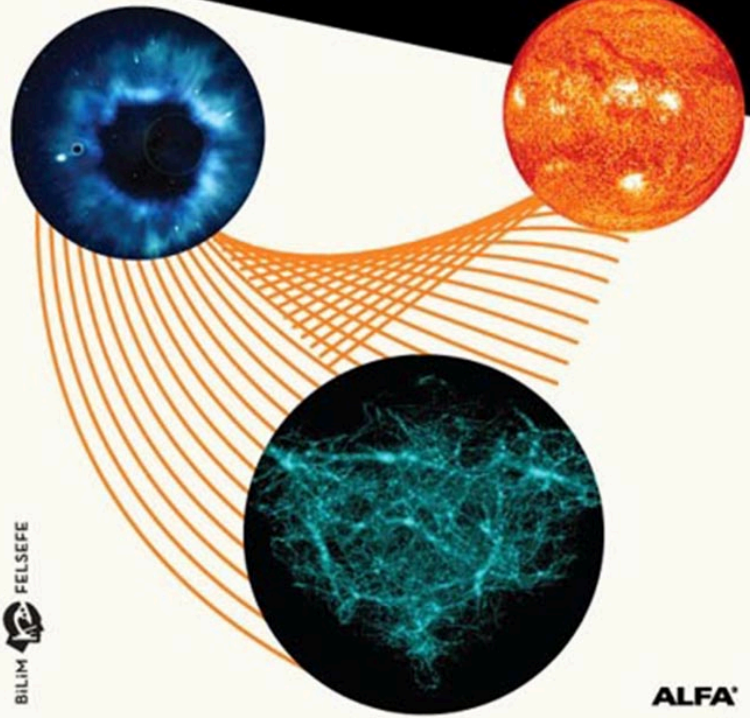
ÜÇ ADIMDA EVREN

GÜNEŞİMİZDEN KARADELİKLERE,
KARA ENERJİ'DEN KARA MADDE'YE
EVRENİN GİZEMİ

DAVID GARFINKLE
RICHARD GARFINKLE



BİLİM FELSEFE

ALFA

"Bilim genelde gizemli bir şey olarak anlatılır. Bu kitapta yazarlar bilimin arka kapısından girerek, gerçekte bilimin nasıl işlediğini gösteriyorlar; böylece gizemin halesini ortadan kaldırıyorlar ve olup biteni çok daha iyi anlamamızı sağlıyorlar. Okurken büyük keyif aldım."

– Werner Israel, University of Victoria, British Columbia

"Bu harika kitapta okuyucu bütün evrende gezintiye çıkıyor. *Üç Adımda Evren*, aynı zamanda okurun bilimsel süreci eleştirel düşünceyi anlamasına yardımcı oluyor."

– Dorothea Samtleben, Max Planck Institute for Radio Astronomy

"Fizikçi David (Oakland Universitesi) ve kardeşi bilimkurgu yazarı Richard (*Celestial Matter*, *All of an Instant*), modern kozmolojinin en çetrefilli problemlerini büyük bir ustalıkla açıklıyor. Bu kitap modern kozmolojiye başlangıç niteliğinde."

Publishers Weekly

Choice Magazine: En İyi Bilimsel Kitap ödülü
Oakland Universitesi Fen-Edebiyat Fakültesi: Marian P. Wilson Ödülü

ÜÇ ADIMDA EVREN

GÜNEŞİMİZDEN KARADELİKLERE,
KARA ENERJİ'DEN KARA MADDE'YE
EVRENİN GİZEMİ

DAVID GARFINKLE
RICHARD GARFINKLE

BİLİM FELSEFE
ALFA®

Alfa Yayınları **2293**
Bilim/Evren **18**

ÜÇ ADIMDA EVREN

Güneşimizden Karadeliklere, Kara Enerji'den Kara Madde'ye Evrenin Gizemi

David Garfinkle-Richard Garfinkle

Özgün Adı Three Steps to the Universe
İngilizce Aslından Çeviren Deniz Guliyeva Tarcan

1. Basım: Şubat 2012
ISBN 978-605-106-436-9

Sertifika No: 10905

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak
Genel Müdür Vedat Bayrak
Yayın Yönetmeni Mustafa Küpüşoğlu
Dizi Editörü Kerem Cankoçak
Redaksiyon Murat Metehan Türkoğlu
Kapak Tasarımı Bürkan Özkan
Grafik Uygulama Kâmuran Ok

© Licensed by The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U.S.A.
© 2012, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Kitabın Türkçe yayın hakları Akcalı Ajans aracılığıyla Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne aittir. Yayınevinden yazılı izin alınmadan kısmen ya da tamamen alıntı yapılamaz, hiçbir şekilde kopya edilemez, çoğaltılamaz ve yayımlanamaz.

Baskı ve Cilt
Melisa Matbaacılık
Tel: (212) 674 97 23 Faks: (212) 674 97 29
Sertifika No: 12088

Alfa Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.
Ticarethane Sokak No: 53 34410 Cağaloğlu İstanbul, Türkiye
Tel: (212) 511 53 03 - 513 87 51 - 512 30 46 Faks: (212) 519 33 00
www.alfakitap.com

info@alfakitap.com

İÇİNDEKİLER

1. Adım: Güneş

1. Bölüm: Bak. Sakın Dokunma. 3
2. Bölüm: O Parlak Şeyi Oluşturan Nedir? 25
3. Bölüm: Füzyon: Göz Önünde Gizli Enerji..... 43

2. Adım: Karadelikler

4. Bölüm: Eski Kütleçekim ve Yeni Kütleçekim 71
5. Bölüm: Görelilikte Karadelikler..... 95
6. Bölüm: Yıldızların Yaşamı 109
7. Bölüm: Karadelik Avcılığı..... 149
8. Bölüm: Kütleçekim Dalgaları 183

3. Adım: Kara Madde, Kara Enerji

9. Bölüm: Galaksi Ölçeği..... 197
10. Bölüm: Kara Madde nedir?..... 207
11. Bölüm: Olabildiğince Dışarıya Doğru 249
12. Bölüm: Kara Enerji, Karşı Kütleçekim ve Einstein'ın Hatası 263

Geriye, Dünya'ya Doğru Bir Adım

13. Bölüm: Yol Haritaları 279
14. Bölüm: Yazıldığı Şekliyle Bilim 317

Sözlük 341
OKUMA ÖNERİSİ 347

Notlar

Babamız Norton Garfinkle'a bu işbirliğini önerdiği için, eşlerimiz Kim Garfinkle ve Alessandra Kelley'e bu kitabı yazdığımız süre boyunca bize katlandıkları için (aslında bize ne olursa olsun katlandıkları için), Alessandra'ya örneklemeleri için, Werner Israel'e kitabı derinlemesine okuyup inceledikten sonra verdiği hayati öneme sahip tavsiyeler için, Kanada İleri Araştırma Enstütüsü (Canadian Institute for Advanced Research), Kozmoloji ve Kütleçekim programı üyelerine yıllık toplantılarında sundukları astrofizik ve kozmoloji hakkındaki faydalı bilgiler ve görüşleri için, son olarak Jennifer Howard'a mükemmel bir editör (açık görüşlü ve acımasız olmanın korkutucu karışımı) olduğu için ve Erin DeWitt'e dikkatli ama kullanıcı dostu düzeltmeleri için teşekkürlerimiz sunmak isteriz. Aldığımız kadar yardıma layık değiliz ve yardımların her bir parçası için teşekkür ederiz.

Giriş

Güneş'in yarın doğacağını nereden biliyorsunuz? Buzun kaygan olduğunu, ocağa yanan kibrit yaklaştırdığımızda gazın alev alacağına olan inancımızı doğrulayan nedir?

Böyle şeyleri tecrübeyle öğreniriz. Güneş'in doğuşunu görmüş, buzda kaymış ve gazı ateşe vermişliğimiz vardır. Peki, Güneş ve yıldızlar gibi dokunamadığımız şeyleri nasıl anlamaya çalışırız ve görülmelerini sağlayacak ışığı bile yaymayan, fizikçilerin karadelik, kara madde ve kara enerji olarak bahsettikleri nesneleri nasıl anlayabiliriz? Bu soruların cevaplarını bilim insanlarının zihinlerinde oluşturdukları üç dünya arasındaki bir yolculuk yardımıyla bulmaya çalışacağız. Gördüğümüz dünya, keşfedebileceğimiz dünya ve bildiğimizi düşündüğümüz dünya.

Yürüdüğümüz Yer

Evrene uzanan yolculuğumuzda, üç farklı mecazi evren keşfedeceğiz: algılanan evren, saptanan evren ve teorik evren. Bu üç evrenin etkileşimiyle bilimsel dünya görüşü oluşur. Algılanan evren, her gün deneyimlediğimiz dünyadır. Gördüğümüz, duyduğumuz, kokusunu aldığımız, dokunabildiğimiz, tadabildiğimiz ve bu duyulardan hissettiklerimizi hatırlayabildiğimiz dünyadır. Aklımızın, zamanının büyük bir kısmını geçirdiği

dünyadır. Aslında algıladığımız evrende yaşıyormuşuz gibi görünüyor olabilir; fakat gerçekte her gün bu dünyanın sınırlarına ulaşıyoruz.

Bir arkadaşınızı cep telefonu aracılığı ile aradığınızı varsayalım. Telefonun üzerindeki tuş takımını görüyorsunuz, bastıkça tuşları hissediyorsunuz ve sonuçta arkadaşınızın sesini duyuyorsunuz. Hepsi algılanan evrenin bir parçası, ta ki "Nasıl çalışıyor?" sorusunu sorana kadar. Arkadaşınız kilometrelerce uzakta; oysa sesi, kulağınıza dayadığınız metal plastik karışımı bir kutudan çıkıyor. Bu nasıl oluyor?

Açıklama, sizin sohbet edebilmeniz için cep telefonunun ne yaptığını ve çevrenizdeki dünyayla nasıl etkileşime girdiğini bilmeyi gerektirir. Arkadaşınızın cep telefonu, arkadaşınızın sesinin havada yarattığı titreşimleri alır ve bu titreşimlere uygun bir radyo dalgası üretir. Bu radyo dalgası sizin cep telefonunuza aktarılır ve cihaz havada arkadaşınızın sesi olarak duyduğunuz titreşimleri yaratır. Duyduğunuz ses arkadaşınızın sesi değildir, cep telefonunuz tarafından radyo dalgaları aracılığıyla yaratılan bir kopyadır. Bu açıklamanın bir olguyu, göremediğimiz, duyamadığımız, kokusunu alamadığımız, dokunamadığımız veya tadamadığımız radyo dalgalarını içerdiğini de dikkate alalım. O zaman radyo dalgalarının var olduklarını nasıl biliyoruz? Cep telefonun gerçekten de söylediğimiz gibi çalıştığını nasıl gösterebiliriz?

Radyo dalgalarına bizim algılayabileceğimiz (arkadaşınızın sesi, favori radyo istasyonunuzda çalan bir şarkı) tepkiler veren cep telefonları ve diğer radyo alıcıları gibi cihazlarımız, makinelerimiz mevcuttur. Bu tip cihazları kullanarak, dünyanın algılanamayan yönleriyle (radyo dalgaları gibi), algılanan (ses gibi) arasında bağ kuruyoruz. Dolaysız olarak hissedemediği-

miz fakat dolaylı olarak (bir cihaz kullanarak) varlıkları saptanan şeyler, saptanan evrendir. Bu evrende de, algılanan evrende yaşadığımız kadar yaşıyoruz; ama yine de, bu üçünün arasında genellikle dikkatimizi en az verdiğimiz evren budur. Çoğunlukla algılanan evrene odaklanırız, cep telefonun çalışma şeklinden ziyade telefonda duyduğumuz sese dikkat etmemiz gibi.

Saptanan evrene karşı olan bu dikkatsizlik bilimsel düşünceyle bilimsel olmayan düşünce arasındaki en büyük boşluktur. Saptanan evrende yaşıyor olmamıza rağmen etkilerini, bizde tuhaf izlenimlere ve aldanmalara yol açan, algılanan evrene mal etme eğilimine sahibiz. Bilgisayarımızın ekranına baktığımızda İnternet önümüzde duruyormuş gibi davranırız, oysa çoğumuzun gerçeklik tanımına göre İnternet yoktur. İnternet cihazlardan, donanımlardan ve yazılımlardan oluşan, varoluş yanılgısı yaratan bir bütündür. İnternetin sistemi (milyonlarca bilgisayar), telefon ve radyo aracılığı ile iletişim kuran, varlığı saptanan evrene bağlı ve algılanan evrende, monitörde beliren web sayfaları gibi etkiler yaratan bir yapıdır.

Saptanan evrenin bu gizlilik hali çoğunlukla kullanıcı dostu olarak adlandırılır; gerçekliğin görülmeyen yönlerinin nasıl çalıştıklarını anlamadan kullanabilme becerisi. Kullanıcı dostu kavramı, gündelik amaçlar dâhilinde gayet güzeldir; fakat evrenin gerçekte neye benzediğini anlamak, gözlerimizin ve kulaklarımızın ötesini araştırmak ve bu rahatlık perdesinin arkasındaki büyüleyici dünyayı keşfetmek için kullanıcı dostu bariyerini aşmak gerekmektedir. Dolaysız olarak görülemeyen evrenin, örtülü diğer pek çok şey gibi kendine ait entrikaları vardır.

Kolayca algılanan şeylerin verdiği rahatlıktan vazgeçme, ötesinde yatan bilginin vaat ettiklerine rağmen kulağa pek

hoş gelmeyebilir. Fakat saptanan evren, insanların hayatında cep telefonu ve İnternetin rahatlığından daha önemli bir yere sahiptir. Burası insan aklının en büyük güçlerinden birinin bulunduğu yerdir: Gerçekte neler döndüğünü fark etme gücü. Farz edelim ki bir adam düşer ve kolunu yaralar. Kırılıp kırılmadığını merak eder. Bir doktora gider ve röntgen çektirir. Röntgen filmini inceleyen doktor, kolun kırıldığı ve alçıya alınması gerektiği kanısına varır. Kırık kol ve röntgen filmi, görülebilen, dokunulabilen şeylerdir. Fakat bu adam, 'Bu nasıl çalışır' diye düşündüğü anda algılanan evrenin ötesine bir yolculuk yapmalıdır.

Röntgen cihazı, görülen ışığa benzeyen fakat dalga boyunun kısa olması sebebiyle gözlerimiz tarafından algılanamayan X ışını radyasyonu üretir. Sıradan bir kameranın çalışma mantığında olduğu gibi, X ışınları filme ulaştığında kimyasal tepkimeye girerler ve film oluşturulduğunda, ışınların çarptığı ve çarpmadığı yerler arasında renk farklılıkları meydana gelir. X ışınları deriden ve etten kolaylıkla geçerler ancak kemik o kadar geçirgen değildir. Sonuçta röntgen cihazının "ışığında" kemikler, gölgeler oluşturur; film oluşturulduğunda bu gölgeler adamımızın ve doktorunun görebileceği bir röntgen filmine dönüşür.

Yukarıdakiler bize sadece röntgen cihazının nasıl çalıştığını değil, neyi yapamadığını da anlatıyor. Röntgen filmi bize X ışınlarını bloke edebilecek katılıkta olan ve olmayan şeylerin arasındaki farkı gösterir. "X-ışını içimizde olanları gösterir" kaba yargısını kabul edersek, X-ışınını geçiren bir yapıya sahip iki doku arasındaki farkı kolayca ayırt edemeyeceği ve böylece birçok vücut içi yaralanmayı göremeyeceği gerçeğini göz ardı etmiş oluruz. Bir şeyin nasıl çalıştığını biliyorsanız onun kı-

sıtlamalarını da anlarsınız. Böylelikle kendinizi daha fazlasını yapmak isterken bulabilirsiniz. X-ışını fotoğrafçılığının faydaları ve sınırları, vücudun içini incelemek adına diğer araçların (sonogram ve MRI) icadına yol açmıştır.

Cep telefonu sohbetleri ve X ışınlarının tıbbi tanı amaçlı kullanımına yönelik yaptığımız bu tanımlamalar yalnızca birer taslaktır. Cep telefonu görüşmelerinin daha geniş bir açıklaması, cep telefonu parçalarının nasıl çalıştığı, radyo dalgalarının havada nasıl yol aldığı, ses tellerinin ve ağzın sesleri nasıl ürettiği, o seslerin havada nasıl yol aldığı ve kulağın onları nasıl algıladığı hakkında daha fazla ayrıntı vermelidir. Röntgen cihazının tıbbı amaçlarla kullanımının daha geniş bir açıklaması cihazın X-ışınlarını nasıl ürettiğini, filmin neden X ışınlarına karşı hassas olduğunu, kemiğin X-ışınlarını neden kastan daha fazla engellediğini söylemelidir.

Cep telefonları ve röntgen cihazları nasıl kullanıldıklarını anlatan ve hatta özelliklerini tanımlayan kullanma talimatları ile birlikte gelirler. İnsanoğlunun benzer bir kullanma talimatı yoktur. Ağaçların, yıldızların veya volkanların da olmadığı gibi. Peki, o zaman bu şeylerin nasıl çalıştığına dair açıklamaları nasıl buluruz? Nasıl çalıştıklarını öğrendikten sonra onlarla ne yapabiliriz?

Bu, özetle bilimin çabası, etrafımızdaki dünyayı anlama ve yararlanma teşebbüsüdür. Açıklamanın "sadece bir kısmı algıladığımız veya saptadığımız şeylerin karışımında gizlidir. Geri kalanı ise, adına teori dediğimiz zihinsel yapılardır. Bütünüyle zihinsel bir yaratılış olan bu dünya, bizi oluşturan üç evrenin sonuncu olanıdır. Teorik evren, algılanan ve saptanan evreni birleştirerek uyumlu bir resim oluşturur. Teorilerin görünüşte karşıt olan iki işlevi vardır: Birincisi, nesnelerin nasıl çalıştığını

ve olayların nasıl gerçekleştiğini kapsamlı bir şekilde açıklamaktır; ikincisi ise, bilimsel keşfin başlangıç noktasını oluşturmak, yeni fikirler ve bilgiler yaratmaktır.

Modern elektrik teorisi, madde ve enerjinin yapısal temellerine oturan ve elektriği, içinden geçtikleri nesnelerle etkileşime giren atom altı parçacıkların (elektronlar) akışkan hareketi olarak ele almaktadır. Bu teorinin ayrıntılı bir şekilde anlaşılması bilim insanlarının, elektronların akışkan hareketini yöneterek, elektron mikroskoplarından bu kelimelerin yazıldığı bilgisayara varan çeşitli cihazlar yaratmalarına imkân tanımıştır.

Elektrik teorisi ve onun uygulaması bu tür cihazları mümkün kılmıştır. Teoriyle ilgili deneyler ve bu teori kullanılarak yaratılan geçek dünya nesneleri ile teori test edilmiştir. Eğer deneyler ve cihazlar hem algılanan hem de saptanan dünyada beklenen sonuçları vermemiş olsaydı, bu durum elektrik teorisinin sorgulanmasına yol açardı. Bir teori sorgulandığında, deneye tabi tutulur. Teorik evreni test edebilmek adına algılanan ve saptanan evrende deneyler yapılır.

Bilim süreci bu üç evrenin –teori, saptama ve algı – arasında daireler çizer. Teori, saptama ve algılamaya önderlik eder, algı saptamayı sorgular ve saptama teoriye meydan okur. Bu dinamik süreç, bilimin temel besinini oluşturur ve ne yazık ki bu alan, bilimin en az popüler olmuş kısmıdır. Teoriler hakkında konuşulur, gözlemler ve saptamalar bilimsel konuşmalarda zaman zaman tartışılır ama bilimi bilim yapan bu üç evrenin uyumundan oluşan gerçek dinamik, çoğu insan için gizli kalır. Bunun sebebi bilim insanlarının çalışmalarının gizemli kalması için çaba sarf etmeleri değildir. Daha ziyade bilimin bu kısmının, pek çok açıdan açıklamakta en çok zorlandığı bölümü olmasından kaynaklanmaktadır. Biz bunu açıklamaya ça-

lışacağız, çünkü bilmeye değer olduğunu düşünüyoruz. Bilim insanları ve halk arasındaki bu iletişim kopukluğunun gereksiz olduğunu ve uçurumun her iki tarafına da zarar verdiğini düşünüyoruz.

Bilimin yöntemlerini açıklayarak, popüler kültürde çizilen imaj nedeniyle bilim adamı olmayanların korkuyla kaçtıkları kısımları da kapsayarak, bu uçuruma bir köprü olmayı umuyoruz. Aynı zamanda uçurumu diğer taraftan da daraltmayı ümit ediyoruz. Bilimde üstünlük duygusuna ve bilge imajına karşı bir eğilim vardır. Bilimcilerin neyi nasıl yaptığını gösterme eylemi bu gizemin üzerindeki perdeyi aralar, bilimin lehine bir yaklaşımdır bu. Daha görkemli anlarda ise genel okur kitlesi ile bilim arasındaki uçurumu tamamıyla ortadan kaldırmayı ümit ediyoruz. Bu kitabın evrenler yaratmayı alışkanlık haline getiren bir bilim-kurgu yazarı ve evrenleri parçalamayı alışkanlık haline getiren bir görelilik profesörü tarafından yazıldığını unutmayın. Ötesine geçmeyi istemek ikimizin de ortak kötü alışkanlığıdır (bir de kitapta bolca yer alan kötü mizah duygusu). Daha aklı başında anlarımızda uçurumun iki tarafı arasında daha anlaşılabilir bir iletişime razı oluruz; tabii ki daha iyi esprilerle.

Peki, neden bu uçurumu kapatmaya çalışıyoruz? Neden biz –ve bilimciler – saptanabilen dünya ile teorik dünyadan vazgeçip sadece gerçek, algılanabilir, gördüğümüz, tattığımız, dokunduğumuz ve benzeri bir dünyayla yetinmiyoruz? Bir göz atalım isterseniz...

Twain, Einstein ve Olgular

> Bilimde büyüleyici bir şey vardır. Ufacık bir olgu yatırımından öylesine büyük varsayımsal sonuçlar alınabilir ki.
>
> –MARK TWAIN

> Hayallerimi resmetmeye yetecek kabiliyete sahip bir sanatçıyım . Hayal gücü bilgiden daha kıymetlidir. Bilgi sınırlıdır. Hayal gücü dünyayı sarar.
>
> – ALBERT EINSTEIN

Twain kuşkusuz ki, içgörüye sahip rahatsız edici fikirleri iğneleyici kelimelere dökmekte usta bir mizahçıydı. Onun sözlerine göre bilim insanları, egzotik teoriler arasında dolanmak ve çılgın tahminlere müsamaha göstermek yerine ellerindeki olgulara odaklanmalıdırlar. Einstein ise tam tersini söylemektedir; yani dolanan fantezilerin oluşturduğu hayal gücünün, olgulara hâkim olmaktan daha önemli olduğunu. Fakat bu iki düşünce arasındaki uçurum bir yanılsamadır. Yazar olguların, hayallerin kaynağını oluşturduğunu, bilimci ise hayallerin, olguları ortaya çıkardığını kuşkusuz ki biliyordu.

Twain'in yorumunu, edebiyat tarihinin en aksi kişiliğine yakışır şekilde göründüğü gibi ele alalım. Neden sadece bilimdeki olgularla sınırlı kalamıyoruz? Öncelikle, bilimde olgu kavramının ikiye ayrıldığının altını çizelim: duyularımızla ayırt edebildiklerimiz (algılanan evren) ve varlığına deneysel cihazın yardımıyla (saptanan evren) ikna olduklarımız. Bir botanikçi tohum zarfı içindeki bezelyeleri saydığında sayı,

algılanan evrenin bir parçasıdır. Bir mikrobiyolog bakterinin uzunluğunu mikroskop yardımıyla ölçtüğünde ise bu durum saptanan evren kapsamına girer.

İlk bakışta bu ikinci evreni güle oynaya kabul etmiş olabiliriz, ancak şimdi rahatsız olmamız gerekir. Mikroskobun bize ne gösterdiğini nereden biliyoruz? Saptadığımız bilginin, en az algıladığımız bilgi kadar olgu sayılabileceğine nasıl emin olabiliriz? Cihazın nasıl çalıştığına dair bir teorimizin olması gerekmez mi? Bu durumda da neden o teoriye inanmalıyız? Bizi dairesel çıkmaza götüren, saptama teorinin doğruluğunu ve teori saptamanın doğruluğunu kanıtlar argümanını nasıl savuşturabiliriz? Duyularımızın dışına uzanan bu iki evren bu kadar probleme neden oluyorsa, neden sadece algılanan evrenle yetinemiyoruz? Sadece belirli soruların cevaplarını aradığımızda algıladığımız evrenle yetinebiliriz: "Gökyüzündeki o şey ne kadar da parlak, görebiliyor musun?" bunlardan biridir. Ama bu durumda "Neden o kadar parlak?" ve hatta "O şey nedir?" sorularını soramayız. Bu sorulardan daha fazlasını cevaplamadan da *yaşayabiliriz*. Duyularımızın sınırlarını kabul edip sadece algılanan evrenle yetinebiliriz.

En azından bu soruları cevaplamamayı deneyebiliriz. Fakat insan doğası buna izin vermiyor. Pek çok insan için duyularının ona anlattığından daha fazlasını bilme arzusu göz ardı edilemeyecek kadar güçlüdür. Bu arzu sadece meraktan oluşuyor da olabilir. Komşularınızın kapalı kapılar ardında neler yaptığını ya da dünyanın öbür ucundaki bir ülkede neler olup bittiğini merak ediyor olabilirsiniz. Bu amaç için elimizde dedikodu (ve onun daha organize kuzeni haber medyası) var. Dedikodu direkt olarak algılanan bir şey olmadığı gibi kesinlikle olgusal değildir. Oysa ki öğrenme arzusu, tükenmez hikâye kaynağı

sunan bütün gazeteleri, dergileri, televizyon ve İnternet sitelerini geçindirecek kadar yaygındır.

Bildiklerimizin ötesini keşfetme arzusu o kadar güçlüdür ki, ruhsal öz-disiplin hocaları "gidip bakmama" sanatına fazlasıyla önem verirler (böyle uygulamaların tartışmaları başka yazarlar tarafından yazılmış başka kitaplarda yer almaktadır). Ne var ki, bir kişinin merakı sadece özgürce var olabildiğinde bilginin artışı sağlanabilir. Bir kişi bilinmezi disiplinli bir yöntemle keşfettiğinde, bilinen bir veriden bunu doğrulayan çıkarımlar oluşturduğunda buna bilim denir. Bilimin diğer tanımı da şudur: disiplinli merak. Bilim insanları bilinmezi dikkatle ele alarak, teoriyi test ederek ve güvenilebilir araçlar kullanarak keşfederler. Saptanan evrene bu bilimsel araçlar ile ulaşılır. Doğru donanımı (araçların büyük bir kısmı zihinsel olduğundan, doğru yazılımı da) kullanarak ellerimizin ötesine erişebilir, ayağımızın ötesine adım atabilir ve duyularımızdan ötesini saptayabiliriz. Bununla birlikte onları kullanabilmek için araçlarımızın nasıl çalıştığını, hangi şartlar altında güvenilir sonuçlar verdiklerini biliyor olmamız gerekir.

Mikroskobu, doğal sınırlarımızın ötesine geçmek için kullandığımız sıradan bir araç olarak ele alalım. İşte mikroskobun ne olduğunu ve biyologların onu neden kullandığını açıklayan standart bir tanım: Çevremizde insan gözünün optik sınırları sebebiyle, çıplak gözle göremeyeceğimiz kadar küçük şeyler vardır. Bunlara pek çok hastalığa neden olan bakteri ve virüsler de dâhildir. Ek olarak, yaşayan bütün organizmalar hücrelerden oluşmuştur; dolayısıyla, bu organizmaların çalışma sistemini anlamak adına bir hücrenin işlevlerini kavramak olmazsa olmaz bir ön koşuldur. Yaşayan organizmalara dair temel anlayışımız çıplak gözle göremeyeceğimiz nesnelere bağlıdır;

mikroskop bu problemi bizim için çözer, bize göremediğimiz olguları sunar. Belki de. Burası bilimcilerin dikkatli oldukları yerdir.

Çıplak gözle görülebilen küçük bir nesneye hem çıplak gözle hem mikroskopla bakabilir, sonuçları karşılaştırabiliriz. Karşılaştırma, mikroskobun bize aynı görüntünün büyütülmüş şeklini sunduğunu gösterir. Bu noktada çıplak gözle görülemeyecek kadar küçük bir nesneye mikroskopta baktığımızda cihazın görüntüyü büyüttüğünü *varsayarız*. Bununla birlikte, her şey o kadar da basit değildir. Mikroskobun sunduğu görüntü, örneğin lensin üzerindeki toz veya slaydın üzerindeki ketçap lekesi sebebiyle bozulmuş olabilir. Görüntünün olası bozulma sebeplerini anlayabilmek için mikroskobun nasıl çalıştığını biliyor olmamız gerekir. Yani, doğru sonuçlara ulaşabilmek için cihazları doğru kullanmayı biliyor olmamız gerekir. Ancak, cihazın çalışma mantığını anlama ihtiyacımız, kolay kullanılabilirlik kıstasını yok eder.

Mikroskop, sonraki bölümlerde ele alacağımız konularla dolaysız olarak ilgili değildir; fakat, küçük olan şeyleri görebilmek adına lensleri ardı ardına sıralamamız için söylediklerimizi, uzakta olan nesneleri görebilmemiz için de söyleyebiliriz. Teleskop, daha uzak evrenle ilgili tartıştığımızda çokça ele alacağımız bir araçtır. İşte teleskop için yapılmış benzer bir tanım: Çıplak gözle görülemeyecek kadar uzak, çok sayıda gökbilimsel cisim vardır. Teleskop, daha fazla ışık toplayarak uzaktaki nesneleri büyütür ve gözlerimizden görebileceğinden daha yüksek bir çözünürlükte görüntü verir.

Mikroskopta olduğu gibi, teleskoptaki görüntü de çarpık olabilir. Bu çarpıklığın sebebi, üretim hatasından kaynaklanan kusurlu lens veya ayna olabilir. Bununla birlikte kusurlar, lens-

ler veya aynaların yapıları sebebi ile de oluşabilirler. Sonuçta camın gördüğümüz görüntüye müdahale eden kendine ait optik ve yapısal özellikleri vardır. Gökbilimde bu çarpıklıklardan bazılarının kendi isimleri vardır: Lenslerin farklı renkleri farklı miktarda bükme eğilimi olan kromatik sapma, en basit yuvarlak aynalarda bile bulunan, görüntüyü olduğundan daha çarpık göstermesine sebep olan küresel sapma. Olası hataların kaynaklarını ve bu kaynakların niteliklerini bilen bilim insanları, giderilebilen hataları giderirler, engellenemeyen kusurlar için de bu hataların etkilerini düzeltebilirler.

Teleskoplar ve mikroskoplar, algılanan evrenin sınırlarından birini gösterirler: Gözümüzün çözünürlüğü. Fakat bütün duyularımız arasında en fazla güvendiğimiz görme duyusunun sınırları basit çözünürlükten daha keskin ve çeşitlidir. Görünen ışık, geniş elektromanyetik dalgalar bütününün dar bir aralığıdır. Bütün elektromanyetik dalgalar ışık olarak ele alınabilir ve bildiğimiz ışıktan farkları dalga boylarının uzunluğudur. "Dalga boyu" terimi bir benzetmedir; sudaki dalgalara baktığımızda dalga boyu, peş peşe gelen iki deniz dalgasının tepe noktaları arasındaki mesafedir. Elektrik ve manyetizma olgusu (bu konuda daha sonra konuşacağız) olan ışıkta, dalga boyu terimi elektrik alanındaki peş peşe iki yüksek nokta arasındaki mesafe anlamına gelmektedir (bu konuda da daha sonra konuşacağız). Daha pratik bir terimle, ışıkta dalga boyu renktir; farklı dalga boylarını farklı tonlar olarak algılarız.

Bu durumda elektromanyetik spektrum, basitçe farklı olası dalga boyunu gösteren bir dizi rakamdır. Görünür ışığın bize ardışık olarak sıralanmış renkler olarak görünmesinin sebebi bizim görünür ışığın farklı dalga boylarını farklı tonlar olarak görüyor olmamızdır. Elektromanyetik spektrumun bizim

için görünmez olan diğer bölgelerinin farklı isimleri vardır: Dalga boyu bizim göremeyeceğimiz kadar uzun olanlar için radyo dalgaları, mikro dalgalar ve kızılötesi; dalga boyu bizim göremeyeceğimiz kadar kısa olanlar için morötesi, X ışınları ve gama ışınları. Bu ışık türlerinin hepsinin belirli bir kullanımı vardır ve hepsi doğru cihazlarla tespit edilebilir. Fakat eğer ki kendimizi sadece algılayabileceğimiz gerçeklikle sınırlamış olsaydık, gözlerimizin hassaslığı dışında kalan dalga boylarını hiçbir zaman göremeyecektik.

Görünmez olguların oluşturduğu bu muazzam bütüne, bizim duyumsayamadığımız şeyleri algılayıp bizim görebileceğimiz bir şekle dönüştüren cihazları keşfederek ulaştık. Şiirin çeviride etkisini kaybettiği söylenir. Şüphe yok ki X ışınlarından oluşan gökyüzüne veya yaşayan organizmanın bıraktığı kızılötesi ize direkt olarak bakamadığımız için bu görsel şölende bizim için kuşkusuz kayıp bölgeler vardır. Fakat şiir için kayıp olan bir şeyin bilim için de kayıp olması gerekmez. X ışınına duyarlı teleskoplar ve kızılötesine duyarlı gözlükler yapabiliriz. Saptama yolu ile etrafımızda olup bitenleri dolaylı olarak tespit edebiliriz.

Olgular sorusuna geri dönecek olursak, varlıklarından sadece dolaylı yoldan haberdar olabildiğimiz olgular var olduğuna göre kendi sınırlarımızı ve saptama aletlerinin faydalarını anlayabilir, saptanan evrene duyulan ihtiyacı kabul edebiliriz. Teori kurmadan olgulara mümkün olduğu kadar bağlı kalmaya hâlâ özeniyor olabiliriz. Bu durum iki sebepten dolayı işe yaramaz. Birincisi, saptayıcıdaki çeşitli kusurlar (mikroskop slaydında ketçap veya teleskop aynasındaki küreselliğin bozulması gibi) elde ettiğimiz bilgiyi çarpıtabilir. Bilimsel terminolojiyle konuşursak, detektörler hem "sinyal"i hem de "parazit"i sap-

tarlar. Saptamayı kesin olarak yapabilmek için parazit'in kaynağını anlamamız ve düzeltmemiz gerekmektedir. Bu da, detektörün nasıl çalıştığı teorisini bilmemizi gerektirir. İkincisi, elimizdeki cihaz en iyi detektör bile olsa anlamaya çalıştığımız nesneye dair sadece birkaç ölçüm yapabiliriz. Araçlarımızın sınırları ve evrenin çalışma ilkesi arasında bulabildiğimiz bilgiyle yetinmek zorundayızdır. Bu durum, özellikle çok uzakta olan cisimler için geçerlidir. Örneğin, şu anda diğer güneş sistemlerindeki gezegenlerin varlığını saptayabiliyoruz. Bugün için bu dünyaların yüzeyden nasıl göründüklerini (bir yüzeyleri olduklarını varsayarsak, pek çoğu sadece gaz bulutu devidir) bilme ümidimiz bile yok.

Ölçemediğimiz şeylerle nasıl baş ederiz? Algılanan ve saptanan evrendeki boşluklarla ne yaparız? İçlerini teorilerle doldururuz. Evrenleri birleştirebilmek için sistemin bütününe dair teorilere ihtiyacımız vardır. Teorilerin mümkün olabildiği kadar basit ve tutarlı olmaları, kavrayamadıklarımıza açıklık getirmeleri, bizim düşünebileceğimiz kadar basit olmakla birlikte algıladığımız ve saptadığımız şeylerle eş zamanlı ve sürekli olarak bağdaşmaları gerekir.

Basitlik ihtiyacı duyarlı aklın uyarısıdır. Hikâyeler birbirine dolanıp, hayal gücünün etkisiyle kusursuzlaşıp, ihtişamlı bir edayla bilimcilerin kalbini çalabilir. Böyle teoriler güzellikleri sebebiyle kolayca vazgeçilemez olurlar (ayni şekilde gözünüze sevimli gelen eşyaları çöpe atamazsınız). Ne var ki, bilimsel bir teorinin gerektiğinde yaratıcıları ve kullanıcıları tarafından terk edilebilmesi gerekir. Meydan okunacak bir statüde durması ve kaybettiğinde düşmesi gerekir. İnsanlar bir teoriye bağlı kaldıklarında bilimin amacını kaybederler. Bu amaç, olguları gelecek olayları kesin bir şekilde tahmin edecek şekil-

de açıklayan teoriler yaratmaktır ve bu da bilim insanlarının beklenen tepkiyi verecek araçlar inşa etmelerine olanak tanır. Basitlik, teori kurmakla meşgul insan aklını büyüklük sevdasından korur, gerçi söylemek zorundayız ki, bazı insanlar bu basitlik kavramına takılıp kalırlar; dolayısıyla, bu düsturun bile dikkatle kullanılması gerekir.

İşe yaraması için bilimsel teorilerin ölçebildiğimiz şeyleri tahmin etmesi gerekir. Bu ölçümler beklenen sonucu verdiğinde teoriler doğrulanmış ya da en azından desteklenmiş sayılırlar. Teknolojideki gelişim bizi daha iyi cihazlara dolayısıyla daha keskin testlere götürdüğü için teorileri doğrulamak veya değillemek için sürekli bir şekilde yeni fırsatlar doğmuştur. Deney, teorinin öngördüğü şekilde sonuçlanırsa o zaman teoriye olan inancımız artar; yok eğer sonuçlanmazsa ve deneyin doğru bir şekilde tasarlanıp uygulandığından da eminsek, o zaman yeni bir teori bulma zamanı gelmiş demektir. Saptanan evrenle teorik evren arasındaki sınır hareketli bir çizgidir. Bugün saptayamadığımız bir şey yarın saptanabilir hale gelebilir. Bazen, radyo dalgaları örneğinde olduğu gibi, dünden önceki gün görülemeyen bir şey, dün görünür hale gelmiş, bugünse pazarlanmaya başlanmış olabiliyor.

Sadece olgulardan oluşan bir dünyada yaşamak için ne kadar çaba sarf edersek edelim, bu imkânsız bir amaçtır. Üç katmanlı bir evrende yaşıyoruz. Algılanan, saptanan ve teorik evrenler duyularımızla algıladığımız bir temel üzerinde kurulmuşlardır. Bilimin her parçası, gözlemden saptamaya ve oradan da teoriye giderek bu evrenler arasında üç adım atar. Dışa doğru atılan her adım fiziksel dünyayı anlamaya götüren yolun en temel parçasıdır; geriye doğru atılan adımlar kendimize ilişkin anladıklarımızı oluşturur.

Sıradan bir ders kitabındaki bilim tanımı, hipotez ve deneyi, dolaysız olarak uygulanan ve uygulanamayan deneyler arasında bir ayrım yapmadan belirtir. Hipotez, bir deneyle doğrulandığında teoriye dönüşen veya deney sonucunda yanlış olduğu görüldüğünde geçersiz sayılan geçici bir akıl destek değneğidir. Saptamaların ve teorilerin ortaya koyduğu görüşlerin, ders kitaplarında anlatılan hipotezden daha kapsamlı olduklarını göstermek isteriz. Bu kitaptaki sayfaların büyük bir kısmını çeşitli gökbilim konuları ile dolduracağız. Ana odak noktamız gökbilim iken, zaman zaman başka bilim dallarından da bahsedeceğiz, çünkü bilim kesin olarak ayrılan parçalara sahip değildir. Bir bilim dalına ait gözlemler, saptamalar ve teoriler çoğunlukla başka bir dalı ilgilendiren bulmacalara ışık tutar.

Bilim tarihindeki en büyük keşiflerden bazıları tamamen farklı görünen olguların birleşmesiyle ortaya çıkmıştır. James Clerk Maxwell'in elektrik, ışık ve manyetizmayı birbirine bağlayan teorisi büyüleyici bir güzelliğe sahip olduğu derecede dramatik sonuçlar doğurmuştur. İskoçyalı bir fizikçi olan Maxwell (1831-1879) kullandığımız pek çok şeyin temelini oluşturan şeyi yaratmıştır. Maxwell'in denklemi olarak bilinen bu başyapıt, dört satırda yazılabilir; fakat, bu dört satır sayesinde dinamolarımız, radyolarımız, televizyonlarımız ve pek çok başka cihazımız var olabilmiştir. Bilim açısından baktığımızda, birbiriyle bağlantılı olmanın pek çok faydacı sonuçları vardır. Siz ve ben aynı nesnenin farklı yönlerini araştırıyorsak, siz bu şeyi daha iyi görebilecek bir cihaz, bense daha iyi duyabilecek bir cihaz geliştirdiysem televizyondaki çocuk programında da söylendiği gibi, en iyisi ikimizin paylaşmasıdır.

Gökbilim odaklanmak için zor bir bilimdir, dolayısıyla söz konusu paylaşımla birlikte avantajları artmış olur. Bilim dal-

larının çoğunda üzerinde çalıştığımız cisimleri dolaysız olarak maniple edebilir ve sonuçlarını anında görebiliriz. Deney tüpünde kimyasal reaksiyon yapabilir, kurbağaları parçalarına ayırabilir ya da ağırlıkları yere atıp düşüş sürelerini ölçebiliriz. Gökbilimdeyse çoğu zaman uzaktaki cisimlerin pasif gözleminde hapis kalırız. Uzay keşfinin baş döndürücü başarısını saymazsak bu böyledir. 1972'de fırlatılan *Pioneer 10* uzay aracının 12,8 milyar kilometreyi aşkın bir yolculuk yapmış olmasına rağmen bu sayı en yakınımızdaki yıldıza olan mesafenin 1/3000'ünden daha azdır. Hubble Uzay Teleskopu, bilinen uzayın en ücra köşelerini gözlemlemektedir ve görüntülerinin berraklığını Dünya yüzeyinden 600 km yukarıda olmasına, dolayısıyla atmosferimizin neden olduğu çarpıklıktan etkilenmemesine borçludur. Kendi Güneş Sistemimiz dışındaki yerler içinse gökbilim, gitmeyi değil bakmayı öngörür. Gökbilim, uzay gözlemlerimizdeki eksikliği teorik uzayla doldurmaya güvenir. Hatta bazı gökbilimsel cisimlerin varlığı dolaylı olarak bilinmektedir, var oldukları çıkarımı neden oldukları etkilerden ortaya çıkar.

Bu dolaylılık temelde iki sınıf gökcismi için geçerlidir: karadelikler ve kara madde. Karadelikler, kütleçekimleri ışığı bile hapsedebilen bir güce sahip cisimlerdir. Bu nedenle bir karadeliği göremeyiz. Kara madde ışık yaymayan kütleçekim etkileri nedeniyle varlığından haberdar olduğumuz bir maddedir. Orada olup da görülememek durumu, karadeliklere ve kara maddeye bugünkü gizemli havasını vermiştir. Bu ikisinin ve tespiti daha da zor olan kara enerjinin derinliklerini inceleyerek, bilimi oluşturan dolaylı yöntemler hakkında daha fazla bilgi edineceğiz.

Sadece böyle karanlık cisimlerin dolaylı saptamayı gerektirdiğini düşünmek büyük bir yanılgı olur. Gizemli addetme-

diğimiz pek çok diğer gökcismi dolaylı yoldan anlaşılabilir. Güneş'in içini düşünün. Güneş'in yüzeyinden bize doğru yayılan ışığı görüyor fakat içini göremiyoruz. Oraya gönderebileceğimiz hiçbir uzay ölçüm aracı Güneş'in sıcaklığına merkezi gözlemleyebilecek kadar dayanamaz, oysaki Güneş'in bütün enerjisi burada üretilmektedir. Dolaysıyla Güneş hakkındaki en temel olguyu –enerjiyi nasıl saçtığını– anlayabilmemizin tek yolu bilinmez merkez bölgelerine bağlıdır. Bu bölgeleri anlayabilmek için teori ve saptamadan yararlanmamız gerekmektedir.

Evrene attığımız ilk adımda Güneş hakkında bildiklerimizi daha dikkatli inceleyeceğiz. İncelememiz devam ettikçe birkaç karşıt düşünceyi ele alacağız. Bunlardan birisi Evrim Teorisi emekleme dönemindeyken neredeyse onu çürütecekti, bir diğeri de gökbilimci ve fizikçilerin kafasını yıllarca kurcaladıktan sonra birkaç yıl önce nihai açıklığa kavuştu.

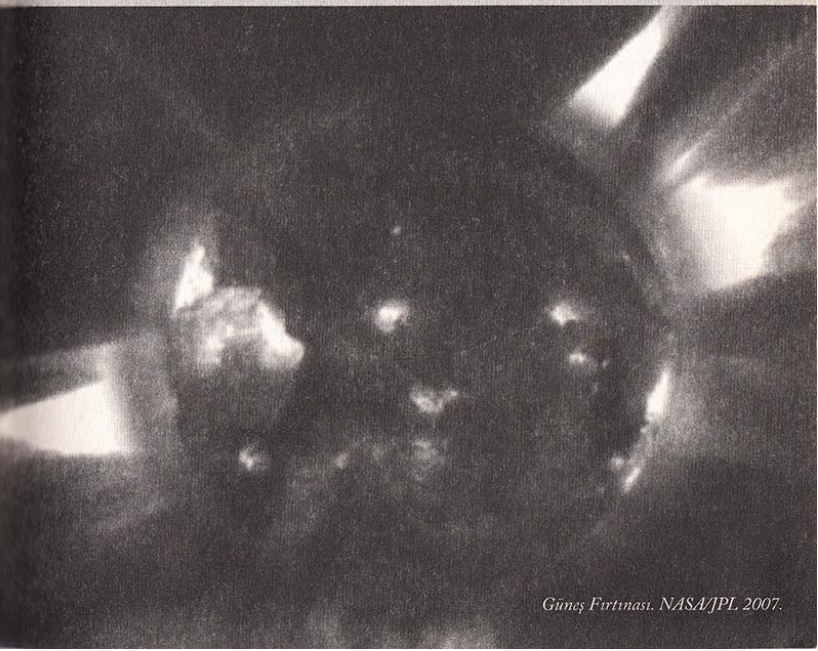
Güneş'te ısınınca (kusurumuza bakmayın) karadeliklere doğru adım atacağız. Karadelikler, Einstein'ın Görelilik Teorisinin doğal sonuçlarıdırlar ve bir bakıma da doğadaki en basit cisimlerden biridirler. Aynı zamanda yıldızların davranışını inceleyen başka teorilerin de (bilhassa dev yıldızların kaderleri gibi) doğal sonuçları karadeliklerdir. Yıldızlar ve onları çevreleyen gazların gözlemlerinden türeyen pek çok dolaylı karadelik gözlemi vardır. Bu gözlemler çoğunlukla iki çeşit karadeliğe aittir: birkaç güneş kütlesine (bir güneş kütlesi bizim Güneş'in kütlesine eşittir) sahip olanlar olanlar ve galaksilerin merkezinde yerleşen kütleleri milyonlarca güneş kütlesiyle milyarlarca güneş kütlesi arasında değişen dev karadelikler. Üçüncü adımımızı kara madde ve kara enerji – saptaması karadeliklerden bile daha zor olan iki olgu– araştırmasına doğru olacaktır.

Görülemeyen, sadece kütleçekim etkileriyle anlaşılan bir maddenin varlığı gösterilecektir.

Bundan sonra geriye doğru bir adım atıp, sadece gökbilimsel değil, bilimsel anlayışımız doğrultusunda da Dünya'ya bakacağız. Günlük hayatımız dâhilinde üç evreni birleştirebilmek adına pek çok bilim dalından geçmemiz gerekecek. Mark Twain'in sözlerini komik yapan şey bilimin sadece olgulardan oluştuğuna olan genel inanıştır, sadece olgular, evet. Ne var ki, bilim insanları, kendileri ve yaptıkları şey hakkında bu görüşle hemfikir değildirler. Çadırın içinde, olgular sirkinin sahne arkasında oyuncular çok farklı bir dilde konuşmakta ve algılanan evrenden çok daha farklı bir dünyada yaşamaktadırlar. Haydi, üç sahneli sirkimize buyurun. Ancak öncelikle, gelin gün doğumunu izleyelim.

1. Adım

GÜNEŞ



Güneş Fırtınası. NASA/JPL 2007.

1. Bölüm

Bak. Sakın Dokunma.

Her birimizin kendimize ait algılanan evreni vardır. Algılarımızla, algılarımızın keskinliği ve hayat şartlarımızla şekillenen bir evrendir bu. Örneğin, miyop birinin algısı hipermetrobunkinden farklı olacaktır. Buna rağmen, algılanan iki evren arasındaki en hayati fark algılayanların farklı konumlarıdır.

Algılanan evren dâhilinde, iki türde cisim fark edebiliriz: Görülebilen, duyulabilen, –ender olarak – kokusu alınabilen uzak cisimler ve varlıklarını bize dokunarak hissettirebilen yakın cisimler. Bir cismin hangi kategoriye gireceği, bizim nerede olduğumuza ve cismin nerede olduğuna bağlıdır. Uzaktan gördüğümüz bir dağ ilk türdendir, oysaki ayaklarımızın altındaki dağ ikinci türdür. Keza televizyonda izlenen bir kasırgayla, dünyanızı kasıp kavuran kasırga arasında benzer hiçbir şey yoktur.

Gökyüzü ilk kategoriye ait, uzaktan görülebilen fakat hissedilemeyen cisimlerle doludur. Bu dokunsal ikilemde bir istisna vardır: Güneş. Uzakta olmasına rağmen Güneş'in mahrem

yakınlığı vardır. Bize dokunur, bizi ısıtır, bizi yakar. Gündüzleri varlığında cildimiz pişer; geceleri yokluğunda kemiklerimiz üşür. Hayatımızdaki egemenliğine rağmen, cildimizde uyandırdığı hisse ve göz alıcı ışığına rağmen uzanıp Güneş'e dokunamayız. Güneş'i gözlemleyebiliriz, fakat elimize alıp üzerinde deney yapamayız. Böyle olduğu halde bariz etkileri Güneş'in anlaşılmasını bilimsel açıdan zorunlu kılıyor. Güneş'i bilmiyorsak, çevremizdeki dünyayı bildiğimizi hakkını vererek söyleyemeyiz; fakat mesafe Güneş'in doğasının nasıl keşfedileceğinin ayırt edilmesini bile zorlaştırıyor.

Kadim bilginler, Güneş'i anlamayı denemek adına, gözlemleyebildikleri şeylerle çalışmışlardır. Kendimizi onların algıladıkları gibi, çok şey görmemize karşın az şey bildiğimiz bir evrende hayal edersek bu gözlemlenen varlığı anlayışa nasıl çevirebileceğimizi kavrayabiliriz. Algıladığımız ve umursadığımız şeylerle başlarız. Güneş'in ışığını görürüz ve Güneşin gökyüzünü boydan boya kat ettiğini görürüz. Güneş'in sıcaklığını hisseder, bu sıcaklığın ve Güneş'in her gün gökyüzünde bulunma süresinin yıl geçişine bağlı olarak değiştiğini algılarız.

Tecrübeyle Güneş'in ve mevsimlerin birbirine bağlı olduğunu öğreniriz. Tarihsel olarak, çabuk öğrenilmiş fakat hiç anlaşılamamış, bu bilgiye insanlığın yeryüzünde geçirdiği zamanın tamamında sahip olunmuştur. Atalarımıza bu yıllık değişimlerin nasılını ve nedenini açıklayabilen yetersiz gözlem araçları dolayısıyla insanlar eldeki yetersiz olgulara dayanan detaylı teoriler oluşturmuşlardır. Bu teoriler doğası itibariyle bilimsel değillerdi, teolojik ve mitolojik karakterde olup açıklayabildiklerinden, öte amaçlara hizmet ediyorlardı. Gelgelelim ki, Güneş mitolojilerinin kullanımını araştırmak bu bölümümüzün amacı değil. Amacımız daha ziyade Güneş'in niteliklerini

saptama gayretinde hikâyeler kabuğunu soyarak ortaya çıkana bakmak ve aynı zamanda bu saptamaların bugünkü Güneş anlayışımızı özetleyen teorilerle nasıl sonuçlandığını görmektir.

Güneş'in üç özelliği– ışık, ısı ve hareket– saptamaya çalışmak için en belirgin niteliklerdir. Bunların sonuncusu hareket, yüzyıllar boyunca gökbilimsel teori ve saptamanın temel bileşenini biçimlendirmiştir. Gökbilimciler ve bilimsel yatkınlığı olan diğerleri, gökyüzündeki cisimlerin nasıl hareket ettiklerini bilmek istemişler, Güneş ve diğer gezegenlerin ilerlemelerinden ve gerilemelerinden büyülenmişlerdir. Gökyüzünün kadim bekçileri bu hareketler için detaylı kayıtlar ve teoriler geliştirmişlerdir. Yunanlılar ve onların teorilerinin takipçileri tek bir teori parçasında takılmışlardı: Gökyüzündeki her şeyin kusursuz daireler şeklinde hareket ettiği görüşünde. Teorilerini desteklemek için ümitsiz bir girişimde bulunarak, dairesel yörüngelerin üzerine yığılmış başka dairesel yörüngelerden oluşan oldukça karmaşık Güneş Sistemi haritaları oluşturmuşlardır.

Gökyüzündeki hareketi böyle ele alan görüş 16-17. yüzyıllarda Polonyalı gökbilimci Nicholas Copernicus ile İtalyan gökbilimci ve fizikçi Galileo Galilee tarafından radikal bir şekilde değiştirilmiştir. Copernicus, Dünya'nın kendi ekseni etrafında ve Güneş'in etrafında döndüğü ve diğer gezegenlerin de Güneş'in etrafında döndükleri açıklamasını ortaya atmıştır. Copernicus modeli daha önce fark edilebilecek kadar barizdir: Göksel hareketin en bariz olgusu bütün nesnelerin günde bir kere Dünya'nın çevresinde dönmesidir. Copernicus'un modelinde bu farklı hareketlerin tamamının tek bir açıklaması vardır: Dünya'nın dönüşü. Ne var ki, bu basit açıklamanın bir bedeli vardır: Bu sözleri Kuzey Amerika enleminde yazarken,

saatte yaklaşık 770 mil (1.667 km) hızla döndüğümüz halde (Dünya'nın dönüş hızı), hiçbir şey hissetmediğimiz anlamına gelir. Copernicus'un çağdaşlarına gülünç derecede yüksek hızda döndüğümüz halde bunu fark etmediğimizi iddia etmek saçma gelmiştir. Bu zorluk genellikle Einstein'la bağdaştırdığımız, fakat Einstein'ın haklı olarak Galileo'ya atfettiği, bir kavramla giderilebilmiştir: görelilik ilkesiyle. Bu ilke bize mutlak hareketi değil, göreli hareketi fark ettiğimizi söyler. Bunun anlamı, hızın kendisini değil, hızda meydana gelen farkları ve değişiklikleri fark ettiğimizdir. İkimiz saatte 110 km'lik bir hızla üstü açık bir arabada gezintiye çıktığımızda yola göre göreli hareketi görür, havaya göre göreli hareketten dolayı rüzgârı hissederiz. Oysaki burada bunu yazdığımızda masa, sandalye, oda, her şey saatte aynı 1240 km hızla hareket etmektedir; göreli hız olmadığı için hiçbir şey fark etmeyiz.

Copernicus modeli daha sonra bir bilimcinin gözlemleri ve bir başka bilimcinin teorileriyle daha dakikleştirilmiştir. Birincisi, saptanan evrenin en büyük destekçilerinden biri olan Tycho Brahe (Danimarkalı gökbilimci, 1546-1601). Bu durum, insanın onu tanımış olmaktan memnun olacağı anlamına gelmez. Tycho'ya, Almanya'ya gitmemeye ikna olması için Danimarka kralı tarafından bir ada bahşedilmiştir ve Tycho gözlemevini bu adada kurmuştur (bu gözlemevinin elyazmalarının çoğaltılıp ciltlendiği bir matbaası da vardı ve bu durum Tycho'yu aynı zamanda yayımcılığın da öncülerinden biri yapmıştır). Bütün raporlar, Brahe'nin pek hoş bir insan olmadığını, mülkünü bir diktatör gibi yönettiğini gösteriyor. Brahe, on yıllarca Güneş'in ve gezegenlerin konumlarına dair itinalı kayıtlar tutmuştur (ve asistanlarının itinalı kayıtlar tutmalarını istemiştir). Öncüleri için bilinmeyen bir hassaslıkta verilere ulaşmıştır.

Brahe'nin asistanlarından biri, Johannes Kepler, Brahe'nin verilerini taramış ve gezegenlerin hareketlerinin dairesel olmadığını fark etmiştir. Kepler'in çalışması, itinalı, hantal, sıkıcı bir veriden basit, zarif bir teorinin damıtılmasından oluşmuştur. On yıllara dayanan saptama çalışmalarını ele almış ve onlardan gezegensel hareketin üç yasasını yaratmıştır.

Birinci Yasa –gezegenler, Güneş'in çevresinde eliptik bir yörüngede hareket ederler. Bu, dairesel yörüngeler fikrinden çok farklı görünmüyor olabilir, sonuçta elips uzatılmış bir dairedir. Ne var ki, dairelerin iki bin yıl boyunca insanların zihinlerini büyüleyen geometrik bir zarafeti ve estetiği vardır. Sonuçta, teoriyi izleyelim, gökyüzü Cennet'tir, Cennet kusursuzdur, daireler kusursuzdur dolayısıyla gökyüzü dairelerden oluşmuştur. Bir teoriye bağlılığa dair eski bir örnektir bu; artık geçerli olmadığı gösterildiği halde bir düşünceden vazgeçmeme arzusudur. Kepler'in bu kavrama meydan okuması inanılmaz teorik bir yenilikti.

Kepler'in İkinci Yasası: Gezegenler, yörüngelerinde her zaman aynı hızda ilerlemezler, Güneş'e yaklaştıkça hızları artar. Üçüncü Yasası ise gezegenin bir yılını, gezegenin Güneş'e olan uzaklığına dayanarak hesaplar.

Kepler'in yöntemi iki adımdan oluşmaktadır: Neyin saptanabileceğini belirleyen gözlem ve sonrasında saptananların ayrıştırılarak teoriye yönlendirilmesi; bu bilimsel çabaların hepsinde geçerli en önemli süreçlerden biridir. Benzer bir ayrıştırma yöntemi halen kullanılmaktadır. Modern bilim insanları onlara yardım eden bilgisayarlara sahip olsalar da, teorileri oluşturup denemek için verileri insan aklıyla gözden geçirmek zorundadırlar. Bir bakıma, bugünlerde bu görev daha da zorlaşabiliyor: Human Genome Project[1] ve Sloan Digital Sky Sur-

1 Human Genome Project, DNA'yı oluşturan kimyasal baz çiftlerinin dizilimini saptamaya çalışan uluslararası bilimsel araştırma projesidir. Kuruluşun en büyük amacı

vey[2] gibi büyük ölçekli deneylerde kullanılan saptama sistemleri fazlasıyla etkilidirler ve kısa sürede muazzam miktarda veri üretirler. Zavallı insan aklının anlam vermeye çalışması için bu muazzam veri yığını şu anda hazır beklemektedir. Aşırı bilgi yüklemesi bir zamanlar sadece bilim insanlarının bildiği bir olguydu, ne var ki şimdi İnternette bir arama yapmış, aradıkları bilgiyi içerme ihtimali olan milyonlarca site veya daha kötüsü bilginin o milyonlarca siteden yüzlercesine dağılmış olduğunu keşfetmiş herkes, veri analizi ve sentezinin nasıl bir baş ağrısına sebep olabileceğini tahmin edebilir.

Isaac Newton daha sonra Kepler'in yasalarına (ve diğerlerin çalışmalarına) dayanarak, hareketleri hesaplama ve öngörmede öncülük eden kendi hareket yasalarını oluşturmuştur. Newton'a dair ayrıntıları sonraya bırakalım. Ne var ki, bu çalışmalar gökbilimin daha az hareket odaklı olmasına ve gökbilimsel verinin doğasında ve odağında yön değişikliğine yol açmıştır. Geçmişte gökbilimciler çoğunlukla hareketle ilgiliyken, daha yakın zamanlarda (hareket problemleri büyük ölçüde çözüldüğünden beri), Güneş'in ve diğer yıldızların ışığı ve ısısı ve bu ışıkla ısının nereden geldiğinin araştırması modern güneş ve yıldız gökbiliminin en belirgin parçalarını biçimlendirmiştir. Böylelikle gökbilimin odağı hareket kaygılarından enerji ve yıldız evrimi kaygılarına kaymıştır.

Böylesi tümüyle değişme, bilim tarihini anlamaya çalışan biri için dikkate değerdir. Yeni bir teori veya yeni bir saptama donanımı parçası veya laboratuvarda bir şey yaratmak için

20.000-25.000 arası sayıda geni tanımlayıp haritasını çıkararak "insan genomu" kavramını hem fiziksel hem fonksiyonel açıdan irdelemektir. (Ç.N.)

2 Sloan Digital Sky Survey, ABD - New Mexico - Apache Point Gözlemevi'nde 2,5 m geniş açı merceği kullanan optik teleskopla yapılan başlıca çok filtreli tarama ve tayfölçer araştırması projesidir. (Ç.N.)

yeni bir beceri, ilgi ve dikkat odağında kaymaya yol açabilir. Bir zamanlar saptaması zor veya imkânsız olan bir şey (örneğin, hücrenin içyapısı) kolay olduğunda (mikroskop alanında ilerlemeler sayesinde) bilimsel alanın bir kısmı ileri teknolojiden normal bir çalışma olmaya ve nihayetinde, sıkça tamamen başka bir alandaki, daha sonraki ileri teknoloji araştırmasının temelini oluşturacak çalışma olmaya geçebilir. Hücresel mikroskopi örneğine devam edersek, kromozomların ve DNA kodunun keşfi (konuyla ilgili genel irdeleme için son bölüme bakın), biyokimyadaki ilginin ortaya Human Genome Project çıkaracak kadar radikal bir şekilde değişmesine yol açmıştır ve o biyologların hepsi şu anda verileri gözden geçirmekle meşguller.

Gökyüzüne dönelim.

Antik gökbilimciler, ender olarak Güneş'in nereden geldiğini veya nereye gittiğini merak etmişlerdir. Onu, sonsuz veya en azından ancak başka kutsal güçler tarafından yok edilebilecek kutsallıkta görmüşlerdir. Biz Güneş'in bir yaşam döngüsü olduğunu biliyoruz: doğum, çocukluk, olgunluk, ileri yaş ve ölüm. Bu sadece bizim değil Dünya üzerindeki bütün yaşamın kısacık sayıldığı bir zaman ölçeğinde gerçekleşiyor. Yine de Güneş'in bir doğumu var, bir yaşamı var ve bir de ölümü olacaktır.

Şimdilerde, bu olayların ve Güneş'in ışığıyla ısısının, nasılı ve niçini tek bir fiziksel sürecin sonucu olarak biliniyor: Nükleer füzyon, sadece birkaç on yıl önce Dünya'ya indirilmiş göksel süreçtir. Güneş'in adetlerini araştırmak, öğrenmek adına kullanılan füzyon reaktörleri ve hidrojen bombaları, bilim insanlarının temelde yıldızların kalplerinde gerçekleşenlere benzer etkileşimler yaratmalarını sağlamıştır.

Öncelikle çok sayıda saptama ve hesaptan sonra bir grup sayı elde edilmiştir. Bir an için, bu sayıları boşluktan veya göremediğiniz ipek silindir şapkadan çıkarıyoruz. Güneş bizden yaklaşık 150.000.000 km uzaktadır, yaklaşık 1.990.000.000.000.000.000.000.000.000.000 kg ağırlığında bir kütlesi vardır, yüzey sıcaklığı 5800 Kelvin (mutlak sıfırın üstündeki santigrat derece), merkez sıcaklığı ise 15.500.000 Kelvin'dir. Yaklaşık 400.000.000.000.000.000.000.000.000 Watt gücündedir. (Watt ve güçle ilgili bir fikre sahip olmak için aylık elektrik faturasında, kullanılan kilovat/saat tüketimini gösteren satırı bulun ve bu sayıyı bir ayı oluşturan saatlerin toplamına, 720'ye, böldükten sonra 1000'le çarpın. Bunu yapınca sizin tüketiminizin, Güneş'in üretiminin ufacık bir parçası olduğunu göreceksiniz.) Bu aşırı boyutta büyük rakamlar bunaltıcı olabilir. "Astronomik" kelimesinin hayal gücünün alamadığı kadar büyük anlamına gelen bir sıfat olarak kullanılmasının sebebi benzer sayılardır. Bu astronomik yabancılaşma için üç panzehir vardır: rakamları bilimsel notasyonla belirtmek, özel birimler kullanmak ve "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusunu sormak.

Bilimsel notasyon, rakamları 10'un kuvvetini kullanarak yazmaktır: $10^1 = 10$, $10^2 = 100$, $10^3 = 1000$ gibi. Böylece Güneş'e mesafemizi $1{,}5 \times 10^8$ km, kütlesini $1{,}99 \times 10^{30}$ kg, güç üretimini 4×10^{26} Watt olarak yazabiliriz. Bu notasyonun kullanımıyla aynı rakamlar daha küçükmüş gibi gösterilebilir, ne var ki bu durum, ölçeğin akıl almaz büyüklüğünü değiştirmiyor.

Özel birimler, uzaklık, ağırlık ve zaman gibi kavramların ölçümünde, sistemin çalışma kapsamında çalışılabilir sayılar üretmeleri sebebiyle seçilmiş basit ölçüm yöntemleridir. Her gün kullandığımız birimler (mil, kilometre, pound, kilogram

vesaire) insan için uygunlardır, yıldız ölçeği için ise uygun değillerdir. Gökbilimciler, astronomik birimi (AB) Dünya ve Güneş arasındaki ortalama mesafe olarak tanımlarlar. Bu, Güneş Sistemini tartışmak için pratik bir birimdir. Dünya ve Güneş arasındaki mesafe tanım gereği 1 AB'dir. Mars gezegeni Güneş'ten ortalama 1,5 AB, Jüpiter 5,2 AB, hatta Plüton bile ortalama sadece 40 AB (yörüngesindeki konumuna bağlı olarak) uzaklığındadır. Benzer bir şekilde gökbilimciler 1 güneş kütlesini Güneş'in ağırlığına eşit olarak ve 1 güneş ışığını da Güneş'in aydınlatma gücüne eşit olarak tanımlamışlardır. Sonuçta, Güneş'in tipik bir yıldız olduğu ortaya çıkmıştır dolayısıyla güneş kütlesi ve güneş ışığı birimlerinin yıldızların özelliklerini tartışmak için pratik birimler olduğu anlaşılmıştır. Örneğin Sirius A yıldızı, 2,2 güneş kütlesine ve 23,5 güneş ışığı gücüne sahiptir.

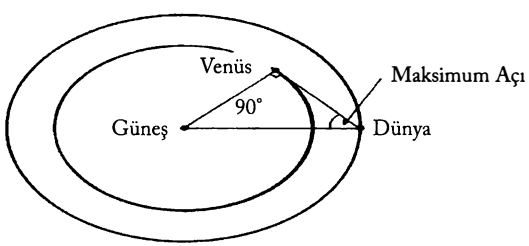
Daha sonra detaylandırılacak sebeplerden dolayı yıldızların bulunduğu mesafe konusunda pratik birim parsektir (yaklaşık $3{,}1 \times 10^{13}$ km'dir ve hayır, *Uzay Yolu* için uydurulmamıştır). Galaksilerin boyutlarını tanımlamada pratik birim kiloparsek (bin parsek), galaksiler arasındaki mesafeleri tanımlamada ise megaparsektir (1 milyon parsek). Bu birimlerle ifade edersek en yakınımızdaki yıldız Proxima Centauri ile aramızda 1,3 parsek, galaksimizin merkezi ile aramızda 8 kiloparsek ve Andromeda Galaksisi ile aramızda 0,77 megaparsek vardır.

"Bunu nasıl biliyorlar?" sorusu ve bu sorunun cevapları astronomik rakamların akıl almaz büyüklüğü için basit bilimsel notasyon ve özel birimler kullanmaktan çok daha karmaşık olmakla birlikte sonuçta çok daha ödüllendirici bir panzehir sağlamaktadır. Bu soru bilimi anlamakta anahtardır ve kitap boyunca çoğu kez yinelenecektir.

Bilim insanları cisimlerin mesafe, ağırlık ve ışık gibi özelliklerini ölçmek için kullanılan sayılara nasıl ulaştılar? Bu sayılar saptama sonucunda mı ortaya çıktı? Öyleyse, hangi cihazı kullandılar ve bu cihaz nasıl çalışır? Bu sayılara ulaşmak için teorik bileşenler kullanıldı mı? Öyleyse, bu teori nedir ve ne kadar kesinleşmiştir? Birkaç paragraf önce öne sürdüğümüz rakamların tamamına dair soruların hepsine cevap vereceğiz.

Dünya'nın Güneş'e olan uzaklığı, AB ile başlayalım. Geometrik ve optik sebeplerden dolayı, Güneş Sistemindeki göreli uzaklıkların ölçümü mutlak olanlardan daha kolaydır. Venüs'ü değerlendirelim. Venüs, Güneş'e Dünya'dan daha yakındır ve bu nedenle gökyüzündeki konumu hiçbir zaman Güneş'in konumundan çok uzak değildir. Venüs'ün sabah ve akşam yıldızı olarak bilinmesinin sebebi budur; Güneş'in batışından hemen önce batar ve Güneş'in doğuşundan hemen önce doğar. Venüs'ün "maksimum uzunluğu" tanımı, gökyüzündeki konumu Güneş'e en uzak noktaya ulaştığında kullanılır. Şimdi Venüs'ün maksimum uzunlukta olduğunu varsayalım ve Dünya, Güneş ve Venüs'ün oluşturduğu üçgeni dikkate alalım (bkz. Şekil. 1). Venüs'ün açısı diktir, Dünya'nın açısı ise basit bir Güneş ve Venüs gözlemiyle ölçülebilir. Üçgenin iki açısını biliyorsak, kenarların oranını da biliyoruz demektir (trigonometri bunun çaresine bakar). Ufak bir çarpmayla Venüs'ün Güneş'e olan uzaklığını AB biriminde öğrenmiş oluruz. Benzer olmakla birlikte biraz daha karmaşık bir yöntem Güneş'e Dünya'ya göre daha uzak konumda bulunan gezegenler için geçerlidir.

İşlemimiz iki yaklaşık değer kullanır: (1) Brahe'nin döktüğü ter ve Kepler'in teorisi elips olduklarını gösterdiği halde gezegenlerin yörüngelerini daire olarak ele alırız. Bu basitleştirme bir gezegenin Güneş'e olan mesafesini, gezegen hareket



Şekil 1

ettikçe değişen değerden ziyade tek bir sayıyla ifade etmek istediğimizde söz konusu olur. (2) Her gezegenin yörüngesinin bir düzlemde bulunmasına karşın iki gezegenin yörüngeleri genellikte tam olarak aynı düzlemde bulunmaz.

Bu basitleştirmeler için gerekçemiz vardır. Birincisi, Merkür ve Plüton'u saymazsak, gezegenlerin yörüngeleri aynı düzlemdeki dairelerle neredeyse aynıdır; dolayısıyla, çok hassas hesaplama yapmadığımız sürece onlara eş-düzlemli daire muamelesi yapmak aşağı yukarı güvenlidir. İkincisi ise, bu basitleştirme olmasa tartışma işe yarar bir sonuç üretmeden gittikçe daha karmaşık bir hal alacaktır. Sonuncusu önemlidir, çünkü ne zaman ki bilim insanları bir yaklaşıklık yapma gereği duysalar (bunu çok yaparlar) bu yaklaşıklığın, aradıkları cevaplarda dikkate değer bir değişiklik yaratıp yaratmadığı sorusunu sormak zorundadırlar. Bir ölçüm ne zaman dikkate değer olur? Duruma göre değişir. Bir binanın yükseklik ölçümündeki birkaç santimetrelik fark ender olarak önemlidir, ama bir mermi boyutundaki birkaç santimetrelik değişiklik yaşamla ölüm arasındaki sınır olabilir.

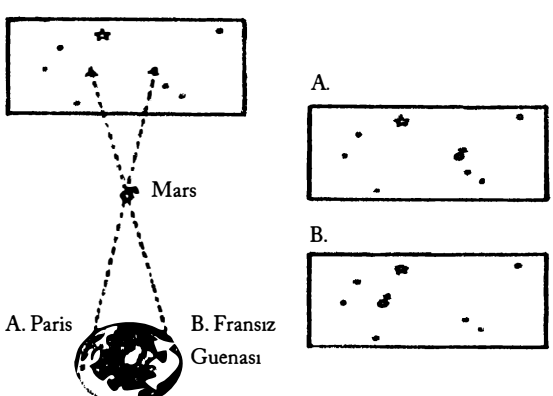
Bu sebeple bilim insanları ölçümde "dikkate değer" kavramını geliştirmişlerdir. Ayrıntılarla lafı uzatmadan, ölçümün

dikkate değer parçası, bu sürecin hiç değilse güvenilir parçasıdır. Santimetrelerin (1/100 metre) işaretlendiği bir çubukla ölçüm yapıyorsanız, ölçtüğünüz nesnenin uzunluğu genellikle iki birimi işaret eden çizgilerin arasına denk gelir. Sayı işaretlerini sayarak iki ondalık basamak değerinin (bu 1/100 metre ölçeğine kadar kesin ölçüm yapabilirsiniz demek oluyor) ölçümümden emin olabilirsiniz. Ölçtüğünüz nesnenin ucunun iki işaret çizgisi arasına denk geldiği yere dayanarak üçüncü (1/1000 metre) ondalık basamak için ancak tahmin yürütebilirsiniz; fakat dördüncü ve sonraki ondalık basamaklar için yapılan herhangi bir deneme bilgiye dayanmayan saf tahmin olur. Bu şekilde yapılan ölçümün üç dikkate değer basamağı vardır. Dikkatli bilim insanları sundukları verilerin, sundukları sayıların ölçüm hassasiyetinin gerektirdiği sayıda dikkate değer basamağa sahip olmasına özen gösterirler.

Yukarıda anlatılan ölçüm ve hesap yöntemleri kullanılarak Güneş Sistemimizin göreli mesafelerine dair güvenilir tahminler yapılmıştır. Göreli mesafelerle kuşanmış Güneş Sisteminde bütün mutlak mesafeleri ölçebilmek için sadece birini ölçmek yeterli olmuştur. Bu kulağa biraz garip gelebilir ama şöyle düşünün: Üçgenle belirleme yöntemi kullanarak Venüs'ün Güneş'ten 0,7 AB, Mars'ın 1,5 AB vb olduğunu öğrenmek mümkün. AB, Dünya'nın Güneş'e olan mesafesini belirttiğine göre, gerekli tek şey AB'nin değerini bulmaktır ve bu bize her şeyin değerini verir. AB'nin kaç olduğunu öğrendiğimiz anda her şeyin mesafesini öğrenmiş oluruz. AB'nin dolaysız karşılığını bulamıyor ama diyelim Venüs'ün Güneş'e olan uzaklığını öğrenebiliyorsak, o zaman AB'nin karşılığını bu değeri 0,7'e bölerek elde edebiliriz.

Bir mutlak mesafeyi bulmak için paralaks adını taşıyan yöntem kullanılmıştır (bkz. Şekil.2). Paralaks hem izlenebilen hem saptanabilen bir çelişkidir. Şunu deneyebilirsiniz: Sol gözünüzü sol elinizle kapatın, sağ elinizi başparmağı dik durumdayken odanın diğer tarafındaki duvarının üzerindeki herhangi bir şeye hizalanmış şekilde ileri uzatın. Şimdi, sol elinizi sol gözünüzden kaldırıp sağ gözünüzü kapatın. Bunu yaptığınızda başparmağınız kaymış görünür. Burada olan şey, sağ ve sol gözünüzün farklı konumları dolayısıyla başparmağınıza bakış açılarındaki farklılıktır. Parmağınızın hareket kaymasındaki açının yarısına paralaks denir. Bu açı, gözlerinizin arasındaki mesafeye ve gözlerinizle başparmağınız arasındaki mesafeye göre değişir. Şimdi de gözlerinizin yerine dünyadaki iki farklı noktayı, başparmağınız yerine bir gezegeni, duvar yerine de uzaktaki yıldızları koyun.

Benzer bir ölçüm 1672'de Jean Richter ve Gian Domenico Cassini adında iki fransız gökbilimci tarafından gerçekleştirildi. Cassini, daha çok Satürn'ün halkalarındaki boşlukları keş-



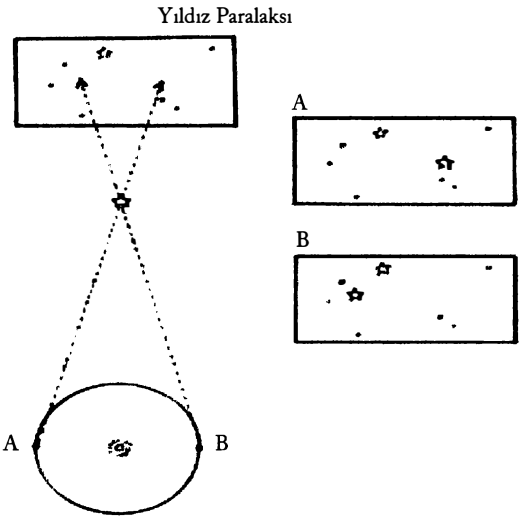
Şekil 2a Paralax (Mars'ın)

finden dolayı tanınmaktır ve NASA'nın Satürn'e düzenlenen keşif görevine onun adı verilmiştir. Aynı zamanda, Jüpiter'in konumunun hassas ölçümünü yapmıştır ve böylelikle 1675'te Danimarkalı gökbilimci Ole Rømer'in ışık hızını ilk defa ölçmesine olanak tanımıştır.

Richter ve Cassini, biri Paris'ten diğeri Cayenne'den olmak üzere aynı anda Mars'ı gözlemlemiştir. Bu iki farklı noktadan bakıldığında Mars'ın gece karanlığında yıldızlara nazaran hafif farklı bir konumda olduğu görülmüştür. Bu açısal farkın yarısı Mars'ın paralaksını oluşturmuştur. Küçük bir açı, derecenin 1/1000'den biraz daha az, olmasına karşın Paris'le Cayenne arasındaki mesafeyle (yaklaşık 10000 km) birleştiğinde Richter ve Cassini'ye Dünya'yla Mars arasındaki mesafeyi dolayısıyla Güneş Sistemindeki bütün mutlak mesafeleri ölçme imkânı tanımıştır.

Bugünlerde Güneş Sistemindeki mesafeleri ölçmek için başka yöntemler kullanıyoruz, örneğin, radar ve telemetri gibi. İyi yerleştirilmiş yetenekli bir saptama cihazı gerektiren bu yöntemlerden biri şöyle: Mars Gezginlerinden[3] herhangi birine sinyal gönderdiğimiz anda, bu sinyalin gitmesi ile gelmesi arasında geçen zamanı ölçebiliyoruz. Radyo dalgaları bir nevi ışık olduğu için bu sinyaller ışık hızında (yaklaşık 300.000 km/saniye olarak ölçülmüştür) yol alır; yani sinyalin yayınlandığı anla yanıtın geldiği an arasındaki zaman, bize sinyalin Mars'a gidiş dönüş yolculuğu için gerekli zamanı verir. Bu sürenin yarısını saniye biriminde 300.000'le çarparsak Mars'a olan uzaklığımızı kilometre biriminde elde ederiz. Bu konuda dikkat etmemiz gerekiyor çünkü gerçek zaman, sinyalin gidiş süresi +

3 Mars Rover: Mars gezegene indikten sonra kendi kendini yürüten otomatikleştirilmiş motorlu taşıt. (Ç.N.)



Şekil 2b

Mars Gezgininin sinyali yakalayıp analiz edip yanıtını hazırlama süresi + yanıtın geliş süresinden oluşur. Arada geçen zamanın uzun olması ölçümlerimizi etkileyebilirdi; fakat basit bir sinyalle basit bir komut için zaman, bizim uğraştığımız dakika ölçeğinde dikkate değer bir değişiklik yaratmayan, nanosaniyelerle (saniyelerin milyarda biri) ölçülmektedir. Diğer yandan Galileo, ışık hızını ölçmek için benzer bir yöntemi, bir asistan (Mars Gezgini yerine) ve iki fener (radyo vericileri yerine) kullanarak denemiştir. Sadece asistanın yanıt süresini ölçmekte başarılı olabilmiştir.

AB öğrenildiğinde, bunun ardından "astronomik" boyutlarla ilgili çeşitli diğer sayılar gelmiştir, örneğin, Güneş'in boyutu. Yaptığımız gözlemlerle Güneş'in açısal büyüklüğünü ölçmek kolaydır. Yaklaşık yarım açıdır. Bu açı değeri ve Güneş'e olan mesafe birleştiğinde Güneş'in büyüklüğü hesaplanabilir (yine trigonometri). Benzer bir şekilde, Güneş'in ürettiği gücü,

Dünya'daki bir metrekareye düşen ışık miktarını ölçerek hesaplayabiliriz (yöntemlerden biri, bu ışığın düştüğü fotoselin ürettiği gücü ölçmektir). Güneş'in dört bir tarafına eşit miktarda enerji saçtığını varsayarsak yarıçapı 1 AB olan fotosellerden oluşan bir kürenin var olabilseydi, Güneş'in bütün gücünü yakalayabileceğini hayal edebiliriz. Bu tanıma uyan fiziksel küreye Dyson küresi denir ve her ne kadar bilimkurgu ürünü olsa da, gerçek bir Dyson küresi olmadan teorik Dyson küresini hesaplamalarımızı yapmak için kullanabiliriz. Dyson küresinin yüzey alanını metrekareler biriminde hesaplayabilir ve bunu bir metrekarenin saptadığı güç miktarı değeriyle çarparak Güneş'in ürettiği gücün toplamını ölçebiliriz. Devasa kullanışsız bir deneyi hayal edip (fotosellerden oluşan Dyson küresi), sonrasında bundan yararlı bir deneyin esasının (bir fotosel ve bir çarpma işlemi) çıkarıldığı böylesi yöntemlerle saptanan ve teorik evrenler kusursuz etkileşerek bizi tek başlarına sundukları bilgilerden daha ötesine taşımaktadırlar.

Yukarıdaki hesaplamada ufak bir kusur vardır: Dünya'nın atmosferi, Güneş'in elektromanyetik radyasyonunun bir kısmını emer ve emilen radyasyon yüzdesi radyasyonun dalga boyuna göre değişir. Bu durum ya deneyin uzayda yapılmasını ya da emilen radyasyonun titizlikle ölçülüp değerin düzeltilmesini gerektirir. Her halükarda bu deney, bahsettiğimiz iki yöntem de kullanılarak gerçekleştirilebilir ve zaten bizim daha önce sıraladığımız sonuçları verecek şekilde gerçekleştirilmiştir de.

Güneş'in gücü ve boyutundan yüzey sıcaklığını bulabiliriz. Laboratuvar deneyleri sıcak nesnelerin elektromanyetik radyasyon yaydığını göstermiştir; elektrikli ısıtıcının yaydığı kırmızı parlama bunun gündelik şeklidir. Yayılan radyasyonun miktarı yüzey alanına ve nesnenin sıcaklığına bağlıdır.

Güneş'in enerjisini ve yüzey alanını bildiğimize göre yüzey sıcaklığını da hesaplayabiliriz.

Bu noktada bu kırılgan mantıktan rahatsız olmamız gerekir. Güneş'in yüzey sıcaklığının hesaplanması birçok farklı ölçümünün göz alıcı birleşiminden oluşmaktadır. Üstelik laboratuvardaki küçük sıcak nesnenin özelliklerinden, Güneş'in, çok daha büyük ve çok daha uzak olan bir nesnenin, özelliklerine ulaşabileceğimizi varsayıyoruz. Belli bir yere kadar bu kaçınılmazdır. Güneş'i bir laboratuvar tezgâhına koyup yüzeyine derece koyamayız.

Hâlbuki Güneş'in yüzey sıcaklığını ölçmek için başka bir dolaylı yöntem düşünebilir ve aynı sonucu alıp almadığımıza bakabiliriz. Saptanan evrende geçerli strateji budur. Bütün sonuçlar, ilk sonucun doğru olup olmadığının kontrol edilmesi açısından, orijinal işlemden farklı yöntemler kullanılarak doğrulanmak zorundadır. Güneş sıcaklığı vakasındaki diğer yöntem de sıcak nesnelerin özelliklerini ve yaydıkları radyasyonu kapsamaktadır.

Isıtılmış nesnenin yaydığı gücün yanında ışığının dalga boyu da sıcaklığa bağlıdır. Daha sıcak nesneler daha kısa dalga boyunda ışık saçar. Işıkta dalga boyu ne kadar kısa olursa enerji o kadar yüksek olur; daha önce de belirttiğimiz gibi bu değişiklik gözlerimize renk olarak görülür. Isıtılmış bir ütü kızarır, fakat bu ütüyü daha çok ısıtırsak rengi ve saçtığı ışık beyaza döner. Güneş'in saçtığı ışığın dalga boyunu ölçerek sıcaklığını hesaplayabiliyoruz. Elimizde Güneş'in yüzey sıcaklığını ölçmek için iki (dolaylı) yöntem olunca her birinin doğruluğundan daha çok emin olabiliriz. Bu çeşit tutarlılık kontrolleri dolaylı ölçümleri öbür türlü olacaklarından daha güvenilir hale getirirler. Aynı şekilde, Güneş Sistemindeki mesafeleri ölçmek

için kullanılan iki farklı yöntem, paralaks ve ışık hızı, tutarlılık kontrolü sağlar. Aslında ışık hızının ilk ölçümü dolaylı olarak Güneş Sistemi mesafeleri kullanılarak yapılmıştır, daha sonra dolaysız olarak laboratuvarda ölçülebilmiştir.

Yukarıdaki tartışmayı altüst edip Güneş'in sıcaklığına saptanan evren yerine teorik evren perspektifinden bakabiliriz. Sıcak nesnelerin yaydığı ışığın ölçümünü kapsayan teoriyle başlarız; laboratuvarda test edilmiş bir teoriyle, fakat bu kadar büyük ve uzak bir nesne, Güneş, söz konusu olduğunda geçerli olmayacağından endişe ettiğimiz bir teoriyle. Sonrasında yukarıda bahsettiğimiz iki farklı ölçüme dayanan iki grup farklı hesaplama yapmamız gerekir, teori geçerliyse, iki yöntem de Güneş'in sıcaklığına dair değerler verir. İki hesaplamanın uyumlu olması teoriyi desteklerken sayılar da Güneş'in sıcaklığını gösterir. Bu şekilde saptanan ve teorik olan evrenler, birbirlerini yapılandırmış ve test etmiş olurlar. Kara maddeyle ilgili bölümümüzde, benzer iki kontrolün farklı sonuçlar doğurduğu noktada bilimin ne yaptığını göreceğiz.

Güneş'in yarıçapını bildiğimizde hacmini de saptayabiliriz. Bunun sonucunda, kütle=hacim x yoğunluk formülünü kullanarak (yoğunluğu varsayımsal bir değerle belirtirsek) kütlesine dair kaba bir tahminde bulunabiliriz. Güneş'in yoğunluğunun suyun yoğunluğuyla neredeyse aynı olduğuna dair bir tahminde bulunduğumuzu varsayalım. Bu şekilde elde ettiğimiz kütle yanıtı doğru yanıttan çok farklı olmayabilir; ama problem, yoğunluk tahminimizi doğrulayamıyor oluşumuzdur.

Daha iyisini nasıl yaparız? Güneş'i nasıl "tartarız"? 1797'de İngiliz fizikçi Henry Cavendish dolaylı bir yöntem bulmuştur. Cavendish aslında Dünya'yı tartmak için yola çıkmış, fakat daha sonra aynı yöntemle Güneş'i tartma olanağı bulmuştur.

Cavendish işe Newton'un, herhangi iki kütlenin birbirlerine karşı, kütleleri ile orantılı ve aralarındaki mesafenin karesi ile ters orantılı kuvvet uyguladığını ifade eden Kütleçekim Yasasıyla başlamıştır. Bu tanım aşağıdaki formüle sıkıştırılabilir:

$$F = GMm/r^2$$

Burada, F kuvvet, M ve m iki nesnenin kütleleri, r aralarındaki mesafe, G ise Newton'un kütleçekim sabiti olarak bilinen değerdir. Newton, elmanın düşüşünden Ay'ın hareketine, gelgitlerden Kepler'in gezegen hareket yasalarına kadar uzanan geniş olguya, sade ve kompakt bir açıklama olarak bu formülü getirmiştir. Bu formül bize G sabitini bildiğimiz sürece, kütlelerin birbirine uyguladığı kuvveti ölçme imkânı tanır. Kuvvetleri hesaplamak adına formülü kullanmak, *G'yi* biliyor olmamızı gerektirir. Peki, G nasıl bulunabilir? Bu da, formülle açıklanabilir. Birbirlerinden belli bir uzaklıkta olan kütlesi belli iki cisim arasındaki karşılıklı kuvveti ölçebildiğimizde formül, bizim bu ölçüme dayanarak G sabitini hesaplamamızı sağlar. Böylesi bir ölçüm yaptığımızda G sabitini kesin olarak öğrenir ve herhangi başka kütlelerin birbirlerine uyguladıkları kuvveti ölçebilir hale geliriz.

Böylesi bir ölçüm tam olarak Cavendish'in yaptığı şeydir. Kullanmış olduğu cihaz şekil 3'te görülüyor. Cavendish, bir çubuğun uçlarına iki kurşun top yerleştirmiş ve bu çubuğu ince çelik bir telle asmıştır. İki büyük kurşun top küçük olanlara yaklaştırıldığında, Cavendish, bükülen tel miktarından büyük cisimlerin küçük cisimlere uyguladığı kütleçekim kuvvetini ölçebilmiştir. Böylelikle Cavendish Külte-Çekim Yasası formülünde G sabiti dışındaki bütün değerleri elde etmiş ve

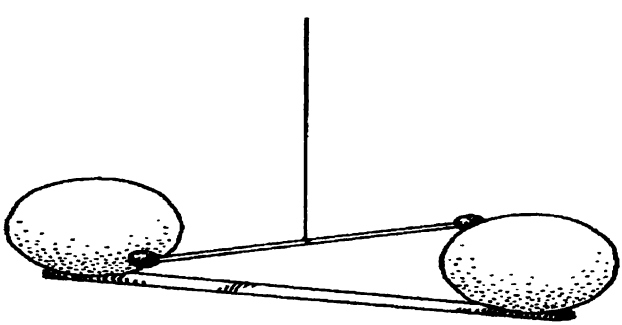
sonrasında G sabitini hesaplayabilmiştir. Bu ölçümü aldatıcı yapan şey çekim kuvvetinin zayıf oluşudur. Çekim kuvvetine karşı gelemediğimizi düşündüğümüzde, bunlar kulağa tuhaf gelebilir; fakat yukarıdaki formül dâhilinde, büyük bir kütlenin (Dünya gibi) doğasındaki kuvvet zayıflığını dengeleyebildiğini unutmayın. Birbirlerine 1 m uzakta duran 2 adet, 6 kg ağırlığında bowling topunun birbirlerine uyguladığı kuvvet yarım kilogramın milyarda birinin dörtte üçüne eşittir.

Newton'un Kütleçekim Yasasının sonucu olan başka bir formül ise bize Güneş'in kütlesini öğrenme olanağı verir. Formül şöyle ifade edilebilir:

$$M = rv^2/G$$

Bu formül, M kütlesinin yörüngesinde, r mesafesinde, v hızında ilerleyen bir cismi ifade eder. Sözlerle anlatmak gerekirse, yörüngesindeki cismin büyüklüğünü ve hızını (ve tabii ki G sabitini) biliyorsak, o zaman kütleyi hesaplayabiliriz. Ayrıntılı anlatmak gerekirse, Dünya'nın Güneş'in yörüngesinde

Cavendish Deneyi



Şekil 3

döndüğünü biliyoruz; *r*, 1 AB'ye eşittir. 1 AB yarıçapındaki dairenin bir yılda kat ettiği mesafenin hızı verdiğini de biliyoruz. Dolayısıyla Dünya'nın yörüngesiyle ilgili bu bilgilerle Güneş'in kütlesini hesaplayabiliriz (yani bu, daha önce içinden o numarayı çektiğimiz şapkanın ta kendisidir). Adına basitçe kütle formülü dediğimiz bu küçük formül, gökbilimdeki en kullanışlı formüllerden biridir. Unutmayın ki, gökbilimde işleri dokunarak değil bakarak yürütürüz. Kütleleri bulabilmek için dolaysız bir yöntemimiz olmadığı için kütle formülü, sadece uydulara bakarak kütleyi ölçebildiğimiz dolaylı güzel bir yöntem sağlamaktadır. Formülün güzelliği kolayca saptanabilen değerleri (uzaklık ve hız) dönüştürerek, saptanması zor değerleri (kütle) üretmesidir. Bilimin matematiğe saray sihirbazı olarak güvenmesinin sebebi bu sihirli denklemdir. Şimdilerde üç yüzyıl yaşında olan bu kütle formülü sadece Güneş'in kütlesinin hesaplandığı yöntem olmakla kalmamış; gezegenlerin, yıldızların, galaksilerin hatta kara madenin kütlesini ölçmemize olanak sağlamıştır.

