

Keyifli Okumalar Dileriz

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

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

ATOMLARIN DANSI

EVREN HAKKINDA BİLMEMİZ
GEREKEN HER ŞEY

MARCUS CHOWN

BİRAZ KUANTUMDAN ZARAR GELMEZ'İN YAZARINDAN

"Bu kitabın amacı basittir: Dünyanın aşına olduğumuz özelliklerini ele alarak, onların nasıl olup da bize gerçekliğin temel doğası ile ilgili derin gerçekleri anlattıklarını bilim alanındaki mevcut bilgilerimizin ışığında göstermek; olağan dünyanın kozmik işaretlerini okumaktır. Ya da William Blake'in ifadesiyle 'Bir Kum Taneciğinde -düşen bir yaprakta, bir gülde veya yıldızlı bir gökyüzünde- Dünya'yı görmektir.'"

Marcus Chown

"Chown, beynimizi en çok zorlayan meseleleri büyük bir basitlikle açıklayarak, gerçek anlamıyla bilim hakkında düşündürüyor."

BBC FOCUS MAGAZINE

"Chown çok akıcı bir dille yazıyor, gündelik hayatta karşılaştığımız olayları kibrit kutuları veya lego parçaları ile görmemizi sağlıyor."

Steven Poole,
GUARDIAN

ALFA

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

ATOMLARIN DANSI

EVREN HAKKINDA BİLMEMİZ
GEREKEN HER ŞEY

MARCUS CHOWN



ALFA

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

Alfa Yayınları 2231
Bilim/Evren 1

ATOMLARIN DANSI

Evren Hakkında Bilmemiz Gereken Her Şey

Marcus Chown

Özgün Adı We Need To Talk About Kelvin

İngilizce Aslından Çeviren İmge Tan

1. Basım: Eylül 2011
ISBN: 978-605-106-372-0

Sertifika No: 10905

Yayıncı ve Genel Yayın Yönetmeni M. Faruk Bayrak

Genel Müdür Vedat Bayrak

Yayın Yönetmeni Rana Alpöz

Dizi Editörü Kerem Cankocak

Kapak Tasarımı Gökhan Burhan

Grafik Uygulama Kâmuran Ok

© Marcus Chown, 2009

This Book is published with the arrangements of
FELICITY BRYAN ASSOCIATES LTD. & ONK Agency Ltd.

It is protected by the International Copyright conventions.

© 2011, ALFA Basım Yayım Dağıtım San. ve Tic. Ltd. Şti.

Kitabın Türkçe yayın hakları 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

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

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

*Karen ve Jo'ya
Sevgiyle, Marcus*

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ix
Teşekkür	xiii

BİRİNCİ KISIM

Günlük Hayatın Atomlarla İlgili Bize Söyledikleri.....	1
1 Camdaki Yüz.....	3
2 Atomlar Neden Dans Ederler?	33
3 Aynı Anda Birbirinin Aynısı İki Taneden Fazlası Değil....	53

İKİNCİ KISIM

Olağan Dünyanın Yıldızlarla İlgili Bize Söyledikleri.....	73
4 Kelvin Hakkında Konuşmamız Gerekıyor.....	75
5 Sen, Ben ve Olağanüstü Olasılık Dışı Üçlü Alfa Süreci ..	101
6 4,5 Milyar Derecelik Fırın	117

ÜÇÜNCÜ KISIM

Olağan Dünyanın Evren İle İlgili Bize Söyledikleri	131
7 Yıldız Işığının Tarifsiz Zayıflığı.....	133
8 Büyükten Önceki Patlama	145
9 Kırılınca Tamir Edilememe Eğilimi	157
10 Rastlantısal Gerçeklik.....	173
11 Dünya Doldu, Evinize Gidin	183

Notlar	205
Sözlük	227
Dizin	249

Önsöz

*Bir Kum Taneciğinde Dünya'yı görmek
Ve bir Kır Çiçeğinde Cennet'i,
Sonsuzluğu avucunuzun içinde tutmak
Ve Ölümsüzlüğü bir anınızda*

William Blake
(‘Masumiyet Alâmetleri’)

Bu kitabın amacı basittir: Dünyanın aşına olduğumuz özelliklerini ele alarak, onların nasıl olup da bize gerçekliğin temel doğası ile ilgili derin gerçekleri anlattıklarını bilim alanındaki mevcut bilgilerimizin ışığında göstermek; olağan dünyanın kozmik işaretlerini okumak. Ya da William Blake’in ifadesiyle ‘bir Kum Taneciğinde - düşen bir yaprakta, bir gülde veya yıldızlı bir gökyüzünde- Dünya'yı görmek’. Örneğin:

- Yüzünüzün camdaki yansıması, size bilim tarihindeki en sarsıcı keşfi anlatır: en derin seviyede dünyanın rastlantısal bir düzeni olduğu görülmektedir; yani aslında gerçekleşen pek çok şeyin *hiçbir nedeni yoktur*.
- Demirin bu kadar yaygın -sürdüğümüz arabaların çelik bölümlerinde, çalıştığımız binaların iskeletinde, hatta şu an damarlarınızda akan kanda bile- olması gerçeği, uzayın derinliklerinde bir yerde yaklaşık 4,5 milyar derece sıcaklığı olan son derece kızgın bir fırının bulunduğunu gösterir.

- Yeryüzü'nde -sokaklarda aylak aylak dolaşan, gökyüzünde bir melek gibi uçan ya da *Atılğan* uzay gemisinin ekibi gibi görünen veya ortadan kaybolan- herhangi bir uzaylının olmaması gerçeği, bize... şey, aslında bunun bize tam olarak neyi gösterdiğini bilmiyoruz. Kendi Galaksi'mizde ve büyük olasılıkla tüm Evren'de konuşacak başka canlı olmaksızın Yeryüzü'ne tek başına hapsedilmiş halde ortaya çıkan zekâ sahibi ilk canlılar olduğumuz için olabilir. Veya Evren o kadar tehlikeli bir yerdir ki uzay yolculuğu yarışlarının her biri, yolumuza çıkmadan silinip kaybolur. Bu, sizin açıklamanızın -açıkça belirtmek gerekirse- en az benimki kadar iyi olduğu günlük gözlemlerden biridir.

Dünyamızın bize Evren hakkında neler söylediği konusunda yazma fikri, kitaplar arasındaki tanıtım aşamasında aklıma geldi. Yazar olmak ya-hep ya-hiç bir varoluş biçimidir. Çoğu zaman bana yalnızca Japon balıklarım George ve Reg eşlik ederler (ne yazık ki bu kitabı yazarken Laura'yı kaybettik). Ancak tanıtımla uğraştığım o kısa sürede dışarı çıkma ve sosyal ortamlarda insanlarla gerçek anlamda tanışma ve buluşma fırsatım oldu. Tanıtım yapmak için gereken beceriler, kitap yazma becerilerinden tamamen farklıdır. Radyo röportajlarında dinleyicilerin zihninde yer edecek bir şeyler söylemek için en fazla birkaç dakikam oluyor. İnsanlara seslendiğim konuşmalaradaysa dinleyici kitlesinin büyük bir kısmı bilimsel kökenli olmayabiliyor. Bu yüzden sürekli olarak bir şeyleri söylemenin yeni, görsel ve canlı yollarını kavramaya çalışıyorum ve bunu yaparken birdenbire bir şeyi -ve gerçekten de apaçık bir şeyi- fark ettim ki bilim dünyasından olmayan kişilerle konuşurken gündelik bir gözlemleri ele alma eğilimim oluyor. Sonrasında ise örnek olarak sunduğum bu gözlemi, derin bir fizik konusu ile ilişkilendiriyorum.

Örneğin, 2008 yılındaki Edinburgh Bilim Festivali'nde bizleri atomların ve bileşenlerinin mikroskobik dünyasıyla ilgili en iyi tanım olan kuantum teorisine götüren temel paradoksu vurgulama ihtiyacı duydum. Bu nedenle insanların dikkatini salondaki bir ampule çektim ve ampulden yayılan ışık dalgalarının atomların kendilerinden 5 bin

kat büyük olduğunu belirttim. Sonra cebimden bir kibrit kutusu çıkardım ve şöyle dedim: “Diyelim ki, bu kibrit kutusunu açınca içinden 40 tonluk bir kamyon çıksa. *İşte* o ampulden ışığın çıkması da aynı bunun gibi bir örnektir.”

Sonunda günün birinde kafamın içinde bir ampul *yandı*. Birdenbire şunu düşündüm: ‘Neden her bölümde gündelik bir gözlemden söz edilen ve bu gözlemin nihai gerçekliğiyle ilgili daha derin bir konuya dikkat çeken bir kitap yazmıyorum?’ Bu kadar basit. Neden bunu daha önce düşünmedim ki? Birden yazmak istediğim her şeyin zihnimde bir araya geldiğini fark ettim. Bu, güçlü ve birleştirici bir oluşumdur.

Heyecanlanmıştım; ama kendimi tekrar edebileceğim konusunda endişe de duyuyordum. Yine de *Sihirli Fırın* ve *Biraz Kuantumdan Zarar Gelmez* adlı önceki kitaplarımda sözünü ettiğim konulara yeniden dönmüş olsam da onları farklı bir bakış açısıyla ele alarak tartışmayı derinleştirdiğimi umut ediyorum. Geceleyin gökyüzünün neden karanlık olduğu ile ilgili 400 yıllık gizem de buna verilebilecek güzel bir örnektir. Gök bilimcilerin yüzde 99’u gibi, gece yarısı karanlığının Evren’in hep var olmadığını, ama *doğduğunu* anlattığını -insanlık tarihinin başlangıcından bu yana Büyük Patlama’nın kanıtı olarak gözümüzün önünde durarak yalnızca farkına varacak bir akla sahip olmamızı gerekli kıldığını- düşünürdüm. *Yaradılış’ın Görüntüsü* kitabımda da bundan söz etmiş olabilirim. Şimdi ise gecenin karanlığının bize bunları söylemediğini fark ediyorum. Gök bilimcilerin çoğu yanılıyor. Tuhaf bir şekilde gerçeğe biraz olsun yaklaşabilen ilk insan Edgar Allan Poe olmuştur.

Yeniden, ama daha detaylı bir şekilde ele aldığım örneklerden biri de içinde yaşadığımız dünyanın sınırsız çeşitliliğidir. Nihayetinde bu durum Pauli’nin dışarlama ilkesine dayanır. Yani elektronların neden üst üste yığılmadığını açıklayan ve tek bir tür yerine pek çok atom türünün varlığını öngören düşünce yapısıdır. *Biraz Kuantumdan Zarar Gelmez* adlı kitabımda tam bir açıklama sunamamış olduğumun farkındaydım. Doğanın ayırt edilemez iki parçacığının iki farklı şekilde -ya toplu halde ya da anti-sosyal- hareket etmesine izin verdiğini gösterebilmişim. Sonrasında her

iki durumun da doğanın yararına olduğunu belirtmiştim. Özel bir spini olan parçacıklar -elektronlar gibi- anti-sosyal olurken farklı bir spini olan -fotonlar gibi- parçacıklar ise toplu halde hareket ediyorlardı. Ama açıklamadığım nokta şuydu: Bir parçacığın nasıl hareket etmeye başlayacağı ile hangi alternatifi seçtiğinin birbiriyle bağlantısı neydi? Bu konuya *yarı yarıya* açıklık getirmiştim. Wolfgang Pauli'nin 1926'da dışarlama ilkesini ortaya atmasından sonra spinin onunla ilgisi konusuna -spin istatistikleri teoremi denen- bir açıklama getirmesi 1941'i bulmuştur. Bu yüzden kendimi *o kadar da* kötü hissetmiyorum. Ancak bu kitapta eksiksiz ve bildiğim kadarıyla başka herhangi bir yerde bulamayacağınız bir açıklama sunabildiğimi umuyorum. Tüm bunlar benim anlayışımın da sürekli gelişmekte olduğunu ve kitaplarımı yazarken yalnızca bildiklerimi aktarmaya çalışmanın yanı sıra kendi açımdan tatmin sağlamak adına birtakım şeyleri ortaya çıkarmak için çabaladığımı da göstermektedir.

Dünyadaki çeşitliliğin önemi ve geceleyin gökyüzünün karanlığına ek olarak dünyanın karmaşıklığının bizlere, Tanrı'nın Evren'le zar attığını anlatmakla kalmayıp - Einstein bu fikirden nefret ederdi-, eğer Tanrı öyle yapmıyorsa, Evrenin de var olamayacağını gösterdiğini tartışacağım. Ayrıca Büyük Patlama'dan yaklaşık 380 bin yıl sonra kütleçekiminin 'devreye girmesiyle' zamanın yönünün-yani gençleşmeyip yaşlanma nedenimizin- de belirlenmiş olduğu konusunu ele alacağım. Bu konu, ben bu kitabı yazarken Larry Schulman tarafından keşfedilmiştir. Yine bu kitabı yazarken Stephen Hawking tarafından keşfedilen başka bir konuyu daha açıklayacağım: Bizlerin kuantum-olmayan bir dünyada yaşadığımız gerçeğini. İnsanların aynı anda iki kapıdan birden asla geçemeyecekleri bu dünya, Evren'in geçmişte çok hızlı bir genişleme patlaması yaşadığını göstermektedir. Gündelik gerçekliğimizden yola çıkılarak varılabilecek en hayret verici çıkarımlardan biri olan bu düşünce, Hawking'in benzersiz dehasının altını çizmektedir. Üstelik daha fazlası da vardır. Ancak bu zaten çok uzun bir giriş yazısı oldu. Umarım kitabımı keyifle okursunuz.

Marcus Chown

Londra, Şubat 2009

* İngilizcede 'kendi etrafında dönmek' teriminden türetilen bu terim, aslında kuantum fizikinde bir benzetme olarak kullanılır, elektronlar kendi etraflarında dönmezler (Ç.N.)

Teşekkür

Bana doğrudan yardımda bulunmuş, ilham vermiş ya da yalnızca kitabımı yazarken beni cesaretlendiren aşağıdaki insanlara teşekkürlerimi gönderiyorum:

Karen, Henry Volans, Felicity Bryan, Neil Belton, Larry Sculman, Jim Hartler, Stephen Hsu, Michaela Massimi, David Arnett, Ed Harrison, A.C. Grayling, Stephen Hawking, Adrian Mitchell, Freeman Dyson, Ian Bahrami, Simon Singh, Brian May, Sara Menguc, Al Jones, Tania Monteiro, Brian Clegg, Clare Dudman, Alex Holroyd, John Grinrod, Sarah Savitt, Miles Poynton, Michele Topham, Shanaz Mirza, Patrick O'Halloran, Andy ve Cancy Coghlan, Jeremy Webb, Valerie Jamieson, Roger Highfield, Bobbie Derbyshire, Alexander Gordon Smith, Alom Shaha, Steve Hedges, Sue O'Malley, David Hough, Pam Young, Hazel Muir, Stuart ve Nikki Clark, Spencer Bright, Chrissy Iley, Karen Gunnell, Jo Gunnell, Pat ve Brian Chilver, Stella Barlow, Barbara Pell ve David Brewin, Julia ve Bill Bateson, Anne ve Martin Ursell, Barbara Kiser, Diane ve Peter ve Ciaran ve Lucy Tomlin, Eric Gourlay, Paul Brandford, Helen ve Steve, Lucy, Chris, Helen ve Olivia, Nuala, Naveen ve İbrahim, Mary, Axel ve Simona, Carol ve Bill.

BİRİNCİ KISIM

Günlük Hayatın Atomlarla İlgili Bize Söyledikleri

Camdaki Yüz

*Pencerenin önünde durduğunuzda,
bilim tarihinin en sarsıcı keşfinin
-gerçekleşen şeylerin belli bir nedeni olmadığı gerçeğinin-
camdan size baktığını görmek nasıldır?*

'Une difficulte est une lumiere. Une difficulte insurmontable est un soleil.'
(Bir güçlük, bir ışıktır. Aşılamaz bir güçlük, güneştir.)
Paul Valéry

'Paradoks olmadan ilerleme olmaz'
John Wheeler, 1985

Gece vakti ve yağmur yağıyor. Hülyalı gözlerle camdan dışarı şehrin ışıklarına bakıyorsunuz. Yolda ilerleyen arabaları ve camın yüzeyinden aşağı akan minik yağmur dereciklerinin arasından kendi yüzünüzün belli belirsiz bir yansımasını görebiliyorsunuz. İster inanın ister inanmayın; ama bu basit gözlem size temel gerçeklikle ilgili derin ve şaşırtıcı bir

şey söylüyor. En derin seviyede Evren'in rastlantısallık ve öngörülemezlik esasları üzerine kurulduğunu ve atılan bir zarın keyfine bağlı olduğunu anlatıyor - yani aslında birtakım şeylerin hiçbir neden olmaksızın gerçekleştiğini söylüyor.

Dışarıda şehrin ışıklarını ve aynı anda size bakmakta olan kendi yüzünüzün belli belirsiz imgesini görebilmenizden nedeni, cama çarpan ışığın yaklaşık yüzde 95'i doğrudan içeri girebilirken yaklaşık yüzde 5'inin ise yansıtılmasıdır. Yaygın görüşe göre eğer ışık, daireler şeklinde yayılan su dalgası gibi bir dalgaysa, bu durumun anlaşılması kolaydır. Bir gölün bir kıyısından diğerine doğru hızla giden bir sürat teknesi olduğunu ve kısmen suya batmış halde sürüklenen bir kütüğe çarpan bir burun dalgası oluşturduğunu hayal edin. Dalganın büyük bir kısmı bu engelden etkilenmeden yoluna devam edecektir. Ancak küçük bir bölümü hızla geri dönerek kendi üzerinde ikiye katlanacaktır. Aynı şekilde bir ışık dalgası da pencere camı gibi bir engelle karşılaştığı zaman dalganın büyük bir kısmı iletilecek, yalnızca küçük bir bölümü yansıtılacaktır.

Camda kendi yüzünüzü görmenizle ilgili bu açıklama basit ve anlaşılır bir durumdur ve nihai gerçekliğin doğası konusunda derin imalar içermediği açıkça görülmektedir. Ancak bu bir yanılsamadır. Işık, görüldüğü gibi değildir. Işığın, bu basit resmin kuyusunu kazarak, her şeyi değiştiren bir özelliği vardır. Yirminci yüzyılda ışığın bir dalga gibi, bir su birikintisinin üzerinde daireler halinde yayılan dalgalar gibi değil kurşun benzeri parçacıklar halinde hareket ettiğini ortaya çıkaran bir dizi olgu keşfedilmiştir. Örneğin, ışığın bir elektrondan sekmesi veya 'saçılması' ile ilgili çok önemli bir bilgiyi ortaya çıkaran Compton etkisi vardır. Atomdan daha küçük bir parçacık olan elektron, 1897 yılında Cambridgeli fizikçi J.J. Thomson tarafından keşfetmişti. Aslında elektron, atomun temel bileşenlerinden biriydi.

Amerikalı fizikçi Arthur Compton ise, 1920'de elektronların üzerine tutulması durumunda ışığa ne olduğunu araştırmaya karar vermişti. Aklında ışık dalgalarının bir elektronun üzerinden zıplarmış gibi seke-

ceğine dair bir görüntü vardı. Tıpkı su dalgalarının şamandıra üzerinden sıçraması gibi. Eğer daha önce böyle bir görüntüye tanık olduysanız, dalgaların boyutunun veya “dalga boyunun” aynı kalacağını bilirsiniz. Başka bir deyişle, birbirinin ardı sıra gelen dalgaların tepeleri hem dışarı giden hem de gelen dalga için aynıdır. Ancak Compton’ın deneyinin sonucu farklı çıktı. Işık dalgaları elektronların üzerinden sıçradıktan sonra dalga boyları da öncesine nazaran *daha büyük* çıkıyordu. Ayrıca bu karşılaşma sırasında ışığın yönü ne kadar çok değişirse, dalga boyundaki değişiklik de o kadar büyük oluyordu. Sanki elektronun üzerinden sekme eylemi, sihirli bir dokunuşla kısa dalga boyuyla tanımlanan mavi ışığı daha uzun dalga boyuyla tanımlanan kırmızı ışığa dönüştürüyordu.¹ Daha uzun dalga boyuna sahip, daha yavaş bir dalganın enerjisi, kısa ve hızlı bir dalga daha azdır. Yani Compton’ın deneylerinin bize anlatmaya çalıştığı şey ışığın bir elektrondan sektiği zaman enerjisini tüketmiş olduğudur.

Compton’ın neler olup bittiğiyle ilgili zihninde oluşturduğu resim darbe almıştı. Onun deneylerindeki ışık, bir şamandıradan sıçrayan bir su dalgası gibi hareket etmiyordu. Aslında bu konu üzerinde daha fazla düşündükçe ışığın başka bir bilardo topuna çarpan bir bilardo topu gibi davrandığını fark ediyordu. Bir bilardo topu başka bir topa çarptığında, çarptığı top onun enerjisinin bir kısmıyla birlikte ileri fırlar. Bunun sonucunda kaçınılmaz olarak bilardo topu enerjisini kaybeder. Elektronlar da mini bilardo topları olarak biliniyorlardı; ama ışığın uzayda bir dalga gibi yayıldığı düşünülürdü. Ne var ki Compton’un deneyleri açık ve netti. Yüzyıllardır aksi yönde kanıtlar olmasına rağmen ışığın da tıpkı mini bilardo toplarına benzeyen parçacıklardan oluşması gerekiyordu. Compton, ışığın parçacık benzeri doğasını doğrulayarak çığır açan çalışmasıyla 1927’de Fizik dalında Nobel Ödülü’nü almaya hak kazandı.

Işığın bir parçacık akışı gibi hareket ettiğine dair daha fazla kanıt istenirse fotoelektrik etkiden söz edilebilir. Yaklaşıldığında Kızıldeniz gibi iki yana açılan süpermarket kapılarını gören herkes bunu bilir. Kapıları hışırdarak iki yana açılmaya iten şey, yaklaşan bir bacak veya ayak ile birlikte bir ışık huzmesinin kesintiye uğramasıdır. Işık huzmesi, üzerine

ışık geldiğinde elektronlar saçan bir metal parçası olan ve 'fotosel' adı verilen cihazı aydınlatır. Elektronlarla bağlı oldukları ana atom arasında yalnızca gevşek bir bağ vardır. Bu nedenle ışığın yaydığı enerji, onların serbest kalmalarına yeter. Birileri o ışık huzmesinin önünde engel oluşturduğunda, fotosel gölgede kalır ve elektronların saçılması durur. Elektronik düzen öyle ayarlanmıştır ki elektronların akışı durduğu anda kapı açılır.

O zaman fotoelektrik etkinin ışığın parçacık doğasıyla ne ilgisi vardır? Işık bir dalgaysa, küçük ve yeri belli bir elektrona verimli bir şekilde enerji gönderebilmeyi nasıl başardığını açıklamak neredeyse olanaksızdır. Yayılan tipik bir ışık dalgası, metalin yüzeyine yayılmış çok sayıda elektron ile etkileşime girecektir. Kaçınılmaz olarak bazıları diğerlerinin ardından kovulacaktır. Aslında yapılan hesaplamalar bazı elektronların diğerlerinden sonraki on dakika içinde kovulacaklarını gösterir. Elektron akışının fotoseldeki oluşumunun on dakikayı bulduğunu düşünün. O zaman süpermarket müşterilerinin otomatik kapının açılması için on dakika beklemleri gerekirdi.

Işık küçük parçacıklardan oluşuyorsa ve onların her biri de metaldeki elektronların her biriyle etkileşim halindeyse, o zaman her şey anlamlıdır. Işık, enerjisini çok sayıda elektrona yaymak yerine böyle 'fotonlar' halinde bir arada tutarsa çok daha etkili olur. Her fotondan tek bir elektrona enerji gitmesinin yanı sıra bu enerji on dakika gecikmeyle değil *hemen* gider. Süpermarkete hemen girebildiğiniz için ışığın parçacık tipi doğasına minnettar olmalısınız.

Einstein, fotoelektrik etkiyi küçük ışık paketleri veya 'kuanta'ları ile açıklayabildiği için 1921'de Fizik dalındaki Nobel Ödülü'nü almaya hak kazandı. Çoğu insan bunu şaşırtıcı bulur. Onun neden kendisine büyük bir ün kazandıran ve bizlerin uzay ve zaman ile ilgili bakış açımızı sonsuza dek değiştirmemizi sağlayan 'görelilik' teorisinden dolayı ödül almadığını merak eder. Einstein'ın kendisi ise görelilik teorisini her zaman on dokuzuncu yüzyıl fiziğinin beklenen sonucu olarak ortaya çıkan, sürprizsiz ve doğal bir şey olarak görmüştür.² Ona göre 'kuanta' ise tüm

başarılarının arasında tek başına öne çıkan, yaşamındaki tek ve gerçek devrimci fikirdi.

Einstein, görelilik teorisini ortaya attığı aynı 'mucizevi yıl' içinde kuantanın varlığı üzerine de bir araştırma yayınlamıştı. Beş yıl önce 1900'de Alman fizikçi Max Planck ise bir fırından gelen sıcaklığın akıl karıştıran niteliğini açıklamanın bir yolunu bulmuştu. Buna göre atomlar yalnızca izin verilen belli enerjilerde titreşebilirler; öyle ki bu belli enerjilerin tam sayı katları, enerjinin kuantumlarıdır. Planck bu kuantaların hiçbir fiziksel önemi olmadığına, yalnızca matematiksel bir araç olduklarına inanıyordu. Einstein, onları gerçekten gerçek olarak gören -bir ışık huzmesi içinde bir foton nehri halinde uzayda uçtuklarını düşünen- ilk kişidir.

40 Tonluk Bir Kamyonu Yutan Kibrit Kutusu

Aslında ışığın bazı durumlarda küçük, yeri belli parçacıklar olarak davranmak zorunda olduğu gerçeği, gündelik olgular arasından en aşina olduğumuz bir tanesi tarafından bize zorla gösterilir - bir ampulün filamanından ışığın yayılması ve gözlerimizin o ışığı emmesi. Bunun mantığı, filamanı ve retinanızı oluşturan şeylerle ilgilidir. Tüm maddeler gibi onlar da atomlardan meydana gelirler.

Her şeyin atomlardan meydana geldiği düşüncesi ilk olarak M.Ö. 400'de Yunanlı filozof Demokritos tarafından ortaya atılmıştır. Eline bir taş parçası veya bir ağaç dalı veya belki de bir çömlek parçası alan Demokritos kendine şunu sormuştur: 'Eğer bu objeyi ikiye bölssem, sonra o iki parçanın her birini bir daha ikiye bölssem, bunu sonsuza kadar yapmaya devam edebilir miyim?' Demokritos kendi sorduğu sorunun yanıtını yine kendi vermiştir. Maddenin sonsuza dek bu şekilde bölünebilmesi düşüncesini aklı almamıştır. Er ya da geç daha fazla bölünmeyecek kadar küçük bir parçaya ulaşacağına dair bir mantık yürütmüştür. 'Bölünemez' sözcüğünün Yunanca karşılığı *a-tomos* olduğu için Demokritos'un en sonunda ulaşılacağını düşündüğü o madde zerreciklerine 'atom' adı verilmiştir.

Aslında Demokritos daha ileri giderek atomların tıpkı mikroskobik Lego taşları gibi az sayıda farklı çeşide sahip olduğu varsayımını öne

sürmüştür. Onları farklı şekillerde bir araya getirerek bir gülü veya bir bulutu veya parlayan bir yıldızı oluşturma olasılığı olduğunu iddia etmiştir. Ancak asıl önemli olan nokta, gerçekliğin en nihayetinde maddenin küçük, sert taneciklerinden oluşan bir yapısının olduğudur. Bu fikir, zamana karşı direnmeyi kesinlikle başarmıştır.³

Atomların çok küçük oldukları anlaşıyor. Bir toplu iğne başını oluşturmak için bir milyondan fazla atomun bir araya gelmesi gerekiyor. Dolayısıyla varlıklarını doğrulamak da çok güçtür. Bilim çağında konuyla ilgili pek çok dolaylı kanıt toplanmıştır. Ancak IBM’de çalışan iki fizikçinin Tarama Tünelleme Mikroskobu adı verilen dâhice bir cihaz yarattığı 1980 yılına kadar hiç kimsenin bir atomu gerçek anlamda ‘görmemiş’ olması dikkate değerdir.

Gerd Binnig ve Heinrich Rohrer, geliştirdikleri TTM ile 1986 yılında Fizik dalında Nobel Ödülü’nü aldılar. Bu cihaz temel olarak bir materyalin yüzeyinde mikroskobik bir ‘parmak’ dolaştırıyordu. Tıpkı görme engelli bir insanın birinin yüzünde parmağını gezdirerek hatlarını algılaması gibi bu cihazın parmağı da atomların üzerinden geçerken yukarı-ve-aşağı hareketleri algılıyordu. Hem de, aynı görme engelli bir insanın hissettiği yüzle ilgili zihninde bir resim oluşturmaya benzer şekilde TTM de üzerinde dolaştığı maddenin atomik manzarasını gösteren bir resmi bilgisayarda çiziyordu.

Binnig ve Rohrer, TTM’yi kullanarak tıpkı tanrılar gibi atomların mikroskobik dünyasına tepeden bakmayı başaran tarihteki ilk insanlar oldular. Üstelik de, bilgisayar ekranlarından gördükleri şey, Demokritos’un 2,500 yıl önce hayal etmiş olduğu görüntünün tam olarak aynıydı. Atomlar minicik tenis toplarına benziyorlardı. Kasalara istiflenmiş elmalar gibi görünüyorlardı. Bilim tarihinde hiçbir zaman hiç kimse bunun deneysel doğrulamasının yapılmasından önce bu kadar ileri giden bir tahminde bulunmamıştı. Keşke Binnig ve Rohrer’in bir zaman makinesi olsaydı. O zaman Demokritos’u Zürih’teki laboratuvarlarına ışınlayabilirler ve onu bu dikkat çekici görüntülerin önüne getirerek şöyle derlerdi:

'Bak. Haklıymışsın.' Tıpkı tanınamadan ölen ve ünlerinin ne kadar geniş kitlelere yayıldığını ya da tablolarının milyonlarca pounda satıldığını göremeyen sanatçılar gibi bilim adamları da fikirlerinin görkemli başarılarını görecektir kadar uzun yaşayamayabilirler.

Atomların maddeyi oluşturan en küçük tanecikler olmadıkları da ortaya çıkmıştır. Onları meydana getiren daha küçük şeyler vardır. Bununla birlikte Demokritos'un maddenin taneli, devamlılığı olmayan yapısıyla ilgili fikri, doğanın bölünemez parçaları olan 'kuarklar' ve 'leptonlarda' da geçerliliğini korumaktadır. Öte yandan, ışık ve maddenin gözünüzde veya bir ampulün filamanında buluşması söz konusu olduğunda kuarklar önemli değildir. Işık soğurulduğunda veya yayımlandığında, soğurma veya yayımlanma eylemini gerçekleştiren atomlardır. İşte problem de buradadır.

Madde teorimize göre bir atom, tıpkı mikroskobik bir bilardo topu gibi küçük ve yeri belli bir şeydir. Öte yandan ışık ise tıpkı durgun bir gölün üzerinde daireler çizen su dalgaları gibi yayılan bir şeydir. Görülebilir ışığı ele alalım. Onun büyüklüğünün alışılageldik ölçüsü dalga boyudur, diğer bir deyişle tam bir yukarı-ve-aşağı salınım sırasında kat ettiği mesafe ya da art arda gelen dalga tepeleri arasındaki boşluğun iki katıdır. Görülebilir ışığın dalga boyu, bir atomdan yaklaşık 5 bin kat daha büyüktür. Bir kibrit kutunuz olduğunu düşünün. Açtığınızda içinden 40 tonluk bir kamyon çıkıyor. Ya da 40 tonluk bir kamyonun üzerinize doğru geldiğini düşünün. Kibrit kutunuzu açtığınızda kamyon onun içinde yok oluyor. Tuhaf değil mi? Ancak ışığın maddeyle buluştuğu ara yüzeyde ortaya çıkan paradoks tam olarak budur.

Gözünüzdeki bir atom nasıl olur da kendinden 5 bin kat büyük bir şeyi yutabilir? Bir ampulün filamanındaki bir atom nasıl olup da kendinden 5 bin kat büyük bir şeyi püskürterek etrafa yayabilir? İngiliz hayatta kalma uzmanı Ray Mears, yaptığı TV programlarından birinde şöyle demişti: "Bir yılanın içine başka bir yilandan daha iyi sığabilecek başka bir şey yoktur." Işık ile madde arasındaki ara yüz için de aynı mantığı uygu-

layalım. Eğer ışık küçük ve belli bir yeri olan bir atomun içine sığacaksa, o da küçük ve belli bir yerde olmalıdır. Ancak sorun ışığın yayılan bir dalga olduğunu kanıtlayan binlerce durum -en dikkat çekenlerinden biri de Young'ın çift yarık deneyidir- olmasından kaynaklanır.

Yirminci yüzyılın ilk on yıllık bölümünde bu tür paradoksları çaresizce çözüme kavuşturmak isteyen fizikçiler de aynı yollarda dönüp durmuşlardır. Alman fizikçi Werner Heisenberg'in yazdığı gibi: "Gece geç saatlere kadar süren uzun tartışmalar yaptığımızı ve neredeyse hepsinin umutsuzlukla sonuçlandığını hatırlıyorum. Tüm bu tartışmaların sonunda, yakınlardaki bir parkta tek başıma yürüyüşe çıktığımda, kendime sürekli şu soruyu sorup duruyordum: Doğa, bu atomik deneylerde gördüğümüz kadar absürt olabilir mi?"

Bir teorinin belli bir durumda bir şeyi öngörürken başka bir teorinin ise tamamen farklı bir şeyi öngörmesi genellikle son derece verimli bir durumdur. Bize teorilerden en azından birinin yanlış olduğunu gösterir. Sürüp giden anlaşmazlıklar arasındaki bu teoriler ne kadar büyük ve iyi oluşturulmuş olursa, sonuçları da o kadar devrim niteliğinde olacaktır. Bir ampulden yayılan veya gözünüz tarafından soğrulan ışık örneğinde çelişkili öngörülerde bulunan iki teori, ışığın dalga teorisi ve maddenin atomik teorisidir. Ayrıca, bunlar diğerlerinin arasından öne çıkan en büyük ve en iyi oluşturulmuş teorilerdir.

O zaman hangi teori yanlıştır? Fizikçiler tarafından benimsenen sıradışı yanıtı göre her iki teori de yanlıştır. Veya hiçbirisi yanlış değildir. Işık hem bir dalga hem de bir parçacıktır. Veya onu tanımlayacak bir sözcüğe sahip olmadığımız için adını koyamadığımız ve mevcut dünyadaki hiçbir şeyle karşılaştıramayacak başka bir şeydir. Esas olarak, tıpkı yukarının üstünde veya aşağısının altında kavramlarının olmadığı bir kâğıt parçasının iki boyutlu dünyasıyla sınırlı yaratıklar için üç boyutlu bir nesnenin durumu gibi, kavranamayacak bir şeydir. Bu iki boyutlu yaratıklar, yaşayabildikleri tek deneyim nesnelerin 'gölgeleri' olduğu için, nesnelerin kendisini tam anlamıyla algılayamazlar. Benzer bir şekilde ışık da bir

dalga veya bir parçacık değil, hiçbir zaman tam anlamıyla kavrayamadığımız 'başka bir şeydir.' Görebildiğimiz tek şey, onun gölgeleridir - bazı durumlarda dalgaya benzeyen yüzünü bazen ise parçacığa benzeyen yüzünü görürüz.

Atomların ışık yaydıkları açıkça görülmektedir. Ancak yine açıkça görüldüğü üzere görülebilir ışık, kaynaklandığı atomdan binlerce kat büyüktür. Her iki gerçek de yadsınamaz. Dolayısıyla bu paradoksu çözme kavuşturmanın tek yolu, kulağa düpedüz çılgınlık gibi gelen bir şeyi, ışığın bir atomdan *hem* binlerce kat büyük *hem de* binlerce kat küçük olduğunu kabul etmektir. *Hem* yayıldığını *hem de* belli bir yeri olduğunu. *Hem* bir dalga *hem de* bir parçacık olduğunu. Işık, boşlukta dolaştığında tıpkı durgun bir gölün üzerinde daireler çizerek yayılan su dalgaları gibi yayılır. Ancak soğrulduğunda veya bir atom tarafından yayımlandığında, tıpkı makineli tüfeğin namlusundan çıkan mini kurşunlar gibi hareket eder. Aynı anda New York' taki Times Meydanı'nda bulunan yangın vanalarından birinin yanında durduğunuz ve Manhattan' ın her yerini kaplayan bir sis bulutu gibi yayıldığınızı hayal edin. Saçma mı? Evet. Ama yine de ışık aynen böyle bir şeydir.

Işıkla ilgili çizilen dalga resmi doğrudur. Parçacık resmi de öyle. Işık, çelişkili bir biçimde hem bir dalga hem de bir parçacıktır.

Sağduyuya Meydan Okuyan Bir Dünya

Esasen ışığın olağan dünyadaki diğer her şeyden farklı olduğunu öğrendiğimizde şaşırmalı mıyız? Kendi bütünlüğü içinde kavranamaz, sezgilerimize aykırı nitelikleri olan, sağduyuya meydan okuyan bir şey olduğuna şaşırmalı mıyız? Belki de sezgiler ve sağduyu ile neyi kastettiğimizden biraz bahsetmenin yararı olacaktır. Gerçekten de bu yalnızca çevremizdeki dünyanın nasıl işlediğiyle ilgili toplamış olduğumuz bilgiler bütünüdür. Evrimsel bir deyişle Afrika düzlüklerinde bizden daha büyük, daha hızlı ve daha vahşi yaratıkların arasında hayatta kalabilmek için bu bilgilere ihtiyacımız vardı. Hayatta kalmak, bizimle

ufuk arasındaki nispeten daha büyük nesneleri görebilmemizi sağlayan bir görüş yeteneğine, daha yüksek tondaki sesleri duymamızı sağlayan bir duyu organına ve benzeri şeylere bağlıdır. Bizleri yakın çevremizde var olan dünyanın ötesine taşıyabilecek duyular geliştirmenin -örneğin, atomların mikroskobik krallığını görebilecek gözlerle sahip olmanın- hayatta kalabilmemiz açısından hiçbir değeri yoktur. Bu nedenle bu etki alanları ile ilgili hiçbir sezgi geliştirmemiştir. Dolayısıyla olağan dünyayla karşılaştırıldığında çok küçük olanın etki alanını araştırmaya başladığımızda sezgilerimize aykırı şeyler bulduğumuza şaşırmamalıyız. Bir atom, bir insanoglundan yaklaşık 10 milyar kat daha küçüktür. Eğer atomlar, bir futbol topu, bir sandalye, bir masa ya da kendi algı dünyamızdaki herhangi başka bir şey gibi hareket ediyorsa olsaydı şaşırtıcı olurdu.

Olağan dünyayı destekleyen asıl gerçekliğin olağan dünyadan tamamen farklı olduğunun farkına varan ilk insan İskoç fizikçi James Clerk Maxwell olmuştur. Newton'un ve Einstein'ın yaşadığı dönemler arasında yaşayan tartışmasız en iyi fizikçidir (trajik bir biçimde mide kanserinden dolayı henüz 48 yaşındayken ölmüştür). 1860'lardaki en büyük zaferi, manyetik ve elektrik olgularının tamamını düzenli bir dizi formüle bağlayarak özünü çıkarmış olmasıdır. 'Maxwell'in denklemleri' o kadar özlüdür ki, eğer minik bir el yazınız varsa onları bir posta pulunun arkasına bile yazabilirsiniz.

Fizikçiler, Maxwell dönemine kadar dünyayı çevrelerinde gördükleri şeylerle modelliyorlardı. Örneğin, 'saat düzeneği' gibi işleyen Newtoncu bir Evren'den bahsediliyordu. Maxwell de farklı değildi. İlk başlarda bir mıknatısın nasıl olup da bir metal parçasına ulaştığını ve yapıştığını anlamak için çabalarırken, mıknatıs ile metal arasındaki boşluğun görünmez dişli çarklarla dolu olduğunu hayal etmişti. Bir mıknatısa sıkıca bastırılmış olan bir dişlinin başka bir dişliyi döndürdüğünü ve onun da başka bir tanesini döndürdüğü bir düzenin olduğunu düşünmüştü. Kuvvet, bu şekilde mıknatıstan metale iletiliyordu. Kafasındaki resim manyetizma

konusundaki gözlemlerine uymayınca Maxwell onun üzerinde birtakım değişiklikler yaptı. Dışlıların dönerken bükülen esnek bir maddeden yapıldığını düşünmeye başladı. Bu da işe yaramayınca çaresizlik içinde ellerini iki yana açıp bu tür ‘mekanik’ modellerle uğraşmaktan vazgeçti. Doğanın gündelik deneyimlerimizde yaşanan hiçbir şeye benzemediğini fark etmişti.

Maxwell, görünmez dişli çarkların dönüşü yerine olağan dünya ile hiçbir paralelliği olmayan, boşluğa nüfuz eden hayali elektrik ve manyetik ‘kuvvet alanları’ olduğunu düşünmeye başladı. Geçmişle araya kocaman bir fay kırığı koymuştu. Bunun uzun vadede fizik bilimini özgürleştirecek bir etkisi olacaktı. Böylelikle Einstein’ın dört boyutlu uzay zamanını farklı bir yöne saptırarak yer çekimini hayal etmesine ve günümüz fizikçilerinin ise maddeden oluşan temel bina bloklarının hayal edilemeyen on boyutlu bir uzaydaki kütle-enerji titreşimleri oluşturan minik tellerden ibaret olduğu varsayımını ortaya atmalarına yardımcı olmuştur.

Fizikçilerin, asıl gerçekliği anlama arayışında gündelik sezgilerin güvenli ağının dışında hareket etmeleri gerektiğini kendilerine açıkça gösteren o zorlu dersi almaları biraz zaman almıştı. Aslında hâlâ ders almış değiller. Yirminci yüzyılın ilk yarısında ışık ve madde teorileri arasındaki devasa fikir çatışması, ışığın dalga-parçacık teorisini de doğurmuştur.

Tanrı Zar Atar

Eğer ışık bir parçacık nehri gibi hareket ediyorsa -ve bu bir tartışma konusudur- yüzünüzün yansımaları camda görebilme nedeninizin ciddi çıkarımları vardır. Neden? Aslına bakarsanız ışığın bir dalga olması halinde kolaylıkla açıklanabilecek bir durum -sürat teknesinin yarattığı bir dalganın kısmen suya gömülmüş bir kütük parçasına çarparak kısmen geri dönmesi örneğini hatırlayın-, ışığın kurşun benzeri bir dizi parçacıktan oluşması halinde son derece zorlaşmaktadır. Sonuçta fotonlar birbirine benzerdir. Ancak eğer benzerlerse, elbette bir cam levhasından da benzer şekilde etkilenmeleri gerekir. Ya hepsinin di-

ğer tarafa iletilmesi ya da hepsinin yansıtılması gerekir. O zaman nasıl oluyor da yüzde 95'i camdan geçerken geri kalan yüzde 5 ise geri püs-kürtülüyor?

Bu, klasik bir fiziksel paradokstur -bir teori, yani ışığın parçacık te-orisi belli bir şeyi öngörürken, sağduyu deneyimimiz onunla tamamen çelişen bir şeyi öne sürmektedir. Deneyimimizin güvenilir olduğu açık ve nettir. Bir camdan baktığımızda gerçekten de dışarıdaki manzarayı gö-rürken aynı zamanda cama yansıyan yüzümüzü de görürüz. Bu yüzden fotonlarla ilgili fikrimizde bir yanlışlık olmalıdır.

Bununla ilgili tek bir mantıksal olasılık vardır: her fotonun iletilme *olasılığı* yüzde 95 ve yansıma *olasılığı* ise yüzde 5 olmalıdır. Bu, zararsız bir gerçek gibi görünebilir, ama aslında fiziğin kalbine düşmüş bir bombadır. Çünkü eğer bir camdan içeri giren veya yansıyan bir fotonun yalnızca bu-nu yapabilme şansını veya 'olasılığını' bilebiliyorsak, o zaman üstü kapalı bir şekilde bir fotonun gerçekte ne yapacağını kesin olarak bilme umu-dumuzdan vazgeçmişiz demektir. Einstein -ironik bir biçimde fotonun varlığını ileri süren ilk kişi olarak- bunun fizik açısından bir felaket oldu-ğunun farkına varmıştır. Daha önce yapılmış hiçbir şeyle hiçbir bakımdan uyuşmayan bir durumdu. Fizik, geleceği kesin bir güvenle öngörmenin tarifiydi. Gece yarısı Ay'ın gökyüzünde şu noktada olduğunu görüyorsak, Newton'ın kütleçekimi yasasına göre ertesi gece aynı saatlerde bu noktada olacağını yüzde 100 oranında bir kesinlik ile öngörebilirdik. Ama bir pen-cere camına çarpan bir fotonu ele alalım. Onun ne yapacağını asla tam bir kesinlik derecesiyle bilemeyiz. İletilmesi veya yansıtılması tamamen rast-lantısal bir durumdur ve olasılığın kaprisine kalmıştır.

Bu olasılık türü zar atışından veya rulet çarkının dönüşünden aşına olduğumuz tür değildir. Çok daha temeldir - ve tekin değildir. Eğer bir zarın üzerinde etkisi olan çok sayıda kuvvetin tamamı bilinseydi, yete-rince büyük bir bilgisayarı ve kararlı bir sabrı olan bir fizikçi Newton'un hareket yasalarından yararlanarak sonucu tahmin edebilirdi. Ancak buradaki problem bir zarın atılmasından sonraki güzergâhı etkileyen çok fazla faktörün olmasıdır - kumarbazın zarı atarken ona kazandırdığı ilk

hızdan, zarı atıldığı masanın sert yüzeyine savuran hava akımına kadar pek çok faktör etkilidir. Dolayısıyla sonucu kesin ve net bir şekilde tahmin etmek için gereken hassasiyet ile her birini belirlemek insanoğlunun kapasitesinin ötesinde bir iştir.

Ancak burada farkında olunması gereken temel nokta, bir zarın atılışını etkileyen faktörler konusundaki bilgisizliğimizin yalnızca pratik bir problem olmasıdır. Gelecekte yeterince azme -ve elbette zamana- sahip birilerinin zarı etkileyen tüm kuvvetleri ortaya çıkarmak için gereken kesinlik derecesini belirlemesi hiç de olanaksız değildir. Asıl konu, zarın atılışının doğal olarak öngörülemez olmamasıdır. Yalnızca uygulamada öngörülemezdir.

Bunu bir foton ile karşılaştırın. Bir fotonun cam yüzeyiyle karşılaştığında ne yapacağı bütünüyle öngörülemez bir şeydir - yalnız pratikte değil ilkesel olarak da öyledir. Hareketini etkileyen tüm faktörleri bilmemiz sorun değildir. Bilmeyeceğimiz herhangi bir faktör yoktur. Bir foton bize inat olsun diye camdan sekmek yerine içeri girebilir - hem de hiçbir neden olmaksızın.

Gündelik yaşamda her olay, kendinden önce gerçekleşen başka bir olay tarafından tetiklenmektedir. Bir sonuçtan önce her zaman bir neden gelir. Zar atıldığında bir sayı ortaya çıkar ve bunun nedeni zar üzerinde etkili olan tüm kuvvetlerin sonucudur. Kaldırım taşı gevşediği ve ayakkabınızın topuğu da içine girdiği için ayağınız takılır ve sendelersiniz. Ancak bir fotonun cam bir yüzeyle karşılaştığında sergilediği davranışı tetikleyen herhangi bir ön olay yoktur. Nedeni olmayan bir sonuçtur. Bir zarın atılması sonucunda 'altı' gelme olasılığı ilkesel olarak belirlenebilse de bir fotonun camdan geçme olasılığını belirleyen herhangi bir ön olay yoktur. Gerçekliğin altında pır pır eden gizli bir makine falan bulunmamaktadır. İşin aslı ve ana noktası bunun doğanın temel ilkesi olmasıdır. Altında yatan daha derin bir şey yoktur. Gizemli bir nedenden ötürü Evren böyle oluşmuştur.⁴

Cam bir yüzeydeki fotonları tanımlayan türden bir öngörülemezlik, aslında onların davranışlarını da akla yatkın her durumda tanımlar. Bu

durum aslında yalnızca fotonların değil atomların ve bileşenlerinin mikroskobik dünyasının tüm üyelerinin -gerçekliğin temel yapı taşlarının- tipik davranışdır. Bir radyum atomu parçalanabilir veya 'bozunabilir' ve merkezindeki 'çekirdeği' minik bir el bombası gibi şiddetli patlamalar yaşayabilir. Ancak bir radyum çekirdeğinin kendi yıkımına ne zaman başlayacağını öngörmek kesinlikle olası değildir. Yalnızca bunun belirli bir zaman aralığında gerçekleşme olasılığı olduğunu biliriz.

Mikroskobik dünyanın öngörülemezliği, insanoğlunun daha önce karşılaştığı hiçbir şeye benzemez. Tamamen yeni bir şeydir. Einstein'ın görelilik ile değil de fotoelektrik etkiden ışığın parçacık benzeri yapısına dair çıkarsamasıyla Nobel Ödülü'nü kazanmış olması işte bundandır. O -ve Nobel komitesi- bunun gerçekten devrim niteliğinde bir buluş olduğunu fark etmiştir.

Sonuçta mikroskobik dünyanın indirgenemez faktörler tarafından tamamen şans eseri bir rastlantısallık ile kontrol edilmesinin doğrulanması, büyük olasılıkla bilim tarihindeki en şaşırtıcı keşif olmuştur. İronik bir biçimde Einstein'ı o kadar derinden sarsmıştır ki konuyla ilgili şu ünlü açıklamasını yapmıştır: 'Tanrı, evrenle zar atmaz.' (Kuantum fiziğinin öncü isimlerinden Niels Bohr da şöyle karşılık vermiştir: 'Tanrı'ya zarıyla ne yapması gerektiğini söylemekten vazgeçin.') O, Evren'de temel seviyedeki birtakım şeylerin hiçbir neden olmaksızın gerçekleştiğine inanmayı inatla reddetmiştir. Einstein'la ilgili buruk ironi ise fotonun varlığını doğru olarak varsayarak, fiziğin kalbinde yatan rastlantısallık perisini elinde olmadan serbest bırakması olmuştur.⁵

Einstein'ın korkularının aksine, 1920'lerde diğer fizikçiler birtakım şeylerin hiçbir nedeni olmaksızın gerçekleşebileceğini öne süren kuantum fikrini benimsiyorlardı. Ancak Einstein'ın sezgileri ona daha önemli bir şey söylüyordu. Eğer salt rastlantısallık dünya tarafından kabul edilsen, bu durum kaçınılmaz olarak daha sarsıcı sonuçlar doğururdu - ona göre o kadar sıkıntı veren sonuçlar ortaya çıkardı ki fizikçilerin kuantum fikrinden tamamen vazgeçmeleri gerekirdi. Einstein, en sonunda 1935 yılında aradığını bulmuştu. Başka iki fizikçi -Nathan Rosen ve Boris Po-

dolsky- ile birlikte çalışarak eğer kuantum teorisi doğruysa, o zaman iki atomun Evren'in iki zıt kutbunda bile birbirlerini anında etkilemelerinin kaçınılmaz sonuçlardan biri olacağını keşfettiler.

Einstein'ın böyle bir sonuca nasıl vardığını takdir etmek, konudan uzaklaşmayı gerektirecektir. Bu bölüm, ışığın tıpkı durgun bir su yüzeyinin üzerinde daireler halinde yayılan bir dalgaya benzemesi durumunda pencere camında yüzünüzün yansımaları görmeyi kolaylıkla anlayabileceği iddiasıyla başlamıştı. Ancak ışığın dalgayla benzerliğinden nasıl ve ne zaman şüphe duymaya başladığımızdan bahsetmemiştik. Sonuçta ışık bir dalga gibi *görünmez*.

Işık Bir Dalgadır

Işığın bir dalga olduğunu örneklerle açıklayan kişi bir İngiliz olan Thomas Young'dır. Young, Rosetta Taşı'ndaki Mısır hiyerogliflerinin anlamını çözerek büyük bir başarıya imza atmakla kalmayıp, aynı zamanda gözün mavi, yeşil ve kırmızı ışık için ayrı alıcılara sahip olması gerektiğini de fark eden çok yönlü ve çok bilgili bir insandır. Ancak en büyük başarısı hiç şüphesiz ışığın dalgaya benzeyen tabiatını ortaya çıkarması olmuştur.

Young, ışığın Newton'un inandığı gibi bir dizi kurşun benzeri "zerrecikten" meydana geldiği düşüncesi yerine onun bir dalga olduğuna dair güçlü bir şüphe besliyordu. 1678 yılında Hollandalı bilim adamı Christian Huygens, ışığın uzayda yayılan bir dalga olması halinde ışığın aynadan yansımaları ve sapması ya da cam gibi yoğun bir aracı sayesinde ışık yolunun "kırılması" gibi pek çok optik olguyu açıklamanın da olanaklı olacağını belirtmiştir. Hatta Huygens'in dalga teorisi, ışığın havada yol alarak bir cam bloğuna çarpmasını bile doğru açıklamıştır. Newton ise üzerinde biraz oynama ve düzeltme yapmadan bu tahminde bulunmamıştır. Ancak Newton'un tanrısal otoritesi, Huygens'in teorisinin Young'a kadar fazlasıyla ihmal edilmesine neden olmuştur.

Her çeşit dalganın temel özelliği, birbirlerinin içinden geçerlerken dönüşümlü olarak birbirlerini güçlendirmeleri ve yok etmeleridir. Bir-

birleriyle 'yapıcı bir girişim' içinde oldukları, bir dalganın tepe noktasının başka birinin tepesiyle çakıştığı durumlarda birbirlerini desteklerler. Birbirleriyle 'yıkıcı bir girişim' içinde oldukları, bir dalganın tepe noktasının başka birinin çukur kısımlarıyla çakıştığı durumlarda birbirlerini yok ederler. Sağanak yağış sırasında bir gölün üzerinde bu türden bir 'girişimi' izlemenin hipnotize edici bir etkisi vardır. Yağmur damlalarından etkilenen eş merkezli dairesel dalgalar birbirlerinin içine geçerek yayılırlarken, birbirlerini hem güçlendirir hem de yok ederler.

Young, bu etkiyi biliyordu. Işıkla ilgili benzeri bir etkinin oluşması halinde, bunun çıplak gözle görülemiyor olmasının yalnızca ışık dalgalarının tepe noktalarının, insan gözünün ayırt edebileceği en küçük şeylerden biri olan saç telinden bile çok daha dar aralıklarla birbirlerinden ayrıldıkları anlamına gelebileceğini de biliyordu. Böylesine minik dalgaların girişimini görülebilir kılmak, en hafif ifadeyle bir meydan okumaydı, ama Young bunun altından kalkmıştır.

Young, temel noktanın bir göletin yüzeyine düşen iki yağmur damlasından yayılan eş merkezli dairesel dalgalar gibi, benzer iki kaynağını yaratmak olduğunun farkına varmıştır. Dairesel dalgalar birbirlerinin içine geçerek yayıldıkça, girişimde bulunacaklardır. Dairesel dalgaların yıkıcı bir girişim içinde oldukları ve birbirlerini yok ettikleri yerlerde karanlık olacaktır. Yapıcı bir girişim içinde oldukları ve birbirlerini güçlendirdikleri yerlerde ise aydınlık gelişecektir. Karanlık ve aydınlık bölgeler birbirini izler. Onları görmek için eş merkezli dairesel dalgaların üst üste bindikleri yere bir tür bir beyaz ekran koymak gerekecektir. Birbirini izleyen karanlık ve aydınlığın resmi bu sayede ortaya çıkacak ve bir süpermarket barkodundan ziyade bir zebranın çizgilerine benzeyecektir.

Young'ın deneyinin başarısı için önemli olan bir şey de ışığın tek bir renkten veya olabildiğince tek renge yakın bir renkten oluşuyor olmasıdır. Günümüzde farklı dalga boyutlarına veya 'dalga boylarına' denk gelen farklı renklerde ışığın olduğunu biliyoruz. Kırmızı ışığın tepe noktalarının mavi ışığın tepelerinden kabaca iki kat daha ayrık durduğunu

biliyoruz. Işığın girişimini örneklerle göstermek, üst üste binen ışık dalgalarının tam olarak yok edişini veya güçlendirmesini gerekli kıldığı için bu durum yalnızca ışığın tek bir renkten oluşması halinde gerçekleşebilir.

Young, 1801 yılında eş merkezli dairesel dalgalarıyla ilgili iki kaynağını yaratmıştır. Bunu yapmak için üzerine birbirine çok yakın ve düz ve uzun paralel iki yarık açılmış olan ışık geçirmez bir ekranın bir tarafına ışık verir. Işık, iki yarıktan ekranın diğer tarafına geçmiş, yayılmış ve her biri diğer yarıktan çıkan ışıkla iç içe geçmiştir. Young, dalgaların üst üste bindikleri bölgelerde beyaz ekranını devreye sokmuştur. İşte o noktada, büyük bir başarı elde ederek, aydınlık ve karanlık çizgilerden oluşan bir görüntü -girişimin açıkça görünen işaretini- görmüştür. Işığın bir dalga olduğu şüphe götürmemektedir. Ancak çıplak gözle görülememesinin nedeni dalgaların çok küçük olmasıdır: bir dalga tepesinden diğerine olan mesafe, bir milimetrenin binde biridir.⁶

On dokuzuncu yüzyılın başında yapılmış ve ışığın dalga doğasını ispat eden bir deneyi bilmemiz neden gereklidir? Çünkü Young'ın çift yarık deneyi öyküsünün sonu bu değildi. Hiç değildi. Yirminci yüzyılda yeniden vücut bulan bu düşünce bir kez daha ortaya çıktı. Üstelik çarpıcı bir şekilde, bu kez ışığın dalga niteliğini değil başka bir şeyi -neredeyse hiç inanılmayacak bir şeyi- ortaya koyuyordu. Tek bir mikroskobik varlığın -bir foton ya da bir atomun- *aynı anda iki yerde birden* olmasının olası olduğunu söylüyordu.

Dalgalar Parçacıkları Bilgilendirir

Young'ın tek bir rengin veya dalga boyunun ışığını üzerinde birbirine paralel ve çok yakın iki yarıktan geçirerek bir ekrana tuttuğunu anımsayın. Burada her yarık, ikincil ışık dalgalarının kaynağı olarak görev görüyordu. Tıpkı birlikte eş merkezli dairesel dalgaların kaynağı olmak üzere göle atılan iki taş gibi. Ayrıca, tıpkı o iki taşın oluşturduğu dairesel dalgaların, hem birbirlerini güçlendirerek hem de yok ederek iç içe geçmeleri gibi bu iki yarıktan diğer tarafa geçen ışık dalgaları da

aynısını yapmıştı. Birbirlerini destekledikleri durumlarda ışık aydınlığa dönüşmüş; birbirlerini yok ettikleri durumlarda ise ışık sönmüş ve karanlık ortaya çıkmıştı. Dalgaların üst üste bindikleri yerde Young bir ekranı devreye sokmuş, ve orada da herkesin gördüğü üzere birbirini izleyen karanlık ve aydınlık şeritler ortaya çıkmıştı. Bu da ışığın bir dalga olduğunu şüpheye yer bırakmayacak şekilde gösteriyordu.

Ancak ışığın yine şüpheye yer bırakmayacak şekilde bir parçacık nehri olduğu da görülüyordu. Arthur Compton onun mini bilardo toplarından yapılmış gibi elektronlar saçtığını göstermişti. Ayrıca bir de fotoelektrik etki vardı. Buna göre bireysel ışık parçacıkları, bir metalin yüzeyindeki bireysel elektronları serbest bırakıyordu. Dolayısıyla asıl soru şuydu: bunu Young deneyiyle bağdaştırmak nasıl mümkün olabilirdi?

Görülebilir ışığın fotonlarını düşünün. Her birinin taşıdığı enerji miktarı çok düşüktür. Bundan dolayı Einstein'dan önce kimse onların varlığını fark etmemiştir. Eğer fotonlar büyük miktarlarda enerji taşıyor olsalardı, o zaman ışığı açmak için ayarlı bir azaltıcı kullanıldığında aydınlık ani bir şekilde sıfırdan minimum aydınlığa fırlayacak, sonra o aydınlığın iki katına, üç katına çıkacak ve benzeri şekilde hareket etmeye devam edecekti. Bu şekilde aydınlanan bir ışık kaynağını hiç görmedik. Bunun nedeni de, tek tek fotonların çok düşük miktarda enerji taşıyor olmalarıdır. Enerji taşırlar, ama miktarı o kadar küçüktür ki çıplak gözle fark edilemez.

Ayrıca Young'ın deneyindeki ışık kaynağı trilyonlarca minicik fotonun trilyonlarcasının üstüne yerleşmesiyle oluşmuştur. Bu durum onun parçacık doğasının neden açık ve net olmadığını ortaya koyarken, fotonların parçacıkların değil de dalgaların su götürmez işareti olan karanlık ve aydınlık şeritlerin girişimini oluşturmak için birbirleriyle nasıl etkileştiklerini de açıklamamaktadır. Çok sayıda fotonun mevcut olduğu durumlarda onların parçacık benzeri doğalarının bir şekilde dalga benzeri doğalarının lehine silinmesi bir olasılıktır. Tıpkı bir futbol maçı için toplanan bir kalabalığın içinde tek başına duran bir insanın bireyselli-

ğinin silinmesi gibi. Peki, ya parçacık yanını göstermesi için ışığı zorlarsak ne olur? Bunu ancak Young'ın deneyini trilyonlarca foton yerine yalnızca birkaç tanesine sahip olan zayıf bir ışık kaynağı ile yapabiliriz. Eğer kaynak çok zayıfsa ve fotonlar ekrandaki yarığa birer birer ve uzun aralıklarla geliyorsa, o zaman karşımızda parçacıklar olduğu konusunda herhangi bir şüpheye yer kalmaz.

İnsan gözü tek fotonları ayırt edemez. Bu nedenle fotonların ikinci ekran üzerine ulaştıkları görülemez. Bununla birlikte ekranı bireysel ışık parçacıklarını kaydedebilen bir dizi hassas detektör ile kaplayarak bu sorun aşılabılır. Bu parçacıkları fotonları toplayan minik kovalar olarak düşünün. Tıpkı yağmur damlalarını toplayan gerçek kovalar gibi. Eğer foton kovaları bir bilgisayara bağlanırsa, seçebildikleri şeyler de ekrana yansıtılabilir ve insan gözünün görebileceği bir hal alır.

Eğer bu Young deneyinin ileri teknoloji sürümünü oluştursak ne görmeyi bekleyebiliriz? İki dalganın birbirine karışması veya birbirleriyle girişim halinde olması gerekliliği girişimin temel niteliğidir. Young deneyi örneğinde iki dalga seti eş merkezli dairesel dalgalar olarak ışık geçirmeyen ekrandaki iki yarıktan ortaya çıkarlar. Ancak eğer fotonlar ekrana birer birer ve uzun aralıklarla ulaşıyor olsalardı, o zaman bir seferinde bir yarıktan ya da diğerinden ortaya çıkan yalnızca bir foton olduğunu söylemek mantıklı olurdu. Böyle yalnız bir fotonun içine karışacağı başka bir foton olmayacaktır. Bu durumda herhangi bir girişim de olamaz. Bu nedenle deneyin uzun bir süre yapılmasından ve pek çok fotonun o iki yarıktan geçerek ikinci ekranın üzerine serpilmesinden sonra bilgisayar monitöründeki görüntünün iki tane parlak ve birbirine paralel şeritten -iki yarığın imgelerinden- oluşuyor olması gerekmektedir.

Ancak gerçekleşen bu değildir.

İlk başta bilgisayar ekranında fotonların ikinci ekranın her yerine saçıldığı görülmüştür. Tıpkı kısa namlulu bir av tüfeğinin ateş edilmesinin sonucu ortaya saçılan mermiler gibi. Ancak deney devam ettikçe çarpıcı bir şey gerçekleşmiştir. Yavaşça ama net bir model ortaya çıkmaya baş-

lamıştır. Tıpkı çöl kumlarından ortaya çıkan Arabistanlı Lawrence gibi mimik ışık kovaları tarafından yakalanan parçacıklardan her seferinde bir foton oluşturulmuştur. Üstelik bu, öylesine ortaya çıkan herhangi bir görüntü değildir. Birbirini takip eden aydınlık ve karanlık şeritler görüntüsüdür. Young'ın 1801'de görmüş olduğu paralel girişim şeritlerinin aynısıdır. Ama bu nasıl olabilir? Girişim, iki kaynaktan çıkan dalgaların birbirlerine karışmasından doğar. Burada ışık o kadar zayıftır ki parçacıklardan oluştuğu açıkça görülmektedir - ne de olsa ışık kovası detektörleri her seferinde bir tıklama ile onları kaydederler. Ayrıca fotonların karışabilecekleri başka bir foton bulunmamaktadır.

Kuantumun tuhaf dünyasına hoş geldiniz. Hiçbir neden olmaksızın bir şeyler yapan fotonların, çılgınlığın başlangıcı oldukları ortaya çıkmaktadır.

Yadsınamaz şekilde bireysel parçacıklar oldukları sayıca çok az olmalarından anlaşıldığında bile fotonların, dalga tabiatlarının bir nebze farkında oldukları görülmektedir. Ne de olsa ikinci ekran üzerinde tam da iki yarıktan ortaya çıkan dalgaların birbirini pekiştirdiği yerlerde görülürlerken, dalgaların birbirlerini yok ettikleri yerlerden kaçınmışlardır. Sanki her fotonun bağlı olduğu bir dalga vardır ve ekranda gitmesi gereken yere doğru bir şekilde onu yönlendirmektedir.

Bu da, doğru ya da yanlış, fizikçilerin çoğunun zihninde barındırdığı resimdir. Her bir fotona bağlı bir dalga vardır. Ona nereye gitmesi veya ne yapması gerektiğini bildirir. Ancak bir dönemeç vardır. Bu dalga, tıpkı bir su dalgası gibi görülebilen veya dokunulabilen fiziksel, gerçek bir dalga değildir. Bunun yerine soyut ve matematiksel bir şeydir. Fizikçiler, çoğu zaman 'dalga fonksiyonu' olarak adlandırılan bu kuantum dalgasının uzaya yayıldığını düşünürler. Dalganın büyük veya yüksek bir tepe noktasının olduğu durumlarda fotonu bulma olasılığı veya şansı yüksektir; dalganın küçük ve nispeten düz olduğu durumlarda ise fotonu bulma olasılığı düşüktür. Daha spesifik olmak gerekirse, uzayda belli bir yerde bulunan bir parçacığı bulma olasılığı veya şansı, o yerdeki kuantum dalgasının yüksekliğinin karesidir. Kuantum dalgaları birbirlerine karışabilir ve girişim

içinde olabilirler ve bunu yaptıkları zaman ortaya çıkan girişim görüntüsü, fotonların bulunma olasılığının en yüksek olduğu yerleri belirler.

Anlaması güç bir görüntü ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte doğadaki derin ikiliği ima eder. Sadece ışık dalgaları parçacıklar -fotonlar- olarak hareket etmez, ama fotonlar da soyut kuantum dalgaları şeklinde olsa da dalgalar gibi hareket edebilirler.

Daha önce de belirtildiği üzere parçacıklar gibi hareket eden ışık dalgalarının yarattıkları sonuçlar oldukça sarsıcıdır. Fotonlar dünyası -ve diğer her şey- en nihayetinde rastlantısallık tarafından yönetilir. Ayrıca, dalgalar gibi davranan fotonların da yarattığı sonuçların, aynı ölçüde sarsıcı olduğu ortaya çıkmıştır. Bir foton aynı anda iki yerde birden olabilir (veya iki şeyi birden yapabilir). Bu durum sizin aynı anda hem Londra'da hem de Paris'te olmanıza eşdeğerdir. Nasıl olabilir? Eğer fotonlar dalgalar gibi davranabilirlerse, o zaman dalgaların yapabileceği her şeyi de yapabilirler. Ayrıca, dalgaların yapabileceği ve gündelik dünyada sıradan sonuçlar doğurmasına rağmen, mikroskobik dünyada önemli sonuçlar yaratan bir şey daha vardır.

Aynı Anda İki Yerde Birden

Fırtınalı bir günde denizi düşünün. Rüzgârın oluşturduğu dev dalgalar yüzeyde art arda ilerliyor. Şimdi denizin fırtına dindikten sonra ertesi günkü halini düşünün. Suyun yüzeyi daha sakin. Sadece hafif bir esintiden kaynaklanan minik dairesel dalgalar göze çarpar. Rüzgârın oluşturduğu minik dairesel dalgaların bir araya gelmesiyle birlikte büyük dalgaların oluşması da mümkündür. Ayrıca, bunun tüm dalga türlerinin genel bir özelliği olduğu ortadadır. Eğer iki farklı dalga türü varsa, bu iki dalganın kombinasyonu da her zaman mümkündür. Okyanus dalgaları örneğinde bunun sonucunun farkına varmak güçtür. Ancak ne yapmaları ve nerede olmaları gerektiği konusunda fotonlardan bilgi alan ve fotonların bağlı oldukları kuantum dalgaları örneğindeki sonuçlar oldukça etkileyicidir.

Bir pencere camının bir tarafının en yüksek noktasına yerleşmiş bir kuantum dalgasını düşünün. Böylelikle o tarafta onu bulma olasılığı yüksek olacaktır. Burada ters ya da uygunsuz bir şey yok. Ancak her iki dalganın varlığı da bireysel olarak olası olduğu için iki dalganın kombinasyonu bir dalga veya "üst üste binme durumu"* da olası olacaktır. Hatta böyle bir kombinasyonun varlığı gerekecektir. Ancak bu durum aynı anda camın iki tarafında da olan bir fotona denk gelmektedir. Aynı anda hem iletilen hem de yansıtılan bir fotona. Bu da elbette olanaksızdır?

Young'ın çift yarıık deneyini bir daha düşünün. Bir girişim görüntüsü yaratmak için iki şeyin birbirine karışması gerektiğini anımsayın. Bunu düşünme biçimlerinden biri dalga perspektifidir. Bu durumda her fotonla ilişkilendirilen kuantum dalgası, ışık geçirmez ekrandaki yarııklardan eş merkezli dairesel dalgalar halinde yayılır. Ancak diğer bir düşünce biçimi de parçacık bakış açısıdır. Bu durumda ışık geçirmez ekrana ulaşan her foton, aynı anda iki yerde birden bulunmaktadır. Bu da onun eş zamanlı olarak iki yarıktan da geçebilmesini ve kendine karışmasını sağlar.

Bir fotonun tek bir anda iki şeyi birden yapabilme yetisi, iki dalga olasıysa, o iki dalganın kombinasyonu olan bir dalganın da olası olduğu gerçeğinin doğrudan sonucudur. Ancak doğa, yalnız iki dalgada durmaz. Eğer her sayıda dalga -üç, 99 veya 6 milyon- olasıysa, hepsinin kombinasyonu olan bir dalga da olasıdır. Bir foton yalnızca aynı anda iki şey yapmakla kalmayıp, aynı anda birçok şey yapabilir.

Bu durumda bir fotona veya herhangi bir şeye tekabül eden kuantum dalgasının uzayda tam olarak nasıl yayıldığını öngören bir denklem -ya da bir tarif- olduğu ortadadır. Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger tarafından geliştirilmiş bu denklem, bir kuantum muammasına yanıt niteliğindedir. Eğer Evren temel olarak öngörülemezse, tamamen bir zar atışının rastlantısallığıyla işliyorsaydı, o zaman nasıl oluyor da olağan dünya büyük ölçüde öngörülebiliyor? Nasıl oluyor da yağmura yakalandığınız zaman ıslanacağınızı neredeyse tamamen kesin bir şekilde bilebiliyoruz? Ya da yarın sabah Güneş'in doğacağını?

* süperpozisyon; (E.N.)

Schrödinger denklemi, doğanın bir eliyle aldığını istemeden de olsa diğer eliyle verdiğini ortaya koymaktadır. Evet, Evren temel olarak öngörülemezdir. Ancak -ve kilit nokta budur- öngörülemezlik öngörülebilir. Bir fotonun veya başka bir mikroskobik parçacığın ne yapacağından kesin olarak emin olamayız. Ama Schrödinger denkleminin yardımıyla onun bir şeyi yapma olasılığını, başka bir şeyi yapma olasılığını ve benzeri olasılıkları bilebiliriz. Bu da büyük ölçüde öngörülebilir bir dünyada yaşadığımızı garanti etmek için yeterlidir.

Hatta daha da fazlasıdır. Kuantum teorisi, şimdiye kadar geliştirilmiş en başarılı fiziksel teoridir. Deneylerde gördüklerimizle neredeyse tamamen uyuşan öngörülerde bulunmuştur. Aslında kuantum teorisi modern dünyayı olası kılmıştır. Bizlere lazer teknolojisini, bilgisayarları ve iPod'ları vermekle kalmamış Güneş'in neden parladığını ve ayağımızın altındaki toprak zeminin neden sert olduğunu anlamamızı da sağlamıştır. Bir yandan bir şeyler inşa etmek ve dünyamızı anlamak açısından son derece başarılı olan, öte yandan şu ana kadar icat edilmiş ve edilebilecek her şeyden daha tuhaf bir Alice Harikalar Diyarında dünyasına açılan bir pencere niteliğindeki bu son derece başarılı teoriye sahip olmak ironiktir.

Anlık Etki

Ancak eğer bir fotonun hiçbir neden olmaksızın bir şeyler yapmasının veya aynı anda iki yerde birden olmasının kötü olduğunu düşünüyorsanız, daha kötüsünün yolda olduğunu belirteyim. Einstein, Rosen ve Podolsky de tam bu noktada devreye girerler. Kuantum teorisinin son derece gülünç ve tuhaf bir sonucuna dikkat çekerek aklı başında insanların bu teoriye inanmaktan vazgeçmeleri gerektiğini savunmuşlardır. Çıplak öngörülemezliğe yol açan ışık dalgalarının parçacık doğasını ve fotonların bir fotonun aynı anda iki yerde birden olabilmesine olanak tanıyan dalga doğasını düşünün. Şimdi onları birleştirdiğinizi hayal edin. Einstein'ın ekibinin keşfettiği üzere sonuç olarak ortaya yeni ve hatta daha tuhaf bir olgu çıkacaktır: boşluktaki ayrılmış yerler arasında anlık iletişim - hatta bu yerler Evren'in iki zıt kısmında olsalar bile.

Aslında bu yeni olguyu uyandırmak için gereken üçüncü bir unsur daha vardır. Ancak o kadar temel bir unsurdur ki kuantum teorisini aşmıştır. Buna korunum yasası denir. Fizikçiler bunların birkaç tanesini keşfetmişlerdir. Örneğin, enerji korunum yasası vardır. Buna göre enerji asla yoktan yaratılamaz ve yok edilemez; ancak form değiştirir. Örneğin bir ampulde elektrik enerjisinin ışık enerjisine ve ısı enerjisine dönüştüğünü görürüz. Kaslarınızda ise gıdalardan aldığınız kimyasal enerjinin kas hareketlerinizle birlikte mekanik enerjiye dönüştüğünü görürsünüz.

1918 yılında bilim dünyasının adı yeterince duyulmamış kadın kahramanlarından biri olan Alman matematikçi Emmy Noether, fizikteki korunum yasaları ile ilgili şaşırtıcı bir keşifte bulunmuştur. Onların doğanın derin 'simetrilerinin' sonucu olduklarını -bakış açımızda değişiklik olduğunda bile aynı kalan şeyler olduklarını- keşfetmiştir. Örneğin, enerji korunum yasası 'zaman öteleme simetrisinden' doğar: yani geri kalan her şeyin eşit olduğu durumlarda, bir deneyi şimdi ya da ötelediğimiz bir zaman -diyelim ki gelecek hafta veya gelecek yıl- yaptığımızda tamamen aynı sonucu alırız. Doğanın başka bir derin simetrisi de 'dönme simetrisidir.' Eğer teçhizatımız kuzey-güney yönüne dönük halde deneyimizi yaparken onu doğu-batı yönüne döndürürsek yine aynı sonucu elde ederiz. Bu zararsız simetriden doğan yasa ise açısal momentumun korunumu yasasıdır. Açısal momentum, dönen bir kütlenin dönmeye devam etme eğilimini ölçen bir niceliktir. Kendi eksenini etrafında dönen dünyanın çok büyük bir açısal momentumu vardır. Bu nedenle uzun bir süre dönmeye devam etme olasılığı yüksektir.

Fotonlar gibi mikroskobik parçacıkların da 'spin' adı verilen bir kuantum niteliğine sahip oldukları görülmektedir. İndirgenemez rastlantısallık ile benzer şekilde olağan dünyada hiçbir benzeri bulunmamaktadır. Bildiğimiz kadarıyla fotonlar boşlukta uçarlarken aslında Dünya'nın kendi eksenini etrafında döndüğü gibi gerçek anlamda dönmüyorlardır. Onların spini 'içseldir.' Bununla birlikte sanki dönüyormuş gibi davranırlar. Bir fotonun önünde spesifik olarak iki olasılık vardır: belirli bir dönüş hızında saat yönünde hareket ederek tirbuşonla şarap açıyormuş

gibi davranabilir; ya da aynı hızla saatin tersi yönde tirbuşon hareketini sürdürebilir.

Asıl nokta, kuantum spininin açışal momentumun korunumu yasasına itaat etmesidir. Bu durumda, fotonlara uygulanan kural şöyle der: eğer iki foton beraber yaratıldıysa, toplam spinleri hiçbir zaman değişmez. Diyelim ki birlikte oluştular ve biri saat yönünde dönerken diğeri saatin ters yönünde dönüyor. Onların bu zıt yöndeki spinleri birbirlerini iptal eder. Fizikçilerin jargonuna göre toplam spinleri sıfırdır. Bu durumda açışal momentumun korunumu yasası, fotonların toplam spinlerinin sonsuza dek veya onları yok eden bir süreç ortaya çıkana kadar sıfır kalmasını gerektirir.

Bunda tuhaf ya da tartışmalı bir durum yoktur.

Ama ters yönlere doğru dönen iki fotonu yaratan gerçek bir süreci düşünelim. Atomların içindeki yörüngesinde dönen minik parçacık olan elektronun, pozitron adı verilen bir ikiz 'karşı-parçacığı' vardır. Tüm parçacıkların ve bu tür 'karşı-madde' ikizlerinin karakteristik özelliğı, karşılaştıklarında birbirlerini tahrip etmeleri veya 'yok etmeleridir.' Bir elektron ve bir pozitronun tıpkı bir foton gibi içsel bir spini vardır. Fotonunkinden farklı bir büyüklüğü bulunur, ama burada önemli olan o değildir. Önemli olan yok olmalarından hemen öncesinde elektronun ve pozitronun zıt spinlere sahip olmalarıdır. Bu yüzden toplam spinleri birbirini iptal eder. Bu da yaratılan iki fotonun, birbirini yok eden spinleri olmasını gerektirir. Birisi saat yönünde, diğeri ise saatin aksi yönünde spine sahiptir.

Ancak bu noktada kuantum fiziğı devreye girer. Açışal momentumun korunumu, yok olmaktan kaçan iki fotonun spinlerinin *birbirine zıt yönde* olmasını gerektirir. Ama bunun olabileceğı yalnızca iki olası durum vardır. Birinci foton saat yönünde spine sahipken ikinci foton ise saatin tersi yönünde spine sahiptir. Ya da bunun tam tersi. Ancak bunun bir kuantum dünyası olduğunu unutmayın. Her olasılık, bir kuantum dalgası ile temsil edilir. Üstelik, eğer iki dalga olasıysa, onlardan oluşan bir kombinasyonun da olası -hatta gerekli- olacağını unutmayın.

Bu nedenle yeni doğan fotonlar uçup giderken -ve farklı yönlerde uçup giderlerken- tuhaf bir kuantum 'üst üste binme durumu' içinde var olurlar. Tıpkı tek bir fotonun aynı anda camın her iki tarafında olabilmesi gibi iki foton da eş zamanlı olarak saat yönünde-saat yönünün tersine ve saat yönünün tersine-saat yönünde spine sahiptirler. Belki burada gizlenmiş ve bomba etkisi yaratabilecek noktayı görmüyorsunuzdur. Endişe etmeyin. Hiç kimse görmedi. Onu görmek için Einstein olmak gerekti.

