

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/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

Bir Nefeste

EVREN

Colin Stuart

Bir Nefeste Evren

Maya Kitap: 213, İnceleme: 57

1. Baskı, İstanbul Ocak 2020

ISBN: 978-605-7605-24-5

Orijinal Adı: The Universe in Bite-sized Chunks

Copyright © Michael O'Mara Books Limited 2018

Türkçe yayın hakları Nurcihan Kesim Telif ve Lisans Hakları Ajansı aracılığıyla Maya Kitap'a aittir. Telif hakları sahibinin izni olmaksızın, hiçbir yolla çoğaltılamaz, kopyalanamaz, dağıtılamaz.

Yayın Yönetmeni: Tahir Malkoç

Editör: Selin Saraçoğlu Bayraklı

Son Okuma: Alara Ergin

Mizanpaj: Doğan Hezer

Kapak Uyarlama: Doğan Hezer

Maya Kitap * Sertifika: 14079

Gürsel Mah. Erzincan Sok. No: 36B Kağıthane / İstanbul Tel: 0212 296 97 12

e-posta: info@mayayayinlari.com / www.mayayayinlari.com

Mutlu Basım Yayın - Bahri Mutlu * Sertifika: 18569

Davutpaşa Cad. Güven İş Merkezi C Blok No: 256

Topkapı / İstanbul Tel: 0212 577 72 08

Bir Nefeste Evren

Colin Stuart

Çeviren
Ahmet Eliuz



İçindekiler

Giriş	7
1 Astronominin Erken Dönemleri	9
2 Güneş, Dünya ve Ay	56
3 Güneş Sistemi	94
4 Yıldızlar	128
5 Galaksiler	168
6 Evren	203
Sonuç	233
Dizin	234

Giriş

“Yıldızları o kadar çok seviyordum ki gece beni korkutmuyordu.”

The Old Astronomer To His Pupil (Yaşlı Astronom’dan Öğrencisine),
Sarah Williams (1868)

Gece göğü, hayatım boyunca beni büyüledi. İlk aşkım da yine oydu. Çocukken bizlere cinlerin, ejderhaların ve cadıların muhteşem hikâyeleri anlatılırdı; ancak bana göre evren, tüm peri masallarından daha sihirliydi.

Nesiller boyunca astronomlar, kozmosun perdelerini aradılar ve en derin sırlarını ortaya çıkardılar. Buldukları şeyler muazzamdı. Sonsuz genişlikte yayılan yıldızların etrafında dans eden sayısız gezegen vardı. Zaman durma noktasına gelene kadar çekim kuvveti, uzayı büküyor ve kıvrıyordu. Atomların, yıldızların kalbinden derimize ve kemiklerimize olan yolculuğunu izleyebiliyorduk. Güneş sistemindeki tüm gezegenlere araçlar gönderdik ve Ay’ın tozlu zemininde ayak izlerimizi bıraktık.

Böyle bir evrenin büyüklüğü korkutucu olabilir. Son on yılımı astronomi hakkında yazarak ve konuşarak geçirdim ve hâlâ düşündükçe kendimi küçücük hissediyorum. Birçok insan öğrenme sürecini erteliyor, çünkü bunun zor olacağını sanıyorlar. Ancak zor olması şart değil. Bu kitabın amacı, uzayın büyüklüğünü kolayca yutabileceğiniz lokmalara ayırıp kavramanızı kolaylaştırmak. Bu kitabın içinde matematiksel veya mesleki bir dil

yok, yalnızca ama yalnızca evrenin en büyüleyici niteliklerinin basit açıklamaları var.

Bilmediklerimizin yanında bildiklerimizi de bu kitaba dahil ettim. Bir soruyu cevaplamak, birçok yeni soru doğuruyor. Hâlâ evrenimizin büyük bir kısmının nelerden oluştuğunu veya uzayı başka bir yaşam formuyla paylaşıp paylaşmadığımızı bilmiyoruz. Astronomlar, evrenimizin tek olup olmadığını ve uzay-zamanın tam olarak nasıl başladığını çözmeye çalışıyorlar. Bunlar, sorulabilecek en temel sorulardan bazıları.

Kitap, cisimlerin Dünya'ya olan uzaklığına göre düzenlendi; ilk astronomik keşiflerimizden başlayıp geniş Güneş sistemine doğru yol alacağız, oradan da uzaktaki galaksiler ve evren(ler)e geçeceğiz. Yolculuğumuz, 93 milyar ışık yılı genişliğindeki uzayı ve 14 milyar yıllık zamanı kapsayacak. İzleyeceğimiz yolu özenle seçtim, böylece tüm evreni avcunuzun içine alıp yol üzerinde ilginizi en çok çeken şeyi keşfedebilirsiniz.

Şimdi gelin de kozmos yolculuğumuza başlayalım. Umarım siz de gece göğüne âşık olursunuz.

Astronominin Erken Dönemleri

Zamanın ölçümü

Gökyüzü gezegenlerin, galaksilerin ve karadeliklerin evi olmadan önce, tanrıların ve kehanet işaretlerinin hüküm sürdüğü bir yerdi. Şimşek çaktıktan sonra duyulan o şiddetli gök gürültüsü Tanrı'nın öfkeli olduğuna işaret ediyordu, gökyüzünde görülen bir kuyruklu yıldız ise kaygı verici kötülük alametlerinden yalnızca biriydi. En azından atalarımızın çoğu bu şekilde düşünüyordu.

Bununla birlikte o zamanlarda gökyüzünün bizim için en önemli rolü, onun doğal bir saat olmasıydı. Saatlerin, bilgisayarların ve akıllı telefonların icadından çok önceleri atalarımız, gökyüzünün de kendine has bir ritmi olduğunu fark etti. Güneş belli sürelerde doğup batıyordu ve onlar bu devre “gün” dediler. Bu günlerden yedi tanesini topladılar ve bir haftayı oluşturdular. Günlerin her birinin adını da yıldızlara kıyasla farklı hareketler sergileyen gök cisimlerine göre verdiler (bkz. 24. sayfa).

Ay'ın şekli sürekli değişiyor, bir büyüyüp bir küçülüyordu. Küçük bir hilalden göz kamaştıran bir dolunaya dönüşüyordu. Bu şekil değiştirme döngüsünün başa sarması neredeyse otuz günü buluyordu, onlar da bu döngüye “ay” (moonth) dediler. Ancak dilin zaman içinde değişmesi, kelimenin İngilizcesinde

bir harf eksilmesine neden olmuş ve Ay anlamına gelen “Moon” kelimesinden türeyen “Moonth”, “Month”a (ay) dönüşerek günümüze kadar gelmiş. Bu sırada Güneş de çok daha uzun bir döngünün içindeydi. Her sabah doğudan doğup akşam batıdan batıyor ve öğle vaktindeyse zirve noktasına ulaşıyordu. Ancak yere olan uzaklığı her öğle vakti aynı değildi. Birkaç ay gözlemlerseniz Güneş’in gökyüzünde sekiz rakamına benzer bir yolu takip ettiğini görürsünüz, buna “analemma” ya da “günsekizi” denir. Bu özel döngüyü tamamlamak için Güneş tam 365 defa doğar. Eskiler bu döngüye “yıl” adını verdiler.



Güneş’in bir yıl içinde gökyüzünde sekiz çizmesi: Analemma ya da günsekizi.

Bu dönem de her biri kendine has hava durumlarına sahip dört mevsime bölündü. Atalarımız, günsekizi tamamlanırken ilkbahar, yaz, sonbahar ve kışın yaşandığına şahit oldular.

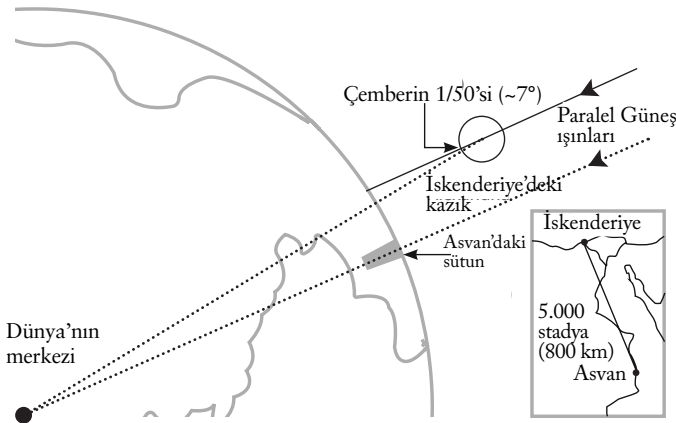
10.000 yıl önce gökyüzünün bu doğal ritmini takip etmek için devasa saatler inşa ediyorduk. Arkeologlar 2004'te İskoçya'da, taş devrinden kalma 10.000 yıllık bir yerleşim yeri keşfettiler. 2013 yılında ise bu yerleşim yerinin neden inşa edildiğini fark ettiler. Yerleşim yerini inşa edenler 50 metrelik bir yay boyunca on iki çukur kazmışlardı, çukurların her biri bir yıl içinde tamamlanan on iki ay döngüsü içindi (nadiren de olsa, eğer ilk dolunay ocak ayının başlarında gerçekleşirse bir yıl içinde 13 kere dolunay görüldüğüne tanık olabiliriz). Bu yerleşim yeri kurulduktan 5.000 yıl sonra duvar ustaları, İngiltere'nin Salisbury Düzlüğü'ndeki Stonehenge'in muazzam çemberi için çalışmaya başladılar. Çemberin içindeyken Güneş'in, günsekizinin zirvesinde olduğu yaz gündönümünde, özellikle topuk taşının tam üzerinden yükseldiğini görebilirsiniz.

Dijital çağın hüküm sürdüğü günümüzde, modern hayatın telaşı içinde koştururken gökyüzünün ritminden çoğunlukla bihaberiz. Ancak antik uygarlıklar için gökyüzünü gözlemlemek zamanı ölçmenin tek yoluydu ve onların Güneş ile diğer yıldızların hareketlerini geniş çaplı bir şekilde incelemesi, günümüzde yaşamımızı düzenleme şeklimizin temelini oluşturdu.

Dünya'nın şeklinin keşfi

Size ortaçağdaki en zeki insanların bile Dünya'nın düz olduğuna inandığını söyleyen birine asla inanmayın, çünkü insanlık Dünya'nın düz olmadığını 2200 yıldır biliyor. Bu bilgi için teşekkür etmemiz gereken kişi Yunan Matematikçi Eratosten ve işin ilginç tarafı şu ki Eratosten Mısır'ın dışına bile çıkmadan bu bilgiye ulaşmıştı.

Eratosten, yaz gündönümünde Güneş tam tepedeyken Mısır'ın Asvan* şehrinde sütunların hiç gölge oluşturmadıklarını gözlemledi. Aklına harika bir fikir geldi ve bir sonraki yaz gündönümünü bekledi. Vakit geldiğinde Asvan'dan 800 kilometre uzaklıkta olan İskenderiye'de bir ölçüm yaptı. Yere bir kazık saplayıp gölgesini gözlemledi, gördü ki burada kazık öğle vakti yedi derece eğimli bir gölge oluşturuyordu. İki şehirde yapılan ölçümün sonuçlarının farkı onun için tek bir şeye işaret ediyordu: Dünya eğimliydi, yani güneş ışınları her bir şehre farklı bir açı ile vuruyordu.



Eratosten, Mısır'ın farklı bölgelerindeki gölgelerin hangi açıyla düştüğüne bakarak dünyanın çevresini hesaplamaya çalıştı.

Eratosten, araştırmasını daha da ileri götürdü. Eğer 800 kilometrelik bir uzaklık yedi derecelik bir fark yaratıyorsa, 360 derecelik fark oluşması için kaç kilometre gerektiğini hesaplayabilirdi. Hesaplamaları Eratosten'e Dünya'nın çevresinin 41.000 kilometre olduğu bilgisini verdi (hesaplamalarını antik bir uzunluk ölçüm birimi olan “stadion [stadya]” üzerinden yapmıştır, cevabı yaklaşık olarak 250.000 stadya çıkmıştı). Dünya'nın çevresinin uzunluğunu çok az bir sapma ile bulmuştu. Antik Yunanlar yalnızca Dünya'nın yuvarlak olduğunu değil aynı zamanda aşağı yukarı ne kadar büyük olduğunu da biliyorlardı yani.

* Eski adıyla Syene. (e.n.)

ERATOSTEN (MÖ 256-194)

Eratosten gerçek bir bilgeydi. Dünya'nın çevresiyile ilgili çalışmalarının yanı sıra coğrafyaya, müziğe, matematiğe ve edebiyata da önemli katkılar yaptı. O kadar saygın biriydi ki İskenderiye'nin meşhur kütüphanesinde başkütüphanecilik görevine layık görüldü. Kütüphane daha sonra yakıldı, ancak en parlak döneminde bilginler ve insanlık için muhteşem kaynaklara ev sahipliği yapıyordu.

Eratosten birçok önemli papirüse ve haritaya erişimi sayesinde bir dünya atlası oluşturdu ve bölgeleri iklimlerine göre ayırdı. İlk kez meridyen çizgilerini çizdi ve 400'den fazla şehrin koordinatlarını belirledi. Bu çalışmaları sayesinde Eratosten, birçokları tarafından coğrafyanın babası olarak kabul edilir.

Belki de ikinci büyük başarısı Eratosten kalburunu icat etmesidir. Eratosten kalburu, tekrarlayan sayılar asal olmadığından bu sayıları ayırma yoluyla, asal sayıları tespit etmeye yarayan bir yöntemdir.

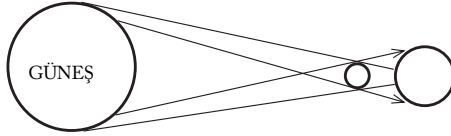
Bu önemli çalışmalarını ödüllendirmek adına, Ay'ın üzerindeki bir kratere de ismi verilmiştir.

Dahası insanların Dünya'nın büyüklüğünü olmasa bile en azından şeklini Eratosten'in zamanından önce bilmeleri bile ihtimaller dahilindedir. Parçalı Ay tutulması sırasında Dünya'nın gölgesi Ay'ın üzerine vurur (bkz. 17. sayfa). Bu gölge çok açık bir şekilde eğimlidir. *Zhou-Shu* isimli Çince bir kitapta MÖ 12. yüzyılda Ay tutulması gerçekleştiğine dair kayıtlar olduğu öne sürülmüştür. Aristofanes'in yazdığı Yunanca tiyatro oyunu *Bu-*

lutlar'da MÖ 421 yılında gerçekleşen Ay tutulmasının yazıldığı ise kesindir. Eğer bu uygarlıklardan herhangi biri Güneş ışınlarının Ay'a ulaşmasını engelleyen şeyin Dünya olduğunu fark ettiyse, Dünya'nın düz olmadığını da anlamış olmalı. Hazır tutulmalardan bahsetmişken bu konudan devam edelim.

Güneş tutulmaları

Tutulma basitçe şudur: Gökyüzünde normalde görebildiğimiz bir nesneyi görmemiz, başka bir nesne tarafından engellenir. İki tür tutulma vardır: Güneş tutulması ve Ay tutulması. Güneş tutulması sırasında Ay, Güneş'in önüne geçer. Ay tutulması sırasında ise Dünya, Ay'a giden ışınların büyük bir bölümünü engeller.



Güneş tutulması sırasında Ay, Dünya ile Güneş'in arasına girer.

İnsanlık, Güneş tutulmalarını binlerce yıl boyunca izledi; izlerken de merak duydu ve endişeye kapıldı. Bir söylentiye göre Çinli Kral Zhong Kang, Güneş tutulması olacağını öngöremedikleri için iki gökbilimcinin kellelerini vurdurmuştur. Bu olay 4 bin yıl önce yaşandı. Olayı bilimsel açıdan çözümleyemediğimiz zamanlardan önce Güneş tutulmaları, kötü olayların habercisi ve tanrıların insanlara olan kızgınlığını gösteren bir işaret olarak yorumlanıyordu.

Güneş tutulmasının en çarpıcı biçimi tam Güneş tutulma-

sıdır; bu sırada Ay, Güneş'in önüne tamamen geçer. Tam Güneş tutulmaları, aynı yerde tekrar görülmesi nadir olaylar olsa da 18 ayda bir Dünya'nın herhangi bir yerinde mutlaka gerçekleşir. Ay'ın hızlı geçişi yüzünden bu muhteşem görüntü en fazla 7 dakika 32 saniye sürer. Muhtemelen Güneş tutulmalarının en güzel yanı, adını 19. yüzyılda yaşamış İngiliz astronomdan alan Baily Boncukları'dır. Tam Güneş tutulması tamamlanmadan hemen önce veya tamamlandıktan hemen sonra, Güneş ışınları Ay üzerindeki kraterlerin arasından sızarak bize ulaşır. Bu muhteşem görüntü Elmas Yüzük Etkisi olarak da adlandırılır.

Bu tam Güneş tutulması sırasında, gökyüzü bariz bir şekilde kararır ve sıcaklık düşer. Neşeyle öten kuşlar, Güneş'in gün içinde ortadan kaybolmasının yarattığı kafa karışıklığı sebebiyle sessizleşir. Tutulmalar amatör gözlemciler ve astronomlara yalnızca doğanın harika gösterilerinden birine tanık olma şansını sunmakla kalmaz, evreni anlamak için de paha biçilemez bir fırsattır. İleride üzerinde duracağımız gibi, evreni anlama konusunda dönüm noktası haline gelen birçok keşfe, tam Güneş tutulmalarının gözlemlenmesi sonucu ulaşmıştır (bkz. 55. sayfa).

Gelgelelim tüm Güneş tutulmaları tam tutulma değildir. Çoğu zaman Ay, Güneş'in yalnızca bir kısmını kapatır. Bu parçalı Güneş tutulmaları sırasında, Güneş'ten sanki büyük bir ısırık alınmış gibi bir görüntü ortaya çıkar. Ay'ın Dünya'ya olan uzaklığı nispeten değişir ve bazen bizden çok uzakken çok ufak gözükür, bu yüzden Güneş'in tamamını kaplayamaz. Bu tür tutulmalara da halkalı Güneş



Baily Boncukları olarak bilinen
Elmas Yüzük Etkisi

tutulması (*annular eclipse*) denir. Bu isim Latince “küçük halka” anlamına gelen *annulus* kelimesinden gelir.

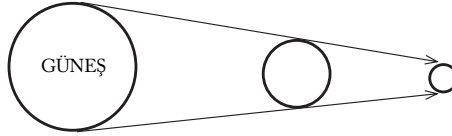
Güneş tutulmalarını izlemek için özel ve uygun bir zamanda yaşadığımızı da unutmayalım. Zira milyonlarca yıl önce Ay, Dünya’ya çok daha yakındı (bkz. 89. sayfa) ve her tutulmada Güneş’in önünü tamamen kapatıyordu; dolayısıyla muhteşem Baily Boncukları’nı görmek imkânsızdı. Gelecekte ise Ay bizden daha da uzaklaşıp çok daha küçük görüneceğinden tam Güneş tutulması diye bir şey olmayacak. Gelecek nesillerimiz yalnızca parçalı ve halkalı Güneş tutulmaları ile yetinmek zorunda kalacaklar.

Ay tutulmaları

Ay’ı yalnızca, Güneş ışınlarını yansıttığı için görebiliyoruz. Tam Ay tutulması sırasında ise Ay’a doğrudan giden ışınlar Dünya tarafından engellenir. Ay, Dünya’nın gölgesine (umbra) girer. Eğer Ay, Dünya’nın gölgesinin bir kısmına girerse parçalı ya da gölgeli ay tutulması gerçekleşir.

Güneş ışınlarının doğrudan Ay’a ulaşmasının engellendiği tam tutulma sırasında bile bazı dolaylı ışınlar Ay’ın yüzeyine ulaşmayı başarır. Bu olay, Dünya’nın atmosferinin gezegenimiz etrafındaki ışığı kırması veya bükmesi sayesinde gerçekleşir. Beyaz ışık aslında gökkuşağının yedi renginin bir karışımıdır (bkz. 38. sayfa) ve atmosferimiz gelen bu ışınlardaki kırmızı ışığı bükerek Ay’a gönderir, kalan ışıklar ise uzaya dağılır. Tutulma sırasında Ay’ı, turuncu veya kırmızı gibi, bakırın farklı tonlarında görme sebebimiz de budur. Uçuşan volkanik küller Ay’ı kan kırmızısı renge bürüyen etkiyi yoğunlaştırır. Eğer Dünya’nın atmosferi olmasaydı tutulma sırasında Ay, gökyüzünü kısa bir süreliğine terk etmiş gibi olacaktı.

Daha nadir gerçekleşen ve daha kısa süren Güneş tutulmalarının aksine, Ay tutulmaları sık gerçekleşir ve daha uzun sürer. Dünya gibi büyük bir cismin Ay gibi daha küçük bir cisme ulaşan ışığı engellemesi, tam tersi duruma göre çok daha kolaydır. Tam Ay tutulması süresi, 100 dakikaya kadar çıkabilir ve Dünya'nın geceyi yaşayan yarısındaki insanların çoğu tarafından görülebilir.



Dünya'nın Ay'a giden ışınları engellediği bir Ay tutulması.

İnsanlar, Ay tutulmalarını binlerce yıldır gözlemliyor. Mİ-lattan önce 2094'e dayanan Antik Sümer kil tabletlerinde, Ay tutulması ile birlikte yaklaşan kıyamet tahminlerinin kaydına rastlandı. Tarihte batıl inançlar ve tutulmalar hep birbiriyle ilişkide olmuştur. Kötülüğüyle ün salan Ay tutulması ise milattan sonra 1504 yılında, Kristof Kolomb Yeni Dünya'yı keşfettikten hemen sonra gerçekleşti. Kurtçuklar gemilerin ahşap gövdesini yediği için tamirat yapmak zorunda kalan İtalyan kâşif ve tayfası, Jamaika'da mahsur kalmıştı.

Başlarda yerliler tayfaya yardımcı oluyordu; ancak ziyaret süresi uzayınca tayfadakiler yiyecekleri yağmalamaya başladılar, bu durum yerlileri kızdırdı. 6 ay sonra ise yerli şef, kâşiflere sundukları her şeyi kesti. Kolomb çaresiz bir şekilde düşündü. O zamanlarda tüm gemilerde yıldız pozisyonlarını ve astronomik olayları içeren takvimler bulunuyordu. Bu takvimlere göz gezdiren Kolomb, 29 Şubat'ta bir Ay tutulması gerçekleşeceğini gördü. Büyük bir kurnazlık yaparak şefe Tanrı ile haberleştiğini ve Tanrı'nın kâşiflere kötü davranıldığı için Ay'ı kan kırmızısına çevireceğini söyledi. Bir sonraki akşam tutulma gerçekleşince yerliler birden daha yardımsever oldular.

Kolomb'un oğlu günlüğüne şunları yazdı: “İnleme ve feryatlarla birlikte her yerden gemilere doğru geldiler, yiyecek ve içecekler getirdiler, Tanrı'ya onları affetmesini söylemesi için amirale yalvardılar.” Bu olay, evrenin işleyişini bilmenin ne büyük bir güç ve batıl inançların da ne büyük bir tehlike olduğunun örneklerinden yalnızca bir tanesi.

Takımyıldızlar

Geceleri gökyüzünü süsleyen tek şey Ay değildir, gece göğü yıldızlarla da bezelidir. Bulutsuz bir gecede bu yıldızların binlercesini görebiliriz. Binlerce yıldır birçok medeniyet adeta “noktaları birleştir” oyunu oynayarak bu yıldızları hayal güçlerine göre birleştirip bizim takımyıldızlar olarak bildiğimiz yıldız gruplarını oluşturdu. Çoğu tamamen gelişigüze, desenler yıldızların yakınlıklarına göre tasvir edilmemiştir. Birçoğu da gerçekçilikten uzaktır. Mesele Canis Minor, yani Küçük Köpek takımyıldızına bir bakalım. Bu takımyıldız, iki yıldızın bir çizgi üzerinde birleşmesiyle oluşmuştur. Köpeğe hiç mi hiç benzemez, ortada bacak bile yoktur.

Bu tuhaf adlandırmaların sebebi, öteden beri var olan hikâyelerin yıldızlarla ilişkilendirilmesiydi. Kahraman prenslerin, başı dertte olan genç kadınların, kibirli kralların ve büyülmüş ejderhaların hikâyeleri sanki resimli bir kitapmışçasına gökyüzüne bakarak anlatılageldi. Yazının bile olmadığı günlerde hikâyelerimiz, zengin bir sözlü hikâye anlatım geleneğiyle şekillenmişti. Yıldızlar da bu hikâyeleri hatırlamanın bir yolu olarak kullanıldı. Ancak hepsinden daha da önemlisi yıldızlar, hayati bilgileri nesilden nesile aktarmamızı mümkün kıldı.



Albrecht Dürer tarafından 1515 yılında yapılan ve kuzey yarımküredeki takımyıldızları gösteren gravür çalışması.

Atalarımız fark etti ki bazı takımyıldızlar da tıpkı belli hava şartları gibi bazı mevsimlerde gözüküyor, bazılarında ortadan kayboluyorlardı. Meşhur Avcı takımyıldızı (Orion) kış aylarında kuzey yarımkürede gökyüzünün hâkimiyken havalar ısınınca gözden kayboluyordu. Bu astronomik ipuçlarını takip eden atalarımız, ekim ve hasat zamanlarını planlayabilir hale geldiler. Bu astronomik bilgiler aslında, yıldızlar hakkında hikâyeleri içeren ve nesilden nesile aktarılan, tarımla alakalı kocaman bir ders kitabı gibiydi. Takımyıldızlar da bu bilgileri hatırlamayı kolaylaştırmıştı.

Günümüzde profesyonel astronomlar, resmi olarak her iki

yarımküreye yayılan 88 takımyıldızının varlığını kabul ediyorlar. Kuzey yarımküredeki takımyıldızların birçoğu, antik Yunan ve Romalılardan devraldığımız mitler ve hikâyelerin bir mirası. Örnekler, kanatlarıyla meşhur at Pegasus ve onun binicisi Perseus'u da içeriyor. Güney yarımküredeki takımyıldızlar ise genelde, ilk Avrupalı kâşiflerin bilinmeyen suların haritasını çıkarırken çizdiği yıldızlardan oluşuyor. Sonuç olarak buradaki takımyıldızlar daha nesnel ve çok daha az hayali. Ortaya çıkış hikâyeleri ise mikroskoplar, teleskoplar, denizcilik ekipmanları, gemiler, balıklar ve deniz kuşları ile dolu.

Avustralya Aborjinlerinden Çinlilere, Eskimolardan İnkalara her medeniyet kendi takımyıldızlarına sahip olsa da bilimsel devrimin Avrupa'da gerçekleşmesi, Yunan-Roma takımyıldızlarının küresel çapta resmi standart haline gelmesiyle sonuçlandı. Takımyıldızlar, yüzyıllar boyunca düzenlendi ve hatta zaman zaman değiştirildi, ancak 1922'de Uluslararası Astronomi Birliği (UAB) varlığını ebediyen sürdürecektir bir standart oluşturdu.

Takımyıldızlar, geceleri gökyüzünü aydınlatma konusunda hâlâ faydalı ancak evrenin sabit bir özelliği değil. Eğer Güneş yerine başka bir yıldızın yörüngesindeki bir gezegende doğmuş olsaydık şu an gördüğümüz yıldızların birçoğunu yine görürdük, ancak tamamen farklı bir açıdan. Atalarımız da farklı açılardan görecekleri için bu takımyıldızları bambaşka şeylere benzetecekti.

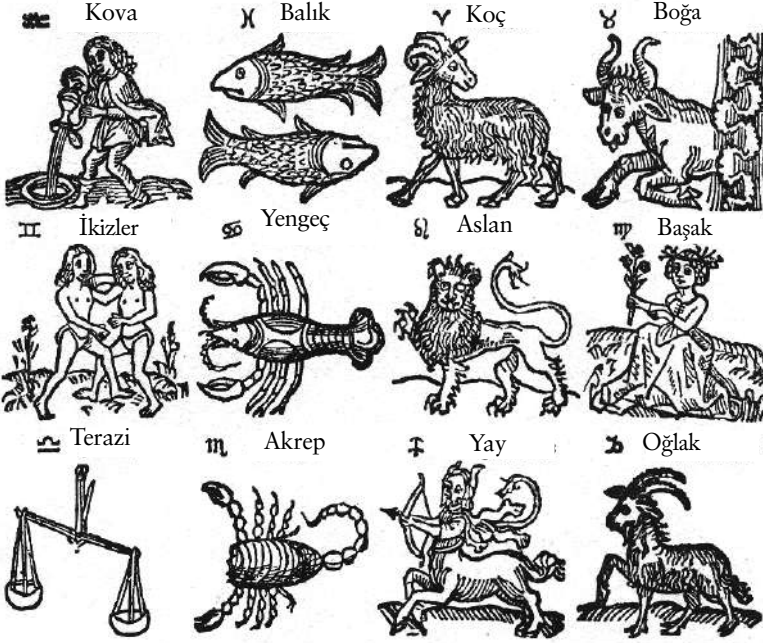
Burçlar Kuşağı ve Tutulum Çemberi

Yıldızlar gündüzleri de oradalar, ancak onları göremiyoruz; çünkü Güneş'in parlaklığı onların cılız ışığını bastırıyor. 80.000 kişilik bir stadyumda projektörler açıkken bir mum ışı-

ğını görmeye çalıştığınızı düşünün, işte yıldızların durumu da buna benziyor. Yine de Güneş'in de bir takımyıldıza dahil olduğunu (her ne kadar takımyıldızdaki diğer yıldızları gün içinde görmek mümkün olmasa bile) söylemek mümkün.

Güneş her gün, gökyüzündeki diğer yıldızlardan bir derecelik bir açı farkıyla hareket eder. Bir yılda 360 derecelik turunu tamamlar. Güneş'in gökyüzünde izlediği rotaya ekliptik veya tutulum çemberi diyoruz. Bu olay da atalarımızın gözünden kaçmamış. Milattan önce 1000'li yıllarda Babilliler, yıl boyunca gerçekleşen her bir ay döngüsü için bir tane olmak üzere, ekliptiği 12 takımyıldızına bölmüş. Astronomiyle ilgilenmeseniz bile bu takımyıldızlarının günümüzdeki isimlerini duymuş olmanız mümkün: Koç, Boğa, İkizler, Aslan, Yengeç, Başak, Terazi, Akrep, Yay, Oğlak, Kova ve Balık. Bu takımyıldızlar, burçlar kuşağı ya da "hayvanların çemberi" anlamına gelen *zodyak* olarak adlandırılıyor.

Geçmişte gece göğü, mistik şeylerle ve batıl inançlarla bağdaştırılırdı. Gökyüzündeki olayların, yeryüzündeki durumları etkileyeceği düşünülürdü. Bu inanış, göksel nesnelerin konumunun ve hareketlerinin insan ilişkileri üzerinde etkili olduğunu öne süren astrolojinin kökenini oluşturuyor. Astrolojiye göre, doğduğunuz günde Güneş'in hangi takımyıldızında olduğu, tüm hayatınıza etki ediyor. Ancak modern astronomi bilimine göre böyle bir olayın varlığına dair hiçbir kanıt yok. Yıldızlar yalnızca, bizden çok uzakta olan büyük ve sıcak gaz toplarıdır diyebiliriz. Doğduğunuz gündeki yıldızların konumu, sizin hayatınızı ya da kişiliğinizi etkileme konusunda, yenidoğan servisindeki bir vazonun konumu veya babanızın hastane otoparkına park ettiği arabanın konumuyla eşdeğer bir öneme sahip.



Güneş'in gökyüzündeki yıllık yolunu hep birlikte takip eden zodyak takım-yıldızlarının 16. yüzyılda yapılmış bir gravürü.

Yine de burçlar kuşağı ve tutulum çemberi, bu batıl inançlardan sıyrılıp daha bilimsel bir bakış açısı geliştirmemiz konusunda büyük rol oynadı. İleride de göreceğimiz gibi, tutulum çemberine yakın nesnelerin hareketlerini gözlemlemek evrendeki yerimizi anlayıp eski ve asılsız düşünceleri bırakmamız için çok önemliydi.

Gezgin yıldızlar

Eski uygarlıklara göre üç farklı türde yıldız vardı. Bulunduğu takımyıldızdan ayrılmayan yıldızları, sabit yıldızlar olarak ad-

landırdılar. Ara sıra, muhteşem görüntüsüyle gökyüzünde ani bir parlamaya sebep olan bir kayan yıldız gözüktü (bkz. 83. sayfa). Son olarak da gezgin yıldızlar vardı. Bu küçük grup, standart kurallara karşı gelen beş yıldızdan oluşuyordu. Tutulum çemberine yakın hareket ediyorlar ve bir burç takımyıldızından ayrıлып diğerine geçiyorlardı. Yunancada bu gezgin yıldızlara “asteres planetai” adı verildi ve kelime İngilizceye “planet (gezegen)” olarak geçti.

Avrupa’da bu uyumsuz yıldızlara Roma tanrıalarının isimleri verildi: Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn. Ay ve Güneş’le birlikte, standart kurallara itiraz edip takımyıldızlar arasında hareket eden yedili bir grup oluşturuyorlardı. Haftanın yedi gününün ismi de birçok dilde, bu aykırı gök cisimlerine ithafen verilmiştir (bkz. 24. sayfa). Birbirinden çok uzakta olan medeniyetlerin her biri, birbirinden habersiz bir halde, yedi günlük hafta biçimini benimsemiştir; çünkü hepsi de tutulum çemberine yakın hareket eden bu yedi cismi görebiliyordu. Diğer zaman devirleri de gökyüzünden türetildi.

Uranüs ve Neptün de tutulum çemberi üzerinde hareket ediyor ama eski medeniyetlerin onları fark etmesi çok zordu; çünkü bu gezegenler Güneş’ten çok uzakta ve yaydıkları ışık teleskopsuz görülemez kadar zayıf. Eğer insanlar daha büyük gözlerle evrimleşseydi, yani herhangi bir aracın yardımı olmadan Uranüs ve Neptün’ü görebilseydik belki de şu an dokuz günlük bir hafta biçimi olacaktı.

Eğer gezegenleri aylarca hatta yıllarca gözlemlerseniz, ilginç bir şey yaptıklarına şahit olursunuz. Önce tutulum çemberinde bir yönde hareket ederler, sonra duraklar ve yön değiştirip geldikleri yerden geri dönerler. Bu hareket “geri hareket” ya da “retro hareket” olarak adlandırılır. Evrenin ve gökyüzünün işleyişine açıklama getirmek isteyen birinin, bu garip davranışı açıklaması gerekir.

İngilizce	Fransızca	İspanyolca	Gökcismi
Monday	lundi	lunes	Ay (Moon)
Tuesday*	mardi	martes	Mars (Mars)
Wednesday*	mercredi	miércoles	Merkür (Mercury)
Thursday*	jeudi	jueves	Jüpiter (Jupiter)
Friday*	vendredi	viernes	Venüs (Venus)
Saturday	samedi	sábado	Satürn (Saturn)
Sunday	dimanche	domingo	Güneş (Sun)

*Bu günlerin İngilizce isimleri, İskandinav/Anglosakson tanrılardan üretilmiş, bu sebeple diğerlerine uymuyorlar.

Batlamyus ve Dünya merkezli evren modeli

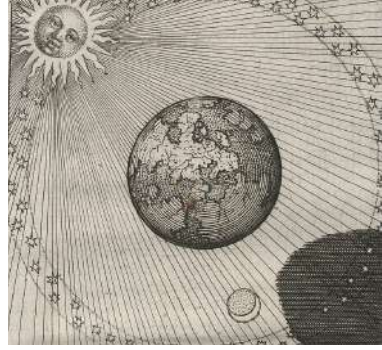
Eski uygarlıklar, bilhassa antik Yunanlar, evrenin bir modelini çıkarmak için gökyüzü hakkında bildikleri her şeyi bir araya getirdiler. Dünya'nın yuvarlak olduğunu ve Güneş ile diğer yıldızların her gün gökyüzünde belli bir rota izlediklerini biliyorlardı. Günlük deneyimleri onlara Dünya'nın hareket etmediğini söylüyordu, çünkü bu hareketi hiç hissetmiyorlardı. Onlar da merkezin Dünya olduğuna; Güneş'in, Ay'ın, gezegenlerin ve yıldızların Dünya'nın etrafında döndüğüne kanaat getirdiler. Bu görüşler, Dünya merkezli evren modelini (geocentric) oluşturdu.

Bu, çok mantıklıydı. Model, yalnızca gökyüzünde gözlemledikleri şeylerle uyumlamakla kalmıyor, aynı zamanda Dünya'nın yaratılışın merkezi olduğu hakkındaki dini inançlarıyla da uyuyordu. O zamanlardaki birçok modelde Dünya merkezdi, etrafı ise Güneş'in, Ay'ın, gezegenlerin ve yıldızların bulunduğu çarklarla çevriliydi.

Gökyüzünden en hızlı geçen cisim Ay olduğundan doğal olarak ilk çarkta o vardı. Sonra Merkür, Venüs, Güneş, Mars, Jüpiter ve Satürn geliyordu. Satürn'ün ötesinde ise takımyıldızlarından ayrılmayan *sabit* yıldızlar bulunuyordu.

Ancak bu modelle ilgili büyük bir sorun vardı, çünkü bu model gezegenlerin geri hareketini açıklayamıyordu. Bazı çarklar neden önce durup sonra tekrar geriye doğru hareket

ediyordu? Yunan matematikçi Batlamyus bu soruna, “Batlamyus Modeli” olarak bilinen bir çözüm üretti. Düşüncesine göre gezegenler dış çember adı verilen küçük bir çember üzerinde hareket ediyordu ve bu çember de yörünge denen daha büyük bir çember üzerinde, Dünya'nın etrafında dönüyordu (resim için bkz. 27. sayfa). Gezegenin dış çemberdeki hareketi, yörüngeyle aynı olursa gezegenlerin tutulum çemberi üzerinde tek bir yönde hareket ettiğini görürüz. Ancak eğer gezegen, dış çemberde yörüngelekinin tersi bir hareket sergilerse gezegenin yön değiştirdiğini görürüz. Bu gayet zekice bir çözümdü ve gök cisimlerinin hareketini açıklama konusunda ileri sürülen en sağlam iddialardan biriydi. Bu düşünce bin yıldan fazla bir süre su götürmez bir gerçek olarak kabul edildi.



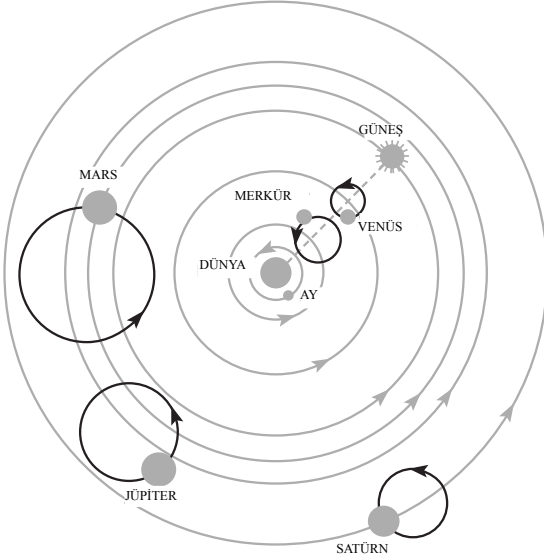
Eski astronomlar, Güneş'in Dünya'nın etrafında döndüğü “Dünya merkezli evren modeli”ne inanıyorlardı. Bu modelin, 1687 yılında yapılmış bir örnek çizimi.

KLAUDYOS BATLAMYUS (MS 100-170)

Astronomik düşünce konusunda etkisi bin yıldan fazla sürmesine rağmen, Batlamyus hakkında çok az şey biliyoruz. Ondan geriye yalnızca çalışmaları kaldı. O zamanlar Roma İmparatorluğu'nun topraklarına, şimdi ise Mısır topraklarına dahil olan İskenderiye'de yaşadı.

Planetary Hypotheses (Gezegenlere Dair Hipotezler) adlı kitabında gezegenlerin geri hareketini açıklayan dış çemberleri düzenledi ve evrenin boyutunu hesaplamaya çalıştı. Dünya'nın Güneş'e olan uzaklığını, Dünya'nın çapı üzerinden hesaplamaya çalıştı ve bu uzaklığın Dünya'nın çapının 605 katı olduğunu buldu (doğru sayı 12.000 kata yakın). Yıldızların da Dünya'nın çapına oranla 10.000 kat uzaklıkta olduğunu düşündü (doğru sayı 3 trilyon kattan fazla). Diğer önemli eseri *Almagest*'te (Büyük Bileşim) birçoğu şu an bile geçerli olan kırk sekiz takımyıldızı listeledi.

Her ne kadar bazı kaynaklar, Batlamyus'un hayat şartları iyi olduğu için şanslı olduğunu söylese de o, istekli ve arzulu bir astrologdu. Müzik, optik ve coğrafya hakkında da çalışmalar yaptı. Tıpkı Eratosten gibi, o da Ay'da bulunan bir kraterin isim babasıdır.



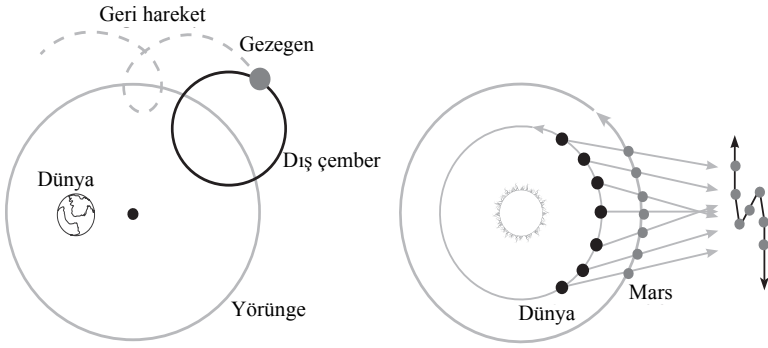
Batlamyus, gezegenlerin geri hareketini açıklamak için dış çemberler ve yörünge modelini çizdi.

Kopernik ve günmerkezlilik

1 6. yüzyıla gelindiğinde Batlamyus'un modeli Avrupa'da öyle yerleşmişti ki bu modeli sorgulamak hayatınızı tehlikeye sokabilirdi. Hıristiyanlık, antik Yunan zamanlarından beri Avrupa'ya tamamen yayılmıştı. Hıristiyanlığın en temel öğretilerinden biri de Tanrı'nın evreni yedi günde yarattığıydı. Yani Dünya'nın evrenin merkezi olduğu herkesçe doğal karşılanıyordu. Bu görüşle birlikte gelen hareketin merkezinde olma onuru varken neden bir sürü zahmete katlanıp yeniden sorgulama yapılsın ki? Zaten bu sorgulamayı yapmak bile kâfirliğe giriyordu. Bu sırada Ortadoğu'daki Müslüman bilginler bu tür dogmalara çok da bağlı değildi ve MS 1050 yılları gibi erken bir dönemde bile, Batlamyus'un

Dünya merkezli modelinde çatlaklar bulmaya başlamışlardı.

Yine 16. yüzyıl civarlarında, Polonyalı matematikçi Nikolas Kopernik (Nicolaus Copernicus), gezegenlerin geri hareketini açıklamak için Batlamyus modelindeki dış çemberlere ihtiyaç olmadığını fark etti. Yapılması gereken tek şey, Güneş'i merkeze almak ve Dünya'yı da onun yörüngesindeki bir gezegen olarak düşünmekti. Bu da günmerkezlilik (*heliocentric*) modelini ortaya çıkardı.



Gezegenlerin geri hareketi: Batlamyus ve Kopernik modellerinin karşılaştırılması.

Bu modelle birlikte anlaşıldı ki Mars'ın yaptığı geri hareket aslında, Dünya'nın Güneş etrafındaki turunu Mars'a kıyasla daha hızlı tamamlamasından, yani bir nevi Mars'a "tur bindirmesinden" dolayı oluşuyordu. Dünya'nın Mars'a doğru yaptığı hareket tek yönlü gibi gözüküyor, ancak Mars'ı bir kez geçince, biz hızla ilerlerken Mars bizden uzaklaşıyormuş gibi görünüyordu. 16. yüzyılın ilk çeyreğinde Kopernik, düşüncelerini yazmaya başladı ve bu yazıların kopyalarını güvendiği arkadaşlarına dağıttı. 1532 yılına gelindiğinde ise düşüncelerinin doğru olduğuna emindi, ancak suçlanma korkusuyla çalışmalarını saklamayı tercih etti. Her ne kadar kesin olmasa da, ölüm döşegindeyken Kopernik'in kendi kitabının yalnızca bir kopyasını gördüğü söylenir. Hikâye göre, nihayet düşüncelerinin yayımlanacağı bilgisiyle 1543 yı-

lında huzurlu bir şekilde öldü. O kitap, gelmiş geçmiş en önemli kitaplardan biri olarak kabul edilen *Göksel Kürelerin Devinimleri Üzerine* (*De revolutionibus orbium coelestium*) idi.

Kitap, teolojik bir krize yol açtı. 16. yüzyılın sonunda İtalyan rahip Giordano Bruno, mantıksal bir tavır takınarak Dünya'nın Güneş etrafında döndüğünü savunmakla kalmayıp tıpkı Güneş gibi diğer uzak yıldızların da, yaşam barındırma ihtimali olan gezegenleri olabileceğini ileri sürdü. 1600 yılında sapkınlık suçlamasıyla kazıkta yakıldı, bazı tarihçilere göre bu görüşleri onun birçok “düşünce suçundan” yalnızca bir tanesiydi.

Dünya merkezli bir evrende mi yoksa Güneş merkezli bir evrende mi yaşadığımız tartışması, konuyu sonsuza dek kapatacak bir kanıttan yoksundu. Ancak Danimarkalı bir astronom bu kanıtı bulmak için çok çabaladı, en sonunda ise iki modeli birleştirip ortaya melez bir model çıkardı.

Tycho Brahe

Danimarkalı astronom Tycho Brahe “eksantrik” kelimesinin sözlükteki karşılığıydı âdeta. 20 yaşına geldiğinde matematik üzerine yapılan bir düelloda burnunun ucunu kaybettiğinden, yetişkinliğinin çoğu pirinç bir takma burunla geçti. Bazı tarihçiler William Shakespeare'in Hamlet karakterini Brahe'yi düşünerek yazdığını bile düşünüyor, çünkü Rosencrantz ve Guildenstern karakterleri, Brahe'nin kuzenleri ile aynı isimleri taşıyorlar. Hatta *Hamlet*'in Dünya merkezli ve Güneş merkezli modeller konusunda alegorik bir savaşı işlemiş olması bile ihtimaller dahilinde, çünkü bu görüşe göre Claudius karakterinin ismi de Klaudyos Batlamyus'dan (Claudius Ptolemy) geliyor.

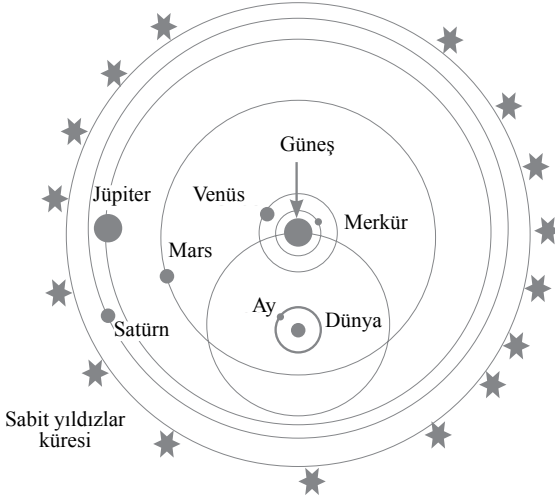
Kesin olarak bildiğimiz şey, Brahe'nin astronomiye olan tutkusu ve bu işte ne kadar iyi olduğu. Gökyüzüyle ilgili ölçümleri, kendisinden önceki astronomlara kıyasla çok daha doğrudu. Da-

nimarka Kralı, Brahe'ye şu an İsveç sınırları içerisinde bulunan küçük Ven adasını hediye etti ve devasa bir gözlemevi inşa etmesi için mali yardımında bulundu. Brahe, buraya Zeus'un kızı ve astro-nominin ilham perisi Urania'dan gelen *Uraniborg* adını verdi.

Uraniborg'daki sosyal ortam da orada yapılan astronomik göz-lemeler kadar ilgi çekiciydi. Brahe, Jepp adında cüce bir soytarıyı işe almıştı. Jepp gelen konukları korkutmak için masa altlarına sak-lanır ve birden önlerine zıplardı. Ayrıca yine orada, evcilleştirilmiş bir alageyiği de vardı; ancak bir gün kapağı açık kalmış bir fiçidan bira içen alageyik, sarhoş oldu ve merdivenlerden düştü. Brahe'nin ölümü de benzer bir sebeple gerçekleşecekti. 1601 yılında Prag'da savurganlık yaptığı bir ziyafette, tükettiği yüksek alkol miktarına rağmen masayı terk edip tuvalete gitmeyi reddetti. 11 gün son-ra, kana çok fazla üre karışması sonucunda ortaya çıkan üremi sebebiyle öldü. Tuvalete gitmediği için mesanesi patlamıştı.

44 yaşındaki zamansız ölümünden önce Brahe, Uraniborg'da-ki gözlemevinde yıldızların ve gezegenlerin hareketlerini özenle kaydetti; bunu yaparken gökyüzündeki cisimlerin aralarındaki açıyı ölçmek için kullanılan sekstant ve kuadrant isimli mekanik aletlerden yararlandı. Gözlemlerinin neredeyse büyük bir bölümü, yalnızca 1 derece kadar şaşmıştı. Bu, ona Dünya merkezli ve Gü-neş merkezli modelleri birleştirme olanağını sundu. Dünya kadar büyük bir cismin hareket edebileceğine kendini inandırnamamıştı, bu yüzden kendi evren modelinde (Tychonic model) Güneş'i ve Ay'ı Dünya'nın yörüngesinde, diğer gezegenleri ise Güneş'in yörüngesinde tasvir etmiştir. Tıpkı Batlamyus'un dış çemberler mo-del gibi bu model de gezegenlerin geri hareketini açıklıyordu.

En azından kâğıt üstünde açıklıyordu demeliyiz. Ancak bu üç modelden (Batlamyus'un, Kopernik'in ve Tycho'nun model-leri) hangisinin yaşadığımız evreni tamamen doğru tasvir ettiği hakkında yeterli kanıt hâlâ yoktu. Sonra Danimarkalı bir mercek ustasının yanlışlıkla yaptığı bir keşif, astronomiyi sonsuza dek de-ğiştirdi.



Brahe, Dünya'nın merkezde olduğu ancak bazı gezegenlerin Güneş'in yörüngesinde döndüğü melez bir model tasarladı.

Teleskopun icadı

Bu noktaya kadar bahsettiğimiz tüm astronomik gözlemler çıplak gözle, sekstant ve kuadrant adı verilen araçlar kullanılarak yapılmıştı. Sonra Danimarkalı Hans Lippershey, 1608 yılında teleskopu keşfetti. Patent başvurusunda “uzaktaki nesneleri çok yakınmış gibi görebilmek için bir alet” demişti. Bu aleti ilk keşfedenin gerçekten o olup olmadığı çok kesin değil; ancak tarih, bu buluş için itibarı genelde ona atfediyor. Bilim alanında yapılan birçok devrim, muhtemelen uydurulmuş “kavrama anları” ile birlikte anılır; Arşimet’in “Eureka” diye bağırması ya da Isaac Newton’ın yere düşen elmadan yola çıkması gibi. Teleskopun icadı da farklı değil.

Lippershey’in aydınlanma ânının, atölyesindeki eski merceklerle oynayan iki çocuğu gördüğünde gerçekleştiği söylenir. İki merceği üst üste koyup uzaktaki bir rüzgârgülüne baktığında,

rüzgârgülünün normalden çok büyük görüldüğünü fark etti. Lippershey bu etkiyi kullanarak nesneleri üç kata kadar yakınlılaştıran bir alet tasarladı. Birkaç yıl sonra Yunan bilim insanı Giovanni Demisiani bu alete bir isim vermek için antik Yunan-cada uzak anlamına gelen *tele* ve bakmak anlamına gelen *skopein* kelimelerini birleştirerek “teleskopos” kelimesini buldu.

Ancak bu yeni icadı gerçekten etkili bir şekilde kullanacak esas kişi İtalyan bir matematikçiydi, bunu yaparak nihayet çok ama çok eski bir düşüncüyü yerle bir etti.

Galileo ve teleskopik gözlemleri

1608 yılında İtalyan bilim insanı Galileo Galilei, Padua’daki yerel bir üniversitede matematik öğretiyordu. Venedik şehri-ni ziyaret ettiği sırada, Avrupa’yı âdeta kasıp kavuran Hollanda yapımı yeni aletin bir kopyasıyla karşılaştı. Tasarımı geliştirmek için çabaladı ve çok geçmeden görüntüyü sekiz kat büyüten bir teleskop elde etti (Lippershey’in tasarımı üç kat büyütüyordu). Daha sonra bu tasarımı iyice geliştirerek görüntüyü otuz kattan fazla yaklaştıran bir alet yaptı.

Galileo kısa sürede tamamen Dünya merkezli bir evrende yaşamadığımızı fark etti. Batlamyus yanılmıştı. 7 Haziran 1609’da teleskopunu Jüpiter’e doğru çevirdi ve gezegenin etrafında dö-nen üç küçük cisim fark etti. Bir hafta içinde dördüncü bir ci-sim daha olduğunu gördü. Jüpiter’in dört büyük uydusu artık Galileo’nun onuruna, Galileo uyduları olarak adlandırılıyor (bkz. 107. sayfa). Dünya’nın ya da Güneş’in etrafında dönmeyen dört cismin varlığı apaçık görülüyordu.

1610 yılında Galileo, Venüs’ün de tıpkı Ay gibi farklı evreleri olduğunu fark ettiğinde, sorunu kökünden çözen keşif gerçek-leşti. Venüs, bazen “tam” bazen de hilal şeklinde görünüyordu.

Şekli de değişiyordu, sanki bize bir yaklaşıp bir uzaklaşıyor gibiydi. Batlamyus'un düşündüğü gibi hem Venüs hem de Güneş, Dünya'nın etrafında dönüyor olsaydı Venüs'ün evrelerini gözlemleyemezdik. Batlamyus'un sistemine göre Venüs, Dünya ile Güneş'in arasına hiç girmiyordu; evreleri görebilmemiz için ise bir hizalanma gerekiyordu. Brahe ve Kopernik'in modellerinde ise Venüs'ün ışığını, Dünya ile Güneş arasında olduğu sırada çok az görebiliyorduk, çünkü Güneş ışınlarının birçoğu gezegenin bize dönük olmayan yüzüne vuruyordu. Bize dönük olan tarafı ise bizden en uzakta olduğu sırada aydınlıktı.

Nihayet Batlamyus'un eski Dünya merkezli modelini hükümsüz kılacak kanıt bulunmuştu. Ancak Güneş merkezli evren modeline destek vermek hâlâ tehlikeliydi. Galileo, Kopernik'in haklı olduğunu savunduğunda ruhban sınıfının öfkesiyle karşılaştı. Ruhban sınıfı, Brahe'nin modelini destekledi; çünkü hem Dünya'nın merkez olduğunu öne süren dini görüşlere uyuyor hem de Venüs'ün evrelerini açıklayabiliyordu. 1616 yılında Engizisyon, Güneş merkezli evren fikrini savunmanın, kutsal kitabı yalanlamak olduğunu bildirdi. 1633 yılında Galileo mahkemeye çıkarıldı ve sapkınlıktan suçlu bulundu. Cezası ömür boyu ev hapsiydi. 77 yaşındayken öldüğü 1642 yılına kadar günlerini, bilimin daha tartışmasız alanları üzerine önemli kitaplar yazarak geçirdi. Kilise ise nihayetinde Galileo'yu affetti, ancak tam 1992 yılında!

Galileo ayrıca Ay üzerindeki dağların resimlerini çizdi ve bu dağların gölge boylarını kullanarak yüksekliklerini hesaplamaya çalıştı. Bulduğu sonuçlar, Ay yüzeyinde kimsenin beklemeyeceği kadar yüksek tepeler olduğunu ortaya çıkardı. Satürn'ün halkalarını ilk gören kişi olarak bu halkaları, gezegenin iki yanına yapışan "kulaklar" olarak betimledi. Hatta Güneş'in yüzeyindeki lekeleri bile inceleyip Samanyolu'nun yalnızca bir gaz bulutu olmadığını ve yıldızlarla dolu olduğunu açığa çıkardı.

Johannes Kepler ve gezegen yasaları

Alman matematikçi Johannes Kepler, Kopernik modelinin en eski ve en yüksek sesli savunucularından biriydi, hem de bunu Galileo'nun gözlemlerinden önce yapıyordu. 1600 yılında Tycho Brahe'nin yardımcısı olan Kepler, Güneş'in etrafında dönen gezegenlerin matematiksel kurallarını öğrenmek için yanıp tutuşuyordu. Brahe'nin bazı gözlemlerini kullanmaya izni vardı, ancak Brahe diğer bilgilerini dikkatle koruyordu. Brahe'nin bir yıl sonra ölmesinden sonra tüm çalışmaları Kepler'e kaldı; bu olay, bazı tarihçiler tarafından bir cinayet olarak görülüyor. Brahe'nin cesedi 1901 yılında incelendiğinde vücudunda civa izlerine rastlandı. Acaba gerçekten mesane problemleri yüzünden mi ölmüştü? Yoksa Kepler, Brahe'nin rakipsiz astronomik kataloğuna ulaşmak için onu zehirlemiş miydi? Ne de olsa Brahe'nin nasıl öldüğünü yalnızca Kepler'in günlükleri sayesinde biliyoruz. Gelgelelim Brahe 2010 yılında mezardan tekrar çıkarıldığında yapılan testler gösterdi ki vücudunda bulunan civa miktarı ölümüne neden olamayacak kadar azdı.

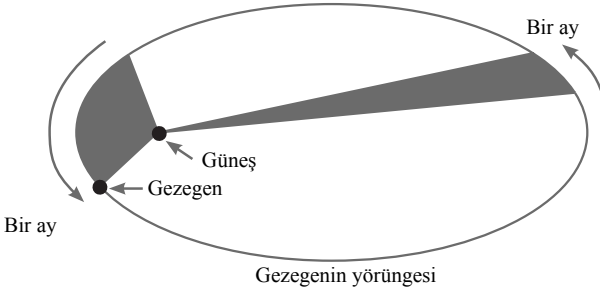
Brahe'nin ölümünden sonra Kepler, gözlemlerini kullanarak gezegen hareketlerini açıklayan üç ünlü yasayı oluşturdu:

Birinci Yasa: Gezegenler, odak noktalarının birinin Güneş olduğu, elips bir yörünge üzerinde hareket ederler.

Kepler, gezegenlerin Güneş etrafında, antik medeniyetlerin ve hatta Kopernik'in sandığı gibi kusursuz çemberler üzerinde hareket etmediğini görebiliyordu. Bunun yerine elips adı verilen oval bir şekil çiziyorlardı. Bir elipsin iki odak noktası bulunur (odak noktaları eğrinin içindeki önemli matematiksel noktalara verilen isimdir). Güneş de bu odak noktalarının birinde bulunur.

İkinci Yasa: Güneş ve bir gezegen arasındaki çizgi, eşit zamanda eşit alanları tarar.

Gezegenlerin elips yörüngelerinin olmasının bir sonucu olarak bazı gezegenler, Güneş'e diğerlerinden daha yakındır. Ancak Kepler fark etti ki Güneş ve bir gezegen arasındaki çizgi, aynı toplam alanı, aynı sürede tarıyor (aşağıya bakınız). Basitleştirmek gerekirse aynı gezegen, Güneş'e yakın olduğunda hızlanıyor, uzak olduğunda ise yavaşlıyor.



Kepler'e göre gezegenler, Güneş etrafında elips çizerek dönerler ve Güneş'e yakın olduklarında hızlanırlar.

Üçüncü Yasa: Bir gezegenin yörüngesel devrinin karesi, gezegenin Güneş'e olan uzaklığının küpü ile doğru orantılıdır.

