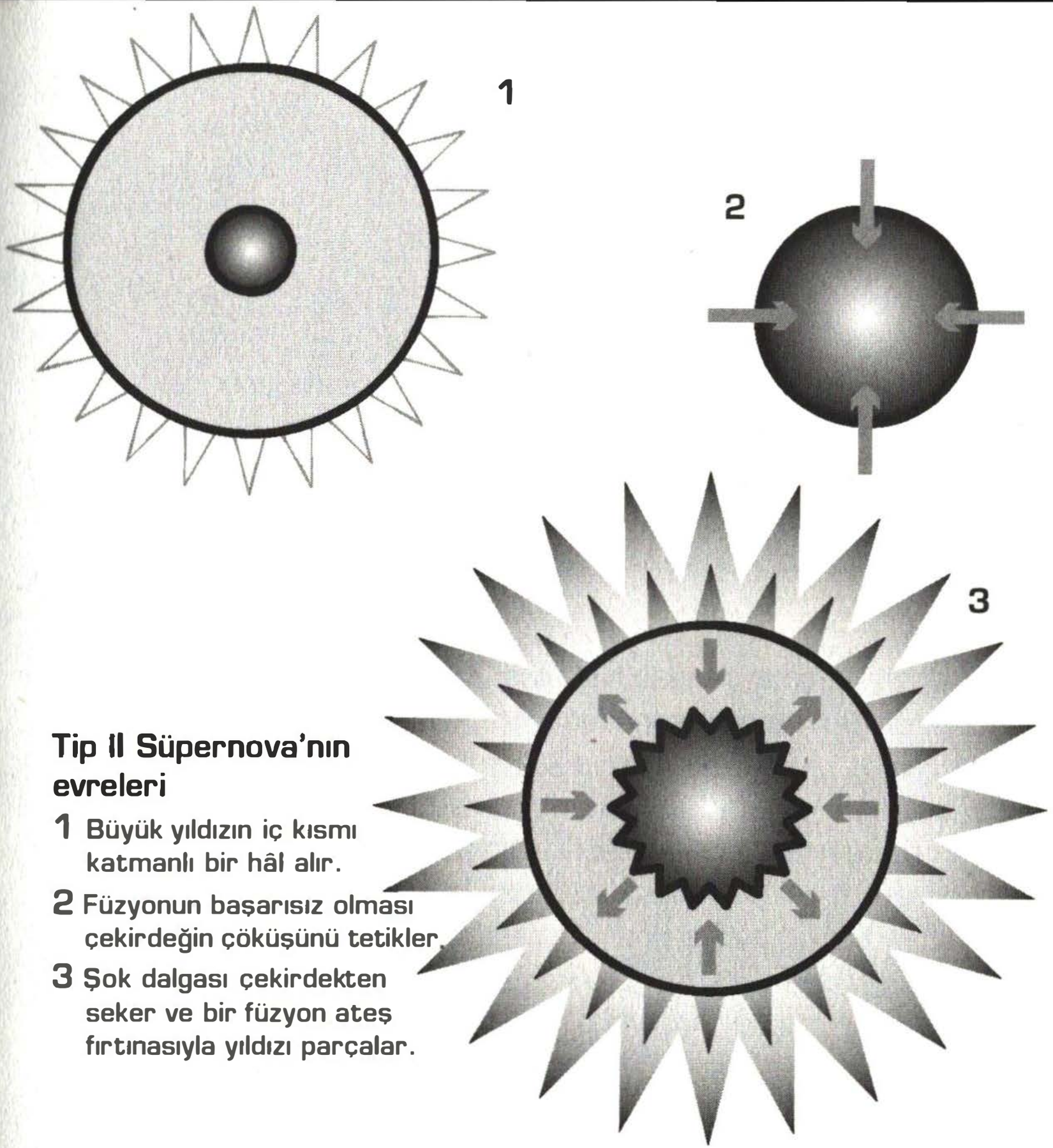


Eta Carinae'nin mavi üstdevlerinin etrafı, gittikçe dengesizleştikleri için atılan maddelerden oluşan çift kutuplu bir nebulayla çevrilidir.

# Tip II Süpernovalar

Dev bir yıldızın ani ve şiddetli ölümüne, diğer süpernova olaylarından farklı olarak (bkz. s. 228) "Tip II" süpernova denir. Bunlar soğanınkilere benzeyen nükleer füzyon katmanlarının küçük ama aşırı yoğun bir demir çekirdek oluşturduğu aday yıldızlardan evrilirler (bkz. s. 322).

Bu süpernovalar demirin daha ağır elementlere kaynaşacağı uç noktalara gelene kadar durmadan yoğunlaşıp ısınırlar; fakat demirin nükleer yapısı füzyonun enerji salmak yerine *soğurduğu* ilk element olacağı anlamına gelir. Yıldızı destekleyen dış radyasyon basıncı bir anda kesilerek üst katmanların kendi muazzam kütle çekimleri altında çökmelerine neden olur. Ortaya çıkan şok dalgası önce çekirdeği sıkıştırır, ardından geri teperek yıldızı parçalar. Bu olaydaki basınç ve sıcaklıklar o kadar yüksektir ki, yıldızın dış katmanlarında nükleer füzyon başlatarak onlarca Güneş kütlesine eş değer yakıtı birkaç gün içinde yakmasına ve bütün bir galaksiyi gölgede bırakabilecek kadar parlak bir ışık yaratmasına neden olur.




## Tip II Süpernova'nın evreleri

1 Büyük yıldızın iç kısmı katmanlı bir hâl alır.

2 Füzyonun başarısız olması çekirdeğin çöküşünü tetikler.

3 Şok dalgası çekirdekten seker ve bir füzyon ateş fırtınasıyla yıldızı parçalar.

# Süpernova Kalıntıları

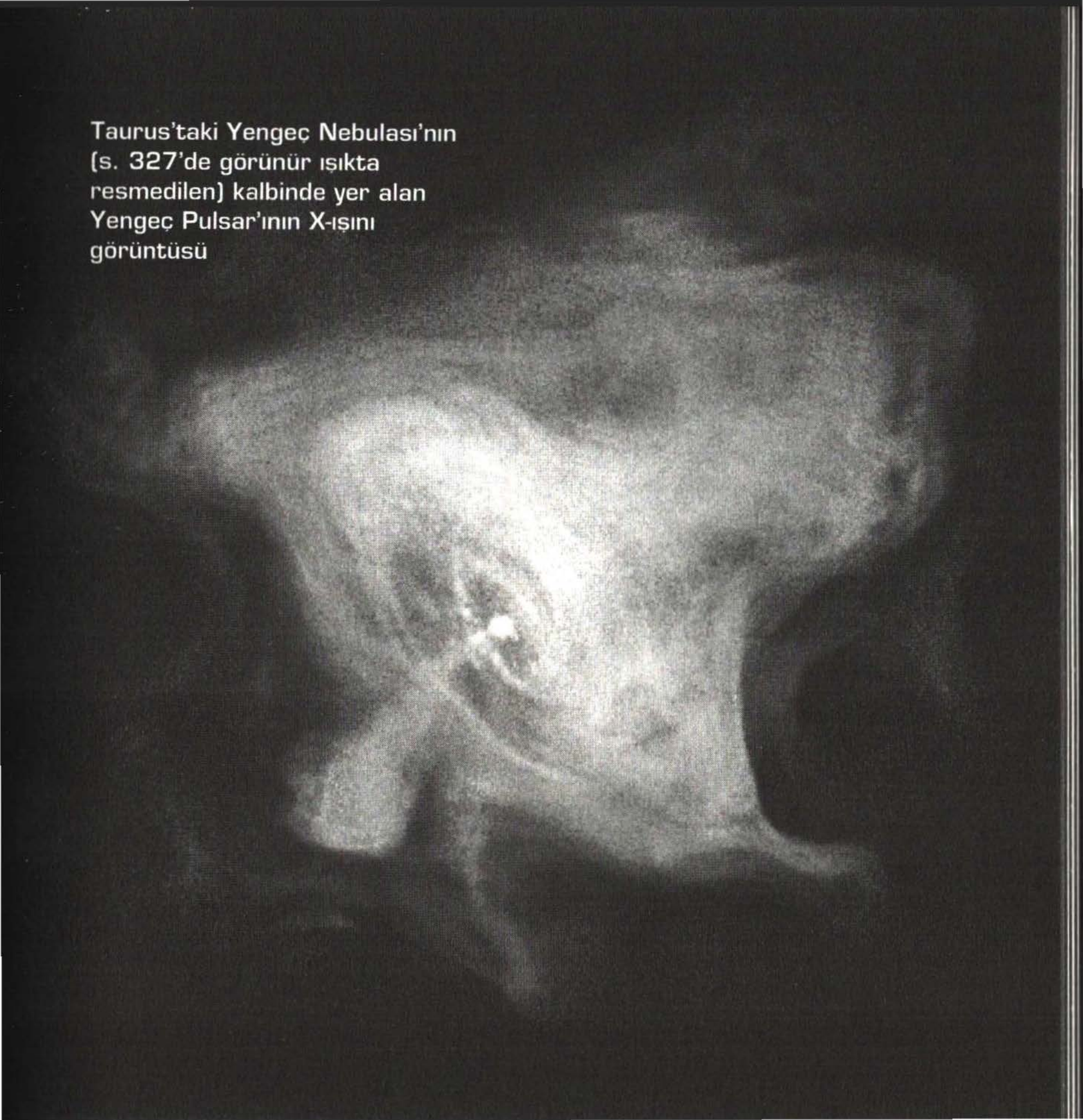
Süpernovalar, yıldızların arasındaki boşluğa ağır elementler serperek, yıldızlararası ortamın ve genel olarak Evren'in evriminde önemli bir rol oynarlar. Yalnızca kütlesi Güneş'ten çok daha büyük yıldızlar karbon, azot ve oksijenden ağır elementler üretebilirken, demirden ağır elementler ancak büyük miktardaki mevcut enerjilerin, enerji yaymak yerine enerji absorbe eden füzyon süreçlerine izin verdiği süpernova patlamalarında işlenebilirler.

Taurus'taki meşhur Yengeç Nebulası (MS 1054'te Dünya'dan görülen bir patlamanın sonucudur) gibi süpernova kalıntıları parçalanmış yıldızlardan geriye kalmıştır. Ya kendi yüksek sıcaklıklarından (genellikle on binlerce dereceyi bulur) ya da yayılan şok dalgalarının çevredeki yıldızlar arası gaza çarpması sonucu oluşan ısıtma etkisi yüzünden kısa bir süre görünürlük kazanırlar. Bunlar uzaya ağır elementler yaymakla kalmaz, aynı zamanda ilerleyen şok dalgalarının zaten yoğun hâldeki gaz ve toz bulutlarını sıkıştırmasıyla birlikte yeni yıldızların doğumunu tetiklerler.



# Nötron Yıldızları

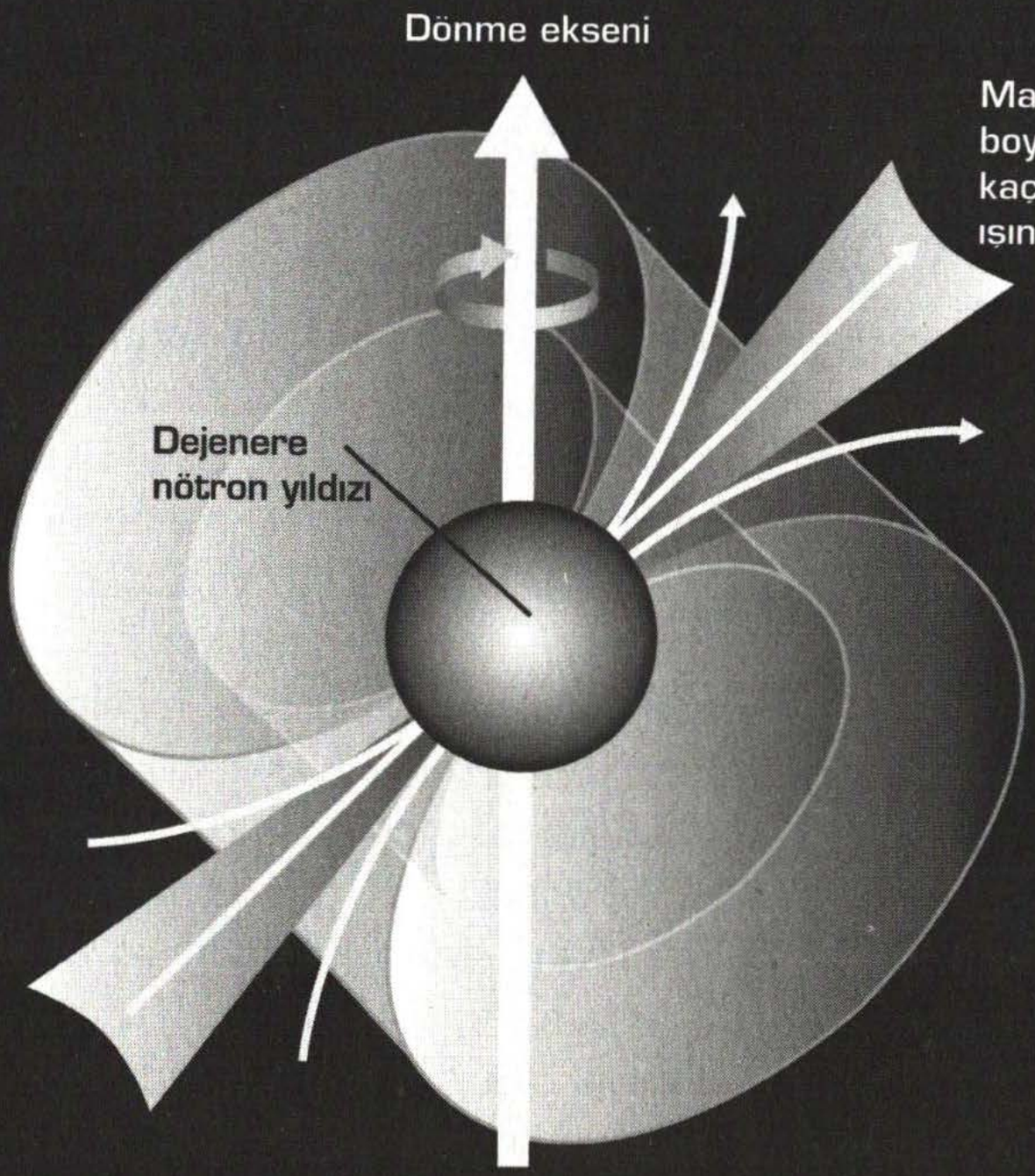
Tip II süpernovalarda (bkz. s. 324) gerçekleşen ilk çöküş, yıldız çekirdeğine çok büyük bir basınç uygulayarak evrendeki en yoğun cismi oluşturan çöküşü tetikler. Gezegen boyutundaki beyaz cüce yıldızların çöküşünü durduran "dejenere elektron basıncı" (bkz. s. 318) bu basınca dayanacak kadar güçlü olmadığı için çöküş tüm şiddetiyle devam eder. Sıkışan atom çekirdekleri yapıtaşlarını oluşturan proton ve nötron parçacıklarına ayrılırlar, ardından protonlar daha çok yüksüz nötron oluşturmak için mevcut elektronlarla birleşirler. Çekirdeğin kütlesi belli bir eşiğin üstünde olmadığı sürece (tahminî olarak 1,5 ile 3,0 Güneş kütlesi arasındadır) çöküş "dejenere nötron basıncı"nın birikmesiyle zaman içinde durur. Küçülen yıldızın boyutu bu noktada yaklaşık 10 kilometrelik (6 mil) bir şehir kadardır. Nötron yıldızlarının çoğu sadece manyetik alanlarının pulsar yaratması ya da yoldaş bir yıldızla etkileşerek bir X ışını ikilisi (bkz. s. 330 ve 334) oluşturması durumunda görülebilir.



Taurus'taki Yengeç Nebulası'nın (s. 327'de görünür ışıkta resmedilen) kalbinde yer alan Yengeç Pulsar'ının X-ışını görüntüsü

# Pulsarlar

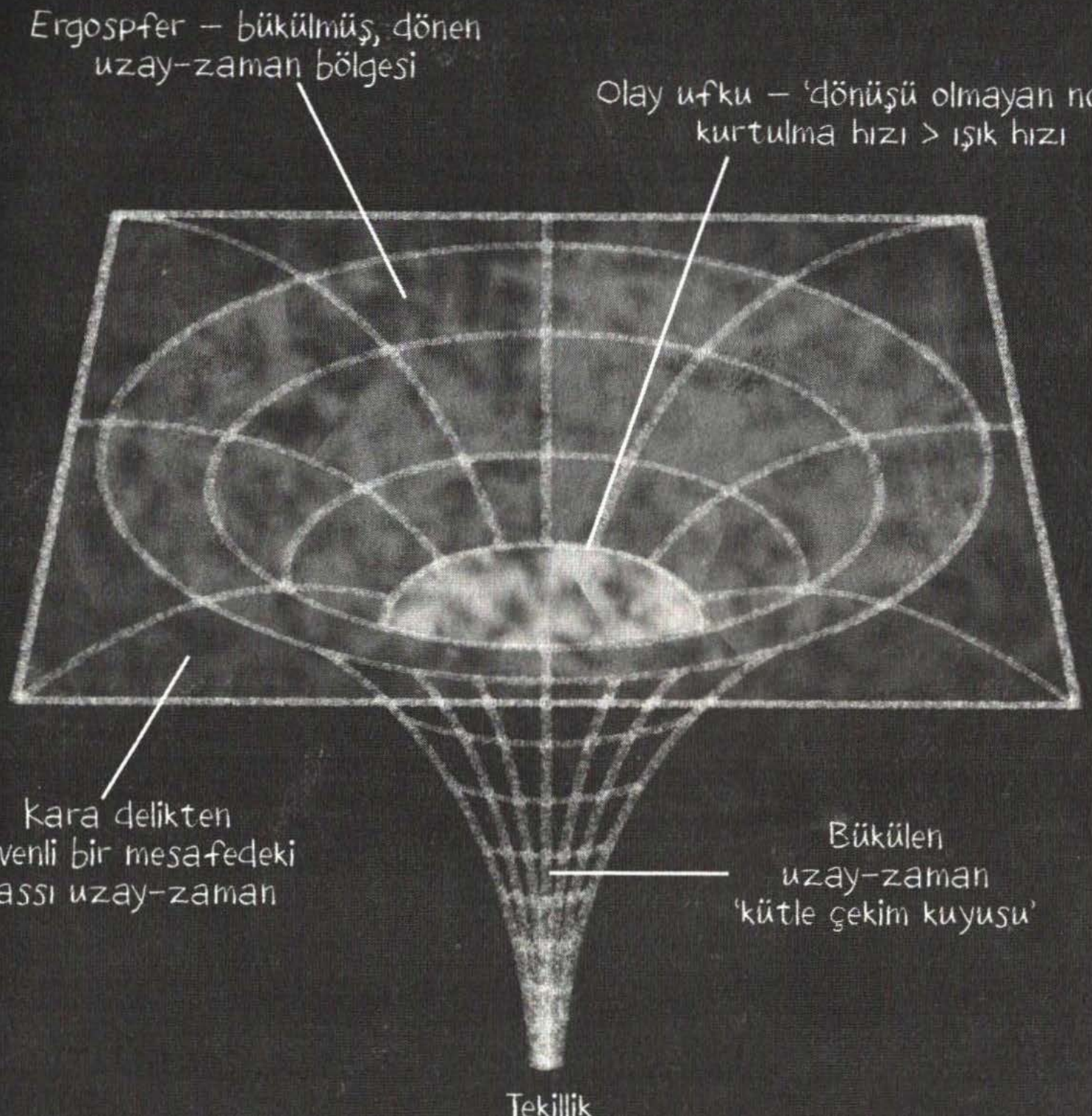
Süpernova patlamasında çöken yıldız çekirdeği, sıkıştırılarak çok daha küçük bir alanda yoğunlaşan manyetizmasının çoğunu korur. Aslına bakılırsa bir nötron yıldızının etrafındaki manyetik alan bazen o kadar yoğundur ki, yıldızın yüzeyinden radyo dalgaları, görünür ışık ve X-ışınlarından oluşan, kutuplara hizalı iki ince ışın hâlinde yoğun bir radyasyon ve parçacık karışımı yayılır. Pulsarlar (zonklayan yıldızlar), yıldızın manyetik kutupları ekseniyle nadiren tam hizalı olduğu için oluşurlar; böylece bir deniz fenerinin ışığı gibi gökyüzünü tarar, bazen de Dünya ile hizalanırlar. Ayrıca nötron yıldızı artan yoğunluğu sayesinde daha hızlı dönmeye başladığı için pulsar ışınları saniyeden daha kısa bir sürede parıldayıp sönerler. O yüzden, 1967'de keşfedilen ilk pulsarın başta gök bilimciler tarafından dünya dışı bir medeniyetten gelen yapay bir sinyal sanılmasına şaşırmamak gerekir. Pulsar mekanizması, gücüne rağmen, yıldızın dönüş enerjisini kaybetmesiyle birlikte birkaç milyon yılın sonunda "kapanır".




Pulsar ya da atarca yıldız, kütlesi Güneş'inkinin 1,5 katından fazla olan çökmüş bir yıldız çekirdeği olarak bir dejenere nötron yıldızıdır ve kozmik bir deniz feneri gibi uzaya radyasyon yayar.

# Yıldız Kaynaklı Kara Delikler

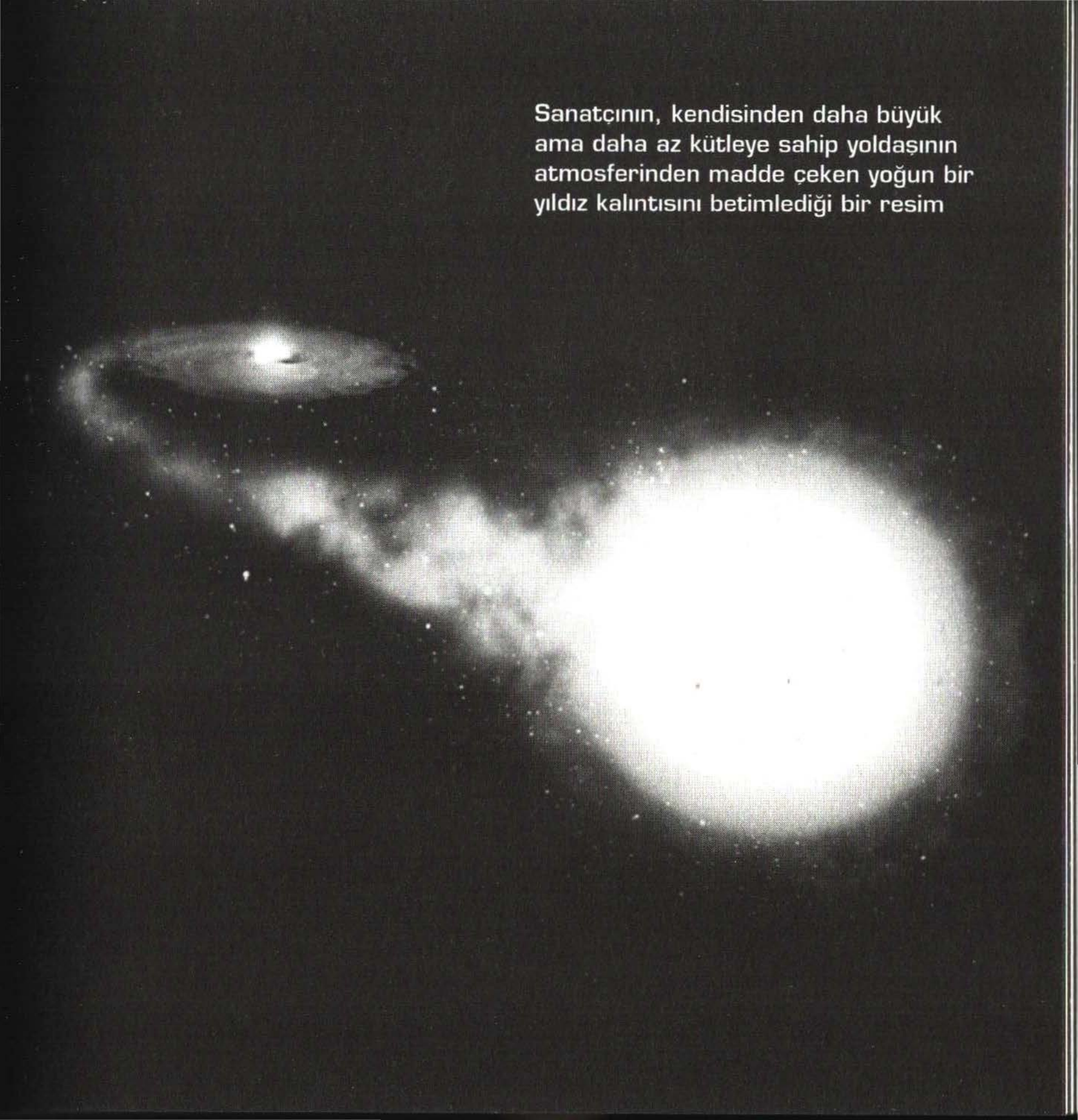
Çöken bir yıldız çekirdeğinin boyutu nötron yıldızlarını destekleyen güçlü "dejenere nötron basıncı"nın (bkz. s. 328) üstesinden gelecek kadar büyükse ne olur? Bunun sonucu dikkate değerdir: Yıldız'ın atomaltı parçacıkları kuark denen temel parçacıklara bölünür ve küçülerek sonsuz yoğunluğa sahip, tekillik olarak bilinen ufak bir noktaya dönüşür. Bu noktanın kütle çekimi o kadar güçlüdür ki, ışık dâhil hiçbir şey ondan kaçamaz. Olay ufku denen (kurtulma hızının ışık hızını aştığı) bir sınırın arkasında kaldığı için doğrudan gözlemlenmesi tamamen imkânsızlaşır. Bu, evrendeki en tuhaf cisimlerden biri olan yıldız kaynaklı kara deliktir. Yanına yaklaşan her şeyi içine çektikçe hem kütlesi hem de olay ufkunun kapsamı artar. 1780'ler kadar erken bir tarihte bu cisimlerin varlığına dair varsayımlarda bulunulsa da, oluşumlarını açıklayacak teorik bir modele ancak 1930'lardan beri sahibiz ve kara delik "adayları"nı 1970'lerden itibaren komşu yıldızlar üzerindeki etkileri sayesinde tespit edebiliyoruz.


Ergospfer – bükülmüş, dönen
uzay-zaman bölgesi
Olay ufku – 'dönüşü olmayan nokta'
kurtulma hızı > ışık hızı
Kara delikten
güvenli bir mesafedeki
yassı uzay-zaman
Bükülen
uzay-zaman
'kütle çekim kuyusu'
Tekillik

# Ekstrem Çift Yıldızlar

İkili sistemdeki yıldızların kütleleri birbirinden büyük ölçüde farklıysa, içlerinden ağır olan yaşam döngüsünü hızla tamamlarken, kütlesi daha düşük olan yoldaşı sakin bir orta yaşta kalır. Bunun sonucunda düşük kütleli yıldız yoğun bir yıldız kalıntısıyla ikili ilişki kurmak zorunda kalabilir. Bu tip sistemlerdeki normal yıldızların davranışlarını ölçmek yıldız kalıntısını "tartmak" için faydalı bir teknik olsa da, kalıntının etrafındaki yoğun kütle çekimi alanı, özellikle ikincil yıldız ömrünün sonuna yaklaşınca ve şişerek bir kırmızı deve dönüşünce, çeşitli ekstrem olaylara neden olabilir.