Cavendish'in deneyinin arkasındaki mantık dairesel görünüyor. *G* sabitini bulmak için Newton'un Kütleçekim Yasasının doğru olduğunu varsayarız. *G'yi* bilmiyorsak Kütleçekim Yasasının doğru olup olmadığını nasıl test edebiliriz? Ana fikir, Newton'un yasasının, *G* sabitine bağlı kalmadan ürettiği tahminleri test etmektir. Kütle formülüne bu açıdan tekrar bakın. *G*, Güneş'in ağırlığı gibi sabit bir değer olduğuna ve formül herhangi bir gezegenin yörüngesi için geçerli olduğuna göre, kütle formülünün sonuçlarından biri de rv^2*'nin* bütün gezegenler için aynı olduğudur. Başka bir deyişle, bir gezegen Güneş'ten ne kadar uzak olursa o kadar yavaş bir hızda ilerler ve bu gezegenin yarı hızda ilerlemesi için dört kat daha uzak-

ta olması gerekir. Özellikle bu tahminin doğru olduğu ayrıca bilinmektedir: Kepler tarafından keşfedilmiştir ve Kepler'in Üçüncü Yasası olarak bilinmektedir. Böylece Newton'un Kütleçekim Yasası Kepler'in Üçüncü Yasası'nı doğrulamıştır (Kepler'in diğer iki yasası için de geçerli olmuştur).

Şimdi artık Güneş'in uzaklığı, kuvveti, sıcaklığı ve kütlesine dair elimizdeki sayıları nereden elde ettiğimizi biliyoruz. Teşekkürler, teşekkürler. Bir sonraki numaramız...

2. Bölüm

O Parlak Şeyi Oluşturan Nedir?

Gelin saptanan evrene geri dönüp, Güneş'e tekrar bakalım.

Ne görüyoruz? Gökyüzünü boydan boya kat eden ve orada kabaca vaktinin yarısını geçiren topa benzer parlak bir şey. Bu basit saptama, şu anda cevaplamak istediğimiz soru da dâhil olmak üzere doğal olarak pek çok soruyu akla getiriyor: Bu şey nedir? Bu soru insanlık tarihinden çok daha uzun olan bir süre boyunca sorulmuştur. Her halükarda, bildiğimiz haliyle insan türünden, hatta insan diye adlandırabileceğimiz bütün türlerden daha yaşlıdır. Önceki açıklamalar katıksız spekülasyondur; kuşkusuz bilim değildir. Atalarımızın (insan olsun veya olmasın) ne düşündüğünü veya neyi merak ettiğini bilemeyiz tabii ki ve genel olarak bizi ilgilendiren soruları başkalarına yansıtmaya (özellikle başkaları "Bana ne?" demek için orada değilseler) eğilimliyizdir. Her halükarda bizim bilmek istediklerimizi onların da bilmek istediğini düşünmek fikri ilginç bir hikâye oluşturur. Bu fikre güvenmezsek hikâye olarak kullanabiliriz. Ne var ki, bilim olmaz. Neredeyse bütün insanlık tarihi

boyunca "Bu şey nedir?" sorusuna verilen cevapların tamamı hikâyelerdi. Bu hikâyeler, teorik evrende yaşayan cisimlerdi ve olgu evreniyle aralarında değerli ufak bağlantılar vardı.

Bu hikâyelerde Güneş ateş topu, gökyüzündeki delik, arabasını kullanan tanrı, koşan tanrı, kurt tarafından kovalanan araba ve benzeri olarak tanımlanmıştır. Bu hikâyelerin olgularla olan zayıf bağlantısı o zaman itibarı ile Güneş'in gerçekte ne olduğunun tanımlanmasının imkânsız oluşundan kaynaklanmıştır. Algılanan ve teorik evrenler arasında bir bağlantı yoktu çünkü kısa bir süre öncesine kadar *saptanan evren* dâhilinde Güneş bileşimine yer yoktu.

Kenar notu olarak söyleyebiliriz ki, Güneş'le ilgili hikâye yazanları, bu konuda bilimsel olmadıkları için cahillik ve aptallıkla suçlamak yaygın bir hatadır. Ne var ki, bu da kendi meraklarımızı başkalarına yansıtma meselesidir. Çoğunlukla onlar "Bu şey nedir?" sorusunun cevabını vermeye çalışmıyorlardı, daha ziyade soruyu başka amaçlar için kullanıyorlardı. Işık, ısı ve hayat kaynağı olan günün ve yılın işaretçisi rolündeki Güneş anlayışı, çalışkanlığı, cisimlerin yaratılışlarını ve yok oluşlarını, zamanı, gücü, zaferi, aşkı simgeleyen bir anlama sahipti. Fiziksel olarak ne olduğunun bilinmemesi Güneş'in şiirsel değerinden bir şey eksiltmedi. Şairler de bütün şiirlerinin başında "Bunları kelime kelime kastetmedim" belirtmesini kullanmadıkları için suçlanamazlar.

Bilime dönüş: Güneş'in bileşimine dair yararlı bir fikrin ortaya çıkmasının bu kadar uzun sürmesinin sebebi gözlem ve deney yöntemlerindeki doğal sınırlamaydı. Güneş çok uzaktadır, basitçe bir parçasını koparıp laboratuvar kabına atamayız. Ne olduğunu saptamak için Güneş'ten yayılan şeyleri kullanmak zorundayız. Güneş'ten yayılan saptaması en kolay şey ışık,

çokça ışıktır. Bu durum, elbette ki Güneş'in iyi görülmesini sağlıyor, tahlil edilmesini değil.

Çıplak gözle baktığımızda, gökyüzünde sadece bozuk para büyüklüğünde parlak bir disk gözlemleyebiliriz. Teleskop keşfedildiğinde, Güneş'e daha yakından bakabildik. Teleskoplar sayesinde Güneş lekelerini saptayabilen ilk insan Galileo'ydu. Bu yeni mucizevî cihazlar kullanıldıkça Güneş'in yüzeyinin değişen özellikleri ayırt edilebilinmiştir. Özelliklerinin, üstelik değişken özelliklerinin olması baş döndürücü bir keşif olmuştur; fakat, "Bu şey nedir?" temel sorusunun cevabına az bir yardımı bulunmuştur.

Değişik araçlarla eşleşen ustaca geliştirilmiş teoriler eninde sonunda bizim Güneş'in bileşimini anlamamızı sağlamıştır. Ne var ki, bu ancak çokça saptırma, uzaklaşma, bilimin iki dalının karışması ve maddenin doğasına dair anlayışın temelden yeniden şekillenmesi ile gerçekleşebilmiştir. En önemli iki araç ateş ve prizmalardı ve onların bu durumda kullanılmaları fikri kimya biliminden ileri gelmiştir.

"Bu şeyi oluşturan nedir?" sorusu, simya olduğu zamanlardan beri kimyanın temelini meydana getirmiştir. Bir kimyagerin, örnekten bu bilgiyi almak için kullanılabilen geniş bir dizi testi ve tam teçhizat donanımı vardır; fakat bu testler genellikle bu operasyonlara tabi tutulabilecek örneğe sahiden sahip olmayı gerektirir. Belirttiğimiz gibi, elimizde Güneş'ten alınmış bir örnek yok, Güneş'ten gelen ışık var.

Dikkate değer bir şekilde, kimyada sadece ışığın gözlemi üzerine dayanan bileşim testi mevcuttur. Bu teste spektrografi[4] adı verilir. Spektrografi, gökkuşağı görmüş biri için kısmen tanıdıktır. Güneş'in ışığı havadaki nemden kırılır. Gökkuşağında

4 Tayf analizi. (Ç.N.)

görülen beyaz renk, kırmızıdan mora kadar birçok farklı rengin birleşmesiyle gerçekleşir. Bu farklı ışıklar gerçekte ışığın farklı dalga boylarıdır.

Işık, fizikçilerin uzun süre ve deneylerin sonucunda keşfettikleri üzere, değişken elektrik ve manyetik alan dalga boylarından oluşmaktadır ve okyanustaki su dalgalarıyla benzerlik göstermektedir. Su dalgaları durumunda, iki ardışık dalga arasındaki mesafeye dalga boyu deriz. Benzer bir dalga boyu tanımı ışık için de yapılmıştır, gerçi burada, elektrik alan değerinin ardışık yüksek noktaları arasındaki mesafedir. Okyanus dalgalarıyla karşılaştırıldığında ışık dalgaları son derece yüksek hıza (3×10^8 m/saniye) ve son derece kısa dalga boyuna (sarı ışıkta yaklaşık 5×10^{-7} m) sahiplerdir.

Spektrumun görülen kısmında kırmızı ışık en uzun, mor ışık ise en kısa dalga boyuna sahiptir. Işık saydam bir cisimden diğerine geçtiğinde bükülür. Farklı dalga boylarındaki ışık farklı açılarda bükülür. Gökkuşağı durumunda, güneş ışığı havadan geçer, yağmur damlasına girer, damlanın uzak tarafına sıçrar ve havadan çıkar. Farklı dalga boylarına sahip ışık, damlalardan farklı açılarla çıktığı için gökkuşağının farklı renklerini gökyüzünün farklı yerlerinde görürüz. Bu durum gökkuşağının şeritlerini meydana getirir.

Laboratuvarda, damlanın rolünü prizma veya bir kırınım oynar. Prizma, üçgen şeklinde cam veya plastik bir parçadır. Işık üçgenin bir tarafından girerek, mor ve kırmızının hafif farklı açılarda büküldüğü diğer tarafından çıkmaktadır. Bir kırınım kafesi ise, üzerinde ince boşluklarla ayrılan paralel çizgiler olan ince cam veya plastik parçadır. Burada kırılma, camın veya plastiğin farklı yerlerinden geçerken (veya yansırken) ışı-

ğın engellenmesiyle gerçekleşir. Kırılma açısı, paralel çizgiler arasındaki mesafeye ve ışığın dalga boyuna bağlıdır.

Bu temel araçlar kullanılarak spektograflar üretilmiştir. Spektograf, içinde prizması veya kırınım ağı olan ve içinde kırılan ışığın açısını ölçebilen cihazdır. Böylece spektograf ışığı içine alır, dalga boylarına göre ayırır ve bize dalga boylarını ölçme imkânı tanır. Bir cisimden yayılan ışığın spektografta ayrılmış haline cismin spektrumu denir.

Işık saçan her şeyin spektrumu ölçülebilir. Doğal olarak Güneş'in de böyle bir zayıf noktası vardır. Peki, Güneş'in spektrumunda ne gözlemlenmiştir: Çoğunlukla, kırmızıdan mora uzanan devamlı gökkuşağı. Bu gökkuşağının içinde belirli dalga boylarında koyu "spektral çizgiler" serpiştirilmiştir. Bu çizgiler ilk defa 1802 yılında, metalürjideki öncü tekniklerinin (platin madeninden saf platin elde etme yöntemi de dâhil olmak üzere) yanı sıra paladyum ve rodyum elementlerinin keşfiyle tanınan Britanyalı bilim insanı Willian Wollaston tarafından gözlemlenmiştir. Wollaston kimya, mineraloji, kristalografi, fizik, gökbilimi, botanik, fizyoloji ve patoloji alanlarında araştırmalar yapmıştır.

Alman kimyager Joseph von Fraunhofer, Wollastan'ın çalışmalarını ele alıp onları geliştirmiştir. 1814'te ayırt ettiği çizgi (şimdilerde bu çizgilere Fraunhofer çizgileri deniyor) sayısı 475'e ulaşmıştı ve ilginç bir şey keşfetmişti: Bu çizgilerden birinin dalga boyu, ateşe atılan tuzun yanması sırasında ortaya çıkan sarı ışıkla aynı dalga boyuna sahipti.

Ateşe atılan bir tutam tuzdan Güneş'in neyden meydana geldiğine nasıl ulaşırız? Sıcaklığı yükselterek. 19. yüzyılın ortalarında iki Alman, fizikçi Gustav Kirchhoff ve kimyager Robert Bunsen gazların bazı ilginç özelliklerini keşfetmişler-

dir. Yoğun gaz, ısıtıldığında bütün dalga boylarında ışık saçmaktadır. Oysaki seyreltilmiş veya ince gaz oldukça farklı bir davranmaktadır. Sadece tek bir kimyasal elementten oluşan seyreltilmiş gaz ısıtıldığında sadece belirli dalga boylarında ışık saçmaktadır. Aynı elementin her benzer örneği aynı ışık şeritlerini saçacaktır. Buna elementin spektrumu denir ve her bir elementin spektrumu diğer elementlerinkinden farklıdır.

Daha sonra, bu ışık elementin soğuk seyreltilmiş gaz halinden geçirilirse, sadece belirli dalga boyları gaz tarafından emilir ve bu dalga boyları, gaz ısıtıldığında ortaya çıkanlarla birebir aynıdır. Yani, soğuk bir gazın içinden diğer tarafa geçen ışık, sıcak gazın içinden geçmiş olsaydı sahip olacağı renklere sahip olur. Böylece, elementin spektrumu, spektograf kullanılarak, gaz ısıtıldığında ortaya çıkan ışınım çizgilerine veya gaz soğutulduğunda ortaya çıkan emilim çizgilerine bakılarak ölçülebilir. Her elementin spektrumu o elemente özgüdür, dolayısıyla spektrum bir "parmak izi", elementi diğerlerinin hepsinden ayıran bir nitelik sayılabilir. Güneş spektrumunun sarı kısmındaki Fraunhofer emilim çizgisi Güneş'in sodyum (tuzu oluşturan elementlerden biri) barındırdığı kanaatini oluşturmuş, Bunsen ve Kirchhoff'un ölçümleri ise demirin varlığını göstermiştir. En fazla göze çarpan Fraunhofer çizgileri hidrojen, demir, kalsiyum, magnezyum ve sodyum elementlerinin spektral çizgilerine karşılık gelmektedirler.

Elementlerin spektral parmak izlerinin gözlemlenmesi saptanan evren dâhilindedir. Fakat onlara iş vermeden önce, teorik evrende "Neden kimyasal elementler böyle davranır" sorusunun cevabına denk gelen bir cisim olması gerekir. Teorinin bu cismi, ışığın ve atomun özelliklerinden oluşmaktadır ve kendisine gelince, daha kapsamlı kuantum mekaniği teorisini gerektirir.

Kuantum mekaniğini açıklamak için, sayım ve ölçüm olgularıyla başlayalım. Sayım, belirli türdeki nesnelerden "kaç" tane var fikrine tam sayı atamak için kullanılan basit bir süreçtir. Bir yığın taş göz önünde tutulduğunda, taşlar tükenene kadar sırayla toplarken "Bir taş, iki taş, üç taş..." diye sayarak kaç adet taş olduğunu öğrenebiliriz. Saydığınızda tam sayı elde edersiniz.

Ölçüm biraz daha inceliklidir. Ayrı duran veya matematikçilerin deyimiyle ayrık nesneler yerine devamlı olan nesneleri gerektirir. Devamlı şeylere zaman, mesafe, alan, hacim, kütle ve benzeri gibi sadece tam sayı değil, herhangi bir değer olabilen nesneler dâhildir. Bu nesneleri ölçmek için, onlardan birini temsil eden birimler üretiriz: Örneğin, metre bir uzunluk birimidir. Yine de, nesnelerin tam sayıda olmak zorunda olmadığını kabul ederiz. Boyu 1,23 metre olan bir nesnemiz veya 46,7 saniye devam eden bir olayımız olabilir. Sayılabilen nesnelerle ölçülebilenleri zihnimizde ayırt ederiz. İngilizcede iki farklı tabir kullanırız hatta: Sayılan cisimler için "kaç tane" (*how many*), ölçülenler için "ne kadar" (*how much*). Kaç tane inek var? Ne kadar süt var?

Bununla birlikte, sayılan nesnelerin boyutları çok küçüldüğünde ve sayıları çok arttığında bu ayrım bulanıklaşmaya başlar. Pirinç özgün tanelerden oluşur; fakat bir fincan pirinçten bahsetmeye devam ederiz. Aslında pirinç sayılan niceliktir; fakat gündelik amaçlar için ölçülen nicelik olarak görülür. Pirincin bir tanesini saptayabiliyor olmamıza rağmen, o kadar küçük boyutta sayılan bir niceliktir ki, onları sayılan nicelik olarak algılayamayıp ölçülen nicelik olarak düşünürüz. Gelgelelim ki, saptama veya teori bizim ölçülen nicelik olduğunu düşündüğümüz bir nesnenin gerçekte sayılan nicelik olduğunu

gösterebilir. Örneğin, kimya bize suyun aslında sayılan nicelik olduğunu söylemektedir, çünkü suyun en küçük niceliği vardır: bir H_2O molekülü.

Kuantum mekaniği bize ışığın sayılan nicelik olduğunu, foton adında özgün parçacıklardan oluştuğunu söylemektedir. L dalga boyundaki bir ışıkta, her foton aşağıdaki formülle belirlenmiş olan aynı E enerjisine sahiptir:

$$E = hc/L$$

Burada, c ışık hızı, h Planck sabiti (yaklaşık $6{,}626 \times 10^{-34}$ jül saniye (joule seconds) adı verilen bir sayıdır. Işık hızı gibi, Planck sabiti de doğanın temel sabiti, evrenin değişmez özelliği olan sayıdır; kuantum mekaniğinin tamamında kullanılır. Planck sabiti son derece küçüktür, dolayısıyla görünen ışığın her bir fotonu küçücük bir enerjiye sahiptir. Bir bardak sudaki özgün moleküllerin farkına varmadığımız gibi lambadan yayılan özgün fotonların da farkına varmamamızın sebebi budur. Dalga olarak görülen ışıkla (daha önce tanımladığımız gibi) parçacık olarak görülen ışığın arasındaki ilişki, teorik evrenin o ilginç yönlerinden biridir. Işığın bazı özellikleri (örneğin, dalga boyu) ışık dalga olarak ele alındığında kolay çalışılır olur ve diğerleri (üzerinde şimdi konuştuğumuz kuantum özellikleri gibi) ışık, parçacık olarak ele alındığında kolay çalışılır olur. Sorun şu ki ışık ışıktır; parçacık ve dalga, bunlar sadece ne olduğuna dair modellerdir. Her modelin bazı şartlar altında iyi sonuç veren yönleri vardır. Gerçekten biri mi yoksa diğeri mi olduğu sorusu, insanların kendi modeline benzetmek için bir şeyleri zorlamak istemesiyle ilgili bir konudur. Bu, insanların teoriden fazla etkilenmelerine dair başka bir örnektir.

Amaçlarımız için, bu formülün en önemli özelliği belli dalga boyundaki ışığın belli enerjiye sahip fotonlardan oluşmasıdır. Böylelikle kuantum mekaniği "Kimyasal elementler neden belli bir dalga boyuna sahip ışığı yayar veya emerler?" olan başlangıç sorumuzu benzer "Kimyasal elementler neden belli bir enerjiye sahip fotonları yayar veya emerler?" sorusuna dönüştürmüştür.

Bu soruyu cevaplamak için, kuantum mekaniğinin atom parçacıkları konusunda ne söylediğine bakmamız gerekir. Madde (10. bölümde ele alınacak olan kara madde dışında) atomlardan oluşur. Kimyagerin bakış açısından bakarsak, yüzden biraz fazla sayıda farklı atom çeşidi vardır, fakat bu atomlar pek çok farklı molekülü oluşturmak için pek çok farklı şekilde birleşebilirler. Moleküller, birkaç basit atomdan oluşmuş olsalar bile son derece karmaşık olabilirler. Öyle ki, yaşamı oluşturan karmaşık kimyasallar çoğunlukla aşağıdaki beş çeşit atomun kombinasyonlarından meydana gelir: Hidrojen, karbon, nitrojen, oksijen ve fosfor.

Bu durum evrenimizin estetik özelliklerinden birini örnekler: Neredeyse müzik sayılabilecek bir ahenge sahiptir. Varoluşun en küçüğünden en büyüğüne kadar bütün kademelerinde küçük sayıdaki nesneler (müzik gamındaki ünlü küçük sekiz nota gibi) sınırlı sayıda farklı şekilde birleşerek çok sayıda karmaşık form yaratabilir. Nasıl ki notalar birleşerek akortlara, senfonilere dönüşebiliyorsa yukarıda bahsettiğimiz az sayıdaki atom da az sayıda faklı şekilde birleşerek moleküllere, onlar da birleşerek yaşama dönüşebiliyorlar. Bu konuyu sonuç bölümünde daha detaylı irdeleyeceğiz, fakat uyumlu kombinasyon ilkesi bu kitabın tamamında bulunabilir, evrenin tamamında bulunabildiği gibi.

Atom proton ile nötronlardan oluşan bir çekirdekten ve bu çekirdeğin çevresinde yörüngede seyreden birkaç elektronlardan meydana gelir. Atomun bu modeli çoğunlukla, Güneş'in yerinde çekirdeğin, gezegenlerin yerine yörüngede elektronların olduğu, Güneş Sistemine benzeyen bir resimle örneklenir. Güneş Sistemine benzer bir resim kullanılır. Bununla birlikte bu resmin belli öneme sahip sınırlamaları vardır. Özellikle, kuantum mekaniği ışık dalgalarının foton adında parçacıklardan oluştuğunu söylediği gibi, elektronları dalga olarak tanımlar ve çekirdeğin varlığında sadece belli dalgalara izin verildiğini söyler. (Işığın dalga ve parçacık özellikleriyle ilgili daha önce söylediğimiz her şey aynı zamanda elektronlar ve diğer bütün parçacıklar için de geçerlidir; her bir parçacık aynı zamanda dalga olarak görülebilir.) Amaçlarımız için, izin verilen elektron dalgalarının en hayati özelliği, her birinin sahip olduğu enerjinin miktarının belirlenebilir (sayılabilir) oluşudur. Böylelikle kuantum fiziği bize belli bir kimyasal elementin sadece mümkün enerji halleri listesinde var olan enerjilere sahip olabileceğini söylemektedir. Atomun Güneş Sistemi modelinde, elektronun enerjisi çekirdeğe olan uzaklığıyla temsil edilmiştir. (Unutmayın bu sadece bir modeldir; uzaklık enerjiye nazaran daha kolay canlandırılır, bu sebeple uzaklığı, aynı şey olmadıkları halde enerjinin resmi olarak kullanılırız). Enerji ne kadar büyük olursa, elektron da o kadar "uzakta" olur.

En düşük enerjiye sahip elektron dalgasına en düşük enerji düzeyi veya taban durum, izin verilen diğer dalgalara ise yüksek enerji düzeyi veya uyarılmış durumlar denir. Bahsettiğimiz gibi, içgüdüsel olarak, taban durumun çekirdeğe en yakın yörünge, uyarılmış halin ise uzaktaki yörüngeler oldukları düşünülebilir; fakat bu resim ancak kısmen doğrudur. Dikkatli

bilimin amaçları için, en iyisi elektron yörüngeleri fikrini unutmak ve sadece enerji düzeyi yönünden düşünmektir. Çünkü "parçacık" ve "dalga" dikkati ışıktan uzaklaştırabildiği gibi, "çekirdeğe olan uzaklık" da dikkati enerjiden uzaklaştırabilir. Modeller kullanışlı oldukları sürece işe yararlar, sonrasında onlardan vazgeçmeniz gerekir.

Taban durumdaki bir elektron enerji emerse uyarılmış duruma sıçrayabilir. Diğer yandan, elektron zaten uyarılmış durumdaysa enerjisini yayıp taban durumuna geri düşebilir. Enerji, uyarılmış durumdan taban duruma düşen elektronun kaybettiği enerji miktarına eşit miktarda enerjiye sahip foton olarak yayılır.

Daha genel olarak atom, uyarılmış durumdaysa daha düşük herhangi bir enerji düzeyine, enerji farkını foton olarak yayınlayarak geçebilir. Benzer şekilde belli bir enerji düzeyindeki atom, fotonu emip durumunu değiştirebilir, sadece emdiği fotonun enerjisinin iki durum arasındaki enerji farkına denk gelmesi gerekir. Elimizde 1. durumda bulunan bir elektron olsaydı, o zaman bu elektrona enerjisi 1. durumla 2. ikinci durum veya 1. durumla 3. durum ve benzeri arasındaki farka denk gelen fotonu ekleyebilirdik; fakat enerjisi 1. durumla 2. ikinci durum arasındaki farkın yarısına veya 1. durumla 3. durum arasındaki farkın 3,141592654 kısmına denk gelen bir foton ekleyemezdik. Sadece, enerjileri elektronların enerjileriyle birleştiğinde elektronun durum değiştirmesi için gerekli miktara ulaşan fotonlar atom tarafından emilebilir.

Şimdi, biraz geriye dönelim. $E = hc/L$ formülü bize fotonun enerjisinin dalga boyuna göre değiştiğini söyler; çünkü hem h hem de c sabittir (değişmeyen sayılar). Işıktaki dalga boyunun renkle eşdeğer olduğunu zaten biliyorduk. Bu bize ışık

açısından renk ve enerjinin temelde aynı şey olduğunu gösteriyor. Saptama yöntemini kullanarak oldukça soyut bir olguyla (enerji) algılanan evrenin en temel bileşenlerinden biri (renk) arasında güçlü bir bağ kurmuş olduğumuza dikkat edin. Belirli türdeki atomların neden sadece belirli renklerdeki ışığı emebildiğini ve neden emilebilen dalga boyları ile yayılabilen dalga boylarının aynı olduğunu bize, atomların elektron durumlarının kuantum özelliği söyler. Şimdi parmak izlerinin ne olduğunu biliyoruz ve onları başka amaçlar doğrultusunda emniyetle kullanabiliriz.

Bizim üç katmanlı evren modelimizde, kuantum mekaniğinin teorik evreni kimyasal spektrum gözleminin saptanan evrenine açıklama sunmaktadır. Teori olmaksızın spektrum aracını kullanmaktan çekinen olabilirdi çünkü hangi şartlar altında birinin bu aracı kullanabileceğini bilmesi için bir sebep olmazdı. Bu durum 19. yüzyılın ortalarında konuyla ilgili araştırmalar yapan bilim insanlarının bu aracı, nasıl çalıştığını bilmeden kullanmasını engellememiştir. Doğruya doğru, Güneş'in spektral analizinin doğrulandığı teorik temelden on yıllar önce Güneş'in spektrumu zaten saptanmıştı. Brahe ve Kepler örneğinde de gördüğümüz gibi bazen saptama, teoriden önce gelebiliyor.

Daha genel olarak, herhangi bir aracı kullanan birinin, aracın kullanışlılığının uygun olduğu konusunda emin olmasına dikkat etmesi gerekir (örneğin çekiçler, çok kötü fırınlar yapar). Kimyasal spektrum sadece gazların içinde özgürce süzülen atomlar söz konusu olduğunda güvenilir bir araç olur; çünkü karmaşık moleküller enerjiyi sadece elektronlarını uyararak emmekten başka yöntemlerle de içlerine çekebilirler (örneğin, moleküller titreşebilir veya dönebilir). Gazların ayrıldığından

emin olmak için onları bütün bağlarını koparmaya yetecek kadar ısıtmak gerekir. Bu gözlemin (ısının bağları koparması) yine teorik evrenin kimyaya ait kısmından, gökbilimciler tarafından ödünç alındığına dikkat edin.

Neyse ki, Güneş sıcak hatta çok sıcaktır, moleküllerin kimyasal bağlarının oluşmasına izin vermeyecek kadar sıcaktır. Bunun anlamı, kimyanın karmaşık sorularının çoğu Güneş'in bileşimi saptanmaya çalışılırken geçerli olmaz. Tesadüfen bu durumun kendisi önemli bir gözlemdir. Güneş kimya için fazla sıcaksa, o zaman çok yönlü kimyasal yapılara bağlı hiçbir şeyin (yaşam, örneğin) Güneş'in üzerinde var olamayacağını da biliyoruz. Bu bize "Bu şeyi oluşturan nedir?" sorusunu cevaplamak için, Güneş'te hangi elementlerden hangi miktarda bulunduğunu bilmemizin yeterli olduğunu söyler. Aslında Güneş'in büyük bir kısmı atomların oluşmasına bile izin vermeyecek kadar sıcaktır, onun yerine plazma adı verilen çekirdek ve elektrondan oluşan gazlardan meydana gelmektedir. Yine de, hangi çekirdekten hangi miktarda bulunduğunu sorabiliriz.

Güneş'in ışığının büyük bir kısmı, kendi içinde üst ve alt olmak üzere ikiye bölünmüş fotosfer adındaki dış katmandan yayılır. Alt fotosferde madde, bütün dalga boylarında ışık saçacak kadar yoğundur; fakat üst fotosfer daha soğuk ve daha düşük yoğunluktadır. Güneş'e spektografla bakıldığında, üst fotosferden yayılan emme çizgileri görünür. Bu çizgilerin belirli dalga boyları vardır ve bu dalga boyları Güneş'i oluşturan şeyin ne olduğunu öğrenmek için, laboratuvardaki kimyasal elementlerin bulgularıyla karşılaştırılabilir. Sonunda "Bu şeyi oluşturan nedir?" sorusuna bir cevap alabiliriz ki, bu da "Bu şey nedir?"in önemli bir parçasıdır.

Bu süreç yukarıda bahsedilen Güneş'i oluşturan gazları bulmuştur. Bir süre sıkıntı yaratan başka bir sonucu daha olmuştur. Güneş spektografisi, deneylerin ilk yapıldığı zamanlarda bilinen hiçbir elemente denk gelmeyen spektral bir çizgi göstermiştir. Bu çizgi ilk olarak 1868'de Fransız gökbilimci Pierre Janssen tarafından Güneş tutulması sırasında görülen bir yayınım çizgisi şeklinde gözlemlenmiştir. Janssen kendini bir tek, tutulmaları incelemeye adamıştır. 1870'te Fransa-Prusya Savaşı sırasında Paris kuşatma altındayken, Afrika'daki tutulmayı gözlemleyebilmek için Janssen şehirden balonla kaçmıştır (fakat görüşü bulutlarla engellenmiştir).

Aynı spektral çizgi 1868'de, bunun bu zamana kadar keşfedilmemiş kimyasal bir elemente ait olduğunu farz eden Joseph Lockyer tarafından da gözlemlenmiştir. Lockyer, elemente Yunanca Güneş anlamına gelen Helios kelimesinden esinlenerek helyum ismini vermiştir. Bu durum her çocuğun doğum günü partisinde helyum dolu balonların olduğu bugünlerde biraz şaşırtıcı gelebilir, fakat zamanında helyum, kara maddenin bugün olduğuna fazlaca benzer bir şekilde gizemliydi. Elimizde, daha önce Dünya'da hiç görülmeyen, sadece Güneş'te görülen ve sadece spektral çizgisinin varlığı üzerinden dolaylı olarak bilinen bir madde vardı. Kanıtları göz önünde tutan birisi, gizemli "güneş maddesinin" varlığına inanabilir veya gizemli sarı çizginin başka bir açıklaması olduğunu farz edebilir.

Bu soru yaklaşık otuz yıl boyunca teorik evrenin üzerine oturduğu bir çatlak olarak yanıtsız kaldı. Helyum adında bilinmeyen bir element mi vardı? Yoksa laboratuvar tekniğini (spektografi) uzay enginliği boyunca çok uzaktaki bir cismin (Güneş) üzerinde denemiş olmak, aslında tuhaf yapay bir olgu mu üretmişti? Keşfetmenin ayrı araçları (Güneş spektografi-

si olmayan saptamalar) olmasaydı bu teorik sorunun çözümü imkânsız olurdu.

1895'te Bunsen'in öğrencilerinden biri olan Britanyalı kimyager Sir William Ramsay bu konuyu açıklığa kavuşturmuştur. Ramsay, olağan kimya analizlerini yaparken radyoaktif minerali ısıtarak elde ettiği gazda aynı spektral çizgiye, helyum çizgisine rastlamıştır. Aynı elementin bağımsız, gökbilimsel olmayan yöntemle saptanması helyumun varlığını ispatlamış ve tartışmayı sonuçlandırmıştır. (Bu başarıyla yetinmeyen Ramsay, diğer bütün kimyasal asal gazları da saptamıştır. Bunlar diğer elementlerle karışma eğilimi göstermeyen gazlardır: Neon, argon, kripton, ksenon ve radon.) Bu keşif sadece helyumun varlığını ispat etmekle kalmamış, aynı zamanda spektografın gökbilimdeki kullanımını doğrulayamaya yardım etmiş ve daha uzak cisimler konusunda daha güvenilir kullanımını mümkün kılmıştır. 20. yüzyılın başlarında, helyumun belirli doğal gaz yataklarında rastlanabileceği fark edilmiştir. Bu kaynak hâlâ helyuma en kolay ulaştığımız yerdir ve bize güvenli balonlarla hava gemilerini bahşetmiştir.

Spektograf kullanan gökbilimciler, Güneş'in büyük bir kısmının hidrojen ve helyumdan oluştuğunu saptamışlardır: Güneş'in kütlesinin %74'ü hidrojen, %25'i helyum ve %1'i geri kalan diğer elementlerin toplamı. (Bunun sebebi evrenin başlangıcındaki patlamayla ilgilidir ve kara madde bölümünde ele alınacaktır.) Peki, madem helyuma bu kadar sık rastlanıyor, öyleyse neden Dünya'da daha yaygın değil?

Helyum'un iki özelliği bu gazın az olmasına sebebiyet vermektedir: Hafiflik ve hareketsizlik. Bir gazın atomları veya molekülleri her zaman hareket halindedirler. Diğer bütün kütleçekim cisimlerinde olduğu gibi Dünya'da da kaçış hızı

adında, bir cismin kütleçekimsel olarak etkileştiği diğer cisminden uzağa hareket etmesi durumunda Dünya'nın çekiminden kurtulup uzaya kaçabildiği, bir hız vardır. Atmosferde kaçış hızından daha hızlı hareket eden gaz molekülleri uzaya kaçar, dolayısıyla bütün gazlar yavaş yavaş atmosferden uzaya sızar. Ne kadar yavaş? Bu atomların veya moleküllerin ortalama kinetik enerjilerine (hareketin enerjisi) ve kütlelerine bağlıdır. Atomların ve moleküllerin ortalama kinetik enerjileri için kullandığımız daha gündelik bir tabir var: Buna sıcaklık deriz. Bir şey ne kadar sıcaksa atomları ve molekülleri o kadar hızlı hareket eder, aynı şekilde bu şey ne kadar soğuksa onlar da o kadar yavaş hareket eder.

Daha küçük atomlar ve moleküller, büyük olanlara nazaran aynı sıcaklıkta bile olsalar daha hızlı hareket ederler. Kinetik enerji aynı anda hem kütleye hem de hıza bağlıdır ($mv^2/2$ bilmeniz gerekiyorsa; burada m cismin kütlesini, v hızını simgeler.), dolayısıyla aynı kinetik enerjiye sahip olmak için daha hafif cismin daha hızlı hareket etmesi gerekir. Atmosferdeki bir atom yeteri kadar hafifse ve sıcaklık yeteri kadar yüksekse bu atom, Dünya'nın çekiminden kaçmasına yetecek bir hızda ilerliyor olabilir. Bu sebeple, ortalama olarak ağır atomlara nazaran daha hafif olan atom kaçacaktır. Helyum ikinci en hafif elementtir (birincisi hidrojendir) ve Dünya'daki herhangi bir sıcaklıkta atmosferimizin onu tutamayacağı kadar yüksek ortalama bir hızı vardır. (Dikkate alın ki, bunun anlamı, helyum atomunun ortalama hızının kaçış hızından yüksek olduğu değildir, kaçış hızından yüksek hıza sahip olan düşük yüzdeli helyum atomlarının bile atmosferdeki bütün helyumun azar azar kaçması için yeterli olduğudur.) Jüpiter ve Satürn, Dünya'dan daha büyük ve daha soğuk gezegenlerdir. Onların kütleçekimi

helyumu alıkoyacak kadar güçlüdür ve bu element adı geçen gezegenlerin en önemli bileşenlerinden biridir.

Hidrojen, helyumdan bile hafif bir element olduğuna göre (bir hidrojen atomu, bir helyum atomunun yaklaşık çeyrek kütlesine sahiptir), Dünya'da helyumdan çok daha fazla hidrojen bulunmasının sebebi merak uyandırabilir. Bu onların kimyasal özellikleriyle ilgilidir. Hidrojenin aksine helyum, başka hiçbir maddeyle birleşmez ve dolayısıyla sadece özgürce süzülen helyum atomları şeklinde bulunur. Buna karşılık hidrojen, pek çok diğer atoma bağlanabilir; bunların en bilineni, suyu oluşturmak için oksijene bağlanmasıdır. Dünya'nın atmosferi, helyumdan daha hafif olan hidrojen gazını alıkoyamaz; fakat ondan daha ağır olan suyu alıkoyar. Aynı zamanda, hidrojen içeren daha ağır bütün cisimleri de alıkoyar: İnsanları, örneğin. Hidrojen başka şeylerde sıkıştığı için kalır; helyum öyle olmadığı için terk eder.

Helyum oldukça kullanışlıdır, sadece balonlar açısından değil, en düşük ısılarda bile asla katılaşmadığı için. Mutlak sıfıra yakın derecelere kadar soğutabilen buzdolabı üretiminde soğutma gazı olarak kullanılır. İkinci en hafif element olarak hem atom fiziğinde hem kimyada anahtar rol oynar. Bununla birlikte, amaçlarımız için helyumla ilgili en göz alıcı olgu, bu elementin evrenin bütün maddesinin (olağan karanlık olmayan kısmının) tam bir çeyreğini oluşturmasına karşılık insanlık tarihinin neredeyse tamamı boyunca keşfedilmemiş ve bütünüyle gizli kalmış olmasıdır. Burada kara madde gizemiyle paralel unsurlar görüyoruz. (Edebiyatta daha sonra görülecek bir şey için tuhaf benzerlik taşıyan başka bir şey kullanmaya, önceden ima etmek denir. Bilimde ise olaylar bazen böyle gelişir.)

3. Bölüm

Füzyon: Göz Önünde Gizli Enerji

Algılanan evrende Güneş'in en belirgin özelliklerinden birisi ısısıdır; genel olarak bu, gündüzün geceden daha sıcak olduğuna dair gözlemle birlikte gelir. Bu tek satırlık "Güneş, Dünya'yı ısıtmaktadır" teorisi, kaydedilmiş tarihten daha bile eski olabilir. Her gün üst üste tekrarlanan deney süreci bu teoriyi doğrular. Peki, Güneş neden sıcaktır? Bu sorunun cevabını vermeyi deneyen teoriler basit tecrübeyle başlayıp bunu genişlettiler. Güneş ateşe benzemektedir ve ateşin ısısını oluşturabilmek için bir şey yakmaya ihtiyacı vardır. Peki, Güneş ne yakar?

İlginç biçimde bazı ilk fikirler sorunun kendisiyle çelişmekteydiler. Pek çok filozof Güneş'in yakıta ihtiyacı olmayan sonsuz ısı kaynağı olduğunu, yakıtının hiçbir zaman tükenmeyeceğini düşünmüşlerdir. Bu teorilerde, Güneş'in bileşenlerinin Dünya'ya ait olanlardan farklı olduğu, sonsuz ve en azından yarı ilahi maddelerden oluştuğu varsayılmıştır. İnsanlık tarihinin büyük bir kısmı boyunca göksel özelliklerin Dünya'dan çok farklı olduğunu varsaymak doğal olmuştur. Bu varsayım,

Galileo teleskobuyla Ay'daki dağları gördüğünde ve Newton aynı Kütleçekim Yasasının, hem elmanın düşüşünü hem de Ay'ın yörüngesini açıkladığını keşfettiğinde sallanmıştır. Bu keşifler karşıt görüşü doğurdu: Doğanın tekbiçimliliği olgusunu. Evrenin her yerde aynı şekilde çalıştığını, zamana ve mesafeye bağlı olarak evrenin yapılanmasının değişebileceğini fakat açıklamanın her yerde her zaman geçerli olduğunu savunan bir görüş bu. Doğanın tekbiçimliliği, modern bilimsel teorilerin tamamının altında yatan temel teoridir. Bilimde, herhangi bir şeye dair bir istisna söz konusuysa, o şeyi ve istisnasını kapsayan tekbiçimli teorinin varlığı zorunludur.

Bu teorinin bakış açısı doğrultusunda, cisimlerin yanması konusunda bildiğimiz tek yöntem bu olduğuna göre Güneş'in ısısı bir nevi yakıtın kullanılmasından kaynaklanmak zorundadır. Doğanın tekbiçimliliğini kabul etmeden yaşamak tamamen mümkündür, fakat herhangi bir tahminde bulunmak imkânsızdır; çünkü dünyanın çalışma şekli beklenmedik bir üslupta değişiyorsa, olaylar da beklenmedik şekilde gelişecektir. Bu sebep, doğanın tekbiçimliliğini kabul etmek için yeterli değildir. Ne var ki doğanın tekbiçimliliği varsayımı kullanılarak oluşturulan bütün teoriler, deneysel testlere tabi tutulabilirler. Bu teorilerin benzer testlerden geçmesi bize doğanın tekdüze olduğu konusunda güven verir.

Güneş'in yakıtı meselesi iki soruyu birleştiriyor: "Güneş'in gücünün kaynağı nedir?" ve "Güneş kaç yaşında?". Bu sorular birbirleriyle alakalıdırlar çünkü Güneş gücünü ne şekilde üretirse üretsin, yakıtını tüketiyor olması gerekir. Güneş ne kadar yaşlı olursa olsun bütün yakıtı tüketmesi için gereken zamandan daha yaşlı değildir. Güneş'in özelliklerini belirten sayılar astronomik denecek büyüklükte olduğuna göre yaşının da

büyük olmasını bekleyebiliriz. Bununla birlikte, bu iki büyük sayıdan birinin Güneş'in kütlesi, diğerinin ise yakıtı tüketme miktarı olduğunu hatırlayın. Yakıtın tükenmesi için gereken süre, bu iki astronomik sayının oranıdır ve iki çok büyük sayının oranı büyük olamaz. Sonuçta, 2 milyonu 1 milyona bölerseniz elde 2 kalır.

Bir şeye sebebiyet veren nedir problemi ile karşılaşıldığında ilk olarak yapılması gereken, zaten bilinen şeyler arasında buna sebebiyet verebilecek bir şey var mı diye kontrol etmektir. Bu yüzden, Güneş'in yakıt kaynağı olmaya aday bilinen ne var? Evimizi ısıtmak için pek çoğumuz doğalgaz yakıyoruz. 20.000 Watt güç sağlayan bir fırında yaklaşık 45 dakika boyunca 1 kg doğalgaz tüketilir. Güneş, yakıtının bir kilogramından fırının bir kilogram doğalgazdan elde ettiği enerjiye eşit miktarda enerji elde ediyorsa, $2{,}0 \times 10^{30}$ kg'lık kütlesi ve ürettiği $3{,}8 \times 10^{26}$Watt enerji (bütün Güneş Sistemini ısıtmak için) verilerine dayanarak, Güneş'in yakıtının tamamını yaklaşık 10.000 yılda tüketeceği hesaplanabilir. Doğalgaz yerine benzin, alkol, kömür, tahta veya pelte çörekler kullanılmış olsa bile sonuç yakın sayılar olacaktır (bu durumda içten "yanan" bir cisim bize ısı ve enerji sağlamaktadır).

Bu zaman ölçeği, bilim insanlarının Dünya'nın yaşıyla ilgili varsayımlarının evrenin yaşının birkaç binle ölçüldüğü İncil'e dayandığı çağlarda rahatlatıcı uzunluğa sahipti. Bununla birlikte, bu hesaplama 19. yüzyılda jeolojinin ve Evrim Teorisinin gelişmesiyle birlikte bir kriz yaratmıştır. Jeolojik değişim çok yavaştır. Rüzgâr ve su dağları aşındırabilir fakat bu çok uzun zaman alır (milyonlarca yıl). Bir nehir Büyük Kanyonu kazabilir fakat bu da çok uzun zaman alır. 19. yüzyılda jeologlar bu zamanlamaları tahmin etmeye başlamış ve Dünya'nın yaşının

büyük olduğu kanısına varmışlardır. Evrimsel değişim de çok yavaştır. Evrimsel değişim (ileride daha detaylı tartışacağımız gibi) rastgele oluşan ve seçimle test edilen artan adımlardan meydana gelir. İstatistik biliminden ve paleontolojiden yararlanarak büyük ölçekli evrimsel değişiklikler için gerekli zamanı yaklaşık olarak ölçümleyebiliriz ve bu ölçümler de şu anda bulunduğumuz noktaya gelebilmemizin milyonlarca yıllık bir zaman ölçeğinde olduğuna işaret etmektedir.

Burada, farklı bilimlere ait teorilerin anlaşmazlığı, teorik evrende verilen bir savaş (karalamalarla verilen bir savaştı bu fakat konu fazlasıyla dramatikti) söz konusuydu. Evrim Teorisi ve jeologların bulguları, Dünya'nın milyonlarca yıldır var olmasını gerektirmiştir. Dünya ısınmak için Güneş'e ihtiyaç duyduğuna göre, Güneş'in, 19. yüzyılda kullanılan herhangi yakıtla karşılaştırıldığında, birim başına çok daha az yakıt tüketerek ölçülen enerjiyi üreten yakıta sahip olması gerekir. Peki, bu ne olabilir? 19. yüzyılın sonlarında, İskoçyalı fizikçi Lord Kelvin cevabı bulduğunu sanmıştı: Kütleçekim enerjisi.

Doğru bildiği başka pek çok şey (termodinamik üzerine çalışmaları, özellikle sıcaklık için mutlak ölçeğin geliştirilmesi ve Enerjinin Korunma Yasasındaki rolü gibi) sayesinde tanınmışken, Lord Kelvin'in hatalarından birine denk gelmiş olmamız üzücü. Bununla birlikte, Güneş'in güç kaynağı ile ilgili yanlış cevap bile Güneş'in yanmasının nasıl başladığının anlaşılmasında önemli rol oynamıştır.

Ağır bir cismi kaldırmak için emek gerektiğini biliyoruz ve ağır bir cismi aşağıya indirme sürecinde bu cismin işi bizim yerimize yapmasını sağlayabiliriz. (Asansörün karşıt ağırlık sistemi bu ilkeye dayanmaktadır. Asansör yükseldikçe karşıt ağırlık aşağıya iner. Asansörü yukarı çıkarmak için gerekli enerji mo-

tor tarafından karşılanmaz, daha ziyade karşıt ağırlığın aşağıya indirilmesiyle sağlanır.) Benzer bir şekilde Güneş, geniş dağınık gaz bulutundan oluşuyorsa o zaman gaz bulutunun kendi kütleçekiminin etkisi altında küçülmesi sürecinde iş yapılmış ve gaz ısınmış olacaktır. Cismin kendi kütleçekiminin altında küçülüp ısınmasına Kelvin-Helmholtz mekanizması adı verilir. Güneş kütlesine sahip geniş dağınık gaz bulutu çökerek homojen yoğunluğa sahip Güneş büyüklüğündeki bir cisme dönüşürse, ortaya çıkan enerji kilogram başına doğalgazın ürettiğinden yaklaşık bin kat daha fazla olur; bu da, Güneş'in yaklaşık 10 milyon yıl parlamasına yeter. Bu zaman ölçeği Güneş'in geleneksel yakıtları kullandığı ölçeğe nazaran çok daha büyüktür. Yine de, hâlâ jeolojik ve evrimsel standartlar açısından rahatsız edici kısalıktadır. Hatta Lord Kelvin jeoloji ve evrimde temel bir engel bulduğunu düşünmüş ve konuyla ilgili Darwin'le bu uzun süreli tartışması olmuştur.

Bilimin dalları arasında veya dâhilinde oluşan böylesi tutarsızlıklar hem iyi hem kötü etkilere sahiptir. Kötüsü, tabii ki insanların tartışırken kendi başlarına çözmeye çalıştıkları sırada olabildiklerinden daha inatçı ve kendi fikirlerine sadık kalma eğilimine sahip olabilmeleridir. Bilim insanları bu kötü alışkanlığa diğer herkes kadar yatkın olabilirler fakat kötüye karşı koyan çıkış noktaları vardır. Olgular üzerinde tartışan bilim insanları her zaman, kendilerinin ve diğer tarafın fikirlerini test etmek için deneyler yaparak fikirlerinin doğru olduğunu göstermeyi deneyebilirler. Testler iki taraftan birini haklı çıkardığında (en azından bilimde) diğer taraf teslim olup gösterileni kabul etmek zorundadır.

Bununla birlikte bazen, cevap iki taraftan birinden değil de tamamen dışarıdan gelebilir ve bu anlaşmazlığın çözümü ne

Kelvin'den, ne jeologlardan ne de biyologlardan geldi. Cevap tartışmanın yapıldığı zamanda henüz var olmayan bir fizik dalından geldi: Nükleer fizik.

Kelvin-Helmholtz mekanizmasının Güneş'in enerjisinin kaynağını açıklamadığı anlaşılmıştır. Güneş daha ziyade nükleer füzyonla çalışmaktadır. Kelvin-Helmholtz mekanizması basitçe, füzyonu başlatan kıvılcımdır. Güneş'in enerjisinin sebebi olarak füzyon, ilk defa 1920'lerde Britanyalı astrofizikçi Sir Arthur Eddington (en çok, Einstein'ın Genel Görelilik Teorisini doğrulayan, yıldız ışığının Güneş tarafından bükülmesini ölçümlemesiyle tanınır) tarafından ortaya atılmıştır. Güneş'i ve yıldızları çalıştıran nükleer tepkimelere dair ilk detaylar, 1938 yılında fizikçi Hans Bethe tarafından çıkarılmıştır. Bethe, o zamanlar yeni sayılan nükleer fizik alanındaki öncülerden biridir. Konuyla ilgili çalışmaları "Bethe İncili" olarak bilinir ve bu alanda çalışan bütün ciddi araştırmacılar tarafından okunmuştur. Bethe, Manhattan Projesi'nde[5] genç Richard Feynman'ı denetlediği teori bölümünün başkanlığını yapmıştır.

Peki, füzyon nedir? Kimya, atomları moleküllerin yapı taşları olarak ele alır, çünkü kimyasal tepkimeler atomların birleşerek karmaşık yapılara dönüşmesini gerektirir. Atomlar elektronlarını paylaşarak birleşir. Bu durumun, moleküllerin oluşumunu açıklayan klasik kimyasına veya elektronların tam olarak nasıl paylaşıldığını açıklayan kuantum kimyasına çok fazla inmek istemiyoruz; fakat fazlasıyla basitleştirilmiş açıklamalardan birini önerip, ileri kimya okuması tavsiye edeceğiz. Her atomun içinde farklı olası durumdaki elektronların barı-

5 Manhattan Projesi, Birleşmiş Krallık ve Kanada'nın katılımıyla ABD tarafından yürütülen ve II. Dünya Savaşı sırasında ilk atom bombasını üreten araştırma geliştirme programıdır. (Ç.N.)

nabileceği boşluklar vardır (bu "boşluklar" yörüngeler ve yörüngemsi hareketler tarafından düzenlenmiştir). Atomun belli miktarda doldurulmamış yeri varsa başka bir atomla elektron paylaşabilir. Bunun gerçekleşebilmesi için gerekli kesin şartlar girmek istediğimizden daha fazla detay gerektiriyor; fakat özünde bir veya birkaç sayıda elektron birden fazla atomun parçası olur. Bu durum atomları birbirlerine yakından bağlayarak yepyeni bir seviyede yapı oluşturur: Molekül. Bazı atomların paylaşacak çok yeri vardır – karbon buna bir örnektir– ve birden fazla atomla bu yeri paylaşarak fazlasıyla karmaşık yapılar meydana getirebilirler. Özellikle karbon, en fazla dört farklı atomla paylaşabilir ve bu sayede başka atomların yapışabildiği uzun karbon zincirleri oluşturabilir. Bu karbon zincirleri yaşamı oluşturan temel yapılardır.

Şimdilik bu kadar yeter, çünkü doğruyu söylemek gerekirse, bu konuda konuşmamızın sebebi bu konuda konuşmadığımızı söylemekti. Çünkü kimyada atomların kendileri asla değişmez. Hidrojen hidrojendir, helyum helyumdur, karbon karbondur ve benzeri. Hiçbir kimyasal tepkime atomun doğasını ve karakterini değiştiremez çünkü kimyasal tepkimeler hiçbir zaman çekirdeği değiştirmezler.

Bununla birlikte farklı etkileşim türleri vardır: Atom ve atom altı tepkimeler –atomların çevresindeki elektron katmanlarında gerçekleşen tepkimeler değil, merkezlerini oluşturan çekirdekte meydana gelenler. Nükleer füzyon, atomların çekirdeklerinin birleşmesiyle eski atomlardan yeni bir atom yaratılmasını, dolayısıyla yeni bir elementin ortaya çıkmasını gerektirir. Aynı zamanda, büyük atomları daha küçük atomlara parçalayan nükleer fizyon da vardır. Bu nükleer tepkimeler, kimyasal tepkimelere nazaran kötü şöhrete sahip olacak kadar

güçlüdürler. Helyumla füzyonla birleşen 1 kilogram hidrojenin ortaya çıkardığı enerji, 1 kg doğalgazın yakıldığında ürettiği enerjiden 10 milyon kat fazladır. Güneş'teki bütün hidrojenin füzyonundan ortaya çıkan enerjinin, Güneş'in 100 milyar yıl boyunca, şimdiki oranda parlamasına yetmesi gerekir (gerçi Güneş'in yaşamı boyunca neden hidrojeninin sadece %10'unu tüketebileceğini daha sonra göreceğiz).

Atomların yapılarına tekrar göz atalım. Daha önce, atomların çekirdek ve elektronlardan meydana geldiğinden, kimyanın ise elektron paylaşan atomların etkileşimi olduğundan bahsetmiştik. Çekirdekleri pek önemsememiştik fakat şimdi dikkatimizi talep ediyorlar. Peki, o zaman çekirdeği meydana getiren nedir? Temel bileşenler, proton ve nötron adına iki tür parçacıktır. Tek başına hidrojenin çekirdeği olabilen proton, elektrondan neredeyse iki bin kat daha büyüktür ve elektronla karşıt elektrik yüke sahiptir; bu sebepten dolayı hidrojen atomu elektriksel olarak nötrdür (protondan gelen +1 yükü + elektrondan gelen -1 yükü = yük 0). Nötron sıfır elektrik yükü taşır ve protondan biraz büyüktür. Karşıt elektrik yükler birbirlerini çeker dolayısıyla elektronlarla protonların birbirlerine karşı olan çekimi, atomu bir bütün olarak tutabilmektedir. Elektronlar ve protonlar arasındaki bu çekime elektromanyetik kuvvet adı verilir. Bu kuvvetin etkisi altında, karşıt yükler birbirlerini çekerken (pozitif negatifi, negatif pozitifi çeker), aynı yükler birbirlerini iter (pozitif pozitifi, ana fikri kaptınız...). Bu nedenle, elektromanyetik güç dâhilinde çekirdeğin içindeki protonlar (pozitif yük taşırlar) birbirlerini iterler. Peki, bu durumda çekirdeği bir bütün olarak tutan şey nedir?

Çekirdeğin içinde, elektromanyetik kuvvetine karşıt davranarak çekirdeği bütün olarak tutan başka bir kuvvet vardır.

Bu kuvvete (dramatik trampet sesleri) yeğin kuvvet adı verilir. Çok kısa mesafelerde yeğin kuvvet elektromanyetik kuvvetten çok daha büyüktür ve çekirdekteki nükleonların (sadece protonlar ve nötronlar anlamında kullanılan kısaltılmış kelime) arasındaki yeğin kuvvet çekimi, çekirdeği bütün olarak (işin içinde yeğin kuvveti alt edip atomu parçalayacak sayıda proton olmadığı sürece) tutan şeydir. Yeğin kuvvetin gücü, yeğin kuvvetin bağları meydana geldiğinde veya kırıldığında ortaya çıkacak olan enerjiye bağlıdır. Yeğin kuvvet ne kadar güçlü olursa, parçacıkları birbirine o kadar sıkı bağlar ve bu bağlardaki enerji o kadar artar. Kimyasal enerji, elektronlar paylaşılarak atomların birbirlerine bağlanması için gerekli enerjidir; buradaki kuvvet, elektromanyetiktir ve daha önce de belirttiğimiz gibi yeğin kuvvetten daha zayıftır. Yeğin kuvvet elektromanyetik kuvvetten çok daha güçlü olduğu için nükleer enerjiler kimyasal enerjilerden çok daha büyüktür.

Fizikçiler taktıkları tuhaf isimlerle tanınırlar; ilk bakışta "yeğin kuvvet" onlardan biri gibi gelir kulağa, neden ismi "nükleer kuvvet" olmasın? Bu soruyu yanıtlamak için komedyen Henny Youngman'e başvuruyoruz: Kendisine, "Eşiniz nasıl?" diye sorulduğunda "Neyle kıyaslandığında?" şeklinde yanıtlarmış. Yeğin kuvvet hakkında da benzer bir şekilde "Neyle kıyaslandığında güçlü" sorusu sorulabilir. Ortaya çıkan şu ki, iki farklı çeşit nükleer kuvvet vardır: Yeğin kuvvet ve ondan çok daha zayıf olan (ilgisiz trampet sesleri) zayıf kuvvet. Birbirleriyle karşılaştıran "yeğin kuvvet" ve "zayıf kuvvet" nihayet bir anlam ifade etmeye başlar ve "yeğin nükleer kuvvet" ile "zayıf nükleer kuvvetin" kısaltması olarak düşünülebilir.

Buna ek olarak, gündelik hayatta karşılaştığımız bütün kuvvetlerin (kütleçekim dışında), elektromanyetik kuvvetin

sonucu olarak ortaya çıkan atomların arasındaki kimyasal kuvvetlerden kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. İtmek ve dürtmek, zıplamak, dans etmek, esnemek ve benzeri gibi günlük kuvvetlerin tamamı, kökünde elektromanyetiktir; çünkü, başka molekülleri etkileyen molekülleri içerirler (çekicin moleküllerinin başparmağınızın moleküllerini etkilemesi gibi). Elektromanyetik kuvvet yeğin kuvvetten daha zayıf, zayıf kuvvetten daha büyüktür. Gündelik hayatta karşılaştığımız kuvvet, elektromanyetik olduğuna göre onun büyüklüğünün bir kuvvet için geçerli "normal" büyüklük olduğunu düşünebiliriz. Bu "normal" kuvvetle karşılaştırıldığında, yeğin kuvvet yeğin ve zayıf kuvvet zayıftır. (Kütleçekim, zayıf kuvvetten bile daha zayıftır dolayısıyla bu terim dizgesini biraz zorlayacak olursak ona aşırı zayıf kuvvet dememiz gerekir; fakat kütleçekim ismini diğerlerinden çok önce almıştır, bu yüzden Latince ağır anlamına gelen bir kelimeden[6] türeyen ismini korumaya devam etmektedir.)

Gözle görülebilen ölçekte gündelik hayatımızda yeğin kuvveti neden hiç fark etmeyiz? Çünkü yeğin kuvvet sadece kısa menzilde güçlüdür. Çekirdek atomdan çok daha küçüktür, dolayısıyla nükleonların aralarındaki mesafe çekirdeğin büyüklüğünü aştığında yeğin kuvvet önemsiz sayılacak kadar küçülür. Yani bu durumda "kısa mesafede çok güçlü, fakat 'kim fark edebilir ki' kuvvetinden daha büyük" kuvvet diyebiliriz, ama biraz kullanışsız olabilir.

Güneş'i çalıştıran süreç (hatırlayın, konuştuğumuz şey buydu), net etkisi dört hidrojen atomundan, yeğin kuvvet-zayıf kuvvet etkileşimleri vasıtasıyla, bir helyum atomu oluşturmak olan bir dizi nükleer tepkimedir. Helyum atomunun çekirde-

6 İngilizce kütleçekim anlamına gelen gravity, Latince ağır anlamına gelen gravis'ten türemiştir. (Ç.N.)

ğinde yeğin kuvvetle birbirlerine bağlanmış iki proton ve iki nötron vardır. Helyum elde etmek için iki proton ve iki nötronu birleştirdiğimizde enerji elde edebiliriz. Güneş'te fazlasıyla proton vardır, çünkü fazlasıyla hidrojen vardır ve hidrojenin çekirdeği protondan oluşmaktadır. Bununla birlikte, çekirdeklere önceden bağlı olanlar haricinde hiç nötron yoktur. Bu durumda Güneş helyumu nasıl üretir?

Temeli gökbilimde yatan bu sorunun yanıtı, parçacık fiziğinden "Nötronlar nereden gelir?" sorusunun yanıtlanmasıyla birlikte gelmiştir. Parçacık fiziği "Şeyleri oluşturan nedir?" sorusunun nihai cevabıyla ilgilenen bir fizik dalıdır. Bu sorunun önceki cevabı şeylerin atomdan oluştuğuydu. Atom kelimesi bölünemez anlamına gelen Yunan *atomos* kelimesinden türemiştir. Fakat bir şeye "bölünemez" demek, neredeyse bir gemi için "batamaz" demek kadar tehlikelidir (*Titanik'i* hatırladınız mı?). Doğaya sizi haksız çıkarması için meydan okumaktır neredeyse. Elbette ki atom bölünemez değildir, protonlardan, elektronlardan ve nötronlardan oluşmaktadır. "Atom" ismi tutulduğu için parçacık fizikçileri, kendisinden küçük bir şeyden oluşmayan cisimlere "temel parçacıklar" adını vermişlerdir. Protonlar, elektronlar ve nötronlar temel parçacıklar mıdır? Elektronlar öyle görünüyor; fakat proton ve nötronlar, kuark adında daha küçük parçacıklardan oluşmaktadırlar. Foton da temel parçacıktır ve elektromanyetik alanın, temel parçacıkların arasındaki foton değişiminin sonucu olduğu anlaşılmıştır; yani, örneğin birinin yaydığı fotonun diğeri tarafından emilmesi sebebi ile iki elektron birbirini iter. Bu yönden, temel parçacıklar –ve dolayısıyla bütün maddelerin– teorisi aynı zamanda bütün kuvvetlerin teorisine dönüşür. Her kuvvetin etkileşimi dâhilinde ileri-geri giden özel bir tür parçacığı vardır;

bunlara kuvvet taşıyıcı parçacıklar adı verilir. Elektromanyetik kuvvetin kuvvet taşıyıcı parçacığı fotondur, yani elektromanyetik etkileşimler ışık kullanır. Anlaşılması zor gelebilir fakat bu davranışın dolaysız iki uygulaması radyo ve televizyondur –bazen işin özü insanların düşündüğü kadar uzakta değildir.

Parçacık fiziğinin en temel yasalarından biri, her bir temel parçacık için, karşı-parçacık adında aynı kütleye fakat karşıt yüke sahip başka bir tür temel parçacığın olmasıdır. Elektronun karşı-parçacığına pozitron denir. Foton kendi kendisinin karşı-parçacığıdır. Parçacık fiziğindeki bu sanat eserine standart model denir ve daha sonra tartışılacak olan kara madde ve kara enerji dışındaki bilinen bütün maddeler ile kütleçekim dışındaki bilinen bütün kuvvetler için geçerlidir. Standart model 20. yüzyıl fiziğinin muazzam zaferlerinden biridir.

Bütün bunların nötron yapmakla ne ilgisi var? Sonuçta, nötrino adında elektrik yükü olmayan küçük kütleli temel parçacığın varlığı ve yeterli enerji verildiği takdirde protonun nötron, pozitron ve nötrinoya dönüştüğü ortaya çıkmıştır. Böylesi bir parçacık denklemi iki yönde de çalışır: Proton yeterli enerji verildiğinde yukarıda adı geçen üç parçacığı oluşturabilir ve nötron, pozitron ve nötrinoyla birleşerek protona dönüşebilir. Nötronun kütlesi protonunkinden fazladır, hatta proton ve elektronun birlikte sahip olduğu kütleden bile fazladır. Kütle üretmek için enerjiye ihtiyaç vardır bu yüzden kendi hallerine bırakılan protonlar nötronlara dönüşemezler; fakat küçük bir yardımla bunu yapabilirler.

Bu enerji başka bir protonun nötronla birleşmesiyle hidrojenin daha ağır bir formu olan döteryum elde edilerek üretilebilir. Döteryumun atomunun çekirdeğinde bir proton ve bir nötron vardır. Kimyasal olarak hidrojenle aynıdır, fakat iki katı

büyüklüğe sahiptir. Aynı sayıda protona ve farklı sayıda nötrona sahip iki kimyasala izotop denir; yani döteryumun, hidrojenin izotopu olduğu söylenebilir. Kimyasal tepkime atomun yörüngesindeki elektron sayısına ve elektron sayısı da çekirdekteki proton sayısına bağlı olduğu için izotoplar kimyasal olarak aynı davranışı sergilerler. Kimyasal olarak nötronların bir önemi yoktur. Nükleer arenada ise nötronlar zımbalanmış ağır paketçiklerdir.

Güneş'in füzyon tepkimesine doğru atılan ilk adım, iki protonun birleşerek bir döteryum, bir pozitron ve bir nötrino üretmesidir. Bu döteryum yapmak için karmaşık bir yol gibi görünüyor; protonla nötronu birleştirmek çok daha kolay olurdu. Ancak, Güneş'te kendi kendine seyreden protonlar varken kendi kendine seyreden nötron hiç bulunmaz. Bunun sebebi kendi kendine seyreden nötronun proton, elektron ve antinötrinoya (pozitron, elektronun karşı-parçacığı olduğu gibi antinötrino da nötrino'un karşı-parçacığıdır) dönüşmesidir. Kendi kendine kalmış olan bir parçacığın böylesi ani dönüşümüne bozunum denir. Kendi kendine bırakılan bir nötron ortalama olarak 14 dakika içinde parçalanacaktır.

Nötronlar her zaman değil bazen çekirdeksel bozunuma uğrar. Bunun gerçekleştiği çekirdeğe radyoaktif, bozunuma ise beta bozunum denir ("beta", bu bağlamda beta ışını adını alan elektron ışınımından kaynaklanmaktadır). Böylesi durumlarda, nötron bozunumu atom sayısında (proton sayısı) bir zıplamaya sebep olduğu için, atom kimyasal özelliklerini değiştirir; bu yüzden radyoaktif altın (atom sayısı 79) atomu beta bozunumuna uğradığında cıva atomuna dönüşür (atom sayısı 80).

Çekirdek bozunumunun gerçekleşebileceği başka yollar da vardır: Alfa bozunumu (çekirdek, bu bağlamda alfa parçacığı

adını alan helyum çekirdeğini dışarı atar) ve gama bozunum (çekirdek, bu bağlamda gama ışını adını alan enerjisi yüksek bir fotonu dışarı atar). Bozunumlar sadece, sonuçta oluşan atomun enerjisi başlangıç atomunun enerjisinden düşük olduğunda aniden gerçekleşebilir. Radyoaktivite bilim dalının tamamı bu tür bozunumun çevresinde gelişmektedir ve bu araştırmanın, arkeolojik bulguların tarihini belirlemekten kanser tedavisine kadar pek çok uygulaması vardır.

Bugün füzyon sadece teorik bir süreç değildir. Sahip olduğumuz en tehlikeli silahlarda kullanılmıştır. Hidrojen bombaları korkutucu bir etkiye sahip enerjiyi açığa çıkarmak için Güneş'in kullandığına benzer bir süreç kullanır. Bombalarda bu süreç iki farklı hidrojenin füzyonudur: Döteryum (1 proton ve 1 nötron) ve trityum (1 proton ve 2 nötron). Bu tepkime hem şiddetli hem hızlıdır. Güneş bu türde bir füzyon kullanmış olsaydı, aynı kütledeki fosil yakıttan daha çabuk tükenmiş olurdu.

Bu zamana kadar varlığını sürdürebilmiş olması için Güneş'teki tepkimenin şiddetli, fakat yavaş hızda gerçekleşmesi gerekir. Protonu nötrona dönüştüren tepkime, elektromanyetik alandan daha zayıf olan zayıf kuvvet aracılığıyla gerçekleşir. Kuantum mekaniğinde kuvvet ne kadar zayıfsa, o kuvvet aracılığıyla gerçekleşen tepkimenin oluşma ihtimali de o kadar düşüktür. Bundan dolayı zayıf tepkimelere daha az rastlanır ve zayıf tepkimelere dayanan süreçler baskın tepkimelere sahip olanlara nazaran ortalamada daha uzun sürer. Güneş füzyonunun yavaşlığı söz konusu olduğunda, zincirdeki kritik halka nötrino üreten tepkimedir. Bu, Güneş füzyonu tepkimesindeki adımların birincisi ve en yavaş olanıdır. Nötrinolar sadece zayıf kuvvet aracılığı ile etkileşime girerler. Bunun anlamı, nötrino

gerektiren herhangi bir tepkimenin (Güneş füzyonu da dâhil) gerçekleşebilmesi zayıf bir ihtimaldir.

Güneş'in merkezinde, sıcaklıklar çok yüksektir ve protonlar sıklıkla birbirleriyle karşılaşır. Yine de, böylesi bir karşılaşmanın, hem protonların birbirlerine karşı elektrik itişinin üstesinden gelmesi hem de nötrino üreten zayıf tepkimenin oluşmasına izin vermesi enderdir. Diğer sözle, nötrino üreten etkileşimler ender gerçekleştiği için Güneş füzyonu göreli bir devamlılığa sahiptir. Bahsi geçen etkileşim zayıflığı, Güneş'in merkezinde üretilen nötrinoların merkezle yüzey arasındaki muazzam büyük madde engeline takılmadan Güneş'in yüzeyinde belirebilmelerine izin vermektedir.

Açıkça onların olgu olduklarını belirtmiş olmamıza rağmen son birkaç paragrafta açıklanan şeyler bütünüyle teorik evrene aittir. Şu anda ani fren yapıp, bunların doğru olup olmadığını nasıl bildiğimizi sormamız gerekir. Sonuçta, Güneş'in merkezinde milyonlarla ölçülen sıcaklık derecelerinde gerçekleşen tepkimelerden bahsediyoruz. Bu şartlar altında sağ kalacak bir uzay aracı tasarlamamız imkânsızdır. Peki, bunlar neden bilimkurgu değil de bilimdir?

Ya da daha genel olarak "Bunu nasıl biliyoruz?"

Cevabın bir kısmı Güneş modellerinden geliyor; bunların teorik olmakla birlikte test edilebilir daha detaylı yönleri vardır. Güneş modelleri, Güneş'in ayrıntılı teorilerinden oluşur. Güneş modelleri, Güneş'in teorik amaçlar doğrultusunda ilkinin merkezini, sonuncunun yüzeyi oluşturduğu ince dairesel katman seti olarak varsayan detaylı teorilerdir. Bu modellerde, her bir katmanın sıcaklık, yoğunluk ve basınç değerleri verilmiştir. Hem saptanan hem teorik bilgiyle tutarlı olmak için bu modeller, farklı ortamlarda uygulanan deney ve tahlillerin so-

nucunda ortaya çıkan çeşitli değerlendirmeler doğrultusunda sınırlandırılmışlardır:

1. Hidrostatik denge: Güneş'in her bir katmanında, bu katmanı dışarı doğru iten basınç kuvveti içeri doğru çekmeye çalışan kütleçekim kuvvetiyle dengeli olmalıdır. ("Hidrostatik" kelimesi bu fikrin kökeninin, suyla ilgili çalışmalara dayandığını göstermektedir.)
2. Enerji nakli: Her katmandan yayılan enerji, söz konusu katmanda üretilen enerjiyle aşağıdan gelen enerjinin toplamına eşit olmalıdır. Başka bir deyişle, Güneş'in her bir katmanından yayılan enerji, bu katmana gelen artı burada üretilendir.
3. Nükleer tepkimeler: Güneş'te meydana gelen nükleer tepkimelerin değerleri laboratuvarda gerçekleştiklerinde ölçülenlerle aynı olmalıdır çünkü aynı nükleer tepkimelerdir. Nükleer tepkimeler aynı olduğuna göre bu gayet mantıklıdır. Nasıl ki, Güneş spektrumu kimyasal spektrumla aynı olmak zorundaysa, Güneş'te oluşan nükleer tepkimelerle Dünya'da oluşanlar aynı olmak zorundadır.
4. Son olarak: modelin Güneş'in kütlesini, gücünü ve yüzey sıcaklığını doğru vermesi gerekir ki, bunlar da gösterdiğimiz gibi saptanabilir değerlerdir.

Tesadüfen, böyle bir model var. Böyle bir modelin var olabilmesi bile teorinin (kısmi) ispatıdır; çünkü, daha önce gözlemlenmiş olan için geçerli olan model sonraki deneyler için uyarlanabilir ve test edilebilir bir modeldir. Güneş modeli (yukarıda verilen katmanlar ve listelenen füzyon tepkimelerle üretilen enerji) iyi iş çıkardığına göre, Güneş'in yüzeyinin

altındaki derinliklerde, milyonlarla ölçülen sıcaklık derecelerinde neler olup bittiğinden makul bir güvenle bahsedebiliriz.

Ne var ki, daha önce gözlemlenmiş olan sonuçlara karşı teori testlerine mecbur değiliz. Yukarıdaki Güneş gücü tanımının, Güneş'ten muazzam miktarda nötrino salınımı gerçekleşmesini belirttiğini hatırlayın. Böyle bir sızıntının var olup olmadığını test etmenin bir yolunu bulursak teoriye dair daha fazla doğrulama elde etmiş oluruz. Nötrinolar maddeyle çok zayıf etkileştikleri için Güneş'in tamamının içinden çabucak geçerler. Verilmiş teoriye göre Güneş'ten yayılan nötrinolar dolaysız olarak merkezinden gelirler. Onları saptayabilirsek, Güneş'in merkezindeki şartların dolaysız ölçümünü elde etmiş oluruz. Bununla birlikte, nötrinoların Güneş'in merkezine ait bilginin dolaysız parçası olmaları, onları deney yapanların kâbusu haline getirir. Onları saptayabilmek için nötrinoların basitçe hiçbir şeye takılmadan geçemeyecekleri deneysel bir cihaz yaratmamız gerekir. Nötrinoların parçacık olarak elektrik yükleri yoktur, kütleleri çok küçüktür ve evrende yaptıkları tek şey arada sırada diğer parçacıklarla zayıf tepkimelere girmektir. Kısacası, nötrinolar Güneş'in tamamının içinden bile çabucak geçtiklerine göre onları durdurabilecek bir şey yapmak konusunda nasıl bir umudumuz olabilir?

Umudumuz var. Bütün atom altı parçacıklara hükmeden kuantum mekaniğinin tahminleri her zaman olasılıklar çerçevesindedir. Kuantum mekaniği "Bu parçacık şu parçacıkla çarpışarak diğer parçacığı üretecektir" demek yerine "Bu iki parçacığın çarpışarak şu diğer parçacığı üretme olasılığı (düzenli olarak piyango oynuyor olsanız bile, hiçbir zaman bahse girmeyeceğiniz kadar gülünç derecede küçük bir sayı) vardır" der. Bu nedenle kuantum fiziği, nötrinoların atomlarla çarpış-

madığını dolayısıyla etkileşime girmediğini söylemez, sadece belirli bir nötrinonun, belirli bir atoma isabet etme olasılığının çok düşük olduğunu belirtir. Bu olasılık o kadar küçüktür ki, verilmiş nötrinonun yolunun üzerindeki hiçbir atoma isabet etmeden Güneş'in tamamının içinden geçmesi daha olasıdır. Dolayısıyla, onları saptamak için tasarlayacağımız bütün deneysel cihazlarda nötrinoların çoğunun cihazın içinden saptanmadan geçecekleri kesinlikle doğrudur. Ne var ki, nötrinoların küçücük bir bölümü cihazın içindeki atoma çarpacaktır ve o zaman biz, saptanan sayıdan ve düşük etkileşim olasılığından yola çıkarak Güneş'in yaydığı nötrino sayısına ulaşabiliriz.

Bunu olasılık teorisindeki beklenen değer kavramını kullanarak yapabiliriz. Yüz kere zar atarsanız atılan zar sayısı (100) kadar, 6 gelme olasılığına (1/6) neredeyse eşit sayıda 6 elde etmeyi beklersiniz ki, bu da beklenen değeri 50/3 olarak verir. Bu denklemi tersine çevirip kaç adet 6 geldiğini kontrol ederek kaç kere zar atmış olabileceğinizi tahmin edebilirsiniz. Nötrino deneyi de aynı şekilde davranır: Her bir nötrino bir zardır ve kuantum mekaniği etkileşim olasılığı değerlerini verir. Bu durumda yapmamız gereken etkileşim sayısını bulmak ve buna dayanarak nötrino sayısını tahmin etmektir.

Cihaz ne kadar büyük olursa, içindeki bir nötrinonun atoma isabet etme ihtimali o kadar yüksektir. Yani, bir Güneş nötrino saptayıcısının en önemli iki özelliği, büyük olması ve atomların değişmesine sebebiyet verecek her türlü diğer şeyden korunmuş olmasıdır. Dünya üzerinde bunu yapmanın en iyi yolu, cihazı yer altına çok derine gömüp nötrinolar dışındaki her şeyden korumaktır. Amerikan fizikçi Ray Davis tarafından 1967'de inşa edilen ilk Güneş nötrino saptayıcısı 380.000 litre temizlik sıvısı içeriyordu ve Güney Dakota'da Homestake al-

tın madeninde yerin neredeyse 5 kilometre altına gömülmüştü. Temizlik sıvısı, nötrinoyla çarpıştığında radyoaktif argon izotopuna dönüşen klor içeriyordu. Sonrasında deney üretilen argon atomlarının sayılmasından oluşuyordu. Davis deneyi, iki üç günde bir, 1 argon atomu üretildiğini keşfetmiştir.

380.000 litre suda bir atom kulağa etkileyici geliyor, atomların ne kadar küçük olduğu dikkate alındığında ise daha etkileyici oluyor. Ne tür bir atom olduğuna bağlı olarak, atomun çapı metrenin on milyarda biri ile birkaçı arasında değişir. Başka bir deyişle, bir damla sudaki atom sayısı, okyanustaki su damlası sayısından fazladır. 380.000 litre temizlik sıvısı içeren tankta bir argon atomu aramak, samanlıkta iğne aramaktan daha zordur. İki üç ayda bir, Davis ve ekibi bu temizlik sıvısından helyum gazı kabarcığı geçirir ve sonuçta çıkan gazı, argon atomlarını kömürde hapseden özenle tasarlanmış bir cihaza yönlendirirdi. Daha sonra bu kömür, oran sayacı adı verilen cihaza konulurdu. Argon atomları radyoaktifti, eninde sonunda tekrar klora dönüşeceklerdi ve geçirdikleri bozunum süreci sonucunda bir klor atomundan bir elektron açığa çıkaracaklardı. Oran sayacı bu elektronlardan her birini saptadığında sinyal verecekti.

Deney tasarımı alanında bu mükemmel basit cihaz, teori böylesi kocaman da olsa sade bir cihazın yaratılmasına öncülük ettiği için müthiştir. Derinliğin ve büyüklüğün gereksinimlerini bir araya getiren Davis, bulunması çok kolay bir elementi (klor); evrenin en ele geçirilemez parçalarından birini saptamak için kullanmıştır. Evrenin üç katmanı arasındaki böylesi bir bağlantı, bilimin geliştiği yolu oluşturur. Yinelemeye değer bir şeydir bu: Teori, saptama için gerekli tasarıma öncülük eder; saptama algılamaya öncülük eder; algılama, saptamayla

sistemleştirilir ki, bu da teoriyi ya destekler ya da reddeder. Burada, arada sırada argon atomu çıkaran temizlik sıvısı dolu kocaman fıçıda görülen şey aslında bilimin temel döngüsüdür.

Güneş'ten çıkan nötrinoların keşfi bir zafer olmuştur. Bununla birlikte, önemli bir tutarsızlık varlığını sürdürmüştür. Davis deneyinde saptanan nötrinoların sayısı, Güneş modellerinin tahmin ettiği sayının üçte birine denk gelmiştir. Bu tutarsızlık, Güneş nötrinoları problemi olarak bilinir. Etrafımızın hava durumundan borsaya kadar çeşit çeşit kusurlu modellerle dolu olduğu bu günlerde, bu tutarsızlığın basitçe Güneş modelinin kusurundan kaynaklandığını varsaymak doğaldır. Hatta, bazı gökbilimci ve fizikçiler bu konuda hemfikir olmuştur ve Güneş modelinin bir değişikliğe ihtiyacı olup olmadığını görmek için dikkatli tetkik üzerine yoğun çalışmalar yürütülmüştür.

Hassas nokta şudur ki, Davis'in deneyinde saptanan nötrinolar, daha önce tartıştığımız ana füzyon tepkimesinin ilk adımından değil, daha ender gerçekleşen başka bir tepkimeden ileri geliyorlardı. Bu nedenle Güneş modelinin, Güneş'in ürettiği güçle tutarlı olmasına rağmen nötrino sayısında hata yapmış olması makuldü. Yine de, Güneş modeli üzerinde on yıllar süren araştırmalar aynı cevabı vermiştir. Model, Davis deneyinin saptamış olduğu sayıdan üç kat daha fazla nötrino öngörmüştür.

Güneş nötrinoları problemi, ancak geçtiğimiz yıllarda Davis deneyinin çeşitlemesi olan Sudbury Nötrino Gözlemevi (veya SNG veya telaffuzu "*snow*" ("kar") olan İngilizce kısaltma SNO (*Sudbury Neutrino Observatory*) fizikçilerin sevdiği pek çok tuhaf akronimden biri) aracılığıyla nihayet çözülmüştür. Davis deneyi gibi SNG de terk edilmiş bir madende yerin derinliklerin-

de inşa edilmiştir. Bununla birlikte SNG, temizlik sıvısı yerine ağır su (yaklaşık 1000 ton miktarında) kullanmıştır. "Ağır Su" garip bir isme benziyor; fakat herhangi bir çekirdeğin atomuna eklenen nötron onun kütlesini artırmakla birlikte kimyasal özelliklerini etkilemez. Döteryum da (fazladan bir nötronu olan hidrojen) benzer bir şekilde ağır hidrojen olarak tanımlanmıştır. Su (H_2O) hidrojen ve oksijenin kombinasyonudur; dolayısıyla ağır su da basitçe ağır hidrojenden yapılan sudur. Kimyasal açıdan normal suyla aynıdır, sadece biraz daha ağırdır çünkü her hidrojen atomunun fazladan bir nötronu vardır.

Davis deneyinde nötrino, bir nötronu proton ve elektrona dönüştürerek kloru argona dönüştürmektedir. Ne var ki, toplamda üç tür nötrino olduğu çoktandır bilinmektedir. Bizim üzerinde tartıştığımız elektron nötrinosu, diğerleri ise müon nötrinosu ve tau nötrinosu adını taşır. Bu üç tür nötrinonun açıklaması, üç farklı parçacık "ailesine" yer veren parçacık fiziğinin derinlerinde saklıdır. Her bir ailenin kendine özgün parçacık türü ve her bir ailenin kendine özgü nötrino türü (kimseyle konuşmayan utangaç çocuk) vardır. Bu ailelerden birinde elektronlar, elektron nötrinolar ve protonla nötronu oluşturan kuarklar vardır.

Diğer iki aile burada bizi pek ilgilendirmiyor, fakat üzerinde konuştuğumuz deneyler fiziğin pek çok dalını hem kullanmış hem de doğrulamıştır. Bunu anlamak önemlidir, çünkü biz insanlar anlayışımızın gerektirdiği amaçlar doğrultusunda bilimleri konularına dayanarak böleriz, evren kendisini böyle bölmez. Evrenin farklı yapısal kademelerinin hepsi birbirine bağlıdır. Nasıl ki orkestranın sesi ikinci kemanın yorumuyla tanımlanabilir veya mahvolabilirse, aynı şekilde yıldızların gücü de nötrinoların özelliklerine bağlıdır.

Amaçlarımız için bu ailelerle ilgili önemli olan şey, elektron nötrinoların nötronu proton ve elektrona dönüştürebilmesidir; fakat diğer iki tür nötrino bunu yapamaz. Böylece Güneş'in merkezinde üretilen elektron nötrinolardan bazılarının saptayıcıya ulaşmadan müon nötrinoya veya tau nötrinoya dönüşmesi durumunda, bunun Güneş nötrinosu problemini çözebileceği fark edilmiştir (çünkü Güneş'te ortaya çıkan nötrinoların sadece üçte biri doğru türdeyse o zaman başlangıçta saptamayı beklediğimiz nötrino sayısının üçte biri kadar nötrino saptamayı bekleriz; bu da tam olarak Davis deneyinin saptadığı miktardır).

Bu açıklanın doğru olup olmadığını görmek için bütün türdeki nötrinoları saptayabilen bir saptayıcı gereklidir. Burası ağır suyun devreye girdiği yerdir. Ağır sudaki döteryumun sıkışmış bir protonla nötron olduğunu hatırlayın. Her türdeki nötrino, döteryumla çarpışıp (yeterli enerjisi varsa) onu protonla nötrona parçalayabilir. Nötron böylece bozunuma uğrayarak proton, elektron ve antinötrinoya bölünecektir ki; elektron da böylece, suyun içinde ilerledikçe yaydığı ışıktan saptanabilmektedir.

SNG deneyinin sonucu, saptanan nötrino sayısının Güneş modellerinin tahmin ettiği sayılarla uyuştuğunu göstermiştir. Teorilerle deneylerin birleşmesiyle Güneş nötrinosu problemi çözülmüştür ve biz de sonunda yeterince emin bir şekilde Güneş'in gücünün kaynağını bildiğimizi söyleyebiliriz. Bu, Güneş'in yaşıyla ilgili bilginin eminliğini sağlamaktadır. (Mantıkta bir nevi domino teorisi vardır: *A* B'ye bağlıysa, *B* C'ye bağlıysa ve *C D*'ye bağlıysa, o zaman, *D*'nin doğru olduğunu gösterdiğinizde *C*, *B* ve *A* da doğrulanmış olacaktır.) Şu anki güç tüketimi oranında, Güneş'in yüzeyindeki bütün hidrojeni tüketmesi için 100 milyar yıl gerekmektedir. Bu bil-

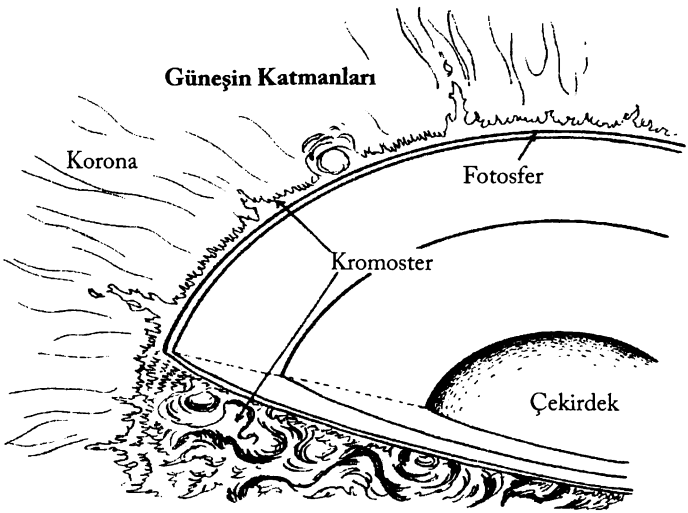
ginin bize, Güneş'in ne kadar zamandır yandığını veya bunun ne kadar devam edeceğini dolaysız olarak söylemediğine dikkat edin. Son sorunun cevabı Güneş'in sonuçta yakıtının ne kadarını tüketeceğine, bir sonraki bölümde ele alınacak olan konuya, bağlıdır.

Nasıl ki, nötrinolar bize Güneş'in merkezi ile ilgili dolaysız bilgi verir, biz de sadece spektral analiz yöntemlerine güvenmek yerine Güneş'in kimyasal bileşimiyle ilgili dolaysız bilgiye sahip olmayı isteriz. İki farklı bağımsız gözlem aracı aynı sonuca ulaşabiliyorsa, gözleme öncülük eden teoriler desteklendiği gibi sonuç da desteklenmiş olur.

Bu daha dolaysız gözlemin mümkün olduğu ortaya çıkmıştır. Güneş'in her bir katmanı çoğu zaman basınçla dengelenen kütleçekim sonucunda hidrostatik denge halindedir. Yine de bu dış katmanlar için geçerli değildir (bkz. Şekil. 4). Güneş'e baktığımızda, Dünya gibi sabit bir boyuta sahipmiş gibi görünür. Ancak bu bir yanılsamadır. Güneş çoğunlukla plazma topudur (elektronlarını kaybetmiş atomlardan oluşan gaz). Plazmanın en yoğun olduğu yer merkezdir ve plazma merkezden uzaklaştığı ölçüde yoğunluğunu kaybeder.

Güneş'in keskin bir şeklinin varmış gibi görünmesinin sebebi merkezden yayılan ışığın yolda çekirdeklere veya elektronlara çarpmasıdır. Işığın bize gelmeden önce bir şeye çarptığı son yer bize ışığın geldiği yer olarak görünür. Bu son yer fotosferdir, ışık fotosferden kaçma eğilimine sahiptir ve gördüğümüz ışığa dönüşür; bu ışıktan Güneş'in yüzeyini gördüğümüze kanaat getiririz.

Bununla birlikte plazma fotosferde takılmaz. Bize Güneş'in yüzeyi olarak görünen kısmın üzerinde Güneş'in katmaları, ender olarak gördüğümüz Güneş maddesi vardır. En dıştaki



Şekil 4

katmana hale denir ve hidrostatik dengede değildir. Onun yerine, Güneş'in manyetik alanından buraya o kadar çok enerji nakli olur ki, Güneş'in kütleçekimi bunu yerinde tutmak için yeterli olmaz ve plazma yavaşça akarak Güneş'ten uzaklaşır. Bu plazma akışına Güneş rüzgârı adı verilir. Rüzgâr çoğunlukla proton ve elektronlardan oluşur.

Güneş rüzgârında Güneş ne kadar madde kaybeder? Saniyede 2 milyar kilogram olduğu ortaya çıkmıştır. Kulağa çok gibi geliyor; fakat Güneş'in kütlesi o kadar büyüktür ki, bu sayı her milyar yılda bir, güneş kütlesinin on binde birine denk gelmektedir.

Bu plazma rüzgârı Güneş'ten dört bir yana eserek Güneş Sistemimizde bir akım oluşturur. Güneş'ten dışarı bütün yönlere doğru esmektedir. Etrafımızdaki uzay boşluğu atom ve atom altı düzeyde bütünüyle boş değildir. Rüzgârın kendisi

de yeterince hızlı ve kuvvetlidir. Hatta yakın zamanda, Güneş rüzgârını kullanarak yelken açan uzay gemisi inşa ederek, bilimkurgu bir fikri gerçeğe dönüştürecek bir deneme yapılmıştır. Ne yazık ki, teknik sorunlar bu çabaya set koydu fakat kuşkusuz başka denemeler gerçekleştirilecektir.

Güneş rüzgârı, kuyruklu yıldızların oluşmasından kısmen sorumlu olduğu için dolaylı gözlemle saptanabilmektedir. Kuyruklu yıldızlar, Güneş rüzgârının içinden geçerken onunla enerjik etkileşime girerek kuyruğun görüntüsünü oluştururlar. Güneş rüzgârı Dünya'da gördüğümüz (yine de Dünyalı olmayan) *aurora borealis* veya kuzey ışıklarından sorumludur. Manyetik alan varlığında protonlar ve elektronlar (herhangi bir elektrik yükü taşıyan bütün parçacıklar gibi) manyetik alanın yönü etrafında sarmal hareketle yol alırlar. Bu yüklü parçacıkların Dünyaya gelebilecekleri yegâne yerler bu manyetik alanın kutuplarıdır; Dünya'nın manyetik alanının kuzey ve güney kutupları, onun coğrafi kuzey ve güney kutuplarının yakınında bulunur. Yüklü parçacıklar Dünya'nın atmosferine çarptığında, atomları iyonize edip (elektronları atomdan koparmaya zorlayarak) parlamalarına sebebiyet verirler. Bu parlama kuzey ışığıdır. Aynı şey Güney kutbunun yakınındaki bölgede de gerçekleşir ve *aurora australis* veya güney ışığı adını taşır.

Teoride, Güneş rüzgârını yakalayıp Güneş'i hangi maddelerin terk ettiğini bulmak ve bunun sonucu olarak Güneş'i neyin oluşturduğunu belirlemek mümkündür. Son zamanlardaki deneyler bunu yapmaya çalışmıştır. Güneş rüzgârı, basınçla kütleçekim arasındaki klasik hidrostatik dengenin bozulmuş olduğu yerdir. Bu vakada basınç kazanır ve madde yavaş yavaş Güneş'i eksilterek dışarı doğru akar.

Bir sonraki bölümde, bunun aksine kütleçekim kazandığında ve yıldız çökerek karadeliği oluşturduğunda neler olduğunu değerlendireceğiz. Her ne kadar Güneş'e bakıp pek çok şey öğrendiysek de, o tek değildir. Bize yakınlığı ve hayatımızdaki etkisine rağmen Güneş, yıldızların sadece bir örneğidir ve anlayışımızı genişletmek için onu evrendeki ayrıcalıklı yerinden indirmek zorundayız. Güneş anlayışımızı daha geniş evrene atılan ilk adım olarak kullanacağız ve bunu yaparken Güneş'i daha geniş bir bağlamda, galaksilerin uzayında, yıldızların evrimi zamanında birçoğunun arasında ve hiçbir şekilde istisna teşkil etmediği bir yerde ele alacağız.

Yıldızların yaşam ve ölümüne, özellikle yıldızların sinir bozucu basitlikte karadeliğe dönüşme kaderine bakacağız.

2. Adım

Karadelikler



Karadelik Bulutu (fiskiye). NASA/CXC/CfA/R. Kraft ve diğerleri 2008.