Özü itibarıyla, bir gezegen Güneş'ten ne kadar uzaksa Güneş etrafındaki dönüşünü tamamlaması o kadar uzun sürer. Bu çok mantıklı, Güneş etrafındaki turunu en hızlı tamamlayan gezegen Merkür, çünkü izlediği yörünge diğerlerine kıyasla en küçüğü. Satürn'ün bu turu tamamlaması çok daha uzun sürüyor çünkü tamamlaması gereken yolculuk çok daha uzun. Kepler'in aydınlanması, bu iki şey arasındaki kesin matematiksel ilişkiyi açıklamasıyla gerçekleşti. Brahe'nin doğru gözlemlerini kullanarak bir gezegenin yörüngesini tamamladığı sürenin karesi (süre x 2), gezegenin Güneş'e olan uzaklığının küpü (kendi uzaklığı x 3) ile doğru orantılıydı.

Bu yasalar, doğrudan gözlemlere dayalı *deneysel* yasalardı; gezegenlerin neden Güneş'in etrafında döndüğüne dair teorik açıklamalar değildi. O ileri seviye anlayış, 1666 yılında bir salgın yüzünden Cambridge'i terketmek zorunda kalan ve annesinin bahçesinde otururken kafasına elma düşen bir İngiliz matematikçi ile gelecekti.

Isaac Newton ve yerçekimi

Newton ve elma hikâyesinin içinde ufak bir gerçeklik payı var, ancak elma kafasına düşmedi. En azından güvenilen biyografi *Memoirs of Sir Isaac Newton's Life* (1752) isimli kitaba göre böyle. Newton, kitabın yazarı William Stukeley'ye, yerçekimi teorisini, akşam yemeğinden sonra bahçede çay içtikleri sırada, bir elmanın yere düştüğünü gördükten sonra keşfettiğini söylemiş.

Newton'ın temel kavrayışı, evrendeki her cismin bir diğerine karşı çekim kuvveti uygulamasıyla alakalıydı. Elma yeryüzüne doğru çekiliyordu, bu yüzden düştü. Düşmesi devam etmemişti, çünkü yere çarpmıştı. Newton fark etti ki eğer elmayı yeterli bir yüksekliğe ve hıza çıkarabilirsek yeryüzü araya girmeyeceği için Dünya'nın etrafında dolanarak düşmeye devam ederdi. Dünya'nın yörüngesinde dönerdi. Akıl yürütmedeki bu devrimsel sıçramayı Ay'ı düşünerek yaptı. Ay, Dünya'nın yörüngesinde elmanın düşme sebebiyle aynı sebepten dönüyordu, çünkü onun yolunu kesen hiçbir şey yoktu. Bunların hepsi iki cisim arasındaki çekim kuvvetinden kaynaklanıyordu.

Yerçekimi hakkındaki düşüncelerini, 1687 yılında *Doğa Felsefesinin Matematiksel İlkeleri* (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*) adlı kitabında yayımladı. Bu kitap, hareketin yasaları da dahil olmak üzere, muazzam önemdeki diğer düşüncelerini de içeriyordu. Newton kitapta, iki cisim arasındaki çekim kuvvetinin, cisimlerin arasındaki mesafenin karesiyle ters oran-

tılı olduğunu belirtti. Yani eğer iki cisim arasındaki mesafeyi iki katına çıkarırsanız çekim kuvveti çeyrek orana düşer. Mesafeyi üç katına çıkardığınızda bu kuvvet, dokuzda bire düşer. Düşüncelerini bu kadar güçlü yapan şey ise Kepler'in gezegen hareketleri yasasını açıklamak için, hem evrensel çekim kanununu hem de hareket yasalarını kullanmasıydı (bkz. 34. sayfa). Etkili bir şekilde "Gezegenlerin neden Güneş'in etrafında döndüğünü biliyorum ve bunu kanıtlayabilirim, çünkü fikirlerim Kepler'in buldukları ile aynı sonuçları verdi," diyordu.

Kepler'in ikinci yasasına bir bakalım. Bu yasa, bizlere Güneş ve bir gezegen arasındaki çizginin aynı sürede eşit alanları taradığını söylüyordu. Bir başka deyişle gezegenler Güneş'e yakinken hızlanıyor, uzaklaştığında ise yavaşlıyordu. İşte Newton, gezegenlerin bu davranışına bir açıklama getirdi. İki cisim arasındaki çekim, birbirlerine yaklaştıkça artıyor, uzaklaştıkça zayıflıyordu. Bir gezegen, Güneş'e yakın olduğunda daha kuvvetli bir çekim alanına giriyor ve gezegenin hızı artıyor; Güneş'ten uzaklaşırken ise bu çekimin gücü düşüyor ve dolayısıyla gezegen yavaşlamaya başlıyor.

Bu arada Newton'ın başyapıtı neredeyse basılmayacaktı. The Royal Society* tüm bütçesini *Balıkların Tarihi* adlı başarısız bir kitap için kullanmıştı. Daha sonra astronom Edmund Halley olaya dahil oldu ve baskı masraflarının hepsini karşıladı. Bunu yaparak tüm zamanların en önemli kitaplarından birinin (bilimsel olsun veya olmasın) günümüze ulaşmasını sağladı.

* The Royal Society, 1662'de kurulmuş bir bilim topluluğudur. Birleşik Krallık'ın Bilimler Akademisi olarak görevini yapmakta olup araştırma derneklerine ve bilimsel kuruluşlara yatırım yapmaktadır. (ç.n.)

Isaac Newton ve ışıık

Düşen elmanın hayal gücünü canlandırdığı sıralarda Newton ayrıca, prizmalarla ve ışııkla ilgileniyordu. Bu cam bloklarla deney yapmak yeni bir şey değildi ve prizmaya giren beyaz ışıığın birçok farklı renkte çıktığı da uzun süredir biliniyordu. Ancak geçerli görüş, ışığı renklendiren şeyin prizmaların ta kendisi olduğuydu. ışıığın kendisi saf beyazdı.

Newton, bu görüşün yanlışlığını basit ama zekice bir deneyle kanıtladı. 1666 yılında güneşli bir günde penceresinin tamamını, içeriye ışıık giremeyecek şekilde kapladı ve kaplamaya yalnızca çok az güneş ışınının girebileceğı küçücük bir delik açtı. ışıığın geçtiğı yola bir prizma koydu ve beklendiğı gibi gökkuşağının renkleri ortaya çıktı. Deneyin zekice olan kısmına gelirsek: Bu renklerin yoluna ters çevrilmiş ikinci bir prizma yerleştirdi.

Gerçekten de ikinci prizma, ayrı renklerin hepsini birleştirerek bunları tekrar beyaz bir ışığa çevirdi. Demek ki prizmalar beyaz ışığa renk falan eklemiyordu. Beyaz ışıık, prizmaların ayırabildiğı (veya birleştirebildiğı) farklı renklerin karışımından oluşmalıydı. Newton, bulduğı sonuçları 1672'de yayımladı.

ışıığın özellikleri ile alakalı bu temel anlayış, modern astronominin birçok alanının bel kemiğini oluşturdu. İlerleyen bölümlerde göreceğimiz gibi, astronomlar bu bilgilere defalarca başvurdu.

AYNALI TELESKOP

Newton 1668 yılında yeni bir teleskop türü tasarladı. Önceki teleskoplar *mercekli* (refraktör) teleskoplardı, bu teleskoplar ışığı mercekler aracılığıyla kırıyor veya büyüyordu. Newton'ın aynalı (yansıtıcı) teleskopu, refraktör teleskoplarla ilgili en büyük sorunu çözüyordu: *Renk sapması*. Çünkü mercekler, ışığın her bir rengini tıpkı prizmaların yaptığı gibi biraz farklı bir şekilde büyüyordu, yani hepsinin odak noktası farklıydı.

Newton teleskopunda ise ışık tepeden giriyor ve dipteki içbükey aynaya vuruyor. Bu ışık boruya yansıtılıyor, düz olan ikinci bir aynaya çarpıyor ve odaklanılan görüntüyü yandaki göz merceğine yansıtıyor.

Günümüzde devasa teleskopların hepsi aynalı, çünkü mercekli teleskopların büyüklüğünün bir sınırı var. Bu teleskoplarda ışık, merceğin içinden geçmek zorunda, yani merceği yanlardan sabitlemelisiniz. Çok büyük bir mercek kullanırsanız kendi ağırlığı yüzünden eğilir ve artık ışığı düzgünce odaklayamaz. Ancak bir ayna, arkadan da desteklenebilir. Dünya'nın en büyük mercekli teleskopu bir metrelik merceğe sahipken, en büyük yansıtıcı teleskopun on metreyi aşan bir çapı var.

Römer ve ışığın hızı

1 7. yüzyılın sonları, ışığın doğasına dair fikirlerimiz için devrimsel bir zamandı. Isaac Newton renklerin kökeniyle ilgili değerli keşifler yaparken Danimarkalı astronom Ole Römer de ışığın ne kadar hızlı hareket ettiği konusunda çalışmalar yapıyordu.

1670'li yıllarda Paris Kraliyet Gözlemevi'nin astronomları, Jüpiter'in dört Galileo uydusunun ölçümlerini yapmak için Tycho Brahe'nin Ven adasındaki Uraniborg Gözlemevi'ne gittiler. Amaçları, gezegen tarafından tutulmaya girdiklerinde görüşten ne zaman kaybolduklarını not etmektir. Römer ise Fransız astronom Jean Picard'ın yerel asistanıydı ve Uraniborg'daki işleri biter bitmez Römer'e, Paris'te bir iş teklifi sunuldu.

Uyduların gözlemlenmesi kafa karıştırıcı bir bilmeceyi ortaya çıkardı: Newton'ın çekim kuvvetine göre yapılan hesaplamalara rağmen, tutulmalar bazen erken bazen de geç gerçekleşiyordu. 1676 yılına gelindiğinde Römer, gözlemevinin yöneticisi Giovanni Cassini'nin çalışmalarına dayanarak açıklamayı keşfetmişti. İleri sürdükleri şey, ışığın uzayda seyahatinin belli bir zaman aldığıydı. Önceden ise ışık hızının sonsuz olduğu, yani A noktasından B noktasına aniden gittiği düşünülüyordu. Gelgelelim Jüpiter ve Dünya yakinken tutulmaların erken, Jüpiter ve Dünya birbirinden uzakken de tutulmaların gecikmeli gerçekleştiği görülmüyordu. Bunun üzerine Römer, Dünya ve Güneş arasındaki mesafeyi aşması için, ışığın on bir dakikaya ihtiyacı olduğunu hesaplamıştı. Bu hız, saniyede 220.000.000 (220 milyon) metreye denk geliyordu.

Günümüzde ışık hızının saniyede 299.792.458 (299 küsur milyon) metre olduğunu biliyoruz, yani Römer ve Cassini aslında çok da alakasız bir sonuç bulmamışlardı. Ancak asıl önem-

li olan şey buldukları sonuç değil, ışık hızının limitli olduğunu kesin şekilde kanıtlamalarıydı; ışık bir yerden bir yere giderken belli bir zamana ihtiyaç duyuyordu. Günlük yaşamımızda bunu fark etmiyoruz, çünkü ışık çok hızlı. Yalnızca “astronomik” mesafeler bunu fark edilebilir kılıyor. Bu fikre daha birçok kez geri döneceğiz.

Kozmik mesafeler hakkında konuşurken iyi bilinen bir yol da ışık yıllarından bahsetmektir. Bir ışık yılı, ışığın bir yılda katettiği mesafeye denir. Işık, saniyede 299.792.458 metre yol katederek bir yılda 9,46 trilyon kilometre yol alır. Dünya’ya en yakın yıldız, aşağı yukarı 40 trilyon kilometre, yani 4,2 ışık yılı uzaklıktadır. Daha yakın cisimler için ışık saatlerini, ışık dakikalarını hatta ışık saniyelerini bile kullanabilirsiniz. Örneğin Plüton, Dünya’dan 5,3 ışık saati uzaklıktadır. Güneş, 8,3 ışık dakikası uzaklıkta; Ay ise yalnızca 1,3 ışık saniyesi uzağımızdadır.

Halley ve kuyruklu yıldızı

1670’li yıllarda hem Fransız hem de İngiliz kralları, kraliyet gözlemevleri kurdular; amaçları ise yıldızları kullanarak denizdeki keşifleri hızlandırmaktı. İngiltere’de, Greenwich’teki Kraliyet Gözlemevi’nin yöneticisi Kraliyet Astronomu olarak isimlendirilmişti. Bu unvanı ilk alan bilim insanı John Flamsteed 1719 yılında öldüğünde, unvanı yardımcısı Edmund Halley devraldı. Edmund Halley, Newton’ın başyapıtı *Principia* için de parasal yardımda bulunmuş birisiydi (bkz. 37. sayfa).

Halley’nin *Principia*’nın basımı için para ödeme sebeplerinden biri de Newton’ın çalışmasının gücünü görmüş olmasıydı. 1684 yılında, kitabın basımından 3 yıl önce Halley, Newton’ı ziyaret etti. Bu ziyaret sırasında iki bilim insanı, çekim kuvveti-

nin Güneş'in etrafında *yuvavrlanan* buzlu moloz yığınlarına, yani kuyrukluyıldızlara olan etkisini tartıştılar (o sıralarda bu durum herkesçe bilinmiyordu). 1680 yılında, *Kirch* adı verilen gözalcı bir kuyrukluyıldız gökyüzünde parıladı. Newton, bu kuyrukluyıldızın da Kepler Yasaları'na uyduğunu göstermek için, Flamsteed'in gözlemlerini kullandı. Yörüngesi elips şeklindeydi ve Güneş'e yaklaştıkça hızlandı, yani tıpkı gezegenler gibi bu kuyrukluyıldız da Güneş'in çekim kuvvetinden etkilenmişti.

1705 yılına gelindiğinde Halley, Newton'ın çalışmalarına dayanarak kendi kuyrukluyıldız kitabını yazdı ve kitaba *Synopsis of the Astronomy of Comets* (Kuyrukluyıldızların Astronomisine Bir Bakış) adını verdi. Artık kuyrukluyıldızların Güneş'in yörüngesinde döndüğünü bildiğinden 1531, 1607 ve 1682 yıllarında görünen üç kuyrukluyıldızın aslında, ardışık yörüngelerde Dünya'nın yakınında seyahat eden aynı kuyrukluyıldız olduğunu ileri sürdü. Hatta bu kuyrukluyıldızın 1758 yılında yine görüneceğini söyledi. Halley 1742 yılında yaşamını yitirdi, bu yüzden kuyrukluyıldızın tam söylediği yılda geri döndüğünü göremedi. Bu kuyrukluyıldız, o günden beri Halley'nin şerefine, "Halley Kuyrukluyıldızı" olarak adlandırılıyor.

Bu bilgi ile astronomlar ve tarihçiler, aynı kuyrukluyıldız hakkında nesiller ve kıtalara yayılmış kayıtlar buldular. MÖ 5. yüzyılda Yunanistan'da ve MÖ 3. yüzyılda Çin'de gözlemlenen kuyrukluyıldızlar, Halley'nin tüm kendine has niteliklerini taşıyor. Halley Kuyrukluyıldızı, meşhur Bayeux işleminde de görünüyor. İç Güneş sistemini son ziyareti 1986 yılında gerçekleşti, bir sonraki dönüşü ise 2061 yılında olacak.

Bradley ve ışığın sapması

Galileo, Kepler, Newton ve Halley'nin başarılarına rağmen Brahe ve Kopernik modeli üzerine yapılan hararetli tartışmalar devam etti. Dünya'nın aslında Güneş etrafında döndüğüne dair inkâr edilemeyecek bir kanıt hâlâ yoktu. Hem Paris'teki Picardi hem de Greenwich'teki Flamsted, mevsim ne olursa olsun aynı noktada gözüken Kutupyıldızı'nın aslında yıl içinde az da olsa ileri ve geri hareket ettiğini fark etti. Bu duruma kesin bir açıklama getirecek ve bu açıklama ile Dünya merkezli tüm modelleri geçersiz kılacak kişi, Halley'nin ölümünden sonra Kraliyet Astronomu unvanını alan James Bradley oldu.

Yıldız ışıklarının Dünya'nın üzerine tıpkı yağmur gibi düştüğünü düşünün. Dikey yağın yağmurda yürüdüğünüzde, damlaların şemsiyenize yatık bir açıyla vurduğunu görürsünüz.



Yağan yağmurun altında hareket ettiğinizde damlalar, şemsiyenize belli bir açıyla vuruyormuş gibi görünür.

Aslında yağmur bu açıyla düşmez, bu etkiyi yaratan şey sizin yağmur altındayken yaptığınız harekettir. Benzer şekilde Dünya, yörüngesinin yarısı boyunca “yıldız ışığı yağmuruna” doğru hareket eder, yörüngesinin diğer yarısı boyunca da ters

yöne doğru hareket eder. Geceleri gökyüzündeki yıldızların yıl içinde yerlerinin kısmen değişmesinin sebebi, “ışığın sapması” olarak bilinen bu etkidir. Dünya’nın sabit olduğu Tycho Brahe’nin modeli doğru olsaydı böyle bir etkinin olmaması gerekirdi. Nihayet 1729 yılında Bradley, Güneş merkezli Kopernik sisteminde yaşadığımıza dair çok sağlam bir kanıt sundu. Ancak Katolik Kilisesi, Güneş merkezli sistemi anlatan kitapları 1758 yılına kadar yasaklamaya devam etti.

Venüs Geçişi

Dünya da tıpkı diğer gezegenler gibi bir gezegen olarak kabul edilince astronomlar, dikkatlerini Güneş’ten ne kadar uzak olduğumuza çevirdiler. 18. yüzyılda bu mesafeyi ölçmenin tek yolu Venüs Geçişi olarak adlandırılan nadir bir astronomik olayı gözlemlemekten geçiyordu. Venüs Geçişi, Venüs’ün bizim bakış açımıza göre doğrudan Güneş’in önünden geçmesine denir ve küçük bir Güneş tutulması gibidir.

Eğer bu geçişi Dünya üzerindeki iki farklı yerden (birbirinden ne kadar uzak o kadar iyi) gözlemleyebilseydiniz başlama ve bitiş zamanlarının farklı olduğunu görürdünüz, çünkü Güneş’i kısmen farklı açılardan izliyor olurdunuz. Halley bu zaman farklılığını Dünya ve Venüs arasındaki mesafeyi ölçmek için kullanabileceğimizi fark etmişti. Sonra da Kepler’in üçüncü yasasıyla bu mesafeyi artırarak Dünya ve Güneş arasındaki mesafeyi bulabilirdik.

Ancak gezegenin, bize olan mesafesinden dolayı küçük gözükmesi yüzünden bu tür olayları teleskopsuz gözlemlemek zor. Geçişler, aralarında sekiz yıl bulunan iki geçiş olarak gerçekleşiyor, ancak sonrasında diğer ikilinin geçişi için bir asırdan

fazla beklemeniz gerekiyor.

Johannes Kepler gezegensel hareket yasalarını kullanarak 1631 yılında bir geçiş gerçekleşeceğini tahmin etti, bu tahmin bir ilkti. Haklıydı da, ancak geçiş gerçekleştiği sırada Avrupa'da gece saatleriydi ve kimse göremedi. İngiliz astronom Jeremiah Horrocks, 1639 yılında başka bir geçiş olacağını öngördü ve geçişi evinin yakınlarındaki Preston'dan izleyerek bu olayı ilk gözlemleyen insan oldu. Edmund Halley, bu tür olayları kullanarak Güneş'e olan uzaklığımızı hesaplamaya yarayacak yöntemi 1691 yılında bulmuştu; ancak astronomlar, bu yöntemi kullanmak için 1761 ve 1769 yıllarında gerçekleşecek diğer iki geçişi beklemek zorundaydılar.

Hem bu ölçümün öneminden hem de böyle bir fırsatın neredeyse 200 yılda bir gelmesinden dolayı 18. yüzyıl astronomları bu şansı kaçırmamak için muazzam mesafeler katettiler. Avrupa'daki gözlemleri, 1761 ve 1769 yılında gerçekleşecek olan geçişleri gözlemlemek ve hava koşullarının işleri baltalamasını önlemek için, yerkürenin her bir yanına astronomlardan oluşan takımlar gönderdi. Eğer bir takımın gittiği yerde hava bulutluyorsa diğer takımın gittiği yerde açık bir hava olacaktı.

The Royal Society, 1769'daki geçişi Tahiti'de gözlemlemesi için Kaptan James Cook kumandasındaki *HMS Endeavour* gemisini görevlendirdi. Cook aynı zamanda İngiliz hükümeti tarafından mühürlenmiş emirler de taşıyordu. Bu emirler, geçiş gerçekleştikten sonra Cook'un ne yapacağıyla ilgiliydi ve keşfedilmemiş bir kıtanın söylentisi üzerine Pasifik'in araştırılmasını içeriyordu.

29 Nisan 1770 tarihinde Cook, Botany Körfezi'ne (günümüzde Sidney şehrinde) yanaştı ve burada Avustralya anakarasındaki ilk Avrupa kökenli yerleşim yerini kurdu.

Tahiti'den gözlemlenen Venüs geçişi sırasındaki ölçümler Dünya ve Güneş arasındaki mesafenin 93.726.900 mil (150.838.824 kilometre) olduğunu gösteriyordu. Bugün ise bu mesafenin 149.600.000 kilometre olduğunu biliyoruz; yani 18. yüzyıl astronomları kısıtlı teknolojilerine rağmen, doğru sayıya son derece yakın bir sonuç bulmuşlardı.

Dünya'yı tartmak

Astronomlar, gezegenlerin ne kadar ağır olduklarını da bilmek istiyorlardı. 18. yüzyılda Dünya'nın kütlesi bile bir gizemdi. Kuyrukluysıldızlar konusundaki onca başarısına rağmen Edmund Halley, Dünya'nın içinin boş olduğunu düşünmüştü. 1774 yılında bir diğer Kraliyet Astronomu Nevil Maskelyne, öyle olmadığını kanıtladı.

Newton'ın *Principia*'yı yayımlamasından beri, evrendeki her bir cismin bir diğerine karşı çekim kuvvetine maruz kaldığını biliyoruz. Cisim ne kadar yakınsa çekim kuvveti de o kadar fazlalaşıyor. Newton da bu etkiyi kullanarak Dünya'nın ağırlığını hesaplamayı düşündü. Büyük bir dağa yakın tutulan bir sarkaç hayal etti. Sarkacın ucundaki top üç kuvvete maruz kalıyordu: Dağa karşı bir çekim, Dünya'ya karşı bir çekim ve sarkaç topunu tutan ipin gerilimi. Sonuç, sarkaç topunun, dağın yönüne kısmen dikey bir hal alması çıkmıştı. Burada dağın ve Dünya'nın çekimi, ipteki gerilimin gücüyle uyuşuyordu. Eğer dağın kütlesini ve sarkaç topunun saptığı açığı hesaplayabilseydiniz Dünya'nın kütlesini hesaplamak için Newton'ın denklemlerini kullanabilirdiniz.

Newton bu deneyi pratiğe dökmekten vazgeçti, çünkü sarkaç topunun sapmasını hesaplamanın çok zor olacağını dü-

şündü. Ancak Maskelyne bu görevi devraldı. Simetrik ve konik şeklinden dolayı İskoçya'daki 1.083 metrelik Schiehallion tepesini seçti. Koninin hacmini hesaplamak görece kolaydır ve eğer dağı oluşturan taşın yoğunluğunu biliyorsanız kütle-sini de hesaplayabilirsiniz. Maskelyne dağın her iki tarafına gözlem noktaları kurdu, kötü hava şartları yüzünden aksilikler yaşansa da nihayet yıldızları referans noktası olarak sarkacın sapma açısını ölçtü. Daha sonra topograf Charles Hutton, dağın hacmini bulma konusundaki çalışmalarına başladı. Sonucu daha kolay bulmak için dağı bölümlere ayırdı ve bunu yaparken izohips (eşyükselti) eğrilerini keşfetti.

Cisim	Kütle	Yoğunluk
Dünya	$5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$	$5,5 \text{ g/cm}^3$
Dünya ile kıyaslandığında		
Güneş	333,000	
Ay	0,01	0,61
Merkür	0,06	0,98
Venüs	0,82	0,95
Mars	0,11	0,71
Jüpiter	317,8	0,24
Satürn	95,2	0,13
Uranüs	14,5	0,23
Neptün	17,1	0,30

Maskelyne'in takımı Dünya'nın yoğunluğunu, her santimetre küp için 4,5 gram ortalama yoğunluk olarak buldu (günümüz değeri $5,5 \text{ g/cm}^3$). Schiehallion dağının ortalama yoğunluğu $2,5 \text{ g/cm}^3$ olduğuna göre yeryüzünün altında dağ-

dan çok daha ağır bir madde olmalıydı; gezegenimizin içi boş falan değildi. Bu noktaya kadar Güneş'in, Ay'ın ve diğer gezegenlerin yoğunlukları Dünya'nın yoğunluğunun katları olarak biliniyordu. Ancak eğer Dünya'nın ortalama yoğunluğu bilinirse astronomlar, Güneş sistemindeki diğer büyük cisimlerin hacimleri ve yoğunlukları hakkında da bir şeyler söyleyebilirlerdi. İskoçya'daki bir dağ, Güneş sistemindeki diğer gezegenleri daha iyi tanımak için adeta örnek bir terazi görevi gördü.

Herschel ve Uranüs

13 Mart 1781'de William Herschel, bir gecede Güneş sisteminin bilinen sınırlarını iki katına çıkardı. İngiltere'nin Bath şehrindeki evindeyken Güneş'e Satürn'den iki kat uzak olan yepyeni bir gezegen keşfetti. Diğer tüm gezegenler antik çağlardan beri bilindiğinden, gerçekten ilk defa yeni bir gezegen keşfedilmişti. Daha sonra ortaya çıktı ki Greenwich'teki kraliyet astronomları da dahil birçok astronom aslında Uranüs'ü görmüştü, ancak cisim tutulum çemberi üzerinde o kadar yavaş hareket ediyordu ki hep sabit yıldızlardan biri sanmışlardı. Başlangıçta Herschel de bir kuyruklu yıldız olduğunu düşündü, sonra ise gerçeği anladı.

Bu yeni buluşa evrensel bir isim verilmesi ise neredeyse yüz yılı buldu. İsim verme hakkına, kâşif olarak Herschel sahipti. O da kendisini astronom olarak işe alan Kral III. George'a ithafen "*Georgium Sidus* (George'un Yıldızı)" ismini seçti. Tahmin edebileceğiniz gibi bu isim diğer ülkeler için o kadar da uygun değildi. 1782'de Uranüs (Yunan gökyüzü tanrısı) uygun bir alternatif olarak sunuldu; çünkü Uranüs, Kronos'un (Satürn) babasıydı, Kronos da Zeus'un (Jüpiter) babasıydı. Gelgelelim bu

ismin resmi olarak kullanılmaya başlaması 1850'leri buldu. Bu isim, gezegeni diğerlerinden bir nebze öne çıkarıyor. Çünkü diğer tüm gezegenler (Dünya hariç) Roma tanrılarının adını taşıyorken Uranüs adını bir Yunan tanrısından alan tek gezegen.

Herschel ve kızılötesi ışın

1 800 yılında Herschel, belki de yeni bir gezegen bulmaktan çok daha önemli bir buluşa imza atmıştı: Yepyeni bir ışık türü bulmuştu.

Tıpkı bir asır önce Newton'ın yaptığı gibi o da prizmalarla deney yapıyordu. Renk ve sıcaklık arasında bir bağlantı olduğundan şüphelendi. Bu yüzden güneş ışığını bir prizmadan geçirdi ve ortaya çıkan ışık tayfindaki her bir rengin önüne bir termometre yerleştirdi. Renklerdeki en yüksek sıcaklığın, ışık tayfinin sonunda bulunan kırmızı ışıktaki olduğunu gördü. Ancak sonra muhteşem bir şey yaptı: Termometreyi kırmızı ışığın hemen yanına, yani görünürde hiç ışık bulunmayan bir yere taşıdı. Termometresi burada, ışık tayfinin herhangi bir yerindekine kıyasla çok daha fazla sıcaklık gösteriyordu.

Herschel, ışık tayfinin sonundaki kırmızının ötesinde, görünmeyen bir "ısı ışı" olduğunu düşündü. Sonraki deneyleri gösterdi ki bu ışınlar, tıpkı sıradan ışık ışınları gibi davranıyordu. Onun bulduğu bu ışık türünü bizler, kızılötesi olarak biliyoruz. Kızılötesi ışın, sıcak cisimler tarafından yayılan görünmez ışığa deniyor; bu yüzden kızılötesi kameralar polis takiplerinde, savaş alanlarında ve arama kurtarma çalışmalarında canlı takibi yapmakta kullanılıyor.

Herschel'in keşfi, görebildiğimiz ötesindeki ışığın ilk belirtiydi. Tıpkı insan kulağının duyamayacağı kadar yüksek veya düşük frekansta olan sesler gibi, insan gözünün göreme-

yeceği kadar yüksek ve düşük frekansta olan ışıklar da vardı. Günümüz fizikçileri, tüm bu ışıkları içine alan ışık tayfını *elektromanyetik tayf* olarak adlandırıyorlar. Bu tayf, düşük frekanslı radyo dalgalarından ve mikrodalgalardan başlayıp kızılötesine ve görünen ışığa; oradan da yüksek frekanslı morötesine, X ışınına ve gama ışınına kadar uzanıyor. Astronomlara göre ise bunların hepsi yalnızca ışık.

İlk teleskopların hepsi gözlerimizin görebildiği ışığa duyarlıydı. Ancak günümüz astronomlarının, radyo dalgalarından gama ışınlarına, her frekanstaki ışığa duyarlı teleskop takımları var. Eğer kendimizi yalnızca görünen ışıkla sınırlasaydık uzaydan Dünya'ya "ulaşan" birçok bilgiyi kaçırdık.

Avrupa Uzay Ajansı, yapılmış en büyük kızılötesi teleskopunu 2009 yılında uzaya fırlattığında, bu muhteşem çalışmalarına ithafen, teleskopa *Herschel* ismini vermişti.

Neptün'ün keşfi

Uranüs rasgele keşfedilse de Neptün'ün keşfi daha planlıydı. Astronomlar, Uranüs'ün keşfinden sonra gezegenin yörüngesini dikkatlice incelediler ve bazı düzensizlikler fark ettiler. Gezegen zaman zaman, Kepler ve Newton'ın denklemlerinin işaret ettiği yerde gözükmüyordu.

Ancak bu durumda hatalı olanın denklemler olmadığı hemen fark edildi. Astronomların tanık olduğu şey, Uranüs'ün yörüngesini etkileyen uzaktaki başka bir gezegendi. Uranüs bu göremediğimiz gezegene doğru yaklaşırken çekiliyor ve hızı artıyordu. Uranüs gezegeni geçtiğinde ise diğer gezegen, Uranüs'ü tekrar geri çekmeye çalışıyordu ve bu esnada Uranüs biraz yavaşlıyordu.

Fransız matematikçi Urbain Le Verrier, bu işe burnunu sokan

gezegenin nerede olduğunu hesaplamak için Kepler ve Newton denklemlerini kullandı. Daha sonra Le Verrier, hesaplamalarını Berlin'deki Alman astronom Johann Galle'ye gönderdi. O da teleskopunu bu koordinatlara doğru çevirdi ve Neptün'ün onu beklediğini gördü (Le Verrier'nin söylediği koordinatların bir derece içerisindeydi). Sonradan anladılar ki tıpkı Uranüs gibi Neptün de daha önce (Galileo da dahil olmak üzere) birkaç kişi tarafından fark edilmişti, ancak yavaş hareketi yüzünden o da sabit yıldızlardan biri sanılmıştı.

Einstein ve özel görelilik

Bilim dünyasının en ünlü denklemi $E=mc^2$; Albert Einstein, 1905 yılında özel görelilik kuramını yayımladığında ortaya çıktı. Teoriye göre, enerji (E) kütleye (m) eşittir. Bir cismin içinde ne kadar enerji olduğunu bulmak için, kütesini ışık hızının (c) karesi ile çarparsınız.

O yıl Einstein'ın eserleri bilim dünyasına sağanak gibi yağdı, çığır açan iki araştırma daha yayımladı. Bunlardan biri, ışığın foton denen partiküllerden oluştuğunu söyleyen çalışmasıydı ve ona 1921 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü kazandıracaktı. Bu buluşları, Einstein'ın o zamanlarda dışlanmış bir akademisyen olduğu ve İsviçre'nin Bern şehrinde patent kâtipliği yaptığı düşünülürse daha da dikkate değer bir hal alıyor.

Özel görelilik Ole Römer'in ışık üzerindeki çalışmalarını (bkz. 40. sayfa) bir adım öteye götürüyor. Einstein ışık hızının bir limiti olduğunu söylemekle kalmadı, bir de evrensel hız limitinin "ışık hızı" olduğunu söyledi. Uzayda hiçbir şey ışıktan daha hızlı seyahat edemez. Bu fikir, doğrudan $E=mc^2$ 'den geliyor. Ne kadar hızlı hareket ederseniz enerjiniz o kadar artar. Bununla

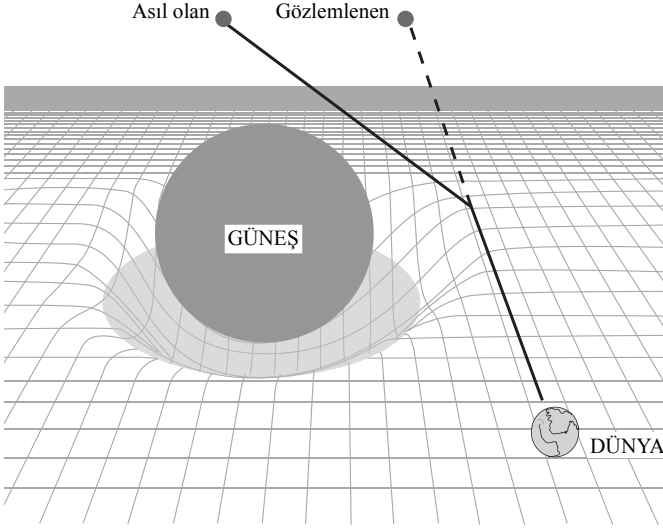
birlikte denklem, bizlere enerjisi artan bir cismin kütlesinin de arttığını söylüyor; yani ne kadar hızlı giderseniz o kadar ağırlaşırsınız. Ağır cisimlerin hareket etmesi daha zordur ve hızlarını artırmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyarlar. Eğer hızlanabilirlerse daha da ağırlaşırlar. Hızlı giden bir cisim, sonunda o kadar ağırlaşır ki daha hızlı gidebilmek için sınırsız bir enerjiye ihtiyaç duyar. Bu olaydaki sınır çizgisi de ışık hızıdır.

Einstein ve genel görelilik

Einstein, özel görelilik kuramını dünyaya hediye etmekle yetinmemiş olacak ki 1915 yılında da genel görelilik kuramını yayımladı. Bunu yaparak yerçekimi hakkındaki düşüncelerimizi kökten değiştirdi.

Newton, kütleçekimini devasa cisimler tarafından boşlukta uygulanan çekim olarak düşünmüştü. Ona göre Dünya bu yüzden Güneş'in etrafında dönüyordu. Einstein, Dünya'nın Güneş'in etrafında dönmesinin sebebini, Güneş'in etrafındaki uzayın şeklini değiştirmesi olarak açıkladı. Einstein, üç boyutlu uzay ve bir boyutlu zaman anlayışını *uzay-zaman* dediği dört boyutlu bir "kumaşa" çevirdi ve devasa cisimlerin bu kumaşı büktüğünü söyledi.

Bunu zihninizde canlandırmak için, köşelerinden sıkıca gerdiğiniz bir çarşafı uzay-zaman olarak düşünün. Bu çarşafın ortasına Güneş'i temsil eden bir bowling topu yerleştirin, çarşaf bükülecek ve ortada bir çukur oluşacak. Daha sonra Dünya'yı temsilen bir tenis topu alın ve çarşafın çukur oluşan kısmının kenarına bırakın; tenis topu, bowling topuna doğru çekilecektir.



Einstein, devasa cisimlerin uzay-zaman denen dört boyutlu kumaşı büküttüğünü ve bu bükülmenin de uzak yıldızlardan gelen ışığı büküttüğünü ileri sürmüştü.

Astronomlar uzunca bir süredir, Newton'ın çekim yasasının Merkür'ün yörüngesindeki gariplikleri açıklayamadığını biliyorlardı. Einstein, bükümlü uzay-zaman fikrini Merkür'e uyguladığında mükemmel bir uyum oluşmuştu. Ancak emin olmak için deney yapacak farklı bir yola ihtiyaç vardı. Bu yol da Güneş tutulmasının yegâne durumunu kullanmaktı.

ALBERT EINSTEIN (1879-1955)

Ondan önce veya sonra yaşamış hiçbir bilim insanı, Albert Einstein kadar ünlü olamadı. Yüzü, dünyanın her bir yerinde kıyafetleri, posterleri ve fincanları süslüyor. Çalışmaları bugün bile geçerli. Einstein'ın görelilik kuramlarını yayımlamasının üstünden yüz yıldan fazla bir zaman geçmesine rağmen, fizikçiler hâlâ haklı olduğu konusunda kanıtlar bulmaya devam ediyorlar. Doğru veya yanlış olabilir, ancak kırılmış saçları ve kaçık profesör karakteri, dâhi bilim insanı görüntüsünün en bilinen modeli haline geldi.

Renkli bir hayat sürdüğüne şüphe yok. 1903'de fizik öğrencisi olan çok yakın arkadaşı Mileva Marić'le evlendi, ancak daha sonra kuzeni Elsa'yla bir ilişkisi oldu. Elsa ve Albert 1919 yılında evlendiler ve Elsa'nın öldüğü 1936 yılına kadar beraber kaldılar. Bu olayın Einstein'ın kalbini çok kırdığı söylenir.

Hem Alman hem de Yahudi olduğundan, Adolf Hitler iktidara gelince Amerika'da kaldı ve 1940 yılında ABD vatandaşı oldu. 1952 yılında İsrail cumhurbaşkanlığı teklif edildi, ama reddetti. 1955 yılında ise damar genişlemesi sebebiyle hayatını kaybetti. Otopsi sırasında beyini, zekâyla ilgili araştırmalarda kullanılmak üzere, izinsiz şekilde alındı.

Einstein ve Newton, uzak yıldızlardan gelen ışığın, Güneş'in çekimi tarafından büküldüğü konusunda hemfikirlerdi; ancak bu bükülmenin ne kadar olduğu konusunda fikir ayrılıkları vardı. Bu sebeple İngiliz astronom Arthur Eddington, 1919 yılında, bükülmenin ne kadar olduğunu bulmak için küçük bir Af-

rika adası olan Príncipe'ye yollandı. Normalde gündüz vakti Güneş'e yakın olan yıldızları görmek mümkün değil. Fakat Güneş tutulması sırasında Ay, Güneş'in parıltısını kolayca engelleyebiliyor. Eddington da bu fırsatı, Güneş'in yakınında yer alan yıldızların fotoğraflarını çekmek için kullandı.

Tabii ki yıldızlar tam da Einstein'ın söylediği yerdeydi; normal pozisyonlarından çıkmışlardı çünkü ışıkları, Güneş'in etrafındaki uzay-zamanı bükmesi sebebiyle oluşan eğimli yolu takip ediyordu (bkz. 53. sayfa). Genel görelilik, çekim kuvveti hakkındaki en geçerli teori olmaya ve bugün bile önüne gelen her sınavı kolayca geçmeye devam ediyor.

Güneş, Dünya ve Ay

Güneş

Hangi maddeleri içeriyor?

Sizden 150 milyon kilometre ötede olan bir şeyin hangi maddelerden yapıldığını nasıl anlarsınız? Özellikle de muazzam derecede sıcak ve parlak bir şeyse ve erimeden yanına yaklaşmak mümkün değilse? Astronomideki diğer birçok şey gibi, bu sorunun da cevabı: Bize ulaşan ışık yoluyla.

Birinci bölümde beyaz ışığı ışık tayfına çevirmek için bir prizmanın nasıl kullanıldığını görmüştük (bkz. 38. sayfa). Alman fizikçi Joseph von Fraunhofer, 1800'lü yılların başlarında, Güneş'ten gelen ışık tayfının kesintisiz olmadığını fark etti. Işık tayfı, 500'den fazla siyah çizgi içeriyordu (bu çizgiler artık Fraunhofer çizgileri olarak biliniyor). 1850'lerde ise Alman bilim insanları Robert Bunsen ve Gustav Kirchhoff, bu çizgilerin neden orada olduğunu açıkladı. Çizgiler, düpedüz kayıp renkleri; Güneş'in içindeki farklı maddeler, ışığın bu frekanslarını yutuyor ve o renklerin Dünya'ya ulaşmasını engelliyordu.

Aslına bakılırsa bu çizgiler, ışığın kaynağının neler içerdiğine

dair çok önemli bilgilerle kodlanmış kimyasal barkodları andırıyor. Adeta Güneş'in eşsiz parmak izi. Bunsen ve Kirchhoff, laboratuvarlarda farklı elementleri ısıtarak bu "soğurma çizgileri"ni Güneş tayfındaki çizgilerle eşleştirdi (yakıcı aygıtı Bunsen icat ettiği için bu aygıt "Bunsen ocağı" olarak anılıyor). Güneş'in çoğunlukla, evrendeki en hafif element olan hidrojenden meydana geldiğini gördüler.

Ancak 1868 yılında Güneş, astronomları âdeta ters köşeye yatırdı. O yıl Fransız astronom Pierre Janssen, bir Güneş tutulmasını gözlemledi ve bilinen hiçbir elemente uymayan bir soğurma çizgisi keşfetti. Aynı yıl İngiliz astronom Norman Lockyer da Güneş'i gözlemlerken benzer bir çizgi buldu. Lockyer ve kimyager arkadaşı Edward Frankland, bu elementi helyum olarak adlandırdı (Yunancada "Güneş" anlamına gelen "helios"a ithafen). Helyum, Dünya'da daha sonra keşfedildiğinden, "önce uzayda bulunan" ilk element oldu. Tayf çizgilerini inceleyen ve tayfölçümü olarak adlandırılan bu yöntem sayesinde, Güneş'in %73 hidrojen ve %25 helyum içerdiğini, kalan yüzdelik kısmın da oksijen, karbon ve demir gibi elementlerden oluştuğunu biliyoruz.

Enerjisini sağlayan şey ne?

Güneş, neredeyse 150 milyon kilometrelik bir uzaklıktan cildimizi yakıyor. Bu kadar muazzam bir "fırın"ın ne ile çalıştığını bulmak 19. yüzyıl sonlarında, fizik dünyasının en önemli meselelerinden biriydi.

Jeoloji ve biyolojideki gelişmeler (Charles Darwin'in doğal seçim ve evrim konusundaki çalışmaları da dahil), çok yaşlı bir Dünya'da yaşadığımıza dair ipuçları sunuyordu. Güneş, Dünya'dan çok daha yaşlı olduğu için, gücünü anlamak daha da zahmetli bir iş haline gelmişti. Güneş'i *milyonlarca* yıl besleyen şeyi bulmak bir şey, Güneş'in *milyarlarca* yıllık olduğunu ve onu

milyarlarca yıl besleyen şeyi bulmaksa bambaşka bir şey.

Victoria devrinin önde gelen birçok bilim insanı, bu kadar uzun bir zaman dilimine inanmayı doğrudan reddetti. Isı ve enerji konusunda önde gelen bir uzman olan Lord Kelvin, Güneş'in enerji kaynağının çekim gücü olduğunu öne sürdü. Söylediğine göre, Güneş'e ait maddeler Güneş'in çekirdeğinde öğütüldüğünde basınç ve sıcaklık artıyordu. Çekim enerjisinin ısı enerjisine dönüştüğü bu değişim Kelvin'in açıklamasıydı. Fakat Güneş'in bu enerjiyi 30 milyon yıl civarında tüketeceğini hesaplamıştı. Hâlâ parladığına göre Güneş'in söylenenden çok daha genç olduğunu düşündü ve Darwin'in ileri sürdüğü milyarlarca yıllık Dünya fikrini 1862 yılında alenen reddetti.

Gelgelelim Darwin haklıydı, Kelvin ise yanılıyordu. Yapbozun eksik parçası, Einstein ünlü $E=mc^2$ denklemini 1905 yılında yayımlayınca bulundu (bkz. 51. sayfa). Bu denklem, enerji (E) ve kütlenin (m) etkin olarak aynı şey olduğunu ve birbirlerinin yerine geçebildiğini söylüyordu. Bir kütleyi, ışık hızının (c) karesi ile çarptığınızda mevcut enerji miktarını elde ediyorsunuz. Ancak burada ufak bir tuzak var: Enerjinin serbest kalması için çok uç noktalarda basınç ve sıcaklık gerekiyor.

1920 yılında İngiliz astronom Arthur Eddington, Güneş'e enerjisini veren gerçek mekanizmayı açıkladı: Füzyon. Hidrojen atomları, basınç ve sıcaklığın uç noktalarda olduğu (Güneş'in çekirdeği gibi) ortamlarda füzyona uğrayarak helyuma dönüştürülebilir. Fakat elde edilen helyum, giren hidrojenlerden biraz daha hafiftir. Bu eksik kütle, Güneş'in enerji kaynağını oluşturur, çünkü Einstein'ın denklemine göre artık enerjiye dönüşmüştür. Güneş füzyon ile her saniyede, 620 milyon ton hidrojeni 616 milyon ton helyuma dönüştürüyor. Eksilen 4 milyon ton ise güneş ışığına dönüşüyor.

Güneş'in hidrojene karşı olan bitmek bilmez iştahına rağmen hâlâ 5 milyar yıl yetecek kadar yakıtı var. Dördüncü bölümde bu yakıt bittikten sonra neler olacağını göreceğiz.

ARTHUR EDDINGTON (1882-1944)

Eddington, yirminci yüzyıl başlarındaki astronomi biliminin en önemli insanlarından biriydi. Kuzeybatı İngiltere’de doğdu, ailesi Quaker* mezhebine mensuptu. I. Dünya Savaşı’na gitmemek için vicdani retçi olmayı düşünüyordu ki astronomik çalışmalarının önemi dolayısıyla zorunlu hizmetten muaf tutuldu.

Einstein, 1915 yılında savaş devam ederken, genel görelilik kuramını Almanca olarak yayımladığında, Eddington bu çalışmayı anlayabilen sayılı astronomdan biriydi ve çalışmanın kilit noktalarını İngilizce konuşan akademisyenlere yaymaya çalıştı. Eddington’ın genel göreliliği 1919 yılında bir tutulma aracılığıyla test etmesinin ardından Einstein,ünü herkesçe bilinen biri oldu. Eddington yıldızların yaşam döngüsünü anlamamıza yarayan birçok önemli çalışma yapmaya devam etti; bunlardan biri de bir yıldızın boyutuna göre ulaşabileceği maksimum parlaklığı açıklayan “Eddington limiti”dir.

Ne var ki her şeyi hatasız yaptığı söylenemez. 1930’lu yıllarda Hint astrofizikçi Subrahmanyam Chandrasekhar, genel göreliliği kullanarak karadeliklerin varlığını ileri sürdüğünde, Eddington bunun bir saçmalık olduğunu belirtmişti. Chandrasekhar, bu küçümsemeyi hiçbir zaman unutmadı, 1983 yılında Nobel Fizik Ödülü’nü alarak nihayet haklılığını kanıtlamış oldu.

1939 yılında Alman-Amerikan nükleer fizikçi Hans Bethe, hidrojenin helyuma nasıl dönüştüğünü açıklayan bir şablon

* Quakers ya da Dostların Dini Derneği, mevcut Hristiyan mezheplerinden ve tarikatlarından memnun olmayan Hristiyanlar tarafından 17. yüzyıl ortalarında İngiltere’nin kuzeybatısında kurulmuş bir mezheptir. (ç.n.)

yayımladı. Bu çalışmaya göre, dört proton (hidrojen çekirdekleri) sonunda birleşerek helyuma dönüşür, bu sürece proton-proton (pp) zinciri denir. Bu süreç, Güneş'in çekirdeğinde saniyede yaklaşık 90 trilyonun üç katı kere gerçekleşir, tekil protonların fizyona girmesi ise milyonlarca yıl sürebilir.

Güneş Nötrinosu (Solar nötrino) problemi

Güneş'in çekirdeğinde gerçekleşen bu proton-proton reaksiyonunu gözlemleyemiyoruz. Buna rağmen, eğer Güneş'e gücünü veren şey bu reaksiyonsa ortaya ne kadar enerjinin çıktığını tahmin edebiliriz. Üstelik iki sayı uyuyor.

Fakat 20. yüzyılın başlarındaki astronomların, kafalarını duvarlara vurmasına sebep olan inatçı bir problem vardı: Dünya'ya yeteri kadar Güneş nötrinosu ulaşmıyordu. Nötrinolar çok küçük, neredeyse kütesiz atomaltı parçacıklardır. Bethe'nin bulduğu proton-proton reaksiyonunun bir ürünüdürler ve Güneş'ten uçuşarak Güneş sistemine yayılırlar. Fakat inanılmaz derecede asosyaldirler, aklınıza gelebilecek her türlü maddenin içinden (etkileşime girmeden) tıpkı hayalet gibi süzülüp geçebilirler. Geçen her saniyede, vücudunuzun her bir santimetre karesinden Dünya'nın nüfusu kadar nötrino geçiyor, fakat endişelenmenize gerek yok çünkü zararlı değiller.

1960'lı yıllardan beri fizikçiler, bu ünlü parçacıkların gezegenimizin içinden geçişini algılamak için özenle hazırlanmış deneyler yaptılar. Daha sonra fark ettiler ki ortada olması gerektiği kadar nötrino yoktu. Proton-proton reaksiyonu sonucu ortaya çıkan nötrinoların yalnızca üçte biri Dünya'ya ulaşıyordu. Bu duruma, nötrinoların Dünya'ya ulaşırken iki farklı tür nötrinoya dönüştüğü, yani bir nevi şekil değiştirdiği açıklaması getirildi. Yalnızca bir nötrino türüne duyarlı ilk nötrino deneyleri, diğer iki türü kaçırmış oldu. Bu yüzden algılamayı

beklediklerinin yalnızca üçte biri kadar nötrinoyu algılayabildiler.

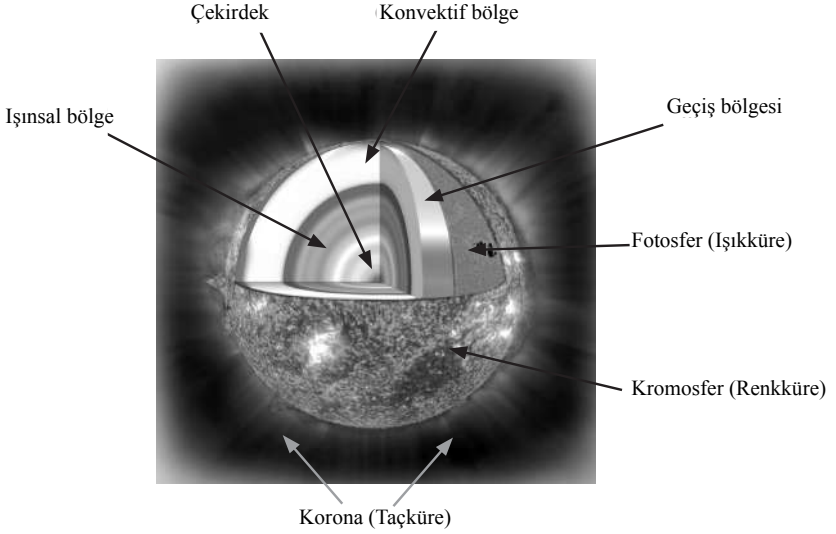
1998 ve 2006 yılları arasında Amerika ve Japonya'da yapılan deneyler gösterdi ki gerçekten üç tür nötrino var ve nötrinolar tür değiştirebiliyor. Tür değiştirmiş nötrinoları da hesaba katınca Dünya'ya ulaşan nötrino sayısı, proton-proton reaksiyonunun Güneş'in enerji kaynağı olması durumunda açığa çıkacak nötrino sayısıyla eşit.

Güneş ışığının destansı yolculuğu

Katmanlarını görebilmek için Güneş'i ortadan ikiye ayırdığınızı düşünün. Tam ortada, iç tarafın yaklaşık olarak çeyreğini kaplayan çekirdeği görürdünüz. Burada üst taraftaki maddeler tarafından uygulanan çekim basıncı, proton-proton reaksiyonu aracılığıyla hidrojeni helyuma dönüştüren füzyon için sıcaklık ve basıncı yükseltiyor. Sıcaklığı tam tamına 15 milyon derece (santigrat) olmasının yanında basınç da o kadar yüksek ki çekirdekteki madde, kurşundan 13 kat daha yoğun.

Işık, çekirdekten çıkıp Güneş'in genişliğinin yüzde 70'ini oluşturan ışınsal bölgeye gelir. Çekirdekten uzaklaştıkça sıcaklık düşmeye başlar ve ışınsal bölgenin ucuna geldiğinizde artık 1,5 milyon derecedir. Maddenin yoğunluğu da yavaş yavaş azalır, fakat parçacıklar çekirdeğe yakın yerlerde hâlâ tıklım tıklımdır. Ortalama olarak bir ışık parçacığı, herhangi bir şeyin üstüne sekmeden ve tabii ki geri yansıtılmadan bir santimetre bile yol alamaz.

Eğer tek bir ışık parçacığının (foton) izlediği yolu takip edecek olsanız bu ışığın, tilt oyununun (*pinball*) atmosferine benzeyen ışınsal bölgeden çıkması için 100.000-1.000.000 yıl arası beklemeniz gerekirdi. Ara sıra insanlardan, Güneş'ten gelen ışığın aslında sekiz dakikalık olduğunu, çünkü bu ışığın Dünya'ya ulaşmasının 8 dakika sürdüğünü duyarsınız.



Güneş, merkez çekirdekten dış taçküreye uzanan birçok katmana sahip.

Ancak bu süre ışığın, Güneş'in *kenarından* bize ulaşması için gereken süredir; oysa ışık kenarda değil çekirdekte oluşur. Yani ışık, gözlerimizle etkileşime girdiğinde, aslında çoktan 100.000 yaşını aşmıştır.

Konvektif (taşıma) bölgesinden geçiş ise çok daha hızlıdır. Enerjinin buradan çıkışı genellikle üç ayı bulur. Işık, konvektif bölgeye ulaştığında gaz tarafından emilir. Bu, gazı ısıtır ve daha hafif bir hale gelmesini sağlar, böylece Güneş'in kenarlarına doğru yükselir. Orada soğuyarak sıcak maddeyi bırakır; sonra daha ağır bir hale gelir ve geri batar. Bu konvektif döngü, enerjiyi ışımsal bölgeden Güneş'in görebildiğimiz dış katmanı olan ışık küreye (fotosfer) taşır. Konvektif bölgenin ucundaki atomlar soğudukça enerjiyi ışık formunda serbest bırakırlar ki ışık, Güneş sistemini aydınlatmak için özgürleşsin.

Güneş ışığını yüzünüzde hissettiğiniz bir sonraki an biraz

durun ve bu ışığın, Güneş'in çekirdeğinden size ulaşması için tamamladığı bir milyon yıla kadar sürebilen göksel yolculuğu bir düşünün.

Dış katmanlar

Güneş'in yapısı ışıkküre ile son bulmuyor. Birkaç tane de çok daha ince bölge var, bu bölgeler renkküre (kromosfer) ve taçküre (korona) olarak adlandırılıyor. Renkküre, iğne (spikül) adı verilen 500 kilometre uzunluğundaki püskürmelerin yaşandığı yerdir. Güneş'te her an yüzlerce hatta binlerce püskürme meydana gelir.

Çekirdekten ışıkküreye ilerledikçe sıcaklık düşer, ancak ışık küreden de ilerlemeye başladığınızda sıcaklık tekrar yükselmeye başlar ve renkkürenin uçlarında 8.000 dereceyi bulur. Sıcaklık, geçiş tabakası adı verilen 100 kilometrelik dar bir koridor boyunca yükselir ve taçkürenin tabanında 500.000 dereceye kadar çıkar. Taçkürenin içindeki sıcaklık ise milyonlarca dereceye kadar çıkabilir. Kimse taçküredeki bu âni ısınmanın sebebini bilmiyor; hatta günümüzde "taçküre ısınması problemi", Güneş araştırmaları açısından büyük bir mesele.

Bu da Güneş fizikçilerini, taçküreyi olabildiğince fazla araştırmaya itiyor; fakat alt katmanların parlaklığı sebebiyle ince yapısı neredeyse görülüyor. Eskiden bu katmanı incelemek için, Ay'ın Güneş ışıklarını kolayca bastırdığı tam Güneş tutulmalarını beklemek zorundaydık. Ancak artık özel Güneş teleskopları, taççeker (koronograf) adı verilen özel disklerle sahip; böylelikle suni tutulmalar yaratarak astronomların istedikleri her an taçküreyi incelemesine olanak sağlıyor.

Güneş'e çevrilmiş bu teleskoplar yalnızca görünür ışınları algılamıyor. Aynı zamanda elektromanyetik tayftaki diğer ışın türlerine de duyarlı, morötesi (UV) ve X ışını da dahil. Bu tür

gözlemler, fazla radyasyon yaymayan karanlık *taçküre delikleri*-ni de ortaya çıkarmıştır. Bunlar bir aya kadar orada kalabilir ve yüksek hızlı Güneş rüzgarlarının kaynağıdırlar (bkz. 70. sayfa).

Manyetik alanlar ve diferansiyel rotasyon

Güneş, gökyüzünde gördüğümüz hiç değişmeyen sarı bir toptan ibaret değil. İnanılmaz derecede hareketli ve vahşi bir yapısı var; kaynayan yüzeyi, yoğun manyetik faaliyetler tarafından sürekli olarak şekillendiriliyor ve yontuluyor.

Güneş aslında kocaman bir mıknaş. Okulda çubuk mıknaş ve demir tozlarıyla yaptığınız eski moda deneyleri hatırlarsınız. Bu tozlar, mıknaşın kuzey ve güney kutupları arasında görülebilir manyetik alanlar oluşturuyordu. Hem Güneş'in hem de Dünya'nın kutupları arasında da benzer manyetik alanlar var. Bizim manyetik alanımız, o deneydeki mıknaşın manyetik alanına epey benziyor, çünkü Dünya katı bir gezegen olarak dönüyor (bkz. 80. sayfa). Gelgelelim Güneş, plazma denen aşırı ısınmış gazdan oluşan ve sürekli çalkalanan bir alev topu. Katı ve yekpare bir cisim değil; ekvatorunda kutuplarına kıyasla yüzde 20 daha hızlı dönüyor. Astronomlar, bu duruma *diferansiyel rotasyon* adını veriyorlar.

Sonuç: Ekvatorial manyetik alanı kutuplardakine kıyasla daha yoğun. Bu da Güneş'in genel manyetik alanının daha karmaşık bir hal almasını sağlıyor, çünkü sürekli karışıp bükülüyor. Tıpkı metal bir yayı ya da lastiği çekmek gibi, bu süreç manyetik alan çizgilerinde enerji depolanmasını sağlıyor. Bu bastırılmış enerjinin, Güneş'in yüzeyinden, patlamalar ve işaretler olarak salındığını göreceğiz.

Güneş lekeleri

Genelde gruplar halinde beliren karanlık Güneş lekeleri, Güneş'in en belirgin niteliklerinden biridir. Bu lekeleri teleskopla gözlemleyen ilk insan Galileo oldu, fakat çıplak gözle de görülebilen Güneş lekelerinin kayıtları iki bin yıl öncesine kadar uzanıyor. Bu aslında çok olası bir durum, çünkü bazı Güneş lekeleri, Güneş'in dış çapının yüzde 10'u (160.000 km boyunca) kadar büyüyebiliyor. Bu, Dünya'dan 12,5 kat geniş bir alan demek. Yüzeyde ortaya çıkan Güneş lekeleri, genelde birkaç gün ile birkaç hafta arasında yok oluyor, ancak inatçı olanlar aylarca kalabiliyor.

Kökenleri hakkında yıllar boyunca farklı açıklamalar yapıldı. Bu açıklamalar, Güneş'in atmosferinde var olan fırtınalardan, kamikaze kuyrukluyıldızların açtığı yaralara kadar uzanıyordu. Bugün ise bunların yalnızca, ışıkküredeki daha serin bölgeler olduğunu biliyoruz. Işıkküredeki ortalama sıcaklık 5.500 derece civarında, Güneş lekelerinin olduğu yerlerde ise bu sıcaklık 3.000-4.000 derece arasında değişiyor. Bu bölgelerdeki yoğun kısmi manyetik alanlar, ısının aşağıda bulunan konvektif alandan yukarı çıkmasını engelliyor. Güneş lekeleri bu yüzden, genelde çift halinde görünür, her bir manyetik kutup için bir tane leke vardır.