Şu ana kadar açışal momentumun korunumu yasasını kullanmaya ek olarak bir kuantum unsurunu da -kuantum üst üste binme durumunu- kullanmış bulunuyoruz. Geriye yalnızca ikinci kuantum unsuru -öngörülemezlik- kalıyor. Diyelim ki ilk fotonu yakalayabilen ve spinini belirleyebilen bir detektör ayarladık. Şu an fotonun ne yönde spine sahip olduğunu kesinkes tahmin etmek -ilkesel olarak bile- mümkün değildir. Kuantum dünyası indirgenemez rastlantısallık ile nitelenir. Bilebildiğimiz tek şey, fotonu saptadığımız zaman onun yüzde 50 olasılıkla saat yönünde ve yüzde 50 olasılıkla ise saatin aksi yönünde spine sahip olacağıdır.

Diyelim ki ilk fotonu saptadık ve saat yönünde spine sahip olduğunu gördük. İşte şimdi bomba etkisi yaratabilecek o nokta geliyor. İkinci fotonun anında saat yönünün tersine spine sahip olması gerekir. Ne de olsa fotonlar, farklı spinlere sahip olacak şekilde oluşmuşlardır ve açışal momentumun korunumu yasası da onların her zaman farklı yönlerde spinlere sahip olmasını gerektirir. Öte yandan eğer ilk fotonu saptadığımızda onun saat yönünün aksi yönünde spine sahip olduğunu görürsek, ikinci fotonun derhal saat yönünde spine sahip olması gerekir. Bu konuyla ilgili en şaşırtıcı olan ise fotonların ne kadar ayrı oldukları konusunda hiçbir referansın bulunmamasıdır. Eğer bir fotonun bir yönde spine sahip olduğunu görülürse, ikizinin de *anında* tepki vererek farklı yönde spine sahip olmasını garanti etmesi gerekir - bu fotonlar Evren'in zıt taraflarında olsalar bile.

Einstein, Rosen ve Podolsky tarafından olağanüstü bir şekilde ortaya konulan kuantum teorisi, bir yere kadar anlık etki saçmalığına izin ver-

mektedir. Beraber doğan parçacıkların sonsuza dek iki ayrı parçacıktan ziyade etle tırnak gibi ayrılmaz bir parça olarak davrandıklarını ifade eder. Birbirlerini *bilirler*. Nitelikleri ayrılmaz şekilde birbirine karışmıştır veya kuantum jargonuyla ifade edecek olursak 'dolaşıktır.' Anlık etki, *sonsuz hızda* yolculuk eden kuantum parçacık arasında var olan bir tür hayalet etkiye eşdeğerdir. Ancak bu düşünce Einstein'ın özel görelilik teorisinin karşısında yer alır. Göreliliğe göre saniyede 300 bin kilometre hızla yol alan ışıktan daha hızlı hareket eden hiçbir etki olamaz.

Her şey üç şeyin etkileşimine çıkar: üst üste binme durumu, öngörülemezlik ve açısal momentumun korunumu. İki foton üst üste binme durumunda oldukları için iki parçacığın konumu -saat yönünde-saatin aksi yönünde veya saatin aksi yönünde-saat yönünde spine sahip olup olmadıkları- bir parçacığın spini gözlemlenene kadar kesin olarak belirlenemez. Ama ölçüldüğü zaman sonuç öngörülemezdir. Yine de açısal momentumun korunumu yasası bir şekilde ikinci parçacığa, partnerinin spini hakkında bilgi vererek onun da anında ters yönde bir spini benimsemesini sağlayacak şekilde işler.

Teknik olarak 'yerelliğin-olmayışı*' olarak bilinen anlık etkinin varlığını öngören şey, bu üç faktörün incelikli etkileşimidir. Ayrıca, aslında açısal momentumun korunumu gerekli değildir. Anlık etkinin açısal momentumun korunumu yerine enerji koruması gibi başka bir korunum yasası devrede olduğunda da gözlenememesinin kesinlikle hiçbir nedeni yoktur. Anlık etkinin açıkça gözlenebildiği bir durum hazırlamak için yalnızca biraz beceri gerekecektir.

Bazı popüler kitaplarda iç içe geçmiş iki parçacığın bir çift eldivene benzediğini yazar. Çekmecenin içine bakmadan eldivenlerinizden birini alıp çantanıza attığınızı düşünün. Çantanızı uzun bir zaman geçtikten sonra açtığınızda yanınızda eldivenin sol teki olduğunu görürseniz, evde çekmecede bıraktığınız diğer eldivenin de elbette sağ teki olduğunu anında bilirsiniz - ya da tam tersi de geçerlidir. Ancak bu örnek dolaşıklıkla sihrini yanlış anlamaktır (ve önemsizleştirmektir). Ayır iki kuantum

* non-locality (Ç.N.)

parçacığı iki eldivene benzemez. Az önceki örnekte bir eldiven sol ele ve diğer eldiven ise sağ ele uyacaktır ve bu her zaman ya da en azından iki eldivenin var olduğu durumlarda geçerlidir. Eğer yanınızda taşıdığınız eldivenin sağ elinize ait eldiven olduğu ortaya çıkarsa, o eldiven çantanızı açmadan önce de sağ elinize ait eldivendir. Yani evinizde bıraktığınız diğer teki ise sol elinize ait eldiven olacaktır. Evdeki eldivene giderek ona sol ele ait eldiven olmasını söyleyecek herhangi bir işarete gerek yoktur. O zaten tüm bu süreç boyunca sol ele ait eldivendir.

Bu örneği iki foton örneğiyle karşılaştırın. Eğer fotonların her biri bir eldiven gibi olsaydı, ne sağa ne sola ait tuhaf bir eldiven olurlardı. Ya da önceden var olan bir sağ-ellilik ya da sol-ellilik özelliği olmayan bir eldiven olurlardı. Bu özellik ancak onu çantanızdan çıkarıp baktığınızda, yani eldivenin tamamen rastlantısal bir şekilde sağ ya da sol ele ait olduğu ortaya çıktığında belirlenecektir. Ayrıca, aynı şekilde önceden var olan bir sağlık ya da solluk özelliği olmayan evdeki diğer eldivenin de partnerinin tam tersi olarak anında tepki vermesi gerekir. Eldivenin (veya fotonun) konumunun belirlendiği noktada kendisi ve partneri arasında bir çeşit hayali bir bağlantıyı zorunlu kılan bir konumunun olmaması -ve sonra konumunun tamamen rastlantısal bir şekilde belirlendiği- gerçektir.

Einstein, yerelliğin-olmayışı ile birlikte en sonunda, doğanın son sözünün kuantum teorisi olmadığı anlamına gelen komik bir öngörüyle ortaya çıkabileceğine ikna olmuştu. Ancak sorun, Einstein tarafından öngörülen bu tuhaf olgunun aslında Alain Aspect adında bir Fransız fizikçi tarafından gözlemlenmiş olmasıdır. Aspect, Einstein'ın ölümünden yaklaşık çeyrek yüzyıl sonra 1982'de, Paris Sud Üniversitesi'ndeki laboratuvarının bir tarafındaki fotonların diğer taraftaki fotonlara sanki aralarından ışık hızından çok daha hızlı bir hayalet etki geçiyormuş gibi tepki verdiklerini ortaya koymuştur. Einstein yanılmıştı. Kuantum teorisi zorlu bir sınavı daha geçmişti. Tanımladığı gerçeklik tuhaf olabilirdi, tatsız olabilirdi, ama sağlamdı. Kesinlikle öyleydi.

Einstein'ın ışık hızıyla oluşturulmuş kozmik hız limitine tamamen zıt bir şekilde sonsuz hızda iletişim kurabilme yetisi muhteşem bir şeydir.

Ancak -inanmayacaksınız ama- doğa, bir eliyle verdiğini diğer eliyle alır. Bu da anlık, *Uzay Yolu* tipi iletişimin boşa ümit veren olasılığıdır. Yine dönüp dolaşıp rastlantısallığa geliyoruz. Anlık etki kullanılarak gönderilebilen tek bilgi, bir fotonun spin konumudur. Ancak eğer gönderici yerelliğin-olmayışından yararlanacaksa, mesajın her fotonunu saat yönüne ve saat yönünün tersine spin üst üste binme durumunda göndermesi gerekir. Belki de saat yönünde spin '0' olarak kodlanırken saat yönünün aksine spin ise '1' olarak kodlanabilir. Ama eğer her foton konumlar üst üste binme durumundaysa, o zaman 0 olmak için yüzde 50 ve 1 olmak için yüzde 50 şansı olacaktır. Gönderilebilecek tek mesaj, 0' lar ve 1' lerden oluşan rastlantısal bir sıralamadır. Bu da gelişigüzel atılan madeni bir para kadar anlamsız bir mesaj olacaktır. Einstein'ın ışık hızı hız limiti ihlal edilmemiştir, çünkü bunun 'bilgi' hızının üst limiti olduğu ortaya çıkmıştır. Doğa, yararsız ve anlamsız mesajların iletilmesi ile ilgili herhangi bir hız limiti koymaz. İşte ilk bakışta görüldüğü kadar şaşırtıcı olan, yerelliğin olmayışının olanak tanıdığı da bu kadardır.

Yüzünüzün camdaki yansımasından buraya uzun bir yol kat ettik. Camdan size bakan yüzünüz, fotonların mikroskobik dünyasının rastlantısallık ile düzenleniyor olması gerektiğini anlatır. Ancak fotonların aynı anda iki şeyi birden yapabileceklerini gösteren dalga benzeri davranışını ele alınca yerelliğin-olmayışına ulaşıyoruz. Çoğu fizikçi, bu anlık etkinin kuantum teorisinin en büyük gizemi olduğunu düşünür. Aslında daha geniş bir kapsamda Evren için ne anlama geldiğini kimsenin bilmediğini söylemek adil olacaktır. Ancak kesin olarak bildiğimiz bir şey var. Evren'in sayısız parçacığının tamamının 13,7 milyar yıl önce yaşanan Büyük Patlama'daki ateş topuyla ortaya çıktığını biliyoruz. Bundan dolayı dönen iki fotonu birbirine bağlayan hayalet bağların, henüz tam anlayamadığımız bir bağlamda, sizi ve beni de en uzaklardaki yıldızlara ve galaksilere bağlıyor olması gerekir.

Atomlar Neden Dans Ederler?

Yerin içinden geçerek altına düşmediğiniz gerçeği, bir şeylerin maddenin mikroskopik bileşenlerini çok ufak parçalar halinde ezilmekten alıkoyduğunu nasıl anlatır?

'Klasik bakış açısına göre atomlar tamamen olanaksızdır.'

Richard Feynman

'Ve belki de atomlarım sabit durmak istemiyorlardır, çünkü her an her yerde rock & roll yapmak istiyor olabilirler.'

Adrian Mitchell ('Güneş Beni Seviyor,' *Soldaki Yürek*)

A yağınızı bastığınız yer katıdır. Elinizde tuttuğunuz bu kitap katıdır. Siz katı bir cisimsiniz. Büyük olasılıkla böyle şeylerin kayda değer olmadığını düşünüyorsunuzdur. Ama hiç de öyle değil. Aslında maddenin yüzde 99,999999999999'u boş alandır. Üzerinde durduğunuz zemin hiç de sağlam değildir. Hatta sabah sisinin belli belirsiz yapısından bile daha zayıftır. Bu kitap hayali bir kitaptan başka bir şey değildir. Okuduğunuz

sözcükler hayali sözcüklerdir. Bunu söylediğim için üzgünüm ama siz de bir hayaletsiniz. Eğer zemin bu kadar gerçek dışı ve zayıf yapılyısa, sizin ağırlığınızı nasıl desteklediğini elbette merak ediyorsunuzdur. Eğer gerçekten sabah sisi gibi bir şeyse, neden içinden geçerek altına düşmüyorsunuz? Bunun yanıtı, maddenin bu mikroskobik yapı taşlarının birbirleriyle aynı ortamlarda en ufak bir şekilde yakınlaşmalarını engelleyen bir şeyler olduğudur. Bu o kadar vahşi bir gizemli kuvvettir ki elektronları ve atomun çekirdeklerini birbirinden ayırarak sanki bileşen parçacıkları görünmez bir kirisler ağıyla destekleniyormuş gibi maddeyi katılaştırır. Ayağınızın altındaki zeminin -bu kadar narin olmasına rağmen- ağırlığınıza dayanabilmesinin nedeni bu kuvvetin varlığıdır.

Maddenin neden bu kadar büyük bölümünün boşluktan meydana geldiğini anlayabilmek için ilk olarak atomları bilmek gerekir. Daha önce de belirtildiği üzere her şeyin atomlardan meydana geldiği fikrini ilk olarak Yunan filozof Demokritos ortaya atmıştır.¹ Maddenin en nihayetinde yalnızca bölünemez taneciklerden oluştuğuna dair mantık yürütmekle kalmamış, o taneciklerin sadece sınırlı sayıda farklı türden oluştuğunu da ileri sürmüştür. Bu mikroskobik Lego parçalarını farklı şekillerde düzenleyerek bir ağaç veya bir masa veya bir insan yapmak mümkündür. Her şey bu kombinasyonlardan ortaya çıkar.

Maddenin kesintisiz değil de taneli bir yapısı olduğu açıkça görülmektedir. Demokritos'a göre bunun nedeni atomların görülemeyecek veya doğrudan dokunulamayacak kadar küçük olmasıdır. Ancak Demokritos'tan iki milenyum sonra bilim adamları atomlara dair dolaylı kanıtlar toplamaya başlamışlardır. Örneğin, eğer oradan oraya uçan kızgın bir arı sürüsü gibi çok sayıda atomdan oluşuyorsa buhar gibi bir gazın davranışının anlamlı olabileceğinin farkına vardılar. İrlandalı bilim adamı Robert Boyle, 1660 yılında gaz içeren bir kutunun hacminin hareketli bir duvarı iterek veya bir 'itenek' ile yarıya düşürülmesi halinde basıya karşı iteneği tutmak için eskisine oranla iki kat daha fazla kuvvet gerekeceğini keşfetmiştir. Eğer hacim üçte bire düşürülürse, üç kat kuvvet

uygulanmalıdır. Ayrıca benzeri oranlar da geçerlidir. Eğer gazın yarattığı baskı, kalay bir çatıya düşen yağmur damlaları gibi iteneğe saldıran sayısız atomun kızgın kuvvetinden kaynaklanıyorsa, o zaman Boyle yasası olarak bilinen bu gözlem de son derece anlamlı olacaktır. Eğer konteynırın hacmi yarıya düşürülürse, atomların bir duvara ve karşısındaki duvara çarpmak için kat edecekleri mesafe yarılanacaktır. Sonuç olarak, duvarlara iki kat sıklıkla çarpacaklar ve iki kat daha fazla baskı yaratacaklardır. Benzer şekilde eğer konteynırın hacmi üçte birine düşerse, atomların kat edecekleri mesafe de üçte bire düşecektir ve böylelikle duvarlarda üç kat daha fazla sekecek ve baskıyı üç kata çıkaracaklardır.

Atomların hareketli küçük tanecikler olmasıyla ilgili yeterince kanıt vardır. Peki ya değişik şekillerde var olmalarıyla ilgili kanıt? Bununla ilgili kanıt bulmak Demokritos'a göre çok zordu. Dünyaya o kadar şaşırtıcı bir çeşitlilik hâkim ki atomlar da yalnızca kendi türlerine bağlı kalmayıp başka atom türleriyle de bağlantı kurmak için her fırsatı yakalayacaklardır. Ancak Einstein'ın gözlemlediği üzere: 'Tanrı kolay anlaşılamaz, ama kötü niyetli değildir.' Altın gibi bazı maddelerin ısı, asit veya başka yollarla daha basit maddelere ayrıştırılması olası değildir. Böyle 'temel' maddelerin, tek bir atom türünün geniş yığınları olduklarına dair her türlü gösterge mevcuttur.

Bu tür maddeleri tanımlayan ilk insan Fransız aristokrat Antoine Lavoisier olmuştur. 1789'da derlediği listesinde 23 'element' bulunur. Aslında bazılarının temel elementler olmadıkları ortaya çıkmıştır ama Lavoisier geri dönmemiştir. Beş yıl sonra giyotine gönderildiği için kendi listesine eklemeler yapamamıştır ama başkaları onun yerine bunu gerçekleştirmiştir. Asıl sorun şudur: on dokuzuncu yüzyılın ortası itibarıyla bilinen elementlerin sayısı 50'yi aşmıştır. Bu sayı Demokritos'un maddenin yapı taşları olarak zihninde tasarlamış olduğu az sayıda farklı atom türünün çok üzerindedir. Günümüzde ise en hafifleri olan hidrojenden en ağırları uranyuma kadar doğal kaynaklı 92 element olduğunu biliyoruz. Sayıları neden bu kadar fazladır?

bile çok küçüktü. Üstelik, Mendeleev tarafından keşfedilen atomik nitelikler modeli ile de hiçbir ilgisi olmadığı açıktı. Ancak elektron, bir atomun içinin neye benzediğinin resmedilmesi konusunda ilk adımın atılmasına olanak tanımıştır.

Elektron 'eksi' elektrik yüklüdür. Kimse elektrik yükünün ne olduğunu tam olarak bilmez. Yalnızca eksi ve artı olarak iki çeşidi olduğunu bilir. Zıt yükler birbirlerini çekerken benzer yükler ise iterler. Gündelik yaşamda elektrik kuvvetinin bizi şu ya da bu şekilde etkilediğine şahit olmadığımız için genel olarak maddenin elektriksel açıdan yüksüz olması gerektiğini düşünürüz. İçindeki eksi yükün, artı yük miktarıyla mükemmel bir denge oluşturduğunu varsayarız. Bu nedenle bir atomdaki elektronların eksi yükünün 'başka bir şeyin' artı yüküyle dengelenmesi gerekir. O başka bir şeyin ne olduğunu bilmemesine rağmen Thomson yine de atomla ilgili takdir edilesi bir model oluşturmayı başarmıştır. Onu yayılmış bir artı yük küresi olarak resmetmiş ve içine Noel veya 'erik' pudingindeki kuru erikler gibi görünen minik elektronları çizmiştir.

Thomson'ın 'erik pudingi' modeli atomun resmi olarak yirminci yüzyılda da kabul görmüştür. Ancak 1909'da deneysel fiziğin devlerinden biri her şeyi değiştirmiştir. Yeni Zelandalı fizikçi Ernest Rutherford, 'radyoaktivite' çalışmalarında çığır açmıştır. Bu olgu, fotoğraf baskı kalıplarının uranyum ve toryum içeren taşlardan gelen gizemli 'ışınlar' ile puslandığını fark eden Henry Becquerel tarafından 1896 yılında tesadüfen bulunmuştu. Marie Curie çalışmaları hızlandırmış ve 1898 yılında Paris'te radyoaktivitenin atomların bir özelliği olduğunun doğru bir şekilde farkına varmıştı. Radyoaktif bir maddeden yayılan ışınlar o kadar yoğunlu ki atomlarının sayısı çok az olsa bile saptanabiliyorlardı. İşte Curie bu niteliği dramatik bir etki yaratacak şekilde kullanarak, bilim dünyasının o ana kadar bilmediği iki elementi keşfetmişti: Rus muhalif Alexander Litvinenko'nun Londra'daki zehirlenme vakasıyla 2006 yılında manşetlerde yer alarak tüm dünyaca tanınan polonyum ve radyum.

Curie, aynı yıl içinde radyoaktivitenin atomun bir özelliği olduğunu keşfetti. Montreal'de çalışan Rutherford, radyoaktivitenin 'alfa' ve 'be-

ta' adını koyduğu iki ayrı ışın türünün atomları tarafından yayılanları kapsadığını buldu. Beta ışınlarının elektronlar olduğu ortaya çıkmıştı, ama o zamanlar Hans Geiger adlı Alman bir öğrenciyle Manchester'da çalışan Rutherford'un radyum numunesinden yeterli miktarda alfa ışını alarak onun hidrojenden sonraki en hafif ikinci atom olan helyum atomlarından meydana geldiğini -akılları karıştıracak şekilde- ortaya koyması 1903'ü bulmuştu.³ Radyoaktivite sürecinde bir atom türünün -radyum-başka bir atom türünü -helyum- dışarı püskürttüğü görülüyordu. Bu da atomların daha küçük şeylerden meydana geldiğine dair başka bir kanıttı.

Rutherford en sonunda radyoaktivite bulmacasını çözmüştü. Onun ve kimyager Frederick Soddy'nin 1901 ile 1903 yılları arasında tanımladıkları bir radyoaktif atom, aslında kararsız bir ağır atomdu. Enerji fazlasıyla dolup taşıyordu. En sonunda da bu fazladan enerjiyi şiddetli bir şekilde alfa veya beta parçacıkları saçarak dışarı akıtıyordu. Ayrıca, bu süreç içinde atomlarına ayrılarak, veya 'bozunarak', daha hafif bir elementin atomuna dönüşüyordu.⁴ Ancak Rutherford'un atomun içini 'görmenin' bir yolunu bulması için radyoaktivitenin ne olduğunu bilmesine gerek yoktu. 1903'te radyumdan fırlatılan alfa parçacıklarının hızını ölçtü ve inanılmaz bir şekilde saniyede 25 bin kilometre hıza sahip olduklarını ortaya çıkardı. Dünyanın bir ucundan diğer ucuna bir saniyeden kısa bir zamanda gidebilirlerdi. Radyum numunesi, tıpkı minyatür bir makineli tüfek gibiydi. Son derece hızlı bir şekilde atomdan küçük kurşunlar atıyordu. Rutherford, bunun atomun içinin araştırılması açısından mükemmel olduğunun farkına vardı.

Rutherford, ince bir folyoya, radyum makineli tüfeğiyle ateş etmeyi düşünüyordu. Alfa parçacıklarının bazıları folyodan geçerken kaçınılmaz bir biçimde yollarından sapacaktı. Rutherford da onların sapma şekillerinden maddenin atomlarının içsel yapısını çıkarabilecekti. Tıpkı gizemli bir mobilyadan sekerek zıplayan tenis toplarının olduğu bir ortamda, topların sekme yönüne bakarak o mobilya parçasının bir sandalye mi yoksa bir masa mı yoksa bir konsol mu olduğunu anlamak gibiydi. Atomun iç yapısını ortaya çıkarma arayışında Rutherford'un dâhiliği atomu

kendi üzerine yöneltmek olmuştı. Tamamen farklı bir atom türünü hayal edebilmek için başka bir atom türünü -radyum tarafından püskürtülen helyum atomunu- kullanabiliyordu.

Bir alfa parçacığı bir hidrojen bombasından dört kat ağırdı. Yani bir elektrondan 8 bin kat ağırdı. Buna göre Rutherford'un beklentisi, radyum makineli tüfeğinden çıkan alfa parçacıklarının ince metal yaprağı delip geçeceği yönündeydi. Tıpkı bir kurşunun bir sivrisinek bulutu yüzünden yönünün sapma olasılığının düşük olması gibi atomun içindeki elektronların da sapmama olasılığı yüksekti.

Rutherford bu deneyi Geiger'e ve Ernest Marsden adında Yeni Zelandalı bir öğrenciye bıraktı. Radyum makineli tüfekleri alfa-parçacığı kurşunlarını ince bir altın folyosuna püskürttüler. Birkaç yıl içinde Batı Cephesinde birbirlerine gerçek kurşunlar atacak olan Geiger ve Marsden, alfa parçacıklarının sapma miktarını ölçtüler. Beklendiği üzere hiçbir sapma gözlenmedi. Sonra bir gün Rutherford başını laboratuvarın kapısından dışarı uzattı ve gülünç bir öneride bulundu. Geiger ve Marsden'e altın folyodan geri dönen alfa parçacıklarına bakmalarını söyledi.

Bir alfa parçacığının geri dönmesi, namludan çıkan bir kurşunun bir sivrisinek bulutundan sekerek kat ettiği mesafeyi aynı şekilde geri döndüğünü görmek gibidir. Ama dâhilerin -ve Rutherford da yirminci yüzyılın en büyük deneysel fizikçisiydi- en ayırt edici özelliklerinden biri de her zaman beklenmedik şeylere açık olmalarıdır. Teorik önyargılarının doğanın kendilerine sunabileceği alternatifleri sınırlamasına asla izin vermezler. Sonunda Rutherford bu açıklığının ödülünü aldı. Bu öneriyi yapmasından üç gün sonra Geiger ve Marsden inanılmaz haberlerle heyecan içinde onun ofisine daldılar. Altın folyoya ateşlenen her 8 bin alfa parçacığından bir tanesi sekerek geri dönüyordu. Rutherford şunu kabul etmişti: 'Bu, hayatımda başıma gelen en inanılmaz olaydı.'

Rutherford'un Geiger ve Marsden'in vardığı bu hayret verici sonuçtan bir anlam çıkarması için iki yıl geçti. Bir alfa parçacığının bir atomun içindeki bir şeye çarpması ve o şeyin onu durdurmak yerine geldiği yolu

aynen geri gidecek şekilde göndermesi için o şeyin kütlesinin, bir alfa parçacığından çok daha büyük olması gerekir. Ayrıca bir atomun hacminin son derece küçük bir bölümünü kaplaması da gerekir. Ne de olsa 8 bin alfa parçacığı arasından yalnızca bir tanesinin yoluna çıkabilecek kadar küçük bir hedeftir.

Rutherford, 1911 itibariyle atomun içsel yapısını çıkarmak için bu gözlemleri kullandı. Thomson'ın hayal ettiği gibi artı yüklü yaygın bir bulutun içindeki minik elektronlar yerine, elektronların atomun merkezindeki sıkı bir artı yük düğümünün etrafında uçtuğunu gördü. Doğa ancak son derece küçük bir hacmin içine büyük bir artı yükü tıka basa doldurursa, o yük karşı konulmaz bir geri itici kuvvet uygulayarak bir alfa parçacığının U-dönüşü yapmasına neden olur. Rutherford'un tahminleri, o sıkı artı yük düğümünün atomun kütlesinin yüzde 99,9'u gibi çok büyük bir bölümünden sorumlu olduğu doğrultusunda idi. Rutherford'un atom modeli, Thomson'ın erik pudingi modelinden hayal edilemeyecek ölçüde uzaktı. Atom, minyatür bir Güneş Sistemi'ne benziyordu. Elektronlar ise Güneş'e benzeyen 'çekirdeğin' etrafında gezegenler gibi dönüyorlardı.⁵

Rutherford'un Cambridgeli çalışma arkadaşı, yazar ve fizikçi C.P. Snow şunu gözlemlemiştir:

Rutherford radyoaktiviteyi anlamaya başlar başlamaz hayatının işi üzerinde çalışmaya başlamıştı. Düşünceleri basit, sağlam, mad-deseldi; onları öyle tutmayı da başardı. Atomların tenis toplarına benzediklerini düşünüyordu. Atomlardan küçük parçacıklar olduğunu ve onların nasıl hareket ettiğini ya da sektiğini keşfetmişti. Kimi zaman parçacıklar yanlış yöne sekiyorlardı. Sonra gerçekleri inceledi ve yeni ama her zamanki gibi basit bir resim çizdi. Bu şekilde bir uyurgezer gibi emin adımlarla değişken radyoaktif atomlardan çekirdeğin ve atomun yapısının keşfine doğru ilerledi.

Rutherford şans eseri İngiltere'ye gelmişti. Aslında onun Cambrid-ge bursunu sıralamada Rutherford'un üstünde yer alan başka bir Yeni Zelandalı kazanmıştı. Ancak o adam son anda evlenmeye karar verince bursu da sıradaki kişiye geçti. Rutherford gürültücü, sert ve otoriter bir tipti. Ancak Lord Rutherford olarak devam ettiği yaşamının sonraki dönemlerinde, Nobel ödüllü bir fizikçi ve deneysel fizik alanında tüm zamanların en iyisi olarak böylesine şanslı olmasaydı yaşamının nasıl farklı bir yönde ilerleyebileceğini düşünüp göz yaşlarına boğulduğu olabiliyordu.

Rutherford ve herkes için en büyük şok çekirdeğin boyutu olmuştu. Çekirdeğin, atomun kendisinden yaklaşık 100 bin kat küçük olduğu ortaya çıkmıştı. İnanılmaz bir şekilde atomun büyük çoğunluğu boşluktan oluşuyordu. Hatta atomların içi o kadar boştu ki eğer maddedeki tüm boş alanları sıkıştırarak yok etme şansımız olsa, tüm insan ırkını bir küp şekerin içine sığdırmak mümkün olurdu. Peki, atomlar neden bu kadar boşluk içeriyorlar? Ya da başka bir deyişle, son derece küçük çekirdekleri ile karşılaştırıldığında neden bu kadar büyükler? Bu soruların birbirlerine ve daha temel başka bir soruya içinden çıkılmaz suretle bağlı oldukları görülmektedir: Atomlar neden varlar? Çünkü fizik yasalarına göre olmamaları gerekiyor.

Elektromanyetizma Yasaları

İlgili yasalar, İskoç fizikçi James Clerk Maxwell tarafından 1860' larda formüle edilmiş elektromanyetizma yasalarıdır. Daha önce sözünü ettiğimiz gibi Maxwell elektrik ve manyetik ile ilgili tüm olguların özünü çıkararak kompakt bir denklem seti oluşturmuştur.⁶ Başlangıç noktası ise bir mıknatısın bir metal parçasına uyguladığı kuvvetin, mıknatıstan dışarıya, çevresindeki boşluğa uzanan sanal bir manyetik kuvvet 'alanına' bağlı olduğunu hayal etmek olmuştur. Benzer şekilde elektrik akımı olarak bir tel boyunca hareket eden elektrik yüklerinden dışarı uzanan elektrik kuvvet 'alanını' da hayal etmiştir.

Ancak Maxwell'in teorisi elektrik ve manyetik alanların davranışını tanımlamaktan daha fazlasını yapabilmiştir. Hatta büyük bir sürpriz barındırır. Yazmış olduğu denklemleri inceleyen Maxwell, onların bir dalganın varlığına olanak tanıdığını fark etmiştir - elektrik ve manyetik alanlar arasından geçen bir dalga. Böyle bir 'elektromanyetik dalga' tıpkı bir gölün yüzeyinde daireler halinde yayılan dalgalar gibi boşlukta yayılmalıydı. Ayrıca boş alanda karakteristik bir hızı vardı. Maxwell büyük bir şaşkınlıkla bunun ışık hızı olduğuna dikkat çekti.

Hiç kimse -elektrik konusunda çığır açan Michael Faraday dışında- elektrik ve manyetizma ile ışık arasında bir bağlantı olabileceğine dair en ufak bir şey sezmemişti. Bunların hepsi birbirinden farklı olgulardı. Ama işte Maxwell'in denklemlerinde her şey tüm açıklığıyla ortadaydı: boşlukta ışık hızında dolaşan bir elektrik dalgası ve manyetizma. Bu iki şeyin bir olduğunu ve aynı şeyler olduklarını tahmin edebilmek için bir dahi olmak gerekmiyordu. Maxwell, ışığın elektromanyetik bir dalga olması gerektiğini fark etmişti.

Bunu ortaya çıkarmış olması dünyayı tahmin edilenin ötesinde değiştirecekti. Maxwell' in teorisi, bir elektrik telindeki akımı hafif hafif sallayınca akımın gözle görülmeyen; ama radyo dalgaları olarak bilinen uzun dalgalar olan elektromanyetik dalgalar yaymasına neden olduğunu öngörmüştür. Maxwell 1879'da 48 yaşında öldü, ama bu öngörüsü 1887 yılında Alman fizikçi Heinrich Hertz tarafından doğrulandı ve 1901'de Guglielmo Marconi Atlantik'in öbür ucuna bir radyo sinyali göndermeyi başarak modern dünyayı olası kılan anlık iletişim döneminin başlamasına öncülük etti.

Maxwell'in teorisi, elektromanyetik dalgaların 'ivmelenen' -yani hızını veya yönünü veya her ikisini birden değiştiren- herhangi bir elektrik yükü tarafından yaratıldığını söyler. Bir teldeki elektrik akımını hafifçe sallamak akım taşıyıcılar olan elektronlara ivme kazandırır. Böyle 'görünmez' bir hareketliliğin radyo dalgaları yayma nedeni budur; ama bu durum atom için sorun yaratır. Aslında tam da uzun mesafe iletişimini mümkün kılan bu olgu, Rutherford'un atomla ilgili oluşturduğu 'geze-

gen sistemi' modelini olanaksız kılar. Atomun çekirdeği etrafında daireler çizerek dönen bir elektronun durmadan yönünü değiştirmesi ve ivmelenmesi güçlük yaratır, çünkü ivmelenen bir yük olarak tıpkı küçük bir radyo vericisi gibi elektromanyetik dalgalar yayması gerekecektir. Ancak elektromanyetik dalgalar elektronun enerjisini alır. Bu şekilde enerjisi tükenen elektronların saniyenin yalnız yüz milyonda biri hızla sarmal oluşturarak çekirdeğe doğru gitmesi gerekir. Kısacası atomların var olmamaları gerekir.

Ama varlar.

Saniyenin yüz milyonda biri gibi anlık bir zaman dilimi içinde yok olmalarının yanı sıra atomların Evren'in varlığını sürdürdüğü milyarlarca yıl boyunca kararlı oldukları görülmektedir. Aslında elektromanyetizma yasalarının öngördüğü üzere 1'in yanına 40 tane sıfır koyduğunuzda çıkacak sayı kadar daha uzun süredir var olmaları gerekmektedir. 1998'e ve 'Kara Enerjinin' keşfine kadar bilim tarihinde bir gözlem ile bir tahmin arasındaki en büyük tutarsızlık buydu.⁷

Rutherford şaşırıp kalmıştı. Atomun içini ortaya koyarken göz kamaştıran bir başarı göstermişti; ama bunu yaparken de fizikteki başlıca tutarsızlıklardan birini keşfetmişti. Altın folyo deneyi, atomun küçük bir gezegen sistemine benzediğini ortaya koymuştu. Ancak yine de elektromanyetizma teorisi, böyle bir sistemin göz kırpması süresince bile dayanamayacak kadar değişken olduğunu söylemekteydi. Ortada çelişkili bir durum vardı ve neredeyse hiçbir çıkış yolu görünmüyordu; ama biri bu çıkış yolunu bulmayı başardı. Bu, Danimarkalı genç bir fizikçiydi:

Niels Bohr Kopenhag'da doktorasını tamamladıktan sonra 1911'de İngiltere'ye gelerek J.J. Thomson ve Rutherford ile birlikte çalıştı. Rutherford'un atomla ilgili sağlam deneysel kanıtlarla desteklenen gezegensel tablosunun zorlayıcılığını gördü; ama bunun yanı sıra elektrik motorlarını ve dinamları olanaklı kılan elektromanyetizma yasalarının da aynı derecede zorlayıcı olduğunu fark etti. Bu atomik paradoks ile ilgili bulduğu devrim niteliğindeki çözüm, cesur olduğu kadar basitti. 1913 yılında elektromanyetizma yasalarının atomun içinde faaliyet gös-

termediğini iddia etti. Elektronlar, çekirdeğin etrafındaki yörüngelerinde dönerken elektromanyetik dalgalar yaymıyor ve sarmal hareketlerle çekirdeğe doğru gitmiyorlardı. Kısacası; bilinen fizik kuralları, ultra-küçük olanın alanı için uygulanmıyordu.

Bohr'un devrim niteliğindeki fikriyle ilgili kanıtı, en basit haliyle bilinen fizik kurallarının atomların var olamayacağını söylemelerine rağmen onların var olmalarıydı. Ancak mikroskobik dünyada bilinen fizik kurallarının yerine neyin geçtiğini ve elektronların neden sarmal hareketlerle çekirdeklerine doğru gitmediklerini bilmiyordu. Bunun açıklaması da Louis de Broglie adında bir Fransız fizikçiden gelecekti.

Parçacıklar Dalga Gibi Hareket Eder

De Broglie, Einstein'ın ışık dalgalarının parçacıklar -fotonlar- olarak hareket edebileceklerini öne sürdüğünü ve bunun hem fotoelektrik etki hem de Compton etkisi ile doğrulandığını biliyordu. Ne var ki De Broglie neredeyse inanılmaz bir şey yaparak bir adım daha ileri gitti: 1923'te verdiği doktora tezinde ışık dalgalarının yalnızca yeri belli parçacıklar olarak hareket etmeyeceklerini, elektronlar gibi parçacıkların da yayılan dalgalar gibi davranabileceklerini iddia etti. De Broglie'ye göre maddenin tüm mikroskobik yapı taşlarının iki yüzü vardı. Hepsi özel bir dalga-parçacık ikiliğini paylaşıyordu.

De Broglie'nin 'madde dalgaları' fikri o kadar inanılmazdı ki fizikçilerin çoğu onu tamamen yok saydılar; ama Einstein'ın, De Broglie'nin tezinin bir kopyasını okumasıyla birlikte her şey değişti. Fotonun babası bu fikir üzerinde düşünerek, De Broglie'nin anlamlı bir iz üzerinde olduğuna ikna oldu. İhtiyaç duyulan tek şey, elektron gibi bir parçacığın bir dalga gibi davranabileceğine dair bir kanıttı. Bu da pratikte elektronların birbirleriyle girişim halinde olabileceklerini kanıtlamak gerektiği anlamına geliyordu; çünkü dalgaları tanımlayan nitelik girişimdi. Bu, 1927'de Amerika'dan Clinton Davisson ve Lester Germer ve İskoçya'dan George Thomson'ın ulaştıkları büyük bir başarıydı. İşin ironik yanı ise Thomson'ın J.J. Thomson'ın oğlu olmasıydı. Babası elektronun bir par-

çacık olduğunu kanıtladığı için Nobel Ödülü'nü almıştı; oğlu ise bu fikri çürüttüğü ve aslında elektronun bir dalga olduğunu kanıtladığı için Nobel Ödülü'nü alıyordu.

Aslında *tüm* mikroskobik parçacıklar dalgalar gibi hareket ederler. Yüzünüzün camdaki yansımasını görmenizden çıkaracağınız sonuçtan, *tüm* parçacıklarla ilgili bir anlam çıkarabilirsiniz. Yalnızca foton değil mikroskobik dünyanın her üyesi rastlantısallık ilkesine tabidir. Üst üste binmiş durumlar ve diğer tüm tuhaf kuantum olguları hepsinin sonuçları için geçerlidir.

De Broglie, doktora tezinde sadece madde parçacıklarının dalgalar gibi hareket ettiklerini doğru varsaymakla kalmamış, madde dalgalarının ne kadar büyük olduğunu da ayrıntılarıyla açıklamıştır. Cismin dalga boyu ile, kütle ve hızın çarpımı olan momentumu ters orantılıdır. Genel olarak jumbo jetler ve hatta salyangozlar gibi büyük şeylerin gündelik yaşamda etrafta gezinmelerinin yarattığı momentum, atomların mikroskobik dünyasındaki minik şeylerin hareketinin oluşturduğu momentumdan çok daha yüksektir ve De Broglie'ye göre bir cisim ile ilişkilendirilen dalganın boyu ile momentumu ters orantılı olduğu için gündelik şeylerle ilgili dalgaların, elektron gibi parçacıkların dalgalarından çok daha küçük olması gerekir.

Saatte 150 kilometre hızla fırlatılan bir beyzbol topunu düşünün. De Broglie'nin varsayımına göre dalga boyu yalnızca 10^{-34} metre olan bir dalga gibi davranacaktır.⁸ Bu da bir atomdan trilyon kere trilyon kat daha küçüktür. O zaman yirminci yüzyıla kadar kimsenin maddenin dalgaya benzeyen yapısının farkına varmamış olması da şaşırtıcı değildir. Gündelik yaşamdaki büyük şeylerin dalga boyları akıl almaz bir küçüklükte olduğu için tam anlamıyla saptanmaları olası değildir. Bu nedenle yıkıcı veya yapıcı girişim içinde veya sokaklarda dairesel dalgalar halinde yayılan insanlar görmüyoruz. Ama saniyede yaklaşık 6 bin kilometre hızla giden bir elektronu düşünün. O kadar hafif olduğu için yalnızca 100 volt gibi düşük bir voltajla bile kolaylıkla o hıza çıkabilir. Böyle bir elektronun dalga boyu 10^{-10} metredir. Asıl önemli olan nokta, bunun metal

gibi bir maddenin içindeki atomlar arasındaki aralık ile karşılaştırılabilir olmasıdır. O zaman bir tüfekten bir metal parçasına böyle atomlar atılıyorsa, girişim gibi dalga etkileri görme olasılığımız da yüksek demektir. Elektronların dalga doğasını örnekle ispatlamak için Davisson ve Germer ile Thomson tarafından kullanılan strateji tam olarak buydu. Metal bir hedefe hızlı elektronlardan oluşan bir ışın demeti gönderdiler. Metalin içindeki atomlar düzenli bir şekilde yerleşmişti. Tıpkı raflara sıralanmış kekler gibi paralel katmanlar halinde eşit aralıklarla dizilmişlerdi. Buna göre metale elektron fırlatıldığında bazıları yüzeyden geri sekti. Diğerleri metalden geri sekmeden önce ikinci katmana işledi. Bazıları üçüncü katmana ulaştı ve bu böylece devam etti; ama önemli olan, metalden yansıtılan tüm elektronların dalga gibi hareket etmeleriydi. Sonuç olarak farklı katmanlardan çıkan elektron dalgalarının uygun hızda ve yapıcı bir girişim içinde oldukları yönler olacaktır. Ayrıca tamamen hizasız durdukları ve yıkıcı girişim içine girdikleri yönler de olacaktır. Yalnızca metalden farklı yönlere doğru geri seken elektronların sayısını saptamak gereklidir.

Davisson ve Germer'in Amerika'da, Thomson'un ise İskoçya'da yapmış olduğu şey tam olarak budur ve bazı yönlerde metalden sekerek uçuşan çok sayıda elektron olduğunu ve bazılarında ise neredeyse hiç geri dönen elektron olmadığını ortaya çıkarmışlardır. Ayrıca çok sayıda elektronun olduğu yönler ile hiç elektron olmayan yönler değişimli sıralanıyorlardı. Bu, elektronların gerçekten de dalgalar gibi davrandıklarını tartışmasız bir şekilde gösteren bir girişim modeliydi - ya da daha kesin ve düz bir ifadeyle yakından ilgili bir olgu olan 'kırınım (difraksiyon) modeliydi.' Bunu görmek çok şaşırtıcı olmuş olmalıydı. Ne de olsa De Broglie gibi fildişi kulesinden dünyaya bakan bir teorisyenin madde dalgaları gibi tuhaf bir biçimde çılgın bir şeyin varlığını doğru kabul etmesi zaten şaşırtıcıydı. Bir de mini bilardo topları gibi görülen elektronların gölün üzerinde daireler halinde yayılan dalgalar gibi davrandığını görmek ayrıca şaşırtıcı olmalıydı.

Dalgaların Yaşam Alanına İhtiyacı Vardır

De Broglie'nin madde dalgaları fikri, bir atomun içindeki elektronun neden sarmal çizerek çekirdeğe doğru düşmediğini kesin ve net olarak açıklayamaz; ancak temelde yayılan bir şey olan dalga, rahatça hareket edebileceği bir alana ihtiyaç duyar.⁹ Atomdan küçük, bilinen en hafif parçacık olan elektron ile ilintili dalganın en büyük olma eğilimi vardır. Bu da tuhaf kuantum dalgası etkilerinin etkisi altında en çok kalan parçacık demektir ve ayrıca diğer tüm parçacıklardan daha fazla hareket alanına ihtiyaç duyacağı anlamına gelir. Aslında bir elektronun tipik olarak bir atomun içinde hareket ettiği hızla ilişkilendirilen dalga, bir atom kadar büyüktür ve bir atomun büyüklüğünü tanımlar.

Küçücük bir ince ayrıntı daha vardır: Bir elektrondan yaklaşık 2000 kat daha büyük olan bir hidrojen atomunun çekirdeğinin, bir elektron dalgasının boyutunun 2000'de 1'i büyüklüğünde bir dalgaya sahip olması beklenebilir. Ama aslında çekirdek 100 bin kat daha küçüktür. Bu fark elektronun elektrik gücü ile kısıtlı olmasından; ama çekirdekteki parçacıkların çok daha güçlü bir nükleer kuvvetin hâkimiyetinde bulunmasından kaynaklanır. Bu kuvvet ne kadar güçlü olursa, bir parçacık da o kadar hızlı hareket eder. Yani çekirdeğin momentumu beklenenden yüksektir ve dalga boyu ise yörüngesinde hareket eden bir elektronun dalga boyunun 2 binde 1'inden o kadar küçüktür.

Elektronların sarmal çizerek çekirdeğe doğru gitmemelerinin nedeni, kendileriyle ilişkilendirilen dalgaların nispeten büyük olması ve bu tür dalgaların hareket alanına ihtiyaç duymasıdır. Atomların var olma nedeni budur. Ancak bir elektron dalgasının sıkıştırılarak küçük bir boşluğa indirgenmesini önleyen tam olarak nedir? Kısacası, elektronlar çekirdeklerine çok yaklaşacak şekilde sıkıştırıldıklarında onları geri iten nedir? Maddenin direncinden, katılığından sorumlu olan nedir? Bu soruların yanıtı için düşünce tarzımızı değiştirerek elektronları yeniden birer parçacık olarak görmemiz ve çift yarık deneyini bir kez daha gözden geçirmemiz gerekir.

Heisenberg'in Belirsizlik İlkesi

Fotonların ışık geçirmez bir ekran üzerinde birbirine yakın yerleştirilmiş iki paralel yarığa fırlatıldığında, ilkinin belli bir mesafe uzağına yerleştirilen diğer ekran üzerinde dikey şeritlerden oluşan görüntülerin ortaya çıktığını anımsayın. Bu şeritler birçok foton tarafından çarpılan ve birçok fotonun da kaçtığı şeritlerin arka arkaya gelmesiyle oluşuyordu. Böyle bir 'girişim' görüntüsü ancak fotonlara nerede durmaları gerektiği konusunda bilgi veren ilgili kuantum dalgalarının olması durumunda anlamlı olacaktır. Bir yarıktan ortaya çıkan dalgalar, diğerinden çıkan dalgalarla üst üste binerek, ikinci ekran üzerindeki ayırt edici zebra şeritlerini yaratmak için periyodik olarak birbirlerini pekiştirecek ya da yok edeceklerdir.

Elbette De Broglie'nin öngörüsü ışığında, ışık geçirmez bir ekrandaki yarıklara püskürtülerek birbirleriyle girişim yapması sağlanan şeylerin yalnızca ışık parçacıkları olmadığı açıktır. Elektronlar, atomlar veya diğer parçacıklar için çift yarıklı deneyi uygulanabilir; ama pratikte parçacıkların kütlesi ne kadar fazla olursa, dalga boyları o kadar kısalacak ve birbirleriyle girişim yapmalarını sağlamak güçleşecektir ya da bunu yapmalarını sağlayabilseniz bile zebra şeridi modelini görmemiz daha zor olacaktır.

Parçacık ne olursa olsun, girişimin gerçekleşmesi için birbirine karışacak iki şeyin gerekli olduğunu anımsayın. Bu nedenle parçacıklar, uzun zaman aralıklarıyla iki yarığa birer birer fırlatıldıklarında ikinci ekran üzerinde yavaşça oluşan girişim modeli, her parçacığın eş zamanlı olarak her iki yarıktan birden geçtiğini-yani aynı anda iki yerde birden olduklarını- gösterir.¹⁰ Peki, her parçacığın içinden geçtiği yarığı kesin olarak bilebilirsek ne olur? Açıkçası bunu yapabilirsek, girişim görüntüsü yok olacaktır; çünkü her parçacığın eş zamanlı olarak iki yarıktan birden karşı tarafa geçme ve kendisiyle karışma olasılığını bertaraf etmiş oluruz.

Bu durumda girişim görüntüsünün yok olmasının maddenin parçacıkları açısından derin ve rahatsız edici anlamları olacaktır. Bu da bir parçacığın hangi yarıktan geçtiğini nasıl keşfedebileceğimizi kesin biçimde hayal etmemizle görülebilir. Bu deneyin ebadını artırdığımızı düşünün.

Böylelikle fotonlar , elektronlar veya atomdan küçük diğer parçacıklarla uğraşmak yerine, gerçek bir makineli tüfekten çıkan kurşunların ve karşısında da kalın -diyelim ki birkaç santimetre kalınlığında- bir çelik tabakadan oluşan bir ekranın olduğunu varsayın. Bu durumda dikey çift yarığın çelik tabakaya oyulmuş ve derinliği olan iki kanala benzemesi gerekir. Şimdi kurşunlara odaklanın. Kanallar boyunca aşağı ilerlerken duvarlardan sekecek ve bunu yaparken de duvarlar -çelik tabakanın tamamı- onları geri tepecektir. Bu da bir kurşunun hangi yarıktan geçtiğini saptamaya yardımcı olacaktır.

Zihninizde daha kolay canlandırabilmeniz için kurşunların bu yarıklardan geçtiklerini, duvarlardan sıçradıklarını ve en sonunda girişim görüntüsünün tam orta noktasına yağdıklarını hayal edin. Bu durumda çelik tabakanın sola doğru tepmesi halinde kurşunun sol yarıktan geçmiş olması gerekecektir ve çelik tabaka sağa doğru teperse, kurşunun sağ yarıktan geçmiş olması gerekir. O zaman artık her kurşunun hangi yarıktan geçtiğini saptamazsak, ikinci ekranın üzerinde zebra şeritleri -üzerine kurşunlar yağın şeritlerin ardından gelen hiç kurşun isabet etmemiş şeritler- oluşacağını biliyoruz. Çelik tabakanın ne yöne geri teptiğine dikkat ederek kurşunların hangi yarıktan geçtiklerini saptarsak, zebra şeritlerinin yok olması gerekir.

Zebra şeritlerine odaklanın. Onların solması için ne olması gerekir? Kurşunlarla delik deşik olmuş bir şeride yönelen bir kurşun için gereken tek şey ya kurşunlarla delik deşik olmuş bir şeridi vurmak ya da hemen yanındaki kurşunsuz şeride denk gelmektir. Bu, kurşunların ikinci ekrana eşit biçimde yağması için yeterli olacak, zebra şeritlerinin yayılarak griye dönmesine yol açacaktır. Her kurşun havada uçarken yanlara doğru biraz gelişigüzel bir şekilde seğirir. Bu nedenle burada bahsettiğimiz şey, girişim görüntüsünü silmek için nerede duracağı konusunda yeterli belirsizliğin olmasıdır. Bu yanlara doğru seğirme, kurşuna ancak çelik tabakanın içine açılmış kanalın duvarlarından sektiğinde bildirilir.

Dolayısıyla burada gerçekleşen, bir kurşunun hangi yarıktan geçtiğini belirlemeye çalışmanın, ona tam olarak girişim görüntüsünü yok etmek

için gereken yanal seğirmeyi sağlamasıdır. Seğirme, doğanın kuantum teorisini koruma yoludur. Bir parçacığın dalga gibi davranmak için aynı anda iki şeyi birden yapabilmesi gerekir. Böylece ayırt edilemez olasılıklarla ilgili dalgalar birbirine karışabilir veya girişim yapabilir. Bir şey yerine başka bir şeyin olduğunu saptayarak bu olasılıkları ayırt edebiliyorsanız, o zaman artık girişim yapacak iki ayırt edilemez olasılık yok demektir. Böylece, parçacıklar arasındaki girişim olasılığını yok eden ölçümünüzün yaptığı, o parçacıklara gelişigüzel seğirme eklemektir.¹¹

Makinelili tüfek örneğiyle daha net bir şekilde bunu açıklamak için şöyle diyebiliriz: bir kurşunun geçtiği yarığı belirlemek -kurşunun tam olarak nerede olduğunu belirlemekle eşitir- hızına veya momentumuna, gelişigüzel bir seğirme veya belirsizlik ekler. Bu da meselenin düğüm noktasıdır. Genç Alman fizikçi Werner Heisenberg'in 1927'de keşfettiği gibi iki şeyden birini elde etmek için diğerinden vazgeçmek gerekir: Bir parçacığın yerinden daha emin olursak, momentumunu daha az bilebiliriz. Bunun tam tersi de geçerlidir: Bir parçacığın momentumundan ne kadar emin olursak, onun konumunu daha az bilebiliriz.

Temel olan da budur. Atomdan küçük parçacıklarla ilgili bilgimizin indirgenemez belirsizliğinden söz ediyoruz, tıpkı onların davranışlarındaki indirgenemez belirsizlik gibi. Olağan dünyada bir insanın şehirdeki bir kavşakta olduğunu ve saatte üç kilometre hızla yürüdüğünü bilebiliriz. Mikroskobik dünyada ise bunları asla kesin bir biçimde bilemeyiz. Birini kesin ve net bir şekilde bilmemiz, diğeri konusunda kaçınılmaz olarak bilgisiz kalacağımız anlamına gelecektir. Dünya bilgimizin nihai bir sınırı vardır. Gerçekliğe iyice yakından bakın. Keskin çizgilerle tanımlanmış bir şey olmadığını göreceksiniz. Tıpkı bir gazete resmini çok yakından incelediğinizde olduğu gibi o da anlamsız bir bulanıklık içinde yok olacaktır.

Atomların sıkıştırılarak yok olmamasını ve ayağınızı bastığınız zeminin katı olmasını açıklayan şey bu 'Heisenberg belirsizlik ilkesidir.' Elektronların birer dalga olmaları ve dalgaların da hareket alanına ihtiyaç duydukları gerçeği de kısmi bir açıklama sayılır. Ancak açıklamanın geri

kalanı, bir elektronun atomun çekirdeğine zorla yaklaştırıldığında neler olacağını düşündüğünüzde ortaya çıkar. Buna göre yeri kesin olarak bilinecektir. Ne var ki Heisenberg belirsizlik ilkesine göre; bir parçacığın yerinden ne kadar emin olursak, momentumundan o kadar emin değildir. Tıpkı bir kutunun içinde bir arıya sahip olmak gibidir. Kutuyu sıkıştırarak küçülttüğünüzde arı sinirlenecek ve hapishanesinin duvarlarına daha şiddetli saldıracaktır. Atomun içindeki elektronlar da tıpkı kutunun içindeki arı gibi davranacaklardır. Atomlar, şair Adrian Mitchell'in ifadesiyle 'her yerde rock & roll yaparlar'. Yere bastığınız zaman ağırlığınız o zemini oluşturan atomları sıkıştırır. Bu da o atomların içindeki elektronları çekirdeğe biraz daha yaklaştırır ve Heisenberg belirsizlik ilkesi onların direnmelerini, geri tepmelerini sağlar. Zeminin sert, maddenin katı olmasının nedeni, elektronların dalga özelliğidir; ama aynı zamanda da, nihai gerçeklik bilginizin bir sınırı olduğu gerçeği anlamına gelen, mikroskopik dünyanın indirgenemez belirsizliğidir. Ayağınızın altındaki zeminin katılığının size anlatmak istediği budur.

Aynı Anda Birbirinin Aynısı İki Taneden Fazlası Değil

*Dünyadaki çeşitlilik, bize elektronların birbirinin üstüne yığılmasını
önleyecek bir şeyler olması gerektiğini nasıl anlatır?*

*'Masaların veya diğer her şeyin katı olmasının nedeni, elektronların
birbirlerinin üstüne binememeleridir.'*
Richard Feynman

'Kuantum mekaniği? Onlar tüm gün ne yapıyorlar?'
Rob Evans (performans şairi)

Karahindiba çiçeğinden Meksika Körfezi'nde görünen bir hortuma,
yenidoğan bir bebekten alacakaranlıkta göz kırpan bir yıldıza kadar
çevrenizdeki her şeye bir bakın. Çevremizdeki dünyanın en çarpıcı özellik-
lerinden biri olağanüstü, sınırsız çeşitliliğidir. İki buçuk bin yıl önce De-
mokritos tarafından müthiş bir ileri görüşlülükle tahmin edildiği üzere, bu
inanılmaz çeşitliliğin tamamı aslında az sayıda yapı taşını, veya atomları,

birbirine bağlamayı olası kılan çok sayıda yolun bir yansımasıdır. Paradoksal bir şekilde sadelikten karmaşıklık çıkmıştır. Her şey kombinasyonlarda gizlidir.

Dolayısıyla dünyadaki çeşitlilik bize sadece tek bir çeşit atomik yapı taşı olamayacağını -çok sayıda olması gerektiğini- anlatmaktadır; ama neden bir tane yerine birçok çeşit vardır? Bunun nedeninin, bir atomu diğerinden farklı kılan şeyle ilgisi olmalıdır. Atomları birbirlerinden farklı kılan şey de sahip oldukları elektron sayısıdır. Merkezde bulunan çekirdeğin etrafındaki yörüngelerinde dönen o elektronlar, atomun diğer atomlarla etkileşimini sağlar. 'Yüzeyini' ve diğer atomik Lego taşlarıyla nasıl bağlantı kurduğunu tanımlar. Kısacası, onlar bir kalsiyum atomunu kalsiyum, bir altın atomunu altın ve bir platin atomunu platin yapan şeylerdir.

Diğer bir deyişle olağan dünyanın sınırsız çeşitliliği, bize elektronlar hakkında önemli bir şey söylemektedir. Aslında o önemli şey, elektronların birbirlerine karşı duydukları güçlü ve kayda değer hoşlanmama durumudur diyerek biraz aceleci bir çıkış yapmış olduk.

Olağan dünyanın çeşitliliğinin bize böylesine özel ve ayrıcalıklı bir şey anlatıyor olmasını takdir etmek için geçmişiyle ilgili bir şeyler bilmemiz gerekir. Özellikle de elektronların atomların içlerinde kendilerini ayarlamaları ve bu durumun birbirlerinden farklı davranan atomlar yaratması konusunda bir şeyler bilmek gereklidir.

Maddenin tüm parçacıkları gibi elektronların da dalgalar gibi davranmaları gerekir. De Broglie'ye göre bir parçacığın momentumu ne kadar küçük olursa yaratacağı dalga o kadar büyük olur. Dolayısıyla doğanın kütle ağırlığı bakımından en hafif parçacığı¹ olan elektronun da genel olarak en büyük dalga boyuna sahip olması gerekir. Elbette bu da diğer tüm atomdan küçük parçacıklar arasından neden onun en çarpıcı 'dalga benzeri' davranışı sergilediğini ve neden atomun doğasının bu yönünü dikkate almadan onu anlamanın tamamen olanaksız olduğunu açıklamaktadır. Unutmayın ki bir elektronun sarmal çizerek çekirdeğe

inmesini önleyen ve böylelikle atomun varlığını olanaklı kılan, elektron dalgasının hareket alanı arzusudur.

Bir atomun içindeki bir elektron ile ilintili olasılık dalgası, bir ölçüde borulu orgun içindeki ses dalgasına benzer. Borunun duvarlarıyla sınırlı böyle bir dalga yalnızca her biri farklı aşamalar veya 'frekanslar' ile nitelenen limitli şekillerde titreşebilir. Benzer şekilde bir atomun içinde çekirdeğin elektriksel gücü tarafından kavranmış bir elektron da yalnızca limitli frekans sayısıyla titreşebilir.

Bir org borusunun en düşük veya en temel olana ek olarak daha yüksek frekanslı 'üst-tonları' vardır. Frekans ne kadar yüksekse, dalganın belirli bir alan içindeki iniş ve çıkışları da o kadar fazla, daha değişken ve daha şiddetlidir. Bir atomun içindeki bir elektron için böyle bir dalga, daha hızlı hareket eden, daha enerjik ve büyük bir mesafede çekirdeğinin ve yörüngesinin elektriksel çekimine meydan okuyabilen bir parçacığa tekabül eder.

Bir elektron dalgasının yalnızca sınırlı sayıda frekansta titreşebildiği gerçeği, bir atomun içindeki bir elektronun çekirdeğin etrafındaki yörüngesinde istediği mesafede dönme özgürlüğüne sahip olmadığı anlamına gelir. Yalnızca belirli mesafelere izin vardır ve onların aralarındaki değerler kabul edilmez. Diyelim ki fizik kurallarına göre bir ağacın üç metre veya sekiz metre veya 27 metre uzağında durabiliyorsunuz; ama başka bir uzaklıkta durmanıza izin verilmiyor. Tuhaf görünüyor olabilir, ne var ki bir atom çekirdeğinin etrafında dönen elektronlar için geçerli olan da budur.

Bir atomun içindeki elektron için izin verilen yörünge, Heisenberg belirsizlik ilkesi -elektronun çok küçük bir alanla sınırlanmış yaban arısının direnişine benzer rezistansı- ile sabitlenmiş olanıdır². Bu, elektron dalgasının olabilecek en düşük titreşimine denk gelir. Çekirdekten daha uzun mesafelerde gerçekleşmesine izin verilen yörüngeler ise daha yüksek frekanslı üst tonlara tekabül eder.

En yakın olan iç yörünge 1 ile sınıflandırılırken çekirdekten daha uzak mesafedeki yörüngelerin sırasıyla 2, 3, 4 ve benzeri şekilde numaralandırılması şaşırtıcı değildir. Bu 'kuantum sayıları' atomların mikros-

kobik krallığındaki her şeyin devamlılıktan çok taneli olma özelliği taşıdığını, farklı parçalar ve aynı anda her yerde bulunan 'kuantalar' halinde dağıldıklarını gösteren örneklerden biridir.

Aslında elektronların atomların içindeki yörüngelerinde başka bir incelik daha vardır: Elektron olasılık dalgası, oldukça karmaşık üç boyutlu bir şey olabilir. Sonuç olarak, çekirdekten belli bir mesafe uzaklıkta olma olasılığı yüksek bir elektrona tekabül etmesinin yanı sıra belirli yönlerde görülme olasılığı da diğerlerinden daha yüksek olacaktır. Örneğin, bir elektron dalgası atomun kuzey ve güney kutuplarında diğer yerlerine nazaran daha büyük olabilir. Böylelikle buralara bakarak bir elektronu bulma olasılığı da daha yüksek olur.

Bir kez daha tekrarlayacak olursak büyük olanın gündelik dünyasını tanımlamak için kullanılan sözcüklerin, çok küçük olanın krallığı için geçerli olmadığı açıkça görülmektedir. Rutherford, Güneş'in etrafında dönen gezegenler gibi elektronların da bir atomun çekirdeğinin etrafında döndüklerine dair net bir resim çizmiş olmasına rağmen aslında elektronlar gezegenlere hiç benzemeyen bir seyir izlerler. Sadece çekirdekten yalnız belli bir uzaklıkta -ve o yerler, onları bulabilme 'olasılığının en yüksek' olduğu yerlerden başkası değildir- dönebilmelerinin yanı sıra belli yönlerde bulunma olasılıkları da daha fazladır. Bunun farkında olan bilim adamları elektron yörüngelerinden hiç bahsetmemeyi tercih ederler. Bunun yerine doğanın bu en tuhaf ve karmaşık gerçekliğini tanımlamak için 'elektron yörüngeseli' derler.

Üç boyutlu uzayda bir yönü tanımlamak için iki sayıya ihtiyaç vardır; yerküredeki 'enlem' ve 'boylam' değerlerini düşünün.³ Sonuç olarak boşluktaki yönüyle birlikte yüksekliği değişen bir elektron dalgasının yerini saptamak için çekirdeğe olan mesafesini belirleyen sayının yanı sıra iki kuantum sayısına daha gerek duyulacaktır: Toplam üç sayı.

Doğa, ikiden fazla sayıda elektronun belirli bir kuantum sayısı üçlüsü ile tanımlanan bir elektron dalgasına sahip olmasına izin vermez ve bu özellik, çevremizdeki dünyanın sınırsız çeşitliliğinin mutlak anahtarı olarak ortaya çıkar. Ancak yine de bunun nedenini takdir etmek için

atomların içine belli bir düzenle yerleşen elektronların geçmişleriyle ilgili biraz daha bilgi edinmek gerekir.

Çekirdeğe belli bir uzaklıktaki tüm yörüngesellerin -yani asıl kuantum sayısı aynı; ama yönle ilgili kuantum sayıları farklı olanların bir 'kabuk' oluşturduğu söylenir. 1 olarak sınıflandırılan iç kabuğun içinde bulunabilecek maksimum elektron sayısı 2 olacaktır. 2 olarak sınıflandırılan sonraki kabuğun içindeki maksimum elektron sayısı 8 olur. Ondan sonraki 3 numaralı kabukta ise 18 elektron olabilir ve bu dizi böyle devam eder.

İşte şimdi -en sonunda- bir atom türünü diğerinden farklı kılan şeyin ne olduğunu öğreneceğimiz noktaya, yani işin özüne geliyoruz. Farklı atom türlerinin farklı sayıda elektrona sahip olduğunu hatırlayın. En hafif atom olan hidrojen'de bir elektron varken en ağır doğal atom olan uranyum'da ise 92 elektron bulunur. Kuramsal olarak elektronların birbirini takip eden daha ağır atomlar yaratmak için her seferinde bir tane eklenmesi durumunda neler olacağını hayal edin. En içteki, çekirdeğe en yakın olan kabuk, mevcut ilk kabuktur. Elektronlar eklendikçe ilk olarak bu kabuğa girerler. Bu kabuk dolduğunda ve daha fazla elektron alamaz hale geldiğinde, çekirdekten daha uzak olan bir sonraki mevcut kabuğa yığılırlar. O da dolduğunda sıradaki kabuğa geçerler ve bu böylece sürüp gider.

En içteki kabukta yer alan bir hidrojen atomunun bir elektronu vardır. Ağırlığına göre onun hemen ardından gelen sıradaki element helyum'da iki elektron bulunur. Kabuğun kapasitesini doldurmak için bu kadarı yeterlidir. Sıradaki en büyük atom, üç elektronu olan lityumdur. En içteki kabukta daha fazla yer olmadığı için üçüncü elektron, çekirdekten biraz daha uzakta yeni bir kabuk yaratmaya başlar. Bu kabuğun kapasitesi sekizdir. Ancak on elektrondan fazla elektronu olan atomlar için bu kabuğun bile tamamı kullanılmış demektir. Çekirdekten biraz daha uzakta olan başka bir kabuk doldurulmaya başlanır.

Mendeleev'in yatay sıralarda element isimleri olan kartları çoğu elementin artan atomik ağırlıklarına göre yerleştirdiğinde, benzer özelliklere sahip olanların sihirli bir şekilde dikey sütunlarda ortaya çıktıkları-

nı anımsayın. Atomların nitelikleriyle ilgili bu 'periyodiklik', periyodik olarak atomların içindeki elektronlar tarafından doldurulan kabukları yansıtıyor gibi görünmektedir. Özellikle de bir atomun dışında kalan elektronların sayısını yansıtır. Lityum, sodyum ve potasyum gibi en dış kabuğunda bir elektron olan tüm atomların birbirine çok benzer özellikleri vardır. Aynı şekilde magnezyum, kalsiyum ve radyum gibi en dış kabuğunda iki elektron olan tüm atomlar da öyledir.

Bunun nedeni, diğer atomlarla temas kuranların çekirdekten en uzak mesafedeki yörüngesinde dönen elektronlar olmalarıdır. Bir atomu bir bilardo topu olarak düşünürseniz, onun 'yüzeyini' tanımlayan ve ona karakteristik boyutunu veren en dışta yer alan elektronlar olduğunu görürsünüz ve bu bir atomun en dışında yer alarak aynı zamanda onların başka atomlarla nasıl birleştiklerini de belirlerler. Dıştaki elektronları bir atomun diğer atomlara tutunmasını sağlayan kancalar olarak hayal edin. Bu basit resme göre sofraya tuzunda bulunan sodyum gibi en dış yörüngesinde bir elektron bulunan bir atom, başka atomlarla tek bir şekilde birleşebilir. Kemiklerinizde bulunan kalsiyum gibi en dış yörüngesinde iki elektron bulunan bir atom başka bir şekilde birleşebilir. Hafif metallerden alüminyum gibi üç dış elektronu olan bir atom, yine başka bir şekilde birleşir ve benzeri örnekler çoğaltılabilir.

En dışta bulunan elektronların bulunma olasılığının en yüksek olduğu yerlerin boşluktaki yönü, bir atomun diğer türlerle birleşerek polietilen, amonyak veya metan gibi bileşikler oluşturmasını kesin ve net olarak tanımlar. Kimyagerler elektron dalgalarının tercih ettikleri yönleri bir atomdan kirpi okları gibi uzanan diken benzeri 'bağlarla' resmetmişlerdir. Bu dikenlere benzeyen bağların, başka bir atomun bağlarıyla bağ kurma yetisine sahip olduğunu da belirtirler. Kimyanın aslında bir elektron geometrisi olduğu açıkça görülmektedir.

Dış kabukları tamamen elektronlarla dolu olan atomlar en kararlı olanlardır. Dışarı uzanan elektronik dikenleri olmadığı için başka atomlarla birleşme arzuları da yoktur. Kendi payına düşenden hoşnutturlar. Soğuk ve uzaktırlar. Kendi başlarına tamamlanmışlardır. Ayrıca, kim-

yanın neredeyse tamamını tanımlayan şey, atomların bu yüce tamamlanmışlık konumuna ulaşma arzusudur. Örneğin, dış kabuğunun dolması için bir elektron eksik kalan klor atomu, dış kabuğunda yalnızca bir elektron bulunan bir sodyum atomundan bir elektron alacaktır. Bu alış-veriş sonrasında her iki atomun da dış kabuğu tamamen dolmuş olacaktır. Bu evlilikten doğan bileşik ise sodyum klorür, yani sofraya veya yemek tuzundan başka bir şey değildir.

Ancak elektron nirvanasına ulaşmanın başka yolları da vardır. Bir atomun bir elektron ödünç aldığı ve diğerinin ise bağışladığı örnekler dışında iki atomun en dıştaki elektronlarını paylaşabildikleri durumlar da vardır. Böylelikle her ikisi de tamamlanmış bir dış kabukları olduğu yanılsamasına sahip olurlar. Bizim gibi karbon (kömür) bazlı yaratıklar için bunun en önemli örneği karbondur. Dış kabuğunda dört elektron olan bir karbon atomunun maksimum doluluk oranı sekiz olabileceği için diğer karbon atomlarıyla birleşmesi büyük ölçüde teşvik edilecektir. Dört artı dört, tam kapasite sekizli bir haneye denk gelecektir. Karbon atomlarının aynı cins ile ilişkiye girme -hatta çoklu aynı cins ilişkileri kurma- eğilimi, karbon 'moleküllerinin,' daha da önemlisi DNA'nın aksi yönlerde dönen ikiz sarmal yapısında olduğu gibi, yaşam moleküllerinin oluşturduğu uzun zincirin şaşırtıcı çeşitliliğinin de nedenidir.

Elektronların atomların içindeki yerleşimleri ile ilgili bu kadar çok detay verdiğim için özür dilerim: ama bunun başka bir yolu da yoktur. Dünya üzerindeki çeşitlilik, bir değil birçok atom türünün olmasından kaynaklanır ve birçok atom türünün olması gerçeği ise atomların çok özel bir içsel yapıya sahip olmalarından doğar. Bir atomun içinde her biri sabit sayıda elektron içeren eş merkezli kabuklar bulunur. Tamamlanmamış bir dış kabukta bulunan elektronlar, bir atomun kalsiyum veya uranyum veya altın olup olmayacağını, yani nasıl davranacağını belirler. Önünde sonunda atomların bu özel yapıya sahip olmalarının nedeni de -daha önce bahsedildiği üzere- elektronların çekingenliğidir.

Elektron yörüngesellerini bir merdivenin basamakları olarak hayal edin. En düşük enerjiye sahip olan en içteki yörüngeselinin en alt basa-

mağa tekabül ettiğini düşünün. Dolayısıyla daha ağır atomlar elde etmek için elektronları birbirlerine eklemek, tıpkı elektronları önce en alt basamağa biriktirerek dolduktan sonra ikinci basamağa ve sonra sırasıyla daha üst basamaklara geçmesi gibidir. Buna göre bir şeylerin en düşük enerji konumuna yönelmesi gibi bir eğilim vardır; tıpkı tepeden bırakılan bir topun bir vadinin tabanına yuvarlanacağını kesin olması gibi. Vadinin tabanında topun sahip olduğu konum, en düşük 'kütleçekim enerjisi' olacaktır. Ancak bir atomun içinde bu durum tüm elektronların -ister 1 ister 92 adet olsun- en alt basamağa, yani en düşük enerjili yörüngesine yönelmesi anlamına gelir.

Atomların içinde bu durum gerçekleşseydi, tüm elektronlar en düşük yörüngeselde bir araya gelseydi, doluluk oranı asla aşamayacak bir elektron kabuğu diye bir şey olmazdı. Elektron kabukları olmasaydı, dolu bir kabuk fikri de açıkça anlamsız olurdu. Dolu bir dış kabuğu elde etme arzusu olmayan atomlar olduğunda, atomik bağlantıların ardında yatan yönlendirici kuvvet de yok olurdu. Tüm atom türleri aynı anti-sosyal şekilde hareket ederlerdi. Çeşitlilik olmazdı. Farklılık olmazdı. Bizler olmazdık.

Sonuç olarak, aslında dünyadaki çeşitliliğin, bizlere elektronların üst üste yığılmalarını engelleyen bir şeyler olması gerektiğini gösterdiğini görüyorsunuz. Bu, şimdiye kadar hiç şüphe duymadığımız doğa yasalarından biridir ve atomların iç yapısını açıklayan bir şeydir: 1924 yılının Aralık ayında bu ilkeyi öne süren Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli ile birlikte Pauli dışarlama ilkesi adını almıştır.

Pauli Dışarlama İlkesi

Pauli, 1921'de 21 yaşındayken görelilik ile ilgili yazdığı ve Einstein'a bile teorisi hakkında birkaç şey öğreten kitabıyla bilim dünyasına bomba gibi düşmüştü. Dobralığıyla -ya da küstah ve kibirli olmasıyla (fizikçiler bu konuda ikiye ayrılmışlardı)- ünlü Pauli, bir derste ayağa kalkarak kim olduğuna ve itibarına bakmaksızın dersi anlatan kişiye tamamen saçmaladığını söylemekten çekinmezdi. Pauli' nin kendine

duyduğu bu aşırı güven ile ilgili fizik camiasında şöyle bir esprinin yayıldığına dair bir efsane vardır: Pauli ölür ve cennete gider. Tanrı ona fizik konusunda bilmek istediği herhangi bir şey olup olmadığını sorar. Pauli ışık ve madde arasındaki etkileşimin kuvvetini yöneten ince yapı sabitinin neden yalnızca $1/137$ değil de $1/(137.035999031...)$ değerine sahip olduğunu sorar. Tanrı tahtaya gider ve birtakım denklemler yazarak açıklama yapmaya başlar. Kısa bir süre sonra Pauli'nin yüzünde zafer dolu bir sırıtiş belirir. Tanrı'nın elindeki tebeşiri alarak şöyle der: 'İşte bu, yanlış yaptığın yer tam burası.'

Pauli, abartılı egosuna rağmen yirminci yüzyıl fiziğinin en büyük isimlerindendir. 1930'da radyoaktif beta bozunumundaki kayıp enerjiyi taşıyan 'nötrino' adlı hayalet parçacığın varlığını tahmin ederek ün kazanmıştır. Nötrino o kadar ele geçmez bir yapıya sahiptir ki, içinizden her saniye bedeninizdeki atomların engelleyemediği 100 milyon kere milyon adet güneşten gelen nötrino geçer. Nötrino, Pauli'ye ün kazandırmak için yeterli olmuştu, ama asıl 1945 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü almasını sağlayan dışarlama ilkesi onu gerçek ününü sağlayan şeydir.

Pauli dışarlama ilkesi, Evren'deki en kayda değer bildirilerden biridir; ancak yine de fizikçilerin günlük konuşma dilini kullanarak bu kavramı açıklamak için gösterdikleri iyi niyetli çabalara karşı meydan okuduğu için kötü bir üne sahiptir. Ama hiç korkmayın. Onu anlamak için ilk adım çift-yarık deneyi ile ilgili bir şeyi takdir etmektir: şöyle ki ondan çıkarılan tek bir özel sonuç, aslında ilk bakışta görüldüğünden daha geneldir.

Her parçacığın içinden geçtiği yarık belirlenirse, ikinci ekran üzerinde zebra şeridi modelinin oluşmayacağını hatırlayın. Bunun yerine yarıklardan geçen parçacıklar ikinci ekranın üzerine düzgün bir biçimde yayılacaklardır. Bir parçacığın hangi yarıktan geçtiğini belirlemenin girişim görüntüsünde yayılmaya neden olması, ölçüm eyleminin parçacığa sanki boşlukta uçuyormuşçasına bir yanıl seğirme kattığı sonucunu ortaya çıkarır. Kuantum dünyasındaki pek çok şey gibi bu seğirme de temel,

içsel ve indirgenemezdir. Mikroskobik bir parçacığın hem yerini hem de momentumunu ne kadar iyi bilebileceğimiz konusunda kaçınılmaz bir sınır olduğunu gösterir. Yeri ne kadar kesin ve net bir şekilde belirlersek, onun momentumu ile ilgili bilgimiz o kadar belirsiz olur. Tam tersi de geçerlidir. Bu bir ödünleşmedir.

Parçacık perspektifi yerine dalga perspektifinden bakıldığında ise bu 'belirsizlik ilkesi' aslında önemsizdir. Uzayda bir dalganın yeri ne kadar belirliyse, kendisi de o kadar hareketli ve şiddetli olur. Sonuç olarak daha fazla enerji ve momentuma sahiptir.

Belirsizlik ilkesi, kuantum tuhaflığının temeli olan girişimi korur. Eğer mikroskobik bir parçacığın önünde iki seçenek varsa ve onun biri yerine diğerini seçtiğini keşfetmek -ilkesel bazda bile- mümkünse, bu durumda girişim olasılığı ortadan kalkacaktır. Çünkü girişiminin temel ön şartı iki şeyin birbirine karışması gerekliliğidir. Ancak eğer hangi seçeneğin seçildiğini belirlemek olası değilse, o iki seçeneği temsil eden dalgalar arasında girişim gerçekleşecektir.

Kilit nokta budur - çift-yarık sonucunun genelleştirilmesidir. İki seçeneğin ayırt edilemez olması halinde girişim gerçekleşir.

Bunun elektronlarla ilgisi nedir? Pekâlâ, elektronların temel olarak ayırt edilemez oldukları anlaşılıyor. Burada gündelik yaşamla kesinlikle hiçbir paralelliği olmayan mikroskobik krallığın bir özelliğinden bahsettiğimizi bir kez daha belirtelim. İki Barbie bebeğinin ayırt edilemez olduğunu söyleyebiliriz, ama aslında detaylı moleküler seviyede öyle değildir. Hatta daha genel olarak bakıldığında bile bir bebeğin diğerinden daha fazla saç olduğunu veya giysisinin daha kırıxık olduğunu görebiliriz. Olağan dünyada gerçek anlamda birbirine eş olan iki obje yoktur. Bunu mikroskobik dünya ile karşılaştırın. Bildiğimiz kadarıyla Evren'deki trilyonlarca trilyon elektronun her biri birbirinin aynısıdır. Elektron kabilesindeki bir üyeyi diğerinden ayırt edecek en ufak bir çizik, bir iz, bir leke ya da herhangi başka bir şey bulunmaz. İşte bu ayırt edilemezlik özelliği, dünyada gerçekten de yeni olan bir şeydir.

Unutmayın ki ayırt edilemez şeyler birbirleriyle girişim yapabilirler. Üstelik bir elektronu diğerinden ayırt etmek olanaksız olduğu için bu durumun elektronlar içeren atomlar için de doğuracağı birtakım sonuçlar olacaktır.

Birbirleriyle girişim yapan iki özdeş parçacığın yer aldığı bir süreci hayal edin. parçacıklar, ayırt edilemeyen herhangi iki parçacıktan oluşuyor olabilir. Örneğin, iki elektron veya iki foton ve hatta iki altın atomu (bu noktada iki elektron örneğine atlamak yerine konuya olabildiğince genel yaklaşmak daha iyi olacaktır) bile olabilirler. Ayrıca, en genel durumda parçacıklar arasındaki girişimin detaylı doğası bilinmemektedir. Bir araya gelebilir, çarpışabilir ve yalnızca birbirlerinin üzerinden atlayabilirler. Veya başka pek çok şey yapabilirler. Önemli olan nokta bizlerin detaylar konusunda bilgi sahibi olmamamızdır.

Çift yarık deneyinde olduğu gibi parçacıklara yalnızca girişimden önce ve sonra erişimimiz olduğunu varsayalım. Diyelim ki iki parçacık sırasıyla 1. ve 2. yerlerden harekete geçecekler. Sonra girişim yaparak 3. ve 4. yerlere varacaklar. Bunun olabilmesi için iki olası yol vardır. 1. yerden yola çıkan parçacık 3. yere varabilir ve 2. yerden yola çıkan parçacık ise 4. yerde durabilir. Ya da 1. yerden yola çıkan parçacık 4. yere varabilir ve 2. yerden yola çıkan parçacık ise 3. yerde durabilir.