Dev yıldızın ince dış katmanı komşusu tarafından bükülüp çekilmeye ve kalıntıya doğru döne döne yaklaşarak bir "toplanma diski" yaratmaya özellikle müsaittir. Beyaz cüce kalıntıların durumunda ortaya bir nova sistemi (bkz. s. 336) çıkabilir. Nötron yıldızının ya da kara deliğin gelgit kuvveti ise diskin ısısını milyonlarca dereceye çıkartarak X-ışını ikilisi denen bir sistem oluşturur.

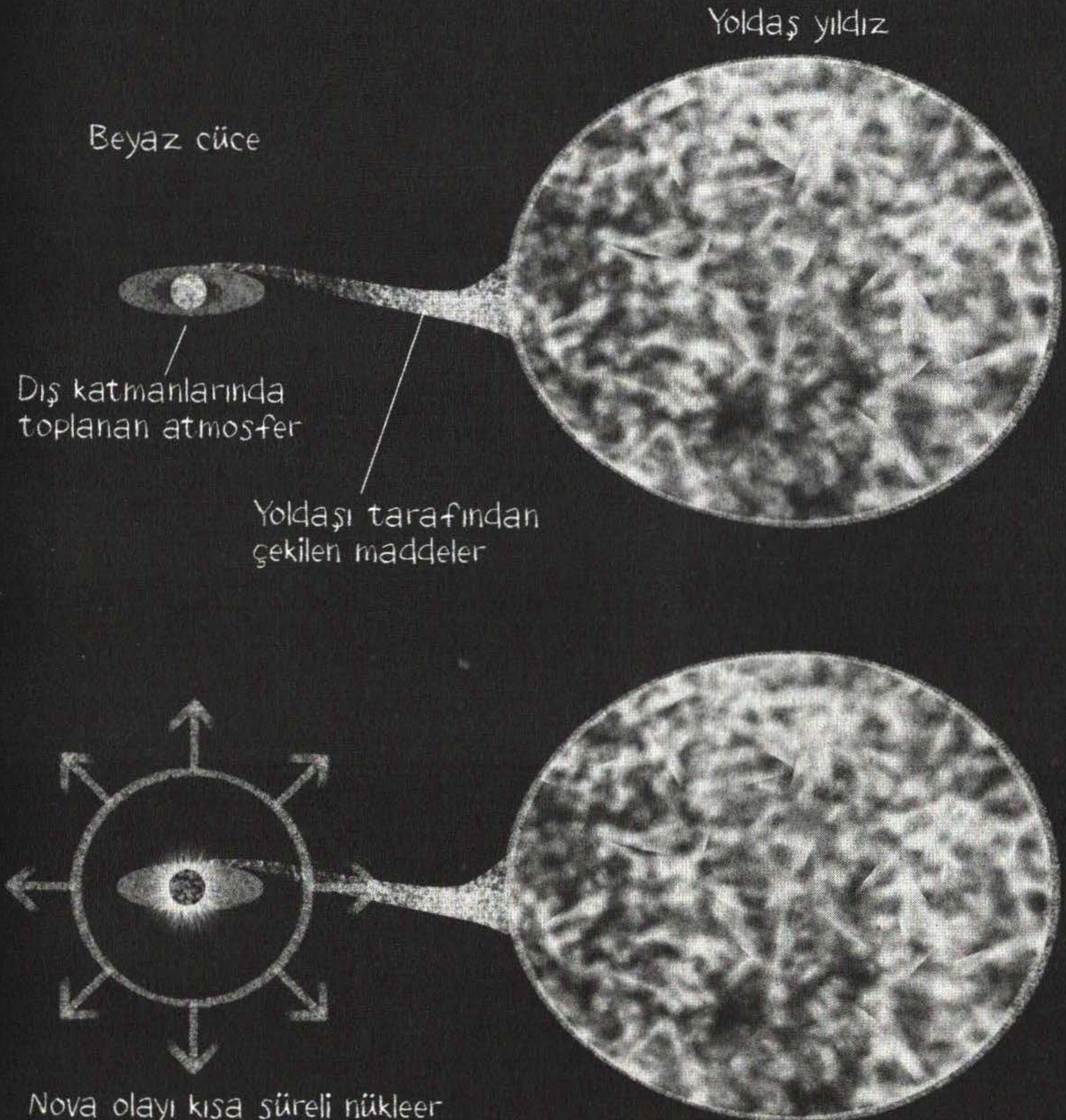


Sanatçının, kendisinden daha büyük ama daha az kütleye sahip yoldaşının atmosferinden madde çeken yoğun bir yıldız kalıntısını betimlediği bir resim

# Nova Sistemleri

Nova, büyük kütleli öge evrimleşerek beyaz cüce olurken aslen daha küçük kütleli olan ögenin kırmızı deve dönüşmüş olduğu bir çift yıldız sistemidir. Kırmızı devin boyutu şişerek arttıkça beyaz cüce onun hidrojen yönünden zengin dış katmanlarını kendisine doğru çeker ve yoğun yıldız kalıntısının yüzeyine sarmal şeklinde çökerek sıcak bir "atmosfer"e dönüşen bir gaz akımı yaratır. Bu atmosfer cücenin güçlü yüzey kütle çekimi tarafından sıkıştırılarak iyice yoğunlaşır. Eninde sonunda atmosferdeki koşullar o kadar ekstrem bir hâl alır ki, Güneş benzeri yıldızların merkezindekileri andırırlar ve birikmiş gazı birkaç haftada yakıp bitiren muazzam nükleer füzyon patlamalarını tetiklerler.

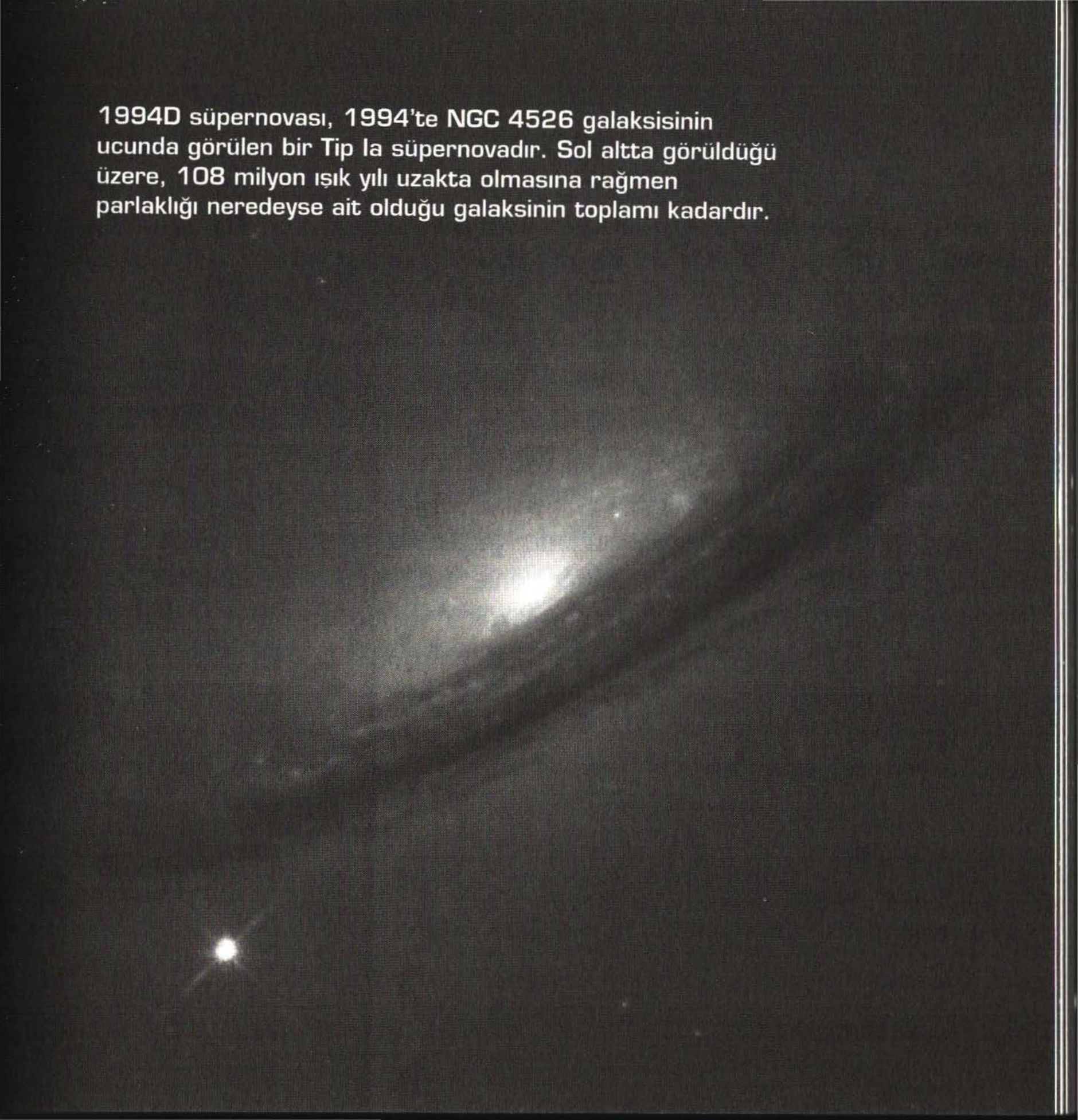
Nova patlaması yıldız sisteminin toplam ışık miktarını on bin kat arttırabilir ve sistemin evriminde kısa bir döneme karşılık gelen tek seferlik bir olay olabildiği gibi, birkaç on yılda bir gerçekleşen patlamalarla uzun süreli ve tekrarlayan bir olay da olabilir.


Yoldaş yıldız
Beyaz cüce
Dış katmanlarında
toplanan atmosfer
Yoldaşı tarafından
çekilen maddeler
Nova olayı kısa süreli nükleer
füzyon patlamasında
atmosferi yakarak tüketir

# Tip Ia Süpernovalar

Süpernova patlamalarının çoğu büyük kütleli bir yıldızın ani ölümünü ve çekirdeğinin çöküşüne işaret eder (bkz. s. 324), ancak Tip Ia süpernovalar nedenleri bambaşka olan özel bir sınıftır. Beyaz cüce ögeleri üst "Chandrasekhar limiti"ne (beyaz cüceler için Güneş kütlesinin 1,4 katı; bkz. s. 328) yakın olan nova sistemlerinde (bkz. s. 336) gerçekleşirler.

Eğer beyaz cüceler yeterince madde toplayarak bu sınırı aşarlarsa, olağanüstü bir sonuç doğar. Kütle çekimi o zamana dek kendisini içeriden destekleyen "dejenere elektron basıncı"nın üstüne çıktıkça, beyaz cücenin karbonunu saniyeler içinde yakan ve süpernova patlamasını tetikleyen bir nükleer füzyon sızıntısı başlar. Bu tür süpernova süreçleri her zaman belli bir kütleye sahip yıldızlarda gerçekleştiği için, serbest kalan enerji miktarı ve ulaşılan parlaklık noktası hep aynıdır. Bu yüzden uzak galaksilerdeki Tip Ia süpernovalar evrenin büyüklüğünü ölçmek için kıymetli "standart mumlar" olarak kullanılırlar (bkz. s. 402).



1994D süpernovası, 1994'te NGC 4526 galaksisinin ucunda görülen bir Tip Ia süpernovadır. Sol altta görüldüğü üzere, 108 milyon ışık yılı uzakta olmasına rağmen parlaklığı neredeyse ait olduğu galaksinin toplamı kadardır.

# Galaksiler

Antik Yunan gök bilimciler geceleri gökyüzündeki soluk ışıklardan oluşan geniş kuşağı, dökülmüş süt olarak görüp ona *Via Galactea* ya da Milky Way[1] (Samanyolu) adını verdiler; "galaksi" kelimesi buradan türedi. Günümüzde, Samanyolu'nun Güneş sistemimizin yıldızlardan oluşan büyük, basık bir diskin dış bölgelerindeki konumundan kaynaklanan bir geometrik olgu olduğunu biliyoruz. Binlerce ışık yılına yayılan uzak yıldız bulutlarına doğru belli bir yönde baktığımızda, galaksi düzleminin hizası boyunca bakmış oluyoruz. Diğer yönlere baktığımızdaysa galaktik düzlemimizin içinden bakarak, galaksinin içinde bulunduğumuz bölgedeki görece dağınık yıldızları aşarak galaksiler arası uzayın engin boşluğunu görüyoruz.

Gökyüzünün bu bölgesinde bulunan ilginç sarmallar, bulutlar ve yıldız toplarının kendi içinde bağımsız galaksiler oldukları yirminci yüzyılın başlarında, büyük ölçüde Edwin Hubble'ın uzaklıklarını saptamak için Sefe değişen yıldızlarını kullanması sayesinde (bkz. s. 348) tespit edildi. Hubble ayrıca evrenin genel genişlemesini

1 İngilizcesi: Sütlü Yol (ç.n.)

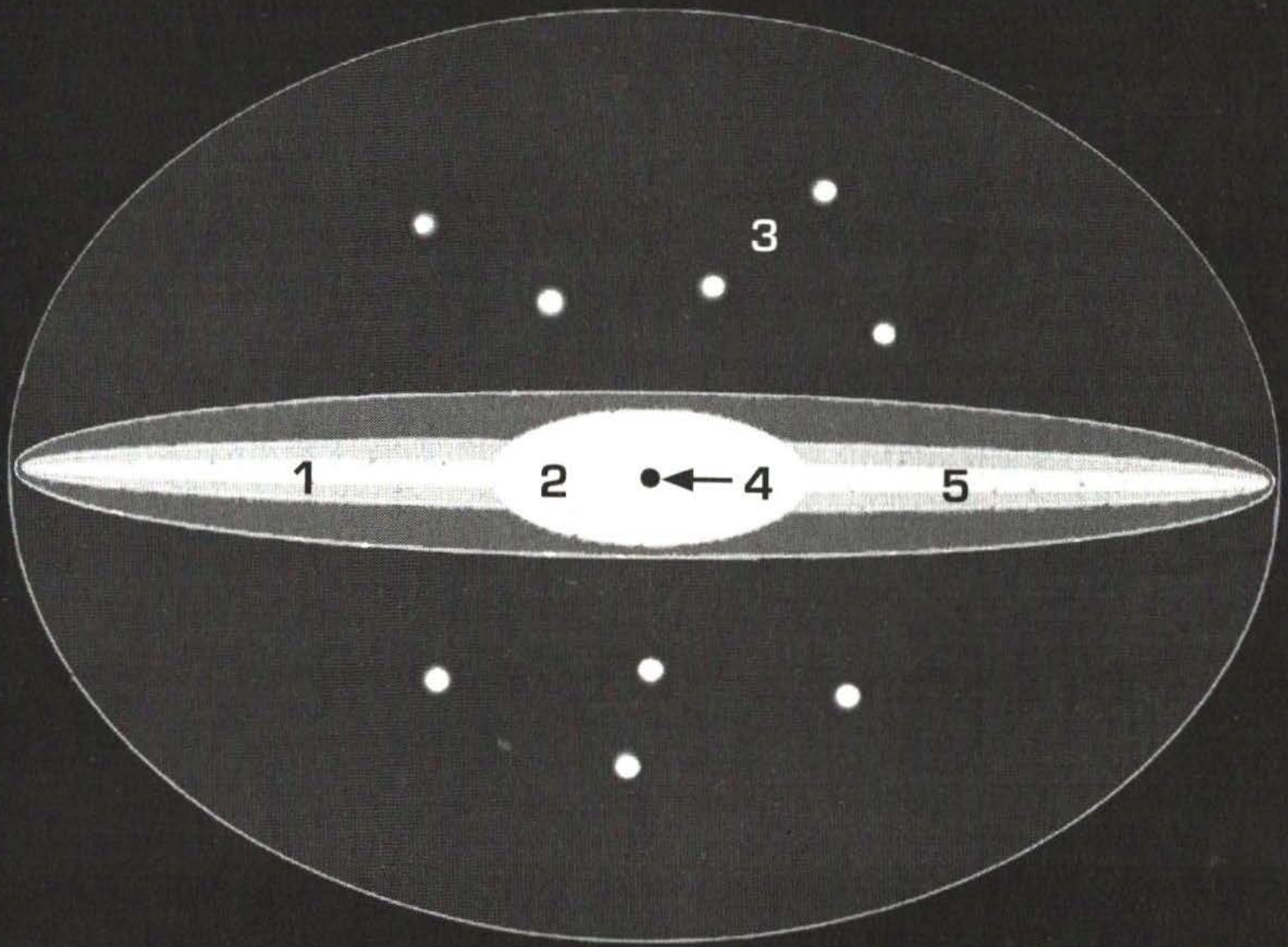
(bkz. s. 348) keşfetti ve belirgin galaksi gruplarını sarmallar, çubuklu sarmallar, eliptikler, merceksiler ve düzensizler olarak ayırt ederek farklı galaksi türlerini ilk sınıflandıran kişi oldu (galaksimizdeki yıldız ve gaz dağılımının haritasını çıkarmak için sarfedilen üstün çabalar sayesinde artık Samanyolu'nun bir çubuklu sarmal olduğunu biliyoruz).

Hubble'ın temel şeması günümüzde çoğu zaman onun geliştirdiği "çatal" diyagramı (bkz. s. 357) eşliğinde hâlâ kullanılmaktadır. Kısa süre sonra ortaya çıkan ve bu şemaya uymayan diğer galaksiler "tuhaflar" olarak sınıflandırılmıştır. Bunların birçoğunun çarpışma, birleşme ve galaksiler arası yakın temasın sonucu olduğu ve tek tek Hubble şemasına uyduğu kanıtlanmıştır. Nispeten sıkışık dağılımları ve birbirleri üzerindeki kütle çekim etkileri nedeniyle galaksi etkileşimlerinin tahmin edilenden çok daha yaygın olduğu ortaya çıkmıştır. Bunlar genellikle galaksi çekirdeği bölgesinde ani aktiviteler tetikleyerek alışılmışın dışında bir parlaklığa sahip "etkin galaksiler" (bkz. s. 366) yaratırlar. Hubble çeşitli galaksilerin eliptikten sarmala doğru basit bir evrimsel ilerleme sergilediğini düşünse de (çatal diyagramından anlaşılır), sonradan yapılan araştırmalar bu düşünceyi alaşağı ederek galaksi çarpışmalarının burada da önemli bir rol oynadığını ortaya çıkarmıştır (bkz. s. 372).

# Samanyolu

En güncel bulgulara göre Samanyolu galaksimiz yaklaşık 100 bin ışık yılı genişliğinde, yıldızlardan oluşan görünür bir diski olan devasa bir sarmal yapıya sahiptir. Merkezinde ise çapı yaklaşık 20 bin ışık yılı olan devasa bir ışık topu vardır ve iki ucundan yıldızlardan oluşan çubuklar çıkar. Görünür galaksinin tümünün etrafı ise geniş bir "hale" bölgesiyle çevrilidir. Küresel kümeler (bkz. s. 308) çoğunlukla burada bulunurlar. Ayrıca galaksinin genel dönüşünü etkileyen (bkz. s. 400) ve kütlesinin belki de yüzde doksanını oluşturan görünmez "karanlık madde"den de burada büyük miktarda bulunur.

Samanyolu tahmini olarak 400 milyar yıldıza ev sahipliği yapar. Farklı bölgeler arasında yaş ve kimyasal bileşim yönünden önemli farklılıklar vardır. Diskte ağırlıklı olarak nispeten genç, metal yönünden zengin "Öbek I" yıldızları bulunur; en genç ve kısa ömürlü olanlar spiralin kollarında toplanmışlardır. Galaksi merkezinde ve küresel kümelerde ise çoğunlukla "Öbek II" olarak bilinen küçük ve yaşlı kırmızı ve sarı yıldızlar bulunur.




## Samanyolu galaksisinin yapısı

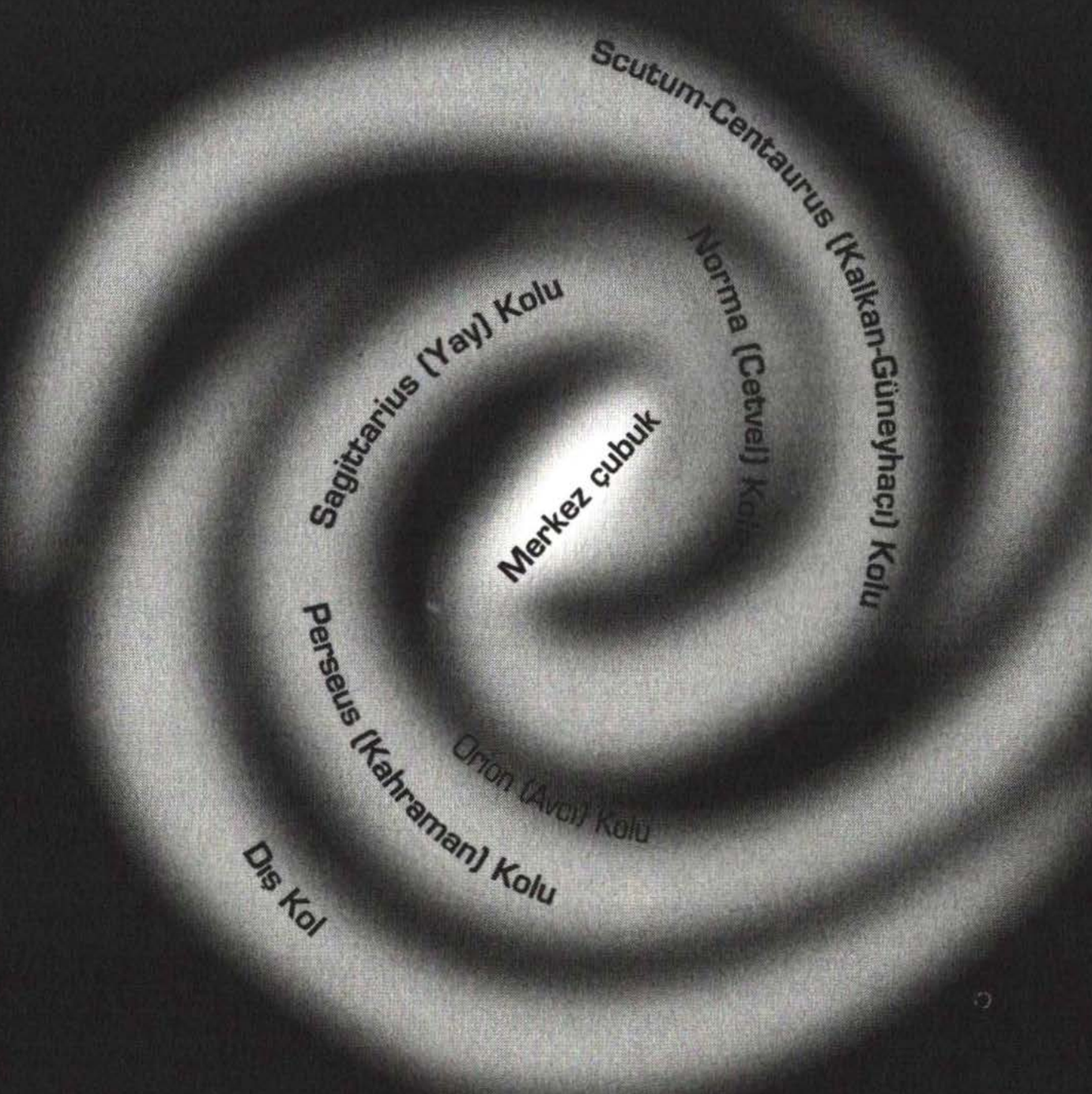
1 Galaksi diski
2 Galaksi şişkinliği
3 Küresel yıldız kümelerini içeren hale
4 Dev kütleli kara delik
5 Güneş sisteminin konumu

# Sarmal Kollar

Galaksimizin ve bizimki gibi birçok galaksinin merkezinden dönerek çıkan sarmal kollar yıldızlarla dolu bir diskin kuşkusuz en parlak alanlarıdır. Göze bu denli çarpmalarını parlak genç yıldızlardan oluşan açık kümelere ve pembe renkli parlak salma nebulalarına borçludurlar (bkz. s. 306 ve 276). Fakat uyumlu cisimler değildirler; eğer öyle olsaydılar kollar birkaç dönüşten sonra galaksinin merkezine dolanırdı.

Kısa ömürlü parlak, büyük kütleli yıldızların doğdukları yerin yakınında yaşayıp ölmeleri, sarmal kolların yoğun yıldız oluşum bölgeleri olduklarını kanıtlar. Gök bilimciler kolların aslında "yoğunluk dalgaları" olduklarını düşünürler; bu galaktik trafik sıkışıklıklarında merkezin etrafında yörünge çizen cisimler yavaşlayıp yoğun hâlde toplanarak yıldız doğumu ve varlıkları dikkat çeken parlak kümelerin oluşum süreçlerini başlatırlar. Bu dalgalara diskin içindeki yörüngeleri tek tek etkileyen yakındaki galaksilerin kütle çekiminin sebep olduğu düşünülmektedir.