Galileo'dan beri astronomlar, Güneş lekelerinin sayısının detaylı kayıtlarını tuttular. Bu onlara, belli bir örüntü olduğunu gösterdi. Güneş lekelerinin sayısı, ortalama on bir yıldan sonra gidecek artıyor, sonra azalıyor ve yavaş yavaş tekrar artmaya başlıyor. İleride üzerinde duracağımız Güneş püskürmeleri, patlamalar ve taşküre kütle atımları gibi Güneş'te meydana gelen diğer etkinlikler de bu örüntüye eğilim gösteriyor. Diferansiyel rotasyonun Güneş'in manyetik alanını yeteri kadar büküp çatırdatması da yaklaşık olarak on bir yıl sürüyor, daha sonra bu süreç sıfırlanıyor ve tekrar baştan başlıyor.

ANNIE MAUNDER (1868-1947)

Kuzey İrlanda'da doğan Maunder (evlenmeden önceki soyadı Russell), Greenwich Gözlemevi'ndeki insan bilgisayarlarından biri olmadan önce Cambridge'de okudu. Güneş'in fotoğraflarını çekmek ve hesaplamalar yapmakla görevlendirilmişti. Greenwich'te görev yaptığı sırada astronom Walter Maunder'la tanıştı ve 1895 yılında evlendiler. O dönemin şartları yüzünden, evlenince resmi olarak işini bırakmak zorunda kalmıştı.

Buna rağmen çift, Güneş'e (bilhassa Güneş lekelerine) dair çalışmalarına birlikte devam etti. Güneş lekelerinin tarihsel kayıtlarını incelediler ve Güneş lekelerinin azlığı ile Dünya'daki sıcaklıkların düşüklüğü arasında bir ilişki tespit ettiler. Halk arasında Küçük Buzul Çağı olarak adlandırılan 1645 ve 1715 yılları arasındaki döneme, "Maunder Minimum" deniyor.

Astronomi ile halk arasında muhteşem bir iletişimci görevi üstlenen Maunder, kadınlara getirilen yasak 1916 yılında kalktıktan sonra Kraliyet Astronomi Cemiyeti'ne seçilen ilk kadın oldu. Günümüzde Kraliyet Astronomi Cemiyeti, astronomi iletişimcilerini her yıl Annie Maunder Madalyası ile ödüllendiriyor.

Astronomlar başka örüntüler de buldular. Bunlardan ilki, Alman astronom Gustav Spörer'e ithafen "Spörer kanunu" denilen örüntüdür. On bir yıllık döngünün erken döneminde, Güneş

lekeleri Güneş'in kutuplara yakın yerlerinde görülüyor, yani ekvatorlardan uzaktalar. Ancak döngü devam ettikçe ekvatora daha yakın bir hal alıyorlar. Güneş lekelerinin zaman içinde aldığı pozisyonlar çizilince ortaya kelebeğe benzeyen bir şekil çıkıyor, bu yüzden bu grafik "Kelebek Diyagramı" olarak biliniyor. Amerikan astronom Alfred Joy'un adı verilen Joy kanunu ise Güneş lekeleri çiftlerinin, ekvatora yakın ana leke ile birlikte eğimli bir yol izlediğini söylüyor.

Güneş patlamaları, prominanslar (fıskırmalar) ve iplikçikler

Birçok insan Güneş'e bakmamamız gerektiğini düşünür. Bu, birçok durumda gerçekten iyi bir tavsiye olsa da (çünkü bu, sizi çabucak kör edebilir) özel Güneş teleskopları kullanıyorsanız Güneş'e doğrudan bakabilirsiniz. Teleskopların önündeki geniş filtreler, ışığın yoğunluğunu düşürerek yalnızca düşük ve güvenli bir miktar ışığı içeri alır.

Güneş'e bu şekilde bakarsanız Güneş'in üstünde, Güneş lekeleri ile birlikte, küçük alevler görmeniz çok olası. Bunlara "prominans (fıskırma)" diyor. Güneş'in manyetik alanı dışarı, uzaya doğru patladığında yanında biraz da sıcak gaz taşır. Tartışmaya açık olsa da bu görüntünün en güzel görüldüğü an ışıkküre üzerinde bir kemer halinde yükseldiği andır. Bu sırada sıcak gaz, dışarı doğru giden manyetik alan çizgilerini takip eder, sonra da tekrar geriye, yani Güneş'e döner. Küçük görünebilirler, fakat bu alev kemerleri zaman zaman yüzlerce hatta binlerce kilometre uzunluğunda olabilir.

Tam olarak ne gördüğünüz ise baktığınız açıya göre değişir. Güneş'ten direkt olarak size doğru gerçekleşen bir prominans düşünün. Prominansın yanları yerine üst kısmını görürdünüz. Astronomlar bu görüntüye "iplikçikler" adını veriyor. Güneş'in yuvarlak yüzeyi üzerinde sürünerek ilerleyen yılanlara benziyorlar. Tıpkı

Güneş lekeleri gibi iplikçikler de daha karanlık gözüktüyor, çünkü aslında Güneş'in zemininin üstündeki görece serin gazı görüyoruz.

İnsanların Güneş prominansları ile Güneş patlamalarını karıştırması çok sık karşılaştığımız bir şey, oysa patlamalar ayrı bir Güneş olgusuna giriyor. İsimlerinden de anlaşılabilceği üzere bu olgu, Güneş'in belli bir yerindeki ani patlamayı ve radyasyon püskürtülerini içeriyor. İçerdikleri enerji dehşete düşürücü, çünkü bir patlama milyarlarca megaton TNT* kadar enerji açığa çıkartabiliyor. Bunu bir örnekle açıklamak gerekirse II. Dünya Savaşı'nda kullanılan patlayıcıların tamamı (Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombaları da dahil), yalnızca üç megaton TNT gücündeydi.

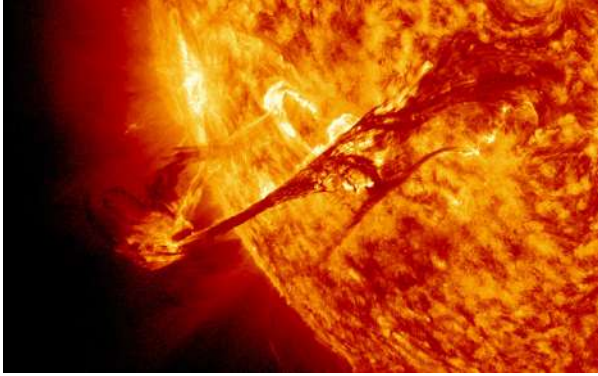
Bu patlamalar genelde Güneş'in sunabileceği en şahane patlamayı beraberinde getiriyor: Taçküre Kütle Atımı (TKA).

Taçküre Kütle Atımı

Mart 1989'da Kanada'nın Quebec bölgesindeki 6 milyon insan, dokuz saat süren bir karanlığa mahkûm oldu. Bu sırada, havadaki uydularla iletişimler kesildi ve kuzey ışıkları artık o kadar da kuzeyde değildi, o esnada Teksas ve Florida gibi güney kesimlerden bile görünebiliyorlardı. Bu olayların tümüne sebep olan tek bir şey vardı: Taçküre Kütle Atımı.

Güneş'in yolladığı bu vahşi patlamalar, milyarlarca tonluk maddeyi, saatte milyonlarca kilometreye varan hızlarla uzaya gönderiyor ve Güneş sistemini yüklü parçacıklarla dolduruyor. Eğer Dünya'ya ulaşırlarsa manyetik alanımızda bozukluklar yaratan jeomanyetik bir fırtınaya maruz kalıyoruz. Bu fırtına, elektrik üreterek enerji şebekelerimizin aşırı yüklenmesine sebep oluyor, uydularımızı felç ediyor ve kutup ışıklarını yoğunlaştırıyor. Güneş üç ila beş günde bir TKA gerçekleştiriyor, ancak neyse ki birçoğu küçük gezegenimize uğramıyor.

* Kuvvetli bir patlayıcı. (ç.n.)



Güneş, Ağustos 2012'de olağanüstü ve güçlü bir TKA saldı.

Dünya'ya ulaşan en çarpıcı TKA'lardan birisi, İngiliz astronom Richard Carrington'ın adı verilen ve 1859'da gerçekleşen Carrington Olayı'dır. Şansımıza o zamanlarda elektrik altyapımız henüz bebeklik dönemlerindeydi. Elektrikli telgraf var olan en gelişmiş iletişim sistemiydi ve bozuldu. Birçok telgraf santrali, elektrik şokları aldığına dair raporlar verdi. Eğer benzeri bir olay şu an olsa, hasar trilyonlarca Amerikan dolarını bulurdu. Fırtına Dünya'ya vurduğu an uçaklar düşerdi. Günümüzde bile pilotlar ve kabin memurları, radyasyona maruz görevliler olarak sınıflandırılıyor. 2003'de gerçekleşen çok daha hafif bir Güneş fırtınasında, Chicago-Pekin seferini yapan uçuştaki görevliler, yıllık radyasyon limitlerinin yüzde 12'sine tek bir uçuşta maruz kaldılar.

Bu olayları öngörmek için arzu duymamız kolayca anlaşılabilir, tıpkı Dünya'daki gibi uzay için de bir hava durumu tahmini oluşturmak istiyoruz. Bu olayları durduramayabiliriz, fakat hasarı en aza indirebiliriz. Şu an, yaklaşan bir fırtınanın tehlikeli olup olmadığını, bize ulaşmasına birkaç saat kala söyleyemiyoruz. Bazı yorumcular, uzay hava durumu tahmininin Dünya'daki kuzenine kıyasla 30-40 yıl geride olduğunu söylüyor. Bununla birlikte, bu ön tahminlerin önce 24 saati, sonrasında da günleri kapsaması

için adımlar atılmaya başlandı. Bu iş, hayati bir önem taşıyor, çünkü 1859'daki Carrington Olayı gibi olayların her 150 yılda bir yaşandığı düşünülüyor. Bir diğzerinin gerçekleşmesi yalnızca an meselesi.

Güneş rüzgârları

Yüzlerce kez prova yapılmıştı. Paraşüt açılacak, hazır bir helikopter paraşütü yakalayacak ve gözü pek gezginin yumuşak bir iniş yapması sağlanacaktı. Ancak işler planlandığı gibi gitmedi. 8 Eylül 2004'te, NASA'nın "Genesis" isimli araştırma aracı atmosferde doğrudan yere çakıldı. Kaza alanının fotoğrafları, helikopterin olaya seyirci kaldığını ve neredeyse "perişan" bir halde beklediğini gözler önüne seriyor.

Araştırma aracının paraşütü açılmadı, biri ivmeölçerini ters takmıştı. Genesis'in getirdiği değerli örneklerin neredeyse hepsi kullanılamayacak kadar kirlenmişti. Fakat neyse ki bazı örnekler, zarar görmemiş halde kurtarılabildi. Araştırma aracı üç yıl öncesinde, Güneş rüzgârlarından parçacıklar toplayıp analiz için Dünya'ya getirmek gibi tehlikeli bir göreve gönderilmişti. Apollo Projesi'nden beri gerçekleştirilecek ilk numune getirme göreviydi bu. Ayrıca Ay'ın yörüngesinin ötesinden bulgu getirecek ilk araç olma onuru da Genesis'e aitti.

Güneş'ten yayılan görünmez parçacıkların olduğu düşüncesi, 1859'daki Carrington Olayı'ndan sonra, Richard Carrington tarafından öne sürüldü. Günümüzde, genelde elektron ve protonlardan oluşan bu yüklü parçacıkların, Güneş'ten her yöne doğru saatte milyonlarca kilometre hızla fırladığını biliyoruz. En hızlı rüzgârlar, Güneş'in taçküresindeki deliklerden çıkıyor. Parçacıklar, gezegenlerin yörüngelerinin ötesine kadar ulaşıyor ve orada diğzer yıldızların yan rüzgarlarıyla karşılaşılıyorlar (bkz. 123. sayfa).

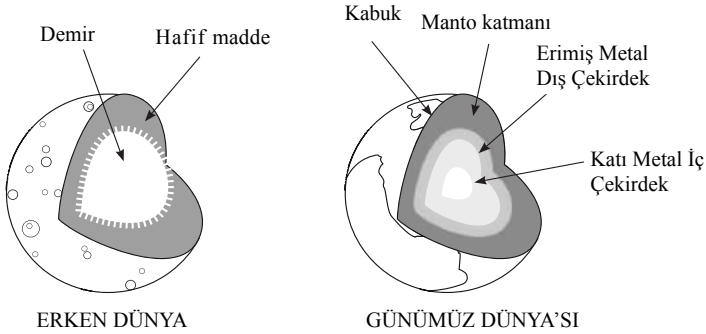
Güneş rüzgârları, Dünya'nın manyetik alanını örselediğinde, kutuplara yakın yerlerde kutup ışıkları oluşmasına neden oluyor (bkz. 81. sayfa). Güneş rüzgârları durgunluktan çok uzak, ayrıca yok etme gücüne de sahip. Astronomlar Mars'ın atmosferinin, eskiden çok daha kalın olduğunu düşünüyorlar ki bu durumda Mars'ın yüzeyinde sıvı halde su bulunabilirdi. Fakat Güneş rüzgârları, manyetik bir alanı olmadığı için, Mars'ın atmosferini yavaş yavaş yedi ve gezegeni neredeyse çıplak bıraktı. Artık Mars, kuru ve çorak bir çölden başka bir şey değil (bkz. 97. sayfa).

Dünya

Biçimi ve yapısı

Dünya döküntülerden ve kesiklerden oluşuyor. Evrenin bu bölümündeki asıl olay, 4,6 milyar yıl önce gerçekleşen Güneş'in oluşumuydu. Ancak azımsanamayacak ölçüdeki gaz ve toz, bebek yıldızın etrafında fırıl fırıl dönüyordu. Çekim gücü, bu maddeleri toparlayıp gezegenlerin tuğlası olan ve her biri çaprazlama bir kilometre olan küçük gezegenimsi yapılara dönüştürdü.

4,56 milyar yıl önce, yani Güneş'in oluşumundan yalnızca birkaç milyon yıl sonra bu taş ve metal yığınları, Dünya'yı oluşturmak üzere birbirlerine çarptılar. Küçük gezegenimsi yapıların devamlı bombardımanı, radyoaktif çözülmeyle birlikte, yeni oluşan gezegeni erimiş halde tuttu. Çekim gücü de ortaya çıkan bu topu bir küre biçimine dönüştürdü.



Erken Dünya tamamen erimiş vaziyetteydi; bu da demir gibi ağır maddelerin Dünya'nın çekirdeğine doğru batmasına olanak sağladı.

Gezegen erimiş bir halde olduğu için, en ağır maddeler dibе battı. En hafif maddeler ise kendilerini yüzeyde yüzer halde buldular. Jeologlar, bu sürece *farklılaşım* diyorlar. Farklılaşan Dünya soğudukça demir ve nikel çekirdeğin üstünde katı bir kabuk oluştu.

Günümüzde gezegenimizin çekirdeği hâlâ demir ve nikelden oluşuyor. İç çekirdek ve dış çekirdek olmak üzere iki kısma ayrılıyor. İç çekirdek katı, dış çekirdek ise yukarıdaki maddelerin yoğun ezici gücü yüzünden erimiş halde. İç ve dış çekirdek arasında bulunan sınırdaki sıcaklık, 6.000 dereceye kadar çıkabiliyor ki bu da Güneş'in yüzeyindeki sıcaklık kadar demek. İç ve dış çekirdek, gezegenin içinin yüzde 55'ini kaplıyor; etrafında ise yarı erimiş kayalıktan oluşan magma ile dolu manto katmanı var. Mantonun üstünde ise Dünya'nın yüzeyi, yani üzerinde yaşadığımız kabuk var. En kalın yerlerinde bile yalnızca 60 kilometrelik bir kalınlığa ulaşan kabuk, Dünya'nın çapına yüzde 0,5'lik bir katkı bile sağlamıyor. Gezegenimizi bir elma boyutunda düşünürsek kabuğun kalınlığı, elmanın kabuğunun kalınlığı ile eşdeğer olurdu.

Okyanuslar ve atmosfer

Mavi gezegenimizin en çarpıcı niteliği, suyun bol bulunması. Dünya'nın yüzeyinin yüzde 70'i sıvı H_2O ile kaplı ve en minik bakteriden en büyük mavi balınaya kadar Dünya'da yaşayan her şey, yaşamak için ona ihtiyaç duyuyor. Su, gezegen oluşurken var olmuş olsaydı o cehennem sıcaklıklarına dayanamayıp buharlaşıp giderdi; yani su muhtemelen yüzeye sonradan eklendi. Fakat nereden?

Kabuğun altındaki mantoda oluşmuş olabilir. Sıvı hidrojen ve kuvars, sıvı suyu oluşturmak için tepkimeye girebilirler, o su da kayaların içinde sıkışık kalır. 2014 yılında Dünya yüzeyinin 700 kilometre altındaki su kaynaklarının, yüzey okyanuslarını üç kere doldurabilecek kapasitede olduğu ortaya çıktı. Zamanla su buharı, muhtemelen kabuktaki çatlaklardan dışarı sızdı. Daha sonra gezegen soğudukça buhar, sıvıya dönüştü; yağmur, engin havzaları doldurdu.

Suyun gelebileceği bir diğer kaynaksa uzay. Su, gezegenimize çarpan asteroidler veya kuyrukluysıldızlarla gelmiş olabilir. Yalnız, bu düşünceyle alakalı birkaç problem var. Kuyrukluysıldızların analizleri gösterdi ki birçoğu bizim okyanuslarımıza kıyasla daha farklı bir su türü içeriyor (bkz. 104. sayfa). Eğer su, asteroidlerle birlikte geldiyse bu sefer de atmosferimizde daha fazla ksenon elementi bulunması gerekirdi. Yani bu konu henüz tam olarak karara bağlanmadı.

Atmosferimizin kökeni ise biraz daha açık, ancak başlangıçta şu anki bileşiminden çok uzaktı. Bebek halindeki Dünya'ya tutunan ilk gazlar, gezegenin derinliklerinde meydana gelen volkanik etkinlikler tarafından salınmıştı. Bu da çoğunun karbonmonoksit, hidrojen sülfür ve metanla karışmış karbondioksit olduğu anlamına geliyor. Serbest oksijen yoktu. Hepsi, suyun

(H₂O) ya da silikon dioksit (SiO₂) gibi katı-silikon bileşiklerin içinde tıkalı kalmıştı.

Sonra, 3 milyar yıl önce siyanobakteri denen mikroskobik canlılar, okyanuslarda gelişmeye başladığında her şey değişti. Güneş ışığı, su ve karbondioksiti fotosentez aracılığıyla birleştirerek elde ettikleri serbest oksijeni açığa çıkardılar. Oksijenin atmosferdeki bu gelişimi, Dünya tarihindeki en büyük kitlesel yok oluşlardan birine yol açtı; çünkü oksijen, yaşam türlerinin büyük çoğunluğu için zehirliydi. Yalnızca atmosferimizdeki bu büyük bileşim değişimine uyum sağlayabilen canlılar hayatta kalabildi. Siz o hayatta kalanların soyundan geliyorsunuz. Bugün oksijen, azottan sonra (yüzde 78) atmosferimizde en bol bulunan ikinci element (yüzde 21).

Tektonik levhalar

Tibet düzlükleri ve Hint yarımadası arasındaki sınırı destekleyen uçsuz bucaksız Himalaya Dağları, yeryüzünün en harika noktalarından biridir. Her yıl binlerce insan, Everest'in büyü-
süne kapılır; yüzlercesi de Dünya'nın bu en yüksek tepesine tırmanmaya çalışır.

Dünya'nın yaşı ile kıyaslandığında Himalaya Dağları henüz çok genç. Birçok bilim insanı bu dağların 50 milyon yıl önce oluştuğunu öne sürüyor. Büyük kısmı şu an Hindistan sınırları içerisinde, fakat bu dağlar, şu an oldukları yerlere gelebilmek için kayda değer bir yol aldılar diyebiliriz. Bu alan, antik bir kıta olan Gondvana'dan kopup kuzeydeki Afrika anakarasının yanındaki Madagaskar'a yerleşti, sonra da Asya'ya doğru olan yolcuğuna devam etti. Yeryüzünün en uzun sıradağlarını oluşturmak için yılda 20 santimetre yol katederek gezegenin en büyük kıtasına daldı.

Kara kütlelerinin bu oldukça büyük hareketinin mümkün olmasının tek sebebi Dünya'nın kabuğunun, erimiş kaya üstündeki sıvı okyanuslarda yüzen tektonik levhalardan oluşmasıydı. Alt akıntılarının yuvarlanması Hindistan levhasının Gondwana'dan ayrılıp kuzeye doğru ilerlemesine yol açtı. Hindistan levhası kara ile buluşunca Avrasya levhasının altına sürüklendi ve baskı yaparak toprağı yukarı yolladı, bu da Himalayaları oluşturdu. Bu süreç henüz bitmiş değil. Çarpışma, hâlâ kuzeye doğru ilerleyen Hindistan levhasının yalnızca yavaşlamasına neden oldu. Himalayalar da her yıl iki santimetre yükselmeye devam ediyor.

Tektonik levhalar, yalnızca jeolojinin konusu değil. Birçok bilim insanı, bu levhaların Dünya'daki yaşamın gelişmesinde önemli bir rol oynadığını düşünüyor. Ne de olsa Güneş sisteminde levhaların bulunduğu tek gezegen Dünya. Yanardağlar, genelde levha sınırlarında ortaya çıkıp gezegenin altında kalan sıkışmış gazların atmosfere karışması için bir kaçış yolu sağlıyor. Bu olay özellikle karbondioksitin işine yarıyor. Buzul çağlarında, bu ilave karbondioksit, sıcaklıkların yükselmesine yardımcı oluyor. Ayrıca levha hareketleri, aşırı karbondioksiti hapsederek gezegenin aşırı ısınmasını da önüyor.

Sonuç olarak evrenin başka yerlerinde yaşam arayan astronomlar, yalnızca gezegenimizdeki sıcaklıklara benzer sıcaklıktaki gezegenleri değil, ayrıca sıcaklıkları bu biyoloji dostu sınırlarda tutabilecek tektonik levhaları olan gezegenleri de araştırıyorlar.

ALFRED WEGENER (1880-1930)

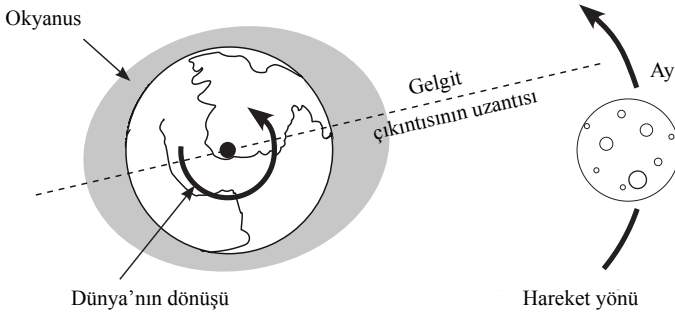
Dünya'nın yüzeyine şöyle bir baktığınızda kocaman bir yapbozu andırdığını görürsünüz. Güney Amerika'nın sağ üstündeki kara çıkıntısı, Batı Afrika'nın altındaki boşluğa mükemmel bir şekilde uyuyor. Bunu fark eden ve bunun bir tesadüften fazlası olduğuna inanan Alman fizikçi Alfred Wegener, 1911 yılında kıtasal kayma teorisini yayımladı. Bu teori, iki kıtanın bir zamanlar ortak bir kıta olduğunu öne sürüyordu. Çok az kişi bu teoriyi destekledi, diğer bilim insanları ise bu kadar büyük kara parçalarının hareket edebileceğine inanamadılar. Wegener de neden hareket ettikleri konusuna bir açıklama getirememişti.

Wegener'in Grönland'e yaptığı bir keşif gezisinde hayatını kaybettikten çok sonra, 50'li ve 60'lı yıllarda, bu teoriyi destekleyici kanıtlar ortaya çıkmaya başladı. Bilim insanları, volkanik aktivitelerin yeni okyanus kabukları oluşturduğunu ve deniz tabanının zamanla yayıldığını keşfetti. Tektonik levha teorisi de bu gelişmeleri takip etti ve nihayet Wegener'in özgün kıtasal kayma fikrinin nasıl işlediği açıklanmış oldu.

Gelgitler

Maine Körfezi'nin kuzeydoğusunun ucunda, Kuzey Amerika'nın dalgalı Atlantik kıyısında, Fundy Körfezi adı verilen eşsiz bir koy bulunur. İki günde bir 100 milyar ton su, bu körfezi doldurur ve boşaltır. Somutlaştırmak için şöyle söyleyelim: Bu suyun miktarı, gezegenimizdeki tüm tatlı su nehirlerinde akan sudan daha fazladır.

Peki suyun bu denli muazzam hareketine sebep olan şey nedir? Çekim. Bilhassa Ay'ın (biraz da Güneş'in) çekimi, Dünya üzerindeki suyun yükselmesine ve çekilmesine neden olan büyük gelgitler yaratır. Karalar da bu çekimden etkilenir, ancak su hareket etme konusunda çok daha özgürdür. Gelgit farkının 3,5 metre ile 16 metre arasında değiştiği Fundy Körfezi'nde, gelgit en yoğun seviyesindeyken su, dört katlı bir evin yüksekliğinden daha fazla yükselir.



Ay'ın çekim gücü, Dünya'nın kendine yakın olan kısmında bir gelgit çıkıntısına neden oluyor.

Bu olay şöyle işliyor. Sizin olduğunuz bölge Ay'a doğru dönükken, bölgenizdeki sular Ay'a doğru, yerkürenin diğer bölgelerindeki sular da size doğru çekiliyor. Sizin bölgenizdeki sular *gel'i* yani kabarmayı yaşarken diğer bölgelerdekiler *git'i* yani çekilmeyi yaşıyor. Ay, gezegenin diğer bölgelerindeki suları fazla çekemiyor, çünkü oralar uzak kalıyor. Gelgitteki *gel'in* yaşandığı başka bir durum ise dönen Dünya'nın savurma etkisi uygulamasından kaynaklanıyor; bu etki, arabayla keskin bir viraj alırken sizi yana savuran etkiyle aynı. Bu nedenle Dünya'daki birçok yer gün içinde iki gelgit yaşıyor, gezegenin dönüşü her yirmi dört saatlik sürede bizi bu dört bölgeye taşıyor.

Bu durumun gerçekliği bir durup düşünmeye değer. Diyelim ki bir plajdasınız ve gelgit yaşandığını görüyorsunuz, bu durumda suyun sizden uzaklaştığına inanmamanız gayet olası. Zaten gerçekleşen şey aslında bu değil. Suyun çoğu, Ay'ın çekim etkisi ya da savurma etkisinden dolayı olduğu yerde kalıyor. Bunun yerine, hareket eden sizsiniz. Dünya'nın dönüşü tarafından yaratılan gelgitsel kabarma etkisinde taşınan şey sizsiniz. Aslında su, sizden uzaklaşmıyor; kara ve siz, sudan uzaklaşıyorsunuz!

Mevsimler

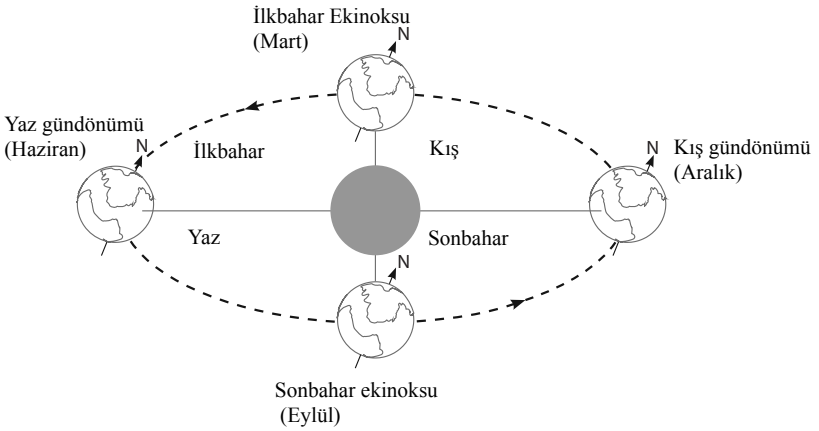
Gezegensemizin en güzel özelliklerinden biri mevsimsel değişimlerdir. İlkbaharda bitkiler, toprağı delerek gökyüzüne doğru yükselir. Sonbaharda ise yapraklar toprağı düşer. Birçok insan, sıcaklıkların yıl içindeki değişiminin, Güneş'e olan mesafemizle ilgili olduğunu sanmak gibi bir hataya düşer. Yazın Güneş'e yakın olduğumuzu, kışın ise uzaklaştığımızı düşünürler.

Aslında mevsimler, Dünya'nın eksen eğikliğinin bir sonucudur. Gezegensemiz dimdik bir şekilde dönmüyor; 23,4 derece eğik bir açıyla dönüyor. Bu, şu demek oluyor: Haziran ayında kuzey yarımküre, Güneş'e doğru eğik duruyor ve oradaki insanlar, daha sıcak havaları ve daha uzun günleri yaşıyorlar. Kuzey kutup dairesinde yaşayan insanlar ise sürekli gündüzü yaşıyorlar, çünkü orası Güneş'e doğru o kadar eğik ki Güneş sürekli o bölgeye vuruyor. Bu sırada güney yarımküre, Güneş'ten uzağı doğru eğik, bu yüzden ısı ve ışığın oralara uğraması çok daha zor ki bu da kışın yaşanmasına sebep oluyor. Güney kutup dairesi ise sürekli geceyi yaşıyor.

Altı ay sonra, Dünya Güneş'in öbür tarafında olduğunda, roller değişiyor. Ekvator çizgisinin altında kalan güneydekiler barbekü yapıyor, kuzeydekiler ise kazak giyiyor. Kuzey kutup

dairesi karanlığa gömülüyken güney kutup dairesi sürekli aydınlanıyor.

Yılın en uzun ve en kısa günlerine (haziran ve aralık aylarında), gündönümü deniyor. Bu tarihlerin tam arasında öyle bir noktaya ulaşıyoruz ki hiçbir yarımküre ne Güneş'e yakın ne de uzak kalıyor. Mart ve eylül aylarında yaşanan bu günler ekinoks olarak adlandırılıyor; bu günlerde tüm gezegen, eşit gece ve gündüzü yaşıyor.



Dünya'nın eksen eğikliği sebebiyle bazen Güneş'e doğru, bazen de Güneş'ten uzağa doğru yatık olması, mevsimleri yaşamamızın nedenidir.

Gezegenimizin eksen eğikliği makul bir seviyede olduğundan mutlu olmalıyız. Eğer açı çok daha fazla olsaydı mevsimsel değişimler çok daha belirgin, başa çıkması da çok daha zor olurdu. Ay sayesinde, gezegenimizin eğikliği dengede duruyor ve mevsimler tahmin edilebiliyor. Örneğin Mars'ın ekseni, dengeyi sağlayacak büyük bir uydusu olmadığından diğer gezegenlerin çekimi yüzünden sürekli çılgınca savruluyor. Bu da birbirini tutmayan ve sürekli değişen uzun kışlara ve şiddetli yazlara sebep oluyor.

Manyetik alan

Dişı deniz kaplumbağalarının yolculukları kesinlikle sıradışı. Kumsalda doğduktan sonra denize doğru koşuşturup zengin beslenme alanları bulmak için 2.000 kilometreden fazla yol katediyorlar. Yetişkinliğe eriştiklerinde ise, tüm o yolu tekrar geçip yumurtadan çıktıkları kumsala geri dönüyorlar. Nereden geldiklerini nasıl hatırlıyorlar? Görünüşe göre, Dünya'nın manyetik alanını kullanıyorlar.

Dünya döndükçe gezegenimizin iç kısımlarındaki erimiş demir, dış çekirdekte çalkalanıyor. Bu hareket, Dünya'nın manyetik alanını oluşturuyor. Manyetik alan, gezegenin tepesinden çıkıyor ve altına doğru geri dönüyor. Fakat işler, kutuplarda biraz daha karmaşık. Dünya'nın üç kuzey kutbu, üç de güney kutbu var.

Bu kutupların ilki, coğrafi kuzey kutbu. Bu kutup, Dünya'nın dönüş eksenini için çizdiğimiz çizgilerin kesiştiği fiziksel noktada, yani gezegenin tepesinde bulunuyor. Genel olarak sabit diyebiliriz, çünkü yılda yalnızca birkaç metre hareket ediyor. Bir de manyetik kuzey kutbu var, bu da pusulalarımızın işaret ettiği yer. Eğer dikey olarak da yön gösterebilen bir pusulamız olsa bu noktadayken pusulanın ucu, doğrudan zemini gösterirdi. Dünya'nın dış çekirdeğinde meydana gelen değişimlerden dolayı, manyetik kuzey kutbu sürekli yer değiştiriyor. En son Kanada'da tespit edilmişti, şu an ise kuzey kutbu üzerinden Siberya'ya doğru yol alıyor. Coğrafi ve manyetik kutuplar an itibarıyla yaklaşık olarak on derece yanlış ayarlanmış durumda.

Son olarak da jeomanyetik kuzey kutbu var. Bu kutbu da şöyle açıklayabiliriz: Eğer Dünya'nın ortasına sıradan bir çubuk mıknatıs koysaydık bu nokta artık "manyetik kuzey kutup" noktamız olurdu. Gelgelelim manyetik alanımız sıradan çubuk

mıknatıslardan çok daha karışık işliyor. Bu saydığımız kuzey kutuplarının, aynı şekilde bir de güneydeki karşılıkları var.

Bu manyetik alan olmasa Dünya üzerindeki yaşamın gelişmesi mümkün olmazdı. Gezegenimizin manyetik alanı, Güneş'ten ve uzayın derinliklerinden gelen zararlı ışınları engelleyen kocaman bir güç alanı görevi üstleniyor. Bizi Güneş rüzgârlarına karşı da koruyor, eğer bunu yapmasa bu rüzgârlar ozon tabakamızı yok eder ve Güneş'ten gelen morötesi ışınlara karşı korunmasız kalırdık.

Kutup ışıkları (aurora)

Gökyüzünde parıldayan ve dans eden geniş yeşil perdeleri andıran kuzey ışıkları (ya da *aurora borealis*), kuzey kutbuna yakın yerlerde görülebilir. Aynı etki, güney kutbunda da görülür ve güney ışıkları (*aurora australis*) olarak adlandırılır. Ayrıca tıslama, çıtırdama, çatırdama ve boğuk patlama gibi birçok şaşırtıcı ses de çıkarırlar.

Kutup ışıkları bizlere, gezegenimizin uzayda, çevreden soyutlanmış bir yerde olmadığını, aksine “yıldızı” ile yakın bir ilişki içinde olduğunu âdeta büyüleyici bir şekilde hatırlatıyor. Sürekli, yüklü parçacıklar taşıyan Güneş rüzgârlarına maruz kalıyoruz. Güneş rüzgârları ve Dünya'nın manyetik alanının etkileşimi, bu yüklü parçacıkların gezegenin manyetik alanı boyunca kutuplara doğru hızlanmasına yol açıyor. Oralarda da üstümüzdeki atmosfere çarparak havada ilave enerjili atomlar yaratıyorlar. Bu ilave enerjiyle yüklenmiş atomlar, enerjiyi ışık formunda serbest bırakınca kutup ışıklarını görüyoruz.

Aslında etki, her manyetik kutbun etrafındaki sınırlı bir alanda, yani “aurora ovalerinde” görülebiliyor. Ancak, taçküre kütle atımının yol açtığı gibi bir jeomanyetik fırtına,

manyetik alanımızı bastırarak bu ovaleri kayda değer bir biçimde genişletebilir. Karayip'teki denizciler, 1859 yılında gerçekleşen Carrington Olayı sırasında, muhteşem ışık görüntülerine şahit olduklarını söylemişlerdi. Kutuplara hiç seyahat etmedikleri için, bu ışıkların ne olduğuna dair hiçbir fikirleri yoktu. Rocky Dağları üzerindeki parlaklık o kadar fazlaydı ki madenciler, Güneş'in doğduğunu sanıp uyanmışlardı. Sahraaltı Afrika'dakiler bile gösteriye tanık olabilmışti.

Kutup ışıklarının en yaygın renk tonu ise yeşil; çünkü ışıklar bu rengini, alçak rakımlarda yani en yaygın ve en görünebilir olduğu yerde bulunan oksijenden alıyor. Kırmızı renk kutup ışıkları ise bu ışıkların, atmosferin daha yüksek kısımlarında olan oksijen tarafından yollandığını gösteriyor. Eğer mavi ışıklar görüyorsanız bu da olayın içine daha fazla azotun girdiğini anlatıyor.

Dünya, Güneş sistemi içinde kutup ışıklarının olduğu tek yer değil. Astronomlar, aynı etkileri Mars, Jüpiter ve Satürn'de de gözlemledi.

Göktaşları ve meteorlar

Birkaç milyon yıl önce Mars'ta meydana gelen bir çarpışma, Mars'ın yüzeyini parçalara ayırdı ve bu parçaların uzaya savrulmasına neden oldu. Bu parçalar, bir şekilde 225 milyon kilometre boşluğu aşarak Dünya'ya ulaştı; ardından atmosferi delerek güney kutbu tundrasına bir göktaşı olarak düştü. Gezegenimizin göktaşı koleksiyonu arasında Mars'tan gelen bu "yabancı" tipler oldukça nadir; toplam göktaşlarının yalnızca yüzde 0,5'ini (hatta daha azını) oluşturuyorlar. Biraz daha yaygın göktaşları ise Ay'dan gelenler. Bununla birlikte Dünya'ya düşen göktaşlarının büyük çoğunluğunu, Güneş sisteminin

oluşumundan kalan taş ve metal yığını asteroitler oluşturuyor. Bu da onları daha ilgi çekici hale getiriyor, çünkü birçoğu Dünya'dan daha yaşlı, böylelikle yanlarında Güneş ve yörünge-
sindeki gezegenler hakkında önemli ipuçları getiriyorlar.

Uzayın bu “moloz”larına verilen ad, molozun nerede olduğuna göre değişiyor. Uzaydaki küçük bir taş yığına bile göktaş (meteoroid) diyoruz. Eğer bu göktaş, atmosferimizde yanarsa artık ismi meteor (meteor) oluyor. Yalnızca yeryüzüne ulaşabilen göktaşlarını meteorit (meteorite) olarak adlandırıyoruz.

Bir arada bulunan birçok meteorun, birçok “akanyıldızın” aniden harekete geçmesi ile oluşan muhteşem görüntü, “meteor yağmuru” olarak adlandırılıyor. Dünya, kuyrukluysıldızların Güneş sistemine saçtığı uzay tozları arasındaki yolu takip ederek Güneş'in etrafında olan zorlu yolculuğunu tamamlar. Genelde bir kum tanesini geçmeyen boyutlara sahip bu küçük parçacıklar, atmosferle sürtünmeleri sonucu göz alıcı bir şekilde parlarlar ve gökyüzünün bir ucundan diğer ucuna doğru kaydıkları görülür.

Bu yağmurların en güzel örneklerinden biri, ağustos ayında gerçekleşen Perseid meteor yağmurudur. Şehir ışıklarının araya girmediği karanlık bir mevkiden, gece göğünü dakika başı aydınlatan bir meteor görebilirsiniz. Bu olay bizlere, Güneş sisteminde yalnızca gezegenlerin olmadığını her yıl hatırlatır.

Uydular ve Uluslararası Uzay İstasyonu

4 Ekim 1957, insanlık tarihi açısından bir dönüm noktasıydı. Sovyet uydusu *Sputnik 1*, Dünya'nın yörüngesine gönderilen ilk yapay nesneydi. 3 ay sonra tekrar atmosfere girdi ve yandı. O zamandan beri uydular, yaşam biçimimizi değiştirmeye devam ediyor. Hava istasyonları iklimi takip ediyor, casus uydular

düşmanların izini sürüyor, TV uyduları izlemek istediğimiz programları evimize getiriyor, Küresel Konumlama Sistemi (GPS) ise yolumuzu bulmamıza yardımcı oluyor.

Yukarıda çalışır halde binden fazla uydu var, ancak yörüngemizdeki her şey kullanışlı durumda değil. Şu an yörüngemizde, gezegenimizin etrafında dönen ve çapı on santimetreyi aşan 21.000 adet nesne var. Çapı bir ila on santimetre arasında olan nesneleri saydığımızda bu sayı yarım milyona çıkıyor. Bunların birçoğu, uydulardan ve uzay görevlerinden artakalan, çöp yığını içinde süzölmeye bırakılan uzay çöplerinden oluşuyor.

Bu, Dünya'nın en büyük yapay uydusu "Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS)" için bir sorun anlamına geliyor. Bu istasyon, aşağı yukarı bir futbol sahası büyüklüğünde ve dünyanın dört bir yanından gelen altı kişilik astronot ekibinin evi durumunda. Dünya'dan yaklaşık 400 kilometre yükseklikte dönüyor; fakat bu yörünge, büyük uzay çöplerine çarpmamak için birkaç kez değiştirildi. Dış gövdesi, özellikle de güneş panelleri, küçük çöplerle olan çarpışmalardan kalan izler taşıyor.

2000 yılında yaşanabilir hale getirilen Uluslararası Uzay İstasyonu'ndaki astronotlar, yaklaşık altı ayda bir değişiyor. Dünya'nın etrafındaki dönüşlerini yalnızca otuz iki dakikada tamamlayan istasyondaki ekip, Güneş'in doğuşuna ve batışına günde on altı kez tanık olabiliyor. Ayrıca o yükseklikten büyük şehirler, gök gü-rültülü fırtınalar ve dans eden kutup ışıkları gibi Dünya'daki pek çok muhteşem manzaraya da şahit olabiliyorlar.

Uluslararası işbirliğinin bir işareti olarak Uluslararası Uzay İstasyonu, uzayda uzun süreler boyunca kalmanın insan vücuduna etkileri hakkındaki bilgimizi artırmak için tasarlandı. Bir gün bu bilgileri, insanları Mars'a gönderdiğimizde kullanacağız.

Ay

Oluşumu

Uydumuz olan Ay, tuhaf bir top. Güneş sistemindeki tüm uyduları (ya da ayları) gezegenleri ile kıyasladığımızda Dünya-Ay ikilisi, iş boyuta gelince diğerlerinin çok önüne geçiyor. Ay'ın çapı Dünya'nın çapının neredeyse yüzde 28'i kadar. En yakın ikinci uydu-gezegen ikilisini ise Neptün ve en büyük uydusu Triton oluşturuyor, ancak Triton'ın çapı, Neptün'ün çapının yüzde 5'i kadar. En büyük beşinci gezegen olmamıza rağmen, Güneş sistemindeki en büyük beşinci uyduya sahibiz.

Bu da Ay'ın başka bir yerde oluşup daha sonra çekimimize kapıldığı ihtimalini azaltıyor. Çünkü çok büyük. Charles Darwin'in oğlu George, Ay'ın Dünya'dan koptuğuna ve gerisinde Pasifik Okyanusu'nu oluşturan boşluğu bıraktığına inanıyordu.

Günümüzde Ay'ın kökeni hakkında ileri gelen görüş, erken dönemlerindeki Dünya'nın Mars büyüklüğünde bir gezegen ile çarpışmasını öne sürüyor. Astronomlar, bu kayıp dünyaya “*Theia*”, bu vahim çarpışmaya ise “Dev Çarpışma Hipotezi” adını veriyorlar. Bu çarpışmanın Dünya'nın oluşumundan 50-100 milyon yıl sonra gerçekleştiği düşünülüyor. Çarpışma, kıvrılarak giden bir moloz halkasını yörüngeye gönderdi, çekim gücü de sonunda bu parçaları birleştirerek Ay'ı oluşturdu. Eğer Dünya'nın yaşını bir güne sığdırabilsek Ay, Dünya yalnızca on dakikalıkken oluşmuş olacaktı.

Bu olay, Ay'ın neden diğerlerinden farklı şekilde küçük bir çekirdeği olduğunu ve neden Dünya'dan daha az yoğun olduğunu açıklıyor. Theia'dan artakalan ağır maddeler Dünya'ya yakın kalırken hafif maddeler Ay'ı oluşturacak şekilde dışarıya atıldı. Dünya, Güneş sistemindeki en yoğun gezegen ki bu da Theia'dan kalan ilave maddelerin oluşumuna eklendiği göz önüne alınınca

çok mantıklı. Ayrıca bu dev çarpışma, Ay'ın şu an, geçmişinde neden eriyikmiş gibi görüldüğüne de açıklama getiriyor, çünkü halkadaki maddelerin şiddetli çarpışmaları zamanında kayayı eritmiş olabilir.

İlave kanıtlar da Apollo görevlerinden sonra elde ettiğimiz Ay taşları ile geldi. Bilgisayar simülasyonları, Ay'ın çoğunlukla Theia'dan kalan maddelerden oluştuğunu ileri sürdü, yani Dünya'daki ve Ay'daki taşlar arasında farklılıklar olmalıydı. 2014 yılında ise bilim insanları, Apollo'nun getirdiği numunelerde farklı oksijen karışımları bulduklarını açıkladılar.

Kraterler, denizler ve evreler

Ay'ın haritasına bir bakın. “Rüyalar Denizi”, “Gökkuşağı Körfezi” ve “Mutluluk Gölü” gibi şiirsel isimlere sahip birçok yerle karşılaşacaksınız. Gerçekte ise atmosferi olmadığı için bizi hemen öldürebilecek bir ortama sahip. Ay'ın incecik gaz katmanlarının tümü, beş filin ağırlığından daha hafif.

Farklı yüzeyi “denizlerle” (Latince *Mare*, çoğulu *Maria*), yani geniş karanlık lekelerle kaplı. Dünya'dan bakınca bir yüzü andırdıkları bile söylenebilir; ancak bunun sebebi, meşhur Ay'daki Adam (*Man in the Moon*)* da olabilir. Aslında bu lekeler, Ay'ın çalkantılı oluşumu sırasında ortaya çıkan erimiş lavların sarnıçlarıydı; bu lavlar, daha sonra soğudu ve katılaştı. Denizlerin yüzeyi, binlerce kraterle kaplı. Derin kase biçimindeki bu kraterler, milyarlarca yıldır Ay'ın yüzeyini “törpüleyen” çarpışmalardan kalma.

Ay'ın gökyüzümüzdeki görünüşü sürekli değişiyor. Bunun

* Ay'daki Adam, Ay'ın yeryüzündeki şekillerin bir yüzü andırması sebebiyle ortaya atılmış ve farklı kültürlerde, farklı anlamlar yüklenmiş hayali karakterleri temsil eder. Bir örneğine, “Ay'a Seyahat” (*Le Voyage dans la Lune-1902*) filminde rastlamak mümkündür. (ç.n.)

sebebi, kendi ışığına sahip olmaması. Bunun yerine, Güneş ışığını bize yansıtan dev bir ayna görevi üstleniyor. Bu ışığın ne kadarını gördüğümüz ise Ay'ın, Dünya'nın etrafını saran yörüngesindeki konumuna bağlı. Güneş ve bizim aramızda olduğunda gelen tüm ışık, Ay'ın uzak bölümüne vuruyor ve bizden uzağa yansıyor. Bu duruma *yeni ay* diyoruz. Ay, gezegenimizin diğer kısmına doğru ilerlerken gitgide daha fazla aydınlandığını görüyoruz, ta ki iki hafta sonra, üstüne vuran ışığın tamamını Dünya'ya yansıtana dek. Bu durumda da bir *dolunay* görüyoruz. Bu ışığı da gitgide kaybetmeye başlıyoruz, çünkü Ay tekrar, Dünya'ya dönük kısmına daha az ışık almaya başlıyor.

Kütleçekim kilidi

Ay'ın yalnızca bir yüzünü gördüğümüz gerçeği, birçok insanın Ay'ın dönmediğini düşünmesine neden oluyor. Fakat dönüyor. Ay, kendi eksenini etrafındaki dönüşünü, Dünya'nın yörüngesi etrafındaki dönüşünü tamamlama süresi ile aynı sürede tamamlıyor, yani 27,3 günde.

Bunun nasıl işlediğini görmek için Dünya'yı temsil edecek bir şey bulun ve yere yerleştirin. Yüzünüzü ona karşı dönün, sonra sürekli içeriye doğru bakacak şekilde bir çember halinde dönün. Başlangıç noktanıza döndüğünüzde yalnızca Dünya'nın etrafında bir dönüş değil, ayrıca durduğunuz noktada da bir dönüş yaptınız. Buna ikna olmak istiyorsanız, bu alıştırmayı tekrar edin, bu sefer döndüğünüz esnada duvarlara bakın. Tıpkı bir noktada dönüyormuşçasına, yüzünüzün sıra sıra tüm duvarlara döndüğünü fark edeceksiniz.

Ay bu şekilde hareket ediyor, çünkü kütleçekim etkisi ile Dünya'ya kilitlenmiş durumda. Ay eskiden kendi eksenini etrafında, Dünya'nın etrafında döndüğünden daha hızlı dönü-

yordu. Ancak Dünya'nın çekim gücü, iki cisim arasındaki bir çizgide, Ay'ı bir nevi esnetti. Bu da Ay'ın bir yöne doğru daha da irileşmesini sağladı, buna kütleçekimsel çıkıntı (*tidal bulge*) deniyor. Daha sonra Dünya özellikle bu çıkıntıyı çekerek Ay'ın dönüş hızını yavaşlattı ve Ay'ın kendi eksenini etrafındaki dönüşünü, yörüngedeki dönüşü ile eşitledi.

Ay'ın evrelerini tamamlaması ise yörüngeyi tamamlama süresi olan 27,3 günden biraz daha uzun sürüyor. Dolunaylar arasındaki süre 29,5 gün. Bunun sebebi ise şu: Dolunayı görebilmemiz için Dünya'nın, Ay'ın ve Güneş'in bir çizgide olması gerekiyor. Ay bizim etrafımızda dönmekle meşgulken biz de Güneş'in etrafında dönmekle meşgulüz. Güneş'in etrafındaki bir aylık dönüşümüz belli bir mesafe yaratıyor, Ay'ın bu ilave mesafeyi kapatması ve tekrar hizaya gelmesi de birkaç günü buluyor.

Kütleçekim kilidi, evrendeki yaygın niteliklerden biri. Jüpiter ve Satürn'ün birçok uydusu da kendi gezegenlerine kilitlenmiş durumda. Ayrıca diğer Güneş sistemlerindeki bazı gezegenler de kendi yıldızlarına kütleçekim kilidi ile kilitlenmiş halde. Bir yüzü sıcakla kavrulmuş, diğer yüzü karanlıkta titreyen bu dünyalarda yaşam bulma olasılığı, astronomlar arasında sürekli tartışılıyor (bkz. 156. sayfa).

Dünya'daki yaşam için önemi

Ay, binlerce yıllık birçok kültürel hikâyede kendine yer edinmiş durumda, bu yüzden bilimsel gerçekleri batıl inançlardan ayırmak zorlaşabiliyor. Ay'ın insan davranışlarını doğrudan etkilediğine dair düşünceler, Ay yüzünden değişen kurt adamların ve akıl hastalarının* hikâyelerinde kendilerine yer buluyor. Hem-

* Lunatic (ya da Latince'de Ay anlamına gelen "luna"dan türetilen lunaticus), Ay'ın neden olduğu düşünülen delilik veya epilepsi nöbetlerini geçiren insanlara verilen isim. (ç.n.)

şireler ise dolunay sırasında doğum servislerinin daha kalabalık olduğuna dair yeminler ediyorlar. Fakat bu iddiaları destekleyecek hiçbir kesin kanıt yok.

Bu açıklamaların birçoğu, Ay'ın çekim gücünün dolunayda daha güçlü olduğunu ve bunun vücudumuzdaki su üzerinde bir etki yarattığını öne sürüyor. Fakat Ay'ın Dünya'ya en yakın olduğu durumlar nadiren dolunaya denk geliyor çünkü Ay, yeni ay evresindeyken de Dünya'ya en yakın durumunda olabilir. İnsanların kafasındaki bu düşüncelerle birlikte Ay, Dünya'daki yaşamı büyük ölçüde etkiledi. Birçok bilim insanına göre, en yakın komşumuz Ay'ın yol göstericiliği olmasa şu an burada olamazdık ve dolayısıyla ona bakıp hayrete düşemezdik.

Mevsimleri nasıl dengede tuttuğunu zaten gördük (bkz. 78. sayfa). Buna ek olarak gezegenimizdeki yaşamın başlamasından da etkin bir rol oynamış olabilir. Şu an olduğu mesafeden on beş kat daha yakın bir mesafede olduğundan o sıralardaki çekimi, şu anki gelgitlere kıyasla daha sık bir şekilde, yüzlerce kilometrelik karasal alana sokulan devasa gelgitlere yol açmış olabilir. Bazı araştırmacılar, yaşamın bu gelgit alanlarında başladığına inanıyor. Gelgit alanlarında kara ve denizin çalkalanması, biyolojik bloklar inşa ederek yaşama uzanabilecek bir tür ortaya çıkarmış olabilir.

Ay ayrıca, gezegenimizi de yavaşlatıyor. Bir milyar yıl önce, bir gün on sekiz saat sürüyordu. Şu an yirmi dört saat sürüyor çünkü Dünya, Ay'ın yerinde tuttuğu derin suları taşımaya çalışan okyanuslarla sürtünmesinden dolayı, dönüş enerjisini gitgide kaybediyor (bkz. 77. sayfadaki görsel). Okyanuslara yapılan bu enerji transferi, ısının ekvatordan kutuplara taşınmasına yardımcı oluyor ki bu da Dünya üzerindeki sıcaklık farklarını bir hayli düşürüyor. Yani, yaşam başlayınca Ay, yaşamın evrilmesi ve çeşitlenmesi için durumları elverişli düzeyde tutmaya yardımcı olmuştur.

Dünya'nın yavaşlamasının doğurduğu bir sonuç da Ay'ın

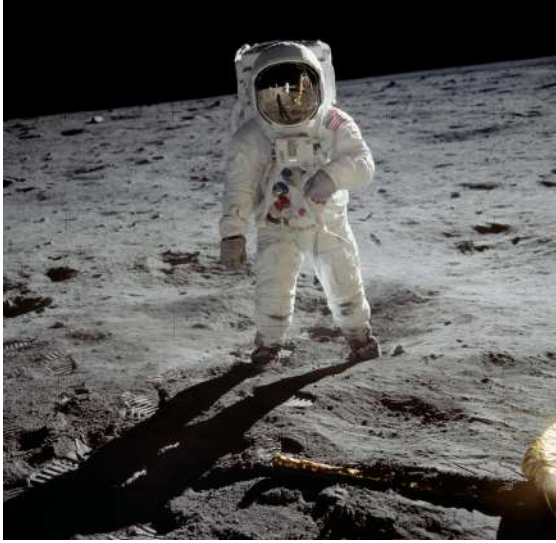
bizden giderek uzaklaşması; bu da gelgitlerin eskisine göre daha sakin bir hal alması demek, yani yaşam koşulları eskiye kıyasla daha dengeli. Ay'ın bizden ne hızla uzaklaştığını, Apollo astronomlarının Ay üzerinde bıraktığı araçlar sayesinde ölçebiliriz.

Apollo görevleri

“Temas ışığı yandı, tamam. Motor durdu.” Bu sıradan kelimeler, insanlık tarihinde sıradışı bir dönemin başlamasını sağladı. Otuz iki yaşındaki Neil Armstrong, “*Eagle (Kartal)*” isimli Ay modülünü, büyük bir kaya parçasının üzerinden tüyler ürpertici bir şekilde elle kontrol ederek indirdi. Bir dakikadan daha az yetecek bir yakıtları kalmıştı. Görev kontrol merkezindekiler de doğal olarak rahatlamıştı. “Yüzeyde olduğunuzu onaylıyoruz. Nefessizlikten mosmor olmuştuk. Tekrar nefes alıyoruz.”

Birkaç saat sonra Armstrong, merdivenden inerek başka bir dünyaya ayak basan ilk insan oldu. O gün, 20 Temmuz 1969, eğer kafamıza koyarsak neler başarabileceğimizin bir işareti olarak hafızamızda yer edindi. Sonraki üç yıl boyunca NASA (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi), Ay yüzeyine on insanı daha gönderip beş görevi daha başarıyla tamamladı. Yalnızca, orta uçuş sırasında mekiğin arızalanmasına sebep olan yakıt tankı patlamasından sonra, *Apollo 13*'ten vazgeçildi.

Bu görevler yalnızca, soğuk savaşın doruğundayken Sovyetler Birliği'nin bir adım önüne geçmekle alakalı değildi. Ayrıca bilimsel olarak da çok değerliydi. Toplam altı görevden sonra Dünya'ya 382 kg Ay taşı getirildi, bu taşlar da en yakın komşumuzun nasıl oluştuğuyla ilgili önemli ipuçları barındırıyordu. Ay'ın yüzeyine yansıtıcı paneller yerleştirildi, böylece bu yansıtıcı panellere lazer tutarak Ay'ın bizden ne kadar uzaklaştığını takip edebiliyoruz (şu an yılda 3,8 santimetre uzaklaşıyor). Ay'daki sarsıntıları incelemek amacıyla da Ay yüzeyine deprem algılayıcıları yerleştirildi.



Edwin “Buzz” Aldrin, Apollo 11 görevi sırasında Ay’da. Fotoğrafı çeken Neil Armstrong’un yansıması, Aldrin’in kaskından görülebiliyor.

Sonraki görevler ise daha gözü pek hale geldi, etrafta sürüp çorak toprakların daha fazlasını keşfetmek için Ay’a hafif arabalar götürüldü. Hatta Alan Shepard, Ay üzerinde bir atış yapmak için yanında bir golf sopası götürdü. Dave Scott ise atmosferik frenleme olmadan farklı kütlelerdeki nesnelerin aynı sürede düşüğünü göstermek için, Ay yüzeyine bir çekiç ve bir tüy bıraktı.

Apollo 17 14 Aralık 1972’de Ay’dan ayrıldıktan sonra görevin komutanı ve Ay’a ayak basan son insan Gene Cernan, tekrar dönmek için umutluydu. Masraflar için yapılan itirazlar sebebiyle bir daha gidemedik. Ne var ki Ay’ın çekimi bizim için karşı konulmaz bir seviyede. Uzayda kalma süremizi uzatmak için doğal bir yer, bu sebeple dünya çapındaki uzay istasyonları tekrar dönüş planları yapıyorlar. Bir gün, Ay üzerine ayak izlerimizi tekrar bırakacağız.

Geç Dönem Ağır Bombardımanı

Görünen o ki iç Güneş sistemi 3,9 milyar yıl önce “halı bombardımanı”na* maruz kalmış. Güneş sisteminin oluşumu sırasında gerçekleşen ilk kaostan çok sonra, kayalık gezegenlerin maruz kaldığı çarpışmaların sayısında ani bir artış gerçekleşmiş. Eroz-yon sayesinde Dünya’nın yaraları çoktan kapanmış olsa da rüz-gârsız Ay, bu yaraları hâlâ taşıyor.

Güneş sisteminin doğuşundan 600 milyon yıl sonra gerçekleştigi ve çok şiddetli olduğu için astronomlar bu olaya “Geç Dönem Ağır Bombardımanı” adını veriyorlar. Önde gelen incelemeler, olayın faili olarak Jüpiter’i gösteriyor. Güneş sisteminin oluşumunu inceleyen bilgisayar simülasyonları, devasa gezegenlerin şu anki yerlerinde oluşmuş olma ihtimalinin çok az olduğunu öne sürüyor (bkz. 126. sayfa). Yani Jüpiter, Güneş’e doğru ilerlemiş. Böyle bir durumda asteroitler, güvercin sürüleri gibi etrafa saçılır. Bu asteroitlerin çoğu da Ay ve kayalık gezegenlere isabet etmiş olmalı.

Ancak bu görüş konusunda herkes ikna olmuş değil. Geç Dönem Ağır Bombardımanı’na ait temel kanıtlar, Apollo görevleriyle getirilen Ay taşlarından elde edildi. Ay yüzeyindeki farklı bölgelerden toplanan taşların hepsi, aynı anda gerçekleşmiş çarpışmalara işaret ediyor. Bununla birlikte bazı astronomlar, birkaç büyük çarpışmanın bu molozları uzak ve geniş mesafelere fırlatarak farklı bölgeleri “kirletmiş” olabileceğini öne sürüyor. Böyle bir olay, bu birkaç çarpışmayı bir dolu çarpışma gibi göstermiş olabilir.