Elbette bu iki parçacık farklı olsalardı -biri yeşil diğeri mavi olsaydı ya da birinde 'parçacık A' ve diğerinde 'parçacık B' yazsaydı- bu olasılıkların hangisinin gerçekleştiğini söyleyebilirdik. Ama bu iki parçacık kesinlikle ve tamamen ayırt edilemez niteliktedir. Dolayısıyla pratikte hangi olasılığın gerçekleştiğini söylemek olası değildir. Ayırt edilemez parçacıkların konuya getirdiği yenilik budur. Onların ayırt edilemezliği, katıldıkları olayların da ayırt edilemez olabileceği anlamına gelir. Mikroskobik dünyada bunun önemli bir sonucu vardır, çünkü daha önce vurguladığımız gibi eğer iki olay ayırt edilemezse, olasılıkları temsil eden olasılık dalgaları birbirleriyle girişim yapabilir.⁴

1. ve 2. yerlerden yola çıkarak 3. ve 4. yerlerde yolculuğunu noktlayan iki özdeş parçacık vakasında daha spesifik olmak mümkündür. Sürecin toplam dalga yüksekliği -sürecin olasılığını vermesi için karesinin alın-

ması gerektiğini anımsayın- ilk olasılığın dalga yüksekliği ile ikinci olasılığın dalga yüksekliğinin toplamına eşittir. Eğer bir insanın zarı attığında altı gelmesi olasılığı $1/6$ ise ve başka birinin madeni bir parayı fırlatıp tuttuğunda tura gelme olasılığı $1/2$ ise o zaman bu olayların her ikisinin birden gerçekleşme olasılığı $1/6 \times 1/2 = 1/12$ olacaktır. Dalga yükseklikleri de özdeş parçacıklarla uğraşırken tam olarak böyle davranırlar. Dolayısıyla 1. yerden 3. yere giden bir parçacık ile 2. yerden 4. yere giden başka bir tanesinin toplam yüksekliği $Y(1'den\ 3'e) \times Y(2'den\ 4'e)$ olacaktır. Yani her iki olasılığı da içeren sürecin tamamı için dalga yüksekliği şudur: $Y(1'den\ 3'e) \times Y(2'den\ 4'e) + Y(2'den\ 3'e) \times Y(1'den\ 4'e)$.

Burada bir olayla ilişkilendirilen kuantum dalgasının yüksekliği ile ilgili dikkat edilmesi gereken bir şey vardır. Tüm dalgalar gibi onu tanımlamak için de iki sayı gerekir. Biri dalganın maksimum yüksekliğini veya 'şiddetini' göstermek için gereklidir. Ancak dalganın inişli çıkışlı yapısından ve her zaman aynı yüksekliğe sahip olmamasından dolayı tepe noktalarının yerini belirlemek için 'faz' olarak bilinen başka bir sayıya daha gerek duyulur.

Kuantum dalgasının yüksekliğini gözünüzde canlandırmanın kolay bir yolu, onun tıpkı bir saatin kolu gibi boşlukta belli bir yönü işaret eden bir ok olduğunu düşünmektir. Bu okun bir 'şiddeti'- yani kolun uzunluğu- vardır. Ayrıca bir 'fazı' da bulunur. Bu, saat 12.00 yönü gibi bir referans yönüne göre tanımlanır. Bu resimde dalga yüksekliği en basit haliyle bu kolun ucunun sıfır seviyesinden -saat örneğinde saat 9:00 ile 3:00'ü birleştiren çizgi seviyesinden- yüksekliğidir.

Yeniden iki ayırt edilemez parçacığı içeren iki ayırt edilemez olasılığa dönelim. 3. ve 4. yerlerin aynı yerde olduğunu varsayalım. Dolayısıyla tüm sürecin dalga yüksekliği $Y(1'den\ 3'e) \times Y(2'den\ 3'e) + Y(2'den\ 3'e) \times Y(1'den\ 3'e)$ olur. Başka bir deyişle, bu olay için kuantum dalgasının yüksekliği, parçacıkların bir şekilde dizildiklerinde ortaya çıkan olasılığın kuantum dalgasının yüksekliği ile yer değiştirdiklerinde ortaya çıkan değerlerin toplamıdır.

Diyelim ki hem 1. yerden hem de 2. yerden varış yerine olan uzaklık aynı olsun. Bu durum iki ayırt edilemez olasılığı, birbirinin ayna görün-

tüsüdür. Ayrıca, bu durum geçerliyse, her olasılığın gerçekleşme olasılığının aynı olması gerektiğini varsaymak mantıklı olacaktır - yani her olasılığı temsil eden dalganın yüksekliği aynı olmalıdır.

Aynı uzunluğa sahip olan okların yönleri fark etmeksizin aynı kareye sahip olacaklarını biliyoruz. Bir saatin kolunu düşünün. Saat 2:00 yönünü de gösterse, 9:00 yönünü de gösterse boyunun karesi aynı olacaktır. O zaman okları, bir saatin yüzeyindeki iki olasılığın her birinin kuantum dalgasını temsil eden eşit uzunluğa sahip iki kol olarak hayal edebilirsiniz.

Önemli nokta şudur. Okların arasındaki açının derecesi önemli değildir - kareler her zaman aynı çıkacaktır. Diyelim ki ikinci olasılığı temsil eden ikinci ok, birincisinden x derece daha ileride olsun. 1. ve 2. yerlerden içeri giren parçacıkları değiş tokuş ettiğinizi hayal edin. Artık birinci ok, ikinci ok gibi görünecektir. Başka bir ifadeyle orijinal yönünden x derece döndürülmüş olacaktır. Şimdi ise dışarı giden parçacıkları değiş tokuş edin. Aynı şey yaşanacaktır. Birinci ok, bulunduğu yerden x derece daha dönerek toplamda $2x$ derece dönmüş olacaktır. Ancak içeri giren ve dışarı giden parçacıkları değiş tokuş etmek, her şeyi en başa götürecektir. Başlangıç durumunu geri getirecektir. Yani $2x$ derecenin tam bir tura eşit olması gerekir, çünkü bir şeyi tam bir tur döndürürseniz aynı şekilde görünecektir. Veya iki tur döndürürseniz. Veya üç. Ya da daha fazla. Hepsi de bir okun aynı görünmesini sağlar.

Olasılıkları değerlendirelim. Eğer $2x$ tam bir tur anlamına geliyorsa, o zaman x yarım tura eşittir demektir. Eğer $2x$ tam iki tur anlamına geliyorsa, o zaman x bir tura eşittir demektir. Eğer $2x = 4$ tam tur ise, o zaman $x = 2$ turdur. Eğer $2x = 5$ tur ise, o zaman $x = 2,5$ turdur. Bu böyle devam eder. Ama bir şeyi bir buçuk ya da iki buçuk tur döndürmek, o şeyi yarım tur döndürmek ile aynıdır. Ayrıca, bir şeyi iki ya da dört tur döndürmek de tek bir tur döndürmekle aynıdır. Bu nedenle aslında yalnızca iki olasılık olduğu açıkça görülmektedir. İki olayla ilgili olasılıklar etkilenmemiştir, çünkü her biri için dalgaların yüksekliklerini temsil eden oklar birbirlerinden yarım tur ya da bir tur ayrıdır.

Bu bilgi gerçek dünyada ne anlama geliyor? Önce ikinci olasılığı ele alalım. Eğer oklar birbirlerinden bir tur ayrılırsa o zaman aynı yöne bakıyorlardır ve toplanabilirler. Bir ok boyunca beş kilometre kuzeybatıya gittiğinizi ve sonra benzer bir ok boyunca beş kilometre kuzeybatıya gittiğinizi düşünün. Böylelikle bir ok boyunca on kilometre kuzeybatıya gitmiş gibi olursunuz. O zaman oklar arasında bir tur fark varsa, dalga yüksekliği iki katına çıkar. Bu da olayın gerçekleşme olasılığını kendi başına gerçekleşme olasılığından dört kat daha fazla yapar.

Bu da şu anlama gelir: bir parçacığın belli bir son noktaya varış olasılığı ne ise, iki tanenin o noktaya varma olasılığı ondan dört kat daha fazladır. Safça bu olasılığın yalnızca iki katı fazla olacağını düşünebilirsiniz. Özdeş parçacıklar söz konusu olduğunda olasılığın arttığı görülüyor. Bir parçacığın belli bir yerde olması gerçeği, aynı şekilde orada bulunan başka bir özdeş parçacığın olasılığını artırır. Üstelik sonuç aslında bundan daha geneldir. Bir parçacığın belirli bir 'kuantum konumunda' -yani belirli bir şey yapıyor- olması gerçeği, başka bir tanesinin de aynı şeyi yapma olasılığını artırır. Koyun sürüsünün davranışı gibidir. Bir koyun otlağın bir ucundaki ağaca yöneldiğinde başka bir tanesi de ona katılır. Sonra ardından diğerleri gelir. Kısa bir süre içinde sürünün tamamı aynı ağaca yönelmiştir.

Bir lazer ışınının işleyişinde de koyun sürüsü davranışı gözlenir. Bir atom belli bir yöne hareket eden belli bir frekansa ait bir fotonu yaydığında başka bir atomun da aynı yönde ve aynı frekansta başka bir foton yayma olasılığı çok yüksektir. Ayrıca, yayılan iki foton olduğunda üçüncü bir tanesinin de onlara katılma olasılığı artar. Kısa bir süre içinde hepsi de benzer özelliklere sahip olarak boşlukta uçuşan ve çığ gibi büyüyen bir foton dalgası ortaya çıkar. Bu 'uyarılmış yayılım' değişmez hizalı ışık dalgaları üretir. Tepe noktaları ve aralarındaki çukur kısımlar mükemmel bir hizadadır. Lazerin benzersiz parlaklığının nedeni de budur.

Girişim yapan iki ayırt edilemez parçacığın önündeki olasılıklardan biri ile ilgili anlatacaklarım bu kadardır. Peki ya okların yarım tur

ayrı durdukları diğer olasılık? Eğer oklar birbirlerinden yarım tur ayrı duruyorlarsa, farklı yönleri gösterirler ve birbirlerini yok ederler. Bir ok boyunca beş kilometre kuzeybatıya gittiğinizi ve sonra tam ters yönü gösteren bir ok boyunca beş kilometre güneydoğuya gittiğinizi düşünün. Başladığınız yere geri dönersiniz. O zaman eğer iki ok birbirinden yarım tur ayırırsa ve birbirlerini yok ediyorsa, dalganın yüksekliği sıfırdır. Olayın olma olasılığı yoktur. Gerçekleşmez. Nokta.

Eğer iki özdeş parçacık böyle davranırsa, yolculuklarını aynı yerde sonlandırabilmelerinin yolu yoktur. Daha da genel bir ifadeyle aynı şeyi bile yapamazlar. Topluluk halinde, sürü gibi davranmak bir yana birbirleriyle yıldızları barışmayacak ve anti-sosyal bir tavır sergileyeceklerdir. Bu birbirlerinden hoşlanmama durumu, Pauli dışarlama ilkesi olarak bilinir.

Yani iki parçacığın ayırt edilemez oldukları gerçeği, ayırt edilemez olasılıkların girişiminden dolayı, çarpıcı bir şekilde son derece farklı iki davranışa yol açıyor. Bir yandan özdeş parçacıklar anti-sosyal olabilirler; öte yandan topluluk halinde hareket edebilirler. Sorulması gereken şudur: doğa kendisine açılan bu iki olasılıktan yararlanıyor mu? Hem topluluk halinde, sürü gibi hem de anti-sosyal davranışlar sergileyen parçacıklar var mı? Bu sorunun yanıtı evettir. Doğanın temel parçacıkları gerçekten de iki ayrı kampa ayrılırlar. Topluluk halinde hareket edenlere 'bozonlar' ve anti-sosyal olanlara ise 'fermionlar' denir. O zaman bir parçacığın bozon ya da fermion olmasını belirleyen şey nedir? Yanıt 'spin' dir.

Spin ve Önemi

Spin de, olağan dünyada herhangi bir benzeri olmayan kuantum niteliklerinden biridir. Bu sözcükle birlikte zihnimizde belli bir noktada burju hareketi yapan buz patencisi imgesi canlanıyor olsa da aslında spin, bir parçacığın değişik yönlerden bakıldığında -veya benzer şekilde olduğu yerde döndürüldüğünde- nasıl görüldüğünü anlatmaktadır. Elektrik yükünden gözle görünen ışığa kadar mikroskobik dünyadaki diğer her şey gibi farklı parçalar olarak bulunur. Başka bir deyişle,

bir spin kuantumu vardır. Spinin temel biriminin iki katına sahip olan bir parçacığı, veya spin-2'yi, yarım tur döndürdüğünüzde aynı görünecektir - çift yönlü ok gibi düşünün. spin-1'li bir parçacığı bir tur döndürdüğünüzde aynı görünecektir - normal bir oku düşünün. Doğa burada durmaz. Spin-1/2'li bir parçacığın bile varlığına izin verir (teknik nedenlerden dolayı spin kuantumu aslında standart spin biriminin yarısıdır). Böyle bir parçacık -neredeyse inanılmaz bir biçimde- ancak iki tur döndürüldüğünde aynı görünecektir.

Eğer kuantum spini yeni gün yüzüne çıkmış bir şeyse, spin-1/2 *çifte yeni* bir şeydir. Bir kez döndüğünüzde aynı insan olmayacağınızı, ancak *iki kez* dönerseniz aynı insan olabileceğinizi hayal edin. Spin-1/2'li bir parçacığın en yaygın örneği olan elektronlar için durum budur. Spesifik olarak bir dönüşten sonra bir elektronun kuantum dalgasının yüksekliğini temsil eden ok, başlangıç yönünün tersini işaret eder. Ancak iki dönüş sonrasında yeniden başlangıç pozisyonunda işaret ettiği yönü gösterecektir.

Ama spinin, parçacıkların topluca veya anti-sosyal hareket etmeleriyle, diğer bir deyişle, Pauli ilkesine uyup uymamalarıyla ne ilgisi vardır? Asıl önemli olan soru budur.⁵

Aynı noktada bir araya gelerek girişim yapan iki özdeş parçacığı düşünün. Parçacıklar ayırt edilmez oldukları için bir olayın kuantum dalgasının yüksekliğinin, parçacıkların bir şekilde dizildiklerinde ortaya çıkan olasılığın kuantum dalgasının yüksekliği ile yer değiştirdiklerinde ortaya çıkan değerlerin toplamı olduğunu hatırlayın. İki olasılık, bir saatin yüzündeki iki kol benzeri oklarla temsil edilebilir. Burada, doğa iki duruma izin verir: oklar aynı yönü gösterebilir ve toplanabilir veya farklı yönleri göstererek birbirlerini iptal edebilirler. İkinci durum bizi Pauli dışarlama ilkesine -iki parçacığın aynı yerde olma veya aynı şeyi yapma olasılığının sıfır olduğu duruma- götürür.

O zaman spin-1/2'li iki elektron pozisyon değiştirdiğinde ne olur? İki elektronun yan yana duran iki futbol topuna benzediğini düşünün.

Onların yönelimlerinin izini sürmek önemli olduğu için iki futbol topunun doğu-batı yönünde yan yana durduğunu hayal edin. Üzerlerindeki kırmızı minik bayraklar batıya dönük olsun. Şimdi iki topun yerini değiştirin, ve bunu şimdi açıklayacağımız gibi tuhaf bir şekilde yapın. Önce daha batıda duran futbol topunu doğudakinin yüzeyinin etrafından sürün (bayrağın ezilmeye dayanıklı olduğunu varsayalım). Buna göre üzerindeki kırmızı bayrak batıyı işaret ediyorken kuzeyi ve en sonunda doğuyu gösterecektir. Başka bir deyişle, doğudaki futbol topu saat yönünde yarım tur atmış olacaktır. Şimdi iki futbol topunun da yeniden orijinal pozisyonlarına döndüğünü düşünün ve benzer bir işlemi doğudaki topun üzerine uygulayın. Onu batıdaki topun etrafından sürün. Bu durumda üzerindeki kırmızı bayrak batıyı işaret ediyorken güneyi ve en sonunda doğuyu gösterecektir. Başka bir deyişle, doğudaki futbol topu saat yönünün tersine doğru yarım tur atmış olacaktır.

Dolayısıyla iki futbol topunu karşılıklı değiş-tokuş etmenin net etkisi, birini diğerine nazaran tam bir tur döndürmek olacaktır. Ancak spin-1/2 parçacığı için dalga yüksekliğini temsil eden okun başlangıç pozisyonuna gelmesinin iki tam turu gerektirdiğini unutmayın. Yalnızca bir dönüşten sonra zıt yönü işaret edecektir. Ancak iki özdeş parçacığın bir araya gelerek girişim yapması durumundaki iki olasılığın birbirini yok etmesi tam olarak budur. Bu nedenle elektron gibi spin-1/2 parçacıklarının doğanın fermiyonları olmaları gerekir. Pauli dışarlama ilkesine uygun anti-sosyal parçacıklar olmalıdırlar. Ayrıca, bir turdan sonra okları başlangıç pozisyonuna dönen, bu yüzden de iki özdeş parçacık bir araya geldiğinde olasılıkların birbirini yok etmediği spin-1 parçacıklarının da doğanın bozonları -toplu hareket eden parçacıkları- olması gerekir.⁶

Elektronlar, Pauli dışarlama ilkesine uygun davranan fermiyonlar oldukları için atomlar şimdi oldukları haldedir.⁷ İki elektronu bir araya getirmeye çalıştığınızda tüm güçleriyle direneceklerdir. Birbirlerinden hiç hoşlanmamaları ve ne pahasına olursa olsun kaçmak istemeleri, onların üst üste yığılmalarını engeller. Pauli dışarlama ilkesi, birden fazla

elektronun aynı kuantum konumunu işgal etmesini önler. Buna göre bir atomun iç kabuğu sadece bir elektron içerebilir, sonraki kabuğunda dört, sonrakinde dokuz elektron olabilir ve böylece sürüp gider. Ama durun bir dakika. İç kabuğun maksimum doluluk oranı iki, sonrakinin sekiz ve ondan sonrakinin ise 18 değil miydi? Doğru. Pauli dışarlama ilkesinin özdeş parçacıkların aynı yerde olmasını önlediği açıkça görülüyor. Ancak elektronlar özdeş olmamanın bir yolunu bulmuşlardır. Bu da onların spinleriyle ilgilidir.

Spini olan bir elektron, hareket eden tüm elektrik yüklerinde olduğu gibi bir mıknatıs gibi davranır (spininin içsel olmasına ve aslında dönmemesine rağmen). Aslında spin, demirdeki manyetizmadan ve bir elektrik bobininin içindeki manyetik alanı harekete geçirmekten sorumludur. Bu da, saç kurutma makineleri içindeki elektrik motorlarını, mikserleri ve dünyanın elektrik kuvvetini oluşturan dinamları mümkün kılar. Manyetik alanlar sayesinde elektronların spinini manipüle etmek, bilgisayarlar ve iPod'ların disk sürücülerindeki çok sayıda veriyi depolamayı ve bulup getirmeyi de mümkün kılar.

Bir manyetik alanda elektronun spinin davranışı, pusulanın minik ibresinin davranışına benzer. Aslında elektron, *kuantum* pusula ibresi gibi davranır. Aşına olduğumuz pusula ibresinin aksine her yönü gösteremez. Yalnızca iki olası yönü gösterebilir: alan boyunca veya alanın aksine yönleri.⁸ Bu iki olasılığı saat yönünde veya saatin aksi yönde spine sahip olan elektronlar olarak düşünün. Pekâlâ, saat yönünde veya saatin aksi yönde spine sahip olan elektronlar özdeş değildir. Bu durumda boşlukta aynı yeri veya kuantum konumunu paylaşabilirler. Bir atomun içindeki her kabuğun beklenenin iki katı elektrona sahip olabilmesinin nedeni de budur.

Artık ayağınızı bastığınız zeminin neden katı olduğu ile ilgili daha önce sunulan açıklamayı daha detaylı incelemek mümkündür.⁹ Ağırlığımızın atomları sıkıştırdığını ama o atomların içindeki elektronların tıpkı kızgın arılar gibi daha fazla hareketlilik kazanarak küçük bir alana sıkışmaya karşı direnç gösterdiklerini söylemiştik. Ancak bu etki, Heisenberg

belirsizlik ilkesine bağlı olarak, tüm atomların varlığının ve tek elektronuyla en basit atom olan hidrojenin sıkıştırılmaya karşı direnişinin kapsamlı açıklamasını sunar. Daha ağır atomlar için başka bir faktör devreye girer: Pauli dışarlama ilkesi. Aynı kuantum konumunu paylaşan ikiden fazla elektron olamaz. Aynı anda ikiden fazla aynı şey olamaz. Ağırlığınız yerdeki atomları sıkıştırdığında direnen şey, Heisenberg belirsizlik ilkesi ile Pauli dışarlama ilkesinin birleşik etkisidir.

O zaman artık dünyanın çeşitliliğinin bize ne anlattığını kesin olarak söyleyebiliriz: atomların pek çok çeşidi vardır ve bu da bize atomların içindeki elektronların üst üste yığılmalarını önleyen bir bildiri olması gerektiğini söyler. Bu bildirinin -Pauli dışarlama ilkesi- iki şeyin kaçınılmaz sonucu olduğu görülmektedir: elektronların ayırt edilemezliği ve spin-1/2'ye sahip oldukları gerçeği. Doğanın farklılık üreten motoru budur.

Pauli'nin adını verdiği tek etki Pauli'nin dışarlama ilkesi değildir. Bu adamın deney teçhizatları üzerinde de efsanevi bir etkisi bulunmaktadır. O aletlerin yanına ne zaman gitse kısa devre yaptıkları, patladıkları veya üzerinden silindir geçmiş gibi paramparça bir yığına dönüştükleri görülmüştür. 'Pauli etkisi' o kadar kötüdür ki deneyci Otto Stern Pauli'nin Hamburg'daki laboratuvarına girmesini yasaklamıştır. Ayrıca onunla yalnızca kapalı bir kapının ardından fizik konularını tartışabileceğini söylemiştir. Ama kimi zaman Pauli'yi laboratuvarın dışında bırakmanın da koruma sağlamadığı görülmüştür. Bir keresinde fizikçi James Franck'ın Göttingen'deki laboratuvarında Pauli aynı binada bile değilken çok sayıda teçhizat problemi yaşadığı görülmüştür. Ancak tren tarifelerine baktığında bu laboratuvar kargaşalarının tam doruk noktasında Pauli'yi Zürih'ten Kopenhag'a götüren bir trenin beş dakikalığına Göttingen istasyonunda durduğu ortaya çıkmıştır.

Pauli'nin kendisi de tuhaf bir biçimde Pauli etkisinin gerçek olduğuna ikna olmuştu. İsviçreli psikiyatrist Carl Jung'un ömür boyu dostluğunu sürdürdüğü isimlerden biri, bu durumun şimdilik açıklanamaz

olmasına rağmen bir gün bilimin ışığında açıklaması yapılabilecek bir tür psikokinetik, zihin gücü olgusu olduğuna inanıyordu. Pauli dışarlama ilkesinin maddenin nihai yapı taşları arayışında ortaya çıkan ilginç felsefi etkileri vardır. Bir zamanlar bu yapı taşlarının atomlar oldukları düşünülürdü. Ama daha sonra atom beklenmedik bir şekilde bir çekirdek ve bir elektron bulutu olarak parçalandı. Herhangi bir tartışma konusuyla doğrudan ilgili olmadığı için çekirdeğin ana bileşenlerinden henüz söz edilmemesine rağmen onların 'proton' ve 'nötron' oldukları sır değildir. Ayrıca bunların her birinin kompozit bir parçacık olduğu da görülür. Protonlar ve nötronlar, ilgisiz olarak elektronlar gibi spin-1/2'ye sahip olan 'kuark' adlı parçacıklardan meydana gelirler.

Gün gibi açık soru şudur: işin kökenine inebildik mi? Yoksa sonu olmayan bir Matruşka serisi gibi parçacıkları parçalayarak içlerindeki daha küçük parçacıkları mı bulmaya çalışıyoruz? Hem elektronlar hem de kuarklar Pauli dışarlama ilkesine uyar ve bu ilke de tüm elektronların ve tüm kuarkların özdeş olmasına dayanır. Eğer aynı türde olanlardan birini diğerinden ayırt etmenin yolu yoksa, o zaman onların farklı olmasını sağlayan içsel bir yapının yokluğundan söz edilebilir. Dolayısıyla elektronların ve kuarkların Pauli dışarlama ilkesine uydukları gerçeği, sonunda doğanın temel yapı taşlarını bulduğumuza dair güçlü bir ipucudur.

İKİNCİ KISIM

Olağan Dünyanın Yıldızlarla İlgili Bize Söyledikleri

Kelvin Hakkında Konuşmamız Gerekliyor

Güneş'in sıcak olması gerçeği size dinamitten bir milyon kat daha yoğunlaştırılmış bir enerji kaynağı olduğunu nasıl söyler?

'Güneş gibi muazzam bir yangının nasıl olup da yukarıdaki varlığını sürdürebildiği konusu, çözülmesi gereken büyük bir gizemdir. Bu konuda kimya bilimi kapsamında yapılmış her keşif bizi tamamen şaşırtmakta ve hatta olası bir açıklama umudunu daha da uzaklaştırır gibi görünmektedir.'
John Herschel

'Astrofizik hakkında bilmediğim çok şey var. Keşke o tekerlekli sandalyedeki adamın yazdığı kitabı okusaydım.'
Homer Simpson (*The Simpsons Cadılar Bayramı Özel Bölümü VI*,
29 Ekim 1995)

Bir yaz günü parkta yürürken Güneş'in yüzünüze vuran huzur dolu sıcaklığını hissediyorsunuz. Güneş yaklaşık 150 milyon kilometre uzakta olmasına rağmen yine de bizi ısıtıyor. Aslına bakarsanız yaklaşık 4,55

milyar yıldır Dünya'yı ısıtıyor. Kulağa bir klişe veya aşikâr bir gözlem gibi gelebilir ama aslında Güneş'in sıcak olması gerçeği bize güneşin yakıt kaynağı ile ilgili önemli bir şey söylüyor. Buna göre Güneş'in her bir gramının, bir gram dinamitin bir milyon katı enerjiye sahip olması gerekir.

Bunun nedenini anlamak için sorulması gereken ilk soru şudur: Güneş neden sıcaktır? Yanıt ise şaşırtıcı ölçüde dolambaçsız ve açıktır. Güneş sıcaktır, çünkü çok büyük bir kütleye sahiptir. Bu kadar basit. O kadar çok sayıda kütleyi bir yere koyun; kendi kütle çekiminin -her madde parçasının bir diğeri üzerinde uyguladığı kütleçekimin- kaçınılmaz bir şekilde tüm bölümleri bir araya getirdiğini görürsünüz. Kütle ne kadar büyük olursa kütle çekim de o kadar güçlü olacak ve madde daha güçlü sıkıştırılacaktır. Eğer daha önce bir bisiklet pompasındaki havayı sıkıştırdıysanız, onun da ısındığını bilirsiniz. Güneş de tam olarak aynı nedenden dolayı sıcaktır.

Kütlenin aslında ne kadar olduğu çok da önemli değildir. Güneş'in büyük bir bölümü hidrojen den oluşur ve yaklaşık bir milyar kere milyar kere milyar ton ağırlığındadır. Bir milyar kere milyar kere milyar ton ağırlığında muz veya mikrodalga fırını bir yere koyarsanız nihai sonuç aynı olacaktır: neredeyse Güneş kadar sıcak, kor halinde bir gaz topu. Maddenin ne olduğu fark etmez, çünkü bu kadar devasa bir kütlenin yarattığı kütsel çekim materyali o kadar sert bir şekilde sıkıştırır ki en derinlerindeki sıcaklık milyonlarca dereceye ulaşır. Bu baş döndüren sıcaklıklarda atomlar birbirlerine o kadar şiddetli bir şekilde çarparlar ki elektronlarının çoğu sökülüp gider. Sonuç olarak elektrik yüklü bir gaz ya da 'plazma' -söz konusu olan ister hidrojen ister muz ya da mikrodalga fırın olsun bu kadar uç koşullar altında maddenin kaderi olan anonim bir durum- ortaya çıkar.¹

Güneş'in çok fazla kütleye sahip olması gerçeği, onun sıcaklığını açıklar -ama elbette yalnızca zamandaki bu an için. Onun neden sıcak kaldığını ise açıklamaz. Sonuçta Güneş sürekli uzayda ısı yaymaktadır ve

dolayısıyla soğuması gerekir. Ancak soğumaz. Bu durumda kaybolan ısıyı aynı hızla yeniden yerine koyan bir şeyin olması gerekir. Ama o nedir?

Yeryüzü'nde sıcaklığın en bilinen kaynağı yanma veya tutuşmadır. Yunan filozof Anaxagoras, M.Ö. 434' te Güneş'in yanmakta olduğu tahmininde bulunmuştur. 'Güneş, ateşli bir taş kütesidir,' demiştir. Aslında Anaxagoras bundan biraz daha riskli bir açıklama yaparak dokunaklı bir kesinlik ile şu tahminde bulunmuştur: 'Güneş, Yunanistan'dan biraz büyük, ateşli bir taş kütesidir'². Yanma eylemi oksijen gerektirir. Genellikle okulların laboratuvarlarında yanan bir mumun üzerine ters çevrilmiş bir bardak kapatılarak bu gereklilik örnekle gösterilmiş olur. Kalan son oksijen kırıntıları tüketilirken alevler cızırdar ve söner. Benzer bir şekilde yanan bir Güneş'in de oksijen kaynağına ihtiyacı vardır. Güneş'in bu kadar büyük bir gaz kaynağını nereden bulduğuna dair küçük konuları bir kenara bırakıp daha önemli bir soruya geçiyoruz: Güneş tam olarak ne yakıyor?

Yeryüzü'nde yakılan yakıtlar odun, benzin, karbon ve hatta tutuşma ısını çok hızlı bir şekilde serbest bırakarak yanmak yerine patlayan dinamittir. Yanma kimyasal bir reaksiyondur. Bu nedenle atomların etrafındaki elektronların yeniden düzenlenmesini gerektirir. Odun, benzin, karbon ve dinamitin genel olarak 'kimyasal yakıtlar' adıyla bilinmelerinin nedeni budur.³ O zaman Güneş de bir kimyasal yakıt mı yakıyor? Örneğin, yanan dev bir karbon parçası -iki ucu arasında bir milyon kilometreden fazla mesafe olan bir parça- olabilir mi? Bu saçma bir fikir gibi görünebilir. Ancak bilim insanlarının ilk kez ciddi anlamda Güneş'in güç kaynağını düşünmeye başladığı on dokuzuncu yüzyılda bu fikir hiç de gülünç değildi. Ne de olsa yanan karbonun saldırdığı enerji ile mümkün kılınan bir endüstri toplumunda yaşıyorlardı.

Güneş'in karbon yakıp yakmadığını anlamak için Güneş'in uzaya ne kadar ısı pompaladığını bilmek gereklidir. Ancak böyle bir tahminimiz olursa Güneş kadar büyük yanan bir karbon parçasının iş başında olup olmadığını anlayabiliriz. Fransız fizikçi Claude Pouillet ve ondan

bağımsız olarak İngiliz astronom John Herschel tarafından bu konuda önemli ölçümler yapılmıştır. John Herschel, 1781'de Uranüs'ü keşfederek daha önce hiç bilinmeyen bir gezegeni bilim dünyasına kazandıran ilk isim olan William Herschel'in oğludur.⁴ John, 1834'te İngiliz deniz kuvvetleri komutanlığının yıldız haritalarını güney yarımküreye doğru genişletmek göreviyle Cape Town'a yelken açmıştır. Karısı, çocukları, teleskopları ve diğer eşyalarıyla birlikte su aygırlarıyla dolu bataklıklardan geçerek yüksek bir noktaya bir gözlemevi kurmuştur. Şu an o bölge, Cape Town'ın Observatory (gözlemevi) adı verilen bir banliyö semtidir. 1837 yılında o gözleminde yaptığı gece gözlemleri arasında dinlendiği sırada Güneş'in yaydığı ısıyı başarılı bir şekilde ölçebilmiştir.

Herschel ve Pouillet hemen hemen aynı sonuca varmışlardır: Güneş, her yıl Yeryüzü'nde bulunan 31 metre kalınlığındaki buz tabakasını eritmeye yetecek kadar ısı yaymaktadır. Çok etkileyici görünmeyebilir, ama Güneş'in ısısının yalnızca küçük gezegenimize doğru değil de *her yöne* yayıldığını dikkate almak gerekir. Sonuç olarak Güneş'in her yıl yaydığı ısı, yalnızca Yeryüzü'ndeki 31 metre kalınlığında buz tabakasını eritmekle kalmayıp bunu *Yeryüzü'nün yörüngesi mesafesinden* yapabiliyor. Başka bir deyişle, 31 metre kalınlığında küre şeklinde buzdan bir kabuğu 300 milyon kilometre mesafeden eritebiliyor. Dünya'yı ve Güneş'in çevresinde döndüğü yörüngesini birlikte içine alan kocaman bir şişme plaj topun hayal edin. Şimdi, onun yüzeyinin 31 metre kalınlığında buzla kaplı olduğunu düşünün. Güneş'in bir yılda eritebileceği buzun miktarı budur. Başka bir ifadeyle yaklaşık 500 Dünya dolusu buzu eritebilir.

On dokuzuncu yüzyıl bilim insanları, ellerindeki Güneş'in yaydığı ısı ile ilgili tahminle birlikte gücünü karbon enerjisinden alan bir Güneş'in olanaklı olup olmadığını ciddi olarak düşünebilirlerdi. 1848 yılında bunu ilk yapan kişi Julius Mayer adlı Alman bir doktor oldu. Bir ocak ızgarasında yanan bir karbon parçasının sıcaklığını ölçtü. Daha sonra bu sıcaklık derecesinin Güneş ölçeğinde bir karbon parçası için ne olacağını hesapladı. O zaman ortaya şu soru çıkıyordu: böyle bir karbon parçası

yanıp kül olup köz haline gelmeden önce Herschel ve Pouillet tarafından ölçülen güneş ısısını ne kadar uzun süre koruyabilir? Mayer'in yanıtı netti: 5000 yıldan fazla değil. Bu oldukça kısa bir süreydi. Yeryüzü'nün M.Ö. 22 Ekim 4004 akşamı yaratıldığına inanan İncil tefsircileri için bile yeterli bir süre değildi.⁵

Güneş'i sıcak tutan yakıt kaynağı olarak karbon saf dışı bırakılmıştı. Ancak dinamit dahil diğer kimyasal yakıtlar da bertaraf edildi. O zaman Güneş'e güç veren neydi? Mayer olağanüstü bir olasılıkla ortaya çıktı. Güneş'in sürekli üzerine yağan göktaşlarından dolayı sıcak kaldığını iddia etti. Basit bir fikir. Bir uçurumdan aşağıdaki çakıllı bir sahile bir taş attığınızı düşünün. Taş düşerken hızlanacak ve sahile şiddetle çarpacaktır. Enerjinin çok fazla çeşidi -kimyasal enerji, ses enerjisi, elektrik enerjisi ve benzeri- vardır. Ayrıca, enerjinin korunumu yasasına -ilk farkına varanlardan biri Mayer'dir- göre enerji yoktan var edilemez ve varken yok edilemez, yalnızca şekil değiştirir. Düşen taş örneğinde 'kütleçekimin potansiyel enerjisi' -Yeryüzü'ndeki her şeyi yerli yerinde tutan kütleçekimsel 'kuvvet alanında' saklanan enerji- 'hareket enerjisine' dönüşmüştür. Taşın sahile düştüğünde çıkardığı ses silah atışına benzer. Hem bütün halde hem de tuzla buz olmuş çakıl taşları şarapnel gibi havada savrulur. Hatta taşın ve rahatı bozulan çakılların sıcaklığında ufak bir artış olur. Hava bile bu etkinin sesiyle yankılanır. Ancak yine de enerjinin korunumu yasasına uyulmuştur. Enerjinin bir türü -taşın hareketinin enerjisi- başka enerji türlerine -tuz buz olmuş çakıl taşlarının hareket enerjisi, ses enerjisi, ısı enerjisi, vs- dönüşmüştür.

Isı enerjisi en düşük enerji formudur. Merdivenin en alt basamağı, Evren'in nihai posasıdır. Mikroskobik atomların çılgınca, gelişigüzel ve karışık enerjisidir. Sonuçta taşın etkisinin sesi havada yok olduğunda, çakıl şarapneli durulduğunda, geriye kalan tek şey ısı olacaktır. Bu nedenle düşen taşın sahile vurduğu anda işin özünde yaşanan şey kütleçekimsel enerjinin ısı enerjisine dönüşmesidir. İşte, Güneş'in ısısının kaynağının üzerine yağın göktaşları olduğunu ileri süren Mayer'in de aklında tam

olarak böyle bir dönüşüm vardı. Güneş'in yüzeyini sahil ile ve uzay taşlarını -göktaşlarını- da dünyasal taşlarla değiştirelim. O zaman Mayer'in fikrinin özetini elde etmiş olursunuz.

'Göktaşı varsayımı' Lord Kelvin olarak bilinen William Thomson tarafından da büyük bir hevesle benimsenmiştir. On dokuzuncu yüzyılın en önemli bilim insanlarından biri olan Kelvin, günümüzde tüm bilim insanlarının kullandığı sıcaklık ölçeğini bulmuş ve ayrıca ilk transatlantik telgraf kablosunun döşenmesini gerçekleştirmiştir. Ayrıca Güneş'i sıcak tutan şeyin ne olduğu sorusunun, çağın öne çıkan problemlerinden biri olduğunun farkına varmıştır. Kelvin göktaşı varsayımını incelemiştir. Ancak titiz araştırması bu varsayımı adeta dağıtmıştır. Güneş'in yaydığı ölçülen sıcaklık derecesine göre göktaşı döküntülerinin, Güneş'in yüzeyine yılda on metre kalınlık yaparak birikecek şekilde yağması gerekmektedir. Bu da Güneş'in çapında küçük -fark edilemeyecek kadar küçük- bir artışa yol açacaktır. Bu nedenle bu fikrin can alıcı noktası bu değil başka bir şeydir. Kelvin, Güneş'in yüzeyine düşen göktaşı parçalarının, uzayın Güneş'e Yeryüzü'nden daha yakın olan bölümüyle sınırlı olması gerektiğini gözlemlemiştir. Eğer böyle olmasaydı, Dünya Güneş'in etrafında dönerken sürekli olarak önüne çıkan bir şeyleri süpürmek durumunda kalacaktı. Bu da Dünya'nın hızını değiştirerek yılın uzunluğunu da etkilerdi. Böyle bir etki gözlenmedi. Ayrıca, eğer Güneş'in üzerine yağın tüm göktaşı parçaları Dünya'nın yörüngesi ile sınırlı olsaydı, o zaman başka bir problem olurdu: küçük ama önemli bir kütleçekim kuvveti olurdu. Kelvin'in hesaplarına göre Güneş'in etrafında izledikleri yörüngeye göre en içte yer alan Merkür ve Venüs gibi gezegenleri itmeye bile yeterdi. Bir kez daha belirtelim ki böyle bir etki gözlenmedi.

Kelvin, 1862 itibarıyla göktaşı hipotezinden vazgeçti. Bunun yerine başka bir olasılık ile heyecan duymaya başladı: Güneş'in yavaş yavaş küçülmekte olduğu için sıcak olduğu fikrini öne sürdü. 'Büzülme hipotezi' İskoç hidrografa uzmanı John James Waterston'un parlak fikriydi. O da 1853'te Mayer'den bağımsız olarak göktaşı fikrini ortaya atmıştı. Aslında

göktaşı fikriyle ilgili Kelvin'in ilgisini çeken şey, Mayer değil de Waterson tarafından yazılmış bilimsel bir rapordur. Büzülme hipotezinin güzelliği de kaçınılmazlığıydı. Güneş, dev bir gaz topuydu ve kütleçekimi de bu topu küçültmek üzere sıkıştırmak için elinden gelenin maksimumunu yapıyordu. Bu sırada sıcak gazlar da dışarı doğru maksimum itiş gücüyle topun genişlemesini sağlamaya çalışıyorlardı. Eğer Güneş sürekli uzaya ısı yaymasaydı, bu iki karşıt kuvvetin mükemmel ve hassas bir dengede olması beklenirdi. Ancak yayıldığı için kaybolan ısı, gazın dışa doğru itme yetisini yok ederek kütleçekime meydan okuyordu. Kütleçekiminin daimi hâkimiyetinden dolayı şu sonuç kaçınılmazdı: Güneş büzüşerek küçülüyordu.

Bir gaz topu küçüldüğünde ısınır. Bir kez daha bisiklet pompasındaki havanın ısınmasını düşünün.⁶ Büzülmeyi çok yavaş gerçekleştiren bir meteor fırtınası gibi de düşünebilirsiniz. Ancak Güneş'in kütleçekiminin -göktaşına bağlı ısınma ile gerçekleşir- içinden çok hızlı düşen küçük miktarda madde yerine, kendi kütleçekiminin içinden yavaşça düşen büyük miktarda madde -Güneş'in kütlelerinin tamamı- söz konusudur. Her iki mekanizma da aynı nihai enerji kaynağına - kütleçekim enerjisi- gider. Waterson'ın da farkına vardığı gibi kütleçekim enerjisi, potansiyel olarak diğer kimyasal yakıt türlerinden çok daha büyük bir enerji deposudur.

Waterson'ın hesaplamalarına göre Güneş'in her yıl 280 metre -çapının yalnızca on milyonda biri bir mesafedir ve Dünya'dan kesinlikle gözlenemez- küçülmesi durumunda uzayda sürekli kaybolan ısının yeniden yerine konması mümkündür. Büzülme fikri umut vaat ediyordu. Ama test edilmesi gerekiyordu. Hem Kelvin'in hem de Alman çağdaşı Hermann von Helmholtz'un aklına bir şey geldi. İkisi de Güneş'in bugün küçülüyor olması durumunda geçmişte de küçülmüş olması gerektiği sonucunu çıkardılar. O zaman bir zamanlar Güneş'in devasa, hatta bugünkü Güneş Sistemi'nden bile büyük bir gaz bulutu olması gerekirdi. Kelvin ve Helmholtz bu dev gaz bulutunun küçülerek Güneş'in mevcut

boyutuna gelmesi için ne kadar kütleçekimsel enerjinin ısıya dönüşmüş olması gerektiğini hesapladılar. Daha sonra bu ısının ne kadar uzun süredir Güneş'in şimdiki gibi parlamışını sürdürmesini sağlayabileceğini sorguladılar. Buldukları yanıt 30 milyon yıldan fazla değildi.

30 milyon yıllık yaşam ömrü, karbon ile yanan ve 5 bin yıllık ömrü olan Güneş'ten çok daha iyiydi. Ancak çarpıcı bir biçimde bu da yeterli değildi. Dünya'nın -ve sonuç olarak Güneş'in, çünkü onun da en az Dünya kadar yaşı olması gerekiyor- Kelvin ve Helmholtz'un tahminlerinden bile çok daha yaşlı olduğuna dair güçlü jeolojik ve biyolojik kanıtlar bulunuyordu.

Hem jeologlar hem de biyologlar Dünya'yı radikal bir şekilde dönüştürecek süreçler tespit etmişlerdi. Ancak bunlar o kadar yavaş işliyordular ki insan ömrü içinde bile hissedilmeleri güçtü. Jeolojik açıdan bakarsak, zirvelerindeki deniz canlısı fosillerinden bir zamanlar denizin altında oldukları anlaşılan dağlar, gökyüzüne doğru millerce mesafe yükselmişlerdir. Biyolojik açıdan ise Yeryüzü'ndeki canlıların inanılmaz çeşitliliğinin tek bir basit atadan evrim geçirerek doğduğu görülmektedir. Darwin'in doğal seçim kavramı ile bir türden diğerine dönüşmüşlerdir. Bu dönüşümler Yeryüzü'nün yüzeyini, bitki örtüsünü ve hayvan varlığını şekillendirmiştir. Ancak evrimin gerçekleşmesi için kavranması güç, olağanüstü sürelerin geçmesi gerekmiştir. Yalnızca on milyonlarca yıl değil, yüz milyonlarca ve hatta milyarlarca yıl geçmiştir.

Güneş'in ne kadar süredir yanmakta olduğundan ve Güneş'ten gelen güç kaynağının ne kadar enerjiye gereksinim duyduğundan emin olmak için Dünya'nın ve Güneş'in yaşının doğru tahmin edilmesinin gerektiği açıktı. Böyle bir tahmin ise jeoloji ya da biyolojiden değil fizikten gelir. Bu da, çelişkili bir biçimde kuantum dünyasının öngörülemezliğinden yararlanarak öngörülebilirlik adına son sözü yaratır - bir 'saat'.

Doğanın tuhaflıklarını ve zayıf yanlarını avantajına çevirmek konusunda herkesten üstün olan kişi Ernest Rutherford'du. Ne de olsa arsız bir cesaret ile bir atom türünü -radyum- kullanıp başka bir atom türü-

nün -altın- iç yapısını ortaya çıkarmayı başararak atomu kendine karşı kullanan kişi oydu.⁷ Taşların yaşını belirlemek için radyoaktif atomları kullanma fikri de ondan çıkmıştı. 'Radyoaktif tarihlemenin' anahtarı, Rutherford'un 1900'de yapmış olduğu bir gözlem idi. O sırada incelediği bir numunenin radyoaktivitesi basit bir kurala dayanarak sona ermişti. Belli bir zaman geçtikten sonra atomların yarısı bozunmadan kalabilmişti; yine aynı süre geçtikten sonra çeyreği kalmıştı; bir kez daha aynı süre geçince sekizde biri kalmıştı ve bu durum böylece sürüp gitmişti. Bu zaman aralığına 'yarı-ömür' adı verilmişti ve her radyoaktif madde de kendi yarı-ömrünün uzunluğu ile niteleniyordu.

Rutherford, bu son derece çarpıcı bozunum kuralının aslında mikrokobik dünyanın indirgenemez rastlantısallığının kaçınılmaz bir sonucu olduğunu fark edememişti.⁸ Fark etmiş olsaydı, fotonlarda Tanrı'nın yaratışını gören Einstein'ın gördüklerini önceden sezebilirdi. Ama Rutherford bu keşif fırsatını kaçırmış olmasına rağmen başka bir keşifte bulundu. Radyoaktif bozunum kuralının son derece yaşlı şeylerin tarihini saptamak için güçlü bir araç olabileceğini fark etti.

Farklı radyoaktif maddelerin yarı-ömrüleri, saniyenin göz açıp kapayıncaya kadar geçen anlık bir bölümünden milyarlarca yıla kadar çok genişli olabilir. Yeryüzündeki taşlarda yaygın görülen uranyum örneğinde yarı-ömür 4,5 milyar yıl gibi inanılmaz uzun bir süredir. Genellikle uranyum gibi ağır bir çekirdeğin radyoaktif bozunmasının son noktası, kararlı kurşun elementidir. Dolayısıyla zaman geçtikçe uranyum içeren bir mineralin içindeki kurşun miktarı, uranyum miktarıyla karşılaştırıldığında artansızca büyür. Bu durumda bu oranı ölçmek, mineralin oluşumundan ve radyoaktif saatin tıklamaya başlamasından bu yana kaç yarı-ömrün geçmiş olduğunu ortaya çıkarır. Örneğin, taşın içindeki uranyumun yarı-ömür kaldıysa bir yarı-ömür geçmiş demektir; çeyreği kaldıysa iki yarı-ömür geçmiş denebilir. Örnekler bu şekilde çoğaltılabilir.

Amerikan fizikçi Bertram Boltwood, Rutherford'un radyoaktif tarihleme tekniğini sadeleştirmiştir. Sri Lanka taşlarının inanılması güç

bir biçimde 2,2 milyar yaşında olduğunu ortaya çıkarmıştır. Günümüzde Dünya'nın yaşıyla ilgili en iyi tahminler yeryüzündeki taşların değil uzaydaki taşların radyoaktif tarihlemesinden çıkmaktadır. Göktaşları, Dünya'nın Boltwood'un tahmininin iki katı bir süredir -yaklaşık 4,55 milyar yıldır- varlığını sürdürdüğünü göstermektedir. Genellikle göktaşlarının Güneş Sistemi'nin oluşumundan kalan yapı döküntüleri oldukları düşünülür.

Dünya'nın inanılması güç yaşı, bizlere Güneş'i sıcak tutmak için gereken muazzam enerji hakkında bir ipucu vermektedir. Kimyasal yakıtlar etkisiz değillerdir. Yalnızca bir galon petrol, bir ton ağırlığında bir arabayı 40 mil götürebilecek enerjiye sahiptir. Bir maraton koşucusu, bir tabak makarna yedikten sonra 26 mil koşabilir. Ancak kimyasal bir yakıt, Güneş'i 5 bin yıldan uzun süre sıcak tutamaz. Bu süreden bir milyon kat daha uzun olan Dünya'nın yaşı, Güneş'in yakıt kaynağının petrolden ya da makarnadan bir milyon kat daha etkili olduğunu gösteriyor.

Nükleer Enerji

Bilim insanları, bir radyoaktif madde tarafından dışarı pompalanan sıcaklığı ölçmek konusunda başarıya ulaştıklarında Güneş'e gerçek gücünü verenin ne olduğuyla ilgili ilk ipucu da ortaya çıkmıştır. Radyoaktive, Fransız fizikçi Henri Becquerel tarafından 1896'da keşfedilmiş olmasına rağmen çok küçük miktarlarda radyoaktif maddeler elde etmek bile çok zordur. Aslında Marie Curie'nin yaklaşık bir tonluk radyum ve uranyumlu maden cevherinden radyoaktif polonyum ve radyum parçacıklarını çıkarabilmesi için olağanüstü bir çaba göstermesi gerekmiştir. Ancak 1903 itibarıyla kocası Pierre ve çalışma arkadaşı Albert Laborde, onun yaydığı sıcaklığı ölçmeye yetecek kadar radyum toplamışlar, ve keşfettikleri şey karşısında hayrete düşmüşlerdir. Radyumun kendi ağırlığındaki suyu donma noktasından kaynama noktasına getirmeye yetecek kadar ısıyı yalnızca 45 dakikada yarattığını gördüler. Eğer bu yeterince etkileyici gelmiyorsa, aynı şeyi sonraki 45 dakikada da yapabildiğini düşünün. Hatta ondan sonrakinde, ve yüzyıllarca, binlerce yıl

boyunca tükenmeksizin bunu yapmayı sürdürebilir. Bir ton radyum ile her 45 dakikada bir ton suyu ısıtabilirsiniz - hem de sonsuza dek.

Curie ve Laborde'nin ölçümleri atom çekirdeğinin içindeki neredeyse sonsuz enerji deposunu ortaya çıkarmıştır. Başkalarının bu fikre katılmaları ve Güneş'in gücünü radyoaktiviteden aldığını öne sürmeleri için de fazla zaman geçmemiştir. Burada Rutherford hayal gücünün başka bir tür başarısızlığa uğramasından dolayı suçludur. 'Atomun parçalanmasıyla ortaya çıkan enerji çok zayıf bir enerji türüdür,' diye açıklama yapmıştır. 'Bu atomların dönüşümünden bir güç kaynağı çıkmasını uman herkes saçmalıyordur.' Rutherford radyoaktivitenin zayıf bir güç kaynağı olduğu konusunda yanılıyordu. Ancak Güneş'in radyoaktivite kuvvetinden enerji aldığına inananlar da yanılıyorlardı. Farklı elementlerin atomları karakteristik dalga boylarında ışık saçarlar. Bu da tıpkı bir ışık kaynağında kimliklerini belirleyen bir 'parmak izi' bırakmak gibidir. Ancak astronomlar güneş ışığını incelediklerinde radyum veya uranyum veya başka herhangi bir radyoaktif maddenin parmak izine rastlayamamışlardır. Buna rağmen yadsınamaz bir şey vardır: atom çekirdeği inanılmaz enerjilerin evidir. Ayrıca Güneş'e güç sağladığı düşünülen tek adaydır. O zaman Güneş'in enerjisi bakımından radyoaktivite umutsuz bir vakaysa, atomun çekirdeğinde zapt edilen enerjiyi açığa çıkarmanı başka bir yolu var mıdır?

Böyle bir yolun gerçekten de olabileceğine dair kanıt, beklenmedik bir yönden gelmiştir. Francis Aston adlı utangaç bir fizikçi, Birinci Dünya Savaşı'nın ardından kısa bir süre sonra önemli bir keşif yapmıştır. Cambridge Üniversitesi'nin bodrumunda farklı elementlerin atomlarının kütlelerini özenle ölçmek için bir makine geliştirmiştir. Aslında onun bu 'kütle spektrografi', farklı atomların yörüngelerinin bir manyetik alan tarafından nasıl eğilip büküldüğünü ölçümlüyordu. Tüm atomlar -açık bir ifadeyle yüklü atomlar veya 'iyonlar'- aynı elektrik yüküyle dolu olduğunda en çok bükülenlerin en küçük kütleye ve en az bükülenlerin ise en büyük kütleye sahip olmaları gerekir. Aston uçuşan atomların yoluna koyduğu bir fotoğraf klişesi ile onları kalıcı bir iz bırakmaya zorlayarak bunun nasıl gerçekleştiğini göstermiştir.

Farklı atomların kütlelerini ölçen Aston, hiç beklenmedik ve şaşırtıcı bir şey bulmuştur. Ancak bunu tam anlamıyla takdir etmek için atomlar -daha net bir ifadeyle atomların çekirdeği- hakkında bir şeyler bilmek gerekir. Onlar daha küçük yapı taşlarından meydana gelirler. Bu nükleer Lego taşı bir protonun -hidrojen çekirdeği- kütlesine sahiptir. (Aslında uygunsuz olmasına rağmen doğanın proton kütlesine sahip iki farklı yapı taşı kullandığını görüyoruz: protonun kendisi ve henüz 1932'de keşfedilen nötron). En hafif element olan hidrojenin çekirdeği bir nükleer Lego taşından oluşur; ağırlık sıralamasında onun ardından gelen helyum, dört taştan; sıradaki lityum altı taştan oluşur. Bu oluşumlar 238 Lego taşından oluşan uranyuma kadar böyle gider.

Dört taştan oluşan helyumun hidrojen çekirdeği gibi tek taşlı bir yapıdan dört kat ağır olacağını söylemek mantıklı olacaktır. Aynı şekilde lityumun altı kat ve uranyumun ise 238 kat ağır olması beklenir. Barındırdığı Lego taşı sayısına göre ağırlıkların da benzer oranda artış göstermesi beklenecektir. Ancak Aston'un ortaya çıkardığı gerçek öyle değildi. Onun kütle spektrografı, makul beklentilerin aksine her çekirdeğin içinde bulunan Lego taşlarının toplamından daha *az* ağırlığa sahip olduğunu gösteriyordu. Bir tartıya on tane birer kiloluk pirinç paketi koyduğunuzu ve toplam ağırlığın dokuz kilo geldiğini hayal edin. Aston'un fizik dünyasında bomba etkisi yaratan buluşu buydu. Başka bir açıdan bakalım. Eğer ağır bir çekirdek bir şekilde temel yapı taşlarının bir araya gelmesinden oluşuyorsa, süreç sırasında kütle yok olup gidecektir. Ama nereye gider? Bu sorunun yanıtı, Güneş'in güç kaynağının da anahtarı olacaktır.

Sağduyu kütlenin yok olamayacağını söylüyor. Ancak 1905 yılında Einstein'ın keşfi tam da bu yöndedir. Onun özel görelilik teorisi, uzayın ve zamanın doğası ile ilgili fikirlerimizi sonsuza dek değiştirmiştir. Ancak aynı zamanda beklenmedik bir şeyi de ortaya koymuştur: kütlenin bir enerji türü olduğunu. Elektrik enerjisi, hareket enerjisi ve diğer tüm görülebilir enerji türlerinin bulunduğu listeye yeni bir üyenin daha eklenmesi gereklidir: kütle enerjisi. Enerjinin korunumu yasasına göre

bunun önemi enerjinin yoktan var edilemez, varken yok edilemez ve yalnız bir türden diğerine dönüşebilir olmasındadır. Dolayısıyla eğer kütle bir enerji türüyse, kütle enerjisinin diğer enerji türlerine dönüşebilmesi gerekir. Enerjinin yok olamamasına rağmen kütle yok olabilir. Ama eğer nükleer Lego taşları bir araya gelerek daha büyük bir çekirdek oluşturuyorlarsa bu nasıl gerçekleşebilir?

Önemli olan her şeyi bir arada tutan kuvvete odaklanmaktır. Çakıllarla dolu sahile düşen taş örneğini anımsayın. Bu ikisini birbirine çeken şey, taş ile Yeryüzü arasındaki kütleçekimi kuvvetidir. Taşın sahile vurmasıyla birlikte, Yeryüzü'nün kütleçekimsel kuvvet alanından gelen enerjisi serbestçe -nihai ısı enerjisi olarak- açığa çıkar. Bir araya gelen nükleer Lego taşları için de neredeyse aynı şeyler geçerlidir. Onları birbirine çeken ve hızlandıran bir kuvvet vardır. Ayrıca, şiddetli bir şekilde, yüksek hızla birbirlerine vurduklarında, Lego taşları arasındaki kuvvet alanından gelen enerji -nihai ısı enerjisi olarak- serbestçe açığa çıkar. Nükleer Lego taşları arasındaki kuvvete 'yeğın nükleer kuvvet' denir ve kütleçekiminden birkaç yönden ayrılır. Ayrıldığı en önemli nokta, kütleçekiminden 10 bin trilyon kere trilyon kere trilyon kat daha güçlü olmasıdır. Boşu boşuna 'yeğın' olarak nitelenmemektedir.

Bir kez daha düşen taş, sahil üzerindeki etkisinin şiddetini ve açığa çıkan enerjisini düşünün. Şimdi kütleçekiminin 10 bin trilyon kere trilyon kere trilyon kat daha güçlü olması halinde açığa çıkan enerjiyi ve şiddeti hayal edin. Belki de artık nükleer Lego taşlarından ağır bir çekirdeğın oluşumu sırasında açığa çıkan inanılmaz enerjiyi takdir ediyorsunuzdur. Çekirdeğın inanılmaz enerjilerin evi olmasının nedeni kısaca budur.

Aston'un çekirdeğının bileşenlerinin toplamından daha hafif gelmesinin nedeni de budur. Yaratılışları sırasında açığa çıkan inanılmaz enerjinin bir yerlerden gelmesi gerekiyordu ve o da bileşen parçacıkların kütle enerjisinden gelmiştir. Aston'un kütle spektrografı, Einstein'ın teorik öngörüsünün -kütlenin bir enerji türü olduğu ve bu nedenle başka

enerji türlerine dönüştürülebileceği tahmininin- pratik ayrıntılarla dolu gerçeğini ortaya çıkarmıştır.

Kütle enerjisi, tüm enerji türlerinin en yoğunu olduğu için özeldir. Bir kütle (m) içinde yer alan enerji (E), fiziğin tartışmasız en ünlü formülü ile ifade edilir: $E=mc^2$. Burada c , fizikçilerin ışık hızı için kullandıkları semboldür. Einstein'ın formülünü ve Aston tarafından ölçülen kayıp kütleleri kullanarak, çekirdeğin oluşumu sırasında bileşenleri olan yapı taşlarından açığa çıkan enerjiyi ölçmek olasıydı. Rakamlar şaşırtıcıydı. Çekirdeğin yapısı dinamitten yaklaşık bir milyon kat fazla enerjiyi açığa çıkarmıştı.

Bir milyon faktörü oldukça manalıydı. Tam da karbon ya da dinamit gibi kimyasal bir yakıtın Güneş'i aydınlatmada yetersiz kalmasına neden olan faktördü. Nükleer dönüşümler 'saçmalığından' doğan güç kaynağı olasılığını dile getiren Rutherford'un sözünü geri alması gerekmişti. 'Eğer bileşen elementlerin içsel enerjisinin var olduğu düşünülüyorsa, Güneş enerjisinin sürdürülmesi artık temel bir güçlük içermemektedir,' demiştir. 'Yani atomdan küçük değişim süreçleri devam ediyorsa.'

Nükleer Enerji ve Güneş

Ancak Güneş'e güç veren atomdan küçük değişim süreçleri ne olabilir? Aston'un keşfi, bir çekirdeğin basit Lego taşlarının bir araya gelmesiyle oluşması halinde barajdan boşalmış bir enerji selinin açığa çıkması gerekeceğini kesin bir biçimde göstermiştir. Ama Güneş'in içinde böyle bir element birikimi sürecinin devam ediyor olma olasılığı neydi? Yapı taşlarının tıpkı bir sokağın köşesinde tesadüfen karşılaşarak bir araya gelen arkadaşlar gibi toplandıkları görülüyordu. Daha büyük bir olasılık ise onların sokağın köşesine teker teker gitmeleri idi. Benzer bir şekilde eğer Güneş'in içinde bir element birikimi devam ediyorsa, bunun her seferinde bir yapı taşının özenle eklenmesiyle artarak devam etme olasılığı çok daha yüksekti. Aslında bunun gerçekten de böyle olduğuna dair kanıtlar vardı. Aston'un verilerinde bulunuyorlardı. Ya da kütle spektrografını sadeleştirerek atom çekirdeğinin kütlesiyle ilgili ölçümlerini daha da netleştirirken kullandığı verilerde bunlar da vardı.

Aston'un orijinal keşfi, her atom çekirdeği kütesinin bileşenleri olan yapı taşlarının toplamından küçük olduğu yönündeydi. Einstein'ın keşfinin ışığında bir çekirdeğin gelişigüzel bir araya gelmiş bir oluşum olması halinde kütle enerjisinin kaybolacağı ve başka enerji türlerine dönüşeceği açıkça görünüyordu. Ancak bir çekirdek türünü oluştururken ne kadar kütle enerjisinin kaybolduğunu bilmek, diğer çekirdeklerle anlamlı bir karşılaştırma yapmaya olanak tanımamaktadır. Çünkü elbette bazı çekirdekler diğerlerinden büyüktür. Karşılaştırma için daha iyi bir ölçü ise yapı taşı başına kaybolan kütle enerjisi olacaktır. Ne de olsa kaybolan kütle enerjisi ne kadar büyükse, çekirdeğin yapı taşlarının daha hafif olduğu görülecektir.

Bu ölçüyü kullanan Aston, verilerinde farklı bir model görmeye başladı. Demir ve nikelin çekirdekleri -içerdikleri yapı taşı sayısına bakıldığında oldukça ortalama çekirdeklerdir- en hafif bireysel yapı taşlarından oluşuyorlardı. Nikel ve demirden daha az yapı taşı içeren elementlerin çekirdeklerinin daha ağır yapı taşları vardır. Daha fazla yapı taşı olanların da öyle.

Bu durumu en açık şekilde gösteren bir grafik vardır. Aston bir sayfa üzerine solda hidrojen'den başlayarak en sağda yer alan uranyuma kadar artan sayılarda yapı taşına sahip olan çekirdekleri çizmiştir. Sayfanın en üstüne çekirdeğin yapı taşlarının ağırlığını yazmıştır. Burada ortaya çıkan grafik bir vadi şeklindedir. Vadinin en altında demir ve nikel çekirdekleri yer alır. Sol eğimin en tepesinde helyum gibi küçük elementlerin çekirdekleri bulunurken sağ eğimin tepesinde ise uranyum gibi büyük elementler bulunur.

Nükleer yapı taşı başına küçük bir kütle ile çekirdeği oluşturan bileşenlerin bir araya gelmesi sırasında kaybolan büyük kütlenin anlamı aynıdır. Eğer kaybolan kütle büyükse bunun tek nedeni, bileşenlerinin kuvvetli bir çekim gücü ile birbirlerine şiddetli bir şekilde çarpmış olmalarıdır. Dolayısıyla böyle bir çekirdek sıkıca bir arada tutulmakta olup son derece karardır. Buna göre Aston'un eğrisi, en hafif yapı taşlarına sahip olan nikel ve demirin doğadaki en kararlı ve en sıkıca bir arada

tutulan çekirdeklere de sahip olduğunu gösterir. Bu nedenle bu vadiye 'nükleer istikrar vadisi' denebilir.

İlk bakışta Güneş'in nükleer enerjisini yaymak için yararlandığı gizemli süreç ile bunların bir ilgisi yokmuş gibi görünebilir. Ama vardır.

Doğada cisimlerin enerjilerini olabildiğince minimize etmeleri yönünde bir eğilim vardır. Örneğin vadinin bir kenarında duran bir futbol topu, kütleçekimsel enerjisini en aza indirmek için aşağıya yuvarlanmaya çalışacaktır. Aston'un nükleer istikrar vadisindeki çekirdekler de aynı futbol topları gibi davranırlar. Fırsat buldukları anda kütle-enerjilerini minimize etmek için eğimli yerlerden aşağı yuvarlanacaklardır. İdeal olarak en aşağıya kadar yuvarlanacaklardır - yani kendilerini demir veya nikel çekirdeğine dönüştüreceklerdir. Ancak uygulamada yapabilecekleri en iyi şey, en azından bir sıra kayacak şekilde kısa bir mesafe yuvarlanmak olacaktır.

Bu durum radyoaktivitenin neden temel olarak uranyum gibi büyük ve ağır çekirdeklerle ilgili bir olgu olduğuna doğrudan ışık tutar. Çünkü onlar nükleer istikrar vadisinin sağ eğiminin tepesinde yer almaktadırlar. Bu eğimden aşağı yuvarlanarak -yani daha küçük ve daha hafif çekirdeklere ayrılarak- yapı taşı başına kütle-enerjilerini azaltabilirler. Sol eğimin tepesinde yer alan bir çekirdek de eğimden aşağı yuvarlanarak -yani kendini daha büyük ve daha ağır bir çekirdeğe dönüştürerek- yapı taşı başına kütle-enerjisini azaltabilir. Böyle bir element oluşumu -radyoaktivitenin tam tersi- süreci, fazladan nükleer enerjinin radyoaktif bozunma kadar kesin bir biçimde serbest kalmasına neden olacaktır.

Aston'un ölçümleri Güneş'e güç sağlaması olası bir nükleer süreci beklenmedik bir biçimde ortaya atmıştı. Güneş'in içinde bir yerlerde küçük ve hafif çekirdeklerin bir araya gelerek birikmesi veya daha büyük, daha ağır çekirdekler oluşturacak şekilde 'kaynaşması' mümkün müydü? Bu olasılık 1920' li yıllarda İngiliz astronom Arthur Eddington tarafından büyük bir coşkuyla benimsenmişti. Eddington, 1919 yılında yaşanan tam Güneş tutulması sırasında Güneş'in çekim kuvveti ile eğrilen

yıldız ışığını ölçüp, bunun Einstein'ın teorisinde öngördüğü şeyin aynısı olduğunu doğrulayarak Einstein'ın haklılığını kanıtlayan ve onu bilim dünyasının süper starı konumuna taşıyan ilk isim olmuştur. Bir fizikçi tarafından kendisine dünya üzerinde Einstein'ın teorisini anlayan üç insandan biri olduğunun iddia edilip edilmediği sorulduğunda Eddington şu soruyla yanıt vermiştir: 'Diğerleri kim?'

Eddington bu oluşum sürecinin ilk adımda hedefi onikiden vurmuştur: en hafif element olan hidrojen ile ikinci en hafif element olan litiumun füzyonu (kaynaşması). Aston'un kütle spektrografından alınan verilere göre böyle bir süreçte kütlelerin yüzde 0.8'lik parçası yok olur ve ısıya dönüşür. Bu da herhangi başka bir füzyon sürecinden çok daha fazlasıdır. 'Bence yıldızlar daha hafif olan atomların birleşerek daha karmaşık elementler oluşturduğu potadır,' demiştir Eddington.

Hidrojenin helyum ile füzyonu gelecek vaat ediyordu, çok ümit vericiydi. Ama iki büyük problem vardı. İlki -oldukça ciddi olanı- Güneş'in hiç hidrojen içermiyor gibi görünmesiydi. Her yere ışığıyla damgasını vuran Güneş'in daha çok demirin parmak izi niteliklere sahip olduğu görülüyordu. Görünüşe göre Güneş'in büyük bir bölümü demirden meydana geliyor gibiydi. Ancak bir bilim insanı bundan farklı bir görüşü öne sürmüştür. Adı Cecillia Payne'dir ve tartışmasız bir biçimde yirminci yüzyılın astronomi alanındaki en önemli doktora tezini yazmıştır. Payne, kuantum teorisini derinlemesine biliyordu. Teoriye göre bir atomun içindeki bir elektronun bir yörüngeden daha düşük enerji seviyesindeki başka bir yörüngeye düştüğü her seferinde enerji fazlası, karakteristik bir dalga boyu olan bir ışık olarak etrafa yayılıyordu. Payne, içgörüsüyle bir elementin çok yaygın olmasına rağmen varlığını işaret edecek çok az bir ışık yaymasının mümkün olabileceğinin farkına varmıştı. Örneğin, bir elementin atomları için elektronlarından kurtulabilmelerine yetecek kadar sıcaklık varsa bu olabilirdi. Payne, Güneş'in yüzeyinde gözlenen tipik sıcaklık olan 5,600 derecede hidrojenin yaptığının da tam olarak bu olduğunu göstermiştir.

Payne'in hesaplamalarının bir elektronu olan hidrojenin yalnızca küçük bir bölümünü göstermesi gerçeğine karşın Güneş'in üzerindeki hidrojen halen fark edilebilir ölçüde ışık yayıyordu. Payne, bunun gerçekleşmesinin tek yolu olduğunu fark etti: eğer atomların küçük bir bölümü, müthiş büyük bir rakamın küçük bir bölümüyse. Hesaplamalarına göre Güneş'te çok fazla miktarda hidrojen bulunuyordu. Tüm atomların yüzde doksanı hidrojendi. Güneş ışığının demirden gelen ışığın çok farklı dalga boylarını göstermesinin nedeni, Güneş'in içinde demirin yaygın olarak bulunması değil demir atomlarının çok sayıda elektrona -tam ifadeyle 26 adet- sahip olmasıdır. Bu yüzden bu atomlar hiçbir zaman tüm elektronlarından kurtulamazlar. Bu kadar çok elektrona ve bu elektronların atlayabileceği çok sayıda farklı yörüngeye sahip olan Güneş'teki demir, yüzlerce farklı dalga boyunda ışık yaymaktadır.

Astronomlar bunun ardından hidrojenin sadece Güneş'in üzerindeki atomların yüzde 90' ına değil Evren kapsamında da aynı orana sahip olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Yeryüzü'nü oluşturan elementlerin -siz ve ben de buna dahiliz- sıradan maddenin küçük atıkları olduğunun farkına varmaya başlamışlardır. Buna rağmen Payne'in keşfi son derece tartışmalıdır. Zamanın astronomlarının çoğu, demir Güneş'e inanmaya devam etmişlerdir. Payne, Evren'in temel bileşenlerini keşfetmiş olmasına rağmen, danışmanı Henry Norris Russell adlı seçkin bir Amerikalı astronom bu tür iddialarla ortaya çıkmaması için kendisine baskı yapmıştır. 1925 yılında yayınlanan tezinde vardığı sonucu 'yüzeysel' olarak tanımlamıştır. İronik bir biçimde dört yıl sonra Payne'in haklı olduğuna dair pek çok kanıt ortaya çıkmasıyla birlikte bu keşiften dolayı kendine büyük paye çıkaran kişi yine Russell olmuştur. Yirminci yüzyılın başlarında bir kadın astronomun payına düşen de budur.⁹

Ancak Eddington'a göre Payne'in çalışması yalnızca olması gereken bir şeyin doğrulanmasıydı. Güneş'in hidrojenin helyum oluşturmak için füzyona girdiği sırada serbest kalan ısı enerjisinden güç aldığına inanılıyordu. Bu nedenle kim ne derse desin Güneş'in önemli miktarda hidrojen içermesi gerekiyordu. Ancak Güneş bir hidrojen topu bile olsa,

hidrojen füzyonu fikriyle ilgili ikinci bir problem daha vardı: Güneş yeterince sıcak değildi.

Daha önce belirttiğimiz üzere temel nükleer yapı taşları, yeğin nükleer kuvvet tarafından kompozit çekirdekler oluşturmak için birbirine sıkıca bağlı kalırlar ve bu yeğin kuvvetin pek çok bakımdan kütleçekiminden farklı olduğuna dikkat çekilmiştir. Ayrıldığı noktalardan biri, kütleçekiminden 10 bin trilyon trilyon kere trilyon kat daha güçlü olmasıdır. Diğer önemli bir farklılık ise inanılmaz kısa bir menzili olmasıdır. İki nükleer yapı taşı, neredeyse birbirlerine değecek kadar yaklaşımlarına rağmen herhangi bir çekim gücü hissetmezler. Sonra -vıınnn- Uzay Yolu'ndaki o ışık huzmesinin mikroskobik dünyadaki benzerine tutulurlar ve sınırsız bir güce sahip bir darbenin etkisiyle ani bir dönüşüm yaşarlar.

Hidrojen çekirdeklerinin birbirlerine yapışarak helyumu oluşturmaları için birbirlerine çok yaklaşımları gerekir. Geri kalanı yeğin nükleer kuvvetin çekimi halledecektir. Ancak iki hidrojen çekirdeğini birbirine bu kadar yaklaştırmak söylendiği kadar kolay değildir. Rutherford, gezegensel atom modelinden yola çıkarak çekirdekte, yörüngede dönen elektronların eksi elektrik yükünü dengeleyen büyük bir artı yüklü parçacığın -'proton'- olması gerektiği sonucuna varmıştı. En hafif element olan hidrojenin çekirdeği tek bir proton içerir. Ancak benzer yükler birbirini iter. Yeğin nükleer kuvvetin çekimini hissetmek için iki protonu birbirine yeterince yaklaştırmak, şiddetli geri tepme kuvvetini alt etmek demektir.

Güneş'in içindeki hidrojen çekirdekleri çılgın bir hareketlilik içindedir. Ne kadar sıcak olursa protonlar da o kadar hızlı hareket ederler ve birbirlerine o kadar şiddetli çarparlar. O zaman hidrojen çekirdeklerinin karşılıklı itişlerini yenmeye yetecek kadar şiddetli bir şekilde birbirlerine çarpımları için ne kadar sıcaklık gerekir? Eddington yanıtı yaklaşık 10 milyar derece hesaplamıştır. Peki, o zaman Güneş yeterince sıcak mıdır?

Büyük olasılıkla elinize bir termometre alarak oraya gitmediğiniz sürece Güneş'in merkezindeki sıcaklığı belirlemenin olmayacak bir iş olduğunu düşünüyorsunuzdur. Ancak Eddington Güneş'in bir gaz topu

olduğunu varsayarak ve merkezindeki maddenin ne kadar sıkıştırılmış olduğunu ölçerek sıcaklığını da tahmin edebilmiştir. Daha önce söz ettiğimiz bisiklet pompası etkisi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Güneş'in sıcak olma nedeninin Güneş'in güç kaynağı ile hiçbir ilgisi olmadığını hatırlayın. Sıcaktır, çünkü içeri doğru baskı yapan pek çok kütle içerir. Eddington o kütlelerin merkezi ne kadar sıcak yaptığını hesaplamıştır. Onun yanıtına göre onlarca milyon derece (günümüzdeki rakam ise 15 milyon derecedir) sıcaklık olmalıdır. Ancak buradaki sorun şuydu: bu sıcaklık derecesi, Güneş'in sıcaklığını yaratan bilinen tek enerji kaynağı olan hidrojenin helyum ile füzyonu için gerekenden yaklaşık 1000 kat daha soğuktur. Birçokları için bu ciddi bir darbe sayılabilirdi. Ancak Eddington doğru yolda olduğuna ikna olmuştu. Güneş'in füzyon için yeterince sıcak olmadığına dair ileri sürdüğü fikri küçümseyenlere ise sert bir yanıt vermişti: 'O zaman gidin ve daha sıcak bir yer bulun' (bu sözleri 'Cehenneme kadar yolunuz var!' olarak da yorumlanabilir).

Kurtuluşu tamamen beklenmedik bir yönden gelmişti: kuantum teorisi. Ya da daha spesifik bir ifadeyle Heisenberg belirsizlik ilkesi. İngiliz fizikçi Robert Atkinson ve Alman fizikçi Fritz Houtermans 1929 yılında Berlin'de bu problemi ele aldılar. Güneş'in içindeki iki çekirdeğin yeğin nükleer kuvvetini hissederek birlikte değişebilecek kadar birbirlerine yaklaşmalarının nasıl gerçekleşebileceğini incelediler. Bu problemi zihinlerinde aşağıdaki gibi canlandırdılar: çekirdeklerden biri diğerine giderek daha fazla yaklaştıkça git gide daha güçlü bir geri tepme hissedecektir. Ta ki en sonunda bu geri tepme kuvveti birdenbire güçlü bir çekim kuvvetine dönüşene kadar birbirlerine yaklaşacaklardır. Tıpkı dimdik bir yamaçtan yukarı doğru bir topu itmeye benzer. En sonunda en tepeye vardığınızda topun dikine düşeceği bir maden kuyusu gelir. Güneş'in içindeki çekirdekle ilgili sorun da budur: yamaçtan yukarı doğru itilen bir topa benzer ama en tepeye ulaşarak maden kuyusuna düşmesine yetecek kadar enerjisi yoktur.

En azından eski fiziğe göre durum buydu. Atkinson ve Houtermans, kritik bir biçimde olayların kuantum teorisindekinden farklı olduğunu

fark ettiler. Her parçacığın kendisiyle ilintili bir kuantum dalgasının olduğunu ve her yerde bu kuantum dalgasının yüksekliğinin karesinin o yerde o parçacığı bulma olasılığı veya şansı olduğunu hatırlayın. Dolayısıyla örnekteki top, yeri belli olan bir şey değildir. Bir bakıma bir gölün üzerindeki hörgüçlü bir dalga gibi yayılmıştır. Yani zirvenin altındaki yamaçta olduğunda bile kuantum dalgası o yamaca nüfuz eder, tepenin ortası boyunca açılmış maden kuyusunun duvarını delip geçer. Maden kuyusuna nüfuz eden şey, dalganın minicik bir parçası bile olsa, topun orada bulunmasıyla -başka bir ifadeyle, onun yamaçta gözden kaybolması ve tünelde yolunu bulmuş gibi spontane bir şekilde maden kuyusunun içinde ortaya çıkmasıyla- ilgili ufak bir olasılık yeterlidir.

Bu 'kuantum tünellemesi' kuantum dalgalarının yayılmacı doğasının ve parçacıkları belli bir yere oturtmanın imkânsızlığının sonucu olarak ortaya çıkan Heisenberg belirsizlik ilkesinin bir sonucudur. Atkinson ve Houtermans, gerekli sıcaklıklardan 1000 kat soğuk olan Güneş'in derecesinde hidrojen çekirdeğinin helyum çekirdeği ile füzyona girmesine olanak tanıyan önemli kayıp unsurun bu olduğunu fark etmişlerdi. Bu iki fizikçinin yapması gereken tek şey, sürecin detaylarını belirlemektir.

Bir hidrojen çekirdeği tek bir tane temel nükleer yapı taşından ve helyum çekirdeği ise dört tanesinden meydana gelir. Ancak aynı anda dört hidrojen çekirdeğinin birbirleriyle karşılaşma ve birbirlerine tutunma olasılığı saflık sınırlarının ötesinde denebilecek kadar küçüktür. Daha da kötüsü, doğada iki protonlu bir çekirdek bile yoktur. Oluşmadan dağılacaktır. Bu nedenle iki protonun birbirleriyle çarpışmaları ve bir arada tutunmaları olası bile değildir. Hidrojen füzyonuyla ilgili bu tür engellerle karşılaşan Atkinson ve Houtermans'ın daha etraflıca düşünceleri gerekiyordu. Hayal ettikleri oluşum 'proton tuzağı kuran' bir çekirdekti. Bunun Güneş'in içinde aylak aylak dolaşan ve protonların boy hedefi olan oldukça büyük bir çekirdek olması gerekirdi. Beraberinde ise içeride çarpışan ve tünel oluşturan bir protonun gelmesi gerekirdi. Sonra başka bir tanesinin, ve başka bir tanesinin. Proton tuzağı kuran

çekirdek, en sonunda dört tane protonu yuttuktan sonra hazımsızlığın nükleer benzerine yenik düşerek oluşumu tamamlanmış bir helyum çekirdeği kusmalıydı. Asıl önemli olan nokta, böyle bir çekirdeğin oluşumu sırasında dört protonun kütle enerjisinin yüzde 0,8'inin yok olarak daha sonra tekrar ısı enerjisi olarak ortaya çıkmasıdır.¹⁰

Böyle bir sürecin sıcak bir yaz gününde yüzümüzde hissettiğimiz güneş ışıklarını gerçekten oluşturup oluşturamayacağını sormak gerekir. Atkinson ve Houtermans, Güneş'in içindeki koşullarla ilgili makul rakamlardan yola çıkarak gereken hesaplamaları yapmıştır. Vardıkları sonucun Herschel ve Pouillet tarafından ölçülen sıcaklık derecesi ile son derece uyumlu olması da sevindirici bir durum olmuştur. Houtermans ile ilgili anlatılan bir öyküye göre bundan iki gece sonra kız arkadaşıyla dışarıdayken, sevgilisinin gökyüzündeki yıldızlara bakıp "Ne güzel parlıyorlar, değil mi?" dediği ve Houtermans'ın da gururla şöyle yanıt verdiği anlatılır: "Düne kadar onların neden parladıklarını bilmiyordum."