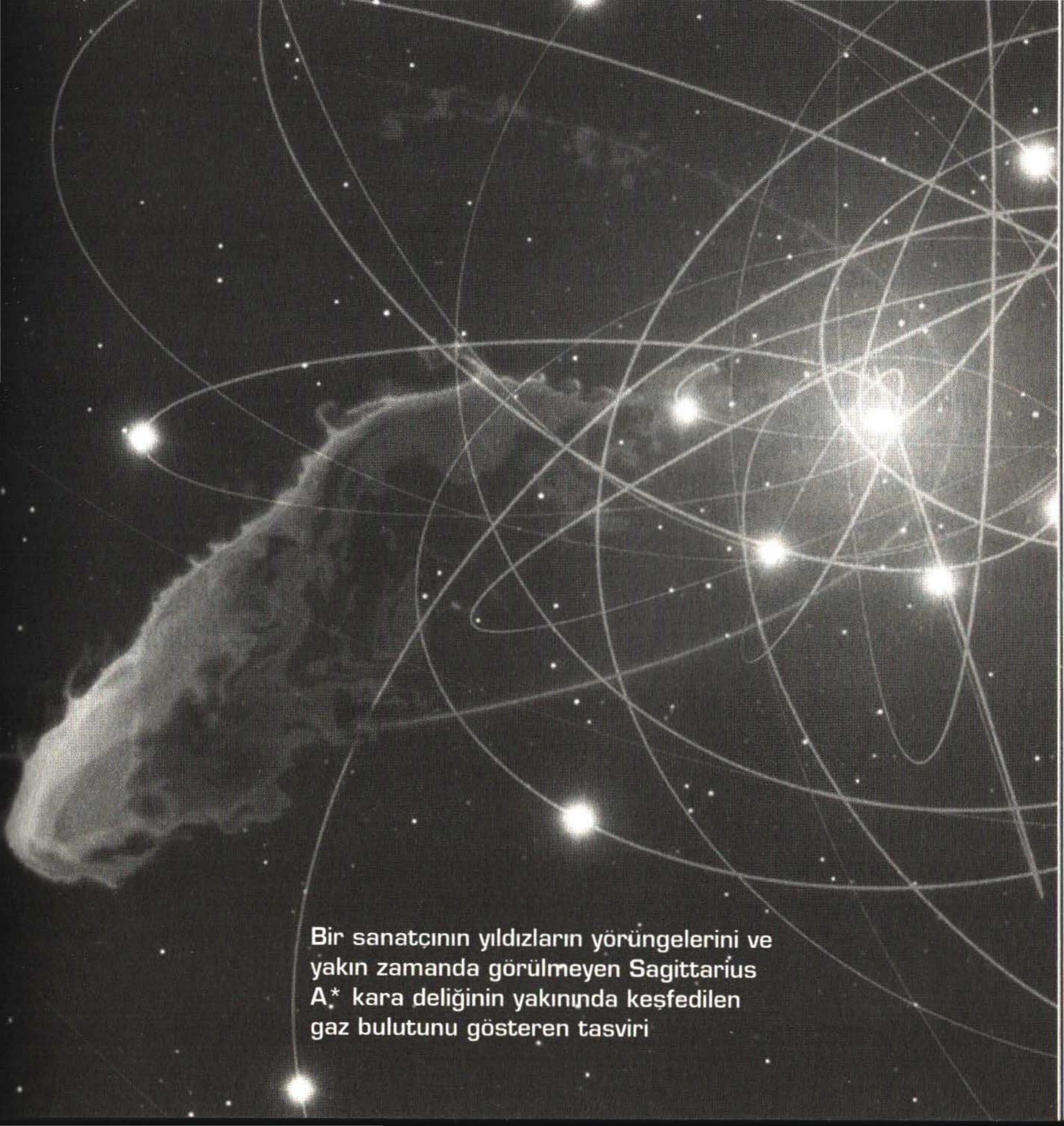
Samanyolu galaksisinin sadeleştirilmiş kuş bakışı görüntüsü



# Galaksi Merkezi

Galaksimizin merkezi 20 bin ışık yılı genişliğindeki bir bölgede yoğunlaşmış yıldızlardan oluşan dev bir toptur. Burada yaşlı kırmızı ve sarı "Öbek II" yıldızlar çoğunluktadır ama galaksi merkezine 26 bin ışık yılı mesafedeki en yakın bölgelerde bilinen en büyük yıldızların çoğunu içeren açık yıldız kümeleri vardır. Ayrıca girdap gibi dönen aşırı sıcak gazlar, aradaki yıldız bulutlarının içinden X-ışını dalga boylarında görülür.

Galaksi merkezinin etrafındaki türbülansın nedeni Samanyolu'nun kalbinde yatan sırdır: Bu, tahmini kütlesi Güneş'in 4,5 milyon katı olan "dev kütleli" koca bir kara deliktir. Gök bilimciler günümüzde çoğu galaksinin merkezinde, oluşumu sırasında yaratılan ve çevredeki yıldız, gaz ve tozları yuttukça dikkat çekici faaliyetlere neden olan (bkz. s. 366) benzer canavarların yattığına inanırlar. Samanyolu'nun kara deliği, faal olmamasına rağmen olağanüstü bir hızla etrafında yörünge çizen yıldızlar üzerindeki kütle çekim etkisi sayesinde ölçülebilir.



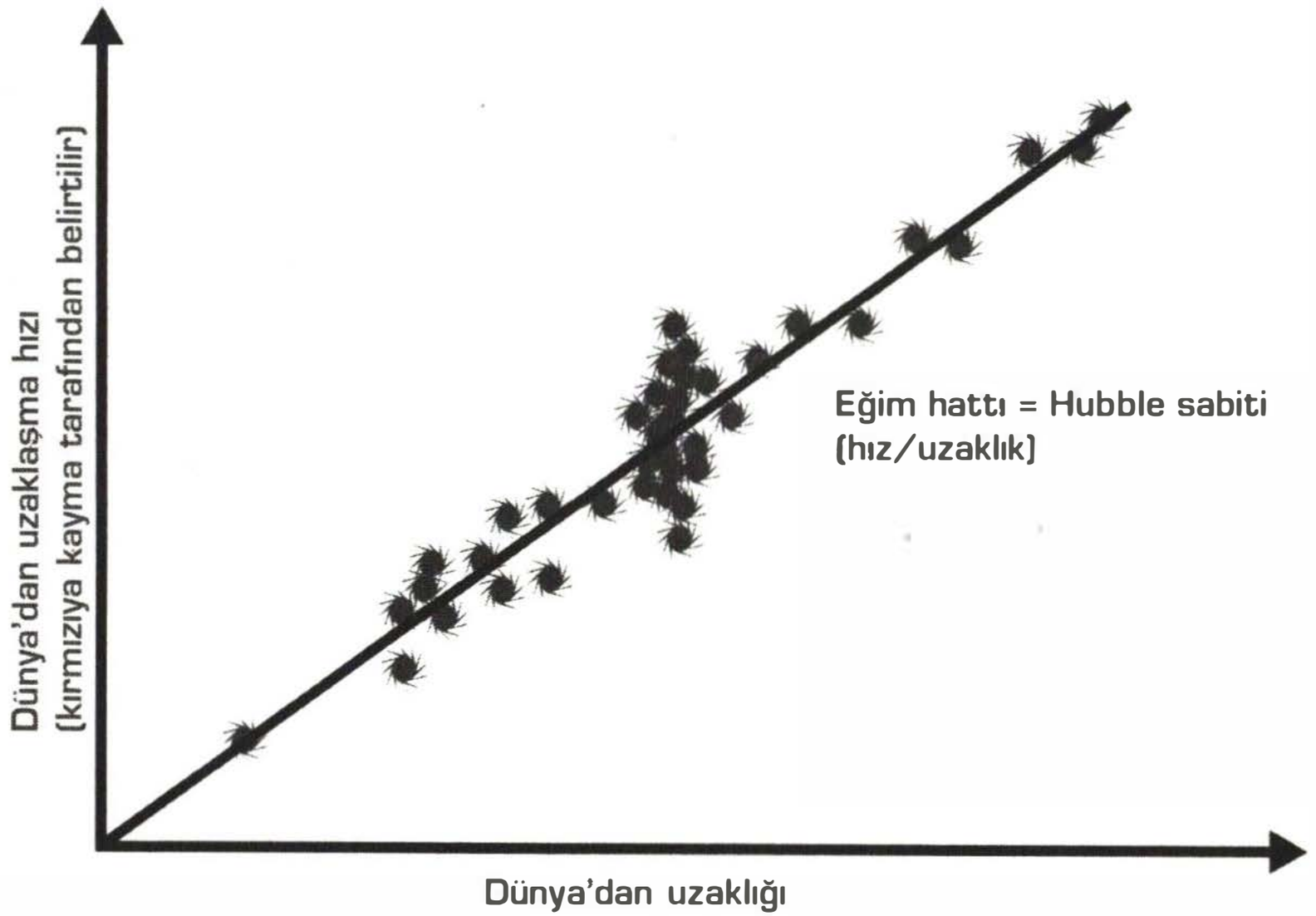
Bir sanatçının yıldızların yörüngelerini ve yakın zamanda görülmeyen Sagittarius A* kara deliğinin yakınında keşfedilen gaz bulutunu gösteren tasviri

# Galaksilerin Uzaklığı

Kendimizinki dışındaki galaksiler o kadar uzaktadırlar ki, mesafelerini paralaks gibi geleneksel tekniklerle (bkz. s. 258) ölçmek imkânsızdır. Gök bilimciler bunun yerine görece yakın galaksiler için, zonklama döngüleri ortalama parlaklıklarıyla bağlantılı olan sarı üstdevler olan Sefe değişen yıldızlarına bakarlar. Bir Sefe, devri ne kadar uzun olursa o kadar parlak olur; böylece uzak bir Sefe'nin döngüsünü ölçüp gerçek parlaklığını Dünya'dan görülen parlaklığıyla karşılaştırarak uzaklığını kestirmek mümkündür. Bilinmeyen bir mesafeyi ölçmek için parlaklığı bilinen bir cismi kullanmayı içeren bu yaklaşıma "standart mum" tekniği denir.

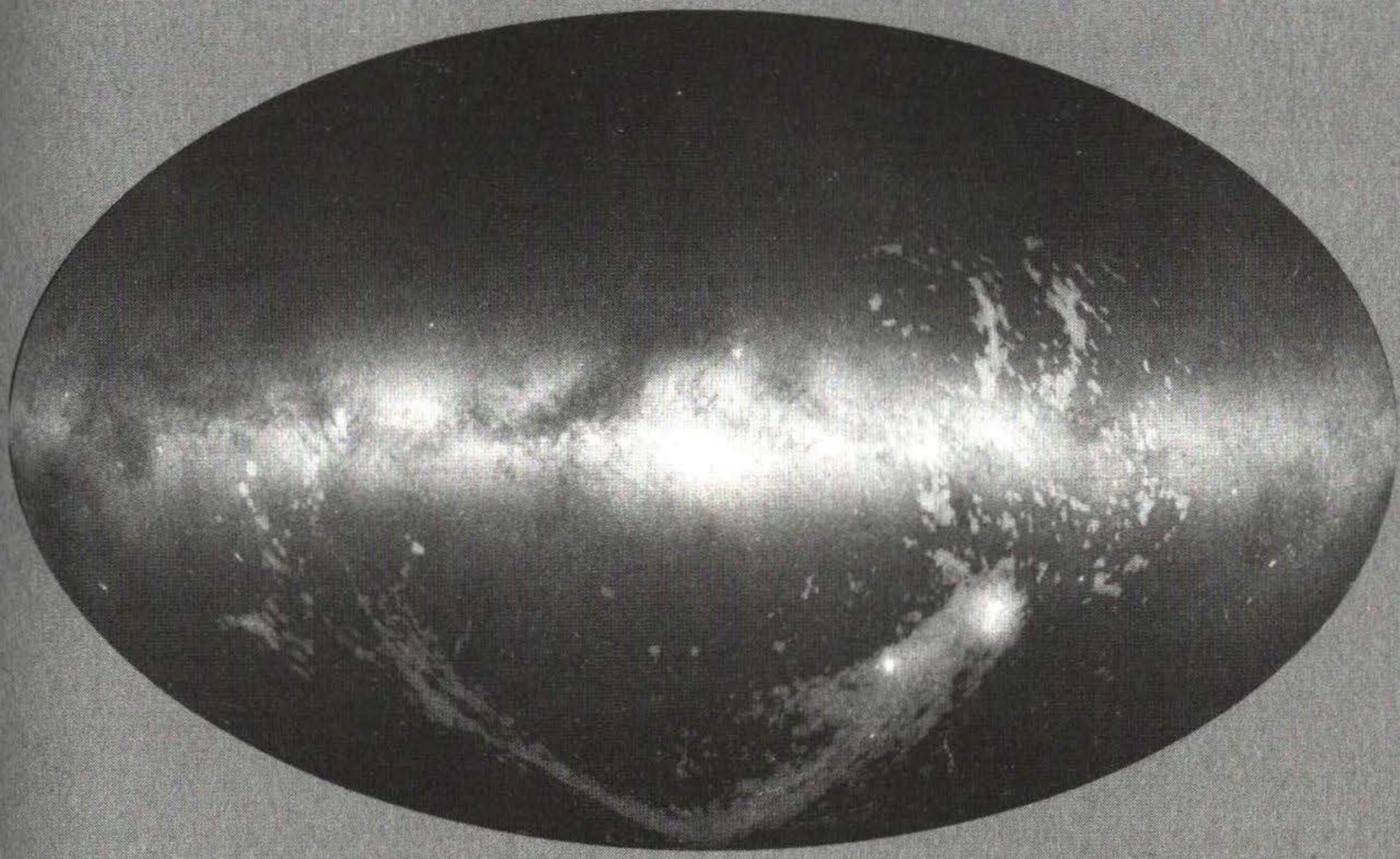
Fakat kozmik çevremizin ötesi için gök bilimciler diğer tekniklere başvurmak zorundalar. Nadir görülen Tip Ia süpernovalar (bkz. s. 338) daha uzak mesafeler için standart mumlar olarak kullanılabilirler (bkz. s. 402) ve evrenin genel yayılımı sayesinde bir galaksinin kırmızıya kayması, o galaksinin Dünya'dan uzaklığının kabaca anlaşılmasını sağlayabilir (bkz. s. 384).

Hubble Kanunu bir galaksinin "durgunluk hızı"nı onun Dünya'dan uzaklığıyla ilişkilendirir ve bunların yaklaşık olarak 1 milyon ışık yılı için saniyede 21,5 km (13,5 mil) olan Hubble Sabiti sayesinde bağlantılı olduklarını ortaya koyar.



# Uydu Galaksiler

Samanyolu'muzun güçlü kütle çekimi bir düzineden fazla küçük yıldız bulutunu yörüngesine hapseder. Bunlardan en büyük ve meşhur olanları Dünya'dan sırasıyla yaklaşık 160 bin ve 200 bin ışık yılı uzaktaki Büyük ve Küçük Macellan bulutlarıdır. Bu galaksiler güneydeki Dordado ve Tucana takımyıldızlarında (bkz. s. 246 ve 252) izole yıldız yığınları gibi görünürler, bizim galaksimizin etrafında bir milyon yıl süren neredeyse özdeş yörüngeler çizerler ve peşlerinde Macellan Akıntısı olarak bilinen, yıldız ve gazlardan oluşan soluk bir iz bırakırlar. Dünya'ya çok daha yakın ama daha küçük olan Canis Major Cüce Galaksisi ve Sagittarius Düzensiz Eliptik Galaksisi yaklaşık olarak 25 bin ve 70 bin ışık yılı uzaklıktadır. Bu soluk yıldız bulutları 1994 ve 2003'te yıldız dağılımındaki beklenmedik "aşırı-yoğunluk"lar olarak keşfedildiler; yörüngeleri geçmişte doğrudan Samanyolu'nun içinden geçtiklerine ve gelecekte yine aynısını yapacaklarına işaret eder. Bunun gibi çarpışmalar küçük galaksileri yıldızlarından ayırsa da Samanyolu'nun sarmal yapısını korumasına yardımcı olabilir (bkz. s. 344).



Gökyüzünün Dünya'dan görülen görüntüsünün merkezinde Samanyolu'nun düzlemi bulunur, Macellan Bulutları ve radyo-yayan gaz akıntıları güneyde kalır.

# Yerel Grup

Galaksiler toplu hâlde var olurlar. Kendilerini oluşturan maddenin dağılımı galaksilerin kütle çekimleriyle birleşince kümeler kurmaya yatkın olurlar (bkz. s. 370 ve 374). Samanyolu sarmalımız Yerel Grup adlı, 10 milyon ışık yılı genişliğindeki bölgede en az elli dört galaksi barındıran görece küçük bir topluluğun büyük bir üyesidir. Diğer büyük ögeleri Andromeda Galaksisi (Messier 31, bkz. s. 31 ve 160) ve Triangulum Galaksisi'dir (M33, bkz. s. 166). M31, kütlesi Samanyolu'ndan daha küçük olsa da ondan hem daha büyük hem de daha parlak bir çubuklu sarmaldır, M33 ise daha küçük ve daha az belirgin bir sarmaldır ve M31'in etrafında yörünge çizdiği düşünülmektedir.

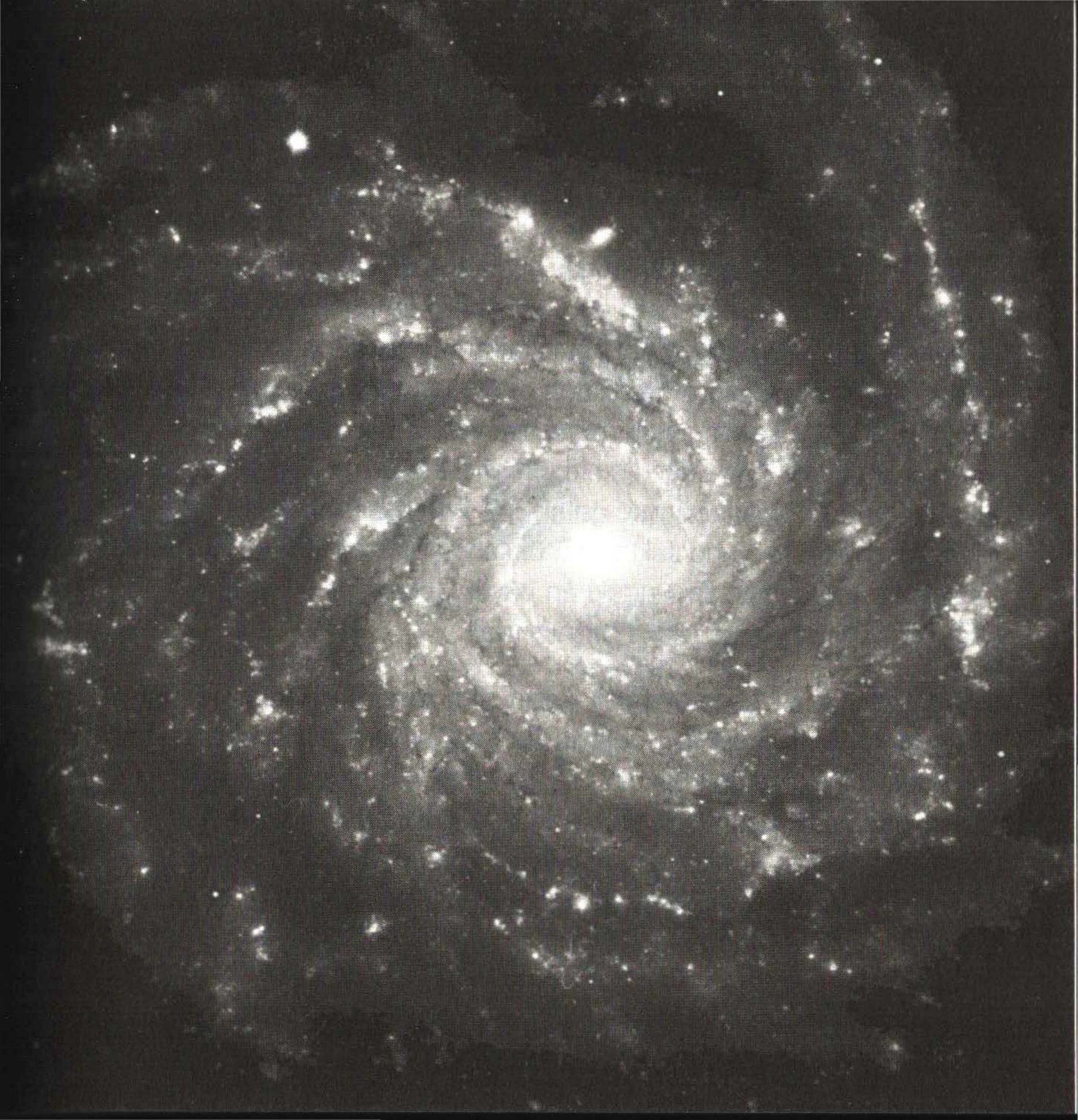
Hem Samanyolu'nun hem de M31'in azımsanamayacak sayıda etrafında yörünge çizen küçük uydu galaksileri vardır. Diğer küçük galaksiler de grubun üyesi sayılırlar. Bu iki büyük galaksi karşılıklı çekim kuvvetlerinden ötürü birbirlerine doğru düşüş hâlindedir ve bundan yaklaşık 5 milyon sonra çarpışıp birleşmeye mahkûmdur.



# Sarmal Galaksiler

Uzayın güzel görünümlü fırıldakları olan sarmallar, yakınımızdaki yıldız sistemlerinin yüzde altmışını oluşturan belki de arketipik galaksilerdir. Boyutları ise ciddi ölçüde çeşitlilik gösterir: Genişliği 100 bin ışık yılı olan Samanyolu'nun boyutu en küçük sarmalların belki de üç katıdır.

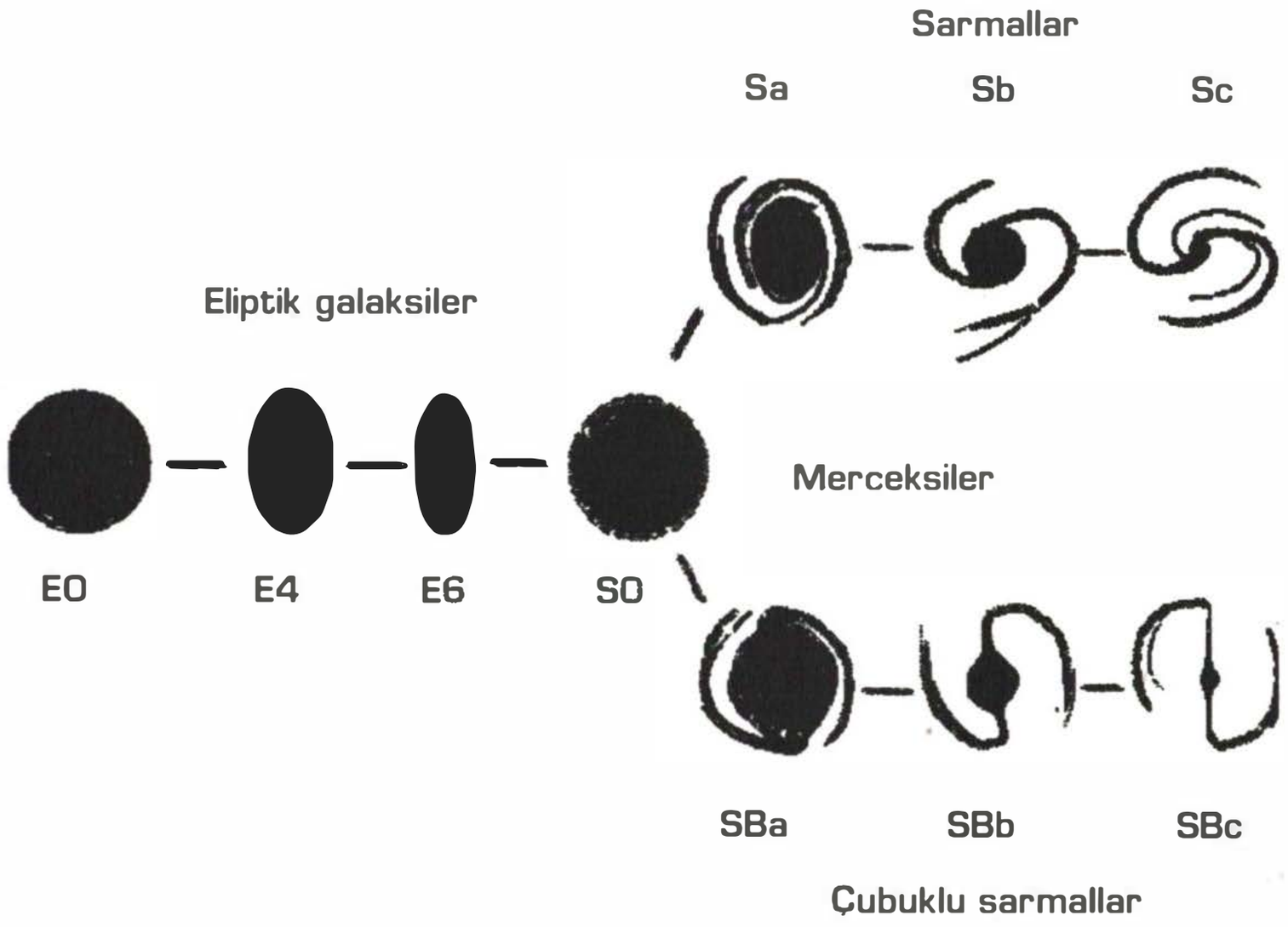
Sarmallar iki geniş gruba ayrılırlar: Bunlar kolların doğrudan merkezden çıktığı normal sarmallar ("S" sınıfı) ve kolların galaksi merkezi boyunca yayılan düz "çubuğun" uçlarından çıktığı çubuklu sarmallardır ("SB" sınıfı). Sarmal kollar, merkezin etrafında yörünge çizen yassı yıldız diskindeki en parlak ve belirgin bölgeler olmanın yanı sıra parlaklık ve netlik bakımından büyük değişiklikler gösterirler. "Büyük tasarım" sarmallarının büyük olasılıkla komşu galaksilerle etkileşimi olan belirgin kolları varken (bkz. s. 362), "topaklanmış" sarmalların yıldız oluşum yığınları daha aralıklıdır. Bu durum muhtemelen büyük ölçekli sarmal yapının yerel etkilerin tesirinde kalacak kadar zayıf olmasıyla alakalıdır.



# Eliptik Galaksiler

Yaşlı, kırmızı ve sarı renkli dev yıldız topları olan eliptik galaksiler içlerinde hem en büyük hem de en küçük yıldız sistemlerini barındırır ve tüm galaksilerin yaklaşık yüzde yirmisine oluştururlar. Kusursuz kürelerden uzun rugby toplarına ve hatta puro şekillerine kadar çeşitli biçimleri vardır (uzama sıralarına göre "E0"dan "E7"ye doğru sınıflandırılırlar). En küçük "cüce eliptik" ya da "cüce küremsi" galaksiler yalnızca birkaç bin ışık yılı genişliğindedir ve yoğunlukları on binlerce ile milyarlarca yıldız arasında değişebilir. Evrendeki en büyük galaksiler olan "dev eliptikler" trilyonlarca yıldız barındırırlar.

Eliptik galaksiler, sarmal galaksilerin tam tersine çok az yıldızlar arası gaz ve toz içerirler; dolayısıyla galaksilerin yıldız oluşum maddeleri bakımından zengin olduğu antik zamanlardan beri parlayan küçük, uzun ömürlü "Öbek II" yıldızlar ağırlıktadır. Tek yıldızlar galaksinin merkezî bölgelerinin etrafında çeşitli eğimlerde eliptik yörüngeler çizerler ve sayısız yörüngenin üst üste binmesi galaksiye şeklini verir.




Edwin Hubble'ın küresel E0'dan uzayan E6'ya doğru giden meşhur galaksi sınıflandırma şeması sarmalları (S) ve çubuklu sarmalları (SB) kollarının sıkılığıyla, eliptikleri (E) de şekilleriyle tanımlar.

# Düzensiz Galaksiler

Sarmallar ve eliptiklerden sonra en büyük üçüncü galaksi grubu düzensizlerdir ("Irr" ile gösterilirler). Günümüzde evrendeki tüm galaksilerin dörtte birini oluştursalar da, önceden sayılarının çok daha fazla olduğu düşünülmektedir (bkz. s. 380).

Düzensizler isimlerinden de anlaşılacağı üzere belli bir şekilleri olmayan yıldızlar ile gaz ve toz bulutlarıdır ve genellikle iki kategoriye ayrılırlar. Irr-II galaksilerinin hiçbir yapısı yokken, Samanyolu'nun en büyük uydusu olan Büyük Macellan Bulutu gibi Irr-I galaksileri kollar ve merkez çubuğu gibi yeni oluşan sarmal galaksilerin özelliklerine benzer belirtiler gösterirler. Çoğu sarmaldan daha küçük olmalarına rağmen, süregelen yıldız oluşu alanları ve kısa ömürlü ama parlak ağır yıldızlar bakımından zengin oldukları için boyutlarına oranla epey parlak olabilirler. En göz alıcı düzensiz "yıldız patlama" galaksilerinde yıldız oluşumu bizimki gibi normal galaksilere kıyasla çok daha hızlı gerçekleşir.