4. Bölüm

Eski Kütleçekim ve Yeni Kütleçekim

Hiç kimse tarafından bugüne kadar algılanmamış olsalar da karadelikler, saptanan ve teorik evrenlerde geniş (tamam, devasa) yer kaplarlar. karadelikler ve onların etkileri çok çeşitli saptama araçları kullanılarak incelenmiştir: Klasik optik teleskopların yanı sıra radyo-teleskoplar ve mor ötesi ışıklara karşı duyarlı teleskop görevi üstlenen ilginç uydular, X-ışınları ve gama ışınları. Bugünlerde ise karadelikleri, çarpıştıklarında yaydıkları kütleçekim dalgalarına dayanarak inceleme yolunda ilk adımlar atılmaktadır. Karadelikler hakkındaki teoriler ise daha çok çeşitli kuramcılar tarafından yapılmıştır: Astrofizikçiler, dev yıldızların kaçınılmaz kaderini ve bazı galaksilerin merkezinden boşalan muazzam miktardaki enerjinin doğasını anlamak için incelerler. Genel görelilikçiler, yani Einstein'ın Genel Görelilik Teorisinde uzmanlaşan fizikçiler, karadelikleri bu teorinin en ilginç tahmini olarak görürler ve karadeliklerin, üzerilerinde daha fazla çalışıldıkça, genel göreliliğin doğası ve etikleri hakkında daha fazla şey söylemesini umut

ederler. Matematikçiler, karadeliklerin diferansiyel geometrinin gizemli tekniklerine (eğri uzay çalışması) uygulama sağladığını keşfetmişlerdir. Parçacık fizikçileri, sicim kuramcıları ve genel göreliliği kuantum mekaniği ile bir araya getirmekle ilgilenen diğer herkes, kara dileklerin kuantum davranışlarının bu konuyu araştırmak için en verimli alanlardan biri olduğunu düşünmektedirler. Bu gözlemler ve teoriler, karadeliklerin evrendeki en ilginç ve aynı zamanda en basit cisimlerden biri olduklarını göstermektedir.

Karadelikleri anlamak için karadelik olmadan önce ne olduklarına bakmamız gerekir, yani öncelikle yıldızları anlamak zorundayız. Tamamen tesadüfen (bunu önceden planladığımız için değil), bu anlayış Güneş'le ilgili anlamış olduklarımıza dayanarak oluşturulabilir. Bir önceki bölümde öğrendiğimiz bilgileri kullanmakla kalmayıp, farkı yönde olsalar da aynı yöntemleri kullanacağız.

Daha önce, algılanan Güneş'i parçalarına ayırıp sonrasında teori ve saptamayı kullanarak tekrar bir araya getirdik, yani artık bildiğimiz Güneş sadece gördüğümüz Güneş'ten daha fazlasıdır. Aynı zamanda yıldızları parçalayıp birleştirmeye de dâhil olmuş olduk, gerçi Güneş tahlilinin yıldızlar için geçerli olduğunu haklı olarak söyleyebilmemizin nedeni için, bu bölümün sonrasını beklememiz gerekmektedir.

Bu parçalarına ayırıp yeniden inşa etme süreci, algıladığımız bir cisimle başlamıştır ve ondan yola çıkarak teori ve saptama yardımı ile cisim anlaşılmıştır. Şimdi ise başlangıçta sadece teorik olan bir cisimle başlayıp teoriye uyan bir şey saptayabilir miyiz diye bakacağız. Bu, üç katmanlı evren için hayati bir testtir; teori ve saptama görünmeyen bir cismi ortaya çıkarabilir mi veya evrenimizin iki katmanı kullanılarak olgu

evreninde görünmeyen bir cisim bulanabilir mi? Bu Güneş'te kullanılan bilimin tam ters yönüdür. Daha önce bir şeyi görüyor fakat anlamıyorduk, dolayısıyla anlayışı bulmak için bilimi kullanmıştık; şimdiyse anlayışı ele alıp, ona dayanarak ortada anlaşılacak bir şey olup olmadığını öğrenmeye çalışıyoruz. Algıdan saptamaya oradan teoriye tırmanmak yerine, görünmez olmasına rağmen var olabilen bir cismi bulmak için, teorik evrenin soyutluğundan algılanan evrenin gündelikliğine uzanan merdivenden aşağı iniyoruz.

Başlayacağımız teori kütleçekim teorisidir. Yine de, Einstein'ın başlattığı ayrıntılı modern kütleçekim teorisini sonrasına kadar kullanmayacağız. Başlangıçta kütleçekimi, Newton'un onu tasarladığı şekle sadık kalarak, cisimleri birbirlerine çeken kuvvet olarak ele alacağız. Bu, birinci kısımda özetlediğimiz Güneş'in pek çok özelliğini kavramak için kullandığımız kütleçekim teorisidir.

Şimdiki projemize, saptanan bir olguyla başlayacağız: Güneş ve diğer yıldızlar dev cisimlerdir ve bunun sonucunda devasa kütleçekime sahiplerdir. Bunu Newton'un teorisinin kütleçekimin her şeyi etkilediğini belirten parçasına katarız ve kütleçekimin bu etkilerinin ışığı da kapsadığı varsayımını ekleriz. Daha sonra bu saptama ve teori parçalarını teorik bir soru yaratmak için birleştiririz. Bilimin hayati adımlarından biri sorular yaratmak için saptamaları ve teorileri birleştirme sürecidir. Bu sorular daha sonra teorinin üzerinde daha fazla çalışmak için ve sorulara cevap vermek için uygun deneylerin yaratılmasında rehber olarak kullanılırlar.

Çoğu çabada önemli olan şey sorunun yapılandırılmasıdır. Sorular akla rehber olarak hizmet eder; cevapların şekline dair beklentileri oluşturarak henüz bilinmeyen fikirleri biçimlen-

dirirler. "Bunu kim yaptı?", " Bunu ne yaptı?" ve "Bunlar nasıl oldu?" soruları arasındaki farkı değerlendirin. Birinci soru, gerçekleşen şeyden sorumlu bir şahıs beklentisi yaratıyor. İkinci soru, hâlâ cevap olarak bir sebep beklentisindedir; fakat şimdi sebebin şahıs olması gerekli değildir. Üçüncü soru cevap olarak bir süreç beklentisindedir. Örneği geriye doğru detaylandırmak gerekirse:

"Kurabiye kavanozu nasıl kırıldı?"

"Raftan yere düştü."

"Kurabiye kavanozunu ne kırdı?"

"Yer kırdı."

"Kurabiye kavanozunu kim kırdı?

"Ee, ben yaptım. Üzgünüm."

Bu durumda, Newton'un Kütleçekim Teorisini, ışığın bile kaçamayacağı kadar güçlü kütleçekime sahip bir yıldız var olabilir mi sorusunu yaratmak için kullanacağız. Görülemeyecek kadar büyük kütleye sahip bir yıldız var mıdır?

Bunu cevaplamak için işe yarama ihtimali en yüksek olan kavramı yakalarız: Kaçış hızı (son olarak helyum balonunda süzülerek uzaklaşırken görülmüştür). Newton, yukarı çıkıldıkça Dünya'nın çekim gücünün zayıfladığını dolayısıyla Dünya'nın yüzeyindeki bir cismin, o yüzeyden yeteri kadar hızlı bir şekilde uzaklaşması durumunda Dünya'nın kütleçekiminden kaçabileceğini keşfetmiştir. Cisim dünyevi olanı aşıp göklere çıkabilmek için ne kadar hızlı hareket etmelidir? (Bunun için üzgünüz fakat kaçış hızında şiirsel bir şeyler var.) Kaçış hızı, Newton'un kütleçekim formülü ve birkaç hesaplama sonucunda saptanabilir. Dünya için kurtulma hızı saniyede yaklaşık 11 kilometredir; beysbol topunu fırlatabileceğimizden daha hızlı fakat şahit olduğumuz üzere roket teknolojilerimizden daha yavaştır. Ay için, kurtulma hızı saniyede yaklaşık 2,4 km'dir.

Bu bize neden Dünya'nın bir atmosferi olduğunu ve Ay'ın olmadığını açıklar. Önceki bölümde, böylesi hafif bir atomun kolaylıkla ulaşabileceği kaçış hızı sebebiyle helyumun Dünya'nın atmosferindeki eksikliğini açıklamıştık. Ay'ın çok daha küçük kütleçekiminde, çok daha ağır atomlar ve moleküller kolayca kaçabiliyor. Bir zamanlar Ay'ın sahip olduğu gazlar çoktan kaçmış olmalıdır çünkü gaz basitçe Güneş enerjisiyle ısınıp, uçup gitmesi için yeterli sıcaklığa ulaşmıştır.

Kaçış hızı için gerekli hesaplamayı ve ışık hızını kullanarak, bir cismin kütlesi verildiğinde, bu cismin kaçış hızının ışık hızına eşitlenmesi için sahip olması gereken boyutun yarıçapını veren formülü hesaplayabiliriz. Yarıçap formülü şöyledir:

$$R=2GM/c^2$$

Burada R gerekli yarıçap, G Newton'un kütleçekim sabiti, M cismin kütlesi ve c ışık hızıdır. Formülü, kütleyi bildiğimizde gerekli yarıçapı elde ettiğimiz şekilde yazdığımıza dikkat ediniz. Bunu yapmamamızın sebebi, düşünürseniz, boyutu yeteri kadar ufak olduğu sürece herhangi bir kütle teoride ne kadar hafif olursa olsun böylesi bir "kara" cisme dönüşebilir, çünkü kütleçekim kuvveti hem kütleye hem mesafeye bağlıdır. Formülü tersine çevirip belli bir yarıçapa sahip cismin "kara" olabilmesi için gerekli kütleyi elde edebiliriz. Aslında, alakalı bir soru sormamız faydalı olacaktır: Belli bir yoğunluktaki (birim hacme düşen kütle) cismi kara cisme dönüştürmek için bu yoğunlukta ihtiyacımız olan kütle nedir? Yukarıda verilen yarıçap formülü bu soruyu cevaplamak için de kullanılabilir. Bu, aynı nicelik hakkında konuşan iki farklı formülü alıp, ikisini bu niceliğe ait yeni bir algı yaratmak için birleştirdiğimiz daha ustalıklı bir formüldür.

Yukarıdaki denklemde verilen yarıçap Schwarzschild yarıçapı adını taşır, bu isim Einstein'ın teorisinin bütün küresel cisimler için çözümünü keşfeden Alman gökbilimci Karl Schwarzschild (1873-1916) şerefine verilmiştir. Schwarzschild keşfini hayatının sonlarında (I. Dünya Savaşı sırasında Alman Ordusuna hizmet ederken yakalandığı bir hastalık sebebiyle hayatını kaybetmiştir), Einstein Genel Görelilik Teorisini yayımladıktan hemen sonra yapmıştır. Einstein, teorisinin kesin çözümünün bulunabilmiş olmasına ve sonuçta oldukça basit olmasına şaşırmıştır.

Bu formülü en az iki farklı şekilde kullanabiliriz. Belirli bir kütlenin Schwarzschild yarıçapını sorabilir veya belirli yoğunluktaki maddenin sonuçta oluşturacağı cismin yarıçapının Schwarzschild değerinde olması için bu yoğunluktaki maddenin sahip olması gereken kütleyi hesaplayabiliriz. Evrenin sahip olduğu şekil çeşitliliğine rağmen, bütün cisimleri yarıçapları olan küreler olarak ele almak aşırı basitleştirme gibi görülebilir. Ne var ki, kütleçekim zaman içinde dev cisimleri küreselleştirmeye yatkındır (en azından aşırı hızda dönmüyorlarsa). Saptanabildiği kadarıyla kürelerden bahsederken genel olmak bizi doğru cevapları bulmaktan alıkoymaz ve tartışmayı dönen karadeliklere kadar genişleteceğimiz için bu durum neredeyse bütün esasları kapsar.

Yukarıdaki soruların ikisini de Güneş'e yöneltelim: "Güneş'in Schwarzschild yarıçapı nedir?" Hesaplamalar yaklaşık 3 km'yi gösteriyor. Yani, Güneş'in yarıçapı, sahip olduğu 700.000 km'ye karşın, sadece 3 km (boydan boya 6 km) olsaydı böylesi bir kara cisim olabilirdi. Oh, onlara sadece karadelikler diyelim. Her halükarda bunu yapacaktık. Bir de, Güneş'in yoğunluğuna sahip bir cismin karadeliğe dönüşmesi için kütlesi

ne olmalıdır? Güneş'in yoğunluğu, suyun yoğunluğuna yakındır ve birkaç hesaplamadan sonra bu varsayımsal cismin yaklaşık 100 milyon Güneş kütlesinde olması gerektiğini keşfederiz (Güneş kütlesinin 100 milyon katı demektir).

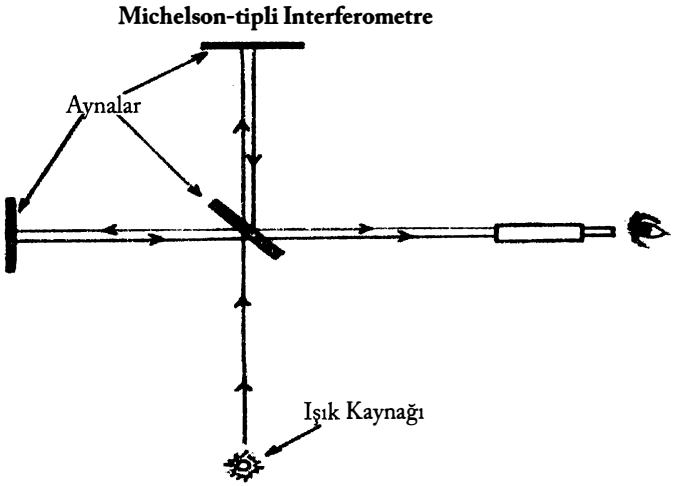
Yukarıdaki tartışma kulağa bir parça modern gelebilir, çünkü genel kanı karadeliklerin, bilgisayarlar ve uzay teleskoplarıyla çalışan günümüz astrofizikçilerinin alanı olduğu yönündedir. Ne var ki, yukarıda sorulan soruyla verilen cevaplar sadece Newton'un teorilerini ve elle yapılabilen cebir hesaplamalarını gerektirmiştir. Hatta yukarıdakilerin hepsi 1783'te John Michell ve 1796'da Pierre-Simon Marquis de Laplace tarafından yapılmıştır. Michell önceki tartışmalarımızda laf arasında görünmez olarak belirmiştir. Cavendish'in Dünya'yı tartmak için kullandığı sapma dengesini keşfetmiştir. Fransız Laplace (1749-1827) matematikçi, gökbilimci ve fizikçiydi. Matematik ve bilimde etkisi büyük ve derin olan kişilerden biridir. Güneş Sisteminin istikrarlı olduğunu göstermesiyle tanınmıştır. Gezegenlerin hareketleri üzerine kapsamlı araştırmalar yapmış ve sadece Güneş'in kütleçekim etkilerini değil, her gezegenin diğerlerine uyguladığı kütleçekim etkilerini de dikkate almıştır. İki matematik kavramı onun adını taşır: Elektrostatik problemlerinde kullanılan Laplace denklemi ve diferansiyel denklemlerde kullanılan Laplace dönüşümü. Laplace, Napolyon'un emrinde 6 hafta İç İşleri Bakanı olarak görev yapmıştır. Laplace'ın performansından etkilenmeyen Napolyon, kendisinin her yerde kurnazlık aradığını, sade kuşkucu fikirlere sahip olduğunu ve idareciliğe son derece az gönül verdiği yorumunda bulunmuştur. (Laplace'ın Napolyon'un matematikçiliği hakkında ne düşündüğünü bilemiyoruz.)

Laplace ve Michell teorik kavram olarak ele aldıkları karadelikler üzerinde iki yüzyıldan fazla bir zaman önce çalışmışlardır; fakat uğraşları sadece entellektüel merak olarak addedildiğinden bu görüş alanından kaybolmuşlardır (hayır, bu sonuncu "onları göremezsin çünkü karadeliktirler" esprisi değil, bunlara alışın). Karadelikler, Genel Görelilik Teorisinin sonucu olarak yeniden gündeme gelmişlerdir; fakat o zaman bile bir süre tümüyle teorik kalmışlardır. karadeliklerin sonuçta nasıl saptandıklarını daha sonra konuşacağız. Şimdilik teorik evrende kalmaya devam edeceğiz.

Bir parça düşünmek için duruyoruz. Newton'un Kütleçekim Teorisinin yerini Einstein'ınki almıştır. İronik de olsa, klasik karadelik kavramının modern teoride hayatta kalıp kalamayacağı sorusunu sormamız gerekir. Newton'un kütleçekim anlayışı, ışık hızıyla karşılaştırıldığında daha yavaş hareket eden cisimler ve aşırı güçlü olmayan kütleçekim alanları söz konusu olduğunda çok güzel işler. Hızlı hareket eden cisimler (aralarında en hızlısı ışıktır) Einstein'ın Özel Görelilik Teorisiyle, güçlü kütleçekim alanları ise (ışığın kütleçekim alanından kaçmasını engelleyecek kadar güçlü olabilmesi için gerçekten çok güçlü olması gerekir) Einstein'ın Genel Görelilik Teorisiyle açıklanmaktadır. Michell ve Laplace'ın ışığı hapsedebilen cismin yarıçapıyla ilgili formülleri yerini veren teori kullanılarak elde edilmişlerdir; dolayısıyla onlara güvenmeden önce Einstein'ın teorisi dâhilinde yeniden kontrol edilmeleri gerekir.

Newton'un evrene dair bakış açısının Einstein'ınkiyle yer değiştirmesi konusunda kısa bir ara söz gereklidir.

Newton'un Kütleçekim Teorisi defalarca test edilmiş, ispatlanmış ve yüzyıllarca konumunu korumuştur. Bunun tek sebe-



Şekil 5

bi, Newton'un teorisinin sınırlarının (başarısız olduğu yer yüksek hız ve kütleçekim şartlarıdır) bilim insanlarının saptama kabiliyetlerinin ötesinde olmasıydı. Newton'un Kütleçekim Teorisinin Einstein'ınkiyle yer değiştirmesi süreci 19. yüzyılda masum görünen bir soruyla başlamıştır: Işık yayan bir ortamın içinden ne kadar hızlı geçiyoruz? Nasıl ki, okyanus dalgaları suyun normal yüksekliğinde meydana gelen ve ses dalgaları havanın normal basıncında meydana gelen bir düzensizlikse, 19. yüzyılda ışık dalgalarının eter adını taşıyan bir nevi ortamda meydana gelen bir nevi karışıklıklar oldukları varsayılmıştır.

Bu, daha sonra göreceğimiz üzere, sorunun kendisinin yanlış yönlendirdiği durumlardan biridir. "Eterin içinden ne kadar hızlı geçiyoruz?" doğal bir soruydu. Bu soruyu cevaplamak için iki Amerikalı, fizikçi Albert Michelson ve kimyager Edward Morley 1887'de bir deney yapmıştır; şimdi bu iki isim bilim

tarihinde sonsuza kadar birbirine bağlanmıştır. Deneyde, interferometre [7] adında Michelson'un icat ettiği L şeklinde yaratıcı bir cihaz kullanılmıştır (bkz Şekil.5). L'nin köşesinde, ışık kaynağının önünde ışığın yarısını yansıtan diğer yarısını içinden geçmesine izin verecek kadar ince yansıtma tabakasıyla kaplı bir ayna vardır (bu yarı yansıtıcı aynalara huzme bölücü ismi verilir). Bu bölücünün etkisi, ışık huzmesini iki huzmeye bölüp her birini L'nin farklı kollarına doğru göndermektir. Her hüzme kendi kolu boyunca yol alıp kolun sonundaki aynadan yansır ve sonrasında iki huzme L'nin köşesinde yeniden birleşir.

İki huzme de yolculuklarını aynı sürede tamamlarsa, yeniden birleştiklerinde birbirlerini destekleyerek daha parlak bir huzme üretirler. Huzmelerden birinin yolculuğu diğerinden ışık dalgası periyotunun yarısı kadar daha uzun sürerse, yıkıcı girişim adı verilen bir dalga olgusunda iki huzme birbirine karşı işler ve birleşmiş ışık huzmesi *bütünüyle karanlık* olur. Işığı dalga olarak düşünmek bunu anlamayı kolaylaştırır. Huzmelerin aralarında sürenin yarısı kadar bir sapma varsa, bir dalganın zirvesi bir sonrakinin tabanıyla buluşur ve birleşmeleri ortaya hiçbir şey çıkarmaz. Bu deney, ışık eterin içinden c hızında geçiyorsa ve biz de ışıkla aynı yönde herhangi bir v hızında ilerliyorsak o zaman ışığı bize göre göreli daha yavaş bir hızda ilerleyen bir cisim $c - v$ olarak ölçmemiz gerekir görüşüne dayanmaktaydı. Başka bir deyişle, ışığı kovaladığımızda bize daha yavaş ilerliyormuş gibi görünmesi gerekirdi. Şimdi, kollardan birinin yolculuğu eterin içinden geçirecek yönde ayarlandığını varsayın. Bu durumda, bu kolun huzmesi aynaya doğru "akıntının tersine" gidip ve "akıntı yönünde" geri dönerken, diğeri "akıntının karşı tarafına geçer". Michelson ve Mor-

7 Girişimölçer

ley, bu durumda iki huzmenin farklı gidiş-dönüş sürelerinin olacağını dolayısıyla girişime uğrayacaklarını hesaplamışlardır. Cihazın yönü değiştirildiğinde girişimin miktarı da değişir. Cihazın yönü değiştirildiğinde değişen girişim miktarını ölçerek Michelson ve Morley bu ölçümü Dünya'nın eterin içinden geçme hızını ölçmek için kullanmayı ümit etmişlerdir.

Michelson ve Morley deneyinin sonucu kafa karıştırıcıydı. Cihazın yönünün değiştirilmesi ışık huzmelerinin girişime uğramalarında *hiçbir değişikliğe* neden olmamıştı. Bunun anlamı eterin içinde hareket etmediğimiz ve ölçtüğümüz ışığın her zaman c olduğuydu. İlk anda Dünya'nın garip bir tesadüf sonucu eterin içinde hareketsiz olduğu varsayılabilir. Bu söz konusu olamaz çünkü Dünya Güneş'in etrafında döner ve dolayısıyla farklı zamanlarda farklı hıza sahiptir. Michelson ve Morley deneyi yılın farklı zamanlarında uygulanmış fakat her zaman aynı sonucu vermiştir. Böylesi şaşırtıcı bir sonuçla karşılaşan biri, deneyin belki de yanlış uygulandığını varsayabilir. Ne var ki, Michelson hayatını hassas optik ölçümde dünyanın en iyisi olmaya adamıştır. En hassas ışık hızı ölçümü rekorunu elinde tutmuştur ve bir keresinde iki dağ zirvesi arasındaki mesafeyi birkaç santimetreden daha küçük bir kesinlikte ölçmüştür. Dileyen diğer deneylerden şüphe edebilirdi, kimse Michelson'dan şüphe edemezdi: deneyin kafa karıştırıcı sonucu yanlış olarak göz ardı edilemezdi; açıklanması gerekirdi.

Açıklama, 1905'te Einstein tarafından, o zamanlar Görelilik Teorisi olarak adlandırdığı şeyle geldi. Einstein bunu Newton mekaniğinin ve Maxwell'in Elektrik ve Manyetizma Teorisinin temellerinin yeniden düşünüldüğü büyük bir teori olarak geliştirmiştir. Einstein'ın teorisinde eter yoktur ve bütün gözlemciler ışık hızını c olarak ölçer.

Başlangıçta bu iddia bütünüyle çılgın görünüyor. Işık huzmesini ışık hızının yarısı bir hızda kovalarsam, benimle huzme arasındaki mesafe sadece ışık hızının yarısı oranında artabilir. Diğer bir deyişle, ışık hızını *c/2* olarak ölçmem gerekir. Ne var ki, kuantum mekaniğinin öncülerinden biri olan Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli'nin belirttiği üzere "Einstein'ın teorisi kulağa geldiği kadar çılgın değildir." Pauli bir nevi, kulağa çılgın gelen teoriler uzmanıydı. Atomların kimyasal özellikleri için göz önünde bulundurulması gereken ve elementlerin neden bir periyodik tabloda düzenlenebileceğini açıklayan, kuantum mekaniğinin temel parçası, Pauli Dışarlama İlkesi'nden sorumludur. Pauli aynı zamanda nötrino teorisini ilk olarak ortaya atmış ve ilk olarak elektronların dönmesini kuramlaştırmıştır. Fizikçiler arasında keskin zekâsıyla meşhurdu ve öylesine iyi bir kuramcıydı ki hakkında, varlığında bütün deneyler ters giderdi efsanesi vardır. Buna bazen Pauli etkisi denir.

Görelilik hem mesafe hem de zaman kavramlarında köklü değişiklikler gerektirir. Newton, cisimler arasındaki mesafeyi ve olayların gerçekleşmesi için gerekli zamanı, mesafe ve zamanın kimin tarafından ölçüldüğü fark etmeksizin aynı görmüştür. Einstein aynı mesafe ve zaman ölçümünün, ölçüm yapan insanlar farklı hızlarda hareket ettiklerinde, farklı sonuçlar ürettiğini fark etmiştir. Bu farklılıklar, olgusal olarak bütün gözlemcilerin ışığı aynı hızda ölçtükleri etkisini üretmiştir. Daha sonra görelilikle biraz daha ilgileneceğiz, fakat (şansımıza yazılmış olan) başka pek çok kitabı hak eden bu büyük konuyu bu kaynaklara bırakıyoruz.

Göreliliğin sonuçlarından biri hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı gidemediğidir. Göreliliğin her türlü gözleme karşıymış gibi görünmesine rağmen, doğru olduğu ispatlanmıştır. Günü-

müzde, bu etkiler kozmik ışın deneylerinde ve parçacık hızlandırıcılarında her gün saptanmaktadırlar.

Görelilik ışıkla ilgili gizemi (bir eterin olmaması ve ışık hızının bütün gözlemciler için sabit olması) çözmüş; fakat kütleçekimle ilgili yenilerine yol açmıştır. Yeni gizem Newton kütleçekiminin, Newton'un çağdaşlarını rahatsız eden bir yönüyle ilgiliydi: Uzaklığa etkisi. Newton'un teorisinde bir cismin diğerine uyguladığı kütleçekim kuvveti, iki cisim arasındaki mesafeye bağlıdır ve mesafe değiştiğinde kuvvet de değişir. Güneş, hareket ettiğinde Dünya'ya olan mesafesi derhal değişmektedir, bundan dolayı Newton'a göre Güneş'in Dünya'ya uyguladığı kuvvet de derhal değişmektedir. Newton'un çağdaşları, nasıl oluyor da kuvvetin değiştiği bilgisi Güneş'le Dünya arasındaki muazzam boşluğu hiç zaman harcamadan kat edebiliyor mu diye merak etmişlerdir.

Göreliliğin gelişiyle sadece rahatsızlık veren bir şey büsbütün yasadışı olur. Mesafede hareket, Güneş'ten Dünya'ya hiç zaman harcamadan yani sonsuz bir hızda gelen (Güneş'in konumuna dair bilgiyi Dünya'ya, kütleçekim alanındaki değişiklik aracılığıyla "bildiren") "sinyal" gerektirir. Bu, göreliliğin hiçbir şey ışıktan daha hızlı hareket edemez tahminini ihlal ediyor.

Başkası "Göreliliğe yazık oldu" yanıtını verebilirdi. Ne var ki, Einstein'a göre değişmesi gereken Newton'un Kütleçekim Teorisiydi, yerini kütleçekimdeki değişikliklerin ışıktan daha hızlı hareket etmediği daha iyi bir teori almalıydı. Einstein'ın böylesi bir teoriyle ortaya çıkması on yıla mal olmuştur ve bu teori mesafe ve zaman kavramlarında öyle kökten değişiklikler gerektirmiştir ki mesafe ve zaman sadece değişen hıza göre değil, kütleçekim alanındaki değişiklere göre de değişmekte-

dir. Özel Görelilik Teorisi olarak bilinen 1905 teorisinin aksine 1915 teorisi Genel Görelilik Teorisi olarak bilinmektedir. İsimler biraz yanıltıcı olabilir: Özel Görelilik Teorisini "özel" yapan şey basitçe, kütleçekimin olmadığı durumlarda veya uzay-zamandaki etkileri yok sayılabilecek kadar zayıf olduğunda geçerli olmasıdır.

Einstein'ın Kütleçekim Teorisi Newton'unkinden bu derece temelden farklıysa ve Einstein'ın teorisi doğru olansa o zaman neden Newton'un teorisinin yanlış olduğunu gösteren 19. yüzyılda yapılmış bir yığın saptama yoktur? Şöyle ki, düşük hızlarda ve düşük kütleçekimde Einstein'ın teorisinin tahminleri Newton'un teorisinin öngördüklerine oldukça yakındır. Bu, eski başarılı teoriyi "düzelten" herhangi yeni bir teorinin özelliğidir. Başarılı olmak için, eski teorinin deneyle test edilen hassas tahminlerde bulunması gerekirdi. Yeni bir teori, başarılı olmak için "banyo suyuyla birlikte bebeği de atmamalıdır"[8]. Eski teorinin deneyle test edildiği durumlarda, eski teorinin yaptığı tahminlerden sadece bu deneylerde fark edilmeyecek kadar küçük miktarlarda farklılık gösteren tahminlerde bulunmalıdır. Burada "düşük hız" demek, ışık hızıyla karşılaştırıldığında düşük olması ve "düşük kütleçekim" demek ise, gezegen yörüngelerinin düşük hızda olduğu kütleçekim alanı demektir. Işık hızı saniyede 300.000 kilometredir dolayısıyla (ışığın kendisi dışındaki) çoğu tanıdık olgu düşük hızda dolaşır. Düşük kütleçekimin ne olduğu fikri, görelilikte Güneş Sistemimizin tamamı düşük kütleçekimine dayanması olarak görülebilir. Göreliliği doğrulamak için deneyler yapılmıştır; fakat bu deneyler, Güneş Sisteminin düşük kütleçekim ortamında Newton'un teorisinin ve Einstein'ın teorisinin tahminleri ara-

8 Anlamın tamamını kapsamamakla birlikte Türkçedeki en yakın karşılığı "pire için yorgan yakmak"tır. (Ç.N.)

sındaki ufacık farklılıkların dikkatli ölçümünü gerektirmiştir. Bu testlerden biri aslında görelilikten önce yapılmış olan bir saptamayı içeriyordu: Merkür'ün yörüngesinin gözleminde ortaya çıkanla Newton'un teorisinin tahmini arasındaki uyuşmazlık Einstein'ın teorisinin daha hassas tahminleriyle çözülmüştür. Başka bir test, Eddington'un Güneş tutulması sırasında Güneş'in kütleçekim alanının büktüğü, küçük miktardaki yıldız ışığının ölçümünü içermiştir.

Bu etkiler o kadar küçüktür ki, genel göreliliğin günlük yaşantımıza hiçbir zaman bir etkisi olmadığını düşündürebilir; fakat bu, aramızda GPS kullanmış olan hiç kimse için geçerli değildir. Küresel Konumlandırma Sistemi (*Global Positioning System*), her birimizin kesin konumumuzu bulmak için kullanabildiği, uyduların incelikli bir dizilimidir. Her bir uydu konumunu ve sinyalin gönderilme zamanını bildiren bir radyo sinyali gönderir. En azından 4 uydudan sinyal alan GPS alıcısı, basitçe uyduların konumunu ve radyo sinyallerinin ışık hızında ilerlediği olgusunu kullanarak kendi konumunu bulabilir. Bu sistemin çalışması için uyduların yörüngelerinin son derece kesin olarak bilinmesi gerekir; öyle bir kesinlikte ki Newton'un kütleçekimi yeterli olmaz: Genel görelilik gerekir.

Kaçış hızı ışık hızına denk gelen bir cismin yarıçapıyla ilgili olarak genel görelilik bize ne söyler? Genel göreliliğin karmaşık matematiğinden kaçınmak için cevabın nasıl bulunduğunu göstermeyeceğiz. (Görelilik kavram açısından güzel, hesap açısından karmaşıktır; matematik kısmını kavramak istiyorsanız görelilikle ilgili bir metne başvurabilirsiniz.) Cevap Newton'unkiyle aynı çıkmıştır: $R = 2GM/c^2$.

Başlangıçta bu şaşırtıcı bir tesadüf gibi görünür. Ne var ki değildir, fizikte sade fakat hayati bir fikir için fazlasıyla süs-

lü bir terim olan, boyutsal çözümleme adı verilen basit fakat güçlü bir teknikten kaynaklanmaktadır. Bu fikir, bir şeyleri ölçerken her zaman ne hakkında bahsettiğinizi bilmek zorunda olmanızdır. Boyutsal çözümlemenin ana fikri, fizik formüllerindeki miktarların sadece sayılar olmadıkları, birimleri olan fiziksel nicelikleri temsil etmeleridir. Birim basitçe, söz konusu durumda 1 sayısı ile neyi kastettiğinizdir.

"Orada ne kadar var?"

"Bir"

"Bir ne?" Bu sorunun cevabı kullandığınız birimdir.

Bir cismin uzunluğunun 2 olduğunu söylemek bir anlam ifade etmez, fakat bu uzunluğun 2 metre olduğunu söylemek anlamlıdır, çünkü metre uzunluk birimidir. Benzer şekilde bir cismin hızının 2 metre olduğunu söylemek de bir anlam ifade etmez, çünkü metre hızdan ziyade uzunluk birimidir; fakat cismin hızının saniyede 2 metre olduğunu söyleyebilirsiniz. Birimler nasıl bir şeyden bahsettiğinizi söyler. Uzunluğu, uzunluk birimlerinde (metreler, feetler, kilometreler, miller, AB'ler(atomik birimler)) ölçersiniz. Ağırlığı kütle birimlerinde ölçersiniz (gramlar, kilogramlar, Güneş kütleleri) ve bunun gibi.

Nicelikleri toplayıp çıkarırken, bunu sadece aynı birimlere ait olduklarında yapabilirsiniz. Öncelikle aynı niceliği temsil ediyor olmaları gerekir. 5 metreyle 6 kilogramı toplayamazsınız; uzunluk kütleye eklenemez. 5'le 6'yı toplayıp 11 elde edebilirsiniz; fakat 11 ne? 11 tane olan nedir? Bunun anlamlı bir cevabı yoktur. 5 metreyle 6 kilogramı toplama işlemi açıkça anlamsızdır. 5 metreyle 6 kilometreyi (ikisi de uzunluk birimi olduğu için) toplayabilirsiniz, fakat öncelikle birini diğerine çevirmeniz gerekir. 5 metrenin 0,005 kilometre olduğunu söy-

leyebilir, dolayısıyla 6,005 kilometre elde edebilirsiniz veya 6 kilometrenin 6000 metre olduğunu söyleyebilir ve 6005 metre elde edebilirsiniz. İkisi de aynı anlama gelir, sadece söz konusu uzunluk birimi farklıdır.

Yinelemek gerekirse, işlemin bir anlam ifade etmesi için toplama ve çıkarma sadece aynı birimlerin nicelikleri arasında gerçekleştirilebilir.

Çarpma ve bölme böyle değildir. Farklı birimleri çarpabilir ve bölebiliriz. Bu işlemleri kullanarak yeni birimler yaratabiliriz. Örneğin, metre bir şeyin ne kadar uzun olduğu ölçüsüdür. Varsayalım uzunluğu 3 metre, genişliği 2 metre olan bir dikdörtgeniniz var ve dikdörtgenin ne kadar "büyük" olduğuna dair bir fikriniz olsun istiyorsunuz. İçgüdüsel olarak daha uzun olan dikdörtgenin genişliği aynı olan diğer dikdörtgenden daha büyük olduğunu ve benzer bir şekilde daha geniş dikdörtgenin aynı uzunluğa sahip diğerinden daha büyük olduğunu düşünürüz. Uzunluğun kendisinin dikdörtgen için mantıklı bir ölçü olmadığını da biliyoruzdur. Dikdörtgenin 3 metre olduğunu söylemeyiz çünkü bu genişliği göz ardı eder. İlk matematikçiler uzunluğu genişlikle çarpıp yeni bir birim yaratma fikrini meydana atmışlardır, şöyle ki: 3 metre x 2 metre = 6 metre x metre veya 6 metre kare. Bu dikdörtgeni, ölçüm aracı olarak küçük 1 metreye 1 metre kareler kullanarak ölçtüğümüz anlamına gelir. Elbette ki, bu yeni dikdörtgen benzer 6 metre kareden oluşmuştur.

Benzer şekilde, oranı temsil edecek yeni birimler elde etmek için farklı birimlere sahip nicelikleri bölebiliriz. Bunların arasında en aşikâr olanı hızdır. Hız, zamana bölünen mesafedir. Şöyle görülebilir: Aynı mesafeyi başka birisinin kat ettiğinin yarı zamanında kat eden birisinin iki kat hızlı koştuğu

apaçıktır. Benzer bir şekilde bu kişi aynı zamanda iki katı mesafeyi kat ettiğinde de iki katı hızlı koşuyor olur. Hızı saniyede metre gibi birimlerle ölçeriz ki, bunun anlamı gerçekten de saniyelere bölünen metrelerdir.

Her şey bir birime sahip olmak zorunda değildir. Boyutsuz sayılar (birimleri olmayan sayılar) adı verilen formüllerle ifade edilebilir. Diyelim ki, 10 metreyi 5 saniyede ve 10 metreyi 10 saniyede kat eden iki atletimiz var. Birinci atletin hızı 10/5 metre/saniye = 2 metre/saniyedir. İkinci atletinki ise 10/10 metre/saniye = 1 metre/saniyedir. Birinci atletin hızına a ve ikinci atletin hızına b dersek, o zaman $a = 2b$ olur. Bu formülde hem a hem b metre/saniye birimindedir ve 2, birimi olmayan boyutsuz sayıdır.

Yukarıdaki denklemin –aslında herhangi bir denklemin– sadece iki taraf da aynı türdeki birimlere sahip olduğunda bir anlam ifade ettiğine dikkat edin. Nasıl ki uzunlukla sıcaklığı toplamanız mümkün değilse aynı şekilde 6 metrelik uzunluğun 25 santigrat derecelik sıcaklığa denk geldiğini söyleyemezsiniz.

Schwarzschild yarıçapı formülünün ($R = 2GM/c^2$) sol tarafında uzunluk birimleri (R) olduğuna göre sağ tarafında da ($2GM/c^2$) uzunluk birimleri olması gerekir. Schwarzschild yarıçapı, M kütlesinde c hızını bastıran bir kütleçekim kuvvetine sahip cismin yarıçapı olması sebebi ile sadece kütleçekim sabiti, kütle ve ışık hızı değerlerine bağlıdır. G, M ve c'nin çarpılması veya bölünmesiyle elde edilebilecek tek uzunluk, k'nın boyutsuz sayı olduğu kGM/c^2 şeklinde olduğu ortaya çıkmıştır. K'nın hem Newton'un kütleçekiminde hem de genel görelilikte 2'ye denk gelmesi olgusu bir tesadüf olabilir; fakat formülün geri kalanı değildir. Diğer bir deyişle, iki teoride de Schwarzs-

child yarıçapını saptamak için ihtiyacımız olan nicelikler sadece G, M ve c olduğuna göre ve çarpma veya bölme sonucunda uzunluk elde edebileceğimiz tek yol GM/c^2 olduğu için formül yukarıda adı geçenlerle aynı cinstendir ve küçük bir hesaplama bizi aynı Schwarzschild yarıçapı denklemine geri getirir.

Yukarıdaki süreç görünüşte aktif katılımlı bir şey olan kütleçekim için kulağa rahatsız edici soyutlukta gelebilir; fakat hayatın diğer pek çok parçasında olduğu gibi bilimde de rahat olsun veya olmasın önemli olan neyin işlediğidir.

Her ne kadar Schwarzschild yarıçapı formülü hem Newton'un kütleçekiminde hem de genel görelilikte aynı olsa da Newton'un ve Einstein'ın evrenlerindeki çokça başka şeye pek benzer değildir. Özellikle, görelilikteki zaman kavramı alışıldık zaman kavramından ciddi bir şekilde farklıdır. Gündelik gözlemde zamanı geçmişe, şimdiye ve geleceğe böleriz ve bunları gözleme bağlı meseleler olarak düşünürüz. Gerçi, bir anlamda geçmiş saptanmıştır (hafıza araçlarıyla) ve gelecek teoriktir.

Evrendeki hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı gitmediği olgusu göreliliğin geçmiş ve gelecek kavramlarını büzdüğünü anlamak için kullanılabilir. Geçmişin prensipte geçmişte saptanabilen ve geleceğin prensipte şimdide saptanabilen şeyler olduklarını. Bir oluşum sadece daha sonraki zamanda gerçekleşiyor diye geleceğimizde olmaz, sonraki zamanda gerçekleşen ve şimdiki zamanımızdan ulaşmak için yeteri kadar yakın mesafede ve ışık hızından daha hızlı yolculuk etmeyen bir şey tarafından yerleştirilebiliyorsa olur. Diğer bir deyişle, bizi şimdi terk eden ışık (veya ışıktan daha yavaş yolculuk eden herhangi bir şey) herhangi bir şekilde herhangi bir zamandaki cisme ulaşabiliyorsa bu durumda o cisim, o zamanda bizim geleceğimizde

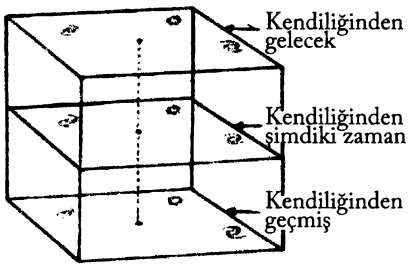
olur ve herhangi bir cismi herhangi biz zamanda terk eden ışık (veya ışıktan daha yavaş yolculuk eden herhangi bir şey), herhangi bir şekilde bize şimdi ulaşabiliyorsa bu durumda o cisim, o zamanda bizim geçmişimizde olur.

Uzay zaman grafiği çizip (dört boyutlu çizelge kâğıdından tasarruf etmek için uzayın sadece iki boyutunu belirterek) kendimizi 0,0'da 0 zamanına koyarsak Newton'un bakış açısı doğrultusunda uzay düzleminin üstündeki her şey gelecek ve altındaki her şey geçmiş olur (bkz Şekil.6a). Einstein'la pek öyle olmaz.

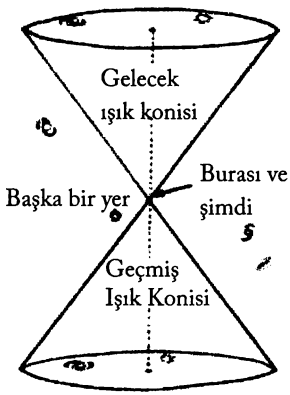
Geleceğimizin sınırına, sadece şimdiki zamanımızdan ulaşabilen ve ışık hızında yolculuk eden herhangi bir şey tarafından yerleştirilebilen oluşumlara, gelecek ışık konisi adı verilir ve geçmiş ışık konisi de buna uygun şekilde tanımlanır (bkz Şekil. 6b). Şekilde bölgelerin koniye benzemesinin nedeni, zaman boyutunda yer kalması için uzayın üç boyutundan sadece ikisini dâhil etmemizdir. Ne geçmiş ne de gelecek olan oluşumlara, bize göre uzay zamanın ötesinde kalan denir. Örneğin, an itibarıyla Ay'da gerçekleşen olay bize göre uzay zamanın ötesindedir; fakat ışığın Ay'dan bize ulaşması bir saniyeden biraz fazla sürdüğü için beş dakika sonra geçmişimizdedir.

Çok sayıda farklı zamanlarda uzay zamanın ötesinde kalan oluşumlardan o kadar çoktur ki, onları "şimdiki zaman" olarak adlandırmak istemeyiz. Einstein, "aynı zamanda" kavramının gözlemcinin hareketine göre değiştiğini ve uzay zamanın ötesinde kalan herhangi iki olayın aynı zamanda gerçekleştiğini düşünen bir gözlemci olduğunu göstermiştir. Diğer bir deyişle, konumu, hızı ve yolculuk istikameti gereği, gözlemciye göre, uzay zamanın dışında kalan herhangi iki oluşumun eşzamanlı olarak gerçekleşiyor göründüğü bir gözlemciyi farz etmek

a. Newtoncu uzay ve zaman



b. Işık konisi



Şekil 6a ve b

mümkündür. Bunun anlamı görelilikte belirli bir gözlemcinin şimdiki zamanını kastettiği durumlar dışında "şimdiki zaman"ın kullanışlı bir kavram olmadığıdır. (Bu nedenle, önceki paragrafta "an itibarı ile" Ay'da gerçekleşen bir olayla ilgili söylediklerimiz "bizim tarafımızdan gözlemlenen an itibarı ile" olarak düşünülmelidir.) Buna karşın, burada söz konusu olan geçmiş ve gelecekle ilgili görüşler herhangi bir gözlemciden bağımsızdır, çünkü daha önce gerçekleşenlerle daha sonra gelecek olanlar, ışık hızından daha yavaş hareket eden cisim için hangi hareketlerin mümkün olduğuna bağlıdır.

Görelilik, algılanan evrenle olgu evreni arasındaki farka, şimdi ve burada kadar sezgisel bir şeyin aslında temel kavrayışlarımızdan bütünüyle farklı olabildiğine dair fikir vermektedir. Bu bilimin gerekliliğinin başka bir parçasıdır, çünkü görünür olanla görülmesi gerekenin birbirleriyle önemli küçük bağlantıları vardır.

Sıradan zaman kavramı, görelilikte pek çok başka darbe alır. Einstein, ikiz paradoksu olarak tanınan bir şey hayal etmiştir. Birinin Dünya'da kaldığı, diğerinin uzayda yüksek hızlı bir yolculuğa çıkıp daha sonra Dünya'ya döndüğü tek yumurta ikizlerini farz edin. Einstein Dünya'da kalan ikizin sadece alışılagelmiş biyolojik yaşlanma sürecinde değil saatte geçen süre miktarında da kardeşinden daha fazla yaşlanacağını göstermiştir.

Zamanın göreli hıza bağlı olarak değiştiği olgusu ikiz paradoksunda kritiktir ve özel zaman kavramına götürür. Her bir gözlemcinin zaman ölçümü bir diğerinden farklı olmakla beraber birbirlerine yakın olmaları ve aynı hızda aynı yöne doğru hareket etmeleri durumunda zamanlar aynı olacaktır. Bu aynı gezegen üzerinde duran büyük sayıda insan için geçerlidir, örneğin. Hepsi yaklaşık olarak aynı hızda hareket eder ve yaklaşık olarak aynı kütleçekimi deneyimler. Evrendeki her bir şeyin farklı zaman ölçü birimlerinde koşuyor olgusuna rağmen, çoğu insanın söyleyebileceği kadarıyla zaman aynıdır. Çünkü bütün gözlemciler (geniş bir perspektiften bakarsak) aynı hareketin etkisindeki bir yerden kayıt tutmuşlardır, hepsi etkin olarak aynı gözlemcidir. Altı milyarız ve göreliliğin ilgilendiği kadarıyla, aramızda beş kuruşluk bir fark yoktur.

Doğru zaman aslında belirli bir gözlemcinin yerel zamanıdır, o gözlemcinin kol saatinde belli bir yolu takip ederek geçen zamandır. Genel görelilikte uzaydaki her bir noktada ve zamandaki her anda ışık konilerini saptamamıza olanak tanıyan (metrik adı verilen) bir formüle sahip olmak zorundayız; bu da her bir yol için onun özel zamanını hesaplama olanağı tanımaktadır (böylelikle bir kişinin zamanı ile başka bir kişinin zamanı ilişkilendirilebilir). Bu nedenle genel görelilik uzay-zaman adı verilen, uzay ve zamanı birleştiren bir teoridir.

Görelilik, kütleçekim alanında cismin azami özel zaman yolu boyunca ilerlediği kavramının eklenmesiyle kütleçekim teorisine dönüşür. Gözlemci için bunun anlamı yüksek kütleçekimin, zamanı ve mesafeyi göreli zamanın etkilediği kadar etkilemesidir (gerçi daha karmaşık hesaplamalar gerektirir). Görelilikte kütleçekim sadece maddenin bir özelliği değildir, evrenin kendini biçimlendirmesidir. (İleride bununla biraz daha detaylı şekilde ilgileneceğiz.)

Einstein'ın Genel Görelilik Teorisi özetle budur. Metriğin hesaplanmasına olanak tanıyan Einstein'ın alan denklemleri ve metriklerin bu yöntemle bulunan özellikleri gibi birkaç şeyi atladık. Diğer bir deyişle, bilim insanlarının genel göreliliği araştırırken ihtiyaç duydukları matematik ve teorik aygıtı atlamış olduk. Bu bizi bilimi öğrenmede kritik meselelerden birine getirir. Bilim insanları kendi bilgi alanlarını, bu alanları genişletmeye olanak tanıyacak şekilde anlamak zorundadırlar. Bilimi anlamaya çalışan okurlar ise (kendi uzmanlık alanı dışındaki başka alanları anlamaya çalışan bilim insanları da dâhildir buna) onu kavramak için nasıl çalıştığına dair önemsiz ayrıntıları bilmek zorunda değildirler. Otomobil tamircisi ile sürücü arasındaki farka benzer bu. Sürücünün bir şeyin ne zaman çalıştığını bilmesi gerekir, fakat tam olarak neyin ters gittiğini bilmesi gerekmez. Diğer taraftan otomobil tamircisinin işi ne zaman bozacağını, İngiliz anahtarını ne zaman fırlatacağını bilmesi gerekir. Einstein muhtemelen en iyi İngiliz anahtarı fırlatıcısıydı. Otomobili parçalarına ayırmış, birkaç el yapımı parça eklemiş ve Newton'un Stanley Steamer'ını, en ağır parçalara ve havalı siyah kaportaya sahip olmasına rağmen mümkün olabilen en yüksek hızda işleyen bir yarış otomobiline dönüştürmüştür.

Bu eğretilemeyi zorlamak bizi havalı karadeliklerimize geri getirir.

5. Bölüm

Görelilikte Karadelikler

Yüksek hız ve yüksek kütleçekim, göreliliğin önemli hale geldiği şartlar, belli ki karadeliklerde mevcuttur: Yüksek hızlar, ışık hızı bile onlardan kaçmak için yeterli olmadığı için, yüksek kütleçekim ise bariz sebeplerden dolayı önemlidir. Bu nedenle karadeliklerle ilk defa Newton'cu teoride karşılaşmış olmamıza rağmen onları anlamak için göreliliğe ihtiyacımız vardır. Mitchell ve Laplace Newton'cu anlayışlarında bir cisim (daha sonra adlandırıldığı üzere) Schwarzschild yarıçapından küçük olduğunda özelliklerinin ne olacağını sormuşlardır. Yıldızın Schwarzschild yarıçapından daha küçük belirli bir yarıçapta var olmasının mümkün olacağı, fakat böylesi bir yıldızdan yayılan herhangi ışığı göremeyeceğimiz sonucuna varmışlardır; çünkü yayılan her türlü ışık görülmek üzere kaçamadan er geç yıldıza geri düşecektir. Böylesi kara yıldızlar sadece kütleçekimsel etkileri dolayısıyla bilinebilirler.

Genel görelilikte, ışık konileri güçlü kütleçekim alanına sahip bir cismin varlığında içe doğru "eğilirler". Schwarzs-

child yarıçapında içe doğru o kadar eğilmişlerdir ki, geleceğe uzanan bütün yönler azalan bir yarıçapa doğrudur, dolayısıyla maddesel bütün cisimler içe doğru hareket eder. Tam olarak Schwarzschild yarıçapında olan ışınların çoğu da içe doğru hareket eder. Sadece tam olarak Schwarzschild yarıçapında olan ve yıldızdan "dışa" doğru yönelen ışınlar içeri düşmez. Diğer bir deyişle, tam olarak Schwarzschild yarıçapında olan ve karadeliğin merkezinden doğrudan dışa doğru yol alan ışık parçacığı kaçmaz veya içeri düşmez; fakat Schwarzschild yarıçapında veya onun altındaki her şey içeri düşer. Bu tek fotonun kaderi, bununla birlikte oldukça tuhaftır. Herhangi bir şeyin gidebileceği en yüksek hızda gidip hiç yere varamadan sonsuza kadar Schwarzschild yarıçapında kalır. *Aynanın İçinden*'de Kızıl Kraliçe, Alis'e Ayna-Dünya'da aynı yerde kalmak isteyen birinin koşabileceği kadar hızlı koşması gerektiğini, bir yere varmak içinse bunun iki katı hızlı koşması gerektiğini söylemiştir. Maalesef ki, tam olarak bu mesafedeki fotonun ışık hızının iki katı hızda koşması imkânsızdır, aynanın hangi tarafında olursa olsun.

Schwarzschild yarıçapının içinde her şey merkeze doğru düşer, çünkü olduğun yerde kalabilmek için bile ışık hızından daha hızlı hareket etmek gerekir. Genel görelilik dilinde, geleceğe uzanan bütün yönler azalan bir yarıçapa doğrudur. Cisim, artık karadelikten kaçamadığı, hatta merkeze doğru hareketini durduramadığı gibi zamanda da geri gidemez. Bir yıldız kütlesi Schwarzschild yarıçapının içinde konumlanacak kadar küçülürse, bu yıldızın bütün parçacıkları içe doğru düşmeye devam edecektir, bu nedenle yıldızın tamamı merkezindeki noktaya kadar aşağıya çökmek zorundadır. Bu bütünüyle çökmüş cisme karadelik, noktaya ise tekillik denir. Tekillikteki kütleçekim o

kadar güçlüdür ki genel görelilik bile onu tanımlayamaz; bunun yerine genel görelilikle kuantum mekaniğinin bir nevi karışımına ihtiyaç duyulur: Kütleçekimin kuantum teorisi (hâlâ yapım aşamasında).

Fizikçiler merkez noktasının etrafındaki Schwarzschild yarıçapına denk yarıçapa sahip küreye karadeliğin olay ufku adını verir. Olay ufkunun içinde kalan her şeyi karadeliğin içi ve olay ufkunun dışında kalan her şeyi karadeliğin dışı olarak adlandırırlar. Bu cisimlerden gelen sinyaller bize ulaşabildiği için karadeliğin dışındaki her şey saptanan evrene aittir. Peki, içi söz konusu olduğunda? O da saptanan evrenin bir parçası mıdır, değilse, saptanamayan bir şeyi kavrayabilmek için ne yapabiliriz?

Karadeliğin içindeki bir olayı ancak herhangi bir sinyal dışarı çıkıp bize ulaşabildiği zaman saptayabiliriz. Genel Göreliliğe göre böylesi bir sinyalin kaçabilmek için ışıktan daha hızlı hareket ediyor olması gerekir. Genel görelilik hiçbir şeyin bunu yapamayacağını söyler, dolayısıyla dışarıda kaldığımız sürece içerisi dolaysız olarak saptanabilir değildir. (Kütleçekim kuantum teorisinin de içerisinin saptanamaz olduğunu söyleyip söylemeyeceğini bekleyip göreceğiz.)

Bu Güneş'in fotosferinde karşılaştığımız zorluğun daha aşırı çeşitlemesidir. Işık bize fotosferden gelmektedir bu da bize Güneş'in bu dış katmanı ile ilgili dolaysız bilgi vermekle birlikte onun altındaki katmanlara dair bilgi vermez. Bununla birlikte Güneş vakasında alt katmanlar, yayılan ışığı etkilediği için bu ışıktan alt katmanlara dair dolaylı bilginin yanı sıra, Güneş'in merkezinden gelen nötrinolar gibi ışık dışındaki diğer şeylere dair dolaysız bilgiyi de elde edebiliriz.

Karadelikler vakasında, bilginin engellenmesi mutlaktır. Genel göreliliğe göre, hiçbir cisim ve bilgi içeriden dışarıya ge-

çemez. Biz dışarıda olduğumuz sürece, içerisi bütünüyle bilinmez kalmak zorundadır. Bu nedenle karadeliğin içi saptanan evrenin bir parçası değildir. Evrenin kendisi bir çizgi çeker ve "Buradan ötesini göremezsin" der.

Bununla birlikte, karadeliklerin içi teorik evrenin bir parçasıdır. Genel göreliliğin geçerli olduğuna inanmak için sebebimiz olduğuna göre, onun karadeliklerin içi üzerine sağladığı cevaplara inanmak için de sebebimiz vardır. Ne var ki, dışında kaldığımız sürece bu cevapları kontrol edebilmek için hiçbir zaman saptamaları kullanamayacağız. Bundan başka, teorik evrende bile karadeliğin dışıyla içi arasında keskin bir bölünme vardır. Hiçbir şey ve hiçbir etki karadelikten kaçamayacağına göre, karadeliğin dışında olanlara dair hiçbir teorik tahmin karadeliğin içinde olanlara herhangi bir şekilde bağlı değildir. Bu nedenle dışıyla ilgili yaptığımız teorilerde, içini bütünüyle yok sayabiliriz.

İçerisi bize yasaksa, bilim yöntemlerini karadeliklere uygulamamız da mı yasak? Bu durum sinir bozucu olmaz mıydı? Ortada geçekten büyüleyici bir cisim var ve onunla hiçbir şey yapamıyoruz. Aslında bir nevi yapabiliyoruz. karadeliğin dışı hâlâ saptanan evrenin bir parçasıdır ve karadeliğin doğası hâlâ teorik evrenin bir parçasıdır. Bunun anlamı dışı ile ilgilenebileceğimizdir. Olay ufku ve dışı ile ilgili teoriler üretebiliriz. Ne var ki, bunun Twain'in şikâyetçi olduğu gibi spekülasyon değil de *bilim* olabilmesi için, karadeliklerin aynı zamanda saptayabildiğimiz şeyler olmaları gerekir. Bunları fiili olarak laboratuvarımıza sokmadan, bu Güneş Sistemimizdeki her şey için sıkıntılı sonuçlar doğuracaktır, teorik olmaktan çıkarmamız gerekir.

O zaman, gelin en baştan başlayalım. Bu sefer karadeliklerin teorisinden değil, onların nereden geldiğiyle ilgili teori-

den. Teori, bir cismin kendi Schwarzschild yarıçapından daha küçük hale geldiğinde, karadelik oluşturmak üzere çökeceğini belirtir. Peki, herhangi bir cisim gerçekten bunu yapar mı? Öncelikle bu soruyu yıldızlar açısından ele alacağız. Bir yıldız hiç çöküp de karadelik oluşturur mu? Tek bir sebepten dolayı yıldızlarla başlıyoruz: Güneş, Güneş Sistemimizdeki en yüksek kütleçekime sahip en büyük cisimdir ve daha sonra açıklayacağımız sebeplerden dolayı yıldızlar Güneş'e benzer cisimler olarak tanımlanabilir.

İlk bakışta bir yıldızın karadeliğe dönüşecek kadar küçülmesi pek mümkün görünmüyor. Tipik bir yıldız olan Güneş'in yarıçapı yaklaşık 7×10^5 (700.000) kilometre, Schwarzschild yarıçapı ise sadece yaklaşık 3 kilometredir. O zaman Güneş'in karadelik olması için yarıçapının, şimdiki yarıçapının yaklaşık 1/200.000'i kadar olması gerekecektir. Durum yoğunluk açısından ele alındığında daha da aşırı bir hale gelir. Güneş'in yoğunluğu suyun yoğunluğuna yakındır. Ne var ki Güneş, Schwarzschild yarıçapına kadar ufaldığında, yoğunluk değeri 10^{16} kat daha fazla olacaktır. Bu bir atomun çekirdeğinin yoğunluğundan bile fazladır. Böylesi büyük sayılarla karşılaştığımızda böylesi bir kütleçekimsel çökmenin gerçekleşmeyeceğini varsaymak doğaldır.

Ne var ki, bir yıldız çökebilir mi sorusunu, bir yıldızı kendi kütleçekim kuvveti altında çökmekten alıkoyan nedir olarak tersine çevirdiğimizde durum değişir. Güneş'in hidrostatik dengeye sahip olduğunu hatırlayın; Güneş'i çökertmeye uğraşıp kütleçekimle genişletmeye çalışan basınç arasında bir denge vardır. Böylelikle Güneş, basınç üreterek çöküşü erteler.

Güneş basıncını nasıl üretir? Yakıtı "yakarak". Sıcak gazın (veya bu durumda sıcak plazmanın) basıncı vardır ve ne kadar

sıcaksa basınç o kadar fazladır. Bu açıdan baktığımızda Güneş, çöküşten kaçınmak için kendini yakmaktadır. O da aynı yerde kalabilmek için var gücüyle koşmaktadır; fakat bu erteleme yöntemi sonsuza kadar işe yaramaz. Bir yıldız er geç bütün yakıtını tüketerek, basıncı sürdürebilme yeteneğini kaybetmek zorundadır. Yakılan yakıtın kalıntıları, Güneş'in bir parçası olmaya devam ettiği için yakıtın tükenmesine karşın kütleçekim değişmeden kalmaktadır. Aslında, Güneş füzyonu hiçbir zaman yorulmayan, amansız ve güç ihtiyaçlarına kayıtsız bir rakip olan kütleçekime karşı yarışmaktadır. Böylesi bir yarışta yorulabilen yarışçı er geç tükenecek ve yorulmak bilmeyen rakip kazanacaktır.

O zaman yıldızın kaçınılmaz olarak karadeliği oluşturacağı görülür. Bu mantık doğrultusunda güç kaynağı olmayan bütün cisimler karadeliğe dönüşür. Dünya da karadeliğe dönüşecektir. Ne var ki, Dünya başka, yakıt temelli olmayan, kabuğun sertliği ve mantonun hidrostatik basıncı gibi onu çökmekten alıkoyan basınç güçleri vardır. Böylece "Bir yıldızın yakıtı tükendikten sonra, varsa, ne tür bir basınç kaynağı olacaktır?" sorusunu sormaya yöneliriz. Diğer bir deyişle, yanma basıncı yok olduğunda çökmeyi ertelemeye devam edecek herhangi bir şey var mıdır?

Başlangıçta katı veya sıvı maddedeki atomlar arasındaki sıradan kimyasal güçler işi görebilir tahmininde bulunabiliriz. Bu güçler çekici olma eğilimine sahiptirler, atomlar belli bir yoğunluğa ulaşıp birbirlerini iterek daha fazla sıkıştırmaya karşı koyana kadar onları birbirlerine çekerler. Elektromanyetizmanın kütleçekimden daha güçlü olduğunu biliyoruz, dolayısıyla yakıt bittikten sonra bile basıncı sürdürecek bir aday olduğunu düşünebiliriz. Bu nedenle yakıtı biten yıldızın ba-

sitçe katı veya sıvıya dönüşeceği ve böylesi maddelerin sıradan basıncının kütleçekimi dengelemekte yeterli olacağı tahmininde bulunabiliriz. Bu, hidrostatik dengede olup basıncını üretmek için hiçbir yakıt tüketmeyen Dünya'da olur. Oysaki Güneş Dünya'dan çok daha büyüktür ve Güneş'teki kütleçekim çok daha güçlüdür. Dünya'nın kütleçekimini dengeleyen cılız kimyasal güçler, Güneş'in kütlesinin ürettiği kütleçekim için de aynısını yapamayacak kadar zayıflıtırlar. Güneş'in malzemesi sıradan katı ve sıvı maddelerin ötesindeki yoğunluklara kadar sıkıştırıldığında bile plazma olarak kalmaya devam eder.

Peki ya yıldızın başka basınç kaynakları varsa? Dejenere basınç adında bir şey vardır ve kuantum mekaniğinin iki özelliğiyle ilgilidir: Belirsizlik İlkesi ve Pauli Dışarlama İlkesi. Werner Heisenberg (1901–1976) tarafından formülleştirilen Belirsizlik İlkesi, kuantum mekaniğinin öcüsü ve bu incelikli fizik alanının yanlış anlaşılmasının ana kaynağıdır. Aynı zamanda, Kuantum Teorisinin kıyafetlerine bürünmüş çeşitli sahte bilimlerin yaratılmasında sömürülmüştür. Belirsizlik İlkesi genellikle açıklandığı üzere, bir parçacığın konum ölçümü ne kadar kesin yapılırsa hız ölçümünün o derece kesin olamayacağını ve bunun tersi için de geçerli olduğunu belirtir. Diğer bir deyişle, bir cismin konumu ve hızıyla ilgili ölçümündeki kesinlikte temel bir sınır vardır. Belirsizlik İlkesinin arkasındaki nedenlerle burada ilgilenmek, işe bakın ki, fazlasıyla zaman ve yer alacaktır; fakat gözleme bir sınır koyuyor olmakla birlikte kendisinin deneysel olarak doğrulanabildiğini söylememiz yeterli olacaktır. Diğer bir deyişle, belirsizlik sadece teorik evrenin bir parçası değildir; saptamayı tanımlama sürecinde, kendi kendine saptanabilir.

Amaçlarımız için, Belirsizlik İlkesini yeniden ifade edip küçük boyutlu cisimlerin her zaman hareket halinde oldukları-

nı dile getireceğiz. Cisimler ne kadar küçük bir uzayda hapsedilmişlerse o kadar hızlı hareket ederler. Bir parçacığı gerçekten küçük bir kutuda sıkıştırırsanız, o kutunun her yerine uçacaktır. Hapsedilen hızlı parçacıklar onlara temas eden her şeyi ittiklerine göre, basınç yaratırlar. Bundan dolayı yeteri kadar küçük ölçekte belirsizlik tek başına bir basınç yaratmaktadır.

Pauli Dışarlama İlkesi, elektronların kuantum durumlarının enerji düzeyleriyle ilgilidir (atom bağlamında son adımda ele alınmıştır). Daha önce de söylediğimiz gibi, atomun içinde olsun veya olmasın, elektronlar sadece belirli kuantum durumlara sahip olabilirler. Pauli Dışarlama İlkesi her bir durumu sadece bir elektronun kaplayabileceğini belirtir. Söz konusu enerjinin bütün durumları dolmuşsa, bir sonraki elektronun yüksek enerji durumuna geçmesi gerekir.

Bu iki ilkeyle birlikte, belirli sayıda elektronu alıp onları daha küçük bir yere sıkıştırmaya çalışırsak kaplamaya zorlandıkları yüksek enerji düzeylerinden dolayı onlara daha fazla enerji vermemiz gerektiğini söyler. Bunun anlamı, sıcaklığı ne olursa olsun, elektron gazının sıkıştırılmaya direneceğidir çünkü onu sıkıştırmaya devam edebilmek için gittikçe daha çok enerji vermeniz gerekeceğidir (elektronlar izin verilen düşük durumları kapladıklarına göre, belirsizlik ilkesi doğrultusunda, elektronların hapsedildikleri uzay küçüldükçe hızları dolayısıyla izin verilen her bir durumun enerjisi de artar). Diğer bir deyişle, elektron gazı basınca sahiptir, sıcak olmadığı zamanlarda bile. Bu basınca, dejenere (yozlaşmış) basınç denir.

Bu basıncın elektronların birbirlerini elektrik gücüyle geri itmelerinden kaynaklandığını düşünebilirsiniz. Ancak bu, o durum değildir. Yıldızlardaki elektronlar eşit sayıda protonla birlikte plazma halindedirler, bundan dolayı toplam elektrik

yükü sıfırdır. Elektronlarla elektronlar (ve protonlarla protonlar) arasındaki itme, elektronlar ve protonlar arasındaki çekim sebebiyle tamamen iptal olmuştur. Yine de dejenere basınç hâlâ mevcuttur. Ayrıca, yüksüz nötrinoların bile dejenere basıncı vardır, çünkü onlar da belirsizlik ilkesi ve dışlama ilkesi tarafından idare edilmektedirler.

Plazma, proton ve elektronlara sahiptir dolayısıyla bir yıldızın protonlarının dejenere basıncına da sahip olmalıdır. Bununla birlikte, proton elektrondan yaklaşık 2000 kere daha büyüktür ve diğer her şey eşit olduğunda parçacığın kütlesi büyüdükçe çakışık basınç küçülür. Yıldızlar hem elektronların dejenere basıncına hem de protonların dejenere basıncına sahiplerdir; fakat protonların dejenere kuvveti göz ardı edilebilir.

Artık füzyonun işe yaramadığı fakat elektronların dejenere basıncı sayesinde çökmekten alıkonan yıldıza beyaz cüce adı verilir. Elektronların dejenere basıncının kütleçekimin etkisini yok edebilecek güce sahip olabilmesi için yıldız, çok yüksek yoğunluğa sıkışmak zorundadır; fakat bu yüksek yoğunluk karadelik olmak gerekli olan yoğunluğa yakın bile değildir. Tipik bir beyaz cüce yaklaşık olarak Güneş'in kütlesine ve yaklaşık olarak Dünya'nın boyutuna sahiptir.

Butün yıldızların yakıtlarını tükettiklerinde beyaz cücelere dönüştüklerini sanabiliriz. Ancak, 1930'larda astrofizikçi Subrahmanyan Chandrasekhar durumun böyle olmadığını göstermiştir. Hindistan'da doğup İngiltere'de eğitim almış olmasına rağmen, Chandrasekhar meslek hayatının büyük bir kısmını Birleşik Devletler'de geçirmiştir. Teorik astrofiziğe pek çok katkısı olmuştur, fakat en çok beyaz cüceler üzerine çalışmalarıyla tanınmıştır. Fizik alanında ansiklopedik bilgiye sahip olan ve en zor hesaplamalardan bile korkmayan Chandra (iş

arkadaşları onu bu isimle tanırdı) 1995'te, 84 yaşında hayatını kaybedene kadar astrofizik ve genel görelilikteki temel sorunlar üzerinde çalışmıştır. *Karadeliklerin Matematik Teorisi* (*The Mathematical Theory of Black Holes*) adlı kitabındaki formüllerden bazıları bir sayfadan daha uzunlardır. Hesaplamalar yaparken sıklıkla kâğıdı yan kullanmaktaydı çünkü sayfanın normal genişliği yazmak istediği formüller için yeterli gelmemekteydi.

Chandrasekhar kütleçekim ile basınç arasındaki çekişmeyi dikkate almış ve üzerinde çalışmıştır. Onun yaptığı gibi, yıldızın sahip olduğu dejenere basıncın kimi zaman kütleçekimi dengelemek için fazla küçük olduğunu farz edin. O zaman yıldız, kütleçekim kuvveti altında büzülür ve dejenere basınç güçlenir (daha küçük kutu, daha hızlı hareket, daha çok enerji). Yıldızın er geç kütleçekimi dengelemeye yetecek kadar büzüleceği düşünülebilir. Ne var ki, yıldız büzüldüğüne göre, parçaları daha önce olduklarından daha yakın hale gelmişlerdir. Newton'un kütleçekim formülünde bunun anlamı, yıldızı büzen kütleçekim kuvvetinin daha güçlü olduğudur. Diğer bir deyişle, yıldız büzüldükçe karşıt kuvvetlerin, kütleçekim ve basıncın, her biri güçlenir.

Bu sürecin herhangi bir noktasında bu kuvvetlerin dengeye sahip olup olmayacakları açık değildir. Bu soruyu cevaplamak için, Chandrasekhar hidrostatik denge denklemini ve elektron gazının çakışık basıncına ait denklemi kullanarak ayrıntılı hesaplama yapmıştır. Bu hesaplamaların sonucu beyaz cüce yıldız için azami bir kütlenin varolması gerektiğidir. Bu azami kütle, şimdilerde Chandrasekhar sınırı olarak bilinir ve yaklaşık olarak 1,4 güneş kütlesindedir. Kütle, Chandrasekhar sınırından fazlaysa basınç hiçbir zaman kütleçekime direnecek kadar güçlü olmaz. Bir beyaz cüce Chandrasekhar sınırının altındaki

bir kütleye sahip olabilir, fakat hiçbir beyaz cüce Chandrasekhar sınırının üstünde bir kütleye sahip olamaz.

Şu anda yıldız için iki olası nihai durumun olduğunu sanabiliriz. Yolculuğa Chandrasekhar sınırının altında bir kütleyle başlayan bir yıldız sonunda beyaz cüce olurken, Chandrasekhar sınırının üstünde bir kütleyle başlayan yıldız karadeliğe dönüşür. Ne var ki, bu tahmin üç komplikasyon sebebiyle tam olarak doğru değildir: Biri gündelik Güneş olgusu, yıldızın kütle kaybı; biri olağanüstü dramatik yıldız olayı, süpernova patlamaları; biri de üzerinden geçerken bahsettiğimiz kuantum süreci: nötron dejenere basıncı.

Bunlardan ilki, yıldızın kütle kaybı, basit saptanabilir bir olgudur. Güneş'in kütlesini, Güneş rüzgârı olarak dış katmanlarından attığını hatırlayın. Şimdiki haliyle Güneş için bu kütle kaybı göz ardı edilebilir. Ne var ki, yaşamlarının daha sonraki aşamasında olan yıldızlar çok daha hızlı bir oranda kütle atarlar, bundan dolayı yolculuğa Chandrasekhar sınırının üstünde başlayan yıldızlar, sonunda Chandrasekhar sınırının altına düşüp beyaz cüce olmaya yetecek miktarda maddeyi atabilir.

Süpernovalar ender olmakla birlikte yüzyıllar boyunca kaydedilmiş yıldız olaylarıdır. Bir süpernova, gece gökyüzünü bir süreliğine aydınlatabilir, kendi sahne ışığını üreterek diğer bütün yıldızları gölgede bırakan bir assolist gibi. Süpernovayı anlamak için, yakıtını tükettiğinde beyaz cüce olamayacak kadar büyük bir yıldıza neler olduğunu biraz daha ayrıntılı incelememiz gerekmektedir. Bu şartlar altında yıldızın iki parçadan oluştuğunu düşünmek yardımcı olur: Yıldızın merkez bölgesi olan oldukça yoğun bir "çekirdek" ve yıldızın geri kalanını içeren daha az yoğun bir "kılıf". Bu daha önce kullandıklarımızdan daha basit bir Güneş modelidir, yine de bu amaçlar

doğrultusunda gayet iyi işler. Bu aynı zamanda bilimin bir ilkesidir: İhtiyacınız yoksa daha karmaşık bir model kullanmayın. Newton'un Hareket Yasaları çoğu zaman doğru işler; bir arabanın ne kadar hızlı gittiğini hesaplamak için diferansiyel geometriye ihtiyacımız yoktur. Benzer bir şekilde, patladığında neler olacağını saptamak için bir yıldızın bütün katmanlarını tam olarak bilmemize gerek yoktur.

Yakıtının büyük bir kısmını tüketmiş olan yıldız Chandrasekhar sınırına ulaştığında çekirdeğin özü ve dejenere elektronlar çöker. Çökme sürecinde elektronlar, nötron ve nötrino oluşturmak için protonlarla birleşir. Geriye kalan, nötrinolardan oluşan özü ve çok büyük enerji salımıdır. Bu enerji aslen yukarıdaki süreçte oluşan nötrinolar tarafından taşınır, fakat bu nötrinoların çoğu emilerek, onlardan daha sık etkileşen enerji biçimlerini üretir; bundan dolayı, kayıtsız parçacıkların neşeli aktarımı yerine, enerji yıldızın kılıfına süpernova adı taşıyan devasa patlamayla taşınır. Kılıfın büyük bir kısmı bu patlamayla atılır ve geriye kalan korla birleşmek üzere geri düşer. Bu nedenle bir süpernova, iki sürecin bütünleşmesidir: Özün kütleçekimsel çöküşü ve kılıfın patlayarak atılması. Bu durumda öz, atom çekirdeği yoğunluğuna sahip oldukça yoğun nötron topluluğudur. Bu genellikle Güneş'ten çok daha ağır fakat çevresi büyükçe bir şehirden daha küçük bir cisimdir. Bu cisme nötron yıldız adı verilir.

Bir nötron yıldızı kendi muazzam kütleçekimi altında çökmekten ne alıkoyar? Nötron dejenere basıncı. Bunun üzerinden daha önce geçmiştik çünkü çok sayıda elektronun varlığında (beyaz cücelerde olduğu gibi), elektron dejenere basıncı nötron çakışık basıncından çok daha güçlüdür. Nötron yıldızları, nötronlardan oluşur ve onların çökmesini engelleyen

tek şey nötronun dejenere basıncıdır. Bununla birlikte, nasıl ki elektron dejenere basıncıyla desteklenen bir yıldız için azami bir kütle varsa, nötron dejenere basıncıyla desteklenen bir yıldız için de azami bir kütle vardır.

Nötron yıldızının azami kütlesi için gereken hesaplama, beyaz cüce için gerekenlerden daha karışıktır çünkü yeğin kuvveti de hesaba katmak gerekir. Nötron yıldızını, nötronlardan oluşan bir gaz olarak görmek tam olarak doğru değildir. Kütleçekim kuvveti ile bir arada tutulan devasa bir çekirdek olarak düşünülebilir fakat yeğin kuvvet, her bir nötronun yakınındaki nötronlarla etkileşimi için hâlâ önemlidir. Nötron yıldızı yoğunluklarındaki bu etkileşimlerin ayrıntıları, yeğin kuvvet teorisiyle hesaplamalar yapmamızın şu anda incelemek istemediğimiz karışıklıklarla karşılaşmamıza neden olacağı için bütünüyle bilinmemektedir. Bununla birlikte yeğin kuvvet hakkında, hem yeğin kuvvet teorisi hem de nükleer tepkime deneyleri yoluyla elde edilen bilgiler, nötron yıldızının azami kütlesi hakkında tahminde bulunmak için yeterlidir. İleride daha iyi bir anlayış geliştiğinde bunların tekrar elden geçirilmesi gerekebilir, yine de kabaca doğru sayılabilirler. Bu hesaplamalar nötron yıldızın muhtemel azami kütlesini yaklaşık 2 güneş kütlesi olarak vermektedir. Unutmayın ki, bu yıldızın başlangıç kütlesi değildir, yıldız kütlesi kaybından ve süpernovada fazla miktarda kılıfın atılmasından sonra geriye kalandır.

Şu anda, karadeliklerin yıldızlar tarafından oluşturup oluşturulamayacağına, en azından teorik bir cevap verebilecek konumdayız. Başlangıç nötron özü ile, kılıfın atılmayan kısmının toplamının azami nötron yıldızı kütlesinden daha büyük olduğu süpernova patlamasına maruz kalan kütlesi yeterince büyük bir yıldız düşünün. Böylesi bir yıldız, tam kütleçekim

çöküşüne maruz kalır ve karadeliğe dönüşür. Bunu ters çevirdiğimizde elimizde karadeliklerin nereden geldiğine dair bir açıklama olur. Bir yıldız yeterli kütleye sahip olduğunda ve çöküş süpernovaya dönüştüğünde de yeterli kütleye sahip olmaya devam ederse, o zaman (teoride) karadeliğe dönüşecektir.

Böylelikle bir yıldız için elimizde üç olası son durum vardır: Beyaz cüce, nötron yıldızı veya karadelik. Bunlardan hangisinin gerçekleşeceği yıldızın başlangıçtaki kütlesine bağlıdır; en hafif yıldızlar beyaz cüce, ortalama kütleye sahip olanlar nötron yıldızı olurken, en ağır olanlar karadelik olurlar.

Yıldızların sadece ölümleri ile ilgili konuşmak haksızlık olarak değerlendirilebilir (özellikle yaşamlarımız belirli bir tanesinin yaşamına bağlıyken), bundan dolayı adalet, hayırseverlik ve fazlasıyla marazi bir evren görüşünden kaçınmak adına gelin onların tüm yaşamlarına göz atalım, ne dersiniz?

6. Bölüm

Yıldızların Yaşamı

Bir yıldız, kendi kütleçekimi altında içe doğru çöken, ağırlıklı olarak hidrojen ve helyum gazlarından meydana gelen bir bulut olarak başlar. Gazlar bir araya geldikçe bulut, Kelvin-Helmholtz mekanizması sonucunda daha sıcak hale gelir. Er ya da geç buluttaki atomlar, hidrojenin nükleer füzyonunu başlatacak kadar sıcak (aynı zamanda yeteri kadar hızlı) hale gelirler, bu süreç bulutun ısısını arttırarak, ta ki bulutun büyük bir bölümü birleşerek yıldızı oluşturana kadar, füzyonu daha da fazla ateşler. Yıldız yaşamının bu evresinde, belirttiğimiz üzere, düzenli bir şekilde enerji yayar, böylelikle yıldızın etrafında oluşan gezegenler varsa, bu gezegenler, gezegendeki meteorolojik ve kimyasal süreçlere faydası olabilecek sürekli bir Güneş enerjisi akımı ile yıkanırlar. Bu süreçlerin bazıları, bu Güneş enerjisinden oldukça karmaşık bir şekilde faydalanarak, iklim, hayat ve benzeri şeyler üretebilirler. Ne var ki bunlar yıldızın yaşam evresini ilgilendirmez, sadece yan etkileridir.

Yıldız, yaşamının büyük bir kısmını, hidrojen yaktığı bu evrede geçirir. Hidrojen füzyonunun sonucunda helyum oluşur (daha önceden belirttiğimiz foton ve nötrinoların yanı sıra). Üretilen helyum, yıldızın çekirdeğinde birikir. Bu helyum birikerek, kütleçekime katkıda bulunur, ancak kendisi füzyon geçirmediği için ısıl basınç sağlayarak kütleçekime karşı koymada yardımcı olmaz.

Er geç yeterli miktarda helyum biriktiğinde basınç, kütleçekimden daha zayıf hale gelir ve helyum çekirdek çöker. Helyum çekirdeğinin çöküşünü, yıldızın oluşmasına neden olan Kelvin-Helmholtz mekanizmasının bir tekrarı olarak görmek kolaylık sağlar. Çekirdeğin özü çöktükçe, daha da ısınır. Bu ısı çökme sürecine karşı koymasına yardımcı olan (veya en azından yavaşlatan) bir basınç yaratır.

Öz, er geç helyumun kendisinin füzyona girmeye başlamasına yetecek derecede sıcak olur. Helyum füzyonu iki nedenden dolayı hidrojen füzyonundan daha yüksek sıcaklığa gereksinim duyar. Birincisi, her bir helyum çekirdeğinde hidrojen çekirdeğinde olduğundan iki kat fazla sayıda elektron bulunur, yani iki helyum çekirdeği, iki hidrojen çekirdeğinden dört kat daha fazla kuvvetle birbirlerini iterler, bundan dolayı helyum çekirdeklerinin, birbirlerini itmek yerine çarpışabilmeleri için daha hareketli olmaları gerekir. Diğer neden ise helyum füzyonunun, üç helyum çekirdeğinin birleşerek bir karbon çekirdeği oluşturmasını içeren daha karmaşık bir süreç olmasıdır. Helyum füzyonu neden sadece iki helyum çekirdeğini birleştirmez? İki helyum çekirdeği birleştiklerinde dört proton ve dört nötrondan oluşan bir berilyum izotopu oluştururlar. Ne var ki, bu berilyum izotopu kararsızdır (burada incelemeyeceğimiz nükleer fizik sebeplerinden dolayı) ve hızlıca tekrar iki helyum çekirdeğini oluşturarak bölünür.

Helyumun karbon oluşturan füzyonu iki adımlı bir süreç olarak görülebilir. İlk olarak, iki helyum çekirdeği berilyum oluşturmak için birleşir. Berilyum tekrar bölünmeye fırsat bulamadan önce üçüncü helyum çekirdeği ile birleştiğinde, karbon oluşacaktır ve bu karbon kararlı olacaktır. Karbon bir kere oluştuktan sonra, bir başka helyum çekirdeği ile füzyona girerek kararlı bir oksijen çekirdeği oluşturabilir. Bundan dolayı, helyum füzyonu evresindeyken yıldızın çekirdeği, karbon ve oksijen bakımından gitgide artarak daha zengin bir hale gelir. Berilyuma karşılık, karbon ve oksijen daha kararlı çekirdeklerdir. Helyum yakan yıldız, hidrojen yakarken ürettiği enerjiden daha fazla oranda enerji üretir. Bu da, yıldız daha fazla ışık yayar demektir. Daha fazla olan bu güç, yıldızın kılıfını şişirir ve onu kızıl dev adı verilen bir şeye dönüştürür. Bu durum, hidrojen füzyonundaki fotonlardan oluşan sakin duşun keyfini çıkaran bütün gezegenler için kötü haber olma eğilimine sahiptir.

Bundan sonra ne olacağı yıldızın başlangıçtaki kütlesine bağlıdır (yani, yıldızın hidrojen füzyonuna ilk başladığı zamanki kütlesi). Başlangıç kütlesi 8 güneş kütlesinden daha az olan yıldızlarda çekirdek, karbon füzyonu için yeterli ısıya asla ulaşamaz. Bunun yerine kılıf azar azar atılır ve karbon-oksijen çekirdek, sessiz ve aksi bir ihtiyar olan beyaz cüceye dönüşmek üzere durulur.

Bununla birlikte, başlangıç kütlesi 8 güneş kütlesinden fazla olan yıldız daha fazla basınca dolayısıyla daha yüksek sıcaklığa sahiptir, bundan dolayı karbon-oksijen çekirdek, er geç karbonun karbonla ve oksijenin oksijenle füzyona girebileceği kadar sıcak olur. Bu tepkimeler aralarında neon, sodyum, magnezyum, silisyum, fosfor ve sülfürün olduğu bir dizi daha ağır elementi üretir.

Böylesi bir tepkimenin sürekli devam edip, daha da ağır elementler üreterek enerji oluşturabileceği düşünülebilir. Ne var ki, Güneş'le hidrojen bombası arasındaki benzerliği hatırlayın ve sonra ağır çekirdeğin (uranyum ve plütonyum) daha hafif iki çekirdeğe bölünmesi ile enerji üreten başka bir nükleer bomba çeşidi (genellikle atom bombası adı verilir) daha olduğunu hatırlayın. Bu iki bomba oldukça garip bir zıtlık oluşturur. Nasıl olur da enerji hem füzyon (iki veya daha fazla çekirdeğin tek çekirdekte birleşmesi) hem de fisyon (bir çekirdeğin iki veya daha fazla çekirdeğe bölünmesi) aracılığı ile üretilebilir?

Bir çekirdeğin bağlayıcı erkeye sahip olduğu düşünülebilir: Çekirdeği parçalarına ayırmak için gerekecek olan enerji. Bir nükleer tepkime belirli bir bağlayıcı erkeye sahip çekirdekleri alıp onları daha da fazla bağlayıcı erkeye sahip olan çekirdekler olarak yeniden düzenlediğinde bize enerji verir. Çekirdek nötronları ve protonları bir arada tutan yeğin kuvvet sebebiyle bağlayıcı güce sahip olur, fakat bu bağlayıcı güç, protonları birbirlerinden uzağa iten elektromanyetik alan sebebiyle azalır. Bağlayıcı erke, her bir proton ve nötronun belirli bir enerji durumunda olması gerektiği ve birini daha yüksek duruma getirmek için daha fazla enerji gerektiği olgusu sebebiyle de azalır. Bundan çıkarılacak sonuç, en hafif ve en ağır çekirdeklerin en zayıf bağlara, kütlesi orta seviyedeki çekirdeklerin ise en sıkı bağlara sahip olduklarıdır. Bu nedenle hafif çekirdeklerin füzyonu ve ağır çekirdeklerin fisyonu enerji sağlar.

Tüm elementler arasında en fazla bağlanma enerjisine sahip belli bir element vardır: Demir. Demirin füzyona veya fizyona girmek için enerjiye ihtiyacı vardır. Atom düzeyinde demir, tamamen kullanışsız (elbette kimyasal olarak, yoksa biz kırmızı kanlı mahlûklar onsuz yaşayamayız) bir enerji batağıdır.

Bu nedenle yıldız evrimi füzyonu sürecinde, yıldızların motorları sadece demir kadar veya demirden daha hafif elementler üretirken enerji verebilirler. Bir yıldız çekirdeğinde demir ürettiğinde o demir, yakıt olarak kullanılamaz. Bu demirden daha ağır elementlerin üretilemeyeceği anlamına gelmez, sadece onları üretebilmek çok daha fazla enerji gerektirir. Özde Chandrasekhar sınırına ulaşana kadar demir birikir ve sonrasında çekirdek, süpernova patlaması üreterek çöker.

Bu patlama aslında demirden ağır bütün elementlerin üretildiği fabrikadır. Süpernovanın kuvveti nötronları daha ağır çekirdeklere çarptırarak daha da ağır çekirdekler üretir ve daha sonra bu daha ağır çekirdeklerdeki nötronlardan bazıları beta bozunumuna uğrayarak protonları oluşturur. Elementin, çekirdeğindeki proton sayısı ile tanımlandığını hatırlayın. Bir nötronu demire (atom sayısı 26) çarptırırsanız ve bu nötron bozunursa, demir kobalta (atom sayısı 27) dönüşür. Bir başkasını çarptırdığınızda nikele (atom sayısı 28) dönüşür ve bu şekilde devam eder. (Aslında bundan daha karmakarışıktır fakat ana fikri kaptınız.) Bunun, süpernovanın kuvvetinin dışa vurulduğu yıldızın kılıfında gerçekleştiğine dikkat edin, bu yüzden madde süpernovadan kaçarken daha ağır elementlere dönüşür.

Çöküşten sonra, kütlenin ne kadarının kılıftan geriye çekildiğine bağlı olarak çekirdek ya nötron yıldız ya da karadelik olur. Başlangıç kütlesi (ilk hidrojen yanması sırasında) 8 ile 25 güneş kütlesi arasında değişen yıldızın nihayetinde nötron yıldızı, başlangıç kütlesi 25 güneş kütlesinden fazla olan yıldızın nihayetinde karadelik olacağı tahmin edilmiştir.

Yıldızların bu tarihi aynı zamanda elementlerin kaynağını anlatan hikâyedir. Helyumdan daha ağır olan bütün element-

ler yıldızlarda ve demirden daha ağır olan bütün elementler süpernova patlamalarında üretilir. Bilhassa, vücudumuzdaki hidrojen atomu dışındaki her bir atom, bir yıldızın çekirdeğinde üretilmiştir.

Bunun elementlerin kaynağı olduğunu nereden biliyoruz? İncelememizi bir yere kadar genişletebiliriz. Bizim Güneş Sistemimiz, önceki yıldız kuşaklarında işlenen malzemelerden meydana gelmiştir. Göktaşlarının kimyasal analizinin yanı sıra Güneş spektrumu da bize, Güneş Sistemindeki elementlerin göreli bolluğu (her bir demir atomu için kaç karbon atom olduğu gibi) hakkında bilgi verir. Yıldızların saçtığı ışıktan alınan bilgiyi kullanarak, bir önceki bölümde ele aldığımız Güneş için inşa edilen "güneş modeline" benzer "yıldız modelleri" de inşa edebiliriz. Bu yıldız modelleri nükleer füzyon içerir ve elementlerin göreli bolluğu için tahminler verir. Bu tahminler Güneş ve göktaşlarından elde edilen verilerle iyi uyuma sahiptir. Dolaylı olsa da bu model, birçok yönden testlere tabi tutulduğunda tutarlı olmaya devam eder, bu nedenle modelin söylediklerine inanmak için iyi sebeplerimiz var.

Bu son nokta önemlidir, çünkü bilimin bazı bölümleri insan yaşam süresinden çok daha uzun zaman dilimlerinde gerçekleşen şeylerle ilgilenir. Böylesi bilimin sonuçlarının anlatıları, çoğunlukla Rudyard Kipling'in, şeylerin bugünkü durumuna benzemeyen haliyle (hortumsuz filler gibi) başlayan hikâyenin aynı şeylerin bugün bildiğimiz haliyle (koca burunlar!) biten, *İşte Öyle Hikâyeler*'inin (*Just So Stories*) duygusuna sahiptir. Okurun hem Kipling'e hem de bu bilime karşı benzer tepkiler vermesi muhtemeldir: "Çok eğlenceli bir hikâye, fakat tabii ki çok eskidendi ve çok uzaktaydı ve siz de orada değildiniz. Hikâyenin doğru olduğuna inanmam için bir sebep yok" gibi.

Ne var ki, *İşte Öyle Hikâyeler*'in aksine çok eskiden ve çok uzakta olan bir şeyi açıklayan bilim burada ve şimdi test edilebilen olgulardan ileri gelir. Doğanın tekbiçimliliği dâhilinde şu anda geçerli olan, o zaman da geçerli olmuştur. Hidrojen bombasındaki ve tepkime kabındaki füzyon bir yıldızdaki füzyon süreci ile aynıdır. Bu nedenle laboratuvarda ve gökyüzünde şimdi ölçtüklerimiz o zaman neler olduğunu biçimlendirmek için kullanılabilir. Bilim dikkatli niceliksel biçimlendirmenin sonucudur ve sadece dikkatli niceliksel saptamayla uyuştuğunda kabul edilir. Nihai sonucun sunumu kulağa Kipling gibi gelebilir, ancak bu hikâyeler gerçekten doğrudur. Ayrıca daha sonra göreceğimiz üzere zamanda geriye bakma araçlarımız vardır ve çok eskiden olan burada ve şimdi görülebilir.

✹

Öyleyse şimdi elimizde bir yıldızın hangi koşullar altında karadeliğe dönüşebileceğini ileri süren bir yıldız yaşamı haritası var. Ne var ki, bu amaca ulaşmak adına yıldızların özellikleriyle ilgili bir takım savlara, bu savları gerektiği gibi doğrulamadan güvendik. Yıldızların güneşler olduklarını ve Güneş'in yöntemleriyle ilgili öğrendiklerimizin onlar için de doğru olduklarını söyledik. Ne var ki şimdi son bölümün, aslında kitabın tamamının sorusuna geri dönüyoruz. Bunlardan herhangi birinin sadece "işte öyle" bir hikâye değil de gerçek olduğunu nasıl biliyoruz?

Neden bugün yıldızların Güneş'e benzer cisimler olduklarını düşünüyoruz? İnsanlık tarihi ve tarih öncesinin büyük bir bölümünde, yıldızların gökyüzündeki küçük ışıklar, Güneş'in ise büyük olduğu ve daha da önemlisi bunların esasen fark-

lı türde cisimler oldukları varsayılmıştır. Neden onların aynı olduklarını düşünüyoruz? Onlara bir bakın; ışık dışında ortak neleri var? Yıldızlardan ısı alıyor gibi değiliz, sadece parıldayan ışık. Güneş'e nasıl benzeyebilirler?