Aslında Houtermans biraz erken bir çıkış yapmıştı. O ve Atkinson kendi projeleri için çok önemli olan proton tuzağı kuran çekirdeğin kimliğini bilmiyorlardı. Aslında bu iki fizikçi çekirdeğin iki temel bileşeninden birini de bilmiyorlardı. 1932 yılında İngiliz bilim insanı James Chadwick'in proton ile aynı kütleye sahip ama elektrik yükü olmayan 'nötronu' keşfetmesiyle öğrenmiş oldular. Chadwick'in bu keşfi en hafif ikinci element olan helyumun çekirdeğinin neden ilkinin iki katı değil de dört katı ağırlığında olduğunu; 92. element olan uranyumun neden hidrojenin 92 katı değil de 238 katı ağırlığa sahip olduğunu ve benzeri örneklerin nedenlerini anında ortaya çıkardı. Her çekirdek nötronlar tarafından şişiriliyordu. Bir çekirdeğin ne tür bir element oluşturduğu protonlarının birbirini tamamlamasına bağlıydı, çünkü onun kimyasını belirleyen eşit sayıda elektron ile dengeleniyorlardı. Ancak çekirdeğin kütlesi protonlar ile nötronların toplamıyla, yani toplam parçacık sayısı ile belirleniyordu. Alışkanlık olduğu üzere bilim adamları çekirdekleri toplam kütleleri ile adlandırırılar. Buna göre element 92, yani uranyum

çekirdeğine uranyum-238 adı veriliyordu, çünkü 92 protona ve 146 nötrona sahipti. Toplamda 238 nükleer parçacığa veya 'nükleona' sahipti. Heliumun çekirdeği ise helyum-4 olarak anılıyordu, çünkü sahip olduğu iki protonun yanı sıra iki de nötron barındırıyordu.

Tüm bunların ışığında bir helyum çekirdeği oluşturmanın en iyi yolu, iki proton ve iki nötronun bir araya gelerek birbirlerine yapışmaları gibi görünebilir. Ne yazık ki serbest nötronlar yaklaşık on dakika içinde kendi kendilerini imha ederek protonlara ve birkaç şarapnel parçasına dönüşürler. Bu nedenle Güneş'in içinde nadiren görünürler. İyi helyum pişirmenin bu tarifiyle ve doğanın sunduğu bu münâyıle geride kalan tek olasılık, dört protonun bir araya gelerek birbirlerine yapışmalarıdır. Ancak Chadwick'in keşfinden sonra protonlardan ikisinin nötronlara dönüşmesinin gerektiği açıkça görülmektedir. Bu da kedilerin köpeklerle dönüşmesinin nükleer dengi sayılabilir. Proton tuzağı kuran bir çekirdeğin içinde böyle bir şeyin nasıl olabileceğini hiç kimse bilmemektedir; ancak çekirdeğin yüksek hızda elektronlar püskürttüğü radyoaktif beta bozunmasında çekirdeğin içindeki bir nötronun kendiliğinden bir protona dönüştüğü bilinmektedir. Bu nedenle doğanın bunun tam tersini de yapabileceği -bir protonu bir nötrona dönüştürebileceği- düşünülebilir.

Bayrağı Houtermans ve Atkinson'dan devralan isim, 1933'te Hitler'in başa geçmesiyle birlikte Almanya'dan ayrılmak zorunda kalan Yahudi nükleer fizikçi Hans Bethe'dir. 1938'de Amerika'da düzenlenen yıldız enerjisi problemi ile ilgili bir konferans sonrasında Bethe birdenbire en sonunda Güneş'e gücünü veren anlaşılması güç nükleer reaksiyonları tanımlayabilecek kadar çok sayıda farklı çekirdeğin niteliği hakkında bilgi sahibi olduğunu fark etti. Ukraynalı-Amerikalı fizikçi George Gamow-konferansı organize eden ve renkli öyküleriyle bilinen bir adamdı- tarafından anlatılan bir öyküye göre Beth, New York'a dönerken bindiği trende şu açıklamayı yapmıştır: 'Eninde sonunda bizim yaşlı güneşimize uyacak reaksiyonu bulmamız o kadar da zor olmamalıdır. Akşam yemeği

öncesinde bunu bulacağımdan eminim.' Sonra da, Bethe önündeki peçeteye hidrojenin helyum ile füzyon oluşturmasıyla sonuçlanacak nükleer reaksiyon zincirini yazmaya başlamıştır.

Bethe, proton tuzağı kuran çekirdeğin karbon olması gerektiği sonucuna varmıştı. Peçetesine aceleyle yazdığı nükleer reaksiyonlar zinciri de karbon-nitrojen-oksijen ya da CNO döngüsü olarak biliniyordu; çünkü bu süreçte nitrojen ve oksijen de vardı. Tesadüf eseri aynı anda Almanya'da da CNO döngüsü keşfedilmişti. Keşfeden isim ise Hitler'in Dışişleri Bakanlığı'ndaki en üst düzey ikinci adamın oğlu olan Carl Friedrich von Weizsäcker'di. Yani en sonunda yüzlerce yıl süren spekülasyonların ardından Güneş'in güç kaynağı -CNO döngüsü tarafından hidrojen füzyonu- tanımlanmıştı. Pek de öyle değildi aslında.

Bethe ve von Weizsäcker'in nükleer reaksiyonlar zinciri, hidrojenin helyum ile füzyona girmesinin ve atom çekirdeğinde depolanan muazzam enerjiyi serbestçe dışarı salmanın bir yoluydu; ama başka bir olasılık daha vardı. 1932'de Amerikalı kimyager Harold Urey, ağır bir hidrojen türünü buldu. Tek protonu olan sıradan hidrojenin (hidrojen-1) aksine ağır hidrojen (hidrojen-2) bir proton ve bir nötrona sahipti. Döteryum adı verilen hidrojen-2'nin keşfi, Güneş'te nükleer reaksiyonlar yaratan güneş ışığını yeniden düşünmemizi sağladı.

İki protona sahip kararlı bir çekirdeğin var olmaması, her seferinde bir proton ekleyerek helyum oluşturmaya giden yolda engel teşkil ediyordu. Elbette bu, proton tuzağı kuran bir çekirdeğin varlığını doğru varsaymanın neden gerekli olduğunu gösteriyordu. Ancak döteryumun varlığı Güneş'in içinde çarpışan iki protonun olabileceğini ve kararlı bir çekirdek olan döteryumu oluşturabileceğini göstermişti. Bu mümkün müydü? Öyle olsaydı, o zaman döteryumun mini bir proton tuzağı kuran çekirdek gibi davranması gerekirdi. İlave edilen protonun helyumun CNO döngüsü dışında işlenebileceği daha kolay bir yol sağlaması gerekirdi.

Bethe, döteryum rotasının aslında mümkün olduğunu ortaya çıkardı ve öğrencisi Charles Critchfield ile birlikte çalışarak detayları belirlediler. Von Weizsäcker de aynı süreci bağımsız olarak Almanya'da yürütü-

yordu. CNO döngüsünde olduğu gibi tünelleme 'proton-proton zincirinin' merkezinde yer alıyordu. Helyumun hafif bir izotopu olan helyum-3 çekirdeği oluşturmak için bir döteryum çekirdeğine tünellenen bir proton vardı ve sonra helyum-3 çekirdeği gerçekten de başka bir helyum-3 çekirdeğine tünelleniyordu. Bu da aynı süreci yeniden başlatmak için iki protonun kaldığı arzulan helyum-4 çekirdeğini yaratıyordu.

Hangi sürecin -CNO döngüsü mü yoksa proton-proton zinciri mi- Güneş'e güç sağladığı soru işaretiydi. Bir protona yaklaşan bir proton, daha yüklü bir karbon çekirdeğine yaklaşan bir protondan daha az geri tepme yaşayacağı için proton-proton zinciri, CNO döngüsünden daha düşük sıcaklıklarda işlevini sürdürebilir. Dolayısıyla her şey Güneş'in merkezindeki kesin ve net sıcaklığa bağlıdır. Yavaş yavaş Güneş'in merkezindeki sıcaklıkta proton-proton zincirinin CNO döngüsünden galip çıkacağı açıkça görülmüştür. Çok daha etkili olacaktır. Öte yandan Güneş'ten daha sıcak, daha büyük bir yıldızda CNO döngüsü geçerli olacaktır. Nükleer reaksiyonların proton-proton zinciri, güneş ışığının anlaşılması güç kaynağıydı.

Proton-proton zinciri aslında üç aşamalı bir süreçtir; ama en önemli olanı ilk aşamadır: iki protondan döteryumun yaratılması. Böyle bir dönüşüm, zayıf nükleer kuvvet olarak bilinen doğanın yeni bir kuvvetinin varlığını gerekli kılar. Bu kuvvet 'zayıf' olarak nitelenmiştir; çünkü yeğin nükleer kuvvet ile karşılaştırıldığında gerçekten de zayıftır; ama kuvvetlerin, kuvvet taşıyan parçacıkların değiş-tokuşu ile olduğu kuantum dünyasında bilinmesi gereken en önemli şey, zayıfın aynı zamanda yavaş ile eş anlamlı olduğudur. İlk aşama yavaş olduğu için o kadar önemlidir. Fransa Bisiklet Turnuvası zaman denemelerinde en yavaş bisikletçilerin takımın hızını yönetmeleri gibi döteryum oluşumu sırasında protonun nötrona dönüşümü de Güneş'teki hidrojen füzyonunun hızını kontrol eder.

Buradaki 'yavaş' sözcüğü, gerçekten de yavaş anlamına gelmektedir. Güneş'teki ortalama bir protonun, başka bir proton ile çarpışıp ona yapışarak döteryum oluşturmak için nötrona dönüşmesinden önce yaklaşık 10 milyar yıl boyunca aylak aylak uçuşması gerekmektedir. Bu da Güneş'in

güneş ışığı oluşturmak için akla gelebilecek en verimsiz nükleer reaksiyonu kullandığı anlamına gelir. İster inanın ister inanmayın, mideniz Güneş'in içindeki aynı hacme sahip bir cisimden çok daha hızlı bir şekilde ısı yaratır. Güneş'in nasıl bu kadar verimsiz olabildiğini ve buna rağmen bu kadar büyük bir ısı yayabildiğini merak ediyorsanız, bunun yanıtı basittir: Güneş çok büyüktür. Tüm büyük objeler gibi Güneş'in de hacmiyle karşılaştırıldığında yüzey alanı -ısının kaçabileceği yer- nispeten küçüktür. Bu nedenle ısı içeride sıkışıp kalarak Güneş'in sıcaklığını artırır.

Proton-proton zincirinin ilk aşaması olan döteryumun oluşması için Güneş'in içinde öylesine uçuşan bir çift protonun bir araya gelmesinin 10 milyar yıl sürmesi gerçeği, Güneş'in yaşam süresini de belirler. Güneş, hidrojen yakıtını o kadar büyük bir cimrilikle kullanır ki tükenmesi için 10 milyar yıl geçmesi gerekecektir. Güneş'in zaten 5 milyar yıldır yandığını düşünecek olursak, yaklaşık 5 milyar yıl daha zamanı vardır.

Bir protonun başka bir proton ile çarpıştığı, nötrona dönüştüğü ve birbirlerine tutundukları proton-proton zincirinin ilk aşamasının yalnızca rastlantısal olarak gerçekleşebileceği artık ortaya çıkmıştır. Bu rastlantının yeğın nükleer kuvvetin gücüyle ilgisi vardır. Bundan yalnızca yüzde 1 veya 2 güçlü olsaydı, iki protonun birbirini itmesinin üstesinden gelebilecek kadar güçlü olur ve onları birbirine yapıştırarak iki protonlu bir çekirdek yaratırdı. Kuantum dünyasında güçlü sözcüğü hızlı ile eş anlamlı olduğu için bu reaksiyon da son derece hızlı gerçekleşirdi. Aslında Güneş'in hidrojen yakıtının tamamı bir saniyeden kısa bir süre içinde tüketilirdi ve Güneş, bu süreç içinde patlardı.

Varlığımızı bu rastlantıya borçluyuz. Bu yeğın kuvvet çok ufak bir yüzde daha güçlü olsaydı, Güneş var olamazdı. Bu yeğın kuvvetin sahip olduğu güçten dolayı Güneş 10 milyar yıl boyunca varlığını sürdürebilir ve bizler gibi karmaşık canlı organizmaların evrimi için geniş zaman dilimleri yaratabilir. Sonuç olarak, bugün gökyüzünde Güneş'in parlıyor olması gerçeği, bize yalnızca doğada dinamitten bir milyon kat daha yoğun bir enerji kaynağı olduğunu anlatmıyor. Varlığımızın bağlı olduğu doğanın temel kuvvetlerinin kuvvetinde inanılmaz bir rastlantının varlığına dikkat çekiyor.

Sen, Ben ve Olağanüstü Olasılık Dışı Üçlü Alfa Süreci

Varlığınız Evren'in tek olmayabileceğini nasıl anlatır?

'Evren'e baktığımızda ve yararımıza işleyen pek çok fizik ve astronomi rastlantısı saptadığımızda, neredeyse Evren'in bizim geleceğimizi önceden biliyor gibi göründüğünü fark ederiz.'

Freeman Dyson

*'Ve her erkeğe ve kadına şunu derim ki:
Ruhunuzun bir milyon evrenin önünde serinkanlı ve havalı durmasına
izin verin.'*

Walt Whitman ('Song of Myself' ('Benim Şarkım') şiiri)

Çevrenize bakın. Yeryüzünden yaşam fışkırıyor. Kimse de bunun nasıl başladığını bilmiyor; ama kesin olan bir şey var: Bildiğimiz anlamıyla yaşam, karbon elementi olmadan başlamış olamaz. Karbon atomla-

rı, kendi türünden diğer atomlarla benzersiz bir birleşme yetisine sahiptir. Bu birleşmeyle birlikte hayret verici bir dizi karmaşık molekül yaratırlar. Bedenlerimizde bulunan karbon bazlı 'biyomoleküller' yediğimiz gıdaları metabolize etmekten tutun da gözün retinasına gelen ışığa tepki vermeye ve deoksiribonükleik asit ya da DNA'daki kalıtım bilgilerini kodlamaya kadar sayısız önemli görevi yerine getirirler. Bizler, varlığı karbonun yaygınlığına bağlı olan karbon bazlı, iki ayaklı yaratıklarız. Hidrojen, helyum ve oksijenden sonra Evren'de en bol bulunan element karbondur. Aslında karbonun bolluğu bize oldukça ilginç bir şeyi anlatır. Az miktardaki atom çekirdeklerinin niteliklerinde bulunan olağanüstü, olasılık dışı rastlantılar serisini anlatır. Onlar varlığınıza sorumlu olmakla kalmayıp, bunun çok daha ötesinde bir şeyler ima ederler. Evrenimizin hayal bile edilemeyecek kadar devasa bir 'çoklu evren' içinde baloncuklar gibi havada süzülen sonsuz sayıda evrenden biri olduğunu söyler.

Var olduğumuz gibi basit bir gerçekten çıkarılan sıra dışı bir sonuç, ama mantığının oldukça kaçınılmaz olduğu görülüyor. Farkına varılması gereken ilk şey, karbon dahil tüm elementlerin Yaratan tarafından İlk Gün'den itibaren Evren'e yerleştirilmemiş olduğudur. Bunun aksine Evren yalnızca en basit nükleer yapı taşlarıyla -protonlar ve nötronlar- yola koyulmuştur. Sonrasında ise bunlar bir araya gelerek birbirlerine yapışmış ve 92 tane doğal elementin çekirdeğini oluşturmuşlardır.

Elementlerin, her seferinde bir tuğla konularak *yapılmış* olduklarına dair kanıtlar, aslında hemen göze çarpmazlar, oldukça gizlidirler. En önemli ipuçlarından biri de Evren'deki farklı elementlerin bolluğudur. Bunlar pek çok şekilde değerlendirilebilir. Bunun bir yolu Yeryüzü'nün kabuğundaki taşların ve uzaydaki göktaşlarının kompozisyonunu incelemektir. Bu tür ölçümleri 1936'da yapan ilk kişi İsviçreli-Norveçli kimyager Victor Goldschmidt'tir. Elementlerin bolluğu, yıldızlardan gelen ışıktaki yarattıkları karakteristik parmak izinin incelenmesiyle de ölçülebilir. Güneş'in büyük bir bölümünün en hafif elementler olan hidrojen ve helyumdan meydana geldiğini keşfetmesiyle birlikte herkesi şaşkın-

lğa uğratan Cecilia Payne bu tekniğı kullanmıştır. Tam da bu noktada, 1835'te bilim ile asla ulaşılamayacağına inandığı şeylerin listesini oluşturan Fransız filozof Auguste Comte'un sözlerini anımsamak ilginç olacaktır: 'Yıldızların kimyasal kompozisyonunu veya mineralojik yapısını araştırmak hiçbir şekilde mümkün değildir.' Alman fizikçi Gustav Kirchoff, 25 yıl içinde sodyum gibi elementlerin ateşte ısıtıldığında karakteristik dalga boylarına sahip bir ışık yaydığını ve bu 'özel parmak izlerinin' farklı elementleri Güneş ve yıldızların ışığında ayırt ederek saptayabilmek için kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Comte, bu keşiften önce ölerik sözlerini geri almak zorunda olmanın utancını yaşamaktan kurtulmuştu.

Yıldızların, Yeryüzü'ndeki taşların ve göktaşlarının kompozisyonunun analizi çarpıcı bir sonucu ortaya atmıştır. Kozmosun her yerindeki elementlerin aşağı yukarı aynı nispi oranlarda bulunduğı görölmektedir. Amerikalı fizikçi Richard Feynman'ın dediğı gibi: 'Astronominin en çarpıcı keşfi, yıldızların da Yeryüzü ile türdeş atomlardan meydana geldiğini ortaya çıkarması olmuştur.' O kadar çarpıcı olmayan; ama aynı ölçüde önemli başka bir şey de 'evrensel' bolluklarda görölebilen modeldir. Genel olarak bir element ne kadar ağırsa, doğada o kadar nadir bulunur. Element 92 olarak anılan uranyum, element 11 olan sodyumdan bir milyar kat daha az yaygındır. Bunu bir grafik kâğıdında görmek en kolaydır. Elementler soldan sağa kütleleri giderek daha artacak şekilde sıralanmış olsalardı ve bolluk dereceleri sayfa üzerinde işaretlenseydi, bir dağ yamacı görüntüsü ortaya çıkardı. Bu yamaç, sayfanın solundaki hafif elementlerden başlayarak en sağdaki uranyum gibi ağır elementlere doğru dik bir şekilde iniyor olurdu. Ancak bazı elementler bolluktaki hızlı düşüş eğiliminin sorumluluğunu artan kütleye atarlar. Yamaçtaki komşularından çok daha yaygın görünürler. Örneğın, karbon, nitrojen ve oksijen ve ayrıca demir ve diğerk yakın komşularının tepelikleri vardır. Buna ek olarak bazı elementler komşularından belirgin bir şekilde daha nadir görülürler. Örneğın, dağ yamacında lityum, berilyum ve bor elementleriyle ilgili oyuklar oluştuğı görülür. Neden bazı elementler beklenenden daha

yaygın, bazıları ise daha nadirdirler? Şaşırtıcı bir yerde güçlü bir ipucuna rastlayabilirsiniz: Aston'un nükleer istikrar vadisinde.

Aston'un vadisinde nükleon başına en düşük kütleyle sahip olan çekirdeğin -demir ve nikel- en altta yer aldığını ve her iki yandan yukarı çıkan yamaçlarda ise nükleon başına giderek daha artan kütleleri olan çekirdeklerin sıralandığını hatırlayın. Bu basit resmin gerçeğin tamamını anlatmadığı görülmüştür. Aston kütle spektrografını arıtıp düzeltirken ve çekirdeklerin kütlelerini daha kesin ve net ölçebilirken vadinin yamaçlarının tamamen dümdüz olmadığını fark etmiştir. Bir çekirdeğin en yakın komşularından daha fazla nükleon başına kütleyle sahip olduğu yerlerde küçük tepelikler bulunur. Aynı şekilde daha az nükleon başına kütleyle sahip olduğu yerlerde ise küçük çukurlar vardır. İşin tuhaf olan yanı ise bolluk yamacındaki tümseklerin Aston'un nükleer istikrar vadisindeki çukurlarla ve bolluk yamacındaki oyukların Aston'un nükleer istikrar vadisindeki tepeliklerle tamamen örtüşüyor olmasıdır. Sonuç kaçınılmaz: Aralarında bir bağlantı olmalı. Bir elementin yaygınlığı, atom çekirdeğinin detaylı niteliklerine bağlı olmalıdır. Elementlerin oluşumunun ardında nükleer süreçler olduğuna dair güçlü bulgular vardır.

Birilerinin bir vadinin yamaçlarının tepesinden bir sürü futbol topu yuvarladığını hayal edin. Toplar vadinin tabanına doğru yuvarlanırken yamaç üzerindeki tümseklerden kaçarak çukurların tuzağına düşüyorlar. Elementin kozmik bolluğu ve Aston eğrisi arasındaki bağlantı, doğada buna benzer bir şeyin gerçekten de olmuş olması gerektiğini gösteriyor. Aston'un nükleer istikrar vadisinin sol yamacının tepesinden serbest bırakılmış çekirdekler olmalıdır. Sonra vadi tabanına doğru aşağıya 'yuvarlanmış' ve bu sırada tümseklerden kaçarken çukurlara girmişlerdir. Aston'un nükleer istikrar vadisinin sol yamacının tepesinde yer alan bir çekirdeğin küçük, hafif bir çekirdek olması gerekir. Dolayısıyla vadinin tabanına doğru yuvarlanan da her seferinde payına düşen nükleer yapı taşlarını biriktirerek gittikçe ağırlaşan hafif bir çekirdektir. Önceden hafif bir çekirdek olup, ağır bir çekirdeğe dönüşmüştür.

Ancak elementler tüm kanıtların gösterdiği gibi yapılıyorlarsa, nerede yapılıyorlardı? Element inşası için gereken sıcaklık ipucudur. Daha büyük, daha ağır çekirdekler daha küçük, daha hafif çekirdeklerden daha büyük elektrik yüküne sahiplerdir. Dolayısıyla birbirlerini daha şiddetli iterler. Birbirlerine yapışmalarını sağlayacak kadar şiddetli çarpışmaları için daha yüksek sıcaklıklar gereklidir. Evren'deki en sıcak yerlerin Güneş gibi yıldızlar oldukları görülür. Ne yazık ki, İngiliz astronom Arthur Eddington tarafından 1925'te yapılan hesaplamalar, yıldızların elementlerin dövülerek oluşturdukları kozmik fırınlar olamayacaklarını söylüyordu. Ona göre Güneş'in dönüşü, içerideki materyalin de durmaksızın dönmesine neden olur ve bu sonsuz dönüş Güneş'in içindeki şeylerin tamamen karışmış halde kalmasını sağlar. Bu nedenle hidrojen helyum ile füzyona girerek güneş ışığı oluşturduğunda, helyum külü yıldızın her yerinde eşit miktarda karışacaktır. Buradaki sorun, bu durumun Güneş'in hidrojen yakıtını sürekli seyreltmesi olacaktır. Zaman geçtikçe Güneş yavaş yavaş soğuyacak ve sönecektir. Bu da element oluşturan bir fırının tam tersidir.

Amerika'da bulunan George Gamow, Eddington'ın hesaplamalarından haberdardı. Bu hesaplar Gamow' u elementleri dövmeye elverişli sıcaklıkta başka bir fırın bulmaya başlaması için teşvik etti. Sonunda bir tane buldu: Büyük Patlama'nın ateş topu. Güney Kaliforniya'daki Mount Wilson Gözlemevi'nde çalışan Amerikalı astronom Edwin Hubble, 1929' da galaksilerin -Evren'imizin milyarlarca parçasından biri olduğu Samanyolu'nun yapı taşlarının- tıpkı dev bir patlama sonucunda saçılan kozmik şarapnel parçaları gibi birbirlerinden ayrı yönlere dağıldıklarını keşfetmiştir. Genişleyen bir evrende yaşıyoruz ve genişlediği için de geçmişte daha küçük olması gerektiğine dair kaçınılmaz bir sonuç çıkıyor. Aslında evrenin genişlemesini geriye sarılan bir film gibi ters yönde izleyebilirsek, tüm oluşumun ölçülemeyecek kadar küçük bir hacme sıkıştırılmış olduğu bir zamana da geri dönmüş oluruz. Bu da 13,7 milyar yıl önce gerçekleşmiş olan Büyük Patlama sırasında Evren'in doğduğu andır.

Gamow, Büyük Patlama fikrini bularak bu yönde ilerledi. Evren geçmişte daha küçükse, o zaman çok daha sıcak da olması gerekeceğine (yine o eski bisiklet pompası etkisi) dair mantık yürüttü. Büyük Patlama'nın 'sıcak' bir Büyük Patlama olmuş olması gerektiğini fark etti ve Büyük Patlama sıcaksa, elementlerin basit bir temel malzemeden dövülerek işlendiği bir fırın da olabilir miydi? Ancak sorun zamanın azlığıydı. Evren, on dakika içinde o kadar genişledi ve soğudu ki element oluşum süreci de etkili bir şekilde baskılanmış oldu. Aslında çifte darbe olmuştu. Büyük Patlama'nın ateş topu, bu zaman itibarıyla çekirdeklerin birbirleriyle sık sık karşılaşmaları için yeterince yoğun değildi ve birbirleriyle karşılaştıklarında da karşılıklı geri tepme kuvvetini bastırmak için çok yavaş hareket ediyorlardı. Gamow kolay kolay vazgeçmeyecekti. On dakikanın yeterli olması gerektiğini düşünüyordu. 'Elementlerin, ördek ve fırında patatesten daha kısa sürede pişmeleri gerekir.' diye iddia etmişti.

Ancak Gamow'un iyimserliği yersizdi. Element oluşumunun önünde kısıtlı zamandan daha ciddi bir engel bulunuyordu. Doğada beş ya da sekiz temel yapı taşına sahip kararlı bir çekirdek yoktu. Buna göre helyumdan daha ağır herhangi bir çekirdek inşa etmek neredeyse olanaksızdı. Ne de olsa tek bir nükleer yapı taşı -ya bir proton ya da bir nötron- bir helyum-4 çekirdeğiyle çarpışıp ona tutunacaksa, kütlesi 5 olan bir çekirdek oluşturacaktır; ancak bu kütleyle sahip kararlı bir çekirdek yoktur. Ayrıca, iki helyum çekirdeği çarpışıp birbirlerine tutunacaklarsa, o zaman kütlesi 8 olan bir çekirdek oluşturacaklardır. Bir kez daha tekrarlayacak olursak böyle bir kararlı çekirdek yoktur. Helyumun ötesine geçmenin yolu yoktur. Gamow için hayal kırıklığı yaratmış olsa da Büyük Patlama, doğadaki elementlerin işlendiği fırın olamazdı.¹

Bu noktada İngiliz astronom Fred Hoyle devreye girdi. Hoyle'a göre yıldızlar, elementlerin işlenebileceği çok çekici bir fırın olarak görünüyordular. Ne de olsa Büyük Patlama'daki ateş topunun on dakikalık süresinin yanında on milyonlarca, hatta milyarlarca yıldır yoğun ve sıcaktılar. Bolca zaman olduğu için de oldukça nadir gözlenen nükleer süreçlerin

de sihirlerini gösterme olasılıkları bulunuyordu. Yapması gereken tek şey, şu sıkıntılı kütle-5 ve kütle-8'in üzerinden atlayıp yoluna devam etmek gibi nadir bir süreci gerçekleştirmek olacaktı. Sonrasında ağır elementlerin işlenişine giden yolun kapısı sonuna kadar önünde açılmış olacaktı. Ancak bu tür herhangi bir sürecin hiç şüphesiz çok yüksek sıcaklık dereceleri gerektireceği sorunu vardı. Ayrıca Eddington, yıldızların helyum içine hidrojen füzyonu yaptıkça yavaş yavaş soğuduklarını ve söndüklerini göstermişti. Hoyle'un cesareti kırılmadı. Uzayda Güneş'ten 10 bin kat fazla ısı yayan devasa yıldızlar bulunuyordu. Böyle 'kızıl devlerin' -Orion takımyıldızında parlak bir şekilde yanmaya devam eden Betelgeuse başlıca örnektir- varlığı, yıldızların Eddington'un zihninde tasarladığı kötü sondan kaçmaları için bir yol olması gerektiğine dair kanıt oluşturunuyordu.

Hoyle, bir yıldızın çekirdeğinde dış kabuğundan daha fazla ağır element varsa bunu yapabilmesinin olası olduğunu fark etti. Bu durum çekirdeği dış kabuğundan daha yoğun kılacağı için, çok güçlü olan çekirdeğin kütle çekimi, çevresindeki şeyleri sıkıştırarak ezecek ve ısıtacaktır. Sıcaklık, tam olarak hafif çekirdeklerden ağır olanları elde etmek için gerçekleşen füzyonun gerektirdiği 100 milyon dereceye kolaylıkla tırmanabilir. Aynı zamanda yıldızın yoğun bir ısıya sahip özü de kendisini çevreleyen dış kabuğuna son derece büyük miktarlarda ısı pompalayacaktır. Bu da dış kabuğun dev boyutlara çıkacak şekilde şişmesine neden olur. Yıldızın dış kabuğu şiştikçe en sonunda donuk bir kırmızı ışık yayana kadar soğuyacaktır. Kızıl dev tarifi budur. Hoyle'u da doğru yolda olduğuna inandırmıştır.

Elbette sorun Eddington'ın hesaplamalarının bir yıldızı oluşturan malzemenin her zaman fazlasıyla karışmış olduğunu göstermiş olmasıdır; ancak Hoyle vazgeçmemiştir. Astronom Ray Lyttleton ile birlikte Eddington'ın yıldızlarla ilgili fazlasıyla takdir gören çalışmalarının açığını çıkarmak için çok çabalamıştır. Bunun sonucunda da şişkin ve kabarık bir dış kabuğun merkezinde dolaşan süper-yoğun, süper-sıcak özü olan

bir yıldız oluşturmıştır. Bunun için bu ikilinin Galaksi'de sürüklenen yoğun, soğuk hidrojen gazı bulutlarının var olduğunu varsaymaları gerekmiştir. Hiç kimse bu bulutların var olup olmadığını bilmiyor; ama Hoyle ve Lyttleton bu bulutlar varlarsa, Galaksi'nin merkezinde daireler çizen bir yıldızın kaçınılmaz bir şekilde onların arasından geçeceğini ve kendisine hidrojen tabakasından oluşan kalın bir kabuk oluşturacağını söylemişlerdir. O zaman yıldızın içi -helyum ve hidrojen karışımı olacağı için- dışından daha yoğun olacaktır. Süper-yoğun, süper-sıcak özü olan bir kırmızı dev yaratmanın tarifi budur.

Hoyle'un fikri dâhiceydi; ama gereksizdi. Eddington çağının rakipsiz astrofizikçisiydi; ama birdenbire hesaplamalarında aptalca bir rakamsal yanlışlık yaptığının farkına varmıştı. Güneş'in dönüşünün içindeki materyalin de sonsuza dek dönmesine neden olduğu konusunda haklıydı; ama bu dönüşün hızı konusunda yanılmıştı. Tahmininden çok daha yavaş bir dönüş hızı vardı. Aslında o kadar yavaştı ki büyük olasılıkla Güneş'in içindeki materyalin birbirine karışmasını bile sağlayamazdı. Böyle bir karışım olmadan da çekirdek, hidrojen yanarken helyum açısından giderek daha zengin olacaktı. Daha yoğunlaşacak, büzülecek ve ısınacaktı. Kırmızı dev gibi bir yıldızın Güneş gibi bir yıldızın doğal ve kaçınılmaz kaderi olduğu açıkça görülüyordu.²

Hoyle'un öngörileri doğrudu. Sonuçta yıldızlar element oluşumu için yeterince ısınıyorlardı. Ama Gamow'un elementlerin Büyük Patlama ocağında pişirilmesini engellediğini keşfettiği kütle-5 ve kütle-8 bariyerleri problem yaratmaya devam ediyordu. Hoyle bu bariyerlerin üzerinden atlayarak yoluna devam edebileceği nadir bir nükleer süreç bulmak için çevresine bakındı, ve bir tane buldu. İki değil üç helyum çekirdeği içeriyordu. Kırmızı devlerin helyum zengini özyüklerinin derinliklerindeki helyum çekirdeklerinin -alfa parçacıkları- üçlü parçalar halinde bulunmaları olası mıydı? Eğer birbirlerine tutunabiliyorlarsa sonuçta bir karbon-12 çekirdeği çıkacak ve kütle-8 engeli de kolaylıkla aşılmış olacaktı.

Bu 'üçlü-alfa' süreci aslında zaten 1952'de Amerikalı fizikçi Ed Salpeter tarafından değerlendirilmişti. Salpeter, üç adet helyum çekirdeğinin

eş zamanlı olarak bir araya gelme olasılığının neredeyse olanaksız denebilecek kadar uzak bir alternatif olduğunu anında fark etmişti - gözleri bağlı üç futbolcunun beceriksiz adımlarla futbol sahasında ilerleyerek aynı anda bir köşe bayrağında çarpıştıklarını hayal edin. Salpeter, bunun yerine iki helyum çekirdeğinin bir araya gelmesi olasılığına odaklanmıştı. Bu da umutsuz bir olasılık gibi görünebilir, çünkü iki helyum çekirdeğini birbirine yapıştırmak elbette kararlı olmayan kütle-8 çekirdeğini oluşturmak anlamına gelir. Ancak Salpeter böyle bir berilyum-8 çekirdeğinin kararlı olmamasına rağmen, tam anlamıyla kararsız da olmadığını fark etmiştir. Bozunmadan önce bir saniyenin yarısı kadar bir süre beklemektedir ve daha da önemlisi, o yarım saniye boyunca üçüncü bir helyum çekirdeği için kolay av olur.

Üçlü alfa süreci, helyum çekirdekleri arasında gerçekleşme olasılığı çok düşük bir üçlü karşılaşmayı gerekli kılmak yerine, daha sıradan ikili süreçlerle de gerçekleştirilebilir. Salpeter iki adım hayal etmişti: İlki, iki helyum çekirdeğinin çarpışarak berilyum-8 oluşturacak şekilde birbirine yapışmasıydı. Sonrasında berilyum-8 çekirdeğinin bozunma fırsatı bulmasından önce başka bir helyum çekirdeği ona çarpacak ve karbon-12 çekirdeği oluşturacaktır.

Salpeter'in iki aşamalı üçlü alfa süreci, tek aşamalı versiyonundan çok daha olasıdır. Ne yazık ki yine de gerçekleşme olasılığı yeterince yüksek değildir. Salpeter kırmızı devin özü ile ilgili hesaplamaları yaparken üçlü alfa sürecinin bir yıldızın çok küçük bir parça helyumunu karbona dönüştürmenin ötesine geçemediğini ortaya çıkarmıştır. Çok verimsiz bir süreçtir. Adeta bir çıkmaz sokaktır.

Hoyle, Salpeter'in başarısızlığının farkındaydı. Ancak üçlü alfa sürecinden vazgeçmek istemiyordu, çünkü açıkçası o an için elle tutulur tek varsayım oydu. İşleri hızlandırmak için bir şeyler yapılabilir mi diye merak etti. Problemi kafasında defalarca evirip çevirirken aslında üçlü alfa sürecinin verimliliğini artırmanın bir yolu olduğunu fark etti. Ancak yapılması gereken şey, son derece zordu.

Salıncakta sallanan bir çocuğu düşünün. Her beş saniyede bir çocuğun ileri ve geri sallandığını varsayalım. Salınacağı üç ya da yedi saniyede

bir iterseniz, salıncağın art ara çizdiği kavisleri artıramazsınız. Kısa bir süre sonra dengesiz bocalamalar yaşayan salıncaktan dolayı sizi protesto eden bir çocukla karşı karşıya kalırsınız; ancak salıncağı her beş saniyede bir iterseniz, her seferinde daha yükseğe çıkacaktır. Fizikçiler salıncağın her beş saniyede bir sallanması gibi 'doğal bir frekansı' olduğunu söylerler ve salıncak gibi her türlü salınım sisteminin karakteristik özelliği, itici kuvvetin -bu örnekte sizin salıncağı itmeniz- onun doğal frekansına uyduğu zaman enerjinin en verimli şekilde aktarılmasıdır. Salınım sisteminin 'tınlaşım (rezonans)' halinde olduğu veya 'tınlaştığı' söylenir.

O zaman bir atom çekirdeğini -daha spesifik bir şekilde karbon-12 çekirdeğini- ele alalım. Onun bir düzine yapı taşına sahip olan bir çanta olduğunu hayal edin. Aslında öyle bir çanta yoktur. Ancak yapı taşlarını etkili bir biçimde birbirine bağlayan yeğin nükleer kuvvet, tıpkı bir çantadaymışçasına onları küçük bir hacimle sınırlar. Çantanın içindeki nükleer yapı taşları durmadan ileri ve geri hareketlerini sürdürerek itişirler. Aslında bu itişme tamamen rastlantısal değildir. Bir çekirdeğin içinde yörüngelerinde dönen elektronların kabuklarını anımsatan sıkı 'kabuklarda' dönen nükleonlar* olduğuna dair kanıtlar vardır. Ancak asıl önemli olan kilit nokta, çantanın tamamının, içerikleri doğal olarak salınım ya da titreşim halinde olan belli frekanslara sahip olmasıdır.

Frekans ile enerji eş anlamlıdır. Ağır ve düşük frekanslı titreşimler az enerjiye, şiddetli ve yüksek frekanslı titreşimler ise çok fazla enerjiye sahiptirler. Dolayısıyla bir karbon-12 çekirdeğinin her içsel titreşimi, belli bir titreşimsel enerjiye tekabül eder ve Hoyle'un üçlü alfa sürecinin hızını artırmakla ilgili büyük fikrinin anahtarı enerjydi. Üç helyum çekirdeği -veya eşdeğeri olan bir berilyum-8 çekirdeği ve bir helyum çekirdeği- çarpışsa ve toplam enerjileri *tam tamına* karbon-12'nin doğal titreşimleri ile aynı olsa, o zaman bir tınlaşım ortaya çıkar. Tıpkı salıncağı doğal frekansında itmek gibidir. Ancak bu kez itilen şey karbon-12 oluşturmak için bileşenleri bir arada tutan nükleer reaksiyonun hızı olacaktır.

* çekirdekdeki proton ve nötronlar. (E.N.)

Elbette karbon-12'nin yalnızca üç helyum çekirdeğinin kırmızı devin merkezindeki tipik sıcaklık derecesi olan 100 milyon derecedeki toplam enerjisi ile tam örtüşen bir 'enerji konumunda' olması halinde nükleer reaksiyonda tınlışım gerçekleşecektir.³ Hoyle rakamları koyarak enerjiyi hesapladı. 7,65 megaelektronvolt (MeV) çıktı. Aslında MeV'nin ne olduğu önemli değildir. Fizikçilerin atom çekirdeğinin enerjisini ifade etmek için buldukları bir birim olduğunu söylemek yeterli olacaktır. Önemli olan, karbon-12 tam olarak 7.65 MeV enerji seviyesine sahipse, üç helyum çekirdeğinden karbon-12 oluşturmak için gerçekleşen nükleer reaksiyon tınlışımlı olacaktır. Hoyle, 7.65 MeV enerji konumunun var olduğunu varsayarak kırmızı devin merkezinde ne kadar karbon-12'nin işleneceğini hesaplamıştır. Takdir edilebilir bir çabadır. Hızlandırılmış üçlü alfa süreci işe yaramıştır. Kütle-5 ve kütle-8 engelleri aşılmıştır. Tüm ağır elementlerin oluşumuna giden yolun kapısı sonuna kadar açılmıştır. Burada her şey karbon-12'nin tam 7.65 MeV titreşim enerjisine sahip olmasına bağlıdır. Asıl soru: O titreşim enerjisine sahip miydi?

Hoyle'un Cambridge Üniversitesi'nden ücretli izin aldığı 1953 yılının ilkbaharında, şans eseri Pasadena'daki Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde bulunduğu sırada, orada deneysel bir nükleer fizik grubu bulunuyordu. Aslında bu grup 'nükleer astrofizik' ile amatörce uğraşıyordu. CNO döngüsündeki önemli nükleer reaksiyonların hızıyla ilgili ölçümleri, CNO döngüsünün yalnızca Güneş'ten çok daha büyük bir kütlesi olan yıldızların güç kaynağı olabileceğini göstermek açısından kritik olmuştur. Hoyle, Caltech'e vardığında grup lideri Willy Fowler'ı görmek üzere Kellogg Radyasyon Laboratuvarı'na gitmek için hiç zaman kaybetmedi, ve ona şu soruyu sordu: Karbon-12'nin 7.65 MeV enerji seviyesine sahip olması mümkün müydü?

Güneş'in merkezindeki nükleer reaksiyonları peri masalları mı yönlendiriyor diye de sorabilirdi. Fowler, karşısında bir kaçığın olduğunu düşünmüştü. Şu ana dek bileşik bir çekirdeğin enerjisini net bir şekilde öngörebilen bir teorisyen çıkmamıştı. İşin matematiği çok karmaşıktı. Fizikçiler bunu nadiren kabul etseler de davranışını kesin ve net bir

şekilde öngörebildikleri fiziksel sistemler sadece iki cisimli olanlardır: Örneğin, Yeryüzü'nün kütleçekiminin etkisi altında hareket eden Ay, ya da protonun elektromanyetik kısılcığında dönen bir hidrojen atomunun elektronu. Üç ya da daha fazla cisim söz konusu olduğunda teorisyenler çuvallarlar. Bir düzine parçacığın arılardan oluşan sıkı bir düğüm gibi çekirdeğin etrafında uçtuğu karbon-12 de 'çok birimli' bir sistemdir. Niteliklerini kesin ve net olarak öngörmek, teorisyenlerin gücünün ötesinde bir durumdur. Ancak Hoyle'un -İngiltere'den gelen genç ve gözlüklü astronomun- yapmış olduğunu iddia ettiği şey tam da buydu.

Hoyle'un öngörüsünü daha da gülünç kılan nokta ise ardında yatan çilgin mantıktı. Buna göre sözlerinin anafikri şudur: 'Ben varım ve karbonden yapılmışım; o zaman karbon-12'nin 7.65 MeV enerji seviyesi de var olmalıdır.' Fowler, tüm araştırma kariyeri boyunca hiç bu kadar sıradışı bir şey duymamıştı. İnsanın varlığı gibi gözleme dayalı bir gerçekten böyle bir sonuç çıkarılıyordu. 'İnsani'* bir iddia. Biyolojinin fiziği belirlediği bir durum. Bilimsel akıl yürütmenin baş aşağı gelmesi.

Hoyle'un yanılıyor olma olasılığı çok yüksekti. Öte yandan Fowler deneycilik ilkesini benimsiyordu: Zihnini asla beklenmedik olana kapatma. Hoyle, karbon-12'nin 7.65 MeV enerji konumunun varlığıyla ilgili sıra dışı iddiasını yinelerken kendisini kibar bir şekilde dinleyen küçük araştırma grubunun üyelerini etrafına topladı. Bugüne kadar yapılmış olan deneylerin gözden kaçırdığı bir şeyler olabilir mi, diye sordu. Sonrasında yapılan teknik tartışmaların çoğu ile Hoyle'un aklındakilerin bir kez daha üzerinden geçmişlerdi. Ancak sonunda Fowler'ın çalışma arkadaşları bir fikir birliğine vardılar. karbon-12'nin 7.65 MeV enerji konumu belli birtakım çok özel niteliklere sahipse, evet, o zaman yapılan deneylerde gözden kaçırılan bir nokta olabilirdi. Araştırma ekibi yeniden organize olarak duruma bir kez daha göz atmaya karar verdiler.

Deney devam ettikçe on gün boyunca Hoyle endişeli bir sabırsızlıkla bekledi. Her öğleden sonra mısır gevreği devinin hayırsever bağışı

* anthropic; insana dayalı, (E.N.)

olarak kurulan Kellogg Laboratuvarı'nın derinliklerinde süründü. Burada Fowler'ın çalışma arkadaşı Ward Whaling ve takımı bir sürü transformator, güç kablosu ve birbirlerine atom çekirdeği ateşledikleri dalgıç çanı benzeri bölmenin arasında harıl harıl çalışmışlardı. Sonra, her akşamüstü fikrinin çöpe atılmadan bir gün daha dayanmış olmasından dolayı içi rahatlamış; ama ertesi gün ve sonraki günler için kaygılanmaya devam ederek sürünürcesine yeniden Kaliforniya'nın yakıcı güneşine çıkıyordu. Hoyle, onuncu gün elini sıkarak kendisini coşkuyla tebrik eden Whaling ile tanıştı. Deneyi başarılı olmuştu. Hoyle'un öngörüsü doğrulanmıştı. İnanılmaz bir şekilde karbon-12'nin 7.65 MeV enerji konumu vardı.

Bu, Fowler'ın tanık olduğu en şaşırtıcı sonuç olmuştu. Hoyle'un bu taşkın öngörüsünün doğru çıkabileceğine hiç inanmamıştı; ama olağanüstü bir şekilde doğru çıktı. Hoyle, tıpkı her şeyi bilen bir tanrı gibi doğanın içinde ne var ne yok diye bakmış ve sıradan ölümlülerin -ya da en azından sıradan nükleer fizikçilerin- göremedikleri bir şeyi keşfetmişti. Karbon-12'nin 7.65 MeV enerji konumunun var olması gerektiğini; çünkü aksi takdirde insanoğlunun da var olmayacağını iddia etmişti. Bugüne kadar, bir deneyden önce yapmış olduğu insani bir iddiadan yola çıkarak başarılı bir tahminde bulunan tek insan, Hoyle olmuştur.

Ancak bu göz alıcı zafere rağmen Hoyle henüz tehlikeyi atlatmış sayılmazdı. Bir kıvılcık devin içinde oluşan bir karbon-12 çekirdeği, yalnızca başka bir helyum çekirdeğinin gelip kendisine çarpmasını bekleyen kolay bir avdı. Bu çarpışma sonucunda da oksijen-16 ortaya çıkacaktı. Üçlü alfa sürecinin didinip çabalayarak ortaya çıkardığı bütün olumlu sonuçlar boşa gidecekti. Karbon oluşturulabiliyordu, ancak anında oksijene dönüştürülüyordu. Evren karbonsuz kalacaktı.

Karbonun işlenmesi için bir karbon-12 çekirdeğinin kıvılcık devin özündeki tipik sıcaklık derecesindeki üç helyum çekirdeğinin toplam enerjisine eşdeğer çok özel bir enerji seviyesinde titreşmesi gerekir. Hoyle, artık bazı karbonların oksijene dönüşmeden hayatta kalabilmeleri için oksijen-16'nın da o özel enerji seviyesinde *titreşmemesi* gerektiğini fark etmiştir. Daha spesifik bir şekilde belirtecek olursak, kıvılcık devin sı-

caklığındaki bir karbon-12 çekirdeği ile bir helyum çekirdeğinin toplam enerjisine sahip bir enerjisi olmamalıdır. Eğer olursa, tınlışım gerçekleşir ve tüm karbon-12'ler bir anda oksijen-16'ya dönüşürler.

Fowler'in ekibi, zaten CNO döngüsü çalışmasının bir parçası olarak oksijen-16 çekirdeğinin niteliklerini ölçmüştü. Hoyle, bu verileri dikkatle gözden geçirdi. Oksijen-16'nın her halükarda kaçınılması gereken bir enerjiye çok yakın bir enerji konumunda olduğunu gördüğünde çok heyecanlanmıştı. Ama daha detaylı baktığında bu enerji konumunun erişim sınırlarının dışında olduğunu görerek rahatladı. Yıldızların içinde oksijen yapılabiliyordu, ama neyse ki karbon pahasına olmadan insanoğlu için yapılırdı.

Hoyle, neler keşfetmiş olduğunu düşünme zamanı bulduğunda varlığımızın bu kadar önemli ölçüde bağlı olduğu bu nükleer rastlantıya hayretle bakmaya başladı. Berilyum-8 değişkendi, ama üçlü alfa sürecini olanaksız kılacak kadar da değişken değildi. Karbon-12'nin enerji seviyesi tam üçlü alfa sürecinin tınlışımını sağlayacak ve kayda değer miktarda karbon oluşturacak düzeydeydi. Üstelik, oksijen-16'nın ise belli bir yerde herhangi bir enerji seviyesi yoktu. Bu nedenle karbon-12'nin hepsi oksijen-16'ya dönüşmeyecekti. Bu üç koşul sağlanmadıkça Evren'in karbondan daha ağır elementler içermesi olası değildi. Ya da ağır elementler olacaktı ama karbon olmayacaktı. Bunun yerine Evren'i yaratan her şey güzel bir dengede idi. Her ikisi de yaşam için gerekli olan karbon ve oksijenden neredeyse aynı miktarlarda bulunuyordu.

Hoyle bundan nasıl bir sonuç çıkarabileceğini merak etti ve iki mantıklı olasılıkla ortaya çıktı. Bunlardan biri, berilyum-8, karbon-12 ve oksijen-16 çekirdeklerinin nitelikleriyle ilgili ince ayarlamaları yapan bir Tanrı olduğu için var olduğumuzdu. Bu seçenekle ilgili sorun, bilimsel bir olasılık olmamasıydı. Bilimin çarpıcı bir niteliği de koyduğunuzdan fazlasını almanızdır. Genellikle bir formül veya denklem ile ifade edilen bilimsel bir açıklama, özetlediği gözlemlerden her zaman daha basit ve daha kompakttır. Eğer Tanrı ince ayarları yaptıysa, o zaman açıklama-karmaşık üstün bir varlık- da açıklama aranan şey kadar veya daha kar-

maşıktır. Ortaya koyduğunuzdan daha azını elde edersiniz: bilimin anti-tezi. Tanrı hipotezi ile ilgili diğler problem de Evren'in en çarpıcı özelliklerinden birinin herhangi bir doğaüstü müdahale olmadan, bilinen fizik yasalarına uygun, mükemmel bir işleyişe sahip olmasıdır.

Ancak eğer bir Yaratıcı berilyum-8, karbon-12 ve oksijen-16 çekirdeklerinin enerji seviyeleriyle ilgili ince ayar yapmadıysa, olasılık dışı görünen bu nükleer rastlantıların açıklaması nedir? Hoyle şaşırtıcı bir olasılık sundu. Belki de Evrenimiz yalnız değildi. Belki her biri farklı fizik yasalarına sahip olan pek çok evren vardı. Bunların birçoğunda geçerli olan yasalar, karbon yaratmak için gereken nükleer rastlantıları oluşturmak için plan kurmadıklarından oralarda yaşam yoktu. O zaman kendimizi yaşam için gereken nükleer rastlantıların olduğu bir evrende bulmamız da şaşırtıcı değildi. Nasıl bulmazdık? İnanılmaz ve karmakarışık bir mantık. Ama Hoyle'a göre mantıklı olan tek şey buydu. İnanılmaz bir biçimde karbon bazlı varlıklar olarak var olduğumuz gerçeğı, bizlere yıldızların derinliklerindeki nükleer rastlantıları anlatmıyor olabilirdi. Orada, başka uzaylarda veya başka boyutlarda bir yerlerde çok sayıda -belki sonsuz sayıda- başka evrenin olduğunu söylüyor olabilirdi.

4,5 Milyar Derecelik Fırın

Yeryüzü'nde demirin yaygın olması gerçeği, uzayda en az 4,5 milyar derece sıcaklığı olan bir fırın olması gerektiğini nasıl anlatır?

*'Değerli olan hiç unutmamaktır
Dünyamızdan önceki dünyalardaki kayalıklardan kopup gelen
Asırlık kaynaklardan çıkan kana has o lezzeti.'*
Stephen Spender

'Çabuk gel, yıldızların tadına bakıyorum.'
Dom Pérignon (şampanyayı keşfettiği an)

Şehrin beton bloklarının oluşturduğu kanyonda yürürken her yerde demir olduğunu görüyorsunuz. Güçlendirilmiş çelik iskeletleri olmadan asla o kadar yükseklerle çıkamayacak binaların içinde demir var. Parkları çevreleyen korkuluklarda var. Yanınızdan geçen arabalarda, üzerinizden uçan uçaklarda, üzerinizdeki köprüde gümbürtüler yaratan trende var. Damarlarınızdan akan kanda ve arterlerinizde bile hemoglobinin temel

bileşeni demir bulunuyor ve durmadan bedeninizin her yerine oksijen taşıyor. Demir, Yeryüzü'nde en bol bulunan elementtir. Yeryüzü'nün kabuğunun yüzde 5'ini ve Yeryüzü'nün çekirdeğinin büyük bölümünü oluşturur. Belki de şimdiye kadar demirin aynı anda her yerde bulunmasının nedenini hiç merak etmediniz. Ama aslında bu durum bize önemli bir şey anlatıyor: uzayda bir yerlerde 4,5 milyar derece gibi insanı sersemleten bir sıcaklıkta çalışan bir fırın olması gerekir.

Yeryüzü'nde demirin aynı anda her yerde birden bulunmasından çıkarılabilecek doğrudan sonuç şudur: yıldızların içindeki element oluşumuna neden olan nükleer reaksiyonların nükleer Lego taşlarını demire ulaşana kadar üst üste eklemeye devam etmiş olmaları gerekir. Demir, doğadaki en sıkıca bağlı, en kararlı çekirdektir. Aston'un nükleer istikrar vadisinin en altında yer alır. Her hafif çekirdek, fırsat bulduğu anda o vadinin aşığına doğru yuvarlanarak kendini demire dönüştürecektir. Bunu izlediği yol üzerinde birbiri ardına yuttuğu hafif çekirdeklerle yapabilir. Ancak bu yuvarlanma süreci bir futbol topunun yamaçtan aşağı yuvarlanması kadar kolay değildir, çünkü çekirdeklerin elektrik yükü, birbirlerini sertçe itmelerine neden olur. Ancak bu itme eylemi aşılabilirse çekirdekler birbirlerine yapışabilir ve büyüyebilirler. Pratikte bunun olması için çekirdeklerin şiddetle birbirlerine çarpmaları gerekir. Bu da yalnızca yıldızların içindeki ultra yüksek sıcaklık derecelerinde, çekirdeklerin ultra hızlarda uçtukları zaman gerçekleşir. Çekirdekler ne kadar büyürse, elektrik yükleri de o kadar artar ve birbirlerini itmelerine engel olmak için gereken sıcaklık derecesi yükselir. Demir, bir ölçüde büyük bir çekirdek -56 nükleer yapı taşından meydana gelir ve hidrojen çekirdeğinin 26 katı yük taşır- olduğu için sentezi de son derece yüksek bir sıcaklık derecesi gerektirir. Ancak tam olarak ne kadar sıcaklığın gerektiği ise oluşumdaki nükleer reaksiyonların kesin sırasına bağlıdır.

Kızıl bir devin merkezinde, sıcaklıkların 100 milyon dereceyi zorladığı yerde, helyum-4 çekirdeklerinin üçlüler halinde birbirleriyle çarpışarak karbon-12 çekirdeği oluşturduklarını anımsayın.¹ Eğer bu üçlü

alfa süreci ile yapılan bir karbon-12'ye sonrasında bir helyum-4 çekirdeği çarparsa oksijen-16'ya dönüşür. Bu da çekirdeğin art arda bir helyum-4 çekirdeğini veya alfa parçacığını daha bünyesine ekleyerek büyüdüğü uzun bir dizi nükleer reaksiyonun başlangıcıdır. Bu 'alfa süreci,' yıldızın içindeki sıcaklık tırmanmaya devam ettiği sürece devam edebilir. Bir helyum-4 çekirdeği ile birleşen bir oksijen-16 çekirdeği, neon-20'ye dönüşür. Neon-20 aynısını yaparak magnezyum-24 olur. Magnezyum-24 aynı süreç sonrasında silikon-28'e dönüşür, ve bu böyle devam eder.²

Silikon-28'in işlenişi, bir yıldızın kaderi açısından kritik önem taşır. Bir yıldız yaşamında bu aşamaya ulaştığında, alfa sürecindeki diğer adımlar -topluca 'silikon yanışı' olarak bilinir- tehlikeli bir hızla, adeta birbirleriyle yarışırmasına gelirler. Büyük bir hızla, mekik oyası gibi birbiri ardına helyum çekirdekleri eklenir. Yıldız, bir gün içinde demir oluşturma eşiğine gelir - ve tam bir felaket yaşanır. Aslında bu uzun zincire en son eklenen alfa parçacığı demir-56 değil nikel-56'yı oluşturur. Ancak bu çekirdek radyoaktif açıdan değişkendir ve çabucak parçalanarak kobalt-56'ya ve sonra da bozunarak demir-56'ya dönüşebilir. Silikon yanış sürecindeki son aşama en büyük, en yüksek yüklü çekirdekleri içerdiği için yıldızlardaki demirin işlenmesi için gereken sıcaklığı belirleyen bu adımdır. Bu sıcaklık yaklaşık 4,5 milyar derecedir. Bu nedenle Yeryüzü'nde her yerde demirin var olması gerçeği bize şunu anlatır: Evren'in dışında bir yerlerde iç ateşleri Güneş'in merkezinden 300 kat daha sıcak yanan yıldızlar olması gerekir.

Böylesine muazzam bir sıcaklık derecesine ulaşmak olmayacak bir iş gibi görünebilir ve pratikte bu kadar ısınabilen yıldızların Güneş'ten on kat daha büyük bir kütleye sahip canavarlar olmaları gerekir. Ancak böyle yıldızların ve bu kadar kızgın bir fırının varlığı, Yeryüzü'nde demirin neden bu kadar yaygın olduğunu açıklamak için tek başına yeterli değildir. Ne de olsa işlenen demirin bir şekilde uzaya gitmesi gerekir ve bu durumda bir yıldızın içine güvenli bir şekilde hapsolmuş olacaktır.

Tam olarak ne kadar hapsoldüklerini yıldızların iç kısımlarının silikon yanışı, demir işlenişi aşamasında gelişmesinden anlayabiliriz. Bir

yıldızın kendi çekirdeğinde hidrojeni helyuma dönüştürdüğü zaman çekirdeğinin helyum bakımından zenginleştiğini hatırlayın. Yıldızın dış yüzeyinden ağır olduğu için büzülerek küçülür ve süreç içinde ısınır. Bu da karbon oluşturmak için füzyona girecek helyumun gereksinim duyduğu koşulları sağlar. Yani bu durumda yıldızın hidrojen yakan kabuğuyla çevrelenmiş helyum yakan bir çekirdeği olur. Ancak yıldız helyumu karbona dönüştürdükçe, çekirdek karbon zengini olur ve yıldızın geri kalanından daha ağırlaşır. Dolayısıyla büzülerek küçülür ve ısınır. Bu da karbonun yanması için gereken koşulu oluşturur. Artık yıldızın hidrojen yakan kabuğu ile çevrelenmiş helyum yakan kabuğu ile çevrelenmiş karbon yakan bir çekirdeği vardır. Şu an itibariyle oluşan model netleşmiş olmalıdır. Bir yıldızın evrimini tamamlarken giderek daha ağırlaşan bir çekirdek oluşturması sırasında iç kısmı da soğanı andıran bir yapı geliştirir. En ağır elementler çekirdeğinde oluşur, ondan biraz daha hafif olanlar çekirdeği çevreleyen kabukta oluşur, ondan da hafif olanlar bir sonraki kabukta oluşur ve bu oluşum süreci böyle devam eder. Bir yıldız, merkezinde silikonu demire dönüştürebilmeye başladığı zaman soğan kabuğu gibi çok sayıda element oluşumuna olanak tanıyan kabuğa sahip olmuştur. Dışarıdan içeriye doğru sırasıyla hidrojen, helyum, karbon, oksijen, neon... ve son olarak demir kabukları bulunur.

Yıldızlardaki element oluşumu ile ilgili problem, bir yıldızın yaşam ömrü boyunca özenle oluşturulan tüm elementlerin içeriye hapsolmuş olmasıdır. Ayrıca, hapsolan tüm bu elementler arasında soğan benzeri yıldızın merkezinde yer alan demir kadar derinlere hapsolanı yoktur. Dolayısıyla Yeryüzü'nde her an her yerde demirin bulunması gerçeği, bize yalnızca uzayda bir yerde 4,5 milyar derecelik bir fırın olduğunu göstermekle kalmaz. Ayrıca demiri o fırından uzaya çıkarmanın ve böylelikle orada süzülen gaz bulutlarını -yeni yıldızlar ve gezegenler doğması için gereken malzemeyi sağlayan gaz bulutlarını- zenginleştirebilmesinin bir yolu olması gerektiğini de gösterir. İkinci Dünya Savaşı'nın doruk noktasında bu yolu keşfeden kişi İngiliz astronom Fred Hoyle olmuştur.

Pek çok bilim insanı gibi Hoyle'a da savaşta görev verilmişti. Buna göre İngiliz donanmasının gemileri için radar geliştirmesi gerekiyordu. 1944 yılının sonunda görevinin bir parçası olarak Washington D.C.'ye bir radar konferansına gönderildi. Konferans sonrasında ABD Donanma Üssü'nde kullanılan bir radar birimini görmesi için İngiltere Büyükelçiliği tarafından ülkenin üzerinde bir uçtan öbür uçtaki San Diego'ya kadar uçuşu ayarlandı. Güney Kaliforniya'dayken dünyadaki en büyük teleskopa -100 inçlik Hooker teleskopu- sahip olmasıyla övünen Mount Wilson Gözlemevi'nden yalnızca birkaç yüz mil uzaklıkta olduğunu biliyordu. O yüzden programındaki boş zamanlardan birinde kuzeye Los Angeles'a giden bir trene atladı.

Edwin Hubble'ın yirminci yüzyılın en önemli kozmolojik keşfini yapmış olduğu yer Mount Wilson'dı. Burada Evren'in genişlediğini, Büyük Patlama olarak anılan dev bir patlama sonrasında kendisini oluşturan galaksilerin tıpkı kozmik şarapnel parçaları gibi etrafa saçıldığını keşfetmişti. Hoyle, Pasadena'da bulunan Mount Wilson Gözlemevi'nin genel merkezine ulaştığında astronomların çoğu yoktu. Tıpkı İngiliz meslektaşları gibi savaşta görev almışlardı. Bunun istisnası olan dikkat çekici isimlerden biri de bir Alman göçmen Walter Baade'ydi. Savaşın çıkmasıyla birlikte düşman uyruklu olduğu için askeri görevlendirmeden muaf tutulmuştu. Bu da onun 100-inçlik teleskopla dilediği gibi çalışabilmesine ve hava saldırısına karşı karartılan Los Angeles semalarından Evren'in derinliklerine bakabilmenin avantajını çıkarmasına neden olmuştu.³ Hoyle'un Mount Wilson'da 100-inçliğin başında bir hafta sonu geçirmesinden sonra onu alıp yeniden Pasadena'ya götürme görevi Baade'ye verilmişti. Yolculuk sırasında astronomideki son gelişmeler üzerine sohbet ettiler ve özellikle de patlayan yıldızlardan bahsettiler. Hoyle onların sönük olduklarını düşündüğünden söz etti, ama Baade çabucak onların sönük olmak dışında her şeyi olabilecekleri konusunda Hoyle'u ikna etti.

Baade'nin özel ilgi alanı, 1930larda ayrı bir sınıfa ait olduğunu fark ettiği 'süpernova'ydı. Galaksilerin birbirlerinden ayrı yönlerle uçtuklarını keşfetmesinden önce onların gerçek doğalarını keşfeden Hubble sayesinde bunu fark edebilmişti. Hubble, 1924 yılında 100-inçlik teleskopunu kullanarak Andromeda'daki Büyük Nebula'da yer alan yıldızları ayrı ayrı incelemiştir. Böylelikle onun, çoğu astronomun düşündüğü gibi Samanyolu'muzun içinde yer alan bir gaz bulutu olmadığını, Samanyolu'nun sınırlarının ötesinde yıldızlardan oluşan tamamen ayrı bir ada evreni -bir galaksi- olduğunu kanıtlamıştır. Aslında Hubble, 'mesafe belirleyici' olarak kullanılan ve Sefe değişkeni olarak bilinen bir yıldız türünü kullanarak Andromeda'ya olan uzaklığı ölçmeyi başarmıştır. Burası en yakın galaksi olmasına rağmen o kadar uzaktır ki ışığın Yeryüzü'ne gelmesi için milyonlarca yıl geçmesi gerekir.

Baade'nin İsviçreli çalışma arkadaşı Fritz Zwicky ile birlikte gözlemlediği üzere bu durumun patlayan yıldızlar veya 'nova'lar ile ilgili bir takım çıkarımlar doğurduğu görülmektedir.⁴ Galaksilerde patlamalar saptamışlardır. Birdenbire bunların Samanyolu'nda gözlenenlerden çok daha parlak olmaları gerektiği açıkça ortaya çıkmıştır. Baade ve Zwicky, Evren'deki patlayan yıldızların ayrıldığı iki farklı sınıf olması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. 'Süpernova,' parıltısıyla çoğu zaman 100 milyar yıldızdan oluşan koca bir galaksiyi gölgede bırakan sıradan bir novadan bir milyon kat daha güçlüdür.

Böylesine muazzam bir yangına neden olan nedir? Tüm bu enerji nereden gelir? Hoyle, İngiltere'ye giden bir uçak yakalamak için Montreal'e giderken bu sorulara kafa yoruyordu. Bu kadar büyük bir enerjinin tek bir kaynağı olabileceğinin çabucak farkına vardı: kütleçekimsel enerji. Eğer kütlesi büyük olan bir yıldızın özündeki yakıt tükenirse, artık kütleçekimine karşı koyacak ısıyı yaratamayacaktır. Çekirdeği acımasızca ezilecektir. Yıldızın hızla küçülen merkez bölgelerindeki sıcaklık akıl almaz seviyelere çıkarak çekirdeklerin bileşenleri olan protonlar ve nötronlara ayrılmalarına neden olacaktır. Bu yıkıcı çarpışma ile maddenin içinde-

ki boşlukların tamamı ezilecek, protonlar ve elektronlar sıkıştırılarak nötronlar oluşacaktır. Yıldızın ortası, saniyeler içinde neredeyse Everest Dağı büyüklüğünde sert bir nötron topuna dönüşecektir.⁵ Hoyle böyle bir iç patlamanın nasıl olup da bir süpernovanın patlamasına dönüştüğünü bilmiyordu. Bildiği tek şey yıldızın kalbinin büzülerek küçülüp bir 'nötron özüne' dönüştüğü sırada bir süpernovaya güç sağlamaya yetecek kadar enerjinin ısıya dönüştüğüydü. Kelvin'in yanılarak Güneş'e güç sağladığını düşündüğü kaynak olan kütleçekimsel enerji bir kez daha ortaya çıkmıştı.

Hoyle'un Montreal'den ülkesine uçuşu kötü hava koşullarından dolayı ertelenmişti. Şehirde kaldığı sırada tesadüfen Cambridge'den arkadaşlarıyla karşılaşmıştı. Nükleer fizikçilerdi ve Hoyle, onların Tüp Alaşımı (Tube Alloys) adı verilen karanlık bir proje için görevlendirildiklerini biliyordu. Hatta bunun İngiltere'nin nükleer bomba yapma planının ön hazırlığı olduğundan emindi. Berlin'de Otto Hahn ve Fritz Strassman'ın nötron ile çarpışan bir uranyum çekirdeğinin ikiye bölündüğünü ilan ettikleri 1938 yılının sonlarından beri bomba yapma fikrinden bahsediliyordu. Bu 'filyon (bölünme)' daha fazla uranyum çekirdeğini bölebilecek daha çok nötron püskürteceği için durdurulamaz gelgitsel nükleer enerji dalgalarını açığa çıkarabilecek kaçak bir 'zincir reaksiyon' oluşturabileceği gibi ürkütücü bir şüphe doğurdu. Akıl almaz bir vahşet yaratabilecek bir bomba yapmak için gereken tek şey, yeterince büyük bir uranyum parçasıydı.

Niels Bohr ve John Wheeler ise 1939 yılında böyle bir zincir reaksiyonun ancak nadir rastlanan bir uranyum türü kullanıldığında tetiklenebileceğini belirttiler. Hoyle, 'Tüp Alaşımı' ekibinin hedefinin bu uranyum-235 parçasını oluşturmak olduğunu sanıyordu. Bunu yaptıktan sonra personelinin bombayı test etmek için Almanların meraklı bakışlarından uzağa, Kuzey Amerika'ya gönderecekti. Ancak uranyum-235 kimyasal açıdan sıradan uranyum ile özdeşti ve Hoyle'a göre onu ayırtmak da büyük olasılıkla yıllar alacak zorlu bir görevdi. Ona göre

Tüp Alaşımı projesinin kısa sürede başarıya ulaşma olasılığı yok denecek kadar azdı. Asıl gizem ise personelinin neden Montreal'de olduğuydu.

Hoyle'un aklına gelen tek açıklama bombaya giden daha hızlı başka bir yol olması gerektiği ve bunun da test patlamaya yakın olduğuydu. Üstelik, doğruyu söylemek gerekirse Bohr ve Wheeler aslında uranyum-235 dışında fisyonu girecek başka bir çekirdek olduğunu keşfetmişlerdi. Plütonyum doğanın bilinen elementlerinden değildi ama nükleer bir 'atom reaktöründe' yapay olarak uranyumdan elde edilmiş olabilir. Bir bomba için mükemmel bir malzemeydi çünkü ayrı bir elementti ve bu nedenle uranyumdan kolaylıkla ayrılabilirdi.

Hoyle, Montreal'de havanın düzelmesini beklerken özgür dünyadaki en büyük bilim insanlarından bazılarının Amerika'nın güneybatısında bir yerlerde bir araya getirilerek bir bomba ekibi kurulduğuna dair bir söylentiye anımsadı.⁶ Böylesine zorlu bir ekibe gereksinim duyulmuş olması ona tuhaf gelmişti. Nükleer enerjinin patlama yaratacak şekilde serbest kalmasını tetiklemek için iki tane parçalanabilir materyali alarak birbirlerine sertçe vurmak gerektiğini düşünmüştü. 'Kritik kütlelerinin' üzerine çıkıldığı anda otomatik olarak kaçak bir zincir reaksiyon başlayacaktı. Amerikalı bomba ekibinin varlığı Hoyle'a açıkça plütonyum için bunun işe yaramayacağını göstermişti. Bombaya giden plütonyum yolu üzerinde bir yerde bir engel olmalıydı. Bu da İngiltere'nin neden Hoyle'a göre çok zor olan uranyum-235 yolunu seçtiğini açıklıyor olmalıydı.

O zaman plütonyum problemi neydi? Hoyle'un düşünebildiği tek şey şudur: insan yapımı bir elementin iki parçası birbirine şiddetle vurulduğunda oluşan fisyonlar sırasında o kadar yüksek bir sıcaklık oluşur ki, kaçak bir zincir reaksiyon oluşmadan önce parçaları birbirlerinden uzağa iter. Bu durum bir patlama değil fos çıkan bir patlama beklentisi yaratır. Eğer olsaydı, parçalar birbirlerine doğru itileceklerdi. Plütonyumu geleneksel patlayıcılardan oluşan küre şeklinde bir kabuk ile sarıp, iç patlama yaptırılırsa bu gerçekleşebilir. Ancak Hoyle tam bir küre şeklinde patlama dalgası yaratmanın olağanüstü güç olduğunu biliyordu. Montreal'de

uçacağını beklerken en sonunda plütonyum bombasına giden yolun önündeki engelin bu olması gerektiği sonucuna vardı.

Bu noktada Hoyle'un Baade ile buluşmasından bu yana kafasında dönüp duran birtakım düşünceler toparlanmaya başladı. 'İç patlama' sözcüğü sayesinde bunu yapabilişti. İç patlamanın, süpernovanın dış patlamasını tetiklediğine inanıyordu. Ayrıca, bir plütonyum bombasının kaçak nükleer reaksiyonlarını yönlendiren şeyin iç patlama olduğu açıkça görülüyordu. Hoyle düşünüp taşındı. Bir süpernovanın içindeki patlamanın elementleri oluşturan nükleer reaksiyonlara yol açması mümkün müydü? Süpernovanın demirin ve bedenlerimizdeki diğer tüm elementlerin yapıldığı fırın olması mümkün müydü?

Hava açıldığında Hoyle Kurtarıcı bombardıman uçağına binip Alman denizaltılarıyla dolu Kuzey Atlantik'i aşarak yeniden İskoçya'ya döndü. En sonunda yeniden Cambridge'e döndüğünde süpernovanın içindeki cehennemin element oluşumu için mükemmel bir fırın olduğunu düşünmeye devam etti. Yıldızsal bir iç patlamanın yaratacağı bir cehennemde sıcaklığın bir anda inanılmaz ölçüde yükseğe çıkabileceğini ve o sıcaklık derecesinde akla gelen her nükleer reaksiyonun olası olduğunu fark etti. Ayrıca çekirdekler de sıkıştırılacak ve bu nükleer reaksiyonlar son derece tehlikeli bir hızla gerçekleşecekti. Böyle süper hızlı nükleer reaksiyonlar, yaratış ve yıkış süreçleri arasında mükemmel bir dengenin olduğu 'nükleer istatistiksel denge' adı verilen bir konum yaratır. Her nükleer reaksiyon ve karşıtı tam olarak aynı hızda gerçekleşir. Bu nedenle her element bozunduğu kadar hızlı bir şekilde oluşur. Bir tankın içinden sızan su miktarı kadar suyun doldurulduğunu hayal edin. Giriş ve çıkışlara rağmen su seviyesi tamamen aynı kalır. Benzer şekilde nükleer istatistiksel dengede de her elementin bolluk derecesi aynı kalır veya olduğu gibi 'donar.' Tüm beklentilerin aksine, şaşırtıcı ölçüde karmaşık nükleer reaksiyonlar âleminin basit bir sonucu vardır. Hoyle da, can alıcı bir biçimde, bu sonucun öngörülebilir olduğunu fark etmiştir.

Bolluklar ancak iki şeye bağlı olabilir: çekirdeklerin ortalama hareket enerjisini belirleyen küçülen yıldızın çekirdeğinin sıcaklığı ve han-

gi çekirdeğin nükleer reaksiyonlarla yapılacağını belirleyen çekirdekler arasındaki kütle farkları. Hoyle'un ihtiyacı olan tek şey o kütle farklarıydı. Şansı yaver gittiği için 1939'da Almanların bir atom bombası yapma tehlikesine karşı İngiliz hükümetini uyaran ilk kişi olan Avusturyalı fizikçi Otto Frisch ile tanıştı. Frisch bomba projesi üzerine çalıştığı Amerika'dan yeni dönmüştü. Hoyle'un aradığı şey ondaydı. Çekmece-sinden Alman fizikçi Josef Mattauch tarafından derlenmiş bir nükleer kütleler tablosu çıkardı.

Hoyle, demir ve benzeri kütlelere sahip elementlerin bolluk dağıtının yamacında alışılmadık ölçüde geniş bir tepecik oluşturduklarını biliyordu. Buna 'demir zirve' adı verilmişti. Hafif bir meyil oluşturan, skandiyuma komşu dağ eteklerinden yükselerek titanyum, vanadyum, krom ve magnezyuma çıkıyor ve demir grubu elementler arasında en bol bulunanı olan demir-56 ile en tepe noktasına ulaşıyordu. Tepe noktasının uzak bir köşesinde zirvenin sertçe düşüşe geçtiğini görüyoruz. Kobalt ve nikelin arasından geçerek bakır ve çinkoya komşu dağ eteklerine iniyordu. Hoyle, Mattauch'nun nükleer kütleler tablosunu kullanarak iç patlama yaşanan bir yıldızın içindeki nükleer istatistiksel denge için beklenen donmuş bollukları hesapladı. Hoş bir sürpriz olarak bu bollukların yaklaşık 5 milyar derece sıcaklıktaki demir zirve bolluklarının şekline tamamen uyduğunu gördü.

Elementlerin kökenlerini keşfetme macerası içinde çığır açan bir anıydı. Hoyle, doğadaki element-oluşumu sürecinin şüphe götürmez parmak izlerini bulmuştu. Bu keşif yıldızların bedenlerimizdeki elementleri işleyecek kadar ısınabildikleri konusunda şüpheye yer bırakmayacak şekilde onu ikna etmişti. Gamow'un Büyük Patlama fırını gibi diğer yerlerin ise o fırın olmadığı anlaşılmıştı.⁷ Bu keşif sonrasında onu üçlü alfa sürecinin nasıl karbon oluşturduğunu anlamak için çalışmalar yapmaya götürecek, yıldızların içindeki tüm ağır elementlerin oluşumuna giden yolu açacaktı. Süpernovalarda element oluşumunun devam etmesi gerektiğini söyleyen Hoyle'un büyük ikramiyesi ise bir süpernovanın patlaması olmuştu. Fırın-

nının ürünlerini uzayın rüzgârlarına saçmıştı. Sonradan orada yenidoğan yıldızlara ve gezegenlere ve bizimki gibi yaşamlara dahil olacaktı.

Aslında süpernova hikâyesi şöyle devam ediyor. Kütlesi büyük, gelişmiş bir yıldız, sonunda özüne yakın yerlerdeki kabuklarında daha ağır elementlerin olduğu soğan benzeri bir içyapı geliştirir. En sonunda demir özü oluşturan silikon yanma sürecine girer. Ancak bu, yıldız için kötü bir haberdır. Demir, Aston'un nükleer istikrar vadisinin tabanında yer alır. Bu nedenle bir helyum çekirdeği bir demir-56 çekirdeğine çarptığı zaman ortaya nükleon başına daha az değil daha fazla enerjisi olan bir çekirdek çıkar.⁸ Kütle enerjisinin ısıya dönmesi -bu noktaya kadar yıldızın ömrü boyunca gerçekleşen tüm element oluşum süreçlerinde bu yaşanırdı- yerine ısı, kütle enerjisine dönmelidir. Isı enerjisinin gelebileceği tek yer, yıldızın kendi özüdür. Başka bir deyişle ısı, tıpkı bir vampir gibi yıldızın kalbinden emilir. Isıdan yoksun kalan özün kendini ezmeye çalışan kütle çekimine karşı koyacak gücü kalmayacaktır. Feci bir şekilde küçülecektir.

Ayrıca, nükleer istatistiksel dengenin nükleer reaksiyonlarının devam ettiği yer, iç patlama yaşayan özün yarattığı girdaptır. O nükleer reaksiyonlar, Yeryüzü'nde bulduğumuz demir-zirve elementlerini işlerler. Bunlar titanyumdan kroma, bakırdan çinkoya ve demirin kendisine kadar çok çeşitli olabilir. Medeniyeti olası kılan elementlerdir ve bundan dolayı süpernovaların fırınlarına minnettar olmamız gerekir. Süpernovalar tarafından uzaya fırlatılan elementler, yıldızın yaşam süresi boyunca titizlikle oluşturmuş olduğu çekirdeklerin kombinasyonu *ve* patlamanın kendisinin yarattığı cehennemde işlenen çekirdeklerdir. Hiç kimse doğanın basit olduğunu söylemedi.

1987 yılında 400 yıl sonra ilke kez çıplak gözle görülebilecek bir süpernova patlaması yaşandığında patlayan bir yıldızın içindeki element oluşumunun resmi de sınanmış oldu. Samanyolu'nun uydu galaksilerinden Büyük Macellan Bulutu içinde patlayan bu süpernovanın tarihi fotoğraf klişeleri, öncü yıldızın Sanduleak -69° 202 adı verilen büyük

bir güneş olduğunu gösteriyordu. Yıldız, demiri yakacak, özünden ısıyı emecek ve iç patlamaya neden olacak bir aşamaya gelmişti. En sonunda merkezindeki sıcaklık o kadar yükseldi ki çekirdekleri nötronlara ayrıldı. Bunlar birbirlerine sıkıca birleşerek bir nötron özü -Everest Dağı boyutunda küçük, süper-sert bir top- oluşturdular. Bunun kütle çekimine kapılan yıldız, bu nötron yıldızın sert yüzeyine çarpınca sıçradı. İç patlamanın dış patlamaya dönüşerek süpernova 1987A'yı oluşturmalarının hikâyesi budur.