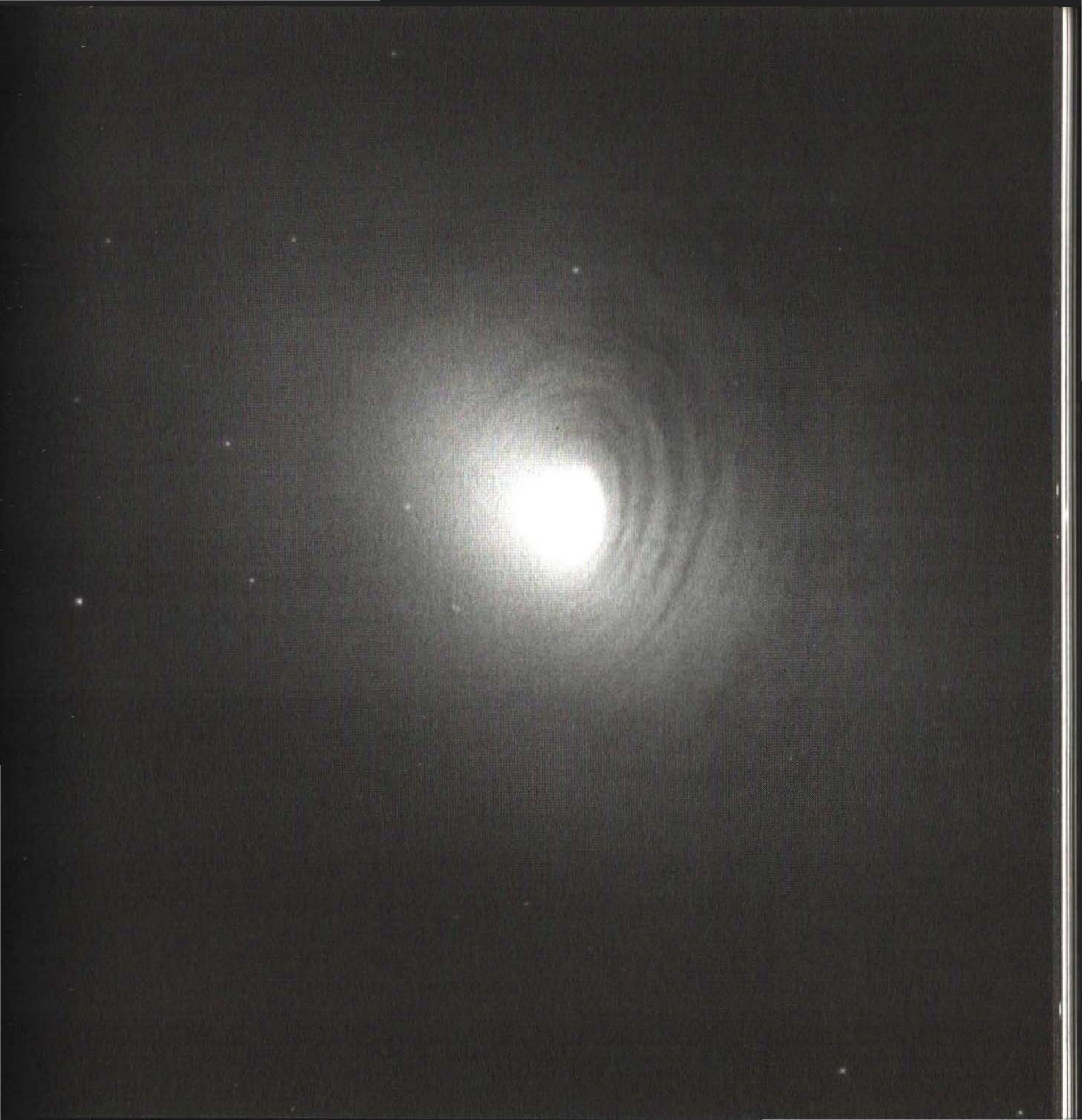


Camelopardalis'teki NGC 1569, yakındaki diğer galaksilerle etkileşime geçtikçe büyük bir yıldız patlaması yaşayan bir düzensiz galaksidir.

# Merceksi Galaksiler

Nadir görülen, orta seviye bir galaksi sınıfı olan merceksilerin yaşlı kırmızı ve sarı yıldızlardan oluşan büyük merkezleri ve orta yaşlı yıldızlar ile tozdan oluşan yassı bir diskleri vardır; fakat yıldızlar arası gaz miktarı azdır. Bu nedenle ya etrafında yıldız diski olan bir eliptik galaksiye ya da sarmal kolları olmayan bir sarmal galaksiye benzerler (ve gerçekten de "S0" galaksileri olarak sınıflandırırlar). Bazılarında merkezlerinden çıkan yıldız çubukları ve hatta sarmal kol öncüsü olabilecek belli belirsiz "ince kollar" görülür.

Merceksilerin kökenini açıklamayı amaçlayan iki rakip teori bulunsa da, ikisi de tamanlamen tatmin edici olmaktan uzaktır. İlki, gazlarının çoğunu tüketmiş yaşlı sarmal galaksilerden ibaret oldukları ve bu yüzden sarmal kollarda yeni yıldızlar oluşturmayı bıraktıkları yönündedir. Fakat merkezlerinin boyutlarını açıklamaya yetmez. Diğeri ise, yıldızlar arası gazlarını etrafa yayıp bitiren galaksi birleşmelerinden oluştuklarını (bkz. s. 372) ve merkezlerini şişirip büyütürken yıldız oluşumunu erkenden durdurduklarını öne sürer. Fakat bu da disk yapısının korunmuş olmasını açıklayamaz.



# Galaksi Çarpışmaları

Büyük galaksileri ayıran yüz binlerce ışık yılı, normal ölçüm ölçekleri için çok büyük mesafeler olsa da, galaksiler kendi koşullarına göre aslında dip dibelerdir. Bunun sonucunda galaksiler arasındaki çarpışmalar, örneğin yıldız ya da gezegen çarpışmalarından çok daha yaygındır. Son otuz yılda gelişen teleskop teknolojisi sayesinde önceden herhangi bir sınıflandırmaya ait olmayan garip görünüşlü "tuhaf" galaksilerin galaksi çarpışmaları ve birleşmelerinin sonucu olduğunu artık biliyoruz. Komşularının yakın temasları sırasında ortaya çıkan güçlü gelgitlerden başka birçok galaksi etkilenmektedir.

Çarpışmalar ve etkileşimlerin galaksilerin evriminde önemli rol oynadığı düşünülmektedir (bkz. s. 372). Bunlar ayrıca "Etkin galaksi çekirdeği" gibi belirli özelliklerin (bkz. s. 366) ve hatta güçlü "büyük tasarım" sarmal yapıların gelişiminden sorumludur.



# Dev Eliptikler

Evrendeki en büyük galaksiler olan dev eliptikler, genişlikleri çeyrek milyon ışık yılını bulan devasa yıldız toplarıdır. Nispeten nadir olan dev eliptikler yalnızca büyük galaksi kümelerinin merkezlerinde bulunurlar (bkz. s. 370). İçlerinden en büyükleri olan, "tip-cD" diye adlandırılan galaksilerin yıldızlardan oluşan halelerinin genişliği 3 milyon ışık yılını bulabilir. Yıldız oluşum gazından büyük ölçüde muaf ve dolayısıyla uzun ömürlü kırmızı ve sarı yıldız ağırlıklı olsalar da, çoğu zaman çekirdeklerinin etrafında güçlü radyo dalgası ve X-ışını kaynakları olarak görünen tuhaf faaliyetler sergilerler (bkz. s. 366).

Dev eliptiklerin galaksi kümelerinin kalabalık merkezlerindeki birçok küçük galaksinin çarpışıp birleşmesiyle oluştukları düşünülür; kütleleriyle birlikte kütle çekim etkileri de artar. Devasa boylarına çarpıştıkları komşularını yutarak erişirler. Çarpışmalar yıldızları elips şeklindeki düzensiz yörüngelere fırlatır ve merkezlerindeki dev kütleli kara deliklere madde besler.



# Etkin Galaksiler

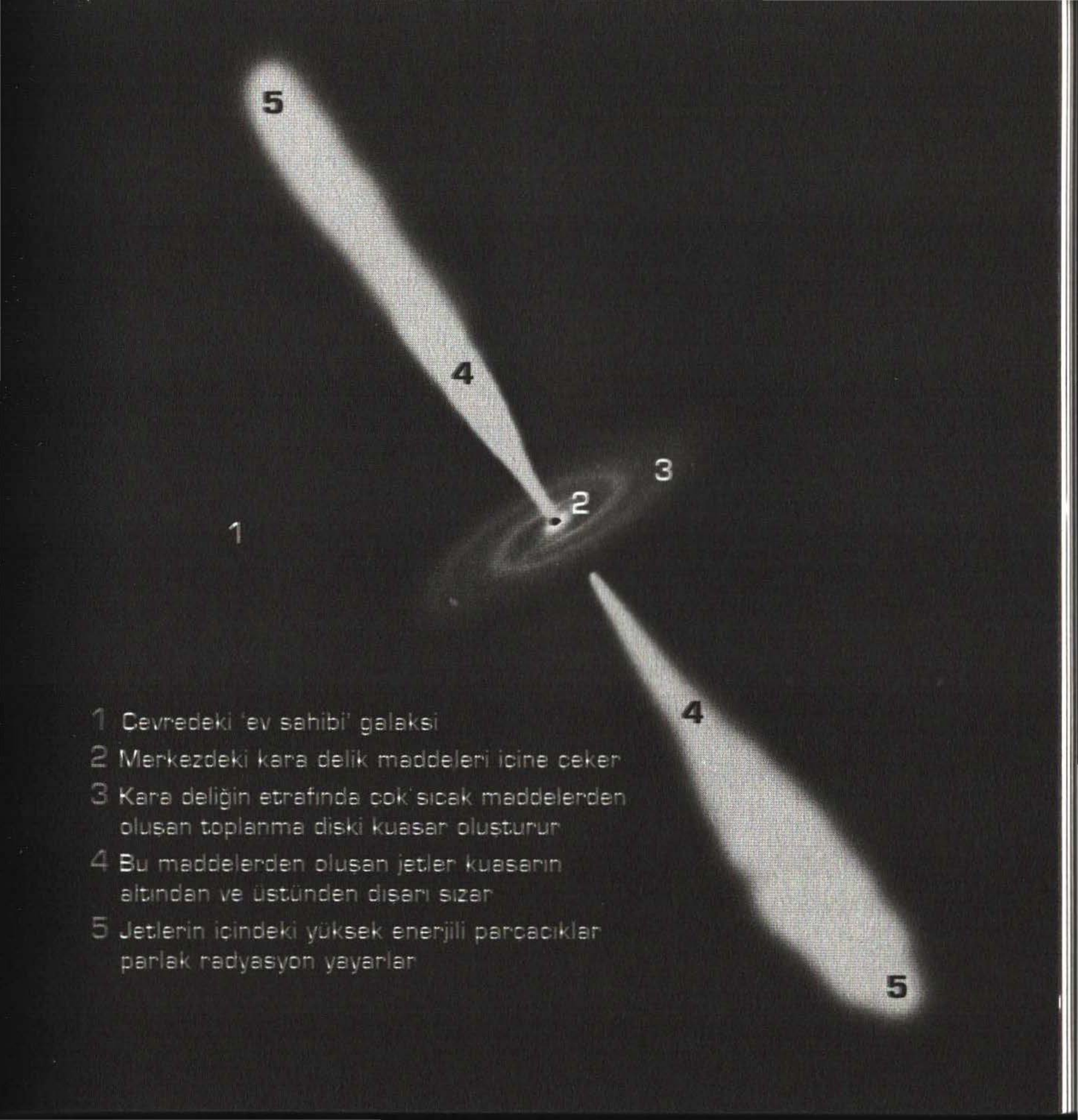
Galaksilerin çoğu parlaklıklarını milyarlarca yıldızın toplam ışığından alırken, bazılarında başka süreçlerin işlediğine dair belirtiler vardır. Bu durum dışında normal olan sarmal galaksilerin bazen merkezlerinde parlak, yıldıza benzer ışık kaynakları görülür ve bunlara Seyfert galaksileri denir. Radyo galaksilerinin etrafı radyo dalgaları yayan gazlardan oluşan hareket hâlindeki bulutlarla çevrilidir; yüz binlerce ışık yılına yayılan bu bulutlar genellikle galaksi çekirdeğine ince jetlerle bağlılardır. Kuasarlar ve blazarlar ise görünüş bakımından yıldıza benzerler ve ürettikleri radyasyon miktarı günden güne değişir. Önceleri sıra dışı "radyo yıldızlar" oldukları düşünülse de, günümüzde evrendeki en uzak galaksilerden bazılarının şaşırtıcı derecede parlak merkezî bölgeleri oldukları bilinmektedir.

Gök bilimciler bütün bu etkin galaksilerin aynı olayın, etkin bir galaksi çekirdeğinin (bkz. s. 368) göstergesi olduğunu düşünürler. Bir galaksinin tam olarak nasıl göründüğü çekirdeğinde gerçekleşen faaliyet miktarına ve sistemin Dünya'ya kendisini hangi açıyla gösterdiğine bağlıdır.



# Etkin Galaksi Çekirdekleri

Yoğun bir parlaklığa sahip, şiddetli bir radyasyon ve yüksek enerji parçacığı kaynağı olan etkin galaksi çekirdeklerine, uzak galaksilerin kalbinde çevrelerindeki gaz, toz ve yıldızları oburca yutan dev kütleli kara deliklerin neden olduğu düşünülür. Güneş sistemi boyutlarındaki kara deliğin kütle çekimine kapılan maddeler gelgit etkileri tarafından parçalanarak bir "toplanma diski" oluşturur. Bu, sıcaklığı milyonlarca derece yükselince yoğun bir görünür ışık ve yüksek enerji radyasyonu kaynağına dönüşür. Kuasarlar, blazarlar ve daha az etkin olan Seyfert galaksilerinin esas ışık kaynağı budur ama çoğu zaman etrafı yoğun simit şeklinde bir toz ve gaz bulutuyla çevrili olduğu için galaksiye yandan bakıldığında görünmez. Merkezdeki kara deliğin etrafındaki karışık manyetik alanlar ise onun içine düşen maddelerin bir kısmını toplar ve yüksek hızlı jetler olarak galaksinin dönme ekseni hizasında dışarı atar. Yakındaki galaksiler arası gaz bulutlarına çarpan bu parçacıklar radyo galaksilerine özgü radyo dalgası yayan dev bulutlar oluştururlar.




1 Çevredeki 'ev sahibi' galaksi

2 Merkezdeki kara delik maddeleri içine çeker

3 Kara deliğin etrafında çok sıcak maddelerden oluşan toplanma diski kuasar oluşturur

4 Bu maddelerden oluşan jetler kuasarın altından ve üstünden dışarı sızar

5 Jetlerin içindeki yüksek enerjili parçacıklar parlak radyasyon yayarlar

# Galaksi Kümeleri

Galaksi kümeleri kendi Yerel Grup'umuz gibi (bkz. s. 352) görece aralıklı olanlarla uzayın uzak noktalarındaki kalabalık bölgeler hâlinde bulunanlar arasında değişebilir. Küçük gruplar birkaç düzine cüce galaksi ve belki bir ya da iki büyük üye içerirken, daha büyük kümeler düzinelerce büyük galaksi ve onlara eşlik eden yüzlerce cüce barındırabilir. Fakat kümeler kayda değer bir şekilde, yoğunlukları ne olursa olsun uzayda benzer (yaklaşık 10 ya da 20 milyon ışık yılı genişliğinde) bir hacim kaplarlar.

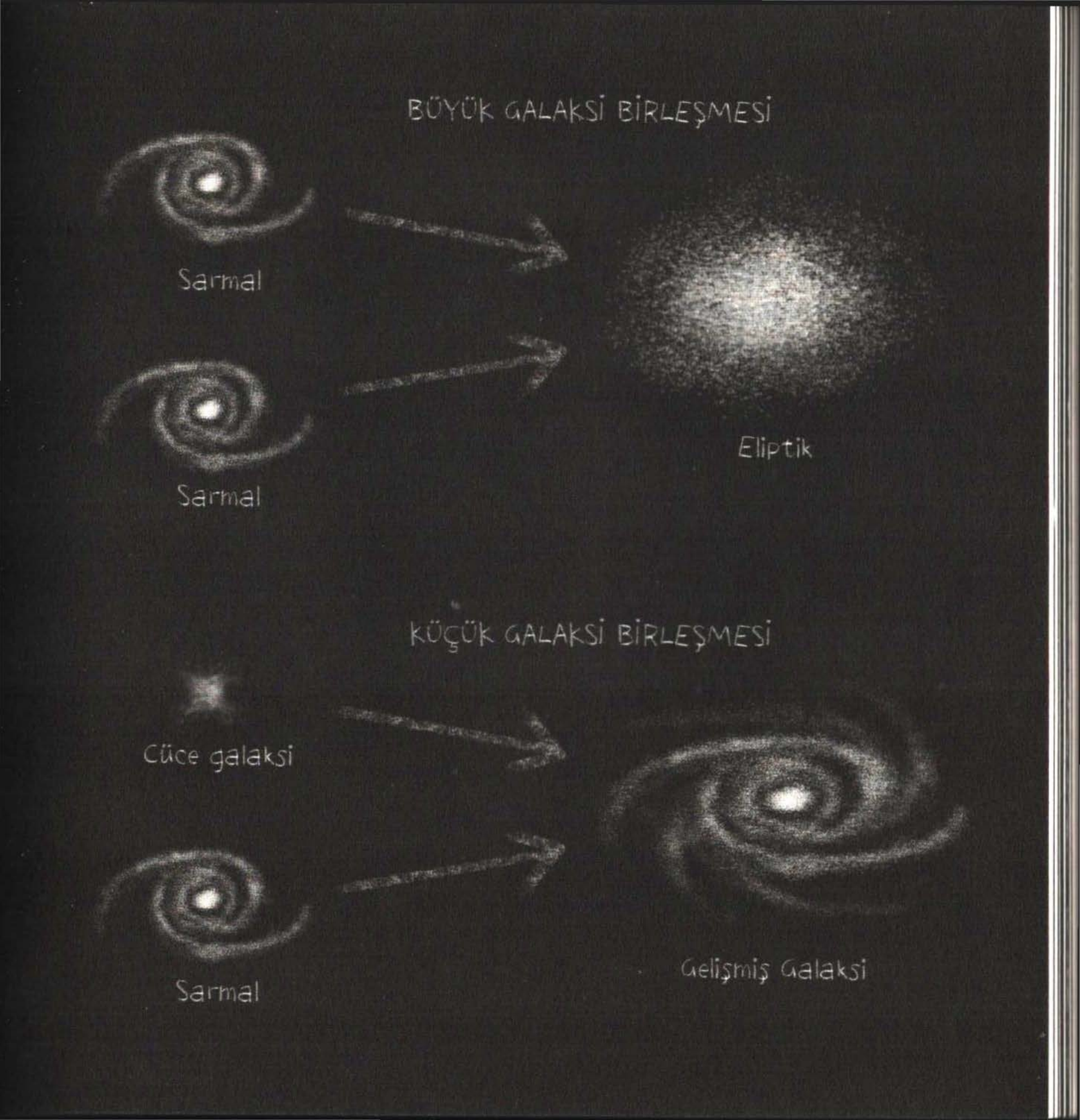
Görünür galaksiler bir kümenin kütlesinin sadece yüzde birini oluştururlar; X-ışını çalışmaları genellikle kümenin merkezine doğru yoğunlaşmış on kat daha aralıklı yayılan sıcak gazların olduğunu gösterir. Gazın, eliptik galaksileri doğuran galaksi birleşmeleri sırasında ısınarak dağıldığı düşünülmektedir; böylece tek bir galaksinin kütle çekiminden kurtulacak kadar enerjik bir hâl alır ama bir bütün olarak hâlâ galaksiye bağlı olur. Fakat bir kümedeki kütlenin büyük çoğunluğu görünmeyen "karanlık madde" şeklini alır (bkz. s. 400).



# Galaksi Evrimi

Meselenin birçok yönü hâlâ belirsiz olsa da günümüzdeki gök bilimcilerin çoğu çarpışmaların galaksilerin bir tipten diğerine evrilmesini sağladığına ve yıldızla rarası gazın bu noktada önemli bir rol oynadığına inanmaktalar. Gaz bulutları seyrek olmalarına rağmen yıldızlar gibi cisimler üzerine güçlü bir kütle çekim kuvveti uygularlar. Ayrıca yıldızlar galaksi birleşmeleri sırasında hasar almadan birbirlerinin yanından geçseler dahi, gaz bulutları çarpışmaya ve ısınmaya çok daha yatkındır.

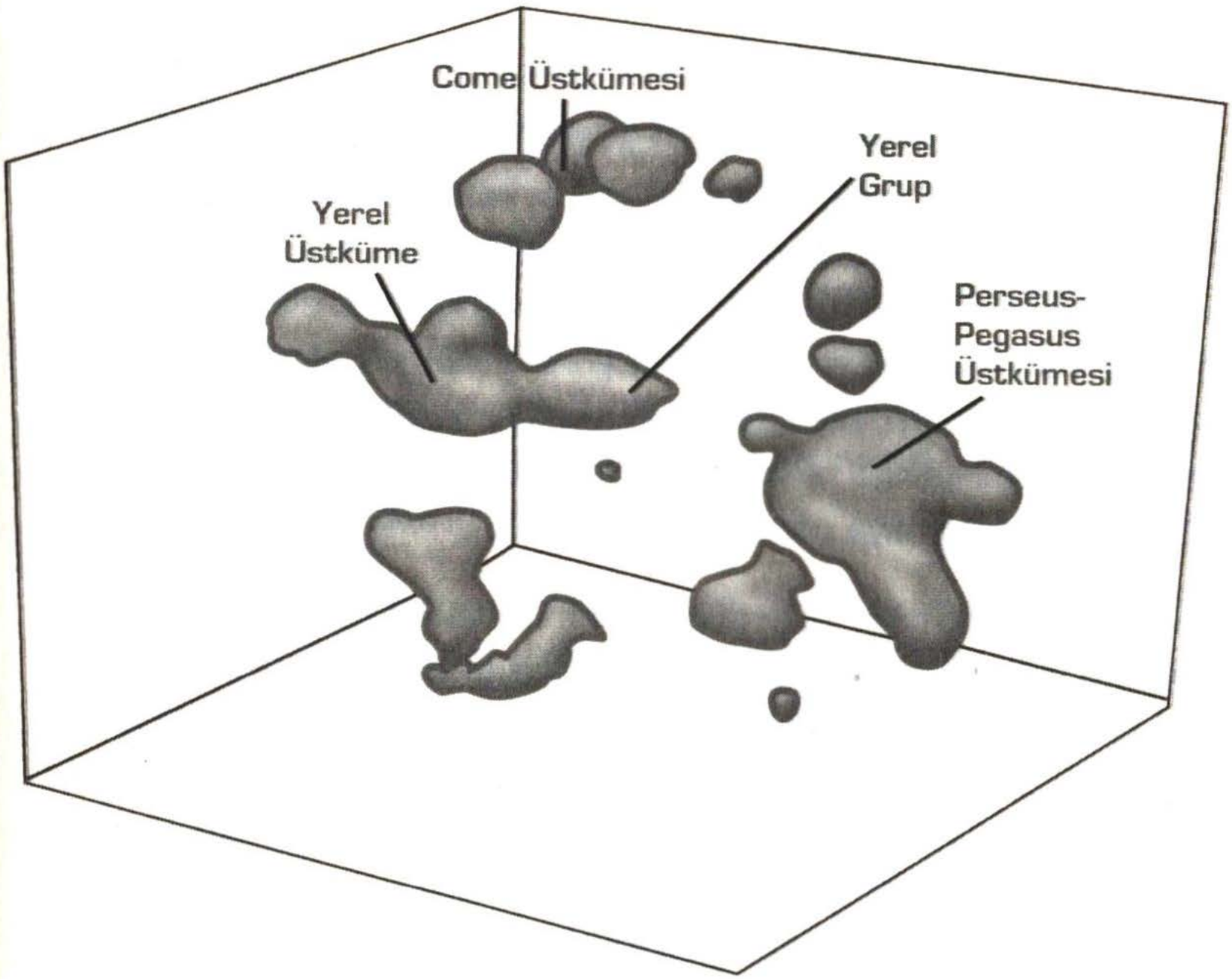
Bu durum bir galaksi oluşumundaki evrelerin zihinde canlandırılmasına yardımcı olur. Görünüşe göre sarmallar, evrenin erken dönemlerinde bol bulunan küçük düzensiz galaksilerin birleşmesiyle oluşmuşlardır (bkz. s. 380). Bundan farklı olarak modern evrendeki sarmallar arasında yaşanan büyük ölçekli çarpışmalar, kısa ömürlü yıldız oluşum patlamalarını tetikleseler de içlerindeki gazı galaksiler arası uzaya sızdıracak kadar ısıtırlar. Yeni yıldız oluşturmaya devam etmek ya da yıldız yörüngelerini şekillendirmek için neredeyse hiç gaz kalmayınca, çoklu sarmal birleşmelerinin sonucunda üst üste binen gelişigüzel yörüngelere sahip düzensiz bir yıldız topu olan eliptik ya da dev eliptik galaksiler meydana gelir.


BÜYÜK GALAKSİ BİRLEŞMESİ
Sarmal
Sarmal
Eliptik
KÜÇÜK GALAKSİ BİRLEŞMESİ
Cüce galaksi
Sarmal
Gelişmiş Galaksi

# Üstkümeler

Galaksi kümeleri uzayda nadiren izole hâldedir; hatta uç kısımlarından diğer kümelerle birleşerek genişlikleri yüz milyonlarca ışık yılını bulan üstkümeler oluşturmaya daha yatkınlardır. İçinde bulunduğumuz Yerel Grup'un kendisi de Dünya'dan 50 milyon ışık yılı uzaktaki yoğun Virgo Kümesi'nin etrafında yer alan Yerel Üstküme'nin dış kısımlarında bulunan üyelerinden biridir. Merkezdeki büyük kümenin kütle çekim kuvveti kozmosun genel genişlemesini (bkz. s. 384) aşmaya yeter ve üstkümelerin zamanla yoğunlaşmalarına neden olur; örneğin kütle çekimi bizi saatte yaklaşık 5,4 milyon kilometre (3,4 mil/saat) hızla Virgo Kümesi'ne doğru çekmektedir.

Bu nedenle üstkümelerin dış sınırları birleşmeye başlar, birbirlerine eklenerek oluşturdukları "filaman" (ipliksi yapı) adlı dev zincir ve sicimlerle daha büyük "boşluklar"ı çevrelerler. Bunlar kozmostaki en büyük yapılardır; evrenin başlangıcına ait çeşitli yoğunluklardaki kalıntılardır.