Daha genel olarak, oldukça farklı görünen cisimlerin aynı olduğu durumlar var mıdır? Algılanan evrende sıklıkla küçük görünen bir cismin uzakta olan büyük bir cisim olduğunu fark ederiz. Güneş bizden çok daha uzakta olsaydı, yıldız gibi görünürdü. Bu bize bir başlangıç varsayımı verir: Yıldızlar uzak güneşlerdir. Yıldızların gerçekten de Güneş'e benzer çok daha uzak cisimler olup olmadıklarını saptamak için yıldızların ne kadar uzakta olduklarını bilmemiz gerekir.

Güneş'e olan mesafenin paralaks yöntemi kullanılarak ölçülmüş olduğunu anımsayın. Uzak fona karşı görünen cisim, iki farklı yerden bakıldığında iki farklı açısal konuma sahiptir. İki gözlem noktası arasındaki mesafenin bir buçuk katına taban seviye ve açısal konumların farkının bir buçuk katına paralaks adı verilir. Paralaks, taban seviyenin ölçmek istediğimiz mesafeye olan oranıdır (dolayısıyla mesafe paralaksa bölünen taban seviyesine eşittir). Gökbilimsel bir mesafeyi etkili ve doğru olarak ölçmek için ya geniş bir taban seviye kurabiliyor ya oldukça küçük bir açıyı tam olarak ölçebiliyor ya da tercihen ikisini de yapabiliyor olmamız gerekir.

Açıları genellikle derecelerle ölçeriz; mümkün olan en büyük açı, 360 dereceye denk gelen bütün dairedir. Ne var ki, yıldızların paralaksı söz konusu olduğunda derece fazla büyük bir açı olur, bu nedenle gökbilimciler ark dakika ve ark saniye birimlerini ortaya çıkarmışlardır. 1 derecede 60 ark dakika ve 1 ark dakikada 60 ark saniye vardır. Dolayısıyla ark saniye, derecenin 1/3600'i, çok küçük bir açıdır. Ark saniye paralaks

için pratik birimdir. Mevcut teleskoplar açıların ark saniyelere kadar inen hassaslıkta ölçümü için kullanılabilir, yani o cephede tamamız. Ark dakikaların ve ark saniyelerin zamanla bir ilişkileri olmadığına dikkat edin; bu ismin sebebi sadece dereceyi sıradan dakika ve saniyelerin bir saati böldükleri şekilde bölmeleridir.

Peki ya taban seviyesi? AB'yi ölçmek için Richter ve Cassini Dünya üzerinde iki farklı mevki kullanmışlardır, fakat yıldızları bu şekilde ölçmeye çalışmak, ölçebileceğimizden ufak bir paralaks vermektedir. Bu durum yıldızların çok uzakta olduklarını derhal söyler, bu da yıldızların belki de Güneş'e benzer olabileceklerine dair ipucu verir. Ne var ki çok uzakta olduklarını söylemekten fazlasını yapmamız gerekir. Hassas ölçümlere ihtiyacımız vardır.

Bu meseleyi çözen numara, AB'nin kendisinin taban seviye olarak kullanılması olmuştur. Dünya, Güneş'in çevresini 1 yılda dolaşır; 6 ay arayla iki ölçüm yaparsak ikinci gözlem sırasındaki Dünya, birinci gözlem sırasındaki Dünya'dan 2 AB uzaklığındadır. Diğer bir deyişle, bu ölçümün taban seviyesi 1 AB'dir. Bu oldukça verimli deneysel bir sistemdir. Gerekli mesafeyi kat etmek için yapmamız gereken tek şey iki ölçüm arasında beklemektir.

Aynı yıldız alanından, (örneğin) biri Ocak'ta diğeri Temmuz'da olmak üzere, iki fotoğraf çekip bu fotoğraf klişelerini üst üste koyduğumuzda, paralaks görseli yaratmış oluruz. Bunu yaptığımızda yıldızların çoğu (uzakta olanlar) üst üste gelir; fakat birkaç yıldız (yakında olanlar) fotoğraflar arasında çok az farklılaşan konuma sahip olur. Fotoğraftaki bu ufacık konum farkından ve fotoğrafladığımız yıldız alanın açısal boyutundan yıldızın paralaksını buluruz. 1 AB'lik taban seviye-

sinden, paralaksı 1 ark saniye olan yıldız yaklaşık 206.000 AB uzaklığındadır. AB yaklaşık olarak 150.000.000 km olduğuna göre, bu ölçüm paralaksı 1 saniye olan yıldız yaklaşık olarak 31.000.000.000.000 km uzaktadır.

Bu, yeni bir uzunluk değeri yaratma yöntemiyle ortadan kaldıracağımız o çok büyük astronomik sayılardan biridir. Nasıl ki 150.000.000 kilometreyi 1 AB'ye dönüştürerek yok olmasını sağladıysak, 31.000.000.000.000 kilometreyi el çabukluğuyla, yukarıdaki yöntemi kullanarak 1 ark saniye paralaks üretmesi gereken mesafe olarak tanımlanan, parsek adını taşıyan yeni bir birime dönüştüreceğiz. Daha uzaktaki yıldızlar daha küçük paralakslara sahip oldukları için bu terim dizgesi biraz kafa karıştırıcı olabilir. Paralaksı ½ saniye olan yıldızın mesafesi 2 parsek, ⅓ saniye olanınki 3 parsektir ve benzeri. En yakınımızdaki yıldızlar birkaç parsek ötemizde oldukları için parsek, yıldızların mesafesi için pratik bir birimdir, ne var ki böylesi mesafelerin hatta daha büyük mesafelerin ölçülmesi için pratik başka birimler de vardır. Biz mesafe ölçümlerini yaparken ışık hızını kullanacağız (evrensel pratik nicelik).

Işık, 300.000 kilometre/saniye hızında yol alır. 1 ışık saniyesini ışığın 1 saniyede yol alacağı mesafe, 300.000 km, olarak tanımlarız. 1 ışık dakikası ışığın 1 dakikada yol alacağı mesafedir ki, 60 ışık saniyesine ve 18.000.000 kilometreye denk gelir. Oranlayarak ışık saati, ışık günü, ışık haftası, ışık yılı, ışık yüzyılı ve benzeri yaratabiliriz. Gökbilimde sıklıkla ışık yılı kullanılır; diğerleri genellikle kullanılmaz. Işığın 1 AB'lik mesafe yol alarak Güneş'ten bize ulaşması yaklaşık olarak 8 dakika sürmektedir, dolayısıyla 1 AB, kabaca 8 ışık dakikasıdır. Parsek kabaca 200.000 AB olduğuna göre, ışığın 1 parseklik mesafe yol alması yaklaşık 1.600.000 dakika veya yaklaşık

3 yıldır. Daha kesin değer 3,26 yıldır, yani parsek yaklaşık 3,26 ışık yılıdır.

Bize en yakın yıldız (Güneş'ten başka, sizi gidi ukalalar) yaklaşık 1,3 parsek veya 4,3 ışık yılı mesafededir. Yıldızlara uzanan yolculuğun ne kadar süreceğini düşünürken bu birimleri dikkate almak yararlı olur. Uzay mekiği Dünya'nın yörüngesini 90 dakikada döner, fakat ışık 1 saniyede Dünya'nın çevresinde 7 kez döner. Dolayısıyla, Uzay mekiği ışık hızının yaklaşık 1/40.000'i bir hızda yol alır. Uzay gemisinin, uzay mekiği hızında yol alarak en yakınımızdaki yıldıza ulaşmak yaklaşık 170.000 yıl sürecektir. Bu durum yıldızlararası yolculuk için birkaç lojistik problem çıkarır. Bilimkurgu yazarlarının hileye başvurup yıldızdan yıldıza gitmek için fiziksel olarak imkânsız araçlar yaratmalarının sebebi de budur.

Kenar notu olarak, ışık saniyesi/ışık yılı terim dizgesinin tek talihsiz belirtisi kulağa mesafeden ziyade zaman birimleri gibi gelmesidir. "Işık yılını" duyduğumuzda "yılı" düşünürüz. Bu durum, ismini vermeyeceğimiz bazı bilimkurgu filmlerinde ve TV dizilerinde belli sayıda saçma replik ve diyaloğa sebep olmuştur. İşin tuhafı, bu bölümün ilerisinde açıklığa kavuşacağı üzere, bunun yarattığı zihin bulanıklığının bir kullanımı vardır. Şeyleri ışık araçlarıyla gördüğümüz için, 8 ışık dakikası mesafesindeki bir cisim (rastgele büyük, parlak bir cisim seçin) bize kendisinin 8 dakika öncesine ait görsellerini göstermektedir. Diğer bir deyişle, ışık birimleriyle ölçülen mesafeler, onu gördüğümüzde ne kadar geçmişe baktığımızı gösterir. Bu durum ileride kuasarları incelediğimizde önemli olmakla sonuçlanacaktır.

Paralaks yöntemiyle ölçebileceğimiz en büyük mesafe, ölçebileceğimiz en küçük açıya bağlıdır. Teleskop için, teleskopun

aynasının çapı ne kadar büyük olursa ölçülebilen açı o kadar küçük olur. Dünya'nın atmosferinin çarpıklığı da yerden ölçülebilen açıların küçüklüğüne bir sınır getirmektedir. Yerden herhangi bir kesinlikte ölçülebilecek en küçük açı, yaklaşık 100 parseke kadar paralaks ölçümü veren yaklaşık 0,01 ark saniyedir. En küçük açılar uzaydan ölçülmek zorundadırlar. Uzayda Hipparcos uydusu, 1000 parseklik mesafelere denk gelen, yaklaşık 0,001 ark saniye kadar küçük açıları kesin olarak ölçmüştür. Bu uzun bir taksi yolculuğudur fakat incelemek istediğimiz pek çok cisim için gerekli uzunluğun yakınından bile geçmez. Bir sonraki adımda bundan daha uzun mesafelerin nasıl ölçülebileceğini değerlendireceğiz. Şimdilik ihtiyacımızı paralaks karşılar.

Paralaks yöntemine göre yakınımızdaki yıldızlar bile o kadar uzaktadırlar ki ya büyük, ya parlak ya da her ikisi birden olmak zorundadırlar. Bu onların Güneş'e benzer oldukları fikrini makul yapar, fakat emin olmak için daha fazla bilgiye ihtiyacımız vardır. Bilhassa ne kadar parlak olduklarını bilmemiz gerekir.

Kısa arasöz: Yıldızlara mesafemiz tek bir sayıymış gibi konuşmuşuz, fakat şimdi her bir yıldızın diğer yıldızdan farklı bir mesafede olduğunu biliyoruz. Bu durumun kendisi kökten bir buluş olmuştur, çünkü gece göğüne baktığınızda yıldızların hepsi aynı mesafedeymiş gibi görünür. Antik Yunanlıların sahip oldukları bir görselde, yıldızlar merkezinde Dünya'nın olduğu kocaman kürenin üzerindeki ışık noktalarıydılar. Onlara göre, bütün yıldızlar Dünya'ya aynı mesafedeydiler. Biz şimdi bunun böyle olmadığını saptadık. Her bir yıldızın kendine ait bir konumu vardır; hiçbir şey onu Dünya'nın yakınında tutmadan gökyüzünde dolaşan cisimdir. Devam ettikçe, her bir yıldızın kendine ait bir ışığa ve diğer niteliklere sahip olduğunu

göreceğiz. Hızlıca yıldızların ilk göründüklerinden çok daha özgün olduklarını keşfederiz; fakat yine de, bu özgünlükler yıldız yaşamının daha kapsamlı müşterekliğine aittir.

Bir yıldıza olan mesafe öğrenildi mi, aydınlatma gücü de Güneş için uygulanan yöntemin bir benzeriyle öğrenilebilir. Yıldıza bir teleskop doğrultarak, teleskoba giren ışığı ölçeriz. Sonrasında teleskop aynasının çapını ve yıldıza olan mesafemizi kullanarak, toplam ışığın teleskoba ulaşan bölümünü hesaplayabilir ve böylece yıldızın aydınlatma gücünü bulabiliriz.

Yıldızların aydınlatma gücünün güncel ölçümü, son "kullanıcı dostu" adımını saymazsak, dijital kameralarla aynı şekilde çalışır. Dijital kamerada ışık, mercek tarafından CCD (yükten bağlaşımlı aygıt) adında bir şeyin üzerine odaklanır. CCD, çok sayıda ışığa duyarlı, piksel (görüntü öğesi) adı verilen elemanlardan oluşur (5 mega piksel kamera 5 milyon piksele sahiptir). Her bir pikselde elektrik yükü, bu pikselin aldığı ışığın miktarıyla orantılı olarak yükselir. Sonrasında her bir pikselin elektrik yükü okunur ve bir sayı olarak saklanır.

Dijital kamerada son adım, her şeyi tersine çevirip saklanan sayı dizisinden bir görsel oluşturmaktır. Yıldızların aydınlatma gücünün ölçümünde bu sayılar, aksine sayılar olarak saklanır. Yıldızın ışığını alan piksellerin hepsinden alınan sayılar toplanır, teleskobun aynasının çapı ve yıldıza olan mesafeyle birlikte yıldızın aydınlatma gücü hesaplanır. Sirius A'nın yaklaşık 23 güneş ışığında (Güneş'ten yaklaşık 23 kat fazla ısı yayımlar), Alpha Centauri A'nın 1,5 güneş ışığında ve Tau Ceti'nin yaklaşık 0,6 güneş ışığında olduğu bu şekilde öğrenilmiştir.

Bu aydınlatma güçleri Güneş'inkiyle aynı ölçektedir (aynı ölçekten kastımız, onlar olağanüstü bir şekilde daha büyük veya daha küçük değillerdir), dolayısıyla şimdi yıldızların daha

fazla nitelikle Güneş'e benzer olduklarını biliyoruz ve onların güneş olduklarına dair olan hipotezimiz inandırıcılık kazanıyor. Onların boyutları ve ısılarını ölçüp yine Güneş'inkine yakın sonuçlar alırsak hipotezimiz de fazlasıyla doğrulanmış olur.

Güneş'in boyutunu, açısal boyutundan (ne kadar büyük göründüğü) bulduktan sonra boyutu ve aydınlatma gücünden de sıcaklığını bulmuştuk. Ne var ki, bu yıldızlar için işe yaramayacaktır. O kadar uzaktadırlar ki; onların açısal boyutunu ölçemeyiz. En güçlü teleskoplarımızda bile yıldızlar sadece ışık noktası olmaya devam ederler. Onun yerine bu süreci, sıcaklığı bulduktan sonra sıcaklığı ve aydınlatma gücünü kullanarak boyutunu hesaplayacak şekilde tersine çevirebiliriz.

Bir yıldızın renginden sıcaklığı tahmin edilebilir. Yukarıda da belirttiğimiz gibi bir cisim ne kadar sıcak olursa yaydığı ışığın dalga boyu o kadar kısa olur ve dalga boyu ışık için renktir: Soğuk yıldızlar kırmızı; sıcak yıldızlar mavidir. Bununla birlikte daha hassas bir yöntem yıldızın spektral çizgilerinden gelir. Spektral çizgiler, ışık atomun değişerek bir enerji düzeyinden diğerine değişmesine neden olduğunda meydana çıkar. Bu spektral çizginin etkinliği (spektrumdaki rengin yoğunluğu), ilk enerji düzeyinde kaç atom olduğuna bağlıdır. Sıradaki belirli enerji düzeyindeki atom sayısı sıcaklığa bağlıdır. Düşük sıcaklıklarda, atomun mümkün olan en düşük enerji düzeyinde olması muhtemeldir; daha yüksek sıcaklıklarda, atomun daha yüksek enerji düzeyinde olma olasılığı artar; son olarak daha da yüksek sıcaklıklarda, atomun elektronlarından bir veya birkaçını kaybetmesi muhtemeldir. Yıldızların ve yıldızlararası ortamın (yıldızların arasındaki gaz ve toz) spektral çözümlemesi, bir yıldızın kimyasal bileşiminin yaklaşık üç çeyreğinin

hidrojen, bir çeyreğinin helyum ve yaklaşık %1'nin diğer her şey olduğunu göstermiştir. Dikkat edin ki, bu aynı zamanda "yıldızlar güneşlerdir" hipotezini teyit eder, çünkü yukarıdakiler bizim Güneş'imizin bileşimine uyarlar.

Bir yıldızın en etkin spektral çizgilerinin hidrojen çizgileri olduğu düşünülebilir. Güneş'te kalsiyum çizgilerinin hidrojen çizgilerinden daha etkin olması şaşırtıcı görünüyor. Ne var ki, en düşük enerji düzeyindeki hidrojen, görünen bandın ışığını soğurmaz ve Güneş'in fotosferindeki hidrojen atomlarının çoğu en düşük enerji düzeylerindedirler. Belirgin hidrojen çizgilerine sahip olmak için yıldızın, hidrojen atomunun daha yüksek enerji düzeylerinde olması muhtemel olacak kadar, fakat elektronunu kaybetmesi muhtemel olmayacak kadar sıcak olması gerekir.

Benzer değerlendirmeler diğer elementlerin çizgileri için de geçerlidir. Bir yıldızın spektral çizgilerinin etkinliğinin çözümlemesi gökbilimcilerin yıldızın sıcaklığını bulmalarına olanak tanır ("Bu yoğunlukların belirmesi için ne kadar sıcak olması gerekir?" sorusunu cevaplayarak). Yıldızların spektrumu O, B, A, F, G, K ve M olarak sınıflandırılmıştır (kuşaklar boyunca gökbilim bunları birazcık cinsiyetçi olan "Oh iyi bir kız ol, beni öp"[9] hatırlatıcı cümlesini kullanarak ezberlemişlerdir). Burada O en sıcak ve M en soğuktur. Güneş G sınıfı bir yıldızdır.

Bu çeşit terimler dizgesi saptanan evren terimlerinin kullanılmasından doğabilecek yanlış anlamalara bir örnektir. Siz yıldızları sıcaklıklarına göre sınıflandırma yöntemi tasarlıyor olsaydınız, yıldızları A'nın en sıcak ve G'nin en soğuk olduğu A, B, C, D, E, F, ve G olarak tasnifleyebilirdiniz; fakat O, B,

9 Oh Be A Fine Girl, Kiss Me, İngilizce. (Ç.N.)

A, F, G, K, M'yi seçmezdiniz. Neden gökbilimciler bu şemayı hazırlamışlardır?

Üzücü bir şekilde, onlar pek çok yıldız spektrumunu verinin yıldızların sıcaklığı açısından ne anlama geldiğini bilmeden önce toplamışlardır. Spektrum gözleminin oldukça kolay olduğunu fakat kolayca gözlenen olayın doğru yorumunun çoğunlukla çok sonra, olgulara uyan teori yaratıldığında geldiğini hatırlayın. Spektrumun belli spektral çizgilerin etkinliği açısından sınıflandırılması doğaldı: En etkin hidrojen çizgilerin oluşturduğu A sınıfı, sonra B ve benzeri. Daha sonra, spektrumla sıcaklık arasındaki bağlantı öğrenildiğinde, sıcaklığın sınıflandırılması için önceki sınıflandırmanın pek çok ayrımının gerekli olmadığı (sınıfların birleştirilebildiği ve denk düşen harflerin atılabildiği) ve harf sıralamasının değişmesi gerektiği anlaşılmıştır. Elimizde O, B, A, F, G, K, M kalmıştır. Böylesi bir problem, terimler bir kullanım için yaratılıp başka bir birine kaydırıldığında meydana çıkar. Ne yazık ki, her bir gökbilimci bu sistemi öğrenmek zorunda olduğu için onu yeniden düzenlemek için hiçbir zaman düzenli bir çaba olmamıştır. Bu, önceki düşünce yöntemlerinin kendileri yenileriyle değiştirildiklerinde bile bu düşünce yöntemlerine ait işlem hatalarının aynen kaldığı davranışlardan biridir.

Şimdi yıldızların mesafesini, aydınlatma gücünü, sıcaklığını ve dolayısıyla boyutlarını da biliyoruz ki bunların hepsi, "yıldızlar Güneş'e benzerler" hipoteziyle örtüşür. Bunu perçinleyecek şey yıldızların kütlesini bilmek olacaktır. Bu, aynı niteliklere sahip iki cismin aynı türden cisim olduğuna dair bilimin temel görüşüne dayanmaktadır. Güneş söz konusu olduğunda kütlenin, gezegenlerin yörüngeleri ve $M=rv^2/G$ formülüyle (M Güneş'in kütlesi, r gezegenin yörüngesinin

yarıçapı ve v gezegenin hızı) hesaplandığını anımsayın. Bunu bir yıldıza, çevresinde yörüngedeki gezegenleri kullanarak uygulamayı denemek isteyebiliriz. Ne yazık ki, bizim Güneş Sistemimizin dışındaki gezegenleri saptamak oldukça zordur. Doğrusu, bu ancak yakın geçmişte başarıyla, ilk olarak gökbilimci Geoff Marcy ve Paul Butler tarafından gerçekleştirilebilmiştir ki, o zaman bile saptadıkları gezegen ancak dolaylı olarak yıldız üzerindeki kütleçekim etkileriyle bulunabilmiştir; yıldızın kütlesini bulmak için kullanacağımız yöntem buydu. Başka bir yönteme ihtiyacımız var.

Bunu başarmak için gökbilimciler, birçok yıldızın aslında ikili yıldız sistemleri, tek bir sistem oluşturacak kadar birbirlerine yakın iki yıldız olduğu olgusundan faydalanırlar. Güneş Sisteminde genellikle Güneş'in hareket etmediğini ve gezegenlerin onun yörüngesinde yol aldığını söyleriz. Ancak, Güneş'in gezegenleri çektiği gibi, gezegenler de Güneş'i çekmektedirler. Güneş Sisteminde, Güneş bu çekişlerin etkisi ile kendi ufak yörüngesinde hareket eder. Bir yıldız söz konusuysa, Marcy ve Butler başta olmak üzere gezegen avcılarının diğer yıldızların yörüngesindeki gezegenleri buldukları zaman saptadıkları tam da bunun gibi ufak bir yörüngedir.

İkili yıldız sisteminde her biri diğerinin üzerinde kütleçekim etkisi uygulayan iki yıldız vardır. Bu çekişler her bir yıldızın bir yörüngede yol almasına neden olur. İkili yıldız sisteminde her bir yıldızın diğerinin etrafında yörüngede olduğunu söyleyebiliriz. Hangi yıldızların ikili olduklarını ayırt etmek kolay değildir, çünkü nasıl ki bizim Güneş Sistemimiz boydan boya birçok AB'den oluşuyorsa, tipik bir ikili sistem de öyledir. Bu durumda ikili sistemin açısal boyutu (bize ne kadar büyük göründüğü) parsekle bölünen AB gibi bir şey olacaktır; diğer

bir deyişle, çıplak gözle çözüme ulaştıramayacağımız ve güçlü teleskoplarla bile çoğunlukla sorun yaşayacağımız kadar küçük bir açıdır. Yakınımızdaki bazı ikili yıldız sistemleri teleskopta iki yıldız olarak çözümlenebilir. Diğerlerinde spektrum, iki farklı yıldız spektrumunun birleşiminden oluştuğu için sistemin ikili olduğu fark edilir. Yine diğerlerinde sistemin ikili doğası, bir yıldız diğerinin arkasından geçtiğinde (tutulma) ve sistemden gelen ışık, yıldız tekrar ortaya çıkana kadar kesildiğinde belli olur. Son olarak, yıldızların yörüngesel hareketi birbirlerine uyguladıkları kütleçekim etkileri sebebiyle ölçülebilir.

İkili yıldız sistemindeki, yukarıda verilen kütle formülünün biraz daha karmaşık hali, yıldızların hızları ve yörüngelerinin boyutları verildiği takdirde, yıldızların her birinin kütlelerini bulmamıza olanak sağlar. Güneş söz konusu olduğunda gezegenlerin hızlarını, yörüngelerinin boyutlarını ve devirlerini (gezegenin Güneş'in çevresini dolaştıkları süre) kullanarak bulduk. Bazı ikili yıldız sistemlerinde bu yöntem de işe yarar, ne var ki diğerleri için hızı ve döngüyü ölçüp bunları kullanarak yörüngenin boyutunu hesaplamak daha iyi olur.

Peki, yıldızın hızı nasıl ölçülür? Yöntem esasen polisin bir otomobilin hızını ölçerken kullandığıyla aynıdır: Doppler etkisi. Doppler etkisini bir dahaki sefer sirenleri açık itfaiye aracı yanınızdan geçtiğinde görebilir -veya örnekteki gibi duyabilirsiniz. Sireni dikkatle dinleyin. Siren sesinin, itfaiye aracı size yaklaşırken daha yüksek perdeden, araç sizden uzaklaşırken daha alçak perdeden çıktığını fark edeceksiniz. Olan şudur ki, bir cismin yaydığı ses dalgalarının dalga boyu, cisim hareket ettikçe değişir. Dalga boyu, cisim size yaklaşırken kısalır ve cisim sizden uzaklaşırken uzar. Cisim ne kadar hızlı hareket ederse değişim o kadar büyük olur. Böylelikle, dalga boyundaki

değişimi ölçerek hızı bulabilirsiniz. Bu tam olarak polisin aşırı hız yapan sürücüleri yakalamak için uyguladığı şeydir, gerçi bu durumda sesten ziyade radar aracılığı ile yaparlar bunu. Radar tabancası, hareket eden otomobile çarpıp yankılanan anlık radyo dalgaları gönderir. Radar tabancasının içinde, yayılan ve yansıyan dalgaların dalga boyları arasındaki fark bulunur ve hız hesaplanır.

Yıldızın hızı spektral çizgilerin Doppler kayması kullanılarak hesaplanır. Laboratuvarda ölçülmüş olduklarından gerekli spektral çizgilerin dalga boylarını zaten biliyoruz. Aynı spektral çizgiyi bir yıldızda ölçtüğümüzde, laboratuvardaki elementlerden biraz daha farklı bir dalga boyuna sahip olduğunu görürüz. Aradaki bu farka, yıldızdan gelen dalga boyu daha uzunsa (görünebilen spektrumun kırmızı tarafına doğru kayan) kırmızıya kayma ve dalga boyu daha kısa (görülebilen spektrumun mavi ucuna doğru kayan) ise maviye kayma adı verilir. Kırmızıya kayma bizden uzağa doğru hareket eden bir yıldızdan ve maviye kayma bize doğru hareket eden bir yıldızdan gelir. Kırmızı kayma veya maviye kaymanın boyutundan yıldızın hızını bulabiliriz. Yörüngedeki bir yıldız bazen bize doğru, bazen de bizden uzağa doğru hareket edecektir. Yıldızın spektral çizgisine zaman içinde baktığımızda, kırmızıdan maviye yukarı-aşağı ve sonra tekrar kırmızıya kaydığını görürüz. Bu yukarı-aşağı hareketin döngüsü yıldızın yörüngesinin devridir, dalga boyundaki kayma ise yıldızın hızını bulmamıza olanak tanır.

Bu spektral hız verisi ile yukarıda verilen formülü bir araya getirirsek, yıldızın kütlesini bulmaya yetecek bilgiye sahip oluruz ve Güneş'in büyüklük derecesi (büyüklük derecesi 10'un bir faktöriyelidir, yani 90 ve 10 birbirlerinin bir büyüklük dere-

cesi arasındadır) içinde olduğunu buluruz. Söylemek istediğimiz şey, yıldızlar genellikle Güneş'ten 10 kat daha fazla kütleye ve genellikle Güneş'in kütlesinin 1/10'inden daha az bir kütleye sahip olmazlar. Bu kadar çok ortak veriyi topladıktan sonra yıldızların güneşler olduğu ve böylece karadelikler, nötron yıldızları ve beyaz cüceler hakkındaki tartışmalarımızın teoriden daha fazlası olduğunu ve evrenin kendisine uygulanabileceği konusunda emin olabiliriz. Şimdi ikinci adımımızın sağlam zeminde olduğundan emin olduk.

✸

Artık pek çok yıldızın aydınlatma gücünü, sıcaklığını ve kütlesini bildiğimize göre bu bilgiyle ne yapabiliriz? Ne kadar benzer olduklarını resmileştirdiğimize göre, yıldızların arasındaki farkları bulmaya çalışabiliriz. Bu sürece başlamanın bir yolu, yıldızın aydınlatma gücü ve sıcaklığının kullanarak çeşitlemelerini biçimlendiren serpme çizim adı verilen çizelge oluşturabiliriz. Serpme çizim, yatay eksende sıcaklığın dikey eksende aydınlatma gücünün bulunduğu bir çizelgedir. Her bir yıldızın bir sıcaklık ve bir aydınlatma gücü değeri olduğuna göre, her bir yıldız çizelgede bir nokta olarak gösterilebilir. Sıcaklığı ve aydınlatma gücü bilinen bütün yıldızlar böylece çizelgede noktalar takımına dönüşür. Bu çizime, yıldızların sıcaklığının ve aydınlatma gücünün serpme çizimini ilk defa 1914'te oluşturan iki gökbilimci Ejnar Hertzsprung ve Henry Russell'ın ardından, H-R diyagramı adı verilmiştir. Hertzsprung, en çok adını taşıyan diyagramın esaslarını oluşturan, yıldızların renk ve parlaklıkları arasında bulduğu ilişkiyle tanınan Danimarkalı bir gökbilimciydi. Aynı zamanda, galaksilere uzanan mesafe-

lerin bulunmasında önemli olan Sefeid değişken yıldızlarının aydınlatma güçlerini bulmuştur. Hertzsprung, resmi bir gökbilim eğitimi almamış, fotoğrafın kimyasını inceleyen bir kimya mühendisiydi. Yıldız ışığının ölçümüne fotoğraf tekniklerini uygulaması onu, elde etmekle tanındığı sonuçlara götürmüştür. Russell, onun ve Hertzsprung'un adını taşıyan diyagramın temellerini biçimlendiren aydınlatma gücü ve spektrum örneği arasındaki ilişkiyi bulmasıyla tanınan Amerikalı bir gökbilimciydi. Aynı zamanda ikili yıldız sistemlerini incelemiş ve bu sistemlerin yıldızlarının kütlelerini hesaplamak için kullandığı yöntemler geliştirmiştir.

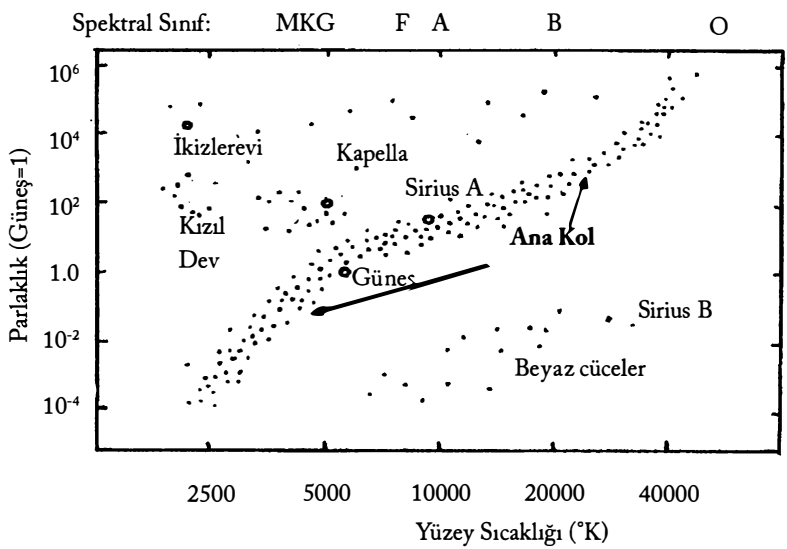
Şimdiye kadar işlediklerimize dayanarak, yukarıda belirtilen çizimin nasıl görünmesini bekleriz? Bu kulağa garip bir soru gibi gelebilir ancak bazen önceden ne beklediğinizi anlamak ve aslında var olanın beklentilerinize nasıl benzeyip benzemediğini görmek yararlıdır. Böylece beklentilerinizin sizi fark ettirmeden itip kakmasındansa onları gün ışığında görürsünüz.

Bir kasabanın sakinlerinin boylarını ve kilolarını ölçüp, boy ve kilo oranlarının serpme çizimini yaptığımızı farz edelim. Noktaların çoğunun düşük kilo ve kısa boy, orta kilo ve orta boy, yüksek kilo ve yüksek boyda olmalarını bekleriz. Kısmen çocukların yetişkinlerden daha az boy ve kiloya sahip oldukları için böyle olmasını bekleriz; fakat ayrıca bu, yetişkinlerin çeşitli ölçülerde olduklarından ve büyük ölçüdeki bir yetişkinin, hem daha uzun hem de daha ağır olmasını beklediğimizdendir. Bu nedenle kısa boy ve kilodan, orta boy ve kiloya geçerek yüksek boy ve kiloya doğru giden bir eğri çizebilmeyi ve birçok noktanın bu eğriye yakın olmasını bekleriz.

Aynı şey, şekil 7'deki H-R diyagramında da gösterildiği gibi yıldızlara da olur. Ana kol adı verilen, düşük sıcaklık ve aydın-

latma gücünden başlayıp, ortalama sıcaklık ve aydınlatma gücünden geçerek yüksek sıcaklık ve aydınlatma gücüne ulaşan bir eğri vardır. H-R diyagramındaki yıldızların çoğu ana kolun yakınında konumlanmıştır.

Neden böyledir? Yıldızlar yaşamlarının büyük bir bölümünü hidrojen yakarak geçirirler, dolayısıyla gördüğümüz yıldızların çoğu yaşamlarının hidrojen yakma aşamasında olanlardır. Bununla birlikte, hidrojen yakma süreci yıldızdan yıldıza sahip oldukları kütle doğrultusunda değişir; çünkü hepsi aynı miktarda gazla başlamamıştır. Kütlesi daha fazla olan yıldızın üstesinden gelmesi gereken kütleçekim daha fazladır, dolayısıyla daha fazla basınç üretmesi gerekir. Bunu daha hızlı yakıt yakarak yapar. Yani, daha yüksek aydınlatma gücüne sahiptir.



Şekil 7 H-R Diyagramı

Işık bize yıldızın yüzeyinden gelir, dolayısıyla daha yüksek aydınlatma gücü daha yüksek yüzey sıcaklığını veya daha yüksek yüzey alanını veya ikisini birden gerektirir. Hidrojen yakan yıldızlar söz konusu olduğunda, ikisi de gereklidir. Bunun anlamı, hidrojen yakan yıldızlar için çizelgemizin iki ekseni arasında kesin bir ilişkinin olduğudur. Matematik terimleri açısından bu ilişkiye bağımlılık adı verilir. Aydınlatma gücü sıcaklığa "bağlıdır" çünkü ikisi de kütleye bağlıdır. Bu durum bize, hidrojen yakan yıldızların dağılımını açıkladığı için ana kolun sebebini verir (veya daha ziyade biz gördüğümüzde hidrojen yakan yıldızların; çünkü yaşamlarının ileriki zamanlarında bu yıldızların sıcaklıkları ve aydınlatma güçleri şimdi olduklarından farklı olacaktır.)

"Ana kol", hidrojen yakan yıldızların eğrisi için oldukça tuhaf bir isme benziyor. En az, şekil 7'deki örneklemenin aksine, sıcaklık ölçeğini "geriye doğru" göstererek yüksek sıcaklıklar solda, düşük sıcaklıklar sağda olacak şekilde düzenlenen gökbilim ders kitaplarındaki H-R diyagramı kadar tuhaftır. Bu işaretleme tuhaflıklarını açıklayan nedir? Yanlış bir varsayımdan kaynaklanmaktadırlar. Russell, yıldızların büyük sıcak cisimlerden küçük soğuk cisimlere dönüşerek ana kol eğrisinin üzerinde ilerlediklerini düşünmüştür. Teorisi doğru olsaydı, gökbilim kitaplarındaki H-R diyagramının sol tarafı ilk zamanları, sağ tarafı son zamanlarını temsil ediyor olurdu ve "ana kol" da, yıldızların yaşamları boyunca geçtikleri durumlardan oluşan kol olarak mantıklı olurdu. Artık Russell'ın teorisinin yanlış olduğunu biliyoruz. Tam tersi, hidrojen yakma sürecindeki söz konusu yıldız, ana kolda aşağı yukarı tek noktayı kaplar ve ana kolun tamamı, farklı kütlelere sahip yaşamlarının aynı evresindeki yıldızlardan oluşur.

Gökbilimciler "ana kol" ismini başka bir şeyle değiştirmiş olsalardı sıcaklık ekseninin yönelimini bu kitapta kullanmak daha az kafa karıştırıcı olabilirdi. Ne var ki, gökbilimciler diğer herkes gibi tutucu gelenekçiler olabiliyorlar ve OBAFGKM örneğinde olduğu gibi isimler, takılıp kalma eğilimine sahiptirler. Her şeye rağmen, "ana kol" ismi ve sıcaklık ekseninin yönelimi bilimle ilgili bir takım ilginç bilgiler sağlar: Bilimin temel güçlerinden biri, sadece deneylerin meydan okumalarından geçebilen teorilerin kalıcı olmasıdır. Ne var ki bu aynı zamanda, bilim insanlarının disiplinlerinin tarihi konusunda az çok unutkan oldukları, er geç sonuçlanarak devam ettirilen başarılı teorilere giden bütün karmaşıklıkları ve başarısız yolları dikkate almamalarıdır. "Ana kol" gibi bir terim aslında önceki devirden kalmış bir fosildir ve bize zamanında gelecek vadeden olarak değerlendirilen bir teorinin günümüze kadar hayatta kalamamasını hatırlatır.

Çoğu yıldız ana kola yakın konumlanır, fakat bu, bazıları için geçerli değildir. Peki ya eğriden uzakta konumlanan yıldızlar? Gelin, insanların kiloya karşı boy eğrisine dönelim. Eğrinin çok çok üstündeki insanlara ne ad veririz? Genellikle onlara şişman deriz, fakat neden böyle deriz? Onların, aynı boya sahip birinin ortalama kilosundan daha fazla kiloya sahip oldukları doğrudur. Ne var ki bu, en az onlarla aynı kiloya sahip insanların ortalama boyundan daha kısa olduklarının tanımlanabilmesi kadar doğrudur; eski bir esprinin dile getirdiği gibi "Ben aşırı kilolu değilim, aşırı kısayım." Alışılagelmiş terminolojinin sebebi büyük olasılıkla yetişkinlerin boyunun kayda değer biçimde değişmediğidir; oysaki kilo, beslenme düzeni ve egzersizle değişebilir. Diğer bir deyişle, şişman kelimesini,

insanların kendilerini çizelgenin sosyal olarak daha kabul edilebilir bölgelerine taşımalarını önerdiği için kullanırız.

Ana kolun çok üzerinde yer alan yıldız, hem aynı sıcaklığa sahip ortalama yıldızdan daha yüksek aydınlatma gücüne sahiptir hem aynı aydınlatma gücüne sahip ortalama yıldızdan daha düşük sıcaklığa sahiptir; bu yıldıza "parlak" mı yoksa "soğuk" mu deriz? Belli yüzey sıcaklığında yüzey ne kadar büyük olursa aydınlatma gücü de o kadar yüksek olur olgusu karışıklığı artırır. Sıcaklığı sebebi ile aşırı derecede parlak olan bir yıldız, aynı sıcaklığa sahip ana kol yıldızıyla karşılaştırıldığında basitçe büyük olarak tanımlanabilir.

Standart gökbilim terim dizgesi bütün bu özellikleri kullanır ve ana kol eğrisinin çok üzerinde olan yıldızlara kırmızı dev ismini verir. Burada "dev" kelimesi uygundur çünkü yıldız aynı sıcaklığa sahip ana kol yıldızlarıyla karşılaştırıldığında daha büyük ölçeğe sahiptir; "kırmızı" ise, yıldız aynı parlaklığa sahip ana kol yıldızlarıyla karşılaştırıldığında daha soğuk (hala çok sıcaktır; soğuk göcecilidir sonuçta) dolayısıyla görünen spektrumun kırmızı ucuna daha yakın olduğu için uygundur. Benzer bir şekilde ana kol eğrisinin çok altında olan yıldızlara beyaz cüce adı verilir. Burada "cüce", aynı sıcaklığa sahip ana kol yıldızlarından çok daha küçük oldukları için, "beyaz" ise böylesi bir yıldız çok daha sıcak, dolayısıyla kıyaslanabilir aydınlatma gücüne sahip oldukça kırmızı ana kol yıldızlarıyla karşılaştırıldığında çok daha beyaz bir ışık yaydığı için uygundur. Kırmızı devler ve beyaz cüceler kendilerini beslenme düzeniyle ana kola taşıyacak hiçbir araca sahip değillerdir, fakat bu konunun onları endişelendirdiğinden şüpheliyiz; gerçek yıldızlar görünüşlerini umursamazlar.

Bu serpme çizimler ve beslenme düzeni ile ilgili sıradan tartışmamızdan, ilk defa keşfedildiklerinde beyaz cücelerin ne kadar ilginç ve tartışmalı oldukları kestirilemeyebilir. Çizelgedeki o küçük boyut, bilim insanlarına beyaz cücelerin çok yoğun olduğunu anlatmıştır. Beyaz cücenin Güneş'in kütlesinde ve Dünya'nın boyutunda olduğunu söylemek fazla etkileyici gelmeyebilir. Ne var ki bu, aynı zamanda bir çay kaşığı beyaz cüce maddesinin üç filin kütlesinin toplamına eşit olduğu anlamına gelir. Dünya üzerinde hiçbir malzeme bu yoğunluğa yaklaşamaz bile. Yakınımızdaki hiçbir yerde bulunmayan böylesi varsayımsal bir maddenin keşfine kuşkuyla yaklaşmak, bilim insanları tarafından tamamen makul ve tedbirli bir davranıştı.

Keşfedilen ilk beyaz cüce Sirius B olmuştur. Sirius gökyüzünde görünen en parlak yıldızdır. Bu yıldızı gözlemleyen Alman gökbilimci Friedrich Bessel 1844'te Sirius'un ikili sistem olduğu sonucuna varmıştır: gözlemlediği parlak yıldız (Sirius A) ve gözlemlemediği fakat varlığına, Sirius A'nın hareketine uyguladığı etkiden dolayı kanaat getirdiği sönük yıldız (Sirius B).

Bessel, en çok adını taşıyan matematik fonksiyonlarıyla tanınmaktadır (bu fonksiyonlar pek çok fizik probleminin çözümünde ortaya çıkar ve fizikte uzmanlaşan bütün üniversite öğrencileri tarafından öğrenilmesini gerektirir ki, bu da pek çok öğrencinin Bessel'in adını lanetlemesine neden olur). Bir yıldıza (Güneş dışında) uzanan mesafeyi ilk olarak ölçmüş ve hatanın çözümlenmesi ve azaltılması da dâhil olmak üzere oldukça hassas gökbilimi yöntemlerinin geliştirilmesinde öncülük etmiştir. Aynı zamanda Sirius ve Procyon yıldızlarının hareketlerini bulmuş ve bu hareketlerin ancak görülmeyen bir ortağın varlığında olabileceği sonucuna varmıştır. Ek olarak

Uranüs'ün yörüngesindeki küçük düzensizlikleri bularak bunlara ancak Uranüs'ün yörüngesinin arkasında kalan bir gezegenin sebep olabileceğine dair teori kurarak Neptün'ün keşfinde rol oynamıştır.

1862'de Sirius B dolaysız olarak Amerikalı gökbilimci ve teleskop ustası Alvan Clark tarafından bulunmuştur. Sirius B'nin aydınlatma gücünün Sirius A'nın 1/1000'ine denk geldiği bulunmuştur. Soğuk yıldız, sıcak olana nazaran daha sönüktür; dolayısıyla gökbilimciler Sirius B'nin düşük sıcaklığa sahip olmasını beklemişlerdir. Ne var ki Adams, Sirius B'nin spektrumunu ölçtüğünde yıldızın sıcak olduğunu bulmuştur. Böylelikle Sirius B'nin sıcak fakat sönük bir yıldız olduğu anlaşılmıştır. Bu, Sirius B'nin oldukça küçük bir boyuta sahip olduğu anlamına gelir; yaklaşık Dünya'nın boyutuna sahip olduğu hesaplanmıştır. Bu bilgi Sirius B'nin kütlesinin, beyaz cüce maddesinin muazzam yoğunluğuna işaret eden yaklaşık 1 güneş kütlesine sahip olduğu ölçümüyle birleştiğinde bu durum, gökbilim çevrelerinde şaşkın bir güvensizlikle sonuçlanmıştır. Eddington'un dile getirdiği üzere:

> Sirius'un yol arkadaşına dair mesaj deşifre edildiğinde şöyleydi: "Ben bugüne kadar gördüğünüz her şeyden 3000 kat daha yoğun bir malzemeden oluşuyorum; benim malzememden 1 ton, kibrit kutusuna sığdırabileceğiniz küçük külçe olacaktır." Böylesi bir mesaja verilecek cevap ne olabilirdi? 1914'te çoğumuzun bulduğu cevap "Kapa çeneni. Saçma sapan konuşma." olmuştur.

Bununla birlikte, er geç yeteri kadar gözlemsel kanıt toplanmış (saptanan evrende) ve beyaz cüceleri yıldızların evrim-

lerinin bir parçası olarak ele alan teori (teorik evrende) hazırlanmıştır. Bu iki evrene ait görüşler yeterince kesin olduklarında beyaz cüceler göksel aileye kabul edilmişlerdir. Sonradan anlaşıldığı üzere beyaz cücelerin muazzam yoğunlukları çok da tuhaf görünmez: Maddenin olağan yoğunluğu, çekirdek ve elektronlardan oluşan atomların olağan boyutundan gelir. Ne var ki, hem çekirdek hem elektronlar atomlardan o kadar küçüktürler ki, atomun çoğunlukla boş uzay olduğu düşünülebilir. Beyaz cüce maddesi bütünüyle iyonlaşmıştır, elektronlar plazma, çekirdekler ve elektronlardan oluşan gaz oluşturmak üzere atomlardan çıkarılmışlardır. Yıldızın muazzam kütleçekiminin etkisinde kalan plazma, beyaz cücelerde bulunan muazzam yoğunluğa sıkıştırılmıştır.

✹

Küçük yüzey alanları sebebi ile beyaz cüceler, diğer sıradan yıldızlara nazaran daha zor gözlemlenirler. Beyaz cüce yaklaşık Dünya'nın yüzey alanına sahiptir. Nötron yıldızı daha da uçtadır; bir şehrinkiyle karşılaştırılabilecek bir yüzey alanına sahiptir. Nötronyum adını taşıyan nötron yıldızının maddesi muazzam yoğunluğu sebebi ile bilimkurgunun hammaddesidir. Bir çay kaşığı beyaz cüce maddesi, üç filin kütlesine sahiptir; fakat bir çay kaşığı nötron yıldızı maddesi, yaklaşık Dünya üzerindeki bütün insanların kütlelerinin toplamının on katına eşittir. Ne var ki, (bilimkurgu hayranlarını hayal kırıklığına uğrattığımız için üzgünüz) nötronyum çelik veya plastik gibi işlenebilecek bir malzeme değildir. Böylesi muazzam bir yoğunluğa sahip olmasının tek sebebi, nötron yıldızının sahip olduğu muazzam kütleçekim alanıdır. Boş bir uzaydaki bir çay kaşığı

nötron yıldızı maddesi basıncı sebebiyle çabucak parçalarına ayrılarak şişecektir ve nötronları beta bozunumuna uğrayarak fotonlara, elektronlara ve antinötrinolara dönüşecektir. Dağıldıktan bir süre sonra ortada bir zamanlar nötronyum olduğuna dair bir iz kalmayacaktır.

Nötron yıldızların gözlemlenmesinin oldukça zor olduğu düşünülebilir. Aslında, J. Robert Oppenheimer ve George Volkoff 1939'da nötron yıldızlara dair bir teori üretmiş fakat hiçbiri gözlemleyebileceklerini beklememişlerdir. Oppenheimer en iyi atom bombası projesinin yönetmesiyle hatırlanıyor olsa da astrofiziğe önemli katkıları olmuştur. Nötron yıldızları üstüne çalışmalarının yanı sıra Oppenheimer ve öğrencisi Hartland Snyder, kütleçekimsel çöküşle oluşan karadelik sürecini hesaplamışlardır.

Nötron yıldızları, sıradan yıldızlar ve beyaz cüceler için işe yarayan yöntemlerle gözlenemiyor olmalarına rağmen, başka yöntemlerle saptanırlar. Nötron yıldızlarının ne oldukları ve nasıl davrandıklarının sonuçlarıyla bağlantılı yöntemlerle saptanmasının çeşitli yolların olduğu keşfedilmiştir. Bu sonuçlardan en dramatik olanı pulsar olarak bilinen bir gökcisim ile ilgilidir.

Pulsarlar 1967'de, Cambridge İngiltere'de, uzak radyo kaynaklarının gözleminde Güneş rüzgârının etkileri için radyo teleskop kullanan gökbilimciler Jocelyn Bell ve Antony Hewish tarafından keşfedilmişlerdir. Bir dizi düzenli titreşim veren, tam olarak her 1,337 saniyede bir beliren, görünüp hızla kaybolan, belirli bir radyo sinyali bulmuşlardır. Bell ve Hevish bu sinyallerin yapay bir kaynağı olduğunu düşünmüş veya Bell'in dile getirdiği üzere "Üç yıllık öğrenciliğin iki buçuk yılını tamamlamıştım ve bir sürü kimi şaşkın Küçük Yeşil Adam *benim*

teleskobumu ve *benim* frekansımı Dünya'ya sinyal göndermek için kullanıyor olsa gerekti." Bununla birlikte, "Küçük Yeşil Adamlar" teorisine anında nokta koyan, gökyüzünün farklı bir noktasından gelen aynı frekansta başka düzenli radyo sinyalleri bulmuşlardır. Bell'in açıkladığı üzere "Göze çarpmayan Dünya gezegenine sinyal göndermek için aynı alışılmadık frekansı ve alışılmadık tekniği kullanan bir sürü Küçük Yeşil Adamdan iki tane olması uzak bir ihtimaldi!"

Er geç bu pulsarların nötron yıldızları oldukları hipotezi kurulmuştur. Peki, neden bir nötron yıldızı düzenli radyo sinyali yaysın ki? İki yardımcı faktör vardır: Nötron yıldızının oldukça geniş manyetik alanı ve onun hızlı dönüşü. Eğretileme yoluyla, deniz fenerinin gece denizde gemiye nasıl göründüğünü düşünün. Deniz feneri düzenli olarak parlar, fakat yönü bir çemberin içinde dönerek değişmektedir. Gemideki denizci, ona doğru işaret ettiği sürece ışığı görür, fakat diğer zamanlarda göremez. Gemici deniz fenerini, her biri ışık etrafında döndüğünde görünen bir dizi düzenli sinyal olarak görür. Bundan dolayı, *eğer* Bell'in pulsarı her 1,337 saniyede bir etrafında dönüyorsa ve *eğer* sadece belli yönlere giden radyo dalgaları yayıyorsa, o zaman bu durum gözlemler açısından dikkate alınır; fakat bir nötron yıldız neden bu kadar hızlı döner? Ayrıca neden sadece belirli yönlerde radyo dalgaları yayar, diğerlerinde yaymazlar?

Bunu anlamak için, Güneş'in yok saydığımız bir yönüne yönelmemiz gerekmektedir: çevresinde döndüğü olgusuna. Güneş dönüşünden, yıldız dönüşünün niteliklerini saptayabileceğiz. Güneş, her yirmi yedi günde bir döner (Güneş lekelerinin hareketinden görüldüğü üzere), dolayısıyla buna dayanarak, bunun yıldızların tipik dönüş oranı olmasını bekleyebiliriz. Ne

var ki, nötron yıldızları, yıldızların çöküşüyle oluşurlar. Dönen cisimler küçüldüklerinde daha hızlı dönme eğilimi gösterirler. Açısal momentumun korunumu adı verilen bu ilke, daha hızlı dönebilmek için kollarını ve bacaklarını çeken buz patencileri için tanıdıktır.

Açısal momentumun korunumu, fizikteki çeşitli benzer korunum yasalarından biridir. Korunma Yasaları yaratılamaz ve yok edilemez sadece dönüşebilen ve transfer edilebilen nicelikleri ilgilendirir. Bunlardan en ünlüsü/önemlisi, enerjinin yaratılamaz veya yok edilemez sadece bir yerden başka bir yere hareket ettirilebileceğini veya bir enerji şeklinden başka bir şekle dönüşecek şekilde değiştirilebileceğini belirten enerjinin korunmasıdır. Enerjinin korunması fizikçilerin her zaman "Enerji nereye gitti veya nereden geldi?" sorusunu sorabildikleri epey sorunu çözmelerine olanak tanır. Diğer önemli yasa, momentumun korunmasıdır. Momentum, kütle çarpı hızdır. Büyük yavaş cisimler, küçük hızlı cisimlerin sahip olduğu momentuma sahip olabilir. Momentumun korunması hemen göze çarpmaz çünkü hız yönlüdür ki bu da, jet uçağı veya füzenin ters yöne doğru sıcak gaz ateşleyerek bir yöne doğru hareket edebilmesini açıklar. (Gazın toplam kütlesi çarpı gazın hareket yönündeki hızı ve füzenin kütlesi çarpı füzenin ters istikametteki hızı sıfırdır; bunun anlamı işin büyük bir kısmının yapılmış olması ve gazla roketin momentum kazandığıdır, fakat sistemin tamamında momentum sıfırdır.)

Açısal momentum, momentuma tam olarak olmasa da benzer; kütle, boyut ve açısal hızla (cismin hangi yöne doğru ne kadar hızlı döndüğü) ilgilidir. Her halükarda, buz patencisi benzetmesi açısal momentumun, bir yıldızın çekirdeğinin çö-

küşüyle oluşan nötron yıldızının dönüş oranındaki muazzam artışın hesaplandığında, pulsarlar için uygun oranlar üretmesine nasıl uygulanabileceğinin gösteriminde iyi iş çıkarır.

Nasıl ki çöküş, dönüş oranının artışına eğilimliyse, aynı zamanda manyetik alanı da artırır. Bu belki de en iyi manyetik akının yaklaşık istikrarının sonucu olarak görülür (korunmasa da aynı şekilde kalma eğilimi gösterir). Manyetik akı, yüzey alanıyla çarpılan manyetik alan değeridir. Nötron yıldızının yüzey alanı büzüldükçe akı kabaca aynı kaldığına göre, manyetik alan büyüyecektir. Güçlü manyetik alanı ve büyük yarıçapı olan bir yıldız söz konusu olduğunda yarıçapın küçülmesi manyetik alanı daha da güçlü hale getirir. Böylelikle bir nötron yıldızı, yıldızın muazzam derecede yoğunlaştırılmış çekirdeği, oldukça düzenli bir dönüş oranı ve oldukça büyük manyetik alanla sonuçlanır.

Bu, nötrondan sadece belli bir yönde ortaya çıkan radyo sinyalini nasıl meydana getirir? Aslında bu kuzey ışıklarını ortaya çıkaran etkiyle aynıdır: Manyetik alandaki elektrik yükü taşıyan parçacıkların hareketi. Bu durumda sadece elektrik yükü taşıyan parçacıklar değil, manyetik alanın kendisi de hareket eder; çünkü nötron yıldızının gerçek ve manyetik kutupları Dünya'da da olduğu gibi aynı değillerdir.

Çocukken pusulanın kuzeyi gösterdiğini öğreniriz. Ne var ki uzun bir zaman önce denizciler manyetik kuzeyle (pusulanın gösterdiği yön) gerçek kuzeyi (Dünya'nın çevresinde döndüğü kutbu gösteren yön) ayırmayı öğrenmişlerdir. Dünya'da manyetik kuzey kutbuyla gerçek kuzey kutbu oldukça yakınlardır dolayısıyla "pusula kuzeyi gösterir" kuralı oldukça iyidir. Bununla birlikte bu kutupların birbirlerine yakın olmaları gerekmez. Gerçek kuzeyle manyetik kuzey tam olarak çakışma-

dığına göre, Dünya'nın manyetik kutbu günde bir kere, gerçek kuzey kutbunun çevresinde döner. Bu durum Dünya'dan yayılan oldukça zayıf manyetik alana sahip zayıf bir sinyal yaratır. Fakat pulsar gibi güçlü bir alan söz konusu olduğunda, manyetik kutup nötron yıldızın dönüş eksenin çevresinde dönükçe koskocaman elektrik ve manyetik alanlar meydana gelir.

Biraz fazla hızlı geçtik bu konuyu. Radyo dalgalarının neden manyetik kutup yönünde yayıldığını açıklamamız gerekir. Kuzey ışıklarının, elektrik yükü taşıyan parçacıkların manyetik alan yönünde yol almalarından kaynaklandığı için kuzeyde gerçekleştiklerini anımsayın. Bir de hareket eden manyetik alanın elektrik alanı yarattığını dikkate alın. (Evimizde kullandığımız elektrik gücünün üretiminin arkasındaki ilke budur.) Oldukça büyük manyetik alan ve nötron yıldızının düzenli dönüşü, nötron yıldızının manyetik alanının yanında proton ve elektronları hızlandıran muazzam elektrik alana yol açar. Bu hızlandırılmış elektrik yükü taşıyan parçacıklar, pulsarın gözlemlenen sinyalini biçimlendiren radyo dalgalarını üretir.

Nötron yıldızının ortaya çıkardığı manyetik yapı pulsarların dikkate aldığı etkileri ürettiğine göre, bilim insanları mantıklı olarak bunun pulsarların titreşmesinin sebebi ve pulsarların bilinmeyen türden bir cisim değil, hipotezi kurulan nötron yıldızlarının doğrulanması oldukları sonucuna varmışlardır. Diğer bir deyişle pulsarlar, nötron yıldızlarının davranması gerektiği gibi davranmışlardır, dolayısıyla onların nötron yıldızı oldukları sonucuna varılmıştır. Küçük yeşil adamlara ihtiyaç kalmamıştır.

Her ne kadar da pulsarlar nötron yıldızlarının en dramatik dışavurumu olsalar da, ne bu yaşlı yıldızların en kolay ne de en güçlü saptanabilir görünüşüdürler. Bu basit etki nötron yıldız-

ların dönen bir mıknatıs olduğu olgusundan gelir; dönen mıknatıslar bütün yönlere doğru elektromanyetik ışınım saçar. Bu ışınımı nasıl fark ederiz? Belirli bir örneğe göz atalım: Yengeç Bulutsusu'na. 1054'de bir süpernova, Çinliler ve muhtemelen Anasazi Amerikan Yerlileri tarafından gözlemlenmiştir. "Gözlemlenmiştir" aslında bir anda parlayarak görünüp sonra sönen bir yıldız için fazlasıyla zayıf bir tanımlamadır. Neden yıldızın 1054'te patladığını söylemiyoruz? Çünkü patlamamıştır. Süpernova bizden yaklaşık 6000 ışık yılı uzaktadır, yani ışığın ondan bize ulaşması yaklaşık 6000 yıl sürmektedir. Böylelikle Yengeç süpernovası 1054'te gözlemlenmiştir; fakat yıldız, bundan yaklaşık 6000 yıl önce patlamıştır. Gökbilimde, yukarıda da belirtildiği üzere uzaya bakabilme yetisi aynı zamanda geçmişe bakabilme yetisidir. Ayrıca evet, bir sonraki adımda göreceğimiz üzere, zamanda geriye de bakabiliyoruz.

Gökyüzünde Yengeç süpernovasının bulunduğu konumda bir pulsar saptanabilmektedir ki, bu da süpernovaların hızlıca (yıldız ölçeğinde) nötron yıldıza dönüşebildiği görüşünü doğrulamaktadır. Bu, yıldız evriminde veri olarak kullanabilmeleri için yeteri kadar zaman önce gözlem yapılmış birkaç vakadan biridir. Çoğu durumda yıldızlar, insan ölçekli bir gözlemin tek bir yıldızdaki değişiklikleri doğrulamak için kullanılabilir bir veri oluşturması için fazla uzun zamanda değişirler. Süpernovalar istisnadır, çünkü onların patlamaları gerçekten insana ait bir zaman ölçeğinde gerçekleşir.

Belirttiğimiz üzere, süpernovada çekirdek çöker ve kılıf atılır. Bu durumda çekirdek nötron yıldızına dönüşmüştür peki kılıfa ne olmuştur? Bu kılıf bugün Yengeç Bulutsusu olarak gördüğümüz sürekli genişleyen gaz bulutu olarak kalmaya devam eder. Bu 80.000 güneş ışığı saçan (yani, Yengeç Bulutsusu,

Güneş'in yaydığından 80.000 kat fazla güç yayar) oldukça parlak bir bulutsudur. Süpernova bundan yaklaşık 1000 yıl önce gözlemlenmişse neden Yengeç Bulutsusu hâlâ parlar? Bir şey yayamayacak kadar dağınıksa aydınlatma gücü nereden gelir?

Her ne kadar kulağa tuhaf gelse de bulutsunun aydınlatma gücü nötron yıldızından gelir. Dönen nötron yıldızının yaydığı elektromanyetik ışınım elektronları hızlandırır. Manyetik alanda hareket eden elektronlar senkrotron ışınımı adı verilen elektromanyetik ışınım yayar. Parlayan Yengeç Bulutsusunu gördüğümüzde gözlemlediğimiz şey senkrotron ışınımıdır.

Peki, nötron yıldızının enerjisi nereden gelir? Ne de olsa artık gücü olan bir yıldız değildir. Bu nötronyum kütlesinde gerçekleşen bir füzyon yoktur. Dönen mıknatısların elektromanyetik ışınım ürettiği söylemek yeterli değildir. Enerji korunur, yaratılmaz veya yok edilmez, daha ziyade bir yerden başka bir yere veya bir türden başka bir türe nakledilir. Yani, hiçbir yakıt yakmayan bir nötron yıldızının neden yayacak bir enerjisi var?

Bu nötron yıldızının dönmesinden kaynaklanan enerjisi vardır ve bu enerji, ışınım için güç sağlar. Sonunda nötron yıldızının yaydığı enerji onun gitgide yavaşlamasına neden olur ve aslında Yengeç Pulsarının dönüş periyodunun oldukça hassas ölçümü, Yengeç Bulutsusunun yaydığı enerjiden beklenen oranda bir yavaşlama hızına sahip olduğunu göstermiştir. Böylece bin yıllık bir kayda ve gökyüzünde parlayan güzel görüntüye bakarak, nötron yıldızının varlığına ve niteliğine dair daha fazla doğrulama elde ederiz.

Nötron yıldızlarını saptamak için değerlendireceğimiz son yöntem ikili yıldız sistemleriyle ilgilidir. Amaçlarımız doğrultusunda en önemli yöntem budur çünkü aynı zamanda karadeliklerin saptanması için de kullanılabilir. İkili yıldız sis-

temlerin yıldızları birbirlerinden uzakta olduklarında, her biri kendi kütleçekim kuvvetini kullanarak malzemesine tutunur. Bununla birlikte yıldızlar birbirlerine yakın olduklarında, bir yıldızın kütleçekimi diğerinin malzemesini dış katmanından çekecek güce sahip olabilir.

Nötron yıldızından ve sıradan bir yıldızdan (ona nötron yıldızının yol arkadaşı diyeceğiz) oluşan böylesi yakın ikili bir sistem düşünün. Nötron yıldızının yol arkadaşından söküp aldığı malzemeye ne olur? Nötron yıldızının muazzam kütleçekimiyle yol arkadaşından koparılır ve sonrasında bu kütleçekiminin rehberliğinde nötron yıldızının çevresinde yörüngede, aktarım diski adı verilen, krebe benzer bir şekil oluşturur. Aktarım diski, iç sınırındaki gaz nötron yıldızına düştükçe sürekli olarak tükenir ve aynı zamanda yol arkadaşından gelen gazla sürekli olarak yeniden dolar. Bu süreç, Güneş'i ilk olarak ısıtan Kelvin-Helmholtz mekanizmasıyla benzerlik taşır. Gaz kütleçekim tarafından çekilir ve böylece sıkışır. Sıkışma ısınmaya yol açar ki, bu da gazın ışık saçmasına yol açar.

Bu süreçte, Güneş için de yaptığımız gibi, kilogram başına açığa çıkan enerjiyi hesaba katmaya çalışalım. Güneş çözümlemesinde bütün yakıtları, bazılarımızın fırınlarında yaktığı doğal gazla karşılaştırmıştık. Burada yanma sürecini Einstein'ın $E = mc^2$ formülünün verdiği teorik maksimumla karşılaştıracağız. Bu tanıdık fakat yanlış anlaşılmış formül, diğer şeylerin yanında, iri bir parça maddeden elde edilebilecek maksimum enerjiyi verir. c büyük bir sayı olduğuna göre (3 x 108 metre/saniye), c^2 çok büyük bir sayıdır (9 x 1016 metre^2/saniye^2). Bu nedenle, maksimum enerjinin maddeye oranı oldukça yüksektir.

Elektrik sağlayıcımız faturamızı kestiğinde enerjiyi, kilovat-saatin 100-vat gücündeki bir ampulü 10 saatliğine yakmak

için gereken enerji olduğu, kilovat-saat olarak ölçer. Doğal gaz yaktığımızda, yaktığımız her kilogram yakıt için 15 kilovat-saat enerji elde ederiz. Ne var ki, Einstein'ın formülü bize her bir madde parçasının içinde muazzam miktarda, her kilogram yakıt için 25.000.000.000 kilovat-saat, enerjinin hapis olduğunu söyler. Yakıtın verimliliğini kilogram başına denk gelen enerji miktarının teorik maksimumuna bölümü olarak tanımlayalım. Doğal gaz 0,0000000006 (veya bilimsel notasyonla 6×10^{-10}) verimliliğine sahiptir. Benzer sayılar benzin için de geçerlidir, bu kadar verimsiz bir yakıt kullandığımıza göre otomobillerimizin deposunu bu kadar sık doldurmak zorunda olmamıza şaşmamalı. Hidrojen füzyonu 0,007 verimlilikle çok daha etkindir. Füzyon, enerji kaynaklarının James Bond'udur.

Bununla birlikte, aktarım diskinin açığa çıkardığı gazın kütleçekimsel potansiyel enerjisi, 0,3 (veya maksimumun %30'u) verimlilikle çok daha etkindir. Diğer bir deyişle nötron yıldızı malzemeyi yoldaşından alır ve aynı malzeme nükleer füzyona uğrasaydı açığa çıkacak enerjinden yaklaşık 40 kat daha fazla enerji üretir. Bu, "ölü" bir yıldızın "canlı" olanından çok daha fazla enerji üretebilmesi gibi garip bir gerçeği ortaya koyar.

Enerjiyi açığa çıkaran bu süreç neye benzer? Gaz, nötron yıldızının merkezine düştükçe çok yüksek sıcaklığa kadar ısınır. Isınan gaz elektromanyetik ışınım yayar ve gaz ne kadar sıcaksa yayılan ışınımın dalga boyu o kadar kısalır. Morötesi ışınlar görünen ışıktan daha kısa dalga boylarına sahiptirler, X-ışınlarınınki daha da kısadır. Nötron yıldızının aktarım diskleri o kadar sıcaklardır ki X-ışınları yayarlar. Ne yazık ki Dünya'nın atmosferi X-ışınlarını soğurma eğilimine sahiptir. Aslında atmosfer farklı dalga boylarındaki ışıkların çoğunu soğurur, görünen ışık ve radyo dalgaları istisnadır. Bu sadece gökbilimciler

için talihsizliktir aslında. Geri kalanımız için soğurma iyidir, bizi kötü ışınımdan korur; fakat bilim insanları saptamaya engel olan şeylerden, başka faydalı etkileri olsa bile, hoşlanmazlar. Hepimizi kaçınılmaz ölüme maruz bırakmadan bu "sorunun" üstesinden gelmek için, uydulara X-ışını teleskopları yerleştirilmiştir. Bunlar nötron yıldızlarının çevresindeki aktarım disklerini saptamak için kullanılmıştır. Gökyüzünün X-ışınları açısından incelenmesi sonucunda nötron yıldızın, sıradan ikili yıldız sistemlerinde beklenen X-ışını yayınımına sahip birkaç cismi ortaya çıkmıştır.

Nötron yıldızlarının saptandığı çeşitli yöntemleri ayrıntıyla anlattık, fakat bu yöntemleri teorik evrenin dilini kullanarak tanımladık. Nötron yıldızlarının var olduğunu ve çeşitli yöntemlerle gözlemlenebildiklerini söyledik. Ne var ki, onun yerine saptanan evren dili kullanabilirdik. Pulsarlar, parlak bulutsular ve X-ışını ikili sistemleri adı altında çeşitli gökbilimsel olaylar gözlemlenmiştir diyebilirdik. Bu olaylardan her biri için bir model vardır ve her bir model nötron yıldızı adında teorik bir varlıktan yararlanır. Saptanan evren dilinin avantajı makul tedbirle ilgilidir. Gökbilimsel bir kaynaktan düzenli atışlar şeklinde yayılan radyo dalgaları anlamında, pulsarlar gözlemlenmiştir. Gözlemin güvenilir olduğu bir kapsamda, pulsarların onların doğası hakkında ne bilip ne bilmediğimizden bağımsız olarak var olduklarını biliyoruz. Buna karşılık bir pulsara nötron yıldızı demek, bizi pulsarın nasıl çalıştığına dair belli bir modele bağlar ve modelin yanlış olması durumunda bizi hatalı kılar.

Saptanan evren dilinin dezavantajı belli bir anlayış eksikliğini hem yansıtması hem de desteklemesidir. Bu durum en iyi kör adamlar ve fil masalıyla örneklenebilir. Bu hikâyede,

birkaç kör adam fille karşılaşır. Biri hortumuna dokunup "Fil yılana benziyor" der. Diğeri bacağına dokunup "Fil ağaca benziyor" der. Bir diğeri dişine dokunup "Fil mızrağa benziyor" der. Bu masal biz gerçeği bildiğimiz için mizahidir: Fil bu şeylerin hepsine benzer, fakat hiçbiri değildir. Her bir kör adam, gözlemleri ne kadar dakik olursa olsun gerçeğin sadece bir kısmına hâkimdir. Sadece görme yeteneğine sahip bizler (veya çekişmelerine gözlemlerini karşılaştırabilecek kadar ara verebilselerdi, kör adamlar da) bütün file dair iyi bir resme sahibiz. Gökbilimde belirli olaylar için kullanılan dil, zaman içinde genel olarak değişir. Gözlem önce gelir dolayısıyla bize saptanan olaylar için saptamaya dayanan, "pulsar" gibi, isimler veren saptanan evrenin dili zorunludur. Teoriler önerilir ve teorik evrenin dili (bu vakada nötron yıldızı) ortaya çıkar, gerçi, makul tedbir bu dili baskın olmaktan alıkoyar. Son olarak teoriler yaygın olarak kabul edilebilir olur. O zaman onların dili, bazen kendi terimlerini bulma ihtimali olan gözlemcileri saymazsak herkes için geçerli olur. Bugün nötron yıldızı bu aşamaların sonuncusundadır; teorik evren terimleri ve açıklamaları yaygın olarak kabul edilmiştir ve eski terim dizgesinin yerine geçmektedir ("pulsarın" terim olarak bütünüyle kadim sayıldığı zamanlar da gelebilir). karadelikler konuları itibarı ile ortayla son aşamanın arasında bir yerdedirler, çoğunlukla kabul edilmişlerdir; fakat halen kullanılan işlem hataları ve eski görüşler vardır. Bu biraz kanıtın doğasıyla ilgilidir, fakat muhtemelen aynı zamanda gökbilimciler tarafından sergilenen aşırı bir tedbirle de ilgilidir. Elbette ki, kendi bakış açıları dâhilinde, bir kişi için aşırı tedbir gelen bir şey, başka birisine sıradan ve bir kişi için ileriye dönük açık görüşlülük olan şey başka birisine düşüncesiz bağnazlık olarak gelebilir.

İsimlerinin değiştirilmesinin mantıklı mı yoksa aşırı gayret mi olduğunu tartışmaktan ziyade uzayın vahşi yerlerine gidip heybemize birkaç karadelik atabilir miyiz diye bir bakalım.

Korkmayın: Nesli tükenme tehlikesi olan canlılardan değiller.

7. Bölüm

Karadelik Avcılığı

Artık beyaz cücelerin ve nötron yıldızlarının nasıl saptandıklarını görüp izlerini sürerek birkaç gizli avı yakaladığımıza göre, aslında çantamıza atmaya çalıştığımız birkaç karadelik bulmanın zamanı gelmiştir. (Çantada karadelik istediğinize dikkat edin. Bu hem çanta hem de sizin için kötüdür.) Karadeliklerle nötron yıldızları arasında benzerlikler ve farklılıklar bularak başlayacağız ve bulunması zor bir cismi bulmak için kullanılan araçlar, başka bir tanesini bulmamıza yardım eder mi diye bakacağız. Saptanan evrende, sıfırdan üretmek yerine bir amaç için üretilmiş araçların başka bir amaç için dönüştürülmesi mümkün mü diye bakmak iyi bir fikirdir. Ne var ki, araçları dönüştürürken üzerinde çalışılan cisimlerin birbirleriyle uygun biçimde benzer olup olmadığından emin olmak zaruridir.

Hem nötron yıldızları hem de karadelikler yüksek kütleçekim alanlarına sahip yoğun cisimlerdir. Bununla birlikte, nötron yıldızından farklı olarak karadeliğin teorik olarak bir manyetik alanı yoktur dolayısıyla üç yöntemin ikisi anında ele-

nir. Hem pulsarların hem de parlak bulutsuların saptanması nötron yıldızının manyetik alanına bağlıdır. Neyse ki X-ışını ikili sistemlerinin nötron yıldızı açıklaması, manyetik alana bağlı değildir; çünkü nötron yıldıza düşen maddenin ortaya çıkardığı X-ışını, ikili sistem ve kütleçekim dışında bir şey gerektirmemektedir.

Geniş kütleçekim alanına sahip bir cismin karadelik olduğu durumlarda X-ışını ikililerinin var olmasını bekleriz. Buradaki aldatıcı soru, nötron yıldızı X-ışını ikilisiyle, karadelik X-ışını ikilisi arasındaki farkı nasıl anlarız sorusudur. İlk bakışta karadeliğin daha büyük kütleçekim alanı sebebi ile nötron yıldızından daha yüksek yakıt etkinliğine sahip olacağını bekleyebiliriz. Doğrusu teorik hesaplamalar göstermiştir ki, cisim karadeliğin olay ufkuna yavaşça yaklaştırıldığında %100 yakıt etkinliğine (maddenin tamamı enerjiye dönüşür) ulaşılabilir. Ne var ki, karadeliklerin çevresindeki aktarım disklerinin matematik modelleri diskin olay ufkuna kadar genişlemediğini göstermiştir. Onun yerine diskin iç kenarı olduğu ve bu aralıktan hızlıca geçen gazın karadeliğin içine battığı görülmüştür. Düşüş artırılmış etkinlik için yeterli yavaşlıkta değildir. Aktarım diskinin kayıp maddesinin bütün enerjisi X-ışını aracılığı ile yayılmaz. Bir kısmı karadeliğe düşer. Bu etkiyi dikkate aldığımızda, karadeliğin aktarım diskinin yakıt etkinliği, nötron yıldızının aktarım diskinkinden çok faklı değildir. Oradan gelecek bir yardım yoktur.

Ne var ki, nötron yıldızlarının aksine karadeliklerin azami kütlelerinin olmadığını biliyoruz. Aşırı kütleye sahip olan bir nötron yıldızı karadeliğe dönüşür; karadelik ise sadece daha büyük bir karadeliğe dönüşür. Bu nedenle X-ışını ikilisinde yoğun cismin kütlesi, nötron yıldızının azami kütlesinden

büyükse bu cismin karadelik olduğu sonucuna varabiliriz. Bir kısım karadelik bu şekilde tanımlanmıştır. Ne yazık ki, bu bir nevi düz mantıktır; nötron yıldızı olması gereken fakat kütlesi fazla büyük bir şey bulduğumuzda onun karadelik olması gerektiğini söyleriz. Bu, iki cismi birbirinden ayırmak için saptamayı değil teoriyi kullanmaktır ve dikkat göstermek için sebeptir. Sonuçta nötron yıldızının büyük kütlesine rağmen çöküşü engelleyebildiği, bilinmeyen bir yol olabilir. Başka bir yönteme ihtiyacımız var.

Çökmüş iki yıldız arasındaki farkları tekrar düşünelim. Karadelikler nötron yıldızlarından, nötron yıldızlarının yüzeyi, karadeliklerin ise olay ufku olması açısından faklılaşırlar. Aktarım diskinin iç kenarındaki madde, dolayısıyla nötron yıldızı X-ışını ikilisindeki nötron yıldızın yüzeyine düşer. Ne var ki aynı madde karadelik X-ışını ikilisinde olay ufkundan geçerek düşer. Yığılan maddenin davranışındaki farklılıkları güvenilir bir biçimde söyleyebildiğimiz durumda iki tür ikili ayırt edilebilir. Diğer bir deyişle, maddenin bir şeyin üzerine düşmesiyle bir şeyin içine düşmesi arasındaki farklılıkları söyleyebildiğimizde nötron yıldızlarını karadeliklerden ayırt edebiliriz.

Aşağıda tartışılan modelleme zorluğu nedeniyle ne yazık ki bunu küçük karadeliklerle yapmanın güvenilir bir yöntemini bulamıyoruz. Bu moral bozucudur. Birkaç güneş kütlesine sahip karadelikler X-ışını ikililerinde saptanmıştır; fakat küçük sayılardadırlar ve hatta o zaman bile karadelik mi yoksa nötron yıldızı mı olduklarına dair birazcık belirsizlik olmuştur.

Bununla birlikte, nötron yıldızının bir azami kütlesi olduğu ve karadeliğin olmadığı olgusuna daha dikkatli baktığımızda durum değişir. Nötron yıldızının yaklaşık iki güneş kütlesinden küçük olması gerekir. Ne var ki hiçbir şey bir karadeliği

binlerce veya milyonlarca veya hatta milyarlarca güneş kütlesine sahip olmaktan alıkoyamaz. Böylesi bir dev karadeliğin nötron yıldızına benzer hiçbir tarafı yoktur ve aktarım davranışı milyonlarca ışık yılına yayılabilir. Diğer bir deyişle daha büyük düşünürsek yıldızlardan çok daha büyük cisimlere bakarsak nötron yıldızı olma riskine sahip olmayan karadeliklerimizi bulabiliriz.

Bu nedenle bu bölümümüzün ilk sorusunun bir çeşitlemesine döneriz, Michell ve Laplace'ın sorusunun bir çeşitlemesine: Dev karadelikler mevcut mudur? Ne var ki bu araştırmacıların ikisi de su yoğunluğuna sahip 100 milyon güneş kütlesinin karadeliği biçimlendireceğine dikkat çekmişlerdir. İlk bakışta yoğunluk aşırı gelmez, fakat kütlenin miktarı gelir. Karadelik oluşturacak kadar küçük bir hacimdeki 100 milyon güneş kütlesini nereden bulacaksınız?

Yıldız ölçeğinden yukarıya doğru gidip galaksilerin özelliklerini dikkate aldığınızda sorunun cevabı bulunabilir. Yıldızlar, gece gökyüzündeki görünümlerine rağmen, uzay boyunca eşit bir şekilde dağılmamışlardır; aksine, galaksiler adı verilen devasa yıldız derlemeleri oluşturacak şekilde "kümelenmişlerdir". Neden ve nasıl bu kadar kümelendikleri (en azında kısmen) bilinmektedir, ancak bu tartışmayı bir sonraki bölümümüze kadar erteliyoruz.

Bizim galaksimiz, Samanyolu Galaksisi, yaklaşık 40.000 parsek çapındaki bir diski oluşturan milyarlarca yıldızın derlemesidir. "Samanyolu", yıldızlardan oluşan devasa diskin bu diskin içinde yaşayan biri için nasıl göründüğüdür. Disk bir yönde ince diğer yönlerde kalın olduğuna göre, diskin içinde yaşayan biri diskin düzleminin dışı yönünde baktığında birkaç, fakat diskin düzleminin içi yönünde baktığında çok sayıda yıl-

dız görecektir. Gökyüzüne uzanan yönlerin bir "bandı", çok sayıda yıldız ışığının yarattığı parlaklık dağılımına sahip olacaktır. Bu bant, ona Samanyolu ismini veren kadim gökbilimciler tarafından kolaylıkla görülmüştür. Bu arada, "galaksi" sözcüğü Grekçe süt anlamına gelen sözcükten türemiştir.[10]

100 milyon güneş kütlesi galaksi ölçeğinde çok büyük bir kütle sayılmasa da yıldızlar arası mesafeler dikkate alındığında su yoğunluğu çok yüksek bir yoğunluktur. Bunu anlamak için galaksimizdeki "mahallede" yıldızların birbirlerinden birkaç parsek ötede olduğunu dikkate almak gerekir, bu nedenle yıldızların yoğunluğu küp parsekte yaklaşık 1 güneş kütlesi olacak şekildedir. Güneş'in yarıçapı bir parsekten çok küçük olduğuna göre bunun anlamı galaksideki mahallemizde yoğunluk suyun yoğunluğundan çok daha azdır.

Her şeye rağmen, galaksinin merkezi dış bölgelere nazaran yıldız açısından daha yoğundur ve bizim Güneş'imiz galaksinin merkezinden çok uzaktadır (biz galaksi taşrasında, Samanyolu'nun merkezindeki havalı şehir hayatından uzakta yaşıyoruz). Galaksilerin merkezlerinin kütleçekimsel çöküşe uğrayıp karadelik oluşturacak kadar yoğun olmaları inanılmaz değil. Ne var ki, galaksi oluşumu sürecine ve sonraki gelişmelere dair anlayışımız galaksilerin merkezinde karadeliklerin varlığı veya yokluğu konusunda kesin bir tahminde bulunabilmemize yetecek kadar iyi değil. Onun yerine bu bir saptama sorusudur: Galaksilerin merkezinde dev karadelikler var mı?

Aktarım diskleri tartışmasının sonucu olarak ortaya çıkan garip bir gerçekle başlıyoruz: Karadelikler kara olmakla birlikte yiyebilecekleri bir şeyin yakınında olduklarında büyük miktarda enerji yayarlar. Diğer bir deyişle, karanlığı çevreleyen

10 Samanyolu Galaksisinin İngilizcesi sütlü yol anlamına gelen Milky Way'dir. (Ç.N.)

devasa miktarda ışık (özel olarak X-ışını) vardır. Galaksilerin ortasında, yenebilecek ağız sulandırıcı yıldızların bulunduğu yerlerde dev karadelikler var mıdır diye soruyoruz. Böylesi bir galakside olukça parlak bir merkez saptamayı bekleriz.

Parlak merkezli galaksi ilk olarak 1908 gibi eski bir tarihte Amerikalı gökbilimci Edward Fath tarafından Güney California'da inşaatı yeni bitmiş olan Mount Wilson Rasathanesi'ndeki teleskop aracılığı ile bulunmuştur. Ne var ki, böylesi galaksilerin ilk sistematik incelemesi 1942'de Amerikalı gökbilimci Carl Seyfert tarafından yine Mount Wilson'da yapılmıştır. Bunlara aktif galaksi çekirdekleri veya AGÇ (esprili bir telaffuzu yok, bazen kısaltmalar sadece kısaltmadır) adı verilir. Buradaki çekirdekler sözcüğünün atomun çekirdeğiyle hiçbir alakası yoktur sadece merkezler anlamına gelir. "Çekirdek" bilimde ne zaman kullanılırsa kullanılsın genellikle merkez veya merkezi cisim anlamına gelir, dolayısıyla atomun çekirdeği, biyolojide hücrenin çekirdeği, galaksinin çekirdeği ve benzeri tanımlamalarımız vardır. AGÇ'nin ışığının spektrumunun en yoğun olduğu yer tipik olarak morötesidir fakat görünen ışık ve kızılötesinin yanında X-ışınları da yayarlar. Ek olarak, parlak yayınım çizgileri vardır. Bunlar seyreltilmiş sıcak gazın spektral çizgileridir. AGÇ'nin yaklaşık %90'ı radyo dalgası açından az yayınım yapar ve onlara radyo sessiz adı verilir, geri kalan %10 radyo frekansları bol miktarda yayınım yapar ve onlara radyo sesli adı verilir.

Yıldız benzeri cisimler adı verilen veya genellikle YBC kısaltmasıyla tanınanlar, muhtemelen AGÇ'lerin en dramatik olanlarıdır. Bunlar ilk olarak 1960'ta, radyo kaynakları için optik karşılıklar arayan Thomas Matthews ve Alan Sandage tarafından saptanmışlardır. Temelde radyoteleskop kullanan gök-

bilimciler radyo dalgaları yayan belirli cisimler bulmuşlardır ve Matthews ile Sandage, sıradan (optik)teleskop kullanarak bu cisimlerin görünen ışık yayıp yaymadıklarını bulmak istemişlerdir. Buldukları şey ilk bakışta şaşırtıcı olmuştur: Bilinen hiçbir kimyasal elemente karşılık gelmeyen bir takım parlak yayınım çizgileri. Bu ilgi çekmiştir, fakat helyumla ilgili benzer karışıklık gibi yeni bir elementin keşfiyle sonuçlanmamıştır. 1963'te Hollandalı gökbilimci Maarten Schmidt benzer bir cismin gizemli çizgilerinin hidrojene ait olduğunu fakat hidrojenin ışık hızının %15'ine denk gelen bir hareketin yarattığı çok fazla miktarda kırmızı kaymaya maruz kaldığını fark etmiştir.

Sonraki bölümümüzde göreceğimiz üzere evrenin genişlemesi, galaksilerin birbirlerinden uzaklaştığı ve göreli hızlarının, galaksileri arasındaki mesafe uzadığı ölçüde arttığı anlamına gelir. Bizden ışık hızının %15'i oranında uzaklaşan bir galaksi, milyar ışık yılından daha uzaktadır. YBC'ler galaksiler arası mesafelerdeydiler, dolayısıyla spektral çizgilerin gizeminin çözülmesi başka bir gizeme neden olmuştur: Böylesi bir cisim nasıl olur da görünür? Uzak bir mesafeden görülebilmesi için cismin çok yüksek miktarlarda enerji yayıyor olması gerekirdi. Samanyolu tipik bir galaksidir; fakat tipik bir YBC Samanyolu'nun aydınlatma gücünün 500 katına sahiptir ve en parlak YBC'ler, Samanyolu'nun aydınlatma gücünün 100.000 katına sahiplerdir. Bir cücenin milyonlarca yıldız gücünde olabilmesi için gerekli enerjiyi ne sağlıyor olabilirdi?

Gökbilimciler YBC'nin değişkenliğini dikkate aldıklarında gizem daha da koyulaşmıştır. Her bir YBC kısa (insanların için kısa, yıldızlar için saçma bir biçimde kısa) süreliğine parlaklık derecesini değiştirir. Ne var ki, parlaklığı değiştiren

şeyler bunu, yüzeyinin tamamında boydan boya bir kerede yapıyor gibi görünmezler. Belli bir büyüklüğe sahip bir cisim söz konusuysa parlaklık, onun bakış açısından bir kerede değişiyor gibi görünüyor olsa bile biz parlaklığı, cismin farklı parçalarında farklı zamanlarda değişiyor gibi göreceğiz çünkü basitçe cismin farklı parçalarından yayılan ışık bize farklı zamanlarda ulaşır. Örneğin, 1 ışık dakikası genişliğinde bir cisim bir kerede parlaklığını yarısına kadar düşürürse, biz en yakın parçanın en uzak olana nazaran 1 dakika daha önce sönükleştiğini göreceğiz. Bu gerçekten de insan ölçeğinde bile olur, fakat alıştığımız cisimlerin boyutu o kadar küçüktür ki, ışık hızıyla karşılaştırıldığında değişimin aniymiş gibi görünmesine sebep olur. Ampulün aniden söndüğünü düşünürüz oysaki ampulün uzak ucu (bizim perspektifimizden) yakın ucuna nazaran yaklaşık 5 cm (ampulün yarıçapı)/30.000.000.000 cm/saniye (santimetre/saniye ölçeğinde ışık hızı) = 1/6.000.000.000 saniye veya saniyenin altı milyarda biri kadar sonra değişir (tamam algılarımız açısından anidir, fakat zaman farkının gerçekliği önemlidir).

Bir cismin boyutu 1 ışık yılıysa en hızlı değişkenlik (cismin tamamının parlaklığının değişebileceği zaman ölçeği) 1 yıldır. Ne var ki tipik bir YBC'nin birkaç saatlik bir değişkenliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir, yani en fazla birkaç ışık saati boyutunda olmaları gerekirdi. Diğer bir deyişle, YBC'lerin, Güneş Sisteminden küçük olmaları ve galaksinin tamamından fazla güç yayımlamaları gerekirdi.

Ayrıca, büyük YBC'nin aydınlatma gücünün büyük kütleye karşılık gelmesi gerekirdi. Yıldızı dengede tutan şeyin kütleçekim ve basınç arasındaki denge olduğunu anımsayın. Bu, kütleçekimle bağlı bütün sistemler için geçerlidir. Bunun anlamı belli bir kütle için (Eddington aydınlatma gücü adı verilen)

bir aydınlatma gücü vardır: Bir cisim, Eddington aydınlatma gücünden daha yüksek bir aydınlatma gücüne sahip olamaz yoksa ışığın enerjisi, cismi parçalarına ayırmaya yetecek basıncı üretecektir. Bu mantığı ters çevirdiğimizde, tipik bir YBC aydınlatma gücüne sahip kütleçekimle bağlı bir cismin (yani kendi gücü altında patlamayan bir cismin) kendini bir arada tutabilmesi için en az 300 milyon güneş kütlesinde olması gerekir. Özetle, tipik bir YBC, 500 tipik galaksilik aydınlatma gücüne, Güneş Sisteminden daha küçük bir boyuta ve 300 milyon güneş kütlesine sahip olması gerekir. Bu ne olabilir? Bu tanıma uyan bir tür cismin hipotezi kurulmuş olabilir mi? Hım, ne olabilir?

Gökbilimciler bu soruyu sıklıkla "YBC ve AGÇ'leri çalıştıran 'merkez motor' nedir?" şeklinde ifade ederler. Buna başka sorular eklerler: Neden hiç yakın YBC yok? Veya tersi: YBC'ler neden yakınlardaki herhangi bir galaksiden, AGÇ'lere sahip olanlardan bile, daha fazla aydınlatma gücüne sahiplerdir? Neden sadece bazı galaksilerin AGÇ'si vardır? Radyo sesli AGÇ'lerde ve YBC'lerde radyo sinyalini ne üretir? Bu arada radyo sesli YBC'lere çoğunlukla kuasar adı verilir. Bu soruların hepsinin, her galaksinin merkezinde aktarım diski olan dev bir karadelik olduğu teorisiyle cevaplanabildiği ortaya çıkmıştır. (Bunun anlamı da galaksinin merkezindeki havalı şehir hayatından uzakta yaşadığımız için mutlu olmamız gerektiğidir. Şehir merkezindeki izdiham nahoştur.)

Karadeliğin Schwarzschild yarıçapının kütlesiyle orantılı olduğunu ve Güneş'in Schwarzschild yarıçapının 3 kilometre olduğunu anımsayın. Bunun anlamı 300 milyon güneş kütlesine sahip bir karadeliğin Schwarzschild yarıçapının yaklaşık 900 milyon kilometre veya yaklaşık 6 AB olduğudur. Bu de-

ğer Güneş Sisteminden küçüktür ve YBC ile AGÇ'lerin değişkenliği sınırları içinde kalır. %10'luk bir yakıt etkinliği ile YBC'lerin aydınlatma güçleri yılda birkaç güneş kütlesindeki malzemenin yığılması ile sürdürülebilir. Daha az aydınlatan AGÇ'ler daha küçük yığılma oranı ile güç üretebilirler. Bu son nokta YBC'lerin neden AGÇ'lerden daha çok aydınlattığı sorusunun cevabına götürür. YBC'ler daha çok güç yayımlarlar çünkü daha fazla miktarda madde yığarlar.

Bu cevap ilk bakışta gizemi başka bir gizemle değiştirmiş görünüyor çünkü neden uzak galaksilerdeki karadeliklerin yakın olanlara nazaran maddeyi daha yüksek oranda yığdığı sorusu hâlâ elimizdedir. Hatırlayın, bir cisim ne kadar uzakta olursa ışığın ondan bize ulaşması o kadar uzun sürmektedir. Bu nedenle YBC'lerin daha uzak mesafesi, onlarda şahit olduğumuz olayların AGÇ olaylarından zaman olarak daha önce gerçekleşmiş oldukları anlamına gelir. YBC ve AGN'leri şimdi oldukları gibi görmüyoruz, şimdi gördüğümüz ışığı yaydıklarında oldukları gibi görüyoruz. YBC'ler AGÇ'lerden daha uzakta olduğuna göre, onları hayatlarının daha erken evresinde görüyoruz. Bu nedenle YBC'ler ve AGÇ'lerin arasındaki fark dev karadeliklerin er geç yakıtlarını tüketeceğini ifade eder. Erken zamanlarda yakıtı daha hızlı tüketerek daha parlak yanarken, daha sonraki zamanlarda yakıtı daha yavaş hızda tüketerek daha sönüktürler. Bu aynı zamanda neden bugün çoğu galaksinin (bu görebileceğimiz bize yakın galaksilerdir) AGÇ'lere sahip olmadığını da açıklar. Merkezlerindeki karadelik, bütün yakıtını tüketmiş ve göreli olarak sessiz olmuştur. Dikkatinizi çekeriz, farklı yıldızlara bakmak bize yıldız evrimine dair bir anlayış verirken, YBC ve AGÇ'lere bakmak bize

galaksi evrimine dair bir nebze anlayış verir. Bu konuya sonraki bölümde tekrar değineceğiz.