Bir diğer problem ise Dünya’da yaşamın ortaya çıkışı konusunda. Yeni oluşmuş Dünya’ya ait klasik tasvir, yaşamın tutunabilmesi için çok sıcak ve aşırı yıpranmış cehennemvari bir

* Büyük bir hedefi tahrip etmeye yönelik kapsamlı ve sistematik bir bombalama. (ç.n.)

sahneyi içeriyor. Bu resme göre yaşam, Geç Dönem Ağır Bombardımanı'ndan sonra başlamış olmalı. Ancak yeni kanıtlar, 4,1 milyar yıl kadar önce Dünya'da okyanuslar bulunduğunu hatta belki yaşamın bile olabileceğini gösteriyor.

Yani ya yaşam bu katliamdan kurtuldu (veya tekrar ortaya çıkmak üzere yok oldu) ya da Geç Dönem Ağır Bombardımanı bizim normalde düşündüğümüz gibi gerçekleşmedi. Hangisi olursa olsun o dönem, Güneş sisteminizin çalkantılı geçmişiyle alakalı birçok güncel araştırmanın ortasında duruyor.

Üçüncü Bölüm

Güneş Sistemi

Merkür

Merkür, çorak ve kayalık bir yer. Hatta ilk bakışta, Ay ve Merkür'ü karıştırmanız olası. Güneş'e en yakın olan gezegen, gün boyu adeta pişiyor ve sıcaklıklar 400 dereceyi buluyor. Ancak ısıyı koruyacak bir atmosferi olmadığından gece vakitleri bu sıcaklık, -200 dereceye düşüyor. Ayrıca Güneş sistemindeki en küçük gezegen olan Merkür'ün Güneş etrafında dönmesi yalnızca seksen sekiz gün sürüyor. Merkür'de bir gün, neredeyse Dünya'daki elli dokuz güne eşit.

Yalnızca iki uzay aracı Merkür'ü ziyaret etti. Bunlardan ilki olan *Mariner 10*, bu yolculuğa 1970'li yılların ortasında çıktı. Sonra 2011 yılında *MESSENGER* adlı uzay aracı, Merkür'ün yörüngesini dönmesi için gönderildi. Nisan 2015'te bilim insanları tarafından kasten gezegene çarptırılmadan önce araç, dört binden fazla kez Merkür'ün etrafında döndü. Merkür'ün yörüngesini dönen tek nesnenin (insan yapımı ya da doğal) *MESSENGER* olma ihtimali çok fazla. Yoğun çekim etkisine sahip Güneş'e çok yakın olduğundan, gezegenin etrafında herhangi bir uydu oluşması veya gezegenin kendine bir uyduyu çekmesi neredeyse imkânsız. Bu çekim etkisi ayrıca, Merkür'ün Güneş'in etrafındaki her iki dönüşü karşılık, kendi etrafında 3 kere dönebildiği anlamına geliyor.

Bu görevler, ufacak boyutlarından dolayı Dünya'dan gözlemlenmesi zor gezegen hakkında birçok detay sağladı. Merkür, Jüpiter ve Satürn'ün bazı uydularından daha küçük. Gezegenin en ayırıcı niteliği ise Güneş sistemindeki en büyük çarpışma kraterlerinden biri olan *Caloris Havzası*. 1.500 kilometreyi aşan bir çapı olan bu krater, *Mariner 10* aracının uçuşları sırasında keşfedildi. Bu kraterin tam ters tarafındaki bölge dalgalı, arazisi ise tepelik ve engebeli. Çarpışmanın Merkür'ü bir çan gibi çaldığı ve gezegenin diğer tarafına şok dalgaları savurduğu düşünülüyor. Yani engebeli arazi, çarpışma noktasından tam 180 derece uzağa savrulan şok dalgalarının bir sonucu.

Venüs gibi, Merkür'ün de Güneş önünden geçtiğini ara sıra görebiliyoruz. Gelgelelim, Merkür'ün geçişleri çok daha yaygın. Her yüz yılda bir, on üç veya on dört geçişe şahit olabiliyoruz. Sevimli bir değişiklikte, 2014 yılının Haziran ayında *Curiosity* keşif aracı Merkür'ün Güneş'in önündeki gölgesini izledi. Bu geçiş, Dünya'dan gözlemlenemedi. Fakat Merkür'ün bu geçişi, başka bir gezegenin yüzeyinden gözlemlenen ilk geçiş olarak tarihe damga vurdu.

Venüs

İster inanın ister inanmayın ama Venüs korkunç bir yer. Gezegen, sülfürik asitle "süslenmiş" kalın karbondioksit katmanlarıyla örtülü. Bu ağır atmosfer, Güneş'ten gelen ısıнын muazzam bir miktarını hapsediyor ve bu ısıyı Dünya'dakinden doksan üç kat daha fazla olan atmosfer basıncıyla yüzeyde tutuyor. Oraya gitmeye teşebbüs edecek kadar aptal biri, aynı anda pişer, ezilir ve "çözünür".

Güneş'e en yakın gezegen olmamasına rağmen, bu bulutlar Venüs'ü Güneş sisteminin en sıcak gezegeni yapıyor. Yoğun sera etkisi yüzünden buradaki sıcaklıklar, Merkür'deki sıcaklıklardan 40 derece daha fazla olabiliyor. Ancak bu uç durumlar, Sovyetler Birliği'nin

Venüs'e birkaç araştırma aracı yollamasına engel olmadı. 1975 yılında Venüs'e gönderilen *Venera 9*, başka bir gezegenin yüzeyinden fotoğraf gönderen ilk uzay aracı oldu. Araç, Venüs'ün korkunç ortamına yalnızca 53 dakika dayanabildi ve sonunda yenik düştü.

Venüs bize en yakın gezegen ve bazen "Dünya'nın ikizi" olarak adlandırılıyor, fakat tek benzerlik boyutları. Venüs'ün çapı, Dünya'nın çapının yüzde 95'i kadar. Gezegenin en tuhaf niteliği, bir gününün bir yılından daha uzun sürmesi. Günlerin yıllardan çok daha kısa olduğu bir gezegende yaşadığımız için bu size tümüyle ters gelebilir. Fakat yavaş dönüşü yüzünden Venüs, kendi eksenini etrafındaki dönüşünü "Dünya günü ile" 243 günde tamamlıyor. Güneş etrafındaki dönüşünü ise yalnızca 225 günde tamamlıyor. Ayrıca kendi eksenini etrafında saat yönüne doğru dönen tek gezegen. Venüs'ün başlangıçta da böyle olmasının ihtimali çok düşük. Belki de büyük bir nesneyle çarpışması gezegenin çok daha yavaş bir hızla ters dönmesine sebep olmuştur.

Daha erken geçmişte Venüs, *Magellan* ve *Venus Express* görevleri kapsamında ziyaret edildi. *Magellan*, bulutların altındaki yüzeyde ne olduğunu kapsamlı bir şekilde incelememizi sağlayan olağanüstü radar haritaları çıkardı. Dikkat çeken özellikleri arasında, Venüs'ün en yüksek iki dağı olan *Skadi Mons* ve *Maat Mons* bulunuyor. Skadi Mons, İskoç fizikçi James Clerk Maxwell'in ismi verilen *Maxwell Montes*'un (Maxwell Dağları) bir parçasını oluşturuyor. Bu dağlar, Venüs'ün üzerinde bir kadının veya tanrıçanın ismini taşımayan tek şey.

Ayrıca astronomların İngilizce konuşulan dünyada Venüs'e tahsis ettiği sınıftan da bahsetmeliyiz. Normalde gezegenin niteliklerini sıralarken sıfat olarak *Venerean* kelimesini kullanmalıyız, tıpkı *Mercurian* veya *Martian* dediğimiz gibi. Fakat bu, belli sebeplerden dolayı seçilmemiş ve astronomlar, kulağa daha "aile dostu" gelen bir alternatif üretmişler: *Venusian**.

* Venerean ve Venusian: Venüs'e özgü, Venüslü. Bu ayrım yalnızca İngilizcede geçerli. (ç.n.)

Mars

Tüm gezegenlerin içinde bizi en çok kendine çeken ve büyüleyen gezegen, Mars. Tarih boyunca insanlar onun için kurbanlar sundular, oradan gelecek istilalardan korktular ve onu keşfetmek için araba boyutunda kâşif araçlar yolladılar. Şu an hakkında en çok şey bildiğimiz gezegen yine o. Hatta haritaları kıyasladığımızda Mars'ın yüzeyini, Dünya'daki okyanus zeminlerinden daha iyi biliyoruz.

Kızıl Gezegen olarak nitelendirilmesine sebep olan kendine özgü bakırimsı rengi, kayalarında yüksek seviyede demir oksit (pas) bulundurmasından kaynaklanıyor. Teleskopunuz olmasa bile, geceleri gökyüzünde Mars'ı kanlı canlı bir halde görebilirsiniz. Artık kuru, soğuk bir çöl. Ancak belki de eskiden böyle değildi. Mars'a yaptığımız ziyaretlerde, eskiden çok farklı bir gezegen olduğuyla ilgili ipuçları bulduk. Geçmişte yüzeyinin üçte birinin okyanuslarla kaplı olabileceği bunlardan biri.

Mars'ın ikliminin neden bu denli değiştiği hâlâ tam olarak cevaplanmamış bir soru. Önde gelen fikirlerden biri, gezegenin çekirdeğinin zaman içinde katılaştığı. Küçük bir gezegen olduğundan yukarısından gelen çekim basıncı yeterli değil. Bu durum ayrıca, Mars'ın manyetik alanını “kapatarak” gezegeni Güneş rüzgârlarının tahribine karşı savunmasız bir durumda bırakmış olabilir. Kızıl Gezegen'in atmosferi zamanla ciddi biçimde tükenmiş. Artık gezegen, yalnızca ince bir karbondioksit perdesiyle örtülü. Mars'ın günümüzdeki atmosfer basıncı, Dünya'nın atmosfer basıncının yüzde 1'inden daha az ki bu da çok zayıf demek. Hatta o kadar zayıf ki yüzeydeki buzlar *süblimleşmeye* uğruyor, yani sıvılaşma evresini tamamen atlayarak doğrudan buharlaşıyor.

Mars bölünmüş bir kişiliğe sahip; ekvatorundan yukarısı inanılmaz derecede düz, ancak aşağı kesimleri dağlarla kaplı.

Aşağısı ve yukarısındaki tek benzerlik, iki kutbunun da buzlarla kaplı olması. Mars'ın güney yarımküresi, Güneş sisteminin en yüksek yanardağı ve ikinci en yüksek tepesi *Olympus Mons*'a ev sahipliği yapıyor. *Olympus Mons*, Everest'ten neredeyse üç kat daha yüksek, buna rağmen buraya tırmanması çok daha kolay olurdu. Yanardağın kenarlardaki eğimi yalnızca beş derece. Yine de eteklerindeyken tepesini görmeyi beklemeyin, çünkü dağ o kadar geniş bir alana yayılmış ki öyle bir durumda tepesi ufuk çizgisinin ötesinde saklanıyor olurdu.

Ayrıca Mars yüzeyinde, gezegenin ekvatorunun dörtte biri uzunluğunda olan kocaman bir kanyon vadisi bulunur. Bu vadi, "Mariner Vadisi" olarak bilinir ve Tharsis bölgesi olarak adlandırılan geniş volkanik platonun bir kısmını oluşturur.

Gezegenin etrafında dönen iki uydu var: Phobos ve Deimos. İsimleri, korku ve dehşet anlamına geliyor. İsimlerini, savaşta savaş tanrısı olan babalarına eşlik eden iki oğuldan alırlar. Miniciklerdir, çapları sırasıyla 22,2 ve 12,6 kilometredir.

Robotlu Keşifler

Kızıl Gezegen'in yörüngesinde dönmesi, üstüne inmesi ve yüzeyini incelemesi için kâşif araçlardan oluşan bir donanma gönderdiğimizi söylesek yalan olmaz. Bu araçlar, başka bir dünyada Güneş'in batışına şahit oldular, Mars'taki toz hortumlarını gördüler; hatta bu araçlar sayesinde kendi gezegenimizi başka bir gezegenin gökyüzünde gördük. Bunların hepsi, insanın keşfetme ve araştırma konusundaki isteğinin kayda değer bir ispatı.

1965 yılında *Mariner 4* ile başlayan ve günümüzde *Curiosity* ile devam eden bu görevlerin asıl amacı, Mars'ın herhangi bir zamanda yaşam barındırıp barındırmadığını öğrenmek. 1970'li yıllarda yeryüzünden kontrol edilen ilk görevleri tamamlayan *Viking* uzay araçları, biyolojik bulgular bulmak için Mars top-

rağını doğrudan test edebilen araçlar taşıyorlardı. İlk sonuçlar pozitif çıkmıştı, ancak artık bu bulguların “yanlış pozitif” olduğu konusunda fikir birliğine varıldı. Bu makinelerin inceleme alanı yalnızca iniş yaptıkları yerlerdi, fakat sonraki görevlerde Mars’ın yüzeyini gezebilecek tekerlekli robotları göndermeye başladık.

Özellikle *Spirit* ve *Opportunity* tekerlekli araçları muhteşem bir başarı yakaladı. 2004 yılında yüzeye indiler ve yalnızca doksan gün kullanılmak için tasarlanmışlardı. *Spirit*, altı yılı doldurmayı başardı ve kendini yumuşak toprağa bırakmadan önce sekiz kilometrelik bir alanı inceledi. Bu kitabın yazıldığı anda, *Opportunity* hâlâ yolculuğuna devam ediyor ve olimpiik maratonda koşulan mesafeden daha fazla bir mesafe kaydetti.

Curiosity kâşif robotu da 2012 yılında Mars’a giderek diğerlerine katıldı. Küçük bir araba boyutunda olan araç, *Spirit* ve *Opportunity* ile aynı şekilde inemezdi. *Spirit* ve *Opportunity* araçlarının içine şişebilen bir koza yerleştirilmişti, böylece nihayet durmadan önce birkaç kez zıpladılar. *Curiosity*’yi yüzeye bırakmak için ise fütürist görünüme sahip bir hava aracı kullanıldı. Mars’ın yüzeyine yapılan bu gerilim dolu inişin videosuna bir göz atmaya değer, çünkü iniş, hayal gücü ve mühendisliğin birleşiminin muhteşem bir örneğini sunuyor.

MARS'A İNSAN YOLLAMAK

İnsanlar, içinde olduğumuz yüzyılda Mars'a gidebilir, ne var ki Mars'a gitmek Ay'a gitmekten çok daha zor. Ay, yalnızca üç günlük mesafede ve 380.000 km uzaklıkta. Mars'a gidiş ise yedi ay sürüyor ve aşılması gereken mesafe 225 milyon km.

Uzayda uzun süre kalmak bir dolu radyasyon tehlikesini de beraberinde getiriyor. Derinize işleyen yüksek enerjili parçacıklar bu enerjilerini sizin hücrelerinize boşaltıyor ve DNA'nıza zarar veriyor. Bunun sonucunda kanser, radyasyon hastalığı ya da katarakt baş gösteriyor, ayrıca yüksek miktarda radyasyona maruz kalmak ölüme sebebiyet veriyor. Yani astro-notlar hem bu etkilerden korunmalı hem de görevlerini engellemeyecek şekilde hafif kıyafetler giyinmeli. Ağırılık da çok büyük bir etken. İnsanlar yiyeceğe, suya ve oksijene ihtiyaç duyuyor. Böylesine bir yükü Mars'a taşımak pahalı, indirmek ise tehlikeli. Kızıl Gezegen'in ince atmosferi, iniş yaparken frenleme yapabilecek kadar gaz olmadığı anlamına geliyor.

Bir de dönüş yolculuğu var. Robotların eve dönmek gibi bir derdi yok. İnsanların ise muhtemelen en büyük derdi bu. Sizi eve getirecek kadar ilave yakıtı yanınıza almanız ya da oradaki kaynaklardan sağlamanız gerekiyor.

Asteroit kuşağı

Uluslararası bilim insanlarından oluşan bir ekip, 39.000 fit yükseklikte uçan bir laboratuvarı yolculuk ediyor. Tüm

gözler ve ekipmanlar, atmosferi saniyede on iki kilometre hızla delen bir cisme çevrilmiş. Bu sırada yerde de her biri yirmi kişiden oluşan dört ekip, Avustralya taşrasının çorak arazilerinde 200 kilometrelik aralıklarla, bu cismin yeryüzüne düşmesini bekliyor. Sonra cismi takip ediyorlar, dikkatlice paketliyorlar ve daha fazla analiz yapmak için yanlarında götürüyorlar.

Peşinde oldukları şey uzaydan gelmiş olabilir, ancak orada yapılmadı. Japonya Uzay Araştırma Ajansı'nın (*JAXA*) *Hayabusa* adlı uzay sondası, 25143 Itokawa isimli asteroite yaptığı yedi yıllık seferinden sonra Dünya'ya döndü. Bir asteroitten örnek toplayıp Dünya'ya ulaştıran ilk araç oldu.

Astronomların bu denli uğraşmalarının sebebi, asteroitlerin bizlere, gezegenlerin oluşmasından önce Güneş sisteminin ne durumda olduğuna dair önemli bilgiler içeren eşsiz fırsatlar sunması. Asteroitlere Güneş sisteminin erken dönemlerinden fosiller diyebiliriz; onlar, herhangi bir gezegenin parçası olamamış “gezegen tuğlaları”.

Yuvarlanan bu metal ve taş yığınlarını Güneş sisteminin her tarafında bulmak mümkün, ancak yüzde 90'ı toplu bir halde, Mars ve Jüpiter'in yörüngeleri arasındaki bir kuşakta bulunuyor. Ana asteroit kuşağı, Jüpiter'in kargaşaya yol açan çekimi yüzünden oluşamamış bir gezegeni temsil ediyor.

Kuşağın toplam kütlesi Ay'ın kütlesinin yüzde 4'ü kadar. Yalnızca dört asteroit, Ceres, Pallas, Vesta ve Hygiea, bu kütlenin yarısını oluşturur. Kalanlar, gitgide küçülür ve boyutları çakıl taşları hatta toz taneciklerine kadar düşer. Büyük asteroitler, büyük araştırma konularını oluşturuyor. NASA'nın *Dawn* isimli uzay aracı 2011 yılında Vestain'i ziyaret etti, bir yıl sonra da Ceres'e doğru yol aldı. 2015 yılında Ceres'e vardığında iki ayrı Güneş sistemi cismini inceleyen ilk uzay aracı oldu.

Ana asteroit kuşağı, çapı bir kilometreden büyük olan 2 milyon asteroite ev sahipliği yapıyor. Bunların arasında seyahat etmenin tehlikeli ve gerilim dolu olduğunu düşünebilirsiniz. Kahramanların üzerlerine doğru gelen uzay taşlarından sıyrıldığı

Yıldız Savaşları gibi filmler, bu düşüncenin pekişmesini sağlıyor. Ancak uzay devasa bir yer. Asteroit kuşağı hakkındaki tasvirler ve animasyonlar, sizler daha rahat görebilesiniz diye buradaki taşların boyutunu büyütürken birkaç kez yakınlaştırıyor. Gerçekte ise asteroitler arasındaki ortalama mesafe, neredeyse bir milyon kilometreden oluşuyor.

Dünya'ya tehditleri

Asteroitler, Dünya'ya çarptıkları zaman gerçekten tehlikeli olabiliyorlar. Altmış altı milyon yıl önce 10 kilometre genişliğinde bir asteroit, Meksika'daki bir kıyıya çarptı ve her yeri cehenneme çevirdi. Oluşturduğu krater hâlâ duruyor.

Kargaşa ve kıyım birbirini takip ettiği için bu asteroit, devasa tsunamilerin oluşmasına, gökyüzünden ateş yağmasına ve tüm ormanların dümdüz olmasına sebep oldu. Moloz ve toz bulutları atmosfere karıştı ve Dünya'yı adeta nükleer bir kışa sürükledi. Güneş ışığı alamayan bitkiler ölmeye başladı. Dolayısıyla bu bitkilerle beslenen hayvanlar da ölmeye başladı. Son olarak da et yiyenler yok oldu. 100 yıl içinde, tüm dinazorlar ve karadaki canlı türlerinin yüzde 70'i yok oldu. Okyanuslarda ise yok olanların oranı yüzde 90'lara kadar çıktı.

Neyse ki bu "soy tüketen" olaylar çok sık yaşanmıyor. Beş kilometre genişliği aşan uzay taşlarının, her 20 milyon yılda bir Dünya'ya çarptığı düşünülüyor. Ayrıca dinozorlara kıyasla çok büyük bir avantajımız var: Teleskoplar. Robot teleskoplar, şu an bile gökyüzünde çapı bir kilometreyi aşan cisimleri tarayarak önümüzdeki yüz yıl için bu cisimlerin yörüngelerini tahmin ediyor. İyi haber ise yakında Dünya'ya çarpacak büyük bir cismin olmaması.

Ancak bu, çok daha küçük cisimler tarafından gafil avlanma-

mızı engellemiyor. 2013 yılında Rusya'nın Çelyabinsk şehrinin üzerinde bir alev topu görüldü. 20 metre genişliğe sahip asteroit gizlice Dünya'ya sokuldu ve II. Dünya Savaşı'ndaki savaş uçağı pilotlarının sürpriz saldırılarına benzeyen bir saldırı yaptı. Kimse ölmedi, fakat şok dalgasının, camları parçalayıp etrafa saçması sebebiyle bazı izleyiciler yaralandı.

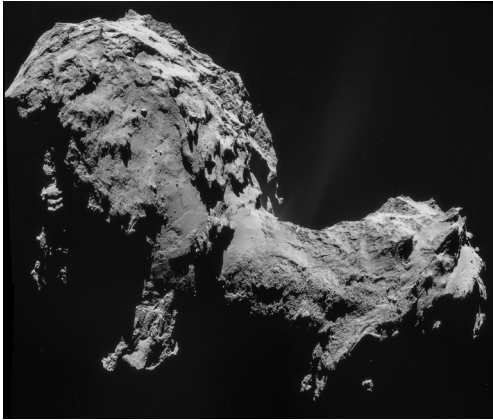
Büyük asteroitlerin Dünya'yı tekrar tehdit edeceği zamanlar gelecek. O zamana kadar bu konuyla ilgili çalışmalar yapmalıyız. Hollywood filmlerinde yapıldığı gibi üstlerine atom bombası atmak yapılabilecek en kötü şey, çünkü bu onları yalnızca parçalara ayırır, ama bu parçalar hâlâ Dünya'ya geliyor olacak. En iyi çözümlerden biri ise bir parça halindeki asteroiti, küçük bir uzay aracının çekim gücünü kullanarak yavaş yavaş rotadan saptırmak.

Gezegen	Çapı	Güneş'ten Uzaklığı	Gün Uzunluğu	Yıl Uzunluğu	Ortalama Sıcaklığı (°C)	Bilinen Uyduları
Merkür	0,38	0,39	58,7 Dünya günü	88 Dünya günü	67	0
Venüs	0,95	0,73	243 Dünya günü	225 Dünya günü	462	0
Dünya	1	1	24 saat	365 gün	15	1
Mars	0,53	1,52	24,6 saat	1,88 Dünya yılı	-63	2
Jüpiter	11,21	5,2	9,84 saat	11,86 Dünya yılı	-161	69
Satürn	9,45	9,54	10,2 saat	29,46 Dünya yılı	-189	62
Uranüs	4	19,18	17,9 saat	84,07 Dünya yılı	-220	27
Neptün	3,88	30,06	19,1 saat	164,81 Dünya yılı	-218	14

67P KuyrukluYıldızı, Rosetta ve Philae

Robotlu uzay keşifleri tarihinin en gözü pek başarılarından biriydi. Avrupa Uzay Ajansı'nın *Rosetta* aracı, on yıl süren 6,4 milyar kilometrelik bir seyahatte, nihayet 67P/Churyumov-Gerasimenko (ya da kısaca 67P) isimli kuyrukluYıldızı yakaladı. O anda kuyrukluYıldız, Mars ve Jüpiter yörüngelerinin arasındaydı.

KuyrukluYıldızlar da tıpkı asteroitler gibi, gezegenler arasındaki boşlukların müdavimi. Ancak asteroitler gibi taş ve metalden değil, çoğunlukla buzdan oluşuyorlar. Ayrıca oval yörüngeleri o kadar büyük ki Neptün'ün ötesindeki uzaydan gelip Güneş'le yakın bir ilişki kuruyorlar. İnsanlar, gezegenimizi geçerken muhteşem bir gösteri sundukları için kuyrukluYıldızlar karşısında binlerce yıldır hayrete düşüyor ve onları merak ediyorlar. Güneş tarafından ısıtılıp Güneş rüzgârları tarafından kavrulan kuyrukluYıldızlar, arkalarında yüz milyonlarca kilometrelik izler bırakabilen iki kuyruk taşıyorlar.



Avrupa Uzay Ajansı, Philae uzay aracı 67P isimli kuyrukluYıldızı 2014 yılında iniş yaptığında tarih yazdı.

Avrupa Uzay Ajansı daha önce de bir kuyruklu yıldızın fotoğraflarını çekmesi için araç göndermişti, fakat birinin üzerine inmeyi hiç denememişlerdi. Bunu yapmak yabana atılacak cinsten bir başarı değildi, özellikle de 67P'nin Güneş etrafındaki dönüş hızının saatte 55.000 kilometre olduğu düşünülürse. Bilim insanları, Rosetta'nın taşıdığı çamaşır makinesi boyutundaki Philae'nin 12 Kasım 2014'te yüzeyle buluşmasını büyük bir heyecanla izlediler.

Plan kusursuz bir şekilde işlemedi. Philae'yi kuyruklu yıldızın demirleyecek zıpkınlar çalışmadı. Araç, yüzeye çarptı ve birkaç kere zıpladı, sonrasında ise buzdan bir uçurumun gölgesinde durdu. Karanlıkta Güneş panellerini kullanamadığı için aracın yakıtı iki gün içinde bitti. Altı aylık zorunlu kış uykusundan sonra "Muhteşem Philae" uyandı ve Haziran 2015'te Rosetta'yı tekrar selamladı. Güneş'e karşı yaptığı yolculuk kuyruklu yıldızın, Philae'yi gölgelerden kurtarmaya yetecek kadar erimesini sağlamıştı.

Elde edilen verinin birçoğu bilim insanları tarafından hâlâ analiz ediliyor, ancak kayda değer bir sonuç, kuyruklu yıldızlarda bulunan suyun Dünya'dakinden farklı olduğunu ortaya koydu. Kuyruklu yıldızdaki suyun içerdiği döteryum oranı daha yüksek, bu da yaşamı başlatan suyun Dünya'ya 67P gibi bir kuyruklu yıldız tarafından ulaştırıldığı düşüncesine ters düşüyor.

Jüpiter

Küçük bir bahçe teleskopuyla baksanız bile, "Gezegenlerin Kralı"nın görkemli bir görüntüsü var. Gezegeni saran yatay bulut kuşaklarıyla birlikte, kendine has turuncu rengini kolayca fark edebilirsiniz. Biraz daha büyük bir teleskopla bakarsanız meşhur Büyük Kırmızı Leke'sini bile görebilirsiniz. Ancak uyaralım, Jüpiter'in hızlı dönüşünden dolayı (Jüpiter'de bir gün

on saatten daha kısa sürer), leke gezegenin arka tarafında olabilir. Ayrıca bu dönüş hızı, Jüpiter'in ekvatorunun kutuplarından daha şişik olmasına yol açıyor.

Güneş'in etrafında dönen gezegenlerin en büyüğü Jüpiter, diğer gezegenlerin hepsini yutabilir ve geriye fazladan yeri bile kalır. Hacmine ulaşmak için 1.321 adet Dünya'ya ihtiyacınız var. Güneş'ten 778 milyon kilometre uzakta Jüpiter'in Güneş etrafındaki bir dönüşünü tamamlaması, neredeyse on iki yıl sürüyor.

Yüzde 75'i hidrojen, yüzde 24'ü helyumdan oluşan gezegenin yapısı, Güneş'in yapısıyla aşağı yukarı aynı. Bununla birlikte, Jüpiter'in yüzeyinde neler olduğuna dair önemli ölçüdeki belirsizlik, hâlâ devam ediyor. Ortasında yoğun bir çekirdek olduğu düşünülüyor, fakat ne kadar büyük olduğunu bilmiyoruz. Astronomlar ayrıca, dış atmosfer ve çekirdek arasında sıvı bir hidrojen katmanı olduğuna inanıyorlar.

Atmosferindeki bulut kuşakları genelde farklı yönlerde hareket ediyor. Koyu bölgeler alan, açık bölgeler ise kuşak olarak adlandırılıyor. Üzerinde saptanan yıldırım ışıkları, Dünya'dakilere kıyasla bin kat daha güçlü. Jüpiter'in güney yarımküresindeki bulut kuşaklarının arasında bulunan Kırmızı Büyük Leke, muhteşem büyüklüğüyle uzun ömürlü bir yüksek basınç alanı. Bir zamanlar Dünya'nın dört katı büyüklüğündeydi. Ancak güncel gözlemler, gitgide küçüldüğünü ortaya çıkardı. Tam olarak neden olduğunu anlayamıyoruz, fakat küçük hortumlar halindeki gazların fırtınaya girdiği gözlemlendi; belki de bu gazlar, fırtınanın iç yapısını değiştiriyordu.

Jüpiter hakkında az bilinen gerçeklerden biri de halkalarının olduğu. Aslında, dev gezegenlerin dördünün de halkaları var. Satürn'ün buzul halkalarının aksine, Jüpiter'in halkaları tozdan oluşuyor. Bu halkalar, 1979 yılında gezegenin yanından geçen *Voyager 1* tarafından keşfedildi.

Jüpiter, Güneş sisteminin en büyük gezegeni olduğundan, en

güçlü çekim gücüne sahip. Güneş sistemimizi şekillendirmede oynadığı rol, sürekli tartışılıyor. İç Güneş sisteminde gerçekleşen ve bir dolu çarpışmanın yaşandığı Geç Dönem Ağır Bombardımanı'na sebep olduğu ileri sürülüyor (bkz. 92. sayfa). Yani Jüpiter'in, dost mu düşman mı olduğu belli değil; bize çarpacak olan cisimleri süpürerek bizi güvende mi tutuyor, yoksa onları bizim için tehlike oluşturabilecek yerlere göndererek bizi tehdit mi ediyor? Muhtemelen her ikisi de.

Jüpiter'in uyduları

Tıpkı tahmin ettiğiniz gibi en büyük gezegen, en yüksek uydu sayısına sahip. Güncel sayı şu an altmış dokuz. Bu uyduların bir çoğu, dev dünyanın yanına fazla yaklaşıp çekim ağına yakalanmış küçük asteroitler veya kuyruklu yıldızlardan oluşuyor. Jüpiter'in uydularının bazıları, gezegenlere layık ilgiyi hak ediyor. Özellikle de 1610 yılında Galileo Galilei tarafından keşfedilen Galileo uyduları: Io, Europa, Ganymede ve Callisto.

Ganymede, hâlâ Güneş sistemindeki en büyük uydu. 5.000 kilometreyi aşan çapıyla Merkür'den bile büyük. Ancak, ileride göreceğimiz gibi, gezegen olarak sınıflandırılabilmesi için doğrudan Güneş'in yörüngesinde dönmesi gerekiyor (bkz. 118. sayfa). Komşusu Callisto'nun ise tarihi bir yüzeyi var, çünkü son 4 milyar yıldır çok az değişti. Yıpranmış yüzü, Güneş sistemindeki diğer tüm cisimlerden daha fazla çarpışma yarası taşıyor.

Bunlarla birlikte, tartışmaya açık bir biçimde, Jüpiter'in en ilgi çekici uyduları daha içteki Galileo uyduları: Io ve Europa. Io, gezegenin etrafındaki dönüşünü yalnızca 1,5 günde tamamlıyor. Jüpiter'e bu derece olan yakınlığı, küçük uyduyu genişleten ve büzen dev gelgitlere neden oluyor. Gelgit ısıtması denen bu sürekli bükülme olayı, Io yüzeyindeki taşları eritiyor ve 400'den fazla yanardağı etkin tutuyor; böylece Io, Güneş sistemindeki en

etkin volkanik yer haline geliyor. Dev sülfür gayzerleri, gökyüzüne doğru yüzlerce kilometre fışkırıyor.

JUNO

Geçtiğimiz yıllarda NASA'nın Juno uzay aracı, Jüpiter'in eşi benzeri görülmemiş detaylarla dolu fotoğraflarını gönderdi. Gezegene 2016 yılında varan Juno, Güneş sisteminin en büyük gezegeninin etrafında dönen insan yapımı ikinci cisim oldu. İlki, görevini 2003 yılında tamamlayan Galileo uzay aracıydı. Kamera teknolojisindeki on yıllık gelişmenin kanıtı, Dünya'ya ulaşan göz alıcı görüntülerin kalitesinde yatıyor.

Büyük Kırmızı Leke'nin yakın çekimleri, bu ünlü de-tayın neden gitgide küçüldüğünü anlamaları konusunda astronomlara yardımcı olabilir. Uzay aracının gezegenin çekim gücünü hissederken yaptığı ölçümler, Jüpiter'in çekirdeğinde neler olduğunu deşifre etmimize yardımcı olacak. Atmosfer yapısını anlamak da gezegenin ve Güneş sisteminin kalanının nasıl oluştuğunu anlamamız konusunda anahtar bir rol oynayacak.

Juno hakkında az bilinen bir gerçekte de yol boyunca yanında alüminyumdan yapılmış Lego figürleri taşıdığı. Bu figürler, Roma tanrısı Jüpiter, Jüpiter'in eşi tanrıça Juno ve gezegeni teleskopla gözlemleyen ilk astronom olan Galileo'nun figürleriydi.

Io'nun Güneş sisteminde en az suya sahip cisim olması şaşırtıcı değil. Daha uzak olan Europa'nın ise böyle bir sorunu yok. Io gibi o da gelgit ısıtması etkisi altında ama o kadar yoğun değil, bu yüzden buz, suya dönüşebiliyor. Hem de

bir dolu suya. Avrupa’da Dünya’nın tüm okyanusları, gölleri, nehirleri ve denizlerinin toplamından daha fazla sıvı su olduğu düşünülüyor. Bu da Güneş etrafındaki yaşam arayışımızda Avrupa’yı, listede doğrudan üst sıralara çıkarıyor.

Satürn

Antik dönemlerdeki atalarımızın bildiği son gezegen Satürn, Güneş’ten neredeyse 1,5 milyar kilometre uzakta. Onu böylesi bir uzaklıktan bile teleskopsuz görünebilir kılan şey ise boyutu ve bize yansıttığı Güneş ışığı miktarı. Satürn, en büyük ikinci gezegen ve içine 750 adet Dünya sığabilir.

Ancak boyutuna göre inanılmaz derecede hafif. Santimetre küpte 0,7 gram gibi ortalama bir yoğunlukla gezegenler arasındaki en az yoğunluk Satürn’de. Bu oran suyun yoğunluğundan (1 g/cm³) bile daha az, bu da Satürn’ün bir küvette bile yüzebileceği anlamına geliyor, tabii eğer sığdırabilirseniz. Zaten böyle bir durumda suyu doğrudan dondururdu, çünkü Satürn’deki ortalama sıcaklık -178 derece.

Gezegen özel sarı rengini, atmosferinde yüksek oranda bulunan amonyak kristallerinden alıyor. Bu atmosferde zaman zaman fırtınaların gürlediği görülebilir; Satürn’ün Güneş’e en yakın olduğu her otuz yılda bir ise bu fırtınalar daha sık bir hal alıyor.

Voyager araçlarının varışıyla birlikte astronomlar, gezegenin kuzey kutbunun üstünde altıgen şeklinde bir bulut modeli fark etti. Altıgenin her bir köşesinin uzunluğu, Dünya’nın çapından daha büyük. Cassini uzay aracı da bu bulutu inceledi ve 2013-2017 yılları arasında bulutun renginin maviden altın rengine dönüştüğü görüldü.

Astronomlar, Jüpiter’de olduğu gibi, Satürn’ün bulut katmanlarının altında ne olduğu konusunda da emin değil. Amonyak kristallerinin altında su bulutları olduğu düşünülüyor. Onun altında ise belki bir metalik hidrojen katmanı, ardından da Dünya’nın kütlesinden dokuz veya on iki kat daha yoğun katı bir çekirdek. Hatta bazı bilim insanları, Satürn’ün atmosferinde her yıl binlerce ton elmas oluştuğunu ileri sürdü. Yıldırımlar, metan gazını karbon tozuna dönüştürüyor, bu tozlar da gezegenin çekirdeğine doğru olan yolculuklarında ezilerek elmasa dönüşüyorlar.

Halkalar

Satürn’ün gizemli halkaları, Güneş sistemindeki en ama en ünlü parçalar. Fakat bu kadar araştırmaya rağmen, kimse nereden geldiklerini tam olarak bilmiyor.

Halkalar, belli bir mesafeden yekpare gibi gözükseler de, bazıları bir ev boyutlarında olan ayrı buz parçalarından oluşuyorlar. Eğer halkadaki tüm maddeyi toplayıp bir top biçimi verseydiniz Satürn’ün uydusu Mimas boyutlarında bir cisim elde ederdingiz. Yani belki de bu halkalar, yolculuklarına bir uydu olarak başladılar, sonra da gezegenin çekim gücü tarafından parçalandılar veya bir çarpışma sonucu tuzla buz oldular.

Cassini görevinden elde edilen son veriler, bu halkaların Güneş sistemi ile kıyaslandığında çok genç olduğunu ileri sürüyor, yalnızca 100 milyon yaşında olma ihtimalleri var. Eğer daha yaşlı olsalardı Güneş rüzgârları tarafından büyük ölçüde karartılırlardı. Satürn’ün halkaları ile aynı zamanda yaşadığımız için şanslıyız, çünkü görünen o ki evren tarihinin büyük bölümünde bu halkalar yoktu.

Amatör bir teleskopla bile baksanız halkaların arasında boşluklar olduğunu fark edersiniz. Bu boşlukların en büyüğü Cas-

sini sınırı. Mimas da burada ikamet ediyor ve çekimi, boşluğun açık kalmasını sağlıyor. Satürn'ün bazı uyduları, bu halkalar içindeki yörüngelerinde dönüyor ve “çoban uydular” olarak adlandırılıyorlar. Halkalar, büyük harflerle etiketlenmiş, ancak bu etiketleme gezegenden uzaklıklarına göre değil, keşif sıralarına göre alfabetik olarak yapılmış.



NASA'nın Cassini aracı, Güneş'in arkadan aydınlattığı Satürn'ün halkalarının bu muhteşem görüntüsünü yakaladı.

Halkalar hâlâ birçok gizemi içinde barındırıyor. *Vöyager*'in 1980'lerin başındaki geçişlerinden sonra astronomlar, halkaların içinde karanlık lekeler olduğunu fark ettiler, bisiklet tekerleklerindeki jantlar gibi yayılıyorlardı. Bu lekeler, daha yakın geçmişteki *Cassini* görevinde de fotoğraflandı, fakat hâlâ ne olduklarını bilmiyoruz.

CASSINI

Cassini, halkalı gezegen hakkındaki görüşlerimizi kökten değiştirdi. 1997 yılında gönderilen araç, 2004 yılında Satürn'e vardı. 15 Eylül 2006'da ise astronomi tarihinin en göz alıcı görüntülerinden birini elde etti. Bu görüntüde Satürn, Güneş'in yörüngesinde dönerken, Güneş de gezegenin dudak uçuklatan halka sistemini arkadan aydınlatıyor (bkz. 110. sayfa). Sanki bu yeterince muhteşem değilmiş gibi bir de Satürn'ün uydusu sanabileceğiniz küçük bir noktayı, yani milyarlarca kilometre uzaklıktaki Dünya'yı da yine bu görüntüde görebiliyoruz.

2017 yılında yakıtı azalan ve görev süresinin sonuna yaklaşan Cassini, halkaların içine yirmiden fazla dalış yaptı. Halkalara daha önce hiç olmadığı kadar yaklaştı, hem de saatte 100.000 kilometrelik bir hızla. Halkalardaki maddelerin arasından Dünya'nın bir fotoğrafını daha çekme şansına bile erişti.

Astronomlar, son bir gösteriyle Cassini'yi, Dünya'dan ayrıldıktan yirmi yıl sonra, 2017'nin Eylül ayında kasten Satürn'e çarptırdılar. Bunu yapmalarındaki amaç, aracın yanlışlıkla Satürn'ün halkalarını veya uydularını kirletmesini önlemektir.

Uyduları

Tıpkı Jüpiter'de olduğu gibi, Güneş etrafında döndüğü sırada Satürn'e de altmıştan fazla doğal uydu eşlik ediyor. Bunların birçoğu minik uydular, ancak Titan uydusu, Merkür'den bile büyük.

Titan, Jüpiter'in Ganymede uydusundan sonra Güneş sistemindeki en büyük ikinci uydudur.

Mimas, *Yıldız Savaşları* serisindeki Ay boyutlu uzay istasyonuna benzerliğinden ötürü "Ölüm Yıldızı (*The Death Star*)" ismiyle de anılıyor. Bu esrarengiz benzeyiş ise tamamen rastlantısal, çünkü Ölüm Yıldızı, Mimas'ın ilk görüntülerinden üç yıl önce izleyiciyle buluşmuştu.

Hyperion ise Satürn'ün en garip görüntülü uydusu. Deliklerle dolu olan ve asimetrik şekli ile kocaman kozmik bir süngertaşını andıran Hyperion, keşfedilen ilk yuvarlak olmayan uydudur. Belki de çok eski bir çarpışmadan artakalan bir parçadır.

Şu an herkesin ilgisini çeken uydudur Enceladus. Uydudaki sıvı su, buz yüzeydeki çatlaklardan fışkırıyor. 2017 yılında astronomlar, karmaşık bir yapı bulduklarını açıkladılar: Yaşamın yapı taşları. Su ve yapı taşları, doğrudan yaşamın kendisi demek olabilir; ancak hevesimiz, uyduda zehirli metanol tespit edilmesiyle kursaklarımızda kaldı. Yine de Enceladus, yaşanabilir olası uydular listesinde Europa ile üst sıralarda yer alıyor.

Geriye kalan uydudur Titan. Büyüklüğünün yanında puslu ve yoğun atmosferiyle de öne çıkıyor, çünkü Güneş sisteminde bu yapıya sahip olan tek uydudur. Astronomlar, Huygens keşif aracını Titan'ın kasvetli yüzeyine gönderdi. Araç, 14 Ocak 2005'te Xanadu denen bölgedeki kurumuş bir nehir yatağına indi. Bu araç, dış Güneş sisteminde yere indirdiğimiz tek şey.

Titan'ın yüzey haritaları, bizlere çok aşina olduğumuz bir dünyayı gösterdi. Kıyı şeritleri, takımadalar, adalar ve yarımadalar antik kıyılara vuran okyanuslar tarafından şekillendirilmişti. Fakat Titan'daki bu kıyıları şekillendiren şey sıvı su değil, çünkü uydudur Güneş'ten çok uzak. Bunlara sebep olan şey: Sıvı metan.

Uranüs

Kutuplarımıza yakın yerlerde yaşayan insanların kötü durum-
da olduklarını düşünürüz. Çünkü yılın büyük bölümünde,
ya sürekli karanlığa gömülüdürler ya da hiç bitmeyen gündüzü
yaşarlar (bkz. 78. sayfa). Ancak Uranüs'ün kutupları, bu durumu
yepyeni bir düzeye taşımış durumda.

Gezegen yan dönüyor, kutupları da seksen dört yıllık turu
boyunca kenarlarda kalıyor. Yani Uranüs'ün kutupları, kırk iki yıl
sürekli gündüzü ve kırk iki yıl da sonu gelmeyen geceyi yaşıyor.

Uranüs'ün böyle bir hale nasıl düştüğünü kimse bilmiyor, fa-
kat Güneş sistemindeki birçok gariplikte olduğu gibi parmak
yine büyük bir çarpışmayı işaret ediyor. Uranüs'ün halkaları da
bu eğikliği takip ediyorlar; yani halkalar, Satürn'deki gibi geze-
genin yanlarını çevrelemek yerine gezegeni yukarıdan aşağıya
sarıyor.

Uranüs de Neptün de bazen “Buz Devleri” olarak adlandırıl-
yor. Kimyasal yapıları, onları Jüpiter ve Satürn gibi diğer gaz
devlerinden ayırıyor. Güneş'ten bu kadar uzak olan gezegende
suyun, amonyağın ve metanın hepsi buza dönüşüyor.

Şu âna dek, Uranüs'ün etrafında dönen yaklaşık yirmi yedi
uydu keşfedildi. Bu uyduların hepsi, Shakespeare'in oyunların-
daki ya da Alexander Pope'un eserlerindeki kahramanların isim-
lerini taşıyor. Bazı tanınmış isimler arasında şunlar da var: Romeo,
Juliet, Ophelia (*Hamlet*), Puck ve Oberon (*Bir Yaz Gecesi Rüyası*).

Titania (*Bir Yaz Gecesi Rüyası*) uydularının en büyüğü, an-
cak yalnızca 800 kilometrelik genişliği, Ay'ın çapının yarısından
daha az. Miranda (*Fırtına*), yüzeyinde taşıdığı devasa yaralarla,
belki de Uranüs'ün en kendine has uydusu. Bu da onun “Hump-
ty Dumpty*” uydusu olduğunu gösteriyor, yani bir zamanlar kırıl-

* Humpty Dumpty, günümüzdeki tasvirinde, duvardan düşüp kırılan ve bir daha
birleştirilemeyen yumurta adam. İngiltere'ye ait bir ninnidir. (ç.n.)

mış fakat bir daha tam olarak birleşememiş.

Voyager 2, Uranüs'ü ziyaret eden tek araç. 1986 yılında gezegene sokulan araç, daha etkin komşularına kıyasla gezegenin neredeyse durağan mavi-yeşil bir atmosferi olduğunu gözlemledi. Göz ardı edilmiş bu gezegeni keşfetmek ve sırlarından bazılarını çözmek için, gezegene yeni araçlar gönderilmesi düşünülüyor.

Neptün

1989 yazı boyunca *Voyager 2*, iki dev gezegeni gerisinde bıraktı. Güneş'ten uzaklaşırken astronomlar aracın kameralarını, Neptün ve en büyük uydusu Triton'a son bir kısa bakış için çevirdiler. Yansıttıkları son Güneş ışığı gözden kaybolurken her ikisi de hoş ve ince yeni aylar şeklinde aydınlanmıştı.

Neptün'ün deniz mavisi yüzeyi, Uranüs'e kıyasla inanılmaz derecede hareketli. *Voyager 2*, gezegenin güney yarımküresinde Dünya kadar geniş bir "Büyük Kara Leke" tespit etti. Bu lekeye, Scooter olarak adlandırılan ve oldukça hızlı hareket eden iki parlak fırtına eşlik ediyordu. Hubble Uzay Teleskopu 1994 yılında Neptün'e çevrildiğinde Büyük Kara Leke gitmişti; yerine ise ekvatorun kuzeyinde yer alan yeni bir fırtına gelmişti. Neptün fırtınaları, saniyede 580 metreye (saatte 2.000 km) ulaşan hızları ile Güneş sistemindeki en güçlü rüzgârları içerir.

Neptün'ün kütlesi, Dünya ve Jüpiter arasında bir yere denk geliyor. Dünya'dan on yedi kat ağır, Jüpiter'den ise on dokuz kat hafif. Güneş'e olan uzaklığı, bizim Güneş'e olan uzaklığımızın otuz katıdır ve bir yörüngeyi tamamlaması 165 yıl sürer. Sıcaklıklar da -218 dereceye kadar düşer.

Şu âna dek, en sonuncusu 2013 gibi yakın bir yılda olmak üzere, on dört uydusu olduğunu keşfettik. Bu uyduların arasında en ilginç ve şaşırtıcı olanı Triton. Satürn'ün Enceladus'u ve Jüpi-

ter'in Io'su ile birlikte jeolojik olarak aktif nadir uydulardan biri olmasının yanı sıra, aynı zamanda gezegenin etrafını, gezegenin Güneş etrafındaki dönüş yönünün tersine doğru dönüyor. Bu da onu, Güneş sisteminde *ters yörünge* izleyen tek büyük uydu konumuna getiriyor.

Bu ters yörünge durumu, bu uydunun nereden geldiğini açıklamayı daha da zorlaştırıyor. Normalde, ters yörünge izleyen uyduların boyutu küçük olur, bir gezegene garip bir açıdan yaklaşan ve sonunda ters dönmeye başlayan kuyrukluysıldızlar ya da asteroitler gibi. 2.700 kilometrelik bir genişliğe sahip bir cismin, aynı şeyi yapması kolay değil. Birçok astronom, Triton'un Neptün'ün çekimine yakalanmış bir küce gezegen olduğuna inanıyor (bkz. 115. sayfa). Neptün'e çarpmak yerine, neden belli bir yörüngeye oturduğu ise bilinmiyor.

Triton'un batı yarısı, kavuna benzemesinden ötürü, astronomların "kantalup kavun arazi" olarak nitelendirdiği tuhaf görünümlü bir yüzeye sahip. Güney kutbu ise soğuk volkanik gayzerlerden çıkan toz çökeltisiyle karışmış nitrojen ve metan buzuyla kaplı.

Plüton

Zavallı Plüton. Neptün'ün ötesindeki bu donmuş kartopunun yakasını bir türlü bırakmadılar. 1930 yılında Amerikalı astronom Clyde Tombaugh tarafından keşfedildiğinde dokuzuncu gezegen olarak alkışlandı. Ancak bu özel kulübe olan üyeliği, yüz yıldan bile az sürdü.

Her şey 2000'li yıllarda ters gitmeye başladı. İlk olarak, astronomlar, Plüton'dan daha büyük ve Güneş'in etrafında dönen daha uzak bir gezegen olan Eris'i buldular. Astronomlar, Eris'i ne olarak tanımlayacakları konusunda bir ikileme düştüler.

Eğer Plüton bir gezegense Eris de bir gezegen olmalıydı, çünkü hem Güneş'in etrafında dönüyordu hem de daha büyüktü. Gezegenler ve Güneş sistemindeki daha küçük cisimler arasındaki çizgi nerede duruyordu?

Plüton'un durumu, başka sebeplerle de öne çıktığından, detaylı şekilde incelemeye alındı. Öncelikle yörüngesi, Neptün'ün yörüngesi ile kesişiyor. 248 yıllık yörünge tamamlama süresinin yirmi yılı boyunca Güneş'e Neptün'den daha yakın. 1979 ve 1999 yılları arasında dokuzuncu değil, sekizinci gezegendi. Ayrıca Neptün ile bir çekim dansına kilitlenmiş durumda, astronomlar bu durumu rezonans olarak adlandırıyor. Güneş'in etrafında Neptün'ün her üç dönüşüne karşılık, Plüton tam olarak iki dönüş yapıyor. Bu da hep birbirlerinden ayrı oldukları, yani bir çarpışma riski bulunmadığı anlamına geliyor.

Plüton'un en büyük uydusu Charon ile olan ilişkisi de aynı şekilde düzensiz. Normal bir gezegen-uydu sistemine kıyasla bu iki dünya, aralarındaki boş uzayda ortak bir noktayı dönüyorlar.

Yani bir karar verilmeliydi. 2006 yılının yazında Uluslararası Astronomi Birliği (IAU), Plüton'u (ve Eris'i) yeni bir sınıfa dahil etti: Cüce gezegenler (bkz. bir sonraki kısım). Plüton, gezegen olamadı çünkü "yörüngesindeki yolu temizlememişti", yani Güneş etrafında izlediği yoldaki en büyük şey kendisi değil Neptün'dü. Karar, tartışmalara sebep oldu.

2005 yılında Plüton hâlâ gezegenken NASA, Plüton'u incelemesi için New Horizons uzay aracını yolladı. Araç, 2015 yılında oraya vardığında Plüton artık gezegen değildi. Gezegen olsun veya olmasın Plüton'un birçok astronomun beklentilerinin ötesinde bir yer olduğunu keşfettik. Bu cansız dünyanın yüksek kalite görüntülerini görmekle kalmadık, aynı zamanda kimsenin beklemediği kadar etkin bir yer olduğunu öğrendik. -240 dereceye kadar düşen sıcaklığına rağmen bilinmeyen bir

jeolojik süreç, yakın geçmişte gezegenin yüzeyini tekrar şekillendirmişti.

New Horizons'ın varışı için yapılan hazırlıklarda astronomlar, görevi tehlikeye atabilecek olası ilave uydular olup olmadığına dair araştırmalar yaptılar. İki tane buldular: Kerberos ve Styx. Böylece bu uydular da Charon, Nix ve Hydra'ya katıldı.

Cüce gezegenler

Gezegenin ve cüce gezegenin harfi harfine tanımının yapıldığı karar, eski ders kitaplarının yırtılmasına sebep oldu. Uluslararası Astronomi Birliği'nin Ağustos 2006'da Prag'da yaptığı toplantıda verdiği kararlardan bazıları şöyle:

(1) Bir gezegen:

a - Güneş'in etrafında döner,

b - kendi çekimi için yeterli kütleye sahip olur, böylece sabit cisim kuvvetlerini aşarak hidrostatik dengeyi sağlar ve hemen hemen küresel bir şekli olur,

c - yörüngesi üzerindeki alanı temizler.

(2) Bir "cüce gezegen":

a - Güneş'in etrafında döner,

b - kendi çekimi için yeterli kütleye sahip olur, böylece sabit cisim kuvvetlerini aşarak hidrostatik dengeyi sağlar ve hemen hemen küresel bir şekli olur,

c - yörüngesi üzerindeki alanı temizlememiştir,

d - herhangi bir gezegenin uydusu değildir.

Plüton, gezegenliğini 1-c ile kaybetti. Kaybı, Ceres'in ka-

zancı oldu. Ana kuşaktaki en büyük asteroit olan Ceres, 1801 yılında keşfedildiğinde bir gezegen olduğu düşünülmüştü. Bu onuru hemen kaybetti, ancak 2006 yılında yayımlanan bu karar, onu cüce gezegen mertebesine çıkardı. Plüton'dan daha uzakta olan üç gezegen de (Eris, Haumea ve Makemake) cüce gezegen olma onuruna sahip oldu.

Eris, Güneş sisteminde olup da herhangi bir uzay aracı tarafından ziyaret edilmemiş en büyük cisim. Güneş'in çevresindeki yörüngesi, Dünya'nın yörüngesinden 100 kat daha uzakta ve tamamlaması 558 yıl sürüyor. En az bir uydusu var, adı ise Dysnomia.

Haumea, Hi'aka ve Namaka uyduları eşliğinde Güneş'in etrafında dönen yumurta şeklinde bir cisim. 2017 yılında astronomlar, bir halkası olduğunu keşfetti. Adını bir Hawaii tanrıçasından alıyor, çünkü adada kullanılan teleskoplar tarafından keşfedildi. Lakabının "Santa (Noel Baba)" olmasının sebebi ise Noel'den hemen sonra keşfedilmesi.

Paskalya bayramında keşfedilen Makemake ise ismini Paskalya Adası mitolojisinden alıyor. Bu yüzden lakabı "Paskalya Tavşanı". 2016 yılında bir uydusu olduğu keşfedildi, gelgelelim henüz resmi bir adı yok.

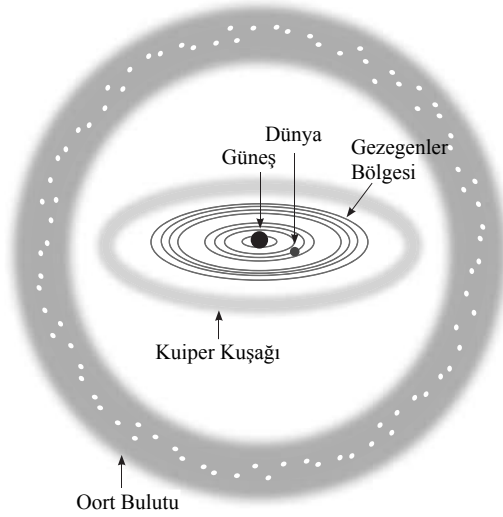
Aslında beşten daha fazla cüce gezegen var. Örneğin, Sedna bunlardan biri. Ancak yörüngesini tamamlaması 11.400 yıl sürüyor. Bu da kriterlerden biri olan "hemen hemen yuvarlak bir şekli" olup olmadığını görmemizi zorlaştırıyor. Daha büyük teleskoplar inşa ettiğimizde ve bu küçük uzak dünyalara daha yakından baktığımızda daha fazla cüce gezegen keşfe-deceğimizden emin olabilirsiniz.

Kuiper Kuşağı ve Dağınık Disk

1930 yılında Plüton'un keşfi, hayal gücü sınırlarını daha da genişletti. Astronomlar, Güneş'in etrafında dönen yeni gezegenin, Neptün'ün ötesindeki birçok dünyadan sadece biri olduğunu düşünmeye başladılar. Yıllar boyunca birçok farklı insan bu fikri geliştirdi, fakat bu diyarla ismi en çok ilişkilendirilen kişi Hollandalı astronom Gerard Kuiper oldu. Günümüzde de bu alanı Kuiper Kuşağı olarak biliyoruz.

Bunun hikâyesi ise biraz acı; özellikle de Kuiper'ın açık bir şekilde kuşağın artık var olmadığını söylediği düşünülürse. İrlandalı astronom Kenneth Edgeworth, gerçeğe daha yakındı ve düşüncelerini Kuiper'dan daha önce yayımlamıştı. Ancak, Neptün'ün ötesinde Plüton'dan sonraki ilk cisim 1992 yılında keşfedilince bu alana Edgeworth Kuşağı denmedi, Kuiper Kuşağı dendi.

Kuiper Kuşağı, Neptün'ün yörüngesinden başlar ve Güneş ile Dünya arasındaki uzaklıktan elli beş kat daha uzak bir mesafede son bulur. Şu âna dek binden fazla Kuiper Kuşağı Cismi (KKC) keşfedildi ve astronomlar, 100 kilometreyi aşan çaplarda 100.000 cisim daha olduğuna inanıyor. Fakat toplam kütleleri, on tane Dünya'nın kütesinden fazla değil. Tıpkı gezegenler gibi gezegenimsi yapılardan oluştukları düşünülüyor, ancak çok daha küçükler çünkü Güneş'ten o kadar uzakta çok daha az yapı taşı bulunuyordu. Plüton, diğer cüce gezegenler Haumea ve Makemake ile birlikte, en ünlü KKC.



Güneş sistemi, gezegenler ile son bulmaz. Neptün'ün ötesinde Kuiper Kuşağı ve Oort Bulutu bulunur.

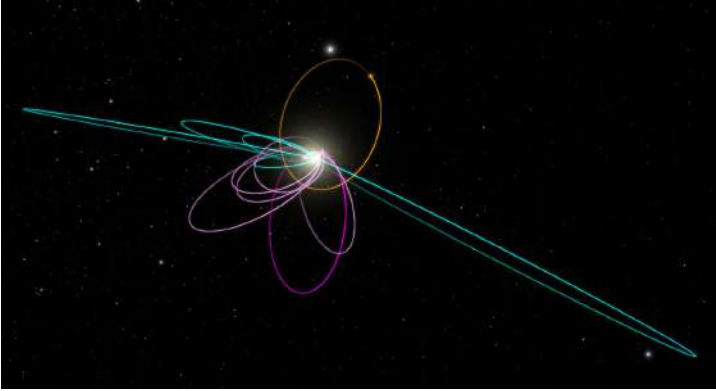
Neptün'ün ötesindeki bir diğer cüce gezegen Eris, Kuiper Kuşağı'nın da ötesinde bulunan ve Dağınık Disk olarak bilinen bir yerdedir. Bu bölgede bulunan cisimlerin yörüngeleri, bu cisimleri Dünya ile Güneş arasındaki mesafenin yüz katına kadar götürebilir. Dağınık Disk'in kökeni henüz tam olarak belirlenmiş değil, fakat birçok astronom bu konuda Neptün'ü işaret ediyor; çünkü Güneş sisteminin erken dönemlerinde gezegen, Güneş'ten uzaklaştıkça cisimleri Kuiper Kuşağı'ndan dağıtıyordu (bkz. 126. sayfa).