**Yakın evrendeki üstkümelerin şematik haritası**

# Kozmoloji

Kozmoloji, astronominin evrenin özelliklerini, dokusunu, en büyük ölçekli yapısını, kökenlerini ve mutlak temel yasalarını bir bütün olarak ele alan dalıdır. İnsanlık tarihinin büyük kısmında kozmoloji tarafından sorulan soruların birçoğu tam olarak gündem olamadı; evrene küçük ve görece yeni bir oluşum gözüyle bakılıyordu. İlahi bir aklın doğaüstü müdahalesinin doğrudan sonucu olarak görülen evreni kozmosa hâkim olan fizik kanunları üzerinden açıklamaya gerek duyulmuyordu.

Jeoloji ve fizikte çığır açan buluşların, Dünya'nın, yaratılış hikâyelerinin iddia ettiğinden milyonlarca yıl daha yaşlı olduğunu öne sürmesi ancak on dokuzuncu yüzyılı buldu. Bununla beraber Dünya'nın özelliklerinin büyük ölçüde görünümüzü ona şekil veren süreçlerin "jeolojik" zaman ölçeklerine yayılmış, ağır, ürkütmesi imkânsız hareketleri sayesinde oluştuğunun farkına varıldı. Dünya'nın herkesin düşündüğünden çok daha yaşlı olduğunun keşfedilmesi, geniş evrene dair anlayışın kökünden gözden geçirilmesini mecbur kıldı ve birçok gök bilimci diğer uç noktaya

giderek başlangıcı ve sonu olmayan sonsuz yaşa sahip bir evren fikrini ortaya attı.

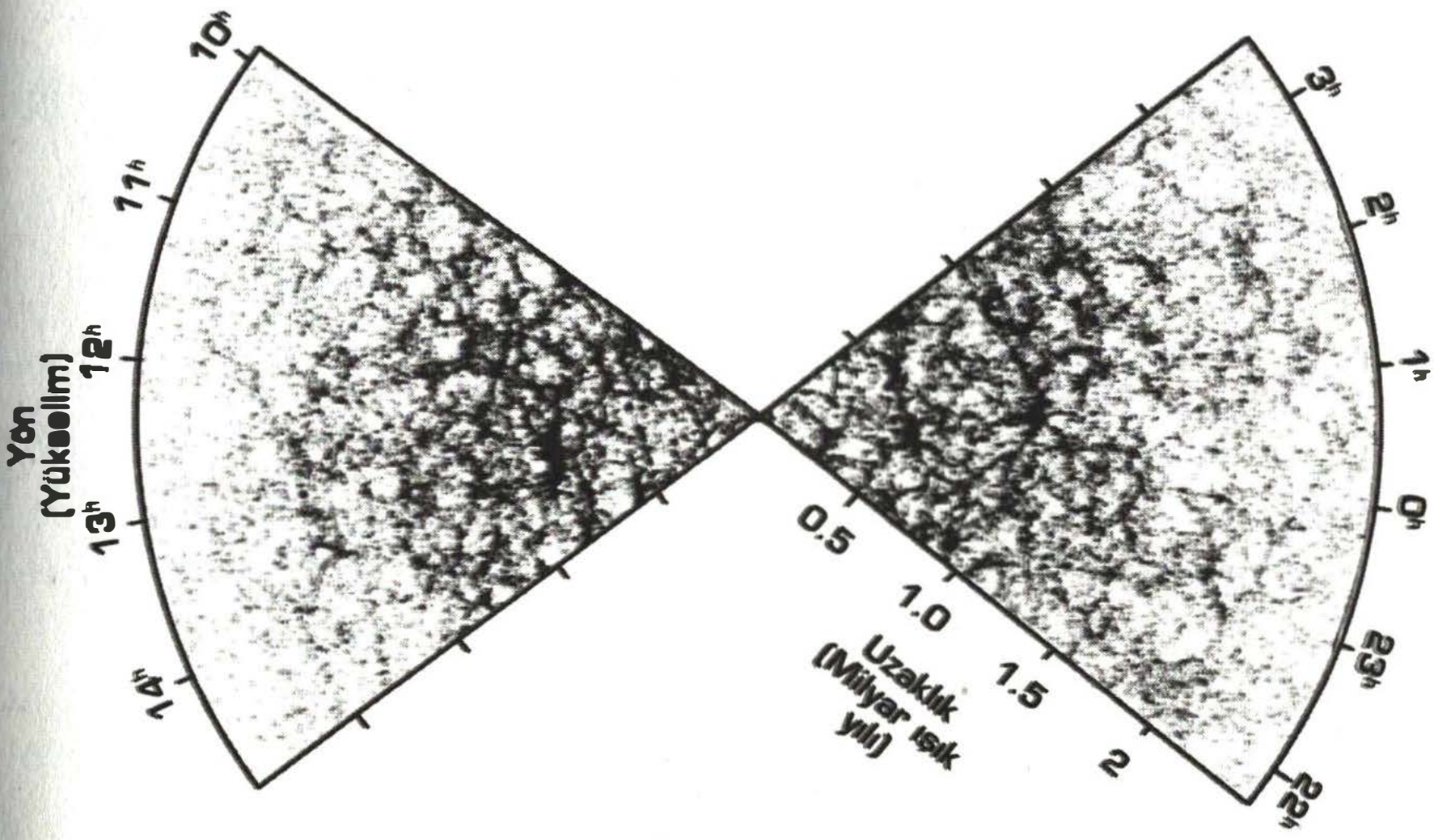
Modern kozmolojinin bekçiliğini oluşturan temel deliller 1920'lerde ortaya çıktı. Temelini birçok gök bilimci atmış olsa da, esas sentez ABD'li gök bilimci Edwin Hubble'ın eseridir. Kendi galaksimizin ötesindeki diğer galaksilerin varlığını kesin olarak kanıtlayan ve ardından evrenin bir bütün olarak genişlediğini ispat eden kişi Hubble'dır (bkz. s. 348 ve 384). Bu keşif Belçikalı rahip Georges Lemaître gibi kuramcılara evrenin günümüzden daha küçük, yoğun ve sıcak olduğu uzak geçmişteki koşulları düşünmeleri için ilham verdi.

Evrenin aniden genişlemesinin kozmik bir kökeni olabileceğini ilk ileri süren kişi Lemaître'dir. Onun "ilk atom" adını verdiği ve günümüzde Büyük Patlama olarak bildiğimiz bu kavramın maddelerin bugünkü biçimlerini almalarına nasıl neden olduğunu anlamamız izafiyet teorisi, kuantum fiziği ve atom fiziğinin bir araya gelmesiyle mümkün oldu. Fakat Büyük Patlama teorisinin ana hatlarıyla doğru olduğuna ilişkin deliller olsa da, kozmosun kökeni ve akıbetine dair detaylar hâlâ yoğun araştırmalara tabidir.

# Büyük Ölçekli Evren

Evrendeki en büyük yapılar filamanlar ve boşluklardır. Filamanlar yüz milyonlarca ışık yılına yayılan galaksi üstkümelerinin (bkz. s. 374) oluşturduğu devasa halkalar ve sicimlerdir; boşluklar ise onların aralarındaki boş görünen daha da büyük alanlardır. Galaksi dağılım haritaları evrenin "İsviçre Peyniri"ne benzeyen bir görünüme sahip olduğu izlenimini verir: Yani yerel ölçekte belirgin biçimde dengesiz ama bütün kozmos ele alındığında aslında muntazamdır.

Filamanların içinde bulunan tekil galaksilerin sorumlusu kütle çekimsel çökme olsa da, bu devasa yapıların ölçeği sadece kütle çekimi etkileriyle açıklanamayacak derecede büyüktür. Filaman ve boşlukların kökenlerinin bunun yerine Büyük Patlama'dan kısa bir süre sonra oluşan ve izleri Kozmik Mikrodalga Arka Plan Işıması'nda (bkz. s. 382) korunmuş olan ilk evrendeki yoğunluk farklılıklarına dayandığı düşünülmektedir.

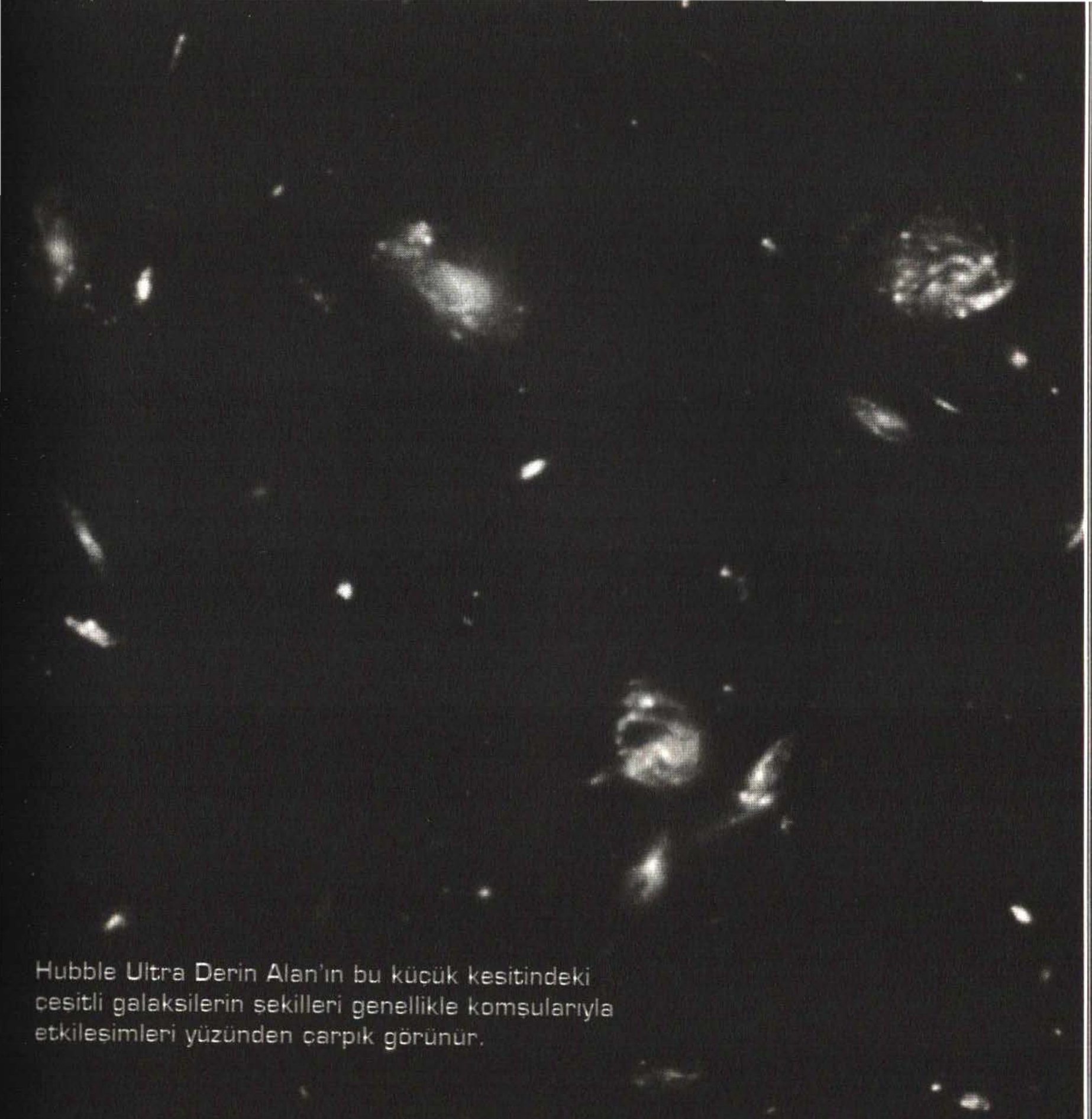



Avrupa Güney Gözlemevi'nin galaksi taramasıyla ortaya çıkan bu yakın evren haritası Samanyolu'ndan dışarı doğru kozmik ağı gözler önüne seriyor.

# Hubble Derin Alanları

Evrenin derinliklerine ait görüntüler şimdiye kadar Dünya'nın üzerinde yörüngede olan Hubble Uzay Teleskobu'nun hiç kapanmayan gözü sayesinde bize ulaştı. Bir dizi "Hubble Derin Alan" görüntüsü uzayın uzak noktalarında milyarlarca ışık yılına yayılmış galaksilerin varlığını meydana çıkardı. Bu galaksilerin ışığının bize ulaşması çok uzun sürdüğü için, biz onları kozmos çok daha gençken oldukları hâlleriyle görürüz. Bu büyük mesafelerde evren uzak geçmişe bakmamızı sağlayan devasa bir zaman makinesiymiş gibi işlev görür. Bize daha yakın yoğun galaksi kümelerinin "kütle çekimsel mercek etkisi"yle ışıkları artan en uzak galaksiler soluk kırmızı lekelerdir.

Derin Alan görüntülerinde meydana çıkan galaksiler modern evrendekilerden çok farklıdır: Parlak düzensiz galaksiler yaygın, sarmallar daha az ve eliptikler neredeyse hiç yokken, kuasarlar olarak bilinen şiddetli etkin galaksiler ise yaygınlardır. Bu farklılıklar tekrar eden birleşmeler yoluyla evrilen galaksilere (bkz. s. 372) dair önemli kanıtlardır.

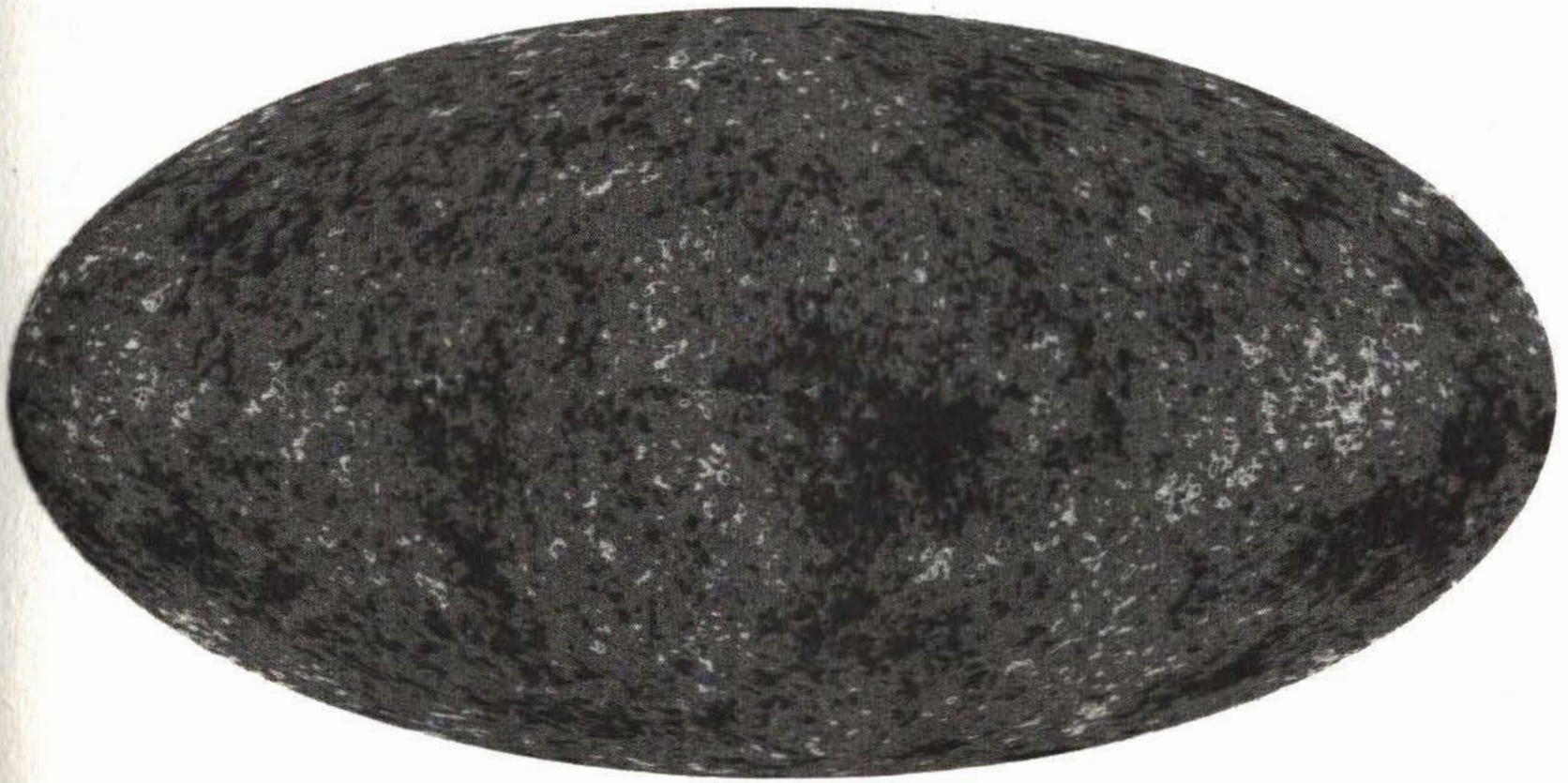


Hubble Ultra Derin Alan'ın bu küçük kesitindeki çesitli galaksilerin sekilleri genellikle komsularıyla etkilesimleri yüzünden çarpık görünür.

# Kozmik Mikrodalga Arkaplan Işıması (Radyasyonu)

Gökyüzünün en uzak kısımları görünür ışıkta simsiyah görünse de, 1964'te Amerikalı gök bilimciler Arno Penzias ve Robert Wilson aslında radyo dalga boylarında hafifçe parladıklarını keşfettiler. Gökyüzünün her yerinde görülen bu hafif radyasyon ışığı Büyük Patlama'dan kalan ışımadır ve evreni en düşük sıcaklık olan mutlak sıfırın üstünde 2,73 °C'ye (4.91 °F) ısıtır.

Kozmik Mikrodalga Arkaplan Işıması (CMBR) genişlemekte olan evren, Büyük Patlama'dan yaklaşık 380 bin yıl sonra saydam hâle gelince (bkz. s. 396) yayıldı. O zamanlar çoğunlukla görünür radyasyon olarak salınsa da, bize ulaşmak için katettiği uzun yolda uzayın genişlemesi yüzünden enerjisi tükendi ve düşük enerjili radyo dalgalarına indirgendi. Buna rağmen CMBR bize Büyük Patlama'nın hemen sonrasındaki koşullara dair eşsiz bir bakış açısı sunar: Onun sıcaklığı ve yoğunluğundaki oldukça ufak farklılıklar büyük ölçekli kozmik yapının Enflasyon olarak bilinen dönemde (bkz. s. 392) atılan tohumlarını gösterir.



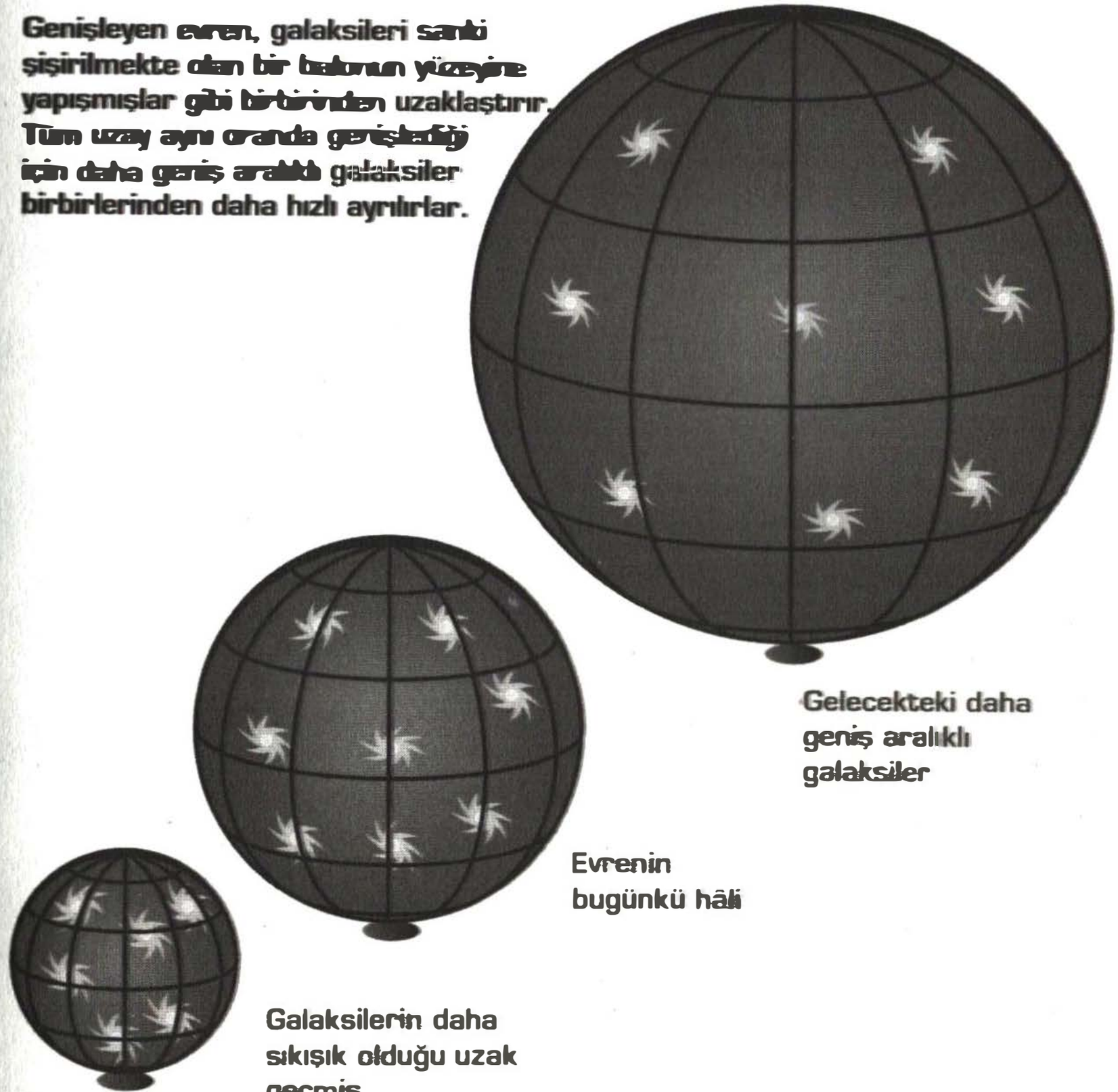
NASA'nın Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası'ndan (WMAP) gelen CMBR haritası ilk evrenin sıcak alanlarıyla (parlak noktalar) daha soğuk alanları (karanlık bölgeler) arasındaki oldukça küçük dalgalanmaları ortaya koyuyor.

# Kozmik Genişleme

Yirminci yüzyılın başlarında öteki galaksilerin uzaklığını ölçmek için bir yöntem geliştirilmesinin hemen ardından çok daha büyük bir buluş yapıldı. Gök bilimciler "sarmal nebulalar"ın spektrumlarının, bunların ışıklarında büyük kırmızıya kaymalar ortaya çıkardığını ve bunun (kırmızıya kaymalar Doppler etkisinden kaynaklanıyorsa; bkz. s. 264) Dünya'dan büyük bir hızla uzaklaştıkları anlamına geldiğini çoktan kabul etmişlerdi. Edwin Hubble galaksi uzaklığı ölçümlerini onların kırmızıya kaymalarıyla karşılaştırdığında ortaya şaşırtıcı bir bağıntı çıktı: Ortalama olarak, bir galaksi bizden ne kadar uzaksa, o kadar büyük bir hızla uzaklaşıyordu.

Hubble Kanunu olarak bilinen bu ilişkiden çıkan olası anlamlar çok önemliydi: Galaksimiz istisnai bir şekilde rağbet görmeyen bir yer değildi; bunun yerine evrenin kendisi genişlemekte ve kabaran bir kekin içindeki frenk üzümleri gibi bütün galaksileri birbirinden uzağa sürüklemekteydi. Kırmızıya kayma hızı ile mesafe arasındaki bağıntıyı kuran sabite Hubble Sabiti denir ve günümüzde bir milyon ışık yılı için saniyede 21,5 kilometre (13,3 mil) olarak hesaplanır.

Genişleyen evren, galaksileri sanki şişirilmekte olan bir balonun yüzeyine yapışmışlar gibi birbirinden uzaklaştırır. Tüm uzay aynı oranda genişlediği için daha geniş aralıklı galaksiler birbirlerinden daha hızlı ayrılırlar.



Gelecekteki daha geniş aralıklı galaksiler

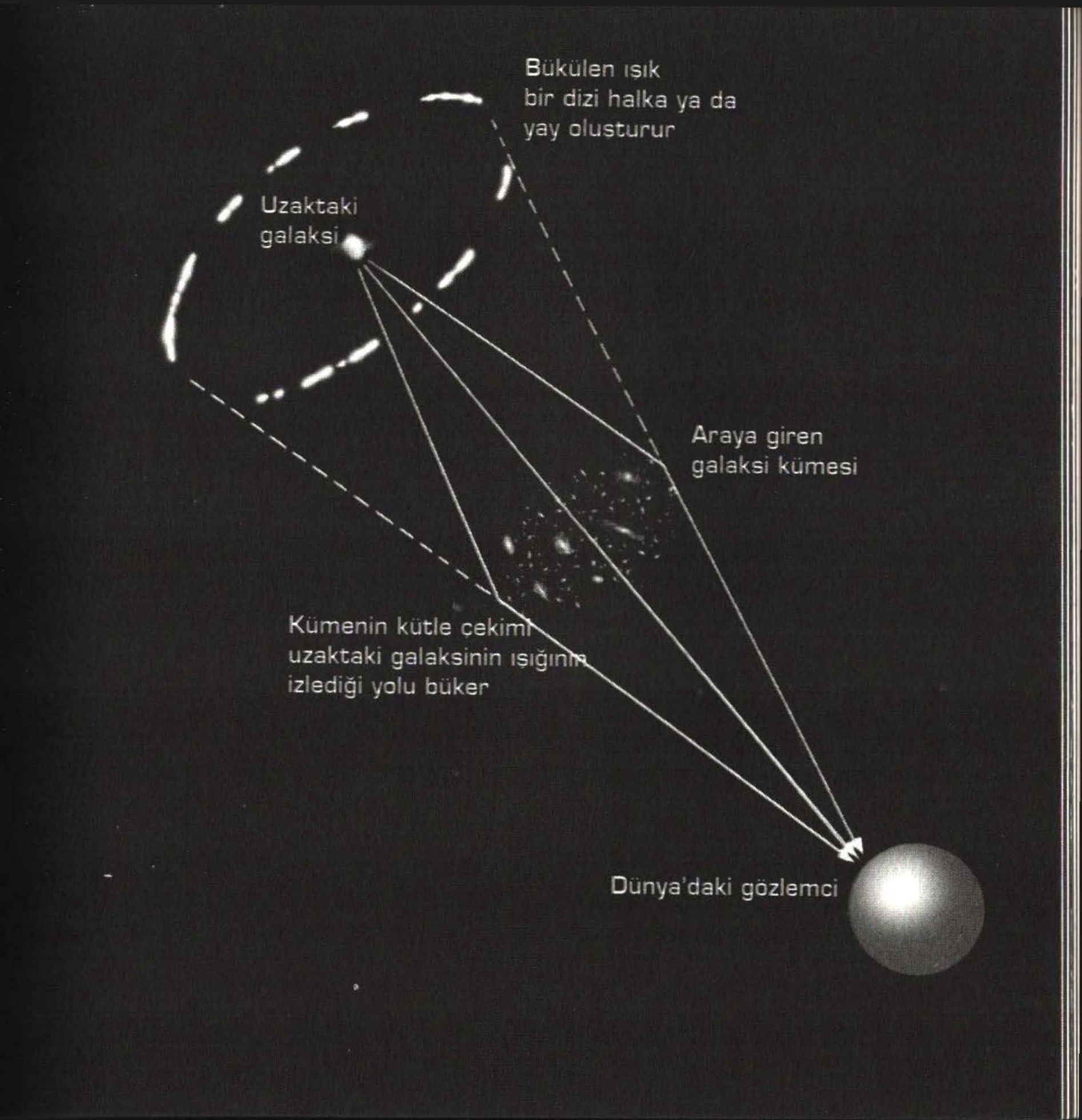
Evrenin bugünkü hâli

Galaksilerin daha sıkışık olduğu uzak geçmiş

# Uzay Zamanın Yapısı

Yirminci yüzyılın başları, kozmik genişlemenin keşfinin ve kozmik kökenleri açıklayan Büyük Patlama teorisinin geliştirilmesinden bile önce, Albert Einstein'ın çalışmaları sayesinde uzay ve zamanı kavrayışımızla ilgili bir devrime tanıklık etti. Einstein'ın 1905 tarihli İzafiyet Teorisi fizik kanunlarını yeniden yazdı ve sabit ışık hızını dikkate alarak (saniyede yaklaşık 300 bin km ya da 186 bin mil) uzay ve zaman ölçümlerindeki tutarsızlıkları, kütle ile enerjinin eş değer ve ünlü $E=mc^2$ denklemine göre değiştirilebilir olduğunu ortaya çıkarttı.