Patlama öncesinde iç patlama yaşayan yıldızın özü büzüşerek küçüldükçe yükselen sıcaklık, yalnızca demir zirvenin elementlerini yaratan bir dizi nükleer reaksiyonu tetiklemekle kalmamış, aynı zamanda özün çevresindeki soğan kabuğu katmanlarında -genellikle karbon-12, oksijen-16, neon-20 ve silikon-28'den yapılmış katmanlar- gerçekleşen nükleer reaksiyonları da tetiklemiştir. Bunlar o kadar kızgın bir sıcaklığa erişmişlerdir ki içlerindeki çekirdekler nükleer istikrar vadisinin en aşağısına yuvarlanmışlardır. Daha önce belirtildiği üzere doğadaki en kararlı çekirdek demir-56 değil, aynı sayıda nükleer yapı taşına sahip olan nikel-56'dır. Sonuç olarak süpernovanın çekirdeğinin çevresindeki soğuyan soğan kabuğu katmanlarındaki çekirdekler de kendilerini nikel-56'ya dönüştürürler.⁹ Nikel-56 gama ışını olarak bilinen yüksek enerjili bir foton püskürterek yarı ömrü olan altı gün içinde bozunur ve kobalt-56'ya dönüşür. Bundan sonra kobalt-56 başka bir gama ışını fotonu püskürterek yarı ömrü olan 77 gün içinde bozunarak demir-56 olur.

Bunun önemi şudur: gama ışınları, Dünya'nın her yerindeki gama ışını gözlemcilerinden saptanabilir. Aslında süpernova 1987A ile ilgili en doğru veriler, kobalt-56'nın kendini demir-56'ya dönüştürdüğü ikinci bozunum sırasında alınmıştır. Astronomlar bu gama ışınlarını saptayabilmişlerdir. Bu ışınlar yalnızca beklenen enerjiye sahip olmakla kalmayıp, 77 günlük karakteristik bir zaman skalası ile yavaşça gözden kayboldular. Bu da süpernovanın içindeki element oluşumu resminin doğru olduğuna dair yeterince güçlü bir kanıttır.

Ama daha fazlası da vardı.

Sanduleak -69° 202'nin parçaları genişledikçe beklendiği şekilde çabucak soğuyor ve sönüyordu. Ancak bu parçalar arasında nikel-56 vardı ve bozunması sırasında çıkan gama ışınları parçaları yeniden ısıtarak¹⁰ parçaların görülebilir bir ışıkla parlamasını sağlıyordu. Başka bir ifadeyle, astronomların süpernovayı görmesini sağlayan ışıktan, gama ışınları sorumluydu. Üstelik bu ışık, 77 günlük karakteristik bir zaman skalası içinde sönmişti. Nikel, astronomların gözlerinin önünde demire dönüşüyordu. Bir süpernova patlamasındaki demir-56 oluşumunun açık ve net görüntüsüne tanıklık ediyorlardı.

Ortaya çıkan resim insanı huşu içinde bırakıyordu. Yeryüzü'ndeki ve kanımızdaki demir, Güneş'in oluşmasından önce süpernovalar olarak patlayan dev yıldızlardan geliyordu.¹¹ Parçaları ise yıldızlar arasında süzülen gaz ve toz ile birbirine karışmıştı. 4,55 milyar yıl önce bu gaz ve tozun içinden Güneş ve gezegenler katılaştı. Bu hikâye çok büyük ve çok uzak olanla -yıldızlarla- çok küçük ve çok yakın olan -sizler ve beni oluşturan atomlar- arasındaki bağlantıyı göstermesi açısından benzersizdir. Elinizi önünüzde tutun. Siz yıldız parçacıklarından oluşuyorsunuz. Amerikalı astronom Allan Sandage'ın dikkat çektiği gibi: 'İnsanlar kardeşlerdir. Hepimiz aynı süpernovadan doğduk.' Yeryüzü'ndeki demir bolluğunun size anlatmaya çalıştığı şey budur.

ÜÇÜNCÜ KISIM

Olağan Dünyanın Evren İle İlgili Bize Söyledikleri

Yıldız Işığının Tarifsiz Zayıflığı

Gecenin karanlığı zamanın bir başlangıcı olduğunu gösteriyormuş gibi görünürken aslında oldukça farklı başka bir şeyi nasıl anlatır?

'Eğer yıldızlar, bizim Güneş'imizin sahip olduğu niteliklere sahip başka güneşler ise, neden bu güneşler bir araya gelip de bizim Güneş'imizin ışığını geride bırakamıyorlar?'

Johannes Kepler (Yıldız Habercisiyle Sohbetler, 1610)

'Teleskoplarımızın sayısız yönde saptadığı karanlığı algılayabilmemizin tek yolu, görünmez ardaalan mesafesinin uçsuz bucaksız olduğunu ve bundan dolayı herhangi bir ışının bize ulaşmayı başaramadığını varsaymaktır.'

Edgar Allan Poe ('Eureka', 1848)

Herhangi bir kasabanın ya da şehrin ışıklarından uzak, net bir gece. Yıldızlar tıpkı elmas gibi parlıyor. O kadar çok yıldız var ki geceleyin gökyüzünün en çarpıcı özelliğini görmenize engel oluyorlar: karanlığı. Baskın karanlığı. Klişe bir gözlem gibi görünebilir. Ancak bizlere Evren

hakkında önemli bir şeyler söylemektedir. Astronomların ezici bir çoğunluğu bu karanlığın bize Evren'in daima var olmadığını; varlığının ortaya çıktığı bir an yaşandığını; sizler, ben ve Yeryüzündeki diğer canlılar gibi doğmuş olduğunu gösterdiğine inanırlar. Ama aslında astronomlar büyük bir yanlışlı içindeler. Geceleyin gökyüzünün karanlık olması, bizlere tamamen farklı bir şey anlatır.

Gökyüzüyle ilgili bu kadar sıradan bir gözlemin bizlere kozmos hakkında bir şeyler anlatmaya çalıştığını fark eden ilk kişi, Kutsal Roma İmparatorluğu imparatorunun saray matematikçisi olan Alman astronom Johannes Kepler olmuştur. 1610'da Galileo'nun çoksatan eseri *Yıldız Habercisi*'nin (*Starry Messenger*) bir kopyasını almıştır. İtalyan bilim adamı bu kitapta yeni icat edilen teleskop ile yapmış olduğu astronomi keşiflerinden göz etmektedir. Bunların arasında Ay'ın üzerindeki dağlar ve Jupiter'in dört Galileo Ay'ı bulunmaktadır. Kepler bu kitaptan o kadar etkilenmişti ki hemen Galileo'ya bir mektup yazdı. Bu mektubu sonradan kısa kitap olarak yayınlanmıştı. Kepler, *Yıldız Habercisiyle Sohbetler*'de yalnızca Galileo'nun çalışmasının altını çizmekle kalmamış, aynı zamanda başka hiç kimsenin fark etmemiş olduğu bir şeye dikkat çekmiştir: gökyüzünün geceki karanlığı son derece şaşırtıcıdır.

İnsanların çoğuna gece gökyüzünün neden karanlık olduğu sorulduğunda şu yanıtı alırsınız: Güneş olmadığından ve yıldızların ışığının da güneş ışığından çok daha zayıf olduğu için. Geceleyin gökyüzünün karanlık olmasının nedeninin açıkça görünenden çok farklı olduğunu ve aslında Evren hakkında çok daha derin bir şeyler anlatıyor olabileceğini fark etmek ancak bir dâhinin işi olabilir.

Kepler'in mantığı dolambaçsız ve açıktı. Eğer Evren sonsuzsa ve bundan dolayı yıldızları sonsuza dek ilerliyorsa, o zaman geceleyin gökyüzünde gördüğümüz parlak yıldızların arasında daha uzak, daha soluk yıldızlar görmeliyiz. Üstelik, onların arasında ise çok daha uzak ve çok soluk yıldızlar olmalıdır. Tıpkı sık bir ormanın içine bakmak gibi. Yakınındaki ağaçların gövdelerinin arasında daha uzaktaki ağaçların göv-

delerini ve onların arasında ise daha da uzaktaki ağaçların gövdelerini görürsünüz. Dolayısıyla karşınızdaki manzara kesintisiz bir ağaç duvarı olacaktır. Kepler de bu örneğe benzer şekilde Evren'e baktığımız zaman kesintisiz bir yıldız duvarı görmemiz gerektiğini iddia etmektedir.

Bundan daha açık ve net olmak da mümkündür. Yeryüzü'nün eşmerkezli soğan kabuklarına benzeyen küre biçimindeki uzay kabuklarıyla çevrili olduğunu hayal edin. Bir kabuk ne kadar uzaksa, içerdiği yıldızlar da o kadar soluk olacaktır. Öte yandan kabuk uzaklaştıkça büyüyecek ve daha fazla yıldız kapsayacaktır. Yıldızların sayısındaki artış, yıldızların giderek soluklaşmasını tam anlamıyla telafi etmelidir.¹ Başka bir ifadeyle, yıldızların her soğan kabuğunun dünyadan görünen gece gökyüzüne aynı ışık katkısını yapmış olması gerekir. Ancak bu bir felakettir. Eğer Evren sonsuza dek sürerse, bu tür kabuklardan sonsuz sayıda olacaktır. Bunların hepsinden gelen ışığı toplarsanız sonsuz bir miktar elde edersiniz. Gece karanlık olmaktan çok uzak olmalı, gökyüzü sonsuz bir aydınlıkla parlamalıdır.

Herhangi bir sayıdan büyük olan sonsuzluk, sadece soyut bir matematik kavramıdır. Gerçek dünyada sonsuzluk boyutunda olan herhangi bir şey yoktur. Dolayısıyla geceleyin gökyüzünün sonsuz bir aydınlıkla parlaması gerektiği sonucu yanlış olmalıdır. Bu mantığın bir yerinde bir eksik ya da kusur olmalıdır; ki vardır. Yıldızlar boyutsuz baş belaları gibi görünüyor olsa da gerçek dünyada başka güneşlerdir. Muazzam bir uzaklıkta oldukları için küçük benekler olarak görünmektedirler. Her biri ufacık bir disk şeklindedir. En güçlü teleskoplarla bile görülemeyecek kadar küçüklerdir ama yine de disklerdir. Sonuç olarak yakın olan yıldızların diskleri, uzaktakileri gizler. Tıpkı ormanda yakındaki ağaçların uzaktakilerin görünmesini engellemesi gibi. Bu durumda geceleyin gökyüzünün tamamen yıldız diskleriyle kaplı olması gerekir. Sonsuz bir aydınlığı olmasa da tipik bir yıldızın yüzeyi kadar aydınlık olacaktır.

Kepler, Güneş'in tipik bir yıldız olduğuna inanıyordu. Buna göre geceleyin gökyüzünün Güneş'in yüzeyi kadar parlak olması gerektiği sonucunu çıkarmıştı. Günümüzde Güneş'in ortalama bir yıldız olmadığını biliyoruz. Birçoğundan çok daha ışıktır. Güneş sisteminin yakınlarında bulunan

yıldızların yüzde 70'i 'kızıl cücelerdir.' Sönmekte olan ateşin yaydığı yumuşak ışığı andıran bir ışık yayan soğumuş güneşlerdir. Ancak bu da Kepler'in vardığı sonucu değiştirememiştir. Geceleyin gökyüzünün Güneş'in yüzeyi kadar parlak olmak yerine boydan boya kızıl bir ışıkla parlaması gerektiğini iddia etmiştir. 'Bu yoğun ışık cehenneminin ortasında,' demiştir Anglo-Amerikan kozmolog Edward Harrison, 'yaşamın saniyeler içinde sona ermesi, atmosferin ve okyanusların dakikalar içinde kaynaması ve Yeryüzü'nün birkaç saat içinde buharlaşıp yok olması gerekir.'

Ne mutlu ki gökyüzü tipik bir yıldızın yüzeyi kadar parlak değildir. Yaklaşık bir trilyon keçe trilyon kere trilyon kez daha soluktur. Geceleyin gökyüzünün mantiken aydınlık olması gerekirken karanlık olması çelişkisi, Kepler paradoksu olarak adlandırılır. Ancak on dokuzuncu yüzyılın başında seçkin bir Alman astronom olan Heinrich Olbers tarafından popüler olduğu için daha çok Olbers paradoksu olarak bilinir.

Bir tahmin ile sağlam bir gözlem arasında uyumsuzluk olduğunda tahminin yanlış olduğu düşünülecektir. Bu tahmine yol açan varsayımların yeniden gözden geçirilmesi gerekir. Kepler'in en açık varsayımı Evren'in sonsuz olduğudur. Eğer bu doğru değilse, o zaman paradoks da gidebilir. Ne de olsa Yeryüzü'nün gece gökyüzüne ışık katkısında bulunan yıldızların soğan kabuğu misali katmanları yalnızca sınırlı sayıda olacaktır. Karanlık görünecek kadar az yıldız ışığıyla dolu bir gökyüzünü hayal etmek kolaydır. Aslında Kepler'in karanlık gökyüzü paradoksunun çözümü buydu. Sonsuz bir Evren fikrinden nefret ediyordu. Bu onu dehşete düşürüyordu. Korkunç bir şeydi. Dolayısıyla bir ölçüde rahatlayarak Evren'in sınırlı olması gerektiği sonucuna vardı.

Kepler haklıysa, kozmosun sonu olmayan bir orman gibi olmaması gerekir; arkadaki karanlık duvarın önünde kümelenen ağaçlara benzer. Ağaç kümesi çok küçük ve seyrek olduğu için arkasındaki duvarı görebiliriz. Yıldızların arasından görünen karanlık budur.

Aslında astronomlar yirminci yüzyılda gerçekten de Evren'in -ya da en azından Evren'in yıldızların ışığını aldığımız bölümünün- sınırlı olduğunu keşfetmişlerdir. Edwin Hubble'ın 1929'da Evren'in genişlediğini

ve onu oluşturan galaksilerin kozmik şarapnel parçacıkları gibi etrafa saçıldığını keşfetmiş olduğunu anımsayın. Eğer bu genişlemenin tıpkı başa sarılan bir film gibi tersine işleyişini hayal edersek, tüm bu yaratımın en küçükten bile küçük bir hacme sıkıştırıldığını görürüz. Zamanın başlangıcı, Evren'in doğum anı olan Büyük Patlama budur. En iyi mevcut tahminlere göre 13,7 milyar yıl önce yaşanan Büyük Patlama ile birlikte uzay, zaman, madde ve enerji varlık bulmuştur.

Evren'in boyutu -ya da en azından geçerli boyutu- kaçınılmaz şekilde yaşı ile ilintilidir. Bunun nedeni ışığın hızlı olmasına rağmen sonsuz bir hıza sahip olmamasından kaynaklanır. Bu nedenle uzayı boydan boya geçmesi zaman alır.² 13,7 milyar yıllık bir zaman dilimi hayal bile edilemeyecek kadar uzun bir süre gibi görünebilir, ama uzayın enginliğinde salyangoz hızıyla hareket ederek Evren'in en uzak köşelerinden Yeryüzü'ne ulaşmaya çalışan ışık için o kadar da uzun değildir. Sonuç olarak gökyüzünde görebildiğimiz objeler, yalnızca ışıklarının bize ulaşması 13,7 milyar yıldan az sürenlerdir. Onların Yeryüzü'nün ortasında bir kabarcık -'gözlenebilir evren'- işgal ettiklerini hayal edin.

Gözlenebilir evren 'kozmetik ışık ufku' ile çevrilidir. Bu da denizin ufkularına fazlasıyla benzer. Ufkun ötesinde denizin devam ettiğini biliriz. Benzer şekilde kozmik ışık ufkunun ötesinde de Evren'in devam ettiğini biliriz. Yalnızca ışığı henüz oraya ulaşamamıştır. Yine de yoldadır.

Işık yılı, ışığın bir yılda kat ettiği mesafe demektir.³ O zaman açıkça kozmik ışık yılına olan mesafenin 13,7 milyar ışık yılı olması gerektiği sonucuna varılabilir. Ancak bu doğru değildir, çünkü Evren'in var oluşunun ilk anında kısacık, ışıktan hızlı bir patlama yaşadığına inanılır. Bu 'şişme' dolayısıyla ışık ufkuna olan mesafe 13,7 milyar değil yaklaşık 42 milyar ışık yılıdır.⁴

Elbette Evren'in sınırsız bir kapsamı olabilir. Aslında şişme tablosuna göre etkili bir sonsuzluğa sahiptir. Ancak Evren'in sınırlı yaşının ve ışığın sınırlı hızının birleşimi, 84 milyar ışık yılı boyunca bir kabarcığa ışık alabileceğimiz uzay hacmini azaltır. Bu da Yeryüzü'ne ulaşan ışık miktarını dramatik ölçüde keser.⁵

Işıkları bize ulaşamayacak kadar uzakta olan yıldızlardan dolayı geceleyin gökyüzünün karanlık olduğunu fark eden ilk insanın Edgar Allen Poe olması dikkat çekicidir. 1848'de yayınlanan hayal ürünü 'Eureka' adlı eserinde şöyle yazmıştır:

"Yıldızların birbirini takip etme durumu sonsuz olsaydı o zaman gökyüzünün arka fonunun her yerinde aynı olan bir parlaklık olurdu: çünkü içinde bir yıldız barındırmayan o karanlığın tamamı kesinlikle anlamsız olabilirdi. Teleskoplarımızın her yönde gördüğü karanlığı anlayabilmemizin tek yolu, hiçbir ışığın içinden geçerek bize ulaşamayacağı görünmez arka fonun son derece uzak olduğunu varsaymaktır. "

O zaman Evren'in sınırlı bir yaşı olduğuna -Büyük Patlama'yla doğduğuna- dair kanıt da her gece karşımızda durmaktadır. Aslında insanlık tarihinin başlangıcından bu yana karşımızda durup bize bakmaktadır. Yalnızca şimdiye kadar kimse fark etmemiştir. Hiç kimse geceleyin karanlık olan gökyüzünün gerçek kozmik önemini tahmin edememiştir.

Bu muhteşem bir öyküdür. 400 yıllık gizemin muntazam çözümüdür. Dünya üzerindeki profesyonel astronomların yüzde 99'unun sorulduğunda göstereceği bir öyküdür. Ne yazık ki doğru değildir.

Sonsuz bir Evren'de geceleyin gökyüzünün tipik bir yıldızın yüzeyi kadar parlak görünmesi gerektiği sonucuna varan Kepler gizli bir varsayımda bulunmuştur: yıldızların Evren'i ışıkla doldurma görevleri olduğu varsayımı. Ne de olsa Yeryüzü'nde geceleyin gökyüzünün parlak görünmesi için yıldızların arasındaki boşlukların ağzına kadar yıldız ışığıyla dolu olması gerekir. Dolayısıyla geceleyin gökyüzünün karanlık olması gerçeğinden çıkarılabilecek tek sonuç, yıldızların bir nedenden dolayı Evren'i ışıklarıyla doldurmayı henüz başaramamış olduklarıdır.

Uzaydaki boşluğa trilyonlarca yıldız tarafından sürekli ışık yayılır. Ancak *Otostopçu'nun Galaksi Rehberi*'nde Douglas Adams'ın dikkat

çektığı gibi: 'Uzay büyüktür. Onun ne kadar engin, devasa, akıl almaz bir büyüklüğe sahip olduğuna inanamazsınız.' Bunun sonucunda uzayın tıpkı sonuna kadar doldurulmuş bir banyo küveti gibi yıldız ışığıyla dolması çok uzun zaman alacaktır. Tam olarak ne kadar zaman alacağı ise 1964 yılında Edward Harrison tarafından hesaplanmıştır. Ona göre yanıt 100.000.000.000.000.000.000 yıldır.⁶ Bu da Evren'in varlığını sürdürdüğüne inanılan 13,7 yıldan çok daha uzun bir süredir.

Buna göre geceleyin gökyüzünün karanlık olması Evren'in doğduğunu -son derece önemli bir şey olurdu- değil ama ışığın Evren'i doldurma zamanı olan 100.000.000.000.000.000.000.000 yaşından genç olduğunu göstermektedir. Evren'in yaşıyla ilgili çok yararlı bir sınır değildir. Bununla birlikte geceleyin gökyüzünün gözlenmesi gibi son derece sıradan bir olay sayesinde, çabasızcaya ortaya çıkmıştır.

O zaman buna göre kozmik aşamaya çok erken geldiğimiz sonucuna varabilir miyiz? Ayrıca, eğer 100.000.000.000.000.000.000.000 yıl sabırla bekleyecek olursak, geceleyin gökyüzünün ortalama bir yıldızın yüzeyi kadar parlak görüneceğini gerçekten görür müyüz? Elbette o kadar muazzam bir zaman diliminden sonra Yeryüzü büyük olasılıkla Güneş tarafından yutulmuş çoktan yok olmuş olur. Güneş'in kendisi de titrek parıltılarla sönüp gitmiş olacaktır. Ancak bu küçük bir detaydır. Diyelim ki 100.000.000.000.000.000.000.000 yıl sonra bile Evren'in rahatlıkla gözlenebileceği bir nokta olacağını hayal edin. Uzayın tamamı tipik bir yıldızın yüzeyi gibi parlayacak mıdır? Bu sorunun yanıtı hayırdır. Nedeni ise yalnızca Güneş'in çoktan sönmüş olması değil *tüm yıldızların* uzun zamandır sönmüş olması olacaktır. Onlar yeterince uzun süre yanmazlar.

Kepler'in farkına varamadığı şey buydu. Bir şeyi ısıtmak için bir enerji kaynağına gereksinim duyulması ve en sonunda tüm enerji kaynaklarının tükendiği fikri oldukça yeniydi. En azından on dokuzuncu yüzyıldan önce takdir edilmiyordu. Şu ana kadar Güneş 5 milyar yıldır yanmaktadır ve önümüzdeki 5 milyar yıl içinde enerjisi tükenecektir. Güneş'ten çok daha küçük hacmi olan kırmızı cüceler daha uzun süre yaşarlar. Ateşleri da-

ha soğuktur. Bu nedenle çok az bir enerji kullanarak 100 milyar yıl veya daha uzun süre hayatta kalabilirler.⁷ Ancak yıldızların Evren'i ağzına kadar ışıqla doldurmaları için gereken 100.000.000.000.000.000.000.000 yıl ile karşılaştırıldığında bu süre bile önemini yitirmektedir.

Kepler -ya da Olbers- paradoksunun aslında bir paradoks olmadığı ortaya çıkmıştır. Geceleyin gökyüzü asla ortalama bir yıldızın yüzeyi kadar parlak olamaz; çünkü o zaman yıldızların uzayı yıldız ışığıyla doldurmaları gerekir ve onların gereken yıldız ışığını yaratmaya yetecek enerjileri yoktur. Gece-gökyüzü paradoksu bize ya Evren'in ışıqla dolması için gereken zamandan genç olduğunu ya da yıldızların parlak bir gökyüzü oluşturmaya yetecek kadar enerjileri olmadığını gösterir. İkinci seçeneğin doğru olduğu görülmektedir Gökyüzü geceleyin karanlıktır, çünkü Evren'de yeterince enerji yoktur. Bu kadar basittir. Yıldızlar son derece cılız ve zayıflardır.

Kütle de bir enerji türü olduğu için Evren'i yıldız ışığıyla doldurmak için ne kadar maddenin ışığa dönüştürülmesi gerektiğini sormak mümkündür. Yanıt ise Evren'de var olandan 10 milyar kat daha fazla madde olacaktır. Ancak yıldızlar kendi kütlelerinin yüzde 100'ünü değil yalnızca yüzde 0,1'ini yıldız ışığına dönüştürürler. Sonuç olarak yıldızlar yaklaşık 10 trilyon kat daha az enerjiye sahip olmalarından dolayı Evren'i yıldız ışığıyla doldurmak konusunda yetersiz kalırlar.

O zaman eğer geceleyin gökyüzünün karanlık olması bize Evren'in doğduğunu değil de yıldızların anlatılamayacak ölçüde cılız olduklarını anlatıyorsa bunu neden bu kadar uzun uzun tartışalım? Çünkü bu, bir nedenden dolayı büyüleyici bir tarihi hikâyedir. Çünkü geceleyin gökyüzünün karanlık olmasının gerçek açıklamasını bilerseniz, dünya üzerindeki profesyonel astronomların yüzde 99'unun bilmedikleri bir şeyi bileceksiniz demektir. Çünkü kimi zaman yanlış bir iddianın neden yanlış olduğunu bilmek de önemli şeyleri aydınlatabilir -ve bu da dünyanın en güçlü beyinlerini 400 yıldır şaşkına çevirmektedir. Çünkü aslında her gün Evren'in doğduğunu -bu bölüm sizi yanıltmayacak- gösteren kanıt-

larla karşılaşırız ama geceleyin gökyüzünün karanlık olması bunlardan biri değildir.

İstasyonlar arasında arama yaparak TV'nizi ayarlayın. Ekranda bazı yerlerde karşınıza çıkan parazitli veya 'karlı' görüntünün nedeni, TV devrelerindeki elektronların mikroskobik titreşimidir. Bazıları ise binalardan, ağaçlardan, gökyüzünden, çevrilen araba kontak anahtarlarından, yanımızdan geçip giden taksilerden ve bunun gibi çeşitli yerlerden gelen ve yakalanan radyo dalgalarıdır. Ancak parazitlerin yaklaşık yüzde 1'i doğrudan Büyük Patlama'dan gelmektedir. TV anteniniz tarafından algılanmadan önce 13,7 milyar yıldır uzayda dolanıyorlardır ve anteninize yakalanmadan önce temas ettikleri en son şey ise Evren'in doğumunda ortaya çıkan kızgın alev topudur.

Büyük Patlamadaki alev topunun ardından yayılan ışıldama, çevremizdeki havadadır. Bu nedenle o an TV anteniniz tarafından yakalanırlar. Evren'deki ışığın yüzde 99,9'unun bu 'kozmetik aralan ışıması' niteliğinde olup, yalnızca yüzde 0,01'inin yıldız ışığı biçiminde olması dikkate değerdir. Aslında mevcut durumda her küp şeker büyüklüğünde alan hacminin hatlarının Büyük Patlama'dan gelen yaklaşık 300 foton tarafından çizildiği görülmektedir. Bu da Büyük Patlama'nın ardında bıraktığı ışıldamanın 1965'e kadar keşfedilmemiş -sonrasında ise tamamen tesadüfen bulunmuş- olmasını daha da inanılmaz kılar.

Bu konuda takdiri hak edenler Holmdel, New Jersey'deki Bell Telefon Laboratuvarları ile çalışan iki genç radyo astronomu olmuştur. Ticari bir şirketin iki astronomu işe almış olması tuhaf görünebilir: ama Bell Laboratuvarları'nın çılgınlığının bir yöntemi vardı. Şirket 1960'ların başı itibarıyla geleceği görmüştü ve o gelecekte Dünya'nın yörüngesine yerleştirilen uydular aracılığıyla dünyanın yer yerine gönderilebilen telefon sinyalleri vardı. Bu da Bell Laboratuvarları'nın zayıf radyo sinyallerini gökyüzündeki çok küçük objelerden ayırt edebilme ve saptama yetisi geliştirmesi gerekeceği anlamına geliyordu - radyo astronomlarının devreye girmesi gereken nokta da buydu. Onlar da gökyüzündeki radyo

dalgalarının zayıf kaynaklarını -örneğin, uzak galaksileri- bulmaya çalışan bir iş dalındaydılar. Buna göre eğer Bell Laboratuvarları radyo astronomlarını işe alıyorsa, onların uzmanlıklarından yararlanmak istiyordur diye mantık yürütülebilirdi.

Sırasıyla Arno Penzias ve Robert Wilson da benzersiz bir radyo anteni kullanma olasılığını çekici bulmuşlardı. Bell Laboratuvarları mühendisleri *Telstar* iletişim uydusuna 7,35 santimetrelik 'mikrodalga' dalga boyunda bir radyo sinyali göndermek ve almak için Holmdel'de dev bir 'mikrodalga anteni' kullanıyorlardı. Ancak o proje bitince anteni yok ettiler. Penzias ve Wilson bunu astronomi için kullanma fırsatına atladılar. Ancak feci şekilde hayal kırıklığına uğradılar.

Penzias ve Wilson, uzayın Samanyolu'nun dışında kalan bölümlerinde süzüldüğüne inandıkları soğuk hidrojen gazından gelen cılız radyo dalgalarını saptamaya çalışmak için Holmdel antenini -bir dondurma külahı şeklinde ve tren vagonu boyutunda bir anteni- kullanmayı planlıyorlardı. Böyle bir gazdan gelecek sinyalin çok zayıf olmasını bekledikleri için herhangi bir astronomik gözlem yapmadan önce antenlerinin yakınlarındaki tüm yapay radyo dalgası kaynaklarının nedenini açıklamak durumundaydılar. Böylelikle onları antenin çektiği yerden çıkarabilirlerdi. Sıcak olan her şey -sizler, ben, ağaçlar, binalar, gökyüzü ve benzeri şeyler- hafifçe sallanan elektronlardan doğan radyo dalgaları yayar. Ancak kısa bir süre sonra Penzias ve Wilson bir problemle karşılaştılar. Her türlü yapay radyo dalgası kaynağını sinyallerinden çıkardıktan sonra antenlerinin hâlâ kalıcı bir radyo tıslaması kaydettiğini gördüler. Anteni gökyüzüne doğru tuttukları her seferinde bu tıslama duyuluyordu. Bu da ultra soğuk -270°C -'mutlak sıfırdan' üç derece fazla, olabilecek en düşük sıcaklık derecesi- sıcaklığındaki bir cisimden yayılması beklenen bir şeydi.

Penzias ve Wilson, ilk başlarda bu anormal tıslamanın Holmdel'den bakıldığında ufkun tam ardında bulunan New York Şehri'nden gelebileceğini düşündüler. Ancak anteni New York'tan başka bir yöne çevirdikle-

rinde de tıslama yok olmuyordu. Sonra bir önceki yıl yapılan bir nükleer test sırasında atmosfere yerleştirilen elektronlardan gelebileceğini düşündüler. Ama aylar geçtikçe cızırtılar da beklendiği gibi azalmadı. Güneş Sistemi'nin içindeki bilinmeyen bir kaynaktan gelebileceğini düşündüler. Ama Dünya, onun Güneş Sistemi'ndeki diğer cisimlere oranla konumunu değiştirerek Güneş'in etrafında döndükçe parazitler değişmiyordu. Tıslamanın kuş pisliklerinden yayılan mikrodalga parıltısı bile olabileceğini düşündüler. İki güvercin, soğuk ve acımasız New Jersey kışında sıcak ve rahat bir ortam olarak gördükleri antenin içinde bir yerlere yuva kurmuşlardı. İç yüzeyi ise radyo mühendislerinin 'beyaz yalıtkan malzeme' olarak tanımladıkları bir maddeyle kaplamışlardı. Güvercin pisliği olarak da bilinen bu madde, mikrodalgalarla birlikte hafifçe parlıyordu. Penzias ve Wilson güvercinleri oradan çıkararak onları şirketin posta arabasıyla Bell Telefon Laboratuvarları'nın başka bir binasına gönderdiler. Daha sonra sert süpürgelerle antenin içine girdiler ve bu rahatsız edici pislikleri süpürdüler. Ancak zorlu bir çalışma sonrasında büyük bir umutsuzlukla kalıcı parazitin hâlâ orada olduğunu gördüler.

Penzias ve Wilson'ın tesadüfen bulduğu şey -ve bunu gerçekten arayan yakınlardaki bir Princeton Üniversitesi ekibinin tuhaf bir rastlantı sonucu ortaya çıkmasıyla oldu- Büyük Patlama'dan arta kalan ısıydı. Evren'in bir zamanlar küçük olması durumunda sıcak da olması gerektiğinin farkına varan ilk kişi fizikçi George Gamow olmuştur. Bu nedenle, eğer sıcaksa, o ısının bugün de hâlâ etrafımızı sarıyor olması gerekir. Ne de olsa gideceği başka bir yer yoktur. Evren'in içinde sıkışıp kalmıştır. 1948'de Gamow'un öğrencileri Ralph Alper ve Robert Herman, Evren'in son birkaç milyar yıl boyunca genişliyor olmasından dolayı bugün itibarıyla Büyük Patlama'nın ısınıyı yok etmiş olması gerektiğinin farkına varmışlardır. Mutlak sıfırın yalnızca birkaç derece fazlasında görülebilir bir ışık olarak değil, görünmez mikrodalgalar olarak ortaya çıkarlar. Mikrodalgalar -dalga boyları birkaç santimetreden onlarca santimetreye kadar uzanabilen radyo dalgaları- gökyüzündeki her türlü cisimden yayı-

lırlar. Ancak Alpher ve Herman, Büyük Patlama'dan sonraki ışıldamanın diğer tüm kaynaklardan ayırt edilebilir olduğunu fark etmişlerdir. Başlangıç olarak, kökeni kozmik olduğu için gökyüzünde her yönden eşit gelecektir.⁸

Penzias ve Wilson, rastlantısal olarak Büyük Patlama'dan arta kalan ısı -yaratılış sonrası kalan ışıldama- olduğunu buldular. Eğer gözleriniz görülebilir ışık yerine mikrodalgaları görebilseydi, gökyüzünün geceleyin aynı anda her yerinin boydan boya beyaz görünmesi gerekirdi. Tıpkı dev bir ampulün içinde olmak gibi.⁹

Bu durum kulağa yabancı gelmemeli. Geceleyin gökyüzünün aydınlık olması için yıldızların boş alanları ağzına kadar yıldız ışıyla doldurması gerekir. Ancak uygulamada bu durum onların 100.000.000.000.000.000.000 yıldır parlamakta oldukları anlamına gelir. Bu da olası değildir, çünkü gereken enerji rezervlerine sahip değildirler. Ancak yıldızlar için olanaksız görünen şey, Büyük Patlama'nın ardından ortaya çıkan ışıldama için olası görünmektedir. Ya da en azından bir zamanlar olasıdır. Aslında Büyük Patlama'nın alev topunda tüm uzayı ışıla doldurmaya yetecek kadar çok enerji bulunmaktadır. Bugün Evren çok daha büyüdüğü için alev topunun ışığını seyreltmış ve soğutmuştur. Artık yeterince enerjisi yoktur. Evet, mikrodalga gözleriniz olsaydı, uzayın tamamının parladığını görürdünüz; ancak onların çok hassas mikrodalga gözleri olmaları gerekirdi.

Ancak TV'niz çok hassas bir mikrodalga alıcıya sahiptir. Onu açın ve vericiler arasında ayarlamayı yapın. Parazitler size Evren'in hep var olmadığını, Büyük Patlama ile doğduğunu ve zamanın bir başlangıcı olduğunu göstermektedir.

Büyükten Önceki Patlama

Evren'in geçmişinin büyük bir bölümünün kuantum-dışı olması gerçeği, bize bir zamanlar süper hızlı bir genişleme patlaması yaşamış olduğunu nasıl gösterir?

'Ekin zamanına bakabilirsiniz,
Ve hangi tohumun büyüyüp
hangisinin büyümeyeceğini söyleyebilirsiniz,
O zaman benimle konuşun.'
Shakespeare (*Macbeth*)

'Evrenler, Zaman Nehri'nin üzerinde akıntıya kapılmış
köpük baloncukları kadar çok sayıda ve değişiklerdir.'
Arthur C. Clarke (*Karanlık Duvarı*)

O lağan dünyada bir neden, her zaman bir sonuçtan önce gelir. Bir yaya geçidinde frene basmışsınızdır, çünkü öncesinde birileri yola adım atmıştır. Yağmurdan sıırıslıkla olmuştunuzdur, çünkü öncesinde bir yağmur bulutu patlamıştır. Olağan dünyada her şey mutlak bir kesinlikle gerçekleşir. Yarın Güneş doğacak. Mars altı ay içinde Newton yasalarına göre tam olması gereken yerde olacak; dolayısıyla NASA, uzay araştırma araçlarının Mars'a ulaşacağından emin olabilir. Olağan dünyada Mars'a giden bir uzay araştırma aracının -veya havaya atılan bir futbol topunun- hedefine giderken izlediği tek bir tane, iyi tanımlanmış yol vardır. Aynı anda yarım düzine yol birden izlemez.

Bu ifadeler o kadar açık ve nettir ki burada bahsedilmesine bile gerek olmadığı düşünülebilir. Ama aslında olağan dünyanın davranışları çok şaşırtıcıdır. Ne de olsa Evren'imizi yönlendiren temel teori, kuantum teorisidir. Kuantum teorisinin en önemli özelliği de birtakım şeylerin hiçbir ön neden olmaksızın gerçekleşmesi fikridir. Bir fotonun camdan sekeceğini veya geçip içeri gireceğini bilemeyiz. Ya da radyoaktif açıdan değişken bir atom çekirdeğinin önümüzdeki bir milyar yıl boyunca sessiz sakin yerinde oturacağını, ya da bir mili saniye içinde patlayacağını bilemeyiz. Aslında yaşanan şey, tıpkı kuantum dünyasında yaşanan diğer şeylerle uyumlu olarak, indirgenemez biçimde öngörülemezdir. Üstelik bir fotonun veya mikroskobik dünyanın sakinlerinden başka birinin uzaya uçması durumunda izlediği tek bir yol yoktur. Bir bakıma aynı anda mümkün olan her yolu izler.

Evren'imizin en çarpıcı -şimdiye kadar fizikçiler tarafından bile dikkat çekilmemiş- özelliği, büyük ölçüde kuantum-dışı* bir davranış sergilemesidir. Üstelik, yalnızca zamanın bu anında değil. Işığın sınırlı hızından dolayı teleskoplar zaman makinesi gibi davranarak Evren'in geçmiş dönemlerini ortaya çıkarırlar. Zaman makinelerinin bize anlattığı şey ise, Evren'in tarihin büyük bir bölümü boyunca kuantum-dışı bir davranış sergilemiş olduğudur.

Bu bir çelişkidir. Büyük ölçüde kuantum-dışı görünen bir kuantum evreninde yaşıyoruz. Bu, gerçeklikle ilgili derin bir gözlemdir, ve dikkat çekici bir biçimde Evren'in doğumu ile ilgili bir şey anlatıyor olabilir. Anlattığı

* non-quantum, (E.N.)

o şey nedir? Evren, en başlarda süper hızlı, patlayıcı bir genişleme yaşamış olmalıdır.

Kuantum-dışı bir dünyada yaşadığımız gerçeğinden Evren'in başlangıcıyla ilgili bu kadar kesin ve net bir çıkarımda bulunmanın nasıl mümkün olabileceğini anlamak için öncelikle Evren'in başlangıcı teorisiyle ilgili bir şeyler söylemek gerekir. Daha önce de söz edildiği üzere en başarılı fizik teorimiz, kuantum teorisidir. Atomların ve bileşenlerinin mikroskobik dünyasına açıklık getirdiği için geniş kapsamlı evren hakkında bir şeyler söyleyebileceği açıkça anlaşılmayabilir. Ancak Evren, Büyük Patlama'daki son derece sıkıştırılmış konumundan genişlemiştir. Dolayısıyla Evren'in ilk başlarda bir atomdan bile küçük olduğu bilinir. O zaman yaratılış sürecinin o ilk anlarını kavramak istiyorsak, Evren'le ilgili kuantum teorisine - kuantum kozmolojisi teorisine- ihtiyacımız vardır.

Bu durum pratikte kütleçekimiyle ilgili kuantum teorisine sahip olmak anlamına gelir, çünkü kütleçekimi, Evren gibi büyük kütlelerin davranışını düzenler.¹ Böyle bir teori genellikle fiziğin kutsal kâsesi olarak anılır, çünkü çok küçüğün teorisi -kuantum teorisine- ile çok büyüğün teorisini -Einstein'ın kütleçekimi teorisi, genel görelilik teorisi- birleştirebilir. Ne yazık ki, fizikçiler kütleçekimsel olmayan üç kuvveti kuantum terimleriyle tanımlayabilmelerine karşın, aynı şeyi kütleçekimiyle ilgili olarak yapmak için onlarca yıl çabalamış olmalarına rağmen başarısız olmuşlardır.²

Kütleçekimiyle ilgili bir kuantum teorisine ve dolayısıyla kozmoloji ile ilgili bir kuantum teorisine sahip olmamak, zamanın başlangıcıyla ilgili herhangi bir spekülasyonda bulunmanın önünde ölümcül bir engel oluşturacaktır. Ancak yine de Evren'in ilk zamanlarıyla ilgili bir şeyler söyleyebilmek kayda değerdir. Bir parçacığın A'dan B'ye giderken her birinin belli bir seçilme 'olasılığı' olan algılanabilir her yolu kullanmasının kuantum teorisinin özelliklerinden biri olduğunu anımsayın. Dolayısıyla

kuantum kozmolojisiyle ilgili başarılı bir teori, Evren'in tarihini tek bir iplik olarak değil bir araya getirilmiş iplikler yumağı olarak görecektir. Bundan sonrasındaki zorluk ise Evren'in neden başka bir tanesini değil de kendi özel tarihsel hareketlerini izlediğini keşfetmektir.

Bunu yapmanın yollarından biri günümüzdeki Evren ile ilgili gözlemlerimizden yararlanarak, geriye yalnızca bizimkine benzeyen bir tarihin kalacağını umut ederek birçok geçmişi saf dışı bırakmaktır. Ayrıca, Evren'imiz ile ilgili en çarpıcı gözlem, daha önce de ifade edildiği üzere, tarihinin büyük bir kısmında kuantum-dışı davranmış olmasıdır. Sonuç olarak, Evren'in bir atomdan daha küçük kaldığı ve kuantum öngörülemezliği gibi, kuantum etkilerinin hâkimiyetinde olduğu sayısız olası kozmik geçmişi bertaraf edebiliriz. Bu da doğal olarak geride yalnızca büyüyen evrenleri bırakır.

Bu kuantum-dışı geçmişlerden hâlâ çok sayıda olması sorun yaratmaktadır. En önemlisi -çünkü zaman içinde büyük ölçekli bir Evren'in nasıl oluştuğunu açıklar- Einstein'ın kütleçekimi teorisi olan kuantum-dışı, öngörülebilir yasalar ile tanımlanırlar.

Einstein'ın teorisi her çeşit olası evreni tanımlar. Engebeli veya düz, kısa bir süre sonra çöküş yaşayan veya sonsuza dek genişleyen, tehlikeli bir hızla genişleyen veya salyangoz temposunda olan başka türlerde evrenler vardır. Bizim Evren'imiz ise bu kalabalığın içindekilerden biridir, ama onunla ilgili ayırt edici hiçbir özellik yok gibidir. Onun kalabalıktan sıyrılmasını sağlayacak hiçbir şey yoktur. Bize neden başka bir tanesinde değil de bu Evren'de var olduğumuzu açıklayacak hiçbir şey yoktur. Olası kozmik geçmişler ormanını seyreltmek için ihtiyacımız olan şey, başka bir makul nedendir. Bu neden de fizikçi Stephen Hawking ve James Hartle tarafından bizlere sunulmuştur.

Evren'in birçok geçmişinin bir yumak şeklinde bir arada durduğuna dair çizdiğimiz resmin yarım kalmış bir resim olduğu ortaya çıkmıştır. Bu tür geçmişler, ancak zamanın başlangıcındaki koşullar açıkça saptandığında uygun bir biçimde belirlenir -dilerseniz gerçeğe demirlenir. Ne

yazık ki fizikçiler kuantum kozmolojisi teorisinin kendisi kadar Evren'in 'başlangıçtaki kuantum konumu' konusunda da bilgisizlerdir. En azından öyleydiler. Cambridge Üniversitesi'nden Hawking ve Santa Barbara'daki Kaliforniya Üniversitesi'nden Hartle, 1980' li yıllarda Einstein'ın kütleçekimi teorisi ile ilgili ilginç bir şeye dikkat çektiler: bu teorisin üç boyutlu uzay ve tek boyutlu zaman ile ifade edilmesinin yerine üç boyutlu uzay ve tek boyutlu 'sanal zaman' ile yeniden formüle edilebileceğini belirttiler.

Sanal zaman, anlamamızın gerekli olmadığı matematiksel bir kavramdır. Önemli olan onun tıpkı uzay gibi davrandığını bilmektir. Bu içgöründen yararlanan Hawking ve Hartle, başlangıçtaki kuantum konumunda Evren'in çoklu geçmişinin uzayda ve zamanda var olmak yerine yalnızca uzayda var olmuş olabileceğini ortaya koyabilmişlerdir. Bu da onların Büyük Patlama'dan önce ne olduğuna dair o sinir bozucu sorudan kaçabilmelerini sağlamıştır. Ne de olsa eğer Büyük Patlama yalnızca uzayda -zamanın dışında- gerçekleştiyse, başlangıçtan *önce* ne olduğunu sormak, tıpkı Kuzey Kutbu'nun kuzeyinin nasıl olduğunu sormak gibidir. Kuzey Kutbu'nun kuzeyi diye bir şey yoktur. Anlamsız bir sorudur.

Evren'in başlangıçtaki durumunun dikkat çekici bir biçimde *başlangıçtaki durum diye bir şey olmadığı* anlamına gelmesi mümkündür. Hawking ve Hartle, buna 'sınır koşulu olmaması' adını vermişlerdir. Olası kozmik geçmişleri daha da seyreltmenin bir yoludur. Olası geçmişlerin yalnız uzay ile ifade edilerek yeniden formüle edilmesi ve sınır koşulu olmaması durumunun uygulanması halinde, o geçmişlerin bazılarının gerçekleşme olasılığının son derece az olduğu ortaya çıkar. Dolayısıyla güvenle saf dışı bırakılabilirler. İşte, 2007 yılının sonlarında Hawking ve Hartle'in Paris Üniversitesi'nden çalışma arkadaşları olan Thomas Hertog ile bir araya gelerek yaptıkları şey budur. Bu ayıklama sürecinden sonra hayatta kalabilen kozmik geçmişlere göz atmışlardır. Hayatta kalanların hepsinin çarpıcı bir özelliğe sahip olduğunu şaşkınlık içinde görmüşlerdir: her biri başlangıç aşamasında süper hızlı bir genişleme süreci geçirmiştir.

Bu çok önemli bir keşifti. Süper hızlı bir genişleme patlaması, kozmologların Büyük Patlama modeliyle ilgili ciddi bir problemi çözerken tercih ettikleri bir yöntemdi. Kısaca özetleyecek olursak temel Büyük Patlama modeli işe yaramaz. Evren'e baktığımızda görmediğimiz bir şeyi öngörür. Bu modele göre Evren, yaklaşık 13,7 milyar yıl önce süper yoğun, süper sıcak bir konumda yola çıkmıştır ve o zamandan bu yana döküntülerinden katılaştıran galaksileri ve yıldızlarıyla, genişlemekte ve soğumaktadır. Ancak bu basit tablo, gördüklerimizle tamamen aykırı bir öngörü oluşturmaktadır. Büyük Patlama alev topunun artakalan sıcaklığı olan 'kozmetik arda- lan ışımasına' neden olur.³ Milyarlarca yıl boyunca Evren'in genişlemesi ile birlikte büyük ölçüde soğuyan Büyük Patlama ışıdaması, uzayın her yerine nüfuz etmiştir ve Evren'in başlangıcından 380 bin yıl sonraki bir dönemden doğrudan bizlere ulaşır. İşte problem de buradadır.

Eğer Evren'in genişleme sürecini tıpkı bir film gibi bu döneme kadar geriye sardığımızı düşünürsek, şu an gözlenebilir durumda olan evrenimizi o zamanlar yaklaşık 20 milyon ışık yılı uzakta olduğunu görürüz. Bu da, sıcaklıktaki her türlü düzensizliğin ortadan kaldırılmasının olanaksız olduğu anlamına gelir. Ne de olsa sıcaklığı dengelemek için ısının sıcak bölgelerden daha soğuk bölgelere akması gerekir. Ancak Evren çok büyüktür. Kozmik hız limitinde -ışık hızı- bile ısının Büyük Patlama'dan sonra 380 bin ışık yılından fazla yol kat etmiş olması mümkün değildir. Bu da o dönemde Evren'in boydan boya mesafesinin yalnızca çok küçük bir bölümüdür.

Dolayısıyla temel Büyük Patlama modeliyle ilgili bir tahmin de, kozmik arda- lan radyasyonunun sıcaklığının, büyük olasılıkla gökyüzünün farklı yönlerinde aynı olamayacağıdır. Ancak asıl problem, bunun aynen böyle olmasıdır. Gökyüzüne tutulan bir teleskop en ufak derecelik dilimler ile hareket ettirilerek nereye doğru çevrilirse çevrilsin, sıcaklığın mutlak sıfırın 2,7 derece yukarısında olduğu ölçülmüştür.

Bu çelişkinin bize anlatmaya çalıştığı şey şudur: temel Büyük Patlama modeli, Evren'le ilgili eksik bir tanımlama sunuyor olmalıdır. Başka bir şey gerekmektedir. Yeni bir eklenti gerekmektedir.

Uzun bir Büyük Patlama öncesi döneminin olması bir olasılıktır. Eğer böyle olsaydı, o zaman kozmik sıcaklık kendini otomatik olarak dengelerdi. Tıpkı sıcak su dolu bir küvetin soğuk su musluğunu açmak gibi olurdu. Eğer yeterince uzun beklerseniz, sıcaklık her yerde aynı olacaktır. Fizikçi Joao Magueijo'nun savunduğu diğer bir olasılık ise ışık hızının Büyük Patlama sırasında günümüzdekinden çok daha fazla olduğuydu. Bu durum ısıнын alev topunun sıcak bölgelerinden soğuk bölgelerine doğru gitmesini beklenenden daha çok hızlandıracak ve yine sıcaklığı dengeleyecektir. Ancak başka bir olasılık daha vardır ve çoğu fizikçi de bu olasılığı benimser: Evren, var oluşunun ilk saniyesinin çok küçük bir kesiri içinde olağanüstü bir patlama yaşayarak genişlemiştir.

'Şişme' (enfasyon) fikri 1979'da Rus fizikçi Alexei Starobinsky ve ondan bağımsız olarak 1981'de Amerikalı fizikçi Alan Guth tarafından ortaya atılmıştır. Enerjisi tükendikten sonra şişmesini takip eden Büyük Patlama genişlemesinin dinamit çubuğu ile karşılaştırıldığında, bir hidrojen bombasının patlamasına benzetilmiştir. Eğer şişme gerçekleştiyse, o zaman Büyük Patlama'dan 380 bin yıl sonra Evren'in genişleme filmi geriye sardığımızda ortaya çıkacak boyutundan bile daha küçük olacağı görülür. Isının kolaylıkla ileri geri hareket edebilmesine, kozmik sıcaklığı bertaraf etmesine olanak tanıyacak kadar küçüktür.

Şişme fikriyle ilgili sorun, pratik olarak test edilemez olmasıdır. Evren'in var oluşunun ilk anlarındaki sıcaklık ve yoğunluk durumu o kadar uç noktalardadır ki onları asla neler olacağını görmek için laboratuvar ortamında test edemeyiz. Sorun yalnızca bu da değildir. Şişme fikrinin ilk kez ileri sürülmesinden bu yana geçen yaklaşık otuz yılda hiç kimse bunun neden olduğuyla ilgili zorlayıcı bir açıklama yapmamıştır. Bunun altında yatan mekanizma gizemini korumaktadır. Şişme fikri, yetersiz bir şekilde kısa süreliğine Büyük Patlama modelinin üzerine yapışıp kalmıştır.

Hawking, Hartle ve Hertog tarafından yapılan çıkarımın bu kadar önemli olmasının nedeni budur. Büyük ölçüde kuantuma dayalı bir

Evren'de yaşadığımızı dair sıradan bir gözlemi benimseyerek ve sınır koşulu olmaması kıstasını uygulayarak, Evren'in en olası geçmişlerinin süper hızlı bir genişlemeyi içerdiğini göstermişlerdir. Şişme açıkça gerçekleşmiş olmalıdır. Kaçınılmazdır.

Ama olası evrenlerle ilgili Hawking'in ekibi tarafından kabul ettirilen durumlarda neden yalnızca şişmenin yaşandığı alternatifler seçilmiştir? Bunun yanıtı şişmenin bir evrenin kuantumdan kuantum-dışına geçişinin en olası rotasını sağlıyor olmasıdır. Kuantum, genellikle küçük ile eş anlamlıdır. Kuantum-dışının da büyük olması gerekir. Küçükten büyüğe geçişin en hızlı yolu, süper-hızlı bir genişleme patlamasıdır. Ne yazık ki bir problem vardır. Ekibin analizleri şişmenin kaçınılmaz olduğunu göstermiş olmasına rağmen aynı zamanda çok da kısa ömürlü olduğunu ortaya koymuştur. Fazla kısa ömürlüdür. Evren, yalnızca birkaç kez iki katı boyuta çıkmıştır. Ancak Evren'imizle ilgili gözlemler, aslında şişme yüzünden Evren'in boyutunun iki katına çıkmasının 60 kereden fazla yaşandığını ortaya koymuştur. Gerçekten akıllara durgunluk veren bir etmen sayesinde mantar gibi çoğalmasına neden olmuştur.

Hawking'in ekibi tarafından varılan şişme sonucu kısa ömürlüdür çünkü şişme, değişken konumda yola çıkan Evren'i kapsar. Kozmologlar sık sık itme eğilimi olan kütleçekimiyle Evren'i şişiren ve bugüne dek saptanamamış bir 'şişme' alanından söz etseler de onun değişkenliğinden sorumlu olan 'alanın' ne olduğunu kesin olarak bilen kimse yoktur. Ancak önemli olan nokta değişken konumdaki her şeyin kararlılığa dönmeyi isteme eğiliminde olduğudur ve çabucak gerçekleşme olasılığı, uzun bir süre sonra gerçekleşme olasılığından daha yüksektir. Ucunun üzerinde dengede duran bir kurşun kalem düşünün. Bunun son derece dengesiz bir durum olduğu açıktır. Hava akımları ve titreşimlerle boğuşan kalemin bir saniyeden kısa bir süre içinde devrilme olasılığı bir buçuk gün dayanma olasılığından çok daha yüksektir. Benzer şekilde şişmenin yarattığı dengesizliğin de uzun bir zaman yerine kısa bir zaman içinde sona erme olasılığı daha yüksektir.

Neyse ki Hawking'in ekibi, fikirlerini kurtarmanın bir yolu olduğunu kısa bir süre önce fark etmiştir. Şişen Evren'in yalnızca küçük bir parçasını gördüğümüz gerçeğini temel alırlar. Bunun nedeni Evren'in yalnızca 13,7 milyar yaşında olmasıdır. Bu nedenle bizler sadece ışıklarının bize ulaşması 13,7 milyar yıldan kısa süren objeleri görebiliriz. Evren'in geri kalanının ışığı henüz Yeryüzü'ne ulaşmamıştır. Bir baloncunun yüzeyi gibi bizi çevreleyen hayali bir sınırın, ufkun ötesindedir. Elbette baloncuk, daha önce belirtildiği üzere gözlenebilir evrendir. Ancak gözlenebilir evrenin ufkunun ötesinde başka baloncuklar da vardır. Başka birilerinin gözlenebilir evrenleri. Astronomlar bunlara Hubble küreleri adını vermişlerdir.

Çok sayıda Hubble küresi vardır. Aslında bu sayı kabaca şuna eşittir: $e^{[\text{şişme sırasında ikiye katlanma sayısı}]}$.⁴ Böylece, kendimizi belli bir Hubble küresinde bulmamıza rağmen sıradaki Hubble küresinde olmamız da aynı derecede mümkündür. Veya sıradakinde.

Ama önemli olan şudur. Evren, ne kadar çok ikiye katlandıysa, kendimizi içinde bulabileceğimiz yerlerin sayısı da o kadar fazla olur. Bu nedenle ikiye katlanan evrenlerin görülme olasılığı az olmasına rağmen -çünkü şişmenin yarattığı dengesizliğin kısa bir süre sonra sona erme olasılığı uzun bir süre sonra sona erme olasılığından daha yüksektir- öyle evrenlerde kendimizi bulabileceğimiz çok daha fazla yer vardır. Ayrıca, bu etkinin başarılı olduğu ortaya çıkmıştır. Yani Hawking'in ekibinin ilk başta düşündüğü şeyin aksine kendimizi kısa değil de uzun bir şişme döneminden geçmiş bir evrenin içinde bulma olasılığımız çok daha yüksektir. Nihayet şişmiş bir evrende bulunmamız ile ilgili bir açıklamaya ulaşmışız gibi görünüyor.

Belki de olağan dünyanın kuantum-dışı olmasının Evren'in geçmişte süper hızlı bir genişleme dönemi yaşamış olması gerektiğini anlattığını söylemek biraz zorlama olacaktır. Ancak Hartle ve çalışma arkadaşlarına göre olağan dünyanın kuantum-dışı olması ile sınırsızlık fikrinin *birleşiminin* bize anlattığı şey tam olarak budur. Şişmenin gerçekleşmiş olduğuna dair kanıtlar her yerdedir: dünyanın öngörülebilir olduğu ve bir

ağacın yanından geçerken aynı anda onun iki yanından birden değil tek bir yanından geçtiğiniz gerçeğinde bunu görebilirsiniz. Ama bu mantık zincirinin sonuna gelmiş olmamıza rağmen yarım kalan bir şey vardır. Oldukça da önemli bir yarım iştir.

Son zamanlarda kuantum-dışı olan geçmişler -yalnızca bizim bildiklerimiz- tam olarak nasıl kuantum-dışı olmuşlardır? Bir evrenin kuantum-dışı olmasının büyük olmasıyla ilintili olduğunu söylemek doğrudur. Ama evrenin kuantumdan kuantum-dışına geçişi tam olarak nasıl yaptığı merak konusudur. Bilimdeki en temel sorulardan biridir. Ne de olsa kuantum teorisiyle düzenlenmiş bir evrende yaşıyoruz ve yine de buna rağmen en azından olağan dünyada kuantum davranışının açıkça gözlemlendiği herhangi bir yer bulunmamaktadır.

Bu paradoksun çözümünün anahtarı 'evre uyumsuzluğu' adı verilen bir süreçtir. Kuantum davranışının kendini gösterebilmesi için bir objenin önündeki olasılıkları temsil eden kuantum olasılık dalgalarının birbirleriyle karışması veya 'etkileşmesi' gerekir. Bunun nedeni kuantum tuhaflığının kökeninde girişimin olmasıdır. Eğer kuantum dalgaları birbirleriyle girişim yapmıyorlarsa, kuantum tuhaflığı da olmaz. Birbirleriyle girişim içinde olan dalgalara 'evre uyumlu' (coherent) denir. Bu yetiyi kaybettikleri -ve kuantum niteliklerini kaybettikleri- sürece ise evre uyumsuzluğu (decoherence) denmesi bundandır.

Evren'in başlangıcında evre uyumsuzluğu şöyle gerçekleşir. Kuantum belirsizliği -yine Heisenberg- nesnelerin niteliklerinin şiddetli bir biçimde dalgalanmasına neden olur.⁵ Uzay-zamanın kendisini ele alın. Yakından bakınca dalgalı, fırtınalı bir deniz gibi şiddetli çalkantılar içinde olduğunu görürsünüz. Şişmenin yol açtığı müthiş genişleme de bu dalgalı halin yayılmasını veya büyümesini sağlar. Uzay-zamanı hafif bir eğime sahip tepeler ve vadilerden oluşan bir manzaraya çevirir. Vadiler, maddenin parçacıklarının yavaşça içine düştüğü ve tepeler de kaçındıkları yerlerdir. Bu süreç itibariyle dev galaksi kümeleri gibi olan günümüz Evren'inin yapılanması büyümeye başlar. İşte, kuantumdan kuantum-dışı bir evrene dönüşümü tetikleyen bu süreçtir: madde kümelenmesi.

Bir an için belli bir yerdeki bir vadiye odaklanın. Böyle bir vadi, bir kuantum oluşumdur - şişme ile büyümüştür ama yine de bir kuantum oluşumdur. Tüm kuantum oluşumları gibi, önünde pek çok olasılık vardır. Örneğin, Evren'in olası tarihlerinden birinde vadi vardır. Bir diğerinde ise yoktur Ama önemli olan, tıpkı Schrödinger'in aynı anda hem ölü hem de diri olabilen kendi adını verdiği kedisi gibi, her iki olasılığın aynı anda var olabilmesidir. Bu da kuantum dalgalarının birbirleriyle girişim yapabilen olasılıkları temsil ettikleri anlamına gelir.

Şimdi bir madde parçacığının vadiye düştüğünü hayal edin. Aynı parçacık, vadinin olmadığı alternatif bir geçmişte de var olabilir. O zaman düşebileceği bir yer olmaz ve olduğu yerde kalır. Dolayısıyla bu parçacık iki olası evrende birbirinden biraz farklı yerlerde olacaktır. Bir durumu temsil eden kuantum dalgası, ikinci durumu temsil eden kuantum dalgası ile tam anlamıyla örtüşmeyecektir. Yalnızca yarı yarıya örtüşürler diyebiliriz.

Şimdi vadideki ikinci bir parçacığın birinciye katıldığını düşünün. Bu da yine parçacığın iki olası evren içinde farklı yerlerde olduğu anlamına gelecektir. Bir kez daha bu iki durumla ilgili kuantum dalgalarının yarı yarıya örtüştüğünü varsayalım. Bu durum, vadideki ve vadide olmayan parçacıkları temsil eden kuantum dalgalarının örtüşme oranının $1/2 \times 1/2 = 1/4$ olduğu anlamına gelir. Vadiye üçüncü bir parçacığın düşmesi durumunda bu örtüşme oranı $1/2 \times 1/2 \times 1/2 = 1/8$ olacaktır. Bunun nereye gittiğini görüyor musunuz? Vadiye düşen her parçacık ile birlikte vadinin orada olduğu geçmişi temsil eden kuantum dalgası, vadinin orada olmadığı geçmişi temsil eden kuantum dalgası ile daha az örtüşecektir. Trilyonlarca parçacığın söz konusu olduğu bir durumda neredeyse hiç örtüşme olmayacaktır. Girişim olamaz. Dolayısıyla da, Evren kuantum-dışı olmuştur.

Madde kümeciklerinin büyümesiyle galaksiler, sizler ve ben oluştuk. Bu nedenle kuantumdan kuantum-dışı duruma geçişe neden olan da budur. Ancak yine de çözülmemiş büyük bir gizem bulunmaktadır. Uzay-

zaman dalgalanmalarından söz etmek, uzay-zamanın *önceden var olduğunu* varsaymaktır. Bu, Heisenberg belirsizlik ilkesi nedeniyle dalgalanacak olan cam gibi bir denize benzer pürüzsüz bir oluşumun önceden var olduğunu varsaymak demektir. Bu pürüzsüz kuantum-dışı uzay-zaman nereden geldi? Aslında en önemli soru budur. Tamamen kuantum niteliğinde bir şeyden doğmuş olması gerektiği açıktır. O kadar çalkantılı ve kaotik bir şey olmalıdır ki zaman ve uzay anlamsız kavramlar gibi görünmelidir. Bu şey, uzay-zamanın kuantum müjdecisiydi. Günümüzde çevremizde gördüğümüz kuantum-dışı uzay-zamana dönüşmüş olmalıdır. Bunun nasıl olduğunu henüz hiç kimse bilmemektedir. Uzay-zamanın kökenini anlamanın herhangi bir kısa yolu yoktur. Bu durum Evren'in gerçek kuantum teorisini gerekli kılacaktır.

Kırılınca Tamir Edilememe Eğilimi

Çay fincanlarının kırılması ama asla yeniden birleşmemesi gerçeği bize Evren'in büyük bir patlama sonucu genişlediğini nasıl anlatır?

'Rafadan Kafadan duvara oturdu.

Rafadan Kafadan feci düştü.

Kralın atlarının ve kralın adamlarının hepsi geldiler

Ama Rafadan Kafadan'ı yeniden bir araya getiremediler.'

Çocuk tekerlemesi (Anonim)

'Kediyi torbadan dışarı çıkarmak, onu yeniden torbaya sokmaktan çok daha kolaydır.'

Will Rogers

Bir çay fincanı elinizden kurtuluyor. Yere düşüp paramparça oluyor. Böyle gündelik bir kazanın önemli bir sonucu yok gibi görünebilir, ama bize Evren'imiz hakkında derin bir şey anlatır. Evren'in Büyük Patlama gibi bir patlama sonrasında genişlemesi halinde olası olan son derece alışılmadık, ısmarlama bir konumdan doğmuş olması gerektiğini anlatır.

Evren'in Büyük Patlama'dan doğmuş olmasının, bir çay fincanının kırılarak parçalara ayrılması gibi son derece sıradan bir olayla ne gibi bir ilgisi olabilir? Bu sorunun incelikli bir yanıtı vardır. Ayrıca, çay fincanlarının bir araya gelmek yerine neden kırıldıklarını açıklamakla kalmayıp, ayrıca fincanda kalan çayın neden ısınmayıp soğuduğunu ve hatta her geçen yıl neden gençleşmek yerine yaşlandığını da açıklar.

Paramparça olan o fincanı düşünün. Uzun bir süre fizikçilerin aklını karıştırmış olan dünyanın en temel paradoksunu mükemmel bir şekilde açıklar. Bu paradoks Evren'i düzenleyen ve neyin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğine karar veren temel fizik yasalarının çarpıcı bir niteliğinden ortaya çıkmıştır. Eğer bu yasalar belli bir sürecin gerçekleşmesine izin veriyorlarsa, onun tam tersinin gerçekleşmesine de daima izin verirler.

Bir kuvvetin etkisi altındaki cisimlerin hareketini açıklayan Newton'un hareket yasalarını ele alalım. Bir uzay araştırma aracını itici güç ile Güneş Sistemi'nin dışına ulaştırabilmek için genellikle Amerikan uzay ajansı NASA tarafından kullanılan ve sapan-atışı adı verilen bir hile vardır. Yeryüzü'nün kütleçekimi kuvvetinin etkisi altında hareket eden bir uzay araştırma aracı Yeryüzü'ne yaklaşır, gezegenin etrafında döner ve bumerang etkisiyle geri teperek büyük bir hızla yeniden uzayın derinliklerine gider. Yeryüzünün yanından gerçekleştirilen bu uçuşun filmini ve geri sarılmış halini izlediğinizi hayal edin. Uzay aracı ikinci filmde Yeryüzü'ne önceden uzaklaştığı yönden yaklaşacak ve yaklaştığı yönden de uzaklaşacaktır. Soru şudur: yalnızca bakarak NASA'nın aslında kullandığı bu hileyi hangisinin tanımladığını söyleyebilir misiniz?

Yanıt hayır olacaktır. Newton'un hareket yasaları, bir uzay gemisinin belli bir yörüngeyi izlemesine izin veriyorlarsa, tam tersine de izin verecektir. Yasalar 'zaman simetrisine' sahiptirler. Bu nedenle filmin geriye veya ileri sarılıp sarılmadığını veya normal akışında olduğunu asla söyleyemezsiniz. Her durum olasıdır.¹

Bunun kırılan bir fincanla ne ilgisi vardır? Aslında tıpkı Dünya'nın etrafında dönen bir uzay araştırma aracında olduğu gibi burada da havada

uçan her parça Newton'un hareket yasalarının etkisi altındadır. Diyelim ki tek bir kırık fincan parçasının havaya uçtuğunu izlediniz ve sonra aynı görüntüyü geri sardınız. Kameranın yalnızca kırık parçaya odaklanmış olduğunu ve etrafta gerçeği açığa vuracak herhangi bir şeyin olmadığını varsayarsak, gerçekliği anlatan görüntüyü ve gerçekliğin geriye sarılmış görüntüsünü ayırt edebilir misiniz? Uzay aracı örneğinde olduğu gibi bu sorunun da yanıtı hayırdır.

Ama şimdi kırık fincan parçasından uzaklaşarak yere düşüp parçalanmış fincana bakalım. Bu olayın filmini ve filmin geri sarılmış halini izleyecek olsaydınız, gerçeklik ile tersine gerçekliği ayırt edebilir miydiniz? Yanıt elbette evettir. Gerçek dünyada fincanlar kırılırlar. Asla yeniden birleşmezler. Ancak bileşen parçaları zamanın tersine çevrilebilmesine olanak tanıyan temel yasalarla yönlendirilen bir fincan nasıl olup da zamanın tersine çevrilmesinin mümkün olmadığını vurgulayacak şekilde davranabilir? Dünyanın en iyi fizikçilerini uzun zaman şaşkına çevirmiş olan paradoks budur.²

Üstelik böyle davrananlar yalnızca fincanlar değildir. Olağan dünyadaki herhangi bir olayın hem normal hem geriye sarılmış filmini izlediğiniz zaman, hangisinin gerçeklik olup olmadığını anımsarsınız. İnsanlar otobüse doğru koşarlar, otobüsten uzağa değil; köpekler kedileri kovalarlar, gerisin geri kedilerden uzaklaşmazlar; insanlar yaşlanırlar, gençleşmezler. O zaman nasıl oluyor da bir şeylerin zamanda hem ileri hem geri gitmesine eşit oranda olanak tanıyan temel yasalar tarafından düzenlenen bir dünyada yaşayabiliyor, ama yalnızca ileriye dönük olaylarla çevrilmiş olabiliyoruz? Bu paradoksun kesin bir biçimde tartışma dilini oluşturan kişi Avusturyalı fizikçi Ludwig Boltzmann olmuştur.

Bu noktada Boltzmann hakkında ilginç veya eğlenceli bir anekdotu paylaşmak hoş olacaktır. Ne yazık ki çok trajik bir yaşamı olmuştur. Bu çok üzücüdür, çünkü nişanlısının 'tatl, şişko sevgilisi' olarak bilinen kısa boylu, şişman ve gözlüklü Boltzmann, çok iyi, kibar ve sevilen biriydi. Kendisine iletilen iyilik taleplerini asla geri çeviremezdi ve öğrencileriyle çok yakından ilgilenirdi. Özellikle zayıf olanlarla daha fazla ilgilenen

Boltzmann'ın, yaşamının son dönemlerinde hiçbir öğrencisinin sınavlarında başarısız olmasına izin vermediği biliniyordu. Ancak Boltzmann pek çok kişisel badireyle uğraşmıştır. Bir çocuğun ebeveynlerinden birini kaybedebileceği en kötü yaş olarak bilinen 15 yaşındayken babasını kaybetmiştir. Oğlu Ludwig ise apandisiti patladığı için ölmüştür. Boltzmann, 11 yaşındaki oğlunun durumunun ciddiyetini yeterince erken teşhis edememiş olduğu için kendini suçlamıştır. Gerçi antibiyotik olmadığı bir çağda durumu erken anlamış olmasının fark yaratıp yaratmayacağı da şüphelidir. Büyük olasılıkla bu olaylar Boltzmann'ın 44 yaşında ortaya çıkan manik depresyonunu tetikler. Belki de yalnızca var olan bir durumu daha da belirgin bir şekilde ortaya çıkarır. Boltzmann, yaşamının geri kalanında kendini dünyanın -en azından fizik dünyasının- efendisi gibi hissettiği ve büyük bir heyecanla sabah 5.00'lere kadar çalıştığı aşırı mutluluk dönemleriyle, kazandığı zaferlerin hepsinin çöpe atılabilecek kadar değersiz olduğunu düşündüğü berbat, karanlık ve karamsar dönemler arasında gelgitler yaşar. 1906 yılında, Trieste yakınlarındaki bir Adriyatik köyü olan Duino'da, ailecek geçirdikleri bir tatile denk gelen bu depresyon dönemlerinden birinde, 15 yaşındaki kızı Elsa -yaşamının güneşi- yüzmeden döndüğünde onu odasında kendini asmış halde bulur. Boltzmann bu sırada 62 yaşındadır.

Boltzmann'ın intiharına yol açan faktörlerden birinin, bağınaz bilim insanlarından oluşan bir grubun kendisine yönelttiği düşmanca yaklaşım olduğu şüphesizdir. Bu grup, kimsenin görmediği ya da dokunmadığı ve Boltzmann'ın fikirlerinin temeli olan atomların bilim alanından kökü kazılması gereken tehlikeli fikirler olduklarını düşünüyorlardı. Aksi takdirde bu atomlar, şu ana kadar inşa edilen şeyleri yıkacaklardı. İşin ironik yanı, bundan bir yıl önce Einstein'ın suya düşen polen tozlarının gizemli titreşimsel hareketinin, suyun atomlarından düzenli biçimde gelen makineli tüfek bombardımanı olması halinde açıklanabileceğini söylemiş olmasıydı. Daha sonra, 1908'de Jean Baptiste Perrin, bu Brown hareketinden ve Einstein'ın teorik çerçevesinden yararlanarak atomların boyutunu ölçmüştü. Atomlar, Boltzmann'ın düşmanlarının iddia ettikleri gibi

kurgu değillerdi. Gerçeklerdi. Boltzmann'ın yaşamının son trajedisi ise, fikirlerinin görkemli zaferini yaşayamamış ve gelmiş geçmiş en büyük fizikçiler katına yükseltildiğini görememiş olmasıydı.

Boltzmann'ın en önemli zaferlerinden biri, fiziğin zaman-simetrisi yasalarının son derece kesin bir zaman yönelimiyle, olağan dünyaya götürebilmesini göstermek olmuştur. Kilit noktanın olasılık olduğunu fark etmiştir.

Yeniden fincanı düşünün. Özellikle de kaç şekilde kırılıp parçalara ayrılabilceğini düşünün. Örneğin, on parçaya veya 19 ya da 48 parçaya ayrılabilir. Az sayıda büyük parçaya veya çok sayıda küçük parçaya ayrılabilir. Yalnızca küçük parçalara ayrılabilir. Bu ve benzeri örnekler çoğaltılabilir. Bir fincanın kaç şekilde kırılabilceğini düşünecek olursanız, bu sayının inanılmaz fazla olduğunu fark edersiniz. Şimdi tüm bu olasılıkların arasında, fincanın kırılmadığı ve sağlam kaldığı olasılık da bulunmaktadır. Ancak bunun olabileceği tek bir yol vardır. Sonuç olarak, eğer fincanla ilgili sonuçların hepsinin gerçekleşme olasılığı aynıysa -ve Boltzmann'ın varsayımına göre öyledir- o zaman fincanın kırılma olasılığı çok daha yüksektir.

Şimdi fincanın paramparça olan parçalarının bir araya geldiği bir durumu hayal edin. Diyelim ki fincan parçalarını yere düşürdünüz ve onlar da mucizevi bir şekilde bir araya gelerek kırılmamış bir fincan oluşturdular. Bu durum kaç şekilde gerçekleşebilir? Daha önce de belirtildiği gibi fincanın sağlam kalmasının yalnızca bir yolu vardır. Bunu fincanın kırık kaldığı çok sayıda yolla karşılaştırın: aynı sayıda parçaya ayrılmış şekilde kalabilir ya da parçaları daha da küçük parçalara ayrılabilir ya da bazı parçaları sağlam kalırken diğerleri un ufak olabilir ve buna benzer pek çok alternatif olasıdır. Önemli olan nokta, bir fincanın kırılmış halde kalmasının yolları, bir araya gelerek kırılmamış bir fincan olmasının yollarından çok daha fazladır. Bir kez daha tekrar edecek olursak, her alternatifi gerçekleşme olasılığı aynıysa, parçaların bir araya gelerek en baştaki sağlam fincanı oluşturdıklarını, çok büyük bir olasılıkla göremeyiz. Ancak tamamen olanaksız da değildir; olasılığı o kadar düşüktür

ki böyle sıra dışı bir olayı görebilecek kadar şanslı olmanız için Evren'in mevcut yaşından bile uzun bir süre fincanların kırık parçalarını atmaya devam etmeniz gerekir.

Eğer Evren'in kapsamı uzayda ya da zamanda sınırsızsa, bu tür gerçekleşme olasılığı düşük olayların büyük anlamları olduğu görülür. Ne de olsa, böyle bir Evren'de ne kadar çılgınca ve olanaksız görünse de kesinlikle her şey gerçekleşebilir. Sorun, böyle bir evrende yaşıyor gibi görünmemizdir. 1998 yılında Amerika ve Avustralya'daki fizikçiler ve astronomlar Evren'in genişlemesinin hızlandığını keşfettiler. 'Kara enerji' ile tetiklenen bu genişleme sırasında görünmez parçaların itkisel kütle çekimi ile tüm uzayı doldurduğunu ortaya çıkardılar. Kara enerjinin Evren'in limitsizce büyümesine neden olabileceği görünmektedir. Hiç kimse Kara Enerjinin ne olduğunu bilmiyor. Ancak tüm kuantum süreçlerinde olduğu gibi, kaçınılmaz olarak kuantum dalgalanmalarından, sihirli bir şekilde hiçliğin içinden madde parçacıkları çıkaracaktır. Bu tür kuantum dalgalanmaları uzay giysileri içinde uzayda süzülen bir insan yaratabilir. Veya bir bilgisayar. Veya kocaman tek bir gözü olan bir beyin. Elbette bu olasılıklar inanılmaz düşüktür. Ancak -ve önemli olan nokta budur- sonsuz bir uzay ve sonsuz bir zamanı olan bir evrende, onların da gerçekleşeceği kesindir. Hatta sonsuz kez tekrarlanacakları kesindir. En nihayetinde bilinen adlarıyla bu tür 'Boltzmann beyinlerinin' doğal seçim ile milyarlarca yıl içinde evrim geçirmiş olan sizler ve benim gibi sıradan gözlemcilerin sayısını aşacak olması problem teşkil eder. Bu bir problemdir, çünkü Evren modellerimiz -Büyük Patlama modelleri- tipik gözlemciler olduğumuz ve Evren'e baktığımızda gördüklerimizin de, tüm kozmik gözlemcilerin gördükleriyle aynı olduğu fikrine dayanır. Eğer gözlemcilerin çoğu, bitmek tükenmek bilmeyen tamamen boş alanlara bakan Boltzmann beyinleriyse, o zaman tipik gözlemcilerdir. Kozmolojimizin temel yapı taşı ve onunla birlikte Evren ile ilgili anlamadığımızı sandığımız her şey paramparça olur.

Ama yeniden fincanlara dönelim. Sağlam bir fincanın durumunu 'düzen', kırık bir fincanını ise 'düzensiz' olarak niteleyen nedir? Fi-

zikçilerin düzensizlik için kullandıkları teknik bir isim vardır: 'dağınım (entropi)'.³

Boltzmann'ın kilit içgörüsü, bir cismin çok sayıda alt bileşeni olması halinde önündeki düzensiz olasılıkların düzenli olasılıklardan çok daha fazla sayıda olacağı yönündedir. Eğer tüm olasılıkların gerçekleşme şansı aynıysa, o zaman cismin zamanla daha düzensiz olma -dağınımını artırma- eğilimi çok yüksek olacaktır. Düzenin zamanın yönüyle düzensizliğe dönüştüğü -bir genç odasının zaman geçtikçe giderek daha düzenli değil daha dağınık olma eğilimi vardır- yönü ilişkilendirdiğimiz için bu durum, olağan dünyada neden yön veya 'zaman oku' olduğunu net bir biçimde açıklar. Fizik yasalarının cismin alt bileşenlerinin zaman içinde ileri veya geri harekete eşit olanak tanıdığı gerçeğini ortaya koymasına rağmen, cismin kendisinin her zaman ileri sarılan bir film gibi davranışını gösterir.

Çevremizdeki her şey alt bileşenlerden -atomlar- meydana gelir. Yaklaşık 1000 milyar kere milyar kere milyar alt bileşenden meydana geliyorsunuz ve bu cümlemin noktasına ulaşana kadar art arda 10 milyon tanesinin dizilmesi gerekir. Atom alt bileşenlerinin sayısı bu kadar büyük olduğu için düzenden düzensizliğe doğru yaşanan değişimi niteleyen şeyler, yalnızca binlerce parçaya bölünerek kırılan fincanlar değildir. Tüm gündelik süreçlerdir.

Çevrenizde düzenden düzensizliğe doğru yaşanan değişimler açıkça görülemeyebilir. Birisi el çırpır. Bu hareket nasıl düzensizliği artırır? Ya da daha ilginç bir örnek olarak birinin çelik bir duvara ateş ettiğini düşünelim. Bu durum dağınımı nasıl geliştirir? Bu soruların yanıtı, bu tür süreçlerin gizli bir biçimde -'ısı' üreterek- Evren'in düzensizliğine katkıda bulunduğuudur.