Dokuzuncu ve Onuncu gezegenler

“Mavi Vida, Dünya'dan Mars'a Jet Süratle Uçup Neptün'de Paslandı.” Eskiden Güneş sistemindeki dokuz gezegenin sırasını hatırlamak çok kolaydı. Sonra Plüton'un rütbesi düşü-

rüldü ve yeni anımsatıcılar bulmak zorunda kaldık. Bulduklarımız da tekrar değişecek gibi.

Neptün'ün ötesindeki cisimleri inceledikçe bir hayli tuhaf şeylerin olduğunu keşfettik. 2014 yılında iki Kuiper Kuşağı Cismi olan 2012 VP₁₁₃ ve Sedna'nın, benzer yörüngeleri paylaştığı açıklandı. Belirli bir şekilde ortak *günberi* çakışmasını paylaşıyorlardı; bu günberi çakışması, gezegenlerin Güneş'e en yakın durumda oldukları anda bulundukları açı demek. Bu değer normalde rasgele olmalı ancak onların açısı ikizdi. Sonra 2016 yılında astronomlar, dört cismin daha aynı niteliğe sahip olduğunu ortaya çıkardı. Bu "bozukluğun" olasılığı hesaplandığında ise ortaya çıkan değer yüzde 0,007 oldu.



Dış Güneş sistemindeki birkaç küçük cismin benzer yörünge açıları, görünmeyen bir dokuzuncu gezegenin çekim gücünün sonucu olabilir.

Bu durumun şu an için önde gelen açıklamasına göre, Güneş sistemimizdeki bir gezegeni atladık. Tıpkı Neptün'ü Uranüs'e uyguladığı çekim sayesinde keşfettiğimiz gibi (bkz. 50. sayfa), bu henüz "görülmemiş" gezegen de bu altı küçük dünyanın yörüngelerini hizalıyor olabilir. Eğer durum böyleyse bu gezegen, Dünya'nın kütlesinden on kat daha büyük bir kütleye

sahip olmalı; Güneş'in etrafında dönme süresi ise 10.000 yıldan 20.000 yıla kadar bir aralıkta olmalı. Astronomlar, son iki yüzyılda keşfedilecek ilk yeni gezegeni bulmak için, şu an adeta çılgınlar gibi gökyüzünü tarıyor.

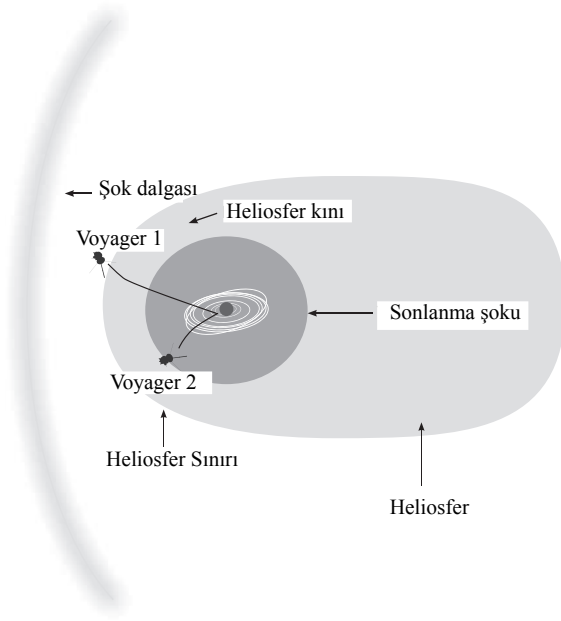
Hatta bu gezegen yalnız olmayabilir. Haziran 2017'de astronomlar, bazı Kuiper Kuşağı Cisimlerinin yörüngelerini saptıran onuncu bir gezegen olabileceğini (eğer Dokuzuncu kesinlikle oradaysa) açıklayan bir araştırma yayımladılar. Araştırmaya göre bu Onuncu Gezegen, Dokuzuncu Gezegen'den çok daha küçük ve yaklaşık olarak Mars'ın kütlesinde olmalı.

Şu gayet açık ki Güneş sistemi resmimiz henüz tamamlanmış değil ve önümüzdeki yıllarda kolayca değişebilir.

Voyager uzay araçları ve heliosfer

Güneş sistemi nerede son buluyor? Bu sonu tanımlamanın bir yolu, Güneş'in manyetik etkisinin nerede son bulmaya başladığıyla alakalı. *Voyager* uzay araçları sayesinde, heliosfer denen bu sınırla alakalı doğru verilere sahibiz.

Voyager 2 Uranüs ve Neptün'ü incelemekle meşgulken *Voyager 1*, Güneş sisteminin sınırlarını aşmaya başlamıştı bile. Bugün *Voyager 1*, Güneş'e 20 milyar kilometreden fazla bir uzaklıkta. *Voyager 2* ise 3 milyar kilometrelik bir farkla onu takip ediyor. Uzay boşluğunun zifiri karanlığında görecekt hiçbir şey olmasa bile, iki uzay sondasının da sistematik araçları hâlâ etkin. Arkalarındaki Güneş rüzgârlarının günlük ölçümlerini eve gönderiyorlar. Bu radyo sinyallerinin Dünya'ya ulaşması ise otuz saatten fazla sürüyor.



Voyager 1 uzay aracı, 2012 yılında heliosfer sınırını (heliopause) aştığında, Güneş sisteminin dışına çıkan ilk insan yapımı cisim oldu.

2010 yılından bu güne dek, *Voyager 1*'in algıladığı Güneş rüzgârı hızı sıfıra düştü. Ağustos 2012'ye gelindiğinde astronomlar kendilerinden yeterince emin bir şekilde, aracın nihayet heliosferin sınırlarını (*heliopause*) aştığını ve yıldızlararası uzayda ilerlemeye devam ettiğini açıkladı. Bu olay, Dünya'dan yollanan bir temsilcinin Güneş sisteminden ilk kez ayrılışı olarak kutlandı. Şu anki hızıyla sıradaki güneş sistemine ulaşması ise neredeyse 30.000 yıl sürecek.

Gerçekten de *Voyager 1*'in başarıları, çok değerli "ilkler" olarak tarihe geçmeli. Bununla birlikte, Güneş sisteminden ayrıldığı konusundaki açıklamalar dikkatle yapılmalı. Yalnızca, sınırlarını manyetizma açısından değerlendirdiğimiz Güneş sisteminden ayrıldı. Oralarda bile Güneş'in etrafında dönen

OORT BULUTU

Yörüngelerini tamamlama süreleri 200 yılın altındaki kısa dönemli kuyrukluysıldızlar, Kuiper Kuşağı ve Dağınık Disk'ten gelirler (bkz. 120. sayfa). Bu kuyrukluysıldızlara örnek olarak Halley Kuyrukluysıldızı ve 67P verilebilir. Uzun dönemli kuyrukluysıldızların ise Oort Bulutu olarak bilinen daha uzak bir "havuz"dan geldikleri düşünülür. Bu bulutun alanı, Dağınık Disk'ten binlerce kat uzakta başlar ve Güneş'ten 30 trilyon kilometre uzaklığa erişinceye kadar devam eder, yani diğer yıldız olan uzaklığın yarısı kadar. İsmi, fikrini 1950'lerde ortaya atan Hollandalı astronom Jan Oort'a ithafen verilmiştir. Bu, hâlâ teorik bir fikir, çünkü Güneş'ten o kadar uzak bir yerdeki kuyrukluysıldızları şu anki teleskoplarla izlemek imkânsız. *Voyager 1* bu bölgeye 300 yıl içinde varacak, ancak bataryaları çoktan tükenmiş olacak. Buradaki kuyrukluysıldızlar Güneş'e o kadar cılız bir bağla bağlı ki geçen yıldızlar, onları dürterek bizim sistemimize doğru ittiriyor olabilir. Bu da onları ayırdıkları yere geri döndürmüş olur, çünkü astronomlar, bu kuyrukluysıldızların iç Güneş sisteminde oluşup dev gezegenlerin hareketlerinden dolayı uzak bölgelere saçıldığını düşünüyor.

önemli cisimlerin olması olası, muhtemel Dokuzuncu Geze-gen gibi. *Voyager 1*, Güneş sisteminin en dıştaki gezegenine ulaşmadıysa gerçekten de Güneş sistemini arkasında bıraktı diyebilir miyiz?

Nice modeli

Günümüzde Güneş sistemi, birçok karmaşık niteliği olan kafa karıştırıcı bir yer. “Yeni” doğmuş Güneş’i çevreleyen moloz yığından gezegenlerin, uyduların, cüce gezegenlerin, asteroitlerin ve kuyruklu yıldızların karmaşık sistemine uzanan tutarlı bir resim ortaya çıkarmak kolay bir iş değil. Bu alandaki çalışmalar, yüksek detaylı modeller yaratabilen süper bilgisayarların son yıllardaki gelişimiyle muhteşem ölçüde hızlandı. Şu âna dek ortaya çıkan modellerin en iyisi ise adını “birleştirildiği” Fransa şehrinden alan “Nice modeli”.

Bu model, dört dev gezegenimizin, çekimsel etkileşimleri onları şimdiki pozisyonlarına göndermeden önce, daha “sıkı” bir grup olarak yola çıktığını öne sürüyor. Günümüz Güneş sistemine en uygun eşleşmeyi Jüpiter’in içeri doğru, diğer üç gaz gezegenin ise dışarı doğru hareket ettiği modelde elde ediyoruz. Hatta bazı modellerde Uranüs ve Neptün, sıralarını bile değiştiriyor. Bu modelde Jüpiter, asteroit kuşağına doğru ilerledikçe birçok uzay taşıyı dağıtıyor, belki de Geç Dönem Ağır Bombardımanı’na sebep olan şey de budur (bkz. 92. sayfa). Benzer şekilde Neptün’ün dışa doğru itiş de Kuiper Kuşağı’nı dağıtarak Dağınık Disk’i oluşturuyor. Hatta büyük ve “düzensiz” uydusu Triton’ı, bu kuşaktan kendine doğru çekmiş olabilir (bkz. 115. sayfa). Bazı kuyruklu yıldızlar da Oort Bulutu’nu oluşturmaya yetecek kadar uzak mesafelere saçılıyor.

Aslında Nice modeli dört dev gezegenle yapıldı. Ancak astronomlar, bu modeli çeşitli boyutlardaki beşinci bir dev gezegenle de denediler. Şaşırtıcı olan ise bu versiyonun bizimkine daha çok benzeyen bir Güneş sistemi oluşturmaya çalışmasıydı. Eğer gerçekten beşinci bir dev gezegen var olduysa, şimdi nerede? O da daha büyük komşuları tarafından dağıtıldıysa Neptün’ün ötesinde mahsur kalmış olabilir. Dokuzuncu Gezegen’i gerçekten bulur-

sak aradığımız kayıp gezegen kesinlikle o demektir (bkz. 121. sayfa).

Beş dev gezegenli Nice modeliyle ilgili tek problem, son simülasyonlarda bu gezegenlerin göçünün, kayalık gezegenler üzerinde korkunç etkiler doğuracağını göstermesi. Neredeyse tüm versiyonlarda Merkür'ün varlığı, Güneş sisteminden tamamen silinmesiyle son buluyor. Bunun yaşanmadığı ise çok açık. Beş dev gezegenli Nice modelini, bu gezegenlerin göçünün kayalık gezegenler oluşmadan gerçekleştiğini öne sürerek kurtarabilirsiniz. Fakat bu sefer de Jüpiter'in göçü sonucu oluşan Geç Dönem Ağır Bombardımanı'nı açıklayamazsınız. Bu da GDAB'ın hiç yaşanmadığını öne sürenler için uygun bir sonuç yaratır (bkz. 92. sayfa).

Dolayısıyla Güneş sistemimizin nasıl oluştuğu konusundaki fikirlerimiz, Neptün'ün ötesindeki keşiflerle birlikte, parçaları birleştirmeye devam ettikçe sürekli evrilmeye devam ediyor.

Yıldızlar

Ne kadar parlaklar?

Geceleri gökyüzüne şöyle bir göz gezdirseniz bile bazı yıldızların diğerlerinden daha parlak gözüktüğünü fark edersiniz. Astronomlar, bir yıldızın bize ne kadar parlak gözüktüğünü “görünen parlaklık” ile nitelerler. Bu sistem için gökyüzündeki en parlak yıldızlardan biri olan Vega yıldızı baz alınmıştır. Vega’nın görünen parlaklığı sıfırdır. Negatif değere sahip her yıldız Vega’dan daha parlak, pozitif değere sahip her yıldız ise Vega’dan daha sönüktür. Ölçümdeki her basamak, yaklaşık olarak 2,5 katlık bir parlaklık farkına denk gelir. Yani -1,0 parlaklık değerine sahip bir yıldız, Vega’dan 2,5 kat daha parlaktır; +2 parlaklık değerine sahip bir yıldız ise Vega’dan 6,25 kat daha sönüktür ($2,5 \times 2,5$).

Gelgelelim geceleri gökyüzündeki en parlak cisimler, yıldızlar değildir: Dolunay (-12,74), Uluslararası Uzay İstasyonu (-5,9), Venüs (-4,89), Jüpiter (-2,94) ve Mars (-2,91) daha göz kamaştırıcıdır. -1,47 değeri ile Sirius, en parlak yıldızdır.

Bir yıldızın geceleri gökyüzümüzde parlak gözükmesi, çok parlak olduğu anlamına gelmeyebilir. Belki bize çok yakındır. Benzer olarak da son derece parlak bir yıldız, bizden çok uzakta olduğu için bize sönük gözükebilir.

DEĞİŞEN YILDIZLAR

Yıldızların belirli bir parlaklığı yoktur, bazı yıldızların görünen parlaklıkları zaman içinde değişiklik gösterir. Astronomlar, bu yıldızlara “değişen yıldızlar” diyorlar. Yıldızların değişmesinin iki ana sebebi vardır: Ya gerçekten parlaklıkları değişir ya da dönem dönem önlerine geçen bir şeyler vardır.

Değişen yıldızların en ünlülerinden biri Şeytan Yıldız olarak da bilinen Algol’dur. Yıldız haritasında genelde, Medusa’nın kahraman Perseus tarafından kesilen kafasındaki kötü göz olarak çizilir. Her 2,86 günde bir parlaklığı yaklaşık on saatliğine 2,1’den 3,4’e düşer. Bunun sebebi tek bir yıldız değil, üç yıldızdan oluşan bir “yapı” olmasıdır. Sönük yıldızlardan biri en parlak olanın önüne geçtiğinde ışığı azalmış gibi gözükür.

Sefe değişenleri ise tanınan bir başka değişen yıldız tipidir. Polaris, kutupyıldızı ya da kuzey yıldızı, Dünya’ya en yakın örnektir. Bu yıldızlar dönemsel olarak genişler ve büzülür, bu da onların tekrar eden bir düzen içinde bir parlak bir sönük gözükmelerine neden olur.

Bu yüzden astronomlar, bir yıldızın gerçek parlaklığını ölçmek için “mutlak parlaklık” adı verilen alternatif bir ölçümü kullanır. Bu ölçüm, bir yıldızın bizden 32,6 ışık yılı uzakta olduğu durumda ne kadar parlak gözükeceğini söyler. Hesaplaması ise görünen parlaklıkla aynıdır.

Sirius bunu açıklamak için klasik bir örnek. Görünen parlaklığı -1,47 ile parlak olabilir, ancak mutlak parlaklığı 1,42’dir. Geceleri gökyüzümüzdeki en parlak yıldız olmasının sebebi, bizlere görece yakın olmasından kaynaklanır. Örneğin tanınık Avcı (*Orion*) takımyıldızının bir yıldızı olan Rigel’in, görünen parlak-

lığı 0,12 iken mutlak parlaklığı -7,84'tür. Doğası gereği geceleri gökyüzünde görebileceğiniz en parlak yıldızlardan biridir.

Ne kadar uzaklar?

Bir yıldızın mutlak parlaklığını belirlememiz için yıldızın ne kadar uzak olduğunu bilmek zorundayız. Böylece bu mesafeyi görünen parlaklığından düşebiliriz. Bir metre alıp gökyüzünü ölçmek mümkün olmadığına göre bu mesafeleri nasıl ölçüyoruz? Astronomlar, gece göğünde görünen birçok yıldızın da dahil olduğu bize en yakın yıldızlar için *paralaks* (ıraklık açısı) denen bir teknik kullanıyorlar.

Bu tekniğin nasıl çalıştığını öğrenmek için işaret parmağınızı bir yıldız olarak düşünün. İşaret parmağınız öne uzatılmış bir halde kolunuzu uzatın, bir gözünüzü kapatın ve parmağınızı bir cismin üzerine getirin, bu cisim bir çerçeve ya da odanın köşesi olabilir. Şimdi kapalı gözünüzü açıp diğer gözünüzü kapatın. Parmağınızın yer değiştirdiğini göreceksiniz. Sonra bu alıştırmayı parmağınızı gitgide yüzünüze daha çok yaklaştırarak tekrar edin. Parmağınız öncekine göre daha mı çok yer değiştirdi yoksa daha mı az yer değiştirdi?

Umarım parmağınızın daha çok yer değiştirdiğini görmüşsünüzdür. Yakındaki bir cisme, iki bakış açısından (bu durumda gözleriniz) bakıldığında uzaktaki bir cisme göre çok daha fazla yer değiştirir. Astronomlar, bir yıldız altı aylık aralıklarla izlerken (yani Dünya Güneş'in ters taraflarındayken) tıpkı sizin gözünüzle yaptığınız alıştırmaya benzer bir teknik kullanıyor. Yakındaki bir yıldız, uzaktaki bir yıldızla göre çok daha fazla yer değiştiriyormuş gibi gözüküyor. Yıldızın yer değiştirdiği açıyı da trigonometri sayesinde uzaklığa dönüştürüyoruz.

Avrupa Uzay Ajansı'nın 2013 yılında fırlattığı Gaia isimli

teleskopu, Dünya'dan birkaç ışık yılı uzaklıktaki yıldızların mesafesini paralaks yöntemini kullanarak ölçebiliyor. Bu mesafeden ilerisi için aç, düzgünce ölçülemeyecek kadar küçülüyor ve astronomlar uzay mesafelerini ölçmek için başka bir yöntem kullanmaya başlıyor (bkz. 188. sayfa).

Ne kadar sıcaklar?

Banyo musluklarınız, tüm hayatınız boyunca sizi yanlış yönlendirdi. Her gün kırmızının sıcak, mavinin ise soğuk olduğunda ısrar eden lavabolarda ellerimizi yıkıyoruz, dişlerimizi fırçalıyoruz. Aslında tam tersi. Ayrıca bunu görmek için yıldızlara bakmanıza da gerek yok. Tıpkı pürmüz alevi gibi en sıcak alevler mavidir. Normal açık alev ise sarıdır. Parlaklığın kırmızıya dönük olduğu alevler ise soğuyan ve sönmeye yaklaşan alevlerdir.

Yıldızlar alev almış değil, fakat prensip aynı. Bir yıldızın rengine bakarak ne kadar sıcak olduğunu söyleyebiliriz. En soğuk yıldızlar, 3.000K (Kelvini santigrata çevirmek için 273 çıkarmalıyız) yüzey sıcaklıkları ile kırmızıdır. Sarı yıldızlar, 6.000K yüzey sıcaklıkları ile ortada bir yeredir. En sıcak yıldızların sıcaklığı ise 50.000K civarına çıkar ve mavi görünürler.

Astronomlar yıldızları, Harvard tayf sınıflandırması olarak bilinen ve rengi baz alan yedi gruba ayırmışlardır. Bu gruplara O, B, A, F, G, K ve M harfleri verilmiştir. Aslında gruplar A'dan Q'ya kadar uzanıyordu, ancak daha sonra aralarda ciddi kesişmeler gözlemlendi ve birçok grup sınıflandırmadan çıkarıldı.

Tayfsal sınıf	Renk	Sıcaklık (K)	Tüm yıldızlar içinde oranı
O	Mavi	>30.000	0,00003
B	Mavi - Beyaz	10.000-30.000	0,1
A	Beyaz	7.500-10.000	0,5
F	Sarı	6.000-7.500	3
G	Sarı - Beyaz	5.200-6.000	7,5
K	Turuncu	3.700-5.200	12
M	Kırmızı	2.400-3.700	76,5

Güneş bir G sınıfı yıldızdır, yani evrendeki yıldızların birçoğu bizimkinden soğuktur. Gece gökyüzündeki en parlak O sınıfı yıldız Avcı Kuşağı'ndaki Alnitak'tır. M sınıfı yıldızlar ise gözlerimizin göremeyeceği kadar sönüktür.

Burada bahsedilen yıldızların oranları, yaşamlarının ana kısmı için geçerlidir. Bunu astronomlar, Hertzsprung-Russell diyagramında denk düşükleri, *ana dizi* olarak adlandırır.

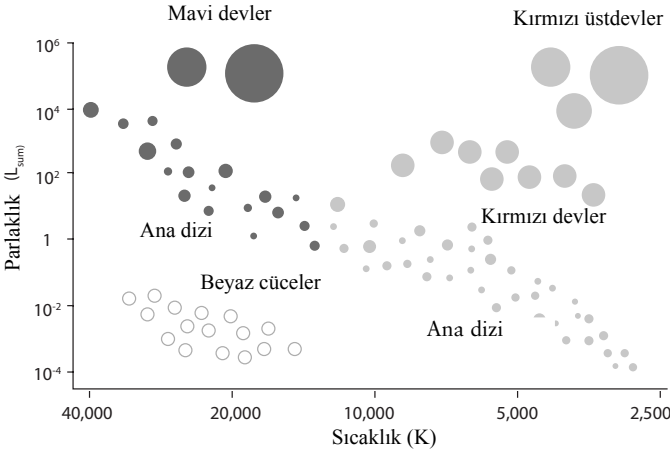
Hertzsprung-Russell diyagramı

H-R diyagramı astronomideki ikonik grafiklerden biridir. Yıldızları, renklerin veya tayf sınıflarının mutlak parlaklıklarına göre ayırır. Yirminci yüzyılın başlarında, Danimarkalı astronom Ejner Hertzsprung ve Amerikalı astronom Henry Norris Russell tarafından, yıldızların evrimini görselleştirmek için hazırlanmıştır.

Küçük ve soğuk yıldızlar (K ve M sınıfı) grafiğin sağ altında yer alır. Daha büyük ve daha sıcak yıldızlar ise (O ve B sınıfı) sol yukarıda yer alır. İki uç arasındaki çizgi ana dizi olarak adlandı-

rılır. Bu çizgideki yıldızlar, tıpkı Güneş gibi, hidrojeni helyuma dönüştürmek için füzyonu kullanır (bkz. 57. sayfa).

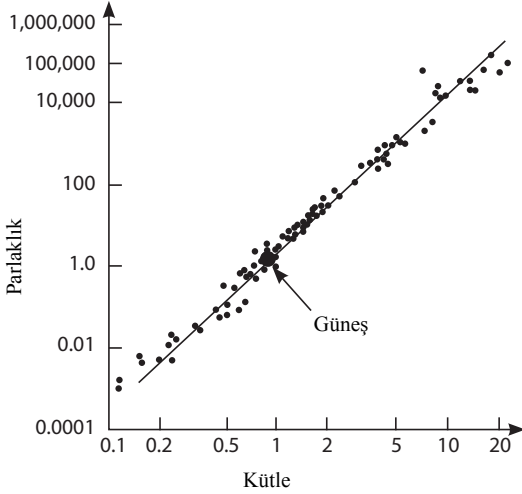
Gelgelelim bir yıldız yaşlandıkça çekirdeğindeki hidrojen tükenir. İleride neler olacağını daha detaylı olarak göreceğiz. Böyle bir durumda yıldız şişmeye başlar. Böyle yaparak ısınıp çok daha büyük bir alana yaymaya başlar ve rengi kırmızılaşır. Astronomlar, bu yıldızların “ana dizi evrimini tamamladığını” söylerler, artık bu yıldızlar çizginin üstünde yer alan kırmızı devlere ve kırmızı üstdevlere dönüşmüştür.



Hertzsprung-Russell diyagramı bir yıldızın sıcaklığı ve parlaklığı arasındaki ilişkiyi gösterir. Yıldızlar, ömrünün çoğunu “ana dizi” içinde geçirir.

Ne kadar büyükler?

Yıldızların boyutları ve kütleleri çeşitlidir; ayrıca astronomlar kütle ve parlaklık arasında sıkı bir ilişki keşfetmiştir. Buna kütle-parlaklık ilişkisi adı verilir (bkz. bir sonraki sayfadaki grafik). Yıldızın kütlesi arttıkça mutlak parlaklığı da artar.



Astronomlar, yıldızın kütlesi ve parlaklığı arasında sıkı bir ilişki olduğunu fark ettiler. Bu da keşfedilen yeni yıldızların parlaklıkları aracılığıyla tartılabilmelerini sağladı.

Astronomlar, yeni keşfedilmiş bir yıldızın kütlesini bulmak için, görünen parlaklığını ölçerek mutlak parlaklığını bulurlar. Daha sonra kütle-parlaklık ilişkisi grafiğine bakarak bu yıldızın kütlesini ortaya çıkarırlar (bkz. önceki tablo). Yüksek kütleli yıldızlar, H-R diyagramında ana dizinin sol üstünde bulunurlar; düşük kütleli yıldızlar ise sağ alttadır. Büyük Macellan Bulutu'ndaki bir yıldız olan "R136a1", bilinen en yüksek kütleli ve en parlak yıldızdır. Güneş'ten 315 kat daha ağırdır.

Astronomlar, bir yıldızın boyutunu, adını Josef Stefan (1835-1893) adlı bir fizikçiden alan Stefan yasasını kullanarak da hesaplayabilirler. Stefan, sıcak bir cismin bir saniyede yaydığı enerji miktarının, cismin boyutuna ve sıcaklığına bağlı olduğunu bulmuştur. Yıldızların bir saniyede ne kadar enerji yaydığını parlaklığından biliyoruz. Ayrıca rengine bakarak sıcaklığını da öğrenebiliyoruz. Yani bir yıldızın boyutunu hesaplamak için Stefan yasasını kullanabiliriz.

Tayfsal sınıf	Kütle (Güneş'in katları halinde)
O	> 16
B	2,1-16
A	1,4-2,1
F	1,04-1,4
G	0,8-1,04
K	0,45-0,8
M	0,08-0,45

Bilinen en geniş yıldız, UY Scuti'dir. Küçük bir takımyıldız olan Kalkan'ın (*Scutum*) içerisinde bulunmuştur ve tahminen 1708 Güneş genişliğindedir. Bu da kabaca içine 5 milyar Güneş'in sığabileceği manasına gelir. Eğer bu yıldızı Güneş'le değiştirsek yüzeyi, Jüpiter ve Satürn'ün yörüngelerinin arasına kadar uzanırdı.

Kaç yaşındalar?

Evrenin başlangıcında, henüz herhangi bir yıldız oluşmamışken helyum ve hidrojen etraftaki tek elementlerdi. Sonra ilk yıldızlar ateşlendi ve tıpkı Güneş'in yaptığı gibi ilk yıldızlar da hidrojenin bir kısmını daha fazla helyuma dönüştürmeye başladı (bkz. 57. sayfa). Bu yıldızlar, yaşlandıkça ve ana dizi evrimlerini tamamladıkça helyumu karbon, azot, oksijen, silisyum ve demir gibi daha ağır elementlere dönüştürmeye başladı (bkz. 141. sayfa). Bu dev yıldızlar yaşamlarının sonunda muhteşem süpernovalar olarak patladı ve bu ağır elementleri evrenin her bir köşesine yaydı. Bu elementlerin bazıları da yeni yıldızların oluşmasına yardımcı oldu.

Yani astronomlar, kimyasal bileşenlerine bakarak yıldızların yaşını belirleyebilir. En yaşlı yıldızlar yalnızca, o sıralar-

da etraftaki iki element olan hidrojen ve helyumdan oluşur. En genç yıldızlar ise daha bol malzeme dizisinin olduğu bir zamanda oluşmuştur ve bu yüzden kimyasal yapıları daha çeşitlidir. Astronomlar bunun için metallik adı verilen bir ölçü belirlemişlerdir. Kimyacıların aksine astronomlar, hidrojen ve helyum dışındaki tüm elementleri metal olarak niteler. Düşük metallik, söz konusu yıldızın yaşlı ve saf olduğu anlamına gelir. Yüksek metallik ise daha genç yıldızları niteler.

AÇIK VE KÜRESEL KÜMELER

Bulutsuz bir gecede, şehir ışıklarından uzakta, tam 3.000 yıldızın parıltısı sizi büyüleyebilir. Birçoğu yalnız gözüktür, ancak gruplaşmış birkaç tanesi olduğunu da fark edersiniz. Gökyüzüne doğru bir dürbünle baktığınız zaman çok daha fazla yıldız kümesi olduğunu görürsünüz, özellikle de Samanyolu şeridinin üzerinde.

Astronomlar bu kümeleri, *açık kümeler* ve *küresel kümeler* olarak ayırıyorlar. Açık kümeler gevşek bir örgüyü andırırken küresel kümeler daha çok bir damlayı andırıyor. Yine de en büyük farkı, üyelerinin yaşları oluşturuyor. Açık kümeler çok daha genç yıldızları içerirken küresel kümelerdeki yıldızlar çok daha yaşlı.

En ünlü açık kümeyi ele alalım: Boğa takımyıldızında bulunan ve Yedi Kız Kardeş olarak da bilinen Ülker (*Pleiades*). Yıldızları yalnızca 100 milyon yaşında. Bunu M13'deki (Herkül'deki Muhteşem Küresel Küme) 11 milyar yıldan yaşlı yıldızlarla karşılaştıralım. Evrenin yaşını bir insanın ortalama ömrüyle değiştirirsek M13 emekli olmaya hazırlanırken Ülker (*Pleiades*) hâlâ bebek bezi kullanıyor olurdu.

Güneş'in metalliği 0,02'dir, yani kütesinin yalnızca yüzde 2'si hidrojen ve helyum dışındaki elementlerden oluşur.

Tabii ki bu teknik, yıldızın içeriğine bağlıdır. Bunun için de astronomlar, tayfölçümünü kullanırlar. Eğer bir yıldızdan gelen ışığı, prizmaya benzeyen tayfölçer adı verilen bir aletten geçirirseniz Fraunhofer'in Güneş tayfındaki siyah çizgilere benzer çizgiler elde edersiniz (bkz. 56. sayfa).

Bu soğurma çizgileri yani eksik renkler, yıldızın içindeki ısı-ğın belli renklerini yutan çeşitli elementler sebebiyle oluşur. O renk, Dünya'ya ulaşamamıştır. Bu tayf, renkli bir barkodu andırır ve tam olarak aynı işe yarar; yıldızın içinde neler olduğuna dair bilgiyi, yani kaç yaşında olduğunu, bizlere ulaştırır.

Yıldızların yaşam döngüsü

Doğum

Tıpkı insanlar gibi yıldızlar da doğar, büyür ve ölür. Yıldızlar, inanılmaz seyrek moleküler bulutların geniş ve güzel gaz sütunlarından oluşur. Bu moleküler bulutun her bir köşesinin bir santimine küçük bir küp yerleştirirsiniz; küpün içinde yüz tane gaz molekülü bulunur. Aynı küp, Dünya'da 100.000 trilyon hava molekülü barındırır. Bu küpü bir yıldızın kalbine yerleştirdiğinizde ise elde edeceğiniz parçacık sayısı 100 trilyon çarpı trilyon olur.

Öyleyse moleküler bulut gibi seyrek bağı bulunan bir şey, nasıl oluyor da hidrojeni helyuma dönüştürebilecek (yıldızların en büyük özelliği) kadar yoğun bir şeye dönüşüyor? Bahislerinizi çekim gücüne yatırın. Britanyalı astronom James Jeans

(1877-1946), bir moleküler bulutun, çekim gücüne kapılıp büzülmeğe başlamadan önceki maksimum kütesini hesaplamıştı. Astronomlar, buna Jeans kütesi diyorlar. Bu kütle ayrıca bulutun yoğunluğuna ve sıcaklığına da bağlı.

Bu büzülme, dış olaylar tarafından tetiklenebilir. İki moleküler bulut birleşip kütlelerini Jeans kütesinin üzerine taşıyabilir. Ya da yakınlarda bir yıldız patlar ve buluta doğru yoğun bir şok dalgası göndererek gazların bir araya gelmesine sebep olur, gerisini de çekim gücü halleder.

Moleküler bir bulut büzülürken daha küçük parçalara bölünür. Önyıldız (*protostar*) isimli bu küçülen bölümler, daha hızlı dönmeye başlar ve gittikçe de hızlanır, tıpkı bir buz patencisinin kollarını birleştirdiği andaki gibi. Sıcaklık ve basınç artmaya başlar, ta ki hidrojen, dönen bir gaz küresinin içinde helyuma dönüşene kadar, işte o an bir yıldız doğmuştur. Tüm bu süreç, on milyonlarca yıl sürer.

Astronomlar, Avcı (*Orion*) Nebulası gibi alanlarda bir yıldızın oluşumunu gözlemleyebilirler; bu nebula, Orion Kuşağı'nın üç yıldızı altında puslu bir leke olarak gözüken parlak bir yıldız fabrikasıdır ve teleskopsuz da görülebilir. Burası, Dünya'ya en yakın yıldız kreşidir. Yeni doğan yıldızların etrafında koyu ve düz moloz diskler de gözlemlenmiştir. Bunlara öngezegensel disk (ya da *proplyd*) adı veriliyor ve çekim gücünün, bu diskleri önce gezegensel yapılara, sonra da gezegenlere dönüştürdüğü düşünülüyor.

Kırmızı devler

Bir yıldız, yaşlandıkça daha fazla hidrojen tüketir ve en sonunda füzyon oranı düşmeye başlar. Bu, çekirdeği çekim gücüne karşı destekleyecek yeterli enerji üretilemediği anlamına

gelir. Çekirdek küçülür, sıcaklık ve füzyon oranı artar. Bu ana dizi parlaklaşması, 4,6 milyar yıldan (doğduğu andan) itibaren Güneş'in yüzde 30 daha fazla parlaklaşmasına yol açmıştır.

Güneş daha parlak ve daha sıcak olmaya devam edecek, bir milyar yıl içinde de Dünya'daki sıcaklıklar 100 santigrat dereceyi aşacak. Gezegenimiz, kavrulmuş ve sterilize edilmiş bir kayaya dönüşecek, okyanuslar kaynarak buharlaşacak. Yaşamın kaynağı Güneş, nihayetinde bir yok ediciye dönüşecek.

5 milyar yıl içinde, çekirdekteki hidrojen füzyonu tamamen sona erecek ve çekirdek daha da küçülerek sıcaklıkların 15 milyon dereceden, 100 milyon dereceye fırlamasına sebep olacak. Hidrojen füzyonu, aşırı sıcak çekirdeği çevreleyen bir kabuğun içinde tekrar başlayacak. Füzyonun tekrar başlaması, yıldızların evrimini gösteren Hertsprung-Russell diyagramında, Güneş'in ana diziden ayrılmaya başladığının işareti olacak (bkz. 132. sayfa).

Bu tekrar canlanmış füzyondan gelen enerji, Güneş'in dış katmanlarını dışarı doğru şişirecek ve en sonunda Güneş, bugünkü haline kıyasla yüz kat daha geniş bir hal alacak. Merkür, Güneş'in ateşten kucaklamasına yenik düşecek. Venüs de bu yok oluşta Merkür'e katılabilir. Güneş'imiz, ısısını çok daha geniş bir yüzey alanına yayacağından kırmızılaşmaya başlayacak. Sonunda ise bir kırmızı deve dönüşecek. Şu anki halinden iki bin kat daha fazla parlaklığı ile Dünya üzerindeki metali kolayca eritebilecek. Bu sürecin sonunda bizim gezegenimiz bile Güneş'in dış katmanlarına doğru çekilebilir.

Gezegenimsi nebulalar ve beyaz cüceler

Kırmızı devlerin çekirdeğinde, yükselmiş sıcaklık helyumu karbona ve oksijene füzyonlar. Ancak kütlesi Güneş'in sekiz katından daha az olan küçük yıldızlarda, karbona füz-

yonlama için yeterli sıcaklık ve basınç yoktur. Tüm helyum tükendiğinde geriye Dünya'nın boyutuyla aynı boyutta, yoğun bir karbon-oksijen çekirdeği kalır. Astronomlar, bu cisme beyaz cüce adını veriyorlar. Beyaz cüce, yeni bir ısı kaynağına sahip olmadığından nihayetinde soğuyup söner ve bir siyah cüceye dönüşür.

Bu noktada kırmızı devin dış katmanları, güçlü yıldız rüzgârlarıyla uzaya dağıtılmış olur. Bu, bir patlama değildir, en azından o kadar güçlü değildir. Gaz, merkezdeki beyaz cücenin etrafında kabuğumsu bir yapı oluşturur. Astronomlar bu cisimlere gezegenimsi nebula adını verir. Gelgelelim gezegenlerle bir ilgileri yoktur. Astronomlar ilk teleskoplarla bu gaz kabuklarını gördüklerinde onları gezegenlerin şekillerine benzettiler. Onları algılayışımız değişti, fakat bu yanlış isimlendirme baki kaldı.

Gezegenimsi nebular, gece göğünde görülebilecek en nefes kesici görüntülerden. Çalgı (*Lyra*) takımyıldızında bulunan gökkuşağı renkli Halka Nebulası (*Ring Nebula*) ve Ejderha (*Draco*) takımyıldızındaki Kedi Gözü Nebulası (*Cat's Eye Nebula*) en meşhur örneklerinden. Bu ihtişamlı gaz bulutlarının fotoğraflarına bakarsanız merkezde gizlenen beyaz cüceyi fark edebilirsiniz.

Kırmızı Üstdevler

Kütlesi Güneş'in sekiz katı civarında daha büyük olan yıldızlar ise daha farklı bir evrim geçirir. Başlangıçta süreç aynıdır, ancak daha sonra bu süreç büyük ölçüde değişir. İlk başlarda bu yıldızlar, kırmızı devlerden daha büyük yıldızlara dönüşür: *Kırmızı üstdevler*. Kırmızı üstdevler, Güneş'in genişliğinin bin katına kadar şişebilir. Ayrıca kırmızı devlerden çok daha parlak olurlar. Geceleri gökyüzümüzdeki en parlak yıl-

dızlardan bazıları, Avcı takımyıldızındaki Betelgeuse ve Akrep (*Scorpius*) takımyıldızındaki Antares, yaşamlarının bu dönemi içindedir. Güneş yerine Antares'i koysak dış kenarı Mars'ın yörüngesinin ötesine ulaşırdı. Diğer kırmızı üstdevler ise Jüpiter hatta Satürn'e kadar uzanabilirdi.

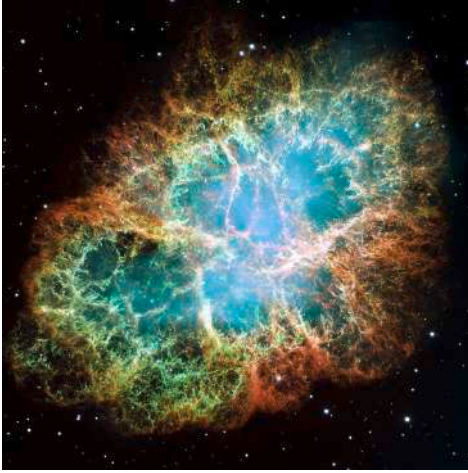
İşlerin değiştiği yer ise çekirdek. Bu yıldızların büyük hacmi, çekirdek sıcaklıklarının karbon füzyonu başlayana kadar arttığı, sonrasında ise magnezyum ve oksijen oluşturduğu anlamına geliyor. Çekirdek, karbonu tükenince iyice büzülüyor, sıcaklık tekrar artıyor ve oksijen füzyonu başlayarak açığa silisyum ve neon çıkartıyor. Bu şekilde giderek her defasında bir elementi tüketip çekirdeğin küçülmesine, sıcaklığın ise artmasına yol açarak füzyonu gerçekleştirecek yeni elementlerin önünü açıyor. Süreç ise gitgide hızlanıyor, her evre bir öncekinden daha kısa sürüyor. Devasa bir yıldız, 10 milyon yıl boyunca hidrojeni yakarak helyuma dönüştürebilir, son evre olan silisyumu demire füzyonlamak ise yalnızca bir gün sürüyor.

İşte o an süreç sonlanmak zorunda. Demir, periyodik tablodaki en kararlı elementtir ve füzyonlanamaz. Bu sebeple çekirdek, kullanılmamış elementlerin iç içe katmanları tarafından çevrilmiş merkez demir kütlesi ile bir soğan şeklini alır. Artık yıldızı çekim sebepli çöküşe karşı destekleyecek bir şey olmadığından, yıldızın kaderi çoktan çizilmiştir.

Süpernovalar

1054 yılında Çinli astronomlar, “konuk yıldız” adını verdikleri bir cismin beklenmedik ziyareti hakkında notlar aldılar. Âdeta hiçlikten gelen cisim, o kadar parlaktı ki bir ay boyunca gündüzleri bile gözüküyordu. Gece göğünden yavaş yavaş yok oldu, tamamen gözden kaybolması ise neredeyse iki yıl sürdü.

Bugün, şahit oldukları şeyin evrendeki en şiddetli ve en güçlü olaylardan bir tanesi olan süpernova patlaması olduğunu biliyoruz. Günümüz astronomları, Boğa (*Taurus*) takımyıldızındaki Yengeç Nebulası'nda (*Crab Nebula*) meydana gelen bu felaketin kanıtlarını tespit ettiler. Gaz, neredeyse bin yıl sonra bile, patlama noktasından saniyede 1.500 kilometre hızla uzaklaşmaya devam ediyor. Devasa bir yıldızın ölüm sancısı olan süpernova, 10 trilyon Güneş kadar parlak olabilir, bir günde yaydığı enerji ise yıldızın tüm yaşamı boyunca yaydığı enerjiden fazladır.



Boğa takımyıldızındaki meşhur Yengeç Nebulası (M1). Bu nebula, 1054 yılın-
da gerçekleşen bir süpernova patlamasının kalıntısı.

Süpernova, kırmızı üstdevin kalbinde oluşan yoğun demir çekirdeklerle başlar. Çekime direnemeyen çekirdek, bir saniyeden daha az bir sürede ışık hızının neredeyse çeyreği bir hızla kendi üzerine çöker. Bu da yine aynı hızla dışarıya doğru bir şok dalgası gönderip yıldızın dış katmanlarını yırtar ve etrafa saçır.

Patlamanın gücü, atomları etrafa gönderir ve demirden daha ağır elementler oluşturur. Bir süpernova, hem füzyonla dövmüş elementleri hem de patlamanın bizzat yarattığı elementleri

yıldızlararası uzaya fırlatır. Bu da moleküler bulutları geniş bir element yelpazesıyla besler, daha sonra bu bulutlar o alandaki herhangi bir yıldızın veya gezegenin parçası olur.

Herhangi bir mücevher kullanıyor musunuz? Altın, gümüş ve platin süpernovaların içinde dövüldü (ya da nötron yıldızı çarpışmalarında). Kanınızda bulunup vücudunuzu taşımanıza yardımcı olan demir ve oksijen de dev bir yıldızın içinde füzyonla oluşturuldu, sonra bir süpernova patlaması tarafından evrenin her yanına saçıldı. Süpernovalar, temel kozmik geridönüşümün en büyük parçası ve onlar olmasaydı burada olmazdık.

Nötron yıldızları ve atarcılar (pulsarlar)

Yengeç Nebulası'nın derinlerinde, geçmişin ihtişamlı bir yıldızının dumanlı kalıntıları duruyor. Yoğun demir çekirdeği kendi ağırlığı altında ezilince âdeta bir hiçliğe dönüştü. Demir o denli yoğun bir basınçla parçalandı ki nihayetinde her şey, atomların merkezinde bulunan nötr parçacıklara, yani nötronlara dönüştü. Güneş'ten sekiz ila otuz kat daha büyük olan yıldızların sonu bu şekilde geliyor; en sonunda geriye kalan şey bir süpernova kalıntısı oluyor.

Ancak, nötronların bir araya sıkışabilmesinin de bir sınırı var. Bu sınır, çekirdek yalnızca 30 kilometre çapı olan süper yoğun bir kütleye küçülünce patlamaya yol açıyor. Bir zamanlar Dünya'dan 100.000 kat daha geniş olan bir kırmızı üstdevin göksel kalıntıları, Londra'dan daha küçük bir top kadar kalıyor. Kütlenin büyük miktarı o kadar küçük bir alana sıkışıyor ki bir çay kaşığı kadar nötron yıldızı materyali, tam 10 milyon ton geliyor.

Yıldız sıkıştıkça dönüşü de hızlanıyor. Bir zamanlar bir dönüşü birkaç haftada tamamlayan yıldız, bu süreçte bir saniye-

de otuz kere dönüyor. Yıldızın manyetik alanı da sıkışıyor ve Dünya'nın manyetik alanından bir trilyon kat daha güçlü bir hal alıyor. Bu da aşırı ısınmış maddeleri, nötron yıldızının kutuplarından fırlayan güçlü ışınlar biçiminde hizaya sokuyor.

Bu, nötron yıldızını, uzaydaki bir deniz fenerine dönüştürüyor. Eğer hizaya giren ışınların doğrultusunda kalsaydık sürekli tekrar eden radyo dalgası atışlarına maruz kalırdık. Bu yüzden bu yıldızlara atarca yıldız diyoruz.

Atarcalar o kadar iyi tempo tutuyorlar ki 1967 yılında ilk kez bir tanesi, Anthony Hewish ve Jocelyn Bell tarafından keşfedildiğinde ona LGM-1 (*Little Green Men 1*)* adı verildi. Bu değişmez ritmin doğal bir kaynaktan çıkabileceğine kimse ihtimal vermiyordu. Bugün bu yıldızların, doğanın sunabileceği en iyi metronom olduğunu biliyoruz. O kadar ki astronomlar, galaktik internet ve GPS'in temelini oluşturmak için bu yıldızları kullanmayı tartıştılar. Ayrıca olası herhangi zeki bir medeniyete galaksideki yerimizi belli etmek için de birkaç kere bu yıldızları kullandık.

* LGM (Tr. Küçük Yeşil Adamlar): Yıldızın ritmi o kadar hızlıydı ki bilim insanları bu sinyalleri uzaylıların gönderdiği sinyaller sanmıştı, bu yüzden ismine LGM-1 dendi. (ç.n.)

GAMA IŞINI PATLAMASI

Süpernovaların çok güçlü olduğunu düşünebilirsiniz, fakat şiddetli gama ışını patlamalarına (GIP) kıyasla hiç de güçlü değiller. Bu patlamalar, Güneş'in 10 milyar yıllık varoluş süresi boyunca yaydığı enerjiyi kırk saniyelik kısa salvoları ile yayabiliyor ve milyarlarca ışık yılı uzaklıktan bile evrende parlak bir ışık noktası olarak gözükabiliyor. İlk kez, nükleer silahların yerini saptaması için tasarlanan Soğuk Savaş uyduları tarafından 1967 yılında keşfedildiler.

GIP'ler iki kategoriye ayrılıyor: İki saniyelik kısa patlamalar ve uzun patlamalar. Hâlâ büyük bir gizeme sahipler, ancak uzun GIP'lerin devasa yıldızların süpernova olarak patlaması sonucu ortaya çıktığına inanılıyor. Kısa GIP'ler ise bu patlamaların yüzde 30'unu oluşturuyor ve muhtemelen iki nötron yıldızının çarpışmasından kaynaklanıyor.

Neyse ki şu âna kadarki tüm GIP'ler uzak evrende tespit edildi. Güneş sistemimize nişan alan bir GIP, korkunç sonuçlar doğurabilir. Eğer Dünya bu ışına yakalanırsa (ki bu çok ama çok düşük bir olasılık) ozon tabakamız tamamen yok olurdu, bu da Dünya'daki biyoçeşitliliğin hızla ve geniş ölçüde azalmasına yol açardı.

Karadelikler

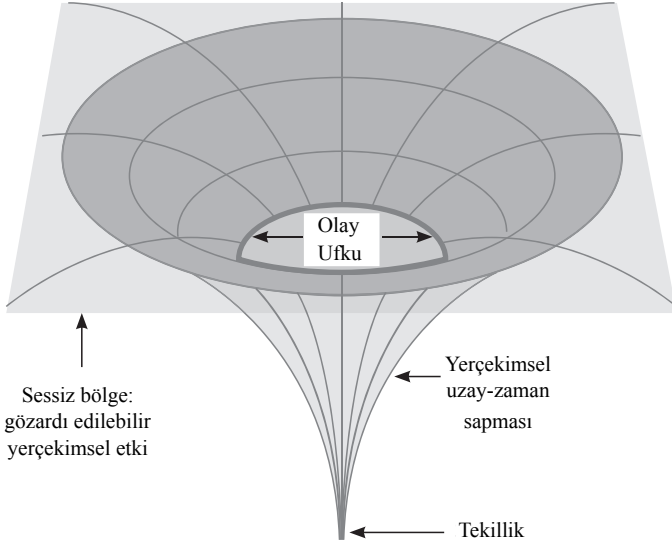
Çekim kuvveti çok zayıf bir güç. Ayağınızın altındaki 6 trilyon çarpı trilyon kilogramlık gezegene rağmen, havaya

zıplayabiliyor ya da bir uçakla uçabiliyorsunuz. Fakat bu özgürlüğünüz geçici, çünkü genelde yukarı çıkan bir şey aşağı inmelidir. Tabii bu şeyi yukarı doğru inanılmaz bir hızla fırlatmıyorsanız. Eğer yerden saniyede on bir kilometre hızla zıplarsanız Dünya'nın çekimi sizi geri çekmeden bu çekimden kurtulabilirsiniz. Bu sınır, roket bilimcilerinin yüklerini yörüngeye oturtabilmesi için ulaşmaları gereken *kurtulma hızına* denk geliyor.

Cismin kütlesi ve yoğunluğu arttıkça kurtulma hızı da yükselir. Jüpiter, Güneş, beyaz cüceler ve nötron yıldızları gibi cisimlerin giderek artan kurtulma hızları vardır. Yalnız, büyük yıldızların çekirdeklerinin çarpışması o kadar yoğun bir cisim ortaya çıkarır ki bu cismin kurtulma hızı ışık hızına kadar yükselir. Uzayda hiçbir şey ışık hızını aşamayacağından (bkz. 51. sayfa) hiçbir şey karadeliklerden kaçamaz. İsimlerini de buradan alırlar, karadılar çünkü üstlerine düşen ışık içeri emilir.

Eğer çok yaklaşırsanız sonsuza dek karadelinin çekim gücü tarafından esir edilirsiniz. Ne kadar güçlü olursa olsun hiçbir roket, sizi onun pençesinden kurtaramaz. Geri dönüşü olmayan noktaya “olay ufku” denir. Buradan geçerken özel herhangi bir şey görmezsiniz, ancak o andan itibaren kaderiniz tamamen değişecektir. Diyelim ki ilk olarak ayağınızı içeri attınız. Karadelik, kafanıza kıyasla ayağınızı daha çok çekecek. Sonunda ise bu fark, sizi bir arada tutan atomik bağların gücünü aşacak. Yani paramparça olacaksınız. Fizikçiler bu sürece “spagettileşme” adını veriyor.

Peki spagettileşen parçalarınız nereye gidiyor? Bu, günümüz fiziği için en çetrefilli sorulardan bir tanesi. Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı, (tam olarak) yıldızın çekirdeğinin sonsuz derecede küçük ve sonsuz derecede ağır bir noktaya çıktüğünü söylüyor. Bu noktaya “tekillik” adı veriliyor. Bu noktada zaman ve mekân, kelimenin tam anlamıyla duruyor. İçeri düşen maddelerin de tekilliğe eklendiği söyleniyor.



Çok devasa yıldızlar, öldüklerinde uzay-zamanı o kadar fazla bükerek ki içlerinden hiçbir şeyin kaçamayacağı karadelikler oluştururlar.

Yine de tüm hikâyenin bundan ibaret olması imkânsız; çünkü bu hikâye, evrenin kurallarını en küçük boyutlarda inceleyen kuantum fiziği yasalarının etkisini yok sayıyor (bkz. 153. sayfa).

Kütleçekimsel dalgalar

1 4 Eylül 2015, bilim tarihinde bir dönüm noktası oldu. O gün, evrene eşi benzeri görülmemiş bir pencere açtık. Hikâyemiz “çok, çok uzak bir galakside” başlıyor.

1.3 milyar yıl önce, her birinin kütlesi Güneş’in kütlesinin otuz katı büyüklüğünde olan iki karadeli, içe doğru baş döndüren bir ölüm sarmalında çarpıştılar. Çarpışma o kadar dehşet vericiydi ki devasa dalgalar uzay-zaman kumaşının ta kendisi-

ni aştı. Işık hızıyla uzaklaşan bu kütleçekimsel dalgalar, nihayet 2015 yılının Eylül ayında Dünya'ya ulaştı. Şansımıza bu dalgaları tespit edebilen makineleri yeni açmıştık. Ek olarak, diğer karadelik birleşmelerinden ortaya çıkan kütleçekimsel dalgaları da Kasım 2015, Ocak 2017 ve Ağustos 2017'de tespit ettik. İki nötron yıldızının birleşmesinin ardından ortaya çıkan dalgalar da Ağustos 2017'de tespit edildi. Yakında bu damlalar, bir göl olacak.

İlk keşif, yaklaşık yüz yıl önce yapılmaya başlandı. Albert Einstein Genel Görelilik Kuramı'nın bir parçası olarak 1915 yılında kütleçekimsel dalgaların varlığını öngördü. Bu dalgaları keşfetmemiz çok uzun sürdü, çünkü Dünya'ya ulaştıklarında minicik kalıyorlardı. Tıpkı bir su birikintisine bırakılan taşların oluşturduğu dalgalar gibi yavaşça yok oluyorlardı; çünkü 1,3 milyar ışık yılı, seyahat etmek için çok uzun bir mesafe.

Bu dalgalar, Lazer İnterferometre Kütleçekim Dalga Gözlemevi'nin (*LIGO*) Washington ve Louisiana'daki iki detektörü tarafından algılandılar. Her bir araç, birbirlerine dik açıyla yerleştirilmiş 4 kilometre uzunluğunda iki tane boş tünel barındırıyor. Lazerler bu tünellerin içine doğru ateşleniyor ve sondaki aynalara çarpıyorlar. Normalde, yansıtılan lazer ışınları, başlangıç noktasına aynı anda dönüyor. Ancak, eğer bir kütleçekimsel dalga bu ışınların yoluna çıkarsa tünellerin içindeki uzay (mekân) nispeten esniyor ve büzülüyor, çünkü kütleçekimsel dalgalar uzay-zaman kumaşında kırışıklıklar oluşturuyor. Bu da bir lazerin başlangıç noktasına, diğerinden daha önce ulaşması demek oluyor.

LIGO o kadar hassas bir yapıya sahip ki atomların merkezindeki pozitif yüklü parçacıkların, yani bir protonun genişliğinin 1/10.000'ine eşit bir mesafe değişimini bile algılayabiliyor. Başka bir şekilde söylersek LIGO, Proxima Centauri (bize Güneş'ten sonraki en yakın yıldız) yıldızına olan 40 trilyon kilometrelik

mesafede, bir insan saçının genişliği kadar bir mesafe değişimini algılayabiliyor.

Ekim 2017’de bu keşfin ardındaki üç fizikçi Nobel Fizik Ödülü ile ödüllendirildi. Bu saptamalar tamamen devrimseldi, çünkü evrende yalnızca bu dalgaları yayan bazı olaylar var. Artık gözlerimiz, bu olayları görmeye ilk kez hazır.

Zaman genişlemesi

1919 yılında gerçekleşen Eddington tutulmasından beri devasa cisimlerin, Einstein’ın Genel Görelilik Kuramı’na göre etraflarındaki uzayı büküğünü biliyoruz (bkz. 52. sayfa). Kütleçekimsel dalgalar da bu düşünceyi haklı çıkarıyor.

Oysa bükülen şey yalnızca uzay değil; zaman da bükülüyor. Einstein’ın mekân ve zamanın, uzay-zaman adı verilen dört boyutlu bir kumaşta iç içe olduğunu söylediğini hatırlayın. Bu da zamanın işleme oranının, bulunduğunuz uzay-zamanın ne kadar büküldüğüyle değişebildiği anlamına geliyor. Çok ağır bir cismin yanında durursanız sizin için zaman, bu cisimden uzakta olan birinin zamanına göre daha yavaş akacak.

Zaman genişlemesi, Dünya’da bile önemli bir olgu. Bir laboratuvarın farklı raflarında bulunan çok hassas atomik saatler sözkonusu olduğunda bile yere yakın olan raftaki saat senkronunu kaybeder. Ayrıca GPS uydularındaki saatleri de sürekli düzeltiriz, çünkü zaman Dünya’nın yüzeyinden uzak olan, yani uzay-zamanın daha az büküldüğü yerlerde daha hızlı akar.

Bu etki, bir karadelğin yanındayken çok daha açık bir hal alır. Gişe rekorları kıran “Yıldızlararası” (*Interstellar*) adlı filmde bir karadelğin etrafında dönen astronotlar için bir saat, Dünya’daki yedi yıla eşitti.

Birinin bir karadeliğe yaklaştığını izleyebilmeniz başlarına gelen her şeyin, giderek artan bir ağır çekimde gerçekleştiğini görürdünüz. Sonunda ise olay ufkunu geçmelerine yakın, âdetâ donduklarını görürdünüz. Sizin bakış açınıza göre onların zamanı neredeyse durma noktasına kadar yavaşlamış olurdu. Onların bakış açısına göre ise sizinki.

Buna kütleçekimsel zaman genişlemesi adı veriliyor, ancak hızınıza bağlı olan farklı bir türü de var. Usain Bolt'un sizi 100 metrelik bir yarışta yenebileceğini söylesem pek şaşırmazdınız. Uzayda sizden daha hızlı ilerliyor, çünkü sizden daha hızlı hareket ediyor. Fakat zamanda da sizden daha hızlı ilerlediğini söylesem belki şaşırabilirsiniz. Ne var ki bu gerçek; çünkü aslında ikiniz de uzay-zamanda yarışıyor olurdunuz. Bu örnekte fark o kadar minik ki bunu fark etmeniz imkânsız. Fakat çok daha büyük bir hız farkı, daha fark edilebilir bir etki yaratıyor.

Kozmonot Gennady Padalka, Dünya'nın etrafında en uzun süre dönme rekorunu elinde tutuyor; 1998 ve 2015 yılları arasında *Mir* ve Uluslararası Uzay İstasyonu'nda toplam 879 gün boyunca Dünya etrafında döndü. Saatte 28.000 kilometrelik bir hızla hareket ediyordu. Zaman genişlemesinin her iki türü de hesaba katıldığında, normalde olacağından 0,02 saniye daha genç. Bu da onu insanlık tarihinin en başarılı zaman yolcusu yapıyor, çünkü saniyenin ellide biri oranında kendi geleceğine seyahat etmiş sayılır.

Beyazdelikler ve solucan delikleri

Karadelikler, içinden bir daha kaçamayacağınız şeylerdir; bir beyazdelik ise asla geri dönemeyeceğiniz bir uzay alanıdır. Karadelikler yalnızca giriş, beyazdelikler ise yalnızca çıkış

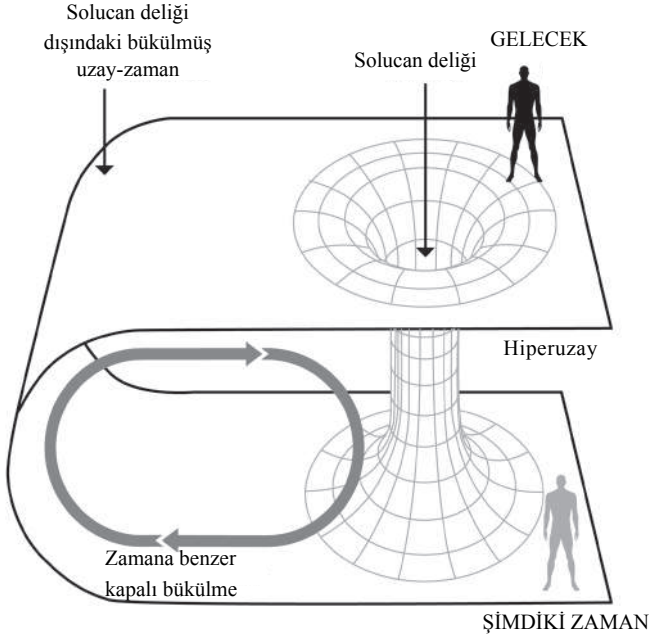
içindir. Şu an tamamen teorikler, Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı denklemlerinde matematiksel bir olasılık olarak varlar.