Einstein'ın genel görelilik hakkındaki 1915 tarihli makalesi tartışmayı daha da ileri taşıyarak kütle çekiminin dört boyutlu uzay-zaman dokusundaki bir bükülme olduğunu ve bunun kütlenin varlığından kaynaklandığını açıkladı. Einstein'ın teorilerinin klasik fizik kanunlarının hâlâ geçerli olduğu günlük hayatımıza etkisi azdır ama gök bilimciler aşırı hareket ya da yoğun kütle çekimi içeren durumlara baktıklarında etkilerini sıklıkla görürler.

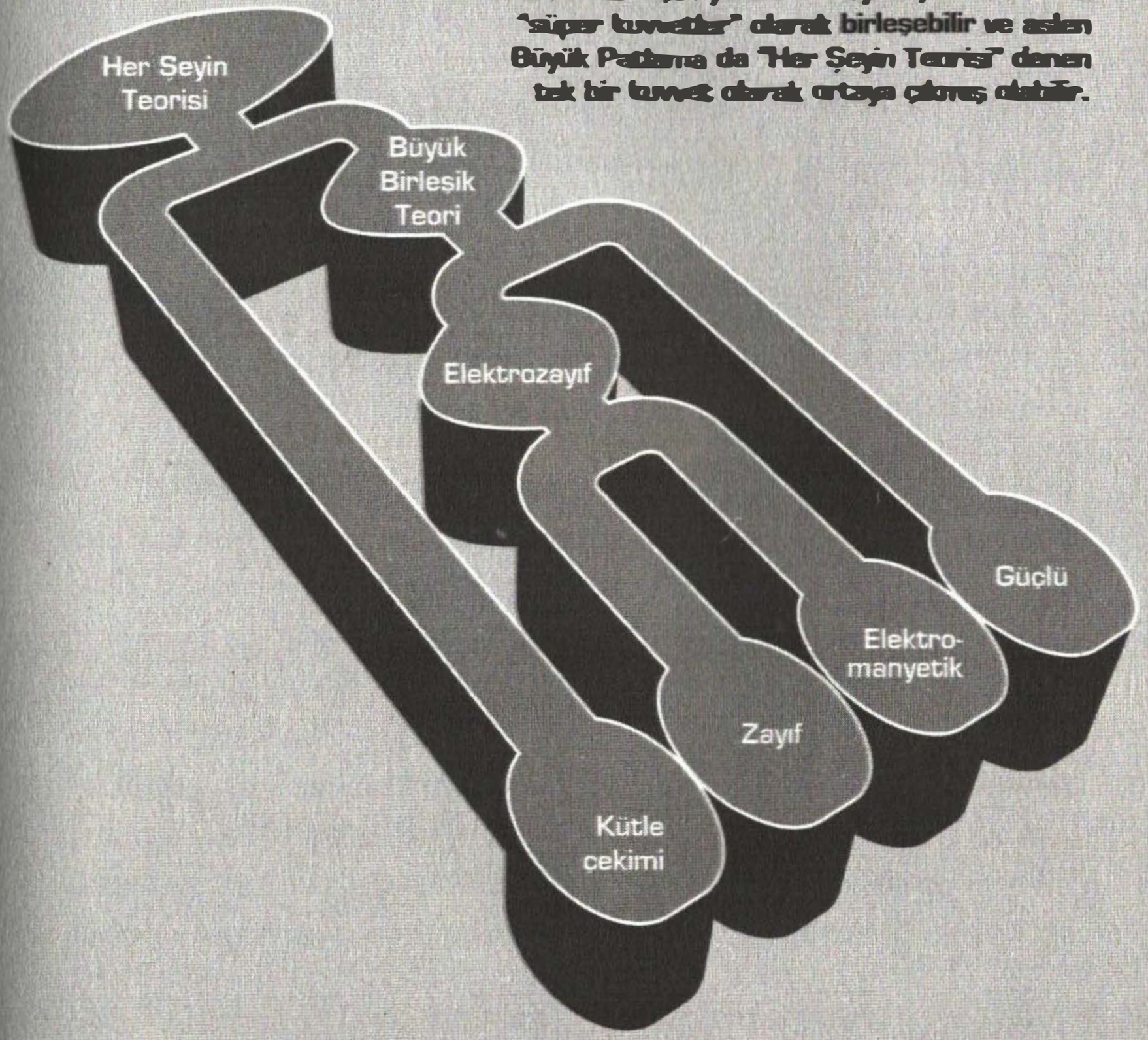

Bükülen ışık
bir dizi halka ya da
yay oluşturur
Uzaktaki
galaksi
Araya giren
galaksi kümesi
Kümenin kütle çekimi
uzaktaki galaksinin ışığının
izlediği yolu büker
Dünya'daki gözlemci

# Temel Kuvvetler ve Kuantum Evreni

Büyük ölçekli evrene şekil veren birincil kuvvet olan kütle çekimi, bilinen dört temel kuvvetten sadece biridir. Diğerleri elektromanyetizma (varlığını elektrik, ışık ve manyetik alanlar gibi fenomenlerde hissettirir), güçlü nükleer kuvvet (parçacıkları atom çekirdeği ölçeğinde birbirine kaynaştırır) ve zayıf nükleer kuvvettir (radyoaktif parçalanma gibi etkilerden sorumludur).

Kuantum fiziği madde ve enerjiyi en küçük ölçekte etkilese de bu durum geniş ölçekli kozmoloji için de büyük sonuçlar doğurur. Önemli konulardan biri rastlantısal değişimlere yatkın olan ve en iyi tanımı klasik fiziğin mekanik kesinliğindense olasılıklara dayanarak yapılan kuantum ölçeğindeki fenomenlerin "bulanık" olmasıdır. CMBR'deki dalgalanmalar ve maddenin dağılımı gibi birçok kozmolojik gözlemin kökeninin erken dönem evrendeki kuantum etkilerine dayandığı görülebilir (bkz. s. 382 ve 392).

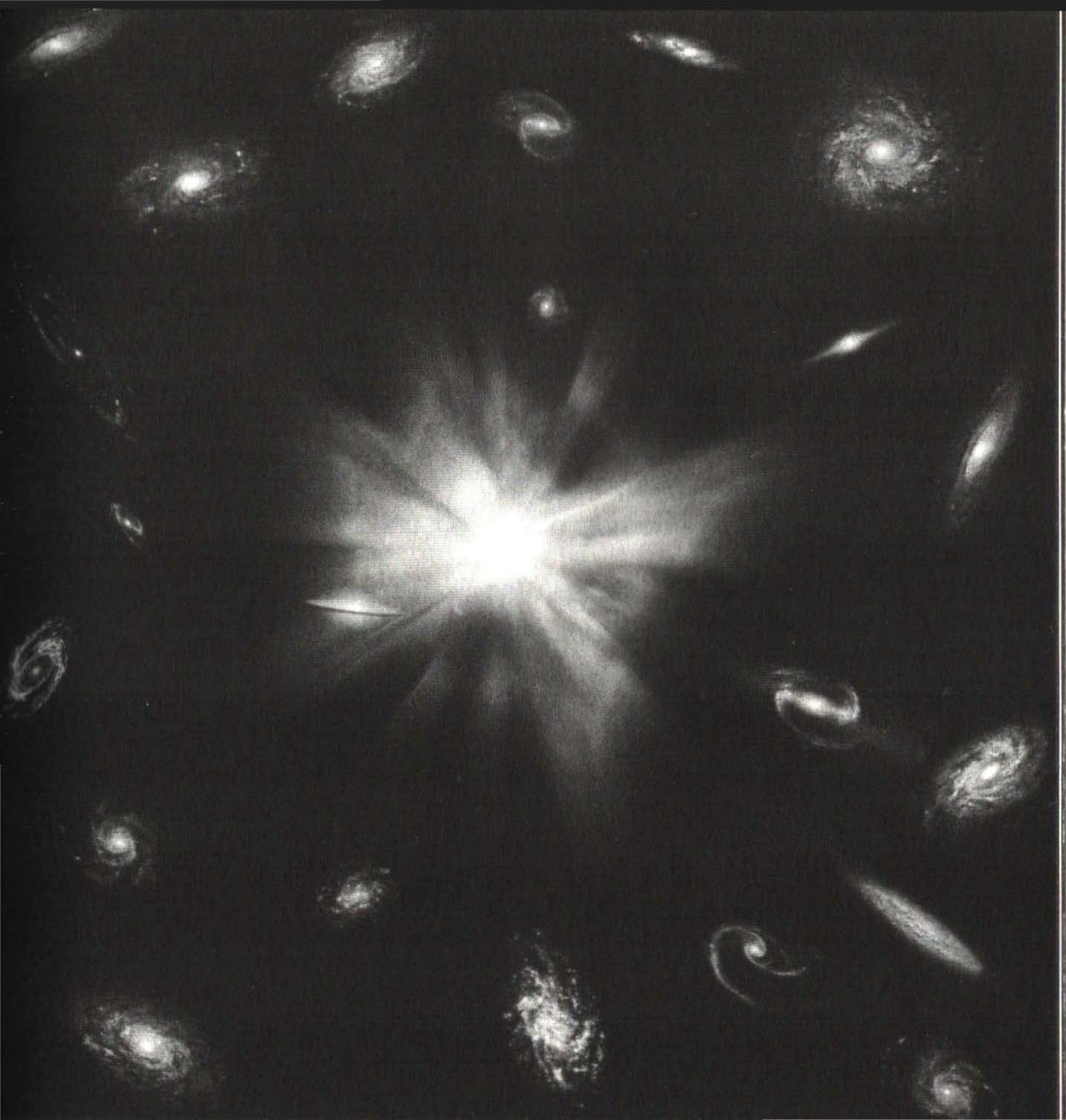
**Güncel teorilere göre günümüzdeki temel kuvvetler aşırı yüksek enerji koşulları altında "süper kuvvetler" olarak birleşebilir ve aslen Büyük Patlama da "Her Şeyin Teorisi" denen tek bir kuvvet olarak ortaya çıkmış olabilir.**



# Büyük Patlama

Büyük Patlama teorisi yarım asırdan uzun bir süredir kozmik kökenlerimizi açıklamak için elimizdeki en iyi model oldu. Kozmik genişleme ve CMBR (bkz. s. 284 ve 382) gibi kanıtlara dayanan ve kuantum fiziği ve genel görelilikte (bkz. s. 388 ve 386) beslenen bu teori, evrenin 13,8 milyar yıl önce sıcak ve yoğun bir hâlde meydana geldiğini ileri sürer.

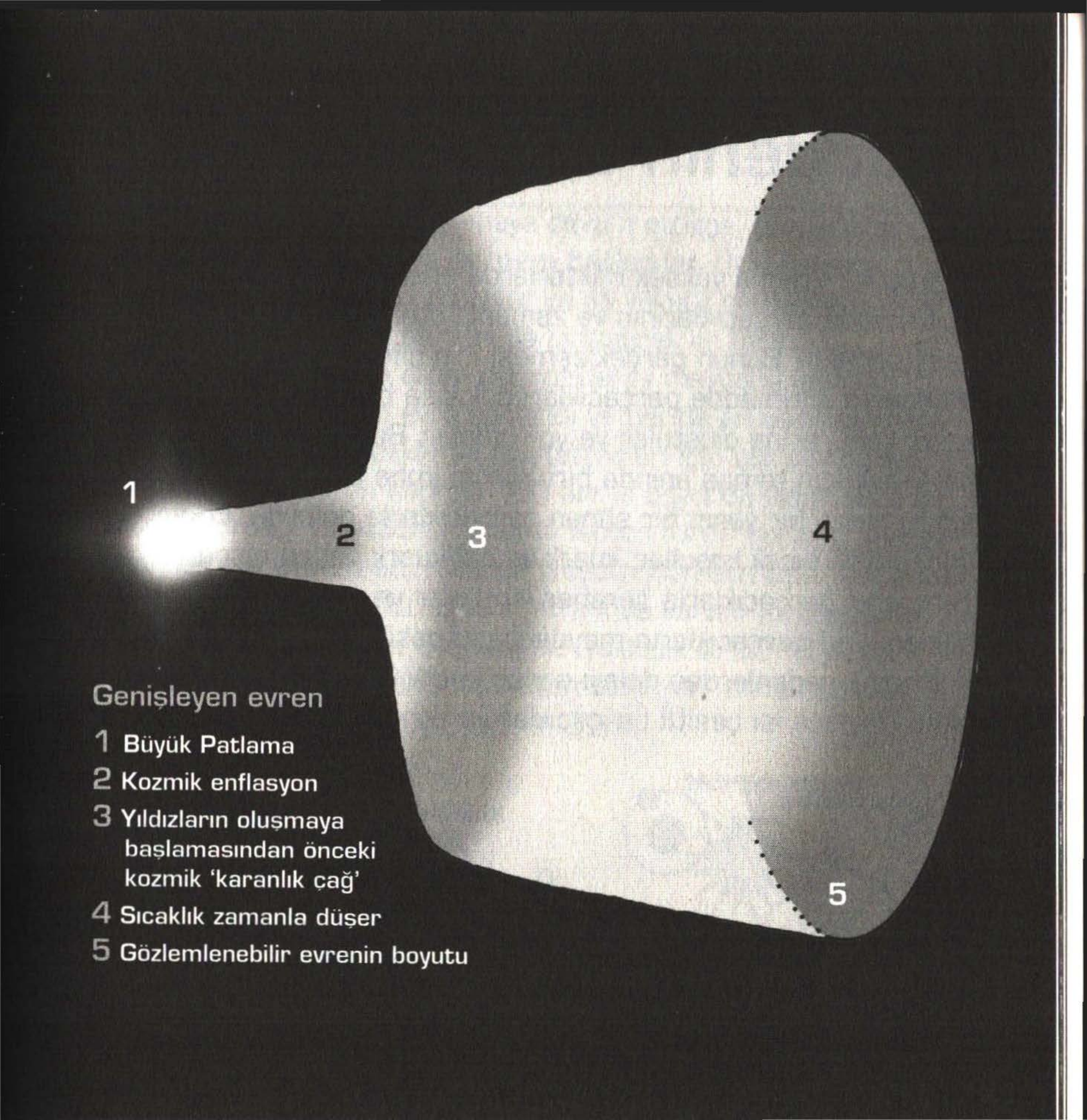
İlk Büyük Patlama evrendeki tüm maddelerin yanı sıra uzay ve zamanı yaratan ani bir enerji patlamasıydı; bu yüzden "nerede" yaşandığı ya da "öncesinde" ne olduğu hakkında konuşmak anlamsızdır. Fakat içlerinde bir önceki evrenin çöküşü ve "membranlar" adı verilen çok boyutlu yapılar arasında yaşanan çarpışmaların da olduğu çeşitli tetikleyici olaylar öne sürülmüştür. Kuantum teorisine göre fizik kanunları kozmosun belli bir boyutun altında olduğu durumda tamamen öngörülemez bir hâl alır, bu da evrenin davranışına dair en fazla Büyük Patlama'dan $10^{-43}$ saniye sonrasına kadar tahminde bulunabileceğimiz anlamına gelir.



# Enflasyon

Kozmos tarihinin kısa ama çok önemli bir bölümü olan enflasyon, bebek evrenin küçük bir bölgesinin Büyük Patlama'dan sonraki yaklaşık $10^{-36}$ ve $10^{-32}$ saniyeleri arasında hızla büyüyerek bugünkü kozmosun tohumu olan balonu meydana getirmesidir. Bu olayı tetikleyen olayın, başlangıçtaki "süper kuvvet"in günümüzdeki temel kuvvetlere ayrılmasıyla (bkz. s. 388) ilişkilendirilen enerji patlaması olduğu düşünülür.

Enflasyon ilk olarak ABD'li fizikçi Alan Guth tarafından, kozmustaki büyük ölçekli yapıların varlığını açıklamak için öne sürüldü. Büyük Patlama teorisi, enflasyon olmadığında, madde dağılımının çok kararlı gerçekleşeceği ve neredeyse hiç yapı olmayacağı tahmininde bulunur. Enflasyon, erken evrende küçük kuantum dalgalanmalarını çok daha büyük ölçeklere "çıkararak" zaman içinde galaksi kümelerini ve üstkümeleri oluşturan maddenin yoğunluğundaki çeşitliliği meydana getirmelerine izin verdi. CMBR'deki dalgalanmaların (bkz. s. 382) keşfi ve haritalanması Guth'un düşüncesinin temelde doğru olduğunu onayladı.

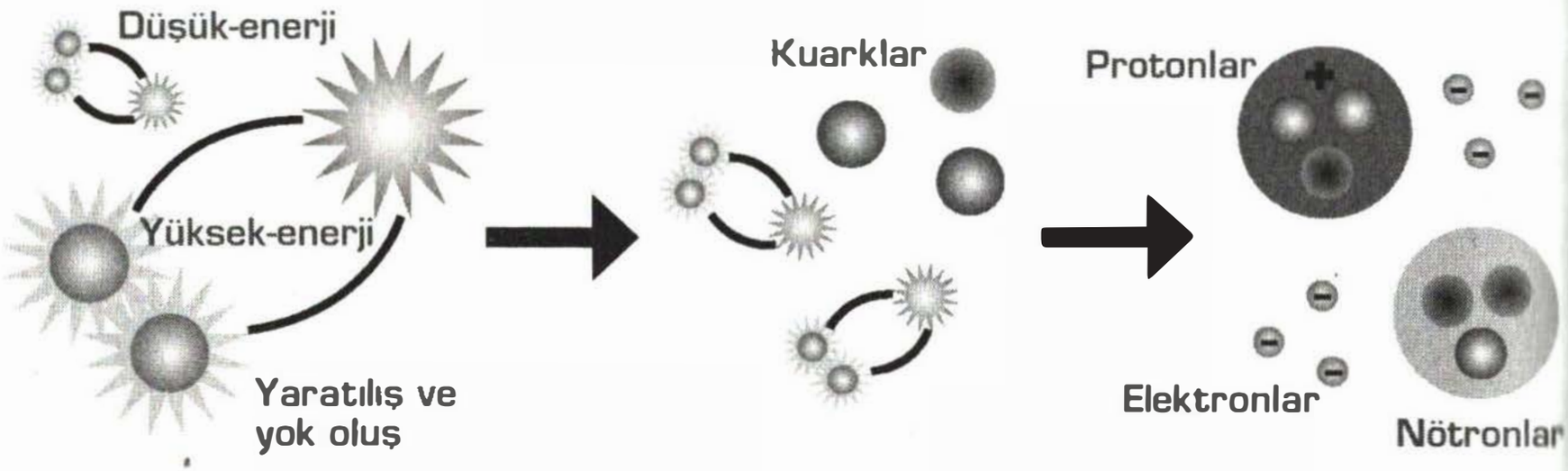



Genişleyen evren

1 Büyük Patlama
2 Kozmik enflasyon
3 Yıldızların oluşmaya başlamasından önceki kozmik 'karanlık çağ'
4 Sıcaklık zamanla düşer
5 Gözlemlenebilir evrenin boyutu

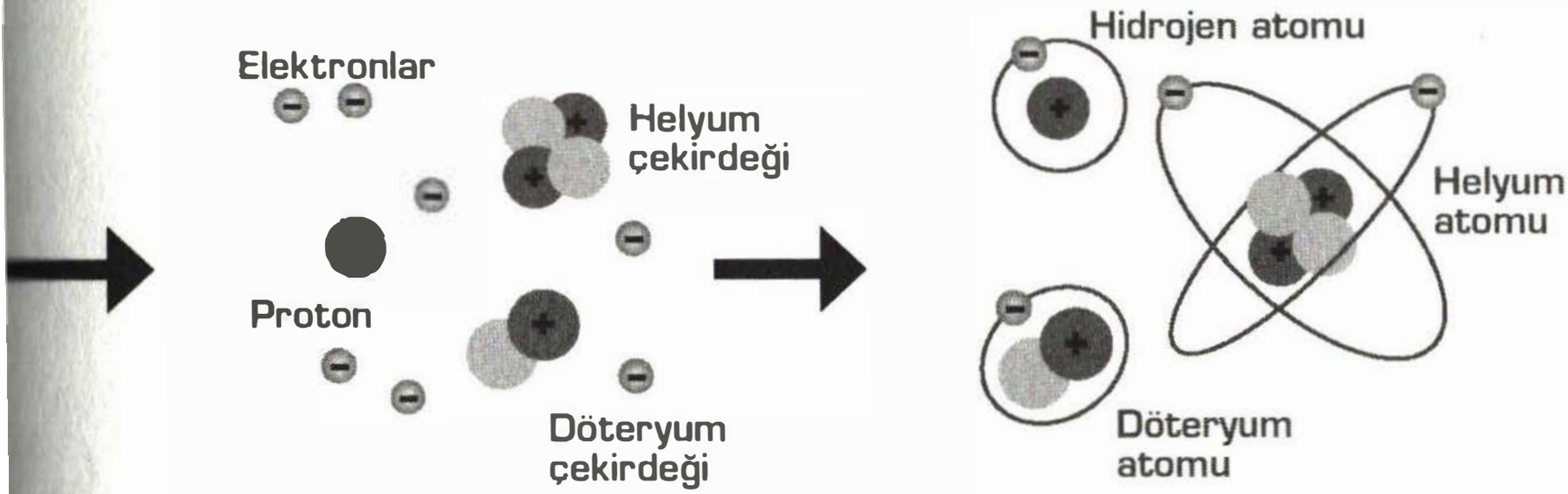
# Maddenin Doğuşu

Büyük Patlama yüksek miktarlarda enerji açığa çıkardı ama madde parçacıklarının ve zamanla atomların oluşmasını nasıl sağladı? Bunun gerçekleşmesi için çiftler hâlindeki madde ve antimadde parçacıkları çok kısa bir zaman diliminde kendi kendilerine oluştular ve yok oldular. Bunlar enerji açığa çıkarmak için temas anında birbirlerini imha ederler. Bu sebeple erken evren bir yanıp bir sönen parçacıklarla doluydu. Erken dönemdeki sıcak koşullar, kuark ve antikuark denen nispeten daha ağır parçacıklarla beraber leptonlar ve antileptonlar olarak bilinen hafif parçacıkların meydana gelmesine olanak sağladı. Karmaşık nedenlerden dolayı sonuç kuark ve leptonların lehine oldu. Böylece ısı çeşitli parçacıklar yaratmak için gereken



seviyenin altına düşünce (birkaç saniye sonra) az miktarda "normal" madde geriye kaldı.

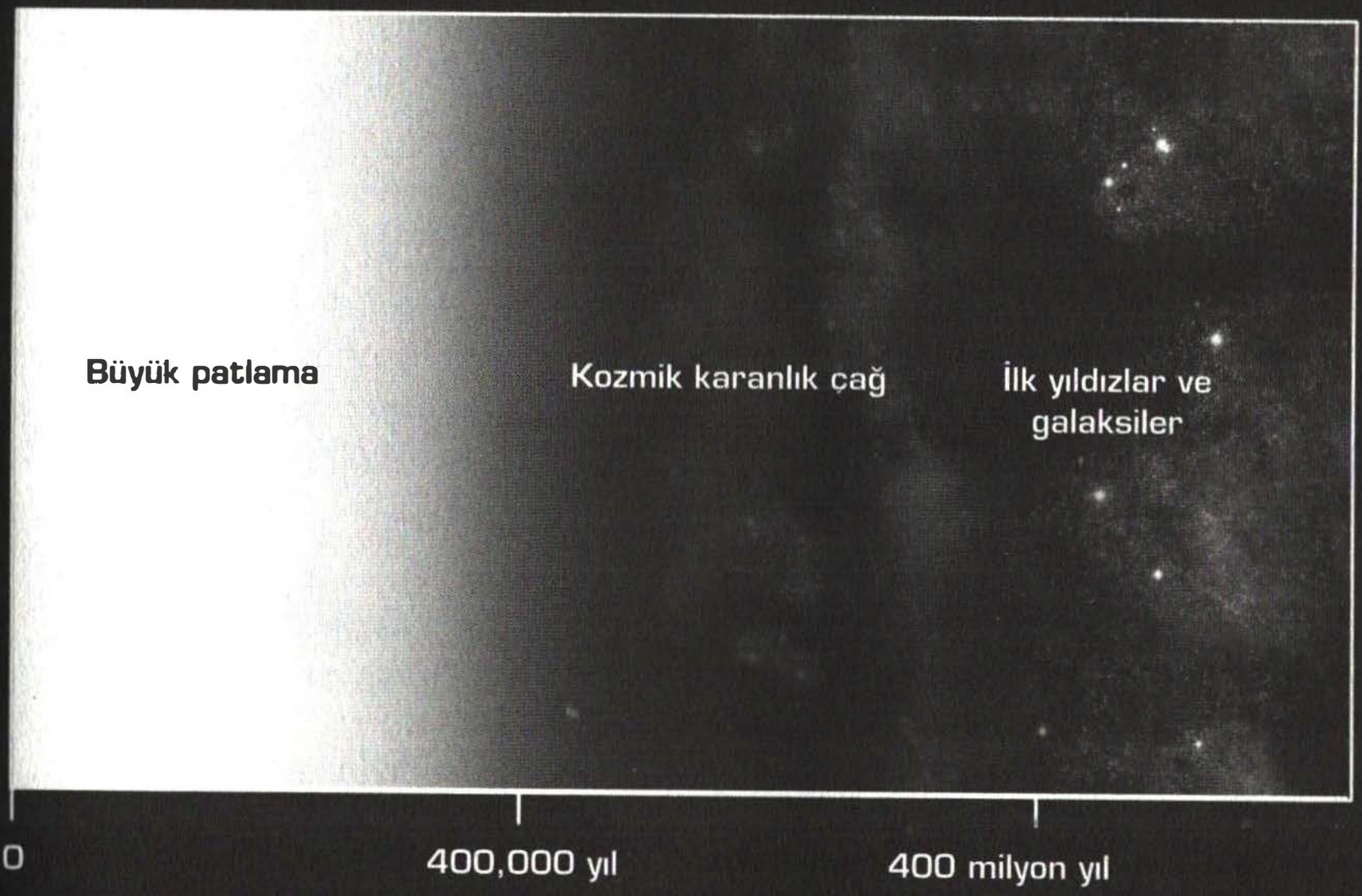
Evren genişlemeye ve soğumaya devam ettikçe, parçacıklar kararlı yapılarla bir araya gelmeye başladılar. Üçlü kuarklar birleşerek pozitif yüklü protonlar ya da yüksüz nötronlar oluşturdular. Bunların bazıları da birleşerek en hafif elementlerden oluşan atom çekirdeklerini meydana getirdi. Yirmi dakika sonra bu evre sonlandı ve geride en basit element olan hidrojenin çekirdeklerini oluşturmaları için çok sayıda tek proton bıraktı. Evren sonraki 380 bin yıl boyunca sıcak, mat bir atom çekirdeği ve elektron (baskın lepton türü) "çorbası" olarak genişlemeye devam etti. Madde oluşumunun son aşaması ancak ısının elektronların çekirdeklerin etrafında kararlı yörüngelere girebileceği derecelere düşmesiyle (yaklaşık 2700 °C ya da 4900 °F'nin altı) gerçekleşti; "rekombinasyon" denen bu olay evreni kökünden değiştirdi (bkz. s. 396).