Isı, aslında rastlantısal bir mikroskobik eylemdir. Örneğin, 'katı' bir cismin içindeki ortalama yerlerinin etrafında titreşen atomlardır. Hava gibi 'gaz' halindeki bir cismin içinde kızgın arılar gibi coşkun hareketler sergileyen atomlardır (Newton'un hareket yasalarına göre bu tür atomlar, tıpkı bir uzay araştırma aracının uzayda uçuşu gibi, kendinden emin bir

şekilde uçarlar). Sıcak bir cismin atomları tarafından yayılan şeyler, makinelî tüfeğin ateşlenmesi gibi rastlantısal olarak saçılan ışık parçacıkları veya fotonlardır.⁴ Isı, en somut düzensizlik örneğidir.

El çırpın bir insan örneğinde elin yarattığı sarsıntı, en yakınındaki hava moleküllerini sallar. Sallanan moleküller diğer komşularını sallayarak havaya düzensizliğin yayılmasına neden olurlar. Ortam biraz ısınır. Çelik duvara gömülen kurşun örneğinde yaşanan sürtünme hem duvardaki hem de kurşundaki atomları sallar. Böylelikle daha çok ısınırlar.

Her türlü enerjinin ısı enerjisine döndüğü durumlarda o ısı enerjisinin yeniden orijinal biçimine dönme olasılığı çok düşük olur. Kırılan bir fincanın parçalarının bir araya gelerek, yeniden sağlam haline dönme olasılığının çok düşük olması örneğindekiyle aynı nedenler geçerlidir. El çırpın kişi örneğinde, kişinin elleri arasındaki ince tabakada birdenbire elleri birbirinden ayrı tutmak için mükemmel bir uyum ile dışarı doğru sallanmaya başlayan zilyonlarca atom olması gerekmektedir. Tamamen olanaksız olmamasına rağmen gerçekleşme olasılığı fevkalade düşüktür. Çeliğe gömülen kurşun örneğinde ise, kurşunun sallanan atomlarının aynı yönde -çelik duvardan çıkacak şekilde- sallandıklarını görmeleri gerekir. Böylelikle kurşun yerinden çıkarak yeniden silaha doğru gidecektir. Bunun gerçekleşme olasılığı nedir? Elbette son derece düşük bir olasılıktır.

Tüm bunlar enerji korunumu yasalarının ısı enerjisini kapsadığı durumların temel bir asimetriye yol açtığını göstermektedir. Her enerji türünü yüzde 100 olarak ısı enerjisine dönüştürmek olasıdır, ancak herhangi bir ısı enerjisini yüzde 100 olarak başka bir enerji türüne dönüştürmek olası değildir. Bunun nedeni ısının pek çok şeye -örneğin, sıcak bir gazın birçok molekülüne- yayılmış bir enerjiyi temsil ediyor olmasıdır. Bu enerjiyi yararlı bir 'işe' dönüştürmek, enerjiyi birkaç şeye -örneğin, tek bir kurşunun hareketine- yoğunlaştırmayı gerektirir. Isının yüzde 100 verimli bir biçimde işe dönüştürülememesinin nedeni, sıcak bir maddenin içindeki pek çok duruma yayılmış enerjinin bir kurşunun hareketi gibi birkaç konuma geçme olasılığının son derece düşük olmasıdır.

Kurşun ve çelik duvar örneklerinde -veya el çırpma örneğinde- düzensizliğin yükseldiği aşikâr değildir. Aslında her iki durumda da tam tersi gerçekleşmiş gibi görünecektir. Ne de olsa iki elin birbirine yapışması, iki elin birbirinden ayrılmasından daha düzenli bir konumdur. Bir kurşun ve çelik duvarın tek bir varlık olarak bütünleşmiş olması, iki ayrı varlık olmalarından daha düzenlidir. Çıplak gözle göremediğimiz için düzendeki bu lokal yükselişlerin bedelinin global düzensizlikteki bir artış -mikroskobik düzensizliğin veya ısının çevreye yayılması- ile ödenmiş olduğunu açıkça göremeyiz.

Başka yerlerdeki düzensizlik artışı pahasına düzenin lokal olarak yükselebileceği gerçeği, Yeryüzü'ndeki insanların ve diğer canlıların sürekli artan dağınım (entropi) trendini nasıl yükselttiklerine dair ipucu vermektedir. Bir bebek anne sütüyle beslenir ve ondan aldığı enerji sayesinde beynindeki sinir bağlantıları çoğalarak bilinen Evren'deki en düzenli varlığı yaratır. Ancak o sütü metabolize ederken ısı üretilir -hepimiz yediğimiz zaman ısındığımızı biliriz- ve bedeli çevre öder. Genel olarak bakıldığında Evren'in düzensizliği artmış olur.

Düzensizliğin asla azalamayacağı gerçeği, 'termodinamiğin ikinci kuralı' olarak bilinir. İhlal edilemez -onunla çeliştiği görülen her fizik kuralı anında bertaraf edilmiştir- bir kural olmasına rağmen diğer temel fizik yasalarıyla karşılaştırıldığında aslında farklı bir kulvardadır. Oysa diğer temel kurallar yaşananları yüzde 100 kesinlikle açıklarken, ikinci kural istatistikseidir. Kesinlikle gerçekleşecek şeyler yerine sadece çok büyük bir olasılıkla yaşanacakları söyler.

Evren'deki düzenden düzensizliğe dönüşümün -dağınımın acımasız yükselişinin- sonuçlarından biri de tükeniştir. Sürekli dejenerasyondur. Kötüleşmedir. En nihayetinde bu durum neden yaşlandığımızı -hücrelerimizin fonksiyonlarının düzensizlik nedeniyle daha fazla ödünmeye başlamalarını- da açıklar. Tıpkı parçalanmış fincanda olduğu gibi yine dağınımın iş başında olduğunu görebiliriz.

Ancak eğer Evren'deki tüm süreçlerin net düzensizliği artarsa, o zaman günün birinde Evren'in maksimum düzensizlik konumuna ula-

şacağı gibi mantıksal bir sonuca varılabilir. Öyle bir evrende herhangi bir şeyin gerçekleşmesi mümkün olmayacaktır, çünkü belirtildiği üzere Evren'in düzensizliğinde bir artış olmaksızın gündelik süreçlerin hiçbiri gerçekleşemez. Daha da kötüsü, geçmiş ve geleceğin anlamı kalmayacaktır, çünkü bizler her şeyin artarak düzensizleştiği yönle geçmişten geleceğe olan yönü -zamanın okunu- belirleriz.

Evren ile ilgili maksimum düzensizlik gibi varsayımsal bir konunun varlığı, ilk olarak on dokuzuncu yüzyıl fizikçileri tarafından fark edilmiştir. Tüm aktivitelerin durduğu kâbus senaryosu olan bu duruma 'ısı ölümü' adını vermişlerdir. T.S.Eliot'un ifadesiyle Evren 'patlama ile değil hafif bir iniltiyle' sona erecektir.

Isı ölümü konumunda neden hiçbir şeyin gerçekleşemeyeceğini tam anlamıyla anlamamanın yolu, her düzensizliğin aynı olmadığını farkında olmaktan geçer. Kullanılabilir ve kullanılamaz düzensizlik vardır. Bunlar ısının özel bir niteliğine bağlıdır: sıcaklık ya da sıcaklık derecesi.

Çoğu insan ısı ile sıcaklık arasındaki farkı ayırt edebilir. Yakılan bir kibrit yüksek sıcaklık derecesine sahiptir, ama ısısı azdır -onu su kaynatmak için kullandığınızı düşünün. Öte yandan bir kaloriferin ısısı çok fazladır ama sıcaklık derecesi düşüktür -dokunduğunuzda yanmazsınız. Eğer farklı sıcaklık derecelerinde iki ısı kaynağına sahipseniz, yararlı bir 'iş' çıkarmanızın mümkün olduğu görülmektedir -örneğin, buhar makinesinin iteneğini harekete geçirmek gibi. Bu durum tıpkı farklı yükseklikleri olan iki gölün su seviyelerindeki farklılık gibidir. Eğer su, yüksek gölden alçaktakine doğru akarsa su çarkını döndürebilir. Ancak bunun kaçınılmaz sonucu, suyun tamamının alçak gölde aynı seviyede toplanacak olmasıdır. Su seviyelerinde farklılık kalmayınca şu çarkı da döndüremeyecektir.

Buhar makinesinde de aynı şey geçerlidir. Yüksek sıcaklık derecesine sahip buhar gücü iteneği harekete geçirir ve sonra yoğunlaşır veya suya dönüşür. Düşük bir sıcaklık derecesinde atmosfere boşaltılır. Boşaltılan ısı, atmosfer ile aynı sıcaklık derecesine sahip olacağından dolayı harca-

nır ve daha fazla iş yapamaz. İşte, on dokuzuncu yüzyıl fizikçilerinin ısı ölümü seviyesine ulaşan Evren'in başına geleceğini düşündükleri senaryo budur.

Evren'deki her şeyin işlerliğini sağlayan kilit sıcaklık derecesi farkı, sıcak olan yıldızlarla soğuk olan boş alanların arasındaki farktır. Yeryüzü'ndeki tüm süreçler enerjilerini eninde sonunda güneş ışığından alırlar. Güneşin yüzeyi ile çevresini saran alanın sıcaklık dereceleri arasında yaklaşık 6 bin derece fark olduğu için güneş ışıkları uzaya yayılır. Güneş ışığı okyanus ve atmosfer arasındaki dolaşımı yönlendirir. Bitkilerdeki fotosentezi gerçekleştirir. Eski çağlarda güneşi içine çeken mikroorganizmalar ve ağaçlar milyonlarca yıl boyunca yerin altında sıkışıp kaldıktan sonra petrol ve karbon gibi fosil yakıtına dönüşürler.

Ancak yıldızlar uzaya ısı pompaladıkça kaçınılmaz olarak soğurlar ve uzay ısınır.⁵ En sonunda aralarındaki sıcaklık farkı yok olacaktır. Evren, yalnızca düzensizlik ile dolmakla kalmayıp, işe yaramaz bir düzensizlik ile baş başa kalacaktır. Aynı sıcaklık derecesinde düzensizlik. Isı ölümü konumunun korkunçluğu budur.

Pekâlâ, Evren'in böyle bir konuma yakınlığı nedir? Uzak, yıldızlar tarafından gelişigüzel yayılan fotonlar ile taranmıştır. Onların Evren'in düzensizliğine katkılarının maddenin parçacıklarının sallanmalarının tamamının bir araya gelmesinden bile daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca, yıldızlardan gelen fotonların şu an Evren'de bulunan tüm fotonların sadece yüzde 0,1'ini oluşturduğu bilinmektedir. Yüzde 99,9 gibi çok büyük bir oran ise -yaratılış ışıldamasıyla- Büyük Patlama sırasındaki alev topunun ısısına geçmiştir. Aslında bu fotonlardan maddenin her parçacığı için 10 milyar adet vardır. Elinizi kaldırın. Her saniye Büyük Patlama'dan kalma bir milyon kere milyon tane foton cildinizden sekmemektedir.

Büyük Patlama'dan kalan ısı, aslında günümüzde Evren'in ısı ölümü konumunda olduğunu gösterir. Bir yıldızın etrafında dönen bizler, aktivitenin devam edebildiği nadir bir kozmik yerde varlığımızı sürdür-

rüyoruz. Evren'in büyük bir kısmının var oluşunun ilk saniyesi içinde ısı ölümüne yenik düşmüş olması çok şaşırtıcıdır. Bu durum, parçacık/ karşı-parçacık cümbüşlerinin her seferinde bir çift foton oluşturarak yok olmalarının, Evren'in madde ve karşı-maddesinin çoğunu imha ettiğinde gerçekleşmiştir. Bazı fizik yasalarının henüz anlaşılamamış asimetriklerinin, karşı-maddenin her 10 milyar parçacığı karşılığında 10 milyar artı 1 parçacık madde olduğunu kesinleştirmiş olmasından dolayı, toz bulutu en nihayetinde çöktüğünde, maddenin hayatta kalan her parçacığı için yaklaşık 10 milyar foton bulunmaktaydı. Bu fotonlar, günümüzde Büyük Patlama'nın ışıldaması -kozmik aralan radyasyonu- olarak gördüklerimizdir.⁶

Evren'in mevcut durumda ısı ölümüne çok yaklaşmış olduğu gerçeği, aslında Evren'imizdeki düzensizliğin artması için çok az bir alan olduğu anlamına gelir. Bu nedenle Evren'in ısı ölümünden çok uzak olmasıyla zamanın neden böyle aktığını -neden fincanların kırıldığını ya da insanların yaşlandığını- açıklamak olası değildir. O halde, zamanın okunun açıklaması nedir? Aslında anlamamakta direndiğimiz ama apaçık bir durum söz konusudur. Bir çay fincanı, ancak geçmişinde şimdiki halinden daha düzenliyse, gelecekte düzensiz olabilir. Sonuç olarak, zamanın akış yönü gerçeği bize Evren'in Büyük Patlama'da daha düzenli, daha olanaksız, daha özel bir konumda olduğunu anlatmaktadır.⁷

Fizikçiler Evren'imizin özel veya alışılmadık herhangi bir hali olduğunu kabul etmekten nefret ederler. Bunun din kokan bir yanı vardır. Nicolaus Copernicus'un Evren'deki konumumuzun özel olmadığını keşfine -Yeryüzü, tıpkı diğer gezegenler gibi Güneş'in etrafında döner ve her şeyin merkezinde değildir- ve Charles Darwin'in doğal yaşamdaki yerimizle ilgili özel bir durum olmadığı keşfine -insanoğlu, gezegenimizdeki diğer sayısız hayvan türlerinden biridir- kadar gider. Ancak fizikçiler, yaşadığımız zamanın okundan bir anlam çıkarabilmek için Evren'in olasılık dışı, son derece düzenli bir konumdan yola çıkmış olması gerektiğini kabul etmek zorunda kalmışlardır. Birçoğu ise böyle bir konumun,

düzgün bir denklem setiyle tüm yaratılışı açıklayan bir 'her şey teorisinin' kaçınılmaz sonucu olduğunun günün birinde ortaya çıkacağı umudunu taşır.

Ancak Evren'in olasılık dışı, düzenli bir konumdan doğuşunu açıklamak için her şey teorisi gibi anlaşılmasa bir doğaüstü formül arayışında olmamızın gerekli olmadığını ileri süren bir fizikçi vardır. New York'taki Clarkson Üniversitesi'nden Lawrence Schulman'a göre oldukça sıradan bir açıklama bulunmaktadır. Schulman, Evren'in nasıl başladığından bağımsız olarak yaklaşık 380 bin yaşındayken doğal bir biçimde olasılık dışı, düşük-dağınım konumuna geçtiğine inanmaktadır. Buradaki kilit nokta, ilk kez Evren'in kontrolünü eline geçiren kütleçekimdir.

Yaratılıştan 380 bin yıl sonrasındaki dönemin Evren'in tarihi açısından büyük bir önemi vardır. Bu dönemde Büyük Patlama'nın giderek genişleyen alev topu soğuyarak yaklaşık 4 bin dereceye düşmüştür. Bu sıcaklık derecesi, ilk atomları oluşturmak için bir araya gelen atom çekirdekleri ve elektronlar için de yeterince düşüktür.⁸ Bundan öncesinde fotonların -maddenin her parçacığı için onlardan yaklaşık 10 milyar vardır- madde üzerinde bozucu bir etkisi bulunuyordu. Serbest elektronlardan 'saçılmış' veya sekmiş, patlamayla savrulmuş ve böylelikle kütleçekiminin her türlü madde kümesini bir araya getirmesini önlemişlerdir. O zamandan sonra elektronlar atomların içinde bağlanmış ve fotonların bozucu etkisinden nispeten korunmuşlardı. Kütleçekimi de ilk kez maddenin kümeleşmesine neden olabilmisti. En nihayetinde galaksilere, yıldızlara, gezegenlere, sizlere ve bana dönüşecek uzun bir sürecin başlangıcı buydu.⁹

Schulman, zamanın okunun bizim bildiğimiz ve sevdiğimiz yönde olmasının nedenini açıklayan şeyin zamanın doğumundan 380 bin yıl sonra, bu 'son saçılma döneminde' kütleçekiminin devreye girmesi olduğuna inanmaktadır. Bu dönemden önce Büyük Patlama alev topunun parlayan maddesi uzaya eşit şekilde yayılmıştır. Aslında kozmik ardaan radyasyonunun -Büyük Patlama sırasındaki alev topunun genişleme ile

soğuyan fotonlarının- bugünkü gözlemleri bize, o zamanki maddenin yaklaşık 100 binde bir kısım seviyesinde düzgün olduğunu gösterir. Uzun vadeli kuvvetler olmadığında bu kadar düzgün bir konumun yüksek dağınım konumu çıkma olasılığı en yüksek seviyededir. Bir kutudaki bir gazı düşünün. Serbestçe uçuşan gazın atomları kutunun her yerine eşit biçimde yayılacaktır.

Ancak uzun vadeli bir kuvvetin -kütleçekimi- Evren'de harekete geçmesiyle birlikte işler radikal biçimde değişmiştir. Kütleçekiminin varlığı söz konusu olduğunda maddenin en olası konumu, düzgün bir konum değil kümeli olandır. Galaksiler, yıldızlar ve gezegenlerle dolu günümüz Evren'ine bir bakın. Son saçılma sonrasında kütleçekiminin devreye girmesiyle birlikte Evren'in düzgün konumu birdenbire değişerek son derece olası konumdan son derece olasılık dışı konuma geçmiştir.

Ustaca bir durumdur. Maddenin dağılımı geçişten önce ve sonra tamamen aynıdır. Ancak kütleçekiminin olaylar üzerinde herhangi bir rolünün olmadığı tipik konum yüksek dağınım iken kütleçekiminin devreye girmesiyle birlikte birdenbire özel bir konum olan düşük dağınıma dönüşüm yaşanmıştır.

Schulman, bu iddialarının Evren'in 380 bin yaşına gelmeden önceki zamanın yönü ile ilgili hiçbir şey söylemediğini özgürce kabul eder. Zamanın okunun olmaması olasıdır. Ya da belki de erken dönem fiziksel süreçler tarafından belirlenmiş bir zaman oku bulunmaktadır. Ulaşılmaması o kadar olanaksız dönemlerde zaman okunun ne yaptığını anlamak, bir her şey teorisi gerektirebilir.

Ancak Schulman, öncesinde Evren'in özel, düşük dağınım konumuna nasıl geçiş yaptığını göstererek yaşadığımız zamanın yönünü sonunda açıklamıştır.¹⁰ Bunun nedeni ise, Evren'in genişlemeyle başlayan soğumasından kaynaklanan bir olaydır, çünkü atomların oluşumuna ve kütleçekiminin 'devreye girmesine' neden olan budur. Evren'i gözlenen zaman okunu açıklamak için bu kadar gerekli kılan özel, düşük dağınım konumuna sokan şey ikinci olaydır. Zaman geçtikçe gençleşmeyip yaş-

lanmanız, kahvenizin ısınmayıp soğuması, yumurtaların bir araya gelmeyip kırılması gerçekleri, Evren'in Büyük Patlama'dan genişlemiş olması gerektiğini göstermektedir. Kozmik olanın gündelik yaşamla bağlantısına verilebilecek daha iyi örneklerin sayısı çok azdır.¹¹

Rastlantısal Gerçeklik

Dünyayı tanımlamak için pek çok bilgiye gereksinim duyduğumuz gerçeği, gündelik gerçekliğin oluşumunda olasılığın temel bir rolü olduğunu nasıl anlatır?

'Bilgi, devrimsel bir yeni kavram türüdür. Bu gerçeğin farkında olmak da bu çağın kilometre taşlarından biridir.'
Gregory Chaitin (Bilinmeyen)

'Olasılığın köleleri olduğumuzu itiraf ediyoruz.'
William Shakespeare (Kış Masalı)

Dünya karmaşıktır. Gökyüzünde yağmur bulutları sürüklenir. Bir ağaç esintide hafifçe sallanır. Kırmızı mantolu bir kadın krem rengi kanişiyle yolda yürürken bir yaya geçidinde durur. Böyle bir sahneyi tanımlamak için kesinlikle çok fazla bilgiye ihtiyaç vardır. Örneğin yeri, her bulutun şeklini ve kompozisyonunu, ağacın her dalının ve yaprağının yerini ve şeklini ve benzeri pek çok şeyi net bir biçimde belirlemek gerekir. Bu kadar çok

bilgiye gerek duyulmasının nedeni, bu sahneyi diğer sayısız alternatiften ayırt edilebilir ve benzersiz kılmak için pek çok şeyin belirlenmesi gerekliliğidir. Çünkü bu sahnenin farklı olabileceği, içindeki 'öğelerin' farklı biçimlerde düzenlenebileceği inanılmaz çok sayıda alternatif bulunmaktadır. Bir bulut başka bir yerde olabilir, ağacın yerinde lamba direği olabilir, kadın ve köpeğinin yerine dağ gelincığını gezdiren bir adam olabilir. Aslında bu sahnenin olası diğer sahnelerle karıştırılmadığından emin olmak için sahnedeki her atomun yerini ve niteliklerini belirlemek gerekir. Hatta atomdan küçük her parçacığın bile.

Evren'i tanımlamak için çok fazla bilgiye gereksinim duyulduğu gözlemi biraz klişe ve önemsiz görünebilir. Ama aslında Evren'imiz ile ilgili derin bir şey anlatmaktadır. Eugene'deki Oregon Üniversitesi'nden fizikçi Stephen Hsu'ya göre, tamamen rastlantısal olarak çevremizdeki dünyanın başka türlü değil gördüğümüz gibi olduğunu gösterir. Dünyanın karmaşasının, zamanın başlangıcından bu yana yapılan uzun zar atışları serisinin sonucu olduğunu göstermektedir. Einstein'ın ünlü sözlerinden biri şudur: 'Tanrı, evrenle zar atmıyor.' Ancak Hsu şunları söylemiştir: 'Tanrı, yalnız evrenle zar atmakla kalmıyor. Eğer zar atmasaydı evren -en azından yaşamın doğabileceği bir zenginlik ve karmaşıklığa sahip bir evren- olmazdı.'

Evren'in karmaşık olduğu ve bu nedenle onu tanımlamak için çok fazla bilgiye gereksinim duyulması gerçeğinden yola çıkarak böyle şaşırtıcı bir sonuca varmak nasıl mümkün olabilir? Kesin ve net konuşmak gerekirse mümkün değildir. Böyle bir sonuca varmak ancak günümüz Evren'inde ne kadar bilgi olduğu ile Evren'in doğduğu zaman ne kadar bilgiye sahip olduğunu karşılaştırarak mümkün olabilir.²

Standart kozmoloji görüşüne göre milyarlarca galaksisi ve yıldızı olan Evren, bir atomdan bile çok daha küçük bir 'uzay boşluğu' parçasından şişerek genişlemiştir. Şişme öncesindeki bu küçük noktanın bilgi içeriğini tahmin etmek teknik bir konudur, ama Hsu aşağıdaki sadeleştirilmiş iddiadan yararlanır. Şişme öncesinde Evren yaklaşık 10^{-44} saniye yaşındaydı. Doğanın dört temel kuvvetinin tek bir 'süper kuvvet' oluşturacak

şekilde 'birleştiğine' inanılır. Bu dönemde Evren 'Planck sıcaklığındaydı' -yaklaşık 10^{32} derece- ve 'Planck uzunluğundan' -yaklaşık 10^{-32} metre- uzun değildi. Kütleçekimi kuvvetinin kuantum teorisinden yoksun olan fizikçiler, bu dönemle ilgili herhangi bir bilgiye sahip olamazlar. Ancak Evren'in Planck uzunluğunun on katına kadar genişlediği ve sıcaklığının ise Planck sıcaklığının onda birine düştüğü zaman itibariyle kuantum kütleçekiminin etkileri çoktan minimal seviyeye inmiştir. Dolayısıyla bu dönem hakkında bir şeyler söylemek olasıdır. O sırada, Evren'in her kenarı Planck uzunluğunda olan 1000 tane küpten oluştuğu düşünülebilir. Böyle düşünmemizin nedeni, Planck uzunluğunun, gazete fotoğrafındaki çözünürlük boyutu gibi olası minimum uzunluk olmasından kaynaklanır. Daha önce de dikkat çekildiği üzere bir şeyin bilgi içeriği, o şeyin alt bileşenlerinin düzenlenebileceği farklı yöntemlerin sayısı ile ilintilidir. O zaman kilit soru şudur: Bu 1000 küplük evrende kaç tane ayırt edilebilir konum vardır?

Bu küçük küplerin her biri, tıpkı bir fotoğraftaki yerin mürekkeple dolabileceği ya da boş kalabileceği gibi, enerji ile dolu ya da boş olabilir. 1000 tane dolu veya boş küpten meydana gelen bir evreni zihinde canlandırmak çok kolay değildir. Bu nedenle bir küpten oluşan bir evreni düşünün. Bu küp ya dolu ya da boş olarak iki ayrı konuma sahip olabilir. İki küplü bir evrende küpler boş-boş, boş-dolu, dolu-boş veya dolu-dolu olabilir. Yani olası dört tane düzenleniş şekli vardır ve bu da 2^2 'ye eşittir. Üç küplü bir evrende 2^3 alternatif vardır. Dört küplü bir evrende ise 2^4 . Nasıl bir model oluştuğunu görebiliyor musunuz? Buna göre şişme öncesinde 1000 küpten oluşan bir evrende uzay boşluğunun düzenlenebileceği farklı biçimlerin sayısının 2^{1000} olduğunu söylemek mümkündür.

2^{1000} , diğer bir deyişle 2'nin 1000 kez kendisiyle çarpılması sonucunda çıkan sayı yaklaşık bir milyar eder. Şişme öncesinde uzay boşluğundaki küçük bir benek için çok büyük bir sayıda olası düzenleme gibi görünebilir; ama aslında gülünç sayılabilecek kadar küçüktür. Bir bilgisayar diskini düşünün. Birileri diskin N parça veri depolayabildi-

ğini söylüyorsa, o disk, 2^N kadar farklı sayıda 0'lar ve 1'lerden veya ikili sayılardan (bit) oluşan diziler depolayabiliyor demektir.³ Dolayısıyla şişme öncesinde uzay boşluğundaki küçük bir benneğin içeriği ile ilgili olası tüm yolları listelemek için 1000 bitlik bir depolama alanına gereksinim duyulur. Başka bir deyişle, erken dönem Evren'inin kesin ve net konumu yalnızca bir kilobit disk alanını kaplayacaktır. Bir bayt -8 bit- genellikle bir 'A' veya '5' gibi bir karakteri depolamak için kullanılır. Buna göre evrenin tamamı için 200 bayttan az bir alana gereksinim vardır. Üzerinde 200 karakter veya yaklaşık 30 sözcük yazılmış bir parça kâğıt aldığınızı düşünün. İnanılmaz bir biçimde evrenin tamamının durumunu belirlemek için bu kadarı yeterli olacaktır. Bunun yeterince şaşırtıcı olmadığını düşünüyorsanız, başka bir açıdan bakın. Walt Whitman *Benim Şarkım* şiirinde şöyle yazmıştır: 'Ve her erkeğe ve kadına şunu derim ki, Ruhunuzun bir milyon evrenin önünde serinkanlı ve havalı durmasına izin verin.' Günümüzde 'bir milyon evrenin önünde serinkanlı ve havalı durmak' kolaydır. Yalnızca 1 gigabaytlik (Gb) bir taşınabilir anahtarlık bellek almanız yeterlidir. İster inanın ister inanmayın ama onun içine bir milyon evrenin bilgisini depolayabilirsiniz.

Şişme öncesinde uzay boşluğundaki küçük bir benek için farklı düzenlenme sayısı olan 2^{1000} 'nin 1000 bitlik bir depolama alanında saklanabileceği fikri, bilginin tanımını vurgulamaktadır. Eğer bir şeyin olası düzenleme sayısı 2^N ise, o zaman bilgi kapsamı N olarak tanımlanır.⁴

Şişme öncesi Evren'ile ilgili çok fazla önemsiz bilgi vermiş olduk; ama günümüz Evren'inde ne kadar bilgi vardır? Bu sayıyı hesaplarken o bilginin çoğunun nerede olduğunun farkında olmak önemlidir. Evren'e bakarak her galaksideki her yıldızın her atomunun kesin ve net konumunu kaydedebilen bir süper-teleskopa sahip olsak bile Evren'in bizim belirlediğimizden farklı inanılmaz çok sayıda durumu olabilir. Bunun nedeni ise Büyük Patlama'dan kalan çok sayıda fotonun -başlangıçtaki alev topundan arta kalan sıcaklığın-uzayın her yerine sinmiş olmasıdır. Büyük Patlama'nın fotonları, maddenin mikroskobik parçacıklarının

sayısını geçer. Örneğin, elektronların sayısının 10 milyar katı ve yıldız ışığının fotonlarının ise 1000 katıdır. Dolayısıyla Evren'in en büyük bilinmeyenlerinin başında bunların kesin ve net konumu gelir.

Büyük Patlama fotonları ayırt edilemez. Bu nedenle onları değişik tokuş yapmak, yeni bir düzenleme ile sonuçlanmayacaktır. Ancak bir fotonun önünde iki ayrı konum vardır; çünkü iki farklı şekilde 'kutuplaşabilir.' Sarmal olarak ya saat yönünde ya da saatin aksi yönde hareket ederek uzayda uçan bir fotonu düşünün. Her fotonun kendi alan küpünden çapraz geçtiğini hayal edersek, durumun her küpü enerji ile dolu ya da boş olmak yerine, saat yönünde bir fotona ya da saatin aksi yönde hareket eden bir fotona sahip olan şişme öncesindeki küçük benneğin durumuna oldukça benzediğini görürsünüz. Dolayısıyla aynı sonuç geçerlidir. N adet Büyük Patlama fotonunun ayırt edilebilir konumlarının sayısı 2^N 'dir.⁵ Bu nedenle Evren'deki tüm Büyük Patlama fotonlarının konumlarını tanımlamak için gereken bilgi de o fotonların toplam sayısı olan N 'dir. Uzayın her santimetreküpünden her an 300 kalıntı fotonu bir uçtan bir uca geçmektedir -Büyük Patlama fotonlarının aynı anda her yerde olabilmeleri bu şekilde mümkündür. Evren, yaklaşık 84 milyar ışık yılı uzaklıktadır. Bu da yaklaşık 5×10^{89} santimetreküp hacme sahip olduğu anlamına gelir.⁶ Sonuç olarak, onu tanımlamak için gereken bilgi miktarı da yaklaşık 10^{89} bittir.

Özetle, Evren yola çıkarken yalnızca 1000 bitlik ilgiye sahipken şu an 10^{89} bitlik bilgi içermektedir. Bu da 10^{89} , veya 100 trilyon trilyon trilyon trilyon trilyon trilyon, kat artış demektir. Bilgideki bu sıra dışı artışın kafa karıştırıcı olduğu açıkça görülmeyebilir; ama öyledir. Nedenini anlamak için fizik kuralları hakkında bir şeyler anlamak gerekir.

Newton'un hareket yasaları gibi fiziğin bilinen kuralları, geleceği yüzde 100 kesinlik ile öngörebilmenin formülüdür. Örneğin, bugün Ay'ın gökyüzündeki konumunu biliyorsak, Newton'ın hareket yasalarına ve kütleçekimi yasasına göre yarın hangi noktada olacağını tahmin edebiliriz. Ay'ın yarınki yerini belirlemek için bilmemiz gereken tek

şey çünkü yeri olduğundan yeni bilgiler eklenmez. Yarınki yer, bugünkü yerin içinde *saklıdır* ve bu durum fiziğin tüm kuantum-dışı ya da 'determinist' yasaları için doğrudur. Mevcut sistemdeki tek bir durum, gelecekteki sistemdeki tek bir durumu tamamen belirleyebileceği için yeni bir bilgi yaratılmaz. Aslında determinist yasalar, bilgi korunumu ile aynı anlamı taşır.⁷

Bunun Evren ile ilgili olan kısmı şudur: geçirdiği evrim, determinist bir teori olan Einstein'ın kütleçekim teorisi -genel görelilik teorisi- ile tanımlanır. Başka bir deyişle, genel görelilik tüm Evren'e uyarlandığında, Evren'in özel bir konumunun sonradan nasıl bir evrim geçirerek başka bir konuma dönüştüğünü anlatır. Evren'in bilgi kapsamında bir değişiklik olmaz.

O zaman şişme öncesindeki Evren yalnız 1000 bitlik bilgiye sahipken bugünkü Evren'in 10^{89} bit bilgiye sahip olması gerçeğine nasıl bir anlam veririz? Başka bir ifadeyle, başlangıçta Evren'in içeriğinin düzenlenebileceği 2^{1000} farklı yol varken, şimdi bu sayı akıllara durgunluk veren $2^{(10^{89})}$ düzenlenme alternatifine çıkmıştır.⁸ Genel görelilik gibi kuantum-dışı veya 'klasik' bir teori, belli bir zamandaki 2^{1000} konumun gelişerek ancak daha sonraki bir zamandaki 2^{1000} konuma dönüşmesine izin verdiği için sadece Evren'in günümüzdeki karışıklığının zamanın başlangıcıyla belirlenmiş olamayacağı anlamına gelebilir. 'Kitaplığımın raflarındaki kitapları alın,' demiş Hsu. '*Feynman'ın Fizik Konferansı Notları* neden *Zamanın Kısa ve Öz Tarihi* kitabının yanında duruyor? Bilgi iddiası, kitaplığımın konumunun kökenine inilirken Büyük Patlama'daki benzersiz bir konuma kadar gidilemeyeceğini ileri sürer. Aslında Evren'imizdeki hiçbir şey bu şekilde açıklanamaz.'

Ağacın sallanan yaprağını düşünün. Onun sallanmasına neden olan nedir? Elbette rüzgâr: ama rüzgâra neden olan nedir? Güneş ışığı tarafından atmosfere boşaltılan ısı. Peki, güneş ışığına neden olan nedir? Nükleer reaksiyonlar sayesinde Güneş'in özünde yaratılan ısı... Böyle bir neden-sonuç zincirinin Evren'in doğumuna kadar gidebileceğini dü-

şünebilirsiniz. Ancak günümüz Evren'inde başlangıca nazaran çok daha fazla bilgi olduğu gerçeği, bize bunun doğru olmadığını söyler. Eğer bu neden-sonuç zincirini geçmişe dönük olarak gidebileceğimiz noktaya kadar izlersek, en nihayetinde karşımıza hiçbir ön neden olmaksızın ortaya çıkan bir sonuç çıkacaktır. Hiçbir neden olmaksızın gerçekleşmiş bir şey: Tamamen rastlantısal bir olay.

İşte, günümüz Evren'inin sahip olduğu tüm bilginin geldiği yere dair ipucu buradadır. Rastlantısallık ile bilgi eş anlamlıdır. Bu çok açık bir şekilde görülmektedir. Aslında ilk bakışta mantığa aykırı gibi görünür; ancak basamakları rastlantısal olarak belirlenmiş 100 haneli bir sayı olduğunu düşünün. Bu sayıyı birine iletmeniz tek yolu, 100 basamağını birden o kişiye göndermek olacaktır. Bu sayıyı yüz tane 3'ten oluşan bir sayı ile karşılaştırın. Sayının dizilişinden yararlanarak bu kez sayıyı '100 tane 3' diye iletebilirsiniz. Bu da rastlantısal bir sayının çok fazla bilgi içerdiğini, ancak rastlantısal olmayan bir sayının çok az bilgi içerdiğini gösterir. Çok fazla bilgiye gerek yoktur.

O zaman şişmenin başından beri Evren'e yerleştirilen bilgiden/rastlantısallıktan sorumlu olan süreçler nelerdir? Hsu'nun bu konuda hiç şüphesi yoktur. 'Bu süreçler yalnız kuantum süreçleri olabilirler.' der. Kuantum süreçleri determinist değildir. Geçmişteki bir sistemin belirli bir konumu, gelecekteki belirli bir konuma yol açmaz. Kuantum fiziği yasaları, geleceği yüzde 100 kesinlikle öngörmenin anahtarı değildir. Her biri belli bir gerçekleşme olasılığına sahip sayısız olası geleceği öngörmek için bir yol sunarlar. 'Günümüzde çevremizdeki dünyada olan şeylerin nedeni, Büyük Patlama'dan, diğer bir deyişle bir kuantum zarının atılmasından bu yana, Evren'e yerleştirilen sayısız rastlantısallık patlamasıdır.' der Hsu.⁹

Hsu, Evren'e rastlantısallık yerleştiren şeyin şişmenin kendisi olduğuna inanmaktadır. Fizikçiler, Evren'e yayılan 'bir şeylerin' sahip olduğu itici kütleçekiminin, uzay boşluğu balonunu inanılmaz bir boyuta ulaştırdığından, diğer bir deyişle bir 'şişme' alanından (inflaton) söz ediyor

olsalar da, kimse onu harekete geçiren şeyin ne olduğunu bilmemektedir. Şişme süreci sırasında Evren iki katı büyüklüğe çıkmış ve sonrasında da 60 kereden fazla olmak üzere boyutunu ikiye katlamıştır.¹⁰

Bir noktada şişmenin hızı kesilmiştir, ve kimse bunun nedenini bilmemektedir. Şişme alanı dağılarak uzay boşluğunu bugün çevremizde gördüğümüz normal uzay boşluğu olarak bırakmıştır.¹¹ Bu da farklı zamanlarda farklı yerlerde şişmenin az da olsa zayıfladığı ve farklı yerlerde farklı miktarlarda enerji yaydığı anlamına gelir. Enerji yoktan var edilemez ve varken yok edilemez, yalnızca şekil değiştirebilir olduğuna göre şişme enerjisi başka biçimlerde ortaya çıkmıştır. Bunlar atomdan küçük parçacıkların kütle enerjisi ve hareket enerjileridir. Kısacası şişme sürecinin zayıflaması Evren'in maddesini yaratmış ve aynı zamanda onu son derece yüksek bir sıcaklık derecesine ulaşacak şekilde ısıtmıştır. 'Sıcak Büyük Patlama'yı yaratmıştır.

Bu durumda standart kozmoloji tablosuna göre Evren yalnızca uzay boşluğu ile başlamıştır. Bu boşluğun sıradışı bir enerji konumu vardır ve şiddetli bir biçimde büyür. Ne kadar çok boşluk yaratılırsa, o kadar çok boşluk enerjisi olacaktır. Birçok fizikçinin dikkat çektiği üzere şişme, 'Sonunda ulaşılacak bedava öğle yemeğidir.' Nihayetinde şişme sona erer ve yeni yaratılmış uzay boşluğunun tüm enerjisi Evren'i ısıtarak Büyük Patlama'nın alev topunu oluşturur. Başlangıçta, şişmeye neden olan parçacığın (inflaton) bozunmasıyla Evren'in her yerine pompalanan enerji farklı olduğu için her yerdeki sıcaklık derecesi de farklıydı. 'Şişmeye neden olan parçacığın bozunması, Evren'e enine boyuna inanılmaz rastlantısallık veren bir rastgele sayı üreticisi gibidir,' demiş Hsu. 'Bu kuantum rastlantısallığı *Feynman'ın Fizik Konferansı Notları* kitabımın, *Zamanın Kısa ve Öz Tarihi*'nin yanında durmasının nedenidir.'

Evren, şişme sonrasında itibaren genişlemeye devam etmiştir. Gidererek daha fazla uzay boşluğu ve boşluk enerjisi yaratmıştır. Bunun Evren'e daha fazla rastlantısallık yerleştirmiş olabileceğini düşünebilirsiniz; ancak günümüzde genişleyen boşluk (vakum) ile şişme sonrası ortaya çıkan

boşluk arasındaki temel fark, öncekinin bozunmaya karşı kararlı kalmış olmasıdır. Ayrıca, daha geniş Evren'e rastlantısallık salan şey de yalnızca boşluğunun bozunumudur: doğal bir kuantum süreci.¹²

Ancak Hsu, şişmeye neden olan parçacığın bozunmasının Evren'e rastlantısallık/bilgi yayan tek süreç olduğuna inanmamaktadır. Şişmenin bitiminden itibaren atom çekirdeğinin rastlantısal parçalanışı ve atomlardan rastlantısal yayılan fotonlar gibi sayısız kuantum olayı tarafından Evren'e sürekli bilgi enjekte edildiğine inanmaktadır.

Örneğin, bir elektronun 'spin'inin saat yönünde veya saatin aksi yönde olabileceğini anımsayın. Bir tür detektör tarafından kaydedilmeden önce spin tanımsızdır. Onu tanımlayacak hiçbir şey, hiçbir bilgi yoktur. Ancak elektronun detektör üzerinde iz bırakmasıyla birlikte -jargona göre 'evre uyumsuzluğu' yaşadığında- ya saat yönünde ya da saatin aksi yönde döndüğü ortaya çıkar. Bir bit ile açıklanabilen iki olası sonuç vardır. Bir zamanlar bilgi yokken artık bir parça bilgi vardır. Sıraya dizilmiş on tane dönen elektron olduğunu hayal edin. Bir tür detektörde iz bırakacak olsalar, birdenbire bazılarının saat yönünde bazılarının ise saatin aksi yönde döneceğini görürsünüz. On elektronun önünde 2^{10} olası sonuç -1000'den fazla olasılık- vardır. Bu nedenle sadece varlıklarını kaydeden bu on elektron ile bile Evren'e bir sürü bilgi yerleştirilmiş olur.

Buna göre varlıklarını kaydeden trilyonlarca atomdan küçük parçacık tarafından Evren'e yerleştirilen bilginin ne kadar çok olabileceğini hayal edin. 'Evren'e bilgi yerleştirmenin inanılmaz güçlü bir yolu,' demiştir Hsu.

Termodinamiğin ikinci yasasının hükmüne göre, Evren'deki bilgi artışı ile Evren'deki dağınımın (entropi) artışı nasıl uyumlu olabilir? Aslında dağınım ve bilginin birbirleriyle yakından ilgili olduğu ortaya çıkmıştır: dağınım = $e^{(\text{bilgi})}$. On dokuzuncu yüzyıl fizikçileri, dağınımın atomların ve benzerlerinin önündeki düzensiz konumların sayısının, ezici bir şekilde düzenli konumların sayısından fazla olmasından dolayı arttığını fark etmişlerdir. 'Bilmemelerine rağmen o konumlar aslında tıpkı bir

atomun içinde dönen bir elektronun konumu gibi kuantum konumlarıdır.' demiştir Hsu. 'Dağınım artar; çünkü atomdan küçük parçacıkların önündeki düzensiz kuantum konumlarının sayısı, düzenli olanlardan çok fazladır. Her şey birbirine uyuyor.'

Daha önce de belirtildiği gibi Einstein, rastlantısal ve nedensiz olan kuantum süreçlerini tamamen nefret uyandırıcı olarak değerlendirmiştir; ama Hsu'ya göre onlar nefret uyandırıcı olmaktan çok uzaktır. Kesinlikle gereklidirler. Bugün varlığımızı kuantum öngörülemezliğine borçluyuz. Çevrenize bakın; bir güle, yenidoğan bir bebeğe, masmavi gökyüzünde ardında iz bırakarak giden bir uçağa. Sınırsız bir karmaşa dünyasında yaşıyoruz. Ancak gördüğünüz karmaşanın tamamı, yalnızca şişmenin bitiminden itibaren yapılan kuantum zar atışlarının sonucudur. Hoşunuza gitsin ya da gitmesin, rastlantısal bir gerçeklikte yaşıyoruz.

Dünya Doldu, Evinize Gidin

Yeryüzü'nde hiç uzaylı olmaması gerçeği bizlere ya var olan ilk zeki canlılar olmamız gerektiğini ya da bilinmeyen bir faktörün uzayda yolculuk yapabilen medeniyetlerin gelişmesini engellediğini nasıl anlatır?

'Kimi zaman yalnız olduğumuzu düşünüyorum, kimi zaman yalnız olmadığımızı. Her halükarda bunları düşünmek insanı sersemletiyor.'

Buckminster Fuller

'Evren'in zeki yaşamlarla dolu olduğundan eminim. Yalnızca buraya gelmek için fazla zeki olduklarını düşünüyorum.'

Arthur C. Clarke

Tıpkı geceleyin gökyüzünün karanlık olması gibi dünyanın özelliklerinden biri o kadar aşikârdır ki neredeyse hiçbir zaman fark edilmemiştir. Hangi ülkede yaşadığınız, hangi kıtada olduğunuz, gezegenin neresinde bulunduğunuz fark etmeksizin uzaylıların olmadığı gerçeğini

bilirsiniz. Sokaklarda dolaşmazlar, başınızı kaldırdığınızda bulutların arasında uçtuklarını görmezsiniz veya Uzay Yolu'ndaki Atılğan uzay gemisinin kabin ekibi gibi bir görünüş bir yok olmazlar.

Yeryüzü'nde hiçbir uzaylının olmaması gerçeğinin, büyük ölçüde Evren'deki zekâ dolu yaşam ile ilgili bize derin bir şeyler anlattığına inanılır. Ancak bu kitaptaki diğer gündelik gözlemlerin aksine o derin şeyin ne olduğuyla ilgili hiç kimse emin değildir.

Yıllar boyunca pek çok insan Yeryüzü'nde uzaylıların olmamasının anlaşılabilir bir bilmece olduğunun farkına varmıştır. Ancak bunu en akıllıca kalacak şekilde dile getiren kişi İtalyan fizikçi Enrico Fermi olmuştur. Hem teorisyenliği hem de deneyciliği en ileri seviyelerde bir arada yürütmeyi başarmış son fizikçilerden biridir. Fermi yalnızca hayalete benzeyen 'nötrino'nun varlığını öngören radyoaktif beta bozunması teorisini bulmakla kalmamış, aynı zamanda ilk nükleer reaktörü de, Chicago Üniversitesi'nin batı yakasının altındaki terk edilmiş bir squash sahası olan Stagg Sahası üzerine kurmuştur. Fermi'nin 2 Aralık 1942'de 'kritik' duruma ulaşan 'nükleer reaktörü', Amerika'nın Japonya'ya atmış olduğu iki bombadan biri için gereken plütonyumun oluşturulduğu yerdir.¹ Bu bombalar New Mexico çöllerinde denenmiştir. Fermi'nin uzaylılarla ilgili akıllara yer eden gözlemini yapması da 1950 yılında Los Alamos'taki bomba laboratuvarını ziyaret ettiği zamana rastlar.

Orada olduğu sırada bir gün Herbert York, Emil Konopinski ve 'Hidrojen bombasının babası' Edward Teller ile öğle yemeği yiyormuş. Fizikçiler, o sıralar gazetelerde sıkça yayınlanan 'uçan daire' haberlerinden dolayı uzaylıları tartışıyorlarmış. Daha sonra sohbet daha sıradan ve dünyevi konulara dönmüş olsa da Fermi sessizce düşüncelere dalmış. Birdenbire diğerlerinin sohbetini bölerek araya girmiş ve şöyle demiş: '*Herkes nerede?*' Masadaki diğerleri onun uzaylılardan söz ettiğini anında anlamışlar. Ayrıca Fermi gibi derin bir düşünür olma ününe sahip birinin önemli ve esaslı bir şeyi dile getirdiğinin de farkına varmışlar.

Fermi, kabataslak hesaplamalarıyla tanınırdı. Örneğin, 15 Temmuz 1945'te New Mexico çöllerindeki Alamogordo'da ilk atom bombası-

nın patladığı sırada bir parça kâğıdı omuz yüksekliğinden yere bıraktı ve bombanın yarattığı şok dalgasıyla birlikte yönünün nasıl değişeceğini izledi. Patlamanın olduğu Sıfır Noktası'nın dokuz mil uzaklıkta olduğunu bilerek, patlamanın enerjisini tahmin edebilmişti: 10 bin ton TNT patlayıcısına eşdeğer bir şiddetti.²

Fermi'nin 'Herkes nerede?' sorusunun içinde de benzer bir kabataslak hesaplama gizliydi. Bir medeniyetin Samanyolu'muzdaki her yıldız sistemine ulaşabilecek kapasitede uzayda yolculuk araçları geliştirmesi ne kadar zaman alırdı?

Fermi, bu mantığının detaylarını hiçbir zaman açıklamadı; ama neredeyse kesin bir şekilde Galaksi'yi araştırmanın en verimli yolunun kendi kendine çoğalan uzay araştırma araçlarıyla olduğunun farkına varmıştı.³ Böyle bir uzay araştırma aracı, gezegen sistemindeki varış noktasına ulaştığında orada bulunan ham maddelerle kendini kopyalayarak ikinci bir uzay araştırma aracı daha yaratacaktı. Daha sonra iki kardeş uzay araştırma aracı uçurmaya başlayacaklar ve bir sonraki varış noktalarında iki kopya daha oluşturacaklardı. Bu şekilde çoğalan uzay araştırma araçları, tıpkı ana merkezden yayılan bakteriler gibi olcukça hızlı bir şekilde Galaksi'nin her yerine yayılacaklardı.

Bu tür uzay araştırma araçlarının hızı ve kendilerini kopyalamaları için gereken zaman ile ilgili makul tahminlerde bulunarak Samanyolu'ndaki her yıldız ziyaret etmenin ne kadar zaman alacağını öngörmek olasıydı ve yanıt da şaşırtıcı ölçüde alçakgönüllüydü: Birkaç milyon ile birkaç on milyon yıl arasında bir süre gerekiyordu. Bu süre Galaksimizin 10 milyarlık yaşamının çok küçük bir bölümü olduğu için kaçınılmaz bir sonuç vardı: Galaksimizin tarihinin herhangi bir döneminde bir yıldız yolculuğu yarışı yapılmış olsaydı, o zaman uzay araştırma araçlarının günümüzde Yeryüzü'ne ulaşmış olması gerekirdi.⁴ Yani Fermi'nin ölümsüz ifadesiyle 'Herkes nerede?'

Gerçekten de Fermi'nin sorusu iki şey söylemektedir. Neden Yeryüzü'nde veya Güneş Sistemi'nde uzaylılara dair herhangi bir işaret

göremiyoruz? Evren'e baktığımızda da uzaylılara dair herhangi bir işaret göremememizin nedeni nedir? Örneğin, neden teleskoplarımızla bir tür teknolojik yapay obje görmedik, ya da bir uzaylı sinyali yakalamadık?

Elbette bazı insanlar uzaylıların burada olduklarına dair kanıtlar -tanımlanamayan uçan cisimler (UFO)- olduğu fikrini öne sürdürmektedir. UFO'ların büyük çoğunluğunun nadir gözlenen atmosfer olguları, yüksekten uçan hava balonları, bazı sıra dışı koşullar altında Venüs gezegeninin görünüşü ve benzeri şeyler oldukları ortaya çıkmıştır; ama görüntülerin küçük bir kısmı hâlâ açıklanamamıştır. Bu, o görüntülerin doğal bir açıklamasının olmadığı anlamına gelmez. Yalnızca henüz bir açıklama bulunamamıştır. UFO'ların uzaylılara ait uzay gemileri olduğu fikrine karşı ciddi itirazlar vardır, ama bu konuyla ilgili somut kanıtlar yoktur. Bu tür uzay araçlarının görüldüğüne -ve hatta kimi durumlarda içindekilerle doğrudan temas kurulduğuna- dair iddialara karşın hiç kimse uzaylılara ait herhangi bir yapay olgu gördüğünü ileri sürmemiştir.

Amerikalı astronom Carl Sagan, UFO'ların Yeryüzü'ne gelen uzaylılara ait uzay gemileri olduğuna ilişkin iddialara karşı başka bir itirazı daha dile getirmiştir. Bu tür uzay araçlarının genellikle uçan kanatlar gibi görünen ileri teknoloji ürünü modern uçaklara şüphe çekecek kadar çok benzediğini ileri sürmüştür. Sagan'a göre, tıpkı Viktorya döneminde yaşayan birinin gökyüzüne bakıp da buhar gücüyle çalışan uçan makineler görmesi gibi bir durum yaşıyoruz. Bunun gibi günümüzdeki araçlara benzer araçlar görme eğilimine 'geçici şovenizm' adını vermişti. Bu da bilimkurgu yazarı Arthur C. Clarke tarafından yapılan gözlemler ters düşüyordu: yeterince gelişmiş her medeniyetin -kesinlikle yıldızlar arasındaki muazzam mesafeleri kat edebilecek olanlar olmalı- sihirden ayırt edilemez olması gerekir. Sagan'a göre UFO'lar -aldatmaca olmaları gerekmesede- onları gören gözlerin ürünüdür.

Peki ya uzaylı sinyalleri? Radyo teleskopları yıllardır şaşırtıcı bir biçimde bir uzaylı iletisinden yayılması beklenen nitelikte sayısız yayın sinyali -tıpkı dünya üzerindeki bir radyo istasyonu gibi dar bir frekans

'bandına' yayılan bir sinyal- yakalarlar. Bunların arasında en ünlüsü Ohio Eyaleti Radyo Gözlemevi'nin 79 metrelik 'Büyük Kulak' teleskopu tarafından 15 Ağustos 1977'de kaydedilmiş olan 'Wow!' sinyalidir. Astronom Jerry Ehman bu ölçek dışı sinyali gördüğünde önündeki çıktının kenarına hemen 'Wow!' yazarak not düşmüştür. Takılıp kalınan bir isimdir. Ancak 37 saniye süren bu iletinin geldiği yöne -Nişancı yıldızına- doğru gökyüzünün yeniden gözlenmesi sonucunda sinyalin bir kez daha tekrarladığına tanık olunamamıştır.

Bu da Planetary Society'nin (Gezegenler Derneği) META (Uzaylı Analizi Mega Kanalı) adlı radyo kanalına 1980'lerin sonunda gelen 11 sinyal dahil radyo teleskoplarınca kaydedilen sıra dışı sinyallerin hepsinin ortak özelliğidir. Geçici bir kaynaktan -belki Dünya'nın yörüngesindeki gizli casus uydulardan- geldikleri için asla tekrarlamamaları olasıdır. Belki de keşif cihazlarındaki tuhaf bir elektriksel arıza sonucu tekrar alınamamışlardır.

Ancak açıklanamayan sinyallerden bazılarının gerçek olduklarına dair zayıf da olsa bir olasılık vardır. Washington DC'de bulunan Ulusal Araştırma Konseyi'nden Joseph Lazio ve çalışma arkadaşları, yıldızlar arasında elektrik yüklü veya 'iyonize' bir hidrojen gazı akıntısı olduğuna dikkat çekmişlerdir. Bu akıntı düzensiz, kümeler halinde yayılmıştır ve bu tür düzensiz dağılımların 'atarca yıldızlar' gibi uzak astronomik objelerin yaydığı radyo sinyallerinin parlaklığında dalgalanmalara neden oldukları bilinmektedir. Yeryüzü'nün atmosferindeki benzer düzensizlikler de yıldızların 'göz kırpmalarına' neden olur. Lazio ve çalışma arkadaşlarına göre, bu tür bir 'yıldızlar arası kırpışım' da bir radyo sinyalini normal gücünün 20 katı kadar bastırabilir ya da artırabilir. Dolayısıyla bilim insanları sıra dışı sinyallerin onların artırıldığı durumlarda yapılan uzaylı yayınları olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Ne yazık ki yıldızlar arası kırpışımına maruz kalan bir sinyal, neredeyse zamanının tamamını bastırılmış olarak geçirir ve nadiren artırılır. Lazio ve çalışma arkadaşlarına göre, böyle bir sinyalin yinelemesi için binlerce

ve hatta on binlerce gözlem tekrarı yapılması gerekecektir; ancak şimdiye kadar yapılan en fazla 100 takip anketinde herhangi bir sinyal aranmamıştır. Bilim insanları Galaksi'mizde on binlerce uzaylı medeniyeti olduğuna dair veriler ile hiç olmadığını gösteren verilerin aynı derecede birbirleriyle uyumlu olduğu sonucuna varmışlardır. Belki de uzaylılar çoktan Dünya'ya telefon etmişlerdir, sadece bunu anlatmak mümkün değildir.

Yeryüzü'nde veya Güneş Sistemi'nde uzaylılara dair herhangi bir fiziksel kanıt yoksa ve uzaydan akıllı sinyaller alamıyorsak, o zaman ne gibi bir sonuca varmalıyız? Yeterince uzun bir süre yeterince dikkatle bakmamış olmamız, olasılıklardan biridir. SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence - Uzay Zekâsı Arayışı) için aktif olarak çalışan kişilerin görüşü tam olarak budur: Şu ana kadar Galaksimizdeki yaklaşık 200 milyar yıldızın yalnızca küçük bir bölümünün radyo sinyallerinin hedefi olduğuna dikkat çekmektedirler.

Bununla birlikte Kaliforniya Mountain View'da bulunan SETI Enstitüsü'nden Seth Shostak'a göre şu an hedef yıldızları büyük bir hızla gözölüyoruz. Shostak, ilk uzay medeniyetine rastlamak için birkaç milyon yıldızı gözlememiz gerekeceğine inanmaktadır. Bu sayının tamamlanması ise 2015'i bulacaktır. SETI'nin o zamana kadar başarılı bir karşılaşma gerçekleştirememiş olması halinde çok şaşıracağını da söylemiştir. Shostak'ın SETI camiasında da genel kabul gören üstü kapalı varsayımına göre, mevcut durumda Galaksimize radyo sinyali gönderen 10 bin ilâ bir milyon uzay medeniyeti bulunmaktadır. Şüpheciler bu tahminlere en iyi olasılıkla iyimser ve en kötü haliyle ise hüsnü kuruntu olarak bakmaktadır. SETI bilim adamları on altıncı yüzyıl İtalyan filozoflarından Giordano Bruno'nun görüşlerine yakın dururlar. Bruno, *Sonsuz Evrenler ve Dünyalar Üzerinde* adlı kitabında şunu açıkça ifade etmiştir: 'Sayısız güneş vardır ve tıpkı bize en yakın olan, bildiğimiz yedi tanesi gibi o güneşlerin etrafında dönen sayısız yerküre bulunmaktadır.'

Uzay sinyallerini görmek için yeterince uzun süre ve yeterince dikkatle bakmamış olduğumuz fikri, neden Güneş Sistemimizde uzaylı ziya-

retine dair hiçbir işaret görmediğimizi de açıklayabilir. Stanley Kubrick ve Arthur C. Clarke'ın 2001: *Bir Uzay Destanı* adlı filminde hatırlayacağınız üzere Ay'ın üzerinde bir uzaylıya ait yapay bir obje bulunmuştu. 3 milyon yıl öncesinden kalan bu obje, yapımcıları için dünyadan oraya ulaşıldığını anlatan 'ilk alarm' görevi görmektedir. Objenin varlığı açıkça görülmez; çünkü Ay'ın yüzeyini kaplayan küllerin altında Tycho kraterinin derinliklerine gömülmüştür. Daha da gizli kalmış bir yerde başka bir uzaylı kalıntısının kalmış olması çok mantıklı görünmektedir. Fizikçi Stephen Webb'in dikkat çektiği üzere Plüton'un yörüngesini içine alan bir kürenin içinde 50 milyar milyar milyar mil küp alan vardır ve Güneş Sistemi, Plüton'un çok ötesindeki Oort kuyruklu yıldız bulutuna kadar uzanır: 'Tesadüfen küçük bir uzaylı kalıntısı bulma olasılığı aslında sıfırdır.' der Webb.

Elbette, henüz bakmadığımız çok fazla yer olduğu için değil; ama yanlış araştırma stratejisi uyguladığımız için uzaylılara dair herhangi bir işaret görmemiş ya da uzaylı sinyali almamış olabiliriz. SETI bilim insanlarının Güneş benzeri yıldızları hedef alma eğilimleri vardır. Bunun açık ve anlaşılır nedeni ise çevremizde yaşam doğuran böyle bir yıldız örneğinin bulunuyor olmasıdır: Güneş. Ancak belki de uzay medeniyetleri, hızla artan enerji gereksinimlerinden dolayı Güneş gibi nispeten soğuk yıldızlardan 'tayfi tür' olan G ve K yıldızlarına ve süper-sıcak O ve B yıldızlarına doğru hareket ederler. Bu tür yıldızlar nadiren SETI araştırmalarının hedefi olurlar; çünkü hızla yanarlar ve oluşan her türlü gezegeni anında yakıp kül ederler.

Sonra belki de çoğu yaşam alanı yıldızların çevresinde falan değildir. Pasadena'daki Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden gezegen bilimci David Stevenson, Galaksi'deki yaşam ile ilgili tartışmayı genişletme çabasıyla yaşamın daha çok yıldızların arasındaki karanlık derin dondurucular arasında dolaşan güneşsiz yetimlerde, yani 'yıldızlar arasındaki gezegenlerde' bulunduğunu ileri sürmüştür. Fikrini destekleyen bir kanıt olarak da sürekli Yeryüzü ile aynı kütleye sahip on tane gezegenin oluşumunu gösteren Güneş Sistemimizin oluşumuyla ilgili bir bilgisayar si-

mülasyonuna dikkat çeker. Jüpiter gibi dev gezegenlerin gelişim aşamalarına bu kadar yakından bakmak, çoğunluğun çabucak uzayın yıldızlar arasındaki mesafelerine fırlatılmasına neden olur.

Isıtacak ve enerji verecek bir güneşi olmayan bir gezegenin yaşam açısından kesin zararda olacağını söylemek saflık gibi görünebilir; ancak Stevenson bu tür gezegenlerin başından beri yıldızların yapıldığı ham madde olan moleküler hidrojen gazından oluşan kalın bir atmosfer tabakası ile çevrilmiş olacaklarını ve bu atmosferin Yeryüzü'nün atmosferinden 100 ilâ 10 bin kat yoğun herhangi bir şey olabileceğini ileri sürmüştür. Böyle çok yoğun koşullarda tüm gazların 'sera' gazına dönüşerek gezegeni örten bir yorgan kadar etkili bir şekilde sıcaklığı hapsedmesi önemlidir. Stevenson'a göre, radyoaktif kayalardan gelen ısı -bu güne kadar Yeryüzü'nün iç eriyiğini koruyan ısının aynısı- bu kadar iyi bir yalıtım ile böyle bir gezegenin yüzeyini sıvı haldeki suyun en az 10 milyar yıl var olabilmesine olanak tanıyacak ısıda tutabilir. Bu süre de Yeryüzü'nün mevcut yaşının iki katı demektir. Çarpıcı bir biçimde yıldızlar arası gezegenler Galaksi'de yaşamın bulunabileceği en olası yerlerdir. Büyük olasılıkla ilkel mikroorganizmalar vardır ama kim bilir, belki onların yanı sıra zeki canlılar da yaşıyor olabilirler.

Ne var ki uzaylıları ararken yanlış yere bakmıyor olsak bile araştırma stratejimizin diğer bir olası kusuru olarak yanlış radyo frekanslarını dinliyor olabiliriz. Örneğin, akıllı radyo sinyalleri arayışlarının az sayıda özel radyo frekansına odaklanma eğilimi vardır. Bunlar, genellikle uzaydaki akıntılara kapılmış atomlar ve moleküller tarafından doğal olarak yayılan radyo dalgalarının frekanslarıdır. İddiaya göre uzaylılar bu frekansları bileceklerdir ve diğer teknolojik medeniyetlerin de onları bileceğini bileceklerdir. Örneğin 'Wow!' sinyali 1,420 megahertz (MHz) seviyesinde alınmıştır. Bu frekans, hidrojen atomlarının minyatür radyo istasyonları gibi her yere çeşitli yayınlar gönderilen yıldızlar arası uzayda süzöldükleri frekans seviyesidir.

Uzaylıların bizim öngörmemiş olduğumuz radyo frekanslarında yayın yapıyor olmaları tamamen olasıdır. Gözle görünür bir ışık ile sinyal

veren uzaylı zekâsı ile ilgili araştırmalar yürütülmüş olsa da aynı mantık geçerlidir. Uzaylıların bizim henüz denemediğimiz optik frekansları kullanıyor olmaları mümkündür.

Ancak belki de araştırma stratejimiz bundan daha kusurludur. Uzaylılar, farklı radyo sinyalleri veya işaret olarak görünür ışık kullanmak yerine tamamen farklı bir iletişim aracı kullanıyor olabilirler. Örneğin, görünmez nötrinolarla veya kütleçekimsel dalgalarla -uzay-zaman dokusundaki dairesel dalgalarla- sinyaller gönderiyor olabilirler ya da hayal etmeye başlayamadığımız başka bir iletişim mekanizması kullanıyorlardır. Radyo ve optik sinyaller arayışımızla ve uzaylıların yirmi birinci yüzyılda insanların kurduğu gibi bir iletişim kurmasını bekleyerek Sagan'ın geçici şovenizminden dolayı suçlu olabiliriz.

Sagan, *Kozmik Bağlantı* adlı kitabında Yeni Gine'deki derin vadilerde yaşayan ve bitişik vadilerdeki insanlarla iletişim kurmak için tamtam çalan kabilelerden söz etmiştir. Kendilerine daha gelişmiş bir kabilenin nasıl iletişim kurabileceği sorulan kabile üyeleri şu yanıtı veriyorlarmış: 'Daha büyük bir tamtam ile.' İşin ironik yanı, global radyo trafiğinin uğultusunun her zaman havayı kaplıyor olmasıdır. Aynı şekilde Yeryüzü'nü saran uzay boşluğunun her yerini kaplayan Galaksiler arası iletişim uğultusuna tamamen kayıtsız kalıyor olabiliriz. Arthur C. Clarke'ın benzer bir düşüncesi vardı. Neil McAleer, Arthur C. Clarke'ın kendisi tarafından onaylanmış bir biyografisi olan *Odysey*'de Clarke'tan şöyle bir alıntıya yer vermiştir:

"Bu Dünya'nın ötesinde yaşamın olduğuna dair en ufak bir kanıt -çok daha az bir zekâyâ- henüz rastlayamamış olmamız gerçeği en ufak bir hayal kırıklığı ya da şaşkınlık yaşamama neden olmuyor. Teknolojimiz hâlâ gülünç sayılabilecek kadar ilkel olmalı. Her saniye onların yaşam boyu ifade edebilecekleri her şeyden fazlasını taşıyan havayla sarmalanmış kabile üyeleri gibi vahşi ormanda tamtam seslerini dinliyor olabiliriz."

Elbette asıl gerçek şudur: Araştırma stratejisi açısından çok fazla seçeneğimiz yoktur. Uzaylılara ait zekâ örneklerini araştırmaktan ya bütünü vazgeçecek ya da elimizin altındaki araçlara kulak verecek ve şans dileyeceğiz. Fark edilemeyenlerin yalnızca uzaylı iletişimleri olmamaları olası mıdır? Güneş Sistemi'nde veya başka yerlerdeki uzaylı kalıntısı yapay objeler de fark edilemeyebilirler. Ne de olsa uzaylılar teknolojik açıdan bizden milyonlarca, hatta milyarlarca yıl ileride olabilirler. Bir karınca diğer şehirlere kara, deniz ve hava yoluyla bağlı bir şehrin kaldırım taşıyıcı yavaş yavaş ilerlediğinin farkında mıdır ya da bir bakteri? Arthur C. Clarke'ın düşüncesi bir kez daha isabetlidir: Yeterince gelişmiş her medeniyetin sihirden ayırt edilemez olması gerekir; ama belki de uzaylıların görünen değerine dair herhangi bir kanıt görmemiş olduğumuz gerçeğini dikkate almalıyız. O zaman sorulması gereken soru şudur: Neden buraya gelmediler ya da gökyüzündeki varlıklarını gösterecek herhangi bir fark edilebilir işaret bırakmadılar?

Bunun nedeni yıldızlar arası uzayı geçmenin fiziksel açıdan olanaksız olması -mesafelerin çok uzun olması- olabilir mi? Bu seçenek çok olası görülüyor. Bizler bile günümüzde ışık hızının yüzde 1'i gibi bir hızla yıldızlara ulaşmayı hayal edebiliyoruz. Şu an için mevcut kapasitemizin üstünde bir durum olsa da her zaman öyle olmayacak gibi görünüyor.

Yıldızlar arasında yolculuk yapmanın önünde herhangi bir fiziksel engel olmasaydı, o zaman belki de uzaylılar Galaksi'yi araştırmaktan veya her yere çeşitli radyo mesajları yaymaktan başka şeylerle zamanlarını geçirebilirlerdi. Belki de sanatla veya iç gözlem ile meşgul olurlardı. Evlerinde kalıp daha geniş Evren'i görmezden gelirlerdi. Ya da belki de bilgisayarlar tarafından yaratılan yapay gerçeklikleri, karmaşık gerçek dünyadan daha baştan çıkarıcı bulurlardı. Belki nükleer savaş, küresel ısınma ya da diğer pek çok olası çevresel felaket ile sonlarını hazırlayarak kendi kendilerini yok ederlerdi. Ya da belki de uzaylılar, tıpkı *Uzay Yolu*'ndaki gibi gelişmekte olan medeniyetlere müdahale etmeme gibi temel bir talimata sadık kalıyorlardır. Bu 'hayvanat bahçesi hipotezine' göre, Güneş

Sistemimiz kordon altındadır. Ta ki bir gün yıldızlar arası yolculuk yapabilecek duruma gelene ve yıldızlar arası uzaydaki Galaktik Kulüp'ün yeni üyeleri olarak hoş karşılanana kadar kendi 'kreş dünyamızda' yalnız başımıza olacağımızı öngörebiliriz.

Bu tür açıklamalarla ilgili problemlerden biri, kendimizden önce uzaylı medeniyetlerinin motivasyonları ile ilgili spekülasyon yapmamızı gerektirir gibi görünmeleridir. Onların motivasyonlarını bilemeyeceğimiz için sallantılı bir zeminde olduğumuz söylenebilir. Ancak neyse ki uzaylılara dair herhangi bir işaret göremememiz ile ilgili yapılan bu tür açıklamalar, uzaylı motivasyonları dikkate alınmadan bertaraf edilebilir. Colorado, Boulder'daki Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi'nden fizikçi Michael Hart'ın 1974 tarihli klasik bir makalede dikkat çektiği üzere uzaylıların çok çeşitli motivasyonları olmasını bekleyebiliriz. Bazılarının çılgın bir coşkuyla havalarda uçuyor olmaları elbette olasıdır. Elbette bazıları evinde oturmayı tercih eden uzaylılardır. Hatta belki büyük çoğunluk evlerinde oturacaktır. Ancak tıpkı dünya nüfusunun büyük çoğunluğu evlerinde otururken küçük bir azınlığın yerkürenin dört köşesini araştırmak üzere yollara düşmesi gibi uzaylıların da pinekleme trendinin üstesinden gelecek istisnalar mutlaka çıkacaktır. Üstelik, çoğu uzaylı Güneş Sistemi'nin hayvanat bahçesi gibi tecrit edilmiş olmasına saygı gösterebilir; ama hepsi öyle yapar mı dersiniz? Milyonlarca ve hatta milyarlarca yıl boyunca müdahale etmeme politikasını sürdürmek zor olabilir: 4,55 milyar yıllık yaşamı boyunca Dünya'ya müdahaleye edildiğine dair bir kanıt yoktur.

Hart'a göre uzaylıların olmamasıyla ilgili onların motivasyonlarına dayanılarak yapılan tüm açıklamaların aynı nedenden dolayı altı oyulmaktadır: Kaçınılmaz bir şekilde diğerlerinden farklı motivasyonları olan ya da Güneş Sistemi'ni ziyaret etme yasağına aldırarak Dünya'ya gelen güvenilirmez uzaylı istisnalar olacaktır.

O zaman Dünya üzerinde uzaylıların olmayışını, uzaylıların motivasyonu dışında bir nedene dayandıracak şekilde açıklamak mümkün

olabilir mi? Bir yıldızdan diğerine gitmemeyi, Galaksi'yi araştırmamayı gerektiren zorlayıcı bir neden olabilir mi? Olasılıklardan biri, bunun çok tehlikeli olmasıdır. 16 Mart 1974'te Porto Riko'daki Arecibo'da bulunan dev radyo çanağında toplanan astronomlar; 25 bin ışık yılı uzaklıkta bulunan küre şeklindeki M13 yıldız kümesi yönünde ilk yıldızlar arası radyo mesajını göndererek varlığımızı kozmosa ilan etmişlerdir. Bunun üzerine Cambridge Üniversitesi'nden radyo astronomu Sir Martin Ryle şuna dikkat çekmiştir: 'Oradaki yaratıklar kötücül veya aç olabilirler.' Belki de gerçekten de o uzak diyarlarda Ryle'in endişelendiği gibi varlıklarını belli eden medeniyetleri kısa bir süre içinde silip süpüren yabancı düşmanı bir ırk yaşıyordur. Belki kendi kendine çoğalan uzay araştırma araçları, tıpkı canlılar gibi her yeni nesille birlikte mutasyona uğruyorlardır ve en sonunda bu mutasyon sürecinin sonucunda, rakip olan tüm yaşam formlarını yok etme misyonunu üstlenen canı bir tür ortaya çıkıyordur. Bilim kurgu yazarı Fred Saberhagen, bu tür kıyamet günü makinelerinin yarışını zihninde canlandırmıştır. Onlara 'Vahşi Savaşçılar' (Berserkers) adını vermiştir. Orada Vahşi Savaşçılar varsa, varlığımızı Galaksi'nin dört köşesine duyurmak yerine sessizce oturmaya devam etmek en iyisi olabilir. Ancak bunun için çok geç kalmış olabiliriz; çünkü ışık hızıyla yol alan TV yayınlarımız çoktan 70 ışık yılından uzak yıldızlara ulaşmışlardır.

Uzaylıların Galaksi'yi araştırmak istememeleriyle ilgili Vahşi Savaşçılar dışında bir neden de ziyaret edebilecekleri çok daha çekici, çok daha baştan çıkarıcı yerlerin olmasıdır. Astronomlar, Evren'de normal maddenin -sizleri, beni, yıldızları ve galaksileri oluşturan atom ürünlerinin- altı katı kadar görünmeyen veya 'kara' madde olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Onların varlığını yalnızca görünen maddenin üzerinde uyguladıkları kütleçekimsel kuvvetten anlayabiliriz. Hatta Kara Madde, gizemli Kara Enerjiden ağır basmaktadır. İki görünmez kozmik bileşen bir araya gelerek Evren'in kütle-enerjisinin yüzde 96'sını oluşturur. Evren'in Kara Madde yıldızları, Kara Madde gezegenleri ve Kara Madde yaşamı ile

hıncahınç dolu olması mümkün müdür? Tüm bu aktivite ve kozmik ticaret Kara Maddede dönüyor ve normal değil de Kara Maddede toplanıyor olabilir mi? *New Scientist* okuru Simon Williams'ın 2003 yılında dergiye gelen mektuplar sayfasında gözlemlediği gibi: 'Bizlere Evren'in sadece yüzde 4'ünün gözleyebileceğimiz atomik maddeden yapıldığı ve geri kalan yüzde 96'nın ise kayıp olduğu söylendi. Belki de oradaki birileri ya da bir şeyler de kayıp olan yüzde 4'ün nerede olduğunu anlamaya çalışıyorlardır.'

Bu durumda fizikçiler arasında Kara Maddeye ilave olarak, başka 'ek boyutların' olabileceğine dair güçlü kuşkular da bulunmaktadır. Madde-nin nihai yapı taşlarını kütle enerjisinin minik titreşimli sicimleri olarak gören 'sicim kuramına' göre bildiğimiz üç uzay ve bir zaman boyutuna ek olarak altı uzay boyutu bulunmaktadır. Ek boyutların bir atomdan bile daha küçük hale gelecek şekilde 'dürüldükleri' düşünülmüştür, ama onların büyük olduklarına ve gözden kaçmış olabileceklerine inanan teorisyenler de vardır. Uzaylıların başka boyutlarda daha fazla aktivite, daha ilgi çekici bir şeyler bulmaları olası mıdır? Ya da belki de Einstein'ın genel görelilik teorisine göre var olması olası, 'solucan deliği' denen uzay-zaman kısa yollarından geçerek daha ilginç başka evrenlere kaçmış olabilirler. Hatta belki -Tanrı korusun- bizler yeterince ilginç olmadığımız için uzaylılar bize karşı muazzam bir kayıtsızlık sergiliyorlardır. Amerikalı sohbet programı sunucusu Jay Leno merakla şunu sormuştu: 'Uzaylıların çocuklarına çiş yaptırmak için Dünya'da mola verdiklerini öğrensek ne olur?'

Ancak elbette uzaylılar yalnızca burada Yeryüzü'nde olmamakla kalmıyorlar. Galaksi'yi de henüz keşfetmemiş görünüyorlar. Onlara ait herhangi bir işaret de göremiyoruz. Sinyal göndermeseler bile onların varlığına dair işaretler görmeyi bekliyor olabiliriz. Daha önce de belirttiğimiz üzere TV yayınlarımız çoktan komşu uzaya ulaşmıştır. 70 ışık yılı uzaklıktaki yıldızların etrafındaki gezegenlerde 1930larda yapılmış Nazi yayınlarını almak olası olmalıdır ve yalnızca TV'nin 'elektromanyetik radyasyonu' gitme-

miştir. Askeri radarlar ve güç hatları ve teknolojik medeniyetimizin tüm elektrikli aletlerinin yaydıkları ulaşmıştır. Bizden bunlar yayılıyorsa, gelişmiş teknolojiye sahip diğer medeniyetlerden de aynı türden elektromanyetik sızıntıların bize ulaşmasını elbette bekleyebiliriz. Uzaylılar herhangi bir nedenden dolayı evlerinde oturup uzaylı göbeklerini büyötmeye karar vermiş olsalar bile farkında olmadan da olsa varlıklarını açığa çıkaracak bir şeyler yapmış olmalılardı; ama yapmadılar.

Elbette yaptıklarına dair herhangi bir kanıt olmaması, onların hiçbir şey yapmadıkları anlamına gelmez. Daha önce de bahsettiğimiz üzere, henüz yeterince uzun süre ve yeterince dikkatli bakmamış olabiliriz. Ancak orada kimseler yokmuş gibi görünüyor. Bazı bilim insanları duygularımızın bize hâkim olmasına izin vermememiz gerektiğini düşünüyorlar. Kesinlikle Evren'de yalnız olmamız gerektiğini söyleyen kalbimizin sesiyle hareket etmememiz gerektiğine inanıyorlar. Bunun yerine soğukkanlı ve gerçekçi bir tutumla verilere bakmamız ve çekinmeden mantıklı bir sonuca varmamız gerektiğini düşünüyorlar. İşin aslı, uzaylılara dair en ufak bir ize rastlamamış olmamızdır. Dolayısıyla, bundan çıkarılabilecek en mantıklı sonuç da onların var olmadıkları olacaktır. Bizler yalnızız. Galaksimize zekâyı getiren ilk canlılarız.

Böyle bir sonuç, mantıklı olmasına rağmen yalnız kozmosta yalnız olmama arzumuzla çatışmakla kalmayıp aynı zamanda Evren'deki yerimizin hiç özel olmadığını da iddia eder. Polonyalı astronom Nicolaus Copernicus, on altıncı yüzyılda Dünya'nın diğer gezegenlerle birlikte Güneş'in etrafında döndüğünü ve Güneş Sistemi'nde hiç de ayrıcalıklı bir konuma sahip olmadığını söylemiştir. Charles Darwin ise on dokuzuncu yüzyılda insanın yalnızca bir hayvan türü ve doğal seçilim ile ortaya çıkmış bir evrim ürünü olduğunu bizlere öğretmiştir. Daha sonra yirminci yüzyılda Samanyolu'nun 100 milyar galaksiden biri olduğunu ve Evren'deki konumunun özel olmadığını öğrendik.

Özel -Galaksi'deki (hatta büyük olasılıkla tüm Evren'deki) tek zeki yaşam- olduğumuzu kabul etmek, sıradanlık ilkesi olarak da bilinen 'Co-

pernicus İlkesi'ne karşı gelmek demektir. Bu ilke, Yeryüzü'nün varlığını sürdüren trilyonlarca gezegenden biri olması gerçeğine rağmen insan ırkının yaratıcının özel bir projesi olduğunu varsayan dini görüşe indirilmiş bir şamar gibidir. Ancak yalnız olduğumuzu kabul etmek zor olduğu için Amerikalı bilimkurgu yazarı David Brin'in 'Büyük Sessizlik' olarak adlandırdığı düşünceden bir sonuca varmak da mantıklı görünmektedir.

Ancak en azından Samanyolu'nda ortaya çıkmış ilk zeki yaşam örnekleri olmamız nasıl mümkündür? Eğer öyleyse, zeki yaşamın doğuşu, gerçekleşme olasılığı son derece düşük bir olaydır. Belki de her biri çok düşük olasılığa sahip bir dizi rastlantının gerçekleşmesini gerektirir.