Dönen bir karadeliğin içindeki tekilliğe yaklaşan maddeye ne olduğu düşünülürken ortaya çıktılar. 1960'lı yıllarda Yeni Zelandalı fizikçi Roy Kerr, dönen bir karadeliğin içindeki tekilliğin tek bir nokta değil, bir halka olduğunu öne sürdü. Normalde tekilliğe katılan bir şey uzay ve zamandan silinir, ancak Kerr halkası ile hiçbir hasar almadan halkanın ortasından geçebilirsiniz.

Peki nereye gidersiniz? Kerr'in Einstein'ın denklemi için çözümü, diğer taraftaki beyazdelik tarafından dışarı atılmadan önce, Einstein-Rosen köprüsü olarak bilinen bir tünelden geçeceğinizi öne sürüyor. Bazıları evrenin başka bir köşesinde ortaya çıkacağınızı savunurken bazıları da bambaşka bir evrene gideceğinizi söylüyor. Her iki şekilde de beyazdelikler yalnızca çıkış için olduğundan geriye dönemezsiniz.

Einstein-Rosen köprüsü halk arasında “solucan deliği” olarak biliniyor. Bu isim, elmada gezinen bir solucanın verdiği kararlardan geliyor. Solucan, ya diğer tarafa sürünecek ya da ortadan bir yeri ısırarak daha kısa bir yoldan geçecek. Solucan delikleri, bilimkurgu filmlerinde uzay ve zaman kestirmeleri olarak kendilerine geniş ölçüde yer bulmuş durumda. Gerçekten de solucan delikleri, geçmişe ışınlanma için kullanılabilirler. Fakat, eğer varsalar, eğer “gerçekten” varsalar, muhtemelen çok dengesizlerdir ve kısa sürede kapanabilirler.

Yani şimdilik, hem beyazdelikler hem de solucan delikleri yalnızca matematiksel merakı perçinliyor, ancak Her Şeyin Teorisi'ni bulabilirsek bu durum değişebilir (bkz 153. sayfa).



Uzay-zamanı, kestirme yollar oluşturabilecek şekilde bükmek mümkün olabilir. Eğer böyle bir şey gerçekleşirse bu kestirmeleri zamanda yolculuk etmek için de kullanabiliriz.

Hawking Işması

Teorik Fizikçi ve Kozmolog Profesör Stephen Hawking, tüm profesyonel hayatını karadeliklerin garip doğası üzerine düşünerek geçirdi. En önemli katkılarından birisi, olan karadeliklerin gitgide buharlaştığını ileri sürdüğü fikri, “Hawking ışıması” olarak biliniyor.

Fizikçiler, boş gözüken bir alanın hiçbir zaman tamamen boş olmadığını bilir. Evren, sürekli olarak enerjiyi parçacık çiftleri-

ne dönüştürüyor, ancak bu parçacıkların varoluşları geçici. Tıpkı Sindirella'nın faytonu ve atları gibi hemen geri dönmek zorundalar, aksi takdirde fiziğin önemli kuralları ihlal edilmiş olurdu.

Hawking'in dâhiyane düşüncesi, bu sürecin bir karadelğin olay ufkunda gerçekleştiğini hayal etmektir. Eğer biri hâlâ dışarıdayken diğer parçacık karadelğin içine sürüklenirse bir daha asla geri dönemezlerdi; Sindirella örneğinden gidersek asla bal-kabağına dönüşemezlerdi.

Bir karadelik, parçacıklar kaçtıkça yavaş yavaş enerjisini kaybediyor olmalı. Hawking ışımasını oluşturan şeyler de bu parçacıklar. Fakat yavaşça demek biraz yetersiz bir ifade. Bir buzul çağı bile bu süreyi karşılayamaz. Çünkü Güneş ile aynı kütlede bir karadelğin tamamen buharlaşması için gereken süre, tam olarak 20 milyon x katrilyon x katrilyon x katrilyon x katrilyon yıl. Bu, 2 rakamından sonra 67 tane sıfır koymanız gerektiği anlamına geliyor!

Aynı zamanda bu, karadeliklerin tamamen kara olmadığı anlamına geliyor, Hawking ışıması sayesinde az da olsa parıldıyorlar.

Her Şeyin Teorisi

Stephen Hawking'in, karadeliklerin Hawking ışıması aracılığıyla buharlaşması üzerine olan çalışması fizikteki en büyük iki teoriye dayanıyor: En küçük ölçekteki parçacıkları inceleyen kuantum mekaniği ve Einstein'ın genel göreliliği.

Karadelikler, bu iki olgunun da önemli olduğu eşsiz çevreler. Normalde, çekim kuvvetini veya gezegenlerin yörüngesini inceleyen kuantum fiziği hakkında düşünmenize gerek yok. Benzer şekilde, atomların nasıl çalıştığını açıklarken de çekim kuvvetiyle ilgilenmenize gerek yok. Bir karadelik ise bunların hepsinden farklı. Bir yıldız çökerken çok yüksek miktarda madde küçücük

bir alana sıkışır. Bu da çekim kuvvetinin artık atomik ölçülerde de önemli olduğu anlamına gelir.

Genel görelilik, çekim kuvvetinin bükülmüş uzay-zamanın bir sonucu olduğunu açıklar. Eğer kurallarını harfiyen takip ederseniz bir karadeliğin uzay-zamanı, mekan ve zaman kavramlarının yok olduğu tekillik adı verilen sonsuz küçüklükte ve sonsuz ağırlıkta bir noktaya dönüştürdüğünü görürsünüz. Ancak bir şeyin sonsuz küçüklükte ve sonsuz ağırlıkta olması ne demek? Ayrıca kuantum fiziği kurallarının da atomdan daha küçük bir alan için mutlaka söyleyecekleri vardır, değil mi?

Fizikçiler bu konuların farkında ve kuantum fiziğiyle genel göreliliği tek bir teoride birleştirmeye çalışıyorlar: Evrendeki en küçük atomaltı parçacığından en ihtişamlı galaktik süper kümelere kadar, her şeyi açıklamada kullanılabilecek bir sistem. Bu sistemin adı ise “Her Şeyin Teorisi” (HŞT).

Fakat bu görev fizikçileri her defasında hayal kırıklığına uğratmayı başardı. İki teori, bir türlü birbiriyle geçinemiyor. Birbirleriyle tamamen uyumsuzlar, birinin diğerine uygulanması bağdaşmayan farklılıklar yaratıyor. Bu da fizikçileri uç olasılıkları keşfetmeye itiyor; alışık olduğumuz üç uzay bir zaman boyutundan daha fazla boyut olduğunun ileri sürülmesi bunlardan yalnızca birisi.

(Süper) Sicim teorisi ve Kuantum Çekim Döngüsü

Son yıllarda Sicim teorisi, CBS kanalındaki meşhur *The Big Bang Theory*’nin sosyal yönden başarısız dâhisi Sheldon Cooper sayesinde popüler kültürün önemli bir parçası oldu. Sicim teorisi, kuantum fiziği ve çekim kuvvetini Her Şeyin Teorisi’nde birleştirmeye çalışan fizikçilerin denediği teorilerden biri.

Temel önerme, etrafımızda gördüğümüz her şeyin en niha-

yetinde, titreşen küçük sicimlerden oluştuğuna dayanıyor. Tıpkı bir müzik enstrümanındaki sicimleri (telleri), farklı notalar yaratmak için çaldığınız gibi, sicimlerin farklı titreşimi de farklı atomaltı parçacıklarını oluşturuyor. Bu teori, süper simetri adı verilen teori (bkz. 178. sayfa) ile birleştirildiğinde ise “süper sicim teorisi” olarak adlandırılıyor.

Sicim teorisyenleri, bu modeli kullanarak kuantum fiziği ve genel göreliliği matematiksel olarak birleştirebiliyor; fakat denklemler yalnızca dokuz boyutlu uzay olasılığında işe yarıyor. Bizim neden yalnızca üç boyutlu bir dünyayı deneyimlediğimiz sorusu karşısında ise fizikçiler, diğer boyutların çok küçük bir şekilde büküldüğünü ve görünmediklerini öne sürüyorlar. Ancak şu an için bu ek boyutların varlığını kanıtlayacak veya süper sicim teorisinin mükemmel bir matematik serabından fazlası olduğunu gösterecek bir şey bilmiyoruz.

The Big Bang Theory’nin ilk bölümlerinde Sheldon’ın ezeleli düşmanı, Kuantum Çekim Döngüsü üzerinde çalışan rakibi Leslie Winkle isimli fizikçiydi. Leslie, kuantum fiziği ve çekim kuvvetini farklı bir açıdan birleştirmeye çalışıyordu.

Einstein, uzay-zaman kumaşının (çekim kuvvetini oluşturmak için) devasa cisimler tarafından kesintisiz olarak büküldüğünü söylemişti. Buna karşın, kuantum fiziğinde hiçbir şey kesintisiz değildir. Kuantum Çekim Döngüsü, uzay-zaman kuantumunun kesintisiz olmadığını, aksine birlikte bir kumaş oluşturmak için kapalı döngülerden yapılmış düğümler olduğunu söyler. Yani bir yatak takımı gibi. İlk başta kesintisiz bir kumaş gibi gözükabilir, fakat mikroskopla baktığınızda çarşafların altında bağımsız dikişlerden oluştuğunu görürsünüz.

Bu tabloya göre uzay-zaman pürüzsüz değil, aksine pürüzlü. Bunun test edilmesi mümkün. Astronomlar, uzak galaksilerden bize doğru seyahat eden ışığın yolda bu temel yapı tarafından değiştirilip değiştirilmediğini görmek için bekliyorlar.

Ötegezegenler

Yaşama elverişli bölge

Yörüngedeki uydu donanmamız sayesinde Dünya'nın yukarıdan çekilmiş muhteşem fotoğraflarına sahibiz. Bu görüntülerin en vurucu olanlarından bazıları, geceleri ışıltılı metropoller medeniyetin ışığıymış gibi parlarken çekilmiş fotoğraflardan oluşuyor. Gezegenimizde teknolojik bir türün egemen olduğu gayet aşikâr.

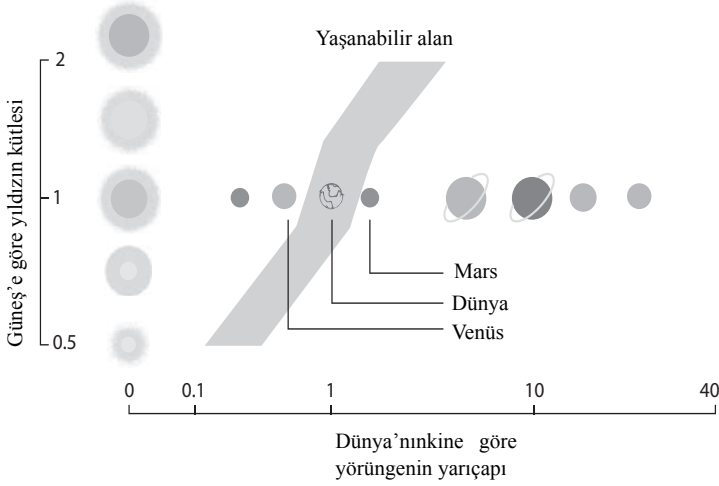
Akdeniz'in güneyindeki bölgeye baktığınızda bu daha da açık bir hal alıyor. Kuzey Afrika'nın çorak ve kuru toprakları, aşırı yoğun Avrupa'ya kıyasla, birkaç elektrik ışığıyla aydınlanıyor. Fakat kıtanın kuzeydoğu köşesinde, bir Noel ağacı gibi ışıldayan bir alan var: Nil deltası. Suyun az olduğu bu bölgede insanlar, Dünya'nın en uzun nehrinin kıyılarına üşüşmüş.

Bu, suyun Dünya'daki yaşam için ne denli önemli olduğunun kanıtı. İnsan yaşamı, gezegenimizi en derinlerden bulutlara kadar, büyük ölçüde kolonileştirdi. Ancak şu âna kadar keşfedilen tüm yaşam türleri, hayatta kalabilmek için sıvı H₂O'ya bel bağlamış durumda. Bu yüzden doğal olarak su, uzayın başka bir köşesinde yaşam bulma konusunu düşünen astronomların aradıkları ilk şey.

Dünya, bir yıldızın etrafında, ısının yaşama uygun olduğu dar bölgede, yani *yaşama elverişli bölgede* bulunuyor. Gezegen yıldızla çok yakın olursa su kaynar, çok uzak olursa da donar. Bu da yaşama elverişli bölgenin, neden bazen *Goldilocks Bölgesi* olarak adlandırıldığını açıklıyor. Tıpkı bu masaldaki* gibi çok sıcak veya

* Goldilocks ve Üç Ayı: Ormanda gezinen Goldilocks isimli küçük bir kızın, ormandaki ayların evine girmesi ve her şeyi “büyük, orta, küçük” gibi sınıflandırmasını konu alan çocuk hikâyesi. (ç.n.)

çok soğuk değil, tam orta seviyede bir alanı niteliyor. Günümüzde astronomlar, dünya dışı yaşam bulma ümidiyle başka yıldızların yaşama elverişli bölgelerinde bulunan gezegenleri arıyorlar.



Yaşama elverişli bölge, yıldızın etrafındaki sıcaklıkların sıvı su oluşumu için uygun olduğu dar bir alandır. Yıldızın sıcaklığına bağlı olarak değişebilir.

Fakat bakılması gereken tek yer bu bölge değil. Güneş sistemimizdeki Europa ve Enceladus uyduları, geleneksel anlamda yaşama elverişli bölgede bulunmasa da yüzeyinde sıvı su barındıran okyanuslara sahip. Isıları da Jüpiter ve Satürn'le girdikleri çekimsel etkileşimlerden geliyor. Yani başlangıç için güzel bir nokta, bu yüzden yaşam arayışımızı sadece yıldızların yaşama elverişli bölgeleri ile sınırlamamalıyız.

KIRMIZI CÜCELERDE YAŞANABİLİRLİK

Yaşama elverişli bölgeler, seyyar festivaller gibi. Konumları yıldıza bağlı. En sıcak O ve B yıldızlarının etrafındaki gezegenler, suyun kaynamaması için yıldızdan bir hayli uzak olmak zorunda. En soğuk K ve M yıldızlarının, yani kırmızı cücelerin etrafında dönen gezegenler ise sıcak kalmak için yıldızın yakınına sokulmak zorunda.

Bu yakınlık bir problem oluşturabilir, çünkü yaşama elverişli bölgede kütleçekim kilidine (tıpkı Ay'ın Dünya'nın etrafında olması gibi) yakalanmış gezegenin, bir yüzü sürekli yıldıza dönük olacak. Bir taraf pişerken diğer taraf donacak. Kırmızı cüceler ayrıca, güçlü yıldız ışımaları ve yoğun morötesi ışınlar yayıyor ki ikisi de biyoloji için tehdit oluşturuyor.

Ortakdaki durum ise iç açıcı değil, çünkü yıldızların yüzde 75'ini kırmızı cüceler oluşturuyor; bu da üstünü çizmemiz gereken birçok yaşama elverişli bölge ihtimali demek. Ancak yakın zamanda astronomlar, bilgisayarlari kullanarak bu yıldızların etrafındaki gezegenlerin atmosferlerini çıkardılar ve hepimize bir nebze umut aşıladılar. Bu modeller, rüzgârların ısıyı gezegenin etrafına eşit bir şekilde dağıtabileceğini, yani yaşam için biraz daha uygun bir çevre oluşturabileceğini ortaya çıkardı.

Transit yöntemi

Diğer yıldızların etrafındaki ötegezegenleri bulmak kolay bir iş değil. Bakış açımızı değiştirip oralarda bir yerde bir uzaylı medeniyetinin olduğunu ve Güneş'in etrafında dönen yaşanabilir bir gezegen bulmaya çalıştıklarını hayal edelim. İlk olarak Güneş, Dünya'dan bir milyon kat daha büyük. Ayrıca şiddetli bir ışıkla parlıyor, buna karşın Dünya'nın kendine has doğal bir aydınlatması yok. Problem, bizi Güneş'ten sonra en yakın yıldızın oralarda bir yerlerde aradıkları düşünülünce daha da karmaşık bir hale geliyor. Proxima Centauri adı verilen bu yıldız, bizden 40 trilyon kilometre (4,2 ışık yılı) uzaklıkta. Bu durumda yabancı bir gezegeni aramak büyük bir samanlıkta küçücük bir iğne aramaya benziyor; ancak bu samanlık o kadar uzakta ki bırakın iğneyi, samanlığı bile zar zor görüyorsunuz.

Bu zorluklar astronomları, doğrudan gözlemlenemeyen ötegezegenlerin varlığı hakkında bilgi kazanmamızı sağlayacak zeki yöntemler keşfetmeye itti. Bu tekniklerden biri *transit* (geçiş) *yöntemi*. Eğer bir ötegezegen, bizimle yıldız arasında dosdoğru bir geçiş yaparsa gelen ışığın bir kısmını engelleyecek ve yıldızın geçici olarak daha sönük görünmesini sağlayacak.

Gezegenlerin yıldız ışığını engellediği bu basit fikirden yola çıkarak ötegezegenler hakkında birçok şey öğrenebiliriz. Gezegen ne kadar büyükse o kadar çok ışığı engelleyecek ve yıldız daha sönük gözükecek. Eğer düzenli aralıklara sahip birkaç transit görürsek aralarındaki boşluk sayesinde gezegenin yıldızın yörüngesini ne kadar zamanda döndüğünü bulabiliriz. Gezegen, bu dönüşü uzun sürede tamamlıyorsa yıldızdan uzakta olduğunu biliriz; bunu kullanarak da yaşama elverişli bölgede olup olmadığını söyleyebiliriz.

2009 yılından beri NASA'nın Kepler uzay teleskopu, yüzlerce hatta binlerce yıldızla bakarak ötegezegen geçişlerinin yol açtı-

ğı parlaklık azalmalarını arıyor. Bu arayış, oralarda neler olduğu hakkındaki düşüncelerimizi kökten değiştirdi. Şimdiye dek 2.000'den fazla yabancı dünya bulundu, üstelik bazıları yıldızlarının yaşama elverişli bölgelerinde dönüyor (bkz. 162. sayfadaki “Şimdiye dek neler bulduk?” başlığı).

Dikeyhız yöntemi

Tüm ötegezegenler, varlıklarını bir geçiş aracılığıyla bizlere bildirmiyor. Eğer gezegen, bizimle yıldızı arasındaki doğru bir çizgiden geçmezse yıldızın parlaklığında herhangi bir değişiklik göremeyiz. Yukarılardan bir yerden Güneş'in kuzey kutbuna doğru baktığınızı düşünün, bu açıdan varlığı kabul edilmiş sekiz gezegeninin hiçbirinin geçişini göremezdiniz.

Ancak gezegenlerin, yıldızlarına uyguladığı başka bir etki daha var, üstelik bu da gözlemlenebilir. Güneş'in gezegenlere uyguladığı çekim kuvvetine aşınayız, fakat gezegenler de yıldızlarını çekiyor.

Özellikle Jüpiter ve Satürn'ün çekimi, Güneş'in azıcık sallanmasına neden oluyor. Bu sallanma, yıldızdan bize ulaşan ışıktaki bazı değişiklikler yaratıyor; bu durum Doppler etkisi olarak adlandırılıyor.

Doppler etkisine, sesle ilgili olaylardan aşınayız. Bir ambülans size doğru hızlanırken sireni bir aralığa sahiptir, araç sizi geçtiği anda ise ses açık bir biçimde değişir. Bunun sebebi ses dalgalarının, ambülans yaklaşırken birbirine kenetlenmesi, uzaklaşırken de esnemesidir. Işık da tıpkı bir dalga gibi hareket eder, fakat değişen şey aralığı değil, rengidir. Bizden uzaklaşan ışık kaynakları daha kırmızı gözüktür (kırmızıya kayma), bize doğru yaklaşan ışık kaynakları ise daha mavi gözüktür (maviye kayma).

KÜTLEÇEKİMSSEL MİKROMERCEKLEME

Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı'na göre devasa cisimler etraflarındaki ışığı büker. Eddington, 1919 yılındaki tutulmayı fotoğraflamasıyla bunu kanıtlanmış oldu (bkz. 55. sayfa). Devasa cisim, bir yıldızın önünden geçerken uzak yıldızın ışığını tıpkı bir lens gibi büyütür. Bu duruma kütleçekimsel mikromerceklemeye adı verilir. Öndeki cisim (lens), örneğin bir yıldız gibi tekil bir cisimse büyütme çok simetrik olur. Arka plandaki cisim birkaç haftalığına daha parlak bir hal alır ve yine aynı sürede yavaş yavaş solar. Ancak eğer yıldıza bir gezegen eşlik ediyorsa o zaman bu büyütmede bazen büyük bir artış gerçekleşir, çünkü gezegen kendi merceklemesine katkıda bulunur. Bu durum, ana lensin bir kusuru varmışçasına işler.

Kütleçekimsel merceklemeye, yıldızlarından uzak olan gezegenleri bulmak için kullanışlıdır. Bu yöntem, yıldızlara yakın gezegenlerin kendi yıldızlarında sallanmalar yaratması ya da yıldızlarında oluşturduğu karartılara sebep olan dikeyhız ve transit yöntemlerini tamamlayıcı niteliktedir.

Pratikte bu yöntem şöyle işliyor: Astronomlar yıldız ışığını, yıldızın yaşını öğrenmeye yarayan ve barkoda benzeyen siyah emilim çizgilerini görmek için tayfölçer kullanarak bölüyorlar (bkz. 135. sayfa). Bir ötegezegenin, yıldızını tekrar eden bir döngüde önce bize doğru, sonra da bizden uzağa doğru titrettiğini düşünün. Yıldızın emilim çizgileri de bir ileri bir geri, önce maviye, sonra ise kırmızıya dönüşecek.

Dikeyhız yöntemi adı verilen bu teknik artık o kadar hassas

ki bir yıldızın hızının, saniyede bir metre değişmesini bile algılayabiliyor. Bunu bir düşünün. Yüzlerce trilyon kilometrelik bir uzaklıktan, bir yıldızın “yürüyüş hızındaki” değişiklikleri tespit edebiliyoruz.

Dikeyhız ölçümleri, bizlere o gezegenin ne kadar büyük olduğunu söylüyor. Gezegen ne kadar ağırsa yıldızının da o kadar çok sallanmasına ve siyah emilim çizgilerinin bir ileri bir geri daha fazla kaymasına neden oluyor.

Şimdiye dek neler bulduk?

Perdeleri, günün ikinci gündeğumunu izlemek için tam zamanında açtınız. Dışarıya adınızı attığınız an düzlükte bir değil, iki gölge tarafından takip ediliyorsunuz. Gün sonunda bir güneş, ufuk çizgisindeki diğer güneşi kovalıyor. Bu alışılmadık manzara, Kepler-16b’nin herhangi bir sakini tarafından deneyimlenebilecek bir şey.

2011 yılında keşfedilen gezegen, iki yıldızın etrafında dönen ilk gezegen örneğinin inkâr edilemez bir kanıtı oldu. Çift günbatımları, çift gün doğumları ve çift gölgelerle birlikte iki güneşiniz her üç haftada bir, birbirleriyle tutulmaya giriyorlar. İzlemesi ne muhteşem bir manzara olurdu.

Kepler-16b, ilkinin keşfedildiği 1996 yılından beri, yıldızların etrafında bulduğumuz binlerce ötegezegenlerden yalnızca bir tanesi. Başlarda bizim Güneş sistemimizin kopyalarını bulacağımızı sanmıştık, fakat daha sonra, bizimki gibi bir “mahalle”nin nadir olabileceği gerçeğiyle yüz yüze geldik.

İlk keşfedilen ötegezegenlere “sıcak Jüpiter’ler” adı veriliyordu. Bu gezegenler devasa boyutlarda, yıldızlarının etrafındaki dönüşlerini birkaç saatte tamamlıyorlar ve üzerlerindeki sıcaqlıklar kayayı bile eritecek kadar yüksek. Diğer gezegenlerin

sıcaklıkları, aşırı eliptik yörüngeleri dolayısıyla çlgınca değişiyor. HD 80606b'nin üzerindeki sıcaklıklar, yıldızına en yakın olduğu dönemde, 800 kelvinden 1.500 kelvine yalnızca altı saat içinde değişiyor. Kepler-11 sisteminde ise altı gezegen var; ancak bu gezegenlerin beşi yıldızlarının etrafını Merkür'ün Güneş'e olan yakınlığından daha yakın bir şekilde dönüyorlar. 55 *Cancer* e isimli gezegenin yüzeyi ise sıcak ve basınçlı ortamında oluşan elmaslarla kaplı olabilir.

Fakat doğal olarak ötegezegenlerin en çok dikkat çekenleri, bizim sistemimize en çok benzeyenler. 2014 yılında astronomlar, yıldızının yaşama elverişli bölgesinde keşfedilen ilk Dünya boyutunda gezegen olan Kepler-186f gezegenini buldular. Bu keşfi bir yıl sonra Kepler-452b takip etti. 2017 yılına gelindiğinde astronomlar, TRAPPIST-1 yıldızının etrafında yedi tane Dünya benzeri ötegezegen keşfedildiğini, üç tanesinin de yaşama elverişli bölgede bulunduğunu açıkladılar. Hatta, Güneş'ten sonra bize en yakın yıldız olan Proxima Centauri'nin etrafında dönen yaşanılabılır bir gezegen olma olasılığı bile var.

Bununla birlikte "olası" kelimesine ihtiyatla yaklaşmak gerekiyor. Aslında tüm astronomlar, eğer gezegenin atmosfer yapısı Dünya'nın atmosferi ile benzeşiyorsa o zaman sıcaklıkların, muhtemelen sıvı su için uygun olduğunu söylüyorlar. Gezegenin yaşanılabılır olduğunun, hatta üzerinde su bulunduğunun garantisini vermiyorlar. Bu yüzden bir sonraki görevleri, ötegezegenlerin atmosfer bileşenlerini incelemek ve üstlerinde su bulunduğunu kanıtlamak oluyor.

DEV DÜNYALAR

Güneş sistemimizde küçük kayalık gezegenler ve dev gaz gezegenler var. İkisinin arasında, orta seviye bir gezegen yok (Dokuzuncu Gezegen'i hesaba katmadığımızda). Ötegezegen araştırmalarında karşılaştığımız en büyük sürprizlerden biri yeni bir gezegen sınıfı keşfetmemiz oldu: Dev Dünyalar.

Kayalıklar. Ama kütleleri bizim gezegenimizin külesinden birkaç kat daha büyük ve çok daha güçlü bir çekim kuvvetleri var. Bunun yaşam için bir destek mi yoksa köstek mi olacağı ise büyük bir tartışma konusu.

Zeminleri çok daha düz olmalı, çünkü buradaki dağlar Dünya'da olduğu gibi yüksek şekiller alamıyorlar. Dünya'nın yüzeyi kabaca yüzde 70 su, yüzde 30 karadan oluşuyor; ancak dev dünyalar, deniz yüzeyinin üzerindeki ufak kara parçaları ile gerçek bir su dünyası olabilir. En büyük kara parçaları ise tamamen su altında olabilir. Kütleleri büyük olan gezegenlerin daha sıcak ve daha büyük çekirdekleri oluyor, bu da daha güçlü bir manyetik alan sağlayarak gezegeni Güneş'in tehlikeli tesirlerinden ve kozmik ışınlardan koruyor.

Ayrıca güçlü çekim kuvveti, daha fazla gazın tutulabileceği anlamına geliyor, yani bu gezegenler daha kalın bir atmosfere sahip. Bu, astronomlar için bir nimet, çünkü zengin atmosferlerin özelliklerini saptamak daha kolay.

Atmosferlerin özelliklerini saptamak

Su an, yüzde 21'i oksijenden oluşan bir atmosferin içinde nefes alıyorsunuz. Etrafta oturup hiçbir şey yapmasanız bile her gün 550 litrelik madde tüketiyorsunuz. Bu, tüm hayatınız boyunca 16 milyon litre ya da 22 ton oksijenden daha fazlasına denk geliyor.

Problem ise şu: Oksijenin burada olmaması gerekirdi. Tepkimeye çok açık bir gaz, bu yüzden atmosferdeki diğer elementlerle birleşip yeni kimyasal bileşenler oluşturabiliyor. Fakat hâlâ size (ve herkese) yetecek kadar var. Bunun için diğer yaşam türlerine teşekkür etmeliyiz. Bitkiler, ağaçlar ve okyanustaki mikroplar, tüketilen oksijeni yerine koymak için fotosentez aracılığıyla oksijen üretiliyorlar.

Bu, oksijeni biyo-imza gaz yapıyor, yani bir gezegende bol miktarda varsa orada yaşam da olabilir. Astronomlar, yıldızlarının yaşama elverişli bölgelerinde bulunan Dünya boyutundaki ötegezegenlerin atmosferlerinde, bu tür gazları aramak için can atıyorlar. Ancak bu kolay bir iş değil.

İyi haber şu ki bu süreç daha önce çok daha büyük ötegezegenlerde test edildi, özellikle atmosferleri aşırı sıcak sebebiyle şişmiş sıcak Jüpiter'ler üzerinde. 2017 yılında astronomlar, bizim gezegenimizden yalnızca yüzde 40 büyük olan dev dünya, GJ 1132b'nin atmosferini bile ölçümlledi. Dünya boyutundaki gezegenlerin atmosferlerini inceleyebilecek teleskoplar şu an yapım aşamasında ve çok yakında etkin bir şekilde kullanılacaklar.

Bu teleskoplar, yıldızların nelerden yapıldığını çözmek için astronomların kullandığı tekniği kullanacaklar: Tayfölcümü (bkz 56. sayfa).

Bir ötegezegen ev sahibi yıldızının önünden geçerken yıl-

dız ışığının bir kısmı, bu gezegenin atmosferinden geçip bizim teleskoplarımıza olan seyahatine devam eder. Ancak atmosferdeki kimyasal bileşenler ışığın belli bir dalgasını yutacağından bazı renkler bize ulaşamaz. Bu da renktayfının, siyah emilim çizgilerini içermesine neden olacak ve atmosferin nelerden oluştuğunu bulacağız. Bu arayışımızda oksijenle birlikte, su ve diğer biyolojik gazların (metan gibi) olup olmadığına da bakıyoruz.

Öteuydular

Şu ana kadar dikkatimizin çoğunu ötegezegenlere verdik. Şüphesiz da sayılmayız, mantıklı bir ilk adımdı; çünkü bildiğimiz tek yaşam bir gezegenin üzerinde başladı. Buna rağmen uzun süredir bilimkurgu yazarları, yaşamın bir uydunun üzerinde de var olabileceğini düşündüler. *Avatar*'da hikâye, gaz gezegen Polyphemus'un etrafında dönen yemyeşil ve kayalık uydu Pandora'da geçiyordu. *Yıldız Savaşları*'nda Ewokların evi ormanlık bir uydu olan Endor'du. *Doctor Who* serisinde de Doktor, emekli olup yüzme havuzları ile ünlü Kayıp Poosh Uydusu'na gitmeyi düşünüyordu.

Yaşama elverişli bölgesinde kayalık gezegen bulunmayan bir yıldızın çevresinde yaşam barındıran dünyalar olması hâlâ olası. Jüpiter'i Güneş'in yaşama elverişli bölgesine doğru sürüklessek uydularından bazılarının durumları yaşam için konforlu bir hal alırdı. Fakat bir ötegezegeni bulmak bile yeterince zor, bu yüzden öteuyduları tespit etmek için limitleri gerçekten zorlamamız gerekiyor.

Ancak bu, New York'taki Columbia Üniversitesi'nden David Kipping ve ekibini durdurmadı. Uyduların çekim kuvveti, yıldızının etrafında dönen gezegeni zaman zaman hızlandırır-

yor ve yavaşlatıyor. Bu durum da gezegen geçişlerinin beklenenden beş dakika erken ya da geç gerçekleşmesini sağlıyor. Bu ipuçlarını bulmak, muhteşem kesinlik gerektiren bir iş ve tam olarak Kepler uzay teleskopunun başarabileceği limitlerde. Çünkü bir gezegen hakkında bu hesaplamaları yapmak, sizin bilgisayarınızın tam olarak elli yılını alırdı.

Hal böyleyken 2017 yılının yazında astronomi topluluğu, Kepler-1625b sistemindeki olası bir öteuydu söylentileriyle çalkalanıyordu. Görünüşe göre oralarda bir yerlerde Jüpiter boyutlu bir ötegezegen kilitlenmiş Neptün boyutunda bir uydu olabilir. Şu an bu satırlar yazılırken Kipping ve ekibi, tarihi bir keşif olabilecek bu buluşu onaylama umudu ile Hubble Uzay Teleskopu'nda biraz zaman geçirmek ve uyduya yakından bakmak için başvuruda bulundu.

Galaksiler

Samanyolu

İsmi ve görünümü

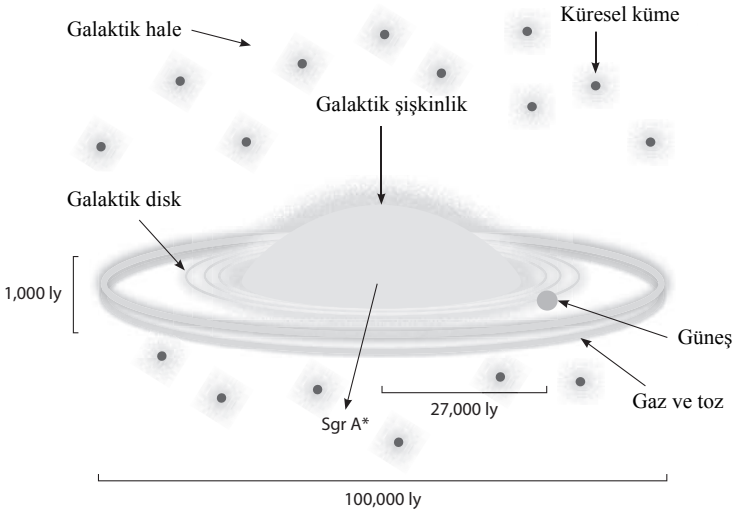
Amerikan yerlilerinin hikâyelerinde buraya “Köpeğin Kaçtığı Yol” denir; bu ismin kaynağı hırsızlık yapan köpeğin ağzından düşen mısır taneleriyle kurulan ilişkidir. Doğu Asya’da ismi, “Cennetin Gümüş Nehri”dir. Yeni Zelanda’nın Maori halkı da buraya baktığında kocaman bir kano görmüştür. Grekoromen mitolojisinde ise ismini Herkül’ün Hera’dan emdiği sütün gökyüzüne saçılmasından alır.

Gece göğünün bir ucundan diğerine uzanan bu tozlu ve parlak kavis, İngilizce konuşulan dünyadaki bilimsel adını da bu son hikâyeden alıyor: *Milky Way**. Yaklaşık 30 derecelik bu ışık çizgisi, yıldız kümeleri ve karanlık toz şeritleriyle dolu. Ancak birçoğumuz onu hiç görmedik. Kuzey Amerika’daki insanların yüzde sekseni, ışık kirliliğinin çok fazla olduğu alanlarda yaşıyor, bu yüzden onu hiç göremediler. Dünya nüfusunun üçte biri de

* İng. Milky Way (Sütlü Yol). Samanyolu ismi Türkçeye, Amerika yerlilerinkine benzer bir şekilde “Saman hırsızının döktüğü samanların olduğu yoldan” geliyor. (ç.n.)

aynı durumda.

Karanlık, kırsal bir yere gidip onu kendi gözlerinizle görmek, girilen zahmete değer. Belki tartışılır, fakat gece göğünün sunabileceği en muhteşem görüntülerden birisidir o. Galileo, onu teleskopla gözlemleyen ilk insan oldu ve sayısız yıldız gördü. Bir dürbünle bile baksanız yıldızlar ve tozlarla dolu bir gökyüzünü görürsünüz. Büyük Çatlak (*The Great Rift*) ve Kömür Çuvalı Nebulası (*Coalsack*), yıldızlardan yoksun belirgin karanlık bölgeler. Dev molekül bulutları, ötelerinde yatan yıldızları görmemizi engelliyor.



Galaksimiz Samanyolu, şişkin merkezi ve sarmal kollarıyla düz bir disk şeklindedir; her şey, karanlık madde halesinin içinde bulunur.

Gezegenimizin her yerinden görülebilse de asıl olay Yay (*Sagittarius*) ve Akrep (*Scorpius*) burç takımyıldızlarında yatıyor. Bu bölgenin en iyi görülebildiği yerler ise 30 derece enlemleri, çünkü tam üstünden geçiyor. Bu çizgi de Şili ve Arjantin'den Güney Afrika'ya, oradan da Avustralya şehirleri Perth ve Brisbane'e uzanıyor. Dünyanın en iyi teleskoplarının bu çizgiye yakın yer-

lerde inşa edildiğine şaşırmamalı. Astronomlar, Samanyolu'nu ve gizemlerini incelemek için en önden yer kapmak istiyorlar.

Şekli, boyutu ve içeriği

Samanyolu'nu bir çizgi olarak görmemizin sebebi, içinde yaşamamız. Kendisi sarmal bir galaksi, dışarıdan bakıldığında şekli art arda kırılmış iki yumurtayı andırıyor. Ortasında, etrafı çok daha düz bir diskle çevrili, yumurta sarısına benzeyen bir şişkinlik var. Biz, galaksinin ortasındaki küçük sarmal kolların birinin üzerinde bulunuyoruz.

Yay takımyıldızına baktığımızda diskin içinden doğrudan kalabalık merkez bölgeyi inceleyebiliyoruz. Gözlerimizi, Avcı (*Orion*) ve Arabacı (*Auriga*) takımyıldızlarından, galaksinin öteki tarafına çeviriyoruz.

Samanyolu'muzun içeriği ve boyutu hakkındaki tahminler çok çeşitli. Gelgelelim astronomlar, galaksinin en az 100.000 ışık yılı genişliğinde olduğunda hemfikirler. Bu, 1 milyon x 1 trilyon kilometre gibi upuzun bir mesafe anlamına geliyor. Yani, galaksinin bir ucundan 100.000 yıl önce (*Homo sapienler* gezegeni hâlâ Neandertallerle paylaşıırken) gönderilen ışık, diğer ucuna daha yeni ulaşmış olurdu.

Bunu farklı bir örnekle anlatalım. Güneş ile Kuiper Kuşağı arasındaki mesafeyi, serçe parmağınızın boyutuna küçülttüğünüzü varsayalım. Bu ölçeğe göre Samanyolu; bir ucu Londra'da, diğer ucu da Kingston'da (Jamaika) olmak üzere Atlantik Okyanusu boyunca uzanırdı. Galaksi ile kıyasladığımızda Güneş, minicik kalıyor.

Galaksi çok geniş olabilir, ancak Samanyolu'nun ortalama bir diski yalnızca 1.000 ışık yılı kalınlığında. Bu disk, Güneş'e ve en düşük ihtimalle 100 milyar, en yüksek ihtimalle de 400 milyar yıldız ev sahipliği yapıyor. Kepler uzay teleskopunun verilerine

dayanan tahminler, yıldızlarının yaşama elverişli bölgesinde bulunan 60 milyon gezegen olabileceğini ileri sürüyor.

Diskteki yıldızlar, merkezin etrafında saat yönünün tersine doğru dönüyorlar. Bu, Güneş'in etrafında dönen gezegenlerin dönüş yönüyle aynı. Güneş'in Samanyolu'nda bir tur dönüşü yaklaşık olarak 220 milyon yıl sürüyor; astronomlar bu süreye bir *kozmik yıl* adını veriyorlar.

Sarmal kollar

Samanyolu'nu dışarıdan göremiyoruz, çünkü ayırlamayacağımız kadar büyük. *Voyager* araçlarının hızı ile en kısa yolu bile kullansak galaksinin dışına çıkmak 5 milyon yıl alırdı. Eğer bunu yapabilseydik galaksimizin en vurucu niteliği olan sarmal kolları görebilirdik.

Dört geniş yıldız ve gaz zinciri, galaksinin merkezindeki çıkıntından uzanan merkez bir çubuk etrafında kıvrılıyor. Sonra onlara en az iki tane daha küçük kol katılıyor, bu kollardan birinde Güneş bulunuyor. Bu modeli, galaksimizdeki yıldızların nasıl hareket ettiğini gözlemleyerek ve geniş evrendeki diğer sarmal galaksileri inceleyerek çıkarabildik.

Uzun yıllar boyunca sarmal kollar, büyük merak konusu oldu. İlk bakışta her kolu, merkezin etrafında birlikte hareket eden tek bir yıldız grubu sanmıştık. Fakat bu doğru olamazdı. Çünkü sarmal galaksiler görece daha hızlı dönüyorlar, bu yüzden bu kollar zamanla üst üste binerdi. Galaksiyi birkaç kulvarı olan bir yarış pisti olarak düşünün. Tıpkı pistin iç tarafındaki yarışçılar gibi, merkeze yakın olan yıldızlar dıştakilerin önüne geçerdi. Böylece bu "kol" şeklinin bozulması, birkaç yörüngeyi tamamlamaya bakardı.

1960'lı yıllarda Çinli astronomlar C. C. Lin ve Frank Shu, bu sarmal kolların aslında "trafik sıkışıklığı" gibi olduğunu fark

etti. Biri fren yapınca onun arkasındaki herkes de fren yapıyor. Sorun yaratan araç hızlanıncaya kadar, bu sıkışıklık trafiğin en arkasına doğru tıpkı bir dalga gibi yayılıyor. Trafikte arabaların çok yoğun olduğu bir yere gelince yavaşlarsınız. Yıldızlarda da durum aynıdır. Ayrıca moleküler bulutlar, böylesi bir sıkışıklığa girerseler çöküyorlar ve yeni yıldızlar doğuruyorlar (bkz. 137. sayfa). Bu da sarmal kollarda neden bu kadar çok yıldız oluşumu gördüğümüze açıklık getiriyor.

Astronomların *yoğunluk dalgası* dedikleri bu trafik sıkışıklıklarının herhangi bir otobanda karşılaşamayacağınız bir durumu var. Bir yıldız, yoğun bölgeye yaklaşırken halihazırda yoğunluğun içinde olan yıldızların toplu çekimiyle hızlıca çekiliyor. Yıldız burayı atlattığında ise çok yavaş hareket etmeye başlıyor, çünkü bu sefer de arkasındaki yıldızlar onu geri çekiyor. Yani yıldızlar, bu yoğunluk dalgaları ve sarmal kollarin ısrarı sebebiyle çok vakit harcıyorlar.

Galaktik merkez

Güneş, sönmüş Hawaii yanardağının üzerinden batıyor, bu sırada Keck Gözlemevi de gölgelere bürünüyor. Gözlemevindekiler, gece perdelerini yavaşça açıyorlar ve içerideki on metrelik aynaları ortaya çıkarıyorlar. 1990'lı yılların ortalarından beri astronomlar, Mauna Kea yanardağının üstündeki bu teleskopları kullanarak Samanyolu'nun merkezinden Dünya'ya ulaşan antik ışıkları inceliyorlar.

Amaçları, galaksideki her şeyin etrafında döndüğü şeyin tam olarak ne olduğunu anlamak. 27.000 ışık yılı boyunca uzanan gaz ve tozun arasından Sgr A* (*Sagittarius A Star*) olarak bilinen bir radyo dalgaları kaynağının etrafında pır pır eden yıldızları tespit ettiler. Yıldızların hızlarını ve Sgr A*a olan uzaklıklarını kullanarak etrafında döndükleri cismin kütlesini hesaplayabili-

riz. İpuçları, bu cismin 4 milyon Güneş kütleğinde olduğunu ileri sürüyor. Yörüngesindeki yıldızların kararlı kalabilmesi için çapının 12 milyon kilometreden küçük olması gerekiyor (Merkür'le Güneş arasındaki mesafenin beş katı ya da Güneş'in çapının 8,5 katı). Bu kadar muazzam bir kütleli, görece bu kadar küçük bir yere sıkıştırabilecek tek şey bir süperkütleli karadelik.

Yani şu an Güneş bizi, saatte yaklaşık bir milyon kilometrelik hızla, bir karadeliğin etrafında sürüklüyor. Neyse ki içeri çekilmeyecek kadar uzaktayız, fakat astronomlar buraya tehlikeli şekilde yaklaşan cisimler de gördüler. 2011 ve 2014 yılları arasında Sagittarius G2 adlı bir gaz bulutunun, bu karadeliğin kenarından geçmesini izlediler. Başta boşluğa çekileceğini düşündüler, ancak görünüme göre bulutun içinde bulutun dağılmasını engelleyen bir yıldız vardı.

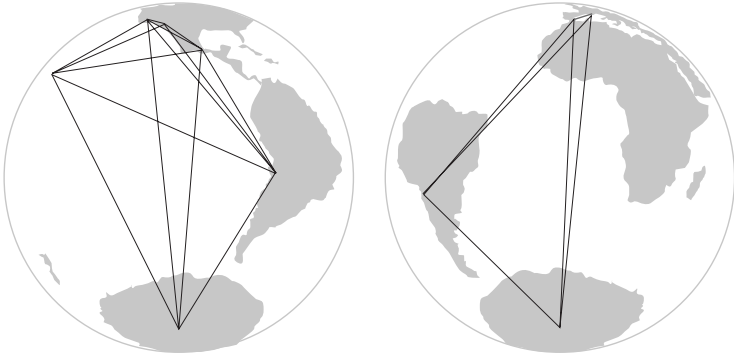
Sagittarius B2 isimli başka bir bulut, 400 yıl önce karadelik tarafından üretilen radyasyon seline tutuldu. Bu, Sgr A*ın o zamanlar şimdikinden bir milyon kat daha aktif olduğunu gösteriyor ki bu süre kozmik ölçeğe göre görece yakın bir zaman demek.

Olay Ufku Teleskopu

Galaktik merkez, Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı'nı test etmek için harika bir laboratuvar. Sgr A*ın etrafında dönen yıldızlar, bu teorinin şu âna dek test edildiği herhangi bir yerdeki çekimden yüz kat daha büyük bir çekim gücüne maruz kalıyorlar. Merkür'ün Güneş'e yakınlığı, bizlere Newton'ın çekim gücü hakkında oluşturduğu fikirlerin bazı kusurları olduğunu göstermişti (bkz. 54. sayfa); yani Samanyolu'nun merkezindeki karadeliğin etrafında dönen yıldızlar da Einstein'ın fikirlerinde ufak tefek gedikler bulabilir. Karşımıza çıkan herhangi bir farklılık, bizleri başarılı bir Her Şeyin Teorisi'ne yönlendirebilir (bkz. 153. sayfa).

Keck teleskopları, bunu başarabilmek için merkez yıldızları izlemeye devam edip pek çok yol katedecek. Ancak Einstein'ı gerçekten spot ışıkları altında görmek istiyorsak bu karadeliğe çok daha yakından bakmamız gerekecek. İlk amacımız, olay ufkunun hemen dışındaki uzay-zamanın nasıl büküldüğünü görmek (bkz. 149. sayfa).

Genel görelilik, bir karadeliğin dairesel bir gölgesi olması gerektiğini öne sürüyor, teoriye göre bu gölge, başlangıçta sizden uzaklaşan, fakat daha sonra karadeliğin muazzam çekim gücü tarafından size doğru geri bükülen ışıktan halkanın içindeki kara bir alan. Eğer bu gölgenin dairesel olmadığı ya da beklediğimizden çok daha farklı bir boyutu olduğu ortaya çıkarsa işte o zaman, bir dönüm noktasındayız demektir.



Bir karadeliğin etrafındaki alanı görebilmek için Dünya boyutunda bir teleskopa ihtiyacımız var. Bu sebepten dolayı astronomlar, dünyadaki teleskopları birbirlerine bağlayarak Olay Ufku Teleskopu'nu oluşturdu.

FERMİ BALONCUKLARI

Galaksimiz, bizlere hâlâ sürprizler yapıyor. 2010 yılında astronomlar, öncü bir bilim insanı olan Enrico Fermi'nin adını taşıyan Fermi Uzay Teleskopu'nu kullanarak galaktik merkezden çıkan iki adet geniş gama ışını baloncuğu buldu. Diskin üstünde ve altında bulunan Fermi Baloncukları, her bir yöne doğru 25.000 ışık yılı mesafeye kadar uzanıyor. Her biri, içinde 2 milyon Güneş oluşturabilecek kadar serin gaz bulunduruyor. Astronomlar bu baloncukların 6 veya 9 milyon yıl önce oluştuğuna inanıyor ki bu da Samanyolu gibi yaşlı bir galaksi için bir kalp atışı kısalığında demek. Oluşumları, yüzlerce hatta belki de binlerce Güneş kütlesindeki bir gaz bulutunu yutan Sgr A* tarafından tetiklendi. Fakat her şey içeri çekilmedi. Bazı maddeler karadeliğin etrafında hızlandılar ve tekrar galaksiye saçıldılar. Baloncukların bu düzgün ve yuvarlak yapısı, bu enerjinin çok kısa bir süre içinde yayıldığını gösteriyor.

Muhtemelen bu olay, Sgr A*'ın tıkabasa doyduğu son ziyafetti; o zamandan beri sıkı bir diyetle ve yalnızca bir şeyler atıştırıyormuş gibi gözüküyor. Diğer galaksiler, çok daha doymaz iştahlı karadeliklere sahip.

Ancak bu kadar küçük bir cisme 27.000 ışık yılı mesafeden odaklanmak hiç kolay bir iş değil. Bu iş için gereken teleskop, Hubble Uzay Teleskopu'nun çözünürlüğünden iki bin kat daha büyük bir çözünürlük istiyor. Bu güce sahip bir teleskopu inşa etmek imkânsız, çünkü yapabilirsek bile boyutu Dünya kadar

olurdu. Bu yüzden astronomlar daha akıllıca bir alternatif ürettiler. ABD, Meksika, Şili, Antartika ve İspanya'daki teleskopları birbirlerine bağladılar ve böylece neredeyse tüm gezegen kadar geniş bir teleskopu "taklit" ettiler. Olay Ufku Teleskopu, 2017 yılında Sgr A* a ilk bakışını attı; çok yakında Einstein'ın teorilerini nihai sınavına sokacak.

Dönüş problemi

Görünüşte Samanyolu, kocaman bir Güneş sistemi gibi. Ortada kocaman bir kütle var ve birçok küçük cisim bu kütlelenin etrafında dönüyor. Fakat daha yakın bir inceleme, sarmal galaksilerin aslında gezegensel sistemlerden çok farklı olduğunu gösteriyor.

Güneş'ten dışarı doğru ilerlemeye başlayın, her gezegen bir diğerinden daha yavaş dönecek, bu yüzden bir turu tamamlamaları da daha uzun sürecek. Merkür bu turu 88 günde tamamlarken Neptün 165 yıla ihtiyaç duyuyor. Bu sebeple, galaktik merkezden uzaklaştıkça yıldızların da dönüş hızlarının yavaşladığını düşünebilirsiniz. Ancak yavaşlamıyorlar.

Samanyolu'nun bu dönüş problemine sahip olduğuna dair ilk ipuçları 1930'lar gibi erken bir dönemde ortaya çıktı. Oort Bulutu'na da ismini veren Hollandalı astronom Jan Oort, galaksinin ucundaki yıldızlara bakıp hızlarını ölçüyordu. Bu yıldızların çok hızlı hareket ettiğini gördü. Böyle bir hızla bu yıldızların, Samanyolu'nun çekiminden kurtulup galaksiler arası uzaya çıkmaları gerekirdi. Gelgelelim bunu yapmıyorlardı, bu sebeple Jan Oort, galaksinin çekiminin düşündüğümüzden çok daha güçlü olduğunu ileri sürdü.

Oort'un çalışmaları büyük ölçüde unutulmuştu ki 1960'lı yıllarda meşaleyi Amerikalı astronom Vera Rubin devraldı. Bir

sonraki on yıllık dönemde Vera Rubin, yüzlerce sarmal galaksinin dönüşünü inceledi ve aynı olgunun oralarda da var olduğunu gördü. Sarmal galaksilerin ucundaki yıldızlar, merkezdekiler kadar hızlı hareket ediyordu. Rubin, 2016 yılının Noel gününde, birçok kişi tarafından Nobel Ödülü alması gerektiği söylenirken hayatını kaybetti (Nobel Ödülleri ölümünden sonra verilmiyor).

Karanlık madde

Bu dönüş problemine getirilen en meşhur açıklamalardan biri, galakside ekstra bir görünmez kütlenin var olduğu. Bu karanlık madde, hızlı hareket eden yıldızların galaksiden ayrılmaması için gereken ilave çekimi sağlıyor olabilir. Gerçekten de Oort, 1930’lu yıllarda, gizlenmiş cisimlerin görünen cisimlerden üç kat daha fazla olabileceğini öne sürmüştü.

Bu konudaki önde gelen fikirlerden birisi galaksinin, içinde birçok sayıda “Büyük kütleli, sıkı hale cisimler (*Massive Astrophysical Compact Halo Objects* - MACHO)” barındırdığı. Evet, astronomlar kısaltmaları çok seviyor. Temelde bu cisimler, tıpkı karadelikler veya nötron yıldızları gibi normal cisimler, fakat fiziksel olarak o kadar küçükler ki görülmeleri çok zor; birlikte ise o kadar ağırlar ki çekim gücündeki açığı kapatabilirler.

Ancak artık bu kütle açığını, Oort’un yapabileceğinden çok daha kesin bir sonuçla ölçebiliyoruz. Görebildiğimiz şeyler, Samanyolu’nun kütesinin yalnızca yüzde 10-12’sini oluşturuyor. Bu, büyük kütleli sıkı hale cisimlerin tek başına dolduramayacağı kadar büyük bir boşluk. Bu cisimler uzak bir yıldızın önünden geçerken ışıklarını kütleçekimsel mikromerceklemeye ile büyütüyoruz, bu yolla onları zaman zaman tespit edebiliyoruz (bkz. 161. sayfa). Şu âna dek bu olayla çok sık karşılaşamadık, bu sebeple dönüş problemine elle tutulur bir çözüm olarak sunabileceğimiz yeterlikte hale cisim olup olmadığını bilemiyoruz.

Astronomlar, şu an için karanlık maddenin WIMP'ler (*Weakly Interacting Massive Particles* - Zayıf etkileşimli büyük kütleli parçacıklar) halinde geldiğini düşünüyorlar. Zayıf etkileşimli olarak adlandırılmalarının sebebi, ışıkla etkileşime girmemeleri (bu sebeple onları göremiyoruz). Büyük kütleliler, çünkü çekim gücündeki bu açığı kapatmak zorundalar. MACHO'ların aksine WIMP'lerle daha önce hiç karşılaşmadık. Bu cisimler, galaksilerin dönüşünü açıklamak için parçacık fizikçileri tarafından "hayal edilmiş" yepyeni bir madde türü.

Etrafımızda gördüğümüz her şey, Standart Model'de bulunan parçacıklardan yapılmış. Bu model, parçacık fizikçileri tarafından zamanla geliştirilmiş, evren için bir yemek kitabı gibi. Fakat Standart Model'deki hiçbir bileşen, karanlık madde gibi hareket etmiyor. Bununla birlikte fizikçiler, süpersimetri adı verilen ve Standart Model'in daha geniş bir hali olan bir model üzerinde çalışıyorlar (süper sicim teorisini incelerken karşılaşmıştık, bkz. 154. sayfa). Süpersimetri, Standart Model'de bulunan her parçacığın, bir "ayna parçacığa" sahip olduğunu öne sürüyor. WIMP'ler, bu süpersimetrik parçacıkların en hafifi, yani nötralinolar olabilir.

WIMP'lerin peşinde

Güney Dakota'da, yeryüzünün 1,5 kilometre altındaki terk edilmiş altın madeninde, 70.000 galon suyla korunan bir depo ksenon elementi bulunuyor. Bu sırada Antartika'da buzun altına gömülü detektörler açık vaziyette. İsviçre'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda parçacıklar, ışık hızına yakın bir hızda çarpışıyor. Dünya'nın üstünde ise AMS-02 deneyi, Uluslararası Uzay İstasyonu'na bağlı bir şekilde her 92 dakikada bir Dünya'nın çevresini dönüyor. Fizikçiler, tüm bu araçları evrenin en çok aranan şeyini bulmak için kullanıyorlar: WIMP'leri.

Eğer karanlık madde gerçekten süpersimetrisinin bir parçasıysa CERN'deki fizikçiler, süpersimetrisinin yalnızca kâğıt üstünde hoş gözükten bir teoriden fazlası olduğunu kanıtlamak zorunda.

WIMP'ler gerçekten varsa her bir dakikada biri vücudunuza vuruyor. Ancak, etrafınızda bu kadar çok olay gerçekleşirken onları tespit etmek imkânsıza yakın. Bu yüzden Güney Dakota'daki altın madeninde yapılan Büyük Yeraltı Ksenon (LUX) deneyi, su ve kaya ile korunuyor. Bu deney, ksenona vuran gezgin WIMP'lerin çıkardığı ışık parlamalarını tespit etmek için tasarlandı.

Güney kutbunda gerçekleştirilen IceCube (Buz Küpü) deneyi ise donmuş tundra ile korunuyor. Bu deney, dolaylı WIMP kanıtlarının peşinde. Eğer galaksimiz karanlık maddeyi içeriyorsa o zaman Güneş bu maddenin birazını Samanyolu'nun etrafında dönerken çekim gücüyle süpürmeli. Bu da WIMP'lerin yıldızımızın içinde birbiriyle çarpışabileceği anlamına geliyor. Hesaplamalar da böylesi bir olayın, Güneş'ten ayrılabilen yüksek enerjili nötrinolar oluşturabileceğini öne sürüyor ki deneyin amacı da bu nötrinoları yakalamak.

Son olarak Alfa Manyetik Tayfölçer (AMS-02) ise Uluslararası Uzay İstasyonu'ndaki otostopu süresince Samanyolu'nun merkez şişkinliğini incelemekle meşgul. Oradaki maddelerin çok daha sıkı bir şekilde durmasından dolayı, WIMP çarpışmaları çok daha fazla gerçekleşmeli. Bu olayların "pozitron" adı verilen ardışık parçacıklar (elektronların antimadde karşılıkları) oluşturduğu düşünülüyor. Galaktik merkezin yakınındaki pozitronların çok fazla olduğunu bulabilirsek elimizde kesin bir kanıt olabilir. Bu konuda içimizde ümitler uyandıran pozitron patlamaları da bulundu. Ancak astronomlar, daha az egzotik açıklamaları henüz eleyemedi.



Uluslararası Uzak İstasyonu üzerinde yörüngeyi dönen AMS-02 deneyi, Samanyolu'nun kalbindeki karanlık madde çarpışmaları tarafından üretilen pozitron artışlarını taryor.

Gördüğünüz gibi fizikçiler bir WIMP'i kapana kısırmak için inanılmaz uğraşlara katlanıyorlar. Buna rağmen şu âna kadar tüm araştırmalardan eli boş dönüldü. Yine de bu, hâlâ elimizdeki en iyi fikir; fakat yakında bir tanesini keşfedemezsek tekrar çizim tahtasına döneceğiz. Bambaşka bir fikrin (MOND) avukatları, bu kanamayı gördü ve olaya el koymak için bekliyorlar.

Değiştirilmiş Newton Dinamikleri (MOND)

Karanlık maddeye, galaksideki yıldızların hızlarından sorumlu olan yeterli çekim gücünü neden göremediğimizin sebebini bulmak için ihtiyacımız var. Bu sebeple, bu açığı kapatmak için biz de görünmez bir madde ürettik.

GALAKSİ HALESİ

Sarmal bir galaksi düz görünebilir, ancak bu, o galaksinin yalnızca görünen kısmını oluşturuyor. Samanyolu, karanlık maddeden oluşan geniş bir halenin içine gömülmüş gibi gözüküyor. Bu hale, sıkılmış bir plaj topunu andırıyor ve yanlardaki karanlık maddeye kıyasla, yukarıdaki ve aşağıdaki karanlık madde daha fazla.

Astronomlar, Samanyolu'nun etrafında dönen cüce galaksileri inceleyerek bunun bir haritasını çıkardılar. Galaksimizin etrafında bu küçük uydulardan yaklaşık elli tane var, her birinin içinde ise Samanyolu gibi bir galaksiye kıyasla çok daha az yıldız bulunuyor (bkz. 186. sayfa). Tıpkı süperkütleli karadeliğin Sgr A*'ın kütesini etrafında dönen yıldızlar aracılığıyla hesapladığımız gibi, bu cüce galaksi uyduları da Samanyolu'nun kütesini ölçmek için kullanıyoruz.