# Kozmik Karanlık Çağ

Büyük Patlama'dan yaklaşık 380 bin yıl sonra gerçekleşen (bkz. s. 390) ve maddenin oluşumundaki son evreyi belirleyen "rekombinasyon" olayında boşta salınan elektronlar atom çekirdekleri tarafından "emildiler". Bu olay parçacıkların yoğunluğunda ani bir düşüşe neden oldu ve bunun sonucunda evren ilk defa şeffaf bir hâl aldı. Elektromanyetik radyasyon önceden bir parçacık "sisi"nin içinde etrafta seker, sürekli absorbe edilir ve tekrar serbest bırakılırken, ışık fotonları ilk defa düz çizgiler hâlinde yol almaya başladılar. Madde ve radyasyon arasındaki yakın bağ koptu ("ayrışma" denen olay) ve bu sırada açığa çıkan radyasyon günümüzde bütün gökyüzünde CMBR olarak görülebilir (bkz. s. 382).

Ayrışmanın sonrasında evren ilk defa aniden karardı. Evreni aydınlatacak yıldızların olmadığı bu döneme "kozmik karanlık çağ" denir. Yaklaşık 400 milyon yıl süren bu devirde maddenin karanlıkta yavaş yavaş bütünleşmeye başlamasıyla ilk yıldızların ve galaksilerin tohumları atıldı.

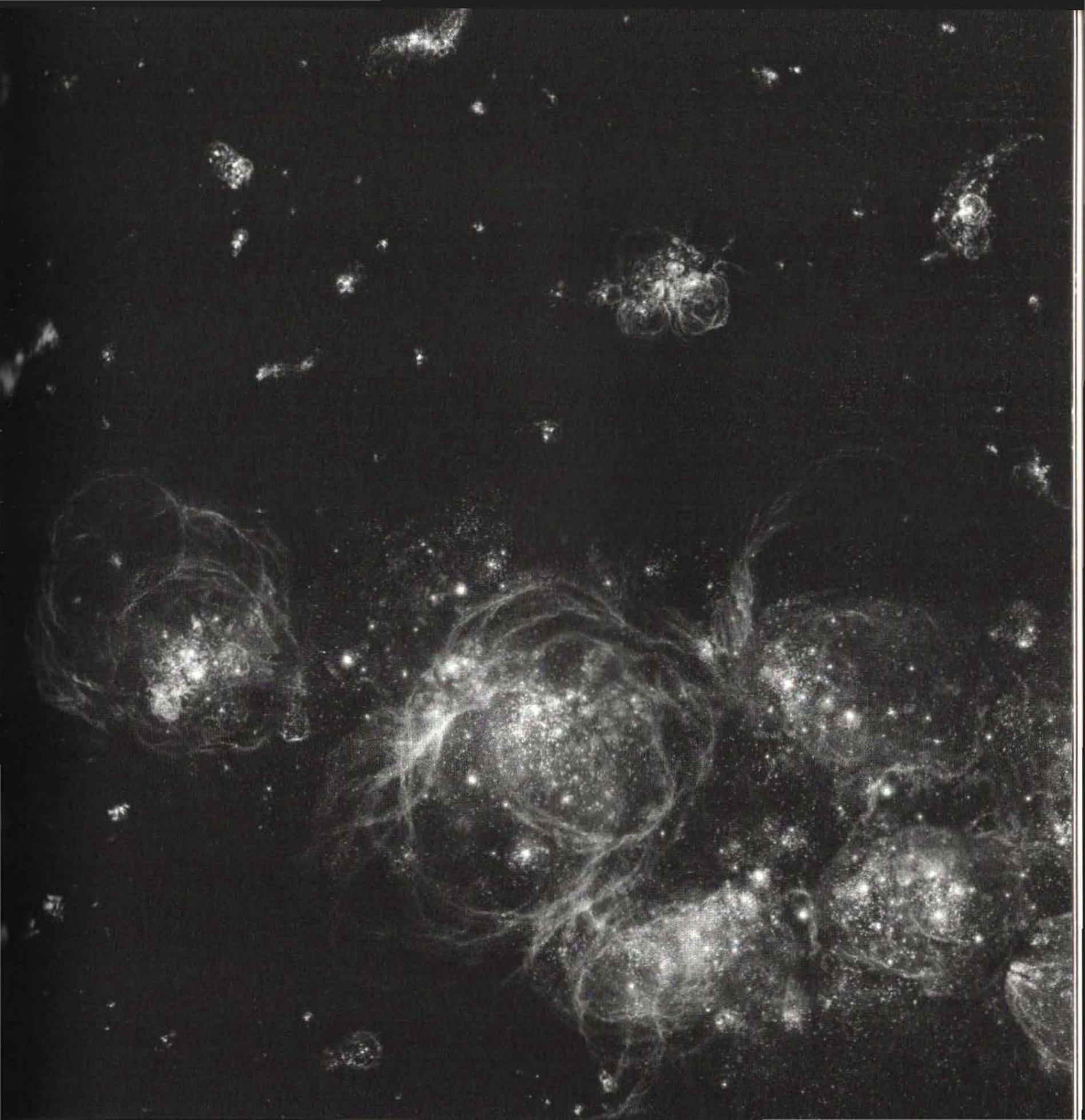



Rekombinasyonun ardından erken evrenin dağılan sisini, onu izleyen karanlık çağı, ilk parlak yıldızların ve galaksilerin ortaya çıkışını gösteren bir şema

# İlk Yıldızlar ve Galaksiler

Evren yaklaşık 13,3 milyar yıl önce, karanlığın içerisinde çöken gaz düğümlerinin nükleer füzyon başlatacak kadar yoğunlaşması ve ilk yıldızların doğmasıyla karanlık çağından çıkmaya başladı. Yalnızca hafif elementlerden oluşan bu "Öbek III" yıldızları KAO döngüsünden (bkz. s. 274) muaf oldukları için, patlamadan Güneş'in birkaç yüz katına eş değer kütlelere çıkabiliyorlardı. Aşırı ölçüde parlak olmalarına rağmen günümüzdeki teleskopların menzillerinin dışında kaldıkları içinhaklarında bildiğimiz çoğu şey bilgisayar modellerine dayanır.

Onların birkaç milyon yıl sonra gelen ölümleri yıldızlar arası maddeyi daha ağır elementlerle zenginleştirdi ve günümüzde de devam eden bir süreci başlatmış oldu. Ayrıca geride etraflarındaki maddeleri hızla içlerine çekmeye başlayan devasa kara delikler bıraktılar. Atılan bu tohumların çevresinde düzensiz galaksiler oluşmaya başladı ve sürekli birleşerek hızla büyüdüler. Bu sırada aktif galaktik bir kuasar çekirdeği oluşturmak için (bkz. s. 368) merkezdeki kara deliğe daha fazla madde yollamaya devam ettiler.

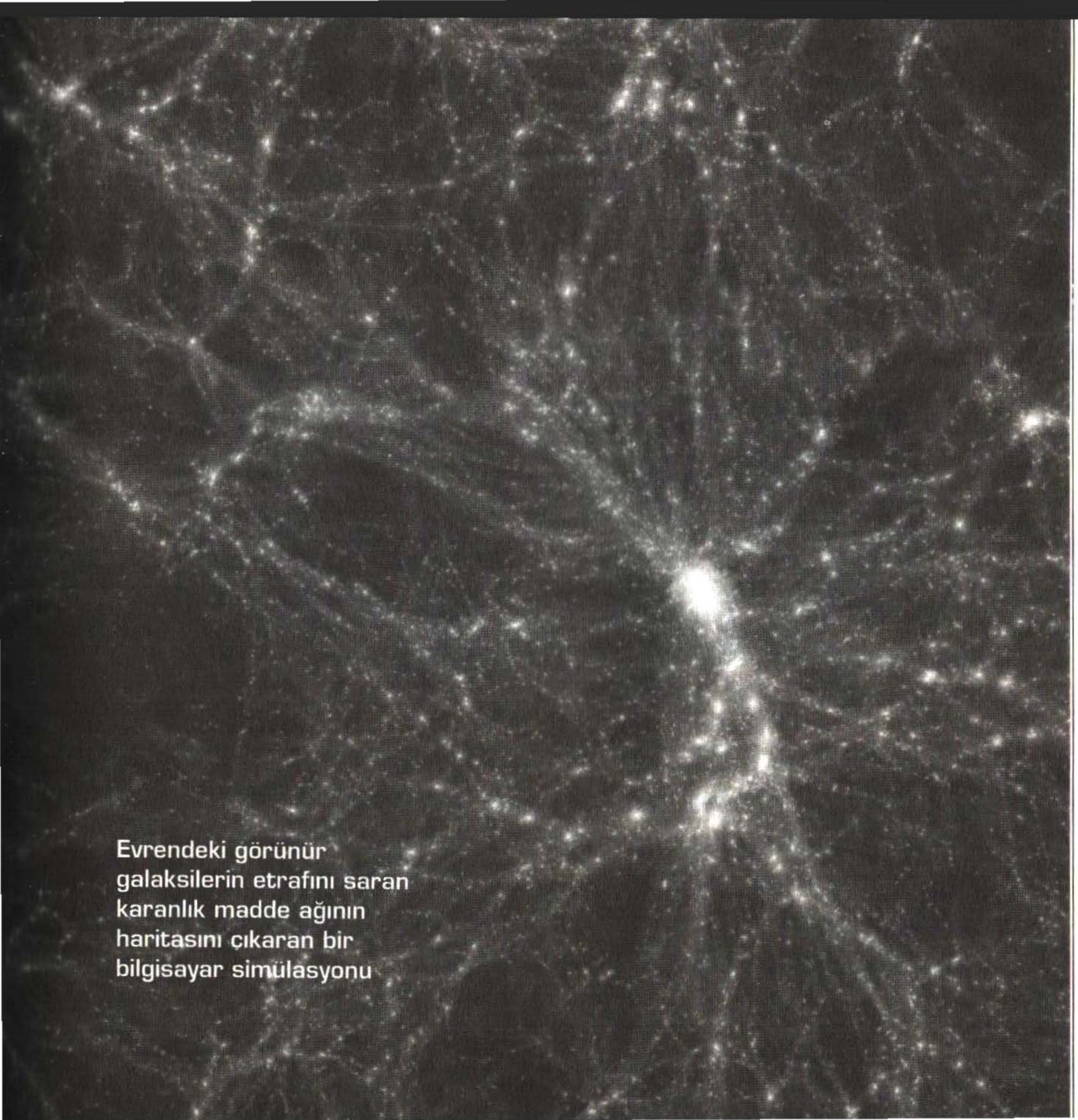


# Karanlık Madde

Gök bilimciler yirminci yüzyılın sonlarından beri evrendeki görünür maddenin (yıldızlar ve gazlardan toz bulutları ve gezegenlere kadar) görünmez ve aynı zamanda şeffaf olan maddenin yanında azınlıkta kaldığını biliyorlar. Karanlık madde varlığını yalnızca kütle çekim etkileri üzerinden belli ediyor. Bunlar ilk olarak 1930'larda kümelerin içinde yörünge çizen galaksilerin davranışları üzerinden tespit edildi ve 1970'lerde Samanyolu'ndaki yıldızların dönüşleri üzerine yapılan çalışmalar sayesinde varlıkları doğrulandı.

Karanlık madde şaşırtıcı bir biçimde evrendeki tüm kütlenin yüzde 84,5'ini oluştursa da, gök bilimciler onun ne olduğuna dair çok az şey biliyorlar. Genel olarak küçük, soğuk ama özünde gezegenler, soğuk beyaz cüce yıldızlar gibi (diğer adlarıyla "kara cüceler") normal cisimlerden oluştuklarını iddia eden ilk teorilerden biri büyük ölçüde yok sayılmıştır. Gök bilimcilerin çoğu karanlık maddenin WIMP[1] (zayıf etkileşimli, büyük kütleli parçacık) diye bahsedilen, bilinmeyen, anlaşılması zor atomaltı parçacıklarından oluştuğu ve muhtemelen bir teleskop yerine parçacık fiziği laboratuvarında keşfedileceği konusunda artık hemfikirdir.

1 Weakly interacting massive particles (ç.n.)



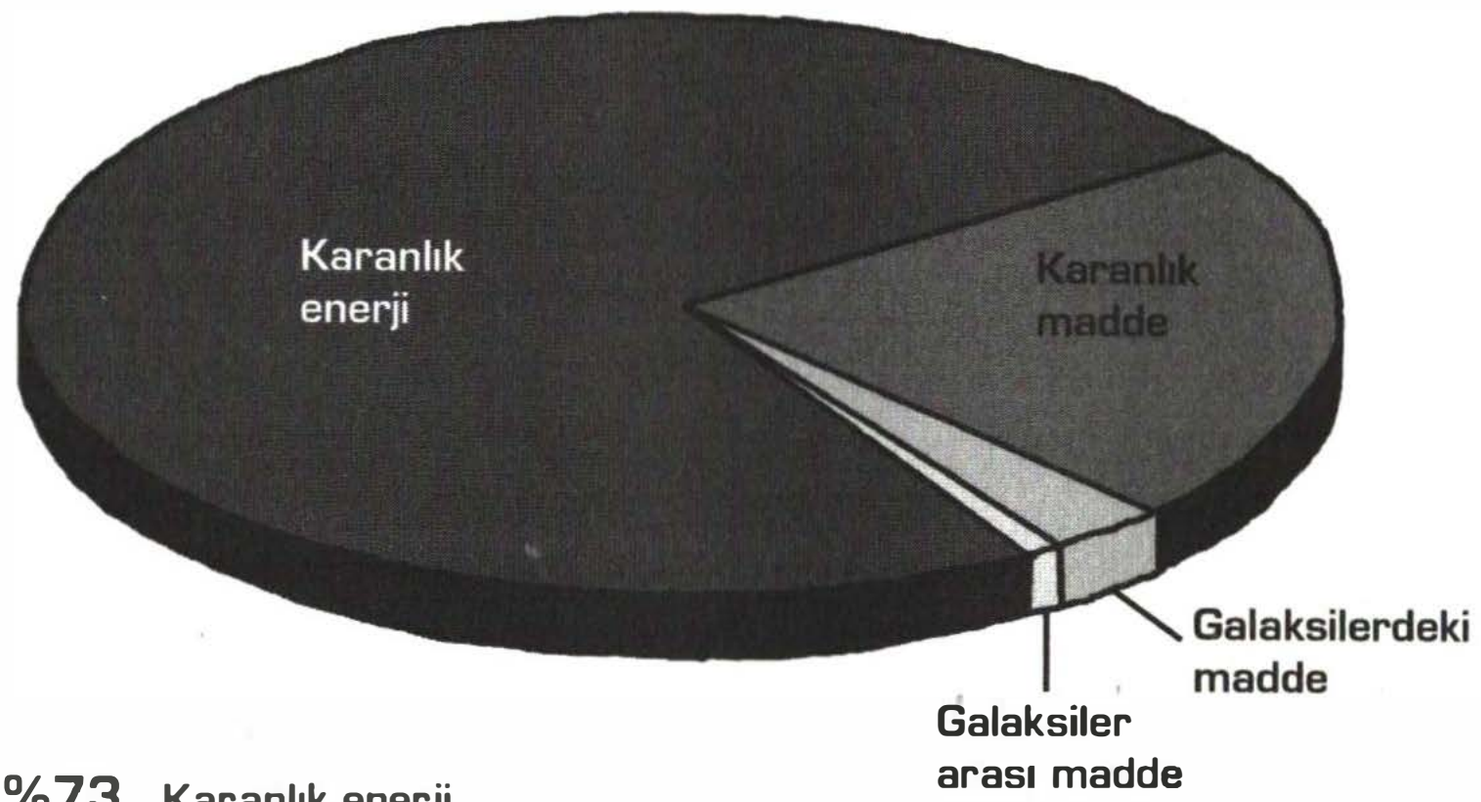
Evrendeki görünür galaksilerin etrafını saran karanlık madde ağının haritasını çıkaran bir bilgisayar simülasyonu

# Karanlık Enerji

Kozmoloji 1990'ların sonlarında etkileri bugün hâlâ hissedilen bir keşifle sarsıldı. Uzak galaksilerin mesafelerini tahmin etmek için Tip Ia süpernovaları kullanan (bkz. s. 338) gök bilimciler bu galaksilerin sadece kırmızıya kaymaya bakılarak tahmin edilebileceğinden (bkz. s. 348) daha soluk ve dolayısıyla daha uzak olduğunu keşfettiler. Önceden bu süpernovaların düşünülenden daha parlak olduklarını sanmış ve bu değişikliği evrenin Büyük Patlama'dan sonra ne hızla yavaşladığını ölçmek için kullanmayı planlamışlardı. Bu keşfe göre gerçekte olan şey bunun tam tersiydi: Evrenin büyümesi "karanlık enerji" adı verilen bilinmeyen bir kuvvet tarafından hızlandırılıyordu.

Karanlık enerjinin yapısı hâlâ tartışma konusudur; beşinci bir temel kuvvet ya da uzay-zamanın bilinmeyen bir yönü olabilir. Yapılan ölçümler karanlık enerjinin zamanla daha da güçlendiğini ve kozmik genişlemenin 6 milyar yıl öncesine kadar sahiden de yavaşlamakta olduğunu gösterdi. Günümüzde evrendeki enerjinin yüzde 68,3'ünü karanlık enerji oluşturuyor.

## Evren neden oluşur?




**%73** Karanlık enerji

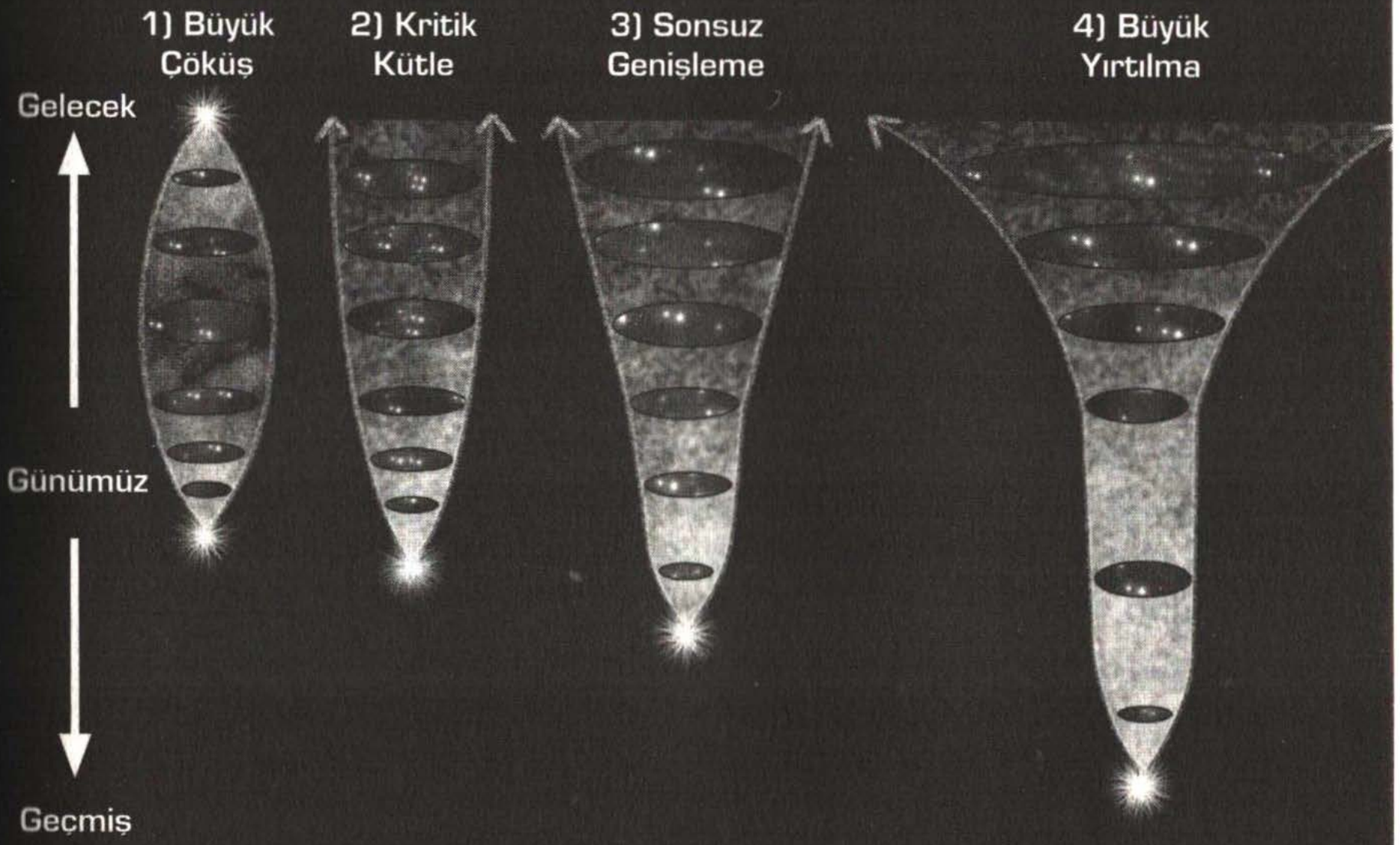
**%23** Karanlık madde

**%3.6** Galaksiler arasındaki sıradan atomlar

**%0.4** Galaksilerdeki sıradan atomlar

# Evrenin Geleceği

Evrenin nihai kaderi nedir? Uzun bir süre genişleme kuvvetleri kütle çekiminin içe doğru kuvveti ile hassas bir dengede olduğu için bıçak ağzında gibi duruyordu. Eğer kütle çekimi kazanırsa, evrenin nihayetinde kozmik genişlemenin tersi olan bir "Büyük Çöküş"e döndüğünü görebiliriz. Aksi hâlde ya sonsuz bir genişleme ya da kademeli bir durma olayıyla karşı karşıyayız; her iki durumda da yıldızların çağlar boyu yanıp sönmeleri sonucunda evren daha da boş ve soğuk bir hâl alacak ve madde bile dağılarak temel parçacıklara dönüşecek. Karanlık enerjinin keşfi (bkz. s. 402) görünüşe göre durumu sonsuz genişlemenin lehine çevirmiş durumda. Diğer bir ihtimal ise uzayın genişlemesi atomları yırtacak kadar güçlenirse yaşanacak olan "Büyük Yırtılma". Ancak Büyük Patlama'ların "membranlar" denen üst boyutlara ait yapıların çarpışmaları sonucunda periyodik olarak tetiklendiği gibi yeni kozmik yaratılış teorileri başka bir evrenin küllerinden doğması için yöntemler sunabilir.




Evrenin muhtemel yazgılarını gösteren dört şema: (1) kendi kütle çekim kuvveti altında deneyimleyeceği Büyük Çöküş; (2) kütle miktarı kritik seviyeye ulaşırsa istikrarlı yavaşlama; (3) zayıf kütle çekimi ya da karanlık enerjiye bağlı sonsuz genişleme; (4) karanlık enerji güdümlü bir "Büyük Yırtılma".

# Antropik İlke

Evrende zeki yaşamların varlığı bakış açınıza göre ya kaçınılmazdır ya da düşük ihtimallidir. Kozmostaki koşullara dair bilgilerimiz -atomların ve moleküllerin belli şekillerde birleşmesini sağlayan ve yıldızların ömürlerinden suyun kaynama ve donma noktalarına kadar her şeyi etkileyen temel kuvvetlerin ve doğal sabitlerin değerleri- göz önünde tutulursa, yaşam için son derece uygun bir evrende yaşıyoruz. Bu durumun gerçekleştiği tek gezegenin bizimki olması şaşırtıcı olurdu. Ancak bu kuvvetlerin ve sabitlerin her şeyden önce tam olarak o değerleri edinmiş olma ihtimali, hele ki herhangi birinde görülecek en ufak değişikliğin hayat için elverişli olmayan bir evren yaratma ihtimali varken, epey düşüktür.

İlk olarak 1973'te Avustralyalı fizikçi Brandon Carter tarafından ileri sürülen, "Antropik ilke" adlı kozmolojik yaklaşım tam olarak bu meseleleri irdelemeye çalışır. Adından da anlaşılacağı üzere, tüm kozmolojik modellerin evrende zeki yaşam biçimleri bulunduğunu dikkate alması gerektiğini söyler. Bu düşüncenin

en yalın yorumlarından biri olan "zayıf antropik ilke" kısaca doğanın "ince-ayarı" karşısında şaşırmamamız gerektiğini, çünkü evren yaşam için uygun olmasaydı onu gözlemlemek için burada olamayacağımızı ifade eder.

Bundan farklı olarak "güçlü antropik ilke" evrenin o ya da bu sebepten ötürü yaşam için ince ayarlı olmak *zorunda olduğunu* ileri sürer. Kozmolojiye yönelik güçlü antropik yaklaşımlar, henüz bilinmeyen fizik kanunlarının gözlemlenen sabitlerin değerlerini kontrol edip yönlendirdiği "yeni fizik" teorilerinden, sabitlerin ya uzaylı ya da doğaüstü dış zekâlar tarafından kasten ayarlandığı "tasarım" teorilerine kadar çeşit çeşittir. Onların arasında olası tüm sabitlerin sonsuz miktarda paralel evrende vuku bulabildiği "çoklu evren" teorisi vardır. Fakat içlerinden belki de en tuhafları "katılımcı" teorileridir. Birtakım kuantum mekaniği yorumlarına dayanan bu teoriler bilinçli gözlemcilerin bir yan ürün değil, fizik kanunlarının gerçekleşmeleri için bir *gereksinim* olduğunu savunurlar. Eğer bu son teoride bir doğruluk payı varsa, evren biz olmadan var olamaz ve kozmosa olan hayranlığımızın temelleri kimsenin önceden kestiremediği kadar derinde yatar.