Düşük bir gerçekleşme olasılığına sahip olaylardan biri, dev bir uydunun oluşumudur. Dünya'nın uydusu Ay, Yeryüzü'ndeki yaşam için elzemdir. Bunun en önemli nedenlerinden biri, milyarlarca yıldır iklimi dengeliyor olmasıdır; çünkü Dünya'nın tıpkı bir topaç gibi dönerken bocalayarak sarsılıp devrilme eğilimi vardır. Dünya'nın dönüş ekseninde yaşanan bu tür şiddetli değişimler, ikliminde de şiddetli değişimler gözlenmesine neden olur. Aslında iki tane küçücük aya sahip olan Mars'ta yaşanan tam olarak budur. Elton John'un 'Rocket Man' şarkısında söylediği gibi: 'Mars, çocuklarınızı yetiştireceğiniz bir yer değildir.' Ancak Dünya'nın çok fazla devrildiği zamanlarda Ay'ın kütleçekimi onu yeniden çekerek dengeler. Ay, bunu yalnızca Dünya'nın çapının dörtte birine ve bu nedenle takdire değer bir kütleçekimsel çekime sahip olduğu için yapabilir. Aslında Dünya-Ay sistemi, etkili bir çifte gezegen sistemi sayılır. Ancak Güneş Sistemi'nin geri kalanına bakın. Yüzlerce ay bulunmaktadır, ancak içlerinden sadece bir tanesi -Plüton'un Charon'u- ana gezegeni ile kıyaslanabilir bir boyuta sahiptir.⁵ Bu tür ayların nadir olmasının nedeninin oluşumları için gereken sıra dışı koşullar olduğuna inanılır. Yeryüzü'nün oluşumundan kısa bir süre sonra Mars kütleğinde bir gök cismi ile çarpıştığına inanılır. Bu 'Büyük Saçılma' teorisine göre, çarpışmanın etkisiyle Yeryüzü'nün dış yüzeyi eriyik haline dönüşür ve bunun bir kısmı da uzaya sıçrayarak Ay olarak donar. Gerçekleşmiş olma

olasılığı düşük bir olay olabilir. Eğer gezegenleri yaşatma desteği olarak büyük aylar gerekliyse, o zaman bu durum Galaksi'de yaşamın olası olduğu yerlerin sayısını büyük ölçüde azaltmaktadır.

Ay rastlantısının dışında Dünya'nın hem suya hem de toprağa sahip olduğu gerçeği de vardır. Balinaların ve yunusların üstün maymunlar kadar ve neredeyse insan zekâsının eşiğinde sayılabilecek denli parlak bir zekâya sahip oldukları bilinse de insan zekâsı ile ilgili adımlar yalnız karada atıldı. Belki de evrimsel baskıların araç-gereç ve silah yapmak üzere malzemeleri ustalıkla manipüle edebilecek bir el yaratmak için yeterli olduğu tek yer karaydı. Eğer öyleyse, tamamen suyla kaplı gezegenlerde insanın zekâ seviyesine ulaşmak için atılması gereken adımlar atılamazdı. Dünya'nın da neredeyse tamamı suyla kaplı olduğu için yaşamı destekleyen dünyaların çoğunda aynı durumun geçerli olması anlaşılırdır. Yunus benzeri yaratıklarla dolu bir galaksi, sessiz bir galaksi olabilir.

Ancak biyologlar, büyük bir ay ve bir miktar toprak alan dışında insan oluşumuna giden yolda yaşamın aşması gereken en az bir düzine engeli belirlemişlerdir. Bunların en temel olanı ise tek hücrelilerden çok hücreli organizmalara geçiş için atılan adımdır. Yeryüzü'nde yaşamın ortaya çıkması, yaklaşık 3 milyar yıl önce gerçekleşmiş olmasına rağmen bu adım yaklaşık 700 milyon yıl önce atılmıştır. Bakteriler gibi tek hücreli organizmalar saatler içinde yeniden üreyebildikleri için hücrelerin karıncalar ve insanlar gibi daha üstün organizmalar oluşturmak üzere bir araya gelme fikrini bulmalarına kadar trilyonlarca nesil geçmiştir. Yaşamın insan zekâsı seviyesine ya da Galaksi'nin her yerinin ötesinde bir yere ulaşacak denli gelişmesinin önündeki engellerden biri bu olabilir miydi?

Bir zamanlar Stephen Hawking'in ofis arkadaşı olan fizikçi Brandon Carter, insanın teknolojik medeniyetine giden evrimsel yolun düşük olasılıklı beş 'zor' adımdan meydana geldiğini ileri süren zekice bir matematiksel iddiada bulunmuştur. 1. Adım ilk bakterinin, veya 'prokaryotun'; 2. Adım çekirdekleri olan karmaşık hücrelerin, veya 'ökaryotların'; 3. Adım çok hücreli yaşamın; 4. Adım zekânın ve 5. Adım ise insan medeniyetinin ortaya çıkışıdır. Her adım kabaca 800 milyon yıl sürmüştür. Yaşamın

Dünya'dan daha küçük olan Mars'ta başladığı ve bu nedenle Yeryüzü'ne bir meteor olarak gönderilmeden önce başlangıçtaki eriyik halinden daha çabuk soğuduğu olasılığı da dile getirilir. Eğer bu olasılık doğruysa, altı zor adımdan söz edebiliriz. Kısacası eğer Carter insanoğluna giden yoldaki düşük olasılıklı beş -belki altı- adım konusunda haklıysa, Galaksimizdeki teknolojik medeniyetin son derece nadir görünen bir durum olması gerekir.

O zaman şu soru açıkça ortaya çıkar: bunlar neden ilk önce Yeryüzü'nde yaşandı? Ama elbette ilk önce bir yerlerde yaşanması gerekiyordu. Neden burada değil? Büyük Sessizlik fikrinin, insan ırkının Galaksimizdeki ilk teknolojik medeniyet olmasıyla tamamen uyumlu olduğu kesinlikle görülüyor.

Bu noktada tek hücrelilerden çok hücreli organizmalara atılan adımın çok uzun sürdüğünü düşünürsek, Dünya üzerinde yaşamsızlık konumundan yaşama -eylemsiz kimyasallardan ilk bakteri hücrelerine- geçişin çok hızlı gerçekleştiğine dikkat çekmemiz gerekir. Dünya'da 3,8 milyar yıl önce, gezegenin doğumundan sonraki 800 milyon yıl içinde ilkel yaşamın olduğuna dair kanıtlar vardır. Bu da daha erken dönemlerden beri yaşamın olduğunu gösterir. Aslında yenidoğan Dünya'nın eriyik halinden soğuyarak yaşamı olanaklı kıldığı bir dereceye ulaştığı andan itibaren yaşamın ortaya çıkmış olması gerekir. Ancak buna rağmen laboratuvar ortamında yaşamsızlığı yaşama çevirmenin olanaklı olmadığı -yarım yüzyıllık bir çaba sonrasında bile- görülmüştür.⁶

Bazıları Dünya üzerinde yaşamın bu kadar hızlı ortaya çıkışı ve yaşamı başlatmanın zorluğu paradoksunu çözmenin tek yolunun, Dünya'nın 'tohumlarının' en ilkel mikroorganizmalarla birlikte uzayda atıldığını -Mars da tartışmasız diğer bir olasılıktır- söylemek olduğunu belirtmişlerdir. Eğer öyleyse, bizler uzaylıyız - ya da en azından uzaylılardan meydana geldik. On dokuzuncu yüzyılın sonlarına dayanan bu 'panspermia' fikri, aslında merhum Fred Hoyle ve Chandra Wickramasinghe tarafından şiddetle desteklenmiştir. Bu iki astronoma göre, yaşamı başlatmak son derece güçtür, ama bir kez başladıktan sonra -belki yalnızca

Galaksi'nin bir yerinde- onun yıldızdan yıldıza, gezegenden gezegene yayılmasını sağlayan etkili bir mekanizma bulunmaktadır. Bu mekanizma, bakterileri uzayın derinlikleri ile gezegenlerin yüzeyleri arasında sürekli getirip götürmek için yıldızlararası bulutlar ve kuyruklyıldızlar ve mükemmel bir kozmik döngüden yararlanır.⁷

Panspermianın gerçek olup olmadığını kimse bilmiyor. Ancak Yeryüzü'nde yaşamın muhteşem bir tecrit edilmişlik ile ortaya çıkışını savunan görüşe karşı geçerli bir alternatif olmaya devam etmektedir. Kesinlikle eğer gerçekse, o zaman ilkel yaşam yaygındır - gezegensel bir olgudan ziyade kozmik bir olgudur. Elbette zekâya giden evrimsel yolda büyük bir engel -belki tek hücreliden çok hücreli organizmalara geçiş adımı- varsa, panspermia bizim için yine bir teselli olmayacaktır. Evren'in bakterilerle dolu olması mümkündür, ama karmaşık veya zeki yaşamdan yoksundur. Hâlâ konuşacak kimsemiz bulunmamaktadır.

O zaman Fermi'nin 'Herkes nerede?' sorusuna can sıkıcı bir yanıt verilebilir: Hiçbir yerdeler, çünkü bizler ilkiz? Öyle olmak zorunda değil. Birine göre zeki yaşam kaçınılmazdır. Sorun, engel olmasıdır. Zeki yaşam kaçınılmazdır; ama onu hiçbir zaman, asla bulamayacağız - en azından Galaksi'ye bakarak değil.

İngiliz bilim adamı Stephen Wolfram, kanıt olarak iletişim sinyallerine dikkat çekiyor. İster cep telefonu sohbetleri ister bilgisayar verileri olsun, onların içine giderek daha fazla bilgi sıkıştırmak için fazlalıkları veya benzer modelleri çıkarıyoruz.⁸ Bir sinyalde herhangi bir şey tekrarlarsa, o zaman onun çıkarılabileceği açıktır. Ancak bir sinyalden herhangi bir benzer modeli çıkarma süreci, onun giderek daha rastlantısal -aslında yıldızlardan ve yıldızlar arası gaz bulutlarından Yeryüzü'ne yağan rastlantısal radyo 'gürültüsüne' oldukça benzer- olmasına yol açar. Wolfram'a göre birileri yirmi birinci yüzyıla ait iletişim sinyallerimizi uzaydan bize gönderseydi, onların yapay ya da doğal olduklarını anlamakta zorlanırdık. O zaman bir uzaylı iletişimi ile kozmosun radyo statüğünün genel geçmişini ayırt edebilme şansımız nedir?

Uzaylı iletişimi için geçerli olan şey, uzaylı kalıntıları için de geçerlidir. Wolfram'a göre onlar da fark edilemezler, ama bunu görmek daha güçtür. Bunun için tren istasyonu örneğini verir. Bir tren istasyonuna çok yukarıdan bakıldığında trenlerin detayları görülmez olur. Tren istasyonunun bir teknoloji ürünü olduğunu gösteren şey, trenlerin geliş gidiş düzenidir. Ancak Wolfram böyle bir modelin geleceğin ulaşım sistemlerinden tamamen yoksun olacağını söyler. Ona göre talep üzerine çağrılan pek çok küçük kabin kullanılacaktır. Bilgisayarlar tarafından koordine edilen böyle bir sisteme yukarıdan bakıldığında her şey gelişigüzel hareket ediyormuş gibi görünür. Doğal bir kalıntıya daha çok benzeyecektir.

Günümüzde araba gibi teknolojik bir objeyi, ağaç gibi doğal bir objeden ayırt etmenin kolay olduğunu söyler Wolfram. Ağaç çok daha karmaşıktır. Ancak bunun nedeni teknolojik ürünlerimizin ilkel olmasından kaynaklanır, der Wolfram. Daha karmaşık oldukça -yani bilgisayar işlemcilerinin anlık kararlar verebilmelerini sağlamalarıyla birlikte- ağaçlar, insanlar ve yıldızlar gibi giderek daha karmaşık görünmeye başlayacaklardır. O zaman bir uzaylı objesini doğal bir gökyüzü objesinden ayırt edebilme şansımız nedir? Wolfram öyle bir şansımızın aslında olmadığını söylüyor.

Eğer Wolfram haklıysa ve uzaylılar oradaysa ama biz onların iletişimlerinin ya da objelerinin farkında değilsek, o zaman elbette burada Güneş Sistemi'nin içinde Fermi'nin paradoksunu çözüme kavuşturuyor olabilirler. Sokağınızın başındaki o ağaç, dünya dışı bir canlı olabilir. Ancak Wolfram bunun pek olası olmadığını düşünüyor. Aslında uzaylıların neden Dünya'ya -ya da başka herhangi bir yere- gelmek istemeyeceklerine dair de sağlam bir fikri olduğunu düşünüyor. Bu fikir de, tamamen bilgisayarlardan kaynaklanıyor.

Sıradaki biti hazmetmek güç olacaktır. Wolfram doğanın büyük sırrını -bir orman gülünden bir ağaca ya da belli sınırları olan sarmal bir galaksiye kadar her şeyin, tüm dünyanın karmaşıklığını nasıl oluşturdu-

ğunu- bulduğunu düşünüyor. Ona göre basit kuralları defalarca ve tekrar tekrar uygulayarak bunu başarıyor; basit bilgisayar programlarını çalıştırarak. Wolfram, 1980'lerin başında çıktısının sürekli girdi olarak yeniden sisteme dahil edilmesi durumunda, hücresel otomat olarak bilinen en basit bilgisayar programının bile sonsuz bir karmaşıklık yaratabileceğini keşfettiğinde bu çarpıcı sonuca varmıştır.

Wolfram önemli bir şekilde sonsuz bir karmaşıklık üreten türden bir bilgisayar programının yalnız biyolojik molekül sistemlere değil her türlü fiziksel sisteme -kaotik gaz bulutlarına, atomdan küçük parçacıklar sistemine ve benzeri- uygulanabileceğine dair kanıtlar bulmuştur. Evren'in her yerinde yaşamın -ancak bildiğimiz anlamıyla yaşam olmadığı kesindir- kendiliğinden türeyeceği sonucuna varmıştır. Maddenin temel niteliği budur.

Bu iyi haberdir. Wolfram'a göre yalnızca daha önce açıklanan nedenlerden dolayı uzaylı yaşamı fark edilmemekle kalmayacak, aynı zamanda uzaylılar da yeryüzüne gelmeyi istemeyeceklerdir. Nedeni zekicedir.

Wolfram'ın görüşüne göre Evren'deki her şey bir bilgisayar programının ürünüdür. Aslında en basitinden en karmaşığına kadar algılanabilir tüm bilgisayar programlarından oluşan soyut bir siber-evren hayal etmiştir. Bu 'bilgisayar evreni' Apple Macintosh işletim sisteminden ışıktan hızlı giden bir uzay gemisi yaratan bir programa kadar her şeyi kapsar. Bu bilgisayar evreninin varlığı önemlidir, çünkü herhangi bir uzaylı medeniyetin bizimle iletişim kurması halinde, değiş-tokuş yapılabilecek şeylerden biridir, der Wolfram. 'Bilgisayar evrenimizde bulduğumuz yararlı programlardan bazıları buradadır. Sizler neler buldunuz?' Ancak işin gerçeğı, Galaksi'deki yaklaşık 200 milyar yıldız arasında konuşabileceğimiz uzaylıları bularak aynı bilgileri elde etmek yerine evde oturup, yararlı programlar için bilgisayar evrenini araştırmak üzere bir bilgisayar kullanmak çok daha kolay ve verimli olacaktır. 'Bu basit bir sayı oyunudur.' der Wolfram.

Belki de öylece evlerinde oturan uzaylıların da bizlerle tanışma zevkini ve medeniyetimiz -veya başka bir medeniyet- hakkında bire bir bil-

giler edinme fırsatını kaçıracağını düşünüyor olabilirsiniz; ama bir kez daha düşünün. 'Unutmayın, her şey bir bilgisayar programının ürünüdür - ve buna sizler ve ben de dahilim.' diyor Wolfram. 'Galaksi'yi yarılamış birileri sizin bilgisayar programınızı bulmuş ve şu an sizinle sohbet ediyor olabilir.'

Wolfram'ın Fermi paradoksu ile ilgili yaptığı oldukça aykırı açıklamalarından hoşlanmadıysanız, o zaman elinizde mantıklı iki seçenek kalıyor: Ya Galaksi'nin bir yerlerinde canı bir ırk bulunuyor -belki de bu durumda kendi varlığımızı açık şekilde ilan etmek konusunda tedbirli davranmalıyız- ya da ilk zeki yaşam örneği biziz ve bu nedenle Samanyolu'nda tamamen yalnızız. Ama yine de kimsenin henüz düşünmemiş olabileceği başka bir açıklama da olabilir.

Belki de birileri Güneş Sistemi'nin ucunda bir yere: 'Dünya doldu, evinize gidin' yazan bir levha asmıştır. Her durumda bize Evren hakkında derin bilgiler veren gündelik gözlemler üzerine yazılmış bu kitabı, henüz verdiği derin bilgiyi bilmediğimiz gündelik bir gözlemlerle -aramızda uzaylıların olmadığı gözlemiyle- bitirmemiz doğru olacak gibi görünüyor. Tahminlerde bulunun. Sizin tahminleriniz de büyük olasılıkla benimkiler kadar iyi olacaktır. Fermi'nin katıldığı bir konferans sırasında verdiği tepki, bu durumu hoş bir biçimde özetliyor. Bu nedenle son sözü ona bırakmanın yerinde olacağını düşünüyorum: 'Buraya gelmeden önce bu konuyla ilgili aklım karıştı. Konferansınızı dinledikten sonra aklım hâlâ karışık durumda; ama daha üst seviyede.'

Notlar

BÖLÜM 1:

1. Aslında Compton görülebilen ışık yerine X-ışınlarını kullandı. Bu çok yüksek enerjili ışık öylesine büyük bir cazibeye sahipti ki, kolaylıkla elektronları atomlardan çekip çıkartabiliyordu. Elektronlar atom çekirdeğine bağlı kalmıyor, niyet ve amaca uygun biçimde serbest bir harekete sahipmişçesine tepki gösteriyorlardı.
2. Göreliliğin aslında *on altıncı yüzyıl* fiziğinin gayet doğal ve hayret de uyandırmayacak bir ürünü olabileceği dikkat çekici bir husustur. Einstein'ın ardından birkaç kişinin kavradığı gibi, görelilik aslında iki şeyin kaçınılmaz sonucuydu. Birincisi, hareketin durumu ne olursa olsun hareket sabit hızda olduğu müddetçe fizik kanunları aynı şekilde işliyor görünmektedir. Örnek olarak karşılıklı iki kişi ister yerde oturuyor olsunlar isterse de saatte 100 km. hızla giden bir trende olsunlar fark etmez, iki kişi arasında atılan top aynı biçimli yörüngeyi takip eder. İkincisi, üç boyutlu uzayda yön durumunuz ne olursa olsun fizik kanunları aynı şekilde işliyor görünür. Einstein'ın yaptığı gibi ışığın hızı üzerine herhangi bir varsayımda bulunmak şart değildir. Galileo göreliliği keşfedebilirdi. Bu konuda Mitchell Feigenbaum'un "The Theory of Relativity - Galileo's Child"ına bakılabilir (<http://xxx.lanl.gov/abs/0806.1234>).

3. Aslında zamanın sınavını geçmenin ötesinde bir vurgu gerekir, çünkü gerçekte sadece maddenin değil her nesnenin tanecikli olduğu ortaya çıktı. Kuantum teorisinde 'kuantum' sözcüğünün anlamı da budur. Bir kuantum, bir nesnenin bölünemez zerresidir. Madde kuantumlardan (Latince çoğulu 'kuanta') oluşur. Enerji, elektrik yükü, zaman ve diğerleri de... Aslında tanecikli bir dünyada yaşıyoruz.
4. Kuantum teorisinin altında daha derin bir gerçeklik düzleminin saklı olması ve -tıpkı bir zarın atılmasının çevresel faktörlerle belirlenmesi gibi- gerçekleşen şeylerin olasılığının bu temel düzlemde işleyen faktörler tarafından belirleniyor olması, her zaman mümkündür. Bu olasılık İngiliz fizikçi Antony Valentini ve Nobel ödülü sahibi Hollandalı Gerard t'Hooft'un da içlerinde olduğu bir dizi bilim insanı tarafından araştırılmaya devam edilmesine karşın, takipçileri sayıca azınlıktadır. Kuram; ancak öngörülemezlik doğanın temel ve indirgenemez esası ise işler görünüyor, bu yüzden de fizikçilerin çoğu bu kuram üzerinde yoğunlaşmayı gerektiren bir neden görmüyorlar.
5. Bir başka ironi de şu ki, Planck'ın kuantumla bizi tanıştırdığı 1900 yılında dönemin en büyük fizikçilerinden biri olan Lord Kelvin çağdaşlarının başarılarını değerlendirerek şu kesin sonuca varıyordu: "Fizikte artık keşfedilecek yeni bir şey kalmamıştır. Geriye daha kesin ölçümler yapmak dışında bir şey kalmıyor." Ne büyük bir yanılğı...
6. Young'ın çift yarık deneyi bilim tarihindeki çok önemli deneylerden biridir. Günümüzdeyse ışığın dalga olduğunu 1 £'luk bir lazer gösterge ve 2 £'luk bir metal cetvelle ispatlayabilirsiniz. Basit biçimde lazeri çok düşük bir açıyla metal cetvel üzerine tutun, cüzi miktarda ışın cetvelin üzerinde en yakında yer alan dereceleri aydınlatacak ölçüde yayılsın. Derecelerin her biri, uzaya yayıldıkça birbirinin içine geçen ortak merkezli ışık dalgalarının ikincil bir kaynağı olma işlevi görecekler. Kuvvetlendiklerinde eğer örneğin ışığın yolunda uygun bir beyaz duvar varsa gözle görülebilen parlak benekler oluşturacaklar. Açık konuşmak gerekirse bu benekler girişimle yakından alakalı bir

görüngü olan “kırınım” (ışınların kırılarak yayılmasının) sonucudur; ancak dalga özelliğinin de inkâr edilemez bir niteliğidir.

Ek okuma:

The Magic Furnace, Marcus Chown (Vintage, 2000)

BÖLÜM 2:

1. Bölüm 1'e bakınız.
2. Hidrojenden 35,5 kat daha ağır olan klor gibi sorun yaratan istisnalar da vardır. Prout klorun, her biri tek başına hidrojenin tam sayı katı ağırlığında olan ama tümünün ortalaması hidrojenin 35,5 katı ağırlıkta olan, değişik biçimleri olduğunu bilmiyordu.
3. Aslında radyum salınımında alfa ışınları, helyum atomlarının sadece çekirdekleridir; ancak hikâye böyle yayılmıştır. Rutherford onları keşfettiği sırada helyum atomlarını meydana getirmek için elektronlarla birleşmişlerdi.
4. Aslında bir radyoaktif madde tarafından yayılabilen üçüncü tip bir ışın da vardır. 'Gama ışını' ışığın çok yüksek enerjili bir biçimidir.
5. Çekirdek ('nucleus') terimi 1912 yılına dek henüz kullanılmamıştı.
6. Bölüm 1'e bakınız.
7. Kara Enerji görünmezdir, tüm uzayı doldurur ve itici kütleçekimiyle evrenin genişlemesine hız kazandırır. Enerji yoğunluğu ise, kuantum teorisinin şu anki bilğimiz dâhilindeki nihai tasvir gücü ile söylesek bile, vereceğimiz rakamdan okkalı bir 1 sayısını izleyen 120 sıfır kere daha küçüktür.
8. Fizikçiler tarafından bu kadar sık kullanılan bu 'bilimsel işaret sistemi' ile ilgili bir not. 10^{34} , 10'un kendisiyle 34 kere çarpımı demektir. 10^{-34} ise $1/(10$ 'un kendisiyle 34 kere çarpımı) anlamına gelir. Bu yüzden örneğin $10^5 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 100.000$ 'dir. $10^{-3} = 1/(10 \times 10 \times 10) = 0,001$ eder.
9. De Broglie madde dalgalarının gerçekten maddenin dalgaları olduğu düşüncesindeydi. Öte yandan elektron gibi bir parçacıkla birleşmiş

bir dalganın bundan daha soyut bir düşünüş gerektirdiğini unutmayalım. Schrödinger denkleminde göre yayılım gösteren ve parçacığı herhangi bir konumda tespit etmenin boyuyla -doğrusu, boyunun karesiyle- orantılı bir şansa veya olasılığa bağlı olduğu bir olasılık dalgasından söz ediyoruz.

10. Başka bir popüler açıklama da, hiç bitmeyen bir kitabın sayfaları gibi istif edilmiş sonsuz sayıda paralel gerçeklikler olduğudur. Bu “çoklu dünyalar” yaklaşımına göre, bir parçacık aynı anda iki ayrı yerde birden olmaya denk düşen bir üst düşünüm halinde olduğunda; aslında aynı gerçeklikte iki ayrı yerde birden değildir, bir gerçeklikte bir yerde ve komşu bir gerçeklikte ise başka bir yerdedir. Bu bakış açısına göre parçacık, donuk perdede sadece bir yarıktan geçmekte; ancak *komşu gerçeklikteki* diğer yarıktan geçen bir parçacıkla girişime uğramaktadır.
11. Burada halen “gözlem eylemi”nden veya kurşuna yandan seğirme veren kurşunun duvarla girişiminden bahsediyoruz. Başka bir deyişle kesinsizliğin kurşuna içkin olmadığını, gözlem eyleminin buna neden olduğunu söylüyoruz. Aslında içkindir. Daha iyi/bütünleyici bir açıklama evre uyumsuzluğudur (*decoherence*).

Ek okuma: “The Sun Likes Me”, *Heart on the Left*, Adrian Mitchell, s:194

BÖLÜM 3:

1. Burada kütle ‘durgun kütle’dir. Fotonlar gibi kimi parçacıkların hareketsiz kütlesi yoktur. Işık hızında hareket ederken doğmuşlardır, bir nesne ya da bir kimseye oranla hareketsiz biçimde var olamazlar.
2. Bölüm 2’ye bakınız.
3. Elbette enlem ve boylam bir gezegenin yüzeyindeki bir *konumu* belirtmek için kullanılır. Öte yandan bu ancak yüzeydeki her bir nokta dünyanın merkezinden aynı uzaklıkta olduğu için mümkün olabilmektedir.

4. Tüm bu anlatılanların vurguladığı, kuantum teorisinin - aslında her bilimsel teorisinin olması gerektiği gibi - bilme ve ölçme üzerine kurulu bir teori olduğudur. Bir olayın -iki özdeş parçacığın girişiminde olduğu gibi- sadece sonucunu bilebiliyorsak, bu sonucun nasıl ortaya çıktığını sorma hakkımız yoktur. Aslına bakarsanız bu soru bilimsel açıdan meşru bir soru olmaz. Anlamı olmaz. Niels Bohr'un dediği gibi: "Fiziğin görevinin doğanın nasıl olduğunu bulmak olduğunu düşünmek yanlıştır. Fizik doğa hakkında ne diyebileceğimizle ilgilenir."
5. Bu soruya "*Biraz Kuantumdan Zarar Gelmez*" (Alfa Yayınları, 2010) kitabımda yanıt vermemiştim.
6. Aslında tam sayı bölü iki spine sahip tüm parçacıklara $-1/2, 3/2, 5/2$ ve diğerleri- fermiyon; tam sayı spinli tüm parçacıklara ise $-0, 1, 2, vb.$ - bozon denmektedir.
7. $1/2$ spinli parçacıkların (veya daha genel söylersek yarı tam sayı spinli parçacıkların) Pauli dışarlama ilkesine uymasının kanıtı açık değildi. Bu durum, 1940'a dek -dışarlama ilkesini formüle ettikten 16 yıl sonra- Pauli'nin spin istatistik kuramını kanıtlamasına kadar sürdü.
8. Spinin varlığına dair bize ipucu oluşturan ilk şey bir manyetik alanda elektronun spininin hizalanması oldu. Kuantum sıçrama dediğimiz şekilde atomdaki elektron, bir durumdan diğerine sıçradığında, durumların arasındaki enerji farkına denk bir enerji ışığını dışlar veya özümser. Bir manyetik alanda ise ışık, beklenen enerjiden az veya çok, ama biraz farklı iki enerjiye sahip olabilir. Bunun açıklaması, elektronun spininin manyetik alanla uyumlu veya ona karşıt hizalı olabilmesi ve her yön durumunun hafif farklı bir enerjiye denk düşmesidir. Acayip bir şekilde Pauli, dışarlama ilkesini, 1925/26 yıllarında Hollanda-Amerikalı fizikçiler Samuel Goudsmit ve George Uhlenbeck'in spini keşfetmesinden önce buldu. Pauli spini bilmemesine karşın yine de manyetik alanda elektronun enerji durumlarının *zweideutigkeit*'ini (ikianlamlılık) biliyordu. Bu konuda *Pauli's Exclusion Principle: The Origin and Validation of a Scientific Principle*, Michela Massimi (Cambridge University Press, 2005)'e bakabilirsiniz.

9. Bölüm 2'ye bakınız.

Ek okumalar:

QED: The Strange Theory of Light and Matter, Richard Feynman (Penguin 1990; *Kuantum Elektrodinamiği Kedi Işık ve Maddenin Tuhaf Kuramı*, Pan Yay., 1997). Bu çok başarılı bir fiziksel kuram üzerine son derece zekice hazırlanmış harika basitlikte bir kitaptır. Övmeye kalksam yeterince övemem. Feynman sadece dahi bir bilim adamı değil, aynı zamanda dahi bir popüler yazardır da.

A Brief History of Time, Stephan Hawking (Bantam 1995; *Zamanın Kısa Tarihi Büyük Patlamadan Karadeliklere*, Doğan Kitap, 2000)

The Great Physicists from Galileo to Einstein, George Gamow (Dover Publications, New York, 1988)

BÖLÜM 4:

1. Bir cismin bileşimi, sadece ısı kaybı kolaylığı yönünden gerçek anlamda bir etkiye bulunur. Bu serbest elektronların sayısına bağlıdır, çünkü serbest elektronlar yayılan ısıнын merkezden dışa doğru ilerlemesini engelleyerek, "saçılımı" ya da yeniden yönlendirilmesinde işe yararlar. Ağırlıklı olarak hidrojenden oluşan bir nesne, iç ısıyı bastırmak üzere atom çekirdeği başına en fazla bir serbest elektrona sahip olabilirken, daha ağır atomlardan oluşan bir nesne daha fazla serbest elektrona sahip olabilir.
2. Anaksagoras bu konuda daha kesin olabilir, çünkü ayın opak (ışık geçirmez) olduğunu ve bu yüzden güneşin önünden geçtiğinde dünyaya gölge düşürdüğünü ilk fark eden oydu. MÖ 487 yılındaki tutulma sırasında özellikle gemicilerin şahitliklerine dayanarak gölgenin büyüklüğünü de ölçmeyi başardı. Gölge tüm Peloponez yarımadasını kaplıyordu. Buradan yola çıkarak Anaksagoras ayın "Peloponez kadar büyük" ve bu yüzden de güneşin "Yunanistan'dan biraz daha büyük" olduğuna hükmetti.
3. Bölüm 3'e bakınız.

4. Herschel önce Uranüs'e İngiltere kralı III. George onuruna 'George' adını verir. Bunu pek kimse bilmez.
5. Bu tahmin 1658 yılında İrlandalı başpiskopos James Ussher tarafından yapılmıştır.
6. Bunun daha ince bir açıklamasında enerjinin korunumu yasası kullanılır. Pompalama eyleminde pistonun hareket enerjisi pistonun arkasındaki havanın ısı enerjisine, başka bir deyişle hava moleküllerinin rasgele çılğın hareketine dönüştürülür.
7. Bölüm 2'ye bakınız.
8. Bir atomun bozunumu öngörülemez ise, bu onu diyelim ki on dakika boyunca izlerseniz, sonra bir on dakika, ardından bir on dakika daha vs. atomun her süre aralığında aynı bozunum şansına sahip olduğu anlamına gelir. Aynı şansa sahip olmasaydı ve diyelim ki 30 ila 40 dakika arasındaki aralıkta diğer aralıklara göre bozunuma daha yatkın olsaydı, açıktır ki davranışı artık öngörülemez olmazdı - 30 ila 40 dakika arasındaki sürede bozunuma uğramaya yatkın olduğunu bilirdiniz. Şimdi elimizde yüksek sayıda radyoaktif atom içeren bir örneklem olduğunu varsayalım. Diyelim ki ilk on dakikada bozunum şansı da $\frac{1}{2}$ olsun. 10 dakika sonra bu yüzden atomların yarısı bozunuma uğramamış durumda olur. 20 dakika sonra kalanın yarısı, yani çeyreği vs. böyle devam eder. Bu saçma örnek, her on dakikalık aralıkta eşit bozunum şansının on dakikanın yarı süresine uygulanabilecek bir bozunum yasasına sebep olduğunu gösterir. O derece saçma olmayansa, bir atomun belli bir süre aralığında bozunum şansı $1/10$ veya $1/63$ veya $0,000023$ olsa dahi, her durumda aynı cinsten belli bir yarı-sürelili bozunum yasası sonucuna ulaşacağımızın farkına varmaktır.
9. 2003'te *New Scientist* dergisinde yayınlanan bir makale kaleme alarak Cecilia Payne'e yapılan adaletsizliği düzeltmeye çalıştım. (<http://newscientist.com/article/mg18024205.300-the-star-who-unravelling-the-sun.html>). Ne yazık ki yazıcılarda bir karışıklık oldu ve makale çıktığında ona eşlik eden fotoğraf Cecilia Payne'in yerine sadece şapkasının bir bölümünü gösterebiliyordu. Yine de denemiş oldum.

Belki de kimi insanlar gerçekten lanetlidir ve hak ettikleri saygıyı görememek onların kaderidir.

10. Aslında Atkinson ve Houtermans'ın tüm yaptığı meslektaşları George Gamow'un bir fikrini baş aşağı olmaktan kurtarıp düzeltmekten ibarettir. Radyoaktif alfa bozunumunu açıklama çabası sırasında bir helyum çekirdeğinin radyum gibi bir dengesiz ağır çekirdekten çok yüksek hızda çıkarılmasıyla Gamow, kuantum kuramını atom çekirdeğine ilk uygulayan kişidir. Sorun alfa parçacıklarının tutuldukları çekirdek hapsinden kaçmak için yetersiz enerjiye sahip olmalarıydı -madende mahsur kalmışlardı- yine de kendiliğinden bir biçimde nükleer yamacın alt bayırında belirerek kurtuldular. Bu Houdini'ye taş çıkartan hareketlerinin sırrı, Gamow'un fark ettiği gibi, kuantum dalgalarında gizliydi. Maden ocağının dik yatağını tırmanmak için yeterli enerjileri olmamasına karşın, dışa yayılan dalga özellikleri onların dağ yamacında bir "tünel" açarak özgürlüğe kavuşmalarını sağlamıştı.

BÖLÜM 5:

1. Öte yandan döteryum -ağır hidrojen- ve helyum gibi en hafif çekirdeklerin Büyük Patlama'nın ateş topu içerisinde meydana *getirilmiş* oldukları ortaya çıkacaktır. Aslında nükleer reaksiyonların 10 dakikalık bir hışmı sonrasında çekirdeklerin yaklaşık olarak yüzde onu helyuma dönüşür. Bu oranı tüm evrende gözlemek mümkündür ve öngörülmüş olması Büyük Patlama modelinin en büyük zaferlerinden biri olması hasebiyle modele epey taraftar toplamıştır.
2. Hoyle haksız olduğunda da genellikle haklı çıkan bilim adamlarındandı. Kızıl devler oluşturma düzeneği yanlış olsa da, soğuk, yoğun, koyu hidrojen gazı bulutları önermesi gerçekte *doğruyd*. Yeni yıldızlar buralarda doğuyorlardı. Sadece bu değil, "akrasyon" (büyüme) -Hoyle'un yıldızların kendi çevrelerine hidrojen gazı toplaması olarak tasavvur ettiği süreç - evrendeki en önemli ve en yaygın süreçlerden birisidir. Başka şeyler bir yana, bizim Samanyolu'muz dâhil her galak-

sinin kalbinde gizlenen “süper kütleli” kara delikleri besleyen süreçtir bu.

3. Aslında bir yıldızın 100 milyon derecelik bir sıcaklığa ulaşması için güneşten en az üç kat daha büyük bir kütleyle sahip olması gerekir.

BÖLÜM 6:

1. Bölüm 5'e bakınız.
2. Doğrusu yıldızların içindeki element birikimi konusu bundan biraz daha karmaşıktır. Bunun nedeni, belirli bir ağır çekirdeği oluşturmak için genellikle bir dizi farklı alternatif yolun var olmasıdır. Örneğin bir yıldızda Karbon-12 ve Oksijen-16 varsa ağır çekirdek bunların doğrudan füzyonuyla oluşabilir. Böylece iki karbon-12 çekirdeği, bir Neon-20 ve bir Helyum-4 oluşturmak için birbirine yapışabilir. Pratikte karbon-12'nin doğrudan füzyonu ile Oksijen-16'nın doğrudan füzyonu, alfa süreciyle oluşturulan çekirdeklerin çoğunu kısa yoldan oluşturabilir.
3. Baade'nin büyük keşfi Samanyolu'ndaki yıldızların iki farklı kategoriye ayrıldığını bulmasıydı. Galaksinin sarmal kollarında yer alan 1.Topluluk yıldızlar sıcak, mavi yıldızların hâkimiyetindedir. Galaksinin merkez 'çıkıntısında' yer alan 2.Topluluk yıldızlar ise soğuk, kırmızı yıldızların hâkimiyetindedirler. Sonradan 1.Topluluk yıldızların yaşça küçük olduğu ve bu yüzden yeni doğmuş masif yıldızların güdümünde oldukları açığa çıkacaktır. 2.Topluluk yıldızlar yaşlıdırlar. Sıcak genç yıldızların tümü sönmüştür, bu yüzden de yaşlı kırmızı yıldızların yönetimindedirler.
4. Parlak zekâlı ve önsezi sahibi bir gökbilimci olmasına karşın Zwicky garip ve çabuk alevlenen, güvenilmez bir karaktere sahipti. Onun Baade'nin bir Nazi olduğuna dair anlaşılmaz ısrarı -ki değildi-, neticede utangaç ve sessiz bir insan olan Baade'nin ölüm korkusu içerisinde yaşamasına sebep oldu. Zwicky beğenmediği insanları alçak veya küresel alçak olarak sınıflandırır, sonuç itibarıyla de hepsi alçaktı.

5. Şeker küpü büyüklüğündeki her kütle tüm insanların toplamı kadar bir ağırlığa sahip olurdu. Bölüm 2'ye bakınız.
6. Ekip New Mexico'daki Los Alamos'taydı.
7. Aslında özellikle helyum gibi çok hafif elementler Büyük Patlama'da oluştular. Büyük Patlama modeli, evrendeki atomların yaklaşık yüzde 10'unun helyum olması gerektiği, bir diğer deyişle bunların evrenin doğuşunun ilk on dakikasında oluştukları tahmininde bulunmaktadır. Gözlemlerin sonucu da bu görüşü desteklemektedir.
8. Aslında alfa süreci demir-58 ve nikel-62 oluşturur, her ikisi de yönelime uymamaktadır ve çekirdek başına kütleleri demir-56'dan biraz daha düşüktür. Öte yandan bir helyum çekirdeğinin eklenmesiyle çinko-60 çekirdeği elde edilir ve onun çekirdek başına düşen kütlesi daha fazladır.
9. Demir-56'da olduğu gibi 26 proton ve 30 nötron yerine, çinko-56 her ikisinden 28'er tane olmak üzere eşit sayıda proton ve nötrona sahiptir.
10. Demirden bir göktaşı, bir süpernovanın fırınında sentezlenmiş paslanmaz çeliğin nikel-56, krom, magnezyum ve kobalt içeren doğal alaşımıdır.
11. Elementlerin demirden daha ağır olması nasıl mümkün olmaktadır? Zirkonyum ve uranyum gibi büyük ve yüksek elektrik yüklü çekirdeklerin daha küçük çekirdeklerin kaynaştırılmasıyla oluşturulamadığını, iki çekirdek birbirleri ile ışık hızına -kozmetik hız sınırı- yakın hızlarda çarpıştırılırsalar bile bunun mümkün olmadığını, birbirlerini karşılıklı elektriksel itmelerini alt etmeye yetmediğini biliyoruz. Dolayısıyla elimizde sadece çekirdeğin elektrik yükü olmayan nötronları yakalaması işlemleri kalıyor. Ancak serbest nötronlar da yaklaşık on dakikalık bir süre içerisinde parçalara ayrılıp dağılırlar. Bir çekirdeğin payına çok sayıda nötronun düşmesinin yolu, (a) kısa bir süre boyunca (on dakikadan az) yoğun bir nötron patlamasına maruz kalması veya (b) uzun bir süre boyunca kesintisiz yenilenen bir nötron kaynağına maruz kalması ile mümkün olmaktadır. Nötron zengini bir uranyu-

mun var olması (a) tipi bir kaynağı gerektirir. Böyle bir kaynağın, süpernovalarda içe doğru patlayan merkezdeki çekirdekler henüz bir nötron merkezi oluşturmadan önce, nötronlara parçalandığı anda var olduğuna inanılmaktadır. Nötron fakiri olmayan zirkonyumun var edilmesi ise (b)yi gerektirir. Yeterli zaman varsa, çekirdeklerin beta bozunumu için gereken süre elde edilir ve çekirdekteki nötron protona çevrilir. Aslında yüksek düzeyde evrimleşmiş normal yıldızların içi buna uygun bir yerdir. Ancak demir çekirdeklerinin zirkonyum veya uranyum çekirdeklerine dönüşmesi, çok sayıda nötronu içine çekmesini zorunlu kılmaktadır. Bu da pek muhtemel değildir, zirkonyum ve uranyumun dünyada nadir olmasının sebebi budur.

Ek okumalar:

- Home Is Where the Wind Blows*, Fred Hoyle (University Science Boks, Sausalito, California, 1994).
- Supernovae and Nucleosynthesis*, David Arnett (Princeton University Press, 1996)

BÖLÜM 7:

1. Temelde bir yıldızın ışık yoğunluğu, uzaklığının karesi ile ters orantılı olarak düşer. Buna göre yıldız benzer bir yıldızdan iki kat daha uzaksa, parlaklığı onun $\frac{1}{4}$ oranındadır. Üç kat uzaktaysa parlaklığı dokuzda biri kadardır; böyle devam eder. Öte yandan uzay kabuğunun doğrudan içerdiği yıldızların sayısına bağlı olan hacmi, uzaklığının karesi oranında artar. İki kat daha uzaksa dört kat fazla yıldız içerir; uzaklık üç kat ise, dokuz kat fazla vb. İki etmen birbirini tam olarak karşılar (en azından uzay eğri değilse -ancak bu başka bir konudur).
2. Işığın hızı, bir yolcu uçağının hızının bir milyon katından büyüktür, bu yüzden onu ölçmek için bir yol bulan kişiyi takdir etmeniz gerekir. Ole Christensen Röemer'in düşüncesi, ışığın bilinen bir uzaklığı geçme süresini tespit etmektir. Işık dünya üzerindeki mesafeleri saatlerin ölçüm yapabilmesine imkân vermeyecek bir hızda aştığı için,

Danimarkalı 17. yüzyıl gökbilimcimiz ister istemez yüzünü gökyüzüne çevirdi. Bir uzay saatinin dünya güneş çevresindeki yörüngesinde kendisine en yakın konuma geldiğinde çalıp zamanın öğlen olduğunu duyurduğunu varsayalım. Altı ay sonra dünya kendisinden en uzak konumdayken saatin çalması gecikecek, çünkü ışığın dünyanın yörüngesinin çapını aşması gerekecektir. Röemer'in dehası bir göksel 'saat' keşfetmesi oldu - Jüpiter ve uyduları. Saatin öğle vakti çalması yerine, Io uydusunun Jüpiter'in arkasına geçtiği anı kullandı. 1676'da böylesi bir 'tutulma'nın 22 dakika geciktiğini tespit etti (günümüzün rakamı 16 dakika 40 saniyedir). Ulaştığı sonucu dünyanın yörüngesinin çapına dair tahmini ile birleştirerek, ışığın hızını saatte 225.000 kilometre olarak hesapladı. Röemer'in ölçümü ancak 1729 yılında James Bradley tarafından onaylanmasıyla kabul görebildi. Bradley'in düşüncesi ışığın hızını, yine hızlı başka bir şeyle karşılaştırarak ölçmektir: Dünyanın güneşin yörüngesinde ilerleme hızını artık biliyorduk. Dünyanın hareketi, tıpkı yağmur altında koşmanın yağmur damlalarının yönünü değiştirmesi gibi, ışığın yıldızlardan bize ulaşmasında izlediği bariz istikameti değiştiriyordu. Bradley yıldızların konumlarındaki değişimi ölçtü ve böylelikle neredeyse tama yakın bir doğrulukla, ışığın saniyede 298.000 kilometre hızla hareket ettiğini saptadı.

3. Işık aslında saniyede yaklaşık 300.000 kilometre veya saatte bir milyar kilometre hızla ilerler. Parmağınızı şıklatın. Siz bunu yaparken bir ışık ışını Avrupa ve Amerika arasındaki gidiş dönüşlü yolculuğunu 30'dan fazla kez tamamlayabilir.
4. Işık hızı Einstein'ın 1905 tarihli özel görelilik kuramında sadece evrensel hız sınırıdır. On yıl sonra Einstein kuramını sadece birbirlerine göre sabit hızda olan cisimleri değil, hızını değiştiren veya arttıran cisimleri de kapsayacak şekilde genelleştirir. Onun genel görelilik kuramında -aynı zamanda bir kütleçekim kuramı haline de gelecektir- uzay, galaksilerin etkili biçimde çivilendiği bir zemindir. Bu zemin de istediği hızda genişleyebilir.

5. Evrenin genişlemesi uzayı gerer ve böylelikle ışığın dalga boyunu da gererek uzatır. Bir balonun üzerine karaladığınız bir yazının, attığınız bir çizimin balonu şişirdikçe büyüdüğünü gözünüzün önüne getirin. Bu 'kırmızıya kayma' -böyle adlandırılıyor, çünkü germe görülebilen ışığı daha uzun, 'daha kırmızı' dalga boylarına kaydırıyor- daha düşük enerjili bir ışığa sebebiyet veriyor. Bu yüzden de dünyaya yağan ışık enerjisini azaltmada küçük bir rolü olduğu gibi, geceleri gökyüzünün neden karanlık olduğunu açıklamakta da epey yetersiz kalıyor.
6. Bu tahmin, evrenin genişlemesinin hızlandığının 1998 yılında keşfedilmesinden önce yapılmıştı. Sürekli büyüyen bir evrende uzayı ışıkla doldurmak, banyo küveti durmadan artan hızda büyürken onu suyla doldurma çabasından farksız.
7. Bölüm 4'e bakınız.
8. Bunun nedeni Büyük Patlama'nın evrendeki *her yerde birden* yaşanmış olmasıdır. Bunu gözünüzün önüne getirmeniz epey zor olur; çünkü ister bir dinamit lokumunun isterse bir volkanın patlaması olsun, dünyadaki her patlamanın bir merkezi vardır. Büyük Patlama'nın merkezi yoktur.
9. Kozmik zemin radyasyonunun 'tepe noktası', en yüksek salınımı altında yaklaşık bir milimetre dalga boyundadır ve mikrodalga 'bandında' dahi yer almaz. Buna rağmen Penzias, Wilson ve diğerlerinin yaptığı ilk ölçümler mikrodalga dalga boyunda olduğu için, buna kozmik mikrodalga zemin radyasyonu denmeye devam ediliyor.

Ek Okuma:

Cosmology, Edward Harrison (Cambridge University Pres, 1991)

BÖLÜM 8:

1. Böyledir; çünkü doğadaki en zayıf kuvvet olmasına rağmen sonsuz bir erime sahip olduğu gibi, gözlem yoluyla da denetlenemez. Ne kadar çok madde varsa kütleçekimi de o derece büyük olur. Atomun içerisindeki bir proton ile bir elektron arasındaki kütleçekim kuvveti, maddeyi katı halde tutan elektrik kuvvetinden 10.000 trilyon trilyon

trilyon kez daha zayıftır. Yerçekiminden etkilenen cisimlerin 10.000 trilyon trilyon trilyon atomdan daha fazlasına sahip olması gerekir, bu da yan yana koyduğumuzda yaklaşık 10 kilometre uzunluğunda bir cisme karşılık gelir. Bu arada bu, neden güneş sistemindeki bundan daha küçük tüm cisimlerin yamuk patatesler gibi olduğunu, daha büyük cisimlerin de -dünya ve ay gibi- kütleçekim baskısıyla zarif bir yuvarlaklığa sahip olduklarını açıklar.

2. Kuantum kuramı kuvvetleri kuvvet taşıyan parçacıkların değişimi ile açıklar. Örneğin elektrik yüklü parçacıkların arasındaki elektromanyetik kuvvet fotonların değiş-tokuşundan doğar. Bir tenis topuna karşılıklı vurup duran iki tenis oyuncusunu gözünüzün önüne getirin. Her oyuncuya racketlerindeki tenis topunun etkisi üzerinden bir kuvvet iletilir.
3. Bölüm 7'ye bakınız.
4. Üssel olarak artan-veya e (yaklaşık 2,718281828...) kuvvetine yükseltilen- bir şey katlanır, sonra aynı zamanda tekrar katlanır, aynı zamanda tekrar katlanır ve bu böylece devam eder.
5. Bölüm 2'ye bakınız.

Ek okumalar:

"The No-Boundary Measure of the Universe", James Hartle, Stephen Hawking ve Thomas Hertog (<http://arxiv.org/abs/0711.4630>)

BÖLÜM 9:

1. Yeri gelmişken belirtmekte fayda var, kontrollü uçuş ya da aksi yönde uçuş ayırt edilemez, bu manevranın uzay aracının dünyaya göreli hızını asla birden aşamayacağı gerçeğinden kaynaklanır. Sonuçta hız bu biçimde yükseltilebilseydi bile hangi filmin doğru olduğunu bilirdiniz - doğru yanıt uzay aracının hız kazandığı film elbette. Peki, öyleyse NASA neden canını sıkmaktadır? Bir uzay aracı dünyaya göreli olarak birden hızını arttıramaz, dünya güneşin etrafında dönmektedir. Bu kesinlikle doğrudur. Dolayısıyla içeriye giren bir yörünge seçmek mümkündür, böylece gezegenin güneşe göreli hızı, uzay

aracının dünyaya göreli hızına eklenir veya ondan çıkartılır. Böylesi kontrollü uçuşlar bu yüzden uzay aracının hızını güneş sisteminin dışındaki gezegenlere ulaşmak üzere arttırmak, dünyanın yörüngesi içindeki gezegenlere ulaşmak üzere hızını düşürmek veya sadece yönünü değiştirmek için kullanılabilir. Tüm bunları söyledikten sonra artık açık konuşalım, 1980'den bu yana dünyanın dışına yollanan altı uzay aracı, gezegene göreli olarak hız farklılıkları göstermişlerdir. Bu "kontrollü uçuş aykırılıkları" henüz gizemini korumaktadır. Bu konu üzerine merak duyanlar için: "Anomalous Orbital-Energy Changes Observed During Spacecraft Flybys of Earth", John Anderson ve ark. (*Physical Review Letters*, Vol.100, 091102, 2008).

2. Çay bardağını bir arada tutan kanunların Newton yasaları değil kuantum yasaları olduğunda ısrar etmiş olsaydınız bile, kuantum yasalarının da zaman-simetrik olduğunu bilmeliydiniz. Aslında doğadaki zayıf çekirdeksel kuvvetleri yöneten yasada kendine özgü bir zaman asimetrisi söz konusudur. Ancak CP ihlali olarak bilinen bu etki oldukça küçüktür. Çay bardağının kırılması gibi sonuçlara da varmaz.
3. Boltzmann'ın entropiye dair -düzensizlik ve rastlantısallıkla eş anlamlıdır- halen işe yarar tanımını "verili bir makroskobik (büyük ölçekli) durum için mümkün olan mikroskobik (küçük ölçekli) durumların sayısı"dır. Başka bir deyişle bir nesnenin bileşenlerinin düzenlenebilmesine karşın halen cisim olarak kalmasını sağlayan olası yolların sayısıdır.
4. İnsan vücudu dâhil canlı vücutlardan yayılan ışık, görülebilen fotonlar değil görülemeyen 'kızılaltı' fotonlar formundadır. Çingiraklı yılan gibi bazı hayvanlar bu ısıyı ya da kızılaltıyı 'görece' organlara sahiptir, bu onlara zifiri karanlıkta bile sıcakkanlı avlarını görme imkânı tanımaktadır.
5. Aslında kayıp yıldızlara ait ısının yerini alan nükleer yakıtlar uzun dönemde tükeniyor ve yıldızlar soğuyor olsa da kısa dönemde sıcaklıkları artar. Gerçekte güneş, doğumuna göre yüzde 30 daha sıcaktır. Bu bir yıldızın dev bir gaz küresi olmasından kaynaklanır. Gaz ısı

kaybettiğinde, kendisini baskılayan kütleçekimine karşı aynı sertlikte itme uygulayamaz. Küre küçülür ve küçülürken sıkışır ve ısınır. Lewis Carroll bunu biliyordu. *Alice Harikalar Diyarında*’da Tweedledum ve Tweedledee şu bilmeceyi sorar: “Ne ısı kaybedince daha sıcak olur?” Cevap: Bir yıldız. (Bunu çok eskiden okumuş olduğuma emin olma karşın, sinir bozucu bir şekilde nerede olduğunu bulup doğrulamadım.)

6. Bölüm 7’ye bakınız.
7. Evrenin geçmişte özel bir durumda olmak zorunda olduğu sonucuna varan Boltzmann da, dev bir dağınım (entropi) düşürücü istatistikî dalgalanma olmuş olması gerektiğini ve bugünkü zaman okumuzun bunun eseri olduğunu düşündü. Dağınımın (entropinin) artmasının sadece ezici bir biçimde olası olduğunu hatırlayın. Mukadder değil. Olmaması yüksek derecede olası durumlarda dağınım düşebilir de. Yine de Boltzmann geçmişte dağınım düşürücü bir olay olduğu konusunda büyük ihtimalle haksızdı.
8. Çekirdeklerin yaklaşık yüzde 90’ı hidrojen ve yaklaşık yüzde 10’u helyumdur, çok az bir miktar da lityum gibi başka hafif çekirdekler vardı. Tümü “çekirdek-sentez” çağında pişirildiler, bu da evrenin başlangıcından yaklaşık bir ila on dakika sonrasındaki aralıktadır.
9. Evren, ağırlığı bildiğimiz maddenin altı veya yedi katı olan, görünmez, ‘kara’ madde de içermektedir. Işık fotonları ile etkileşmez (bu yüzden karanlıktır) ve bu sayede onların varlığından da etkilenmediği düşünülür. Bu sebeple Kara Maddenin bildiğimiz maddeden önce kümelenmeye başladığına inanılır.
10. Benzer bir sav geçtiğimiz günlerde Oxfordlu matematikçi Roger Penrose tarafından öne sürüldü. Schulman’ın düşüncesi “bu sıralar popüler” gibi gözüküyor.
11. Sadelik yanlısı bir purist, bardakların kırılmasıyla büyük-ölçek evren arasındaki bağlantıyı tartışmaya açabilir. Dünya ne de olsa tamamen şans eseri -düzensizliğin artmasının önkoşulu olarak- yüksek derecede düzenli bir durumda ortaya çıkmış labilir. Boltzmann’ın entropi-

nin neden arttığına ilişkin açıklaması istatistikî bir şeydir. Entropinin artması mutlak kesinlikte değil, sadece ezici bir yükseklikte olasıdır. Sonuçta olmaması yüksek derecede olası bir yerel 'istatistikî dalgalanma' sonucu düzenli bir dünya zuhur etmiş de olabilir. Bu açıklama, yerel zaman okumuzdan kaynaklı akla yatkın gelse de, yıldızların -çay bardaklarına göre daha kozmik bir olgudur bu- neden uzaya yıldız-ışığı pompaladıklarını ve bu şekilde evrenin entropisini boyuna arttırdıklarını açıklamakta başarısız olur. Bunu eğer her biri düzenli bir durumda var olmaya başlamışlarsa yapabiliyor olurlardı, bu da evrenin düzenli bir durumda başladığına işaret ederdi. Burada yerel olan kozmik olana açıkça bağlanıyor.

Ek okumalar:

Ludwig Boltzmann: The Man Who Trusted Atoms, Carlo Cercignani (Oxford University Press, 1998)

'Sources of the Observed Thermodynamic Arrow', L.S.Schulman (<http://xxx.lanl.gov/abs/0811.2787>)

BÖLÜM 10:

1. Gündelik dünyamızın karmaşıklığı, 3. bölümde vurgulandığı gibi, basitçe bir değil, tam 92 çeşit atomik yapı bloğunun var olmasından kaynaklanmaktadır. Öte yandan bilime ne kadar çok unsur katılırsa, açıklamaların düzeyi de o kadar derinleşmektedir. Üzerine konuştuğumuz şey de tam budur işte - evrenin karmaşıklığının esas kaynağı.
2. Burada evreni *tasvir etmek* için gereken bilgiden, evrende *kapsanan* bilgiye geçiş yaptığımızı not edelim. İki ifade eşdeğerdir. Bilginin tüm fiziki destekleyen temel bir 'şey' olduğu yönünde fizikçiler arasında büyüyen şüpheyi yansıtır.
3. İkili sistem on yedinci yüzyıl matematikçisi Gottfried Leibniz tarafından icat edildi. Rakamları 0 ve 1'li dizilerle ifade eden bir yöntemdir. Bizler genellikle onluk sistem kullanırız. En sağdaki basamak 1'leri, sonraki 10'ları, ondan sonraki 10 x 10'ları vb. temsil eder. Örneğin $9217 = 7 + 1 \times 10 + 2 \times (10 \times 10) + 9 \times (10 \times 10 \times 10)$. İkilik sistem veya

taban 2'de en sağıdaki basamak 1'leri, sonraki basamak 2'leri, ondan sonraki 2x2'leri vb. temsil eder. Örneğin $1101 = 1 + 0x2 + 1x(2x2) + 1x(2x2x2)$ olur, onluk sistemde 13'e eşittir.

4. Genellikle bir sistemin alt bileşenlerinin farklı düzenlemelerinin sayısı, $2^{(\text{bilgi miktarı})}$ olarak değil, $e^{(\text{bilgi miktarı})}$ olarak tanımlanır. Matematiğin en ünlü sabitlerinden biri olan e , 2,718281828...'dır. Aradaki fark önemli değildir, sonuçta bu bölümdeki tüm sayılar kabalaştırılmış yaklaşık tahminlerdir.
5. Aslında buradakinden biraz daha karmaşık bir durum söz konusudur ve N sayıda termal fotonun olası düzenlemelerinin sayısı e^N 'dir. Öte yandan e^N , yaklaşık olarak 2^N ile aynıdır.
6. 13,7 milyar yaşındaki evrenimizin safça bekleneneği gibi 13,7x2 milyar ışık yılı değil de, 84 milyar ışık yılı genişliğinde olmasının nedeni, büyüme döneminde evrenin ışığın hızından daha hızlı genişlemiş olmasıdır.
7. Bilginin korunumu, 1976'da Stephen Hawking tarafından belirtildiği gibi, kara deliğinin "bilgi paradoksu"na neden olur . Anlaşıyor ki bir kara delik tamamıyla kara değildir ve 'Hawking ışınlımı' ile parıldamaktadır; bu da onun "buharlaşmasına" ve sonunda ortadan kaybolmasına izin verir. Buradan bir paradoks doğar; çünkü tanım gereği kara delikten hiçbir şey kaçamayacağından, Hawking ışınlımı kara deliğin içi hakkında bilgi taşıyamaz. Dolayısıyla kara delik gitmişse, feci büzülüşü kara deliğin oluşumuna yol açan ölen yıldız betimleyen bilgiye ne olduğu bilmececi elimizde kalır. Güçlü bir şüphe, şimdi kara deliği çevreleyen 'olay ufku'nda, bu hayali yüzeyde -veya içe-çöken madde için geri dönüşü olmayan noktada- çok sayıda minik vuruş yaratmaya gittiği yönündedir. Bu öncü yıldızı tanımlayan bilginin -üç boyutlu bir cisim- iki boyutlu bir olay ufkunda kodlandığı anlamına gelir. Olay ufku, bir hologram gibidir. Evren açısından bunun anlamı çok enteresandır; çünkü o da bir ufukla çevrilidir, - bir alan olmasa da- zaman ufkuyla, sonuç itibarıyla o da bir ufuktur. Öyle görünüyor

ki üç boyutlu evren, kendisini çevreleyen iki boyutlu yüzeyde etkilenebilir olandan daha fazla bilgiye sahip olamıyor. Garip biçimde dev bir kozmik hologram içerisinde yaşadığımız anlaşılıyor.

8. $2^{(10^{89})}$, 2'nin kendisiyle -parantez içinde 89 tane 10 olmak üzere- $(10 \times 10 \times 10 \dots)$ kere çarpıldığı anlamına geliyor. Başka şekilde ifade edersek $2^{(10^{89})}$ yaklaşık olarak $(10^3)^{89} = 10^{267}$ dir.
9. Bu büyük İngiliz fizikçi Paul Dirac tarafından 1939'da bir noktaya kadar öngörülmüştür. Dirac, şişme (inflation) ve evrenin başlangıçta ne kadar delicesine küçük olduğu üzerine hiçbir bilgi sahibi olmamasına karşın yine de şunun farkına vardı: Eğer galaksi gözlemlerimizin bize işaret ettiği gibi evren genişliyorsa, o zaman geçmişte bundan çok daha küçük olmalıydı, bu da çevremizde gördüğümüz karmaşıklığın tohumlanmasının çok kolay olmuş olduğu anlamına gelirdi. En azından klasik fizik evreni açıklıyor olsa bu çok kolay olurdu. Ancak Dirac kuantum kuramının yardımı koşabileceğinin farkına vardı ve evrenin karmaşıklığının kökeninde onun daha önceki dönemlerinde gerçekleşmiş, öngörülemeyen kuantum sıçramaları olabileceğini düşündü. Evrenin kökeninde kuantum kuramının rolünü kabul etmesiyle Dirac kuantum kozmoloji alanını kırk yıl öncesinden öngörmüş oldu. Bu konuda *The Strangest Man: The Hidden Life of Paul Dirac, Quantum Genius*, Graham Farmelo (Faber & Faber, 2009).
10. Bölüm 8'e bakınız.
11. 1998'de 'Kara Enerji'nin keşfi gösteriyor ki, garip bir biçimde geçtiğimiz birkaç milyar yıl içerisinde büyümeyi iten çok, çok küçük bir parça enerji olmasına karşın, normal boşluk yeniden büyüyen-tip bir boşluğa dönüşmüş durumda. Kara enerji, artan boşluk gibi, evrenin genişlemesini hızlandırmakta. Büyüme evresi ile bugünkü kara-enerji-kaynaklı evre arasında herhangi bir bağlantı olup olmadığını kimse bilmiyor, eğer varsa da iki gizem bir gizeme dönüşmüş olacak.
12. Uzun bir süre boyunca boşluk (vakum) enerjisi tam olarak sıfırdı, dolayısıyla bozunması mümkün olabilseydi dahi başka formlara aktaracak bir enerji içermiyordu. Öte yandan son birkaç milyar yılda Kara Enerjinin kozmik aşamaya ulaşmasıyla her şey değişti. Kara enerjinin ilk olarak nasıl açıldığını kimse bilmediği için, günün birinde kapan-

ması da her zaman mümkün. Ancak Kara Enerji büyümeyi sağlayan boşluk enerjisi ile karşılaştırılınca o kadar küçük bir miktarda ki, böylesi bir bozunumla evrene taşınacak olan bilgi de epey küçük olacak.

Ek okuma:

'Information, Information Processing and Gravity', Stephen Hsu (<http://arxiv.org/abs/0704.1154>)

BÖLÜM 11:

1. Plütonyum-239 nötron çarpmasıyla büyük bir enerji açığa çıkararak yarılan veya bölünen ('fisyon') iki ağır çekirdekten biridir. İlave serbest nötron meydana geldiği için daha fazla çekirdek bölünebilir; bu kontrol dışı 'zincirleme reaksiyona' neden olur ve dev bir enerji patlaması ortaya çıkar. 'Atom bombası' budur. Kontrol dışı zincirleme reaksiyona sebep olan diğer çekirdek uranyum-235'dir.
2. Fermi'nin öğrencilerine sormayı sevdiği türden daha abes bir 'Fermi problemi', "Chicago'da kaç tane piyano akortçusu vardır?" sorusuydu. Kaba bir tahmin şöyle bir gerekçelendirmeye yapılabilir. Chicago'nun nüfusu yaklaşık 10 milyondur. Genellikle bireylerin değil ailelerin piyanosu olur (Okullar, konser salonları vb. yerlerdeki piyanoların sayısı göz ardı edilebilir). Ortalama olarak bir ailenin beş üyesi varsa, bu Chicago'da 2 milyon aile var demektir. 20 aileden birinin piyanosu varsa toplam 100 bin piyano olması gerekir. Her piyanonun yılda bir kez akort edilmesi yeterli olsun. Bu yılda 100 bin akort eder. Bir piyano akortçusu diyelim ki günde iki piyano akort edebiliyor olsun ve yılda yaklaşık 200 gün çalışsın; sonuç yılda akortçu başına 400 piyano akordu yapar. Chicago'da 100 bin piyano olduğu için de şehirde yaklaşık 250 piyano akortçusu olması gerekir.
3. Kendisini yeniden üreten makine kavramı daha sonraları detaylı olarak, modern bilgisayar programını icat etmesiyle ünlü Macaristan kökenli Amerikalı fizikçi John von Neumann tarafından açıklanacaktır. Böylesi uzay araçlarına bu yüzden von Neumann araçları denmektedir.

4. Bu gerekçelendirmeyi Von Neumann'ın kendisini yeniden üreten uzay aracını içerecek şekilde ilk ortaya atan 1981 yılında Amerikalı fizikçi Frank Tipler oldu.
5. Plüton günümüzde gezegen olarak değil, güneş sisteminin dışında yer alan yaklaşık 100 bin buzlu 'Kuiper Belt' cisimden biri olarak kabul ediliyor. Aslında dünya, boyutları kendisiyle karşılaştırılabilir bir uyduya sahip olan tek gezegendir.
6. 1952 yılında Chicago Üniversitesinden Stanley Miller ve Harold Urey dünyamızın ilkel halinde var olduğu düşünülen bir gaz karışımını alıp elektrik akımına ve mor ötesi ışığa maruz bıraktıkları ünlü deneyi gerçekleştirdiler. Deneyin sonucu hayat oluşumunun müjdesini içeren aldehitler, karboksilik asitler ve aminoasitlerin ortaya çıkışı oldu. Ama henüz o noktada kalmaktan çıkıp fazla ilerleyebilmiş değiliz.
7. *The Universe Next Door* (Headline, 2002) kitabıma bakınız.
8. *The Never-Ending Days of Being Dead* (Faber & Faber, 2008) kitabıma bakınız.

Ek okumalar:

'Explanation of the Code "6EQUJ5" on the Wow! Computer Printout', Jerry Ehman (<http://www.bigear.org/6equj5.htm>).

'Scintillation-Induced Intermittency in SETI', James Cordes, Joseph Lazio ve Carl Sagan (*Astrophysical Journal*, Vol.487, p.782, 1997).

'When Will We Detect the Extraterrestrials?', Seth Shostak (*Acta Astronautica*, Vol.55, p.753, 2004).

Where Is Everybody? Fifty Solutions to the Fermi Paradox and the Problem of Extraterrestrial Life, Stephen Webb (Praxis Boks, New York, 2002).

'Possibility of Life-Sustaining Interstellar Planets', David Stevenson (*Nature*, Vol.400, p.32, 1999).

The Cosmic Connection, Carl Sagan (Cambridge University Pres, 2000).

'An Explanation for the Absence of Extraterrestrials on Earth', Michael Hart (*Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol.16, p.16, 1975).

'The "Great Silence": The Controversy Concerning Extraterrestrial Intelligent Life', David Brin (*Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*, fall 1983, Vol.24, p.283).

'Five or Six Step Scenario for Evolution?', Brandon Carter (<http://arxiv.org/abs/0711.1985>).

A New Kind of Science, Stephen Wolfram (<http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html>).

Sözlük

AKRASYON (BÜYÜME; accretion)

- Bir cismin kütle çekiminin çevresinden sürekli daha fazla madde toplayarak, bunların eklenmesiyle büyümesini ifade eden temel astrofizik süreci. Madde, tıpkı suyun delikten akışı gibi içeriye doğru dönerken bir 'büyüme diski' yaratabilir. Diskin içindeki sürtünme ısını artırı ve 'kuasarlar' gibi güçlü galaksilerin müthiş parlaltısının kaynağının bu olduğu düşünülür. Buradaki organik büyüme, Güneş'in kütesinden 10 milyar kat büyük olan 'dev' bir kara delik üzerinde gerçekleşir.

ALÇAKTAN UÇUŞ ANORMAL-

LİĞİ - 1990'dan bu yana Yeryüzü'nde mola veren beş uzay araştırma aracının Dünya'ya göre hız kazanmasının veya kaybetmesinin ardında yatan gizem. Newton'un kütleçekimi yasasına göre hızda değişiklik olmamalıdır.

ALFA BOZUNUMU - Kendini daha hafif, kararlı bir çekirdeğe dönüştürme girişimindeki büyük ve dengesiz bir çekirdek tarafından yüksek hıza sahip bir alfa parçacığının püskürtülmesi.

ALFA PARÇACIĞI - Radyoaktif alfa bozunumu sırasında dengesiz bir çekirdekten dışarı fırlayan, birbirlerine bağlı iki proton ve iki nötron -asında bir helyum çekirdeği.

ALFA SÜRECİ - Alfa parçacıklarının eklenmesiyle yıldızların içinde ağır atom çekirdeklerinin oluşması. Yaklaşık bir milyar derecelik bir sıcaklık gerektirir.

ANDROMEDA - Samanyolu'na en yakın mesafede bulunan ve ondan sonraki en büyük galaksidir. Yaklaşık 2,5 milyon ışık yılı uzaklıktadır. Lokal Grup olarak bilinen en az 40 galaksiden oluşan bir kümeye hâkim, en büyük iki galaksi Andromeda ve Samanyolu'dur.

ANLIK ETKİ - Bkz. yerelliğin-olmayışı.

ATARCA YILDIZ (PULSAR) - Tıpkı bir deniz feneri gibi gökyüzüne yoğun radyo dalgaları yayan, hızla dönen nötron yıldızı.

ATOM - Tüm normal maddelerin yapıtaşı. Bir atom, etrafında elektron bulutu dönen bir çekirdeğe sahiptir. Çekirdeğin artı yükü, elektronların eksi yüküyle tam bir denge içindedir. Bir atomun çapı, bir milimetrenin on milyonda biri kadardır.

ATOM ÇEKİRDEĞİ - Bir atom merkezinde sınıksız şekilde birbirine kenetlenmiş protonlar ve nötronlar kümesi (hidrojen ise tek bir proton vardır). Çekirdek, atomun kütlesinin yüzde 99,9'una sahiptir.

ATOM ENERJİSİ - Bkz. Nükleer Enerji.

ATOMDAN KÜÇÜK PARÇACIK - Tıpkı bir elektron ya da nötron gibi bir atomdan küçük bir parçacık.

BELİRSİZLİK İLKESİ - Bkz. Heisenberg Belirsizlik İlkesi

BETA AYRIŞMASI - Dengesiz bir atom çekirdeği tarafından yüksek hızla sahip bir elektronun püskürtülmesi. Geride kalan çekirdek, tek protonlu bir elemente aittir.

BETA İŞİNİ - Beta bozunumu sırasında püskürtülen bir elektron. Öncesinde

bu elektron çekirdekte yoktur, ama nötron protona dönerken 'yaratılır.'

BETELGEUSE - Orion takımyıldızlarında bulunan ve gökyüzündeki onuncu parlak yıldız olan bir kırmızı dev. Köken olarak Arapça yad al-jauzâ kelimesinin 'devin eli' (Fransızca okunuşundan gelmektedir (burada dev Orion' dur)

BEYAZ CÜCE - Yakıtı bitmiş ve kütle çekimi Dünya ile aynı boyuta gelene kadar sıkıştırılmış bir yıldız. Beyaz cüce, elektron dejenerasyonu baskısı tarafından daha fazla büzölmeye karşı desteklenir. Bir küp şeker kadar beyaz cücenin ağırlığı yaklaşık bir aile arabasına denktir.

BİLGİSAYAR EVRENİ - Olası tüm bilgisayar programlarının bulunduğu soyut evren. Bizler de bilgisayar programı olarak değerlendirilebildiğimizde -en azından siber versiyonlarımız öyledir- bilgisayar evreninde varlığımızı sürdürüyoruz demektir.

BİRLEŞTİRME - Son derece yüksek bir enerji seviyesinde doğanın dört temel kuvvetinin bir olduğu, tek bir teorik çerçeve içinde bütünleştiği düşüncesi.

BOLTZMANN BEYNİ - Kuantum uzay boşluğunun olasılık dışı bir kasılması ile uzayın derinliklerinde kendiliğinden ortaya çıkan zeki bir gözlemci.

BOYLE YASASI - Bir gazın basıncının hacmiyle ters orantılı olduğuna dair gözlem. Yani hacmi yarıya böldüğümüzde basınç iki katına çıkar.

BOYUT - Uzak-zaman içinde bağımsız bir yön. Etrafımızdaki bilinen dünyaya üç uzay boyutuna (sol-sağ, ileri-geri, yukarı-aşağı) ve bir zaman boyutuna (geçmiş-gelecek) sahiptir. Süper-sicim teorisi, Evren'in ekstra altı uzay boyutuna sahip olması gerektiğini öne sürer. Bunlar diğer boyutlardan radikal biçimde farklılık gösterirler çünkü çok küçük şekillerde dürülmüşlerdir.

BOZON - Bütün dönüşü -0 birim, 1 birim, 2 birim ve benzeri- olan mikroskobik parçacık. Dönüşlerinin doğası itibarıyla bu tür parçacıklar büyük ölçüde topluluk halinde hareket ederler. Lazerlere, mutlak sıfırın bir derece üstündeki sıvılara ve süper-iletkenlere yol açan kolektif davranışlar sergilerler.

BROWN HAREKETİ - Küçük cisimlerin bombardımanına maruz kalan büyük bir cismin rastlantısal, küçük titreşimlerle hareket etmesi. En bilinen örneği, su molekülleri tarafından darbe almaya devam ettikçe suda zikzaklar çizen polen tozlarının hareketidir. 1827'de botanik bilimci Robert Brown tarafından keşfedilen ve Einstein tarafından zafer dolu bir tutumla 1905'te açıklanan bu olgu, atomların varlığının güçlü bir kanıtıydı.

BÜYÜK PATLAMA - Evren'in doğuşuna neden olduğu düşünülen 13,7 milyar yıl önce yaşanmış dev patlama. 'Patlama' aslında yanlış bir tabirdir, çünkü Büyük Patlama aynı anda her yerde gerçekleşmiş ve Evren'in patladığına da-

ir önceden var olan bir hüküm bulunmamaktadır. Büyük Patlama sırasında uzay, zaman ve enerji kavramlarının hepsi birden ortaya çıkmıştır.

BÜYÜK PATLAMA TEORİSİ - Evren'in 13,7 milyar yıl önce süper-yoğun, süper-sıcak bir konumda ortaya çıktığını ve o zamandan beri genişlemeye ve soğumaya devam ettiğini açıklayan kuram.

CHARON - Plüton'un en büyük ayı.

CNO DÖNGÜSÜ - Güneş'ten çarpıcı biçimde daha büyük olan yıldızlar tarafından gerçekleştirilen, hidrojenin atom dönüşürüldüğü nükleer reaksiyonlar serisi. Döngü olarak adlandırılır çünkü sonunda nükleer reaksiyonlar tarafından kullanılan karbonu yeniden yaratarak başlangıç noktasına geri döner.

COMPTON ETKİSİ - Bir elektronun yüksek enerjili bir ışığa maruz kaldığında, tıpkı bir bilardo topuna başka bir bilardo topu çarptığında olduğu gibi, geri tepmesi. Bu etki, ışığın en nihayetinde minik, kurşun benzeri parçacıklardan veya fotonlardan oluştuğunu grafiksel olarak gösterir.

ÇEKİRDEK - Bkz. Atom Çekirdeği

ÇİFT YARIK DENEYİ - parçacıkların ışık geçirmez bir ekran üzerinde birbirine yakın yerleştirilmiş iki paralel yarığa fırlatılmasıyla yapılan deney. Ekranın uzak bir köşesinde parçacıklar birbirlerine karışarak, veya 'girişim' yaparak, ikinci bir ekranın üzerinde karakteristik bir

'girişim görüntüsü' oluştururlar. İşin tuhaf yanı, parçacıklar yarıklara uzun aralıklarla birer birer atıldığında bile -başka bir deyişle, birbirlerine karışma olasılığı olmadığına bile- modelin oluşmasıdır. Richard Feynman bu sonucun kuantum teorisinin 'temel gizemini' vurguladığını iddia etmiştir.

ÇOK DÜNYA - Kuantum teorisinin sadece atomların mikroskobik dünyasını ve bileşenlerini değil her şeyi açıkladığını savunan fikir. Kuantum teorisi bir atomun aynı anda iki yerde birden olabilmesine olanak tanıdığı için buna göre bir masa aynı anda iki yerde birden olabilir demektir. Ancak Çok Dünya senaryosuna göre masayı gözlemleyen kişinin zihni ikiye bölünüyor. Biri masayı bir yerde algımlarken diğeri ise başka bir yerde gibi algılıyor. İki zihin farklı gerçekliklerde veya evrenlerde var oluyorlar.

ÇOKLU EVREN - Kozmosu, Evren'imizin çok sayıda farklı ve birbirinden ayrı evrenden biri olacak şekilde varsayımsal olarak genişletmek. Çoğu evren ölü ve ilginç olmaktan uzaktır. Fizik yasaları sadece küçük bir alt kümede yıldızların, gezegenlerin ve yaşamın oluşumunu destekler.

DAĞINIM (ENTROPİ) - Bir sistemin düzensizlik derecesi. Daha spesifik bir ifadeyle, bir sistemin bileşenlerinin farklı şekillerde düzenlenerek yine aynı objeyi ortaya çıkaracağı olası yolların sayısı.

DALGA BOYU - Bir dalganın tam bir

salınım döngüsünden geçmesi için gereken mesafe.

DALGA FONKSİYONU - Atom gibi bir kuantum objesi ile ilgili bilinen her şeyi içeren matematiksel bir kavram. Schrödinger denkleminde göre dalga fonksiyonu zamanla değişir.

DALGA-PARÇACIK İKİLİĞİ - Atomdan küçük bir parçacığın yerel bir bilardo topu benzeri parçacık ya da yayılan bir dalga gibi davranması.

DEJENERASYON BASKISI - Küçük bir hacme sıkıştırılmış elektronların yattığı, kutunun içindeki arılar benzeri baskı. Heisenberg belirsizlik ilkesinin bir sonucu olan bu baskı, yeri çok iyi bilinen mikroskobik bir parçacığın hızıyla ilgili büyük bir belirsizlik olmasından doğar. Elektronların dejenerasyon baskısı beyaz cücelerin kendi kütle çekimleri altında küçülmelerini önlerken nötronların dejenerasyon baskısı ise aynı şeyi nötron yıldızları için gerçekleştirir.

DETERMINİST YASA - Geleceğin bir yönünü yüzde 100 kesinlik ile öngörebilen bir fizik kuralı. Tüm klasik -yani kuantum-dışı- yasalar bunu yaparlar.

DOLAŞIKLIK - İki ya da daha fazla mikroskobik parçacığın birbirine çok fazla karışarak bireyselliklerini kaybetmeleri ve pek çok bakımdan tek bir vücut gibi davranmaları.

DÖTERYUM - Nadir rastlanan bir

hidrojen izotopu. Döteryum çekirdeğinin bir nötronun yanı sıra bir proton da bulunur.

ELEKTRİK AKIMI - Bir iletkenin içinde genel olarak elektronlardan oluşan yük- lü parçacıklar nehri.

ELEKTRİK ALANI - Bir elektrik yük- ünü çevreleyen bir kuvvet alanı.

ELEKTRİK YÜKÜ - Mikroskobik parçacıkların iki çeşidi -artı ve eksi- olan niteliği. Elektronlar eksi yüklüdür, pro- tonlar ise artı yüklüdür. Aynı yüke sahip parçacıklar birbirlerini iterken zıt yükle- re sahip olanlar çekerler.