Galaksi halesi ayrıca birçok küresel kümeye de ev sahipliği yapıyor (bkz. 136. sayfa). Antik yıldızların oluşturduğu bu yoğun gruplar, dürbünlerle veya teleskoplarla bakılınca bile muhteşem bir manzara sunuyor. Samanyolu'nun küresel kümelerinin yüzde 40'ı ters yörüngede, yani diskteki yıldızların tersi bir yönde dönüyor. Bu, tıpkı bizim Güneş sistemi-mizdeki ters dönen uydular gibi, onların da muhtemelen ele geçirilmiş cisimler olduğu anlamına geliyor.

Fakat ya çekim gücünü düzgün anlayamıyorsak? Ya yeterli çekim gücünü göremememizin sebebi aslında bu gücün galaksiler kadar büyük ölçekte nasıl işlediğini bilmememizse? İşte bu, Değiştirilmiş Newton Dinamikleri (*Modified Newtonian Dynamics* - MOND) savunucularının ileri sürdüğü fikir. MOND'a göre çekim, Newton tarafından öne sürülen evrensel bir kanun değil; yani daha büyük ölçeklerde değiştirilmesi veya düzenlenmesi gerekiyor. Bu fikir, 1983 yılında İsraili fizikçi Mordehai

Milgrom tarafından önerildi.

Sarmal galaksideki sıradan bir yıldızın ivmesi, Newton'ın yere düşerken izlediği sözde elmanın ivmesinden yaklaşık olarak 10 milyar kat daha düşük. Milgrom, Newton'ın denklemlerini böylesi düşük ivmeler için tekrar düzenlememiz gerektiğini öne sürdü. MOND teorisyenleri de düşük çekim çevrelerindeki cisimlerin, bizim normalde beklediğimizden birazcık daha güçlü bir çekime maruz kaldıklarını söylüyorlar.

KURŞUN KÜMESİ

Dünya'dan yaklaşık 4 milyar ışık yılı uzakta bulunan Kurşun Kümesi (*Bullet Cluster*) aslında çarpışma sürecinde olan iki galaksi kümesi. Astronomlar, bu birleşmeden yayılan sıcak gazın haritasını çıkardı. Aynı zamanda içeride dağılmış kütlenin ne kadar olduğunu, kümenin uzak cisimlerden gelen ışığı büktüğü bilgisini (kütleçekimsel mikromerceklemeye) kullanarak buldular (bkz. 161. sayfa).

Sıcak gaz ile kütlenin yoğunluğu arasında büyük bir ayırım var. Kütlenin yoğunluğu bu yüzden görünmez olmalı. Birçokları, bunu karanlık maddenin varlığı için kesin kanıt ve MOND taraftarlarına karşı reddedilemeyecek bir delil olarak görüyor. Ancak geçtiğimiz yıllarda MOND destekçileri, bu farklılığı da açıklayan yollarla geldiler.

Karanlık maddenin muhalifleri aynı zamanda bu kümelerin saniyede 3.000 kilometreyle çarpıştığı gerçeğine işaret ettiler. Bu kadar büyük hızlar, karanlık maddenin ilk bilgisayar modellerinde ortaya çıkmıyordu. Fakat sonradan modellere bu hızlara uyması için ince ayar çekildi. Bu sebeple Kurşun Kümesi, tartışmanın ana damarı olarak varlığını sürdürüyor.

Herhangi bir bilimsel teorinin ciddiye alınması için, teorinin deneye tabi tutulabilecek varsayımlar öne sürmesi gerekiyor. MOND taraftarları da bu değiştirilmiş denklemleri on yedi cüce galaksinin Andromeda (Samanyolu'na en yakın büyük galaksi) etrafındaki yörüngelerini tahmin etmek için kullandı. Sonuçları âdeta nokta atışıydı.

Ancak MOND, uç bir teori olarak kaldı. Birçok astronom ve kozmolog, karanlık madde görüşünden yana. Bunun sebebi karanlık maddenin fiziksel varlığının, evrenin başlarındaki yapısının nasıl oluştuğunu açıklamamıza da yardımcı olacak olması. Karanlık maddenin çekim gücü, Büyük Patlama'dan sonra genişleyen bir evren içindeki sıradan maddelerin, yıldızlara ve galaksilere kümelenmesine yardımcı oldu.

Ayrıca karanlık madde, Andromeda ve Samanyolu'nun neden şu an bir çarpışma rotasında olduğunu da açıklıyor (bkz. 191. sayfa). Evrenin genişlemesine rağmen birbirimize doğru yol alıyoruz, bu sebeple galaksilerin içinde görebildiğimiz yıldızların oluşturabileceği çekim gücünün seksen katı daha güçlü bir çekim gücünü sağlayacak madde olması gerekiyor.

Drake Denklemi

İlk ötegezegenin keşfedilmesinden çok daha önce, astronomlar Evrenin başka bir köşesinde yaşam olma ihtimali hakkında merakla düştüler. 1600'lü yıllarda Giordano Bruno, yıldızların Güneş'in uzak halleri olduğunu öne sürdü ve etraflarında gezegenlerin hatta belki de yaşayan canlıların olabileceğini söyledi (bkz. 29. sayfa).

1960'ların başlarında Amerikalı radyo astronomu Frank Drake, Samanyolu'ndaki akıllı medeniyetlerin ne kadar olduğunu varsayabileceğimiz bir yol keşfetti. Bu çalışmasını, Dünya

Dışı Akıllı Yaşam Araştırması (SETI) için gerçekleştirilen ilk toplantıda sundu. Bir radyo astronomu olarak, özellikle iletişim kurabileceğimiz medeniyetlerin sayısı ile ilgilendi.

Drake denklemi, bir olasılık çalışması. Başınıza gelen iki olayın toplam olasılığını bulabilmek için, olayların olasılıklarını ayrı ayrı çarpmanız gerekir. Yani bir paranın üst üste tura gelmesinin olasılığı olan $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ işleminin sonucuna eşittir. Drake, bir gezegenin üstünde radyo sinyalleri ile iletişim kurabilecek akıllı bir medeniyetin olup olmadığıyla ilgili yedi anahtar etken belirledi. Bunlar kısaca şöyle: Bir yıldız, yörüngesinde bir gezegen bulundurmalı; bu gezegen, yaşam için uygun bir ortama sahip olmalı; yaşam, bu ortamda başlamış olmalı; yaşam, akıllı bir hale evrilmiş olmalı vb.

Drake, bu olasılıkları çarparak Samanyolu'nda iletişim kurabileceğimiz medeniyetlerin sayısını tahmin etti. Asıl cevabı en az bindi. Günümüz değerlerini kullanırsak bu sayı büyük ölçüde düşüyor, hatta bir elin parmaklarını geçmiyor. Bu, neden şu âna dek gelişmiş bir medeniyete dair hiçbir kanıt bulamamızı açıklıyor, ancak astronomlar araştırmaya devam ediyor.

Dünya Dışı Akıllı Yaşam Araştırması (SETI)

Radyo teleskoplarını kullanarak uzaylı sinyallerini arayışımız, 1960'lı yıllarda büyük bir hevesle başlatıldı. 1960 yılında Frank Drake, Batı Virginia'da Green Bank'teki 26 metrelik çanak anteni, Tau Ceti ve Epsilon Eridani yıldızlarına doğru çevirdi. Hiçbir işaret duyamadı.

Ancak tıpkı radyo dinlerken seçtiğiniz gibi, astronomlar uzayı dinlerken hangi frekansı seçmeli? Drake, 1420 megahertze yakın bir frekans seçmişti. Bu frekans, radyo tayfının sessiz kısmında yer almakla kalmıyor, aynı zamanda hidrojen (H) ve hidroksilin

(OH) de doğal frekansları arasında yer alıyor. Radyo astronomları, bu ikisinin suyu (H_2O) oluşturduğuna dikkat çekiyorlar. Bu boşluk “su çukuru” olarak isimlendirildi. Su çukuru ismi, uzaylıların savandaki su çukurlarında buluşan hayvanlar gibi bizimle buluşup konuşabileceği, radyo tayfındaki sessiz alana işaret ediyor.

FERMİ PARADOKSU

Herkes nerede? Bu basit soru, “Fermi Paradoksu” olarak biliniyor. Paradoks, ismini İtalyan-Amerikalı fizikçi Enrico Fermi’den alıyor.

İlk bakışta yaşam, evrende bolca bulunmalı gibi görünüyor. Dışarıda bir dolu yıldız ve bir dolu gezegen var, bu nedenle uzayın herhangi bir köşesinde yaşayan bir şeylerin olmasının ihtimali çok fazla. Ayrıca birçok yıldızın Güneş’ten çok daha yaşlı olduğu düşünülürse yine oralarda bir yerlerde, Dünya’dan çok daha yaşlı yaşanılabilir bir gezegende, bizimkinden çok daha gelişmiş bir medeniyet olmalı.

Fakat orada bir yerde yaşam varsa, varlığı hakkında neden en ufak bir kanıtla bile karşılaşmadık? Dünya’da bizden daha önce yaşayan dinazorların ve erken insansı türlerin fosillerini ortaya çıkardık. Gelgelelim uzayda, Samanyolu’nda şu an veya bizden önce yaşayan birileri olduğuna dair benzer bir arkeolojik delile ulaşamadık.

Bazı astronomlar, Samanyolu’nda yaşayan tek canlı olduğumuza inanıyor. Diğerleri ise gelişmiş medeniyetlerin, varlıklarını başkalarına duyurma şansına erişmeden önce kendi kendilerini yok ettiklerine inanıyor. Fakat ihtimallerin düşüklüğüne rağmen, şu anda veya geçmişte var olan potansiyel bir komşudan gelecek sinyaller için, gökyüzünü sabırla dinlemeye devam ediyoruz.

Drake'in ilk çalışmalarından beri astronomlar, gökyüzünü bu frekanslarda taramak için büyük çaba sarf ettiler. Ne var ki en yakın bin yıldızı, bu daracık frekans şeridinde kontrol etmek bile, 242 milyar olası radyo kanalını aramak gibi. 2015 yılında Rus milyarder Yuri Milner, sorunun çözülmesi için 100 milyon dolar bağışladığında SETI (*The Search for Extra-Terrestrial Intelligence* - Dünya Dışı Akıllı Yaşam Araştırması) büyük bir destek almış oldu. Bu destekle, on yıllık *Breakthrough Listen* (Çığır Açan Dinleme) projesi, şu âna dek uzaylı iletişimi hakkında yapılmış en pahalı araştırma olacak.

Ancak altmış yıllık dinleme maceramızda kesin olarak uzaylılardan gelen herhangi bir şey duyamadık. Yine de umut verip açıklanamayan bir sinyal var: 1977'de karşılaştığımız "Wow!" sinyali. Ohio'daki *Big Ear* (Büyük Kulak) radyo teleskopuna ulaşan sinyal, uzaylı kökenli sinyallere ait tüm nitelikleri taşıyordu. Yetmiş iki saniyelik güçlü radyo iletimini, astronom Jerry R. Ehman yakaladı. Ehman o kadar heyecanlanmıştı ki ilgili basamakları yuvarlak içine alıp kağıdın yanına kırmızı kalemle "Wow!" (Vay be!) yazdı. Fakat sinyali bir daha hiç duyamadık, bu sebeple dünya dışı bir canlıdan gelip gelmediğini de kanıtlama imkânımız olmadı. Bu belge, insanlık tarihinin en önemli belgesi de olabilir, yalnızca bir kâğıt parçası da olabilir.

Yerel Grup

Macellan Bulutları

Portekizli kâşif Ferdinand Macellan, 16. yüzyılda gemiyle dünyayı dolaşırken ekvatorun hemen altından geçti. Oradayken, Dünya dönerken gece göğünü dolaşan iki devasa bulutu fark etti. Macellan, o sıralarda bunu bilmeseydi bile, aslında

Samanyolu'nun ötesindeki bir şeylere bakıyordu. Gökyüzündeki bu ikiliyi, Macellan Bulutları olarak adlandırıyoruz.

Bu bulutlar, Samanyolu'nun etrafında dönen cüce galaksiler Andromeda ve Üçgen Galaksisi (*Triangulum*) ile birlikte Yerel Grup'un bir parçası (bkz. 190. sayfa). Yerel Grup ismi ise en yakın galaktik dostlarımızın oluşturduğu galaksi grubuna uygun bir isim olarak seçildi. Kılıçbalığı (*Dorado*), Masa (*Mensa*), Tukan (*Tucana*) ve Küçüksuyılanı (*Hydrus*) takımyıldızlarının arasında uzanan Macellan Bulutları, güney enlemlerinde çıplak gözle bile apaçık bir şekilde görünebilir.

Büyük Macellan Bulutu, çap olarak 14.000 ışık yılı büyüklüğünde ve bizden 160.000 ışık yılı uzaklıkta. Geceleri gökyüzünde neredeyse yirmi dolunay kadar geniş bir yer kaplıyor. Ayrıca Tarantula Nebulası'na da ev sahipliği yapıyor ki bu nebula, Yerel Grup'taki yıldız oluşumunun en aktif olduğu yer. 1987 yılında bir süpernova bu nebulanın kenarına yakın bir yerde patladı. SN 1987a olarak adlandırılan bu süpernova, 1604 yılında patlayan Kepler Süpernovası'ndan beri gezegenimize en yakın yerde gerçekleşmiş patlama oldu. O kadar parlaktı ki çıplak gözle bile görülebiliyordu.

Küçük Macellan Bulutu ise Büyük Macellan Bulutu'nun yarısı kadar ve 40.000 ışık yılı uzaklıkta. Büyük Macellan Bulutu ile olan kütleçekimsel etkileşimleri, aralarındaki boşluğu bağlayan hidrojen gazından yolu, yani Macellan Köprüsü'nü oluşturdu. Benzer bir etki, Samanyolu ile Macellan Bulutları arasındaki Macellan Akıntısı'nı oluşturdu. Büyük Macellan Bulutu'nun merkezindeki belirgin çubuk, bu bulutun eskiden cüce bir sarmal galaksi olduğunu, ancak daha sonra komşularının çekimi tarafından kollarından yoksun bırakıldığını söylüyor bize.

Sefe değişenleri

Amerikalı astronom Henrietta Swan Leavitt, 1908 yılında astromoni tarihindeki en önemli makalelerden birini yayımladı. Bu çalışmanın başlığı, “Macellan Bulutları’ndaki 1777 Değişen”di.

Sözkonusu değişenler, Sefe (*Cepheid*) değişenleriydi. Bu yıldızlar, genişliyor ve büzülüyor; bu da parlaklıklarının düzenli olarak değişmesine yol açıyor. Ayrıca uzaydaki mesafeleri ölçmek için de paha biçilemez bir yol sağlıyorlar, çünkü *standart mumlar* olarak bilinen doğal astromik araçların bir parçası durumundalar. Astronomlar, bize en yakın yıldızların mesafelerini bulmak için paralaks (ıraklık açısı) yöntemini kullanıyorlar (bkz. 130. sayfa). Ancak yıldızlar bir zaman sonra o kadar uzak kalmaya başlıyor ki bu yöntem işe yaramıyor. İşte o an standart mumlar devreye giriyor.

Uzak bir binanın penceresinden bir elektrik lambasına baktığınızı düşünün. Siz binadan uzaklaştıkça lamba daha da sönükleşecek, çünkü ışık mesafe boyunca zayıflar. Eğer bu lambanın gerçek parlaklığını bilseydiniz (mesela 40 veya 60 watt) ışığın ne kadar zayıfladığını, bu sayede de binadan ne kadar uzak olduğunuzu bulabilirdiniz.

Aynı şeyi uzayda da yapabiliyoruz, ancak yıldızların gerçek parlaklıkları yanlarında yazmıyor. Bu sebeple Henrietta Swan Leavitt’in Sefe değişenleri üzerine yaptığı çalışma çok değerli. Bu yıldızlar ne kadar parlak olursa parlaklıklarının değişmesinin de o kadar uzun sürdüğünü keşfetmişti. Bir Sefe bulun, bekleyin ve parlaklığının değişmesinin ne kadar sürdüğünü anlayın, işte bu yolla gerçek parlaklığını bulabilirsiniz. Sonrasında ise yıldızın ne kadar uzak olduğunu bulmak, tıpkı lamba örneğinde olduğu gibi, gayet basit.

İleride göreceğimiz gibi, evreni ve kökenini anlama konusundaki büyük adımlar, yirminci yüzyılın ilk yıllarında atıl-

dı. Oysa Henrietta Swan Leavitt ve paralaks çalışmayı durdurunca mesafeyi doğru ölçme yöntemi olmasaydı bu adımların hangilerini atmak mümkün olurdu, kestirmek zor.

Andromeda ve Üçgen Galaksileri

Gece göğü, gözlerimiz için adeta görsel bir şölen. Meteorlar, kuyrukluyıldızlar, gezegenler, yıldızlar, küresel kümeler, nebular, çiftyıldızlar gibi birçok güzellik var. Ancak bir dürbün veya teleskopun yardımı olmadan görebileceğiniz en uzak cisimler neler? Cevap, bize en yakın galaksiler.

Andromeda takımıyıldızındaki yıldızların arasında, insan gözüyle zar zor görülebilen puslu bir ışık beneği bulunur. Sanki biri parmağını yalayıp uzanmış da zifiri karanlıkta beyaz bir leke bırakmış gibidir. Bu ışıltı, Samanyolu'muza en yakın büyük galaksi olan Andromeda Galaksisi'dir. İçerisinde bir trilyon yıldız bulunuyor, fakat yine de ufacık bir bulut gibi görünüyor. Bunun sebebi ise bizden çok uzakta olması; bize uzaklığı, 2,5 milyon ışık yılı gibi dehşet verici bir mesafe. Işık, saniyede 300.000 kilometre hızla ilerlese de Andromeda'dan buraya gelmesi 2,5 milyon yıl sürüyor. Galaksiyi zar zor görebilmemize şaşmamalı.

Andromeda'ya baktığınızda 2,5 milyon yaşında olan bir ışığı görüyorsunuz. Bugün buraya ulaşan ışık yola çıktığında bu gezegende modern insanlar yoktu bile. Onun yerine Australopitekus olarak adlandırılan primat atalarımız, taş devrinin şafağında, taşları ilkel aletler olarak kullanmaya daha yeni başlamışlardı.

Andromeda'da yaşayan herhangi bir uzaylı yaşam türü varsa ve Dünya'yı o uzaklıktan gözlemleyebilecek güçlü teleskoplar yapabildilerse görecekleri tek şey Australopitekuslar olurdu. Bu türün torunlarının, okyanusları aşmak için ölü ağaçlardan gemiler yaptığını bilemezlerdi. Hatta daha sonra yepyeni (bu kez mavi değil siyah) bir okyanusu, gökyüzüne kocaman metal ge-

miler fırlatarak fethettiğini de bilemezlerdi.

Andromeda'nın dürbün veya teleskop yardımı olmadan görebileceğiniz en uzak cisim olduğunun söylendiğini sık sık duyarsınız. Birçok koşulda bu doğrudur. Ancak, görüşü muhteşem olan kişiler, çok karanlık bir bölgeden Üçgen Galaksisi'ni (*Triangulum*) de tespit edebilmeli. Bu galaksi, Yerel Grup'taki en büyük üçüncü galaksi olup bizden 3 milyon ışık yılı uzakta bulunuyor. Üçgen Galaksisi'nin, 782.000 ışık yılı boyunca uzanan hidrojen akıntısı ile Andromeda tarafından çekimsel olarak bozulduğu görülüyor.

Milkomeda

Andromeda ve Samanyolu hareket halinde. Galaksilerin arasındaki boşluk saniyede 100 kilometre hızla kapanıyor ve süreç hızlanıyor. Yaklaşık 4 milyar yıl içinde iki büyük yıldız şehri, muhtemelen birbirlerine çarpacak.

Bu kulağa bir felaket gibi gelebilir, fakat sarmal galaksiler tek parça cisimler değiller; o sebeple bu çarpışma, kafa kafaya bir araba çarpışması gibi olmayacak. Galaktik diskler, çekim gücü ile birlikte geniş yıldız şeritleri ve tozun dışarı vurmasını sağlayıp birbirlerinin arasından geçip yollarını bulacak. Nihayetinde ise tüm bunlar, astronomların Milkomeda* olarak adlandırdığı tek bir süpergalaksiye dönüşecek. Yeni galaksinin yörüngesinde ise Andromeda'nın beraberinde getirdiği Üçgen Galaksisi dönecek.

Bu olayın bilgisayar modelleri, Güneş'in birleşme esnasında galaksiler arası uzaya fırlayıp yetim kalma şansının yüzde 12 olduğunu öne sürüyor. Dünya üzerindeki yaşam için endişe duymaya ise gerek yok, çünkü Güneş gezegenimizi pişirerek çoktan yaşamın olmadığı bir cehennem çukuruna çevirmiş olacak (bkz. 138. sayfa). Teselli ödülü ise Andromeda'nın bize yaklaştıkça

* Milky Way (Samanyolu) + Andromeda= Milkomeda (ç.n.)

daha da muhteşem bir görüntü oluşturmaları. Şu an bile bir dolunaydan altı kat daha geniş duruyor.

Galaksilerin birleşmesi, evrende gayet alışılmış bir durum ve astronomlar tarafından geniş çaplı bir şekilde incelendi. En ünlü örneği ise Karga takımyıldızındaki (*Corvus*) Anten galaksileri. İsmi, merkez bölgeden dışarı yayılan gaz akıntılarından geliyor; bu akıntılar bir böceğin antenlerine benziyor. İki galaksi, bir milyar yılı aşkın bir süre önce çarpıştı. Bu çarpışma, gaz ve toz bulutlarının ortaya çıkmasına ve yıldız oluşumunun yoğun yaşanmasına yol açtı.

Bir diğer bilinen galaktik birleşme ise Girdap Galaksisi. Ana galaksinin, yaklaşık olarak 500-600 milyon yıl önce ana diskin içinden geçen NGC 5195 adında bir cüce galaksi refakatçisi var.

Uzak galaksiler

Kümeler ve süperkümeler

Yerel Grup'tan uzaklaştığımızda nihayetinde diğer galaksi kümeleriyle karşılaşırız. En yakınları, en büyük galaksilerinin ismi verilen M81, M51 ve M101 gruplarıdır. Bu gruplar, bizim grubumuz da dahil yüzden fazla galaksi grubunu içinde bulunduran göksel yapı Başak Süperkümesi'nin (*Virgo Supercluster*) de bir kısmını oluştururlar. Bu süperküme, 100 milyon ışık yılından daha büyük bir genişliğe yayılmıştır. Gözlemlenebilir evrende bunun gibi yaklaşık 10 milyon süperküme bulunur.

Bu yapının resmini kafanızda oturtmanız zor olabilir. Dünya'dan aşına olduğunuz çevreyle kıyaslamak bu süreci kolaylaştırır. Güneş sistemimizin eviniz olduğunu düşünün, Güneş ve

gezegenler ise odalar. Kepler Uzay Teleskopu ve diğerleri tarafından şu âna dek bulunan ötegezegen sistemleri de sokağınızdaki diğer evler. Ayır ayrılar, ancak birbirlerine çok yakınlar.

BAŞAK KÜMESİ

Devasa Başak Süperkümesi, en büyük ve en merkezdeki üyesinin, yani Başak Kümesi'nin ismini taşıyor.

Bizim yerel grubumuz 50-60 galaksiye ev sahipliği yapıyor, fakat Başak Kümesi'nde bu sayı 2.000'e kadar çıkabiliyor. Toplam kütlesi, bir katrilyon Güneş'in kütlesinden daha fazla.

En çok incelenen galaksilerinden biri olan M87, yörüngesinde 12.000 adet küresel küme bulunduruyor (Samanyolu'nda bu sayı 150). Merkezindeki süperkütleli karadelik ise 7 milyar Güneş kütlesinde. Samanyolu'ndaki Sgr A* ise yalnızca 4 milyon Güneş kütlesinde.

M87'nin merkezinden dışarıya doğru, beş bin ışık yılı mesafeye kadar uzanan belirgin bir sıcak ışın püskürmesi (jet) gerçekleşiyor. Maddeler, merkez karadeliğın çekimi sayesinde ışık hızına yakın bir ivme kazanıp galaksiye püskürüyorlar. Astronomlar, Olay Ufku Teleskopu'nu kullanarak bu galaksi hakkında daha çok şey öğrenmek istiyorlar (bkz. 173. sayfa).

Siz de M87 ve Başak Kümesi'nin birçok üyesini küçük bir teleskop kullanarak görebilirsiniz. Küme, Aslan takımyıldızındaki Denebola ve Başak takımyıldızındaki Vindemiatrix yıldızları arasında, on derecelik genişlikte görülebilir.

Sokağınıza daha uzaktan bakalım, göreceğimiz şey kasabanız veya şehriniz olurdu. Bir galaksi, yalnızca yıldızların şehridir, yani Samanyolu aslında bizim uzaydaki memleketimiz. Hatta şişkinliğin yakınlarındaki bölgede şehrin merkezi, diskte yaşadığımız bölgede ise daha sakin kırsal bölgeler var.

Dünya'daki şehirler, birleşerek ülkeleri oluştururlar. Uzayda ise galaksiler, küme adı verilen yapıları oluşturur. Ülkeler, devasa karalardan oluşan kıtalarda yer alırlar. Galaksi kümeleri ise süperküme adı verilen devasa gruplarda yer alırlar. Dünya nasıl kıtalardan oluşuyorsa gözlemlenebilir evren de süperkümelere oluşur.

Dünya	Uzay
Eviniz	Güneş sistemi
Sokağınız	Ötegezegenler
Kasabanız/Şehriniz	Samanyolu
Ülkeniz	Yerel Grup
Kıtanız	Başak Süperkümesi (<i>Virgo Supercluster</i>)
Dünya	Gözlemlenebilir evren

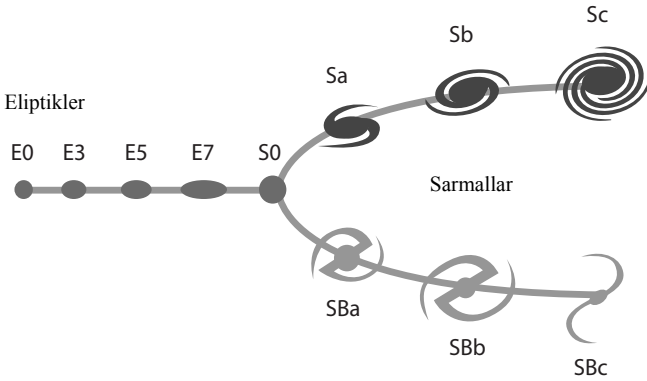
Galaksi sınıflandırması

Tüm galaksiler sarmal değil. Örneğin M87, eliptik bir galaksi. Tek tek yıldızların birleşmesiyle şekli bir ragbi topunu andırıyor, belirgin toz çizgileri ya da sarmal kolları yok. Ayrıca eliptik galaksiler, düz sarmalların aksine çok daha yavaş döner.

Aslında galaksiler, Amerikalı astronom Edwin Hubble'ın ismi verilen, Hubble düzeni kullanılarak sınıflandırılmıştı. Bu

sınıflandırma sistemi, içerisinde üç tür galaksi bulunduruyordu: Eliptik, sarmal ve merceksi (sarmal kolları tam belli olmayan düz diskler).

Hubble, bu galaksileri ses çatalına benzeyen bir grafikte sıraladı. Birçok insan, galaksilerin evrimini gösterdiğini sandı; başlangıçtaki yuvarlak eliptik galaksilerin, giderek hızlı dönmeye başladığını ve sonrasında düzleşerek merceksi bir görünüm aldığını, nihayetinde de sarmal kollar geliştirdiğini tasvir ettiğini düşündüler. Ancak Hubble'ın planı hiçbir zaman bu olmamıştı ve bugün de galaksilerin bu şekilde evrilmediğini biliyoruz. Bununla birlikte, ses çatalı grafiği, hâlâ yararlı bir galaksi sınıflandırması olarak kullanılıyor.



Edwin Hubble tarafından oluşturulan çatallı diyagram, galaksilerin farklı çeşitlerini gösteriyor: eliptikler (E), merceksiler (S0) ve sarmallar (S).

Eliptikler, 0 ile 7 arasındaki bir rakamın takip ettiği E harfi ile ifade ediliyor. Rakam ne kadar yüksekse galaksi de o kadar eliptik bir hal alıyor. Merceksilerin sembolü ise S0. Merkez çubuğu olmayan sarmallar Sa, Sb veya Sc ile adlandırılıyor ve alfabetik sırada daha ileride yer alan harfle gösterilmesi kollarının daha belirgin olduğuna işaret ediyor. Bazen bir galaksi iki gruba birden

denk gelebiliyor, örneğin Sbc. Çubuklu sarmallar da Sba, SBb veya SBc olarak adlandırılıyor.

MESSIER KATALOĞU

Gece göğüne bir teleskop veya dürbünle bakarsanız bir dolu puslu ve bulutlu benekler görürsünüz. Bunların bazıları, yıldız kümeleri veya bizim galaksimizdeki nebulalardır. Diğerleri ise Andromeda gibi uzak galaksilerdir.

Fransız astronom Charles Messier, on sekizinci yüzyılda bu cisimlerin bir kataloğunu hazırladı. Bir kuyruklu yıldız avcısı olan astronomun amacı, kuyruklu yıldız sanılabilecek her şeyi belgelemektir. Katalogtaki cisimleri M1, M2, M3 vb. etiketlerle listeledi.

Şu âna dek karşılaştığımız birçok muhteşem cisim, Messier'nin kataloğunda bulunuyordu. 1054 yılındaki konuk yıldız, yani süpernova kalıntısı Yengeç Nebulası, M1 olarak sınıflandırılmış (bkz. 141. sayfa). Andromeda M31, Üçgen Galaksisi M33 ismiyle katalogta kendisine yer buluyor; M87'den de biraz önce bahsetmiştik. İşleri aksatan refakatçisi ile Girdap Galaksisi ise M51 olarak isimlendirilmiş.

Messier'nin listesinin son hali 103 öge barındırıyordu; en sonuncusu, Kraliçe (*Cassiopeia*) takımyıldızındaki bir açık kümeydi. Ancak günümüz astronomları yıllar geçtikçe daha fazlasını eklediler. Şu an araştırma, Andromeda'nın etrafında dönen cüce galaksi M110'a kadar ilerledi.

Bu sınıflandırmanın bazı eksikleri var. Baktığımız açığa bağlı olarak görünen bir galaksiyi nasıl sınıflandırırız? Kollarının birçoğunu kaybetmiş yaşlı bir sarmal galaksiye, yüzü bize dönükken bakarsak onu bir eliptik galaksi sanabiliriz. ATLAS3D galaksi araştırmasının arkasındaki astronom takımı 2011 yılında, eliptik galaksi olarak sınıflandırılan yerel galaksilerin üçte ikisinin aslında hızlı dönen diskler olduğunu ortaya çıkardı.

Aktif Galaksi Çekirdeği (AGN)

Daha önce gördüğümüz gibi M87 Galaksisi'nin merkez bölgesi, Samanyolu'nun çıkıntısından daha yoğun. Bu sebeple astronomlar M87'ye aktif galaksi, merkez bölgesine ise Aktif Galaksi Çekirdeği (*Active Galactic Nuclei*) adını veriyorlar. Samanyolu ise aktif galaksi olarak nitelendirilmiyor.

Her şey, galaksinin süperkütleli karadeliğinin ne kadar yediğiyle alakalı. Eğer karadeliğe birçok madde çekilirse bu olay, içeri girmeyi bekleyen maddelerin oluşturduğu geniş ve düz halde dönen bir sıra olan bir toplanma diski oluşturuyor. Gaz ve toz sarmalları içeriye doğru hızlandıkça sürtünme, sıcaklıkları yükseltiyor ve süper ısınmış maddeler, yüksek enerjili morötesi ve x ışınları olarak parlıyor. Aktif bir galaksinin merkezi genelde, galaksinin kalanından daha çok enerji yayıyor. Bazı Aktif Galaksi Çekirdekleri (AGN) o kadar güçlü ki Samanyolu gibi bir galaksiden bin kat daha parlak bir hal alabiliyorlar.

AGN'ler birden parlamaya başlıyorlar, yaydıkları enerji miktarı kısa bir zaman aralığında hızla yükselebiliyor. Bunun, süperkütleli karadeliğin bilhassa büyük bir yemeği yuttuğu anda gerçekleştiği düşünülüyor. Astronomlar, bu parlama süresine bakarak yemeğin boyutunu söyleyebiliyorlar. Bir hafta süren bir parlama, muhtemelen bir ışık hafta genişliğindeki (ışık yılının 1/52'si) bir

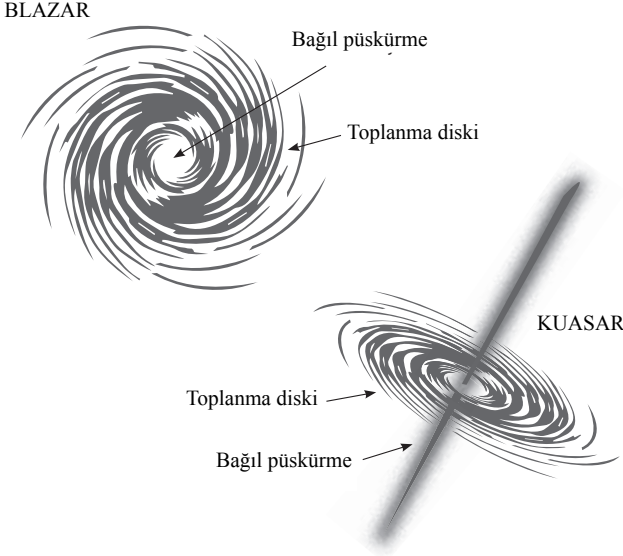
bulutun karadeliğe girmesi sebebiyle oluşuyor.

Yaklaşık olarak on aktif galaksiden birinde, toplanma diski ve karadeliğin manyetik alanı arasındaki etkileşimler, maddelerin bazılarını diskten dik açıyla simetrik bir şekilde yollayan püskürmelere dönüştürüyor. M87'de olan da bu. Yine de püskürmeler karadeliğin kendisinden kaçamıyor, çünkü bu imkânsız. Onun yerine, karadeliğin olay ufkunun hemen dışında bulunan toplanma diskinden dalgalar halinde yayılıyorlar.

Kuasarlar ve blazarlar

En güçlü AGN'ler evrenin en uzak mesafelerinden bile görülebilir. İlk bakışta bizim için yıldız izlenimi uyandırdılar, fakat uzaklıklarının ölçümü milyarlarca ışık yılı mesafede olduklarını ortaya çıkardı. Sıradan hiçbir yıldız öylesi bir uzaklıktan görülebilecek kadar parlak değil, bu sebeple kuasar cisimler (yıldızsı gökcismi) olarak adlandırıldılar. Sonradan ise yalnızca kuasar adını aldılar.

Astronomların AGN'lere ne isim verdiği de onları gördüğümüz açığa bağlı. Eğer cismin püskürmeleri doğrudan bize doğruysa bu cisimlere blazar diyoruz. Bu püskürmeler çok dar olduğundan blazarlar çok sıkı cisimler. Ayrıca birçok çeşidi var; çünkü AGN püskürmelerinin gücü, merkez karadeliğin ne kadar gaz tükettiğiyle alakalı.



Astronomlar AGN'leri, gördüğümüz açıya göre ya kuasar ya da blazar olarak sınıflandırıyor.

Kuasar ve blazarlar gibi çok uzak cisimlere bakmak, geçmişe bakmak anlamına geliyor. Bir arkadaşınızdan, tatili hakkında bir kartpostal geldiğini düşünün. Siz onu okuduğunuzda o an ne yaptıklarını değil, önceki günlerde ne yaptıklarını okumuş oluyorsunuz. Mesajın size ulaşması zaman aldı; bu yüzden kartpostal, size bugünün değil geçmişin haberlerini getirdi. Işık ve uzay sözkonusu olduğunda da aynı şey geçerli.

Bir milyar ışık yılı uzaklıktaki bir cismi görmemiz, o ışığın Dünya'ya ulaşması için bir milyar yıllık bir zamanın geçtiği anlamına geliyor. Yani evrenin, bir milyar yıllık bir görüntüsünü görüyoruz. Astronomlar birçok kuasar ve blazarın Dünya'dan çok uzakta bulunduğunu keşfettiler, bu da evrenin erken dönemlerinde şimdiye kıyasla daha yaygın oldukları anlamına geliyor.

Kırmızıya kayma

Yirminci yüzyıl astronomisiyle ilişkilendirilmiş birçok ünlü isim var, ancak Vesto Slipher onlardan biri değil. Nedense tarih tarafından göz ardı edilmiş bu bilim insanının evreni anlayışımıza yaptığı katkı paha biçilemez; çünkü 1912 yılında bir galaksinin kırmızıya kaymasını ölçen ilk insan oldu.

Ötegezegenlerin keşfi için kullanılan dikeyhız yöntemini incelerken kırmızıya ve maviye kayma olgularıyla karşılaşmıştık (bkz. 160. sayfa). Eğer bir ışık kaynağı sizden uzaklaşıyorsa ışık dalgaları esner ve siyah barkodu andıran tayf çizgileri, tayfin sonundaki kırmızıya doğru kayar. Size yaklaşan bir cismin çizgileri de maviye doğru kayar. Ne kadar fazla kayma olursa, cisim o kadar hızlı hareket ediyor demektir.

Slipher, galaksilerin tayflarını doğru olarak analiz edip bu kaymaları bulan ilk astronomdu. 1921 yılına gelindiğinde toplamda kırk bir galaksiyi incelemişti; bu incelemeyle birlikte Andromeda ve başka üç galaksinin bize doğru geldiğini keşfetmişti (çünkü tayfları maviye kaymıştı). Fakat incelediği galaksilerin birçoğunda kırmızıya kayma gözleniyordu, yani bu galaksiler Samanyolu'ndan kaçıyorlardı.

Bugün, yüz civarında maviye kayan galaksi olduğunu biliyoruz; ancak kırmızıya kayan galaksiler yüz milyarlarca. Bu da evrendeki galaksilerin neredeyse hepsinin Samanyolu'ndan uzaklaştığı anlamına geliyor.

HUBBLE ULTRA DERİN ALAN

Hubble Uzay Teleskopu (HUT) evren hakkındaki bakış açımızı tamamen değiştirdi.

En ünlü fotoğraflarından birisi, Hubble Derin Alan fotoğrafı. 18-28 Kasım 1995'te astronomlar HUT'u kullanarak gökyüzündeki kum taneciği kadar bir alanı bıkıp usanmadan incelediler. Fotoğraf üç bin zerre, leke ve nokta içeriyordu, bunların bazıları keşfedilmiş en uzak galaksilerdi. O kadar uzaktalar ki muhtemelen artık yoklar. Işıklarının bize ulaştığı 13 milyar yıllık sürede yok olmuş olmalılar.

2003-2004 yılları arasında astronomlar, Hubble Ultra Derin Alan adı verilen benzer bir fotoğraf daha çektiler. Bu görsele dayanan tahminler, gözlemlenebilir evrende 2 trilyon galaksi bulunduğunu öne sürüyor. Her biri yüz milyarlarca yıldızla ev sahipliği yapıyor, bu da evrende tüm insanlık tarihinin kalp atış sayısından daha fazla yıldız olduğu anlamına geliyor. Şu âna kadar var olmuş tüm Homosapienlerin saniyede bir kez atan kalp atışları toplandığında bu sayı, yukarıdaki yıldızların sayısından bin kat daha az kalıyor.

Hubble Kanunu

Kırmızıya kayan galaksilerle en çok ilişkilendirilen isim Slipher değil, Amerikalı astronom dostu Edwin Hubble. Hubble, Henrietta Swan Leavitt tarafından bulunan Sefe değişenleri tekniğini (bkz. 188. sayfa) kullanarak galaksilerin uzaklıklarını ölçtü ve bunları Slipher'in kırmızıya kayan galaksi verileriyle kıyasladı. Çok basit bir düzen buldu: Galaksi ne kadar uzaksa

o kadar kırmızıya kayıyordu. Bizden daha uzak galaksiler, bize yakın olanlara kıyasla daha hızlı hareket ediyorlarmış gibi görünüyordu. Hubble bu çalışmasını 1931 yılında yayımladı.

Bu kural, Hubble Kanunu olarak adlandırıldı (Belçikalı rahip ve astronom Georges Lemaitre benzer bir fikri 1929 yılında yayımlamasına rağmen). Hubble sabiti denen sayı, bize galaksilerin ne hızla hareket ettiğini söylüyor. Sembölü H_0 olan Hubble sabitinin günümüzdeki değeri, bir milyon ışık yılı için saniyede yaklaşık olarak 21 kilometre. Eğer A galaksisi, B galaksisine göre bizden bir milyon ışık yılı daha uzaktaysa her saniye 21 kilometre daha hızlı uzaklaşıyor demektir.

Hubble Kanunu sayesinde kırmızıya kayma, uzaydaki mesafeleri ölçmek için muhteşem bir yol haline geldi. Galaksinin ne kadar uzak olduğunu bulmak için Hubble Kanunu'nu kullanmadan önce tek yapmanız gereken, galaksinin tayfını analiz edip kırmızıya kaymasının derecesini bulmak. Şu an bilinen en uzak cisim, en yüksek kırmızıya kayma oranıyla 13,4 milyar ışık yılı uzaklıktaki GN-z11.

Genişleyen evren

Hubble Kanunu çok basit bir önerme: Galaksi ne kadar uzaksa bizden o kadar hızlı uzaklaşıyor. Ancak bu masum görünen fikrin, çok büyük sonuçları var. Bu, evrenimizin genişlediği anlamına geliyor.

Hubble Kanunu'nun genişleyen bir evrende yaşadığımızı öne sürmesi ilk bakışta apaçık görünmeyebilir. Fakat pişirmek için fırına koymak üzere olduğunuz kuru üzümlü kek, hayal etmemizi kolaylaştırabilir. Diyelim ki hamur, bir saat içinde asıl boyutuna kıyasla iki kat kabarmak. Kendinizi kuru üzümlerden birinin yerine koyup ne göreceğinizi bir düşünün. Başlangıçta sizden bir

santimetre uzakta olan kuru üzüm, sonunda iki santimetre uzaklıkta olacak. İki santimetre uzaklıkta başlayan ise artık dört santimetre uzaklıkta olacak. Size yakın olan kuru üzüm bir saatte bir santimetre uzaklaşmışken sizden iki santimetre uzakta olan kuru üzüm, aynı sürede iki santimetre uzaklaştı. Daha uzak kuru üzümler, daha hızlı hareket etmiş gibi göründü.

Hatta, “genişleyen hamurdaki kuru üzümlerin, asıl boşluklarının her bir santimetresi için bir saatte bir santimetre ilerlediğini” bile söyleyebiliriz. Bu tam olarak Hubble sabitinin söylediği şey: Galaksiler, asıl boşluklarının her bir milyon ışık yılı için, saniyede 21 kilometreyle hareket ediyor. Tıpkı hamurun genişlediği gibi evren de genişliyor.

Galaksiler aslında bizden uzaklaşmıyor, çünkü uzayda hareket ediyorlar. Sonuçta hamurdaki kuru üzümler hareket edemiyorlardı. Bunun yerine, aralarındaki uzay genişledikçe galaksilerin arasındaki boşluk esniyor. Bizimle uzak bir galaksinin arasındaki boşluk ne derece büyük olursa arada genişleyecek uzay da o kadar fazla oluyor ve galaksiler bizden uzağa daha hızlı sürükleniyormuş gibi gözüküyor.

Evren

Büyük Patlama

Fikrin kökenleri

Hubble bizlere evrenin genişlediğini gösterdi. Bugün genişleyen evren, dün bundan daha küçüktü, yani çok uzak geçmişinde evrenin çok küçük olduğunu düşünmek gayet doğal. Bunun iyi bir hesabı, ilk kez Alexander Friedmann ve Georges Lemaitre'in 1920'li yıllardaki çalışmalarıyla yapıldı. İkili, Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı denklemlerini kullanarak evrenin küçük bir başlangıç noktasından zaman geçtikçe genişlediğini ileri sürdü.

Evrenin büyüme oranını (Hubble sabitini) kullanarak geriye gidip genişlemenin ne zaman başladığını hesaplayabiliriz. Günümüzdeki cevap, 13,8 milyar yıl önce. Genişlemeyi tersine izleyebilirsiniz her şeyin birbirine daha da yaklaşacağını görürsünüz. Genel göreliliği takip edersek tüm uzay (ve zaman), teoremin de öne sürdüğü gibi, karadeliğin merkezinde bulunan sonsuz küçüklükte ve sonsuz yoğunluktaki nokta olan bir tekilliğe dönüşüyor. Tekillikte, uzay ve zaman kavramları yok oluyor.

Tüm bu ipuçları uzay ve zamanın 13,8 milyar yıl önce, inanılmaz küçük ve sıcak bir noktanın dışarı doğru patlamasıyla oluştuğuna işaret ediyor. Astronomlar bu olaya Büyük Patlama adını veriyorlar. Büyük Patlama'dan doğan evren, o zamandan beri genişliyor ve soğuyor.

Durağan durum (steady state) modeli

“Büyük Patlama” terimi ilk kez, 1949 yılında BBC radyosunun gerçekleştirdiği bir röportaj sırasında Fred Hoyle tarafından kullanıldı. Hoyle, Büyük Patlama fikrinin en büyük muhaliflerinden biriydi, onun yerine durağan durum modelini savunuyordu; bu model, evrenin en baştan beri aşağı yukarı şu anki halinde olduğunu öne sürüyor. Büyük Patlama'ya tamamen ters düşen modele göre, durağan durumdaki evrende uzay ve zamanın bir başlangıcı ya da sonu yoktur. Teori, 1948 yılında Hoyle, Hermann Bondi ve Thomas Gold tarafından tasarlanmıştı.

Alternatif bir resim aramışlardı, çünkü 1940'lı yılların Büyük Patlama teorisinin büyük bir sorunu vardı: Evren, Dünya'dan daha gençti. Astronomlar, evrenin ne hızla genişlediğini gösteren Hubble sabitini fena halde yüksek tahmin etmişti, çünkü galaksilerin uzaklıklarını doğru olarak hesaplayamamışlardı. Evrenin gerçekte olduğundan çok daha hızlı genişlediğini düşündüklerinden, yaşını da oldukça küçük hesapladılar. Hubble'ın ilk değeri 2 milyar yıldı. Ancak jeologlar, 3 milyar yıllık taşlar bulmuşlardı bile.

Durağan durum modeli gözlemlenebilir evrenin genişlemesini, uzay genişledikçe yeni maddenin boşlukları doldurmak için oluştuğunu söyleyerek açıklıyordu. Bu şekilde, zaman geçse de evrenin toplam yoğunluğu aynı kalıyordu. Bu da yeni yıldızların ve galaksilerin çok daha yaşlı olanların yanında belireceği anlamına geliyordu. Durağan bir evrende, komşu yıldızların ve ga-

laksilerin yaşları birbirinden çok farklı olmalıydı.

Bu sebeple 1940'lı yıllarda, bilim tarihinde birçok kez olduğu gibi, iki karşıt görüş arasında bir mücadele başladı. İki teori için de ilerlemenin tek yolu, (eğer haklılarsa) evrenin nasıl görünmesi gerektiğiyle alakalı tahminler üretmekti. "Git ve bulacağım dediğin şeyi bul, böylece kazanacaksın," yaklaşımı geçerliydi.

Nükleosentez

Durağan durum modelinin, evrenin bu görünüşe nasıl ulaştığını açıklamak gibi bir yükümlülüğü yoktu. Çünkü hep şu anki halinde olduğunu öne sürüyordu. Büyük Patlama'nın problemi ise yalnızca uzay ve zamanın bir başlangıcı olduğunu değil, aynı zamanda başlangıçta şimdikinden çok daha farklı olduğunu söylemesiydi. Büyük Patlama'ya inanmamız için, başlangıçtaki küçücük sıcak bir noktadan yıldızlar ve galaksilerle dolu büyük bir evrene nasıl ulaştığımızı açıklaması gerekiyordu.

Eğer günümüzdeki evren, bir zamanlar bir atomdan bile küçükse sıcaklıklar son derece yüksek olmalıydı, yani Büyük Patlama'dan yalnızca bir saniye sonra 10 milyar santigrat derece gibi bir sıcaklıktan bahsediyoruz. Astronomlar, parçacık fiziğini kullanarak böylesi uç durumlarda neler gerçekleştiğini söyleyebilirler. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı gibi parçacık hızlandırıcıları da bunu yapıyor, yani Büyük Patlama'nın hemen sonrasındaki çevreyi tekrar yaratıyor.

Başlangıçtaki bebek evren, yalnızca enerjiyle doluydu. Ancak, o ilk saniyede sıcaklıklar, enerjinin bir miktarını maddeye çevirebilecek kadar sıcaktı. Atomun yapı taşları olan protonlar, nötronlar ve elektronlar oluştu. Fakat genişlemeden yalnızca bir saniye sonra evren birazcık soğudu ve yeni parçacıklar bu şekilde oluşamamaya başladı.

Proton ve nötronların bazıları birbirlerine yapışarak döteron

(hidrojen çekirdeğinin bir türü) adı verilen parçacıkları oluşturdu. Üç dakika sonra evren, nükleer füzyonu devreye sokacak kadar sıcak, oluşan parçacıkları yok etmeyecek kadar da soğuktı. Döteron ve protonların bazıları füzyonla birleşerek helyum atomlarının çekirdeklerini oluşturdu, buradaki süreç Güneş'in merkezinde hidrojeni helyuma dönüştüren süreçle aynı (bkz. 56. sayfa). Astronomlar buna nükleosentez adını veriyorlar.

Sonra evren 20 dakikasını doldurduğunda daha da soğudu ve bu füzyon durdu. Hesaplamalar, bu on yedi dakikalık füzyon sırasında, evrendeki hidrojenin çeyreğinin helyuma dönüştüğünü öne sürüyor.

Bu, Büyük Patlama'nın esas öngörülerinden birini oluşturuyor. Füzyon durunca evrenin içerdığı maddeleri değiştirecek yeni bir yol kalmamıştı. En azından yıldızların gelip ağır elementleri azar azar oluşturduğu milyonlarca yıl sonraya kadar. Bu sebeple bugünkü evren büyük ölçüde, yüzde 75 hidrojen ve yüzde 25 helyumdan oluşmalıydı. Astronomlar, modern evrene bakınca tam olarak bunu gördü ve Büyük Patlama teorisi tüm dünyada yankılandı.

Tüm o antimadde nerede?

Enerjiyi parçacıklara dönüştüren süreç "çift oluşumu" olarak adlandırılıyor. İsminin de belirttiği gibi, bu süreç her zaman iki parçacık üretiyor: Bir madde, bir antimadde (ya da karşıt madde). Antimadde parçacığı, normal parçacığın ayna ikizi. Tüm nitelikleri aynı, yalnızca elektrik yükü karşıt. Örneğin elektrik yükü negatif olan bir parçacığın, anti parçacığı pozitif yüklü.

Çift oluşumu, parçacık ve antiparçacık çiftini, enerji ikisinin de kütlesini karşılayabilecek kadar yüksekse üretebiliyor (Einstein'in meşhur $E=mc^2$ denkleminde göre). İşte bu yüzden Büyük Patlama'da evren yalnızca bir saniyelikken çift oluşumu durdu.

Evren, hâlâ çok sıcak olmasına rağmen büyük ölçüde soğudu ve enerji yeni parçacık-antiparçacık çiftinin kütlelerini karşılayamamaya başladı.

Çift oluşumunun tersi ise parçacık ve antiparçacığın birleşerek tekrar enerjiye dönüştüğü “çift yok oluşu”. Çift oluşumu eşit miktarda madde ve antimadde ürettiğinden, Büyük Patlama’dan sonraki 13,8 milyar yılda antimaddenin, tüm maddeyi yok edip yine enerjiyle dolu bir evren bırakması gerekirdi.

Ancak bu gerçekleşmedi. Evrende yıldızlar, gezegenler ve insanlar gibi bir dolu madde var. Astronomlar, oluşan her bir milyar antimadde parçacığı için, bir milyar parçacık ve bir madde oluştuğuna inanıyorlar. Sonrasında ise tüm antimadde, neredeyse tüm maddeyle birlikte yok oldu. Etrafınızda gördüğünüz her şey, azıcık fazla madde parçacıklarından geriye kalan ve yok olmayan madde parçacıklarından oluşuyor. Evrenin antimadde yerine maddeyi tercih etmesinin sebebi ise cevaplandırılmamış en büyük fizik sorulardan biri.

“Yeniden” birleşme

Büyük Patlama teorisine göre, evrendeki hidrojenin yüzde 25’i helyuma dönüştükten sonra füzyon durdu. Bu noktada evren, yalnızca yirmi dakikalıktı. Sonra çok uzun bir süre boyunca ise pek bir şey olmadı, bu süre 380.000 yıl sürdü. Evren, sürekli genişlemeye ve soğumaya devam eden enerjiden, elektronlardan, protonlardan (hidrojen çekirdekleri) ve helyum çekirdeklerinden oluşuyordu.

Beşinci bölümde de gördüğümüz gibi, evrendeki uzak cisimlere bakmak geçmişe bakmakla aynı. Ancak evrenin ilk 380.000 yıllık zaman dilimine eşit uzaklıklara bakmaya çalışırsak görüşümüz engelleniyor. Çünkü o sırada bu parçacık denizi o kadar yoğunlu ki hiçbir ışık kaçamıyordu. Bu, tıpkı bir sisin arkasındaki

bir şeyi görmeye çalışmak gibi.

Yine de Büyük Patlama teorisine göre evren nihayet, protonların ve helyum çekirdeklerinin geçen elektronları yakalayıp ilk kez atom oluşturabilmesine olanak verecek kadar soğudu ve genişledi. Bu, büyük bir alanı serbest bıraktı ve ışığın dışarıya vurmasına imkân verdi. Fizikçiler, bu olaya yeniden birleşme adını veriyorlar. Fakat bu aslında berbat bir isim, çünkü elektronlar ve çekirdekler bu olaydan önce hiç birleşmemişti.

Yine de eğer Büyük Patlama gerçekten gerçekleştiyse yenisinden birleşme noktasındaki ışık, evreni doldurmuş olmalı. Son 13,8 milyar yılda enerjisinin birçoğunu kaybetmiş olsa da hâlâ oralarda bir yerde olmalı. Bu kalıntı ışık, Büyük Patlama ile ilgili anahtar öngörülerden biri, çünkü bu ışıma durağan durumdaki bir evrende bulunamazdı. İki teori arasında bir seçim yapmak için böyle bir ışığın var olup olmadığını bulmak hayati bir önem taşıyordu.

Kozmik Mikrodalga Arka Plan

Amerikalı astronomlar Arno Penzias ve Robert Wilson 1964 yılında, New Jersey'deki Holmdel Koni Anteni üzerinde çalışıyorlardı. Anten, uzaya gönderilen ilk iletişim uydularından gelen radyo dalgalarını almak için tasarlanmıştı. Bu sinyaller çok güçsüzdü; bu sebeple Penzias ve Wilson, yerel radyo yayınları da dahil olmak üzere, gürültülü arka plan seslerini gidermek için anteni ayarlıyorlardı.

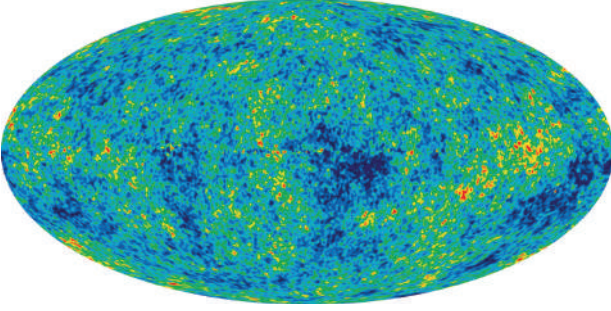
Ancak düşünebildikleri tüm sinyalleri ayrıştırırmalarına rağmen hâlâ, anten tarafından algılanan düşük sesli bir uğultu vardı. Uğultu, tüm gökyüzünden geliyordu ve 7/24 oradaydı. En başta uğultuya, koniye tüneyen güvercinlerin dışkısının sebep olduğunu düşündüler. Hatta onlara “beyaz yalıtkan madde” adını verdiler. Daha sonra güvercinler kovuldu ve anten özenle temizlendi,

fakat ses hâlâ duyuluyordu.

Bu sırada Princeton Üniversitesi'nin hemen yakınında Robert Dicke tarafından yönetilen bir ekip, Büyük Patlama'dan sonraki 380.000 yıllık yeniden birleşmeden kalması gereken kalıntı ışını arıyordu. Dicke, Penzias ve Wilson tarafından tespit edilen uğultunun haberini alınca "Çocuklar, maalesef bizden önce davrandılar," dedi. Bu ışınım artık Kozmik Mikrodalga Arka Plan (*The Cosmic Microwave Background* - CMB) adını veriyoruz. Tamamen kazara keşfedildi, fakat durağan durum modelinin bir daha asla iyileşemeyeceği bir kazaydı. Kozmik Mikrodalga Arka Plan, evrenin küçük sıcak bir noktadan başladığının net bir kanıtı oldu.

Bu ışının yayıldığı anda genişleme, evreni 3.000K (2.727 santigrat) dereceye kadar soğutmuştu. Bu, bir kırmızı cüce yıldızın yüzey sıcaklığına yakın bir sıcaklık, bu sebeple yeniden birleşme tarafından yayılan asıl ışık kızılsı olmalıydı. Ancak genişlemenin 13 milyar yıldan fazladır devam etmesi bu ışığı, insan gözünün algılayabileceğinin çok altındaki dalga boylarına esnetti. Bugün bu ışığı, tayftaki mikrodalga ve radyo dalgalarda almamızın sebebi bu. Sıcaklığı şu an yalnızca 2,7K (-270 santigrat) derece.

Büyük Patlama'dan artakalan ışığı algılamak için devasa bir koni antene ihtiyacınız yok. Eski analog TV'lerde kanalları değiştirirken ekranda siyah ve beyaz karıncalanmalar görürsünüz. Benzer olarak analog radyolarda da istasyonlar arasında geçerken bir cızırtı duyarsınız. Bu parazitlerin yüzde biri Kozmik Mikrodalga Arka Plan'dan geliyor. Genişlemesi süresince düşük frekanslara inmiş de olsa evrendeki en eski ışığı görüyorsunuz ve Büyük Patlama'nın yankısını duyuyorsunuz.



Kozmik Arka Plan, evrenin küçük ve sıcak bir başlangıçtan doğduğunun su götürmez bir kanıtı.

Kuasarlar

Kozmik Mikrodalga Arka Plan'ın keşfinden bir yıl önce Maarten Schmidt, ilk kuasarı bulmuştu. Bu cisimler, galaksilerin aşırı parlak çekirdekleri (bkz. 197. sayfa). O zamandan beri astronomlar, 200.000'den fazla kuasar buldu ve neredeyse hepsi uzak evrende bulunuyordu.

Eğer erken evren, birçok kuasarı barındırıyor ancak bizim yerel (modern) evrenimiz barındırmıyorsa bu, kozmosun zaman içinde evrimleştiğini gösterir. Yani durağan bir durumda olamaz. Ayrıca Büyük Patlama'nın gerçekleştiği zaman olan 13,8 milyar yıl öncesinden daha yaşlı bir yıldızla da karşılaşmadık. Kuasarlar, Büyük Patlama'nın Dört Ana Sütunu'ndan birini oluşturuyor.

Büyük Patlama'nın Dört Ana Sütunu:

- Evrenin genişlemesi,
- Nükleosentez (yüzde 75 hidrojen/yüzde 25 helyum),
- Kozmik Mikrodalga Arka Plan,
- Kuasar dağılımı.

EVRENİN MERKEZİ NERESİ?

Bu, çok yaygın bir soru. İnsanlar genelde evrenin merkezinde bizim olmamız gerektiğini varsayıyorlar, çünkü galaksilerin her yöne doğru hareket ettiğini gören biziz. Gelgelelim herhangi bir galaksideki canlılar da aynı şeyi görürdü. 196. sayfada galaksileri, kabaran bir hamurdaki kuru üzümlere benzettik. Kendinizi kuru üzümlerden herhangi birinin yerine koyarsanız diğer kuru üzümelerin hepsinin uzaklaştığını görürsünüz. O halde hepsi birden merkezde olamaz.