# Terimler Sözlüğü

**Açık küme**
Aynı yıldız oluşum nebulasından yakın zamanda doğan genç ve parlak yıldızlardan meydana gelen büyük bir grup.

**Anakol**
Bir yıldızın yaşamının, onun nispeten kararlı olduğu ve çekirdeğindeki hidrojeni (en hafif element) helyuma (en hafif ikinci element) kaynaştırarak parladığı en uzun dönemini tanımlamak için kullanılan bir terim.

**Asteroit**
İç Güneş sisteminde, çoğunlukla Mars ve Jüpiter'in yörüngelerinin arasındaki ana Asteroit Kuşağı'nda bulunan sayısız kayalık dünyadan biri.

**Astronomik birim**
Dünya'nın Güneş'ten ortalama uzaklığına eşit olan (yaklaşık 150 milyon km veya 93 milyon mil) astronomik ölçü birimi.

**Aydınlatma gücü**
Bir yıldızın genellikle Güneş'e kıyasla açığa çıkardığı enerji miktarı. Bir yıldızın görünür ışıktaki aydınlatma gücü zorunlu olarak onun enerji miktarının tamamına eşit değildir.

**Çift yıldız**
Birbirinin etrafında yörünge çizen bir çift yıldız. Bu tip yıldızlar genellikle aynı zamanda doğdukları için, farklı özellikleri olan yıldızların nasıl evrildikleriyle ilgili doğrudan kıyas yapmaya imkân sağlarlar.

**Çoklu yıldız**
Ortak bir "kütle çekim merkezi"nin etrafında yörünge çizen, iki ya da daha fazla yıldızdan oluşan bir sistem (ikili yıldızlara çift yıldız da denir). Galaksimizdeki yıldızların çoğu Güneş gibi tek hâlde bulunmak yerine, çoklu sistemlerin üyeleridir.

**Değişen yıldız**
Görünen parlaklığı zamanla değişen bir yıldız. Değişiklikler küçük ya da büyük ve çok kısa bir süre ya da çok uzun dönemler boyunca olabilir. Sebepleri yıldızlar arası etkileşim ya da tek bir yıldızın boyutu ve aydınlatma gücündeki titreşimler olabilir.

**Elektromanyetik (e-m) radyasyon**
Elektrik ve manyetik dalgaların birleşmesiyle oluşan bir enerji biçimi; kendisini boşlukta ışık hızında yayabilir.

**Etkin galaksi**
Galaksinin kalbindeki dev kütleli kara deliğe maddelerin düşmesiyle merkezinden yüksek miktarda enerji yayan galaksi türü.

**Galaksi**
Yıldızlar, gaz ve diğer maddelerden oluşan, boyutu binlerce ışık yılıyla ölçülen, yıldız miktarı milyonlar ile milyarlarca arasında değişen bağımsız bir sistem.

**Gezegen**
Güneş'in etrafında kendi yörüngesini çizen, kendisini küre şekline sokabilecek kütleye sahip ve çevresindeki uzayı (uydular dışında) diğer cisimlerden arındırmış bir dünya.

**Gezegenimsi nebula**
Ölen bir kırmızı dev yıldızın beyaz cüce kalıntısına dönüşürken dış katmanlarından attığı, genişleyen, parlak bir gaz bulutu.

**Gök küresi**
Gökyüzünün haritasını çıkarmak için kullanışlı bir model sunan, Dünya'nın etrafındaki küre biçimli hayali kabuk. Kürenin üzerindeki gök ekvatoru ve gök kutupları Dünya'nın kendi ekvatoru ve kutuplarıyla ilişkili olarak tanımlanır.

**Işık yılı**
Işığın bir yılda katettiği mesafeye eşit olan (yaklaşık 9,5 milyon milyon km veya 5,9 trilyon mil) astronomik ölçü birimi.

**Kadir**
Görünen kadir bir yıldızın Dünya'dan görülen parlaklıklığının basit bir rakam kullanılarak tanımlanan ölçüsüdür; rakam küçüldükçe cismin parlaklığı artar. Mutlak

kadir bir yıldızın standart uzaklıktan görülen kadrini yaklaşık olarak belirleyen bir sistemdir.

**Kara delik**
Genellikle kütlesi Güneş'inkinin beş katı olan bir yıldız çekirdeğinin çökmesiyle oluşan, uzaydaki aşırı yoğun bir nokta. Kara deliklerin kütle çekimleri o kadar güçlüdür ki, ışık dahi onlardan kaçamaz.

**Kırmızı cüce**
Kütlesi Güneş'inkinden çok daha az olan küçük, soluk ve düşük yüzey sıcaklığına sahip yıldız.

**Kırmızı dev**
Ömrünün, aydınlatma gücünün çok artarak dış katmanlarının genişlemesine ve yüzeyinin soğumasına neden olan bir evresinden geçen yıldız.

**Kızılötesi**
Enerjisi görünür ışıktan biraz daha az olan e-m radyasyonu. Kızılötesi radyasyon genel olarak görünür parlaklığa sahip olamayacak kadar soğuk cisimler tarafından yayılır.

**Kuiper Kuşağı**
Neptün'ün ötesinde yörünge çizen ve buzlarla kaplı dünyalardan oluşan simit şeklindeki bir halka.

**Kuyruklu yıldız**
Çoğunlukla dış Güneş sisteminde yörünge çizen küçük kaya ve buz parçası. Düzeni bozulan kuyruklu yıldızlar genelde kendilerini Güneş'e daha da yaklaştıran eliptik yörüngelere girerler.

**Küresel küme**
Yaşlı, uzun ömürlü yıldızlardan oluşan ve genelde Samanyolu gibi bir galaksinin etrafında yörünge çizen yoğun bir küre.

**Nebula**
Uzayda süzülen herhangi bir gaz ve toz bulutu. Nebulalar yıldızları oluşturan ve yaşamlarının sonunda yine onların içlerine dağılan maddelerdir.

**Nova**
Beyaz cücenin yoldaş yıldızından madde çektiği, ani patlamalara yatkın bir çift yıldız sistemi.

**Nötron yıldızı**
Dev kütleli bir yıldızın süpernova patlamasının ardından kalan çökmüş

çekirdeğidir. Birçok nötron yıldızı başlangıçta pulsar görevi görür.

**Nükleer füzyon**
Hafif atom çekirdeklerinin (atomların merkezî çekirdekleri) yüksek ısı ve basınçlarda daha ağır çekirdekler yaratmak için bir araya gelmesi ve bu sırada muazzam miktarda enerji açığa çıkarması.

**Oort Bulutu**
Faal olmayan kuyruklu yıldızlardan oluşan ve genişliği iki ışık yılını bulan, Güneş sisteminin etrafındaki küre şeklindeki kabuk.

**Pulsar**
Radyasyonunu gökyüzünü tarayan kozmik bir deniz feneri gibi iki ince ışın hâlinde dışarı atan, yoğun bir manyetik alana sahip, hızla dönen (yıldız çekirdeği çökmüş) bir nötron yıldızı.

**Radyo dalgaları**
En düşük enerjili ve en uzun dalga boylu elektromanyetik radyasyon biçimi. Radyo dalgaları uzaydaki soğuk gaz bulutlarının yanı sıra şiddetli etkin galaksiler ve pulsarlar tarafından yayılırlar.

**Spektrum**
Prizma ya da benzer bir cihazdan geçen ışığın yarattığı gökkuşağına benzeyen ışık şeridi. Prizma, ışığı dalga boyuna ve rengine bağlı olarak farklı miktarlarda kırar. Böylece spektrum farklı dalga boylarındaki ışığın net yoğunluğunu gösterir.

**Süpernova**
Büyük bir yıldızın ölümünü gösteren devasa yıldız patlaması.

**Takımyıldız**
Teknik olarak gökyüzünde net olarak tanımlanmış seksen sekiz alandan biri. Geleneksel olarak ise takımyıldızlar belirli yıldızların hayali çizgilerle birleştirilmesi yoluyla oluşturulan gökyüzü desenleridir.

**Yörünge**
Daha küçük bir cismin kütle çekiminin etkisiyle kütlesi daha büyük bir cismin etrafında takip ettiği, genellikle eliptik yol. Dairesel yörüngeler sadece tuhaf biçimli elipslerdir.

# İndeks


açık yıldız kümeleri 306–307, 308
anakol 268, 270, 286, 310
Andromeda/Andromeda Galaksisi (Messier 31) 160–161, 352
Anten Galaksileri 204
Antlia 228–229
antropik ilke 406–407
Apus 250–251
Aquarius 192–193
Aquila 186–187
Ara 238–239
Arıkovanı Kümesi (Messier 44) 172
Ariel 112–113
Aries 166–167
asteroitler 52, 60–65, 78–79
Auriga 144–145
Ay 48–49

Barnard Yıldızı 184
beyaz cüceler 310, 318–319, 328, 334, 336, 338
Boötes 150–151
boşluklar 378
Büyük Macellan Bulutu 246, 248, 350, 358
Büyük Patlama 28, 373, 377, 382, 390–391, 392, 394

Caelum 222–223
Callisto 76–77
Camelopardalis 140–141
Cancer 172–173
Canes Venatici 148–149
Canis Major 200–201
Canis Minor 198–199
Capricornus 214–215
Carina 232–233, 304, 322
Cassiopeia 142–143
Centaurus 206–207
Cepheus 140–141
Ceres 62–63
Cetus 194–195
Chamaeleon 250–251
Charon 122
Chiron 104
Circinus 236–237
Columba 224–225
Coma Berenices 176–177
Corona Australis 240–241
Corona Borealis 150–151
Corvus 204–205
Crater 204–205
Crux 234–235
Cygnus 158–159

çift yıldızlar, ekstrem 334–345

Dağınık Disk 120, 124
Deimos 56–57
Delphinus 188–189
Deniz Kulağı Nebulası (Messier 8) 212
dikey hız yöntemi 290, 291
Dione 90, 92–93
Doppler etkisi 298–299, 384
Dorado 246–247
Draco 138–139
Drake Denklemi 296, 297
Dünya 10–11, 44–45, 376
Dünya Dışı Akıllı Yaşam Araştırması (SETI) 296–297
Dünya'ya yakın cisimler (DYC) 52–53
Dünya'ya yakın uzay 46–47
Dünya-Ay sistemi 50–51

düzensiz galaksiler 358–359, 380, 398

elektromanyetik radyasyon 16–17, 20, 26
eliptik galaksiler 340, 356–357, 364–365, 380
Enceladus 88–89
enflasyon, kozmik 392–393
Equuleus 188–189
Eridanus 220–221
Eris 35, 120, 124–125
etkin galaksi çekirdeği 362, 366, 368–369, 398
etkin galaksiler 366–367, 380
Europa 72–73
Evren
  bileşenleri 403
  genişlemesi 384–385
  yazgıları 404–405
  büyük ölçekli 378–379
evrende yaşam 294–295, 296–297, 406–407

Fırıldak Galaksisi (Messier 101) 146
filamanlar 378
Fomax 218–219

galaksi kümeleri 370–371, 374–375
galaksi merkezi 346–347
galaksiler 340–74
  arası çarpışma 362–363, 373
  'in uzaklığı 348–349, 402
  'in evrimi 362, 372–373
  ilk 398–399
Ganymede 74–75
gelgitler 50
Gemini 170–171
gezegenimsi nebulalar 316–317
gezegenler 35, 290–293
Girdap Galaksisi (Messier 51) 148
gök küresi 12, 12–13
gök taşları 20
gökyüzü koordinatları 14–15
Grus 244–245
Gümüş Para Galaksisi (NGC 253) 218
Güneş 38–39, 286
Güneş dışı gezegenler 290–291, 292
Güneş sistemi 34–35, 36–37
Güneyin Fırıldak Galaksisi (Messier 83) 202–203

Halka Nebulası (Messier 57) 154
heliosfer 34, 130–131
helyum yakımı 314–315
Hercules 138, 152–153
Hertzsprung-Russell diyagramı 257, 268–269, 270–271, 320
Horologium 222–223
Hubble Derin Alanları 380–381
Hubble, Edwin 372, 377, 384
Hydra 202–203
Hydrus 254–255
Hyperion 98–99

Iapetus 100–101
Indus 252–253

Io 70–71

Jüpiter 60, 66–67, 78
  'in ayları 68–77

kahverengi cüceler 282–283
Kara delik 311, 322–323, 346, 368, 398
Karanlık enerji 402–403, 404
karanlık madde 342, 370,400–401
karbon-azot-oksijen (KAO) döngüsü 272, 274–275, 288, 398
Kartal Nebulası 182
Kedi Gözü Nebulası (NGC 6543) 138
kırmızı cüceler 282, 284–285
kırmızı devler 286, 310, 312–313, 318, 334, 336
kızılötesi radyasyon 27, 30–31
kozmik ışınlar 20, 46
kozmik karanlık çağ 396–397

Kozmik Mikrodalga Arka Plan Işıması (CMBR) 378, 382–383, 388, 392, 396
kozmoloji 376–377
kuasarlar 366, 368, 380
Kuiper Kuşağı 58, 104, 120–121, 130
kuvvetler, temel 388–389
Kuyruklu yıldızlar 52, 58–59
Kuzey Amerika Nebulası (NGC 7000) 158
Küçük Macellan Bulutu 252, 350
Küresel kümeler 308–309,342

Lacerta 160–161
Leo veya Leo Minor 174–175
Lepus 224–225
Libra 180–181
Lupus 208–209
Lynx 144–145
Lyra 154–155

maddenin doğuşu 394–395
Mars 54–55
'ın ayları 56–57
Mensa 248–249
merceksi galaksiler 340, 360–361
Mercury 40–41
Messier 1 168, 326
Messier 101 146
Messier 13 152
Messier 15 190
Messier 27 156
Messier 3 148
Messier 30 214
Messier 31 160–161, 352
Messier 33 166–167, 352
Messier 41 200
Messier 44 172
Messier 45 168
Messier 5 182
Messier 51 148
Messier 57 154
Messier 64 176
Messier 67 172
Messier 74 164
Messier 79 224
Messier 8 212
Messier 83 202–203
Microscopium 216–217
Mimas 86–87
Miranda 110–111
Monoceros 198–199
Musca 234–235

Neptün 106, 114–115, 120
'ün ayları 116–119
NGC 2070 246
NGC 2264 198
NGC 253 218
NGC 3372 232
NGC 6543 138
NGC 7000 158
NGC 7009 192
Norma 238–239
nova sistemleri 334, 336–367, 338
Nötron yıldızları 328–329, 330, 332
nükleer füzyon 38, 270, 272–276, 286, 312

Octans 254–255
Oort Bulutu 34, 58, 126, 128–129
Ophiuchus 184–185
Orion 196–197

örten ikililer 302–303

paralaks 10, 258–259, 348
Pavo 242–243
Pegasus 190–191
Perseus 162–163
Phobos 56–57
Phoebe 102–103
Phoenix 244–245
Pictor 246–247
Pisces 164–165
Piscis Austrinus 216–217
Pleiades (Messier 45) 168
Plüton 120, 122–123, 124
Polaris 136
Procyon 198
proton-proton (PP) zinciri 272–273, 274
pulsarlar 330–331
Puppis 226–227
Pyxis 228–229

radyo astronomi 28–29

radyo dalgaları 24, 26–27, 28
Reticulum 246-247
Rhea 94–95

Sagitta 156–157
Sagittarius 212–213
salma nebulaları 276, 344
Samanyolu 340, 342–343, 350, 352, 354
sarmal galaksiler 341, 354–355, 372–373, 380
sarmal kollar 344–345
Satürn 80–83
'ün ayları 84–104
Satürn Nebulası (NGC 7009) 192
Scorpius 210–211
Sculptor 218–219
Scutum 186–187
Sedna 126–127
Sefe değişen yıldızları 301, 341, 348
sentorlar 104–105
Serpens 182–183
Sextans 204–205
sıcak Jüpiterler 292
Sirius 200
Siyah Göz Galaksisi (Messier 64) 176
spektrumlar/spektroskopi 9, 24, 262, 264
süpernova adayları 322–323, 324
süpernova kalıntıları 326
süpernovalar 278, 311

takımyıldızlar 132–133
Tarantula Nebulası (NGC 2070) 246
Taurus 168–169
Telescopium 242–243
teleskoplar 8–9, 18–19
Tethys 90–91
Tip 1a 338–339, 348, 402
Tip II 324–325, 328
Titan 84, 96–97
Triangulum 166–167
Triangulum Australe 236–237
Triangulum Galaksisi (Messier 33) 166, 352
Triton 116, 118–119
Truvalı asteroitler 78–79
Tucana 252–253

Uranüs 106–107, 108
'ün ayları 108–113
Ursa Major 136, 146–147
Ursa Minor 136–137
uydu galaksiler 350–351
uzay sondaları 22–23
uzay-zaman 386–387

üçlü alfa süreci 314, 315
üstdev yıldızlar 320–321
üstkümeler 374–375, 378

Vela 230–231
Venüs 42–43
Vesta 20, 64–65
Virgo 178–179
Virgo Kümesi 176, 178, 374
Volans 248–249
Vulpecula 156–157

X-ışını ikili sistemleri 328, 334

Yedi Kız Kardeş (Messier 45) 168
Yengeç Nebulası (Messier 1) 168, 326
Yerel Grup 352–353, 370, 374
Yılbaşı Ağacı Kümesi (NGC 2264) 198
yıldızlar 256–288
'ın kimyası 262–263
'ın rengi ve parlaklığı 260–261, 262
'ın ölümü 310–339
'ın uzaklığı 258–259
ilk 398–399
'ın oluşumu 278–279
en ağır 288–289
'ın kütle ölçümü 266–267
hareket hâlindeki 264–265
çoklu 298–299
Güneş benzeri 286–287
değişen 300–305
genç 280–281
yıldızlar arası madde 276–277
yüksek enerji astronomisi 32–33

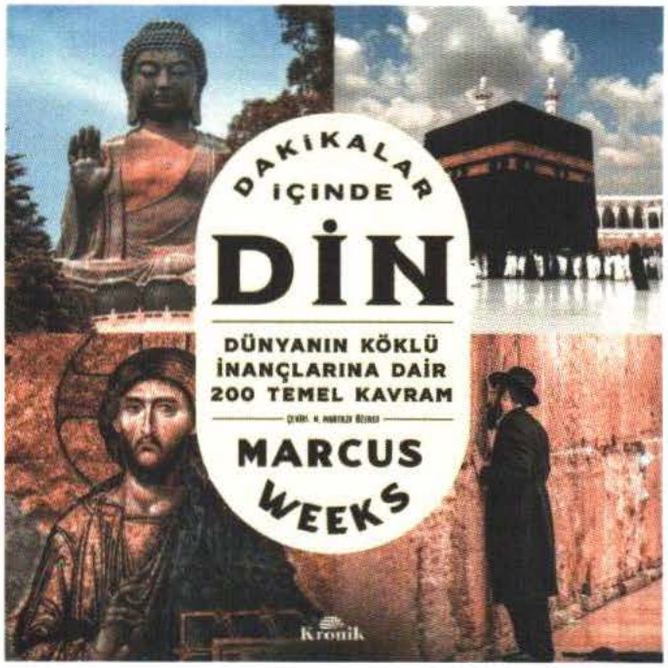
zonklayan değişenler 300–301

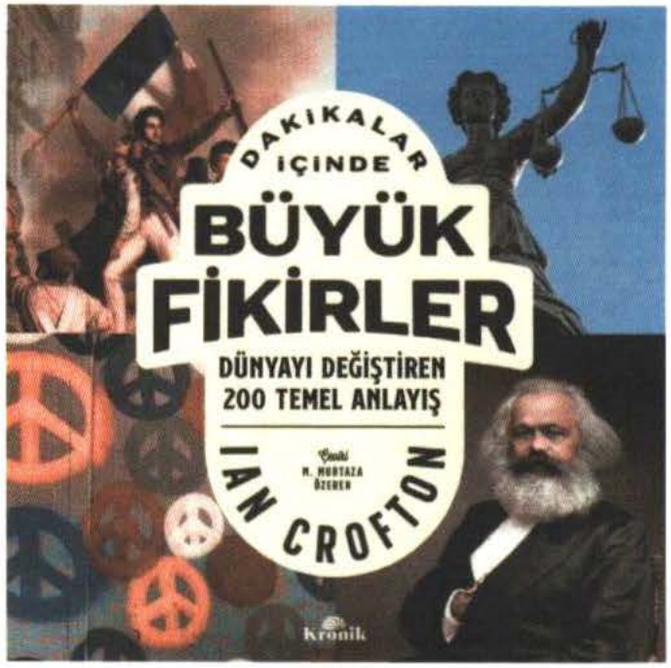
## GILES SPARROW

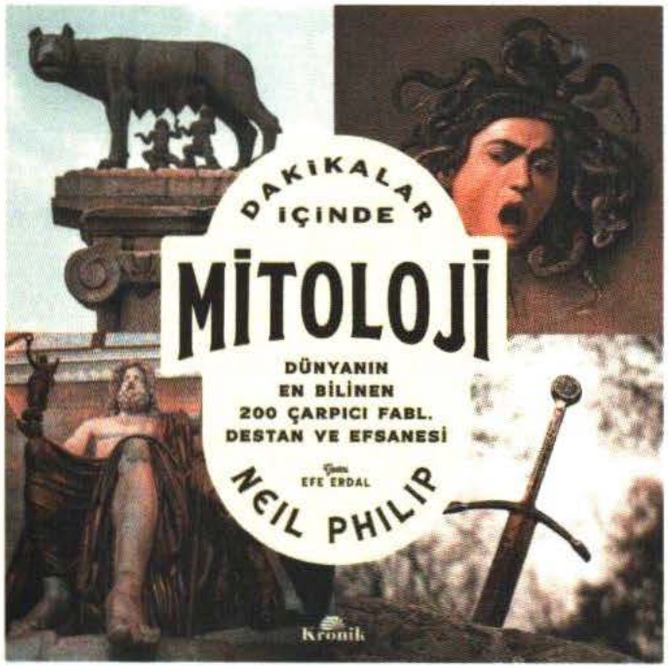
University College London'da Astronomi okudu ve popüler bilim alanında uzmanlaşmış bir editör olarak çalışıyor. *The Genius Test, The Universe and How To See It, The Stargazer's Handbook ve Hubble: Window on the Universe* kitaplarının yazarıdır ve aynı zamanda *Dorling Kindersley's Universe* adlı çalışmaya da önemli katkılarda bulunmuştur.

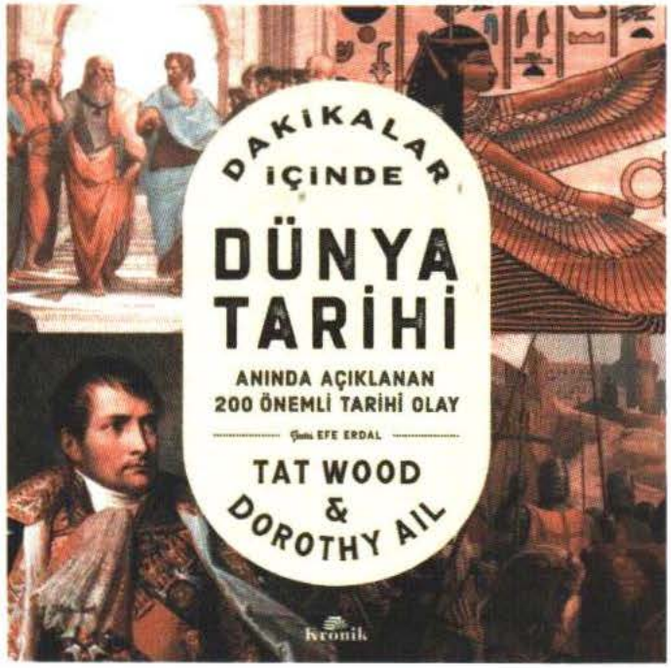
## EFE ERDAL

1987'de İstanbul'da doğdu. Lisans eğitimini İstanbul Bilgi Üniversitesi Radyo Televizyon Sinema Bölümü'nde tamamladıktan sonra bir yandan aynı sektörde çalışmalarını sürdürürken bir yandan da çeşitli kurumlarda sinema dersleri verdi. Makale, senaryo ve altyazı çevirilerinin yanı sıra farklı yayınevlerinden çıkan kitap çevirileri oldu. Film sektöründeki çalışmaları devam etmekte ve güncel olarak yerelleştirme alanında çalışmaktadır.


DAKİKALAR İÇİNDE
DİN
DÜNYANIN KÖKLÜ İNANÇLARINA DAİR 200 TEMEL KAVRAM
MARCUS WEEKS
Kronik


DAKİKALAR İÇİNDE
BÜYÜK FİKİRLER
DÜNYAYI DEĞİŞTİREN 200 TEMEL ANLAYIŞ
M. MUBTAZA ÖZDEMİR
IAN CROFTON
Kronik


DAKİKALAR İÇİNDE
MİTOLOJİ
DÜNYANIN EN BİLİNEN 200 ÇARPICI FABL, DESTAN VE EFSANESİ
EFE ERDAL
NEIL PHILIP
Kronik


DAKİKALAR İÇİNDE
DÜNYA TARİHİ
ANINDA AÇIKLANAN 200 ÖNEMLİ TARİHİ OLAY
EFE ERDAL
TAT WOOD & DOROTHY AIL
Kronik

## ASTRONOMİNİN BÜYÜLEYİCİ DÜNYASINA DAİR 200 TEMEL KAVRAM

Geniş evrendeki yerimizi kavramak için kendi gezegenimizden başlayarak Güneş sistemimizdeki diğer büyük gezegenlere, onların büyük aylarına ve haklarında daha az şey bilinen büyüleyici gök cisimlerine ve takımyıldızlara doğru çıkılan soluksuz bir macera...

"Dünyayı kaç takımyıldız kaplıyor? Bir yıldız öldüğünde ne olur? Güneş sistemimizde kaç asteroit var? Galaksiler çarpışabilir mi? Karanlık madde ve kara delik nedir? Evrenin kökeni nasıl açıklanıyor?" gibi birçok sorunun cevabını bulurken Samanyolu'na göz atacak, galaksileri ve büyük ölçekli evreni keşfedecek, evrenin kökeni ve doğasına dair en temel soruların cevabını bulacak ve kozmolojiye göz atacaksınız. Bunları yaparken her takımyıldıza eşlik eden harita, her bir teoriyi netleştiren basit diyagramlar ve uzaydan alınan en son fotoğraflar da evrenin gözünüzde tüm gerçekliğiyle canlanmasını sağlayacak.

***Dakikalar İçinde Astronomi***, astronominin büyüleyici dünyasına mükemmel bir giriş... Evrenin gizemini keşfetmenin mümkün olan en eğlenceli ve hızlı yolu...



Kronik

kronikkitap.com kronikkitap

ISBN: 978-625-6989-04-7

9 786256 989047