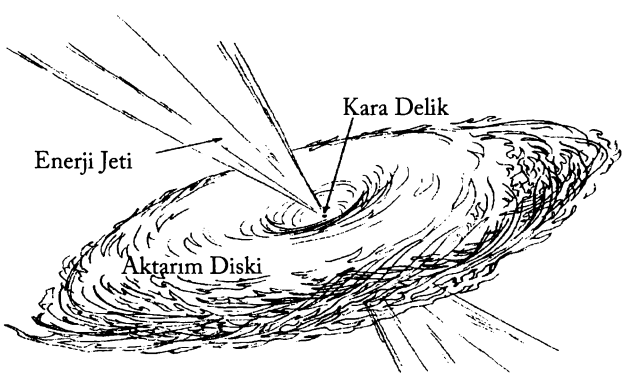
Peki, ya YBC ve AGÇ'lerin yayımladığı farklı ışınım türlerine, görünen ışığa, morötesine, X-ışınına ve radyo dalgalarına gelirsek? Bunlar da aktarım diski olan dev karadelikle açıklanabilir. Yığılan madde ısınır ve sıcak olduğu için enerji yayımlar, aynı nötron yıldızı ve yıldız kütlesi karadelikleri vakalarında olduğu gibi. Dev karadeliklerin çok daha fazla miktardaki kütlelerinin aktarım diskinin daha yüksek sıcaklığına sebep olacağı beklenebilir. Ne var ki, dev karadeliğin aynı zamanda çok daha büyük boyutu vardır; bu nedenle aktarım diski daha fazla enerji ışınımı yapsa da bunu daha geniş bir alandan yapar. Sıcaklık, birim alan başına düşen güçle ilgilidir (yüzeyin her bir ufacık parçasından geçen enerjinin miktarı); bütün bunlar dikkate alındığında dev karadeliğin aktarım diski sıcaklığının, yıldız kütlesi karadeliğininkine nazaran daha düşük olduğu ortaya çıkmıştır (çünkü büyük yüzey alanı büyük kütleden fazlasını yapar); aktarım diskinin sıcak gazının ışınımı dev karadeliklerde mor ötesinde belirginken karşılığında nötron yıldızlarında ve yıldız kütlesi karadeliklerde X-ışınında belirgindir.

Gördüğümüz enerji yine de karadeliğin kendisinin etkileşiminden gelmez. Diskteki maddenin davranışının da dikkate alınması gerekir. Karadeliğin kendine ait bir manyetik alanı olmasa da, diskin plazması dönüş aracılığı ile kendi manyetik alanını üretebilir. Düzenli dönüş aracılığı ile manyetik alan (nötron yıldız örneğinde de olduğu gibi) sonrasında plazmada elektrik akımı yaratan bir elektrik alan üretir. Elektrik ve manyetik alanların elektrik akımı ile bu birleşmesi, ilk olarak 1977'de Roger Blandford ve Roman Znajek'in teorisini kurduğu üzere, delikten dönüş enerjisini elektromanyetik ışınım

ve hızlandırılmış elektronlar biçiminde çıkarabilir. Diğer bir deyişle, aktarım diski karadeliği beslemekle kalmaz; onun dönüş enerjisini de çalar, onu yavaşlatır ve bu süreçte dışarı ışınım saçar.

Karadeliğin çevresindeki bu faaliyetin tamamında kütleçekim, plazma ve elektromanyetik alan arasında karmaşık ve devamlı bir enerji nakli vardır. Hareket eden plazma manyetik alan üretir. Değişen manyetik alan elektrik alan üretir. Elektrik alanlar plazmadaki elektronları hızlandırır. Elektronlar ve fotonlar arasındaki çarpışmalar enerjiyi birinden diğerine nakleder. Manyetik alanda hareket eden elektronlar senkrotron ışınımı yayar. Ustalıklı ve karmaşık bir spektrum, fakat tekbiçimli olmayan bir spektrum üreten enerji naklinin ve enerji biçimlerinin kendine has dansı söz konusudur. Bütün enerjinin her yöne eşit dağıldığı düşünülebilir, fakat iki etkinin, bazen enerjinin büyük bir kısmının aktarım diskinin düzleminden dikey olarak iki fıskiye şeklinde çıkmasına sebep olduğu anlaşılmıştır.

Karadelik, Aktarım Diskleri ve Jetler



Şekil 8

İlk etki diskin kendisiyle ilgilidir. Bu ışınımın tamamı aktarım diskinin iç kısmını şişirme eğilimi gösterir, böylece krepten ziyade halka biçimli çöreğe benzer. (Burada karadeliğin konumu halka biçimli çöreğin ortasındaki deliğin ortasıdır; bkz. Şekil. 8.) Bu durumda enerji tercihli olarak halka biçimli çörekle çarpışmayacak şekilde yayılır (halka biçimli çöreğin düzleminden dışarı doğru iki fıskiye), çünkü halka biçimli çörekle çarpışan enerji tekrar çöreğin içine doğru soğurulur. Bu fıskiyeler özellikle radyo sesli AGÇ'lerde ve kuasarlarda belirgindir.

İkinci etki diskin manyetik alnıyla ilgilidir. Plazma, elektrik yükü taşıyan parçacıklarda oluştuğu için manyetik alanın yönünde hareket etme eğilimine sahiptir. Diskin manyetik alanının şekli, plazmayı alanın kutuplarında iki fıskiye biçiminde odaklaştırma eğilimi gösterir. Sonrasında yayılan ışınımın bir kısmı, merkezi aktarım diskinin yakınında bulunan gaz bulutları tarafından ve diskin kendisinin dış bölgeleri tarafından soğurulur. Bu durum, bu cisimlerin sıcaklıklarını yükseltme ve atomlarını uyarılmış duruma getirme eğilimi gösterir. Bilhassa, sonrasında YBC ve AGÇ'lere özgü olan yayınım çizgilerini üreten şey, bu uyarılmış atomlardır. Bununla birlikte, bu fıskiyelerdeki elektronlar dışarı doğru hareket etmeye ve manyetik alanla etkileşerek senkrotron ışınımı üretmeye devam ederler. Radyo sesli galaksilerde ve kuasarlarda radyo dalgalarını doğuran şey budur. Sonuçta gözlemlenen şeyin karadeliğin kütlesine, maddeyi ne oranda büyüttüğüne ve *bizim bunları hangi açıdan gözlemlediğimize* bağlı olduğunu dikkate alın. Yüzümüz fıskiyelerden birine dönükse, halka biçimli çöreğin kenarından baktığımızda göreceğimiz, aynı cisimden daha enerjik görünen bir cisimdir.

Dünya'da bir şeye farklı bir perspektiften bakmak istediğimizde basitçe onun çevresinde hareket ederiz. Bu yöntemle, diyelim, bir dağın bütün yüzlerini görür ve özelliklerini keşfederiz. Ne var ki galaksi ve yıldızlar açısından konumumuzu değiştiremeyiz. Evrenin parçalarının tek bir yüzünü görmeye mahkûmuz. Bu açıdan daha geniş evrenin gözlemi bir fotoğraf kadar donuktur. Bir fotoğrafı alıp arkasında olanları görebilmek için ters çeviremezsiniz. Nasıl ki bir fotoğrafta yüzü dönük bir insanın arkasını göremezseniz, bir kuasarı radyo sesli AGÇ görebilmek için ters çeviremezsiniz.

Çözümlememizde biraz hızlı davrandık. Dikkatle ilerleyebilmemiz için ne konuştuğumuza dair daha açık teorik bir modele ihtiyacımız var. Güneş vakasında, ilgili bütün fiziksel etkileri dikkate alarak ve Güneş'in özelliklerine dair niceliksel tahminlerde bulunarak Güneş modelinin ayrıntılarına girdik. YBC ve AGÇ'lerle ilgili saptananlara uyacak bir teori yaratmak için aktarım diski olan dev karadelik için de benzer bir modelimiz olsun isteriz.

Böylesi bir modelin geliştirilmesinin bir açıdan kolay ve diğer açıdan zor olduğu ortaya çıkmıştır. Dikkate değer bir biçimde kolay olan şey karadeliğin kendisidir. Dönmeyen karadeliğin nitelikleri ve davranışlarını karşılayan model Schwarzschild (karadeliğin boyutuna "Schwarzschild yarıçapı" adı verilmesinin sebebi budur) tarafından 1916'da, Einstein Genel Görelilik Teorisini sunduktan bir yıl sonra yaratılmıştır. Dönen karadelik formülü biraz zaman almıştır; 1963'te Yeni Zelanda'lı matematikçi Roy Kerr tarafından yapılmıştır. Dönen karadeliklerin bütün özelliklerinin sadece iki niceliğe bağlı olması, karadeliklerin kendine özgü basit doğasının emaresidir: Karadeliğin kütlesi ve spini. Bir karadeliğin kütlesi ve spini

verildiğinde Kerr'in formülü bize bu karadelikle ilgili bilinecek her şeyi söyler.

Bu bağlamda karadelikler doğadaki en basit cisimlerdir, atom altı süreçlerle güç üreten, ısıyayımla çalışan ve katmanları ve her türlü karmaşıklığı içeren Güneş'ten ve diğer yıldızlardan çok daha basitlerdir. Bazı açılardan karadelikler, ikiden fazla nicelik sayısına sahip olma eğilimi gösteren çoğu atom altı temel parçacıktan daha basittir. Karadelik gibi kocaman iri ölçekli bir cismin sadece iki sayıya ihtiyaç duyması hayret vericidir ve bu teorinin bazı yönlerini kolaylaştırır.

Ne yazık ki, küçük bir engel var. YBC ve AGÇ'lerin "merkez motorunu" modellemek için sadece karadeliği modellememiz gerekmez; yüksek hızlarda hareket eden ve ayrıca modellenmesi gereken elektrik ve manyetik alanlarla çeşitli karmaşık şekillerde etkileşen plazmaların özelliklerini de modellemek gerekir. Bütün bunlara dönen karadeliğin güçlü kütleçekim alanının karmaşık yapısı ve kâbus gibi hesaplamalar eklenir. Diğer bir deyişle, sadece deliği değil halka biçimli çöreği de modellememiz gerekir. Evrenin temel kuvvetleri karadeliğin basitliğinin çevresinde gerçekten karmakarışık bir dans yaratır. Bunları anlamak sakin gözüne bakarak kasırgayı anlamaya çalışmak gibidir. Dev karadeliği modellemek konusunda pek çok ilerlemeye rağmen Güneş modelinin, tamamlanmışlık anlamında tamamlanmış bir modelin, yakınında bile değiliz.

Gelin bu karmaşıklıktan biraz geri çekilip basit kısmına bakalım. Karadelikler, belirtildiği üzere, basitlerdir. Sadece iki sayı gerektirirler, kütle ve dönüş. Bu iki sayıyı kavrayabilirsek karadeliğin (karadeliğe ve onun aktarım diskine karşılık) kendisi hakkında her şeyi bilebiliriz.

Şimdiye kadar dev karadeliğin kütlesinin tahminini, sadece YBC'nin aydınlatma gücüne sahip bir cismi bütün tutabilmek

için gerekli kütlenin tahmini üzerinden konuştuk. Ne var ki, dev karadeliğin kütlesini aslında Güneş için kullanılana benzer daha dolaysız bir yöntemle ölçebiliriz. Galaksinin merkezindeki dev karadeliğin çevresinde yörüngede dönen yıldızlar ve gaz bulutları vardır, aynı Güneş'in çevresinde yörüngede dönen gezegenler olduğu gibi. Güneş'in kütlesini bulmak için gezegenlerin hızlarını ve mesafelerini kullanmamıza izin veren formülün aynısı dev karadeliklere uygulanabilir.

Bizim galaksimizin merkezindeki karadelik için çevresinde yakın yörüngede dönen gezegenlerin hareketlerini izleyebiliriz. Bu şekilde kütlesi yaklaşık 2,5 milyon güneş kütlesi olarak tahmin edilmiştir. Diğer galaksiler için, hızı dolaysız olarak Doppler etkisini kullanarak ölçeriz daha sonra onu ve mesafeyi kullanarak kütleyi buluruz. Bu yöntemi kullanarak pek çok galaksinin merkezindeki karadeliklerin kütleleri bulunmuştur. Karadelik kütle ölçümleri iyice yapılanmış olsa da karadeliğin spininin ölçümü hâlâ emekleme dönemindedir. Bunun sebebi, karadeliğin kütleçekim alanı hem kütleye hem de spine bağlı olsa da spine bağlılık, karadeliğe yakın olan bölgeler dışında çok küçük miktardadır. İlkede karadeliğin dönüşü, onun aktarım diskinin en içteki bölgelerinin üzerindeki etkileri saptanarak ölçülebilir. Ne var ki, bunu hassas olarak yapabilmek için aktarım diskinin, onun saptanan özelliklerinin karadeliğin spinine ne kadar bağlı olduğunu niceliksel olarak bilecek kadar iyi modellenmesi gerekmektedir. Yapılan bu tür ön ölçümlerin ilginç sonuçları olmuştur. Görünen o ki, aktarım diskleri olan karadelikler mümkün olduğu kadar hızlı dönmektedirler.

✹

Bu kitapta bilimi anlama şekli olarak "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusunun üzerinde durduk. Bu soru tartışılan bilimin bir kısmının gerçekte bilindiğini varsayar. Ne var ki, bilimsel araştırma bilinmeyenin sınırlarını geriye itmek için devamlı bir çabadır, dolayısıyla bilim insanları her zaman bilinenle bilinmeyen arasındaki sınır üzerinde çalışırlar. Şimdiye kadar üzerinde konuştuğumuz maddelerin hepsi iyice anlaşılmıştır. Ancak bu bölümün geri kalanında daha ilginç ve karadeliklerin yakın geçmişte çözümlenen özelliklerini tartışacağız ve dolayısıyla fiziğin sınırlarında kısmen bilinen bölgelere uzanan yolculuğumuza başlayacağız.

Karadeliklerin en tanınmış araştırmacısı muhtemelen İngiliz fizikçi Stephen Hawking'dir. Hastalığı ALS[11] sebebi ile Hawking'in fiziksel durumu gittikçe kötüleşmektedir, şimdilerde bir yere ulaşmak için motorlu tekerlekli sandalye ve konuşmak için bilgisayar tarafından üretilen bir ses (bu da bazı İngiliz meslektaşlarının "Stephen'in Amerikan aksanı" konusunda şikâyetçi olmalarına neden olmuştur) kullanmaktadır. Daha az söylenen şey Hawking'in fizikle uğraşma tarzının zaman içinde gittikçe değiştiğidir. 1960'larda ve 1970'lerin başında Hawking fizikçilerin arasında en matematik ağırlıklı olanlarındandı, karadelikler hakkındaki teoremleri, evrenin genişlemesini kanıtlamak ve kütleçekimsel çöküş süreci için öncülüğünü İngiliz matematikçi Sör Roger Penrose'un yaptığı en incelikli geometrik ve topolojik teknikler kullanmıştır. 1980'lerde Hawking daha spekülatif konulara dönmüştür: Amerikalı fizikçi James Hartle'a birlikte çalışarak Hawking, Büyük Patlamanın başlangıcını açıklama girişiminde kuan-

11 Amiyotrofik Lateral Skleroz, diğer isimleri: Motor Nöron Hastalığı (MNH), Lou Gehrig hastalığı. (Ç.N.)

tum mekaniğini evrene uygulamayı denemiştir. Bu iki dönem arasında Hawking başyapıtını üretecek doğru matematik ve spekülasyon karışımına ulaşmıştır: Karadelik Işınımı Teorisi, şimdilerde Hawking etkisi olarak bilinir.

Şimdiye kadar karadeliğin madde onun üzerine düştüğünde ürettiği ışınımı dikkate aldık. Karadelik hiçbir şeyi dışarı bırakmadığı için, tek başına bırakılan karadeliğin kara olacağını, hiçbir şey yaymayacağını düşünürüz. Bu açıdan baktığımızda, çevresinde hiç madde bulunmayan kendi başına bırakılan karadeliğin ışınım yaymaya devam etmesi şaşırtıcıdır. Doğrusu 1974'te, Hawking sonucunu ilk defa açıkladığında, oldukça hayret verici olarak nitelendirilmiştir.

Hawking etkisini anlamak için karadeliklerin %100 yakıt etkinliği ihtimali ile başlamak en iyisidir. Karadeliğin olay ufkuna yavaşça indirilen cisim, iş indirilme sürecinde yapılmış olur yöntemiyle maddesinin tamamını enerjiye çevirir. Bu durum, yavaşça indirme sürecini cismin olay ufkunu geçtiği noktanın ötesine de bir şekilde taşıyabilirsek ondan daha fazla iş alabileceğimizi öne sürer (diğer bir deyişle, cismin negatif enerjisinin olabileceğini). Bu enerjinin her zaman sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olduğu klasik fizik araçılığı ile modellenen sıradan iri ölçekli cisimler için mümkün değildir. Ne var ki dikkate değer bir şekilde, böyle bir şey kuantum mekaniği modellerinde görülen belirli parçacıklar için geçerlidir.

Modern fiziğin soyut ve sıradan düşünceye bağlanması zor elementlerinden birine dalmak üzereyiz. Kuantum alan teorisinde, fotonlar ve elektronlar gibi parçacıkların özelliklerine dair kuantum mekaniği teorisinde, evrendeki en önemli cisim "hiçbir şeydir"; ya da daha ziyade boşluk gibi "hiçbir şey" değildir. Teorik evrenin bu bölgesinde, boşluk boş olarak nitelen-

dirilmez, onun yerine "hayali parçacıklarla" dolu kabul edilir. Bu hayali parçacıklar çift halinde yaratılırlar, pozitif enerji ve negatif enerji taşıyan bu parçacıklar kısa zaman sonra birbirlerini yok ederler. Net enerji sıfır olduğu için bu yok etme basitçe boşluğa dönüşür. Bu açıdan baktığımızda, boşluğu kısa zaman aralıklarında var olan ve daha sonra yok olan parçacıklarla kabaran ve kaynayan boş alan şeklinde hayal edebilirsiniz.

Şimdi bu sürecin dışarıda fakat karadeliğin olay ufkuna yakın bir yerde gerçekleştiğini düşünün. O şartlar altında birbirlerini yok eden çift parçacıklar yerine bazen negatif enerji parçacığı karadeliğe düşerken pozitif enerji parçacığı ondan kaçar. Bunun anlamı parçacıklar hiçle sonuçlanmak yerine bir çift etki yaratırlar. Olay ufkunun dışından gözlemleyen bizler için, parçacığın net etkisi bize olay ufkunun yakınlarından ulaşır ve karadeliğin kütlesi küçülür (çünkü negatif enerji parçacığı soğurmuştur ve dolayısıyla kütlesi, E'nin negatif enerji parçacığının enerjisi olduğu E/c^2 kadar azalır). Karadeliğin içinden bir şey gelmesine rağmen bununla birlikte bu sürecin net etkisi, karadeliğin ışınım yaydığı ve kütlesinin azaldığı yönündedir. Evren, hiçbir şey kilitli kutuyu terk etmediği halde dışarıdaki şeylerin arttığı ve içerideki şeylerin azaldığı bir numara gösteriyor gibidir.

Bazen hem pozitif enerji parçacığı hem de negatif enerji parçacığının hiçbir etkiye neden olmadan karadeliğe düştüğü de olur. Ne var ki, negatif enerji parçacığının kaçışı hiçbir zaman gerçekleşmez çünkü gerçek parçacıklarda (hayali olanların karşılığında) negatif enerji parçacıkları sadece karadeliğin içinde mümkün olabilir.

Hawking etkisinin diğer sürprizi yayılan ışınımın doğasıdır: Tam olarak sıcaklığı olan bir cisminki gibidir. Sıcak cisim-

ler soğuk olanlara nazaran daha fazla ışınım yayarlar ve bu vakada üretilen ışınım tam olarak ısıtılan cisimden yayılan ışınım gibi davranır. Genellikle, küçük karadeliğin kendi azami dönüş hızına büyük olandan daha yakın olduğu durumlar dışında küçük karadelikler, büyük olanlarından daha sıcaklardır.

İlk bakışta Hawking etkisi kolayca gözlemlenebilir gibi görünüyor çünkü sadece ışınımı saptamamız gerekiyor. Ne var ki bu umut, Hawking'in formülünün karadeliklerin sıcaklığı için dikkatli incelenmesi sonucunda sönmüştür. Mümkün olan en soğuk sıcaklık mutlak sıfırdır, bu da yaklaşık –273° Celsius'tur (– 459° Fahrenheit). Fizikçiler sıcaklığı Kelvin derecesinde ölçerler ki bu da, Kelvin'in suyun donma noktasının üzerindeki derecelerden ziyade mutlak sıfır üzerindeki dereceleri ölçmesi dışında Celsius'la aynıdır. Kelvin derecesini bulmak için Celsius derecelerine 273,3 ekleyin. Yani su 273,3° Kelvin'de donar ve 373,3° Kelvin'de kaynar.

Hawking'in formülü 1 güneş kütlesindeki karadelik için Kelvin'in on milyonda birini (10^{-7} Kelvin) verir; bu mutlak sıfırın üzerinde derecenin on milyonda biridir. Dev karadeliklerde durum çok daha vahimdir, çünkü daha büyük kütleli karadeliklerin sıcakları daha düşüktür. Olayları daha da vahimleştiren şey, bir sonraki bölümümüzde göreceğimiz üzere, evrenin yaklaşık 3 Kelvin sıcaklığındaki ışınımla dolu olmasıdır. Karadelikler bundan daha soğuk olduklarına göre bunun anlamı, karadeliklerin bu sıcaklık tarafından gizlenmiş olmalarıdır (loş ışığın çok daha parlak ışık tarafından gizlenmesi gibi). Aynı zamanda, onları besleyen her zaman mevcut bir ışınım arka planı olduğu için karadelikler, yaydıklarından daha fazla ışınımı soğururlar.

Sıcaklık kütleyle ters orantılı olduğuna göre, bunun anlamı sadece çok küçük karadeliklerin kayda değer sıcaklılarının olduğudur. Ne var ki daha önce de belirttiğimiz üzere, şu anda böylesi küçük karadeliklerin var olduğunu beklememiz için elimizde hiç iyi gözlemsel veya teorik sebep yok gibi görünmektedir. Can sıkıcı bir şekilde, gerçekten çok büyük karadelikler bulmamıza izin veren teknik, sadece gerçekten soğuk karadelikler bulmamıza izin vermiştir. Bu nedenle Hawking etkisi karadeliklerin ihtişamını ve kuantum boşluğunun tuhaflığını birleştiren güzelliğine rağmen, algılanan veya saptanan evrenlere dair hiçbir parça barındırmadan, kesin olarak teorik evrende sıkışmıştır.

İlk bakışta bu çok durum çok kötü görünmez. Sonuçta Güneş modelinde de dolaysız gözlemsel kanıtı olmayan belirli parçalar (merkezle yüzey arasındaki mesafenin ortasındaki noktanın sıcaklığı gibi) olmalarına rağmen onları kabul ederiz, çünkü başka yollarla doğrulanan bir teorinin parçasıdırlar. Ne var ki, Hawking'in hesaplaması eğri uzay zamanda kuantum alan teorisi adı verilen bir yönteme, kuantum alan teorisi hesaplamalarını, genel göreliliğin eğri uzay zamanında yapma yoluna dayanırlar. (Evrenin eğriliğini bir sonraki adımda tartışacağız.) Kuantum alan teorisinin ve genel göreliliğin çeşitli deneysel testleri vardır fakat birleşime, eğri uzay zamanda kuantum alan teorisine dair deneysel bir test yoktur. Bu teorinin birleşimini değil iki parçasını doğrulayabildiğimiz ilginç bir durum yaratıyor; bu iki canavarı birbirine bağlarken dikkatli davranmamız icap eder.

Hawking'in hesaplamasına inanmamız için bir sebep var mı? Evet, bir nevi var. Hawking etkisine başka iki kaynaktan ulaşabildiğimiz için kısmi doğrulamamız var: Karadelik ter-

modinamiği ve Unruh etkisi. İkincisi, genel göreliliğe ve genel göreliliği kuantum mekaniğiyle birleştirme çabasından doğan sorunlara dair pek çok çalışması olan Kanadalı fizikçi William Unruh'un ismini taşır.

Termodinamik, ısı ve sıcaklık çalışmasıdır. Entropi adı taşıyan bir kavram içerir ki, bu da belirli bir sistemdeki düzensizliğin matematiksel ölçümü anlamına geldiği gibi, entropinin her zaman arttığını belirten bir ilkedir de (Termodinamiğin İkinci Yasası adını taşır). Bu kural "ikinci yasa" olduğuna göre, okurun "Termodinamiğin Birinci Yasası" var mı, varsa nedir diye merak etmesi çok doğaldır. Termodinamiğin Birinci Yasası, ısının bir enerji biçimi olduğu ve enerjinin hiçbir zaman yaratılıp yok edilemeyeceği sadece bir biçimden diğerine dönüştürülebileceğidir. Yani, Termodinamiğin Birinci Yasası enerji korunmasıdır ve bu arada ısı da enerjinin bir biçimidir.

Her şeyin düzensizleşme eğilimine sahip olması, bir ergenin odasını görmüş olan hiç kimseyi şaşırtmaz. Ne var ki, düzensizliğin niceliksel leştirilmesi ve düzensizliğin artışı ifadesinin bir fizik yasasına dönüşmesi şaşırtıcı olabilir. Bunun nasıl yapıldığı bir ergenin odasıyla açıklanabilir (evet önyargılıyız, fakat ikimizin de çocukları var ve sıradan ebeveyn bağnazlığını kullanıyoruz ki, bu da toplumsal olarak kabul edilebilirdir, en azından diğer ebeveynler için). Düzenli bir odada her şey yerli yerindeyken (kitaplar rafta, temiz kıyafetler dolapta, kirli çamaşırlar kirli sepetinde vesaire) dağınık bir odada eşyalar doğru yerlerinde olmaz ("Peynirli sandviçin bilgisayarın üzerinde işi ne? Fare için o, baba").

Her bir öğenin bir doğru ve bir sürü yanlış yeri olabildiğine göre ergen, eşyaların nereye konması gerektiğini umursamayıp onları rastlantısal olarak dağıtırsa, onlar da çoğunlukla yanlış

yerlere denk gelirler ve odanın da dağınık olması muhtemeldir. Diğer bir deyişle, entropi artma eğilimine sahiptir çünkü dağınık olmak için düzenli olmaktan daha fazla yol vardır.

Entropi kavramının ve Termodinamiğin İkinci Yasasının ergenlere "Odanı topla" diye bağırmaktan çok daha öte sonuçları olmuştur. Entropiye bir örnek, sıradan bir şey olan donan suda gerçekleşir. Su 0° Celsius'ta (32° Fahrenheit) donar. Buzda su molekülleri daha düzenlidirler ve birbirlerine daha sıkı bağlanmışlardır. Buz, sıvı sudan daha düzenliyse neden onun oluşumunun kendisi, Termodinamiğin İkinci Yasasının ihlali değildir? Entropi konusunda biraz daha açık olmamız gerekmektedir.

Termodinamiğin İkinci Yasası, entropinin sistemdeki *toplam miktarını* arttırdığını belirtir; bu, sistemde artan entropiyi atabileceğimiz bir yer var olduğu sürece entropiyi sistemin bir kısmında azaltabileceğimiz anlamına gelir. (Bu arada, bu klimaların çalışma sebebidir; artan entropi, havalandırılan ortamın dışına atılır.) Su molekülleri buzda daha sıkı bağlandıklarına göre buz, sıvı sudan daha düşük bir enerjiye sahiptir. Bu artan enerji, buzun dışındaki cisimlere doğru serbest bırakılır ve onların moleküllerini daha hızlı hareket ettirerek düzensizlik yaratır. Buz kesin olarak, serbest bıraktığı ısının yarattığı ek düzensizliğin oluşumunun yarattığı düzeni dengeleyebildiği sıcaklıklarda oluşur.

Termodinamiğin İkinci Yasasının kullanımına dair ikinci örnek, otomobillerde kullandığımız yakıtın etkinliği ile ilgilidir. Otomobil çalıştığında motoru ısınır. Yani enerjinin bir kısmı arabayı çalıştırmak için kullanılmış, fakat bir kısmı da ısı olarak boşa harcanmıştır. Enerjinin yarısından çoğunun bu şekilde boşa harcandığı ortaya çıkmıştır. Bunu ilk öğrendiğimiz-

de Detroit'teki (ve Stuttgart ve Nagoya'daki) otomotiv mühendislerine öfkelenerek onlara daha iyi bir ürün tasarlamaları konusunda nasihat vermeyi isteyebiliriz. Ancak bu, bütünüyle onların hatası değildir. Yakıtından elde ettiği bütün enerjiyi mekanik işe yönlendirebilen bir otomobil motoru, Termodinamiğin İkinci Yasası tarafından yasaklanmıştır. Böyle bir durum entropiyi azaltırdı. Aslında, motor silindirlerinin sıcaklığı (ki bu da otomobil motorunun üretildiği malzeme ile sınırlıdır) göz önüne alındığında bir buçuk katlık bir yakıt verimi alınabilecek en iyi sonuçtur. (Bu etkinliğin elde edilebilir olduğunu dikkate alın. Diğer etkiler otomobil motorunun gerçek verimini ideal verimin altına düşürürler, şimdiki etkinlikler bu idealin altındaki ideal seviyesinde bile değillerdir.)

Termodinamiğin, görünüşe göre fiziğin tamamen alakasız bir dalının, karadelikle arasında ne var? Ona geçmeden önce, evrenin uyumla birleştiğini ve evrensel kuralların bütün şartlar altında işlediğini hatırlamak önemlidir. Bunun anlamı, Termodinamiğin İkinci Yasasından yararlanmak ve onu karadeliklerin yetki alanında teste tabi tutmak konusunda tamamen doğrulanmış olmamızdır. Bilimsel düşüncenin en büyük avantajlarından biri, bir fikri veya ilkeyi bir şeyden başka bir şeye ne zaman ve nasıl taşıyabileceğimizi bilmemizdir.

Termodinamikle karadeliklerin bir alakası vardır; çünkü karadeliklerin varlığında termodinamik sistemin davranışı, Termodinamiğin İkinci Yasası açısından bir kriz yaratır. Karadeliğin olay ufkunun içinde gerçekleşen şeyleri gözlemleyemiyor olmamızla sadece karadeliklerin dışında gerçekleşen olayları dikkate aldığımızı söyleyerek baş ederiz. O zaman bir cisim karadeliğe düştüğünde ne olacağını değerlendirelim. Karadeliğin dışındaki dünyayı ilgilendiren kadarıyla cisim yok

olmuştur. İlk bakışta bu, Termodinamiğin İlk Yasası için sorun yaratabilir gibi görünüyor. Ancak, kütlenin enerjinin bir biçimi olduğunu ve karadeliğin kütlesinin kütleçekim etkileri aracılığıyla gözlemlenebildiğini hatırlayın. Bu nedenle, bir cisim karadeliğe düştüğünde bu cismin enerjisi kaybolmaz; basitçe karadelik kütlesine dönüştürülmüştür. Madde ve enerji korunumu devam ettiği sürece bir sorun yoktur.

Ne var ki, bir cisim karadeliğe düştüğünde entropisi gerçekten kaybolmuştur. Dolayısıyla görünen o ki, toplam entropi (en azından karadeliklerin dışındaki toplam entropi) azalabilirmiş. O zaman anlaşılır ki, karadelikler olduğu sürece elimizde Termodinamiğin İkinci Yasasına dair bir istisna (hem de bir ergenin odasındaki dağınıklığı atabileceğimiz bir yer) vardır.

Bu zorluk Hawking etkisi aracılığı ile çözülmüştür. Karadeliğin bir sıcaklığı olduğuna göre, o da termodinamik bir sistemdir ve termodinamik sistemlerin entropisi vardır. Aslında Hawking'in hesaplamasından, karadeliğin entropisinin olay ufkunun alanına orantılı olduğu ortaya çıkmıştır. (Aslında, Hawking'in çalışmasından önce, İsrailli fizikçi Jacob Bekenstein'ın karadeliklerin bir entropisi varsa ve bu entropi olay ufku alanıyla orantılıysa, karadeliklerin termodinamik açısından sergiledikleri zorluğun çözülebileceğini önermiştir.) Dolayısıyla bir karadeliğe bir cismin düşmesi Termodinamiğin İkinci Yasasını ihlal etmez. Cismin kendi entropisi yok olur, fakat süreçte karadeliğin kütlesi artar dolayısıyla olay ufku alanı da artar. Bu etkilerin ikisi de dikkate alındığında, toplam entropinin arttığı ortaya çıkar. Diğer bir deyişle, bundan cesaret alabiliriz; çünkü Hawking etkisi, termodinamikteki anlaşmazlığı çözer.

Bu dairesel bir doğrulama değildir, çünkü karadeliğin kütlesinin ve alanın bir cisim onun üzerine düştüğünde neye göre değiştiği kuralları Hawking'in hesaplamasından çok önce çözülmüştür. Bu "karadelik mekaniği yasalarının" termodinamik yasalarına benzediği o zaman fark edilmiştir. Bununla birlikte, o sırada bunun sadece bir tesadüf olduğu düşünülmüştür. Hawking'in hesaplamasından sonra, karadelik mekaniğine dair ayrı yasaların var olmadığı anlaşılmıştır. Karadelikler termodinamik sistemlerdir ve "karadelik mekaniği yasaları" sadece karadeliklere uygulanan sıradan termodinamik yasalarıdır.

Termodinamiğin Hawking etkisi için kanıt teşkil edecek şekilde kullanımı bir teoriye inanmak için sadece estetik bir sebep olarak değerlendirilebilir. Teori, kütleçekimi ve termodinamiği beklenmedik bir yoldan, fizikçilere çok iyi görünen uyumlu bir bütün oluşturmak için bir araya getirir. Süreçte, teori karadelikler ve termodinamik arasındaki uyumlulukla ilgili paradoksu çözer. Bu anlamda teorinin, "gerçek olmaması inanılmaz derecede güzeldir". Bugünlerde belirli teorilerin "gerçek olmaması imkânsız derecede güzel" olduğu bazen iddia edilir (özellikle sicim teorisyenleri tarafından). Bununla birlikte, teorinin güzelliğinin nerede yattığı ve bu güzelliğin neden teorinin kabul edilmesi için gerekli bir sebep sayıldığı ender olarak dile getirilir. Hawking etkisi ve karadeliğin termodinamiği için böylesi şeyler açıklanmıştır.

Bu estetik argümanın rahatsızlık yaratması gerekir çünkü bu noktaya kadar bilimsel fikirleri kabul ederken güzellik standartlarına başvurmadık; ne var ki, bu argümanda basit takdirden fazlası vardır. Bu argümanı aşağıdaki gibi başka bir şekilde ifade edebiliriz: Ya Hawking etkisi gerçekleşir ya da bilimin kanıtlanan çeşitli temel dayanakları başka şartlar altında yıkı-

lırlar. Bunun anlamı Hawking etkisini kabul etmek zorunda olduğumuz değildir, sadece termodinamiğe güvenmememiz için başka bir sebep bulmadığımız sürece Hawking'in tarafında olmamız gerektiğidir.

Bilimde yasalara dair belirli istisnalar enderdir. İstisnai gibi görünen bir durumla karşılaşıldığında bu istisnayı yaratabilecek daha kapsamlı koşullar nedir diye bakılır. Bu durumda pek çok teste dayandığı için Termodinamiğin İkinci Yasasının geçerli olduğunu varsayarız. Bu şartlar altında geçerli olmayabilir veya Hawking'den bütünüyle farklı bir sebepten dolayı geçerli olabilir, fakat gerçekten ihlal edildiğini düşünmememiz için bir neden olana kadar onu kabul ederiz; buna ek olarak bütünün uyumlu bir şekilde birleşmesine neden olduğu için Hawking etkisini de kabul ederiz. Doğru olmayabilir, fakat her şeyi bir arada tutma ve açıklama kabiliyetinden dolayı, kanıt başka yöne göstermediği için veya gösterene kadar, onu kabul etmemiz için bir sebep yaratır.

Neyse ki, Hawking'in elini güçlendirmek için kullanabileceğimiz başka bir dayanağımız daha var: Unruh etkisi. Unruh görünüşte bu konuyla alakalı olmayan genel bir soru sormuştur. Boşluğun içinden geçen ivmeli cismin soğurduğu ışınımın, eğer varsa, ne olduğunu sormuştur. Diğer bir deyişle, boşluk gerçekten de kaynayıp yok oluyorsa, bu kabarcıklı hiçliğin içinden geçen cisme ışınım açısından ne olur? Unruh sonrasında bu sorunun cevabını Hawking tarafından kullanılan eğri, uzay zamanda kuantum alan teorisi yöntemlerinin aynısını kullanarak hesaplamıştır. Burada "eğri" uzay zaman gerçekte hiç de eğri değildir. Göreliliğin gizli bir elementi söz konusudur burada. İvmeli bir cisim kendi perspektifinden bakıldığında, ivmeli bir gözlemcinin kütleçekim alanında hareketsiz

bir gözlemci gibi davrandığını belirten, göreliliğin eşdeğerlilik ilkesi adı verilen bir yönü sebebiyle uzay zamanın bükülmüş bölgesinde bulunuyormuş gibi görünür. (Diğer bir deyişle, kendiniz ivmeliyken veya kütleçekim alanında sabit durduğunuzdaki durumlar arasındaki etkiyi ayırt edemezsiniz.)

Unruh hesaplamasının sonucu cisim belli bir sıcaklıktaki ışınımla çevrili olsa bile, Unruh'un formülünde sıcaklığın cismin hızlanmasıyla orantılı olduğu durumlarda, cismin ışınımı soğurduğunu göstermiştir. İlk bakışta Unruh etkisi mantığa aykırı görünür. Mevcut ısıl ışınım yoktur, en azından sıradan ivmesi olmayan bir gözlemcinin görebileceği kadarıyla yoktur. Peki, neden o zaman ivmeli gözlemci ısıl ışınım saptar? Bu paradoksun cevabı Uhruh etkisi hesaplaması ikinci bir yoldan, bu sefer bildiğimiz kuantum alan teorisi yöntemleriyle yapıldığında gelir.

Bildiğimiz kuantum alan teorisinde bile, belirttiğimiz üzere, boşluk boş değildir, oluşan ve birbirlerini yok eden hayali parçacık çiftleri içerir. Zaman zaman, ivmeli gözlemci çiftin tek parçacığını soğurarak diğerinin gerçek bir parçacık gibi yol alarak uzaklaşmasına neden olur. Bildiğimiz kuantum alan teorisi dilinde, ivmeli gözlemci boşlukla olan etkileşiminin sonucunda parçacıklar yayar; fakat gözlemcinin bu etkileşime verdiği tepki, Unruh'un formülünde verilen sıcaklığa sahip ısıl ışınım parçacıklarını soğurduğunda vereceği tepkiyle aynıdır. Sonuçta iki hesaplama da ivmeli cisim üzerindeki etkiler konusunda hemfikirdir. Sadece bu etkileri açıklamak için farklı diller kullanırlar. Eğri uzay zaman hesaplaması cismin ısıl ışınım alanım saptadığını belirtir. Düz uzay zaman hesaplaması ivmeli gözlemcinin ışınım yaydığını ve bu yayınımla "geri çekildiğini" ve dahası bu geri çekilmelerin düzeninin ve mikta-

rının, cismin ısıl ışınıma dalmış olduğunda başına geleceklerle aynı olduğunu belirtir.

Şimdi, bu noktada "Peki, gerçekten neler oluyor?" diye haykırmak istiyor olabilirsiniz. Bir anlamda bunu cevaplayamıyoruz, diğer anlamda iki kez cevaplamış olduk. Bu bakış açılarının ikisi de, hem düz hem eğri olan, neler olduğunu göstermekte ve bize olanlara dair bir bakış açısı sunmaktadır. Algılanan evrenden çok uzak şeylerle uğraştığımız için normal algı çerçevemize oturacak cevaplar veremiyoruz; çevremizdeki evreni anlamak adına algılarımızın ötesine geçen modelleri kullanmaya ihtiyacımız var. Yukarıdaki sorunun rahatlığından vazgeçmemizin gerekliğini ne ilk ne de son defa gösteriyoruz. Kulağa ne kadar garip gelirse gelsin, yine de, insanlar birkaç nesil önce saçma olarak addedilenleri er geç "gerçekten olan" şeyler olarak kabul ederler. Şu anda insanların çoğu vücutlarının, uzun molekül zincirlerinde (DNA) kodlanan bilgiye sahip belirli hücrelerden geliştiğini kabul eder, oysaki iki yüzyıl önce böylesi bir fikre verilmesi muhtemel en nazik tepki "Ha?" olurdu.

Konumuza geri dönelim. Hawking etkisinde olduğu gibi, Unruh etkisiyle ilgili sıcaklıklar düşüktür. Bu saptamayı zorlaştırır, gerçi benzer bir etki parçacık hızlandırıcılarındaki yüksek-hızlı parçacıkların dairesel hareketinde gözlemlenebilir. Saptama olmasa bile, Unruh etkisi sağlam teorik zemin üzerindedir çünkü bildiğimiz kuantum alan teorisi, hakkıyla test edilmiş bir teori aracılığıyla hesaplanabilir. Aslında, bildiğimiz kuantum alan teorisinin ve eğri uzay zaman kuantum alan teorisinin Unruh etkisi için aynı cevabı vermesi, eğri uzay zaman kuantum alan teorisinin güvenirliğine katkıda bulunur ki, o da karşılığında bu teknik kullanılarak hesaplanan Haw-

king etkisinin güvenirliğine katkıda bulunur. Bu durumda bize Hawking etkisini kabul etmek kalır çünkü teorinin sağlam temellendirilmiş başka parçalarıyla iyi uyum içindedir. Akrobatların uzun ayaklıkları üzerinde kurulmuş gibi düşünülebilir. Yere dokunur fakat ona güvenmek sakattır.

Hawking etkisi termodinamikle ilgili paradoksu çözmüş olsa da genellikle bilginin kaybı, paradoks olarak ifade edilen yenisini yaratır. Karadeliği tanımlamak için sadece iki bilginin, kütle ve spin, gerekli olduğunu hatırlayın. Bununla birlikte karadeliği oluşturmak üzere çöken yıldız çok daha karmaşıktır ve onu tanımlamak için çok daha fazla bilgi (onu oluşturan her parçacığın nitelikleri) gerekir. Dolayısıyla karadelik oluşma süreci bilgi kaybını gerektirir. Benzer bir şekilde karadeliğe bir cisim düştüğünde başka bir bilgi kaybı daha gerçekleşir. Karadeliğin sadece kütlesi ve dönüşü değişir oysaki kaybolan cismi tanımlamak için bundan daha fazla bilgiye ihtiyacımız vardır. Bilginin sadece karadeliğin dışında kalanlar için "kayıp" olduğu, yok saydığımız karadeliğin içinin bilgiyi kapsamaya devam ettiği söylenebilir.

Bu kozmik halının altına saklama eylemi ne yazık ki karadeliğin buharlaşma süreci nedeniyle geçerli değildir. Sıcaklıkları nedeniyle karadeliklerin ışınım yaydığını, dolayısıyla kütle kaybettiklerini hatırlayın. Evrenin mevcut 3-Kelvinlik ışınımı karadelikleri ışınım soğurma ağına dönüştürse de, evrenin genişlemesi er geç bu sıcaklığı karadeliklerin sıcaklığının altına düşürecektir ve karadelikler enerjiyi kaybedeceklerdir. Bu enerji kaybı karadeliğin büzülmesine neden olur. Böylesi bir ortamda bulunan karadelik sonunda buharlaşacaktır.

Nedenini anlamak için, kütlesi küçüldükçe karadeliğin sıcaklığının arttığını hatırlayın. Kütledeki böylesi kayıp, sıcak-

lıkta artışa neden olur ki; bu da, karadeliğin kütlesini daha hızlı kaybetmesine yol açar. Er geç karadeliğin kütlesinin tamamı ışınımla tükenir ve karadelik yok olur. Bu ne kadar zaman alır? Bir güneş kütlesindeki karadelik için buharlaşma süresi şok edici bir biçimde 10^{64} yıldır. Bu sadece bizim alıştığımız zaman ölçeği için olağanüstü değildir; $1{,}4 \times 10^{10}$ yıl, yalnızca 14 milyar, olarak tahmin edilen evrenin yaşıyla kıyaslandığında bile olağanüstüdür. Evrenin yaşamının tamamı boyunca hiçbir karadelik buharlaşmayabilir, fakat öyle olsa bile, olası buharlaşma durumunda bilginin nereye gittiğini hesaba katmamız gerektiği anlamını taşır. Çünkü karadelik buharlaştığında onu yaratan yıldız(lar)ın ve ona düşen her bir parçacığın bilgisi evrenden yok olmuştur.

Karadeliğin çevresinde bilginin saklanma ihtimali olan yerleri arayabiliriz, fakat elimizde üstüne gidebileceğimiz az şey var. Örneğin karadelik, ısıl spektruma sahip bir ışınım yayıyor olsa da bu ışınım çok az bilgi içerir. Isıl spektrum bütünüyle onun sıcaklığı tarafından tanımlanmıştır (spektrumun tamamından elde edilen bir parça bilgi). Bilgiyi taşıma ihtimali olan çok fazla aday yoktur.

Bu noktada, okura "Tamam, bilgi kayboldu. Ne olmuş? Bilgisayarımın her çöküşünde bana da oluyor" demek cazip gelebilir. Ne var ki kuantum mekaniğinde bilginin korunması (bu bağlamda bölünmezlik adını taşır) temel bir ilkedir. Kuantum teorisinin giremeyeceğimiz kadar derinliklerindeki sebeplerden dolayı, bölünmezliği olmayan bir kuantum mekaniği temelden çok farklıdır ve dolayısıyla şimdiki kuantum teorisinin sonuçları da öyledir. Ne var ki şimdiki kuantum teorisi büyük çapta test edilmiş ve geçerli sayılmıştır. Bu bulmacayla karşı karşıya kalmış biri ya (a) kuantum teorisi karadeliklerin buhar-

laşmasından doğan bilgi-kaybı özellikleriyle uyuşacak şekilde yeniden düzenlenmelidir veya (b) Hawking etkisi bölünmezlikle uyuşacak şekilde yeniden düzenlenmelidir şeklinde teori kurabilir.

On yıllardır a seçeneğinin Hawking lehine taraftarları ile b seçeneğinin Hawking aleyhine taraftarları arasında tartışma devam etmektedir. Hawking aleyhtarı grubun Hawking etkisini inkâr etmediğine dikkat edin; sadece karadelik buharlaşma sürecinin ayrıntılarının, yayılan ışınımın tamamen ısıl olmadığı onun yerine karadelik oluşma sürecine dair bütün bilgiyi bir nevi gizli "kodlama" yöntemiyle içerecek şekilde yeniden düzenlenmesi gerektiğini düşünmektedirler. Tartışma Hawking ve Kip Thorne'un John Preskill'le yaptığı bir bahisle biçimlendirilmiştir. Kip Thorne, karadeliklerin astrofiziksel özellikleriyle ve kütleçekim ışınımının özellikleriyle ilgili pek çok çalışma yapmıştır. Bu bahiste o ve Hawking aynı tarafta olsa da, Thorne'un Hawking'le daha önce salt tekillikler üzerine, Thorne'un kazandığı başka bir bahsi olmuştur (Hawking'in teknik bir ayrıntı olarak değerlendiği bir konuda). John Preskill parçacık fiziği ve kozmoloji konusunda çok çalışma yapmıştır, ancak şimdiki ilgisi kuantum bilgi ve kuantum bilgisayarlar teorisi üzerine yoğunlaşmıştır.

Hawking ve Thorne bilginin karadelik buharlaşmasında yok olduğuna bahse girerler, Preskill ise yok olmadığına. 2004 yazında, Hawking tartışmada taraf değiştirerek bahisten çekilir. Ne var ki, Hawking pes etmiş olsa da Hawking taraftarı grup pes etmemiştir. Bu kitap yazıldığı sırada, Thorne bahisten geri adım atmamış, Unruh ise daha önceki bilimsel bir uzlaşmazlığa paralel çizerek "Hawking teorisinden geri adım atmıştır, fakat Galileo da öyle yapmıştır" diye belirtmiştir. Mese-

le hâlâ kesin olarak havada kalmıştır (aslında ondan çok daha yüksekte).

Karadelik araştırmasının bu yönünü günümüze kadar getirdik ve güncel uyuşmazlıklarından birini sunduk. Bir uyuşmazlığa bakıp bilimin bunun üstesinden gelemediğini söylemek caziptir. ("Vah bilimin başına gelenlere. Kötü sona mahkûmdur! Mahkûmdur! Mahkûmdur!") Öyle değil. Geçmişte herhangi bir noktada böylesi bilimsel uyuşmazlıklar var olmuş ve er geç çözülmüşlerdir. Şu anda cevapların olmaması gelecekte neler olacağına dair bir şey söylemez. Bilimdeki böylesi sorular daha ileri teori ve deneye öncülük etmişlerdir. Bilimin büyümesi böylesi çözülmemiş sorulardan geçer çünkü önemli sorular teori ve deneydeki araştırmayı harekete geçirir. Sorular "Burayı kaz!" der gibi, saptanan ve teorik evrenin sınırlarını çizerler. Bilinmeyen *X*, gerekli yeri ayırt eder.

Bu nedenle yeni bilim insanları gelir, cevapları kazıp çıkarır fakat beraberinde yeni soruları da çıkarırlar. Bazı açılardan, bilimin güncel bilinmeyenleri bir sonraki nesil bilim insanları için iş programıdır çünkü her yeni aşama cevap, beraberinde yeni soruları getirdiği gibi onlara cevap vermek için daha fazla insana ihtiyacı da doğurur.

8. Bölüm

Kütleçekim Dalgaları

Karadeliklerin niteliklerinin boşuna umutlandıran çözümlemesine rağmen, Hawking etkisi kesin olarak teoriktir, bu nedenle bugün karadeliklerle ilgili neler saptayabildiğimizi sormak zorundayız. Karadeliklerin çevresindeki aktarım disklerinin etkilerinin gözlemi bize karadeliğin güçlü kütleçekime sahip yoğun küçük cisim olduğu gerçeğinden daha fazlasını söylüyor gibidir. Karadeliklerle ilgili güçlü kütleçekim basit olgusu dışında onlarla ilgili daha fazla bilgi temin edecek saptayabildiğimiz başka bir şey var mı? Böyle bir şey var ve kütleçekim ışınımı olarak bilinen olguyla ilgilidir.

Kütleçekim ışınımı daha aşina olduğumuz bir şeyle, elektromanyetik ışınımla benzerlik taşır. Bir radyo istasyonu elektrik akımını, anteni boyunca düzenli olarak yukarı aşağı yönlendirerek radyo dalgaları üretir. Bu, kaynaklarından dışarıya doğru yayımlanan elektromanyetik dalgaları oluşturur. Bir radyo alıcısına radyo dalgası ulaştığında bu durum, elektrik akımının anten boyunca yukarı aşağı hareket etmesine sebep olur ve bu

akımlar alıcı tarafından saptanır. Bu durum bu arada, teorik evrenin oldukça soyut yönünün (Maxwell'in elektromanyetizma denklemlerinin) cisimleri oluşturmada göreli basit bir yönteme yol gösterdiği bir vakadır: Radyo vericiler ve alıcılar, bunlara gelince insan hayatının radikal bir şekilde değişmesine (bugün bel bağladığımız tümden birbirine bağlı iletişim ağına) yol açmışlardır.

Elektrik akımının ileri ve geri hareketi elektromanyetik ışınım yarattığı gibi, kütlelerin ileri ve geri hareketi de kütleçekim ışınımı adını taşıyan bir olgu yaratır. Nasıl ki elektromanyetik ışınım ışık dalgası olarak modellenebiliyorsa, bu durumda kütleçekim ışınımı da kütleçekim dalgası adı verilen bir nevi dalga olarak modellenebilir. Bu kütleçekim dalgaları kaynaklarından dışarı doğru yayımlanır ve başka kütlelerle karşılaştıklarında, bu başka kütleler kütleçekim dalgası tarafından hareket ettirilir (bu durum radyo vericisi ve alıcısıyla birebir benzerlik taşır). Bu iki ışınım arasındaki ana farklılık kütleçekimin elektromanyetizmaya nazaran çok daha zayıf olmasıdır ve bu da kütleçekim ışınımının elektromanyetik ışınıma nazaran çok daha zor saptanmasına neden olur.

Kütleçekimin elektromanyetizmadan çok daha zayıf olması, muhtemelen en iyi şekilde, mıknatısın demir çiviyi havaya kaldırması örneği ile tasvir edilir. Burada elde kolayca tutulabilen bir cisim olan mıknatıs, manyetik kuvvet aracılığı ile çiviyi yukarı doğru çekerken *Dünya'nın tamamı* kütleçekim kuvveti aracılığı ile çiviyi aşağı doğru çekmektedir ve buna rağmen ufacık mıknatıs kazanır!

Kütleçekim ışınımı zayıf olsa da bütünüyle teorik değildir. İkili puslar adı verilen bir sistemde dolaylı olarak saptanmıştır. İlk olarak 1974'te Rusell Hulse tarafından saptanan bu sistem,

yıldızlardan ikisinin de nötron yıldızı ve birinin pulsar olduğu ikili yıldız sistemidir. Amaçlarımız doğrultusunda bu sistemin önemli özelliği pulsarın atışlarının düzenliliği olağanüstü bir şekilde, en iyi atom saatlerimiz kadar (belki onlardan iyi) dakik saat yaratmasıdır. Ne var ki, Doppler etkisinin atış devri gözlemlerimizi pulsarın hızına bağlı olarak değiştirdiğini hatırlayın. Böylece atışın altında yatan düzenliliği hızın ölçümünde bir araç olarak kullanabiliriz. Atış hızındaki yüksek dakikliğe sahip ölçümler nedeniyle zaman içinde pulsarın hızına dair oldukça dakik ölçümler elde ederiz ve bundan da nötron yıldızlarının yörüngelerine, nötron yıldızlarının kütlelerine ve yörüngesel devirlere (nötron yıldızlarının birbirlerinin çevresindeki yörüngeyi dolaşarak tamamlamaları için gerekli süreye) dair dakik ölçümler elde ederiz. Sadece bir olgunun oldukça dakik ölçümünün, bağlantılı olguların dakik ölçümünü üretebilecek şekilde çeşitli hesaplamalardan geçirilebildiğine dikkat edin. İkili pulsar, kendi niteliklerini nasıl saptayıp hesaplayabileceğimizi söylediğine göre çok iyi bir sistemdir. Daha çok şey böyle olabilseydi. Elbette ki, bu ilginç yıldız sistemlerinin çoğu için geçerli olduğu gibi, orada yaşamak istemezsiniz. Onları uzak teleskoplar aracılığı ile gezmeniz daha iyidir.

Nötron yıldızları hareketli kütleler olduklarına göre, genel görelilik ikili pulsarın kütleçekim ışınımı yaydığını tahmin eder. Ayrıca nötron yıldızı kütlesine ait sayıları ve yörüngeye dair ayrıntıları verdiğinizde genel görelilik ikili pulsarın belirli bir sürede kütleçekim dalgalarında yayarak kaybettiği enerjinin miktarına dair dakik tahminler üretir. Bu enerji kaybının nötron yıldızların yörüngelerini etkilemesi gerekir. Başlangıçta enerji kaybının yıldızın yavaşlamasına sebep olacağı ve dolayısıyla yörüngesel devrin uzayacağı beklenebilir. Ne var ki, küt-

leçekim açısından bağlı sistemlerde enerji kaybı sistemin daha sıkı bağlandığı anlamına gelir; diğer bir deyişle nötron yıldızlarının birbirlerine yaklaştıklarını. Güneş Sisteminde olduğu gibi daha küçük yörüngesel boyut, daha az yörüngesel devir anlamına gelir (Güneş'e daha yakın olan gezegenler yörüngelerinde daha hızlı dolaşırlar: Uzakta olanlara nazaran daha kısa yıllara sahiplerdir).

Bu nedenle nötron yıldızları enerji kaybettikçe hızlanırlar. Amaçlarımız doğrultusunda önemli olan şey genel göreliliğin, ütleçekim ışınımında enerji kaybının yol açtığı yörüngesel devirdeki (oldukça küçük) değişikliğe dair kesin tahminde bulunması ve pulsarın bu kadar küçük bir değişikliğin ölçülebilindiği (ölçülmüştür de) dakik bir saat olmasıdır. Ölçülen yörüngesel devir değişikliği tahmin edilenle uyumludur, böylelikle kütleçekim ışınımının dolaylı saptamasını sağlamış olur. Diğer bir deyişle kütleçekim ışınımının var olduğunu söyleyebiliriz çünkü sistemin kendisi varmış gibi davranır. Enerji kaybının başka bir sebebi olsaydı, bu başka sebebin tahmin edilen kütleçekim ışınımı etkileriyle birebir aynı etkiler üretmesi gerekirdi. Bu kesinlikle mümkündür, fakat pek olası değildir.

Bununla beraber elimizde kütleçekim ışınımının dolaysız saptaması da olsun isteriz. Nötrino saptamasıyla benzer bir şekilde etkileşimin az bulunur olmasının saptamayı zorlaştırdığı başka bir durum, kütleçekimin zayıflığı onun kütleçekim ışınımının dolaysız olarak saptanmasını zorlaştıracaktır tahmininde bulunabiliriz. Ne var ki, başarılı nötrino saptayıcılarına benzer bir şekilde, kütleçekim dalgaları saptamasının işleyişini bilmeden de başarılı bir saptayıcının hacim, kesinlik ve yalıtım adı vereceğimiz üç özelliğe sahip olmak zorunda olacağını tahmin edebiliriz.

Aşağıdaki çözümleme saptanan evrenle iyi geçinmek için çok önemli bir yönteme, problem çözmekle benzerlik taşıyanına, işaret ediyor. Bir sorunu belirli bir süreç aracılığıyla çözdüysek ve benzer zorluklar taşıyan başka bir sorunla karşılaştıysak, öncelikle, onu ilk sorunu çözmek için kullandığımız yönteme benzer bir süreçle çözmeye çalışabiliriz. Kısaca, pratik kural, kare tekerlek kullanmadığınız sürece tekerleği yeniden icat etmemektir.

Bir nötrino saptayıcısında ne kadar çok atom olursa nötrinonun saptayıcıdaki atomla etkileşmesinin o kadar muhtemel olduğunu hatırlayın, dolayısıyla çok sayıda atom anlamındaki hacim olmazsa olmaz bir özellikti. Bununla birlikte, tek bir nötrino etkileşiminin saptanabilmesi anlamında kesinlik de olmazsa olmazdı. Son olarak diğer parçacıklar (örneğin, kozmik ışınlar) saptayıcının içinde nötrinolarla karıştırılacak şekilde etkileşebilirdi, saptayıcıyı yerin altına derine yerleştirerek onu parçacıklardan korumak, gereklilikti.

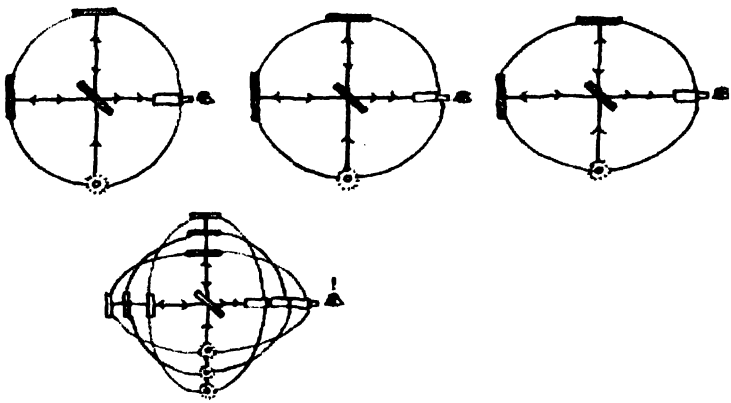
Göreceğimiz üzere kütleçekim ışınımının saptanma işleyişi nötrino saptanmasından olaylara dayanma açısından oldukça farklı olsa da, tasarım ve kullanımında aynı hacim, kesinlik ve yalıtım ilkeleri geçerlidir. Kütleçekim dalgası saptayıcısı aslında Michelson interferometresiydi, burada ışık kaynağı lazer olsa da, ışık hızının değişmezliğini göstermek için kullanılan bir cihazdı. Lazer huzmesi, huzme bölücü tarafından ikiye bölünmüştür ve her bir huzmesi, L'nin kolları boyunca gidip gelir. Sonrasında huzmeler yeniden birleşir ve girişime uğrar. Kütleçekim dalgası saptaması için interferometre bütünüyle yıkıcı girişim için ayarlanmıştır: İki huzme birbirlerini iptal eder ve kütleçekim dalgalarının yokluğunda yeniden birleşmiş huzmeler bütünüyle karanlık olurlar.

Kütleçekim ışınımı içinden geçtiğinde interferometreye ne olur? Görelilikte, kütleçekim uzayda ve zamanda gerçekleşen biçim bozulması olarak düşünülebilir. Bu fikir görelilik üzerine yazılmış kitaplarda defalarca, lastik çarşafın üzerine konan kütleler görseli kullanılarak açıklanmıştır. Kütleler ne kadar ağır olursa, lastik çarşafın biçimi o kadar bozulur. Eğri uzay zamanın temel fikrini anlamak açısından lastik çarşaf iyi bir örnektir, fakat göreliliği kavramak için gerekli pek çok ince ayrıntıdan yoksundur.

Her halükarda, kütleçekim uzayı büküyorsa yıkıcı girişime ayarlanmış interferometrede kütleçekim dalgasının varlığının, öncesinde bütünüyle karanlık olan birleşmiş huzmeyi bir tür ışığa dönüştürecek şekilde uzayın biçimini bozması sürpriz değildir. Bu dalga, interferometrenin kollarından birini her uzattığında diğer kolu kısalttığı için gerçekleşir, dolayısıyla interferometre küçülür (*bkz.* Şekil. 9). O zaman aydınlanan huzmenin miktarından kütleçekim dalgasının gücünü buluruz.

Şimdiye kadar söylediklerimizden yola çıkarak bodrumunuzda bir kütleçekim ışınım saptayıcısı inşa etmeye başlamak size cazip gelebilir. (Ne kadar zor olabilir? Markete gidip lazer, birkaç ayna ve bir tane de huzme-bölücü aygıtlardan birini almama izin verin.) Ne var ki burada işin içine hacim, kesinlik ve yalıtım özellikleri girer. Kütleçekim dalgası interferometre kolunun uzunluğunun belirli çok küçük kesirli ölçekte kesirli uzunluk değişimi, kütleçekim dalgasının gücüne bağlı kalarak kolun biçimini bozar. Ne var ki, interferometredeki sinyal, gerçek uzunluk değişimine bağlı olduğuna göre bunun anlamı, interferometre ne kadar büyük olursa sinyalin de o kadar büyük olacağıdır. Dolayısıyla kütleçekim dalgası saptayıcıları için gerekli olan hacim büyük ölçektedir. LIGO, yakın geçmişte

Kütleçekim Dalgalarının interferometre üzerindeki etkileri (ölçekli olmayan)



Şekil 9

inşa edilen kütleçekim dalgası saptayıcısı, 4 kilometre uzunluğunda (evde yapmak için fazla uzun) bir kola sahiptir. Kulağa garip gelen LIGO[12], Lazer İnterferometre Kütleçekim Dalgası Gözlemevi'nin kısaltmasıdır. LIGO aslında, biri Luisiana Livingston'da, diğeri Washington Hanford'da bulunan böylesi iki saptayıcıyı ifade eden bir projedir. Diğer kütleçekim dalgası saptayıcılarının İtalya Cascina'da bulunan VIRGO, Almanya Hannover'de bulunan GEO600 ve Japonya Tokyo'da bulunan TAMA300 gibi garip isimleri vardır.

Bu kadar uzun bir kola rağmen, kolun uzunluğundaki değişim, ışığın dalga boyunun çok küçük kesirli ölçeğidir. Bu nedenle saptayıcı, kütleçekim girişime uğrayan lazer huzmelerin yıkıcı girişimini "bütünüyle" yıkıcı olmayan girişime dönüştürdüğünde ortaya çıkan, ufacık miktardaki ışığı dakik olarak

12 Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, İngilizce. (Ç.N.)

saptama kabiliyetinde kesinliğe sahip olmak zorundadır. Ortaya çıkan ışığın miktarı aynı zamanda lazerin gücüne bağlı olduğuna göre, saptayıcı güçlü lazer anlamında başka tür bir hacme daha sahip olmak zorundadır. (Ekipmanları hırdavatçıdan satın almak da böylece gider.)

Bu hacim ve kesinlik özellikleri tek başlarına yine de yeterli değillerdir, çünkü kütleçekim dalgaları dışında başka şeyler de saptayıcıda sinyale sebebiyet verebilir. Saptayıcının bu dış etkilerden yalıtılması gerekir. Yalıtıma dair basit bir örnek, lazer ışığının kollardan geçişinde biçiminin, içinden geçtiği hava tarafından bozulabildiği olgusundan gelir. Dolayısıyla, L'nin tamamının içlerindeki havanın dışarı pompalandığı boruların içinde olması gerekir. LIGO'nun boşlukta çalışması gerekir. Aynalar ve huzme-bölücü titreşimle hareket ettirilebilir; dolayısıyla onları herhangi bir titreşimden mümkün olduğu ölçüde koruyacak özenle hazırlanmış süspansiyonlara monte edilmiş olmaları gerekir. Anlayacağınız üzere kesinlikle ev deneyi yetki alanının dışındayız.

Yukarıda belirtilmeyen, kütleçekim ışınımının görece daha güçlü kaynaklarına sahip olma arzusudur. Nötrino saptayıcısının Güneş bu kadar çok nötrino saldığı için başarılı olması gibi, kütleçekim dalgası saptayıcısının güçlü kütleçekim dalgası yerine geçen bir şeye ihtiyacı var. Böylesi kütleçekim dalgalarının kaynaklarından biri, karadeliklerin çarpışmasıdır. Bir çift nötron yıldızından oluşan bazı ikili yıldız sistemleri var olduğu gibi, bir çift karadelikten oluşan ikili yıldız sistemleri de muhakkak ki vardır. İkili pulsar gibi ikili karadelik sistemi de kütleçekim ışınımı yayacaktır ve sonuçta oluşan enerji kaybı, karadelikleri birbirlerine biraz daha yaklaştıracaktır. Karadelikler er geç tek, daha büyük karadelik oluşturacak şekilde

çarpışıp birleşmelerine yetecek kadar yaklaşmış olacaklardır. İkili yıldız sistemindeki nötron yıldızlarının çarpışması da karadelik ve kütleçekim ışınımı oluşturacaktır, bir karadelik ve bir nötron yıldızından oluşan ikili sistem çarpışmasının da oluşturacağı gibi. Böylesi bir çarpışma, güçlü (göreli bir kavram olarak "güçlü") kütleçekim ışınım sinyali üreteceği için cazip bir hedeftir.

İkili karadelik çarpışmasından oluşacak kütleçekim ışınımının neye benzeyeceğini teorik olarak modelleyebilseydik, o zaman saptayıcılarımızı böylesi bir olguyu bulmayı denemek için kullanabilirdik. Peki, teori bize ne söyler? En azından sürecin son safhasıyla (karadelikler birleştiklerinde) ilgili olarak tahmin açıktır. Sonuçta çıkan büyük karadelik, Kerr'in formülünde tanımlanan karadelik boyutuna oturacaktır. Bu nedenle bu boyuta oturma süreci, biçimi bozuk Kerr karadeliği bu bozuklukları kütleçekim dalgaları şeklinde atmayı içerir. Bu süreci bir çanın çalmasıyla benzer olarak ele almak faydalıdır. Çanın belirli bir biçimi vardır, fakat çan çalındığında biçim bir an için bozulur. Çan ses dalgaları yayarak titreşir ve er geç kendi bozulmamış biçimine oturur. Biçimine oturma sürecinde ses dalgalarının karakteri (diğer bir deyişle, çanın notası) çanın boyutuna, biçimine ve çanın üretildiği malzemeye bağlıdır. Çanla benzer bir şekilde, bu "ses-kısma" sürecinde biçimi bozulmuş bir karadelik tarafından yayılan kütleçekim dalgalarının özellikleri karadeliklerin özelliklerine bağlıdır. Ancak böylesi özellikten sadece iki tane var: Kütle ve Spin. Bu nedenle dalgaların nitelikleri Kerr'in formülünün yardımıyla hesaplanabilir. Bu dalgalar saptanır ve tahminle eşleşirse bu durum, karadeliklerin özelliklerine dair Kerr'in formülünü doğrular ve bize karadeliklerin özellikleriyle ilgili ayrıntılı saptanmış bilgi verir.

Peki, karadelikler ne kadar sıklıkta çarpışır? Ne yazık ki pek sık değil. İkili karadelik sisteminde karadelikler geniş ölçüde ayrıklarsa, kütleçekim ışınımı zayıftır ve karadelik yörüngesinde ancak ufak değişiklere neden olur. Karadeliklerin çarpışmaya yetecek kadar yaklaşmaları uzun sürmektedir. İkili pulsar yörüngesi o kadar yavaş değişmektedir ki, iki nötron yıldızın çarpışması için yaklaşık 300 milyon yıl gerekmektedir. İkili karadelik sistemlerinin bu kadar yaşadığını kabaca tahmin etsek, o zaman bir yıllık bir gözlem süresinde saptayıcının menzilindeki karadelik sistemlerinin 300 milyonundan biri çarpışırken gözlemlenecektir. Saptayıcının menzili, en iyi radyo istasyonları benzetmesi ile açıklanır. Bir radyo istasyonunun sinyali sizin vericiden uzaklaşmanız ölçüsünde zayıflar, dolayısıyla bulabileceğiniz radyo istasyonu sayısı sınırlıdır. Bunlar, radyo alıcınız tarafından saptanacak kadar güçlü sinyale sahip olacak kadar yakında bulunma anlamında, alıcınızın menzilindeki istasyonlardır. Sadece daha iyi bir alıcı edinerek menzildeki radyo istasyonlarının sayısını artırabileceğinize dikkatinizi çekeriz.

Bu kitabı yazdığımız süre boyunca, kütleçekim dalgası saptayıcıları henüz bir şey saptamamışlardır. Bu durum kaynakların kıtlığı göz önüne alındığında şaşırtıcı değildir. LIGO galaksimizde veya yakınımızdaki bir galakside herhangi bir yerde ikili karadelik çarpışmasını saptayabiliyor olsa da, ikili karadelik sistemlerinin sayısına dair tahminler, söz konusu yılda galaksimizin çevresinde, böylesi bir çarpışmanın gerçekleşmesine pek ihtimal vermiyor. Çözümü daha iyi, galaksimizin çevresinin dışını da duyabilen bir saptayıcı edinmek. LIGO hacmin, kesinliğin ve yalıtımın mühendislik harikası olsa da yeteri kadar harika değildir. Bileşenleri titreşimden korumak için daha incelikli bir yöntem de dâhil olmak üzere, saptayı-

cıların kesinliğinin ve yalıtımının iyileştirilmesi planları üzerinde çalışılmaktadır. Bu iyileştirilmeler bu kitabın yazımının üzerinden geçen birkaç yıl kadar uzaktadırlar ve onların karadelik çarpışmaları saptamalarını sağlayacak etkinlikte olacakları tahmin edilmektedir.

Daha iddialı bir plan, kütleçekim dalgası interferometresini uzayda inşa ederek oldukça arttırılmış hacme sahip bir saptayıcı yaratmaktır. Burada lazer ve iki aynanın her biri, ayrı uydulara monte edilebilir. Bu üç uydu (lazer uydusu ile ayna uydusu arasındaki mesafe bir kolun uzunluğu olacağına göre), LIGO'dan çok daha uzun bir kol yaratırlar. Ayrıca, donanım uzayda olduğuna göre, Dünya'nın hareketi ve diğer Dünya'ya ait sallanma sorunlarının giderilmesi gibi boşluk da bedavaya sağlanmış olur. Bu projenin adı LISA'dır[13] (Lazer İnterferometre Uzay Anteni). Bu NASA tarafından Avrupa Uzay Ajansı'nın işbirliği ile planlanan bir projedir ve çalıştırılması bundan yıllar sonra gerçekleşebilir.

Bu adıma karadeliklerin kendileri hakkında konuşarak, Güneş'le karşılaştırıldığında daha kara ve saptaması daha zor olduklarını söyleyerek başladık. Saptaması çok zor etkilerini kullanarak, niteliklerini ölçme planlarıyla bitirdik. Dışarı doğru atılan sıradaki adımımızda daha kara maddeler ve enerjilerle çalışmaya başlayacağız. Bununla birlikte, melodramayı affedin, bu karanlıktan üç katmanlı evrenimize dair daha net bir resim elde edeceğiz.

13 Laser Interferometer Space Antenna, İngilizce. (Ç.N.)

3. Adım

Kara Madde, Kara Enerji



Kara Madde. NASA, ESA, M. J. Jee ve H. Ford ve diğerleri (Johns Hopkins Üniversitesi) 2007.

9. Bölüm

Galaksi Ölçeği

Önümüzdeki bölümler öncekilerden oldukça farklı olacaklar. Burada, çoğunlukla bilinen bilimle değil çoğunlukla bilinmeyen bilimle uğraşacağız. Şimdilik, ufak bir betimleme yaparken bize biraz sabredin lütfen.

Bilgi alanını, sürekli olarak inşaat halinde bulunan bir apartman biçiminde hayal edin. Binanın üst kısımları, yeni katlar inşa eden işçilerle dolup taşarken binanın tamamlanmış kısımlarına, alt katlarına, insanlar taşınmıştır ve binanın çalışmak üzere inşa edildiği şekilde yaşamaktadırlar. Binanın kolaylıklarından keyif almakta, dekorasyonunu ve yerleşik teçhizatını sevmekte ya da en azından tahammül etmektedirler. Zaman zaman işçilerden biri aşağıya inerek yapının önceden yerleştirilmiş bir kısmını, duvarı parçalayarak, fırını değiştirerek, yeniden boyayarak vesaire, yeniden düzenler veya onarır. Nadiren binanın, kablo tesisatı, sıhhi tesisat ve benzeri gibi, bazı temel açılardan yeniden yapılması gerekir. Bu olduğunda ekip, ciddi onarımlar için aşağıya indiğinde bina sakinlerinin

yakınması üzerine yönetim omuz silkerek şunları belirtir: "O eski Newton'cu kablo tesisatı daha hızlı iletişimi ve daha fazla trafiği kaldıramıyordu. Einstein A.Ş. zeminden başlayarak yeni kabloları döşüyor. Merak etmeyin, ihtiyacınız olana kadar farkı görmezsiniz."

Bilim apartmanındaki insanların çoğu, bilimin sonuçlarını (teknolojiyi ve sorun çözme yöntemlerini) kullanarak, fakat binanın üst katlarının nasıl inşa edildiği ile hiçbir şekilde ilgilenmeden alt katlarda yaşamaktadırlar. Hayatta yaptıkları şeyler için bilime daha fazla ihtiyaç duyan insanlar (mühendisler gibi) daha üst katlarda otururlar fakat her ne kadar tuhaf ve ilginç olsa da, inşaatla ilgili gelişmelerden haberdar olmaları gerekmediği gibi binanın altyapısı hakkında endişe etmeleri de gerekmez. Binanın müteahhidi ile karşılaşmış herkes, evinin duvarlarında ve zemininde bir sürü garip şeyin gizli olduğunu anlayacaktır. Bazen yukarıdan aşağıya bazı yeni katların kullanıma açıldığına dair haber gelir ve bazen de işçilerin arasında bir tartışma çıktığında inşaatın gürültüsü alt katlara ulaşır.

Binada yaşayanlarla (alanın kullanıcıları) binayı inşa edenler (alanın yaratıcıları/kâşifleri) arasındaki bölünme bu kitapta üstesinden gelmeye çalıştığımız şeylerden biridir. Bilim çalışmaları içinde yaşamakla bilimin kendisini inşa etmek arasındaki gizem engelini yıkmak istiyoruz. Herkesin bilim alanlarında işçi olmasını ne bekliyor ne de istiyoruz, fakat şu garip gürültünün ne olduğunu ve neden duvarlarında koca karadelikler açıldığı herkes tarafından daha iyi anlaşılırsa daha iyi olacağını düşünüyoruz.

Bunların hepsi bir açıdan bu adımın amacının önsözü: İnşaat alanına hoş geldiniz. Baret takmak mecburidir.

Önümüzdeki bölümlerde evrenbilimin, bunlar yazıldığı sırada devam eden araştırmanın ve tartışmanın öznesi olan, elementlerini inceleyeceğiz. An itibarı ile bilinmeyenle uğraşıyorsak bu bölümlerde ortaya koyduğumuz fikirlerden bazılarının yanlış çıkması olasıdır. Önceki bölümlerdeki malzemelerin çoğu için bu geçerli değildir. Güneş hakkında yazdıklarımızdan, yıldız evrimi hakkında yazdıklarımızın birçoğundan ve hatta karadeliklerle ilgili yazdıklarımızın büyük bir bölümünden emin olabiliriz. Bu bölümlerde, evrenbilim ile kara madde ve kara enerji gözlemleri hakkında söylediğimiz çoğu şey iyice anlaşılmıştır. Ne var ki, kara madde ve kara enerjisinin doğasına geldiğimizde bilinmeyenin bölgeye adım atmış oluruz ki; emin olma, bu bölgenin değerlerinden biri değildir.

Gerçekten bilinmeyeni keşfetme, bilim yöntemlerinin değerlerini bütünüyle gösterdikleri yerdir. Yeni bir olgu keşfedildiğinde, "Bu şey nedir?" sorusu cevaplanmayı bekler. Her yerde yeni teoriler ortaya atılacaktır. Teorik evrende herkesin bir fikri olabilir. Aslında, yeni bir şey saptandığında, birisi "Hiçbir şeydir" teorisini varsayarken başka birisinin de "Bu benim gözde fikirlerimin kanıtıdır" söyleminin bir çeşitlemesini belirtmesi kesindir. Tek başına teori, söylediğimiz üzere yeterli değildir. Teoriyi test eden saptamanın var olması gereklidir. Teori, saptama cihazının yaratılışı için bir nevi kılavuzdur, çünkü teorisi kurulan her ne mevcutsa, bunun sonuçlarının olması gerekir ve bu sonuçlardan bazılarının saptanabilir olması için ümit edilir.

Görmezlikten yeni bir bilim yaratmak için şu anda izlenen yolları göz önüne sereceğiz. Görmezliğin sebebi, zamanında iyi açıklanamayan bir şeyin bulunmuş olmasıydı. O zamandan beri, görmezlikten anlayış çıkarmak için çaba sarf edilmiştir. Devam eden bu bilimsel çalışmaları göstermek-

le bilimin yapılma süreçlerini biraz daha fazla aydınlatmayı ümit ederiz.

Adil olmak adına, bunu an itibarı ile araştırılan herhangi bir başlık için yapabiliriz. Tercih ettiklerimiz, önceki bölümlerdekiler gibi, belirli dramatik niteliğe sahipler: Birleşen gazdan oluşan top, galaksi-yiyen karadelikler ve bunlara benzer şeyler. Kara madde ve kara enerji bu seviyede bir dramaya sahip olabilirler (henüz bilmiyoruz) fakat onları anlama denememizde evrenin başlangıcına ve bitişine uzanmamız gerektiğini biliyoruz, dolayısıyla arayışın kendisi dramatik niteliktedir.

Kısaca, bu başlıkların peşinden, evrenin bileşimine dair sorulmuş en ilginç sorulardan bazılarını göstermeyi ümit ediyoruz. Zamanın başlangıcına ulaşacak, sonuna dair ipucu verecek, varoluştaki en büyük cisimlerle en küçüklerini birleştirecek ve bir yanlışın nasıl olup da iki farklı doğruyu saklamış olabileceğini göstereceğiz.

Bu kadar gösteri yeterli. Bilime dönelim.

✹

Bilim, genel anlamda, konusu olan şey hakkında üç temel soruyu cevaplamayı amaçlar: "Bu şey nedir?", "Bu şey nasıl çalışır?" ve "Bu şey daha sonra ne yapacak?".

Daha önce de yaptığımız gibi, "Bu şey nedir?" sorusunun görünüşte basit bir parçası olan soruyla başlayacağız: Bir galakside ne kadar kütle var? Bu, evrenbilimcilerin sormayı sevdikleri bir sorudur çünkü büyük ölçekte evreni yöneten denklemler için kütle hayatidir. Galaksiler söz konusu olduğunda, "Bu şey nedir?" sorusunun cevabı, boyutu ve kütlesi ölçülmeye çalışılarak başlanır. Teleskoplarla yakalanan görüntüler, galaksilerin açısal boyutunu (gökyüzünde ne kadar büyük görün-

düklerini) gösterir ki, bu da galaksiye olan mesafe ölçüldüğünde galaksinin gerçek boyutunu verir. Galakside mesafelerinin nasıl ölçüldüğü nazik konusunu sonrasına bırakıyoruz. Galaksi kütlelerine gelince, kütleçekim etkilerine bakarak astrofiziksel cisimlerin kütlelerini bulduğumuzu anımsayın. Bunu birazdan yapacağız. Ne var ki, genellikle cevaplarımızdan emin olmak için nesneleri birden fazla yöntemle ölçmeyi isteriz. Kütleçekime dalmadan önce, izninizle, bir galaksinin kütlesini ölçmek için başka bir yol var mı diye bir bakalım.

Astrofiziksel cisimlerden aldığımız şey genelde ışıktır ve bir galaksi bize bundan bolca verir. Ondan aldığımız ışığa dayanarak bir galaksinin kütlesini tahmin etmenin bir yolu var mı? Elbette. Bir galaksi bir yıldız koleksiyonudur ve Güneş'in de tipik olduğuna göre buna inanmamız için sebeplerimiz var. Güneş'in kütlesini ve aydınlatma gücünü (saçtığı ışığın miktarını) biliyoruz. Bir galaksinin aydınlatma gücü 1 milyar ışıksa, kütlesinin de 1 milyar güneş kütlesinde olduğunu tahmin edebiliriz. Gökbilimcilerin, daha teknik dile getirirsek, Güneş'in kütleçekim-aydınlatma gücü oranını bildiğini biliyoruz. Galaksinin aydınlatma gücünü ölçüp bu oranla çarparak galaksinin kütlesine dair bir tahmin elde ederiz. Kütlenin tahmini (bizim galaksimiz için yaklaşık 30 milyon güneş kütlesidir) sadece bir tahmindir, çünkü yıldızların hepsi aynı kütleçekim-aydınlatma gücü oranına sahip değillerdir ve galaksideki her şey yıldız değildir (örneğin, merkezindeki o kocaman karadelik var); ancak bu sayı yaklaşık değer olarak iş görür.

Burada önceki bölümlerde ele aldığımız ışığın merkezinin karadeliğin çevresindeki aktarım diskinden geldiği aktif galaksilerden ve YBC'lerden ziyade sadece, ışığın büyük bir kısmının yıldızlardan geldiği, "normal" galaksileri dikkate alıyoruz.

Böylesi bir galakside, karadeliğin kütlesiyle aktarım diskinin ışığı sade bir oranla ilişkilenmez.

Bu zorluklar nedeniyle, bir galaksinin kütlesini daha kesin bir yöntemle ölçmek isteriz. Bu yöntemlerden biri, galaksinin kütleçekim etkilerini saptayıp bu ölçümleri ışık kullanılarak yapılan tahminlerle karşılaştırmaktır. Bir galaksideki yıldızların, bu galaksinin kütleçekim kuvveti ile bir arada tutulmasından dolayı, yıldızların galaksinin içinde yol alırken oluşan hareketlerini kullanarak, galaksinin kütlesini bulabilmemiz gerekir. Burada Güneş, yıldızlar ve karadelikler için kullandığımız yöntemin aynısını kullanacağız: Galaksinin çevresinde yörüngede yol alan bir cismin mesafesini ve hızını bulmak ve bunu galaksinin kütlesini hesaplamak için kullanmak. Diğer bir deyişle, oradaki her büyük şey için kullandığımız aynı eski numarayı kullanarak galaksinin kütlesini ölçmek istiyoruz. Daha önce de belirtildiği üzere, yeni bir araç yapmadan önce eski araçların işe yarayıp yaramadığını görmek faydalıdır.

Bu aracı kullanırken bir zorlukla yüzleşiriz. Yıldızlar galaksinin çevresinde yörüngede yol almazlar onun yerine galaksinin içinde yer alırlar. Bu vakada, aynı formül hâlâ kullanılabilir, fakat anlamı biraz farklıdır. Daha önce yörünge için kullandığımız formüldeki M niceliği galaksinin bütün kütlesini değil, onun yerine galaksinin yıldızın yörüngesinden daha küçük yarıçapa sahip kısmının kütlesini gösterir. Aslında bir yıldız seçip bu yıldızın maruz kaldığı, galaksi merkezine bu yıldızdan daha yakın olan her şeyin, kütleçekim etkisine yoğunlaşırız. Bu süreç gerçekten de çalışır, fakat bize sadece merkeze bu yıldızdan daha yakın bölgenin toplam kütlesinin tahmini değerini verir.

Bu yöntemle, ölçüm yıldızı olarak galaksinin sınırlarına yakın bir yıldızı seçersek, galaksinin neredeyse tamamını ölçebiliriz. O zaman galaksinin toplam kütlesinin en iyi ölçümünü elde etmeyi bekleyebiliriz. İhtiyacımız olan yıldızlar, dolayısıyla en geniş (yani, en uzakta bulunan) yörüngeye sahip olanlardır.

Bu ölçümü sarmal galaksiler için kullanalım. Galaksiler çok çeşitli biçimlere sahip olurlar. Sarmallara sık rastlanır ve biz de sarmal bir galakside yaşıyoruz, dolayısıyla öncelikle onları merak ediyoruz (galaksiler arası ölçekte sınırlıyız). Bu galaksiler, bizim galaksimiz Samanyolu gibi, ortasında yuvarlak merkezi çıkıntı ve merkezi çıkıntının çevresindeki diske oturan bir dizi sarmal kol içerir. Bizim Güneş'imiz Samanyolu'nun bu sarmal kollarından biridir.

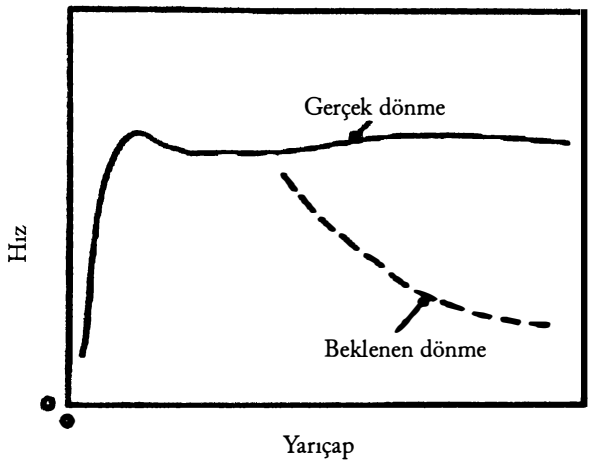
Galaksilerin kütlesini saptamak için kullandığımız formül, radyal konumla (merkeze uzaklık) hız arasında bağlantı kurar. Dolayısıyla bunu sadece tek bir yıldızla denemek yerine, farklı konumda bulunan çok sayıda yıldızın hızını ve konumunu bulabilir ve hıza karşılık yarıçap çizelgesi oluşturabiliriz. Böylesi çizelge dönme eğrisi adını taşır ve bize kütleyle ilgili bir şeyler söylemesi gerekir. Bizim Güneş Sistemimizle uğraştığımızda altını çizdiğimiz üzere, yörüngesel hız ve yörüngesel uzaklık birbirine bağlıdır ve bu bağlantı Güneş'in kütlesine bağlıdır. Galaksideki yörüngesel hız ve mesafe de benzer olarak galaksinin kütlesine bağlı olacaktır, dolayısıyla çizelgenin bize galaksinin içindeki kütle dağılımına dair bir fikir vermesi ve er geç toplam kütleye işaret etmesi gerekir.

Böylesi bir arazi planını oluşturmak için gerekli saptamaları yapmadan önce, sarmal bir galaksinin dönüş eğrilerinin neye benzeyeceği konusunda ne beklediğimizi anlamaya çalışmak için teoriyi kullanabiliriz. Sarmal bir galakside ışığın büyük bir

kısmı merkezi çıkıntıdan veya ona yakın bölgelerden gelir. Bu nedenle kütlenin büyük bir kısmının sarmal kollardaki tipik yıldızın yörüngesinin içinde kalmasını bekleriz. Diğer bir deyişle, kütlenin büyük bir kısmının merkezde olmasını beklediğimize göre, sarmal kollardaki yıldızlar için de, bu yıldızlar merkezden farklı mesafelerde olsalar bile, benzer kütle sonuçları almayı bekleriz. O zaman, kütlenin büyük bir kısmının Güneş'te toplandığı bizim Güneş Sistemimizdeki gezegenler için aldığımız sonuçlara benzer olarak, dönüş eğrilerinin daha büyük yarıçapta daha küçük hızlar göstermesini beklememiz gerekir. Diğer bir deyişle, sarmal galaksi teorisini, merkezi çıkıntının Güneş gibi olduğu ve kollardaki yıldızların daha çok gezegenler gibi davrandığı Güneş Sistemi gibi kurarız.

Bunlar, böylesi galaksi çizelgeleri oluşturmak için çalışırken gökbilimcilerin beklediği şeyler olmuştur; fakat gerçekten bu çizimleri yaptıklarında buldukları şeyler bunlar olmamıştır (bkz. Şekil.10). 1930'lar kadar eski bir tarihte Hollandalı gökbilimci Jan Oort'un Samanyolu'ndaki yıldızların hareketini ölçerken yaptığı çalışma yıldızlar, için hesaba katıldığından daha fazla kütle izlenimi uyandırmıştır. Aynı on yılda, İsviçreli başına buyruk astrofizikçi Fritz Zwicky galaksi kümelerindeki galaksilerin hareketleri üzerine çalışmaktaydı ve benzer sonuçlar elde etti. O zaman gözlemlerin yeterince dakik olmadığı ve galaksilerin yeterince iyi anlaşılmadığı düşünülmüştür; saptama ve teoride belirli bir zaman ve ilerleme sonrasında bulmacanın zamanı gelince kendi kendini çözeceği farz edilmiştir. Zwicky galaksilerin ve kümelerin önemli miktarlarda kara madde (yani, ışık saçmayan madde: Terim olarak "kara madde" oldukça sıkıcıdır, fakat zaman içinde ilgi çekici olmuştur) içerdiğini önermeye cesaret etmiştir. Ne var ki, Zwicky pek çok çılgın

Gerçek ve Beklenen Galaktik Dönme Eğrisi



Şekil 10

fikre sahip bir insan olarak tanınmaktaydı ve onun kara madde fikri çok kabul görmedi.

1970'lere kadar kabul görmemiştir ta ki, Vera Rubin'in pek çok galaksideki gaz bulutlarının hareketlerini kapsayan çalışması çılgın kara madde olgusunu açıklayana kadar. Sarmal kolların dış bölgelerinin beklenen davranışı yerine yarıçap arttıkça hızda pek fazla değişim olmaz. Dönüş eğrisi "yassılaşır". Bu merkezde odaklanmayan bir kütle dağılımına işaret eder. Galaktik dönüş eğrilerinin bu olgusu gökbilimcilerin kafasını karıştırır: Yıldızların düzenlemesine uymayan bu diğer kütle neden vardı? Galaksiye ait "Bu şey nedir?" sorusuyla birlikte başka bir "Bu şey nedir?" sorusu yatar: Bu vakada, "Göremediğimiz bunca şey nedir?"

10. Bölüm

Kara Madde Nedir?

Yıldızlar, galaksinin kütlesi merkezde toplanmış gibi hareket etmiyorsa, o zaman en aşikâr değerlendirme, görünmeyen ve yıldızlardan daha eşit bir dağılıma sahip başka bir maddenin varlığıdır. Dönüş eğrisini yassı yapan şey bu maddedir. Diğer bir deyişle hipotez, galaksilerin yıldızlarda olmayan maddeden çok miktarda içerdiği ve kütlenin merkezde yoğunlaşmadığıdır. Sarmal galaksilerin, yıldızların oldukça seyrek olduğu uzak uçlarında bile bu maddeden yine fazla miktarda vardır.

Bu maddenin varlığı, saptanmış yıldız hareketlerinin teorik yorumundan ortaya çıkar. Bu bütünüyle mantıklı bir yorumlamadır: Kütleçekim kütleye bağlıdır, çok yüksek kütleçekim dolayısıyla daha fazla kütle demektir. Peki, bu farazi şeye ne ad verilir? Söz konusu madde herhangi türden bir ışık yaymadığı için "kara madde" adı verilmiştir. Bütünüyle apaçık "kara madde" ismi kulağa yine de ürkütücü ve gizemli geliyor ki, bu da bu şeye tuhaf bir özellik yüklüyor. (Bu şey, göreceğimiz üzere, tuhaftır fakat bu ürpertici alt anlamları haklı göstermez.)

Kara maddeye inanma açısından dönme-eğrisi-yönteminin doğrulamasına karşı çıkabiliriz pekâlâ. Ne var ki eğri biçimlerine bakmadan bile, sadece kütle formülü ve saptamaları kullanarak yukarıdaki ışık-temelli tahmine dayanarak elde ettiğimize nazaran çok daha yüksek toplam galaksi kütlesi elde ederiz. Kara madde tuhaf bir biçimde dağılmış olmasa bile var olduğunu ve çok miktarda olduğunu kabul etmemiz için iyi sebep mevcuttur. kütleçekim yöntemleri kullanılarak elde edilen toplam galaksi kütlesi ışık yöntemleriyle elde edilen kütlenin on katından fazladır. Açıkça ifade edilirse, galaksilerin büyük bir kısmı kara maddedir.