Genelde astronomlardan Büyük Patlama'nın gerçekleştiği yeri söylemeleri istenir, ancak bunu söylemek mümkün değil. Bu, belki de Büyük Patlama'nın bir "patlama" ile kıyaslanmasından kaynaklanıyor olabilir, insanlar bir bombanın patladığını düşünüyorlar. Eğer bir odadaki bomba patlarsa enkaza bakarak bombanın nerede patladığını söyleyebiliriz. Fark ise Büyük Patlama'nın doğrudan uzayı oluşturmaması. Bir bombanın patlayarak bir odayı oluşturduğunu düşünün, ondan sonra bombanın nerede patladığını tekrar sorun.

Evrendeki herhangi bir yeri seçin ve Büyük Patlama esnasında o yerin nerede olduğunu düşünün. O yer de patlamanın bir parçasıydı. Astronomlar bu nedenle, Büyük Patlama'nın her yerde aynı anda gerçekleştiğini söylüyorlar.

Büyük Patlama ile ilgili problemler

Büyük Patlama şu an için evrenin oluşumuyla ilgili ortaya koyabildiğimiz en ama en iyi teori. Tüm kanıtlar, küçük ve sıcak bir başlangıca işaret ediyor. Ancak, hâlâ cevaplanması gereken ve kafa kurcalayan birkaç problem var.

Bir şey, hiçbir şeyden nasıl doğabilir?

Büyük Patlama teorisinin asıl biçiminde evren, Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı'nın öne sürdüğü gibi sonsuz küçüklükte ve sonsuz yoğunluktaki bir tekillikten doğuyor. Sonsuz küçüklükte demek, boyutu hiç yok demek. Tam olarak hiçbir şey demek. Fakat bir şey, hiçbir şeyden nasıl doğabilir?

Tekillikler muhtemelen, evrenin gerçek bir niteliği değil. Daha çok, fiziği tam olarak doğru anlayamadığımızı belirten parlak neondan işaret levhaları. Dördüncü bölümde gördüğümüz gibi fizikçiler, Einstein'ın dönüm noktası olan teorisıyla kuantum fiziğini birleştirip eksiksiz bir Her Şeyin Teorisi oluşturmak istiyorlar (bkz. 153. sayfa).

Kuantum dünyasında bir şeyin, hiçbir şeyden doğabileceğini halihazırda biliyoruz. Kusursuz bir vakumda bile enerji, hızlıca kaybolan parçacık çiftlerine dönüştürülebiliyor. Fizikçiler bunlara, sanal parçacık adını veriyor. Bu parçacıklar, karadeliklerden çıkan Hawking ışınmasında da rol oynuyorlar (bkz. 152. sayfa). Bir Her Şeyin Teorisi, bizlere Einstein'ın uzay-zaman kumaşının kesintisiz olmadığını, onun yerine bir kabarcık dizisinden oluştuğunu gösterebilirdi. Eğer öyleyse bu kabarcıklar da tıpkı sanal parçacıklar gibi ortaya çıkar ve yok olurdu.

İşte o zaman evrenimizin hiçbir şeyden değil, uzay-zaman-

daki küçücük bir kabarcıktan doğması mümkün olabilirdi. Bu kabarcık neredeyse bir tekillik, ancak tam olarak tekillik de sayılmaz. Gelgelelim bu sefer de kabarcığın neden tekrar yok olmak yerine genişlediğini açıklamamız gerekirdi. Büyük Patlama teorisinin asıl biçiminde ise bunu açıklayabilecek hiçbir şey yok.

Büyük Patlama'dan önce ne oldu?

Bu soru, “Hiçbir şey, bir şeyden nasıl doğabilir?” sorusunun kardeşi. Büyük Patlama'nın asıl biçimi, zamanın tekilliğin patlamasıyla başladığını söylüyor. Tıpkı kuzey kutup noktasının kuzeyi diye bir şey olmadığı gibi, zamandaki en erken noktadan önceki bir nokta da yok.

Bu cevap birçok insan için tatmin edici bir cevap değil, özellikle de sebep sonuç ilişkisinin genel kuralları düşünüldüğünde. Diyelim ki bir kitabı düşürdünüz. Kitap, siz elinizden bıraktıktan sonra (sebebe) yere düşecek (sonuç). Bu düşünceye o kadar aşınayız ki yere düşen bir kitap görsek biraz önce onu birinin düşürdüğünü varsayma hakkına sahip oluruz.

Eğer Büyük Patlama sonuçsa sebep ne? Eğer zamanı yaratan şey sonuçsa ondan önce gelen bir sebep nasıl olabilir? Büyük Patlama'nın asıl biçiminde, Büyük Patlama'dan önceki bir zaman hakkında konuşmak mümkün değil.

Manyetik tek kutuplar

Asıl Büyük Patlama teorisine göre evren, başlangıçta manyetik tek kutupları (yalnızca bir manyetik kutbu olan varsayımsal parçacıklar) oluşturacak kadar sıcaktı. Buna rağmen fizikçiler, evrendeki hiçbir yerde tek kutuplu bir yapıyla karşılaşmadı.

Kozmik Mikrodalga Arka Plan'daki sıcaklık farkları

Yeniden birleşme şu an Kozmik Mikrodalga Arka Plan (CMB) olarak gördüğümüz ışığı salıverdiğinde evrendeki sıcaklık 3.000K (2.727 santigrat) derece civarındaydı. Ancak bugün Kozmik Mikrodalga Arka Plan'dan elde ettiğimiz ışının sıcaklığı, yalnızca 2,7K dereceye denk geliyor, çünkü evren büyük ölçüde genişledi (bkz. 208. sayfa).

Astronomlar, Kozmik Mikrodalga Arka Plan'ın hassas haritasını *WMAP* ve *Planck* gibi uyduları kullanarak çıkardı; bu uydular, bir milyonda minicik bölümlük bir sıcaklık sapmasını bile algılayabiliyor. Arka Plan'daki bazı bölümler, kalan bölümlerden azıcık sıcak ya da soğuk. Bu da CMB yayıldığında evrenin başlangıcındaki bazı bölümlerin, diğerlerinden biraz daha sıcak veya soğuk olduğu anlamına geliyor.

Bu olay, evrenin başlangıcında maddelerin eşit dağılmamasıyla açıklanabilir. Biraz daha yoğun bölgeler daha sıcakken seyrek bölgeler daha serindi. Bu ayrıca, devasa galaksi süperkümelerinin geniş süperboşluklarla çevrili olduğu günümüz evren yapısıyla da uyuyor. Seyrek alanlar, boşlukları oluşturmak için genişleme tarafından esnetildi ve yoğun alanların çekimi kümeleri oluşturmak için ilave maddeleri kendilerine çekti. Yine de asıl Büyük Patlama modeli, erken evrenin madde dağılımındaki küçük değişimlerin kökenini açıklayamıyor.

Ufuk problemi

Ufak sıcaklık dalgalanmaları bir kenara konulduğunda Kozmik Mikrodalga Arka Plan, sıcaklık anlamında inanılmaz derecede düz. Arka Plan sıcaklığının, tüm gözlemlenebilir evren boyunca aynı olması nasıl mümkün olabilir? Kış günü bir camı açarsanız

ısı, içerinin sıcaklığı da dışarı s kadar soğuk olana dek dışarıya doğru çıkar. Bir fizikçi bu durumda, iki yerin de nihayetinde ısı dengesine ulaştığını söylerdi. Ancak bu dengeye ulaşmak zaman alıyor. Evrendeki diğer her şey gibi, iki yer arasında yer değiştirecek herhangi bir şeyin de ulaşabileceği maksimum hız, ışık hızı. Bu, sizin evinizde bir problem olmayabilir, fakat uzayda yle.

Gökyüzünde 10 milyar ışık yılı uzaklıktaki bir yere bakalım, sonra da aynı uzaklıkta fakat tam tersi yöndeki bir yere bakalım. Bu, aralarında 20 milyar ışık yılı olduğu anlamına geliyor. Evren yalnızca 13,8 milyar yaşında, peki uzaydaki bu iki yer nasıl oldu da bu sürede ısı dengesine ulaştı?

Geçmişte birbirlerine daha yakın olduğunu söyleyebilirsiniz ancak, hiçbir zaman yeterince yakın değillerdi. Büyük Patlama teorisi bizlere, evrenin başlangıçtan beri ne hızla genişlediğini söylüyor. Bu iki yer birbirlerine asla ısı dengesine ulaşacak kadar yakın değildi, çünkü yakın olsalardı bu kadar uzak dşemezlerdi. ışık bile birinden diğerine ulaşamamış, yani hep birbirlerinin ufuklarının ötesinde kalmışlar. Bu *ufuk problemi*, Büyük Patlama teorisinin asıl biçimiyle ilgili en büyük sorunlardan biri.

“Düzlük” problemi

Dünya’nın yüzeyi kavisli, ancak bu kavis büyük bir mesafe katetmediğiniz sürece belli olmuyor. Bir noktada kısı lı kaldığınızı ve yalnızca etrafınızdaki on metrelik bir alanı grebildiğinizi düşünün. Öyle olmadığı halde Dünya’nın düz olduğunu düşünürdünüz.

Bu durum, evreni deneyimleme biçimimizle benzer. şu an Güneş sistemimizle sınırlıyız ve uzak yerlerden detaylar getiren ışığa bağlıyız. Ayrıca cisimleri, yalnızca ışıkları bize ulaşacak zamanı bulabildiyse görebiliyoruz. Evren, başlarda o kadar

hızlı genişledi ki hiçbir zaman göremeyeceğimiz bölgeleri var. Bu sebeple evren (var olan her şey) ve *gözlemlenebilir* evren (görebildiğimiz kısmı) arasında bir ayırım yapılması gerekiyor.

Gözlemlenebilir evrenin ölçümleri, içerisindeki uzayın düz olduğunu öne sürüyor; yani fark edilebilir genel bir kavisli yok. Bunun için iki olası açıklama var. Birincisi, genişleme evreni o kadar çok esnetti ki evrenin tamamı kavisli bile olsa bize görünen küçük kısmı, düz gibi gözüküyor. Bu, Dünya'daki on metrelik alana kısıldığınız ve gezegenin yüzeyi kavisli olsa dahi düz gördüğünüz durumla aynı. Gelgelelim Büyük Patlama teorisinin asıl biçimine göre evren, bunun yaşanmasına olanak sağlayacak kadar genişlemedi. Yani ya Büyük Patlama teorisi bütün hikâyeyi anlatmıyor ya da tüm evren (görebildiğimiz veya göremediğimiz her alan) düz. Astronomlar, bunun olasılığını hesapladı ve sonuçlar “yüz trilyon x trilyon x trilyon x trilyon x trilyonda bir” çıktı.

İnce ayar problemi

Evrenimizin görünen düzlüğü, tek inanılmaz olasılıksızlığı değil. Evrenimizin, kontrol kolları, göstergeler ve tuşlarla dolu kocaman bir kontrol paneline sahip olduğunu düşünün. Her biri evrendeki bir konuyu yönetiyor. Bu ışık hızı olabilir, bir elektronun kütlesi olabilir ya da çekim kuvveti olabilir. Eğer bu ayarların birini birkaç derece bile değiştirirseniz evrenimiz bambaşka bir yer olurdu.

Çekim kuvvetini ele alalım. Eğer daha güçlü olsaydı maddeler yıldızların kalbinde daha yoğun şekilde ezilirdi. Yıldızın füzyonu çok daha hızlı bir hal alacak ve yıldızların ömrü, şu an olduğu gibi milyarlarca yılda değil, aylar veya yıllar içinde tükenecekti. Böyle koşullar altında Dünya'daki yaşam da başlama şansına sahip olamayacaktı. Göstergeleri yeteri kadar değiştiri-

rirseniz yıldızlar hiç oluşmazdı bile. Eğer çekim kuvveti çok daha güçlü olsaydı evrenin başlangıçtaki genişlemesini tersine çevirebilirdi; bu da daha ilk yıldızlar ateşlenmeden her şeyin kendi üstüne çöktüğü “Büyük Çatırtı”yı gerçekleştirebilirdi.

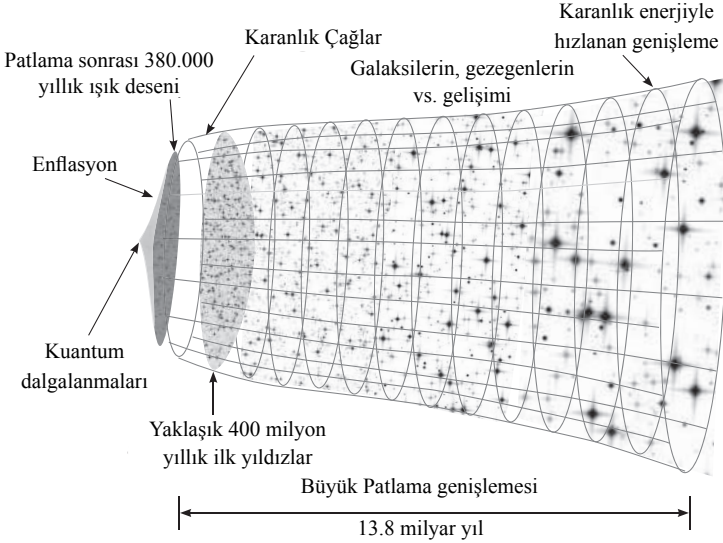
Eğer tüm bu ayarlar rasgeleyse ve birçok değer alabiliyorlarsa o zaman nasıl oldu da tüm göstergeler yıldızlar, gezegenler ve insanlarla dolu bir evreni oluşturacak kadar kusursuz bir hal aldı. Diğer ayarların birçoğu boş bir evrene ya da “hiçbir şey”e sebep oluyor. Bu ince ayar problemine birkaç cevap var. Tamamen şans eseri olabilir, çünkü olasılığı yok gibi olan şeyler bazen gerçekleşiyor. İkinci açıklama ise her şeye gücü yeten bir yaratıcının, evreni incelikli bir şekilde tasarladığı. Bu iki açıklama da yeterince tatmin edici değil, çünkü test edilebilir değil.

Ancak kozmik enflasyon adı verilen üçüncü bir açıklama, yalnızca ince ayar problemi değil, Büyük Patlama ile ilgili tüm diğer problemlere bir açıklama getirebilir.

Kozmik Enflasyon

Büyük Patlama'nın problemlerini düzeltmek

Büyük Patlama ile ilgili problemlerin birçoğu 1970’li yılların sonunda göze çarpar hale geldi. Bir tür patlamanın yaşandığının kanıtı olan Kozmik Mikrodalga Arka Plan, nükleosentez ve kuasarlar göz ardı edilemezdi. Yine de sorular cevaplanmıyordu.



Evrenin tarihine dair elimizdeki en iyi tablo: Enflasyon ile başlayan ilk dönemden, karanlık enerjinin hüküm sürdüğü günümüz dönemine.

Fizikçi Alan Guth, Andre Linde ve Paul Steinhardt, 1979’da başlayıp 1980’lerin başına dek çalışarak Büyük Patlama fikrini, tüm güçlü yanlarını koruyarak nispeten değiştirmenin bir yolunu bulmuştu. Fikirlerine kozmik enflasyon diyor ve öne sürdüğü şey inanılmaz basit: İlk anlarında evren, daha sonra gelecek her şeyden çok daha hızlı bir genişleme dönemi geçirdi. Bunu, Hubble’ın ilk bulduğu genişleme değerinin steroit kullanmış hali olarak düşünün. Saniyenin ilk bir trilyon x trilyon x trilyonunda evren, atomdan çok daha küçük bir boyuttan bir greyfurt boyutuna ulaştı. Bu kulağa az gibi gelebilir, ancak ölçek çarpanının içinde tam yetmiş sekiz tane sıfır var. Eğer bir alyuvar hücrenizi bu kadar büyütebilerseniz hücreniz, gözlemlenebilir evrenden “bir trilyon x trilyon x trilyon” kat daha geniş olurdu.

Büyük Patlama’nın her sorununu sırayla ele alalım ve bu hızlı genişlemenin yaşandığı erken enflasyon dönemini teoriye dahil etmenin, bu problemleri çözmeye nasıl yardımcı olduğuna bir bakalım.

Bir şey, hiçbir şeyden nasıl doğabilir?

Önceki sayfalardaki bu soruya baktığımızda evrenin belki de hiçbir şeyden değil, uzay-zamandaki bir kuantum baloncuğundan doğmuş olabileceğini söylemiştik. Yine de bu baloncuğun neden tekrar yok olmadığıyla ilgili bir nedene ihtiyacımız vardı. Enflasyon teorisine göre baloncuk, kozmik enflasyona benzer hızlı bir genişleme döneminden geçtiyse yaşamış olabilir.

Büyük Patlama'dan önce ne oldu?

Büyük Patlama ile ilgili fikirlerimiz, uzayın şu anki genişleme oranına bakıp genişlemenin başladığı noktaya kadar, yani tersine doğru hesaplamalarımızdan geliyor. Tam anlamıyla söylemek gerekirse o genişleme (Hubble Kanunu'na uyan kısmı), yalnızca enflasyon sona erdiğinde başladı. Yani Büyük Patlama'dan önce olan şey enflasyonun ta kendisi. Birçok teorisyen, enflasyondan önce bir tekilliğe ihtiyacımızın olmadığını öne sürüyor, özellikle de ortada bir Her Şeyin Teorisi varsa. Orada olan her ne ise bir kısmı patlayıp evrenimizi oluşturmadan önce, sonsuza dek orada durmaya da devam edebilirdi.

Manyetik tek kutuplar

Bir enflasyon dönemi, herhangi bir manyetik tek kutbu asıl Büyük Patlama resminin öne sürdüğünden çok daha uzağa fırlatmış olabilir. Şu âna dek o kadar dağılmışlardır ki biriyle bile karşılaşmamış olmamız hiç şaşırtıcı olmaz.

Kozmik Mikrodalga Arka Plan'daki sıcaklık farkları

En küçük ölçeklerde bir ortaya çıkıp bir yok olan sanal parçacıklar olduğunu biliyoruz (bkz. 152. sayfa). Bu kuantum dal-

galanmaları, uzaydaki herhangi bir noktada enerji değişiklikleri olmasına sebep oluyor. Enflasyon sırasında bu noktalar, astronomik boyutlara ulaşmış olabilir; bu da yeni evrende, ortalamanın üstünde veya altında enerjiye sahip alanların oluşmasına sebep olmuştur.

Bu, Kozmik Mikrodalga Arka Plan'da neden ufak sıcaklık farkları olduğunu açıklıyor. Fizikçiler, enflasyona maruz kalmış kuantum dalgalanmalarının öngörülen boyutu ile Kozmik Mikrodalga Arka Plan'daki sıcaklık farklarını karşılaştırdıklarında mükemmel bir eşleşme gerçekleşiyor. Daha önce de gördüğümüz gibi bu farklar, süperküme ve süperboşlukların oluşacağı yerlerdeki tohumlar oldu (bkz. 214. sayfa). Yani enflasyon aynı zamanda, günümüz evren yapısının neden böyle olduğunu da açıklıyor.

Ufuk problemi

Enflasyon, evrenin başlangıçta Büyük Patlama teorisinin öne sürdüğünden çok daha hızlı genişlemesine yol açtı. Bu da uzaydaki iki alanın, başlangıçta çok yakın olup da şu an bu kadar uzak olabilecekleri anlamına geliyor. Eğer uzaydaki her nokta, enflasyondan önce birbirine çok daha yakın ise ayrı yerlere fırlamadan önce ısı dengesine ulaşmış olabilir.

Düzlük problemi

Düzlük probleminin bir çözümüne göre uzay başlangıçta o kadar çok esnedi ki geniş evren bir kavise sahip olsa bile gözlemlenebilir evren bize düz gözüküyor (tıpkı Dünya'nın ufak bir alanının bize düz gözükmesi gibi).

Ne var ki Büyük Patlama'nın tek başına, evreni bu denli esnetemeyeceğini söylemiştik (bkz. 216. sayfa). Gelgelelim, daha

önce düşündüğümüzden çok daha fazla genişlemeye sebep olan bir enflasyon dönemi varsa bu gerçekleşebilir. Enflasyon, gözlemlenebilir evreni düz olarak görmemize sebep olmuş olabilir.

İnce ayar ve sonsuz enflasyon

Böylece geriye yalnızca ince ayar problemi kalıyor, bunun cevabını da sonsuz enflasyon fikrinde arayacağız.

Enflasyon, Büyük Patlama'nın büyük problemlerine uygun çözümler sunuyor. Ancak bu hızlı genişleme döneminin gerçekleştiğini söyleyecekseniz, birden hızlanmanın neden gerçekleştiğini ve Büyük Patlama ile tanımlanabilecek bir evrene nasıl geçiş yapıldığını da açıklamak zorundasınız.

Bunu yapabilmek için enflasyon teorisyenleri, bir enflasyon alanının varlığına başvuruyorlar. Fizikte bir alan, bir gücün faaliyet gösterdiği bölgedir. Örneğin, Dünya'nın bir çekim alanı vardır. Bu alanın gücü, Dünya'nın yüzeyinde çeşitlilik gösterir, dağların tepesinde daha güçlüyken alçak vadilerde daha zayıftır. Fizikçiler enflasyon alanının da çeşitlilik gösterdiğine inanıyorlar. Enflasyon, güçlü olduğu alanlarda gerçekleşiyor, zayıf olduğu alanlarda ise duruyor. Enflasyon alanında kilitli kalmış enerji de enflasyon durunca madde ve radyasyona, yani Büyük Patlama'ya dönüşüyor.

Ne var ki teorisyenlerin enflasyon alanındaki bu enerjiyi Büyük Patlama'ya benzer bir şeye düzgünce dönüştürmeleri için geçişin tümünün, birden olmaması gerekiyor. Her bir kısmı geçişte başka bir Büyük Patlama elde ediyorsunuz, bu da enflasyon başka bir yerde devam ederken buradan ayrı bir uzay alanı yaratıyor. Buna sonsuz enflasyon adı veriliyor ve sonuçları çok fazla.

Çoklu Büyük Patlamalar, çoklu evrenler manasına geliyor. Enflasyon teorisine göre, sonsuza yakın (hatta gerçekten sonsuz) sayıda evren olmalı. Fizik kuralları, parçacıkların kütleleri ve

etkilerin güçleri her birinde, enflasyon alanından Büyük Patlama'ya olan geçişe bağlı olarak farklı olacak. Bu da her bir evrenin kontrol panelindeki kontrol kollarının, göstergelerin ve tuşların ayarlarının farklı olacağı anlamına geliyor (bkz. 216. sayfa).

Evreninizin biricik olduğunu düşünürseniz tabii ki kontrol panelinin de sırf sizin varlığınız için muhteşem bir şekilde ayarlanmasını kafa karıştırıcı bulabilirsiniz. Hatta bir yaratıcının varlığına dair düşüncelere de kapılabilirsiniz. Acaba evreninizin birçok evrenden biri olduğunu fark ettiğinizde kendinizi nerede bulacaksınız?

Evrenin ayarlarının yıldızlara, gezegenlere ve size uygun olmadığı bir evrende zaten var olamazsınız. Yalnızca göstergelerin uygun olduğu yerlerde var olabilirsiniz. Sonsuz enflasyon teorisini, ince ayar problemini, sonsuz enflasyonun yol açtığı çoklu evrenler olduğunu ve bu evrenlerin de birçok ayar barındırdığını söyleyerek çözüyor. Göstergeler “uygun” olmalı ki oradan başka bir yerde olmayasınız.

Çoklu evren

Çoklu evren fikrine biraz alışmak gerekiyor. Gerçekleşebilecek her şeyin gerçekleştiği bir yerde, sürekli değişen olasılıkları andırıyor. Eğer çoklu evren sonsuz ise o zaman her olasılık sonsuz sayıda gerçekleşiyor olmalı.

Durumun neden böyle olduğunu anlamak için altı tane zar attığınızı düşünün. Zarların 1, 2, 3, 4, 5, 6 gelme olasılığı nedir? Cevap, yüzde 1,5. Bu sebeple bu düzen, aşağı yukarı her iki yüz atışta, üç kere tekrar etmeli. Zarları daha çok kez atarsanız aynı düzeni daha fazla görürsünüz.

Çoklu evrende de durum aynıdır. Enflasyon alanının Büyük Patlama'ya dönüştüğü her an, başka bir zar atmaya benzer. Zarları yeteri kadar atarsanız aynı düzenin (evrenin) tekrar ettiğini

göürsünüz. Sonsuz sayıda atarsanız bunu daha sık görmeniz kesinleşmiş olur.

Sonsuz bir çoklu evrenin içinde, nihayetinde atomlarının bizimkine benzer bir düzende ayarlandığı başka bir evrenle karşılaşrsınız. Hem de her bir atomun benzer bir düzende ayarlandığı bir evrenden bahsediyoruz. Bu düzen, çocukken geceleri gökyüzünde gördüğüm pırıltılı atomlardan ilham alıp astronomi üzerine bir kariyer yapmaya karar verdikten sonra bu satırları yazdığım parmaklarımdaki atomlardan tutun, bu sayfayı okurken ışığı içeri alan gözlerinizdeki atomlara kadar her atomu içeriir. Çoklu evrenin başka bir kısmında da bu evrende yaptığınız şeylerin aynısını yapıyorsunuz, tüm hayatınız tekrar ediliyor.

Eğer milyonlarca evrende, tıpatıp aynı seçimleri yapan milyonlarca versiyonunuz varsa yaptığınız seçimler ne anlama geliyor? Bir de tamamen farklı seçimler yapan milyonlarca “neredeyse siz” varsa? Sizin Amerika Birleşik Devletleri başkanı olduğunuz evrenler var, bazı evrenlerde ise Washington hâlâ İngiltere’den yönetiliyor. Bu evrende hayatını kaybetmiş sevdikleriniz, diğerlerinde sağ salım. Bazılarında bir tavuğun kafasına ya da bir kangurunun kesesine sahiptiniz. Atomların olası her yapısı, sonsuz çoklu evrende, sonsuz sayıyla garanti altına alınmış.

Kozmik enflasyonun kanıtı

Çoklu evrenler, sonsuz enflasyonun doğal bir sonucu olarak görülüyor ki bu da evrenimizin niteliklerini açıklamak ve Büyük Patlama teorisini geliştirmek için işe yarayabilir. Fakat sonsuz olsun ya da olmasın bu enflasyonun gerçekten gerçekleştiğine dair şu an hiç kanıtımız yok. Hatta teorisinin babalarından biri olan Paul Steinhardt, teoriye sırtını döndü. O zamandan beri, çoklu evren teorisini sözünü sakınmadan eleştiriyor.

KOZMİK MİKRODALGA ARKA PLAN'DAKİ

SOĞUK NOKTA

En eski kütleçekimsel dalgaların eksikliği bile bazı bilim insanlarının diğer evrenlere dair kanıtlar bulunduğunu ileri sürmesine engel olmadı. Tüm dayanak noktaları ise Kozmik Mikrodalga Arka Plan'daki alşılmadık biçimde soğuk olan bir bölge.

Bölge, ilk olarak 2004 yılında WMAP uydusu tarafından tespit edildi; daha sonra 2013 yılında Planck uydusu tarafından tekrar algılandı. Bu alan, Kozmik Arka Plan'ın ortalama 2,7K sıcaklığına kıyasla kelvin ölçümüne göre 140 milyon derece daha soğuk; bu da bu sıcaklık farkını, standart sıcaklık farklılıklarından ayırıyor. Ayrıca bölge, enflasyon tarafından artırılmış kuantum dalgalanmalarının sebep olamayacağı kadar da büyük.

Belki de Kozmik Arka Plan'ın o bölgesindeki ışık, bilhassa geniş bir süper boşlukta seyahat etmiştir; bu boşluklar evrensel ortalamaya kıyasla daha az galaksi içeriyor. Böylece ışık, yol alırken enerjisini kaybetmiştir ve onu daha soğuk görüyoruzdur. Fakat 2017 yılında 7.000 galaksiyi içeren geniş çaplı bir araştırma böyle bir boşluğun olmadığını ortaya çıkardı.

Diğer astronomlar ise bu soğuk noktanın, başka bir evrenin bizim evrenimiz üzerindeki etkisi olduğuna inanıyorlar. Sonsuz enflasyon sırasında baloncuktan bir komşu evrene çarpmış olabiliriz, bu da Kozmik Arka Plan'ımızda bir "yara" bırakmıştır. Ancak bu, hâla tartışılan bir fikir sadece.

Yine de diğer birçok araştırmacı, enflasyonun kanıtını bulmanın mümkün olduğuna inanıyor. Hatta bilim insanlarından

oluşan bir ekip, somut delil bulduklarını iddia ederek 2014 yılında dünya çapında manşetlere taşındı. Sonuç, Antartika'da bulunan Amundsen-Scott Güney Kutbu İstasyonu'ndaki BICEP2 araştırmasından geldi. Bilim insanları bu sonucu, Kozmik Mikrodalga Arka Plan'a tekrar bakmak için kullandı.

Enflasyon kadar hızlı bir genişlemenin, bebek evrenin her bir yanına kütleçekimsel dalgalar yayacağına inanılıyor. Bir gün bu en eski kütleçekimsel dalgaları tespit edebiliriz, fakat 13 milyar yıl geçtikten sonra bu dalgalar artık çok zayıf, en azından şu anki kütleçekim detektörlerimiz için. Buna rağmen Kozmik Mikrodalga Arka Plan, evrenimizin yaklaşık 380.000 yaşındaki halinin enstantanesini bizlere sunduğu için yardımımıza koşabilir. Eğer evren kırk yaşında olsaydı, Kozmik Mikrodalga Arka Plan (CMB) evrenimizin on saatlik bir bebekken çekilmiş fotoğrafı olurdu. CMB halihazırda oradayken yayılan herhangi bir eski kütleçekimsel dalga, CMB'nin ışığında izlerini bırakmış olmalı. BICEP2 takımı, bu izleri bulduğunu Mart 2014'te dünyaya duyurdu.

Ancak şu an birçok astronom, aslında bulmadıklarında hemfikir. Şüpheler doğal olarak hızla dile getirildi; Planck uydusunun arkasındaki ekip bu etkinin, Kozmik Mikrodalga Arka Plan ışığının Samanyolu'ndaki tozdan geçerken oluşmuş olabileceğini öne sürdü. Yani şimdilik astronomlar, enflasyonun gerçekleştiğine dair ilk kanıtları bulmak için hâlâ arayışta.

BICEP2 fiyaskosu gerçekleştikten on sekiz ay sonra, karadeliklerin çarpışmasından ortaya çıkan kütleçekimsel dalgalar ilk kez Eylül 2015'te LIGO deneyi tarafından tespit edildi (bkz. 147. sayfa). LIGO, en eski kütleçekimsel dalgaları tespit edebilecek kadar hassas değil; ama artık kütleçekimsel dalgaların varlığı nihayet kanıtlandığından daha büyük ve daha iyi algılayıcılar inşa etmek için bir atılım gerçekleşmesi muhtemel. Bir gün bu makineler, bizlere çoklu evrenlere açılan kapıları gösterebilir.

Evrenin sınırları

Evrenin ucu

Evre­nimizin biricik mi, yoksa enflasyonla birlikte doğan çok­lu evrenlerin bir parçası mı oldu­ğu hâlâ belli de­ğil. E­ğer ya­lınız biz varsak evrenin bir sınırı var mı? E­ğer bir­çok evren varsa bir di­ğeri nered­e baş­lıyor? Ya da evrenimizin bir sınırı var mı?

Görebildiğimiz bir sınırı oldu­ğu kesin. Kozmik Mikro­dalga Arka Plan'ın ışı­ğı, göz­lemlenebilir evrenin sınırlarından geliyor; bu ışı­ık, evrenin baş­langıcındaki yoğun par­çacık sisinden kaçıp kurtulabilen ilk ışı­ıklardan oluşuyor. Kozmik ufkumuzun işareti de bu ışı­ık, hat­ta birazcık Dünya'daki ufku andırıyor. Evinizin dışına çıkarsanız yalnızca bir yere kadar görebilirsiniz. Fakat yeryüzünün sizin ufkunuzun ötesinde devam etti­ğini bilirsiniz. Astronomlar da kozmik ufkumuzun, evrenin sınırını oluş­turmadığına inanıyor.

Tekli evrenin bir­çok modelinde evren, sonsuza dek devam ediyor, bir sınırı veya ucu olmayan sonsuz büyüklükte bir kozmos. İnsanlar genelde şu soruyu sorar: *Evren nered­e geniş­liyor?* Ancak evrenimiz tekse o zaman doğası gere­ği, var olan her şeyi içermesi gerekiyor. E­ğer bir şekilde evrenin ötesinde bir şey varsa o zaman, o şey zaten “vardır” ve bu sebeple evrenin bir parçasıdır. Ayrıca evrenin, galaksilerin uzayda yol alıp daha önce “işgal edil­miş alanlara hücum ederek” geniş­lemediğini biliyoruz. Bunun yerine, galaksilerin arasındaki uzay esniyor (bkz. 202. sayfa).

E­ğer evrenimiz, geniş çoklu evrenin bir bölümüyse o zaman da tüm tekil evrenler daha geniş bir yapının parçası olurdu. Kozmik Mikro­dalga Arka Plan'daki so­ğuk noktanın baş­ka bir evren­den aldığımız yara olduğuna inanan Laura Mersini-Houghton, en yakın evrenin var olması durumunda şu an ne kadar uzakta

olacağını hesapladı. Bulduğu cevap, şu anki kozmik ufkumuzdan en az bin kat daha uzakta olduğuydu.

Evrenin kaderi

Kozmosu bekleyen şey ne? Bu sorunun cevabı, evrenin ne kadar öge içerdiğine bağlı.

Evrenimiz, Büyük Patlama'dan beri genişlemeye devam ediyor, aralarındaki uzay genişlerken galaksiler birbirinden ayrı düşüyor. Oysa galaksilerin, birbirlerine karşı bir kütleçekimsel çekimleri de var. Eğer evrende yeterli miktarda madde ve karanlık madde varsa toplam çekimleri, nihayetinde bu genişlemeyi tersine çevirecek ve galaksileri birbirlerine tekrar yakınlaştıracak. Evren, "Büyük Çatırtı" eşliğinde çökecek. Eğer evrende yeterli miktarda öge yoksa genişleme devam edecek, bu genişleme gitgide yavaşlayacak fakat asla durmayacak. Üçüncü bir olasılık ise evrende, genişlemeyi durduracak ancak aynı zamanda bir çöküşü tetiklemeyecek kadar kütle bulunduğu.

Üç senaryoda da ortak olan bir şey var: Evrenin genişlemesi şu an yavaşlıyor. İki astronom ekibi, 1990'lı yılların ortasında, evrenin genişlemesinin zaman içinde tam olarak ne oranda değiştiğini bulmak için birtakım projeler üzerinde çalışıyorlardı.

Beşinci bölümde gördüğümüz gibi, çok uzak cisimlere bakmak, geçmişe bakmakla eşdeğer. Işık, bize geçmişten bilgiler getiren bir kartpostal gibi (bkz. 198. sayfa). Galaksi ne kadar uzaksa yansıttığı zaman da o kadar uzak. Uzak galaksilerin hızlarını ölçerek evrenin geçmişte ne hızla genişlediğini bulabiliriz, bu hızı da şu anki genişleme hızıyla kıyaslarız. Eğer evren yavaşlıyorsa o zaman genişleme geçmişte daha hızlı olmalı.

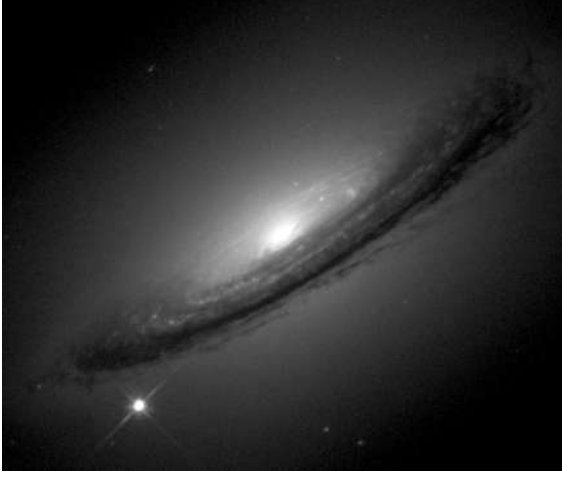
Ancak uzak galaksilerin evrenin geçmişinin hangi kısmını yansıttığını bilmek istiyorsak ne kadar uzak olduklarını doğru bir şekilde ölçmeliyiz. Paralaks ve Sefe değişenleri gibi uzaklık

belirleyici yöntemler o kadar uzak yerler için işe yaramıyor (bkz. 188. sayfa). İki astronom ekibi bu sebeple yeni ve daha parlak bir “standart mum” a ihtiyaç duydular: Tip Ia süpernovalar.

Tip Ia Süpernovalar

Güneş’imiz, alışıktığımız bir şekilde yalnız. Birçok yıldız çiftler halinde bulunuyor, tıpkı Kepler-16b gezegeninin ikiz güneşleri gibi (bkz. 162. sayfa). Çiftin birinin öldüğünü ve tıpkı Güneş’imizin de nihayetinde oluşturacağı gibi, bir beyaz cüce oluşturduğunu düşünün. Bu yoğun çekirdek, kudretli bir çekimsel kuvvete sahip olacak ve refakatçisinin gazını yağmalamaya başlayacak. Beyaz cüce, daha çok ve daha çok madde tükettikçe daha da ağır bir hal alacak.

Yine de bir beyaz cücenin tüketebileceği miktarın da bir limiti var. Bu limit, Chandrasekhar limiti olarak biliniyor; Hintli astrofizikçi Subrahmanyam Chandrasekhar bu limiti, yalnızca on dokuz yaşındayken hesapladı. 1930 yılında Cambridge’e olan yolculuğu için, Hindistan limanı Madras’tan bir gemiye binip İtalya’daki Cenova’ya gitti. Üç haftalık yolculuğu boyunca, bir beyaz cücenin kütesinin, 1,4 Güneş’e eşdeğer bir kütleyi aşamayacağını hesapladı. Bir beyaz cüce bu limite yaklaştıkça daha dengesiz bir hal alıyor ve sonunda felaket getiren bir süpernova olarak patlıyor. Astronomlar, bu olayları büyük bir yıldızın yaşamının sonundaki çekirdek çöküşü patlamalarından ayırmak için (Tip II süpernovalar, bkz. 142. sayfa), bu patlamalara Tip Ia süpernova adını veriyor. Bu tip süpernovalar, kusursuz standart mumları oluşturuyor; muhteşem bir parlaklığa sahip olmaları ve evrenin yarısından görülebilmeleri bir yana, aynı zamanda doğal ışıkları da hep birbirlerine benzer ölçüde. Ne zaman biri patlasa bu patlama 1,4 Güneş’e eşdeğer bir yakıtla patlıyor. Yakıtın sabit olması parlaklığın da sabit olduğu anlamına geliyor.



SN 1994D olarak bilinen Tip Ia süpernovası, NGC 4526 galaksisinde patlıyor. Tek başına bir patlamanın, bir galaksinin aktif çekirdeği kadar parlak olabileceğine dikkat edin.

Yıldızın patladığı galaksiye olan uzaklığı bulmak için ise yapmanız gereken tek şey, gökyüzünde ne kadar parlak gözüktüğüyle ne kadar parlak gözükmesi gerektiğini karşılaştırmak (yani görünen parlaklığı ile mutlak parlaklığı). Fark ne kadar fazlaysa ışık, Dünya'ya olan yolculuğunda o kadar çok zayıflamış demektir.

Evrenin genişleme tarihi üzerinde çalışan iki ekip, 1998 yılında Tip Ia süpernovalarını temeline alan ölçümlerin sonuçlarını yayımladı. Herkesi son derece şaşırtan şey ise bulduklarına göre, evrenin genişlemesinin hızlandığıydı. 2011 yılında bu keşfin arkasındaki üç bilim insanı, Nobel Fizik Ödülü ile ödüllendirildi.

Karanlık enerji

Büyük Patlama'dan sonra evrenin genişleme hızı, beklendiği gibi hemen azalmışa benziyor; fakat yaklaşık 6 milyar yıl önce, birden tekrar hızlanmaya başladı. Kimse böyle bir şeyi beklemiyor-

du ve herkes hâlâ şaşkın.

Çekim gücünü bastıran ve galaksileri etkin bir şekilde ayıran bir şey varmış gibi görünüyor. Bu gizemli varlığın etkisi, evrenin başlangıcında göz ardı edilebilmiş olmalı, ancak kozmos yaşlandıkça bu varlık daha da güçlenmiş. Astronomlar, çekim etkisine karşı koyan bu gölgevari varlığa karanlık enerji adını veriyor; karanlık enerji, galaksileri birbirine yapıştırdığı düşünülen görünmez karanlık maddeyle aynı mizaca sahip (bkz. 177. sayfa). Astronomlar, evrenimizin şu an, yüzde 68 karanlık enerjiden, yüzde 27 de karanlık maddeden oluştuğuna inanıyorlar. Sıradan maddeleri (etrafımızdaki her şeyi) oluşturan atomlar ise evrenimizin yalnızca yüzde 5'ini oluşturuyor.

Karanlık enerji, gerçekten betimleyici bir isim çünkü bu enerji türü hakkında bildiklerimiz, karanlık madde hakkında bildiklerimizden bile daha az. Başlıca düşünce, vakum enerjisi denen bir olgunun varlığı ve bu konseptle birkaç kez karşılaştık. Boş uzay aslında gerçek anlamda hiçbir zaman boş değil; burada bir var olup bir yok olan sanal parçacıklar var (bkz. 152. sayfa). Uzayın belli bir bölgesindeki ortalama vakum enerjisi hep aynı. Evrenin erken döneminde, galaksiler arasındaki boşluk küçüktü, yani etrafta çok fazla vakum enerjisi yoktu. Daha sonra Büyük Patlama'nın ivmesi, galaksiler arasındaki uzayı zaman içinde esnetti. Daha fazla uzay, daha fazla vakum enerjisi demek. Nihayetinde uzay o kadar çok büyüdü ki vakum enerjisinin itici gücü, zayıflayan çekim gücüne baskın geldi ve evren tekrar hızlanmaya başladı.

Bu fikir derli toplu gelebilir, ancak açık uçları mevcut. Kuantum fiziğine göre vakum enerjisinin miktarı, gözlemlediğimizden 10120 kat daha fazla olmalı. Bu tam 120 sıfırlı bir sayı demek! Eğer karanlık enerji, yalnızca vakum enerjisi ise o zaman evren bundan çok önce parçalanmış olmalıydı. Bu da kuantum fiziği ve genel görelilik arasındaki temel uyumsuzluğun başka bir

örneği. Karanlık enerjiyi anlamak için yeni araçlar keşfetmeden önce, Her Şeyin Teorisi'ni beklememiz gerekebilir.

Büyük Yırtılma

Eğer karanlık enerji, evrenin genişlemesini hızlandırıyorsa daha önce bahsettiğimiz hiçbir sonuç gerçekleşmeyecek. Onlar yerine, uzay daha hızlı bir tempoda esnemeye devam edecek. Daha fazla uzay, daha fazla karanlık enerji demek olduğu için genişleme sürekli hızlanacak. Nihayetinde ise kontrolden çıkmış şiddetli bir etkiye dönüşecek.

Zamanla yıldızlar arasındaki uzay o kadar çok esneyecek ki karanlık maddenin bir arada tutucu etkisi yok olacak ve galaksiler parçalanacak. Yıldızlar ve gezegenleri arasındaki uzay da büyüyecek ve yıldız sistemleri, genişlemenin karşısında çökecek.

Çekim kuvveti en zayıf kuvvet, bu sebeple ilk önce birbirlerine kütleçekimiyle bağlanan sistemler çökecek. Daha sonra, elektronları atomların çekirdeklerine bağlayan elektromanyetik güç düşecek. Elektronlar ve çekirdekler arasındaki alanın genişlemesi, bu gücün önüne geçecek ve atomlar tuzla buz olacak. En sonunda ise proton ve nötronları çekirdekte bir arada tutan kuvvetli nükleer güç, karanlık enerjinin gücüne karşı koyamayacak.

Uzun lafın kisası, evrendeki her şey lime lime olacak. Astronomlar, bu olaya Büyük Yırtılma (*Big Rip*) adını veriyor. Galaksiler, yıldızlar, gezegenler, atomlar yok olacak. Evren, geniş ve kocaman bir hiçlik denizine dönüşecek. Hesaplamalar, evrenimizin yaklaşık olarak 22 milyar yıl sonra “öleceğini” öne sürüyor.

Sonuç

“Ne zaman yıldızları görsem hayallere dalarım.”

Vincent Van Gogh (1888)

Hiçbir şey sonsuza dek sürmez. Bu evrenin varlığının ortasında, onun gizemleri üstüne kafa yormak bir ayrıcalık ve bunun tadını çıkarmalıyız.

İnsanlık, olağanüstü bir astronomik yolculuğun içinde. Başlarda her şeyin merkezinde olduğumuzu, Güneş’in ve yıldızların bizim isteğimize boyun eğdiğini düşünmüştük. Sonra mantık ve akıl yürütme; göksel evrenin küçük bir köşesindeki herhangi bir galaksinin yalnızca herhangi bir yıldızının, yalnızca herhangi bir gezegeninde olduğumuzu anlamamızı sağladı. Bu evren, akla gelebilecek herhangi bir sahnede, mantığa uygun oyunların oynandığı sonsuz genişlikteki diğer evrenlerden yalnızca biri bile olabilir.

Bu tür keşifler yeterli bir ödül, yine de bazı insanlar uzayı keşfetmek için neden zahmete girdiğimizi soruyorlar. Çünkü bu DNA’mızda var. Merakımız sayesinde Afrika’dan çıkarak tüm dünyaya yayıldık; Everest’in en tepesine çıktık, okyanusların altına indik. Ay üzerindeyken Dünya’nın doğuşuna, Mars üzerindeyken Güneş’in batışına şahit olduk ve gözlemlenebilir evrenin sınırlarını gördük. Önümüzde, orada neler olduğunu keşfetmek için mümkün olan her şekilde limitleri zorlayacağımız bir yolculuk var.

Şu an hayatta olan insanların, Mars’a gönderilen ilk insanlık görevi görme olasılıkları çok yüksek, bu başka bir gezegene ayak

bastığımız ilk an olacak. Bugünün öğrencileri yarın, Mars kolonisinin sakinleri olacaklar ve Güneş sistemindeki insanlık için yeni bir yol çizecekler. Ayrıca önümüzdeki yıllarda teleskoplarımız, evrende yalnız olmadığımızın inkâr edilemeyecek kanıtlarını gösterebilecek kadar gelişebilir.

Bu çabaların yalnızca merak sebepli olmadığını söyleyenlerin ise daha nesnel kaygıları var. Yalnızca bir gezegenle sınırlı kaldığımız sürece, tüm yumurtalarımız Dünya boyutundaki bir sepette duracak. Geleceğimizi tehdit eden başıboş bir asteroitten, ölümcül bir salgından veya nükleer bir savaştan sağ çıkmamız için en iyi yol ise uzaya gitmeyi göze almak.

Ne de olsa zaten uzaydan geldik. Kemiklerinizdeki kalsiyum ve kanınızdaki demir, ölen bir yıldızın kalbinde dövüldü; sonra da muazzam bir süpernova tarafından uzaya saçıldı. Uzaya giderken aslında yalnızca evimize dönüyoruz, ayrıca astronomi ve uzay keşifleri üzerine çabalarımız bizleri uzaydaki kalıcı insan varlığına doğru yönlendiriyor.

Bu sebeple, Büyük Yırtılma gelip bu evrenin sonunu getirmeden önce, uzun yıllar boyunca yukarı bakıp hayranlık ve merak duymaya devam edelim.

0,1,2,3

67P/Churyumov 104

A

Aktif Galaksi Çekirdeği (AGN) 196

amonyak 109

ana dizi 132, 133, 135, 139

ana dizi parlaklaşması 139

Andromeda 183, 187, 189, 190, 195, 199

Anten galaksileri 191

antimadde 179, 206, 207

Apollo görevleri 90

Armstrong, Neil 90, 91

asteroit kuşağı 101

asteroitler 73, 83, 92, 101, 102, 104, 107, 116

atmosfer 73, 95, 97, 106, 163

Ay 5, 7, 9, 10, 13-18, 23-26, 30-33, 36, 41,

47, 48, 55-57, 59, 61, 63, 65, 67, 69-71,

73, 75, 77-79, 81, 82, 83, 85- 94, 100,

101, 113, 114, 158, 232

Ay'ın çekimi 91

Ay tutulması 13, 14, 16, 17

B

Baily 15, 16

Bell, Jocelyn 144

Bethe, Hans 59, 60

beyaz cüceler 139, 146

beyazdelikler 150, 151

blazarlar 197, 198

Bondi, Hermann 204

Bradley, James 43, 44

Brahe, Tycho 29-31, 33-35, 40, 43, 44

Breakthrough Listen (Çığır Açan Dinleme)

projesi 186

Bruno, Giordano 29, 183

Bunsen, Robert 56, 57

Büyük Çatırtı 217, 227

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı 178, 205

Büyük Kara Leke 115

Büyük Kırmızı Leke 105, 108

Büyük Kulak 186

Büyük Patlama 183, 203-223, 227, 229, 230

Büyük Yeraltı Ksenon 179

Büyük Yırtılma 231, 233

C

Cernan, Gene 91

Carrington, Richard 69, 70, 82

Cassini, Giovanni 40,

Cassini görevi 110, 111

çekim gücü 58, 77, 85, 88, 110, 138, 146,

173, 174, 183, 190

CERN 179

Cernan, Gene 91

Chandrasekhar, Subrahmanyan 59, 228

çoklu evren 222, 223

cüce galaksiler 187

cüce gezegenler 120

Ç

çarklar 25

çekim kanunu 37

D

Darwin, Charles 57, 58, 85

Değiştirilmiş Newton Dinamikleri 180, 181

Demisiani, Giovanni 32

Dicke, Robert 209

diferansiyel rotasyon 64

dış çemberler 27, 30

Doctor Who 166

Dokuzuncu Gezegen 123, 125, 126, 164

Dolunay 128

Doppler etkisi 160

Drake denklemi 184

Drake, Frank 183, 186

Dünya çekirdeği 58, 61, 72, 85, 138, 139,

140, 143, 229

Dünya manyetik alan 64, 67, 81, 164

Dünya Dışı Akıllı Yaşam Araştırması

(SETI) 183, 184

Dünya merkezli 24, 25, 29, 30, 32, 33, 43

Dünya'nın dönüş eksenini 80

Dünya'nın yörüngesi 87

E

Eddington, Arthur 54, 55, 58, 59, 149, 161

Edgeworth, Kenneth 120

- Einstein, Albert 51-55, 58, 59, 146, 148, 149, 151, 153, 155, 161, 173-176, 203, 206, 212
- Einstein-Rosen köprüsü 151, 235
- ekliptik 21
- elektromanyetik tayf 50
- elektronlar 205
- emilim çizgileri 161
- enflasyon 217-222, 224
- evren 7, 8, 24, 25, 30, 33, 110, 178, 183, 193, 200-210, 212-214, 216, 218, 220-223, 225-227, 230, 232
- evrenin merkezi 27
- F
- Fermi, Enrico 175, 185
- Flamsteed
- Flamsteed, John 41, 42
- fotosentez 74, 165
- fotosfer 62
- Frank Drake 183, 184
- Frankland, Edward 57
- Fraunhofer, Joseph von 56, 137
- Friedmann, Alexander 203
- G
- Gaia 130
- galaksiler 8, 171, 175, 176, 181, 187, 189, 190, 191, 193, 199, 201, 202, 227, 230, 231
- Galileo 32, 33, 34, 40, 43, 51, 65, 107, 108, 169
- Galle, Johann 51
- gama 50, 145, 175
- Geç Dönem Ağır Bombardımanı 92, 93, 107, 126, 127
- gelgit ısıtması 108
- gelgitler 77
- genel görelilik 52, 59, 230
- geri hareket 23, 28, 43
- gezgin yıldızlar 23
- Goldilocks Bölgesi 156
- Gold, Thomas 204
- görünen parlaklık 128
- gözlemler 30, 31, 64, 106
- günberi çıkışması 122
- Güneş 5, 7, 8-12, 14-16, 17, 20-26, 28-37, 40-48, 52-75, 77-79, 81-85, 87, 88, 89, 91-99, 101-127, 130, 132-135, 137, 139-143, 145-148, 153, 157, 159, 160, 162-164, 166, 169-173, 175, 176, 179, 181, 183, 185, 190-193, 206, 215, 228, 232, 233
- Güneş'in çekimi 54
- Güneş patlamaları 67
- Güneş Sistemi 5, 94, 95, 97, 99, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115, 117, 119, 123, 125, 127
- Güneş sisteminin oluşumu 92
- Güneş tutulması 14, 15, 16, 44, 55
- günsekizi 10, 11
- Guth, Alan 218
- H
- Halley, Edmund 37, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 125
- Hans Bethe 59
- Harvard tayf sınıflandırması 131
- Hawking, Stephen 152, 153, 212
- heliosfer 123, 124
- helyum 57, 58, 135, 136, 137, 140, 206, 207, 208, 210
- Herschel, William 48, 49, 50
- Her Şeyin Teorisi 151, 153, 154, 173, 212, 219, 231
- Hertzprung-Russell diyagramı 132, 133
- Hewish, Anthony 144
- hidrojen 57, 60, 73, 106, 110, 133, 135, 136, 137-139, 184, 187, 190, 206, 207, 210
- Horrocks, Jeremiah 45
- Hoyle, Fred 204
- Hubble, Edwin 167, 175, 193, 194, 201, 202-204, 218, 219
- Hubble Uzay Teleskopu 115, 167, 175, 200
- Hutton, Charles 47
- I
- ışık hızı 51, 215, 216
- İ
- ince ayar problemi 217, 221
- J
- Janssen, Pierre 57
- Jeanes, James 137, 138
- jeomanyetik 68, 80, 81
- Joy, Alfred 67
- Jüpiter 23-25, 31, 32, 40, 47, 48, 82, 88, 92, 95, 101, 103-108, 110, 112-115, 126-128, 135, 141, 146, 157, 160, 162, 165-167
- Jüpiter'in uyduları 107

K

kamikaze 65
karadelikler 147, 177
karanlık enerji 230, 231
karanlık madde 169, 177-181, 183, 227, 230
Kelebek Diyagramı 67
Kepler, Johannes 34, 35, 37, 42-45, 50, 51,
159, 162, 163, 167, 170, 187, 192, 228
Kerr, Roy 151
Kipping, David 166, 167
Kirchhoff, Gustav 56, 57
kırmızı cüceler 158
kırmızıya kayma 160, 199, 201
kıtasal kayma 76
kızılötesi 49, 50
Klaudyos Batlamyus 26, 29, 236,
konvektif 62, 65
Kopernik, Nicolaus 27, 28, 30, 33, 34, 43, 44
Kozmik Mikrodalga Arka Plan 208- 210,
214, 217, 219, 220, 224- 226
Kuantum Çekim Döngüsü 154, 155
kuantum fiziği 147, 153, 154, 155, 230
kuasarlar 217
Küçük Buzul Çağı 66
Küçük Yeşil Adamlar 144
Kuiper, Gerard 120
Kuiper Kuşağı 120-122, 123, 125, 126, 170
küresel kümeler 136, 189
Kurşun Kümesi 182
kurtulma hızı 146
kütleçekim kilidi 88
kütleçekimsel dalgalar 148, 225
kütle-parlaklık ilişkisi 133, 134
kutup ışıkları 71, 82, 84

L

Leavitt, Henrietta Swan 188, 189, 200
Lemaître, Georges 201, 203
Le Verrier
Le Verrier, Urbain 50, 51
LGM-1 144
LIGO 148, 225
Lin, C. C. 171
Linde, Andre 218
Lippershey, Hans 31, 32
Lockyer, Norman 57

M

Macellan Bulutları 186, 187, 188
Macellan, Ferdinand 134
manyetik alanlar 64, 65
Mars 23-25, 28, 31, 47, 71, 79, 82, 84, 85,

97-101, 103, 104, 121, 123, 128, 141,
157, 232, 233

Mars'ın eksenini 79
Maskelyne, Nevil 46, 47
Maunder, Annie 66
maviye kayma 160, 199
Merkür 23-25, 31, 35, 47, 53, 94, 95, 103,
107, 112, 127, 139, 163, 173, 176
Mersini-Houghton, Laura 226
Messier, Charles 195
metallik 136
Milgrom, Mordehai 182
Milkomeda 190
Milner, Yuri 186
Mir 150
MOND 180, 181, 182, 183
morötesi 63, 81, 158, 196
mutlak parlaklık 129

N

nebulalar 139, 140, 189
Neptün 23, 47, 50, 51, 85, 103, 104, 114-
117, 120-123, 126, 127, 167, 176
Neptün'ün keşfi 50
Newton, Isaac Newton 31, 36-43, 46, 49-
54, 173, 180-182
Newton ve ışık 38
Newton ve yerçekimi 36
nötralinolar 178
nötrinolar 61, 179
nötron yıldızları 146, 177
nükleosentez 206, 217

O

olay ufku 146
Oort Bulutu 121, 125, 126, 176
Oort, Jan 125, 176, 177
ötegezegenler 159, 160
özel görelilik 51, 52

P

paralaks 130, 131, 188, 189
Penzias, Arno 208, 209
Picard, Jean 40
plazma 64
Plüton 41, 116-121
Pope, Alexander 114
prizmalar 38
pulsarlar 143

R

rezonans 117

Römer, Ole 40, 51
Rubin, Vera 176, 177
Russell, Henry Norris 66, 132, 133, 139

S

sabit yıldızlar 22, 25
Saman yolu 33, 136, 168-173, 175-181, 183-185, 187, 189, 190, 192, 193, 196, 199, 225
sanal parçacıklar 212, 219, 230
sapma 12, 47
sarmal galaksiler 171, 190
Satürn 23-25, 31, 33, 35, 47, 48, 82, 88, 95, 103, 106, 109, 110-115, 135, 141, 157, 160
Schmidt, Maarten 210
Scott, Dave 91, 225
Sefe 129, 188, 200, 227
Sgr A* 172, 173, 175, 176, 181, 192
Shepard, Alan 91
Shu, Frank 13, 171
Sicim teorisi 154
Slipher, Vesto 199, 200
solucan delikleri 150, 151
sonsuz enflasyon 221
spagettileşme 146
Spörer, Gustav 66
Sputnik 1 83
stadya 12
Standart Model 178
standart mumlar 188
Stefan, Josef 134
Steinhardt, Paul 218, 223
Stukeley, William 36
süperkümeler 191
süpernovalar 135, 228
süpernova patlaması 142, 143

T

taçküre 63, 64, 65, 81
takımyıldızlar 18, 19, 20, 21, 23
tayfölcümü 57
teleskoplar 20, 39, 63, 102, 119, 165, 189
ters yörünge 116
TKA 68, 69
Tombaugh 116
Tycho Brahe 29, 34, 40, 44

U

ufuk problemi 215
Uluslararası Astronomi Birliği 20, 117, 118
Uluslararası Uzay İstasyonu 83, 84, 128, 150, 178, 179

Uranüs 23, 47, 48, 49, 50, 51, 103, 114, 115, 122, 123, 126

uzay 8, 52, 53, 55, 69, 73, 83, 84, 91, 94, 96, 98, 101-104, 108, 109, 113, 117, 119, 123, 124, 126, 131, 147-152, 154, 155, 159, 167, 170, 174, 198, 202-205, 212, 219-221, 226, 227, 230, 231, 233
uzay-zaman 52, 53, 147, 148, 149, 152, 155, 212

V

Venus 23, -25, 31-33, 44, 46, 47, 95, 96, 103, 128, 139, 157

W

Wegener, Alfred 76
Wilson, Robert 208, 209
WIMP 178, 179, 180
WMAP 214, 224

Y

yaşama elverişli bölge 158
yerçekimi 36, 52
Yerel Grup 186, 187, 190, 191, 193
yıldızlar 18, 19, 22, 23, 25, 31, 55, 125, 128-137, 140, 147, 169, 171-173, 177, 181, 188, 189, 205, 207, 217, 218, 231
yıldızların parlaklıkları 134
yoğunluk dalgaları 172

Z

zaman genişlemesi 150