ELÉKTROMANYETİK DALGA - Hareket yönüne aykırı, değişen elektrik ve manyetik alanlardan oluşan bir dalga. Bir elektromanyetik dalga, titreşen bir elektrik yükü sayesinde oluşur ve ışık hı- zında uzayda ilerler.

ELEKTROMANYETİK kuvvet - Do- ğanın dört temel kuvvetinden biri. Be- denimizdeki atomlar ve ayağımızı bas- tığımız kayalar gibi tüm sıradan madde- leri birbirine yapıştırmakla sorumludur.

ELEKTRON - Genellikle bir atom çekirdeğinin etrafında döndüğü görü- len eksi yüklü atomdan küçük parçacık. Herkesin anlayabileceği üzere gerçekten temel bir parçacıktır ve bölünemez.

ELEMENT - Kimyasal yollarla daha fazla indirgenemeyen bir madde. Belli bir elementin tüm atomları, çekirdeğinin

deki proton sayısının aynısını barındırır- lar. Örneğin, hidrojenin tüm atomlarının bir protonu, klorun tüm atomlarının 17 protonu, vs vardır.

ENERJİ - Tanımlaması neredeyse ola- naksız bir nicelik. Enerji asla yoktan yaratılamaz veya varken yok edilemez, yalnızca bir türden başka bir türe dö- nüştürülebilir. Bilinen pek çok çeşidi- nin arasında ısı enerjisi, hareket enerjisi, elektrik enerjisi, ses enerjisi ve benzerleri bulunur.

ENERJİ KORUNUMU - Enerjinin as- la yoktan yaratılamayacağını veya varken yok edilemeyeceğini, yalnızca bir türden başka bir türe dönüştürülebileceğini ifa- de eden ilke.

ERİK PUDİNGİ MODELİ - eksi yüklü elektronların artı yüklü bir bu- lutun her yerine nüfuz edecek şekilde tıpkı erik pudinginin üzerine atılan kuru erikler gibi yayıldığı eski atom modelle- rinden biri.

EVRE UYUMSUZLUĞU - Bir cismin tuhaf kuantum doğasını yok eden meka- nizmadır. O kadar ki, aynı anda birçok farklı yerde görünmek yerine belli bir yerde görünür. Dış dünya cismi 'tanıma- ya' başlarsa evre uyumsuzluğu gerçekleşir. Bilgi, cisimden seken bir hava molekülü veya tek bir ışık fotonu tarafından uzak- laştırılabilir. Masa gibi büyük cisimle- re sürekli fotonlar ve hava molekülleri çarptığı için ve uzun süre çevrelerinden tecrit olmuş halde kalamadıklarından

dolayı, mucizevî denebilecek kadar kısa -fark edemeyeceğimiz kadar kısa- bir süre içinde bir anda birçok yerde olma yetilerini kaybederler.

EVREN - Her şey. Bir zamanlar şimdi Güneş Sistemi olarak adlandırdığımız şey için kullanılan esnek bir terim. Sonraları Samanyolu olarak adlandırdığımız şey için kullanıldı. Günümüzde ise gözlemlenebilir evrende yaklaşık 100 milyar olduğu düşünülen galaksilerin hepsinin toplamı için kullanılır.

EVREN, GENİŞLEMESİ - Büyük Patlama sonrasında galaksilerin birbirlerinden ayrı yönlerle uçarak dağılmaları.

EVREN, GÖZLEMLENEBİLİR - Evren'in ufuklarına kadar görebildiğimiz her şey.

FERMI PARADOKSU - İtalyan-Amerikalı fizikçi Enrico Fermi tarafından vurgulanan bir gizemdir. Buna göre eğer zekâ Galaksimizin her yerine ulaşırsa, neden buraya Yeryüzü'ne gelmediğini sormuştur Fermi: 'Herkes nerede?'

FERMI PROBLEMİ - Enrico Fermi'nin ünlü olduğu kabataslak hesaplamalar.

FERMİYON - Yarım dönüşlere $-1/2$ dönüş, $3/2$ dönüş, $5/2$ dönüş gibi sahip mikroskobik parçacık. Dönüşlerinin doğası itibarıyla bu tür parçacıklar birbirlerinden uzak dururlar. Anti-sosyal yapıları, atomların var olmasının ve ayağımızın altındaki zeminin sertliğinin nedeni.

FİZİK YASALARI - Evren'in davranışını düzenleyen temel kurallar.

FOTOELEKTRİK ETKİ - Metale çarpan fotonlar sayesinde bir metalin yüzeyinden elektronların püskürtülmesi.

FOTON - Işık parçacığı.

FOTOSEL - Fotoelektrik etkiyi kullanan pratik bir cihaz. Bir cismin metal bir yüzey üzerine düşen ışını keserek elektrik akımına engel olması, süpermarketin girişindeki otomatik kapılar gibi birtakım şeyleri kontrol etmek için kullanılabilir.

FÜZYON - Bkz. Nükleer Füzyon.

GALAKSİ - Evren'in yapı taşlarından biri. Galaksiler büyük yıldız adalarıdır. Bizim adamız olan Samanyolu'nun sarmal bir şekli vardır ve yaklaşık 200 milyar yıldızla sahiptir.

GAMA IŞINI - Işığın en yüksek enerjili formu. Genellikle bir atom çekirdeğinin kendini yeniden düzenlediği zaman üretilir.

GAZ - Minik arılarla dolu bir oğul gibi uzayda uçan atom kümeleri.

GENEL GÖRELİLİK TEORİSİ - Einstein'ın kütleçekimi teorisi, kütleçekiminin uzay-zaman bükülmelerinden başka bir şey olmadığını ortaya koymuştur. Bu teori, Newton'un kütleçekimi teorisinde olmayan birtakım fikirler içerir. Bunlardan biri, hiçbir şeyin, hatta kütleçekiminin bile ışıktan hızlı hareket ede-

meyeceğidir. Diğer, her enerji türünün bir kütleyle sahip olduğu ve bu nedenle kütleçekiminin kaynağı olduğudur. Diğer şeyler bir yana bu teori, kara delikler, genişleyen Evren'i ve kütleçekiminin ışık yolunu eğip bükebileceğini öngörmüştür. Einstein'ın kendi özel görelilik teorisinin genelleştirmesiyle ortaya çıkan Genel Görelilik, bir insanın başka bir insana baktığında gördüğünü onlara göre hızlandırır. Hızlanma ve kütleçekimi ayırt edilemez -denklik ilkesi- olduğu için genel görelilik aynı zamanda kütleçekimi teorisidir.

GENEL GÖRELİLİK İLKESİ - Birbirlerine göre sabit bir hızla hareket eden gözlemciler için tüm fizik kurallarının aynı olduğu gözlemi.

GENİŞLEYEN EVREN - Büyük Patlama'nın sonucu olarak galaksilerin birbirlerinden uzaklaşmaları.

GİRİŞİM - İki dalganın birbirine karışabilecek şekilde birbirlerinin içinden geçebilmeleri. Tepe noktalarının çakıştığı yerde birbirlerini pekiştirir, birinin tepe noktası diğerinin dalga çukuru ile çakışınca birbirlerini yok ederler.

GİRİŞİM GÖRÜNTÜSÜ - İki kaynaktan gelen ışıkla aydınlatılan bir ekranın üzerinde görünen aydınlık ve karanlık şeritlerden oluşan görüntü. Bu görüntü, ekranın bazı yerlerinde birbirlerini destekleyip bazı yerlerinde iptal eden iki kaynaktan gelen ışığa bağlı olarak ortaya çıkar.

GÖKTAŞI HİPOTEZİ - Güneş'in sıcak olmasının nedeninin sürekli yüzeyine yağan göktaşları olduğunu öne süren fikir. Ne yazık ki yanlıştır.

GÜNEŞ - En yakın yıldız.

GÜNEŞ SİSTEMİ - Güneş ve gezegenler, kuyrukluysıldızlar, aylar ve diğer çeşitli göktaşlarından oluşan ailesi.

HAWKING RADYASYONU - Bir kara deliğin olay ufku yakınında oluşan ısı radyasyonu. Sanal parçacık ve karşı parçacık çiftlerinin, Heisenberg belirsizlik ilkesinin izin verdiği ölçüde uzay boşluğuna sürekli girip çıkmalarından doğan bir kuantum teorisi sonucudur. Ancak bir kara deliğin ufkunun yanında bir çiftin bir parçacığının deliğe düşmesi olasıdır. Birlikte yok olacağı bir partneri olmayan geride kalan parçacık, gelişerek sanal parçacıktan gerçek parçacığa dönüşür. Bu tür parçacıklar, tıpkı karakteristik bir sıcaklığa sahip radyasyon gibi bir kara delikten akarak uzaklaşırlar - gerçi etkinin yıldızsal bir kara delik için küçük olduğu kabul edilir.

HAYVANAT BAĞÇESİ HİPOTEZİ - İnsan ırkının, gelişmekte olan zeka olarak, uzayda yolculuk gibi zeki bir sürecin yasak bölgesinde olduğunu iddia ederek Dünya'nın neden uzaylılar tarafından ziyaret edilmemiş olduğunu açıklayan düşünce.

HEISENBERG BELİRSİZLİK İLKESİ - Bir parçacığın yeri ve hızı gibi eş

zamanlı olarak kesin bir biçimde biline-meyen nicelik çiftleri olduğunu belirten bir kuantum teorisi ilkesidir. Belirsizlik ilkesi, bu tür nicelik çiftlerinin ürününün ne kadar iyi bilinebileceği konusuna bir limit getirir. Pratikte bu, şu anlama gelir: eğer bir parçacığın momentumu kesin olarak biliniyorsa, o parçacığın yerini bilmek mümkün değildir. Bunun tam aksine eğer yer kesin olarak biliniyorsa, parçacığın momentumu bilinmez. Bile-bildiğimiz şeyleri sınırlayan Heisenberg belirsizlik ilkesi, doğaya bir 'bulanıklık' yükler. Eğer çok daha yakından bakarsak bir gazete fotoğrafının noktalara dönü-şerek dağılması gibi her şey bulanıklaşır.

HELYUM - Doğadaki en hafif ikinci ve Dünya üzerinde keşfedilmeden önce Güneş'te keşfedilen tek elementtir. Hel-yum, hidrojenden sonra Evren'deki en yaygın elementtir. Tüm atomların yakla-şık yüzde 10'unu oluşturur.

HİDROJEN - Doğadaki en hafif ele-ment. Bir hidrojen atomu tek bir elekt-ronun etrafında döndüğü tek bir proton-dan oluşur. Evren'deki atomların yüzde 90'a yakını hidrojen atomudur.

HİDROJEN YAKIMI - Hidrojenin füzyona girerek helyuma dönüşmesi. Bu sürece büyük miktarda açığa çıkmış nükleer bağlayıcı enerji eşlik eder. Güneş'in ve birçok yıldızın güç kaynağı budur.

HİDROSTATİK DENGİ - Bir yıldızı ezmeye çalışan kütleçekimsel kuvvetin, dışarı doğru iten içindeki sıcak gazın

gücüyü mükemmel bir denge içinde ol-duğu konum.

HÜCRESEL OTOMAT - Bir girdiyi -renkli hücrelerden oluşan bir model- alıp bir çıktı - renkli hücrelerden oluşan başka bir model- üretmek için o girdiye basit bir kuralı uygulayan basit bir bil-gisayar programı. Buradaki temel nokta, tıpkı kendi kuyruğunu yiyen bir yılan gibi çıktının bir sonraki girdi olarak yeniden sisteme dahil edilmesidir. İki renkli bitişik hücrelerin ve tek boyutlu hücresel otomatın olduğu bir örnekte girdi, bir hat üzerine dizilmiş siyah ve beyaz hücrelerden oluşan bir model ve çıktı ise sonraki hat üzerindeki hücre-lerin oluşturduğu modeldir. İkinci hat-tın üzerindeki bir hücrenin siyah ya da beyaz olması, ilk hattaki en yakın iki komşu hücreye uygulanan kurala bağlıdır. Örneğin, bu kural şöyle diyebilir: 'İlk hattaki belli bir hücrenin herhangi bir yanında siyah bir kare varsa, ikinci hatta siyaha dönmelidir.'

İKİLİ SİSTEM - sayıları yalnız 0 ve 1 kullanarak ifade etmek. İkili sisteme gö-re yazılmış bir sayıda, sondaki basamak 1'leri, yanındaki basamak 2'leri, onun yanındaki 4'leri, sıradaki 8'leri temsil eder ve böylece sürüp gider. Yani örneğin $1101 = 1 + (0 \times 2) + (1 \times 4) + (1 \times 8) = 13$.

İLETKEN - Elektrik akımının içinden geçebildiği bir madde.

İNFLATON - Şişmeyi tetikleyen varsa-yımsal kuvvet alanı.

İNSANİ İLKE (anthropic principle)

- Evren'in olduğu gibi olduğunu, çünkü öyle olmasaydı bunu fark edebilecek şekilde burada olmayacağımızı ileri süren fikir. Başka bir deyişle, var olduğumuz gerçeği, önemli bir bilimsel gözlemdir.

ISI ÖLÜMÜ - Evren'deki tüm sıcaklık farklılıklarının yok olarak tüm aktivite-lerin gitgide azalarak durma noktasına geldiği varsayımsal konum.

IŞIK DOLUM ZAMANI - Yıldızların boş bir alanı -tıpkı küveti suyla doldurmak gibi- ışıkla doldurmaları için gereken süre. Bu şekilde geceleyin gökyüzü karanlık olmayıp aydınlık olur. Aslında bu süre, yıldızların ortalama yaşam ömründen çok daha büyüktür.

IŞIK HIZI - Kozmik hız limiti - saniye- de 300 bin kilometre.

IŞIK İSTİKRARI - Evren'imizde boşlukta giden ışığın hızının, ışığın kaynağından veya ışığı gözlemleyen birilerinden bağımsız olarak daima aynı kalması tuhaftır. Einstein'ın özel görelilik teorisinin iki temel taşından biri budur, diğeri ise görelilik ilkesidir.

IŞIK UFKU, KOZMİK - Evren'in tıpkı denizdeki bir geminin ufku gibi benzer bir ufku vardır. Evren'in ufkunun nedeni, ışığın sınırlı bir hıza sahip olması ve Evren'in de sadece sınırlı bir süredir varlığını sürdürüyor olmasıdır. Buna göre bizler yalnızca ışığı Büyük Patlama'dan sonra bize ulaşabilecek zamanı bulabil-

miş objeleri görebiliyoruz. Dolayısıyla gözlenebilir evren tıpkı Yeryüzü'nü merkez almış bir baloncığa benzer. Ufku ise baloncğun yüzeyidir. Evren her geçen gün yaşlanır (bir gün), bu nedenle ufku da her gün biraz daha dışa doğru genişler. Böylelikle tıpkı denizde ufukta görünen gemiler gibi burada da yeni şeyler de görünür olmaya başlar.

IŞIK YILI - Evren'deki mesafeleri ifade etmek için kullanılan uygun birim. Işığın bir yılda aldığı mesafedir. 9,46 trilyon kilometre olduğu hesaplanmıştır.

IŞINLAMA - Heisenberg belirsizlik ilkesini açıkça ihlal edecek şekilde mikroskobik bir parçacığın kesin konumunu tam olarak saptamak için dolaşıklıkla akılcıca yararlanmak. Bu durum parçacığın konumunu yeniden düzenlemek için gereken bilginin uzak bir yere gönderilmesine olanak tanır.

İYON - Yörüngesinde dönen elektronlarının birinden ya da daha fazlasından kurtularak net artı elektrik yükü sahip olmuş bir atom veya molekül.

İZOTOP - Bir elementin olası formlarından biri. İzotoplar farklı kütleleriyle birbirlerinden ayrılırlar. Örneğin, klorun kütleleri 35 ve 37 olan iki kararlı izotopu bulunabilir. Bu kütle farkı, çekirdeklerindeki farklı sayıda nötrondan kaynaklanır. Örneğin, klor-35'te 18 nötron vardır. Klor-37'de ise 20 nötron bulunur. (Her ikisi de aynı sayıda protona -17-sahiptir, çünkü elementin kimliğini belirleyen bu sayıdır.)

KARA DELİK - Kütlesi büyük bir cismin kütle çekimi, onun belli bir noktaya kadar küçülmesine neden olduğunda ardında kalan büyük ölçüde çarpıtılmış uzay-zaman. Bir kara deliğin karanlığından dışarı hiçbir şey, ışık bile kaçamaz. Evrenin en az iki farklı kara delik türüne sahip olduğu görülür: yıldız boyutundaki kara delikler ve 'dev' kara delikler. Yıldız boyutundakiler, çok büyük yıldızların onları ezmeye çalışan kütle çekimini dengelemeye yetecek kadar iç ısı üretmedikleri zaman ortaya çıkarlar. Çoğu galaksinin merkezinde bir dev kara delik bulunur. Samanyolu'muzdaki Güneş'in kütesinden milyonlarca kat büyüklük ile güçlü kuasarların güneş kütlelerinden milyarlarcası büyüklük arasında herhangi bir boyuta sahip olabilirler.

KARA DELİK BİLGİ PARADOKSU - Fizik kuralları bilginin yok olmasına izin vermediği için ortaya çıkan bir güçlüktür. Bir kara delik yok olduğunda veya 'buharlaştığında' öncül yıldızı tanımlayan bilginin de sonsuza dek yok olduğu görünür. Ancak bazı fizikçiler kayıp bilginin deliğin çevresini saran membranda veya 'olay ufkunda' kodlanmış olduğuna inanırlar. Bir kara deliğin Hawking'i andıracak şekilde yok olduğu durumlarda ortaya çıkan radyasyon, sonradan bilgiyi Evren'e geri götürür.

KARA ENERJİ - İtici kütle çekimi olan gizemli 'madde.' 1998'de beklenmedik bir biçimde keşfedilmiştir. Görünmezdir ve tüm uzayı doldurur. Galaksileri birbirlerinden uzaklaştıracak şekilde iterek Evren'in genişlemesini hızlandırır.

Ne olduğu hakkında kimsenin pek fazla bilgi sahibi olduğu söylenemez.

KARA MADDE - Evren'de hiç ışık saçmayan maddelere verilen ad. Astronomlar onların var olduklarını bilirler, çünkü bu görünmez maddenin kütle çekimi görünen yıldızların ve galaksilerin uzayda uçarken izledikleri rotayı eğip bükür. Evren'de gözle görünen maddenin en az altı katı kadar Kara Madde vardır. Kara maddenin kimliği, astronominin en ön-de gelen problemlerinden biridir.

KARŞI-MADDE (anti-madde) - Karşı-parçacıkların bir araya geldiği büyük yığınlar için kullanılan bir terim. Karşı-protonlar, karşı-nötronlar ve pozitronlar bir araya gelerek karşı-atomları oluşturabilirler. Ayrıca, karşı-yıldızlar, karşı-gezegenler ve karşı-yaşam gibi olasılıkları da dışlamamız için herhangi bir ilkesel neden yoktur. Fiziğin en büyük gizemlerinden biri, fizik kuralları 50/50 madde ve karşı-madde karışımını öngörürken bizlerin neden yalnızca madde-den oluşan bir evrende yaşıyor gibi gö-ründüğümüzüdür. (Anti kelimesi, köken olarak eski Yunanca'da 'karşı' anlamına gelmektedir; Paxos adasının karşısındaki Anti-Paxos adası gibi. Bu nedenle anti-madde terimini 'karşı-madde' olarak çevrilmesinin daha doğru olduğunu düşünmekteyiz. (E.N.)

KARŞI-PARÇACIK - Atomdan küçük her parçacığın elektrik yükü gibi tamamen zıt niteliklere sahip, bağlantılı bir karşı-parçacığı vardır. Örneğin, eksi

yüklü elektron ile pozitron adı verilen artı yüklü karşı-parçacık eşleşir. Bir parçacık ve karşı-parçacık karşılaştığında kendilerini yüksek enerjili bir ışık parıltısı veya gama ışınları içinde yok eder veya 'imha ederler.'

KENDİ KENDİNE ÇOĞALAN UZAY ARAŞTIRMA ARACI - Bkz. Von Neumann Aracı.

KİMYASAL BAĞ - Moleküller oluşturmak için atomları bir arada tutan 'zamlar.' Atomların dış elektronlarının paylaşımı, bağışlanması veya ödünç alınmasını içerir.

KİMYASAL YAKIT - Karbon, petrol ya da dinamit gibi yakıtlar. Maddenin atomlarının içindeki elektronların yeminde düzenlenmesi, ısı enerjisinin serbest kalmasıyla ilgilidir.

KIZIL CÜCE - Sönmek üzere olan bir ateşin közü gibi parlayan, kütlesi Güneş'ten küçük yıldız. Güneşe komşu yıldızların yaklaşık yüzde 70'i, Güneş'in tipik bir yıldız olduğu mitini yok eden kırmızı cücelerdir. Aslında ortalama bir yıldızdan daha büyük bir kütlesi olan ve dolayısıyla daha aydınlık bir gök cisimidir.

KIRMIZIYA KAYMA - Evren'in genişlemesinden dolayı ışık enerjisinin kaybı. Bu etkiyi, bir balonun üzerine kıvrımlı bir ışık dalgası çizildikten sonra balonun şişirilmesini gözünüzde canlandırarak daha iyi anlayabilirsiniz. Çizilen dalga uzayacaktır. Kırmızı ışığın mavi

ışıktan daha uzun bir dalga boyu olduğundan dolayı astronomlar kırmızıya kaymadan söz ederler. (Kırmızıya kayan bir ışık yayan cismin bizden uzaklaştığını Doppler etkisinden dolayı biliriz. Işığın beyaz cüce gibi kompakt bir yıldızın güçlü kütle çekiminden kurtulmaya çalışırken enerji kaybettiğinde de ortaya çıkabilir. Buna kütleçekimsel kırmızıya kayma denir.)

KIZIL DEV - Özündeki enerji yaratan hidrojen yakıtını tüketmiş olan yıldız. Özün büzülerek küçülmesi, kütle çekimine karşı koyacak ısı açısından yetersiz kalmasına neden olur. Ama paradoks yaratacak biçimde yıldızın içindeki sıcaklığı artırır. Özün etrafındaki bir ateş halkasının içinde hidrojenin hiddetle yanması, yıldızın dış yüzeyinin balon gibi şişmesine ve soğuyarak donuk bir kırmızı renk almasına neden olur. Kırmızı dev -Güneş'in geleceği- genellikle Güneş'in 10 bin katı daha fazla ısı pompalar. Bunun en temel nedeni de muazzam büyüklükteki yüzey alanıdır.

KIZIL ÖTESİ - Sıcak cisimler tarafından yayılan görünmeyen bir ışık türü.

KLASİK FİZİK - Kuantum-dışı fizik. Aslında 1900 önce fiziğinin tamamıdır. Alman fizikçi Max Planck'ın ilk kez enerjinin paketler veya 'kuantalar' (enerji tanecikleri) olarak ortaya çıkabileceğini öne sürmesiyle birlikte sona ermiştir. Einstein, bu fikrin bundan önceki fizik ile tamamen uyumsuz olduğunu fark eden ilk kişi olmuştur.

KOPERNİK İLKESİ - Evren'deki konumumuzun uzay ya da zaman bakımından herhangi bir özel yanının olmadığını savunan fıkirdir. Copernicus'un Dünya'nın Güneş Sistemi'nin merkezinde özel bir konumda yer almadığını ve Güneş'in etrafında dönen gezegenlerden biri olduğunu fark etmesinin daha genelleştirilmiş halidir.

KORUNUM YASASI - Miktarın asla değişmeyeceği gerçeğini ifade eden bir fizik yasası. Örneğin, enerji korunum yasası enerjinin asla yoktan yaratılamayacağını veya varken yok edilemeyeceğini, yalnızca bir türden başka bir türe dönüştürülebileceğini ifade eder. Örneğin, petrolün kimyasal enerjisi, bir arabanın hareket enerjisine dönüştürülebilir.

KOZMİK ARDALAN RADYASYONU - Büyük Patlama esnasındaki alev topunun ardında bıraktığı ışıltama. İnanılmaz bir şekilde olayın gerçekleşmesinden 13,7 milyar yıl sonra bile tüm uzayı kaplamaktadır. —270°C sıcaklığında ılık bir mikrodalga radyasyonudur.

KOZMOLOJİ - İnceleme konusu tüm Evren'in kökeni, evrimi ve kaderi olan bilim dalı.

KOZMOS - Evren kelimesinin eş anlamlısı.

KRİTİK KÜTLE - Nükleer fisyonu bağlı bir zincir reaksiyonu tetiklemek için gereken uranyum ya da plütonyum gibi bir maddenin kütle eşiği.

KUANTUM - Bir şeyin bölünebileceği en küçük zerre. Örneğin, fotonlar elektromanyetik alanın kuantasıdır.

KUANTUM AYIRT EDİLEMEZLİĞİ - İki kuantum olayını ayırt edememek. Benzer parçacıklara sahip oldukları için ayırt edilemiyor olabilirler veya sadece olaylar gözlemlenmemiştir. Ancak önemli olan nokta, ayırt edilemez olaylarla ilgili olasılık dalgalarının birbirlerine karışmasıdır. Bu da her türlü kuantum olgusuna yol açar.

KUANTUM DALGALANMASI - Heisenberg belirsizlik ilkesinin olanak tanıdığı ölçüde uzay boşluğundan çıkan enerjinin görünümü. Genellikle enerji sanal parçacıklar formundadır.

KUANTUM ELEKTRODİNAMİĞİ - Işığın madde ile etkileşimini açıklayan teori. Gündelik dünya ile ilgili neredeyse her şeyi açıklar. Ayağımızın altındaki zeminin neden sert olduğundan lazerin nasıl işlediğine, metabolizmanın kimyasından bilgisayarların işleyişine kadar her şeyin açıklaması ondadır.

KUANTUM KOZMOLOJİSİ - Tüm Evren'e uygulanan kuantum teorisi. Evren bir zamanlar atomdan daha küçük olduğu için Büyük Patlama'da Evren'in doğumunu anlamaya çalışmak için böyle bir teori gereklidir.

KUANTUM OLASILIĞI - Mikroskobik bir olayın gerçekleşme şansı ya da olasılığı. Doğa, birtakım şeyleri kesin

olarak bilmemize engel olsa da olasılıkları kesin bir biçimde bilmemize olanak tanır.

KUANTUM ÖNGÖRÜLEMEZLİĞİ - Mikroskopik parçacıkların öngörülemezliği. Davranış, ilkesel bazda bile öngörülemez. Bunu bir para atışının öngörülemezliği ile karşılaştırın. Bu durum yalnızca pratikte öngörülemezdir. İlkesel olarak madeni paranın şeklini, uygulanan gücü, çevresindeki hava akımını ve benzeri şeyleri biliyorsak, sonucu öngörebiliriz.

KUANTUM SAYISI - Dönüş ya da bir elektronun yörüngesel enerjisi gibi parçalar halinde ortaya çıkan mikroskopik bir niteliği belirleyen sayı.

KUANTUM SÜPER-POZİSYONU - Atom gibi bir kuantum objesinin aynı anda birden fazla konumda olduğu bir durum. Örneğin, aynı anda pek çok yerde olabilir. Tüm bu kuantum tuhafluğunun temelinde yatan şey, süper-pozisyon içindeki bireysel konumların girişimi veya birbirlerine 'müdahalesidir.' Evre uyumsuzluğu bu tür bir girişimi engeller. Dolayısıyla kuantum davranışını da yok eder.

KUANTUM TEORİSİ - Aslında atomlar ve bileşenlerinden oluşan mikroskopik dünyanın teorisidir. Çoklu Dünya yorumunu destekleyenler, bunun aynı zamanda geniş çaplı dünyayı tanımladığına da inanırlar.

KUANTUM TÜNELLEME - Mikroskopik parçacıkların hapsedildikleri yerlerden kaçabilmelerini sağlayan mucizevi yetileri. Örneğin, bir alfa parçacığı kendini çekirdeğin içine hapseden bir engelden tünelleme ile kurtulabilir. Bu da bir yüksek atlamacının dört metre yüksekliğindeki bir duvardan atlaması demektir. Tünelleme, mikroskopik parçacıkların dalga benzeri karakterinin başka bir sonucudur.

KUANTUM UZAY BOŞLUĞU - Boşluğun kuantum resmi. Aslında boş olmaktan çok uzaktır. Heisenberg belirsizlik ilkesinin olanak tanıdığı ultra kısa ömürlü mikroskopik parçacıklarla dolup taşarak göz kırpması süresinde var olur ve söner.

KUIPER KEMERİ - Güneş Sistemi'nin dış çevresinde yörüngesinde dönen buzlu cisimlerden oluşan bir kemer. Onlardan on binlerce olabilir. Plüton'un en büyük Kuiper Kemerı objelerinden biri -ama en büyüğü değil- olduğu biliniyor.

KUVVET TAŞIYAN PARÇACIK - Tıpkı tenisçiler arasında bir ileri bir geri gidip gelen bir tenis topu gibi, değiş-tokuşu kuvveti yaratan atomdan küçük bir parçacık. Örneğin, fotonların değiş-tokuşu elektromanyetik kuvvettir.

KUYRUKLUYILDIZ - Bir yıldızın etrafındaki yörüngesinde dönen, küçük buzla kaplı bir cisim - genellikle birkaç kilometre uzaklıktadır. Çoğu kuyruklu yıldız, Oort Bulutu olarak bilinen dev

bir bulutun en dışında yer alan gezegenlerin ötesindeki Güneş'in etrafında döner. Tıpkı asteroidler gibi kuyruklu yıldızlar da gezegenlerin oluşumundan kalma inşaat molozlarıdır.

KÜÇÜLME HİPOTEZİ - Güneş'in sıcak kalmasının nedeninin kendisi ya-vaşça küçülürken kütleçekimsel enerjisinin sürekli ısı enerjisine dönüşmesinden kaynaklandığını savunan fikir. Bu hipotez yanlıştır.

KÜTLE - Bir cisimdeki madde miktarının ölçüsü. Kütle, enerjinin en yoğun formudur. Tek bir gram, 100 bin ton dinamit ile aynı miktarda enerjiye sahiptir.

KÜTLE SPEKTROGRAFI - Atomların -ya da daha kesin bir ifadeyle iyonların- kütlelerini karşılaştırmak için kullanılan cihaz. Bir manyetik alanın bir atomun uzayda uçarken izlediği yolu ne kadar eğip büküğünü ölçerek bunu yapar. Atomun kütlesi ne kadar büyük olursa, izlediği yol o kadar az eğilir.

LAZER - Bozonlar olarak bilinen toplu halde hareket eden fotonların doğasının ön plana çıktığı ışık kaynağı. Özellikle de bir materyalin içinden ne kadar fazla foton geçiyorsa, diğer atomların aynı niteliklere sahip başkalarını yayma olasılığı da o kadar yüksek olacaktır. Sonuç olarak uygun adım ilerleyen bir foton çığı oluşacaktır.

MANYETİK ALAN - Bir mıknatısın etrafını saran kuvvet alanı.

MAXWELL'İN ELEKTROMANYETİZMA DENKLEMLERİ - James Clerk Maxwell tarafından 1868'de yazılmış olan ve elektriksel ve manyetik her olguyu özetleyen bir dizi mükemmel denklem. Bu denklemler ışığın elektromanyetik bir dalga olduğunu ortaya çıkarırlar.

MOLEKÜL - Elektromanyetik kuvvetlerle birbirine yapışık duran atom topluluğu. Bir atom, karbon, kendini ve diğer atomları birbirine bağlayarak çok sayıda molekül oluşturabilir. Bu nedenle kimyagerler molekülleri 'organik' -karbon bazlı- ve 'inorganik' -diğerleri- olarak ikiye ayırmışlardır.

MOMENTUM - Bir cismin momentumu, onu durdurmak için ne kadar çaba gerektiğinin ölçüsüdür. Örneğin, bir tanker saatte yalnızca birkaç kilometre hızla bile gidiyor olsa, onu durdurmak saatte 200 kilometre ile giden bir Formula aracını durduraktan çok daha zor olacaktır. Tankerin daha fazla momentum olduğunu söyleyebiliriz.

MOMENTUM KORUNUMU - Momentumun hiçbir zaman yoktan yaratılamayacağını veya yok edilemeyeceği ilkesi.

MUTLAK SIFIR - Ulaşılabılır en düşük sıcaklık derecesi. Bir cisim soğurken atomları gitgide daha ağır hareket etmeye başlar. Celsius ölçeğine göre -273,15 dereceye denk gelen mutlak sıfır derecesinde ise hareketler tamamen kesilir. (Aslın-

da bu bilgi tam olarak gerçeği yansıtmamaktadır, çünkü Heisenberg belirsizlik ilkesi mutlak sıfır derecesinde bile ufak bir titreşim olduğunu göstermiştir.)

NEDENSELLİK - Bir nedeni mutlaka bir sonucun izlemesi gerektiği fikri. Nedensellik fiziğin en sevilen ilkesidir. Ancak atomların bozunumu gibi kuantum olaylarının hiçbir öncül neden olmaksızın gerçekleştikleri görülmektedir.

NEWTON'UN EVRENSSEL KÜTLEÇEKİM YASASI - Uzayda tüm cisimlerin kendi bireysel kütlelerine ve diğer cisimlerle arasındaki mesafenin ters karesine bağlı olarak ortaya çıkan bir kuvvet ile birbirlerine doğru çekildiğini öne süren fikir. Başka bir ifadeyle, eğer cisimler arasındaki mesafe iki katına çıkarsa, çekim gücü dört kat zayıf olacaktır. Üç katına çıkarsa, dokuz kat zayıf olacaktır ve benzeri. Newton'un kütleçekimi teorisi gündelik uygulamalar açısından mükemmeldir, ama yaklaşık bir tahmin olduğu görülür. Einstein, genel görelilik teorisi kapsamında bu alanda bir iyileştirme sunmuştur.

NOVA - Bir yıldızın süper-yoğun beyaz cüce olduğu yakın ikili yıldız sistemi. Diğer yıldızdan emilen madde beyaz cüceye doğru sarmal hareketlerle iner ve yeterli sayı toplandığında ısı oluşturan nükleer reaksiyonlar topluluğu ve bir patlamayı tetikleyebilir.

NÖTRİNO - Neredeyse ışık hızıyla hareket eden ve çok küçük kütlesi olan

atomdan küçük nötr bir parçacık. Nötrinolar çok nadiren maddeyle etkileşime girerler. Ancak çok sayıda olduklarında, bir yıldızı, süpernova patlaması gibi parçalara ayırabilirler.

NÖTRON - Atomların merkezinde bulunan atom çekirdeğinin iki temel yapı taşından biridir. Nötronlar aslında protonlarla aynı kütleye sahiplerdir, ama elektrik yükü taşımazlar. Çekirdeğin dışında değişkenlerdir ve yaklaşık on dakika içinde bozunurlar.

NÖTRON YILDIZI - Kendi kütle çekimi yüzünden küçülerek, maddesinin büyük bir kısmı sıkışıp nötronlara dönüşmüş bir yıldız. Tipik olarak böyle bir yıldızın boydan boya mesafesi 20 ilâ 30 kilometre arasındadır. Bir kesme şeker büyüklüğündeki nötron yıldızı maddesinin ağırlığı insan ırkının tamamının ağırlığına denktir.

NÜKLEER ENERJİ - Bir atom çekirdeğinin bozunarak başka bir atom çekirdeğine dönmesiyle birlikte salınan fazladan enerji.

NÜKLEER FÜZYON - İki hafif çekirdeğin bir araya gelerek daha ağır bir çekirdek oluşturması. Nükleer bağlayıcı enerjinin açığa çıkmasıyla sonuçlanan bir süreç. İnsanlar için en önemli füzyon süreci, Güneş'in özünde hidrojen çekirdeklerinin birbirine yapışarak helyum elde edilmesidir, çünkü güneş ışığı bunun yan ürünü olarak ortaya çıkar.

NÜKLEER İSTATİSTİKSEL DENCE - Nükleer reaksiyonların çok hızlı ve hiddetli olduğundan dolayı her çekirdeği oluşturan nükleer reaksiyonların yok eden reaksiyonlar tarafından mükemmel bir şekilde dengelenmesiyle istikrarlı bir konuma ulaşılan durumdur. Bu tür durumlarda element karışımı 'donar' - yani zamanla değişmez.

NÜKLEER REAKSİYON - Bir atom çekirdeğinin bozunarak başka bir atom çekirdeğine dönüştüren her sürece verilen ad.

NÜKLEER ZİNCİR REAKSİYONU - Uranyum-235 gibi değişken bir çekirdek bölünerek veya 'fisyona' girerek enerji ve nötronları serbest bıraktığında, daha sonra yeniden bölünen uranyum çekirdekleri daha fazla enerji ve daha fazla nötron saldıgında ve bu silsile devam ettikçe tetiklenen bir olay. Eğer bu tür bir zincir reaksiyon kontrol edilirse, sonuç olarak ortaya bir nükleer reaktör çıkacaktır. Eğer kontrolsüz kaçak bir zincir reaksiyon varsa, atom bombası ortaya çıkar.

NÜKLEON - Atom çekirdeğinin iki yapıtaşı olan proton ve nötronu kapsayan bir terim.

NÜKLEOSENTEZ - Büyük Patlama'da -Büyük Patlama nükleosentezi- ya da yıldızların içinde -yıldızlar arası nükleosentez- hafif elementlerden yavaş yavaş ağır elementlerin oluşması.

OLAY UFKU - Bir kara deliği çevreleyen tek yönlü 'membran (zar)'. Madde

ya da ışık fark etmeksizin içinden geçen hiçbir şey, bir daha dışarı çıkamaz.

OORT BULUTU - Güneş'in etrafında dönen gezegenlerden en dışta yer alanının da ötesinde bulunan yörüngesini izleyerek Güneş'in etrafında döndüğü düşünülen kuyruklu yıldız bulutu. Tahminlere göre içinde 100 milyar kuyruklu yıldız vardır.

ÖZEL GÖRELİLİK TEORİSİ - Einstein'ın bir insanın kendisine kıyasla sabit bir hızda hareket eden başka bir insana baktığında gördüğünü ilişkilendiren teorisi. Birçok şeyin yanı sıra hareket eden kişinin kendi hareket yönünde küçülmüş gibi görüldüğünü ortaya çıkarmıştır. Işık hızına yaklaşırken, zaman yavaşlaması gibi etkiler daha belirgin olurlar.

PANSPERMIA - Yaşam tohumlarının gezegen sisteminden gezegen sistemine yayıldığını ve dolayısıyla Dünya üzerindeki yaşamın 'tohumlarının' yıldızlarda atılmış olduğunu savunan düşünce.

PARLAKLIK (LUMİNOSİTY) - Bir yıldız gibi bir gök cismi tarafından her saniye uzaya pompalanan ışığın miktarı.

PAULI DIŞARLAMA İLKESİ - İki mikroskobik parçacığın (fermionlar) aynı kuantum konumunu paylaşmasına getirilen engel. Pauli dışarlama ilkesi, fermionlar olan elektronların birbirlerinin üzerine yığılmasını engeller. Sonuç olarak farklı atomların varlığını ve çevremizdeki dünyanın çeşitliliğini açıklar.

PLANCK ENERJİSİ - kütleçekiminin doğanın diğer temel kuvvetleriyle kıyaslanabilir bir güce sahip olduğu süper-yüksek enerji.

PLANCK SICAKLIĞI - kütleçekiminin doğanın diğer temel kuvvetleriyle kıyaslanabilir bir güce sahip olduğu Planck enerjisi seviyesine denk gelen süper-sıcak sıcaklık derecesi.

PLANCK UZUNLUĞU - kütleçekiminin doğanın diğer temel kuvvetleriyle kıyaslanabilir bir güce sahip olduğu son derece küçük uzunluk skalası. Planck uzunluğu bir atomdan bir trilyon trilyon kat daha küçüktür. Planck enerjisine tekabül eder. Maddenin dalga doğasından dolayı küçük uzaklıklar yüksek enerjilerle benzerdir.

PLAZMA - İyonlar ve elektronlardan oluşan elektrik yüklü gaz.

PLÜTON - Yakın bir döneme kadar en dışta yer alan gezegendi. Artık rütbesi indirilerek 'cüce gezegen' konumuna gelmiştir. Güneş Sistemi'nin dışında Kuiper Kemerı objeleri olarak bilinen on binlerce buzlu cisimden biri olduğu düşünülmür.

PLÜTONYUM - Element 94. İnsan yapımı bu elementin çekirdeği nükleer fisyonu girebilir ve bir zincir reaksiyon oluşturarak büyük miktarda nükleer enerjinin açığa çıkmasına neden olabilir. Dolayısıyla bir atom bombası da oluşturabilir.

POPÜLASYON 1 YILDIZI - Samanyolu'nun sarmal kollarında bulunan sıcak, mavi yıldızlardır. Popülasyon 1 yıldızları genç ve ağır elementler bakımından nispeten zenginlerdir.

POPÜLASYON 2 YILDIZI - Samanyolu'nun merkezinde bulunan soğuk, kırmızı yıldızlardır. Popülasyon 2 yıldızları yaşlı ve ağır elementler bakımından nispeten fakirlerdir.

POZİTRON - Elektronun karşı-parçacığı.

PRİZMA - Sıkıştırılmış cam veya daha yoğun başka bir şeffaf araç. Böyle bir aracın içinde farklı renklerin ışığı daha farklı hızlarda hareket edeceği için bir prizmadan geçen beyaz ışığın renkleri gökkuşağı gibi geniş bir spektrumda yayılır.

PROTON - Çekirdeğin iki temel yapıtaşından biri. Protonlar, elektronlar ile aynı seviyede ama zıt olarak artı elektrik yükü taşırlar.

PROTON-PROTON ZİNCİRİ - Güneş'in kütlelerinin yaklaşık bir buçuk katı büyüklüğündeki yıldızların hidrojeni helyuma dönüştürdükleri nükleer reaksiyonlar zinciri.

RADYOAKTİF BOZUNUM - Değişken ağır atomların bozunarak daha hafif ve daha kararlı atomlara dönüşmesi. Bu süreçte alfa parçacıklarının, beta parçacıklarının ya da gama ışınlarının yayınımlı eşlik eder.

RADYOAKTİF TARİHLEME - Bir taşın tarihini belirlemek için uranyum gibi bir elementin radyoaktif bozunmasından yararlanmak. Pratikte değişken uranyum en sonunda bozunarak kararlı kurşuna dönüşür. Bu nedenle zaman geçtikçe kurşunun uranyuma oranı artar ve bu da maddeyi tarihlemek için kullanılabilir.

RADYOAKTİVİTE - Radyoaktif parçalanma yaşayan atomların niteliği.

RADYUM - 1989'de Marie Curie tarafından keşfedilmiş son derece değişken veya radyoaktif bir element.

SAMANYOLU - Güneş sistemimizin yer aldığı Galaksimiz.

SCHRÖDINGER DENKLEMİ - Bir parçacığın zaman içindeki değişimini betimleyen bir olasılık dalgasını veya dalga fonksiyonunu çözmekte kullanılan difransiyel denklem.

SEFE (CEPHEID) DEĞİŞKENİ - Periyodik olarak şişen ve büzülen çok parlak bir sarı yıldız. Titreşim periyodu, yıldızın içsel aydınlatma gücü ile ilgilidir. Sefe'nin gözlemlendiği dönem gerçek parlaklığını yansıtır. Görünen parlaklığı ile yapılan kıyaslama, mesafesini belli eder. Sefe'ler Andromeda gibi yakın galaksilere olan uzaklığın ölçümünde önemli bir role sahip olmuşlardır.

SETI - Search for Extraterrestrial Intelligence - Dünya-dışı Zekâ Arayışı. Araştırmaların çoğu, diğer yıldızlardan gelen radyo sinyallerini araştırır. Ancak

bunun yanı sıra optik araştırmalar da yapılır.

SICAKLIK DERECEŚİ - Bir cismin sıcaklık derecesi. Onu oluşturan parçacıkların hareketiyle ilintilidir.

SİCİM TEORİSİ - Bkz. Süper-sicim teorisi.

SİLİKON YAKIŞI - Büyük bir yıldızın silikon yapmasının ardından gelen hızlı ve şiddetli element-oluşumu reaksiyonları zinciri. Yalnız bir gün içinde, normal yıldızlar arası nükleer reaksiyonların son noktası olarak silikonu nikel ve demire dönüştürürler. Ondan sonra yıldız felaketin eşiğine gelir ve bir süpernova olarak patlamaya hazırlanır.

SOLUCAN DELİĞİ - Geniş alanlı bölgeler arasındaki bağlantıyı sağlayan ve kısa yol oluşturan uzay-zaman arasından geçen tünel. Einstein'ın kütleçekimi teorisine göre var olmasına olanak tanımmasına rağmen solucan deliği değişikdir ve itici kütle çekimine sahip bir madde türü tarafından açık tutulmazsa saniyenin yarısı kadar kısa bir zamanda pat diye kapanabilir. Hiç kimse aykırı bir solucan deliği oluşturmak için gereken miktarlarda 'egzotik maddenin' var olup olmadığını bilmiyor.

SON SAÇILMA DÖNEMİ - Büyük Patlama alev topunun elektronların ve çekirdeklerin bir araya gelerek ilk atomları oluşturmaya yetecek kadar soğuduğu Evren'in başlangıcından yaklaşık 380 bin yıl sonraki dönemdir. Serbest elektronlar

fotonların yeniden yönlendirilmesi veya 'saçılması' açısından çok iyi oldukları için bu zamandan önce ışık düz bir hat boyunca ilerleyemiyordu ve Evren ışık geçirmez bir haldeydi. Elektronlar atomlar tarafından silinip süpürüldükten sonra, fotonların engelle karşılaşmadan dümdüz ilerlemesi mümkün oldu ve Evren şeffaf bir hal aldı. Günümüzde kozmik ardaalan ışıması olarak geçtiğimiz 13.7 milyar yıl boyunca Evren'in genişlemesiyle büyük ölçüde soğuyan bu dönemden kalma fotonları alıyoruz.

SPEKTRAL ÇİZGİ - Atomlar ve moleküller karakteristik dalga boylarında ışığı emer ve yayarlar. Eğer yadıklarından fazla ışık yutarlarsa, bunun sonucunda gökyüzüne ait bir objenin spektrumu içinde karanlık bir çizgi çıkar. Tam tersi bir durum gerçekleşir de yuttuklarından daha fazlasını yayarlarsa parlak bir çizgi oluşur.

SPEKTRUM - Işığın bileşenleri olan 'gökkuşağı' renklerine ayrılması.

SPIN - Gündelik yaşamda benzeri olmayan bir nicelik. Aşağı yukarı şöyle denebilir: spine sahip atom-altı parçacıklar, dönen minik topaclar gibi davranırlar (ama aslında dönmezler).

SÜPER kuvvet - Büyük Patlama sonrasında Evren soğurken 'donan' doğanın dört temel kuvvetinden her birinin var-sayımsal gücü.

SÜPER-SİCİM TEORİSİ - Evren'in temel malzemelerinin maddenin minik sicimleri olduğunu kabul eden teori. Bu

sicimler on boyutlu bir uzay-zamanda titreşirler. Bu fikrin en önemli yararı, kuantum teorisi ile genel görelilik teorisini birleştirebilecek veya 'bütünleştirecek' kapasiteye sahip olabilmesidir.

SÜPERNOVA - Bir yıldızın afetsi patlaması. Bir süpernova, 100 milyar sıradan yıldızdan oluşan bir galaksinin ışığını kısa bir süreliğine bastıracak parlaklığa sahiptir. Arkasında son derece sıkıştırılmış bir nötron yıldızı bıraktığı düşünülür.

ŞİŞME (ENFLASYON) TEORİSİ - Evren'in yaratılışının ilk yarım saniyesinde inanılmaz hızlı bir genişleme yaşadığı fikri. Bir bakıma şişme, geleneksel Büyük Patlama'dan önce gerçekleşmiştir. Eğer Büyük Patlama bir el bombasının patlamasına benzetilecek olursa, şişme de hidrojen bombasının patlamasına benzetilebilir. Şişme, Büyük Patlama teorisinin ufuk problemi gibi birtakım problemlerini çözer.

TAM GÜNEŞ TUTULMASI - Ay'ın Dünya ile Güneş arasından geçerken Güneş'i Ay'ın yuvarlağı kadar kapatması.

TARAMA TÜNELLEME MİKROSKOBU (TTM) - Cihazın hassas iğnesi bir materyalin yüzeyinde gezdirilir ve atomların üzerinden geçen iğnenin yukarı-ve-aşağı hareketleri maddenin atomik manzarasını gösteren bir resim oluşturur.

TEMEL KUVVET - Tüm olayların altında yattığına inanılan dört temel kuvvetten her biri. Bu dört temel kuv-

vet kütleçekim kuvveti, elektromanyetik kuvvet, yeğın kuvvet ve zayıf kuvvettir. Fizikçiler arasındaki kuvvetli şüphe ise bu kuvvetlerin aslında tek bir süper kuvvetin değişik yönleri olduğudur. Aslında yapılan deneyler elektromanyetik ve zayıf kuvvetlerin aynı madeni paranın farklı yüzeyleri olduğunu çoktan ortaya koymuşlardır.

TEMEL PARÇACIK - Her madde- nin temel yapı taşlarından biri. Günümüzde fizikçiler altı farklı kuark ve altı farklı leptondan oluşan toplam 12 temel parçacık olduğunu düşünüyorlar. Kuarkların yalnızca leptonların farklı yüzleri çıkması ümit ediliyor.

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASI - Dağınının asla azalamayacağını belirten hükümdür. Sıcaklığın asla soğuk bir cisimden sıcak bir bedene akamayacağını söylemekle aynı anlama gelir.

TÜNELLEME, KUANTUM - Bkz. Kuantum Tünellemesi.

UFUK - Bkz. Işık ufku, Kozmik

UFUK PROBLEMİ - Evren'in Büyük Patlama sırasında bile birbirleriyle temas edemeyecek kadar ücra bölümlerinin yoğunluk ve sıcaklık derecesi gibi neredeyse benzer niteliklere sahip olduğu gerçeğinden doğan problem. Teknik olarak onlar her zaman birbirlerinin ufkunun ötesindedirler. Şişme teorisi, bu bölgelerin Büyük Patlama sırasında temas halinde olmalarına ve böylelikle potansiyel olarak ufuk problemini çözebilmelerine olanak tanır.

ULTRAVİYOLE - Çok sıcak cisimlerin yaydığı görünmez bir ışık türü.

URANYUM - Doğal elementlerin en ağırı.

URANYUM-235 - Nükleer fisyon geçirmiş ve önemli miktarda enerjinin serbest kalmasına neden olan kaçak bir zincir reaksiyonu destekleyebilen uranyumun izotopu. Atom bombası yapılır.

UZAY BOŞLUĞU, KUANTUM - Bkz. Kuantum Uzak Boşluğu.

UZAY-ZAMAN - Genel görelilik teorisinde uzak ve zaman aslında aynı şey olarak görülür. Dolayısıyla tek bir varlık -uzay-zaman- gibi davranılır.Kütleçekim olarak ortaya çıkan şey uzak-zaman bükülmesidir.

ÜÇLÜ ALFA SÜRECİ - Yıldızların üç helyum çekirdeğini bir karbon çekirdeğinin içinde kaynak yaptığı olasılığı düşük süreç. Tüm ağır elementlerin oluşumuna giden yolu açar.

VAHŞİ SAVAŞÇI - Yaşamı yok etmeye kararlı kötücül uzaylı robotlar. Bu tür makineler, bilim kurgu yazarı Fred Saberhagen'in pek çok romanında yer almışlardır.

VON NEUMANN ARACI - Bir yıldız gemisi ile zeki bir fabrika arasında bir şey. Böyle bir araç hedef gezegen sistemine ulaşacak ve oradaki kaynakları kullanarak kendinden iki kopya yaratacaktır. Bu tür araçlar bu şekilde Galak-

si'deki her yıldız oldukça kısa bir süre içinde gezebilirler.

WOW! SİNYALİ - 15 Ağustos 1977'de Ohio Eyaleti'nin 'Büyük Kulak' radyo teleskobu tarafından alınan 37 saniyelik sinyal. Astronom Jerry Ehman bu ölçek dışı kalemli kaydedicinin izini gördüğünde aceleyle bir kâğıda 'Wow!' mesajını not etmiştir. Ondan sonra bugüne kadar bir daha tekrarlamamıştır ve Büyük Kulak'ın gerçek bir uzaylı yayını yakalayıp yakalamadığını da kimse bilmemektedir.

X-IŞINI - Yüksek enerjili ışık türü.

YARI ÖMÜR - Bir radyoaktif numunedeki çekirdeklerin yarısının bozunması için gereken zaman. Bir yarı ömür sonra atomların yarısı kalacaktır; iki yarı ömür sonra dörtte biri; üç taneden sonra sekizde biri; ve böyle sürüp gider. Yarı ömürler bir saniyenin yarısı ile milyarlarca yıl arasında herhangi bir sür eolabilir.

YEGİN NÜKLEER kuvvet - Bir atom çekirdeğinde protonları ve nötronları bir arada tutan kısa vadeli kuvvetli kuvvet.

YERÇEKİMİ - Bkz. Kütleçekimsel kuvvet.

YERÇEKİMSEL DALGA - Uzay-zaman boyunca yayılan dairesi dalga. Kütleçekimsel dalgalar kara deliklerin birleşmesi gibi şiddetli kütle hareketleri sayesinde oluşurlar. Zayıf oldukları için henüz doğrudan saptanmamışlardır.

YERÇEKİMSEL kuvvet - Doğanın dört temel kuvvetinin en zayıfıdır. Kütleçekimi, Newton'un evrensel Kütleçekimi yasası ile yaklaşık olarak açıklanmıştır, ama Einstein'ın Kütleçekimi yasası -genel görelilik teorisi- daha kapsamlı bir açıklama sunar. Genel görelilik, bir kara deliğin merkezindeki eşsizliği ve Evren'in doğumundaki fevkaladelikliğini yansıtmaktadır. Fizikçiler artık Kütleçekimi için daha iyi bir tanımlama arayışı içindeler. Çoktan kuantum Kütleçekimi adını alan bu teori, graviton adı verilen parçacıkların değiş-tokuşu açısından Kütleçekimini açıklayacaktır.

YERÇEKİMSEL POTANSİYEL ENERJİ - Bir kütlenin Kütleçekimsel alanındaki konumu itibariyle sahip olduğu enerji. Örneğin, çatıdaki gevşek bir kiremitin potansiyel enerjisi yerdekinden daha fazladır. Eğer yere düşerse, potansiyel enerji başka enerji türlerine-ilk etapta hareket enerjisine- dönüşecektir.

YERELLİĞİN OLMAYIŞI - Kuantum teorisine tabi objelerin aralarında uzak bir mesafe olması durumunda bile ürkütücü bir şekilde birbirlerinin konumunu 'bilmeye' devam edebilme yetileri.

YILDIZ - Özünde yaratılan nükleer enerji ile uzaya saldıgı ısıyı yeniden yerine koyan dev gaz topu.

YILDIZLAR ARASI GEZEĞEN - Yıldızlar arası uzayın derin dondurucusunda tek başına dolanan varsayımsal gezegen. Böyle gezegenler, gezegen olu-

şumu sürecinde yıldızların civarından çıkmışlardır.

YILDIZLAR ARASI İLETİŞİM - Yıldızların arasında süzülen seyrek gaz ve toz bulutu. Güneş'in yakınlarında bu gaz her üç santimetreküpte yaklaşık bir hidrojen atomundan meydana gelir. Bu da onu Yeryüzü'ndeki ulaşılabilir herhangi bir şeyden çok daha iyi bir uzay boşluğu yapar.

YILDIZLAR ARASI PIRILTI - Göz kıpar gibi parıldamanın yıldızlar arası dengi. Tıpkı atmosferdeki türbülansın etkilenen yıldız ışığı gibi dünyevi objektlerden gelen radyo dalgaları da yıldızlar arası iletişimin türbülansından etkilenir. Bu da radyo sinyalinin parlaklığında dalgalanmalara yol açabilir.

YILDIZLAR ARASI UZAY - Yıldızların arasındaki uzay.

YOĞUNLUK - Bir objenin kütlesinin hacmine bölünmesiyle çıkan değer. Havanın yoğunluğu düşüktür, ama demirinki yüksektir.

YOUNG'IN ÇİFT-YARIK DENEYİ - Tek bir rengin ışığının üzerinde birbirine yakın iki dikey yarık olan ışık geçirmez bir ekrana yansıtıldığı deney. Ekranın uzak bir köşesinde her yarıktan geçen dairesel ışık dalgaları ortaya çıkar ve birbirleriyle çakışırlar. Tepe noktalarının çakıştığı yerde dalgalar birbirini pekiştirerek parlaklığı artırır. Bir dairesel dalga dizisinin tepe noktaları, diğerinin dalga çukurları ile çakışıyorsa dalgalar birbirini yok ederek karanlık bölgeler yaratırlar. Bu 'girişim' görüntüsü -art arda gelen karanlık ve aydınlık şeritler serisi- ışığın izlediği yolun arasına yerleştirilen beyaz bir ekran üzerinde görülebilir. Ortaya çıkan görüntü, bir dalganın tanımlayıcı özelliği olup ilk kez 1801'de Thomas Young tarafından görülmüştür.

ZAYIF NÜKLEER kuvvet - Bir atom çekirdeğinde bulunan protonlar ve nötronların yaşadığı ikinci kuvvet. Diğer yegın nükleer kuvvettir. Zayıf nükleer kuvvet, bir nötronu protona dönüştürebilir ve dolayısıyla beta bozunması sürecinde yer alır.

ZİNCİR REAKSİYONU - Bkz. Nükleer Zincir Reaksiyon.

Dizin

A

A Space Odyssey: 2001 (film), 189
açısal momentumun korunması 26
Adams, Douglas 138
akrasyon (büyüme) 212
alfa bozunumu 227
alfa parçacıkları 37-40, 108
 üçlü alfa süreci 101
Alpher, Ralph 143
alüminyum 58
Anaxagoras 77
Andromeda 122, 227, 244
anında etki 16
Aspect, Alain 30
Aston, Francis 85-91, 104, 118, 127
Atkinson, Robert 94-97, 211
atomlar 7, 12, 33-48, 57-60, 69-76, 85,
 86, 92, 129, 160, 163, 190
 etimolojik kökeni 7
 ilk olarak ortaya çıkması 92, 180
 ve ışık 7,9,11
 yapısı ve içeriği 4,8, 9,82
 çekirdek 38, 86
atomların varlığının ispatı 8
ay 146, 197, 198, 215, 218

B

Baade, Walter 121, 122, 125, 213
Becquerel, Henri 37, 84
berilyum 104, 109, 110, 114, 115

beta bozunumu 214
Beta ışınları 37
Betelgeuse 107
Bethe, Hans 97, 98
bilgi 23, 29, 30, 48, 57, 63, 66, 97, 174-
 181, 200, 221-223, 236, 241
 artışı 181
 korunumu 48, 176, 178
 temel bir potansiyel 'şey' olarak 176
 ve dağınım 182
bilimsel işaret sistemibilimsel işaret
 sistemi 207
Binnig, Gerd 8
birleşme kuramları 175
bisiklet pompası 93, 106
Blake, William ix
Bohr, Niels 16, 43, 44, 123, 124, 209
Boltzmann beyinleri 162
Boltzmann, Ludwig 159, 221
bor 103
boşluk (vakum) 181, 223
boylam 56, 208
Boyle, Robert 34
Boyle yasası 34, 228
boyutlar 18, 107, 115, 195, 224, 228
 ek boyutlar 195
bozonlar 240
Bradley, James 216
Brin, David 196, 225
Broglie, Louis de 44, 45, 46, 48, 54, 207
Brown hareketi 160

BROWN HAREKETİ 229

Bruno, Giordano 188

'Büyük Kulak' teleskobu 187, 247

buhar makineleri

Büyük Patlama xi, xii, 105-108, 121-126, 137-144, 167-171, 176-180, elementlerin oluşumu 105-116, 126 ışıltama xi, xii, 31, 105, 106, 108, 141, 147-151, 168

kozmetik aralan ışıması 141

şişme (enfilyasyon) kuramı 126, 246

süreci 137, 147

büzülme hipotezi 80

C

California Institute of Technology (Caltech) 111

Carroll, Lewis 219

Carter, Brandon 198, 225

Chadwick, James 96, 97

Chaitin, Gregory 173

Clarke, Arthur C. 145, 183, 186, 188, 191, 192

CNO döngüsü 229

Compton, Arthur 4, 5, 19, 44, 205

Compton etkisi 4, 44

Comte, Auguste 103

Copernicus, Nicolaus 168, 196, 238

CP ihlali 219

Critchfield, Charles 98

Curie, Marie 37, 84, 244

Curie, Pierre 84

Ç

çekirdek sentezi 118, 214

D

dağınım (entropi) 182

dalgalar fonksiyonu 22, 230

dalgalar fonksiyonudalgalar-parçacık ikiliği 22, 230

dalgalar 4, 17, 18, 21, 22, 23, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 50, 54, 62, 64, 247, 248

kuantum dalgaları 22, 23, 154

kütleçekim dalgaları 191

madde dalgaları 44, 46

olasılık dalgaları 63

Darwin, Charles 82, 168, 196

Davisson, Clinton 44, 45, 46

demir 89, 90, 92, 103, 104, 117-120, 126-129, 214, 215

demir meteorları 214

Demokritos 7

dinamo 43, 70

Dirac, Paul 223

disk sürücüler 70

DNA 59, 102

dolaşıklık 230

dönme simetrisi 26

döteryum 98, 99, 212

durgun kütle 208

dünya dışı canlılar, uzaylılar

gelen radyo sinyalleri 187

genel bakış 183

olası iletişim yöntemleri 190

olası yerleri 188

tanımanın olası olanaksızlığı 185

UFO gözlemleri 184, 186

var olmayışlarının olası nedenleri 189

dünyadaki çeşitlilik 59, 71

dünyanın katılığı

Dyson, Freeman xiii, 101

E

- Eddington, Arthur 90, 91, 92, 93, 94, 105, 107, 108
- Ehman, Jerry 187, 225, 247
- Einstein xii, 6, 7, 14, 16, 25, 30, 35, 44, 60, 83, 86-91, 147-149, 160, 174, 178, 182, 195
- görelilik 6, 7, 16, 28, 60, 86, 147, 178, 195, 205, 216, 235, 241, 245, 246, 248
- kuantum kuramı 212, 218, 223
- kütle-enerji 13
- kütleçekim üzerine 147-149
- madde dalgalarımadde dalgaları 44, 46
- şans üzerine 174
- yerelliğin olmayışı 29
- elektrik yükü 42, 96, 118, 206, 214, 231, 237, 242, 244
- elektromanyetizma 41
- elektronlar xi, 6, 19, 37, 40, 44, 47, 48, 51, 54-63, 68, 70, 72, 97, 123, 169
- ayırt edilememe özelliği xi, 62
- beta ışınları 37
- dalga gibi davranış 61, 62
- dünyadaki çeşitlilik 59, 71
- parçacık olarak 47
- pozitronlar 236
- spin xii, 26, 30, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 181, 209
- ve ışık xii, 26
- ve miknatis
- elementler,
- ağırlıkları ve bolluk oranları 91, 92
- en bol bulunan
- içeriği 35, 57
- oluşumları ve evrendeki dağılımları 86, 89, 105-116, 120
- Peryodik tablo 36, 58
- Eliot, T. S 166
- enerji 6, 13, 20, 25, 60, 75, 81-91, 94, 100, 110-115, 122, 123, 137-140, 164, 175, 189, 190
- ısı enerjisi ve dağınım (entropi) 163, 165, 220
- Kara enerji 162, 207, 223
- korunum yasası 238
- kütle-enerji 13
- nükleer enerji 88, 123
- enflasyon (şişme) 246
- enlem 56, 208
- erik pudingi modeli 40
- ERİK PUDİNGİ MODELİ 231
- Evans, Rob 53
- Evren,
- bkz Büyük Patlama
- boyut 137-138, 177
- çoklu evrenler 114-115
- erken tarih 146-147
- genişleme 105-106, 137-138
- gözlem 137
- hesaplamalara dayalı (bilişimsel) 201-203
- ısı ölümü 166
- ışık kaynakları 142
- karmaşıklık 53-61
- kuantumdan kuantum-dışı duruma geçiş 145-147
- oluşum 102-103
- sonlu evren 133-134
- şişme kuramı (enflasyon) 151, 152
- temel bileşenleri 91-93
- yaşı 105, 137
- evre uyumlu 154
- evre uyumsuzluğu (decoherence) 154, 181, 232

F

fazlar 64
 Faraday, Michael 42
 Fermi, Enrico 184, 232
 fermiyonlar 67, 69, 243
 Feynman, Richard 33, 53, 103, 210, 229
 fisyon
 nükleer fisyon 123, 124
 fotoelektrik etki 19, 44
 fotonlar , 21, 22, 26, 27, 28, 44, 48, 167,
 168, 181, 219, 232, 238
 Büyük Patlamadaki fotonlar 167-169
 davranışı xii, 6, 13-20, 26-28
 kızılaltı 219
 kütlesinin olmayışı 208
 ve elektromanyetizma 218
 ve Kara Madde 220
 yerelliğin-olmayışı 29-30
 fotoseller 6
 Fowler, Willy 111, 112, 113, 114
 Franck, James 71
 Frisch, Otto 126
 Fuller, Buckminster 183
 füzyon 91, 94, 97, 224, 242
 nükleer füzyon 232

G

gaz basıncı 34-35
 Galileo Galilei 134, 205, 210
 gama ışınları 128, 129, 237
 Gamow, Georg 97, 105, 106, 108, 126,
 143, 210, 212
 gece
 karanlık 133-141
 Geiger, Hans 37, 39
 Germer, Lester 44, 46

girişim 18-24, 44-50, 206, 208
 girişim çizgileri 18-19, 21-22
 Goldschmidt, Victor 102
 Goudsmit, Samuel 209
 görelilik 60
 gözlem 84, 88, 228
 Boltzmann beyinleri 84, 88, 228
 Guth, Alan 151
 Güneş,
 ağırlık 76
 büzülme hipotezi 81-82
 güneş ışığı ve işlevleri 167
 ısı kaynağı 75-109
 meteor hipotezi 78-79
 parlaklık 134 - 135
 sıcaklık 94
 uzun ömürlülük 140-141
 ve element oluşumu 105, 107-108
 ve nükleer enerji 89-100
 verim 99
 yaşı 82, 100
 yıllık ısı üretimi 78

H

Hahn, Otto 123
 hareket: Newton yasaları 158
 Harrison, Edward xiii, 136, 139, 217
 Hartle, James 148, 149, 151, 153, 218
 Hart, Michael 193, 225
 Hawking, Stephen xii, xiii, 148, 198,
 218, 222
 Hawking radyasyonu 222
 hayvanat bahçesi hipotezi 233
 Heisenberg belirsizlik ilkesi 47-48,
 62-63
 Heisenberg, Werner 10, 47, 51
 Helmholtz, Hermann von 81, 82

helyum ,
 atom yapısı 57, 86, 94
 element oluşumu 105-116
 hidrojen füzyonu 94-100
 ışıınım (radyoaktivite) 37-38
 oluşumu 211
 üçlü alfa süreci 108
 Herman, Robert 143
 Herschel, John 75, 78, 79, 96, 210
 Hertog, Thomas 149, 151, 218
 Hertz, Heinrich 42
 hidrojen
 ağır hidrojen bkz döteryum
 atom yapısı 57, 86
 füzyon 90-100
 Hooft, Gerard t' 206
 Holmdel radyasyonu 142
 Houtermans, Fritz 94-97
 Hoyle, Fred 106, 121, 199, 215
 Hsu, Stephen xiii, 174, 178-182
 Hubble, Edwin 105
 Hubble küreleri 153
 Huygens, Christian 17

I

ısı,
 Güneş'in ısı kaynağı 75-100
 ısı enerjisi ve dağınım 163-165
 kaynağı 75-72
 ve kuantta 7
 ısı ölümü 234
 ışık,
 dalga boyu 19
 dalga kuramı 17-20
 dalga-parçacık kuramı 3-11, 13-16,
 19-24, 25-32
 elektromanyetik dalga olarak 41-42

farklı renkler 18
 gece karanlığı 133-141
 hızı 215-216
 kırmızıya kayma 216
 yıldız ışığı 133-141
 yıldız ışığı 141, 248
 ışık ufku 137
 kozmik ışık 137
 ufuk 137
 ışık yılı 137

İ

ikili 234
 ince yapı sabiti 61
 insani ilke 112-113
 istatistiksel nükleer denge 125-126
 iyonlar 85

J

J.J. Thomson 4, 36, 43, 44
 John, Elton 197
 Jung, Carl 72
 Jupiter 134

K

kabuklar 59
 kalsiyum 54, 58, 59
 kara delikler 236
 Kara Enerji 162, 207, 223
 Kara Madde 194, 236
 karbon 59, 101-103, 109-116
 karşı-parçacıklar 236
 Kellogg Radiation Laboratory 11
 Kelvin, William Thomson, Lord
 Kepler, Johannes 133, 134, 135, 136,
 138, 139, 140

kırınım 46, 206
 kırmızıya kayma 216
 kızıl cüceler 140
 Kızıl devler 212
 kimyasal yakıt 237
 Kirchoff, Gustav 103
 klor 59, 207, 236
 kobalt 119, 128, 214
 Konopinski, Emil 184
 konum ve momentum 47-52
 korunum yasaları 25
 kozmik aralan ışıması 141, 245
 kozmik ışık ufku 137
 kuanta 6, 206
 kuantum dalgaları 22, 23, 154
 kuantum kozmoloji kuramı
 kuantum kuramı 212, 223
 kuantum üst üste binme durumları
 (kuantum süperpozisyon) 23
 neden dünya kuantum-dışı görünüyor
 212
 sınırları 212
 kuantum öngörülemezliği 14-17, 28-30,
 148
 kuantum sayıları 56, 57
 kuantum tünelleme 95, 246
 kuarklar 9, 72, 84
 Kuarklar 246
 Kubrick, Stanley 188
 Kuiper Belt 224
 kütleçekim 60, 80, 216, 217, 218, 246
 kütleçekim enerjisi 60
 kütle-enerji 13
 kütle spektrografi 85, 86, 87

L

Laborde, Albert 84, 85

Lavoisier, Antoine 35
 Lazerler 229
 Lazio, Joseph 187, 225
 Leibniz, Gottfried 221
 Leno, Jay 195
 lityum 86, 103, 220
 Lyttleton, Ray 107, 108

M

Macellan Bulutları 128
 madde dalgaları 126
 magnezyum 58, 119, 214
 Magueijo, João 151
 Marconi, Guglielmo 42
 Mars 146, 197, 198, 199
 Marsden, Ernest 39
 Mattauch, Josef 126
 Maxwell, James Clerk 240
 Mayer, Julius 78, 79, 80, 81
 McAleer, Neil 191
 Mears, Ray 9
 megaelectronvolts (MeV) 111
 Mendeleev, Dimitri 36, 58
 Miller, Stanley 225
 Mitchell, Adrian xiii, 33, 51, 208
 Mount Wilson Observatory 121

N

Neumann, John von 224
 Newton, Isaac 12, 14, 17, 146, 158, 159,
 163, 177, 219, 227, 233, 241, 247
 nikel 89, 90, 104, 119, 128, 129, 214
 nitrojen 98, 103
 Noether, Emmy 25
 nova 122
 nötrinolar 241

nötronlar 242
 nükleer bomba 123
 Nükleer Enerji,
 güneşte 88-100
 süreci 84, 88
 nükleer füzyon 232
 nükleer kararlılık vadisi 104
 nükleer santraller

O

oksijen 77, 98, 103, 113-115, 118-120,
 128
 olasılık dalgaları 63
 olay ufku 222
 Olbers, Heinrich 136, 140
 Olber paradoksu 136
 Oort Bulutu 189

Ö

öngörülebilirliğin öngörülemez oluşu
 25-26
 bkz kuantum öngörülemezliği

P

panspermia 199, 200
 paralel gerçeklik 208
 parçacıklar
 anında etki 25-33
 aynı anda iki yerde olmak 23-25
 bkz alfa parçacıkları; elektronlar;
 nötrinolar; nötronlar; fotonlar; pozit-
 ronlar; protonlar;kuarklar
 dalga gibi davranmak 44-47
 doğadaki en temel parçacık 72
 konum ve momentum 47-52
 Pauli dışarlama etkisi 60- 61, 67-72

Pauli etkisi 71
 Pauli, Wolfgang 60,-61, 67-72
 Payne, Cecilia 91, 92, 103, 211
 pencereden yansıma 17
 Penrose, Roger 220
 Penzias, Arno 220
 Pérignon, Dom 117
 Perrin, Jean Baptiste 160
 periyodik tablo
 Planck, Max 7, 175, 206, 238, 243
 Planck sıcaklığı 175
 Planck uzunluğu 243
 plazma 243
 Plüto, 189,197
 plütonyum 124, 125, 238
 Podolsky, Boris 16, 25, 28
 Poe, Edgar Allan xi, 133, 138
 polonyum 37, 84
 potasyum 58
 Pouillet, Claude 78, 79, 96
 pozitronlar 236
 protonlar,
 içeriği 72
 nükleer yapı taşları olarak 72, 244
 proton-proton zinciri 96-97
 ve hidrojen füzyonu 94
 Prout, William 35, 36, 207
 pulsarlar 187

R

radyo 42
 radyoaktif bozunum 83
 bkz yarı yaşam süresi
 radyoaktif tarihleme 83, 84
 radyum 37-38, 58, 82
 Rogers, Will 157
 Rohrer, Heinrich 8

Rosen, Nathan 16, 25, 28
 Röemer, Ole Christensen 215, 216
 Russell, Henry Norris 92
 Rutherford, Ernest 37, 38, 39, 40, 41,
 42, 43, 56, 82, 83, 85, 88, 93, 207
 ve güneş enerjisi 84-85, 88
 ve protonlar 94
 ve radyoaktif tarihleme 83-84
 ve radyoaktivite 37-41
 Ryle, Sir Martin 194

S

Saberhagen, Fred 194, 247
 Sagan, Carl 186, 191, 225
 Salpeter, Ed 108, 109
 Sandage, Allen 129
 Sanduleak -69° 202 128, 129
 sapan-atışı 158
 Schrödinger, Erwin 24, 208, 230
 Schulman, Lawrence xii, 169, 170, 220,
 221
 SETI (Dünyadışı Zekâ Arama Projesi)
 188, 244
 Shakespeare, William 145, 173
 Shostak, Seth 188, 225
 sınır koşulunun olmaması 149
 sicim kuramı 195
 silikon 119, 120, 127, 128, 245
 Simpsons, The 75
 Snow, C. P. 40
 Soddy, Frederick 38
 sodyum 58, 59, 103
 sodyum klorür 59
 solucan delikleri 195
 Spender, Stephen 117
 spin xii, 26, 30, 67-72, 181, 209
 Starobinsky, Alexei 151

Stern, Otto 71
 Stevenson, David 189, 190, 225
 Strassman, Fritz 123
 süpernova 122, 127-129, 245
 şans 16, 40, 111, 220
 şişme kuramı (enflasyon) 246

T

televizyonda parazitlenme 141
 Teller, Edward 184
 temel frekans 55
 Thomson, George 44
 tınlışım (rezonans) 110
 Tipler, Frank 224
 TTM :Tarama Tünelleme Mikroskobu
 8, 246
 tutulmalar (ay ve güneş) 4, 89, 210, 216
 tuz 79

U

UFO'lar 186
 Uhlenbeck, George 209
 Uranüs 78, 210
 Urey, Harold 98, 225
 Ussher, James 210
 uzaylılar 188, 190, 192, 195, 201, 202,
 233
 uzay yolculuğu x, 192
 uzay-zaman 155, 228, 247
 üçlü alfa süreci 246

V

Vahşi Savaşçılar (Berserkers) 194
 Valentini, Antony 206
 Valéry, Paul 3
 Von Neumann 224

W

- Waterston, John James 80
 Webb, Stephen 189, 225
 Weizsäcker, Carl-Friedrich von 98
 Whaling, Ward 112, 113
 Wheeler, John 3, 123, 124
 Whitman, Walt 101, 176
 Wickramasinghe, Chandra 199
 Williams, Simon 194
 William Thomson, Lord 80
 Wilson, Robert 142
 Wolfram, Stephen 200, 225
 'Wow' sinyali 187, 190, 225, 247

X

- X-ışınları 205

Y

- yanma 77, 127
 yansımalar,
 aynalardan 17
 atomlar 129
 pencere camından 3-15
 yarı yaşam süresi 83, 210-211
 yaşam 59, 82, 100-115, 120, 127, 184,
 189-197, 200, 202, 203, 235, 237
 yazı-tura atmak 15
 yeğin nükleer kuvvet 247
 yerelliğin olmayışı 31
 Yeryüzü,
 yaşı 82, 84
 ayın işlevi 196-197
 yaşamın ortaya çıkışının özel koşulla-
 rı 196-197
 yıldızlar,
 bakınız Güneş

- I. ve II. Popülasyon 213

- içerik 102-103
 kızıl cüceler 135, 140
 kızıl devler 107-112
 nova 120-123
 süpernova 121-132
 titreşme nedeni 187
 uzun ömürlülük 140
 ve element oluşumu 105-116
 ve ısı ölümü 166-167
 yıldız ışığı 133-140
 yıldızlar arası gezegenler 190
 yıldızlar arası ışıltama 187
 York, Herbert 184
 Young'ın çift yarık deneyi 19, 206
 Young, Thomas 17, 248
 yörüngeseller 57, 60

Z

- zaman 149, 157-172
 zaman oku 170
 zaman simetrisi 158
 zar atma 15
 sonucu tahmin etme 16, 174
 zayıf nükleer kuvvet 249
 zirkonyum 214
 Zwicky, Fritz 122, 213



MARCUS CHOWN

Evren, kozmoloji ve kuantum konularında geniş kitleler için anlaşılır bir dille yazdığı popüler bilim kitaplarıyla tanınan İngiliz fizikçi, ödüllü popüler bilim yazarı, yayıncı. Londra Üniversitesi Fizik Bölümü mezunu. California Teknoloji Enstitüsü'nde astrofizik masten yaptı. Haftalık bilim dergisi New Scientist için kozmoloji danışmanlığı yapıyor.

Türkçe'de de yayınlanmış olan *Biraz Kuantumdan Zarar Gelmez*'de (Alfa Yayınları, 2010), "şeffaf olmayan kavramları benzersiz bir netlikte açıklar". 2007 yılında yazdığı *The Never-Ending Days of Being Dead* adlı kitabı Guardian tarafından "popüler bilim araçlarının arasında bir limuzin" olarak değerlendirilmiş, Astronomy Now'da "bir başyapıt" övgüsünü almış ve Independent'ta "mükemmel bir DJ'yi olan bir partiye gitmek gibi..." cümlesiyle tanıtılmıştır. Diğer kitapları arasında *Afterglow of Creation* (1993), *The Magic Furnace* (1999), *The Universe Next Door* (2001), *Solar System* (2010) sayılabilir. Çocuklar için yazdığı *Felicity Frobisher and The Three-Headed Aldebaran* *Dust Devil* (2008) adlı kitabı hakkında Sunday Times "çocukların hayal gücünü ateşleyecek kitaplardan biri..." değerlendirmesini yapmıştır.

Ödüllü popüler bilim yazarı Marcus Chown, bu kitabında günlük hayatın gerçeklerinin, doğanın nihai gerçekliğini nasıl ortaya çıkardığını açıklıyor.

Bir pencereden yansıyan görüntünüz, evrenin en derin seviyede rastlantısallık esasları üzerine kurulu olduğunu gösterir.

Ayarı bozulmuş bir televizyon ekranındaki hareketsiz görüntü evrenin büyük bir patlamayla meydana geldiğini anlatır.

Aslında sizin varlığınız bile bunun tek bir evren olmadığını, hiç bitmeyecek bir kitabın sayfaları gibi art arda yığılmış, sonsuz sayıdaki evrenlerden biri olabileceğinin göstergesidir.

Marcus Chown'un en kapsamlı kitaplarından biri olan *Atomların Dansı*, sonsuz küçükten sonsuz büyüğe, evrendeki hemen her olguyu mercek altına yatırıyor. Her bölümde gündelik bir gözlemden yola çıkarak, bu gözlemin nihai gerçekliğiyle ilgili daha derin bir konuya dikkat çekiyor.



ALFA Basım Yayımlar Dağıtım Ltd.
Ticarethane Sokak No: 53
34110 Cağaloğlu-İstanbul
Tel : +90 (212) 511 53 03
+90 (212) 513 87 51
Fax : +90 (212) 519 33 00
www.alfakitap.com
e-mail: info@alfakitap.com

BİLİM EVREN

ISBN: 978-605-106-372-0



9 786051 063720