Yukarıda kullanılan kütleçekim yönteminin birazcık rahat olduğu konusunda şikâyetçi olabiliriz, çünkü elimizdeki kütle değerine ulaşmak için kütle ve yörünge fikirleriyle oturduğumuz yerden dümen çevirdik. Ne var ki, galaksilerin kütlesini bulmak için, yıldızların kütlesini ölçmek için bulunan yönteme yakın bir yol var. Belirli galaksileri ele almak yerine, yıldızlar için kullanılan yöntemi galaksi kümesinin kütlesini bulmak için kullanabiliriz. Nasıl ki, yıldızlar galaksi oluşturacak şekilde kümelenmişse, galaksiler de kümeler oluşturacak şekilde kümelenmiştir. Nasıl ki galaksiler birbirlerini çeken yıldızların kütleçekimi dolayısıyla bir arada duruyorsa, galaksi kümeleri de galaksilerin birbirlerini çekmesiyle bir arada durur. Evren göreli yoğun ve göreli boş alanları olan kümelenmiş, bir nevi pıhtılaşmış yapıya sahiptir. Bu topaklı görünüm çok güçlü teleskoplar aracılığıyla dolaysız olarak saptanabilir.

Her bir galaksi, kümesinin içinde hareket eder fakat kümenin kütleçekimi, galaksinin kaçışını engeller. Galaksi kümeleri ölçeğinde galaksiler, kendi hareketleri ve kendi yörüngeleri olan özgün cisimlerdir. Bir grup yıldızın ve boş alanın belli bir

ölçekte tek cisim olduğunu söylemek kulağa garip gelebilir, fakat gezegen ölçeğinde hayatınızdaki her bir özgün cisim sadece Dünya'nın parçasıdır ayrıca insan ölçeğinde vücudunuzun atomlarını oluşturan protonların, nötronların, elektronların ve boş alanın hepsi de sadece sizsiniz.

Galaksiyi tek bir şey olarak görürsek, o zaman kümeler hareketli cisimlerden oluşan göreli basit takımlardır, aynı Güneş Sisteminin hareketli cisimlerden oluşan göreceli basit bir takım olması gibi. Galaksilerin hızları Doppler etkisi kullanılarak ölçülebilir, aynı yıldızlar için yaptığımız gibi. Daha sonra galaksilerin küme içindeki ortalama hızları ve kümelerin boyutları kullanılarak, kümenin kütlesi ölçülebilir ve ışık yöntemi kullanılarak elde ettiğimiz kütle tahminiyle karşılaştırabiliriz. Burada daha güvenli bir zemindeyiz, hiçbir oyuna başvurmadan, denenmiş ve test edilmiş saptama yöntemleri kullanırız. Ne var ki, kara maddenin ölçümü için kullandığımız yöntemlerde bir sapma olduğuna dair en ufak umut, bu yöntemle anında ortadan kalkar. İlk olarak 1930'da Zwicky tarafından gösterilenle aynı türde sonuç elde edilmiştir. Galaksi kümesinin kütleçekim-ışık oranı Güneş'in kütleçekim-ışık oranına nazaran dikkate değer bir biçimde büyüktür; bunun anlamı, galaksi kümelerinin fazla miktarda kara madde içerdiğidir.

Bu gözlemlerle ilgili olarak şaşırtıcı olan şey kütleçekim-ışık oranının ne kadar büyük olduğudur. Belirli galaksiler için ışık yönteminin on katıyla belirli galaksi kümeleri için ışık yönteminin birkaç yüz katı arasında değişir. Yani, galaksiler ve galaksi kümeleri ışık kullanarak yapacağımız yaklaşık kütle tahmininden elde edeceğimiz sonuca nazaran çok daha fazla madde içerirler.

Ortada kara madde olduğunu bildiğimize göre bilimin ilk sorusuna geliriz: Bu nedir? *Kazablanka*'da baş komiserin izlediği stratejiyi kullanacağız. "Olağan şüphelileri toplayacağız." Yani, buraya kadar ele aldıklarımızı, galaksinin içerebileceği Güneş'ten daha kara addedilen maddeyi değerlendireceğiz. Son iki adımımızın malzemesinden, aşağıdakileri olağan şüpheliler listesine ekleyebiliriz:

1. Gaz bulutları
2. Küçük kütleye sahip yıldızlar
3. Beyaz cüceler
4. Nötron yıldızları
5. Karadelikler

Bu ahbapları sorgulama için içeri alıp mazeretleri var mıymış diye bir bakalım. 1. Şüpheli: Gaz bulutları. Gaz bulutlarının yıldız oluşturmak üzere çöktüklerini biliyoruz. An itibarı ile bazı gaz bulutları çökmüş bazıları ise çökmemiştir. Bilhassa, bir bulutun çökmesi için, kütleçekimi basıncın üstesinden gelebilecek kadar soğuk olması gerekir. Bu nedenle, gaz bulutlarının basitçe kara madde olduğunu tahmin edebiliriz, özellikle çökemeyecek kadar sıcak olanları.

2. Şüpheli: Yıldızların geniş aralığa yayılan kütlelere sahip olduklarını ve daha büyük kütleye sahip olanların daha yüksek kütleçekime sahip olduklarını, dolayısıyla kütleçekimi dengeleyecek basıncı üretmek için yakıtlarını daha hızlı yakmak zorunda olduklarını biliyoruz. Ne var ki, bu aynı zamanda Güneş'in kütlesinden çok daha küçük kütleye sahip yıldızların yakıtlarını çok daha yavaş hızda yaktıkları ve dolayısıyla çok daha az ışık yaydıkları anlamına gelir. Başka türlü ifade edersek, yıldızın küt-

lesi ne kadar küçük olursa, kütleçekim-aydınlatma gücü oranı o kadar büyük olur. Küçük kütleli yıldızlar Güneş'in kütlesine yakın kütleye sahip olanlara nazaran daha fazla sayıdaysa, o zaman küçük kütleli yıldızlar kara madde olabilirler.

3-5. Şüpheliler: Yıldızların yakıtı sonsuza kadar yakmadıklarını ve er geç yıldızların üç tür "ölü yıldızdan" birine (beyaz cüce, nötron yıldızı veya karadelik) dönüştüklerini biliyoruz. Canlı olanlardan çok daha fazla sayıda ölü yıldız varsa, bu galaksilerin büyük kütleçekim-aydınlatma gücü oranını açıklayabilir. Ölü yıldızlar kara madde olabilirler.

Dizildiklerinde şüphelilerimizin hepsi oldukça şüpheli görünüyor.

Bu şüphelilerden hangisi "suçlu" olan olabilir? Muhtemelen onlardan sadece biri değildir. Belki birlikte çalışıyorlar, bir nevi ağır sıklet çete operasyonu veya evreni idare etmek için kütleçekimsel sonuçları olan kara komplo olabilir. Kusurumuza bakmayın, melodramayı dizginlemeye çalışacağız... Birazcık, ve kelime oyunları, ama çok değil. Diziliş her halükarda istediğimizi vermemektedir, dolayısıyla şüphelilerimizi salıvereceğiz; fakat onları gözetmeye devam edip ne yaptıklarını göreceğiz. Bunu yapmak için varlıklarını saptamamız ve aralarında kara madde olacak kadar çok sayıda olanı var mı diye bakmamız gerekir. (Bunun büyük bir çetenin işi olduğunu hatırlayın. Sizi kelime oyunları konusunda uyarmıştık.)

1. Şüpheli: Gaz bulutları. Bu sahtekârlar oldukça kolay bulunurlar, çünkü galaksilerde ve galaksi kümelerindeki gaz bulutları görünen ışık yaymıyor olsalar bile başka dalga boylarında ışık yayarlar. Çok sıcak olanlar, çoğunlukla görünen ışığınkinden daha kısa dalga boylarında ışık, özellikle X-ışını, yayarlar. Çok soğuk olan bulutlar, görünen ışığınkinden da-

ha uzun dalga boylarında ışık yayarlar. Özellikle, elektronların dönüşü yön değiştirdiğinde, soğuk hidrojen atomları 21 cm dalga boyu uzunluğunda radyo dalgaları yayar. Gaz bulutları çoğunlukla hidrojen oldukları için, bu bize saptanabilir bir şey verir. X-ışını teleskopları kullanarak galaksilerdeki ve galaksi kümelerindeki sıcak gaz miktarını ölçebiliriz, bu arada radyo gökbilim, (21 cm "istasyonuna" ayarlanan radyo aracılığı ile) soğuk gaz bulutlarının varlığını kontrol edebilir.

Bunlar iyi testlerdir ve onlara birini daha ekleyebiliriz. Işık yayınımına ek olarak gazın aynı zamanda ışığı soğurabildiğini hatırlayın. YBC'ler bizden çok uzakta oldukları için, YBC'den yayılan ışık bize ulaşmadan önce galaksinin (veya galaksi kümesinin) içinden geçer. Bu durumda YBC ışığı gaz bulutunun içinden geçerse, YBC'nin spektrumu içinden geçtiği gaz bulutunun soğurma çizgilerini gösterecektir. (Spektrumdaki soğurma çizgilerinin spektrumdaki elementlerin ışık şeridinin olacağı yerde bulunan kara şeritler olduğunu hatırlayın.) Bu çizgilerin etkinliğinin incelenmesi, ışığın içinden geçtiği gazın miktarına dair sonuçlar çıkarmamıza izin verir.

Bu nedenle gaz bulutları nispeten kara olsalar da ışığı, onların varlığını saptamak için kullanabilir ve kütlelerini ölçebiliriz. Bu gözetimin sonucu kara maddenin gizemine dair kısmi bir cevaptır. Galaksiler ve galaksi kümeleri, gaz bulutları biçiminde aslında önemli miktarda madde içerirler. Galaksi kümeleri vakasında gaz bulutlarındaki yıldızlara nazaran daha fazla madde vardır. Bununla birlikte, bu sadece kısmi bir cevaptır çünkü gaz bulutlarındaki madenin miktarı hâlâ kütleçekim etkilerinden bulunan madde miktarından çok azdır. Kara maddeleme kabahatinden dolayı onları tutuklayabiliriz, fakat suçluyu henüz bulamadık.

Ne yazık ki, geri kalan şüphelilerin hepsi sıradan yıldızların çeşitlemesi olduğu için gaz bulutlarından bile daha az makul görünürler. 2. ve 3. şüphelileri birlikte ele alalım: Küçük kütleye sahip yıldızlar ve beyaz cüceler. Güneş'inkine yakın kütleye sahip kaç yıldız olduğunu biliyoruz. Küçük kütleli yıldızlar kara madde olsalardı, orta-kütleye sahip olanlardan çok daha fazla sayıda olmaları gerekirdi. Buna ek olarak, yıldız evriminde beyaz cücelerin orta-kütleye sahip yıldızların evriminin son safhası olduğunu hatırlayın. Çok büyük miktarda beyaz cüce varsa, galaksilerin daha erken tarihinde çok büyük miktarda orta-kütleye sahip yıldız olması gerekir.

Benzer bir şekilde, nötron yıldızları ve karadelikler büyük kütleli yıldızların son safhalarıdırlar ve süpernova patlamalarının ürünüdürler. Çok büyük miktarda nötron yıldızı ve karadelik varsa, galaksilerin daha erken tarihinde çok büyük miktarda büyük kütleli yıldız ve süpernova patlama olması gerekir. Bunların hiçbirisi güncel yıldız oluşumu ve galaksilerin evrimi teorileri göz önüne alındığında mümkün görünmüyor. Ne var ki, bu sadece teoriyi teoriyle test etmektir. Kara madde, teori için bir meydan okumaysa onunla uğraşırken teoriden fazlasına ihtiyaç duyarız. Şüphelilerimizi saptamamız ve saymamız gerekir.

✹

Galaksideki küçük-kütleli yıldızları, beyaz cüceleri, nötron yıldızları ve karadelikleri bulmamıza olanak sağlayan deneysel bir teknik var: Kütleçekimsel mikro-mercekleme. Bu yöntemi kullanarak, böylesi şüphelilerden kara madde olmaya yetecek miktarda var mı diye bakabiliriz. Önceki bölümde karadelik-

leri, ışığı bile kaçmaktan alıkoyacak kadar güçlü kütleçekim alanlarını, dikkate alarak inceledik; fakat ışığın kütleçekimsel açıdan etkilenmesi için karadelik olması gerekmez. Nispeten zayıf kütleçekim alanının bile ışığın üzerinde etkisi olur. Her bir cisim, ne kadar küçük olduğu fark etmez, ışığı kendine çeker tıpkı evrendeki diğer bütün kütlelerin yaptığı gibi. Işığın yolunun bir kütle tarafından bükülebileceği fikri genel görelilikten gelir: Kütleçekim eğri uzay zamandır ve eğri uzay zaman içindeki her şeyi etkiler, ışığı bile. Güneş'in yıldız ışığını bükmesinin saptanması, genel göreliliğin başarılı testlerinin ilklerindendi.

Camdan yapılmış sıradan mercekler de ışığı büktüğü için, kütleçekim alanında ışığın bükülmesi olgusuna kütleçekimsel mercekleme adı verilir. Nasıl ki sıradan mercek ışığı yoğunlaştırabiliyorsa, kütleçekim merceği de aynı şekilde yapabilir. Diğer bir deyişle, evrendeki bütün cisimler belirli bir yolla mercek olarak kullanılabilir (bkz. Şekil. 11).

Işığı kütleçekim alanı tarafından çarpıtılan cisimler öbür türlü görüneceklerinden daha parlak görünürler. Bu nedenle güçlü kütleçekim alanları daha büyük etkiye sebep olur, kütleçekimsel mercekleme genellikle merceğin galaksi veya galaksi kümesi olduğu durumlarda incelenir; çünkü onların arkasında kalan herhangi cismin ışığını gerçekten bükecek kadar büyük bir kütleye sahip olurlar. Yıldız, galaksiden çok daha küçük olduğu için, tek bir yıldız kullanılarak yapılan merceklemeye kütleçekimsel mikro-mercekleme adı verilir.

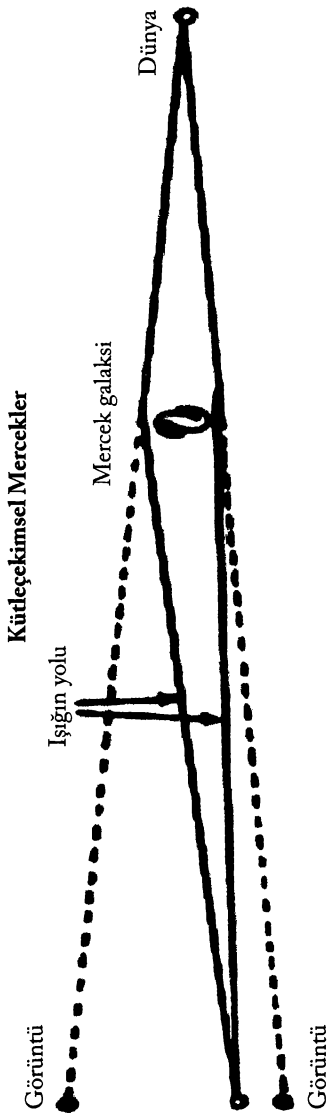
Galaksimizdeki şüphelilere bakmak istiyorsak, onları araştıracak, yıldızların ışığı tarafından sıkıştırılmadıkları bir yer bulmamız gerekiyor. Galaksinin yıldızlarının seyrek olduğu dış bölgelerine halo adı verilir. Bir galaksi-

nin halosundaki 2-5. Şüphelilerin her birine MACHO[14], Büyük Kütleli Yoğun Halo Cisim, adı verilir. (Bu kasıtlı şirin kısaltma daha sonra tartışılacak olan WIMP'lere karşılık seçilmiştir.)[15] Doğru cihaz kullanılarak MACHO'ları mercekleme yöntemiyle saptayabiliriz. Haloda onlardan çok sayıda bulursak, bu durum galakside onlardan çok olduğuna işaret eder ve 2-5. Şüphelileri aşikâr bir biçimde kara niyetli MACHO davranıştan ötürü mahkûm edebilir (bu espriyi o kadar zorlayacağız ki, zamanın sonuna kadar bir daha ayağa kalkamayacak).

MACHO'ları bu yöntemle bulma süreci biraz ustalıklıdır. Galaksimiz yalnız değildir. Samanyolu'nun çevresinde yörüngede yol alan çok daha küçük birkaç "cüce" galaksisi var.

Yörüngedeki cüce galaksilerde, yörüngede yol alan bir yıldızı gözlemlemek için teleskop kullandığımızı farz edin. Teleskoptan yıldıza uzanan çizgiye görüş hattı adı verilir. Samanyolu'nun halosundaki bir MACHO görüş hattının yakınından geçerse ne olur? MACHO'un yolculuğu boyunca, teleskobumuzdan gözlemlediğimiz yıldıza uzanan çizgiye en yakın mesafede bulunduğu bir nokta vardır; buna en yakın nokta adı verilir. MACHO hareket ettikçe en yakın noktaya doğru gider, ulaşır ve daha sonra yoluna devam eder. MACHO'nun kütleçekimi yıldızın ışığını çarpıtır ve teleskoptaki görseli (en parlak hali MACHO'nun en yakın noktada bulunduğu sırada olacak şekilde) daha parlak hale getirir. Parlamanın sebebi kütleçekimsel merceğin ışığı yıldızdan bizim teleskobumuza doğru odaklamasıdır. Teleskopta gördüğümüz şey, aniden parlayan ve sonrasında normal parlaklığına ulaşan bir yıldızdır.

14 Massive Compact Halo Object, İngilizce. (Ç.N.)
15 Macho: İngilizce, argo maço; Wimp: İngilizce, argo pısırık. (Ç.N.)


Dünya
Mercek galaksi
Kütleçekimsel Mercekler
Işığın yolu
Görüntü
Görüntü

Şekil 11

Geçici parlama gerçekleştiğinde, bazı başka türlü görünmez kütleçekim kaynaklarının mercek olarak iş gördüğü sonucuna varırız. Diğer bir deyişle, kütleçekimsel merceklemeyi gözlemlediğimiz şeyi (bir yıldız) bulmak için kullanmıyoruz, merceği (MACHO) bulmak için kullanıyoruz.

Bu kulağa gülünç gelebilir, fakat aynı türden ustalık, sıradan cam merceklerle de yapılabilir. Mercek yüzünüzün önünden geçerse, göreceğiniz şeyleri değiştirecektir. Baktığınız şey önünüzden cam bir mercek geçmiş gibi değişirse, önünüzden bir merceğin geçtiğini farz edebilirsiniz.

Gözlemlenen parlaklık üzerinde MACHO'nun etkisi çok küçüktür, en yakın nokta mesafesinin kendisinin de küçük olduğu durumlar dışında. Bu MACHO görüş hattını neredeyse geçtiğinde olur. Halodaki herhangi belirli MACHO ve yörüngede yol alan galaksideki herhangi belirli yıldız açısından, MACHO'nun o yıldızı merceklemesini gözlemleyeceğimiz olasılığı çok düşüktür. Çok sayıda gözlem yaparak bu sorunun üstesinden gelebiliriz. Buradaki mesele, belirli bir nötrinonun cihazdaki belirli bir atomla etkileşime girme olasılığının küçük olduğu Güneş nötrinosu saptamasındakine benzerdir. Nötrino saptamasında sorun, nötrinoların etkileşebileceği çok sayıda atom içeren bir cihazla çözülmüştü. Benzer bir şekilde, mikro-mercekleme arayışları yörüngede yol alan bir galaksideki çok sayıda yıldızın gözlemlenmesini içerir.

Nötrino saptayıcıların çok daha fazla sayıda olan kozmik ışından birinin nötrinoyla karıştırılma olasılığına meydan vermemek için yerin altına gömülmeleri gerekmişti. Mikro-mercekleme arayışı farklı bir yanlış kimlik sorunuyla yüzleşir: Değişken yıldızlar. Bazı yıldızlar değişkendir, bunun anlamı parlaklıklarının sabit olmadığı zaman içinde değiştiğidir. Yıldızın

hidrostatik dengeye sahip olduğunu hatırlayın; kütleçekim, basıncı dengeler. Değişken bir yıldızda, dış katmanların hidrostatik dengesi sadece ortalama bir düzeyde geçerlidir. Belli zamanlarda bu katmanlardaki basınç, kütleçekimden daha güçlüdür ve dış katmanları genişleterek yıldızın daha fazla ışık yaymasına sebep olur. Bunun sonucunda dış katmanlar soğur, dolayısıyla basınç, kütleçekimden daha zayıf olur ve katman küçülür. Bu, yıldızın parlama ve sönükleşme devirlerinden tekrar tekrar geçtiği dairesel bir süreçtir.

Mikro-mercekleme arayışının, gerçek mikro-mercekleme olayını değişken yıldızdan ayırt etme yöntemine sahip olması gerekir. Bu olgular arasında yararlı iki farklılık vardır: (1) Mercekleme olayı ışığın bütün dalga boylarını eşit biçimde etkilerken, değişken bir yıldız parladığında, bazı dalga boylarındaki ışık diğer dalga boylarındaki ışığa nazaran daha fazla miktarda parlar. (2) Değişken bir yıldız parlama ve sönükleşme arasında değişen bir döngüde ilerlerken, mikro-mercekleme olayı tek bir parlamayı ve sonrasında normal parlama seviyesine dönüşü gerektirir. Bu iki farklılık, değişken yıldız gözlemlerini, sadece gerçek mikro-mercekleme olaylarını bırakacak şekilde elemek için kullanılabilir. Bu araştırmanın bir yan ürünü olarak, gökbilimcilerin değişken yıldızları gözlemlemeleri ve çözümlemeleri, onlar hakkında bol miktarda yararlı bilgi edinmeleri gerekmiştir. Dolayısıyla, şüphelileri şüpheli olmayanlardan ayırmak adına, şüpheli olmayanların dikkatle araştırılmaları gerekir. Bazen araştırmanın bir yönü başka bir alandaki başka bir projenin faydasına olur, gerçi, polislerin işi için bu o kadar iyi bir yöntem değildir.

Bu mikro-mercekleme araştırmaları yapılmıştır ve apaçık sonuçları olmuştur: MACHO'lar mevcut, fakat sayıları kara

madde olmak için fazlasıyla az. MACHO duruşlarına rağmen 2-5. Şüpheliler sadece ufak suçlulardır. Yıldızlararası yeraltı dünyada gizlenen kara figürleri bulmak için başka yerleri araştırmamız gerekir (tamam, belki de bu espriyi birazcık fazla zorladık).

✹

Olağan şüpheliler elenmiştir. Bu gerçek cezai bir soruşturma olsaydı, gerçekte hiç suç işlenmediği olasılığını dikkate almak için bir an duraklardık. Kara madde bağlamında ortada hiç kara madde olmadığı ve bizim kanıtları basitçe yanlış anladığımız olasılığını değerlendirmemiz gerekir. Bu nasıl olabilir? Kara maddeye dair kanıt, kütleçekim etkilerinden ileri gelir; bilhassa Newton'un kütleçekim kuvveti formülünden elde edilen kütle formülünden. Newton'un formülü yanlışsa o zaman kütle formülü de yanlış olur ve biz de yanlış formüllere güvenerek ortada hiç olmadığı halde kara maddenin var olduğu şüphesine yönlenmiş olabiliriz. Belki de, kara maddeyi aramak yerine başka bir kütleçekim teorisi aramız gerekir.

Bu yoldan daha önce de geçmiştik. Einstein, Newton'un kütleçekim teorisinin görelilik ilkesiyle tutarlı olmadığını fark etmiş ve yıllarını daha iyi bir teoriyi bulmak için geçirerek sonuçta genel göreliliği ortaya çıkarmıştır. Bilimde yeni bir teori için her türlü arayış, banyo suyuyla birlikte bebeğin de atılmaması gerektiği ilkesine bağlı kalmalıdır; yani, bütün yeni teorilerin eski teorinin test edildiği durumlarda onunla uyumlu olması gerekir. Bu genel görelilik için zorlayıcı bir testti ve gördüğümüz üzere bu testten, kütleçekim alanının zayıf olduğu bütün durumlarda Newton'cu kütleçekimle aynı

sonuçları vererek, geçmiştir. Herhangi güncel kütleçekim teorisinin daha da zorlayıcı bir testten geçmesi gerekir: Sadece Newton'un elmaları ve gezegenleri kapsayan teorisiyle aynı sonuçları vermemeli; aynı zamanda Newton'cu kütleçekimin Merkür'ün yörüngesi ile ilgili tahminlerindeki küçük düzeltmeler, Güneş'in yıldız ışığını bükmesi ve ikili pulsarın devrindeki değişiklik gibi şeyler konusunda genel görelilikle hemfikir olması gerekir.

Böylesi bir görevin doğasındaki zorluğa rağmen, alternatif kütleçekim teorisi konusunda pek çok öneri olmuştur. (Ya da belki de doğasındaki zorluk sebebiyle: Bazı insanlar zorluğu sever.) Genellikle, alternatif teorinin sonuçlarının dikkatli hesaplamaları yapıldıktan sonra, teorinin var olan deneysel testlerin biri veya birkaçı tarafından elendiği bulunmuştur. Dahası, kara maddenin alternatif kütleçekim teorisiyle açıklanması için sadece bu testleri geçmek zorunda değildir aynı zamanda şimdiye kadar kara madde olarak yorumladığımız olguya dair doğru cevaplar da vermek zorundadır. Alternatif kütleçekim teorilerinin veri miktarını ve kayıtlarını dikkate aldığımızda bu pek olası görünmemektedir. Alternatif bir teorinin her şeyi temize çıkarabilmesini bir olasılık olarak not edeceğiz. Ne var ki, bu bir mucizenin gerçekleşmesini beklemek gibidir. Birinin şimdilik bilinmeyen her şeyi açıklayan bir teori yaratmasını umut ederek oturup beklemek zorunda kalırız. Bu gerçekleşebilir, fakat bu umuda bel bağlamadan önce bütün olasılıkları tüketmemiz gerekir.

Bu noktada başka şüphelileri değerlendirebiliriz: Kaya parçaları, örneğin. Oralarda tahmin ettiğimizden çok daha fazla sayıda gezegen olabilir. Ne var ki, gezegenleri saptamak zordur (üzerinde durduğumuz hariç). Ayrıca da, oralarda kolayca bu-

lamadığımız başka gündelik şeyler de olabilir. Şüpheliler alanını dolaysız olarak genişletmek yerine, çoğunu kapsayan başka deneysel bir test yapacağız.

İşlenmiş çoğu suçta DNA testi, DNA'sı olay mahallinde bulunanla uyuşmayan herkesi aklayabilir. Benzer bir şekilde, kara madde açısından sadece şu ana kadar dikkate aldığımız şüphelileri değil, çok sayıda diğer olası şüpheliyi de aklayan gözlemsel bir kanıtın var olduğunu göreceğiz. Bu test Büyük Patlama'nın kimyasal elementlerinin oluşumundan ortaya çıkar.

Şimdi, Büyük Patlama'yı ve kimyasal elementlerin oluşumunu tartışmak için zamanın başlangıcına doğru kısa bir ara yola gireceğiz ve sonrasında bunun kara maddeye nasıl uygulanacağını göreceğiz. Bu kulağa yapılacak garip bir şey olarak gelebilir, fakat DNA testi ile benzerliği dikkate alın. Genetik, biyolojinin temel yönlerinden biridir ve DNA da genetikteki en köklü olgulardan biridir. DNA'nın genetikteki yerinin anlaşılması DNA parmak izinin oluşturulmasına imkân tanır; dolayısıyla biyolojinin köklerinden biri modern cezai soruşturma işiyle sonuçlanır. Bu nedenle modern gökbilim ve evrenbilimde, şimdi ve burādaki bir şeyi test etmek için geriye, evrenin köklerine ulaşmamız gerekebilir.

Büyük Patlama fikri, dolambaçsız gözlemden meydana gelmiştir. Bu bölüme galaksilerin özelliklerine bakarak, ne olduklarını anlamayı isteyerek başladığımızı hatırlayın: Boyutu, biçimi, kütlesi, bize olan mesafesi ve aydınlatma gücü. Bu gözlemlerin çoğu 1920'lerde, Mount Wilson Gözlemevinde Edwin Hubble tarafından yapılmıştır. Üniversite zamanlarında Hubble'ın temel ilgi alanları gökbilim ve boks olmuştur. Avukat olmak için ikisinden de vazgeçmiş, fakat

hukuktan çabucak sıkılmış ve gökbilime geri dönmüştür. Samanyolu'muz dışında başka galaksilerin var olduğunu ilk o göstermiş ve mesafelerini ölçmüştür. Hubble Uzay Teleskopu onun adını taşır.

Hubble çok sayıda galaksinin mesafesi ile hızını bulmuş ve ilginç bir olgu keşfetmiştir: Galaksiler genel olarak bizden uzağa doğru hareket ederler ve bizden uzaklaştıkları hızda içe çekilirler. Bu olgunun matematik ifadesine Hubble Yasası adı verilir ve basit bir formülle yazılabilir

$$v = Hd$$

Burada, d bir galaksiye olan mesafeyi, v galaksinin bizden uzaklaştığı hızı gösterir ve H niceliği de formülde Hubble parametresi adını taşır. Hem d hem de v ölçülebilen nicelikler olduğuna göre Hubble parametresi bu formül ve hesaplamaların sonucu kullanılarak bulunabilir. Daha kesin olarak, eldeki pek çok galaksiye ait ölçülmüş mesafe ve hız değerlerinden yola çıkılarak hıza karşılık mesafe serpme çizimi oluşturulabilir. Matematiksel olarak, Hubble Yasası bu serpme çizimdeki noktaların (aşağı yukarı) düz bir çizginin üzerinde yer aldığını ve Hubble parametresinin bu çizginin eğimi olduğunu söyler. Özetle, galaksi bizden ne kadar uzakta olursa bizden o kadar hızlı uzaklaşır, mesafe iki katına çıkarsa hız da iki katına çıkar vesaire.

İlk bakışta Hubble Yasası çok garip görünüyor. Neden galaksilerin hepsi bizden kaçıyor? Söylediğimiz bir şey yüzünden mi? Ciddiyetle, belki de Samanyolu kötü vücut kokusunun kozmolojik bir karşılığına sahip. Bunu farklı ve daha yararlı bir şekilde ifade etmemiz gerekirse, nasıl olur da tam olarak diğer bütün galaksilerin uzaklaştığı bir galakside yaşıyoruz?

Hubble Yasası daha yakından daha geniş bir bakış açısından incelendiğinde bu soru gibi görünüşte var olan tuhaflık da yok olur. Bizden v hızında uzaklaşan herhangi X galaksisini gözlemliyorsak o zaman X galaksisinde bulunan herhangi gözlemciler *bizim onlardan* v hızında uzaklaştığımızı göreceklerdir. Daha genel olarak, X galaksisine göreceli diğer galaksilerin hızları ve mesafelerini ölçen X galaksisindeki bir gözlemci aynı Hubble Yasasını elde edecektir. Bütün galaksiler X galaksisinden aynı Hubble formülüne ve aynı Hubble parametresi değerine bağlı kalarak uzaklaşıyor görünürler.

Belki de en iyisi bu olguyu herhangi belirli bir galaksinin bakış açısını kullanmadan tanımlamaktır. Hubble olgusunu tanımlarken daha evrensel bir tanımlama adına, kullandığımız "Samanyolu merkezli" yaklaşımımızdan (bu X galaksinin aynı derecede dar görüşlü sakinleri için kırıcı olabilir) vazgeçmemiz gerekir. Böylesi bir tanımlamaya ihtiyacımız var, çünkü bu perspektiften bakıldığında Hubble Yasası, her bir galaksinin diğer bütün galaksilerden uzaklaştığını ve birbirlerinden kaçış hızlarının aralarındaki mesafe arttığı ölçüde arttığını söyler. Hubble Yasası evrenin zaman içinde nasıl değiştiğinden bahseder, herhangi belirli bir arazi parçasının nasıl değiştiğinden değil.

Bu daha evrensel tanımlamayı elde etmek için, galaksiler bizden uzaklaştıklarına göre, aramızdaki mesafenin zaman geçtikçe arttığını dikkate alın. Bu nedenle bütün gözlemciler, ana vatanlarının hangi galaksi olduğu fark etmeksizin, galaksiler arasındaki mesafenin arttığı konusunda hemfikir olurlar. Bu genel olarak "evren genişlemektedir" kısa ifadesiyle belirtilir. Bu ifade evrendeki her cismin büyüdüğü (veya Woody Allen'ın belirttiği gibi "Biz Brooklyn'de yaşıyoruz. Brooklyn genişlemez!") anlamını taşımaz. Basitçe, oldukça büyük bir öl-

çekte uzay, galaksilerin birbirlerinden uzaklaşması anlamında genişler.

Galaksiler ne kadar hızlı hareket eder? Hızlarını ve mesafelerini bulabilirsek Hubble parametresinin değerini hesaplayabiliriz. Bu sorunun cevabı galaksilerin hızları ve mesafeleri ölçülerek cevaplanmıştır. Daha önce bahsi geçen Doppler etkisi kullanılarak yapılan hız ölçümü oldukça dolaysızdır. Bununla birlikte, bu bölümde daha sonra açıklayacağımız üzere, galaksilerin mesafelerinin ölçümü oldukça zordur ve ancak son yıllarda Hubble parametresine dair mantıklı dakik bir değer elde edilebilmiştir. Hubble parametresi H, yaklaşık olarak megaparsekte saatte 70 kilometredir. Diğer bir deyişle, bizden 1 milyon parsek uzakta olan bir galaksi bizden yaklaşık saatte 70 kilometre hızında uzaklaşmaktadır.

Hubble parametresinin ifade edildiği birimler, megaparsekte saatte 70 km, görünüşte herhangi evre uyumlu bir kavramı ifade etmemeleri açısından tuhaflardır. Kütle, mesafe, hızlanma, sıcaklık veya enerji gibi çoğu birim, en azından aklımızdaki kavramla birimin dünyada temsil etmesi gereken şeyler arasında bağlantı kurabilir. Ne var ki, bazen meydana çıkardığınız ve kullanmanız gereken nicelik veya kavram düşünce şeklinizle uyuşmaz. Böyle durumlarda, ya onunla yaşarsanız ya düşünce şeklinizi onunla uyuşacak şekilde değiştirmeye çalışırsınız. Bu vakada, biraz daha derine bakarak, düşüncemizde hangi değişiklikleri yapmamız gerektiğini bulalım.

Hubble parametresi birimleri gökbilim için yararlıdırlar çünkü megaparsek galaksiler arası mesafeler için mantıklı bir birimdir. Ufak bir boyutsal çözümleme önderliğinde Hubble Yasası'na hafif farklı bir yoldan bakalım. Kilometre ve megaparsek uzunluk ölçüleridir, dolayısıyla Hubble parametresi

birimleri de (mesafe/zaman)/mesafedir. Zamana bölünen mesafenin mesafeye bölünmesi, mesafeye bölünen mesafenin zamana bölünmesiyle aynıdır. Mesafeye bölünen mesafe (birimi olmayan), boyutsuz bir sayıdır. Bu nedenle Hubble parametresinin birimleri 1/zamana dönüşmüştür. Zamana bölünen 1 tuhaf bir birim olduğu için, H'nin kendisine değil, $1/H$'yi ele alabiliriz ki bu da zaman birimleri içerir ve zaman da alışılmış bir şeydir.

$1/H$ bir zaman miktarıysa, bu zamanın uzunluğu nedir? Parsek 3,1 x 10^{13} km olduğun göre, $1/H$ yaklaşık 4,4 x 10^{17} saniye olur ki bu da yaklaşık 14 milyar yıl olur. Bu zamanın anlamı nedir? Hubble Yasasının hızlı incelemesi zamanın evrenin yaşının yaklaşık tahmini olduğunu gösterir. Bir galaksi bizden d uzaklığındaysa o zaman Hubble Yasasına göre, bu galaksi $v = Hd$ hızında hareket etmektedir. $1/H$ zamanında bu galaksi başlangıç noktasından $v(1/H) = Hd\ (1/H) = d$ toplam mesafesinde hareket etmiştir. Ancak, bu tam olarak şu an bize olan mesafesidir. Diğer bir deyişle, 1/H kadar zaman önce o galaksi ve bizim galaksimiz aynı yerdeydi.

Bu mantığı bütün galaksilere uyguladığımızda $1/H$ kadar zaman önce bütün galaksiler aynı yerdeydi. Daha açık olmak gerekirse o tarihte er geç bir galaksinin parçası olan her şey (o kadar geçmiş bir zamanda galaksileri oluşturan yıldızların biçimlenmiş olduğunu düşünmek için elimizde bir sebep olmadığına göre) tek bir yerdeydi. Aslında, o tarihte evrendeki kütlenin tamamının tek bir yerde olduğunu değerlendirirsek, günümüzde gördüğümüz çoğunlukla boş alandan oluşan evrenden oldukça farklı türde bir cisim bekleyebiliriz pekâlâ.

Bu bütün galaksilerin aynı yerde olduğu çok daha yoğun duruma Büyük Patlama adı verilir, dolayısıyla $1/H$ Büyük Pat-

lamanın üzerinden geçen zamandır. Yani $1/H$ evrenin yaşıdır. Bu, söylediğimiz üzere, kaba bir tahmindir çünkü önceki tarihlerde de evrenin bugünkü hızda genişlediği mazeretsiz varsayımında bulunur. Önceki tarihlerde evren daha hızlı genişlediyse o zaman evren $1/H$'den daha gençtir ve önceki tarihlerde evren daha yavaş genişlediyse o zaman evren $1/H$'den daha yaşlıdır. Sonraki bölümümüzde, evrenin yaşına dair bu tahminin iyisini nasıl yapabileceğimizi değerlendireceğiz.

Gaz genişlediğinde, soğuma eğilimine sahip olur. Evren milyarca yıldır genişliyorsa o zaman milyarlarca yıldır soğuyor olması gerekir. Evrenin başlangıçta şimdi olduğundan çok daha sıcak ve yoğun olmak zorundadır. Evren çok sıcak ve çok yoğun olarak başlamış ve düzenli olarak bütün yönlere doğru genişlemiştir. Diğer bir deyişle, gördüğümüz haliyle evren devasa patlamanın akıbetiyle benzerlik gösterir: "Büyük Patlama'nın". Tesadüfen "Büyük Patlama" ismi 1940'larda bu teorinin muhaliflerinden biri olan Sör Fred Hoyle tarafından, başta evrenin patlamalı başlangıcının temel destekçisi olan George Gamow olmak üzere tartıştığı kişilerle alay etmek amacıyla türetilmiştir.

Bir açıdan, yine de, patlamayla kurulan bu benzerlik yanıltıcı olabilir. Sıradan bir patlama belirli bir noktada başlayıp, oradan dışarıya doğru yayılır. Dolayısıyla "Evren genişliyorsa, evrenin 'dışında' içinde genişlediği ne vardır?" sorusunu sormak doğaldır. Ancak, evrenin dışında herhangi bir şey olması gerekmez. Evrenin tamamı, içinde genişlediği bir "dışarısı" olmadan da (şeyler arasındaki mesafelerin büyümeye devam ettiği bir anlamda)genişleyebilir.

Bu kulağa tuhaf gelebilir, fakat basitçe kıyaslanabilir. Şişirilmemiş olan sıradan bir balonu alıp üzerine keçeli kalemle

bir sürü nokta işaretleyin. Başlangıçta bu noktalar birbirlerine oldukça yakın olacaklardır. Şimdi balonu tam boyutuna ulaşana kadar şişirin ve noktaların bir diğerine göre nerede olduğuna bakın. Hepsi birbirinden uzaklaşmıştır, Büyük Patlama'dan beri galaksilerin birbirlerinden uzaklaşmış olması gibi. Bu eğretilemede balonun kendisi uzay, noktalar ise galaksilerdir. Sadece galaksiler hareket etmemiştir. Evrenin kendisi büyümüştür.

Buna karşılık hemen "Hey, ben burada balonu şişiriyorum ve ben bu uzaydayım. Ayrıca da balon benim içinde bulunduğum uzayın içinde şişmektedir." şikâyeti sunulabilir. Benzerliğin bu kısmına rağmen, balonun içinde şişeceği dış bir uzayın varlığına ihtiyaç yoktur. Bu, matematiksel olarak basit, fakat iletişimde zorluk çıkaran konulardan biridir, çünkü matematik insanların anlamlandırma kavramlarıyla çatışır. Uzayla ve içindeki cisimlerle ilgili bir sağduyu, sezgisel bir fikir vardır: Her şeyin bir şekilde büyük, her şeyi kapsayan, değişmeyen bir taşıyıcı kabın içinde olduğu kavramı. Bu kavram gündelik düşünce için rahatlatıcıdır. Ne var ki, bu kavram bir cismin (veya uzayın) çevresinde bu cismin büyüyebileceği veya rahatsız edecek kadar küçülebileceği bir alan olmadan değişebileceği, genişleyebileceği veya küçülebileceği fikrini uyandırıyor.

Böylesi bir kavramı kabul etmeyi kolaylaştıracak çeşitli fikirler veya görseller ekleyebiliriz, daha sonra birini ekleyeceğiz de. Ne var ki, bilimde ve bilimin ötesinde yararlı genel bir ilkeyle başlamayı tercih ederiz. Bu ilke ilk olarak altı yüzyıl önce Occamlı William tarafından formüle edilmiştir ve Occam'ın usturası adını taşır (bu adaletsizdir çünkü Occam bir yer adıdır, doğrusu William'ın usturası olmalıydı). Occam'ın usturası sıklıkla şu fikirle yorumlanır: "Herhangi bir durumda, en basit

açıklama muhtemelen en doğru olandır." Bu Occam'ın usturası değildir ve doğru da değildir. Gerçek ilke şöyledir: "*Gereksiz* yere teorik cisimler üretmeyin. Fazladan başka cisimler veya varlıklar gerektirmeyen bir açıklama kullanın."

Noel hediyelerinin nereden geldiği vakasını ele alalım. Occam'ın usturasıyla kuşanan bir çocuk şöyle bir mantık kurabilir: "Annem ile babam çeşitli mağazalara gidip ellerinde kutularla ve torbalarla dönerler veya telefon ve bilgisayar aracılığı ile paketleri sonrasında postayla gelecek şekilde sipariş ederler. Hediyeleri alanlar onlarmış gibi görünüyor." Occam'ın usturası olmadan çocukların, yaşlı bir adamın bacadan gizlice içeri sızıp hediyeleri ağacın altına sıkıştırıp, daha sonra gizlice bacadan çatıya geri döndüğünü ve sihirli uçan ren geyiğinin onu elflerin bir sonraki senenin hediyelerini ürettiği Kuzey Kutbu'na geri götürdüğü rahatlatıcı (?) fikrini kabul etme ihtimali yüksektir. Bu, çok daha basit fakat daha az parlak renkli bir açıklaması olan bir şey için çok fazla sayıda eleman demektir.

Bu durum gerçekten de Occam'ın usturası ve diğer türden açıklamalar arasındaki gerginliği örnekler. Occam'ın usturası sadece elemanların gerekliliği üzerine konuşur. Gereklilik, rahatlık veya iyi hikâyeyle aynı şey değildir. Diğer bir deyişle, bir fikrin yeteri kadar rahatlatıcı olmaması ona bizi rahatlatması için başka fikirler eklememizi doğrulamaz. Olgularla rahatlıktan daha iyi uyuştuğu müddetçe rahatsızlığı kabul edebiliyor olmamız gerekir.

Evrenin genişlemesi ve uzayımızın içinde genişlediği bir uzay olma olasılığı örneğinde, bu farazi uzayı, uzayımızın dışında sadece evrenimizdeki bir olgu onun varlığına işaret ettiğinde (örneğin, sanki başka bir yerden gelirken uzaydan geçiyorlarmış gibi bir anda belirip yok olan cisimler) aramalı-

yız. Böylesi bir uzayın teorik olarak yaratılmasını gerektirecek böylesi bir olgu yoktur.

Evrenin genişlemesi uzayımızı çevreleyen bir nevi üst uzayın (matematik ve bilimkurgu terimi) varlığına dolaysız olarak işaret etmez. Var olabilir, fakat onu teorilerimize eklemek için hiçbir nedenimiz yok. Genişleyen uzay kendi kendine uyumludur ve onunla geçinmek için düşüncesini değiştirmesi gereken bizleriz. Bu adil gibi görünüyor; bizim akıllarımız fizik yasalarına nazaran çok daha kolay uyum sağlar. Fikirler öğrenmeyle ve düşünmeyle değişir; kütleçekim neyse odur. Olduğu şekliyle evren kendine has güzelliğe ve uyuma sahiptir, bizim sahip olmasını isteyeceğimize değil.

Her şeye rağmen o rahatlık yine de arzulanıyorsa, evrenin genişlemesi meselesinde şu rahatsız rahatlığı öneriyoruz. Öncelikle, gözlemleyebildiğimiz şeylerin evrenin tamamı olmadığını, onun yerine evrenin o parçalarının bizim geçmiş ışık konimiz dâhilinde olduğunu hatırlayın: Gözlemlenebilir evrenin dâhilinde. Görülebilecek en uzak noktanın ışığın Büyük Patlamadan bu yana seyahat edebildiği mesafe olduğu dikkate alınabilir. Bu bakış açısı gözlemlenebilir evrenin dışında neler olduğunu bilmiyoruz şeklinde algılanabilir, fakat her koşulda, gözlemlenebilir evrenin içinde genişleyebileceği bir şey olsa da olmasa da genişlemesi deneysel bir olgudur. Diğer bir deyişle, bir çeşit dış uzay olabilir; fakat onu saptayamıyoruz, dolayısıyla neden endişelenelim ki?

✹

Büyük Patlama bize erken tarihte evrenin şimdiki evrenden farklı olduğunu söyler, galaksilerin dağılımına gereksinimi var-

dı ve hatta evrenin bütün kütlesi tek bir yerde bulunmaktaydı. Biz kaçınılmaz olarak neye benzediğini bilmek istiyoruz. Sıcak olduğunu zaten biliyoruz ve sıcak cisimler ışık yayar, dolayısıyla erken tarihteki evrenin, madde kadar ışığı da barındırması gerekirdi. Bu ışığa ne oldu? Hâlâ buradadır, fakat evren genişledikçe ışık soğumuştur. Bu kulağa tuhaf gelebilir; ışık nasıl soğuyabilir ki? Sıcaklık bir sistemdeki parçacıkların enerjisinin ortalamasıdır (bir cismin sıcaklığı, bu cisimdeki atomların ortalama kinetik enerjisidir). Işık örneğinde, sıcaklık, sadece fotonların ortalama enerjisidir. Yüksek enerjili ışık daha sıcaktır; düşük enerjili ışık daha soğuktur. Işık soğuduğunda, düşük enerji spektrumuna doğru kırmızı kayma gerçekleşir (ışığın enerjisinin rengini belirlediğini hatırlayın). Hâlihazırda, ışık yaklaşık 2,7 Kelvin sıcaklığındadır, mutlak sıfırın biraz üstü. Bu sıcaklıktaki ışık, mikrodalga dalga boylarında en güçlü halindedir. Büyük Patlama'dan sonra oluşan parıltı, bu nedenle daimi kozmik mikrodalga arka planı (veya gökbilimcilerin genellikle bu olgu için kullandıkları kısaltma CMB) ışınımının nedenidir.

CMB kazayla Arno Penzias ve Robert Wilson tarafından 1965'te keşfedilmiştir. Mikrodalga bir anteni test ederken gizemli bir mikrodalga "ses" kaynağını fark etmişlerdir. Ses herhangi belirli bir yönden gelmiyor gibi görünmüştür ve ne yaparlarsa yapsınlar ondan kurtulamamışlardır. Sonunda bunun cihazlarının hatası olmadığının, evrenin temel parçası olduğunun farkına varmışlardır.

Kaza eseri keşif kavramı (pulsarlarda daha önce gördüğümüz üzere) garip görünebilir. Bilimi, teoriden aşağı olguya doğru ve olgudan yukarı teoriye doğru gelişen amaçlı, rasyonel, sistemli bir kavram olarak ele almaya alışığız. Ne var ki bunlara

saptanan evren ve araçların doğası bakış açısından baktığımızda o kadar da garip görünmez. Araçları belirli amaçlar için yaratırız, fakat araçların kendileri bu amaçlara bütünüyle kayıtsızlardır. Ne olduklarına dayanarak çalışırlar, ne olmalarını istediğimize dayanarak değil. En basit örnek bıçaktır. Bıçağı sebzeleri doğramak için yaratmış olabiliriz, fakat birinin aklına onu ağaç oymak veya birini bıçaklamak için kullanmak gibi cin bir fikir gelebilir. Bıçak bunu umursamaz ve bizim onu yaratırkenki niyetimizin aksine davranmayı reddetmeyecektir. Aynısı saptama donanımı için de geçerlidir. Bir şeye sadece büyüteç adı veriyor oluşumuz onu yangın başlatmak veya başka merceklerle arka arkaya dizip şeyleri daha küçük göstermek için kullanamayacağımız anlamına gelmez. Benzer bir şekilde, Penzias ve Wilson gibi, bir uydudan yayılan mikrodalga sinyalleri yakalamak istediğimizi söyleyebiliriz, fakat mikrodalgalar mikrodalgadır ve onlara ait bütünüyle farklı bir kaynak bulabilir ve kazayla CMB'yi keşfedebiliriz.

Bu perspektiften CMB her zaman oralardaydı ve mikrodalga bandının doğru kısmına yöneltilmiş yeterince hassas saptayıcıya sahip ilk bilim insanı tarafından keşfedilmeyi beklemekteydi. Her zaman daha iyi ve daha çeşitli saptama cihazlar yaptığımız için, daha fazla şey bile saptanabilir. Saptanan evrenin kendisinin de sürekli genişlediği söylenebilir. Alternatif olarak gökbilimcilerin *Mame* müzikalinde verilen "yeni bir pencere aç" tavsiyesinin en bağlı takipçileri oldukları söylenebilir.

Penzias ve Wilson'un keşfinden beri CMB pek çok farklı mikrodalga dalga boylarında ve gökyüzündeki bütün yönlerde ince ayrıntılarla ve aşırı kesinlikle ölçülmüştür. Bu ölçümlerde iki dikkate değer özellik göze batar. Birincisi, ışık milyarlarca yıldır hiçbir cisimle ilişkiye girmediği halde, bu mikrodalgala-

rın sadece 2,7 Kelvin sıcaklığındaki bir cisimden yayılanlar olmasıdır. İkincisi, gökyüzünün hangi yönde gözlemlendiği fark etmeksizin sıcaklığın neredeyse aynı olduğudur. Bu iki gözlem birleştirildiğinde, CMB ışığı son kez maddeyle ilişkiye girdiğinde, maddenin neredeyse aynı sıcaklığa sahip olduğu ve her yerde neredeyse aynı yoğunluğa sahip olduğu, dolayısıyla ışığın da aynı özellikleri taşıdığı anlamı çıkar. Bu bugünkü çoğunlukla boş evrenimizden oldukça farklı bir durumdur; peki oradan buraya nasıl geldik?

CMB ölçümü pek çok farklı deneyde ve pek çok insan tarafından yapılmıştır. Ne var ki, bu gruptan ilginç yönlere (bütün yönlere bakarken) işaret etmeleri açısından iki deney dikkat çeker: COBE ve WMAP. Kozmik Arka Plan Kâşifi'nin kısaltması olan COBE[16], 1989'da fırlatılmış ve CMB'nin sıcaklığının tam olarak tek biçimli olmadığını ve gökyüzü yönündeki sıcaklığın küçük çeşitlemeleri olduğunu gösteren ilk deney olmuştur. Bu küçücük çeşitlemeler önemlidir, çünkü bütünüyle tek biçimli olarak başlayan bir evren sonsuza kadar öyle kalırdı: yıldızlar, galaksiler, gezegenler veya hayat olmazdı. Ne var ki, Büyük Patlama sırasında oluşan küçücük çok biçimli çeşitlemeler zamanla kütleçekimin etkisinde kalarak, sonuçta bugün gördüğümüz galaksileri ve yıldızları biçimlendirerek büyürler. WMAP ilk olarak Mikrodalga Eşyönsüzlük Sondası'nın kısaltması MAP olarak adlandırılmıştı. Burada "eşyönsüzlük" farklı yönlere doğru bakıldığında farklı sıcaklıkların görülebileceği olgusu için teknik bir terimdir. MAP 2001'de fırlatılmıştır. MAP ekibinin liderlerinden biri kariyerinin tamamını CMB'yi araştırarak geçiren Amerikalı gökbilimci David Wilkinson'du. 1965'te Wilkinson, Robert Dicke'in

16 Cosmic Background Explorer, İngilizce. (Ç.N.)

önderliğinde Büyük Patlama teorisinin tahmin ettiği ışınımı bulmayı deneyen bir projede çalışmaktaydı ve bu konuda ilk haber Penzias ve Wilson'un tesadüfî keşfiyle geldi. Wilkinson (2002'de) vefat ettiğinde onunla birlikte çalışanlar, deneyin ismine Wilkinson'un W'sini eklemişlerdir. WMAP CMB açısından şaşırtıcı derecede dakik ölçümler yapmıştır ki, bu da yeni "hassas kozmoloji" çağının başlamasına olanak tanımıştır. Şimdi evrenin yaşı ve barındırdığı maddenin miktarı makul bir dakiklikte belirtilebilmesi mümkündür.

Evrenin erken tarihi temelde sıcak ışık kütlesi ve gazın genişlemesi ve soğumasının tarihidir. Soğuduğunda, çok sıcak olduğu için daha önce olmayan çeşitli süreçler mümkün olmuştur ve dolayısıyla varoluşun ilk sıcak saniyelerinde bunu yapamayan çeşitli türde cisimler var olabilmişlerdir.

Önceki bölümlerde (özgün atomlar gibi) belirli şeylerin çok fazla ısı olması durumunda var olmayacaklarından bahsetmiştik. Evrenin ilk dakikaları, farklı sıcaklıklarda farklı türde çok şeyin ortaya çıkmasına önayak olan, düzenli soğumalardan oluşmuştur. Belirli bir zamana, Büyük Patlama'dan yaklaşık üç dakika sonrasına, atom çekirdeklerinin biçimlenmesi sürecinin mümkün olduğu zamana odaklanmak isteriz. Tarihin bu parçası bizi kara madde adaylarını eleme testi için dolambaçlı bir yola götürecektir. (Tamam, uzun bir ara söz oldu, fakat birkaç sayfaya 14 milyon yıl sığdırabilmek çokda kötü değildir.)

Madde çekirdek ve elektronlardan oluştuğuna göre, çekirdek de proton ve nötronlardan oluştuğuna göre, "Orada ne kadar madde var?" sorusunun biçimlerinden biri "Orada ne kadar proton ve nötron var?" Hantal "protonlar ve nötronlar" ifadesini sürekli bir biçimde kullanmamak adına, yine standart parçacık fiziği kullanımını uyarlayıp, proton ve nötronlardan

bahsettiğimizde ikisini de kapsayan nükleonlar adını kullanacağız.

"Orada ne kadar nükleon var?" sorusunu eğlenceli bir şekilde soracağız: Yunan eta (η) harfini nükleonların fotonlara oranının simgesi olarak kullanacağız. Yani, evrendeki nükleonları sayıp, sonra fotonları sayıp, birinciyi ikinciye bölerek eta değerini elde edeceğiz. Evrende belirli bir türdeki her şeyi saymak kulağa saçma bir fikir gibi gelebilir, fakat bu konuda kurnaz olabiliriz. CMB ölçümlerinden orada ne kadar foton olduğunu çıkarabiliriz (çünkü hepsi CMB'deydi), dolayısıyla etayı farklı bir yöntemle bulursak, buna dayanarak ne kadar nükleon olduğunu bulabiliriz. Ne var ki eta, nükleosentezin (atom çekirdeğinin biçimlenmesi) olduğu zamanla şimdi arasında pek değişmemiştir. Bunun sebebi o zamanla şimdi arasında hiç yeni nükleon oluşmamış ve birkaç nispeten yeni foton oluşmuş olmasıdır. Dolayısıyla, nükleosentez zamanındaki etayı bulabilirsek, şimdiki maddenin (ya da en azından proton ve nötrondan oluşan maddenin) miktarını da bulabiliriz.

Güneş'in çoğu katmanında asıl atomların var olabilmesi için şartların aşırı sıcak olduğunu hatırlayın. Oradaki bütün atomlar yüksek-hız çarpışmaları sebebiyle elektronlarını kaybedecektir. Benzer bir şekilde, yeterince erken tarihlerde evren hiçbir çekirdeğin oluşamayacağı kadar sıcak olmuştur; oradaki çekirdekler yüksek-hız çarpışmaları sonucunda bileşenlerine, proton ve nötronlara, infilak edecektir. O zamanki evren protonlar ve nötronların yanı sıra fotonlardan, elektronlardan, pozitronlardan, nötrinolardan ve antinötrinolardan oluşmuştur.

İlk olarak, bu karışımda nötronların varlığı şaşırtıcı görünür, çünkü önceki bölümde dikkatinizi çektiğimiz üzere, kendi haline bırakılmış bir nötron bozunuma uğrayarak proton,

elektron ve antinötrino'ya ayrılacaktır. Bununla birlikte, özgür nötronun yarı ömrü (nötronların yarısının bozunuma uğradığı zaman) yaklaşık on dakikayken, evrenin sıcaklığının protonların ve nötronların birleşerek döteryum oluşturmasına olanak tanıyacak kadar düşmesi, Büyük Patlama'nın kabaca üç dakika sonrasıdır. Bu, birkaç nötron yakalamak için fazlasıyla zaman var anlamına gelir. Evrenin erken tarihteki, taslağı çıkarılmış gelişmesini göz önüne alarak, var oluşun eşit sayıda proton ve nötronla başladığını çözebiliriz. Ancak, bundan üç dakika sonra, her yedi proton için sadece bir nötron kalmıştır. Bu sadece kısmen nötron bozunumu sebebiyledir. Nötrino ve elektron tepkimeleri (bir proton ve bir elektron üretmek için birleşen nötron ve nötrino gibi) daha büyük bir rol oynamıştır. Bu çeşit zayıf kuvvet tepkimesi çekirdekler oluşmadan çok önce nötron nüfusunu azaltmıştır. Bununla birlikte, sıcaklık döteryumun oluşabileceği kadar soğuk olduğunda, geriye kalan nötrinoların neredeyse tamamı döteryum oluşturmak için protonlarla birleşmiştir. Bu döteryum sonuçta helyumu oluşturmuştur, çünkü evren başlangıçta olduğundan daha soğuk olmasına rağmen hâlâ füzyonun gerçekleşmesi için yeterince sıcaktır.

Nükleosentez sırasında, her yedi proton için bir nötron var olmuştur. Bunun anlamı, her yedi nükleondan birinin nötron olmasıdır. Bu nötron, sonrasında döteryum oluşturmak üzere protonla birleştiğine göre, nükleonların dörtte biri (sekiz nükleon için bir nötron ve bir proton) döteryumda birleşir. Bu döteryum sonuçta helyuma dönüştüğüne göre bunun anlamı, nükleonların dörtte birinin helyumla sonuçlanmasıdır. Bu nedenle Büyük Patlama'dan dakikalar sonra, evrendeki çekirdeklerin kütle bileşiminin dörtte üçü hidrojen (birleşmek için nötron bulamayan protonlar) ve dörtte biri ise helyum (bir-

birleriyle sıkışmış nükleonlar) olmuştur. Bu hesaplamalar, bugün de doğru şartlar oluştuğunda gerçekleşebilecek saptanan tepkimelere dayanır. Diğer bir deyişle, bu çıkarımlara ulaşmak için Büyük Patlama'nın kendisinden daha tuhaf bir şey farz etmeye ihtiyacımız yoktur.

Dikkate değer bir şekilde şimdi, milyarlarca yıl sonra, evrenin bileşimi çok farklı değildir. Hâlâ yaklaşık dörtte üçü hidrojen ve dörtte biri helyumdur. Ne var ki, şimdi yaklaşık %1'i ağır çekirdektir. Yıldızlarda milyarlarca yıldır süregelen nükleosentez, evrendeki çekirdeklerin bileşimini biçimlendirmek için üç dakikalık Büyük Patlama nükleosentezinden daha azını yapmıştır.

Döteryumun büyük bir kısmı helyum oluşturmak üzere birleşmiş olsa da, bu tamamını kapsamamıştır. Büyük Patlama sırasında üretilen döteryumun bir kısmı döteryum olarak kalmaya devam etmiştir. Aynı zamanda küçük miktarda helyum 3 (helyumun iki proton ve bir nötrondan oluşan daha hafif biçimi) ve lityum 7 adı verilen, üç proton ve dört nötrondan oluşan başka bir tip çekirdek var olmaya devam etmiştir.

Evrenin bu ilk birkaç dakikasından sonra, bol miktarda helyum 4 (bildiğimiz helyum) biçiminde, az biraz lityum 7 biçiminde, biraz helyum 3 biçiminde ve biraz da döteryum biçiminde nükleonumuz olmuştur. Bir sonraki soru biraz tuhaftır ve cevabı için sorulmamıştır; bu cevabı başka bir sorunun cevabını vermek için kullanacağımız içindir. Şöyle sorarız (matematiksel kurnazlık sebeplerinden dolayı): Evrendeki çekirdeklerin kütle açısından kesri döteryumda, helyum 3'te ve lityum 7'de kaçtır? Bu değerin etaya bağlı olduğu kesinleştirilebilir. Büyük Patlama nükleosentezi sırasında nükleonlardan çok daha fazla sayıda foton var olmuştur; bu da etayı yaklaşık

milyarda birinin yarısı gibi, çok küçük bir nicelik yapmıştır. Bunun anlamı, her bir nükleon için yaklaşık 2 milyar foton olmasıdır. Bunun sonucunda o sırada evrenin büyük bir kısmı nükleonlardan (madde) ziyade ışık (ışınım) olmuştur.

Daha yüksek eta daha fazla nükleon anlamına gelir; bu da daha fazla çekirdek, dolayısıyla nükleer tepkimelerin gerçekleşme ihtimalinin daha yüksek olması ve nükleer tepkime setlerinin tamamlanmış olma ihtimalinin de daha yüksek olması demektir. Döteryum ve helyum 3, helyum 4'e götüren nükleer tepkimelerin orta düzey ürünleridirler, dolayısıyla daha büyük eta daha küçük miktarda döteryum ve helyum 3 anlamına gelir. Bu kulağa garip gelebilir, fakat döteryum ve helyum 3'ü helyum 4'ün malzemeleri olarak ve etayı helyum 4 yapma sürecinin tamamlanma ihtimalinin ne olduğunu ölçülmesi açısından ele alırsak (çünkü daha bol olan malzemelerin birbirleriyle çarpışması ve dolayısıyla birleşmesi daha olasıdır), o zaman etanın daha büyük bir değere sahip olması daha fazla tamamlanmışlık ve bu sebeple çevrede geriye kalan daha az sayıda malzeme anlamına gelir. Eta ve lityum 7 bolluğu arasındaki ilişki biraz daha karışık fakat yine de tahmin edilebilirdir, dolayısıyla nükleosentez sırasındaki etayı biliyor olursak, evrendeki döteryum, helyum 3 ve lityum 7 bolluğunu da hesaplayabiliriz; diğer taraftan bu bollukları bildiğimizde, etayı bulabiliriz.

Böylesi bir kıyaslama daha ziyade inceliklidir, çünkü hem yıldızlar hem de Büyük Patlama nükleosentez aracılığı ile elementler üretir, bu nedenle Büyük Patlama sonrası süreçler de bu elementlerin miktarını etkileyecektir. Bu iki etkiyi birbirinden ayırmak için, hem saptama hem de teorinin birleşmesi gereklidir. Saptama tarafında, maddenin yıldızlardaki süreçlerin en azından etkilenen yerlerine bakılır; bunun bize yıldızlara yakın

olanlara nazaran Büyük Patlama sonrasına daha çok benzeyen bölgeleri vermesi gerekir. İlgili yöntemler gök taşlarındaki element bolluğu gözleminin yanı sıra, yıldızlar arası ortamın (yıldızlar arasındaki aşırı derecede seyrek gaz ve toz) atomlarının ışığı soğurmalarının incelenmesi aracılığıyla saptanmasını içerir. Teorik tarafta, yıldızlardaki nükleosentez miktarı dikkate alınmaya çalışılarak dikkatli hesaplamalar yapılır. Örneğin, sonrasında bir yıldızda nükleosenteze uğrayan Büyük Patlama sırasında üretilmiş herhangi bir döteryum genellikle helyum 3'e dönüşür. Bu süreç hem döteryumun hem de helyum 3'ün miktarını değiştirir, fakat döteryum artı helyum 3'ün miktarını değiştirmez; dolayısıyla belirli değerler hakkında endişelenmeden onların toplamına odaklanırsak, yıldız sürecini kısmen yok sayabiliriz. Saptama ve teorinin bu birleşimi, Büyük Patlama nükleosentezi sırasındaki etayı bulmamıza olanak tanır ki, bu şimdiki etayla aynıdır ve bu da karşılığında şimdiki maddenin miktarını bulmamıza olanak tanır.

Bütün bunlar kulağa karışık geliyor ve öyledirler de, fakat amaç basittir. Eta nükleonların fotonlara oranıdır. Nükleonların sayısını bulmak istiyoruz, yani fotonların sayısını bulabilirsek (CMB'lerden bulabiliyoruz da) ve etayı bulabilirsek (burası elementlerin saptanmasının ve teorilerin biçimlenmesinin kullanıldığı karışık kısımdır), nükleonların sayısını bulabiliriz ki, bu da maddenin miktarıdır.

Öyle midir? Gerçekte bulabildiğimiz şey foton ve nötronlardan (ve elektronlardan) oluşan maddenin miktarıdır. Evrenbilimciler buna baryonik madde adı verir (baryon, proton ve nötronları içeren parçacık sınıfı için ortak isim). Bütün şüphelilerimiz (baryonik maddenin çöküşünden oluştuklarına göre, nötron yıldızlar ve karadelikler bile) bu kategoriye uyar. Orada

ne kadar baryonik madde olduğunu biliyoruz, evrendeki kütleçekim etkilerinden orada ne kadar toplam madde olduğunu da biliyoruz. Bu iki niceliği karşılaştırmak şaşırtıcı bir sonucu gösterir.

Orada baryonik maddeden yaklaşık yedi kat fazla madde vardır. Bu, zamanımızın en hayret verici ve acayip bilimsel keşiflerinden biridir. Evrenin bilinen bütün içeriği, normal maddenin tamamı, kara madde olma suçlamasından aklanmıştır. Kara madde alışık olduğumuz her şeyden bütünüyle farklı bir şeydir.

Buna şöyle itiraz edilebilir: "Hey, bir dakika, o nötrinolara ne oldu? Onlardan bol miktarda var ve onlar baryonik değiller. Üstelik onları saptamak çok zordur. Bana kara madde olabilirler gibi geliyor. Onları içeri alın ve bizim suçlu profilimize uyup uymadıklarına bakın."

Büyük Patlama'nın özellikleri, hesaplamaları CMB foton arka planına ek bir arka plana işaret eder; orada aynı zamanda CMB'den biraz daha düşük bir sıcaklıkta ve CMB'deki foton sayısına yakın sayıda arka plan nötrinosu barındıran bir nötrino arka planı da var olsa gerek. Her bir baryon için yaklaşık bir milyar foton olduğuna göre, her bir baryon için yaklaşık bir milyar nötrino olmasını bekleriz. Bu nedenle nötrino, protonun kütlesinin on milyarda birine denk gelen ufacık bir kütleye sahip olsa da, çok fazla sayıda nötrino bildiğimiz maddenin kütlesinin on katına denk gelen bir kütleye sahip olacaktır. Aradığımız kara madde onlar olacaktır.

Dahası (diye belirtir, davayı oluşturan savcılık), nötrinolar sadece kütleçekim ve zayıf etkileşim aracılığıyla etkileşirler. Nötrino arka planı bu kadar soğuk olduğuna göre, bu nötrinoların enerjisi çok küçüktür. Zayıf kuvvet açısından, ufacık

etkileşim olasılığı parçacığın enerjisi küçük olduğunda daha da azalır. (Nötrino saptayıcımızın Güneş'ten gelen yüksek enerjili nötrinoları saptadığını hatırlayın. Bu arka plan nötrinoları çok daha soğuklardır.) Bunun anlamı, nötrino arka planının farkına varmamızın tek yolunun kütlesinden kaynaklanın kütleçekim etkileri olduğudur.

Aha! Şimdi yakaladık sizi gidi nötrinolar! Sizi kara madde olmakla suçluyoruz.

Maalesef ki, nötrinoların mazereti var. Üstelik mazeretleri muazzamdır. Evrendeki her bir galaksi, suçsuz olduklarına dair ifade verir.

✹

Erken tarihteki evren, bahsettiğimiz üzere, her noktada neredeyse tamamen aynı yoğunluğa sahip ve oldukça tek biçimli olmuştur. Şimdiki evren tek biçimli olmak dışındaki her şeydir. Büyük bir alanı neredeyse boştur, var olan maddenin tamamı galaksi kümelerinde, kümelenmiş yıldızlarda ve gaz bulutlarında kümelenmiştir. Evren pürüzsüz başlangıcından şimdiki kümelenmiş durumuna nasıl ulaşmıştır?

Kütleçekim. Erken tarihteki evren son derece tek biçimli olsa da, kusursuz bir biçimde öyle değildir. Bazı bölgeler ortalamadan birazcık daha yüksek yoğunluğa, bazı bölgeler daha düşük bir yoğunluğa sahip olmuştur. Ne var ki madde kütleçekim kuvvetini ortaya çıkardığına göre, bunun anlamı birazcık fazla yoğunluğa sahip bölgelerin, çevrelerine biraz daha yüksek kütleçekim kuvveti uygulayarak içlerine daha fazla madde çektikleridir. Bu nedenle, zaman içinde birazcık fazla yoğunluğa sahip bölge gittikçe daha yoğun olur; sonuçta bu aşırı

yoğunlaşmış bölgeler daha önce bahsettiğimiz kütleçekimsel çöküşün başlaması için yeterince yoğun olurlar. Bu daha yoğun bölgelerin en yoğun kısımları çökerek bugün gördüğümüz yıldızları, galaksileri ve galaksi kümelerini oluşturmuşlardır. Başlangıçta biraz daha az yoğun olan bölgelere bunun tam tersi olur. Gittikçe daha çok maddeyi kaybeder ve er geç bu "boşluğa", çok küçük sayıda galaksi barındıran galaksiler arası devasa bölgeye dönüşür.

Bu sürecin oldukça detaylı, güzel bazı bilgisayar simülasyonları var; bunlar bulunup gösterilebilirler fakat bu bir kitaptır dolayısıyla küçük bir betimle yardımıyla bunu sizin hayal gücünüze bırakmak zorundayız (göreceli güç işlemi ve iki sistemin de çizelge avantajları konusunda çok fazla tartışmaya gerek duymayacağız). Gözünüzün önüne kısmen kalın kısmen ince bir gaz bulutu getirin. Daha kalın kısımlar gittikçe daha çok gazı içlerine çekerler. Ne var ki, kalın bölgelerin içinde kendileri daha kalın ve daha ince kısımlar vardır. Gaz, kalın bölgelerin içindeki daha kalın kısımların en kalın alanlarında toplanır, ta ki bu sürecin yeterli derinliklerindeki gerçekten yoğun bölgelerde gaz füzyona uğramaya başlayana kadar; en kalın kısımlar bulut oluşturmak üzere durulur ve boşluğun içindeki yıldızlara dönüşür. Yıldızların kendileri galaksi olan kalın kısımlardan geriye kalanların içinde kümelenir ve galaksiler de galaksi kümesi olan kalın bölgelerin içinde kümelenir ve benzeri. Bazı insanlar bu süreci sütün kesilerek peynire dönüşmesine benzetir, bu nedenle belki de Samanyolu'nun ismini Peynir Yolu olarak değiştirmeliyiz[17].

17 İngilizce, Süt Yolu anlamına gelen Milky Way (Samanyolu) üzerinden sözcük oyunu yapılmış. (Ç.N.)

Galaksilerin, galaksi kümelerinin ve boşluğun şimdiki yapısı teleskoplar aracılığı ile gözlemlenebilir. Başlangıçtaki ufak farklılıklar taşıyan aşırı yoğun ve az yoğun bölgelerin dokusu, gökyüzünde bir yönün başka bir yöne göre değişen CMB sıcaklığı çeşitlemelerinin gözlemlerinden çıkarılabilir. Elimizde CMB'den çıkarılan erken tarihteki evrenin aşırı yoğun ve az yoğun bölgeleri olsaydı ve *eğer* gökbilimciler kara maddenin özelliklerine hâkim olsaydı, kütleçekim yasasını (ve büyük bir süper bilgisayar) kullanarak bugünkü evreni oluşturan galaksilerin, galaksi kümelerinin ve boşlukların büyük ölçekli yapılarını bulabilirlerdi.

Kara maddenin özelliklerini bilmiyoruz, fakat böylesi bir simülasyon fikri şu yoldan tersine çevrilebilir: Kara maddenin özelliklerini tahmin ederek başlayıp sonrasında bu özellikleri kullanarak evrenin simülasyonunu oluşturmak. Gökbilimciler, bu tahmini ve erken tarihteki evrenin saptanan aşırı yoğun ve az yoğun bölgelerini, evrenin yapısının (yani, galaksilerin, galaksi kümelerinin ve boşlukların dokusu) büyük ölçekli oluşumunun bilgisayar simülasyonuna eklemişlerdir. Bilgisayar simülasyonu sonuçları evrende gördüğümüz büyük ölçekli yapıya benzemezse, o zaman kara madde modeli, kara maddenin özelliklerinin tahmini, elenmiş olacaktır.

Bu yöntemin deneme yanılmanın daha karmaşık bir şekli olduğuna dikkat edin. Bir fikir oluşturulmuş; onun sonuçları hesaplanmıştır. Daha sonra bunlar saptanan evrenle karşılaştırılarak test edilmiştir. Başarılı olmazsa, bu fikir kaldırılıp yerine yeni bir tahmin oluşturulur. Başarısızlık küçük olursa, asıl fikir komple atılmak yerine kısmen makaslanabilir. Bu süreç kullanılarak kara maddeyle ilgili belirli fikirlerin test edilme

ihtimalinin yanı sıra kara madenin hangi özelliklerinin (kütle sıcaklık, hız, elektrik yük ve benzeri) bugünkü evrenin biçimlenmesine nasıl katkıda bulundukları da test edilebilir.

Büyük ölçekli yapı biçimlenmesi doğrultusunda, deneme ve yanılma kara maddenin sadece bir özelliğinin önemli olduğunu saptamıştır: Yapı biçimlenmesi sürecindeki belirli bir zamanda kara madde parçacıklarının hızı. O zamanda ışık hızına nazaran daha yavaş hareket eden kara maddeye soğuk kara madde, o zamanda ışık hızının kayda değer bir kesrinde hareket eden kara maddeye sıcak kara madde adı verilir. "Sıcak" ve "soğuk" isimleri, söz konusu malzeme ne kadar sıcak olursa parçacıkları o kadar hızlı hareket ettiği için kullanılmıştır. Nötrinoların kesinlikle sıcak kara madde olduğu ortaya çıkmıştır. Küçük kütleleri, yapı biçimlenmesindeki ilgili zamanda oldukça hızlı hareket ettiklerini kesinleştiriyor.

Kara maddenin sıcak mı yoksa soğuk mu olduğu bilgisayar simülasyonu için önemli olan tek şey olduğuna göre bunun anlamı, bilgisayar programının sadece iki kere çalıştırılması gerektiğidir; bir kez sıcak kara madde için, bir kez de soğuk kara madde için. Sonrasında bu iki simülasyonun sonuçları, evrenin gözlemlenen büyük ölçekli yapısıyla karşılaştırılmıştır. Şimdiki evrenin büyük ölçekli yapısı, soğuk kara maddenin varlığında biçimlenmiştir. Böylelikle bütün sıcak madde modelleri elenmiş olur. Bilhassa nötinolar, kara madde olamazlar.

Şimdi, hiç şüphelimiz kalmadı. Bu nedenle tanıdığımız insanları sorgu odasına dizmek yerine, suçlumuz için robot resim oluşturmaya çalışıp onu dünyada bulabilir miyiz diye bir bakacağız.

Kara madde daha önce karşılaştığımız hiçbir şey değildir, dolayısıyla bir nevi bilinmeyen yabancı bir parçacık olmak zo-

rundadır. Evrendeki madenin büyük bir kısmının bütünüyle bir nevi yabancı madde olması düşüncesi rahatsız edici görünüyorsa, helyum dolu bir balon satın almak birazcık neşe getirebilir. Cesaretlendiren şey balonun kendisi (havada neşeli süzülmesi ve parlak renkleri) değildir, helyumla ilgili bugünkü bilgi düzeyimizle bir yüzyıldan birazcık fazla bir süre önce onun hakkında bildiklerimizin arasındaki farktır. Bugünlerde helyum, her çocuğun doğum günü partisinde rastlanan tamamen olağan bir maddedir. Element olarak helyum kimya anlayışımızın temel bir parçasıdır; en hafif ikinci kimyasal elementtir. Aynı zamanda evrendeki bilinen maddenin, bu maddenin kütlesinin dörtte birini oluşturan, önemli bir bileşenidir.

Ne var ki, sadece birkaç nesil önce helyum, bugünkü kara maddeyle büyük ölçüde benzerlik gösteren, astrofiziksel bir gizemdi. Spektral çizgileri Güneş'te görülmüş, fakat başka hiçbir yöntemle saptanamamıştı. Bilimde sıklıkla böyle şeyler olur. Dünün gizemi bugünün sıradan bir cismine dönüşmüştür, dolayısıyla bugünün gizeminin, yarının bahçe süslerinden birine dönüşeceğini ummak için sebebimiz var. Yüzyıl içinde kara maddeyi çarşıdan satın almak mümkün olabilir; hangi amaçla kullanılacağını şimdilik hayal edemiyoruz, fakat Güneş spektrumuna bakan birinin de helyum dolu balonları hayal etmiş olması pek olası değildir.

Kara madde gibi böylesi anlaşılmaz bir maddeyi neden isteyebilirsiniz? Herhangi bir kullanımı olup olmadığına göre değişir. Bugün radyolar, televizyonlar, cep telefonları, küresel konumlandırma cihazları satın alıyoruz. Bunların hiçbiri elektrik, manyetizma ve ışık aynı şeyin özellikleri olmasaydı var olamazlardı. James Clerk Maxwell, evrenin yakalaması zor bu üç özelliğinin arasındaki karşılıklı bağlantının şekillendirildiği,

basit olmakla birlikte anlaşılmaz dört formülü çözüp yazmış olmasaydı bu cihazlardan hiçbirine sahip olamazdık. Hangi keşiflerin bilim katlarından aşağıya inip herkesin evinde son bulacağını önceden kestirmek neredeyse imkânsızdır.

Bununla birlikte, bunlar "Kara madde nedir?" sorusunu cevaplamaz. An itibariyle bu sorunun cevabını kimse bilmiyor. Her şeye rağmen, şimdiye kadar öğrenilenlere dayanarak makul bir tahmin yapılabilir. Yine de sadece bir tahmindir, iyi bir tahmindir, fakat kolayca yanlış olabilir.

Nötrinolar kara maddenin sahip olması gereken bütün özelliklere sahipler, biri dışında: Soğuk kara maddeden ziyade sıcak kara maddedirler. Bu kara madde olma özelliği, nötrinonun kütlesinin küçüklüğüyle ilgilidir (çok yüksek enerjiye maruz kalmış ve dolayısıyla çok hızlı hareket etmeye başlayan çok küçük kütleye sahip olmuşlardır). Bu nedenle makul kara madde adayı, nötrinoya sadece zayıf etkileşim açısından benzeyen fakat sahip olduğu büyük kütle dolayısıyla kritik zamanda yavaş olacağı açısından nötrinoya benzemeyen bir parçacık olacaktır. Bu bizim bilinmeyen zanlının robot resmidir. Ona John Doe[18] diyebiliriz, fakat bu kulağa yeterince bilimsel gelmiyor. Belki de bu özelliklere dayanarak birileri ona bir isim verebilir. Bu isim, WIMP kısaltmasıyla tanınan Zayıf Etkileşimli Büyük Kütleli Parçacık'tır. (Bireysel olarak bilim insanları iyi bir mizah duygusuna sahiplerdir, fakat çalışmalarında kötü mizah kullanmaya teşvik edilmiş gibilerdir, üstelik bu konuda da yalnız değillerdir.)

Şu anda niceliklerin sayısını arttırdığımıza, yeni teorik bir parçacık ürettiğimize dikkatinizi çekeriz, fakat bunu gerek-

18 Kimliği saptanıncaya dek adı bilinmeyen bir kimseyi temsilen kullanılan simgesel ad. (Ç.N.)

lilikten yapıyoruz. Bilim insanları bildikleri bütün nicelikleri elemiş ve yine de kara maddeyi açıklayamamış oldukları için WIMP varsayımında bulunmuşlardır. Yeni parçacıklar ilgili olarak, nötrinolara benzedikleri fakat ağır ve dolayısıyla belli zamanda yavaş olduklarını varsayarak, asgari sayıda iddiada bulunmuşlardır. Bu nedenle bir nicelik ekliyor olsalar da, bunu büyük dikkatle yapıyorlar. Bunu bu vakada, ebeveynler hediye almadıkları ve Noel Baba da pısırık olduğu için, bilim insanları onu eklemek zorunda kalmışlardır.

Bu noktada WIMP en makul kara madde adayıdır. Geriye kalan gerçekten var olup olmadıklarına ve kara madde olmak için yeterli niceliğe sahip olup olmadıklarına bakmaktır. Bu konuyu açıklığa kavuşturmak için WIMP'leri saptamaya çalışan çeşitli testler vardır. WIMP nötrinoya benzediğine göre, saptanmalarındaki meselelerin önceki nötrino saptanmasıyla benzer olduklarını tahmin edebiliriz ve bu da doğru olur. Güneş Sistemi galaksinin çevresinde yörüngede hareket ettikçe, Dünya da muhtemel WIMP denizinin içinden geçmektedir (WIMP teorisinin doğru olduğunu varsayarsak). Bununla birlikte her bir WIMP o kadar zayıf etkileşmektedir ki, onun söz konusu herhangi bir atomla çarpışma olasılığı çok küçüktür. Nötrino saptayıcılarında da olduğu gibi, başarılı bir saptama cihazının hacme, hassaslığa ve yalıtıma ihtiyacı vardır.

Bir WIMP atom çekirdeği tarafından yakalandığında, büyük jimnastik topunu yakalayan bir insanın geriye doğru sendelemesine çok benzer bir şekilde, çekirdek geri çekilir. Bu çekirdek daha sonra saptayıcıdaki çeşitli atomlarla çarpışır. Saptayıcının malzemesine bağlı olarak, iyonizasyon adı verilen bir süreçte çekirdek, bazı elektronları atomlardan çıkarır. Saptayıcı, sintilatör (kıvılcımlar saçan) adı verilen bir madde-

den yapılmışsa, o zaman çekirdeğin atomlarla çarpışması ışığın ufacık parlamalarla aniden görünüp yok olmasına neden olabilir. Buna ek olarak, geri çekilen çekirdekle diğer atomlar arasındaki enerji çarpışmaları saptayıcının sıcaklığında ufacık bir yükselmeye sebebiyet verecektir. Saptayıcının türüne göre değişen strateji bu durumda küçük sayılardaki elektronları veya aniden görünüp yok olan ışığı veya sıcaklıktaki ufacık artışı saptamaktır.

Tek bir WIMP'in bile biriktirdiği enerji miktarının saptamaya götürebilmesi için böylesi bir deneyin üstün hassas saptayıcılarla donatılmış olması gerekir. Bu hassaslığa sahip olmak için her özgün saptayıcı oldukça küçüktür. Bununla birlikte saptayıcı cihazın tamamı, çok sayıda özgün saptayıcı içererek büyük bir hacme ulaşır. Saptayıcı, sinyalle karıştırılabilecek başka şeylerden yalıtılmak zorundadır. Örneğin nötrino saptayıcılarında olduğu gibi, saptayıcının kozmik ışınlardan yalıtılması için yerin altına gömülmesi gerekir. İsmini kara maddeden alan DAMA[19] deneyi, Roma yakınlarında Gran Sasso Dağı'nın içinden geçen bir tüneldedir. CDMS (Çok Soğuk Kara Madde Araştırması) adı verilen bir diğeri ise Minnesota, Soudan'da eski bir demir madenindedir. WIMP enerjisine bağlı olarak sıcaklıktaki ufacık artışlarının ölçüldüğü deneyde, saptayıcıların mutlak sıfırın üzerindeki bir derecenin kesri dâhilinde soğutulması gerekir. Bu kitabın yazıldığı sırada, WIMP'ler henüz keşfedilmemişlerdir. Daha hassas ve hacimli saptayıcılar inşa edilmektedir. Belki de önümüzdeki birkaç yılda WIMP'ler keşfedilecek ve kara madde dosyası kapanacaktır.

Ne var ki, bunu henüz bilmiyoruz. Saptanana veya elenene kadar, kara maddenin doğası üç katmanlı evrende inşası süren

19 DAMA: Dark Matter, İngilizce. (Ç.N.)

cisimlerden biridir. Suçlumuz kalabalığa karışmıştır. Burada aşırı uzun sürmüş suçluluk esprimiz son bulur.

11. Bölüm

Olabildiğince Dışarıya Doğru

Kara madde avımızda, kara maddeyle ilgili kolayca ölçebileceğimiz tek bir şeye güvendik: kütleçekim. Hâlâ elimizde sadece bu var, fakat kütleçekim galaksiler ve galaksi kümelerinin hareketlerini etkilemekten (sanki bu yeterli değilmiş gibi) çok daha fazlasını yapar. Kütleçekim, uzay zamanın şeklini etkilediği için evrenin genişlemesini de etkiler. Dolayısıyla evrendeki maddenin miktarını ölçmek için kütleçekim yasasını ve evrenin genişlemesini kullanmak düşünülebilir. Bu şekilde en büyük "Orada bundan ne kadar var?" sorusu sorulmuştur: Orada, her yerde, her şeyden ne kadar var? Bu soruyu cevaplama sürecinde fizikçiler kendilerini kara maddeden daha büyük bir gizemin içinde bulmuşlardır: Kara enerji.

Evrenin genişlemesiyle ilgili, evrenin yoğunluğunu (birim başına düşen kütle) hesaplamamıza olanak tanıyacak birkaç ölçüm yapmak isteriz. Bu bize, evrenin herhangi bir kısmında ne kadar madde olduğuna dair bir fikir verecektir. Ne yazık ki, genel görelilik bu kadar basit değildir; bu sadece kütleçekimin

değil aynı zamanda uzay ve zamanın geometrisinin teorisidir. Diğer bir deyişle, kütleçekim basit değildir; Newton'un onu hayal ettiği gibi cisimleri etkileyen bir kuvvet değil, uzay ve zamanın tamamlayıcı bir parçasıdır.

Einstein'ın evreninde uzay, iki nokta arasındaki en kısa mesafenin doğru olduğu sonsuz bir aynılık değildir. Bahsettiğimiz üzere topak topak, eğri bir şekli vardır. Üzerindeki kütleler nedeniyle aşağıya doğru eğilmiş lastik bir çarşafa benzetilir bazen. Evren genişledikçe, topakların konumları ve göreceli yakınlıkları değiştiği için, çarşafın eğriliği de değişir. Evrenin şekli büyüdükçe değişir.

İki denklem evrenin genişlemesini tanımlar. Biri, Hubble parametresinin karesiyle, uzayın yoğunluğuyla eğriliğinin birleşimi arasında ilişki kurar. Eğrilik, belirli bir yerde bir şeyin ne kadar eğildiğinin matematiksel ölçüsüdür. "Evrenin eğriliği" ile ortalama eğriliğin ne kadar olduğunu veya uzayın belirli bir yerde ne kadar eğri olduğundan ziyade uzayın genel olarak ne kadar eğri olduğunu kastederiz. Diğer denklem, evrenin genişlemesinin değişim oranıyla yoğunluk ve basıncın birleşimi arasında ilişki kurar.

Bir denklemin iki nicelik arasında ilişki kurduğunu söylediğimizde denklemin, bir niceliğin değiştirilmesinin diğerinin de değiştirilmesini gerektirdiği bir şekilde, iki niceliği de kapsadığını kastederiz. Gördüğümüz bir çift örnek şöyledir:

- $E = mc^2$ enerji ile kütle arasında ilişki kurar. Kütle artarsa, enerji de artar. Kütleyi ikiyle çarpınca, enerjiyi de ikiyle çarpın. Buna doğrusal ilişki adı verilir.
- $F = Mm/r^2$ kütleçekim kuvvetiyle hem kütle hem de aralarındaki mesafe arasında ilişki kurar. Kütle artarsa, kuv-

vet de artar; ancak, mesafe artarsa, kuvvet azalır. Kütleyle kuvvet arasında doğrusal ilişki vardır. Kütleyi ikiyle çapınca, kuvveti de ikiyle çarpın. Bununla birlikte, mesafe ters kare ilişki adı verilen bir şeye sahiptir. Mesafeyi ikiyle çarpınca, kuvveti dörde bölün.

Tartışma konusu olan denklemlere geri dönelim. İlk bakışta, kütleçekimin kaynağı olarak basıncın varlığı oldukça garip görünüyor. Yıldızları değerlendirirken basıncı, kütleçekime karşı bir kuvvet olarak ele almıştık. Ne var ki, şimdi biraz daha dikkatli ve incelikli olmak zorundayız. Deniz seviyesindeki hava basıncı santimetre kare başına yaklaşık 0,984 kilogramdır. Bu, vücudunuzun her santimetre karesine 0,984 kilogramlık bir ağırlığın bastırması gibidir. İnsan vücudunun dışındaki santimetre karelerin fazlalığı göz önüne alındığında bu değer kulağa çok gelir. Neden bu basıncın altında ezilmiyoruz? Bunun sebebi basınç olarak hissettiğimiz şeyin, mutlak basınç değil basınçtaki değişiklikler olmasıdır. Vücudumuzun içindeki basınç dışımızdakiyle aynıdır, dolayısıyla hiçbir şey hissetmeyiz (uçak kalkarken ve inerken, basıncın tam olarak eşitlenmediği o kısacık zamanlar dışında). Araba tekerleklerinin dayanmasının sebebi tekerleklerin içinde hava basıncı olması değildir, tekerleğin içindeki havanın dışındakinden daha yüksek bir basınca sahip olmasıdır.

Benzer bir şekilde, yıldızın kütleçekime karşı dayanmasının sebebi, içeriğinin basınca sahip olması değildir, yıldızın merkezine yaklaştıkça basıncın artmasıdır. Yıldızı bir arada tutan şey basıncın kendisi değil, bu basınç değişiklikleridir. Bununla birlikte, genel görelilikte kütleçekimin kaynağı olarak davranan şey, basınç değişiklikleri değil basıncın kendisidir. Maddenin

yoğunluğunun kütleçekimin kaynağı olarak davranması, genel göreliliğin Newton'cu kütleçekimden daha karmaşık olduğu açılardan biridir. Güneş Sisteminin zayıf kütleçekim ve yavaş hareket şartlarında, basıncın kütleçekim etkileri, yoğunluğun kütleçekim etkilerinden çok daha küçüklerdir; fakat bir bütün olarak evrenin genişlemesinin öyle olmadığı ortaya çıkmıştır.

Amacımız yoğunluğu hesaplamak olan için, evrenin genişlemesine dair bu iki denklemden hiçbiri bütünüyle tatmin edici değildir. Hubble parametresini ölçüp, karesini yoğunluk ve uzay eğriliğinin birleşimini bulmak için kullanırsak, bunun hangi kısmının yoğunluk hangi kısmının uzay eğriliği olduğunu nereden bileceğiz? Bunu bulmak için bu iki niceliği ayırmamız gereklidir.

Bu ayırma süreci inceliklidir. Matematiksel olarak denklemdeki nicelikler onları ölçmek için başka yöntemler bulunarak ayrılır. Örneğin, $F = GM/r^2$'ye geri dönecek olursak, bir cismin kuvvetinin ne kadarının onu etkileyen cismin kütlesinden ve ne kadarının mesafesinden geldiğini öğrenmek istiyoruz; bu değerlerden bir veya daha fazlasını bağımsız bir yoldan bulabiliyor olmamız gerekir. Paralaksı mesafeyi bulmak için kullanabiliriz örneğin, daha sonra da onu kütleyi belirlemek için kullanabiliriz.

Böylesi bir ayırmayı uzay düz olursa(yani, eğri olmayan), Hubble parametresinin verilen değerinde yoğunluk değerinin ne olacağını çözerek, yoğunluk ve eğrilik arasında ilişki kuran bir denklemle yapabiliriz (veya en azından görmezliğimizin niceliğini belirleyebiliriz). Bu yoğunluğa kritik yoğunluk adı verilir. O zaman, Yunan omega (Ω) harfiyle ifade edilen kritik yoğunluğun gerçek yoğunluğa oranını gösteren niceliği tanımlayabiliriz. Diğer bir deyişle, yoğunluk ve eğriliği ayırmak

için ortada hiç eğrilik olmasaydı, yoğunluğun miktarının ne olacağını çözüp omeganın kritik yoğunluğuna bölünen gerçek yoğunluğun omega olmasını sağlarız. O zaman omega aracılığı ile eğriliği ölçeriz. Uzay eğriliği sıfırsa, o zaman yoğunluk kritik yoğunluğa ve omega 1'e eşit olur.

Hubble parametresi bilindikten sonra, evrendeki maddenin miktarı sorusu "Omega ne kadar büyüktür?" sorusuna dönüşür. Galaksi kümeleri ölçümleri, onların omegası 0,3'e eşit bildiğimiz madde ve kara madde içerdiklerini göstermiştir. Bu nedenle bir bütün olarak evrenin omegasının 0,3'e eşit olduğu dolayısıyla uzay eğriliğinin önemli miktarda olduğu tahmin edilebilir. Ne var ki, sonuçlarından birinde omeganın 1 olduğu enflasyon adı verilen evrenbilimsel bir teori var. Enflasyonun diğer sonuçlarından biri, CMB'nin sıcaklık dalgalanmalarının doğasının tahminidir. Bu tahmin, dikkatli CMB gözlemiyle doğrulanmıştır. Bu, enflsayonun doğrulaması (veya en azından güçlü kanıt) olarak addedilebilir ve omeganın 1'e eşit olduğuna inanmaya da daha yatkın olunabilir. Omega 1 ise, maddenin büyük bir kısmı kümelenmiş ve topak topak olmaktan ziyade evrende eşit oranda dağılmıştır. Bu vakada, galaksilerde kümelenmemiş önemli miktarda madde vardır.

Galaksilerin, galaksi kümelerinin ve boşlukların yakın zamanda yapılmış gözlemlerinin yanı sıra, CMB'nin yakın zamanda yapılmış aşırı hassas gözlemlerinin de evrenin büyük ölçekli yapısını kapsaması, omeganın 1 olduğu ve dolayısıyla evrenin kütlesinin büyük miktarda "kümelenmemiş" bileşeninin var olduğu fikrine, dikkate değer bir desteği ödünç verir. Şeylere bu açıdan bakmak, kara maddenin sadece galaksilerde var olmadığını, galaksiler arasındaki uzayı göreceli düz yapan başka şeylerin var olduğunu söyler.

Yoğunluğu çözmeye çalışma dolambaçlı yönteminden, bir durumda ölçtüğümüz değerle (galaksi kümelerinde omega = 0,3) bağımsız kanıtı (omega = 1) olan bir teoriden çıkardığımız sonuç arasında, başka bir uyuşmazlığa geçmiş oluruz ve neden uyuşmayan iki sonuç elde ettiğimizi gösterecek bilinmeyen başka bir şeyin var olduğu sonucunu çıkarmaya doğru itiliriz.

Bunlardan bir anlam çıkarmaya çalışmak adına diğer denklemi kullanmayı umut edebiliriz: Evrenin genişlemesini kapsayan denklemi. Ne var ki, bu denklemin incelenmesi tuhaf olan başka bir şeyi gösterir. Bu denklem, evrenin genişleme değişiminin oranıyla yoğunluk ve basınç birleşimi arasında ilişki kurar. İlk bakışta, bu denklem de bir öncekiyle aynı zorlukla, bileşenleri ayırma zorluğuyla, karşılaşır gibi geliyor. Evrenin genişlemesinin değişim oranını ölçersek, bunun ne kadarının yoğunlukla ne kadarının basınçla ilgili olacağını nasıl bilebiliriz?

Neyse ki, söz konusu olan parçacıkları ışık hızından çok daha yavaş hareket eden (bu galaksi kümelerindeki hem bildiğimiz madde hem de kara madde için geçerlidir) bir gazsa, bu denklemdeki basıncın katkısı önemsizdir. Evrenbilimcilerin, basıncın önemsiz olacağını ve dolayısıyla basınç sıfır olarak addedildiğinde evrenin genişlemesinin değişim hızının ölçümünün yoğunluk değerini vereceğini varsaymaları doğaldı.

Yoğunlukla evrenin genişlemesinin değişiminin oranı neden birbiriyle ilgili diye merak edebilirsiniz. Bu, bir beysbol topunu havaya attığımızda gerçekleşen şeyleri dikkate aldığımızda görülebilir. Kütleçekim beysbol topunu yavaşlatır dolayısıyla top elinizi terk ettikten sonraki ilk saniyede, elinizi terk ettikten sonraki yarım saniyede olduğundan daha yavaş hare-

ket etmektedir. Kütleçekim onu çektikçe top hız keser. Benzer bir şekilde, her bir cismin üzerindeki başka bir cisim tarafından uygulanan kütleçekimin, evrenin genişlemesini yavaşlatmasını ve sonraki zamanlarda evrenin genişlemesinin başlangıçta olana nazaran daha yavaş olmasını bekleyebiliriz. Yani, evrenin hız kesmesinin söz konusu olmasını bekleriz; ayrıca, yoğunluk ne kadar yüksekse, hız kesme eylemi de o kadar yüksektir (başka nesnelerin fazlalığı şeyleri daha hızlı yavaşlatır).

Bu hız kesme eylemini Hubble parametresini ölçtüğümüz yöntemin aynısıyla ölçeriz; bize çok uzak olan mesafelerdeki cisimlerin mesafelerini ve ivmelerini ölçüp, ivmeye karşılık mesafe çizelgesini oluşturarak. Hatırlayın, ne kadar uzağa bakarsak ışığın bize ulaşması o kadar uzun sürmüştür, dolayısıyla zamanda o kadar geriye bakmış oluruz. Bu erken cisimler, evrenin başka bir oranda genişlediği zamanda görünürler. Cisimlerin mesafe ve ivme çizelgesini oluşturabiliyoruz ve daha uzun mesafe, zamanda daha geriye işaret ettiğine göre, şimdiden uzaklaştığımız ölçüde cisimlerin farklı oranda dağıldığını görebiliriz; birkaç hesaplama yardımıyla bu çizelgeyi genişlemenin değişim oranını çözmek için kullanabiliriz. Evrenbilimciler böylesi bir çizelgenin şeklinin evrenin hız kesmesinin ölçümüne olanak tanıyacağını beklemiş ve daha önce tartışılan denklemlerin yardımıyla evrenin yoğunluğunu ortaya çıkarmanın mümkün olacağını hissetmişlerdir.

Böylesi bir ölçüm 1998'de, High-z Supernova Araştırma Takımı ve Supernova Kozmoloji Projesi adı verilen iki büyük uluslararası gökbilimci takımı tarafından yapılmıştır. Ölçümün sonuçlarına dönmeden önce, nasıl yapıldığına bakalım (üstelediğimiz şeyi biliyorsunuz, "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusu). İvmeler her zamanki gibi Doppler etkisi kullanılarak ölçülmüş-

tür. Peki ya mesafeler nasıl ölçülür? Şimdiye kadar ayrıntılı bir şekilde sadece AB'nin ölçülmesini ve paralaks yöntemi ile yakındaki yıldızların mesafelerinin ölçülmesini değerlendirdik. Bu yöntemin yeteneğinin çok ötesindeki mesafeleri ölçmemiz gerekmektedir.

Kısmen daha uzun mesafeler, küme yöntemi adı verilen yöntemle ölçülebilir. Bu yöntem, perspektif çizimin (üç boyutlu dünyanın iki boyutlu yüzeyde oluşturulması) yok olma noktası adı verilen bir özelliğini kullanır. Üç boyutlu dünyada, paralel çizgiler asla buluşmaz, oysa ki bu paralel çizgilerin sanatçı tarafından yapılmış çiziminde, yüzeyin üzerinde bu çizgiler yok olma noktası adı verilen yerde buluşur. Uzaklara uzanan herhangi bir yolun çizimine bakarsanız, yolun kenarları kaçış noktasında buluşacak şekildedir. Ancak, bu yoldan gerçekten yürürseniz, elbette ki, kenarlar bir araya gelmeyecektir.

Yıldızlar sıklıkla çok sayıda başka yıldızın olduğu ve bu yıldızların tamamının kütleçekimiyle bir arada durduğu kümede belirirler. Kümenin tamamı aynı yönde hareket eder, dolayısıyla gökyüzünün "yüzeyinde" de görüldüğü üzere yok olma noktasına doğru yol alır. Kümenin iki farklı zamanda çekilmiş görüntüsünü alıp, her bir yıldızın önceki konumuyla sonraki konumu arasında bir doğru çizip, daha sonra bu doğruları uzatarak yok olma noktasını bulabiliriz (yıldız manzarası çizmekten hoşlanan sanatçılar için pratik bir yöntem). Bu ölçümlerden, kümenin açısal boyutunu (gökyüzünde ne kadar büyük göründüğünü) ve kaçış noktasına doğru ne kadar hızlı yol aldığını öğreniriz. Ne var ki, bütün perspektif çizimlerinde olduğu gibi ölçeği bilemeyiz. (Perspektif çizimindeki bir cisim ondan iki kat büyük olan ve iki kat uzakta bulunan cisimler aynı boyuttadır.) Ölçeği belirlemek için bir hesaplama daha ye-

terlidir: Kümenin hızının Doppler ölçümü. Bununla ve burada uygulama gereği duymadığımız birkaç hesaplamayla, kümenin gerçek boyutunu ve mesafesini buluruz.

Mesafeyle görünen aydınlatma gücü ve gerçek aydınlatma gücü adı verilen, iki nicelik arasındaki ilişkiye bağlı, başka mesafe ölçüm yöntemleri vardır. "Görünen aydınlatma gücü" cismin bize ne kadar parlak göründüğü anlamına gelmektedir, "mutlak aydınlatma gücü" ise cismin gerçekte ne kadar parlak olduğudur. 100 Watt gücündeki bir ampulün mutlak aydınlatma gücü, bizden ister 30 santimetre, ister binlerce santimetre uzakta olsun aynıdır. Bununla birlikte 30 santimetrede çok daha yüksek görünen aydınlatma gücüne sahiptir; gözlerinize yakın olduğunda kör eder, oysaki çok uzakta olduğunda zar zor görünür.

Amaçlarımız doğrultusunda, (a) herhangi üç nicelikten ikisi verildiğinde (mesafe, görünen aydınlatma gücü ve mutlak aydınlatma gücü) üçüncüsünü ölçebiliyor olmamız; (b) teleskopların görünen aydınlatma gücünü ölçen cihazlar olması (çünkü cismin parlaklığını, onunla teleskop arasındaki mesafede gösterirler) önemlidir. Bu nedenle, teleskopta gördüğümüz herhangi bir cisim söz konusuysa, mesafesini bir şekilde bulduğumuz bu cismin mutlak aydınlatma gücünü de bulabiliriz ve mutlak aydınlatma gücünü biliyorsak, mesafesini de bulabiliriz. Bu iki olgu gökbilimcilerin standart mum adı verdikleri birimi bulmalarına ve onunla muazzam mesafeler ölçmelerine olanak tanımıştır.

Bu süreç şöyle işler: Gökbilimciler öncelikle, mesafeleri paralaksla veya hareketli küme yöntemiyle ölçülen yıldızları incelerler. Mesafe ve teleskobun ölçtüğü görünen aydınlatma gücünün yardımıyla, bu yıldızların mutlak aydınlatma güçleri

bulunur. Bu yıldızların arasından gökbilimcilerin (a) çok parlak olanları ve (b) benzeri yıldızlardan ayrıt edilebilecek başka bir özelliğe, mutlak aydınlatma güçleriyle alakalı bir özelliğe sahip olanları bulmaları gerekir. İlk özellik, yıldızın uzak mesafede teleskopta görülebilmesi için gereklidir. İkinci özellik, böylesi benzer bir yıldız çok daha uzak bir mesafede görüldüğünde mutlak aydınlatma gücünün bilinmesi ve dolayısıyla (görünen aydınlatma gücünün teleskop ölçümünün yardımıyla) mesafesinin anlaşılabilmesi için gereklidir.

Bu sonuncusunun küçük bir açıklamaya ihtiyacı var. Aynı türden iki yıldızın (aynı kütle, yaş vesaire) aynı bileşeni aynı hızda yakmaları sebebi ile temelde aynı aydınlatma gücüne sahip olacağını hatırlayın. Bir yıldızın temelde başka bir yıldızla aynı olduğunu tanımlayabilirsek, aydınlatma gücünü aynı olarak belirleyebilir, sonrasında görünen aydınlatma gücüyle birleştirerek ona olan mesafeyi çözebiliriz.

Hubble'ın galaksilere olan mesafeyi bulmak için kullandığı standart mumlar değişken yıldızlardır. Değişken yıldızın, parlaklığı sabit olmayan bir yıldız olduğunu hatırlayın; daha parlak, sonra daha sönük, sonra daha parlak, sonra daha sönük olarak sürekli devam eden düzene sahiptir. Değişken yıldızlar çok parlaktır ve değişken yıldızın periyoduyla (ardışık iki parlama arasında geçen süre) yıldızın mutlak parlaklığı arasında bir ilişki vardır. Bunun anlamı, başka bir galakside görünen değişken yıldızın periyodunun ve görünen parlaklığının teleskop aracılığı ile ölçülebilindiği; bunlara dayanarak mesafesi ve dolayısıyla yıldızın bulunduğu galaksinin mesafesinin de ortaya çıkarılabilindiğidir.

Bir galaksiye olan mesafe öğrenildi mi, o galaksideki bütün cisimlerin mesafesi de öğrenilmiş olur. Galaksideki herhangi

bir cisim (veya galaksinin kendisi bile) değişken yıldızdan daha parlak bir standart mum olmaya uygunsa, o zaman daha uzak mesafeleri ölçmek için kullanılabilir. Bu, hep daha parlak standart mumlar kullanılarak daha büyük mesafelere doğru adım adım yükselme yöntemine, kozmik uzaklık merdiveni adı verilir.

Mevcut araştırmamız doğrultusunda en önemli standart mumlar, tip Ia süpernovalar adı verilen cisimlerdir. (Süpernovaların çoğuluna supernovae adı verilir, kim demiş Latince ölü bir dil diye?) Bu süpernovalar önceki bölümde tartıştığımız, tam isimleri tip II süpernovalar olan nötron yıldızlarının ve karadeliklerin öncüsü süpernovalardan farklıdırlar. Bu gizemli gösterim ve ona eşlik eden karışıklık, saptanan evrenden gelir. Saptanan evrenin terim dizgesinin, cisimlerin ne olduklarından ziyade bize nasıl göründükleriyle ilgili olduğunu hatırlayın. Nötron yıldızları ve pulsarlar örneğinde gördüğümüz üzere saptanan evrenin terim dizgesi gerçekte aynı olup, bize farklı görünen şeylere farklı isimler vererek karışıklık yaratabilir. Buna karşın, çok farklı olup bize aynı görünen şeyler konusunda saptanan evrenin terim dizgesi aynı veya benzer bir isim kullanarak daha da büyük bir karışıklık yaratabilir.

Bu sınıflama sürecine dair iyi bir örnek, insanların böcek dünyasını öğrenirken gittikleri ortak yoldan elde edilebilir. Çoğunlukla geniş bir grup için kullanılan "nahoş ürpertici-sürünen şeyler" gibi naif bir terimle başlanır. Biraz araştırdıktan sonra "nahoş ürpertici-sürünen şeyler" arasında bacağı olan ve olmayanların olduğuna dikkat edilebilir. O zaman bu kategori "haşereler" ve "kurtlar" olmak üzere ikiye ayrılabilir. Böcekleri ele alırken, bazılarının altı (böcek) ve bazılarının sekiz bacağa (örümcekler/araknidalar) sahip olduğu görülebilir. Bu durum-

da, ya tatmin olmuş bir şekilde emekliye ayrılınır ya da böcek-bilimin derinliklerine girilir.

Böceklerden yıldızlara dönelim. Süpernova bir yıldız patlamasıdır. Bu isim kısmen Latincede yeni anlamına gelen bir kelimeden türemiştir çünkü normalde görülemeyecek kadar sönük bir yıldızın parlaklığında patlamadan dolayı muazzam bir artış olur ve yıldız kolaylılıkla görülebilir olur. Daha önce hiç yıldız görülmeyen bir yerde "yeni" bir yıldız görülür. Yıldızın varoluşu yeni değildir oysaki görünümü yenidir. Gözlemciler farklı tipteki yıldız patlamalarını, spektralarını inceleyerek ayırt edebiliyorlar, çünkü patlayan yıldızların farklı kimyasal içerikleri vardır. Spektra, geniş bir grupta hidrojen çizgilerinin eksik olduğu tip I ve hidrojen çizgilerinin mevcut olduğu tip II olarak ayırt edilebilir (yukarıdaki böcek örneğindeki altı ve sekiz ayak). Tip I spektrasının daha ileri ayrımı tip Ia, Ib ve Ic (karıncalar, arılar, kınkanatlılar; böcek eğretilemesini burada durduruyoruz) sınıflandırmalarına götürür. Tip II süpernova, demir çekirdeğin çökmesi sonucunda oluşan bir yıldız patlamasıdır. Yıldızın kılıfında bol miktarda hidrojen olduğu için patlama spektrumunda hidrojen çizgiler bulunur.

Bu durumda tip Ia süpernovasının, hidrojen barındırmayan bir tür yıldızın patlaması olması gerekir. Bu nedir? Ayrıca da neden patlar? Saptamalar, tip Ia süpernovasının ikili yıldız sisteminde bulunan bir beyaz cüce olduğunu kesinleştirmiştir. Beyaz cüce, yol arkadaşından aldığı maddeyi yığar ve er geç yığılan madde onun Chandrasekhar sınırına sürüklenmesi için yeterli olur. Beyaz cüce çoğunlukla karbon ve oksijenden oluşur. Chandrasekhar sınırına yaklaştığında, kütleçekimi çökmesine neden olur. Bu çökme, yıldızı parçalarına ayıran ani ve tam nükleer füzyon noktasına kadar beyaz cücenin içeriğini

ısıtır. Bildiğimiz yıldızların büyük ve yavaş füzyon reaktörler olmaları gibi, tip Ia süpernova, ortalama bir yıldızın hayatı boyunca ürettiği enerjiden daha fazlasını ortaya çıkaran büyük füzyon bir bombadır.

Bu nedenle, tip Ia süpernova standart mumun bir kıstasını karşılar: Çok parlaktır ve dolayısıyla muazzam uzun mesafelerde görülebilir. Bununla birlikte diğer kıstası da karşılar: Bütün tip Ia süpernovalar neredeyse aynı aydınlatma gücüne sahiplerdir. Benzerliğin sebebi tip Ia süpernovanın, basitçe kütlesi Chandrasekhar sınırındaki bir beyaz cücenin patlaması olmasıdır. Birazcık aşırı sadeleştirme adına söyleyebiliriz ki, tip Ia süpernovalar aynıdırlar çünkü etkin bir biçimde aynı malzemeyle ve aynı kütleyle başlayan aynı tür yıldız patlamasıdırlar ve dolayısıyla neredeyse aynı parlaklığa sahiplerdir. Niteleyici neredeyse sözcüğünün sebebi tip Ia süpernovalarının çok az farklılaşmaları ve bu çok az farklılığın mutlak aydınlatma güçlerinde olmasıdır. Her şeye rağmen, bu parlaklık farklılığıyla bağlantılı yeterli sayıda patlama özelliği saptanabilir ve tip Ia süpernovaların gözlemlerinin mutlak aydınlatma gücünün kesinleştirilmesi için hesaba katılabilirdir. Doğaları gereği parlak ve tek biçimli olan tip Ia süpernovalar standart mum olarak kusursuzdurlar.

12. Bölüm

Kara Enerji, Karşı Kütleçekim ve Einstein'ın Hatası

Bakmaları gereken her ne ise onun konumunu ve hızını saptama araçlarıyla kuşanmış, evrenin hız kaybetmesinin ölçümünü yapma beklentisindeki uluslararası gökbilimci takımı 1998'de uzak galaksilerdeki pek çok tip Ia süpernovanın gözlemini, hızı Doppler etkisiyle ve mesafeyi süpernovaların standart mum olarak kullanıldığı yöntemle bularak, yapmıştır. Bu sayede, istenen mesafe ve hız serpme çizimini yapabilmiş ve evren genişlemesi hesaplamalarını gerçekleştirebilmişlerdir (bu asıl yapmak istedikleri şeydi; bazen böylesi şeyleri çözebilmek için pek çok yan yola ve patikaya başvurmak gerekir). Onları (ve geri kalan herkesi) büyük şaşkınlığa uğratsa da, hız kesme yerine hızlanma bulmuşlardır. Evrenin genişlemesi hızlanmaktadır.

İlk bakışta bu kulağa çok kötü gelmez. Sonuçta ilgili denklem hem yoğunluğa hem de basınca bağlıydı ve hız kesme beklentisi basıncın göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğu

görüşüne dayanmaktaydı. Oralarda bir miktarda mevcut basınç olsa gerekti. Ne var ki, pozitif basınca bağlı kütleçekimin de hız kesmeye neden olduğu ortaya çıkmıştır. Oralarda hızlanmanın var olmasının tek yolu, çok büyük *negatif* basınca sahip bir maddenin buna sebep olmasıdır. Dahası, kütleçekim hız kesmeye sebep olduğuna göre, hızlanma eylemini sadece kütleçekimsel açıdan itici olması gereken bir tür maddeden alabiliriz. Evrenin hızlanmasına sebep olan her ne ise, güçlü negatif basınca sahiptir ve kütleçekimsel itişe sebebiyet verir.

Şimdi, karşı kütleçekim bilimkurgunun başlıca öğesi olsa da, maddenin hakikati açısından 1998 süpernova gözlemleri öncesine kadar böylesi bir şeyin var olması için bir sebep olmamıştır. (Tesadüfen, karşı kütleçekim için kullanılan ilk terim, bu terim bilimden mizah seviyesine yükselmiş veya düşmüş olsa da, "hafiflik" olmuştur.) Newton bütün cisimlerin, sahip oldukları kütle miktarında diğer bütün cisimleri çektiğini söylemiştir. Varsayım, kütleçekimin cisimleri her zaman birbirlerine doğru çektiği üzerineydi (örneğin, elektrik yüklerinin birbirlerini ittikleri elektromanyetik kuvvetin aksine). Bu nedenle, negatif basınca ve kütleçekime sahip bu neşeli şey her neyse, daha önce hiç karşılaşmadığımız başka bir madde türüdür.

Fizikçiler bu maddeye kara madde adını vermez çünkü kara madde her ne olsa da görünen o ki göz ardı edilebilecek bir basınca ve dolayısıyla kütleçekimsel çekime sahiptir. Bunun yerine bu şeye kara enerji adı verirler. Kara enerji her neyse, ondan çok fazla miktarda var. Omega 1'e eşitse, baryonik maddenin sadece 0,3'lük omegaya sahip olması kara enerjiyle toplandığında, kara enerjinin omegası 0,7 olur. Diğer bir deyişle, kara enerji her ne ise, evrende geri kalan her şeyin toplamından daha fazla miktarda ondan vardır.

Son birkaç bölümde, bildiğimiz türden maddenin (baryonik madde) öneminin yerini öncelikle kara maddeye (budan çok daha fazla miktarda vardır) ve sonrasında kara enerjiye (bundan daha da fazla miktarda vardır) bıraktığını görmüş olduk. Bu, doğası gereği benmerkezci olan bakış açılarımızın bilim tarafından altüst edildiği ilk durum değildir. Dünya'nın Güneş Sisteminin merkezi olmadığı keşfi, sonrasında gelen Güneş Sisteminin diğer pek çok güneş ve gezegen sistemlerinden sadece biri olduğu keşfi ve sonrasında Samanyolu'nun yine çok büyük kalabalık oluşturan galaksilerden sadece biri olduğunun anlaşılması bir parça sarsıntıya sebep olmuş olabilir. Ne var ki, bu iyi bir sarsıntıdır; her şeyin bizim çevremizde dönmediğini hatırlatır bize. Diğer taraftan, görelilik karşı duyguyu vermesi için kullanılabilir. Evrenin tamamının merkezi her birimizmiş gibi görülebilir. Yeterince tuhaf bir şekilde, bu paragraf bilimin ne olduğuyla pek ilgili değildir, büyük ölçüde bilimin bize kendimizi anlatmak için kullanımıyla ilgilidir. Ne var ki bu bilim, insanının bilimi kullanma şekli değildir; bir yazarın kullanıma şeklidir. Yazarlar, sadece bilimkurgu yazarları değil, bilime benzetme kaynağı olarak başvururlar. Bu oldukça kullanışlı fakat başvurulan bilim açısından ender olarak dakiktir. Son bölümde bu konuyu biraz daha ayrıntılı tartışacağız.

Evrendeki tuhaf şeye geri dönelim. Kara enerji ayrıcalıklı bir fikirdir, keşfi evrenbilimde evrenin yaşıyla ilgili bir kriz olmakla tehdit eden bir şeyi çözmüştür. Evrenin yaşına dair ilk tahminin, 1'in Hubble parametresine bölümünün karşılığı olan 14 milyar yıl olduğunu hatırlayın. Bu kaba bir tahmindir çünkü H'nin zaman içinde değiştiğini dikkate almaz. Omeganın 1'e eşit olduğu, sadece bildiğimiz madde ve kara madde içeren bir evrenin hız kesmesinin kullanılmasıyla elde edilen

daha incelikli bir tahmin 14 milyarın sadece üçte ikisine, 9 milyar yıla götürür. Bu rahatsız edicidir, çünkü gökbilimciler küresel küme adı verilen kümelerde bulunan en yaşlı bazı yıldızların yaşlarını tahmin edebiliyorlar ve görünen o ki, bu yıldızlar 9 milyar yıldan biraz daha yaşlılar. Gökbilimcilerin evrenin, içindeki yıldızlardan daha genç olduğunu iddia etmeleri gerçekten de utanç verici olurdu.

Süpernovaların ölçümlerinden hemen önce, Hubble parametresinin tahmini değeri ile en yaşlı yıldızların yaşı için küresel kümelerin kullanımına dair yeterince belirsizlik vardı ve hiç kimse emin bir şekilde çeliştiklerini söyleyemezdi; fakat herhangi birinde elde edilecek biraz daha fazla dakikliğin kesinlikle çelişkiye götüreceği bir çarpışma rotası üzerindeymiş gibi görünüyorlardı. Kara enerji bu meselenin tamamının ortadan kalkmasına neden oldu. Çünkü evren hız kesmeden ziyade hızlanma eylemindeyse, evrenin yaşının tahmini büyük ölçüde değişir. Evrenin güncel tahmini yaşı, yaklaşık 13,7 milyar yıl, herhangi bir yıldızın tahmini yaşından rahatlamamıza yetecek kadar fazladır.

Yardımcı olmakla birlikte kara enerji son derece gariptir, o kadar gariptir ki, fizikçilerden oluşan küçük bir ordunun kara enerji olacak kadar garip bir madde türü düşünmek için gece gündüz çalıştığını düşünebilirsiniz. Çalışıyorlar da, ancak Einsteinın 1917'de böylesi bir maddeyi düşündüğünü öğrenmek sizin için şaşırtıcı olabilir. Einstein, çözümü Newton'un aklına gelmeyen bir meseleyi ele almakla başlamıştır: Maddenin aynı yoğunlukta eşit olarak her yere dağıldığı bir evrenin davranışı. Newton'cu kütleçekimde, her bir parça madde, diğer bütün maddelerin kütleçekim kuvvetine karşılık olacak şekilde davranır. Herhangi bir parça maddeye uygulanan toplam kuvveti

elde etmek için, diğer parçalarla bağlantılı bütün kuvvetlerin toplanması gerekir; yani sonsuz toplam bulunmak zorundadır. Sonsuz toplam başa çıkılmaz bir problem olmak zorunda değildir. Matematikteki standart sonuç 1 + ½ + ¼ + ⅛ + 1/16 vesaire işleminin, 2'ye kadar olan sonsuz toplamıdır.

Sonsuz toplamların, görünüşte küçük olanların bile, sonsuza kadar toplandığını dikkate alın. 1 + ½ + ⅓ + ¼ + ⅕ ve benzeri sonsuzdur. Hem pozitif hem de negatif işarete sahip sayıların da - 1 + 1 - 1 + 1 - 1 ve benzeri gibi kesin bir cevap alamadığımız sonsuz toplamı vardır. Sayıların nasıl gruplandığına bağlı olarak cevabın 0 ([1 - 1] + [1 - 1] + [1 - 1] . . . gruplamasını kullanarak) veya 1 (1 + [-1 + 1] + [-1 + 1] + [-1 + 1] . . . gruplamasını kullanarak) veya seçtiğiniz herhangi başka bir sayı gibi görünmesini sağlayabilirsiniz. Sonsuz toplamın bir anlam ifade etmesi için toplanan sayıların yeterince hızlı küçülmesi gerekir. Bunun için kullanılan matematik terimi yaklaşıklıktır.

Sonsuz evrendeki maddeye bağlı kütleçekim kuvvetlerinin sonsuz toplamın anlam ifade etmesi için yeteri kadar hızlı bir şekilde küçülmediği ortaya çıkmıştır. Newton'un toplamının hem pozitif hem de negatif sayıları vardır. Cevabın 0 olarak göründüğü (Newton'un tercih ettiği) bir sayı gruplaması var; fakat cevabın başka türlü görüneceği başka gruplamalar da vardır. Artık, sonsuz toplamın modern bilgisine dayanarak biliyoruz ki, Newton'un sorduğu maddenin eşit olarak dağıldığı ve eşit yoğunluğa sahip olduğu bir evrenin davranışı sorusunun basitçe bir cevabı yoktur. Ne var ki, Newton bu hesaplamayı sonsuz toplamların bu özelliklerinin henüz çalışılmadığı bir zamanda yapmıştır ve bütün kuvvetlerin birbirlerini etkisiz hale getirmesi sonucunda maddenin hiç hareket etmeyeceğini düşünerek yanılmıştır.

Einstein kendi Genel Görelilik Teorisinin Newton'cu kütleçekimin aksine eğri uzay olasılığına, bilhassa uzayın tutarının sonlu olması için yeterince eğri bir uzaya izin verdiğine dikkat etmiştir. Einstein'ın dikkate aldığı bu belirli uzaya üç küre adı verilir. Üç küreyi anlamak için, (matematikte iki küre adı verilen) bildiğimiz küre üzerinde yaşayan birini hayal edin. Yani, birinin bir topun üzerinde yaşadığını ve hangi yöne giderse gitsin (kuzey, güney, doğu veya batı) er geç aynı noktaya döneceğini hayal edin. Tuhaf bir yaşam şekli, değil mi? Üç küreyi elde etmek için, yukarı ve aşağının da kuzey, güney, doğu ve batı gibi davrandığını hayal edin. Yolun sonuna kadar yukarı veya aşağıya doğru hareket edin ve sonuçta başladığınız yere dönmüş olacaksınız. Diğer bir deyişle, üç küre hangi yöne giderseniz gidin er geç yola çıktığınız noktaya döneceğiniz bir evrendir. Böylesi bir evren, sadece sonlu miktarda madde barındırabilir çünkü onu barındırabileceği uzay sonludur; dolayısıyla Newton'un sonsuz diziler problemi baş göstermez.

Newton gibi Einstein da, bu üç küre evreninde tekbiçimli yoğunluk ve kütleçekim probleminin cevabının, herhangi bir madde üzerinde net bir kuvvet uygulanmadığı ve dolayısıyla evrendeki hiçbir maddenin hareket etmeyeceği şekilde olacağını düşünmüştür. Ne var ki bu cevap, Einstein'ın kendisine ait genel görelilik alan denklemleriyle uyumlu olmamıştır. Aradığı cevabı elde etmek için Einstein denklemi yeni bir sayı, evrenbilim sabiti, ekleyerek değiştirmiştir. Evrenbilim sabitinin "karşı kütleçekimi" maddenin kütleçekimini etkisiz hale getirerek, Einstein'ın üç küre evrenindeki maddenin hareketsiz olmasına izin vermiştir.

Bu, Einstein'ın dikkate aldığı problemi çözmemiştir, çünkü kütleçekimle karşı kütleçekim arasındaki denge oldukça

hassastır. Ortada hiç kuvvet olmaması için, madde yoğunluğunun tam olarak evrenbilim sabitini dengelemek için gerekli değerde olması gerekir. Madde yoğunluğu azıcık bir miktarda bile daha küçük olursa, evren sonsuza kadar genişleyecektir ve madde yoğunluğu azıcık bir miktarda bile daha fazla olursa, o zaman evren Büyük Çöküşle çökecektir.

Daha da önemlisi, Einstein'ın evrenbilim sabiti önermesinden yıllar sonra Hubble'ın bulduğu üzere, evren genişlemeye *devam etmektedir*. Hubble'ın evrenin genişlemesini keşfi duyurulduktan sonra Einstein, evrenbilim sabiti teorisinin yanlış olduğunu fark etmiş ve evrenbilim sabitinin olmadığı asıl genel görelik modeline dönmüştür. Sonrasında Einstein, evrenbilim sabitinin en büyük hatası olduğunu söylemiştir.

Burada hata, yanılmış olmaktan ziyade kaçırılmış kocaman bir fırsattan oluşmaktadır. Evrenin genişlemesi, evrenbilim sabiti var olmadan genel göreliliğin bir sonucudur. Einstein bu genişlemeyi gökbilimciler tarafından keşfedilmeden yıllar önce tahmin etme fırsatına sahip olmuştur. Onun yerine, ürkütücü bir tahminden kurtulmak için teorisini değiştirmiştir. Bazı insanlar teorilerini aşırı derecede ciddiye alırken, görünüşe göre Einstein teorisini yeteri kadar ciddiye almamıştır. Belki de evrenin genişlemesi fikriyle aklı rahat etmemiştir ve daha rahat görünen bir yolu tercih etmiştir. En büyük dahiler bile bazı şeylerin nasıl olması gerektiğine dair hislerine dayanarak hata yapabilirler.

İşe bakın ki Einstein, evrenbilim sabitini kendi çalışmalarının anlaşılmasının önüne geçen amaca özel bir şekilde tanıtmış olsa da, sonrasında böylesi bir evrenbilim sabitinin parçacık fizikçilerinin boşluk (önceki tartışmalardan hatırlayacağınız üzere gerçekten de garip bir yer) teorilerinin doğal sonucu olduğu bulunmuştur.

Daha önce tartıştığımız üzere kuantum mekaniği, her bir parçacığın çeşitli enerji durumlarında var olabileceğini ve bu durumların en düşüğünün taban durum olduğunu belirtir. Parçacıkların bir araya toplanması olarak atom da en düşük enerji düzeyi durumuna, atomun taban durumu denir. Atomlar için "Taban durumun enerjisi nedir?" sorusunu sormak doğaldır. Hidrojen için elektronun 13,6 volt geriliminden aldığı enerjinin çıkarılmasına eşittir (yani, eksi 13,6 elektron volt; elektron volt, atom ölçeği için yeterli küçüklükte enerji birimdir). Boşluk için, uzayın her yerine "yayıldığı" şekliyle, enerji yoğunluğunun (hacim birim başına enerji) taban durumunu tespit etmek istiyoruz. Paradoksal olarak boşluğun gerçekte boş olmadığını, onun yerine ansızın var olup yok olan hayali parçacık çiftlerinden oluştuğunu hatırlayın. Dolayısıyla "Boşluğun enerji yoğunluğu nedir?" sorusu aşikâr sıfır cevabına sahip olmayabilir.

Göreliliğe göre temel fiziğin hızdan ve gözlemciden bağımsız olduğunu hatırlayın; evren onun ölçümünü yapanın nasıl hareket ettiğinden bağımsız olarak aynı şekilde işler. Boşluğun taban durumu da bu özelliğe sahipse, o zaman bütün gözlemcilerine hızlarından bağımsız olarak aynı şekilde görünmesi gerekir. Boşluğun bir enerjisi varsa, o zaman bütün gözlemcilere aynı görünmesi için bu enerjiye negatif basınç eşlik etmek zorundadır. Bu, tam olarak bizim aradığımız türde tekbiçimli negatif basınçtır. Özel göreliliğin matematiği kullanılarak boşluğun tam olarak Einstein'ın evrenbilim sabiti gibi davranmak zorunda olduğu saptanabilir. Ne yazık ki bu teoriler, o sabitin ne kadar büyük olacağını bize söylemiyor, bu nedenle bunlara dayanarak boşluğun kendisinin kara enerji olduğunu saptaya-

mıyoruz. Ne var ki, bu evrenbilim sabitinin boşluğun enerji yoğunluğu olarak kavranması "kara enerji" adını ortaya atmıştır.

Evrenbilim sabitinin karşı kütleçekim özellikleri, değerlerin doğru olduğunu varsayarsak, tam olarak evrenin gözlemlenen genişlemesini üretmek için gerekli şeylerdir. Parçacık fiziği evrenbilim sabitinin boyutunu tahmin etmese de, bu boyuta dair bir tahminde bulunmak için boyutsal çözümlemeyi kullanabiliriz. İçindekiler Newton'un kütleçekim sabiti G, ışık hızı c ve ışık dalgasının frekansıyla ona karşılık gelen fotonun enerjisi arasındaki bağlantıyı veren Planck sabiti h olacaktır. (Planck sabiti kuantum mekaniğinde hayati bir niceliktir.) G, c ve h'nin enerji yoğunluğu birimlerine sahip tam olarak tek bir birleşimi var, bu nedenle evrenbilim sabitinin bu değere sahip olduğu tahmininde bulunabiliriz.

Ne yazık ki, bu değerin gözlemlenen kara enerji yoğunluğunun yaklaşık 10^{120} katı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu, muhtemelen fizik tarihindeki en gösterişli boyutsal çözümleme başarısızlığıdır. Kitabın önceki bir bölümünde, boyutsal çözümlemeyi karadeliğin Schwarzschild yarıçapı formülünü açıklamak için kullandık. Boyutsal çözümleme fiziğin çok genel ve oldukça güçlü bir aracıdır. Sadece fiziksel niceliklere dair tahminler verse de, genelde bu tahminler asıl değerlere nazaran göze çarpan bir farklılığa sahip olmazlar; ilgili fiziğin sonucu belirleyecek öneme sahip bir parçasının doğru şekilde anlaşılmama ve dolayısıyla boyutsal çözümleme hesaplamasına doğru bir şekilde uygulanmama durumu *olmadıkça*. Kara enerji durumunda, boyutsal çözümlemenin gösterişli başarısızlığı kara enerji fiziğinin önemli bir parçasını henüz anlayamadığımıza işaret eder.

Kara enerji gözleminden önce, parçacık fizikçilerinin çoğu evrenbilim sabitinin sıfır olduğunu ve bu değerin sıfır olmasının sebebinin bulunmasının parçacık fizikçilerinin görevi olduğunu düşünmüşlerdir. Hem üstün matematik hem de üstün yazı yeteneğine sahip bir teorik fizikçi Sidney Coleman, 1988'de "Neden Bir Şey Yerine Hiçbir Şey Var: Evrenbilim Sabiti Teorisi" adında bir makale bile yazmıştır.

Şimdi görünen o ki görev, ya saptanan evrenbilim sabitinin neden aşırı derecede küçük bir değerde (boyutsal çözümleme açısından, aşırı derecede küçük bir değerdir) olduğunu açıklamak ya da evrenbilim sabitinden farklı bir kara enerji teorisini bulmaktır. Çeşitli benzer teoriler sunulmuştur, fakat onlardan herhangi birinin diğerlerinden veya basit evrenbilim sabitinden daha makul olup olmadığı açık değildir.

Kara madde soruşturmasına çok sayıda olağan şüpheliyle (şu anda hepsi elenmiştir) başlarken, kara enerjinin sadece bir tanesiyle başladığına dikkatinizi çekeriz: Evrenbilim sabiti/boşluk enerjisi. Bilimde araştırmaya tek bir şüpheliyle başlamak, suçlu soruşturmasına tek şüpheliyle başlamaktan çok daha tehlikelidir. Bu nedenle, "olağanüstü şüphelileri yukarı doğru yuvarlamaya" dair teorik denemeler kabul edilirdirler ve yapılmaktadırlar.

Güncel (baryonik madde, kara madde ve kara enerjiden oluşan) evren bize bazı gizemli rastlantılar sunar. Birinci rastlantı, bildiğimiz madde ve kara madde karşılaştırması ile ilgilidir. Baryonun fotona oranının yaklaşık milyarda birin yarısı olduğunu hatırlayın. Bunun anlamı her 2 milyar foton için 1 baryonun var olduğudur. Bu baryon yaratılışa (baryogenesis) (evrenin erken tarihindeki baryon üretimi) dair herhangi bir teorinin bu küçük miktarı hesaba katması gerekir. Benzer bir

şekilde, kara madde parçacığının fotona oranı olan başka çok küçük bir sayı daha olmak zorundadır ve kara maddeye dair herhangi bir teorinin de bu küçük sayıyı dikkate alması gerekir.

Hâlihazırda, kara madde baryonik maddeden yedi kat daha yoğundur. Ne var ki, hem kara madde hem de baryonik madde yoğunlukları evrenin genişlemesiyle aynı şekilde değiştiğine göre, kara madde yoğunluğunun baryonik madde yoğunluğuna bu oranı, evrenin tarihinin neredeyse tamamı boyunca aynı şekilde yedi olmuştur. Bu iki son derece küçük sayının (baryonun fotona ve kara maddenin fotona oranları) oldukça farklı iki süreci nitelendirmesi, şu anda bir şekilde, birbirlerinden çok uzak olmayan yoğunluklar sonucunu vermiştir. Kara madde her ne ise, neden ondan baryonik maddeden tam olarak yedi kat daha fazla miktarda var; her ikisinden çok daha fazla miktarda foton olmasına rağmen? Bu sadece hiçbir açıklaması olmayan bir rastlantı olabilir. Ne var ki, baryonik maddenin ve kara maddenin biçimlenmesine dair herhangi bir teorinin, kara ve baryonik madde arasındaki gizli bir tür ahenge işaret ederek, bu rastlantıyı açıklayacak olması da makul görünüyor.

Kara madde ile kara enerji yoğunluklarının karşılaştırmasından farklı bir tür rastlantı ortaya çıkar. Hâlihazırda kara enerji, kara madde yoğunluğunun iki katından biraz fazla bir yoğunluğa sahiptir. Şimdi kara enerjinin evrenbilim sabiti olduğunu varsayın. O zaman kara enerjinin yoğunluğu değişmez. Ne var ki, evrenin genişlemesi kara madde parçacıklarını seyreltir ve yoğunluklarının azalmasına sebep olur. Er geç evren, kara madde (ve baryonik madde) yoğunluğunun kara enerji yoğunluğunun çok küçük bir kesri olmasına yetecek kadar genişleyecektir. Buna karşılık, erken tarihte, kara enerji yoğunluğu kara madde yoğunluğunun çok küçük bir kes-

ri olmuştur. Bu nedenle görünen o ki, evrenin tarihinde çok özel bir zamanda, ne kara maddenin ne kara enerjinin göz ardı edilemeyeceği bir devirde yaşıyoruz. Burada da söylediklerimiz sadece açıklaması olmayan bir rastlantı olabilir; fakat bu rastlantıyı açıklayan bir kara enerji teorisinin bulunacağına dair kesinlikle ümitli de olabiliriz.

Yukarıdaki paragraflar teorik fiziğin derinliklerinde süren düşünce türüne dair ipuçları taşırlar. Teoriler yaratılırken, teorisyenler teorinin neyi dikkate alacağını ayırt etmeyi denemek zorundadırlar. Parçacık fiziği teorisi, atomları dikkate almak zorundadır; fakat örneğin, lamaların koyunlara karşı davranışıyla ilgilenmesi gerekmez. Kara enerji gibi başa çıkılması zor bir şeye dair teori bulmaya çalışırken, bilim insanları bu alanda evrenin hangi özelliklerinin açıklanması gerektiğini bulmak ve onu açıklayacak teorik yapıyı kurmak zorundadırlar.

Ne var ki, evrenbilimciler kara madde ve kara enerjiye dair teorileri yaratmaya ve keşfetmeye devam etseler de, sonunda bu konuların teorik değil de saptanan evrende açıklığa kavuşma olasılığı daha yüksektir. Dolaysız kara madde arayışları devam etmektedir. Kara enerji parçacıklarını saptarlarsa bu, bize kara maddenin özelliklerine dair gerekli bilgiyi verecektir. Benzer bir şekilde, evrenin genişlemesinin tarihiyle ilgili daha ayrıntılı çalışmalar, evrenin hızlanma eylemine dair daha fazla bilgiyle sonuçlanacaktır. Bu bilgi, kara enerjinin özelliklerini bulmak için, bilhassa evrenbilim sabiti olup olmadığını görmek adına kullanılabilir.

Bu bölümün konusu kesinlikle bilinmeyen fizikti, fakat aslında kısmen öyledir. Kara madde ve kara enerji teorilerinin bazıları az çok tartışmalı olsa da, bu cisimlerin var olduğu olgusu öyle değildir. Bu, kara madde ve kara enerjiyi fiziğin

sınırlarındaki diğer tuhaf alanlardan bir parça daha farklı kılıyor. Mark Twain bugün hayatta olsaydı, süpersicimleri ve ek boyutları, teorisyenlerin aşırı aktif hayal güçlerinin ürünleri olarak reddedebilirdi. Ne var ki, kara madde ve kara enerji bu şekilde arzu üzerine yok edilemez. Varlıkları, bildiğimiz baryonik madde olamayacakları olgusu gibi, saptanan ve teorik evrenlerin yöntemleriyle sağlam bir temel üzerinde kurulmuştur. Kara madde ve kara enerjinin doğasına dair arayış zamanımızın en heyecan verici sorularından biridir. Cevap, bir sonraki yüzyıl dönümünden önce bulunursa, yirmi birinci yüzyıl fiziğinin zaferi olarak kabul edilecektir.

Üç katmanlı evrenimizin çalışma sınırına, inşaatın devam ettiği yere ulaşmış bulunuyoruz. Daha önce uyardığımız gibi bu bölüm daha az bilgiye ve daha çok bilgi yaratılırken ortaya çıkan gürültüye sahiptir. Bazılarınız bilim kitabının bilgiyi bulma yöntemiyle ilgili değil de, bilinenlerle ilgili olması gerektiği konusunda şikâyetçi olabilir. Ne var ki, bir sonraki bölümümüzde ilerledikçe, bilim apartmanının alt katlarında yaşıyor olsak da yaratımın gürültüsünün aşağılara kadar ulaştığı daha açık bir şekilde görülecektir. Alt katlarda yaşayanlar gürültünün sebebini öğrenmek zorundadır, çünkü bazen hayatlarımız çekicin vurduğu çivi olur.

Şimdi durduğumuz yerde başlayacağız: Evrenin sınırından, başlayacağımız yer olan Dünya'ya geri düşeceğiz.

Geriye, Dünya'ya Doğru Bir Adım



Uzaydan Görünen Dünya. NASA, 2007

13. Bölüm

Yol Haritaları

Cezp edici olsa da, evrenin sınırında bırakmayı düşünmüyoruz. Bu, birini ülkenin diğer ucuna kadar götürüp, orada "Eve dönüş yolunu kendin bul" diyerek bırakıp gitmek gibi olurdu. Bu kitabın başında gidiş dönüş yolculuğu sözü vermiştik ve sözümüzü tutma niyetindeyiz, çünkü bilim sadece bilim insanlarını sokaklardan uzak tutan soyut bir uğraş değildir (başıboş bir grup evrenbilimciden daha tehlikeli bir şey yoktur, jeokimyagerleri saymazsak; bu insanlar çok korkutucudurlar). Konuşmaya X-ışınları ve cep telefonlarından başladığımızı hatırlayın. Bunların hiçbiri belli bir bilim bilgisi, insanların hayatına sürekli dâhil olacak şekilde kullanılan bilgi olmadan mümkün olamazdı. Dönüş yolculuğunun amacı yaşadığımız hayata ulaşmak için bilimsel yollardan inmektir. Algılanan evrenin dışına çıkmak yeterli değildir; aynı zamanda (sadece yukarıda adı geçen bilimsel çeteler için değil) herkes için yararlı bilimin çabasını yerine getirmek için geri gelmek zorundayız.

Dönmeden önce, buraya gelmek için izlediğimiz yola bir bakmamıza izin verin. Girişte bilimi ele alma yöntemimizi belirledik: Doğanın büyük bir kısmının duyularımız tarafından dolaysız olarak algılanmadığını, fakat yine de saptama cihazı ve teorinin yardımıyla anlaşılabileceğini vurguladık. Aynı zamanda, bilimsel anlayışın "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusuyla başladığını vurguladık. Sonraki üç bölümde bu yöntem astrofiziğe, bilhassa Güneş'in, karadeliklerin, kara maddenin ve kara enerjinin anlaşılması için uygulandı. Bu bölümde, geniş kapsamlı genel konularımıza dönüp yöntemlerimizin astrofizik dışındaki bilimler için neler söylediğini değerlendireceğiz.

Yapmak üzere olduğumuz şey, ülkeyi boydan boya geçen büyük ölçekli yol haritası oluşturmaya benziyor. Bilimin büyük ölçekli tam haritasını yapmak güzel olacaktır, fakat bu durumun kendisi başka bir kitabı gerektirir. Bu bölüm daha ziyade ülkenin bir bölgesindeki bir yerden başka bölgesindeki başka bir yere gitmek için kullanılan haritaya benziyor. Böylesi bir haritada ana yollar, bölgelerin ve şehirlerin isimleri ve gerçekten çok büyük coğrafi özellikler (okyanuslar, büyük göller, dağ sıraları vesaire) için işaretler olacaktır. Aynı zamanda, dönemeçleri ve dönüşleri işaretleyerek, giriş çıkışları göstererek geçiş rotalarını da içerecektir. Böylesi bir harita belirli bir şehirdeki, belirli bir adres için kullanışlı değildir (bunun için küçük ölçekli sokak haritaları kullanılır). Çok büyük bir arazide yol bulmak, genel olarak yolun neresinde olduğunu öğrenmek için büyük ölçekli harita paha biçilmezdir.

Son üç bölümün davranışı aslında daha geniş bilim ülkesinin bir bölgesinin detaylı yol haritasıdır. Bu bölümde uğraştığımız bilim olan gökbilimden, günlük hayatımızı en çok etkileyen bilime, tıbba giden haritayı oluşturacağız.

Böylesi bir harita yapmak için üç sebebimiz var: Birincisi son üç bölümün sağladığı bilgiyi bir bağlamda toplamaktır. İkincisi, bu kitabın tamamı boyunca vurgulamaya çalıştığımız şeyle ilgilidir, bilimdeki bilginin dolaylılığıyla. Ne var ki, örneklerimiz gökbilimden geldiği için, bu dolaylılığın sebebinin araştırılan cisimlerin oldukça uzakta olmasıyla ilgili olduğunu düşünmek caziptir. Elbette ki, araştırdığımız cisimleri bir laboratuvar tezgâhına koyabildiğimizde veya elimize alabildiğimizde bilgi o kadar da dolaylı olmaz (diye düşünülebilir). Aksine, dolaylılığın basitçe başka cinsten bir şey olduğu ortaya çıkmıştır. Bu bölümü, bu bakış açısını göstermek için kullanacağız.

Üçüncü sebep, önceki bölümlerde kullandığımız ve dikkatinizi çektiğimiz bir şeyi öne çıkarmaktır: Bilimin dalları arasındaki karşılıklı bağlantı. Bunu kimyasal bir testin aracılığı ile Güneş'in doğasının anlaşılmasında, kuantum mekaniğinin beyaz cüceler ve nötron yıldızlarındaki maddenin keşfinde oynadığı hayati rolde ve matematiğin bütün bilimsel konularda oynadığı temel rolde gördük (aslında matematikle bilim arasındaki ilişkisi bundan daha karmaşıktır, fakat bu başka bir kitabın konusudur).

Bilimler arasında yaptığımız ayrımların, insani şartların ve elverişliliği ayrımları olduklarının farkına varmak önemlidir. Her birimizin yaşam süresi sınırlıdır ve ancak bu sınırın izin verdiği ölçüde yapabilir ve öğrenebiliriz. Bir hayat süresince her şeyi öğrenip her şeyi yapmayı ümit edemeyiz. Dahası, hepimiz aynı şeylere karşı ilgi duymayız, hatta aynı şeylerin aynı özelliklerine karşı ilgi duymayız; kuşların uçmasına hayran olan bir çocuk gelecekte bir pilot, diğeri bir aerodinamik mühendisi, bir diğeri ise kuşlarla dinozorlar arasındaki bağ-

lantılarla ilgilenen bir paleontolog olabilir. Hepsini yapacak ne vaktimiz ne de yerimiz var, bu nedenle kuşların uçmasının bu özelliği mühendisleri, bu özelliği biyologları, bu özellikleri paleontologları ilgilendirir diyerek şeyleri sınıflandırırız. Ne var ki, kuş yaptığımız ayrımları umursamaz; daha önemlisi evren umursamaz. Aynı uçuş anlayışına bu yönlerin herhangi birinden ulaşılabilir; mühendisin çalışmaları biyoloğun işine yarayabilir ve ikisi karşılığında paleontoloğu bilgilendirebilirler, fakat bu, ancak hepsi farklı yönlerden aynı şeyler üzerinde çalıştıklarının farkındaysalar olabilir.

Bu nedenle bilimi kendi elverişliliğimiz doğrultusunda böldüğümüz gibi onu kendi elverişliliğimiz için de birleştirmek zorundayız; yoksa biyolog, aerodinamikçinin çalışmalarını yeniden yaratmak için bir ömür harcayacak ve paleontolog tavuk yemeğinden arta kalan kemiklerin Çin'de ortaya çıkarılan tüylü dinozor kemiklerine benzediğini fark etmeyecektir.

Böylesi bir karşılıklı bağlantının haritasını oluşturmak için, bir insanın evinin bulunduğu bölgeyle başlayıp bildiğinden dışarıya doğru uzanan harita oluşturması gibi, biz de yol üzerinde harita oluşturarak anladığımız bölgeden başlayıp diğer tanıdık bölgeye geçeceğiz.

Yıldızlardan Dünya'ya

Yıldız evrimi tartışmasında, yıldızların çevresinde yörüngede yol alan küçük katı topak şeylere, gezegenlere, sadece genel olarak dokunduk. Pek çok açıdan, gezegenler yıldız oluşumunun yan etkileridirler ve yıldızların yaşam döngülerindeki önemleri çok küçüktür; ancak bunlardan birinin sakinleri olarak bizim perspektifimizden, gezegenler büyük önem taşır.

Gezegen oluşumu teorileri veri azlığından muzdariptir. Güneş Sistemimizde çok çeşitli gezegenlerimiz olsa da, hepsi tek bir yıldızın çocukları olarak biçimlenmişlerdir. Gezegen oluşumunun formüle edilmesi bakımından, küçük bir canlı ailesinden türlerin tamamını tespit etmeye çalışan biyologla aynı zorluğu paylaşıyoruz. Yakın geçmişte bizim Güneş Sistemimizin dışındaki birkaç gezegen keşfedilmiştir, fakat bunların hepsi, önceki bölümlerde anlatılan dolaylı araçlar aracılığıyla bulunmuştur. Güneş Sisteminin dışına ait bu gezegenlerle ilgili çok az şey bilinmektedir. Çoğunlukla sadece kütleleri ve yörüngesinde bulundukları yıldızlara olan mesafeleri bulunmuştur.

Eldeki olgularla uyumlu gezegen oluşumu teorileri var, fakat diğer gezegenleri saptama yeteneğimiz geliştikçe onların iyileştirilmeleri ve değiştirilmeleri muhtemeldir (diğer güneş sistemlerindeki küçük yörüngede yol alan büyük gezegenlerin saptanması böylesi değişikliklere yol açmıştır bile). An itibarı ile en çok kullanılan teori gezegenimsi teorisidir. Bu teoride, gaz bulutunun çökmesiyle meydana gelen Güneş oluşumuna, genç Güneş'in çevresindeki yörüngede madde diski oluşumu eşlik etmiştir. Güneş gibi bu disk de çoğunlukla hidrojen ve helyumdan oluşmuştur (toplu olarak gaz adı verilir); fakat buna ek olarak çeşitli küçük mineral tanecikleri (toplu olarak kaya adı verilir) gibi su, amonyak ve metan tanecikleri de (toplu olarak buz adı verilir) içermiştir. Zaman geçtikçe buz ve kaya tanecikleri çarpışarak birbirlerine bağlanır, gittikçe büyüyerek er geç gezegenimsi adı verilen cisimleri oluşturmuştur. Sonuçta gezegenimsiler arasındaki çarpışmalar, bugünün gezegenlerinin öncüllerini oluşturmuştur. Güneş Sisteminin iç kısmı daha sıcak olduğu için bu bölgelerde daha az buz olmuştur, bu

nedenle sonuçta çıkan gezegenler daha fazla kaya içermiş ve daha küçük olmuşlardır; gaz, Güneş diskindeki en bol içerik olsa da kütleçekimsel açıdan gazı yakalayamayacak kadar küçük olmuşlardır.

Güneş Sisteminin dış kısımlarında gezegenler gazı yakalayacak kadar büyük olmuşlardır bu nedenle muazzam boyutlara kadar büyümüşlerdir. Zaman içinde bu çarpışma ve toplama süreci Güneş Sisteminin iç kısımlarında küçük ve kaya ağırlıklı gezegenler, dış kısımlarında büyük gaz devleri ayrıca çok sayıda kaya ağırlıklı ve/veya buz ağırlıklı gezegenimsiler (aylar, cüce gezegenler, asteroitler ve kuyrukluyıldızlar) üretmiştir. Güneş rüzgârının daha önceki ve daha şiddetli türü Güneş Sistemindeki yakalanmamış gazı süpürerek, bir nevi ortalığı temizlemiştir.

Güneş Sistemimizin gezegenleri, üzerinde çalışmamız ve yaşamamız (ve dolayısıyla ayrıntılı olarak çalışmak) için, en azından biri örneğinde, buradadırlar. Hızlıca gözlemlenebilen şeylerden biri gezegenlerin içeriklerinin ve bileşimlerinin yıldızlarındakinden daha karmaşık olmasıdır. Yıldızlarda tam teçhizat kimyasal tepkimelerinin var olmamasının sebebi, onların atomların birleşerek moleküller oluşturmalarına izin vermeyecek kadar sıcak olmalarıdır.

Ne var ki, burada, Güneş Sisteminin daha soğuk kısımlarında kimya mümkün olur. Yüz tane tuhaf element birleşerek gelişigüzel bir sayıda bileşen oluşturabilir. Bu, daha önce erken tarihteki evrende gördüğümüze benzer bir durumdur. O zaman, atomlar mümkün olmamıştır çünkü madde, çekirdeğin bir arada durması için aşırı enerjik bir halde olmuştur. Ortalık soğuduğunda, göreceli olarak daha karmaşık nükleer yapılar mümkün olabilmiştir. Bu tekrarlanmış ve önemli bir olgudur.

Bazı şartlar altında yapısal karmaşıklık imkânsızdır, fakat bu şartlar değiştiğinde şeyler bütünüyle beklenmedik yollarla birleşebilirler.

Erken tarihteki evrenin neredeyse akışkan durumunu gözlemlediğinizde, atomların olabilirliğini hayal etmeniz pek olası değildir. Işınım çorbasında, birleşip başta temel parçacıklara bölünmek dışında birbirleriyle hiç ilgilenmeyen oradan oraya atlayan protonlardan, nötronlardan, elektronlardan ve diğer atom altı parçacıklardan oluşan okyanusu gördüğünüzde, ortalık daha soğuk olsaydı atomun güzelliğini ve kuantum simetrisini oluşturacak şekilde bir araya geleceklerini tahmin edebilir miydiniz?

Çevrede dönen füzyona uğrayarak yıldızları oluşturan çekirdekleri gördüğünüzde kimyanın karmaşıklığına dayanan bir tahminde bulunur muydunuz? Yıldızların içinde, hidrojenle helyumun arasında uçan karbon ilk defa oluştuğunda, herhangi bir kimse bu tek elementin içinde saklı potansiyel grafit, elmaslar, bitkiler, hayvanlar ve bizler olduğunu tahmin edebilir miydi?

Bir bilim olarak kimya, gezegenler var olduğu için vardır. Bu daha soğuk yerlerde elementler birleşebilmiştir. Kimya ve atom fiziği, çalışma alanları olarak üst üste binerler çünkü atom ikisinin arasındaki sınırda yer alır; çünkü elektron kabukların kuantum yapıları atomlardan hangi moleküllerin oluşup oluşamayacağını belirler. Atom fiziği, yapının bileşenleriyle ilgilenir, olası molekülleri kabul ederek atom üzerinde çalışır. Kimya, yapının bir sonraki kademesiyle ilgilenir; atomlar kendileri olmayı bırakıp daha büyük yapı bloklarının parçası olduklarında ilgilenir onlarla, gerçi bu durumda nükleer kimliklerini kaybetmezler. Bu daha karmaşık ve daha büyük bir

yapıyı içerdiği için kimyanın, atom ve molekül teorisinden çok daha eski bir bilgi alanı olması, hayati önem taşıyan gerçeğe işaret eden bir ironidir. Kimya en eski bilimlerden değildir (göreceğimiz üzere bu şeref biyolojiye aittir), fakat eskidir; çünkü kimyasal tepkimeler insan ölçeğinde yaratılabilir ve algılanabilir bir şekilde gerçekleşirler. Bilginin bilimin tarihinde erkenden belirmesinin sebebi onun birincil karakteri değildir, bizim alışkanlıklarımıza ne kadar yakın olduğudur. Bilim algılanan evrenden dışarı uzanır ve algılanan evrenin temel etkeni algılarımızın sınırıdır. Deney saptanan evrenden dışarı doğru uzanır ve deneyin sınırı, ellerimizin ve araçlarımızın sınırlarıdır.

Kimyanın çok sayıda tepkime yaratma deneyleri, genellikle cam ve ateş olan iri ölçekli cihazdan başka bir şey gerektirmemişlerdir. Hem teorik hem de pratik kimyagerler, yazı ortaya çıkmadan önce, kendilerini kimyager, simyacı veya aşçı olarak tanımlamalarından çok önce, bilgi alanını doldurmaya başlamışlardır. Kimya pratik bir bilim olarak gelişmiştir, bilginler kadar zanaatkârlar tarafından yaratılmış bir şey olarak. İlk kimyagerler iyi barutun nasıl yapılacağını, çömleklerin nasıl sırlanacağını, daha iyi bira ve şarabın nasıl mayalandırılacağını ve kumaşın daha zengin renklere nasıl boyanacağını öğrenmek istemişlerdir.

Önceki paragraf kimyayı, şeyleri birbirlerine karıştırıp neler olacağını izleyen bir bilim olarak doğruca algılanan evrene yerleştirmiştir. Bu kesinlikle kimyanın bir parçasıdır; fakat kimyanın atomlara dikkat ettiğini hatırlamak önemlidir ve atomlar oldukça küçüklerdir. Ne kadar küçük? Şimdi, ne tür atom olduğuna bağlı olarak atomun çapı metrenin yaklaşık bir ile birkaç on milyarında biridir. Başka türlü dile getirirsek, bir damla suda okyanustaki damla sayısından daha fazla

atom vardır. Kimyagerler bu küçük mesafelerle, gökbilimcilerin muazzam olanlarla uğraştığına benzer şekilde uğraşırlar: Bilimsel notasyonla. Metrenin on milyarda biri 10^{-10} metre olarak, 1 angstrom birimiyle ifade edilir. Dolayısıyla atomların birkaç angstrom uzunluğunda olduklarını söyleyebiliriz, aynı Dünya'nın Güneş'e olan uzaklığının 1 AB olduğunu söylediğimiz gibidir; fakat notasyon, bu uzunluk ölçeklerinin günlük hayattakilerden oldukça farklı olduğu gerçeğini değiştirmez.

Bazen gökbilimdeki muazzam mesafelerin kendimizi ufacık ve önemsiz hissetmemize neden olduğu söylenir. Öyleyse, kimya hakkında düşünmenin bunun panzehirini sağlaması gerekir: Atomlarla karşılaştırıldığında, biz kocaman, devasa sakar ve iri cüsseli beceriksiz, bütün olarak milyarlarca atomdan oluşuyoruz.

Peki, o zaman görülemeyecek kadar küçük atomlardan oluşan bu dünya hakkında nasıl bilgi edinilebilir? Günümüzün incelikli donanımı (elektron mikroskopları ve atomik kuvvet mikroskopları) özgün atom çözünürlüğüne sahiptir. Bununla birlikte, kimyadaki saptama cihazlarının çoğu "birbirleriyle karıştır ve neler olacağına bak" cinsindendirler. Böylesi çılgın bilim türünden deneyin hoş bir örneği asitler ve bazlarla ilgilidir. Su H_2O'dur (iki hidrojen ve bir oksijen atomu), fakat su örneğinde moleküllerin küçük bir yüzdesi H+ (elektronunu kaybetmiş hidrojen) ve OH– (fazladan elektronu olan hidrojene bağlanmış oksijen) olarak ayrışır. Bu notasyon, + elektron eksikliğine ve – fazladan bir taneye sahip olmaya işaret ettiği için tuhaf görünebilir. Notasyon toplam elektrik yükünü temsil eder. Atomlar genellikle aynı sayıda protona (bu durumda protonun elektrik yükünü gösteren birimde +1 elektrik yükü) ve elektrona (–1 elektrik yükü) sahip olurlar, dolayısıyla elektrik yükleri sıfır olur

ve elektrik açısından nötr olurlar. Fazladan elektron toplam –1 elektrik yükü ve elektron kaybı +1 elektrik yükü anlamına gelir ki, bunlar da basitçe sırasıyla – ve + olarak kısaltılmışlardır. Neden protonlar pozitif elektrik yükü ve elektronlar negatif elektrik yükü taşır dendiğini merak ediyorsanız, Benjamin Franklin'i suçlayın (şaka yapmıyoruz, bu onun suçu).

Ayrılan her H_2O bir H+ ve bir OH– oluşturduğuna göre, bunun anlamı suda eşit miktarda H+ ve OH– vardır. Suya bir miktar uygun kimyasal eklerseniz, bu denge bozularak H+ fazlalığına (bu durumda kimyasala asit adı verilir) veya OH– fazlalığına (bu durumda da kimyasala baz adı verilir) yol açabilir. Bir sıvının asit mi yoksa baz mı olduğunu ayırt eden basit bir test vardır. Bunun için gerekli olan tek şey, aside maruz kaldığında pembeye, baza maruz kaldığında maviye dönen bir kimyasal içeren turnusol kâğıdıdır. Turnusol kâğıdı, saptama aracının en basit örneklerinden biridir: Bir kimyasala bakarak asit mi yoksa baz mı olduğunu söyleyemeyiz; fakat içine bir parça turnusol kâğıdı daldırdıktan sonra hangi renge döndüğünü izleriz ve anında öğreniriz. Peki, elimizde bir asit varsa ve bu asidin ne kadar güçlü olduğunu (yani H+ ve OH– arasındaki dengesizliğin ne kadar güçlü olduğunu) merak ediyorsak? Asitler ve bazlar karşıt dengesizliğe sahip olduklarına göre, onları karıştırmak her birindeki dengesizliği etkisizleştirebilir. Bir asidin gücünü ölçmek için, yapılması gereken tek şey belli bir yoğunluğa sahip bazı ele alarak bu asidi etkisizleştirmek için ne kadar baz gerektiğini ölçmektir. Bu yöntemle, ufacık atom uzunluğunu ölçeğiyle dolaysız olarak uğraşmadan kimyasalların özellikleri ölçülmüştür. Aslında asitlerin ve bazların saptanması ve etkisizleştirilmesi, günümüz atom teorisinden yüzyıllarca öncesine dayanmaktadır.

Kimyanın teorik evreni, çoğunlukla atomların molekülleri oluşturmak için atomların bir araya gelmesiyle, dolayısıyla hangi moleküllerin hangi şartlar altında oluşabileceğiyle ilgilenir. İkincisi hayatidir çünkü kimya uygulamalı bir bilimdir. Cevapları yeni keşiflere, neyin güvenli ve neyin tehlikeli olduğu saptamalarına dolaysız olarak yol açar. Kimyasal teori, atomların molekül oluşturmak için bir araya gelmelerin kurallarına ihtiyaç duyar. Bu kuralların kaynağıyla daha önce karşılaştık: Kuantum mekaniği. Kuantum mekaniği tek bir atomda elektronların girdiği düzeni belirlediği gibi, iki veya daha fazla atomda elektronların girdiği düzeni de belirler.

Moleküllerde elektronların hepsi bir atoma veya bir başkasına ait olmaz: Bazı elektronlar birden fazla atom tarafından paylaşılır. Kimyasal bağ adı verilen bu elektron paylaşımı atomları bir arada tutar, çünkü hiçbiri paylaştığı elektronlardan çok uzakta duramaz. Hangi moleküllerin oluşabileceğine dair bir fikir sahibi olmak için, her bir atom türünün kaç elektronunu paylaşma eğilimine sahip olduğunu bilmemiz gerekir.

Atom protonlardan, nötronlardan ve elektronlardan oluşur; bazıları iyonlaştığında veya paylaşıldığında elektronların sayısı değişebilir. Bu nedenle atomlar, nükleonları (proton ve nötronlar) aracılığı ile sınıflandırılır. Aynı proton sayısına sahip iki atomun, aynı türden atom olarak addedilmesi konusundan daha önce bahsetmiştik ("element" sözcüğü aynı tür atom anlamına gelir). Nötron sayıları değiştiğinde, onlara bu elementin izotopu adı verilir. Atomların bu sınıflandırması atom altı bağnazlığı değildir. Proton sayısı atomun kimyasal davranışını belirlediği içindir.

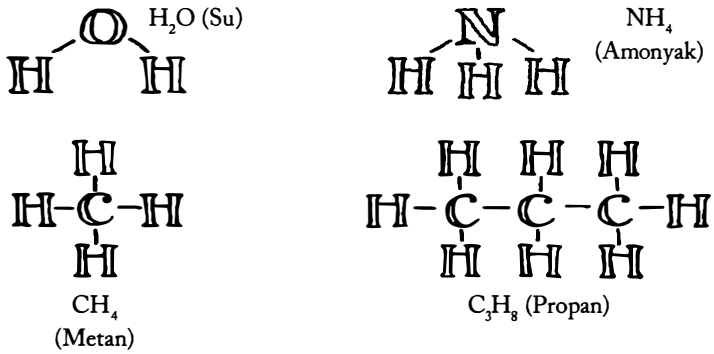
Yüzün üzerinde farklı atom vardır. Elementlerin periyodik tablosu atomları sahip oldukları proton sayısına göre listeler ve

sonrasında elektronlarını paylaşma davranışları doğrultusunda onları kategorize eder (tablonun sütunları). Açıklayıcı amaçlarımız doğrultusunda hayat için en hayati dört tür atom üzerinde yoğunlaşacağız: Hidrojen, karbon, nitrojen ve oksijen. Bunlar en hafif elementlerin bazılarıdır. Kuantum mekaniği kullanılarak hidrojenin bir, oksijenin iki, nitrojenin üç ve karbonun dört elektron paylaştığı gösterilebilir. Evrende oldukça bol miktarda bulunmasına bakmayarak helyum elektron paylaşmaz ve molekül oluşturmaz. Helyumun ait olduğu sütuna (helyum, neon, argon, kripton, ksenon ve radon içerir) soygazlar veya inert gazlar adı verilir. "Soygaz" adı, diğer sıradan atomlarla birleşmek için fazla kendini beğenmiş oldukları için; "inert (tembel)" adı, kimyasal olarak bir şey yapmadıkları için verilmiştir. Çıkarmayı tercih edeceğiniz bütün politik sonuçlar tamamen size bağlıdır.

Hangi moleküllerin oluşabileceğini görmek için her bir atomun bir harfle (hidrojen için H, karbon için C, nitrojen için N ve oksijen için O) gösteriliği ve her bağlantının çizgiyle gösterildiği çizelgeler oluşturmak yararlıdır. Benzer çizelgeler şekil 12'de gösterilmiştir.

Öncelikle, yukarıdaki atomlardan her birinin hidrojenle birleşmesiyle oluşan molekülleri dikkate alabiliriz. İki hidrojen atomu birbirleriyle elektron paylaşarak hidrojen molekülü oluşturabilirler. Kimyanın kısa notasyonuyla bu molekül H_2 olarak gösterilir: Burada H hidrojenin simgesidir ve 2 sayısı, molekülün bu atom iki tane içerdiği anlamına gelir. Oksijen atomu iki elektron paylaştığına ve her bir hidrojen bir elektron paylaştığına göre, bir oksijen iki hidrojen atomuyla birleşebilir. Bu molekül H_2O'yla gösterilir ve herkesçe bilinen su molekü-

Kimyasal Bağlar



Şekil 12

lüdür. Benzer bir şekilde, amonyak olarak bilinen NH_3 molekülünü oluşturmak için bir nitrojen üç hidrojen atomuyla, metan adı verilen CH_4 molekülünü oluşturmak için bir karbon dört hidrojen atomuyla birleşir. Atomları yapı parçaları, molekülleri ise bu yapı parçalarından yapılabilecek şeyler olarak düşünmek yararlıdır. Çocukların oynadığı lego oyununda da olduğu gibi, ortada kısıtlı sayıda farklı parça olsa bile oldukça büyük ve karmaşık şeyler inşa edilebilir.

Moleküller açısından bu durum sadece karbon ve hidrojen kullanılarak açıklanabilir. Her biri bir sonrakine tek bağla bağlı, bir dizi karbon atomu düşünün. Zincirin ortasındaki her karbonun, biri önündeki karbonla diğeri arkasındaki karbonla olmak üzere iki kimyasal bağı varken, sonlarda yer alan karbonların sadece bir bağı vardır. Her bir karbonu dört kimyasal bağla bağlamak için sadece uygun sayıda hidrojen (genellikle bol miktarda mevcuttur) eklemek yeterlidir: Zincirin ortasında yer alan her bir karbon için iki ve sonlarda bulunan her bir karbon için üç hidrojen. Böylesi bir molekül şekil 12'de gösterilmiştir.

Buna benzer en basit molekül metan iken (CH_4), sonraki en basit moleküle etan adı verilir ve kimyasal formülü C_2H_6'dır. Sonrasında sırasıyla propan (C_3H_8), bütan (C_4H_{10}) gelir. Bu gazların isimleri ve onlar içi kullanılan yaygın terim, hidrokarbonlar, tanıdık gelebilir. Hepsi çok güzel yanar ve dolayısıyla hepsi bir formda veya başka bir formda yakıt olarak kullanılır; fakat başka işlevlere hizmet eden başka çeşitlemeleri de vardır.

Hidrojen tek bir kimyasal bağa sahip olduğuna göre, herhangi bir molekülde tek kimyasal bağa sahip herhangi başka bir şeyle değiştirilebilir. Bu kimyanın en hassas noktalarından biridir, daha karmaşık veya basit moleküller oluşturabilmek için aynı kimyasal bağ özelliklerine sahip atomlar birbirlerinin yerine kullanılabilirler, aynı deliklere sığabilen yapı parçalarının birbirlerinin yerine kullanılabilmesi gibi.

Özellikle suyu iki H'ye bağlanan bir O olarak düşünürüz. Ne var ki, kolaylıkla bir H'ye bağlanan bir OH olarak düşünebiliriz. OH, H ile tek bir bağla bağlanmıştır ve dolayısıyla OH tek kimyasal bağla herhangi başka bir şeye bağlanabilir. Şimdiye kadar ele aldığımız herhangi bir molekülde, H'yi OH ile değiştirerek yeni bir molekül elde edebiliriz. Bunu etana yaparsanız bira, şarap ve herhangi alkollü içeceğin "aktif bileşeni" olan etil alkolü (genelde sadece alkol adı verilir) elde edersiniz. Bunu metana yaparsanız metil alkol; propana yaparsanız propil alkol vesaire elde edersiniz. (Dikkat; her bir diğer alkol türü, vücudunuza etil alkolden daha fazla zarar verir. Bir şeyin alkol etiketi taşıması onu içebileceğiniz anlamını taşımaz.)

Bununla birlikte, çok önemli bir açıdan atomlar yapı parçalarından farklılaşırlar. Yapı parçalarını sırayla dizerek istediğimiz herhangi bir şekilde onlarla elimizde oynayabiliriz. Ne var ki, atomlar böylesi el hareketi için fazla küçüklerdir. Peki

o zaman moleküller nasıl düzenlenir? Erken tarihlerdeki düzenleme örneklerine (füzyon gibi) dikkat edersek, kuvvet ve enerjinin bundan sorumlu olduğunu düşünebiliriz ve haklı da oluruz.

Kimyasal tepkimeler kaba kuvvet güç verir. İki veya daha fazla sayıda molekül çarpışarak parçalanır ve farklı yollarla yeniden birleşir. Örnek olarak suyu oluşturmak için hidrojenin yanmasını gösterebiliriz. Burada iki hidrojen molekülü bir oksijen molekülüyle birleşerek iki su molekülü oluşturur. Bu sürecin kimyasal formülü $2H_2 + O_2 = 2H_2O$'dur. Daha genel olarak bir yangında; karbon, hidrojen ve bazen oksijenden oluşan çeşitli moleküller oksijenle öyle bir şekilde birleşir ki, oksijenle bileşen hidrojen atomları suyu ve oksijenle birleşen karbon atomları karbondioksidi (CO_2) oluşturur. Otomobil motorunda benzin yakıldığında gerçekleşen şey de budur.

Kimyasal tepkimeler, moleküller arasındaki çarpışmalara bağlı olduğuna ve moleküllerin hızı, sıcaklığa bağlı olduğuna göre; kimyasal tepkimeler çoğunlukla meydana geldikleri sıcaklığa karşı duyarlı olurlar. Bu durum yangının, çoğunlukla başka bir yangın (kibrit gibi) veya elektrik (elektrik kıvılcımlarında olduğu gibi) veya sürtünme (kibritin kibrit kutusunun kenarındaki çakmak şerit üzerinden boydan boya çekilmesi gibi) tarafından başlatılmasını açıklar. Yanmanın gerçekleşebilmesi için sıcaklığın, kimyasal tepkimenin gerçekleşmesine yetecek kadar yükseltilmesi gerekir. Bu aynı zamanda bir kez başlatılan yangının sahip olduğu yeni yakıt kadar devam etmesini de açıklar; kimyasal tepkimenin ürettiği enerji sıcaklığı sıradaki tepkimelerin gerçekleşmeye devam etmesi için yeterli yükseklikte tutar. Bu süreç enerji ve yakıt oldukça devam eder. Bu şu anlama gelir; kimyanın büyük bir kısmı, hangi kimyasal

tepkimelerin hangi şartlar altında gerçekleşeceklerini içeren muazzam bilgi topluluğundan oluşur.

Kimya, gökbilimin aksine, başlangıçta varlığın insan ölçeğiyle ilgilenmiş bir bilimdir. Ancak hoş bir şekilde bu dar görüşlü köken, kimyanın ellerini esneterek evreni görmemize yardımcı olmasını engellememiştir. Hatırlayın, gökbilimciler yıldızların özyapılarını ayırt etmeyi kimyadan öğrenmişlerdir. Bu durum, olacağını söylediğimiz üzere, bilimsel ilerlemelerin büyük ölçekli yol haritasını doğrulamıştır. Bir şehir veya bölgenin, diğer bir şehrin veya bölgenin kullandığı ürünü temin edebilmesi gibi bilimin bölgeleri, bilgiyi veya yöntemleri birbirleriyle takas edebilirler. Bu takasta tarafların hepsi kazançlı çıkar.

Hayat

Kimya ilk bakışta algılanan evrenin bilimi gibi görünmüşse, bu durum biyoloji için çok daha geçerlidir. Kolayca algılanan pek çok canlıyla çevriliyiz: En bariz olanlarından birkaçını örnek vermemiz gerekirse; birbirimiz, evcil hayvanlarımız ve ev bitkilerimiz, kuşlar, ağaçlar ve çim. Hayatta kalmak adına diğer canlıları yediğimiz için ve onlardan bazıları da bizi yemeyi sevdiği için hayatın bilgisi, insanoğlu için her zaman son derece önemli olmuştur. Dahası, yemeyi düşündüğümüz bazı şeyler, onları yememiz durumunda bizi öldürür. Hangi bitkilerin veya hayvanların yenmeye uygun olduğu ve onların nasıl toplanacağı veya yakalanacağı bilgisi yazılı kayıtlardan çok öncesine dayanmaktadır. Bu da biyolojiyi en eski ve en pratik bilim yapmaktadır. Bahçıvanlık ve kuş gözlemciliği gibi hobiler, herkese açık günümüz amatör biyolojisidir ve algılanan evren tekniklerini kullanır (kuş gözlemcilerinin duyuları genellikle dürbün tarafından artırılmış olsa da).

Bununla birlikte bilimin büyük bir kısmında olduğu gibi, bu tanıdık rahatlık daha dikkatli bakıldığında yok olur. Mikroskopta muazzam bir sır ortaya çıkmıştır. Hayatın tamamı çıplak gözle görülmeyecek kadar küçük hücrelerden oluşur. Ortalama hayvan hücresi bir metrenin yaklaşık on milyonda biri uzunluğuna sahiptir. Başka bir şekilde dile getirirsek, ortalama yetişkin bir insan vücudu 100 trilyon hücre içerir. Bazı canlılar tek hücreden oluşur. Bizim gibi diğerleri de, geniş bir dizi hücreden oluşur. Bu hücreler, her bir hücrenin, dokunun, organın farklı görevler için uzmanlaşmış olduğu dokular ve organlarda toplanmışlardır.

Elektron mikroskobunda canlı ve cansızın düşünüldüğü kadar farklı olmadığını keşfetmek daha da şaşırtıcı olmuştur. Canlılar büyük ölçekte su ve organik bileşimden oluşmuştur. Organik bileşim, daha önce tartıştıklarımıza benzer karbon atomları zincirlerinden ve onlara asılı başka atomlardan oluşan bir moleküldür. Bu bileşimlerin çoğu son derece karmaşık yapılar olmakla beraber, bildiğimiz sade kimyasal süreç aracılığıyla oluşan moleküllerden daha fazlası değillerdir.

Anladığımız şekliyle hayat bu moleküllerin etkileşiminden doğar. Canlıların, bir dizi kendi kendine devam eden muazzam derecede karmaşık kimyasal tepkimeye maruz kalmış, çok sayıda molekülün birleşimi olduğu düşünülebilir. Buna indirgemeci bakış açısı adı verilir. Gündelik hayat algılarının çeşitli şekillerde ve boyutlarda bir dizi hayvan ve bitkileri bize göstermesinin de aynı derecede doğru olduğunu söyleyen biri bu canlıları çeşitli saptama yöntemleri kullanarak incelemek isteyebilir.

Özgün hücrelerin detaylı incelemesi, her bir hücrenin bir dizi karmaşık kimyasal tepkimeye maruz kaldığını ve bu tep-

kimelerin hücrenin yapması gereken şeyleri yapmasına olanak tanıdığını göstermiştir. Buna ek olarak, zaman zaman hücrenin bölünerek her biri asıl olanla çok benzer işleve sahip iki hücreye dönüştüğü bulunmuştur.

"Hücreler neden bu kadar küçüktür?" sorusunu sormak doğaldır. Cevabı eski arkadaşımız boyutsal çözümleme yardımıyla bulunabilir. Hücre, kimyasal tepkimeler aracılığı ile kendi kendine devam ettiğine göre tepkimeye maruz kalmak için hücrenin, kimyasalları dışından içine alması gerekir. Aynı zamanda kimyasal tepkimelerin gerekli olmayan ürünlerini dışarı atması da gerekir. Diğer bir deyişle, canlı olan her şey gibi hücrenin de yemek yemesi ve artıklardan kurtulması gerekir. Şimdi aynı şekle sahip, fakat biri bütün yönlerden diğerinden iki kat daha büyük iki hücre düşünün. Büyük olan küçük olana nazaran iki kat daha büyük çapa, dört kat büyük yüzey alanına ve sekiz kat büyük hacme sahiptir. Dört kat büyük yüzey alanı, büyük olan hücrenin küçük olanın dört katı oranında kimyasal alabileceği anlamına gelir. Ne var ki, sekiz kat fazla hacmin anlamı, aynı tepkimeleri sürdürebilmesi için büyük hücrenin, kimyasalları küçük olan hücrenin sekiz katı oranında alması gerektiğidir. Sonuçta büyük hücrenin görevi ,küçük olanından iki kat daha zordur. Hücre açısından, boyutu ne kadar küçükse o kadar etkili bir kimyasal fabrikadır.

Bu düşünce yolu soruyu ters çevirerek "Neden hücreler olduklarından daha küçük değillerdir?" şekline sokar. Burada cevap, hücrelerin moleküllerden oluşmasıdır; hayatın karmaşık, kendini sürdürme niteliği için çok sayıda moleküle ihtiyacı vardır. Bir hücrenin en uygun boyutu, ne kadar karmaşık olması gerektiğine bağlı kısıtlamalar doğrultusunda, olabileceği en küçük boyuttur. Daha sonra evrim üzerine olan tartışmamızda,

hücrelerin neden yaklaşık en uygun boyutta olduklarını açıklayacağız.

Hücrenin yapısal parçalarının, hayatın kimyasallarının çoğu çok sayıda uçlardan birbirine bağlı, amino asit adı verilen küçük moleküllerden oluşan zincirler olan ve protein adı verilen moleküllerden oluşmaktadır. Bazı proteinler katalizör görevini üstlenerek hücrenin kimyasal tepkimelerini düzenler. Burada "katalizör" terimi, kimyada tepkimeye katılan fakat bu tepkimede ne yaratılan ne de yok edilen bir kimyasalı temsil eder. Katalizörün miktarı gerçekleşen tepkimenin hızını etkiler.

Biyolojide katalizör olan proteine enzim adı verilir. Hücrenin işlevini yerine getirebilmesi için yapısal proteinlerini ve enzimlerini yapabiliyor olması gerekir. Hücre, gerekli olan proteinleri üretemezse var olamaz. Enzimler olmaksızın kendi kendini düzenleyemez; ya gerekli tepkimeleri yaratmada başarısız olacak ya da çok fazla sayıda tepkime yaratacak ve dolayısıyla hayatta kalmaya çalışarak kendi içeriğini tüketecektir.

Hücre, protein yapmaları gerektiğini nereden bilmektedirler? Bu soruyu cevaplamadan önce, gelin sorunun kendisine bakalım çünkü bu şekli, tehlikeli "bilmek" sözcüğünü içermektedir. "Nereden bilmektedir?" Bilgi dolaysız tecrübemizden meydana gelen bir şeydir. Düşünen canlı olarak bizler için bilgi ve irade (istenç), çalışma yöntemimizin doğasında vardır; dolayısıyla bilginin ve iradenin fikirlerini dış dünyaya yansıtma eğilimine sahibiz. Bu nedenle havaya ve bilgisayarlarımıza, işleri berbat etmeyi "seçtikleri" için lanet okuruz. Eşit ölçüde, karmaşık proteinleri inşa etmek gibi bir şey yapan hücre gibi bir şeye baktığımızda, onun nasıl yapılması gerektiğine dair bir "bilgiye" sahip olduğunu düşünürüz. Sahip değildir; sahip olduğu şey, saklanan bilgiden yararlanarak yaratan incelikli mekanizmalardır.

Kuantum mekaniğinde gördüğümüz üzere bilgi, sadece bildiğimiz şeyler değil aynı zamanda şeylerin doğal nitelikleridir. Periyodik tabloya baktığımızda, elementlerin kimyasal davranış şekilleriyle ilgili bilgiyi görürüz; oysaki elementlerin kendileri nasıl davranmaları gerektiğini görmek için tabloya bakmazlar; sadece davranırlar. Konuşmak üzere olduğumuz şey, şeylerin davranır gibi davranmalarının son derece incelikli bir örneğidir. Biz, inceliğin zekâya denk geldiği akıl merkezli bir bakış açısına sahibiz, fakat bazen şeyler karmaşık yollarla gerçekleşir ve daha da önemlisi bazen bir şeyleri yapma yöntemleri, başka yöntemler adına bir tarafa bırakılır; iradeden kaynaklanan bir davranış sergiledikleri için değil, basitçe işi yerine getiren bir şey, işi daha az iyi yerine getiren başka bir şeyin yerini aldığı içindir.

Proteinleri yapmak için gerekli olan bilgi, hücrede DNA adı verilen başka bir molekülde kodlanmıştır. DNA, bu durumda sarmal merdiven şekline sahip başka uzun bir moleküldür. Spiralin her iki yarısı, "merdivenin" dışında bitişik bir "omurgaya" sahiptir ve her bir basamak baz adı verilen dört küçük molekülden biridir: Adenin (A), timin (T), guanin (G) ve sitozin (C). İkili spiralde her A, T'nin karşısında ve her C, G'nin karşısında bulunur. DNA'daki bazların dizilimi, proteindeki amino asitlerin dizilimi için "kod" olarak kullanılır. Bir protein için kod olan DNA parçasına gen adı verilir. Kod, üç bazın her bir diziliminin bir amino asite denk gelmesidir; bu kodun kırılması modern biyolojinin en büyük başarılarından biridir.

Bu kodlama yöntemi nasıl aktarılır? Bir hücre bölündüğünde, hangi yarı talimat kitabını alır? İkisi de alır; çünkü DNA, DNA'nın kendini yeniden üretmesi için kullandığı koddur.

DNA, her bir T'nin karşısında bir A ve her bir G'nin karşısında bir C yer alan ikili sarmaldır. Sarmalın iki yarısından her biri diğerinin şablonu olarak davranması için gerekli bilgiyi içerir. Hücre bölünmeden önce, ikili DNA sarmalı ortadan ayrılır ve her bir yarı, kalan yarıyı yeniden oluşturmak için şablon olarak kullanılır. Sonuç, birbirinin birebir koyası olan, her biri bölünmeyle üretilen hücrelerden birine giden iki ikili DNA sarmalıdır.

Bilim insanları bunların hepsini nasıl biliyorlar? Diğer bir deyişle, bunları bulmak için hangi saptama cihazları ve yöntemleri kullanılmıştır? Hücreler küçük olsa da, atomlardan çok daha büyüklerdir; dolayısıyla özgün bir hücreyi saptamak, özgün bir atomu saptamaktan çok daha kolaydır. Bir hücrenin içine bakıp çalışmalarını görmek için gerekli olan tek şey, hücrenin kendisinden en az 100 kat daha büyük bir görüntüsüdür. Ayna, ışığı bükerek bize cismin aynı boyutta ve aynı şekilde bir görüntüsünü sunar. Ne var ki, (makyaj veya tıraş için kullanılanlara benzeyen) eğri bir ayna veya mercek ışığı odaklayarak cisimden daha büyük bir görüntü elde edebilir. En basit mikroskoplar, (böylece giriş bölümündeki ilk örneklerimizden birine dönmüş olduk) iki mercekten oluşur; biri cismin görüntüsünü büyütür, diğeri de büyüteç görevi görerek görüntüye daha yakından bakmamıza olanak sağlar. Birlikte çalışan böylesi bir cihaz, bize hücrelere bakabilmemiz için gerekli büyütmeyi kolaylıkla sağlayabilir.

Şimdi, bir hücreye daha detaylı bakarak onu oluşturan farklı parçaları görmek istediğimizi varsayalım. Gelin daha fazla büyütebilen, daha güçlü bir mercek yapalım. Bu işe yarar, fakat sadece belli bir büyüklüğe kadar: Işık dalgalardan oluşur ve dalgaların belirli dalga boyları vardır. Bir dalga, dal-

ga boyundan daha küçük özellikleri çözümleyemez. Bu tuhaf bir fikirdir, aslında ışığın bir şeyi görebilmek için fazla büyük olduğu anlamına gelir. Tamam, hücrenin parçalarına daha yakından bakmak için ihtiyacımız olan şey, morötesi ışınları veya X-ışınları gibi daha küçük dalga boylarına sahip ışıktır. Belki de bir X-ışını mikroskobu inşa etmeliyiz. Belki, fakat o zaman mercek olarak ne kullanmalıyız? X-ışınlarını odaklamada bildiğimiz cam mercekler iyi bir iş çıkarmaz. Bu ikilemin cevabı televizyonlarımızda yatar (en azından henüz plazmalara veya LCD TV'lere geçmemiş olanlarımızın televizyonlarında). TV görüntüsünün kalbi, elektronları belirli bir hıza ulaşıncaya kadar hızlandırıp, sonrasında onları ekranın belirli yerlerine doğru yönlendirmek için elektrik alanını kullanan "elektron tabancasıdır". Işık yerine elektronları kullanarak daha iyi bir mikroskop inşa edebiliriz. Kuantum mekaniği bize, elektronların da dalgalar olduğunu ve elektron huzmesi ne kadar enerjik olursa dalga boyunun da o kadar kısa olacağını söyler. Bu nedenle gerekli dalga boyunu elde etmek için tek yapmamız gereken elektron tabancasının voltajını harekete geçirmektir. Dahası, elektron huzmesini yönlendirmek için elektrik alanları kullanılabildiğine göre, zekice tasarlanmış bir elektrik alanı mercek görevi görebilir ve sıradan mikroskopta merceklerin ışık huzmesini odaklaması gibi elektron huzmesini odaklayabilir. Bu elektron mikroskoplarının çalışma şeklinin bir özetidir, ayrıca bize onların hücreleri ve onları oluşturan parçaları incelememiz için gerekli çözünürlüğü sağladıklarını söyler.

Hücre araştırmasında elektron mikroskopları hayati araçlar olsa da, DNA'nın yapısının keşfinden onlar sorumlu olmamışlardır. Bu keşif biyolojinin güzel bir dolaylılık örneğiyle yapıl-

mıştır: X-ışını kristalografisi adı verilen bir teknikle. Kristal, belirli bir desende bir araya toplanmış atomlardan oluşan büyük bir yapıdır. X-ışınları, kristaldeki atomların arasındaki boşluklarla benzer boyutta dalga boylarına sahiplerdir ve X-ışını huzmesi, bir kristale çarpıp geri yankılandığında kristaldeki atomların desenine karşılık vererek kendi desenini oluşturur. Kırık bir kemiğin X-ışını görüntüsünün aksine kristalografide yankılanan X-ışını huzmesinin deseni, kristaldeki atomların desenine hiç benzemez ne yazık ki. Benzetimle kristal, bir müzik enstrümanı ve yankılanan X-ışını da bu enstrümanın ürettiği ses olarak düşünülebilir. O zaman X-ışını kristalografların müziği dinleyerek ne tür bir müzik enstrümanın bu müziği meydana getirdiğini çözmeye çalıştığını düşünebiliriz. Bu süreç sadece saptamayla yapılamaz: Elde sadece X-ışını desenleri varken kristalin yapısını hesaplamak mümkün değildir. Bununla birlikte, elde kristal yapı varken X-ışını desenlerini hesaplama yöntemi bilinmektedir. Bu nedenle X-ışını kristalografisini saptama ve kristal yapısının neye benzemesi gerektiğini belirten bir teorinin birleşimine ihtiyacı vardır. Bu, sesleri tanınan bir yığın müzik enstrümanına sahip olup "Aha, bu bir obua!" demeye benzer.

O zaman, uygulamada öncelikle X-ışını deseni bulunur ve buna dayanarak bilim insanları, kristalin yapısına göre bir modeli tahmin eder. Bu model sadece rastlantısal bir tahmin olamaz, çünkü kristalin kimyasal bileşimi hakkında bilinenlerle ve bu bileşenler arasında oluşabilecek kimyasal bağlarla tutarlı olmak zorundadır. Sonrasında kristalograflar, modele dayanarak böylesi varsayımsal bir kristalin üreteceği X-ışını desenini hesaplayıp asıl kristalin X-ışını deseniyle karşılaştırırlar. Desenler uyumlu olmazsa teorisyenler, ta ki nihayet başarılı bir

model bulununcaya dek çizim masasının başına geri dönerler. Bu 1953'te, Rosalind Franklin'in DNA'nın X-ışınlarını bulduğu ve James Watson ile Francis Crick'in teorik modeli ürettiği DNA'nın yapısının bulunduğu süreçtir.

Vücudumuzun hücreleri, karşılıklı bağlantılı dokularda ve organlarda öylesine girift ve karmaşık bir yöntemle düzenlenmişlerdir ki, böylesi girift bir düzenlemenin nasıl oluştuğunu merak etmek doğaldır. Güneş'in sorusunda olduğu gibi, hayatın kaynağına dair çok sayıda teori sunulmuştur. Bunların çoğu, yine Güneş örneğinde olduğu gibi, sorunun kendisinden ziyade hikâyenin sonunu duyan insanların açısından kullanımıyla ilgili olmuşlardır. Sonuçta, hayatın kaynağına dair bilimsel teoriler oluşmuştur. Onlardan biri, Darwin'in evrim teorisi, geçerli olduğunu göstermiştir. Saf düşüncenin zaferi gibi görünen bu teori, bir bakıma yazılı tarihten daha uzun zamandır süregelen araştırma programının bir ürünüdür aynı zamanda. Bu araştırma programı tarımdır: Bitkilerle hayvanların yetiştirilmesi ve evcilleştirilmesi. Okuma, yazma, matematik veya medeniyetin herhangi başka bir niteliksel uğraşından önce, uygulamalı biyoloji var olmuştur. Bu insanlar, elbette ki kendilerinin bilim insanı olduğunu düşünmemişlerdir. Çiftçi ve çoban olmuşlardır, fakat gözlem aracılığı ile, var olan bitki ve havyan türlerinden bazılarının daha yararlı (en azından onları yemek isteyen insanoğlu açısından yararlı) nitelikleri olduğu bilgisine sahip olmuşlardır. Daha yararlı bireyleri seçmeli olarak yetiştirerek, baktıkları bitkilerin ve hayvanların görünüşlerini, boyutlarını, güçlerini, sertliklerini ve tatlarını nesilden nesle dönüştürebilirler (bunu yapmışlardır da).

Darwin, insanlık tarihi boyunca çiftçiler ve çobanlar tarafından yapılan böylesi bir seçime tezat olarak teorisine doğal

seçilim adını vermiştir; fakat çiftçilerin ve çobanların davranışlarının yapay seçilim veya kontrollü evrim olduğu pekâlâ söylenebilir. Peki, kontrollü evrim neden işe yarar? Darwin, bir hayvanın hangi niteliklere sahip olacağı bilgisinin annesi ile babasından geldiğine dair akıl yürütmüş ve ilaveten bu bilginin küçük rastlantısal değişikliklere maruz kaldığını varsaymıştır. Bu varsayım modern DNA araştırmaları tarafından haklı çıkarılmıştır ki, bu da evrimi daha sağlam temellere oturtmuştur. Kalıtımla gelen bilgi DNA'nın kendisiyken, mutasyon adı verilen rastlantısal değişiklikler ise DNA'nın aldığı hasardan veya kopyalama sırasında oluşan hatalardan kaynaklanır. Darwin ilaveten yapay seçilimin, hayvanların (çiftçiler ve çobanlar açısından) daha çok arzulanan niteliklerine dair bilginin hayvan nüfusunda daha yaygın olmasına sebebiyet verdiğini söylemiştir; ayrıca çok daha fazla istenen bir özelliğin (koyunların daha uzun kıla sahip olmaları veya daha uysal olmaları, elmaların daha büyük boyuta veya daha güzel tada sahip olmaları vesaire) mutasyonla ortaya çıktığı durumlarda bu niteliğin de yapay olarak seçildiğini ve nüfusta daha yaygın hale geldiğini eklemiştir.

Hayvanların ve bitkilerin özelliklerinin bu şekilde bir sonraki nesle geçirildikleri göz önüne alındığında, insanoğlu tarafından yapılan yapay seçilime maruz kalmayan vahşi hayvan nüfusuna ne olur diye sormuştur Darwin. İlk bakışta cevap hiçbir şeydir gibi gelebilir. Ortada yapay seçilim yok, dolayısıyla değişiklik de yok. Ne var ki, bir hayvanın genlerini bir sonraki nesle geçirmesi için üreyebilecek kadar uzun süre hayatta kalması gerekir ve vahşi hayatta sağ kalmanın hiçbir açıdan güvencesi yoktur. Bu nedenle yapay seçilimin yokluğunda bile belirli niteliklerin bir sonraki nesle geçirilmesi diğerlerine

oranla daha olasıdır. Belirli hayvanın veya bitkinin, belirli ortamda hayatta kalmasını sağlayan her neyse, bir sonraki nesle geçirilen nitelikler onlardır: Antilop için daha yüksek hız, aslan için daha keskin pençe, bukalemun için daha etkili gizlenme vesaire. Yapay seçilim baskısının yokluğunda bile doğanın kendisi, kendi doğal seçilimini uygular ve çiftçiler ile çobanlar tarafından üretilenlere benzer değişiklere sebep olur. Doğal seçilim baskısı altında hayvan nüfusunun ve bitki örtüsünün nitelikleri değişir. Yeni türler ürer ve eski türler yok olur.

Bu tartışmada kullandığımız dilin "Bu nasıl çalışır?" tartışmasında geçenle aynı türden tehlikeli terim dizgesine sahip olduğuna dikkatinizi çekeriz. Çok eski kişiselleştirmeyi örnekleyerek "doğanın kendisi" diye belirttik; sanki doğa iradesi olan bir şeymiş gibi "doğal seçilim" diye belirttik. Bu terimleri ve fikirleri kolayımıza geldikleri için kullansak da, dikkat dağılması ve kafa karışıklığı riskini taşırlar. Son bölümde bu konunun üstünde daha fazla duracağız.

Mutasyon, yeni niteliklere sahip bireyler üreterek hücre düzeyinde gerçekleşir. Bu değişiklikler genel olarak nüfusun içinde yanlara doğru dağılamaz; genlerinizi komşularınıza iletemezsiniz (aslında bazı hücreler bunu yapabilir, fakat bizim gibi çok hücreli canlılar yapamaz). Yeni bir nitelik zamanda ileriye doğru dağılır ve belki de gelecek olan nüfusta yaygın olur. Geriye dönüp ışık konisi örneklememize bakın: Aynı zamanda, olabilir başarılı nitelik dağılımı açısından da kaba bir model olarak iyi bir iş çıkarır. (Bu sadece kaba bir modeldir; nüfus genetiği çok daha hassas resimler çizer.)

Buradan evrimsel değişikliklerin kendilerini bir türde sabitlemeleri için çok sayıda nesilden geçirmeleri gerektiğini

görüyoruz. Darwin, Dünya'nın muazzam yaşının ilk olarak ortaya çıktığı bir zamanda yaşamıştır ve sonraki keşifler onun teorisini daha da sağlam bir temele oturtmuştur. Fosil kayıtlar, Dünya üzerinde muazzam zaman dilimleri boyunca uzanan yaşamın ilerlemesini ve farklı organizmaların gelişimini göstermektedir. DNA çalışmaları, bilim insanlarının farklı organizmaların ne kadar yakından alâkalı olduklarını ölçmelerine ve yaşayan bütün organizmaları, tek bir kocaman soyağacında toplamalarına olanak tanımaktadır.

Hücreler, DNA ve evrim günlük hayatımızın kedilerinden ve köpeklerinden, çimenlerinden ve ağaçlarından çok uzakta görünüyor. Bununla beraber, saptama ve teorinin dolaylı araçlarıyla bulunan bu üç içerik, modern biyolojinin temelini biçimlendirmiştir.

Yukarıdakiler, evrimin kısa bilimsel bir tartışması için az ya da çok geçerlidir (özellikle sonrasında iyice araştırılarak konu üzerine yazılmış yüzlerce kitaptan herhangi birine dalınacaksa; okuma önerisi için tavsiyeleri, kitabın sonunda bulabilirsiniz). Ne yazık ki evrim sadece bilimsel bir başlık değildir. Aynı zamanda tartışmanın dini, politik ve estetik kemiğidir (estetik, bazı insanlar evrim teorisini güzel buldukları ve diğerleri insan olmayan atalara sahip olma fikrini beğenmedikleri içindir). Evrim, bu diğer mahkemelerde oldukça bilim dışı şekilde ele alındığı için konuyla ilgili ilave irdelemenin gerekli olduğunu düşündük. Evrimle ilgili yapılan bütün hataları ve yanlış ifadeleri çürütmeye niyetli değiliz (bu çok uzun sürerdi, ayrıca da bunu yapmış olan başkaları var); daha ziyade karışıklığın yaratıldığı yollardan birine değinmek istiyoruz: Bilimsel terimlerin yanlış kullanımı.

İnsan çabasının olduğu bütün alanlar gibi bilim de, ya söz konusu alanın dışında başka anlamlara gelen ya da genellikle

anlaşılmayan anlamlara sahip, özel anlama gelen sözcüklere ve tabirlere sahiptir. Böylesi terimlerin özensiz (ister kasıtlı ister yanlışlıkla) kullanımı (yine ister kasıtlı ister yanlışlıkla) karışıklık yaratır. Son bölümde bu konuyla ilgili daha kapsamlı tartışacağız, şimdilik dönüş yolculuğumuzun mükemmel örneğine ulaşmış bulunuyoruz, manzarayı bozmak yerine durup bunu keşfetmeyi öneriyoruz. Merak etmeyin, yolculuğumuzu çok fazla geciktirmeyecektir üstelik yol üstünde birkaç yararlı hediyelik eşya da alacağız.

Evrimin kötüye kullanılan ilk kavramı "en güçlü olanın hayatta kalmasıdır". Bu deyim, canlıların bir şekilde dönüşmeye çabaladıkları mutlak en güçlü veya en iyi şey varmış fikri yaratmak için kötü bir şekilde alet edilmiştir. Ne var ki, gerçekte "en güçlü olanın hayatta kalması", söz konusu olduğunda şimdi hayatta kalmayı sağlayan nitelikler, uzun vadede er geç bu canlıların torunlarının düşmesine sebep verecek olsa da, en iyi uyum sağlayan herhangi bir şey hayatta kalacaktır anlamını taşımaktadır.

Koyun örneğini ele alalım. Zekânın ve kendini koruma yeteneğinin hayatta kalma nitelikleri olduklarını düşünme eğilimine sahibiz. Bu, türler besin hayvanları olarak evcilleştirilmediği sürece geçerlidir. Bu durumda, bunlar bireyin üreyemeden öldürülmesine sebep olması muhtemel niteliklerdir. Vahşi koyunlar günümüzde çiftliklerde yaşayan koyunlardan çok daha akıllı ve çok daha saldırgan olmuşlardır. Seçilim baskısı (çoban örneğinde), tehlikeli koyunları itlaf ederek (bugünlerde pek duymadığımız bir deyim) onları koyunlaştırmak için (koyunu düşünmek istediğimiz şekliyle) bu niteliklere karşı işlemiştir. İnsanlık yarın yok olsaydı koyunların hayatta kalma konusunda ciddi sıkıntıları olurdu; çünkü evcil ortamda hayatta kal-

maya uyum sağlamak, vahşi ortamda hayatta kalmaya uyum sağlayamamakla aynıdır.

Karışıklığa sebep olan diğer terimler genellikle birlikte kullanılan "rastlantısal" ve "mutasyondur". Mutasyon genetik görünümde, her iki ebeveyninde de var olmayan bir niteliğin çocukta ortaya çıkmasına sebep olan değişikliktir. Mutasyon en yaygın şekliyle, kopyalama sırasında oluşan hatadan kaynaklanan, genetik kodda meydana gelen gerçek bir değişikliktir. Örneğin, bir DNA parçası aşağıdaki dizilime sahip nükleotidleri içeriyorsa:

AAAATTTTGATCCTAA,

yanlışlıkla aşağıdaki gibi yanlış kopyalanmışsa:

ATAATTTTGATCCTA A,

o zaman üretilen gen, asıl genden farklı bir protein yaratımını kodlayacaktır. Bu değişiklik, bu proteinin vücuttaki işlevine dayanarak ilgisiz, ikincil, başlıca veya ölümcül öneme sahip olabilir. Pek çok durumda mutasyon, ölü doğumu veya eşdeğerini üreterek basitçe yeni organizmaların gelişmesinin önüne tamamen geçer. Mutasyonun, gen havuzuna katılmak için tek şansı organizmanın yaşayabilecek kadar hayatta kalmasıdır. Bu gerçekleşirse, mutasyon diğer bütün organizmaların geçtiği aynı hayat testinden geçer. Mutasyon yararlı veya önemsiz olabilir. Önemsiz olarak başlayıp ancak çok sonra gelen torunlarda önem kazanabilir. Beklenmedik bir etki üreterek mutasyona uğramaya devam edebilir. (Kuş tüylerinin uçuş tüylerine götüren gelişimi ikincil önemden başlıca öneme uzanan kademeli değişime mükemmel bir örnektir.)

Mutasyonun yayılmaya şansı olmadan önce, iki testten geçtiğine dikkatinizi çekeriz: Birincisi, özgün organizmanın yaşayıp yaşamayacağı ve ikincisi, üremek için hayatta kalıp kalmayacağıdır. Bu iki test, mutasyonun rastlantısal karakterine karşı güçlü evrim filtresini oluşturur.

Rastlantısallığa daha dikkatli bakmanın vakti geldi. Bu kavrama daha önce, özellikle gerçekliğin kuantum düzeyini ve belirsizlik ilkesini incelerken dokunmuş olsak da, bu düzeyde varoluşun temel özelliği olmaktan ziyade olayların birikimi açısından kısa anlatımı ifade ettiği yerde, onu tekrar ele almamız gerekmektedir.

Rastlantısal bir davranışın klasik örneği zar atmaktır. Fizik problemi olarak ele alındığında, her bir zar fırlatışı bir ortamda harekete geçirilen cismi içerir. Teoride fırlatışın sonucu çözülebilir bir problemdir. Başlangıç koşulları verilirse zar düştüğünde tam olarak hangi yüzünün denk geleceğini bulabiliriz. Uygulamada bu problem o kadar karmakarışık, başlangıç koşullarının ölçümü o kadar zor ve küçük değişiklikler büyük sonuçlar üretmeye o kadar kadirdir ki, sonucu gerçekten saptayamıyoruz.

Çevabı tahmin edemediğimiz için, zar atmanın sonucu rastlantısal farz edilir. Mutasyon buna benzerdir, herhangi uygulamalı bir yoldan hesaplamak için aşırı küçük ve aynı zamanda aşırı fazla sayıda olaylar dizisidir. Mutasyonu tahmin edemediğimiz gibi, etkisini de kolaylıkla saptayamayız. Genetik koda bakıp neyin değiştiğini görebiliriz. Doğru eşleştirmeyle bu değişen genin belirli bir organizmada nasıl açığa çıkacağını bulabiliriz. Ne var ki, bu değişikliğin organizmanın hayatında yaratacağı etkileri kolaylıkla tahmin edemeyiz.

Hayatta kalma şansı üzerinde görünüşte küçük bir etkisi olan mutasyon örneğini ele alalım. Diyelim ki, herhangi bir

kimse parlak mavi saç üreten bir saç rengi mutasyonuna uğramıştır. Bu kişinin büyüdüğü topluma bağlı olarak, kendisi sakınılan veya çekici bulunulan veya herhangi biriymiş gibi davranılan biri olabilir. İlki gerçekleşirse bu genin sonraki nesle aktarım olasılığı düşüktür; ikincisi gerçekleşirse olasılık yükselir; sonuncu da ise onlar bunu etkilemezler. İnsanların aksine hayatta kalması, gizlenmesine bağlı bir canlıda aynı mutasyon üreme olasılığı üzerinde daha ciddi etkilere sebep olabilse de, yine aynı üç olasılık ortaya çıkar. Ortamına bağlı olarak yeni saç rengi gizlenmeye engel olabilir, yardım edebilir veya önemsiz olabilir.

Bu açıdan bakıldığında, mutasyonun hayatta kalmasının rastlantısal niteliği basit bir özelliktir. Zarar mı veriyor, yardım mı ediyor yoksa önemsiz mi? İlkinde hayatta kalmak olası değildir; ikincide daha olasıdır; sonuncuda soruya bir katkısı yoktur. Diğer bir deyişle, öncelikle mutasyona uğramış organizmanın yaşayabildiğini ve mutasyonun üremeyi bilfiil engellemediğini varsayarsak, mutasyonun yayılma ihtimali yaşadığı ortamda ne kadar işe yaradığına bağlıdır.

Rastlantısal mutasyonun evrimin mekanizması olmasıyla sorun yaşayan insanlar, genelde "Karmaşık hayatın rastlantısal olaylar sonucunda ortaya çıkması imkânsızdır" gibi bir şey beyan ederler. Ne var ki, şeyler onların düşünüyor göründükleri şekilde rastlantısal değildir. Evrendeki her yapı seviyesi alttaki seviyelerin üzerine inşa edilir. Hayatın temelinde kimyasal etkileşim vardır ve böyle işlemesinin sebebi atomların kuantum yapısıdır. Atom seviyesinin üzerinde hayat, çoğunlukla sadece küçük bir element takımıyla uğraşır: Hidrojen, karbon, oksijen ve nitrojen. Diğer elementler de kullanılır fakat bu dördünün kimyasal davranışı, ne tür hayatın mümkün olduğunu belirler.

Kimyasal bileşimlerin temelinde, her ne kadar çoklu ve çeşitli olsa da, küçük bir takım mümkün kimyasal bağlar vardır. Bu elementlerin etkileşim yöntemleri ve yapıları inşa etme kabiliyetleri etkileyicidir, ancak kimyasal çeşitleme alanının kökünde sadece birkaç olasılık yatmaktadır.

Zar dünyasında yararlı bir benzetme vardır. Standart bir zarla başlarsak, bu zar bize 1 ile 6 arasında herhangi bir sayı verebilir. İki zar atarsak, 2 ile 12 arasında bir sayı elde edebiliriz. Üç zar 3 ile 18 arasında bir dağılım alanı verir; dört zar 4 ile 24 vesaire. Bir milyon zar atarsak 1.000.000 ile 6.000.000 arasında bir sayı elde edebiliriz. Bununla birlikte bu geniş olası alana yayılan sonuçlar, temel 1-6 atışının tekrarına dayanırlar.

Altı adet (0'dan 9'a numaralandırılmış) on yüzlü zarı ele alırsak ve onları, sayının basamaklarını elde etmek için toplamadan atarsak daha uç bir örnek elde edebiliriz. İlk zar bize yüz binler, ikinci zar on binler, üçüncü zar binler, dördüncü zar yüzler, beşinci zar onlar ve altıncı zar birler basamağını verir. Bu bize 0 ile 999.999 arasında herhangi rastlantısal bir sayı elde etmek için sadece altı basit rastlantısal eylemi kullanmamıza izin verir. Yine, üst üste tekrarlanan küçük bir olasılık temeli gereğinden fazla olası sonuç verir.

Hayatla ilgili anlaşılması gereken çok önemli şey, yapının her bir seviyesinde göreceli dar, olası değişiklikler alanına sahip olmasıdır. Zaman içinde evrime götüren şey, artan değişiklik ve niteliklerin saldırganlığıdır. Tek hücreli hayvanlar mutasyona uğrayarak doğrudan doğruya insana dönüşmemişlerdir. Genetik karakterlerini yavaş yavaş değiştirerek, sonuçta özgün uzmanlaşmaya bağlı hücre kolonileri üretmişlerdir. Sonrasında, milyarlarca yıl önce, bu koloniler hayatta kalma baskısı altında değişerek, atalarından oldukça daha karmaşık torunlar üretmişlerdir.

Olası olmayanı olası olana dönüştüren şey, zaman içinde durmadan tekrarlanan çok sayıda küçük olasılığın birleşimidir. Yukarıdaki altı adet on yüzlü zarın atılması örneğinde, hepsinin sıfır gelme olasılığı milyonda birdir. Ancak, bir milyar atış gerçekleştirmiş olsaydınız, bin kere sıfır gelmesini beklerdiniz. Karmaşık hayatın şimdiki durumuna bakarak, bu duruma getirmiş olan şeyin rastlantısallık olma olasılığının olmadığını söylerseniz haklı olursunuz. Ne var ki, milyarlarca yıl boyunca çok sayıda zar atıldığında ve her bir atışta en iyi sonuç veren birleşimler saklandığında hayat, bizimkine denk bir tür karmaşıklığı oluşturacak kadar gelişebilir. Bütün olasılıklara bakmazsanız, neyin olası olduğunu ve neyin olmadığını göremezsiniz.

Tıp

Hayatın bilimi, bizi doğal olarak insanların hayatlarının bir zamanında veya başka bir zamanında en çok endişelendikleri bir bilime götürür: Tıbba. Tıp, evrimle En Eski Uygulamalı Bilim Dalı unvanı için yarışmaktadır. Tıbbın tarihi de din ve sihirle çok yakından bağlıdır fakat bu, tıbbın bilimsel temellerinden kültürel temellerinin ele alındığı başka kitaplarda uğraşılacak bir konudur.

Tıp, evrenin tek belirli özelliğiyle ilgilendiği için var olan, dar, ayrıntılı bilimin bir örneğidir. Üzerinde konuştuğumuz bilimleri (fizik, kimya, biyoloji) dikkate alırsak, oldukça geniş-lerdir. Fiziğin bölümleri (kuantum fiziği, atom fiziği, mekanik, optik, elektrik ve manyetizma, katı hal fiziği, gezegen fiziği, gökbilim, görelilik ve evrenbilim) evrenin farklı düzeylerdeki yapısına veya ilgi alanlarını (dikkate değer bir çakışmayla) ayıran farklı sorulara az ya da çok karşılık gelirler.

Bununla birlikte diğer bilimlerde belirli bir konuya duyulan ilginin sebep olduğu bölünmeler vardır. Kimyanın bir dalı olarak metalürji metallerle ilgilenir ve insanların metalleri kullanımı sebebiyle tarihsel bir ilgiye sahiptir. Daha önce bahsettiğimiz üzere, biyolojinin bir dalı olan çiftçilik de insanların ilgisinden kaynaklanmaktadır. Tıp, iki sebepten dolayı geniş hayvan araştırmasından ayrı olarak meydana gelir; birincisi, insanları canlı tutmaya (veya en azından bir insanı canlı tutmaya) karşı belirli bir ilgimiz olduğu için ve ikincisi, tıp en büyük algılanan evrene sahip bir bilim olduğu için.

Gökbilim ve evrenbilim saptama anlamında en geniş evrene sahiptir diye düşünebilirsiniz, haklı da olursunuz. Her günün her anında her birimiz tıbbın algılan evrenini sürekli olarak deneyimleriz. Kalbimizin attığını duyarız, ağrıyı hissederiz, nefes alır ve veririz. Yemek yeriz ve sindirimle ilgili başka faaliyetler deneyimleriz. Uyanıkken de uyurken de tıbbın algılanan evrenindeyiz. Tıp, kozmik ölçekte küçümsenecek olsa da, bizim anlamları çok çok büyük olan hayatı ve ölümü kapsama şekliyle aynı zamanda en dramatik teorik evrene de sahiptir.

O zaman, tıp iki sebepten dolayı yolculuğumuzun sonudur. Başka hiçbir bilimin yapmadığı şekilde bizi algılanan evrene geri getirir ve gökbilim, kuantum fiziği, kimya ve elbette ki biyolojiden geri dönüş yolculuğumuzda onların her birinden bir parça taşır.

- Gökbilim açısından; mütevazı (çok da mütevazı değil aslında, daha ziyade kendisinin göründüğü ışık konusunda seçici olan) X-ışınını düşünün. Aktarım diskiyle etkileşime giren karadeliği açığa çıkaran aynı elektromanyetik ışınım bandı, kırık bir kemiği de açığa çıkarır.

- Kuantum fiziği açısından; parçacık fiziği teorilerini test etmek için kullanılan aynı türden hızlandırıcılar, kansere karşı ışınım tedavisinde kullanılır.
- Kimya açısından; çoğunlukla C, H, N ve O'dan oluşuyoruz. Onların kimyasal tepkimeleri bizi mümkün kılar.
- Biyoloji açısından; biz ekosistemde yaşayan canlılarız. Evrimleştik ve çevremizdeki organizmalar üzerindeki evrimsel baskılar biziz.

Yolculuğumuzun sonu olduğu için tıp, kendisini diğer bilimlerin uğraştıklarından farklı endişelerle yüz yüze bulur. Böylesi problemlerden birincisi etiktir. İnsan hayatını anlatabilecek oldukça çok sayıda deneyin gerçekleştirilmesi basitçe ahlaksızlıktır. İnsanlar üzerinde yapılacak çok çeşitli deneyler işkenceyi teşkil ederler. Tıp, saptanan evrenin içine doğru gamsız genişleme yapamaz ve yapmamalıdır. Sadece hastanın sağlığı önceliğiyle hareket ettiği sürece deney yapabilir.

Diğer pek çok bilim dalında bu kadar endişeli olmak için sebep yoktur. Nükleer fizikçi hiçbir endişe taşımadan atom çekirdeklerini parçalayabilir (bunu aşırı kısa bir zamanda, aşırı küçük bir alanda, aşırı fazla sayısına yapmadığı sürece). Organik kimyager, terk etmekten mutlu birbirinden ayrı molekülleri bölebilir. Bir doktor bunu hastasına yapamaz. Bunun anlamı, tıbbi bilginin ve anlayışın herhangi diğer bilimden farklılaşarak yaygın olan tıbbi problemlere bağlı baskılara karşı gelişmesidir. Tıbbi bilgi evrilir.

Tıbbın (biyolojinin diğer dallarıyla paylaştığı) ikinci problemi, saptanan evrenin ayırıcı özellikleri yalıtım ve tekrarlanabilirliktir. Bir elektron bir diğerine benzerken, insanın başka bir insana benzemesi gerekmemektedir. Vücutlarımız, en te-

mel işlevleri yerine getirmek için bile çok sayıda farklı parça kullanan karmaşık etkileşimli yapılardır. Sindirimle ilgili problemleri olan bir insan düşünün. Böylesi bir zorluk ağızdan, mideden, karaciğerden, safra kesesinden, ince veya kalın bağırsaklardan, çok çeşitli hormon bezlerinden veya sinir sisteminden kaynaklanabilir; alerji olabilir veya psikosomatik olabilir.

Etmenleri ayırmak ve sebepleri yalıtmak tıpta zordur. Aynı belirtileri gösteren iki kişi, temelde farklı iki rahatsızlıktan muzdarip olabilir. Tıbbi test –neye bakılması ve neyin test edilmesi gerektiğini bilme– adeta bir sanattır. Aynı eğitimi almış iki doktor, bir rahatsızlığın sebebini saptama konusunda oldukça farklı yeteneğe sahip olabilir. Dahası, farklı genetik görünüme sahip iki kişi, aynı tedaviye farklı tepki gösterebilir. Bir gen, iyiye gitmekle kötüye gitmek arasındaki fark olabilir.

Tıbbın üçüncü problemi uzun süreli etkiyle ilgilidir. Tıbbi tedavi, vücutta yıllar hatta nesiller boyunca ortaya çıkmayacak değişikliklere sebep olabilir. İnsan ömrü, yeni bir tedavi için uzun süreli incelemelere yetecek zamanı vermemektedir; özellikle de bu tedavi, şimdi ve buradaki büyük bir sağlık sorununu çözmek için üretilmişse.

Bu üç zorluk, tıbbın çok sayıda iyi ve kötü tedavi arasında ani değişiklikten muzdarip görünmesinin sebebini açıklar. Bir on yılda iyi gibi görünen bir şey, bir sonrakinde uzun süreli sonuçları sebebiyle kötü görünebilir. Bir neslin mucize ilacı, bir sonraki neslin lanetine dönüşebiliyor bazen. Diğer vakalarda, tedaviler sadece bir grup insanda test edildiği için ilaçlar aşırı veya eksik kullanılmıştır. Tıbbi çalışmaların yaygın problemi, test edilenlerin yeterli genetik farklılık alanına sahip olmamalarıdır.

İnsan testlerinin ahlaksızlığından doğan zorluklar, aynı derecede fakat farklı bir yönde kötü etkiye sahiplerdir. Kötü şöh-

retli bazı vakalarda, doktorlar hastaların uygun izinleri olmadan insan testleri gerçekleştirmişlerdir. Bu durum genellikle deneyciler tarafından, denekler gerçekten insan değilmiş gibi davranılarak açıklanır. Afro-Amerikalılar üzerinde yapılan frengi araştırmaları ve gelişimi engelli çocuklarda ışınımın etkileri çalışmaları, böylesi bir şekle sahip insanlıktan uzaklaşma olarak meydana gelirler.

Bu zorluğun üstesinden gelmek için tıbbın ikinci, eşit derecede tehlikeli olan şekli, teorilerine aşırı âşık doktorların uygun testleri yapmadan, sonucu dikkate almadan tedaviye atlamalarıdır. Bilimin bütün dallarında insanlar teorilere âşık olabilir, olgu ve testleri dikkate almadan onları ilerletebilirler. Tıp, bu açıdan en tehlikeli alandır. Yirminci yüzyılın erken tarihinde psikiyatrik rahatsızlıkların tedavisi, birinin teorisine uyuyor diye lobotomi gibi yöntemleri içermiştir, fakat "tedavinin" sonuçları incelendiğinde ortaya çıkan olguları yok saymıştır.

Tıbba karşıymışız gibi görünmek istemiyoruz. Değiliz. Zorluklarına rağmen, tıp teorinin anlaşılmasına ve saptamaya dayalı bilimsel eğitimin en iyi argümanını sunar. Çünkü bilimin bu dalı, hayatlarımızı her gün karar vermemiz adına ve bilgilendirme soruları sormamız için zorlayarak etkiler; bu nedenle bu bilimi "gerçek hayatla" hiçbir ilgisi olmayan soyut çaba olarak addedip, ona karşı duyarlı davranamayız. Bilgili bir insan, sadece doktorun ona neyin işe yarayacağını söylemesini istemez, bunun işe yaracağını onların nasıl bildiğini de merak eder. Kendi hayatınızı veya sevdiğiniz birinin hayatını birinin ellerine teslim etmeye hazırlanıyorsanız, doktorun iyi yaklaşımından biraz daha fazlasına ihtiyacınız olabilir.

Daha önce de söylediğimiz gibi, kara enerjinin boşluğundan yıldızlara, gezegenlere, kendi gezegenimize, hayatı müm-

kün kılan kimyaya, hayatın kendisine, hayatla ilgili kendi endişelerimize geçerek yolculuğumuzun sonuna geldik ve vardığımız nokta...

Tam olarak neredeyiz?

Yeniden insan ölçeğindeyiz, bu kitabın çok başlarında terk ettiğimiz bir yerde. Burada, insan ölçeğinde, saptama ve evrenin belirli özelliklerini gözlemlenebilir kılmak için kullanılan bir araç vardır. Onu elinizde tutuyorsunuz (bunları ekrandan okumadığınız sürece). Bu bir kitaptır. Bilim üzerine yazılmış kitaplar, saptanan evrenin araçları olarak düşünülebilir. Onlar, evren hakkında bilgi toplamaya yarayan dolaylı gereçlerdir.

Bilim üzerine yazılmış kitaplar ve makaleler bu amaç doğrultusunda en yaygın kullanıma sahiplerdir. Bilim insanları onları her zaman kullanırlar. Kitaplar ve makaleler, onların bilgiyi ve deneylerin sonucunu yaymalarını ve devretmelerini sağlar. Her bir bilim insanının tekerleği yeniden keşfetmek veya Dünya'nın çapını, AB'nin uzunluğunu, ışığın hızını, uzayın eğriliğini ve benzerini belirleyen deneyleri tekrar yapmak zorunda olmamasını garanti ederler. Aynı zamanda bunları tekrar yapmak isteyecek bilim insanının, bunu nasıl yapacağını bilmesini de sağlarlar.

Peki, böylesi bir aracın iddia ettiği gibi çalıştığından nasıl emin olunabilir?

Kısaca, "Kitap bunu nasıl bilmektedir?"

14. Bölüm

Yazıldığı Şekliyle Bilim

İkimiz de daha önce bilim kitabı yazmadık; fakat bir bilim insanı ve bir yazar olarak ortak açıdan bilim hakkında ve yazarlık hakkında bir şeyler biliyoruz. Bu ikisinin birleştirilmesi kolay bir işmiş gibi gelebilir, fakat bilim ve yazı arasında ender olarak göze çarpan temel bir çatışma vardır. Yazarlar kolayca akan işler yaratmak için çabalarlar ki, okurlar kolayca oturup yazarın işlemek için aradığı görüntüleri ve fikirleri alabilsinler. Fikirler, tuhaf görüntüler yabancı olduğunda bile okur tarafında yazının amacı, kolay içine çekmedir. Bilimkurguda bunun bir aracı, güvensizliğin uzaklaştırılması adı verilen yazarın okuru cesaretlendirmesidir. Yani, yazılanlar gerçek dünya standartları açısından gülünç görünüyor olsa bile, yazının okurun aklında yarattığı dünya o kadar doğal görünmelidir ki, okur bir bir ihlal edilen doğa kanunlarını kabul etsin.

Diğer taraftan bilim tam tersini talep eder. Bilimi öğrenirken, kişinin güveni uzaklaştırmış olması gerekir. Bu kişinin

aşırı şüphecilik için çaba sarf ediyor olması ve "Bunu nasıl biliyorsun?" sorusunun cevabı için ısrar ediyor olması gerekir.

Daha küçük bir ölçekte, yazı bir fikrin başka bir fikri takip etmesiyle işler; genellikle akılda beliren bir görüntüyü inşa eden birbirini takip eden cümlelerle. Akıcı dil iyi yazının niteliği olarak addedilir ve editörler bu akışı kıran cümleler konusunda feryat ederler. Diğer taraftan bilimin daha kesik ve kuvvetli, meydan okuma ve karşılıklı soru ve cevap ritmi vardır. Akıcıymış gibi görünebilir fakat bilimde duyulmayan ileri-geri giden bir tempo vardır: Meydan okuma, duraklama ve düşünme, karşılık verme. Sormak, deneyi formüle etmek, deneyi yaratmak, deneyi uygulamak, cevap vermek. Bazen bu duyulmayan tempo bir ömür sürebilir.

Bu bölüme kadar, yazının temel bir amacı için çaba sarf ettik: Fikirlerin akıcı bir şekilde iletişimi. Bunu yaparken, yazı açısından çok şey öğrendik çünkü oldukça zor olan bilimin iletişimini sağlamak adına, yazının iyi yaptığı şeylere güvendik. Tanım, betimleme, eğretileme, mizah, kendi kendine söylenen sözler, biyografi, tarih ve hatta sonlarda birazcık çatışma bile kullandık. Aynı zamanda bir insanın aklına girmek için yazının bütün sanatların en iyisi olması olgusuna güvendik. Sadece yazıda bir kişi düşüncesini sıkıştırarak okura gösterebilir. (Bunu filmde, resimde veya heykelde yapmaya çalışın. Oldukça zordur.) Yazının bu avantajını sadece bilimi değil, bilim insanlarının düşünme şeklini de tartışmak için kullandık.

Burada yazının avantajlarını sonraya bırakmak üzere duracağız (bir süre için) çünkü dezavantajlarının özetini geçmemiz gerekiyor. Bunu yapmamız gerekiyor çünkü yazının yöntemleri bilimin yöntemleriyle çatışır ve bu çatışma bazen bilim açısından büyük sakıncaya sebep olur. Bu çatışmada bilim sıklıkla kaybeden taraf olur. Güvensizliğin uzaklaştırılması, insanların

çoğu için güvenin uzaklaştırılmasından daha kolaydır. Bu kişi bilimkurgu okuduğu sürece bu iyidir, fakat olguları okuması gereken biri için değildir.

Aslında pek çok bilim insanının doğru olarak addedeceği, fakat bildiğimiz kadarıyla, daha önce hiçbir zaman bu şekilde ortaya konmayan bilimsel bir düşüncenin modelini olgu olarak sunduk. Üç katmanlı evren bizim kendi keşfimizdir, çalışmanın ve düşünmenin paylaşım yönteminin yazılı görüntüsüdür. Ne var ki, her bir bilim insanının kendisinin çalışması hakkında böyle düşündüğünü ne öneririz ne de önerip ispat edebiliriz. Böyle düşünmezler. Bu, genel olarak bilim insanlarının kullandığı dikkatli düşüncenin ve ortak paylaşım tutumunun bir görüntüsüdür. Ancak, görüntünün kendisi ve üç katmanlı evrenin şartları yenidir.

Dahası, olgu ve kurgu arasındaki sınır bölge keskin bir çizgi değil bulanık bir alandır. Eski moda tarihi roman ve yarı belgesel oyunlarla bilgi veren eğlendirici programların yeni modası, insanların ve fikirlerin dramatik veya mizahi veya modaya uygun görüntüsü adına betimlemenin kesinliğini düzenli olarak feda etmiştir. Bilim yazını bu bulanıklık açısından emniyette değildir. Hikâyeyi "daha ilginç" yapma peşinde olan yazar adına epey bilimsel kesinlik feda edilmiştir. Bu nokta da, temel çatışmayı gösterir. Bilim insanı açısından ortada dünyanın çalışma şeklini, sadece bütünü kapsayan kozmolojik örneklem değil onun ufak bir parçasını ortaya çıkarmaya çalışan doğal bir merak vardır. Bir böcekbilimci ömrünün tamamını, böceklerin bir türünün özelliklerini ayırt etmekle geçirebilir ve kendisi böylesi çalışmanın özeni ve bütünlüğü için övülecektir. Teorik fizikçi, teoriyi çürütecek testin yapılabilmesi için bir teorinin sonuçları üzerinde çalışmaya ömrünü adayabilir.

Bilim insanı açısından bu iyi değerlendirilmiş bir ömürdür, ancak klasik hikâye anlatma geleneğinde bu iyi değerlendirilmiş ömürler trajedi olarak addedileceklerdir.

Bu estetiği ilgilendiren küçük bir çatışma da olabilir (hayatı kısaltılan insan siz olmadığınız sürece), fakat gerçekten bilim insanı olmadan bilimi öğrenmek isteyenleri karşılayan bilim yazını ile ilgili çok daha ciddi sorunlar vardır. Bu sorunlar bilimle ilgili makalelerde ve kitaplarda, kısaca bunun gibi çalışmalarda, ortaya çıkar. Sorunun temeli eğlence adına bilimi bulanıklaştırmada yatar. Bu durum, gerçek dünyanın gerçekliğine karşı duyarsızlık yaratır, çünkü başta da söylediğimiz gibi, olguların birçoğuna bilimden geçerek ulaşırız. Peki, ya sunulan bilim eğlenceden ötesine geçmeyen bir şeye dönüşürse neler olur? Şöyle ki, Cole Porter'dan bir alıntı yaparsak:

Duydunuz mu? Yıldızlara yazılmış.
Önümüzdeki Temmuz'da Mars'la çarpışacağız!
Daha önce hiç başınıza geldi mi?
Ne kadar da müthiş bir eğlencedir bu!

Elbette ki, bu şarkı sözleri tamamen karikatürdür: İki kişi o kadar beyinsizdir ki, ileri geri aktardıkları "haberlerin", gerçekse kendileri ve tanıdıkları herkesin yok oluşuna ramak kaldığı anlamına geldiğine dair en ufak fikirleri yoktur. Bununla birlikte bu karikatür pek çok bilim haberinin hayati kusuruna işaret eder: Bu haberler, onları başkalarına aktardığımızda, "Bilim insanları diyorlar ki..." veya "Bilim insanları bulmuşlar ki..." tümcelerinden daha fazlasını vermezler bize. Kısaca, haberlerdeki eksik nokta onların "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusuna yeterli cevap sağlamamalarıdır.

"Bunu nasıl biliyorlar?" hem bilimin kalbi hem de nihai çelme sorusudur, muhabbeti katleden, senaryonun karnını deşen ve editörlerin yazarlara çıkışmalarına neden olur. Hiçbir şey bir hikâyeyi, her şeyin tam olarak nereden geldiğini ve şeylerin neden böyle olduğunu açıklamak zorunda olmak kadar mahvetmez. Diğer bir deyişle, merkezinde kitabı berbat eden bir şeyin bulunduğu bir kitabı yazacak kadar çılgınız. Ondan daha da çılgınız. Bu sorunun daha fazla kullanılması gerektiğini düşünüyoruz. Açıklamanın sadece akışı desteklediği yerde kullanışlı olduğu kurguda değil, kurgu olmayan yazınlarda, özellikle kurgu olmayan bilimde.

Bu kulağa, birkaç canı sıkılmış bilim insanının başlıca şikâyet konusu olarak gelebilir. Çoğu insan bilimi, televizyonlarındaki ışık gösterilerinden biri veya dergilerindeki hikâyelerden biri olarak görürse ne fark eder? Bu, epey bir farklılık yaratır çünkü önceki bölümde de gösterdiğimiz üzere bilim günlük hayattan ayrılmamıştır ve eğlence standartları ciddi konuların seçimi için zayıf yöntemlerdir. Örneğin doktorunuzun rahatsızlığınızla ilgili tedavileri, haberlerde en çok geçene veya en iyi özel efektlere sahip olana dayanarak seçmesini istemezsiniz.

Elbette ki, gazetede veya televizyondaki haberlerde geçen böylesi küçük bir makaleye ayrılan yer kısıtlıdır, fakat bu yerin en azından bir kısmı daha iyi kullanılarak saptama teknikleriyle ilgili daha fazla bilgi verilebileceğini düşünüyoruz. Sadece saptanan evren bilimin büyük bir parçası olduğu için değil, aynı zamanda saptama teknikleri pek çok farklı deneyde, bilimin farklı alanında ve gündelik hayatın pek çok yönünde ortak olduğu için.

Örneğin, daha önce Doppler etkisinden ve hızı ölçmek için kullanımından bahsetmiştik. Kepler'in Yasalarıyla birleş-

tiğinde, gökbilimcilerin ikili yıldız sistemlerindeki yıldızların kütlesini ölçmelerine ve Güneş Sistemi dışındaki gezegenlerin varlığı ile olanların bazı özelliklerini bulmalarına olanak tanımıştır. Hubble Yasası aracılığı ile gökbilimciler, Doppler etkisini kullanarak kuasarlara ve süpernovalara uzanan muazzam mesafeleri bulabilmişlerdir. Daha günlük bir seviyede Doppler etkisi, polislerin otomobillerin hızlarını ölçerken ve meteorologların bulutların hareketini ölçerken kullandıkları yöntemidir. Bilim haberlerinde Doppler etkisinin saptama tekniği olarak rolü her seferinde iyi sunulmuş olursa, okurlar bilimin çeşitli ayrı dallarını birleştirebilir ve bu durum aynı zamanda bilimi gündelik hayata bağlayabilir. Artık her bir haber yalıtılmış olgudan ibaret olmaz ve haber aktarılırken okur artık "Bilim insanları diyorlar ki..." ile sınırlı değildir, onun yerine "Şöyle işliyor..." diyebilir. Ayrıca haberde tuhaf bir şey varsa, okur "Hım, Doppler etkisinin bunun için kullanılabildiğini bilmiyordum" diyerek, "Belki de bunun hakkında daha fazla şey bulmalıyım" diye devam edebilir.

Bilimin yalıtılmış olgular olarak sunulması, saptanan evrenin ayırıcı özeliği olan bilimin farklı parçaları arasındaki güzel ve pratik bağlantıların üzerinde durmaz. Yalıtım, saptamanın anlaşılmasına ve kullanılmasına zarar verir. Aynı zamanda oldukça kısıtlı ve çarpık bir teorik evren görüntüsüne yol açar. Bu çarpıklıkların çoğu "teori" sözcüğünün muğlâklığıyla ilgilidir. Olgu ve kanı arasındaki ayrımı düşünün: Olgular doğruyken, kanı bazı insanların doğru olduğunu düşündüğü şeydir ki, bunlar doğru olabilir de olmayabilir de. Bilimi bu kalıba sokarak bütün deneyleri olgu, bütün teorileri kanı olarak düşünmek caziptir, ancak bilimsel teoriler deneyle test edilir. Testten geçemeyenler atılırken geçmiş olanlar eskisinden daha güçlü

bir konuma ulaşırlar, daha çok "olgu gibi", daha az "kanı gibi" olurlar. Bilimin konumunun, bir ucunda "vahşi spekülasyon" diğerinde "olgunun" olduğu sürecin bir yerlerinde olduğunu düşünmek muhtemelen en iyisidir. Maddenin atomlardan oluştuğunu söyleyen atom teorisi gibi çok iyi test edilen teoriler, olgu olarak düşünülmelidirler.

Ne yazık ki, bunların hiçbiri "teori" sözcüğü tarafından ustalıkla yakalanmadığı gibi bu sorun kolayca terim değişikliği ile de çözülemez. Teorinin konumu, deneysel kanıt onun lehine veya aleyhine arttığı oranda yavaşça değiştiğine göre teorinin konumunun çarpıcı bir biçimde kanıdan olguya dönüştüğü belirli bir yer yoktur.

Matematikte durum farklıdır. Burada matematik olgunun inkâr edilemez gösterimi, matematiksel bir ispat vardır. Hiçbir kanıtı olmayan matematiksel fikre varsayım adı verilir; bu yalnızca kanı yerine geçen matematiksel teknik bir terimdir. Kanıt bulunduğunda matematiksel fikre teorem, olgu yerine geçen matematiksel tekniğe terim adı verilir. Matematik hariç başka hiçbir alan böylesi saf ve mutlak, siyah-beyaz bir ayrıma sahip değildir. Diğer her şey süreç kullanır.

"Teori" teriminin bu muğlâklığı, hikâye anlatıcılarının araçlarını çıkarıp, yanlış olma zorunluluğu taşımasa da okurlarında yanlış izlenimler uyandıran makaleler yaratma potansiyelini meydana getirir. Teori, özellikle haberlerde meydana gelebilecek üç gizli tuzağa yol açar: (1) Anlaşmazlığın abartılması, (2) deneyin aşırı dramatikleştirilmesi ve (3) spekülasyonun aşırı satış yapması.

1. tuzağın örneği evrenin yaşıyla ilgili tartışmadır. Kara enerjinin keşfinden önce, Büyük Patlama kozmolojisine dayanan evrenin tahmini yaşı, küresel kümelerdeki bazı yıldızla-

rın tahmini yaşından daha az görünmüştür. Deneysel sonuçlar ortada kesin bir anlaşmazlığın olduğunu söyleyecek kadar iyi olmadıkları halde, evrenbilim ve yıldız yapısı teorileri çarpışma rotasındaymış gibi görünmüşlerdir. Bu teorilerden biri veya diğeri(veya ikisi de) daha fazla çalışma gerektirmiştir. Bu ilginç bir konu olmuştur ve çeşitli gazetelerde haberi yapılmıştır. Ne var ki, bu haberlerden bazıları Büyük Patlama teorisinin tamamının başı beladaymış ve bu anlaşmazlık onu çökertebilirmiş gibi bir izlenim uyandırmayı başarmıştır.

Büyük Patlama teorisinin sağlam temelde olduğunu ve pek çok detaylı gökbilimsel gözlemle (bizim galaktik hareket ve CMB'nin gözlemi konusunda tartıştığımız gibi) desteklendiğine dolayısıyla konunun herhangi bir çözümünün, Büyük Patlama'yı yok saymak yerine onun düşünülmesini de içermesi gerektiğine daha az değinilmiştir.

2. tuzağın aşırı dramatikleşmesinin, güzel bir örneklemesi karadeliklerin gözlemi haberlerinden gelir. Astrofiziksel teoride bir kavram olarak karadelikler başlangıçta oldukça ilginç addedilmişlerdir, bu nedenle YBC'ler ve aktif galaksi çekirdekleri gibi gözlemsel bir olgu için basit bir açıklama olarak kabul edilmeleri zaman almıştır. Teorinin olguya dönüşmek için geçeceği keskin bir çizgi, bütün tartışmaları bitirecek özel bir test yoktur. Bununla beraber, karadelik gözlemleri hakkındaki haberler sıklıkla, söz konusu gözlemin nihayet her şeyi açığa kavuşturduğunu ve karadeliklerin gerçekten var olduğunu ima edecek şekilde yazılmışlardır. Aslında, kabul etmeye götüren şey saptamaların toplamıdır. Hiçbir tek sonuç bilimde kabul edilmeye sebep olmaz, çünkü her bir deney gizli kusurlara sahiptir. Sadece ümit vadeden bir deneye değil çoklu kaynaklardan gelen çok miktarda veriye ihtiyacınız vardır.

3. tuzağın yararlı örneklemesi, spekülasyonun aşırı satış yapması, parçacık hızlandırıcılarında karadelik üretmenin olasılığı hakkında çıkan (bunlar yazıldığı sırada devam eden) bir grup haberden gelir. Bilim insanlarına göre, İsviçre'de yeraltında büyük tüneldeki parçacık hızlandırıcısı ufak karadelikler yapmaya başlayabilir demek elbette ki kulağa etkileyici gelir. Ne var ki, bu vakadaki bilim, *eğer* bütünüyle spekülatif ve bütünüyle test edilmemiş olan belirli parçacık fiziği modeli doğru çıkar ve *eğer* bu modelin bütünüyle ölçülmemiş olan parametreleri belirli değerlerde çıkarsa, o zaman dünyanın en büyük parçacık hızlandırıcısında karadelikler *üretilebilir* içeriğine sahiptir. Üstelik bunlar iki devasa *eğerlerdir. Eğer bir adanın altında bir canavar uyuyorsa ve eğer bir atom testi onu uyandırırsa, o zaman canavar, vatandaşları yönetmen versiyonu almadığınız sürece, ortada açık bir sebep olmaksızın kötü seslendirmeyle İngilizce konuşan Tokyo'yu yok etme amaçlı saldırıda bulunacak* kadar büyük değillerdir. Ancak yine de büyüklerdir.

Bu teoriler üzerinde çalışan fizikçilerle bu kadar uğraşmış görünmek istemiyoruz. Onlar ilginç teorik bir düşünce çizgisini takip eden mantıklı bilim insanlarıdırlar. Ne var ki gazeteciler, bu düşünce çizgisinin ne kadar spekülatif olduğunu açıklamayarak olayın tamamının gerçekte olduğundan çok daha dramatik görünmesine sebep olurlar.

Yukarıda özetlenen sorunlar oldukça küçük görünürler, çünkü yukarıdaki haberler mesleklerini dürüstçe izleyen ve alanlarındaki gizli sorunları çözmeye çalışan bilim insanlarıyla ilgilidir; gerçi onlarla ilgili haberlerde güvenilmez izlenimi yaratan "daha iyi hikâye anlatımına" doğru bir itiş vardır. Bununla birlikte, böylesi bir hikâye anlatımına sahip bilim, halkın bilimsel eğitimine yardımcı olmaz. Peki, bilimsel eğitime sahip

bir kitleye sahip olmamakla ilgili çok önemli olan ne? Burada tehlikede olan şey nedir? Anlaşıldığı üzere, çok önemlidir. Günümüz demokrasilerinde vatandaşlar (çoğunlukla seçtikleri temsilciler aracılığı ile), küresel ısınmadan kök hücre araştırmasına uzanan bilim bileşeni de olan, geniş çaplı siyasi konuların kararlaştırılmasında rol alır.

Ne var ki, daha da fazlası, günlük hayatımızda politik sistemde ve reklamda daha rahatsız edici türde olan, bilim olduğunu iddia edip bilim olmayan "haberlere" maruz kalıyoruz. Okur tarafında bilimsel eğitim ve özen gereklidir, çünkü böylesi haberler sadece drama yaratmak için değil, amaç ister evrimi ve küresel ısınmayı reddetmek ister en son çıkan sahte "bitkisel takviyeyi" satmak olsun, kasten yanlış yönlendirmek için kullanılır.

Bu konunun ciddiyetini göstermek için, hoş olmayan sözde bilim mevzusunu en azından biraz araştırmamız gerekmektedir.

Yazmanın önemli bir ilkesi vardır: Yazılanların doğruluğu veya yanlışlığının, yazarın bunları inanılabilir kılma yeteneğinin üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Çünkü inanılabilirlik, okurun neyi rahatlıkla kabul edeceğine ve neyin onun tarafından doğru bir sunum olarak kabul göreceğine dayanan, okura düşen öznel bir yargıdır.

Bu konuda yazı yalnız değildir. Herhangi bir sanat, gerçek olmayan bir şeyi gerçekmiş gibi gösterebilir. Bunlar yazılırken, bilgisayarın ekranda kanatlı bir insan figürünü betimleyen güzel bir görsel var. Bu figürün gerçekte hiçbir dayanağı yoktur, fakat gerçek görünür. Ressamlar, heykeltıraşlar ve çizgi film yaratıcıları izleyicileri tarafından gerçek olarak kabul edilecek cisimleri ve canlıları yaratmak için çabalarlar. Bu sanatın yap-

tığı şeylerden sadece biridir. Gerçek görünen gerçeklik dışı bir şey yaratır. Gerçek olan ve olmayan kesin olarak tanımlandığı sürece bunda yanlış bir şey yoktur. Ne var ki, uzun zaman önce insanlar sanatı kullanarak ikisi arasındaki suları bulandırabileceklerini keşfetmişlerdir. Bu nedenle propaganda amaçlı görsellerimiz ve yazılarımız var. İyileştirilmiş fotoğraflarımız ile düzeltilmiş görüntü ve seslerimiz var.

Bilim, kendisi dâhilinde, yaptığının gerçekliğini kontrol etmek için uygun yolları ve yöntemleri kullanarak, böylesi hileli yönlendirmelere mahal vermemek için çabalar. Bu görevi yerine getiremediği birkaç vaka olmuştur, fakat zaman içinde bu hataları düzeltmiş ve şeyleri tamir etmiştir.

Bilim, bilimin dışından, acayip insanlar barındıran, haberlerin ve propagandanın yemi olan garip bir dünya gibi görünebilir. Propagandanın en yaygın hedefinin oradaki acayip insanlar olduğunu hatırlamak önemlidir. Rahatsız edici/etkileyici değiller midir? Onların yaptığı şeyi yapmayı arzu etmeyi/etmemeyi istiyorsunuz.

Makalelerle ilgili şikâyetlerimize rağmen, bilimle basının ilkede müttefik oldukları bir alana ulaşmış bulunuyoruz. İkisi de dünyayı olduğu haliyle ortaya çıkarma arayışındadır, ikisi de doğrunun sunulması için çabalar ve ikisi de kanıtın yanlış olacak şekilde değiştirilmesini kınar. Basın ve bilim, kendilerine ait olan insanları sadece kanıt değiştirilmesi durumlarında cezalandırırlar. Ne var ki, ortada yanlış olacak şekilde değiştirilmiş kanıt ve "hikâyenin bütün yönlerini anlatma" var. İkincisi basın mensuplarının kulağına çok güzel gelir. Bir kişi bir şey, başkası onun aksi bir şey söylüyorsa, bu "iyi haberdir" ve doğru olan açık değilse, hikâyeyi anlatanlar bir tarafı diğerinden ayırmak konusunda yöntemsel eksiklik çekiyorsa, o zaman pek çok

basın mensubu konuyu iki taraflı anlatma yükümlülüğünü yerine getirmeyecektir; ayrıca taraflardan biri genel olarak kabul edilmişse, o zaman karşı tarafın varlığı iyi haber olur.

Bilimsel tartışmanın iki tarafına da eşit davranılmasının gerekip gerekmediğini söyleyebilmek adına, ikisi arasında muhakeme etme imkânının var olması gerekir. Bu kitapta "Bunu nasıl biliyorsun?" bilimsel standardını sunduk. Bu standarda uymak, yazarlar açısından daha zahmetli makaleleri, okurlar açısından şeylerin pratik ayrıntıları konusunda daha çok meraklı olmayı gerektirir. Bu gereksiz bir yük gibi görünebilir, fakat standarda uyulmadığında olacakları değerlendirin. Yazının standartları kullanılırsa, drama ve görünüş teknik gerçeklik ve dikkatli çözümlemeye baskın gelir ve görünüş saptamayı alt eder. Bu yol, göreceğimiz üzere değersiz bilim ve sözde bilime çıkan patikaya götürür.

Bilim, dünyanın doğasını fark ederek dünyayla etkileşime girme yöntemidir. Bilim insanları bunu, daha önce anlattığımız üzere gözlem, teori ve deney akışında, üç katmanlı evreni kullanarak yaparlar. Peki, bilim diğer insanlara nasıl görünüyor? Evren kafalarında uğuldadığında ne yapıyormuş gibi *görünürler*? Bu tuhaf bir soru gibi görünebilir fakat bir aktörün bütünüyle farklı bir role bürünebilmesi gibi gayri bilim de, bilimin görüntüsünün taklidini yaparak içinde bilim barındırmadan bilimmiş gibi görünebilir. Bu neden yapılsın? Çünkü bilim inanırlığa sahiptir ve bilimin varlığı insanları tamamen yanlış olan şeylere inandırmak için kullanılabilir.

Böylesi bir maskeli balonun nasıl devam ettirildiğini anlamak için bilimin süsüne, kıyafetlerine, sahne donanımına ve dekoruna bakalım. Sahne donanımı için en basit kelime "bilim insanıdır". Yeni fikirler ve araştırmalarla ilgili çoğu haber, "Bi-

lim insanları şunu saptamıştır..." ifadesinin bir çeşitlemesine eşlik eden sözüm ona bilimsel araştırmanın sonucunun, içeriğe veya yönteme veya bu bilim insanlarının kimliklerine dair az bilgi içeren özetiyle başlar. Bilim insanları, henüz evrenbilimciler tarafından bile incelenmeyen evrenbilimsel bir teoriye sahip bitkibilimciler olabilirler. Neyin bir insanı bilim insanına dönüştürdüğü konusunda genel olarak kabul edilen bir tanımlama yoktur. Bilim alanında alınmış bir diploma yararlıdır, fakat aynı zamanda geçmişte önemli işlere imza atmış amatör bilim insanları da vardır. Bu nedenle, "bilim insanı" sözcüğü herhangi bir kimseye yakıştırılabilir.

"Bilim insanı" sözcüğüyle ilişkili olarak "doktor" unvanı vardır. Doktora herhangi bir alanda verilebilir. Böylesi bir unvanı olan bir insan dünyaca tanınan Bach müziği uzmanı olabilir, fakat bu durum onun evrenin temel yapısıyla ilgili yeni teorisine, sokaklarda atıp tutan diplomasız insanların teorilerinden daha fazla itibar edilmesi gerektiği anlamına gelmez. Doktora, bir alandaki uzmanlığı temsil eder. "Hangi alan?", her zaman sorulması gereken bir sorudur.

Bilimin görüntüsündeki diğer süsler enstitülerin isimleri, donanım görüntüleri, film ve TV'deki bilim insanlarının eski güvenilir sahne donanımı, laboratuvar önlüğüdür. Beyaz laboratuvar önlükleri neredeyse bir yüzyıl boyunca insanlar tarafından bilim insanı gibi görünmek için kullanılmıştır. Günümüzde, elbette ki –tıp doktorlarını saymazsak– çoğu gerçek bilim insanı bunları giymez ve çoğunlukla günlük kıyafetleriyle görülürler. (Bilim insanları arasındaki terzilik yeteneğinin genel seviyesini tartışmayacağız.)

En önemli sahne donanımı ve bilim insanı olmayanları en çok zorlayan şey matematik, özellikle istatistik kullanımıdır.

Çoğu insanın matematik tecrübesi, onlara okulda öğretilen basit doğru ve yanlış cevapları olan yapay problemlerle özetlenebilir. Bu durum matematikten aşırı korkan insanın bile tecrübeli matematikçilerin veya bilim insanlarının paylaşmadığı sayılara karşı naif bir inanç beslemesine neden olur.

Çirkin gerçek şudur ki, sayılar sahtekâr bir şekilde maniple edilerek çalışmanın sonuçlarının birilerinin istediği gibi görünmesi her zaman sağlanabilir. Böylesi sayısal kandırmacalar hakkında çeşitli kitaplar yazılmıştır, bu nedenle konuyu uzatmadan bir örnek sunuyoruz: Diyelim ki, belirli bir bölgedeki evlerin ortalama olarak kaça satıldığını öğrenmek isteyen biri vardır. İlaveten, satıştaki beş evin fiyatının 200.000 dolar, beş evin fiyatının 300.000 dolar olduğunu ve bir malikânenin 10.000.000 dolara satıldığını varsayalım. Ortalama fiyat ne olacaktır? Bu, "ortalama" sözcüğüyle ne kastedildiğine göre değişir. İstatistikçiler çalışmalarında çok çeşitli ortalamalar kullanırlar. En yaygın olanına aritmetik ortalama adı verilir ve bütün sayıların toplanıp eldeki sayı adedine (bu vakada, on bir ev için on bire) bölünmesiyle hesaplanır. Bu işlemin sonucu:

$$[(5 \times 200.000) + (5 \times 300.000) + 10.000.000]/11 = \$1.136.364$$

Bu nedenle ortalama fiyatı bu yöntemle hesaplayan biri, "Burada evler ortalama olarak bir milyon doların üzerinde bir fiyata satılıyor" diyebilir. Bu durum, doğruluğu bariz olmakla birlikte insanı oldukça yanlış yönlendirir.

Ortanca adı verilen ortalama fiyat açısından daha iyi bir göstergedir. Ev fiyatları genellikle bu çeşit bir ortalama kullanılarak oluşturulur. Ortanca değeri için bütün fiyatları en düşükten en yükseğe doğru sıralayıp, listenin ortasındaki değeri

seçersiniz. Bu vakada, bu bölgedeki fiyatların daha doğru bir temsilcisi olan 300.000 dolar ortalamasını elde ederiz.

Çoğu bilimsel çalışma, özellikle karmaşık konulara sahip olanlar, o kadar çok farklı sayı içerir ki; böylesi bir hileli yönlendirme, gerçekte neler olup bittiğinin fark edilmeyeceği bir şekilde kolaylıkla uygulanabilir; özellikle de rapor, sonuca ulaşmak için kullanılan yöntembilimi açıklamıyorsa. Problemin açıklanmasıyla başlayıp, cevabı açıklayıp, saptama ve hesaplamaya yer vermeden terim dizgesi ve teoriyle uzatılan bir makale yazarsanız bilimsel bir rapor yanılsaması yaratabilirsiniz. Uzmanları kandıramazsınız, fakat çok sayıda diğer insanı kandırabilirsiniz.

Bu bizi hoş olmayan değersiz bilim konusuna getirir. Değersiz bilim, önyargılı görüşü doğru bilimin yapmaya çalıştığı gibi test etmek için değil kanıtlamak için, gerçek test karşısında dayanıp dayanamayacağını umursamadan kanıtlamak için yapılan bilimdir. Değersiz bilim raporları, aslında sondan başa yazılır. Sonuç belirlenmiş ve sonrasında onu kanıtlayacak deneyler yapılmıştır. Değersiz bilim çirkindir ve tehlikelidir ve üç sebebi vardır: Teoriye bağlılık, önyargılı çalışma seçimi ve sıradan, eski etik anlayışı eksikliği.

Teoriye bağlılık, insan bir fikre âşık olup kanıtları umursamadan ondan vazgeçmediğinde meydana gelir. Böylesi bir insan fikrinin doğru olduğunu göstermek için her şeyi yapacaktır. Bu, işlevini yerine getiremeyen bir ilişkinin akademik şeklidir. Akademisyen her şeyini teoriye verir; teori karşılığında hiçbir şey vermez. Bilim tarihinde çok sayıda böylesi trajik aşk ilişkisi olmuştur. Einstein'ın rastlantısal karakterinden dolayı kuantum mekaniğine itirazları, en iyi bilinen örneklerden biridir. Aynı zamanda Einstein'ın büyük hatasına dair itirafına

dikkatinizi çekmiştik. Newton'un teorilerine olan bağlılıkları sebebiyle Einstein'ı dinlemeyi reddeden insanları dikkate aldığımızda, özellikle bu durum ironiktir.

Önyargılı çalışma seçimi teoriye bağlılıkla ilgilidir, fakat genellikle kurumsal bir sebepten kaynaklanır. Sonuca karar verip peşinen deney yaratmak yerine önyargılı bir seçici, diğer insanların elde ettiği sonuçlardan kendi teorisine uygun olanı seçer. Önyargılı seçim, aynı zamanda, istenmeyen bilimi gözden düşürme denemelerinde gerçekleşir. 1960'lardaki erken çevrecilerden Rachel Carson'a yapılan kurumsal lekeleme kampanyası bu kategoride yer alır.

Gerçek bilimden, değersiz bilimin olduğundan, daha uzakta sözde bilim bulunur. Sözde bilimin ayırıcı özelliği başarısızlık sonrası doğrulamadır. Bir çalışma veya deney arzu edilen sonucu üretmekte başarısız olduğunda, sözde bilimci şeylerin neden bu sefer işlemediğini kapsayan bir açıklama oluşturur. Bu açıklama, deneyin dikkatli bir araştırması veya yeni bir deneyin yaratılmasıyla belirlenmeyecektir. Açıklama, daha ziyade, hoşa gitmeyen sonucun çöpe atılması için araç olarak kullanılacaktır. Diğer bir deyişle sözde bilim, bir insanın fikirlerine karşı gelen hiçbir şeyi dikkate almama, kontrol edilemeyen şeyleri reddetme olarak nitelendirilir. Bu, silahlı çatışmanın kavganın daha aşırı şekli olması bağlamında, değersiz bilimde bulunan teoriye bağlılığın daha aşırı bir şeklidir.

Sözde bilime örnek: Sovyet tarımının 1940'larda ve 1950'lerdeki başarısızlığı, sadece kalıtımla gelen genetik özelliklerin değil, kazanılan özelliklerin de kalıtımsal olabileceğini düşünmüş olan Trofim Lysenko adlı biyologun başarısız teorilerine dayandırılabilir. Bu evrim teorisi, Stalin tarafından kuvvetli bir şekilde desteklenmiştir çünkü gerçek gözlemlerle

olmasa da komünist ideallerle hemfikir olmuştur. Bu durum, çok sayıda bölge için ekmek sepeti görevi gören yerlerde korkunç mahsul kıtlığına ve hastalığa yol açmıştır. Bu, politik ve askeri gücün bağlılığı desteklemek için kullanıldığı vakalardan biridir. Lysenko'ya karşı çıkan çok sayıda biyolog ya sürülmüş ya da toplama kamplarına gönderilmiştir. Yıllar süren ızdıraptan sonra teori öncelenmesini kaybetmiştir; ne var ki, olgu evrenindeki sonuçları kalıcı olmuştur.

Sözde bilimle uğraşan çok sayıda kitap ve sözde bilimleri çürütmek için vakit ve çaba sarf eden kayda değer sayıda insan ve kurum vardır (bazılarından okuma önerisinde bahsediyoruz), bu nedenle burada üzerinde durmamız gerekmiyor. Geriye kalan gayretlerimizi, bilim haberlerinin sıklıkla sunduğu yüzeysel yoldan ziyade, gerçek bilim hakkında nasıl bilgi alınabileceğine ayırmalıyız.

Şikâyetin Ötesinde

Basında yer alan bilim haberleri konusunda ne yapılabilir? Önceki bölümde, yazarlar açısından bir çözüm önerisi şekillendirdik: Haberlerin saptanan evrenle ilgili daha çok bilgi vermesini ve "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusuna daha derinlemesine cevap vermesini öneriyoruz. Bununla birlikte, ne büyüklük hayalimiz ne de çok sayıda yazarın lütfedip tavsiyemizi gerçekten dikkate alacağına dair inancımız var. Sonuçta mesleklerini yıllar boyunca öğrenmiş ve uygulamışlardır. Muazzam cüret göstererek işlerini nasıl yapmaları gerektiğini söyleyen bir bilim insanını ve bir yazarı neden dinlesinler ki?

Bu nedenle ilişkinin diğer tarafı olan okurlar için çabalayacağız. Bilim kitapları ve makaleleri okuyan insanlara tavsi-

yelerde bulunuyoruz. Güven uzaklaştırmasını ve "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusunun güçlü merakını öneriyoruz. Bana bunu nasıl bildiklerini söylemiyorlarsa onlara neden inanayım?

Bu, birine sunulan bir şeye karşı içten gelen karşı çıkma gibi gelebilir kulağa, fakat meraklı bir okurun şikâyet dışında yapabileceklerine işaret eder. Başlangıçtaki nasıl sorusundan sonra bu sürecin ilk adımı, günümüzde "gazete, radyo ve TV" için eşanlamlı olarak kullanılan "medya" sözcüğünün daha genel bir anlama sahip olduğunu hatırlamaktır. Medya (tekil olarak medyum), aracıya veya simsara basitçe başka bir isim vermektir. Bu vakada, basın bilim haberleri bilim insanları ve bilim okurları arasında aracıdır. Bu durum doğal olarak "Aracı olarak basının yaptığı işten memnun değilsek başka hangi medya kullanılabilir?" sorusuna götürür. Dikkate alacağımız imkânlar profesyonel bilimsel yayınlar, bilim dergileri, kitaplar ve İnternettir.

Bilim insanları çalışmalarını profesyonel bilimsel yayınlarda yayımlama eğilimine sahiplerdir. Aslında, akademik toplumdaki tercihlerin "yayınlan veya yok ol" olması bir klişedir. Bununla birlikte, bilim insanlarının birbirleriyle paylaştıkları raporlar kamuya ulaşan bilim raporlarına hiç benzemezler. Bunun sebebi sır saklama arzusu değildir, daha ziyade ortak mesleğe sahip insanların iletişimin daha hızlı ve etkili bir şekli olsa da, alanın dışındaki, terim dizgesine hâkim olmayan insanlara kafa karıştırıcı gelen kısaltılmış bir dil kullanmalarıdır. Bilim insanları, bu daha hızlı iletişimi kullanarak birkaç satır uzunluğunda olan fakat büyük miktarda açıklama içeren e-postalar gönderebilirler. Yeni bir teori ileri sürüldüğünde veya yeni bir deney gerçekleştirildiğinde bilim insanları, içeriği yüksek derecede teknik ve çok özel amaca hizmet eden açıklayıcı makale-

ler yazarlar. Ne yazık ki, bu makaleler kısmen farklı alanlardaki bilim insanları için bile tamamen anlaşılmazdır. Profesyonel bilimsel yayınlarının, bilim insanları ile bilim okurları arasında iletişimi sağlamak konusunda uygun bir araç olmadıkları açıktır.

Bilim dergileri bilimsel açıdan eğitimli insanlar için yapılmıştır. Aşağı yukarı şimdi okuduğunuz kitabın derinliğine sahiplerdir ve okurlarının belli bir seviyede bilgili olduklarını varsayarlar. Yazarları, sıklıkla çalışmalarının veya keşiflerinin genel meraka hitap edebileceğini düşünür. Makaleler genellikle deneysel tekniklerin bazı ayrıntılarını ve teorik alt destekleri dâhil ederler. Üzücü bir şekilde, bu makalelerdeki yazılar bazen daha sıkıcı olurlar çünkü bilim insanları çoğunlukla eğitilmiş yazarlar olmazlar. Biçemsel eksikliğine rağmen, keşiflerin "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusuna cevap veren haberleri genellikle bu dergilerde bulunabilir. Bu dergiler bilim okurları ve kendi alanlarının çok dışındaki şeyleri okuyan bilim insanları için en iyi kaynak olabilirler.

Kitaplara (özellikle popüler bilim kitaplarına) gelince, kendimiz de onu seçtiğimize göre, bu medyumdan yana olduğumuz açıktır. Pek çok bilim insanı ve yazarın bu kitapları yazmayı seçmesi cesaret vericidir. Ümit ederiz ki, onlardan bazıları saptanan, algılanan ve teorik evrenler sınıflandırmalarımızı yararlı bulurlar. Ayrıca da, daha fazlasının "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusunun ve onun cevaplarının bilimin sunuş yöntemi olarak kullanılmasının faydalı olduğunu düşünmelerini bekliyoruz. Bir şeyin nitelik ve önemini sonradan anlamış insanlar olarak söyleyebiliriz ki, iletişimin bu araçları hakkında söyleyebileceğimiz en faydalı şey göründüklerinden çok daha zor olduklarıdır. (Lütfen, anlatmaya başlayamayız bile.)

Ne yazık ki, bu medyaların hiçbiri kendimizi sıklıkla bulduğumuz şu duruma hitap etmez: Gazetede bilimsel bir makale okuruz, konuyu ilginç buluruz, fakat verilen bilginin azlığından ve özellikle de "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusuna yeterli cevabın eksikliğinden dolayı hayal kırıklığına uğrarız. Söz konusu belirli konu için nereye gideriz? Konuyla ilgili popüler bilim kitabı olmayabilir, olsa bile tek bir sorunun cevabını almak için bütün kitabı okumayı istemiyor olabiliriz. Bilim dergilerinde konuyla ilgili makale olmayabilir, olsa bile onları nasıl buluruz?

Bunun için İnternet var. İnternette çokça bilgi olmasına rağmen, Amerikan efsanesinin Vahşi Batı'sı kadar açık ve kuralsızdır. Aradığımız şeyi İnternette bulabilir miyiz? Öyle olsa bile, nereye bakarız? Bilginin güvenilir olmasını istiyoruz, fakat aynı zamanda onu kolay bulabilmeyi de arzuluyoruz. İyi haber, İnternette güvenilir bilginin olduğu ve onun kolayca bulunabildiğidir. Kötü haber, bu iki ölçüt arasında birini elde etmek için diğerini feda etmek gerekiyor gibi bir şeyin varlığıdır. İnternetteki bilim bilgisinin üç kaynağını inceleyelim: topluma ulaşım[20] siteleri, içeriği kullanıcılar tarafından düzenlenebilen□ siteler ve arama motorları.

"Topluma ulaşım" bilim insanları tarafından çalışmalarını, kamuya açıklama çabaları için kullanılan bir terimdir. İnternet siteleri topluma ulaşımın tek şekli olmasa da (bir başkası kamuya açık konferanslardır) en kolay erişime sahip olanlarıdır. Bireysel olarak bilim insanları kendi sitelerinde topluma ulaşım malzemesi yayımlayabilir. Bununla birlikte, belirli bilim kurumlarında veya deneysel tesislerde yer alan büyük bilim insanları gruplarının, sitenin topluma ulaşımını yönetmek ve sağlamakla yükümlü bir veya daha fazla sayıda elemanla bir-

20 Outreach, İngilizce. (Ç.N.)

likte örgütlü topluma ulaşım faaliyetlerinde bulunması daha olasıdır. Böylesi siteler, İnternetteki bilim bilgisi açısından en güvenilir olanlarıdır. Bununla birlikte, belirli bir bilgi parçasını arayan biri için onu topluma ulaşım sitelerinden hangilerinde bulabileceği veya bu belirli siteyi nereden bulabileceği belirsizdir. Dahası, bilim insanı görüntüsünde de olduğu gibi, gündeminde sözde bilim veya daha önce sözünü ettiğimiz yanıltılmış bilim olan herhangi bir şeyin olduğu bir İnternet sitesinin topluma ulaşım sitesi gibi görünmesini sağlamak da pekâlâ mümkündür. Böylesi bir siteye denk gelmiş birinin bunun arkasındaki kişiyi ve şeyi anlaması hayatidir. Özellikle tartışmalı konularda bu geçerlidir.

"İçeriği kullanıcılar tarafından düzenlenebilen", terimi içeriğin ziyaretçiler tarafından eklenebildiği, düzeltilebildiği ve değiştirilebildiği İnternet sitesi için kullanılır. İlkede, bilgiyi biriktirmek için bu oldukça etkin ve hızlı bir yoldur, özellikle de yeni ve hızlı değişen alanlar açısından. Ne var ki, yine ilkede biriktirilen bu bilginin kesinliğinin teminatının verilemeyeceği bir sistemdir. Sonuçta içeriği kullanıcılar tarafından düzenlenebilen sitenin kalitesi katkıda bulunanların uzmanlığı ve iyi niyetine ve siteminin yöneticilerinin kalite kontrol çabalarına bağlıdır. Konu üzerinde herhangi sistematik bir çalışma yapmadık, fakat içeriği kullanıcılar tarafından düzenlenebilen sitelerin bilim bilgisi kaynağı olarak kullanılmasıyla ilgili kendi tecrübelerimiz oldukça iyimser olmuştur. Bu sitelerin çoğunda sadece makaleyi değil, katkıda bulunanların tartışmalarını da okumak ve böylece belirli fikirlerin neden makalede yer aldığına ve diğerlerinin neden yer almadığına dair fikir edinmek mümkündür. Tartışmaların kendileri de eğlenceli olabiliyor.

Arama motorları, basitçe kullanıcı tarafından girilen bir terimi alıp, bu terimin geçtiği siteleri arar. Bu bir bilgiyi araştırmanın en kolay yoludur. Ne var ki, doğaları gereği arama motorları buldukları bütün İnternet sitelerinin içeriklerinin kesinliğine ve kalitesine kefil olamaz. Kimin ve neyin kontrolü, sitenin güvenilir bilgiye sahip olup olmadığını belirleme konusunda oldukça yararlıdır. Her halükarda, arama motorunun bulduğu diğer bütün sitelerin yanında ilgili topluma ulaşım siteleri de olacaktır.

Hangi medyum kullanılırsa kullanılsın, bilim insanlarının ve bilim okurlarının kendilerini basın bilim haberciliğinin yöntemleri ve gelenekleri tarafından kısıtlanmış hissetmemeleri önemlidir. Gerçekte yapılan bilim, çoğunlukla görünen bilimden çok daha büyük ve güzeldir. Bilimin bağlantısız "Bilim insanları diyorlar ki..." misalleri eşliğinde sunumu "Bunu nasıl biliyorlar?" sorusunun cevaplarını açıklayan, algılanan, saptanan ve teorik evrenlerden oluşan karmaşık ve karşılıklı bağlantılı bilgi ağını yakalamayı ümit edemez.

Yeni fikrin sadece kendisine bakmak, tek bir notayı, akılda yankılanan canlı sesi duymak gibidir. Ancak, bu notayı diğer bilgi notaları bağlamında dinleyen biri, notaların tek başına söyleyebildiklerinden daha fazlasını duyacaktır. Evrenin ahengi vardır. Yapının her bir seviyesinde, o seviyenin şeyleri –alanlar, parçacıklar, atomlar, moleküller, hücreler, canlı formlar, yıldızlar, galaksiler– yeni şeyler yaratmak için etkileşir. Aynısı akıl için de geçerlidir. Bir fikir, parlak ve eğlenceli, iyi bir hikâye veya bir "Peki, siz hiç?" olabilir.

Ne var ki, birlikte ahenk içinde işleyen pek çok fikir, "nasılın" patikalarından birbirine bağlanan çok sayıda küçük "ne" parçaları, tek bir etkileşimden veya bir makaleden daha uzun

süren yeni anlayış seviyelerine dönüşebilir. Bu kitaptaki en eski parçalar insanlık tarihinden daha eskidirler. En yenileri üzerinde şu anda çalışmalar devam etmektedir. Bununla birlikte, hepsi bir arada ele alınmış ve diğer fikirlere dokunup uyumlu olma arayışındaki tek bir şeyi oluşturmuşlardır. Bilim dışarıya, olgu dünyasına, üç evreninden geçerek ve içeriye, akla, bu üç evrenini –cevaplarını, sorularını ve en önemlisi bir sorudan cevaba ve tekrar soruya geçen yöntemlerini– sunarak uzanır. Tam olarak böyle biliyorlar.

Sözlük

aktarım diski: Beyaz cüce, nötron yıldızı veya karadelik çevresinde yörüngede yol alan halka biçimli çörek şekline sahip gaz bulutu.

aktif galaksi çekirdeği: Aynı zamanda AGÇ adı verilir. Galaksinin, aktarım diskinden dev karadeliğe düşen maddeden kaynaklanan yüksek miktarlardaki elektromanyetik ışınımı yayan merkez bölgesi.

ana kol: H-R çizelgesindeki yıldızların hayatlarının büyük bir kısmını, helyum üretmek için hidrojen füzyonuna uğradıkları zamanı geçirdikleri kısım.

ark dakika: Bir derecenin 1/60'ı.

ark saniye: Ark dakikanın 1/60'ı (bir derecenin 1/3600'ü).

astronomik birim: Dünya'yla Güneş arasındaki ortalama mesafe.

belirsizlik ilkesi: Konumun ölçüldüğü kesinliğin hızın ölçülebileceği kesinliği sınırladığını belirten ifade. Belirsizlik ilkesinin bir sonucu, küçük bir bölgeye hapsedilen parçacıkların düzenli olarak hareket etmeleridir.

beyaz cüce: Nükleer füzyona uğramayan, elektron çakışık basıncı sayesinde bir arada duran karbon ve oksijenden oluşan yıldız.

Büyük Patlama: Evrenin başlangıcındaki patlama.

Chandrasekhar sınırı: Beyaz cücenin azami kütlesi, yaklaşık 1,4 güneş kütlesidir.

dejenere basınç: Çok sayıda elektronun (ve nötronun), küçük bir alanda hapsedildiklerinde ortaya çıkardığı kuantum mekaniği basıncı. Çakışık basınç, Belirsizlik İkesine ve Pauli Dışarlama İlkesine bağlıdır.

Doppler etkisi: Kaynağın (veya gözlemcinin) hareketine bağlı olarak dalganın dalga boyundaki değişiklik. Doppler etkisi, kırmızı kayma ve mavi kayma olgularından sorumludur.

elektromanyetik kuvvet: Elektrik ve manyetik alanların, elektrik yükü taşıyan parçacıklara uyguladıkları kuvvet. (Elektronlar ve protonlar elektrik yük taşırlar. Nötronlar ve nötrinolar taşımaz.) Elektrik yükü taşıyan parçacıklar elektrik ve manyetik alanı oluşturduklarına göre, elektromanyetik kuvvet, elektrik yükü taşıyan parçacıkların birbirlerine uyguladıkları kuvvet olarak da düşünülebilir.

elektron: Atomu oluşturan atom altı parçacıklardan biri. Atom, çekirdekten ve pozitif yüklü çekirdeğin çevresinde yörüngede yol alan negatif elektrik yükü taşıyan bir veya daha fazla sayıda elektrondan oluşur.

foton: Işık parçacığı.

Fraunhofer çizgileri: Güneş'in spektrumundaki soğurma çizgileri.

genel görelilik: Einstein'ın uzay, zaman ve kütleçekim teorisi. Genel görelilikte kütleçekimin sebebi uzay zamanın eğriliğidir.

Hawking etkisi: Karadeliğin ısıl ışınımının yayınımı.

H-R çizelgesi: Yıldızların sıcaklıklarını ve aydınlatma güçlerini gösteren çizelge.

Hubble Yasası: Galaksilerin bize olan mesafeleriyle orantılı bir hızda bizden uzaklaştığını belirten yasa. Buradaki orantının sabitine Hubble parametresi adı verilir. Hubble Yasası evrenin genişlemesinin bir sonucudur.

karadelik: Bütünüyle kütleçekimsel çöküşe uğrayarak ışığın bile kaçamayacağı kadar güçlü kütleçekim bölgesi oluşturan cisim.

kara enerji: kütleçekimsel açıdan itici ve evrenin genişlemesinin hızlanmasından sorumlu içerik.

kara madde: Görünmeyen ve sadece dolaylı olarak, galaksilerdeki yıldızların hareketlerine ve galaksi kümelerindeki galaksilerin hareketlerine uyguladığı kütleçekimsel etkileri dolayısıyla saptanabilen madde.

karşı parçacık: Her bir parçacık türü (örneğin, elektron) için, karşı parçacık adı verilen, aynı kütleye fakat karşıt elektrik yüke sahip bir tür parçacık (bu vakada pozitron) vardır. Protonun karşı parçacığına karşı-proton adı verilir. Nötrinonun karşı parçacığına antinötrino adı verilir. Foton kendi kendinin karşı parçacığıdır.

Kelvin-Helmholtz mekanizması: Kendi kütleçekim kuvvetinin etkisiyle büzülen gazın ısınması.

Kerr'in formülü: Sıklıkla Kerr metriği adı verilir. Karadeliğin dönüşünün matematik tanımı.

kırmızı dev: Genellikle ana koldaki yıldızlardan çok daha büyük ve soğuk olan yıldız. Kırmızı devler hidrojenden ziyade helyum füzyonu ile işler.

kırmızıya kayma: Bizden uzaklaşan bir cisimden yayılan ışığın dalga boyundaki artma.

kozmik mikrodalga ardalan (CMB): Büyük Patlama'dan arta kalan, evrenin genişlemesi sonucunda yaklaşık 3 Kelvin sıcaklığına kadar soğuyan ışık.

kütleçekim kuvveti: Bütün kütlelerin birbirlerine uyguladıkları kuvvet. Bu kuvvet, kütleçekimin genel görelilik gerektirecek kadar güçlü olduğu yerler dışında, Newton'un kütleçekim Yasasıyla iyi açıklanmıştır.

maviye kayma: Bize yaklaşan bir cisimden yayılan ışığın dalga boyundaki azalma.

nötrino: Çok zayıf etkileşen, elektrik yükü sıfır olan ve çok küçük bir kütleye sahip atom altı parçacık.

nötron: Atom çekirdeğinin bileşenlerinden biri olan atom altı parçacık. Çekirdek protonlardan ve nötronlardan oluşur. Nötronun elektron yükü sıfırdır.

nötron dejenere basıncı: *bkz.* dejenere kuvvet.

olay ufku: Karadeliğin olay ufku ışığın kaçamadığı bölgenin sınırıdır. Olay ufkunun içinde kalan, kaçamayan her şeye karadeliğin içi adı verilir.

paralaks: Cismin gözlemlendiği noktanın değişmesiyle oluşan, cismin konumundaki görünür değişiklik.

parsek: Dünya'nın yörüngesinin karşılıklı iki noktasından bakıldığında paralaksı 1 ark saniye olan cisme olan mesafe.

Pauli Dışarlama İlkesi: Söz konusu kuantum durumun en fazla bir elektron içerebileceğini belirten ifade. Aynı zamanda nötronlar ve diğer çeşitli parçacıklar için de geçerlidir.

proton: Atom çekirdeğinin bileşenlerinden biri olan atom altı parçacık. Çekirdek protonlardan ve nötronlardan oluşur. Protonun elektrik yükü pozitiftir.

Schwarzschild yarıçapı: Karadelik olmayan bir cismin karadelik olabilmek için küçülmesi gereken boyutun yarıçapı. karadelik için, Schwarzschild yarıçapı, kütleçekimin ışığın bile kaçamayacağı kadar güçlü olduğu mesafedir.

soğurma çizgileri: Işıyan malzemenin spektrumunda yer alan, bu malzemenin atomları tarafından soğurulan belirli dalga boylarındaki ışıktan kaynaklanan koyu çizgiler.

süpernova: Bir yıldız patlaması Beyaz cüce, yığdığı malzeme Chandrasekhar sınırına yaklaştığında gerçekleşen ani termonükleer patlamaya uğradığında tip Ia süpernova gerçekleşir. Dev yıldızın demirden çekirdeği Chandrasekhar sınırına ulaşıp çökerek, demiri nötrona dönüştürerek muazzam nötrino salımına sebep olduğunda tip IIa süpernova oluşur.

Unruh etkisi: Hızlanan gözlemcinin boşluktan kaynaklanan ısıl ışınımı soğurması.

Uzay-zaman: Uzay ve zamanın birleşimi. Uzay zaman, olayın uzayda bir nokta ve zamanda bir an olduğu bir yerde bütün olayların toplamıdır.

yeğin kuvvet: Atomun çekirdeğini oluşturmak için protonları ve nötronları bir arada tutan kuvvet. Bu kuvvet, elektromanyetik kuvvetten çok daha güçlüdür.

yıldız benzeri cisim: Aynı zamanda YBC adı verilir. Çok güçlü (ve genellikle çok uzak) olan aktif galaksi çekirdeği.

yıldızın kütle kaybı: Yıldız tarafından üretilen yoğun ışınımına bağlı olarak maddenin yıldızın dış katmanlarından atılması.

zayıf kuvvet: Nükleer beta bozunumundan ve genel olarak nötrinoları gerektiren bütün nükleer tepkimelerden sorumlu kuvvet. Bu kuvvet, elektromanyetik kuvvetten çok daha zayıftır.

OKUMA ÖNERİSİ

Karadelikleri popülerleştirme denemeleri arasında en çok beğendiğimiz; *Black Holes and Time Warps*, Kip Thorne (W. W. Norton, 1994).

Genel göreliliğin temelleri iyi açıklanmıştır; *Space, Time, and Gravity*, Robert Wald (University of Chicago Press, 1977).

Büyük Patlama'ya giriş için tavsiye ederiz; *The First Three Minutes*, Steven Weinberg (Basic Books, 1993). [*İlk Üç Dakika*, TUBİTAK, 1996]

Parçacık fiziği, özellikle de standart model iyi açıklanmıştır; *The Theory of Almost Everything*, Robert Oerter (PiPress, 2006). DNA'nın yapısının keşfi pek çok kitapta anlatılmıştır, bunlardan en çok beğendiğimiz; *The Double Helix*, James Watson (Atheneum, 1968). [*İkili Sarmal*, TÜBİTAK, 1996]

Richard Dawkins'in herhangi bir kitabında güzel anlatılmış evrim bulunabilir, bunların arasından en çok beğendiğimiz; *The Selfish Gene* (Oxford University Press, 1976). [*Gen Bencildir*, TÜBİTAK, 2007]

Sözde bilim için; *Voodoo Science*, Robert Park (Oxford University Press, 2000); *Fads and Fallacies in the Name of Science*, Martin Gardner (Dover Publications, 1957); *Science Good, Bad, and Bogus*, Martin Gardner (Prometheus Books, 1990); ve "106 Science Claims and a Truckful of Baloney," William Weed (*Popular Science*, Mayıs 2004).



DAVID GARFINKLE
RICHARD GARFINKLE

David Garfinkle Oakland Universitesi'nde fizik profesörüdür. Lisans eğitimini Princeton Üniversitesi'nde tamamlayan David Garfinkle, Chicago Üniversitesi'nden doktorasını aldıktan sonra Einstein'ın Genel Görelilik Kuramı üzerine yoğunlaşmıştır. Özellikle kütleçekimsel içe çöküş ve karadelik oluşumları üzerine uzmanlaşan D. Garfinkle' nin son çalışmaları tekilliklerin özellikleri ve kozmik sansür konularındadır.

Bilimkurgu yazarı olan Richard Garfinkle (David'in kardeşi) çok sayıda kitabının yanı sıra *Celestial Matters* kitabıyla tanınmaktadır. Bu kitabıyla Compton Crook ödülü alan Richard Garfinkle, eşi ve çocuklarıyla ile Chicago'da yaşamaktadır.

Güneş'in yarın doğacağını nereden biliyorsunuz? Buzun kaygan olduğunu, ocağa yanan kibrit yaklaştırdığımızda gazın alev alacağına olan inancımızı doğrulayan nedir?

Güneş ve yıldızlar gibi dokunamadığımız şeyleri nasıl anlamaya çalışırız ve görülmelerini sağlayacak ışığı bile yaymayan, fizikçilerin karadelik, kara madde ve kara enerji olarak bahsettikleri nesneleri nasıl anlayabiliriz? Bu soruların cevaplarını bilim insanlarının zihinlerinde oluşturdukları üç dünya arasındaki bir yolculuk yardımıyla bulmaya çalışacağız. Gördüğümüz dünya, keşfedebileceğimiz dünya ve bildiğimizi düşündüğümüz dünya.

Üç adımda evrenin gizemlerini gözler önüne seren bu kitapta, üç farklı mecazi evren yer almaktadır: algılanan evren, saptanan evren ve teorik evren. Bu üç evrenin etkileşimiyle bilimsel dünya görüşü oluşur. Algılanan evren her gün deneyimlediğimiz dünyadır.

Gördüğümüz, duyduğumuz, kokusunu aldığımız, dokunabildiğimiz, tadabildiğimiz ve bu duyulardan hissettiklerimizi hatırlayabildiğimiz dünyadır. Aklımızın, zamanının büyük bir kısmını geçirdiği dünyadır. Aslında algıladığımız evrende yaşıyormuşuz gibi görünüyor olabilir; fakat gerçekte her gün bu dünyanın sınırlarına ulaşıyoruz.

ALFA

ALFA Basım Yayın Dağıtım Ltd.
Ticarethane Sokak No: 33
34110 Cağaloğlu-İstanbul
Tel : +90 (212) 511 53 00
+90 (212) 512 87 31
Fax : +90 (212) 519 33 00
www.alfakitap.com
e-mail: info@alfakitap.com

BİLİM EVREN

ISBN: 978-605-106-436-9